

Τεχνητή Νοημοσύνη και Έμπειρα Συστήματα



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Πρόγραμμα Σπουδών
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Θεματική Ενότητα
ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τόμος Α'

Τεχνητή Νοημοσύνη και Έμπειρα Συστήματα

ΕΛΠΙΔΑ ΚΕΡΑΥΝΟΥ

*Καθηγήτρια Τμήματος Πληροφορικής
Πανεπιστημίου Κύπρου*

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Πρόγραμμα Σπουδών
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Θεματική Ενότητα
ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τόμος Α'
Τεχνητή Νοημοσύνη και Έμπειρα Συστήματα

Συγγραφή
ΕΛΠΙΔΑ ΚΕΡΑΥΝΟΥ
Καθηγήτρια Τμήματος Πληροφορικής
Πανεπιστημίου Κύπρου

Κριτική Ανάγνωση
ΙΩΑΝΝΗΣ ΖΑΧΑΡΑΚΗΣ
Μαθηματικός – Δρ Πληροφορικής

Ακαδημαϊκός Υπεύθυνος για την επιστημονική επιμέλεια του τόμου
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΝΙΚΗΦΟΡΙΔΗΣ
Καθηγητής Τμήματος Ιατρικής Πανεπιστημίου Πατρών

Επιμέλεια στη μέθοδο της εκπαίδευσης από απόσταση
ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΤΡΙΑΝΤΗΣ

Γλωσσική Επιμέλεια
ΣΤΕΦΑΝΟΣ ΛΟΥΝΤΖΗΣ

Τεχνική Επιμέλεια
ΕΣΠΙ ΕΚΔΟΤΙΚΗ Ε.Π.Ε.

Καλλιτεχνική Επιμέλεια – Σελιδοποίηση
ΤΥΡΟΡΑΜΑ

Συντονισμός ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού και γενική επιμέλεια των εκδόσεων
ΟΜΑΔΑ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΕΡΓΟΥ ΕΑΠ / 1997–2001

ISBN: 960–538–181–8

Κωδικός Έκδοσης: ΠΛΗ 31/1

Copyright 2000 για την Ελλάδα και όλο τον κόσμο
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Οδός Παπαφλέσσα & Υψηλάντη, 26222 Πάτρα – Τηλ: (0610) 314094, 314206 Φαξ: (0610) 317244

Σύμφωνα με το Ν. 2121/1993, απαγορεύεται η συνολική ή αποσπασματική αναδημοσίευση του βιβλίου αυτού ή η αναπαραγωγή του με οποιοδήποτε μέσο χωρίς την άδεια του εκδότη.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά</i>	
<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	15
1.1 Τι είναι τεχνητή νοημοσύνη	17
1.1.1 Δοκιμή Turing για μηχανική ευφυΐα	21
1.2 Ιστορική αναδρομή	22
1.3 Επεξεργασία συμβόλων	25
1.4 Αλγόριθμοι και ευρετικά	26
<i>Σύνοψη</i>	31
<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Επίλυση Προβλημάτων

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά</i>	
<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	33
2.1 Πρόβλημα αναπαράστασης	35
2.2 Μηχανισμοί πλοήγησης	40
2.2.1 Τυφλή αναζήτηση	41
2.2.2 Ευρετική καθοδήγηση	46
2.3 Προβλήματα ταξινόμησης και σύνθεσης	50
<i>Σύνοψη</i>	55
<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Αναπαράσταση Γνώσης

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά</i>	
<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	57
3.1 Γνώση	60
3.1.1 Δεδομένα, πληροφορία και γνώση	60
3.1.2 Εμπειρογνωμοσύνη: είδη γνώσης	62
3.2 Επιθυμητές πρακτικές και θεωρητικές ιδιότητες	66
3.2.1 Πρακτικές ιδιότητες	67

3.2.2 Θεωρητικές ιδιότητες	69
3.3 Αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης	71
<i>Σύνοψη</i>	74
<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Κατηγορηματική Λογική

Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά

<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	77
4.1 Σύνταξη και σημασιολογία	82
4.1.1 Σύνταξη κατηγορηματικής λογικής	82
4.1.2 Σημασιολογία κατηγορηματικής λογικής	84
4.1.3 Ποσοτικοποίηση	85
4.1.4 Κανονικές μορφές προτάσεων	86
4.2 Ισοδυναμίες και κανόνες συλλογισμού	88
4.2.1 Ισοδυναμίες	89
4.2.2 Κανόνες συλλογισμού	90
4.3 Μετασχηματισμός σε συζευκτική κανονική μορφή	91
4.4 Διαδικασία αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης	94
4.4.1 Απόδειξη μέσω αντίφασης	95
4.4.2 Ενοποίηση προτάσεων	95
4.4.3 Αναγωγή σε διαζευκτικές προτάσεις	96
4.4.4 Διαδικασία αναγωγής	96
4.5 Εξαγωγή απαντήσεων	101
4.6 Horn clauses και άρνηση ως αποτυχία	104
4.6.1 Άρνηση ως αποτυχία	104
4.6.2 Υπόθεση κλειστού κόσμου	105
<i>Σύνοψη</i>	106
<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	107

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Δίκτυα Συσχέτισης και Πλαίσια

Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά

<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	109
5.1 Ταξινομίες και μερονιμίες εννοιών	112

5.2	Δίκτυα συσχέτισης	114
5.2.1	Αναζήτηση τομής	115
5.2.2	Διαμερισμένα δίκτυα συσχέτισης	116
5.3	Πλαίσια	120
5.3.1	Σχισμές και όψεις	120
5.3.2	Συγκεκριμενοποίηση πλαισίου	124
5.3.3	Συστήματα πλαισίων	125
5.4	Κληρονόμηση	130
5.4.1	Απλή κληρονόμηση	130
5.4.2	Πολλαπλή κληρονόμηση	132
	<i>Σύνοψη</i>	137
	<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	138

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Κανόνες Παραγωγής

	<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά</i>	
	<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	138
6.1	Σύστημα παραγωγής	140
6.1.1	Κανόνες παραγωγής	140
6.1.2	Αρχιτεκτονική συστήματος παραγωγής	144
6.2	Ορθή αλυσίδωση	147
6.2.1	Κύκλος «αναγνώρισε–ενέργησε»	147
6.2.2	Δομή ελέγχου	151
6.3	Ανάστροφη αλυσίδωση	153
6.3.1	Δίκτυο συλλογισμού	153
6.3.2	Ευρέτης και ανιχνευτής	156
6.3.3	Επεξηγήσεις «γιατί;» και «πώς;»	159
6.3.4	Τοπικός έλεγχος με μετα–κανόνες	162
6.4	Μοντέλο μαυροπίνακα	162
	<i>Σύνοψη</i>	165
	<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	167

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Η Τεχνολογία των Έμπειρων Συστημάτων

	<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά</i>	
	<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	169

7.1	Έμπειρα συστήματα – ορισμός, σκοπός, χαρακτηριστικά	171
7.2	Βασικές μορφές συλλογισμού	177
7.2.1	Συμπέρασμα.....	178
7.2.2	Απαγωγή	178
7.2.3	Επαγωγή	179
	<i>Σύνοψη</i>	181
	<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	182

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Έμπειρα Συστήματα Πρώτης Γενεάς

	<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά</i>	
	<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	183
8.1	Mycin και δορυφορικά υποσυστήματα	186
8.1.1	Συμβουλευτικό σύστημα	186
8.1.2	Σύστημα επεξηγήσεων	197
8.1.3	Σύστημα απόκτησης γνώσης	198
8.1.4	Σύστημα κέλφους.....	202
8.1.5	Μεταγλωττισμένη γνώση.....	205
8.2	Prospector	209
8.2.1	Υβριδική αναπαράσταση	209
8.2.2	Μεικτή αλυσίδωση	210
8.2.3	Μοντέλο αβεβαιότητας	213
8.3	Internist-1	217
8.3.1	Βάση γνώσης	217
8.3.2	Διεργασίες συλλογισμού	219
8.3.3	Αξιολόγηση υποθέσεων – μοντέλο αβεβαιότητας	221
	<i>Σύνοψη</i>	223
	<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	224

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Έμπειρα Συστήματα Δεύτερης Γενεάς

	<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά</i>	
	<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	225
9.1	Προσέγγιση δεύτερης γενεάς	227
9.2	Neomycin.....	229
9.2.1	Ταξινομικό και αιτιολογικό μοντέλο	230

9.2.2 Μοντελοποίηση στρατηγικής γνώσης	233
9.2.3 Στρατηγικές επεξηγήσεις	237
9.2.4 Ευρετική ταξινόμηση	240
9.3 MDX	242
9.3.1 Μεταγλωττισμένη γνώση – εναλλακτικός ορισμός	242
9.3.2 Συνεργασία ειδικών	244
9.3.3 Αρχιτεκτονική γενικευμένων εργασιών	247
<i>Σύνοψη</i>	248
<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	248

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Τεχνολογία γνώσης

<i>Σκοπός, Προσδοκώμενα αποτελέσματα, Έννοιες κλειδιά</i>	
<i>Εισαγωγικές παρατηρήσεις</i>	251
10.1 Ολοκληρωτικές διερευνήσεις εργασιών	255
10.2 Διεργασίες τεχνολογίας γνώσης	258
10.3 Τεχνικές συνεντεύξεων	261
10.4 Μεθοδολογία CommonKADS.....	265
10.4.1 Πολλαπλά μοντέλα	267
10.4.2 Μοντελοποίηση εμπειρογνωμοσύνης	272
<i>Σύνοψη</i>	281
<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	282

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

Τρέχοντες ερευνητικοί στόχοι

<i>Βιβλιογραφία κεφαλαίου</i>	287
Απαντήσεις Ασκήσεων Αυτοαξιολόγησης	289
Ενδεικτικές Απαντήσεις Δραστηριοτήτων	318
Γλωσσάρι ελληνικών όρων	341
Γλωσσάρι αγγλικών όρων	372
Βιβλιογραφία	383

Πρόλογος

Ο τόμος αυτός, χωρίζεται σε δύο μέρη, την Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) (κεφάλαια 1–6) και τα Έμπειρα Συστήματα (κεφάλαια 7–10). Η TN καλύπτει ένα ευρύ φάσμα περιοχών και αυτό της δίνει πολυεπιστημονικό χαρακτήρα. Η τεχνολογία των έμπειρων συστημάτων αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι του εφαρμοσμένου μέρους της TN. Βασικός στόχος του τόμου είναι να σας εισαγάγει σε στοιχειώδεις έννοιες της TN, οι οποίες άπτονται άμεσα της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων, και στη συνέχεια να σας εισαγάγει σε αυτή την τεχνολογία.

Αναφορικά με το Μέρος I, την TN, θα εστιάσουμε την προσοχή μας σε δύο κεντρικές περιοχές, την *επίλυση προβλημάτων* και την *αναπαράσταση γνώσης*. Αυτές είναι οι δύο περιοχές που αποτελούν τα θεμέλια της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων. Ένα έμπειρο σύστημα επιλύει ρεαλιστικά προβλήματα με τη χρήση γνώσης. Συγκεκριμένα, το κεφάλαιο 1 στοχεύει να οριοθετήσει το πεδίο της TN παραθέτοντας κάποιους από τους προτεινόμενους ορισμούς του πεδίου και κάνοντας μία σύντομη ιστορική αναδρομή. Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο θα σας εξηγηθούν δύο βασικότερες έννοιες της TN, η επεξεργασία συμβόλων και το ευρετικό. Στόχος του κεφαλαίου 2 είναι να σας εξηγήσει διάφορες γενικές μεθόδους για την επίλυση προβλημάτων, μέσω αναζήτησης σε ένα χώρο καταστάσεων. Στο κεφάλαιο 3 θα αναφερθούμε στην αναπαράσταση γνώσης σε γενικές γραμμές, κυρίως σε σχέση με τα είδη γνώσης που απαρτίζουν κάποια εμπειρογνωμοσύνη, και τις επιθυμητές πρακτικές και θεωρητικές ιδιότητες μιας αναπαράστασης. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τέσσερις βασικούς φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης, την κατηγορηματική λογική (κεφάλαιο 4), τα δίκτυα συσχέτισης και πλαίσια (κεφάλαιο 5) και τους κανόνες παραγωγής (κεφάλαιο 6).

Στο Μέρος II θα επικεντρωθούμε σε *αρχιτεκτονικές* έμπειρων συστημάτων, πρώτης και δεύτερης γενεάς, καθώς επίσης στην *τεχνολογία γνώσης* (knowledge engineering), που διέπει τη δημιουργία έμπειρων συστημάτων. Συγκεκριμένα, το κεφάλαιο 7 σας εξηγεί τι είναι έμπειρο σύστημα, ποιος είναι ο σκοπός της εν λόγω τεχνολογίας και ποια είναι τα διακριτά χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων. Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει επίσης τις τρεις βασικές μορφές συλλογισμού, το συμπέρασμα, την απαγωγή και την επαγωγή. Το κεφάλαιο 8 σας παρουσιάζει, μέσω τριών αντιπροσωπευτικών συστημάτων πρώτης γενεάς, των MYCIN, PROSPECTOR, και INTERNIST-1, ενδεικτικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής συστημάτων

αυτής της γενεάς, καθώς επίσης της αρχικής προσέγγισης ως προς τη δημιουργία έμπειρων συστημάτων. Γίνεται επίσης αναφορά στις αδυναμίες των πρωταρχικών συστημάτων και της προσέγγισης δημιουργίας τους, η αποδοχή των οποίων οδήγησε στη δεύτερη γενεά έμπειρων συστημάτων και τις σχετικές μεθοδολογίες τεχνολογίας γνώσης. Η δεύτερη γενεά έμπειρων συστημάτων, χαρακτηρίζεται κυρίως από τη χρήση πολλαπλών μοντέλων και μηχανισμών συλλογισμού, καθώς επίσης και από την υιοθέτηση προσεγγίσεων βασισμένων στο επίπεδο γνώσης ως προς το σχεδιασμό των συστημάτων. Το κεφάλαιο 9 σας παρουσιάζει τα κύρια χαρακτηριστικά της δεύτερης γενεάς, μέσω των έμπειρων συστημάτων NEOMYCIN και MDX. Το κεφάλαιο 10, που είναι το τελευταίο του Μέρους II παρουσιάζει την τεχνολογία γνώσης, αρχίζοντας με μια σφαιρική παρουσίαση των διεργασιών που εμπλέκονται σε σχέση με την ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων (δεύτερης γενεάς) και καταλήγοντας στη μεθοδολογία CommonKADS, ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μεθοδολογιών τεχνολογίας γνώσης.

Το κεφάλαιο 11, σε μορφή επιλόγου, σας παρουσιάζει κάποιους από τους τομείς που προσελκύουν σήμερα μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον. Το Γλωσσάριο Όρων περιέχει σύντομες επεξηγήσεις για περισσότερους από 200 όρους, δίνοντας επίσης και τους αντίστοιχους Αγγλικούς όρους.

Τελειώνοντας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στους ακόλουθους, για τη σημαντική τους συμβολή στην ολοκλήρωση αυτού του έργου και για την άψογη και καθ' όλα εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε: στο Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, ειδικά στους Συντονιστές του Προγράμματος Πληροφορικής Χρήστο Παναγιωτακόπουλο, αρχικά, και Δήμητρα Παρασκευοπούλου, στη συνέχεια, και την Ομάδα Εκτέλεσης Έργου, στον Ακαδημαϊκό Υπεύθυνο, Καθηγητή Γεώργιο Νικηφορίδη, στον Κριτικό Αναγνώστη, Καθηγητή Γιάννη Ζαχαράκη, και στον Εμμανουήλ Γιακουμάκη που άσκησε για κάποιο διάστημα το ρόλο του Κριτικού Αναγνώστη. Μεγάλο χρέος αισθάνομαι προς τη Σαββούλα Ευσταθίου, η οποία με μεγάλη προθυμία και ζήλο επιμελήθηκε γλωσσικά όλα τα κεφάλαια, πριν την υποβολή τους. Ευχαριστίες επίσης στο φιλόλογο που εντόπισε επιπλέον γλωσσικές αδυναμίες, στην Ειρήνη Abu-Rumman και Χρυσόστομο Ελευθερίου για τη βοήθεια που μου παρείχαν στην επεξεργασία του κειμένου και στον Τάσο Χριστοφίδη για τη βοήθειά του στη μετάφραση ορισμένων όρων από τα Αγγλικά στα Ελληνικά, στον τεχνικό επιμελητή και το γραφίστα. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φοιτητές του Τμήματος Πληροφορικής του

Πανεπιστημίου Κύπρου, οι οποίοι παρακολούθησαν κατά το Εαρινό Εξάμηνο 1999/2000 το μάθημα περιορισμένης επιλογής ΕΠΛ443 Τεχνητή Νοημοσύνη και Έμπειρα Συστήματα, στα πλαίσια του οποίου χρησιμοποιήθηκε υλικό από αυτόν τον τόμο. Μέσω της μελέτης τους, εντόπισαν διάφορες απροσεξίες, γλωσσικής και άλλης μορφής, οι οποίες δυστυχώς είχαν διαφύγει του ελέγχου μου. Οποιοσδήποτε άλλες απροσεξίες ή λάθη παραμένουν, είναι καθαρά από δική μου υπαιτιότητα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τις Ιλεάνα, Ιωάννα και κυρίως Χριστίνα, που παρόλο το νεαρό της ηλικίας τους (8, 7 και 11 ετών αντιστοίχως) επέδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον για την εκπόνηση αυτού του έργου και ήθελαν συνεχώς να ενημερώνονται για την εξέλιξη της προόδου του. Για μένα, η συγγραφή αυτού του τόμου, για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση, αποτέλεσε μια ιδιαίτερος ευχάριστη ενασχόληση και εμπειρία. Ελπίζω ότι θα βρείτε το περιεχόμενό του χρήσιμο για την πορεία των σπουδών σας. Σας εύχομαι καλό διάβασμα.

Ελπίδα Κεραυνού–Παπαηλιού

Λευκωσία, Κύπρος

Απρίλιος, 2000

Εισαγωγή

Σκοπός

Το εισαγωγικό κεφάλαιο στοχεύει να οριοθετήσει το πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) παραθέτοντας κάποιους από τους προτεινόμενους ορισμούς του πεδίου και κάνοντας μία σύντομη ιστορική αναδρομή. Στο κεφάλαιο αυτό θα εξηγηθούν δύο βασικότερες έννοιες της TN, συγκεκριμένα η επεξεργασία συμβόλων (*symbolic processing*) και το ευρετικό (*heuristic*).

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει το εισαγωγικό κεφάλαιο θα μπορείτε να:

- δώσετε τέσσερις εναλλακτικούς ορισμούς της TN και να αναφερθείτε σε τρεις τουλάχιστον ερευνητικές περιοχές του πεδίου,
- παρουσιάσετε μία σύντομη ιστορική αναδρομή του πεδίου,
- εξηγήσετε τις έννοιες «επεξεργασία συμβόλων» και «ευρετικό»,
- εξηγήσετε την υπόθεση του «συστήματος φυσικών συμβόλων» καθώς επίσης τη «δοκιμή Turing» για μηχανική ευφύα,
- διακρίνετε μία δεδομένη υπολογιστική μέθοδο ως αλγοριθμική ή ευρετική.

Έννοιες κλειδιά

- τεχνητή νοημοσύνη
- επεξεργασία συμβόλων
- υπόθεση συστήματος φυσικών
- συμβόλων
- ευρετικό
- δοκιμή Turing

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Τα πρώτα υπολογιστικά συστήματα δημιουργήθηκαν για την επεξεργασία αριθμών. Ο αριθμός είναι ένα είδος συμβόλου. Υπάρχουν πολλά άλλα είδη συμβόλων όπως λέξεις, σχήματα, κτλ. Με το να γενικεύσουμε την «επεξεργασία αριθμών» σε «επεξεργασία συμβόλων», καταλήγουμε σε μια πολύ πιο γενική και πολύ πιο χρήσιμη θεώρηση των υπολογιστικών συστημάτων ως επεξεργασιών συμβόλων. Αυτή η θεώρηση έχει μεγάλη σημασία για την TN, διότι, όπως θα δούμε στη συνέχεια, η επεξεργασία γνώσης αποτελεί αναπό-

σπαστο μέρος των συστημάτων TN. Η επεξεργασία της γνώσης μέσα στα πλαίσια υπολογιστικών συστημάτων, συνεπάγεται την αναπαράστασή της με τυπικό, συμβολικό, τρόπο.

Τα προβλήματα με τα οποία καταπιάνονται συστήματα TN είναι συνήθως δύσκολα, τα οποία είναι αδύνατο να επιλυθούν με εξαντλητική εξέταση όλων των πιθανών (μερικών) λύσεων. Για αυτό το λόγο ένα ευφρές σύστημα πρέπει να έχει την ικανότητα να πλοηγείται, με αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα, σε ένα πολύ μεγάλο χώρο αναζήτησης, επιλέγοντας σε κάθε στάδιο την πιο «υποσχόμενη» διαδρομή, η οποία στην πλειονότητα των περιπτώσεων, θα το οδηγήσει, εάν όχι σε βέλτιστη λύση τουλάχιστον σε μία αρκετά ικανοποιητική λύση. Οι μηχανισμοί διεύθυνσης ή εστίασης σε ένα μεγάλο χώρο αναζήτησης (λύσεων) ονομάζονται ευρετικά. Η αναζήτηση λύσεων και η καθοδήγηση μέσω ευρετικών αποτελεί μία πολύ κεντρική έννοια στο πεδίο της TN.

Γενικά, η επεξεργασία γνώσης μέσω συμβολικών αναπαραστάσεων και η καθοδήγηση αναζήτησης λύσεων μέσω ευρετικών είναι τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τις μεθόδους TN από τις υπόλοιπες υπολογιστικές μεθόδους.

Μέχρι τώρα έχουν προταθεί διάφοροι ορισμοί για το τι είναι TN. Κανένας από αυτούς τους ορισμούς δεν είναι καθολικά αποδεκτός. Στην ενότητα 1.1 θα αναφερθούμε σε τέσσερις από αυτούς τους ορισμούς. Η έννοια της νοημοσύνης ή ευφυΐας εμφανίζεται άμεσα ή έμμεσα σε όλους αυτούς τους ορισμούς. Έτσι, η ενότητα καταλήγει με την περιγραφή της «δοκιμής Turing» για μηχανική ευφυΐα. Στην ενότητα 1.2 ακολουθεί μία πολύ σύντομη ιστορική αναδρομή του πεδίου, ενώ οι τρέχοντες ερευνητικοί στόχοι της TN περιλαμβάνονται και των περιπτώσεων εφαρμογής της θα παρουσιαστούν πιο αναλυτικά στο τελευταίο κεφάλαιο του τόμου. Η τεχνολογία των έμπειρων συστημάτων αποτελεί το κυρίως εφαρμοσμένο μέρος της TN. Αυτή θα παρουσιαστεί στο Μέρος II του τόμου. Στην ενότητα 1.3 του εισαγωγικού κεφαλαίου θα παρουσιαστεί η κεντρική υπόθεση που υπογραμμίζει την έρευνα σε TN, συγκεκριμένα η υπόθεση του συστήματος φυσικών συμβόλων των Newell και Simon. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την ενότητα 1.4, στην οποία θα εξηγηθεί η διαφορά ανάμεσα σε καθαρά αλγοριθμικές υπολογιστικές μεθόδους και υπολογιστικές μεθόδους οι οποίες βασίζονται στη χρήση ευρετικών.

1.1 Τι είναι τεχνητή νοημοσύνη

Το πεδίο της ΤΝ είναι περίπου σαράντα ετών. Αυτό εξαρτάται από το πότε τοποθετείται χρονικά η έναρξη της ΤΝ. Είναι γεγονός ότι η έρευνα σε ΤΝ άρχισε πολύ πριν επινοηθεί ο όρος «*Τεχνητή Νοημοσύνη*» από τον John McCarthy, ενώ το πρώτο επίσημο διεθνές συνέδριο σε ΤΝ διεξήχθη το 1969 στη Βόρειο Αμερική. Επίσης είναι γεγονός ότι το προβάδισμα σε αυτό το πεδίο δόθηκε από ερευνητές σε πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα της Βορείου Αμερικής και σε μεγάλο βαθμό το πεδίο εξακολουθεί να «κυριαρχείται» από τους Αμερικανούς ερευνητές, παρόλο που τώρα η Ευρώπη δεν είναι πλέον ο φτωχός συγγενής, αλλά έχει και αυτή να επιδείξει αξιόλογα ερευνητικά αποτελέσματα. Κάποιες ατυχείς συγκυρίες είχαν ως αποτέλεσμα το κάπως αργό ξεκίνημα της ΤΝ στην Ευρώπη. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, για παράδειγμα, το «συμπέρασμα» του Sir James Lighthill ότι η ΤΝ δημιουργήθηκε από άντρες που στόχο είχαν την κατασκευή του μηχανικού ανθρώπου ως υποκατάστατο της κυοφορίας, είχε ως αποτέλεσμα το «πάγωμα» της κρατικής υποστήριξης προς την έρευνα σε ΤΝ μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 80, όταν πλέον έγινε αντιληπτή η σημασία των ερευνητικών στόχων της ΤΝ και αποφασίστηκε να διατεθούν σημαντικά κρατικά κονδύλια προς υποστήριξη αυτής της έρευνας. Σε αυτή την αλλαγή πνεύματος συντέιει σε μεγάλο βαθμό η ανακοίνωση της Ιαπωνικής κυβέρνησης για τη διάθεση τεράστιων ποσών προς τη δημιουργία του υπολογιστή πέμπτης γενεάς (fifth-generation computer), ο οποίος θα είχε ικανότητες ευφυΐας. Η Ιαπωνική προσπάθεια μπορεί να μην επέφερε τα αναμενόμενα αποτελέσματα, συνέβαλε όμως τα μέγιστα στην αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος σε ΤΝ, κυρίως στην Ευρώπη.

Πηγαίνοντας πολύ πιο πίσω από τα πιο πάνω γεγονότα, οι ρίζες της ΤΝ μπορούν να χρονολογηθούν στο έργο των αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων, κυρίως του Αριστοτέλη, και σε μεταγενέστερο στάδιο, στο έργο διάσημων μαθηματικών όπως του George Boole. Στην Ευρώπη ο Άγγλος μαθηματικός Alan Turing, ο οποίος θεωρείται ένας από τους πατέρες της ΤΝ, ήταν ο πρώτος που διατύπωσε, κατά τη μεταπολεμική περίοδο, την έννοια της ευφυούς υπολογιστικής μηχανής και προσδιόρισε τη δοκιμή με την οποία μπορεί να «αποδειχθεί», με εμπειρικό τρόπο, η ύπαρξη ή μη ευφυΐας σε έναν υπολογιστή. Ο τομέας της Κυβερνητικής (Cybernetics), κυρίως το μέρος αυτού του τομέα που ασχολήθηκε με τη δημιουργία μηχανών, οι οποίες προσομοίωναν κάποια χαρακτηριστικά ανθρώπινης συμπεριφοράς, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας

από τους άμεσους προγόνους της ΤΝ. Σε γενικές γραμμές, η ουσία είναι ότι η ΤΝ αντλεί από πολλούς και διαφορετικούς τομείς (Φιλοσοφία, Μαθηματικά, Γνωστική Ψυχολογία, Μηχανική, κτλ.), πράγμα το οποίο της δίνει τον πολυεπιστημονικό της χαρακτήρα, και οι εφαρμογές της αφορούν πολλούς και διαφορετικούς τομείς (Ιατρική, Νομική, Εκπαίδευση, Γλωσσολογία, Γεωλογία, Βιολογία, Αστρονομία, κτλ.).

Αναμφισβήτητα, οι λέξεις «τεχνητή» και «νοημοσύνη» (ή ευφυΐα) δεν είναι απολύτως σαφείς. Επομένως δεν πρέπει να μας παραξενεύει το γεγονός ότι ο όρος «τεχνητή νοημοσύνη» έχει οδηγήσει σε έντονες συζητήσεις, ακόμη και σε διαμάχες, εντός και εκτός της ερευνητικής κοινότητας, για το τι τέλος πάντων σημαίνει. Τέτοιες συζητήσεις είναι αναμενόμενες και καλοδεχούμενες, για οποιοδήποτε σχετικά νέο πεδίο τα «σύνορα» του οποίου δεν έχουν ακόμη σταθεροποιηθεί και συνεχώς επεκτείνονται σε νέες κατευθύνσεις. Κανένας από τους κατά καιρούς προτεινόμενους ορισμούς του τι σημαίνει «τεχνητή νοημοσύνη» δεν είναι καθολικά αποδεκτός. Κανένας από αυτούς δεν καλύπτει επακριβώς τις διάφορες περιοχές που περιλαμβάνονται σε αυτό το πεδίο. Επομένως, από πρακτικής απόψεως, ο καλύτερος τρόπος οριοθέτησης της ΤΝ στην παρούσα φάση ανάπτυξής της, είναι μέσω των ερευνητικών περιοχών που την αποτελούν, όπως αυτές διαφαίνονται στα πρακτικά διεθνών συνεδρίων σε ΤΝ. Θα καταπιαστούμε με την κατάσταση των τρεχόντων ερευνητικών στόχων του πεδίου στο τελευταίο κεφάλαιο του τόμου. Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε σε κάποιους από τους προτεινόμενους ορισμούς της ΤΝ, ενώ στην επόμενη ενότητα θα σας παρουσιάσουμε μία σύντομη ιστορική αναδρομή.

Οι Luger και Stubblefield (1998) προτείνουν καταρχήν τον ακόλουθο ορισμό:

Ορισμός 1: Τεχνητή Νοημοσύνη είναι ένας κλάδος της Πληροφορικής, ο οποίος ασχολείται με την αυτοματοποίηση ευφυούς συμπεριφοράς.

Κατά τους Luger και Stubblefield το δυνατό σημείο αυτού του ορισμού είναι η τοποθέτηση της ΤΝ ως κλάδου της Πληροφορικής, το οποίο σημαίνει ότι η ΤΝ κληρονομεί όλες τις μεθοδολογίες, τεχνικές, μηχανισμούς και πρότυπα που υπογραμμίζουν όλα τα υπολογιστικά συστήματα. Όμως, από πρακτικής απόψεως, το αδύνατο σημείο του ορισμού είναι ότι εξαρτάται από το τι είναι «ευφυΐα» ή «ευφυής συμπεριφορά», κάτι για το οποίο δεν υπάρχει σύγκλιση απόψεων. Στο τελευταίο κεφάλαιο του βιβλίου τους, οι Luger και Stubblefield, δίνουν τον ακόλουθο τροποποιημένο ορισμό:

Ορισμός 2: Τεχνητή Νοημοσύνη είναι η μελέτη των μηχανισμών που διέπουν ευφυή συμπεριφορά, μέσω της κατασκευής και αξιολόγησης συστημάτων τα οποία παριστάνουν αυτούς τους μηχανισμούς.

Εκ πρώτης όψεως αυτός ο ορισμός φαίνεται να είναι παράφραση του ορισμού 1. Πιο προσεκτική εξέταση όμως δείχνει ότι υπάρχει μια ουσιαστική διαφορά. Ο ορισμός 2 μας προτείνει ότι ΤΝ είναι η μελέτη κατανόησης της φύσης της ανθρώπινης ευφυούς συμπεριφοράς. Επομένως, δεν προϋποθέτει τον προσδιορισμό της «ευφυούς συμπεριφοράς», όπως ο ορισμός 1. Φυσικά και ο ορισμός 2 παραμένει απεριόριστος.

Ένας τρίτος εναλλακτικός ορισμός, ο οποίος έχει προταθεί από διάφορους ερευνητές, και είναι πιο συγκεκριμένος, και επομένως πιο περιοριστικός, από τους ορισμούς 1 και 2, είναι ο ακόλουθος:

Ορισμός 3: Τεχνητή Νοημοσύνη είναι η ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων για την επίλυση δύσκολων προβλημάτων, τα οποία δεν μπορούν να επιλυθούν με την εξαντλητική εξέταση όλων των πιθανών λύσεων μια και αυτές μπορεί να είναι πάρα πολλές.

Η έμφαση εδώ είναι σε *δύσκολα* προβλήματα, τα οποία παραδοσιακές υπολογιστικές μέθοδοι, δηλαδή καθαρά αλγοριθμικές μέθοδοι, είναι ανίκανες να επιλύσουν, τουλάχιστο μέσα σε λογικά χρονικά πλαίσια. Με έμμεσο τρόπο, αυτός ο ορισμός επικαλείται τη χρήση ευρετικών μεθόδων. Η σύνδεση του ορισμού 3 με την «ευφυΐα» απορρέει από τη γενική αποδοχή ότι ο άνθρωπος που μπορεί να επιλύσει τέτοια δύσκολα προβλήματα, αποδοτικά και αποτελεσματικά, χαρακτηρίζεται από ευφυΐα. Επίσης χαρακτηρίζεται από εκτενή γνώση και εμπειρία. Ευφυΐα, γνώση και εμπειρία είναι αλληλένδετες έννοιες. Βέβαια, δεν έπεται ότι ο ίδιος άνθρωπος είναι εξίσου ικανός στην επίλυση όλων των ειδών δύσκολων προβλημάτων.

Παρόλο που ο ορισμός 3 είναι πολύ πιο συγκεκριμένος από τους ορισμούς 1 και 2, μια και υπονοεί μια περιοριστική αντίληψη της έννοιας της ευφυΐας, την ικανότητα επίλυσης δύσκολων προβλημάτων, δεν καλύπτει επαρκώς τις διάφορες ερευνητικές περιοχές που περιλαμβάνονται στη ΤΝ. Για παράδειγμα, αυτός ο ορισμός δεν καλύπτει τις προσπάθειες δημιουργίας υπολογιστικών συστημάτων τα οποία επιδεικνύουν «κοινή λογική» (commonsense reasoning). Ο κάθε άνθρωπος, κανονικού επιπέδου νοημοσύνης, κατέχει κοινή λογική, η εφαρμογή της οποίας δεν χαρακτηρίζεται ως δύσκολη πράξη.

Τέλος ένας τέταρτος ορισμός ο οποίος έχει προταθεί από τους Rich και Knight (1991) είναι ο ακόλουθος:

Ορισμός 4: Τεχνητή Νοημοσύνη είναι η μελέτη του πώς να κάνουμε τον υπολογιστή να πράξει κάτι που επί του παρόντος ο άνθρωπος μπορεί να πράξει καλύτερα.

Ο ορισμός 4, όπως και ο ορισμός 3, αποφεύγει την απευθείας αναφορά σε ευφυΐα. Από πρακτικής απόψεως το τι ορίζεται εδώ είναι αρκετά χειροπιαστό και επίσης, συγκριτικά με τον ορισμό 3, ο ορισμός 4 είναι πιο ευρύς σε εμβέλεια και φαίνεται να καλύπτει αρκετά ικανοποιητικά το πεδίο. Η οριοθέτηση της TN διαμέσου αυτού του ορισμού είναι δυναμική, αφού το σύνολο των ικανοτήτων στις οποίες ο άνθρωπος υπερέρχει του υπολογιστή αναμένεται να μεταβάλλεται με το χρόνο.

Επί του παρόντος πολλά είναι εκείνα στα οποία ο άνθρωπος υπερέρχει του υπολογιστή, όπως για παράδειγμα η ικανότητα όρασης, μάθησης, ομιλίας, η συνδιάλεξη και η επιχειρηματολογία, η επίλυση δύσκολων προβλημάτων, κτλ. Αυτές είναι ικανότητες, οι οποίες ενισχύονται με τις γνώσεις και την εμπειρία. Ο υπολογιστής δεν έχει ακόμη φτάσει στο σημείο να επιδεικνύει οποιαδήποτε από αυτές τις ικανότητες σε βαθμό συγκρίσιμο με αυτό του ανθρώπου, εκτός από την επίλυση εξειδικευμένων προβλημάτων. Μηχανική μάθηση και όραση, κατανόηση ομιλίας, κατανόηση και μετάφραση φυσικής γλώσσας, κτλ., αποτελούν από την αρχή μέχρι τώρα ενεργές ερευνητικές περιοχές της TN. Κοινός παρανομαστής αυτών των ερευνητικών δραστηριοτήτων είναι η αναπαράσταση γνώσης με συμβολικό τρόπο και η ευρετική αναζήτηση.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 1.1

Ποια από τα ακόλουθα ισχύουν ή όχι σε σχέση με κάποιο από τους ορισμούς της TN;

1. Η μελέτη της ανθρώπινης ευφυΐας με στόχο τη βελτίωσή της.
2. Είναι κλάδος της Πληροφορικής.
3. Η αυτοματοποίηση της ευφυούς συμπεριφοράς.
4. Η βασισμένη σε υπολογιστή επίλυση δύσκολων προβλημάτων.
5. Η ανάπτυξη ευφύων προγραμμάτων.
6. Η σχεδίαση αποδοτικών αλγορίθμων για τον υπολογισμό βέλτιστων λύσεων.
7. Η μελέτη του πώς να κάνουμε τον υπολογιστή να πράξει κάτι που επί του παρόντος ο άνθρωπος μπορεί να πράξει καλύτερα.

1.1.1 Δοκιμή Turing για μηχανική ευφυΐα

Στην ενότητα 1.1 έχουμε αναφέρει τέσσερις εναλλακτικούς ορισμούς της ΤΝ. Σε καθέναν από αυτούς εμφανίζεται άμεσα ή έμμεσα η έννοια της ευφυΐας. Όπως σας έχει ήδη αναφερθεί, κατά την δεκαετία του 80, η Ιαπωνική κυβέρνηση διέθεσε μεγάλα ποσά για τη δημιουργία του ευφυούς υπολογιστή. Η έννοια αυτή είχε επινοηθεί πολύ πρίν, και συγκεκριμένα το 1950, από τον Άγγλο μαθηματικό Alan Turing, ο οποίος επίσης προσδιόρισε μία δοκιμή για το κατά πόσον ένας υπολογιστής κατέχει ευφυΐα.

Δοκιμή Turing

Υπάρχουν τρία χωριστά δωμάτια. Στο ένα βρίσκεται ο υπολογιστής, στο άλλο βρίσκεται ένας άνθρωπος που παίζει το ρόλο του εξεταζόμενου και στο τελευταίο βρίσκεται ένας άλλος άνθρωπος ο οποίος παίζει το ρόλο του ανακριτή. Ο ανακριτής δεν γνωρίζει σε ποιο δωμάτιο βρίσκεται ο άνθρωπος και σε ποιο ο υπολογιστής. Η επικοινωνία ανάμεσα στον ανακριτή και τους άλλους δύο γίνεται μέσω τερματικών. Ο ανακριτής θέτει διάφορα ερωτήματα, ταυτόχρονα στον άνθρωπο και στον υπολογιστή και με βάση τις ξεχωριστές απαντήσεις που παίρνει προσπαθεί να διακρίνει τον άνθρωπο από τον υπολογιστή. Εάν ο ανακριτής δεν μπορεί να διαχωρίσει τους δύο, τότε μπορεί να θεωρηθεί ότι ο υπολογιστής κατέχει ευφυΐα.

Φυσικά, κανένας υπολογιστής μέχρι τώρα δεν έχει περάσει αυτή τη δοκιμή, και ίσως αυτό να μην είναι ποτέ εφικτό. Παρά ταύτα, αυτή η δοκιμή αποτελεί τη βάση των τρόπων αξιολόγησης συστημάτων ΤΝ, όπως για παράδειγμα τα έμπειρα συστήματα όπου ο βασικός τρόπος αξιολόγησης αποτελείται από τη σύγκριση της απόδοσης του συστήματος έναντι αυτής του έμπειρου πάνω σε ένα σύνολο προβλημάτων.

Σύμφωνα με αυτή τη δοκιμή το μέτρο σύγκρισης είναι η ανθρώπινη ευφυΐα, είτε σε επίπεδο κοινής ή εξειδικευμένης νοημοσύνης, με όλα τα τρωτά και τους περιορισμούς που συνεπάγονται. Επομένως, ένας υπολογιστής για να περάσει τη δοκιμή Turing, σε ζητήματα που υπερέχει του ανθρώπου, πρέπει να μειώσει την ικανότητά του στο επίπεδο του ανθρώπου. Για παράδειγμα, ο υπολογιστής υπερέχει του ανθρώπου σε μαθηματικές πράξεις όπου μπορεί να δώσει αλάνθαστα αποτελέσματα σε άμεσο χρόνο. Έτσι, εάν το ερώτημα του ανακριτή είναι το γινόμενο ενός περίπλοκου πολλαπλασια-

σμού ο ευφυής υπολογιστής ξεγελά τον ανακριτή με το να του δώσει λανθασμένη απάντηση στον ίδιο χρόνο που θα χρειαζόταν ο άνθρωπος. Ένα σημείο κριτικής αυτής της δοκιμής είναι ακριβώς ότι προσπαθεί να περιορίσει (καλουπώσει) τη μηχανική ευφυΐα στα μέτρα της ανθρώπινης ευφυΐας, ενώ ίσως θα έπρεπε τα δύο αυτά είδη ευφυΐας να αντιμετωπίζονται ως διαφορετικά, επιτρέποντας έτσι στον υπολογιστή να εκμεταλλευτεί τις δικές του ανώτερες ικανότητες, όπως για παράδειγμα την απεριόριστη μνήμη του. Ακόμη ένα σημείο κριτικής της δοκιμής είναι ότι η αντίληψη της ανθρώπινης ευφυΐας, που αντανακλά, την οποία απαιτεί να προσομοιώσει ο υπολογιστής, περιορίζεται σε εργασίες επίλυσης προβλημάτων με συμβολικό τρόπο, αγνοώντας πλήρως άλλα σημαντικά στοιχεία ευφυΐας όπως αισθητήριες ικανότητες ή χειρωνακτικές επιδεξιότητες. Τέλος έχουν διατυπωθεί αντιρρήσεις για τη δοκιμή που σχετίζονται με το αν η «συμπεριφορά» αρκεί να αποδείξει την ευφυΐα.

Συνοψίζοντας, σε αυτή την ενότητα παρουσιάστηκαν τέσσερις εναλλακτικοί ορισμοί της TN, καθώς επίσης η δοκιμή Turing για μηχανική ευφυΐα.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Οι πρώτες προσπάθειες του πεδίου εστιάζονταν στη δημιουργία συστημάτων, τα οποία θα μπορούσαν να συναγωνίζονται τον άνθρωπο σε διάφορα επιτραπέζια παιχνίδια, τα οποία απαιτούν υψηλές διανοητικές ικανότητες, όπως το checkers και το σκάκι. Η δικαίωση αυτών των προσπαθειών ήλθε το 1996, όταν ο *Deep Blue* κατόρθωσε να νικήσει το μεγαλύτερο πρωταθλητή σκακιού, τον Garry Kasparov. Αυτή ίσως να είναι η μεγαλύτερη επιτυχία της TN μέχρι σήμερα, η οποία δεν μπορεί να αμφισβητηθεί από κανένα. Πάντως είναι η πιο διάσημη επιτυχία του πεδίου, αφού έτυχε μεγάλης κάλυψης σε παγκόσμια κλίμακα από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης. Είναι όμως συζητήσιμο κατά πόσον ο *Deep Blue* πραγματικά επιδεικνύει σκακιστική ευφυΐα μια και οι «ικανότητές» του απορρέουν από τον υπολογισμό των κινήσεων και όχι από κάποια βαθειά «κατανόηση» των στρατηγικών εννοιών του παιχνιδιού.

Η άλλη πρωταρχική περιοχή έρευνας αφορούσε τη μηχανοποίηση της διεργασίας απόδειξης μαθηματικών θεωρημάτων. Η εκτέλεση αυτής της διεργασίας από τον άνθρωπο θεωρείται κάτι το δύσκολο, το οποίο απαιτεί ευφυΐα. Το πιο γνωστό αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών ήταν το σύστημα *Logic Theorist*, το οποίο αναπτύχθηκε από τους Newell και Simon το 1963.

Η αρχική αντίληψη, η οποία τελικά αποδείχτηκε λανθασμένη, ήταν ότι για την εκτέλεση των πιο πάνω διανοητικών λειτουργιών (παίξιμο επιτραπέζιων παιχνιδιών, απόδειξη θεωρημάτων) χρειάζεται λίγη ή ακόμη και καθόλου γνώση. Το τι χρειάζεται είναι η εξερεύνηση ενός μεγάλου αριθμού εναλλακτικών (μερικών) λύσεων και η επιλογή της καλύτερης. Σύντομα όμως διαφάνηκε ότι και εκτενής γνώση χρειάζεται και πιο ισχυρά ευρετικά για την καθοδήγηση του συλλογισμού. Για αυτούς ακριβώς τους λόγους μια άλλη πρωτοπόρα προσπάθεια, και πάλι από τους Newell και Simon, το Σύστημα Γενικής Επίλυσης Προβλημάτων (General Problem Solver – GPS), αποδείχθηκε μάταιη. Στόχος εδώ ήταν η δημιουργία ενός συστήματος, το οποίο θα μπορούσε να επιλύσει οποιοδήποτε πρόβλημα σε οποιοδήποτε τομέα, κάτι το υπερβολικά φιλόδοξο. Μετά από μία σχεδόν δεκαετία προσπαθειών, η ερευνητική ομάδα αποδέχθηκε ότι αυτός ο στόχος δεν ήταν κατορθωτός, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι στην επίλυση προβλημάτων η γνώση παίζει ουσιαστικό ρόλο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη ριζική αλλαγή προσανατολισμού στους στόχους του πεδίου. Το ενδιαφέρον τώρα εστιάστηκε στην αναπαράσταση της ανθρώπινης γνώσης με συμβολικό τρόπο και τη χρήση της μέσα στα πλαίσια υπολογιστικών συστημάτων. Θα εξετάσουμε βασικά αποτελέσματα αυτών των προσπαθειών στα κεφάλαια 3–6. Επίσης ο νέος αυτός προσανατολισμός οδήγησε στην ανάπτυξη γλωσσών και περιβαλλόντων προγραμματισμού, ειδικών για συστήματα ΤΝ.

Η αποδοχή της σημασίας της γνώσης στην επίλυση προβλημάτων αποτελεί το θεμέλιο λίθο της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων, η έναρξη της οποίας χρονολογείται στις αρχές της δεκαετίας του 70. Εδώ κεντρικός στόχος είναι η αυτοματοποίηση εξειδικευμένης γνώσης, κάτι το οποίο είναι πιο συγκεκριμένο από την αυτοματοποίηση κοινής γνώσης και αυτονόητου συλλογισμού, που επίσης αποτελούν περιοχές έντονου ενδιαφέροντος.

Άλλες από τις αρχικές περιοχές έρευνας, οι οποίες εξακολουθούν να είναι ενεργές, είναι η μηχανική όραση και ομιλία, η κατανόηση φυσικής γλώσσας, και η μηχανική μάθηση. Η σημασία της μηχανικής μάθησης είναι μεγάλη για τη βιωσιμότητα συστημάτων που βασίζονται στη γνώση. Η γνώση του ανθρώπου δεν είναι στατική, αλλά συνεχώς βελτιώνεται μέσω ενημέρωσης και εμπειρίας. Αυτή η ικανότητα πρέπει να ενσωματωθεί σε ένα σύστημα βάσης γνώσης (knowledge-based system), διαφορετικά υπάρχει ο κίνδυνος άμεσης αχρηστίας του συστήματος. Ένα μεγάλο μέρος της έρευνας σε μηχανική μάθηση ασχολείται με υπολογιστικές μεθόδους για την «ανακάλυψη»

γνώσης (knowledge discovery) από μία βάση δεδομένων, τα οποία περιγράφουν συγκεκριμένα περιστατικά (του εν λόγω προβλήματος) μαζί με τις λύσεις τους.

Γενικά, επί του παρόντος η έρευνα σε ΤΝ καλύπτει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων. Σε θεωρητικό επίπεδο η έρευνα εστιάζεται κυρίως στην αξιωματοποίηση και αυτοματοποίηση συλλογισμού (automated reasoning). Ειδικά θέματα αφορούν την αναθεώρηση πεποιθήσεων (belief revision), το κλασικό πλέον θέμα της απόδειξης θεωρημάτων και την ανάπτυξη διαφόρων λογισμών για την αναπαράσταση γνώσης και συλλογισμού, όπως περιγραφικός λογισμός, μη αθροιστικός λογισμός, λογισμός με πιθανότητες, χρονικός λογισμός, κτλ.

Η περιοχή της μάθησης εξακολουθεί να έχει κεντρική θέση, όπου, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, μεγάλο ενδιαφέρον προσελκύει ο νέος τομέας της ευφυούς ανάλυσης δεδομένων (intelligent data analysis – IDA) ή εξόρυξης δεδομένων (data mining – DM) με στόχο την «ανακάλυψη» γνώσης από μεγάλες βάσεις δεδομένων (knowledge discovery in databases – KDD). Αυτή η έρευνα έχει πολλές και σημαντικές πρακτικές εφαρμογές, αφού η σημερινή τεχνολογία της πληροφορίας επιτρέπει την αποθήκευση σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων με μικρό κόστος. Μία άλλη νέα κατεύθυνση στη περιοχή της μάθησης είναι η μάθηση με ενίσχυση (reinforcement learning), η οποία έχει άμεση εφαρμογή σε έμπειρα συστήματα, σε συστήματα ρομποτικής, σε συστήματα βάσεων περιστατικών, κτλ.

Η περιοχή της Κατανεμημένης ΤΝ (Distributed AI), συγκαταλέγεται στις σχετικά πρόσφατες εξελίξεις του πεδίου. Αυτή η περιοχή άρχισε να αναπτύσσεται πριν ακόμη αρχίσει η επανάσταση του διαδικτύου. Φυσικά η ανάπτυξη του διαδικτύου έχει δώσει μεγάλη ώθηση σε αυτή την περιοχή, οι ρίζες της οποίας βρίσκονται στο συνεργατικό μοντέλο επίλυσης προβλημάτων, γνωστό ως το μοντέλο του μαυροπίνακα (blackboard model). Η αρχική έκδοση αυτού του μοντέλου προτάθηκε προς το τέλος της δεκαετίας του 70. Θα συζητήσουμε αυτό το μοντέλο στο κεφάλαιο 6. Ειδικά θέματα που εμπίπτουν στην κατανεμημένη ΤΝ είναι μοντέλα ευφών διαμεσολαβητών (intelligent agents), συστήματα πολλαπλών διαμεσολαβητών, μοντέλα συντονισμού και συνεργασίας, κτλ. Αποτελέσματα αυτής της έρευνας έχουν ήδη εφαρμοστεί στον τομέα της ΤΝ στην Ιατρική, όπου έχουν αναπτυχθεί και τεθεί σε (πειραματική) λειτουργία συστήματα πολλαπλών διαμεσολαβητών τηλεϊατρικής για τη διαχείριση ασθενών. Τα οφέλη που απορρέουν από τέτοια συστήματα είναι πολλά και σημαντικά.

Συνοψίζοντας, σε αυτή την ενότητα έγινε μία πολύ σύντομη ιστορική αναδρομή της TN. Η αρχική προσέγγιση ήταν στη χρήση «συντακτικών» μεθόδων, δηλαδή μεθόδων που δεν αφορούσαν τη χρήση γνώσης. Αυτή αποδείχθηκε λανθασμένη, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η «ευφυΐα χρειάζεται γνώση», και οδηγώντας σε μία νέα προσέγγιση με κεντρικό άξονα την επεξεργασία γνώσης σε συμβολική μορφή. Όταν τώρα αναφερόμαστε σε τεχνικές TN, εννοούμε μεθόδους οι οποίες αξιοποιούν γνώση.

1.3 Επεξεργασία συμβόλων

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί η κεντρική υπόθεση που υπογραμμίζει την έρευνα σε TN. Αυτή είναι η υπόθεση του «*συστήματος φυσικών συμβόλων*» (physical symbol system hypothesis), η οποία προτάθηκε από τους Newell και Simon το 1976. Η γνώση, η οποία όπως έχουμε δει αποτελεί αναπόσπαστο μέρος ενός συστήματος TN, αναπαριστάται σε μορφή *δομών συμβόλων* (symbol structures).

Σύστημα Φυσικών Συμβόλων

Αποτελείται από ένα σύνολο οντοτήτων, οι οποίες ονομάζονται *σύμβολα*, είναι φυσικά πρότυπα και αποτελούν τα συστατικά στοιχεία ενός άλλου είδους οντότητας, της έκφρασης ή δομής συμβόλων. Έτσι μία *δομή συμβόλων* αποτελείται από διάφορα σύμβολα, τα οποία συσχετίζονται με κάποιο φυσικό τρόπο, όπως το ένα είναι δίπλα στο άλλο. Ανά πάσα στιγμή το σύστημα περιέχει μία συλλογή δομών συμβόλων. Το σύστημα επίσης έχει έναν αριθμό διεργασιών, οι οποίες επεξεργάζονται εκφράσεις και παράγουν άλλες εκφράσεις, όπως διεργασίες δημιουργίας, τροποποίησης, αναπαραγωγής και καταστροφής. Το σύστημα φυσικών συμβόλων είναι μία μηχανή η οποία παράγει με το χρόνο μία εξελισσόμενη συλλογή δομών συμβόλων. Ένα τέτοιο σύστημα υπάρχει σε έναν κόσμο οντοτήτων, ο οποίος εκτείνεται πέραν των συμβολικών εκφράσεων, αυτών καθ' αυτών.

Στη συνέχεια οι Newell και Simon διατυπώνουν την υπόθεση:

Υπόθεση Συστήματος Φυσικών Συμβόλων

Ένα σύστημα φυσικών συμβόλων έχει τα αναγκαία και επαρκή μέσα για γενική ευφυή δράση.

Αυτή παραμένει μία υπόθεση, μια και δεν υπάρχει λογικός τρόπος απόδειξης ή άρνησής της. Έτσι, μόνο με εμπειρικό τρόπο μπορεί να επικυρωθεί. Οι υπολογιστές παρέχουν το τέλειο μέσο για αυτό τον πειραματισμό μια και μπορεί να προγραμματιστούν για να προσομοιώσουν οποιοδήποτε σύστημα φυσικών συμβόλων.

Σε αυτή την ενότητα αναφερθήκαμε σε μία βασική υπόθεση, η οποία διέπει την έρευνα σε TN. Τα έμπειρα συστήματα που θα αναλύσουμε στο Μέρος II του τόμου είναι παραδείγματα συστημάτων φυσικών συμβόλων. Οι δομές συμβόλων αντιπροσωπεύουν τη γνώση του συστήματος και τις πληροφορίες/συμπεράσματα για το υπό εξέταση πρόβλημα. Οι διεργασίες επεξεργασίας εκφράσεων είναι οι μηχανισμοί συλλογισμού του έμπειρου συστήματος.

1.4 Αλγόριθμοι και ευρετικά

Στόχος αυτής της ενότητας είναι να εξηγήσει τη διαφορά ανάμεσα σε αλγοριθμικές και ευρετικές υπολογιστικές μεθόδους και με αυτό τον τρόπο να επιδείξει τη σημασία των ευρετικών μεθόδων σε συστήματα TN. Ο καλύτερος τρόπος διευκρίνισης της διαφοράς είναι με κάποιο παράδειγμα.

Παράδειγμα 1.1

Το πρόβλημα είναι ποια διαδρομή να ακολουθήσω για να μεταβώ από μια πόλη A σε μια άλλη πόλη B, χρησιμοποιώντας έναν οδικό χάρτη, ο οποίος μου δίνει τις απευθείας διασυνδέσεις ανάμεσα στις πόλεις.

Ο υπολογισμός της συντομότερης διαδρομής αποτελεί μία αλγοριθμική μέθοδο για την επίλυση αυτού του προβλήματος. Ο υπολογισμός γίνεται με μεθοδικό, ίσως εξαντλητικό τρόπο, ο οποίος μας εγγυάται ότι η λύση που θα μας δοθεί θα είναι βέλτιστη, όπου η ερμηνεία της βέλτιστης σε αυτά τα συμφραζόμενα είναι «συντομότερη διαδρομή». Αυτός ο (διαδικασιακός) τρόπος υπολογισμού της λύσης δεν λαμβάνει υπόψη τυχόν ιδιαιτερότητες που μπορεί να αφορούν συγκεκριμένες διαδρομές, σε συγκεκριμένες περιόδους. Με άλλα λόγια η εύρεση της λύσης δεν οδηγείται από οποιαδήποτε μορφή (εμπειρικής) γνώσης. Γενικά, μία καθαρά αλγοριθμική μέθοδος είναι μία βήμα-προς-βήμα μέθοδος, η οποία λαμβάνει τα δεδομένα του προβλήματος και δίνει το ζητούμενο αποτέλεσμα. Η χρήση όμως καθαρά αλγοριθμικών μεθόδων δεν ενδείκνυται για προβλήματα στην επίλυση των οποίων ουσια-

στικό ρόλο παίζει η γνώση ή/και εάν ο «χώρος» μέσα στον οποίο χρειάζεται να αναζητηθεί η λύση (problem space) είναι πολύ μεγάλος. Σε τέτοιου είδους προβλήματα οι παράγοντες *αβεβαιότητα* (uncertainty) και *ημιτέλεια* (incompleteness) υπεισέρχονται ως αναπόφευκτα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης γνώσης. Επίσης, λόγω της γενικής δυσκολίας και φύσεως αυτών των προβλημάτων, πολλές φορές δεν χρειάζεται η βέλτιστη λύση, αλλά απλώς μία αρκετά ικανοποιητική λύση. Για παράδειγμα, ένα έμπειρο διαγνωστικό σύστημα δεν χρειάζεται να καταλήξει σε λεπτομερή διάγνωση του ασθενή (η βέλτιστη λύση), εάν μία πιο γενική διάγνωση αρκεί για την αποτελεσματική θεραπεία του ασθενή (μία ικανοποιητική λύση). Η λύση τέτοιων προβλημάτων γίνεται εφικτή μόνο με ευρετικές μεθόδους.

Μία ευρετική μέθοδος κάνει χρήση ευρετικών. Ευρετικά είναι «κανόνες χειρός» (rules of thumb), κανόνες καλού μαντέματος. Οι κανόνες αυτοί δεν εγγυώνται αναγκαστικά επιτυχία, δηλαδή δεν είναι απαραίτητα αλάνθαστοι, αλλά παρέχουν χρήσιμη καθοδήγηση για την πλειοψηφία των περιπτώσεων του προβλήματος, οδηγώντας σε ικανοποιητικά καλές και ίσως βέλτιστες, λύσεις με αποτελεσματικό τρόπο. Με άλλα λόγια προσπαθούν να βρουν σύντομα μονοπάτια στο χώρο αναζήτησης λύσεων, σε βάρος της πληρότητας (δηλαδή να υπάρχει λύση για κάποιο πρόβλημα και όμως τα ευρετικά να μην μπορούν να οδηγήσουν σε αυτή). Ουσιαστικά τα ευρετικά δεν αναιρούν τη βασική αλγοριθμική προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων, δηλαδή τη βήμα προς βήμα πορεία προς την αναζήτηση κάποιας λύσης, αλλά συμπληρώνουν τις αλγοριθμικές προσεγγίσεις.

Η γνώση, αυτή καθ' αυτή, σε μεγάλο βαθμό είναι ευρετική. Μόνο οι «καθολικές αλήθειες» (universal truths) μπορεί να θεωρηθούν αλάνθαστες πηγές γνώσης. Η εμπειρική γνώση δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αλάνθαστη μια και πάντοτε υπάρχει το ενδεχόμενο να ανατραπεί από νέες παρατηρήσεις. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση εμπειρικής γνώσης δεν είναι απαραίτητα αλάνθαστα. Επομένως, υπολογιστικές μέθοδοι οι οποίες βασίζονται σε εμπειρική γνώση είναι ευρετικές. Πέραν τούτου, επειδή συνήθως το μέγεθος της γνώσης είναι μεγάλο, η επιλογή των κομματιών της γνώσης που αφορούν το υπό εξέταση πρόβλημα χρειάζεται να γίνει με ευρετικό τρόπο. Έτσι σε ένα σύστημα ΤΝ η εφαρμογή ευρετικών μπορεί να γίνεται σε διάφορα επίπεδα. Ευρετικά που καθοδηγούν τη χρήση άλλων ευρετικών είναι μετα-ευρετικά.

Ας επιστρέψουμε όμως στο Παράδειγμα 1.1. Σε αυτό το πρόβλημα θα μπο-

ρούσαμε να είχαμε χρησιμοποιήσει ευρετικά όπως τα ακόλουθα δύο, τα οποία εκφράζονται με περιγραφικό (συμβολικό) τρόπο (ευρετικά μπορούν να εκφραστούν και με διαδικασιακό τρόπο, όπως συνήθως εκφράζονται οι αλγοριθμικές μέθοδοι):

Παραδείγματα Ευρετικών

1. Εάν η εκκίνηση είναι η πόλη E και ο προορισμός η πόλη Π και η μέρα είναι Τρίτη, τότε αποκλείσε διαδρομές διαμέσου της πόλης Λ.
2. Εάν η εκκίνηση είναι η πόλη A και προορισμός η πόλη B, τότε χρησιμοποίησε τη διαδρομή «πόλη A, πόλη Γ, πόλη Δ, πόλη B».

Το ευρετικό 1 αποκλείει κάποιες λύσεις. Είναι σαν ένα κλαδευτήρι που ψαλιδίζει το χώρο αναζήτησης (pruning heuristic). Το ευρετικό 2 μας οδηγεί απευθείας σε κάποια λύση (homing heuristic). Πίσω από αυτούς τους κανόνες κρύβεται κάποια λογική (rationale), η οποία συνήθως δεν εξωτερικεύεται. Για παράδειγμα, ο λόγος που αποκλείεται η πόλη Λ στον πρώτο κανόνα είναι επειδή τις Τρίτες συνηθίζεται να διεξάγεται εκεί λαϊκή αγορά και αυτό δημιουργεί μεγάλο συνωστισμό. Εάν όμως σε κάποια συγκεκριμένη Τρίτη δεν έγινε η λαϊκή αγορά, άδικα εξαναγκάστηκε ο συμβουλευόμενος του συστήματός μας να οδηγηθεί από στενά δρομάκια για να αποφύγει τον υποτιθέμενο συνωστισμό.

Τα ευρετικά 1 και 2 είναι πολύ συγκεκριμένα. Το καθένα αναφέρεται σε συγκεκριμένες πόλεις. Μία πληθώρα τέτοιων συγκεκριμένων ευρετικών θα υπερνικούσε τη χρησιμότητά τους. Μία σημαντική αρχή της Πληροφορικής, η οποία εφαρμόζεται στο μέγιστο στην ΤΝ, είναι ότι οι μέθοδοι πρέπει να διατυπώνονται όσο γίνεται πιο γενικά. Στόχος είναι να επεκταθεί η χρησιμότητα μίας μεθόδου με τη διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής της. Παράλληλα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού μεθόδων που χρειάζονται. Με βάση αυτή την αρχή ο κανόνας που αποτελεί το ευρετικό 1 μπορεί να γενικευτεί ως ακολούθως:

1. Εάν η διάβαση από την ΠΟΛΗ δεν είναι άκρως απαραίτητη και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να υπάρχει συνωστισμός εκεί την ημέρα της διάβασης, τότε αποκλείσε την ΠΟΛΗ.

Στο νέο ευρετικό 1 το σύμβολο ΠΟΛΗ υποδηλώνει μια οποιαδήποτε πόλη, δηλαδή είναι μεταβλητή και όχι κυριολεκτική ονομασία. Επίσης, η νέα εκδοχή του ευρετικού εισάγει τις έννοιες «άκρως απαραίτητη διάβαση» και «συνωστισμός», οι οποίες μπορεί να ερμηνευτούν, επίσης σε μορφή συμβολικών κανόνων, ως ακολούθως:

- Εάν η ΠΟΛΗ είναι η εκκίνηση ή ο προορισμός, τότε η διάβαση διαμέσου της είναι άκρως απαραίτητη.
- Εάν διεξάγεται λαϊκή αγορά, τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα συνωστισμού.
- Εάν έχει γίνει τροχαίο ατύχημα, τότε υπάρχει πιθανότητα συνωστισμού.

Ποια από τα ακόλουθα ισχύουν σε σχέση με ευρετικά και ποια όχι;

1. Οδηγούν σε βέλτιστες λύσεις με πιο αποδοτικό τρόπο.
2. Δεν είναι απαραίτητως αλάνθαστα.
3. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων οδηγούν σε ικανοποιητικές λύσεις με αποδοτικό τρόπο.
4. Δεν επηρεάζουν την πληρότητα.
5. Είναι εμπειρικοί κανόνες χειρός.
6. Καθοδηγούν την αναζήτηση λύσεων.
7. Υπολογίζουν τις λύσεις σε δύσκολα προβλήματα.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 1.2

Παρακάτω σας περιγράφονται διάφορα προβλήματα. Για καθένα από αυτά υποδείξτε κατά πόσον ενδείκνυται η χρήση ευρετικών μεθόδων για την επίλυσή του ή εάν η καθαρά αλγοριθμική προσέγγιση είναι αυτή που πρέπει να εφαρμοστεί. Στις περιπτώσεις που έχετε αποφασίσει ότι η χρήση ευρετικών μεθόδων ενδείκνυται, δώστε ένα παράδειγμα ευρετικού.

Πρόβλημα I: Έχω γράψει ένα πρόγραμμα και θέλω να το δοκιμάσω. Πώς σχεδιάζω τις περιπτώσεις δοκιμής του;

Πρόβλημα II: Ένα άλλο πρόγραμμά μου το οποίο έχει τεθεί σε λειτουργία

Δραστηριότητα 1.1

εδώ και κάποιο χρονικό διάστημα παρουσίασε ένα σφάλμα. Πώς κάνω την αποσφαλμάτωση;

Πρόβλημα III: Θέλω να προγραμματίσω τον υπολογιστή μου για να συναγωνιζόμαστε στο παιχνίδι της κρεμάλας.

Πρόβλημα IV: Θέλω να λύσω ένα σύστημα γραμμικών εξισώσεων.

Πρόβλημα V: Θέλω να εξηγήσω στη δεκάχρονη ανηψιά μου πώς να πλέξει ένα πουλόβερ για την κούκλα της.

Πρόβλημα VI: Πρόκειται να μετακομίσουμε σε νέα κατοικία. Για αυτό το λόγο χρειάζεται να βάλω σε κιβώτια τα διάφορα παιχνίδια της εξάχρονης κόρης μου, τα οποία είναι πολλά. Για ευνόητους λόγους θέλω να χρησιμοποιήσω όσο γίνεται λιγότερα κιβώτια.

Πρόβλημα VII: Κάθε Σάββατο χρειάζεται να διεκπεραιώσω διάφορες εργασίες, όπως για παράδειγμα να πάω στο κρεοπωλείο, στο φαρμακείο, στο γραφείο μου, στην υπεραγορά, κτλ. Για κάποιες εργασίες μπορώ να προσδιορίσω το απόλυτο χρονικό διάστημα αναφορικά με την έναρξή τους (π.χ., όχι πριν τις 10 π.μ., αλλά ούτε και μετά τις 1 μ.μ. πρέπει να έχω φτάσει στην υπεραγορά) ή/και άλλες χρονικές εξαρτήσεις, όπως κάποια εργασία μπορεί να γίνει μόνο αφού ολοκληρωθούν κάποιες άλλες. Για κάθε εργασία μπορώ να προσδιορίσω το χρόνο διεκπεραίωσής της. Επίσης γνωρίζω πόσο χρόνο θα μου πάρει για να μεταβώ από ένα σημείο σε κάποιο άλλο, σε δεδομένη περίοδο. Πώς καταρτίζω το σχέδιο δράσεώς μου;

Η πιο πάνω δραστηριότητα μας φέρνει στο τέλος αυτής της ενότητας και ταυτόχρονα στο τέλος του εισαγωγικού κεφαλαίου στη ΤΝ. Στόχος αυτής της ενότητας ήταν να εξηγήσει τη διαφορά ανάμεσα σε αλγοριθμικές και ευρετικές μεθόδους. Η φύση των προβλημάτων με τα οποία καταπιάνεται η ΤΝ απαιτεί τη χρήση ευρετικών μεθόδων οι οποίες συντομεύουν την αναζήτηση λύσης, αλλά δεν οδηγούν αναγκαστικά σε λύση ή την καλύτερη λύση.

Σύνοψη

Στο εισαγωγικό κεφάλαιο παρουσιάστηκε μία πολύ σφαιρική εικόνα του πεδίου της ΤΝ. Αυτό το πεδίο υπάγεται στην Πληροφορική, αλλά στην ουσία είναι ένα πολυεπιστημονικό πεδίο, το οποίο αντλεί από πολλούς και διαφορετικούς τομείς (Φιλοσοφία, Μαθηματικά, Γνωστική Ψυχολογία, Μηχανική, κτλ.) και οι εφαρμογές του αφορούν πολλούς και διαφορετικούς τομείς (Ιατρική, Νομική, Εκπαίδευση, Γλωσσολογία, κτλ.). Ο όρος «τεχνητή νοημοσύνη» είναι κάπως ασαφής και γίνεται επίμαχος, μια και αυτή καθ' αυτή η έννοια της νοημοσύνης ή ευφυΐας είναι πολύπλοκη και πολυδιάστατη. Συχνά έχουν διατυπωθεί αντιρρήσεις, εντός και εκτός της επιστημονικής κοινότητας, για το «όραμα» της ΤΝ. Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε τέσσερις ορισμούς του πεδίου, ο καθένας από τους οποίους δίνει μία διαφορετική διάσταση της ΤΝ. Ο κοινός παρανομαστής αυτών των ορισμών είναι η ευφυΐα, η οποία εμφανίζεται με άμεσο ή έμμεσο τρόπο. Η κλασική δοκιμή για μηχανική ευφυΐα, η οποία διατυπώθηκε από τον Άγγλο μαθηματικό Alan Turing, ένα από τους πατέρες της ΤΝ, παραμένει, παρόλες τις αντιρρήσεις που έχουν εκφραστεί για τη μορφή της ευφυΐας που αντανακλά. Μέχρι στιγμής δεν έχει προταθεί κάποια εναλλακτική, πιο αποδεκτή, δοκιμή.

Η σύντομη ιστορική αναδρομή του πεδίου, που παρουσιάστηκε, στόχο είχε να τονίσει μία σημαντική αλλαγή στον προσανατολισμό των ερευνητικών στόχων του πεδίου. Αυτή η αλλαγή προσανατολισμού ήταν το αποτέλεσμα της αποδοχής της σημασίας της γνώσης στην επίλυση προβλημάτων, η οποία οδήγησε στο να εστιαστεί η προσπάθεια στην αυτοματοποίηση της ανθρώπινης γνώσης. Η βασική υπόθεση που υπογραμμίζει την έρευνα σε ΤΝ, σε όλο το φάσμα της, είναι η υπόθεση του συστήματος φυσικών συμβόλων, η οποία προτάθηκε από τους Newell και Simon. Αυτή η υπόθεση επισημαίνει τη σημασία της επεξεργασίας συμβόλων, κάτι που θα γίνει ξεκάθαρο όταν θα συζητήσουμε στα κεφάλαια 4–6 βασικούς φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης, και φυσικά στο Μέρος II του τόμου σε σχέση με τα έμπειρα συστήματα. Το εισαγωγικό κεφάλαιο ολοκληρώθηκε κάνοντας ένα διαχωρισμό ανάμεσα σε καθαρά αλγοριθμικές υπολογιστικές μεθόδους και υπολογιστικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται στη χρήση ευρετικών για τον αποδοτικό και αποτελεσματικό υπολογισμό λύσεων, που δεν είναι αναγκαστικά βέλτιστες, αλλά ικανοποιητικές. Η σημασία των ευρετικών μεθόδων θα αναλυθεί σε βάθος στο επόμενο κεφάλαιο.

Βιβλιογραφία

G.F. Luger και W.A. Stubblefield, *Artificial Intelligence: structures and strategies for complex problem solving*, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1998.

E. Rich και K. Knight, *Artificial Intelligence*, δεύτερη έκδοση, McGraw–Hill, 1991.

Τα βιβλία των Luger και Stubblefield, και Rich και Knight, αποτελούν κλασικά εγχειρίδια του πεδίου. Και τα δύο βιβλία παρέχουν μία ευρεία κάλυψη του πεδίου, εμβαθύνοντας κυρίως στα βασικά θέματα (προβλήματα και αναζήτηση λύσεων, αναπαράσταση γνώσης, κτλ.), χωρίς όμως και να παραβλέπουν τα πιο ειδικά και προχωρημένα θέματα. Η παρουσίαση των θεμάτων είναι αρκετά τεχνική. Μάλιστα οι Luger και Stubblefield παρουσιάζουν τις γλώσσες προγραμματισμού Lisp και Prolog, οι οποίες αποτελούν κατ' εξοχήν γλώσσες προγραμματισμού για εφαρμογές ΤΝ.

Για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του πεδίου, η οποία εκτείνεται πέραν της τεχνικής παρουσίασης των ειδικών θεμάτων, καλό θα ήταν να μελετηθεί κάποιο από τα βιβλία τα οποία αναλύουν το πεδίο σε φιλοσοφικό επίπεδο και κυρίως σε αντιπαράθεση με την ανθρώπινη νοημοσύνη. Σε τέτοιες αναλύσεις συχνά διατυπώνονται αντιρρήσεις για το «όραμα» της ΤΝ. Κάποιες από αυτές τις αντιρρήσεις είναι δικαιολογημένες, ενώ άλλες είναι το αποτέλεσμα παρερμηνείας των στόχων της ΤΝ. Για ορισμένες από αυτές τις παρερμηνείες ή για επιχειρήματα υπέρ ορισμένων αντιρρήσεων, ευθύνη φέρει η ίδια η επιστημονική κοινότητα, η οποία στον ενθουσιασμό της για κάποιες επιτυχίες δεν εκτίμησε σωστά τη δυσκολία επέκτασης των πρωταρχικών αποτελεσμάτων σε σχέση με ρεαλιστικές καταστάσεις. Επίσης, ορισμένοι από τους πρωταρχικούς στόχους, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, εκ των υστέρων αποδείχθηκαν υπερβολικά φιλόδοξοι και ακατόρθωτοι. Τα προτεινόμενα βιβλία, τα οποία πέραν της κριτικής ανάλυσης του πεδίου τονίζουν τον πολυεπιστημονικό χαρακτήρα της ΤΝ, είναι τα εξής:

—R. Penrose, *Σκιές του Νοῦ*, Εκδόσεις Γκοβόστη, 1997.

—J. Searle, *Ανακαλύπτοντας ξανά το Νοῦ*, Εκδόσεις Γκοβόστη, 1997.

—D.R. Hofstadter και D.C. Dennett, *Το Εγώ της Νόησης*, Κάτοπτρο, 1983.

Επίλυση Προβλημάτων

Σκοπός

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να εξηγήσει διάφορες γενικές μεθόδους για την επίλυση προβλημάτων, μέσω αναζήτησης σε ένα χώρο καταστάσεων. Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι η ΤΝ ασχολείται με την επίλυση δύσκολων προβλημάτων, τα οποία έχουν μεγάλους χώρους αναζήτησης (*search or problem space*). Ο χώρος αναζήτησης αποτελείται από τις διάφορες καταστάσεις του προβλήματος (*problem states*). Μεγάλου μεγέθους χώροι αναζήτησης συνήθως μπορούν να διερευνηθούν αποτελεσματικά μόνο με τη χρήση ευρετικών.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο θα μπορείτε να:

- εξηγήσετε πώς παριστάνεται ένα πρόβλημα για να επιλυθεί μέσω αναζήτησης, δηλαδή να εξηγήσετε τι είναι το πρόβλημα αναπαράστασης,
- περιγράψετε και να δώσετε τους αλγόριθμους για τις «τυφλές» μεθόδους, αναζήτηση σε βάθος (*depth-first search*), άλλως αναζήτηση με ευκολοπιστία, και αναζήτηση σε πλάτος (*breadth-first search*), άλλως αναζήτηση με σκεπτικισμό,
- περιγράψετε και να δώσετε τον αλγόριθμο A^* για αναζήτηση μέσω ευρετικής καθοδήγησης,
- εξηγήσετε τι είναι το πρόβλημα πλαισίου (*frame problem*),
- διαφοροποιήσετε προβλήματα ταξινόμησης από προβλήματα σύνθεσης.

Έννοιες κλειδιά

- | | |
|---------------------------------------|--|
| • επίλυση προβλημάτων μέσω αναζήτησης | • ευρετική αναζήτηση (αλγόριθμος A^*) |
| • πρόβλημα αναπαράστασης | • πρόβλημα πλαισίου |
| • τυφλή αναζήτηση | • προβλήματα ταξινόμησης |
| • αναζήτηση σε πλάτος | • ιεραρχικός χώρος αναζήτησης |
| • αναζήτηση σε βάθος | • προβλήματα σύνθεσης |

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Η επίλυση προβλημάτων μέσω αναζήτησης σε ένα χώρο καταστάσεων συνεπάγεται τα ακόλουθα:

- (α) αναπαράσταση των καταστάσεων του προβλήματος,
- (β) προσδιορισμό των ενεργειών (ή τελεστών δράσεως), οι οποίες οδηγούν από μία κατάσταση σε κάποια άλλη, και
- (γ) προσδιορισμό του μηχανισμού πλοήγησης στο χώρο των καταστάσεων, ο οποίος περιλαμβάνει τυχόν ευρετικά για την καθοδήγηση στην επιλογή της επόμενης κατάστασης προς διερεύνηση.

Αυτές οι τρεις συνιστώσες αποτελούν το πρόβλημα αναπαράστασης (*representation problem*) του υπό επίλυση προβλήματος. Η ολοκλήρωση της αναπαράστασης συνεπάγεται την ολοκλήρωση της μεθόδου επίλυσης, δηλαδή της μεθόδου παραγωγής της λύσεως του προβλήματος. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε τις τρεις συνιστώσες του προβλήματος αναπαράστασης και κυρίως την τρίτη συνιστώσα, τους μηχανισμούς πλοήγησης. Οι γενικές μέθοδοι που υπογραμμίζουν αυτούς τους μηχανισμούς είναι ανεξάρτητες των συγκεκριμένων προβλημάτων. Σε αντίθεση, η αναπαράσταση των καταστάσεων και οι τελεστές δράσεως, εξαρτώνται άμεσα από το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Στην ενότητα 2.1 θα αναφερθούμε εκτενέστερα στο πρόβλημα αναπαράστασης, κυρίως σε σχέση με τις πρώτες δύο συνιστώσες του. Η τρίτη συνιστώσα, οι μηχανισμοί πλοήγησης, θα εξεταστούν στην ενότητα 2.2. Αυτοί οι μηχανισμοί χωρίζονται σε εκείνους όπου η πλοήγηση γίνεται με μεθοδικό, «τυφλό», τρόπο, και σε εκείνους που βασίζονται στην καθοδήγηση μέσω ευρετικών. Τέλος στην ενότητα 2.3 θα κάνουμε μία σύντομη αναφορά στο διαχωρισμό ανάμεσα σε προβλήματα ταξινόμησης και προβλήματα σύνθεσης, σε σχέση με την επίλυσή τους μέσω αναζήτησης.

Για την καλύτερη κατανόηση του περιεχομένου αυτού του κεφαλαίου προαπαιτείται κάποια βασική γνώση θεωρίας γραφημάτων, την οποίαν εάν δεν έχετε ήδη, μπορείτε να αποκομίσετε από τη Θεματική Υποενότητα 2.2 Θεωρία Γραφημάτων.

2.1 Πρόβλημα αναπαράστασης

Στόχος αυτής της ενότητας είναι να εξηγήσει με περισσότερη λεπτομέρεια τι εννοούμε με το πρόβλημα αναπαράστασης, κυρίως αναφορικά με τις πρώτες δύο συνιστώσες, την αναπαράσταση των καταστάσεων του προβλήματος και των τελεστών δράσεως. Η τρίτη συνιστώσα, ο μηχανισμός πλοήγησης, θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για να επιλυθεί ένα πρόβλημα μέσω αναζήτησης, πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί ο χώρος μέσα στον οποίο θα γίνει η αναζήτηση. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει καταρχήν να σχεδιαστεί η δομή για την αναπαράσταση των διαφόρων καταστάσεων του προβλήματος. Στη συνέχεια θα πρέπει να διατυπωθούν οι ενέργειες που οδηγούν από μία κατάσταση σε κάποια άλλη, δηλαδή οι διάφοροι τελεστές που μετατρέπουν μία κατάσταση σε κάποια άλλη. Αυτοί οι τελεστές αποτελούν τις διασυνδέσεις ανάμεσα στις καταστάσεις. Η δομή αναπαράστασης των καταστάσεων και οι τελεστές προσδιορίζουν τον χώρο αναζήτησης. Μέσα σε ένα τέτοιο χώρο αναζήτησης, γνωρίζουμε σε ποια κατάσταση βρισκόμαστε αρχικά και επίσης μπορούμε να προσδιορίσουμε που θέλουμε να πάμε.

Αφού γνωρίζουμε το χώρο μέσα στον οποίο μπορούμε να κινηθούμε και το πως μπορούμε να κινηθούμε, το επόμενο βήμα είναι να προσδιοριστεί ο μηχανισμός με τον οποίο θα γίνει η πλοήγηση, με στόχο να καταλήξουμε από το σημείο που βρισκόμαστε στο επιθυμητό τελικό σημείο. Εάν ο μηχανισμός πλοήγησης συνεπάγεται τη χρήση ευρετικών, η αναπαράσταση του προβλήματος ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό των σχετικών ευρετικών. Τέτοια ευρετικά μας καθοδηγούν στο να κάνουμε έξυπνες κινήσεις, δηλαδή να επιλέγουμε τις σωστές ενέργειες.

Ο προσδιορισμός του χώρου αναζήτησης και του μηχανισμού πλοήγησης (με τα σχετικά ευρετικά) αποτελεί το λεγόμενο *πρόβλημα αναπαράστασης* (representation problem). Η επίλυση αυτού του (μετα) προβλήματος οδηγεί στην επίλυση του υπό εξέταση προβλήματος. Το πρόβλημα αναπαράστασης (κάποιου προβλήματος) δεν είναι απαραίτητα εύκολη υπόθεση, κυρίως για προβλήματα όπου υπάρχουν εναλλακτικοί χώροι αναζήτησης και δεν είναι καθόλου προφανές ποιος από αυτούς είναι ο καλύτερος.

Η δομή αναπαράστασης των καταστάσεων ενός προβλήματος δεν είναι τίποτα άλλο από μία δομή συμβόλων. Δεν υπάρχει περιορισμός στην πολυπλοκότητα αυτής της δομής. Μπορεί να αποτελείται από ένα μικρό αριθμό συμ-

βόλων ή από μια περίπλοκη οργάνωση συμβολικών εκφράσεων. Παρομοίως, δεν υπάρχει περιορισμός στο πόσοι μπορεί να είναι οι τελεστές, πόσο συγκεκριμένοι ή πόσο περίπλοκοι. Το ίδιο και με τα ευρετικά καθοδήγησης. Είναι βέβαια αυτονόητο ότι ο χώρος αναζήτησης (καταστάσεις και τελεστές) πρέπει να αναπαριστάται όσο γίνεται πιο απλά και όσο γίνεται σε πιο αφηρημένο επίπεδο. Ο αριθμός των τελεστών ή ενεργειών πρέπει να είναι όσο γίνεται μικρότερος και για να επιτευχθεί αυτό οι τελεστές πρέπει να εκφράζονται όσο γίνεται πιο γενικά. Ας κοιτάξουμε όμως κάποια παραδείγματα.

Παράδειγμα 2.1

Η αναπαράσταση του χώρου αναζήτησης ενός προβλήματος το οποίο αφορά το παίξιμο κάποιου επιτραπέζιου παιχνιδιού (σκάκι, τάβλι, κτλ.) είναι πράγματι απλή υπόθεση και αυτός είναι ένας λόγος γιατί η πρωταρχική έρευνα σε επίλυση προβλημάτων ασχολήθηκε κυρίως με τέτοια προβλήματα. Οι καταστάσεις του προβλήματος δεν είναι άλλες από τις επιτρεπτές κατατάξεις των πιονιών κτλ., που μπορούν εύκολα να αναπαρασταθούν ως πίνακες δύο διαστάσεων. Η αρχική κατάσταση (initial state) δίνει την αρχική κατάταξη, ενώ τελικές καταστάσεις (final states) είναι αυτές που αντιπροσωπεύουν νίκη για τον ένα ή τον άλλο αντίπαλο. Επομένως, για τον υπολογιστή-αντίπαλο οι επιθυμητές τελικές καταστάσεις (goal states) είναι αυτές που αντιπροσωπεύουν νίκη για τον υπολογιστή. Το σύνολο ενεργειών, που συνδέει τις καταστάσεις, δεν είναι τίποτα άλλο από το σύνολο των κανόνων του παιχνιδιού. Η μεγάλη δυσκολία του όλου προβλήματος αναπαράστασης σε σχέση με τέτοια προβλήματα είναι ο προσδιορισμός ισχυρών ευρετικών, τα οποία μπορούν να μετατρέψουν τον υπολογιστή σε έναν ισχυρό αντίπαλο.

Παράδειγμα 2.2

Στο πρόβλημα III της Δραστηριότητας 1.1 έχουμε ήδη αναφερθεί στο χώρο αναζήτησης του εν λόγω προβλήματος. Εδώ μία κατάσταση αναπαριστάται ως δύο σειρές χαρακτήρων, π.χ. «αδ» και «-εω- - -», όπου η πρώτη σειρά μας δίνει τα γράμματα που έχουν λανθασμένα επιλεγεί και η δεύτερη σειρά μας δίνει την υπό εξέλιξη λέξη. Από αυτές τις δύο σειρές διαφαίνεται αμέσως ποιες ενέργειες έχουν οδηγήσει σε αυτή την κατάσταση, συγκεκριμένα οι επιλογές των γραμμάτων α, δ, ε και ω για τη δεδομένη κατάσταση. Στο Παράδειγμα 2.1, οι κινήσεις που οδήγησαν σε κάποια κατάταξη δεν διαφαίνονται στην αναπαράστασή της, αφού εδώ ο υπολογιστής δεν χρειάζεται να θυμάται τις μέχρι τώρα κινήσεις του για να αποφασίσει την επόμενη κίνησή του.

Παράδειγμα 2.3

Στο πρόβλημα VI της Δραστηριότητας 1.1, μία κατάσταση αποτελείται από τα παιγνίδια που δεν έχουν ακόμη τοποθετηθεί, καθώς επίσης τα τρέχοντα κιβώτια και τα περιεχόμενά τους. Αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί ως δύο σύνολα, έστω το σύνολο *προς-τοποθέτηση* και το σύνολο *τοποθετήσεις*. Τα σύμβολα που αποτελούν τα στοιχεία του πρώτου συνόλου υποδηλώνουν τα παιγνίδια που δεν έχουν ακόμη τοποθετηθεί. Τα στοιχεία του δεύτερου συνόλου είναι εκφράσεις της μορφής $(κ, ες)$, όπου το σύμβολο $κ$ υποδηλώνει κάποιο κιβώτιο, ενώ η έκφραση $ες = (ε_1, ε_2, \dots, ε_n)$ δίνει μία (χρονική) ακολουθία συγκεκριμένων ενεργειών, $ε_i$, της μορφής «τοποθέτησε το παιγνίδι $π$ ». Για αυτό το πρόβλημα χρειάζονται μόνο δύο γενικές ενέργειες: «τοποθέτησε το παιγνίδι $Π$ στο κιβώτιο $Κ$ », όπου $Π$ και $Κ$ είναι μεταβλητές, και «πρόσθεσε ένα νέο κιβώτιο». Η δεύτερη ενέργεια μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε μη τελική κατάσταση. Το αποτέλεσμά της είναι να προσθέσει στο σύνολο τοποθετήσεις, το στοιχείο $(κ, ())$ για το νέο, κενό κιβώτιο $κ$. Οι συγκεκριμενοποιήσεις της πρώτης ενέργειας που μπορεί να εφαρμοστούν σε μία μη τελική κατάσταση αφορούν τα στοιχεία του συνόλου *προς-τοποθέτηση*. Εάν για παράδειγμα υπάρχουν 5 παιγνίδια προς τοποθέτηση και 3 ήδη ανοικτά κιβώτια, θεωρητικά υπάρχουν 15 συγκεκριμένες ενέργειες που μπορούν να εφαρμοστούν. Η καθεμία από αυτές τις ενέργειες προϋποθέτει ότι υπάρχει επαρκής χώρος στο εν λόγω κιβώτιο. Όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα, το σύνολο των ενεργειών που οδήγησαν σε κάποια κατάσταση διαφαίνεται στην κατάσταση, αφού αυτό εξάλλου αποτελεί τη λύση του προβλήματος. Στην αρχική κατάσταση το σύνολο *προς-τοποθέτηση* = $\{π_1, π_2, \dots, π_n\}$, αποτελείται από όλα τα παιγνίδια, ενώ το σύνολο *τοποθετήσεις* = $\{ \}$. Η μόνη ενέργεια που μπορεί να εφαρμοστεί στην αρχική κατάσταση είναι «πρόσθεσε ένα νέο κιβώτιο». Σε μία τελική κατάσταση το σύνολο *προς-τοποθέτηση* = $\{ \}$, ενώ το σύνολο *τοποθετήσεις* = $\{(κ_1, ες_1), \dots\}$. Στην πραγματικότητα $π_i$ και $κ_i$ δεν είναι απλά σύμβολα, αλλά δομές συμβόλων, οι οποίες περιγράφουν όλα τα σχετικά χαρακτηριστικά των εν λόγω παιγνιδιών και κιβωτίων.

Όπως καταλαβαίνετε ένας χώρος αναζήτησης είναι ένα γράφημα, οι κόμβοι του οποίου είναι οι καταστάσεις του προβλήματος και τα τόξα αντιπροσωπεύουν ενέργειες. Οι κόμβοι διακρίνονται σε αρχικές, ενδιάμεσες και τελικές καταστάσεις. Συνήθως υπάρχει μόνο μία αρχική κατάσταση. Επίσης, εάν το πρόβλημα αφορά ανταγωνισμό, οι τελικές καταστάσεις διαχωρίζονται σε επιθυμητές και μη, όπου οι πρώτες αντιπροσωπεύουν νίκη και οι δεύτερες ήττα

για αυτόν (τον υπολογιστή) που κάνει την αναζήτηση. Η αρχική κατάσταση δίνει τα συγκεκριμένα δεδομένα του προβλήματος. Σε πολλά προβλήματα οι τελικές καταστάσεις δεν μπορούν ή δεν ενδείκνυται να περιγραφούν πλήρως εκ των προτέρων, αλλά προσδιορίζονται έμμεσα μέσω συνθηκών, όπως στα προηγούμενα παραδείγματα. Όποια κατάσταση ικανοποιεί τις συνθήκες θεωρείται τελική. Εάν η τελική κατάσταση μπορεί να προσδιοριστεί πλήρως εκ των προτέρων, βασικά η λύση του προβλήματος είναι η συναρμολόγηση μιας «ικανοποιητικά καλής» διαδρομής από την αρχική προς την τελική κατάσταση. Σε προβλήματα που η τελική κατάσταση είναι ουσιαστικά άγνωστη, τότε η λύση του προβλήματος συνεπάγεται την αναγνώριση της τελικής κατάστασης και μπορεί κάλλιστα να είναι μόνο αυτό το ζητούμενο, δηλαδή η διαδρομή αυτή καθ' αυτή που μας οδήγησε προς την αναγνώριση αποτελεί δευτερεύουσα υπόθεση. Απώτερος στόχος είναι η αναγνώριση της τελικής κατάστασης, παρόλο που μπορεί να έχει σημασία το πόσο έγκαιρα ή αποτελεσματικά έχει γίνει η αναγνώριση και επομένως η διαδρομή που ακολουθήθηκε να έχει σημασία. Αυτά τα προβλήματα αποτελούν την κατηγορία των προβλημάτων *αναγνώρισης* (recognition problems), άλλως προβλημάτων *ταξινόμησης* (classification problems). Διαγνωστικά προβλήματα ή προβλήματα αποσφαλμάτωσης ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Σε ένα ιατρικό διαγνωστικό πρόβλημα η τελική κατάσταση είναι η ασθένεια που εξηγεί τα συγκεκριμένα συμπτώματα και δεν υπάρχει άλλη καλύτερη εξήγηση. Η λύση του προβλήματος είναι η αναγνώριση της ασθένειας και δεν πειράζει εάν χρειάστηκε να ερωτηθούν κάποιες μη αναγκαίες ερωτήσεις (οι οποίες αποτελούν πλεονάζουσες ενέργειες στη διαδρομή προς τη λύση).

Επομένως, σε γενικές γραμμές, στόχος μας είναι να φτάσουμε σε μία (ικανοποιητική) τελική κατάσταση μέσω μίας ικανοποιητικής διαδρομής. Η λύση είναι είτε αυτή καθ' αυτή η τελική κατάσταση, είτε αυτή καθ' αυτή η διαδρομή ή και τα δύο. Συνήθως, υπάρχουν πολλές διαδρομές από μία κατάσταση σε κάποια άλλη και επίσης μπορεί να υπάρχουν κυκλικές διαδρομές, όταν υπάρχουν αντίστροφες ενέργειες. Κατά την αρχή της επίλυσης, τα μόνα στοιχεία του χώρου αναζήτησης που έχουν εξωτερικευτεί είναι η αρχική κατάσταση και οι τελικές καταστάσεις, εάν αυτές είναι γνωστές. Στη συνέχεια το ποιο μέρος του χώρου θα εξωτερικευτεί εξαρτάται από το μηχανισμό πλοήγησης, όπως θα σας εξηγηθεί στην επόμενη ενότητα. Σε κάθε στάδιο ο μηχανισμός πλοήγησης εισηγείται σε ποια *ανοικτή* (δηλαδή υπό διερεύνηση) κατάσταση να εστιάσουμε την προσοχή μας και ποιες ενέργειες χρήζουν

εξέτασης σε σχέση με αυτή την κατάσταση, οι οποίες ενέργειες μας οδηγούν στην εξωτερίκευση περαιτέρω καταστάσεων. Η γενική δομή μίας ενέργειας ή ενός τελεστή δράσεως είναι η ακόλουθη:

Τελεστής Δράσης
Προκείμενο → Ενέργεια

Το προκείμενο του τελεστή προσδιορίζει κάποια συνθήκη, η οποία πρέπει να ικανοποιείται από τη δεδομένη κατάσταση, ως βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της ενέργειας στην εν λόγω κατάσταση. Η εφαρμογή της ενέργειας οδηγεί σε μία νέα κατάσταση. Τα προκείμενα των τελεστών στα προβλήματα της κρεμάλας και της τοποθέτησης των παιγνιδιών είναι «το εν λόγω γράμμα δεν έχει επιλεγεί» και «το εν λόγω κιβώτιο έχει επαρκή χώρο για το εν λόγω παιγνίδι», αντιστοίχως. Στα προβλήματα που έχουμε εξετάσει, η μετατροπή μίας κατάστασης σε μία άλλη μέσω κάποιας ενέργειας μπορεί να εκφραστεί με εύκολο τρόπο, διότι οι εν λόγω ενέργειες, ουσιαστικά συνεπάγονται απλώς την προσθήκη ενός νέου στοιχείου σε κάποια από τις δομές που αποτελούν τις καταστάσεις. Οι ενέργειες είναι *αθροιστικές*. Σε πολλά προβλήματα όμως οι ενέργειες είναι *μη-αθροιστικές*, το οποίο σημαίνει ότι η εκτέλεσή τους έχει ως αποτέλεσμα την προσθήκη νέων δεδομένων αλλά και τη διαγραφή, δηλαδή την αναίρεση, παλαιότερων δεδομένων. Η επίδραση μίας ενέργειας σε μία κατάσταση είναι συνήθως πολύ τοπική, από την άποψη ότι τα περισσότερα δεδομένα παραμένουν ανεπηρέαστα από την εκτέλεσή της. Το πώς περιγράφονται οι επιδράσεις μίας μη αθροιστικής ενέργειας σε μία οποιαδήποτε κατάσταση που την αφορά, δηλαδή το πώς περιγράφονται οι αλλαγές που επέρχονται σε μία κατάσταση από την εφαρμογή της ενέργειας, αποτελεί το κλασικό *πρόβλημα πλαισίου* (frame problem).

Συνοψίζοντας, η αναπαράσταση του χώρου αναζήτησης για κάποιο πρόβλημα συνεπάγεται τα ακόλουθα:

Αναπαράσταση Χώρου Αναζήτησης

1. Αναπαράσταση καταστάσεων.
2. Προσδιορισμός αρχικής και τελικών καταστάσεων. Οι τελευταίες μπορεί να προσδιοριστούν μέσω συνθηκών και όχι κυριολεκτικά.
3. Προσδιορισμός τελεστών δράσεως στη μορφή «προκείμενο → ενέργεια».

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 2.1

Ποια είναι η σωστή σειρά των ακόλουθων βημάτων, για την επίλυση κάποιου προβλήματος μέσω αναζήτησης;

- A. Προσδιορισμός τελεστών δράσεως σε μορφή «προκείμενο \rightarrow ενέργεια».
- B. Προσδιορισμός ευρετικών.
- Γ. Ανάλυση χώρου αναζήτησης.
- Δ. Σχεδιασμός δομής αναπαράστασης των καταστάσεων του προβλήματος.
- E. Επιλογή μεθόδου αναζήτησης.
- Z. Προσδιορισμός αρχικής κατάστασης και τελικών καταστάσεων.

Δραστηριότητα 2.1

Εισηγηθείτε μία αναπαράσταση για το χώρο αναζήτησης του προβλήματος VII της Δραστηριότητας 1.1.

2.2 Μηχανισμοί πλοήγησης

Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε κάποιες γενικές μεθόδους πλοήγησης στο χώρο αναζήτησης ενός προβλήματος. Η πλοήγηση μπορεί να γίνει με συστηματικό, ίσως εξαντλητικό, τρόπο ή με την καθοδήγηση ευρετικών. Ο μηχανισμός πλοήγησης εξωτερικεύει μέρος του χώρου αναζήτησης, κομμάτι προς κομμάτι. Το ελάχιστο που αναμένεται από αυτό το μηχανισμό είναι η εντόπιση κυκλικών διαδρομών, διαφορετικά υπάρχει ο κίνδυνος εγκλωβισμού σε βρόγχους άπειρης διάρκειας. Ας αρχίσουμε όμως την συζήτησή μας με τη σχετική ορολογία:

Ανοικτή κατάσταση: Μη τελική κατάσταση η οποία δεν έχει ακόμη διερευνηθεί ή για την οποία ενδείκνυται η εκ νέου διερεύνηση.

Κλειστή κατάσταση: Κατάσταση η οποία επί του παρόντος θεωρείται ότι έχει διερευνηθεί.

Προκάτοχος της κατάστασης s : Η κατάσταση s' , η οποία οδηγεί απευθείας, δηλαδή μέσω μίας μοναδικής ενέργειας, στην κατάσταση s και επί του παρόντος η διαδρομή από την αρχική κατάσταση προς την s διαμέσου της s' , θεωρείται η καλύτερη.

Διάδοχοι της κατάστασης s : Οι καταστάσεις για τις οποίες η κατάσταση s αποτελεί την προκάτοχό τους.

Αδιέξοδο: Μη τελική κατάσταση η οποία δεν έχει διαδόχους ή όλες οι διάδοχοί της οδηγούν σε αδιέξοδο.

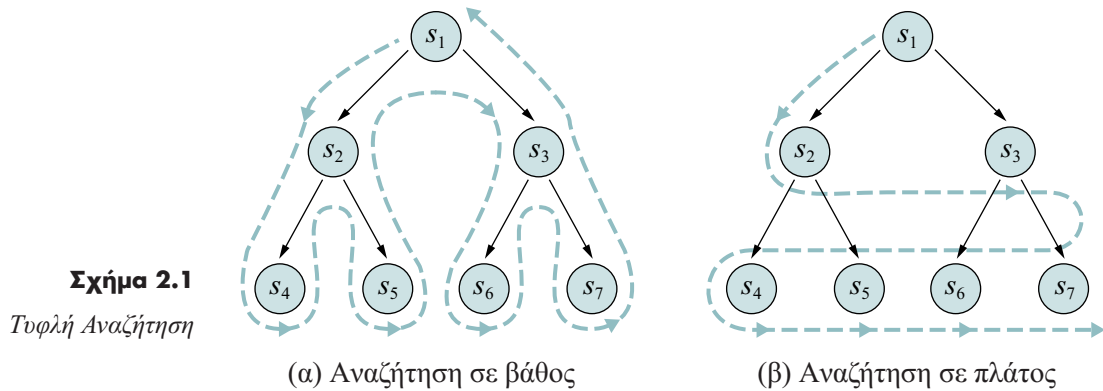
Ας υποθέσουμε ότι η πλοήγηση γίνεται από την αρχική κατάσταση προς μία (αρκετά ικανοποιητική) τελική κατάσταση. Επομένως, αρχικά υπάρχει μόνο μία ανοικτή κατάσταση, η αρχική κατάσταση. Εάν ανά πάσα στιγμή υπάρχει μόνο μία ανοικτή κατάσταση, αυτό σημαίνει ότι μόνο μία διαδρομή βρίσκεται σε εξέλιξη, όπως για παράδειγμα στο παιχνίδι της κρεμάλας και τα διάφορα επιτραπέζια παιχνίδια. Σε αυτά τα παιχνίδια η επιλογή κάποιας ενέργειας σημαίνει και την πραγματική της εκτέλεση. Σε γενικές γραμμές οι απαιτήσεις σε μνήμη ενός μηχανισμού πλοήγησης είναι πόσες καταστάσεις κατά μέσον όρο χρειάζεται να διερευνηθούν (και επομένως να εξωτερικευτούν) για την επίλυση του προβλήματος

2.2.1 Τυφλή αναζήτηση

Δύο γενικές μέθοδοι πλοήγησης, οι οποίες εξετάζουν το χώρο με συστηματικό, τυφλό τρόπο είναι η αναζήτηση σε βάθος (depth-first search) και η αναζήτηση σε πλάτος (breadth-first search).

Η αναζήτηση σε βάθος προσπαθεί να εισχωρήσει γρήγορα σε βάθος στο χώρο αναζήτησης. Με πολύ ευκολόπιστο τρόπο θεωρεί ότι η βαθύτερη κατάσταση, αυτή που βρίσκεται στη μεγαλύτερη απόσταση από την αρχική κατάσταση, βρίσκεται πλησιέστερα σε κάποια τελική κατάσταση. Η αναζήτηση σε βάθος μπορεί όντως να φτάσει σε τελική κατάσταση με αποδοτικό τρόπο και η απαίτησή της σε μνήμη δεν είναι υπερβολική. Μπορεί όμως και να «χαθεί» στο χώρο αναζήτησης ή να βρεθεί σε αδιέξοδο και οπωσδήποτε δεν ανακαλύπτει απαραίτητως τη βέλτιστη λύση. Η πρώτη αδυναμία μπορεί να περιοριστεί με την υποβολή κάποιου άνω φράγματος στο μήκος της διαδρομής. Εάν η υπό εξέταση διαδρομή έχει φτάσει αυτό το μήκος, αλλά δεν έχει οδηγήσει σε τελική κατάσταση, τότε η περαιτέρω εξέτασή της τερματίζεται και η αναζήτηση συνεχίζεται από την επόμενη σε σειρά ανοικτή κατάσταση. Το ίδιο συμβαίνει, όταν η αναζήτηση φτάσει σε αδιέξοδο. Η ανάκληση της τελευταίας ενέργειας ονομάζεται *οπισθοδρόμηση* (backtracking). Με άλλα λόγια πάμε ένα βήμα πίσω στην υπό εξέταση διαδρομή και κάνουμε μια νέα

επιλογή. Εάν όλες οι πιθανές επιλογές από το συγκεκριμένο σημείο έχουν ήδη εξεταστεί, τότε η οπισθοδρόμηση συνεχίζεται στο αμέσως πιο πάνω σημείο, κτλ. Εάν αυτό τελικά οδηγήσει στο αρχικό σημείο (αρχική κατάσταση), τότε η μέχρι τώρα αναζήτηση ήταν άκαρπη. Το Σχήμα 2.1(α) σας δείχνει την σε βάθος σειρά διερεύνησης των καταστάσεων, όπου η αρχική κατάσταση είναι η s_1 . Η σειρά των διαδόχων κάποιας κατάστασης αποφασίζεται με βάση κάποια, εκ των προτέρων κατάταξη των τελεστών δράσεως.



Η *αναζήτηση σε πλάτος*, σε αντίθεση με την προηγούμενη ευκολόπιστη μέθοδο, διακατέχεται από υπερβολικό σκεπτικισμό. Εδώ διερευνούνται ενδελεχώς όλες οι διαδρομές μήκους N , πριν διερευνηθεί μία διαδρομή μήκους $N+1$, αρχίζοντας από τις διαδρομές μήκους 1 [βλέπε Σχήμα 2.1(β)]. Είναι εύκολο να αποδειχθεί ότι η αναζήτηση σε πλάτος οδηγεί σε βέλτιστη λύση, όπου βέλτιστη σημαίνει «στη μικρότερη απόσταση από την αρχική κατάσταση». Ας υποθέσουμε ότι η αναζήτηση σε πλάτος δεν δίνει τη βέλτιστη λύση σε κάποιο πρόβλημα και ότι η λύση που έχει βρει βρίσκεται σε απόσταση N . Αφού αυτή δεν είναι η βέλτιστη λύση, τότε πρέπει να υπάρχει κάποια άλλη λύση σε απόσταση N' , όπου $N' < N$. Με βάση τον ορισμό της μεθόδου όλες οι διαδρομές μήκους N' έχουν διερευνηθεί πριν τη διερεύνηση των διαδρομών μήκους N .

Η αναζήτηση σε πλάτος μπορεί να βρίσκει βέλτιστη λύση, αλλά οδηγεί στο φαινόμενο της *συνδυαστικής έκρηξης* (combinatorial explosion). Αυτό σημαίνει ότι οι απαιτήσεις της σε μνήμη και χρόνο διερεύνησης έχουν εκθετική πολυπλοκότητα. Συγκεκριμένα, εάν η βέλτιστη λύση βρίσκεται σε απόσταση β , στη χειρότερη περίπτωση θα εξεταστούν όλες οι διαδρομές μήκους β . Αυτό σημαίνει ότι η πολυπλοκότητα της αναζήτησης σε πλάτος, σε χρόνο αλλά και σε μνήμη, είναι $O(\delta^\beta)$, όπου δ είναι ο *συντελεστής διακλάδωσης* (branching factor) του χώρου αναζήτησης, δηλαδή ο μέσος όρος του αριθ-

μού διαδόχων μίας κατάστασης. Επομένως, η εφαρμογή αυτής της μεθόδου για την πλοήγηση ενός μεγάλου χώρου αναζήτησης δεν είναι ρεαλιστική. Η αναζήτηση σε βάθος υπερέχει της αναζήτησης σε πλάτος όσον αφορά τις απαιτήσεις της σε μνήμη, αφού διατηρεί μόνο μία διαδρομή στη μνήμη (μαζί με όλες τις εναλλακτικές επιλογές κινήσεων για κάθε κατάσταση που περιέχεται σε αυτή τη διαδρομή). Όμως η χειρότερη περίπτωση, αναφορικά με το χρόνο διερεύνησης της αναζήτησης σε βάθος, μπορεί να είναι και χειρότερη από αυτή της αναζήτησης σε πλάτος. Συγκεκριμένα εάν το μέγιστο μήκος διαδρομής στο χώρο αναζήτησης είναι μ , όπου $\mu \geq \beta$, η πολυπλοκότητα σε χρόνο της αναζήτησης σε βάθος είναι $O(\beta^\mu)$.

Στον αλγόριθμο για τη μέθοδο της αναζήτησης σε βάθος η s_0 και s_g είναι αντιστοίχως η αρχική και τελική κατάσταση, ΑΝΟΙΚΤΕΣ είναι η λίστα με τις ανοικτές καταστάσεις και ΚΛΕΙΣΤΕΣ είναι η λίστα με τις κλειστές καταστάσεις. Όπως θα δείτε η λίστα ΑΝΟΙΚΤΕΣ χρησιμοποιείται σαν στοίβα.

Αλγόριθμος για Αναζήτηση σε Βάθος

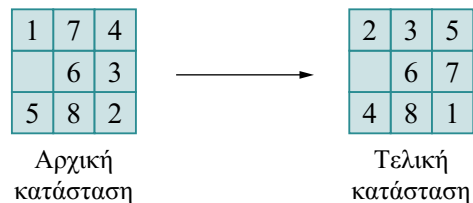
1. ΑΝΟΙΚΤΕΣ := [s_0], ΚΛΕΙΣΤΕΣ := []
2. Εάν ΑΝΟΙΚΤΕΣ = [], τότε τερμάτισε. Δεν υπάρχει λύση.
3. Αφαίρεσε την πρώτη κατάσταση, s_i , από τις ΑΝΟΙΚΤΕΣ και πρόσθεσέ την στις ΚΛΕΙΣΤΕΣ.
4. Δημιούργησε τις διαδόχους της s_i , που δεν ανήκουν ήδη στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ ή ΚΛΕΙΣΤΕΣ, με βάση τις ενέργειες που μπορούν να εφαρμοστούν στην s_i . Η κάθε διάδοχος έχει ένα δείκτη προς την s_i , ως την προκάτοχό της.
5. Εάν η s_g ανήκει στις διαδόχους της s_i , τότε τερμάτισε και επέστρεψε τη διαδρομή από την s_g στην s_0 . Διαφορετικά πρόσθεσε τις διαδόχους στην **αρχή** της λίστας ΑΝΟΙΚΤΕΣ και επανάλαβε από την οδηγία 2.

Τα περιεχόμενα των λιστών ΑΝΟΙΚΤΕΣ και ΚΛΕΙΣΤΕΣ δεν είναι αυτές καθ' αυτές οι καταστάσεις, αλλά δείκτες στους εν λόγω κόμβους του υπό εξέλιξη χώρου αναζήτησης. Ο αλγόριθμος για τη μέθοδο της αναζήτησης σε πλάτος είναι ακριβώς ο ίδιος με τον πιο πάνω αλγόριθμο, με τη μόνη, αλλά ουσιαστική, διαφορά ότι η λίστα ΑΝΟΙΚΤΕΣ χρησιμοποιείται σαν ουρά, δηλαδή οι νέες ανοικτές καταστάσεις προσθέτονται στο τέλος και όχι στην αρχή της λίστας.

Παράδειγμα 2.4

Στο παιχνίδι «σπάζοκεφαλιά του 8» (8-puzzle), οκτώ κύβοι αριθμημένοι από το 1 μέχρι το 8 τοποθετούνται σε ένα πλαίσιο χωρητικότητας 3×3 θέσεων κύβων. Έτσι υπάρχει πάντοτε μία κενή θέση. Οι κανόνες του παιχνιδιού επιτρέπουν τη μετακίνηση κύβων μία θέση πάνω, κάτω, δεξιά ή αριστερά, μέσα σε κενή θέση. Το πρόβλημα που χρειάζεται να επιλυθεί είναι η μετατροπή μίας δεδομένης αρχικής τοποθέτησης των κύβων σε μία δεδομένη τελική τοποθέτηση, για παράδειγμα όπως επιδεικνύεται στο Σχήμα 2.2.

Σχήμα 2.2
Παιχνίδι
«Σπάζοκεφαλιά του 8»



Ας κοιτάξουμε πρώτα την αναπαράσταση του χώρου αναζήτησης αυτού του προβλήματος. Ο πιο φυσικός τρόπος αναπαράστασης των καταστάσεων είναι σε μορφή πίνακα 3×3. Αναφορικά με τους τελεστές δράσεως, μία πιθανή αναπαράσταση είναι της ακόλουθης μορφής: «Εάν η θέση στα αριστερά του κύβου με αριθμό 1 είναι κενή, τότε μετακίνησε τον κύβο με αριθμό 1 μία θέση στα αριστερά». Αυτή η αναπαράσταση μας δίνει 32 πολύ συγκεκριμένους τελεστές δράσεως. Με βάση όμως την αρχή της απλότητας και ταυτόχρονα γενίκευσης που είχαμε αναφέρει πιο πάνω υπάρχει μια πολύ καλύτερη αναπαράσταση η οποία μας δίνει μόνο τέσσερις, πιο γενικούς τελεστές δράσεως, οι οποίοι εκφράζονται σε σχέση με την κενή θέση, ως ακολούθως:

Τελεστές Δράσεως της «Σπασοκεφαλιάς του 8»

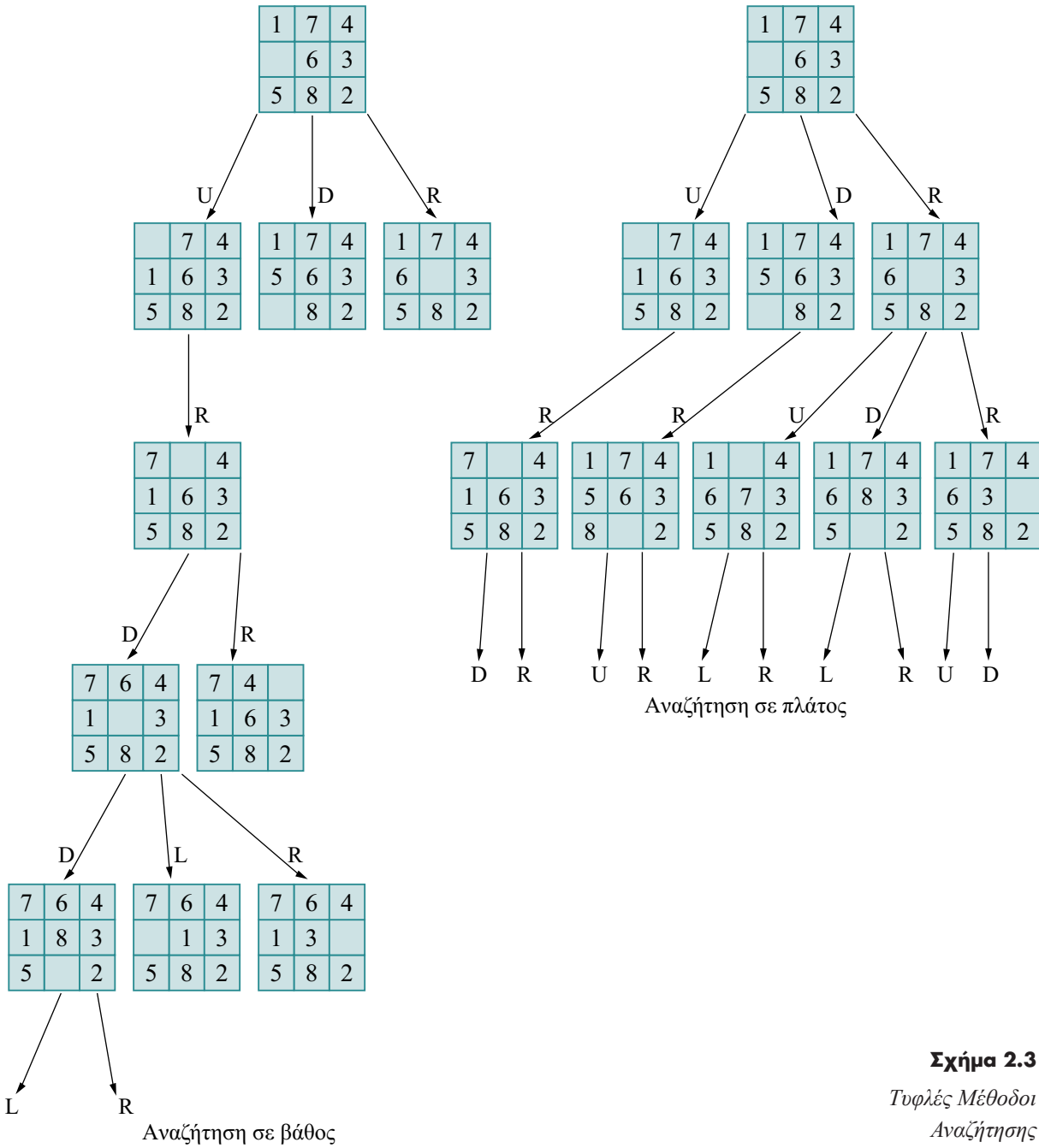
U: «υπάρχει ο κύβος K πάνω από την κενή θέση» → «μετακίνησε τον K στην κενή θέση»

D: «υπάρχει ο κύβος K κάτω από την κενή θέση» → «μετακίνησε τον K στην κενή θέση»

L: «υπάρχει ο κύβος K στα αριστερά της κενής θέσης» → «μετακίνησε τον K στην κενή θέση»

R: «υπάρχει ο κύβος K στα δεξιά της κενής θέσης» → «μετακίνησε τον K στην κενή θέση»

Το σύμβολο K υποδηλώνει οποιοδήποτε κύβο. Είναι μία μεταβλητή η οποία συγκεκριμενοποιείται καταλλήλως. Ας υποθέσουμε ότι οι τελεστές δράσεως έχουν καταταγεί στη σειρά U, D, L και R. Το Σχήμα 2.3 δείχνει μέρος της αναζήτησης που θα διεξαχθεί με βάση τις πιο πάνω τυφλές μεθόδους.



Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 2.2

Συμπληρώστε τις εισόδους του ακόλουθου πίνακα με ένα ΝΑΙ ή ένα ΟΧΙ:

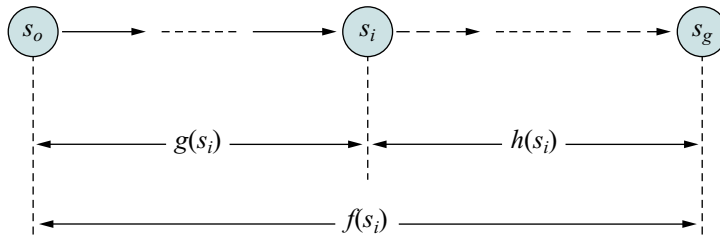
	Αναζήτηση σε Βάθος	Αναζήτηση σε Πλάτος
Τυφλή μέθοδος.
Βρίσκει τη βέλτιστη λύση.
Δεν εγγυάται βέλτιστη λύση.
Εισχωρεί γρήγορα στο χώρο αναζήτησης.
Μπορεί να «χαθεί».
Έχει εκθετική πολυπλοκότητα σε μνήμη.
Κάνει χρήση ευρετικών.
Διατηρεί μόνο μία διαδρομή στη μνήμη.

Δραστηριότητα 2.2

Γιατί κατά την άποψή σας στον υπολογισμό των διαδόχων της υπό διερεύνηση κατάστασης στους αλγόριθμους για την αναζήτηση σε βάθος και πλάτος (εντολή 4) αποκλείονται οι καταστάσεις που ανήκουν ήδη στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ ή ΚΛΕΙΣΤΕΣ;

2.2.2 Ευρετική καθοδήγηση

Όπως έχουμε δει, οι τυφλές μέθοδοι αναζήτησης έχουν πλεονεκτήματα, αλλά και σοβαρά μειονεκτήματα. Η αναζήτηση μέσω ευρετικής καθοδήγησης, άλλως *ευρετική αναζήτηση* (heuristic search) προσπαθεί να συνδυάσει αυτά τα πλεονεκτήματα και ταυτόχρονα να μειώσει τις σημαντικές αδυναμίες. Στις τυφλές μεθόδους οι ανοικτές καταστάσεις εξερευνώνται με συστηματικό τρόπο, για αυτό εξάλλου ονομάζονται «τυφλές» μέθοδοι. Στην ευρετική αναζήτηση οι ανοικτές καταστάσεις «αξιολογούνται» και σε κάθε βήμα διερευνάται αυτή που φαίνεται να είναι η πιο *υποσχόμενη*, δηλαδή αυτή που φαίνεται να βρίσκεται στην καλύτερη πορεία προς τη λύση. Ας δούμε πώς αξιολογείται μία ανοικτή κατάσταση, έστω η κατάσταση s_i , όπου s_0 είναι η αρχική κατάσταση και s_g είναι η τελική κατάσταση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4.

**Σχήμα 2.4**

Αξιολόγηση Ανοικτών Καταστάσεων

Η συνάρτηση αξιολόγησης καταστάσεων (evaluation function), f , ορίζεται ως εξής:

$$f(s_i) = g(s_i) + h(s_i)$$

Η συνάρτηση g δίνει το πραγματικό «κόστος» μετάβασης από την s_0 στην s_i . Στον κάθε τελεστή δράσεως αντιστοιχεί κάποιο κόστος και το κόστος μίας διαδρομής είναι το άθροισμα των κόστων των τελεστών, οι ενέργειες των οποίων την αποτελούν. Εάν όλοι οι τελεστές συνδέονται με το ίδιο κόστος, τότε το κόστος της διαδρομής είναι ανάλογο του μήκους της. Αφού η καλύτερη μέχρι τώρα διαδρομή από την s_0 στην s_i είναι γνωστή, το πραγματικό κόστος είναι δεδομένο.

Και ερχόμαστε στο κρίσιμο κομμάτι της συνάρτησης αξιολόγησης, την *ευρετική συνάρτηση* (heuristic function), h . Η συνάρτηση h «μαντεύει» το κόστος της μετάβασης από την s_i στην s_g . Με άλλα λόγια η συνάρτηση h μας λέει πόσο υποσχόμενη είναι η κατάσταση s_i , δηλαδή πόσο ενδείκνυται η αναζήτηση λύσης διαμέσου της s_i . Η αξιοπιστία της συνάρτησης f εξαρτάται από την αξιοπιστία της συνάρτησης h . Η συνάρτηση g δεν μαντεύει τίποτα. Η συνάρτηση h είναι που προσπαθεί να μαντέψει πόσο «κοντά» βρίσκεται μία κατάσταση στην επιθυμητή κατάσταση. Εάν αυτό το κόστος υπερεκτιμηθεί, τότε υπάρχει ο κίνδυνος παραγνώρισης της s_i . Εάν όμως υποεκτιμηθεί, τότε υπάρχει ο κίνδυνος εμπλοκής σε μία άκαρπη διερεύνηση. Εάν για οποιαδήποτε κατάσταση η ευρετική συνάρτηση δεν υπερεκτιμά το πραγματικό κόστος μετάβασης, τότε η χρήση της μας εγγυάται βέλτιστη λύση και η ευρετική αναζήτηση είναι *παραδεκτή* (admissible). Για παράδειγμα, η αναζήτηση σε πλάτος είναι παραδεκτή, αφού μπορεί να θεωρηθεί ότι κάνει χρήση της ευρετικής συνάρτησης $h(s) = 0$, η οποία οπωσδήποτε δεν υπερεκτιμά το πραγματικό κόστος. Μη υπερεκτίμηση σημαίνει ότι τίποτα δεν παραγνωρίζεται. Από την άλλη η υπερεκτίμηση του κόστους είναι όντως παρακινδυνευμένη, αλλά έχει αποδειχθεί ότι στην πραγματικότητα τέτοια ευρετικά είναι πιο αποδοτικά.

Σε γενικό επίπεδο η συνάρτηση h είναι ένα μαύρο κουτί. Μπορεί να αποτελείται από ένα σύνολο κανόνων ή μία διαδικασία, η επεξεργασία των οποίων δίνει πίσω έναν αριθμό. Η ευρετική συνάρτηση ενσωματώνει γνώση σε κάποια μορφή, περιγραφική ή διαδικασιακή, η οποία αφορά το συγκεκριμένο πρόβλημα. Επομένως, η καθοδήγηση γίνεται μέσω γνώσης.^[1]

Με βάση τη συνάρτηση f οι ανοικτές καταστάσεις αξιολογούνται και επιλέγεται για περαιτέρω διερεύνηση, δηλαδή επέκταση, αυτή που έχει τη μικρότερη τιμή για την f . Για την αρχική κατάσταση, $f(s_0) = h(s_0)$ και για την τελική κατάσταση $f(s_g) = g(s_g)$. Η συνάρτηση αξιολόγησης προσπαθεί να ισοζυγίσει βάθος και πλάτος. Στόχος είναι να μην εγκλωβιστούμε σε μία βαθιά, άκαρπη, πορεία (το πραγματικό κόστος της μέχρι τώρα πορείας που θα δώσει η συνάρτηση g θα το αποτρέψει αυτό), αλλά ούτε και να εξετάζουμε τα πάντα (η συνάρτηση h μας καθοδηγεί στις επιλογές μας).

Ο αλγόριθμος για ευρετική αναζήτηση, γνωστός ως αλγόριθμος A^* , δίνεται παρακάτω. Οι λίστες ΑΝΟΙΚΤΕΣ και ΚΛΕΙΣΤΕΣ έχουν την ίδια ερμηνεία, όπως και προηγουμένως. Τώρα όμως η λίστα ΑΝΟΙΚΤΕΣ χρησιμοποιείται σαν μία διατεταγμένη λίστα (ordered list). Τα στοιχεία αυτών των λιστών είναι δυάδες της μορφής $(s, f(s))$, όπου, όπως και προηγουμένως, το στοιχείο s είναι ένας δείκτης στο σχετικό κόμβο του υπό εξέλιξη χώρου αναζήτησης.

Ευρετική Αναζήτηση: Αλγόριθμος A^*

1. ΑΝΟΙΚΤΕΣ := $[s_0]$, ΚΛΕΙΣΤΕΣ := $[\]$
2. Εάν ΑΝΟΙΚΤΕΣ = $[\]$, τότε τερμάτισε. Δεν υπάρχει λύση.
3. Αφαίρεσε την κατάσταση, s_i , από την λίστα ΑΝΟΙΚΤΕΣ, για την οποία $f(s_i) \leq f(s_j)$ για όλες τις άλλες ανοικτές καταστάσεις s_j και πρόσθεσέ την στις ΚΛΕΙΣΤΕΣ.
4. Δημιούργησε τις διαδόχους της s_i και δώσε στην κάθε διάδοχο έναν δείκτη προς την s_i , ως την προκάτοχό της.

[1] Μία ακραία περίπτωση ευρετικής αναζήτησης αποτελεί η άπληστη αναζήτηση (greedy search), όπου στην αξιολόγηση των ανοικτών καταστάσεων χρησιμοποιείται μόνο η συνάρτηση h , δηλαδή $g(s) = 0$ για όλες τις καταστάσεις. Αυτό σημαίνει ότι το μέχρι τώρα κόστος μεταβίβασης αγνοείται. Στο άλλο άκρο, όπως σας έχει ήδη αναφερθεί, βρίσκεται η αναζήτηση σε πλάτος, η οποία χρησιμοποιεί μόνο τη συνάρτηση g στην αξιολόγηση των ανοικτών καταστάσεων [$h(s) = 0$ για όλες τις καταστάσεις].

5. Εάν η s_g ανήκει στις διαδόχους της s_i , τότε τερμάτισε και επίστρεψε τη διαδρομή από την s_g στην s_o .
6. Διαφορετικά επανάλαβε τα ακόλουθα για κάθε διάδοχο, s_j , της s_i :
 - Υπολόγισε την τιμή $f(s_j)$.
 - Εάν η s_j δεν ανήκει ούτε στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ, ούτε στις ΚΛΕΙΣΤΕΣ καταστάσεις, τότε πρόσθεσε την s_j στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ με τιμή αξιολόγησης, $f(s_j)$.
 - Εάν η s_j ήδη ανήκει στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ ή ΚΛΕΙΣΤΕΣ, τότε σύγκρινε τη νέα τιμή αξιολόγησης της, έστω *νέα*, με την παλαιότερή της, έστω *παλαιά*. Εάν $\text{παλαιά} \leq \text{νέα}$, τότε απόβαλε το νέο κόμβο με την κατάσταση s_j . Διαφορετικά, αφαίρεσε το στοιχείο $(s_j, \text{παλαιά})$ από τη λίστα στην οποία ανήκει (ΑΝΟΙΚΤΕΣ ή ΚΛΕΙΣΤΕΣ) και πρόσθεσε το στοιχείο $(s_j, \text{νέα})$ στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ.
7. Επανάλαβε από την εντολή 2.

Γιατί νομίζετε στον αλγόριθμο A^* οι διάδοχοι της υπό διερεύνηση κατάστασης που είναι ήδη ΚΛΕΙΣΤΕΣ, αλλά η νέα τιμή αξιολόγησης τους είναι καλύτερη από την παλαιότερη, επανέρχονται στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ;

Δραστηριότητα 2.3

Δώστε τρία ευρετικά για τη «σπαζοκεφαλιά του 8». Τεκμηριώστε κατά πόσον αυτά οδηγούν σε παραδεκτή ή μη παραδεκτή αναζήτηση.

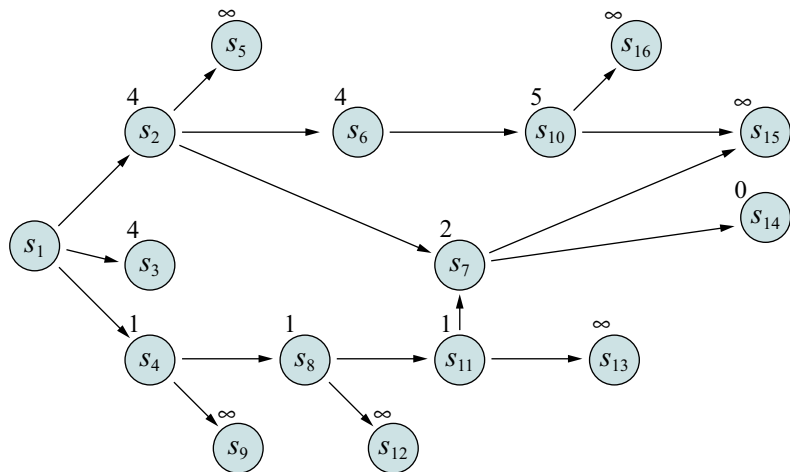
Δραστηριότητα 2.4

Υπάρχει ένας μοναδικός, εννιαψηφίος αριθμός, το κάθε ψηφίο του οποίου είναι διαφορετικό και επίσης το κάθε αριστερό τμήμα του μήκους k ψηφίων, για $k = 1, \dots, 9$, διαιρείται ακριβώς με το k . Το πρόβλημα είναι να βρούμε ποιος είναι αυτός ο αριθμός. Εξηγήστε πως αυτό το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί μέσω αναζήτησης. Καταρχήν σχεδιάστε το χώρο αναζήτησης, δηλαδή προσδιορίστε τις καταστάσεις του προβλήματος και τους τελεστές δράσεως. Στη συνέχεια αποφασίστε ποιος πρέπει να είναι ο μηχανισμός πλοήγησης ανάμεσα σε αναζήτηση σε βάθος ή πλάτος ή ευρετική αναζήτηση. Ως επιπλέον Δραστηριότητα, μπορείτε να υλοποιήσετε την εισήγησή σας σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 2.3

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 2.4

Το γράφημα που δίνεται στο Σχήμα 2.5 απεικονίζει το χώρο αναζήτησης κάποιου προβλήματος. Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις καταστάσεις (η αρχική κατάσταση είναι η s_1 και η τελική κατάσταση η s_{14}), και τα τόξα τις εφαρμογές ενεργειών. Θεωρήστε ότι η εφαρμογή κάθε ενέργειας κοστίζει μία μονάδα. Οι τιμές που δίνονται πάνω αριστερά σε κάθε κόμβο αντιπροσωπεύουν τις τιμές κάποιας ευρετικής συνάρτησης για τις εν λόγω καταστάσεις. Χρησιμοποιώντας αυτή την ευρετική συνάρτηση, εφαρμόστε τον αλγόριθμο A^* για την επίλυση αυτού του προβλήματος, επιδεικνύοντας την εξέλιξη του χώρου αναζήτησης βήμα προς βήμα, και προσδιορίζοντας τις ΑΝΟΙΚΤΕΣ και ΚΛΕΙΣΤΕΣ καταστάσεις.



Σχήμα 2.5
Χώρος Αναζήτησης

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάστηκαν τρεις μηχανισμοί πλοήγησης, σε ένα χώρο καταστάσεων, η αναζήτηση σε βάθος, η αναζήτηση σε πλάτος και η ευρετική αναζήτηση.

2.3 Προβλήματα ταξινόμησης και σύνθεσης

Τελειώνουμε αυτό το κεφάλαιο κάνοντας μία σύντομη αναφορά στο διαχωρισμό ανάμεσα σε προβλήματα ταξινόμησης (classification problems) και προβλήματα σύνθεσης (constructive problems), σε σχέση με την επίλυσή τους μέσω αναζήτησης. Προβλήματα διάγνωσης, αποσφαλμάτωσης ή παρακολούθησης (monitoring), τα οποία διέπονται από την υπόθεση του μοναδικού σφάλματος (single point of failure assumption), αποτελούν κατ' εξοχήν παραδείγματα προβλημάτων ταξινόμησης, ενώ προβλήματα σχεδίασης

(design/planning) ή χρονοδρομολόγησης (scheduling) αποτελούν κατ' εξοχήν παραδείγματα προβλημάτων σύνθεσης. Η ουσιαστική διαφορά ανάμεσα σε αυτά τα είδη προβλημάτων είναι ότι η λύση ενός προβλήματος ταξινόμησης *επιλέγεται* από ένα σύνολο προκαθορισμένων λύσεων ή κατηγοριών, δηλαδή το πρόβλημα αναγνωρίζεται ή ταξινομείται ως περιστατικό (instance) της δεδομένης κατηγορίας (class), ενώ η λύση ενός προβλήματος σύνθεσης *κατασκευάζεται* ή συναρμολογείται από απλούστερα στοιχεία.

Η επιλογή της λύσης ενός προβλήματος ταξινόμησης δεν γίνεται απευθείας, αλλά σταδιακά μέσω πλοήγησης σε ένα *ιεραρχικό χώρο αναζήτησης*, στον οποίο οι δεδομένες κατηγορίες αποτελούν τους ακραίους κόμβους. Ο ρόλος των μη ακραίων κόμβων είναι η οργάνωση των κατηγοριών σε κάποια ιεραρχία. Αυτή η ιεραρχία, που αποτελεί το χώρο αναζήτησης, χρειάζεται να ορισθεί εξ ολοκλήρου εκ των προτέρων. Επομένως, το μέγεθος ενός τέτοιου χώρου πρέπει να είναι πεπερασμένο. Οι χώροι αναζήτησης για προβλήματα ταξινόμησης είναι συνήθως σχετικά μικροί σε μέγεθος. Για παράδειγμα, σε ένα ιατρικό διαγνωστικό πρόβλημα οι κατηγορίες είναι οι διάφορες ασθένειες και ο χώρος αναζήτησης είναι η ιεράρχησή τους σε ομάδες και υποομάδες ασθενειών. Συνήθως, η αρχική κατάσταση είναι η ρίζα της ιεραρχίας. Πολλές φορές όμως η ιεραρχία δεν είναι αυστηρή (strict hierarchy), αλλά υπάρχουν διασυνδέσεις από κόμβους σε κόμβους, όχι αναγκαστικά στο αμέσως επόμενο επίπεδο, αλλά σε χαμηλότερα επίπεδα. Επομένως, υπάρχει η δυνατότητα να πλοηγηθεί η αναζήτηση πολύ γρήγορα σε βάθος. Αυτό εξάλλου είναι που επιδιώκεται μια και η τελική κατάσταση αναζητείται ανάμεσα στους ακραίους κόμβους. Το ποια είναι η τελική κατάσταση είναι άγνωστο εκ των προτέρων, αφού ο απώτερος στόχος είναι η αναγνώρισή της. Έτσι, η λύση είναι αυτή καθ' αυτή η ακραία κατάσταση και όχι η διαδρομή προς αυτήν από την αρχική κατάσταση.

Ας κοιτάξουμε όμως λίγο πιο προσεκτικά τη σημασιολογία του χώρου αναζήτησης για ένα πρόβλημα ταξινόμησης. Οι υποκόμβοι ενός κόμβου αποτελούν τις υποτάξεις του, δηλαδή τις εκλεπτύνσεις του. Η διερεύνηση ενός μη ακραίου κόμβου αποσκοπεί στην αντικατάστασή του με μία από τις εκλεπτύνσεις του. Ο στόχος είναι να επεκταθεί η διαδρομή από την τάξη σε μία από τις υποτάξεις της. Επομένως, ο γενικός τελεστής δράσεως είναι ο *τελεστής διαφοροποίησης* (differentiation operator). Συγκεκριμένα, το προκείμενο του τελεστή που συνδέει μία τάξη με κάποια από τις υποτάξεις της διαφοροποιεί την εν λόγω υποτάξη από τις υπόλοιπες υποτάξεις. Η ενέργεια του

τελεστή είναι απλώς η επιλογή της συγκεκριμένης υποτάξης. Για παράδειγμα, έστω ότι η τάξη T έχει δύο υποτάξεις, την $T.1$ και την $T.2$ με τους δύο τελεστές δράσεως:

- Εάν το σύμπτωμα S ευσταθεί, τότε αντικατάστησε την T με την $T.1$
- Εάν το σύμπτωμα S δεν ευσταθεί, τότε αντικατάστησε την T με την $T.2$

Το σύμπτωμα S αποτελεί τον παράγοντα διαφοροποίησης ανάμεσα στις δύο υποτάξεις. Όπως βλέπετε, σε προβλήματα ταξινόμησης, οι τελεστές δράσεως ή οι κανόνες διαφοροποίησης αποτελούν συγκεκριμένη γνώση του τομέα. Αυτή η γνώση κατανέμεται και αποθηκεύεται στους κόμβους που αντιπροσωπεύουν τις εν λόγω τάξεις και ενεργοποιείται σύμφωνα με το ποια τάξη χρειάζεται να διερευνηθεί. Ο μηχανισμός πλοήγησης για προβλήματα ταξινόμησης ονομάζεται «εκλέπτυνση από πάνω προς τα κάτω» (top-down refinement) ή «δοκιμή και επιλογή» (test and select). Κάθε μη ακραίος κόμβος αντιπροσωπεύει μία απόφαση (επιλογή) η οποία λαμβάνεται με βάση κάποια δοκιμή, η οποία υποδηλώνεται από τους τελεστές δράσεως. Τα δέντρα αποφάσεων (decision trees) αποτελούν ένα, σχετικά απλό, είδος χώρου αναζήτησης για ταξινόμηση. Εδώ κάθε μη ακραίος κόμβος αποτελεί ένα ερώτημα, η απάντηση του οποίου για το δεδομένο πρόβλημα οδηγεί στην επιλογή του σχετικού υποκόμβου. Η τεχνολογία των δέντρων αποφάσεων είναι ένας πολύ ανεπτυγμένος κλάδος του τομέα της μηχανικής μάθησης.

Έτσι, προβλήματα ταξινόμησης επιλύονται με τη σταδιακή αντικατάσταση μίας κατάστασης με κάποια κατάσταση που αποτελεί εκλέπτυνση ή υπόταξη της, σε κάποιο ιεραρχικό χώρο αναζήτησης, μέχρις ότου η αναζήτηση να φτάσει σε μία ακραία κατάσταση η οποία αποτελεί την κατηγορία του υπό εξέταση προβλήματος. Στο Μέρος II του τόμου θα αναφερθούμε σε συγκεκριμένα παραδείγματα έμπειρων συστημάτων ταξινόμησης.

Και ερχόμαστε στα προβλήματα σύνθεσης. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η λύση ενός προβλήματος σύνθεσης κατασκευάζεται ή συναρμολογείται, βήμα προς βήμα, από απλούστερα στοιχεία, το σύνολο των οποίων ορίζεται εκ των προτέρων. Παρόλο που τα πρωτεύοντα στοιχεία ή συνήθως τα είδη αυτών των στοιχείων από τα οποία θα δημιουργηθεί η λύση, μπορεί

να είναι πολύ λίγα σε αριθμό, το σύνολο των πιθανών (μερικών και ολικών) συνθέσεων τους μπορεί κάλλιστα να είναι άπειρου μεγέθους. Αυτό το σύνολο (συνθέσεων) με τις σχετικές διασυνδέσεις ανάμεσα στα στοιχεία του, οι οποίες δεν είναι αναγκαστικά ιεραρχικής μορφής, αποτελεί το χώρο αναζήτησης. Όπως καταλαβαίνετε, σε αντίθεση με το χώρο αναζήτησης ενός προβλήματος ταξινόμησης, ο χώρος αναζήτησης ενός προβλήματος σύνθεσης δεν ορίζεται κυριολεκτικά εκ των προτέρων. Ακόμη μία σημαντική διαφορά είναι ότι η διαδρομή από την αρχική προς την τελική κατάσταση είναι αυτή καθ' αυτή η λύση, διότι αντιπροσωπεύει την ακολουθία των ενεργειών που συνθέτει τη λύση. Οι καταστάσεις μπορεί απλώς να καταγράφουν τις ακολουθίες εντολών ή τα αποτελέσματά τους. Η σύνθεση της λύσης, δηλαδή η συναρμολόγηση του σχεδίου δράσεως, διέπεται από διάφορους περιορισμούς, όπως χρονικούς (temporal), δομικούς (structural) ή άλλους. Έτσι, πολλές φορές προβλήματα σύνθεσης αναφέρονται και ως προβλήματα ικανοποίησης περιορισμών (constraint satisfaction problems). Στη μέχρι τώρα συζήτησή μας, έχουμε ήδη εξετάσει διάφορα προβλήματα σύνθεσης. Για παράδειγμα, η «σπαζοκεφαλιά του 8», η τοποθέτηση των παιγνιδιών σε κιβώτια και η χρονοδρομολόγηση των εργασιών προς διεκπεραίωση είναι προβλήματα σύνθεσης. Στη «σπαζοκεφαλιά του 8» η διαδρομή δεν καταγράφεται στις καταστάσεις, αλλά στα άλλα δύο προβλήματα το τι καταγράφεται στις καταστάσεις είναι ουσιαστικά το σχέδιο δράσεως. Το παιγνίδι της κρεμάλας, όπου προσπαθούμε να συναρμολογήσουμε μία λέξη, ή το πρόβλημα του εννιαψηφίου αριθμού με το οποίο έχετε καταπιαστεί στην Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 2.3, στο οποίο προσπαθούμε να συναρμολογήσουμε έναν αριθμό μπορεί να θεωρηθούν προβλήματα σύνθεσης.

Τέλος, και πολλές φορές αυτό είναι που γίνεται σε ρεαλιστικά προβλήματα, ταξινόμηση και σύνθεση μπορεί να συνδυαστούν, όπου μέρος του προβλήματος επιλύεται με ταξινόμηση και μέρος με σύνθεση. Για παράδειγμα, με ταξινόμηση επιλέγεται ένα αφηρημένο σχέδιο δράσεως, το οποίο στη συνέχεια συγκεκριμενοποιείται με σύνθεση. Συνοψίζουμε την ενότητα παραθέτοντας τα ουσιαστικά σημεία διαφοροποίησης ανάμεσα σε προβλήματα ταξινόμησης και προβλήματα σύνθεσης.

Διαφοροποίηση Προβλημάτων Ταξινόμησης και Προβλημάτων Σύνθεσης

Προβλήματα Ταξινόμησης

- Ιεραρχικός χώρος αναζήτησης, ο οποίος ορίζεται κυριολεκτικά εκ των προτέρων.
- Η λύση επιλέγεται ανάμεσα στις ακραίες καταστάσεις, που αποτελούν τις σχετικές κατηγορίες, δηλαδή το πρόβλημα αναγνωρίζεται ως περιστατικό κάποιας από αυτές τις κατηγορίες.
- Η διαδρομή προς τη λύση δεν έχει αναγκαστικά σημασία.

Προβλήματα Σύνθεσης

- Ο χώρος αναζήτησης δεν ορίζεται κυριολεκτικά εκ των προτέρων και δεν είναι απαραίτητα ιεραρχικός.
- Η λύση συναρμολογείται από απλούστερα στοιχεία και αυτό διέπεται από διάφορους περιορισμούς.
- Η διαδρομή προς την τελική κατάσταση έχει σημασία, διότι ουσιαστικά αυτή αποτελεί τη λύση, δηλαδή το σχέδιο δράσεως.

Δραστηριότητα 2.5

Ένα γενικό ευρετικό που χρησιμοποιείται σε παιχνίδια με δύο αντιπάλους, όπου οι δύο αντίπαλοι διαδοχικά επιλέγουν τις επόμενες τους κινήσεις, όπως για παράδειγμα στο σκάκι, ονομάζεται *minimax*. Μελετήστε αυτό το ευρετικό από τα βιβλία των Luger και Stubblefield (ενότητα 4.3), και Rich και Knight (κεφ. 12).

Δραστηριότητα 2.6

Όπως έχει αναφερθεί, τα *δέντρα αποφάσεων* (decision trees) αποτελούν ένα είδος χώρων ταξινόμησης (classification spaces). Η χρήση ενός δέντρου αποφάσεων είναι σχετικά απλή υπόθεση. Αρχίζοντας από τη ρίζα του δέντρου διαδοχικά θέτονται προς το χρήστη οι ερωτήσεις που συνδέονται με τους υπό εξέταση κόμβους. Κάθε απάντηση οδηγεί σε κάποιο υποκόμβο του σχετικού κόμβου. Μία δυσκολία προκύπτει όταν ο χρήστης δεν γνωρίζει την απάντηση σε κάποια ερώτηση. Μπορεί η χρήση ενός δέντρου αποφάσεων να είναι σχετικά εύκολη, η δημιουργία του όμως μπορεί να συνε-

πάγεται μεγάλη προσπάθεια. Συνήθως δέντρα αποφάσεων, της μορφής που σας έχει περιγραφεί, δεν αποσπώνται (elicited) απευθείας από τους έμπειρους αλλά δημιουργούνται με αυτόματο τρόπο από μία βάση περιστατικών του προβλήματος. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό ανήκουν στον τομέα της μηχανικής μάθησης (machine learning). Μελετήστε τέτοιους αλγόριθμους από τα βιβλία των Luger και Stubblefield (ενότητα 13.3), και Rich και Knight (ενότητα 17.5).

Σύνοψη

Στο κεφάλαιο 2 εξετάσαμε έναν τρόπο επίλυσης (δύσκολων) προβλημάτων, μέσω αναζήτησης σε ένα χώρο καταστάσεων. Για την εφαρμογή αυτού του τρόπου, το πρόβλημα χρειάζεται να αναπαρασταθεί σε συγκεκριμένη μορφή. Κατ' αρχάς χρειάζεται να προσδιοριστεί ο χώρος μέσα στον οποίο θα γίνει η αναζήτηση, δηλαδή να σχεδιαστεί η δομή αναπαράστασης των διαφόρων καταστάσεων του προβλήματος, να προσδιοριστούν οι τελεστές δράσεως σε μορφή «προκείμενο → ενέργεια», οι οποίοι παρέχουν τις διασυνδέσεις ανάμεσα στις καταστάσεις, καθώς επίσης να προσδιοριστούν η αρχική κατάσταση και οι επιθυμητές τελικές καταστάσεις. Τέλος, χρειάζεται να επιλεγεί ο μηχανισμός πλοήγησης με τον οποίο θα διεξαχθεί η αναζήτηση με στόχο να οδηγηθούμε από την αρχική κατάσταση σε μία επιθυμητή τελική κατάσταση. Αναφορικά με μηχανισμούς πλοήγησης, έχουμε εξετάσει τρεις γενικές μεθόδους αναζήτησης, την αναζήτηση σε βάθος, την αναζήτηση σε πλάτος και την ευρετική αναζήτηση. Οι μεν πρώτες δύο εκτελούν την αναζήτηση με μεθοδικό, τυφλό τρόπο, η δε ευρετική αναζήτηση προσπαθεί να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα των δύο τυφλών μεθόδων και παράλληλα να μειώσει τις αδυναμίες τους, χρησιμοποιώντας μία συνάρτηση για την αξιολόγηση των ανοικτών καταστάσεων. Κρίσιμο κομμάτι της συνάρτησης αξιολόγησης αποτελεί η ευρετική συνάρτηση h , η οποία προσπαθεί να μαντέψει πόσο «κοντά» βρίσκεται μία κατάσταση σε κάποια επιθυμητή τελική κατάσταση.

Στην τελευταία ενότητα του κεφαλαίου κάναμε μία διαφοροποίηση ανάμεσα σε προβλήματα ταξινόμησης και προβλήματα σύνθεσης. Προβλήματα διάγνωσης, αποσφαλμάτωσης ή παρακολούθησης τα οποία διέπονται από την υπόθεση του μοναδικού σφάλματος αποτελούν κατ' εξοχήν παραδείγματα προβλημάτων ταξινόμησης, ενώ προβλήματα σχεδίασης ή χρονοδρομολόγησης αποτελούν κατ' εξοχήν παραδείγματα προβλημάτων σύνθεσης.

Η επίλυση προβλημάτων μέσω αναζήτησης συνδέεται άμεσα με την έννοια του συστήματος φυσικών συμβόλων. Ο χώρος αναζήτησης δεν είναι τίποτα άλλο από το σύνολο των πιθανών εξελίξεων ενός τέτοιου συστήματος. Οι τελεστές δράσεως είναι οι σχετικές διεργασίες του συστήματος. Η λύση, που παράγεται με αυτό τον τρόπο επίλυσης, μπορεί να τεκμηριωθεί με βάση τον τρόπο παραγωγής της, αφού αυτός καταγράφεται. Η ικανότητα τεκμηρίωσης ή επεξήγησης έχει σημασία για τα έμπειρα συστήματα και αργότερα θα αναφερθούμε σε αυτό το θέμα εκτενώς.

Βιβλιογραφία

G.F. Luger και W.A. Stubblefield, *Artificial Intelligence: structures and strategies for complex problem solving*, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1998 (μέρος II).

E. Rich και K. Knight, *Artificial Intelligence*, δεύτερη έκδοση, McGraw–Hill, 1991 (μέρος I).

Τα εν λόγω μέρη των προτεινόμενων βιβλίων καλύπτουν και άλλες μεθόδους αναζήτησης, πέραν των τριών που έχουμε συζητήσει σε αυτό το κεφάλαιο. Είναι χρήσιμο να γνωρίζετε και αυτές τις μεθόδους.

Αναπαράσταση Γνώσης

Σκοπός

Όπως ήδη γνωρίζετε, η γνώση αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των συστημάτων ΤΝ. Επομένως, η αναπαράσταση γνώσης (knowledge representation) είναι μία πολύ σημαντική περιοχή της ΤΝ. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην αναπαράσταση γνώσης σε γενικές γραμμές, κυρίως σε σχέση με τα είδη γνώσης που απαρτίζουν κάποια εμπειρογνωμοσύνη, και τις επιθυμητές πρακτικές και θεωρητικές ιδιότητες μιας αναπαράστασης. Στα κεφάλαια 4–6 θα εξετάσουμε τέσσερις βασικούς φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης, την κατηγορηματική λογική, τα δίκτυα συσχέτισης, τα πλαίσια και τους κανόνες παραγωγής.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο θα μπορείτε να:

- κάνετε ένα πρακτικό διαχωρισμό ανάμεσα σε δεδομένα, πληροφορία και γνώση,
- περιγράψετε, σε γενικό επίπεδο, τα είδη γνώσης που αποτελούν κάποια εμπειρογνωμοσύνη,
- αναφερθείτε στις επιθυμητές πρακτικές και θεωρητικές ιδιότητες μίας αναπαράστασης γνώσης,
- αναφερθείτε στα κύρια σημεία διαφωνίας στην αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης.

Έννοιες κλειδιά

- | | |
|---|---|
| • διαχωρισμός δεδομένων, πληροφορίας και γνώσης | • διευκόλυνση συμβολισμού |
| • είδη γνώσης σε εμπειρογνωμοσύνη | • ευρετική επάρκεια |
| • αναπαράσταση γνώσης | • εγκυρότητα |
| • φορμαλισμός/γλώσσα αναπαράστασης γνώσης | • πληρότητα |
| • δύναμη εκφρασιμότητας | • αποφασισιμότητα |
| • λογική επάρκεια | • αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης |

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Η γνώση αποτελεί κεντρικό στοιχείο των συστημάτων ΤΝ. Η αυτοματοποίηση της γνώσης μέσα στα πλαίσια ευφώνων υπολογιστικών συστημάτων συνεπάγεται την αναπαράστασή της με τυπικό, συμβολικό τρόπο. Για μεγάλη χρονική περίοδο η αναπαράσταση γνώσης αποτελούσε τη σημαντικότερη ερευνητική περιοχή του πεδίου και μέχρι σήμερα εξακολουθεί να έχει κεντρική θέση, όπου συνεχώς αναπτύσσονται ή/και βελτιώνονται διάφοροι λογισμοί (logics) ή πιο γενικά φορμαλισμοί (formalisms), για την αναπαράσταση και συλλογισμό με γνώση. Αυτή η έρευνα αποτελεί μέρος της βασικής έρευνας σε ΤΝ. Οι φορμαλισμοί αναπαράστασης αναπτύσσονται ανεξάρτητα κάποιας κατηγορίας προβλημάτων ή εφαρμογών.

Αρκετοί από τους φορμαλισμούς αναπαράστασης έχουν υλοποιηθεί σε μορφή γλωσσών προγραμματισμού, οι οποίες ονομάζονται γλώσσες αναπαράστασης γνώσης (knowledge representation languages). Μία από αυτές τις γλώσσες, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως επί του παρόντος είναι η CLIPS (Giarratano and Riley, 1994), η οποία αναπτύχθηκε από τη NASA. Η CLIPS συνδυάζει κανόνες παραγωγής και αντικείμενα και οι ρίζες της βρίσκονται στη γλώσσα OPS5, η οποία επίσης χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής. Γλώσσες αναπαράστασης γνώσης, όπως η CLIPS και η OPS5, έχουν υψηλότερη αφαιρετικότητα από γενικές γλώσσες προγραμματισμού. Τέτοιες γλώσσες είναι κατεξοχήν δηλωτικές και όχι διαδικασιακές. Για να θεωρείται μία γλώσσα προγραμματισμού ως γλώσσα αναπαράστασης γνώσης, θα πρέπει να ενσωματώνει κάποιο φορμαλισμό αναπαράστασης γνώσης και φυσικά να παρέχει τους σχετικούς μηχανισμούς συλλογισμού. Επομένως, η PROLOG μπορεί να θεωρηθεί ως γλώσσα αναπαράστασης γνώσης, αλλά όχι η LISP, παράλο που η τελευταία έχει σχεδιαστεί ειδικά για την υποστήριξη εφαρμογών σε ΤΝ. Βασικό στοιχείο της LISP είναι η συμβολική έκφραση. Αυτό την κάνει ιδιαίτερος κατάλληλη για την υλοποίηση γλωσσών αναπαράστασης γνώσης. Συγκεκριμένα, η OPS5 έχει υλοποιηθεί σε LISP. Η σύνταξη της OPS5, καθώς και της CLIPS, πηγάζει από τη LISP.

Στα πλαίσια αυτού του τόμου θα εστιάσουμε την προσοχή μας σε βασικούς φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης και δεν θα αναφερθούμε καθόλου σε συγκεκριμένες γλώσσες αναπαράστασης. Οι βασικοί φορμαλισμοί μπορούν να συνδυαστούν με ποικίλους τρόπους για να επιτευχθεί η απαραίτητη εκφραστικότητα για συγκεκριμένο γνωστικό πεδίο. Πριν αρχίσουμε τη συζήτησή μας

πάνω σε αυτούς τους τρόπους αναπαράστασης γνώσης θα αναφερθούμε, σε πιο γενικό επίπεδο, στα διάφορα είδη γνώσης που συνήθως αποτελούν κάποια εμπειρογνωμοσύνη, αφού πρώτα κάνουμε έναν πρακτικό διαχωρισμό ανάμεσα σε δεδομένα, πληροφορία και γνώση (ενότητα 3.1). Επίσης θα καταγράψουμε τις επιθυμητές πρακτικές και θεωρητικές ιδιότητες μίας αναπαράστασης γνώσης (ενότητα 3.2) και θα κάνουμε μία σύντομη αναφορά στην αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης (ενότητα 3.3). Στη συνέχεια θα διαπραγματευτούμε τέσσερις βασικούς φορμαλισμούς αναπαράστασης, την κατηγορηματική λογική (κεφάλαιο 4), τα δίκτυα συσχέτισης (κεφάλαιο 5), τα πλαίσια (κεφάλαιο 5) και τους κανόνες παραγωγής (κεφάλαιο 6). Κάθε φορμαλισμός προσδιορίζει ένα συμβολικό τρόπο έκφρασης της γνώσης, καθώς επίσης και τους σχετικούς μηχανισμούς συλλογισμού. Η απλότητα στον τρόπο έκφρασης συνήθως συνοδεύεται με απλότητα στον αντίστοιχο μηχανισμό συλλογισμού. Το αντίθετο συμβαίνει, όταν έχουμε έναν πλούσιο τρόπο έκφρασης, όπως για παράδειγμα τη φυσική γλώσσα, η οποία οδηγεί σε πολλούς και περίπλοκους μηχανισμούς συλλογισμού. Αφού μελετήσετε το παρόν κεφάλαιο, τα κεφάλαια 4–6 μπορούν να μελετηθούν σε οποιαδήποτε σειρά.

3.1 Γνώση

Αρχίζουμε την εισαγωγική ενότητα κάνοντας ένα πρακτικό διαχωρισμό ανάμεσα σε *δεδομένα*, *πληροφορία* και *γνώση*. Στη συνέχεια θα συζητήσουμε, σε γενικό επίπεδο, τα είδη γνώσης που αποτελούν κάποια εμπειρογνωμοσύνη.

3.1.1 Δεδομένα, πληροφορία και γνώση

Τα δεδομένα αφορούν συγκεκριμένες καταστάσεις ή οντότητες, συγκεκριμένα γεγονότα, κτλ. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε *βάσεις δεδομένων*, όπως για παράδειγμα μία σχεσιακή βάση δεδομένων, η οποία καταγράφει πραγματικά περιστατικά γρίπης. Συνήθως, βάσεις δεδομένων περιέχουν μεγάλο όγκο στοιχείων. Η χρησιμότητα ενός απομονωμένου δεδομένου είναι πολύ περιορισμένη. Το γεγονός ότι ο Γιάννης είχε ένα σοβαρό περιστατικό γρίπης τον Ιανουάριο του 1998 έχει άμεση σημασία μόνο για τον ίδιο. Όμως, η πληροφορία ότι τον Ιανουάριο του 1998 καταγράφηκαν τριπλάσια περιστατικά γρίπης από το Δεκέμβριο του 1997 έχει περισσότερη σημασία, μια και μπορεί να οδηγήσει στη διερεύνηση πιθανών παραγόντων για την ξαφνική αύξηση στον αριθμό των περιστατικών. Αυτή η πληροφορία δεν αποθηκεύεται απευθείας στη βάση δεδομένων, αλλά *παράγεται* από ένα σύνολο δεδομένων. Είναι ένα είδος περίληψης αυτών των δεδομένων. Επομένως, είναι σε υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας σε σχέση με τα δεδομένα. Τα δεδομένα είναι στατικά, ενώ η πληροφορία είναι δυναμική. Παράγεται με δυναμικό τρόπο από το τρέχον σύνολο δεδομένων. Όμως η πληροφορία δεν παύει να είναι συγκεκριμένη, έστω και αν είναι σε πιο υψηλό επίπεδο αφαιρετικότητας από τα δεδομένα. Στο παράδειγμά μας, η εν λόγω πληροφορία αναφέρεται σε συγκεκριμένη περίοδο. Η πληροφορία απορρέει από ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων, το οποίο αποτελεί την εμβέλεια της αλήθειας της (truth scope).

Και ερχόμαστε στη γνώση. Η εμβέλεια της αλήθειας της γνώσης πρέπει να είναι καθολική και όχι απλώς ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων. Η γνώση αποτελείται από γενικεύσεις, που καλύπτουν τα υπάρχοντα σχετικά δεδομένα, καθώς επίσης και μελλοντικά δεδομένα. Επομένως, η γνώση βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας από την πληροφορία. Στο παράδειγμά μας, γνώση μπορεί να αποτελεί η πρόταση «Εάν υπάρχει απότομη πτώση της θερμοκρασίας, τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για μία επιδημία γρίπης». Εδώ εκφράζεται μία γενικής εμβέλειας παρατήρηση, η οποία καλύπτει όλα τα σχετικά συγκεκριμένα περιστατικά. Η γνώση είναι υπεράνω των δεδομένων, αφού η γνώση εξηγεί τα δεδομένα, δεν

απορρέει από αυτά (όπως η πληροφορία η οποία τα συνοψίζει).

Η γνώση, κυρίως η εμπειρική γνώση, είναι δυναμική όπως και η πληροφορία και έγκειται σε αναθεωρήσεις. Οι «καθολικές αλήθειες» (universal truths), που αποτελούν τη γνώση, δεν είναι στατικές, αλλά υπόκεινται σε μεταβολές, για να έλθουν πιο κοντά στην πραγματική αλήθεια. Ουσιαστικά το τι εννοούμε με τον όρο «γνώση» είναι «πεποιθήσεις (beliefs) σε γενικό επίπεδο». Οι πεποιθήσεις είναι μεταβαλλόμενες και επομένως έχουν πεπερασμένη χρονική υπόσταση, ενώ θεωρητικά η (πραγματική) γνώση είναι διαχρονική.

Από πρακτικής απόψεως, αν συγκρίνουμε βάσεις δεδομένων με βάσεις γνώσης (knowledge bases) συστημάτων ΤΝ θα παρατηρήσουμε ότι οι βάσεις δεδομένων είναι πολύ μεγαλύτερες σε μέγεθος (η σημερινή τεχνολογία επιτρέπει τη συλλογή και αποθήκευση μεγάλου όγκου στοιχείων) και αυτό είναι αυτονόητο, αφού η γνώση είναι σε πολύ υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας. Όμως οι βάσεις γνώσης είναι πολύ πλουσιότερες σε δομή. Συνήθως, οι διακρίσεις που χρειάζεται να γίνουν σε μία βάση δεδομένων είναι απλές σε σχέση με μία βάση γνώσης όπου υπάρχουν πολλές και περίπλοκες σημασιολογικές διακρίσεις.

Συνοψίζοντας, από τα δεδομένα απορρέουν πληροφορίες, από τις οποίες μπορεί να γεννηθεί γνώση. Πρόσφατα έχει αναπτυχθεί το πεδίο της *εξόρυξης δεδομένων* (data mining), στόχος του οποίου είναι η ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων με σκοπό τον εντοπισμό προτύπων και σε τελική ανάλυση την ανακάλυψη γνώσης.

Διαφοροποίηση Δεδομένων, Πληροφορίας και Γνώσης

- **Δεδομένα:** Στατικά, πολύ συγκεκριμένα, περιορισμένης χρησιμότητας από μόνα τους.
- **Πληροφορία:** Δυναμική, συνοψίζει δεδομένα, σε υψηλότερο επίπεδο αφαιρετικότητας από δεδομένα αλλά επίσης συγκεκριμένη.
- **Γνώση:** Δυναμική, καθολικής εμβέλειας, σε αφηρημένο επίπεδο.

Έστω ότι το γνωστικό πεδίο είναι η διδασκαλία προγραμματισμού σε πανεπιστημιακά προγράμματα σπουδών στην Πληροφορική. Δώστε ένα παράδειγμα δεδομένων, πληροφορίας και γνώσης αναφορικά με αυτό το πεδίο.

Δραστηριότητα 3.1

3.1.2 Εμπειρογνωμοσύνη: είδη γνώσης

Μετά τον πιο πάνω πρακτικό διαχωρισμό ανάμεσα σε δεδομένα, πληροφορία και γνώση, ας εξετάσουμε, σε γενικό επίπεδο, τα είδη γνώσης που συνήθως αποτελούν την εμπειρογνωμοσύνη κάποιου έμπειρου ατόμου. Καταρχήν ένας έμπειρος άνθρωπος κατέχει γνώση συγκεκριμένη του τομέα του, καθώς επίσης γνώση έξω από τον τομέα του. Η γνώση που είναι συγκεκριμένη του τομέα του αποτελείται από τα εξής μέρη:

- *Θεωρητική γνώση:* Αυτή αποτελείται από δομικά και σχεσιακά μοντέλα, για παράδειγμα μαθηματικά μοντέλα, καθώς επίσης ταξινομίες και μερονομίες εννοιών. Η θεωρητική γνώση είναι η *βαθιά* γνώση, δηλαδή η γνώση των πρωτευόντων αρχών (first principles), που διέπουν το γνωστικό πεδίο.
- *Γνώση από πηγές αναφοράς:* Αυτή προέρχεται από έγγραφα, επιστημονικές δημοσιεύσεις και άλλους έμπειρους.
- *Πρακτική ή λειτουργήσιμη γνώση:* Αυτή είναι η γνώση που αφορά άμεσα την επίλυση προβλημάτων. Αποτελείται από διαδικασιακή γνώση (π.χ. γνώση συγκεκριμένων μεθόδων επίλυσης προβλημάτων), ευρετικά, καθώς επίσης την ούτω καλούμενη «μεταγλωττισμένη» (compiled) ή «συμπιεσμένη» (compressed) γνώση. Θα συζητήσουμε διάφορες ερμηνείες του όρου μεταγλωττισμένη γνώση στο Μέρος II του τόμου. Εδώ μπορούμε να δώσουμε ένα απλό παράδειγμα. Ένας κανόνας της μορφής «Εάν A, τότε B» θεωρείται μεταγλωττισμένη γνώση, επειδή η τεκμηρίωση του κανόνα, δηλαδή η γνώση (σε βαθύτερο επίπεδο) που συνδέει το προκείμενο A με το συμπέρασμα B έχει αφαιρεθεί. Από πρακτικής απόψεως, η τεκμηρίωση δεν χρειάζεται για την επίλυση προβλημάτων, ή τουλάχιστο για την επίλυση της πλειοψηφίας των προβλημάτων. Η χρησιμότητα αυτής της βαθύτερης γνώσης είναι κυρίως στο επίπεδο τεκμηρίωσης των λύσεων. Επομένως, η αφαίρεσή της οδηγεί στην πιο αποδοτική και αποτελεσματική παραγωγή λύσεων, αφού ο συλλογισμός δεν περιπλέκεται με αχρείαστη λεπτομέρεια. Το σώμα της λειτουργήσιμης (operational) γνώσης, π.χ. το σύνολο των κανόνων (σε μορφή συνδέσμων), είναι πολύ μικρότερο σε όγκο από την ολότητα της γνώσης (κανόνες και τεκμηριώσεις αυτών). Παρόλο που η εμπλοκή της «βαθύτερης» γνώσης στην επίλυση της πλειοψηφίας των προβλημάτων δεν είναι αναγκαία, η εμπλοκή της στην επίλυση δύσκολων προβλημάτων του τομέα μπορεί να είναι υψίστης σημασίας. Για την επίλυση ιδιαίτερος δύσκολων προβλημάτων συνήθως χρειάζεται να επικαλεστούμε πρωτεύοντες αρχές του πεδίου. Για παράδειγμα, η

βαθιά γνώση προσδιορίζει τις διάφορες υποθέσεις (assumptions) που διέπουν την εφαρμογή ενός κανόνα. Η γνώση αυτών των υποθέσεων μας επιτρέπει να αξιολογήσουμε τη χρήση του κανόνα σε συγκεκριμένα συμφραζόμενα και να αποφασίσουμε κατά πόσο η παραβίασή του ενδείκνυται. Δηλαδή παρόλο που το προκείμενό του ευσταθεί, εντούτοις το συμπέρασμά του δεν πρέπει να εφαρμοστεί, ή παρόλο που το προκείμενό του δεν ευσταθεί, εντούτοις το συμπέρασμά του θα πρέπει να εφαρμοστεί. Αυτή η ικανότητα (συλλογισμού με βάση τις τεκμηριώσεις κανόνων) κάνει τον επιλυτή προβλημάτων πιο ευέλικτο και, σε τελική ανάλυση, η ανώτερη ικανότητα επίλυσης προβλημάτων διαφαίνεται σε σχέση με τα δύσκολα προβλήματα.

• *Γνώση Περιστατικών*: Έρευνες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι σε μεγάλο βαθμό η εμπειρογνωμοσύνη απορρέει από εκτενή γνώση πραγματικών περιστατικών του προβλήματος. Η εμπειρογνωμοσύνη αποκτάται μέσω εμπειρίας και επομένως ο έμπειρος έχει εκτενή εμπλοκή στην επίλυση προβλημάτων. Ως εκ τούτου έχει καταγράψει στη μνήμη του μία πληθώρα προηγούμενων σχετικών περιστατικών. Με βάση τον πρακτικό διαχωρισμό ανάμεσα σε δεδομένα, πληροφορία και γνώση που κάναμε πιο πάνω, συγκεκριμένα περιστατικά αποτελούν δεδομένα και όχι γνώση. Όμως, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ένας μεγάλος αριθμός περιστατικών μπορεί να οδηγήσει στην ανακάλυψη γνώσης, όπως για παράδειγμα στη συχνότητα περιστατικών και στον εντοπισμό τοπικών συνθηκών που διέπουν μία κατηγορία περιστατικών.

• *Μετα-γνώση*: Η «γνώση πάνω σε γνώση» αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέρος της εμπειρογνωμοσύνης. Μετα-γνώση υπάρχει σε διάφορα επίπεδα και έχει διάφορες όψεις. Για την επίλυση προβλημάτων οι σημαντικές όψεις είναι οι εξής:

(α) Η *στρατηγική όψη* (strategic view), όπου η μετα-γνώση ενσωματώνει στρατηγικές για την αποδοτική και αποτελεσματική εφαρμογή της γνώσης σε χαμηλότερα επίπεδα.

(β) Η *στοχαστική όψη* (reflective view), όπου η μετα-γνώση είναι η γνώση του τι γνωρίζω και κατά συνέπεια του τι δεν γνωρίζω, δηλαδή είναι η γνώση των ορίων της γνώσης μου και επομένως των ορίων των ικανότητων μου ως επιλυτή προβλημάτων.

Η στρατηγική μετα-γνώση εμπλέκεται άμεσα στην επίλυση προβλημάτων, ενώ η χρησιμότητα της στοχαστικής μετα-γνώσης, σε αυτά τα συμφραζόμενα

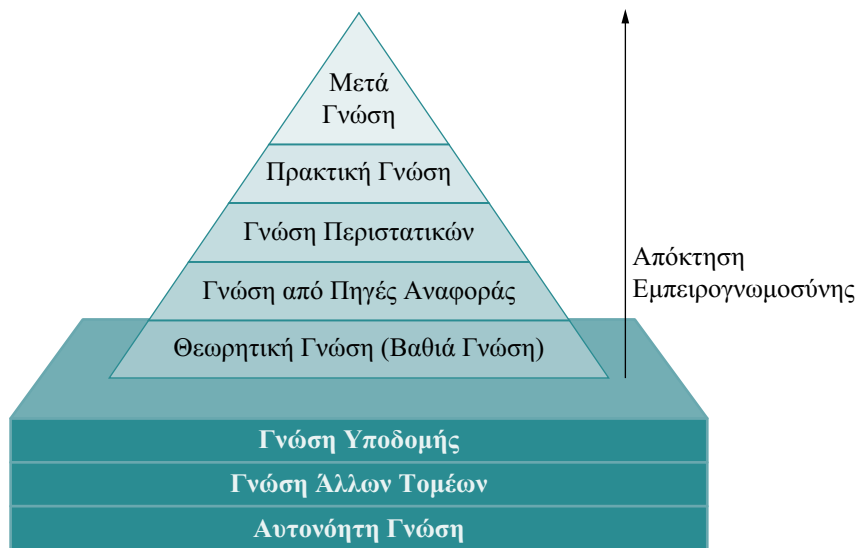
μενα, είναι κυρίως στην εντόπιση προβλημάτων, που δεν ανήκουν στο εν λόγω πεδίο εμπειρογνωμοσύνης.

Πέραν της εξιδεικευμένης γνώσης, ένας έμπειρος κατέχει και άλλη γνώση, όπως:

- *Γνώση «υποδομής»* (background knowledge), η οποία είναι θεμελιώδης γνώση, άμεσα σχετιζόμενη με το γνωστικό πεδίο και που ο καθένας που ασκεί το συγκεκριμένο επάγγελμα πρέπει να γνωρίζει. Για παράδειγμα, οποιοσδήποτε γιατρός, οποιασδήποτε ειδικότητας, πρέπει να γνωρίζει ανατομία.
- *Γνώση άλλων τομέων*, όχι απαραίτητα άμεσα σχετιζόμενων με το γνωστικό πεδίο της εμπειρογνωμοσύνης. Αναφορικά με στενά συγγενικούς τομείς της εν λόγω εμπειρογνωμοσύνης, αυτή η γνώση παρέχει τους συνδετικούς κρίκους και διαφοροποιήσεις ανάμεσα σε αυτά τα συγγενικά πεδία. Επομένως, με βάση αυτή τη γνώση μπορεί να αναγνωριστεί κατά πόσον το υπό εξέταση πρόβλημα δεν ανήκει στο εν λόγω πεδίο, αλλά σε κάποιο συγγενικό πεδίο.
- *Αυτονόητη γνώση* (commonsense knowledge). Αυτή αποτελείται από γενική γνώση για τον κόσμο, όπως για παράδειγμα γνώση της ανθρώπινης φυσιολογίας και συμπεριφοράς, της χρήσης και κατανόησης της φυσικής γλώσσας, της χημείας και φυσικής των υλών, των ιδιοτήτων του χώρου και χρόνου, κτλ. Το εύρος της αυτονόητης γνώσης (και αυτονόητου συλλογισμού) είναι τέτοιο που η αυτοματοποίησή της, ανεξάρτητα κάποιου στόχου ή εργασίας, αποτελεί ένα πολύ δύσκολο έργο. Το έργο εξακολουθεί να είναι δύσκολο αλλά απλοποιείται σε μεγάλο βαθμό, εάν η αυτονόητη γνώση περιορίζεται σε αυτήν που άπτεται άμεσα της επίλυσης προβλημάτων κάποιου τομέα.
- *Γνώση αναφορικά με τις έννοιες αιτία και συνέπεια*. Η αιτιολογική σχέση (causal relation) αφορά άμεσα όλα τα πεδία όπου η αλλαγή και κατά συνέπεια ο συλλογισμός αναφορικά με αλλαγή (reasoning about change), έχει σημασία. Αλλαγές εξηγούνται μέσω αιτιολογικών σχέσεων, δηλαδή σχέσεων αιτίας και συνέπειας. Η αιτιολογική σχέση αφορά άμεσα προβλήματα διάγνωσης, αποσφαλμάτωσης, πρόγνωσης, σχεδίασης, κτλ. Η βασική αρχή που διέπει μία αιτιολογική σχέση είναι ότι η συνέπεια δεν μπορεί να προηγείται της αιτίας της. Σε γενικό επίπεδο ένας χρειάζεται να κατανοεί τη σημασιολογία της αιτιολογικής σχέσης (κυρίως από την πρακτική σκοπιά που αφορά την επίλυση προβλημάτων και όχι από τη φιλοσοφική σκοπιά όπου υπάρχουν διστάμενες απόψεις για το τι είναι η αιτιολογική σχέση). Σε συγκεκριμένο επίπεδο, ένας χρειάζεται να γνωρίζει τις συγκεκριμένες αιτιολογικές σχέσεις που αφορούν το γνωστικό του πεδίο.

Όπως βλέπετε, ένας έμπειρος κατέχει διάφορα, αλληλοεπιδρώντα, στρώμα-

τα γνώσης, τα οποία οργανώνονται σε μία πυραμίδα γνώσης (βλέπε Σχήμα 3.1). Τα περιεχόμενα των διαφόρων στρωμάτων μεταβάλλονται με δυναμικό τρόπο μέσω μηχανισμών αυτοβελτίωσης (όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η γνώση είναι δυναμική και όχι στατική). Η πυραμίδα της γνώσης που αποτελεί την εμπειρογνωμοσύνη κτίζεται σταδιακά αρχίζοντας από τα χαμηλότερα στρώματα και προχωρώντας προς τα πάνω.



Σχήμα 3.1

Πυραμίδα Γνώσης

Οι μεθοδολογίες Τεχνολογίας Γνώσης (Knowledge Engineering), όπως η μεθοδολογία CommonKADS, την οποία θα συζητήσουμε στο Μέρος II του τόμου, στοχεύουν στην απόσπαση (elicitation) κάποιου μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης, δηλαδή στην κατανόηση και εξωτερίκευση των διαφόρων τύπων γνώσης που *απαρτίζουν* την εν λόγω εμπειρογνωμοσύνη και των αλληλεπιδράσεών τους. Το μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης εκφράζεται σε ιδεατό επίπεδο ή *επίπεδο γνώσης* (knowledge level) μέσω οντολογιών. Μία *οντολογία* (ontology) αποτελείται από ένα σύνολο οντοτήτων (εννοιών ή αντικειμένων), τις ιδιότητες αυτών και τις μεταξύ τους σχέσεις. Η οντολογία επίσης ορίζει τους μετασχηματισμούς ανάμεσα σε αυτές τις οντότητες που συμβαίνουν κατά την εκτέλεση κάποιας εργασίας και περιγράφει τη γνώση που διέπει τέτοιους μετασχηματισμούς. Η αυτοματοποίηση του μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης *συνεπάγεται* την αναπαράστασή του σε *επίπεδο συμβόλων* (symbol level). Οι βασικοί φορμαλισμοί αναπαράστασης γνώσης που θα εξετάσουμε στα κεφάλαια 4–6 κατατάσσονται στο επίπεδο συμβόλων.

Δραστηριότητα 3.2

Έστω ότι το πεδίο εμπειρογνωμοσύνης είναι ο προγραμματισμός σε υπολογιστές. Πιθανότατα να είστε ήδη ένας έμπειρος προγραμματιστής. Με βάση τη δική σας εμπειρογνωμοσύνη σε αυτό το πεδίο, αναφέρετε ένα δείγμα για το κάθε είδος γνώσης, που συζητήσαμε στην υποενότητα 3.1.2.

Στην ενότητα 3.1 κάναμε ένα πρακτικό διαχωρισμό ανάμεσα σε δεδομένα, πληροφορία και γνώση και αναφερθήκαμε στα είδη γνώσης, που απαρτίζουν κάποια εμπειρογνωμοσύνη. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τις επιθυμητές πρακτικές και θεωρητικές ιδιότητες μίας αναπαράστασης γνώσης.

3.2 Επιθυμητές πρακτικές και θεωρητικές ιδιότητες

Μία αναπαράσταση γνώσης μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορα κριτήρια, τα οποία θα αναλύσουμε σε αυτή την ενότητα. Καταρχάς η *δύναμη της εκφρασιμότητας* (power of expression) μίας γλώσσας είναι τα είδη των προτάσεων, που αυτή η γλώσσα μας επιτρέπει να σχηματίσουμε, οι σημασιολογικοί διαχωρισμοί (semantic distinctions) που μας επιτρέπει να διατυπώσουμε και σε τελική ανάλυση το τι μας επιτρέπει η γλώσσα να εκφράσουμε. Μία φυσική γλώσσα έχει απεριόριστη εκφρασιμότητα, ενώ μία τυπική γλώσσα, όπως πολύ καλά γνωρίζουμε από τις γλώσσες προγραμματισμού, έχει περιορισμένη εκφρασιμότητα. Σε τυπικές γλώσσες δεν υπάρχουν διαφορούμενα και τυχόν πλεονασμός, αν υπάρχει, υπάρχει σε σχετικά μικρό βαθμό.

Ο λόγος εξαιτίας του οποίου θέλουμε να αναπαραστήσουμε ένα σώμα γνώσης είναι για να μπορούμε να διεξάγουμε συλλογισμό αναφορικά με αυτή τη γνώση με στόχο την επίλυση σχετικών προβλημάτων. Επομένως, η ικανότητα αποδοτικού και αποτελεσματικού συλλογισμού είναι εξίσου σημαντική, εάν όχι πιο σημαντική, από την ικανότητα να εκφράσουμε την εν λόγω γνώση. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ένας φορμαλισμός αναπαράστασης γνώσης είναι μία σύζευξη ανάμεσα σε ένα συμβολικό τρόπο έκφρασης της γνώσης (στατικό μέρος) και ένα σύνολο μηχανισμών συλλογισμού (δυναμικό μέρος). Για να υλοποιηθεί ένας τέτοιος φορμαλισμός χρειάζεται καταρχάς να τυποποιηθεί ο συμβολικός τρόπος έκφρασης, δηλαδή να του δοθεί τυπική σύνταξη και σημασιολογία.

3.2.1 Πρακτικές ιδιότητες

Οι επιθυμητές πρακτικές ιδιότητες μίας αναπαράστασης γνώσης είναι οι ακόλουθες.

ΛΟΓΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ

Μία αναπαράσταση θεωρείται ότι έχει λογική επάρκεια (logical adequacy), εάν η δύναμη της εκφρασιμότητάς της είναι επαρκής, δηλαδή επιτρέπει όλους τους διαχωρισμούς, που χρειάζονται. Για παράδειγμα, όλες οι γλώσσες προγραμματισμού έχουν λογική επάρκεια σε σχέση με τους διαχωρισμούς που αφορούν την αλγοριθμική διατύπωση λύσεων.

Οι γλώσσες προγραμματισμού όμως, δεν επιδεικνύουν συνήθως την ίδια διευκόλυνση εκφρασιμότητας σε σχέση με κάποια κατηγορία προβλημάτων. Δεν διευκολύνουν δηλαδή εξίσου καλά την έκφραση αυτών που χρειάζονται. Για παράδειγμα, μπορεί τα διάφορα είδη προτάσεων, που παρέχονται να είναι σε αρκετά χαμηλότερο επίπεδο από το σχετικό ιδεατό επίπεδο. Κάτι τέτοιο μπορεί να σημαίνει ότι πρώτα θα πρέπει να δημιουργηθούν, από τα παρεχόμενα είδη προτάσεων, τα είδη των προτάσεων που χρειάζονται και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την έκφραση της σχετικής γνώσης. Εάν αυτό στην ουσία συνεπάγεται τη δημιουργία μίας νέας αναπαράστασης, προφανώς η χρήση της αρχικής αναπαράστασης είναι αντιπαραγωγική, σε σχέση με το εν λόγω σώμα γνώσης. Συνεχίζοντας το παράδειγμά μας, έστω ότι η κατηγορία προβλημάτων, η οποία μας ενδιαφέρει, αφορά την επεξεργασία λιστών. Διαδικασιακές και συναρτησιακές γλώσσες έχουν λογική επάρκεια, αλλά συγκριτικά, συναρτησιακές γλώσσες έχουν πολύ υψηλότερη διευκόλυνση έκφρασης, μια και οι τελευταίες έχουν ενσωματωμένη την έννοια της λίστας και παρέχουν πολλούς μηχανισμούς για την επεξεργασία λιστών.

Η διευκόλυνση έκφρασης εξαρτάται πόσο κοντά είναι το επίπεδο της αναπαράστασης με το ιδεατό επίπεδο του συγκεκριμένου σώματος γνώσης. Δηλαδή, πόσο κοντά είναι τα στοιχεία της αναπαράστασης με τα στοιχεία της οντολογίας, που υπογραμμίζει την εν λόγω γνώση. Ταύτιση των δύο επιπέδων σημαίνει πλήρη διευκόλυνση έκφρασης. Εάν μία αναπαράσταση έχει λογική επάρκεια, αλλά χαμηλή διευκόλυνση έκφρασης, μία λύση είναι να φέρουμε την αναπαράσταση πιο κοντά στη γνώση, όπως έχουμε ήδη συζητήσει ή να φέρουμε τη γνώση πιο κοντά στην αναπαράσταση, δηλαδή να μετασχηματίσουμε το σώμα της γνώσης σε κάποιο ισοδύναμο σώμα που νοητικά βρίσκεται πιο κοντά στην αναπαράσταση. Και οι δύο αυτές λύσεις συνε-

πάγονται κόστος, το ύψος του οποίου μπορεί να είναι αποτρεπτικό για τη χρήση της εν λόγω αναπαράστασης. Έτσι, ερχόμαστε στη δεύτερη επιθυμητή ιδιότητα μίας αναπαράστασης γνώσης.

ΔΙΕΥΚΟΛΥΝΣΗ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΥ Η ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ

Η διευκόλυνση συμβολισμού ή η αποδοτικότητα απόκτησης (notational convenience or acquisitional efficiency) είναι πολύ σημαντική ιδιότητα από πρακτικής απόψεως. Συνήθως ο όγκος της εμπλεκόμενης γνώσης είναι μεγάλος και επομένως είναι αυτονόητο ότι όσο πιο κοντά είναι το επίπεδο της αναπαράστασης στο επίπεδο της γνώσης, τόσο περισσότερο διευκολύνεται η απόκτηση της γνώσης και η έκφρασή της στον εν λόγω συμβολισμό. Συνήθως, σε πρώτη φάση χρειάζεται να αποκτηθεί ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του όλου σώματος της γνώσης, με βάση το οποίο προσδιορίζεται η οντολογία, που διέπει αυτή τη γνώση. Η οντολογία αποτελεί την ενδιάμεση ή μεσολαβητική αναπαράσταση (mediating representation), η οποία χρειάζεται να αντιστοιχιστεί με το συμβολισμό της δεδομένης αναπαράστασης για να διευκολυνθεί η απόκτηση όλου του σώματος της γνώσης. Επομένως, είναι σημαντικό η αναπαράσταση να είναι ευκολοκατανόητη από τους ανθρώπους και να επιτρέπει την επιθεώρηση της γνώσης (σε αυτή τη μορφή), ακόμη και αν κάποιος δε γνωρίζει πώς αυτή θα χρησιμοποιηθεί.

Λογική επάρκεια και διευκόλυνση συμβολισμού αφορούν τη δημιουργία και συντήρηση μίας βάσης γνώσης. Η τρίτη επιθυμητή πρακτική ιδιότητα αφορά τη χρήση της βάσης γνώσης.

ΕΥΡΕΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ

Ευρετική επάρκεια (heuristic adequacy) ονομάζεται η ικανότητα ανάκλησης από μία (εκτενή) βάση γνώσης, των κομματιών αυτής της γνώσης που αφορούν το υπό εξέταση πρόβλημα, ούτως ώστε ο συλλογισμός αναφορικά με τη παραγωγή της λύσης του προβλήματος να είναι αποδοτικός. Η βάση γνώσης είναι ένας μεγάλος χώρος αναζήτησης. Επομένως, ο συλλογισμός θα πρέπει να καθοδηγείται από αποτελεσματικά ευρετικά. Αυτή η ιδιότητα αφορά τους μηχανισμούς συλλογισμού της αναπαράστασης. Συνήθως υπάρχει μία αντίστροφη σχέση ανάμεσα στη δύναμη εκφρασιμότητας και την ευρετική επάρκεια. Η απλότητα έκφρασης συνδέεται με υψηλή ευρετική επάρκεια, ενώ η ευρετική επάρκεια μειώνεται, όταν η δύναμη της εκφρασιμότητας υψώνεται.

Πρακτικές Ιδιότητες μίας Αναπαράστασης

- **Λογική επάρκεια:** Μπορούμε να εκφράσουμε ο,τιδήποτε θέλουμε να εκφράσουμε; Μπορούμε δηλαδή να κάνουμε όλους τους σημασιολογικούς διαχωρισμούς;
- **Διευκόλυνση συμβολισμού ή αποδοτικότητα απόκτησης:** Πόσο κοντά είναι το επίπεδο της αναπαράστασης στο επίπεδο της γνώσης;
- **Ευρετική επάρκεια:** Πόσο διευκολύνεται η ανάκληση της γνώσης που άπτεται κάποιου προβλήματος, ούτως ώστε να εξάγονται τα σχετικά συμπερασματικά πορίσματα με αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο;

Η λογική επάρκεια και η διευκόλυνση συμβολισμού αφορούν τη δημιουργία και συντήρηση μίας βάσης γνώσης, ενώ η ευρετική επάρκεια αφορά τη χρήση της για την επίλυση προβλημάτων.

3.2.2 Θεωρητικές ιδιότητες

Οι θεωρητικές ιδιότητες αφορούν το δυναμικό μέρος της αναπαράστασης, το μηχανισμό συλλογισμού ή τους κανόνες εξαγωγής συμπερασματικών πορισμάτων. Αυτοί οι κανόνες μπορούν να εφαρμοστούν σε μία βάση γνώσης (η οποία έχει δομηθεί σύμφωνα με το συμβολικό τρόπο έκφρασης που προνοεί η δεδομένη αναπαράσταση), σε σχέση με τα δεδομένα κάποιου προβλήματος, για την επίλυση αυτού του προβλήματος. Η βάση γνώσης αντιπροσωπεύει ένα «μικρο-κόσμο», ο οποίος θεωρούμε ότι είναι συνεπής, δηλαδή δεν περιέχει αντιλογίες. Η διευκόλυνση του ελέγχου εγκυρότητας μίας βάσης γνώσης μπορεί επίσης να θεωρηθεί μία σημαντική πρακτική ιδιότητα της αναπαράστασης. Οι επιθυμητές θεωρητικές ιδιότητες είναι οι ακόλουθες.

ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑ

Εγκυρότητα (soundness) σημαίνει ότι τα συμπερασματικά πορίσματα που εξάγονται είναι έγκυρα, δηλαδή αντιστοιχούν στην «πραγματικότητα» του μικρο-κόσμου που αναπαριστά η βάση γνώσης. Επομένως, δεν μπορούν να εξαχθούν ταυτόχρονα δύο αντικρουόμενα συμπεράσματα, π.χ. p και η άρνηση του p ($\sim p$). Με άλλα λόγια ένας έγκυρος μηχανισμός συλλογισμού δεν μπορεί να οδηγήσει σε αναληθή συμπεράσματα από μία αληθή βάση γνώσης.

ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ

Ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασματικών πορισμάτων έχει πληρότητα (completeness), εάν για ο,τιδήποτε, το οποίο είναι αληθές στην εν λόγω «πραγματικότητα», ο μηχανισμός είναι σε θέση να αποδείξει ότι όντως έτσι είναι, χωρίς τη χρήση εξωγενών παραγόντων.

ΑΠΟΦΑΣΙΣΙΜΟΤΗΤΑ

Ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασματικών πορισμάτων έχει αποφασισιμότητα (decidability), εάν είναι σε θέση να απαντήσει σε οποιοδήποτε ερώτημα επαλήθευσης, θετικά ή αρνητικά. Εάν ο μηχανισμός δεν έχει πληρότητα, δεν μπορεί να έχει αποφασισιμότητα.

Οι ιδιότητες της εγκυρότητας και της πληρότητας είναι οι ελάχιστες επιθυμητές ιδιότητες για την εγγύηση της «ορθότητας» του συλλογισμού. Η ιδιότητα της αποφασισιμότητας είναι επίσης πολύ επιθυμητή, κυρίως από την υπολογιστική σκοπιά. Γενικά, όμως, η επίτευξη αποφασισιμότητας δεν είναι εφικτή. Για παράδειγμα, η αναπαράσταση της κατηγορηματικής λογικής δεν έχει αποφασισιμότητα. Εάν κάτι είναι αληθές, ο μηχανισμός συλλογισμού είναι σε θέση να αποδείξει τελικά ότι όντως έτσι είναι. Εάν όμως κάτι είναι αναληθές, ο μηχανισμός συλλογισμού μπορεί να μην τερματίσει ποτέ. Λόγω αυτής της ασυμμετρίας η κατηγορηματική λογική θεωρείται ότι έχει ημι-αποφασισιμότητα.

Οι πιο πάνω ιδιότητες βασίζονται στην υπόθεση ότι η βάση γνώσης είναι έγκυρη (συνεπής). Από πρακτικής απόψεως η επαλήθευση αυτής της υπόθεσης μπορεί να μην είναι εφικτή. Το ιδεώδες είναι να μπορεί να αυτοματοποιηθεί κάποιος μηχανισμός ο οποίος αυτόνομα να μπορεί να αποδεικνύει την εγκυρότητα μίας βάσης γνώσης. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατο για μια τυχαία βάση γνώσης διατυπωμένη σε κατηγορηματική λογική.

Θεωρητικές Ιδιότητες μίας Αναπαράστασης

- **Εγκυρότητα:** Δεν μπορούν να επαληθευτούν ταυτόχρονα p και $\sim p$.
- **Πληρότητα:** Για κάθε p που είναι αληθές, μπορεί όντως να αποδειχτεί, αυτόνομα, ότι έτσι είναι.
- **Αποφασισιμότητα:** Οποιοδήποτε ερώτημα επαλήθευσης μπορεί να απαντάται θετικά ή αρνητικά.

3.3 Αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης

Χάριν της ιστορίας, στην τελευταία ενότητα αυτού του κεφαλαίου θα αναφερθούμε στη διάσημη *αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης* (declarative/procedural controversy). Αυτή η αντιπαράθεση έλαβε χώρα κατά το αρχικό στάδιο εξέλιξης του πεδίου της αναπαράστασης γνώσης.

Οι υπέρμαχοι της περιγραφικής αναπαράστασης υποστήριζαν ότι μία αναπαράσταση πρέπει να δίνει έμφαση στη στατική όψη της γνώσης, δηλαδή το τι γνωρίζουμε για διάφορα αντικείμενα, γεγονότα, και τις σχέσεις τους, και γενικά τις καταστάσεις του «κόσμου». Συνοπτικά, περιγράφουμε το τι γνωρίζουμε για τον «κόσμο», ανεξάρτητα του τρόπου με τον οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η γνώση.

Ένα καθαρά περιγραφικό σώμα γνώσης διερμηνεύεται με βάση κάποιους γενικούς κανόνες συλλογισμού για την εξαγωγή συμπερασματικών πορισμάτων. Για παράδειγμα η κατηγορηματική λογική αποτελεί μία καθαρά περιγραφική αναπαράσταση, με γενικούς κανόνες συλλογισμού, όπως τον κανόνα *modus ponens*. Η γλώσσα PROLOG, που βασίζεται σε υποσύνολο της κατηγορηματικής λογικής είναι μία περιγραφική γλώσσα αναπαράστασης γνώσης.

Ένα πλεονέκτημα της περιγραφικής αναπαράστασης είναι ότι το κάθε κομμάτι της γνώσης αποθηκεύεται μόνο μία φορά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλά, διαφορετικά, συμφραζόμενα. Επομένως, θεωρητικά το ίδιο σώμα γνώσης μπορεί να τεθεί σε διάφορες χρήσεις. Για παράδειγμα, η γνώση που αφορά κάποιο ιατρικό τομέα περιγράφεται ανεξάρτητα οποιασδήποτε χρήσης της και στη συνέχεια το ίδιο σώμα γνώσης μπορεί να υποστηρίξει διάφορες ιατρικές εργασίες, όπως διάγνωση, πρόγνωση, κτλ. Υπάρχει όμως και η αντίθετη άποψη, ότι δηλαδή διαφορετικά θα παρουσιαζόταν το εν λόγω σώμα γνώσης, εάν ο σκοπός της περιγραφής ήταν η υποστήριξη διάγνωσης, και διαφορετικά, εάν ο σκοπός ήταν η υποστήριξη πρόγνωσης. Η διαφορετική οργάνωση της γνώσης έχει να κάνει με τη συγκεκριμένη χρήση της και τα σχετικά ευρετικά. Επομένως, μπορεί μεν ένα σώμα γνώσης, το οποίο έχει περιγραφεί ανεξάρτητα χρήσεως (εάν φυσικά είναι εφικτό να περιγραφεί κάτι τελείως ανεξάρτητα της χρήσεώς του) να είναι σε θέση να υποστηρίξει διάφορους σκοπούς, αλλά όχι αναγκαστικά εξίσου αποδοτικά με το εάν είχε περιγραφεί για συγκεκριμένο σκοπό (πέραν του ότι η ανεξάρτητη χρήσεως

περιγραφή της γνώσης είναι απεριόριστη). Αυτό φυσικά δεν είναι επιχείρημα εναντίον της περιγραφικής αναπαράστασης, αφού ένα σώμα γνώσης μπορεί να περιγραφεί χωρίς καμιά προκατάληψη αναφορικά με τη χρήση του ή για συγκεκριμένη χρήση.

Σε κάθε περίπτωση, το να μην υπάρχει πλεονασμός στην αναπαράσταση είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα, διότι διευκολύνεται η ενημέρωση της βάσης. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι μία περιγραφική αναπαράσταση έχει υψηλή διαφάνεια ως προς το τι αναπαριστά, κάτι το πολύ θετικό για την επιθυμητή ιδιότητα της διευκόλυνσης συμβολισμού.

Οι υπέρμαχοι όμως της καθαρά διαδικασιακής αναπαράστασης, πίστευαν ότι η παρουσίαση της δυναμικής όψης της γνώσης μέσω διαδικασιών υπερτερεί της περιγραφικής αναπαράστασης (που βασίζεται στη στατική όψη της γνώσης), διότι «γνωστικό» σύστημα είναι αυτό, το οποίο γνωρίζει πώς να χρησιμοποιήσει τη γνώση του, πώς να ανατρέξει στα σχετικά κομμάτια της γνώσης για συγκεκριμένο πρόβλημα, πώς να εξάγει τα συμπεράσματά του, κτλ. Με λίγα λόγια υποστήριζαν ότι η γνωστική συμπεριφορά αναπαριστάται καλύτερα σε μορφή διαδικασιών, οι οποίες διατυπώνουν πώς χρησιμοποιείται η γνώση, όχι ποια είναι η γνώση.

Τα μειονεκτήματα της διαδικασιακής αναπαράστασης είναι τα αντίστροφα των πλεονεκτημάτων της περιγραφικής αναπαράστασης. Σε διαδικασιακή αναπαράσταση κάθε κομμάτι γνώσης χρειάζεται να ενσωματωθεί στις διάφορες διαδικασίες, στις οποίες το εν λόγω κομμάτι γνώσης εμπλέκεται. Επομένως, υπάρχει πλεονασμός, αφού ενδεχομένως το ίδιο κομμάτι γνώσης μπορεί να εμπλέκεται σε περισσότερες από μία διαδικασίες, κάτι που δυσχεραίνει τυχόν τροποποιήσεις και μπορεί να οδηγήσει σε ασυνέπειες. Πέραν αυτού οι διαδικασιακές αναπαραστάσεις δεν φημίζονται για τη διαφάνειά τους.

Όμως υπάρχουν και σημαντικά πλεονεκτήματα. Συνήθως, είναι πιο εύκολο να εκφράσει κάποιος πώς κάνει κάτι («how-to» knowledge) για δεδομένο στόχο εργασίας, παρά να εκφράσει τι γνωρίζει για κάτι σε αφηρημένο επίπεδο. Η διαδικασιακή γνώση είναι «λειτουργική» γνώση, άμεσα σχετιζόμενη με τη συγκεκριμένη εργασία, ενώ η περιγραφική γνώση δεν είναι άμεσα λειτουργική και μπορεί να φανεί εκ των υστέρων ότι μεγάλο μέρος της δεν χρειαζόταν. Ένα άλλο επιχείρημα υπέρ της διαδικασιακής αναπαράστασης είναι ότι ευρετικά, εύλογες υποθέσεις και συλλογισμοί με πιθανότητες μπορούν όλα να εκφραστούν πιο εύκολα μέσω διαδικασιών. Τέλος, η υλο-

ποίηση της διαδικασιακής αναπαράστασης με χρήση μεταγλώττισης παρά διερμηνεύσης οδηγεί σε πιο γρήγορη επεξεργασία.

Φαίνεται όμως ότι τα μειονεκτήματα της διαδικασιακής αναπαράστασης υπερνικούν τα πλεονεκτήματά της, διότι η περιγραφική αναπαράσταση είναι αυτή που έχει επικρατήσει, κυρίως για λόγους διαφάνειας. Σε μία διαδικασιακή αναπαράσταση δεν υπάρχει καθόλου διαφάνεια ως προς τα διάφορα είδη γνώσης, που εμπλέκονται. Σε μία διαδικασία ενώνεται η στατική γνώση με τη γνώση συλλογισμού ή ελέγχου (reasoning or control knowledge). Δεν υπάρχει καθόλου διαχωρισμός. Αυτό στην ουσία είναι το μεγάλο μειονέκτημά της. Το σημαντικό είναι να υπάρχει ξεκάθαρος διαχωρισμός ανάμεσα στα διάφορα είδη γνώσης και ξεκάθαρος προσδιορισμός των αλληλεπιδράσεών τους. Στο πιο ψηλό επίπεδο ο διαχωρισμός είναι ανάμεσα στη στατική γνώση και τη γνώση ελέγχου. Προφανώς, ο καλύτερος τρόπος αναπαράστασης της στατικής γνώσης είναι ο περιγραφικός, ενώ η γνώση ελέγχου μπορεί να εκφραστεί είτε με περιγραφικό είτε με διαδικασιακό τρόπο. Επομένως, μπορεί κάλλιστα να υπάρξει συνδυασμός των δύο αναπαραστάσεων, όπως εξάλλου έχει γίνει σε πολλές περιπτώσεις. Για παράδειγμα, σε ένα ιατρικό διαγνωστικό σύστημα τα μοντέλα των ασθενειών (στατική γνώση) εκφράζονται με περιγραφικό τρόπο, ενώ η γνώση ελέγχου (διαγνωστικός συλλογισμός) διατυπώνεται ως διαδικασίες. Αυτές οι διαδικασίες όμως εκφράζονται σε αφηρημένο επίπεδο, χωρίς να ενσωματώνουν οποιαδήποτε συγκεκριμένη, στατική, γνώση. Επομένως, δεν υπάρχει πλεονασμός στο επίπεδο της στατικής γνώσης. Αυτό είναι ένα σημαντικό σημείο διαφοροποίησης σε σχέση με την καθαρά διαδικασιακή αναπαράσταση.

Συμπληρώστε τις εισόδους του παρακάτω πίνακα με ένα ΝΑΙ ή ένα ΟΧΙ.

	Περιγραφική Αναπαράσταση	Διαδικασιακή Αναπαράσταση
Κάθε κομμάτι γνώσης αποθηκεύεται μία φορά.
Ευκολύνει τη διατύπωση ευρετικών.
Η γνώση ερμηνεύεται με βάση γενικούς κανόνες συλλογισμού.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 3.1

Η γνώση είναι άμεσα λειτουργήσιμη.	.....	.....
Η γνώση εκφράζεται ανεξάρτητα της χρήσης της.	.....	.....
Υπάρχει πλεονασμός.	.....	.....
Υπάρχει διαφάνεια.	.....	.....
Ενώνει στατική γνώση με γνώση ελέγχου.	.....	.....
Δίνει έμφαση στη στατική όψη της γνώσης.	.....	.....
Είναι η προσέγγιση του «τι».	.....	.....
Είναι η προσέγγιση του «πώς».	.....	.....
Έχει επικρατήσει.	.....	.....

Σύνοψη

Λόγω της σημασίας της γνώσης στα πλαίσια συστημάτων ΤΝ, η αναπαράσταση γνώσης αποτελεί κεντρική περιοχή. Για αυτό το λόγο έχουμε αφιερώσει τέσσερα κεφάλαια του Μέρους Ι του τόμου σε αυτό το θέμα, το παρόν κεφάλαιο, τη μελέτη, του οποίου έχετε μόλις ολοκληρώσει, και τα επόμενα τρία κεφάλαια, τα οποία θα σας εισαγάγουν σε τέσσερις βασικούς formalismούς αναπαράστασης γνώσης. Ένας formalismός αναπαράστασης γνώσης είναι μία σύζευξη ανάμεσα σε ένα συμβολικό τρόπο έκφρασης της γνώσης και ένα σύνολο μηχανισμών εξαγωγής συμπερασματικών πορισμάτων. Η υλοποίηση ενός τέτοιου formalismού αποτελεί γλώσσα αναπαράστασης γνώσης, όπως η γλώσσα PROLOG, η οποία βασίζεται στο formalισμό της κατηγορηματικής λογικής.

Σε αυτό το κεφάλαιο κάναμε έναν πρακτικό διαχωρισμό ανάμεσα σε δεδομένα, πληροφορία και γνώση. Η πληροφορία απορρέει από τα δεδομένα και η γνώση επάγεται από την πληροφορία. Στη συνέχεια αναλύσαμε τα είδη γνώσης που συνήθως απαρτίζουν κάποια εμπειρογνωμοσύνη (θεωρητική γνώση, γνώση από πηγές αναφοράς, πρακτική ή λειτουργήσιμη γνώση, γνώση περι-

στατικών, μετα-γνώση, γνώση υποδομής, γνώση άλλων τομέων, αυτονόητη γνώση και αιτιολογική γνώση) και με ποιον τρόπο αυτά οργανώνονται σε μία «πυραμίδα γνώσης». Σε ένα έμπειρο σύστημα χρειάζεται να αναπαρασταθούν τα διάφορα είδη γνώσης που εμπλέκονται.

Μία αναπαράσταση γνώσης μπορεί να αξιολογηθεί με διάφορα κριτήρια που αφορούν πρακτικές ή θεωρητικές ιδιότητες της αναπαράστασης. Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε τρεις πολύ σημαντικές πρακτικές ιδιότητες, τη λογική επάρκεια (η αναπαράσταση δίνει όλους τους σημασιολογικούς διαχωρισμούς που χρειάζονται;), τη διευκόλυνση συμβολισμού (πόσο κοντά είναι το συμβολικό επίπεδο της αναπαράστασης με το ιδεατό επίπεδο της γνώσης;) και την ευρετική επάρκεια (πόσο αποδοτικοί είναι οι μηχανισμοί συλλογισμού της αναπαράστασης;). Επίσης εξετάσαμε τρεις σημαντικές θεωρητικές ιδιότητες μίας αναπαράστασης, οι οποίες αφορούν τους μηχανισμούς συλλογισμού της αναπαράστασης. Αυτές είναι η εγκυρότητα (είναι τα συμπεράσματα που εξάγονται ορθά;), η πληρότητα (μπορεί να εξαχθεί κάθε έγκυρο συμπέρασμα;) και η αποφασισιμότητα (μπορεί κάθε ερώτημα επαλήθευσης να απαντηθεί θετικά ή αρνητικά;).

Τέλος, χάριν της ιστορίας, εξετάσαμε τη διάσημη αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης, αναλύοντας τους λόγους, για τους οποίους η καθαρά διαδικασιακή αναπαράσταση έχει ουσιαστικά απαλειφθεί, ενώ η περιγραφική αναπαράσταση έχει επικρατήσει.

Βιβλιογραφία

T.J.K. Bench-Capon, *Knowledge Representation: An Approach to Artificial Intelligence*, Academic Press, 1990.

Το βιβλίο του Bench-Capon δίνει με περιεκτικό και κατανοητό τρόπο μία πολύ καλή εισαγωγή στην περιοχή της αναπαράστασης γνώσης.

J. Giarratano και G. Riley, *Expert Systems: Principles and Programming*, δεύτερη έκδοση, International Thomson Publishing, 1994.

Το μισό μέρος του βιβλίου των Giarratano και Riley παρουσιάζει τη γλώσσα αναπαράστασης γνώσης CLIPS που αναφέραμε στις εισαγωγικές παρατηρήσεις αυτού του κεφαλαίου. Θα είναι χρήσιμο να μελετήσετε μία γλώσσα όπως την CLIPS, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί σε ρεαλιστικές εφαρμογές της ΤΝ. Σε αυτό το στάδιο της μελέτης σας, θα πάρετε απλώς μια άποψη της γλώσσας. Έτσι, καλό θα είναι να επανέλθετε στη μελέτη της CLIPS αφού πρώτα μελετήσετε τα κεφάλαια 4–6.

Κατηγορηματική Λογική

Σκοπός

Σκοπός του κεφαλαίου 4 είναι να παρουσιάσει το φορμαλισμό της κατηγορηματικής λογικής και συγκεκριμένα το σχήμα συμπερασματικού συλλογισμού, γνωστού ως αναγωγή μέσω αντικρούσης της αντίφασης. Αυτό το σχήμα μπορεί να εφαρμοστεί σε προτάσεις, οι οποίες είναι σε συζευκτική κανονική μορφή (σύνολο διαζευκτικών προτάσεων). Οποιαδήποτε πρόταση κατηγορηματικής λογικής μπορεί να μετασχηματιστεί σε αυτή τη μορφή και θα συζητήσουμε τα βήματα που εμπλέκονται σε αυτό το μετασχηματισμό. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα, από υπολογιστικής σκοπιάς, της συζευκτικής κανονικής μορφής είναι ότι αυτός ο πολύ απλός τρόπος έκφρασης μειώνει το συλλογισμό σε ένα και μοναδικό απλό σχήμα. Αυτό αποδεικνύεται και από τη γλώσσα PROLOG, η οποία βασίζεται σε μία υποκατηγορία διαζευκτικών προτάσεων, τις λεγόμενες Horn clauses. Θα κάνουμε μία σύντομη αναφορά σε αυτή τη μορφή, και συγκεκριμένα στην έννοια της άρνησης ως αποτυχίας ή της υπόθεσης του κλειστού κόσμου, η οποία διέπει τη χρήση των Horn clauses στην PROLOG.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο θα μπορείτε να:

- αναφερθείτε στη σύνταξη και σημασιολογία της κατηγορηματικής λογικής,
- εξηγήσετε τις πύο απλές μορφές έκφρασης, συζευκτική κανονική μορφή (*conjunctive normal form*), διαζευκτική κανονική μορφή (*disjunctive normal form*) και *clausal form*,
- παρουσιάσετε τις σημαντικές ισοδυναμίες προτάσεων (συνεπαγωγής, *De Morgan*, επιμερισμού, αντιμετάθεσης, προσεταιρισμού, αναίρεσης ή αντιθετικότητας),
- διατυπώσετε τα βασικά σχήματα συμπερασματικού συλλογισμού, *modus ponens* (τρόπος του θέτειν), καθολική ειδίκευση (*universal specialization*) και αναγωγή (*resolution*),
- διατυπώσετε και να εφαρμόσετε τον αλγόριθμο για το μετασχηματισμό μίας πρότασης κατηγορηματικής λογικής σε συζευκτική κανονική μορφή,
- εξηγήσετε και να εφαρμόσετε την έννοια της ενοποίησης των προτάσεων (*unification of sentences*),

- εξηγήσετε και να εφαρμόσετε το σχήμα συμπερασματικού συλλογισμού, αναγωγή μέσω αντίκρουσης της αντίφασης (*resolution refutation*),
- δώσετε μία διαδικασία για την υλοποίηση της αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης, καθώς επίσης δύο ευρετικά [σύνολο–υποστήριξης (*set-of-support*) και κατά–προτίμηση–μονάδα (*unit-preference*)] για την αποδοτικότερη εφαρμογή αυτού του συλλογισμού,
- εξηγήσετε πώς αυτός ο συλλογισμός μπορεί να επεκταθεί για την εξαγωγή απαντήσεων σε ερωτήματα,
- εξηγήσετε την υποκατηγορία διαζευκτικών προτάσεων, γνωστών ως *Horn clauses*, και διατυπώσετε την έννοια της άρνησης, ως αποτυχίας ή της υπόθεσης του κλειστού κόσμου, η οποία διέπει τη χρήση των *Horn clauses* στην *PROLOG*.

Έννοιες κλειδιά

- | | |
|--|--|
| • κατηγορηματική λογική (σύνταξη και σημασιολογία) | • ενοποίηση προτάσεων |
| • συζευκτική κανονική μορφή | • μετασχηματισμός προτάσεων σε συζευκτική κανονική μορφή |
| • διαζευκτική κανονική μορφή | • διαδικασία αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης |
| • <i>clausal form</i> | • ευρετικό «σύνολο–υποστήριξης» |
| • <i>horn clauses</i> | • ευρετικό «κατά–προτίμηση–μονάδα» |
| • <i>modus ponens</i> (τρόπος του θέτειν) | • εξαγωγή απαντήσεων |
| • καθολική ειδίκευση | • άρνηση ως αποτυχία |
| • αναγωγή | • υπόθεση κλειστού κόσμου |
| • ισοδυναμίες προτάσεων | |

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Η κατηγορηματική λογική (*predicate logic*) αποτελεί μία κατεξοχήν περιγραφική αναπαράσταση. Η γνώση που αναπαριστάται με αυτό τον τρόπο μπορεί να εφαρμοστεί με τη χρήση γενικών κανόνων συλλογισμού. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε το φορμαλισμό της κατηγορηματικής λογικής, κυρίως τη Συζευκτική Κανονική Μορφή (ΣΚΜ) (*Conjunctive Normal Form*

– CNF) αυτής της λογικής, η οποία αποτελεί ένα πολύ πιο απλό και ομοιόμορφο τρόπο έκφρασης. Κάθε πρόταση κατηγορηματικής λογικής μπορεί να μετασχηματιστεί σε ΣΚΜ. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτής της μορφής έκφρασης είναι ότι ο συλλογισμός μπορεί να διεξαχθεί με βάση ένα και μοναδικό κανόνα, αυτό της αναγωγής (resolution). Αυτή η απλότητα σε επίπεδο συλλογισμού (η οποία απορρέει από την απλότητα και ομοιομορφία έκφρασης) είναι πολύ σημαντική από την υπολογιστική σκοπιά. Η σημασία επαυξάνεται από το γεγονός ότι ο μετασχηματισμός, σε ΣΚΜ, ενός σώματος γνώσης, εκφρασμένου σε κατηγορηματική λογική, μπορεί να αυτοματοποιηθεί. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε τον εν λόγω αλγόριθμο. Η ΣΚΜ είναι πολύ χρήσιμη από υπολογιστικής σκοπιάς, αλλά δεν αποτελεί ένα «φυσικό» τρόπο έκφρασης. Με άλλα λόγια η ΣΚΜ έχει την ίδια λογική επάρκεια με ολόκληρη την κατηγορηματική λογική, αλλά έχει χαμηλότερη διευκόλυνση συμβολισμού.

Για παράδειγμα, έστω η πρόταση «γρίππη \Rightarrow πυρετό» (η γρίππη συνεπάγεται πυρετό). Η ίδια πρόταση, σε ΣΚΜ, είναι « \sim γρίππη \vee πυρετός» (όχι γρίππη ή πυρετός, δηλαδή είτε δεν έχεις γρίππη ή έχεις πυρετό). Προφανώς, ο πρώτος τρόπος έκφρασης, μέσω συνεπαγωγής, είναι πιο φυσικός. Ο γενικός κανόνας συμπερασματικού συλλογισμού, *modus ponens* (τρόπος του θέτειν) μας λέει ότι από την συνεπαγωγή «γρίππη \Rightarrow πυρετός» και το γεγονός «γρίππη», μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα «πυρετός». Ο κανόνας της αναγωγής είναι η εφαρμογή του *modus ponens* σε διαζευκτικές προτάσεις. Δηλαδή, από τη διάζευξη « \sim γρίππη \vee πυρετός» και το γεγονός «γρίππη» μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα «πυρετός».

Ένας γενικός τρόπος απόδειξης είναι απόδειξη μέσω αντίφασης (*proof by contradiction*). Υποθέτεις το αντίθετο από αυτό που θέλεις να αποδείξεις, δείχνοντας στη συνέχεια ότι αυτή η υπόθεση οδηγεί σε αντίφαση και επομένως στην αναίρεση της υπόθεσης. Η μέθοδος της αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης (*resolution refutation*) είναι αυτού του είδους. Έστω ότι p είναι η πρόταση την οποία θέλουμε να επαληθεύσουμε από μία βάση προτάσεων, B (εκφρασμένων σε ΣΚΜ). Η μέθοδος αρχίζει κάνοντας την υπόθεση ότι η p δεν ευσταθεί, προσθέτοντας την άρνησή της ($\sim p$) στη βάση, B . Εάν όντως η p ευσταθεί, αυτό θα οδηγήσει σε αντίφαση. Η νέα βάση, $\sim p \cup B$, θα είναι ασυνεπής και η επαναληπτική εφαρμογή του συμπερασματικού κανόνα της αναγωγής (resolution) θα οδηγήσει τελικά σε αντίφαση, όπου ταυτόχρονα εξαγονται δύο αντίθετα συμπεράσματα, c και $\sim c$. Επομένως, η αρχική υπό-

θεση ότι η p δεν ευσταθεί αναιρείται. Έστω ότι η βάση μας αποτελείται από τις προτάσεις « \sim γρίπη \vee πυρετός, γρίπη» και ότι η πρόταση που θέλουμε να αποδείξουμε είναι «πυρετός». Προσθέτουμε την άρνησή της, « \sim πυρετός» στη βάση, και αυτό, μέσω αναγωγής, οδηγεί στην αντίφαση «πυρετός \wedge \sim πυρετός» (και υπάρχει πυρετός και δεν υπάρχει πυρετός), δηλαδή την κενή πρόταση η οποία είναι πάντα αναληθής.

Η πρόταση p , που αποτελεί το ερώτημα σε σχέση με κάποια βάση γνώσης B , μπορεί να είναι συγκεκριμένη, για παράδειγμα «Αρέσει στο Γιώργο το μάθημα της τεχνητής νοημοσύνης;» ή πιο γενική, για παράδειγμα «Υπάρχει κάποιο μάθημα που αρέσει στο Γιώργο;». Το μεν πρώτο ερώτημα αρκεί να απαντηθεί με ένα «ναι» ή ένα «όχι», το δε δεύτερο ερώτημα, στην περίπτωση θετικής απάντησης, δεν αρκεί να απαντηθεί με ένα «ναι», διότι στην ουσία το ερώτημα είναι «Ποιό μάθημα αρέσει στον Γιώργο;». Η μέθοδος συλλογισμού της αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης μπορεί εύκολα να επεκταθεί για να επιτευχθεί η εξαγωγή χρήσιμων απαντήσεων σε πιο γενικά ερωτήματα.

Όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 3, η κατηγορηματική λογική δεν έχει πλήρη αποφασισιμότητα, αλλά ημι-αποφασισιμότητα. Συγκεκριμένα, εάν κάτι ευσταθεί, αυτό μπορεί όντως τελικά να αποδειχτεί, εάν όμως κάτι δεν ευσταθεί, το συμπέρασμα ότι δεν ευσταθεί (δηλαδή ότι η άρνησή του ευσταθεί) μπορεί ποτέ να μην εξαχθεί. Αυτό ακριβώς συμβαίνει με την πιο πάνω μέθοδο συλλογισμού. Εάν η p δεν ευσταθεί, η νέα βάση, $\sim p \cup B$, δεν είναι ασυνεπής, νοουμένου ότι η αρχική βάση, B , ήταν συνεπής. Εάν ο κανόνας συλλογισμού είναι έγκυρος, μία συνεπής βάση δεν οδηγεί σε αντιφάσεις. Επομένως, η επαναληπτική εφαρμογή της αναγωγής ποτέ δεν θα οδηγήσει σε αντίφαση, και τον τερματισμό του συλλογισμού. Μπορούμε να αποδείξουμε ότι η p δεν ευσταθεί, δείχνοντας ότι η βάση $B \cup p$ είναι ασυνεπής. Συνήθως όμως η άρνηση μίας πρότασης-ερωτήματος είναι πιο εύκολο να διατυπωθεί παρά το ερώτημα. Έστω ότι η πρόταση-ερώτημα p είναι «Υπάρχει κάποιο μάθημα που αρέσει στο Γιώργο;», το οποίο σε κατηγορηματική λογική μεταφράζεται ως « $\exists x$ ΑΡΕΣΕΙ(ΓΙΩΡΓΟ, x)», όπου γίνεται χρήση του δείκτη ύπαρξης, \exists . Η άρνηση του ερωτήματος, σε ΣΚΜ, είναι \sim ΑΡΕΣΕΙ(ΓΙΩΡΓΟ, x), δηλαδή κανένα μάθημα δεν αρέσει στο Γιώργο. Πώς διατυπώνουμε όμως το ερώτημα p για να αποδείξουμε ότι πρέπει να απαντηθεί αρνητικά; Ο μετασχηματισμός του ερωτήματος (όχι της άρνησής του), δηλαδή της πρότασης $\exists x$ ΑΡΕΣΕΙ(ΓΙΩΡΓΟ, x), σε ΣΚΜ, χρειάζεται το λεγόμενο skolemization. Αυτό σημαίνει την αντικατάσταση της υπαρξιακά ποσοτικοποιημένης μεταβλητής, x , με τις σχε-

τικές σταθερές. Έστω ότι το σύνολο μαθημάτων είναι $\{TN, ΑΛΓΕΒΡΑ, ΦΥΣΙΚΗ\}$. Η πρόταση θα μεταφραστεί στη διάζευξη « $ΑΡΕΣΣΕΙ(ΓΙΩΡΓΟ, TN) \vee ΑΡΕΣΣΕΙ(ΓΙΩΡΓΟ, ΑΛΓΕΒΡΑ) \vee ΑΡΕΣΣΕΙ(ΓΙΩΡΓΟ, ΦΥΣΙΚΗ)$ ». Για να οδηγήσει αυτή η πρόταση σε αντίφαση σημαίνει ότι όλα τα κομμάτια της θα πρέπει να αναιρευθούν. Επίσης, στην απλή εκδοχή της κατηγορηματικής λογικής, όπου δεν υπάρχουν τύποι για τα ορίσματα κατηγορημάτων, π.χ. του κατηγορήματος $ΑΡΕΣΣΕΙ$, δεν μπορεί να προσδιοριστεί ή να απαριθμηθεί το σύνολο σταθερών που αντιστοιχεί σε κάποιο όρισμα.

Η γλώσσα $PROLOG$, η οποία βασίζεται σε μία υποκατηγορία προτάσεων της ΣKM , συγκεκριμένα τις *Horn clauses*, μπορεί να απαντήσει ένα δεδομένο ερώτημα θετικά ή αρνητικά. Η έννοια της άρνησης όμως, ερμηνεύεται με έναν ιδιόμορφο τρόπο εδώ. Η άρνηση ερμηνεύεται ως αποτυχία απόδειξης του αντιθέτου (*negation as failure*), και διέπεται από την υπόθεση του κλειστού κόσμου (*closed world assumption*). Δηλαδή, εάν δεν μπορώ να αποδείξω ότι υπάρχει πυρετός, θεωρώ ότι δεν υπάρχει πυρετός, επειδή πιστεύω ότι η γνώση μου αναφορικά με τον πυρετό και το πώς μπορεί να προκληθεί είναι πλήρης.

Στην ενότητα 4.1 θα εξετάσουμε τη σύνταξη και σημασιολογία της κατηγορηματικής λογικής. Η ενότητα 4.2 διαπραγματεύεται σημαντικές ισοδυναμίες και γενικούς κανόνες συλλογισμού. Ο αλγόριθμος μετασχηματισμού προτάσεων σε ΣKM παρουσιάζεται στην ενότητα 4.3, ενώ η ενότητα 4.4 εξηγεί τη διαδικασία της αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης. Η επέκταση αυτής της διαδικασίας για την εξαγωγή χρήσιμων απαντήσεων σε πιο γενικά ερωτήματα παρουσιάζεται στην ενότητα 4.5. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μία σύντομη αναφορά στη μορφή των *Horn clauses* και την έννοια της άρνησης ως αποτυχίας (ενότητα 4.6).

4.1 Σύνταξη και σημασιολογία

Η κατηγορηματική λογική είναι μία τυπική γλώσσα, όπου η εγκυρότητα των συλλογισμών βασίζεται στη μορφή τους και όχι το περιεχόμενό τους. Για παράδειγμα, δύο συγκεκριμένοι συλλογισμοί είναι οι εξής:

Όλοι οι άντρες είναι θνητοί. Ο Σωκράτης είναι άντρας.

Επομένως, ο Σωκράτης είναι θνητός.

Όλα τα τετράγωνα είναι κόκκινα. Αυτό είναι τετράγωνο.

Επομένως, αυτό είναι κόκκινο.

Η εγκυρότητα αυτών των συλλογισμών βασίζεται στο σχήμα συλλογισμού

Κάθε x που ικανοποιεί την ιδιότητα Φ ικανοποιεί και την ιδιότητα Ψ .

$$\forall x \Phi(x) \Rightarrow \Psi(x)$$

Το A ικανοποιεί την ιδιότητα Φ .

$$\Phi(A)$$

Επομένως, το A ικανοποιεί την ιδιότητα Ψ .

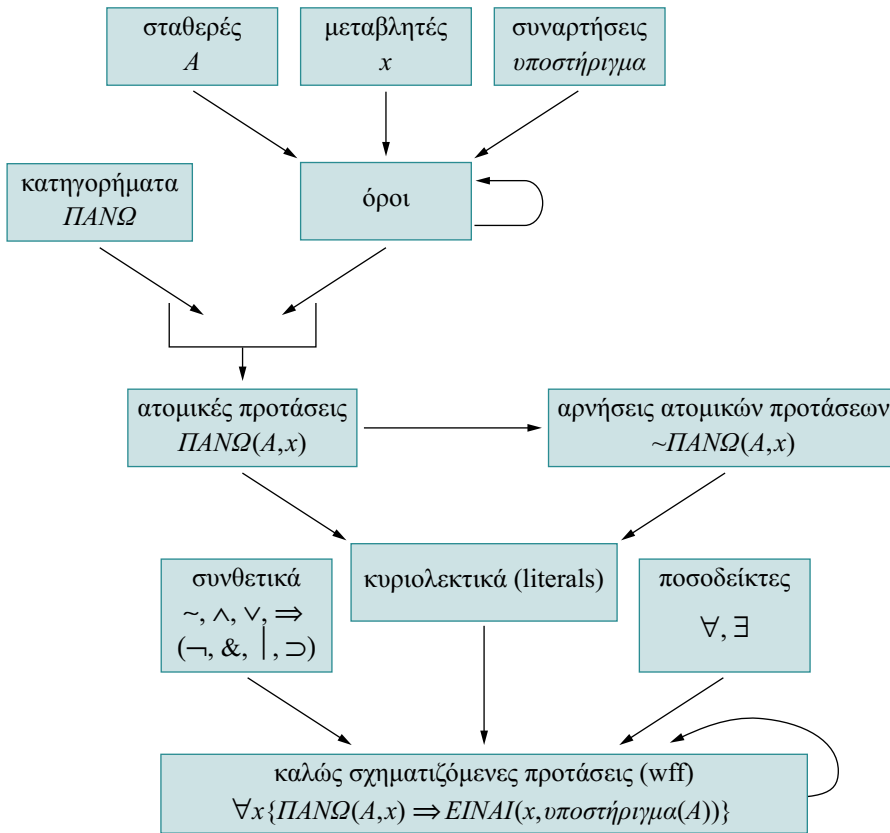
$$\therefore \Psi(A)$$

Αυτό το σχήμα συλλογισμού είναι γνωστό ως *modus ponens* (τρόπος του θέτειν). Μία τυπική γλώσσα ορίζεται μέσω της σύνταξης και σημασιολογίας της. Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε τη σύνταξη και σημασιολογία της κατηγορηματικής λογικής. Η σύνταξη προσδιορίζει τους κανόνες σχηματισμού των προτάσεων της γλώσσας, ενώ η σημασιολογία αποδίδει ερμηνεία σε αυτές τις προτάσεις.

4.1.1 Σύνταξη κατηγορηματικής λογικής

Η σύνταξη της κατηγορηματικής λογικής απεικονίζεται στο Σχήμα 4.1.

Το λεξιλόγιο της γλώσσας περιλαμβάνει *σταθερές*, π.χ. A , *μεταβλητές*, π.χ. x , και *συναρτήσεις*, π.χ. υποστήριγμα. Συνήθως, οι σταθερές γράφονται με κεφαλαία γράμματα, ενώ οι μεταβλητές και οι συναρτήσεις με μικρά γράμματα. Από αυτές τις τρεις συντακτικές κατηγορίες σχηματίζονται *όροι* (terms). Ένας όρος είναι μία σταθερή ή μία μεταβλητή ή μία συνάρτηση με τα ορίσματά (arguments) της, όπου κάθε όρισμα είναι επίσης όρος, π.χ. υποστήριγμα(A). Αυτό είναι το ένα σημείο όπου υπάρχει αναδρομικότητα.



Σχήμα 4.1
 Σύνταξη Κατηγορηματικής Λογικής

Ένα *κατηγορήμα* (τα ονόματα κατηγορημάτων δίνονται με κεφαλαία γράμματα) με τα ορίσματά του, όπου κάθε όρισμα είναι όρος, αποτελεί *ατομική πρόταση* (atomic formula), π.χ. $ΠΑΝΩ(A,x)$. Η συντακτική κατηγορία των *κυριολεκτικών* (literals) αποτελείται από ατομικές προτάσεις και τις αρνήσεις αυτών.

Και τέλος έχουμε τη συντακτική κατηγορία των *καλώς σχηματιζόμενων προτάσεων* (well formed formulae – wff), ο ορισμός της οποίας επίσης χρησιμοποιεί αναδρομικότητα. Στον ορισμό εμπλέκονται τα *λογικά συνθετικά* (logical connectives), \sim (ή \neg) για άρνηση, \wedge (ή $\&$) για σύνδεσμο, \vee (ή $|$) για διάζευξη και \Rightarrow (ή \supset) για συνεπαγωγή, και οι *ποσοδείκτες* (quantifiers), \forall , για καθολικότητα (όλα, κάθε), και \exists , για ύπαρξη (μερικά, υπάρχει). Η σύνταξη έχει ως ακολούθως:

1. Κάθε ατομική πρόταση είναι wff.
2. Έστω ότι A είναι wff. Τότε, $\sim A$, $\forall x A$ και $\exists x A$, είναι επίσης wff.

3. Έστω ότι A και B είναι wff. Τότε, $A \wedge B$, $A \vee B$ και $A \Rightarrow B$, είναι επίσης wff.

Κανονικές παρενθέσεις και κόμματα χρησιμοποιούνται για τα ορίσματα των συναρτήσεων και κατηγορημάτων. Γενικές παρενθέσεις ($\{$), $[$], $()$ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διαχωριστικά για σαφήνεια.

4.1.2 Σημασιολογία κατηγορηματικής λογικής

Οι σταθερές αντιπροσωπεύουν αντικείμενα ή οντότητες. Οι μεταβλητές αντιπροσωπεύουν πεδία σταθερών. Οι συναρτήσεις αντιπροσωπεύουν αντιστοιχίες ανάμεσα σε δύο πεδία σταθερών, π.χ. η συνάρτηση ηλικία_σε_έτη η οποία αντιστοιχεί ανθρώπους με ηλικίες (οι οποίες απεικονίζονται ως φυσικοί αριθμοί). Επομένως, οι συναρτήσεις επιστρέφουν σταθερές, π.χ. ηλικία_σε_έτη(ΓΙΑΝΝΗ) επιστρέφει 20.

Κατηγορήματα τα οποία δεν έχουν ορίσματα (0-place predicates) είναι απλές λογικές προτάσεις (propositions), οι οποίες είναι είτε αληθείς ή αναληθείς, π.χ. ΣΗΜΕΡΑ_ΕΙΝΑΙ_ΤΡΙΤΗ (για σήμερα, που είναι Τετάρτη, αυτή η πρόταση είναι αναληθής). Κατηγορήματα που έχουν τουλάχιστο ένα όρισμα (n -place predicates, όπου $n \geq 1$) αντιπροσωπεύουν σχέσεις, π.χ. το κατηγορημα ΕΙΝΑΙ_ΚΟΚΚΙΝΟ, το οποίο έχει ένα όρισμα και αντιπροσωπεύει το σύνολο των κόκκινων αντικειμένων, για παράδειγμα ΕΙΝΑΙ_ΚΟΚΚΙΝΟ(ΝΤΟΜΑΤΑ). Επομένως, τα κατηγορήματα αντιπροσωπεύουν σχέσεις ανάμεσα σε αντικείμενα, ενώ οι συναρτήσεις επιστρέφουν αντικείμενα. Υπάρχει μία σχέση ανάμεσα στα ορίσματα μίας συνάρτησης και το αντικείμενο που επιστρέφεται,

π.χ. άθροισμα(2,3) = 5, μπορεί να αναπαρασταθεί ως ΑΘΡΟΙΣΜΑ(2,3,5)

Όμως το αντίστροφο, ότι δηλαδή για κάθε σχέση υπάρχει κάποια συνάρτηση, δεν ευσταθεί. Για παράδειγμα, κατηγορήματα που δεν έχουν ορίσματα ή έχουν ένα όρισμα δεν μπορούν να αντικατασταθούν από συναρτήσεις. Επίσης σχέσεις του τύπου ένα-προς-πολλά (one-to-many relations), όπως για παράδειγμα «Είναι αδελφός του», δεν μπορούν να αναπαρασταθούν ως συναρτήσεις. Μόνο σχέσεις του τύπου ένα-προς-ένα ή πολλά-προς-ένα μπορούν να αναπαρασταθούν ως συναρτήσεις (βλέπε Σχήμα 4.2).

Επομένως, κάθε συνάρτηση με n ορίσματα μπορεί να μετατραπεί σε κατηγορημα με $n+1$ ορίσματα, αλλά όχι αντιστρόφως. Η χρήση συναρτήσεων αποφεύγει την απαρίθμηση. Το ίδιο όμως συμβαίνει με τα υπολογίσιμα κατηγορήματα (computable predicates). Αυτά είναι κατηγορήματα, αλλά παρα-

σκηνιακά υλοποιούνται ως συναρτήσεις. Προφανώς δεν θα απαριθμηθούν όλοι οι πρώτοι αριθμοί, αλλά το κατηγορημα ΠΡΩΤΟΣ_ΑΡΙΘΜΟΣ θα υλοποιηθεί ως συνάρτηση, η οποία επιστρέφει λογική τιμή.

Κατηγορημα	Συνάρτηση
ΠΑΤΕΡΑΣ(x,y)	πατέρας(x)
ΚΟΚΚΙΝΟ(x)	;
ΑΔΕΛΦΟΣ(x,y)	αδελφός(x) Τι συμβαίνει εάν υπάρχουν περισσότεροι από ένας αδελφοί;
ΑΘΡΟΙΣΜΑ(x,y,z)	άθροισμα(x,y)
ΠΡΩΤΟΣ_ΑΡΙΘΜΟΣ(x)	;

Σχήμα 4.2

Συσχέτιση Κατηγορημάτων με Συναρτήσεις

Μία πρόταση, για παράδειγμα «Το σπίτι είναι κίτρινο», μπορεί να αναπαρασταθεί με πολλαπλούς τρόπους, όπως

ΚΙΤΡΙΝΟ(ΣΠΙΤΙ_1)
 ΧΡΩΜΑ(ΣΠΙΤΙ_1, ΚΙΤΡΙΝΟ)
 ΤΙΜΗ(ΧΡΩΜΑ, ΣΠΙΤΙ_1, ΚΙΤΡΙΝΟ)

Τέλος οι wff είναι αληθείς, αναληθείς ή άγνωστες.

4.1.3 Ποσοτικοποίηση

Υπάρχουν δύο ποσοδείκτες (quantifiers), ο *ποσοδείκτης καθολικότητας* (universal quantifier), \forall , ο οποίος μας επιτρέπει να εκφράζουμε γενικές προτάσεις, όπως «Όλοι οι ελέφαντες είναι γκριζοί»,

$$\forall x \text{ ΕΛΕΦΑΝΤΑΣ}(x) \Rightarrow \text{ΓΚΡΙΖΟΣ}(x)$$

και ο *ποσοδείκτης ύπαρξης* (existential quantifier), \exists , ο οποίος μας επιτρέπει να εκφράζουμε μη-καθολικές προτάσεις, για παράδειγμα την ύπαρξη κάποιων οντοτήτων, αντικειμένων, κτλ., όπως «Υπάρχει κάποιος ο οποίος έγραψε το Σκάκι στον Υπολογιστή»,

$$\exists x \text{ ΕΓΡΑΨΕ}(x, \text{ΣΚΑΚΙ_ΣΤΟΝ_ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ})$$

Επομένως, μπορούμε να έχουμε προτάσεις της μορφής $\forall x A$ ή $\exists x A$, όπου η

wff A αποτελεί την *εμβέλεια* (scope) του ποσοδείκτη. Η μεταβλητή x είναι ποσοτικοποιημένη (quantified over) και θεωρείται μία *δεσμευμένη μεταβλητή* (bound variable). Μεταβλητές σε μία πρόταση οι οποίες δεν είναι ποσοτικοποιημένες θεωρούνται ως *ελεύθερες μεταβλητές* (free variables). Σημασιολογικά ορθές είναι οι wff, εκείνες οι οποίες δεν περιέχουν ελεύθερες μεταβλητές.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.1

Μεταφράστε τις ακόλουθες προτάσεις σε κατηγορηματική λογική:

1. Στο Γιάννη αρέσουν όλα τα είδη τροφών.
2. Τα μήλα είναι ένα είδος τροφής.
3. Το κοτόπουλο είναι ένα είδος τροφής.
4. Ο,τιδήποτε τρώει κάποιος και δεν σκοτώνεται από αυτό, είναι τροφή.
5. Ο Βασίλης τρώει φυστίκια και είναι ακόμη ζωντανός.
6. Η Ελένη τρώει ο,τιδήποτε τρώει ο Βασίλης.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.2

Ποιες από τις ακόλουθες είναι wff;

1. $\sim f(A)$, όπου f συνάρτηση
2. $\sim P(A, g(A, B, A))$, όπου P κατηγορημα και g συνάρτηση
3. $f(P(A))$, όπου f συνάρτηση και P κατηγορημα
4. $\exists x \{ \forall y [(P(x, y) \wedge Q(y, x)) \Rightarrow R(x)] \}$, όπου P , Q , και R κατηγορήματα
5. $Q \{ f(A), [p(B) \Rightarrow Q(C)] \}$, όπου f και p συναρτήσεις, και Q κατηγορημα

4.1.4 Κανονικές μορφές προτάσεων

Τα λογικά συνθετικά (\sim , \wedge , \vee , \Rightarrow) επιτρέπουν την έκφραση σύνθετων προτάσεων, μεγάλης πολυπλοκότητας. Για σκοπούς υπολογισμού όμως, ενδείκνυται η απλοποίηση της έκφρασης. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η σύνθετη έκφραση συνδέεται με σύνθετους μηχανισμούς συλλογισμού, οι οποίοι δύσκολα μπορούν να αυτοματοποιηθούν αποτελεσματικά, ενώ απλότητα στην έκφραση οδηγεί σε απλότητα στο συλλογισμό με το ενδεχόμενο αποτελεσματικής αυτοματοποίησης. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, όταν μάλιστα

η απλοποίηση στην έκφραση δεν επηρεάζει τη λογική επάρκεια. Δηλαδή, ο απλός τρόπος έκφρασης έχει την ίδια δύναμη εκφρασιμότητας με το σύνθετο τρόπο, διότι η απλοποίηση στην ουσία είναι η απάλειψη του πλεονασμού και η διατήρηση των άκρως απαραίτητων στοιχείων. Η λογική επάρκεια διατηρείται, διότι εκφράσεις μετασχηματίζονται σε ισοδύναμες (αλλά απλούστερες) εκφράσεις. Λογική ισοδυναμία σημαίνει ότι κάτω από οποιαδήποτε πιθανή ερμηνεία, οι δύο εκφράσεις έχουν την ίδια τιμή αλήθειας. Θα συζητήσουμε τις σημαντικές ισοδυναμίες στην ενότητα 4.2.

Σε αυτή την υποενότητα θα συζητήσουμε τρεις απλοποιήσεις έκφρασης ή τρεις κανονικές μορφές (normal forms) της κατηγορηματικής λογικής, τη Συζευκτική Κανονική Μορφή (ΣΚΜ) (Conjunctive Normal Form – CNF), τη Διαζευκτική Κανονική Μορφή (ΔΚΜ) (Disjunctive Normal Form – DNF) και την Clausal Form, που στην ουσία είναι η ΣΚΜ μεταμφιεσμένη (για αυτό εξάλλου και η ΣΚΜ αναφέρεται ως clausal form). Οποιαδήποτε wff μπορεί να μετασχηματιστεί σε οποιαδήποτε από αυτές τις τρεις κανονικές μορφές. Και στις τρεις περιπτώσεις η απλοποίηση έκφρασης επιτρέπει την εφαρμογή ενός και μοναδικού συμπερασματικού κανόνα, αυτού της αναγωγής (resolution). Η εφαρμογή αυτού του κανόνα είναι πιο «φυσική» σε σχέση με τη ΣΚΜ και για αυτό στη συνέχεια του κεφαλαίου θα αναφερόμαστε σε αυτή τη μορφή.

Μία πρόταση είναι σε ΣΚΜ, εάν είναι ένας σύνδεσμος ατομικών διαζεύξεων, δηλαδή είναι της μορφής $A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n$, όπου $n \geq 1$ και κάθε A είναι της μορφής $B_1 \vee B_2 \vee \dots \vee B_m$, όπου $m \geq 1$ και κάθε B είναι κυριολεκτικό (literal), δηλαδή είτε ατομική πρόταση ή η άρνηση ατομικής πρότασης.

Μία πρόταση είναι σε ΔΚΜ, εάν είναι μία διάζευξη ατομικών συνδέσμων, δηλαδή είναι της μορφής $A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n$, όπου $n \geq 1$, και κάθε A είναι της μορφής $B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_m$, όπου $m \geq 1$, και κάθε B είναι literal.

Τέλος η Clausal Form αποτελείται από ένα σύνολο (δηλαδή σύνδεσμο) προτάσεων, όπου η κάθε πρόταση (clause) είναι της μορφής

$$A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \Leftarrow B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_m, \text{ όπου } n \geq 0, m \geq 0$$

και κάθε A και B είναι ατομικές προτάσεις (δηλαδή γεγονότα). Σε αυτή την μορφή δεν εμφανίζεται καθόλου η άρνηση. Τα γεγονότα B_i αποτελούν τις υποθέσεις, ενώ τα γεγονότα A_j τα συμπεράσματα. Η σημασιολογία είναι η εξής: Εάν όλες οι υποθέσεις ευσταθούν, τότε μπορούν να εξαχθούν τα εν λόγω συμπεράσματα.

Με δεδομένη την ισοδυναμία $A \Rightarrow B \equiv \sim A \vee B$, η Clausal Form, ουσιαστικά είναι ένας απευθείας μετασχηματισμός της ΣΚΜ, με στόχο την απάλειψη της άρνησης:

$$A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \Leftarrow B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_m \equiv A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \vee \sim B_1 \vee \sim B_2 \vee \dots \vee \sim B_m$$

Υπάρχουν οι ακόλουθες ειδικές clauses:

$\Leftarrow B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_m$ Κανένα συμπέρασμα δεν απορρέει από τη (σύνθετη) υπόθεση. Αυτή η πρόταση είναι ασυνεπής.

$A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \Leftarrow$ Δεν χρειάζεται καμία υπόθεση για να ισχύει η πρόταση. Είναι πάντα αληθής.

$\Leftarrow \equiv \square$ Αυτή είναι η κενή πρόταση (\square) η οποία είναι πάντα αναληθής.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.3

(α) Σε ποια μορφή, ΣΚΜ, ΔΚΜ ή clausal, είναι η καθεμία από τις ακόλουθες προτάσεις;

1. $(\sim A \vee B) \wedge C$
2. $P \vee Q$
3. $P \vee Q \Leftarrow X \wedge Y \wedge Z$
4. $(A \wedge \sim B \wedge \sim C) \vee (D \wedge \sim E)$
5. $\sim P \Leftarrow Q \wedge R$

(β) Μετασχηματίστε τις ακόλουθες προτάσεις από ΣΚΜ σε clausal form:

1. $(\sim P \vee \sim Q \vee R) \wedge (\sim P \vee \sim S)$
2. $(P \vee Q \vee \sim R) \wedge (P \vee S)$

4.2 Ισοδυναμίες και κανόνες συλλογισμού

Δύο wff είναι ισοδύναμες, εάν για οποιαδήποτε πιθανή ερμηνεία έχουν την ίδια τιμή αλήθειας. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τις ισοδυναμίες που αποτελούν σημαντικές ιδιότητες της κατηγορηματικής λογικής. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα χρησιμοποιήσουμε αυτές τις ισοδυναμίες στον

αλγόριθμο για το μετασχηματισμό wff σε ΣΚΜ. Αυτή η ενότητα διαπραγματεύεται επίσης τρεις βασικούς κανόνες συμπερασματικού συλλογισμού (deductive reasoning).

4.2.1 Ισοδυναμίες

Οι σημαντικές ισοδυναμίες ανάμεσα σε wff δίνονται στον επόμενο πίνακα.

Ισοδυναμίες wff

$$A \Rightarrow B \equiv \sim A \vee B$$

$$\sim(\sim A) \equiv A$$

De Morgan

$$\sim(A \wedge B) \equiv \sim A \vee \sim B$$

$$\sim(A \vee B) \equiv \sim A \wedge \sim B$$

Επιμερισμού (Distributive Laws)

$$A \wedge (B \vee C) \equiv (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$$

$$A \vee (B \wedge C) \equiv (A \vee B) \wedge (A \vee C)$$

Αντιμετάθεσης (Commutative Laws)

$$A \wedge B \equiv B \wedge A$$

$$A \vee B \equiv B \vee A$$

Προσεταιρισμού (Associative Laws)

$$(A \wedge B) \wedge C \equiv A \wedge (B \wedge C)$$

$$(A \vee B) \vee C \equiv A \vee (B \vee C)$$

Αναίρεσης ή Αντιθετικότητας (Contrapositive Law – modus tollens)

$$A \Rightarrow B \equiv \sim B \Rightarrow \sim A$$

Ισοδυναμίες με Ποσοδείκτες

$$\sim \exists x A \equiv \forall x \sim A$$

$$\sim \forall x A \equiv \exists x \sim A$$

$$\forall x \{A \wedge B\} \equiv \forall x A \wedge \forall x B$$

$$\exists x \{A \vee B\} \equiv \exists x A \vee \exists x B$$

4.2.2 Κανόνες συλλογισμού

Νέες wff μπορούν να εξαχθούν από υπάρχουσες wff χρησιμοποιώντας κανόνες συλλογισμού. Τρεις τέτοιοι κανόνες είναι οι ακόλουθοι:

Κανόνες Συλλογισμού

Modus Ponens (Τρόπος του Θέτειν)

Από $\forall x \{ \Phi(x) \Rightarrow \Psi(x) \}$ και $\Phi(A)$ μπορεί να εξαχθεί $\Psi(A)$

Καθολική Ειδίκευση (Universal Specialization)

Από $\forall x \Phi(x)$ μπορεί να εξαχθεί $\Phi(A)$

Αναγωγή (Resolution)

Από $A \vee B$ και $\sim A \vee C$ μπορεί να εξαχθεί $B \vee C$

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.4

Ποιος κανόνας διέπει τον καθένα από τους ακόλουθους συλλογισμούς;

- (α) Ένα καλά σχεδιασμένο πρόγραμμα έχει σωστή άρθρωση. Το πρόγραμμα του Γιάννη είναι καλά σχεδιασμένο. Άρα έχει σωστή άρθρωση.
- (β) Ένα άτομο είναι άντρας ή γυναίκα. Ο Γιάννης δεν είναι γυναίκα. Άρα είναι άντρας.
- (γ) Τα λεμονόδεντρα είναι αειθαλή. Άρα το λεμονόδεντρο στον κήπο μου είναι αειθαλές.
- (δ) Το πρόγραμμά μου είναι καλά σχεδιασμένο ή χρειάζεται αναδιοργάνωση. Το πρόγραμμά μου είτε δεν είναι καλά σχεδιασμένο ή θα μπορέσω να το δοκιμάσω με ευκολία. Άρα είτε το πρόγραμμά μου χρειάζεται αναδιοργάνωση ή θα μπορέσω να το δοκιμάσω με ευκολία.
- (ε) Κάθε άτομο έχει γονείς. Η Μαρία είναι άτομο. Άρα έχει γονείς.
- (στ) Κάθε πρόγραμμα χρειάζεται μεθοδική δοκιμή πριν μπει σε λειτουργία. Άρα το πρόγραμμα που γράφεις τώρα χρειάζεται μεθοδική δοκιμή.

4.3 Μετασχηματισμός σε συζευκτική κανονική μορφή

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τον αλγόριθμο για το μετασχηματισμό μίας wff σε ΣΚΜ. Ο αλγόριθμος θα παρουσιαστεί με ένα παράδειγμα.

Παράδειγμα 4.1

Έστω ότι η wff, την οποία θέλουμε να μετασχηματίσουμε, είναι η εξής:

$$\begin{aligned} \forall x [\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \Rightarrow (\exists y [\text{ΠΑΝΩ}(x,y) \wedge \sim\text{ΠΥΡΑΜΙΔΑ}(y)] \wedge \\ \sim\exists y [\text{ΠΑΝΩ}(x,y) \wedge \text{ΠΑΝΩ}(y,x)] \wedge \\ \forall y [\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(y) \Rightarrow \sim\text{ΙΣΟΥΤΑΙ}(x,y)])] \end{aligned}$$

Μεταφρασμένη σε φυσική γλώσσα, αυτή η πρόταση, η οποία ορίζει την έννοια του ΤΟΥΒΛΟΥ, μας λέει ότι κάθε αντικείμενο που είναι τούβλο μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε κάποιο άλλο αντικείμενο, το οποίο δεν μπορεί να είναι πυραμίδα. Επίσης, μας λέει ότι το αντικείμενο πάνω στο οποίο τοποθετείται το τούβλο δεν μπορεί ταυτόχρονα να είναι τοποθετημένο πάνω στο τούβλο. Αυτή η υποπρόταση ουσιαστικά διατυπώνει ότι η σχέση ΠΑΝΩ δεν είναι συμμετρική. Αυτή η διατύπωση θα μπορούσε να είχε γίνει σε καθολικό επίπεδο και όχι στα τοπικά συμφραζόμενα του τι εστί ΤΟΥΒΛΟ, δηλαδή ως $\forall x \forall y \text{ΠΑΝΩ}(x,y) \Rightarrow \sim\text{ΠΑΝΩ}(y,x)$. Τέλος, ορίζεται ότι ένα τούβλο δεν μπορεί να ισούται με οποιοδήποτε αντικείμενο, το οποίο δεν είναι τούβλο.

Τα βήματα του αλγόριθμου μετασχηματισμού είναι τα ακόλουθα:

1. *Εξάλειψη του συνθετικού συνεπαγωγής (\Rightarrow) με βάση την ισοδυναμία $A \Rightarrow B \equiv \sim A \vee B$.*

Η wff μετασχηματίζεται στην

$$\begin{aligned} \forall x [\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee (\exists y [\text{ΠΑΝΩ}(x,y) \wedge \sim\text{ΠΥΡΑΜΙΔΑ}(y)] \wedge \\ \sim\exists y [\text{ΠΑΝΩ}(x,y) \wedge \text{ΠΑΝΩ}(y,x)] \wedge \\ \forall y [\sim(\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(y) \vee \sim\text{ΙΣΟΥΤΑΙ}(x,y))]) \end{aligned}$$

2. *Μετακίνηση των αρνήσεων στο επίπεδο ατομικών προτάσεων.* Η wff μετασχηματίζεται στην

$$\begin{aligned} \forall x [\sim \text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee (\exists y [\text{ΠΑΝΩ}(x,y) \wedge \sim \text{ΠΥΡΑΜΙΔΑ}(y)] \wedge \\ \forall y [\sim \text{ΠΑΝΩ}(x,y) \vee \sim \text{ΠΑΝΩ}(y,x)] \wedge \\ \forall y [\text{ΤΟΥΒΛΟ}(y) \vee \sim \text{ΙΣΟΥΤΑΙ}(x,y)])] \end{aligned}$$

3. *Εξάλειψη δεικτών ύπαρξης.* Για παράδειγμα η πρόταση $\exists x P(x)$, μετασχηματίζεται στην πρόταση $P(A)$, όπου η μεταβλητή x , αντικαθίσταται από μία εικονική σταθερή, την A . Η αρχική πρόταση λέει «Υπάρχει κάποια οντότητα x , η οποία ικανοποιεί την ιδιότητα P ». Ο μετασχηματισμός της πρότασης λέει «Ας ονομάσουμε αυτή την οντότητα, εικονικά, ως A ». Η εν λόγω οντότητα είναι υπαρξιακά ανεξάρτητη και έτσι μπορεί να της δοθεί κάποια εικονική ονομασία. Τι συμβαίνει όμως με την πρόταση $\forall x \exists y P(x,y)$; Σε αυτή την πρόταση η μεταβλητή y δεν είναι υπαρξιακά ανεξάρτητη, αλλά η ύπαρξή της εξαρτάται από την (καθολικά ποσοτικοποιημένη) μεταβλητή x . Επομένως, δεν μπορούμε να την αντικαταστήσουμε με μία εικονική ονομασία, όπως στο προηγούμενο παράδειγμα, μετασχηματίζοντας έτσι την πρόταση σε $\forall x P(x,A)$. Αυτό σημαίνει ότι η κάθε οντότητα x σχετίζεται με το ίδιο αντικείμενο A κάτω από την σχέση P , που δεν είναι αυτό που λέει η αρχική πρόταση. Ας εξετάσουμε το συγκεκριμένο παράδειγμα $\forall x \exists y \text{ΜΗΤΕΡΑ}(x,y)$. Για κάθε άτομο υπάρχει μία μητέρα. Δεν είναι όμως η ίδια μητέρα για όλους, όπως λέει η πρόταση $\forall x \text{ΜΗΤΕΡΑ}(x, M)$ (το κάθε άτομο έχει μητέρα την M). Αφού η μεταβλητή y εξαρτάται από τη μεταβλητή x , το ορθό είναι να αντικατασταθεί με μία συνάρτηση της x . Έτσι, η πρόταση $\forall x \exists y P(x,y)$ μετασχηματίζεται σε $\forall x P(x, g(x))$, όπου g είναι η συνάρτηση που έχει αντικαταστήσει την υπαρξιακά ποσοτικοποιημένη μεταβλητή. Η g ονομάζεται συνάρτηση Skolem. Επομένως, η πιο πάνω συγκεκριμένη πρόταση μετασχηματίζεται σε $\forall x \text{ΜΗΤΕΡΑ}(x, \text{μητέρα}(x))$, όπου μητέρα είναι η συνάρτηση Skolem. Η πρόταση λέει ότι κάθε άτομο και το άτομο που αντιστοιχεί στη μητέρα του σχετίζονται κάτω από τη σχέση ΜΗΤΕΡΑ. Η γενική περίπτωση είναι μία πρόταση της μορφής $\forall x_1 \forall x_2 \dots \forall x_n \dots \exists y \dots$, όπου $n \geq 0$, δηλαδή η υπαρξιακά ποσοτικοποιημένη μεταβλητή, y , εξαρτάται από n (καθολικά ποσοτικοποιημένες) μεταβλητές. Επομένως, η y μπορεί να αντικατασταθεί από μία συνάρτηση με n ορίσματα, έστω $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Ουσιαστικά η αρχική περίπτωση που συζητήσαμε, $\exists x P(x)$, είναι η βασική περίπτωση της γενικής, όπου $n = 0$. Η σταθερή A είναι μία συνάρτηση χωρίς ορίσματα. Με βάση τα πιο πάνω η wff του παραδείγματός μας μετασχηματίζεται στην

$$\begin{aligned} & \forall x [\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee \\ & \quad ((\text{ΠΑΝΩ}(x, \text{υποστήριγμα}(x)) \wedge \sim\text{ΠΥΡΑΜΙΔΑ}(\text{υποστήριγμα}(x))) \wedge \\ & \quad \forall y [\sim\text{ΠΑΝΩ}(x, y) \vee \sim\text{ΠΑΝΩ}(y, x)] \wedge \\ & \quad \forall y [\text{ΤΟΥΒΛΟ}(y) \vee \sim\text{ΙΣΟΥΤΑΙ}(x, y)])] \end{aligned}$$

Η υπαρξιακά ποσοτικοποιημένη μεταβλητή y έχει αντικατασταθεί από τη συνάρτηση υποστήριγμα(x).

4. *Επονόμαση των (καθολικά ποσοτικοποιημένων) μεταβλητών, ούτως ώστε κάθε μεταβλητή να έχει διαφορετική ονομασία.* Η wff του παραδείγματός μας μετασχηματίζεται στην

$$\begin{aligned} & \forall x [\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee \\ & \quad ((\text{ΠΑΝΩ}(x, \text{υποστήριγμα}(x)) \wedge \sim\text{ΠΥΡΑΜΙΔΑ}(\text{υποστήριγμα}(x))) \wedge \\ & \quad \forall y [\sim\text{ΠΑΝΩ}(x, y) \vee \sim\text{ΠΑΝΩ}(y, x)] \wedge \\ & \quad \forall z [\text{ΤΟΥΒΛΟ}(z) \vee \sim\text{ΙΣΟΥΤΑΙ}(x, z)])] \end{aligned}$$

5. *Μετακίνηση των ποσοδεικτών \forall στα αριστερά.* Αυτό μετασχηματίζει την πρόταση στη λεγόμενη μορφή *prenex*, όπου όλοι οι ποσοδείκτες καθολικότητας εμφανίζονται στην αρχή της πρότασης και αποτελούν το *πρόθεμα* (prefix), ενώ το υπόλοιπο τμήμα της πρότασης ονομάζεται *μήτρα* (matrix). Η μήτρα αποτελεί την εμβέλεια του κάθε ποσοδείκτη. Η wff του παραδείγματός μας μετασχηματίζεται στην

$$\begin{aligned} & \forall x \forall y \forall z [\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee \\ & \quad ((\text{ΠΑΝΩ}(x, \text{υποστήριγμα}(x)) \wedge \sim\text{ΠΥΡΑΜΙΔΑ}(\text{υποστήριγμα}(x))) \wedge \\ & \quad [\sim\text{ΠΑΝΩ}(x, y) \vee \sim\text{ΠΑΝΩ}(y, x)] \wedge \\ & \quad [\text{ΤΟΥΒΛΟ}(z) \vee \sim\text{ΙΣΟΥΤΑΙ}(x, z)])] \end{aligned}$$

6. Μετακίνηση των διαζεύξεων στο επίπεδο των κυριολεκτικών. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της ισοδυναμίας του επιμερισμού. Η wff του παραδείγματός μας μετασχηματίζεται στην

$$\begin{aligned} \forall x \forall y \forall z [& (\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee \text{ΠΑΝΩ}(x, \text{υποστήριγμα}(x))) \wedge \\ & (\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee \sim\text{ΠΥΡΑΜΙΔΑ}(\text{υποστήριγμα}(x))) \wedge \\ & (\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee \sim\text{ΠΑΝΩ}(x, y) \vee \sim\text{ΠΑΝΩ}(y, x)) \wedge \\ & (\sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee \text{ΤΟΥΒΛΟ}(z) \vee \sim\text{ΙΣΟΥΤΑΙ}(x, z))] \end{aligned}$$

7. Απόλειψη των συμβόλων \forall και \wedge και επονόμαση των μεταβλητών ούτως ώστε κάθε ονομασία να εμφανίζεται μόνο σε μία διαζευκτική πρόταση (clause). Αφού κάθε μεταβλητή είναι καθολικά ποσοτικοποιημένη, οι ποσοδείκτες μπορούν να παραλειφθούν. Απλά υπονοούνται. Επίσης, ο σύνδεσμος ανάμεσα στο σύνολο των ξεχωριστών διαζευκτικών προτάσεων υπονοείται. Με βάση τα πιο πάνω η wff του παραδείγματός μας μετασχηματίζεται τελικά σε ΣΚΜ στην

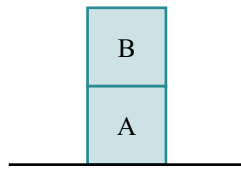
$$\begin{aligned} & \sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(x) \vee \text{ΠΑΝΩ}(x, \text{υποστήριγμα}(x)) \\ & \sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(w) \vee \sim\text{ΠΥΡΑΜΙΔΑ}(\text{υποστήριγμα}(w)) \\ & \sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(u) \vee \sim\text{ΠΑΝΩ}(u, y) \vee \sim\text{ΠΑΝΩ}(y, u) \\ & \sim\text{ΤΟΥΒΛΟ}(v) \vee \text{ΤΟΥΒΛΟ}(z) \vee \sim\text{ΙΣΟΥΤΑΙ}(v, z) \end{aligned}$$

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.5

Εφαρμόστε τον πιο πάνω αλγόριθμο στις wff της Άσκησης Αυτοαξιολόγησης 4.1.

4.4 Διαδικασία αναγωγής μέσω αντικρούσης της αντίφασης

Η κατηγορηματική λογική έχει εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς. Ένας από αυτούς είναι ο λεγόμενος «κόσμος των κύβων» (blocks world), τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε αργότερα σε παραδείγματα. Το Σχήμα 4.3 απεικονίζει μία κατάσταση αυτού του κόσμου, την αναπαράστασή της σε κατηγορηματική λογική και τρία σχετικά αξιώματα.



Αξιώματα

$$\forall x [\text{ΕΛΕΥΘΕΡΟ}(x) \Rightarrow \sim \{\exists y \text{ ΠΑΝΩ}(y, x)\}]$$

$$\forall x \forall y [\text{ΠΑΝΩ}(x,y) \Rightarrow \text{ΥΠΕΡΑΝΩ}(x,y)]$$

$\text{ΠΑΝΩ}(A, \text{ΤΡΑΠΕΖΙ})$

$\text{ΠΑΝΩ}(B,A)$

$\text{ΕΛΕΥΘΕΡΟ}(B)$

$$\forall x \forall y \forall z [\text{ΥΠΕΡΑΝΩ}(x,y) \wedge \text{ΥΠΕΡΑΝΩ}(y,z)$$

$$\Rightarrow \text{ΥΠΕΡΑΝΩ}(x,z)]$$

Σχήμα 4.3

Κόσμος των Κύβων

4.4.1 Απόδειξη μέσω αντίφασης

Το σύνολο προτάσεων $\{\forall x \Phi(x) \Rightarrow \Psi(x), \Phi(A), \Psi(A)\}$ είναι συνεπές (consistent). Ουσιαστικά, η πρόταση $\Psi(A)$ απορρέει από τις άλλες δύο (συλλογισμός modus ponens). Για κάθε έγκυρο συλλογισμό υπάρχει ένα συνεπές σύνολο προτάσεων. Επομένως, μπορούμε να αποδείξουμε ότι ο συλλογισμός από τις προτάσεις P_1, \dots, P_n στο συμπέρασμα C είναι έγκυρος, αποδεικνύοντας ότι το σύνολο προτάσεων $\{P_1, \dots, P_n, C\}$ είναι συνεπές. Συνήθως, είναι πιο εύκολο να αποδειχθεί ότι $\{P_1, \dots, P_n, \sim C\}$ είναι ασυνεπές. Σε αυτή την περίπτωση, το σύνολο $\{P_1, \dots, P_n, C\}$ είναι συνεπές και ο συλλογισμός « P_1, \dots, P_n άρα C » είναι έγκυρος.

4.4.2 Ενοποίηση προτάσεων

Η διεργασία της ενοποίησης (unification) προτάσεων συνεπάγεται την αντικατάσταση μεταβλητών με όρους, ούτως ώστε οι δύο προτάσεις να γίνουν ταυτόσημες. Για παράδειγμα οι δύο προτάσεις $\text{ΠΑΝΩ}(x,y)$ και $\text{ΠΑΝΩ}(A, \text{υποστήριγμα}(A))$ μπορούν να ενοποιηθούν με την αντικατάσταση της μεταβλητής x από τον όρο A και την αντικατάσταση της μεταβλητής y από τον όρο $\text{υποστήριγμα}(A)$. Οι αντικαταστάσεις αναγράφονται ως A/x και $\text{υποστήριγμα}(A)/y$, δηλαδή όρος/μεταβλητή. Ουσιαστικά η ενοποίηση είναι ταύτιση σχημάτων (pattern matching).

Για να είναι επιτρεπτή η αντικατάσταση μίας μεταβλητής από ένα όρο, ο όρος αυτός δεν πρέπει να περιέχει την εν λόγω μεταβλητή. Επομένως, οι δύο προτάσεις $Q(x,g(y))$ και $Q(B,y)$ δεν μπορούν να ενοποιηθούν. Η αντικατάσταση B/x επιτρέπεται, αλλά όχι η αντικατάσταση $g(y)/y$.

Δραστηριότητα 4.1

Μελετήστε τον αλγόριθμο της ενοποίησης προτάσεων από το βιβλίο των Luger και Stubblefield (ενότητα 2.3.2) ή το βιβλίο των Rich και Knight (ενότητα 5.4.4).

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.6

Με ποιες από τις ακόλουθες προτάσεις μπορεί η πρόταση $P(x, f(y), B)$ να ενοποιηθεί; Για κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις δώστε το σύνολο των σχετικών αντικαταστάσεων.

- | | | |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| 1. $P(z, f(w), B)$ | 3. $P(x, f(A), B)$ | 5. $P(C, f(A), B)$ |
| 2. $P(g(x,y), f(z), B)$ | 4. $P(g(z), f(A), B)$ | 6. $P(C, f(A), A)$ |

4.4.3 Αναγωγή σε διαζευκτικές προτάσεις

Μία διαζευκτική πρόταση (clause) μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο κυριολεκτικών. Έστω ότι $\{L_i\}$ και $\{M_i\}$ είναι διαζευκτικές προτάσεις των οποίων οι μεταβλητές έχουν κανονικοποιηθεί, δηλαδή έχουν μετονομασθεί ούτως ώστε η καθεμία να είναι διαφορετική. Έστω ότι το $\{l_i\}$ είναι ένα υποσύνολο της $\{L_i\}$ και το $\{m_i\}$ ένα υποσύνολο της $\{M_i\}$ ούτως ώστε το $\{l_i\}$ να μπορεί να ενοποιηθεί με το $\{\sim m_i\}$ με τις αντικαταστάσεις s . Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να εφαρμοστεί αναγωγή στις διαζευκτικές προτάσεις $\{L_i\}$ και $\{M_i\}$. Η νέα διαζευκτική πρόταση που απορρέει είναι η $\{\{L_i\} - \{l_i\}\}s \cup \{\{M_i\} - \{m_i\}\}s$. Η σημειογραφία $\{\dots\}s$ σημαίνει ότι οι αντικαταστάσεις s εφαρμόζονται στη διαζευκτική πρόταση $\{\dots\}$.

Η πιο πάνω διατύπωση του συμπερασματικού συλλογισμού της αναγωγής είναι κάπως αφηρημένη. Στη συνέχεια όμως θα δούμε αρκετά παραδείγματα εφαρμογής αυτού του συλλογισμού.

4.4.4 Διαδικασία αναγωγής

Όπως έχουμε εξηγήσει και στην υποενότητα 4.4.1 για να αποδείξουμε ότι μία wff, έστω W , λογικά συνεπάγεται από ένα σύνολο, S , από wff, αποδεικνύουμε ότι το σύνολο $S \cup \{\sim W\}$ είναι ασυνεπές. Ένα σύνολο είναι ασυνεπές, εάν ταυτόχρονα συνεπάγονται από αυτό μία πρόταση και η άρνησή της. Ας εξετάσουμε ένα παράδειγμα.

Παράδειγμα 4.2

Έστω οι προτάσεις

1. Όποιος μπορεί να διαβάσει είναι εγγράμματος.

$$\forall x [\Delta(x) \Rightarrow E(x)]$$

2. Οι φώκιες δεν είναι εγγράμματες.

$$\forall x [\Phi(x) \Rightarrow \sim E(x)]$$

3. Ορισμένες φώκιες έχουν νοημοσύνη.

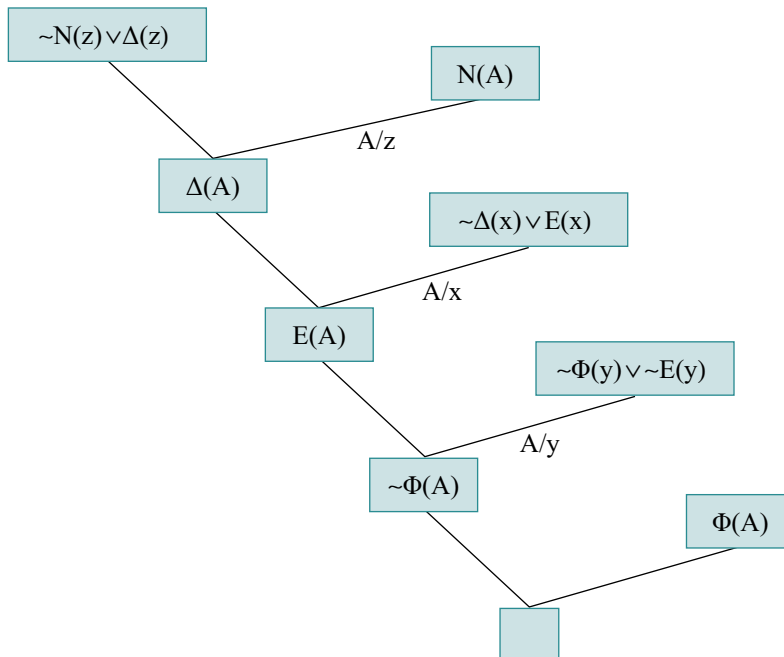
$$\exists x [\Phi(x) \wedge N(x)]$$

Θέλουμε να αποδείξουμε ότι από αυτές τις προτάσεις συνεπάγεται ότι

4. Ορισμένοι που έχουν νοημοσύνη δεν μπορούν να διαβάσουν.

$$\exists x [N(x) \wedge \sim \Delta(x)]$$

Θα το αποδείξουμε, αποδεικνύοντας ότι το σύνολο προτάσεων $\{1, 2, 3, \sim 4\}$ είναι ασυνεπές. Το Σχήμα 4.4 δείχνει το δέντρο (resolution refutation tree), που δημιουργείται από την επαναληπτική εφαρμογή της αναγωγής. Σε κάθε εφαρμογή οι σχετικές αντικαταστάσεις εμφανίζονται ως ετικέτες στα κλαδιά που ενώνουν τις γονικές προτάσεις με την απόγονο πρόταση. Το δέντρο καταλήγει στην κενή πρόταση (\square) που υποδηλώνει αντίφαση.



Σχήμα 4.4

Δέντρο Αναγωγής

Καταρχάς οι προτάσεις 1–3 και η άρνηση της 4 μετασχηματίζονται σε ΣΚΜ ως ακολούθως:

1. $\sim\Delta(x) \vee E(x)$
2. $\sim\Phi(y) \vee \sim E(y)$
- 3α. $\Phi(A)$
- 3β. $N(A)$
- ~4. $\sim N(z) \vee \Delta(z)$

Όλες οι μεταβλητές έχουν κανονικοποιηθεί. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η αναγωγή για τη δημιουργία νέων διαζευκτικών προτάσεων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4. Ο συλλογισμός οδηγείται από ένα δεδομένο στόχο (goal-driven reasoning), συγκεκριμένα να αποδειχτεί ότι η πρόταση $\sim N(z) \vee \Delta(z)$ προκαλεί αντίφαση. Επομένως, είναι φυσικό ότι αυτή η πρόταση πρέπει να εμπλέκεται στην αρχική εφαρμογή της αναγωγής ως η μία εκ των δύο γονικών προτάσεων. Με το ίδιο σκεπτικό η απόγονος πρόταση πρέπει να εμπλέκεται στην επόμενη εφαρμογή της αναγωγής, κ.ο.κ. Θεωρώντας ότι οι υπόλοιπες προτάσεις είναι αμοιβαία συνεπείς, αναγωγές ανάμεσα σε αυτές τις προτάσεις δεν θα οδηγήσουν στην κενή πρόταση. Είναι αυτονόητο ότι σε κάθε βήμα πρέπει να εμπλέκεται είτε μέρος της άρνησης της πρότασης-στόχου ή κάποια απόγονος αυτής.

Διαδικασία Αναγωγής Μέσω Αντίκρουσης της Αντίφασης

1. ΔΙΑΖΕΥΚΤΙΚΕΣ_ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ \leftarrow S

2. Επανάλαβε

2.1 Επέλεξε από τις ΔΙΑΖΕΥΚΤΙΚΕΣ_ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ δύο ξεχωριστές προτάσεις, έστω c_i και c_j , πάνω στις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί αναγωγή.

2.2 Δημιούργησε την απόγονο πρόταση, έστω, r_{ij} , από τις γονικές προτάσεις c_i και c_j

2.3 Πρόσθεσε την r_{ij} στις ΔΙΑΖΕΥΚΤΙΚΕΣ_ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Μέχρις ότου η κενή πρόταση να είναι μέλος των ΔΙΑΖΕΥΚΤΙΚΩΝ_ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ

Ο εντοπισμός της αντίφασης είναι ένα πρόβλημα αναζήτησης (βλέπε κεφ. 2), όπου μία κατάσταση αποτελείται από ένα σύνολο διαζευκτικών προτάσεων και ο τελεστής δράσεως είναι η αναγωγή. Η αρχική κατάσταση αποτελείται από το αρχικό σύνολο διαζευκτικών προτάσεων και την άρνηση της πρότασης-στόχου, ενώ η τελική κατάσταση περιέχει την κενή πρόταση. Για μία δεδομένη κατάσταση μπορεί να υπάρχουν πολλαπλές εφαρμογές του τελεστή δράσεως, μία για κάθε δυνάδα πιθανών γονικών προτάσεων. Κατάλληλα ευρετικά μπορεί να οδηγήσουν στην τελική κατάσταση με αποτελεσματικό τρόπο. Αυτό αφορά το βήμα 2.1 της διαδικασίας, την επιλογή των γονικών προτάσεων. Εάν η επιλογή γίνεται με συστηματικό τρόπο, η διαδικασία θα εντοπίσει τελικά την αντίφαση, εάν όντως υπάρχει αντίφαση. Η διαδικασία μπορεί να επιταχυνθεί με διάφορους τρόπους. Καταρχάς οι ΔΙΑΖΕΥΚΤΙΚΕΣ_ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ μπορούν να απλοποιηθούν με τις ακόλουθες διαδικασίες:

- Εξάλειψη των ταυτολογιών. Ταυτολογία είναι πρόταση, η οποία είναι πάντα αληθής, π.χ. $P(x) \vee B(y) \vee \sim B(y)$ ή $P(f(A)) \vee \sim P(f(A))$.
- Εξάλειψη προτάσεων οι οποίες καλύπτονται από άλλες προτάσεις, π.χ. η $P(x)$ καλύπτει την $P(y) \vee Q(z)$, η $P(x)$ καλύπτει την $P(A)$, η $P(x) \vee Q(A)$ καλύπτει την $P(f(A)) \vee Q(A) \vee R(y)$, κτλ.
- Αποτίμηση κυριολεκτικών, π.χ. η πρόταση ΙΣΟΥΤΑΙ(πρόσθεσε_1(2), 3) $\vee \Phi(A)$ μπορεί να απαλειφθεί, αφού η αποτίμηση του κυριολεκτικού ΙΣΟΥΤΑΙ(...) την μετατρέπει σε ταυτολογία. Παρομοίως, η πρόταση ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ(6,3) $\vee \Phi(A)$ μπορεί να απλοποιηθεί σε $\Phi(A)$.

Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρετικά όπως:

- *Σύνολο υποστήριξης* (set of support). Το σύνολο υποστήριξης αποτελείται από την άρνηση της πρότασης-στόχου και όλες τις απογόνους της. Όποτε είναι εφικτό, τουλάχιστον μία από τις γονικές προτάσεις πρέπει να ανήκει στο σύνολο υποστήριξης. Η χρήση αυτού του ευρετικού οδηγεί σε ανάστροφο συλλογισμό, δηλαδή συλλογισμό βασισμένο σε στόχο.
- *Κατά προτίμηση μονάδα* (unit preference). Να δίνεται προτίμηση σε γονικές προτάσεις που αποτελούνται από ένα και μοναδικό κυριολεκτικό. Αυτό σημαίνει ότι η απόγονος πρόταση θα είναι μικρότερη σε μήκος από τις γονικές προτάσεις, όπου μήκος είναι ο αριθμός κυριολεκτικών που αποτελούν μία διάζευξη. Εάν οι γονικές προτάσεις έχουν μήκος n και m αντιστοίχως, η απόγονος θα έχει μήκος $n+m-2$. Έτσι εάν $n = 1$, η απόγο-

νος θα έχει μήκος $m-1$. Εάν $n = m = 1$, τότε η απόγονος θα είναι η κενή πρόταση (μήκος 0).

Και τα δύο ευρετικά προσπαθούν να μας φέρουν πιο κοντά στην κενή πρόταση. Το μεν πρώτο μέσω του συνόλου υποστήριξης, εστιάζοντας έτσι και την αναζήτηση, αφού εξάλλου η κενή πρόταση θα ανήκει στο σύνολο υποστήριξης, το δε δεύτερο μειώνοντας το μήκος των απογόνων σε σχέση με τις γονικές προτάσεις. Μόνο εάν τουλάχιστο μία από τις γονικές προτάσεις έχει μήκος 1, το μήκος της απογόνου θα μειωθεί. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις είτε θα μείνει το ίδιο (όταν και οι δύο γονικές προτάσεις έχουν μήκος 2) ή θα αυξηθεί. Τα δύο ευρετικά, η χρήση των οποίων αφορά την ιδιότητα της ευρετικής επάρκειας της αναπαράστασης των διαζευκτικών προτάσεων, μπορούν φυσικά να συνδυαστούν.

Μπορούν να υπάρχουν περισσότερες από μία διαδρομές οι οποίες οδηγούν σε αντίφαση. Εάν στόχος είναι να δείξουμε ότι υπάρχει αντίφαση, τότε μας ενδιαφέρει η συντομότερη διαδρομή. Για την εξαγωγή απαντήσεων όμως, μπορεί να χρειαστεί να δημιουργηθούν όλες οι διαδρομές, όπως θα δούμε στην ενότητα 4.5

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.7

Με βάση τις διαζευκτικές προτάσεις που αποτελούν την απάντησή σας στην Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.5, αποδείξτε, χρησιμοποιώντας αναγωγή μέσω αντίκρουσης της αντίφασης, ότι στο Γιάννη αρέσουν τα φυστίκια.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.8

Αποδείξτε ότι η καθεμία από τις ακόλουθες προτάσεις είναι έγκυρη:

$$A. \exists x \{ [P(x) \Rightarrow P(A)] \wedge [P(x) \Rightarrow P(B)] \}$$

$$B. \{ \forall z [Q(z) \Rightarrow P(z)] \} \Rightarrow \{ \exists x [Q(x) \Rightarrow P(A)] \wedge [Q(x) \Rightarrow P(B)] \}$$

$$Γ. \exists x \exists y \{ [P(f(x)) \wedge Q(f(B))] \Rightarrow P(f(A)) \wedge P(y) \wedge Q(y) \}$$

$$Δ. \exists x \forall y P(x,y) \Rightarrow \forall y \exists x P(x,y)$$

$$E. \forall x \{ P(x) \wedge [Q(A) \vee Q(B)] \} \Rightarrow \exists x [P(x) \wedge Q(x)]$$

Δίνεται ότι ισχύουν οι προτάσεις:
 Στο Γιάννη αρέσουν τα φρούτα.
 Τα πορτοκάλια είναι φρούτα.
 Οι άνθρωποι τρώνε αυτό που τους αρέσει.
 Αποδείξτε ότι ο Γιάννης τρώει πορτοκάλια.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.9

Ταξινομικές και μερονομικές σχέσεις μπορούν να αναπαρασταθούν από προτάσεις κατηγορηματικής λογικής όπως για παράδειγμα

EINAI(ZΩO, ΖΩΝΤΑΝΗ_ΟΝΤΟΤΗΤΑ)

EINAI(ΚΑΤΟΙΚΙΔΙΟ, ΖΩO)

EINAI(ΓΑΤΑ, ΚΑΤΟΙΚΙΔΙΟ)

EINAI(ΠΕΡΣΙΚΗ_ΓΑΤΑ, ΓΑΤΑ)

EINAI_ΜΕΡΟΣ(ΟΥΡΑ, ΓΑΤΑ)

Με βάση τις πιο πάνω προτάσεις και το αξίωμα

$$\forall x \forall y \forall z \{ [EINAI(x,y) \wedge EINAI_ΜΕΡΟΣ(z,y)] \Rightarrow EINAI_ΜΕΡΟΣ(z,x) \}$$

το οποίο εκφράζει κληρονόμηση ιδιοτήτων, αποδείξτε ότι η ουρά είναι μέρος της περσικής γάτας.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.10

4.5 Εξαγωγή απαντήσεων

Όπως αναφέραμε και στις Εισαγωγικές Παρατηρήσεις, μία συγκεκριμένη πρόταση-ερώτηση μπορεί να απαντηθεί με ένα ναι ή ένα όχι. Όμως, μια πιο γενική ερώτηση, π.χ. «Τι τροφές αρέσουν στο Γιάννη;», είτε θα απαντηθεί αρνητικά (καμιά τροφή δεν αρέσει στο Γιάννη) ή το χρήσιμο θα είναι να διατυπωθούν συγκεκριμένες θετικές απαντήσεις, π.χ. τα πορτοκάλια αρέσουν στο Γιάννη. Σε αυτή την ενότητα θα δούμε πώς μπορούμε, με πολύ απλό τρόπο, να επεκτείνουμε τη διαδικασία συλλογισμού που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα, ούτως ώστε να μπορούν να εξαχθούν χρήσιμες απαντήσεις.

Ας εξετάσουμε το παράδειγμα του κόσμου των κύβων που δίνεται στο Σχήμα 4.3. Οι δεδομένες προτάσεις είναι οι εξής:

1. $\forall x \forall y [\text{ΠΑΝ}\Omega(x,y) \Rightarrow \text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(x,y)]$
2. $\forall x \forall y \forall z [\text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(x,y) \wedge \text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(y,z) \Rightarrow \text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(x,z)]$
3. $\text{ΠΑΝ}\Omega(A, \text{ΤΡΑΠΕΖΙ})$
4. $\text{ΠΑΝ}\Omega(B, A)$

Οι προτάσεις 1 και 2 εκφράζουν αξιώματα, ενώ οι 3 και 4 γεγονότα. Το ερώτημα είναι «Υπεράνω ποιών αντικειμένων βρίσκεται ο κύβος B;», που γράφεται

5. $\exists x [\text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(B,x)]$

Οι προτάσεις μετασχηματίζονται σε ΣΚΜ ως εξής:

1. $\sim \text{ΠΑΝ}\Omega(u,v) \vee \text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(u,v)$
2. $\sim \text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(x,y) \vee \sim \text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(y,z) \vee \text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(x,z)$
3. $\text{ΠΑΝ}\Omega(A, \text{ΤΡΑΠΕΖΙ})$
4. $\text{ΠΑΝ}\Omega(B, A)$
- ~5. $\sim \text{ΥΠΕΡΑΝ}\Omega(B, w)$

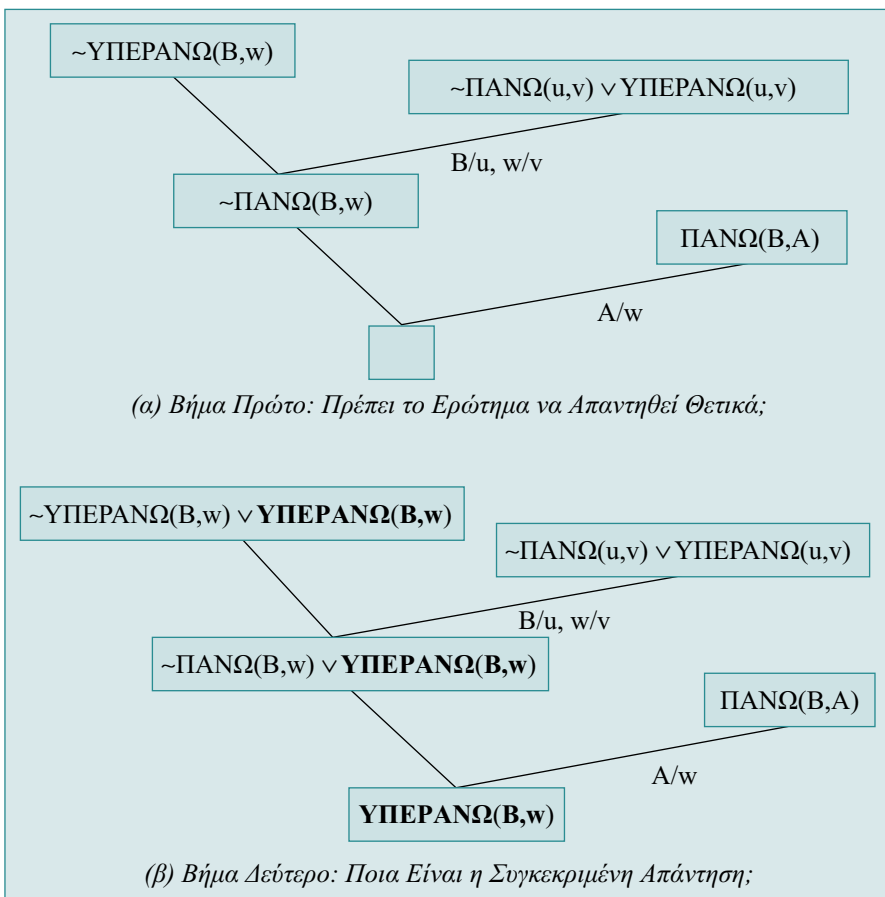
Το πρώτο βήμα είναι να παραχθούν οι διαδρομές που οδηγούν σε αντίφαση σύμφωνα με τη διαδικασία που εξετάσαμε στην ενότητα 4.4. Το Σχήμα 4.5(α) δίνει μια τέτοια διαδρομή. Το δεύτερο βήμα, που αποτελεί την επέκταση της διαδικασίας, είναι να μετατραπεί σε ταυτολογία η άρνηση του ερωτήματος, δηλαδή να είναι της μορφής $\sim W \vee W$, και στη συνέχεια να επαναληφθεί η ίδια αλυσίδα αναγωγών που οδήγησε στην αντίφαση. Με αυτό τον τρόπο η κενή πρόταση θα αντικατασταθεί από μία συγκεκριμένη απάντηση στο εν λόγω ερώτημα, ότι δηλαδή ο κύβος B είναι υπεράνω του κύβου A (βλέπε Σχήμα 4.5(β)). Επομένως, στόχος του πρώτου βήματος είναι να αποδείξει ότι το ερώτημα πρέπει να απαντηθεί θετικά, ενώ το δεύτερο βήμα παράγει τη σχετική συγκεκριμένη απάντηση.

Η προσθήκη ταυτολογιών σε ένα συνεπές σύνολο προτάσεων δεν επηρεάζει τη συνέπεια. Το επεκταμένο με ταυτολογίες σύνολο εξακολουθεί να είναι συνεπές. Τα συμπεράσματα που απορρέουν από ένα συνεπές σύνολο προτάσεων με χρήση κάποιου έγκυρου κανόνα συλλογισμού είναι έγκυρα. Επομένως, το συμπέρασμα ότι ο B είναι υπεράνω του A είναι έγκυρο.

Η διαδρομή που φαίνεται στο Σχήμα 4.5 έκανε χρήση του αξιώματος 1. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να είχε χρησιμοποιηθεί το αξίωμα 2 δίνοντας μία άλλη διαδρομή η οποία επίσης οδηγεί σε αντίφαση. Από αυτή τη διαδρομή εξάγεται η συγκεκριμένη απάντηση ότι ο κύβος B είναι υπεράνω του τραπέζιού.

Δημιουργήστε αυτή την εναλλακτική διαδρομή και την εν λόγω συγκεκριμένη απάντηση.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.11



Σχήμα 4.5

Εξαγωγή Απαντήσεων

Με βάση τις προτάσεις της Άσκησης 4.5 απαντήστε στο ερώτημα «Τι τροφή τρώει η Ελένη;».

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.12

4.6 Horn clauses και άρνηση ως αποτυχία

Στην τελευταία ενότητα αυτού του κεφαλαίου θα κάνουμε μια σύντομη αναφορά σε μία υποκατηγορία διαζευκτικών προτάσεων, τις λεγόμενες Horn clauses, οι οποίες αποτελούν κεντρική έννοια στο λογικό προγραμματισμό. Όπως έχουμε αναφέρει η Clausal Form είναι $A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \Leftarrow B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_m$, όπου $n \geq 0$, $m \geq 0$. Τα γεγονότα B_i και A_j είναι αντιστοίχως οι υποθέσεις και τα συμπεράσματα ή συντακτικά το δεξιό και αριστερό μέρος της πρότασης. Τέλος, η άρνηση δεν εμφανίζεται καθόλου.

Οι Horn clauses είναι μία υποκατηγορία της Clausal Form, όπου $0 \leq n \leq 1$, δηλαδή δεν επιτρέπονται περισσότερες από μία ατομικές προτάσεις στο αριστερό μέρος. Επομένως, οι προτάσεις $A \Leftarrow B_1 \wedge B_2$, $A \Leftarrow$, $\square \Leftarrow B$ και $\square \Leftarrow$, είναι όλες Horn clauses, αλλά όχι οι προτάσεις $A_1 \vee A_2 \Leftarrow B$ και $A_1 \vee A_2 \Leftarrow$. Ο σημαντικός περιορισμός, σε σχέση με ολόκληρη την Clausal Form, είναι ότι δεν μπορούν να εκφραστούν διαζευκτικά συμπεράσματα. Φυσικά, ο περιορισμός της Clausal Form να μην υπάρχει άρνηση υπάρχει και εδώ. Αφού οι Horn clauses είναι υποσύνολο των προτάσεων σε Clausal Form (δηλαδή υποσύνολο της κατηγορηματικής λογικής), η δύναμη εκφρασιμότητας και κατά συνέπεια η λογική επάρκεια, μειώνονται. Πιστεύεται ότι αυτή η μείωση δικαιολογείται από το γεγονός ότι η μη ύπαρξη διαζευκτικών συμπερασμάτων διευκολύνει την υπολογισιμότητα σε μεγάλο βαθμό. Όσον αφορά την άρνηση αυτή έχει εισαχθεί, αλλά με κάπως ιδιόμορφη ερμηνεία. Τα Horn clauses, επεκταμένα με την έννοια της άρνησης ως αποτυχία, αποτελούν την αναπαράσταση που διέπει το λογικό προγραμματισμό και επομένως γλώσσες όπως την PROLOG.

4.6.1 Άρνηση ως αποτυχία

Η πρόταση ότι κάθε άνθρωπος είναι φύλου αρσενικού ή θηλυκού

$$\begin{aligned} & \PhiΥΛΟΥ_ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ(x) \vee \PhiΥΛΟΥ_ΘΗΛΥΚΟΥ(x) \\ & \Leftarrow \text{ΑΝΘΡΩΠΟΣ}(x) \end{aligned}$$

σε λογικό προγραμματισμό θα μεταφραστεί ως

$$\begin{aligned} & \PhiΥΛΟΥ_ΘΗΛΥΚΟΥ(x) \\ & \Leftarrow \text{ΑΝΘΡΩΠΟΣ}(x) \wedge \sim \PhiΥΛΟΥ_ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ(x) \text{ ή} \\ & \PhiΥΛΟΥ_ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ(x) \\ & \Leftarrow \text{ΑΝΘΡΩΠΟΣ}(x) \wedge \sim \PhiΥΛΟΥ_ΘΗΛΥΚΟΥ(x) \end{aligned}$$

Ως παρένθεση, και οι δύο προτάσεις μαζί θα προκαλέσουν βρόγχο άπειρης διάρκειας. Υπάρχει επομένως η ανάγκη να μπορούν να αποφασιστούν αρνήσεις, οι οποίες εμφανίζονται στο δεξιό μέρος. Επειδή δεν επιτρέπεται να υπάρχει άρνηση στην κεφαλή (αριστερό μέρος) μίας πρότασης, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κλασική άρνηση. Η ερμηνεία που έχει αποδοθεί στην έννοια της άρνησης στο λογικό προγραμματισμό είναι *άρνηση ως αποτυχία* (negation as failure). Ένα γεγονός (ατομική πρόταση) θεωρείται ως αναληθές, εάν δεν μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι αληθές. Επομένως, η αναλήθεια αποφασίζεται ως εξής: Πρώτα επιχειρείται να αποδειχθεί ότι το γεγονός είναι αληθές. Εάν αυτό το επίχειρημα αποτύχει, τότε το γεγονός θεωρείται αναληθές.

Σε αντίθεση, η κλασική ερμηνεία είναι ότι μία πρόταση είναι είτε αληθής είτε ψευδής, αλλά δεν σημαίνει ότι γνωρίζουμε ή είμαστε σε θέση να αποδείξουμε ποια είναι η ορθή τιμή αλήθειας.

4.6.2 Υπόθεση κλειστού κόσμου

Η ερμηνεία της άρνησης ως αποτυχίας, υποθέτει ότι η τιμή αλήθειας για κάθε ατομική πρόταση είναι γνωστή: Είτε γνωρίζουμε ότι είναι αληθής ή μπορούμε να αποδείξουμε ότι είναι αληθής, διαφορετικά θεωρούμε ότι είναι ψευδής. Αυτή η υπόθεση είναι γνωστή ως η *υπόθεση του κλειστού κόσμου* (closed world assumption). Εάν όντως αυτή η υπόθεση ευσταθεί, τότε η ερμηνεία της άρνησης ως αποτυχίας ισοδυναμεί με την κλασική ερμηνεία.

Τι ακριβώς σημαίνει όμως αυτή η υπόθεση, για να δούμε εάν η ικανοποίησή της είναι κάτι το εύκολο; Το τι σημαίνει είναι ότι γνωρίζουμε όλα τα σχετικά (βασικά) γεγονότα και επίσης ότι η γνώση μας για το εν λόγω πεδίο είναι πλήρης. Αναφορικά με τα γεγονότα μπορεί να θεωρηθεί ότι ο περιορισμός που επιβάλλει η υπόθεση (ουσιαστικά, εκ των προτέρων γνώση) δεν είναι παράλογος, αν και στο πλαίσιο ρεαλιστικών προβλημάτων μπορεί κάλλιστα να είναι. Για παράδειγμα, σε ένα πρόβλημα ιατρικής διάγνωσης μπορούν να διατυπωθούν εκ των προτέρων όλα τα συμπτώματα, αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων, κτλ, του ασθενή; Και ερχόμαστε στο περιορισμό της πληρότητας γνώσης. Έστω οι ακόλουθες συνεπαγωγές:

$$\text{ΠΥΡΕΤΟΣ}(x) \Leftarrow \text{ΓΡΙΠΠΗ}(x)$$

$$\text{ΠΥΡΕΤΟΣ}(x) \Leftarrow \text{ΑΝΕΜΟΒΛΟΓΙΑ}(x)$$

Η κάθε πρόταση από μόνη της αρκεί να αποδείξει την ύπαρξη πυρετού. Συλλογικά όμως, αποτελούν αυτές οι προτάσεις τις αναγκαίες συνθήκες για την

τιμή αλήθειας του κατηγορήματος ΠΥΡΕΤΟΣ; Προφανώς όχι. Μπορούν να απαριθμηθούν πολλές άλλες αιτίες για πυρετό, όπως κρουολόγημα, ιλαρά, τροφική δηλητηρίαση, κτλ. Όσες αιτίες και να απαριθμήσουμε ποτέ δεν μπορούμε να αποδείξουμε ότι συλλογικά αποτελούν ένα εξαντλητικό σύνολο αιτιών για τον πυρετό και επομένως ότι η γνώση μας σε αυτό το θέμα είναι πλήρης. Επομένως, ο περιορισμός που επιβάλλει αυτή η υπόθεση, σε σχέση με τη γνώση, είναι πολύ αυστηρός. Συμπερασματικά, είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί αυτή η υπόθεση σε σχέση με ρεαλιστικά σώματα γνώσης και δεδομένων.

Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε το φορμαλισμό της κατηγορηματικής λογικής. Αυτός ο φορμαλισμός αποτελεί έναν κατεξοχήν περιγραφικό τρόπο αναπαράστασης γνώσης, όπου τα συμπεράσματα εξάγονται με βάση γενικούς κανόνες συλλογισμού. Η κατηγορηματική λογική έχει χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση γνώσης διαφόρων τομέων, επιδεικνύοντας έτσι ότι η δύναμη εκφρασιμότητάς της είναι επαρκής για αρκετά προβλήματα. Δεν είναι παράξενο λοιπόν που αυτή η εκφρασιμότητα έχει χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σύγκρισης για την ανάπτυξη άλλων φορμαλισμών, όπως τα δίκτυα συσχέτισης τα οποία θα συζητήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Παρόλο που η σύνταξη της κατηγορηματικής λογικής είναι απλή, για σκοπούς αυτοματοποίησης ενδείκνυται η απλοποίησή της και παράλληλα η διατήρηση της εκφρασιμότητας. Τρεις τέτοιες απλοποιήσεις αποτελούν η Συνζευκτική Κανονική Μορφή (ΣΚΜ), η Διαζευκτική Κανονική Μορφή (ΔΚΜ) και η Clausal Form. Η τελευταία είναι απευθείας μετασχηματισμός της πρώτης. Σε όλες αυτές τις μορφές, αρκεί ένας και μοναδικός κανόνας συλλογισμού, αυτός της αναγωγής. Η εφαρμογή του κανόνα είναι πιο φυσική σε σχέση με την ΣΚΜ. Παρουσιάσαμε έναν αλγόριθμο για το συστηματικό μετασχηματισμό μίας οποιασδήποτε πρότασης κατηγορηματικής λογικής σε ΣΚΜ. Στη συνέχεια αναλύσαμε τη διαδικασία της αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφρασης και την επέκταση αυτής της διαδικασίας για την εξαγωγή χρήσιμων απαντήσεων σε πιο γενικές ερωτήσεις.

Η χρήση της ΣΚΜ δεν επηρεάζει τη δύναμη εκφρασιμότητας. Από υπολογιστικής σκοπιάς, όμως, δικαιολογείται η μείωση αυτής της εκφρασιμότητας στο υποσύνολο διαζευκτικών προτάσεων γνωστών ως Horn clauses. Αυτή η μορφή προτάσεων αποτελεί κεντρική έννοια σε λογικό προγραμματισμό, όπου έχει επεκταθεί με την ερμηνεία της άρνησης ως αποτυχίας. Αυτή η ερμηνεία

υποθέτει ότι είτε είναι γνωστό ή μπορεί να αποδειχτεί ότι μία ατομική πρόταση είναι αληθής, διαφορετικά θεωρείται ότι είναι ψευδής. Αυτή είναι η υπόθεση του κλειστού κόσμου, που ουσιαστικά σημαίνει ότι υπάρχει πληρότητα και σε επίπεδο βασικών γεγονότων και σε επίπεδο γνώσης.

Η κατηγορηματική λογική έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, έχει όμως και μειονεκτήματα. Η δύναμη εκφρασιμότητάς της μπορεί να αρκεί για πολλά προβλήματα, αλλά όχι για προβλήματα όπου η αβεβαιότητα, η ασάφεια και εν γένει ο μη αθροιστικός τρόπος συλλογισμού κατέχουν κεντρική θέση. Επίσης, παρόλο που αποτελεί ένα περιγραφικό φορμαλισμό η διευκόλυνση συμβολισμού δεν είναι ιδιαίτερος υψηλή. Η γνώση αναπαριστάται ως ένα σύνολο ανεξάρτητων προτάσεων, χωρίς καθόλου δόμηση. Για παράδειγμα, η ολότητα της γνώσης για μία έννοια δεν είναι εμφανής. Στο κεφάλαιο 5 θα διαπραγματευτούμε δύο άλλους βασικούς φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης, τα δίκτυα συσχέτισης και τα πλαίσια, όπου έμφαση δίνεται στη δόμηση της γνώσης.

Βιβλιογραφία

- T.J.K. Bench-Capon, *Knowledge Representation: An Approach to Artificial Intelligence*, Academic Press, 1990.
- G.F. Luger και W.A. Stubblefield, *Artificial Intelligence: structures and strategies for complex problem solving*, τρίτη έκδοση, Addison-Wesley, 1998.
- N.J. Nilsson, *Principles of Artificial Intelligence*, Tioga Publishing Co, 1980.
- E. Rich και K. Knight, *Artificial Intelligence*, δεύτερη έκδοση, McGraw-Hill, 1991.
- Γ. Μητακίδης (σε συνεργασία με Α. Συναχοπούλου-Σβάρνα), *Από τη Λογική στο Λογικό Προγραμματισμό και την Prolog*, Εκδόσεις Καρδαμίτσα, 1992.

Το βιβλίο του Nilsson είναι πλέον ένα από τα κλασικά βιβλία του πεδίου. Το μέρος του βιβλίου που καταπιάνεται με το φορμαλισμό της κατηγορηματικής λογικής είναι ιδιαίτερος αξιοσημείωτο. Επιπλέον, το βιβλίο των Luger και Stubblefield παρουσιάζει μια πολύ χρήσιμη εισαγωγή στη γλώσσα PROLOG. Μία σύντομη εισαγωγή στην PROLOG δίνεται και στο βιβλίο του Bench-Capon. Τέλος, το βιβλίο του Μητακίδη προσφέρει μια περισσότερο περιεκτική και σε βάθος παρουσίαση του πεδίου της λογικής και του λογικού προγραμματισμού.

Δίκτυα Συσχέτισης και Πλαίσια

Σκοπός

Στόχος του κεφαλαίου 5 είναι να παρουσιάσει δύο άμεσα σχετιζόμενους φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης, τα δίκτυα συσχέτισης (*associative networks*) και τα πλαίσια (*frames*). Και στους δύο φορμαλισμούς δίνεται έμφαση στη δόμηση της γνώσης. Βασικές δομές γνώσης αποτελούν ταξινομίες και μερονομίες εννοιών, οι οποίες επιτρέπουν την κληρονόμηση ιδιοτήτων. Τα δίκτυα συσχέτισης είναι ένας περιγραφικός φορμαλισμός, ενώ τα πλαίσια, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως σύνθετα δίκτυα συσχέτισης, συνδυάζουν περιγραφική και διαδικασιακή αναπαράσταση.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο θα μπορείτε να:

- περιγράψετε τις δομές των ταξινομιών και μερονομιών και να εξηγήσετε την κληρονόμηση ιδιοτήτων,
- περιγράψετε το φορμαλισμό των δικτύων συσχέτισης, καθώς επίσης την επέκταση του φορμαλισμού σε διαμερισμένα δίκτυα συσχέτισης,
- εξηγήσετε τη μέθοδο της αναζήτησης τομής η οποία εφαρμόζεται σε δίκτυα συσχέτισης,
- περιγράψετε το φορμαλισμό των πλαισίων, συγκεκριμένα τη δομή (σχισμές και όψεις) και σημασιολογία ενός πλαισίου, καθώς επίσης την οργάνωση ενός συστήματος πλαισίων,
- περιγράψετε βασικούς μηχανισμούς συλλογισμού σε ένα σύστημα πλαισίων,
- εξηγήσετε και να εφαρμόσετε τρεις αλγόριθμους για κληρονόμηση, δύο για αυστηρές ταξινομίες (κληρονόμηση N ή Z) και ένα για πολλαπλή κληρονόμηση, ο οποίος βασίζεται στην έννοια της απόστασης συλλογισμού.

Έννοιες κλειδιά

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| • ταξινομίες/μερονομίες | • κανόνες ορατότητας διαμερίσεων |
| • δίκτυα συσχέτισης | • πλαίσιο |
| • διαμερισμένα δίκτυα συσχέτισης | • σχισμές και όψεις |
| • αναζήτηση τομής | • σύστημα πλαισίων |

- μήτρα ομοιοτήτων
- συλλογισμός με πλαίσια
- ενεργοποιητικοί, αντίπαλοι και συμπληρωματικοί σύνδεσμοι
- κληρονόμηση
- απλή κληρονόμηση (κληρονόμηση N ή Z)
- πολλαπλή κληρονόμηση με βάση την απόσταση συλλογισμού

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Το κεφάλαιο 5 διαπραγματεύεται δύο άμεσα σχετιζόμενους formalismούς αναπαράστασης γνώσης, τα δίκτυα συσχέτισης και τα πλαίσια. Και οι δύο formalismοί δίνουν έμφαση στη δόμηση της γνώσης, με στόχο την αναπαράσταση της ολότητας της γνώσης για κάποια έννοια, αντικείμενο, κτλ.

Τα δίκτυα συσχέτισης είναι μία περιγραφική αναπαράσταση. Η επέκταση της βασικής εκδοχής του formalισμού με την προσθήκη διαμερίσεων, δικτύων σε χαμηλότερο επίπεδο, αποδίδει στο formalισμό την ίδια λογική επάρκεια (δύναμη εκφρασιμότητας) με την κατηγορηματική λογική. Ο τρόπος συλλογισμού όμως, ανάμεσα σε δίκτυα συσχέτισης και κατηγορηματική λογική, είναι τελείως διαφορετικός.

Τα δίκτυα συσχέτισης είναι η γενίκευση των σημασιολογικών δικτύων, τα οποία αναπτύχθηκαν σε σχέση με έρευνα για την κατανόηση της φυσικής γλώσσας και συγκεκριμένα την απεικόνιση σημασιολογικών διαχωρισμών και συσχετίσεων ανάμεσα σε έννοιες. Η γενίκευση σε δίκτυα συσχέτισης βασίζεται σε ευρήματα αναφορικά με τη φύση της ανθρώπινης μνήμης. Η θεώρηση της ανθρώπινης μνήμης ως συσχετιζουσας μνήμης (*associative memory*) εκφράζει την άποψη ότι η γνώση για έννοιες, αντικείμενα, κτλ. αποθηκεύεται ως ένα σύνολο συσχετίσεων ανάμεσα στα χαρακτηριστικά των εννοιών κτλ. και των αντίστοιχων τιμών τους.

Ένα δίκτυο συσχέτισης αποτελείται από κόμβους και τόξα (συσχετίσεις). Στη βασική τους εκδοχή οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν «αδιάσπαστες» οντότητες. Στην επέκταση των διαμερισμένων δικτύων συσχέτισης, ένας κόμβος μπορεί να είναι διαμέριση, η οποία αποτελείται από ένα δίκτυο συσχέτισης σε χαμηλότερο επίπεδο. Η γενική διατύπωση του formalισμού μπορεί να συγκεκριμενοποιηθεί ποικιλοτρόπως για τις ανάγκες δεδομένων (κατηγοριών) εφαρμογών. Για παράδειγμα, μπορεί να προσδιοριστούν συγκεκριμένα είδη κόμβων και τόξων. Δύο γενικής χρησιμότητας σχέσεις είναι οι ταξινομικές και μερονομικές σχέσεις, οι οποίες μπορούν να αναπαρασταθούν με τα τόξα

«ΕΙΝΑΙ» και «ΕΙΝΑΙ_ΜΕΡΟΣ» αντιστοίχως. Αυτές οι σχέσεις είναι μεταβατικές και οι ιεραρχίες που δημιουργούνται είναι κληρονομικές. Θα εξετάσουμε τρεις αλγόριθμους κληρονομής ιδιοτήτων, δύο για απλή κληρονομήση και ένα για πολλαπλή κληρονομήση.

Ο φορμαλισμός των πλαισίων μπορεί να θεωρηθεί ως μία φυσική επέκταση του φορμαλισμού των δικτύων συσχέτισης, όπου οι κόμβοι είναι πλαίσια. Ένα πλαίσιο περιγράφεται από ένα σύνολο χαρακτηριστικών (σχισμές του πλαισίου). Κάθε σχισμή αποτελείται από ένα αριθμό συνιστωσών, τις όψεις (facets) της. Ένα πλαίσιο είναι ένα δομημένο αντικείμενο (structured object), το οποίο αναπαριστά την ολότητα της γνώσης για κάποια έννοια. Η αναπαράσταση συνδυάζει περιγραφικό και διαδικασιακό τρόπο. Η αρχική σύλληψη της έννοιας του πλαισίου οφείλεται στον Marvin Minsky σε σχέση με την έρευνά του πάνω στη μηχανική όραση. Χωρίς αμφιβολία το πλαίσιο αποτελεί σημαντικό πρόγονο της έννοιας του αντικειμένου στο αντικειμενοστρεφές μοντέλο προγραμματισμού.

Σε επίπεδο ατομικών πλαισίων, ο βασικός μηχανισμός συλλογισμού αφορά τη δημιουργία συγκεκριμενοποιήσεων (instances) ενός πλαισίου, δηλαδή το γέμισμα των σχισμών με συγκεκριμένες τιμές για την αναπαράσταση πραγματικών περιπτώσεων της εν λόγω αφηρημένης έννοιας. Ένα πλαίσιο από μόνο του δεν έχει μεγάλη χρησιμότητα. Σε μία ρεαλιστική εφαρμογή χρειάζεται ένα σύστημα πλαισίων (frame system) αποτελούμενο από ένα αριθμό πλαισίων διαφόρων τύπων και ειδών διασυνδέσεων, οι οποίες παρέχουν διάφορους μηχανισμούς συλλογισμού. Ορισμένα από αυτά τα πλαίσια ελέγχουν τη χρήση άλλων πλαισίων. Έτσι, σε ένα σύστημα τα πλαίσια χωρίζονται σε πλαίσια ελέγχου (control frames) και πλαίσια αντικειμένων (object frames).

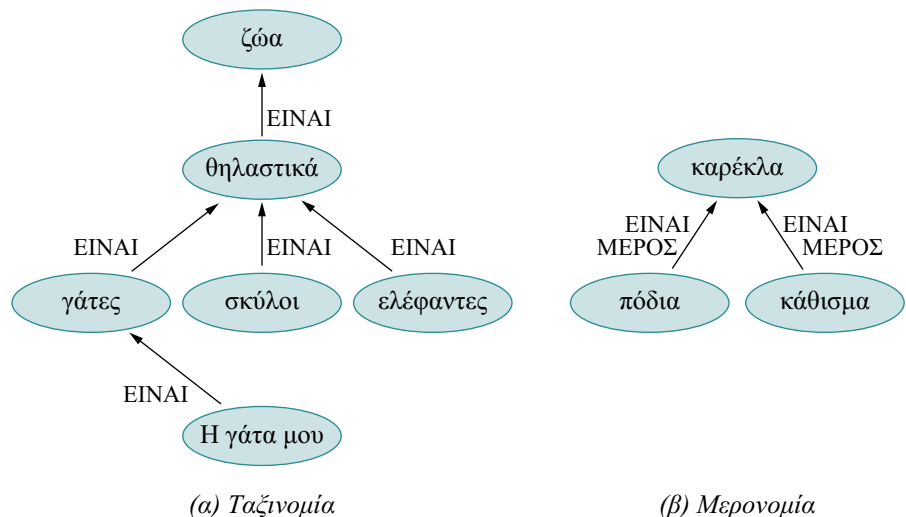
Στην ενότητα 5.1 παρουσιάζονται οι ιεραρχικές σχέσεις «ΕΙΝΑΙ» και «ΕΙΝΑΙ_ΜΕΡΟΣ», και η έννοια της κληρονομής ιδιοτήτων. Αλγόριθμοι κληρονομής παρουσιάζονται στην ενότητα 5.4, αφού πρώτα παρουσιαστούν οι φορμαλισμοί των δικτύων συσχέτισης (ενότητα 5.2) και πλαισίων (ενότητα 5.3).

Για την καλύτερη κατανόηση του περιεχομένου αυτού του κεφαλαίου και ιδίως για την εκπόνηση των Δραστηριοτήτων προαπαιτείται κάποια βασική γνώση θεωρίας γραφημάτων, την οποία αν δεν έχετε ήδη, μπορείτε να αποκομίσετε από τη Θεματική Υποενότητα 2.2 Θεωρία Γραφημάτων.

5.1 Ταξινομίες και μερονομίες εννοιών

Δύο πολύ κοινές και χρήσιμες δομές γνώσης είναι οι ιεραρχικές δομές των ταξινομιών και μερονομιών, που αντιστοίχως βασίζονται στις σχέσεις «ΕΙΝΑΙ» (είναι–ένα–είδος–του: is-a-kind-of (isa)) και «ΕΙΝΑΙ_ΜΕΡΟΣ» (ispart).

Ταξινόμια είναι μία οργάνωση κατηγοριών και υποκατηγοριών [βλέπε Σχήμα 5.1(α)], ενώ μερονομία είναι μία οργάνωση συστατικών στοιχείων [βλέπε Σχήμα 5.1(β)]. Οι κόμβοι της ταξινομίας 5.1(α) αναπαριστούν κατηγορίες εκτός του κόμβου που αντιπροσωπεύει τη γάτα μου. Η γάτα μου είναι μία συγκεκριμένη περίπτωση της κατηγορίας των γατών, η οποία είναι υποκατηγορία των θηλαστικών, κτλ. Επομένως, το τόξο που συνδέει τη γάτα μου με την κατηγορία των γατών, σημασιολογικά διαφέρει από το τόξο που συνδέει τις γάτες με τα θηλαστικά. Το πρώτο αντιπροσωπεύει τη σχέση «είναι_περίπτωση_της_κατηγορίας» (is an instance of), ενώ το δεύτερο τη σχέση «είναι_υποκατηγορία». Για σκοπούς απλότητας, δεν κάνουμε αυτό το διαχωρισμό. Η σχέση «ΕΙΝΑΙ» καλύπτει συγκεκριμενοποιήσεις και υποκατηγορίες. Παρομοίως, οι κόμβοι δεν διαχωρίζονται σε αυτούς που αντιπροσωπεύουν αφηρημένες έννοιες (κατηγορίες) και σε αυτούς που αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένες περιπτώσεις. Μη ακραίοι κόμβοι αντιπροσωπεύουν κατηγορίες.



Σχήμα 5.1

(α) Ταξινόμια

(β) Μερονομία

Οι σχέσεις «ΕΙΝΑΙ» και «ΕΙΝΑΙ_ΜΕΡΟΣ» είναι μεταβατικές. Οι ιεραρχίες που δημιουργούνται από αυτές τις σχέσεις είναι κληρονομικές. Για παράδειγμα, οι γάτες, σκύλοι και ελέφαντες κληρονομούν τις ιδιότητες των θηλαστικών. Έτσι, αυτές οι ιδιότητες δεν χρειάζεται να επαναλαμβάνονται σε

κάθε υποκατηγορία. Δεν είναι όμως όλες οι πληροφορίες κληρονομήσιμες, π.χ. πληροφορίες που αναφέρονται σε ολόκληρη την κατηγορία και όχι στις ατομικές περιπτώσεις της, όπως διάφορες στατιστικές, δεν είναι κληρονομήσιμες. Ο,τιδήποτε δεν προσδιορίζεται ρητά ως μη κληρονομήσιμο, θεωρείται κληρονομήσιμο. Η ροή πληροφοριών, σε κάποια ταξινόμια, από τα πάνω προς τα κάτω δεν είναι μονοτονική. Για παράδειγμα, στην κατηγορία των πτηνών μπορεί να διατυπώνεται ότι ένα από τα χαρακτηριστικά των πτηνών είναι η ικανότητα τους να πετούν. Όμως οι υποκατηγορίες των στρουθοκαμήλων και πικουίνων αναιρούν αυτό το χαρακτηριστικό. Η μεταβίβαση ιδιοτήτων από τα πάνω προς τα κάτω (property inheritance) είναι ένα είδος συλλογισμού με εύλογες υποθέσεις. Γίνεται η υπόθεση ότι κάτι ευσταθεί για συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή ευσταθεί στην πλειοψηφία των περιπτώσεων της δεδομένης κατηγορίας. Στη συνέχεια, όταν υπάρχει περισσότερη πληροφορία για την εν λόγω περίπτωση, π.χ. η υποκατηγορία στην οποία ανήκει, αυτή η υπόθεση μπορεί να αναιρεθεί. Έτσι, πρέπει να υπάρχει κάποιος μηχανισμός για το χειρισμό των εξαιρέσεων.

Αναφορικά με μερονομίες, τα συστατικά στοιχεία μίας κατηγορίας μπορούν επίσης να κληρονομηθούν. Για παράδειγμα, η καρέκλα του γραφείου μου έχει πόδια και κάθισμα, επειδή όλες οι καρέκλες έχουν πόδια και κάθισμα (βλέπε Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.10).

Σε ταξινόμιες, ο συλλογισμός από τα πάνω προς τα κάτω συγκεκριμενοποιεί, ενώ από τα κάτω προς τα πάνω γενικεύει/διευρύνει. Σε μερονομίες, ο συλλογισμός από τα πάνω προς τα κάτω διασπά το αντικείμενο σε συστατικά στοιχεία, ενώ στην αντίθετη κατεύθυνση συνθέτει το αντικείμενο από τα στοιχεία που το αποτελούν. Επομένως, από τα πάνω προς τα κάτω σημαίνει εκλέπτυνση ή διάσπαση, ενώ από τα κάτω προς τα πάνω σημαίνει αφαιρετικότητα ή σύνθεση. Μπορεί να διατυπωθούν διάφοροι κανόνες συλλογισμού (αξιώματα) αναφορικά με ιεραρχικές σχέσεις, όπως οι ακόλουθοι:

- Εάν μία κατηγορία έχει αποκλειστεί, τότε όλες οι υποκατηγορίες της αποκλείονται.
- Εάν μία υποκατηγορία υπάρχει (δηλαδή υπάρχει έστω και μία περίπτωση της), τότε όλες οι κατηγορίες στις οποίες ανήκει υπάρχουν.
- Εάν ένα σύνθετο αντικείμενο είναι σε λειτουργήσιμη κατάσταση, τότε όλα τα συστατικά του στοιχεία είναι σε λειτουργήσιμη κατάσταση.
- κτλ.

5.2 Δίκτυα συσχέτισης

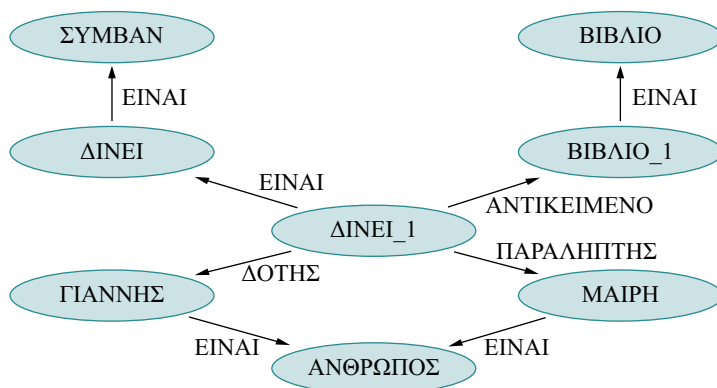
Ένα δίκτυο συσχέτισης αποτελείται από κόμβους και τόξα. Οι κόμβοι απεικονίζουν έννοιες, αντικείμενα, και συμβάντα, ενώ τα τόξα δυαδικές σχέσεις. Αυτό δεν σημαίνει ότι μόνο κατηγορήματα δύο ορισμάτων μπορούν να αναπαρασταθούν, αφού κάθε κατηγορήμα μπορεί να αντικατασταθεί με κατηγορήματα δύο ορισμάτων.

Παράδειγμα 5.1

Έστω η πρόταση «Ο Γιάννης έδωσε το βιβλίο στη Μαίρη», η οποία σε κατηγορηματική λογική μπορεί να εκφραστεί ως ΔΙΝΕΙ(ΓΙΑΝΝΗΣ, ΜΑΙΡΗ, ΒΙΒΛΙΟ_1). Εναλλακτικά, όμως, μπορεί να εκφραστεί ως η σύζευξη

ΕΙΝΑΙ(ΔΙΝΕΙ_1, ΔΙΝΕΙ) \wedge
 ΔΟΤΗΣ(ΔΙΝΕΙ_1, ΓΙΑΝΝΗΣ) \wedge
 ΠΑΡΑΛΗΠΤΗΣ(ΔΙΝΕΙ_1, ΜΑΙΡΗ) \wedge
 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ(ΔΙΝΕΙ_1, ΒΙΒΛΙΟ_1)

Η μετατροπή είναι απλή. Η πρόταση περιγράφει μία συγκεκριμένη δοσοληψία (ένα συμβάν τύπου «ΔΙΝΕΙ»), όπου εμπλέκεται ένας δότης, ένας παραλήπτης και ένα αντικείμενο. Επομένως, η κεντρική έννοια είναι το συμβάν, το οποίο από σχέση (τριών ορισμάτων) μετατρέπεται σε αντικείμενο. Στην πρώτη αναπαράσταση οι τρεις εμπλεκόμενες οντότητες αποτελούν τα ορίσματα της σχέσης. Στη δεύτερη αναπαράσταση οι ρόλοι αυτών των οντοτήτων εκφράζονται ρητά ως δυαδικές σχέσεις, με το εν λόγω συμβάν-αντικείμενο ως πρώτο όρισμα και την εμπλεκόμενη οντότητα ως δεύτερο όρισμα. Το αντίστοιχο δίκτυο συσχέτισης δίνεται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2
 Παράδειγμα Δικτύου
 Συσχέτισης

Το δεδομένο συμβάν και οι εμπλεκόμενες οντότητες συνδέονται με τις κατηγορίες τους. Το δίκτυο συσχέτισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς απάντηση ερωτημάτων όπως «Τι έδωσε ο Γιάννης στη Μαίρη;», «Τι έλαβε η Μαίρη από το Γιάννη;», «Έλαβε τίποτα η Μαίρη;», κτλ.

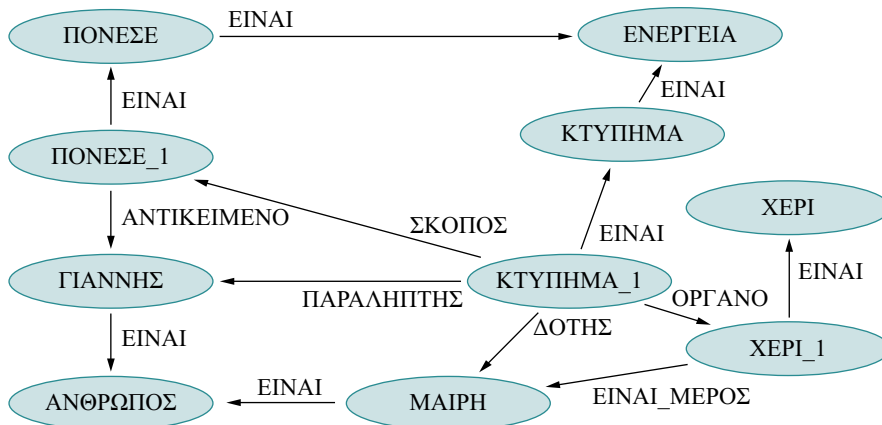
Σχεδιάστε τα δίκτυα συσχέτισης που αντιστοιχούν στις ακόλουθες προτάσεις:

- (α) Ο Βασίλης έκανε τη δοκιμή του προγράμματος του Γιάννη.
- (β) Η Ελένη παρακολουθεί το μάθημα της τεχνητής νοημοσύνης και το βρίσκει πολύ ενδιαφέρον.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 5.1

Τι λέει το δίκτυο συσχέτισης του Σχήματος 5.3; Τίνος το χέρι χρησιμοποιήθηκε; Ποιος πόνεσε;

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 5.2



Σχήμα 5.3

5.2.1 Αναζήτηση τομής

Η αναζήτηση τομής (intersection search) είναι μία μέθοδος αναζήτησης για την ανακάλυψη σχέσεων ανάμεσα σε αντικείμενα σε ένα δίκτυο συσχέτισης. Αρχίζοντας από τους κόμβους που αντιπροσωπεύουν τα αντικείμενα, σκορπίζεται ενεργοποίηση σε άλλα αντικείμενα διαμέσου των τόξων που τα ενώνουν (η ενεργοποίηση είναι αμφίδρομη), ελέγχοντας ταυτόχρονα σε ποια σημεία τέμνονται οι ενεργοποιήσεις.

Αυτή η μέθοδος συλλογισμού εκμεταλλεύεται το σημαντικό πλεονέκτημα

των δικτύων συσχέτισης, σε σχέση με την κατηγορηματική λογική, ότι η οργάνωση της γνώσης βασίζεται σε οντότητες.

Παράδειγμα 5.2

Η αναζήτηση τομής μπορεί να ανακαλύψει τις ακόλουθες σχέσεις ανάμεσα στα αντικείμενα «ΜΑΙΡΗ» και «ΓΙΑΝΝΗΣ» στο δίκτυο του Σχήματος 5.2:

- Είναι και οι δύο «ΑΝΘΡΩΠΟΙ».
- Εμπλέκονται σε ένα «ΣΥΜΒΑΝ» τύπου «ΔΙΝΕΙ», ως «ΔΟΤΗΣ» και «ΠΑΡΑΛΗΠΤΗΣ» αντιστοίχως, όπου το «ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ» είναι τύπου «ΒΙΒΛΙΟ».

Οι κόμβοι που αποτελούν τις τομές της ενεργοποίησης είναι οι «ΑΝΘΡΩΠΟΣ» και «ΔΙΝΕΙ_1». Περαιτέρω ενεργοποιήσεις στοχεύουν στην ολοκλήρωση της πληροφορίας για τις εντοπισθείσες σχέσεις. Σε αυτό το παράδειγμα ενεργοποιείται ολόκληρο το δίκτυο.

5.2.2 Διαμερισμένα δίκτυα συσχέτισης

Η μέχρι τώρα συζήτησή μας αφορούσε τη βασική εκδοχή του φορμαλισμού, όπου οι κόμβοι δεν έχουν εσωτερική δομή και τα πάντα εκφράζονται στο ίδιο επίπεδο. Η οργάνωση όμως σε πολλαπλά επίπεδα (αφαιρετικότητας) είναι μία αναγκαιότητα ως μέσο ελέγχου της πολυπλοκότητας, η οποία συνδέεται με ρεαλιστικά σώματα γνώσης. Τα παραδείγματα που εξετάσαμε αφορούν μία και μοναδική απλή πρόταση. Ένα ρεαλιστικό σώμα γνώσης αποτελείται από εκατοντάδες, εάν όχι χιλιάδες, προτάσεις. Εάν τα πάντα εκφράζονται στο ίδιο επίπεδο, το δίκτυο θα είναι τεράστιο, με πολλές αρνητικές συνέπειες, όπως σοβαρές δυσκολίες στην εξέτασή του για εγκυρότητα.

Επίσης, η βασική εκδοχή του φορμαλισμού έχει χαμηλότερη λογική επάρκεια από την κατηγορηματική λογική. Για παράδειγμα, δεν μπορούν να αναπαρασταθούν καθολικά ποσοτικοποιημένες εκφράσεις, όπως οι ακόλουθες:

E1: Κάθε φοιτητής Πληροφορικής έχει παρακολουθήσει ένα μάθημα προγραμματισμού.

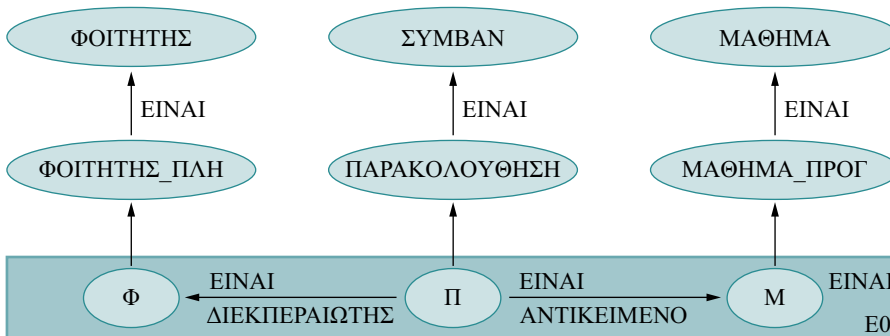
E2: Κάθε φοιτητής Πληροφορικής έχει παρακολουθήσει το μάθημα της Ψηφιακής Σχεδίασης.

E3: Κάθε φοιτητής Πληροφορικής έχει παρακολουθήσει όλα τα υποχρεωτικά μαθήματα του προγράμματος σπουδών του.

Για να επιτευχθεί η ίδια λογική επάρκεια με την κατηγορηματική λογική, καθώς επίσης για περαιτέρω δόμηση, ο βασικός φορμαλισμός έχει επεκταθεί με την έννοια της *διαμέρισης* (partition). Θα εξετάσουμε αυτή την έννοια χρησιμοποιώντας τις προτάσεις E1–E3. Καταρχάς, ας εξετάσουμε την πρόταση «Ο φοιτητής της Πληροφορικής παρακολούθησε το μάθημα του προγραμματισμού». Σε κατηγορηματική λογική αυτή εκφράζεται ως

$$\exists x \exists y \text{ΦΟΙΤΗΤΗΣ_ΠΛΗ}(x) \wedge \text{ΜΑΘΗΜΑ_ΠΡΟΓ}(y) \wedge \text{ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ}(x,y)$$

Το κατηγορήμα $\text{ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ}(x,y)$ αποτελεί την ουσία της πρότασης, ενώ τα άλλα δύο κατηγορήματα διατυπώνουν τους τύπους των μεταβλητών x και y . Αυτές οι μεταβλητές είναι υπαρξιακά ποσοτικοποιημένες. Επομένως, μπορούν να αντικατασταθούν με εικονικές σταθερές (βλέπε ενότητα 4.3), έστω Φ και M αντιστοίχως, απαλείφοντας έτσι τους δείκτες ύπαρξης. Η αναπαράσταση της πρότασης σε δίκτυο συσχέτισης δίνεται στο Σχήμα 5.4

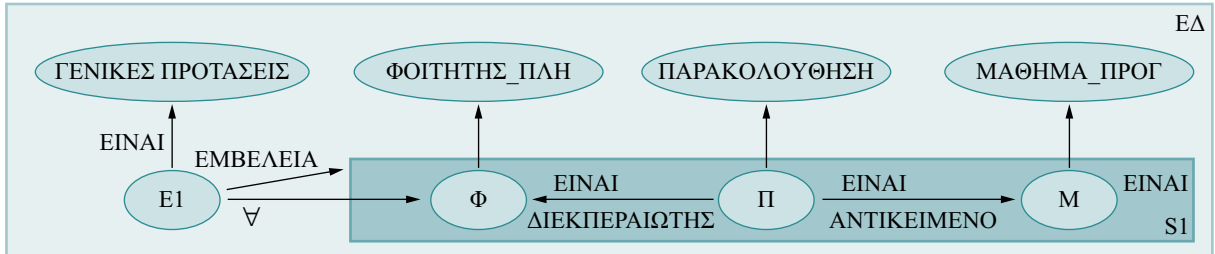


Σχήμα 5.4

Η πρόταση αποτελεί μία διαμέριση (E0). Οι διαμερίσεις απεικονίζονται ως ορθογώνια. Μία διαμέριση είναι ένας υπερ-κόμβος, ο οποίος έχει εσωτερική δομή. Περικλείει ένα δίκτυο σε χαμηλότερο επίπεδο. Ένα τόξο για να ανήκει σε κάποια διαμέριση, πρέπει η ετικέτα του να περικλείεται στη διαμέριση. Η διαμέριση E0 έχει πρόσβαση στους κόμβους «ΦΟΙΤΗΤΗΣ_ΠΛΗ», «ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ» και «ΜΑΘΗΜΑ_ΠΡΟΓ», μέσω των εσωτερικών της τόξων, αλλά αυτοί οι κόμβοι δεν της ανήκουν. Η πρόταση E1, σε κατηγορηματική λογική, μεταφράζεται ως

$$\forall x \{ \text{ΦΟΙΤΗΤΗΣ_ΠΛΗ}(x) \Rightarrow \exists y \text{ΜΑΘΗΜΑ_ΠΡΟΓ}(y) \wedge \text{ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ}(x,y) \}$$

Αφού η μεταβλητή y ανήκει στην εμβέλεια της x , το κεντρικό κατηγορημα μπορεί να μετασχηματιστεί σε ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ($x, f(x)$). Η διαμέριση που αναπαριστά την πρόταση δίνεται στο Σχήμα 5.5. Η εξωτερική διαμέριση, ΕΔ, περιέχει την κατηγορία των γενικών προτάσεων.



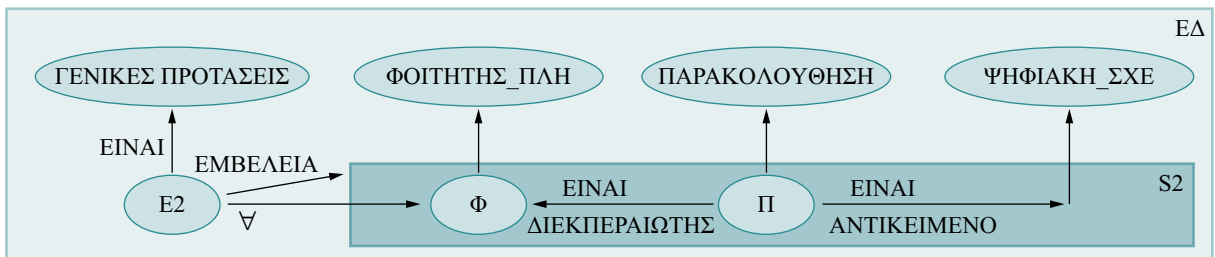
Σχήμα 5.5

Η πρόταση $E1$ ανήκει σε αυτή την κατηγορία. Από κάθε κόμβο που ανήκει σε αυτή την κατηγορία εξέρχονται δύο τόξα, με ετικέτες \forall και ΕΜΒΕΛΕΙΑ, τα οποία δείχνουν στην καθολικά ποσοτικοποιημένη μεταβλητή και την εμβέλειά της αντιστοίχως.

Η πρόταση $E2$ μεταφράζεται ως

$$\forall x \{ \text{ΦΟΙΤΗΤΗΣ_ΠΛΗ}(x) \Rightarrow \text{ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ}(x, \Psi\text{ΗΦΙΑΚΗ_ΣΧΕ}) \}$$

η οποία αναπαριστάται στο Σχήμα 5.6. Ο κόμβος που αντιπροσωπεύει τη ψηφιακή σχεδίαση δεν ανήκει στη διαμέριση $S2$, η οποία αντιπροσωπεύει την εμβέλεια της εν λόγω γενικής πρότασης. Το τόξο με την ετικέτα «ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ» ανήκει όμως σε αυτή τη διαμέριση. Η ψηφιακή σχεδίαση είναι μία καθολική σταθερή.

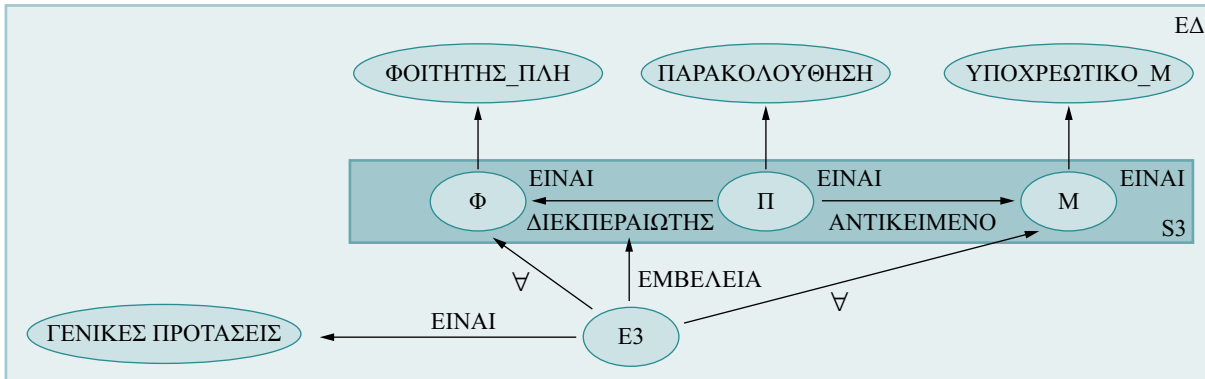


Σχήμα 5.6

Τέλος η πρόταση $E3$ μεταφράζεται ως

$$\forall x \{ \text{ΦΟΙΤΗΤΗΣ_ΠΛΗ}(x) \Rightarrow \forall y \text{ ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΟ_Μ}(y) \wedge \text{ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ}(x,y) \}$$

Και οι δύο μεταβλητές είναι καθολικά ποσοτικοποιημένες. Στην αναπαράσταση της πρότασης ως δίκτυο, απλά υπάρχουν δύο τόξα με ετικέτες \forall (βλέπε Σχήμα 5.7).



Σχήμα 5.7

Η πρόσβαση σε κάποια διαμέριση διέπεται από κανόνες ορατότητας. Συγκεκριμένα μία δεδομένη αναζήτηση ανιχνεύει τους κόμβους και τα τόξα που περιέχονται στο χώρο από όπου έχει αρχίσει η αναζήτηση ή σε άλλους χώρους που επίσης περιέχουν τα αρχικά σημεία. Πρόσβαση σε κάποια εσωτερική διαμέριση επιτρέπεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα όταν η αναζήτηση διέρχεται ένα τόξο με την ετικέτα «ΕΜΒΕΛΕΙΑ».

Εκφράστε τις ακόλουθες προτάσεις στο φορμαλισμό των διαμερισμένων δικτύων συσχέτισης:

Accounts είναι ένα πρόγραμμα Fortran. Όλα τα προγράμματα Fortran έχουν γραφτεί από τη Μαίρη. Η Μαίρη είναι προγραμματίστρια. Ο Γιάννης είναι επίσης προγραμματιστής. Αυτός έχει γράψει προγράμματα Cobol.

Εξηγήστε πως μπορεί να απαντηθεί η ερώτηση «Ποιός προγραμματιστής έγραψε το πρόγραμμα Accounts;».

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 5.3

Τα δίκτυα συσχέτισης αποτελούν έναν περιγραφικό τρόπο αναπαράστασης γνώσης. Η γνώση εκφράζεται ανεξάρτητα της χρήσης της. Η προσθήκη διαμερίσεων αποδίδει στο φορμαλισμό την ίδια δύναμη εκφρασιμότητας με την κατηγορηματική λογική. Όμως οι μηχανισμοί συλλογισμού που συνδέονται με τους δύο φορμαλισμούς είναι τελείως διαφορετικοί. Τα δίκτυα συσχετι-

σης δίνουν έμφαση στη δόμηση της γνώσης, κυρίως από τη σκοπιά των εννοιών της «ιεραρχίας» και του «γεγονότος». Τέλος μπορεί να ειπωθεί ότι η επάρκεια συμβολισμού αυτού του φορμαλισμού είναι υψηλότερη από αυτή της κατηγορηματικής λογικής.

Στην ενότητα που ακολουθεί θα εξετάσουμε το φορμαλισμό των πλαισίων. Ένα σύστημα πλαισίων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνθετο δίκτυο συσχέτισης, όπου οι κόμβοι είναι πλαίσια. Ένα πλαίσιο έχει πλούσια εσωτερική δομή, αποτελούμενη από τις σχισμές και τις όψεις αυτών.

5.3 Πλαίσια

Η έννοια του *πλαίσιου* (frame) οφείλεται στο Marvin Minsky, ο οποίος διατύπωσε την εισήγησή του το 1975 σε σχέση με έρευνα σε μηχανική όραση (Minsky, 1975).

Δομικά ένα πλαίσιο αποτελείται από *σχισμές* (slots) που αντιπροσωπεύουν τα χαρακτηριστικά της οντότητας (αντικείμενο, κατάσταση, γεγονός, έννοια, κτλ.), η οποία αναπαρίσταται από το πλαίσιο. Τα χαρακτηριστικά συνδέονται με τιμές. Ένα γενικό πλαίσιο αντιπροσωπεύει μία κατηγορία οντοτήτων. Ένας βασικός μηχανισμός συλλογισμού είναι η δημιουργία συγκεκριμενοποιήσεων (instances) ενός γενικού πλαισίου, η δημιουργία δηλαδή πραγματικών περιπτώσεων. Αυτό συνεπάγεται το γέμισμα των σχισμών με συγκεκριμένες τιμές. Το γέμισμα κάθε σχισμής καθοδηγείται από τις διάφορες *όψεις* (facets) της σχισμής. Όψεις μπορούν να διατυπωθούν με περιγραφικό ή διαδικασιακό τρόπο. Έτσι, αυτός ο φορμαλισμός συνδυάζει περιγραφική και διαδικασιακή αναπαράσταση.

Ένα πλαίσιο δίνει την «ολότητα» της γνώσης για την (αφηρημένη ή συγκεκριμένη) οντότητα που αντιπροσωπεύει. Ένα μέρος της γνώσης περιγράφει την οντότητα, ενώ άλλο αφορά τη χρήση της. Για παράδειγμα, ένα πλαίσιο μπορεί να περιγράφει μία στερεότυπη κατάσταση, όπως το να πηγαίνει κάποιος σε εστιατόριο. Μέρος της γνώσης σχετίζεται με το τι πρόκειται να επακολουθήσει όταν κάποιος πάει σε ένα εστιατόριο, καθώς επίσης με το τι πρέπει να γίνει, εάν δεν συμβούν τα αναμενόμενα, δηλαδή τυχόν εξαιρέσεις και οι ενέργειες που συνεπάγονται.

5.3.1 Σχισμές και όψεις

Ένα πλαίσιο απεικονίζει μία αφηρημένη ή συγκεκριμένη οντότητα, από δεδομένη σκοπιά. Οι σχισμές, που αποτελούν το πλαίσιο και αντιπροσωπεύουν

τα χαρακτηριστικά της οντότητας, «γεμίζουν» (λαμβάνουν τιμές) κάτω από διάφορους περιορισμούς που δηλώνονται στις όψεις. Μία σχισμή μπορεί ταυτόχρονα να έχει μία τιμή (single-valued) ή πολλαπλές τιμές (multi-valued). Η τιμή μίας σχισμής μπορεί να είναι η ονομασία ενός άλλου πλαισίου. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σε μία ρεαλιστική εφαρμογή υπάρχει ένας αριθμός πλαισίων ο οποίος αποτελεί ένα οργανωμένο σύνολο (σύστημα) με πολλαπλές διασυνδέσεις (βλέπε ενότητα 5.3.3).

Δεν υπάρχει περιορισμός στο τι μπορεί να είναι οι όψεις μίας σχισμής. Παραδείγματα τυπικών όψεων είναι τα εξής:

- *Τιμές (values)*: Επιτρεπτό σύνολο τιμών ή συνθήκες, που χρειάζεται να ικανοποιούνται από οποιοδήποτε γέμισμα για τη σχισμή. Εάν η σχισμή είναι μοναδικής τιμής και αυτή η όψη δίνει μόνο μία τιμή, αυτή αποτελεί τη μοναδική τιμή για τη σχισμή. Για παράδειγμα, η όψη «τιμές» της σχισμής «χρώμα» της κατηγορίας «κόρακας» περιέχει τη μοναδική τιμή «μαύρο», αφού όλοι οι κόρακες είναι αυτού του χρώματος. Η όψη «τιμές» είναι η μόνη όψη που αφορά τις σχισμές πλαισίων, τα οποία αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένες περιπτώσεις. Η διαδικασία συγκεκριμενοποίησης είναι η ανάθεση τιμών στις όψεις «τιμές» των σχετικών σχισμών. Αυτό είναι το γέμισμα.
- *Εύλογη υπόθεση (default)*: Τιμή, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως η πραγματική τιμή, εφόσον δεν υπάρχουν ενδείξεις. Για παράδειγμα, η σχισμή «μπορεί-να-πετάξει» του πλαισίου της κατηγορίας «πτηνό» μπορεί να έχει ως «εύλογη υπόθεση» την τιμή «ναι». Η πλειοψηφία των πτηνών κατέχει αυτή την ιδιότητα και επομένως είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι ένα δεδομένο πτηνό είναι σε θέση να πετάξει, εκτός και αν υπάρχουν ενδείξεις για το αντίθετο. Επειδή ακριβώς υπάρχουν εξαιρέσεις (στρουθοκάμηλοι και πιγκουίνοι δεν μπορούν να πετάξουν, ένα πτηνό με πληγωμένη φτερούγα δεν μπορεί να πετάξει, κτλ.) η πληροφορία διατυπώνεται ως εύλογη υπόθεση, η οποία εν όψει ενδείξεων για το αντίθετο, μπορεί να αναιρεθεί, και όχι ως κατηγορηματική τιμή.
- *Επιδέξιες διαδικασίες ή «καλοί δαίμονες» (procedural attachments or «demons»)*: Σε αυτές τις όψεις διατυπώνεται συλλογιστική γνώση σε μορφή διαδικασιών. Αυτοί οι καλοί δαίμονες, οι οποίοι ενεργοποιούνται αυτόματα με βάση σχετικές συνθήκες αποτελούν διαδικασιακή αναπαράσταση προσαρτισμένη σε περιγραφική αναπαράσταση. Παραδείγματα επιδέξιων διαδικασιών είναι τα εξής:

Εάν-προσθεθεί (if-added). Ενέργειες που πρέπει να λάβουν χώρα, όταν η σχισμή έχει γεμίσει ή όταν νέες πληροφορίες έχουν εισαχθεί σ' αυτήν.

Εάν-αφαιρεθεί (if-removed). Αντίθετη λειτουργία από την προηγούμενη. Ενέργειες που πρέπει να λάβουν χώρα, όταν το γέμισμα της σχισμής αφαιρείται.

Εάν-χρειάζεται (if-needed). Διαδικασία για τον υπολογισμό της τιμής της σχισμής. Η χρήση της μπορεί να διέπεται από διάφορες συνθήκες, οι οποίες διασφαλίζουν ότι οι αναγκαίες πληροφορίες είναι διαθέσιμες. Εάν η τιμή εξαρτάται από τις τιμές άλλων σχισμών, προέχει να γεμίσουν πρώτα αυτές οι σχισμές. Επομένως, οι εξαρτήσεις ανάμεσα σε σχισμές μπορούν να εξαχθούν δυναμικά με βάση τις συνθήκες των διαδικασιών «εάν-χρειάζεται».

Οι δαίμονες «εάν-προσθεθεί» και «εάν-αφαιρεθεί» στοχεύουν στη διατήρηση της συνέπειας της πληροφορίας που απαρτίζει μία συγκεκριμενοποίηση (πλαίσιο). Επειδή συνήθως υπάρχουν διάφορες αλληλοεξαρτήσεις ανάμεσα στις σχισμές ενός πλαισίου, τυχόν τροποποιήσεις στο γέμισμα μίας σχισμής πρέπει να διαδοθούν σε όλες τις εξαρτώμενες σχισμές. Αυτές είναι οι εξαρτήσεις που διατυπώνουμε στις εν λόγω διαδικασίες. Κάθε διαδικασία παρέχει έλεγχο σε τοπικό επίπεδο. Η αρχική ενεργοποίηση μίας διαδικασίας, μπορεί να οδηγήσει στην ενεργοποίηση μίας ολόκληρης αλυσίδας τέτοιων διαδικασιών για διάφορες σχισμές. Αυτή η αλυσίδα συλλογισμού στοχεύει στην επίτευξη συνέπειας, όχι μόνο στο τοπικό επίπεδο του εν λόγω πλαισίου, αλλά και άλλων πλαισίων που συνδέονται με αυτό.

Η αρχική σειρά για το γέμισμα των σχισμών πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις εξαρτήσεις ανάμεσα στις σχισμές. Οι βασικές σχισμές πρέπει να γεμίζουν πρώτες. Δεν χρειάζεται να προσδιορίζονται ρητά οι εξαρτήσεις, αφού αυτές μπορούν να εξαχθούν από τους δαίμονες «εάν-χρειάζεται».

Παράδειγμα 5.3

Το Σχήμα 5.8 δίνει ένα, πολύ απλοποιημένο, πλαίσιο για την αφηρημένη έννοια «καρέκλα». Καταρχάς, υπάρχει η ειδική σχισμή «είναι», η οποία ταξινομεί την καρέκλα ως είδος επίπλου. Η έννοια του επίπλου έχει το δικό της πλαίσιο. Η σχισμή «είναι» αφορά την κληρονόμηση ιδιοτήτων. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες σχισμές, αυτή η σχισμή δεν έχει όψεις. Πέραν των τριών χαρακτηριστικών, «χρήση», «αριθμός-ποδιών» και «κατάσταση», τα οποία αντιστοιχούν στις υπόλοιπες σχισμές του πλαισίου, το πλαίσιο μπορεί να

κληρονομήσει τα κοινά χαρακτηριστικά των επίπλων. Αλγόριθμοι κληρονομίης θα παρουσιαστούν στην επόμενη ενότητα.

Το σύνολο τιμών των χαρακτηριστικών «χρήση» και «κατάσταση» απαριθμείται, ενώ για το χαρακτηριστικό «αριθμός-ποδιών» προσδιορίζεται με τη συνθήκη «μέχρι-τέσσερα». Για το χαρακτηριστικό «χρήση» προσδιορίζεται και εύλογη υπόθεση («για-να-κάθεσαι») και δαίμονας «εαν-χρειάζεται», ο οποίος επιχειρεί να αποκτήσει την πληροφορία με σχετικό ερώτημα. Ο αντίστοιχος δαίμονας για τη σχισμή «κατάσταση» διατυπώνει το συλλογισμό με ένα αριθμό κανόνων. Αυτή η διατύπωση είναι περιγραφική. Από τους κανόνες διαφαίνεται η εξάρτηση της σχισμής «κατάσταση» από τη σχισμή «αριθμός-ποδιών».

Καρέκλα

Είναι: Έπιπλο

Χρήση:

Τιμές: για-να-κάθεσαι, για-να-στέκεσαι, για-υποστήριξη

Εύλογη-υπόθεση: για-να-κάθεσαι

Εάν-χρειάζεται: ρώτησε

Αριθμός-ποδιών:

Τιμές: «μέχρι-τέσσερα»

Εύλογη-υπόθεση: 4

Κατάσταση:

Τιμές: εντάξει, σπασμένη, μερικώς-κρυμμένη

Εάν-χρειάζεται: Αριθμός-ποδιών = 4 → εντάξει

Αριθμός-ποδιών = 1 → σπασμένη

.....

Σχήμα 5.8

Πλαίσιο για Καρέκλα

Ένα πλαίσιο δημιουργείται για να επιτρέψει ένα συλλογισμό αναφορικά με την έννοια που αντιπροσωπεύει. Ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την έννοια της καρέκλας θα μπορούσε να υποστηρίξει ένα συλλογισμό αναφορικά με καρέκλες, όπως:

- Μπαίνοντας μέσα σε ένα νέο δωμάτιο, ποια αντικείμενα αποτελούν καρέκλες;
- Μπορεί κάποιος να ανεβεί πάνω σε μια καρέκλα για να φτάσει ένα υψηλό ράφι;
- Πότε μπορεί ένας να καθήσει σε κάποια καρέκλα; Όταν βρίσκεται σε μουσείο; Όταν βρίσκεται σε κουκλόσπιτο; Όταν ήδη χρησιμοποιείται;
- Κτλ.

Ένα σημαντικό ερώτημα είναι κατά πόσον πλαίσια μπορούν να διατυπωθούν «ολοκληρωτικά» εκ των προτέρων, προς υποστήριξη αυτονόητου συλλογισμού ή εξειδικευμένου συλλογισμού. Εξ ορισμού, ο αυτονόητος συλλογισμός είναι απεριόριστος. Στο παράδειγμα της καρέκλας, υποστήριξη αυτονόητου συλλογισμού θα σήμαινε τη διατύπωση των πάντων αναφορικά με καρέκλες. Ο εξειδικευμένος συλλογισμός είναι πιο περιορισμένος. Η θεώρηση των εμπλεκόμενων εννοιών είναι από συγκεκριμένη σκοπιά. Σε αυτονόητο συλλογισμό μπορεί μεν η γνώση να είναι σχετικά ρηχή, αλλά το εύρος της είναι απεριόριστο, ενώ σε εξειδικευμένο συλλογισμό η γνώση είναι σαφώς βαθύτερη και λεπτομερέστερη, αλλά η έκτασή της μπορεί να προσδιοριστεί. Επομένως, πλαίσια για εξειδικευμένο συλλογισμό μπορούν να προδιαγραφούν πιο εύκολα. Για παράδειγμα, σε ένα διαγνωστικό σύστημα κάθε δυσλειτουργία περιγράφεται στο δικό της πλαίσιο με βάση ένα γενικό πλαίσιο για την κατηγορία των δυσλειτουργιών.

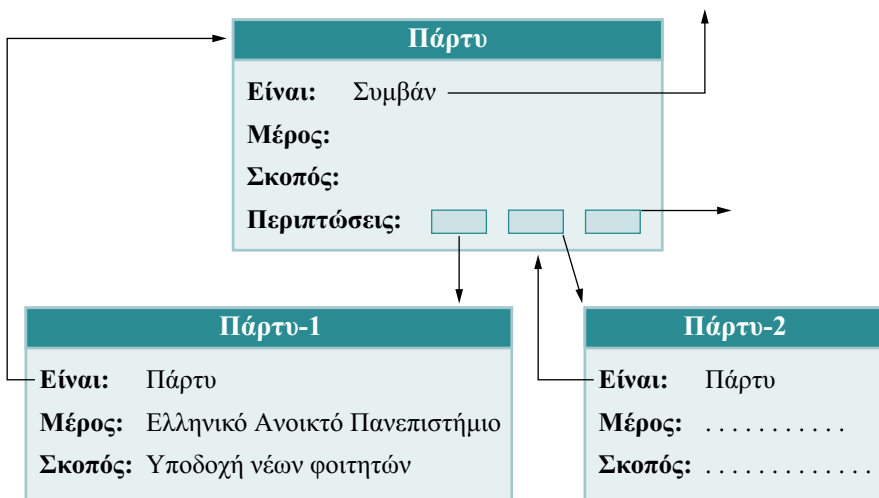
Δραστηριότητα 5.1

Αναλύστε πώς θα οργανώνατε τη γνώση αναφορικά με γεωμετρικά σχήματα, π.χ. πολύγωνο, τρίγωνο, ορθογώνιο, τετράγωνο, ρόμβος, τραπέζιο, κύκλος, εξάγωνο, κτλ. Σκεφτείτε κοινά χαρακτηριστικά (π.χ. περιφέρεια, εμβαδόν, κτλ.), διαφοροποιήσεις, ιεραρχικές σχέσεις, καθώς επίσης οποιαδήποτε άλλα στοιχεία προς υποστήριξη ευφυούς συλλογισμού σε σχέση με τέτοια αντικείμενα. Προδιαγράψτε ένα σύστημα πλαισίων για αυτές τις έννοιες.

5.3.2 Συγκεκριμενοποίηση πλαισίου

Η συγκεκριμενοποίηση ενός πλαισίου, το οποίο αντιπροσωπεύει μία αφηρημένη έννοια, αναφέρεται στο γέμισμα των σχισμών για τη δημιουργία συγκεκριμένων περιπτώσεων (instances) της έννοιας. Τα συγκεκριμένα πλαι-

σια συνδέονται με το γενικό πλαίσιο. Το τελευταίο αποτελεί τον άμεσο προκατόχο τους στην ιεραρχία. Οι σχισμές ενός συγκεκριμένου πλαισίου έχουν μόνο μία όψη, την όψη «τιμές» (πώς εξάγονται αυτές οι τιμές θα εξηγηθεί στην ενότητα 5.4). Επίσης τέτοια πλαίσια δεν έχουν περιπτώσεις. Στο Σχήμα 5.9 δίνεται το πλαίσιο για την έννοια «πάρτυ» και ένας αριθμός συγκεκριμενοποιήσεών του, οι οποίες αναφέρονται σε πραγματικά πάρτυ.



Σχήμα 5.9
Συγκεκριμενοποιήσεις Πλαισίων

5.3.3 Σύστημα πλαισίων

Σε ένα σύστημα πλαισίων τα διάφορα πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους με ποικίλους τρόπους. Η συζήτησή μας μέχρι τώρα αφορούσε *πλαίσια αντικειμένων* (object frames), τα οποία αναπαριστούσαν αφηρημένες έννοιες και τις περιπτώσεις τους. Σε μία εφαρμογή, πέραν των πλαισίων αντικειμένων, υπάρχουν και *πλαίσια ελέγχου* (control frames), τα οποία ορίζουν πώς χρησιμοποιούνται άλλα πλαίσια. Τα πλαίσια ελέγχου περιέχουν συλλογιστική γνώση. Όπως και τα πλαίσια αντικειμένων, τα πλαίσια ελέγχου μπορεί να είναι οργανωμένα σε κάποια ιεραρχική δομή, όπου τα υψηλότερα σε επίπεδο πλαίσια, ενεργοποιούν αυτά που είναι σε χαμηλότερα επίπεδα κ.ο.κ., μέχρι τα ακραία πλαίσια ελέγχου, τα οποία ενεργοποιούν τα πλαίσια αντικειμένων.

Επομένως, ένα *σύστημα πλαισίων* (frame system) είναι μία οργανωμένη βάση πλαισίων ελέγχου και πλαισίων αντικειμένων, για δεδομένο σκοπό. Αποτελεί ένα χώρο αναζήτησης, όπου απώτερος στόχος είναι η δημιουργία συγκεκριμενοποιήσεων πλαισίων αντικειμένων, οι οποίες συλλογικά παρέχουν τη

λύση του προβλήματος. Κρίσιμα σημεία της όλης διαδικασίας συλλογισμού αποτελούν η αρχική εστίαση στο χώρο αναζήτησης, δηλαδή η επιλογή του αρχικού πλαισίου αντικειμένου προς διερεύνηση, καθώς επίσης η περαιτέρω πλοήγηση σε αυτό το χώρο, κυρίως εάν τα αναμενόμενα δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Όπως έχουμε ήδη αναλύσει στο κεφ. 2, η εστίαση και περαιτέρω πλοήγηση κατευθύνεται από ευρετικά.

Η έννοια του πλαισίου επινοήθηκε σε σχέση με έρευνα σε μηχανική όραση. Η κατηγορία προβλημάτων που ώθησε αυτή την επινοήση είναι τα προβλήματα αναγνώρισης. Με βάση κάποιες ελλειψεις, αβέβαιες και ασαφείς πληροφορίες, επιχειρείται η αναγνώριση μίας εξωτερικής κατάστασης, είτε αυτή αναφέρεται σε ένα ορατό αντικείμενο, όπως μία καρτέλα ή σε κάποια μη ορατή κατάσταση, όπως η εσωτερική δυσλειτουργία κάποιου ασθενή. Βασικός μηχανισμός είναι η ταύτιση των αναμενόμενων, όπως αυτά διατυπώνονται στο σχετικό πλαίσιο, με την πραγματικότητα, όπως αυτή διαφαίνεται (μερικώς) διαμέσου ελλιπών πληροφοριών.

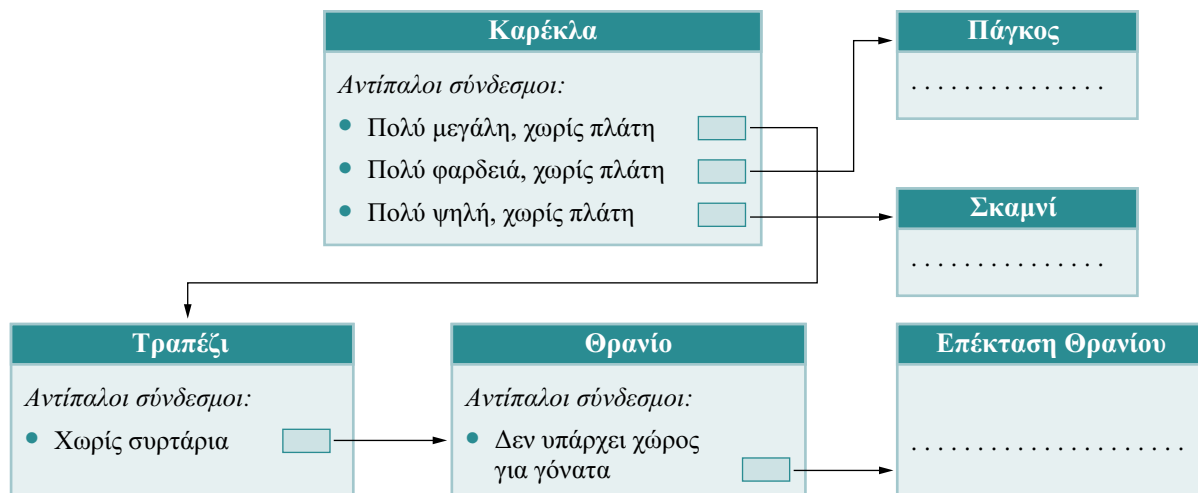
Ένα σύστημα πλαισίων είναι ένα δίκτυο, όπου οι κόμβοι είναι πλαίσια και τα τόξα σύνδεσμοι ανάμεσά τους. Τα πλαίσια χωρίζονται στις βασικές κατηγορίες ελέγχου και αντικειμένων. Η πλοήγηση σε ένα τέτοιο δίκτυο (χώρο αναζήτησης) μπορεί να κατευθύνεται σε καθολικό ή και σε τοπικό επίπεδο (καθολικός και τοπικός έλεγχος αντιστοίχως). Καθολικός έλεγχος παρέχεται από τα πλαίσια ελέγχου. Προτού εστιαστεί η αναζήτηση, ο έλεγχος είναι σε καθολικό επίπεδο. Τοπικός έλεγχος παρέχεται από τις διαδικασίες που ενσωματώνονται στα πλαίσια αντικειμένων και τις διασυνδέσεις αυτών των πλαισίων.

ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΠΛΑΙΣΙΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Παραδείγματα συνδέσμων ανάμεσα σε πλαίσια είναι τα εξής:

- *Ιεραρχικοί σύνδεσμοι*, οι οποίοι αναπαρίστανται από τις σχέσεις «είναι» και «είναι-μέρος».
- *Αντίπαλοι σύνδεσμοι* (opposing links), οι οποίοι προσδιορίζουν διαφοροποιήσεις ανάμεσα σε πλαίσια με πολλά κοινά χαρακτηριστικά, που ως αποτέλεσμα αυτής της ομοιότητας, ενδεχομένως η ύπαρξη του ενός μπορεί να παρερμηνευτεί ως η ύπαρξη του άλλου. Ένας αντίπαλος σύνδεσμος συνδέει ένα πλαίσιο με κάποιο αντίπαλο πλαίσιο. Διατυπώνει συνθήκες με βάση τις οποίες η διερεύνηση πρέπει να μεταβιβαστεί στο αντίπαλο πλαίσιο. Το υποδίκτυο που δημιουργείται από το σύνολο των αντίπαλων συνδέσμων ονομάζεται *μήτρα ομοιοτήτων* (similarity matrix). Στο Σχήμα 5.10 δίνεται ένα

απλό παράδειγμα μήτρας ομοιοτήτων. Οι αντίπαλοι σύνδεσμοι διατυπώνουν σημαντικά σημεία διαφοροποίησης ανάμεσα σε αυτές τις έννοιες. Για παράδειγμα, ο αντίπαλος σύνδεσμος από την έννοια της καρέκλας προς την έννοια του πάγκου διατυπώνει την άποψη ότι, εάν το αντικείμενο το οποίο διερευνάται ως περίπτωση καρέκλας είναι πολύ φαρδύ και δεν έχει πλάτη, τότε πρέπει να διερευνηθεί το ενδεχόμενο να είναι περίπτωση πάγκου. Ο σύνδεσμος αποτελεί μια εισήγηση, με άλλα λόγια μια ευρετική καθοδήγηση.



Σχήμα 5.10
Μήτρα Ομοιοτήτων

- **Συμπληρωματικοί σύνδεσμοι (complementary links)**, οι οποίοι είναι το αντίθετο των αντίπαλων συνδέσμων. Ένας συμπληρωματικός σύνδεσμος συνδέει ένα πλαίσιο με κάποιο άλλο, το οποίο αντιπροσωπεύει έννοια, συμπληρωματική ως προς την έννοια του πρώτου. Αντίπαλος σημαίνει ότι η συνύπαρξη δεν ενδείκνυται, ενώ συμπληρωματικός σημαίνει ότι η συνύπαρξη ενδείκνυται, διότι με κάποιο τρόπο οι έννοιες αλληλοσυμπληρώνονται. Για παράδειγμα, αιτιολογικές σχέσεις αποτελούν είδη συμπληρωματικών συνδέσμων. Ένας συμπληρωματικός σύνδεσμος προσδιορίζει τη συνθήκη με βάση την οποία δικαιολογείται να επεκταθεί η αναζήτηση και στο άλλο πλαίσιο, διότι τα δύο μαζί πιθανώς να καλύπτουν καλύτερα τη συγκεκριμένη πραγματικότητα. Και εδώ η καθοδήγηση είναι σαφώς ευρετική.

- **Ενεργοποιητικοί σύνδεσμοι (triggering links)**, οι οποίοι εισηγούνται ποια πλαίσια να ενεργοποιηθούν, κυρίως αρχικά. Αυτοί οι σύνδεσμοι συνήθως περιέχονται σε πλαίσια ελέγχου, για την καθοδήγηση ως προς την αρχική

εστίαση στο χώρο αναζήτησης. Παρομοίως με τους αντίπαλους και συμπληρωματικούς συνδέσμους, η καθοδήγηση που παρέχεται είναι ευρετικής μορφής. Σε αντίθεση όμως με αυτούς, οι ενεργοποιητικοί σύνδεσμοι είναι ανεξάρτητοι συμφραζομένων, δηλαδή λειτουργούν σε καθολικό επίπεδο, ενώ οι άλλοι σύνδεσμοι λειτουργούν σε τοπικό επίπεδο.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 5.4

Συμπληρώστε τις εισόδους του ακόλουθου πίνακα με ΝΑΙ, ΟΧΙ, ή ΜΠΟΡΕΙ:

	Ενεργοποιητικοί Σύνδεσμοι	Αντίπαλοι Σύνδεσμοι	Συμπληρωματικοί Σύνδεσμοι
Παρέχουν ευρετική καθοδήγηση.
Συνδέουν έννοιες με πολλές ομοιότητες.
Συνδέουν έννοιες που μπορεί να συνυπάρχουν.
Αφορούν τοπικά συμφραζόμενα.
Είναι σε καθολικό επίπεδο.
Παρέχουν καθοδήγηση, κυρίως ως προς την αρχική εστίαση.
Αλλάζουν τη γραμμή συλλογισμού.
Προσπαθούν να ενδυναμώσουν τη γραμμή συλλογισμού.

Όπως είδαμε, ένα σύστημα πλαισίων συνιστά περιγραφική γνώση καθώς επίσης συλλογιστική γνώση (η οποία μπορεί να αναπαρασταθεί σε μορφή διαδικασιών) αναφορικά με την ενεργοποίηση της περιγραφικής γνώσης. Τα

πλαίσια επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων για γεγονότα που αφορούν την υπό εξέταση πραγματική κατάσταση και τα οποία δεν περιλαμβάνονται στις μέχρι τώρα παρατηρήσεις (αναμενόμενα ή εικαζόμενα γεγονότα). Η αρχική επιλογή πλαισίων αντικειμένων προς διερεύνηση, χρησιμοποιεί μη ολοκληρωμένες ενδείξεις, με βάση τις οποίες επαληθεύονται σχετικοί ενεργοποιητικοί συνδέσμοι. Ακολουθως, η τρέχουσα επιλογή πλαισίου μπορεί να αναθεωρηθεί/επεκταθεί διαμέσου αντίπαλων/συμπληρωματικών συνδέσμων. Επίσης, εάν το τρέχον πλαίσιο δεν μπορεί να ταυτιστεί ικανοποιητικά με την εν λόγω πραγματική κατάσταση, η αναθεώρηση της επιλογής μπορεί να γίνει διαμέσου ιεραρχικών συνδέσμων. Συγκεκριμένα, γίνεται οπισθοδρόμηση προς τον άμεσο προκάτοχο του πλαισίου, με στόχο την επιλογή κάποιου άλλου υποπλαισίου. Τέλος, υπάρχει το ενδεχόμενο δικαιολόγησης μίας «κακής» ταύτισης ανάμεσα στα γεγονότα που έχουν παρατηρηθεί και τα αναμενόμενα του πλαισίου. Εδώ μπορεί να γίνει χρήση τυχόν εξαιρέσεων ως προς τα αναμενόμενα. Εάν υπάρχει δικαιολόγηση, δεν χρειάζεται αλλαγή στην επιλογή πλαισίου.

Τοπικές πλοηγήσεις (διαμέσου αντίπαλων, συμπληρωματικών ή ιεραρχικών συνδέσμων) στο χώρο αναζήτησης δεν επιφέρουν δραστικές αλλαγές στη ροή συλλογισμού. Κάθε νέα επιλογή (πλαίσιο) συνδέεται άμεσα με την προηγούμενη επιλογή. Αυτό συνάδει με τα ευρήματα έρευνας αναφορικά με τη ροή του ανθρώπινου συλλογισμού. Ο συλλογισμός δεν μεταπηδά από ένα σημείο σε κάποιο άλλο, τελείως άσχετο σημείο. Νοούμενου ότι η αρχική εστίαση είναι λογική (και αυτό αφορά την ευρετική επάρκεια των ενεργοποιητικών συνδέσμων), οι μετέπειτα αναθεωρήσεις πρέπει να είναι τοπικές. Πρέπει να συντρέχουν σοβαροί λόγοι για τη δραστική αλλαγή της κατεύθυνσης συλλογισμού, π.χ. η παρατήρηση κάποιου γεγονότος, το οποίο συνδέεται με ένα και μοναδικό πλαίσιο. Ακόμη και εάν η αρχική επιλογή είναι πλήρως ανακριβής, νοούμενου ότι η ευρετική επάρκεια του τοπικού ελέγχου είναι υψηλή, με τη σταδιακή αναθεώρηση και οπισθοδρόμηση, το μειονέκτημα της κακής αρχικής επιλογής τελικά θα αναιρεθεί. Ένα σύστημα το οποίο επιδεικνύει δραστικές αλλαγές στη γραμμή συλλογισμού του δεν εμπνέει εμπιστοσύνη. Ένα σύστημα που δικαιολογημένα μπαίνει σε λανθασμένη πορεία συλλογισμού και είναι σε θέση να επανέλθει στη σωστή πορεία εμπνέει εμπιστοσύνη, διότι, αν όχι τίποτα άλλο, δείχνει ότι μπορεί να «σκεφτεί» και να αναλύσει τις κινήσεις του.

5.4 Κληρονόμηση

Ολοκληρώνουμε το κεφάλαιο 5, παρουσιάζοντας τρεις αλγόριθμους κληρονόμησης. Η λειτουργία ενός αλγόριθμου κληρονόμησης διατυπώνεται στο ακόλουθο ερώτημα:

Ποια είναι η τιμή του χαρακτηριστικού S του συγκεκριμένου αντικειμένου F ;

Αλγόριθμοι κληρονόμησης χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία συγκεκριμενοποίησης πλαισίων, δηλαδή το γέμισμα των σχισμών για τη δημιουργία περιπτώσεων ενός πλαισίου. Η κληρονόμηση επιτρέπει τη ροή πληροφοριών από τάξεις (κατηγορίες) σε περιπτώσεις. Αυτή η ροή δεν είναι μονοτονική.

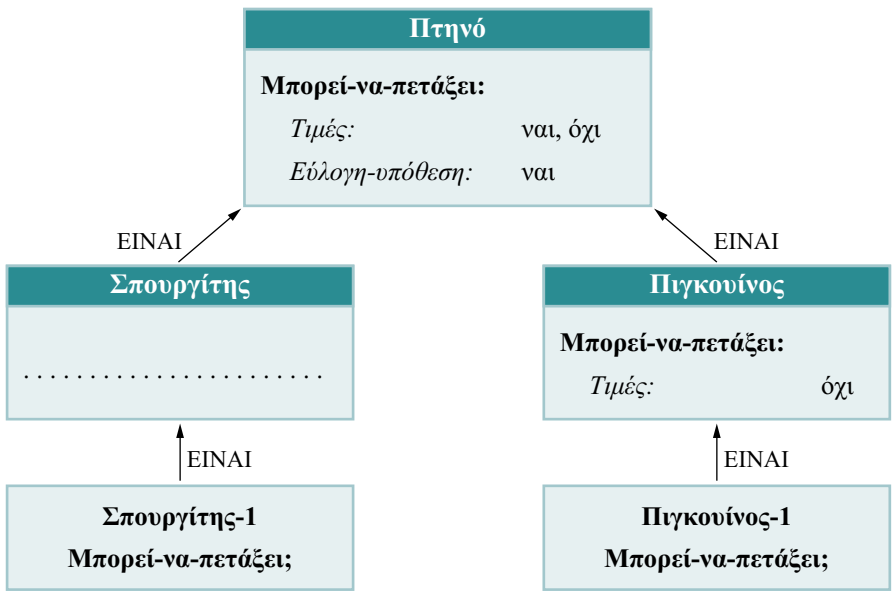
Αρχίζουμε τη συζήτησή μας με δύο αλγόριθμους για απλή κληρονόμηση. Αυτή είναι κληρονόμηση σε αυστηρές ταξινομίες, όπου κάθε πλαίσιο έχει ένα και μοναδικό άμεσο προκάτοχο. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μόνο μία διαδρομή μέσα από την οποία θα γίνει η κληρονόμηση. Στη συνέχεια θα επεκτείνουμε σε πολλαπλή κληρονόμηση, η οποία αφορά τη ροή πληροφοριών διαμέσου πολλαπλών διαδρομών με το ενδεχόμενο να υπάρχουν αντικρουόμενες εισηγήσεις από διαφορετικές διαδρομές. Πολλαπλή κληρονόμηση συμβαίνει, όταν οι ταξινομίες δεν είναι αυστηρές, αλλά ένα πλαίσιο μπορεί να έχει πολλαπλούς άμεσους προκατόχους. Ο αλγόριθμος πολλαπλής κληρονόμησης, τον οποίο θα εξετάσουμε, βασίζεται στην έννοια της απόστασης συλλογισμού.

Οι όψεις οι οποίες εμπλέκονται σε αλγόριθμους κληρονόμησης είναι οι «τιμές», «εάν–χρειάζεται» και «εύλογη–υπόθεση». Για παράδειγμα, εάν όλες οι σφήνες είναι τριγωνικές, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οποιαδήποτε συγκεκριμένη σφήνα είναι τριγωνική. Επίσης, εάν γνωρίζουμε ότι ο όγκος ενός κύβου είναι V και η πυκνότητα της ύλης του είναι d , τότε το βάρος του μπορεί να υπολογιστεί ως το γινόμενο Vd . Τέλος, μπορεί να γίνει η εύλογη υπόθεση, ότι ένας συγκεκριμένος κύβος παιχνιδιού είναι φτιαγμένος από ξύλο, επειδή οι περισσότεροι τέτοιοι κύβοι είναι φτιαγμένοι από ξύλο, και ότι ο σκοπός ενός κύβου είναι η ψυχαγωγία, εάν ειπωθεί ως παιχνίδι, ή η υποστήριξη εάν ειπωθεί ως δομή.

5.4.1 Απλή κληρονόμηση

Το Σχήμα 5.11 δίνει μία απλή ταξινόμια πλαισίων. Πτηνό, σπουργίτης και

πιγκουίνος αντιπροσωπεύουν κατηγορίες, ενώ σπουργίτης-1 και πιγκουίνος-1 περιπτώσεις. Ο σπουργίτης-1 την εύλογη υπόθεση από την κατηγορία πτηνό ότι μπορεί να πετάξει, ενώ ο πιγκουίνος-1 κληρονομεί την κατηγορηματική τιμή ότι δεν μπορεί να πετάξει. Η εύλογη υπόθεση, σε σχέση με την κατηγορία των πτηνών, αναιρείται στην υποκατηγορία των πιγκουίνων.



Σχήμα 5.11

Οι αλγόριθμοι απλής κληρονομής που θα εξετάσουμε είναι η Κληρονομήση-N και η Κληρονομήση-Z. Οι παράμετροι αυτών των αλγορίθμων είναι η σχετική ιεραρχία πλαισίων, η οποία περιλαμβάνει το πλαίσιο το οποίο αντιπροσωπεύει το συγκεκριμένο αντικείμενο F, και το χαρακτηριστικό S. Υποθέτουμε ότι το χαρακτηριστικό S είναι μοναδικής τιμής.

Αλγόριθμος: Κληρονομήση-N

1. Αρχίζοντας από το πλαίσιο, το οποίο αντιπροσωπεύει το αντικείμενο F, προχώρησε προς τα πάνω χρησιμοποιώντας την αλυσίδα συνδέσμων «ΕΙΝΑΙ». Σε κάθε πλαίσιο εξέτασε, εάν υπάρχει όψη «τιμές» για το χαρακτηριστικό S, η οποία προσδιορίζει κατηγορηματική τιμή. Εάν ναι, σταμάτησε.
2. Εάν το βήμα 1 αποτύχει, τότε επανάλαβε αλλά αυτή τη φορά εξετάζοντας την όψη «εάν-χρειάζεται».

3. Τέλος, εάν το βήμα 2 αποτύχει, τότε επανάλαβε εξετάζοντας την όψη «εύλογη–υπόθεση».

Ο αλγόριθμος Κληρονόμηση–N ονομάζεται έτσι επειδή η κίνηση που εμπλέκεται (προσπέλαση από το χαμηλότερο στο υψηλότερο σημείο της ιεραρχίας, επιστροφή στο αρχικό σημείο επανάληψη, και πάλι επιστροφή και επανάληψη) διαγράφει το χαρακτήρα N.

Αλγόριθμος: Κληρονόμηση–Z

Αρχίζοντας από το πλαίσιο που αντιπροσωπεύει το αντικείμενο F, προχώρησε προς τα πάνω χρησιμοποιώντας την αλυσίδα συνδέσμων «ΕΙΝΑΙ». Σε κάθε πλαίσιο εξέτασε τις όψεις, «τιμές», «εάν–χρειάζεται» και «εύλογη–υπόθεση» της σχισμής S, σε αυτή τη σειρά. Εάν προκύψει τιμή για τη σχισμή σταμάτησε, διαφορετικά συνέχισε στο αμέσως πιο πάνω πλαίσιο.

Η κίνηση που εμπλέκεται στον αλγόριθμο Κληρονόμηση–Z διαγράφει το χαρακτήρα Z. Σε κάθε πλαίσιο εξετάζουμε όλες τις σχετικές όψεις, πριν προχωρήσουμε στο πιο πάνω πλαίσιο.

Σε αυτό το σημείο, μάλλον θα διερωτάστε ποιος από τους δύο αλγόριθμους υπερέχει. Δεν υπάρχει κατηγορηματική απάντηση. Μπορεί σε μία περίπτωση να δώσει ο ένας αλγόριθμος την ορθή τιμή και σε κάποια άλλη ο άλλος. Και οι δύο αλγόριθμοι είναι ευρετικοί και όπως γνωρίζουμε τα ευρετικά δεν είναι αλάνθαστα. Ας αναλύσουμε όμως λίγο βαθύτερα τους δύο αλγόριθμους. Η Κληρονόμηση–Z βασίζεται στο ευρετικό ότι η πλησιέστερη απάντηση είναι η ορθότερη, έστω και εάν πηγάζει από εύλογη υπόθεση, ενώ η Κληρονόμηση–N δίνει τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην όψη «τιμές» (και τη μικρότερη στην όψη «εύλογη–υπόθεση»), έστω και εάν η τιμή βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το συγκεκριμένο πλαίσιο. Το ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσον είναι σημασιολογικά ορθό να υπάρχει κατηγορηματική τιμή σε κάποια κατηγορία (π.χ. όλοι οι γλάροι είναι άσπροι) και αντίθετη εύλογη υπόθεση σε κάποια πλησιέστερη υποκατηγορία (π.χ. η πλειοψηφία των γλάρων του είδους X είναι μαυρόασπροι). Για ένα συγκεκριμένο γλάρο του είδους X, η Κληρονόμηση–N θα αποφανθεί ότι είναι άσπρος, ενώ η Κληρονόμηση–Z ότι είναι μαυρόασπρος. Εάν όμως, στην κατηγορία

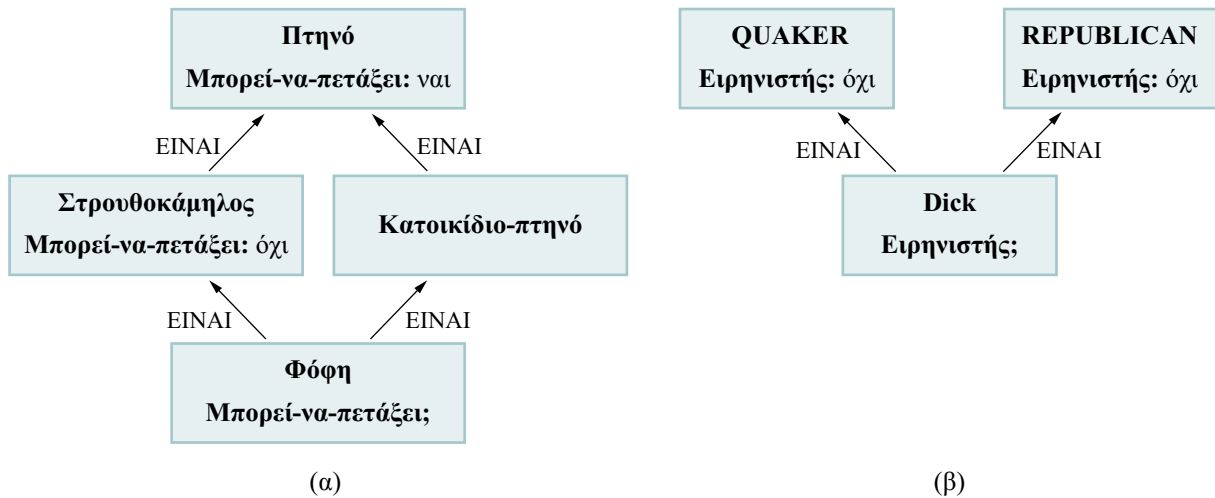
των γλάρων, το άσπρο χρώμα εμφανιζόταν ως εύλογη υπόθεση και όχι ως κατηγορηματική τιμή, οι δύο αλγόριθμοι θα κατέληγαν στο ίδιο συμπέρασμα, ότι δηλαδή ο συγκεκριμένος γλάρος είναι μαυρόασπρος. Η κοντινότερη εύλογη υπόθεση αναιρεί αυτήν του υψηλότερου επιπέδου. Οι δύο αλγόριθμοι θα μπορούσαν να συνδυαστούν. Οι όψεις «τιμές» και «εάν-χρειάζεται» μπορεί να εξετάζονται ταυτόχρονα, ενώ η όψη «εύλογη-υπόθεση» να εξετάζεται στο τέλος.

Σημειώνεται, επίσης, ότι η εξέταση της όψης «εάν-χρειάζεται» μπορεί να οδηγήσει σε αναδρομικό κάλεσμα του αλγορίθμου. Εάν ο υπολογισμός βασίζεται σε άλλες σχισμές, οι οποίες δεν έχουν γεμίσει ακόμη, τότε ή θα απορριφθεί αυτή η οδός ή θα κληθεί ο αλγόριθμος αναδρομικά για να γεμίσουν πρώτα, αν μπορούν, αυτές οι σχισμές. Για αυτό το λόγο είναι σκόπιμο η σειρά του γεμίσματος να λαμβάνει υπόψη τις εξαρτήσεις ανάμεσα στις σχισμές.

Τέλος στη χειρότερη περίπτωση, δηλαδή στην περίπτωση που είτε δεν μπορεί να εξαχθεί τιμή ή η τιμή απορρέει από την εύλογη υπόθεση του υψηλότερου πλαισίου, οι δύο αλγόριθμοι έχουν την ίδια πολυπλοκότητα, με την παραδοχή ότι το κόστος ανάβασης είναι μηδαμινό (διότι η Κληρονόμηση-N κάνει τρεις προσπελάσεις στην ιεραρχία, ενώ η Κληρονόμηση-Z μόνο μία).

5.4.2 Πολλαπλή κληρονόμηση

Σε πολλαπλή κληρονόμηση μπορεί να υπάρχουν αντιφατικές εισηγήσεις ως προς την τιμή του χαρακτηριστικού S του εν λόγω αντικειμένου F. Ας εξετάσουμε τα απλά παραδείγματα που δίνονται στο Σχήμα 5.12. Για σκοπούς απλοποίησης υποθέτουμε ότι τα χαρακτηριστικά έχουν μόνο την όψη «τιμές» (εάν υπάρχουν όλες οι σχετικές όψεις, αυτές εξετάζονται ταυτόχρονα, όπως στην Κληρονόμηση-Z). Στην περίπτωση της Φόφης, η απάντηση είναι όχι. Στην περίπτωση του Dick όμως, δεν μπορούμε να ξέρουμε ποια είναι η απάντηση. Οι μεν Quakers είναι ειρηνιστές, οι δε Republicans όχι. Ο Dick δηλώνει ότι ανήκει και στους δύο. Επομένως, ένας ορθός αλγόριθμος πολλαπλής κληρονόμησης θα πρέπει να απαντήσει το ερώτημα για τη Φόφη αρνητικά, αλλά για τον Dick θα πρέπει να απαντήσει ότι δεν μπορεί να γνωρίζει.

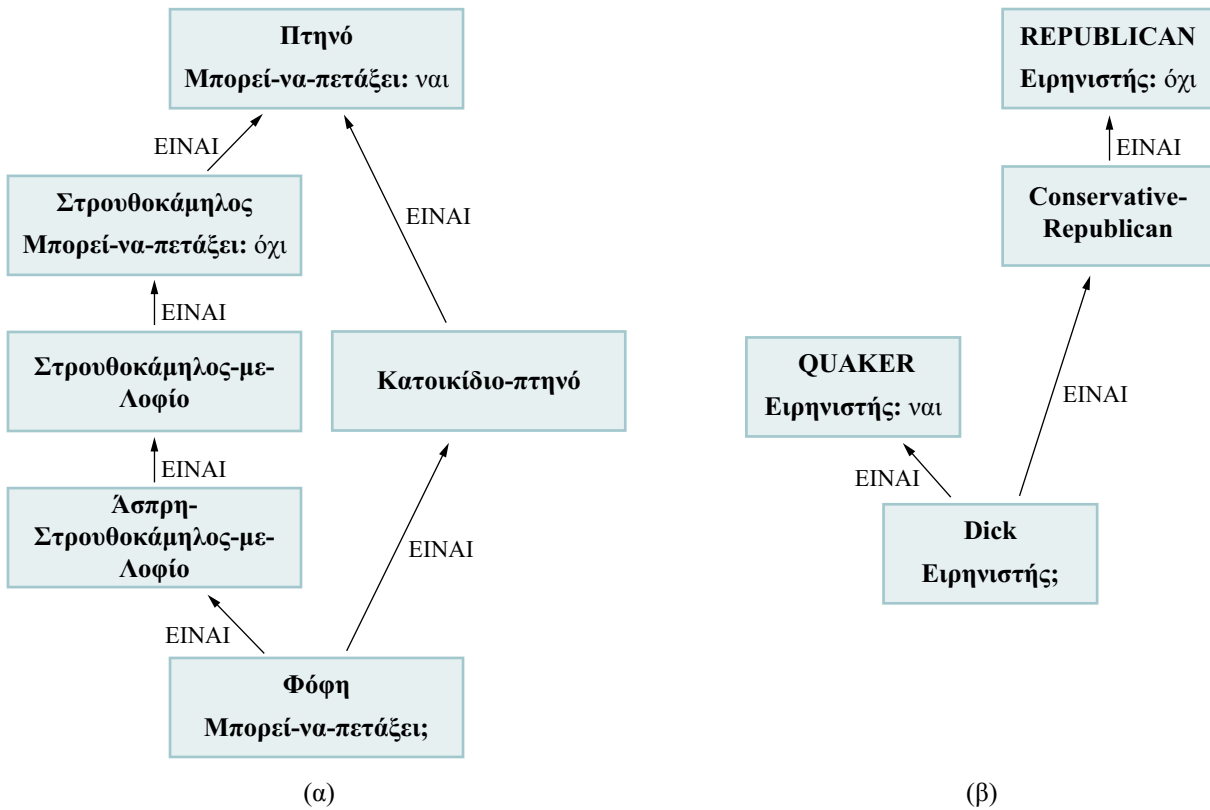


Σχήμα 5.12

Ένας απλός αλγόριθμος είναι αυτός που επιλέγει την απάντηση, η οποία απορρέει από το πλησιέστερο πλαίσιο. Συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η μέθοδος της αναζήτησης σε πλάτος, αρχίζοντας από το πλαίσιο του αντικειμένου F , και προχωρώντας προς τα πάνω μέσω των ιεραρχικών συνδέσμων. Μόλις εξαχθεί κάποια τιμή, ολοκληρώνεται η διερεύνηση των υπόλοιπων διαδρομών του ίδιου μήκους και τερματίζεται η αναζήτηση. Εάν υπάρχει μόνο μία τιμή, αυτή αποτελεί την απάντηση. Εάν όχι, η αντίφαση δεν μπορεί να επιλυθεί. Αυτός ο απλός αλγόριθμος φαίνεται να λειτουργεί ορθά για τα παραδείγματα του Σχήματος 5.12. Ας εξετάσουμε όμως τα παραδείγματα του Σχήματος 5.13. Και στις δύο περιπτώσεις ο αλγόριθμος της πλησιέστερης διαδρομής θα δώσει τις λανθασμένες απαντήσεις, ότι δηλαδή η Φόφη μπορεί να πετάξει και ότι ο Dick είναι ειρηνιστής. Οι διάφορες υποκατηγορίες, οι οποίες έχουν προστεθεί στην πραγματικότητα είναι επουσιώδεις. Αυτή η αδυναμία απαλείφεται, εάν η επιλογή της τιμής γίνεται με βάση την *απόσταση συλλογισμού* και όχι την απόσταση διαδρομής.

Απόσταση Συλλογισμού

Η κατηγορία C_1 είναι πιο κοντά (συλλογιστικά) στην κατηγορία C_2 σε σχέση με την κατηγορία C_3 , εάν και μόνο εάν η C_1 έχει μία διαδρομή συλλογισμού προς την C_3 διαμέσου της C_2 .



Σχήμα 5.13

Η σχέση «απόσταση συλλογισμού» ορίζει μια μερική διάταξη. Για παράδειγμα η Φόφη είναι πιο κοντά στη στρουθοκάμηλο σε σχέση με το πτηνό (αφού υπάρχει διαδρομή από τη Φόφη στο πτηνό διαμέσου της στρουθοκάμηλου). Η σχέση όμως δεν ορίζεται για την τριάδα Dick, Quaker και Republican (ο Dick δεν είναι πιο κοντά στους Quakers από τους Republicans και αντιστρόφως). Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται στον ορισμό του συνόλου των ανταγωνιζόμενων τιμών.

Σύνολο Ανταγωνιζόμενων Τιμών για το Χαρακτηριστικό S του Αντικειμένου F

Αποτελείται από:

- Τιμές, οι οποίες απορρέουν από ιεραρχικά υψηλότερα πλαίσια, X.
- Αυτές οι τιμές δεν είναι σε αντίφαση με τιμές που απορρέουν από κάποιο πλαίσιο, Y, το οποίο είναι σε μικρότερη απόσταση συλλογισμού από το πλαίσιο F σε σχέση με το πλαίσιο X.

Το σύνολο ανταγωνιζόμενων τιμών για το χαρακτηριστικό «μπορεί-να-πετάξει» της Φόφης είναι {όχι}, ενώ για το χαρακτηριστικό «ειρηνιστής» του Dick είναι {ναι, όχι}. Επομένως, το νέο ευρετικό φαίνεται να εξάγει τις ορθές απαντήσεις, ότι δηλαδή η Φόφη δεν μπορεί να πετάξει και ότι είναι άγνωστο κατά πόσον ο Dick είναι ειρηνιστής. Ο αλγόριθμος πολλαπλής κληρονομιάς, ο οποίος βασίζεται στην απόσταση συλλογισμού, δίνεται παρακάτω.

Αλγόριθμος Πολλαπλής Κληρονομιάς με βάση την Απόσταση Συλλογισμού

1. ΥΠΟΨΗΦΙΕΣ $\leftarrow []$

2. Εφάρμοσε τη μέθοδο της αναζήτησης σε πλάτος (ή βάθος) αρχίζοντας από το πλαίσιο F και ακολουθώντας προς τα πάνω όλους τους ιεραρχικούς συνδέσμους. Σε κάθε βήμα εξέτασε, εάν υπάρχει τιμή για το χαρακτηριστικό S:

- (α) Εάν υπάρχει τιμή, πρόσθεσε την στις ΥΠΟΨΗΦΙΕΣ και τερμάτισε τη συγκεκριμένη διαδρομή.
- (β) Εάν δεν υπάρχει τιμή, αλλά υπάρχουν τόξα «ΕΙΝΑΙ» προς τα πάνω, τότε ακολούθησε τα.
- (γ) Διαφορετικά τερμάτισε τη συγκεκριμένη διαδρομή.

3. Για κάθε στοιχείο Y από τις ΥΠΟΨΗΦΙΕΣ:

- (α) Εξέτασε κατά πόσον υπάρχει κάποιο άλλο στοιχείο στις ΥΠΟΨΗΦΙΕΣ, το οποίο απορρέει από μία κατηγορία που είναι πιο κοντά (συλλογιστικά) στην F από την κατηγορία από την οποία προήλθε η Y.
- (β) Εάν είναι έτσι, τότε διάγραψε την Y από τις ΥΠΟΨΗΦΙΕΣ.

4. Εξέτασε τον αριθμό στοιχείων στις ΥΠΟΨΗΦΙΕΣ:

- (α) Εάν είναι 0, τότε καμιά τιμή δεν ανευρέθηκε.
- (β) Εάν είναι 1, τότε επέστρεψε τη μοναδική υποψήφια ως την αναζητούμενη τιμή.
- (γ) Διαφορετικά σημείωσε την αντίφαση.

Ο αλγόριθμος της πολλαπλής κληρονομής τερματίζει, διότι δεν υπάρχουν κυκλικές διαδρομές στην ιεραρχία «ΕΙΝΑΙ».

Υλοποιήστε τους αλγόριθμους απλής και πολλαπλής κληρονομής και δοκιμάστε τους σε κάποια ιεραρχία πλαισίων, π.χ. την ιεραρχία που αναπτύξατε στη Δραστηριότητα 5.1.

Δραστηριότητα 5.2

Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε δύο άλλους βασικούς φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης, τα δίκτυα συσχέτισης και τα πλαίσια. Και οι δύο φορμαλισμοί δίνουν έμφαση στη δόμηση της γνώσης, με στόχο την αναπαράσταση της ολότητας της γνώσης για κάποιο γεγονός, αντικείμενο, κτλ. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζουν οι ιεραρχικές δομές των ταξινομιών και μερονομιών, οι οποίες επιτρέπουν την κληρονομήση ιδιοτήτων.

Τα δίκτυα συσχέτισης είναι ένας περιγραφικός φορμαλισμός, ο οποίος βασίζεται σε ευρήματα αναφορικά με την οργάνωση της ανθρώπινης μνήμης. Αποτελείται από κόμβους, που αντιπροσωπεύουν αφηρημένες ή συγκεκριμένες έννοιες, και τόξα τα οποία συνδέουν δυάδες από κόμβους και αντιπροσωπεύουν σχέσεις. Το γεγονός ότι μόνο δυαδικές σχέσεις μπορούν να αναπαρασταθούν δεν είναι μειονέκτημα, αφού κάθε σχέση μπορεί να μετασχηματιστεί σε δυαδικές σχέσεις. Η επέκταση του φορμαλισμού των δικτύων συσχέτισης με την προσθήκη διαμερίσεων, είναι σημαντική, διότι με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται περαιτέρω δόμηση (κάθε διαμέριση είναι ένα δίκτυο συσχέτισης σε χαμηλότερο επίπεδο) και επίσης αποδίδεται στο φορμαλισμό η ίδια λογική επάρκεια με την κατηγορηματική λογική. Συγκεκριμένα, αυτό επιτρέπει την απεικόνιση καθολικά ποσοτικοποιημένων προτάσεων. Παρόλο που οι δύο φορμαλισμοί έχουν την ίδια λογική επάρκεια, οι μηχανισμοί συλλογισμού είναι τελείως διαφορετικοί. Σε ένα δίκτυο συσχέτισης, η αναζήτηση τομής σκορπίζει ενεργοποίηση στο δίκτυο αρχίζοντας από τους κόμβους που αντιπροσωπεύουν τις οντότητες, με στόχο την ανακάλυψη σχέσεων ανάμεσα σε αυτές τις οντότητες. Σημεία όπου οι ξεχωριστές ενεργοποιήσεις τέμνονται αποτελούν συσχετίσεις.

Τα πλαίσια, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως σύνθετα δίκτυα συσχέτισης, προήλθαν από έρευνα σε μηχανική όραση. Ένα πλαίσιο έχει πλούσια εσωτε-

ρική δομή, η οποία συνδυάζει περιγραφική και διαδικασιακή αναπαράσταση. Είναι ένα δομημένο αντικείμενο αποτελούμενο από διάφορες σχισμές και τις όψεις αυτών. Βασικός μηχανισμός συλλογισμού είναι η ταύτιση ενός πλαισίου με μία πραγματική κατάσταση, η λεγόμενη διαδικασία συγκεκριμενοποίησης για τη δημιουργία συγκεκριμένων περιπτώσεων του πλαισίου. Με άλλα λόγια το γέμισμα των σχισμών. Για αυτή τη διεργασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι κληρονόμησης.

Σε μία ρεαλιστική εφαρμογή υπάρχει ένα οργανωμένο σύνολο πλαισίων με πλήθος διασυνδέσεων. Ο ρόλος ορισμένων πλαισίων είναι να ελέγχουν το συλλογισμό σε καθολικό επίπεδο, κυρίως αναφορικά με την αρχική εστίαση του συλλογισμού. Σημαντικός έλεγχος συλλογισμού διεξάγεται και σε τοπικό επίπεδο, δηλαδή σε επίπεδο πλαισίων αντικειμένων, μέσω συμπληρωματικών, αντίπαλων, ιεραρχικών και άλλων συνδέσεων. Στο κεφάλαιο 6 θα εξετάσουμε το φορμαλισμό των κανόνων παραγωγής. Αυτός ο φορμαλισμός μπορεί να συνδυαστεί πολύ αποτελεσματικά και με δίκτυα συσχέτισης και με πλαίσια.

Βιβλιογραφία

N.V. Findler (συντάκτης), *Associative Networks – Representation and Use of Knowledge by Computers*, Academic Press, 1979.

Το βιβλίο που επιμελήθηκε ο N.V. Findler αποτελεί μία κλασική συλλογή εργασιών αναφορικά με δίκτυα συσχέτισης, που αξίζει να μελετηθεί. Οι εισηγήσεις που διατυπώνονται εξακολουθούν να είναι έγκυρες και εφαρμόσιμες.

M.Minsky, «A Framework for Representing Knowledge», in *The Psychology of Computer Vision*, P.H.Winston (ed.), McGraw–Hill, 1975.

Η έννοια του πλαισίου προτάθηκε στην πιο πάνω, ιστορική πλέον, δημοσίευση του Marvin Minsky, η οποία αξίζει να μελετηθεί.

E. Rich και K. Knight, *Artificial Intelligence*, δεύτερη έκδοση, McGraw–Hill, 1991.

P.H.Winston, *Artificial Intelligence*, τρίτη έκδοση, Addison Wesley, 1992.

Κανόνες Παραγωγής

Σκοπός

Κεντρικό αξίωμα της ΤΝ είναι ότι η νοήμων συμπεριφορά κυβερνάται από κανόνες. Το παρόν κεφάλαιο διαπραγματεύεται το φορμαλισμό των κανόνων παραγωγής, με βασικό στόχο την παρουσίαση της αρχιτεκτονικής ενός συστήματος παραγωγής και των σχετικών μηχανισμών συλλογισμού, καθώς επίσης την επέκταση της αρχιτεκτονικής στο μοντέλο του μαυροπίνακα.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο θα μπορείτε να:

- εξηγήσετε τη δομή, τη σημασιολογία και γενικά τα χαρακτηριστικά των κανόνων παραγωγής (*production rules*),
- περιγράψετε την αρχιτεκτονική ενός συστήματος παραγωγής (*production system*),
- εξηγήσετε τους δύο βασικούς τρόπους εφαρμογής των κανόνων, την ορθή και ανάστροφη αλυσίδωση (*forward and backward chaining*) και να διατυπώσετε τους σχετικούς αλγορίθμους,
- διαχωρίσετε συλλογιστική οδηγούμενη από στόχους (*goal-driven reasoning*) ή ανάστροφη συλλογιστική (*backward reasoning*) από συλλογιστική οδηγούμενη από γεγονότα (*event-driven reasoning*) ή ορθή συλλογιστική (*forward reasoning*),
- διατυπώσετε τρεις γενικές στρατηγικές ελέγχου (*διαθλαστικότητα, προσφατότητα και συγκεκριμενικότητα*) και να εξηγήσετε τη χρήση μετα-κανόνων για τοπικό έλεγχο,
- περιγράψετε τα δύο είδη επεξηγήσεων, «Γιατί;» και «Πώς;» και να εξηγήσετε πώς μπορούν να παραχθούν τέτοιες επεξηγήσεις,
- περιγράψετε, σε γενικές γραμμές, το μοντέλο του μαυροπίνακα (*blackboard model*) και να εξηγήσετε τη στρατηγική της καιροσκοπικής αναζήτησης (*opportunistic search*).

Έννοιες κλειδιά

- κανόνες παραγωγής
- διερμηνέας κανόνων/δομή ελέγχου
- σύστημα παραγωγής
- μνήμη παραγωγής

- μνήμη εργασίας
- συγκεκριμενοποιήσεις κανόνων
- ορθή αλυσίδωση – κύκλος «ανα-γνώρισε–ενέργησε»
- ανάστροφη αλυσίδωση
- συλλογιστική οδηγούμενη από γεγονότα
- συλλογιστική οδηγούμενη από στόχους
- ευρέτης αντικειμένων και ανιχνευτής κανόνων
- δίκτυο συλλογισμού ή δέντρο ΚΑΙ/Η ή δέντρο στόχων
- κριτήρια απόδοσης (ευαισθησία, σταθερότητα)
- γενικές στρατηγικές ελέγχου (διαθλαστικότητα, προσφατότητα, συγκεκριμενικότητα)
- μετα-κανόνες για τοπικό έλεγχο
- επεξηγήσεις «Γιατί;» και «Πώς;»
- μοντέλο μαυροπίνακα
- πηγές γνώσης
- στρώματα και επίπεδα αφαιρετικότητας,
- καιροσκοπική αναζήτηση.

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Κεντρικό αξίωμα της ΤΝ είναι ότι η νοήμων συμπεριφορά κυβερνάται από κανόνες. Αυτό δεν χρειάζεται ιδιαίτερη τεκμηρίωση. Το σύνταγμα και οι νόμοι ενός κράτους δεν είναι τίποτα άλλο από ένα σύνολο κανόνων. Η λειτουργία ενός Οργανισμού διέπεται από διάφορους κανόνες. Για παράδειγμα, σε ένα Πανεπιστήμιο υπάρχουν κανόνες εισδοχής, κανόνες φοίτησης, κανόνες εξετάσεων, κανόνες μετεγγραφής, κτλ.

Ο φορμαλισμός των κανόνων παραγωγής, που αποτελεί το αντικείμενο διαπραγμάτευσης του παρόντος κεφαλαίου, βασίζεται σε μία απλή δομή για κανόνες της μορφής.

Εάν (προκείμενο) τότε (συμπέρασμα), ή

Εάν (συνθήκη) τότε (ενέργεια)

Κανόνες παραγωγής είχαν αρχικά χρησιμοποιηθεί στη θεωρία αυτομάτων, σε τυπικές γραμματικές και στη σχεδίαση γλωσσών προγραμματισμού. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν σε μοντέλα ψυχολογίας και έμπειρα συστήματα και επί του παρόντος εξακολουθούν να αποτελούν τον πιο ευρέως διαδεδομένο φορμαλισμό αναπαράστασης γνώσης σε έμπειρα συστήματα.

Η δομή και σημασιολογία των κανόνων παραγωγής και η γενική αρχιτεκτονική ενός συστήματος παραγωγής (σύστημα του οποίου η γνώση εκφράζεται σε μορφή κανόνων) παρουσιάζεται στην ενότητα 6.1, ενώ οι ενότητες 6.2 και 6.3 εμβαθύνουν στις δύο βασικές μεθόδους εφαρμογής των κανόνων, την ορθή και ανάστροφη αλυσίδωση. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μία σύντομη αναφορά στο μοντέλο του μαυροπίνακα (ενότητα 6.4), το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνθετο σύστημα παραγωγής. Όπως και για προηγούμενα κεφάλαια, και για αυτό το κεφάλαιο προαπαιτείται κάποια γνώση θεωρίας γραφημάτων, κυρίως για την εκπόνηση των Δραστηριοτήτων.

6.1 Σύστημα παραγωγής

Ένα σύστημα παραγωγής (production system) αναπαριστά τη γνώση του ως κανόνες. Η βάση γνώσης του ονομάζεται *μνήμη παραγωγής* (production memory).

6.1.1 Κανόνες παραγωγής

Ένας κανόνας παραγωγής είναι μία πρόταση της μορφής *Εάν–τότε* (If–then). Το αριστερό μέρος (*Εάν*) δίνει το προκείμενο ή τη συνθήκη του κανόνα και το δεξιό μέρος (*τότε*) το συμπέρασμα ή την ενέργεια. Και τα δύο μέρη μπορεί να είναι σύνθετα αποτελούμενα από συζεύξεις προτάσεων: $P_1, \dots, P_m \rightarrow Q_1, \dots, Q_n$, όπου $m, n \geq 1$. Η σημασιολογία είναι η εξής: Εάν τα προκείμενα (συνθήκες) P_1, \dots, P_m είναι αληθή στα συγκεκριμένα συμφραζόμενα, τότε τα συμπεράσματα (ενέργειες) Q_1, \dots, Q_n , μπορούν να εξαχθούν (εκτελεστούν). Οι προτάσεις P_i και Q_j είναι δομές συμβόλων, συνήθως τριάδες της μορφής (*αντικείμενο*) *χαρακτηριστικό* *τιμή*)

Σε τέτοιες περιπτώσεις το λεξιλόγιο των κανόνων αποτελείται από το σύνολο A των ονομασιών αντικειμένων, το σύνολο X των ονομασιών ιδιοτήτων που αποδίδουν χαρακτηριστικά στα αντικείμενα και το σύνολο T των τιμών που λαμβάνουν αυτά τα χαρακτηριστικά (η κατηγορία «αντικείμενο» χρησιμοποιείται με την ευρεία έννοια της λέξεως, καλύπτοντας φυσικές οντότητες αλλά και αφηρημένες έννοιες). Συνήθως υπάρχει επικάλυψη ανάμεσα στα σύνολα A και T για να μπορούν να εκφράζονται συσχετίσεις ανάμεσα σε αντικείμενα. Π.χ. μία τέτοια τριάδα θα μπορούσε να ήταν (TN–και–ΕΣ υποενότητα TN–και–Εφαρμογές), όπου τα σύμβολα «TN–και–ΕΣ» και «TN–και–Εφαρμογές» ανήκουν και στα δύο σύνολα A και T , ενώ το σύμβολο «υποενότητα» ανήκει στο σύνολο X . Πολλαπλές ατομικές προτάσεις

που αναφέρονται στο ίδιο αντικείμενο μπορούν να συμπτυχθούν, π.χ. οι τριάδες $(\alpha, \chi_1, \tau_1), (\alpha, \chi_2, \tau_2), \dots, (\alpha, \chi_n, \tau_n)$, μπορούν να συμπτυχθούν στην πρόταση $(\alpha, \chi_1, \tau_1, \chi_2, \tau_2, \dots, \chi_n, \tau_n)$. Αυτό γίνεται στις γλώσσες OPS5 και CLIPS, με ελαφρώς διαφορετική σύνταξη. Π.χ. σε OPS5 θα είχαμε (TN–και–ΕΣ ^συγγραφέας Κεραυνού ^υποενότητα TN–και–Εφαρμογές), όπου τα χαρακτηριστικά υποδηλώνονται από το χαρακτήρα ^, ενώ σε CLIPS θα είχαμε (TN–και–ΕΣ (συγγραφέας Κεραυνού) (υποενότητα TN–και–Εφαρμογές)). Σε αυτό το κεφάλαιο θα χρησιμοποιήσουμε την ακόλουθη σύνταξη για κανόνες, η οποία βασίζεται σε OPS5^[1]:

(**κανόνας** <ονομασία–κανόνα>
 <προκείμενο–1> ... <προκείμενο–m>
 → <ενέργεια–1> ... <ενέργεια–n>)

Παράδειγμα 6.1

Στο μάθημα της TN ζητήθηκε από τους φοιτητές να κωδικοποιήσουν τους κανόνες φοίτησης του Πανεπιστημίου τους. Ένας από αυτούς τους κανόνες λέει ότι, εάν ο σταθμικός μέσος όρος του εξαμήνου είναι κάτω από το 5.0, ο φοιτητής τίθεται υπό δοκιμασία. Η πρώτη προσπάθεια του φοιτητή Ιωάννου να κωδικοποιήσει αυτόν τον κανόνα είναι:

(**κανόνας** υπό–δοκιμασία
 (Φοιτητής ^όνομα Ιωάννου ^ΣΜΟ–εξαμήνου 4.8)
 → (**πρόσθεσε** Να–τεθεί ^όνομα Ιωάννου ^υπό–δοκιμασία ναι))

Αυτή η διατύπωση δεν δίνει τον κανόνα, αλλά μία συγκεκριμενοποίησή του. Η κανονική διατύπωση του κανόνα κάνει χρήση μεταβλητών:

(**κανόνας** υπό–δοκιμασία
 (Φοιτητής ^όνομα ?Ο ^ΣΜΟ–εξαμήνου ?Σ)
 (:μικρότερο–από ?Σ 5.0)
 → (**πρόσθεσε** Να–τεθεί ^όνομα ?Ο ^υπό–δοκιμασία ναι))

Οι μεταβλητές υποδηλώνονται από το χαρακτήρα ?. Η εμβέλεια κάθε μεταβλητής είναι ο εν λόγω κανόνας. Κάθε εμφάνιση της ίδιας μεταβλητής ανα-

[1] L. Brownson, R. Farell, E. Kant, και N. Martin, *Programming Expert Systems in OPS5: An Introduction to Rule-Based Programming*, Addison–Wesley, 1985.

φέρεται στην ίδια τιμή. Επίσης, τα προκείμενα μπορεί να αφορούν εξωτερικά, υπολογίσιμα, κατηγορήματα, π.χ. μικρότερο–από, τα οποία υποδηλώνονται από το χαρακτήρα \cdot . Αυτά τα προκείμενα «υπολογίζονται», δεν ταυτίζονται έναντι συγκεκριμένων συμβολικών εκφράσεων. Επομένως, τυχόν μεταβλητές, π.χ. η μεταβλητή $?Σ$, που εμπλέκονται σε τέτοια προκείμενα θα πρέπει να έχουν δεσμευτεί, όταν επιχειρείται ο υπολογισμός. Η δέσμευση γίνεται από κάποια διαδικασία ταύτισης συμβολικών εκφράσεων (pattern matching process). Έστω τα ακόλουθα δεδομένα, τα οποία περιγράφουν συγκεκριμένα γεγονότα:

Δ_1 : (Φοιτητής \wedge όνομα Ιωάννου \wedge ΣΜΟ–εξαμήνου 4.8)

Δ_2 : (Φοιτητής \wedge όνομα Πέτρου \wedge ΣΜΟ–εξαμήνου 7.2)

Δ_3 : (Φοιτητής \wedge όνομα Σταύρου \wedge ΣΜΟ–εξαμήνου 4.7)

Η συμβολική έκφραση που αποτελεί το πρώτο προκείμενο του κανόνα «υπό–δοκίμασία», μπορεί να ταυτιστεί με το καθένα από αυτά τα δεδομένα. Όμως το δεύτερο, υπολογίσιμο, προκείμενο επαληθεύεται μόνο σε σχέση με τα δεδομένα Δ_1 και Δ_3 . Έτσι, υπάρχουν μόνο δύο συγκεκριμενοποιήσεις του κανόνα σε αυτά τα συμφραζόμενα. Στη μία (σε σχέση με το δεδομένο Δ_1) οι δεσμεύσεις είναι $?Ο = \text{Ιωάννου}$ και $?Σ = 4.8$, και στην άλλη (σε σχέση με το δεδομένο Δ_3) αυτές είναι $?Ο = \text{Σταύρου}$ και $?Σ = 4.7$. Τα δεδομένα Δ_1 – Δ_3 αποθηκεύονται στη *μνήμη εργασίας* (βλέπε 6.1.2). Η εφαρμογή των πιο πάνω συγκεκριμενοποιήσεων του κανόνα θα είχε ως αποτέλεσμα την επέκταση της μνήμης εργασίας με την προσθήκη των ακόλουθων δεδομένων:

Δ_4 : (Να–τεθεί \wedge όνομα Ιωάννου \wedge υπό–δοκίμασία ναι)

Δ_5 : (Να–τεθεί \wedge όνομα Σταύρου \wedge υπό–δοκίμασία ναι)

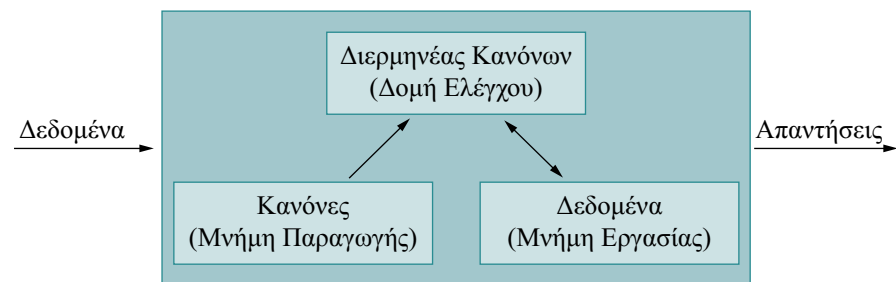
Ο κανόνας «υπό–δοκίμασία» έχει ως αποτέλεσμα την *προσθήκη* πληροφοριών στη μνήμη εργασίας. Αυτό φαίνεται από την εντολή «πρόσθεσε» στην ενέργειά του. Ο συλλογισμός σε ένα σύστημα παραγωγής, όμως, δεν είναι συνήθως εξ ολοκλήρου μονοτονικός, όπως με την κατηγορηματική λογική. Εναλλακτικά, οι ενέργειες κανόνων μπορεί να συνεπάγονται τη διαγραφή ή τροποποίηση πληροφοριών στη μνήμη εργασίας.

Δραστηριότητα 6.1

Σκεφτείτε κάποιους κανόνες από την καθημερινή σας ζωή, είτε σε σχέση με τις σπουδές σας ή το χώρο εργασίας σας, και προσπαθήστε να τους κωδικοποιήσετε χρησιμοποιώντας τη σύνταξη του παραδείγματός μας.

6.1.2 Αρχιτεκτονική συστήματος παραγωγής

Τα συστήματα παραγωγής είναι συστήματα βάσης γνώσης, των οποίων η γνώση εκφράζεται εξ ολοκλήρου σε μορφή κανόνων. Η βασική αρχιτεκτονική ενός συστήματος παραγωγής δίνεται στο Σχήμα 6.1. Η βάση γνώσης αναφέρεται ως *μνήμη παραγωγής* (production memory) και τα δεδομένα/συμπεράσματα που αφορούν το υπό εξέταση πρόβλημα ως *μνήμη εργασίας* (working memory). Ο *διερμηνέας κανόνων* ενσωματώνει το μηχανισμό εφαρμογής των κανόνων. Αποτελεί τη δομή ελέγχου του συστήματος.



Σχήμα 6.1
Σύστημα Παραγωγής

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εφαρμογής των κανόνων, η ορθή αλυσίδωση και η ανάστροφη αλυσίδωση, οι οποίοι μπορούν να συνδυαστούν.

Σε *ορθή αλυσίδωση* (forward chaining) οι συμβολικές εκφράσεις στα προκείμενα των κανόνων ταυτίζονται με συμβολικές εκφράσεις στη μνήμη εργασίας. Από τις συγκεκριμενοποιήσεις οι οποίες προκύπτουν επιλέγεται μία η οποία και εφαρμόζεται, δηλαδή η ενέργειά της εκτελείται. Αυτός ο κύκλος «αναγνώρισε–ενέργησε» (recognize–act) συνεχίζεται μέχρις ότου είτε να μην υπάρχει καμία συγκεκριμενοποίηση ή καμία από τις συγκεκριμενοποιήσεις να οδηγεί σε πρόοδο (τροποποίηση ή επέκταση της μνήμης εργασίας). Επομένως, σε ορθή αλυσίδωση οι κανόνες εφαρμόζονται στην κατεύθυνση προκείμενα προς ενέργειες, η οποία θεωρείται και η «ορθή» κατεύθυνση με βάση τη σημασιολογία των κανόνων ως προτάσεων Εάν–τότε.

Σε *ανάστροφη αλυσίδωση* (backward chaining) οι κανόνες εφαρμόζονται στην αντίθετη κατεύθυνση, από ενέργειες/συμπεράσματα προς προκείμενα. Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου χρειάζεται να προσδιοριστεί κατ' αρχήν κάποια ενέργεια / συμπέρασμα-στόχος, δηλαδή τι επιθυμούμε να επιτευχθεί ή σε τι συμπέρασμα θέλουμε να καταλήξουμε, το οποίο συμπέρασμα μπορεί να αποτελέσει κάποιο γεγονός που έχουμε ήδη παρατηρήσει (σε αυτήν την περίπτωση επιθυμούμε να παράγουμε κάποια εξήγηση για το εν λόγω γεγονός). Από τους κανόνες των οποίων τα δεξιά μέρη ταυτίζονται με το στόχο, επιλέγεται ένας, τα προκείμενα του οποίου στη συνέχεια αποτελούν υποστόχους. Με βάση τη διαδικασία ανάστροφης αλυσίδωσης δημιουργείται αναδρομικά ένα *δέντρο συλλογισμού*, του οποίου οι ακραίοι κόμβοι αποτελούν βασικούς υποστόχους, ουσιαστικά ερωτήματα προς το χρήστη του συστήματος.

Για την εφαρμογή της μεθόδου της ορθής αλυσίδωσης χρειάζονται κατ' αρχήν κάποια δεδομένα, ενώ για ανάστροφη αλυσίδωση, η μνήμη εργασίας μπορεί να είναι αρχικά κενή. Το τι χρειάζεται να προσδιοριστεί είναι ο αρχικός στόχος. Γι' αυτό το λόγο η ανάστροφη αλυσίδωση τείνει να θεωρείται ως συνώνυμος της *συλλογιστικής οδηγούμενης από στόχους* (goal-driven reasoning), άλλως ανάστροφης συλλογιστικής. Παρομοίως, η ορθή αλυσίδωση τείνει να θεωρείται ως συνώνυμος της *συλλογιστικής οδηγούμενης από γεγονότα* (event-driven reasoning), άλλως ορθής συλλογιστικής. Όμως η κατεύθυνση της αλυσίδωσης και η κατεύθυνση του συλλογισμού, που στην ουσία είναι σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης, δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις ταυτόσημες. Η μορφή συλλογισμού είναι σε επίπεδο σχεδίασης, ενώ η μορφή αλυσίδωσης σε επίπεδο υλοποίησης. Ο συλλογισμός υλοποιείται μέσω αλυσίδωσης, αλλά όχι αντιστρόφως. Η αλυσίδωση είναι μηχανική διαδικασία, από το αριστερό προς το δεξιό μέρος του κανόνα ή αντιστρόφως, ασχέτως της σημασιολογίας των δύο τμημάτων του κανόνα. Η συλλογιστική είναι σε σημασιολογικό επίπεδο, από στόχους σε προϋποθέσεις επίτευξης αυτών των στόχων ή από γεγονότα σε συμπεράσματα που απορρέουν από αυτά. Εάν τα προκείμενα των κανόνων αντιπροσωπεύουν γεγονότα, η ορθή αλυσίδωση αντιστοιχεί σε ορθή συλλογιστική. Εάν όμως τα προκείμενα αντιπροσωπεύουν στόχους και οι ενέργειες υποστόχους, η ορθή αλυσίδωση αντιστοιχεί σε ανάστροφη συλλογιστική. Οι γλώσσες OPS5 και CLIPS παρέχουν μόνο ορθή αλυσίδωση. Αυτό δεν είναι αδυναμία, αφού και οι δύο μορφές συλλογιστικής μπορούν να υλοποιηθούν μέσω ορθής αλυσίδωσης.

Ένας άλλος διαχωρισμός που επίσης είναι σε σημασιολογικό επίπεδο είναι κατά πόσον ο συλλογισμός που διεξάγεται (μέσω της σχετικής αλυσίδωσης)

είναι *συμπερασματικής* (deductive) ή *απαγωγικής* (abductive) μορφής. Συμπερασματικός συλλογισμός οδηγεί σε συμπεράσματα με κατηγορηματικό τρόπο, π.χ. ο συλλογισμός σε κατηγορηματική λογική. Απαγωγικός συλλογισμός είναι υποθετικός συλλογισμός (hypothetical reasoning). Οδηγεί σε πιθανές υποθέσεις για περαιτέρω διερεύνηση. Συνήθως, ανάστροφη συλλογιστική είναι συμπερασματικής μορφής (ο στόχος συνεπάγεται υποστόχους, κτλ. —με άλλα λόγια συλλογιστική από πάνω προς τα κάτω). Ορθή συλλογιστική μπορεί να είναι και απαγωγικής μορφής. Σε τέτοιες περιπτώσεις τα «συμπεράσματα» που απορρέουν από τα γεγονότα δεν είναι κατηγορηματικά, αλλά συνδέονται με κάποιο βαθμό αβεβαιότητας, π.χ. τα γεγονότα είναι συμπτώματα και τα «συμπεράσματα» είναι πιθανές διαγνώσεις.

Τέλος, κρίσιμο σημείο και των δύο μεθόδων αλυσίδωσης αποτελεί η *επιλογή* του επόμενου προς εφαρμογή κανόνα (ή συγκεκριμενοποίησης κανόνα). Η επιλογή καθοδηγείται από διάφορα ευρετικά τα οποία μπορεί να είναι γενικές στρατηγικές ελέγχου, ανεξάρτητες των περιεχομένων των κανόνων, ή να αφορούν συγκεκριμένο σύνολο κανόνων. Γενικά ευρετικά συνήθως ενσωματώνονται στο διερμηνέα κανόνων, ενώ τοπικά ευρετικά εκφράζονται δηλωτικά, επίσης σε μορφή κανόνων, και ονομάζονται *μετα-κανόνες*.

Δραστηριότητα 6.2

Ποια πιστεύετε ότι είναι τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα της ορθής και της ανάστροφης συλλογιστικής;

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 6.1

Αντιστοιχίστε τα στοιχεία της αριστερής στήλης με στοιχεία της δεξιάς στήλης:

- | | |
|---|--------------------------|
| • Κατευθύνεται από το δεξιό προς το αριστερό μέρος του κανόνα | • Ορθή αλυσίδωση |
| • Χρειάζεται να επιλεγεί κατ' αρχήν ο απώτερος στόχος | • Ορθή συλλογιστική |
| • Κάνει χρήση ευρετικών | • Ανάστροφη αλυσίδωση |
| • Οδηγείται από γεγονότα | • Ανάστροφη συλλογιστική |
| • Κατευθύνεται από το αριστερό προς το δεξιό μέρος του κανόνα | |
| • Είναι σε επίπεδο υλοποίησης | |
| • Είναι σε επίπεδο σχεδίασης | |

6.2 Ορθή αλυσίδωση

6.2.1 Κύκλος «αναγνώρισε-ενέργησε»

Ας εξετάσουμε περαιτέρω τη διερμηνευση κανόνων μέσω ορθής αλυσίδωσης (κύκλος «αναγνώρισε-ενέργησε»), συνεχίζοντας το παράδειγμα των κανόνων φοίτησης.

Παράδειγμα 6.1 (συνέχεια)

Οι κανόνες φοίτησης που αφορούν το ενδεχόμενο της διαγραφής κάποιου φοιτητή είναι οι ακόλουθοι:

1. Δεύτερη αποτυχία στο ίδιο υποχρεωτικό μάθημα.
2. Αποτυχία σε περισσότερα από δύο υποχρεωτικά μαθήματα στο ίδιο εξάμηνο.
3. Υπό-δοκιμασία για δύο συνεχόμενα εξάμηνα.

Ας κωδικοποιήσουμε αυτούς τους κανόνες:

(κανόνας διαγραφή-1

(Αποτυχία \wedge νόμα ?O \wedge μάθημα ?M \wedge εξάμηνο ?E1)

(Αποτυχία \wedge νόμα ?O \wedge μάθημα ?M \wedge εξάμηνο ?E2)

(:διαφορετικά ?E1 ?E2)

(Υποχρεωτικό \wedge μάθημα ?M \wedge για ?O)

→ (πρόσθεσε Εγείρεται-Διαγραφή \wedge για ?O \wedge λόγος δευτερη-αποτυχία-σε-υποχρεωτικό))

(κανόνας διαγραφή-2

(Αποτυχία \wedge νόμα ?O \wedge μάθημα ?M1 \wedge εξάμηνο ?E)

(Αποτυχία \wedge νόμα ?O \wedge μάθημα ?M2 \wedge εξάμηνο ?E)

(Αποτυχία \wedge νόμα ?O \wedge μάθημα ?M3 \wedge εξάμηνο ?E)

(:διαφορετικά ?M1 ?M2 ?M3)

(Υποχρεωτικό \wedge μάθημα ?M1 \wedge για ?O)

(Υποχρεωτικό \wedge μάθημα ?M2 \wedge για ?O)

(Υποχρεωτικό \wedge μάθημα ?M3 \wedge για ?O)

→ (πρόσθεσε Εγείρεται-Διαγραφή \wedge για ?O \wedge λόγος αποτυχίες-σε-2και-υποχρεωτικά))

(κανόνας διαγραφή-3

(Υπό–Δοκιμασία \wedge όνομα $?O$ \wedge εξάμηνο $?E1$)
 (Υπό–Δοκιμασία \wedge όνομα $?O$ \wedge εξάμηνο $?E2$)
 (:συνεχόμενα $?E1$ $?E2$)
 \rightarrow (**πρόσθεσε** Εγείρεται–Διαγραφή \wedge για $?O$ \wedge λόγος
 2–συνεχόμενες–υπό–δοκιμασίες))

Παρόλο που ο κάθε κανόνας εκφράζεται ως ανεξάρτητη, αυτόδηλη οντότητα, εντούτοις ο συλλογισμός επιτυγχάνεται με βάση τις έμμεσες συσχετίσεις των κανόνων. Το συμπέρασμα και των τριών κανόνων διαγραφής αφορά το αντικείμενο «Εγείρεται–Διαγραφή». Αυτοί οι κανόνες παρέχουν τρεις εναλλακτικούς τρόπους διερεύνησης του ενδεχομένου «Εγείρεται–Διαγραφή». Άλλος βασικός τρόπος έμμεσης συσχέτισης κανόνων προκύπτει, όταν το συμπέρασμα ενός κανόνα εμφανίζεται στο προκείμενο κάποιου άλλου κανόνα. Γι' αυτό, εξάλλου, μιλούμε για αλυσίδωση κανόνων. Επομένως, η εκτέλεση της ενέργειας κάποιου κανόνα, εμμέσως οδηγεί στην ενεργοποίηση άλλων κανόνων.

Ας εξετάσουμε κάποιους άλλους κανόνες στο πλαίσιο του Παραδείγματος 6.1:

(**κανόνας** αποτυχία–σε–μάθημα

(Παρακολούθησε \wedge όνομα $?O$ \wedge μάθημα $?M$ \wedge εξάμηνο $?E$ \wedge βαθμός $?B$)
 (:μικρότερο–από $?B$ 5.0)

\rightarrow (**πρόσθεσε** Αποτυχία \wedge όνομα $?O$ \wedge μάθημα $?M$ \wedge εξάμηνο $?E$))

Οι κανόνες αποτυχίας και διαγραφής αποτελούν τη μνήμη παραγωγής ενός συστήματος για την παρακολούθηση της απόδοσης των φοιτητών. Οι στοιχειώδεις πληροφορίες, που επεξεργάζεται αυτό το σύστημα, αφορούν συγκεκριμένους βαθμούς για συγκεκριμένους φοιτητές σε συγκεκριμένα μαθήματα που παρακολούθησαν σε συγκεκριμένα εξάμηνα. Επομένως, οι συμβολικές εκφράσεις που θα υπάρχουν κατ' αρχήν στη μνήμη εργασίας θα αφορούν το αντικείμενο «Παρακολούθησε». Λόγω της στοιχειώδους φύσης αυτού του αντικειμένου, αυτό δεν εμφανίζεται σε συμπεράσματα κανόνων. Αυτό σημαίνει ότι συμβολικές προτάσεις για το αντικείμενο «Παρακολούθησε» θα εισάγονται στη μνήμη εργασίας του συστήματος από έξω.

Ο ρόλος του κανόνα «αποτυχία–σε–μάθημα» (υπάρχει και ο αντίστοιχος «επιτυχία–σε–μάθημα») είναι να μετατρέπει τις «ακατέργαστες» πληροφορίες (συγκεκριμένους βαθμούς) σε πιο αφηρημένη μορφή (κατάσταση αποτυχίας). Σε κάθε ρεαλιστικό σύστημα υπάρχουν τέτοιοι κανόνες για *αφαιρετικότητα δεδομένων* (data abstraction). Στην ουσία είναι «βοηθητικοί» κανό-

νες, αλλά η βοήθεια που παρέχουν είναι σημαντική. Μεταφράζουν την ακατέργαστη πληροφορία σε μορφή η οποία μπορεί να υποστεί επεξεργασία από τους κανόνες που διεξάγουν τον κυρίως συλλογισμό, π.χ. τους κανόνες διαγραφής στο Παράδειγμα 6.1. Με τη χρήση αφαιρετικότητας, η έκφραση των κανόνων απλοποιείται. Τέλος, ο αρχικός κανόνας «υπό-δοκιμασία» χρειάζεται να τροποποιηθεί για να συνάδει με τους υπόλοιπους κανόνες:

(κανόνας υπό-δοκιμασία

(Μέσος-Όρος-Εξαμήνου \wedge όνομα ?Ο \wedge εξάμηνο ?Ε \wedge ΣΜΟ ?Σ)

(:μικρότερο-από ?Σ 5.0)

→ (πρόσθεσε Υπό-δοκιμασία \wedge όνομα ?Ο \wedge εξάμηνο ?Ε))

Παρόλο που, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο κάθε κανόνας θεωρείται ανεξάρτητη οντότητα, στην πραγματικότητα δεν σχεδιάζεται ο κάθε κανόνας από μόνος του, αλλά σχεδιάζεται μία βάση κανόνων στην ολότητά της, αφού ο συλλογισμός επιτυγχάνεται με την αλυσίδωση των κανόνων. Κάθε φορά που χρειάζεται να γίνουν τροποποιήσεις σε μία βάση (εισδοχή νέων κανόνων, τροποποίηση υπάρχοντων κανόνων, διαγραφή κανόνων), π.χ. ο κανόνας «υπό-δοκιμασία», μπορεί να προκύψουν απρόβλεπτες συνέπειες. Κάθε κανόνας χρειάζεται να «ενοποιηθεί» καταλλήλως με τους υπόλοιπους κανόνες.

Το σύστημα παρακολούθησης φοιτητών του Παραδείγματος 6.1 εφαρμόζει ορθή συλλογιστική, όπου τα αρχικά γεγονότα είναι οι βαθμοί των φοιτητών, υλοποιούμενη μέσω ορθής αλυσίδωσης.

Αλγόριθμος για Ορθή Αλυσίδωση

(Κύκλος «Αναγνώρισε-Ενέργησε»)

Επανάλαβε

1. ΣΥΓ → Όλες οι συγκεκριμενοποιήσεις κανόνων, τα προκείμενα των οποίων επαληθεύονται από τα περιεχόμενα της μνήμης εργασίας.
2. Επίλεξε, με βάση τα σχετικά ευρετικά, $\Sigma \in \Sigma YI$ προς εκτέλεση.
3. Εάν έχει επιλεγεί Σ , τότε εκτέλεσε την ενέργειά της σε σχέση με τη μνήμη εργασίας.

Μέχρις ότου είτε να μην μπορεί να επιλεγεί κάποια συγκεκριμενοποίηση Σ ή η ενέργεια της Σ να συνεπάγεται τον τερματισμό της διεργασίας.

Δραστηριότητα 6.3

Σχολιάστε τον αλγόριθμο της ορθής αλυσίδωσης από τη σκοπιά της υπολογιστικής αποδοτικότητας και τη σκοπιά της αποτελεσματικότητας συλλογισμού, με βάση το τι είχαμε συζητήσει στο κεφ. 2.

Ας εξετάσουμε την εφαρμογή των κανόνων με χρήση ορθής αλυσίδωσης. Τα αρχικά περιεχόμενα της μνήμης εργασίας δίνονται στο Σχήμα 6.1. Δυστυχώς, όπως φαίνεται, ο φοιτητής Ιωάννου δεν τα πήγε και τόσο καλά με κάποια υποχρεωτικά του μαθήματα. Η εφαρμογή των κανόνων φοίτησης θα πρέπει να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι για τον εν λόγω φοιτητή εγείρεται το ενδεχόμενο της διαγραφής.

Δ1: (Υποχρεωτικό μάθημα ΠΛΗ300 για Ιωάννου)
 Δ2: (Υποχρεωτικό μάθημα ΠΛΗ301 για Ιωάννου)
 Δ3: (Υποχρεωτικό μάθημα ΠΛΗ302 για Ιωάννου)
 Δ4: (Παρακολούθησε όνομα Ιωάννου μάθημα ΠΛΗ300 εξάμηνο 1 βαθμός 4.5)
 Δ5: (Παρακολούθησε όνομα Ιωάννου μάθημα ΠΛΗ300 εξάμηνο 3 βαθμός 4.0)
 Δ6: (Παρακολούθησε όνομα Ιωάννου μάθημα ΠΛΗ301 εξάμηνο 3 βαθμός 3.5)
 Δ7: (Παρακολούθησε όνομα Ιωάννου μάθημα ΠΛΗ302 εξάμηνο 3 βαθμός 4.0)

Σχήμα 6.1

Αρχικά Περιεχόμενα
Μνήμης Εργασίας

Κατά τον πρώτο γύρο επεξεργασίας το σύνολο ανταγωνισμού αποτελείται από τέσσερις συγκεκριμενοποιήσεις, Σ1–Σ4, του κανόνα «αποτυχία–σεμάθημα», σε σχέση με τα δεδομένα Δ4–Δ7 αντιστοίχως. Έστω ότι επιλέγεται η συγκεκριμενοποίηση Σ1. Η εκτέλεσή της προσθέτει το νέο δεδομένο (συμπέρασμα)

Δ8: (Αποτυχία όνομα Ιωάννου μάθημα ΠΛΗ300 εξάμηνο 1)

στη μνήμη εργασίας. Κατά το δεύτερο γύρο, το σύνολο ανταγωνισμού αποτελείται από τις υπόλοιπες τρεις συγκεκριμενοποιήσεις, Σ2–Σ4, ενώ οι κανόνες «διαγραφή–1» και «διαγραφή–2» έχουν ταυτιστεί μερικώς λόγω του νέου

δεδομένου Δ8. Έστω ότι επιλέγεται η Σ2. Η εκτέλεσή της προσθέτει το νέο δεδομένο

Δ9: (Αποτυχία \wedge όνομα Ιωάννου \wedge μάθημα ΠΛΗ300 \wedge εξάμηνο 3)

στη μνήμη εργασίας. Κατά τον τρίτο γύρο, στο σύνολο ανταγωνισμού προστίθεται μία νέα συγκεκριμενοποίηση (Σ5) του κανόνα «διαγραφή-1», σε σχέση με τα δεδομένα Δ1, Δ8 και Δ9. Ο κανόνας «διαγραφή-2» εξακολουθεί να είναι μερικώς ταυτισμένος.

Ολοκληρώστε την πιο πάνω εκτέλεση του αλγόριθμου της ορθής αλυσίδωσης.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 6.2

6.2.2 Δομή ελέγχου

Σε κάθε γύρο, η επιλογή της επόμενης προς εκτέλεση συγκεκριμενοποίησης καθοδηγείται από ευρετικά, τα οποία αποτελούν τη *δομή ελέγχου* (control structure) του διερμηνέα. Η όλη απόδοση του συστήματος παραγωγής εξαρτάται σημαντικά από αυτά τα ευρετικά. Γενικά κριτήρια απόδοσης είναι τα εξής:

- *Εναισθησία* (sensitivity). Ικανότητα για γρήγορη ανταπόκριση σε αλλαγές του περιβάλλοντος, όπως αυτές διαφαίνονται στη μνήμη εργασίας.
- *Σταθερότητα* (stability). Ικανότητα επίδειξης συνοχής στη γραμμή συλλογισμού.

Τα δύο κριτήρια δεν είναι απαραίτητα συμβατά, π.χ. όταν νέα, εξωτερικά, δεδομένα είναι αντίθετα με την τρέχουσα γραμμή συλλογισμού. Και σε τέτοιες περιπτώσεις η σταθερότητα μπορεί να διατηρηθεί εάν μπορεί να διαφανεί κάποιος σύνδεσμος ανάμεσα στην προηγούμενη και στην καινούργια γραμμή συλλογισμού.

Σε αυτήν την υποενότητα θα εξετάσουμε γενικά ευρετικά, καθολικές στρατηγικές ελέγχου. Τοπικά ευρετικά, σε μορφή μετα-κανόνων, θα συζητήσουμε στην επόμενη ενότητα. Τρεις καθολικές στρατηγικές ελέγχου, οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ αποτελεσματικά στη γλώσσα OPS5, είναι τα εξής:

- *Διαθλαστικότητα* (refractoriness). Η ίδια συγκεκριμενοποίηση κανόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μία φορά. Σε μονοτονικά συστήματα παραγωγής, όπου μόνο προστίθεται πληροφορία στη μνήμη εργασίας, όπως το σύστημα του Παραδείγματος 6.1, δεν έχει νόημα να εκτελείται η ίδια συγκεκριμενοποίηση περισσότερες από μία φορές. Μία πιο αδύνα-

τη εκδοχή της στρατηγικής, για μη μονοτονικά συστήματα, είναι να αποκλείεται μόνο η συγκεκριμενοποίηση που εκτελέστηκε κατά τον αμέσως προηγούμενο γύρο.

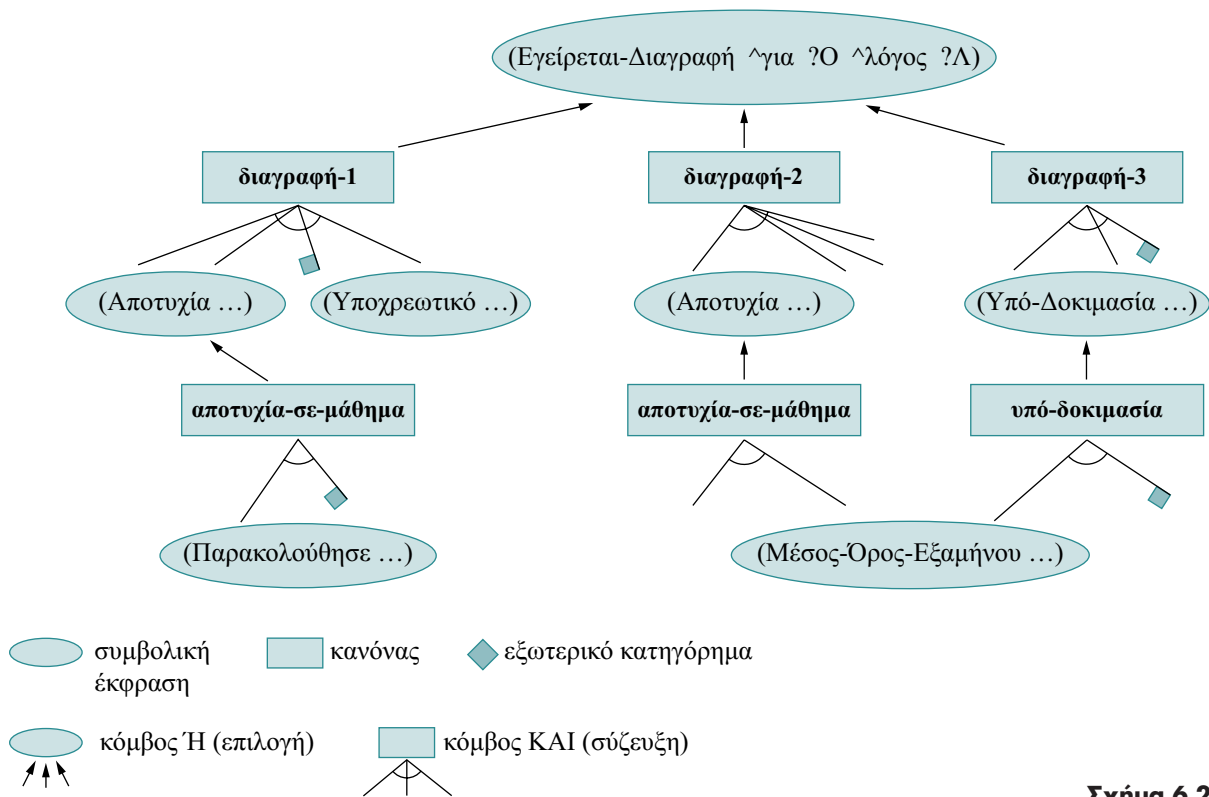
- *Πρόσφατότητα* (recency). Κάθε δεδομένο στη μνήμη εργασίας συνδέεται με το χρόνο εισδοχής του. Συγκεκριμενοποιήσεις που αφορούν πρόσφατα δεδομένα προτιμούνται από αυτές που αφορούν παλαιότερα δεδομένα. Αυτή η στρατηγική ευνοεί τη σταθερότητα, αφού δίνει προτεραιότητα σε συγκεκριμενοποιήσεις που εμπλέκουν τα πιο πρόσφατα συμπεράσματα. Φυσικά ευνοεί και την ευαισθησία, σε περίπτωση που νέα, εξωτερικά δεδομένα εισαχθούν μετά την καταγραφή των πιο πρόσφατων συμπερασμάτων. Η αδυναμία αυτής της στρατηγικής είναι ότι παλαιότερα δεδομένα μπορούν να αγνοηθούν επ' αόριστον, εκτός και εάν η τρέχουσα γραμμή συλλογισμού αποτύχει.
- *Συγκεκριμενικότητα* (specificity). Προτιμούνται οι συγκεκριμενοποιήσεις των κανόνων που περιέχουν περισσότερες συνθήκες στα προκείμενά τους. Αυτοί οι κανόνες θεωρούνται πιο «συγκεκριμένοι», από την καθαρά συντακτική σκοπιά. Η λογική είναι ότι τέτοιοι κανόνες λαμβάνουν υπόψη περισσότερα από τα δεδομένα. Η χρήση αυτής της στρατηγικής βοηθά στο χειρισμό των εξαιρέσεων. Για παράδειγμα, στην ίδια βάση μπορεί να υπάρχει ο γενικός κανόνας, π.χ. «Εάν το X είναι πτηνό, τότε το X μπορεί να πετάξει», καθώς επίσης και οι διάφορες (πιο συγκεκριμένες) εξαιρέσεις του, π.χ. «Εάν το X είναι πτηνό και το X πιγκουίνος, τότε το X δεν μπορεί να πετάξει», «Εάν το X είναι πτηνό και το X είναι στρουθοκάμηλος, τότε το X δεν μπορεί να πετάξει», κτλ. Όπου σε ένα σύνολο ανταγωνισμού θα υπάρχουν συγκεκριμενοποιήσεις εξαιρέσεων, θα υπάρχουν και οι αντίστοιχες συγκεκριμενοποιήσεις του γενικού κανόνα (αλλά όχι αναγκαστικά αντιστρόφως). Κανονικά είναι αντίφαση να επαληθεύονται ταυτόχρονα κανόνες με αντίθετα συμπεράσματα. Η χρήση της στρατηγικής της συγκεκριμενικότητας αποτρέπει την εξαγωγή αντίθετων συμπερασμάτων. Είναι σαν οι γενικοί κανόνες να περιείχαν στα προκείμενά τους τις αρνήσεις των εν λόγω εξαιρέσεων, π.χ. «Εάν το X είναι πτηνό και το X δεν είναι πιγκουίνος το X δεν είναι στρουθοκάμηλος και ..., τότε το X μπορεί να πετάξει».

Οι πιο πάνω στρατηγικές μπορούν να συνδυαστούν. Μάλιστα η OPS5 επιτρέπει στον προγραμματιστή να επιλέγει δυναμικά το συνδυασμό των στρατηγικών που επιθυμεί να εφαρμόσει.

6.3 Ανάστροφη αλυσίδωση

6.3.1 Δίκτυο συλλογισμού

Οι κανόνες που εξετάσαμε στην ενότητα 6.2 θα μπορούσαν να είχαν εφαρμοστεί με ανάστροφη αλυσίδωση. Το Σχήμα 6.2 δίνει το δίκτυο συλλογισμού (ή δέντρο ΚΑΙ/Η ή δέντρο στόχων), που απορρέει από τις έμμεσες διασυνδέσεις των κανόνων. Οι συμβολικές εκφράσεις αποτελούν στόχους και υποστόχους. Ο απώτερος στόχος, η ρίζα του δέντρου, αφορά το αντικείμενο «Εγείρεται-Διαγραφή». Ενδιάμεσοι στόχοι αφορούν τα αντικείμενα «Αποτυχία» και «Υπό-Δοκιμασία», ενώ τα αντικείμενα «Παρακολούθησε» και «Μέσος-Όρος-Εξαμήνου» αποτελούν πρωτεύοντες στόχους, ουσιαστικά πληροφορίες που παρέχονται από έξω. Οι μη ακραίοι κόμβοι είναι δύο ειδών, κόμβοι «ΚΑΙ», οι συζεύξεις που αποτελούν τα προκείμενα κανόνων (δηλαδή οι υποστόχοι), και κόμβοι «Η», οι εναλλακτικοί κανόνες για τον ίδιο στόχο. Σε έναν κόμβο «ΚΑΙ», η διερεύνηση των εν λόγω υποστόχων χρειάζεται συνήθως να γίνει στη δεδομένη σειρά.



Σχήμα 6.2
Δίκτυο Συλλογισμού

Σε ανάστροφη αλυσίδωση, αρχικά χρειάζεται να διατυπωθεί η συμβολική έκφραση που αποτελεί τον απώτερο στόχο. Αυτή η έκφραση μπορεί να είναι γενική, να περιέχει δηλαδή μεταβλητές, ή συγκεκριμένη. Στη μεν πρώτη περίπτωση η διαδικασία συνεπάγεται τη δέσμευση των εν λόγω μεταβλητών με συγκεκριμένες (εναλλακτικές) τιμές (αυτές οι τιμές θα προκύψουν από την ταύτιση των ακραίων συμβολικών εκφράσεων), στη δε άλλη περίπτωση, την επαλήθευση της συγκεκριμένης πρότασης.

Παράδειγμα 6.2

Ας εξετάσουμε ένα άλλο σύστημα παραγωγής, το οποίο συμβουλεύει ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος μετάβασης σε δεδομένο θέατρο. Η μνήμη παραγωγής του συστήματος δίνεται στο Σχήμα 6.3.

(κανόνας κ1

(Απόσταση ^τιμή μεγαλύτερη-από-5-μίλια)

→ (πρόσθεσε Μέσο ^τιμή οδήγηση))

(κανόνας κ2

(Απόσταση ^τιμή μεγαλύτερη-από-1-μίλι)

(Χρόνος ^τιμή κάτω-από-15-λεπτά)

→ (πρόσθεσε Μέσο ^τιμή οδήγηση))

(κανόνας κ3

(Απόσταση ^τιμή μεγαλύτερη-από-1-μίλι)

(Χρόνος ^τιμή πάνω-από-15-λεπτά)

→ (πρόσθεσε Μέσο ^τιμή περπάτημα))

(κανόνας κ4

(Μέσο ^τιμή οδήγηση)

(Τοποθεσία ^τιμή κέντρο)

→ (πρόσθεσε Ενέργεια ^τιμή πάρε-ταξί))

(κανόνας κ5

(Μέσο ^τιμή οδήγηση)

(Τοποθεσία ^τιμή εκτός-κέντρου)

→ (πρόσθεσε Ενέργεια ^τιμή οδήγησε-το-αυτοκίνητό-σου))

(κανόνας κ6

(Μέσο ^τιμή περπάτημα)

(Καιρός ^τιμή άσχημος)

→ (πρόσθεσε Ενέργεια ^τιμή
πάρε-παλτό-και-περπάτα))**(κανόνας κ7**

(Μέσο ^τιμή περπάτημα)

(Καιρός ^τιμή καλός)

→ (πρόσθεσε Ενέργεια ^τιμή περπάτα))

Σχήμα 6.3*Μνήμη Παραγωγής*

Οι κανόνες αυτού του συστήματος είναι συγκεκριμένοι, αφού δεν περιέχουν καθόλου μεταβλητές. Επίσης και αυτό το σύστημα είναι μονοτονικό. Τα πρωτεύοντα αντικείμενα στους κανόνες είναι «Απόσταση», «Χρόνος», «Τοποθεσία» και «Καιρός». Αυτά τα αντικείμενα αναφέρονται μόνο σε προκείμενα και επομένως το σύστημα δεν είναι σε θέση να δώσει οποιαδήποτε συμπεράσματα γι' αυτά. Θεωρούνται «ερωτήσιμα» (askable) αντικείμενα. Γενικά, ερωτήσιμα αντικείμενα είναι αυτά για τα οποία η απόσπαση σχετικών δεδομένων συνεπάγεται μικρό κόστος, και ως εκ τούτου ενδείκνυται ο χρήστης να ερωτηθεί απευθείας γι' αυτά. Το αντικείμενο που αποτελεί τον απώτερο στόχο του συστήματος είναι «Ενέργεια». Αυτό εμφανίζεται μόνο σε συμπεράσματα. Τέλος, το αντικείμενο «Μέσο» αποτελεί ενδιάμεσο στόχο. Εμφανίζεται και ως συμπέρασμα και ως προκείμενο.

Με βάση τις εμφανίσεις των εμπλεκόμενων αντικειμένων στους κανόνες, η μνήμη παραγωγής μπορεί να δεικτοδοτηθεί σε δύο διαστάσεις, από τη σκοπιά των αντικειμένων. Τη διάσταση «πρόβλεψη» (look-ahead), ποιοι δηλαδή κανόνες αναφέρουν το αντικείμενο στο προκείμενό τους, και τη διάσταση «ενημέρωση» (updated-by), ποιοι δηλαδή κανόνες αναφέρουν το αντικείμενο στο συμπέρασμά τους. Αυτές οι δεικτοδοτήσεις διευκολύνουν την ανάκληση σχετικών κανόνων. Η διάσταση «πρόβλεψη» αφορά την ορθή αλυσίδωση, ενώ η διάσταση «ενημέρωση» την ανάστροφη. Οι διάφορες πληροφορίες για το κάθε αντικείμενο, συμπεριλαμβανομένων και των κανόνων για την πρόβλεψη και ενημέρωσή τους, μπορεί να αναπαρασταθούν συλλογικά σε μορφή πίνακα ή ως ξεχωριστά πλαίσια (βλέπε κεφ.5) για το κάθε αντικείμενο. Ο πίνακας για τα αντικείμενα του Παραδείγματος 6.2 δίνεται στο Σχήμα 6.4.

Αντικείμενο	Ερωτήσιμο;	Ερώτηση	Τιμές	Πρόβλεψη	Ενημέρωση
Απόσταση	Ναι	Σε πόση απόσταση βρίσκεται το θέατρο;	μεγαλύτερη-από-1-μίλι, μεγαλύτερη-από-5-μίλια	κ1, κ2, κ3	
Χρόνος	Ναι	Πόσο χρόνο έχεις;	πάνω-από-15-λεπτά, κάτω-από-15-λεπτά	κ2, κ3	
Τοποθεσία	Ναι	Πού βρίσκεται το θέατρο;	κέντρο, εκτός-κέντρου	κ4, κ5	
Καιρός	Ναι	Πώς είναι ο καιρός;	καλός, άσχημος	κ6, κ7	
Μέσο	Όχι	Ποιο μέσο διαθέτεις;	περπάτημα, οδήγηση	κ4, κ5, κ6, κ7	κ1, κ2, κ3
Ενέργεια	Όχι		Πάρε-ταξί, οδήγησε-το-αυτοκίνητό-σου, πάρε-παλτό-και-περπάτα, περπάτα		κ4, κ5, κ6, κ7

Σχήμα 6.4

Πίνακας Αντικειμένων

6.3.2 Ευρέτης και ανιχνευτής

Στη διερμηνευση κανόνων με ανάστροφη αλυσίδωση εμπλέκονται δύο βασικές διαδικασίες, ο *ευρέτης αντικειμένων* (findout for objects) και ο *ανιχνευτής κανόνων* (monitor for rules). Οι δύο αυτές διαδικασίες, οι οποίες επιδεικνύουν αλυσιδωτή αναδρομικότητα, επινοήθηκαν από τον Edward Shortliffe στα πλαίσια της ανάπτυξης του έμπειρου συστήματος MYCIN, το οποίο ήταν καθοριστικό για την πορεία της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων.

Ευρέτης Αντικειμένων	Ανιχνευτής Κανόνων
Είσοδος: Αντικείμενο A	Είσοδος: Κανόνας K
<ol style="list-style-type: none"> 1. Είναι το A ερωτήσιμο; 2. Εάν όχι, τότε: <ol style="list-style-type: none"> 2.1 $E \leftarrow$ κανόνες για ενημέρωση του A 2.2 Κάλεσε τον Ανιχνευτή για κάθε $K \in E$ 2.3 Εάν δεν προκύψει τιμή για το αντικείμενο, τότε ρώτησε το χρήστη 3. Διαφορετικά <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Ρώτησε το χρήστη 3.2 Εάν ο χρήστης δεν γνωρίζει την τιμή, τότε $E \leftarrow$ κανόνες για ενημέρωση του A. Κάλεσε τον Ανιχνευτή για κάθε $K \in E$. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\Pi \leftarrow$ πρώτη συνθήκη στο προκείμενο του K 2. Υπάρχουν στη μνήμη εργασίας όλες οι σχετικές πληροφορίες αναφορικά με την Π; 3. Εάν ναι και η Π επαληθεύεται, τότε: <ol style="list-style-type: none"> 3.1 Εάν υπάρχουν και άλλες συνθήκες στο προκείμενο του K, τότε $\Pi \leftarrow$ επόμενη συνθήκη και επέστρεψε στο 2. 3.2 Διαφορετικά εφάρμοσε την ενέργεια του K σε σχέση με τη μνήμη εργασίας 4. Εάν ναι και η Π είτε είναι αναληθής ή άγνωστη, τότε απόρριψε τον κανόνα K 5. Διαφορετικά απόσπασε τις σχετικές πληροφορίες, αναφορικά με το αντικείμενο της Π, μέσω του Ευρέτη.

Η ανάστροφη αλυσίδωση επιτυγχάνεται από την αναδρομική αλυσίδωση ανάμεσα στον Ευρέτη και τον Ανιχνευτή. Αρχικά, καλείται ο Ευρέτης με είσοδο το αντικείμενο του απώτερου στόχου, π.χ. «Ενέργεια» για το Παράδειγμα 6.2. Για την ακρίβεια, η είσοδος του Ευρέτη αναφέρεται σε κάποια ιδιότητα (χαρακτηριστικό) δεδομένου αντικειμένου. Απλά, σε αυτό το παράδειγμα όλα τα αντικείμενα έχουν μόνο μία ιδιότητα, «τιμή». Πρώτο μέλημα του Ευρέτη είναι κατά πόσον η επιδιωκόμενη πληροφορία θα πρέπει σε πρώτη φάση να αναζητηθεί από το χρήστη και μόνο σε περίπτωση αποτυχίας, μέσω του Ανιχνευτή ή αντιστρόφως. Αυτό εξαρτάται από το εάν το αντικείμενο είναι ή δεν είναι «ερωτήσιμο». Στα βήματα 2.2 και 3.2 του Ευρέτη, βλέπουμε ότι ο Ανιχνευτής καλείται για τον κάθε κανόνα που ενημερώνει το αντικείμενο. Στο Παράδειγμα 6.2 όμως, όπου όλα τα αντικείμενα είναι μοναδικής τιμής (single-valued) και οι κανόνες είναι κατηγορηματικοί, ένας και μόνο κανόνας του οποίου το προκείμενο επαληθεύεται αρκεί. Η σειρά με την οποία ανιχνεύονται οι κανόνες (βήματα 2.2 και 3.2 του Ευρέτη) εξαρτάται από τα ευρετικά που διαθέτει ο Ευρέτης. Στην περίπτωση απουσίας τέτοιων ευρετικών η σειρά της ανιχνεύσης γίνεται με τυφλό τρόπο, με βάση κάποια προκαθορισμένη κατάταξη των κανόνων ενημέρωσης του αντικειμένου. Ο Ανιχνευτής στη συνέχεια, ανιχνεύει ενδελεχώς την κάθε συνθήκη στο προκείμενο του δεδομένου κανόνα, στη σειρά που αυτές εμφανίζονται. Επομένως, η αναζήτηση που διεξάγεται είναι σε βάθος (βλέπε κεφ.2).

Ευρέτης: Ενέργεια

Σε πόση απόσταση βρίσκεται το θέατρο;

1. μεγαλύτερη-από-1-μίλι
 2. μεγαλύτερη-από-5-μίλια
- 1

Πόσο χρόνο έχεις;

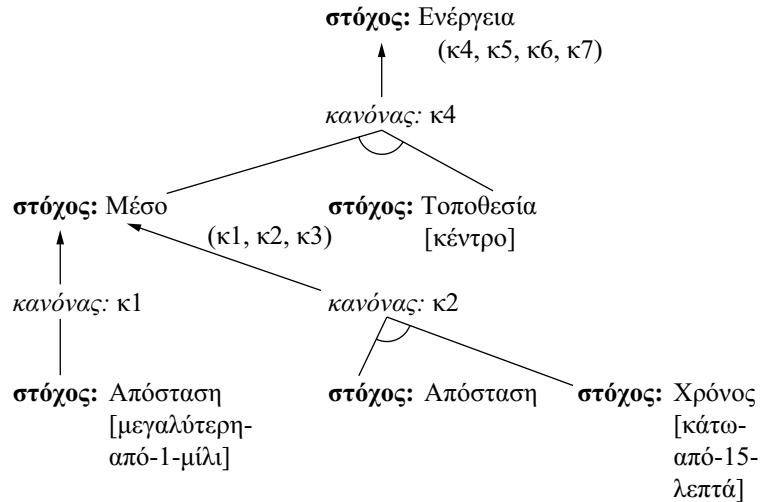
1. πάνω-από-15-λεπτά
 2. κάτω-από-15-λεπτά
- 2

Πού βρίσκεται το θέατρο;

1. κέντρο
 2. εκτός-κέντρου
- 1

Ενέργεια ^τιμή πάρε-ταξί

(α) Παράδειγμα Συνδιάλεξης



(β) Δέντρο Συλλογισμού

Σχήμα 6.5

Στο Σχήμα 6.5 δίνεται ένα παράδειγμα συνδιάλεξης με το εν λόγω σύστημα παραγωγής, καθώς επίσης και το αντίστοιχο δίκτυο συλλογισμού. Το σύστημα ενεργοποιείται με εντολή προς τον Ευρέτη και με στόχο το αντικείμενο «Ενέργεια». Η συνδιάλεξη που ακολουθεί οδηγείται από το σύστημα. Ο χρήστης απλώς απαντά στα ερωτήματα, τα οποία αντιστοιχούν σε ακραίους, ερωτήσιμους υποστόχους. Οι απαντήσεις καταγράφονται στη μνήμη εργασίας. Σε αυτή τη συνδιάλεξη οι σχετικοί κανόνες ανιχνεύονται με τυφλό τρόπο. Στο εν λόγω δέντρο συλλογισμού κάθε διαδρομή αρχίζει από τον απώτερο στόχο και καταλήγει σε κάποιο υποστόχο, ο οποίος είναι ερωτήσιμος. Γενικά, ακραίοι στόχοι δεν είναι κατ' ανάγκη ερωτήσιμοι, αλλά μπορεί να είναι στόχοι οι οποίοι έχουν ήδη διερευνηθεί. Οι κόμβοι σε μία διαδρομή εναλλάσσονται ανάμεσα σε (υπο)στόχους και κανόνες. Οι κόμβοι κανόνων δημιουργούνται από τον Ευρέτη και οι κόμβοι στόχων από τον Ανιχνευτή. Ο κάθε υποστόχος είναι γενικότερος από τις απαιτήσεις του κανόνα, μέσα στα πλαίσια της ανίχνευσης του οποίου, ο εν λόγω υποστόχος έχει εγερθεί. Για παράδειγμα, η απαίτηση του κανόνα κ1 είναι ότι η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 5 μίλια, ενώ ο υποστόχος που εγείρεται είναι «Ποια είναι η τιμή

της απόστασης;». Γι' αυτό το λόγο, όταν ο ίδιος στόχος επανέρχεται, π.χ. ο υποστόχος «Απόσταση», δεν χρειάζεται να ξαναδιερευνηθεί. Οι επιτυχείς κανόνες είναι ο κ2, ο οποίος οδήγησε στο ενδιάμεσο συμπέρασμα ότι το «Μέσο» θα πρέπει να είναι «οδήγηση», και ο κ4, ο οποίος οδήγησε στο απώτερο συμπέρασμα ότι η «Ενέργεια» θα πρέπει να είναι «πάρε-ταξί».

Έστω ότι συμβουλευέστε το εν λόγω σύστημα παραγωγής για μία περίπτωση όπου το θέατρο βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 5 μιλίων από το σημείο που βρίσκεστε, ο χρόνος που έχετε για τη μετάβασή σας είναι κάτω των 15 λεπτών και το θέατρο είναι εκτός κέντρου. Να καταγράψετε τη συνδιάλεξη που θα διεξαχθεί με το σύστημα και να σχεδιάσετε το αντίστοιχο δέντρο συλλογισμού.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 6.3

Έστω ότι οι κανόνες κ1–κ7 εφαρμόζονται με ορθή αλυσίδωση. Ποια θα είναι τα συμπεράσματα του συστήματος και πώς αυτά θα εξαχθούν, για τα δεδομένα της Άσκησης Αυτοαξιολόγησης 6.3;

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 6.4

Υλοποιήστε τις διαδικασίες του Ευρέτη και Ανιχνευτή και εφαρμόστε τις σε σχέση με την εν λόγω μνήμη παραγωγής.

Δραστηριότητα 6.4

6.3.3 Επεξηγήσεις «Γιατί;» και «Πώς;»

Το δίκτυο συλλογισμού καταγράφει όλο το συλλογισμό του συστήματος για δεδομένη συμβουλευτική συνδιάλεξη. Είναι ένα ίχνος των πεπραγμένων του συστήματος. Συγκεκριμένα καταγράφει τις αλυσίδες κανόνων που οδήγησαν στα διάφορα ερωτήματα και τους τρόπους επίτευξης/διερεύνησης των στόχων. Επομένως, το δίκτυο συλλογισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή τουλάχιστο δύο ειδών επεξηγήσεων: «Γιατί με ερωτάς αυτό;» (γιατί δηλαδή επιδιώκεις αυτό το στόχο;) και «Πώς κατέληξες σε αυτό το συμπέρασμα;» (πώς δηλαδή έχει επιτευχθεί αυτός ο στόχος;), εν συντομία επεξηγήσεις «Γιατί;» και «Πώς;». Τέτοια ερωτήματα, εκ μέρους του χρήστη, απαντώνται από το σύστημα με ανάβαση του δέντρου από ακραίους κόμβους (ερωτήματα τύπου «Γιατί;») ή κατάβαση από μη ακραίους κόμβους

στόχου (ερωτήματα τύπου «Πώς;»). Το Σχήμα 6.6 δίνει δείγματα τέτοιων επεξηγήσεων αναφορικά με τη συνδιάλεξη του Σχήματος 6.5.

Επεξηγήσεις «Γιατί;»	Επεξηγήσεις «Πώς;»
<i>Ευρέτης: Ενέργεια</i>	Ενέργεια είναι πάρε ταξί.
Σε πόση απόσταση βρίσκεται το θέατρο;	→ <i>Πώς;</i>
1. μεγαλύτερη-από-1-μίλι	Με βάση τον κανόνα κ4:
2. μεγαλύτερη-από-5-μίλια	Εάν 1. Μέσο είναι οδήγηση
→ <i>Γιατί;</i>	2. Τοποθεσία είναι κέντρο,
Προσπαθώ να αποφανθώ την Απόσταση για να αποφασίσω το Μέσο.	τότε ενέργεια είναι πάρε ταξί
Κανόνας κ1:	→ <i>Πώς 1;</i>
Εάν η Απόσταση είναι μεγαλύτερη από 5 μίλια, τότε το Μέσο είναι οδήγηση	Με βάση τον κανόνα κ2:
→ <i>Γιατί;</i>	Εάν 3. Απόσταση είναι μεγαλύτερη από 5 μίλια.
Προσπαθώ να αποφανθώ το Μέσο για να αποφασίσω την Ενέργεια.	4. Χρόνος είναι κάτω από 15 λεπτά, τότε Μέσο είναι οδήγηση
Κανόνας κ4:	Ο κανόνας κ1 ανιχνεύτηκε ανεπιτυχώς.
Εάν το Μέσο είναι οδήγηση και η Τοποθεσία είναι κέντρο, τότε η Ενέργεια είναι πάρε ταξί	→ <i>Πώς 3;</i>
→ <i>Γιατί;</i>	Μου υποδείξατε ότι η Απόσταση είναι μεγαλύτερη από 1 μίλι.
Διότι μου το έχετε ζητήσει!	→ <i>Εντάξει</i>

Σχήμα 6.6

Επεξηγήσεις «Γιατί;» και «Πώς;»

Η ανάγκη για επεξηγήσεις «Γιατί;» εγείρεται δυναμικά, κατά τη διεξαγωγή της συνδιάλεξης, σε σχέση με ερωτήματα, τα οποία συνήθως αντιστοιχούν σε πρωταρχικούς στόχους. Επομένως, το τι ερωτά ο χρήστης είναι «γιατί επιδιώκεις αυτό το στόχο;». Ο στόχος εγείρεται στα πλαίσια κάποιου υπερστόχου, σύμφωνα με σχετικό κανόνα. Η επεξήγηση απλά διατυπώνει τον υπερστόχο και τον κανόνα που τον συνδέει με τον εν λόγω στόχο. Διαδοχικά ερωτήματα τύπου «Γιατί;» αναφέρονται έμμεσα στους σχετικούς υπερστόχους,

αφού σε κάθε περίπτωση υπάρχει μόνο ένας υπερστόχος. Έτσι σταδιακά παρουσιάζεται η διαδρομή στο δέντρο συλλογισμού από τον ακραίο (πρωταρχικό) κόμβο στόχου (που αντιστοιχεί στο σχετικό ερώτημα του συστήματος) προς τη ρίζα του δέντρου, τον απώτερο στόχο, την επίτευξη του οποίου είχε ζητήσει ο χρήστης. Στη συνδιάλεξη του Σχήματος 6.6 η ανάβαση του δέντρου γίνεται βήμα προς βήμα. Εναλλακτικά με κάθε «Γιατί;» μπορεί να προσδιορίζεται ο αριθμός βημάτων (συλλογισμού) που χρειάζεται να παρουσιαστούν ταυτόχρονα. Παρεμπιπτόντως, οι εμπλεκόμενοι κανόνες παρουσιάζονται σε ψευδο-φυσική γλώσσα, στην οποία μπορεί να μεταφραστεί άμεσα η εσωτερική τους αναπαράσταση.

Επεξηγήσεις τύπου «Πώς;» συνήθως εγείρονται στο τέλος της συνδιάλεξης για να διαπιστωθεί εκ μέρους του χρήστη πως το σύστημα έχει εξαγάγει τα συμπεράσματά του. Το αρχικό ερώτημα «Πώς;» έμμεσα αναφέρεται στο συμπέρασμα σε σχέση με τον απώτερο στόχο, τη ρίζα του δέντρου. Η επεξήγηση αποτελείται από την παρουσίαση των κανόνων (πάντοτε ένας για το σύστημα παραγωγής του Παραδείγματος 6.2) που οδήγησαν στο εν λόγω συμπέρασμα, καθώς επίσης τυχόν κανόνων οι οποίοι είχαν εμπλακεί ανεπιτυχώς. Τέτοιες επεξηγήσεις διατυπώνονται βήμα προς βήμα, από στόχο σε υποστόχους. Λόγω της διακλάδωσης στο δέντρο συλλογισμού, από πάνω προς τα κάτω, οι υποστόχοι (συνθήκες στα προκείμενα των κανόνων) που παρουσιάζονται, απαριθμούνται σειριακά για να μπορούν να επιλέγονται σε διαδοχικά ερωτήματα «Πώς;».

Η δυνατότητα παροχής επεξηγήσεων είναι σημαντική για τρεις τουλάχιστο λόγους. Για την αποδοχή του (συμβουλευτικού) συστήματος από το χρήστη του, για την αποσφαλμάτωση της γνώσης του συστήματος και για τη χρήση του συστήματος ως εκπαιδευτικού εργαλείου. Κατά πόσον οι «μηχανικές» επεξηγήσεις των τύπων «Γιατί;» και «Πώς;», που παρουσιάστηκαν πιο πάνω, αποτελούν ικανοποιητικές επεξηγήσεις εξαρτάται από το κατά πόσον οι κανόνες είναι κατανοητοί, αφού οι επεξηγήσεις δεν είναι τίποτα άλλο από τα ίχνη αλυσίδων κανόνων. Θα επανέλθουμε σε αυτό το θέμα στο Μέρος II του τόμου.

Να επεκτείνετε το σύστημα που αναπτύξατε στη Δραστηριότητα 6.4, ούτως ώστε να μπορεί να παρέχει επεξηγήσεις «Γιατί;» και «Πώς;».

Δραστηριότητα 6.5

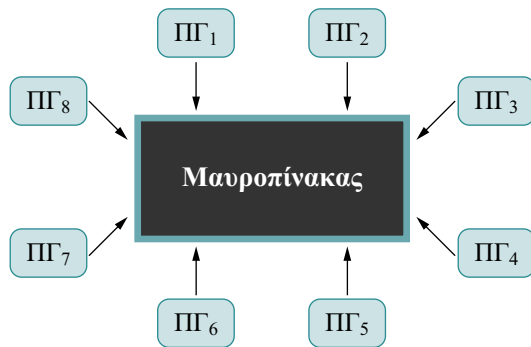
6.3.4 Τοπικός έλεγχος με μετα-κανόνες

Όπως έχουμε δει, και σε ορθή αλυσίδωση (βήμα 2 του κύκλου «Αναγνώρισε–Ενέργησε») και σε ανάστροφη αλυσίδωση (βήματα 2.2 και 3.2 του Ευρέτη), κρίσιμο σημείο αποτελεί η *επιλογή* του επόμενου κανόνα. Αυτή η επιλογή μπορεί να καθοδηγείται από γενικές στρατηγικές ελέγχου (βλέπε υποενότητα 6.2.2) ή και από τοπικές στρατηγικές εκφρασμένες ως *μετα-κανόνες* (meta-rules), δηλαδή κανόνες που αφορούν τη χρήση άλλων κανόνων. Οι μετα-κανόνες αφορούν συγκεκριμένο γνωστικό πεδίο. Δηλώνουν προτεραιότητες ανάμεσα σε ομάδες κανόνων, π.χ. ποιοι κανόνες, σε δεδομένα συμφραζόμενα, ενδείκνυται να αγνοηθούν ή να χρησιμοποιηθούν πριν από κάποιους άλλους κανόνες κτλ. Αφού οι μετα-κανόνες είναι οι ίδιοι κανόνες, αποτελούνται από προκείμενο και ενέργεια ή καλύτερα κατευθυντήρια γραμμή. Εάν το προκείμενό τους ευσταθεί, οι κατευθυντήριες γραμμές που προσδιορίζονται στο δεξιό τους μέρος μπορεί να εφαρμοστούν, προς κατάταξη σε σειρά προτεραιότητας, των στοιχείων του τρέχοντος συνόλου ανταγωνισμού. Σε ένα σύστημα που εφαρμόζει ανάστροφη αλυσίδωση, μετα-κανόνες συνδέονται με αντικείμενα ή ιδιότητες αντικειμένων. Απλώς, στον πίνακα αντικειμένων (Σχήμα 6.4) προστίθεται ακόμη μία στήλη για μετα-κανόνες.

Οι μετα-κανόνες αποτελούν τοπικά ευρετικά. Ο ρόλος τους είναι να κατευθύνουν και όχι να διεξάγουν το συλλογισμό. Οι εισηγήσεις που διατυπώνουν δεν είναι αναγκαστικά αλάνθαστες. Η έννοια του μετα-συλλογισμού (συλλογισμός σε μετα-επίπεδο) είναι δυνατή, αλλά η χρήση της θα πρέπει να είναι επιλεκτική. Εάν ένα σύστημα καταναλώνει τον περισσότερο του χρόνο στο να σκέφτεται πώς να προχωρήσει, προφανώς δεν θα επιτύχει τους στόχους του έγκαιρα.

6.4 Μοντέλο μαυροπίνακα

Ολοκληρώνουμε αυτό το κεφάλαιο με μια σύντομη αναφορά στο *μοντέλο του μαυροπίνακα* (blackboard model), το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα κατανεμημένο, ετερογενές, συνεργατικό σύστημα παραγωγής. Το Σχήμα 6.7 δίνει, σε υψηλό επίπεδο, τις κεντρικές συνιστώσες ενός συστήματος που βασίζεται σε αυτό το μοντέλο. Αυτές είναι ο *μαυροπίνακας* και οι *πηγές γνώσης* (knowledge sources).



ΠΓ: Πηγή Γνώσης

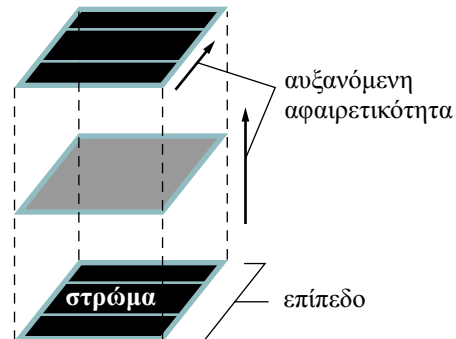
Σχήμα 6.7

Μοντέλο Μαυροπίνακα

Ο μαυροπίνακας είναι μία *δομημένη* μνήμη εργασίας, η οποία διαδραματίζει ρόλο ανάλογο με αυτόν ενός μαυροπίνακα, όταν χρησιμοποιείται από κάποια ομάδα ατόμων με στόχο τη διά συνεργασίας επίλυση κάποιου προβλήματος. Η υπό δημιουργία λύση γράφεται στο μαυροπίνακα, όπου ο καθένας έχει την ευκαιρία να συμβάλει στην ολοκλήρωσή της. Οι πηγές γνώσης αντιστοιχούν στα άτομα της ομάδας εργασίας, τους διάφορους ειδικούς για συγκεκριμένα μέρη του όλου προβλήματος. Σε τέτοιες ομάδες εργασίας κάποια άτομα ασκούν το ρόλο του συντονιστή, π.χ. ο δάσκαλος, και οι υπόλοιποι το ρόλο του επιλυτή, π.χ. οι μαθητές. Έτσι και εδώ υπάρχει ο διαχωρισμός ανάμεσα στις πηγές γνώσης που συντονίζουν ή ελέγχουν τη διεξαγωγή της συνεργατικής διεργασίας (control knowledge sources) και αυτές που επεκτείνουν τη σύνθεση της λύσης (object knowledge sources). Κάθε πηγή γνώσης είναι ένα ξεχωριστό σύστημα παραγωγής, με τη δική του μνήμη παραγωγής, διετηρημένα και μνήμη εργασίας, το οποίο αφορά στην επίλυση/συντονισμό κάποιου υποπροβλήματος του όλου προβλήματος. Μάλιστα, δεν χρειάζεται κάθε πηγή γνώσης να είναι σύστημα παραγωγής, αλλά μπορεί να είναι κάποιας άλλης μορφής σύστημα βάσης γνώσης, π.χ. ένα σύστημα πλαισίων (βλέπε κεφ.5) ή να μην είναι καν σύστημα βάσης γνώσης αλλά ένα σύστημα βάσης δεδομένων ή ένα στατιστικό σύστημα, κτλ. Επιτρέπεται δηλαδή η ετερογένεια.

Ο μαυροπίνακας είναι μία καθολική δομή, αποτελούμενη (στη γενική περίπτωση) από έναν αριθμό επιπέδων (αφαιρετικότητας), όπου το κάθε επίπεδο αναλύεται σε έναν αριθμό στρώματων (αφαιρετικότητας), όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.8. Στην πιο απλή περίπτωση αποτελείται από ένα και μοναδικό επίπεδο το οποίο αναλύεται σε δύο στρώματα (δεν έχει νόημα να υπάρχει μόνο ένα στρώμα, διότι τότε καταλήγουμε στην περίπτωση της απλής, αδόμητης, μνήμης εργασίας), όπου το κάτω στρώμα περιέχει τις παρατηρήσεις και το πάνω στρώμα τα συμπεράσματα. Στην ουσία, όμως, δεν ενδείκνυται

η εφαρμογή αυτού του μοντέλου σε προβλήματα των οποίων η διάσπαση καταλήγει σε αυτή την απλή ανάλυση επιπέδων και στρώματων αφαιρετικότητας. Οι περισσότερες εφαρμογές του μοντέλου του μαυροπίνακα αφορούσαν ένα επίπεδο μεν, αλλά με πολλαπλά στρώματα αφαιρετικότητας. Υπήρξαν βέβαια και εφαρμογές με πολλαπλά επίπεδα.



Σχήμα 6.8
Δομή Μαυροπίνακα

Οι πληροφορίες (συμβολικές εκφράσεις) που μπορούν να καταχωρηθούν σε κάθε στρώμα (κάθε επίπεδο) προσδιορίζονται. Αυτό μπορεί να γίνει πάλι σε μορφή τριών συνόλων, δηλαδή αντικείμενα, ιδιότητες και τιμές. Επίσης, υπάρχουν δύο βασικές σχέσεις ανάμεσα σε στρώματα του ίδιου επιπέδου και ανάμεσα σε επίπεδα. Η σχέση της *αφαίρεσης* (reduction), από κάτω προς τα πάνω, και η σχέση της *προσδοκίας* (expectation), αντιστρόφως. Με βάση την πρώτη, (συγκεκριμένες) έννοιες συνθέτονται σε κάτι το πιο αφηρημένο, ενώ με βάση τη δεύτερη, (αφηρημένες) έννοιες αναλύονται σε κάτι το πιο συγκεκριμένο και παρατηρήσιμο. Αρχικά, καταχωρούνται πληροφορίες στο χαμηλότερο στρώμα του χαμηλότερου επιπέδου. Τελικά, η λύση του προβλήματος θα παραχθεί στο υψηλότερο στρώμα του υψηλότερου επιπέδου. Οι πληροφορίες που καταχωρούνται κατατάσσονται ως γεγονότα, στόχοι ή αναμενόμενα. Η όλη διεργασία επίλυσης, σύμφωνα με την οποία σταδιακά καταχωρούνται συμπεράσματα, στόχοι κτλ, στα υψηλότερα στρώματα/επίπεδα, καθώς επίσης και διασπώνται σε χαμηλότερα στρώματα/επίπεδα για περαιτέρω διερεύνηση, απορρέει από την έμμεση συνεργασία των εμπλεκόμενων πηγών γνώσης. Το όλο έργο κατανέμεται στις διάφορες πηγές γνώσης.

Κάθε πηγή γνώσης είναι ένα ανεξάρτητο, αυτοδύναμο σύστημα για την επίλυση μέρους του προβλήματος. Μία πηγή γνώσης αποτελείται από το δημόσιο μέρος και το ιδιωτικό μέρος της. Το δημόσιο μέρος ουσιαστικά δηλώνει τη διεπαφή της με το μαυροπίνακα, τη συνθήκη που διέπει την ενεργοποίη-

σή της, το χώρο στο μαυροπίνακα στον οποίο χρειάζεται πρόσβαση και το είδος της πρόσβασης (διάβασμα, γράψιμο, κτλ.). Το ιδιωτικό της μέρος, το οποίο υλοποιεί την εργασία της, θεωρείται σαν ένα μαύρο κουτί. Η λειτουργία ενός συνόλου πηγών γνώσης διέπεται από τη λεγόμενη *καιροσκοπική αναζήτηση* (opportunistic search). Κάθε πηγή δεν γνωρίζει την ύπαρξη των άλλων πηγών και, επομένως, ούτε και υπάρχει οποιαδήποτε απευθείας επικοινωνία μεταξύ τους. Το τι γνωρίζει μία πηγή σημαίνει το τι μπορεί να πράξει και τι χρειάζεται για αυτό το σκοπό. Παρακολουθώντας το σκηνικό που εξελίσσεται στο μαυροπίνακα αναζητεί την ευκαιρία για να εμπλακεί και, εάν και όταν αυτό συμβεί, τότε ίσως χρειαστεί να επικαλεστεί έμμεσα τη συνεργασία άλλων πηγών, δηλώνοντας στο μαυροπίνακα αναγκαίους στόχους και αναμενόμενα. Το μοντέλο του μαυροπίνακα υποστηρίζει παράλληλη επεξεργασία, αφού πηγές γνώσης, που δεν αλληλοεπηρεάζονται, μπορούν να εκτελούνται ταυτόχρονα. Η προσθήκη, αφαίρεση και τροποποίηση πηγών γνώσης διευκολύνεται λόγω του ότι δεν υπάρχει απευθείας επικοινωνία μεταξύ τους. Παρόλο που το μοντέλο είναι κατεξοχήν συνεργατικό (κατανομή του έργου σε ένα σύνολο διαμεσολαβητών), υπάρχει και ανταγωνισμός, όταν εμφανίζονται πολλαπλές πηγές για την ίδια υποεργασία. Τέλος, το μοντέλο του μαυροπίνακα μπορεί να θεωρηθεί ο πρόγονος των πιο πρόσφατων μοντέλων πολλαπλών, ευφών διαμεσολαβητών (intelligent, multi-agent models).

Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε το φορμαλισμό των κανόνων παραγωγής, ο οποίος αποτελεί τον πιο ευρέως διαδεδομένο φορμαλισμό αναπαράστασης γνώσης, τουλάχιστον σε ρεαλιστικές εφαρμογές της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων. Διάσημα έμπειρα συστήματα πρώτης γενεάς, όπως το DENDRAL, MYCIN, PROSPECTOR, XCON, κτλ. ήταν συστήματα παραγωγής. Ένα σύστημα παραγωγής αποτελείται από (α) τη μνήμη παραγωγής, το σύνολο κανόνων που αποτελεί τη βάση γνώσης του, (β) τη μνήμη εργασίας, στην οποία καταχωρούνται τα αποτελέσματα των εκτελέσεων των ενεργειών των επιλεγέντων κανόνων και (γ) το διερμηνέα κανόνων. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι διερμηνεύσης (εφαρμογής) των κανόνων, η ορθή αλυσίδωση και η ανάστροφη αλυσίδωση. Ο συλλογισμός που απορρέει από μια τέτοια αλυσίδωση μπορεί να χαρακτηριστεί αντίστοιχα, ως οδηγούμενος από γεγονότα ή οδηγούμενος από στόχους.

Κρίσιμο βήμα για κάθε μορφή αλυσίδωσης αποτελεί η επιλογή του επόμενου

κανόνα προς εκτέλεση/ανίχνευση. Για αυτή την επιλογή ενδείκνυται η χρήση ευρετικών, και σε καθολικό (γενικές στρατηγικές ελέγχου) και σε τοπικό (μετα-κανόνες) επίπεδο.

Οι λόγοι, για τους οποίους ο φορμαλισμός των κανόνων παραγωγής υπήρξε μέχρι τώρα τόσο δημοφιλής, μπορεί να αναλυθούν σε σχέση με τις επιθυμητές πρακτικές ιδιότητες μίας αναπαράστασης (βλέπε κεφ.3). Από όλους τους φορμαλισμούς που εξετάσαμε είναι ο πιο απλός. Είναι καθαρά δηλωτικός φορμαλισμός, όπου ο κάθε κανόνας δηλώνει μία συσχέτιση ανάμεσα σε κάποιο προκείμενο/συνθήκη και κάποιο συμπέρασμα/ενέργεια, ανεξάρτητα του πώς θα χρησιμοποιηθεί αυτή η συσχέτιση. Υπάρχει δηλαδή πλήρης διαχωρισμός ανάμεσα στους κανόνες και τη δομή ελέγχου. Κάθε κανόνας είναι μία νοηματικά ανεξάρτητη οντότητα, η σημασία της οποίας δεν εξαρτάται από τη θέση που κατέχει στη μνήμη παραγωγής. Επιπλέον, η ύπαρξη κανόνων είναι άμεση, αφού συνηθίζουμε να εκφραζόμαστε και να εφαρμόζουμε συλλογισμό της μορφής «Εάν αυτό, τότε εκείνο». Επομένως, η διευκόλυνση συμβολισμού των κανόνων παραγωγής είναι υψηλή. Το ίδιο μπορεί να ειπωθεί και για την ιδιότητα της ευρετικής επάρκειας, κυρίως λόγω της σχετικής απλότητας του συλλογισμού. Όσον αφορά όμως τη λογική επάρκεια ή τη δύναμη της εκφρασιμότητας, αυτός ο φορμαλισμός υστερεί έναντι των άλλων που εξετάσαμε. Για παράδειγμα, οι ιεραρχικές σχέσεις δεν μπορούν να εκφραστούν με άμεσο τρόπο σε αυτό το φορμαλισμό και εν γένει, όπως θα εξηγήσουμε στο Μέρος II, πίσω από τη σειρά των συνθηκών στα προκείμενα κανόνων, συνήθως κρύβεται σημαντική γνώση, η οποία δεν μπορεί να εκφραστεί ρητά. Για αυτό, όπως εξάλλου έχει αποδειχτεί στην πράξη, αυτός ο φορμαλισμός μπορεί να συνδυαστεί πολύ αποδοτικά με κάποιο από τους άλλους φορμαλισμούς.

Ένα άλλο πλεονέκτημα αυτού του φορμαλισμού είναι η διευκόλυνση παροχής επεξηγήσεων, «Γιατί;» και «Πώς;», εκ μέρους του συστήματος. Παρόλο που τέτοιες επεξηγήσεις είναι «μηχανικές» και μπορεί να υστερούν σε πολλά σημεία, η χρησιμότητά τους ως τρόπος αποκάλυψης της γνώσης και συλλογισμού του συστήματος είναι προφανής.

Η σχετικά απλή μορφή ενός συστήματος παραγωγής (ισόπεδη μνήμη παραγωγής, αδόμητη μνήμη εργασίας) μπορεί να επεκταθεί σε μία πιο περίπλοκη και δομημένη αρχιτεκτονική, αυτή του μοντέλου του μαυροπίνακα, για την επίλυση πιο σύνθετων προβλημάτων, τα οποία μπορεί να αναλυθούν (διασπαστούν) σε διάφορα επίπεδα και στρώματα αφαιρετικότητας. Κανόνες που αφορούν την ίδια έννοια, αντικείμενο ή εργασία μπορεί να ομαδοποιηθούν

σε ένα ξεχωριστό σύστημα παραγωγής ή πηγή γνώσης. Τέτοιου είδους δόμηση, και σε επίπεδο μνήμης παραγωγής και σε επίπεδο μνήμης εργασίας, περιορίζει τον αριθμό κανόνων που χρειάζεται να εξεταστούν σε συγκεκριμένη περίπτωση. Γενικά, το μοντέλο του μαυροπίνακα παρέχει μία κατανομημένη, ετερογενή, συνεργατική, αρχιτεκτονική, η οποία υποστηρίζει παράλληλη επεξεργασία.

Εδώ ολοκληρώνεται το Μέρος I του τόμου. Στη συνέχεια (Μέρος II) θα αναφερθούμε στην τεχνολογία των έμπειρων συστημάτων.

Βιβλιογραφία

- R. Englemore και T. Morgan (eds), *Blackboard Systems*, Addison–Wesley, 1988.
- J. Giarratano και G. Riley, *Expert Systems: principles and programming*, δεύτερη έκδοση, PWS Publishing Company, 1993.
- Το Μέρος II (κεφ.7–12) αποτελεί μία εισαγωγή στη γλώσσα παραγωγής (production language) CLIPS)
- P. Jackson, *Introduction to Expert Systems*, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1999 (κεφ.5 και 18).
- G.F. Luger και W.A. Stubblefield, *Artificial Intelligence: structures and strategies for complex problem solving*, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1998 (ενότητες 5.3 και 6.2).
- N.J. Nilsson, *Principles of Artificial Intelligence*, Tioga Publishing Company, 1980.
- Η έννοια του συστήματος παραγωγής ουσιαστικά διέπει όλα τα θέματα με τα οποία καταπιάνεται το κλασικό πλέον βιβλίο του Nilsson.
- E. Rich και K. Knight, *Artificial Intelligence*, δεύτερη έκδοση, 1991 (κεφ. 6).
- P.H. Winston, *Artificial Intelligence*, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1993 (κεφ. 7 και 8).

Η Τεχνολογία των Έμπειρων Συστημάτων

Σκοπός

Στόχος του κεφαλαίου 7 είναι να ορίσει τι είναι έμπειρο σύστημα, να διατυπώσει το σκοπό της σχετικής τεχνολογίας και να παρουσιάσει τα διακριτά χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων. Το κεφάλαιο, επίσης, παρουσιάζει τις τρεις βασικές μορφές συλλογισμού, το συμπέρασμα, την απαγωγή και την επαγωγή.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει αυτό το κεφάλαιο θα μπορείτε να:

- ορίσετε τι είναι έμπειρο σύστημα,
- διατυπώσετε το σκοπό της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων,
- εξηγήσετε τα διακριτικά χαρακτηριστικά των έμπειρων συστημάτων,
- παρουσιάσετε τις τρεις βασικές μορφές συλλογισμού, συμπέρασμα, απαγωγή και επαγωγή.

Έννοιες κλειδιά

- έμπειρο σύστημα
- σκοπός τεχνολογίας έμπειρων συστημάτων
- διακριτά χαρακτηριστικά έμπειρων συστημάτων
- βασικές μορφές συλλογισμού
- συμπέρασμα
- απαγωγή
- επαγωγή

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

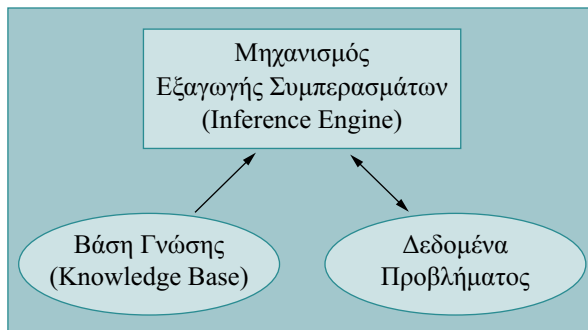
Το παρόν κεφάλαιο, που είναι το πρώτο του Μέρους II του τόμου, σας εισάγει στην τεχνολογία των έμπειρων συστημάτων (*expert systems technology*). Σε διάφορα σημεία του Μέρους I έχει ήδη γίνει άμεση ή έμμεση αναφορά σε έμπειρα συστήματα. Ήδη γνωρίζετε ότι τα έμπειρα συστήματα αποτελούν το κατεξοχήν εφαρμοσμένο μέρος της ΤΝ. Επομένως, ήδη γνωρίζετε ότι ένα έμπειρο σύστημα κατέχει γνώση την οποία χρησιμοποιεί σύμφωνα με κάποιο μηχανισμό συλλογισμού. Το σώμα της γνώσης ή η βάση γνώσης (*knowledge base*), ενός έμπειρου συστήματος αντιπροσωπεύει εμπειρογνωμοσύνη κάποιο-

ου πεδίου. Στο κεφ. 3 εξετάσαμε τα διάφορα είδη γνώσης που συνήθως αποτελούν κάποια εμπειρογνωμοσύνη.

Τι είναι έμπειρα συστήματα, ο σκοπός της τεχνολογίας και τα διακριτά χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων αναλύονται στην ενότητα 7.1, ενώ στην ενότητα 7.2 εξετάζονται, σε γενικό επίπεδο, οι τρεις βασικές μορφές συλλογισμού (συμπέρασμα, απαγωγή και επαγωγή). Στη συνέχεια του Μέρους II, όταν θα διαπραγματευτούμε συγκεκριμένα έμπειρα συστήματα πρώτης και δεύτερης γενεάς, θα δούμε με ποιον τρόπο εμφανίζονται αυτές οι μορφές συλλογισμού.

7.1 Έμπειρα συστήματα – ορισμός, σκοπός, χαρακτηριστικά

Όπως είδαμε στο κεφ. 1, η αρχική προσπάθεια στο πεδίο της ΤΝ στόχευε στη δημιουργία συστημάτων γενικής επίλυσης προβλημάτων (general problem solvers). Μέσα από αυτή την προσπάθεια, και συγκεκριμένα την αποτυχία της, διεφάνη ότι η αποδοτική και αποτελεσματική επίλυση ρεαλιστικών προβλημάτων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη χρήση συγκεκριμένης γνώσης. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία των *συστημάτων βάσης γνώσης* (knowledge based systems). Η γενική αρχιτεκτονική ενός συστήματος βάσης γνώσης δίνεται στο Σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1

Σύστημα Βάσης Γνώσης

Έμπειρα συστήματα είναι συστήματα βάσης γνώσης, τα οποία μπορούν να οργανωθούν ως συστήματα παραγωγής, πλαισίων κτλ. Σε γενικό επίπεδο υπάρχει κοινή αποδοχή για το τι είναι έμπειρο σύστημα.

Γενικός ορισμός: Έμπειρο σύστημα είναι υπολογιστικό σύστημα, το οποίο μπορεί να επιλύσει αποδοτικά και αποτελεσματικά ρεαλιστικά προβλήματα, η επίλυση των οποίων εκ μέρους του ανθρώπου συνεπάγεται την ύπαρξη κάποιας μορφής εμπειρογνωμοσύνης.

Ο γενικός ορισμός απλώς οριοθετεί το πεδίο δράσεως της τεχνολογίας, χωρίς να κάνει καμία δέσμευση ως προς τον τρόπο επίλυσης των προβλημάτων. Απλά μας λέει ότι απώτερος στόχος είναι η επίλυση προβλημάτων, τα οποία μπορούν να επιλυθούν ικανοποιητικά μόνο από έμπειρους. Σε έναν (εξειδικευμένο) τομέα οι πραγματικά έμπειροι είναι συνήθως συγκριτικά λίγοι σε αριθμό, διότι η απόκτηση εμπειρογνωμοσύνης είναι επίπονη διεργασία που

επιτυγχάνεται μέσω εκτενέστατης εμπειρίας. Επομένως, πίσω από το γενικό ορισμό κρύβεται ο (γενικός) σκοπός της τεχνολογίας.

(Γενικός) Σκοπός Τεχνολογίας Έμπειρων Συστημάτων: Η εξάπλωση, σε ευρεία κλίμακα, της ικανότητας επίλυσης προβλημάτων, που απαιτούν εμπειρογνωμοσύνη, για κοινωνικούς, οικονομικούς ή άλλους λόγους.

Αναφορικά με τη συγκεκριμενοποίηση του γενικού ορισμού του έμπειρου συστήματος, υπάρχουν δύο σχολές σκέψευς. Η μία σχολή σκέψευς πρεσβεύει ότι ένα έμπειρο σύστημα θα πρέπει να αποτελεί όσο γίνεται πιο ακριβή προσομοίωση της εν λόγω εμπειρογνωμοσύνης ή τουλάχιστον των στοιχείων αυτής που μπορούν να εξωτερικευτούν. Σημασία, δηλαδή, δεν έχει μόνο το τελικό αποτέλεσμα για κάποιο πρόβλημα, αλλά και ο τρόπος εξαγωγής του. Επομένως, το μέτρο σύγκρισης σε σχέση με την εν γένει απόδοση του συστήματος αποτελεί αυτός καθ' αυτός ο έμπειρος. Στόχος είναι το έμπειρο σύστημα να επιλύει προβλήματα εξίσου ικανοποιητικά με τον έμπειρο και ίσως και καλύτερα, αφού δεν θα έχει τις αδυναμίες του ανθρώπινου οργανισμού (μείωση μνήμης, αισθήματα που μπορεί να επηρεάζουν αρνητικά τη σκέψη, κτλ.).

Η άλλη σχολή σκέψευς πρεσβεύει ότι σημασία έχει μόνο το τελικό αποτέλεσμα και επομένως ένα έμπειρο σύστημα δεν είναι κατ' ανάγκη η προσομοίωση της εν λόγω εμπειρογνωμοσύνης. Στόχος δηλαδή θα πρέπει να είναι η δημιουργία συστημάτων που μπορούν να επιλύσουν «ορθά» αυτά τα προβλήματα με όσο το δυνατό υψηλότερη απόδοση (υψηλότερη από αυτήν των έμπειρων).

Συνηγορούμε με την προσέγγιση που πρεσβεύει η πρώτη σχολή σκέψευς, διότι συνάδει καλύτερα με τη φύση αυτών των συστημάτων ως συμβούλων υποστήριξης αποφάσεων που χρειάζεται να συνδιαλέγονται με το χρήστη τους και να παρέχουν τεκμηριώσεις των εισηγήσεών τους. Επομένως, δεν είναι μόνο το τελικό αποτέλεσμα που έχει σημασία, αλλά και ο συλλογισμός και η γνώση που οδήγησε σε αυτό. Παραθέτουμε λοιπόν τον ακόλουθο εκλεπτυσμένο ορισμό του τι είναι έμπειρο σύστημα:

Εκλεπτυσμένος ορισμός: Έμπειρο σύστημα είναι σύστημα βάσης γνώσης, το οποίο μοντελοποιεί εκτενώς την εμπειρογνωμοσύνη ενός ή περισσότερων εμπείρων του σχετικού (εξειδικευμένου) τομέα. Η απόδοση του συστήματος στην επίλυση των εν λόγω ρεαλιστικών προβλημάτων πρέπει να είναι συγκρίσιμη με αυτήν των εμπείρων.

Με βάση τον εκλεπτυσμένο ορισμό, ο σκοπός, η κεντρική αρχή της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων, μπορεί να διατυπωθεί σαφέστερα.

Κεντρική Αρχή Τεχνολογίας: Η (ευρεία) εξάπλωση της εν λόγω εμπειρογνωμοσύνης για κοινωνικούς, οικονομικούς ή άλλους λόγους. Ο τυπικός χρήστης ενός έμπειρου συστήματος αναμένεται μεν να ανήκει στο σχετικό γνωστικό πεδίο, αλλά να μην είναι ο ίδιος έμπειρος. Το έμπειρο σύστημα βοηθά αυτό το χρήστη να αποδίδει σε βαθμό ικανότητας συγκρίσιμο με αυτόν του έμπειρου. Ακόμη και ο έμπειρος μπορεί να χρησιμοποιήσει το σύστημα με σημαντικά οφέλη.

Με βάση τον εκλεπτυσμένο ορισμό τού τι είναι έμπειρο σύστημα και την κεντρική αρχή της τεχνολογίας, ποια νομίζετε ότι θα είναι η επίδραση του διαδικτύου σε αυτήν την τεχνολογία;

Δραστηριότητα 7.1

Το εύρος της επιθυμητής εξάπλωσης κάποιας εμπειρογνωμοσύνης εξαρτάται από τον τομέα. Η εμβέλεια της χρησιμότητας ενός έμπειρου συστήματος μπορεί να είναι ολόκληρη η υφήλιος ή να περιορίζεται στα πλαίσια κάποιας εταιρείας/οργανισμού, που μπορεί φυσικά να είναι πολυεθνική/ός. Ένα έμπειρο διαγνωστικό σύστημα για γενική παθολογία, όπως π.χ. το INTERNIST-1, προφανώς θα είχε χρησιμότητα σε παγκόσμια κλίμακα. Ένα σύστημα για τη συναρμολόγηση υπολογιστών δεδομένης εταιρείας, π.χ. το XCON για την εταιρεία DEC, θα είχε χρησιμότητα μέσα στα πλαίσια της εν λόγω εταιρείας ή το πολύ και σε άλλες εταιρείες με παρόμοιο αντικείμενο.

Οι τομείς εφαρμογής των πρώτων έμπειρων συστημάτων περιελάμβαναν την επιστημονική ανάλυση (το σύστημα DENDRAL, το οποίο είχε μεγάλη επιτυχία και θεωρείται το πρώτο έμπειρο σύστημα, ανακάλυπτε τη μοριακή δομή οργανικών ενώσεων), τη γεωλογία (το σύστημα PROSPECTOR για

την εντόπιση πηγών ορυκτών φημολογείται ότι εντόπισε μία πολύ πλούσια πηγή ορυκτών), τη μηχανική (η επιτυχία του XCON, το οποίο εξακολουθεί να παρέχει τις υπηρεσίες του στους μηχανικούς της DEC, είναι αναμφισβήτητη μετά τη δήλωση της εταιρείας ότι η χρήση του είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των κόστων της κατά πολλά εκατομμύρια δολάρια), την ιατρική (διάσημα συστήματα όπως το MYCIN, INTERNIST-1, CASNET και πολλά άλλα συνέβαλαν σημαντικά στην εξέλιξη της τεχνολογίας), κτλ. Καθένα από αυτά τα πρωταρχικά συστήματα αναπτύχθηκε ως ένα αυτοδύναμο (stand-alone) σύστημα, για την εκτέλεση του οποίου συνήθως απαιτείτο ειδική υπολογιστική μηχανή, η λεγόμενη LISP-machine. Σε αυτά τα συμφραζόμενα, εξάπλωση σήμαινε τη διανομή ξεχωριστών αντιτύπων του συστήματος και τη σταδιακή ενημέρωση με την παροχή νέων αντιτύπων.

Έμπειρα συστήματα δεν θεωρούνται πλέον ότι είναι οπωσδήποτε ξεχωριστά, αυτοδύναμα συστήματα, αλλά μπορεί να είναι τμήματα ευρύτερων υπολογιστικών συστημάτων. Θα αναφερθούμε στην εν γένει Τεχνολογία Γνώσης (Knowledge Engineering) στο κεφ. 10.

Δραστηριότητα 7.2

Προτού διαβάσετε παρακάτω, με βάση τη μέχρι τώρα διαπραγματεύσή μας, ποια νομίζετε ότι είναι τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν ένα έμπειρο σύστημα από άλλα υπολογιστικά συστήματα;

Όπως ήδη αναφέραμε, έμπειρα συστήματα ανήκουν στα *συστήματα υποστήριξης αποφάσεων* (decision support systems). Χρησιμοποιούνται κυρίως σε ρόλο συμβούλου (consultant, advisor), αλλά επίσης και σε ρόλο κριτή (critic) ή φροντιστή (tutor). Όλοι αυτοί οι ρόλοι συνεπάγονται τη διεξαγωγή συνδιάλεξης ανάμεσα στο χρήστη και το σύστημα. Επομένως, έμπειρα συστήματα ανήκουν στα *διαλογικά συστήματα*. Η ποιότητα της διασύνδεσης ανάμεσα στο σύστημα και το χρήστη αποτελεί κρίσιμο παράγοντα. Οι απαιτήσεις αυτής της διασύνδεσης, όταν το σύστημα χρησιμοποιείται ως σύμβουλος, συνοψίζονται στο πλαίσιο που ακολουθεί.

Απαιτήσεις Διασύνδεσης Έμπειρου Συστήματος με Χρήστη

- **Το σύστημα συνδιαλέγεται με το χρήστη για να:**
 - «κατανοήσει» καλύτερα το πρόβλημα,
 - αποσπάσει περισσότερες πληροφορίες για το πρόβλημα.
- **Ο χρήστης συνδιαλέγεται με το σύστημα για να:**
 - προσφέρει περισσότερες πληροφορίες για το πρόβλημα,
 - κατανοήσει καλύτερα τη συλλογιστική του συστήματος,
 - πεισθεί για την εγκυρότητα της προτεινόμενης λύσης,
 - εντοπίσει κενά ή λάθη στη βάση γνώσης του συστήματος για σκοπούς βελτίωσης (knowledge debugging) – εδώ νοείται ότι ο χρήστης ανήκει στην κατηγορία των εμπείρων.

Οι ερωτήσεις και επεξηγήσεις του συστήματος πρέπει να είναι κατανοητές και λογικές προς το χρήστη, π.χ. το σύστημα, υπό το ρόλο του συμβούλου, δεν θα πρέπει να θέτει ερωτήματα, των οποίων οι απαντήσεις μπορούν να εξαχθούν από τα μέχρι τότε λεχθέντα. Οι δομές διαλόγου και επεξηγήσεων θα πρέπει να αποτελούν σημαντικό στοιχείο του σχεδιασμού του συστήματος από την αρχή, αφού συμβάλλουν σημαντικά στην όλη αποδοχή του συστήματος.

Όταν ένα έμπειρο σύστημα χρησιμοποιείται ως κριτικός ή φροντιστής, πιστεύετε υπάρχουν επιπλέον απαιτήσεις ως προς τη διασύνδεσή του με το χρήστη και, εάν ναι, ποιες νομίζετε ότι είναι αυτές οι επιπλέον απαιτήσεις;

Δραστηριότητα 7.3

Η ιδιάζουσα φύση του διαλογικού στοιχείου ενός έμπειρου συστήματος, σε σχέση με παραδοσιακά υπολογιστικά συστήματα, αποτελεί ένα από τα διακριτικά χαρακτηριστικά αυτών των συστημάτων. Άλλο διακριτικό χαρακτηριστικό είναι η ικανότητα αυτοανάπτυξης και αυτοβελτίωσης. Εμπειρογνωμοσύνη είναι κάτι το δυναμικό που συνεχώς βελτιώνεται, είτε με νέες προσωπικές εμπειρίες ή ως αποτέλεσμα νέων εξελίξεων στο συγκεκριμένο τομέα. Είναι σημαντικό ένα έμπειρο σύστημα να ενσωματώνει και το αναπτυξιακό στοιχείο της ανθρώπινης εμπειρογνωμοσύνης.

Απαιτήσεις Αναπτυξιακού Στοιχείου

Ένα έμπειρο σύστημα πρέπει να:

- έχει την ικανότητα αυτοβελτίωσης (δηλαδή μάθησης) με βάση τις προσωπικές του εμπειρίες στην επίλυση προβλημάτων,
- διευκολύνει την εκ των έξω ενημέρωση της βάσης γνώσης του.

Τα εν γένει χαρακτηριστικά των έμπειρων συστημάτων συνοψίζονται στο πλαίσιο που ακολουθεί.

Χαρακτηριστικά Έμπειρων Συστημάτων

- Προσομοιώνουν ανθρώπινο συλλογισμό και γνώση.
- Επιλύουν προβλήματα κάνοντας χρήση ευρετικών ή προσεγγιστικών μεθόδων.
- Καταπιάνονται με προβλήματα ρεαλιστικής πολυπλοκότητας, η αποδοτική και αποτελεσματική επίλυση των οποίων εκ μέρους του ανθρώπου συνεπάγεται εμπειρογνωμοσύνη.
- Επιδεικνύουν υψηλά επίπεδα απόδοσης και σε ταχύτητα και σε ορθότητα λύσεων.
- Συνδιαλέγονται με το χρήστη.
- Επεξηγούν και τεκμηριώνουν τις εισηγήσεις τους.
- Αυτοαναπτύσσονται.

Συνοπτικά, τα Έμπειρα Συστήματα αποτελούν ικανούς επιλυτές προβλημάτων (competent problem solvers) για τους συγκεκριμένους, εξειδικευμένους τομείς.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 7.1

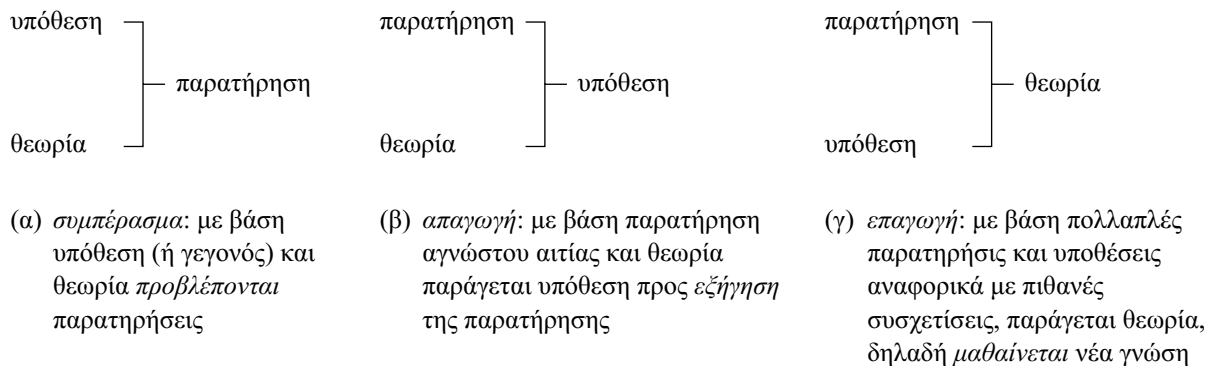
Ποια από τα ακόλουθα ευσταθούν και ποια όχι;

1. Έμπειρα συστήματα αναπτύσσονται για τομείς για τους οποίους δεν υπάρχουν έμπειροι.
2. Ένα έμπειρο σύστημα χρειάζεται να συνδιαλέγεται με το χρήστη του για να ζητά από το χρήστη περισσότερες πληροφορίες για το πρόβλημα.

- 3. Ένα έμπειρο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά μόνο από τους έμπειρους.
- 4. Σκοπός της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων είναι η εξάπλωση σχετικής εμπειρογνωμοσύνης για σημαντικά κοινωνικοοικονομικά οφέλη.
- 5. Ένα έμπειρο σύστημα βοηθά κάποιον που είναι γνώστης του τομέα, αλλά όχι αρκετά έμπειρος ώστε να αποδίδει συγκρίσιμα με τον έμπειρο.

7.2 Βασικές μορφές συλλογισμού

Ο φιλόσοφος C.S. Peirce^[1] διαχώρισε τρεις βασικές μορφές συλλογισμού, το *συμπέρασμα* (deduction), την *απαγωγή* (abduction) και την *επαγωγή* (induction), οι οποίες αντιστοίχως αφορούν *πρόβλεψη* (prediction), *εξήγηση* (explanation) και *μάθηση* (learning). Η ροή του συλλογισμού σε καθεμία από αυτές τις μορφές δίνεται στο Σχήμα 7.2.



Σχήμα 7.2
Βασικές Μορφές
Συλλογισμού

Η πιο απλή ανάμεσα στις τρεις μορφές είναι το συμπέρασμα, το οποίο έχουμε ήδη συναντήσει. Ο συλλογισμός σε κατηγορηματική λογική είναι συμπερασματικός (βλέπε κεφ. 4). Οι κανόνες modus ponens και αναγωγή είναι συμπερασματικοί κανόνες.

Έστω η ακόλουθη θεωρία, δηλαδή γνώση, η οποία λέει ότι ο καθένας που πάσχει από γρίπη εκδηλώνει πυρετό, κτλ.

[1] C.S. Peirce (1931–58), *Collected Papers*, (eds.) C. Hartshorne, P. Weiss and A. Burks, 8 Vols., Mass.: Harvard University Press.

$$\forall x \text{ Έχει_γρίππη}(x) \Rightarrow \text{Εκδηλώνει}(x, \text{πυρετό})$$

$$\forall x \text{ Έχει_γρίππη}(x) \Rightarrow \text{Εκδηλώνει}(x, \text{πονοκέφαλο})$$

$$\forall x \text{ Έχει_ιλαρά}(x) \Rightarrow \text{Εκδηλώνει}(x, \text{πυρετό})$$

$$\forall x \text{ Έχει_ιλαρά}(x) \Rightarrow \text{Εκδηλώνει}(x, \text{κόκκινα_ερεθίσματα})$$

7.2.1 Συμπέρασμα

Με βάση τη θεωρία και την υπόθεση (ή το γεγονός) ότι ο Κώστας έχει γρίππη ($\text{Έχει_γρίππη}(\text{Κώστας})$), μπορεί να εξαχθούν τα συμπεράσματα ότι Εκδηλώνει(Κώστας , πυρετό) και Εκδηλώνει(Κώστας , πονοκέφαλο). Με άλλα λόγια προβλέπονται οι συνέπειες της δεδομένης υπόθεσης με βάση τη δεδομένη θεωρία. Όπως είδαμε και στο κεφ. 4, ο συμπερασματικός συλλογισμός χρησιμοποιείται, όταν χρειάζεται να αποδειχθεί κατά πόσο δεδομένη πρόταση ευσταθεί, π.χ. κατά πόσο ο Κώστας θα εκδηλώσει πυρετό με βάση την ιατρική μας θεωρία/γνώση και το δεδομένο/υπόθεση ότι έχει γρίππη.

7.2.2 Απαγωγή

Απαγωγή είναι συλλογισμός με υποθέσεις (hypothetical reasoning). Με βάση τη δεδομένη θεωρία και την παρατήρηση ότι ο Κώστας εκδηλώνει πυρετό, αξιόπιστες υποθέσεις, αναφορικά με την αιτία του πυρετού αποτελούν τα ενδεχόμενα της γρίππης ή της ιλαράς. Το κρίσιμο ερώτημα είναι ποια είναι η «καλύτερη» ανάμεσα στις αξιόπιστες υποθέσεις με άλλα λόγια ποια είναι η καλύτερη εξήγηση της ύπαρξης του πυρετού στο Κώστα. Επομένως, χρειάζεται να αξιολογηθούν οι αντίπαλες αξιόπιστες υποθέσεις με στόχο την επιλογή αυτής που αποτελεί την καλύτερη εξήγηση. Αυτή η αξιολόγηση/διερεύνηση εμπλέκει συμπερασματικό συλλογισμό: Εάν η αιτία είναι γρίππη, αυτό συνεπάγεται την εκδήλωση πονοκεφάλου. Εάν όμως η αιτία είναι ιλαρά, αυτό συνεπάγεται την εκδήλωση κόκκινων ερεθισμάτων. Η επιβεβαίωση του πονοκεφάλου, αλλά όχι των κόκκινων ερεθισμάτων, αυξάνει την αξιοπιστία της υπόθεσης της γρίππης και μειώνει την αξιοπιστία της υπόθεσης της ιλαράς. Γενικά, αντίθετες συνεπαγωγές εκ μέρους αντίπαλων υποθέσεων αποτελούν καλά σημεία διαχωρισμού. Για παράδειγμα, εάν $H_1(A)$ και $H_2(A)$ αποτελούν αντίπαλες υποθέσεις στα πλαίσια κάποιου απαγωγικού συλλογισμού και η θεωρία διατυπώνει

$$\forall x H_1(x) \Rightarrow P(x) \text{ και } \forall x H_2(x) \Rightarrow \sim P(x)$$

το ερώτημα $P(A)$ αποτελεί καλό σημείο διαχωρισμού ανάμεσα στις αντίπαλες υποθέσεις.

Σε συμπερασματικό συλλογισμό, πρόθεση είναι να αποδειχθεί *κατά πόσον* κάτι ευσταθεί, ενώ σε απαγωγικό συλλογισμό πρόθεση είναι να απαντηθεί *γιατί* κάτι ευσταθεί. Όπως είδαμε, προς απάντηση κάποιου *γιατί* είναι σημαντικό να αποφασισθεί *κατά πόσον*. Επομένως, το συμπέρασμα μπορεί να θεωρηθεί υποδιεργασία της απαγωγής. Αυτή η «σύμπραξη» αποτελεί το *υποθετικο-συμπερασματικό* (hypothetico-deductive) σχήμα, το οποίο εμφανίζεται σε πολλά έμπειρα συστήματα, κυρίως συστήματα που αφορούν διάγνωση και αποσφαλμάτωση.

7.2.3 Επαγωγή

Ο επαγωγικός συλλογισμός στοχεύει στην ανάπτυξη θεωριών και στην ανακάλυψη γνώσης. Επομένως, αφορά τη μάθηση. Έστω ότι έγιναν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

Έχει_γρίππη(Κώστας) Εκδηλώνει(Κώστας, πυρετό)

Έχει_γρίππη(Μαρία) Εκδηλώνει(Μαρία, πυρετό)

Έχει_γρίππη(Ελένη) Εκδηλώνει(Ελένη, πυρετό)

.....

Έχει_γρίππη(Γιάννης) Εκδηλώνει(Γιάννης, πυρετό)

Από αυτές μπορεί να εξαχθεί η γενική συσχέτιση ότι

$\forall x \text{ Έχει_γρίππη}(x) \Rightarrow \text{Εκδηλώνει}(x, \text{πυρετό})$

Η απαγωγή και το συμπέρασμα αφορούν την επίλυση προβλημάτων εκ μέρους του έμπειρου συστήματος, το συλλογισμό του συστήματος αναφορικά με την παραγωγή λύσεων. Η επαγωγή αφορά το αναπτυξιακό στοιχείο του συστήματος. Ένα έμπειρο σύστημα πρέπει να έχει την ικανότητα σταδιακής αυτοβελτίωσης με βάση τις εμπειρίες του στην επίλυση προβλημάτων. Η ικανότητα *μάθησης κατά προσαύξηση* (incremental learning) που χρειάζεται να έχει ένα έμπειρο σύστημα, οδηγεί στη σταδιακή εκλέπτυνση της γνώσης του συστήματος και κατά συνέπεια μειώνει το γνωστό «μποτιλιάρισμα» (bottleneck) που συνδέεται με την απόσπαση της γνώσης των εμπειρών. Αδυναμίες στην αρχική εκδοχή της γνώσης του συστήματος είναι επιτρεπτές, εφόσον η ικανότητα μάθησης εκ μέρους του συστήματος μπορεί να οδηγήσει στην απαλοιφή αυτών των αδυναμιών σε εύλογο χρονικό διάστημα. Για να μπορεί ένα σύστημα να μαθαίνει πρέπει να καταγράφει με κάποιο τρόπο τις εμπειρίες του, δηλαδή τα περιστατικά (του γενικού προβλήματος) με τα οποία έχει καταπιαστεί, το συλλογισμό που διεξήγαγε σε σχέση με αυτά τα περιστατικά, τις λύσεις στις οποίες κατέληξε και κατά πόσον αυτές ήταν ορθές ή

όχι και γιατί. Αυτή η μνημόνευση προηγούμενων περιστατικών βοηθά το σύστημα να επαναλαμβάνει τις επιτυχίες του σε παρόμοια μελλοντικά περιστατικά και κυρίως να αποφεύγει σοβαρά λάθη. Το πεδίο της μάθησης με χρήση μίας βάσης περιστατικών (Case Based Learning – CBL) είναι αρκετά αναπτυγμένο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη μάθηση που χρειάζεται να εκδηλώνει ένα έμπειρο σύστημα.

Η κατά προσάυξηση μάθηση διαφέρει από τις παραδοσιακές μεθόδους της μηχανικής μάθησης. Μία παραδοσιακή μέθοδος συνήθως χρειάζεται τη συσσώρευση μίας εκτενούς βάσης περιστατικών, η οποία θα χρησιμοποιηθεί π.χ. για την επαγωγή κάποιων γενικών κανόνων (δηλαδή γενικών συσχετίσεων), οι οποίοι στη συνέχεια μπορεί να τεθούν σε λειτουργία στα πλαίσια κάποιου έμπειρου συστήματος. Η μάθηση γίνεται στατικά, εκ των προτέρων, ως ξεχωριστή διεργασία. Η κατά προσάυξηση μάθηση ενσωματώνεται στη διεργασία της επίλυσης προβλημάτων, με άλλα λόγια διεξάγεται με δυναμικό τρόπο. Για παράδειγμα, το σύστημα αρχίζει με κάποιους κανόνες, ίσως αρκετά ανακριβείς. Η χρήση κάποιου κανόνα στα πλαίσια επίλυσης πραγματικών περιστατικών παρακολουθείται και αυτό μπορεί να οδηγήσει στη σταδιακή τροποποίηση ή και διαγραφή του κανόνα. Φυσικά, παραδοσιακές μέθοδοι μάθησης μπορούν να συνδυαστούν με δυναμικές μεθόδους μάθησης. Η (αρχική) γνώση που παράγεται με στατικό τρόπο μπορεί στη συνέχεια να εκλεπτυνθεί με δυναμικό τρόπο.

Πρόσφατα στο πεδίο της μηχανικής μάθησης έχει γίνει ο διαχωρισμός ανάμεσα σε *περιγραφική επαγωγή ή μάθηση* (descriptive learning) και *προβλεπτική επαγωγή* (predictive learning). Η μεν πρώτη στοχεύει στην ανακάλυψη κατηγοριών, η δε δεύτερη στην ανακάλυψη κανόνων για την αναγνώριση περιστατικών δεδομένων κατηγοριών.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 7.2

Αντιστοιχίστε τα στοιχεία της αριστερής στήλης με στοιχεία της δεξιάς στήλης:

- | | |
|--------------|--|
| • Συμπέρασμα | • Αφορά μάθηση. |
| | • Αφορά πρόβλεψη. |
| | • Αφορά εξήγηση. |
| | • Αποτελεί μέρος του υποθετικο-συμπερασματικού σχήματος. |

- Απαγωγή
 - Εμπλέκεται στην επίλυση προβλημάτων εκ μέρους του έμπειρου συστήματος.
 - Εμπλέκεται στο αναπτυξιακό στοιχείο του έμπειρου συστήματος.
- Επαγωγή
 - Από θεωρία και υπόθεση οδηγεί σε παρατηρήσεις.
 - Από παρατηρήσεις και πιθανές υποθέσεις οδηγεί σε θεωρίες.
 - Από θεωρία και παρατήρηση οδηγεί σε πιθανή υπόθεση.

Σύνοψη

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων ήταν το φυσικό επακόλουθο της αποτυχίας της αρχικής προσπάθειας για τη δημιουργία συστημάτων γενικής επίλυσης προβλημάτων. Έμπειρα συστήματα είναι συστήματα βάσης γνώσης για την επίλυση (εξειδικευμένων) προβλημάτων, των οποίων η ικανοποιητική επίλυση εκ μέρους του ανθρώπου συνεπάγεται την ύπαρξη εμπειρογνωμοσύνης. Συνηγορούμε με την προσέγγιση ότι ένα έμπειρο σύστημα πρέπει να αποτελεί την όσο γίνεται πιο ακριβή προσομοίωση των στοιχείων της εν λόγω εμπειρογνωμοσύνης, στοιχεία τα οποία μπορεί να εξωτερικευτούν. Αυτό γιατί ένα έμπειρο σύστημα χρειάζεται να συνδιαλέγεται με το χρήστη του και να τεκμηριώνει τις εισηγήσεις του. Επιπλέον, ένα έμπειρο σύστημα χρειάζεται να αυτοβελτιώνεται, όπως γίνεται και με την ανθρώπινη εμπειρογνωμοσύνη. Ποιο μέρος της εμπειρογνωμοσύνης καταχωρείται στη βάση γνώσης του συστήματος και ποιο στο μηχανισμό συλλογισμού εξαρτάται από τον τρόπο αναπαράστασης. Εάν χρησιμοποιείται εξ ολοκλήρου δηλωτική αναπαράσταση, τότε και η περιγραφική γνώση και η συλλογιστική γνώση καταχωρούνται στη βάση γνώσης, ενώ ο μηχανισμός συλλογισμού είναι ένας διερμηνέας της αναπαράστασης.

Η κεντρική αρχή αυτής της τεχνολογίας είναι η εξάπλωση των σχετικών πεδίων εμπειρογνωμοσύνης για σοβαρούς κοινωνικούς, οικονομικούς ή άλλους λόγους, κάτι το οποίο διευκολύνεται αφάνταστα με την ανάπτυξη του διαδικτύου. Ένα έμπειρο σύστημα χρησιμοποιείται κυρίως από άτομα τα οποία ανήκουν στο εν λόγω πεδίο, αλλά δεν είναι οι ίδιοι έμπειροι. Η χρήση του συστήματος τους βοηθά να αποδίδουν σε βαθμό ικανοτήτων συγκρίσιμο με εκείνο των εμπείρων. Παρόλο που τα αρχικά έμπειρα συστήματα αναπτύχθηκαν ως αυτοδύναμα συστήματα, τα οποία απαιτούσαν ειδικούς υπολογι-

στές, συνήθως τώρα, έμπειρα συστήματα αποτελούν στοιχεία ευρύτερων συστημάτων και δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς τους υπολογιστές. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σχετικά πρόσφατη γλώσσα παραγωγής CLIPS έχει υλοποιηθεί σε C.

Η χρήση της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων ενδείκνυται για προβλήματα τα οποία δεν μπορούν να επιλυθούν αποδοτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους προγραμματισμού. Όμως, οι βασικές προϋποθέσεις για ένα τέτοιο εγχείρημα είναι ότι υπάρχει τουλάχιστο ένας έμπειρος που ωθείται πολύ θετικά προς τη δημιουργία του έμπειρου συστήματος και φυσικά υπάρχουν σοβαροί λόγοι για την εξάπλωση της εν λόγω εμπειρογνωμοσύνης. Τέλος τα όρια του πεδίου της εμπειρογνωμοσύνης θα πρέπει να μπορούν να προσδιορισθούν. Η αλήθεια είναι ότι η δημιουργία ενός έμπειρου συστήματος συνεπάγεται μεγάλη προσπάθεια και συνήθως σημαντικό κόστος. Η αρχική προσέγγιση προς διευκόλυνση της δημιουργίας νέων έμπειρων συστημάτων εστιαζόταν στην έννοια του κέλυφους (*shell*) ή κενού συστήματος (*empty system*). Σιγά σιγά όμως αναπτύχθηκαν μεθοδολογίες και εργαλεία τεχνολογίας γνώσης, όπου η έμφαση είναι στην έννοια της επαναχρησιμοποίησης (*reusability*) κάτι το οποίο είναι κοινό και με τις γενικότερες μεθοδολογίες τεχνολογίας λογισμικού. Θα κάνουμε μία ανασκόπηση αυτών των εξελίξεων στο κεφ. 10.

Το εισαγωγικό κεφάλαιο του Μέρους II του τόμου ολοκληρώθηκε με μία σύντομη αναφορά στις τρεις βασικές μορφές συλλογισμού, το συμπέρασμα, την απαγωγή και την επαγωγή, οι οποίες σχετίζονται με το συμβουλευτικό και αναπτυξιακό στοιχείο των έμπειρων συστημάτων.

Βιβλιογραφία

P. Jackson, *Introduction to Expert Systems*, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1999.

Το πολύ δημοφιλές βιβλίο του Jackson, το οποίο ήδη βρίσκεται στην τρίτη του έκδοση, παρέχει μία πολύ καλή εισαγωγή στην τεχνολογία των έμπειρων συστημάτων.

Έμπειρα Συστήματα Πρώτης Γενεάς

Σκοπός

Το κεφάλαιο 8 παρουσιάζει, μέσω τριών αντιπροσωπευτικών έμπειρων συστημάτων πρώτης γενεάς, των MYCIN, PROSPECTOR και INTERNIST-1, ενδεικτικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής συστημάτων αυτής της γενεάς, καθώς επίσης της αρχικής προσέγγισης ως προς τη δημιουργία έμπειρων συστημάτων. Γίνεται επίσης αναφορά στις αδυναμίες των πρωταρχικών συστημάτων και της προσέγγισης δημιουργίας τους, η αποδοχή των οποίων οδήγησε στη δεύτερη γενεά έμπειρων συστημάτων και τις σχετικές μεθοδολογίες τεχνολογίας γνώσης.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει το κεφάλαιο 8, θα μπορείτε να:

- διατυπώσετε την αρχική προσέγγιση αναφορικά με τη δημιουργία έμπειρων συστημάτων και τις αδυναμίες της,
- παρουσιάσετε ενδεικτικά χαρακτηριστικά έμπειρων συστημάτων πρώτης γενεάς, μέσω των συστημάτων MYCIN, PROSPECTOR και INTERNIST-1,
- εξηγήσετε τι είναι μοντέλο αβεβαιότητας (*uncertainty model*) και να παρουσιάσετε τα μοντέλα αβεβαιότητας των MYCIN (συντελεστές βεβαιότητας), PROSPECTOR (συντελεστές επάρκειας και αναγκαιότητας) και INTERNIST-1 (βαθμοί διέγερσης και εκδήλωσης),
- αναφερθείτε στην ερμηνεία της έννοιας «μεταγλωττισμένη γνώση» (*compiled knowledge*) που αποδόθηκε στα πλαίσια του συστήματος MYCIN,
- εξηγήσετε τη συμπερασματική μορφή συλλογισμού του MYCIN και την υποθετικο-συμπερασματική μορφή συλλογισμού των PROSPECTOR και INTERNIST-1,
- παρουσιάσετε τη φιλοσοφία των συστημάτων απόκτησης γνώσης (*knowledge acquisition systems*) μέσω του συστήματος TEIRESIAS και των συστημάτων κέλυφους (*empty systems*), μέσω του συστήματος EMYCIN,
- διατυπώσετε τις εν γένει αδυναμίες των συστημάτων πρώτης γενεάς.

Έννοιες κλειδιά

- πρώτη γενεά έμπειρων συστημάτων – προσέγγιση, αδυναμίες
- *MYCIN, PROSPECTOR, INTERNIST – 1*
- μοντέλο αβεβαιότητας – αβεβαιότητα γνώσης, αβεβαιότητα δεδομένων
- συντελεστές βεβαιότητας
- θεώρημα Bayes σε ψευδοπιθανότητες – συντελεστές επάρκειας και αναγκαιότητας
- συνάρτηση βαθμολόγησης – βαθμοί διέγερσης και εκδήλωσης
- υποθετικό–συμπερασματικό μοντέλο συλλογισμού
- σύστημα απόκτησης γνώσης – *TEIRESIAS*
- θεώρημα Bayes σε ψευδοπιθανότητες – συντελεστές επάρκειας και αναγκαιότητας
- σύστημα κέλφους – *EMYCIN*

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στο παρόν κεφάλαιο διαπραγματευόμαστε τη λεγόμενη πρώτη γενεά των έμπειρων συστημάτων, η οποία χρονικά τοποθετείται από το τέλος της δεκαετίας του 60 μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 70. Η διαπραγμάτευση γίνεται μέσω τριών αντιπροσωπευτικών συστημάτων αυτής της γενεάς (*MYCIN, PROSPECTOR, INTERNIST-1*), τα οποία αναπτύχθηκαν παράλληλα γύρω στα μέσα της δεκαετίας του 70. Στόχος είναι να παρουσιάσουμε ενδεικτικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής αυτών των πρωταρχικών συστημάτων, καθώς επίσης της όλης προσέγγισης δημιουργίας τους. Η συζήτησή μας θα περιστραφεί και γύρω στις αδυναμίες αυτών των συστημάτων («δυσκαμψία» στο συλλογισμό, ανεπαρκής διασύνδεση με χρήστη, περιορισμένη επεκτασιμότητα), οι οποίες ήταν συνέπειες της προσέγγισης δημιουργίας τους. Η εντόπιση και αποδοχή αυτών των αδυναμιών οδήγησε στη δεύτερη γενεά έμπειρων συστημάτων (κεφ. 9) και σε μία ριζική αλλαγή στην προσέγγιση δημιουργίας τους (κεφ. 10).

Η όλη ώθηση της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων δόθηκε από συστήματα όπως τα τρία που θα εξετάσουμε εδώ, χάριν των «ικανοτήτων» που απέδειξαν ότι ήταν εφικτές από μέρους υπολογιστικών συστημάτων. Οι αδυναμίες, που στη συνέχεια διαφάνηκαν, δεν μειώνουν την προσφορά αυτών των συστημάτων. Ήταν το αποτέλεσμα μίας σοβαρής αυτοκριτικής της επιστημονικής κοινότητας, κυρίως ως προς τον *ad hoc* τρόπο δημιουργίας των πρώτων έμπειρων συστημάτων, με στόχο την ανάπτυξη κατάλληλων μεθοδολογιών τεχνολογίας γνώσης. Η αρχική προσέγγιση επικεντρωνόταν στο επίπεδο αναπαράστασης (*representation level*) δίνοντας έμφαση στην ομοιομορφία ως προς την αναπαράσταση γνώσης και κατά συνέπεια στην απλότητα συλλογισμού. Η

παρούσα προσέγγιση, η οποία αποτελεί σημαντική αλλαγή προσανατολισμού, επικεντρώνεται στο επίπεδο γνώσης (*knowledge level*) με στόχο τη δημιουργία ενός ιδεατού μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης (*conceptual model of expertise*) το οποίο στη συνέχεια μεταφράζεται σε επίπεδο αναπαράστασης. Τα αρχικά συστήματα δεν αποτελούσαν κατ' ανάγκη ακριβείς προσομοιωτές των σχετικών πεδίων εμπειρογνωμοσύνης. Σημαντικά στοιχεία της εμπειρογνωμοσύνης δεν εμφανίζονταν καθόλου ή εμφανίζονταν με υπονοούμενο τρόπο.

Τα περισσότερα συστήματα πρώτης γενεάς ήταν συστήματα παραγωγής, π.χ. MYCIN και PROSPECTOR. Οι κανόνες παραγωγής αποτελούν τον πιο απλό φορμαλισμό αναπαράστασης, η χρήση του οποίου οδηγεί σε μία ομοιόμορφη αναπαράσταση. Ο φορμαλισμός των κανόνων έχει όμως και αδυναμίες. Πίσω από τη σειρά των συνθηκών στα προκείμενα κανόνων μπορεί να κρύβεται σημαντική γνώση, η οποία δεν εμφανίζεται ρητά. Επίσης, ανύπαρκτη είναι και η τεκμηρίωση κανόνων. Ως αποτέλεσμα η γνώση που αναπαριστάται σε μορφή κανόνων θεωρείται ρηχή γνώση και κατά συνέπεια η πρώτη γενεά εμπειρών συστημάτων θεωρείται η γενεά των ρηχών συστημάτων, ενώ η δεύτερη γενεά θεωρείται η γενεά των βαθιών (*deep*) συστημάτων. Αυτή η ισοπέδωση των πρωταρχικών συστημάτων ως ρηχών είναι λίγο ατυχής και άδικη. Καταρχάς δεν ήταν όλα αυτά τα συστήματα, συστήματα παραγωγής (τουναντίον επιδείκνυαν πολύ διαφορετικές αρχιτεκτονικές) και δεύτερον η έννοια της ρηχότητας ή μη ρηχότητας (βάθους) είναι σχετική και όχι απόλυτη ιδίως σε σχέση με περίπλοκα συστήματα, όπως είναι τα έμπειρα συστήματα. Στα πλαίσια της παρούσας διαπραγμάτευσής μας θα αναφερθούμε σε μία από τις ερμηνείες της έννοιας της μεταγλωτισμένης γνώσης, που αφορά τη χρήση κανόνων παραγωγής και επομένως τη ρηχότητα γνώσης.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των συστημάτων πρώτης γενεάς είναι η πιο εκτενής χρήση του συλλογισμού ταξινόμησης σε σχέση με το συλλογισμό σύνθεσης (βλέπε κεφ. 2). Το σύστημα CASNET αποτελεί εξαίρεση σε αυτό. Στοιχεία σύνθεσης εμφανίζονται σε διάφορα συστήματα, π.χ. INTERNIST-1, αλλά αυτά είναι υποδεέστερα της ταξινόμησης. Τέλος, ένα τρίτο χαρακτηριστικό είναι ότι η δομή ελέγχου (μηχανισμός συλλογισμού) είναι συγκεντρωτικής μορφής, ενώ σε μεταγενέστερα συστήματα υπεισέρχεται ο αποκεντρωτισμός, όπου σημαντικός έλεγχος κατανέμεται και διεξάγεται σε τοπικό επίπεδο.

Η γνώση που αποτελεί την κρίσιμη συνιστώσα εμπειρών συστημάτων είναι σε μεγάλο βαθμό εμπειρικής μορφής. Η αβεβαιότητα είναι χαρακτηριστικό της γνώσης εν γένει (οι καθολικές αλήθειες είναι συγκριτικά λίγες), κυρίως της εμπειρικής γνώσης. Ως εκ τούτου η ανάπτυξη μοντέλων συλλογισμού με αβεβαιότητα αποτελούσε και αποτελεί ενεργό πεδίο έρευνας, όχι μόνο σε

σχέση με την ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων, αλλά και για την ευρύτερη περιοχή της TN. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε τα μοντέλα αβεβαιότητας των εν λόγω τριών συστημάτων.

Το σύστημα MYCIN ή ακριβέστερα το διαγνωστικό του μέρος είναι ένα σύστημα παραγωγής το οποίο εφαρμόζει ανάστροφη συλλογιστική (συμπερασματικό συλλογισμό) με ανάστροφη αλυσίδωση. Η σημασία αυτού του συστήματος δεν έγκειται μόνο στο συμβουλευτικό του τμήμα, το οποίο επιδεικνύει πολλά ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά (μοντέλο αβεβαιότητας, οργάνωση μνήμης εργασίας, χρήση μετα-κανόνων, κτλ.), αλλά επίσης σε σχέση με τα διάφορα «δορυφορικά» υποσυστήματά του, για παροχή επεξηγήσεων, για απόκτηση και αποσφαλμάτωση γνώσης και για διδασκαλία, καθώς επίσης της έννοιας του συστήματος κέλφους που προήλθε από το MYCIN και αποτελούσε τον άξονα της αρχικής προσέγγισης ως προς τη δημιουργία έμπειρων συστημάτων. Το σύστημα MYCIN διαπραγματεύεται η ενότητα 8.1.

Το σύστημα PROSPECTOR είναι επίσης σύστημα παραγωγής, αλλά διακρίνεται από το MYCIN ως προς την υβριδική αναπαράσταση της γνώσης του η οποία συνδυάζει κανόνες παραγωγής και δίκτυα συσχέτισης, τη μεικτή αλυσίδωση που εφαρμόζει, η οποία υλοποιεί υποθετικο-συμπερασματικό συλλογισμό, και το μοντέλο αβεβαιότητάς του, το οποίο βασίζεται στο κλασικό θεώρημα του Bayes. Το σύστημα PROSPECTOR διαπραγματεύεται η ενότητα 8.2.

Το σύστημα INTERNIST-1, το οποίο έχει μία από τις πιο εκτενείς βάσεις γνώσης (ο τομέας του είναι γενική παθολογία) διαφέρει από τα άλλα δύο συστήματα ως προς τη «μεθοδολογία» που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξή του. Στην περίπτωση των MYCIN και PROSPECTOR αποφασίσθηκε καταρχάς ο τρόπος αναπαράστασης της γνώσης, συγκεκριμένα η χρήση κανόνων παραγωγής ως η κύρια μορφή αναπαράστασης, και στη συνέχεια η προσπάθεια εστιάστηκε στην απόσπαση της γνώσης των εν λόγω εμπειρών σε αυτή τη μορφή. Στο INTERNIST-1 το πρώτο βήμα αφορούσε την κατανόηση της εμπειρογνωμοσύνης και το σχεδιασμό ενός ιδεατού μοντέλου για αυτήν. Η επιλογή της αναπαράστασης ήταν το δεύτερο βήμα. Ίσως γι' αυτό η χρήση του υποθετικο-συμπερασματικού μοντέλου να είναι πιο εμφανής σε αυτό το σύστημα. Το INTERNIST-1 αναπτύχθηκε ως ένα σχετικά απλό σύστημα πλαισίων, όπου τα πλαίσια (για τις ασθένειες) οργανώνονται με ιεραρχικό τρόπο, και εσωτερικά τα πλαίσια περιέχουν διαφόρων ειδών συσχετίσεις (associations), αλλά όχι συλλογιστική γνώση. Ο συλλογισμός είναι σε καθολικό επίπεδο και μάλιστα υλοποιείται, όχι σε μορφή πλαισίων ελέγχου, αλλά σε μορφή διαδικασιών. Το σύστημα INTERNIST-1 διαπραγματεύεται η ενότητα 8.3.

8.1 Mycin και δορυφορικά υποσυστήματα

Το σύστημα MYCIN αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Stanford με κύριο ερευνητή τον Edward Shortliffe. Στόχος του συστήματος ήταν η υποβοήθηση μη έμπειρων ιατρών στη διάγνωση και θεραπευτική αγωγή μικροβιολογικών μολύνσεων του αίματος, όπως μηνιγγίτιδα. Λόγω της σοβαρότητας αυτών των μολύνσεων, η θεραπευτική αγωγή χρειάζεται να αρχίσει άμεσα, πριν δηλαδή την πάροδο 48 ωρών που είναι το χρονικό διάστημα που συνήθως απαιτείται, με χρήση καλλιεργείων, για την αναγνώριση των ταυτοτήτων των μικροβιολογικών οργανισμών που είναι υπεύθυνοι για τη μόλυνση. Ακόμη και εάν οι ταυτότητες αυτών είναι γνωστές, δεν είναι κατ' ανάγκη γνωστά τα αντιβιοτικά για την καταπολέμησή τους. Επομένως, η διάγνωση (ποιοι είναι οι οργανισμοί;) και η θεραπευτική αγωγή (ποιος είναι ο καλύτερος συνδυασμός και αντίστοιχες δόσεις αντιβιοτικών;) διέπεται από *αβεβαιότητα*. Για αυτό το λόγο η ανάπτυξη κατάλληλου μοντέλου για το χειρισμό της αβεβαιότητας αποτελούσε σημαντικό στοιχείο του συστήματος.

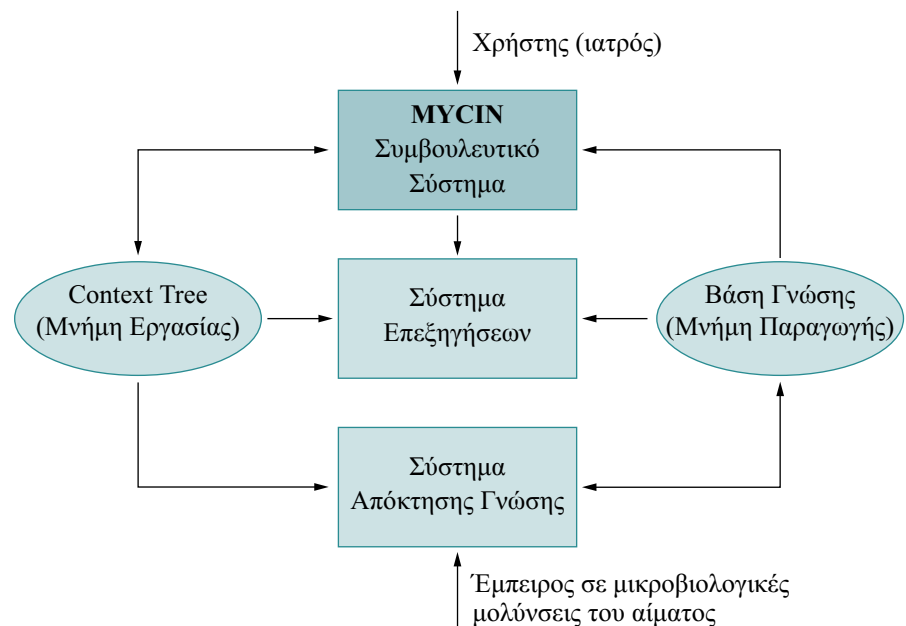
Το κίνητρο για την ανάπτυξη του MYCIN ήταν η ανάγκη εξάπλωσης της εμπειρογνωμοσύνης, για το λόγο ότι συχνά παρατηρούνταν λάθη, τα οποία είχαν τραγικές συνέπειες για τους ασθενείς, αλλά και σοβαρές μακροπρόθεσμες συνέπειες για την κοινωνία ολόκληρη, π.χ. η τάση των μη εμπειρών για υπερβολική χρήση αντιβιοτικών είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ιδιαίτερας ανθεκτικών μικροβιολογικών οργανισμών. Αυτή η τάση δυστυχώς εξακολουθεί να υπάρχει και σήμερα, σε γενικότερο επίπεδο. Άλλο κίνητρο που δεν είναι ανεξάρτητο του πρώτου ήταν όπως το συμβουλευτικό σύστημα αποτελέσει μία αποδοτική βάση για την ανάπτυξη ενός ευφυούς εκπαιδευτικού εργαλείου προς χρήση από σπουδαστές ιατρούς.

Η συμβολή του MYCIN ως ενός από τα πρωταρχικά έμπειρα συστήματα είναι πολυδιάστατη και σε σχέση με αυτό καθ' αυτό το συμβουλευτικό σύστημα, αλλά και σε σχέση με έναν αριθμό δορυφορικών υποσυστημάτων, τα οποία αναπτύχθηκαν για την παροχή επεξηγήσεων, την ημι-αυτοματοποιημένη απόκτηση γνώσης (TEIRESIAS), τη διδασκαλία (GUIDON) και τέλος για την έννοια του συστήματος κέλφους (EMYCIN). Το Σχήμα 8.1 παρουσιάζει το συμβουλευτικό σύστημα σε σχέση με τα συστήματα για την παροχή επεξηγήσεων και την απόκτηση γνώσης.

8.1.1 Συμβουλευτικό σύστημα

Το συμβουλευτικό σύστημα αποτελείται από δύο αλυσιδωτά σκέλη, τη διά-

γνωση και τη σύσταση για θεραπεία. Το σύστημα παραγωγής, για το οποίο έγινε λόγος πιο πάνω, αφορά το διαγνωστικό σκέλος. Αυτό στην ουσία είναι το συμβουλευτικό σύστημα, έτσι στη συνέχεια θα αναφερθούμε μόνο σε αυτό. Το θεραπευτικό σκέλος, παρόλο που αποτελούσε σημαντικό κομμάτι, δεν επιδεικνύει κανένα ενδιαφέρον σε επίπεδο αρχιτεκτονικής έμπειρων συστημάτων, αφού είχε υλοποιηθεί με διαδικασίες σε LISP. Αυτός ο τρόπος υλοποίησης δεν απέδιδε καθόλου διαφάνεια στο εν λόγω μέρος της εμπειρογνωμοσύνης.



Σχήμα 8.1

MYCIN και Βοηθητικά Υποσυστήματα

ΒΑΣΗ ΓΝΩΣΗΣ

Η βάση γνώσης (ή μνήμη παραγωγής, αφού πρόκειται για σύστημα παραγωγής) περιέχει γύρω στους 600 κανόνες, τα προκείμενα και συμπεράσματα των οποίων εκφράζονται με τον απλό τρόπο που περιγράψαμε στο κεφ. 6, δηλαδή στη μορφή αντικείμενο–χαρακτηριστικό–τιμή. Ένας από αυτούς τους κανόνες, σε παρουσίαση ψευδοφυσικής γλώσσας, δίνεται στο Σχήμα 8.2. Το νέο στοιχείο, σε σχέση με τους κανόνες που εξετάσαμε στο κεφ. 6, είναι η αβεβαιότητα (0.7) με την οποία εξάγεται το συμπέρασμα. Τις λεπτομέρειες θα τις συζητήσουμε στη συνέχεια.

Εάν:

1. ο χρωματισμός του **οργανισμού** είναι gram-ros
2. η μορφολογία του **οργανισμού** είναι κοκκοειδής
3. το σχήμα-ανάπτυξης του **οργανισμού** είναι αλυσιδοειδές

Τότε

υπάρχει αρκετή ένδειξη (0.7) ότι η ταυτότητα του **οργανισμού** είναι στρεπτόκοκκος

Σχήμα 8.2

Παράδειγμα Κανόνα
στο MYCIN

Σχολιάστε τα στοιχεία του κανόνα στο Σχήμα 8.2.

Δραστηριότητα 8.1

Στο MYCIN τα αντικείμενα ονομάζονται contexts (συμφραζόμενα). Οι κατηγορίες αντικειμένων είναι λίγες και σχετίζονται ιεραρχικά. Αυτές είναι άνθρωποι, τρέχουσες-καλλιέργειες, παρόντες-οργανισμοί, παλαιότερες-καλλιέργειες, προηγούμενοι-οργανισμοί, κτλ. Στον κανόνα του Σχήματος 8.2 η μεταβλητή «**οργανισμού**» είναι τύπου παρόντες-οργανισμοί. Ο κανόνας αυτός μπορεί να συγκεκριμενοποιηθεί σε σχέση με τον καθένα από τους παρόντες-οργανισμούς. Φυσικά, οι ταυτότητες αυτών των οργανισμών δεν είναι γνωστές, αφού εξάλλου το πρόβλημα είναι η αναγνώρισή τους. Γι' αυτό οι οργανισμοί προσδιορίζονται με τις εικονικές ονομασίες οργανισμός-1, οργανισμός-2, κτλ.

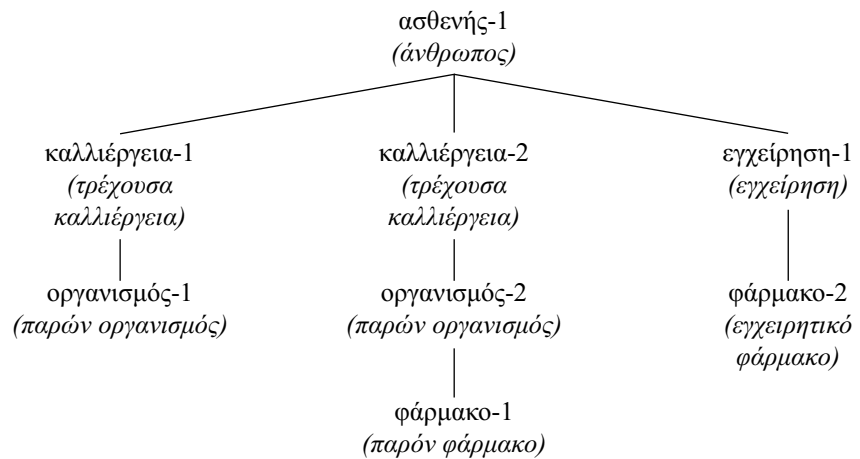
Χρωματισμός, μορφολογία, σχήμα-ανάπτυξης και ταυτότητα ανήκουν στο σύνολο των χαρακτηριστικών, ενώ gram-ros, κοκκοειδής, αλυσιδοειδές και στρεπτόκοκκος ανήκουν στο σύνολο των τιμών. Στη γλώσσα του MYCIN τα χαρακτηριστικά αναφέρονται ως κλινικές παράμετροι. Κάθε αντικείμενο συνδέεται με έναν αριθμό χαρακτηριστικών.

Οι κανόνες διαμερίζονται με βάση τα αντικείμενα που αποτελούν τα συμφραζόμενά τους. Γι' αυτό τα αντικείμενα αναφέρονται ως contexts. Το σύνολο κανόνων για το ίδιο αντικείμενο δεικτοδοτείται στις δύο διαστάσεις, πρόβλεψη και ενημέρωση (βλέπε ενότητα 6.3), με βάση τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου.

ΜΝΗΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η μνήμη εργασίας ή δέντρο αντικειμένων (context tree) είναι ιεραρχική

(βλέπε Σχήμα 8.3). Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν αντικείμενα, όπου η ρίζα αντιπροσωπεύει τον ασθενή. Ο ασθενής συνδέεται με καλλιέργειες, εγχειρήσεις, κτλ., καλλιέργειες συνδέονται με οργανισμούς, οργανισμοί και εγχειρήσεις συνδέονται με φαρμακευτικές ουσίες, κτλ. Πόσοι διαφορετικοί οργανισμοί φαίνεται να υπάρχουν και ποια είναι η πηγή τους (η πηγή της καλλιέργειας) εντοπίζεται εκτός του συστήματος από το χρήστη-ιατρό. Ο συλλογισμός στοχεύει στην εξαγωγή πιθανών τιμών αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των κόμβων του δέντρου, με απώτερο στόχο την εξαγωγή πιθανών τιμών για το χαρακτηριστικό «ταυτότητα» των κόμβων που αντιπροσωπεύουν παρόντες-οργανισμούς. Το δέντρο αντικειμένων δημιουργείται σταδιακά με την εφαρμογή των κανόνων παραγωγής.



Σχήμα 8.3

Ιεραρχική Μνήμη
Εργασίας

Δραστηριότητα 8.1

Φρεσκάρετε ξανά τη μνήμη σας αναφορικά με τον ανάστροφο συλλογισμό και την ανάστροφη αλυσίδωση, κυρίως τους αλγόριθμους για τις διαδικασίες των Ευρέτη και Ανιχνευτή, που εξετάσαμε στο κεφ. 6.

ΣΥΛΛΟΓΙΣΜΟΣ

Το MYCIN εφαρμόζει ανάστροφη συλλογιστική, η οποία υλοποιείται με ανάστροφη αλυσίδωση. Τα συμπεράσματα των κανόνων αντιπροσωπεύουν στόχους και τα προκείμενα προϋποθέσεις αυτών, που στη συνέχεια γίνονται υποστόχοι. Ο συλλογισμός είναι συμπερασματικής μορφής – από πάνω προς τα κάτω. Αρχίζοντας από την υπόθεση ότι ο ασθενής χρειάζεται θεραπεία, ο

απώτερος στόχος είναι να συγκροτηθεί ο κατάλογος των πιθανών θεραπειών, από τις οποίες να επιλεγεί η καλύτερη για τον εν λόγω ασθενή. Αυτός ο στόχος κωδικοποιείται ως το συμπέρασμα του λεγόμενου *κανόνα-στόχου* (goal-rule), ο οποίος τυγχάνει να έχει τον αριθμό 092 (σύμφωνα με τους σχεδιαστές δεν κρύβεται τίποτα πίσω από αυτόν τον αριθμό). Ο κανόνας-στόχου (βλέπε Σχήμα 8.4) ενεργοποιείται αυτόματα στην αρχή της συμβουλευτικής συνδιάλεξης. Το προκείμενο του κανόνα-στόχου διατυπώνει δύο βασικές προϋποθέσεις σε σχέση με τον απώτερο στόχο. Αυτές οι προϋποθέσεις αποτελούν το διαγνωστικό μέρος. Επομένως, ο κανόνας-στόχου συνδέει το διαγνωστικό σκέλος (προκείμενο) με το θεραπευτικό σκέλος (συμπέρασμα).

Εάν:

1. υπάρχει τουλάχιστον ένας οργανισμός που απαιτεί θεραπεία και
2. έχει διερευνηθεί το ενδεχόμενο πιθανής ύπαρξης και άλλων οργανισμών που απαιτούν θεραπεία,

Τότε:

1. συγκρότησε κατάλογο πιθανών θεραπειών,
2. επέλεξε την καλύτερη θεραπεία για τον ασθενή.

Σχήμα 8.4

Κανόνας-Στόχου

Όπως ήδη γνωρίζετε, η ανάστροφη αλυσίδωση οδηγεί στη δημιουργία του δέντρου στόχων. Εκεί καταγράφεται ο συλλογισμός του συστήματος. Μέσα από τη σταδιακή ανίχνευση των κανόνων, η ροή του συλλογισμού του συστήματος διαγράφει τα ακόλουθα τρία στάδια (ως προς το διαγνωστικό σκέλος):

1. Πάρε περισσότερες κλινικές πληροφορίες για τον ασθενή.
2. Βρες ποιοι μικροοργανισμοί, εάν κάποιοι, θα μπορούσαν να είχαν προκαλέσει τη μόλυνση.
3. Κατονόμασε τους πιο πιθανούς μικροοργανισμούς.

Η αναγνώριση των ταυτοτήτων των παρόντων οργανισμών είναι πρόβλημα ταξινόμησης. Το σύνολο των τιμών του χαρακτηριστικού «ταυτότητα» των αντικειμένων «παρών-οργανισμός» είναι προκαθορισμένο. Αυτές είναι οι κατηγορίες, στις οποίες χρειάζεται να καταταγεί ο κάθε παρών οργανισμός. Λόγω της αβεβαιότητας, συνήθως δεν είναι εφικτό να καταταγεί σε μία κατηγορία, αλλά σε περισσότερες κατηγορίες με αντίστοιχους βαθμούς βεβαιότητας.

Η συμβουλευτική συνδιάλεξη οδηγείται από το σύστημα, λόγω του ότι το MYCIN εφαρμόζει ανάστροφη συλλογιστική. Ο χρήστης απλά είναι υποχρεωμένος να απαντά στα ερωτήματα του συστήματος. Ερωτήματα αφορούν τις τιμές χαρακτηριστικών. Τουλάχιστον, ο χρήστης δεν είναι υποχρεωμένος να επιλέξει κατηγορηματικά μία από αυτές τις τιμές για δεδομένο χαρακτηριστικό (μοναδικής-τιμής), αλλά έχει την ευχέρεια να επιλέξει περισσότερες τιμές και να προσδιορίσει τους αντίστοιχους βαθμούς βεβαιότητας. Το γεγονός ότι ο διάλογος οδηγείται εξ ολοκλήρου από το σύστημα θεωρείται ως μία από τις αδυναμίες του συστήματος.

Δραστηριότητα 8.3

Γιατί πιστεύετε θεωρείται αδυναμία το γεγονός ότι η συμβουλευτική συνδιάλεξη οδηγείται από το MYCIN; Θα ήταν εξίσου αδυναμία, εάν ο χρήστης οδηγούσε τη συνδιάλεξη;

Η δομή ελέγχου του MYCIN βασίζεται κυρίως στη χρήση μετα-κανόνων. Η γενική στρατηγική είναι να δίνεται προτίμηση στους κανόνες με τους υψηλότερους συντελεστές βεβαιότητας (βλέπε παρακάτω). Μετα-κανόνες συνδέονται με χαρακτηριστικά αντικειμένων. Ο μετα-κανόνας, που δίνεται στο Σχήμα 8.5, συνδέεται με το χαρακτηριστικό ταυτότητα των οργανισμών. Αυτός ο μετα-κανόνας αποκλείει τη χρήση κάποιων κανόνων, μειώνοντας έτσι το σύνολο ανταγωνισμού. Ένας πολύ πιο γενικός μετα-κανόνας, ο οποίος θα μπορούσε ενδεχομένως να εφαρμοστεί σε σχέση με οποιοδήποτε στόχο και επομένως αποτελεί μία γενική στρατηγική ελέγχου σε ανάστροφη αλυσίδωση, δίνεται στο Σχήμα 8.6. Αυτός ο μετα-κανόνας προσδιορίζει κάποια προτεραιότητα στη σειρά ανίχνευσης.

Σχήμα 8.5

Μετα-κανόνας για την Ταυτότητα Οργανισμών

Εάν:

1. η πηγή της καλλιέργειας δεν είναι αποστειρωμένη και
2. υπάρχουν κανόνες οι οποίοι αναφέρουν στο προκείμενό τους κάποιο παλαιότερο οργανισμό που μπορεί να είναι ο ίδιος με τον παρόντα οργανισμό,

Τότε

είναι σίγουρο (1.0) ότι ο καθένας από αυτούς δεν θα είναι χρήσιμος.

Εάν:

1. υπάρχουν κανόνες που δεν αναφέρουν τον τρέχοντα στόχο στο προκείμενό τους και
2. υπάρχουν κανόνες που αναφέρουν τον τρέχοντα στόχο στο προκείμενό τους,

Τότε

είναι σίγουρο (1.0) ότι οι πρώτοι πρέπει να δοκιμασθούν πριν τους τελευταίους.

Σχήμα 8.6

Γενικός Μετα-Κανόνας

Τι εννοεί ακριβώς ο γενικός μετα-κανόνας του Σχήματος 8.6;

Δραστηριότητα 8.4

ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Γενικά, η αβεβαιότητα εμφανίζεται σε δύο επίπεδα, σε σχέση με τη γνώση του συστήματος και σε σχέση με τα δεδομένα του υπό επίλυση προβλήματος. Επομένως, αναφορικά με το MYCIN μιλούμε για αβεβαιότητα κανόνων και αβεβαιότητα στις τιμές χαρακτηριστικών των εμπλεκόμενων αντικειμένων. Οι αβεβαιότητες κανόνων προσδιορίζονται εκ των προτέρων από τους εμπειρους ως αναπόσπαστο στοιχείο των κανόνων, ενώ οι αβεβαιότητες δεδομένων/συμπερασμάτων προκύπτουν δυναμικά κατά τη διεξαγωγή της συμβουλευτικής διεργασίας, είτε από το χρήστη (σε σχέση με ερωτήσιμα χαρακτηριστικά) είτε από την εφαρμογή κανόνων.

Παράδειγμα 8.1

Έστω ο κανόνας του Σχήματος 8.2. Ας υποθέσουμε ότι και οι τρεις συνθήκες στο προκείμενό του ευσταθούν κατηγορηματικά σε σχέση με τον παρόντα οργανισμό-1. Το συμπέρασμα, ότι δηλαδή η ταυτότητα του οργανισμού-1 είναι στρεπτόκοκκος, μπορεί να εξαχθεί σε βαθμό βεβαιότητας 0.7. Στη μνήμη εργασίας, στον κόμβο που αντιπροσωπεύει τον οργανισμό-1 θα προστεθεί η πρόταση (ταυτότητα στρεπτόκοκκος 0.7). Στη συνέχεια, ας υποθέσουμε ότι ανιχνεύεται ο κανόνας που δίνεται στο Σχήμα 8.7, πάλι σε σχέση με τον οργανισμό-1 και την καλλιέργεια με την οποία συνδέεται. Έστω ότι ο χρήστης απαντά κατηγορηματικά ως προς την πρώτη συνθήκη του κανόνα (η τοποθεσία της καλλιέργειας είναι ερωτήσιμο χαρακτηριστικό). Η δεύτερη συνθήκη όμως έχει βεβαιότητα 0.7. Έτσι, η βεβαιότητα του προκειμένου είναι 0.7.

Όπως σε μία αλυσίδα, η ολική δύναμη δεν μπορεί να υπερβαίνει τη δύναμη του πιο αδύνατου κρίκου. Το συμπέρασμα, ότι δηλαδή ο υποτύπος του οργανισμού-1 δεν είναι ομάδα-Δ, μπορεί επομένως να εξαχθεί σε βαθμό βεβαιότητας ίσο με 0.56 (0.7×0.8). Αυτό το συμπέρασμα επίσης καταγράφεται στη μνήμη εργασίας, κάτω από τον κόμβο που αντιπροσωπεύει τον οργανισμό-1. Το παράδειγμα μας έχει δείξει πώς συνδυάζεται η αβεβαιότητα κανόνων με την αβεβαιότητα δεδομένων (μαρτυριών). Στη συνέχεια θα εξετάσουμε το μοντέλο αβεβαιότητας του MYCIN στην ολότητά του.

Σχήμα 8.7
Παράδειγμα Κανόνα

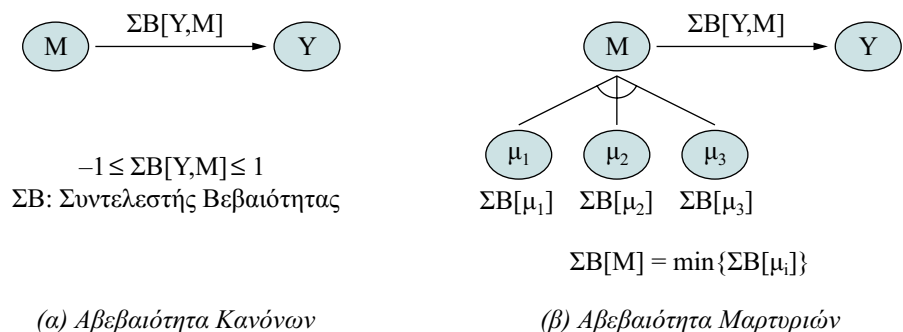
Εάν:

1. η τοποθεσία της καλλιέργειας είναι ο λαιμός και
2. η ταυτότητα του οργανισμού είναι στρεπτόκοκκος,

Τότε

υπάρχει αρκετή ένδειξη (0.8) ότι ο υποτύπος του οργανισμού δεν είναι ομάδα-Δ.

Ο κάθε κανόνας συνδέεται με ένα *Συντελεστή Βεβαιότητας* (ΣΒ) (Certainty Factor) από το πεδίο τιμών $[-1, 1]$ (βλέπε Σχήμα 8.8(α)). Εάν $\text{ΣΒ}[Y, M] > 0$, η επαλήθευση της υπόθεσης Y υποστηρίζεται σε βαθμό $\text{ΣΒ}[Y, M]$ από την κατηγορηματική επαλήθευση του προκειμένου M , σε δεδομένη περίπτωση. Το προκειμένο M αντιπροσωπεύει μαρτυρία υπέρ της Y . Εάν όμως $\text{ΣΒ}[Y, M] < 0$, τότε η άρνηση της υπόθεσης Y υποστηρίζεται σε βαθμό $|\text{ΣΒ}[Y, M]|$, δηλαδή την απόλυτη τιμή του $\text{ΣΒ}[Y, M]$, από την κατηγορηματική επαλήθευση του προκειμένου M , σε δεδομένη περίπτωση. Το προκειμένο M αντιπροσωπεύει μαρτυρία ενάντια της Y . Δεν υπάρχουν κανόνες όπου $\text{ΣΒ}[Y, M] = 0$, αφού αυτό θα σήμαινε ότι η μαρτυρία M είναι ανεξάρτητη της υπόθεσης Y .



Σχήμα 8.8
Αβεβαιότητα Κανόνων και
Μαρτυριών

(α) Αβεβαιότητα Κανόνων

(β) Αβεβαιότητα Μαρτυριών

Οι αβεβαιότητες κανόνων ικανοποιούν τη σχέση,

$$\Sigma B[Y,M] + \Sigma B[\sim Y,M] = 0$$

δηλαδή η ίδια μαρτυρία M δεν μπορεί να είναι ταυτόχρονα και υπέρ και ενάντια της ίδιας υπόθεσης Y . Επομένως, οι συντελεστές βεβαιότητας δεν είναι πιθανότητες υπό συνθήκη, όπου $P(Y/M) + P(\sim Y/M) = 1$. Οι συντελεστές βεβαιότητας αντιπροσωπεύουν την κρίση εμπείρων και βασίζονται μόνο πάνω στις πληροφορίες που περιέχονται στους κανόνες. Το γεγονός ότι ο ΣB κάποιου κανόνα δεν επηρεάζεται από άλλες προτάσεις θεωρείται ένα από τα πλεονεκτήματα του μοντέλου.

Ο (δυναμικός) ΣB κάποιου προκειμένου υπολογίζεται ως ο μικρότερος ΣB ανάμεσα στις συνθήκες που αποτελούν το προκείμενο (βλέπε Σχήμα 8.8(β)). Ο ΣB συνθήκης που αποτελεί απευθείας μαρτυρία (ερωτήσιμο χαρακτηριστικό) δίνεται από το χρήστη. Οι ΣB προκειμένων επίσης κυμαίνονται στο διάστημα $[-1,1]$. Κανόνας μπορεί να εφαρμοστεί μόνο εάν ο ΣB του προκειμένου του, στη δεδομένη περίπτωση, είναι τουλάχιστο 0.2, δηλαδή $\Sigma B[M'] \geq 0.2$, όπου M' οι παρατηρήσεις σε σχέση με το προκείμενο (μαρτυρία) M . Το όριο 0.2 μπορεί να φαίνεται χαμηλό, αλλά αυτό δικαιολογείται από τη φύση του πεδίου εφαρμογής του MYCIN. Λόγω της σοβαρότητας των εν λόγω μικροβιολογικών οργανισμών, είναι καλύτερα να μην παραγνωρίζονται ενδεχόμενα, ακόμα και υψηλής αβεβαιότητας.

Τέλος ας δούμε πώς συνδυάζονται οι διάφορες μαρτυρίες υπέρ και κατά της ίδιας υπόθεσης Y , για να υπολογιστεί ο ολικός ΣB της υπόθεσης. Καταρχάς, να σημειώσουμε ότι αυτό το στοιχείο του μοντέλου αβεβαιότητας έχει περάσει από διάφορες τροποποιήσεις. Το τι παρουσιάζεται παρακάτω είναι η πιο πρόσφατη εκδοχή. Η σειρά επεξεργασίας των μαρτυριών δεν έχει σημασία. Αφού υπολογιστεί ο ολικός ΣB της υπόθεσης Y , η υπόθεση Y μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μαρτυρία για κάποια άλλη, υψηλότερου επιπέδου υπόθεση. Με άλλα λόγια, οι αβεβαιότητες σταδιακά διαδίδονται στις εμπλεκόμενες αλυσίδες συλλογισμού.

Συνδυασμός Μαρτυριών για την Ίδια Υπόθεση, Y

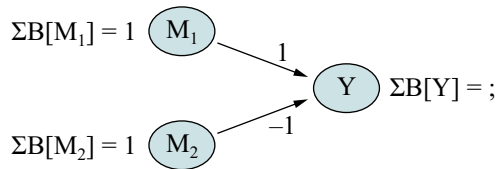
Αρχικά $\Sigma B[Y]=0$. Οι σχετικές μαρτυρίες υφίστανται διαδοχική επεξεργασία. Η επεξεργασία τερματίζεται μόλις $\Sigma B[Y]$ ισούται με 1 ή -1. Η μαρτυρία M συμβάλει στην ενημέρωση του $\Sigma B[Y]$, μόνο εάν $\Sigma B[M'] \geq 0.2$, όπου M' οι παρατηρήσεις αναφορικά με τη M, ως ακολούθως:

$$\Sigma B[Y] := \begin{cases} \Sigma B[Y] + \Sigma B[Y, M'] - \Sigma B[Y] \times \Sigma B[Y, M'], & \text{εάν } \Sigma B[Y] > 0 \text{ και } \Sigma B[Y, M] > 0 \\ \Sigma B[Y] + \Sigma B[Y, M'] + \Sigma B[Y] \times \Sigma B[Y, M'], & \text{εάν } \Sigma B[Y] < 0 \text{ και } \Sigma B[Y, M] < 0 \\ (\Sigma B[Y] + \Sigma B[Y, M']) / (1 - \min(|\Sigma B[Y]|, |\Sigma B[Y, M']|)), & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

όπου $\Sigma B[Y, M'] = \Sigma B[M'] \times \Sigma B[Y, M]$

Δραστηριότητα 8.5

Έστω η κατάσταση του Σχήματος 8.9 σε σχέση με την υπόθεση Y. Εάν τύχει επεξεργασίας πρώτα η μαρτυρία M₁, η Y επαληθεύεται κατηγορηματικά ($\Sigma B[Y] = 1$), ενώ εάν πρώτα τύχει επεξεργασίας η M₂ η άρνηση της Y επαληθεύεται κατηγορηματικά ($\Sigma B[Y] = -1$). Είναι αυτό αδυναμία της συνάρτησης ενημέρωσης των ΣB ;

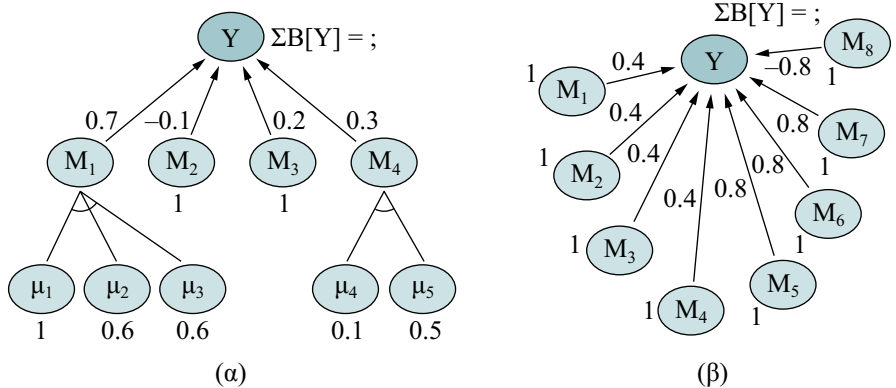


Σχήμα 8.9

Αντιφατικά Συμπεράσματα

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 8.1

Υπολογίστε τους ΣB των υποθέσεων στα δίκτυα συλλογισμού, που δίνονται στο Σχήμα 8.10. Οι αριθμοί δίνουν τους ΣB των μαρτυριών και κανόνων.



Σχήμα 8.10

Πολλαπλές Μαρτυρίες

8.1.2 Σύστημα επεξηγήσεων

Οι επεξηγήσεις «Γιατί;» και «Πώς;» που περιγράψαμε στο κεφ. 6 επινοήθηκαν στα πλαίσια του συστήματος MYCIN. Επιπρόσθετα, το σύστημα μπορούσε να ενημερώνει το χρήστη αναφορικά με τις τιμές των ΣΒ των διαφόρων υποθέσεων (π.χ. σε τι βαθμό βεβαιότητας πιστεύεται ότι η ταυτότητα του οργανισμού-1 είναι στρεπτόκοκκος;), καθώς επίσης να «τεκμηριώνει» τους κανόνες του. Οι τεκμηριώσεις δεν ήταν τίποτα άλλο από «κονσερβοποιημένο» κείμενο (canned text).

Στα πλαίσια μεταγενέστερης έρευνας έγινε προσπάθεια ούτως ώστε οι επεξηγήσεις να είναι κατά κάποιο τρόπο προσαρμοσμένες στις ανάγκες του χρήστη. Το μοντέλο του χρήστη (user model) που χρησιμοποιήθηκε ήταν πολύ απλό. Αποτελείτο από δύο φυσικούς αριθμούς από το πεδίο $\{1, 2, \dots, 10\}$, οι οποίοι αντιπροσώπευαν το επίπεδο εμπειρογνωμοσύνης (E) του χρήστη και το βαθμό λεπτομέρειας (A), που ο χρήστης επιθυμούσε σε σχέση με επεξηγήσεις. Μόνο το E χρειαζόταν να προσδιορισθεί, αφού ο A μπορούσε να υπολογιστεί σε κάποια επίπεδα πάνω από το E .

Οι κανόνες και οι έννοιες που εμπλέκονταν σε αυτούς (τιμές χαρακτηριστικών αντικειμένων) συνδέονταν με επίπεδο πολυπλοκότητας ($Π$) και επίπεδο σημασίας (Σ) επίσης από το πεδίο $\{1, 2, \dots, 10\}$ με τις ακόλουθες ερμηνείες. Η $Π$ μίας έννοιας υποδηλώνει το επίπεδο γνώσης που χρειάζεται για να είναι η έννοια κατανοητή, ενώ η Σ υποδηλώνει τη σημασία της έννοιας σε οποιαδήποτε συμφραζόμενα τυχόν χρησιμοποιηθεί. Παρομοίως, η $Π$ ενός κανόνα υποδηλώνει το επίπεδο γνώσης, που απαιτείται για να είναι αντιληπτή η τεκμηρίωση της συνεπαγωγής που εκφράζει ο κανόνας, και η Σ υποδηλώνει την εν γένει σημασία του κανόνα σε οποιαδήποτε αλυσίδα συλλογισμού τυχόν εμπλέκεται.

Παράδειγμα 8.2

Στο Σχήμα 8.11(α) δίνεται μία αλυσίδα κανόνων (σύνολο επτά κανόνες, έστω κ_1 – κ_7). Οι κανόνες κ_1 – κ_6 αντιπροσωπεύουν αιτιολογικές σχέσεις, ενώ ο κανόνας κ_7 ορίζει την έννοια «Renal stones» (πέτρα στα νεφρά). Οι βαθμοί $Π$ και Σ για την κάθε έννοια δίνονται σε παρένθεση στα δεξιά της. Όπως βλέπετε, περίπλοκες έννοιες, π.χ. «Elevated cyclic-AMP», δεν είναι κατ' ανάγκη υψηλής σημασίας και αντιστρόφως, π.χ. «Hypercalcemia». Έστω ότι κάποιος χρήστης με επίπεδο εμπειρογνωμοσύνης $E = 3$, επομένως αρκετά μη έμπειρος, ενδιαφέρεται να δει πώς «πέτρα στα νεφρά» μπορεί να προκληθεί από

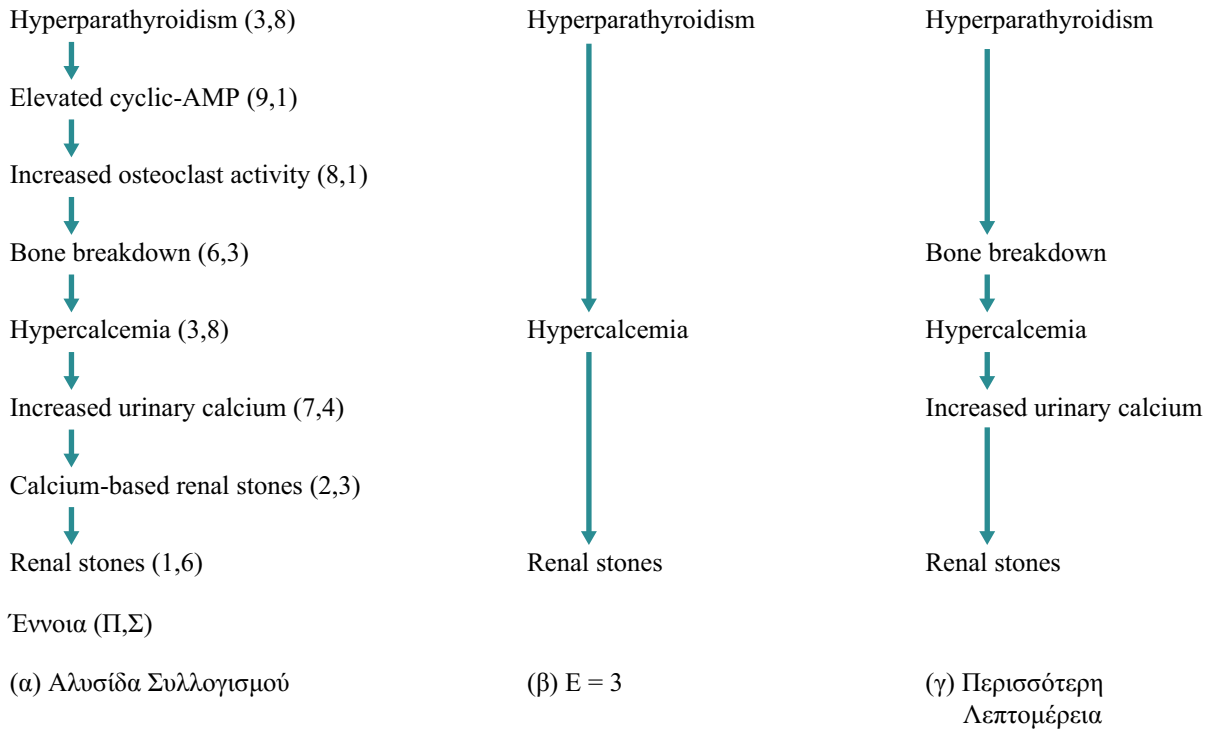
«hyperparathyroidism». Οι ενδιάμεσες έννοιες της εν λόγω αλυσίδας, των οποίων η πολυπλοκότητα είναι εκτός του πεδίου $\{E, \dots, A\}$ δεν περιλαμβάνονται στην εξήγηση, επειδή είναι είτε υπερβολικά απλές ($P < E$) ή υπερβολικά δύσκολες ($P > A$) για τον εν λόγω χρήστη, εκτός και εάν η σημασία τους είναι τέτοια που υπερνικά την πολυπλοκότητά τους. Με βάση αυτό τον αλγόριθμο, αυτή η αλυσίδα θα παρουσιαστεί στον εν λόγω χρήστη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.11(β). Μόνο μία από τις ενδιάμεσες έννοιες έχει περιληφθεί, η οποία θα πρέπει να είναι πλήρως κατανοητή στο χρήστη και επιπλέον τυγχάνει να είναι μεγάλης σημασίας. Έστω ότι ο χρήστης δηλώνει ότι θα επιθυμούσε περισσότερη λεπτομέρεια. Αυτό οδηγεί στη συμπερίληψη ακόμη δύο ενδιάμεσων εννοιών (βλέπε Σχήμα 8.11(γ)) με βάση το βαθμό σημασίας τους. Εάν η συμπερίληψη περίπλοκων προς το χρήστη εννοιών, και κατά συνέπεια κανόνων, κρίνεται αναγκαία λόγω της σημασίας τους, τότε οι σχετικοί περίπλοκοι κανόνες συνοδεύονται από το «κονσερβοποιημένο» κείμενο που αποτελεί τις τεκμηριώσεις τους.

Ένα τέτοιο απλό μοντέλο για την προσαρμογή των επεξηγήσεων προς τις ανάγκες του χρήστη μπορεί κάλλιστα να είναι αρκετά αποδοτικό.

8.1.3 Σύστημα απόκτησης γνώσης

Η έννοια του *συστήματος απόκτησης γνώσης* (knowledge acquisition system) είναι σημαντική για το αναπτυξιακό στοιχείο ενός έμπειρου συστήματος, αφού ο ρόλος αυτού του συστήματος είναι η αποσφαλμάτωση και επέκταση της γνώσης του έμπειρου συστήματος. Το πιο διάσημο πρωταρχικό σύστημα απόκτησης γνώσης, ο TEIRESIAS, το οποίο λαμβάνει την ονομασία του από τον τυφλό μάντη Τειρεσία, αναπτύχθηκε σε σχέση με το MYCIN.

Ο TEIRESIAS είναι επίσης ένα σύστημα βάσης γνώσης. Η γνώση του όμως είναι εξ' ολοκλήρου μετα-γνώση αφού είναι γνώση πάνω στη γνώση του MYCIN. Συγκεκριμένα αποτελείται από γνώση αναφορικά με τη σύνταξη και γενικά την οργάνωση των κανόνων του MYCIN (συντακτική γνώση), καθώς επίσης γνώση για αυτούς τους κανόνες που σχετίζεται με το πεδίο των μικροβιολογικών μολύνσεων (σημασιολογική γνώση).

**Σχήμα 8.11**

Επεξηγήσεις Προσαρμοσμένες προς το Χρήστη

Ο ρόλος του TEIRESIAS είναι να υποβοηθά στη βελτίωση της βάσης γνώσης του MYCIN. Στην προκειμένη περίπτωση σφάλματα στη γνώση (knowledge bugs) σημαίνουν ελλείψεις ή εσφαλμένους κανόνες, οι οποίοι εξωτερικεύονται ως άσχετες ή λανθασμένες ερωτήσεις, ή εσφαλμένα συμπεράσματα εκ μέρους του MYCIN. Επομένως, η βελτίωση της βάσης γνώσης γίνεται συνήθως στα πλαίσια διεξαγωγής συμβουλευτικών συνδιαλέξεων για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων (knowledge acquisition in situ). Το σύστημα επεξηγήσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φανερώσει την αλυσίδα κανόνων που οδήγησε στην άσχετη ερώτηση ή τους κανόνες που οδήγησαν στο εσφαλμένο συμπέρασμα. Όμως, το σύστημα επεξηγήσεων δεν είναι σε θέση να καθοδηγήσει το χρήστη ως προς την εντόπιση της αιτίας του σφάλματος και στη συνέχεια να διεξάγει τις σχετικές τροποποιήσεις στη βάση γνώσης. Αυτός είναι ο ρόλος του συστήματος απόκτησης γνώσης, το οποίο συνδιαλέγεται με έμπειρους. Η βασική υπόθεση που υπογραμμίζει τη λειτουργία αυτών των συστημάτων δίνεται στο πλαίσιο που ακολουθεί.

Βασική υπόθεση: Ένα σύστημα απόκτησης γνώσης λειτουργεί υπό την υπόθεση ότι μόνο το περιεχόμενο της βάσης γνώσης χρειάζεται να τροποποιηθεί για να βελτιωθεί η απόδοση του (συμβουλευτικού) συστήματος, όχι ο τρόπος με τον οποίο αυτή η βάση έχει οργανωθεί και κατά συνέπεια όχι ο τρόπος εφαρμογής της εν λόγω γνώσης. Με άλλα λόγια η εν γένει δομή της βάσης γνώσης και ο μηχανισμός συλλογισμού, ο οποίος βασίζεται σε αυτή τη δομή, δε χρειάζεται να τροποποιηθούν.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε ότι πολλές φορές ουσιαστική βελτίωση στην απόδοση του συμβουλευτικού συστήματος μπορεί να επέλθει μόνο μετά από ριζική αναδιοργάνωση της βάσης γνώσης και του αντίστοιχου μηχανισμού συλλογισμού. Η αυτοματοποίηση μίας τέτοιας διεργασίας αναδιοργάνωσης επί του παρόντος δεν είναι εφικτή.

Μετά από κάθε τροποποίηση στη βάση γνώσης είναι σημαντικό να επιβεβαιωθεί ότι όντως έχει επέλθει βελτίωση. Όλοι γνωρίζουμε ότι κάθε φορά που διορθώνουμε ένα σφάλμα σε κάποιο πρόγραμμά μας, πολύ πιθανώς να έχουμε δημιουργήσει κάποιο άλλο σφάλμα. Το ίδιο και σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό μπορεί να συμβεί σε σχέση με μία σύνθετη οντότητα, όπως μία πραγματική βάση γνώσης, όπου μία τροποποίηση μπορεί να έχει απρόβλεπτες, αρνητικές συνέπειες για κάποιο σημείο της βάσης που εκ των έξωθεν δεν φαίνεται να έχει καμία σχέση με το σημείο τροποποίησης. Σημαντικό μέρος της «ευφυΐας» ενός συστήματος απόκτησης γνώσης εξαρτάται από την ικανότητά του να εντοπίζει και να αποτρέπει τέτοιες καταστάσεις, με άλλα λόγια να διαδίδει τις συνέπειες μίας τροποποίησης σε όλα τα εμπλεκόμενα σημεία της βάσης, ούτως ώστε η βάση να παραμένει σε μία συνεπή κατάσταση. Για αυτό ένα σύστημα απόκτησης γνώσης χρειάζεται να γνωρίζει τα δομικά στοιχεία της βάσης και τις αλληλοεξαρτήσεις τους, να είναι δηλαδή ένας ευφυής συντάκτης δομών (intelligent structured editor).

Μετά από κάποια τροποποίηση στη βάση γνώσης ο TEIRESIAS μπορεί να διεξάγει, για το δεδομένο πρόβλημα ή προβλήματα, μία λεπτομερή σύγκριση του νέου αποτελέσματος και της παραγωγής αυτού, με το παλαιότερο αποτέλεσμα, αρχίζοντας έτσι μία συζήτηση με τον έμπειρο πάνω στις διαφορές τους. Επίσης, ο TEIRESIAS είναι σε θέση να εντοπίσει αντιφάσεις σε επίπεδο ατομικών κανόνων, π.χ. κανόνων που έχουν το ίδιο προκείμενο και αντίθετα συμπεράσματα. Όμως, λόγω της συνδυαστικής έκρηξης της σχετικής επεξερ-

γασίας, το σύστημα δεν είναι σε θέση να εντοπίσει αντιφάσεις οι οποίες εμπλέκουν πολλαπλούς κανόνες, π.χ. η αλυσίδα κανόνων $A \rightarrow B$, $B \rightarrow \Gamma$ και $\Gamma \rightarrow \Delta$, είναι σε αντίφαση με τον κανόνα $A \rightarrow \sim \Delta$. Τέλος, είναι σε θέση να εντοπίσει, εάν κάποιος κανόνας καλύπτεται από κάποιο άλλο κανόνα, π.χ. ο κανόνας $A \& B \rightarrow \Delta$ καλύπτεται από τον κανόνα $A \& B \& \Gamma \rightarrow \Delta$. Σε κάθε περίπτωση που εφαρμόζεται ο δεύτερος κανόνας, εφαρμόζεται και ο πρώτος οδηγώντας σε λανθασμένη ενημέρωση του ΣΒ της υπόθεσης Δ , αφού στην ουσία τα προκείμενα των δύο κανόνων δεν αποτελούν ανεξάρτητες μαρτυρίες. Η λύση είναι να καταστούν οι δύο κανόνες αμοιβαία αποκλειόμενοι με την τροποποίηση του πρώτου σε $A \& B \& \sim \Gamma \rightarrow \Delta$. Νοείται ότι οι αρχικοί κανόνες έχουν διαφορετικούς ΣΒ, διαφορετικά η συνθήκη Γ είναι ανεξάρτητη της υπόθεσης Δ , οπότε η λύση είναι να διαγραφεί ο δεύτερος από τους αρχικούς κανόνες.

Ας ολοκληρώσουμε την υποενοότητα εξετάζοντας τα είδη της μετα-γνώσης του TEIRESIAS. Η συντακτική γνώση αφορά την οργάνωση της γνώσης του MYCIN και εκφράζεται μέσω μίας υψηλού επιπέδου περιγραφικής γλώσσας. Η συντακτική γνώση είναι ανεξάρτητη του γνωστικού πεδίου του MYCIN και επομένως μπορεί να εφαρμοστεί για οποιαδήποτε βάση γνώσης, η οποία έχει την ίδια σύνταξη (αναπαράσταση) με τη βάση γνώσης του MYCIN. Η συντακτική γνώση αποτελείται από μία ιεραρχία σχημάτων όπου κάθε σχήμα περιγράφει μία κατηγορία της αναπαράστασης, π.χ. κανόνας, context, κλινική παράμετρος, κτλ. Είναι ένα πλαίσιο με τις σχετικές σχισμές οι οποίες περιγράφουν την υλοποίηση των περιπτώσεων της κατηγορίας, τις συσχετίσεις της κατηγορίας με άλλες κατηγορίες, κτλ.

Η σημασιολογική γνώση αφορά το συγκεκριμένο γνωστικό πεδίο και εκφράζεται μέσω μοντέλων κανόνων (βλέπε Σχήμα 8.12). Με βάση αυτά τα μοντέλα ο TEIRESIAS μπορεί να εντοπίσει ελλείψεις ή αντιφάσεις στη διατύπωση/τροποποίηση κανόνων από τον έμπειρο και να προβεί στις κατάλληλες συστάσεις. Μάλιστα μπορεί από μόνος του να τροποποιήσει καταλλήλως τους σχετικούς κανόνες και απλά να τους παρουσιάσει στον έμπειρο προς επιβεβαίωση της εγκυρότητάς τους. Π.χ. θα μπορούσε να συμπεράνει τη θύρα εισόδου από την πηγή της καλλιέργειας και το είδος της μόλυνσης. Για να χρησιμοποιηθεί ο TEIRESIAS σε σχέση με κάποια άλλη βάση γνώσης, θεωρητικά το μόνο που χρειάζεται είναι η αντικατάσταση των μοντέλων κανόνων με τα αντίστοιχα μοντέλα για τη νέα βάση. Η χρήση σημασιολογικής γνώσης δεν είναι αναγκαία, παρόλο που παρέχει μία επιπλέον διάσταση ευφυΐας εκ μέρους του συστήματος. Με άλλα λόγια η καθοδήγηση μπορεί να είναι καθαρά συντακτική.

Σχήμα 8.12
Παραδείγματα Μοντέλων
Κανόνων

Εάν ο τύπος του κανόνα είναι *orgrule*,

Τότε

1. το προκείμενο του κανόνα πρέπει να αναφέρει καλλιέργεια,
2. το προκείμενο του κανόνα πρέπει να αναφέρει το είδος της μόλυνσης,
3. το συμπέρασμα του κανόνα πρέπει να αναφέρει ταυτότητα.

Εάν το προκείμενο του κανόνα αναφέρει πηγή της καλλιέργειας και το προκείμενο του κανόνα αναφέρει είδος μόλυνσης,

Τότε το προκείμενο του κανόνα πρέπει να αναφέρει τη θύρα εισόδου του οργανισμού.

Άσκηση
Αυτοαξιολόγησης
8.2

Πώς διαφέρει η μετα-γνώση του MYCIN από τη μετα-γνώση του TEIRESIAS;

8.1.4 Σύστημα κέλυφους

Η έννοια του συστήματος απόκτησης γνώσης οδήγησε στην έννοια του *συστήματος κέλυφους* ή *σκελετικού συστήματος* (*shell or skeletal system*), η οποία κυριάρχησε την αρχική προσέγγιση ως προς τη δημιουργία έμπειρων συστημάτων. Και εδώ καθοριστική ήταν η επίδραση του MYCIN μέσω του συστήματος κέλυφους EMYCIN (*Empty or Essential MYCIN*).

Σκελετικά συστήματα στοχεύουν στην ημι-αυτοματοποίηση της δημιουργίας νέων έμπειρων συστημάτων. Το σκελετικό σύστημα, μέσω του ενσωματωμένου υποσυστήματός του για απόκτηση γνώσης, καθοδηγεί την εκ του μηδενός δημιουργία μίας νέας βάσης γνώσης για κάποιο νέο γνωστικό πεδίο. Με άλλα λόγια γίνεται κάποιου είδους «κλωνοποίηση» ενός έμπειρου συστήματος, κάθε φορά όμως με διαφορετική, ως προς το περιεχόμενο αλλά όχι δομή, βάση γνώσης και τον ίδιο, ενσωματωμένο, μηχανισμό συλλογισμού. Εφόσον γίνεται χρήση σημασιολογικής γνώσης εκ μέρους του ενσωματωμένου συστήματος απόκτησης γνώσης, κάθε νέα εφαρμογή του συστήματος κέλυφους συνεπάγεται την προσαρμογή του στο νέο πεδίο με την προσθήκη της σχετικής σημασιολογικής γνώσης.

Ένα σύστημα κέλυφους παρέχει λειτουργίες πέραν αυτών ενός συστήματος απόκτησης γνώσης. Για παράδειγμα, το EMYCIN ήταν σε θέση να παρουν-

σιάσει ολόκληρο το δέντρο συλλογισμού, που οδήγησε σε δεδομένο συμπέρασμα, να συσχετίσει αυτό το αποτέλεσμα με το αποθηκευμένο ορθό αποτέλεσμα του εν λόγω προβλήματος και να αναθεωρήσει τα πορίσματα του (υπό δημιουργία) συμβουλευτικού συστήματος σε σχέση με μία βιβλιοθήκη περιστατικών (π.χ. ποσοστό επιτυχίας), παρακολουθώντας έτσι τις συνέπειες των τροποποιήσεων της βάσης κανόνων.

Γνωρίζοντας τη μεγάλη προσπάθεια και κόστος που συνεπάγεται η «επί μέτρω» δημιουργία ενός έμπειρου συστήματος, δεν είναι δύσκολο να δει κανείς τους λόγους για τους οποίους η έννοια του συστήματος κέλφους έτυχε τέτοιας ευρείας αποδοχής, για τουλάχιστο μία δεκαετία, όχι μόνο από την επιστημονική κοινότητα, αλλά και από τη βιομηχανία, η οποία προσβλέποντας σε σημαντικά κέρδη, έσπευσε να κατακλύσει την αγορά με πληθώρα συστημάτων κέλφους (CRYSTAL, LEONARDO, κτλ.), σε κάθε περίπτωση προβάλλοντας τον ισχυρισμό της γενικής εφαρμογής. Τα περισσότερα από αυτά βασίζονταν στο EMYCIN, το οποίο όντως απέδειξε ότι η εμβέλεια εφαρμογής του επεκτεινόταν πέραν των ιατρικών πεδίων. Συστήματα που έχουν δημιουργηθεί μέσω του EMYCIN περιλαμβάνουν τα ακόλουθα, εκ των οποίων το σύστημα PUFF ήταν ένα από τα πρώτα έμπειρα συστήματα που ανερίχθηκε από το ερευνητικό εργαστήριο σε κανονική χρήση (το MYCIN παρ' όλη τη μεγάλη του επίδραση, δεν έτυχε αυτής της ανέλιξης):

HEADMED	κλινική ψυχοφαρμακολογία
PUFF	ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος
SACON	μηχανική
ONCOCIN	καρκίνος
CLOT	ασθένειες του αίματος
DART	δίκτυα υπολογιστών

Η «μεθοδολογία» του συστήματος κέλφους αποτελούσε μία χαμηλού επιπέδου, ή επιπέδου αναπαράστασης, ερμηνεία της έννοιας της επαναχρησιμοποίησης. Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία χρειαζόταν να επιλεγεί το «κατάλληλο» σύστημα κέλφους πριν καλά καλά κατανοηθεί η εν λόγω εμπειρογνωμοσύνη. Φυσικά, όλοι οι κατασκευαστές ισχυρίζονταν ότι τα συστήματα κέλφους τους ήταν γενικής εφαρμογής. Με την παραδοχή ότι το κόστος αγοράς του συστήματος κέλφους δεν ήταν υψηλό, και στην πραγματικότητα αρκετά από αυτά διατείθονταν δωρεάν, δεν ήταν τόσο σοβαρό

εάν στο τέλος αποδεικνυόταν ότι η επιλογή του εν λόγω κέλφους δεν ήταν η ορθή. Τελικά διαφάνηκε ότι η χρήση συστημάτων κέλφους αποτελούσε έναν τρόπο κατανόησης της εμπειρογνωμοσύνης, διότι όντως οδηγούσε στη γρήγορη κατασκευή ενός πρωτοτύπου του έμπειρου συστήματος (rapid prototyping), το οποίο μπορούσε μεν να ήταν μία πολύ απόμακρη και ανακριβής προσέγγιση του επιδιωκόμενου τελικού συστήματος, αλλά μέσω της δοκιμής του οι έμπειροι διευκολύνονταν ως προς το να εξωτερικεύσουν την εμπειρογνωμοσύνη τους απλά με την άσκηση κριτικής αναφορικά με την απόδοση του πρωτοτύπου. Είναι γεγονός ότι οι έμπειροι ανυπομονούν να δουν εν λειτουργία την αυτοματοποιημένη εμπειρογνωμοσύνη τους, έστω και σε πολύ πρωταρχική μορφή. Επομένως, αρκετά θετικά στοιχεία προέκυψαν από την εφαρμογή της αρχικής προσέγγισης ως προς τη δημιουργία νέων έμπειρων συστημάτων, η οποία ξεκάθαρα επικεντρωνόταν στο επίπεδο αναπαράστασης.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 8.3

Αντιστοιχίστε τα στοιχεία της πρώτης στήλης με στοιχεία της δεύτερης στήλης:

- | | |
|----------------------------|--|
| • Συμβουλευτικό Σύστημα | • Χρησιμοποιείται από έμπειρο. |
| • Σύστημα Επεξηγήσεων | • Χρησιμοποιείται από έμπειρους και μη-έμπειρους. |
| • Σύστημα Απόκτησης Γνώσης | • Επιλύει προβλήματα. |
| • Σύστημα Κέλφους | • Παρουσιάζει τη γνώση που ενεπλάκει στα πλαίσια επίλυσης δεδομένου προβλήματος. |
| | • Μπορεί να προσαρμοσθεί σύμφωνα με τη γνώση και ανάγκες του χρήστη. |
| | • Συμβάλλει στη βελτίωση μίας βάσης γνώσης. |
| | • Ημι-αυτοματοποιεί την κατασκευή νέων έμπειρων συστημάτων. |
| | • Ενσωματώνει σύστημα απόκτησης γνώσης και μηχανισμό συλλογισμού. |
| | • Κάνει χρήση μετα-γνώσης. |

8.1.5 Μεταγλωτισμένη γνώση

Ολοκληρώνουμε την ενότητα για το σύστημα MYCIN εξετάζοντας την ερμηνεία που αποδόθηκε στην έννοια της *μεταγλωτισμένης γνώσης* (compiled knowledge) στα πλαίσια αυτού του συστήματος. Ας αναλύσουμε τον κανόνα 543 του MYCIN (βλέπε Σχήμα 8.13). Πριν διαβάσετε παρακάτω, ως επιπλέον Δραστηριότητα προσπαθήστε να δείτε τι κρύβεται πίσω από αυτόν τον κανόνα, τις συνθήκες που αποτελούν το προκείμενό του και τη σειρά τους.

Εάν:

1. η μόλυνση είναι μηνιγγίτιδα,
2. το είδος της μηνιγγίτιδας είναι βακτηριακό,
3. μόνο περιστασιακές μαρτυρίες υπάρχουν,
4. ο ασθενής είναι τουλάχιστον 17 ετών,
5. ο ασθενής είναι αλκοολικός,

Τότε:

υπάρχουν αρκετές ενδείξεις ότι ένας από τους οργανισμούς που προκαλούν την μηνιγγίτιδα είναι πνευμονικός διπλόκοκκος.

Σχήμα 8.13

Κανόνας 543

Πίσω από τον κανόνα 543 και συγκεκριμένα το προκείμενό του κρύβεται σημαντική γνώση περιγραφικής και στρατηγικής μορφής, η οποία δεν μπορεί να εκφραστεί ρητά λόγω της ομοιόμορφης αναπαράστασης που επιβάλλει η απλή εκδοχή του φορμαλισμού των κανόνων παραγωγής. Η σειρά των συνθηκών στο προκείμενο είναι προσεκτικά σχεδιασμένη και χρειάζεται να τηρείται ευλαβικά κατά την επεξεργασία του κανόνα, ως έμμεσος τρόπος υλοποίησης της υπονοούμενης γνώσης. Αυτή η γνώση είναι άμεσα αντιληπτή μόνο από το σχεδιαστή της βάσης κανόνων. Στοιχεία της μπορούν να διαφανούν μόνο εάν η βάση εξεταστεί στην ολότητά της και όχι σε επίπεδο ατομικών κανόνων, διότι μόνο έτσι θα διαφανούν κάποια κοινά σχήματα ανάμεσα στους κανόνες.

Οι πρώτες δύο συνθήκες στο προκείμενο του κανόνα 543 υπάρχουν, διότι η αναπαράσταση ταξινομιών (π.χ. μηνιγγίτιδα είναι είδος μόλυνσης, βακτηριακή μηνιγγίτιδα είναι είδος μηνιγγίτιδας, κτλ.) δεν είναι εφικτή. Η σειρά αυτών των συνθηκών είναι προφανής. Θα ήταν παράλογο να διερευνάται η ύπαρξη βακτηριακής μηνιγγίτιδας προτού επιβεβαιωθεί η ύπαρξη μηνιγγίτι-

δας. Έτσι, εδώ κρύβεται και η στρατηγική γνώση ότι πρώτα υποθέτεις το γενικό και μετά εκλεπτύνεις (hypothesise and refine). Κάθε κανόνας που αφορά βακτηριακή μηνιγγίτιδα πρέπει να περιέχει αυτές τις δύο συνθήκες. Ο ρόλος της τρίτης συνθήκης μπορεί να διαφανεί σε σχέση με ένα δεύτερο κανόνα που επίσης υπάρχει στη βάση του MYCIN και ο οποίος είναι ταυτόσημος με τον κανόνα 543, με μοναδική εξαίρεση την τρίτη συνθήκη του και τον ΣΒ του. Σε αυτόν τον κανόνα η τρίτη συνθήκη λέει ότι υπάρχουν και εργαστηριακές μαρτυρίες και ο ΣΒ του είναι χαμηλότερος από αυτό του κανόνα 543. Οι δύο κανόνες είναι αμοιβαία αποκλειόμενοι λόγω της τρίτης συνθήκης τους. Πίσω από αυτό το δίδυμο κανόνων κρύβεται μία άλλη στρατηγική γνώση, συγκεκριμένα ότι περιστασιακές μαρτυρίες, π.χ. αλκοολισμός, λαμβάνουν μεγαλύτερη βαρύτητα όταν δεν υπάρχουν απευθείας μαρτυρίες, αλλά η βαρύτητά τους μειώνεται με την παρουσία εργαστηριακών παρατηρήσεων. Οι πρώτες τρεις συνθήκες αποτελούν το «πλαίσιο εφαρμογής» του κανόνα. Η τέταρτη συνθήκη είναι εκεί για να αποτρέπει το σύστημα από το να διερευνά το ενδεχόμενο του αλκοολισμού σε σχέση με μικρά παιδιά. Τέτοιες συνθήκες ονομάζονται «συνθήκες προπετάσματος» (screening clauses). Εμφανίζονται λόγω του ότι δεν υπάρχει ρητή αναπαράσταση της λεγόμενης «κοινής γνώσης» (world knowledge). Πίσω από τις «συνθήκες προπετάσματος» κρύβεται η στρατηγική γνώση ότι πριν τεθεί κάποια ερώτηση, πρέπει πρώτα να επιβεβαιωθεί ότι η απάντησή της δεν συνεπάγεται από τις ήδη υπάρχουσες πληροφορίες ή ότι το πλαίσιο κάτω από το οποίο μπορεί λογικά να τεθεί η ερώτηση υφίσταται (π.χ. ηλικία τουλάχιστον 17 ετών για την ερώτηση του αλκοολισμού, γένος θηλυκό και ηλικία άνω των 15 ετών για ερώτηση σχετική με εγκυμοσύνη, κτλ.).

Όπως βλέπετε οι πρώτες τέσσερις συνθήκες δεν ανήκουν στη συνεπαγωγή που εκφράζει ο κανόνας. Στην ουσία ο κανόνας είναι «αλκοολισμός παρέχει ένδειξη ότι η μηνιγγίτιδα προκλήθηκε από πνευμονικό διπλόκοκκο». Οι περισσότεροι κανόνες του MYCIN, όταν τους αφαιρεθούν οι συνθήκες πλαισίου και προπετάσματος, καταλήγουν να έχουν μόνο μία συνθήκη στα προκείμενά τους. Η μη ρητή εμφάνιση των εμπλεκόμενων σημασιολογικών διαχωρισμών (ταξινομίες εννοιών, κοινή γνώση, στρατηγική γνώση) οδηγεί σε μία αναπαράσταση με πολύ υψηλό πλεονασμό (οι ίδιες συνθήκες επαναλαμβάνονται ξανά και ξανά σε διάφορους κανόνες) και κατά συνέπεια με υψηλό κίνδυνο ασυνέπειας και παραλείψεων.

Άλλη αξιοσημείωτη παράλειψη είναι η τεκμηρίωση των κανόνων, όχι της μορ-

φής κονσερβοποιημένου κειμένου, το οποίο προφανώς επαρκεί για τις ανάγκες επεξηγήσεων, αλλά σε μορφή που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το μηχανισμό συλλογισμού κατά την επίλυση του προβλήματος. Π.χ. γιατί υπάρχει η σύνδεση ανάμεσα στην παρατήρηση του αλκοολισμού και την υπόθεση ότι η μηνιγγίτιδα προκλήθηκε από πνευμονικό διπλόκοκκο; Η αιτιολογική αλυσίδα που τεκμηριώνει αυτή τη σύνδεση είναι απύσαστα από τη βάση γνώσης.

Ας εξετάσουμε έναν άλλο κανόνα. Ο κανόνας λέει ότι «Εάν η ηλικία του ασθενή είναι κάτω των 8 ετών, να μην του χορηγηθούν tetracyclines». Έστω ότι δεδομένος ασθενής είναι κάτω των 8 ετών και φαίνεται ότι η μοναδική θεραπεία για το πρόβλημά του, το οποίο οπωσδήποτε χρειάζεται θεραπεία, εμπλέκει tetracyclines. Ο πιο πάνω κανόνας όμως οδηγεί το συμβουλευτικό σύστημα σε αδιέξοδο. Δεν είναι σε θέση να «γνωρίζει» κατά πόσον ενδείκνυται να παραβιαστεί ο κανόνας. «Δικαιολογεί» τη θέση του παρουσιάζοντας τον κανόνα στο χρήστη, ο οποίος απαιτεί την τεκμηρίωσή του. «Πρόθυμα» του παρουσιάζει την κονσερβοποιημένη τεκμηρίωση η οποία λέει ότι «tetracyclines σε παιδιά απορροφούνται από αναπτυσσόμενα οστά, κάτι το οποίο προκαλεί δυσχρωμία στα δόντια, η οποία είναι μία ανεπιθύμητη σωματική αλλαγή και επομένως αυτές οι ουσίες δεν θα πρέπει να χορηγούνται σε παιδιά». Ο χρήστης διαβάζει την τεκμηρίωση και αποφασίζει να μην συμβουλευτεί ξανά αυτό το σύστημα που δεν είναι σε θέση να «κατανοήσει» ότι η δυσχρωμία στα δόντια είναι μικρό κακό για τον εν λόγω ασθενή μπροστά στη συνέπεια της μη χορηγίας tetracyclines.

Οποιαδήποτε αιτιολογική αλυσίδα που αποτελεί την τεκμηρίωση κάποιου συνδέσμου μπορεί να εκφραστεί σε απεριόριστως πολλά επίπεδα λεπτομέρειας (βλέπε Σχήμα 8.11). Η επιλογή των ενδιάμεσων εννοιών είναι τυχαία. Π.χ. στη πιο πάνω τεκμηρίωση δεν αναφέρεται πώς γίνεται η απορρόφηση και κάτω από ποιες συνθήκες. Ένα συμβουλευτικό σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να «κατανοεί» πότε δικαιολογείται η παραβίαση κανόνα και πότε δικαιολογείται η εφαρμογή κανόνα του οποίου το προκείμενο δεν ευσταθεί. Π.χ. να «γνωρίζει» ότι ο πιο πάνω κανόνας μπορεί να παραβιαστεί, εάν η θεραπεία που εμπλέκει tetracyclines είναι η μοναδική. Σε βαθύτερο και ταυτόχρονα πιο στρατηγικό επίπεδο μπορεί να «γνωρίζει» ότι η παραβίαση κανόνα ενδείκνυται, εάν η κατάσταση στην οποία θα οδηγήσει η ενέργειά του είναι λιγότερο σοβαρή από αυτή που θα προκληθεί από τη μη εφαρμογή του, ότι η ενέργεια του εν λόγω κανόνα προκαλεί δυσχρωμία στα δόντια και ότι δυσχρωμία στα δόντια δεν είναι ζωτικής σημασίας.

Δραστηριότητα 8.6

Προτού διαβάσετε παρακάτω, με βάση το τι έχει λεχθεί πιο πάνω, προσπαθήστε να συνοψίσετε σε λίγες γραμμές την ερμηνεία της έννοιας της μεταγλωττισμένης γνώσης που αποδόθηκε σε σχέση με το MYCIN.

Η επιλογή του όρου «μεταγλωττισμένη» γνώση δεν είναι τυχαία. Η αναλογία με την έννοια του μεταγλωττισμένου προγράμματος είναι προφανής. Ένα πρόγραμμα, εκφρασμένο σε υψηλού επιπέδου γλώσσα, έχει δομή, άρθρωση, κτλ. σύμφωνα με τη λογική της σχεδίασής του. Εφόσον υπάρχει διερμηνέας για την εν λόγω γλώσσα, το πρόγραμμα μπορεί να εκτελεσθεί όπως είναι γραμμένο, αλλά κατά πάσαν πιθανότητα θα είναι αργό. Για αυτό η συνηθισμένη πρακτική είναι να μεταγλωττιστεί το πρόγραμμα και να εκτελείται σε αυτή τη μορφή. Μεταγλώττιση σημαίνει το μετασχηματισμό του προγράμματος σε κάποια πολύ πιο απλή μορφή, όπου η δόμηση και η εν γένει σχεδίαση χάνονται προς χάριν της ταχύτερης εκτέλεσης. Το πρόγραμμα μετασχηματίζεται σε λειτουργήσιμη μορφή. Αυτό ακριβώς συμβαίνει και με τη μεταγλώττιση γνώσης. Υπάρχει όμως και μία σημαντική διαφορά σε σχέση με τη μεταγλώττιση προγραμμάτων. Το μεταγλωττισμένο πρόγραμμα δεν απαλείφει τίποτα από το πηγαίο πρόγραμμα και επομένως είναι σε θέση να επιλύσει και να καταλήξει στο ίδιο αποτέλεσμα για οποιοδήποτε πρόβλημα το οποίο είναι επιλύσιμο από το πηγαίο πρόγραμμα. Απλώς, το επιλύει πολύ πιο γρήγορα. Δεν συμβαίνει το ίδιο με τη μεταγλωττισμένη γνώση σε σχέση με την (πηγαία) γνώση της οποίας αποτελεί τη μεταγλώττιση. Η μεταγλωττισμένη γνώση απαλείφει στοιχεία της (πηγαίας) γνώσης και έτσι δεν μπορεί κατ' ανάγκη να επιλύσει οποιοδήποτε πρόβλημα το οποίο είναι επιλύσιμο με βάση την (πηγαία) γνώση, αλλά μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σε θέση να επιλύσει την πλειοψηφία των προβλημάτων με αποδοτικότερο τρόπο. Το κόστος της μεταγλώττισης είναι μείωση της ευελιξίας επίλυσης προβλημάτων, σε σχέση με τα πιο δύσκολα περιστατικά αυτών των προβλημάτων. Ας συνοψίσουμε λοιπόν αυτήν την ερμηνεία.

Μεταγλωττισμένη Γνώση – Ερμηνεία MYCIN

Είναι ο μετασχηματισμός (πηγαίας) γνώσης σε ομοιόμορφη, τυποποιημένη μορφή κανόνων, όπου διάφορα στοιχεία της γνώσης εμφανίζονται με υπονοούμενο τρόπο ή απαλείφονται τελείως. Η μεταγλώττιση γίνεται καθαρά για σκοπούς λειτουργικότητας, με στόχο την αποδοτική επίλυση όχι κατ' ανάγκη όλων των περιστατικών του προβλήματος, αλλά τουλάχιστο της πλειοψηφίας αυτών.

Στο κεφ. 9 θα εξετάσουμε μία άλλη ερμηνεία αυτής της έννοιας, η οποία στην ουσία είναι ταυτόσημη με τη μεταγλώττιση προγραμμάτων.

8.2 Prospector

Το σύστημα PROSPECTOR αναπτύχθηκε από την εταιρεία SRI International με σκοπό την υποβοήθηση γεωλόγων στην αξιολόγηση τοποθεσιών ορυκτών για πιθανή ύπαρξη αποθεμάτων.

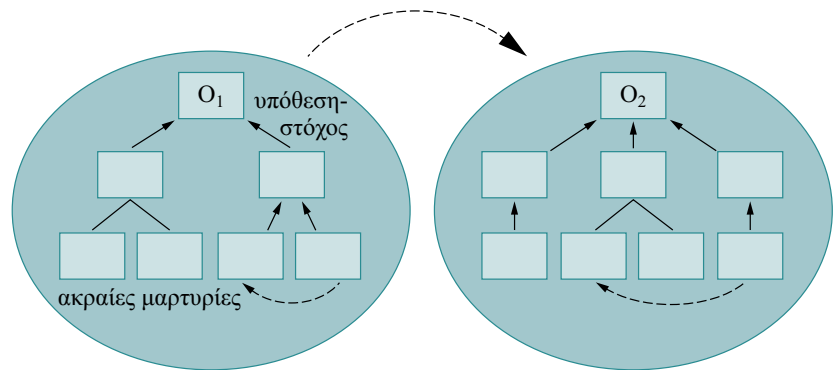
8.2.1 Υβριδική αναπαράσταση

Η αναπαράσταση της βάσης γνώσης του συστήματος είναι υβριδική αποτελούμενη από κανόνες παραγωγής και διαμερισμένα δίκτυα συσχέτισης. Το PROSPECTOR είναι επίσης ένα σύστημα παραγωγής όπου τα προκείμενα και τα συμπεράσματα των κανόνων αναπαριστώνται ως διαμερίσεις (βλέπε κεφ. 5). Αυτό παρέχει υψηλότερη δύναμη εκφρασιμότητας, π.χ. ποσοτικοποιημένες εκφράσεις, σε σχέση με τις τριάδες αντικείμενο–χαρακτηριστικό–τιμή που χρησιμοποιεί το MYCIN. Ο φορμαλισμός των δικτύων συσχέτισης, επίσης, επιτρέπει τη ρητή αναπαράσταση ταξινομιών εννοιών. Στο PROSPECTOR αυτές οι ταξινομίες αποτελούνται από είδη βραχωμάτων, ορυκτών, φυσικές μορφές, γεωλογικές ηλικίες, κτλ. Τοπικοί κόμβοι που περιέχονται στις διαμερίσεις των προκειμένων και συμπερασμάτων κανόνων συσχετίζονται με καθολικούς κόμβους στις διάφορες ταξινομίες.

Η γνώση για κάθε κατηγορία ορυκτών αναπαριστάται ως ένα ξεχωριστό σύνολο κανόνων παραγωγής, οι οποίοι δημιουργούν ένα δέντρο συλλογισμού με ρίζα τη λεγόμενη *υπόθεση–στόχο* (goal–hypothesis). Αυτή διατυπώνει την ύπαρξη της εν λόγω κατηγορίας. Το δέντρο συλλογισμού ονομάζεται το μοντέλο της κατηγορίας. Οι ακραίοι κόμβοι του αντιπροσωπεύουν απευθείας μαρτυρίες (field evidence), ενώ οι ενδιάμεσοι υποθέσεις για χαμηλότερου επιπέδου κόμβους και μαρτυρίες για υψηλότερου επιπέδου κόμβους. Οι κόμβοι συνδέονται με εκ των προτέρων πιθανότητες, ενώ οι κανόνες συνδέονται με δύο αριθμητικές τιμές, τους συντελεστές επάρκειας και αναγκαιότητας. Θα εξετάσουμε το μοντέλο αβεβαιότητας του συστήματος στην υποενότητα 8.2.3.

Συνολικά, η βάση γνώσης περιέχει γύρω στα 15 μοντέλα ορυκτών, το καθένα αποτελούμενο από πέραν των 150 κανόνων και 200 κόμβων (βλέπε Σχήμα 8.14). Εκτός από τους συνδέσμους συνεπαγωγής (που αποτελούν τους κανόνες) και τους λογικούς συνδέσμους (διαζεύξεις/συζεύξεις στα προκείμενα

κανόνων), υπάρχουν και οι σύνδεσμοι πλαισίου (contextual links), οι οποίοι συνδέουν κόμβους στο ίδιο μοντέλο ή συνδέουν ξεχωριστά μοντέλα. Οι σύνδεσμοι πλαισίου συμβάλλουν στην ενδυνάμωση του διαλογικού στοιχείου του συστήματος. Προσδιορίζουν τη σειρά με την οποία υποθέσεις/μαρτυρίες πρέπει να εξερευνηθούν όταν κάποια τυχαία σειρά δεν έχει νόημα. Επίσης, προσδιορίζουν κατά πόσον μία υπόθεση/μαρτυρία έχει γεωλογική σημασία, μόνο εάν κάποια άλλη υπόθεση/μαρτυρία έχει ήδη επαληθευτεί.



Σχήμα 8.14

Οργάνωση Βάσης Γνώσης
σε Μοντέλα για Κατηγο-
ρίες Ορυκτών

Μοντέλο (δίκτυο συλλογισμού) για
κατηγορία ορυκτών O_1 .
Κάθε κόμβος είναι μία διαμέριση.

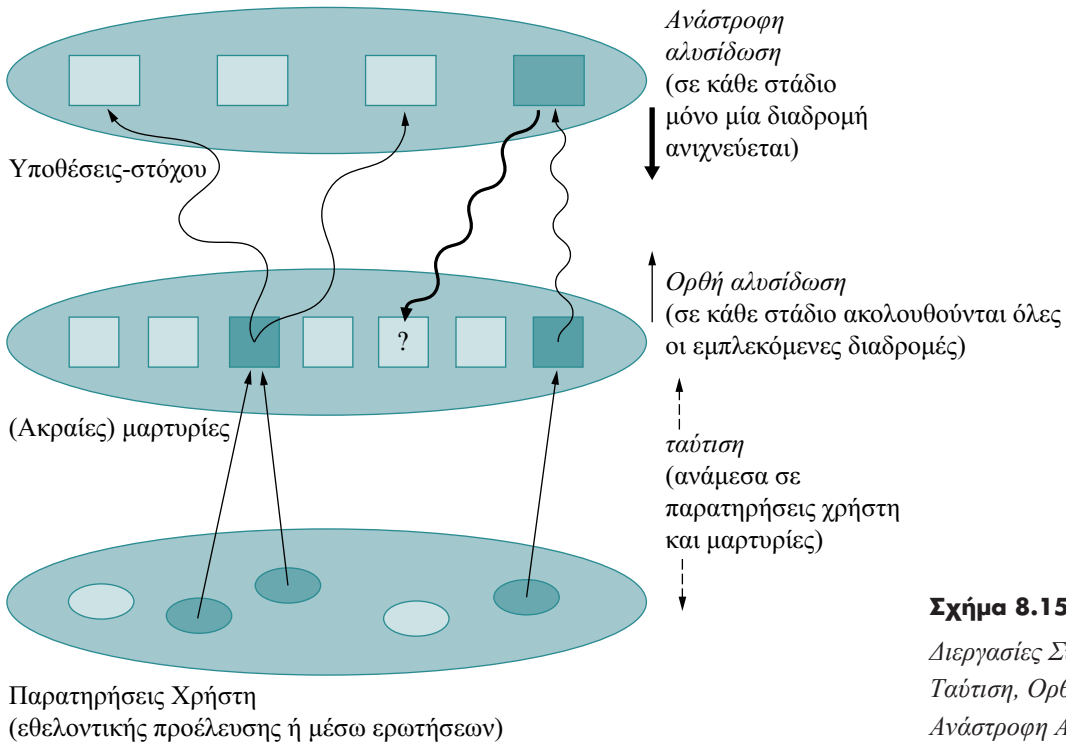
Μοντέλο για κατηγορία ορυκτών O_2 .

—> κανόνας — λογικός σύνδεσμος - - - -> σύνδεσμος πλαισίου

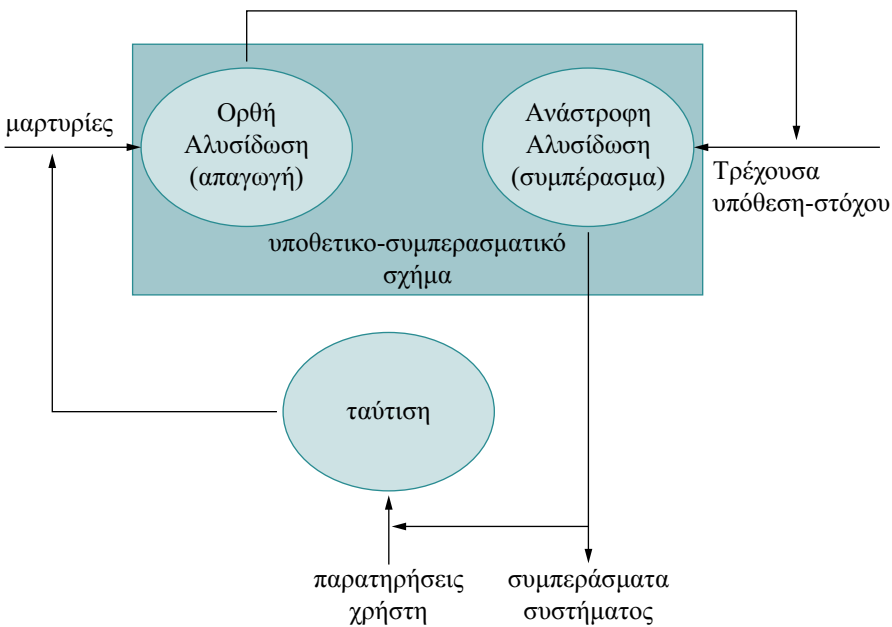
8.2.2 Μεικτή αλυσίδωση

Το σύστημα συνδυάζει συλλογιστική οδηγούμενη από στόχους (ανάστροφη συλλογιστική) με συλλογιστική οδηγούμενη από δεδομένα (ορθή συλλογιστική), οι οποίες υλοποιούνται μέσω ανάστροφης και ορθής αλυσίδωσης αντιστοίχως. Αυτό επιτρέπει τη διεξαγωγή *μεικτής-πρωτοβουλίας* (mixed-initiative) *διαλόγου*, όπου και το σύστημα θέτει ερωτήματα προς το χρήστη αναφορικά με απευθείας μαρτυρίες και ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει εθελοντικά παρατηρήσεις ή να αιτηθεί τη διερεύνηση δεδομένης υπόθεσης-στόχου.

Τα Σχήματα 8.15(α) και (β) παρουσιάζουν τις τρεις κεντρικές διεργασίες συλλογισμού που (επαναληπτικά) διεξάγει το σύστημα. Κάθε διεργασία μπορεί να ενεργοποιηθεί από τα έξω, δηλαδή από πρωτοβουλία του χρήστη, ή εσωτερικά από τα αποτελέσματα κάποιας από τις άλλες διεργασίες. Οι διεργασίες συλλογισμού είναι οι εξής:



Σχήμα 8.15(α)
 Διεργασίες Συλλογισμού –
 Ταύτιση, Ορθή και
 Ανάστροφη Αλυσίδωση



Σχήμα 8.15(β)
 Υποθετικο-
 Συμπερασματικό Σχήμα

Ταύτιση παρατηρήσεων, που κυρίως εισάγει εθελοντικά ο χρήστης, έναντι των προτάσεων που αντιπροσωπεύουν απευθείας μαρτυρίες (ακραίοι κόμβοι) στα διάφορα μοντέλα ορυκτών. Αυτή η διεργασία βασίζεται σε μηχανισμούς συλλογισμού των δικτύων συσχέτισης, κυρίως σε σχέση με ταξινομίες. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει πλήρης επικάλυψη κάποιας μαρτυρίας (είτε ταύτιση ή η μαρτυρία να είναι πιο γενική από την παρατήρηση) ή μερική επικάλυψη (είτε μερική ταύτιση ή η μαρτυρία να είναι πιο συγκεκριμένη από την παρατήρηση). Στην περίπτωση της μερικής επικάλυψης ο χρήστης μπορεί να ερωτηθεί με στόχο την επίτευξη πλήρους επικάλυψης. Επομένως, το αποτέλεσμα της ταύτισης παρατηρήσεων έναντι απευθείας μαρτυριών είναι η ενεργοποίηση μαρτυριών και κατά συνέπεια η ενεργοποίηση της ορθής συλλογιστικής.

Ορθή συλλογιστική (μέσω ορθής αλυσίδωσης) από μαρτυρίες που έχουν ενεργοποιηθεί (οι πιθανότητες τους έχουν τροποποιηθεί) προς όλες τις εμπλεκόμενες υποθέσεις-στόχων. Όλες δηλαδή οι διαδρομές από τις δεδομένες μαρτυρίες προς τις σχετικές υποθέσεις-στόχων ενεργοποιούνται με αποτέλεσμα την ενημέρωση των εκ των υστέρων πιθανοτήτων αυτών των στόχων. Επομένως, η ορθή αλυσίδωση μπορεί να αφορά πολλαπλές διαδρομές και σε διαφορετικά μοντέλα. Αυτή η συλλογιστική, η οποία οδηγείται από δεδομένα, είναι απαγωγικής μορφής – από μαρτυρίες σε υποθέσεις. Το αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής είναι να εμφανιστεί νέα απώτερη υπόθεση-στόχου (αυτή με την υψηλότερη, τρέχουσα, εκ των υστέρων πιθανότητα), η οποία θα διερευνηθεί μέσα στα πλαίσια της ανάστροφης συλλογιστικής.

Ανάστροφη συλλογιστική (μέσω ανάστροφης αλυσίδωσης) από την πιο πιθανή, επί του παρόντος, υπόθεση-στόχου προς την (απευθείας) μαρτυρία, η οποία στην παρούσα φάση θεωρείται ότι θα έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στη δεδομένη υπόθεση-στόχου. Επομένως, εδώ δημιουργείται μόνο μία αλυσίδα, μέσα στο υπό διερεύνηση μοντέλο. Αυτή η συλλογιστική είναι συμπερασματικής μορφής – προβλέπονται ορατές συνέπειες δεδομένης υπόθεσης. Ο χρήστης ερωτάται αναφορικά με την επιλεγείσα μαρτυρία, αποσπώντας έτσι νέες παρατηρήσεις από το χρήστη, οι οποίες στη συνέχεια οδηγούν σε ορθή συλλογιστική.

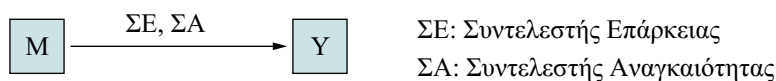
Εάν αρχικά ο χρήστης δεν επιθυμεί να δώσει κάποιες παρατηρήσεις, ο συλλογισμός αρχίζει με ανάστροφη αλυσίδωση από την υπόθεση-στόχου με την υψηλότερη, εκ των προτέρων, πιθανότητα.

Όπως και στο MYCIN, οι κανόνες του PROSPECTOR είναι απαγωγικής μορφής (από μαρτυρίες σε υποθέσεις). Επομένως, η ανάστροφη αλυσίδωση αντιστοιχεί σε συμπερασματικής μορφής συλλογισμό και η ορθή αλυσίδωση σε απαγωγικής μορφής συλλογισμό. Η ενημέρωση των εκ των υστέρων πιθανοτήτων των υποθέσεων (βλέπε υποενότητα 8.2.3) είναι μέρος του απαγωγικού σκέλους. Η αμοιβαία επίδραση των δύο αυτών μορφών συλλογισμού, της απαγωγής και του συμπεράσματος, δημιουργεί το υποθετικο-συμπερασματικό σχήμα συλλογισμού [(βλέπε Σχήμα 8.15(β))]. Στο MYCIN ο συλλογισμός θεωρείται εξ ολοκλήρου συμπερασματικής μορφής, επειδή το σύστημα εφαρμόζει μόνο ανάστροφη αλυσίδωση. Η ενημέρωση των ΣΒ, όμως, είναι απαγωγικής μορφής, αφού η διάδοση γίνεται με βάση την ορθή κατεύθυνση των κανόνων, αλλά οι αλυσίδες είχαν ήδη δημιουργηθεί μέσω της ανάστροφης και όχι οποιασδήποτε ορθής αλυσίδωσης.

Για όσες υποθέσεις-στόχου οι εκ των υστέρων πιθανότητες είναι αρκετά υψηλές, το PROSPECTOR μπορεί να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν επαρκείς ενδείξεις ως προς την ύπαρξη των εν λόγω ορυκτών. Η «επιβεβαίωση» της ύπαρξης κάποιου ορυκτού μπορεί να κατευθύνει το σύστημα, μέσω συνδέσμων πλαισίου, στη διερεύνηση της (συν)ύπαρξης κάποιου άλλου ορυκτού. Επομένως, παρόλο που το όλο πρόβλημα επιλύεται με ταξινόμηση (σε ποια κατηγορία ορυκτών ανήκει το υπο αξιολόγηση περιστατικό;) υπάρχει και κάποιο, πολύ δευτερεύον, στοιχείο σύνθεσης (ποιος συνδυασμός κατηγοριών ορυκτών υπάρχει;).

8.2.3 Μοντέλο αβεβαιότητας

Το μοντέλο αβεβαιότητας του PROSPECTOR βασίζεται σε πιθανότητες, οι οποίες είναι στην ουσία ψευδοπιθανότητες, αφού αυτές είναι υποκειμενικές τιμές που προέρχονται από τους εμπειρους και όχι πραγματικές πιθανότητες. Η αβεβαιότητα κανόνων εκφράζεται με δύο αριθμητικές τιμές, τον *Συντελεστή Επάρκειας* (sufficiency factor), ΣΕ, και τον *Συντελεστή Αναγκαιότητας* (necessity factor), ΣΑ (βλέπε Σχήμα 8.16), όπου $\Sigma\text{E} = P(M/Y) / P(M/\sim Y)$ και $\Sigma\text{A} = P(\sim M/Y) / P(\sim M/\sim Y)$.



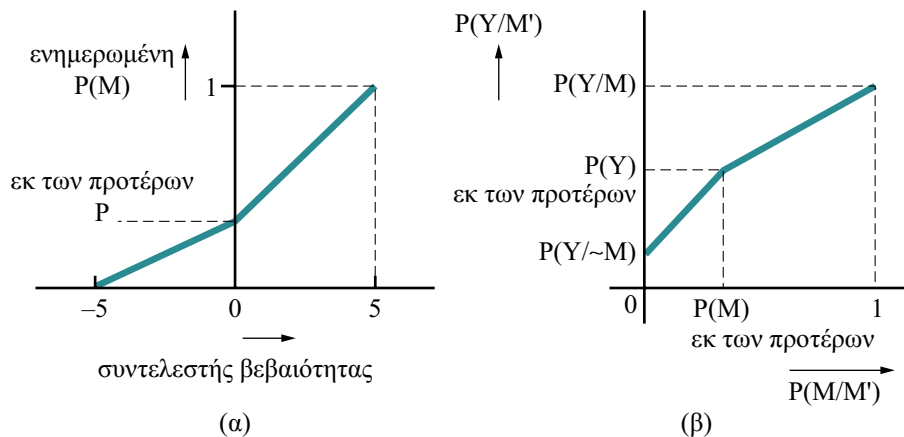
Σχήμα 8.16

Αβεβαιότητα Κανόνων

Ο ΣΕ αντιπροσωπεύει το πόσο επαρκής είναι η μαρτυρία M για την επαλήθευση της υπόθεσης Y . Εάν η M συνδέεται μόνο με περιστατικά της Y (όχι κατ' ανάγκη όλα τα περιστατικά), η M από μόνη της αρκεί για την επαλήθευση της Y (η σχέση ανάμεσα στη M και Y είναι παθογνωμονική). Σε αυτή την περίπτωση η πιθανότητα $P(M/\sim Y)$ προσεγγίζει το 0 και επομένως ο ΣΕ προσεγγίζει το ∞ . Ο ΣΕ χρησιμοποιείται, όταν η M έχει επαληθευτεί.

Ο ΣΑ αντιπροσωπεύει το πόσο αναγκαία είναι η μαρτυρία M για την υπόθεση Y . Εάν η M συνδέεται με όλα τα περιστατικά της Y , η M είναι αναγκαία για την επαλήθευση της Y . Με άλλα λόγια η άρνηση της M επαρκεί για την άρνηση της Y . Σε αυτή την περίπτωση η πιθανότητα $P(\sim M/Y)$ προσεγγίζει το 0 και επομένως ο ΣΑ προσεγγίζει το 0. Ο ΣΑ χρησιμοποιείται, όταν η M έχει αναιρεθεί.

Οι διάφοροι κόμβοι (μαρτυρίες και υποθέσεις) στα μοντέλα ορυκτών συνδέονται με υποκειμενικές, εκ των προτέρων πιθανότητες ύπαρξης. Όπως οι ΣΕ και ΣΑ, οι εκ των προτέρων πιθανότητες διατυπώνονται από τους εμπειρους. Κατά την επίλυση κάποιου προβλήματος οι πιθανότητες ενημερώνονται (μέσω της ορθής αλυσίδωσης) με βάση τις παρατηρήσεις του χρήστη. Συνήθως, ο χρήστης μπορεί μόνο να προσδιορίσει κάποιο βαθμό βεβαιότητας από το πεδίο $[-5, 5]$, αναφορικά με την παρουσία της επιδιωκόμενης μαρτυρίας. Η σχέση ανάμεσα σε συντελεστές βεβαιότητας και εκ των υστέρων πιθανότητες δίνεται στο Σχήμα 8.17(α).



Σχήμα 8.17

Η σύνθεση των αβεβαιοτήτων κανόνων και μαρτυριών γίνεται με χρήση του θεωρήματος του Bayes, το οποίο διατυπώνει ότι $P(Y/M) = P(M/Y)P(Y)/P(M)$. Η σύμπραξη απαγωγής και συμπεράσματος, δηλαδή το υποθετικό-συμπερασματικό σχήμα, είναι εμφανής σε αυτό το θεώρημα. Το

αριστερό μέρος της εξίσωσης αντιπροσωπεύει απαγωγή, ενώ η πιθανότητα $P(M/Y)$ που εμφανίζεται στο δεξιό μέρος αντιπροσωπεύει συμπερασματικό συλλογισμό. Με βάση το θεώρημα του Bayes, posterior odds μπορούν να εκφραστούν ως

$$O(Y/M) = P(Y/M) / P(\sim Y/M) = (P(M/Y) / P(M/\sim Y)) \times (P(Y) / P(\sim Y)) = \Sigma E \times O(Y) \quad (1)$$

$$O(Y/\sim M) = P(Y/\sim M) / P(\sim Y/\sim M) = (P(\sim M/Y) / P(\sim M/\sim Y)) \times (P(Y) / P(\sim Y)) = \Sigma A \times O(Y) \quad (2)$$

όπου η σχέση ανάμεσα σε πιθανότητες και odds είναι $P = O/(O + 1)$ ή $O = P / (1 - P)$. Ο όρος odds αντιπροσωπεύει την αναλογία της πιθανότητας δεδομένη υπόθεση να ευσταθεί, έναντι της πιθανότητας να μην ευσταθεί ($O(Y) = P(Y)/P(\sim Y)$). Η εξίσωση (1) χρησιμοποιείται για την ενημέρωση της πιθανότητας της υπόθεσης Y όταν η μαρτυρία M έχει κατηγορηματικά επαληθευτεί. Η ενημέρωση βασίζεται στο συντελεστή επάρκειας. Η εξίσωση (2) χρησιμοποιείται για την ενημέρωση της πιθανότητας της Y , όταν η M έχει κατηγορηματικά αναιρεθεί. Η ενημέρωση βασίζεται στο συντελεστή αναγκαιότητας. Οι δύο αυτές εξισώσεις καλύπτουν τις ακραίες περιπτώσεις. Τι γίνεται όμως όταν υπάρχει αβεβαιότητα αναφορικά με μαρτυρίες; Έστω M' οι παρατηρήσεις σε σχέση με τη μαρτυρία M . Η γενική εξίσωση ενημέρωσης είναι

$$O(Y/M') = \lambda \times O(Y)$$

όπου $\lambda = \Sigma E$, όταν $P(M/M') = 1$,

$\lambda = \Sigma A$, όταν $P(M/M') = 0$, δηλαδή $P(\sim M/M') = 1$,

$\lambda = 1$, όταν $P(M/M') = P(M)$, δηλαδή τίποτα δεν γνωρίζουμε για την M .

Από τη γενική θεωρία πιθανοτήτων έχουμε

$$P(Y/M') = P(Y, M/M') + P(Y, \sim M/M') = P(Y/M, M') P(M/M') + P(Y/\sim M, M') P(\sim M/M')$$

Εάν γνωρίζουμε με βεβαιότητα την ύπαρξη ή μη-ύπαρξη της M , οι παρατηρήσεις M' σε σχέση με τη M δεν παρέχουν επιπλέον πληροφορίες για την υπόθεση Y . Δηλαδή μπορεί να θεωρηθεί ότι $P(Y/M, M') = P(Y/M)$ και $P(Y/\sim M, M') = P(Y/\sim M)$. Επομένως, καταλήγουμε στην εξίσωση

$$P(Y/M') = P(Y/M) P(M/M') + P(Y/\sim M) (1 - P(M/M'))$$

Τέλος, όπως αναφέρεται και στο πιο πάνω πλαίσιο, εάν δεν γνωρίζουμε τίποτα για τη μαρτυρία M , δηλαδή $P(M/M') = P(M)$ (την εκ των προτέρων πιθανότητα της M), τότε $P(Y/M') = P(Y)$ (την εκ των προτέρων πιθανότητα της

υπόθεσης Y). Η γραφική παράσταση της σχέσης ανάμεσα στην πιθανότητα του προκειμένου, P(M/M'), και την πιθανότητα του συμπεράσματος του κανόνα, P(Y/M'), δίνεται στο Σχήμα 8.17(β). Εάν P(M/M') > P(M), τότε λ = ΣΕ × [(P(M/M') - P(M)) / (1 - P(M))], δηλαδή η αναλογία του ΣΕ και εάν P(M/M') < P(M), τότε λ = ΣΑ × [P(M/M')/P(M)], δηλαδή η αναλογία του ΣΑ.

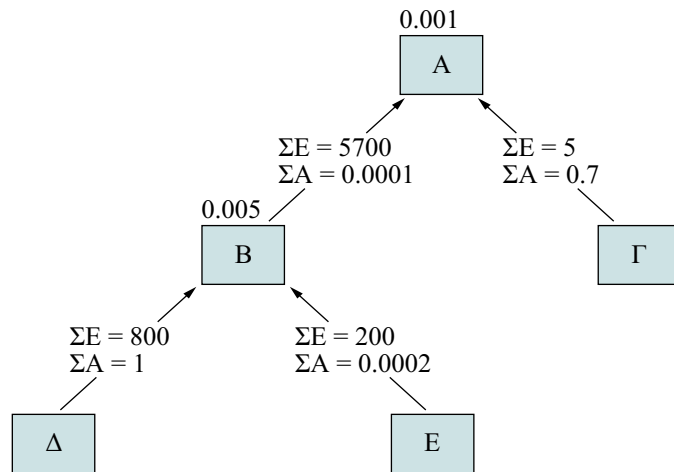
Όπου υπάρχουν πολλές μαρτυρίες, έστω M_i, i = 1, ..., n, για την ίδια υπόθεση Y, οι οποίες θεωρούνται υπό συνθήκη ανεξάρτητες κάτω από τη Y και ~Y, η εξίσωση ενημέρωσης γενικεύεται σε

$$O(Y / M_1, M_2, \dots, M_n) = \left\{ \prod_{i=1}^n \lambda_i \right\} O(Y)$$

όπου λ_i είναι το πολλαπλάσιο για τη μαρτυρία M_i. Κάθε νέα ακραία μαρτυρία διαδίδεται κατά μήκος των σχετικών αλυσίδων, ενημερώνοντας έτσι τις (εκ των υστέρων) πιθανότητες όλων των εμπλεκόμενων υποθέσεων και υποθέσεων-στόχου. Σε αντίθεση, στο MYCIN πρώτα ολοκληρώνεται ο υπολογισμός του ΣΒ κάποιας υπόθεσης πριν διαδοθεί στο αμέσως επόμενο επίπεδο.

**Άσκηση
Αυτοαξιολόγησης
8.4**

Στο δέντρο συλλογισμού του Σχήματος 8.18, οι υποθέσεις συνοδεύονται από τις εκ των προτέρων πιθανότητές τους και οι κανόνες από τους συντελεστές επάρκειας (ΣΕ) και αναγκαιότητάς (ΣΑ) τους. Σε κάποια συμβουλευτική διεργασία, οι ακραίες μαρτυρίες Δ και Ε έχουν επαληθευτεί πλήρως, ενώ υπάρχει κατηγορηματική άρνηση της ακραίας μαρτυρίας Γ. Ποια είναι η εκ των υστέρων πιθανότητα της υπόθεσης-στόχου Α;



Σχήμα 8.18
Δέντρο Συλλογισμού

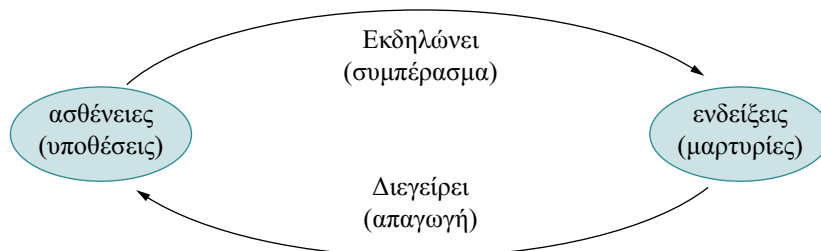
Τέλος, το ευρετικό που καθοδηγεί την ανάστροφη αλυσίδωση δίνει προτίμηση στους κανόνες με μικρούς ΣΑ, όταν η επιδιωκόμενη υπόθεση έχει μικρή πιθανότητα, ενώ δίνει προτίμηση στους κανόνες με μεγάλους ΣΕ, όταν η πιθανότητα μεγαλώνει. Στη μεν πρώτη περίπτωση διερευνάται το ενδεχόμενο απόρριψης της υπόθεσης, στη δε δεύτερη περίπτωση το ενδεχόμενο επαλήθευσής της.

8.3 Internist-1

Ολοκληρώνουμε το κεφάλαιο 8 με μία σύντομη αναφορά στο σύστημα INTERNIST-1, το οποίο αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Pittsburgh με στόχο την υποβοήθηση ιατρών στη διεξαγωγή διαφορικής διάγνωσης (differential diagnosis) στον τομέα της γενικής παθολογίας. Ο τομέας αυτός είναι συγκριτικά πολύ πιο ευρύς από τους τομείς των MYCIN και PROSPECTOR. Κατ' ακρίβεια το INTERNIST-1 έχει την εκτενέστερη βάση γνώσης ανάμεσα σε ιατρικά έμπειρα συστήματα, αφού αυτή καλύπτει το 80% της γενικής παθολογίας και χρειάστηκε 15 ανθρωποέτη για τη δημιουργία της. Συνολικά περιέχει γνώση για 600 ασθένειες ή κατηγορίες ασθενειών, με 2600 συνδέσμους ανάμεσά τους, και 3550 ενδείξεις (manifestations) με 6500 συνδέσμους ανάμεσά τους. Το INTERNIST-1 είναι ένα από μία αλυσίδα συστημάτων, που αναπτύχθηκαν για τον ίδιο σκοπό. Προκάτοχός του ήταν το σύστημα DIALOG, του οποίου η ονομασία ήταν συντομογραφία για DIAGnostic LOGic (Λογική Διάγνωσης). Αυτή η ονομασία αντανακλά τη βασική αρχή αυτού του συστήματος, που ήταν η ακριβής προσομοίωση της εν λόγω εμπειρογνωμοσύνης. Διάδοχοι του INTERNIST-1 ήταν τα συστήματα CADUCEUS, το οποίο στόχευε σε μία πιο πλούσια οργάνωση της βάσης γνώσης κυρίως σε σχέση με αιτιολογικές και ταξινομικές σχέσεις, και πιο πρόσφατα το σύστημα QMR, το οποίο ανάμεσα σε άλλα στόχευε στη μοντελοποίηση της διάστασης του χρόνου.

8.3.1 Βάση γνώσης

Οι κεντρικές οντότητες είναι *ασθένειες* και *ενδείξεις*, με τις ακόλουθες σχέσεις (βλέπε Σχήμα 8.19):



Σχήμα 8.19

*Σχέσεις Ανάμεσα σε
Ασθένειες και Ενδείξεις*

Σχέση *Εκδηλώνει* (Manifest) από ασθένειες σε ενδείξεις. Η σχέση δεν είναι κατηγορηματική. Μία ασθένεια, *A*, εκδηλώνει μία ένδειξη, *E*, σε δεδομένο βαθμό, από το σύνολο $\{1, 2, \dots, 5\}$, ο οποίος υποδηλώνει τη συχνότητα εμφάνισης της *E* σε περιστατικά της *A*. Εάν ο *βαθμός εκδήλωσης* είναι 5, η άρνηση της *E* αρκεί για την άρνηση της *A*. Εάν όμως είναι 1 η *E* εμφανίζεται σπάνια σε περιστατικά της *A* και επομένως η άρνησή της δεν αποτελεί μαρτυρία κατά της υπόθεσης της *A*. Ο βαθμός εκδήλωσης είναι ανάλογος του ΣA στο PROSPECTOR.

Σχέση *Διεγείρει* (Evokes) από ενδείξεις σε ασθένειες. Και αυτή η σχέση δεν είναι κατηγορηματική. Μία ένδειξη, *E*, διεγείρει την υπόθεση μίας ασθένειας, *A*, σε δεδομένο βαθμό από το σύνολο $\{0, 1, \dots, 5\}$. Ο *βαθμός διέγερσης* υποδηλώνει πόσο ενδεικτική είναι η *E* για την *A*. Εάν ισούται με το 5, η *E* αρκεί για την επαλήθευση της *A* (η σχέση ανάμεσά τους είναι παθογνωμονική), ενώ, εάν ισούται με 0, η *E* είναι άσχετη με την *A*. Ο βαθμός διέγερσης είναι ανάλογος του ΣE στο PROSPECTOR.

Οι δύο σχέσεις, *Διεγείρει* και *Εκδηλώνει*, και πάλι υπογραμμίζουν το υποθετικό–συμπερασματικό σχήμα συλλογισμού. Η σχέση *Διεγείρει* συνδέεται με απαγωγικό συλλογισμό, ενώ η σχέση *Εκδηλώνει* με συμπερασματικό συλλογισμό.

Λόγω της έκτασης της βάσης γνώσης, η οργάνωση των ασθενειών με ιεραρχικό τρόπο κρίθηκε κάτι το αναγκαίο προς μείωση του αριθμού των ενεργών υποθέσεων. Εάν, με βάση τις υφιστάμενες μαρτυρίες, δεν είναι δυνατό να διαφοροποιηθούν οι υποκατηγορίες κάποιας κατηγορίας ασθενειών, η ενεργή υπόθεση αφορά την κατηγορία, η οποία συν το χρόνω είτε θα αναιρεθεί ή θα αντικατασταθεί από τις υποθέσεις κάποιων από τις υποκατηγορίες.

Δραστηριότητα 8.7

Πώς νομίζετε ότι υπολογίζονται οι βαθμοί εκδήλωσης και διέγερσης ανάμεσα σε κατηγορίες ασθενειών και ενδείξεις;

Τέλος, σε κάθε ένδειξη, *E*, ανατίθεται ένας βαθμός *σημασίας* (import) από το σύνολο $\{1, 2, \dots, 5\}$ ο οποίος υποδηλώνει την καθολική σημασία της ένδειξης, ασχέτως των διαφόρων αιτιών της, και επομένως το βαθμό στον οποίο η παρουσία της σε κάποιο ασθενή χρειάζεται να εξηγηθεί, δηλαδή να της αποδοθεί αιτία. Εάν η σημασία της *E* είναι 5, η διάγνωση για να είναι απο-

δεκτή πρέπει να αποδίδει αιτία στην παρουσία της E. Εάν όμως η σημασία της είναι μόνο 1, η παρουσία της μπορεί να αγνοηθεί, επειδή η E εμφανίζεται συχνά και σε υγιείς ανθρώπους. Επομένως, ο βαθμός σημασίας της E αντανακλά τη σοβαρότητά της.

Η γνώση για μία ασθένεια ή κατηγορία ασθενειών αναπαριστάται στην ολότητα της σε μορφή πλαισίου, η δομή του οποίου σκιαγραφείται στο Σχήμα 8.20. Οι συμπληρωματικές σχέσεις με άλλες ασθένειες υπονοούν χρόνο. Ο χρόνος όμως δεν αναπαριστάται ρητά. Στη συνέχεια αυτό θεωρήθηκε μία από τις αδυναμίες του συστήματος. Οι συμπληρωματικές σχέσεις (βλέπε κεφ. 5) χρησιμοποιούνται για τη σύνθεση διαγνώσεων αποτελούμενων από πολλαπλές ασθένειες (βλέπε υποενότητα 8.3.3).

- **Υποκατηγορίες:**
- **Ενδείξεις:**
 ένδειξη-1 βαθμός-διέγερσης βαθμός-εκδήλωσης

- **Συμπληρωματικές σχέσεις με άλλες ασθένειες:**
 - *προδιάθεση-για:*
 ασθένεια βαθμός-διέγερσης βαθμός-εκδήλωσης

 - *προκαλεί:*.....
 - *συμπίπτει-με:*.....
 - *προηγείται:*.....

Σχήμα 8.20

*Δομή Πλαισίου για
 Ασθένειες/Κατηγορίες
 Ασθενειών*

8.3.2 Διεργασίες συλλογισμού

Ο συλλογισμός του INTERNIST-1 επίσης βασίζεται στο υποθετικο-συμπερασματικό σχήμα. Οι μαρτυρίες αναφέρονται σε θετικές και αρνητικές ενδείξεις, δηλαδή ενδείξεις που έχουν επαληθευτεί και ενδείξεις που έχουν αναιρεθεί. Θετικές ενδείξεις των οποίων η σημασία είναι τουλάχιστο 3 ενεργοποιούν υποθέσεις ασθενειών, με βάση τη σχέση Διεγείρει. Οι ενεργές υποθέσεις αξιολογούνται με τη χρήση κάποιας *συνάρτησης βαθμολόγησης* (scoring function) (βλέπε υποενότητα 8.3.3). Στη συνέχεια επιλέγονται ως

αξιόπιστες οι υποθέσεις των οποίων ο βαθμός υπερβαίνει κάποιο όριο. Τέλος, οι αξιόπιστες υποθέσεις χωρίζονται σε αντίπαλες και συμπληρωματικές της πιο αξιόπιστης υπόθεσης, αυτής με τον υψηλότερο βαθμό, με βάση το ευρετικό ότι «Δύο υποθέσεις μπορούν να θεωρηθούν ως αντίπαλες, εάν οι θετικές ενδείξεις που δεν εξηγούνται από τη μία είναι υποσύνολο των θετικών ενδείξεων που δεν εξηγούνται από την άλλη».

Η πιο αξιόπιστη υπόθεση μαζί με τις αντίπαλές της αποτελούν το τρέχον σύνολο ανταγωνισμού, ο τρόπος διερεύνησης του οποίου εξαρτάται από τη σύνθεσή του. Ο συλλογισμός που διεξάγεται είναι κυρίως συμπερασματικής μορφής (με βάση τη σχέση Εκδηλώνει) με στόχο την απόσπαση νέων παρατηρήσεων από το χρήστη, οι οποίες αφορούν προβλεπόμενες ενδείξεις των ανταγωνιζόμενων υποθέσεων. Υπάρχουν τρεις στρατηγικές (ευρετικά):

Αποκλεισμός (Ruleout): Εφαρμόζεται, όταν στο σύνολο ανταγωνισμού υπάρχουν τουλάχιστο 5 υποθέσεις, οι οποίες, σε βαθμό αξιοπιστίας, είναι αρκετά κοντινές προς την πιο αξιόπιστη υπόθεση. Κάτω από αυτή τη στρατηγική αναζητούνται «φτηνές» ενδείξεις, οι οποίες είναι αναγκαίες για κάποιους από τους αντιπάλους με στόχο να γίνει πιο μικρό το σύνολο του ανταγωνισμού.

Διαχωρισμός (Discriminate): Εφαρμόζεται, όταν στο σύνολο ανταγωνισμού υπάρχουν 2 με 4 κοντινοί αντίπαλοι της πιο αξιόπιστης υπόθεσης. Κάτω από αυτή τη στρατηγική αναζητούνται όχι τόσο φτηνές ενδείξεις, με την παραδοχή ότι υποστηρίζουν έναν αντίπαλο σε βάρος κάποιου άλλου. Επομένως, οι νέες παρατηρήσεις αναμένεται ότι θα επιμηκύνουν την απόσταση ανάμεσα σε αντιπάλους.

Επιδίωξη (Pursue): Εφαρμόζεται, όταν ο δεύτερος καλύτερος αντίπαλος είναι σε σχετικά μεγάλη απόσταση από την πιο αξιόπιστη υπόθεση. Κάτω από αυτή τη στρατηγική αναζητούνται ενδείξεις, ασχέτως κόστους, με στόχο την επαλήθευση της πιο αξιόπιστης υπόθεσης.

Όταν επαληθευτεί κάποια υπόθεση, οι θετικές ενδείξεις που εξηγούνται από αυτήν, δηλαδή σχετίζονται μαζί της κάτω από τη σχέση Εκδηλώνει, θεωρούνται «καλυμμένες». Η διεργασία συνεχίζεται, εφόσον παραμένουν ακάλυπτες (ανεξήγητες) θετικές ενδείξεις με υψηλή σημασία, οπότε ο κύκλος της βαθμολόγησης υποθέσεων, διαχωρισμού τους σε αξιόπιστες και μη, δημιουργίας νέου συνόλου ανταγωνισμού και απόσπασης νέων παρατηρήσεων επαναλαμβάνεται.

8.3.3 Αξιολόγηση υποθέσεων – μοντέλο αβεβαιότητας

Οι απευθείας μαρτυρίες αφορούν την κατηγορηματική επαλήθευση ή άρνηση ενδείξεων. Τα συμπεράσματα του συστήματος, τα οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως μαρτυρίες για άλλες υποθέσεις, είναι επίσης κατηγορηματικά. Επομένως, αβεβαιότητα σε επίπεδο μαρτυριών δεν επιτρέπεται. Αυτό είναι μειονέκτημα, διότι υποθέσεις/ενδείξεις με υψηλό βαθμό πίστεως, δεν μπορούν να παρέχουν μαρτυρία για άλλες υποθέσεις, εκτός εάν «επιβεβαιωθούν». Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι κάθε θετική ένδειξη μπορεί να έχει μόνο μία αιτία (ασθένεια) η οποία να αποτελεί την εξήγησή της, παρόλο που η ταυτόχρονη ύπαρξη πολλαπλών ασθενειών στο ίδιο άτομο επιτρέπεται. Ως εκ τούτου μία θετική ένδειξη, η οποία έχει ήδη «εξηγηθεί», δεν μπορεί να παρέχει μαρτυρία για άλλες ενεργές υποθέσεις.

Για κάθε ενεργή υπόθεση δημιουργούνται τέσσερις λίστες:

- Λ_1 , οι ανεξήγητες θετικές ενδείξεις, η ύπαρξη των οποίων μπορεί να εξηγηθεί από την εν λόγω υπόθεση.
- Λ_2 , οι εκδηλώσεις της υπόθεσης, οι οποίες έχουν αναιρεθεί.
- Λ_3 , οι ανεξήγητες θετικές ενδείξεις, που δεν σχετίζονται με την υπόθεση.
- Λ_4 , οι εκδηλώσεις της υπόθεσης, των οποίων η κατάσταση αλήθειας είναι άγνωστη.

Λόγω του ότι το σύστημα δεν γνωρίζει τη χρονική εξέλιξη των πιθανών εκδηλώσεων μίας ασθένειας, δεν είναι σε θέση να γνωρίζει, εάν κάποιες εκδηλώσεις είναι μελλοντικές. Επομένως, η λίστα Λ_2 μπορεί να είναι ανακριβής. Το ίδιο και η λίστα Λ_4 , η οποία παρέχει πιθανά ερωτήματα για περαιτέρω παρατηρήσεις. Θα ήταν αδυναμία του συστήματος να ερωτά για κάτι, το οποίο έπεται της τρέχουσας κατάστασης του ασθενή.

Οι ενεργές υποθέσεις αξιολογούνται από μία *συνάρτηση βαθμολόγησης* (scoring function), η οποία τους αναθέτει βαθμούς. Οι βαθμοί (φυσικοί αριθμοί) αντιπροσωπεύουν την τρέχουσα αξιοπιστία των υποθέσεων. Σε γενικές γραμμές ο βαθμός της υπόθεσης Y_i δίνεται από τη σχέση

$$\text{Βαθμός } (Y_i) = \text{Θετικές } (Y_i) - \text{Άρνητικές } (Y_i) + \text{Μέρισμα } (Y_i)$$

Ο όρος Θετικές(Y_i) συνοψίζει τις μαρτυρίες υπέρ της υπόθεσης από τις ενδείξεις της λίστας Λ_1 . Για την κάθε ένδειξη λαμβάνεται υπόψη ο βαθμός

επάρκειάς της σε σχέση με την Y_i . Ο όρος Αρνητικές(Y_i) συνοψίζει τις μαρτυρίες κατά της υπόθεσης από τα στοιχεία της λίστας Λ_2 , όπου λαμβάνονται υπόψη οι αντίστοιχοι βαθμοί αναγκαιότητας και της λίστας Λ_3 , όπου λαμβάνονται υπόψη οι καθολικές σημασίες των εν λόγω ανεξήγητων ενδείξεων. Τέλος, ο όρος Μέρισμα (Y_i) συνοψίζει μαρτυρίες υπέρ, από ήδη επιβεβαιωμένες υποθέσεις, οι οποίες σχετίζονται με την υπόθεση Y_i μέσω κάποιας συμπληρωματικής σχέσης (βλέπε Σχήμα 8.20). Αυτός ο όρος αντανακλά τον ακολουθιακό τρόπο που χρησιμοποιεί το σύστημα για τη σύνθεση λύσεων, οι οποίες αποτελούνται από πολλαπλές ασθένειες. Έστω ότι η υπόθεση Y_1 έχει ήδη επιβεβαιωθεί, αλλά παραμένουν σοβαρές, ανεξήγητες, θετικές ενδείξεις. Οι αντίπαλες υποθέσεις Y_2 και Y_3 βαθμολογούνται ως εξίσου αξιόπιστες σε σχέση με τις απευθείας μαρτυρίες. Όμως, η Y_1 συνδέεται συμπληρωματικά με την Y_2 , συγκεκριμένα η Y_1 μπορεί να προκαλέσει την Y_2 , ενώ δεν έχει καμμία σχέση με την Y_3 . Ως αποτέλεσμα αυτής της σχέσης η Y_2 θα πάρει κάποιο μέρος, ενώ η Y_3 δεν θα πάρει τίποτα, γεγονός το οποίο στη συνέχεια θα δώσει στην Y_2 σημαντικό προβάδισμα έναντι της Y_3 . Αυτό είναι λογικό για τον απλό λόγο ότι σύνθετες λύσεις, των οποίων τα επιμέρους στοιχεία συσχετίζονται, έχουν υψηλότερη αξιοπιστία από λύσεις, των οποίων τα στοιχεία είναι άσχετα το ένα προς το άλλο. Όμως, ο καθαρά ακολουθιακός τρόπος κατασκευής σύνθετων λύσεων μειονεκτεί. Η επιβεβαίωση μέρους της λύσεως εμμέσως προωθεί τα υπόλοιπα κομμάτια, τα οποία στην ουσία αξιολογούνται ως απομονωμένα τμήματα, μίας άγνωστης τελικής λύσης. Πριν συμπληρωθεί η λύση το σύστημα δεν έχει εναλλακτικές, «ολοκληρωμένες» εικόνες για το τι πιθανώς συμβαίνει στον ασθενή, οι οποίες να μπορούν να αξιολογηθούν εξ ολοκλήρου σε σχέση με την ολότητα των θετικών ενδείξεων. Τι συμβαίνει, εάν κάποιο από τα επιμέρους συμπεράσματα του συστήματος, έστω το πρώτο, στην πραγματικότητα είναι λάθος; Το σύστημα δεν έχει τρόπο αναίρεσης προηγούμενων συμπερασμάτων και επομένως το λάθος θα διαδοθεί και σε μεταγενέστερα συμπεράσματα μέσω του μηχανισμού του μερίσματος. Σκοπός του συστήματος CADUCEUS ήταν ακριβώς η απαλοιφή του ακολουθιακού τρόπου κατασκευής σύνθετων λύσεων. Όπως βλέπετε, το INTERNIST-1 είναι σύστημα ταξινόμησης, αφού το βασικό πρόβλημα που επιλύει είναι η κατάταξη των επί του παρόντος ανεξήγητων θετικών ενδείξεων κάτω από μία από τις ασθένειες. Ακόμη και η σύνθεση, όπου χρειάζεται, γίνεται μέσω ταξινόμησης με την ακολουθιακή διαμέριση των θετικών ενδείξεων σε καλυμμένες (η αιτία τους έχει «επιβεβαιωθεί») και ανεξήγητες.

Σύνοψη

Στο κεφάλαιο 8 εξετάσαμε την πρώτη γενεά των έμπειρων συστημάτων παρουσιάζοντας τρία αντιπροσωπευτικά συστήματα, τα οποία ήταν καθοριστικά για την περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας. Αυτά τα συστήματα δημιουργήθηκαν επί μέτρω, μετά από μεγάλη προσπάθεια, με στόχο την υποβοήθηση ατόμων στην επίλυση σημαντικών προβλημάτων. Ως τρόπος απλοποίησης της δημιουργίας νέων έμπειρων συστημάτων, επινοήθηκε η έννοια του συστήματος κέλφους. Η αδυναμία αυτής της προσέγγισης είναι η επικέντρωσή της στο επίπεδο αναπαράστασης και όχι στο επίπεδο γνώσης.

Τα συστήματα πρώτης γενεάς θεωρούνται ρηχά, κυρίως λόγω της ευρείας χρήσης του φορμαλισμού των κανόνων παραγωγής, που έχει ως αποτέλεσμα σημαντική γνώση να αναπαριστάται με υπονοούμενο τρόπο ή να μην αναπαριστάται καθόλου. Στην πορεία της διαπραγματεύσεώς μας ασχοληθήκαμε με μία από τις ερμηνείες του όρου «μεταγλωττισμένη» γνώση, που απορρέει από τη χρήση κανόνων παραγωγής.

Η αβεβαιότητα, σε επίπεδο γνώσης αλλά και δεδομένων, αποτελεί αναπόφευκτο στοιχείο. Ως εκ τούτου, η αναπαράσταση της αβεβαιότητας και μοντέλα συλλογισμού με αβεβαιότητα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος αυτής της τεχνολογίας. Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάσαμε τα μοντέλα αβεβαιότητας των εν λόγω συστημάτων.

Στα πλαίσια της συζήτησής μας αναφερθήκαμε σε κάποιες αδυναμίες των τριών αυτών συστημάτων. Σε γενικό επίπεδο οι αδυναμίες των συστημάτων πρώτης γενεάς μπορεί να καταταθούν σε τρεις κατηγορίες, αυτές που αφορούν τη διεπαφή του συστήματος με το χρήστη, αυτές που αφορούν την ικανότητα του συστήματος ως επιλυτή προβλημάτων και αυτές που αφορούν το αναπτυξιακό στοιχείο του συστήματος. Μπορεί να ειπωθεί ότι οι διαφορές αυτές αδυναμίες απορρέουν από το γεγονός ότι τα συστήματα πρώτης γενεάς δεν αποτελούν ακριβείς προσομοιωτές των εν λόγω πεδίων εμπειρογνωμοσύνης. Αυτό είναι συνέπεια του τρόπου κατασκευής τους, ο οποίος έδινε έμφαση στην απευθείας αναπαράσταση της γνώσης και όχι στη μοντελοποίησή της ως βασικής προϋπόθεσης για τη σωστή επιλογή της αναπαράστασης. Έτσι σημαντική γνώση αγνοείται πλήρως ή εμφανίζεται με υπονοούμενο τρόπο.

Εάν ο τρόπος οργάνωσης της γνώσης και ο μηχανισμός συλλογισμού του συστήματος δεν ανταποκρίνεται σε αυτούς των εμπείρων, ενδεχομένως η διεπαφή του συστήματος με το χρήστη του (δομή διαλόγου, επεξηγήσεις, κτλ.)

να έχει (σοβαρές) αδυναμίες. Το ίδιο και η δυνατότητα επέκτασης/εκλέπτυνσης της γνώσης του. Τέλος, η δυσκαμψία, που παρατηρήθηκε σε σχέση με την ικανότητα των πρωταρχικών συστημάτων στην επίλυση προβλημάτων, οφείλεται στο ότι στην ουσία είχαν μόνο μία μέθοδο για την επίλυση όλων των περιστατικών του γενικού προβλήματος και στο γεγονός ότι, στην περίπτωση των συστημάτων παραγωγής, τα συστήματα δεν είχαν κάποια βαθύτερη γνώση αναφορικά με τις τεκμηριώσεις των κανόνων, η οποία θα τους έδινε μεγαλύτερη ευελιξία. Γενικά, ευελιξία σημαίνει την κατοχή εναλλακτικών μεθόδων επίλυσης και την ικανότητα επιλογής της σωστής μεθόδου για δεδομένο περιστατικό του προβλήματος. Τυπικά περιστατικά μπορεί να επιλύονται με μία μέθοδο και δύσκολα περιστατικά με άλλη μέθοδο, η οποία ενδεχομένως να επικαλείται βαθύτερη γνώση. Αυτά τα σημεία θα τα συζητήσουμε περαιτέρω στα πλαίσια της διαπραγματεύσής μας για έμπειρα συστήματα δεύτερης γενεάς, στο επόμενο κεφάλαιο.

Βιβλιογραφία

- P. Jackson, *Introduction to Expert Systems*, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1999.
- L. Johnson και E. Keravnou, *Expert Systems Architectures*, International Thomson Publishing (formely Kogan Page), 1988.

Στο βιβλίο των Johnson και Keravnou περιγράφονται, με τρόπο που επιτρέπει τη συγκριτική ανάλυση, εκτός των τριών συστημάτων που καλύψαμε σε αυτό το κεφάλαιο, τα συστήματα CADUCEUS, PIP, CASNET, ABEL, NEOMYCIN, CRIB, MDX και NEOCRIB. Από αυτά αξίζει να μελετήσετε τα κεφάλαια για τα συστήματα CADUCEUS και CASNET, καθώς επίσης το σύστημα CRIB, κυρίως σε σχέση με τον αλγόριθμο μάθησής του. Τα συστήματα NEOMYCIN και MDX θα εξετασθούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Έμπειρα Συστήματα Δεύτερης Γενεάς

Σκοπός

Βασικός στόχος της δεύτερης γενεάς έμπειρων συστημάτων είναι η απαλοιφή των σοβαρών αδυναμιών των συστημάτων πρώτης γενεάς. Η δεύτερη γενεά χαρακτηρίζεται κυρίως από τη χρήση πολλαπλών μοντέλων και μηχανισμών συλλογισμού, καθώς επίσης και από την υιοθέτηση προσεγγίσεων βασισμένων στο επίπεδο γνώσης ως προς το σχεδιασμό των συστημάτων. Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει τα κύρια χαρακτηριστικά της δεύτερης γενεάς, μέσω των έμπειρων συστημάτων NEOMYCIN και MDX.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει το κεφάλαιο 9, θα μπορείτε να:

- διατυπώσετε τα κύρια χαρακτηριστικά της δεύτερης γενεάς έμπειρων συστημάτων,
- εξηγήσετε τη χρήση πολλαπλών μοντέλων στο NEOMYCIN (γνώση δόμησης και γνώση υποστήριξης),
- εξηγήσετε την αναπαράσταση και ερμηνευση στρατηγικής γνώσης στο NEOMYCIN, καθώς επίσης την παραγωγή και σημασιολογία στρατηγικών επεξηγήσεων,
- αναφερθείτε συνοπτικά στη γενική μέθοδο της ευρετικής ταξινόμησης (*heuristic classification*),
- διατυπώσετε μία εναλλακτική ερμηνεία της έννοιας της «μεταγλωττισμένης γνώσης» από αυτή που εξετάσαμε στο κεφ. 8,
- παρουσιάσετε το μοντέλο συνεργασίας και την εν γένει κατανεμημένη αρχιτεκτονική του συστήματος MDX και των βοηθητικών του υποσυστημάτων,
- αναφερθείτε συνοπτικά στην αρχιτεκτονική των γενικευμένων εργασιών (*generic tasks architecture*),
- ερμηνεύσετε την έννοια της επαναχρησιμοποίησης σε σχέση με συστήματα δεύτερης γενεάς.

Έννοιες κλειδιά

- δεύτερη γενεά έμπειρων συστημάτων
- σχεδιασμός βασισμένος σε επίπεδο γνώσης

- Πολλαπλά μοντέλα και μηχανισμοί συλλογισμού
- στρατηγική γνώση, γνώση δόμησης και γνώση υποστήριξης
- στρατηγικές επεξηγήσεις τύπου «Γιατί» και «Πώς»
- ευρετική ταξινόμηση
- μεταγλωττισμένη γνώση – εναλλακτική ερμηνεία
- συνεργατικό μοντέλο ειδικών στο MDX – καταναμημένος έλεγχος
- αρχιτεκτονική γενικευμένων εργασιών

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Η έρευνα που αφορά έμπειρα συστήματα δεύτερης γενεάς είναι πραγματικά πολυδιάστατη και ως εκ τούτου είναι αδύνατο να αγγίζουμε όλες τις πτυχές αυτών των προσπαθειών στα πλαίσια ενός μόνο κεφαλαίου. Κατ' ανάγκη η διαπραγματεύσή μας θα είναι υπερβολικά επιλεκτική, θα παρουσιάσει όμως την ουσία της δεύτερης γενεάς. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε στο σύστημα NEOMYCIN (ενότητα 9.2), το οποίο αποτελεί την ιδεατή ανακατασκευή (reconstruction) του συστήματος MYCIN. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε αυτό το σύστημα παρουσιάζει η μοντελοποίηση στρατηγικής γνώσης και η παραγωγή στρατηγικών επεξηγήσεων. Η μέθοδος επίλυσης προβλημάτων που ενσωματώνει το NEOMYCIN γενικεύτηκε στη μέθοδο της ευρετικής ταξινόμησης, η οποία στη συνέχεια ενσωματώθηκε στο γενικευμένο σύστημα HERACLES. Στο κεφάλαιο αυτό, διαπραγματευόμαστε επίσης το σύστημα MDX (ενότητα 9.3) το οποίο παρουσιάζει μία ενδιαφέρουσα αρχιτεκτονική ως προς τη χρήση και συνεργασία πολλαπλών ειδικών (specialists) και την εν γένει κατανομή της γνώσης ελέγχου. Στα πλαίσια αυτού του συστήματος θα αναφερθούμε σε μία εναλλακτική ερμηνεία της έννοιας της «μεταγλωττισμένης» γνώσης, καθώς επίσης στην Αρχιτεκτονική των Γενικευμένων Εργασιών (Generic Tasks Architecture), η οποία αποτελεί τη γενίκευση της αρχιτεκτονικής του συστήματος MDX. Η διαπραγματεύσή μας αρχίζει με μία γενική περιγραφή των συστημάτων δεύτερης γενεάς (ενότητα 9.1).

9.1 Προσέγγιση δεύτερης γενεάς

Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η προσέγγιση ανάπτυξης έμπειρων συστημάτων πρώτης γενεάς επικεντρωνόταν στο επίπεδο αναπαράστασης, με άλλα λόγια στο επίπεδο υλοποίησης. Κατά μεγάλη πλειοψηφία αυτά τα συστήματα επιδείκνυαν ομοιόμορφη αναπαράσταση βασισμένη κυρίως σε κανόνες παραγωγής, και απλούς μηχανισμούς συλλογισμού. Η ευελιξία τους για την επίλυση προβλημάτων δεν ήταν ικανοποιητική, αφού η απόδοσή τους παρουσίαζε απότομη πτώση σε σχέση με τα δύσκολα προβλήματα του πεδίου τους. Επίσης, δεν «γνώριζαν» τα όρια της εμπειρογνωμοσύνης τους, οι δε επεξηγήσεις που ήταν σε θέση να προσφέρουν ήταν καθαρά μηχανικές, αφού απλά αποτελούσαν ένα ίχνος της συγκεκριμένης διεργασίας συλλογισμού, χωρίς να υπάρχει η ικανότητα τεκμηρίωσης ή έκφρασης, σε πιο αφηρημένο επίπεδο, αυτού του συλλογισμού. Η ενημέρωση της βάσης γνώσης τους και γενικά η απόκτηση γνώσης αποτελούσαν πηγές σημαντικής δυσκολίας και η ικανότητα μάθησής τους ήταν περιορισμένη.

Η αιτία αυτών των σοβαρών αδυναμιών της πρώτης γενεάς αποδόθηκε στο γεγονός ότι σημαντική γνώση ήταν παντελώς απύσχα ή εμφανιζόταν με υπονοούμενο τρόπο. Συγκεκριμένα, τρία είδη γνώσης δεν εμφανίζονταν ρητά:

- Γνώση «Πώς»: γνώση ελέγχου ή στρατηγική γνώση (control or strategic knowledge).
- Γνώση «Τι»: περιγραφική γνώση λειτουργίας (functional knowledge).
- Γνώση «Γιατί»: γνώση τεκμηρίωσης ή αιτιολογική γνώση (causal knowledge).

Στόχος της δεύτερης γενεάς έμπειρων συστημάτων είναι η απαλοιφή των αδυναμιών της πρώτης γενεάς. Στην πραγματικότητα ο όρος «συστήματα δεύτερης γενεάς» είναι κάπως ασαφής, διότι δεν υπάρχει ξεκάθαρη διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στα συστήματα «πρώτης» και «δεύτερης» γενεάς. Το ίδιο συμβαίνει και με τους όρους «ρηχά» και «βαθιά» συστήματα, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για να διαχωρίσουν τις δύο γενεές. Η έννοια του βάθους είναι σχετική και πολυδιάστατη.

Τα κύρια διακριτά χαρακτηριστικά της δεύτερης γενεάς είναι τα εξής:

(α) Η χρήση πολλαπλών μοντέλων και αντίστοιχων μηχανισμών συλλογισμού και κατά συνέπεια η χρήση υβριδικών αναπαραστάσεων για την υλοποίηση αυτών των μοντέλων. Συνήθως υπάρχουν δύο μοντέλα, το *ευρετικό*

μοντέλο (heuristic model) και κάποιο «βαθύτερο», αιτιολογικό κυρίως μοντέλο (causal model).

(β) Σχεδιασμός προσανατολισμένος στο επίπεδο γνώσης και κατά συνέπεια επίδειξη υψηλότερης αφαιρετικότητας ως προς τον τρόπο επίλυσης των σχετικών προβλημάτων και εν γένει πιο ορθολογιστικός τρόπος ανάπτυξης. Για παράδειγμα, είναι πιο κατανοητό ο σχεδιασμός να αναφέρεται σε επίλυση με ταξινόμηση ή τη χρήση απαγωγικού συλλογισμού, παρά να αναφέρεται σε ανάστροφη αλυσίδωση κανόνων, αφού έτσι παρέχεται ένας πιο ιδεατός χαρακτηρισμός της συμπεριφοράς του επιδιωκόμενου συστήματος.

Επίσης, στη δεύτερη γενεά δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην ικανότητα μάθησης και αυτοβελτίωσης εκ μέρους του συστήματος, όπου για παράδειγμα το ευρετικό μοντέλο μπορεί να παραχθεί σταδιακά από το «βαθύτερο» μοντέλο, με (ημι)αυτόματο τρόπο.

Σε γενικές γραμμές, η έρευνα σε σχέση με τη δεύτερη γενεά σαφώς επικεντρώνεται στο διαχωρισμό και στη ρητή μοντελοποίηση/αναπαράσταση περισσότερων ειδών γνώσης, σε σύγκριση με τα συστήματα πρώτης γενεάς, με απώτερο στόχο αυτά τα συστήματα να είναι πιο ικανά για την επίλυση προβλημάτων, πιο επεξηγήσιμα και πιο επαναχρησιμοποιήσιμα.

Στην πρώτη γενεά η έννοια της επαναχρησιμοποίησης ήταν καθαρά σε επίπεδο αναπαράστασης ή υλοποίησης. Εκδηλώθηκε μέσω της έννοιας του συστήματος κέλφους που αφορούσε την επαναχρησιμοποίηση του συμβολικού τρόπου αναπαράστασης της γνώσης, καθώς επίσης του κώδικα του αντίστοιχου μηχανισμού συλλογισμού. Σε αντίθεση, η δεύτερη γενεά παρέχει νέες ερμηνείες στην έννοια της επαναχρησιμοποίησης, κυρίως σε επίπεδο γνώσης, π.χ. επαναχρησιμοποίηση ιδεατών μοντέλων γνώσης, καθώς επίσης και επαναχρησιμοποίηση σε χαμηλότερο επίπεδο, όπως επαναχρησιμοποίηση βάσεων γνώσης ή συμβολικών μονάδων, δηλαδή κώδικα. Αυτές οι μονάδες (ιδεατές ή συμβολικές) δεν αποτελούν κατ' ανάγκη ολοκληρωμένες απόψεις ενός συστήματος, όπως συμβαίνει με τα συστήματα κέλφους, αλλά απλώς αποτελούν βασικά κατασκευαστικά τεμάχια (building blocks), τα οποία χρειάζεται να συντεθούν για να παραχθεί η ολοκληρωμένη άποψη του συστήματος.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 9.1

Συμπληρώστε τις εισόδους του ακόλουθου πίνακα με ένα ΝΑΙ ή ένα ΟΧΙ:

	Πρώτη Γενεά	Δεύτερη Γενεά
Επικεντρώνεται στο επίπεδο αναπαράστασης.
Επικεντρώνεται στο επίπεδο γνώσης.
Δίνει έμφαση στην ύπαρξη πολλαπλών μοντέλων και μηχανισμών συλλογισμού.
Επιδεικνύει υψηλότερη αφαιρετικότητα.
Τα συστήματά της έχουν χαρακτηριστεί ως «ρηχά».
Τα συστήματά της έχουν χαρακτηριστεί ως «βαθιά».
Σημαντική γνώση τύπου «Πώς», «Τι», και «Γιατί», εμφανίζεται με υπονοούμενο τρόπο ή και καθόλου.
Βασικός στόχος της είναι ο διαχωρισμός και η ρητή αναπαράσταση όλων των τύπων γνώσης που εμπλέκονται στην επίλυση προβλημάτων και την τεκμηρίωση των λύσεων.
Η πλειοψηφία των συστημάτων της επιδεικνύει ομοιομορφία στην αναπαράσταση και απλότητα στο συλλογισμό.

9.2 Neomycin

Η σημαντική επίδραση του συστήματος MYCIN στην πρώτη γενεά των έμπειρων συστημάτων είναι αναμφισβήτητη. Παρομοίως, η επίδραση του συστήματος NEOMYCIN (της «ανακατασκευής» του MYCIN) είναι εξίσου σημαντική ως προς τη δεύτερη γενεά των έμπειρων συστημάτων. Το NEOMYCIN, επίσης, αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Stanford, με κύριο ερευνητή τον William J. Clancey.

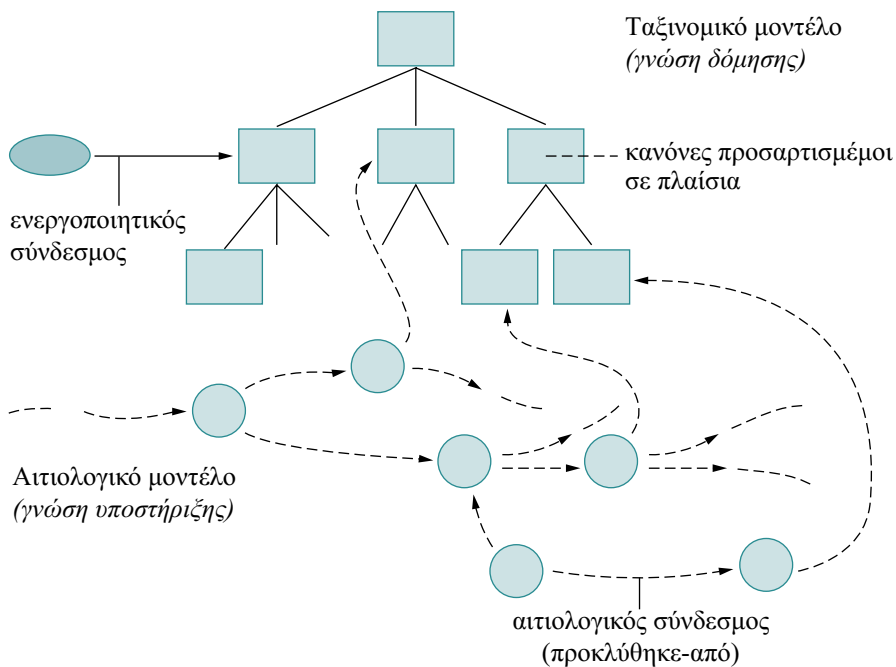
Το βασικό κίνητρο για τη δημιουργία του NEOMYCIN οφείλεται στις διάφορες ελλείψεις και τα εγγενή προβλήματα του GUIDON, του διδακτικού συστήματος του MYCIN. Ο ρόλος του GUIDON, και κατ' επέκταση οποιουδήποτε ευφυούς διδακτικού συστήματος, ήταν να παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα στο μαθητή-χρήστη, να παρέχει τυχόν επιπλέον πληροφορίες, όταν ζητούσε ο μαθητής, να εξάγει συμπεράσματα αναφορικά με το συλλογισμό του μαθητή και όπου χρειαζόταν να επανακατευθύνει το συλλογισμό του μαθητή, διδάσκοντας τον παράλληλα τους κατάλληλους κανόνες. Η αποτυχία του GUIDON έγκειτο στο γεγονός ότι ο συλλογισμός του MYCIN, με άλλα λόγια η ανάστροφη αλυσίδωση κανόνων, που το GUIDON προσπαθούσε να διδάξει, δεν ταυτιζόταν με τον ανθρώπινο συλλογισμό. Όπως ήδη συζητήσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η πραγματική στρατηγική γνώση του τομέα ήταν υπονοούμενη στους κανόνες του MYCIN. Επιπλέον, σε ένα διδακτικό πλαίσιο υπάρχει η ανάγκη για επεξήγηση και τεκμηρίωση των κανόνων, γιατί μόνο έτσι οι μαθητές μπορούν να τους κατανοήσουν και επομένως να τους θυμούνται. Λόγω της υπονοούμενης γνώσης στους κανόνες του MYCIN, δεν ήταν εύκολο να παραχθούν ικανοποιητικές επεξηγήσεις.

Ο κεντρικός στόχος πίσω από τη δημιουργία του NEOMYCIN ήταν η ρητή μοντελοποίηση στρατηγικής γνώσης ως βασική προϋπόθεση για την αποδοτική διδασκαλία διαγνωστικού συλλογισμού και την ακριβή ερμείευση της συμπεριφοράς κάποιου μαθητή κατά την επίλυση προβλημάτων. Μέσα στα πλαίσια αυτής της ριζικής ανακατασκευής της αρχιτεκτονικής του MYCIN, το εύρος της βάσης γνώσης επεκτάθηκε πέραν των μικροβιολογικών μολύνσεων του αίματος με την προσθήκη και άλλων κατηγοριών μολύνσεων. Εκτός από τη ρητή μοντελοποίηση της στρατηγικής γνώσης, η γνώση αναφορικά με τις μολύνσεις περιγράφεται με δύο διαφορετικούς τρόπους, με βάση δύο ξεχωριστά μοντέλα, του *ταξινομικού μοντέλου*, το οποίο αποτελεί τη *γνώση δόμησης* (structural knowledge), και του *αιτιολογικού μοντέλου*, το οποίο αποτελεί τη *γνώση υποστήριξης* (support knowledge). Ανάμεσα στα δύο μοντέλα, το ταξινομικό θεωρείται το ευρετικό μοντέλο και το αιτιολογικό το «βαθύ» μοντέλο. Επομένως, όπως θα δούμε με περισσότερη λεπτομέρεια στη συνέχεια, η υπονοούμενη γνώση στο MYCIN, εμφανίζεται ρητά στο NEOMYCIN.

9.2.1 Ταξινομικό και αιτιολογικό μοντέλο

Το ταξινομικό και αιτιολογικό μοντέλο αποτελούν δύο εναλλακτικούς τρόπους παρουσίασης του ίδιου σώματος γνώσης (βλέπε Σχήμα 9.1). Το ταξι-

νομικό μοντέλο παρέχει μία ιεραρχική οργάνωση της γνώσης με βάση κατηγορίες και υποκατηγορίες ασθενειών. Το αιτιολογικό μοντέλο παρέχει μία βαθύτερου επιπέδου παρουσίαση αυτής της γνώσης με βάση ένα αιτιολογικό δίκτυο το οποίο συνδέει ορατές ενδείξεις με τις πιθανές, απώτερες αιτίες τους, διαμέσου ενδιάμεσων παθοφυσιολογικών καταστάσεων. Τα δύο μοντέλα παρέχουν δύο εναλλακτικούς τρόπους επίλυσης των προβλημάτων.



Σχήμα 9.1

Μοντέλα Περιγραφικής Γνώσης στο NEOMYCIN

Το ταξινομικό μοντέλο εφαρμόζεται με βάση τη στρατηγική «υπόθεσε και εκπλέτνυ» (hypothesise and refine). Με τη χρήση ενεργοποιητικών συνδέσμων (triggers – βλέπε ενότητα 5.3.3), π.χ. πονοκέφαλος μαζί με δυσκαμψία αυχένα ενεργοποιεί την υπόθεση της μηνιγγίτιδας, αρχικός στόχος είναι να ενεργοποιηθεί κάποιος ενδιάμεσος κόμβος της ταξινομίας και από εκεί σταδιακά να επιλέγονται διάδοχοι κόμβοι (υποκατηγορίες) μέχρι να επιλεγεί κάποιος τερματικός κόμβος (ατομική ασθένεια). Η παράλληλη διερεύνηση πολλαπλών διαδρομών στην ταξινομία ενδείκνυται κυρίως για περιπτώσεις όπου μπορεί να υπάρχουν ταυτόχρονα πολλαπλές ασθένειες.

Κάθε κόμβος της ταξινομίας είναι ένα πλαίσιο, το οποίο ανάμεσα σε άλλα περιέχει όλους τους κανόνες που αφορούν την εν λόγω ασθένεια ή κατηγορία ασθενειών. Επειδή αυτοί οι κανόνες έχουν προσαρτηθεί στο πλαίσιο που απο-

τελεί το σημείο αναφοράς τους, οι συνθήκες πλαισίου μπορούν να απαλειφθούν από τα προκείμενά τους (βλέπε ενότητα 8.1.5). Επίσης, οι συνθήκες παραπετάσματος μπορούν να απαλειφθούν από τα προκείμενα κανόνων, επειδή η εν λόγω «κοινή γνώση» απεικονίζεται ρητά από ένα ξεχωριστό, σε καθολικό επίπεδο, σύνολο κανόνων, οι οποίοι ονομάζονται *κανόνες προπετάσματος* (screening rules). Οι κανόνες προπετάσματος εφαρμόζονται με αναστροφή αλυσίδωση με στόχο την επαλήθευση ή άρνηση συνθηκών στα προκείμενα των κανόνων για ασθένειες. Επομένως, η ρητή απεικόνιση της ταξινόμιας ασθενειών και της κοινής γνώσης οδήγησε στην απλοποίηση των κανόνων.

Το αιτιολογικό μοντέλο απεικονίζει την εν λόγω γνώση σε βαθύτερο επίπεδο. Η σχέση που συνδέει τους κόμβους στις διάφορες αιτιολογικές αλυσίδες είναι «προκαλείται–από» ή ακριβέστερα «μπορεί–να–προκληθεί–από». Επομένως, οι αλυσίδες είναι απαγωγικής μορφής (από ενδείξεις σε αιτίες, ανάστροφα στο χρόνο), σε αντίθεση με τις ταξινομικές διαδρομές, οι οποίες είναι συμπερασματικής μορφής. Ορισμένοι κόμβοι στις αιτιολογικές αλυσίδες ανήκουν και στο ταξινομικό μοντέλο, όχι κατ' ανάγκη ως τερματικοί κόμβοι. Αυτοί οι κόμβοι αποτελούν τους συνδετικούς κρίκους ανάμεσα στα δύο μοντέλα. Για σκοπούς επίλυσης προβλημάτων, το αιτιολογικό μοντέλο χρησιμοποιείται με συνθετικό τρόπο. Στόχος είναι να συντεθούν οι αιτιολογικές αλυσίδες που αφορούν τον ασθενή. Όμως, το αιτιολογικό μοντέλο χρησιμοποιείται κυρίως για σκοπούς τεκμηρίωσης των λύσεων παρά για σκοπούς παραγωγής των λύσεων (βλέπε παρακάτω). Για αυτό το λόγο αποκαλείται γνώση υποστήριξης.

Επομένως, τα δύο μοντέλα παρέχουν δύο εναλλακτικές στρατηγικές επίλυσης των προβλημάτων. Το ταξινομικό μοντέλο παρέχει έναν πιο αποδοτικό τρόπο επίλυσης και ως εκ τούτου αποτελεί την κύρια στρατηγική επίλυσης, η οποία αναμένεται να είναι εφαρμόσιμη και αποτελεσματική για την πλειοψηφία των προβλημάτων. Το αιτιολογικό μοντέλο οδηγεί σε μία πιο ενδελεχή και λεπτομερή αναζήτηση της λύσεως. Αυτή η στρατηγική αναμένεται να έχει χρησιμότητα σε σχέση με δύσκολα προβλήματα, τα οποία δεν καλύπτονται επαρκώς από τους αφηρημένους κανόνες των κόμβων της ταξινόμιας. Παρόλο που στην ουσία τα δύο μοντέλα είναι «αντίπαλα», μπορεί να χρησιμοποιηθούν με συνεργατικό τρόπο για την επίλυση προβλημάτων. Για παράδειγμα, εάν κανένας από τους ενεργοποιητικούς συνδέσμους του ταξινομικού μοντέλου δεν μπορεί να εφαρμοστεί, η χρήση του αιτιολογικού μοντέλου μπορεί να οδηγήσει σε κάποιο μη τερματικό κόμβο της ταξινόμιας

και από εκεί να εφαρμοστεί η στρατηγική «υπέθεσε και εκλέπτυνε». Όμως, όπως ήδη αναφέρθηκε, η κυρίως χρήση του αιτιολογικού μοντέλου είναι για την τεκμηρίωση, σε βαθύτερο επίπεδο, των λύσεων που παράγονται από το ταξινομικό μοντέλο, όπου τα δύο μοντέλα εφαρμόζονται με καθαρά συνεργατικό τρόπο.

Αντιστοιχίστε τα στοιχεία της πρώτης στήλης με στοιχεία της δεύτερης στήλης.

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Ταξινομικό Μοντέλο | <ul style="list-style-type: none"> • Θεωρείται το βαθύτερο ανάμεσα στα δύο μοντέλα περιγραφικής γνώσης. • Καλείται γνώση δόμησης. • Καλείται γνώση υποστήριξης. • Σχετίζεται με ενεργοποιητικούς συνδέσμους. • Η κυρίως χρήση του είναι για την τεκμηρίωση λύσεων. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Αιτιολογικό Μοντέλο | <ul style="list-style-type: none"> • Αναμένεται ότι η πλειοψηφία των προβλημάτων θα μπορεί να επιλυθεί μέσω αυτού. • Σε επίπεδο επίλυσης προβλημάτων αναμένεται να έχει χρησιμότητα αναφορικά με δύσκολες περιπτώσεις. |

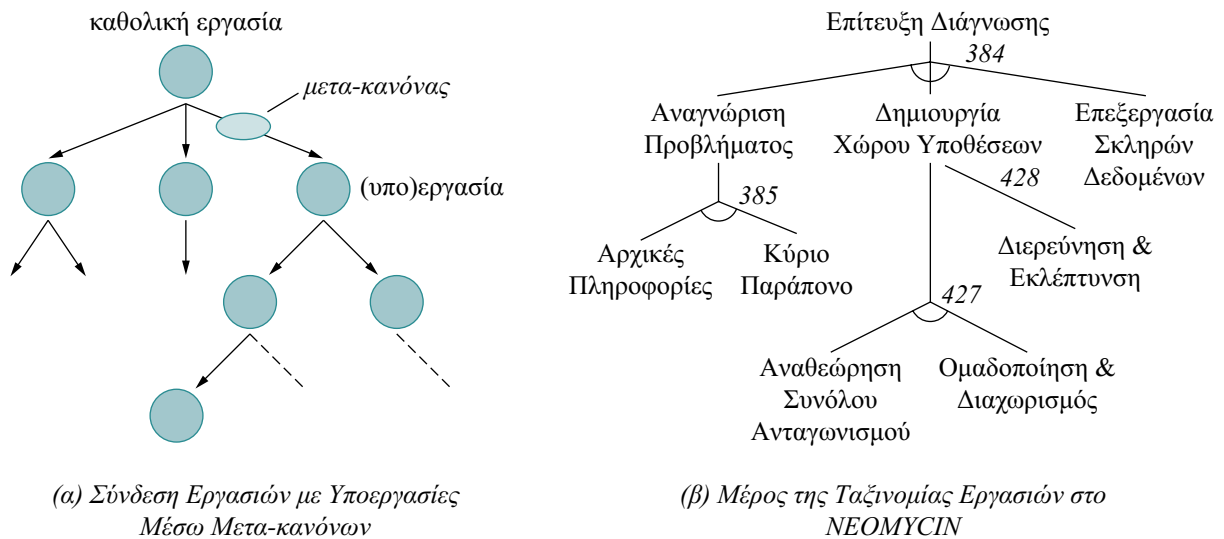
Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 9.2

9.2.2 Μοντελοποίηση στρατηγικής γνώσης

Η ρητή μοντελοποίηση και αναπαράσταση στρατηγικής γνώσης αποτέλεσε τον πρωταρχικό παράγοντα για τη δημιουργία του συστήματος NEOMYCIN. Η καθολική εργασία, η επίτευξη διάγνωσης σε δεδομένο πρόβλημα, έχει διασπασθεί σε διάφορες υποεργασίες. Μέρος της ταξινομίας εργασιών (task taxonomy) δίνεται στο Σχήμα 9.2(β). Ο συλλογισμός που εμπλέκεται και οι επιμέρους στρατηγικές (βλέπε παρακάτω) εκφράζονται σε αφηρημένο επίπεδο. Για παράδειγμα, μία εργασία μπορεί να έχει παραμέτρους, οι οποίες δεσμεύονται με συγκεκριμένες τιμές προς εκτέλεση της εργασίας σε δεδομένα συμφραζόμενα.

Μη τερματικές εργασίες αποτελούν εργασίες ελέγχου, ενώ τερματικές εργασίες

επεξεργάζονται την περιγραφική γνώση και θέτουν ερωτήματα στο χρήστη. Η εκτέλεση μίας μη τερματικής εργασίας, η επίτευξη δηλαδή του στόχου με τον οποίο συνδέεται η εργασία, μπορεί να γίνει με βάση διαφορετικές στρατηγικές. Για παράδειγμα, υπάρχουν δύο εναλλακτικές στρατηγικές για την επίτευξη του στόχου της εργασίας «Δημιουργία Χώρου Υποθέσεων» [(βλέπε Σχήμα 9.2(β)). Η μία στρατηγική εμπλέκει την υποεργασία «Διερεύνηση & Εκλέπτυνση», ενώ η άλλη στρατηγική εμπλέκει τις υποεργασίες «Αναθεώρηση Συνόλου Ανταγωνισμού» και «Ομαδοποίηση & Διαχωρισμός». Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν εναλλακτικές στρατηγικές για κάθε μη τερματική εργασία. Για παράδειγμα, η καθολική εργασία «Επίτευξη Διάγνωσης» συνδέεται με μία μόνο στρατηγική, σύμφωνα με την οποία η εργασία διασπάται στις τρεις υποεργασίες, «Αναγνώριση Προβλήματος», «Δημιουργία Χώρου Υποθέσεων» και «Επεξεργασία Σκληρών Δεδομένων». Απευθείας παρατηρήσεις ή αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων θεωρούνται «σκληρά» δεδομένα.



Σχήμα 9.2

Αναπαράσταση
Στρατηγικής Γνώσης

Οι διάφορες στρατηγικές αναφορικά με την εκτέλεση εργασιών, οι οποίες έχουν ως συνέπεια την εμπλοκή άλλων (υπο)εργασιών, εκφράζονται με καθαρά δηλωτικό τρόπο σε μορφή μετα-κανόνων [(βλέπε Σχήμα 9.2(α)]. Οι αριθμοί που εμφανίζονται στο Σχήμα 9.2(β) αντιστοιχούν στους σχετικούς μετα-κανόνες. Το προκειμένο ενός μετα-κανόνα διατυπώνει τις προϋποθέσεις που διέπουν τη χρήση της εν λόγω στρατηγικής, ενώ η ενέργειά του εκφράζει την εμπλεκόμενη υποεργασία ή ακολουθία υποεργασιών. Στο Σχήμα

9.3 δίνονται παραδείγματα εργασιών και αντίστοιχων μετα-κανόνων. Όπως ήδη αναφέρθηκε, το σημαντικό στοιχείο πέραν της ρητής αναπαράστασης της γνώσης συλλογισμού, είναι ότι αυτή η γνώση εκφράζεται με αφηρημένο τρόπο, δηλαδή τρόπο ανεξάρτητο του γνωστικού πεδίου. Οι μετα-κανόνες αναφέρονται σε αφηρημένες έννοιες, όπως «ένδειξη» και «αιτία», και όχι σε συγκεκριμένες έννοιες, όπως «πονοκέφαλος» και «μηνιγγίτιδα».

Στο Σχήμα 9.3 οι υποεργασίες που εμπλέκονται στις ενέργειες των μετα-κανόνων δίνονται πλάγια Π.χ. η στρατηγική της εργασίας «Χαρακτηρισμός Δεδομένων» εμπλέκει την εργασία «Εξερεύνηση». Επίσης παρατηρείται ότι οι δύο μετα-κανόνες που συνδέονται με την εργασία «Δοκιμή Υπόθεσης» έχουν την ίδια ενέργεια. Τα προκειμένα τους όμως είναι διαφορετικά και επομένως αποτελούν δύο διαφορετικές στρατηγικές, έστω και εάν καταλήγουν στο ίδιο σχέδιο δράσεως. Κάθε ενέργεια χρειάζεται να τεκμηριωθεί με βάση τη λογική που οδήγησε σε αυτή. Τέλος, η ίδια υποεργασία μπορεί να εμπλακεί στα πλαίσια διαφόρων εργασιών.

Εργασία:

Ομαδοποίηση & Διαχωρισμός

Μετα-Κανόνας:

Εάν υπάρχουν δύο στοιχεία στο σύνολο ανταγωνισμού, τα οποία διαφέρουν σε κάποιο χαρακτηριστικό,

Τότε να τεθεί ερώτημα στο χρήστη αναφορικά με αυτό το χαρακτηριστικό.

Εργασία: Δοκιμή Υπόθεσης

Μετα-Κανόνας:

Εάν το υπο-ερώτημα στοιχείο σχετίζεται στενά με την υπόθεση,

Τότε να εφαρμοστούν οι σχετικοί κανόνες με στόχο να απαντηθεί το ερώτημα.

Μετα-Κανόνας:

Εάν το υπο-ερώτημα στοιχείο θα έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η αξιοπιστία της υπόθεσης,

Τότε να εφαρμοστούν οι σχετικοί κανόνες με στόχο να απαντηθεί το ερώτημα.

Εργασία:

Διερεύνηση & Εκλέπτυνση

Μετα-Κανόνας:

Εάν η υπο-διερεύνηση υπόθεση έχει κάποια εκλέπτυνση η οποία δεν έχει ακόμη διερευνηθεί,

Τότε να γίνει η διερεύνησή της.

<p>Εργασία: Χαρακτηρισμός Δεδομένων</p> <p>Μετα–Κανόνας: Εάν υπάρχει κάποια άγνωστη πληροφορία αναφορικά με το πρόσφατο δεδομένο, Τότε να εξερευνηθεί αυτή η πληροφορία.</p>	<p>Εργασία: Εξερεύνηση</p> <p>Μετα–Κανόνας: Εάν η επιθυμητή πληροφορία είναι υποκατηγορία κάποιας κατηγορίας, η οποία έχει αποκλεισθεί, Τότε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η πληροφορία δεν ευσταθεί.</p>
--	--

Σχήμα 9.3

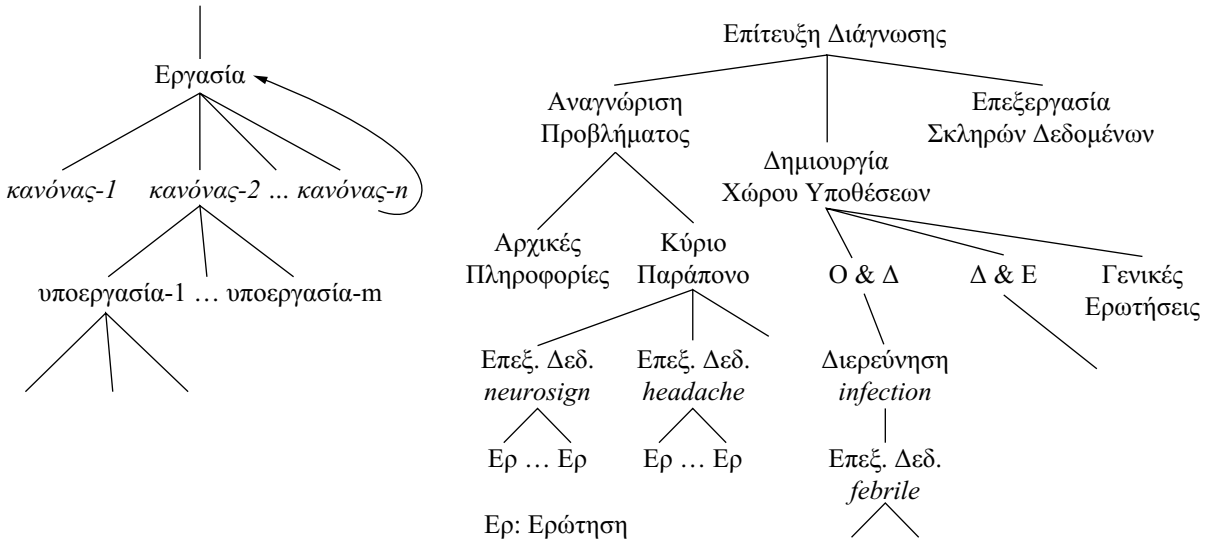
Παραδείγματα Εργασιών
και Μετα–Κανόνων

ΔΙΕΡΜΗΝΕΑΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Οι μετα–κανόνες της υπο–εκτέλεση εργασίας διερμηνεύονται με ορθή αλυσίδωση. Οι κανόνες είναι διατεταγμένοι σε δεδομένη σειρά. Συνήθως η ενέργεια του τελευταίου κανόνα είναι ότι έχει ολοκληρωθεί η εκτέλεση της εργασίας, το προκείμενό του δηλαδή διατυπώνει τη συνθήκη τερματισμού. Διαδοχικά εξετάζονται τα προκείμενα των κανόνων, κάθε φορά αρχίζοντας από την αρχή της διάταξης κανόνων και ο πρώτος στη σειρά κανόνας, του οποίου το προκείμενο ευσταθεί, εφαρμόζεται, μέχρις ότου να επαληθευτεί είτε ο τελευταίος κανόνας, είτε κάποιος κανόνας ο οποίος ρητά διατυπώνει τον τερματισμό της εκτέλεσης της εργασίας [βλέπε Σχήμα 9.4(α)]. Με βάση αυτό τον τρόπο διερμίνευσης, ενδεχομένως να εμπλακούν πολλαπλές συγκεκριμενοποιήσεις της ίδιας υποεργασίας, στα πλαίσια της εκτέλεσης δεδομένης εργασίας. Σε μεταγενέστερες εκδόσεις του συστήματος η μέθοδος διερμίνευσης των μετα–κανόνων μπορούσε να διαφέρει από εργασία σε εργασία.

Η διερμίνευση των μετα–κανόνων της υπο–εκτέλεση εργασίας, οδηγεί στην αναδρομική κλήση του διερμηνέα, προς εκτέλεση των εμπλεκόμενων υποεργασιών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός δέντρου συλλογισμού ή διαγνωστικού πλάνου, οι κόμβοι του οποίου αντιπροσωπεύουν (συγκεκριμενοποιήσεις) εργασιών [βλέπε Σχήμα 9.4(β)]. Η ρίζα του δέντρου αντιπροσωπεύει την καθολική εργασία «Επίτευξη Διάγνωσης», η εκτέλεση της οποίας ενεργοποιείται αυτόματα και η ολοκλήρωσή της σηματοδοτεί την ολοκλήρωση του δέντρου συλλογισμού. Οι τερματικοί κόμβοι στο δέντρο συλλογισμού αντιπροσωπεύουν την εκτέλεση τερματικών εργασιών, π.χ. την προβολή συγκεκριμένων ερωτημάτων προς το χρήστη. Επομένως, το δέντρο

αυτό καταγράφει, σε επίπεδο εργασιών και υποεργασιών, όλο το συλλογισμό του συστήματος αναφορικά με την επίλυση δεδομένου διαγνωστικού προβλήματος.



(α) Διερμήνευση Μετα-κανόνων

(β) Δέντρο Συλλογισμού

Σχήμα 9.4
Εκτέλεση Εργασιών

Πώς διαφέρουν οι μετα-κανόνες του NEOMYCIN από τους μετα-κανόνες του MYCIN;

Άσκηση
Αυτοαξιολόγησης
9.3

9.2.3 Στρατηγικές επεξηγήσεις

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το δέντρο συλλογισμού καταγράφει όλο το συλλογισμό του συστήματος στα πλαίσια δεδομένης συμβουλευτικής συνδιάλεξης. Για παράδειγμα, καταγράφει τις αλυσίδες εργασιών και υποεργασιών (και το σκεπτικό που συνδέει κάθε εργασία με την υποεργασία που την ακολουθεί), που οδήγησαν σε κάθε ερώτημα που έχει τεθεί στο χρήστη.

Ο τρόπος αναπαράστασης και διερμήνευσης της στρατηγικής γνώσης επιτρέπει στο σύστημα να παρέχει στο χρήστη *στρατηγικές επεξηγήσεις* (strategic explanations) σε συγκεκριμένο επίπεδο (εφαρμογή στρατηγικών σε συγκεκριμένες περιπτώσεις), καθώς επίσης σε αφηρημένο επίπεδο (γενικές στρα-

τηγικές). Όπως και στο MYCIN, τα είδη επεξηγήσεων είναι δύο, επεξηγήσεις «Γιατί;» και επεξηγήσεις «Πώς;».

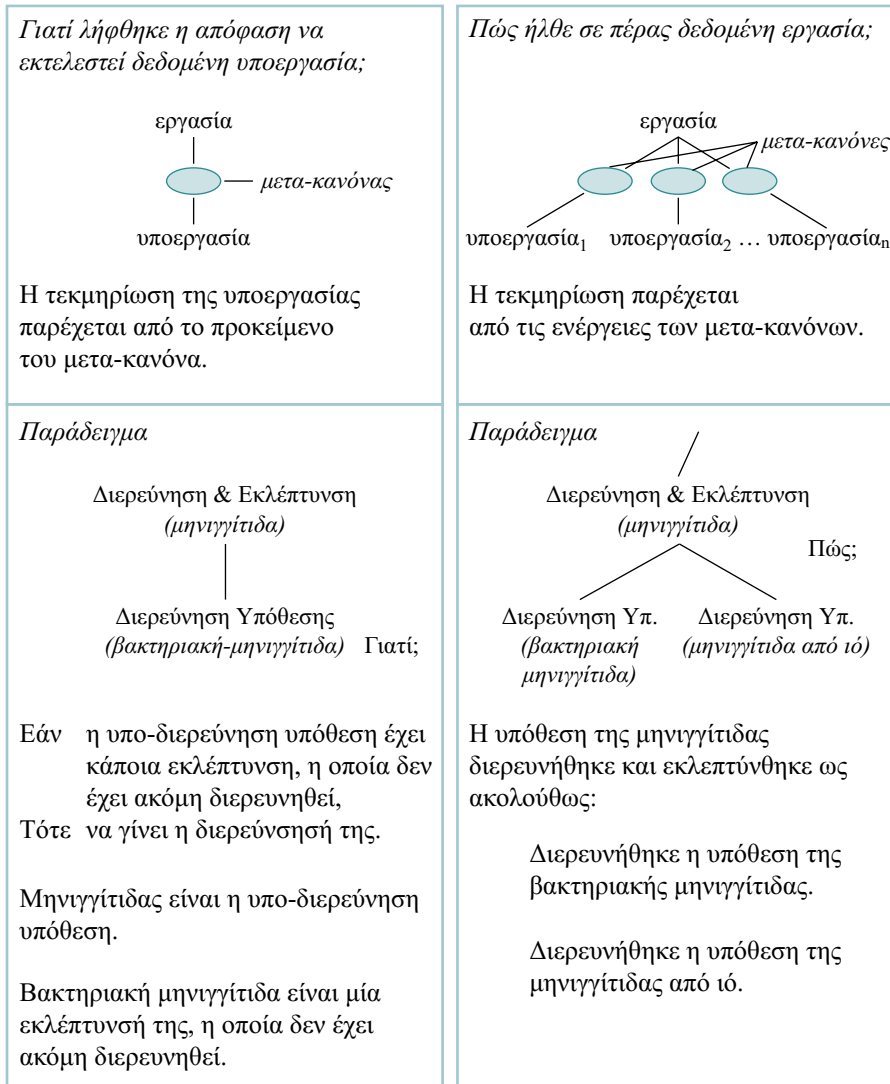
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ «ΓΙΑΤΙ;»

Ένα ερώτημα τύπου «Γιατί;» εκ μέρους του χρήστη αναφέρεται σε συγκεκριμένη εργασία και σημαίνει «Γιατί αποφασίστηκε η εκτέλεση αυτής της εργασίας;», π.χ. γιατί αποφασίστηκε να αποσπασθεί κάποια νέα πληροφορία από το χρήστη. Με εξαίρεση την καθολική εργασία, η εκτέλεση της οποίας είναι απόφαση του χρήστη, η απόφαση προς εκτέλεση οποιασδήποτε άλλης εργασίας προκύπτει στα πλαίσια της εκτέλεσης κάποιας άλλης εργασίας. Η τεκμηρίωση της απόφασης παρέχεται από τον μετα-κανόνα, ο οποίος αναπαριστά τη στρατηγική συλλογισμού που συνδέει τις δύο εργασίες με τα συγκεκριμένα συμφραζόμενα και για ακρίβεια το προκείμενο του μετα-κανόνα.

Στο Σχήμα 9.5(α) δίνεται ένα παράδειγμα στρατηγικής επεξήγησης τύπου «Γιατί;». Ο χρήστης ερωτά, γιατί διερευνάται η υπόθεση της βακτηριακής μηνιγγίτιδας. Η απόφαση προς εκτέλεση αυτής της εργασίας έχει προκύψει στα πλαίσια της εκτέλεσης της εργασίας για τη διερεύνηση και εκλέπτυνση της υπόθεσης της μηνιγγίτιδας. Η επεξήγηση του συστήματος αποτελείται από δύο μέρη. Το αφηρημένο μέρος είναι η διατύπωση του εν λόγω μετα-κανόνα. Αυτός ο μετα-κανόνας, που είναι εκείνος που δίνεται στο Σχήμα 9.3 για την εργασία «Διερεύνηση & Εκλέπτυνση», εκφράζει τη γενική στρατηγική. Μετά ακολουθεί το συγκεκριμένο μέρος της επεξήγησης, στο οποίο αναλύεται η εφαρμογή της δεδομένης στρατηγικής στα συγκεκριμένα συμφραζόμενα, ότι δηλαδή η μηνιγγίτιδα είναι η υπο-διερεύνηση υπόθεση και ότι βακτηριακή μηνιγγίτιδα είναι μία εκλέπτυνση της υπόθεσης, η οποία δεν έχει ακόμη διερευνηθεί.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΠΕΞΗΓΗΣΕΙΣ «ΠΩΣ;»

Ένα ερώτημα τύπου «Πώς;» επίσης αναφέρεται σε συγκεκριμένη εργασία και σημαίνει «Πώς ήλθε σε πέρας αυτή η εργασία;». Τέτοια ερωτήματα αφορούν μη τερματικές εργασίες (στο δέντρο συλλογισμού). Η διεκπεραίωση τερματικών εργασιών συνεπάγεται την επεξεργασία περιγραφικής γνώσης. Εάν για παράδειγμα αυτή η επεξεργασία αφορά την ανάστροφη αλυσίδωση κανόνων, π.χ. του συνόλου των κανόνων προπετάσματος, η εν λόγω εργασία αποτελεί τον απώτερο στόχο του δέντρου συλλογισμού που απορρέει από την αλυσίδωση αυτών των κανόνων και επομένως η εκτέλεσή της μπορεί να εξηγηθεί με βάση μία επεξήγηση τύπου «MYCIN-Πώς;».



(α) Στρατηγικές Επεξηγήσεις «Γιατί;»

(β) Στρατηγικές Επεξηγήσεις «Πώς;»

Σχήμα 9.5

Στρατηγικές Επεξηγήσεις

Ας θεωρήσουμε, λοιπόν, ότι στρατηγικές επεξηγήσεις «Πώς;» αναφέρονται σε εργασίες ελέγχου. Η επεξήγηση αποτελείται από τις (συγκεκριμενοποιήσιμες) υποεργασίες που χρειάστηκε να εμπλακούν με βάση τη διερμίνευση των μετα-κανόνων για την εν λόγω εργασία, με άλλα λόγια τις ενέργειες των μετα-κανόνων που έχουν εφαρμοστεί. Στο Σχήμα 9.5(β) δίνεται ένα παράδειγμα στρατηγικής επεξήγησης «Πώς;». Το ερώτημα είναι πώς έγινε η διερεύνηση και εκλέπτυνση της υπόθεσης της μηνιγγίτιδας. Η επεξήγηση απλά αποτελείται από την ακολουθία των υποεργασιών που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της δεδομένης εργασίας. Στη συνέχεια, μέσω στρατηγικών επεξη-

γήσεων «Γιατί», ο χρήστης μπορεί να αποσπάσει τις στρατηγικές που οδήγησαν στην επιλογή της κάθε υποεργασίας.

Δραστηριότητα 9.1

Κάνετε μία σύγκριση (ομοιότητες, διαφορές) ανάμεσα στις επεξηγήσεις του MYCIN και τις επεξηγήσεις του NEOMYCIN.

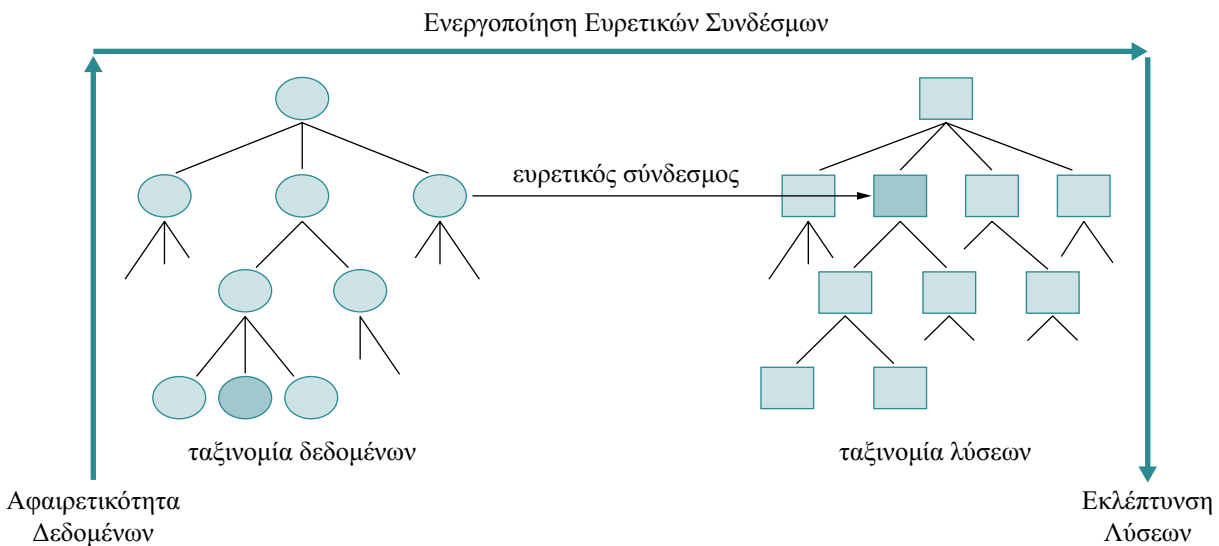
9.2.4 Ευρετική ταξινόμηση

Κλείνουμε την παρούσα ενότητα με μία σύντομη αναφορά στη γενική μέθοδο της *ευρετικής ταξινόμησης* (heuristic classification), η οποία αποτελεί τη γενίκευση του συλλογισμού του συστήματος NEOMYCIN. Η μέθοδος προτάθηκε από το δημιουργό του NEOMYCIN^[1]. Για την εφαρμογή της χρειάζονται τρεις βασικές δομές γνώσης (βλέπε Σχήμα 9.6): (α) η *ταξινόμια δεδομένων* (data taxonomy), (β) η *ταξινόμια λύσεων* (solution taxonomy) και (γ) οι *ευρετικοί σύνδεσμοι*, οι οποίοι συνδέουν κόμβους της ταξινόμιας δεδομένων με κόμβους της ταξινόμιας λύσεων και επομένως αποτελούν τους συνδετικούς κρίκους ανάμεσα στις δύο ταξινομίες. Οι διεργασίες συλλογισμού που αντιστοιχούν σε αυτές τις τρεις δομές γνώσης αποτελούν τη μέθοδο της ευρετικής ταξινόμησης. Αυτές είναι οι εξής:

- *Αφαιρετικότητα Δεδομένων* (Data Abstraction), η οποία εφαρμόζεται στην ταξινόμια δεδομένων, με στόχο την παραγωγή πιο αφηρημένων δεδομένων από τα αρχικά, πολύ συγκεκριμένα δεδομένα ενός προβλήματος. Συνήθως, τα αρχικά δεδομένα μπορούν να ταυτιστούν με χαμηλού επιπέδου κόμβους στην ταξινόμια δεδομένων, οι οποίοι δεν εμπλέκονται σε ευρετικούς συνδέσμους. Επομένως, στόχος είναι να ενεργοποιηθούν σταδιακά κόμβοι σε υψηλότερα επίπεδα της ταξινόμιας δεδομένων. Η όλη διεργασία εμπεριέχει διάφορους μηχανισμούς, οι οποίοι μπορούν να εφαρμοστούν με συνεργατικό τρόπο, ούτως ώστε να παραχθεί πληροφορία σε όσο γίνεται πιο αφηρημένο επίπεδο. Παραδείγματα τέτοιων μηχανισμών είναι (α) η *ποιοτική αφαιρετικότητα* (qualitative abstraction), όπου ποσοτικές εκφράσεις, π.χ. «θερμοκρασία 41 °C», μεταφράζονται σε ποιοτικές εκφράσεις, π.χ. «υψηλός πυρετός», (β) η *αφαιρετικότητα γενίκευσης* (generalization abstraction), όπου συγκεκριμένη έκφραση, π.χ. «χορήγηση augmentin», μεταφράζεται σε επί-

[1] W.J. Clancey, “Heuristic Classification”, *Artificial Intelligence*, 27, σελίδες 289–350, 1985.

πεδο κατηγορίας, π.χ. «χορήγηση αντιβιοτικού», και (γ) η *αφαιρετικότητα ορισμού* (definitional abstraction), όπου δεδομένο το οποίο ανήκει σε μία ιδεατή κατηγορία μεταφράζεται στο «ισότιμό του» σε άλλη, μη ιεραρχικά σχετιζόμενη, ιδεατή κατηγορία, π.χ. «γενικευμένη πλατυσπονδυλία» μπορεί να μεταφραστεί ως «κοντός κορμός». Αυτοί οι μηχανισμοί δεν χρησιμοποιούν τη διάσταση του χρόνου. Πρόσφατα, μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον έχει προσελκύσει η *χρονική αφαιρετικότητα δεδομένων* (temporal data abstraction), όπου τα ακατέργαστα δεδομένα είναι χρονοσειρές διαφόρων μορφών και στόχος είναι η παραγωγή χρονικών αφαιρετικοτήτων όπως τάσεων (trends) και περιοδικών συμβάντων.



Σχήμα 9.6

Ευρετική Ταξινόμηση

- *Ενεργοποίηση Ευρετικών Συνδέσμων* (Activation of Heuristic Links). Αυτή είναι μία σχετικά απλή αλλά κρίσιμη διεργασία. Στόχος της είναι να κατευθύνει την προσοχή σε κόμβους της ταξινόμιας λύσεων, αφού απώτερος στόχος είναι να επιλεγούν τερματικοί κόμβοι σε αυτή την ταξινόμια. Μπορούν να εφαρμοστούν ευρετικοί σύνδεσμοι για τους οποίους τα προκείμενα ευσταθούν, δηλαδή τα εν λόγω δεδομένα έχουν επαληθευτεί από τη διεργασία της αφαιρετικότητας δεδομένων. Αυτό οδηγεί στην ενεργοποίηση κόμβων στην ταξινόμια λύσεων.

- *Εκλέπτυνση Λύσεων* (Solution Refinement). Αυτή η διεργασία επεξεργάζεται την ταξινόμια λύσεων. Σε αντίθεση με τη διεργασία της αφαιρετικότητας, η οποία αρχίζει από χαμηλούς κόμβους και προχωρεί προς τα πάνω της

σχετικής ταξινομίας, η διεργασία της εκλέπτυνσης αρχίζει από υψηλού επιπέδου κόμβους και στόχος είναι να προχωρήσει προς τα κάτω. Αρχίζοντας δηλαδή από τους κόμβους που οδήγησαν οι ευρετικοί σύνδεσμοι, σταδιακά προχωρεί προς τερματικούς κόμβους.

Η μέθοδος της ευρετικής ταξινόμησης έχει ενσωματωθεί στο γενικευμένο σύστημα HERACLES. Αυτή η μέθοδος εμφανίζεται και σε σχέση με το σύστημα MDX, το οποίο διαπραγματευόμαστε στην επόμενη ενότητα.

9.3 MDX

Το σύστημα MDX αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Ohio State με κύριους ερευνητές τους B. Chandrasekaran και S. Mittal. Στόχος του συστήματος είναι η διάγνωση του συνδρόμου του ήπατος, γνωστού ως χολέσταση. Σε αυτή την ενότητα, καταρχάς θα αναφερθούμε σε μία εναλλακτική ερμηνεία της έννοιας της «μεταγλωττισμένης γνώσης», στη συνέχεια θα εξετάσουμε τα κύρια χαρακτηριστικά της συνεργατικής αρχιτεκτονικής του MDX και τέλος θα αναφερθούμε πολύ συνοπτικά στην αρχιτεκτονική των γενικευμένων εργασιών.

9.3.1 Μεταγλωπτισμένη γνώση – εναλλακτικός ορισμός

Στο κεφ. 8 εξετάσαμε την ερμηνεία που αποδόθηκε στον όρο «μεταγλωττισμένη γνώση» στα πλαίσια του συστήματος MYCIN. Εδώ θα εξετάσουμε μία εναλλακτική ερμηνεία, η οποία προτάθηκε στα πλαίσια του συστήματος MDX και η οποία αποτελεί τη βασική αρχή του τρόπου οργάνωσης της γνώσης αυτού του συστήματος.

Κατά τους προτείνοντες, στο ένα άκρο του φάσματος της γνώσης υπάρχει η *ρηχή γνώση* και στο άλλο η *βαθιά γνώση*. Η *μεταγλωττισμένη γνώση* βρίσκεται στο μέσο αυτού του φάσματος. Η ρηχή γνώση είναι εμπειρικής μορφής, συνήθως εκφράζεται ως ένα σύνολο συσχετίσεων ανάμεσα σε προκείμενα και συμπεράσματα, μία βάση κανόνων δηλαδή, είναι άμεσα εξαρτώμενη από δεδομένη εργασία και είναι χρήσιμη, παρόλο που μπορεί να μην είναι σε θέση να παρέχει λύση σε κάθε πρόβλημα που αφορά την εν λόγω εργασία. Με άλλα λόγια τα σχήματα που αποτελούν τα προκείμενα αυτών των κανόνων, μπορεί να μην ταυτίζονται έναντι των δεδομένων κάποιου προβλήματος. Τα προβλήματα, όμως, που μπορεί να επιλυθούν με βάση τη ρηχή γνώση, επιλύονται με πολύ αποδοτικό τρόπο.

Σε αντίθεση, η βαθιά γνώση είναι ανεξάρτητη οποιασδήποτε εργασίας που

ενδεχομένως να την αφορά, αποτελείται από τις θεμελιώδεις αρχές του σχετικού γνωστικού πεδίου και δεν έχει μεγάλη χρησιμότητα ως προς την αποδοτική επίλυση προβλημάτων που αφορούν σε συγκεκριμένη εργασία. Για παράδειγμα, φανταστείτε τα πάντα που γνωρίζει ο άνθρωπος αναφορικά με την καρδιά, σε όλη τη λεπτομέρεια αυτής της γνώσης, π.χ. πώς λειτουργεί η καρδιά, ποιες είναι οι συνέπειες δυσλειτουργιών, κτλ. Αυτή η γνώση εκφράζεται ανεξάρτητα οποιασδήποτε τυχόν χρήσης της και αποτελεί τη βαθιά γνώση. Ένας γιατρός που έχει ειδικευτεί σε ορισμένες παθήσεις της καρδιάς, προφανώς όταν διεξάγει κάποια διάγνωση δεν επικαλείται ολόκληρο το σώμα της βαθιάς γνώσης. Τουναντίον επικαλείται ένα σύνολο άμεσα λειτουργήσιμων κανόνων. Αυτοί αποτελούν τη ρηχή γνώση αναφορικά με δεδομένο τμήμα της βαθιάς γνώσης (οι συγκεκριμένες παθήσεις) και προς υποστήριξη δεδομένης εργασίας (διάγνωση).

Επομένως, η βαθιά γνώση έχει περιεκτικότητα, αλλά δεν είναι λειτουργήσιμη, ενώ η ρηχή γνώση έχει λειτουργικότητα ως προς τις ανάγκες της δεδομένης εργασίας, αλλά συνήθως έχει ελλείψεις, κυρίως ως προς τα πιο δύσκολα προβλήματα που την αφορούν. Η ερμηνεία της «μεταγλωττισμένης γνώσης», που εξετάσαμε στο κεφ. 8, συνάδει με την πιο πάνω ερμηνεία της ρηχής γνώσης. Στην παρούσα πρόταση η μεταγλωττισμένη γνώση ερμηνεύεται ως ακολούθως. Η μεταγλωττισμένη γνώση έχει τα θετικά χαρακτηριστικά των άλλων δύο, την περιεκτικότητα της βαθιάς γνώσης και τη λειτουργικότητα της ρηχής γνώσης. Επίσης, παρομοίως με τη ρηχή γνώση, η μεταγλώττιση αφορά συγκεκριμένη εργασία και ως εκ τούτου η περιεκτικότητά της σχετίζεται με την εμβέλεια της δεδομένης εργασίας. Θεωρείται, επομένως, ότι η μεταγλωττισμένη γνώση μπορεί να χειρισθεί οποιοδήποτε πρόβλημα, σε σχέση με την εμβέλειά της, το οποίο μπορεί να επιλυθεί μέσω της βαθιάς γνώσης, αλλά είναι σε θέση να το πράξει με πολύ πιο αποδοτικό τρόπο. Με άλλα λόγια, εάν η μεταγλωττισμένη γνώση δεν είναι σε θέση να επιλύσει κάποιο πρόβλημα, ούτε η βαθιά γνώση θα είναι. Αυτή η ερμηνεία της μεταγλώττισης συνάδει με την έννοια της μεταγλώττισης προγραμμάτων, όπου ο αντικειμενικός κώδικας είναι ταυτόσημος με τον πηγαίο κώδικα ως προς το σύνολο των προβλημάτων που μπορούν να επιλυθούν, απλά ο αντικειμενικός κώδικας είναι πιο αποδοτικός ως προς το χρόνο εκτέλεσης.

Μεταγλωτισμένη Γνώση – Ερμηνεία MDX

Είναι ο μετασχηματισμός βαθιάς γνώσης, σε λειτουργήσιμη μορφή, από τη σκοπιά δεδομένης εργασίας, χωρίς να μειώνεται η περιεκτικότητα της γνώσης. Αυτό σημαίνει ότι οποιοδήποτε πρόβλημα, το οποίο εμπίπτει στην αρμοδιότητα της εν λόγω εργασίας και το οποίο είναι επιλύσιμο μέσω της βαθιάς γνώσης, είναι επίσης επιλύσιμο μέσω της μεταγλωτισμένης γνώσης, αλλά η επίλυση επιτυγχάνεται πολύ πιο αποδοτικά.

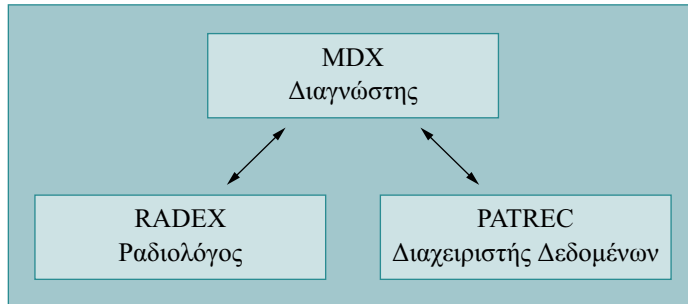
Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 9.4

Αντιστοιχίστε τα στοιχεία της αριστερής στήλης με στοιχεία της δεξιάς στήλης.

- | | |
|------------------------|--|
| • Ρηχή Γνώση | • Όχι λειτουργήσιμη γνώση. |
| • Μεταγλωτισμένη Γνώση | • Εξαρτάται από την εργασία. |
| • Βαθιά Γνώση | • Εμπειρική γνώση. |
| | • Αποτελείται από θεμελιώδεις αρχές. |
| | • Έχει περιεκτικότητα. |
| | • Είναι λειτουργήσιμη γνώση. |
| | • Ανεξάρτητη εργασίας. |
| | • Συνήθως εκφράζεται σε μορφή κανόνων. |

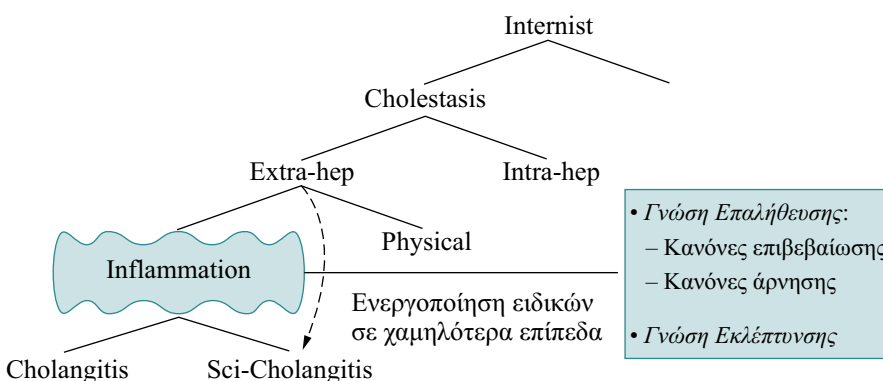
9.3.2 Συνεργασία ειδικών

Το σύστημα MDX αποτελείται από τρεις ξεχωριστές μονάδες, την κυρίως μονάδα, το διαγνώστη, που επίσης ονομάζεται MDX, και δύο βοηθητικές μονάδες, το διαχειριστή δεδομένων (PATREC) και το ραδιολόγο (RADEX). Ο διαχειριστής δεδομένων του ασθενή εκτελεί τη διεργασία της αφαιρετικότητας δεδομένων (βλέπε ενότητα 9.1.4), η οποία καλύπτει και κάποιες χρονικές αφαιρετικότητες, ενώ ο ραδιολόγος επεξεργάζεται δεδομένα σε μορφή εικόνων. Το καθένα από αυτά τα συστήματα θεωρείται ειδικός σε μία πτυχή του όλου προβλήματος. Και τα τρία χρειάζεται να συνεργαστούν προς επίτευξη του απώτερου στόχου. Ο διαγνώστης αποτελεί τη διευθύνουσα μονάδα σε αυτή τη συνεργασία.

**Σχήμα 9.7**

Οι Μονάδες που Αποτελούν το Σύστημα MDX

Εσωτερικά, καθένα από αυτά τα συστήματα αποτελείται από μία κοινότητα ειδικών, οι οποίοι είναι οργανωμένοι με ιεραρχικό τρόπο και συνεργάζονται με βάση συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Στο Σχήμα 9.8 δίνεται μέρος της ιεραρχίας ειδικών που αποτελούν το διαγνώστη. Κάθε ειδικός θεωρείται μία αυτόνομη οντότητα με τη δική της γνώση και μηχανισμό ελέγχου/συλλογισμού, η οποία μπορεί να επιτελέσει μία συγκεκριμένη εργασία στο όλο πλάνο επίλυσης. Το πρωτόκολλο συνεργασίας ανάμεσα σε αυτούς τους ειδικούς επιβάλλει κάποιους περιορισμούς σχετικά με τα κανάλια επικοινωνίας. Συγκεκριμένα, η ιεραρχία των ειδικών προσδιορίζει τα κανάλια επικοινωνίας, αφού ένας ειδικός μπορεί να επικοινωνήσει με ιεραρχικά ανώτερους ή κατώτερους του, αλλά όχι με τους υπόλοιπους, παρόλο που μπορεί να κατευθύνει κάποιο ιεραρχικά ανώτερό του να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο ειδικό, για παράδειγμα στο ίδιο επίπεδο με τον εαυτό του. Με αυτό τον περιορισμό η διακίνηση της συνεργασίας είναι πιο ελεγχόμενη.

**Σχήμα 9.8**

Μέρος της Ιεραρχίας Ειδικών του Διαγνώστη

Αρχικά, το δεδομένο πρόβλημα παραπέμπεται σε έναν από τους ειδικούς, συνήθως αυτόν που είναι ο ιεραρχικά ανώτερος. Κάθε ειδικός θα πρέπει να

είναι σε θέση να αποφανθεί κατά πόσον το πρόβλημα, το οποίο του έχει παραπεμφθεί, όντως ανήκει στην ειδικότητά του. Εάν είναι έτσι, στην περίπτωση μη τερματικού ειδικού θα πρέπει στη συνέχεια να αποφασίσει σε ποιον ιεραρχικά κατώτερό του, όχι κατ' ανάγκη άμεσα κατώτερό του, να παραπέμψει το πρόβλημα, ενώ στην περίπτωση τερματικού ειδικού θα πρέπει να προσπαθήσει να επιλύσει το πρόβλημα και στη συνέχεια να ενημερώσει τον ανώτερό του. Εάν όμως ο ειδικός αποφανθεί ότι το πρόβλημα δεν ανήκει στην ειδικότητά του, θα πρέπει να το παραπέμψει πίσω στον ειδικό που του το έστειλε μαζί με σχετικές κατευθυντήριες γραμμές, εάν είναι σε θέση να δώσει οποιαδήποτε κατευθυντήρια γραμμή για τη μετέπειτα πορεία που θα πρέπει να ακολουθηθεί.

Κατά τους προτείνοντες, αυτός ο τρόπος συνεργασίας αποτελεί μία ικανοποιητική προσομοίωση της πραγματικότητας, όπου ο ασθενής αρχικά επισκέπτεται τον παθολόγο του και από εκεί μπορεί να παραπεμφθεί σε διάφορους ειδικούς και υποειδικούς για πιο ακριβή διάγνωση των αιτιών του προβλήματός του. Επιπλέον, οι δημιουργοί του συστήματος προτείνουν ότι αυτός ο κατανεμημένος τρόπος οργάνωσης της γνώσης και του συλλογισμού αποτελεί τη μεταγλώττιση της αντίστοιχης βαθιάς γνώσης με στόχο την αποδοτική χρήση της.

Στο MDX δεν υπάρχουν εναλλακτικά μοντέλα για το ίδιο σώμα γνώσης, όπως συμβαίνει στο NEOMYCIN. Εδώ το όλο σώμα γνώσης έχει κατανεμηθεί σε τρία ξεχωριστά μοντέλα, ένα αναφορικά με διαγνωστικές έννοιες, ένα για έννοιες ιατρικών δεδομένων και ένα για έννοιες ραδιολογίας. Αυτές οι έννοιες αποτελούν τους επιμέρους ειδικούς για το καθένα από αυτά τα μοντέλα.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 9.5

Ποια από τα ακόλουθα ευσταθούν και ποια όχι αναφορικά με τα υποσυστήματα του MDX;

1. Οι ειδικοί είναι ιεραρχικά οργανωμένοι.
2. Ένας ειδικός μπορεί να παραπέμψει το πρόβλημα σε οποιονδήποτε άλλο ειδικό.
3. Ένας από τους ειδικούς έχει το ρόλο του συντονιστή και όλη η επικοινωνία διεξάγεται μέσω αυτού.
4. Κάθε ειδικός θεωρείται μία αυτόνομη οντότητα που «γνωρίζει» τα όρια της ειδικότητάς του και είναι σε θέση να επιλύσει προβλήματα που εμπίπτουν σε αυτήν.

5. Ένας μη τερματικός ειδικός μπορεί να παραπέμψει το υπό επίλυση πρόβλημα σε κάποιον, ιεραρχικά κατώτερό του, ειδικό.
6. Οι ειδικοί αποτελούν εναλλακτικά μοντέλα του ίδιου σώματος γνώσης.

9.3.3 Αρχιτεκτονική γενικευμένων εργασιών

Η *Αρχιτεκτονική Γενικευμένων Εργασιών* (Generic Tasks Architecture), η οποία προτάθηκε από τον B. Chandrasekaran, αποτελεί τη γενίκευση της αρχιτεκτονικής του συστήματος MDX και παρέχει μια πιο ιδεατή ερμηνεία του όρου της επαναχρησιμοποίησης, από την ερμηνεία που αποδόθηκε στα πλαίσια της πρώτης γενεάς. Μία γενικευμένη εργασία συνδέεται με συγκεκριμένο στόχο και χαρακτηρίζεται από τα εξής:

- Τις δομές γνώσης που χρησιμοποιεί, με άλλα λόγια το μοντέλο γνώσης της.
- Τους τύπους των πληροφοριών που αποτελούν την είσοδο και έξοδο της.
- Το μηχανισμό ελέγχου.

Κάθε γενικευμένη εργασία αποτελεί μία ιδεατή μονάδα για δεδομένο σκοπό. Η πρόταση είναι όπως τέτοιες μονάδες αποτελούν τα κατασκευαστικά τεμάχια των συστημάτων δεύτερης γενεάς, ούτως ώστε να εμφανίζεται ρητά η δομή ελέγχου του συστήματος σε επίπεδο εργασιών.

Επομένως, βασικές γενικευμένες εργασίες (primitive generic tasks) μπορούν να συντεθούν προς κατασκευή σύνθετων γενικευμένων εργασιών. Μία σύνθετη εργασία χαρακτηρίζεται από:

- Τις γενικευμένες εργασίες που την απαρτίζουν.
- Τις διαδρομές και τις συνθήκες, οι οποίες διέπουν τη μεταβίβαση πληροφοριών ανάμεσα σε αυτές.

Μία σύνθετη γενικευμένη εργασία μπορεί να υλοποιηθεί ως μία κοινότητα συνεργαζόμενων ειδικών που επικοινωνούν μέσω μηνυμάτων. Η ερευνητική ομάδα έχει αναπτύξει μία βιβλιοθήκη βασικών εργασιών, οι οποίες μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν στα πλαίσια διαφορετικών σύνθετων εργασιών. Μία αδυναμία αυτής της αρχιτεκτονικής, όμως, η οποία διαφάνηκε στην πράξη, είναι ότι υποστηρίζει μεν τη διάσπαση εργασιών σε υποεργασίες, κτλ., αλλά όχι την ύπαρξη εναλλακτικών μοντέλων προς επίτευξη του στόχου δεδομένης εργασίας. Κάθε εργασία μπορεί να διεκπεραιωθεί με ένα και μοναδικό τρόπο.

Σύνοψη

Στο κεφάλαιο 9 εξετάσαμε τη δεύτερη γενεά έμπειρων συστημάτων μέσω δύο συστημάτων, του NEOMYCIN και του MDX. Στόχος της δεύτερης γενεάς είναι η απαλοιφή των σημαντικών αδυναμιών της πρώτης γενεάς με σκοπό τη δημιουργία συστημάτων τα οποία είναι πιο ευέλικτα στην επίλυση προβλημάτων, πιο επεξηγήσιμα και πιο επαναχρησιμοποιήσιμα. Στην πρώτη γενεά, σημαντική γνώση της μορφής «Πώς», «Τι» και «Γιατί» ήταν παντελώς απύσχα ή εμφανιζόταν με υπονοούμενο τρόπο. Η δεύτερη γενεά χαρακτηρίζεται κυρίως από τη χρήση πολλαπλών μοντέλων γνώσης και τον προσανατολισμό του σχεδιασμού αυτών των συστημάτων στο επίπεδο γνώσης με στόχο την επίτευξη υψηλότερης αφαιρετικότητας.

Στην πρώτη ενότητα του κεφαλαίου αναλύσαμε την αρχιτεκτονική του συστήματος NEOMYCIN, κυρίως (α) την ύπαρξη δύο εναλλακτικών μοντέλων της περιγραφικής γνώσης, προς κάλυψη και των πιο δύσκολων περιστατικών του προβλήματος, η επίλυση των οποίων απαιτεί διερεύνηση σε βαθύτερο επίπεδο γνώσης, αλλά και για την πιο ικανοποιητική τεκμηρίωση των λύσεων εν γένει, και (β) τη μοντελοποίηση και αναπαράσταση στρατηγικής γνώσης η οποία επιτρέπει την παροχή στρατηγικών επεξηγήσεων. Επίσης, εξετάσαμε τη γενική μέθοδο της ευρετικής ταξινόμησης, η οποία αποτελείται από τρεις διεργασίες συλλογισμού, αφαιρετικότητα δεδομένων, ενεργοποίηση ευρετικών συνδέσμων και εκλέπτυνση λύσεων.

Στη δεύτερη ενότητα του κεφαλαίου εξετάσαμε τη συνεργατική αρχιτεκτονική του συστήματος MDX και τη γενίκευση αυτής στην αρχιτεκτονική των γενικευμένων εργασιών. Αναλύσαμε επίσης μία εναλλακτική ερμηνεία του όρου «μεταγλωττισμένη γνώση», από αυτή που εξετάσαμε στο κεφ. 8.

Βιβλιογραφία

- J.–M. David, J.–P. Krivine και R. Simmons (συντάκτες), *Second Generation Expert Systems*, Springer–Verlag, 1993.
- L. Johnson και E. Keravnou, *Expert Systems Architectures*, International Thomson Publishing (formely Kogan Page), 1988.
- E. Keravnou (συντάκτης), *Deep Models for Medical Knowledge Engineering*, Elsevier Science Publishers B.V., 1992.

Στο βιβλίο που επιμελήθηκαν οι David, Krivine και Simmons, μπορείτε να βρείτε μία πλούσια συλλογή άρθρων, η οποία καλύπτει σε πολύ καλό

βαθμό όλες τις πτυχές της δεύτερης γενεάς έμπειρων συστημάτων. Αυτό το βιβλίο θεωρείται το κυρίως, επιπλέον, βοήθημα για αυτό το κεφάλαιο.

Το βιβλίο των Johnson και Kerαννου, εκτός από τα συστήματα NEOMYCIN και MDX, διαπραγματεύεται και άλλα συστήματα δεύτερης γενεάς που αξίζουν να μελετηθούν, όπως το σύστημα CADUCEUS που αποτελεί την «ανακατασκευή» του συστήματος INTERNIST-1, και τα συστήματα ABEL και NEOCRIB.

Στο τελευταίο βιβλίο μπορείτε να βρείτε μία συλλογή άρθρων αναφορικά με συστήματα ή μεθοδολογίες δεύτερης γενεάς σε σχέση με ιατρικά προβλήματα.

Τεχνολογία Γνώσης

Σκοπός

Σκοπός του κεφαλαίου 10, το οποίο είναι και το τελευταίο του Μέρους II του τόμου, είναι να παρουσιάσει, σφαιρικά, τις διάφορες διεργασίες που εμπλέκονται σε σχέση με την ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων (δεύτερης γενεάς). Σε αυτή τη διαπραγμάτευση, για περισσότερη εμβάθυνση, χρησιμοποιείται η μεθοδολογία CommonKADS ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μεθοδολογιών Τεχνολογίας Γνώσης.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Όταν θα έχετε μελετήσει το κεφάλαιο 10, θα μπορείτε να:

- αναφερθείτε στην ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στην Τεχνολογία Γνώσης και την Τεχνολογία Λογισμικού,
- αναφερθείτε, σε σφαιρικό επίπεδο, στις διεργασίες που εμπλέκονται με την ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων (απόσπαση, αναπαράσταση και υλοποίηση μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης),
- εξηγήσετε τις διάφορες κατηγορίες μεθόδων για την ολοκληρωτική διερεύνηση εργασιών (*total task investigation methods*) και συγκεκριμένα τις μεθόδους χαμηλής, μεσαίας και υψηλής πιστότητας προσομοίωση και, τέλος, να αναφερθείτε σε ένα με δύο παραδείγματα αυτών,
- αναφερθείτε στην τεχνική συνεντεύξεων, «δίδαξε πίσω» (*teachback interview technique*), καθώς επίσης να παρουσιάσετε την κεντρική ιδέα για δεκατρείς άλλες τεχνικές συνεντεύξεων,
- αναλύσετε τις πέντε βασικές αρχές της μεθοδολογίας CommonKADS,
- εξηγήσετε τα διάφορα μοντέλα που συνεπάγεται η μεθοδολογία CommonKADS και να εμβαθύνετε στο μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης.

Έννοιες κλειδιά

- διεργασίες Τεχνολογίας Γνώσης
- μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης
- ολοκληρωτικές διερευνήσεις εργασιών
- τεχνικές συνεντεύξεων
- τεχνική συνεντεύξεων «δίδαξε πίσω»
- μεθοδολογία CommonKADS (αρχές, μοντέλα, στρώματα γνώσης)

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Ολοκληρώνουμε το Μέρος II του τόμου με μία σφαιρική παρουσίαση των διεργασιών που εμπλέκονται με την ανάπτυξη εμπειρων συστημάτων (δεύτερης γενεάς). Αυτές οι διεργασίες αποτελούν την Τεχνολογία Γνώσης (Knowledge Engineering).

Ένα έμπειρο σύστημα είναι ένα μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης. Όπως όλες οι εργασίες μοντελοποίησης, έτσι και η δημιουργία ενός έμπειρου συστήματος συνεπάγεται την ανάλυση, κυρίως ποιοτικών, δεδομένων και το σχεδιασμό μίας αφηρημένης δομής του μοντέλου. Το μοντέλο εξωτερικεύει την υπονοούμενη δομή των δεδομένων και επομένως μπορεί να θεωρηθεί η ερμηνεία ή η επεξήγηση των δεδομένων. Η απόσπαση του μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης και η έκφρασή του σε μορφή κατανοητή προς τους έμπειρους αποτελεί το πρώτο κρίσιμο βήμα της όλης διεργασίας. Το δεύτερο κρίσιμο βήμα είναι η αναπαράσταση του μοντέλου σε συμβολικό επίπεδο και η εν γένει υλοποίησή του με τεχνικές του πεδίου της TN.

Η ιδεατή απόσταση ανάμεσα στα ποιοτικά δεδομένα, εκφρασμένα σε φυσική γλώσσα, και τις συμβολικές κατασκευές υλοποίησης που παρέχει η TN είναι μεγάλη. Το λάθος της αρχικής προσέγγισης ως προς τη δημιουργία εμπειρων συστημάτων ήταν ότι «απαιτούσε» απευθείας μετάβαση από τα δεδομένα σε συμβολικές δομές. Η προσέγγιση της δεύτερης γενεάς είναι ο ενδιάμεσος σχεδιασμός ιδεατών μοντέλων εμπειρογνωμοσύνης ως η γέφυρα ανάμεσα στα δεδομένα και τις συμβολικές κατασκευές υλοποίησης. Τα μοντέλα εμπειρογνωμοσύνης δεν εκφράζονται απευθείας με συμβολικό τρόπο αλλά με βάση κάποια ενδιάμεση αναπαράσταση (mediating representation). Ενδιάμεσες αναπαραστάσεις είναι κατανοητές στους έμπειρους και ως εκ τούτου βοηθούν στην ανάλυση των δεδομένων και την απόσπαση της δομής αυτών. Παράλληλα, ως επιπλέον μέσο γεφύρωσης του κενού ανάμεσα στα δεδομένα και το επιδιωκόμενο σύστημα, εφαρμόζεται η τεχνική της ταχείας ανάπτυξης πρωτοτύπων (rapid prototyping). Αυτό διευκολύνει την επικοινωνία και κατανόηση ανάμεσα στο χρήστη και το δημιουργό του συστήματος.

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις διεργασίες ανάπτυξης ενός έμπειρου συστήματος και ενός παραδοσιακού υπολογιστικού συστήματος, παρόλο που μεθοδολογίες Τεχνολογίας Γνώσης πρέπει να συνδυάζονται με μεθοδολογίες Τεχνολογίας Λογισμικού, αφού ένα έμπειρο σύστημα δεν θεωρείται πλέον ως ένα ξεχωριστό, αυτόνομο σύστημα (stand alone system) η

υλοποίηση του οποίου απαιτεί ειδικούς υπολογιστές, αλλά ως μία μονάδα ενός ευρύτερου συστήματος, το οποίο επίσης περιέχει παραδοσιακές αλγοριθμικές και άλλες μονάδες. Σε μία τυπική εργασία τεχνολογίας λογισμικού, συνήθως είναι εφικτό, μετά από τη σχετική ανάλυση του προβλήματος, να διατυπωθούν με σαφήνεια οι απαιτήσεις του συστήματος. Στη συνέχεια μπορεί να σχεδιαστεί ολοκληρωτικά το σύστημα και μετά να ακολουθήσει η υλοποίηση και η δοκιμή του συστήματος. Τροποποιήσεις στην υλοποίηση και σχεδιασμό του συστήματος μπορεί να γίνουν καθ' οδό, αλλά συνήθως η ανάγκη για ριζικές τροποποιήσεις και αναθεωρήσεις δεν εγείρεται. Αυτό διότι ο ρόλος του συστήματος και γενικά η λειτουργικότητα που απαιτείται από αυτό, και κατά συνέπεια οι πληροφορίες που εμπλέκονται στη λειτουργία του, μπορεί να διατυπωθούν σαφώς εκ των προτέρων, πριν δηλαδή αρχίσει η διεργασία σχεδιασμού.

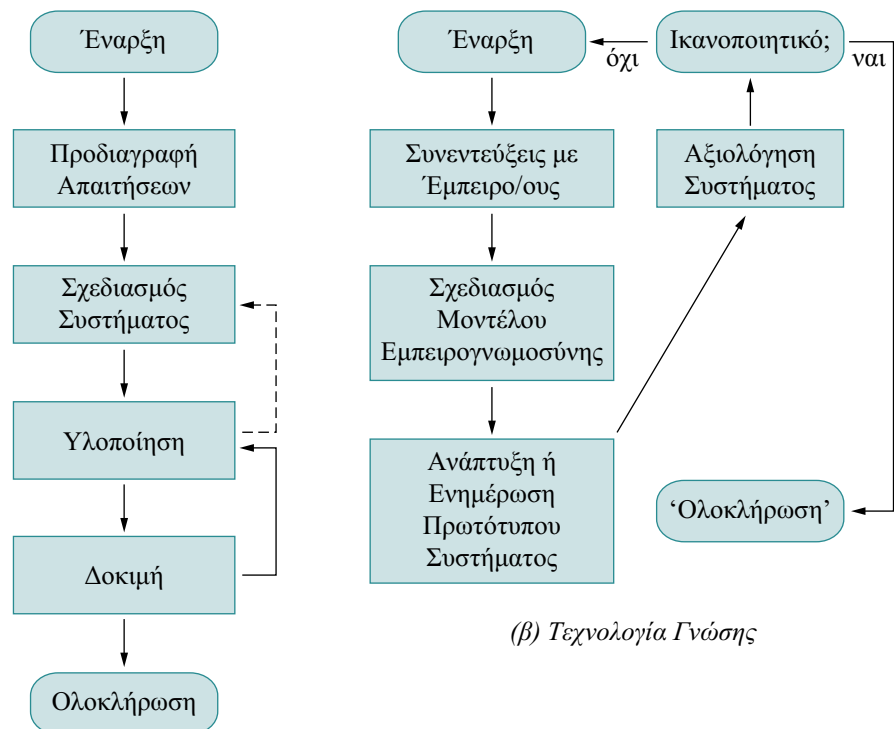
Σε αντίθεση με παραδοσιακά συστήματα, ο ρόλος ενός έμπειρου συστήματος δεν μπορεί καθ' ανάγκη να διατυπωθεί σαφώς εκ των προτέρων και ούτε μπορεί να ειπωθεί ότι ένα έμπειρο σύστημα έχει «ολοκληρωθεί». Αυτό γιατί το κεντρικό συστατικό ενός έμπειρου συστήματος είναι γνώση και γνώση είναι κάτι το δυναμικό και πολύ πιο περίπλοκο από δεδομένα. Είναι δύσκολο να οριοθετηθεί επακριβώς, εκ των προτέρων, όλη η γνώση που χρειάζεται, έστω και σε αφηρημένο επίπεδο. Η αναμενόμενη, αρχική ασάφεια ως προς το έργο που θα επιτελεί το έμπειρο σύστημα και τη γνώση που απαιτείται προς εκπλήρωση αυτού του έργου, σταδιακά θα μειώνεται, αλλά αυτό μπορεί να είναι εφικτό μόνο μετά τη δημιουργία ενός αριθμού πρωτότυπων συστημάτων η υλοποίηση των οποίων στην ουσία αποτελεί μέρος της ανάλυσης των απαιτήσεων του συστήματος. Με άλλα λόγια ριζικές αναθεωρήσεις σε οποιοδήποτε στάδιο της διεργασίας δεν μπορούν να αποκλεισθούν, ακόμη και το ενδεχόμενο ολόκληρη η διεργασία να ξαναρχίσει από την αρχή (βλέπε Σχήμα 10.1).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η κεντρική συνιστώσα στην ανάπτυξη ενός έμπειρου συστήματος είναι το μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης. Για τους σκοπούς της κατανόησης του πώς αναπτύσσεται η εμπειρογνωμοσύνη κάποιου ατόμου, έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες αναφορικά με τις διαφορές, ως προς την επίλυση σχετικών προβλημάτων, ανάμεσα σε έμπειρα και άπειρα άτομα δεδομένου τομέα ή ανάμεσα σε κατηγορίες ατόμων με διαφορετικά μεγέθη εμπειρίας. Το τι διαφαίνεται από αυτές τις μελέτες είναι ότι η αρχικά αδόμητη βάση γνώσης του άπειρου ατόμου, μέσω της εμπειρίας σε διάφορους τρόπους επίλυσης προβλημάτων, σταδιακά αποκτά σχήμα και δομή, ούτως ώστε τα τεμά-

για της γνώσης να οργανώνονται για άμεση και αποδοτική χρήση. Επίσης, διεφάνη ότι οι δομές που μαθαίνονται μέσω εμπειρίας είναι «ορθογώνιες» προς τις παραδοσιακές δομές που περιέχονται στα βιβλία. Συγκεκριμένα, η περιγραφική γνώση ενός άπειρου ατόμου είναι «ακατέργαστη», επειδή (α) επικεντρώνεται στις κλασικές περιγραφές, (β) είναι διασκορπισμένη, επειδή δεν υπάρχουν πολλές διασυνδέσεις ανάμεσα στα στοιχεία της, και (γ) η εσωτερική δομή των στοιχείων της είναι ανακριβής.

Σύμφωνα με την πρόταση του Chandrasekaran (βλέπε κεφ. 9), η διεργασία απόκτησης εμπειρογνωμοσύνης αποτελεί τη διεργασία της «μεταγλώττισης» της γνώσης προς αποδοτική και αποτελεσματική χρήση στα πλαίσια διεξαγωγής συγκεκριμένων εργασιών επίλυσης προβλημάτων.

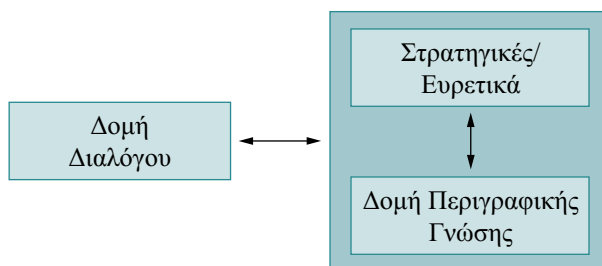
Στο υπόλοιπο του παρόντος κεφαλαίου διαπραγματευόμαστε ολοκληρωτικές διερευνήσεις εργασιών (ενότητα 10.1), πιο αναλυτικά τις διεργασίες τεχνολογίας γνώσης (ενότητα 10.2), τεχνικές συνεντεύξεων (ενότητα 10.3) και τη μεθοδολογία CommonKADS, κυρίως τα διάφορα μοντέλα που συνεπάγεται η μεθοδολογία με έμφαση στο μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης.



Σχήμα 10.1 (α) Τεχνολογία Λογισμικού

10.1 Ολοκληρωτικές διερευνήσεις εργασιών

Η δόμηση της περιγραφικής γνώσης, οι στρατηγικές και τα εν γένει ευρετικά για την άμεση και αποδοτική χρήση της περιγραφικής γνώσης αποτελούν αλληλένδετες συνιστώσες του μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης, οι οποίες σταδιακά διαμορφώνονται και εκλεπτύνονται ως αποτέλεσμα της διεργασίας απόκτησης εμπειρογνωμοσύνης. Στόχος είναι η απόσπαση της δομής της περιγραφικής γνώσης και των εν λόγω στρατηγικών. Κάτι τέτοιο δεν είναι όμως ορατό. Ορατός είναι ο διάλογος που διεξάγεται ανάμεσα στον έμπειρο και το συμβουλευόμενο του στα πλαίσια επίλυσης πραγματικών προβλημάτων. Ο διάλογος απορρέει από την εφαρμογή των σχετικών στρατηγικών εκ μέρους του έμπειρου. Πίσω από τις συγκεκριμένες ερωτήσεις και την ακολουθία των ερωτήσεων κρύβονται στρατηγικές και κατά συνέπεια στοιχεία της δομής της περιγραφικής γνώσης. Με άλλα λόγια, η δομή του διαλόγου είναι αλληλένδετη με το μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης (βλέπε Σχήμα 10.2). Από τη δομή του διαλόγου, η οποία χρειάζεται να εξαχθεί από την ανάλυση δειγμάτων πραγματικών διαλόγων, μπορεί να διαφανεί το μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης. Τα δείγματα διαλόγων, σε φυσική γλώσσα, αποτελούν σημαντικό στοιχείο των ποιοτικών δεδομένων που αναφέρθηκαν στις Εισαγωγικές Παρατηρήσεις.



Σχήμα 10.2

Αλληλουχία Στρατηγικών, Δομής Περιγραφικής Γνώσης και Δομής Διαλόγου

Τι νομίζετε συνεπάγεται η ανάλυση ενός δείγματος διαλόγου, που αποτελεί κάποια συνδιάλεξη ανάμεσα σε έμπειρο και συμβουλευόμενο του;

Δραστηριότητα 10.1

Οι ολοκληρωτικές διερευνήσεις εργασιών (total task investigations) στόχο έχουν την διερεύνηση του ακολουθιακού χαρακτήρα της αναζήτησης πληροφοριών που οδηγεί σε συμπεράσματα και αποφάσεις. Τέτοιες μέθοδοι αναπτύχθηκαν και εφαρμόστηκαν από τους Elstein, Shulman, και Sprafka, σε μία κλασική πλέον μελέτη, η οποία διεξήχθη προς το τέλος της δεκαετίας

του 70, με απώτερο στόχο την κατανόηση των επιδεξιοτήτων, στρατηγικών ή άλλων ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν την απόδοση των επιδέξιων κλινικών ιατρών. Η μελέτη επικεντρωνόταν στην απόσπαση των δύο συνιστωσών του μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης, των στρατηγικών αναζήτησης και των δομών μνήμης. Το κίνητρο πίσω από αυτή τη μελέτη ήταν η βελτίωση ή η επιτάχυνση του τρόπου με τον οποίο οι σπουδαστές της ιατρικής μπορούν να μάθουν αυτές τις ικανότητες. Συμπεράσματα της έρευνας είναι ότι υποθέσεις (αναφορικά με τη λύση του προβλήματος) παράγονται νωρίς, ο αριθμός των ενεργών υποθέσεων είναι πολύ μικρός, σπανίως υπερβαίνει το 5 και σχεδόν ποτέ δεν υπερβαίνει το 7, το πιο κοινό λάθος είναι η υπερ-ερμηνεία (δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα από ό,τι θα έπρεπε σε ενδείξεις που συνάδουν με την επιδιωκόμενη υπόθεση, ενώ μπορεί να αγνοηθούν σημαντικές ενδείξεις που είναι ενάντιες της υπόθεσης), η ικανότητα μπορεί να σχετίζεται με περιπτώσεις και η γνώση και εμπειρία είναι βασικές για την ικανότητα.

Η εφαρμογή μίας μεθόδου ολοκληρωτικής διερεύνησης εργασιών συνεπάγεται την προσομοίωση του περιβάλλοντος της εν λόγω εργασίας. Οι μέθοδοι μπορεί να κατηγοριοποιηθούν με βάση τον τρόπο προσομοίωσης. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες, οι οποίες, σε φθίνουσα σειρά κόστους εφαρμογής, είναι (α) υψηλής πιστότητας προσομοίωση (high fidelity simulation), όπου μπορεί να απαιτείται η συμμετοχή ηθοποιών, (β) μεσαίας πιστότητας προσομοίωση (moderate fidelity simulation), άλλως μέθοδοι «του καλαθιού» και (γ) χαμηλής πιστότητας προσομοίωση (low fidelity simulation).

Ένα παράδειγμα μεθόδου χαμηλής πιστότητας προσομοίωση είναι το εξής: Ο αναλυτής δημιουργεί έναν κατάλογο με όλες τις πιθανές ενέργειες, σε σχέση με δεδομένο πρόβλημα, και τα αντίστοιχα αποτελέσματά τους. Οι ενέργειες αποσκοπούν στην απόσπαση πληροφοριών για το πρόβλημα. Παρουσιάζεται ο κατάλογος ενεργειών, χωρίς τα αποτελέσματα, στον έμπειρο. Ο έμπειρος διαδοχικά επιλέγει ενέργειες και για κάθε ενέργεια που επιλέγει του παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της, μέχρις ότου είτε να εξαντληθούν όλες οι ενέργειες ή να φτάσει σε λύση του προβλήματος. Κατά τη διάρκεια της διεργασίας ο έμπειρος δεν χρειάζεται να φανερώσει τη σκέψη του. Ο αναλυτής καταγράφει την ακολουθία των επιλογών του έμπειρου (αυτό είναι το αντίστοιχο του διαλόγου) και στη συνέχεια χρειάζεται να αναλύσει αυτή την ακολουθία για να ανακαλύψει τη σκέψη του έμπειρου.

Συνεχίζουμε με δύο μεθόδους μεσαίας πιστότητας προσομοίωση. Κατά μία μέθοδο ο αναλυτής διαδοχικά φανερώνει πληροφορίες για το υπό επίλυση

πρόβλημα τοποθετώντας σχετικά σημειώματα σε ένα καλάθι. Ο έμπειρος, ο οποίος δεν εγείρει ερωτήσεις, βλέπει αυτές τις πληροφορίες, αποσύρει από το καλάθι εκείνες που θέλει να χρησιμοποιήσει και παράλληλα φανερώνει τη σκέψη του στον αναλυτή. Μία δεύτερη μέθοδο έχουμε, όταν παρουσιάζονται κάποιες αρχικές πληροφορίες για το πρόβλημα στον έμπειρο και στη συνέχεια ο έμπειρος δικαιούται να θέσει μέχρι είκοσι ερωτήσεις για να βρει τη λύση του προβλήματος. Η ακολουθία των ερωτήσεων καταγράφεται και αναλύεται με στόχο την ανακάλυψη της σκέψης του έμπειρου. Αυτή η μέθοδος, η οποία είναι μία εκδοχή του γνωστού παιγνιδιού των είκοσι ερωτήσεων, οδηγεί σε δυαδικά δέντρα αποφάσεων.

Αναλύστε τις τρεις μεθόδους διερεύνησης εργασιών που σας έχουν παρουσιάσει, π.χ. ποια νομίζετε ότι είναι τα θετικά και ποια τα αρνητικά τους στοιχεία.

Δραστηριότητα 10.2

Μέθοδοι υψηλής πιστότητας προσομοίωσης συνεπάγονται πολύ πιο υψηλό κόστος σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες μεθόδων. Σύμφωνα με μία τέτοια μέθοδο, για εφαρμογή σε σχέση με κλινικά προβλήματα, ηθοποιοί εκπαιδεύονται να παίζουν τους ρόλους των ασθενών κατά τη διάρκεια της φυσικής εξέτασης και της λήψης του ιστορικού. Επιπλέον πληροφορίες, π.χ. αποτελέσματα εργαστηριακών εξετάσεων, παρέχονται από ένα νοσοκόμο που ασκεί το ρόλο της τράπεζας πληροφοριών.

Σε συγκεκριμένα στάδια της διεργασίας, ο έμπειρος χρειάζεται να φανερώσει την μέχρι τώρα σκέψη του. Αυτό διαφέρει από το να σκέφτεται και παράλληλα να χρειάζεται να παρουσιάσει αυτή τη σκέψη, όπως απαιτεί η μέθοδος του καλάθιού. Το τι έχουμε εδώ είναι επεισοδιακές αναδρομικές αξιολογήσεις της σκέψης. Αυτές οι αναδρομικές αξιολογήσεις θεωρούνται σημαντικό χαρακτηριστικό της μεθόδου, διότι δεν μπορούν να εξαχθούν επακριβή συμπεράσματα αναφορικά με τη στρατηγική του έμπειρου, βασιζόμενα μόνο πάνω στη διεπαφή του έμπειρου με τον ασθενή.

Η διεπαφή του έμπειρου με τον ασθενή γράφεται σε βίντεο-ταινία, η οποία στη συνέχεια παρουσιάζεται στον έμπειρο ως ερέθισμα για περαιτέρω ανακλήσεις από τη μνήμη του. Αυτό αποτελεί ένα επιπλέον τρόπο εισχώρησης πίσω από την ορατή συμπεριφορά, σε συσχετίσεις, στρατηγικές, κτλ.

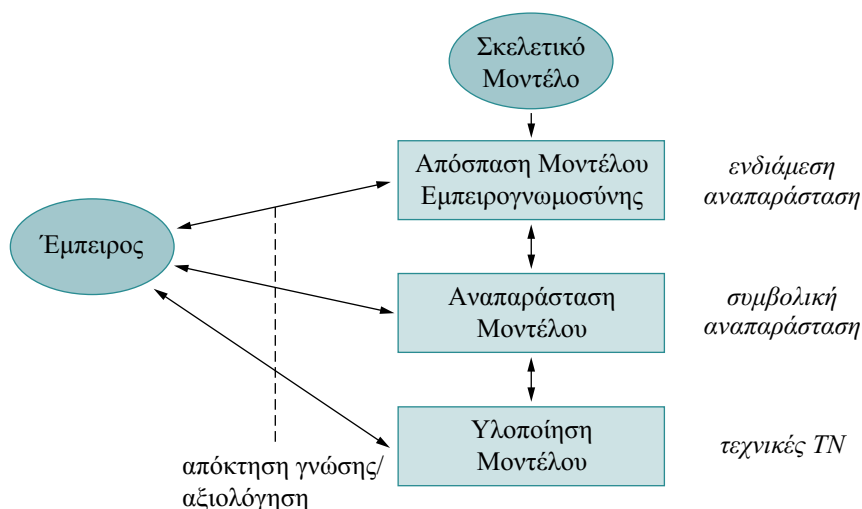
Επομένως, αυτή η μέθοδος παρέχει τρεις επιπλέον πηγές δεδομένων προς συμπλήρωση της ανάλυσης της εργασίας: (α) υλικό από τυχόν ταυτόχρονες

σκέψεις εκ του φανερού, που ο έμπειρος εθελοντικά παρέχει, π.χ. σύντομες προτάσεις αναφορικά με το τι είχε μάθει ή το τι πρόκειται να πράξει και γιατί, (β) μακρύτερες επεισοδιακές αξιολογήσεις, οι οποίες διεξάγονται σε φυσικά διαλείμματα της εργασίας, και (γ) υλικό που λαμβάνεται κατά την παρουσίαση της βίντεο-ταινίας.

10.2 Διεργασίες τεχνολογίας γνώσης

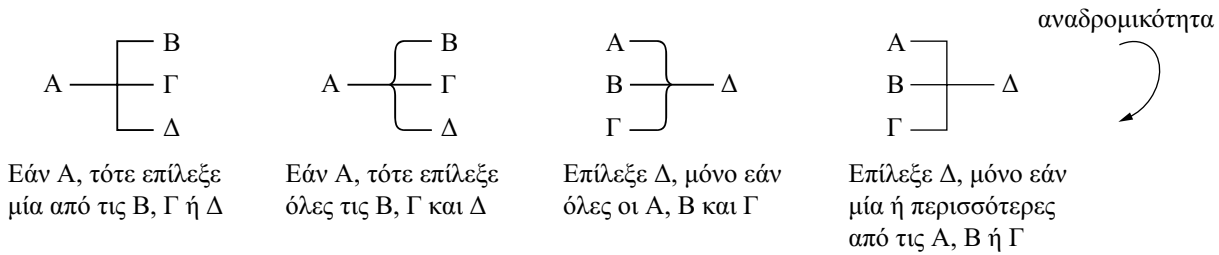
Οι διεργασίες τεχνολογίας γνώσης αφορούν την απόσπαση (σχεδιασμό), αναπαράσταση και υλοποίηση του σχετικού μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης (βλέπε Σχήμα 10.3). Η εμπλοκή του έμπειρου είναι υψίστης σημασίας, σε όλες αυτές τις διεργασίες.

Η διεργασία απόσπασης του μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης μπορεί να αρχίσει χωρίς καμία «προκατάληψη». Όμως, όπως ήδη αναφέρθηκε στο κεφ. 9, ως αποτέλεσμα της εμπειρίας που έχει μέχρι τώρα συσσωρευτεί, μπορούν να ορισθούν γενικευμένα σκελετικά μοντέλα εμπειρογνωμοσύνης για διάφορες εργασίες. Ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να αποτελέσει το σημείο εκκίνησης, ούτως ώστε να υπάρχει κάποια εστίαση από την αρχή. Σε αυτό το στάδιο μπορούν να εφαρμοστούν μέθοδοι ολοκληρωτικής διερεύνησης εργασιών ή άλλες τεχνικές συνεντεύξεων (βλέπε ενότητα 10.3) με στόχο τη σταδιακή επέκταση και εκλέπτυνση του υπό κατασκευή μοντέλου. Καθόλη τη διάρκεια της διεργασίας, το μοντέλο αξιολογείται με βάση τη μέχρι τώρα αποκτηθείσα γνώση του έμπειρου και του πεδίου ευρύτερα. Το μοντέλο «κατευθύνει» την περαιτέρω απόκτηση γνώσης και στη συνέχεια η νέα γνώση μπορεί να οδηγήσει σε αναθεωρήσεις ή επεκτάσεις του μοντέλου.



Σχήμα 10.3
Διεργασίες Τεχνολογίας
Γνώσης

Κατά τη διεργασία απόσπασης, το μοντέλο εκφράζεται σε υψηλό επίπεδο αφαιρετικότητας με χρήση κάποιας ενδιάμεσης ή μεσολαβητικής αναπαράστασης. Τέτοιες αναπαραστάσεις διευκολύνουν την επικοινωνία ανάμεσα στον αναλυτή και τον έμπειρο και ως εκ τούτου είναι πιο αποδοτικές στην απόκτηση γνώσης (βλέπε κεφ. 3). Ένα παράδειγμα ενδιάμεσης αναπαράστασης είναι τα *συστημικά γραμματικά δίκτυα* (systemic grammar networks), τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση ποιοτικών δεδομένων, καθώς επίσης για τον ορισμό και την ταξινόμηση εννοιών. Η σημειογραφία των συστημικών γραμματικών δικτύων είναι αρκετά απλή (βλέπε Σχήμα 10.4). Κυκλικό τόξο, σε σχέση με κάποια επιλογή, σημαίνει ότι η επιλογή μπορεί να επαναληφθεί.



Σχήμα 10.4

Σημειογραφία Συστημικών
Γραμματικών Δικτύων

Η διεργασία της αναπαράστασης του μοντέλου στοχεύει στη μετάφραση του μοντέλου σε επίπεδο συμβόλων, χρησιμοποιώντας δηλαδή φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης, όπως κανόνες, πλαίσια, κτλ. Είναι σημαντικό αυτή η μετάφραση, από ιδεατό επίπεδο σε επίπεδο συμβόλων, να διατηρήσει τη δομή της γνώσης. Όλα τα στοιχεία του μοντέλου πρέπει, δηλαδή, να εμφανίζονται ρητά στη συμβολική αναπαράσταση. Με αυτό τον τρόπο διατηρούνται όλοι οι σημασιολογικοί διαχωρισμοί και έτσι δεν επηρεάζεται η δύναμη της εκφρασιμότητας. Σε αυτό το στάδιο αποφασίζεται ποια στοιχεία του μοντέλου θα αναπαρασταθούν με δηλωτικό τρόπο και ποια με διαδικασιακό. Η αναπαράσταση του μοντέλου αξιολογείται έναντι αυτού καθ' αυτού του ιδεατού μοντέλου και έναντι πραγματικής γνώσης.

Η διεργασία της υλοποίησης του μοντέλου συνεπάγεται το «γέμισμα» των συμβολικών δομών με πραγματική γνώση, καθώς επίσης και την ανάπτυξη του σχετικού κώδικα με βάση τεχνικές του πεδίου της TN, ούτως ώστε να κατασκευαστεί ένα λειτουργήσιμο σύστημα. Το σύστημα δοκιμάζεται και

αξιολογείται συνεχώς, πάντοτε με την ενεργή συμμετοχή του έμπειρου. Η αξιολόγηση αφορά την ικανότητα του συστήματος στην επίλυση πραγματικών προβλημάτων, τα οποία δεν έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της ανάπτυξης του συστήματος. Συστηματικές δοκιμές πρέπει να προγραμματίζονται για κάθε στάδιο που αποτελεί σηματοδότη ως προς το επίπεδο περιεκτικότητας της περιγραφικής γνώσης του συστήματος. Η απόκτηση όλου του συνόλου της γνώσης που χρειάζεται για «πλήρη» περιεκτικότητα είναι επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία και για αυτό δεν θα πρέπει να απαιτείται η απόκτηση όλης αυτής της γνώσης πριν να διεξαχθεί η συστηματική δοκιμή του συστήματος. Εξάλλου η πιο εντατική δοκιμή του συστήματος θα πρέπει να γίνει μόλις η περιεκτικότητα της βάσης γνώσης είναι η ελάχιστη απαιτούμενη για να θεωρούνται τα αποτελέσματα της δοκιμής αξιόπιστα και φυσικά για να μπορεί να δοκιμαστεί το σύστημα έναντι πραγματικών προβλημάτων. Αυτή η εντατική, πρωταρχική δοκιμή έχει ως σκοπό την ανακάλυψη σοβαρών σφαλμάτων, σε οποιοδήποτε από τα εμπλεκόμενα επίπεδα (μοντέλο, συμβολική αναπαράσταση, υλοποίηση) όσο γίνεται πιο έγκαιρα, για να μειώσει το κόστος τυχόν ριζικών αναθεωρήσεων.

Οι διεργασίες της απόσπασης, αναπαράστασης και υλοποίησης του μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης μπορεί να θεωρηθούν παράλληλες διεργασίες με αμοιβαίες επιδράσεις. Ο μηχανικός γνώσης πρέπει να είναι διατεθειμένος να αντιμετωπίσει ακόμα και καταστάσεις που συνεπάγονται πλήρη ανακατασκευή του συστήματος. Πειραματισμός μέσω ταχείας ανάπτυξης πρωτοτύπων, π.χ. με χρήση κάποιου συστήματος κελύφους, ενδείκνυται ως μέσο καλύτερης κατανόησης της εν λόγω εμπειρογνωμοσύνης. Επίσης, η χρήση κάποιου εργαλείου απόκτησης γνώσης ενδείκνυται, κυρίως όταν οι συμβολικές δομές γνώσης έχουν φτάσει σε κάποιο ικανοποιητικό επίπεδο αξιοπιστίας.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 10.1

Αντιστοιχίστε τα στοιχεία της πρώτης στήλης με στοιχεία της δεύτερης στήλης.

- | | |
|---------------------|---|
| • Απόσπαση Μοντέλου | • Σύστημα κελύφους |
| • Εμπειρογνωμοσύνης | • Σύστημα πλαισίων |
| | • Συστημικά γραμματικά δίκτυα |
| | • Μέθοδος του καλαθιού |
| | • Μέθοδοι υψηλής πιστότητας προσομοίωση |

- Αναπαράσταση Μοντέλου
- Κανόνες παραγωγής
- Σύστημα απόκτησης γνώσης
- Σύστημα επεξηγήσεων
- Υλοποίηση Μοντέλου
- Διερμηνέας κανόνων για ορθή αλυσίδωση
- Αλγόριθμος πολλαπλής κληρονομής

10.3 Τεχνικές συνεντεύξεων

Πέραν των μεθόδων για την ολοκληρωτική διερεύνηση εργασιών μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλες τεχνικές συνεντεύξεων που δεν στοχεύουν κατ' ανάγκη στην *ολοκληρωτική* διερεύνηση κάποιας εργασίας (επίλυσης προβλημάτων). Σε αυτή την ενότητα εξετάζουμε κάποιες από αυτές τις τεχνικές.

Η τεχνική «*δίδαξε πίσω*» (teachback interview technique), η οποία βασίζεται στη θεωρία συνομιλίας του Pask^[1], επικεντρώνεται σε ένα πρόγραμμα ημι-δομημένων συνεντεύξεων. Καταρχάς σε κάθε συνάντηση αποφασίζεται το αντικείμενο της συζήτησης και το μέσο επικοινωνίας (τα συστημικά γραμματικά δίκτυα που αναφέρθηκαν πιο πάνω, έχουν χρησιμοποιηθεί ως μέσο επικοινωνίας στα πλαίσια αυτής της τεχνικής). Ο διάλογος ανάμεσα στον έμπειρο και τον αναλυτή διεξάγεται σε δύο επίπεδα. Το επίπεδο «0» αφορά επεξηγήσεις για το πώς εκτελείται ένας αλγόριθμος, ενώ το επίπεδο «1» αφορά επεξηγήσεις ως προς το γιατί οι αλγόριθμοι λειτουργούν, δηλαδή επεξηγήσεις των επεξηγήσεων (μετα-επεξηγήσεις).

Σε μία συνομιλία, αρχικά ο έμπειρος περιγράφει μία διαδικασία στον αναλυτή. Στη συνέχεια ο αναλυτής τη διδάσκει πίσω στον έμπειρο χρησιμοποιώντας την ορολογία του έμπειρου και με τρόπο ικανοποιητικό προς τον έμπειρο. Στο τέλος αυτού του σταδίου (διάλογος σε επίπεδο «0») μπορεί να ειπωθεί ότι ο αναλυτής και ο έμπειρος μοιράζονται την ίδια έννοια. Κατά το δεύτερο στάδιο (διάλογος σε επίπεδο «1») ο αναλυτής ζητά από τον έμπειρο να του δώσει μία επεξήγηση αναφορικά με το πώς μπορεί να ανακατασκευασθεί η δεδομένη έννοια. Στη συνέχεια, ο αναλυτής διδάσκει αυτό πίσω στον έμπειρο, μέχρις ότου ο έμπειρος να ικανοποιηθεί από την εκδοχή του αναλυτή, οπότε μπορεί να ειπωθεί ότι ο αναλυτής έχει κατανοήσει τον έμπειρο.

[1] L.Johnson και R.T.Hartley, “Conversation Theory and Cognitive Coherence Theories”, *Proc. Cybernetics and Systems Research 2* (συντάκτης R.Trapp), σελίδες 647–650, 1984.

Επομένως, στο επίπεδο «0» διδάσκονται πίσω (στον έμπειρο από τον αναλυτή) έννοιες με στόχο την επίτευξη κοινών εννοιών, ενώ στο επίπεδο «1» διδάσκονται πίσω μνήμες με στόχο την επίτευξη κατανόησης.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι η αντικειμενικότητα, η επιτυχία στο να κερδίσει και να διατηρήσει (ο αναλυτής) το ενδιαφέρον του έμπειρου και το γεγονός ότι δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ως προς την αυθεντικότητα των δεδομένων που αποσπώνται με αυτή την τεχνική. Υπάρχουν όμως και μειονεκτήματα. Η τεχνική είναι αρκετά κουραστική για τον αναλυτή, ο οποίος θα πρέπει να είναι εκπαιδευμένος σε συνεντεύξεις. Επίσης, οδηγεί σε πάρα πολύ υλικό προς ανάλυση και οι συνεντεύξεις θα πρέπει να είναι μικρής διάρκειας.

Στη συνέχεια αναφερόμαστε, πολύ συνοπτικά, σε κάποιες άλλες τεχνικές συνεντεύξεων:

- *Συνέντευξη «φροντιστήριο»* (tutorial interview). Ο έμπειρος δίνει ένα φροντιστήριο πάνω στα κύρια θέματα και έννοιες του τομέα.
- *Εστιασμένη συνέντευξη* (focused interview). Ο αναλυτής ετοιμάζει τα θέματα προς συζήτηση εκ των προτέρων. Στόχος είναι η απόκτηση περιγραφικής γνώσης, των ειδών προβλημάτων που ο έμπειρος επιλύει και γενικά των λειτουργιών που εκτελεί ως έμπειρος.
- *Διαχωρισμός των στόχων* (distinction of goals). Ο αναλυτής παρουσιάζει στον έμπειρο ένα συγκεκριμένο στόχο και τον ερωτά ποιες είναι οι αναγκαίες και επαρκείς μαρτυρίες για το διαχωρισμό αυτού του στόχου από άλλους στόχους. Αυτή η τεχνική είναι κατάλληλη για διαγνωστικούς τομείς.
- *Επανακατάταξη* (reclassification). Ζητείται από τον έμπειρο να διεξάγει συλλογισμό σε δύο κατευθύνσεις. Από ορατά γεγονότα, διαμέσου μαρτυριών, προς στόχους (απαγωγικός συλλογισμός) και αντίστροφα από στόχους, διαμέσου υποστόχων, προς ορατά γεγονότα (συμπερασματικός συλλογισμός).
- *Συστηματικοί «σύμπτωμα–προς–δυσλειτουργία» σύνδεσμοι* (systematic symptom–to–fault links). Παρουσιάζεται στον έμπειρο ένα σύνολο συμπτωμάτων και ένα σύνολο δυσλειτουργιών και του ζητείται να συνδέσει συμπτώματα με δυσλειτουργίες. Αυτή η τεχνική, η οποία και πάλι ζητεί από τον έμπειρο να διεξάγει απαγωγικό συλλογισμό, είναι εφαρμόσιμη μόνο σε πολύ απλούς και περιορισμένους τομείς. Η σειρά με την οποία εμφανίζονται τα συμπτώματα σε μία πραγματική κατάσταση αγνοείται πλήρως.
- *Ενδιάμεσα βήματα συλλογισμού* (intermediate reasoning steps). Στοχεύει

στην απόκτηση πληροφοριών προς συμπλήρωση των συνδέσμων που αποσπά η προηγούμενη τεχνική.

- *Δομημένη συνέντευξη* (structured interview). Στόχος εδώ είναι η απόκτηση όλης της γνώσης που αφορά μία συγκεκριμένη έννοια. Η τεχνική εμπλέκει τη λεπτομερή και σε βάθος ανάλυση μίας ακολουθίας θεμάτων που αφορούν την έννοια.
- *Είκοσι ερωτήσεις*. Η ίδια τεχνική που αναφέρθηκε και προηγουμένως με την επέκταση ότι ο έμπειρος μπορεί να ερωτηθεί από τον αναλυτή, γιατί ερωτά τις συγκεκριμένες ερωτήσεις.
- *Σκαλωτό πλέγμα* (laddered grid). Ο αναλυτής παρουσιάζει στον έμπειρο ένα σύνολο εννοιών και του ζητεί να τις ταξινομήσει με διάφορους εναλλακτικούς τρόπους και κάθε φορά να εξηγήσει την ταξινόμηση. Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για τομείς όπου ο αναλυτής υποψιάζεται την ύπαρξη ιεραρχικών δομών.
- *Ενδοσκόπηση* (introspection). Ο αναλυτής ζητεί από τον έμπειρο να φαντασθεί πώς θα έλυνε (ή έχει λύσει) κάποιο πρόβλημα ή κατηγορία προβλημάτων. Αυτή η τεχνική, όπως και η μέθοδος του καλαθιού, απαιτεί από τον έμπειρο να φανερώσει τη σκέψη του. Παράλληλα, ο αναλυτής μπορεί να θέτει στον έμπειρο, ερωτήματα των τύπων «Πώς» και «Τι», αλλά όχι του τύπου «Γιατί», διότι τέτοια ερωτήματα μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα η προσοχή να αποσπασθεί κάπου αλλού.
- *Αναδρομική περιγραφή περιστατικού* (retrospective case description). Ζητείται από τον έμπειρο να περιγράψει πώς επεξεργάσθηκε ένα ή περισσότερα τυπικά περιστατικά, κατά προτίμηση από το πρόσφατο παρελθόν. Ο αναλυτής χρειάζεται να αξιολογήσει πόσο αντιπροσωπευτικό είναι το κάθε περιστατικό. Είναι γεγονός ότι στη μνήμη κάποιου αποτυπώνονται καλύτερα πιο σπάνια και επομένως αξιοσημείωτα περιστατικά.
- *Κρίσιμο περιστατικό* (critical incident). Σε αντίθεση με την προηγούμενη τεχνική, εδώ ζητείται από τον έμπειρο να περιγράψει τις εμπειρίες του αναφορικά με αξιοσημείωτα ή δύσκολα περιστατικά. Η χρήση αυτής της τεχνικής μπορεί να δημιουργήσει μία ερεθιστική αρχή στη διεργασία απόκτησης γνώσης, αφού τέτοια κρίσιμα περιστατικά αποτελούν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τον έμπειρο σε σχέση με τυπικά περιστατικά, ενώ παράλληλα στοχεύει στο να αποκαλύψει τυχόν «μποτιλιαρίσματα» στο έργο του έμπειρου.

- *Προσομοίωση σεναρίου «προς τα εμπρός» (forward scenario simulation).*
Ο έμπειρος περιγράφει με λεπτομέρεια πώς θα επεξεργαζόταν ένα υποθετικό περιστατικό, επιλεγμένο είτε από τον ίδιο ή από τον αναλυτή.

Οι προηγούμενες σύντομες περιγραφές αποτελούν ένα δείγμα τεχνικών συνεντεύξεων. Υπάρχουν πολλές άλλες τεχνικές. Η χρήση τέτοιων τεχνικών στοχεύει στην επίτευξη κατανόησης ανάμεσα στον έμπειρο και τον αναλυτή και την έκφραση αυτής της κατανόησης σε μορφή η οποία επιτρέπει τη δημόσια εξέταση. Αυτή θεωρείται η κεντρική λειτουργία της διεργασίας απόκτησης γνώσης.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 10.2

Αντιστοιχίστε τις ακόλουθες τεχνικές συνεντεύξεων

1. Δίδαξε πίσω
2. Συνέντευξη φροντιστήριο
3. Επανακατάταξη
4. Δομημένη συνέντευξη
5. Σκαλωτό πλέγμα
6. Αναδρομική περιγραφή περιστατικού
7. Κρίσιμο περιστατικό

με τα ακόλουθα σχόλια:

- A. Βοηθά στην απόσπαση ιεραρχικών δομών.
- B. Παρέχει ένα ερεθιστικό ξεκίνημα στη διεργασία απόκτησης γνώσης.
- Γ. Εμπλέκει ορθό και ανάστροφο συλλογισμό εκ μέρους του έμπειρου.
- Δ. Διεξάγεται σε δύο επίπεδα, το πρώτο επίπεδο στοχεύει στην επίτευξη κοινών εννοιών, ενώ το δεύτερο στην επίτευξη κατανόησης.
- E. Στοχεύει στην απόκτηση της ολότητας της γνώσης για δεδομένη έννοια.
- ΣΤ. Στοχεύει στην απόσπαση των κύριων θεμάτων και εννοιών του τομέα.
- Z. Ο αναλυτής χρειάζεται να αξιολογήσει πόσο αντιπροσωπευτικά είναι τα περιστατικά.

Για τη δημιουργία κάποιου έμπειρου συστήματος αναμένεται να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές συνεντεύξεων και όχι αποκλειστικά μία τεχνική. Από τις τεχνικές που σας έχουν περιγραφεί, ποιες πιστεύετε αποτελούν έναν καλό συνδυασμό και γιατί και ποιο νομίζετε θα ήταν ένα αποτελεσματικό πλάνο εφαρμογής του εν λόγω συνδυασμού;

Δραστηριότητα 10.2

10.4 Μεθοδολογία CommonKADS

Ολοκληρώνουμε το κεφάλαιο 10 με μία αναφορά στη μεθοδολογία CommonKADS, η οποία αποτελεί την πιο ευρέως διαδεδομένη μεθοδολογία τεχνολογίας γνώσης, τουλάχιστο στον Ευρωπαϊκό χώρο. Το αρχικό όνομα της μεθοδολογίας ήταν απλά KADS (Knowledge Acquisition and Document Structuring). Στόχος των δημιουργών της ήταν η ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας για τη δημιουργία συστημάτων βάσεων γνώσης. Η όλη προσπάθεια άρχισε κατά το πρώτο ήμισυ της δεκαετίας του 80 και διάρκεσε για μια δεκαετία. Φυσικά, ακόμη και σήμερα η μεθοδολογία βρίσκεται σε μία συνεχή διαδικασία βελτίωσης και επέκτασης.

Αρχικά η μεθοδολογία επικεντρωνόταν σε τεχνικές για την απόκτηση γνώσης, ενώ αργότερα, πέραν της τεχνολογίας γνώσης, η οποία αποτελεί τον κεντρικό της άξονα, επεκτάθηκε σε διαχείριση έργου, ανάλυση οργανισμού και τεχνολογία λογισμικού, διότι όλα αυτά εμπλέκονται στη δημιουργία ενός συστήματος βάσεως γνώσης, και μετονομάστηκε σε μεθοδολογία CommonKADS. Όπως ήδη αναφέρθηκε, συστήματα βάσεων γνώσης δεν αποτελούν σήμερα αποσπασμένες εφαρμογές, οι οποίες απαιτούν ειδικούς υπολογιστές, π.χ. LISP machines, αλλά μέρος ευρύτερων υπολογιστικών συστημάτων. Επομένως, μία μεθοδολογία συστημάτων βάσεων γνώσης θα πρέπει να μπορεί να συνάδει με τρέχουσες τεχνολογίες λογισμικού.

Πέραν αυτής καθ' αυτής της μεθοδολογίας, η εφαρμογή της διευκολύνεται με την παροχή της *Βιβλιοθήκης CommonKADS*, η οποία αποτελεί τη βάση για επαναχρησιμοποίηση σε καθαρά πρακτικό επίπεδο. Η Βιβλιοθήκη οργανώνεται με βάση μία κατηγοριοποίηση προβλημάτων και συλλογισμών. Η καθ' αρχήν πρόσβαση στη Βιβλιοθήκη γίνεται μέσω των κατηγοριών ή τύπων προβλημάτων, π.χ. διάγνωση, πρόγνωση, προγραμματισμός, σχεδίαση, κτλ. Αρχίζοντας από τις κατηγορίες προβλημάτων, οι οποίες αποτελούν τα πιο αφηρημένα στοιχεία της Βιβλιοθήκης, τα στοιχεία διασπώνται, καταλήγοντας σε επαναχρησιμοποιήσιμους, κανονικοποιημένους συλλογισμούς (reusable,

canonical inferences), οι οποίοι αποτελούν τα πρωτεύοντα στοιχεία της Βιβλιοθήκης. Άλλα στοιχεία της Βιβλιοθήκης είναι οι μονάδες μοντελοποίησης (κατασκευαστικά τεμάχια), οι οποίες συντίθενται σε γενικευμένα μοντέλα (σκελετικά πλάνα μαζί με περιορισμούς αναφορικά με το πώς μπορούν να «γεμίσουν») και οι σχετικές διαδικασίες μοντελοποίησης (τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθηθούν για τη δημιουργία των μοντέλων).

Η ανάγκη για μια πιο μεθοδολογική προσέγγιση στην ανάπτυξη συστημάτων βάσεων γνώσης διαφάνηκε αρκετά νωρίς, ως το μέσο υπερνίκησης του λεγόμενου «μποτιλιαρίσματος στην απόκτηση γνώσης» (knowledge acquisition bottleneck). Η απόσπαση γνώσης αναφορικά με το πώς ο έμπειρος εκτελεί κάποια εργασία αποτελεσματικά, με τρόπο που να μπορεί να τυποποιηθεί αυτή η γνώση σε μορφή υπολογιστικού συστήματος, είναι κάτι το πολύ δύσκολο. Επιπρόσθετος λόγος για μια πιο μεθοδολογική προσέγγιση αποτελούσε το γεγονός ότι οι μέθοδοι συλλογισμού που χρησιμοποιούνταν σε συστήματα βάσεων γνώσης δεν ήταν πάντοτε πλήρως κατανοητές.

Η μεθοδολογία CommonKADS βασίζεται στην αντιμετώπιση της διεργασίας απόκτησης γνώσης, ως ενέργειας μοντελοποίησης. Ένα σύστημα βάσεων γνώσης θεωρείται ως λειτουργικό μοντέλο που εκδηλώνει κάποια επιθυμητή συμπεριφορά, η οποία είναι ορατή ή προδιαγράφεται διαμέσου πραγματικών φαινομένων. Επομένως, η δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος είναι η κατασκευή ενός υπολογιστικού μοντέλου δεδομένης επιθυμητής συμπεριφοράς, η οποία μπορεί, αλλά όχι κατ' ανάγκη, να συμπίπτει με τη συμπεριφορά κάποιου έμπειρου. Η απόκτηση γνώσης θεωρείται μία κατασκευαστική διεργασία κατά την οποία ο μηχανικός γνώσης μπορεί να χρησιμοποιήσει όλων των ειδών δεδομένα αναφορικά με τη συμπεριφορά του έμπειρου με στόχο την κατασκευή του υπολογιστικού μοντέλου. Οι αρχές που διέπουν τη μεθοδολογία CommonKADS είναι οι ακόλουθες:

Αρχές Μεθοδολογίας CommonKADS

Πολλαπλά μοντέλα

Μοντελοποίηση εμπειρογνωμοσύνης

Επαναχρησιμοποίηση

Διαχωρισμός γνώσης

Σχεδιασμός που διατηρεί τη δομή της γνώσης.

Το κάθε μοντέλο παρουσιάζει μία διαφορετική όψη του υπό κατασκευή συστήματος. Το κεντρικό μοντέλο είναι αυτό καθ' αυτό το μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης. Η αρχή της επαναχρησιμοποίησης έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία, όχι μόνο σε σχέση με συστήματα βάσεων γνώσης, αλλά γενικά στην ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων. Σε αυτά τα συμφοραζόμενα επαναχρησιμοποίηση αναφέρεται σε σκελετικά μοντέλα εμπειρογνωμοσύνης, κανονικοποιημένους συλλογισμούς, κτλ. Στο υπό κατασκευή μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης πρέπει να γίνονται όλοι οι σχετικοί σημασιολογικοί διαχωρισμοί ως προς την εμπλεκόμενη γνώση και ο σχεδιασμός του μοντέλου, σε επίπεδο συμβόλων, πρέπει να διατηρεί αυτή τη δομή της γνώσης.

10.4.1 Πολλαπλά μοντέλα

Η κατασκευή ενός συστήματος βάσεως γνώσης είναι μία περίπλοκη διεργασία, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως διεργασία αναζήτησης σε ένα μεγάλο χώρο αποτελούμενο από μεθόδους, τεχνικές και εργαλεία τεχνολογίας γνώσης. Αυτή η πολυπλοκότητα μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό με τη χρήση *πολλαπλών μοντέλων*, το καθένα εκ των οποίων παρουσιάζει το σύστημα από διαφορετική σκοπιά, δίνοντας έτσι έμφαση σε ορισμένα χαρακτηριστικά του συστήματος, αφαιρώντας παράλληλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά. Τα προτεινόμενα μοντέλα είναι τα εξής:

Πολλαπλά Μοντέλα (Όψεις) Ενός Συστήματος Βάσεως Γνώσης

- Μοντέλο Οργανισμού (Organizational Model)
- Μοντέλο Εφαρμογής (Application Model)
- Μοντέλο Εργασίας (Task Model)
- Μοντέλο Συνεργασίας (Cooperation Model)
- Μοντέλο Εμπειρογνωμοσύνης (Expertise Model)
- Ιδεατό Μοντέλο (Conceptual Model)
- Μοντέλο Σχεδιασμού (Design Model)

ΜΟΝΤΕΛΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

Το μοντέλο οργανισμού συνεπάγεται τα ακόλουθα:

- Ορισμό του προβλήματος, το οποίο το σύστημα στοχεύει να επιλύσει μέσα στον Οργανισμό.
- Ανάλυση της κοινωνικο-οργανωτικής δομής του περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο θα λειτουργεί το σύστημα.

- Περιγραφή των λειτουργιών, εργασιών και «μποτυλιαρισμάτων» του Οργανισμού.
- Πρόβλεψη ως προς το πώς η εισαγωγή του συστήματος θα επιδράσει πάνω στον Οργανισμό και τους ανθρώπους που εργάζονται μέσα σ' αυτόν.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Το μοντέλο εφαρμογής ορίζει τη λειτουργία του συστήματος σε σχέση με τους μελλοντικούς του χρήστες, οι οποίοι είναι είτε άνθρωποι ή άλλα συστήματα. Επίσης προσδιορίζει τους εξωτερικούς περιορισμούς που σχετίζονται με την ανάπτυξη της εφαρμογής, π.χ. περιορισμούς αναφορικά με ταχύτητα, αποτελεσματικότητα, χρήση ειδικού λογισμικού ή υπολογιστή, κτλ.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το μοντέλο εργασίας ορίζει τις συγκεκριμένες εργασίες που θα εκτελεί το σύστημα σε σχέση με την προσδιοριζόμενη λειτουργία του, προς επίτευξη δηλαδή των στόχων του. Η επίτευξη κάποιου στόχου μπορεί να γίνει με εναλλακτικούς τρόπους. Επομένως, χρειάζεται να επιλεγεί ο κατάλληλος τρόπος για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής, την υφιστάμενη γνώση και δεδομένα, τις απαιτήσεις του χρήστη, καθώς επίσης εξωτερικούς παράγοντες. Υπάρχουν τρεις όψεις του μοντέλου εργασίας, οι οποίες αναλύονται παρακάτω:

Διάσπαση Εργασίας. Η εργασία διασπάται σε υποεργασίες, κτλ. Για κάθε υποεργασία προσδιορίζεται η διεπαφή της, δηλαδή ποιος είναι ο στόχος της και τι πληροφορίες χρειάζεται προς εκπλήρωση αυτού του στόχου.

Κατανομή Εργασίας. Οι υποεργασίες κατανέμονται σε *διαμεσολαβητές* (agents). Σε αυτό το επίπεδο, διαμεσολαβητές είναι το ίδιο το υπό κατασκευή σύστημα, ο χρήστης ή κάποιο άλλο σύστημα. Ο χρήστης ή άλλα συστήματα αποτελούν εξωτερικούς διαμεσολαβητές.

Περιβάλλον Εργασίας. Οι περιορισμοί που επιβάλλονται από τον τομέα εργασίας. Αυτοί οι περιορισμοί έχουν επίδραση στην εμβέλεια και εν γένει φύση των μοντέλων εμπειρογνωμοσύνης και συνεργασίας.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ

Προδιαγράφει τη λειτουργικότητα των υποεργασιών, στο μοντέλο εργασίας, οι οποίες χρειάζονται συνεργατική προσπάθεια, όπως για παράδειγμα υπο-

εργασίες που αφορούν την απόκτηση δεδομένων ή την παροχή επεξηγήσεων, κτλ. Αυτές οι υποεργασίες ονομάζονται *εργασίες μεταβίβασης* (transfer tasks), επειδή για τη διεκπεραίωσή τους απαιτείται η μεταβίβαση κάποιας πληροφορίας από το σύστημα σε κάποιο εξωτερικό διαμεσολαβητή ή αντιστρόφως. Επομένως, το τι προδιαγράφεται είναι ένα μοντέλο επίλυσης προβλημάτων με συνεργασία, στο οποίο το σύστημα μαζί με το χρήστη εκπληρώνουν κάποιο στόχο με τρόπο που να ικανοποιούνται οι περιορισμοί του περιβάλλοντος εργασίας.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΜΠΕΙΡΟΓΝΩΜΟΣΥΝΗΣ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης είναι η ουσία της όλης υπόθεσης, για αυτό και θα το συζητήσουμε περαιτέρω στην επόμενη υποενότητα. Η δημιουργία αυτού του μοντέλου αποτελεί την κεντρική πράξη στη διεργασία κατασκευής του συστήματος. Αυτό είναι το στοιχείο που διακρίνει την τεχνολογία γνώσης από την παραδοσιακή τεχνολογία λογισμικού.

Στόχος είναι η προδιαγραφή, σε επίπεδο γνώσης (knowledge level) και όχι επίπεδο συμβόλων (symbol level), της εμπειρογνωμοσύνης που απαιτείται για την εκτέλεση των εργασιών (επίλυσης προβλημάτων), που έχουν ανατεθεί στο σύστημα. Η δημιουργία του μοντέλου επικεντρώνεται στη συμπεριφορά που το σύστημα χρειάζεται να εκδηλώνει και στα είδη της γνώσης που οδηγούν στην εκδήλωση αυτής της συμπεριφοράς, χωρίς εξέταση του πώς υλοποιείται ο εν λόγω συλλογισμός. Η δημιουργία του μοντέλου καθοδηγείται μεν από την ανάλυση της συμπεριφοράς του εμπείρου, αλλά και με την προκατάληψη ως προς το τι πρέπει και τι μπορεί να πράξει το επιδιωκόμενο σύστημα.

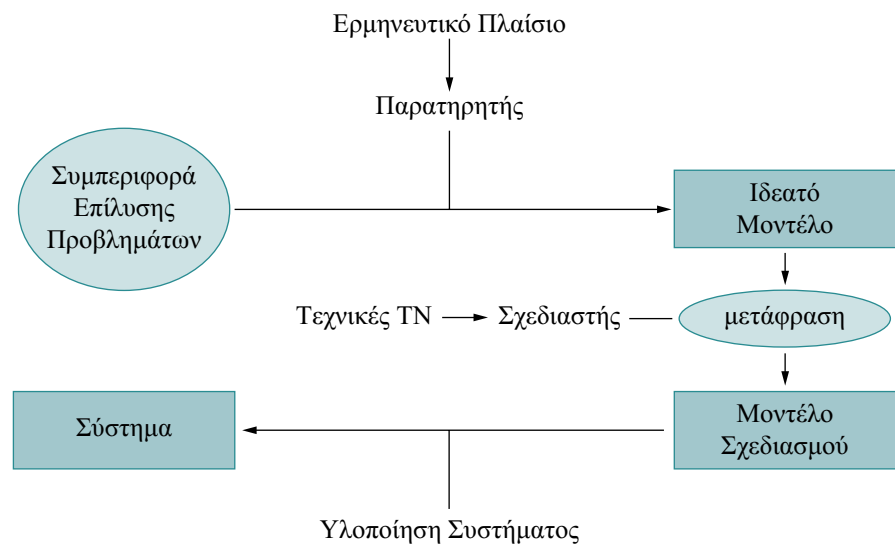
ΙΔΕΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το ιδεατό μοντέλο είναι η ένωση των μοντέλων εμπειρογνωμοσύνης και συνεργασίας και επομένως παρέχει μια ολοκληρωμένη εικόνα του τι αναμένεται να είναι η λειτουργικότητα του συστήματος και ποιες οι διαπροσωπείες του με εξωτερικούς διαμεσολαβητές. Το ιδεατό μοντέλο, όπως εξάλλου και τα μοντέλα που το απαρτίζουν, είναι ανεξάρτητο υλοποίησης.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το μοντέλο σχεδιασμού αποτελεί τη μετάφραση του ιδεατού μοντέλου σε επίπεδο συμβόλων, με βάση φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης, μηχανισμών συλλογισμού και άλλων υπολογιστικών τεχνικών, που θα πρέπει να

χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του συστήματος. Στο μοντέλο σχεδιασμού πρέπει να ληφθούν υπόψη εξωτερικές απαιτήσεις, όπως ταχύτητα, υλικό, λογισμικό, κτλ. Οι ρόλοι του ιδεατού μοντέλου και του μοντέλου σχεδιασμού παρουσιάζονται στο Σχήμα 10.5. Το «ερμηνευτικό πλαίσιο» (interpretation context) είναι το σκελετικό μοντέλο (εμπειρογνωμοσύνης), που αναφέρεται και στο Σχήμα 10.3, ο ρόλος του οποίου είναι να εστιάζει τη διερμηνεύση της συμπεριφοράς που παρατηρείται.

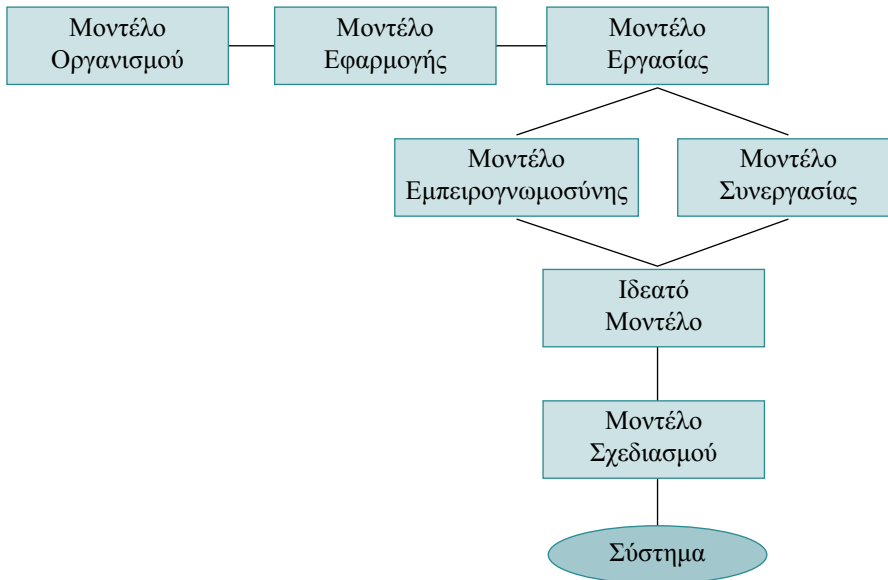


Σχήμα 10.5

Ρόλοι Ιδεατού Μοντέλου και Μοντέλου Σχεδιασμού

Ο διαχωρισμός ανάμεσα στην ιδεατή μοντελοποίηση και το σχεδιασμό θεωρείται το ισχυρό και ταυτόχρονα το αδύνατο σημείο της μεθοδολογίας. Ισχυρό σημείο θεωρείται, επειδή κατά τη μοντελοποίηση ο μηχανικός γνώσης δεν έχει προκαταλήψεις με βάση τους περιορισμούς του υπολογιστικού πλαισίου. Από την άλλη πλευρά, αδύνατο σημείο θεωρείται, επειδή μετά τη μοντελοποίηση παραμένει το πρόβλημα της υλοποίησης και ενδεχομένως στοιχεία του μοντέλου να μην είναι υλοποιήσιμα δεδομένης της υφιστάμενης τεχνολογίας.

Οι εξαρτήσεις ανάμεσα στα διάφορα μοντέλα δίνονται στο Σχήμα 10.6. Οι σύνδεσμοι υποδηλώνουν ότι πληροφορίες από το ένα μοντέλο χρησιμοποιούνται στη δημιουργία του άλλου μοντέλου.

**Σχήμα 10.6**

*Μοντέλα που Προτείνει
η Μεθοδολογία
CommonKADS*

Όπως αναφέρθηκε στις Εισαγωγικές Παρατηρήσεις, η τεχνολογία γνώσης στοχεύει στη γεφύρωση του κενού ανάμεσα στην επιδιωκόμενη συμπεριφορά και ένα σύστημα το οποίο εκδηλώνει αυτή τη συμπεριφορά. Η μεθοδολογία CommonKADS εισηγείται την ανάπτυξη ενός αριθμού μοντέλων ως το μέσο γεφύρωσης του κενού. Κάθε μοντέλο αντιπροσωπεύει μία συγκεκριμένη όψη του συστήματος, επιτρέποντας έτσι στο μηχανικό γνώσης να αντεπεξέλθει της πολυπλοκότητας του εγχειρήματός του. Η διάσπαση του έργου με αυτό τον τρόπο δεν είναι άλλη από την παραδοσιακή στρατηγική «διαίρει και βασίλευε».

Για καθεμία από τις ακόλουθες προτάσεις να πείτε σε ποιο μοντέλο της μεθοδολογίας CommonKADS αναφέρεται.

1. Προδιαγράφει τη λειτουργικότητα των εργασιών μεταβίβασης.
2. Κατανέμει εργασίες σε διαμεσολαβητές.
3. Προβλέπει πώς η εισαγωγή του συστήματος θα επηρεάσει τους εμπλεκόμενους ανθρώπους.
4. Ορίζει το πρόβλημα το οποίο το σύστημα χρειάζεται να επιλύσει.
5. Ορίζει τη λειτουργία του συστήματος σε σχέση με τους μελλοντικούς του χρήστες.
6. Προσδιορίζει τις διεπαφές των διαφόρων εργασιών.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 10.3

7. Προσδιορίζει εξωτερικούς περιορισμούς.
8. Είναι ανεξάρτητο υλοποίησης.
9. Προσδιορίζει τις υπολογιστικές τεχνικές για την υλοποίηση του συστήματος.
10. Εξαρτάται από όλα τα άλλα μοντέλα.

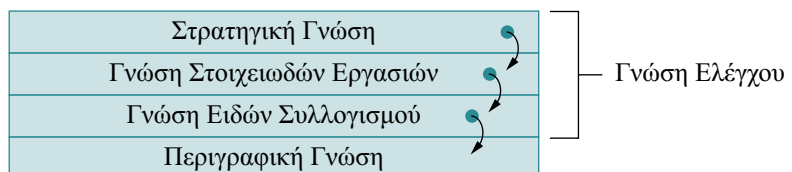
10.4.2 Μοντελοποίηση εμπειρογνωμοσύνης

Η μεγαλύτερη πρόκληση της τεχνολογίας γνώσης είναι η ικανοποιητική απάντηση του ερωτήματος «Πώς μοντελοποιείται η εμπειρογνωμοσύνη;». Η μεθοδολογία CommonKADS προτείνει τις ακόλουθες βασικές προϋποθέσεις προς αυτό το σκοπό:

- Είναι εφικτό και χρήσιμο να διαχωριστούν διάφορα γενικευμένα είδη γνώσης (generic types of knowledge) σύμφωνα με τους διαφορετικούς ρόλους που παίζει η γνώση σε διεργασίες συλλογισμού.
- Αυτά τα είδη γνώσης μπορούν να οργανωθούν σε διάφορα στρώματα, τα οποία έχουν περιορισμένες διασυνδέσεις.

Ο βασικός διαχωρισμός είναι ανάμεσα σε περιγραφική γνώση τομέα (domain knowledge) και γνώση ελέγχου (control knowledge). Η πρόταση αυτής της μεθοδολογίας είναι η γνώση ελέγχου να διαχωριστεί σε τρία είδη, δίνοντας έτσι τέσσερα στρώματα γνώσης (βλέπε Σχήμα 10.7). Στο χαμηλότερο στρώμα είναι η *περιγραφική γνώση*, ενώ στο υψηλότερο η *στρατηγική γνώση*. Τα ενδιάμεσα στρώματα είναι η *γνώση ειδών συλλογισμού* (types of inferences) και πιο πάνω η *γνώση στοιχειωδών εργασιών* (primitive tasks). Οι διασυνδέσεις ανάμεσα στα στρώματα γνώσης είναι περιορισμένες. Συγκεκριμένα, κάθε στρώμα γνώσης ελέγχου μπορεί να επικοινωνήσει μόνο με το αμέσως πιο κάτω στρώμα.

Σχήμα 10.7
Στρώματα Γνώσης



Από τα τέσσερα στρώματα, αυτό που έχει εξερευνηθεί το λιγότερο, από την ερευνητική ομάδα, είναι εκείνο της στρατηγικής γνώσης. Πρόσφατη έρευνα της ομάδας επικεντρώθηκε σε αυτό το στρώμα με στόχο την καλύτερη κατανόηση του τι είναι στρατηγική γνώση. Ο προτεινόμενος διαχωρισμός, στα τέσσερα στρώματα, αντικατοπτρίζει τους διαφορετικούς τρόπους, με τους οποίους η γνώση μπορεί να θεωρηθεί και να χρησιμοποιηθεί. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τα στρώματα γνώσης.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΓΝΩΣΗ ΤΟΜΕΑ

Η περιγραφική γνώση είναι στατική γνώση, η οποία αποτελεί τη *θεωρία* (theory) του τομέα εφαρμογής. Εκφράζεται με δηλωτικό τρόπο και απαρτίζεται από τα ακόλουθα πρωτεύοντα στοιχεία:

Έννοιες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα σχετικά αντικείμενα. Κάθε έννοια έχει την ονομασία της.

Ιδιότητες και τιμές. Κάθε έννοια έχει ένα σύνολο χαρακτηριστικών, τις ιδιότητές της. Κάθε ιδιότητα έχει ονομασία και σύνολο τιμών.

Σχέσεις ανάμεσα σε έννοιες. Οι πιο κοινές σχέσεις είναι οι ιεραρχικές σχέσεις, «είναι» και «είναι μέρος» (βλέπε κεφ. 5).

Σχέσεις ανάμεσα σε εκφράσεις ιδιοτήτων. Για παράδειγμα,

Ενισχυτής: κουμπί-δύναμης = πατημένο ΠΡΟΚΑΛΕΙ Ενισχυτής: ένταση = πάνω

Η σχέση είναι ΠΡΟΚΑΛΕΙ. Η πρόταση ερμηνεύεται ως εξής: Εάν η ιδιότητα «κουμπί-δύναμης» του αντικειμένου «Ενισχυτής» έχει την τιμή «πατημένο», αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ιδιότητα «δύναμη» του εν λόγω αντικειμένου να λάβει την τιμή «πάνω».

Δομή, για την απεικόνιση σύνθετων αντικειμένων.

Για δεδομένο μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης, επιλέγεται το υποσύνολο των πρωτεύοντων στοιχείων, το οποίο παρέχει στο μηχανικό γνώσης την απαιτούμενη εκφρασσιμότητα. Τα πρωτεύοντα στοιχεία χρησιμοποιούνται για τον ορισμό του *σχήματος του τομέα* (domain schema). Αυτό το σχήμα περιγράφει τη δομή των προτάσεων της *θεωρίας του τομέα* (domain theory), ενώ παράλληλα παρέχει τα σημεία αναφοράς σχετικά με την επεξεργασία της περιγραφικής γνώσης (θεωρίας του τομέα) από το πιο πάνω στρώμα γνώσης, τα είδη συλλογισμού. Στο Σχήμα 10.8 δίνεται μέρος κάποιου σχήματος τομέα που αφορά δεδομένη κατηγορία ηλεκτρονικών μηχανών.

Πρωτεύον Στοιχείο	Ονομασία
Έννοια	μονάδα
Σχέση ανάμεσα σε έννοιες	μονάδα ΕΙΝΑΙ μονάδα
Σχέση ανάμεσα σε έννοιες	μονάδα ΥΠΟ_ΜΟΝΑΔΑ μονάδα
Ιδιότητα	μονάδα: κατάσταση
Σχέση ανάμεσα σε εκφράσεις ιδιοτήτων	μονάδα: κατάσταση ΠΡΟΚΑΛΕΙ
Έννοια	μονάδα: κατάσταση
Ιδιότητα	δοκιμή
Σχέση ανάμεσα σε εκφράσεις ιδιοτήτων	δοκιμή: τιμή
	δοκιμή: τιμή ΥΠΟΔΗΛΩΝΕΙ
	μονάδα: κατάσταση

Σχήμα 10.8

Παράδειγμα Σχήματος
Τομέα

Στη μεθοδολογία CommonKADS η περιγραφική γνώση θεωρείται σχετικά ανεξάρτητη εργασίας. Οι ονομασίες που δίνονται στις (κατηγορίες) εννοιών, τις ιδιότητές και σχέσεις τους, κτλ. δεν θα πρέπει να υποδηλώνουν οποιαδήποτε συγκεκριμένη χρήση αυτής της γνώσης στο σχήμα τομέα. Το ίδιο σώμα περιγραφικής γνώσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια διαφορετικών εργασιών επίλυσης προβλημάτων. Επομένως, ο διαχωρισμός της περιγραφικής γνώσης από το συγκεκριμένο τρόπο χρήσης της στα πλαίσια δεδομένης εργασίας θεωρείται το πρώτο βήμα ως προς την ευέλικτη χρήση και επαναχρησιμοποίηση της περιγραφικής γνώσης.

Όπως όμως έχουμε συζητήσει σε προηγούμενα κεφάλαια, αλλά και σε προηγούμενες ενότητες του παρόντος κεφαλαίου, η απόσπαση περιγραφικής γνώσης και η αποκάλυψη της δομής αυτής, ανεξαρτήτως χρήσεως, καταρχάς είναι κάτι το πολύ γενικό και δεύτερο, σημαντικά στοιχεία της δομής της περιγραφικής γνώσης αφορούν άμεσα την αποτελεσματική και αποδοτική χρήση της στα πλαίσια συγκεκριμένων εργασιών. Φυσικά, κανένας δεν διαφωνεί ότι τα στοιχεία ενός σώματος περιγραφικής γνώσης τα οποία ενδεχομένως να αφορούν περισσότερες από μία εργασίες, θα πρέπει να αποσπασθούν και η δομή τους να διατυπωθεί με τρόπο ανεξάρτητο οποιασδήποτε χρήσεως, για να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση.

Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 10.4

Στο Σχήμα 10.8 δίνεται μέρος κάποιου σχήματος τομέα που αφορά δεδομένη κατηγορία ηλεκτρονικών μηχανών. Μεταφράστε αυτό το σχήμα τομέα σε φυσική γλώσσα.

ΓΝΩΣΗ ΕΙΔΩΝ ΣΥΛΛΟΓΙΣΜΟΥ

Οι *συλλογισμοί* που αποτελούν το αμέσως πιο πάνω στρώμα γνώσης, θεωρούνται βασικοί από την άποψη ότι μπορούν να περιγραφούν πλήρως μέσω της ονομασίας τους, της διεπαφής τους (ποιες πληροφορίες αποτελούν την είσοδο και έξοδο τους) και των στοιχείων της περιγραφικής γνώσης (σχήματος τομέα) που επεξεργάζονται. Για τους σκοπούς της μοντελοποίησης, ο τρόπος υλοποίησης κάποιου συλλογισμού δεν έχει σημασία. Σημασία έχει μόνο η λειτουργικότητα που παρέχει. Αυτή είναι μία άλλη σημαντική αρχή τεχνολογίας λογισμικού, ο διαχωρισμός ανάμεσα στο «τι» και το «πώς». Μπορεί μεν για σκοπούς μοντελοποίησης, κάποιος συλλογισμός να θεωρείται ως βασικός, στην πραγματικότητα, όμως, μπορεί να αποτελεί μία σύνθετη υπολογιστική διεργασία.

Η περιγραφική γνώση εκφράζεται ανεξάρτητα από τις χρήσεις της. Η γνώση συλλογισμού αναθέτει ρόλους στη περιγραφική γνώση σύμφωνα με τις διαφορές χρήσεις της τελευταίας στα πλαίσια βασικών συλλογισμών. Η γνώση συλλογισμού αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

Μετα-τάξεις (meta-classes). Μία μετα-τάξη περιγράφει κάποιο *ρόλο*, ο οποίος μπορεί να ανατεθεί σε αντικείμενα (έννοιες) κατά την επίλυση προβλημάτων, και δίνει τις κατηγορίες των αντικειμένων (από το σχήμα τομέα), στα οποία μπορεί να ανατεθεί αυτός ο ρόλος. Η ίδια κατηγορία αντικειμένων μπορεί να συνδέεται με περισσότερους από ένα ρόλο. Με άλλα λόγια μία μετα-τάξη είναι κάποια ετικέτα που αποδίδει συγκεκριμένη (δυναμική) σημασιολογία σε κάποια (στατική) έννοια της περιγραφικής γνώσης. Είναι ένα ψευδώνυμο (alias) της έννοιας σε συγκεκριμένα συμφραζόμενα και η ίδια έννοια μπορεί να έχει πολλά ψευδώνυμα. Για παράδειγμα, η έννοια μονάδα (βλέπε Σχήμα 10.8) μπορεί να έχει το ρόλο της *υπόθεσης* (hypothesis) στα πλαίσια κάποιου συλλογισμού και το ρόλο της *λύσης* (solution) στα πλαίσια κάποιου άλλου συλλογισμού. Η διατύπωση της περιγραφικής γνώσης με τρόπο ανεξάρτητο της χρήσης της διευκολύνει την ανάθεση πολλαπλών (δυναμικών) ρόλων στις εν λόγω έννοιες και προφανώς αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα.

Πηγές γνώσης (knowledge sources), όπου ο όρος έχει διαφορετική σημασιολογία από τον ομώνυμο όρο στο μοντέλο του μαυροπίνακα (βλέπε κεφ. 6). Οι πηγές γνώσης αντιπροσωπεύουν τις επεξεργασίες που εκτελούν οι βασικοί συλλογισμοί. Σε αυτό το επίπεδο οι πηγές γνώσης είναι απλές ονο-

μασίες, αφού τα «πώς» των συλλογισμών θεωρούνται ως «μαύρα κουτιά».

Όψεις τομέα (domain views), από τη σκοπιά των διαφόρων πηγών γνώσης. Επομένως, μία όψη τομέα προσδιορίζει τα στοιχεία της περιγραφικής γνώσης που αποτελούν το «σώμα γνώσης» που επεξεργάζεται η δεδομένη πηγή γνώσης.

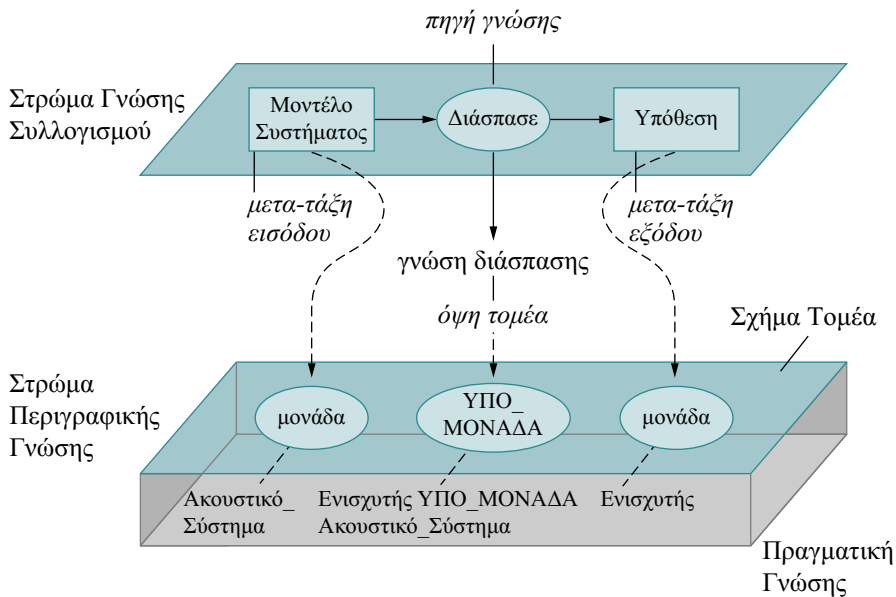
Με βάση τα προηγούμενα, η σύνθεση ενός βασικού συλλογισμού περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Τη μετα-τάξη, που αποτελεί την είσοδό του.
- Την πηγή γνώσης και την αντίστοιχη όψη της (στο επίπεδο της περιγραφικής γνώσης), που αποτελεί την επεξεργασία του.
- Τη μετα-τάξη που αποτελεί την έξοδό του.

Στο Σχήμα 10.9 δίνεται ένα παράδειγμα βασικού συλλογισμού σε γραφική μορφή, καθώς επίσης και η μετάφρασή του σε μορφή τυποποιημένης ψευδογλώσσας. Η εν λόγω εφαρμογή αφορά τη διάγνωση κάποιου ακουστικού ηλεκτρονικού συστήματος. Ο συλλογισμός που παρουσιάζεται στο Σχήμα αντιπροσωπεύει την εξαγωγή κάποιας υπόθεσης αναφορικά με το ποια μονάδα του όλου συστήματος δυσλειτουργεί, κάνοντας χρήση της σχέσης ΥΠΟ_ΜΟΝΑΔΑ με βάση την οποία διασπάται το σύστημα σε μονάδες και υπομονάδες. Προφανώς, το τι δίνεται εδώ είναι μία πολύ αφηρημένη παρουσίαση ενός αρκετά περίπλοκου συλλογισμού.

Τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από το διαχωρισμό της περιγραφικής γνώσης και του τρόπου θεώρησής της στα πλαίσια συλλογισμών μπορεί να συνοψισθούν ως ακολούθως:

- Επιτρέπονται πολλαπλές χρήσεις της ίδιας γνώσης.
- Αποφεύγεται ο πλεονασμός.
- Παρέχεται διπλός τρόπος ονομασίας της γνώσης, ανεξάρτητος και εξαρτώμενος της χρήσης της.
- Η εμβέλεια της γνώσης συνήθως είναι ευρύτερη από το τι απαιτείται από τη δεδομένη εργασία επίλυσης προβλημάτων, από τις απαιτήσεις, δηλαδή, του εμπλεκόμενου συνόλου βασικών συλλογισμών.



(α) Γραφική παρουσίαση βασικού συλλογισμού

Πηγή-Γνώσης Διάσπαση

Μετα-τάξη-Εισόδου: Μοντέλο_Συστήματος → μονάδα

Μετα-τάξη-Εξόδου: Υπόθεση → μονάδα

Όψη-Τομέα: Διάσπαση(Μοντέλο_Συστήματος, Υπόθεση)
→ ΥΠΟ_MONΑΔΑ(μονάδα, μονάδα)

(β) Παρουσίαση βασικού συλλογισμού σε ψευδοφυσική γλώσσα

Σχήμα 10.9

Γνώση Συλλογισμού

Οι βασικοί συλλογισμοί αποτελούν τα βασικά κατασκευαστικά τεμάχια του συστήματος βάσεως γνώσης. Διατυπώνουν τις βασικές ενέργειες συλλογισμού εκ μέρους του συστήματος και αποδίδουν ρόλους στα αντικείμενα του τομέα. Κάθε βασικός συλλογισμός είναι μία ανεξάρτητη οντότητα. Ωστόσο, οι βασικοί συλλογισμοί μπορούν να ενωθούν σε δίκτυα, όπου η έξοδος ενός συλλογισμού αποτελεί την είσοδο κάποιου άλλου συλλογισμού, κτλ. Σε αυτό το στρώμα γνώσης δεν ορίζεται οποιοσδήποτε έλεγχος σε σχέση με ένα τέτοιο δίκτυο συλλογισμού, απλώς ορίζονται τα σχετικά λεξιλόγια και οι εξαρτήσεις ανάμεσα στους βασικούς συλλογισμούς, οι οποίες χρησιμοποιούνται από το πιο πάνω στρώμα για τον ορισμό του σχετικού ελέγχου, στα πλαίσια σύνθετων εργασιών συλλογισμού.

ΓΝΩΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Αυτό το στρώμα παρέχει τη γνώση ως προς το πώς βασικοί συλλογισμοί μπορούν να ενωθούν για την επίτευξη κάποιου στόχου. Η ίδια εργασία συλλογισμού (reasoning task) μπορεί να συνδέεται με πολλαπλούς στόχους και ο ίδιος στόχος με πολλαπλές εργασίες. Επομένως, η συσχέτιση ή καλύτερα ανάθεση στόχων σε εργασίες δεν είναι κατ' ανάγκη κάτι το απλό, αφού η σχέση ανάμεσα σε εργασίες και στόχους είναι πολυσήμαντη και όχι μονοσήμαντη. Αυτό το έργο όμως ανήκει στο υψηλότερο σώμα γνώσης, δηλαδή αυτό της στρατηγικής γνώσης.

Οι εργασίες αντιπροσωπεύουν (χαμηλότερου επιπέδου) στρατηγικές για την επίτευξη στόχων που αφορούν την επίλυση προβλημάτων. Οι βασικοί συλλογισμοί αποτελούν ατομικές, αδιάσπαστες εργασίες. Επομένως, αυτό το στρώμα αφορά σύνθετες εργασίες, οι οποίες εμπλέκουν ένα σύνολο βασικών συλλογισμών σύμφωνα με συγκεκριμένη *δομή ελέγχου* (control structure). Η έννοια της εργασίας σε αυτή τη μεθοδολογία έχει μία σημαντική διαφορά με την αντίστοιχη έννοια στο σύστημα NEOMYCIN (βλέπε κεφ. 9). Στο NEOMYCIN οι μετα-κανόνες, που αποτελούν τις στρατηγικές υλοποίησης των διαφόρων μη τελικών εργασιών, μπορούν να αναφέρονται απευθείας στην περιγραφική γνώση. Εδώ οι εργασίες αναφέρονται σε συλλογισμούς (τελικές εργασίες) και όχι απευθείας στην περιγραφική γνώση.

Υπάρχουν οι ακόλουθες κατηγορίες εργασιών:

- *Βασικές εργασίες* (primitive tasks), δηλαδή βασικοί συλλογισμοί.
- *Σύνθετες εργασίες* (composite tasks), όπου σύνθετη εργασία μπορεί να είναι η αναδρομική κλήση της ίδιας εργασίας.
- *Εργασίες μεταβίβασης* (transfer tasks), οι οποίες απαιτούν διασύνδεση με κάποιο εξωτερικό διαμεσολαβητή, συνήθως το χρήστη, και σε αυτό το επίπεδο απλά θεωρούνται ως μαύρα κουτιά. Οι εργασίες μεταβίβασης είναι τεσσάρων ειδών:
 - *Απόκτησης* (Obtain). Το σύστημα ζητά κάποια πληροφορία από τον εξωτερικό διαμεσολαβητή, έχοντας το ίδιο την πρωτοβουλία.
 - *Παρουσίασης* (Present). Το σύστημα παρουσιάζει κάποια πληροφορία στον εξωτερικό διαμεσολαβητή, έχοντας και πάλι την πρωτοβουλία.
 - *Αποδοχής* (Receive). Το σύστημα αποδέχεται κάποια πληροφορία από τον εξωτερικό διαμεσολαβητή, μετά από πρωτοβουλία του τελευταίου.

— *Παροχής* (Provide). Το σύστημα παρέχει κάποια πληροφορία στον εξωτερικό διαμεσολαβητή, πάλι μετά από πρωτοβουλία του τελευταίου.

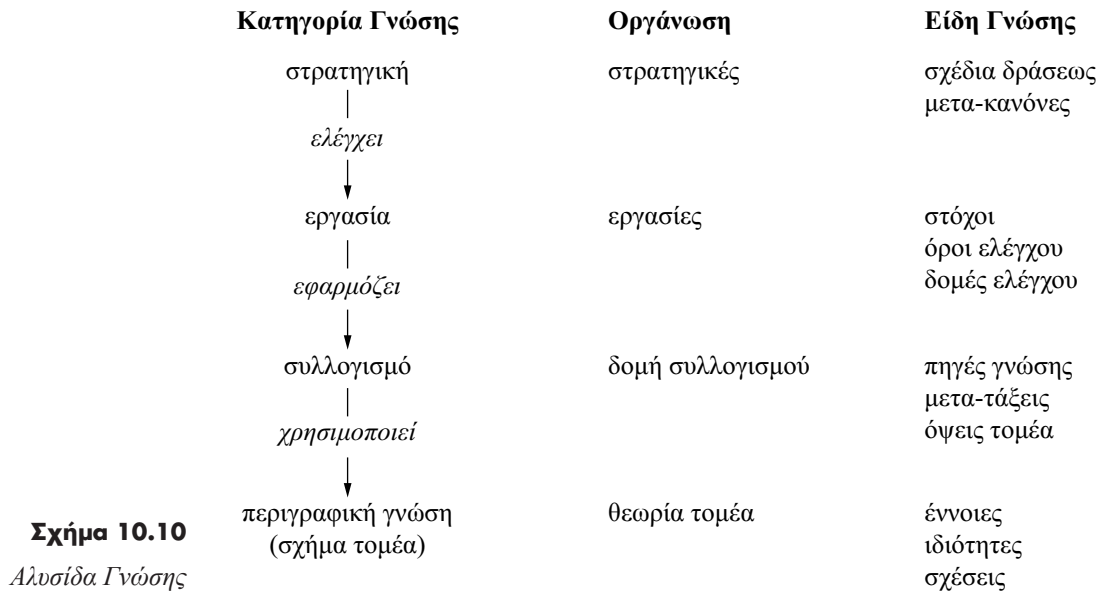
Μία σύνθετη εργασία αποτελείται από το σχετικό στόχο ή στόχους, τις υποεργασίες που την απαρτίζουν και τον έλεγχο που διέπει την εφαρμογή των υποεργασιών. Με σκοπό τη διατύπωση της δομής ελέγχου προσδιορίζονται οι λεγόμενοι *όροι ελέγχου* (control terms). Αυτές είναι ονομασίες για σχετικά σύνολα στοιχείων από τις εμπλεκόμενες μετα-τάξεις, π.χ. οι όροι *εστία* (focus) και *σύνολο-ανταγωνισμού*, οι οποίοι στα πλαίσια του διαγνωστικού συστήματος που αναφέρθηκε πιο πάνω, κατονομάζουν σύνολα στοιχείων από τη μετα-τάξη υπόθεση. Επίσης, ο προσδιορισμός της δομής ελέγχου κάνει χρήση γνωστών αλγοριθμικών δομών διαδικασιακού προγραμματισμού, π.χ. repeat-until, for-do, κτλ. Κάθε υποεργασία, που είναι επίσης σύνθετη, αναλύεται με τον ίδιο τρόπο. Με άλλα λόγια η μεθοδολογία CommonKADS προτείνει μία τυποποιημένη ψευδογλώσσα με αρκετά στοιχεία διαδικασιακού προγραμματισμού για τη σαφή διατύπωση σύνθετων εργασιών συλλογισμού. Επομένως, μία σύνθετη εργασία διασπάται σε υπο-εργασίες, υπο-υπο-εργασίες, κτλ., όπου οι τελικές εργασίες είτε είναι πηγές γνώσης (βασικοί συλλογισμοί), είτε εργασίες μεταβίβασης. Η εκτέλεση εργασιών μεταβίβασης προσδιορίζεται στο μοντέλο συνεργασίας. Επίσης, η διάσπαση των σύνθετων εργασιών, που γίνεται στα πλαίσια του μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης, είναι η περαιτέρω εκλέπτυνση της διάσπασης της όλης εργασίας που παρέχεται στο μοντέλο εργασίας.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΓΝΩΣΗ

Όπως ήδη αναφέραμε, το υψηλότερο στρώμα γνώσης είναι αυτό που έχει εξερευνηθεί το λιγότερο από την ερευνητική ομάδα. Η γνώση αυτού του στρώματος παρέχει υψηλότερου επιπέδου στρατηγικές από αυτές που αφορούν τους τρόπους εκπλήρωσης εργασιών. Η στρατηγική γνώση σχετίζεται με την ανάλυση του προβλήματος και τη διατύπωση των σχετικών στόχων, καθώς επίσης την ανάθεση αυτών των στόχων σε εργασίες, με άλλα λόγια την κατάρτιση, σε υψηλό επίπεδο, ενός σχεδίου δράσεως, που αφορά το δυναμικό προγραμματισμό σχετικών εργασιών. Από τη στιγμή που δεδομένος (υπο)στόχος ανατεθεί σε δεδομένη εργασία, ο τρόπος επίτευξής του αποφασίζεται από την εν λόγω γνώση εργασίας.

Το Σχήμα 10.10 συνοψίζει τη συζήτησή μας πάνω στα τέσσερα στρώματα γνώσης που εμπλέκονται στη διατύπωση μοντέλων εμπειρογνωμοσύνης,

σύμφωνα με τη μεθοδολογία CommonKADS. Στρατηγικές ελέγχουν εργασίες, οι οποίες εφαρμόζουν συλλογισμούς, οι οποίοι χρησιμοποιούν περιγραφική γνώση τομέα.



Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 10.5

Για καθεμία από τις ακόλουθες προτάσεις να πείτε σε ποιο στρώμα γνώσης του μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης αναφέρεται.

1. Αναθέτει ρόλους στα αντικείμενα του τομέα.
2. Τα πρωτεύοντα στοιχεία της περιλαμβάνουν έννοιες, τις ιδιότητες αυτών και τις σχέσεις μεταξύ τους.
3. Για τους σκοπούς της μοντελοποίησης αυτό που έχει σημασία είναι η λειτουργικότητα που παρέχουν και όχι ο τρόπος υλοποίησής τους. Σε επίπεδο υλοποίησης μπορεί να αποτελούν σύνθετες διεργασίες συλλογισμού.
4. Τα στοιχεία της είναι οι μετα-τάξεις, πηγές γνώσης και όψεις τομέα.
5. Αποτελεί το χαμηλότερο στρώμα γνώσης.
6. Εφαρμόζει βασικούς συλλογισμούς.
7. Η δομή της περιγράφεται μέσω του σχήματος τομέα.
8. Αποφασίζει τους στόχους και καταρτίζει το σχέδιο δράσεως.
9. Τα πρωτεύοντα στοιχεία της είναι στόχοι, όροι ελέγχου και δομές ελέγχου.
10. Εκφράζεται με τρόπο ανεξάρτητο των διαφόρων χρήσεων της.
11. Ελέγχει τις εργασίες.
12. Επεξεργάζεται την περιγραφική γνώση.

13. Είναι το υψηλότερο στρώμα.
14. Αναφέρεται σε εργασίες μεταβίβασης.
15. Αποτελούν στρατηγικές ως προς την επίτευξη στόχων.
16. Η διατύπωσή της περιλαμβάνει στοιχεία διαδικασιακού προγραμματισμού.

Σύνοψη

Στο τελευταίο κεφάλαιο του Μέρους II του τόμου εξετάσαμε τις διεργασίες που εμπλέκονται στη δημιουργία έμπειρων συστημάτων ή γενικότερα συστημάτων βάσεων γνώσης. Αυτές οι διεργασίες αποτελούν την τεχνολογία γνώσης. Το στοιχείο που διακρίνει την τεχνολογία γνώσης από την παραδοσιακή τεχνολογία λογισμικού είναι η μοντελοποίηση εμπειρογνωμοσύνης. Αυτό συνεπάγεται την απόσπαση (σε ιδεατό επίπεδο), την αναπαράσταση (σε επίπεδο συμβόλων) και την υλοποίηση (με τεχνικές της TN) του εν λόγω μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης.

Για την απόσπαση του μοντέλου μπορεί να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι ολοκληρωτικών διερευνήσεων εργασιών, οι οποίες στοχεύουν στη διερεύνηση του ακολουθιακού χαρακτήρα της αναζήτησης πληροφοριών που οδηγεί σε συμπεράσματα και αποφάσεις. Επίσης, μπορεί να εφαρμοσθούν διάφορες άλλες τεχνικές συνεντεύξεων.

Στη συνέχεια εξετάσαμε τη μεθοδολογία CommonKADS ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ολοκληρωμένης μεθοδολογίας τεχνολογίας γνώσης. Οι βασικές αρχές αυτής της μεθοδολογίας είναι η εξής: (α) Η θεώρηση του συστήματος από όλες τις δυνατές σκοπιές (οργανισμού, εφαρμογής, εργασίας, συνεργασίας, εμπειρογνωμοσύνης, σχεδιασμού), που οδηγεί έτσι στην ανάγκη δημιουργίας πολλαπλών μοντέλων και ταυτόχρονα τον έλεγχο, με μεθοδικό τρόπο, της εμπλεκόμενης πολυπλοκότητας, (β) η μοντελοποίηση της εμπειρογνωμοσύνης ως κεντρικής συνιστώσας, αφού αυτό εξάλλου αποτελεί την μεγαλύτερη πρόκληση της τεχνολογίας γνώσης, (γ) η επαναχρησιμοποίηση, (δ) ο διαχωρισμός της γνώσης σε διάφορα είδη, σύμφωνα με τους διαφορετικούς ρόλους που παίζει η γνώση σε διεργασίες συλλογισμού, και (ε) ο σχεδιασμός που διατηρεί τη δομή της γνώσης.

Η μεθοδολογία προτείνει την οργάνωση της γνώσης σε τέσσερα στρώματα με περιορισμένες διασυνδέσεις ανάμεσά τους. Αυτά είναι (α) το στρώμα περιγραφικής γνώσης, το οποίο εκφράζεται ανεξάρτητα των διαφόρων τρόπων

χρήσεως του, (β) το στρώμα βασικών συλλογισμών, το οποίο αναθέτει ρόλους στην περιγραφική γνώση σύμφωνα με την εμπλοκή της στα πλαίσια συγκεκριμένων συλλογισμών, (γ) το στρώμα εργασιών, το οποίο εφαρμόζει βασικούς συλλογισμούς και εργασίες μεταβίβασης (προκαλούν συνεργασία με εξωτερικούς διαμεσολαβητές), στα πλαίσια επίτευξης δεδομένων στόχων, και (δ) το στρώμα στρατηγικής γνώσης, το οποίο αποφασίζει τους στόχους προς επίλυση των συγκεκριμένων προβλημάτων, καταρτίζει σχέδια δράσεως και ελέγχει την εκτέλεση των εργασιών που εμπλέκονται στα σχέδια δράσεως.

Βιβλιογραφία

J. Breuker και W. Van de Velde (συντάκτες), *CommonKADS Library for Expertise Modelling: Reusable Problem Solving Components*, IOS Press, 1994.

J.-M. David, J.-P. Krivine και R. Simmons (συντάκτες), *Second Generation Expert Systems*, Springer-Verlag, 1993.

L.D. Elstein, L.A. Shulman και S.A. Sprafka, *Medical Problem Solving: An Analysis of Clinical Reasoning*, Harvard University Press, 1978.

A.J. Gonzalez και D.D. Dankel, *The Engineering of Knowledge-Based Systems: Theory and Practice*, Prentice-Hall, 1993.

Το βιβλίο που επιμελήθηκαν οι Breuker και Van de Velde διαπραγματεύεται σε βάθος τη μεθοδολογία CommonKADS, μέσω της Βιβλιοθήκης CommonKADS.

Το βιβλίο των Elstein, Shulman και Sprafka ανήκει πλέον στα κλασικά εγχειρίδια του τομέα, το οποίο αξίζει να μελετηθεί.

Το βιβλίο των Gonzalez και Dankel διαπραγματεύεται, σε ικανοποιητικό βάθος, την τεχνολογία γνώσης, δίνοντας έμφαση στην απόκτηση γνώσης και παραθέτοντας διάφορα, πρακτικής φύσεως, στοιχεία αναφορικά με τη διεξαγωγή συνεντεύξεων.

Τέλος, στο βιβλίο που επιμελήθηκαν οι David, Krivine και Simmons παρουσιάζονται διάφορες προσεγγίσεις αναφορικά με την ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων δεύτερης γενεάς, οι οποίες επικεντρώνονται στο επίπεδο γνώσης και την έννοια της επαναχρησιμοποίησης. Επίσης, διαπραγματεύονται μεθοδολογίες απόκτησης γνώσης.

Τρέχοντες Ερευνητικοί Στόχοι

Το τελευταίο κεφάλαιο του τόμου, σε μορφή επιλόγου, σας παρουσιάζει κάποιους από τους τομείς που, επί του παρόντος, προσελκύουν μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον.

Καταρχάς τα κυριότερα, γενικής εμβέλειας, συνέδρια στην περιοχή της ΤΝ, θεωρούνται το International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI) και το European Conference on Artificial Intelligence (ECAI), τα οποία οργανώνονται επί διετούς βάσεως σε ζυγά και μονά έτη αντιστοίχως. Το τελευταίο IJCAI, το 16ο στη σειρά, οργανώθηκε το 1999 στη Στοκχόλμη, ενώ το επόμενο ECAI, το 14ο στη σειρά, θα λάβει χώρα τον Αύγουστο του 2000 στο Βερολίνο. Εξετάζοντας τα πρακτικά αυτών των συνεδρίων, κάποιος μπορεί να αποκομίσει μία ακριβή εικόνα της πορείας εξέλιξης της ΤΝ. Πέραν αυτών των συνεδρίων, όπως εξάλλου συμβαίνει σε όλες τις επιστημονικές περιοχές, υπάρχει πληθώρα άλλων ειδικών συνεδρίων, π.χ. στην περιοχή της ΤΝ στην Ιατρική οργανώνεται, επίσης επί διετούς βάσεως, το συνέδριο Artificial Intelligence in Medicine Europe (AIME).

Ένας από τους τομείς που επί του παρόντος προσελκύει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον, όχι μόνο από την επιστημονική κοινότητα της ΤΝ, αλλά και την αντίστοιχη της περιοχής των βάσεων δεδομένων, είναι οι *αυτόνομοι διαμεσολαβητές* (autonomous agents) και τα *συστήματα πολλαπλών διαμεσολαβητών* (multi-agent systems), τα οποία πηγάζουν από την περιοχή της Κατανεμημένης ΤΝ, και προφανώς η ραγδαία εξέλιξη του διαδικτύου έχει συμβάλει σημαντικά σε αυτό το ενδιαφέρον. Η κοινότητα της ΤΝ προσεγγίζει το αντικείμενο των διαμεσολαβητών από τη σκοπιά της «ευφυΐας» ή λογικότητας (rationality). Σε θεωρητικό επίπεδο, ερευνητικά θέματα αφορούν την ανάπτυξη γλωσσών επικοινωνίας, διαπραγμάτευσης και επιχειρηματολογίας, τη μελέτη της κοινωνικής όψης των διαμεσολαβητών, την ανάπτυξη μοντέλων αλληλεπίδρασης και συνεργασίας, δράσεως, συμπεριφοράς και συντονισμού και γενικά την ανάπτυξη σχετικών υπολογιστικών μοντέλων.

Σε επίπεδο εφαρμογών οι προοπτικές είναι μεγάλες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η παγκοσμιοποίηση της πληροφορίας είναι πλέον πραγματικότητα και το γεγονός ότι ο όγκος της πληροφορίας αυξάνεται εκθετικά, μία πολύ χρήσιμη, εάν όχι αναγκαία εφαρμογή της τεχνολογίας των ευφών διαμεσολαβητών, είναι η ανάπτυξη έξυπνων και προσαρμόσιμων προς τις ανάγκες του χρήστη, μηχανών αναζήτησης (search engines) προς ανάκληση πληροφοριών

από το διαδίκτυο ή το κοσκίνισμα των δεκάδων εκατοντάδων ηλεκτρονικών μηνυμάτων που αναμένεται να παραλαμβάνει κανείς επί καθημερινής βάσεως, κατά το πολύ σύντομο μέλλον. Άλλες σημαντικές εφαρμογές είναι η διαχείριση ροής εργασιών, η ρομποτική, η επεξεργασία εικόνων, η προσομοίωση και εν γένει οποιοδήποτε πεδίο για το οποίο ενδείκνυται η διακατανομής επίλυση προβλημάτων, η επίλυση κατανεμημένων προβλημάτων ή η εφαρμογή τεχνικών κατανομής για την επίλυση προβλημάτων. Η διακατανομής επίλυση προβλημάτων, σημαίνει ότι το σύνολο της εμπειρογνομοσύνης κατανέμεται ανάμεσα στους διαμεσολαβητές, ο καθένας εκ των οποίων έχει περιορισμένες ικανότητες σε σχέση με ολόκληρο το πρόβλημα. Αυτή η κατηγορία εφαρμογών αναφέρεται ως «συνεργασία ειδικών». Το μοντέλο του μαυροπίνακα (βλέπε κεφ. 6) και το σύστημα MDX (βλέπε κεφ. 9) ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Η επίλυση κατανεμημένου προβλήματος σημαίνει ότι το ίδιο το πρόβλημα είναι κατανεμημένης φύσεως, ενώ οι διαμεσολαβητές έχουν παρόμοιες ικανότητες. Τέλος, η τελευταία κατηγορία αφορά κλασικά προβλήματα, π.χ. προβλήματα προγραμματισμού (planning), τα οποία μπορούν να επιλυθούν πιο αποδοτικά μέσω διαδράσεως πολλαπλών διαμεσολαβητών. Αυτό αναφέρεται ως επίλυση δια συντονισμού.

Ένας άλλος νέος τομέας της ΤΝ που θεωρείται αρκετά σημαντικός είναι αυτός της *εξελικτικής γλωσσολογίας* (evolutionary linguistics). Η εν λόγω έρευνα βασίζεται στην υπόθεση ότι μία γλώσσα είναι ένα σύνθετο, προσαρμοσμένο σύστημα, το οποίο προκύπτει μέσα από τις προσαρμοσμένες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε διαμεσολαβητές και συνεχίζει να εξελίσσεται για να παραμένει προσαρμοσμένο στις ανάγκες και ικανότητες αυτών των διαμεσολαβητών. Πειράματα αναφορικά με αυτή την υπόθεση έχουν διεξαχθεί σε σχέση με ομιλούντα ρομπότ. Ο ευρύτερος τομέας της *εξελικτικής ρομποτικής* (evolutionary robotics) και της *τεχνητής ζωής* (artificial life) επίσης προσελκύουν μεγάλο ενδιαφέρον. Για παράδειγμα, οι συμμετέχοντες στο 15ο IJCAI, στη Nagoya της Ιαπωνίας το 1997, παρακολούθησαν με μεγάλο ενθουσιασμό το πρώτο ποδοσφαιρικό πρωτάθλημα ανάμεσα σε ρομπότ, το λεγόμενο *RoboCup*. Αυτό το συμβάν έχει τώρα καθιερωθεί σε συνέδρια ΤΝ. Το κεντρικό ερώτημα που απασχολεί τους εν λόγω ερευνητές είναι πόση τεχνητή νοημοσύνη και ποιας μορφής χρειάζεται σε σχέση με το ποδόσφαιρο. Η τελευταία «πρωταθλήτρια ομάδα» φαίνεται ότι υπερείχε των αντιπάλων της ως προς την προσέγγιση προγραμματισμού της (planning approach), η οποία βασιζόταν σε κάποια *λογική περιγραφής* (description logic).

Η ανάπτυξη του *Επαγωγικού Λογικού Προγραμματισμού* (Inductive Logic Programming, άλλως ILP), η οποία αποτελεί την τομή της μηχανικής μάθησης και του λογικού προγραμματισμού, έχει ανοίξει πολλές οδούς με μεγάλες προκλήσεις. Σκοπός είναι η επαγωγή (μάθηση) λογικών προγραμμάτων από παραδείγματα και γνώση «φόντου» (background knowledge). Οι προοπτικές εφαρμογής αυτής της τεχνολογίας σε σημαντικά βιομηχανικά προβλήματα είναι μεγάλες. Πιο πρόσφατα, η στροφή του ερευνητικού ενδιαφέροντος από τη σύνθεση προγραμμάτων στην ανακάλυψη γνώσης έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών, οι οποίες έχουν πρακτική εφαρμογή στην ανακάλυψη γνώσης από σχεσιακές βάσεις δεδομένων.

Γενικά η *ανακάλυψη γνώσης από μεγάλες βάσεις δεδομένων* (knowledge discovery in databases – KDD), η *εξόρυξη δεδομένων* (data mining) και το σχετικά νεαρότερο πεδίο της *ευφυούς ανάλυσης δεδομένων* (intelligent data analysis – IDA), επίσης αποτελούν πηγές έντονου ερευνητικού ενδιαφέροντος, κυρίως από τη βιομηχανία. Αυτό καταμαρτυρείται από την οργάνωση σχετικών συνεδρίων και την εμφάνιση νέων επιστημονικών περιοδικών, όπως Data Mining and Knowledge Discovery, Intelligent Data Analysis, κτλ., καθώς επίσης τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό σημαντικών νέων εφαρμογών σε αυτόν τον τομέα. Στόχος είναι η μείωση του αυξανόμενου χάσματος ανάμεσα στον όγκο δεδομένων σε ηλεκτρονικές βάσεις και της ερμηνείας, κατανόησης και αποτελεσματικής χρήσης αυτών των δεδομένων. Η ανάλυση δεδομένων και η εξόρυξη πληροφορίας ή γνώσης εμπλέκει υπολογιστικές μεθόδους από διάφορες επιστημονικές περιοχές, εντός και εκτός της ΤΝ, όπως στατιστικές μεθόδους, μεθόδους μηχανικής μάθησης, μεθόδους αναπαράστασης και συλλογισμού με χρόνο, κτλ. Επίσης, αυτός ο τομέας έχει δώσει μεγάλη ώθηση στο εξελισσόμενο πεδίο της *ενόρασης πληροφοριών* (information visualization).

Η έννοια του *χρόνου* και ο *συλλογισμός με χρόνο* (temporal reasoning) έχουν επίσης εξελιχθεί σε σημαντικό πεδίο έρευνας. Ο χρόνος και η μοντελοποίησή του σε σχέση με βάσεις δεδομένων απασχολεί έντονα και την κοινότητα των βάσεων δεδομένων, αφού όντως υπάρχουν πολλοί κοινοί στόχοι. Βασική έρευνα αφορά οντολογίες και θεωρίες χρόνου, την επεξεργασία χρονικών περιορισμών, την ανάπτυξη χρονικών γλωσσών αναπαράστασης (temporal representation languages), κτλ. Η έρευνα σε εφαρμοσμένο επίπεδο καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως εφαρμογές στην ιατρική, νομική, επεξεργασία φυσικής γλώσσας, μοντελοποίηση ευφών διαμεσολαβητών (βλέπε

παραπάνω), κτλ. Το συγγενές πεδίο της έννοιας του *χώρου* και του *συλλογισμού αναφορικά με χώρο* (spatial reasoning) είναι επίσης ένα ενεργό πεδίο έρευνας. Λόγω της συγγένειας αυτών των εννοιών πολλοί ερευνητές ασχολούνται ταυτόχρονα και με τις δύο, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί το πεδίο του *συλλογισμού σε χώρο και χρόνο* (spatio-temporal reasoning).

Το πεδίο της *ικανοποίησης περιορισμών* (constraint satisfaction) ήταν σχεδόν πάντοτε στο προσκήνιο της έρευνας σε TN, λόγω της συνδυαστικής φύσεως των εν λόγω προβλημάτων και ως εκ τούτου του επιπέδου δυσκολίας που συνδεόταν με την επίλυσή τους. Πρόσφατα, λόγω της αλματώδους αύξησης σε ταχύτητα και δύναμη των υπολογιστών, οι επιτεύξεις σε αυτό το πεδίο είναι αξιοσημείωτες. Συγκεκριμένα, έχουν αναπτυχθεί περιβάλλοντα και εργαλεία προγραμματισμού με περιορισμούς (constraint programming languages and tools), τα οποία επιτρέπουν την επίλυση προβλημάτων περιορισμών που εμπλέκουν μεταβλητές της τάξεως των χιλιάδων. Πέραν των γραμμικών και μη γραμμικών περιορισμών, αυτά τα εργαλεία υποστηρίζουν λογικούς, υψηλότερου βαθμού και καθολικούς περιορισμούς. Επίσης, επιτρέπουν τον προγραμματισμό διαδικασιών αναζήτησης ως προς τη διερεύνηση του εν λόγω χώρου.

Άλλοι ανερχόμενοι τομείς αφορούν TN και μουσική/τέχνη, TN και τεχνολογία λογισμικού (μέθοδοι ανάπτυξης λογισμικού, με έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση μονάδων, υποστηριζόμενες από μεθόδους TN), ευφυή συστήματα τα οποία βοηθούν άτομα με ειδικές ανάγκες να επικοινωνούν με τον υπόλοιπο κόσμο, εικονική και αυξανόμενη πραγματικότητα, κτλ. Όπως αντιλαμβάνεστε είναι αδύνατο να αναφερθούμε σε όλους τους τομείς έρευνας και στην ουσία το τι έχει διαπραγματευθεί αυτός ο τόμος είναι η κορυφή του παγόβουνου της τεχνητής νοημοσύνης και των έμπειρων συστημάτων. Συνεχώς εμφανίζονται νέα πεδία δράσεως και, όπως μπορεί να επιβεβαιώσει οποιοσδήποτε έχει ασχοληθεί σοβαρά με αυτά τα θέματα, το πεδίο είναι ανεξάντλητο σε νέες προκλήσεις. Αυτό εξηγεί και το γεγονός ότι η εν λόγω επιστημονική κοινότητα, όχι μόνο δεν έχει μειωθεί αλλά συνεχώς αυξάνεται. Εάν απώτερος στόχος σας είναι η διεξαγωγή έρευνας, ελπίζω η ανάγνωση αυτού του τόμου να έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον σας για να ενταχθείτε και εσείς σε αυτή την κοινότητα.

Βιβλιογραφία

- J. Ferber, *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Addison–Wesley, 1995.
- N. Lavrač και S. Džeroski, *Inductive Logic Programming: Techniques and Applications*, Ellis Horwood, 1994.
- N. Lavrač, E. Keravnou και B. Zupan (συντάκτες), *Intelligent Data Analysis in Medicine and Pharmacology*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- K. Marriot και P. Stuckey, *Programming with Constraints*, MIT Press, 1998.
- G. Weiss (συντάκτης), *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, MIT Press, 1999.

Απαντήσεις Ασκήσεων Αυτοαξιολόγησης

1.1

1. Δεν ισχύει. Στόχος δεν είναι η βελτίωση της ανθρώπινης νοημοσύνης, αλλά η κατανόησή της.
2. Ισχύει.
3. Ισχύει.
4. Ισχύει, με τη διευκρίνιση ότι *δύσκολα* προβλήματα θεωρούνται αυτά που έχουν μεγάλους χώρους αναζήτησης αναφορικά με τις λύσεις τους.
5. Ισχύει, έμμεσα.
6. Ισχύει μερικώς. Στόχος δεν είναι ο υπολογισμός βέλτιστων λύσεων, αλλά ικανοποιητικών λύσεων. Η απόδοση είναι πάντοτε κάτι το επιθυμητό. Μέθοδοι TN επιδιώκουν την αποδοτικότητα με τη χρήση κατάλληλων ευρετικών.
7. Ισχύει.

1.2

1. Ισχύει μερικώς. Η χρήση ευρετικών μπορεί να οδηγήσει σε βέλτιστες λύσεις, αλλά όχι κατ' ανάγκη. Η χρησιμότητα ενός ευρετικού σχετίζεται άμεσα με το κατά πόσον η χρήση του οδηγεί σε αποδοτικότερο υπολογισμό λύσεων σε σχέση με καθαρά αλγοριθμικές προσεγγίσεις. Στην ουσία η χρήση ευρετικών αποτελεί μία επιβράδυνση (overhead), η οποία μπορεί να δικαιολογηθεί μόνο εάν τα ευρετικά οδηγούν σε υψηλότερη αποδοτικότητα σε σύγκριση με τις καθαρά αλγοριθμικές προσεγγίσεις, όπως τις τυφλές μεθόδους αναζήτησης τις οποίες θα συζητήσουμε στο κεφάλαιο 2.
2. Ισχύει. Η χρήση των ευρετικών μπορεί να είναι σε βάρος της πληρότητας.
3. Ισχύει.
4. Δεν ισχύει, όπως αναφέρεται και στο 2. Μπορεί να υπάρχει λύση σε κάποιο πρόβλημα και όμως τα ευρετικά να μην είναι σε θέση να οδηγήσουν την αναζήτηση προς αυτή τη λύση.
5. Ισχύει.

6. Ισχύει.

7. Δεν ισχύει. Τα ευρετικά δεν υπολογίζουν τις λύσεις, αλλά, όπως θα δούμε και εκτενέστερα στο κεφάλαιο 2, ο ρόλος τους είναι να καθοδηγούν την αναζήτηση κάποιας ικανοποιητικής λύσης. Φυσικά δεν αποκλείεται το ενδεχόμενο κάποιο ευρετικό να οδηγεί απευθείας σε λύση, όπως για παράδειγμα το ευρετικό 2 του προβλήματος των διαδρομών. Ακόμη και σε αυτό το παράδειγμα στην ουσία δεν γίνεται κάποιος υπολογισμός. Η λύση είναι δεδομένη. Τέλος τα προβλήματα είναι δύσκολα από την άποψη ότι έχουν μεγάλους χώρους αναζήτησης.

2.1

Εάν έχετε δώσει τη σειρά Γ, Δ, Α, Ζ, Ε, και Β, μπράβο σας. Έχετε κατανοήσει το πρόβλημα αναπαράστασης. Εάν όμως όχι, τότε διαβάστε τις ακόλουθες διευκρινίσεις και μελετήστε ξανά την ενότητα 2.1. Όπως και για όλες τις μεθόδους επίλυσης προβλημάτων, η ανάλυση του βασικού στοιχείου αποτελεί κεντρική προϋπόθεση της όλης διεργασίας. Επομένως, το πρώτο βήμα πρέπει να είναι η ανάλυση του χώρου αναζήτησης, αφού αυτός ο χώρος αποτελεί το βασικό στοιχείο. Με βάση αυτή την ανάλυση μπορούμε να σχεδιάσουμε τη δομή αναπαράστασης για τις διάφορες καταστάσεις του προβλήματος και στη συνέχεια να προσδιορίσουμε τους τελεστές δράσεως που αποτελούν τις διασυνδέσεις ανάμεσα στις καταστάσεις. Ο προσδιορισμός των τελεστών δράσεως αποτελεί και τρόπο επικύρωσης της εγκυρότητας της δομής αναπαράστασης των καταστάσεων. Έτσι είναι καλύτερα να προσδιοριστούν οι τελεστές πρώτα και μετά η αρχική και οι τελικές καταστάσεις. Αφού ολοκληρωθεί ο προσδιορισμός του χώρου μέσα στον οποίο θα γίνει η αναζήτηση, το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της μεθόδου αναζήτησης. Εάν η μέθοδος συνεπάγεται τη χρήση ευρετικών, όπως σας εξηγεί η ενότητα 2.2, τότε το τελευταίο βήμα είναι ο προσδιορισμός των σχετικών ευρετικών για την καθοδήγηση της αναζήτησης.

2.2

	Αναζήτηση σε Βάθος	Αναζήτηση σε Πλάτος
Τυφλή μέθοδος.	NAI	NAI
Βρίσκει τη βέλτιστη λύση.	OXI	NAI

Δεν εγγυάται βέλτιστη λύση.	NAI	OXI
Εισχωρεί γρήγορα στο χώρο αναζήτησης.	NAI	OXI
Μπορεί να «χαθεί».	NAI	OXI
Έχει εκθετική πολυπλοκότητα σε μνήμη.	OXI	NAI
Κάνει χρήση ευρετικών.	OXI	OXI
Διατηρεί μόνο μία διαδρομή στη μνήμη.	NAI	OXI

2.3

Καταρχήν υπάρχουν $9! = 362880$ μετατάξεις των εννέα ψηφίων, $1 \dots 9$. Ο εν λόγω αριθμός είναι ο 381654729. Εάν η εισήγησή σας είναι ότι ο χώρος αναζήτησης αποτελείται από αυτές τις 362880 διαφορετικές μετατάξεις των εννέα ψηφίων, τότε πώς έχετε συνδέσει αυτές τις καταστάσεις μεταξύ τους, δηλαδή ποιοι είναι οι τελεστές δράσεως; Κατ' ακρίβειαν δεν υπάρχει σύνδεση ανάμεσα σε αυτές τις καταστάσεις οι οποίες όντως ανήκουν στο χώρο αναζήτησης, αλλά αποτελούν τις ακραίες καταστάσεις. Ανάμεσα σε αυτές υπάρχει μία και μοναδική τελική κατάσταση. Οι μη ακραίες καταστάσεις του χώρου αναζήτησης είναι όλες οι μερικές μετατάξεις των εννέα ψηφίων. Επομένως, μία κατάσταση αποτελείται από ένα φυσικό αριθμό μήκους n ψηφίων, όπου $n \leq 9$, του οποίου όλα τα ψηφία είναι διαφορετικά και κανένα ψηφίο δεν είναι το 0. Η αρχική κατάσταση περιέχει τον «κενό» φυσικό αριθμό, έστω εικονικά το 0. Και ερχόμαστε στους τελεστές δράσεως. Να θυμάστε ότι οι ενέργειες αυτών των τελεστών αποτελούν τους συνδέσμους ανάμεσα στις καταστάσεις, δηλαδή μεταβάλλουν μία κατάσταση σε κάποια άλλη. Έτσι, εάν δεν μπορείτε να ορίσετε τέτοιες ενέργειες για τις καταστάσεις που έχετε σχεδιάσει, τότε αναθεωρήστε το σχεδιασμό σας. Για το παρόν πρόβλημα υπάρχουν εννέα συγκεκριμένοι τελεστές δράσεως, οι ενέργειες των οποίων είναι «πρόσθεσε το ψηφίο $1/2/ \dots /9$ στα δεξιά του αριθμού (που αποτελεί την κατάσταση)». Τα προκείμενα αυτών των τελεστών είναι «το εν λόγω ψηφίο δεν ανήκει ήδη στον αριθμό και ο νέος αριθμός (με την προσθήκη του ψηφίου) διαιρείται ακριβώς με το μήκος του». Επίσης, επειδή στην πέμπτη θέση (τα ψηφία απαριθμούνται από τα αριστερά) το μόνο ψηφίο που μπορεί να μπει είναι το 5, το προκείμενο του τελεστή για το ψηφίο 5 μπορεί να απλοποιηθεί ως «η θέση στην οποία θα μπει το ψηφίο είναι η 5η». Για παράδειγμα, στην κατάσταση που περιέχει τον αριθμό 1236 μπορεί να εφαρμοστεί μόνο ο τελεστής με την ενέργεια «πρόσθεσε το ψηφίο 5». Οι τελεστές

δράσεως είναι διατεταγμένοι σε αύξουσα σειρά των ψηφίων στα οποία αναφέρονται. Θα μπορούσαμε να είχαμε χρησιμοποιήσει μόνο ένα, γενικό τελεστή δράσεως όπου το ψηφίο δεν προσδιορίζεται κυριολεκτικά αλλά με κάποια μεταβλητή ως ακολούθως: «Εάν το ψηφίο Ψ δεν ανήκει στον αριθμό N (της κατάστασης) και $(N \times 10 + \Psi) \bmod (\text{μήκος}(N) + 1) = 0$ και $(\Psi \neq 5 \text{ ή } \text{μήκος}(N) = 4)$, τότε πρόσθεσε το ψηφίο Ψ στα δεξιά του αριθμού N ». Το προκείμενο του τελεστή επιβάλλει τους σχετικούς περιορισμούς. Η τρίτη συνθήκη στο προκείμενο απλώς εμποδίζει την επιλογή των καταστάσεων, ο αριθμός των οποίων αρχίζει από το ψηφίο 5.

Όπως βλέπετε ο χώρος αναζήτησης για την επίλυση αυτού του προβλήματος (μέσω αναζήτησης) είναι πολύ μεγάλος. Συγκεκριμένα αποτελείται από

$$\{1 + (\sum 9! / (9-n)!, n = 1, \dots, 9)\} = 986410$$

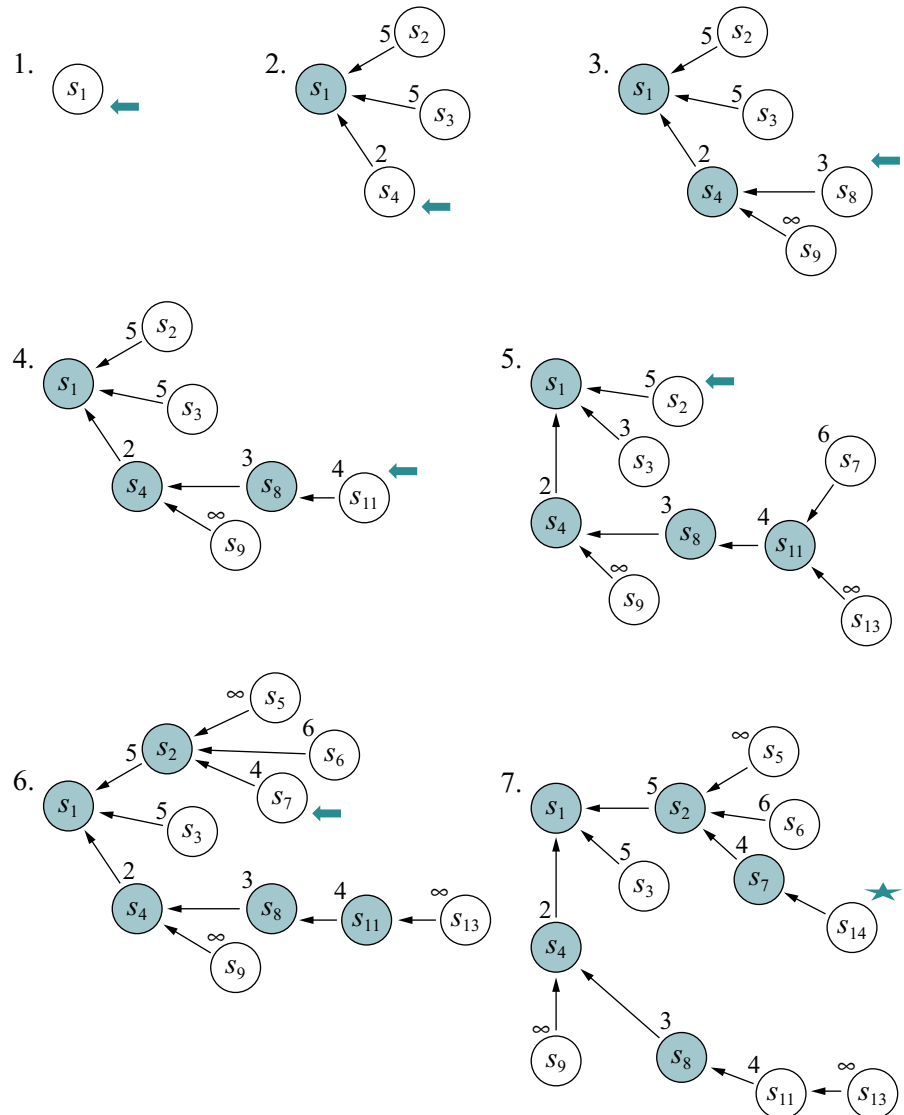
καταστάσεις. Ο χώρος είναι ιεραρχικός και κάθε ολοκληρωμένη διαδρομή (από την αρχική προς μία ακραία κατάσταση) έχει μήκος 9. Φυσικά ένας τόσο μεγάλος χώρος δεν χρειάζεται να οριστεί κυριολεκτικά εκ των προτέρων. Με βάση το μηχανισμό πλοήγησης που θα χρησιμοποιηθεί, δηλαδή τη μέθοδο αναζήτησης, ένα πολύ μικρό μέρος αυτού του χώρου θα δημιουργηθεί, μέρος το οποίο περιέχει τη μία και μοναδική τελική κατάσταση, η οποία δεν είναι γνωστή, αφού το όλο πρόβλημα είναι η συναρμολόγηση του εν λόγω μοναδικού εννιαψηφίου αριθμού.

Τώρα που έχουμε σχεδιάσει το χώρο αναζήτησης (προσδιορισμό καταστάσεων και τελεστών δράσεως), χρειάζεται να αποφασίσουμε το μηχανισμό πλοήγησης. Οι επιλογές μας είναι αναζήτηση σε βάθος ή πλάτος ή ευρετική αναζήτηση. Εάν έχετε επιλέξει την πρώτη, τότε μπράβο σας. Η χρήση των άλλων δύο δεν ενδείκνυται. Έτσι εάν έχετε επιλέξει μία από αυτές τις δύο με το σκεπτικό ότι η αναζήτηση σε πλάτος θα σας οδηγήσει σε βέλτιστη λύση ή ότι η ευρετική αναζήτηση θα σας οδηγήσει στη μοναδική λύση με πιο αποδοτικό τρόπο, τότε ίσως να μην έχετε αναλύσει σε βάθος τι σημαίνει η καθεμία από αυτές τις μεθόδους αναζήτησης σε σχέση με το δεδομένο πρόβλημα. Επομένως, διαβάστε προσεκτικά την ακόλουθη ανάλυση. Καταρχήν γνωρίζουμε εκ των προτέρων ότι το μήκος της διαδρομής που θα μας οδηγήσει στη μία και μοναδική (και επομένως βέλτιστη) λύση είναι 9. Επίσης γνωρίζουμε ότι υπάρχει μόνο μία διαδρομή που οδηγεί προς τη λύση. Αφού λοιπόν δεν τίθεται θέμα να βρούμε λύση σε μικρότερη απόσταση, η χρήση της αναζήτησης σε πλάτος θα ήταν καθαρή σπατάλη. Αναφορικά με την ευρετι-

κή αναζήτηση, θεωρητικά η συνάρτηση αξιολόγησης πρέπει να δίνει ∞ για κάθε κατάσταση η οποία δεν βρίσκεται στη μία και μοναδική διαδρομή προς τη λύση και 9 μόνο για αυτές τις καταστάσεις που βρίσκονται στη διαδρομή, δηλαδή τις καταστάσεις, 3, 38, 381, 3816, 38165, 381654, 3816547, 38165472, και 381654729. Πώς μπορεί όμως να γίνει αυτός ο διαχωρισμός; Οι ανοικτές καταστάσεις προφανώς ικανοποιούν τους εν λόγω περιορισμούς (όλα τα ψηφία είναι διαφορετικά και κάθε αρχικό τμήμα διαιρείται επακριβώς με το μήκος του) και η καθεμία υπολείπεται έναν αριθμό ψηφίων. Για να αποφασιστεί κατά πόσον τα υπόλοιπα ψηφία για μία κατάσταση μπορούν να μπουν σε κάποια σειρά σε σχέση με τα ήδη τοποθετημένα ψηφία για να ολοκληρωθεί ο υπό αναζήτηση αριθμός, αυτό συνεπάγεται την ολοκλήρωση της αναζήτησης. Όμως, τα ευρετικά καθοδηγούν την αναζήτηση, δεν κάνουν την αναζήτηση (για να καθοδηγήσουν στη συνέχεια την αναζήτηση), διαφορετικά η χρήση τους θα ήταν τελείως αντιπαραγωγική. Επομένως, η χρήση του «ευφυούς» ευρετικού για τον πιο πάνω διαχωρισμό των ανοικτών καταστάσεων δεν ενδείκνυται. Στο άλλο άκρο, το «αφελές» ευρετικό που απλώς λέει ότι η ανοικτή κατάσταση που υπολείπεται n ψηφία, βρίσκεται n βήματα από την τελική κατάσταση ουσιαστικά δεν παρέχει καμία καθοδήγηση μια και όλες οι ανοικτές καταστάσεις θα κοστολογούνται με την τιμή 9. Απλά, η δήθεν ευρετική αναζήτηση στην ουσία είναι τυφλή αναζήτηση. Και όπως έχουμε ήδη αναλύσει, ανάμεσα στις δύο τυφλές μεθόδους αναζήτησης, μόνο η χρήση της αναζήτησης σε βάθος, με τη σχετική οπισθοδρόμηση, όπου η αναζήτηση συναντά αδιέξοδο (κανένα από τα υπόλοιπα ψηφία δεν ταιριάζει στην επόμενη θέση) ενδείκνυται.

2.4

Στο Σχήμα 2.7 σας δίνεται διαγραμματικά η βήμα προς βήμα εξέλιξη του χώρου αναζήτησης. Οι κλειστές καταστάσεις είναι σκιασμένες, ενώ οι ανοικτές καταστάσεις είναι λευκές. Σε κάθε βήμα υποδεικνύεται με ένα σκούρο βελάκι ποια ανοικτή κατάσταση έχει επιλεγεί ως η επόμενη προς διερεύνηση. Ο αριθμός πάνω αριστερά μίας κατάστασης δίνει την τιμή της συνάρτησης αξιολόγησης για την κατάσταση. Κάθε κατάσταση, εκτός από την αρχική κατάσταση, δείχνει (προς τα πίσω) την κατάσταση που αποτελεί την (τρέχουσα) προκάτοχό της, δηλαδή εκείνη την κατάσταση που παρέχει την μέχρι τώρα καλύτερη διαδρομή από την αρχική κατάσταση προς αυτήν. Σημειώστε ότι η κατάσταση s_7 είχε την κατάσταση s_{11} ως προκάτοχό της στο βήμα 5, αλλά στο βήμα 6 η προκάτοχος της s_7 έγινε η s_2 .



Σχήμα 2.7

3.1

	Περιγραφική Αναπαράσταση	Διαδικασιακή Αναπαράσταση
Κάθε κομμάτι γνώσης αποθηκεύεται μία φορά.	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Ευκολύνει τη διατύπωση ευρετικών.	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Η γνώση ερμηνεύεται με βάση γενικούς κανόνες συλλογισμού.	ΝΑΙ	ΟΧΙ

Η γνώση είναι άμεσα λειτουργήσιμη.	OXI	NAI
Η γνώση εκφράζεται ανεξάρτητα της χρήσης της.	NAI	OXI
Υπάρχει πλεονασμός.	OXI	NAI
Υπάρχει διαφάνεια.	NAI	OXI
Ενώνει στατική γνώση με γνώση ελέγχου.	OXI	NAI
Δίνει έμφαση στη στατική όψη της γνώσης.	NAI	OXI
Είναι η προσέγγιση του «τι».	NAI	OXI
Είναι η προσέγγιση του «πώς».	OXI	NAI
Έχει επικρατήσει.	NAI	OXI

4.1

- $\forall x \{ \text{TPOΦH}(x) \Rightarrow \text{APEΣEIE}(\text{ΓIANNH}, x) \}$
- TPOΦH(MHΛA)
- TPOΦH(KOTOΠOYΛO)
- $\forall x \forall y \{ \text{TPOΩEIE}(x, y) \wedge \sim \text{ΣKOTΩNETAI_AΠO}(x, y) \Rightarrow \text{TPOΦH}(y) \}$
- $\text{TPOΩEIE}(\text{BΑΣIΛHΣ}, \text{ΦYΣTIKIA}) \wedge \sim \text{ΣKOTΩNETAI_AΠO}(\text{BΑΣIΛHΣ}, \text{ΦYΣTIKIA})$
- $\forall x \{ \text{TPOΩEIE}(\text{BΑΣIΛHΣ}, x) \Rightarrow \text{TPOΩEIE}(\text{EΛENH}, x) \}$

4.2

- Δεν είναι. Μία συνάρτηση επιστρέφει σταθερή και δεν έχει νόημα να εφαρμόσουμε άρνηση σε σταθερή.
- Είναι.
- Δεν είναι. Η έκφραση $P(A)$ είναι μία ατομική πρόταση, η οποία είναι αληθής ή αναληθής. Δεν αποτελεί όρο (term) που μπορεί να εμφανιστεί ως όρισμα σε συνάρτηση.
- Είναι.

5. Δεν είναι. Εδώ υπάρχουν πολλά σφάλματα σύνταξης. Τα ορίσματα κατηγορημάτων περιστοιχίζονται από κανονικές παρενθέσεις. Ορίσματα ενός κατηγορήματος δεν μπορεί να είναι wff. Μία συνάρτηση δεν μπορεί να εμπλακεί σε έκφραση λογικής συνεπαγωγής.

4.3

(α) 1. ΣΚΜ, 2. ΣΚΜ και ΔΚΜ, 3. Clausal, 4. ΔΚΜ, 5. Καμία

(β) 1. $R \Leftarrow P \wedge Q$ 2. $P \vee Q \Leftarrow R$
 $\Leftarrow P \wedge S$ $P \vee S \Leftarrow$

4.4

(α) modus ponens, (β) αναγωγή, (γ) καθολική ειδίκευση, (δ) αναγωγή, (ε) modus ponens και (στ) καθολική ειδίκευση.

4.5

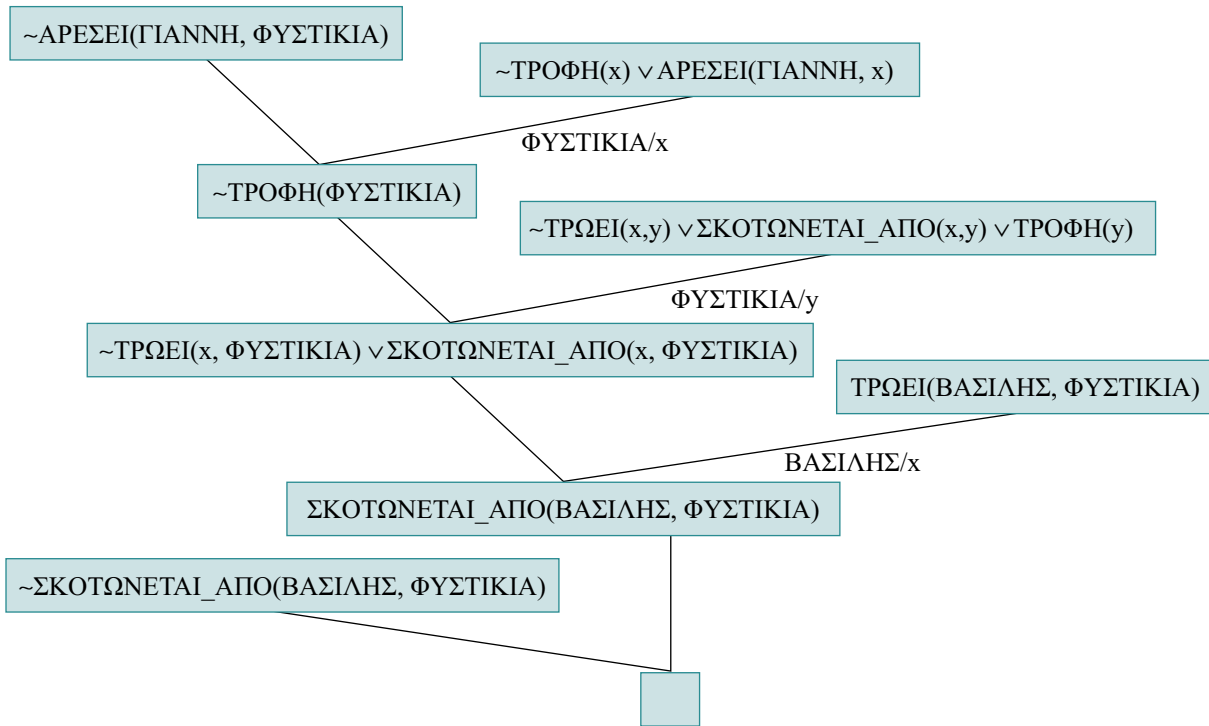
1. $\sim \text{TPOPH}(x) \vee \text{APESEI}(\text{GIANNH}, x)$
2. $\text{TPOPH}(\text{MHΛA})$
3. $\text{TPOPH}(\text{KOTOΠΟΥΛO})$
4. $\sim \text{TPΩEI}(x,y) \vee \text{ΣKOTΩNETAI_AΠO}(x,y) \vee \text{TPOPH}(y)$
5. $\text{TPΩEI}(\text{BAΣIΛHΣ}, \text{ΦYΣTIKIΔIA})$
 $\sim \text{ΣKOTΩNETAI_AΠO}(\text{BAΣIΛHΣ}, \text{ΦYΣTIKIΔIA})$
6. $\sim \text{TPΩEI}(\text{BAΣIΛHΣ}, x) \vee \text{TPΩEI}(\text{EΛENH}, x)$

4.6

1. $\{z/x, w/y\}$
2. Δεν μπορούν να ενοποιηθούν. Η αντικατάσταση $g(x,y)/x$ δεν επιτρέπεται.
3. $\{A/y\}$
4. $\{g(z)/x, A/y\}$
5. $\{C/x, A/y\}$
6. Δεν μπορούν να ενοποιηθούν. Η σταθερή B δεν μπορεί να ταυτιστεί με τη σταθερά A .

4.7

Η πρόταση-στόχος είναι $\text{ΑΡΕΣΕΙ}(\text{ΓΙΑΝΝΗ}, \text{ΦΥΣΤΙΚΙΑ})$. Επομένως χρειάζεται να δείξουμε ότι η άρνηση αυτής της πρότασης είναι ασυνεπής με τις προτάσεις που αποτελούν τα «αξιώματα». Το Σχήμα 4.6 δίνει το δέντρο συλλογισμού. Για την δημιουργία του έχει χρησιμοποιηθεί το ευρετικό «σύνολο υποστήριξης».



Σχήμα 4.6

4.8

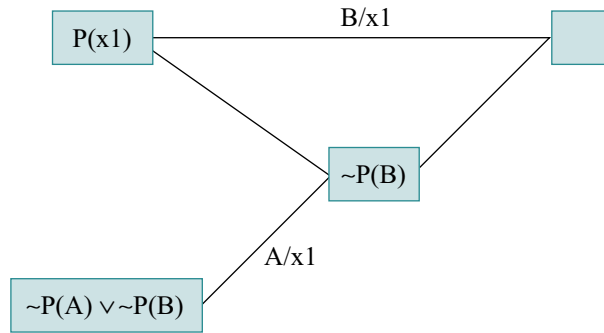
Για να αποδείξουμε την εγκυρότητα μίας wff, αποδεικνύουμε ότι η άρνησή της από μόνη της οδηγεί σε αντίφαση.

Α. Οι διαζευκτικές προτάσεις που αντιστοιχούν στην άρνηση της πρότασης είναι

- $P(x1)$
- $P(x2) \vee \sim P(B)$
- $\sim P(A) \vee P(x3)$
- $\sim P(A) \vee \sim P(B)$

Αυτό το σύνολο προτάσεων είναι ασυνεπές, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7.

Σχήμα 4.7



Β. Παρομοίως οι διαζευκτικές προτάσεις που αντιστοιχούν στην άρνηση της πρότασης είναι

$$\sim Q(z) \vee P(z)$$

$$Q(x1)$$

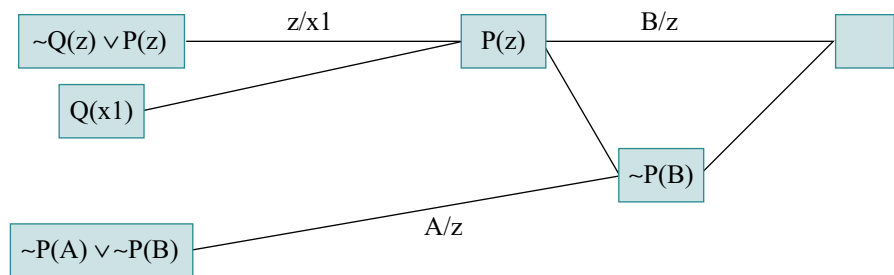
$$\sim P(A) \vee Q(x2)$$

$$Q(x3) \vee \sim P(B)$$

$$\sim P(A) \vee \sim P(B)$$

Η αντίφαση παράγεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8.

Σχήμα 4.8



Γ. Η άρνηση αυτής της πρότασης μετασχηματίζεται στο σύνολο διαζευκτικών προτάσεων

$$P(f(x))$$

$$Q(f(B))$$

$$\sim P(f(A))$$

$$\sim P(y)$$

$$\sim Q(z)$$

Εδώ η αντίφαση παράγεται άμεσα, με την εφαρμογή της αναγωγής, π.χ. στις

προτάσεις $P(f(x))$ και $\sim P(y)$. Η αντικατάσταση είναι $f(x)/y$.

Δ. Οι διαζευκτικές προτάσεις για την άρνηση αυτής της πρότασης είναι $P(A,y)$ και $\sim P(x,B)$. Και πάλι η άρνηση παράγεται άμεσα από αυτές τις προτάσεις με βάσει τις αντικαταστάσεις A/x και B/y .

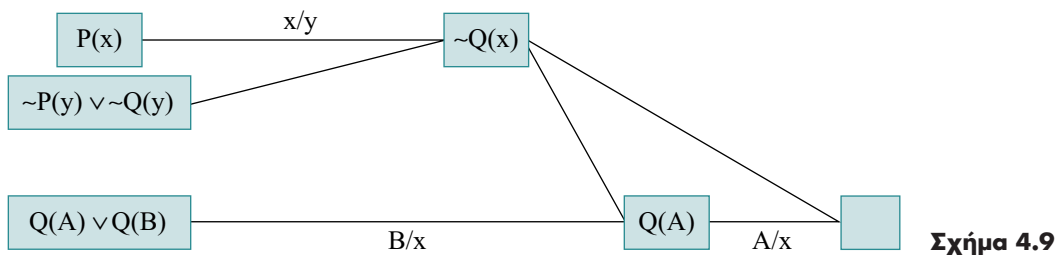
Ε. Τέλος, οι διαζευκτικές προτάσεις που αντιστοιχούν στην άρνηση αυτής της πρότασης είναι

$$P(x)$$

$$Q(A) \vee Q(B)$$

$$\sim P(y) \vee \sim Q(y)$$

Η αντίφαση παράγεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9.



4.9

Οι προτάσεις-αξιώματα είναι

$$\forall x \{ \text{ΦΡΟΥΤΟ}(x) \Rightarrow \text{ΑΡΕΣΕΙ}(\text{ΓΙΑΝΝΗ}, x) \}$$

$$\text{ΦΡΟΥΤΟ}(\text{ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΑ})$$

$$\forall x \forall y \{ \text{ΑΡΕΣΕΙ}(x,y) \Rightarrow \text{ΤΡΩΕΙ}(x,y) \}$$

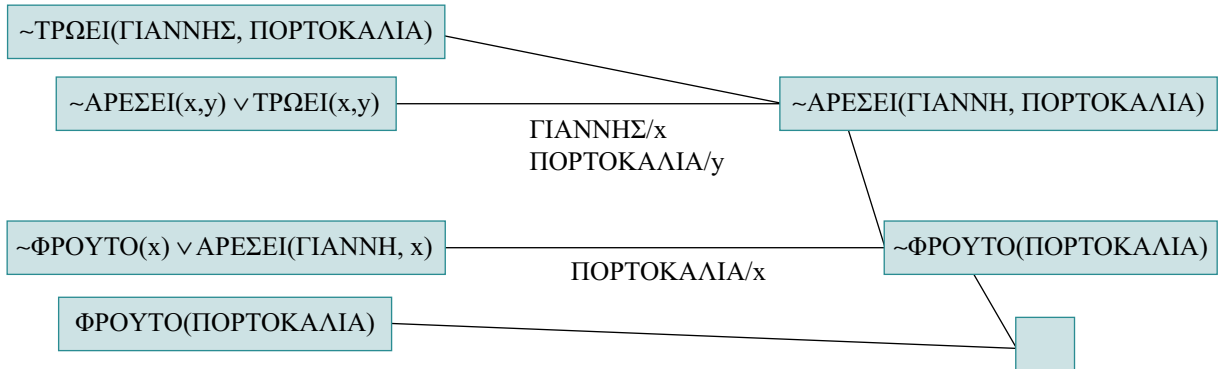
Μετασχηματισμένες σε ΣΚΜ γίνονται

$$\sim \text{ΦΡΟΥΤΟ}(x) \vee \text{ΑΡΕΣΕΙ}(\text{ΓΙΑΝΝΗ}, x)$$

$$\text{ΦΡΟΥΤΟ}(\text{ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΑ})$$

$$\sim \text{ΑΡΕΣΕΙ}(x,y) \vee \text{ΤΡΩΕΙ}(x,y)$$

Το ερώτημα είναι $\text{ΤΡΩΕΙ}(\text{ΓΙΑΝΝΗΣ}, \text{ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΑ})$. Η απάντηση είναι «ναι» επειδή η άρνηση αυτής της πρότασης οδηγεί σε αντίφαση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.10.



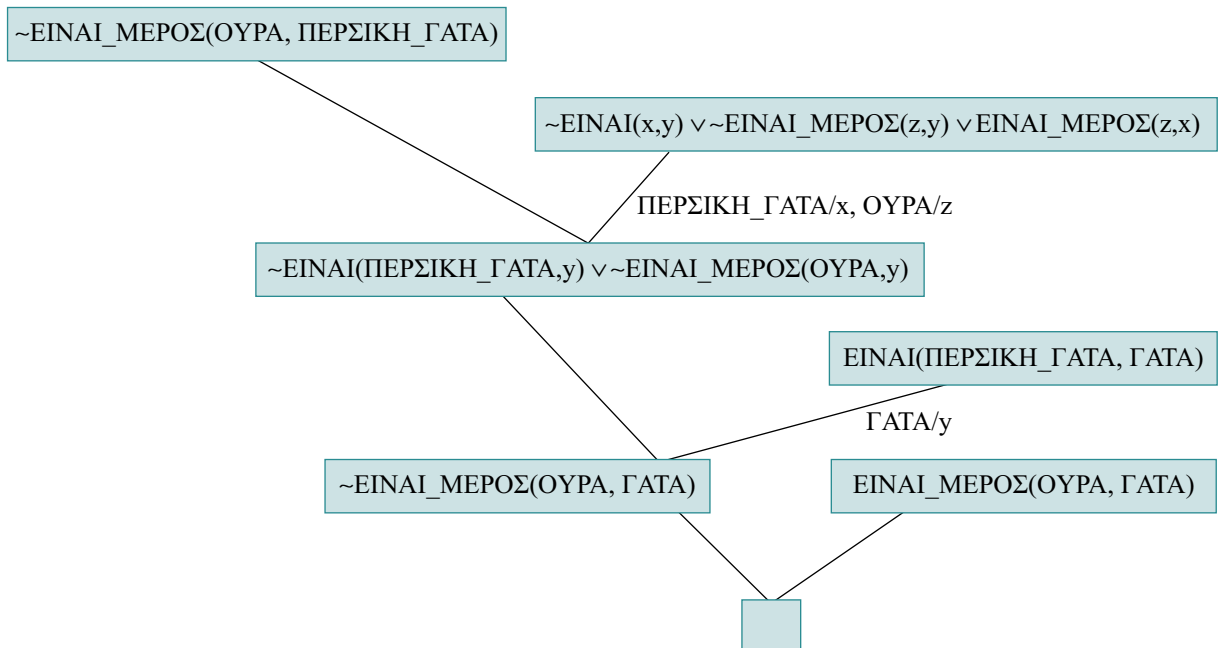
Σχήμα 4.10

4.10

Η διαζευκτική μορφή του αξιώματος είναι

$$\sim \text{ΕΙΝΑΙ}(x,y) \vee \sim \text{ΕΙΝΑΙ_ΜΕΡΟΣ}(z,y) \vee \text{ΕΙΝΑΙ_ΜΕΡΟΣ}(z,x)$$

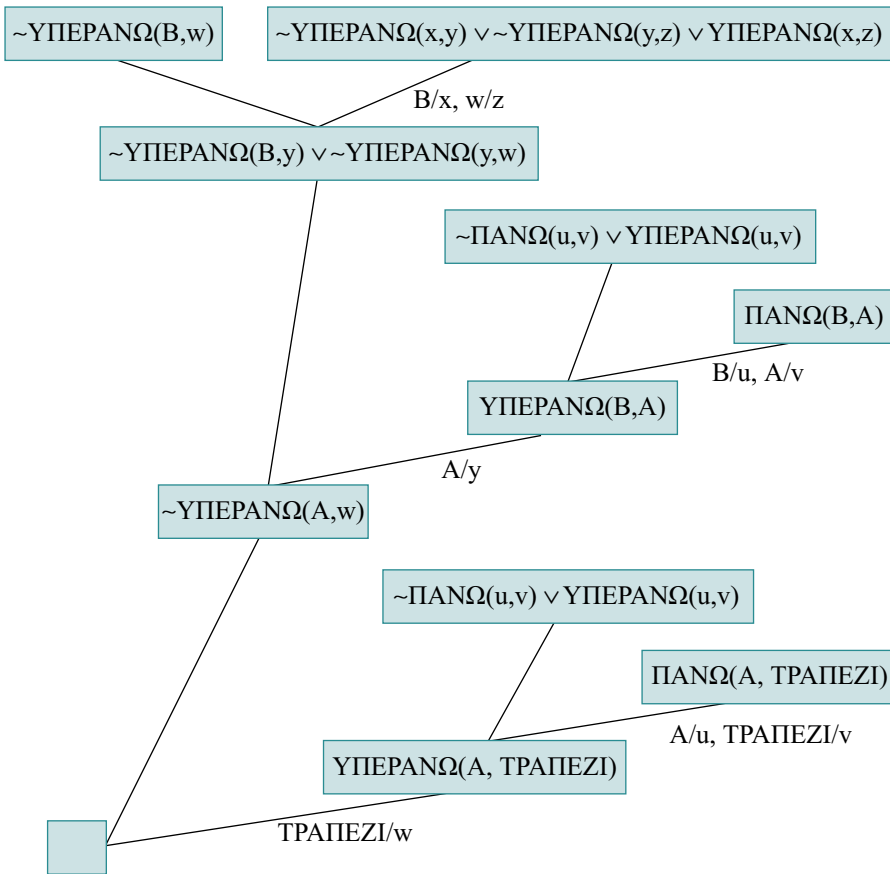
Θέλουμε να αποδείξουμε την πρόταση $\text{ΕΙΝΑΙ_ΜΕΡΟΣ}(\text{ΟΥΡΑ}, \text{ΠΕΡΣΙΚΗ_ΓΑΤΑ})$. Το Σχήμα 4.11 δείχνει ότι η άρνηση αυτής της πρότασης οδηγεί σε αντίφαση.



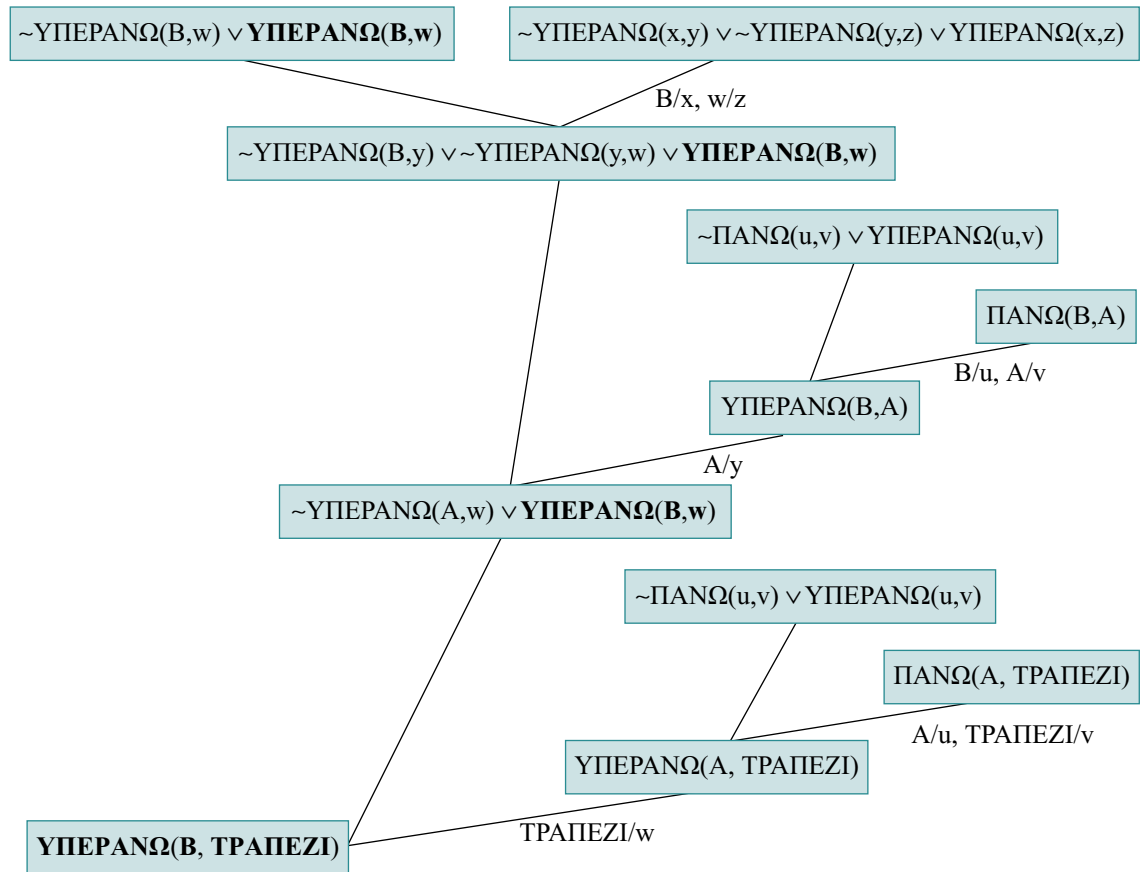
Σχήμα 4.11

4.11

Το Σχήμα 4.12(α) δίνει την εναλλακτική διαδρομή και το Σχήμα 4.12(β) δείχνει πώς εξάγεται η απάντηση.



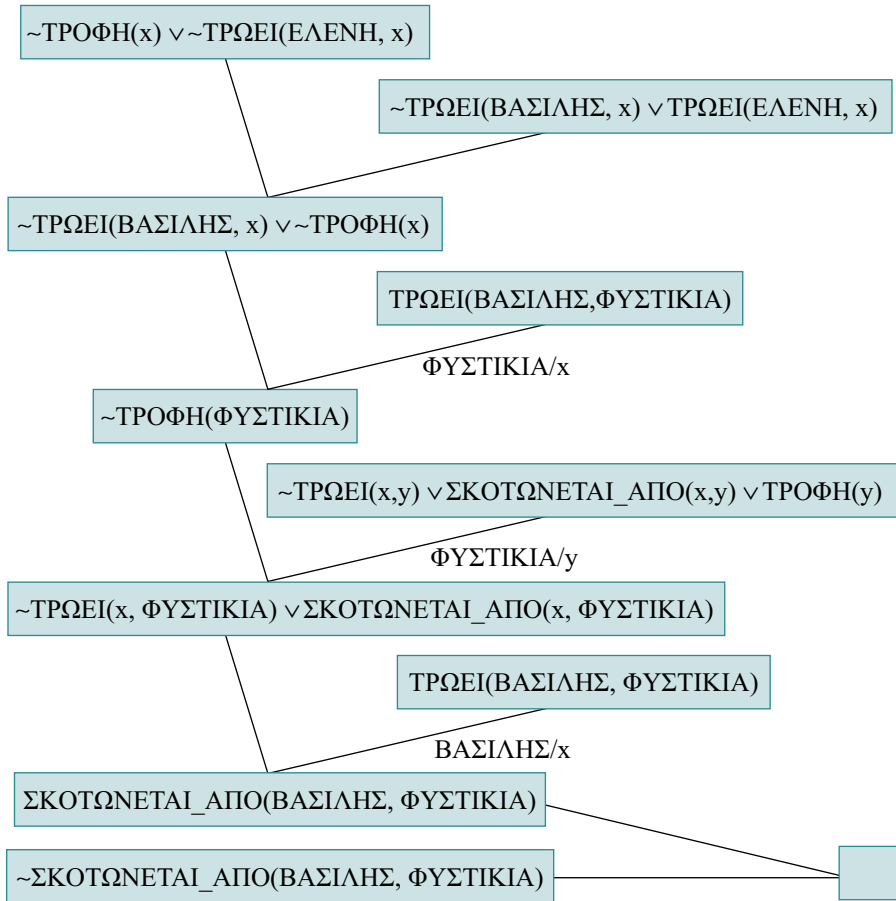
Σχήμα 4.12(α)



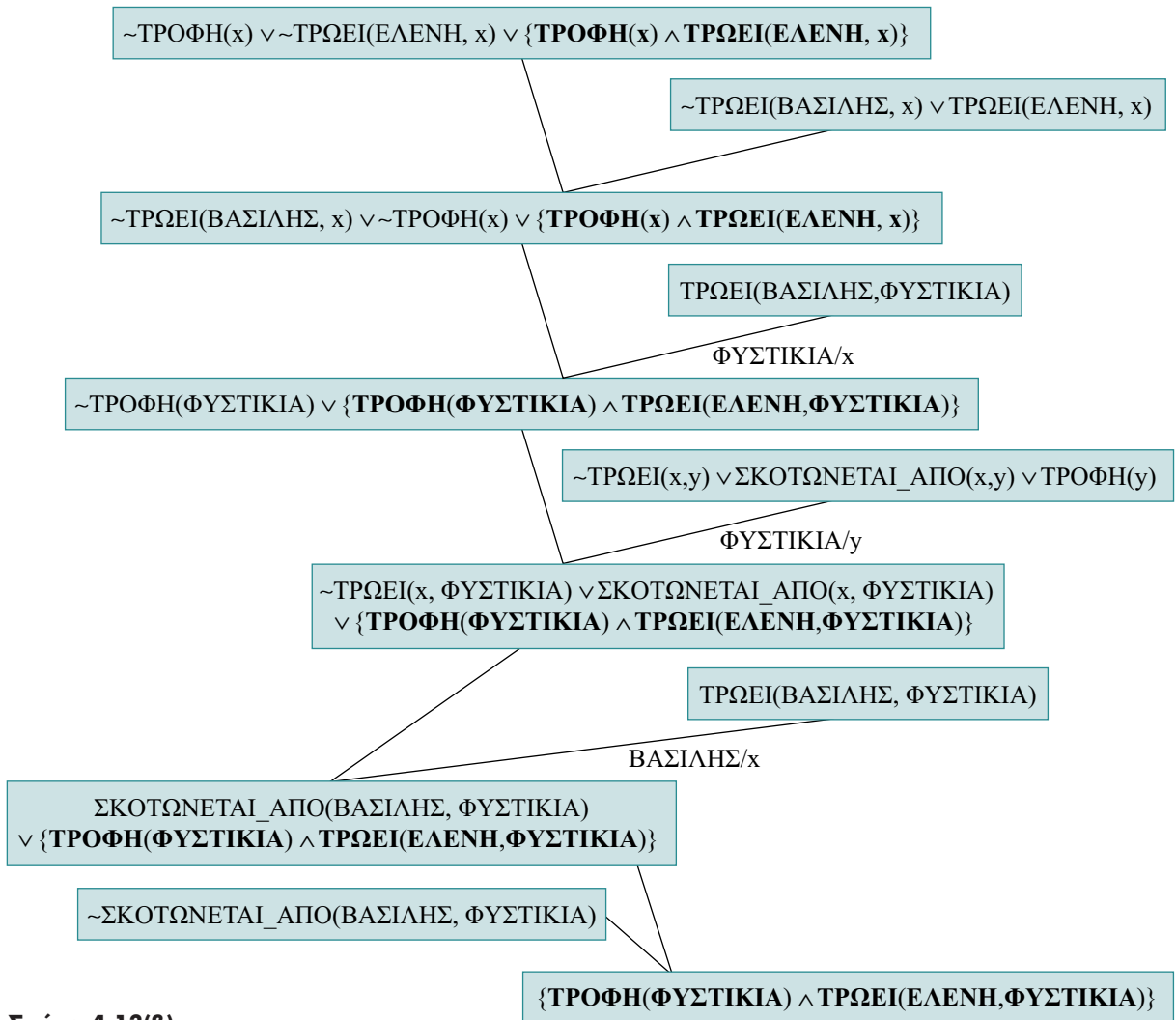
Σχήμα 4.12(β)

4.12

Το ερώτημα είναι $\exists x \{ \text{ΤΡΟΦΗ}(x) \wedge \text{ΤΡΩΕΙ}(\text{ΕΛΕΝΗ}, x) \}$. Η άρνησή του, σε διαζευκτική μορφή, είναι $\sim \text{ΤΡΟΦΗ}(x) \vee \sim \text{ΤΡΩΕΙ}(\text{ΕΛΕΝΗ}, x)$. Η απόδειξη της αντίφασης δίνεται στο Σχήμα 4.13(α). Με βάση αυτή τη διαδρομή εξάγεται η συγκεκριμένη απάντηση ότι στην Ελένη αρέσουν τα φυστίκια, όπως διαφαίνεται στο Σχήμα 4.13(β).



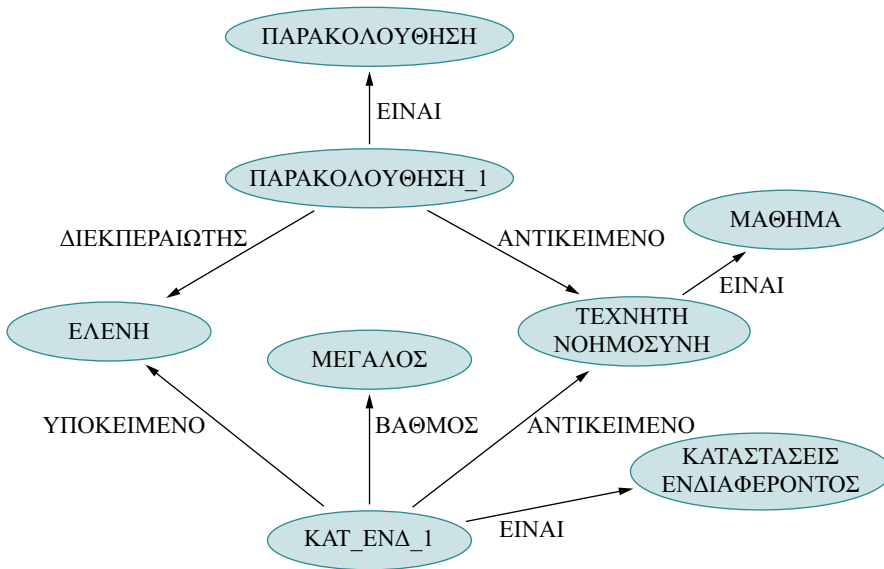
Σχήμα 4.13(α)



Σχήμα 4.13(β)

5.1

Η πρόταση (α) αναπαριστάται από το δίκτυο του Σχήματος 5.14 και η πρόταση (β) από το δίκτυο του Σχήματος 5.15. Οι απαντήσεις σας δεν χρειάζεται να είναι ακριβώς οι ίδιες με αυτές. Αφού ο φορμαλισμός των δικτύων συσχέτισης επικεντρώνεται στην έννοια του συμβάντος (ενεργού ή/και παθητικού, π.χ. μίας ψυχολογικής κατάστασης), το σημαντικό είναι η αναπαράστασή σας να διαχωρίζει τα σχετικά συμβάντα.



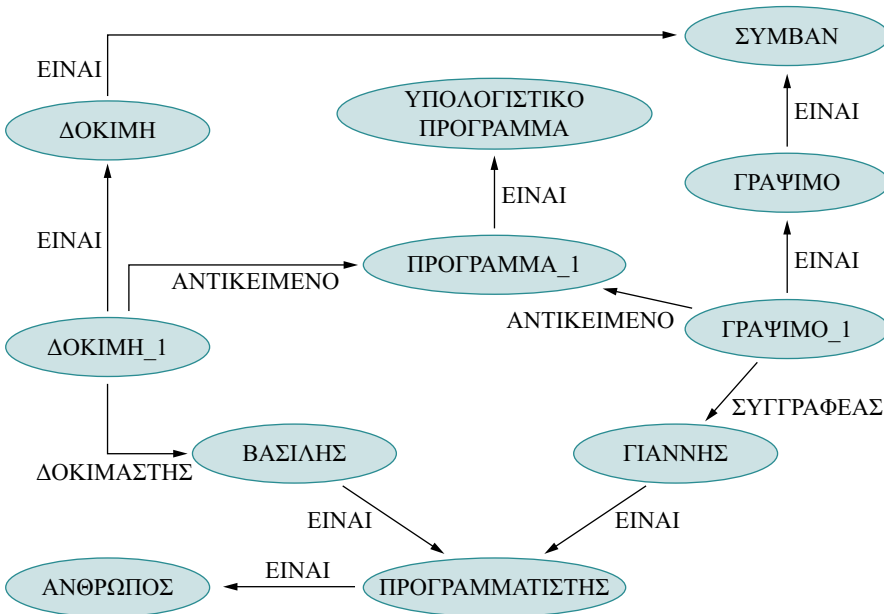
Σχήμα 5.15

5.2

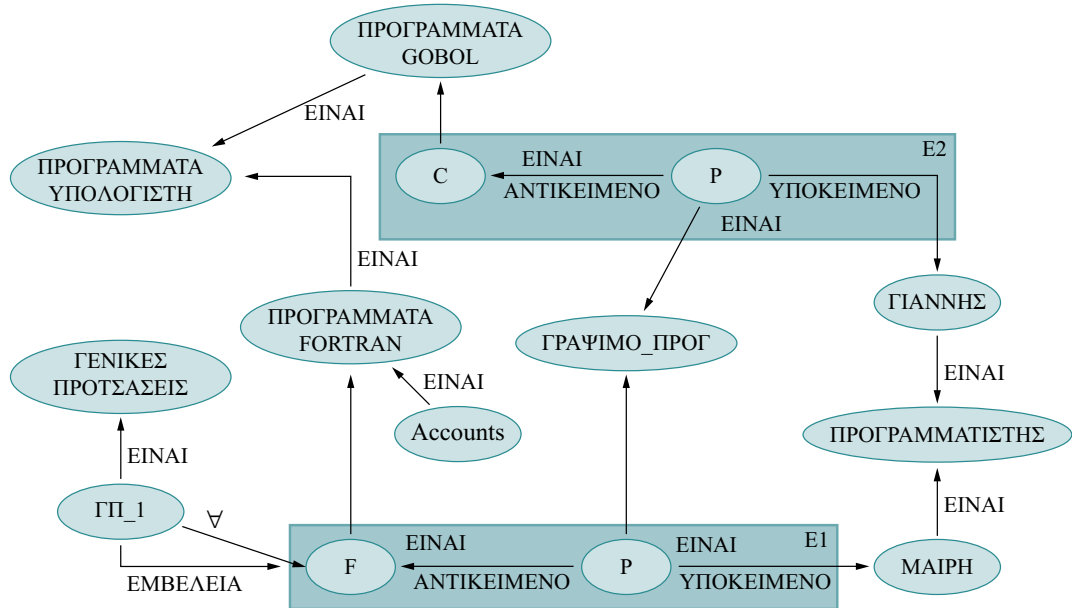
Το δίκτυο συσχέτισης εκφράζει την πρόταση ότι η Μαίρη κτύπησε το Γιάννη με το χέρι της με σκοπό να τον κάνει να πονέσει.

5.3

Το γεγονός ότι όλα τα προγράμματα Fortran έχουν γραφτεί από τη Μαίρη, αναπαριστάται ως η περίπτωση γενικής πρότασης ΓΠ_1, η εμβέλεια της οποίας αναπαριστάται από τη διαμέριση E1 (βλέπε Σχήμα 5.16). Η οντότη-



τα «Μαίρη» δεν ανήκει σε αυτή τη διαμέριση (είναι μία καθολική οντότητα), παρόλο που δείχνεται από αυτήν. Επίσης υπάρχει μία υπαρξιακά ποσοτικοποιημένη πρόταση, το γεγονός ότι ο Γιάννης έχει γράψει κάποια προγράμματα Cobol. Αυτή η πρόταση αναπαριστάται από τη διαμέριση E2, η οποία περιέχει την εικονική σταθερή, P, που αντιπροσωπεύει τα περιστατικά γραψίματος προγράμματος που εμπλέκουν το Γιάννη και τα εν λόγω προγράμματα Cobol, τα οποία αντιπροσωπεύονται από την εικονική σταθερή C.



Σχήμα 5.16

Η ερώτηση «Ποιος προγραμματιστής έγραψε το πρόγραμμα Accounts;», μπορεί να απαντηθεί ως ακολούθως: Καταρχάς ενεργοποιούνται οι κόμβοι «Accounts» και «ΓΡΑΨΙΜΟ_ΠΡΟΓ». Μέσω του πρώτου ενεργοποιείται ο κόμβος «ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ_FORTRAN» ο οποίος συνδέεται με τη διαμέριση E1. Ο κόμβος «ΓΡΑΨΙΜΟ_ΠΡΟΓ» επίσης συνδέεται με αυτή τη διαμέριση. Ως αποτέλεσμα ενεργοποιείται η γενική πρόταση «ΓΠ_1» η οποία οδηγεί στην απάντηση ότι η Μαίρη έγραψε το πρόγραμμα Accounts.

5.4

	Ενεργοποιητικοί Σύνδεσμοι	Αντίπαλοι Σύνδεσμοι	Συμπληρωματικοί Σύνδεσμοι
Παρέχουν ευρετική καθοδήγηση.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Συνδέουν έννοιες με πολλές ομοιότητες.	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ

Συνδέουν έννοιες που μπορεί να συνυπάρχουν.	OXI	OXI	NAI
Αφορούν τοπικά συμφραζόμενα.	OXI	NAI	NAI
Είναι σε καθολικό επίπεδο.	NAI	OXI	OXI
Παρέχουν καθοδήγηση, κυρίως ως προς την αρχική εστίαση.	NAI	OXI	OXI
Αλλάζουν τη γραμμή συλλογισμού.	ΜΠΟΡΕΙ	NAI	OXI
Προσπαθούν να ενδυναμώσουν τη γραμμή συλλογισμού.	OXI	OXI	NAI

6.1

-
- Κατευθύνεται από το δεξιό προς το αριστερό μέρος του κανόνα.
 - Χρειάζεται να επιλεγεί κατ' αρχήν ο απώτερος στόχος.
 - Κάνει χρήση ευρετικών.
 - Οδηγείται από γεγονότα.
 - Κατευθύνεται από το αριστερό προς το δεξιό μέρος του κανόνα.
 - Είναι σε επίπεδο υλοποίησης.
 - Είναι σε επίπεδο σχεδίασης.
- Ορθή αλυσίδωση
 - Ορθή συλλογιστική
 - Ανάστροφη αλυσίδωση
 - Ανάστροφη συλλογιστική

Ο διαχωρισμός ανάμεσα σε αλυσίδωση και συλλογιστική, μπορεί να θεωρηθεί αρκετά λεπτός. Εάν δεν κάνατε όλες τις αντιστοιχίες, απλά μελετήστε ξανά την υποενότητα 6.1.2.

6.2

Έστω ότι κατά τον τρίτο γύρο επιλέγεται η Σ5. Η εκτέλεσή της προσθέτει το συμπέρασμα

Δ10: (Εγείρεται–Διαγραφή ^για Ιωάννου ^λόγος
δεύτερη–αποτυχία–σε–υποχρεωτικό)

στη μνήμη εργασίας. Κατά τον τέταρτο γύρο το σύνολο ανταγωνισμού απο-
τελείται από τις Σ3 και Σ4. Ο κανόνας «διαγραφή–2» παραμένει μερικώς
ταυτισμένος. Έστω ότι επιλέγεται η Σ3. Ως αποτέλεσμα της εκτέλεσής της
προστίθεται το γεγονός

Δ11: (Αποτυχία ^όνομα Ιωάννου ^μάθημα ΠΛΗ301 ^εξάμηνο 3)

στη μνήμη εργασίας. Κατά τον πέμπτο γύρο στο σύνολο ανταγωνισμού
υπάρχει μόνο η Σ4, ενώ ο κανόνας «διαγραφή–2» παραμένει μερικώς ταυτι-
σμένος. Η εκτέλεση της Σ4 προσθέτει το γεγονός

Δ12: (Αποτυχία ^όνομα Ιωάννου ^μάθημα ΠΛΗ302 ^εξάμηνο 3)

στη μνήμη εργασίας. Κατά τον έκτο και τελευταίο γύρο και πάλι το σύνολο
ανταγωνισμού περιέχει μόνο μία συγκεκριμενοποίηση (Σ6), η οποία απορρέει
από την ολική ταύτιση του κανόνα «διαγραφή–2», σε σχέση με τα δεδομένα
Δ1–Δ3, Δ8, Δ11, και Δ12. Η εκτέλεση της Σ6 προσθέτει το (νέο) συμπέρασμα

Δ13: (Εγείρεται–Διαγραφή ^για Ιωάννου ^λόγος αποτυχίες–σε–2και–υπο-
χρεωτικά)

στη μνήμη εργασίας. Εδώ ο κύκλος «Αναγνώρισε–Ενέργησε» ολοκληρώνε-
ται αφού δεν υπάρχουν καινούργιες συγκεκριμενοποιήσεις. Μια και αυτό το
σύστημα παραγωγής είναι μονοτονικό ή αθροιστικό (όλες οι ενέργειες κανό-
νων μόνο προσθέτουν στη μνήμη εργασίας) δεν τίθεται θέμα επανεκτέλεσης
της ίδιας συγκεκριμενοποίησης κανόνα. Κάτι τέτοιο, απλά θα προσθέτει το
ίδιο δεδομένο ξανά και ξανά και παράλληλα θα οδηγήσει σε βρόγχο άπειρης
διάρκειας (βλέπε 6.2.2). Επίσης, το εν λόγω σύστημα ικανοποιεί την ιδιότη-
τα της *μερικής μεταθετικότητας* ή *μερικής εναλλαξιμότητας* (partially
commutative). Αυτό σημαίνει ότι η κατάσταση (της μνήμης εργασίας) στην
οποία οδηγεί μία διαδοχή (συγκεκριμενοποιήσεων) κανόνων από δεδομένη
αρχική κατάσταση, στην οποία η καθεμιά από αυτές τις συγκεκριμενοποιή-
σεις είναι εφαρμόσιμη, είναι ανεξάρτητη της σειράς εκτέλεσης των κανόνων.
Ένα σύστημα παραγωγής, το οποίο είναι ταυτόχρονα αθροιστικό και μερι-
κώς μεταθετικό, θεωρείται μεταθετικό ή εναλλάξιμο.

Εάν έχετε ολοκληρώσει επιτυχώς την εκτέλεση του αλγόριθμου, μπράβο σας.
Εάν όχι, προσπαθήστε για άλλη μια φορά, αφού πρώτα μελετήσετε ξανά την
υποενότητα 6.2.1.

6.3

Η συνδιάλεξη που διεξάγεται και το δέντρο συλλογισμού που δημιουργείται δίνεται στο Σχήμα 6.9. Όπως βλέπετε, το δεδομένο ότι ο διαθέσιμος χρόνος είναι κάτω των 15 λεπτών δεν εμπλέκεται στο συλλογισμό.

Ευρέτης: *Ενέργεια*

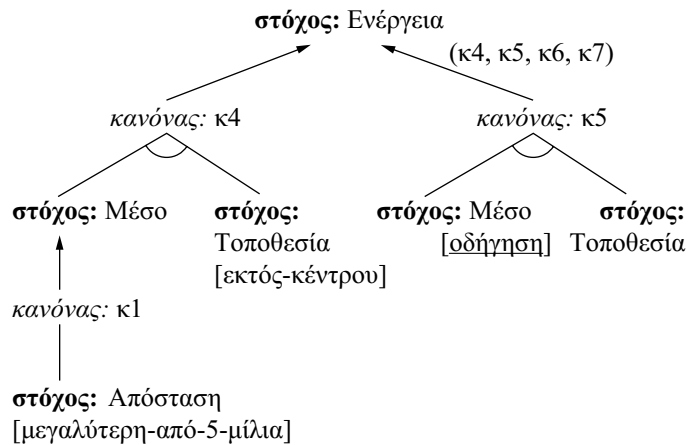
Σε πόση απόσταση βρίσκεται το θέατρο;

1. μεγαλύτερη-από-1-μίλι
 2. μεγαλύτερη-από-5-μίλια
- 2

Πού βρίσκεται το θέατρο;

1. κέντρο
 2. εκτός-κέντρου
- 2

Ενέργεια ^τιμή οδήγησε-το-
αυτοκίνητό-σου



Σχήμα 6.9

Ο κανόνας κ1 είναι επιτυχής, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι το «Μέσο» θα πρέπει να είναι «οδήγηση». Ο κανόνας κ4 είναι ανεπιτυχής, διότι με βάση την απάντηση για την «Τοποθεσία» του θεάτρου, η δεύτερη συνθήκη στο προκείμενό του δεν ευσταθεί. Στη συνέχεια ανιχνεύεται ο κανόνας κ5, ο οποίος αποδεικνύεται επιτυχής, οδηγώντας στο απώτερο συμπέρασμα ότι η «Ενέργεια» θα πρέπει να είναι «οδήγησε-το-αυτοκίνητό-σου». Σημειώστε ότι η ανίχνευση του κανόνα κ5 δεν εμπλέκει καθόλου τον Ευρέτη, διότι οι εν λόγω στόχοι έχουν ήδη διερευνηθεί στα πλαίσια της ανίχνευσης του κανόνα κ4.

Εάν δεν έχετε καταλήξει στο ίδιο συμπέρασμα, μην απογοητεύεστε. Απλά μελετήστε ξανά τους αλγόριθμους για τον Ευρέτη και Ανιχνευτή, καθώς επίσης το παράδειγμα του Σχήματος 6.5, και επαναλάβετε την Άσκηση.

6.4

Αρχικά τα περιεχόμενα της μνήμης εργασίας είναι τα εξής:

Δ1: (Απόσταση ^τιμή μεγαλύτερη-από-5-μίλια)

Δ2: (Χρόνος ^τιμή κάτω-από-15-λεπτά)

Δ3: (Τοποθεσία ^τιμή εκτός-κέντρου)

Για την ανάκληση των σχετικών κανόνων, σε ορθή αλυσίδωση, χρησιμοποιείται η δεικτοδότηση «πρόβλεψη». Επίσης, λόγω του ότι το σύστημα είναι

μονοτονικό, χρησιμοποιείται η αυστηρή εκδοχή της στρατηγικής της διαθλαστικότητας. Επίσης, σε αυτό το παράδειγμα δεν έχει νόημα να εφαρμοστεί η στρατηγική της συγκεκριμενικότητας. Μπορεί όμως να εφαρμοστεί η στρατηγική της προσφατότητας.

Κατά τον πρώτο γύρο το σύνολο των σχετικών κανόνων, K , είναι η ένωση των κανόνων πρόβλεψης των αντικειμένων «Απόσταση», «Χρόνος» και «Τοποθεσία», δηλαδή

$$\begin{aligned} K &= \text{πρόβλεψη}(\text{«Απόσταση»}) \cup \text{πρόβλεψη}(\text{«Χρόνος»}) \cup \\ &\quad \text{πρόβλεψη}(\text{«Τοποθεσία»}) \\ &= \{κ1, κ2, κ3, κ4, κ5\} \end{aligned}$$

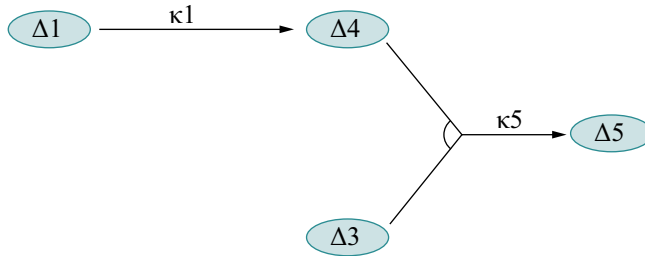
Από το σύνολο K μπορεί να παραχθεί το σύνολο ανταγωνισμού, $\Sigma\Upsilon\Gamma$, αποτελούμενο από τους κανόνες, τα προκείμενα των οποίων ευσταθούν. Οι κανόνες $κ2$, $κ3$ και $κ4$ δεν ευσταθούν, ενώ ο κανόνας $κ5$ επαληθεύεται μερικώς. Επομένως, $\Sigma\Upsilon\Gamma = \{κ1\}$. Η εκτέλεση του κανόνα $κ1$ οδηγεί στην προσθήκη του συμπεράσματος

Δ4: (Μέσο ^τιμή οδήγηση)

στη μνήμη εργασίας. Για τη δημιουργία του νέου συνόλου ανταγωνισμού γίνεται επεξεργασία των κανόνων πρόβλεψης του αντικειμένου «Μέσο», δηλαδή το σύνολο $\{κ4, κ5, κ6, κ7\}$. Ο κανόνας $κ4$ έχει ήδη απορριφθεί. Όσον αφορά στους κανόνες $κ6$ και $κ7$, με την παραδοχή ότι το σύστημα «γνωρίζει» ότι τα αντικείμενα είναι μοναδικής τιμής και επομένως οι διάφορες τιμές για το κάθε αντικείμενο είναι αμοιβαία αποκλειόμενες, τότε και αυτοί οι δύο κανόνες απορρίπτονται. Έτσι, κατά το δεύτερο γύρο το σύνολο ανταγωνισμού είναι $\Sigma\Upsilon\Gamma = \{κ1, κ5\}$. Αφού εφαρμόζεται η στρατηγική της διαθλαστικότητας ο κανόνας $κ1$ δεν μπορεί να επιλεγεί ξανά και παραμένει μόνο ο κανόνας $κ5$. Η εφαρμογή του $κ5$ οδηγεί στη προσθήκη του νέου δεδομένου

Δ5: (Ενέργεια ^τιμή οδήγησε–το–αυτοκίνητό–σου)

στη μνήμη εργασίας. Το αντικείμενο «Ενέργεια» δεν έχει κανόνες πρόβλεψης και επομένως το σύνολο ανταγωνισμού στον επόμενο γύρο παραμένει το σύνολο $\{κ1, κ5\}$. Με βάση τη στρατηγική της διαθλαστικότητας, κανένας εκ των δύο κανόνων δεν ενδείκνυται η επιλογή και επομένως ο κύκλος «Αναγνώρισε–Ενέργησε» τερματίζεται εδώ. Όπως βλέπετε, και με ορθή αλυσίδα καταλήγουμε στα ίδια συμπεράσματα. Όμως, εδώ δεν υπάρχει η εστίαση (επιδιωκόμενος στόχος και υποστόχοι) που διέπει την αναστροφή



Σχήμα 6.10

αλυσίδωση. Τέλος, και εδώ δεν ενεπλάκει καθόλου το δεδομένο Δ2 αναφορικά με το χρόνο. Το Σχήμα 6.10 δίνει διαγραμματικά τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί.

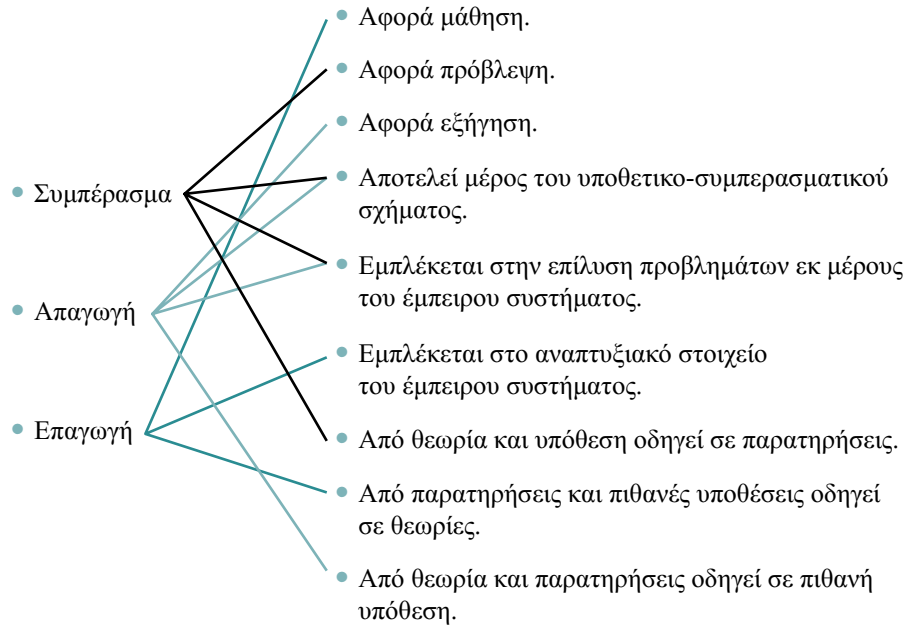
Στόχος αυτής της Άσκησης ήταν να σας βοηθήσει να κατανοήσετε καλύτερα τις διαφορές ανάμεσα σε ορθή και ανάστροφη αλυσίδωση. Εάν η απάντησή σας συμφωνεί με την πιο πάνω, μπράβο σας. Διαφορετικά, συγκρίνετε προσεκτικά τα βήματα στη δική σας απάντηση με τα πιο πάνω βήματα.

7.1

1. Δεν ευσταθεί. Είναι μία παρερμηνευση του τι είναι έμπειρο σύστημα. Βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία έμπειρων συστημάτων είναι η ύπαρξη εμπειρών, διαφορετικά ποια εμπειρογνωμοσύνη θα προσπαθήσουμε να προσομοιώσουμε; Η διατύπωση θα ευσταθούσε, εάν έλεγε ότι «Έμπειρα συστήματα χρειάζεται να αναπτυχθούν για τομείς όπου δεν υπάρχει επαρκής αριθμός εμπειρών και ως αποτέλεσμα γίνονται σοβαρά λάθη στην επίλυση σχετικών προβλημάτων».
2. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους ένα έμπειρο σύστημα χρειάζεται να συνδιαλέγεται με το χρήστη του.
3. Αυτό δεν ευσταθεί. Κεντρική αρχή της τεχνολογίας είναι η εξάπλωση της εμπειρογνωμοσύνης και επομένως ο τυπικός χρήστης ενός έμπειρου συστήματος δεν θα είναι ο ίδιος έμπειρος. Ένα πραγματικά αποδεκτό έμπειρο σύστημα θα πρέπει να έχει χρησιμότητα και στους ίδιους τους έμπειρους και όχι μόνο στα πλαίσια της αποσφαλμάτωσης της γνώσης του συστήματος.
4. Ευσταθεί.
5. Ευσταθεί.

Μπράβο, εάν έχετε σχολιάσει ορθά και τις πέντε προτάσεις. Διαφορετικά, μελετήστε ξανά την ενότητα 7.1.

7.2



Δεν πειράζει εάν δεν έχετε κάνει όλες τις αντιστοιχίες. Η διαπραγμάτευση του κεφ.8 θα σας βοηθήσει να κατανοήσετε καλύτερα αυτές τις έννοιες, κυρίως το συμπέρασμα και την απαγωγή.

8.1

(α) Αρχικά $\Sigma B[Y] = 0$

$$\Sigma B[M_1] = 0.6, \quad \therefore \Sigma B[Y, M_1] = 0.6 \times 0.7 = 0.42, \quad \therefore \Sigma B[Y] := 0.42$$

$$\begin{aligned} \Sigma B[M_2] = 1, \quad \therefore \Sigma B[Y, M_2] = -0.1, \\ \therefore \Sigma B[Y] := (0.42 - 0.1) / (1 - 0.1) \\ := 0.35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma B[M_3] = 1, \quad \therefore \Sigma B[Y, M_3] = 0.2, \\ \therefore \Sigma B[Y] := 0.35 + 0.2 - 0.35 \times 0.2 \\ := 0.48 \end{aligned}$$

$\Sigma B[M_4] = 0.1, \quad \therefore$ Ο εν λόγω κανόνας δεν εφαρμόζεται.

\therefore Ο ολικός ΣB για την υπόθεση Y ισούται με 0.48.

(β) Αρχικά $\Sigma B[Y] = 0$. Οι μαρτυρίες $M_1 - M_7$ είναι όλες υπέρ της υπόθεσης Y . Ως αποτέλεσμα η διαδοχική επεξεργασία τους σταδιακά αυξάνει τον ΣB της υπόθεσης. Συγκεκριμένα, η ακολουθία τιμών του $\Sigma B[Y]$ είναι 0.4, 0.64, 0.784, 0.8704, 0.974, 0.9948 και 0.999. Όπως βλέπετε, ο ΣB συγκλίνει στην

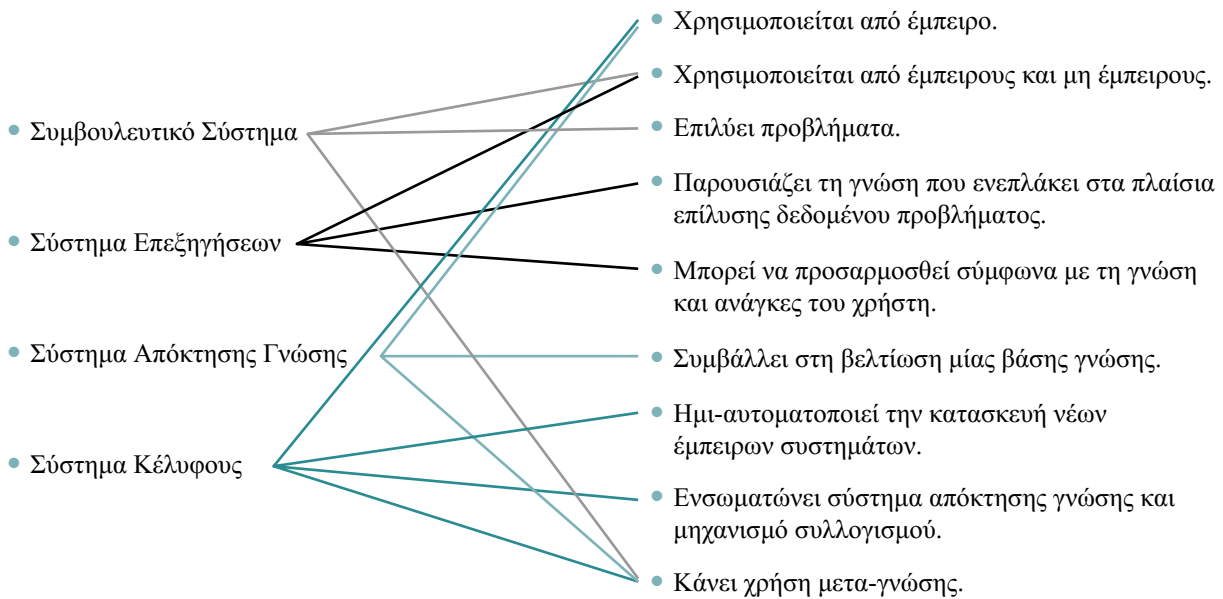
ασύμπτωτο 1 με γοργό ρυθμό, διότι κάθε μαρτυρία υπέρ αυξάνει τον ΣΒ. Τι γίνεται με την επεξεργασία της μαρτυρίας M_8 , η οποία είναι και η μοναδική εναντίον της εν λόγω υπόθεσης; Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ΣΒ[Y] στη τιμή 0.99. Αυτός ο βαθμός μείωσης είναι λογικός, αφού είναι προφανές ότι το σύνολο των μαρτυριών υπέρ, υπερνικά κατά πολύ τη μοναδική μαρτυρία ενάντια. Ας συγκρίνουμε τι θα γινόταν σε αυτή την περίπτωση σε σχέση με την αρχική εκδοχή του αλγόριθμου συνδυασμού μαρτυριών. Σε αυτή την εκδοχή οι μαρτυρίες υπέρ και οι μαρτυρίες ενάντια συσσωρεύονταν ξεχωριστά. Οι δύο αυτές ξεχωριστές τιμές κυμαίνονταν στο πλαίσιο [0,1]. Στο τέλος η μέτρηση των μαρτυριών ενάντια αφαιρείτο από τη μέτρηση των μαρτυριών υπέρ, δηλαδή στο παρόν παράδειγμα θα ήταν $\Sigma B[Y] := 0.999 - 0.8 := 0.199 < 0.2$. Επομένως, θα είχε ως αποτέλεσμα την απόρριψη της εν λόγω υπόθεσης. Αυτό θεωρήθηκε ως σοβαρό μειονέκτημα του αρχικού μοντέλου.

Εάν κάνατε κάποια λάθη στους υπολογισμούς σας, δεν πειράζει. Μελετήστε ξανά το μοντέλο αβεβαιότητας και επαναλάβετε τους σχετικούς υπολογισμούς.

8.2

Η μετα-γνώση του MYCIN καθοδηγεί την εφαρμογή των κανόνων του συστήματος, δηλαδή την επίλυση του προβλήματος. Η μετα-γνώση του TEIRESIAS καθοδηγεί τη βελτίωση των κανόνων του MYCIN.

8.3



Εάν δεν έχετε βρει όλες τις αντιστοιχίες, απλά μελετήστε ξανά τις σχετικές υποενότητες.

8.4

$$O(B/\Delta, E) = 800 \times 200 \times (0.005 / (1 - 0.005)) = 804.016$$

$$\therefore P(B/\Delta, E) = 804.016 / (804.016 + 1) = 0.9988$$

$$\therefore \lambda_B' = 5700 \times ((0.9988 - 0.005) / (1 - 0.005)) = 5693$$

$$O(A/B', \sim\Gamma) = 5693 \times 0.7 \times (0.001 / (1 - 0.001)) = 3.989$$

$$\therefore P(A/B', \sim\Gamma) = 3.989 / (3.989 + 1) = 0.7995$$

Σε περίπτωση που το δικό σας αποτέλεσμα δεν συμφωνεί με το πιο πάνω, επαναλάβετε προσεκτικά την Άσκηση και, εάν χρειαστεί, μελετήστε ξανά το μοντέλο αβεβαιότητας του PROSPECTOR.

9.1

	Πρώτη Γενεά	Δεύτερη Γενεά
Επικεντρώνεται στο επίπεδο αναπαράστασης.	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Επικεντρώνεται στο επίπεδο γνώσης.	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Δίνει έμφαση στην ύπαρξη πολλαπλών μοντέλων και μηχανισμών συλλογισμού.	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Επιδεικνύει υψηλότερη αφαιρετικότητα.	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Τα συστήματά της έχουν χαρακτηριστεί ως «ρηχά».	ΝΑΙ	ΟΧΙ
Τα συστήματά της έχουν χαρακτηριστεί ως «βαθιά».	ΟΧΙ	ΝΑΙ
Σημαντική γνώση τύπου «Πώς», «Τι», και «Γιατί», εμφανίζεται με υπονοούμενο τρόπο ή και καθόλου.	ΝΑΙ	ΟΧΙ

Βασικός στόχος της είναι ο διαχωρισμός και η ρητή αναπαράσταση όλων των τύπων γνώσης, που εμπλέκονται στην επίλυση προβλημάτων και την τεκμηρίωση των λύσεων.

ΟΧΙ

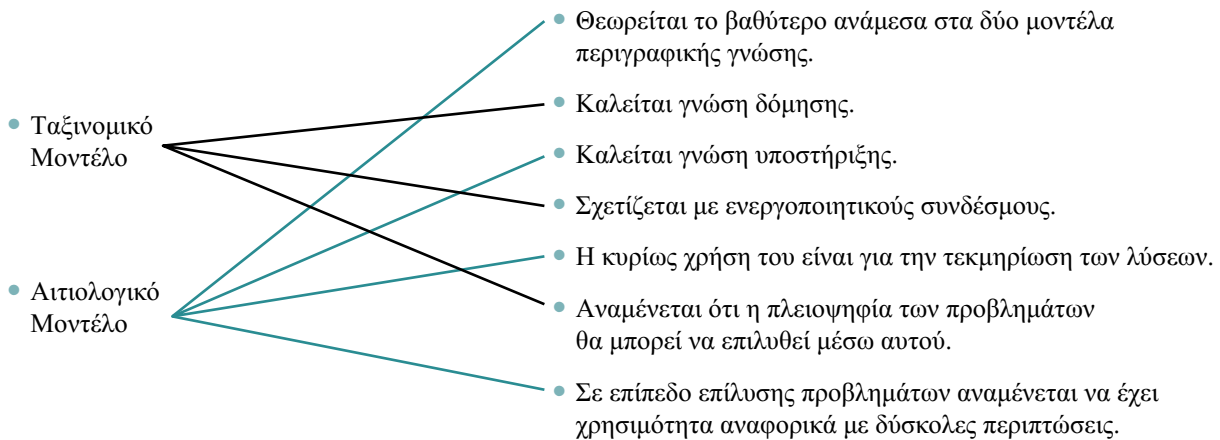
ΝΑΙ

Η πλειοψηφία των συστημάτων επιδεικνύει ομοιομορφία στην αναπαράσταση και απλότητα στο συλλογισμό.

ΝΑΙ

ΟΧΙ

9.2

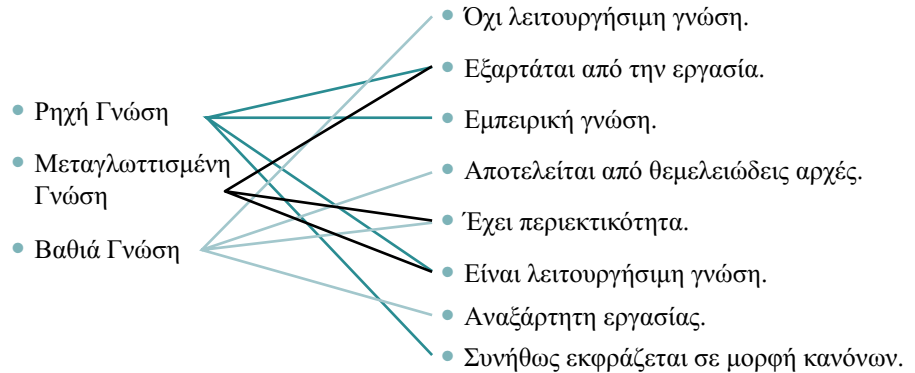


9.3

Οι μετα-κανόνες στο MYCIN δεν αποτελούν ιδεατές στρατηγικές ως προς την εκτέλεση εργασιών συλλογισμού (reasoning tasks), όπως συμβαίνει στο NEOMYCIN. Στο MYCIN, οι μετα-κανόνες διατυπώνουν ευρετικά με βάση τα οποία κατατάσσονται οι υπό αντίχτυπο κανόνες.

Μπράβο σας, εάν έχετε κάνει την ορθή διάκριση. Εάν όχι, η σημασιολογία των μετα-κανόνων του NEOMYCIN (και η σύγκρισή τους με τους κανόνες του MYCIN) θα διαφανεί καλύτερα μέσα από την υποενότητα 9.2.3 και τη Δραστηριότητα 9.1.

9.4

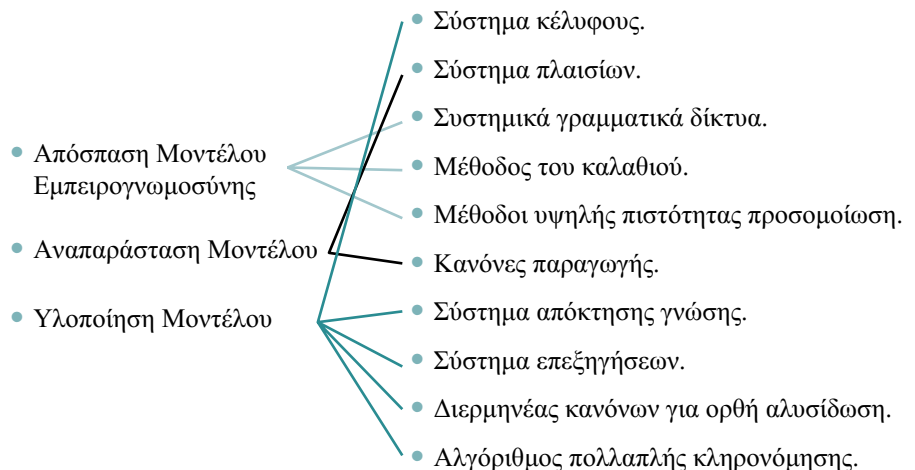


9.5

1. Ναι 2. Όχι 3. Όχι 4. Ναι 5. Ναι 6. Όχι (η γνώση έχει κατανομηθεί ανάμεσα στους ειδικούς και επομένως κάθε ειδικός αποτελεί μοντέλο, μέρος της γνώσης)

Μπράβο, εάν έχετε απαντήσει ορθά σε όλα τα σημεία. Διαφορετικά, μελετήστε ξανά την υποενότητα 9.3.2.

10.1



10.2

1 Δ, 2 ΣΤ, 3 Γ, 4 Ε, 5 Α, 6 Ζ, 7 Β.

10.3

1 Μοντέλο συνεργασίας, 2 & 6 Μοντέλο Εργασίας, 3 & 4 Μοντέλο Οργανισμού, 5 & 7 Μοντέλο Εφαρμογής, 8 Μοντέλο Εμπειρογνωμοσύνης, 9 & 10 Μοντέλο Σχεδιασμού

Μπράβο, εάν έχετε κάνει όλες τις συσχετίσεις. Διαφορετικά, μελετήστε ξανά την υποενότητα 10.4.1.

10.4

Υπάρχουν δύο κατηγορίες εννοιών, μονάδες και δοκιμές. Υπάρχουν δύο ιεραρχικές σχέσεις ανάμεσα σε μονάδες, η σχέση ΕΙΝΑΙ με βάση την οποία διατυπώνονται υποκατηγορίες μονάδων, και ΥΠΟ_ΜΟΝΑΔΑ με βάση την οποία μία μονάδα μπορεί να διασπασθεί σε υπομονάδες. Μονάδες έχουν την ιδιότητα κατάσταση και δοκιμές την ιδιότητα τιμή. Τέλος, υπάρχουν δύο σχέσεις ανάμεσα σε εκφράσεις ιδιοτήτων. Η σχέση ΠΡΟΚΑΛΕΙ (εάν δεδομένη μονάδα βρίσκεται σε δεδομένη κατάσταση, αυτό οδηγεί κάποια άλλη μονάδα να βρεθεί σε κάποια κατάσταση) και η σχέση ΥΠΟΔΗΛΩΝΕΙ (η τιμή, δηλαδή το αποτέλεσμα, δεδομένης δοκιμής υποδηλώνει ότι κάποια μονάδα βρίσκεται σε κάποια κατάσταση). Οι ονομασίες των εννοιών, ιδιοτήτων και σχέσεων που εμφανίζονται στο εν λόγω σχήμα τομέα είναι γενικές και δεν αφορούν οποιαδήποτε συγκεκριμένη χρήση αυτής της γνώσης.

10.5

- Περιγραφική Γνώση: 2, 5, 7, 10,
- Γνώση Βασικών Συλλογισμών: 1, 3, 4, 9, 12
- Γνώση Εργασιών: 6, 14, 15, 16,
- Στρατηγική Γνώση: 8, 11, 13

Ενδεικτικές Απαντήσεις Δραστηριοτήτων

1.1

Πρόβλημα I: Για να είναι αξιόπιστη η δοκιμή ενός προγράμματος πρέπει να καλύπτει όλο το δυνατό φάσμα περιπτώσεων. Έτσι αυτές οι περιπτώσεις δοκιμής πρέπει να σχεδιαστούν με μεθοδικό, εξαντλητικό, τρόπο. Επομένως, η χρήση ευρετικών δεν ενδείκνυται.

Πρόβλημα II: Το πρόβλημα εδώ είναι να ανακαλύψω την αιτία του σφάλματος και να την απαλείψω. Όσο πιο έγκαιρα την ανακαλύψω τόσο το καλύτερο. Επομένως, δεν είναι λάθος να προσπαθήσω να συντομεύω την αναζήτησή μου. Η εμπειρία μου με καθοδηγεί στις πιο πιθανές αιτίες του σφάλματος, ιδίως εάν έχω συναντήσει αυτό το σφάλμα πολλές φορές σε προγράμμάτα μου. Εάν όμως το σφάλμα είναι ιδιαίτερος δύσκολο ή δεν έχω ακόμη αποκτήσει πολλή εμπειρία στην αποσφαλμάτωση, τότε τα ευρετικά μου μπορεί να μην αποδώσουν και να πρέπει να χρησιμοποιήσω πιο μεθοδικά, εξαντλητικά μέσα για την ανεύρεση της αιτίας.

Πρόβλημα III: Εδώ προφανώς, για να είναι το παιχνίδι πιο ενδιαφέρον, θέλω τον υπολογιστή μου να είναι ένας ισχυρός αντίπαλος. Εάν επανειλημμένα τον νικώ και δεν μπορεί να μαντέψει καμιά από τις λέξεις που του βάζω, τότε το παιχνίδι θα καταντήσει ανιαρό. Με λίγα λόγια θέλω ένα «ευφυή» αντίπαλο. Μία πολύ απλή λύση είναι να προμηθεύσω τον υπολογιστή με μία συνάρτηση, η οποία να παράγει με τυχαίο τρόπο ένα γράμμα της αλφαβήτου (random letter generator). Σε κάθε προσπάθειά του, ο υπολογιστής θα καλεί αυτή τη συνάρτηση. Εάν είναι πολύ τυχερός τότε μπορεί να σκοντάψει στη λέξη, αλλά το αναμενόμενο είναι ότι τις περισσότερες φορές θα καταλήγει σε 7 λανθασμένες προσπάθειες και θα χάνει. Ο υπολογιστής μου δεν θα έχει καμιά μορφή ευφυΐας.

Μία πιθανή αναπαράσταση του χώρου αναζήτησης είναι η ακόλουθη. Η αρχική κατάσταση του προβλήματος είναι N άγνωστα γράμματα και 0 αποτυχημένες προσπάθειες. Η επιθυμητή τελική κατάσταση είναι 0 άγνωστα γράμματα και X αποτυχημένες προσπάθειες, όπου $X < 7$. Η ανεπιθύμητη τελική κατάσταση είναι M άγνωστα γράμματα όπου $M > 0$ και 7 αποτυχημένες προσπάθειες. Ο υπολογιστής θέλει να μεταβεί από την αρχική κατάσταση σε μία τελική επιθυμητή κατάσταση, διαμέσου διαφόρων ενδιάμεσων καταστάσεων. Μία ενδιάμεση κατάσταση είναι A άγνωστα γράμματα όπου $A > 0$ και P αποτυχημένες προσπάθειες όπου $P < 7$. Το σύνολο ενεργειών που έχει

στη διάθεσή του ο υπολογιστής αποτελείται από 24 ενέργειες, συγκεκριμένα τις επιλογές που αντιστοιχούν στα 24 γράμματα της αλφαβήτου. Κάθε ενέργεια μπορεί να εκτελεστεί μόνο μία φορά. Μία ενέργεια εκτελείται σε σχέση με μία (μη τελική) κατάσταση και οδηγεί σε μία νέα κατάσταση. Ποιες επιλογές έχει ο υπολογιστής σε σχέση με μία κατάσταση; Αυτές είναι οι ενέργειες που αντιστοιχούν στα γράμματα που δεν έχουν απορριφθεί ή αναγνωριστεί στην εν λόγω κατάσταση. Έτσι ο αριθμός κυμαίνεται από το 1 στο 24. Όπως καταλαβαίνετε μιλούμε για ένα μεγάλο χώρο αναζήτησης. Το μήκος κάθε ολοκληρωμένης διαδρομής (από την αρχική προς μία τελική κατάσταση), σε αυτό το χώρο αναζήτησης, δεν μπορεί να υπερβεί το 24. Έτσι εδώ έχουμε πλάτος, αλλά όχι μεγάλο βάθος. Χωρίς καμιά καθοδήγηση πλοήγησης, όπως δηλαδή στην πιο πάνω αλγοριθμική προσέγγιση, ο υπολογιστής έχει πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα αποτυχίας παρά επιτυχίας, διότι υπάρχουν πολύ περισσότερες διαδρομές που οδηγούν σε αποτυχία και φυσικά πολύ περισσότερες ανεπιθύμητες τελικές καταστάσεις (επειδή σε μία λέξη είναι περισσότερα τα γράμματα που δεν χρησιμοποιούνται από αυτά που χρησιμοποιούνται). Δεν τίθεται θέμα να χαθεί ο υπολογιστής σε αυτό το χώρο αφού το βάθος του χώρου είναι περιορισμένο. Η ευφυής πλοήγηση μπορεί να γίνει μέσω ευρετικών, τα οποία εισηγούνται επιλογές ενεργειών με βάση τον αναπτυσσόμενο συνδυασμό γραμμάτων στην τρέχουσα κατάσταση. Τέτοια ευρετικά φυσικά δεν είναι αλάνθαστα, απλώς προσπαθούν να μαντέψουν ένα από τα άγνωστα γράμματα. Αποτελούν εμπειρική γνώση.

Προβλήματα IV και V: Και στα δύο αυτά προβλήματα η χρήση ευρετικών δεν ενδείκνυται. Εάν κοιτάξετε σε κάποιο βιβλίο γραμμικής άλγεβρας την μέθοδο του Gauss για την επίλυση ενός συστήματος γραμμικών εξισώσεων ή σε κάποιο βιβλίο πλεξίματος την ακολουθία οδηγιών για τη δημιουργία ενός πλεκτού, σε κάθε περίπτωση θα δείτε μία βήμα-προς-βήμα, καθαρά διαδικασιακή μέθοδο, στην οποία καμιά αβεβαιότητα δεν εμπλέκεται.

Πρόβλημα VI: Η βέλτιστη τοποθέτηση ενός συνόλου αντικειμένων, διαφόρων μεγεθών, σε κιβώτια, όπου βέλτιστη σημαίνει ότι χρησιμοποιεί τον μικρότερο δυνατό αριθμό κιβωτίων, είναι ένα δύσκολο πρόβλημα. Ανήκει στην κατηγορία των NP-πλήρη (NP-complete) προβλημάτων, για τα οποία πιστεύεται ότι δεν υπάρχουν γρήγορες αλγοριθμικές λύσεις, δηλαδή λύσεις ο υπολογισμός των οποίων συνεπάγεται πολυωνυμική πολυπλοκότητα. Ακόμη και για σχετικά μικρούς αριθμούς αντικειμένων, το σύνολο των πιθανών συνδυασμών είναι πολύ μεγάλο. Επομένως η εφαρμογή εξαντλητικής

αναζήτησης σε ένα τέτοιου μεγέθους χώρο δεν είναι εφικτή. Το τι ουσιαστικά ζητείται εδώ είναι μία λογική τοποθέτηση των παιγνιδιών σε κιβώτια, χωρίς υπερβολικές σπατάλες χώρου, αλλά οπωσδήποτε όχι μία βέλτιστη τοποθέτηση. Μία αρκετά ικανοποιητική λύση μπορεί να παραχθεί με τη χρήση ευρετικής καθοδήγησης, η οποία για παράδειγμα καθορίζει τη σειρά με την οποία να τοποθετηθούν τα παιγνίδια (π.χ. πρώτα τα μεγάλα, μετά του μεσαίου μεγέθους και τέλος τα μικρά, όπου σε κάθε κατηγορία τοποθετούνται πρώτα τα πιο βαριά), καθώς επίσης κάτω από ποιές συνθήκες χρειάζεται να προστεθεί ένα νέο κιβώτιο. Αυτή η ευρετική διαδικασία έχει διασπάσει το πρόβλημα σε μία ακολουθία φάσεων όπου η κάθε φάση διέπεται από τα δικά της τοπικά ευρετικά. Το πολύ επιτυχές έμπειρο σύστημα XCON, το οποίο αναπτύχθηκε από την Digital Equipment Corporation για να συμβουλεύει τους μηχανικούς της αναφορικά με τη συναρμολόγηση υπολογιστών και εξακολουθεί να είναι σε λειτουργία μέχρι σήμερα, εφαρμόζει μία ευρετική στρατηγική ανάλογη με την πιο πάνω διαδικασία.

Πρόβλημα VII: Αυτό είναι ένα πρόβλημα χρονοδρομολόγησης (scheduling) ή ένα πρόβλημα ικανοποίησης χρονικών περιορισμών (temporal constraint satisfaction problem). Εάν καμιά χρονική ακολουθία των διαφόρων εργασιών δεν ικανοποιεί τους χρονικούς περιορισμούς, τότε δεν υπάρχει λύση. Υπάρχει ασυνέπεια στους αιτούμενους χρονικούς περιορισμούς. Εάν υπάρχουν λύσεις, προφανώς οι προτιμητέες ανάμεσά τους είναι αυτές που μου επιτρέπουν να επιστρέψω στο σπίτι μου το συντομότερο δυνατό. Εάν υπάρχουν περισσότερες από μία τέτοιες λύσεις, τότε η βέλτιστη ανάμεσά τους είναι αυτή που μου επιτρέπει να φύγω από το σπίτι μου το αργότερο δυνατό, μια και αυτή έχει τη λιγότερη ενδιάμεση σπατάλη χρόνου. Εάν πραγματικά θέλω τη βέλτιστη λύση, τότε πρέπει να εξετάσω όλες τις $N!$ πιθανές χρονικές ακολουθίες, όπου N είναι ο αριθμός εργασιών. Αυτή είναι η καθαρά αλγοριθμική προσέγγιση. Επομένως, η αλγοριθμική προσέγγιση δεν είναι άσχημη εάν ο χρόνος υπολογισμού της λύσης δεν αποτελεί θέμα. Όμως σε πιο ρεαλιστικά προβλήματα χρονοδρομολόγησης όπου ικανοποιητικά καλές λύσεις αρκούν, η ευρετική καθοδήγηση, μέσω έμπειρης γνώσης, είναι αναγκαία. Ένα γενικής φύσεως ευρετικό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε αυτό το πρόβλημα είναι το ευρετικό του «πλησιέστερου γείτονα» (nearest neighbour heuristic), το οποίο εισηγείται όπως σε κάθε βήμα επιλέγεται η καλύτερη τοπική επιλογή, η οποία δεν είναι αναγκαστικά η καλύτερη επιλογή σε καθολικό επίπεδο. Το ποια είναι η καλύτερη (τοπική) επιλογή προσ-

διορίζεται από τη σχετική γνώση. Αυτό το ευρετικό μπορεί να οδηγήσει σε αδιέξοδο και επομένως στην ανάγκη για οπισθοδρόμηση.

Σε αυτή την δραστηριότητα έχετε δει κάποια παραδείγματα προβλημάτων με τα οποία έχει ασχοληθεί εκτενώς η TN, όπως σχεδίαση, διάγνωση–αποσφαλμάτωση και χρονοδρομολόγηση. Όλα αυτά είναι δύσκολα προβλήματα, στα οποία η καθαρά αλγοριθμική προσέγγιση απαιτεί εκθετικό χρόνο για τον υπολογισμό των λύσεων. Σε όλους αυτούς τους τομείς υπάρχουν έμπειρα άτομα που με βάση τη γνώση και την εμπειρία τους μπορούν να βρουν πολύ ικανοποιητικές λύσεις με πολύ αποδοτικό τρόπο. Η ευρετική προσέγγιση στοχεύει στην αποτελεσματική εκμετάλλευση αυτής της γνώσης. Έτσι ως τελικό συμπέρασμα, η χρήση ευρετικών μεθόδων ενδείκνυται για προβλήματα, τα οποία αφορούν μεγάλους χώρους αναζήτησης, οι οποίοι μπορούν να εξερευνηθούν αποδοτικά με τη χρήση γνώσης.

2.1

Εάν έχετε απαντήσει ότι η αναπαράσταση του χώρου αυτού του προβλήματος είναι παρόμοια με αυτή του χώρου του προβλήματος VI της Δραστηριότητας 1.1, τότε μπράβο σας. Εδώ έχουμε ένα σύνολο εργασιών, τις οποίες πρέπει να κατατάξουμε σε μια χρονική ακολουθία, η οποία ικανοποιεί όλους τους προσδιοριζόμενους χρονικούς περιορισμούς. Συγκεκριμένα, μία κατάσταση αποτελείται από το σύνολο *προς–κατάταξη*, που δίνει όλες τις εργασίες που δεν έχουν ακόμη καταταγεί χρονικά, καθώς επίσης την ακολουθία *διάταξη–εργασιών*, η οποία δίνει τις εργασίες που έχουν καταταγεί. Κάθε καταταγμένη εργασία συνοδεύεται από το απόλυτο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο θα γίνει η διεκπεραίωσή της. Οι χρονικοί περιορισμοί μπορούν να αναπαρασταθούν ως εκφράσεις της μορφής «η εργασία e_i προηγείται της εργασίας e_j » ή «η έναρξη της εργασίας e_i πρέπει να γίνει στο χρονικό διάστημα $[t_1, t_2]$ ». Αφού οι χρονικοί περιορισμοί είναι οι ίδιοι για όλες τις καταστάσεις (δεν μεταβάλλονται), θα ήταν πλεονασμός να αποθηκεύονται σε κάθε κατάσταση. Οι χρονικοί περιορισμοί, καθώς επίσης οι άλλες σταθερές πληροφορίες αναφορικά με τη διάρκεια διεκπεραίωσης των εργασιών και του χρόνου μετάβασης από ένα σημείο σε κάποιο άλλο, είναι καλύτερα να αποθηκεύονται σε κάποια δομή συμβόλων στην οποία υπάρχει καθολική πρόσβαση.

Σε αυτό το πρόβλημα υπάρχει ένας τελεστής δράσης, ο οποίος είναι «Εάν η εργασία E δεν έχει ακόμη καταταγεί και η κατάταξή της ως την επόμενη προς

διεκπεραίωση εργασία δεν παραβιάζει οποιοδήποτε χρονικό περιορισμό, τότε κατάταξε την E ως την επόμενη προς διεκπεραίωση εργασία και υπολόγισε το απόλυτο χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο θα γίνει η διεκπεραίωσή της». Διάφορες συγκεκριμενοποιήσεις αυτού του γενικού τελεστή δράσεως μπορούν να εφαρμοστούν σε σχέση με μία δεδομένη κατάσταση (συγκεκριμενοποίηση σημαίνει ότι η μεταβλητή E αντικαθίσταται από μία συγκεκριμένη εργασία). Στην αρχική κατάσταση το σύνολο προς-διεκπεραίωση περιέχει όλες τις εργασίες, ενώ η ακολουθία διάταξη-εργασιών είναι κενή. Μία τελική κατάσταση περιέχει ένα κενό σύνολο προς-κατάταξη, ενώ η ακολουθία διάταξη-εργασιών περιέχει όλες τις εργασίες. Εάν δεν υπάρχει καμία τελική κατάσταση, τότε ουσιαστικά το εν λόγω πρόβλημα είναι άλυτο, διότι οι αιτούμενοι χρονικοί περιορισμοί δεν μπορούν να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα (οι περιορισμοί διέπονται από ασυνέπεια). Τέλος μία κατάσταση αποτελεί αδιέξοδο, εάν περιέχει ένα μη κενό σύνολο προς-διάταξη, αλλά ο τελεστής δράσεως δεν μπορεί να συγκεκριμενοποιηθεί για καμία από αυτές τις εργασίες, διότι το προκείμενό του παραβιάζεται, δηλαδή κάποιος χρονικός περιορισμός παραβιάζεται.

2.2

Στις μεθόδους αναζήτησης (σε βάθος, σε πλάτος, ευρετική) που έχουμε εξετάσει, για κάθε κατάσταση κρατείται, ανά πάσα στιγμή, η καλύτερη διαδρομή από την αρχική κατάσταση προς αυτήν. Μόλις ανακαλυφθεί κάποια καλύτερη διαδρομή προς μία κατάσταση, η προκάτοχος αυτής της κατάστασης μεταβάλλεται.

Στην αναζήτηση σε βάθος, η υπό διερεύνηση, ανοικτή, κατάσταση βρίσκεται στο μέγιστο βάθος από την αρχική κατάσταση, σε σχέση με τις υπόλοιπες ανοικτές καταστάσεις. Έστω ότι αυτό το βάθος είναι N . Επομένως, μία διάδοχος αυτής της κατάστασης, έστω η κατάσταση s_i , βρίσκεται σε απόσταση $N+1$ από την αρχική κατάσταση. Εάν η s_i ανήκει ήδη στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ, τότε η προηγούμενη διαδρομή προς αυτήν, έστω μήκους M , είναι καλύτερη από τη νέα διαδρομή, αφού $M \leq N < N+1$. Εάν η διάδοχος s_i ανήκει στις ΚΛΕΙΣΤΕΣ, τότε είτε αποτελεί αδιέξοδο είτε ήδη αποτελεί κόμβο της υπό επέκταση διαδρομής και επομένως η εκ νέου συμπερίληψή της στη διαδρομή θα οδηγούσε σε κυκλική διαδρομή (λόγω του ότι χρειάζεται να υπάρχει κάποια πρόοδος στην αναζήτηση, κυκλικές διαδρομές τερματίζονται). Εξάλλου στη δεύτερη περίπτωση η νέα διαδρομή προς την s_i , η οποία

περνάει από την s_i , είναι χειρότερη από την προηγούμενη.

Στην αναζήτηση σε πλάτος, η υπό διερεύνηση, ανοικτή, κατάσταση βρίσκεται στο μικρότερο μήκος από την αρχική κατάσταση, έστω N , σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες ανοικτές καταστάσεις. Συγκεκριμένα, μία κλειστή κατάσταση βρίσκεται σε απόσταση M , όπου $M \leq N$, και μία ανοικτή κατάσταση βρίσκεται σε απόσταση L όπου $L = N$ ή $L = N+1$. Μία διάδοχος, έστω s_i , της υπό διερεύνηση κατάστασης βρίσκεται σε απόσταση $N+1$. Επομένως, εάν η s_i ανήκει ήδη στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ, η νέα διαδρομή προς αυτήν δεν είναι καλύτερη από την προηγούμενη. Εάν η s_i ανήκει στις ΚΛΕΙΣΤΕΣ η νέα διαδρομή προς αυτήν είναι χειρότερη από την προηγούμενη και επίσης υπάρχει το ενδεχόμενο η s_i να βρίσκεται ήδη στην υπό επέκταση διαδρομή και επομένως η εκ νέου συμπερίληψή της θα οδηγούσε σε κυκλική διαδρομή.

Εάν κάνατε την πιό πάνω ανάλυση στην απάντησή σας, τότε μπράβο σας, έχετε κατανοήσει πλήρως τις μεθόδους αναζήτησης σε βάθος και πλάτος. Εάν όχι, δεν πειράζει. Η ερώτηση ήταν κάπως δύσκολη. Μελετήστε όμως ξανά τις περιγραφές των δύο τυφλών μεθόδων αναζήτησης και των αλγορίθμων τους.

2.3

Στην ευρετική αναζήτηση, για κάθε κατάσταση, έστω s_i , κρατείται η καλύτερη διαδρομή από την αρχική κατάσταση, s_o , προς την τελική κατάσταση, s_g , διαμέσου της s_i . Η συνάρτηση αξιολόγησης αξιολογεί μία ολοκληρωμένη διαδρομή (από την αρχική προς την τελική κατάσταση), έστω και εάν το μέρος της διαδρομής από την s_i προς την s_g , είναι άγνωστο κατά την αξιολόγηση. Το σημείο διαφοράς στην αξιολόγηση των διαδρομών από την s_o στην s_g διαμέσου της s_i αφορά το γνωστό τους μέρος (την τιμή της συνάρτησης g) και όχι το άγνωστό τους μέρος (την τιμή της συνάρτησης h), το οποίο είναι το ίδιο για όλες τις διαδρομές. Επομένως, εάν η τιμή αξιολόγησης για τη νέα διαδρομή διαμέσου της s_i είναι καλύτερη από την προηγούμενη, αυτό σημαίνει ότι η νέα πορεία από την s_o προς την s_i (με την κατάσταση s_j ως προκάτοχο της s_i) είναι καλύτερη από την προηγούμενη πορεία από την s_o προς την s_i , με κάποια άλλη κατάσταση, έστω s_j' ως προκάτοχο της s_i . Έτσι, η προκάτοχος της s_i θα γίνει η s_j . Εάν η s_i ανήκει ήδη στις ΚΛΕΙΣΤΕΣ, αυτό σημαίνει ότι έχει ήδη διερευνηθεί. Τυχόν άλλες καταστάσεις που έχουν την s_i ως προκάτοχο (επειδή μέχρι τώρα η πορεία προς αυτές από την s_o διαμέσου της s_i είναι η καλύτερη) θα εξακολουθούν να έχουν την

s_i ως προκάτοχό τους. Απλώς, η καλύτερη διαδρομή προς αυτές έχει βελτιωθεί ακόμη περισσότερο. Τι συμβαίνει όμως με κάποια κατάσταση, έστω s_n , στην οποία η κατάσταση s_i οδηγεί απευθείας, αλλά η s_i δεν αποτελεί την προκάτοχο της s_n ; Αυτό σημαίνει ότι η πορεία από την s_o προς την s_n , διαμέσου της s_i , δεν αποτελούσε την μέχρι τώρα καλύτερη διαδρομή προς την s_n . Όμως, με τη νέα εξέλιξη, δηλαδή την ανακάλυψη της νέας πορείας προς την s_i , τα πράγματα μπορεί να αλλάξουν προς το καλύτερο και για την s_n και τώρα η νέα πορεία προς την s_i να αποτελεί και την καλύτερη πορεία προς την s_n . Για να διερευνηθεί αυτό το ενδεχόμενο, η απλή κίνηση είναι να «ανοικτεί» ξανά η s_i , η οποία θα οδηγήσει στην επαναδιερεύνηση όλων των καταστάσεων στις οποίες η s_i οδηγεί απευθείας. Επομένως, η κίνηση είναι να μεταφερθεί η s_i από τις ΚΛΕΙΣΤΕΣ στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να συνδεθεί κάποια νέα διάδοχος στην s_i . Έτσι, σε περίπτωση που η s_i αποτελούσε αδιέξοδο, η νέα διάδοχος μπορεί να αναιρέσει το αδιέξοδο. Εάν όμως η s_i αποτελεί πραγματικό αδιέξοδο, τότε η κίνηση της επαναφοράς της στις ΑΝΟΙΚΤΕΣ οδηγεί σε σπατάλη.

Και αυτή η ερώτηση ήταν κάπως δύσκολη, έτσι μην απογοητεύεστε, εάν δεν βρήκατε την σωστή εξήγηση. Μελετήστε όμως προσεκτικά την πιο πάνω απάντηση για να σας βοηθήσει να κατανοήσετε καλύτερα τον αλγόριθμο A^* . Επίσης η Άσκηση Αυτοαξιολόγησης 2.5 θα σας βοηθήσει, διότι σε αυτή την Άσκηση χρειάζεται να εκτελέσετε τον αλγόριθμο A^* σε σχέση με ένα δεδομένο χώρο αναζήτησης.

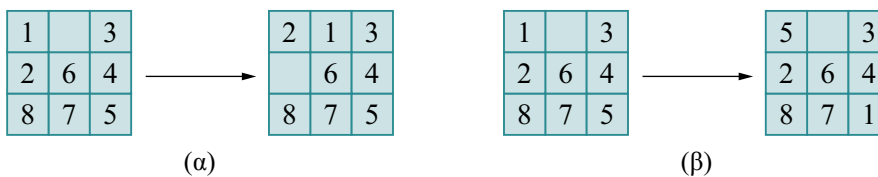
2.4

Τρία παραδείγματα ευρετικών για το πρόβλημα της «σπαζοκεφαλιάς του 8» είναι τα ακόλουθα:

1. Ο αριθμός των κύβων που δεν είναι στη σωστή θέση.
2. Ο αριθμός των δυάδων των κύβων που βρίσκονται σε αντίστροφες θέσεις.
3. Τρεις φορές τον αριθμό των κύβων που δεν είναι στη σωστή θέση, συν τον αριθμό των δυάδων των κύβων που βρίσκονται σε αντίστροφες θέσεις.

Το πρώτο ευρετικό οδηγεί σε παραδεκτή αναζήτηση, διότι για οποιαδήποτε κατάσταση δεν υπερεκτιμά το κόστος μετάβασης από εκείνη την κατάσταση στην τελική κατάσταση. Ο αριθμός κινήσεων είναι τουλάχιστον ίσος με τον αριθμό των κύβων που δεν είναι στις σωστές θέσεις και συνήθως είναι

πολύ μεγαλύτερος. Στην καλύτερη περίπτωση μία κίνηση θα βάλει ένα μόνο κύβο στη σωστή θέση. Στο Παράδειγμα (α) του Σχήματος 2.6 υπάρχουν δύο κύβοι σε λάθος θέσεις και όντως δύο κινήσεις αρκούν για να μπουν στις σωστές τους θέσεις. Όμως στο Παράδειγμα (β) του Σχήματος 2.6, που και πάλι μόνο δύο κύβοι βρίσκονται σε λάθος θέση (συγκεκριμένα βρίσκονται σε αντίστροφες θέσεις) χρειάζονται πολύ περισσότερες από δύο κινήσεις.



Η αδυναμία του πρώτου ευρετικού είναι ότι θεωρεί εξίσου δύσκολη τη μετακίνηση κάθε κύβου που δεν βρίσκεται στη σωστή θέση. Αυτό φυσικά δεν ευσταθεί, όπως τα πιο πάνω δύο παραδείγματα αποδεικνύουν. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν δύο κύβοι σε λάθος θέση, αλλά το πραγματικό κόστος μετακίνησης δεν είναι το ίδιο. Δυάδες κύβων που βρίσκονται σε αντίστροφες θέσεις, στην αρχική και τελική κατάσταση, αποτελούν ιδιαίτερες δύσκολες περιπτώσεις μετακίνησης, όπως σίγουρα θα έχετε διαπιστώσει, εάν έχετε προσπαθήσει να λύσει το πιο πάνω παράδειγμα της σπαζοκεφαλιάς. Το δεύτερο ευρετικό προσπαθεί να δώσει έμφαση σε αυτές τις ιδιαίτερες δύσκολες περιπτώσεις μετακίνησης, αγνοώντας όμως όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις. Έτσι καταστάσεις οι οποίες δεν έχουν δυάδες κύβων σε αντίστροφες θέσεις σε σχέση με την τελική κατάσταση, αξιολογούνται ως εξίσου καλές μια και στην καθεμιά ανατίθεται η τιμή 0 από την ευρετική συνάρτηση. Αυτό φυσικά δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, για παράδειγμα κατά πάσα πιθανότητα δεν θα είναι ίδιο το κόστος μετακίνησης για μία κατάσταση που έχει μόνο ένα κύβο σε λάθος θέση και σε μία κατάσταση που έχει πέντε κύβους σε λάθος θέση. Επομένως, αυτό το ευρετικό δεν παρέχει καθόλου καθοδήγηση σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν κύβοι σε αντίστροφες θέσεις. Το ευρετικό όμως οδηγεί σε παραδεκτή αναζήτηση, διότι για κάθε περίπτωση υποεκτιμά το πραγματικό κόστος μια και το θεωρεί μηδέν για περιπτώσεις που δεν έχουν δυάδες κύβων σε αντίστροφες θέσεις, και σε περιπτώσεις που υπάρχουν δυάδες κύβων σε αντίστροφες θέσεις, μία μόνο κίνηση δεν αρκεί για να φέρει και τους δύο κύβους στη σωστή θέση, και συνήθως χρειάζονται πολύ περισσότερες από δύο κινήσεις.

Τέλος, το τρίτο ευρετικό προσπαθεί να συνδυάσει τα προηγούμενα δύο ευρετικά, έτσι ώστε να αποφύγει τις αδυναμίες που συνδέονται με αυτά. Πρώτον, λαμβάνει υπόψη όλους τους κύβους που είναι σε λάθος θέσεις, αλλά θεωρεί ότι κατά μέσον όρον χρειάζονται τρεις κινήσεις για να τοποθετηθεί ο κάθε κύβος που βρίσκεται σε λάθος θέση στη σωστή του θέση. Δεύτερον, αναγνωρίζει ότι κύβοι που βρίσκονται σε αντίστροφες θέσεις αποτελούν μία ιδιαίτερος δύσκολη περίπτωση μετακίνησης, αποδίδοντας σε αυτές τις περιπτώσεις έναν επιπλέον συντελεστή κόστους. Το τρίτο ευρετικό παρέχει καλύτερη καθοδήγηση σε σχέση με τα προηγούμενα δύο διότι οδηγεί σε μία πιο ακριβή διαφοροποίηση των ανοικτών καταστάσεων. Όμως η χρήση αυτού του ευρετικού δεν οδηγεί απαραίτητως σε παραδεκτή αναζήτηση, μια και μπορεί να υπερεκτιμήσει το πραγματικό κόστος όπως συμβαίνει με το πρώτο παράδειγμα πιο πάνω.

3.1

Εδώ, όπως και για κάθε γνωστικό πεδίο, υπάρχει απεριόριστος αριθμός παραδειγμάτων. Πιθανότατα το δικό σας παράδειγμα να είναι πολύ πιο ενδιαφέρον από αυτό, που σας δίνεται παρακάτω. Οι βαθμολογίες φοιτητών στις διάφορες εξετάσεις και προγραμματιστικές ασκήσεις αποτελούν δεδομένα. Τα ποσοστά αποτυχίας, οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις αποτελούν πολύ χρήσιμες πληροφορίες. Τέλος, η εμπειρική γνώση αυτών που έχουν διδάξει εισαγωγικά μαθήματα στον προγραμματισμό λέει ότι άτομα που είναι ήδη εξοικειωμένα με τους υπολογιστές, αλλά όχι αναγκαστικά στον προγραμματισμό, κατανοούν τις διάφορες έννοιες προγραμματισμού πολύ πιο εύκολα από άτομα που δεν έχουν καθόλου εξοικείωση.

3.2

- **Θεωρητική γνώση:** Μαθηματικές μέθοδοι για την απόδειξη της ορθότητας ενός αλγόριθμου ή τον υπολογισμό της πολυπλοκότητάς του. Βασικές αρχές προγραμματισμού (π.χ. άρθρωση, αφαιρετικότητα, γενίκευση). Γνώση βασικών αλγοριθμικών δομών και βασικών δομών δεδομένων. Γνώση γενικών μεθόδων επίλυσης προβλημάτων και βασικών αλγορίθμων.
- **Γνώση από πηγές αναφοράς:** Δημοσιευμένοι αλγόριθμοι για συγκεκριμένα προβλήματα ή κατηγορίες προβλημάτων.
- **Γνώση περιστατικών:** Οι λύσεις μας σε διάφορα συγκεκριμένα προβλήματα. Σιγά σιγά, με τη συσσώρευση τέτοιων λύσεων μπορούμε να εντο-

πίσουμε κοινά στοιχεία και τελικά να επάγουμε, σε πιο αφηρημένο επίπεδο, μία γενική λύση για δεδομένη κατηγορία προβλημάτων, δηλαδή να δημιουργήσουμε διάφορα πλαίσια λύσεων ή σκελετικές λύσεις (solution templates or skeletal solutions).

- **Πρακτική γνώση:** Διάφορα ευρετικά για την αποσφαλμάτωση προγραμμάτων, για παράδειγμα «Εάν φαίνεται να μην υπάρχει πρόοδος στην εκτέλεση του προγράμματος, τότε διερεύνησε το ενδεχόμενο να έχει εμπλακεί σε κάποιο βρόγχο άπειρης διάρκειας ή να περιμένει κάποιες πληροφορίες από το χρήστη». Επίσης διάφορα ευρετικά αναφορικά με τη διάσπαση προβλημάτων σε υποπροβλήματα.
- **Μετα-γνώση:** Δείγματα στρατηγικής γνώσης είναι η γενική στρατηγική του «διαίρει και βασίλευε», καθώς επίσης πιο συγκεκριμένες στρατηγικές, που έχουμε αναπτύξει από μόνοι μας, όπως για παράδειγμα στρατηγικές επιλογής και προσαρμογής σκελετικών λύσεων σε νέα προβλήματα ή στρατηγικές δοκιμής και αξιολόγησης προγραμμάτων. Δείγματα στοχαστικής γνώσης είναι γνώση των ικανοτήτων μας ως προγραμματιστές και σε πιο γενικό επίπεδο είναι γνώση του τι προβλήματα μπορούν να επιλυθούν με αλγοριθμικό τρόπο.
- **Γνώση υποδομής:** Γνώση των υπολοίπων περιοχών της Πληροφορικής.
- **Γνώση άλλων τομέων:** Γνώση Μαθηματικών και Στατιστικής.
- **Αυτονόητη γνώση:** Δείγματα αυτονόητης γνώσης, τα οποία άπτονται άμεσα του προγραμματισμού είναι (σε σχέση με τη σχεδίαση ή συντήρηση προγραμμάτων) ότι η υλοποίηση μίας καθαρής συνάρτησης μπορεί να τροποποιηθεί ανεξάρτητα της χρήσης της, νοουμένου ότι η διασύνδεσή της παραμένει η ίδια ή (σε σχέση με αποσφαλμάτωση) ότι σε περίπτωση σφάλματος άρχισε τη διερεύνηση από τη χαμηλότερου επιπέδου εν ενεργεία διαδικασία προχωρώντας προς τα πίσω.
- **Αιτιολογική γνώση:** Η εκτέλεση ενός προγράμματος είναι μία (χρονική) διαδοχή καταστάσεων, όπου κάθε κατάσταση (εκτός της αρχικής) προκαλείται από την προηγούμενη με βάση κάποιο συμβάν, που έχει λάβει χώρα. Μία κατάσταση αποτελείται από τις εν ενεργεία μεταβλητές (καθολικές και τοπικές) και τις τιμές τους. Τα συμβάντα που προκαλούν αλλαγές σε μία κατάσταση και οδηγούν στη δημιουργία μίας καινούριας κατάστασης είναι αναθέσεις τιμών σε μεταβλητές, κλήσεις διαδικασιών ή τερματισμοί διαδικασιών. Σε ένα εσφαλμένο πρόγραμμα η διαδοχή κατα-

στάσεων δεν θα οδηγήσει στην ορθή τελική κατάσταση. Εάν το σφάλμα είναι βρόγχος άπειρης διάρκειας, τότε «ποτέ» δεν θα οδηγηθεί η διαδοχή σε τελική κατάσταση. Διαφορετικά μπορεί να οδηγηθεί σε τελική κατάσταση, αλλά τα αποτελέσματα να μην είναι τα ορθά, δηλαδή οι τελικές τιμές (καθολικών) μεταβλητών δεν είναι οι ορθές ή η διαδοχή των καταστάσεων (δηλαδή η εκτέλεση του προγράμματος) αναγκάστηκε να διακοπεί πρόωρα, διότι το τελευταίο συμβάν που επιχειρήθηκε δεν ήταν επιτρεπτό, όπως για παράδειγμα η προσπάθεια ανάθεσης τιμής σε μη υπαρκτή μεταβλητή. Η διαδοχή καταστάσεων δεν είναι τίποτα άλλο από μία αιτιολογική αλυσίδα, η οποία μας επιτρέπει να εξάγουμε διάφορα συμπεράσματα αναφορικά με την ομαλή ή μη ομαλή εκτέλεση του προγράμματος. Επομένως, η αιτιολογική σχέση, η οποία στην ουσία εμπλέκεται όπου υπάρχουν αλλαγές, αφορά τη δυναμική και όχι τη στατική όψη ενός προγράμματος, δηλαδή την εκτέλεσή του σε συγκεκριμένα συμφραζόμενα. Γενικά, η χρήση της αιτιολογικής σχέσης επιτρέπει την ανάλυση σε βάθος του τι συμβαίνει.

6.2

Η ανάστροφη συλλογιστική είναι συλλογιστική από πάνω προς τα κάτω. Ο απώτερος στόχος (η ενέργεια την οποία θέλουμε να εκτελέσουμε ή το συμπέρασμα στο οποίο θέλουμε να καταλήξουμε) σταδιακά διασπάται σε υποστόχους (η διάσπαση ενός στόχου αποτελεί ένα κόμβο τύπου «ΚΑΙ» στο δέντρο συλλογισμού), όπου μπορούν να υπάρχουν εναλλακτικοί τρόποι διερεύνησης κάποιου υποστόχου, δηλαδή να υπάρχουν διαφορετικοί κανόνες με το ίδιο δεξιό μέρος (επιλογές στο δέντρο συλλογισμού αποτελούν κόμβους τύπου «Η»). Επομένως, η ανάστροφη συλλογιστική είναι, τουλάχιστον αρχικά, εστιασμένη. Στη συνέχεια, και σύμφωνα με το βάθος και εύρος του συλλογισμού στον οποίο θα περιέλθει, ενδεχομένως η εστίαση να μην είναι τόσο προφανής, με άλλα λόγια η συσχέτιση του τρέχοντος υπο-υπο-...-στόχου με τον αρχικό στόχο να μην είναι άμεση. Το σημαντικό μειονέκτημα αυτής της συλλογιστικής όμως είναι ότι τυχόν δεδομένα στη μνήμη εργασίας, τα οποία δεν ταυτίζονται με τους επιδιωκόμενους στόχους και υποστόχους, απλά «αγνοούνται». Σε ένα σύστημα, το οποίο εφαρμόζει αυστηρή ανάστροφη συλλογιστική, η «πρωτοβουλία» ουσιαστικά ανήκει στο σύστημα, το οποίο οδηγεί το διάλογο με το χρήστη. Ο χρήστης περιορίζεται στο να απαντά τα ερωτήματα του συστήματος.

Το αντίθετο συμβαίνει με την ορθή συλλογιστική. Εδώ δεν υπάρχει εστίαση μιας και δεν υπάρχει συγκεκριμένος στόχος. Αφού η συλλογιστική οδηγείται από δεδομένα, θεωρητικά η εμπλοκή όλων των δεδομένων στο συλλογισμό είναι άμεση, με την παραδοχή ότι μπορούν να ταυτιστούν με προκείμενα κανόνων. Εάν όμως η δομή ελέγχου του διερμηνέα δίνει προτεραιότητα σε πιο πρόσφατα δεδομένα/συμπεράσματα, δεν αποκλείεται κάποια από τα αρχαιότερα δεδομένα να αγνοηθούν. Σε οποιαδήποτε περίπτωση αυτή η συλλογιστική είναι «ανοικτή» από την άποψη ότι η αλυσίδωση από τα αρχικά δεδομένα δεν περιορίζεται (δεν γνωρίζεται που μπορεί να καταλήξει ο συλλογισμός) και ενδεχομένως να υπάρχει συνεχής ροή νέων δεδομένων από έξω στη μνήμη εργασίας. Επομένως, σε ορθή συλλογιστική η πρωτοβουλία είναι στο χρήστη και όχι στο σύστημα. Ο χρήστης παρέχει τις πληροφορίες και το σύστημα «παθητικά» εξάγει συμπεράσματα.

Σε ένα ρεαλιστικό σύστημα συνήθως χρειάζονται και οι δύο μορφές συλλογιστικής. Η ορθή συλλογιστική, εφαρμοσμένη με κάπως ελεγχόμενο τρόπο, οδηγεί στον προσδιορισμό των αρχικών στόχων και τυχόν μετέπειτα αναθεωρήσεων αυτών, ενώ η διερεύνηση των τρεχόντων στόχων διεξάγεται με ανάστροφη συλλογιστική. Σε ένα τέτοιο «συνεργατικό» σχήμα, η ορθή συλλογιστική είναι απαγωγικής μορφής, ενώ η ανάστροφη συλλογιστική είναι συμπερασματικής μορφής, το γνωστό «υποθετικο–συμπερασματικό» σχήμα συλλογισμού.

Εάν η απάντησή σας κάνει την πιο πάνω συγκριτική ανάλυση, μπράβο σας. Όμως δεν πειράζει, εάν έχετε θίξει μερικά μόνο από τα σημεία. Οι σημασιολογικές διαφορές ανάμεσα σε ορθή και ανάστροφη συλλογιστική θα διαφανούν καλύτερα όπως προχωρεί η διαπραγμάτευση του παρόντος κεφαλαίου, καθώς επίσης με τη διαπραγμάτευση του κεφαλαίου 8.

6.3

Η υπολογιστική αποδοτικότητα αφορά το πρώτο βήμα του κύκλου, τη δημιουργία των συγκεκριμενοποιήσεων κανόνων που επαληθεύονται, ενώ η αποτελεσματικότητα συλλογισμού αφορά το δεύτερο βήμα, την επιλογή της επόμενης προς εκτέλεση συγκεκριμενοποίησης. Και τα δύο βήματα είναι κρίσιμα για την όλη απόδοση του εμπλεκόμενου συλλογισμού. Ας εξετάσουμε το καθένα από αυτά ξεχωριστά.

Σε μία ρεαλιστική βάση θα υπάρχουν αρκετές δεκάδες, ίσως και εκατοντάδες κανόνων. Επίσης, η μνήμη εργασίας μπορεί να είναι εκτενής με πολλές

συμβολικές εκφράσεις. Το πρώτο βήμα συνεπάγεται την ταύτιση του συνόλου των κανόνων, έναντι του συνόλου των συγκεκριμένων συμβολικών εκφράσεων στη μνήμη εργασίας, για να παραχθούν οι σχετικές συγκεκριμενοποιήσεις κανόνων. Στην πιο απλή περίπτωση, κάθε κανόνας περιέχει μόνο μία συμβολική έκφραση στο προκείμενό του. Εάν ο αριθμός κανόνων είναι K και ο αριθμός συμβολικών εκφράσεων στη μνήμη εργασίας είναι M , χρειάζονται KM ταυτίσεις. Εάν όμως υπάρχουν (κατά μέσον όρο) P συμβολικές εκφράσεις στα προκείμενα κανόνων, ο αριθμός των ταυτίσεων για έναν κανόνα είναι $M(M-1) \times \dots \times (M-P+1)$. Επομένως, η πολυπλοκότητα της διεργασίας που διεξάγεται είναι εκθετική, συγκεκριμένα $O(KM^P)$. Γι' αυτό το λόγο η ταύτιση πρέπει να γίνεται με έξυπνο τρόπο. Ο πιο γνωστός και αποδοτικός αλγόριθμος για αυτό το σκοπό είναι ο αλγόριθμος Rete^[2], ο οποίος χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο διερμηνέα της OPS5 και στη συνέχεια σε άλλες γλώσσες παραγωγής, όπως την CLIPS. Σε πολύ αδρές γραμμές η τεχνική που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος Rete είναι να «θυμάται» τις μερικές ταυτίσεις κανόνων και σε κάθε γύρο η διαδικασία ταύτισης να επεξεργάζεται μόνο τις τροποποιήσεις που έγιναν στη μνήμη εργασίας κατά τον αμέσως προηγούμενο γύρο.

Το επιθυμητό αναφορικά με το πρώτο βήμα του κύκλου είναι οι σχετικές συγκεκριμενοποιήσεις να παράγονται όσο γίνεται πιο γρήγορα. Αυτές αποτελούν ένα σύνολο ανταγωνισμού από το οποίο χρειάζεται να επιλεγεί μία. Η επιλογή καθοδηγείται από ευρετικά, σε γενικό καθώς και τοπικό επίπεδο. Είναι σημαντικό η κάθε επιλογή να είναι η «ορθότερη». Εάν η ορθή αλυσίδα υλοποιεί αναστροφή συλλογιστική, «ορθότερη» σημαίνει αυτή που οδηγεί γρηγορότερα στην επίτευξη του απώτερου στόχου. Σε ορθή συλλογιστική, όμως, η έννοια της «ορθότερης» είναι κάπως ανοικτή, αφού δεν υπάρχει συγκεκριμένος στόχος. Εδώ «ορθότητα» σημαίνει τα πιο χρήσιμα ή ενδιαφέροντα (ενδιάμεσα) συμπεράσματα.

Ο σκοπός αυτής της Δραστηριότητας δεν είναι να αποσπάσει από εσάς τις πιο πάνω πληροφορίες, αλλά να σας κάνει να προβληματιστείτε αναφορικά με τα δύο σημεία που θίγονται, αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα συλλογισμού. Επομένως, δεν αναμένεται ότι η απάντησή σας θα είναι τόσο αναλυτική όσο και η ενδεικτική απάντηση. Απλώς, θα πρέπει να καλύπτει την ουσία.

[2] C.Forgy, "Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Match Problem", *Artificial Intelligence*, 19, σελίδες 17–37, 1982.

7.1

Οι εξελίξεις στο τομέα της δικτύωσης και η επαναστατική ανάπτυξη του διαδικτύου, έχουν σημαντική απήχηση στην τεχνολογία των έμπειρων συστημάτων, όπως εξάλλου αναμενόταν. Η χρήση κάποιου έμπειρου συστήματος, και κατά συνέπεια η εξάπλωση της εν λόγω εμπειρογνωμοσύνης, σε παγκόσμια κλίμακα και με ελάχιστο κόστος, μπορεί να επιτευχθεί άμεσα, διαμέσου του διαδικτύου. Θα μπορεί να υπάρχει μόνο ένα αντίτυπο του συστήματος (το οποίο, με τις νέες εξελίξεις στο τομέα της ΤΝ, θα μπορεί να είναι κατανεμημένο) στο οποίο οποιοσδήποτε το επιθυμεί και μπορεί, θα έχει πρόσβαση. Οποιαδήποτε ενημέρωση σε αυτό το σύστημα θα είναι άμεσα διαθέσιμη σε όλους τους ενδιαφερόμενους. Ανάμεσα στα συστήματα πρώτης γενεάς το σύστημα CASNET, και συγκεκριμένα η εφαρμογή του στον τομέα της διαχείρισης ασθενών που πάσχουν από γλαύκωμα, ήταν πρωτοποριακό ως προς τη χρήση ειδικού δικτύου, του ONET, για πρόσβαση στο σύστημα, είτε προς συμβουλευτική διεργασία ή ενημέρωση της γνώσης του συστήματος.

7.3

Ένας ευφυής κριτικός ή φροντιστής θα πρέπει να είναι σε θέση να διεισδύει στο συλλογισμό του χρήστη του αναφορικά με τη λύση που ο χρήστης εισηγείται. Αυτό για να μπορεί το σύστημα να «κατανοεί» σε βάθος την προτεινόμενη λύση και επομένως να είναι σε θέση να διατυπώνει πειστικά την κριτική του ή να επανακατευθύνει αποτελεσματικά το συλλογισμό του μαθητή του. Έτσι ο ρόλος του κριτικού ή του φροντιστή έναντι του ρόλου του συμβούλου είναι πολύ πιο δύσκολος λόγω αυτής της επιπλέον διάστασης. Ο σύμβουλος δεν χρειάζεται να διεισδύει στο συλλογισμό του χρήστη του, απλά να παρουσιάζει με κατανοητό τρόπο το δικό του συλλογισμό. Ένας κριτικός ή φροντιστής χρειάζεται ως προϋπόθεση να είναι καλός σύμβουλος. Επομένως, ο κριτικός ή ο φροντιστής χρειάζεται να συνδιαλέγεται με το χρήστη του, ανάμεσα στα άλλα, για να «κατανοεί» το συλλογισμό του τελευταίου. Όπως θα δούμε στα πλαίσια της διαπραγμάτευσής μας αναφορικά με το σύστημα NEOMYCIN, για να είναι τυχόν τεκμηριώσεις εκ μέρους του συστήματος πειστικές και για να είναι ένα σύστημα σε θέση να «κατανοεί» σε κάποιο βαθμό το συλλογισμό του ανθρώπου-χρήστη του, ο συλλογισμός του συστήματος θα πρέπει να είναι συγκρίσιμος με αυτόν του ανθρώπου.

Δεν πειράζει, εάν η δική σας απάντηση δεν αναλύει το ρόλο του φροντιστή ή κριτή, όπως η ενδεικτική απάντηση. Εάν όμως έχετε εξασκήσει τέτοιους

ρόλους, πιθανότατα η δική σας απάντηση να είναι πολύ πιο διαφωτιστική.

8.1

Οι συνθήκες που αποτελούν τα προκείμενα των κανόνων και τα συμπεράσματά τους είναι της απλής μορφής «Η τιμή του χαρακτηριστικού X , του αντικειμένου A , ικανοποιεί το κατηγορημα K σε σχέση με την τιμή T », όπου το αντικείμενο A είναι μεταβλητή. Στο παράδειγμα του κανόνα που δίνεται στο Σχήμα 8.2, το κατηγορημα είναι «είναι». Αυτό είναι το συνηθέστερο κατηγορημα που χρησιμοποιείται, όπου απλά προσδιορίζεται η τιμή του χαρακτηριστικού. Υπάρχουν και κάποια άλλα κατηγορήματα, π.χ. «είναι_γνωστή» για τη διατύπωση ακόμη πιο απλών συνθηκών της μορφής «η τιμή του χαρακτηριστικού X του αντικειμένου A είναι γνωστή». Παραδείγματα χαρακτηριστικών από τον εν λόγω κανόνα είναι χρωματισμός, μορφολογία, σχήμα-ανάπτυξης και ταυτότητα, ενώ παραδείγματα τιμών είναι gram-ros, κοκκοειδής, αλυσιδοειδής και στρεπτόκοκκος. Το αντικείμενο σε αυτόν τον κανόνα είναι ο οργανισμός. Τέλος, η αβεβαιότητα που συνδέεται με το συμπέρασμα του κανόνα εκφράζεται ως μία αριθμητική τιμή.

Εάν εντοπίσατε επακριβώς τη δομή των κανόνων του MYCIN, μπράβο σας. Εάν όμως όχι, δεν πειράζει. Οι λεπτομέρειες θα αποσαφηνιστούν, καθώς προχωρεί η διαπραγμάτευση του κεφαλαίου.

8.3

Η ανάστροφη αλυσίδωση στην ουσία οδηγεί σε αναζήτηση σε βάθος, όπου μεθοδικά εξερευνούνται ενδελεχώς, σε κάποια σειρά, όλα τα ενδεχόμενα. Σε κάθε στάδιο της διερεύνησης υπάρχει συγκεκριμένος (υπο)στόχος. Αυτός μπορεί να μην είναι ο ορθός στόχος, με βάση τις υφιστάμενες πληροφορίες. Όμως δεν δίνεται η ευκαιρία στο χρήστη να ενημερώσει το σύστημα για αυτές τις πληροφορίες και ως εκ τούτου να βοηθήσει το σύστημα να αναθεωρήσει τον τρέχοντα στόχο του και να επανακατευθύνει το συλλογισμό του. Όπως εξετάσαμε στο κεφ. 2, η σημαντική αδυναμία της αναζήτησης σε βάθος είναι ότι μπορεί να «χαθεί» σε κάποια πορεία συλλογισμού. Στην περίπτωση του MYCIN δεν τίθεται τέτοιο θέμα, απλά επειδή ο χώρος αναζήτησης δεν έχει μεγάλο βάθος. Όμως, υπάρχει το ενδεχόμενο το σύστημα να ερωτήσει το χρήστη πολλές άσκοπες ερωτήσεις προτού αποσπάσει τις σημαντικές πληροφορίες για το υπό επίλυση πρόβλημα, οι οποίες θα το οδηγήσουν στην ορθή γραμμή συλλογισμού.

Το αντίθετο, δηλαδή ο χρήστης να οδηγεί την συνδιάλεξη, είναι εξίσου προβληματικό για τον απλό λόγο ότι ο μέσος χρήστης του συστήματος δεν θα είναι ο ίδιος έμπειρος και επομένως δεν θα είναι πιθανώς σε θέση να προσδιορίσει εκ των προτέρων όλες τις σημαντικές πληροφορίες αναφορικά με το πρόβλημα, ούτως ώστε το σύστημα να οδηγηθεί στα ορθά συμπεράσματα. Επομένως, ο κίνδυνος είναι να δοθούν ελλιπείς ή ανακριβείς πληροφορίες (συνήθως υπάρχει η τάση, όταν ο χρήστης δεν είναι ο ίδιος έμπειρος, να διατυπώνει τις πληροφορίες σε πολύ γενικό επίπεδο και ως εκ τούτου οι πληροφορίες να μην έχουν μεγάλη χρησιμότητα) και όμως να μη δίνεται η δυνατότητα στο σύστημα να προσπαθήσει να εκλεπτύνει αυτές τις πληροφορίες ή να αποσπάσει άλλες πληροφορίες.

Επομένως, το τι χρειάζεται είναι η δυνατότητα παρέμβασης στη συνδιάλεξη και από τις δύο πλευρές και το σύστημα και το χρήστη. Σημαντικές πληροφορίες που είναι γνωστές εκ των προτέρων από το χρήστη, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από το σύστημα για τη διατύπωση αρχικών στόχων και φυσικά το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να εξερευνά τους στόχους του και να θέτει σχετικά ερωτήματα προς το χρήστη. Εάν καθ' οδό ο χρήστης πιστεύει ότι η τρέχουσα γραμμή συλλογισμού θα πρέπει να αλλάξει και πάλι, θα πρέπει να του δίνεται η δυνατότητα να παραχωρήσει τις σχετικές πληροφορίες. Αυτή η μορφή μεικτής συνδιάλεξης εκδηλώνεται από το σύστημα PROSPECTOR.

Μην απογοητεύεστε, εάν δεν κάνατε την πιο πάνω ανάλυση. Τα ερωτήματα που σας είχαν τεθεί ήταν κάπως δύσκολα. Όταν μελετήσετε το σύστημα PROSPECTOR (ενότητα 8.2), τα σημεία που θίγονται πιο πάνω θα γίνουν περισσότερο αντιληπτά. Συγχαρητήρια φυσικά, εάν κάνατε αυτή την ανάλυση.

8.4

Σε ανάστροφη αλυσίδωση, κάθε κανόνας που ανήκει στο σύνολο ανταγωνισμού αναφέρει τον τρέχοντα (υπο)στόχο στο συμπέρασμά του (αυτή είναι η ερμηνεία της ανάστροφης αλυσίδωσης). Επομένως, κανόνες που αναφέρουν αυτό το στόχο και στο προκείμενό τους είναι «αυτό–αναφερόμενοι» (self-referencing), άλλως κυκλικοί κανόνες. Επομένως, είναι καλύτερα να δοθεί προτεραιότητα σε κανόνες που εμπλέκουν ανεξάρτητους υποστόχους στα προκείμενά τους.

Και αυτό το ερώτημα ήταν κάπως δύσκολο. Εάν απαντήσατε ορθά, μπράβο σας. Έχετε κατανοήσει πλήρως την έννοια της ανάστροφης αλυσίδωσης.

8.5

Το πρόβλημα εδώ δεν είναι η συνάρτηση ενημέρωσης των ΣΒ, αλλά η βάση γνώσης του συστήματος. Η βάση γνώσης δεν είναι συνεπής, διαφορετικά δεν θα έπρεπε να υπάρχει αυτή η αντίφαση, όπου δύο κανόνες με κάθετα αντίθετες εισηγήσεις ευσταθούν ταυτόχρονα.

8.7

Ο βαθμός εκδήλωσης ανάμεσα σε κατηγορία ασθενειών, K , και δεδομένη ένδειξη, E , είναι ο μικρότερος ανάμεσα στους βαθμούς εκδήλωσης των υποκατηγοριών της K και της E . Ο βαθμός εκδήλωσης υποδηλώνει πόσο αναγκαία είναι η E για την K και επομένως κατά πόσον η άρνηση της E επαρκεί για την άρνηση της K (βλέπε υποενότητα 8.3.3). Έστω ότι η K έχει δύο υποκατηγορίες, την K_1 και την K_2 , με αντίστοιχους βαθμούς εκδήλωσης για την E , 5 και 1. Η E είναι μεν αναγκαία για την K_1 , αλλά εμφανίζεται σπανίως σε περιστατικά της K_2 . Επομένως, θα ήταν σφάλμα να δοθεί ο βαθμός 5 στην K με αποτέλεσμα η κατηγορία να αναιρεθεί, μαζί με την υποκατηγορία K_2 , σε περίπτωση αναιρέσης της ένδειξης E .

Το αντίθετο συμβαίνει με το βαθμό διέγερσης. Εδώ επιλέγεται ο μέγιστος ανάμεσα στους βαθμούς των υποκατηγοριών ως ο βαθμός διέγερσης από την ένδειξη E στην κατηγορία K . Για παράδειγμα, εάν οι βαθμοί διέγερσης της E με τις υποκατηγορίες K_1 και K_2 είναι 5 και 1 αντιστοίχως, η παθογνωμονική σχέση ανάμεσα στην E και την K_1 πρέπει να «κληρονομηθεί» και από την κατηγορία K , διαφορετικά, και λανθασμένα, η επαλήθευση της E δεν θα οδηγήσει στην ενεργοποίηση της υπόθεσης της K και στη συνέχεια την αντικατάσταση της K με την K_1 .

Έτσι οι βαθμοί εκδήλωσης και διέγερσης, ανάμεσα σε ατομικές ασθένειες και ενδείξεις, σταδιακά διαδίδονται προς τα πάνω στην ιεραρχία ασθενειών.

Εάν η απάντησή σας συμφωνεί με την πιο πάνω, μπράβο, έχετε κατανοήσει τι αντιπροσωπεύουν οι βαθμοί εκδήλωσης και διέγερσης. Διαφορετικά, μελετήστε ξανά την ερμηνεία αυτών των βαθμών.

9.1

Και στα δύο συστήματα οι επεξηγήσεις παράγονται από τα αντίστοιχα δέντρα συλλογισμού. Επεξηγήσεις «Γιατί;» παράγονται με ανάβαση του δέντρου,

ενώ επεξηγήσεις «Πώς;» με κατάβαση του δέντρου. Ως εδώ όμως, τη χρήση δηλαδή κάποιας δενδροειδούς δομής, φτάνει η ομοιότητα ανάμεσα στα δύο μοντέλα επεξηγήσεων. Η σημαντική διαφορά ανάμεσά τους απορρέει από τη διαφορετική σημασιολογία των δέντρων συλλογισμού. Στο MYCIN οι κόμβοι του δέντρου αντιπροσωπεύουν στόχους της μορφής «Ποια είναι η τιμή του χαρακτηριστικού X του αντικειμένου A ;» και τα τόξα αντιπροσωπεύουν κανόνες (αντικειμένων). Στο NEOMYCIN οι κόμβοι στο δέντρο συλλογισμού αντιπροσωπεύουν ιδεατές εργασίες και τα τόξα μετα-κανόνες, δηλαδή στρατηγικές προς επίτευξη αυτών των εργασιών. Στο MYCIN αυτές οι στρατηγικές κρύβονται πίσω από τις συνθήκες στα προκείμενα των κανόνων (αντικειμένων).

Το MYCIN παρουσιάζει αλυσίδες κανόνων (αντικειμένων), ενώ το NEOMYCIN αλυσίδες μετα-κανόνων (στρατηγικών). Επιπλέον, το NEOMYCIN μπορεί να εκφράσει αυτές τις στρατηγικές σε αφηρημένο επίπεδο. Και στις δύο περιπτώσεις η ποιότητα των επεξηγήσεων εξαρτάται από την ποιότητα των κανόνων ή μετα-κανόνων. Λόγω της υπονοούμενης γνώσης σε σχέση με τους κανόνες του MYCIN, η ποιότητα των επεξηγήσεων του δεν κρίνεται ως ικανοποιητική. Απλά οι κανόνες του MYCIN δεν είναι επαρκώς αυτοεπεξηγηματικοί.

Οι μετα-κανόνες του NEOMYCIN αναπαριστούν ιδεατές στρατηγικές και επομένως είναι σαφώς πιο αυτοεπεξηγηματικοί. Η αναπαράσταση όμως αυτών των στρατηγικών σε μορφή κανόνων, παρά σε κάποια άλλη μορφή αναπαράστασης, π.χ. πλαίσια, ενδεχομένως και πάλι να οδηγεί σε προβλήματα υπονοούμενης γνώσης. Οι μετα-κανόνες διατυπώνουν στρατηγικές, αλλά πουθενά δεν διατυπώνονται οι τεκμηριώσεις αυτών των στρατηγικών. Με άλλα λόγια, είναι απύσχα η βαθύτερη γνώση αναφορικά με τη λογική και κατ' επέκταση ευέλικτη χρήση αυτών των στρατηγικών. Επομένως το NEOMYCIN είναι σε θέση να επεξηγήσει, διατυπώνοντας τη σχετική στρατηγική, γιατί εκτελεί κάποια εργασία. Δεν είναι όμως σε θέση να τεκμηριώσει τη χρήση αυτής της στρατηγικής έναντι άλλων εναλλακτικών στρατηγικών (των οποίων τα προκείμενα επίσης ευσταθούν) πέραν ίσως της μηχανιστικής επεξήγησης ότι η X στρατηγική έχει προτεραιότητα έναντι της Y στρατηγικής, επικαλούμενο δηλαδή την εκ των προτέρων διάταξη των μετα-κανόνων. Παρομοίως, δεν είναι σε θέση να δει πότε ενδείκνυται να παραβιαστεί κάποια στρατηγική, κτλ.

Συμπερασματικά, το MYCIN έχει υπονοούμενη στρατηγική γνώση. Το

NEOMYCIN έχει στρατηγική γνώση σε επίπεδο εργασιών και εναλλακτικών μεθόδων διεκπεραίωσης αυτών των εργασιών. Αυτό αποτελεί σημαντική βελτίωση έναντι του MYCIN. Όμως, το NEOMYCIN δεν έχει υψηλότερου επιπέδου στρατηγική γνώση (μετα-στρατηγική γνώση), που θα του επέτρεπε να αναπτύξει συλλογισμό σε σχέση με τις μεθόδους διεκπεραίωσης της υπό εκτέλεση εργασίας. Απλώς, οι σχετικοί μετα-κανόνες διερμηνεύονται με μηχανιστικό τρόπο, ενώ πίσω από την εκ των προτέρων διάταξή τους κρύβεται κάποια στρατηγική γνώση υψηλότερου επιπέδου. Έτσι, το NEOMYCIN παρέχει στρατηγικές επεξηγήσεις, αλλά όχι μετα-στρατηγικές επεξηγήσεις.

Εάν η απάντησή σας καλύπτει την ουσία της πιο πάνω συγκριτικής ανάλυσης, έχετε κατανοήσει πολύ καλά τη διάκριση ανάμεσα στους μετα-κανόνες του NEOMYCIN και τους κανόνες του MYCIN. Φυσικά, δεν αναμενόταν από εσάς να παρουσιάσετε μία λεπτομερή σύγκριση.

10.1

Η ανάλυση δειγμάτων τέτοιων διαλόγων αποσκοπεί στην απόσπαση της δομής τους και τη γενίκευση αυτών των δομών σε επίπεδο εργασιών συλλογισμού και στρατηγικών, με άλλα λόγια την ανακάλυψη του «δέντρου συλλογισμού», όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το ευρύτερο πεδίο έρευνας, το οποίο παρέχει τις σχετικές τεχνικές και εργαλεία προς αυτόν το σκοπό, ονομάζεται *ανάλυση ομιλίας ή ανάλυση πρωτοκόλλου* (discourse analysis or protocol analysis). Σε αδρές γραμμές, ο διάλογος είναι μία ακολουθία ερωτημάτων, ενδιάμεσων παρατηρήσεων και συμπερασμάτων. Όπως ήδη συζητήσαμε σε προηγούμενα κεφάλαια, η ακολουθία των ερωτημάτων δεν είναι τυχαία, αλλά πίσω από αυτήν κρύβεται ο συλλογισμός του έμπειρου. Έτσι, η ανάλυση ενός δείγματος διαλόγου στοχεύει στο να ανακαλύψει τη λογική πίσω από κάθε ερώτημα ή συμπέρασμα, καθώς επίσης και το πώς συσχετίζονται τα διάφορα ερωτήματα. Η ομαδοποίηση των ερωτημάτων οδηγεί στην ανακάλυψη βασικών εργασιών συλλογισμού (primitive reasoning tasks) και η συσχέτιση αυτών των ομάδων, στην εντόπιση στρατηγικών σε υψηλότερο επίπεδο. Η συσχέτιση των αναλύσεων ενός ενδεικτικού συνόλου δειγμάτων διαλόγου, σταδιακά οδηγεί στην ανακάλυψη εναλλακτικών στρατηγικών.

Μπράβο σας, εάν έχετε κάνει τη συσχέτιση ανάμεσα στα επίπεδα αφαιρετικότητας (σε αύξουσα σειρά), ακολουθία ερωτημάτων, δομή διαλόγου, εργασίες συλλογισμού και στρατηγική γνώση. Δεν πειράζει, όμως, εάν δεν έχετε

κάνει τη συσχέτιση. Απλά να την έχετε υπόψη, όταν εκπονείτε τη Δραστηριότητα 10.2.

10.2

Η μέθοδος της χαμηλής πιστότητας προσομοίωσης από τη μια «βοηθά» τον έμπειρο, με το να του διατυπώνει ρητά εκ των προτέρων τον κατάλογο ενεργειών που έχει στη διάθεσή του, και από την άλλη τον περιορίζει ως προς τις επιλογές του. Αυτός ο περιορισμός είναι δικαιολογημένος, εάν, στα πλαίσια του υπό ανάλυση προβλήματος, οποιαδήποτε άλλη ενέργεια δεν έχει νόημα απλά επειδή το αποτέλεσμα της δεν μπορεί να είναι γνωστό. Έμμεσα, μέσω του προσδιορισμού των δυνατών ενεργειών, με κάποιο τρόπο «κατευθύνεται» ο έμπειρος, αφού ο χώρος κινήσεών του είναι ο δεδομένος. Αυτή η μέθοδος δεν απαιτεί από τον έμπειρο να φανερώνει ταυτόχρονα τη σκέψη του. Έτσι σε τελική ανάλυση, η μέθοδος δεν θα πρέπει να είναι κουραστική για τον έμπειρο και ως εκ τούτου θα μπορούν να αναλυθούν αρκετά προβλήματα κατά την ίδια συνάντηση του αναλυτή με τον έμπειρο.

Η μέθοδος του καλαθιού, όπως όλες οι μέθοδοι χαμηλής και μεσαίας πιστότητας προσομοίωσης, επίσης συνεπάγεται κάποιους περιορισμούς. Ο περιορισμός της είναι ότι ο έμπειρος δε δικαιούται να επιλέξει ενέργειες, έστω από κάποιο κατάλογο, για την απόσπαση των πληροφοριών, αλλά απλά πρέπει να αντιδρά προς το εξελισσόμενο σκηνικό του προβλήματος, όπως αυτό διαφαίνεται από τη σειρά παρουσίασης των πληροφοριών που έχει επιλέξει ο αναλυτής. Αυτό το στοιχείο της μεθόδου έχει τα εξής θετικά: (α) Παρέχει τη δυνατότητα στον αναλυτή να «πειραματισθεί» με διαφορετικές (λογικές) σειρές παρουσίασης των πληροφοριών του ίδιου προβλήματος, είτε με τον ίδιο έμπειρο είτε με διαφορετικούς έμπειρους, για να δει κατά πόσον η σειρά της παρουσίασης των πληροφοριών έχει οποιαδήποτε επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα. (β) Μπορεί να θεωρηθεί ότι το τι αναμένεται από τον έμπειρο, η αντίδρασή του προς τις δεδομένες πληροφορίες, είναι λιγότερο κοπιαστική εργασία συλλογισμού από το να επιλέγει την επόμενη ενέργεια. Όμως το τελευταίο δεν είναι κατ' ανάγκη έτσι. Στην προηγούμενη μέθοδο, πέραν του επιβαλλόμενου περιορισμού, τον έλεγχο έχει ο έμπειρος, ο οποίος μπορεί να επικεντρωθεί στη γραμμική συλλογισμού που επιθυμεί και να επιλέγει ενέργειες αναλόγως. Στη μέθοδο του καλαθιού τον έλεγχο έχει ο αναλυτής. Εδώ υπάρχει αναλογία με τη διαδικασία του ορθού συλλογισμού (βλέπε κεφ. 6), όπου συνεχώς εξάγονται συμπεράσματα από τα δεδομένα χωρίς κατ' ανάγκη

να υπάρχει κάποια εστία συλλογισμού. Οι παρεχόμενες πληροφορίες αποτελούν ένα εξελισσόμενο πάζλ και ο έμπειρος χρειάζεται να συσχετίσει αυτά τα διάσπαρτα κομμάτια. Η συσχέτιση των κομματιών μπορεί να είναι αρκετά δύσκολη υπόθεση και σε τελική ανάλυση η λογική του έμπειρου μπορεί να χρειάζεται να διασκορπιστεί σε διάφορες εστίες. Το σοβαρό όμως επιχείρημα εναντίον αυτής της μεθόδου είναι η απαίτησή της, όπως ο έμπειρος, παράλληλα με τη διεξαγωγή της σκέψης του, παρουσιάζει αυτή τη σκέψη στον αναλυτή (thinking aloud). Υπάρχουν αποδείξεις ότι αυτή η ενδοσκοπική προσέγγιση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την τροποποίηση του περιεχομένου και της διαδικασίας της σκέψης.

Τέλος, η μέθοδος των 20 ερωτήσεων έχει πολλά κοινά με τη μέθοδο της χαμηλής πιστότητας προσομοίωσης. Η διαφορά αυτής της μεθόδου είναι ότι ο έμπειρος δεν περιορίζεται ως προς την επιλογή των ερωτήσεων, περιορίζεται όμως ως προς τον αριθμό των ερωτήσεων. Επίσης οδηγεί σε συγκεκριμένη δομή συλλογισμού, το δυαδικό δέντρο συλλογισμού.

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι δεν αναμενόταν από εσάς να κάνετε την πιο πάνω ανάλυση. Εάν αναφερθήκατε σε μερικά μόνο από τα σημεία που θίγονται, αυτό είναι υπέρ το δέον ικανοποιητικό.

10.3

Η επιλογή ενός κατάλληλου συνδυασμού τεχνικών βασίζεται κατά κύριο λόγο στην αλληλοσυμπλήρωσή τους. Αυτό συμβαίνει, διότι ο απώτερος στόχος είναι η διείσδυση σε όλες τις πτυχές της εμπειρογνωμοσύνης, από την οριοθέτησή της (ποιες είναι οι λειτουργίες των εμπειρών, ποια είναι τα όρια της γνώσης τους, κτλ.), τα τυπικά προβλήματα που την αφορούν και τα «μποτιλιαρίσματα» που εμπλέκονται. Το όλο πλάνο δράσεως αναφορικά με την απόσπαση δεδομένης εμπειρογνωμοσύνης μπορεί κάλλιστα να περιέχει τεχνικές συνεντεύξεων που στην ουσία αποτελούν εναλλακτικές μεθόδους για τον ίδιο σκοπό, διότι και πάλι υπάρχει αλληλοσυμπλήρωση. Επίσης, κάποιος πειραματισμός με εναλλακτικές τεχνικές ενδείκνυται μέχρι να διαφανεί ποια τεχνική είναι η πιο αποτελεσματική στα συγκεκριμένα συμφραζόμενα. Είναι σημαντικό και ο έμπειρος και ο αναλυτής να νοιώθουν άνετα με τη χρήση των δεδομένων τεχνικών.

Ως προς την καταρχήν οριοθέτηση, σε υψηλό επίπεδο, της εμπειρογνωμοσύνης, ένας κατάλληλος συνδυασμός τεχνικών είναι το φροντιστήριο και η εστιασμένη συνέντευξη. Στη συνέχεια μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική του

κρίσιμου περιστατικού, η οποία μπορεί να κεντρίσει το ενδιαφέρον του έμπειρου και να αποκαλύψει τα «μποτιλιαρίσματα» της εμπειρογνωμοσύνης του. Επαναφορά στα κρίσιμα περιστατικά μπορεί να γίνει αφότου αναλυθούν και τα πιο τυπικά περιστατικά, τα οποία θα καλύπτουν και την πλειοψηφία των πραγματικών περιστατικών. Για την ανάλυση των τυπικών περιστατικών μπορεί και πάλι να χρησιμοποιηθούν διάφορες τεχνικές όπως αναδρομική περιγραφή περιστατικού, ενδοσκόπηση, προσομοίωση σεναρίου προς τα εμπρός, κτλ. Παράλληλα, για εμβάθυνση σε συγκεκριμένη έννοια μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική της δομημένης συνέντευξης ή του δίδαξε πίσω. Εάν διαφανεί η ύπαρξη ιεραρχικών σχέσεων, η χρήση της τεχνικής του σκαλωτού πλέγματος ενδείκνυται για την απόσπαση όλων των σχετικών συσχετίσεων. Τέλος, εάν η εμπειρογνωμοσύνη αφορά διαγνωστικά προβλήματα, περιγραφική γνώση μπορεί να αποσπασθεί με τις τεχνικές του διαχωρισμού στόχων, επανακατάταξης, συστηματικών «σύμπτωμα-προς-λειτουργία» συνδέσεων και ενδιάμεσων βημάτων.

Η πιο πάνω δεν είναι η μοναδική απάντηση. Εάν έχετε ήδη κάποια εμπειρία στη διεξαγωγή συνεντεύξεων, κυρίως στα πλαίσια ανάπτυξης υπολογιστικών συστημάτων, πιθανότατα να έχετε πιο συγκεκριμένες απόψεις.

Γλωσσάρι ελληνικών όρων

Αδιέξοδο (deadlock)

Όταν δεν μπορεί να εφαρμοσθεί κανένας τελεστής δράσεως στην υπό διερεύνηση κατάσταση και η εν λόγω κατάσταση δεν αποτελεί τελική κατάσταση.

Αιτιολογικό μοντέλο (causal model)

Μοντέλο το οποίο αναπαριστά αιτιολογικές σχέσεις, είτε από αιτίες προς συνέπειες αυτών (προς τα εμπρός στο χρόνο) ή ανάστροφα, από συνέπειες προς πιθανές αιτίες αυτών (αντίθετα στο χρόνο).

Αλγόριθμος A* (A* algorithm)

Ο αλγόριθμος για ευρετική αναζήτηση (βλ. *όρο*).

Αναγωγή (resolution)

Ο συμπερασματικός κανόνας συλλογισμού, με βάση τον οποίο, από τα προκείμενα $\sim A \vee B$ και A μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα B . Είναι η εφαρμογή του κανόνα *modus ponens* σε clauses.

Αναζήτηση σε βάθος (depth-first search)

Γενική μέθοδος αναζήτησης, όπου δίνεται προτεραιότητα στις ανοικτές καταστάσεις που βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος από την αρχική κατάσταση (η λίστα των ανοικτών καταστάσεων χρησιμοποιείται σαν στοίβα). Προς αποφυγή ατέρμονων αναζητήσεων, μπορεί να τεθεί κάποιο μέγιστο όριο στο μήκος των διαδρομών.

Αναζήτηση σε πλάτος (breadth-first search)

Γενική μέθοδος αναζήτησης, όπου δίνεται προτεραιότητα στις ανοικτές καταστάσεις που βρίσκονται σε μικρότερο βάθος από την αρχική κατάσταση (η λίστα των ανοικτών καταστάσεων χρησιμοποιείται σαν ουρά). Η χρήση της, εφόσον είναι εφικτή, οδηγεί σε βέλτιστη λύση.

Αναζήτηση τομής (intersection search)

Μέθοδος αναζήτησης για δίκτυα συσχέτισης. Αρχίζοντας από τους κόμβους που αντιπροσωπεύουν τις έννοιες που εμπλέκονται σε δεδομένο ερώτημα, σκορπίζεται ενεργοποίηση σε άλλους κόμβους μέσω των σχετικών τόξων, με στόχο την εντόπιση σημείων στο δίκτυο, όπου τέμνονται οι αλυσίδες ενεργοποίησης.

Ανακάλυψη γνώσης από βάσεις δεδομένων (knowledge discovery in databases)

Σχετικά νέο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης, το οποίο συνδυάζει την εφαρμογή ευφυών (ευρετικών) τεχνικών και στατιστικών μεθόδων με στόχο την ανακάλυψη γνώσης από εκτενείς βάσεις δεδομένων. Ο όρος εξόρυξη δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ως συνώνυμος αυτού του όρου, ενώ ένας άλλος, πολύ συγγενικός όρος, είναι η ευφυής ανάλυση δεδομένων (*βλ. όρο*).

Αναπαράσταση γνώσης (knowledge representation)

Η έκφραση γνώσης σε τυπική, συμβολική μορφή.

Ανάστροφη αλυσίδωση (backward chaining)

Η εφαρμογή (διερμίνευση) κανόνων παραγωγής από το δεξιό προς το αριστερό τους μέρος, δηλαδή από το «Τότε» προς το «Εάν».

Ανάστροφη συλλογιστική (backward reasoning)

Συλλογιστική από πάνω προς τα κάτω, δηλαδή από στόχους προς συνθήκες για επίτευξη των εν λόγω στόχων.

Ανιχνευτής κανόνων (monitor for rules)

Η μία από τις δύο διαδικασίες που εμπλέκονται στη διερμίνευση κανόνων με ανάστροφη αλυσίδωση. Η άλλη διαδικασία είναι ο Ευρέτης αντικειμένων (*βλ. όρο*). Ο Ανιχνευτής καλείται (από τον Ευρέτη) να εξετάσει κατά πόσο δεδομένος κανόνας μπορεί να εφαρμοστεί και, εάν ναι, να τον εφαρμόσει.

Ανοικτή κατάσταση (open state)

Μη τελική κατάσταση στον υπό εξέλιξη χώρο αναζήτησης, η οποία δεν έχει ακόμη διερευνηθεί ή για την οποία ενδείκνυται εκ νέου διερεύνηση, επειδή η (τρέχουσα) προκάτοχός της έχει αλλάξει.

Αντίπαλος σύνδεσμος (opposing link)

Είδος συνδέσμου σε ένα σύστημα πλαισίων (*βλ. όρο*). Ένας αντίπαλος σύνδεσμος από το πλαίσιο Π_1 στο πλαίσιο Π_2 , διατυπώνει συνθήκες σύμφωνα με τις οποίες η διερεύνηση ενδείκνυται να μεταβιβαστεί από το πλαίσιο Π_1 στο πλαίσιο Π_2 .

Αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης (declarative/ procedural controversy)

Διάσημη αντιπαράθεση ανάμεσα στους υπέρμαχους του καθαρά περιγραφικού τρόπου αναπαράστασης γνώσης και τους υπέρμαχους του καθαρά διαδικασιακού τρόπου, η οποία διεξήχθη κατά την αρχική περίοδο της ανάπτυξης του πεδίου της αναπαράστασης γνώσης. Ο περιγραφικός τρό-

πος επικεντρώνεται στη στατική όψη της γνώσης (τι είναι η γνώση), ενώ ο διαδικασιακός τρόπος επικεντρώνεται στη δυναμική όψη της γνώσης (πώς χρησιμοποιείται η γνώση).

Απαγωγή (abduction)

Βασική μορφή συλλογισμού. Με βάση παρατήρηση άγνωστης αιτίας και θεωρία παράγεται υπόθεση προς εξήγηση της παρατήρησης.

Απλή κληρονομία (strict inheritance)

Κληρονομία ιδιοτήτων σε σχέση με αυστηρές ιεραρχίες (κάθε κόμβος έχει έναν και μοναδικό άμεσο προκάτοχο). Για κάθε κόμβο, υπάρχει μόνο ένα κανάλι ροής πληροφοριών προς αυτόν.

Άπληστη αναζήτηση (greedy search)

Μία ακραία περίπτωση ευρετικής αναζήτησης (βλ. *όρο*), όπου στην αξιολόγηση των ανοικτών καταστάσεων χρησιμοποιείται μόνο η ευρετική συνάρτηση, δηλαδή το μέχρι τώρα κόστος μεταβίβασης αγνοείται.

Απόδειξη μέσω αντίφασης (proof by contradiction)

Μέθοδος απόδειξης, σύμφωνα με την οποία, εάν χρειάζεται να αποδειχθεί το A , γίνεται η υπόθεση ότι ευσταθεί η άρνησή του ($\sim A$). Μετά αποδεικνύεται ότι η εν λόγω υπόθεση οδηγεί σε αντίφαση και ως εκ τούτου η υπόθεση αναιρείται και επομένως το A ευσταθεί.

Αποδοτικότητα απόκτησης (acquisitional efficiency)

Πρακτική ιδιότητα μίας αναπαράστασης, η οποία εξαρτάται από το πόσο κοντά είναι το συμβολικό επίπεδο της αναπαράστασης με το επίπεδο της γνώσης.

Απόσταση συλλογισμού (inference distance)

Μερική σχέση, από την οποία προκύπτει ότι η κατηγορία C_1 είναι πιο κοντά (συλλογιστικά) στην κατηγορία C_2 σε σχέση με την κατηγορία C_3 , εάν και μόνο εάν στην εν λόγω ιεραρχία υπάρχει μία διαδρομή από τη C_1 προς τη C_3 διαμέσου της C_2 .

Αποφασισιμότητα (decidability)

Θεωρητική ιδιότητα μίας αναπαράστασης. Υπάρχει αποφασισιμότητα, εάν οποιοδήποτε ερώτημα επαλήθευσης μπορεί να απαντάται θετικά ή αρνητικά.

Άρνηση ως αποτυχία (negation as failure)

Ένα γεγονός (ατομική πρόταση) θεωρείται ως αναληθές, εάν δεν μπορεί

να αποδειχθεί ότι είναι αληθές. Αυτή είναι η ερμηνεία που έχει αποδοθεί στην έννοια της άρνησης στο λογικό προγραμματισμό.

Αρχική κατάσταση (starting state)

Η κατάσταση, σε ένα χώρο αναζήτησης, που αντιπροσωπεύει τα αρχικά δεδομένα του προβλήματος.

Αρχιτεκτονική γενικευμένων εργασιών (generic tasks architecture)

Γενικευμένη αρχιτεκτονική, η οποία προτάθηκε από τον B. Chandrasekaran, και πρεσβεύει ότι τα κατασκευαστικά τεμάχια των έμπειρων συστημάτων δεύτερης γενεάς θα πρέπει να είναι γενικευμένες εργασίες, ούτως ώστε να εμφανίζεται ρητά η δομή ελέγχου του συστήματος σε επίπεδο εργασιών.

Ατομική πρόταση (atom)

Σε κατηγορηματική λογική, η ατομική πρόταση αποτελείται από ένα κατηγορήμα και τα ορίσματά του, τα οποία είναι όροι (βλ. *Όρος*).

Αυστηρή ιεραρχία (strict taxonomy)

Κάθε κόμβος δεν μπορεί να έχει περισσότερους του ενός άμεσους προκατόχους.

Αυτοματοποίηση συλλογισμού (automated reasoning)

Η τυπική μοντελοποίηση συλλογισμού και η υλοποίησή του σε μορφή υπολογιστικού συστήματος.

Αφαιρετικότητα δεδομένων (data abstraction)

Η διεργασία παραγωγής πληροφοριών σε πιο αφηρημένο επίπεδο, από τα αρχικά, πολύ συγκεκριμένα, δεδομένα. Εμφανίζεται ως μία εκ των τριών διεργασιών συλλογισμού στη μέθοδο της ευρετικής ταξινόμησης (βλ. *όρο*).

Βαθιά γνώση (deep knowledge)

Η γνώση των πρωτευόντων αρχών που διέπουν το γνωστικό πεδίο.

Βάση γνώσης (knowledge base)

Το σώμα γνώσης ενός συστήματος βάσης γνώσης. Αποτελεί τη μία εκ των τριών κεντρικών μονάδων που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα. Οι άλλες μονάδες είναι ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων και τα δεδομένα του προβλήματος.

Βασικές μορφές συλλογισμού (basic inferences)

Οι βασικές μορφές συλλογισμού είναι το συμπέρασμα, η απαγωγή και η

επαγωγή.

Γλώσσα αναπαράστασης γνώσης (knowledge representation language)

Γλώσσα προγραμματισμού η οποία ανήκει στη κατηγορία των δηλωτικών γλωσσών, ενσωματώνει κάποιο φορμαλισμό αναπαράστασης γνώσης και παρέχει τους σχετικούς μηχανισμούς συλλογισμού. Παραδείγματα τέτοιων γλωσσών είναι η CLIPS, η OPS5 και η PROLOG.

Γνώση δόμησης (structural knowledge)

Το ταξινομικό μοντέλο (βλ. *όρο*) στο σύστημα NEOMYCIN.

Γνώση υποστήριξης (support knowledge)

Το αιτιολογικό μοντέλο (βλ. *όρο*) στο σύστημα NEOMYCIN.

Δέντρο αναγωγής (resolution refutation tree)

Το δέντρο στο οποίο καταγράφεται η διεργασία της διαδικασίας της αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης (βλ. *όρο*).

Δέντρο αντικειμένων (context tree)

Η ιεραρχική μνήμη εργασίας (βλ. *όρο*) του συστήματος MYCIN.

Δέντρο ΚΑΙ / Ή (AND/OR tree)

Το δέντρο συλλογισμού που παράγεται από την ανάστροφη αλυσίδωση κανόνων σε ένα σύστημα παραγωγής. Ένας κόμβος ΚΑΙ αντιπροσωπεύει υποστόχους που απορρέουν από τις συνθήκες στο προκείμενο κανόνα, ενώ ένας κόμβος Ή αντιπροσωπεύει εναλλακτικούς κανόνες για τον ίδιο υποστόχο.

Δέντρο στόχων (goal tree)

βλ. *Δέντρο ΚΑΙ / Ή*.

Δεύτερη γενεά εμπειρων συστημάτων (second generation of expert systems)

Η δεύτερη γενεά εμπειρων συστημάτων διακρίνεται από σχεδιασμό προσανατολισμένο στο επίπεδο γνώσης και τη χρήση πολλαπλών μοντέλων και αντίστοιχων μηχανισμών συλλογισμού.

Διαδικασία αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης (resolution refutation procedure)

Μέθοδος απόδειξης μέσω αντίφασης (βλ. *όρο*), η οποία χρησιμοποιεί ένα και μοναδικό κανόνα συλλογισμού που είναι ο κανόνας της αναγωγής (βλ. *όρο*).

Διαδικασιακή αναπαράσταση (procedural representation)

Βασίζεται στην αρχή ότι «γνωστικό σύστημα» είναι αυτό, το οποίο γνωρίζει πώς να χρησιμοποιήσει τη γνώση του. Η αναπαράσταση είναι σε μορφή διαδικασιών, οι οποίες διατυπώνουν πώς χρησιμοποιείται η γνώση.

Διάδοχες καταστάσεις (successor states)

Οι διάδοχες καταστάσεις δεδομένης κατάστασης, s , είναι αυτές που έχουν την s ως προκάτοχό τους (βλ. *όρο*).

Διαδρομή (path)

Μία ακολουθία διαδοχικών καταστάσεων σε ένα χώρο αναζήτησης

Διαζευκτική κανονική μορφή (disjunctive normal form)

Μία πρόταση κατηγορηματικής λογικής είναι σε αυτή τη μορφή, εάν είναι διάζευξη συζεύξεων, όπου τα στοιχεία κάθε σύζευξης είναι κυριολεκτικά (βλ. *όρο*).

Διαθλαστικότητα (refractoriness)

Γενική στρατηγική ελέγχου, σύμφωνα με την οποία η ίδια συγκεκριμενοποίηση κανόνα δεν μπορεί να εφαρμοσθεί πέραν της μίας φορές.

Διαλογικό σύστημα (interactive system)

Σύστημα το οποίο χρειάζεται να εμπλακεί σε κάποιας μορφής συνδιάλεξη με το χρήστη του. Εναλλακτικός όρος είναι διαδραστικό σύστημα.

Διαμερισμένο δίκτυο συσχέτισης (partitioned associative network)

Επέκταση του βασικού φορμαλισμού των δικτύων συσχέτισης (βλ. *όρο*) με την προσθήκη διαμερίσεων. Μία διαμέριση εσωκλείει ένα δίκτυο συσχέτισης σε χαμηλότερο επίπεδο. Η επέκταση αυτή αποδίδει στο φορμαλισμό την ίδια δύναμη εκφρασιμότητας με την κατηγορηματική λογική.

Διαμεσολαβητής (agent)

Μία φυσική ή εικονική οντότητα, η οποία έχει την ικανότητα δράσεως σε δεδομένο περιβάλλον, μπορεί να επικοινωνήσει απευθείας με άλλες τέτοιες οντότητες, διαθέτει τους δικούς της πόρους, οδηγείται από συγκεκριμένες τάσεις, έχει ικανότητα περιορισμένης αντίληψης του περιβάλλοντός της, διότι έχει μερική ή και καθόλου αναπαράσταση αυτού του περιβάλλοντος, κατέχει επιδεξιότητες, μπορεί να προσφέρει υπηρεσίες και, τέλος, μπορεί να είναι σε θέση να αναπαράγει τον εαυτό της.

Διερμηνέας κανόνων (rule interpreter)

Σημαντικό μέρος της δομής ελέγχου (βλ. *όρο*) ενός συστήματος παραγω-

γής. Ο διερμηνέας εφαρμόζει κανόνες με βάση ορθή ή ανάστροφη αλυσίδωση (βλ. *αντίστοιχους όρους*).

Διευκόλυνση συμβολισμού (notational convenience)

βλ. *Αποδοτικότητα απόκτησης*.

Δίκτυο συλλογισμού (inference network)

βλ. *Δέντρο KAI / H*.

Δίκτυο συσχέτισης (associative network)

Περιγραφικός φορμαλισμός αναπαράστασης γνώσης. Αποτελείται από κόμβους και τόξα. Οι κόμβοι απεικονίζουν έννοιες, αντικείμενα και συμβάντα, ενώ τα τόξα δυαδικές σχέσεις. Ο φορμαλισμός δίνει έμφαση στη δόμηση της γνώσης, κυρίως από τη σκοπιά των εννοιών της «ιεραρχίας» και του «γεγονότος».

Δοκιμή Turing (Turing test)

Η δοκιμή που προτάθηκε από τον Άγγλο μαθηματικό Alan Turing, με βάση την οποία μπορεί να «αποδειχθεί», με εμπειρικό τρόπο, η ύπαρξη ή μη ύπαρξη ευφυΐας σε έναν υπολογιστή. Παρόλο που έχουν διατυπωθεί πολλά σημεία κριτικής για αυτή τη δοκιμή, μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί μία πιο αποδεκτή δοκιμή.

Δοκιμή και επιλογή (test and select)

Ο μηχανισμός πλοήγησης για προβλήματα ταξινόμησης (βλ. *όρο*). Η διάδοχος κατάσταση της υπό διερεύνηση κατάστασης επιλέγεται με βάση το αποτέλεσμα κάποιας δοκιμής. Η διάδοχος της υπό διερεύνηση κατάστασης αποτελεί εκλέπτυνση της τελευταίας.

Δομή ελέγχου (control structure)

Ο όρος μπορεί να θεωρηθεί ως συνώνυμος του όρου μηχανισμός συλλογισμού, παρόλο που έχει κυρίως χρησιμοποιηθεί σε σχέση με συστήματα παραγωγής για να προσδιορίσει το διερμηνέα κανόνων και τα σχετικά ευρετικά (καθολικά ή τοπικά (μετα-κανόνες)) για την επίλυση του προβλήματος του συνόλου ανταγωνισμού (βλ. *όρο*).

Δομή συμβόλων (symbol structure)

Αποτελείται από διάφορα σύμβολα (φυσικά πρότυπα), τα οποία συσχετίζονται με κάποιο φυσικό τρόπο, όπως το ένα είναι δίπλα στο άλλο.

Δύναμη εκφρασιμότητας (power of expression)

Τα είδη προτάσεων που δεδομένη γλώσσα επιτρέπει να εκφραστούν, με

άλλα λόγια οι σημασιολογικοί διαχωρισμοί που επιτρέπει να διατυπωθούν.

Εγκυρότητα (validity)

Αναγκαία θεωρητική ιδιότητα μίας αναπαράστασης. Υπάρχει εγκυρότητα, εάν δεν μπορούν να επαληθευτούν ταυτόχρονα p και $\sim p$.

Εξαγωγή απαντήσεων (answer extraction)

Η επέκταση της διαδικασίας της αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης (βλ. *όρο*), ούτως ώστε να εξάγονται χρήσιμες απαντήσεις σε πιο γενικά ερωτήματα. Η άρνηση της πρότασης-στόχου, στο δέντρο αναγωγής, αντικαθιστάται από τη σχετική ταυτολογία. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η ίδια ακολουθία αναγωγών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κενή πρόταση να αντικατασταθεί από συγκεκριμένη απάντηση.

Εξόρυξη δεδομένων (data mining)

βλ. *Ανακάλυψη γνώσης από βάσεις δεδομένων*.

Εκλέπτυνση από πάνω προς τα κάτω (top-down refinement)

βλ. *Δοκιμή και επιλογή*.

Έμπειρο σύστημα (expert system)

Σύστημα βάσης γνώσης, το οποίο «μοντελοποιεί» εκτενώς την εμπειρογνωμοσύνη ενός ή περισσότερων εμπείρων του σχετικού (εξειδικευμένου) τομέα. Η απόδοση του συστήματος στην επίλυση των εν λόγω ρεαλιστικών προβλημάτων πρέπει να είναι συγκρίσιμη με αυτήν των εμπείρων.

Ενεργοποιητικός σύνδεσμος (triggering link)

Ευρετικός σύνδεσμος, ο οποίος παρέχει καθοδήγηση ως προς την αρχική πλοήγηση σε ένα χώρο αναζήτησης. Σε ένα σύστημα πλαισίων (βλ. *όρο*), τέτοιοι σύνδεσμοι περιέχονται σε πλαίσια ελέγχου.

Ενοποίηση προτάσεων (unification of sentences)

Η ενοποίηση προτάσεων κατηγορηματικής λογικής, συνεπάγεται την αντικατάσταση μεταβλητών με όρους, ούτως ώστε οι δύο προτάσεις να γίνουν ταυτόσημες. Για να είναι επιτρεπτή η αντικατάσταση μίας μεταβλητής από έναν όρο (βλ. *Όρος*), ο εν λόγω όρος δεν πρέπει να περιέχει την εν λόγω μεταβλητή.

Επαγωγή (induction)

Βασική μορφή συλλογισμού. Με βάση πολλαπλές παρατηρήσεις και υποθέσεις αναφορικά με πιθανές συσχετίσεις, παράγεται θεωρία, δηλαδή μαθαίνεται νέα γνώση.

Επεξεργασία συμβόλων (symbolic processing)

Η επεξεργασία συμβολικών δομών (βλ. *Δομή συμβόλων*). Κάθε φορμαλισμός αναπαράστασης γνώσης συνεπάγεται την έκφραση γνώσης με βάση δεδομένες συμβολικές δομές.

Επεξήγηση «Γιατί;» (Why explanation)

Βασική μορφή επεξήγησης, σε σχέση με συστήματα ανάστροφης αλυσίδωσης, όπου ζητείται από το σύστημα να εκθέσει το λόγο που ερωτά κάτι ή που επιδιώκει κάποιο στόχο. Η επεξήγηση αποτελείται από τον κανόνα που συνδέει το ερώτημα/στόχο με το δεδομένο υπερστόχο. Διαδοχικές επεξηγήσεις «Γιατί;» έχουν ως αποτέλεσμα την ανάβαση του δέντρου ΚΑΙ / Ή.

Επεξήγηση «Πώς;» (How explanation)

Βασική μορφή επεξήγησης, σε σχέση με συστήματα ανάστροφης αλυσίδωσης, όπου ζητείται από το σύστημα να εκθέσει πώς έχει καταλήξει σε δεδομένο συμπέρασμα. Η επεξήγηση αποτελείται από τους κανόνες, η εφαρμογή των οποίων οδήγησε στο δεδομένο συμπέρασμα (με το δεδομένο βαθμό βεβαιότητας). Διαδοχικές επεξηγήσεις «Πώς;» έχουν ως αποτέλεσμα την κατάβαση του δέντρου ΚΑΙ / Ή.

Επιδέξια διαδικασία (procedural attachment)

Διαδικασία προσαρτημένη σε σχισμή πλαισίου, η οποία ενεργοποιείται αυτόματα με βάση σχετικές συνθήκες, π.χ. όταν γεμίσει η σχισμή (διαδικασία εάν-προσθεθεί) ή όταν αφαιρεθεί η τιμή της (διαδικασία εάν-αφαιρεθεί) ή όταν χρειάζεται να υπολογιστεί η τιμή της (διαδικασία εάν-χρειάζεται), κτλ.

Επίλυση προβλημάτων (problem solving)

Σημαντικό πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης, το οποίο ασχολείται με την επίλυση προβλημάτων μέσω αναζήτησης σε ένα (μεγάλο) χώρο καταστάσεων, όπου η αναζήτηση καθοδηγείται από ευρετικά.

Ευαισθησία (sensitivity)

Ικανότητα ενός συστήματος παραγωγής, το οποίο εφαρμόζει ορθή αλυσίδωση για γρήγορη ανταπόκριση σε αλλαγές του περιβάλλοντος, όπως αυτές διαφαίνονται στη μνήμη εργασίας (βλ. *όρο*).

Εύλογη υπόθεση (default)

Μία από τις βασικές όψεις σχισμών ενός πλαισίου. Διατυπώνει τιμή, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως η πραγματική τιμή, εφόσον δεν υπάρχουν

ενάντιες ενδείξεις.

Ευρέτης αντικειμένων (findout for objects)

Η μία από τις δύο διαδικασίες που εμπλέκονται στη διερμηνευση κανόνων με ανάστροφη αλυσίδωση. Η άλλη διαδικασία είναι ο Ανιχνευτής κανόνων (βλ. *όρο*). Ο Ευρέτης καλείται (αρχικά και στη συνέχεια από τον Ανιχνευτή) για να ανακαλύψει την τιμή (χαρακτηριστικού) δεδομένου αντικειμένου.

Ευρετική αναζήτηση (heuristic search)

Αναζήτηση η οποία καθοδηγείται από ευρετικά. Ο αλγόριθμος της μεθόδου ονομάζεται αλγόριθμος A*. Συγκεκριμένα, οι ανοικτές καταστάσεις αξιολογούνται με βάση κάποια συνάρτηση αξιολόγησης (βλ. *όρο*) και επιλέγεται προς διερεύνηση η κατάσταση η οποία έχει τη χαμηλότερη τιμή.

Ευρετική επάρκεια (heuristic adequacy)

Πρακτική ιδιότητα μίας αναπαράστασης, η οποία εξαρτάται από το πόσο διευκολύνεται η ανάκληση της γνώσης που άπτεται κάποιου προβλήματος, ούτως ώστε να εξάγονται τα σχετικά συμπερασματικά πορίσματα με αποδοτικό και αποτελεσματικό τρόπο.

Ευρετική συνάρτηση (heuristic function)

Η ευρετική συνάρτηση αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της συνάρτησης αξιολόγησης (βλ. *όρο*). Εφαρμόζεται σε ανοικτή κατάσταση για να «μαντέψει» το κόστος της μετάβασης από τη δεδομένη ανοικτή κατάσταση προς την κατάσταση στόχου.

Ευρετική ταξινόμηση (heuristic classification)

Γενική μέθοδος επίλυσης προβλημάτων αποτελούμενη από τρεις διεργασίες συλλογισμού: αφαιρετικότητα δεδομένων, ενεργοποίηση ευρετικών συνδέσμων και εκλέπτυνση λύσεων.

Ευρετικό (heuristic)

Ευρετικό είναι «κανόνας χειρός», κανόνας καλού μαντέματος για σκοπούς καθοδήγησης της διεργασίας επίλυσης προβλημάτων. Ένα ευρετικό δεν είναι απαραίτητα αλάνθαστο και η χρήση του δεν οδηγεί κατ' ανάγκη σε βέλτιστες λύσεις.

Ευρετικό «κατά-προτίμηση-μονάδα» (unit-preference heuristic)

Ευρετικό αναφορικά με τη διαδικασία της αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης, το οποίο εισηγείται να δίνεται προτίμηση σε γονικές προ-

τάσεις που αποτελούνται από ένα και μοναδικό κυριολεκτικό.

Ευρετικό «σύνολο–υποστήριξης» (set-of-support heuristic)

Ευρετικό αναφορικά με τη διαδικασία της αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης, το οποίο εισηγείται να δίνεται προτίμηση σε γονικές προτάσεις που ανήκουν στο σύνολο υποστήριξης. Το σύνολο υποστήριξης αποτελείται από την άρνηση της πρότασης–στόχου και όλες τις απογόνους της.

Ευφυής ανάλυση δεδομένων (intelligent data analysis)

Σχετικά νέο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης, το οποίο στοχεύει στην εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας από ένα σύνολο δεδομένων. Η πληροφορία μπορεί να αντιπροσωπεύει γνώση ή απλά πληροφορία σε πιο αφηρημένο επίπεδο, για συγκεκριμένο πρόβλημα (βλ. επίσης *Ανακάλυψη γνώσης από βάσεις δεδομένων*).

Ευφυής διαμεσολαβητής (intelligent agent)

Διαμεσολαβητής (βλ. *όρο*), ο οποίος κατέχει γνώση και έχει γνωστικές ικανότητες. Υπάρχει, όμως, και η αντίθετη άποψη ότι δεν χρειάζεται η ύπαρξη ευφυΐας σε ατομικό επίπεδο διαμεσολαβητών για να εκδηλώνεται ευφυής συμπεριφορά από μέρος ολόκληρου του συστήματος. Απλώς, κάθε διαμεσολαβητής χρειάζεται να κατέχει μηχανισμούς αντίδρασης προς τα γεγονότα. Οι μηχανισμοί αυτοί δεν οδηγούνται από οποιουδήποτε στόχους ή προγραμματισμό. Τέτοιοι διαμεσολαβητές είναι αντιδρώντες διαμεσολαβητές (reactive agents).

Ημι–αποφασισιμότητα (semi–decidability)

Εάν κάτι ευσταθεί, αυτό μπορεί όντως τελικά να αποδειχθεί, εάν όμως κάτι δεν ευσταθεί, το συμπέρασμα ότι δεν ευσταθεί μπορεί να μην εξαχθεί ποτέ. Η κατηγορηματική λογική έχει ημι–αποφασισιμότητα.

Ιεραρχικός σύνδεσμος (hierarchical link)

Σύνδεσμος, ο οποίος αντιπροσωπεύει ιεραρχική σχέση. Υπάρχουν δύο βασικές ιεραρχικές σχέσεις. Η σχέση «ΕΙΝΑΙ» (είναι–ένα–είδος–του) και η σχέση «ΕΙΝΑΙ_ΜΕΡΟΣ».

Ιεραρχικός χώρος αναζήτησης (hierarchical problem space)

Χώρος, όπου οι διασυνδέσεις ανάμεσα στις καταστάσεις είναι ιεραρχικής μορφής. Επίλυση προβλημάτων με ταξινόμηση (βλ. *όρο*) συνεπάγεται ιεραρχικό χώρο αναζήτησης, ο οποίος ορίζεται κυριολεκτικά εκ των προτέρων.

Ισοδυναμία προτάσεων (sentence equivalence)

Προτάσεις θεωρούνται ισοδύναμες, εάν έχουν την ίδια τιμή αλήθειας για οποιαδήποτε πιθανή ερμηνεία.

Καθολική ειδίκευση (universal specialization)

Κανόνας συλλογισμού, σύμφωνα με τον οποίο από τη γενική πρόταση $\forall x \Phi(x)$, μπορεί να εξαχθεί η συγκεκριμένη πρόταση $\Phi(A)$.

Καιροσκοπική αναζήτηση (opportunistic search)

Η μέθοδος επίλυσης προβλημάτων που εφαρμόζεται στο μοντέλο του μαυροπίνακα (βλ. *όρο*). Κάθε πηγή γνώσης αναμένει να εμφανιστεί η ευκαιρία στο μαυροπίνακα για να μπορέσει να εμπλακεί στη διεργασία επίλυσης του προβλήματος.

Καλώς σχηματιζόμενη πρόταση (well formed formula – wff)

Πρόταση, η οποία έχει συνταχθεί σύμφωνα με τους κανόνες σύνταξης της κατηγορηματικής λογικής. Συγκεκριμένα, κάθε ατομική πρόταση (βλ. *όρο*) είναι wff. Εάν A είναι wff, τότε $\sim A$, $\forall x A$ και $\exists x A$ είναι επίσης wff. Τέλος, εάν A και B είναι wff, τότε $A \wedge B$, $A \vee B$ και $A \Rightarrow B$ είναι επίσης wff. Μία wff είναι σημασιολογικά ορθή, εάν δεν περιέχει ελεύθερες μεταβλητές.

Κανόνας παραγωγής (production rule)

Κανόνας παραγωγής είναι μία πρόταση της μορφής «Εάν (προκείμενο) τότε (συμπέρασμα)» ή «Εάν (συνθήκη) τότε (ενέργεια)». Κανόνες παραγωγής αποτελούν τον πιο απλό φορμαλισμό αναπαράστασης γνώσης.

Κανόνας προπετάσματος (screening rule)

Κανόνας, ο οποίος αναπαριστά «κοινή γνώση», π.χ. «Εάν το άτομο είναι φύλου αρσενικού, τότε δεν μπορεί να είναι σε κατάσταση εγκυμοσύνης». Τέτοιοι κανόνες, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί στο σύστημα NEOMYCIN, στοχεύουν στην εξαγωγή αυτονόητων συμπερασμάτων και ως εκ τούτου στην αποτροπή μη λογικών ερωτήσεων εκ μέρους του συστήματος.

Κανόνας συλλογισμού (rule of inference)

Κανόνας με βάση τον οποίο μπορούν να εξαχθούν νέες προτάσεις από υφιστάμενες προτάσεις.

Κανονικές μορφές προτάσεων (canonical forms)

Κανονικές μορφές προτάσεων σε κατηγορηματική λογική είναι η συζευ-

κτική κανονική μορφή, η διαζευκτική κανονική μορφή και η clausal form (βλ. *αντίστοιχους όρους*).

Κατανεμημένη Τεχνητή Νοημοσύνη (Distributed Artificial Intelligence)

Το πεδίο της Κατανεμημένης Τεχνητής Νοημοσύνης στοχεύει στην ανάπτυξη οργανισμών συστημάτων, ικανών στην επίλυση προβλημάτων με συλλογισμό που βασίζεται κυρίως στην επεξεργασία συμβόλων. Το μοντέλο του μαυροπίνακα (βλ. *όρο*) αποτελεί πρωταρχικό παράδειγμα τέτοιων προσεγγίσεων, καθώς επίσης διάφορα μοντέλα που συνεπάγονται τη συνεργασία μίας κοινότητας ειδικών, π.χ. το σύστημα MDX. Τα συστήματα πολλαπλών ευφυών διαμεσολαβητών (βλ. *όρο*) αποτελούν την πιο πρόσφατη προσέγγιση αυτών των προσπαθειών.

Κατανεμημένος έλεγχος (distributed control)

Έλεγχος, ο οποίος δεν διεξάγεται εξ ολοκλήρου σε καθολικό επίπεδο αλλά κυρίως σε τοπικό επίπεδο, όπου αφορά συγκεκριμένα συμφραζόμενα, π.χ. στρατηγικές που αφορούν δεδομένη κατηγορία εννοιών και όχι όλες τις κατηγορίες. Κατανεμημένος έλεγχος συνήθως συνεπάγεται την προσάρτηση γνώσης συλλογισμού σε περιγραφική γνώση, δημιουργώντας έτσι δυναμικές και όχι απλά στατικές οντότητες, π.χ. οντότητες που αποτελούν διαμεσολαβητές (βλ. *όρο*).

Κατάσταση στόχου (goal state)

Επιθυμητή, τελική κατάσταση σε ένα χώρο αναζήτησης.

Κατηγορηματική λογική (predicate logic)

Περιγραφικός, μαθηματικός φορμαλισμός αναπαράστασης γνώσης, όπου η κεντρική έννοια είναι το κατηγορήμα και οι προτάσεις διατυπώνονται με κατηγορηματικό τρόπο.

Κλειστή κατάσταση (closed state)

Κατάσταση, σε ένα χώρο αναζήτησης, που επί του παρόντος θεωρείται ότι έχει διερευνηθεί.

Κληρονόμηση (inheritance)

Η μεταβίβαση ιδιοτήτων, από τα πάνω προς τα κάτω, σε μία ιεραρχική δομή. Υπάρχουν δύο βασικά είδη κληρονόμησης, απλή κληρονόμηση και πολλαπλή κληρονόμηση (βλ. *αντίστοιχους όρους*).

Κληρονόμηση-N (N-inheritance)

Αλγόριθμος απλής κληρονόμησης (βλ. *όρο*), όπου υπάρχει τριπλή προ-

σπέλαση της ιεραρχίας, από το εμπλεκόμενο σημείο προς τα πάνω. Κατά την πρώτη προσπέλαση εξετάζεται η όψη τιμές του σχετικού χαρακτηριστικού, κατά τη δεύτερη (εάν χρειαστεί) η όψη εάν-χρειάζεται και κατά την τρίτη (εάν χρειαστεί) η όψη εύλογη-υπόθεση. Η τριπλή προσπέλαση διαγράφει το γράμμα «N».

Κληρονόμηση-Z (Z-inheritance)

Αλγόριθμος απλής κληρονόμησης (βλ. *όρο*), όπου σε κάθε σημείο επίσκεψης (αρχίζοντας από το εμπλεκόμενο σημείο προς τα πάνω), εξετάζονται, στη σειρά, οι όψεις τιμές, εάν-χρειάζεται και εύλογη-υπόθεση του σχετικού χαρακτηριστικού. Η ταυτόχρονη εξέταση όλων των όψεων, σε δεδομένο σημείο επίσκεψης και μετά η ανάβαση στο πιο πάνω σημείο διαγράφει το γράμμα «Z».

Κύκλος «αναγνώρισε-ενέργησε» (recognize-act cycle)

Ο αλγόριθμος για ορθή αλυσίδωση σε ένα σύστημα παραγωγής. Επαναληπτικά δημιουργείται το σύνολο ανταγωνισμού (συγκεκριμενοποιήσεις κανόνων που μπορούν να εφαρμοστούν), επιλέγεται ένα μέλος του συνόλου και η ενέργειά του εκτελείται. Η επανάληψη τερματίζεται, όταν το σύνολο ανταγωνισμού είναι κενό ή η εκτέλεση οποιουδήποτε στοιχείου δεν οδηγεί σε πρόοδο.

Κυριολεκτικό (literal)

Ατομική πρόταση (βλ. *όρο*) ή η άρνηση ατομικής πρότασης, σε κατηγορηματική λογική.

Λειτουργική γνώση (operational knowledge)

Γνώση, η οποία εμπλέκεται άμεσα στην επίλυση προβλημάτων.

Λογική επάρκεια (logical adequacy)

Πρακτική ιδιότητα μίας αναπαράστασης, η οποία εξαρτάται από το κατά πόσον η αναπαράσταση επιτρέπει όλους τους απαιτούμενους σημασιολογικούς διαχωρισμούς.

Μεθοδολογία CommonKADS (CommonKADS methodology)

Ευρέως αποδεκτή μεθοδολογία τεχνολογίας γνώσης, η οποία προσβέπει τη χρήση πολλαπλών μοντέλων (με κεντρικό μοντέλο το μοντέλο της εμπειρογνωμοσύνης), την επαναχρησιμοποίηση, το διαχωρισμό της γνώσης και το σχεδιασμό που διατηρεί τη δομή της γνώσης.

Μέθοδος αναζήτησης (search method)

Η μέθοδος που εφαρμόζεται για την πλοήγηση ενός (μεγάλου μεγέθους)

χώρου αναζήτησης, με σκοπό την επίλυση δεδομένου προβλήματος.

Μεικτή αλυσίδωση (mixed chaining)

Η παράλληλη εφαρμογή ορθής και ανάστροφης αλυσίδωσης (βλ. *αντί-στοιχους όρους*).

Μερονομία (meronymy)

Ιεραρχική δομή, η οποία βασίζεται στη σχέση «ΕΙΝΑΙ_ΜΕΡΟΣ».

Μεσολαβητική αναπαράσταση (mediating representation)

Ενδιάμεση, μη υλοποιήσιμη αναπαράσταση, η οποία χρησιμοποιείται για την έκφραση ενός μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης (βλ. *όρο*), σε ιδεατό επίπεδο και όχι σε επίπεδο συμβόλων. Η μεσολαβητική αναπαράσταση πρέπει να είναι κατανοητή στους εμπειρους, για να είναι η χρήση της αποτελεσματική.

Μεταγλωττισμένη γνώση (compiled knowledge)

Υπάρχουν εναλλακτικές ερμηνείες του όρου, οι οποίες όμως συμφωνούν στο σημείο ότι μεταγλωττισμένη γνώση είναι ο μετασχηματισμός (πηγαίας, βαθύτερου επιπέδου) γνώσης σε λειτουργήσιμη γνώση (βλ. *όρο*), με στόχο την αποδοτική επίλυση προβλημάτων. Το σημείο «διαφωνίας» είναι ως προς την εμβέλεια της μεταγλωττισμένης γνώσης αναφορικά με το εν λόγω σύνολο προβλημάτων. Μία σχολή σκέψης πρεσβεύει ότι η εμβέλεια της δεν είναι κατ' ανάγκη καθολική, ενώ η άλλη ότι είναι καθολική.

Μετα-γνώση (meta-knowledge)

Γνώση αναφορικά με άλλη γνώση.

Μετα-κανόνας (meta-rule)

Κανόνας που καθοδηγεί την εφαρμογή άλλων κανόνων (π.χ. σύστημα MYCIN) ή ενσωματώνει στρατηγική γνώση (π.χ. σύστημα NEOMYCIN).

Μήτρα ομοιοτήτων (similarity matrix)

Το δίκτυο πλαισίων, σε ένα σύστημα πλαισίων, που απορρέει από τους αντίπαλους συνδέσμους (βλ. *όρο*).

Μηχανική μάθηση (machine learning)

Πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης που ασχολείται με την αυτοματοποίηση της διεργασίας της εκμάθησης και κυρίως έχει ασχοληθεί με την ανάπτυξη μεθόδων και τεχνικών για την αυτόματη παραγωγή γνώσης από βάσεις περιστατικών δεδομένου προβλήματος.

Μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων (inference engine)

Ο μηχανισμός συλλογισμού (*βλ. όρο*) ενός συστήματος βάσης γνώσης. Αποτελεί τη μία εκ των τριών κεντρικών μονάδων που απαρτίζουν ένα τέτοιο σύστημα. Οι άλλες μονάδες είναι η βάση γνώσης και τα δεδομένα του προβλήματος.

Μηχανισμός πλοήγησης (navigation mechanism)

βλ. Μέθοδος αναζήτησης.

Μηχανισμός συλλογισμού (reasoning mechanism)

Ο τρόπος εφαρμογής της περιγραφικής γνώσης ενός συστήματος βάσης γνώσης με στόχο την επίλυση προβλημάτων ή την απάντηση ερωτημάτων. Σε γενικότερο επίπεδο, μηχανισμός συλλογισμού μπορεί να θεωρηθεί μία μέθοδος επίλυσης προβλημάτων, η οποία επεξεργάζεται δομές συμβόλων.

Μνήμη εργασίας (working memory)

Ο χώρος όπου καταχωρούνται τα απευθείας δεδομένα και τα αποτελέσματα της εφαρμογής κανόνων, στα πλαίσια συγκεκριμένης συμβουλευτικής συνδιάλεξης ενός συστήματος παραγωγής.

Μνήμη παραγωγής (production memory)

Το σύνολο κανόνων παραγωγής που αποτελεί τη βάση γνώσης ενός συστήματος παραγωγής.

Μοντέλο αβεβαιότητας (uncertainty model)

Το πως μοντελοποιείται και επεξεργάζεται η αβεβαιότητα σε επίπεδο γνώσης και επίπεδο δεδομένων.

Μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης (expertise model)

Το μοντέλο των στοιχείων της εμπειρογνωμοσύνης εμπείρων, τα οποία μπορούν να εξωτερικευτούν. Αποτελείται κυρίως από αλληλοεπιδρώντα στρώματα περιγραφικής γνώσης και γνώσης συλλογισμού. Η μεθοδολογία CommonKADS (*βλ. όρο*) προτείνει τέσσερα είδη στρωμάτων γνώσης, ένα που αφορά περιγραφική γνώση και τρία που αφορούν γνώση συλλογισμού (βασικών συλλογισμών, εργασιών και στρατηγικών).

Μοντέλο μαυροπίνακα (blackboard model)

Το μοντέλο του μαυροπίνακα είναι ένα κατανεμημένο, ετερογενές, συνεργατικό σύστημα παραγωγής. Κεντρικές συνιστώσες του μοντέλου είναι ο μαυροπίνακας και οι πηγές γνώσης. Ο μαυροπίνακας είναι μία δομημένη μνήμη εργασίας, αποτελούμενη από πολλαπλά επίπεδα αφαιρετι-

κότητας και πολλαπλά στρώματα αφαιρετικότητας στο κάθε επίπεδο. Κάθε πηγή γνώσης είναι ένα ανεξάρτητο, αυτοδύναμο σύστημα για την επίλυση μέρους του προβλήματος, η ενεργοποίηση της οποίας βασίζεται σε διάφορες συνθήκες. Πηγή γνώσης μπορεί να είναι ένα σύστημα βάσης γνώσης, π.χ. ένα σύστημα παραγωγής ή κάποιας άλλης μορφής υπολογιστικό σύστημα. Η λειτουργία ενός συνόλου πηγών γνώσης διέπεται από τη λεγόμενη καιροσκοπική αναζήτηση (βλ. *όρο*).

Μορφή prenex (prenex form)

Μία πρόταση κατηγορηματικής λογικής είναι σε μορφή prenex, εάν δεν περιέχει ποσοδείκτες ύπαρξης, αλλά μόνο ποσοδείκτες καθολικότητας, οι οποίοι εμφανίζονται στην αρχή της πρότασης, αποτελούν το λεγόμενο πρόθεμα και έχουν την ίδια εμβέλεια, που είναι το υπόλοιπο μέρος της πρότασης, η λεγόμενη μήτρα.

Ολοκληρωτική διερεύνηση εργασίας (total task investigation)

Η διερεύνηση του ακολουθιακού χαρακτήρα της αναζήτησης πληροφοριών, που οδηγεί σε συμπεράσματα και αποφάσεις, με στόχο την απόσπαση των στρατηγικών αναζήτησης και των δομών μνήμης. Η εφαρμογή μίας τέτοιας μεθόδου συνεπάγεται την προσομοίωση του περιβάλλοντος της εν λόγω εργασίας. Με βάση τον τρόπο προσομοίωσης, οι μέθοδοι μπορεί να κατηγοριοποιηθούν σε υψηλής, μεσαίας και χαμηλής πιστότητας προσομοιώσεις.

Οντολογία (ontology)

Μία οντολογία αποτελείται από ένα σύνολο οντοτήτων (εννοιών ή αντικειμένων), τις ιδιότητες αυτών και τις μεταξύ τους σχέσεις. Η οντολογία επίσης ορίζει τους μετασχηματισμούς ανάμεσα σε αυτές τις οντότητες που συμβαίνουν κατά την εκτέλεση κάποιας εργασίας και περιγράφει τη γνώση που διέπει τέτοιους μετασχηματισμούς.

Οπισθοδρόμηση (backtracking)

Στη μέθοδο της αναζήτησης σε βάθος (βλ. *όρο*), η ανάκληση της τελευταίας επιλογής ενέργειας, όταν η αναζήτηση φτάσει σε αδιέξοδο ή όταν η υπό εξέταση διαδρομή έχει φτάσει στο όριο μήκους, ονομάζεται οπισθοδρόμηση. Αυτό σημαίνει ότι γίνεται ένα βήμα προς τα πίσω, στην υπό εξέταση διαδρομή και επιχειρείται μία νέα επιλογή.

Ορθή αλυσίδωση (forward chaining)

Η εφαρμογή κανόνων παραγωγής από το αριστερό προς το δεξιό τους μέρους. Με βάση τη σημασιολογία των κανόνων παραγωγής (βλ. *όρο*),

αυτή θεωρείται η ορθή κατεύθυνση εφαρμογής των κανόνων.

Ορθή συλλογιστική (forward reasoning)

βλ. Συλλογιστική οδηγούμενη από γεγονότα.

Όρος (term)

Σε κατηγορηματική λογική, ένας όρος είναι μια σταθερή, μεταβλητή ή συνάρτηση με τα ορίσματά της, τα οποία επίσης είναι όροι.

Όψη (facet)

Το γέμισμα των σχισμών ενός πλαισίου, για τη δημιουργία σχετικών συγκεκριμενοποιήσεων του πλαισίου, διέπεται από διάφορους περιορισμούς που δηλώνονται στις όψεις των σχισμών. Χαρακτηριστικές όψεις είναι οι τιμές, εύλογη υπόθεση και επιδέξιες διαδικασίες (*βλ. σχετικούς όρους*).

Παραδεκτή αναζήτηση (admissible search)

Μέθοδος αναζήτησης θεωρείται ως παραδεκτή, εάν εγγυάται βέλτιστη λύση. Η ευρετική αναζήτηση είναι παραδεκτή εάν για οποιαδήποτε κατάσταση η ευρετική συνάρτηση (*βλ. όρο*) δεν υπερεκτιμά το πραγματικό κόστος μετάβασης. Η αναζήτηση σε πλάτος είναι παραδεκτή, αφού μπορεί να θεωρηθεί ότι κάνει χρήση της ευρετικής συνάρτησης $h(s) = 0$.

Περιγραφική αναπαράσταση (declarative representation)

Η γνώση (για αντικείμενα, γεγονότα και εν γένει τις καταστάσεις του «κόσμου») εκφράζεται ανεξάρτητα της χρήσης της. Ένα καθαρά περιγραφικό σώμα γνώσης διερμηνεύεται με βάση κάποιους γενικούς κανόνες συλλογισμού.

Περιγραφική επαγωγή (descriptive learning)

Μέθοδος μηχανικής μάθησης (*βλ. όρο*), η οποία στοχεύει στην ανακάλυψη κατηγοριών.

Πηγή γνώσης (knowledge source)

Στο μοντέλο του μαυροπίνακα (*βλ. όρο*) η πηγή γνώσης είναι μία ανεξάρτητη αυτοδύναμη οντότητα, η οποία είτε έχει συντονιστικό ρόλο (control knowledge source) ή συμβάλει στην επέκταση της λύσης του προβλήματος (object knowledge source). Αυτή η έννοια μπορεί να θεωρηθεί ο πρόγονος της έννοιας του διαμεσολαβητή (*βλ. όρο*). Στη μεθοδολογία CommonKADS (*βλ. όρο*) οι πηγές γνώσης αντιπροσωπεύουν τις επεξεργασίες που εκτελούν οι βασικοί συλλογισμοί.

Πλαίσιο (frame)

Φορμαλισμός αναπαράστασης γνώσης, ο οποίος συνδυάζει περιγραφικό και διαδικασιακό τρόπο. Ένα πλαίσιο (ή πιο συγκεκριμένα ένα πλαίσιο αντικειμένου) είναι ένα δομημένο αντικείμενο, το οποίο αναπαριστά την ολότητα της γνώσης για κάποια έννοια, αφηρημένη ή συγκεκριμένη. Μέρος της γνώσης περιγράφει την έννοια και μέρος αφορά τη χρήση της. Δομικά ένα πλαίσιο αποτελείται από σχισμές (χαρακτηριστικά της έννοιας) και όψεις (στοιχεία των χαρακτηριστικών) (βλ. *Όψη, Σχισμή*). Σε ένα σύστημα πλαισίων (βλ. *όρο*) ορισμένα πλαίσια ελέγχουν τη χρήση άλλων πλαισίων. Αυτά είναι πλαίσια ελέγχου.

Πλαίσιο αντικειμένου (object frame)

βλ. *Πλαίσιο*.

Πλαίσιο ελέγχου (control frame)

βλ. *Πλαίσιο*.

Πληρότητα (completeness)

Αναγκαία, θεωρητική ιδιότητα μίας αναπαράστασης. Υπάρχει πληρότητα, εάν για κάθε p που είναι αληθές, μπορεί όντως να αποδειχθεί, αυτόνομα, ότι έτσι είναι.

Πολλαπλή κληρονόμηση (multiple inheritance)

Κληρονόμηση ιδιοτήτων σε σχέση με μη αυστηρές ιεραρχίες (κάθε κόμβος μπορεί να έχει πολλαπλούς άμεσους προκατόχους). Για κάθε κόμβο, μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα κανάλια ροής πληροφοριών προς αυτόν, με το ενδεχόμενο να υπάρχουν αντιφάσεις. Η έννοια της απόστασης συλλογισμού (βλ. *όρο*) μπορεί να εφαρμοστεί για την επιλογή της τιμής από ένα σύνολο αντιφατικών εισηγήσεων.

Ποσοδείκτης (quantifier)

Σε κατηγορηματική λογική υπάρχουν δύο ποσοδείκτες, ο ποσοδείκτης καθολικότητας, \forall (όλα, κάθε), και ο ποσοδείκτης υπαρξης, \exists (μερικά, υπάρχει).

Προβλεπτική επαγωγή (predictive learning)

Μέθοδος μηχανικής μάθησης (βλ. *όρο*), η οποία στοχεύει στην ανακάλυψη κανόνων για την αναγνώριση περιστατικών δεδομένων κατηγοριών.

Πρόβλημα αναγνώρισης (recognition problem)

Πρόβλημα, π.χ. διάγνωσης ή αποσφαλμάτωσης, όπου αιώτερος στόχος είναι η αναγνώριση της τελικής κατάστασης, παρόλο που μπορεί να έχει

σημασία το πόσο έγκαιρα ή αποτελεσματικά έχει γίνει η αναγνώριση και επομένως η διαδρομή που ακολουθήθηκε να έχει σημασία. Προβλήματα αναγνώρισης είναι προβλήματα ταξινόμησης (βλ. *όρο*).

Πρόβλημα αναπαράστασης (representation problem)

Μετα-πρόβλημα, το οποίο αφορά την επίλυση προβλημάτων μέσω αναζήτησης. Για δεδομένο πρόβλημα, το πρόβλημα αναπαράστασης συνεπάγεται τον προσδιορισμό του εν λόγω χώρου αναζήτησης (δομή καταστάσεων, αρχική και τελικές καταστάσεις, τελεστές δράσεως) και του μηχανισμού πλοήγησης σε αυτό το χώρο (μέθοδος αναζήτησης, ευρετικά).

Πρόβλημα πλαισίου (frame problem)

Το πώς περιγράφονται οι επιδράσεις μίας μη αθροιστικής ενέργειας σε μία οποιαδήποτε κατάσταση που την αφορά, πώς δηλαδή περιγράφονται οι αλλαγές που επέρχονται σε μία κατάσταση από την εφαρμογή της ενέργειας και ως εκ τούτου τι παραμένει ανεπηρέαστο.

Πρόβλημα σύνθεσης (constructive problem)

Χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα: (α) Ο χώρος αναζήτησης δεν ορίζεται κυριολεκτικά εκ των προτέρων και δεν είναι απαραίτητα ιεραρχικός, (β) η λύση συναρμολογείται από απλούστερα στοιχεία και αυτό διέπεται από διάφορους περιορισμούς και (γ) η διαδρομή προς την τελική κατάσταση έχει σημασία, διότι ουσιαστικά αυτή αποτελεί τη λύση (σχέδιο δράσεως). Προβλήματα σχεδιασμού, προγραμματισμού, χρονοδρομολόγησης, κτλ είναι αυτού του είδους.

Πρόβλημα ταξινόμησης (classification problem)

Χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα: (α) Ιεραρχικό χώρο αναζήτησης, ο οποίος ορίζεται κυριολεκτικά εκ των προτέρων, (β) η λύση επιλέγεται ανάμεσα στις ακραίες καταστάσεις που αποτελούν τις σχετικές κατηγορίες, δηλαδή το πρόβλημα αναγνωρίζεται ως περιστατικό κάποιας από αυτές τις κατηγορίες και (γ) η διαδρομή προς τη λύση δεν έχει αναγκαστικά σημασία. Προβλήματα διάγνωσης είναι αυτού του είδους.

Προκάτοχος κατάστασης (state predecessor)

Η προκατόχος, s' , της κατάστασης s , σε έναν υπό εξέλιξη χώρο αναζήτησης, είναι η κατάσταση η οποία οδηγεί απευθείας στην κατάσταση s και επί του παρόντος η διαδρομή από την αρχική κατάσταση προς την s μέσω της s' θεωρείται η καλύτερη.

Προσφατότητα (recency)

Γενική στρατηγική ελέγχου, σύμφωνα με την οποία δίνεται προτεραιό-

τητα σε συγκεκριμενοποιησεις κανόνων που αφορούν πιο πρόσφατα δεδομένα.

Πρώτη γενεά εμπειρων συστημάτων (first generation of expert systems)

Χρονικά τοποθετείται από το τέλος της δεκαετίας του 60 μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 70. Τα συστήματα πρώτης γενεάς χαρακτηρίζονται, κυρίως, από σχετική ομοιομορφία στο τρόπο αναπαράστασης της γνώσης τους και αντίστοιχη απλότητα στους μηχανισμούς συλλογισμού. Επίσης, χαρακτηρίζονται από πιο εκτενή χρήση συλλογισμού ταξινόμησης σε σχέση με συλλογισμό σύνθεσης, ενώ ο έλεγχος διεξάγεται κυρίως σε καθολικό επίπεδο.

Ρηχή γνώση (shallow knowledge)

Γνώση σε μορφή κανόνων θεωρείται ρηχή γνώση, επειδή η γνώση που συνδέει τα προκείμενα με τα συμπεράσματα των κανόνων είναι απύσχα.

Σκελετικό σύστημα (skeletal system)

βλ. Σύστημα κέλφους.

Σταθερότητα (stability)

Ικανότητα, ενός συστήματος βάσης γνώσης, επίδειξης συνοχής στη γραμμική συλλογισμού.

Στρατηγική γνώση (strategic knowledge)

Γνώση αναφορικά με τη διατύπωση και επίτευξη στόχων, την εκτέλεση εργασιών που συνδέονται με αυτούς τους στόχους. Στο σύστημα NEOMYCIN η στρατηγική γνώση αναπαριστάται μέσω εργασιών και υποεργασιών (ταξινομία εργασιών) και μετα-κανόνων.

Στρατηγική επεξήγηση (strategic explanation)

Επεξηγήσεις αναφορικά με την εφαρμογή στρατηγικών σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, καθώς επίσης διατύπωση στρατηγικών σε γενικό επίπεδο (*βλ. επίσης Στρατηγική επεξήγηση «Γιατί;»/«Πώς;»*).

Στρατηγική επεξήγηση «Γιατί;» (strategic Why explanation)

Μορφή επεξήγησης στο σύστημα NEOMYCIN. Ο χρήστης ερωτά, γιατί αποφασίσθηκε η εκτέλεση δεδομένης υποεργασίας. Το σύστημα τεκμηριώνει την απόφασή του παραθέτοντας το μετα-κανόνα, ο οποίος εκφράζει τη στρατηγική που συνδέει την εν λόγω υποεργασία με την σχετική εργασία.

Στρατηγική επεξήγηση «Πώς;» (strategic How explanation)

Μορφή επεξήγησης στο σύστημα NEOMYCIN. Ο χρήστης ερωτά, πώς

ήλθε σε πέρας δεδομένη εργασία. Το σύστημα εξηγεί παραθέτοντας τις ενέργειες των μετα-κανόνων, οι οποίοι είχαν εμπλακεί στην εκτέλεση της εν λόγω εργασίας.

Συγκεκριμενικότητα (specificity)

Γενική στρατηγική ελέγχου, σύμφωνα με την οποία δίνεται προτεραιότητα σε συγκεκριμενοποιήσεις κανόνων που αφορούν περισσότερα δεδομένα.

Συγκεκριμενοποίηση κανόνα (rule instantiation)

Η δέσμευση των μεταβλητών που περιέχονται στον κανόνα με συγκεκριμένες τιμές.

Συγκεκριμενοποίηση πλαισίου (frame instantiation)

Το γέμισμα των σχισμών για τη δημιουργία συγκεκριμένων περιπτώσεων της έννοιας που αντιπροσωπεύει το πλαίσιο.

Συζευκτική κανονική μορφή (conjunctive normal form)

Μία πρόταση κατηγορηματικής λογικής είναι σε αυτή τη μορφή, εάν είναι σύζευξη διαζεύξεων, όπου τα στοιχεία κάθε διάζευξης είναι κυριολεκτικά (βλ. *όρο*).

Συλλογιστική οδηγούμενη από γεγονότα (event-driven reasoning)

Η εφαρμογή αυτής της συλλογιστικής προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιων αρχικών δεδομένων (γεγονότων) στη μνήμη εργασίας. Συμπεράσματα/ενέργειες που απορρέουν από τα δεδομένα εξάγονται/εκτελούνται και έτσι νέα δεδομένα καταχωρούνται στη μνήμη εργασίας. Η εφαρμογή της συλλογιστικής επαναλαμβάνεται απροσδιόριστα, ενόσω καταχωρούνται νέα δεδομένα στη μνήμη εργασίας (είτε από το συλλογισμό που εκτελείται ή/και από έξω). Αυτή η συλλογιστική δεν έχει συγκεκριμένη εστία.

Συλλογιστική οδηγούμενη από στόχους (goal-driven reasoning)

Αυτή είναι συλλογιστική από πάνω προς τα κάτω. Η εφαρμογή της προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιου απώτερου στόχου (εστία του συλλογισμού), ο οποίος διαδοχικά διασπάται σε υποστόχους, καταλήγοντας σε υποστόχους οι οποίοι είναι άμεσα επιτεύξιμοι (η επίτευξή τους συνεπάγεται την εκτέλεση κάποιας στοιχειώδους εργασίας). Η διάσπαση του στόχου σε υποστόχους καταγράφεται σε ένα δέντρο στόχων.

Συμπέρασμα (deduction)

Βασική μορφή συλλογισμού. Με βάση υπόθεση (ή γεγονός) και θεωρία, εξάγονται συμπεράσματα (προβλέπονται παρατηρήσεις).

Συμπληρωματικός σύνδεσμος (complementary link):

Είδος συνδέσμου σε ένα σύστημα πλαισίων (βλ. *όρο*). Συνδέει ένα πλαίσιο με κάποιο άλλο, το οποίο αντιπροσωπεύει έννοια, συμπληρωματική ως προς την έννοια του πρώτου. Ο σύνδεσμος προσδιορίζει τη συνθήκη με βάση την οποία δικαιολογείται να επεκταθεί η αναζήτηση και στο άλλο πλαίσιο, διότι τα δύο μαζί πιθανώς να καλύπτουν καλύτερα τη συγκεκριμένη πραγματικότητα. Παράδειγμα συμπληρωματικών σχέσεων είναι οι αιτιολογικές σχέσεις.

Συνάρτηση αξιολόγησης καταστάσεων (evaluation function)

Η συνάρτηση, $f(s)=g(s)+h(s)$, η οποία αξιολογεί το πόσο υποσχόμενες είναι οι ανοικτές καταστάσεις σε ένα χώρο αναζήτησης. Η συνάρτηση g δίνει το πραγματικό «κόστος» μετάβασης από την αρχική κατάσταση στην ανοικτή κατάσταση s , ενώ η ευρετική συνάρτηση h , «μαντεύει» το κόστος μετάβασης από την s στην κατάσταση στόχου.

Συνάρτηση βαθμολόγησης (scoring function)

Η συνάρτηση, η οποία αξιολογεί τις αντίπαλες ενεργές υποθέσεις στο σύστημα INSTERNIST-1. Ο βαθμός συνοψίζει τις μαρτυρίες υπέρ (απευθείας ή περιστασιακά διαμέσου άλλων επιβεβαιωμένων υποθέσεων) και κατά δεδομένης υπόθεσης.

Συνάρτηση Skolem (Skolem function)

Σε μία πρόταση κατηγορηματικής λογικής, μία υπαρξιακά ποσοτικοποιημένη μεταβλητή, y , η οποία εξαρτάται από $n \geq 0$ καθολικά ποσοτικοποιημένες μεταβλητές, x_1, x_2, \dots, x_n , μπορεί να αντικατασταθεί από μία συνάρτηση, έστω g , με ορίσματα τις μεταβλητές x_1, x_2, \dots, x_n . Η συνάρτηση $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ονομάζεται συνάρτηση Skolem. Η ανάγκη για τέτοιες αντικαταστάσεις, υπαρξιακά ποσοτικοποιημένων μεταβλητών (εξάλειψη δεικτών ύπαρξης), εγείρεται στα πλαίσια του αλγόριθμου για το μετασχηματισμό προτάσεων σε συζευκτική κανονική μορφή.

Συνδυαστική έκρηξη (combinatorial explosion)

Η αύξηση, με εκθετικό ρυθμό, της ανάγκης σε μνήμη ή χρόνο. Η αναζήτηση σε πλάτος (βλ. *όρο*) χαρακτηρίζεται από συνδυαστική έκρηξη.

Συνεργατικό μοντέλο ειδικών (collaborative model of specialists)

Μοντέλο επίλυσης προβλημάτων, όπου η επίλυση διεξάγεται μέσω συνεργασίας μίας κοινότητας ειδικών. Το σύστημα MDX επιδεικνύει αυτό το μοντέλο, όπου οι ειδικοί είναι οργανωμένοι με ιεραρχικό τρόπο και η συνεργασία διεξάγεται με βάση συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Το μοντέλο του μαυροπίνακα (βλ. *όρο*), επίσης, αποτελεί ένα συνεργατικό μοντέλο. Σε αυτό όμως το μοντέλο δεν υπάρχει απευθείας επικοινωνία ανάμεσα στους ειδικούς (πηγές γνώσης).

Συνθετικό (connective)

Τα (λογικά) συνθετικά είναι η άρνηση (\sim ή \neg), ο σύνδεσμος (\wedge ή $\&$), η διάζευξη (\vee ή $|$) και η συνεπαγωγή (\Rightarrow ή \supset).

Σύνολο ανταγωνισμού (conflict resolution set)

Σύνολο αποτελούμενο από αντίπαλα στοιχεία, από τα οποία χρειάζεται να επιλεγεί ένα, συνήθως με μη ντετερμινιστικό τρόπο ή να απαλειφθούν όλα τα στοιχεία πλην ενός. Αυτό είναι το πρόβλημα της επίλυσης του συνόλου ανταγωνισμού.

Συντελεστής αναγκαιότητας (necessity factor)

Κάθε κανόνας στο σύστημα PROSPECTOR συνδέεται με έναν τελεστή αναγκαιότητας. Αυτή είναι μία αριθμητική τιμή, η οποία υποδηλώνει πόσο αναγκαία είναι η μαρτυρία, M , που εκφράζεται στο προκείμενο του κανόνα για την υπόθεση, Y , που εκφράζεται στο συμπέρασμα του κανόνα. Ο συντελεστής αναγκαιότητας αποσπάται από τον έμπειρο, αλλά θεωρητικά αντιπροσωπεύει την αναλογία πιθανοτήτων υπό συνθήκη, $P(\sim M/Y) / P(\sim M/\sim Y)$.

Συντελεστής βεβαιότητας (certainty factor)

Κάθε κανόνας στο σύστημα MYCIN συνδέεται με ένα συντελεστή βεβαιότητας. Αυτή είναι μία αριθμητική τιμή από το πεδίο $[-1,1]$. Θετική τιμή σημαίνει ότι η μαρτυρία, που εκφράζεται στο προκείμενο του κανόνα, είναι υπέρ της υπόθεσης, που εκφράζεται στο συμπέρασμα του κανόνα, στο δεδομένο βαθμό. Αρνητική τιμή σημαίνει ότι η μαρτυρία είναι εναντίον της υπόθεσης, στο δεδομένο, απόλυτο, βαθμό. Δεν υπάρχουν κανόνες με μηδενικό συντελεστή βεβαιότητας. Επίσης, δεν μπορεί η ίδια μαρτυρία να είναι ταυτόχρονα υπέρ και κατά της ίδιας υπόθεσης.

Συντελεστής διακλάδωσης (branching factor)

Ο μέσος όρος του αριθμού διαδόχων μίας κατάστασης σε ένα χώρο αναζήτησης.

Συντελεστής επάρκειας (sufficiency factor)

Κάθε κανόνας στο σύστημα PROSPECTOR συνδέεται με έναν τελεστή επάρκειας. Αυτή είναι μία αριθμητική τιμή, η οποία υποδηλώνει πόσο επαρκής είναι η μαρτυρία, M , που εκφράζεται στο προκείμενο του κανόνα.

να για την επαλήθευση της υπόθεσης, Y , η οποία εκφράζεται στο συμπέρασμα του κανόνα. Ο συντελεστής επάρκειας αποσπάται από τον έμπειρο, αλλά θεωρητικά αντιπροσωπεύει την αναλογία πιθανοτήτων υπό συνθήκη, $P(M/Y)/P(M/\sim Y)$.

Συστημικό γραμματικό δίκτυο (systemic grammar network)

Είδος μεσολαβητικής αναπαράστασης (βλ. *όρο*), που έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση ποιοτικών δεδομένων, καθώς επίσης για τον ορισμό και την ταξινόμηση εννοιών.

Σύστημα απόκτησης γνώσης (knowledge acquisition system)

Σύστημα για την αποσφαλμάτωση και την επέκταση της γνώσης ενός έμπειρου συστήματος. Είναι σύστημα βάσης γνώσης, όπου η γνώση του είναι μετα-γνώση αναφορικά με την οργάνωση και σημασιολογία της βάσης γνώσης του έμπειρου συστήματος. Λειτουργεί με την υπόθεση ότι μόνο το περιεχόμενο της βάσης γνώσης του έμπειρου συστήματος χρειάζεται να τροποποιηθεί για να βελτιωθεί η απόδοσή του και όχι ο τρόπος με τον οποίο αυτή η βάση έχει οργανωθεί.

Σύστημα βάσης γνώσης (knowledge-based system)

Σύστημα του οποίου οι κεντρικές μονάδες είναι η βάση γνώσης (εκφρασμένη με συμβολικό τρόπο), ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων και η βάση δεδομένων του προβλήματος. Ο μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων εφαρμόζει γνώση σε σχέση με τα δεδομένα του προβλήματος με στόχο την επίλυση του προβλήματος. Έμπειρα συστήματα είναι κατεξοχήν παραδείγματα συστημάτων βάσης γνώσης.

Σύστημα Γενικής Επίλυσης Προβλημάτων (General Problem Solver)

Οι Newell και Simon, κατά την αρχική περίοδο ανάπτυξης του πεδίου της Τεχνητής Νοημοσύνης, επεχείρησαν να δημιουργήσουν ένα σύστημα το οποίο θα μπορούσε να επιλύσει οποιοδήποτε πρόβλημα σε οποιοδήποτε τομέα. Αυτή η πολύ φιλόδοξη προσπάθεια αποδείχθηκε μάταια. Αυτή η αποτυχία, όμως, οδήγησε στη ριζική αλλαγή προσανατολισμού στους στόχους του πεδίου με βάση την αποδοχή ότι στην επίλυση προβλημάτων ουσιαστικό ρόλο παίζει η γνώση και δεν αρκούν μόνο ισχυρές γενικές μέθοδοι αναζήτησης ή ισχυρά, γενικής εφαρμογής, ευρετικά.

Σύστημα επεξηγήσεων (explanation system)

Στοχεύει στην παρουσίαση του συλλογισμού ενός έμπειρου συστήματος αναφορικά με δεδομένη συμβουλευτική συνδιάλεξη. Οι επεξηγήσεις είναι δύο βασικών ειδών. Το ένα είδος (επεξηγήσεις «Γιατί;») στοχεύει στην

απόσπαση της λογικής που κρύβεται πίσω από τις ενέργειες του συστήματος (επιλογή στόχων, εκτέλεση εργασιών, ερωτήματα, κτλ.). Το άλλο είδος (επεξηγήσεις «Πώς;») στοχεύει στην απόσπαση της τεκμηρίωσης των συμπερασμάτων του συστήματος. Συστήματα επεξηγήσεων αναπτύχθηκαν κυρίως σε σχέση με συστήματα παραγωγής. *Βλ. επίσης Επεξήγηση «Γιατί»/«Πώς;» και Στρατηγική επεξήγηση «Γιατί;»/«Πώς;».*

Σύστημα κέλφους (empty system)

Στοχεύει στην ημι-αυτοματοποίηση της δημιουργίας νέων έμπειρων συστημάτων. Μέσω του ενσωματωμένου υποσυστήματός του για απόκτηση γνώσης (*βλ. όρο*), καθοδηγεί την εκ του μηδενός δημιουργία μίας νέας βάσης γνώσης για κάποιο νέο γνωστικό πεδίο. Πέραν του υποσυστήματος απόκτησης γνώσης, ένα σύστημα κέλφους παρέχει διάφορους μηχανισμούς για την παρακολούθηση της πορείας εξέλιξης της υπο δημιουργία βάσης γνώσης.

Σύστημα παραγωγής (production system)

Σύστημα βάσης γνώσης (*βλ. όρο*), του οποίου η γνώση εκφράζεται εξ ολοκλήρου σε μορφή κανόνων.

Σύστημα πλαισίων (frame system)

Ένα οργανωμένο σύνολο πλαισίων (*βλ. Πλαίσιο*), ελέγχου και αντικειμένων, για συγκεκριμένο σκοπό. Αποτελεί ένα χώρο αναζήτησης, όπου απώτερος στόχος είναι η δημιουργία συγκεκριμενοποιησεων πλαισίων αντικειμένων, οι οποίες συλλογικά παρέχουν τη λύση του προβλήματος.

Σύστημα πολλαπλών διαμεσολαβητών (multi-agent system)

Αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία: (1) Ένα περιβάλλον, δηλαδή ένα χώρο που συνήθως έχει όγκο, (2) ένα σύνολο παθητικών αντικειμένων, τα οποία είναι τοποθετημένα στο περιβάλλον και μπορούν να γίνουν αντιληπτά, να δημιουργηθούν, να καταστραφούν ή να τροποποιηθούν από διαμεσολαβητές, (3) ένα σύνολο ενεργών οντοτήτων, τους διαμεσολαβητές (*βλ. Διαμεσολαβητής, Ευφυής διαμεσολαβητής*), (4) ένα σύνολο σχέσεων για το συσχετισμό αντικειμένων και διαμεσολαβητών, (5) ένα σύνολο λειτουργιών με βάση τις οποίες οι διαμεσολαβητές ενεργούν (αντιλαμβάνονται, παράγουν, καταναλώνουν, μετασχηματίζουν, επεξεργάζονται) σε αντικείμενα και (6) τους κανόνες του «σύμπαντος» που διέπουν τη διεπαφή του συστήματος με τον υπόλοιπο κόσμο.

Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (decision-support system)

Υπολογιστικό σύστημα, η λειτουργία του οποίου βοηθά τον άνθρωπο στη

λήψη δεδομένων αποφάσεων. Έμπειρα συστήματα, τα οποία ασκούν το ρόλο του συμβούλου, είναι συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Τέτοια συστήματα κάνουν εισηγήσεις, αλλά η τελική απόφαση επαφίεται στον άνθρωπο.

Σύστημα φυσικών συμβόλων (physical symbol system)

Αποτελεί, σε αφηρημένο επίπεδο, την αντίληψη των συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης. Οι συνιστώσες του είναι (1) ένα σύνολο οντοτήτων, τα σύμβολα, τα οποία οργανώνονται με φυσικό τρόπο σε δομές συμβόλων, και (2) ένας αριθμός διεργασιών, οι οποίες επεξεργάζονται δομές συμβόλων. Σύστημα φυσικών συμβόλων είναι μία μηχανή η οποία παράγει με το χρόνο μία εξελισσόμενη συλλογή δομών συμβόλων.

Σχισμή (slot)

Αντιπροσωπεύει χαρακτηριστικό δεδομένου πλαισίου. Καλείται σχισμή επειδή σε αφηρημένο επίπεδο είναι ένας κενός χώρος. Η συγκεκριμενοποίηση του πλαισίου (βλ. *όρο*) συνεπάγεται το γέμισμα της σχισμής, την ανάθεση συγκεκριμένης τιμής στο εν λόγω χαρακτηριστικό.

Ταξινομία (taxonomy)

Ιεραρχική δομή, η οποία βασίζεται στη σχέση «ΕΙΝΑΙ».

Ταξινομικό μοντέλο (taxonomic model)

Μοντέλο το οποίο βασίζεται σε ταξινομίες.

Τελική κατάσταση (final state)

Κατάσταση, σε ένα χώρο αναζήτησης, η οποία δεν έχει διαδόχους. Επιθυμητές τελικές καταστάσεις αποτελούν καταστάσεις στόχου, ενώ μη επιθυμητές τελικές καταστάσεις αποτελούν αδιέξοδο ή, γενικότερα, σημεία προς αποφυγή.

Τελεστής δράσης (action operator)

Τελεστής που οδηγεί από μία κατάσταση σε κάποια άλλη, σε ένα χώρο αναζήτησης. Εκφράζεται ως «Προκείμενο → Ενέργεια».

Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence)

Η μελέτη του πώς να κάνουμε τον υπολογιστή να πράξει κάτι που επί του παρόντος ο άνθρωπος μπορεί να πράξει καλύτερα.

Τεχνική συνέντευξης (interview technique)

Η διεργασία της απόσπασης κάποιου μοντέλου εμπειρογνωμοσύνης συνεπάγεται τη διεξαγωγή συνεντεύξεων ανάμεσα στο μηχανικό γνώσης (ο

αναλυτής) και τον έμπειρο. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές συνεντεύξεων, που στοχεύουν στην απόσπαση διαφόρων πτυχών της εμπειρογνωμοσύνης (γενική οριοθέτηση, μοτιλιαρίσματα, τυπικά προβλήματα, κτλ).

Τεχνική συνέντευξης «δίδαξε πίσω» (teachback interview technique)

Σε αυτή τη τεχνική, ο διάλογος ανάμεσα στον έμπειρο και τον αναλυτή διεξάγεται σε δύο επίπεδα. Το επίπεδο «0» αφορά επεξηγήσεις για το πώς εκτελείται ένας αλγόριθμος, ενώ το επίπεδο «1» αφορά επεξηγήσεις ως προς το γιατί οι αλγόριθμοι λειτουργούν. Σε κάθε επίπεδο πρώτα περιγράφει/επεξηγεί ο έμπειρος και στη συνέχεια διδάσκει πίσω ο αναλυτής.

Τεχνολογία γνώσης (Knowledge engineering)

Μεθοδολογίες, π.χ. μεθοδολογία CommonKADS (βλ. *όρο*), για την ανάπτυξη συστημάτων βάσης γνώσης, κυρίως έμπειρων συστημάτων. Λόγω του ότι συστήματα βάσεων γνώσης δεν αποτελούν πλέον, ανεξάρτητα, αυτοδύναμα συστήματα αλλά μονάδες ευρύτερων υπολογιστικών συστημάτων, η τεχνολογία γνώσης θα πρέπει να συνδυάζεται με την τεχνολογία λογισμικού.

Τεχνολογία έμπειρων συστημάτων (expert systems technology)

Η τεχνολογία που διέπει τη δημιουργία έμπειρων συστημάτων.

TN

βλ. Τεχνητή Νοημοσύνη.

Τρόπος του θέτειν (modus ponens)

Ο συμπερασματικός κανόνας συλλογισμού, με βάση τον οποίο, από τα προκείμενα $\forall x \{ \Phi(x) \Rightarrow \Psi(x) \}$ και $\Phi(A)$, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα $\Psi(A)$.

Τυφλή αναζήτηση (blind search)

Αναζήτηση η οποία διεξάγεται με συστηματικό, εξαντλητικό τρόπο, χωρίς οποιαδήποτε (ευρετική) καθοδήγηση. Οι μέθοδοι της αναζήτησης σε βάθος και πλάτος θεωρούνται τυφλές μέθοδοι.

Υβριδική αναπαράσταση (hybrid representation)

Αναπαράσταση, η οποία συνδυάζει περισσότερους του ενός, βασικούς φορμαλισμούς αναπαράστασης γνώσης.

Υπόθεση κλειστού κόσμου (closed world assumption)

Η υπόθεση που υπογραμμίζει την ερμηνεία της άρνησης ως αποτυχία (*βλ. όρο*). Η υπόθεση είναι ότι η τιμή αλήθειας για κάθε ατομική πρόταση είναι

γνωστή: Είτε είναι γνωστό ότι είναι αληθής ή μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι αληθής, διαφορετικά θεωρείται ότι είναι ψευδής. Η υπόθεση σημαίνει ότι όλα τα σχετικά (βασικά) γεγονότα είναι γνωστά και επίσης η σχετική γνώση είναι πλήρης. Εάν όντως αυτή η υπόθεση ευσταθεί, τότε η ερμηνεία της άρνησης ως αποτυχίας ισοδυναμεί με την κλασική ερμηνεία.

Υπόθεση συστήματος φυσικών συμβόλων (physical symbol system hypothesis)

Ένα σύστημα φυσικών συμβόλων (βλ. *όρο*) έχει τα αναγκαία και επαρκή μέσα για γενική ευφυή δράση. Αυτή είναι η κεντρική υπόθεση που υπογραμμίζει την έρευνα σε Τεχνητή Νοημοσύνη.

Υποθετικό–συμπερασματικό μοντέλο συλλογισμού (hypothetico–deductive inference model)

Σε συμπερασματικό συλλογισμό (βλ. *Συμπέρασμα*), πρόθεση είναι να αποδειχθεί κατά πόσον κάτι ευσταθεί, ενώ σε απαγωγικό συλλογισμό (βλ. *Απαγωγή*) πρόθεση είναι να απαντηθεί γιατί κάτι ευσταθεί. Προς απάντηση κάποιου γιατί είναι σημαντικό να αποφασισθεί κατά πόσον. Ως εκ τούτου, το συμπέρασμα μπορεί να θεωρηθεί υποδιεργασία της απαγωγής. Αυτή η «σύμπραξη» αποτελεί το υποθετικό–συμπερασματικό μοντέλο συλλογισμού, το οποίο εμφανίζεται σε πολλά έμπειρα συστήματα, κυρίως αυτά που αφορούν διάγνωση και αποσφαλμάτωση.

Υπολογίσιμο κατηγορημα (computable predicate)

Κατηγορημα, το οποίο παρασκευαστικά υλοποιείται ως συνάρτηση.

Φορμαλισμός αναπαράστασης γνώσης (knowledge representation formalism)

Συμβολικός τρόπος έκφρασης γνώσης μαζί με τους σχετικούς μηχανισμούς συλλογισμού. Γλώσσες αναπαράστασης γνώσης (βλ. *όρο*) ενσωματώνουν κάποιο φορμαλισμό αναπαράστασης γνώσης.

Χώρος καταστάσεων προβλήματος (state space)

Οι διάφορες καταστάσεις ενός προβλήματος με τις διασυνδέσεις τους, οι οποίες αποτελούν το χώρο αναζήτησης (της λύσεως) για το εν λόγω πρόβλημα. Συνήθως, ένας τέτοιος χώρος, λόγω του εκτενούς μεγέθους του, δεν εξωτερικεύεται εκ των προτέρων, αλλά προδιαγράφεται μέσω της δομής των καταστάσεων και των τελεστών δράσεως (βλ. *όρο*). Η εφαρμογή της σχετικής μεθόδου αναζήτησης έχει ως αποτέλεσμα την εξωτερίκευση μέρους του χώρου αυτού.

Γλωσσάρι αγγλικών όρων

A* Algorithm: βλ. Αλγόριθμος A*.

Abduction: βλ. Απαγωγή.

Acquisitional efficiency: βλ. Αποδοτικότητα απόκτησης.

Action operator: βλ. Τελεστής δράσης.

Admissible search: βλ. Παραδεκτή αναζήτηση.

Agent: βλ. Διαμεσολαβητής.

AI: βλ. Artificial Intelligence.

AIME:

Το Ευρωπαϊκό συνέδριο σε Τεχνητή Νοημοσύνη στην Ιατρική, το οποίο οργανώνεται από το 1987 επί διετούς βάσεως.

AND/OR tree: βλ. Δέντρο KAI/H.

Answer extraction: βλ. Εξαγωγή απαντήσεων.

Artificial Intelligence: βλ. Τεχνητή Νοημοσύνη.

Associative network: βλ. Δίκτυο συσχέτισης.

Atom: βλ. Ατομική πρόταση.

Automated reasoning: βλ. Αυτοματοποίηση συλλογισμού.

Backtracking: βλ. Οπισθοδρόμηση.

Backward chaining: βλ. Ανάστροφη αλυσίδωση.

Backward reasoning: βλ. Ανάστροφη συλλογιστική.

Basic inferences: βλ. Βασικές μορφές συλλογισμού.

Blackboard model: βλ. Μοντέλο μαυροπίνακα.

Blind search: βλ. Τυφλή αναζήτηση.

Branching factor: βλ. Συντελεστής διακλάδωσης.

Breadth-first search: βλ. Αναζήτηση σε πλάτος.

Canonical forms: βλ. Κανονικές μορφές προτάσεων.

CASNET

Έμπειρο σύστημα πρώτης γενεάς, βασιζόμενο σε αιτιολογικό – συνδετικό μοντέλο, το οποίο εφαρμόστηκε με μεγάλη επιτυχία στο τομέα της διαχείρισης ασθενών με γλαύκωμα.

Causal model: βλ. Αιτιολογικό μοντέλο.

Certainty factor: βλ. Συντελεστής βεβαιότητας.

CLIPS

Γλώσσα αναπαράστασης γνώσης βασισμένη στο φορμαλισμό των κανόνων παραγωγής (γλώσσα παραγωγής), η οποία αναπτύχθηκε από τη NASA.

Classification problem: βλ. Πρόβλημα ταξινόμησης.

Clausal form

Προτάσεις κατηγορηματικής λογικής της μορφής $A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n \Leftarrow B_1 \wedge B_2 \wedge \dots \wedge B_m$, όπου $n \geq 0$, $m \geq 0$, και κάθε A και B είναι ατομικές προτάσεις (δηλαδή γεγονότα). Σε αυτή τη μορφή δεν εμφανίζεται καθόλου η άρνηση. Τα γεγονότα B_i αποτελούν τις υποθέσεις, ενώ τα γεγονότα A_j τα συμπεράσματα. Η σημασιολογία είναι ότι, εάν όλες οι υποθέσεις ευσταθούν, τότε μπορούν να εξαχθούν τα εν λόγω συμπεράσματα.

Closed state: βλ. Κλειστή κατάσταση.

Closed world assumption: βλ. Υπόθεση κλειστού κόσμου.

Collaborative model of specialists: βλ. Συνεργατικό μοντέλο ειδικών.

Combinatorial explosion: βλ. Συνδυαστική έκρηξη.

CommonKADS methodology: βλ. Μεθοδολογία CommonKADS.

Complementary link: βλ. Συμπληρωματικός σύνδεσμος.

Compiled knowledge: βλ. Μεταγλωττισμένη γνώση.

Completeness: βλ. Πληρότητα.

Computable predicate: βλ. Υπολογίσιμο κατηγορημα.

Conflict resolution set: βλ. Σύνολο ανταγωνισμού.

Conjunctive normal form: βλ. Συζευκτική κανονική μορφή.

Connective: βλ. Συνθετικό.

Constructive problem: βλ. Πρόβλημα σύνθεσης.

Context tree: βλ. Δέντρο αντικειμένων.

Control frame: βλ. Πλαίσιο ελέγχου.

Control structure: βλ. Δομή ελέγχου.

DAI: βλ. Distributed Artificial Intelligence.

Data abstraction: βλ. *Αφαιρετικότητα δεδομένων.*

Data mining: βλ. *Εξόρυξη δεδομένων.*

Deadlock: βλ. *Αδιέξοδο.*

Decidability: βλ. *Αποφασισιμότητα.*

Decision–support system: βλ. *Σύστημα υποστήριξης αποφάσεων.*

Declarative/procedural controversy: βλ. *Αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης.*

Declarative representation: βλ. *Περιγραφική αναπαράσταση.*

Deduction: βλ. *Συμπέρασμα.*

Deep knowledge: βλ. *Βαθιά γνώση.*

Default: βλ. *Εύλογη υπόθεση.*

DENDRAL

Το πρώτο έμπειρο σύστημα. Το πεδίο του ήταν η ανακάλυψη της μοριακής δομής οργανικών ενώσεων.

Depth–first search: βλ. *Αναζήτηση σε βάθος.*

Descriptive learning: βλ. *Περιγραφική επαγωγή.*

Disjunctive normal form: βλ. *Διαζευκτική κανονική μορφή.*

Distributed Artificial Intelligence: βλ. *Κατανεμημένη Τεχνητή Νοημοσύνη.*

Distributed control: βλ. *Κατανεμημένος έλεγχος.*

ECAI

Το Ευρωπαϊκό συνέδριο Τεχνητής Νοημοσύνης, το οποίο οργανώνεται από το 1974 επί διετούς βάσεως.

Empty system: βλ. *Σύστημα κέλφους.*

EMYCIN

Το σκελετικό σύστημα (βλ. *όρο*) του MYCIN. Το όνομα σημαίνει Empty MYCIN ή Essential MYCIN.

Evaluation function: βλ. *Συνάρτηση αξιολόγησης καταστάσεων.*

Event–driven reasoning: βλ. *Συλλογισμός οδηγούμενος από γεγονότα.*

Expert system: βλ. *Έμπειρο σύστημα.*

Expert systems technology: βλ. *Τεχνολογία έμπειρων συστημάτων.*

- Expertise model:** βλ. Μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης.
- Explanation system:** βλ. Σύστημα επεξηγήσεων.
- Facet:** βλ. Όψη.
- Final state:** βλ. Τελική κατάσταση.
- Findout for objects:** βλ. Ευρέτης αντικειμένων.
- First generation of expert systems:** βλ. Πρώτη γενεά εμπειρων συστημάτων.
- Forward chaining:** βλ. Ορθή αλυσίδωση.
- Forward reasoning:** βλ. Ορθή συλλογιστική.
- Frame:** βλ. Πλαίσιο.
- Frame instantiation:** βλ. Συγκεκριμενοποίηση πλαισίου.
- Frame problem:** βλ. Πρόβλημα πλαισίου.
- Frame system:** βλ. Σύστημα πλαισίων.
- General Problem Solver:** βλ. Σύστημα Γενικής Επίλυσης Προβλημάτων.
- GPS:** βλ. General Problem Solver.
- Generic tasks architecture:** βλ. Αρχιτεκτονική γενικευμένων εργασιών.
- Goal-driven reasoning:** βλ. Συλλογιστική οδηγούμενη από στόχους.
- Goal state:** βλ. Κατάσταση στόχου.
- Goal tree:** βλ. Δέντρο στόχων.
- Greedy search:** βλ. Απληστη αναζήτηση.

GUIDON

Το διδακτικό σύστημα του MYCIN.

HERACLES

Το γενικευμένο σύστημα, το οποίο ενσωματώνει τη μέθοδο της ευρετικής ταξινόμησης (βλ. όρο).

- Heuristic:** βλ. Ευρετικό.
- Heuristic adequacy:** βλ. Ευρετική επάρκεια.
- Heuristic classification:** βλ. Ευρετική ταξινόμηση.
- Heuristic function:** βλ. Ευρετική συνάρτηση.
- Heuristic search:** βλ. Ευρετική αναζήτηση.

Hierarchical link: βλ. *Ιεραρχικός σύνδεσμος.*

Hierarchical problem space: βλ. *Ιεραρχικός χώρος αναζήτησης.*

Horn clauses

Υποκατηγορία της clausal form (βλ. *όρο*), όπου δεν επιτρέπονται περισσότερες από μία ατομικές προτάσεις στο αριστερό μέρος. Αυτή η μορφή προτάσεων κατηγορηματικής λογικής, επεκτεινόμενη με την έννοια της άρνησης ως αποτυχία (βλ. *όρο*), αποτελεί την αναπαράσταση που διέπει το λογικό προγραμματισμό.

How explanation: βλ. *Επεξήγηση «Πώς;».*

Hybrid representation: βλ. *Υβριδική αναπαράσταση.*

Hypothetico–deductive inference model: βλ. *Υποθετικό–συμπερασματικό μοντέλο συλλογισμού.*

IDA: βλ. *Intelligent Data Analysis.*

IJCAI

Το διεθνές συνέδριο σε Τεχνητή Νοημοσύνη, το οποίο οργανώνεται από το 1969 επί διετούς βάσεως.

Induction: βλ. *Επαγωγή.*

Inference distance: βλ. *Απόσταση συλλογισμού.*

Inference engine: βλ. *Μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων.*

Inference network: βλ. *Δίκτυο συλλογισμού.*

Inheritance: βλ. *Κληρονόμηση.*

Intelligent agent: βλ. *Ευφυής διαμεσολαβητής.*

Intelligent Data Analysis: βλ. *Ευφυής ανάλυση δεδομένων.*

Interactive system: βλ. *Διαλογικό σύστημα.*

Intersection search: βλ. *Αναζήτηση τομής.*

INTERNIST–1

Το μεγαλύτερο έμπειρο σύστημα στην ιατρική, σε σχέση με την έκταση της γνώσης του. Το πεδίο του αφορούσε γενική παθολογία.

Interview technique: βλ. *Τεχνική συνέντευξης.*

Knowledge acquisition system: βλ. *Σύστημα απόκτησης γνώσης.*

Knowledge–base: βλ. *Βάση γνώσης.*

Knowledge-based system: βλ. Σύστημα βάσης γνώσης.

KDD: βλ. *Knowledge Discovery in Databases*.

Knowledge Discovery in Databases: βλ. Ανακάλυψη γνώσης από βάσεις δεδομένων.

Knowledge engineering: βλ. Τεχνολογία γνώσης.

Knowledge representation: βλ. Αναπαράσταση γνώσης.

Knowledge representation formalism: βλ. Φορμαλισμός αναπαράστασης γνώσης.

Knowledge representation language: βλ. Γλώσσα αναπαράστασης γνώσης.

Knowledge source: βλ. Πηγή γνώσης.

LISP

Η πρώτη γλώσσα προγραμματισμού που σχεδιάστηκε ειδικά για την ανάπτυξη συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης. Η ονομασία LISP σημαίνει LISP Programming. Τα πρωτεύοντα στοιχεία της γλώσσας είναι το άτομο και η συμβολική έκφραση (s-expression).

Literal: βλ. Κυριολεκτικό.

Logical adequacy: βλ. Λογική επάρκεια.

Machine learning: βλ. Μηχανική μάθηση.

MDX

Έμπειρο σύστημα (δεύτερης γενεάς), το οποίο επιδεικνύει ένα συνεργατικό μοντέλο ειδικών (βλ. όρο). Ο τομέας του ήταν η διάγνωση του συνδρόμου του ήπατος, γνωστού ως χολέστασης.

Mediating representation: βλ. Μεσολαβητική αναπαράσταση.

Meronomy: βλ. Μερονομία.

Meta-knowledge: βλ. Μετα-γνώση.

Meta-rule: βλ. Μετα-κανόνας.

Mixed chaining: βλ. Μεικτή αλυσίδωση.

Modus ponens: βλ. Τρόπος του θέτειν.

Monitor for rules: βλ. Ανιχνευτής κανόνων.

Multi-agent system: βλ. Σύστημα πολλαπλών διαμεσολαβητών.

Multiple inheritance: βλ. Πολλαπλή κληρονομηση.

MYCIN

Το πιο διάσημο έμπειρο σύστημα πρώτης γενεάς, η ανάπτυξη του οποίου, καθώς επίσης των διαφόρων δορυφορικών υποσυστημάτων του, συνέτεινε σημαντικά στη περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας των έμπειρων συστημάτων. Ο τομέας του αφορούσε τη διάγνωση και θεραπευτική αγωγή σοβαρών λοιμώξεων του αίματος.

Navigation mechanism βλ. *Μηχανισμός πλοήγησης.*

Necessity factor βλ. *Συντελεστής αναγκαιότητας.*

Negation as failure βλ. *Άρνηση ως αποτυχία.*

NEOMYCIN

Έμπειρο σύστημα δεύτερης γενεάς, το οποίο ήταν η ανακατασκευή του MYCIN με κύριο στόχο τη ρητή μοντελοποίηση και αναπαράσταση στρατηγικής γνώσης.

N-inheritance: βλ. *Κληρονόμηση-N.*

Notational convenience: βλ. *Διευκόλυνση συμβολισμού.*

Object frame: βλ. *Πλαίσιο αντικειμένου.*

Ontology: βλ. *Οντολογία.*

Open state: βλ. *Ανοικτή κατάσταση.*

Operational knowledge: βλ. *Λειτουργήσιμη γνώση.*

Opportunistic search: βλ. *Καιροσκοπική αναζήτηση.*

Opposing link: βλ. *Αντίπαλος σύνδεσμος.*

OPS5

Γλώσσα αναπαράστασης γνώσης, βασισμένη στο φορμαλισμό των κανόνων παραγωγής (γλώσσα παραγωγής). Χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του συστήματος XCON.

Partitioned associative network: βλ. *Διαμερισμένο δίκτυο συσχέτισης.*

Path: βλ. *Διαδρομή.*

Physical symbol system: βλ. *Σύστημα φυσικών συμβόλων.*

Physical symbol system hypothesis: βλ. *Υπόθεση συστήματος φυσικών συμβόλων.*

Power of expression: βλ. *Δύναμη εκφρασιμότητας.*

Predicate logic: βλ. Κατηγορηματική λογική.

Predictive learning: βλ. Προβλεπτική επαγωγή.

Prenex form: βλ. Μορφή prenex.

Problem solving: βλ. Επίλυση προβλημάτων.

Procedural attachment: βλ. Επιδέξια διαδικασία.

Procedural representation: βλ. Διαδικασιακή αναπαράσταση.

Production memory: βλ. Μνήμη παραγωγής.

Production rule: βλ. Κανόνας παραγωγής.

Production system: βλ. Σύστημα παραγωγής.

PROLOG

Γλώσσα αναπαράστασης γνώσης, βασισμένη στο φορμαλισμό της κατηγορηματικής λογικής και συγκεκριμένα το υποσύνολο αυτής γνωστό ως Horn clauses (βλ. όρο), επεκτεινόμενο με την έννοια της άρνησης ως αποτυχία (βλ. όρο). Η ονομασία PROLOG σημαίνει PROgramming in LOGic.

Proof by contradiction: βλ. Απόδειξη μέσω αντίφασης.

PROSPECTOR

Έμπειρο σύστημα πρώτης γενεάς. Ο τομέας του αφορούσε την αξιολόγηση τοποθεσιών ορυκτών για πιθανή ύπαρξη αποθεμάτων.

Quantifier: βλ. Ποσοδείκτης.

Reasoning mechanism: βλ. Μηχανισμός συλλογισμού.

Recency: βλ. Προσφατότητα.

Recognition problem: βλ. Πρόβλημα αναγνώρισης.

Recognize-act cycle: βλ. Κύκλος «αναγνώρισε-ενέργησε».

Refractoriness: βλ. Διαθλαστικότητα.

Representation problem: βλ. Πρόβλημα αναπαράστασης.

Resolution: βλ. Αναγωγή.

Resolution refutation procedure: βλ. Διαδικασία αναγωγής μέσω αντίκρουσης της αντίφασης.

Resolution refutation tree: βλ. Δέντρο αναγωγής.

Rule instantiation: βλ. Συγκεκριμενοποίηση κανόνα.

Rule interpreter: βλ. Διερμηνέας κανόνων.

Rule of inference: βλ. Κανόνας συλλογισμού.

Scoring function: βλ. Συνάρτηση βαθμολόγησης.

Screening rule: βλ. Κανόνας προπετάσματος.

Search method: βλ. Μέθοδος αναζήτησης.

Second generation expert systems: βλ. Δεύτερη γενεά εμπειρων συστημάτων.

Semi-decidability: βλ. Ημι-αποφασισιμότητα.

Sensitivity: βλ. Ευαισθησία.

Sentence equivalence: βλ. Ισοδυναμία προτάσεων.

Set-of-support heuristic: βλ. Ευρετικό «σύνολο-υποστήριξης».

Shallow knowledge: βλ. Ρηχή γνώση.

Similarity matrix: βλ. Μήτρα ομοιοτήτων.

Skeletal system: βλ. Σκελετικό σύστημα.

Skolem function: βλ. Συνάρτηση Skolem.

Slot: βλ. Σχισμή.

Specificity: βλ. Συγκεκριμενικότητα.

Stability: βλ. Σταθερότητα.

Starting state: βλ. Αρχική κατάσταση.

State predecessor: βλ. Προκάτοχος κατάσταση.

State space: βλ. Χώρος αναζήτησης.

Strategic explanation: βλ. Στρατηγική επεξήγηση.

Strategic How explanation: βλ. Στρατηγική επεξήγηση «Πώς;».

Strategic knowledge: βλ. Στρατηγική γνώση.

Strategic Why explanation: βλ. Στρατηγική επεξήγηση «Γιατί;».

Strict inheritance: βλ. Απλή κληρονόμηση.

Strict taxonomy: βλ. Αυστηρή ιεραρχία.

Structural knowledge: βλ. Γνώση δόμησης.

Successor states: βλ. Διάδοχες καταστάσεις.

Sufficiency factor: βλ. Συντελεστής επάρκειας.

Support knowledge: βλ. Γνώση υποστήριξης.

Symbolic processing: βλ. Επεξεργασία συμβόλων.

Symbol structure: βλ. Δομή συμβόλων.

Systemic grammar network: βλ. Συστημικό γραμματικό δίκτυο.

Taxonomy: βλ. Ταξινόμια.

Taxonomic model: βλ. Ταξινόμικό μοντέλο.

Teachback interview technique: βλ. Τεχνική συνέντευξης «δίδαξε πίσω».

TEIRESIAS

Το σύστημα απόκτησης γνώσης του MYCIN. Η ονομασία προέρχεται από το όνομα του τυφλού μάντη Τειρεσία.

Term: βλ. Όρος.

Test and select: βλ. Δοκιμή και επιλογή.

Top–down refinement: βλ. Εκλέπτυνση από πάνω προς τα κάτω.

Total task investigation: βλ. Ολοκληρωτική διερεύνηση εργασίας.

Triggering link: βλ. Ενεργοποιητικός σύνδεσμος.

Turing test: βλ. Δοκιμή Turing.

Uncertainty model: βλ. Μοντέλο αβεβαιότητας.

Unification of sentences: βλ. Ενοποίηση προτάσεων.

Unit–preference heuristic: βλ. Ευρετικό «κατά–προτίμηση–μονάδα».

Universal specialization: βλ. Καθολική ειδίκευση.

Validity: βλ. Εγκυρότητα.

Well formed formula: βλ. Καλώς σχηματιζόμενη πρόταση.

Wff: βλ. Well formed formula.

Why explanation: βλ. Επεξήγηση «Γιατί;».

Working memory: βλ. Μνήμη εργασίας.

XCON

Έμπειρο σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρεία DEC με στόχο

την παροχή υποστήριξης στους μηχανικούς της εταιρείας αναφορικά με τη συναρμολόγηση υπολογιστών.

Z-inheritance: βλ. *Κληρονόμηση-Z*.

Βιβλιογραφία

- Γ. Μητακίδης (σε συνεργασία με Α. Συναχοπούλου-Σβάρνα), *Από τη Λογική στο Λογικό Προγραμματισμό και την Prolog*, Εκδόσεις Καρδαμίτσα, 1992.
- D.R. Hofstadter και D.C. Dennett, *Το Εγώ της Νόησης*, Κάτοπτρο, 1983.
- J.-M. David, J.-P. Krivine και R. Simmons (συντάκτες), *Second Generation Expert Systems*, Springer-Verlag, 1993.
- T.J.K. Bench-Capon, *Knowledge Representation: An Approach to Artificial Intelligence*, Academic Press, 1990.
- J. Breuker και W. Van de Velde (συντάκτες), *CommonKADS Library for Expertise Modelling: Reusable Problem Solving Components*, IOS Press, 1994.
- L. Brownson, R. Farell, E. Kant και N. Martin, *Programming Expert Systems in OPS5: An Introduction to Rule-Based Programming*, Addison-Wesley, 1985.
- L.D. Elstein, L.A. Shulman και S.A. Sprafka, *Medical Problem Solving: An Analysis of Clinical Reasoning*, Harvard University Press, 1978.
- R. Englemore και T. Morgan, *Blackboard Systems*, Addison-Wesley, 1988.
- J. Ferber, *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Addison-Wesley, 1995.
- N.V. Findler (συντάκτης), *Associative Networks-Representation and Use of Knowledge by Computers*, Academic Press, 1979.
- J. Giarratano και G. Riley, *Expert Systems: Principles and Programming*, δεύτερη έκδοση, International Thomson Publishing, 1994.
- A.J. Gonzalez και D.D. Dankel, *The Engineering of Knowledge-Based Systems: Theory and Practice*, Prentice-Hall, 1993.
- P. Jackson, *Introduction to Expert Systems*, τρίτη έκδοση, Addison-Wesley, 1999.
- L. Johnson και E. Keravnou, *Expert Systems Architectures*, International Thomson Publishing (formerly Kogan Page), 1988.
- E. Keravnou (συντάκτης), *Deep Models for Medical Knowledge Engineering*, Elsevier Science Publishers B.V., 1992.

- N. Lavrač και S. Džeroski, *Inductive Logic Programming: Techniques and Applications*, Ellis Horwood, 1994.
- N. Lavrač, E. Keravnou και B. Zupan (συντάκτες), *Intelligent Data Analysis in Medicine and Pharmacology*, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- G.F. Luger και W.A. Stubblefield, *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*, τρίτη έκδοση, Addison–Wesley, 1998.
- K. Marriot και P. Stuckey, *Programming with Constraints*, MIT Press, 1998.
- N.J. Nilsson, *Principles of Artificial Intelligence*, Tioga Publishing Co, 1980.
- R. Penrose, *Σκιές του Νοῦ*, Εκδόσεις Γκοβόστη, 1997.
- E. Rich και K. Knight, *Artificial Intelligence*, δεύτερη έκδοση, McGraw–Hill, 1991.
- J. Searle, *Ανακαλύπτοντας ξανά το Νοῦ*, Εκδόσεις Γκοβόστη, 1997.
- G. Weiss (συντάκτης), *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, MIT Press, 1999.
- P.H. Winston, *Artificial Intelligence*, τρίτη έκδοση, Addison Wesley, 1992.

Ελληνικοί όροι

- Αδιέξοδο 41
 Αιτιολογικό μοντέλο 230
 Αναγνώρισε–ενέργησε 144
 Αναγωγή 90, 96
 Αναζήτηση σε βάθος 41
 Αναζήτηση σε πλάτος 42
 Αναζήτηση τομής 115
 Ανακάλυψη γνώσης από βάσεις δεδομένων 285
 Ανάστροφη αλυσίδωση 145, 154
 Ανάστροφη συλλογιστική 145
 Ανιχνευτής κανόνων 156
 Ανοικτή κατάσταση 40
 Αντιπαράθεση περιγραφικής και διαδικασιακής αναπαράστασης 71
 Απαγωγή 177, 178
 Απαγωγικός συλλογισμός 146
 Απλή κληρονομία 130
 Άπληστη αναζήτηση 48
 Απόδειξη μέσω αντίφασης 95
 Αποδοτικότητα απόκτησης 68
 Απόσταση συλλογισμού 134
 Αποφασιστικότητα 70
 Άρνηση ως αποτυχία 104
 Αρχιτεκτονική γενικευμένων εργασιών 247
 Ατομική πρόταση 83
 Αυτόνομοι διαμεσολαβητές 283
 Αφαιρετικότητα δεδομένων 148, 240
 Βαθιά γνώση 242
 Βαθμός διέγερσης 218
 Βαθμός εκδήλωσης 218
 Βαθμός σημασίας 218
 Βάση γνώσης 171
 Γλώσσα αναπαράστασης γνώσης 58
 Γνώση δόμησης 230
 Γνώση ειδών συλλογισμού 275
 Γνώση στοιχειωδών εργασιών 278
 Γνώση υποστήριξης 230
 Δέντρο αποφάσεων 52
 Δέντρο αντικειμένων 189
 Δέντρο ΚΑΙ / Ή 153
 Δέντρο στόχων 153
 Δεσμευμένη μεταβλητή 86
 Δεύτερη γενεά έμπειρων συστημάτων 225
 Διαδικασιακή αναπαράσταση 72
 Διάδοχες καταστάσεις 41
 Διαζευκτική κανονική μορφή 87
 Διαθλαστικότητα 151
 Διάλογος μεικτής–πρωτοβουλίας 210
 Διαμερισμένο δίκτυο συσχέτισης 116
 Διερμηνέας εργασιών 236
 Διερμηνέας κανόνων 144
 Διευκόλυνση συμβολισμού 68
 Δίκτυο συλλογισμού 153
 Δίκτυο συσχέτισης 114
 Δοκιμή Turing 21
 Δοκιμή και επιλογή 52
 Δομή ελέγχου 151, 278
 Δύναμη εκφρασιμότητας 66
 Εγκυρότητα 69
 Ελεύθερη μεταβλητή 86
 Εξαγωγή απαντήσεων 101
 Εξόρυξη δεδομένων 285
 Εκλέπτυνση από πάνω προς τα κάτω 52
 Έμπειρο σύστημα 171, 183
 Ενεργοποιητικός σύνδεσμος 127, 231
 Ενοποίηση προτάσεων 95
 Ενόραση πληροφοριών 285
 Εξελικτική γλωσσολογία 284
 Εξελικτική ρομποτική 284
 Επαγωγή 177, 179
 Επαγωγικός Λογικός Προγραμματισμός 285
 Επεξήγηση «Γιατί;» 159
 Επεξήγηση «Πώς;» 159
 Εργασίες μεταβίβασης 278
 Ευαισθησία 151
 Ευρέτης αντικειμένων 156
 Ευρετική αναζήτηση 46
 Ευρετική επάρκεια 68
 Ευρετικοί σύνδεσμοι 240
 Ευρετική συνάρτηση 47
 Ευρετική ταξινόμηση 240
 Ευρετικό 27
 Ευφύης ανάλυση δεδομένων 285
 Ημι–αποφασιστικότητα 70
 Θεώρημα του Bayes 214
 Ιεραρχικός σύνδεσμος 126
 Ιεραρχικός χώρος αναζήτησης 51
 Ικανοποίηση περιορισμών 286
 Ισοδυναμίες wff 89
 Καθολική ειδικευση 90
 Καιροσκοπική αναζήτηση 165
 Καλώς σχηματιζόμενη πρόταση 83
 Κανόνας παραγωγής 141
 Κανόνας προπετάσματος 232
 Κανονικές μορφές προτάσεων 86
 Καταστάσεις ενός προβλήματος 35
 Κλειστή κατάσταση 40
 Κληρονομία 130
 Κληρονομία–N 131
 Κληρονομία–Z 132
 Κύκλος «αναγνώρισε–ενέργησε» 149
 Κυριολεκτικό 83
 Λειτουργήσιμη γνώση 62
 Λογικά συνθετικά 83
 Λογική επάρκεια 67
 Μεθοδολογία CommonKADS 265
 Μεικτή αλυσίδωση 210
 Μερονομία 112
 Μεταγλωττισμένη γνώση 205, 242
 Μετα–γνώση 63, 198
 Μετα–κανόνας 146, 162, 192, 236
 Μετα–τάξεις 275
 Μήτρα ομοιοτήτων 126
 Μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων 171
 Μηχανισμός πλοήγησης 40
 Μνήμη εργασίας 144, 150
 Μνήμη παραγωγής 141, 144
 Μοντέλο αβεβαιότητας 193, 213,

- 221
 Μοντέλο εμπειρογνωμοσύνης 252
 Μορφή *prenex* 93
 Μοντέλο μαυροπίνακα 162
 Μοντελοποίηση εμπειρογνωμοσύνης 272
 Ολοκληρωτική διερεύνηση εργασίας 255
 Οπισθοδρόμηση 41
 Ορθή αλυσίδωση 144
 Ορθή συλλογιστική 145, 146
 Όρος 82
 Όψη 120
 Παραδεκτή αναζήτηση 47
 Περιγραφική αναπαράσταση 71
 Περιγραφική γνώση τομέα 272
 Πηγή γνώσης 162, 275
 Πλαίσιο 120
 Πλαίσιο αντικειμένου 125
 Πλαίσιο ελέγχου 125
 Πληρότητα 70
 Πολλαπλή κληρονόμηση 133
 Ποσοδείκτης 83
 Πρόβλημα αναπαράστασης 35
 Πρόβλημα πλαισίου 39
 Πρόβλημα σύνθεσης 50
 Πρόβλημα ταξινόμησης 50
 Προκάτοχος κατάσταση 40
 Προσφατότητα 152
 Πρώτη γενιά εμπειρών συστημάτων 183
 Ρηχή γνώση 242
 Σημασιολογία της κατηγορηματικής λογικής 84
 Σκελετικό σύστημα 202
 Σταθερότητα 151
 Στρατηγική γνώση 233, 279
 Στρατηγική επεξήγηση 237
 Στρατηγική επεξήγηση «Γιατί;» 238
 Στρατηγική επεξήγηση «Πώς;» 238
 Συγκεκριμενικότητα 152
 Συγκεκριμενοποίηση κανόνα 143
 Συγκεκριμενοποίηση πλαισίου 124
 Συζευκτική κανονική μορφή 87
 Συλλογισμός σε χώρο και χρόνο 286
 Συλλογιστική οδηγούμενη από γεγονότα 145
 Συλλογιστική οδηγούμενη από στόχους 145
 Συμπέρασμα 177, 178
 Συμπερασματικός συλλογισμός 146
 Συμπληρωματικός σύνδεσμος 127
 Συνάρτηση αξιολόγησης καταστάσεων 47
 Συνάρτηση βαθμολόγησης 219, 221
 Συνάρτηση Skolem 92
 Συνδυαστική έκρηξη 42
 Συνεργατικό μοντέλο ειδικών 244
 Σύνολο ανταγωνισμού 150
 Σύνταξη της κατηγορηματικής λογικής 82
 Συντελεστής αναγκαιότητας 213
 Συντελεστής βεβαιότητας 194
 Συντελεστής διακλάδωσης 42
 Συντελεστής επάρκειας 213
 Σύστημα απόκτησης γνώσης 198
 Σύστημα βάσης γνώσης 171
 Σύστημα επεξηγήσεων 197
 Σύστημα κέλφους 202
 Σύστημα παραγωγής 144
 Σύστημα πλαισίων 125
 Σύστημα πολλαπλών διαμεσολαβητών 283
 Σύστημα φυσικών συμβόλων 25
 Συστημικά γραμματικά δίκτυα 259
 Σχήμα του τομέα 273
 Σχισμή 120
 Ταξινόμια 112
 Ταξινόμια εργασιών 233
 Ταξινομικό μοντέλο 230
 Τελεστής διαφοροποίησης 51
 Τελεστής δράσης 39
 Τεχνητή ζωή 284
 Τεχνική συνέντευξης «δίδαξε πίσω» 261
 Τεχνολογία γνώσης 251
 Τρόπος του θέτειν 90
 Τυφλή αναζήτηση 41
 Υβριδική αναπαράσταση 209
 Υπόθεση κλειστού κόσμου 105
 Υπόθεση συστήματος φυσικών συμβόλων 25
 Υποθετικό – συμπερασματικό μοντέλο συλλογισμού 179, 213, 218
 Υπολογίσιμο κατηγορήμα 84
 Φορμαλισμός αναπαράστασης γνώσης 58
 Χαρακτηριστικά των εμπειρών συστημάτων 176
 Χώρος αναζήτησης 36
- Αγγλικοί όροι**
 Clausal Form 87
 EMYCIN 202
 GUIDON 230
 HERACLES 242
 Horn clauses 104
 INTERNIST-1 217
 MDX 242
 MYCIN 187
 NEOMYCIN 229
 PROSPECTOR 209
 TEIRESIAS 198