
Περιεχόμενα

1	Μία Εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη	1
1.1	Εισαγωγή	1
1.2	Οι Δύο Σχολές Σκέψης	2
1.2.1	Επαγωγή και Συνεπαγωγή: Μία Ιστορική Επισκόπηση.....	8
1.3	Τεχνητή Γενική Νοημοσύνη.....	12
1.3.1	Η Δοκιμασία Turing.....	12
1.4	Η Έννοια του Πράκτορα	13
1.4.1	Τύποι Περιβαλλόντων.....	15
1.5	Συνεπαγωγική Συλλογιστική στην Τεχνητή Νοημοσύνη.....	16
1.5.1	Παραδείγματα Συνεπαγωγικής Συλλογιστικής στην Τεχνητή Νοημοσύνη	16
1.5.2	Κλασικές Μέθοδοι για Συνεπαγωγική Συλλογιστική	22
1.5.3	Δυνατά Σημεία και Περιορισμοί της Συνεπαγωγικής Συλλογιστικής	24
1.6	Επαγωγική Μάθηση στην Τεχνητή Νοημοσύνη.....	25
1.6.1	Τύποι Μάθησης.....	26
1.6.2	Έργα Μη Επιτηρούμενης Μάθησης	27
1.6.3	Έργα Επιτηρούμενης Μάθησης	29
1.7	Βιολογική Εξέλιξη στην Τεχνητή Νοημοσύνη.....	31
1.8	Περίληψη.....	33
1.9	Πρόσθετη Βιβλιογραφία.....	33
1.10	Ασκήσεις.....	33
2	Αναζήτηση σε Χώρους Καταστάσεων.....	35
2.1	Εισαγωγή.....	35
2.1.1	Ο Χώρος Καταστάσεων ως Γράφος	37
2.2	Απληροφόρητοι Αλγόριθμοι Αναζήτησης	39
2.2.1	Μελέτη Περίπτωσης: Το Παζλ των 8 Πλακιδίων	45
2.2.2	Μελέτη Περίπτωσης: Online Αναζήτηση σε Λαβύρινθο	46
2.2.3	Βελτίωση της Απόδοσης με Αμφίδρομη Αναζήτηση	48
2.3	Πληροφορημένη Αναζήτηση: Αναζήτηση Πρώτα στο Καλύτερο	49
2.3.1	Άπληστη Αναζήτηση Πρώτα στο Καλύτερο.....	51
2.3.2	Αναζήτηση A^*	52
2.4	Τοπική Αναζήτηση με Συναρτήσεις Απωλειών Σχετικές με τις Καταστάσεις.....	53
2.4.1	Αναρρίχηση Λόφων	55

2.4.2	Αναζήτηση με Απαγορεύσεις	59
2.4.3	Προσομοιωμένη Ανόπτηση.....	60
2.5	Γενετικοί Αλγόριθμοι	63
2.6	Το Πρόβλημα Ικανοποίησης Περιορισμών.....	64
2.6.1	Το Πρόβλημα Περιοδεύοντος Πωλητή ως Ικανοποίηση Περιορισμών	65
2.6.2	Ο Χρωματισμός Γράφου ως Ικανοποίηση Περιορισμών	65
2.6.3	Το Σουντόκου ως Ικανοποίηση Περιορισμών.....	66
2.6.4	Αλγόριθμοι Αναζήτησης για Ικανοποίηση Περιορισμών	67
2.6.5	Αξιοποίηση Τιμών Απωλειών Σχετικών με τις Καταστάσεις.....	68
2.7	Περίληψη.....	68
2.8	Πρόσθετη Βιβλιογραφία	69
2.9	Ασκήσεις	69
3	Πολυπρακτορική Αναζήτηση	71
3.1	Εισαγωγή.....	71
3.2	Απληροφόρητη Αναζήτηση: Δέντρα Αναζήτησης AND-OR	73
3.2.1	Χειρισμός Περισσότερων από Δύο Πρακτόρων	76
3.2.2	Χειρισμός Μη-Ντετερμινιστικών Περιβαλλόντων	77
3.3	Δέντρα Πληροφορημένης Αναζήτησης με Συναρτήσεις Απωλειών Σχετικών με τις Καταστάσεις.....	77
3.3.1	Ευρετικές Παραλλαγές.....	81
3.3.2	Προσαρμογή σε Αντιπαραθετικά Περιβάλλοντα	82
3.3.3	Προαποθήκευση υποδέντρων	84
3.3.4	Προκλήσεις στον Σχεδιασμό Συναρτήσεων Αξιολόγησης.....	85
3.3.5	Αδυναμίες των Δέντρων Minimax	87
3.4	Κλάδεμα Άλφα-Βήτα	88
3.4.1	Σημασία της Σειράς Αξιολόγησης των Κλαδιών	91
3.5	Δεντρική Αναζήτηση Monte Carlo: Η Επαγωγική Θεώρηση.....	92
3.5.1	Βελτιώσεις στο Μοντέλο Προσδοκώμενου Αποτελέσματος	95
3.5.2	Συνεπαγωγή Έναντι Επαγωγής: Δέντρα Minimax και Monte Carlo	100
3.5.3	Εφαρμογή σε Μη Ντετερμινιστικά και Μερικώς Παρατηρήσιμα Παιχνίδια	101
3.6	Περίληψη.....	102
3.7	Πρόσθετη Βιβλιογραφία.....	102
3.8	Ασκήσεις	102
4	Προτασιακή Λογική.....	105
4.1	Εισαγωγή.....	105
4.2	Προτασιακή Λογική: Βασικές Αρχές	107
4.2.1	Πίνακες Αλήθειας.....	111
4.3	Νόμοι Προτασιακής Λογικής	112
4.3.1	Χρήσιμες Ιδιότητες Συνεπαγωγής και Ισοδυναμίας	114
4.3.2	Ταυτολογίες και Ικανοποιησιμότητα	115
4.3.3	Φράσεις και Κανονικές Μορφές.....	116
4.4	Η Προτασιακή Λογική ως Προπομπός των Έμπειρων Συστημάτων.....	118
4.5	Ισοδυναμία Εκφράσεων στην Προτασιακή Λογική.....	120
4.6	Βασικές Αρχές Απόδειξης σε Βάσεις Γνώσεων	122
4.7	Η Μέθοδος Απόδειξης με Αντίφαση	124
4.8	Αποτελεσματική Λογική Κάλυψη με Οριστικές Φράσεις.....	129
4.8.1	Ορθή Αλυσίδωση	129

4.8.2	Ανάστροφη Αλυσίδωση	131
4.8.3	Σύγκριση Ορθής και Ανάστροφης Αλυσίδωσης	132
4.9	Περίληψη	133
4.10	Πρόσθετη Βιβλιογραφία.....	133
4.11	Ασκήσεις	134
5	Λογική Πρώτης Τάξης	137
5.1	Εισαγωγή	137
5.2	Βασικές Αρχές της Λογικής Πρώτης Τάξης	139
5.2.1	Η Χρήση Ποσοδεικτών	141
5.2.2	Συναρτήσεις Λογικής Πρώτης Τάξης.....	145
5.2.3	Πώς η Λογική Πρώτης Τάξης Κτίζει πάνω στην Προτασιακή Λογική	146
5.2.4	Θέματα Τυποποίησης και Επέκταση Εμβέλειας	149
5.2.5	Αλληλεπίδραση Άρνησης και Ποσοδεικτών	150
5.2.6	Αντικατάσταση και Σκολεμοποίηση.....	151
5.2.7	Γιατί η Λογική Πρώτης Τάξης Είναι Πιο Εκφραστική.....	154
5.3	Συμπλήρωση μίας Βάσης Γνώσεων	155
5.4	Παράδειγμα Έμπειρου Συστήματος με Λογική Πρώτης Τάξης	157
5.5	Συστηματικές Διαδικασίες Συναγωγής	159
5.5.1	Η Μέθοδος Απόδειξης με Αντίφαση	159
5.5.2	Ορθή Αλυσίδωση	162
5.5.3	Ανάστροφη Αλυσίδωση	163
5.6	Περίληψη.....	163
5.7	Πρόσθετη Βιβλιογραφία.....	164
5.8	Ασκήσεις	164
6	Μηχανική Μάθηση: Η Επαγωγική Θεώρηση.....	167
6.1	Εισαγωγή	167
6.2	Γραμμική Παλινδρόμηση.....	170
6.2.1	Στοχαστική Σταδιακή Κάθοδος.....	171
6.2.2	Επίλυση Μέσω Πινάκων.....	172
6.2.3	Χρήση Μεροληψίας	173
6.2.4	Γιατί Είναι Σημαντική η Ομαλοποίηση;.....	174
6.3	Ταξινόμηση Ελάχιστων Τετραγώνων.....	175
6.3.1	Προβλήματα με την Ταξινόμηση Ελάχιστων Τετραγώνων.....	178
6.4	Μηχανή Διανυσμάτων Υποστήριξης	179
6.4.1	Στοχαστική Σταδιακή Κάθοδος Μικρών Δεσμών	180
6.5	Λογιστική Παλινδρόμηση	180
6.5.1	Υπολογισμός Κλίσεων	181
6.5.2	Σύγκριση SVM και Λογιστικής Παλινδρόμησης.....	181
6.5.3	Η Λογιστική Παλινδρόμηση ως Πιθανολογικός Ταξινομητής	183
6.6	Περιβάλλον Πολλαπλών Κλάσεων	184
6.6.1	Ψηφοφορία Ένας-Εναντίον-Όλων και Ένας-Εναντίον-Ενός	184
6.6.2	Πολυωνυμική Λογιστική Παλινδρόμηση	185
6.7	Το Αφελές Μοντέλο Bayes	187
6.8	Ταξινομητής Πλησιέστερων Γειτόνων	189
6.9	Δέντρα Αποφάσεων	190
6.9.1	Φάσης Εκπαίδευσης της Κατασκευής Δέντρων Αποφάσεων	191
6.9.2	Διαχωρισμός Κόμβου	194

6.9.3	Γενίκευση Δέντρων Αποφάσεων σε Τυχαία Δάση	196
6.10	Ταξινομητές Βασιζόμενοι σε Κανόνες	197
6.10.1	Αλγόριθμοι Σειριακής Κάλυψης	198
6.10.2	Σύγκριση των Βασιζόμενων σε Κανόνες Ταξινομητών με τους Λογικούς Κανόνες σε Έμπειρα Συστήματα	200
6.11	Αξιολόγηση Ταξινόμησης	201
6.11.1	Υποδιαίρεση σε Τμήματα Εκπαίδευσης και Ελέγχου	202
6.11.2	Απόλυτα Μέτρα Ακρίβειας	203
6.11.3	Μέτρα Κατάταξης	205
6.12	Περίληψη	209
6.13	Πρόσθετη Βιβλιογραφία	209
6.14	Ασκήσεις	210
7	Νευρωνικά Δίκτυα	211
7.1	Εισαγωγή	211
7.2	Μία Εισαγωγή στους Υπολογιστικούς Γράφους	213
7.2.1	Τα Νευρωνικά Δίκτυα ως Κατευθυνόμενοι Υπολογιστικοί Γράφοι	216
7.2.2	Συνάρτηση Ενεργοποίησης Softmax	218
7.2.3	Συνήθεις Συναρτήσεις Απώλειας	219
7.2.4	Πώς η Μη Γραμμικότητα Αυξάνει την Εκφραστική Ικανότητα	219
7.3	Βελτιστοποίηση σε Κατευθυνόμενους Ακυκλικούς Γράφους	221
7.3.1	Η Πρόκληση των Υπολογιστικών Γράφων	221
7.3.2	Το Γενικό Πλαίσιο για τον Υπολογισμό των Κλίσεων	223
7.3.3	Υπολογισμός Παραγώγων Κόμβου ως προς Κόμβο με Χρήση Ωμής Δύναμης	224
7.3.4	Δυναμικός Προγραμματισμός για τον Υπολογισμό Παραγώγων Κόμβου ως προς Κόμβο	227
7.3.5	Μετατροπή Παραγώγων Κόμβου ως προς Κόμβο σε Παραγώγους Απώλειας ως προς Βάρη	232
7.3.6	Υπολογιστικοί Γράφοι με Διανυσματικές Μεταβλητές	234
7.4	Εφαρμογή: Οπισθοδιάδοση σε Νευρωνικά Δίκτυα	237
7.4.1	Παράγωγοι Κοινών Συναρτήσεων Ενεργοποίησης	239
7.4.2	Η Ειδική Περίπτωση της Softmax	240
7.4.3	Διανυσματοκεντρική Οπισθοδιάδοση	240
7.4.4	Παράδειγμα Διανυσματοκεντρικής Οπισθοδιάδοσης	243
7.5	Μία Γενική Θεώρηση των Υπολογιστικών Γράφων	245
7.6	Περίληψη	247
7.7	Πρόσθετη Βιβλιογραφία	248
7.8	Ασκήσεις	248
8	Ειδικές Νευρωνικές Αρχιτεκτονικές Ανά Τομέα	253
8.1	Εισαγωγή	253
8.2	Υποκείμενες Αρχές Συνελικτικών Νευρωνικών Δικτύων	254
8.3	Η Βασική Δομή ενός Συνελικτικού Δικτύου	256
8.3.1	Συμπλήρωση	261
8.3.2	Βήματα	262
8.3.3	Τυπικές Ρυθμίσεις	263
8.3.4	Το Στρώμα ReLU	264
8.3.5	Συγκέντρωση	264

8.3.6	Πλήρως Συνδεδεμένα Στρώματα.....	266
8.3.7	Η Διεμπλοκή Μεταξύ Στρωμάτων	267
8.3.8	Ιεραρχική Μηχανική Χαρακτηριστικών	268
8.4	Μελέτες Περιπτώσεων Συνελικτικών Αρχιτεκτονικών	270
8.4.1	AlexNet.....	271
8.4.2	VGG	273
8.4.3	ResNet.....	275
8.5	Υποκείμενες Αρχές Επαναλαμβανόμενων Νευρωνικών Δικτύων	278
8.6	Αρχιτεκτονική των Επαναλαμβανόμενων Νευρωνικών Δικτύων.....	280
8.6.1	Παράδειγμα ενός RNN Μοντελοποίησης Γλώσσας	283
8.6.2	Οπισθοδιάδοση στον Χρόνο.....	286
8.6.3	Πολυστρωματικά Επαναλαμβανόμενα Δίκτυα	288
8.7	Μακρά Βραχυπρόθεσμη Μνήμη (LSTM).....	290
8.8	Εφαρμογές Ειδικών Αρχιτεκτονικών για Συγκεκριμένους Τομείς.....	294
8.8.1	Εφαρμογή σε Αυτόματη Τιτλοφόρηση Εικόνων.....	294
8.8.2	Μάθηση Από-Ακολουθία-Σε-Ακολουθία και Μηχανική Μετάφραση.....	295
8.9	Περίληψη	297
8.10	Πρόσθετη Βιβλιογραφία	297
8.11	Ασκήσεις.....	297
9	Μη Επιτηρούμενη Μάθηση.....	299
9.1	Εισαγωγή.....	299
9.2	Μείωση διαστασιμότητας και Παραγοντοποίηση Μητρώων	300
9.2.1	Συμμετρική Παραγοντοποίηση Μητρώων.....	301
9.2.2	Αποσύνθεση Ιδιαζουσών Τιμών	302
9.2.3	Μη Αρνητική Παραγοντοποίηση Μητρώων	308
9.2.4	Μείωση Διαστασιμότητας με Νευρωνικά Δίκτυα.....	313
9.3	Ομαδοποίηση.....	317
9.3.1	Αλγόριθμοι Βασιζόμενοι σε Αντιπροσώπους.....	318
9.3.2	Συσσωρευτικές Μέθοδοι από Κάτω προς τα Πάνω	320
9.3.3	Διαιρετικές Μέθοδοι από Πάνω προς τα Κάτω	324
9.3.4	Αλγόριθμοι Βασιζόμενοι σε Πιθανολογικά Μοντέλα.....	325
9.3.5	Χάρτης Αυτοοργάνωσης Kohonen.....	329
9.3.6	Φασματική Ομαδοποίηση	331
9.4	Γιατί Είναι Σημαντική η Μη Επιτηρούμενη Μάθηση.....	333
9.4.1	Μηχανική Χαρακτηριστικών για Μηχανική Μάθηση	333
9.4.2	Δίκτυα Συναρτήσεων Πυρήνα για Μηχανική Χαρακτηριστικών.....	335
9.4.3	Ημι-επιτηρούμενη μάθηση	337
9.5	Περίληψη.....	341
9.6	Πρόσθετη Βιβλιογραφία.....	341
9.7	Ασκήσεις.....	341
10	Ενισχυτική Μάθηση.....	343
10.1	Εισαγωγή.....	343
10.2	Επιλήσιμους Αλγόριθμοι: Πολλαπλοί Κουλοχέρηδες	345
10.2.1	Αφελής Αλγόριθμος.....	345
10.2.2	ε-Άπληστος Αλγόριθμος.....	346
10.2.3	Μέθοδοι Άνω Οριοθέτησης.....	346
10.3	Πλαίσιο Ενισχυτικής Μάθησης.....	347

10.4	Δειγματοληψία Monte Carlo	349
10.4.1	Αλγόριθμος Δειγματοληψίας Monte Carlo	350
10.4.2	Αναπτύγματα Monte Carlo με Προσεγγιστές Συναρτήσεις	351
10.4.3	Σχέσεις με τη Δεντρική Αναζήτηση Monte Carlo	353
10.5	Δειγματοθέτηση και Μάθηση Χρονικών Διαφορών	354
10.5.1	Q-Μάθηση.....	355
10.5.2	Χρησιμοποίηση Προσεγγιστών Συναρτήσεων.....	356
10.5.3	Παράδειγμα: Λεπτομέρειες Νευρωνικού Δικτύου για Περιβάλλον Βιντεοπαιχνιδιών	359
10.5.4	Μέθοδοι Εντός Πολιτικής Έναντι Μεθόδων Εκτός Πολιτικής: SARSA.....	360
10.5.5	Καταστάσεις Μοντελοποίησης Έναντι Ζευγών Κατάστασης-Ενέργειας ...	361
10.6	Μέθοδοι Κλίσης Πολιτικής.....	363
10.6.1	Η Αρχή του Λόγου Πιθανοφάνειας.....	365
10.6.2	Συνδυασμός Επιτηρούμενης Μάθησης με Κλίσεις Πολιτικών.....	366
10.6.3	Μέθοδοι Ενεργούντος-Κρίνοντος	367
10.6.4	Συνεχείς Χώροι Ενεργειών	369
10.6.5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Κλίσεων Πολιτικών	369
10.7	Επανεξέταση της Δεντρικής Αναζήτησης Monte Carlo	369
10.8	Μελέτες Περιπτώσεων.....	371
10.8.1	AlphaGo: Παιχνίδι Επιπέδου Πρωταθλητισμού στο Go.....	371
10.8.2	Αυτοδιδασκόμενα Ρομπότ	376
10.8.3	Αυτόνομα Αυτοκίνητα	379
10.9	Αδυναμίες της Ενισχυτικής Μάθησης.....	381
10.10	Περίληψη.....	382
10.11	Πρόσθετη Βιβλιογραφία.....	383
10.12	Ασκήσεις	383
11	Πιθανοτικά Γραφικά Μοντέλα.....	385
11.1	Εισαγωγή	385
11.2	Δίκτυα Bayes	386
11.3	Στοιχειώδη Πιθανοτικά Μοντέλα στη Μηχανική Μάθηση.....	390
11.4	Η Μηχανή Boltzmann.....	392
11.4.1	Πώς Δημιουργεί Δεδομένα μία Μηχανή Boltzmann.....	394
11.4.2	Εκμάθηση των Βαρών μίας Μηχανής Boltzmann	395
11.5	Περιορισμένες Μηχανές Boltzmann (RBM)	396
11.5.1	Εκπαίδευση της RBM.....	398
11.5.2	Αλγόριθμος Αντιφατικής Απόκλισης.....	399
11.5.3	Πρακτικά Ζητήματα και Αυτοσχεδιασμοί.....	400
11.6	Εφαρμογές των Περιορισμένων Μηχανών Boltzmann	401
11.6.1	Μείωση Διαστασιμότητας και Ανακατασκευή Δεδομένων	402
11.6.2	RBM για Συνεργατικό Φιλτράρισμα	404
11.6.3	Υπό Συνθήκη Παραγοντοποίηση: Ένα Έξυπνο Τέχνασμα Ομαλοποίησης ..	406
11.7	Περίληψη.....	407
11.8	Πρόσθετη Βιβλιογραφία.....	407
11.9	Ασκήσεις	407

12 Γράφοι Γνώσης.....	409
12.1 Εισαγωγή.....	409
12.2 Μία Επισκόπηση των Γράφων Γνώσης.....	413
12.2.1 Παράδειγμα: WordNet.....	419
12.2.2 Παράδειγμα: YAGO	420
12.2.3 Παράδειγμα: DBpedia.....	420
12.2.4 Παράδειγμα: Freebase	421
12.2.5 Παράδειγμα: Wikidata	422
12.2.6 Παράδειγμα: Gene Ontology	422
12.3 Τρόποι Κατασκευής ενός Γράφου Γνώσης	423
12.3.1 Από Λογική Πρώτης Τάξης σε Γράφους Γνώσης	425
12.3.2 Εξαγωγή από Μη Δομημένα Δεδομένα	425
12.3.3 Αντιμετώπιση Έλλειψης Πληρότητας	426
12.4 Εφαρμογές των Γράφων Γνώσης.....	428
12.4.1 Γράφοι Γνώσης στην Αναζήτηση.....	428
12.4.2 Ομαδοποίηση Γράφων Γνώσης	430
12.4.3 Ταξινόμηση Οντοτήτων	431
12.4.4 Πρόβλεψη Συνδέσεων και Ταξινόμηση σχέσεων	432
12.4.5 Συστήματα Συστάσεων	433
12.5 Περίληψη.....	434
12.6 Πρόσθετη Βιβλιογραφία.....	434
12.7 Ασκήσεις	434
13 Συνδυασμός Συλλογιστικής και Μάθησης.....	437
13.1 Εισαγωγή.....	437
13.2 Η Αντιστάθμιση Μεροληψίας-Διακύμανσης.....	442
13.2.1 Τυπική Θεώρηση	443
13.3 Ένας Γενικός Συνεπαγωγικός-Επαγωγικός Συνδυασμός.....	447
13.3.1 Επαγωγικές Μέθοδοι Συνόλων	447
13.4 Μεταφορά Μάθησης	450
13.4.1 Δεδομένα Εικόνας	452
13.4.2 Δεδομένα Κειμένου	453
13.4.3 Διατομεακή Μεταφορά Μάθησης.....	453
13.5 Διά Βίου Μηχανική Μάθηση	457
13.5.1 Ένα Διδακτικό Παράδειγμα Διά Βίου Μάθηση	457
13.6 Νευροσυμβολική Τεχνητή Νοημοσύνη.....	461
13.6.1 Ερωταποκρίσεις Επί Εικόνων	463
13.7 Περίληψη.....	465
13.8 Πρόσθετη Βιβλιογραφία.....	465
13.9 Ασκήσεις	466
Βιβλιογραφία.....	467
Ευρετήριο	479