

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διδακτορική Διατριβή

Ανάπτυξη αυτο-οργανούμενων ασαφών νευρωνικών
πολυστρωματικών ταξινομητών:
Εφαρμογή στο πρόβλημα ταξινόμησης κάλυψης γης με χρήση
πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων υπερ-υψηλής
ευκρίνειας

Νικόλαος Ε. Μητράκης
Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

Οκτώβριος 2008
Θεσσαλονίκη

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή	1
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.2 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΡΑ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	1
1.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΣΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	3
1.3.1 Στατιστικοί ταξινομητές	4
1.3.2 Νευρωνικοί ταξινομητές	5
1.3.3 Ασαφείς ταξινομητές	6
1.3.4 Ασαφείς νευρωνικοί ταξινομητές	8
1.3.5 Γενετικοί ασαφείς ταξινομητές	10
1.3.6 Ιεραρχικοί ταξινομητές	11
1.3.7 Συνδυασμός ταξινομητών	13
1.3.8 Η αρχιτεκτονική ταξινόμησης Ψήφησης/Απόρριψης	14
1.4 ΠΟΛΥΩΝΥΜΙΚΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	15
1.5 Η ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	18
1.6 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΩΝ	20
1.7 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	23
1.8 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	25

Κεφάλαιο 2

Αυτό-οργανούμενος Ασαφής Νευρωνικός Πολυστρωματικός Ταξινομητής SONEFMUC-I	29
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	29
2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΗ SONEFMUC-I	30
2.3 ΔΟΜΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΩΝ FNC ΠΡΩΤΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	31
2.3.1 Ασαφής Μονάδα Μερικής Περιγραφής	32
2.3.1.1 Καθορισμός επιθυμητών τιμών στόχου κλάσεων	39
2.3.1.2 Μέθοδος αναδρομικών ελαχίστων τετραγώνων	44
2.3.2 Ασαφής Μονάδα Λήψης Απόφασης	45
2.4 ΔΟΜΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΩΝ FNC ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	48
2.5 ΔΟΜΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΩΝ FNC ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	53
2.6 ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΓΚΕΡΑΣΜΟΥ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	58
2.6.1 Ασαφές Ολοκλήρωμα	60
2.6.2 Ελάχιστο	61
2.6.3 Σταθμισμένος μέσος όρος	62
2.6.4 Φόρμα Απόφασης	62
2.6.5 Χαρακτηριστικές περιπτώσεις ταξινόμησης	64
2.6.6 Χαρακτηριστικά του μηχανισμού συγκερασμού αποφάσεων	65
2.7 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ ΔΟΜΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	67

2.8	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ	73
2.8.1	Κωδικοποίηση χρωμοσώματος	76
2.8.2	Αρχικοποίηση πληθυσμού	77
2.8.3	Αξιολόγηση ατόμων πληθυσμού	78
2.8.4	Μέθοδος επιλογής γονέων για αναπαραγωγή	78
2.8.5	Τελεστές διασταύρωσης και μετάλλαξης	79
2.8.6	Επιπλέον τεχνικές και τελεστές γενετικών αλγορίθμων	81
2.8.6.1	Τελεστής ASER	81
2.8.6.2	Περιορισμοί τιμών παραμέτρων δικτύου	81
2.8.6.3	Ελιτισμός	83
2.8.6.4	Γραμμική κλιμάκωση της ποιότητας	83
2.8.6.5	Τελεστής αναρρίκησης	83
2.9	ΣΧΟΛΙΑ ΠΑΝΩ ΣΤΟΝ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΗ SONEFMUC-I	84

Κεφάλαιο 3

Πειραματικά Αποτελέσματα Ταξινομητή SONEFMUC-I		87
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	87
3.2	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑΣ	88
3.2.1	Χαρακτηριστικό παράδειγμα εκπαίδευσης και λειτουργίας ταξινομητή SONEFMUC-I	89
3.2.2	Αποτελέσματα Προσομοιώσεων	97
3.2.3	Επίδραση παραμέτρων ρ και θ στην επίδοση του ταξινομητή	101
3.2.4	Ευρωστία σε θόρυβο ταξινόμησης	102
3.3	ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΑΣΘΕΝΩΝ ΜΕ ΔΙΑΒΗΤΗ	103
3.4	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	106
3.5	ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΥΠΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ (FORENSIC GLASS DATABASE)	109
3.5.1	Επίδραση του καθορισμού κλάσεων στην ακρίβεια της ταξινόμησης ...	116
3.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	117

Κεφάλαιο 4

Το πρόβλημα της τηλεπισκόπησης		123
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	123
4.2	ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	124
4.3	ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΕΣ	125
4.4	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	127
4.4.1	Πηγές πληροφορίας στην ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων	127
4.4.2	Μέθοδοι επιλογής των αναγκαίων χαρακτηριστικών εισόδου	129
4.4.3	Μέθοδοι ταξινόμησης	130
4.4.4	Διαμόρφωση συνόλου προτύπων εκπαίδευσης	132
4.4.5	Εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης	133
4.5	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΥΓΡΟΤΟΠΟΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ	134
4.5.1	Πολυφασματική εικόνα περιοχής μελέτης	135

4.5.2	Διορθώσεις πολυφασματικής εικόνας.....	136
4.5.3	Συλλογή δεδομένων πεδίου	139
4.5.4	Σχήμα ταξινόμησης	140
4.5.5	Διαχωρισμός της εικόνας IKONOS σε αγροτική και υδροτοπική περιοχή 141	
4.6	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΑΣ IKONOS.....	144
4.6.1	Ο μετασχηματισμός Tasseled Cap.....	145
4.6.2	Ο μετασχηματισμός IHS	147
4.6.3	Χαρακτηριστικά υψής με χρήση gray level co-occurrence matrices (GLCM)	147
4.6.3.1	Επιλογή μεγέθους παραθύρου και γωνίας για τον υπολογισμό των GLCM 150	
4.6.4	Χαρακτηριστικά υψής με χρήση του μετασχηματισμού κυματιδίων.....	153

Κεφάλαιο 5

Εφαρμογή του μοντέλου SONEFMUC-I στην ταξινόμηση της λίμνης Κορώνειας		159
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	159
5.2	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΟΥ SONEFMUC-I.....	159
5.3	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑΣ.....	160
5.4	ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SONEFMUC-I ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ.....	162
5.5	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΛΑΘΩΝ.....	164
5.6	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΤΟΠΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ.....	165
5.6.1	Ταξινομητής SONEFMUC-I	165
5.6.2	Ταξινομητής MLC.....	168
5.6.3	Σύγκριση με άλλες μεθόδους	174
5.7	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ.....	174
5.7.1	Ταξινομητής SONEFMUC-I	174
5.7.2	Ταξινομητής MLC.....	177
5.7.3	Σύγκριση με άλλες μεθόδους	182
5.8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	182

Κεφάλαιο 6

Προσαρμογή του χώρου εξόδου των FPD: Αρχιτεκτονική SONEFMUC-II		185
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	185
6.2	ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗ ΤΩΝ ΕΞΟΔΩΝ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ FPD.....	185
6.3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΘΡΟΙΣΗΣ ΕΞΟΔΩΝ ΤΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ FPD 187	
6.4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	189

Κεφάλαιο 7

Συνολικός συγκερασμός αποφάσεων ταξινομητών: Εφαρμογή στην δορυφορική εικόνα IKONOS..... 191

7.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	191
7.2	ΣΥΓΚΕΡΑΣΜΟΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΩΝ SONEFMUC-II ΣΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ IKONOS	191
7.3	ΣΑΦΕΙΣ ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΓΚΕΡΑΣΜΟΥ	195
7.3.1	Πλειοψηφίας	195
7.3.2	Συνδυασμός "Naïve"-Bayes	195
7.3.3	Behavior-Knowledge Space.....	196
7.4	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΟΤΟΠΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΑΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ	197
7.4.1	Ταξινομητής SONEFMUC-II.....	197
7.4.1.1	Κανάλια + TC + IHS	197
7.4.1.2	Κανάλια + Wavelets.....	199
7.4.1.3	Κανάλια + GLCM	199
7.4.1.4	Κανάλια + TC + IHS + Wavelet + GLCM	201
7.4.1.5	Συγκερασμός αποφάσεων ταξινομητών SONEFMUC-II	202
7.4.2	Ταξινομητής MLC	203
7.5	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΑΙΜΝΗΣ ΚΟΡΩΝΕΙΑΣ	205
7.5.1	Ταξινομητής SONEFMUC-II.....	205
7.5.1.1	Κανάλια + TC + IHS	206
7.5.1.2	Κανάλια + Wavelets.....	206
7.5.1.3	Κανάλια + GLCM	209
7.5.1.4	Κανάλια + TC + IHS + Wavelet + GLCM	210
7.5.1.5	Συγκερασμός αποφάσεων ταξινομητών SONEFMUC-II	211
7.5.2	Ταξινομητής MLC	212
7.6	ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ	215
7.6.1	Υδροτοπική περιοχή.....	215
7.6.2	Αγροτική περιοχή	218
7.7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	221

Κεφάλαιο 8

Αποτελεσματικός συνδυασμός στοιχειωδών ταξινομητών FNC: Ο αλγόριθμος GMDHa.....225

8.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	225
8.2	ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΚΜΑΘΗΣΗΣ ΔΟΜΗΣ GMDHa - Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ SONEFMUC-III	226
8.2.1	Το μέτρο ειδικής συμφωνίας δύο ταξινομητών Ps.....	227
8.2.2	Ενδεικτικό παράδειγμα τιμών Ps στο συνδυασμό FNC στη δομή SONEFMUC.....	228
8.2.3	Ο αλγόριθμος GMDHa με χρήση του μέτρου Ps	233
8.3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.....	235
8.3.1	Αναγνώριση τύπου γυαλιού	236

8.3.2	Αναγνώριση ελεύθερων ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα.....	238
8.3.3	Υγροτοπική περιοχή λίμνης Κορώνειας.....	239
8.3.3.1	Κανάλια + TC + IHS.....	239
8.3.3.2	Κανάλια + Wavelets.....	241
8.3.3.3	Κανάλια + GLCM.....	242
8.3.3.4	Κανάλια + TC + IHS + Wavelet + GLCM.....	242
8.4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	245

Κεφάλαιο 9

Προεπιλογή χαρακτηριστικών και συνδυασμός στοιχειωδών ταξινομητών FNC με χρήση της μεθόδου FS-FuCoC: Ο αλγόριθμος GMDHb.....

9.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	247
9.2	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ FS-FuCoC.....	248
9.3	Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ GMDHb ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ FS-FuCoC.....	252
9.4	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.....	256
9.4.1	Αναγνώριση ελεύθερων ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα.....	256
9.4.2	Υγροτοπική περιοχή λίμνης Κορώνειας.....	257
9.4.2.1	Κανάλια + Wavelets.....	257
9.4.2.2	Κανάλια + Tasseled Cap + IHS + Wavelets + GLCM.....	259
9.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	260

Κεφάλαιο 10

Συμπεράσματα και συμβολή της διατριβής - Μελλοντικές επεκτάσεις.....

10.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	263
10.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	263
10.2.1	Αρχιτεκτονική SOnFMUC-I.....	264
10.2.2	Αρχιτεκτονική SOnFMUC-II.....	265
10.2.3	Αρχιτεκτονική SOnFMUC-III.....	265
10.2.4	Αρχιτεκτονική SOnFMUC-IV.....	266
10.2.5	Ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων υπερ-υψηλής ευκρίνειας.....	266
10.3	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....	267

Δημοσιευμένο Ερευνητικό Έργο..... 271

Βιβλιογραφία..... 273