

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ”

Ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση αλγορίθμων απλοποίησης
χαρτογραφικών γραμμών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φανή Κανέλλου

ΖΩΓΡΑΦΟΣ, 2006

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης «Γεωπληροφορική» και συγκεκριμένα στο τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2005-2006.

Το αντικείμενό της αφορά στη διαδικασία της γενίκευσης της χαρτογραφικής γραμμής με αυτοματοποιημένες μεθόδους. Πιο συγκεκριμένα, πραγματεύεται την ανάλυση, σύγκριση και αξιολόγηση πέντε αλγορίθμων γενίκευσης (απλοποίησης) της χαρτογραφικής γραμμής.

Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η βοήθεια που μου παρείχε ο κ. Β. Νάκος, καθηγητής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και επιβλέπων της διπλωματικής μου εργασίας. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τη συνολική καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Λ. Στάμου, μέλος Ε.Δ.Ε.Π. και τον κ. Β. Μητρόπουλο, υποψήφιο διδάκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά την υλοποίηση της εφαρμογής της εν λόγω διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους φίλους μου, οι οποίοι με την κατανόηση και τη συμπαράστασή τους συνέβαλλαν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Φανή Κανέλλου,
Αθήνα, Οκτώβριος 2006

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	I
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	III
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	VI
ABSTRACT	IX
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ	4
2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	5
2.2 ΚΙΝΗΤΡΑ ΚΑΙ ΠΡΟΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ	8
2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	11
2.4 ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ	15
2.4.1 ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	16
2.5 ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ	19
2.6 ΘΕΩΡΙΑ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ	22
2.6.1 ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	26
2.6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	31
3.1 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ RATAJSKI	32
3.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ MORRISON	35

3.3	ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ BRASSEL AND WEIBEL	37
3.4	ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ NICKERSON AND FREEMAN	39
3.5	ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ McMASTER AND SHEA	41
3.5.1	ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ (ΓΙΑΤΙ)	42
3.5.1.1	ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	42
3.5.1.2	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	44
3.5.1.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	45
3.5.2	ΧΑΡΤΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ (ΠΟΤΕ)	46
3.5.2.1	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	47
3.5.2.2	ΧΩΡΙΚΑ ΚΑΙ ΟΛΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ	49
3.5.2.3	ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ	50
3.5.3	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΧΩΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ (ΠΩΣ)	51
3.5.3.1	ΧΩΡΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	52
3.5.3.2	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ 56

4.1	Ο ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	57
4.2	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	58
4.2.1	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ	60
4.2.2	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	61
4.2.3	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΔΕΣΜΕΥΣΕΙΣ	61
4.2.4	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΔΕΣΜΕΥΣΕΙΣ	63
4.2.5	ΚΑΘΟΛΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ	64
4.2.6	Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ WANG & MULLER (BENDSIMPLIFY)	67
4.3	ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ	69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ 72

5.1	ΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	73
5.1.1	Η ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΩΣ ΣΥΝΟΛΟ ΣΗΜΕΙΩΝ	73
5.1.2	Η ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΩΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	75
5.1.2.1	ΤΟ ΠΑΡΑΛΟΞΟ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	78
5.1.3	Η ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΩΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟΥ ΠΑΧΟΥΣ	80
5.2	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	82
5.2.1	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ	84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 86

6.1	ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ	88
-----	---	----

6.2	ΧΡΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	90
6.2.1	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ LANG, REUMANN-WITKAM, VISVALINGAM-WHYATT	91
6.3	ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΤΗΣ Ν. ΠΕΡΙΣΤΕΡΑ	92
6.3.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	95
6.4	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (SLIVER POLYGONS)	96
6.5	ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ	98
6.5.1	ΕΠΙΘΕΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	102
7.1	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ	103
7.1.1	ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	103
7.1.2	ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ	108
7.1.3	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	115
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	120
	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:	120
	ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:	121

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εν λόγω διπλωματική εργασία μελετάται η γενίκευση της χαρτογραφικής γραμμής με αυτοματοποιημένες διαδικασίες, με τη χρήση πέντε διαφορετικών αλγόριθμων γενίκευσης και συγκεκριμένα οι αλγόριθμοι Bendsimplify, Douglas-Peucker, Lang, Reumann-Witkam και Visvalingam-Whyatt. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε σε μία αντιπροσωπευτική γραμμική οντότητα, ως προς την πολυπλοκότητα που εμφανίζει το σχήμα της, την ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς. Ο βασικός στόχος της εργασίας εντοπίζεται στην ανάλυση, σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που παράγουν οι πέντε αυτοί αλγόριθμοι.

Προκειμένου να επιτευχθούν τα παραπάνω, αρχικά, παρατίθεται το θεωρητικό πλαίσιο σχετικά με τη διαδικασία της γενίκευσης καθώς και τους αλγόριθμους γενίκευσης της χαρτογραφικής γραμμής ενώ στη συνέχεια, περιγράφεται η εφαρμογή και τα αποτελέσματα αυτής. Στο τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα.

Πιο συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά τη δομή αυτής της εργασίας, στο πρώτο, εισαγωγικό, κεφάλαιο διατυπώνεται με σαφήνεια ο σκοπός της εργασίας ενώ στη συνέχεια, περιγράφεται εν συντομία η μεθοδολογία προσέγγισης.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην εξέλιξη που παρουσιάζει ο τομέας της χαρτογραφικής γενίκευσης τις τελευταίες δεκαετίες, τόσο σε αυτοματοποιημένο όσο και σε μη-αυτοματοποιημένο επίπεδο. Ταυτόχρονα, παρουσιάζονται ορισμοί της γενίκευσης, καθώς και κίνητρα που οδηγούν σε αυτή.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται και αναλύονται 5 μοντέλα εννοιολογικής γενίκευσης και συγκεκριμένα το μοντέλο του Ratajski (1967), του Morrison (1974), των Brassel and Weibel (1988), των Nickerson and Freeman (1986) και τέλος το μοντέλο των McMaster and Shea (1992)

Στο κεφαλαίο 4 γίνεται λόγος για τον τελεστή απλοποίησης της χαρτογραφικής γραμμής αλλά και για τους ευρύτερα χρησιμοποιούμενους αλγόριθμους απλοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται οι αλγόριθμοι ανεξάρτητων σημείων, οι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας, οι δεσμευμένοι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας, οι μη δεσμευμένοι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας καθώς και οι καθολικοί αλγόριθμοι ενώ, τέλος, περιγράφεται ο αλγόριθμος Bendsimplify ο οποίος δεν μπορεί να ταξινομηθεί βάσει των ανωτέρω κατηγοριών.

Το επόμενο κατά σειρά κεφάλαιο (κεφάλαιο 5) αφορά στη χαρτογραφική γραμμή. Καθώς τα περισσότερα προς χαρτογράφηση γεωγραφικά αντικείμενα είναι γραμμικά και δεδομένου ότι παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ποικιλία τύπων και δομών, τα γραμμικά φαινόμενα είναι τα πλέον σημαντικά στην επιστήμη της χαρτογραφίας. Στο εν λόγω κεφάλαιο αναλύονται οι βασικοί γεωμετρικοί τρόποι διαχείρισης της χαρτογραφικής γραμμής (η χαρτογραφική γραμμή ως σύνολο σημείων, ως γραμμικό χαρακτηριστικό αλλά και ως επιφανειακό χαρακτηριστικό πεπερασμένου πλάτους) και παρατίθενται ορισμένα βασικά κριτήρια για την αξιολόγηση των απλοποιημένων γραμμών.

Τα επόμενα κεφάλαια αφορούν στην εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας. Ειδικότερα, το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στη διαδικασία η οποία

ακολουθήθηκε για την ολοκλήρωση της εφαρμογής. Αρχικά, αναλύεται η διαδικασία προετοιμασίας των δεδομένων καθώς και η διαδικασία απλοποίησης με την εφαρμογή των προαναφερθέντων αλγορίθμων. Επιπρόσθετα, περιγράφονται ορισμένοι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης απλοποιημένων χαρτογραφικών γραμμών.

Το έβδομο κεφάλαιο αναφέρεται στην αξιολόγηση και σύγκριση του αποτελέσματος της γενίκευσης που παράγει ο κάθε αλγόριθμος. Οι αλγόριθμοι αυτοί αξιολογούνται τόσο σε ποσοτικό επίπεδο με χρήση του μέτρου της ολικής επιφανειακής μετάθεσης (T.A.D.), όσο και σε ποιοτικό. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται μία σύγκριση των αποτελεσμάτων της ποιοτικής και ποσοτικής αξιολόγησης.

Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο εξάγονται συμπεράσματα που αφορούν στο σύνολο της διπλωματικής εργασίας.

ABSTRACT

This Diploma Thesis is referring to the generalization of cartographic line with automated processes, using five different algorithms of generalisation: Bendsimplify, Douglas-Peucker, Lang, Reumann-Witkam and Visvalingam-Whyatt. The methodology that was developed was applied in a representative linear entity, in regard to its shape complexity, the coastline of Peristera Island. The main objective is the analysis, comparison and evaluation of the results that produce these five algorithms.

In order to achieve the aim of the study, the theoretical frame with regard to the generalization process as well as the generalization algorithms of cartographic line, are presented. Thereinafter, the application and its results are described, while the last chapter is referring to the conclusions.

In particular, as for the structure of this thesis, in the very first chapter the aim of the study is formulated with clarity while the methodology approach is described briefly.

The second chapter refers to the development of cartographic generalization the last decades, in automated as well as in manual level. Simultaneously, definitions, as well as motives for generalisation are presented. Finally, discrimination between conceptual and structural generalisation is presented.

The third chapter refers to the analysis of five conceptual models of generalisation: the model of Ratajski (1967), Morrison (1974), Brassel and Weibel (1988), Nickerson

and Freeman (1986) and finally, the model of McMaster and Shea (1992), while, the fourth chapter refers to the simplification of cartographic line as well as to the most widely used simplification algorithms.

The fifth chapter refers to the cartographic line. Linear features are important in cartography because most geographic objects are linear and they present a great variety of types and structures. The cartographic line has been treated within a variety of geometric contexts, as a set of points, a line, and even as an areal feature. In addition, basic criteria for the evaluation of simplified lines are presented.

Next chapters refer to the technical part of this Thesis. More specifically, the sixth chapter refers to the process which was followed in order to complete the application. The process of data preparation is presented, as well as the process of simplification using the algorithms. Moreover, quantitative indexes for the evaluation of simplified cartographic lines are described.

The seventh chapter refer to the evaluation and comparison of the results that produces each generalization algorithm. These algorithms are evaluated in quantitative level using the Total Areal Difference index, as well as in qualitative level. Finally, a comparison between the results of qualitative and quantitative evaluation is presented.

The eighth and last chapter draws conclusions on the total of this thesis.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διαδικασία της Χαρτογραφικής Γενίκευσης αποτελεί ένα από τα πλέον βασικά θέματα μελέτης και έρευνας της επιστημονικής περιοχής της Αναλυτικής Χαρτογραφίας. Αναφέρεται στη διαδικασία αναπαράστασης της πραγματικότητας υπό κλίμακα και την επιλεκτική αφαίρεση χωρικών δεδομένων ή επιμέρους πληροφορίας και ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες, αυτοματοποιημένους πλέον σε μεγάλο βαθμό. Η χαρτογραφική γενίκευση υλοποιείται μέσα από συγκεκριμένες διεργασίες, οι οποίες μπορούν ταξινομηθούν σε τέσσερις ομάδες: απλοποίηση, ταξινόμηση, συμβολισμό και επαγωγή (Robinson et al. 1984).

Η Χαρτογραφική Γενίκευση, παρόλο που αποτελεί μείζον πρόβλημα της χαρτογραφίας, αποτελεί συγχρόνως ένα ισχυρό εργαλείο, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας μικρής κλίμακας χαρτών μεγάλων επιφανειών, όπου επιλεκτικά αναπαριστώνται οι πληροφορίες ενδιαφέροντος.

Τα γραμμικά φαινόμενα είναι τα πλέον σημαντικά στην επιστήμη της χαρτογραφίας καθώς τα περισσότερα προς χαρτογράφηση φαινόμενα είναι γραμμικά από τη φύση τους. Επιπλέον, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ποικιλία τύπων και δομών ενώ τα επιφανειακά φαινόμενα, που αναπαρίστανται από κυρτά ή μη-κυρτά πολύγωνα, περι-κλείονται από ένα σύνολο γραμμών.

Με την εισαγωγή του H/Y ως χαρτογραφικού εργαλείου στις συμβατικές διεργασίες της γενίκευσης διαμορφώθηκε για το χαρτογράφο, σε μεγάλο βαθμό, μια διαφορετική αντίληψη για την ίδια τη γενίκευση. Η αυτοματοποιημένη γενίκευση συντελείται με τη χρήση κατάλληλων αλγόριθμων.

Ο στόχος της εν λόγω διπλωματικής εργασίας εντοπίζεται στην προσπάθεια ανάλυσης, σύγκρισης και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που παράγουν πέντε διαφορετικοί αλγόριθμοι γενίκευσης της χαρτογραφικής γραμμής και συγκεκριμένα οι αλγόριθμοι Bendsimplify, Douglas-Peucker, Lang, Reumann-Witkam και Visvalingam-Whyatt.

Από τα προηγούμενα, γίνεται αντιληπτό ότι οι στόχοι της εργασίας δεν περιορίζονται απλώς στην παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας και των αποτελεσμάτων των συγκεκριμένων αλγορίθμων χαρτογραφικής γενίκευσης για τους οποίους γίνεται λόγος. Αντίθετα, ο βασικός στόχος ο οποίος έχει τεθεί αφορά στη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων αλλά και γενικότερα στην αξιολόγηση αυτών.

1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

Οι αλγόριθμοι οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας συνιστούν αλγόριθμους απλοποίησης της χαρτογραφικής γραμμής και είναι οι εξής:

- ο αλγόριθμος του **Lang**, ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των αλγορίθμων τοπικής επεξεργασίας με δεσμεύσεις,

- ο αλγόριθμος των **Reumann & Witkam**, ο οποίος αποτελεί αλγόριθμο τοπικής επεξεργασίας χωρίς δεσμεύσεις,
- ο αλγόριθμος των **Visvaligam & Whyatt**, ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των καθολικών αλγορίθμων και βασίζεται σε επιφανειακή ανοχή,
- ο αλγόριθμος των **Douglas & Peucker**, ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των καθολικών αλγορίθμων καθώς και
- ο αλγόριθμος **Wang & Muller** (Bendsimplify).

Από τους παραπάνω αλγορίθμους, οι τρεις πρώτοι (Lang, Reumann and Witkam, Visvaligam and Whyatt) προγραμματίστηκαν με τη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic 6.0, ενώ οι δύο τελευταίοι (Douglas and Peucker, Wang & Muller) είναι ενσωματωμένοι στο λογισμικό πακέτο ArcGIS (Arc/Info).

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε σε μία αντιπροσωπευτική γραμμική οντότητα, ως προς την πολυπλοκότητα που εμφανίζει το σχήμα της, την ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς. Το αποτέλεσμα της γενίκευσης που παράγει ο κάθε αλγόριθμος αξιολογείται τόσο σε ποσοτικό επίπεδο όσο και σε ποιοτικό. Για την ποσοτική αξιολόγησή τους χρησιμοποιείται το μέτρο της ολικής επιφανειακής μετάθεσης (T.A.D.), ενώ η ποιοτική αξιολόγηση αναφέρεται στην οπτική ανάλυση των γενικευμένων ακτογραμμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ

Η γενίκευση αποτελεί μια πολύπλοκη χαρτογραφική διεργασία με στόχους που ακόμα και σήμερα δεν έχουν υλοποιηθεί σε ψηφιακό περιβάλλον με ολοκληρωμένο και κατηγορηματικό τρόπο, λόγω των υποκειμενικών παραγόντων που την καθορίζουν. Οι χαρτογράφοι, στην προσπάθεια αντιμετώπισης των ανοικτών προβλημάτων της γενίκευσης, εκτός από τις αλγοριθμικές τεχνικές, έχουν επιστρατεύσει μεθόδους που βασίζονται στην αναπαράσταση της γνώσης και στα συστήματα που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων.

Σκοπός του εν λόγω κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει τα βήματα που έχουν γίνει στον τομέα της χαρτογραφικής γενίκευσης τις τελευταίες δεκαετίες. Αρχικά, παρουσιάζονται ορισμοί οι οποίοι έχουν κατά καιρούς δοθεί, καθώς και τα κίνητρα που οδηγούν στη διαδικασία της γενίκευσης, ενώ στη συνέχεια, περιγράφεται η διαδικασία της αυτοματοποιημένης γενίκευσης. Κατόπιν, γίνεται διάκριση μεταξύ εννοιολογικής και δομικής γενίκευσης και τέλος, αναλύεται η μεθοδολογία εφαρμογής της θεωρίας της κλασματικής γεωμετρίας στη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης και ειδικότερα στην απλοποίηση γραμμών.

2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ

Στην χαρτογραφία, η διεργασία με την οποία ένας χάρτης μετατρέπεται σε έναν παράγωγο με μικρότερη κλίμακα από αυτήν του αρχικού, καλείται **γενίκευση**, **χαρτογραφική γενίκευση** ή **γενίκευση χάρτη**. Σύμφωνα με το Πολύγλωσσο Λεξικό Τεχνικών Όρων της Χαρτογραφίας (*Multilingual Dictionary of Technical Terms in Cartography*), η **χαρτογραφική γενίκευση** ορίζεται ως:

«η επιλεγμένη και απλοποιημένη αναπαράσταση των λεπτομερειών που κρίνονται κατάλληλες ως προς την κλίμακα ή και το σκοπό του χάρτη» (ICA 1973).

Η γενίκευση περιγράφει τη μείωση της πολυπλοκότητας σε ένα χάρτη, αποδίδει με έμφαση τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά του χώρου ενώ αντίθετα εξαλείφει όσα από αυτά δεν είναι σημαντικά. Επιπρόσθετα, διατηρεί τις λογικές και κατηγορηματικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων του χάρτη αλλά και την αισθητική του ποιότητα (Νάκος 2005). Ο βαθμός της διατηρούμενης λεπτομέρειας ή με άλλα λόγια ο βαθμός της εφαρμοζόμενης γενίκευσης στα χαρτογραφικά δεδομένα, καθώς και οι μέθοδοι επεξεργασίας των αρχικών δεδομένων για την απαλοιφή της πληροφορίας, εξαρτώνται άμεσα από το είδος και την κλίμακα του χάρτη (Παρασχάκης κ.ά. 1998). Η διαδικασία της γενίκευσης στοχεύει στη δημιουργία χαρτών με γραφική ενάργεια, με τρόπο που η εικόνα του χάρτη να είναι εύκολα αντιληπτή από το χρήστη και το μήνυμα που μεταφέρει ο χάρτης να καθίσταται κατανοητό.

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, η γενίκευση επιτυγχάνεται με την επιλεκτική αφαίρεση ή και τροποποίηση της πληροφορίας που αντιστοιχεί είτε στον πραγματικό

κόσμο, είτε σε ένα χάρτη μεγαλύτερης κλίμακας. Η επιλεκτική αυτή αφαίρεση πληροφορίας υλοποιείται μέσα από συγκεκριμένες διεργασίες, οι οποίες αν επιχειρηθεί να ομαδοποιηθούν, μπορούν ταξινομηθούν σε τέσσερις ομάδες (Robinson *et al.* 1984). Οι ομάδες αυτές είναι:

- η απλοποίηση,
- η ταξινόμηση,
- ο συμβολισμός και
- η επαγωγή

Δεδομένου ότι, η πληροφορία που απεικονίζεται στο χάρτη χαρακτηρίζεται από δύο συνιστώσες, τη θέση και τη σημασία, τότε η γενίκευση ως διαδικασία επιδρά και στις δύο συνιστώσες (Keates 1973). Το αποτέλεσμα της γενίκευσης, επομένως, είναι προϊόν αντικειμενικών (αφαίρεση) αλλά και υποκειμενικών (επιλεκτική αφαίρεση) λειτουργιών. Η εμπειρία των χαρτογράφων έχει καταγράψει με κατηγορηματικό τρόπο ότι, η σημασία των υποκειμενικών λειτουργιών είναι τόσο μεγάλη, ώστε να καθορίζει αυτή σε μεγάλο βαθμό τη δημιουργία επιτυχημένων χαρτών. Για να είναι το αποτέλεσμα της γενίκευσης από διαφορετικούς χαρτογράφους ομοιόμορφο, χωρίς να είναι διαφοροποιημένη οπτικά η εικόνα των χαρτογραφικών χαρακτηριστικών, δημιουργούνται ανάλογα με το σκοπό και την κλίμακα του χάρτη, κοινά αποδεκτοί κανόνες-προδιαγραφές (Νάκος 2002).

Η κλίμακα και ο σκοπός του χάρτη δεν αποτελούν τους μοναδικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της γενίκευσης. Η ποιότητα των δεδομένων, οι

προδιαγραφές με τις οποίες σχεδιάζονται τα σύμβολα του χάρτη και οι τεχνικές δυνατότητες αναπαραγωγής του, επηρεάζουν, επίσης, τη γενίκευση ενός χάρτη.

Η ανάπτυξη των ψηφιακών μεθόδων στην χαρτογραφία διεύρυνε το νόημα και το περιεχόμενο της γενίκευσης. Ένας ορισμός της γενίκευσης που να υλοποιείται με ψηφιακές μεθόδους, ο οποίος αντανακλά τις παραδοσιακές αναλογικές μεθόδους, είναι ο ακόλουθος:

«Ως ψηφιακή γενίκευση ορίζεται η διαδικασία δημιουργίας, από ένα σύνολο αρχικών δεδομένων, ενός παράγωγου συνόλου χαρτογραφικών δεδομένων κωδικοποιημένων με συμβολικό ή ψηφιακό τρόπο, με εφαρμογή χωρικών μετασχηματισμών ή μετασχηματισμών των ιδιοτήτων τους».

Εξετάζοντας την ψηφιακή εκδοχή της γενίκευσης από μια διαφορετική οπτική μπορεί να κατανοηθεί ως μια διεργασία αναγωγής της χωρικής ανάλυσης, η οποία επηρεάζει το θεματικό αλλά και το γεωμετρικό περιεχόμενο της χωρικής βάσης δεδομένων. Η γενίκευση του θεματικού περιεχομένου μιας χωρικής βάσης δεδομένων σημαίνει αλλαγή του σχήματος της βάσης δεδομένων, μείωση του αριθμού των χωρικών οντοτήτων που περιλαμβάνονται σε αυτήν, απαλοιφή ορισμένων ιδιοτήτων, ή τέλος αντικατάσταση ορισμένων τιμών των ιδιοτήτων. Η γενίκευση του γεωμετρικού περιεχομένου μιας χωρικής βάσης δεδομένων, με αναγωγή της χωρικής ανάλυσης, υλοποιείται με απαλοιφή ορισμένων χαρτογραφικών αντικειμένων ή μέρους τους, με την απλοποίηση της μορφής τους, ή τέλος με μετάθεση της θέσης τους ώστε να εξασφαλίζεται η οπτική τους διάκριση (Νάκος 2005).

2.2 ΚΙΝΗΤΡΑ ΚΑΙ ΠΡΟΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ

Η γενίκευση δεν υποκινείται μόνο από την ανάγκη να μειωθεί η κλίμακα ενός χάρτη, όπως παρουσιάζεται, πολλές φορές, σε χαρτογραφικά εγχειρίδια (*Swiss Society of Cartography* 1987), αλλά και από άλλους βασικούς παράγοντες οι οποίοι και παρουσιάζονται ακολούθως.

Ένας από τους κύριους παράγοντες οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία της γενίκευσης αποτελούν οι **οικονομικές προαπαιτήσεις**. Η γνώση του ανθρώπου για την πραγματικότητα προσδιορίζεται από διαδικασίες συλλογής δεδομένων, οι οποίες επηρεάζονται από οικονομικές και τεχνολογικές συνθήκες. Κάθε χαρτογραφική βάση δεδομένων έχει υποστεί υποχρεωτικά τη διαδικασία της γενίκευσης κατά τη δειγματοληψία. Ένα προφανές παράδειγμα αποτελούν οι χαρτογραφικές βάσεις δεδομένων οι οποίες προέρχονται από την ψηφιοποίηση αναλογικών ή τη συγχώνευση δεδομένων που συγκεντρώθηκαν σε απογραφικούς τομείς. Η απλοποίηση, η επιλογή καθώς και οι γεωμετρικοί και εννοιολογικοί συνδυασμοί κατά τη συλλογή χωρικών δεδομένων συντελούν στην αναγωγή και μείωση της πληροφορίας που συγκεντρώνεται. Η διαδικασία αυτή μπορεί να ονομαστεί γενίκευση αντικειμένων (*object generalization*) και παράγει ένα βασικό τοπογραφικό χάρτη (*Digital Landscape Model-DLM*), (Grunreich 1985).

Η γενίκευση υποκινείται, ακόμη, από τις **προαπαιτήσεις σταθερότητας δεδομένων**. Τα σφάλματα, τα οποία προέρχονται από τον άνθρωπο, τα όργανα και τις ακολουθούμενες μεθοδολογίες, είναι σημαντικά συστατικά της συλλογής δεδομένων και κατά συνέπεια, συστατικά κάθε υφιστάμενης χωρικής βάσης δεδομένων. Η

γενίκευση αποτελεί τη διαδικασία με την οποία φιλτράρονται και αναδιανέμονται οι ακριβείς τάσεις που επικρατούν στον πραγματικό κόσμο. Είναι πλάνη να θεωρείται ότι μονάχα αυξάνοντας την ακρίβεια των μετρήσεων ή μειώνοντας το διάστημα δειγματοληψίας θα μειωθεί η ύπαρξη σφαλμάτων. Μια γενικευμένη τάση είναι περισσότερο σταθερή παρά μια συγκεκριμένη παρατήρηση (Whittaker and Robinson 1944).

Οι **προαπαιτήσεις πολλαπλού σκοπού** αποτελούν το τρίτο κριτήριο για γενίκευση. Οι θεσμοθετημένοι χαρτογραφικοί φορείς παρέχουν ενημερωμένη χωρική-χαρτογραφική πληροφορία σε μεγάλο εύρος χρηστών όπως για παράδειγμα χωροτάκτες, γεω-επιστήμονες, οικολόγους και στρατιωτικούς. Η πληροφορία αυτή παρέχεται σε διάφορες κλίμακες δεδομένου ότι τα φυσικά ή τα ανθρώπινα χαρακτηριστικά του χώρου αποδίδονται με ιδιότητες εξαρτώμενες από την κλίμακα (Buttenfield 1989). Στην πράξη η αναπαράσταση της χωρικής πληροφορίας είναι αδύνατη για όλες τις πιθανές κλίμακες. Έτσι, μια ψηφιακή χαρτογραφική βάση δεδομένων σε μια μεγάλη κλίμακα χρησιμοποιείται ως βασική για τη δημιουργία μέσω της γενίκευσης παράγωγων χαρτογραφικών βάσεων δεδομένων σε διάφορες κλίμακες (Grunreich 1985).

Η γενίκευση υποκινείται, τέλος, από τις **προαπαιτήσεις απόδοσης και επικοινωνίας**. Οι χάρτες αποδίδουν χωρικές πληροφορίες, οι οποίες συνήθως συλλέγονται σε κλίμακα μεγαλύτερη από την απεικονιζόμενη και οι οποίες προέρχονται από επίγειες μετρήσεις, φωτογραμμετρική απόδοση ή δορυφορικές εικόνες. Γενικά, είναι αναγκαίο να γίνεται συμπίεση των χωρικών δεδομένων καθώς, κατά τη διαδικασία της συλλογής συγκεντρώνονται πολύ περισσότερα δεδομένα από αυτά που μπορούν

να ειπωθούν σε ένα χάρτη. Τόσο οι παραδοσιακοί χαρτογράφοι όσο και οι χρήστες της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) - *Geographic Information Systems (GIS)* - αποδέχονται την ύπαρξη ενός κατώτατου φυσικού ορίου στην ποσότητα της πληροφορίας που μπορεί να αποδοθεί στο χάρτη. Σύμφωνα με τον Bertin (1967) σε κάθε cm^2 του χάρτη μπορούν να τοποθετηθούν έως δέκα μικρά γραφικά σήματα. Η μείωση της κλίμακας των χαρτογραφικών αντικειμένων δεν συνεχίζεται επ' αόριστον, αλλά τερματίζεται όταν οι υπό σμίκρυνση διαστάσεις των χαρτογραφικών αντικειμένων πλησιάζουν το όριο της οξύτητας του ανθρώπινου οφθαλμού (Müller 1991).

2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ

Είναι γνωστό πως οι χαρτογράφοι για αιώνες αντιμετώπιζαν το πρόβλημα της χαρτογραφικής γενίκευσης και γενικότερα, της αναπαράστασης του τρισδιάστατου κόσμου σε μία δισδιάστατη επιφάνεια, το χάρτη. Μία από τις πρώτες μελέτες, που αφορούν στο πρόβλημα της χαρτογραφικής γενίκευσης, δημοσιεύτηκε στις αρχές του 20^{ου} αι. από το Γερμανό χαρτογράφο Max Eckert, ο οποίος εξέδωσε την εκτενή μελέτη του «*Die Kartenwissenschaft*» το 1921. Την περίοδο αυτή, ο Eckert εισήγαγε την έννοια της επιστημονικής χαρτογραφίας, η οποία, σύμφωνα με τον ίδιο, θα έπρεπε να αφιερωθεί στην αναζήτηση ιστορικών χαρτών, χαρτογραφικών προβολών αλλά και ενός τρόπου αναπαράστασης της τρίτης διάστασης (McMaster and Shea 1992).

Ο Eckert, μέσα από τις μελέτες του, προσπάθησε να συνδυάσει την καλλιτεχνική και επιστημονική πλευρά της χαρτογραφικής γενίκευσης. Πιο συγκεκριμένα, το 1908, σε μία εργασία του, ισχυρίστηκε ότι κατά τη γενίκευση παρουσιάζεται η δυσκολία της δημιουργίας ενός επιστημονικού χάρτη για το λόγο ότι δεν επιτρέπει στο χαρτογράφο να βασιστεί μόνο σε αντικειμενικούς παράγοντες αλλά και σε υποκειμενικούς. Παρόλο, λοιπόν, που η διαδικασία της γενίκευσης ελέγχεται από παράγοντες αντικειμενικούς, ώστε να είναι αξιόπιστη, η προσωπική άποψη του χαρτογράφου είναι αναπόφευκτη. Ωστόσο, ο υποκειμενικός παράγοντας δεν πρέπει να επικρατεί έναντι του αντικειμενικού. Άλλωστε, οι επιταγές της επιστήμης αποδίδουν στο χάρτη ένα κατά βάση αντικειμενικό χαρακτήρα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι χάρτες ξεχωρίζουν από τα έργα τέχνης. Οι γενικευμένοι χάρτες, και όχι μόνο, θα

πρέπει, τελικά, να συνδυάζουν τα στοιχεία τόσο της τέχνης αλλά και της επιστήμης (Eckert 1908).

Στις αρχές της δεκαετίας του 1940 έκαναν την εμφάνισή τους στη βιβλιογραφία και άλλες σημαντικές επιστημονικές μελέτες οι οποίες αφορούσαν στη γενίκευση. Ο J.K. Wright κατέγραψε λεπτομερώς την επιστημονική ακεραιότητα των χαρτών. Σύμφωνα με τον Wright, κάποιοι χαρτογράφοι δεν επιχειρούν να δημιουργήσουν χάρτες ακριβείς και σωστούς, αλλά αποτυπώνουν σε αυτούς τη γεωγραφική πληροφορία χρησιμοποιώντας τη φαντασία τους (Wright 1942).

Η χαρτογραφική γενίκευση, όπως περιγράφεται από τον Wright, επηρεάζει εμφανώς την επιστημονική ακεραιότητα και αποτελείται από δύο συνιστώσες, την **απλοποίηση** και την **ενίσχυση**. Η απλοποίηση προσδιορίστηκε ως η διαδικασία χειρισμού της ακατέργαστης πληροφορίας που είναι ιδιαίτερα περίπλοκη ή έχει μεγάλο όγκο για να αναπαραχθεί πλήρως, ενώ η ενίσχυση προσδιορίστηκε ως η τροποποίηση της ανεπαρκούς πληροφορίας. Η χρήση των παραπάνω όρων, στην πραγματικότητα, αποτελεί μια από τις πρώτες προσπάθειες απομόνωσης και καθορισμού στοιχείων τα οποία αποτελούν μέρος της διαδικασίας της γενίκευσης (McMaster and Shea 1992).

Το βιβλίο *General Cartography* του Erwin Raisz, αποτελεί το πρώτο περιεκτικό εγχειρίδιο στο οποίο αναλύεται συστηματικά η διαδικασία της γενίκευσης. Σε αυτό, ο Raisz παρουσιάζει μία ιδιαίτερα απλοϊκή άποψη της γενίκευσης, η οποία εστιάζει στην τροποποίηση συγκεκριμένων τύπων ισοϋψών καμπύλων (Raisz 1948). Σε μια πιο πρόσφατη έκδοση του εν λόγω βιβλίου, ο Raisz επέκτεινε σε μεγάλο βαθμό τη

σκέψη του αναφορικά με τη γενίκευση. Η γενίκευση, σύμφωνα με τον ίδιο, δεν έχει κανένα κανόνα αλλά την αποτελούν οι διαδικασίες του συνδυασμού, της απαλοιφής, και της απλοποίησης. Ο Raisz αντιλήφθηκε, επίσης, τη σύνδεση μεταξύ γεωγραφίας και χαρτογραφίας και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, «η σωστή γενίκευση απαιτεί καλή γνώση γεωγραφίας αλλά και αίσθηση της διάστασης» (Raisz 1962).

Ο Arthur Robinson, μέσα σε μία περίοδο τεσσάρων δεκαετιών, κατέγραψε τις εξελίξεις στη γενίκευση. Από την περίοδο 1953 έως 1984, το εγχειρίδιο του Robinson (και των Sale, Morrison και Muehrcke αργότερα), *Elements of Cartography*, συνόψιζε το μεγαλύτερο μέρος της σημαντικότερης έρευνας στον τομέα της γενίκευσης (Robinson 1953, 1960; Robinson and Sale 1969; Robinson *et al.* 1978, 1984). Μέχρι το 1960, στη δεύτερη έκδοση του εν λόγω εγχειριδίου, η διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης καταλάμβανε μεγάλη έκταση κειμένου. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Robinson, η διαδικασία της γενίκευσης:

1. επιλέγει τα αντικείμενα που παρουσιάζονται,
2. απλοποιεί τη μορφή τους και
3. αξιολογεί τη σχετική σημασία των στοιχείων που απεικονίζονται προκειμένου να κατασταθεί η εμφάνιση των πιο σημαντικών στοιχείων προεξέχουσα.

Ο Robinson ασχολήθηκε, ακόμη, με τη σημασία της υποκειμενικότητας στη διαδικασία γενίκευσης. Παρά τις προσπάθειες που έκανε να αναλύσει τη διαδικασία της γενίκευσης, το 1960, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι θα ήταν αδύνατο να διατυπώσει ένα σύνολο κανόνων, το οποίο θα μπορούσε να ορίσει, επακριβώς, τις διαδικασίες για την αμερόληπτη γενίκευση χαρτών. Όπως ο ίδιος υποπτεύθηκε, η

γενίκευση, θα παρέμενε για πάντα μια πραγματικά δημιουργική διαδικασία, η οποία θα απέφευγε τη σύγχρονη τάση προς την τυποποίηση. Συγχρόνως, ο Robinson διέκρινε τις διαδικασίες της διανοητικής γενίκευσης (*intellectual*), δηλαδή την επιλογή και την απεικόνιση των γεωγραφικών οντοτήτων οι οποίες απεικονίζονται στους χάρτες, και της οπτικής γενίκευσης, η οποία εστιάζει στο οπτικό αποτέλεσμα, όπως είναι ο ακριβής χαρακτήρας της γραμμής (Robinson 1960).

Στην τέταρτη έκδοση του εγχειριδίου (Robinson *et al.* 1978), ένα ολόκληρο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στο θέμα της χαρτογραφικής γενίκευσης, όπου αναλύονται και τα τέσσερα στοιχεία της εν λόγω διαδικασίας - απλοποίηση, ταξινόμηση, συμβολισμός, επαγωγή - αλλά και η αντικειμενικότητα, η κλίμακα, τα γραφικά όρια, και η ποιότητα των δεδομένων. **Η απλοποίηση** ορίστηκε ως ο καθορισμός των σημαντικών χαρακτηριστικών των δεδομένων και της αποβολής της ανεπιθύμητης λεπτομέρειας. **Η ταξινόμηση** ορίστηκε ως η ομαδοποίηση των δεδομένων, ενώ ο **συμβολισμός** ως η διαδικασία της γραφικής κωδικοποίησης των δεδομένων. Τέλος, η **επαγωγή** ορίστηκε ως η διαδικασία της λογικής εξαγωγής συμπερασμάτων (Robinson *et al.* 1978). Η επίσημη, αυτή, δομή της γενίκευσης, όπως αναπτύχθηκε από τον Robinson και τους συνεργάτες του, αποτέλεσε σημείο αναφοράς για τους ακαδημαϊκούς χαρτογράφους κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 και τις αρχές του 1980.

2.4 ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ

Με την εισαγωγή του Η/Υ ως χαρτογραφικού εργαλείου στις συμβατικές διεργασίες της γενίκευσης διαμορφώθηκε για το χαρτογράφο, σε μεγάλο βαθμό, μια διαφορετική αντίληψη για την ίδια τη γενίκευση. Ήδη από τη δεκαετία του 1970 και 1980 είχε απορριφθεί η αντίληψη που επικρατούσε στη χαρτογραφική κοινότητα, ότι η γενίκευση είναι μια διαδικασία που δεν μπορεί να αυτοματοποιηθεί (Tobler 1989). Σημαντικό βάρος στην εξέλιξη αυτή, είχε η εμφάνιση ενός επιτυχημένου αλγόριθμου απλοποίησης γραμμών από τους Douglas and Peucker (1973).

Το περιεχόμενο της γενίκευσης υποβοηθούμενης από υπολογιστή αποδίδεται σήμερα με τον όρο «αυτοματοποιημένη γενίκευση». Η χρήση του Η/Υ είναι απόλυτα κατάλληλη για τις αντικειμενικές λειτουργίες της γενίκευσης. Συνήθως οι λειτουργίες αυτές απαιτούν επαναληπτικές επεξεργασίες μεγάλου όγκου δεδομένων. Για τις υποκειμενικές, όμως, λειτουργίες της γενίκευσης το πρόβλημα της αυτοματοποίησης της διαδικασίας είναι περισσότερο σύνθετο. Σήμερα, επικρατεί η αντίληψη ότι οι λειτουργίες αυτές μπορούν να υποβοηθηθούν μερικώς σε υπολογιστικό περιβάλλον (Νάκος 2002).

Αντίθετα με τη χειροκίνητη γενίκευση, η οποία αποτελεί μία ολιστική διαδικασία τόσο στην αντιληπτική της διάσταση όσο και στην εκτέλεσή της, η εκτέλεση της διαδικασίας της ψηφιακής γενίκευσης ομοιάζει με την πεπερασμένη λογική ενός σειριακού υπολογιστή, που σημαίνει ότι τα διάφορα στάδια επεξεργασίας χειρίζονται ανεξάρτητα και εφαρμόζονται με προκαθορισμένη διαδοχική ακολουθία.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της γενίκευσης με ψηφιακές τεχνικές, είναι το γεγονός ότι απελευθερώνει τον χαρτογράφο από επεξεργασίες ρουτίνας, υποκαθιστώντας την εκτέλεσή τους μέσω του υπολογιστή. Ταυτόχρονα, όμως, ακυρώνει την αισθητική του παρέμβαση.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χειροκίνητη γενίκευση είναι σαφώς υποκειμενική διαδικασία τόσο στην επιλογή των μεθόδων όσο και στο βαθμό που κάθε μια από αυτές εφαρμόζεται. Ουσιαστικά, στηρίζεται στην αντίληψη, την επιδεξιότητα και την εμπειρία του χαρτογράφου. Κατά συνέπεια, το προϊόν της γενίκευσης μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την άποψη του χαρτογράφου, χωρίς ποτέ να είναι συγκρίσιμο. Αντίθετα, η ψηφιακή γενίκευση παρέχει συνεκτικά εργαλεία στα οποία ενσωματώνεται ένα προκαθορισμένο σύνολο εντολών οι οποίες εκτελούνται σε υπολογιστικό περιβάλλον.

Γενικά, η ταχεία πρόοδος και εξέλιξη η οποία σημειώνεται στους τομείς της **ψηφιακής χαρτογραφίας** και των **Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών** έχει οδηγήσει στην ανάγκη της επαναπροσέγγισης και επανεξέτασης της διαδικασίας της γενίκευσης σε αυτοματοποιημένο ή ημι-αυτοματοποιημένο περιβάλλον (McMaster and Shea 1992).

2.4.1 ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχουν γίνει πολλές ερευνητικές προσπάθειες οι οποίες αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των δυσκολιών οι οποίες

προκύπτουν κατά την αυτοματοποίηση της διαδικασίας της γενίκευσης. Μάλιστα, πολλοί από εκείνους που έχουν διεξάγει σχετικές έρευνες δεν έχουν ακόμη πειστεί ότι η γενίκευση αποτελεί διαδικασία η οποία μπορεί να αυτοματοποιηθεί πλήρως. Σύμφωνα με τον Eduard Imhof, το περιεχόμενο και η γραφική δομή ενός σωστού χάρτη δε μπορεί ποτέ να αποδοθεί με έναν εντελώς αυτόματο τρόπο καθώς τα μηχανήματα και οι ηλεκτρονικοί εγκέφαλοι δεν κατέχουν ούτε γεωγραφική κρίση ούτε γραφική ευαισθησία (Imhof 1982).

Πολλοί είναι εκείνοι οι οποίοι ισχυρίζονται ότι η αυτοματοποιημένη γενίκευση είναι έως ένα σημείο ακατόρθωτη (Robinson *et al.* 1978). Ο Brophy (1972), για παράδειγμα, αναφέρει ότι αυτό οφείλεται στη διαφορούμενη, δημιουργική φύση, η οποία στερείται οριστικών κανόνων, οδηγιών ή συστηματοποίησης. Παρόλα αυτά, αρκετοί χαρτογράφοι έχουν προσπαθήσει να αυτοματοποιήσουν τις διάφορες πτυχές της διαδικασίας γενίκευσης (Shea 1991).

Οι θεωρητικού επιπέδου εργασίες των Perkal (1966) και Töbler (1966), οι οποίες αφορούν στην χαρτογραφική γενίκευση, αποτέλεσαν τη βάση για μελλοντικές προσπάθειες στον τομέα της ψηφιακής γενίκευσης. Πολλοί ήταν εκείνοι οι οποίοι επέκτειναν τις αρχικές αυτές προσπάθειες, εστιάζοντας κυρίως στη γενίκευση των γραμμικών ψηφιακών δεδομένων (Deveau 1985; Dettori and Falcidieno 1982; Jenks 1981; Douglas and Peucker 1973; Boyle 1970; Lang 1969). Οι προαναφερθείσες προσπάθειες συνέβαλαν στην καθιέρωση διάφορων αλγόριθμων γραμμικής γενίκευσης. Ωστόσο, πιο πρόσφατες έρευνες εστιάζουν στον προσδιορισμό και επιλογή του κατάλληλου αλγόριθμου (McMaster 1987a, 1987b, 1986, 1983b) και τη σχέση μεταξύ των σημείων που επιλέγει ένας αλγόριθμος και

της κριτικής διάθεσης (Jenks 1985; White 1983, 1985; Marino 1978, 1979,).

Η γενίκευση **σημειακών** και **επιφανειακών** χαρακτηριστικών έχει εξεταστεί, επίσης, από αρκετούς χαρτογράφους (Monmonier 1983; Chrisman 1983; Lichtner 1978; Töpfer and Pillewizer 1966), αλλά όχι στην έκταση που καταλαμβάνει η γενίκευση γραμμικών οντοτήτων στη βιβλιογραφία.

Ωστόσο, οι παραπάνω προσπάθειες για αυτοματοποιημένη γενίκευση, εστίαζαν συχνά σε ένα μεμονωμένο πρόβλημα γενίκευσης. Παρόλο που πολλοί χαρτογράφοι έχουν υπογραμμίσει επανειλημμένως ότι κατά τη μη αυτοματοποιημένη γενίκευση δε θα πρέπει να συμβαίνει κάτι τέτοιο (Robinson *et al.* 1978; Raisz 1962), σε πολλές από τις πρώιμες προσπάθειες αυτοματοποιημένης γενίκευσης αυτό παραβλέφθηκε. Αρκετές προσπάθειες αυτοματοποίησης στόχευαν σε μία μεμονωμένη διαδικασία γενίκευσης, όπως για παράδειγμα την επιλογή σημειακών οντοτήτων, και την εξέταζαν μερικώς, αγνοώντας άλλες αποφάσεις γενίκευσης (Catlow and Du 1984; Chrisman 1983; Lichtner 1979).

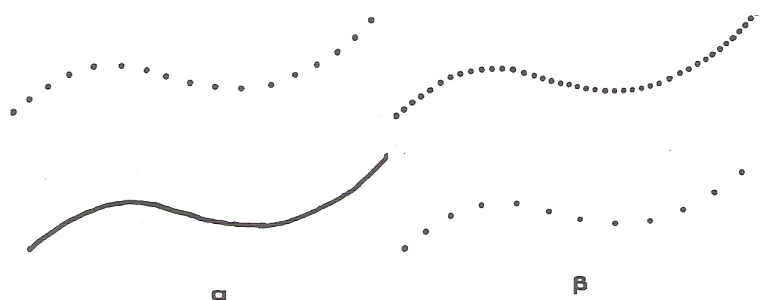
Ο McMaster, το 1989, ερεύνησε την ενοποίηση αλγορίθμων απλοποίησης και εξομάλυνσης, οι οποίοι, μεμονωμένα, έχουν παρουσιάσει σημαντικά αποτελέσματα. Ο Mark (1989) και ο Monmonier (1989) ερεύνησαν τα ζητήματα της αφηρημένης γενίκευσης και μελέτησαν τις γεωγραφικές επιπτώσεις κατά τη λήψη αποφάσεων στη διαδικασία της γενίκευσης.

2.5 ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ

Η διαδικασία της **γενίκευσης** μπορεί να χωριστεί σε δύο υποομάδες:

- την εννοιολογική γενίκευση και
- τη δομική γενίκευση.

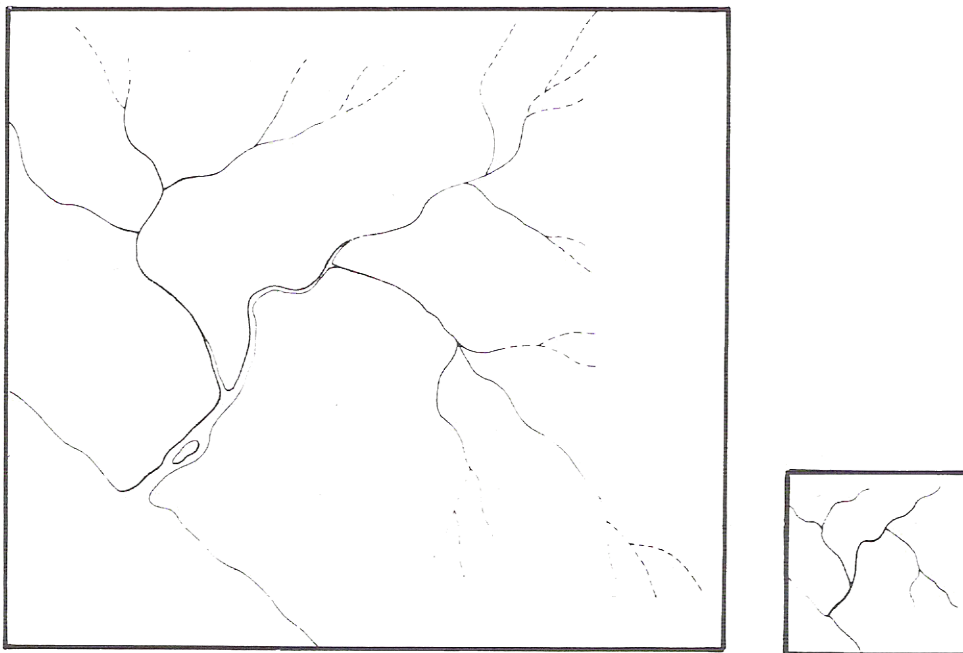
Σε κάποιες περιπτώσεις παρουσιάζεται αλλαγή του συμβολισμού στον τρόπο απόδοσης ενός φαινομένου με άλλο διαφορετικό συμβολισμό που από μόνος του υποδηλώνει μια γενικευμένη περιγραφή ενός φαινομένου. Αυτού του είδους η γενίκευση, μέσω αλλαγής του αρχικού συμβολισμού σε εντελώς διαφορετικό συμβολισμό που περιέχει γενικότερη σημειολογική έκφραση από τον αρχικό, ονομάζεται **εννοιολογική γενίκευση**. Για παράδειγμα εάν ένα φαινόμενο περιγράφεται από σημειακές τιμές ο συμβολισμός μπορεί να γενικεύεται με μια συνεχή γραμμή. Κατά συνέπεια το αρχικό σημειακό σύμβολο γίνεται γραμμικό (σχήμα 2.1α).



ΣΧΗΜΑ 1.1: Εννοιολογική (α) και Δομική (β) γενίκευση (πηγή: Λιβιεράτος 1988).

Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις διατηρείται ο συμβολισμός στον τρόπο απόδοσης ενός φαινομένου, αφαιρείται, ωστόσο, κάποιο ποσό πληροφορίας που εμπεριέχεται έτσι ώστε η γενίκευση να μειώνει ποσοτικά το βαθμό λεπτομέρειας του αρχικού

συμβολισμού. Η γενίκευση αυτή ονομάζεται **δομική γενίκευση** (σχήμα 2.2). Για παράδειγμα εάν ένα φαινόμενο συμβολίζεται από σημεία μιας δεδομένης πυκνότητας, μετά την δομική γενίκευση συμβολίζεται από αραιότερα σημεία. Αντιστοίχως, ένα φαινόμενο το οποίο συμβολίζεται από συνεχή τεθλασμένη γραμμή μιας δεδομένης λεπτομέρειας, μετά τη δομική γενίκευση συμβολίζεται από συνεχή καμπύλη γραμμή που προσαρμόζεται στην προηγούμενη (σχήμα 2.1β).



ΣΧΗΜΑ 2.2: Δομική γενίκευση υδρογραφικού δικτύου από την κλίμακα 1:50000 στην κλίμακα 1:200000 (πηγή: Λιβιεράτος 1988).

Η **δομική γενίκευση** εφαρμόζεται πολλές φορές σε περιπτώσεις που ενώ, για παράδειγμα, ένα φαινόμενο είναι γνωστό ότι συμβολίζεται με μια ομαλή γραμμή, ο τρόπος συλλογής δεδομένων δεν επιτρέπει αυτή την ομαλή άμεση απόδοση. Στην περίπτωση αυτή η δομική γενίκευση καλείται **ομαλοποίηση** ή **λείανση**. Ταυτόχρονα, εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που η απόδοση ενός φαινομένου γίνεται, για παράδειγμα, με πολύ «ταραγμένη» συνεχή γραμμή που οφείλεται σε ανεπιθύμητο

«θόρυβο» των δεδομένων που προκαλούν σε αυτά διάφορες τυχαίες ή συστηματικές αιτίες . Ο θόρυβος αυτός «μολύνει» κατά κάποιο τρόπο την αντιπροσωπευτική εικόνα της γραμμής. Με τη δομική γενίκευση είναι δυνατόν να απορροφηθεί ο θόρυβος έτσι ώστε να προκύψει μία καθαρή γραμμή. Στην περίπτωση αυτή η γενίκευση ισοδυναμεί με ένα φιλτράρισμα.

2.6 ΘΕΩΡΙΑ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ

Η θεωρία της κλασματικής γεωμετρίας (*fractal geometry*) έχει προταθεί από τον B.B. Mandelbrot, για να περιγράψει γεωμετρικούς νόμους που διέπουν τη φύση και να ερμηνεύσει ορισμένα από τα μαθηματικά παράδοξα που ενέχουν οι νόμοι αυτοί. Πρωταρχικό αντικείμενο της κλασματικής γεωμετρίας συνιστά η περιγραφή των φυσικών εκείνων δομών που χαρακτηρίζονται από ακανόνιστη, τραχεία ή τεμαχισμένη μορφή (Mandelbrot *et al.* 1984). Οι ανωμαλίες των δομών αυτών ποικίλουν ως προς το μέγεθος και χαρακτηρίζονται από μια ειδική σχέση μεταβολής της κλίμακας. Η κλασματική γεωμετρία χαρακτηρίζει τη δομή ενός συνόλου σημείων του χώρου εκφρασμένου μέσω ενός αριθμού D , ο οποίος ονομάζεται κλασματική διάσταση (*fractal dimension*).

Η θεωρία της κλασματικής γεωμετρίας βρίσκει εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών περιοχών, μία εκ των οποίων αποτελεί και η χαρτογραφία (γενίκευση). Σύμφωνα με τον Mandelbrot (1982) η θεωρία της κλασματικής γεωμετρίας μπορεί να αποτελέσει θεωρητικό μοντέλο ορισμένων χαρτογραφικών διεργασιών. Η διεθνής χαρτογραφική κοινότητα αποδέχεται τη συγκεκριμένη θεωρία καθώς συναντώνται συχνά στην χαρτογραφική βιβλιογραφία ενθαρρυντικά σχόλια για αυτήν αλλά και οι προϋποθέσεις κάτω από τις οποίες μπορεί να αξιοποιηθεί (Goodchild 1980; Dutton 1981; Buttenfield 1985; 1989; Müller 1986; 1987a; 1987b).

Η χαρτογραφική γενίκευση μπορεί να ειπωθεί ως μία διαδικασία μετασχηματισμού ομοιότητας της οποίας ο λόγος ομοιότητας καθορίζεται από το λόγο των κλιμάκων

του βασικού και του παράγωγου χάρτη (Νάκος 2002). Ένα κλασματικό μοντέλο γενίκευσης εμπλουτίζει τις χαρτογραφικές διεργασίες με την έννοια της κλασματικής διάστασης (D) και την ιδιότητα της στατιστικής αυτο-ομοιότητας. Με το κλασματικό μοντέλο γενίκευσης εξασφαλίζεται επίσης η δυνατότητα ποσοτικής έκφρασης ορισμένων από τις υποκειμενικές λειτουργίες της συμβατικής γενίκευσης, γεγονός πολύ σημαντικό καθώς όλο και περισσότερο αξιοποιούνται σε υπολογιστικό περιβάλλον που στηρίζονται σε ανάλογες προϋποθέσεις. Η διαπίστωση αυτή βασίζεται στη θεώρηση ότι η πολυπλοκότητα ή η τραχύτητα των χαρτογραφικών φαινομένων μπορεί να εκφραστεί ποσοτικά μέσω της κλασματικής διάστασης (D). Εξάλλου στο αποτέλεσμα της γενίκευσης εξασφαλίζεται η ίδια με την αρχική πολυπλοκότητα στα χαρτογραφικά φαινόμενα, εφ' όσον η ιδιότητα της στατιστικής αυτο-ομοιότητας ενταχθεί σε αυτήν (Νάκος 2002).

Το πρώτο βήμα υλοποίησης του κλασματικού μοντέλου γενίκευσης αποτελεί η διαπίστωση του κλασματικού χαρακτήρα του σχήματος με το οποίο απεικονίζεται στο χάρτη το γενικευόμενο χαρτογραφικό φαινόμενο, δηλαδή, εξετάζεται εάν ο χρησιμοποιούμενος συμβολισμός μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί κλασματικό σύνολο. Ο κλασματικός χαρακτήρας διαπιστώνεται κάθε φορά που το διπλό λογαριθμικό διάγραμμα προσεγγίζει την ευθεία παλινδρόμησης της κατάλληλης σχέσης, μετά από στατιστικό έλεγχο σε υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης. Στις περιπτώσεις που το χαρτογραφικό φαινόμενο απεικονίζεται στο χάρτη με ανοικτές γραμμές (ακτογραμμές, δρόμοι κλπ.), αποτελεσματικότερη και επομένως συνιστώμενη μέθοδος προσδιορισμού της κλασματικής διάστασης είναι η μέθοδος της συσχέτισης του μήκους της γραμμής ως προς το βήμα ψηφιοποίησης. Εάν το χαρτογραφικό φαινόμενο απεικονίζεται με κλειστές γραμμές (τοπογραφικό

ανάγλυφο-υψομετρικές καμπύλες), τότε συνιστώμενη είναι η μέθοδος συσχέτισης εμβαδού-περιμέτρου. Η αξιολόγηση των μεθόδων φασματικής ανάλυσης και συνάρτησης μεταβλητότητας πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας προσεκτικά υπόψη τα προβλήματα και τις αδυναμίες που εμφανίζονται στις μικρές και μεγάλες συχνότητες και στις μικρές και μεγάλες αποστάσεις συσχέτισης αντίστοιχα. Άλλωστε, οι μέθοδοι αυτές αφορούν γραμμές που εμφανίζουν την ιδιότητα της στατιστικής αυτο-ομοπαράλληλίας, ενώ τα περισσότερα χαρτογραφικά δεδομένα με διαπιστωμένο κλασματικό χαρακτήρα ακολουθούν τη μαθηματική σχέση που εκφράζει την ιδιότητα της αυτο-ομοιότητας των κλασματικών συνόλων. Γράφοντας την σχέση αυτή ως προς τον αριθμό των σημείων N , που αποτελούν μια ψηφιοποιημένη γραμμή, η οποία απεικονίζει το υπό εξέταση χαρτογραφικό φαινόμενο, προκύπτει η ακόλουθη:

$$N = r^{-D}$$

Αν εκφραστεί η σχέση αυτή ώστε να περιγράψει τις δύο καταστάσεις του χαρτογραφικού φαινομένου στο βασικό χάρτη, με λόγο ομοιότητας r_0 και σημεία N_0 και στον παράγωγο χάρτη με λόγο ομοιότητας r και σημεία N , θα προκύψει η παρακάτω σχέση:

$$N/N_0 = (r_0/r)^D$$

Είναι γνωστό, όμως, ότι το αντίστροφο του λόγου ομοιότητας ($1/r$) εκφράζει την απόσταση μεταξύ αρχικού και τελικού σημείου της γραμμής μετρημένου με μονάδα μήκους ίση προς το βήμα ψηφιοποίησης (Mandelbrot 1967; Müller 1987a). Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι οι λόγοι ομοιότητας μιας κλασματικής γραμμής κατά τη

γενίκευση θα είναι ανάλογοι με τους παρονομαστές των κλιμάκων των χαρτών. Εάν θεωρηθεί ότι ο βασικός χάρτης έχει κλίμακα $1:m_0$ και ο παράγωγος $1:m$, τότε ο συλλογισμός αυτός οδηγεί στην παρακάτω σχέση:

$$r_0 / r = m_0 / m$$

Επομένως, η σχέση με την οποία θα εκφράζεται ποσοτικά την απλοποίηση στα πλαίσια ενός κλασματικού μοντέλου γενίκευσης προκύπτει να είναι η παρακάτω (Νάκος 1990):

$$N = N_0 (m_0 / m)^D$$

Η σχέση αυτή γενικεύει τον εμπειρικό νόμο των Töpfer and Pillewizer (1966), ενσωματώνοντας την πολυπλοκότητα ή την τραχύτητα των χαρτογραφικών φαινομένων μέσω της κλασματικής διάστασης (D). Η ίδια σχέση συνιστάται και από τον Müller (1987a) για την απλοποίηση γραμμών, χωρίς όμως να αποδεικνύεται ο τρόπος με τον οποίο προκύπτει.

Στην χαρτογραφική βιβλιογραφία είναι διαπιστωμένο ότι η γενίκευση της γραμμικής πληροφορίας των χαρτών επιφέρει μείωση του μήκους των γραμμών (Robinson *et al.* 1984; Keates 1973). Η μείωση του μήκους των γραμμών σε κανένα από τους υφιστάμενους αλγόριθμους απλοποίησης δεν εξαρτάται από την πολυπλοκότητα των γραμμών που γενικεύονται. Με το κλασματικό μοντέλο γενίκευσης η μεταβολή, που υφίστανται τα μήκη των γραμμών κατά τη γενίκευση, εξαρτάται από τη μεταβολή της

κλίμακας αφενός αλλά και την πολυπλοκότητα ή την τραχύτητα των γραμμών αφετέρου (Νάκος 2002).

2.6.1 ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Η επιβεβαίωση του κλασματικού χαρακτήρα για τα χαρτογραφικά σύμβολα αποτελεί το πρώτο στάδιο εφαρμογής της κλασματικής γεωμετρίας σε οποιοδήποτε χαρτογραφικό πρόβλημα. Η διαδικασία της επιβεβαίωσης του κλασματικού χαρακτήρα των χαρτογραφικών συμβόλων περιλαμβάνει όλες εκείνες τις απαραίτητες διαδικασίες με τις οποίες αποδεικνύεται στατιστικά ότι τα χαρτογραφικά σύνολα είναι κλασματικά σύνολα σημείων.

Τα κλασματικά σύνολα σημείων χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα της αυτο-ομοιότητας ή αυτο-ομοπαλληλίας. Η ιδιότητα της αυτο-ομοιότητας των κλασματικών συνόλων σημείων μιας γραμμής εκφράζεται από τη γραμμική εξάρτηση είτε της συσχέτισης του μήκους της γραμμής με το βήμα μέτρησης ή του εμβαδού με την περίμετρο αν η γραμμή είναι κλειστή. Η ιδιότητα της αυτο-ομοπαλληλίας των κλασματικών συνόλων σημείων εκφράζεται, αντίστοιχα, από τη γραμμική εξάρτηση είτε της ισχύος του φάσματος με το μήκος κύματος ή της συνάρτησης μεταβλητότητας με το μήκος συσχέτισης. Σημειώνεται ότι, όλα τα μεγέθη στη γραμμική αυτή εξάρτηση είναι εκφρασμένα σε λογαριθμικές τιμές.

Για τα χαρτογραφικά σύμβολα απαιτείται η επιβεβαίωση των ιδιοτήτων της στατιστικής αυτο-ομοιότητας ή αυτο-ομοπαράλληλίας μέσω των εκτιμητριών των μεγεθών που αναφέρθηκαν. Όσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική εξάρτηση των εκτιμητριών των μεγεθών, τόσο πιο έντονος είναι και ο κλασματικός χαρακτήρας των χαρτογραφικών συμβόλων υπό εξέταση. Για το λόγο αυτό η επιβεβαίωση του κλασματικού χαρακτήρα πρέπει να γίνεται με μια σειρά στατιστικών ελέγχων των παραμέτρων της ευθείας παλινδρόμησης των τεσσάρων μεθόδων προσδιορισμού της κλασματικής διάστασης, οι οποίοι να χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης (Νάκος 1990). Οι στατιστικοί θα πρέπει να έχουν ως στόχο να εξασφαλίσουν: ισχυρή γραμμική εξάρτηση μεταξύ των λογαριθμικών τιμών των μετρούμενων μεγεθών, την επιβεβαίωση ότι τα χαρτογραφικά σύμβολα δεν είναι ευκλείδεια σχήματα, καθώς επίσης τη σημαντικότητα και ακρίβεια της προσδιοριζόμενης τιμής της κλασματικής διάστασης (Νάκος 1990). Έτσι, λοιπόν διαμορφώνεται μια μεθοδολογία επιβεβαίωσης του κλασματικού χαρακτήρα των χαρτογραφικών συμβόλων με τη βοήθεια τριών στατιστικών ελέγχων.

Με τον πρώτο στατιστικό έλεγχο διατυπώνεται η μηδενική υπόθεση: ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (ρ) της ευθείας παλινδρόμησης έχει την τιμή μηδέν ($H_0: \rho=0$). Για την απόρριψη της μηδενικής αυτής υπόθεσης και αποδοχή, επομένως, της εναλλακτικής υπόθεσης να υφίσταται ενισχυμένη η γραμμική συσχέτιση ($H_a: \rho \neq 0$), λαμβάνεται 99% επίπεδο εμπιστοσύνης.

Με το δεύτερο στατιστικό έλεγχο διατυπώνεται η μηδενική υπόθεση: η τιμή της κλίσης της ευθείας παλινδρόμησης έχει την αντίστοιχη οριακή τιμή των ευκλείδειων σχημάτων ή επιφανειών ($H_0: b=b_E$). Οι οριακές τιμές των ευκλείδειων σχημάτων ή

επιφανειών είναι $b_E = 0$ για τη μέθοδο συσχέτισης μήκους με βήμα μέτρησης, $b_E = 2$ για τις υπόλοιπες τρεις μεθόδους. Για την απόρριψη της μηδενικής αυτής υπόθεσης και αποδοχή, επομένως, της εναλλακτικής υπόθεσης, να είναι η τιμή της κλίσης διαφορετική από την οριακή που αντιστοιχεί σε ευκλείδεια σχήματα ή επιφάνειες ($H_a: b \neq b_E$), λαμβάνεται 95% επίπεδο εμπιστοσύνης.

Τέλος, με τον τρίτο και τελευταίο στατιστικό έλεγχο διατυπώνεται η μηδενική υπόθεση: η τιμή της κλίσης της ευθείας παλινδρόμησης να έχει την τιμή μηδέν ($H_0: b=0$), δηλαδή, η παράμετρος b να είναι στατιστικά ασήμαντη. Για την απόρριψη της μηδενικής αυτής υπόθεσης και αποδοχή, επομένως, της εναλλακτικής υπόθεσης, να είναι η τιμή της κλίσης της ευθείας παλινδρόμησης διάφορη του μηδενός ($H_a: b \neq 0$), δηλαδή, η παράμετρος b να είναι στατιστικά σημαντική, λαμβάνεται 99% επίπεδο εμπιστοσύνης.

Πιο συγκεκριμένα, οι δύο πρώτοι στατιστικοί έλεγχοι αναφέρονται στη διαπίστωση του κλασματικού χαρακτήρα των χαρτογραφικών συμβόλων υπό εξέταση, ενώ ο τρίτος στην αξιοπιστία προσδιορισμού της τιμής της κλασματικής τους διάστασης.

Ειδικότερα, η ακρίβεια της προσδιοριζόμενης τιμής της κλασματικής διάστασης εκφράζεται από τη μεταβλητότητά της (σ_D^2), που προσδιορίζεται από τη μεταβλητότητα της κλίσης της ευθείας παλινδρόμησης (σ_b^2), εφαρμόζοντας το νόμο μετάδοσης των σφαλμάτων στις σχέσεις που συνδέουν τα δύο αυτά μεγέθη (Νάκος 1990). Επομένως, για τη μέθοδο συσχέτισης των λογαριθμικών τιμών των μηκών με τα βήματα μέτρησης, η μεταβλητότητα της τιμής της κλασματικής διάστασης ταυτίζεται με τη μεταβλητότητα της κλίσης της ευθείας παλινδρόμησης, δηλαδή:

$$\sigma_D^2 = \sigma_b^2$$

Ανάλογα, για τις μεθόδους φασματικής ανάλυσης και συνάρτησης μεταβλητότητας ισχύει:

$$\sigma_D^2 = 1/4 \sigma_b^2$$

Τέλος, για τη μέθοδο της συσχέτισης εμβαδού-περιμέτρου η μεταβλητότητα της τιμής της κλασματικής διάστασης είναι:

$$\sigma_D^2 = (4/b^4) \sigma_b^2$$

Στην τελευταία σχέση η κλίση της ευθείας παλινδρόμησης συμβολίζεται με b (Νάκος, 2002).

2.6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Μετά τη διαδικασία επιβεβαίωσης του κλασματικού χαρακτήρα των χαρτογραφικών γραμμών και προσδιορισμού της τιμής της κλασματικής τους διάστασης, η διαδικασία της γενίκευσης μπορεί να υλοποιηθεί εφαρμόζοντας έναν από τους υφιστάμενους αλγόριθμους απλοποίησης γραμμών. Για παράδειγμα, μπορεί να εφαρμοστεί είτε ο αλγόριθμος του ν-οστού σημείου ή ο αλγόριθμος των Douglas and Peucker. Αξιοποιώντας τη σχέση της απλοποίησης της κλασματικής γεωμετρίας είτε μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα ο αριθμός των κορυφών της παράγωγης γραμμής, με

τη βοήθεια της τιμής της κλασματικής διάστασης, και να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος του ν-οστού σημείου ή μέσω του αριθμού των κορυφών της παράγωγης γραμμής να προσδιοριστεί ένα κατάλληλο μέγεθος ανοχής για τη γραμμή και να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος των Douglas and Peucker. Με ανάλογο τρόπο μπορεί να εφαρμοστεί οποιοσδήποτε άλλος αλγόριθμος απλοποίησης που βασίζεται σε γεωμετρικά κριτήρια (Νάκος 2002).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ

Ο ακριβής ορισμός και καθορισμός των στοιχείων της γενίκευσης οδήγησε τους χαρτογράφους στην ανάπτυξη αναλυτικών θεωρητικών εννοιολογικών μοντέλων. Αρκετά μοντέλα, τόσο από την ευρωπαϊκή όσο και από την αμερικανική βιβλιογραφία, αποτελούν τυπικά δείγματα μοντέλων εννοιολογικής γενίκευσης, όπως:

1. Το μοντέλο του Ratajski (1967)
2. Το μοντέλο του Morrison (1974)
3. Το μοντέλο των Brassel and Weibel (1988)
4. Το μοντέλο των Nickerson and Freeman (1986)
5. Το μοντέλο των McMaster and Shea (1992)

Σκοπός του εν λόγω κεφαλαίου αποτελεί η παρουσίαση και ανάλυση των ανωτέρω μοντέλων εννοιολογικής γενίκευσης.

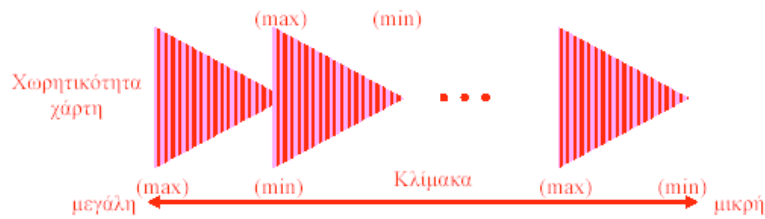
3.1 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ RATAJSKI

Ένα σημαντικό εννοιολογικό μοντέλο, προερχόμενο από την ευρωπαϊκή βιβλιογραφία, αναπτύχθηκε από τον Πολωνό χαρτογράφο Lech Ratajski, στην εργασία του: *Phenomenes des points de generalization* (Ratajski 1967). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό ορίζονται δύο θεμελιακά είδη διεργασιών γενίκευσης:

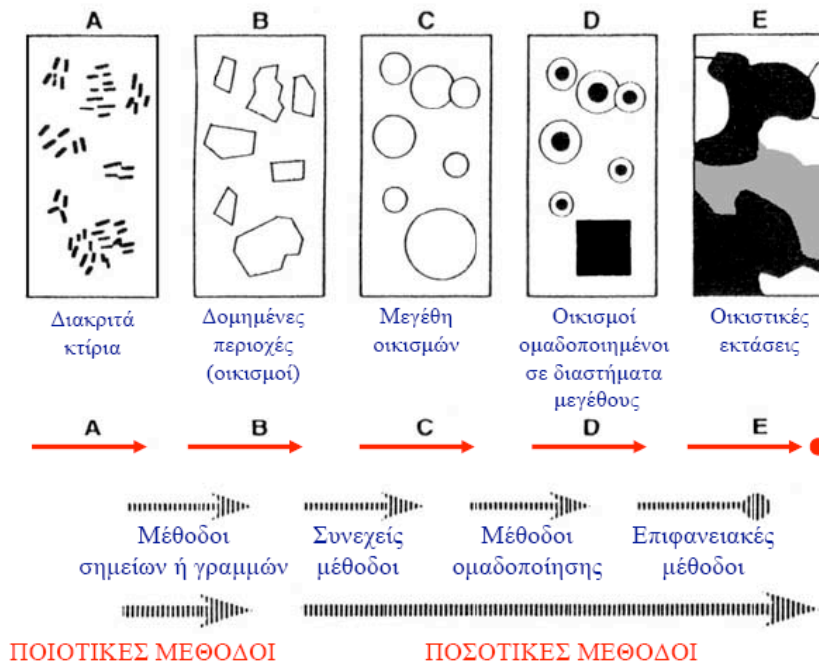
- η **ποιοτική γενίκευση**, η οποία συνίσταται από βαθμιαία μείωση του περιεχομένου του χάρτη συναρτώμενη από τη μεταβολή της κλίμακας και
- η **ποσοτική γενίκευση**, η οποία έχει ως αποτέλεσμα το μετασχηματισμό της μορφής του συμβολισμού σε όλο και περισσότερο αφαιρετικά σχήματα.

Καθοριστικό παράγοντα, κατά τον Ratajski, αποτελεί η έννοια της σημειακής γενίκευσης. Η σημειακή γενίκευση εφαρμόζεται όταν η χωρητικότητα του χάρτη μειώνεται τόσο ώστε να καθίσταται αναγκαία η μεταβολή της χαρτογραφικής μεθόδου αναπαράστασης.

Η αλλαγή της χωρητικότητας του χάρτη μπορεί να απεικονισθεί με τη βοήθεια ενός τριγώνου η βάση του οποίου αναπαριστά τη μέγιστη χωρητικότητα και η κορυφή την ελάχιστη. Κάθε οριζόντιο τμήμα του τριγώνου αναπαριστά ένα συγκεκριμένο επίπεδο γενίκευσης. Όταν η χωρητικότητα του χάρτη πλησιάζει την κορυφή του τριγώνου, μία νέα χαρτογραφική μέθοδος πρέπει να εφαρμοστεί (σχήμα 3.1).



ΣΧΗΜΑ 3.1: Η αλλαγή χωρητικότητας ενός χάρτη (πηγή: Νάκος-διάλεξη)



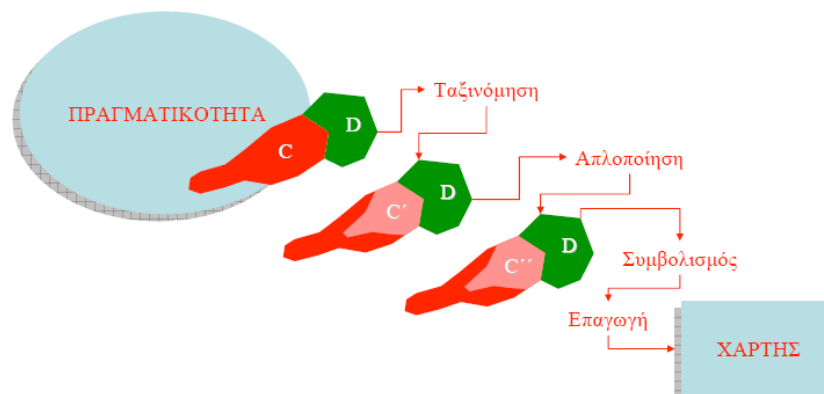
ΣΧΗΜΑ 3.2: Παράδειγμα εφαρμογής του εννοιολογικού μοντέλου γενίκευσης του Ratajski (πηγή: McMaster and Shea 1992)

Το σχήμα 3.2 απεικονίζει ένα παράδειγμα εφαρμογής του εννοιολογικού μοντέλου γενίκευσης του Ratajski. Όπως φαίνεται σε αυτό, κατά τη μετάβαση από τις ποσοτικές μεθόδους σε ποιοτικές, τα διακριτά κτίρια (A) πρέπει να αντικατασταθούν από ένα νέο συμβολισμό, τις δομημένες περιοχές (B). Εφαρμόζοντας μία ακόμη

απλοποίηση, οι δομημένες περιοχές απεικονίζονται ως μεγέθη οικισμών (C) και αντιπροσωπεύονται με κλιμακωτούς κύκλους. Μία περαιτέρω απλοποίηση των εν λόγω στοιχείων οδηγεί στην απεικόνιση ομαδοποιημένων οικισμών σε διαστήματα μεγέθους (D) ενώ ένας τελευταίος μετασχηματισμός οδηγεί σε επιφανειακό συμβολισμό (οικιστικές εκτάσεις, E), (McMaster and Shea 1992).

3.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ MORRISON

Ένας διαφορετικός τύπος μοντέλου (σχήμα 3.3), ο οποίος αναπτύχθηκε από τον Joel Morrison στα μέσα της δεκαετίας του 1970, διαμόρφωσε τις σχέσεις μεταξύ των τεσσάρων βασικών στοιχείων της γενίκευσης (**ταξινόμηση, απλοποίηση, συμβολισμός και επαγωγή**). Ο Morrison είδε καθεμία από τις παραπάνω διαδικασίες γενίκευσης, όπως τις ονόμασε, σε σχέση με πιθανούς μετασχηματισμούς των χαρακτηριστικών ενός συνόλου στοιχείων C , όπου το C ορίστηκε ως ένα υποσύνολο του SCR (Sensory elements of the Cartographer's Reality), δηλαδή των αισθητήριων στοιχείων της **πραγματικότητας** του χαρτογράφου (Morrison 1974).



ΣΧΗΜΑ 3.3: Το μοντέλο του Morrison (πηγή: Νάκος-διάλεξη)

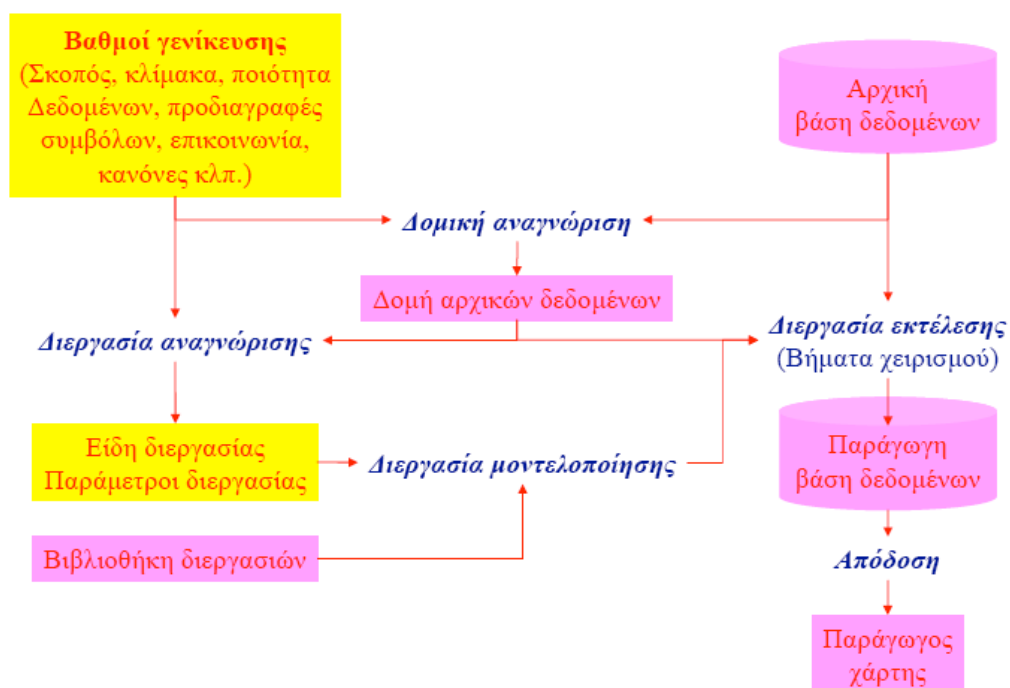
Η χαρτογραφική διαδικασία εκφράστηκε ως ένας σύνθετος μετασχηματισμός, ο οποίος σχετίζεται με τα φυσικά στοιχεία του χάρτη καθώς και με τα αισθητήρια στοιχεία της πραγματικότητας του χρήστη του χάρτη (SRR-Sensory elements of the map Readers Reality). Ο Morrison αντιμετώπισε κάθε μεμονωμένο μετασχηματισμό ως μία διαδικασία *one-to-one (injective)*, *onto (surjective)*, ή *both (bijective)*. Η επιλογή, σύμφωνα με τον Morrison, ήταν ένα βήμα προ-επεξεργασίας της

πραγματικής γενίκευσης. Στη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης, ως πρώτο στοιχείο ορίστηκε η ταξινόμηση. Η ταξινόμηση, κατά την οποία ο χαρτογράφος κατηγοριοποιεί τα χαρακτηριστικά ενός συνειδητά επιλεγμένου υποσυνόλου της πραγματικότητας (C), θεωρήθηκε ως μία διαδικασία *onto* και όχι *one-to-one*. Με τον ίδιο τρόπο, ο Morrison καθόρισε τους μετασχηματισμούς της απλοποίησης, του συμβολισμού και της επαγωγής (McMaster and Shea 1992).

3.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ BRASSEL AND WEIBEL

Ένα από τα πιο λεπτομερή εννοιολογικά μοντέλα χαρτογραφικής γενίκευσης αναπτύχθηκε πρόσφατα από τους Kurt Brassel και Robert Weibel στο πανεπιστήμιο της Ζυρίχης (Brassel and Weibel 1988). Το εν λόγω μοντέλο απομονώνει πέντε χωριστές διαδικασίες της γενίκευσης σε ψηφιακό περιβάλλον και για το λόγο αυτό, αποτελεί ένα από τα πρώτα μοντέλα τα οποία εστιάζουν στην αυτοματοποιημένη γενίκευση (σχήμα 3.4). Οι πέντε διαδικασίες περιλαμβάνουν:

- την αναγνώριση των δομών,
- την αναγνώριση της διαδικασίας,
- τη μοντελοποίηση διαδικασίας,
- την εκτέλεση της διαδικασίας και τελικά
- την παρουσίαση των δεδομένων.



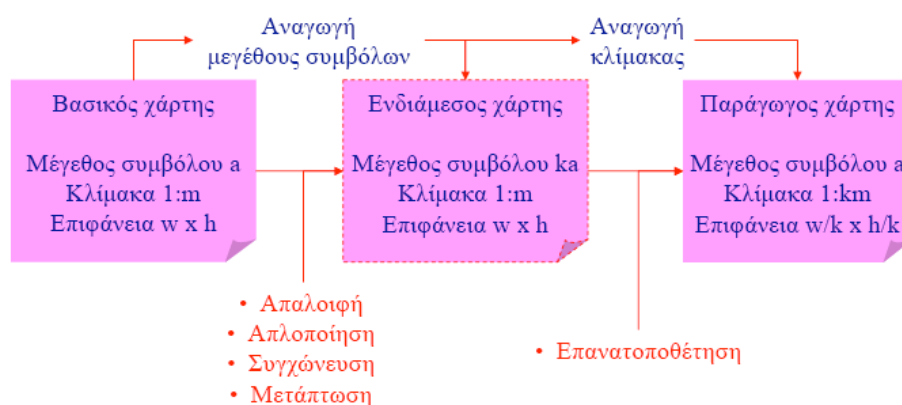
ΣΧΗΜΑ 3.4: Το μοντέλο των Brassel and Weibel (πηγή: Νάκος-διάλεξη)

Η **αναγνώριση δομών** είναι η διαδικασία κατά την οποία προσδιορίζονται συγκεκριμένα χαρτογραφικά αντικείμενα, ή σύνολα αντικειμένων, καθώς και χωρικές σχέσεις και κριτήρια σπουδαιότητας. Η αναγνώριση δομών, η οποία ελέγχεται από τους στόχους της γενίκευσης, ακολουθείται από την **αναγνώριση της διαδικασίας**, η οποία προσδιορίζει την ακριβή διαδικασία γενίκευσης. Σε αυτήν, περιλαμβάνεται ο προσδιορισμός των τύπων τροποποιήσεων των δεδομένων και των παραμέτρων των δομών που είναι απαραίτητες. Πιο συγκεκριμένα, η αναγνώριση διαδικασίας καθορίζει τι χρειάζεται να γίνει με την αρχική βάση δεδομένων, ποια είδη επικάλυψης συμβόλων (*types of conflicts*) πρέπει να προσδιοριστούν και να επιλυθούν, καθώς και ποιοι τύποι αντικειμένων και δομών πρόκειται να μεταφερθούν στην τελική βάση δεδομένων (Brassell and Weibel 1988). Ακολουθεί η **μοντελοποίηση της διαδικασίας**, η οποία μεταγλωττίζει τους κανόνες και τις διαδικασίες από μια υφιστάμενη βιβλιοθήκη διαδικασιών (*process library*). Η ψηφιακή γενίκευση πραγματοποιείται με την **εκτέλεση της διαδικασίας**, όπου οι κανόνες και οι διαδικασίες εφαρμόζονται στην αρχική βάση δεδομένων προκειμένου να δημιουργηθεί η γενικευμένη έξοδος. Τέλος, η παρουσίαση των δεδομένων αποδίδουν τα δεδομένα σε ένα χάρτη. Οι Brassell και Weibel εστιάζουν, επίσης, στη στατιστική και τη χαρτογραφική γενίκευση. Η στατιστική γενίκευση είναι μία διαδικασία φιλτραρίσματος, η οποία αφορά στη συμπίεση δεδομένων και τη στατιστική ανάλυση. Αντιθέτως, η χαρτογραφική γενίκευση τροποποιεί την εντοπισμένη δομή του χάρτη προκειμένου να βελτιωθεί η οπτική αποτελεσματικότητα. Συμπερασματικά, η χαρτογραφική γενίκευση, όπως αυτή ορίζεται από τους Brassell και Weibel, αποτελεί μέρος της χωρικής μοντελοποίησης (McMaster and Shea 1992).

3.4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ NICKERSON AND FREEMAN

Το 1986, αναπτύχθηκε ένας διαφορετικός τύπος μοντέλου εννοιολογικής γενίκευσης, από τους Nickerson και Freeman, με σκοπό να εφαρμοστεί η τεχνολογία των έμπειρων συστημάτων (*expert systems*) στην χαρτογραφική γενίκευση (Nickerson and Freeman 1986). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, ένας βασικός χάρτης μπορεί να μετασχηματιστεί σε παράγωγο (γενικευμένο) χάρτη κατασκευάζοντας πρώτα ένα χάρτη ενδιάμεσης κλίμακας.

Πιο συγκεκριμένα, από ένα χάρτη-πηγή με γνωστή κλίμακα ($1:m$), μέγεθος συμβόλων (a) και επιφάνεια ($w*h$), μπορεί να παραχθεί ένας χάρτης ενδιάμεσης κλίμακας. Ο χάρτης ενδιάμεσης κλίμακας μεγεθύνει το μέγεθος συμβόλων σε ka , όπου το k είναι ένας παράγοντας μεγαλύτερος από τη μονάδα. Ενώ οι αρχικοί τελεστές γενίκευσης (απαλοιφή, απλοποίηση, συγχώνευση και μετάπτωση) εφαρμόζονται στο βασικό χάρτη, η επανατοποθέτηση τόσο των χαρτογραφικών αντικειμένων όσο και των συμβόλων πραγματοποιούνται στο χάρτη ενδιάμεσης κλίμακας (σχήμα 3.5).



ΣΧΗΜΑ 3.5: Το μοντέλο των Nickerson and Freeman (πηγή: Νάκος-διάλεξη)

Ουσιαστικά, με το συγκεκριμένο μοντέλο, η διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης πραγματοποιείται επανατοποθετώντας τα τροποποιημένα χαρτογραφικά αντικείμενα και επιλέγοντας τη θέση των συμβόλων σε μια μεγεθυσμένη κλίμακα. Ο παράγωγος χάρτης, με μέγεθος συμβόλων a , κλίμακα $1:km$, και επιφάνεια $w/k * h/k$, προκύπτει από τη μείωση της κλίμακας και τη διαδοχική τοποθέτηση ονοματολογίας. Ένα λειτουργικό σύστημα γενίκευσης, βασισμένο στην έννοια του χάρτη ενδιάμεσης κλίμακας, έχει δημοσιευθεί από το Nickerson (1988).

3.5 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ McMASTER AND SHEA

Οι McMaster and Shea (1988) πρότειναν το πρώτο εννοιολογικό μοντέλο γενίκευσης, βασισμένο στη φιλοσοφία της ψηφιακής γενίκευσης. Στο μοντέλο αυτό, η διαδικασία της γενίκευσης αποτελείται από τρεις συνιστώσες: 1) τη φιλοσοφική σκοπιμότητα, γιατί, δηλαδή, να εφαρμοσθεί γενίκευση, 2) τη χαρτομετρική αξιολόγηση των συνθηκών, η οποία δηλώνει πότε να εφαρμοσθεί η γενίκευση και 3) την επιλογή των κατάλληλων μετασχηματισμών των χωρικών και περιγραφικών ιδιοτήτων, οι οποίοι παρέχουν την τεχνική για το πώς να γίνει η γενίκευση (σχήμα 2.6). Ακολουθεί ανάλυση των παραπάνω.



ΣΧΗΜΑ 3.6: Το μοντέλο των McMaster and Shea (πηγή: Νάκος-διάλεξη)

3.5.1 ΦΙΛΟΣΟΦΙΚΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ (ΓΙΑΤΙ)

Η φιλοσοφική σκοπιμότητα αναφέρεται στους λόγους για τους οποίους πραγματοποιείται η χαρτογραφική γενίκευση σε ψηφιακό περιβάλλον και περιλαμβάνει τα **θεωρητικά στοιχεία**, τα **στοιχεία εφαρμογής** και τα **υπολογιστικά στοιχεία** (McMaster and Shea 1988).

3.5.1.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Από θεωρητικής πλευράς, οι τεχνικές γενίκευσης βοηθούν στην αντιμετώπιση των ανεπιθύμητων συνεπειών που προκύπτουν ύστερα από τη μείωση της κλίμακας ενός χάρτη. Προκειμένου για την καθοδήγηση της διαδικασίας της γενίκευσης σε ψηφιακό περιβάλλον, διακρίνονται έξι θεωρητικά στοιχεία:

- Μείωση πολυπλοκότητας
- Διατήρηση χωρικής ακρίβειας
- Διατήρηση περιγραφικής ακρίβειας
- Διατήρηση αισθητικής ποιότητας
- Διατήρηση λογικής ιεράρχησης
- Συνέπεια εφαρμοζόμενων κανόνων

Η πολυπλοκότητα, δηλαδή η οπτική αλληλεπίδραση πολλών γραφικών στοιχείων σε ένα χάρτη, προκύπτει καθώς η κλίμακα μειώνεται και τα χαρτογραφικά αντικείμενα αλληλεπικαλύπτονται. Κατά τη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης απαιτείται

μείωση της πολυπλοκότητας έτσι ώστε ο χάρτης να είναι ευανάγνωστος και αποτελεσματικός.

Ο Shiryaev (1987) έχει δηλώσει ότι είναι ιδιαίτερα σημαντική η **διατήρηση της χωρικής ακρίβειας** των χαρτογραφικών αντικειμένων ύστερα από τη μείωση της κλίμακας του χάρτη. Ο στόχος της διατήρησης της χωρικής ακρίβειας είναι σαφής και μετρήσιμος δεδομένου ότι η χωρική ακρίβεια μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με τη μετατόπιση μεταξύ των αρχικών και γενικευμένων χαρτογραφικών αντικειμένων. Ένας από τους στόχους της γενίκευσης είναι η μείωση του συνολικού σφάλματος μετατόπισης μεταξύ αρχικού και γενικευμένου αντικειμένου.

Έναν ακόμη σημαντικό στόχο αποτελεί η **διατήρηση της περιγραφικής ακρίβειας**. Ο στόχος αυτός είναι αριθμητικής φύσης και περιλαμβάνει μεθόδους στατιστικής ανάλυσης και ταξινόμησης. Το ζητούμενο εδώ είναι η ελαχιστοποίηση της ακούσιας μεταβολής των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της οντότητας, η οποία διαδοχικά θα επηρεάσει και τη χωρική απεικόνισή της.

Για τη **διατήρηση της αισθητικής ποιότητας** του χάρτη εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές, όπως για παράδειγμα, η χρήση αλγορίθμων λείανσης. Η αισθητική ποιότητα ενός χάρτη εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες και ενώ η δυσκολία στη διατύπωση κανόνων σχεδιασμού είναι μεγάλη, λόγω του υποκειμενικού στοιχείου, κάποιες γενικές κατευθυντήριες γραμμές έχουν δοθεί.

Ένας χάρτης πρέπει να εμπεριέχει ιεράρχηση των χαρτογραφικών χαρακτηριστικών. Καθοριστικός παράγοντας για την ιεραρχία μεταξύ των χαρακτηριστικών είναι ο

σκοπός για τον οποίο προορίζεται ο χάρτης. Ύστερα από τη διαδικασία της γενίκευσης πρέπει να διατηρείται η **λογική ιεράρχηση** των χαρτογραφικών χαρακτηριστικών βάσει του σκοπού του χάρτη.

Για την εξασφάλιση μίας συνεπούς και αμερόληπτης γενίκευσης, πρέπει να εφαρμόζονται κανόνες για τον καθορισμό των αλγόριθμων που θα χρησιμοποιηθούν, της σειράς με την οποία θα εφαρμοσθούν οι αλγόριθμοι αυτοί καθώς και των παραμέτρων εισαγωγής δεδομένων. Η **συνέπεια των εφαρμοζόμενων κανόνων** κρίνεται απαραίτητη (McMaster and Shea 1992).

3.5.1.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Ο παράγωγος χάρτης ο οποίος προκύπτει μετά τη διαδικασία της γενίκευσης οφείλει να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις οι οποίες προκύπτουν βάσει των εξής τριών στοιχείων εφαρμογής:

- σκοπός χάρτη-χρήστες
- καταλληλότητα κλίμακας
- ενάργεια

Κάθε χάρτης σχεδιάζεται για την εξυπηρέτηση ενός συγκεκριμένου **σκοπού** και προορίζεται για μία συγκεκριμένη **ομάδα χρηστών**. Οι παράμετροι αυτές συμβάλλουν στη συνολική δομή του χάρτη αλλά και στην επιλογή των σχεδιαστικών στοιχείων του.

Η **επιλογή της κλίμακας**, από την άλλη, αποτελεί ένα βασικό στοιχείο εφαρμογής καθώς καθορίζει, σε μεγάλο βαθμό, το μέγεθος και τον τύπο της πληροφορίας που παραμένει μετά τη γενίκευση. Για τον ίδιο λόγο, η κλίμακα του παράγωγου χάρτη πρέπει να συμπίπτει με το σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε και τους χρήστες στους οποίους απευθύνεται.

Το τρίτο στοιχείο εφαρμογής αποτελεί η **ενάργεια** η οποία αναφέρεται στην αναγνωσιμότητα του χάρτη. Όπως είναι φυσικό, δεν είναι δυνατή η μείωση της κλίμακας του χάρτη και η διατήρηση του αρχικού επιπέδου λεπτομέρειας. Ωστόσο, η ενάργεια μπορεί να διατηρηθεί μειώνοντας την κλίμακα τόσο ώστε το μέγεθος του χαρακτηριστικού να υπερβαίνει τη διακριτική ικανότητα του ματιού (McMaster and Shea 1988).

3.5.1.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα υπολογιστικά στοιχεία είναι ιδιαίτερα σημαντικά κατά την ψηφιακή γενίκευση. Ένας λόγος για τον οποίο πραγματοποιείται η διαδικασία της γενίκευσης είναι να εξισορροπηθεί η σχέση μεταξύ των δεδομένων, της πολυπλοκότητάς τους, των απαιτήσεων σε μνήμη του H/Y καθώς και των αναγκών της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας. Οι McMaster and Shea (1992) αναφέρουν τρία υπολογιστικά στοιχεία:

- τους αποδοτικούς οικονομικά αλγορίθμους
- τη μεγιστοποίηση της μείωσης δεδομένων
- την ελαχιστοποίηση της μνήμης / χώρου αποθήκευσης

Ένα από τα ζητούμενα κατά τη γενίκευση αποτελεί η μείωση της πληροφορίας με οικονομικά ανεκτό τρόπο. Ωστόσο, ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται όχι μόνο στη χρήση ενός **αποδοτικού οικονομικά αλγόριθμου** αλλά και στο αποτέλεσμα της γενίκευσης το οποίο οφείλει να είναι ποιοτικό. Η δυσκολία, λοιπόν, έγκειται στην εξισορρόπηση του κόστους του αλγόριθμου και της ποιότητας της γενίκευσης.

Ένα άλλο ζητούμενο κατά την ψηφιακή γενίκευση αποτελεί η **μεγιστοποίηση της μείωσης των δεδομένων**. Αυτή εξαρτάται από τρεις παράγοντες: α) την τελική αναγωγή κλίμακας του χάρτη, β) την τελική ανάλυση του παράγωγου χάρτη και γ) το σκοπό για τον οποίο προορίζεται ο χάρτης.

Η **ελαχιστοποίηση** των απαιτήσεων του H/Y **σε μνήμη/χώρο αποθήκευσης** αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την υλοποίηση των μετασχηματισμών της διαδικασίας της γενίκευσης. Οι προσπάθειες θα πρέπει να επικεντρωθούν στο συνδυασμό ελαχιστοποίησης των απαιτήσεων του H/Y και ποιοτικού αποτελέσματος.

3.5.2 ΧΑΡΤΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ (ΠΟΤΕ)

Η χαρτομετρική αξιολόγηση περιλαμβάνει τις **γεωμετρικές συνθήκες** κάτω από τις οποίες υλοποιείται η διαδικασία της γενίκευσης, τα **χωρικά** και **ολιστικά μέτρα** με τα οποία έγινε αυτός ο καθορισμός και τους **ελέγχους μετασχηματισμών** των τεχνικών γενίκευσης που υιοθετούνται για την ολοκλήρωση των αλλαγών (McMaster and Shea 1988).

3.5.2.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι γεωμετρικές συνθήκες οι οποίες παρατηρούνται κατά τη μείωση της κλίμακας ενός χάρτη είναι οι ακόλουθες:

- συμφόρηση
- σύμπτωση
- επικάλυψη συμβόλων
- περιπλοκή
- ασυμβατότητα
- μη αντιληπτικότητα

Η **συμφόρηση** αναφέρεται στο πρόβλημα που δημιουργείται κατά την αναγωγή κλίμακας, όπου μεγάλος αριθμός γεωγραφικών χαρακτηριστικών πρέπει να αναπαρασταθεί σε περιορισμένο χώρο στον χάρτη. Η συμφόρηση μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά με την εφαρμογή τεχνικών γενίκευσης έτσι ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα του χάρτη ως μέσο επικοινωνίας.

Η **σύμπτωση** παρατηρείται λόγω της μείωσης της απόστασης μεταξύ των χαρτογραφικών αντικειμένων ύστερα από τη μείωση της κλίμακας ενός χάρτη. Η συνθήκη αυτή εκφράζει την ανάγκη της εφαρμογής της γενίκευσης πριν την μείωση της κλίμακας.

Η **επικάλυψη συμβόλων** αναφέρεται στο πρόβλημα που δημιουργείται όταν η χωρική αναπαράσταση ενός χαρακτηριστικού έρχεται σε σύγκρουση με το υπόβαθρο

του. Τέτοιου είδους προβλήματα μπορούν να επιλυθούν με την αλλαγή, μετατόπιση ή ακόμη και διαγραφή συμβόλων.

Σε κάποιες περιπτώσεις, η διαδικασία της γενίκευσης εξαρτάται από τις συγκεκριμένες συνθήκες που παρουσιάζονται σε ένα δεδομένο χρονικό σημείο. Η **περιπλοκή** αναφέρεται στην αμφιβολία για την απόδοση ή εφαρμογή τεχνικών γενίκευσης ως αποτέλεσμα αυτών των συγκεκριμένων συνθηκών.

Η **ασυμβατότητα** αφορά αποφάσεις γενίκευσης οι οποίες δεν εφαρμόζονται ενιαία. Ωστόσο, η ασυμβατότητα δεν είναι πάντα ανεπιθύμητη δεδομένου ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει έμφαση ή να υποβιβάσει ένα συγκεκριμένο τμήμα ενός χαρτογραφικού αντικειμένου.

Η **μη αντιληπτικότητα** αναφέρεται στο πρόβλημα που δημιουργείται κατά τη μείωση κλίμακας, όπου ένα χαρακτηριστικό αποκτά μέγεθος μικρότερο από το ελάχιστο επιτρεπτό. Στην περίπτωση αυτή, το χαρτογραφικό αντικείμενο πρέπει να διαγραφεί, μεγεθυνθεί, να ενισχυθεί ή να μεταβληθεί ο τύπος του συμβόλου που χρησιμοποιείται για την απεικόνισή του (π.χ. ένα σύνολο σημειακών οντοτήτων μετατρέπεται σε μία επιφανειακή οντότητα), (McMaster and Shea 1988).

3.5.2.2 ΧΩΡΙΚΑ ΚΑΙ ΟΛΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

Τα χωρικά και ολιστικά μέτρα αξιολογούνται εξετάζοντας τις βασικές γεωμετρικές ιδιότητες των χαρτογραφικών αντικειμένων. Αρκετά από τα μέτρα αυτά παρατίθενται στην ενότητα αυτή:

- μέτρα πυκνότητας
- μέτρα κατανομής
- μέτρα μήκους και ημιτονικότητας
- μέτρα σχήματος
- μέτρα αποστάσεων
- μέτρα *Gestalt*
- αφαιρετικά μέτρα

Τα **μέτρα πυκνότητας** χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση τιμών όπως ο αριθμός σημειακών, γραμμικών ή πολυγωνικών χαρτογραφικών αντικειμένων ανά συγκεκριμένη περιοχή. Από την άλλη, τα **μέτρα κατανομής** χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της συνολικής κατανομής των χαρτογραφικών αντικειμένων (π.χ. τη διασπορά των σημειακών συμβόλων).

Τα **μέτρα μήκους και ημιτονικότητας** εφαρμόζονται ατομικά σε γραμμικά ή επιφανειακά χαρακτηριστικά (π.χ. ο υπολογισμός του συνολικού μήκους του υδρογραφικού δικτύου). Τα **μέτρα σχήματος** εφαρμόζονται για να καθορισθεί εάν ένα επιφανειακό χαρακτηριστικό μπορεί να αναπαρασταθεί στη νέα κλίμακα (Christ 1976), (π.χ. γεωμετρία χαρτογραφικών αντικειμένων).

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν, επίσης, τα **μέτρα αποστάσεων**. Οι αποστάσεις αφορούν σε εκείνες που υπολογίζονται μεταξύ σημειακών, γραμμικών και επιφανειακών χαρακτηριστικών (π.χ. Ευκλείδεια απόσταση).

Η θεωρία της ψυχολογίας *Gestalt* στην χαρτογραφία, αφορά στη σχέση που υπάρχει μεταξύ ενός χαρακτηριστικού και της έκφρασης που το συνοδεύει. Τα **μέτρα Gestalt**, λοιπόν, εξετάζουν την καλή συνέχεια, την εγγύτητα κλπ. μεταξύ τους, ενώ, τέλος, τα **αφαιρετικά μέτρα** χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της φύσης της χωρικής κατανομής (π.χ. πολυπλοκότητα, συμμετρία κ.ά.), (McMaster and Shea 1988).

3.5.2.3 ΕΛΕΓΧΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Τρεις σημαντικοί έλεγχοι μετασχηματισμών στη διαδικασία της γενίκευσης αφορούν στα εξής:

- επιλογή τελεστών γενίκευσης
- επιλογή αλγορίθμων
- επιλογή παραμέτρων (ανοχών)

Η επιλογή των κατάλληλων, κάθε φορά, **τελεστών γενίκευσης** αποτελεί κρίσιμη διαδικασία στη χαρτογραφική γενίκευση. Η επιλογή των τελεστών αυτών βασίζεται σε παράγοντες όπως η σπουδαιότητα κάθε χαρτογραφικού αντικειμένου, η πολυπλοκότητά του ή ακόμη και η διαθεσιμότητα των τελεστών.

Η **επιλογή αλγορίθμων** αποτελεί έναν ακόμη σημαντικό παράγοντα για τη γενίκευση. Στην περίπτωση, μάλιστα, που απαιτείται η χρήση δύο ή περισσότερων αλγορίθμων γενίκευσης, η πολυπλοκότητα που παρουσιάζεται είναι αρκετά μεγάλη. Δύο πολύ σημαντικοί παράγοντες για την επιλογή των κατάλληλων αλγορίθμων είναι η επιδίωξη αποδοτικότητας και ακρίβειας.

Ωστόσο, η **επιλογή των παραμέτρων** εισόδου (ανοχή) προκαλεί μεγαλύτερη μεταβολή στο τελικό αποτέλεσμα από ότι οι τελεστές γενίκευσης ή η επιλογή αλγορίθμου (McMaster and Shea 1988).

3.5.3 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΧΩΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ (ΠΩΣ)

Η γενίκευση εφαρμόζεται στα χωρικά δεδομένα εκτελώντας συγκεκριμένους μετασχηματισμούς που έχουν ως στόχο την τροποποίηση της γεωμετρίας ή των ιδιοτήτων τους. Οι μετασχηματισμοί χωρικών και περιγραφικών ιδιοτήτων είναι εκείνοι οι οποίοι, ουσιαστικά, υποστηρίζουν τη μείωση της κλίμακας και των δεδομένων. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για τους τελεστές που εκτελούν τη διαδικασία γενίκευσης. Σημειώνεται ότι οι δύο αυτοί τύποι μετασχηματισμών δεν είναι ανεξάρτητοι αλλά σε πολλές περιπτώσεις συσχετίζονται.

3.5.3.1 ΧΩΡΙΚΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Οι χωρικοί μετασχηματισμοί μετασχηματίζουν την αναπαράσταση των δεδομένων από γεωγραφικής και τοπολογικής πλευράς και είναι οι ακόλουθοι:

- απλοποίηση
- εξομάλυνση
- συγχώνευση σημειακών / γραμμικών / επιφανειακών συμβόλων
- μετάπτωση
- εκλέπτυνση
- μεγέθυνση
- ενίσχυση
- μετάθεση

Κατά το στάδιο της ψηφιοποίησης γραμμικών χωρικών οντοτήτων (ή του περιγράμματος επιφανειακών χωρικών οντοτήτων) συλλέγονται περισσότερα σημεία από όσα χρειάζονται για την ακριβή αναπαράστασή τους. Οι **τελεστές απλοποίησης** επιλέγουν να διατηρήσουν όσα σημεία περιγράφουν τη μορφή των χωρικών οντοτήτων και παράλληλα, απαλείφουν όσα σημεία πλεονάζουν ή δεν είναι απαραίτητα για την απόδοση του χαρακτήρα της μορφής τους στην παράγωγη κλίμακα.

Από την άλλη, οι **τελεστές εξομάλυνσης** επιδρούν σε μια γραμμή μετακινώντας τις συντεταγμένες των κορυφών της με σκοπό την απαλοιφή μικρών διαταραχών, με τρόπο που να διατηρείται η κυρίαρχη τάση της μορφής της. Παράγουν, λοιπόν,

γραμμές η μορφή των οποίων έχει τροποποιηθεί ώστε να βελτιωθεί η αισθητική απόδοση των χωρικών οντοτήτων που αντιπροσωπεύουν.

Οι **τελεστές συγχώνευσης σημειακών, γραμμικών και επιφανειακών συμβόλων** αφορούν στη συνένωση χωρικών δεδομένων. Κάποιες φορές απαιτείται να γίνει συγχώνευση των σημειακών συμβόλων, σε ένα σύμβολο μεγαλύτερης τάξης, ώστε η χωρική οντότητα να απεικονιστεί με επιφανειακό σύμβολο. Αντίστοιχα, δύο γραμμικά σύμβολα που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους συγχωνεύονται σε ένα γραμμικό σύμβολο ενώ πολλά μικρά, γειτονικά επιφανειακά σύμβολα μετασχηματίζονται σε λιγότερα με μεγαλύτερη έκταση.

Επιπρόσθετα, καθώς η κλίμακα του χάρτη μειώνεται, πολλά επιφανειακά σύμβολα, λόγω των γραφικών περιορισμών, πρέπει να συμβολιστούν με σημειακά ή γραμμικά σύμβολα. Ο μετασχηματισμός αυτός πραγματοποιείται με τη χρήση των **τελεστών μετάπτωσης** και αποτελεί την πιο συνηθισμένη εφαρμογή της διαδικασίας της γενίκευσης.

Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, όπου όμοια χαρτογραφικά αντικείμενα είναι είτε πολυάριθμα είτε τόσο μικρά σε μέγεθος ώστε να μην είναι δυνατή η απεικόνισή τους σε μικρότερη κλίμακα, απεικονίζεται επιλεκτικά ένα δείγμα αυτών. Οι τελεστές, με τη βοήθεια των οποίων γίνεται η απαραίτητη απαλοιφή των πλεοναζόντων συμβόλων, ονομάζονται **τελεστές εκλέπτυνσης**.

Επίσης, η μορφή και το μέγεθος των συμβόλων μπορεί να χρειαστεί να μεγεθυνθεί με σκοπό να ικανοποιηθούν συγκεκριμένες προαπαιτήσεις του χάρτη κατά τη γενίκευση.

Ο κατάλληλος γεωμετρικός τελεστής με τη βοήθεια του οποίου μεγεθύνονται ορισμένα επιλεγμένα σύμβολα σε ένα χάρτη είναι ο **τελεστής μεγέθυνσης**.

Άλλες φορές το σχήμα και το μέγεθος των χαρτογραφικών συμβόλων χρειάζεται να υποστούν μερική διόγκωση ή να υπερτονιστούν ορισμένα χαρακτηριστικά με σκοπό να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του παράγωγου χάρτη. Οι τελεστές με τους οποίους επιτυγχάνεται ο τονισμός ή η διόγκωση των συμβόλων ονομάζονται **τελεστές ενίσχυσης**. Σε αντίθεση με τους τελεστές μεγέθυνσης οι τελεστές ενίσχυσης δεν τροποποιούν συνολικά τις διαστάσεις των συμβόλων αλλά μερικώς τη μορφή ή και το μέγεθός τους.

Τέλος, όταν μετά την εφαρμογή της γενίκευσης, παρατηρείται χωρική σύμπτωση δύο ή περισσότερων χαρτογραφικών αντικείμενων, εφαρμόζονται οι **τελεστές μετάθεσης**. Η χωρική σύμπτωση των συμβόλων αντιμετωπίζεται με τρεις τρόπους: μετακινώντας τα σύμβολα από την ακριβή του θέση (μετάθεση), τροποποιώντας τα σύμβολα (αλλαγή ή διακοπή συμβολισμού), ή τέλος, διαγράφοντας το σύμβολο από το χάρτη (McMaster and Shea 1988).

3.5.3.2 ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Οι μετασχηματισμοί ιδιοτήτων διαχειρίζονται τα θεμελιώδη στατιστικά χαρακτηριστικά των χαρτογραφικών αντικειμένων. Οι μετασχηματισμοί ιδιοτήτων περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- ταξινόμηση
- συμβολισμός

Μία εκ των βασικών συνιστωσών της διαδικασίας της γενίκευσης αποτελεί η **ταξινόμηση** των δεδομένων (Muller 1983). Η ταξινόμηση αναφέρεται στην ομαδοποίηση οντοτήτων σε κατηγορίες χαρακτηριστικών με ίδιες ή παρόμοιες ιδιότητες.

Ο απόδοση **συμβολισμού** αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία στην προετοιμασία ενός χάρτη. Άλλωστε, τα αποτελέσματα της γενίκευσης γίνονται ορατά σε ένα χάρτη με τη διαδικασία του συμβολισμού (McMaster and Shea 1988).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Ο χαρτογράφος σήμερα μπορεί να χρησιμοποιεί συστήματα λογισμικών πακέτων, με τα οποία συνήθως είναι δυνατή η επιλογή και εφαρμογή κατάλληλων αλγόριθμων γενίκευσης χαρτογραφικών γραμμών για όσες από τις υποκειμενικές λειτουργίες της γενίκευσης έχει επιτευχθεί να εκφραστούν ποσοτικά. Τα συστήματα αυτά τις περισσότερες φορές λειτουργούν σε περιβάλλον αλληλοεπίδρασης με τους χρήστες.

Στα επόμενα, παρουσιάζεται ο τελεστής απλοποίησης της χαρτογραφικής γραμμής ενώ στις ενότητες που ακολουθούν αναλύονται οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι για την απλοποίηση. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται:

- οι αλγόριθμοι ανεξάρτητων σημείων,
- οι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας,
- οι δεσμευμένοι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας,
- οι μη δεσμευμένοι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας καθώς και
- οι καθολικοί αλγόριθμοι.

Τέλος, περιγράφεται το πρόβλημα της επικάλυψης των γραφικών αντικειμένων κατά τη διαδικασία της γενίκευσης.

4.1 Ο ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Ο ισχυρισμός, σύμφωνα με τον οποίο μπορεί να υπάρξει ένας ιδανικός αλγόριθμος, κατάλληλος για την απλοποίηση οποιασδήποτε γραμμής είναι λανθασμένος. Επιπλέον, η αναλογία της γραμμικής πληροφορίας στους χάρτες είναι της τάξης του 80% (Thara 1988). Η συντριπτική πλειοψηφία των χωρικών οντοτήτων είτε αναπαρίσταται άμεσα στο χάρτη από γραμμές (δρόμοι, ποταμοί κλπ.), είτε από πολύγωνα (διοικητικά όρια, χρήσεις γης δάση κλπ.) το περίγραμμα των οποίων περιγράφεται από γραμμές. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ότι τα ζητήματα παραγωγής που αφορούν τη διαδικασία της γενίκευσης υποβοηθούμενης από τη χρήση H/Y, κατά βάση, είναι προσανατολισμένα στην αξιοποίηση αλγόριθμων απλοποίησης γραμμών.

Η απλοποίηση μειώνει το επίπεδο των λεπτομερειών των γραμμών και με αυτή την έννοια συμμετέχει οπτικά σε σημαντικό βαθμό στο αποτέλεσμα της γενίκευσης. Η απλοποίηση εφαρμόζεται με αλγόριθμους που απαλείφουν κορυφές της γραμμής με αποτέλεσμα να μειώνεται αυτόματα ο όγκος των δεδομένων. Οι αλγόριθμοι απλοποίησης είναι εξίσου χρήσιμοι για την απαλοιφή των ανεπιθύμητων λεπτομερειών υψηλής συχνότητας των γραμμών που ψηφιοποιούνται με συνεχή δειγματοληψία ή σάρωση (Νάκος 2005).

Στην ενότητα που ακολουθεί περιγράφονται ορισμένοι βασικοί αλγόριθμοι κατάλληλοι για την υλοποίηση του τελεστή της απλοποίησης.

4.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Οι πιο συνηθισμένοι αλγόριθμοι απλοποίησης μετατρέπουν μια γραμμή σε μια άλλη με λιγότερες κορυφές, την απλοποιημένη, με τα ίδια ακριβώς άκρα. Σημειώνεται ότι, με εφαρμογή των αλγορίθμων απλοποίησης, δεν παράγονται νέες κορυφές ούτε μεταθέτονται οι υπάρχουσες κορυφές των γραμμών. Τα κλασικά κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται η απαλοιφή των κορυφών είναι τα ακόλουθα:

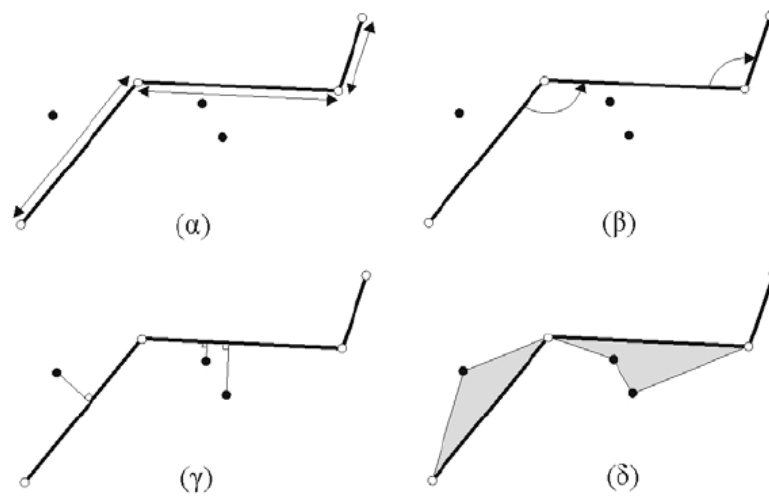
- Ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης της γραμμής.
- Ελαχιστοποίηση του αριθμού των κορυφών της παράγωγης γραμμής.
- Ελαχιστοποίηση της πολυπλοκότητας των υπολογισμών.

Με κριτήριο τις γεωμετρικές αρχές που τους διέπουν, οι αλγόριθμοι απλοποίησης μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

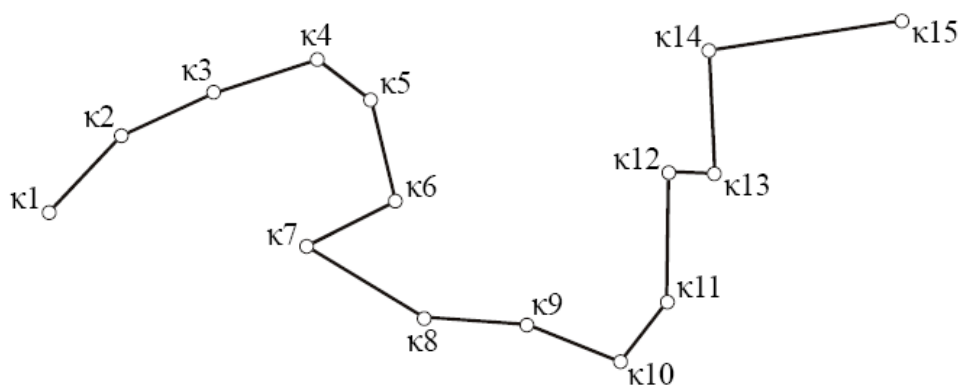
- Αλγόριθμοι ανεξάρτητων σημείων.
- Αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας.
- Δεσμευμένοι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας.
- Μη δεσμευμένοι αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας.
- Καθολικοί αλγόριθμοι.

Οι αλγόριθμοι απλοποίησης μπορούν να διακριθούν, εναλλακτικά, εξετάζοντας το γεωμετρικό κριτήριο με το οποίο επιλέγονται οι **κρίσιμες** κορυφές των γραμμών. Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζονται τέσσερα χαρακτηριστικά γεωμετρικά κριτήρια, που αναφέρονται: στο μήκος (α), στη γωνιακή μεταβολή (β), στην κάθετο απόσταση (γ)

και στην επιφανειακή μετάθεση (δ), με τη βοήθεια των οποίων μπορούν να επιλεγούν οι κρίσιμες κορυφές μιας γραμμής. Στις ενότητες που ακολουθούν περιγράφονται οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι για την απλοποίηση γραμμών. Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το παράδειγμα μιας γραμμής στην οποία εφαρμόζονται οι περιγραφόμενοι αλγόριθμοι στις ενότητες που ακολουθούν με σκοπό να είναι δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση.



ΣΧΗΜΑ 4.1: Κριτήρια ανίχνευσης κρίσιμων κορυφών (πηγή: Νάκος 2005).

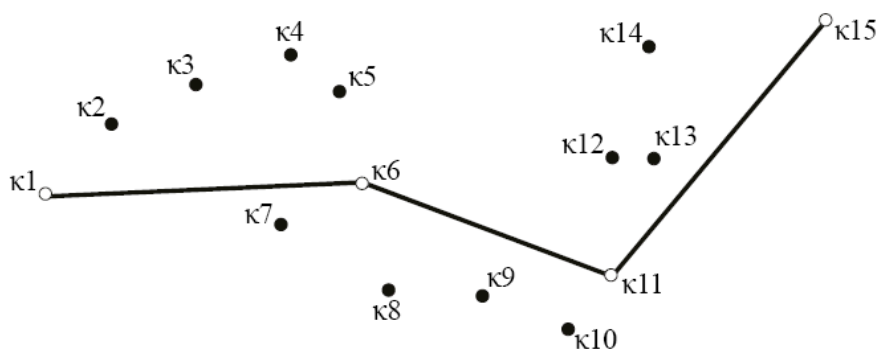


ΣΧΗΜΑ 4.2: Η γραμμή αναφοράς για την παρουσίαση των αλγόριθμων παρουσίασης (πηγή: Νάκος 2005).

Ωστόσο, δεν είναι δυνατόν να ενταχθούν όλοι οι αλγόριθμοι γενίκευσης χαρτογραφικής γραμμής σε μία κατηγορία. Παράδειγμα αποτελεί ο αλγόριθμος Bendsimplify ο οποίος βασίζεται στην ανίχνευση των κυρτών τμημάτων (καμπυλών) της γραμμής και περιγράφεται σε ακόλουθη υποενότητα.

4.2.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ

Οι αλγόριθμοι της κατηγορίας αυτής δεν βασίζονται σε γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ των γειτονικών κορυφών της γραμμής και επιδρούν με τρόπο που δεν εξετάζει τις τοπολογικές ιδιότητες των γραμμών. Ο πλέον γνωστός αλγόριθμος αυτής της κατηγορίας είναι ο αλγόριθμος του **νιοστού σημείου**. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο του νιοστού σημείου κάθε νιοστή κορυφή της γραμμής επιλέγεται να διατηρηθεί και όλες οι υπόλοιπες απαλείφονται. Για παράδειγμα, διατηρείται κάθε πέμπτη (εάν $n=5$) κορυφή της γραμμής.



ΣΧΗΜΑ 4.3: Ο αλγόριθμος απλοποίησης γραμμών του νιοστού σημείου ($n=5$) (πηγή: Νάκος 2005).

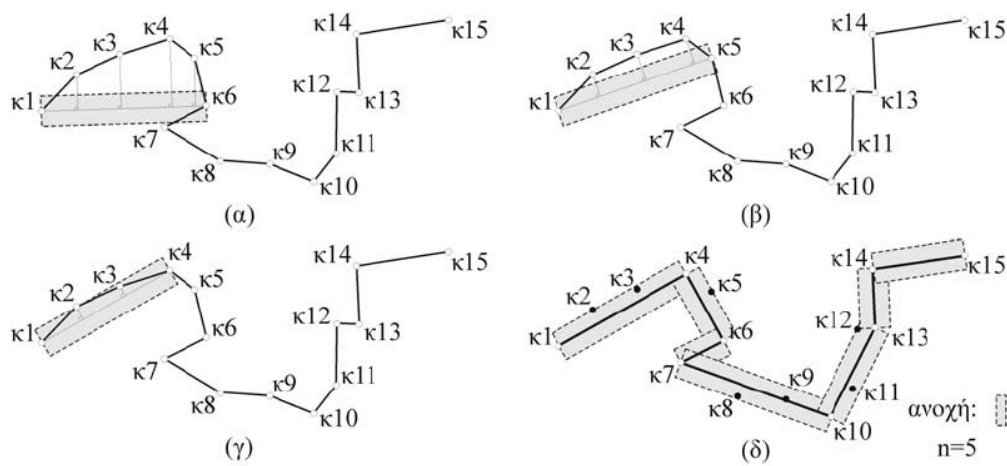
Είναι προφανές, ότι ο αλγόριθμος αυτός μόνον τυχαία μπορεί να επιλέξει μια χαρακτηριστική κορυφή της γραμμής, δηλαδή μια κορυφή κρίσιμη για την αντιπροσώπευση της μορφής της. Ένα επιπλέον μειονέκτημα του αλγόριθμου είναι οι σημαντικές παραμορφώσεις που επιφέρει στην τελική γραμμή. Για τους παραπάνω λόγους ο αλγόριθμος δεν έχει ευρεία χρήση. Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου απλοποίησης του νιοστού σημείου.

4.2.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι αλγόριθμοι της κατηγορίας αυτής, όπως δηλώνει και η ονομασία τους, χρησιμοποιούν τα χαρακτηριστικά των αμέσων γειτονικών κορυφών της γραμμής για την επιλογή / απαλοιφή των κορυφών. Παραδείγματα τέτοιων τοπικών κριτηρίων αποτελούν η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών, η κάθετη απόσταση ως προς τη βασική γραμμή που συνδέει τις εκατέρωθεν γειτονικές κορυφές της υπό εξέταση κορυφής, όπως επίσης η γωνιακή μεταβολή κάθε κορυφής. Εμπειρικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι οι αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας παράγουν τελικές γραμμές με μικρότερες παραμορφώσεις από τους αλγόριθμους ανεξαρτήτων σημείων. Όμως, οι παραμορφώσεις που παράγουν εξακολουθούν να είναι μεγαλύτερες από ορισμένους από τους αλγορίθμους που θα περιγραφούν στη συνέχεια. Πάντως, ένα σημαντικό πλεονέκτημα των αλγορίθμων τοπικής επεξεργασίας είναι η δυνατότητα εφαρμογής τους, ταυτόχρονα με τη διαδικασία της ψηφιοποίησης των γραμμών.

4.2.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΔΕΣΜΕΥΣΕΙΣ

Οι αλγόριθμοι αυτής της κατηγορίας εξετάζουν τις κορυφές πέραν των άμεσων γειτονικών κορυφών της γραμμής. Το εύρος του ελέγχου εξαρτάται από διάφορα κριτήρια που καθορίζονται είτε από απόσταση, είτε από γωνιακή μεταβολή, είτε τέλος από αριθμό κορυφών της γραμμής. Σε αυτήν την κατηγορία ξεχωρίζει ο αλγόριθμος του Lang.



ΣΧΗΜΑ 4.4: Ο αλγόριθμος απλοποίησης γραμμών του Lang (πηγή: Νάκος 2005).

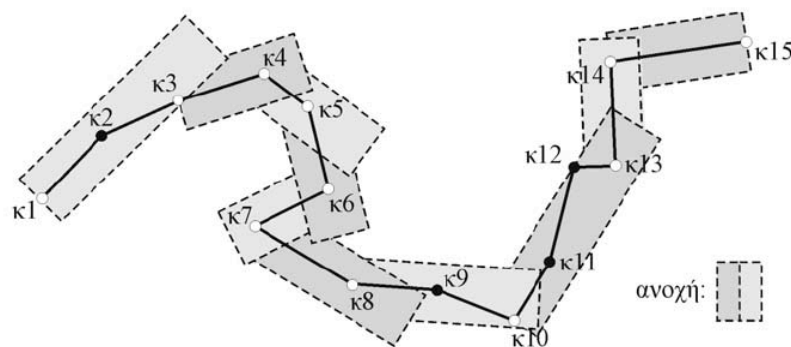
Ο αλγόριθμος του Lang εξετάζει ένα προκαθορισμένο εύρος κορυφών (για παράδειγμα, ελέγχει τη γραμμή κάθε πέντε κορυφές) και επιλέγει / απαλείφει τις κορυφές με κριτήριο μια ανοχή που τη συγκρίνει με τις κάθετες αποστάσεις κάθε κορυφής ως προς τη γραμμή βάσης, η οποία ορίζεται κάθε φορά από την πρώτη και την τελευταία κορυφή του εύρους ελέγχου (σχήμα 4.4).

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.4α, όλες οι κάθετες αποστάσεις των ενδιάμεσων κορυφών του εύρους ελέγχου υπερέχουν της ανοχής, οπότε η γραμμή βάσης μεταφέρεται στο προηγούμενο σημείο και επαναλαμβάνεται η διαδικασία από την αρχή (σχήμα 4.4β) έως ότου όλες οι κάθετες αποστάσεις ως προς τη γραμμή βάσης να

είναι μικρότερες από την ανοχή (σχήμα 4.4γ). Τότε διατηρούνται τα άκρα της γραμμής βάσης και απαλείφονται όλες οι ενδιάμεσες κορυφές. Στη συνέχεια, με τον αλγόριθμο εξετάζεται το επόμενο εύρος των κορυφών μέχρι να εξαντληθούν όλες οι κορυφές της γραμμής (σχήμα 4.4δ).

4.2.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΤΟΠΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΔΕΣΜΕΥΣΕΙΣ

Στους αλγόριθμους της κατηγορίας αυτής, όπως και στην περίπτωση των αλγορίθμων τοπικής επεξεργασίας με δεσμεύσεις, ο τοπικός έλεγχος επεκτείνεται πέραν των άμεσα γειτονικών κορυφών της υπό εξέταση κορυφής. Η επέκταση της περιοχής ελέγχου δεσμεύεται από τη μορφή και την πολυπλοκότητα της γραμμής, αντί της εφαρμογής κάποιου αυθαίρετου κριτηρίου. Το παράδειγμα που απεικονίζεται στο σχήμα 4.5 παρουσιάζει τον αλγόριθμο των Reumann και Witkam.



ΣΧΗΜΑ 4.5: Ο αλγόριθμος απλοποίησης γραμμών των Reumann και Witkam (πηγή: Νάκος 2005).

Με τον αλγόριθμο των Reumann και Witkam δημιουργείται ένας διάδρομος, ο οποίος σχεδιάζεται με δύο παράλληλες γραμμές ως προς το ευθύγραμμο τμήμα που ορίζουν

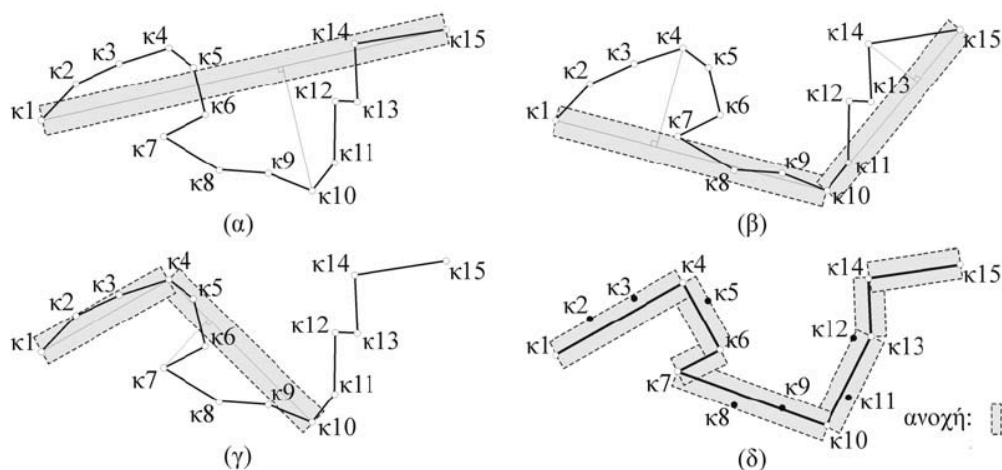
οι δύο πρώτες κορυφές της γραμμής. Το πλάτος του διαδρόμου είναι ίσο με το μέγεθος της ανοχής. Ο διάδρομος επεκτείνεται μέχρι η μία από τις δύο του πλευρές να τμήσει τη γραμμή. Τότε όλες οι κορυφές της γραμμής που βρίσκονται μέσα στο διάδρομο εκτός της πρώτης και της τελευταίας απαλείφονται. Στη συνέχεια, σχεδιάζεται νέος διάδρομος, ο οποίος ξεκινά από την τελευταία κορυφή που επιλέχθηκε να διατηρηθεί, με την ίδια αρχή κ.ο.κ. Η διαδικασία ολοκληρώνεται μέχρι να ελεγχθούν, με τον τρόπο που περιγράφηκε, όλες οι κορυφές της γραμμής.

4.2.5 ΚΑΘΟΛΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Οι καθολικοί αλγόριθμοι απλοποίησης γραμμών εξετάζουν ολόκληρη τη γραμμή και διαδοχικά επιλέγουν τις κρίσιμες κορυφές της ενώ απαλείφουν τις υπόλοιπες με κριτήριο μια ανοχή. Ο αλγόριθμος των Douglas και Peucker, ένας αλγόριθμος απλοποίησης γραμμών που χρησιμοποιείται ευρέως, ανήκει στην κατηγορία αυτή. Τέλος, στην κατηγορία των καθολικών αλγορίθμων θα περιγραφεί και ένας επιπλέον ο αλγόριθμος, ο αλγόριθμος των Visvaligam και Whyatt που βασίζεται σε επιφανειακή ανοχή, με την οποία ελέγχεται η επιφανειακή μετάθεση της γραμμής.

Ο αλγόριθμος των Douglas και Peucker αρχικά επινοήθηκε για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα απαλοιφής των πλεοναζόντων κορυφών μιας χαρτογραφικής γραμμής κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης. Ο αλγόριθμος, παρουσιάζεται στο σχήμα 4.6. Ξεκινά συνδέοντας τα άκρα της γραμμής με μία ευθεία βάση. Στην συνέχεια, εξετάζονται οι αποστάσεις όλων των υπολοίπων κορυφών της γραμμής με τη γραμμή βάσης ως προς το εάν υπερβαίνουν ή όχι την ανοχή. Εάν οι αποστάσεις είναι όλες

μικρότερες από την ανοχή, τότε οι ενδιάμεσες κορυφές απαλείφονται, αλλιώς η γραμμή διαχωρίζεται σε δύο τμήματα με βάση την κορυφή που εμφανίζει τη μέγιστη απόσταση και η διαδικασία του ελέγχου επαναλαμβάνεται ανεξάρτητα για τα δύο τμήματα της γραμμής.



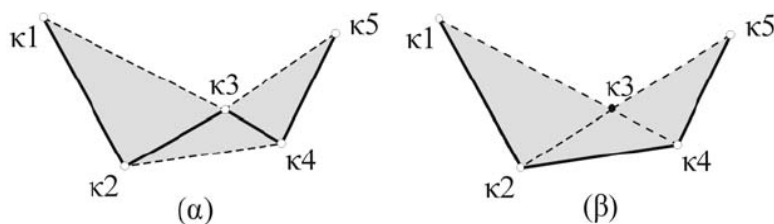
ΣΧΗΜΑ 4.6: Ο αλγόριθμος απλοποίησης γραμμών των Douglas και Peucker (πηγή: Νάκος 2005).

Είναι πολλοί οι λόγοι για τους οποίους ο αλγόριθμος των *Douglas* και *Peucker* επικράτησε έναντι των υπολοίπων, μεταξύ αυτών ο κυριότερος οφείλεται στην καθολική εφαρμογή του διαδρόμου της ανοχής. Επιπλέον, με την παρουσίαση του αλγορίθμου αναπτύχθηκε και ο κώδικας υλοποίησής του, με αποτέλεσμα να ενσωματωθεί στα περισσότερα πακέτα λογισμικού διαχείρισης χωρικών δεδομένων. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του αλγορίθμου αυτού οφείλεται στο γεγονός, ότι η εφαρμογή του επιφέρει τη μικρότερη μετάθεση ως προς την αρχική γραμμή συγκρινόμενος με τους άλλους αλγορίθμους.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του αλγορίθμου των *Douglas* και *Peucker* είναι η δυνατότητα της διαδοχικής ιεραρχικής υποδιαίρεσης της εξεταζόμενης γραμμής, η

οποία μπορεί να εφαρμοστεί όταν παρουσιάζεται ανάγκη μια γραμμή να διαχωριστεί σε ανεξάρτητα τμήματα. Παρόλα του τα πλεονεκτήματα ο αλγόριθμος των Douglas και Peucker παρουσιάζει ευαισθησία στη διατήρηση κορυφών, που αποδίδουν τη μορφή της σφήνας στη γραμμή, οι οποίες πιθανά να έχουν προκύψει από σφάλματα ψηφιοποίησης και επιθυμούμε να απαλειφθούν.

Ένας αλγόριθμος, ο οποίος ξεπερνά με επιτυχία το τελευταίο πρόβλημα που διατυπώθηκε, είναι ο αλγόριθμος των Visvaligam και Whyatt, γιατί βασίζεται σε κριτήριο επιφανειακής ανοχής για την απαλοιφή των κορυφών της γραμμής. Ο αλγόριθμος βασίζεται σε ένα μέτρο εκτίμησης της επιφανειακής παραμόρφωσης της γραμμής, το οποίο ονομάζεται επιφάνεια μετάθεσης, που ορίζεται από το εμβαδόν του τριγώνου που σχηματίζει η κάθε κορυφή της γραμμής, με εξαίρεση των άκρων της, με τις άμεσα γειτονικές της (σχήμα 4.7α). Στη διαδικασία εφαρμογής του αλγορίθμου η γραμμή εξετάζεται με διαδοχικές επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη η κορυφή με τη μικρότερη επιφάνεια μετάθεσης, ως λιγότερο σημαντική, απαλείφεται. Όμως, οι συντεταγμένες της μαζί με την τιμή του εμβαδού της επιφάνειας μετάθεσης καταγράφονται σε ξεχωριστό αρχείο. Στη συνέχεια, επειδή έχουν μεταβληθεί οι επιφάνειες μετάθεσης των άμεσα γειτονικών κορυφών, λόγω της απαλοιφής, υπολογίζονται εκ νέου (σχήμα 4.7β). Ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται μέχρι να καταγραφούν κατά αύξουσα σειρά ως προς την επιφάνεια μετάθεσης όλες οι κορυφές της γραμμής, εκτός από τα δύο άκρα και τελικά απαλείφονται όσες κορυφές συσχετίζονται με επιφάνειες μετάθεσης μικρότερης από αυτήν της ανοχής.



ΣΧΗΜΑ 4.7: Ο αλγόριθμος απλοποίησης γραμμών των Visvalingam και Whyatt (πηγή: Νάκος 2005).

Ο αλγόριθμος των Visvalingam και Whyatt παρουσιάζει ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα, γιατί η απλοποίηση της γραμμής γίνεται με τρόπο που να διατηρείται η συνολική μορφή της, ενώ με τον αλγόριθμο των Douglas και Peucker δίνεται έμφαση στην ελαχιστοποίηση των μεταθέσεων της παράγωγης γραμμής σε σχέση με την αρχική.

4.2.6 Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ WANG & MULLER (BENDSIMPLIFY)

Ο αλγόριθμος Bendsimplify αποτελεί εξέλιξη της βασικής ιδέας που παρουσιάστηκε από τους Visvalingam και Whyatt (1993) και βασίζεται στην έρευνα των Zeshen Wang και Jean-Claude Müller (1998). Βασικός στόχος για το σχεδιασμό του εν λόγω αλγόριθμου ήταν η όσο το δυνατόν καλύτερη διατήρηση του χαρακτήρα της αρχικής χαρτογραφικής γραμμής.

Ο αλγόριθμος Bendsimplify ανιχνεύει τα κυρτά τμήματα (καμπύλες) της χαρτογραφικής γραμμής, αναλύει τις ιδιότητές τους και τέλος, απαλείφει τα λιγότερο σημαντικά βάσει των ιδιοτήτων τους. Ουσιαστικά, λοιπόν, στοχεύει στη διατήρηση των κυρτών τμημάτων (καμπυλών) της χαρτογραφικής γραμμής.

Πιο συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί την πληροφορία σχετικά με το σχήμα των καμπυλών κατά μήκος της γραμμής καθώς και τις μεταξύ τους σχέσεις και κατόπιν επιλέγει τους κατάλληλους τελεστές γενίκευσης.

Ο αλγόριθμος λειτουργεί ως εξής: Αρχικά, όλες οι κορυφές των καμπυλών της γραμμής θεωρούνται, κατά προσέγγιση ως σημεία. Εν συνεχεία, ο συνολικός αριθμός των κατά προσέγγιση κορυφών μειώνεται επαναληπτικά, απαλείφοντας την κορυφή με το μικρότερο κόστος βαθμού συνάρτησης (cost function value). Η διαδικασία σταματά όταν προσεγγιστεί ο επιθυμητός συνολικός αριθμός τμημάτων.

Η λογική της λειτουργίας του αλγόριθμου συνοψίζεται σε τέσσερις βασικούς κανόνες γενίκευσης:

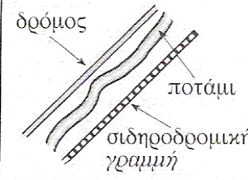

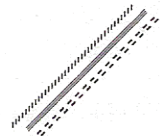
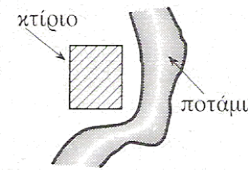


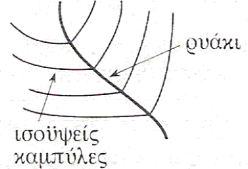


- Οι μικρές καμπύλες πρέπει να απαλείφονται
- Δύο γειτονικές, παρόμοιου σχήματος καμπύλες, το μέγεθος των οποίων είναι μικρότερο από την ανοχή που επιλέγεται, πρέπει να συνδυαστούν σε μία ενώ τρεις καμπύλες μπορούν να αναπαρασταθούν από δύο.
- Μη-ευθείες γραμμές δεν πρέπει να αντικαθίστανται από ευθείες γραμμές.
- Μία απομονωμένη καμπύλη, το μέγεθος της οποίας πλησιάζει την ανοχή, πρέπει να ενισχυθεί.

4.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ

Ένα βασικό πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά τη γενίκευση εστιάζεται στο γεγονός ότι οι τελεστές της επιλογής / απαλοιφής και απλοποίησης επιδρούν με ανεξάρτητο τρόπο στα γραφικά αντικείμενα (Νάκος 2005). Το πρόβλημα της μετατόπισης των σημείων μετά τη γενίκευση, ενώ είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της Χαρτογραφίας, εντούτοις δεν καλύπτεται ικανοποιητικά βιβλιογραφικά, τουλάχιστον στο βαθμό που καλύπτεται η γενίκευση (Παρασχάκης κ.ά. 1998).

Το εν λόγω πρόβλημα έχει δύο πτυχές. Είναι σαφές ότι για να είναι ευανάγνωστος ο γενικευμένος χάρτης, θα πρέπει τα χαρτογραφικά αντικείμενα να μην επικαλύπτονται μετά τη γενίκευση. Αν συμβαίνει κάτι τέτοιο εξαιτίας της κλίμακας του γενικευμένου χάρτη, τότε μερικά από τα αντικείμενα θα πρέπει να μετατοπισθούν από τη λάθος θέση τους, σε κάποια άλλη σωστή (σχήμα 4.8α).

Είναι, επίσης, κατανοητό ότι η τοπολογία των χαρτογραφικών φαινομένων δε θα πρέπει να μεταβάλλεται κατά τη γενίκευση. Αυτό σημαίνει ότι η λογική και η χωρική σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα διάφορα χαρτογραφικά αντικείμενα πριν από τη γενίκευση, θα πρέπει να διατηρείται και μετά από αυτήν (σχήμα 4.8β, 4.8γ).

	αρχικός χάρτης	γενίκευση	
		λανθασμένη	σωστή
(α)			
(β)			
(γ)			

ΣΧΗΜΑ 4.8: Μετά τη γενίκευση τα χαρτογραφικά αντικείμενα μετατοπίζονται έτσι ώστε η τοπολογική τους σχέση να παραμένει και παράλληλα ο χάρτης να είναι ευανάγνωστος, (πηγή:

Παρασχάκης κ.ά. 1998).

Η επιτυχημένη αντιμετώπιση του χαρτογραφικού προβλήματος της γενίκευσης, θα προϋπέθετε τη διαμόρφωση ενός ολιστικού χαρακτήρα τρόπου προσέγγισης με καταγραφή των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των χαρτογραφικών γραφικών αντικειμένων. Οι συνέπειες της εφαρμογής κάθε τελεστή γενίκευσης χρειάζεται να μπορούν να προβλεφθούν με σκοπό να γίνει απαλοιφή όλων των πιθανών επικαλύψεων μεταξύ των γραφικών αντικειμένων, με γνώμονα τις βασικές αρχές της γενίκευσης (Νάκος 2005).

Όπως εύκολα καταλαβαίνει κανείς, η λύση του εν λόγω προβλήματος δεν είναι εύκολη. Αυτό οφείλεται κυρίως, στο ότι οι απαιτήσεις σε μετατόπιση μπορεί να διαφέρουν δραστικά κατά περίπτωση. Συνεπώς, όσον αφορά στην πρώτη περίπτωση, μπορεί να ορισθεί μια ζώνη ευκρίνειας γύρω από κάθε αντικείμενο, το πλάτος της

οποίας εξαρτάται από την κλίμακα του χάρτη. Κάθε αντικείμενο, που θα πέφτει στη ζώνη κάποιου άλλου αντικειμένου, θα πρέπει να μετατοπισθεί κατά ένα προκαθορισμένο μήκος. Αρκετοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν αυτή τη λογική, η οποία όμως δε λύνει πλήρως το πρόβλημα, καθώς υπάρχει πάντοτε μια ιεράρχηση των αντικειμένων, έτσι ώστε να μετατοπίζονται μόνο τα αντικείμενα, που είναι χαμηλά στην ιεράρχηση και όχι τα σημαντικά αντικείμενα. Από την άλλη μεριά, η μετατόπιση αυτή δε θα πρέπει ούτε να καταστρέφει την τοπολογική σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα διάφορα αντικείμενα, ούτε βέβαια να μειώνει την ακρίβεια του παραγόμενου χάρτη. Οι παραπάνω συνθήκες είναι αντικρουόμενες, γεγονός που καθιστά το πρόβλημα της μετατόπισης των γενικευμένων αντικειμένων ιδιαίτερα δύσκολο.

Το πρόβλημα της επικάλυψης των γραφικών αντικειμένων κατά τη γενίκευση δεν έχει βρει ακόμα στη χαρτογραφία την οριστική επίλυσή του. Στην κατεύθυνση της αντιμετώπισης του παραπάνω προβλήματος, σημαντική είναι η συνεισφορά προσπαθειών που στηρίζονται σε μεθόδους καταγραφής της χαρτογραφικής γνώσης και ελέγχου της γενίκευσης με τη βοήθεια ενός συστήματος που καθοδηγείται από γνωστικούς κανόνες. Όμως, τα αποτελέσματα εφαρμογής ανάλογων συστημάτων μειονεκτούν ως προς το ότι η γνώση των χαρτογράφων για τον τρόπο με τον οποίο υλοποιείται η γενίκευση, επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την αναγνώριση του είδους κάθε διακριτής χωρικής οντότητας και των μεταξύ τους χωρικών σχέσεων. Για αυτό το λόγο, χρειάζεται να προηγηθεί της διαδικασίας εφαρμογής των τελεστών της γενίκευσης, μια διαδικασία αναγνώρισης της δομής των χωρικών οντοτήτων. Η διαδικασία της αναγνώρισης, μέχρι σήμερα, μπορεί να γίνει μόνον από τον άνθρωπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ

Τα γραμμικά φαινόμενα είναι τα πλέον σημαντικά στην επιστήμη της χαρτογραφίας καθώς τα περισσότερα προς χαρτογράφηση φαινόμενα είναι γραμμικά από τη φύση τους. Επιπλέον, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ποικιλία τύπων και δομών ενώ τα επιφανειακά φαινόμενα, που αναπαρίστανται από κυρτά ή μη-κυρτά πολύγωνα, περιλαμβάνονται από ένα σύνολο γραμμών.

Οι βασικοί γεωμετρικοί τρόποι διαχείρισης της χαρτογραφική γραμμής, οι οποίοι περιγράφονται στο εν λόγω κεφάλαιο είναι οι ακόλουθοι:

- η χαρτογραφική γραμμή ως σύνολο σημείων,
- η χαρτογραφική γραμμή ως γραμμικό χαρακτηριστικό,
- η χαρτογραφική γραμμή ως επιφανειακό χαρακτηριστικό πεπερασμένου πάχους.

Στα επόμενα, παρατίθεται, ακόμη, ένα γενικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που παρέχει ένας αλγόριθμος γενίκευσης. Τέλος, αναφέρονται ορισμένα κριτήρια για την αξιολόγηση των απλοποιημένων γραμμών.

5.1 ΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Η χαρτογραφική γραμμή μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσα από ποικίλα γεωμετρικά πλαίσια: ως σύνολο σημείων, ως γραμμικό χαρακτηριστικό, ως επιφανειακό χαρακτηριστικό. Ο λόγος ύπαρξης αυτών των διαφορετικών γεωμετρικών τρόπων διαχείρισης της χαρτογραφικής γραμμής συνδέεται με την προσπάθεια των χαρτογράφων να αντιμετωπίσουν τη δυσκολία της διατήρησης του χαρακτήρα ενός γραμμικού γεωγραφικού χαρακτηριστικού καθώς αυτό αναπαρίσταται σε διαφορετικές κλίμακες (Buttenfield 1985). Στις επόμενες υποενότητες αναλύονται οι διαφορετικοί τρόποι διαχείρισης της χαρτογραφικής γραμμής.

5.1.1 Η ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΩΣ ΣΥΝΟΛΟ ΣΗΜΕΙΩΝ

Μία από τις πρώιμες προσπάθειες για την ύπαρξη αντικειμενικότητας κατά τη διαδικασία της γενίκευσης σημειώθηκε από τους Töpfer και Pillewizer (1966) οι οποίοι πρότειναν μια εμπειρική σχέση για τον υπολογισμό του συνόλου της πληροφορίας που πρέπει να αφαιρεθεί κατά τη μείωση της κλίμακας ενός χάρτη. Πιο συγκεκριμένα, πρότειναν έναν εμπειρικό νόμο, τις *αρχές της επιλογής*, σύμφωνα με τον οποίο όταν η κλίμακα μειώνεται η πληροφορία πρέπει να μειώνεται ανάλογα με την τετραγωνική ρίζα της αλλαγής κλίμακας.

Με τον εμπειρικό νόμο των Töpfer και Pillewizer προσδιορίζεται αποκλειστικά και

μόνον ο αριθμός των στοιχείων του χαρτογραφικού φαινομένου που περιλαμβάνονται στον παράγωγο χάρτη. Απαντά, δηλαδή, στο ερώτημα πόσα στοιχεία του γεωγραφικού φαινομένου θα αφαιρεθούν, δεν απαντά όμως στο ερώτημα ποια, (McMaster 1989). Επιπλέον, κατά τη γενίκευση των χαρτογραφικών φαινομένων λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή μεταξύ βασικής και παράγωγης κλίμακας, ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη η πολυπλοκότητα ή η τραχύτητα του χαρτογραφικού φαινομένου.

Ο Srnka (1970) κατέληξε σε μία παρόμοια σχέση, χωρίς, όμως, την προδιαγραφή της κλίμακας. Η σχέση που δημιούργησε αφορά στη λειτουργική αλλά και στη γενίκευση κλίμακας, ωστόσο, ο ίδιος περιορίζει την έρευνά του στην τελευταία. Αρκετοί ήταν οι χαρτογράφοι οι οποίοι δημιούργησαν ανάλογες μαθηματικές σχέσεις εκθετικής μορφής για τη μείωση της πληροφορίας ενός γραμμικού φαινομένου.

Ο Boyle το 1970 πρότεινε μία εναλλακτική λύση για τη διατήρηση των πιο «σημαντικών» κορυφών μίας γραμμής, αποδίδοντας ένα βάρος (1-5) σε καθεμία από αυτές.

Οι αυτοματοποιημένοι αλγόριθμοι, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη γραμμή ως ένα σύνολο εξίσου σημαντικών κορυφών, περιλαμβάνουν όλες εκείνες τις τεχνικές για την αφαίρεση κάποιων σημείων βάσει ορισμένων κριτηρίων¹, όπως για παράδειγμα

¹ Ορισμένοι σημαντικοί αλγόριθμοι γενίκευσης της χαρτογραφικής γραμμής, όπως για παράδειγμα ο αλγόριθμος του Lang ή των Reumann και Witkam, περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.

την αφαίρεση κάθε νιοστού σημείου (Buttenfield 1985). Οι αλγόριθμοι εξομάλυνσης της γραμμής, κατά την οποία οι συντεταγμένες ορισμένων από τις κορυφές της μετακινούνται, αντιλαμβάνονται, επίσης, τη γραμμή ως σύνολο σημείων.

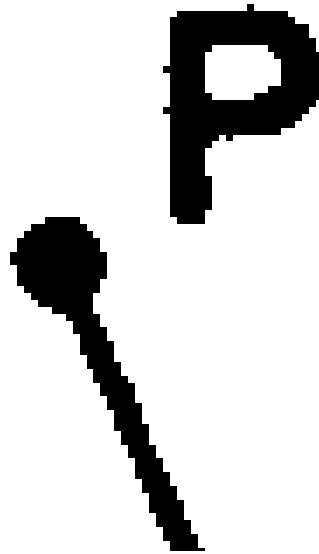
5.1.2 Η ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΩΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ

Σε ορισμένες περιπτώσεις η χαρτογραφική γραμμή αντιμετωπίζεται ως γραμμικό χαρακτηριστικό. Ως γραμμικό χαρακτηριστικό, η χαρτογραφική γραμμή δεν έχει πάχος παρά μόνο μήκος. Οι γραμμές ξεχωρίζουν μεταξύ τους από την καμπυλότητα, την ημιτονικότητα και το «σιγμοειδή» τους χαρακτήρα (Maling 1968). Η μέτρηση του μήκους πολύπλοκων χαρτογραφικών γραμμών αποτελεί σύνηθες ζητούμενο. Για τη μέτρηση της ημιτονικότητας μίας γραμμής έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι όπως χρήση παραμετρικών εξισώσεων, κλασικών *splines* ή τετραγωνικών *B-splines* και καμπύλων *Bezier*.

Σύμφωνα με τον Maling (1968), η ημιτονικότητα πολύπλοκων χαρτογραφικών γραμμών είναι δυνατό να μετρηθεί με την χρήση μαθηματικών συναρτήσεων εξομάλυνσης. Ωστόσο, οι εν λόγω συναρτήσεις είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες στην πρακτική εφαρμογή τους. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται παραμετρικές μέθοδοι. Η σημασία των παραμετρικών εξισώσεων, όσον αφορά στις γεωγραφικές γραμμές, έγκειται στην απλοποίηση διαφορετικών σύνθετων μαθηματικών παραστάσεων.

Άλλες μέθοδοι μέτρησης της ημιτονικότητας χαρτογραφικών γραμμών αποτελούν τα κλασικά *splines* και τα τετραγωνικά *B-splines*. Τα κλασικά *splines* εφαρμόζονται με

διαδοχικές πολυωνυμικές προσεγγίσεις στα τμήματα που ορίζουν τη γραμμή. Καθώς προκύπτει μία νέα πολυωνυμική εξίσωση για κάθε τμήμα της γραμμής, ο αριθμός των υπολογισμών που πρέπει να πραγματοποιηθούν, είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Ο αλγόριθμος του Chaikin (1974) παρέχει μία γρηγορότερη υπολογιστικά εναλλακτική λύση (σχήμα 5.1). Ο Riesenfeld (1975) σημειώνει πως οι καμπύλες του Chaikin προσεγγίζουν κατά κάποιο τρόπο τα τετραγωνικά *B-splines*, ωστόσο, οι πρώτες κατασκευάζονται γρηγορότερα.



ΣΧΗΜΑ 5.1: Ο αλγόριθμος του Chaikin (πηγή: Chaikin 1974).

Μία ακόμη μέθοδος μέτρησης της ημιτονικότητας γραμμών αποτελεί η καμπύλη *Bezier*, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά για την εταιρία *Renault* στη Γαλλία (Gordon and Riesenfeld 1974). Η καμπύλη *Bezier* αποτελεί μία ακόμη πολυωνυμική προσέγγιση. Ουσιαστικά, πρόκειται για την επέκταση μίας δωνυμικής συνάρτησης

απόδοσης βαρών (Chasen 1978):

$$P(\theta) = \frac{\sum_{i=0}^n P_i \frac{n!}{i!(n-i)!} P(\alpha - \theta)^{n-i}}{(\alpha - \theta)^n P_0 + n(\alpha - \theta)^{n-1} P_1 + n^2(\alpha - \theta)^{n-2} P_2 + \dots + P_n}$$

Η παράγωγη καμπύλη ομοιάζει με εκείνη του *Chaikin*, ωστόσο, διαφέρει η μέθοδος υπολογισμού. Η καμπύλη του *Chaikin* υπολογίζει τα ενδιάμεσα σημεία για τα διαδοχικά μικρά τμήματα, ξεκινώντας από το κέντρο προς το τελικό σημείο κάθε τμήματος. Από την άλλη, η καμπύλη *Bezier* υπολογίζει μια επιφάνεια πιθανοτήτων, η οποία αλλάζει βάρη από τη μία άκρη κάθε τμήματος στην άλλη. Καθένας εξ αυτών των αλγορίθμων θα ήταν ικανοποιητικός στην εφαρμογή του Maling για μία συνάρτηση εξομάλυνσης σε μία χαρτογραφική γραμμή. Η συνάρτηση εξομάλυνσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χαρτογραφική αναπαράσταση, ή για τη σύγκριση της ημιτονικότητας δύο διαφορετικών γραμμών μετρώντας τις αποκλίσεις του μήκους ή των επιφανειών μεταξύ των δύο (σχήμα 5.2).

ΣΧΗΜΑ 5.2: Η μέτρηση των αποκλίσεων μήκους και επιφανειών (πηγή: Buttenfield 1985)

Στο σημείο αυτό κρίνεται αναγκαία η αναφορά των θεμελιωδών προβλημάτων που προκύπτουν σχετικά με τη μέτρηση του μήκους μίας χαρτογραφικής γραμμής (Maling 1968). Αρχικά, τίθεται το ερώτημα της συνάρτησης εξομάλυνσης η οποία θα χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, προκύπτει ένα πρόβλημα ακρίβειας, δεδομένου ότι η συνάρτηση εξομάλυνσης περιέχει ένα μικρό υποσύνολο των αρχικών συντεταγμένων. Παράλληλα, τίθεται το ερώτημα της μέτρησης του μήκους μιας γεωγραφικής γραμμής. Προκειμένου να καθοριστούν οι αποκλίσεις μήκους και επιφανειών μεταξύ των χαρτογραφικών αντικειμένων, πρέπει πρωτίστως να υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού των μηκών τους. Για το λόγο αυτό, στην επόμενη υποενότητα περιγράφεται το παράδοξο της μέτρησης του μήκους της χαρτογραφικής γραμμής.

5.1.2.1 ΤΟ ΠΑΡΑΔΟΞΟ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Θεωρώντας ότι κάθε γραμμικό χαρακτηριστικό είναι συνεχές και οι μονάδες μέτρησης του μήκους της είναι διακριτές, προκύπτει το συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ακρίβεια των μετρήσεων τόσο μεγαλύτερο προκύπτει το μήκος της γραμμής. Αρκετοί ευρωπαίοι χαρτογράφοι (Shokalsky 1930, Steinhaus 1954, 1960) απέδειξαν ότι τα αποτελέσματα επαναλαμβανόμενων μετρήσεων μηκών χαρτογραφικών γραμμών με την χρήση ολοένα και μικρότερων μονάδων μέτρησης δεν συγκλίνουν.

Σύμφωνα με τον Πολωνό μαθηματικό Hugo Steinhaus, μια πρακτική λύση στο παράδοξο του μήκους της χαρτογραφικής γραμμής αποτελεί η υιοθέτηση τεχνικών

μέτρησης οι οποίες καθορίζουν ένα ελάχιστο όριο για το μήκος μίας γεωγραφικής οντότητας (Steinhaus 1954). Ο ίδιος, καθόρισε το μήκος ενός τόξου $[L]$ ως το όριο του αθροίσματος των μηκών των ευθύγραμμων τμημάτων της γραμμής $[\sum l(i)]$ που σχηματίζουν το τόξο, καθώς το μέγεθος του ευθύγραμμου τμήματος $[l]$ τείνει στο μηδέν.

$$L = \lim_{l \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n l(i)$$

Ο Steinhaus υποστηρίζει ότι το όριο αυτό υπάρχει πάντα. Το 1954 ανέπτυξε μία μέθοδο για την κατά προσέγγιση μέτρηση του μήκους καμπύλων γραμμών στο επίπεδο.

Ο Lewis Richardson, κατά την έρευνά του σχετικά με τη μέτρηση του μήκους χαρτογραφικών γραμμών, χρησιμοποίησε σταθερά βήματα διαστημόμετρου για να μετρήσει το μήκος ακτογραμμών και ποταμών. Βασισμένος σε εμπειρική διερεύνηση, διαπίστωσε ότι το μήκος ακτογραμμών και ποταμών μετρημένων από χάρτη αυξανόταν σταθερά καθώς χρησιμοποιούσε ολοένα και μικρότερα διαιρέτες-βήματα, ενώ το ποσοστό της αύξησης διέφερε για κάθε γραμμικό χαρακτηριστικό (Richardson 1961). Κατά την επανάληψη της διαδικασίας για ένα ισόπλευρο πολύγωνο, ο Richardson διαπίστωσε ότι το μήκος του σταθεροποιούταν γρήγορα καθώς μειώνονταν τα βήματα μέτρησης.

Τελικά κατέληξε στην εξής σχέση:

$$\sum l = l^a$$

Το Σl αποτελεί το συνολικό μήκος που προκύπτει από τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, το l το μέγεθος του βήματος μέτρησης ενώ το a αποτελεί μία θετική σταθερά, χαρακτηριστική της γραμμής.

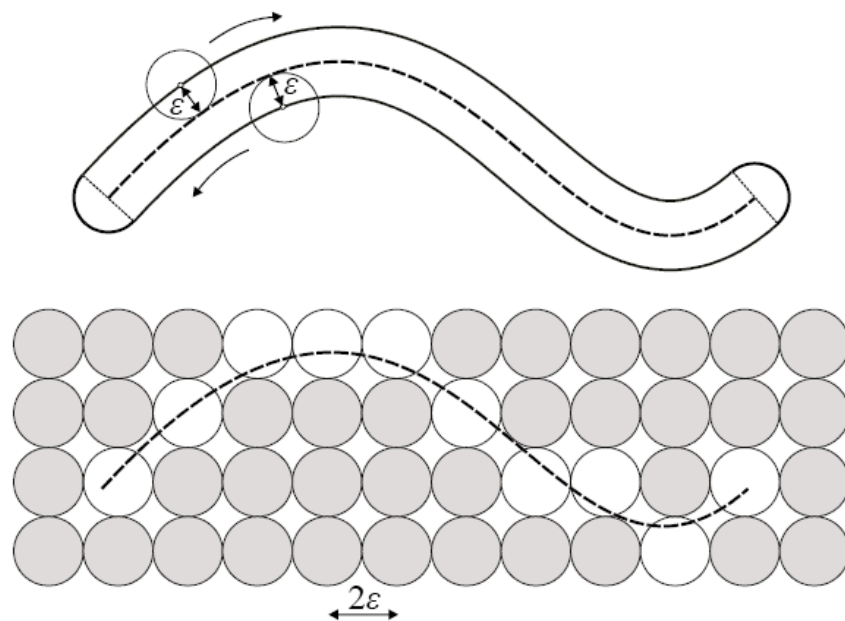
Σύμφωνα με τον Richardson, είναι αμφισβητήσιμο εάν το συνολικό μήκος μίας ακτογραμμής τείνει σε οποιοδήποτε όριο όπως η πλευρά ενός πολυγώνου τείνει στο μηδέν (Richardson 1961). Αυτό δε συνεπάγεται ότι το πιο ακριβές μήκος προκύπτει από την πιο ακριβή μέτρηση, αλλά αντίθετα, ότι η ακριβής μέτρηση γίνεται απροσδιόριστη στα όρια της ακρίβειας (όταν το βήμα μέτρησης τείνει στο μηδέν).

5.1.3 Η ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΩΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟΥ ΠΑΧΟΥΣ

Η χαρτογραφική γραμμή ως επιφανειακό χαρακτηριστικό πεπερασμένου πάχους χαρακτηρίζεται από το μήκος αλλά και το πάχος της. Ο Perkal επιχείρησε να μετρήσει το ανάπτυγμα της γραμμής με τη βοήθεια της «έψιλον» περιοχής (Perkal 1966a, 1966b).

Ο Perkal παρέβλεψε τα προβλήματα τα οποία προκύπτουν από τη μέτρηση του μήκους ενός γεωγραφικού φαινομένου και προσπάθησε να καθορίσει την κλίμακα της μέτρησης κατά την οποία το μήκος γίνεται πεπερασμένο, επομένως μετρήσιμο. Συνέχισε με την κατασκευή της «έψιλον» περιοχής γύρω από μια καμπύλη.

Η «έψιλον» περιοχή της γραμμής δημιουργείται όταν ένας δίσκος ακτίνας ε κυλήσει κατά μήκος της γραμμής και προς τις δύο πλευρές της. Τότε το περίγραμμά της ορίζεται από το γεωμετρικό τόπο των κέντρων των διαδοχικών δίσκων που την περιβάλλουν σε κάθε της σημείο. Το ανάπτυγμα της γραμμής μπορεί να προκύψει από το εμβαδόν της «έψιλον» περιοχής αν αφαιρεθεί το εμβαδόν του δίσκου και το αποτέλεσμα διαιρεθεί με 2ε . Το εμβαδόν της «έψιλον» περιοχής μπορεί να εκτιμηθεί εμπειρικά με τη βοήθεια ενός συστήματος εφαπτόμενων κύκλων ακτίνας ε των οποίων τα κέντρα είναι τοποθετημένα στις κορυφές ενός τετραγωνικού καννάβου, ισαποχής 2ε (σχήμα 5.3). Το εμβαδόν της «έψιλον» περιοχής προσδιορίζεται μετρώντας τον αριθμό των κύκλων μέσα από του οποίους διέρχεται η γραμμή και πολλαπλασιάζοντάς τον επί το εμβαδόν του κύκλου.



ΣΧΗΜΑ 5.3: Η μέτρηση του μήκους γραμμής με τη χρήση της «έψιλον» περιοχής (πηγή: Buttenfield 1985)

Η ακρίβεια της μέτρησης, ουσιαστικά, καθορίζεται από την κλίμακα στην οποία γίνεται η μέτρηση. Σημειώνεται πως η αλλαγή του μεγέθους της «έψιλον» περιοχής δε μεταβάλλει αισθητά το μήκος της γραμμής. Για το λόγο αυτό η προαναφερθείσα μέθοδος είναι ιδιαίτερα σταθερή και αποτελεσματική.

5.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Ο McMaster (1987) διατύπωσε μια σειρά ερευνητικών ερωτημάτων σχετικών με τα ανοικτά ζητήματα της γενίκευσης γραμμών σε υπολογιστικό περιβάλλον. Τα ερωτήματα αυτά αφορούν τον επηρεασμό της γενίκευσης από την πολυπλοκότητα των γραμμών, τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να μετρηθεί η πολυπλοκότητα και τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους οι τέσσερις διαδικασίες της αυτοματοποιημένης γενίκευσης γραμμών.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό, ύστερα από τη διαδικασία της γενίκευσης, να διατηρείται ο χαρακτήρας αλλά και η ακρίβεια του αρχικού χάρτη. Τα χαρτογραφικά στοιχεία δεν πρέπει να μετατοπίζονται σε μεγάλο βαθμό μετά τη διαδικασία της γενίκευσης. Η μετατόπιση αυτή θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στα ανεκτά πλαίσια σφάλματος όπως αυτά ορίζονται από την κλίμακα του γενικευμένου χάρτη. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η ακρίβεια του παραγόμενου χάρτη. Ταυτόχρονα, πρέπει να διατηρείται ο χαρακτήρας του χαρτογραφόμενου φαινομένου. Αυτό σημαίνει ότι σύνολα αντικειμένων, που αποτελούν μια αναγνωρίσιμη ομάδα, πρέπει να μετατοπίζονται όλα μαζί, γεγονός που πολλές φορές έρχεται σε αντίθεση με την

προηγούμενη δέσμευση.

Ένα δεύτερο σημαντικό χαρακτηριστικό της γενίκευσης, πρέπει να είναι η δυνατότητα να μεταβάλλει το βαθμό γενίκευσης των διάφορων γεωγραφικών οντοτήτων. Κάθε οντότητα είναι δυνατό να απαιτεί διαφορετικό βαθμό γενίκευσης από άλλες του ίδιου χάρτη ή ακόμα και ο βαθμός γενίκευσης της ίδιας οντότητας να μεταβάλλεται σε διαφορετικές περιοχές του ίδιου χάρτη.

Επιπροσθέτως, από τον ορισμό της, η γενίκευση σημαίνει ουσιαστικά αφαίρεση πληροφορίας. Ωστόσο, κάποιες φορές απαιτείται ενίσχυση της απεικόνισης ορισμένων χαρτογραφικών αντικειμένων. Θα πρέπει λοιπόν οι διάφορες μέθοδοι γενίκευσης, να διαθέτουν την απαραίτητη ευελιξία για την αντιμετώπιση ανάλογων περιπτώσεων.

Τέλος, όσον αφορά στους ίδιους τους αλγόριθμους, πρέπει να είναι αμετάβλητοι κάτω από μαθηματικές διαδικασίες και μετασχηματισμούς, όπως είναι για παράδειγμα η επιλογή του αρχικού σημείου ή η επιλογή της μονάδας μέτρησης καθώς και να εκτελούνται με την απαραίτητη κάθε φορά ταχύτητα (Παρασχάκης κ.ά. 1998).

Στην υπο-ενότητα που ακολουθεί το ενδιαφέρον εστιάζεται στα μέτρα για την αξιολόγηση απλοποιημένων γραμμών.

5.2.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια, ένας από τους βασικότερους τελεστές της διαδικασίας της γενίκευσης αποτελεί αυτός της απλοποίησης. Η δημιουργία αλγορίθμων χαρτογραφικής γενίκευσης αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά βήματα στην εξέλιξη της επιστήμης της χαρτογραφίας και της αυτοματοποίησής της. Ωστόσο, ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται και η ύπαρξη συγκεκριμένων κριτηρίων για την αξιολόγηση των απλοποιημένων γραμμών έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να καθίσταται χαρτογραφικά αποδεκτό.

Οι απλοποιημένες χαρτογραφικές γραμμές θα μπορούσαν να αξιολογηθούν με αντιληπτικά κριτήρια, ωστόσο, τις περισσότερες φορές η μέθοδος αυτή δεν είναι αποδεκτή. Ο McMaster (1983) εξέτασε τριάντα μέτρα αξιολόγησης των χαρτογραφικών γραμμών και μέσω στατιστικών αναλύσεων κατέληξε σε επτά στατιστικά ανεξάρτητα μέτρα. Τα εν λόγω κριτήρια είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για μελέτες κατά τις οποίες αρχείων είναι απαραίτητη η χρήση H/Y για τη διαχείριση γραμμικών οντοτήτων.

Τα κριτήρια αξιολόγησης του McMaster αφορούν σε μέτρα τα οποία χαρακτηρίζουν τη γραμμή αλλά και σε μέτρα σύγκρισης μεταξύ αρχικής και παράγωγης γραμμής. Στην πρώτη περίπτωση περιλαμβάνονται:

- ο αριθμός των ζευγών συντεταγμένων της γραμμής,
- ο αριθμός των ζευγών συντεταγμένων ανά μονάδα μήκους αλλά και

- ▶ η τυπική απόκλιση του αριθμού των ζευγών συντεταγμένων ανά μονάδα μήκους.

Τα προαναφερθέντα μέτρα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων κατά τη διαδικασία της ψηφιακής γενίκευσης. Δύο πρόσθετα μέτρα αξιολόγησης αποτελούν η γωνιακή αλλαγή μεταξύ διαδοχικών διανυσμάτων και ο δείκτης καμπυλότητας της γραμμής. Ένα πιο σύνθετο μέτρο υπολογίζει τον αριθμό των καμπυλόγραμμων τμημάτων της γραμμής για τη διαπίστωση του βαθμού πολυπλοκότητας της γραμμής. Το τελευταίο αυτό μέτρο αναπτύχθηκε για το διαχωρισμό των μαιάνδρων ενός ποταμού από τις μικρότερες μεταβολές.

Εναλλακτικά, τα μέτρα σύγκρισης αποτελούν μία προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί η ακριβής και αντιληπτική μετάθεση μίας γραμμής η οποία πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία της απλοποίησης. Ένα από τα μέτρα αυτά υπολογίζει την επιφανειακή μετάθεση μεταξύ της αρχικής και παραγόμενης γραμμής. Ένα δεύτερο μέτρο υπολογίζει τη διανυσματική απόσταση μεταξύ των διαγραμμένων σημείων στην αρχική γραμμή ως προς το ευθύγραμμο τμήμα που τα αντικαθιστά στην παράγωγη γραμμή μετά την απλοποίηση. Οι μετρήσεις αυτές παρέχουν ουσιώδεις πληροφορίες για το μέγεθος της χωρικής μετάθεσης μιας απλοποιημένης γραμμής. Το εν λόγω μέτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από έναν χαρτογράφο για να συγκρίνει τα αποτελέσματα που παρέχουν διαφορετικοί αλγόριθμοι απλοποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η διπλωματική εργασία εστιάζει στην αξιολόγηση της γενίκευσης των γραμμικών οντοτήτων ενός χάρτη. Ως πιλοτική εφαρμογή, η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε σε μία αντιπροσωπευτική γραμμική οντότητα, ως προς την πολυπλοκότητα που εμφανίζει το σχήμα της, την ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς, απλοποιώντας την ακτογραμμή με πέντε διαφορετικούς αλγόριθμους γενίκευσης:

- τον αλγόριθμο του **Lang**,
- τον αλγόριθμο των **Reumann και Witkam**,
- τον αλγόριθμο των **Visvalingam και Whyatt**,
- τον αλγόριθμο των **Douglas και Peucker** (Pointremove) και τέλος
- τον αλγόριθμο **Wang και Müller** (Bendsimplify).

Στο κεφάλαιο αυτό, αναλύεται η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε για την ολοκλήρωση της εφαρμογής. Αρχικά, αναλύεται η διαδικασία προετοιμασίας των δεδομένων καθώς και η διαδικασία απλοποίησης με εφαρμογή των ανωτέρω αλγορίθμων. Επιπρόσθετα, περιγράφονται ορισμένοι ποσοτικοί δείκτες αξιολόγησης απλοποιημένων χαρτογραφικών γραμμών. Ο προσδιορισμός των δεικτών γίνεται με διαδικασία επίθεσης της αρχικής γραμμής και των απλοποιημένων καθώς η εκτίμησή

τους προκύπτει από τα πολύγωνα (sliver polygons) που προκύπτουν λόγω της επίθεσης.

6.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ

Η νήσος Περιστέρα εντοπίζεται στη κεντρική Ελλάδα, στη θαλάσσια περιοχή του Αιγαίου Πελάγους, νότια της νήσου Αλοννήσου (Χάρτης 6.1). Διοικητικά υπάγεται στην επαρχία Σκοπέλου του νομού Μαγνησίας.



ΧΑΡΤΗΣ 6.1: Η ν. Περιστέρα (πηγή: Νέος Παγκόσμιος Άτλας 1996).

Η ακτογραμμή της ν. Περιστέρα επιλέχθηκε δεδομένου ότι παρουσιάζει υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας και επομένως, αποτελεί κατάλληλο αντικείμενο μελέτης για την εξέταση των αλγόριθμων απλοποίησης χαρτογραφικών γραμμών.

Η ακτογραμμή ψηφιοποιήθηκε από φύλλο χάρτου κλίμακας 1:50,000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) με μέσο βήμα ψηφιοποίησης τα 15m επί του εδάφους (0.3mm επί του χάρτου). Από τα πρωτογενή δεδομένα απομακρύνθηκε η

περιττή πληροφορία, όπως για παράδειγμα οι διπλές κορυφές, με την εφαρμογή μίας διαδικασίας «εκκαθάρισης». Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε μία διαδικασία εξομάλυνσης έτσι ώστε να δημιουργηθεί, τελικά, ένα κατάλληλο προς χρήση αρχείο, 2415 συνολικά κορυφών.

Είναι γνωστό πως από την ψηφιοποίηση αναλογικών χαρτών παράγονται πρωτογενή δεδομένα τα οποία περιλαμβάνουν έναν συγκεκριμένο αριθμό περιττών κορυφών που πρέπει να αφαιρεθούν με μια διαδικασία εκκαθάρισης (weeding process), (Jenks 1981). Η διαδικασία εκκαθάρισης πραγματοποιείται με την εφαρμογή ενός αλγορίθμου μείωσης δεδομένων με ιδιαίτερα μικρές τιμές ανοχής. Σε σχετικές μελέτες αξιολόγησης απλοποιημένων γραμμών οι οποίες αφορούν σε ψηφιοποιημένα δεδομένα, οι McMaster (1986) και João (1998) προτείνουν την εφαρμογή του αλγορίθμου Douglas-Peucker με πολύ μικρή ανοχή (0.002-0.05 mm επί του χάρτου), ενώ οι Visvaligam και Whyatt (1990) προτείνουν τη χρήση του ίδιου αλγορίθμου με ανοχή ίση με το μισό του πάχους της αρχικής γραμμής.

Στη συγκεκριμένη εργασία, τα περιττά δεδομένα απομακρύνθηκαν εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο Douglas-Peucker με ανοχή 0.5m επί του εδάφους (0,01mm επί χάρτου), λαμβάνοντας υπόψη τις ανωτέρω μελέτες. Ο αριθμός των ανεπιθύμητων κορυφών ανήλθε στο 15% περίπου του συνόλου των αρχικών κορυφών, ενώ το μήκος της ακτογραμμής ουσιαστικά δεν άλλαξε. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε η αρχική ακτογραμμή της ν. Περιστέρα η οποία και χρησιμοποιήθηκε, κατόπιν, για την εφαρμογή της διαδικασίας της γενίκευσης.

6.2 ΧΡΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Η αρχική ακτογραμμή της ν. Περιστέρα απλοποιήθηκε με τη χρήση πέντε διαφορετικών αλγόριθμων γενίκευσης χαρτογραφικής γραμμής:

- τον αλγόριθμο του **Lang**,
- τον αλγόριθμο των **Reumann και Witkam**,
- τον αλγόριθμο των **Visvalingam και Whyatt**,
- τον αλγόριθμο των **Douglas και Peucker**,
- τον αλγόριθμο **Wang και Muller** (Bendsimplify).

Ο τρόπος λειτουργίας του κάθε αλγόριθμου περιγράφεται αναλυτικά στα προηγούμενα (Κεφάλαιο 4).

Οι αλγόριθμοι Douglas-Peucker και Bendsimplify είναι ενσωματωμένοι στο λογισμικό πακέτο Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) *ArcGIS* της εταιρίας *ESRI*. Πιο συγκεκριμένα, η γενίκευση της ακτογραμμής της ν. Περιστέρα, με τη χρήση των προαναφερθέντων αλγορίθμων, πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον *Arc/Info* v. 9. Για τις ανάγκες της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, οι αλγόριθμοι Lang, Reumann-Witkam και Visvalingam-Whyatt υλοποιήθηκαν σε κώδικα με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού *Visual Basic* v. 6.0.

6.2.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ LANG, REUMANN-WITKAM, VISVALINGAM-WHYATT

Η *Visual Basic* v 6.0 επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί καθώς αποτελεί μία από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού.

Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά προγράμματα, ένα για κάθε αλγόριθμο. Η είσοδος και έξοδος των προγραμμάτων είναι αρχεία τύπου ASCII. Η κάθε φόρμα περιλαμβάνει ένα πλαίσιο λίστας καταλόγου από όπου ο χρήστης επιλέγει το φάκελο όπου βρίσκεται το προς γενίκευση αρχείο και ένα πλαίσιο λίστας αρχείων στο οποίο εμφανίζονται τα αρχεία που περιέχει ο εκάστοτε φάκελος. Ο χρήστης, αφού επιλέξει το προς γενίκευση αρχείο, ορίζει την επιθυμητή τιμή της ανοχής. Όσον αφορά στον αλγόριθμο Lang, ο χρήστης ορίζει επιπλέον την τιμή εύρους. Τα παραγόμενα αρχεία αποθηκεύονται στον φάκελο όπου βρίσκεται το αρχικό αρχείο. Τα γενικευμένα αρχεία αποτελούνται από τρεις στήλες: id, x, y. Σημειώνεται ότι το αποτέλεσμα που παράγει ο αλγόριθμος Visvalingam-Whyatt αποτελείται από δύο αρχεία: το πρώτο περιλαμβάνει τα id, x, y και την τιμή της επιφάνειας μετάθεσης για κάθε σημείο ταξινομημένη ως προς την επιφάνεια μετάθεσης και το δεύτερο αποτελεί το τελικό αποτέλεσμα βάσει της ανοχής που επιλέγει ο χρήστης.

Σε γενικές γραμμές, το περιβάλλον είναι φιλικό προς το χρήστη ενώ τα προγράμματα είναι ιδιαίτερα εύχρηστα. Το αποτέλεσμα του σχεδιασμού παρέχει τα ζητούμενα αποτελέσματα με τη μεγαλύτερη δυνατή ευκολία.

6.3 ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΤΗΣ Ν. ΠΕΡΙΣΤΕΡΑ

Μετά το πέρας της διαδικασίας ψηφιοποίησης και προετοιμασίας των δεδομένων, η αρχική ακτογραμμή της ν. Περιστερά απλοποιήθηκε με την εφαρμογή των πέντε προαναφερθέντων αλγόριθμων γενίκευσης χαρτογραφικής γραμμής.

Η αρχική ακτογραμμή της ν. Περιστερά, κλίμακας 1:50.000, απλοποιήθηκε προκειμένου να αναχθεί στις κλίμακες:

- 1:100.000
- 1:250.000
- 1:500.000
- 1:1.000.000
- 1:2.000.000

Τελικά, από την απλοποίηση της ακτογραμμής της ν. Περιστεράς δημιουργήθηκαν 25 παράγωγες γραμμές-η ακτογραμμή στις πέντε κλίμακες με την εφαρμογή των πέντε αλγόριθμων γενίκευσης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αλγόριθμοι απλοποίησης γραμμών ελέγχονται από μία παράμετρο, την ανοχή, η οποία εκφράζεται, συνήθως, σε μονάδες μήκους. Όσο αυξάνεται η τιμή της ανοχής τόσο πιο απλοποιημένο είναι το αποτέλεσμα. Κατά συνέπεια, ο χρήστης πρέπει να ορίσει την τιμή της ανοχής με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να επιτευχθεί το κατάλληλο επίπεδο απλοποίησης βάση της επιθυμητής αναγωγής κλίμακας ή του σκοπού του χάρτη.

Στην εν λόγω διπλωματική εργασία, η ανοχή που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε αλγόριθμο επιλέχθηκε βάσει του επιθυμητού αριθμού κορυφών για κάθε κλίμακα ο οποίος υπολογίσθηκε με την εφαρμογή του εμπειρικού νόμου των Törfer και Pillewizer.

Οι Törfer και Pillewizer (1966) πρότειναν έναν εμπειρικό νόμο, γνωστό ως «*αρχές της επιλογής*», για τον υπολογισμό του συνόλου της πληροφορίας που πρέπει να αφαιρεθεί κατά τη μείωση της κλίμακας ενός χάρτη. Σύμφωνα με τον εν λόγω νόμο όταν η κλίμακα μειώνεται η πληροφορία πρέπει να μειώνεται ανάλογα με την τετραγωνική ρίζα της αλλαγής κλίμακας.

Ο νόμος των Törfer και Pillewizer αποτελεί τη βασικότερη ποσοτική έκφραση της διεργασίας της απλοποίησης στη χαρτογραφική γενίκευση. Ο εμπειρικός αυτός νόμος συναρτά τον αριθμό N των στοιχείων της πληροφορίας ενός φαινομένου του παράγωγου χάρτη κλίμακας $1:m$, με τον αντίστοιχο αριθμό N_0 του βασικού χάρτη κλίμακας $1:m_0$, σύμφωνα με τη σχέση:

$$N = c_E c_F N_0 \sqrt{m_0/m}$$

Οι παράμετροι c_E και c_F ονομάζονται παράμετροι μεγέθυνσης και μορφής του συμβολισμού, αντίστοιχα.

Ο νόμος των Törfer και Pillewizer (1966) στην περίπτωση των ακτογραμμών, ανάγεται στη σχέση:

$$n = n_0 \frac{S}{S_0}$$

όπου τα S_0 και n_0 αντιπροσωπεύουν την κλίμακα και τον αριθμό των κορυφών του αρχικού χάρτη αντίστοιχα ενώ τα S και n αντιπροσωπεύουν την κλίμακα και τον αριθμό των κορυφών του παράγωγου χάρτη. Ο αριθμός σημείων που απαιτούνται για την αναπαράσταση μίας γενικευμένης χαρτογραφικής γραμμής δεν μεταβάλλεται πάντα γραμμικά με την κλίμακα. Εντούτοις, όταν καθορίζεται η γραμμή και η αναλογία μείωσης, οι αρχές της επιλογής μπορούν να αποτελέσουν αποδεκτό τρόπο υπολογισμού των χαρακτηριστικών της παραγόμενης γραμμής.

Στην εφαρμογή της παρούσας εργασίας, οι «αρχές της επιλογής» χρησιμοποιούνται ως ένας γενικός αποδεκτός χαρτογραφικός κανόνας που ως σκοπό έχει τον καθορισμό του αριθμού κορυφών και κατ' επέκταση των παράγωγων γραμμών στις ζητούμενες κλίμακες. Οι ανοχές ορίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξισώσουν τον αριθμό των κορυφών που πρέπει να διατηρηθούν σε κάθε κλίμακα. Ο Πίνακας 6.1 παρουσιάζει τον αριθμό των κορυφών που πρέπει να διατηρηθούν στην αντίστοιχη κλίμακα. Σημειώνεται πως η αρχική γραμμή αποτελείται από 2415 κορυφές.

ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΚΛΙΜΑΚΑ ΧΑΡΤΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΡΥΦΩΝ
1	1:100,000	1208
2	1:250,000	483
3	1:500,000	242
4	1:1,000,000	121
5	1:2,000,000	60

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1: Ο αριθμός των διατηρηθέντων κορυφών σε κάθε επίπεδο απλοποίησης.

6.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες ενότητες, η γενίκευση με την εφαρμογή των αλγορίθμων Douglas-Peucker και Bendsimplify υλοποιήθηκε στο περιβάλλον *Arc/Info* v. 9. Τα παραγόμενα τύπου ASCII αρχεία τα οποία προήλθαν από τη διαδικασία απλοποίησης που πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή των αλγορίθμων Lang, Reumann-Witkam και Visvalingam-Whyatt εισήχθησαν στο περιβάλλον *Arc/Info* και μετατράπηκαν σε σημειακές χωρικές οντότητες (coverages) ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

arc: generate

generate: <input ASCII file>

generate: points

generate: q

arc: build <input ASCII file> point

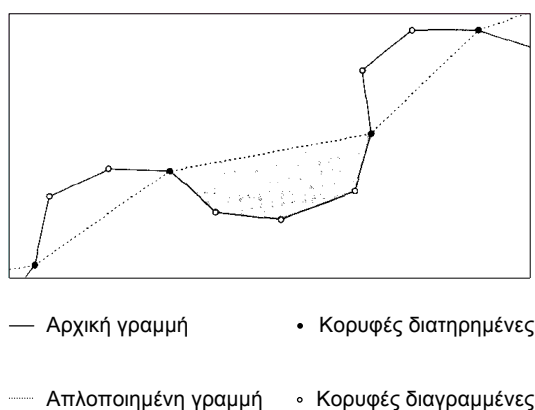
Εν συνεχεία, στο περιβάλλον *Arc/Info* ενσωματώθηκε ένα πρόγραμμα μετατροπής των σημειακών χωρικών οντοτήτων σε γραμμικές (*gen-line*). Εφαρμόστηκαν οι ακόλουθες εντολές:

arc: &R gen-line <input file> <new line coverage>

arc: build <line coverage> line

6.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ ΕΠΙΘΕΣΗΣ (SLIVER POLYGONS)

Κατά τη γενίκευση της χαρτογραφικής γραμμής, η επίθεση της αρχικής γραμμής με την παράγωγη οδηγεί στη δημιουργία ορισμένων πολυγώνων τα οποία καλούνται *sliver polygons* (Chrisman 1989, Goodchild 1991), (Σχήμα 6.1). Το εμβαδόν των πολυγώνων αυτών σχετίζεται με την επιφανειακή μεταβολή μεταξύ αρχικής και παραγόμενης γραμμής, η οποία προκύπτει από τη γενίκευση.



ΣΧΗΜΑ 6.1: Δημιουργία πολυγώνων επίθεσης (sliver polygons)

Τα πολύγωνα επίθεσης δημιουργούνται, επίσης, κατά την επικάλυψη ψηφιακών χαρτών σε περιβάλλον Γ.Σ.Π. Το μέγεθος των πολυγώνων αυτών μπορεί να εκφράσει τη μετατόπιση που προκαλείται από τη διαδικασία απλοποίησης γραμμών. Ο Goodchild (1978) μελέτησε το πρόβλημα επικάλυψης πολυγώνων και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο αριθμός των πολυγώνων επίθεσης, που παράγονται από την επίθεση δύο εκδοχών της ίδιας γραμμής, εξαρτάται από την πολυπλοκότητα της γραμμής. Επιπλέον, ο ίδιος παρείχε ποσοτικά μέτρα για τον υπολογισμό του αριθμού των πολυγώνων.

Σε μία πρόσφατη μελέτη, σχετική με το ίδιο πρόβλημα, προτείνεται μία στοχαστική μέθοδος, τα αποτελέσματα της οποίας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο αριθμός των πολυγώνων που παράγονται κατά την επίθεση χαρτών εξαρτάται από τον αριθμό των αρχικών πολυγώνων και των περιμέτρων τους (Sadahiro 2001). Καθώς οι διαφορές των δύο εκδοχών μίας γραμμής (αρχικής και παράγωγης) είναι πολύ μικρές, τα περισσότερα από τα παραγόμενα πολύγωνα είναι γενικά μικρά στο μέγεθος και έχουν μια λεπτή, επιμήκης μορφή.

6.5 ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν εκπονηθεί αρκετές μελέτες οι οποίες αφορούν στην αξιολόγηση της γενίκευσης των χαρτογραφικών γραμμών βασισμένες σε ποσοτικές μεθόδους. Η εκτίμηση του μεγέθους των μετατοπίσεων που προκαλούνται κατά τη γενίκευση χαρτογραφικών γραμμών, αποτελεί μία ιδιαίτερα χρήσιμη και ενδιαφέρουσα πληροφορία όσον αφορά στην αξιολόγηση της απλοποίησής τους. Κατά συνέπεια, έχουν δημιουργηθεί διάφοροι δείκτες αξιολόγησης οι οποίοι και περιγράφονται στα επόμενα.

Ένας δείκτης, ο οποίος εκτιμά με λεπτομέρεια το μέγεθος των μετατοπίσεων που προκαλούνται κατά τη γενίκευση χαρτογραφικών γραμμών, εκφράζεται αναλύοντας το μέγεθος των διανυσματικών μετατοπίσεων κάθε ζεύγους συντεταγμένων της αρχικής και της γενικευμένης γραμμής. Προκειμένου να καθοριστεί η διανυσματική μετατόπιση, απαιτείται ο προσδιορισμός του ίδιου σημείου τόσο στην αρχική όσο και στην παράγωγη γραμμή. Ωστόσο, η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα δύσκολη και απαιτεί χρόνο, ειδικά για τις συνεχείς γραμμές χωρίς διασταυρώσεις, όπως είναι οι ακτογραμμές.

Ορισμένα από τα μέτρα αξιολόγησης απλοποιημένων γραμμών εξετάζουν κάθε πολύγωνο μεμονωμένα. Ουσιαστικά, αναλύεται η μορφή των πολυγώνων που δημιουργούνται από την επίθεση αρχικής και γενικευμένης γραμμής και ταξινομούνται σε διαφορετικές κατηγορίες σύμφωνα με τη μορφή τους. Με τον τρόπο

αυτό, ένα νέο μέτρο μετατόπισης μπορεί να υπολογιστεί για κάθε μεμονωμένο πολύγωνο που μπορεί να εκφράσει ομοιόμορφα την τοπική μετατόπισή του.

Ένας δείκτης, ο οποίος συνδέεται με κάθε μεμονωμένο πολύγωνο που παράγεται από την επίθεση αρχικής και γενικευμένης γραμμής, είναι ο δείκτης *sp-displacement* (Νάκος 2004). Αρχικά, απαιτείται η αναγωγή κάθε πολυγώνου σε ένα ορθογώνιο σχήμα. Κατόπιν, ο δείκτης υπολογίζει μία σταθερή τιμή μετατόπισης για καθένα από αυτά. Τέλος, υπολογίζοντας το μέσο όρο των τιμών του δείκτη *sp-displacement* όλων των πολυγώνων κατά μήκος της γραμμής, υπολογίζεται ένα μέσο μέτρο μετατόπισης της γραμμής.

Στην εν λόγω εργασία, για την ποσοτική αξιολόγηση της απλοποίησης των χαρτογραφικών γραμμών, χρησιμοποιείται ένα χαρτομετρικό μέτρο επιφανειακής μετατόπισης. Ο συγκεκριμένος δείκτης επιφανειακής μετατόπισης έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές μελέτες στο παρελθόν (McMaster 1986, Müller 1987b, João 1998, Veregin 1999) και ορίζεται ως το συνολικό εμβαδόν των πολυγώνων που παράγονται από την επίθεση αρχικής και γενικευμένης γραμμής (sliver polygons) διαιρεμένο με το μήκος της αρχικής γραμμής. Διάφοροι ερευνητές έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιήσει διαφορετικούς όρους για το επιφανειακό αυτό μέτρο μετατοπίσεων. Ο McMaster (1986), για παράδειγμα χρησιμοποιεί τον όρο **ολική επιφανειακή μετάθεση** (*Total Areal Difference-T.A.D.*):

$$\text{T.A.D.} = \frac{\Sigma E_{\pi}}{L_a}$$

Όπου ΣE_{π} το συνολικό εμβαδόν των πολυγώνων και L_{α} το μήκος της αρχικής γραμμής.

Η ολική επιφανειακή μετάθεση επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη εργασία καθώς αποτελεί ένα μέτρο σχετικά εύκολα εφαρμόσιμο και επιπλέον παρουσιάζει μία συνολική εκτίμηση της μετατόπισης που προκαλείται από την απλοποίηση γραμμών.

6.5.1 ΕΠΙΘΕΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Για την εφαρμογή του δείκτη T.A.D. απαιτείται πρωτίστως η δημιουργία των πολυγώνων επίθεσης και κατόπιν ο υπολογισμός του συνολικού εμβαδού τους. Προκειμένου για την εφαρμογή της επίθεσης, μετατράπηκαν οι γραμμικές οντότητες σε πολυγωνικές στο περιβάλλον *Arc/Info* με την εντολή:

arc: build <line coverage> poly

Η διαδικασία ανάλυσης η οποία χρησιμοποιήθηκε για την επίθεση των δύο γραμμών είναι η *union*. Με την εφαρμογή της διαδικασίας *union* παράγεται ένα νέο επίπεδο το οποίο χαρακτηρίζεται από το σύνολο των πολυγώνων και χαρακτηριστικών τόσο του επιτιθέμενου όσο και του επικαλυπτόμενου επιπέδου. Η διαδικασία αυτή, ουσιαστικά, αναφέρεται στην πράξη *or* της άλγεβρας Boolean (Κουτσόπουλος 2002).

Η επίθεση αρχικής και παράγωγων γραμμών πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον *Arc/Info* με την εντολή:

```
arc: union <επιτιθέμενο επίπεδο> <επικαλυπτόμενο επίπεδο> <output>
```

```
arc: build <επίπεδο union> line
```

```
arc: build <επίπεδο union> poly (για τη δημιουργία τοπολογίας)
```

Αφού ολοκληρώθηκαν οι απαιτούμενες επιθέσεις, υπολογίστηκε το συνολικό εμβαδόν των πολυγώνων επίθεσης από το περιβάλλον του *ArcCatalog* και την επιλογή *statistics*.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί επιχειρείται να γίνει μία αξιολόγηση των αλγορίθμων Douglas-Peucker, Bendsimplify, Lang, Reumann-Witkam και Visvalingam-Whyatt τόσο σε επίπεδο ποσοτικό, με τη χρήση του δείκτη T.A.D., όσο και σε επίπεδο ποιοτικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Βασικό στόχο της εν λόγω διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάλυση, σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που παράγουν πέντε διαφορετικοί αλγόριθμοι γενίκευσης χαρτογραφικών γραμμών και συγκεκριμένα οι αλγόριθμοι Bendsimplify, Douglas-Peucker, Lang, Reumann-Witkam και Visvalingam-Whyatt.

Στο συγκεκριμένο κεφαλαίο γίνεται αξιολόγηση και σύγκριση του αποτελέσματος της γενίκευσης που παράγει ο κάθε αλγόριθμος. Οι αλγόριθμοι αυτοί αξιολογούνται τόσο σε ποσοτικό επίπεδο όσο και σε ποιοτικό. Για την ποσοτική αξιολόγησή τους χρησιμοποιείται το μέτρο της ολικής επιφανειακής μετάθεσης (T.A.D.), ενώ η ποιοτική αξιολόγηση αφορά στην οπτική ανάλυση των γενικευμένων ακτογραμμών.

Τέλος, γίνεται μία σύγκριση των αποτελεσμάτων της ποιοτικής και ποσοτικής αξιολόγησης.

7.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Στην ενότητα αυτή γίνεται ποσοτική και ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων που παράχθηκαν με τη χρήση των αλγόριθμων χαρτογραφικής γενίκευσης Bendsimplify, Douglas-Peucker, Lang, Reumann-Witkam και Visvalingam-Whyatt. Οι πέντε αυτοί αλγόριθμοι συγκρίθηκαν βάσει των γενικευμένων εκδοχών της n . Περιστέρα και του δείκτη T.A.D.

7.1.1 ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Η ποσοτική αξιολόγηση οποιουδήποτε αλγορίθμου απλοποίησης γραμμών μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση διάφορων κριτηρίων. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το μέτρο της **ολικής επιφανειακής μετάθεσης** (T.A.D.-Total Areal Difference) το οποίο ορίζεται ως το συνολικό εμβαδόν των πολυγώνων που παράγονται από την επίθεση αρχικής και γενικευμένης γραμμής (sliver polygons) διαιρεμένο με το μήκος της αρχικής γραμμής.

Ο Πίνακας 7.1 παρουσιάζει την τιμή του δείκτη T.A.D. για κάθε αλγόριθμο σε κάθε επίπεδο γενίκευσης καθώς και το συνολικό αριθμό των παραγόμενων πολυγώνων (sliver polygons), τον αριθμό των πολυγώνων (sliver polygons) ανά km και τέλος, το συνολικό εμβαδόν τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.1: Ποσοτική αξιολόγηση αλγόριθμων απλοποίησης.

union αρχικής-γενικευμένης γραμμής	επίπεδο γενίκευσης	αριθμός sliver polygons	αριθμός sliver polygons / km	Συνολικό Εμβαδόν sliver polygons (m ²)	T.A.D. (m)
Bendsimplify (1: 100.000)	1	230	6	93976	2,6
Bendsimplify (1: 250.000)	2	176	5	649903	18,2
Bendsimplify (1: 500.000)	3	135	4	1257255	35,2
Bendsimplify (1: 1.000.000)	4	92	3	1903605	53,4
Bendsimplify (1: 2.000.000)	5	42	1	4522433	126,8
Douglas-Peucker (1: 100.000)	1	195	5	3433	0,1
Douglas-Peucker (1: 250.000)	2	571	16	52023	1,5
Douglas-Peucker (1: 500.000)	3	462	13	141989	4,0
Douglas-Peucker (1: 1.000.000)	4	287	8	361646	10,1
Douglas-Peucker (1: 2.000.000)	5	156	4	929475	26,1
Lang (1 :100.000)	1	516	14	11726	0,3
Lang (1 :250.000)	2	562	16	73905	2,1
Lang (1 :500.000)	3	378	11	198357	5,6
Lang (1 :1.000.000)	4	229	6	508710	14,3
Lang (1 :2.000.000)	5	119	3	1422371	39,9
Reumann-Witkam (1: 100.000)	1	611	17	21892	0,6
Reumann-Witkam (1: 250.000)	2	497	14	126411	3,5
Reumann-Witkam (1: 500.000)	3	308	9	321057	9,0
Reumann-Witkam (1: 1.000.000)	4	165	5	879055	24,6
Reumann-Witkam (1: 2.000.000)	5	117	3	1774542	49,7
Visvaligam-Whyatt (1: 100.000)	1	380	11	93656	0,3
Visvaligam-Whyatt (1: 250.000)	2	547	15	64179	1,8
Visvaligam-Whyatt (1: 500.000)	3	387	11	184554	5,2
Visvaligam-Whyatt (1: 1.000.000)	4	261	7	526552	14,8
Visvaligam-Whyatt (1: 2.000.000)	5	137	4	1048554,0	29,4

Από τον πίνακα 7.1, είναι δυνατή η εξαγωγή χρήσιμης πληροφορίας σχετικά με τις απλοποιημένες ακτογραμμές που έχουν προκύψει από τη χρήση κάθε αλγόριθμου για τα επιθυμητά επίπεδα γενίκευσης. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη T.A.D. τόσο μικρότερη είναι η γεωμετρική παραμόρφωση της γραμμής λόγω της γενίκευσης.

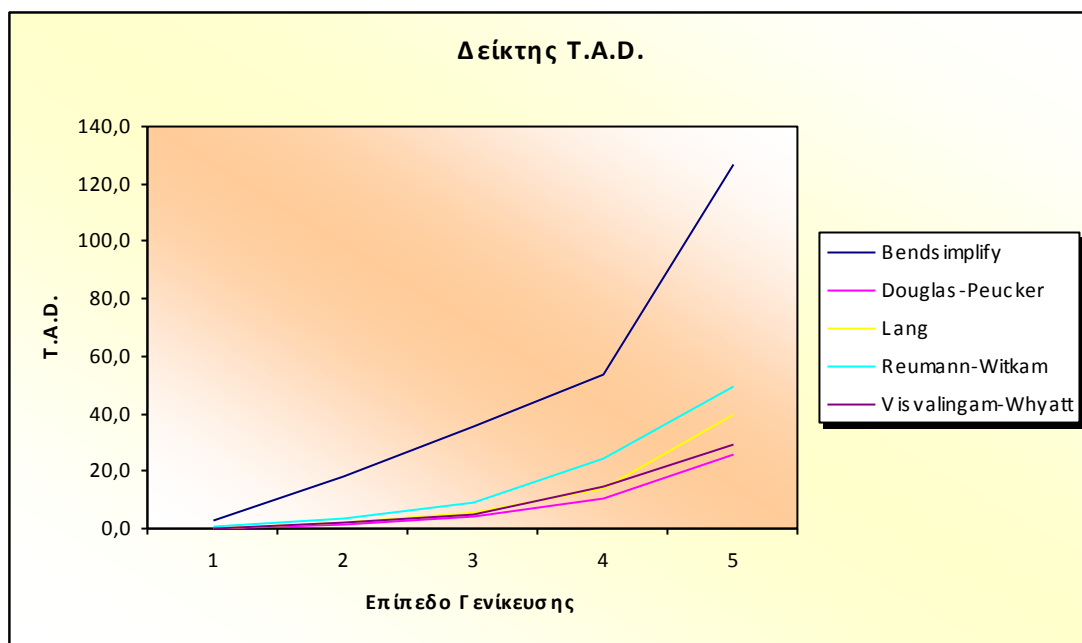
Όπως φαίνεται στον πίνακα 7.1, ο αλγόριθμος των **Douglas-Peucker** παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές ολικής επιφανειακής μετάθεσης σε όλα τα επίπεδα γενίκευσης. Πρακτικά, αυτό σημαίνει πως το αποτέλεσμα της γενίκευσης που παρέχει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος παρουσιάζει τις μικρότερες γεωμετρικές παραμορφώσεις στις πέντε παράγωγες κλίμακες.

Αντίστοιχα, ο αλγόριθμος των **Wang και Müller (Bendsimplify)** παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές T.A.D. και στις πέντε κλίμακες στις οποίες γενικεύτηκε η ακτογραμμή. Συνεπώς, ο αλγόριθμος Bendsimplify παρουσιάζει τις μεγαλύτερες γεωμετρικές παραμορφώσεις. Σημειώνεται πως οι διαφορές μεταξύ των αλγόριθμων Bendsimplify και Douglas-Peucker, σε επίπεδο ολικής επιφανειακής μετάθεσης, είναι μεγάλες.

Όσον αφορά στους αλγόριθμους των **Lang και Visvalingam-Whyatt**, οι τιμές της ολικής επιφανειακής μετάθεσης είναι ανάλογες, στις αντίστοιχες κλίμακες. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο επίπεδο γενίκευσης οι τιμές είναι οι ίδιες ενώ στα επόμενα τρία επίπεδα γενίκευσης είναι σχετικά παρόμοιες. Ωστόσο, στην κλίμακα 1:2.000.000 ο T.A.D. του αλγόριθμου Lang υπερβαίνει αυτόν του αλγόριθμου των Visvalingam-Whyatt κατά δέκα μονάδες. Συμπερασματικά, στις πολύ μικρές κλίμακες ο αλγόριθμος του Lang παρουσιάζει μικρές γεωμετρικές παραμορφώσεις.

Τέλος, ο αλγόριθμος των **Reumann-Witkam** φαίνεται να παράγει μεγαλύτερες σχετικά γεωμετρικές παραμορφώσεις στις παράγωγες γραμμές συγκρινόμενος με τους δύο προηγούμενους αλγόριθμους γενίκευσης, καθώς οι τιμές του δείκτη T.A.D. είναι μεγαλύτερες.

Το Σχήμα 7.1 απεικονίζει τη διαγραμματική αναπαράσταση των τιμών του δείκτη ολικής επιφανειακής μετάθεσης για κάθε αλγόριθμο. Κάθε αλγόριθμος παρουσιάζεται με διαφορετικό χρώμα. Παρατηρώντας το, διακρίνονται οι αρκετά μεγαλύτερες τιμές του αλγόριθμου Bendsimplify σε όλα τα επίπεδα γενίκευσης σε σχέση με τους υπόλοιπους αλγόριθμους. Επιπρόσθετα, διακρίνονται οι μικρότερες τιμές T.A.D. που παρουσιάζει ο αλγόριθμος των Douglas-Peucker. Μέχρι το τέταρτο επίπεδο γενίκευσης οι τιμές των αλγόριθμων Lang και Visvalingam-Whyatt σχεδόν ταυτίζονται ενώ μέχρι το τρίτο επίπεδο γενίκευσης σχεδόν ταυτίζονται και οι τιμές του αλγόριθμου των Douglas-Peucker με τους δύο προηγούμενους.



ΣΧΗΜΑ 7.1: Διαγραμματική αναπαράσταση των τιμών του δείκτη T.A.D. για κάθε αλγόριθμο.

Όσον αφορά στον αριθμό των πολυγώνων (sliver polygons), που σχηματίζονται με την επίθεση αρχικής και γενικευμένης γραμμής, ανά km, αναμένεται να μειώνεται

σταδιακά καθώς μικραίνει η κλίμακα (δηλαδή, αυξάνει το επίπεδο γενίκευσης). Εξετάζοντας τον Πίνακα 7.1, πως η παραπάνω διαπίστωση ισχύει μόνο για τους αλγόριθμους Bendsimplify και Reumann-Witkam.

Ο αριθμός των παραγόμενων πολυγώνων που προκύπτουν από τη γενίκευση της ακτογραμμής με τη χρήση των αλγόριθμων των Douglas-Peucker, Lang και Visvalingam-Whyatt, αυξάνεται σε ένα υψηλό ποσοστό, φθάνει γρήγορα σε ένα ανώτατο επίπεδο και τελικά μειώνεται σταδιακά καθώς μειώνεται και η κλίμακα των παράγωγων γραμμών. Βέβαια, το μέγεθος των παραγόμενων πολυγώνων είναι πολύ μικρό και σχεδόν όλα έχουν ένα λεπτό και επίμηκες σχήμα. Το μέγεθος των παραγόμενων πολυγώνων αυξάνεται βαθμιαία, καθώς επίσης και η αναλογία των πολυγώνων με κυκλική μορφή καθώς οι τιμές ανοχής αυξάνονται. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι λειτουργούν ως αλγόριθμοι μείωσης δεδομένων όταν εφαρμόζονται πολύ μικρές τιμές ανοχής επειδή εξαλείφουν τις πλεονάζουσες κορυφές, και ως αλγόριθμοι απλοποίησης γραμμών, όταν οι τιμές ανοχής αυξάνονται (Nakos 2004).

Δεδομένου ότι η μεγαλύτερη διαφορά, στον αριθμό των παραγόμενων πολυγώνων, από το πρώτο στο δεύτερο επίπεδο γενίκευσης, παρατηρείται στον αλγόριθμο των Douglas-Peucker, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αποτελεί τον πλέον κατάλληλο για τη μείωση δεδομένων με την εφαρμογή ιδιαίτερα μικρών τιμών ανοχής. Άλλωστε, οι McMaster (1986) και João (1998) προτείνουν την εφαρμογή του ίδιου αλγόριθμου σε ανάλογες περιπτώσεις.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως δεν αρκούν οι ποσοτικοί δείκτες για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που παράγουν οι αλγόριθμοι γενίκευσης χαρτογραφικής γραμμής. Η πληροφορία η οποία εξάγεται από τη χρήση τέτοιου είδους δεικτών είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, ωστόσο, θα ήταν λανθασμένη η αποκλειστική χρήση τους. Για το λόγο αυτό, στην ενότητα που ακολουθεί γίνεται μία ποιοτική αξιολόγηση των πέντε αλγόριθμων γενίκευσης.

7.1.2 ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ

Η ποιοτική αξιολόγηση των αλγόριθμων γενίκευσης αναφέρεται στην οπτική και αισθητική αξιολόγηση έτσι ώστε να διαπιστωθεί ο βαθμός διατήρησης της μορφής της αρχικής ακτογραμμής σε κάθε επίπεδο γενίκευσης. Ο Χάρτης 7.1 απεικονίζει την αρχική ακτογραμμή της ν. Περιστέρα κλίμακας 1:50.000, ενώ ο Χάρτης 7.2 απεικονίζει τις απλοποιημένες ακτογραμμές με την εφαρμογή των πέντε αλγόριθμων στα πέντε επίπεδα γενίκευσης.

Πιο συγκεκριμένα, στα πρώτα δύο επίπεδα απλοποίησης (στις κλίμακες 1:100.000 και 1:250.000), ο αλγόριθμος **Bendsimplify** διατηρεί όλες τις μεγάλες, εκτεταμένες καμπύλες της αρχικής γραμμής. Στα επόμενα τρία επίπεδα απλοποίησης, οι περιοχές υψηλής πολυπλοκότητας έχουν απαλειφθεί. Ταυτόχρονα, μονάχα οι εξαιρετικά μεγάλου μεγέθους καμπύλες διατηρούνται. Κάποιες από τις καμπύλες έχουν συγχωνευτεί με τις παρακείμενές τους. Οι στενοί κόλποι και χερσόνησοι δεν διατηρούνται. Στα τελευταία δύο επίπεδα απλοποίησης, η μορφή της ακτογραμμής παρουσιάζει ιδιαίτερο μεγάλο βαθμό απλοποίησης.

ΧΑΡΤΗΣ 7.1 ΑΡΧΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ

ΧΑΡΤΗΣ 7.2 Παράγωγες γραμμές

Σε όλα τα επίπεδα, ο αλγόριθμος των **Douglas-Peucker** διατηρεί τις μεγάλες, εκτεταμένες καμπύλες. Στα δύο τελευταία επίπεδα, ωστόσο, οι καμπύλες αυτές διαμορφώνονται με τη διατήρηση του ελάχιστου αριθμού σημείων, έχοντας ως αποτέλεσμα μια «ακιδωτή» μορφή ακτογραμμής. Η πολυπλοκότητα της ακτής διατηρείται σε όλα τα επίπεδα, με μία μικρή μείωση στο πέμπτο επίπεδο.

Ο αλγόριθμος του **Lang** στα δύο πρώτα επίπεδα γενίκευσης διατηρεί όλους τους μεγάλους και κάποιους από τους μικρότερους κόλπους και χερσονήσους. Η πολυπλοκότητα της ακτογραμμής διατηρείται στα τέσσερα πρώτα επίπεδα γενίκευσης, ενώ στο πέμπτο παρατηρείται μία μείωση.

Ο αλγόριθμος των **Reumann-Witkam** διατηρεί, επίσης, τις μεγάλες καμπύλες της γραμμής στα πρώτα επίπεδα απλοποίησης. Ωστόσο, καθώς η κλίμακα μειώνεται, μειώνεται και ο βαθμός πολυπλοκότητας, ο οποίος είναι μικρότερος από αυτόν των Douglas-Peucker και Lang και αρκετά μεγαλύτερος από αυτόν του Bendsimplify.

Τέλος, ο αλγόριθμος των **Visvalingam-Whyatt**, στα δύο πρώτα επίπεδα απλοποίησης, διατηρεί όλες τις μεγάλες καμπύλες της ακτογραμμής αλλά και κάποιες μικρότερες. Γενικά, ο βαθμός λεπτομέρειας διατηρείται και στα επόμενα επίπεδα γενίκευσης, ωστόσο, στο πέμπτο διακρίνεται μία μείωση.

Συγκρίνοντας τους πέντε αλγορίθμους απλοποίησης της χαρτογραφικής γραμμής παρατηρούνται αρκετές διαφορές.

Η διατήρηση των περιοχών της ακτογραμμής που χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό

πολυπλοκότητας με την εφαρμογή του αλγορίθμου των **Douglas-Peucker**, μπορεί να θεωρηθεί χαρτογραφικά μειονεκτικός, κυρίως σε υψηλά επίπεδα απλοποίησης. Επιπρόσθετα, η διατήρηση των μεγάλων καμπυλών στις μικρές κλίμακες θεωρείται ως διατήρηση της λεπτομέρειας. Η διατήρηση της λεπτομέρειας στις μικρές κλίμακες είναι ανεπιθύμητη.

Όπως συμβαίνει με τον αλγόριθμο των Douglas-Peucker, οι αλγόριθμοι των **Lang** και **Visvalingam-Whyatt** στις πολύ μικρές κλίμακες διατηρούν, έως ένα βαθμό, ανεπιθύμητη λεπτομέρεια. Το γεγονός αυτό καθιστά το αποτέλεσμα, από αισθητικής πλευράς, όχι απόλυτα ικανοποιητικό.

Ο αλγόριθμος των **Reumann-Witkam** διατηρεί ένα επίπεδο λεπτομέρειας και στις μικρές κλίμακες. Ωστόσο, το επίπεδο λεπτομέρειας είναι μικρότερο από αυτό των προαναφερθέντων αλγορίθμων. Το αποτέλεσμα, ακόμα και στις μικρές κλίμακες, μπορεί να θεωρηθεί σχετικά ικανοποιητικό δεδομένου ότι ικανοποιείται η βασική αρχή της διατήρησης της μορφής και του χαρακτήρα της γραμμής.

Αντιθέτως, ο αλγόριθμος **Bendsimplify** μειώνει το επίπεδο της λεπτομέρειας αντιστοίχως με το επίπεδο απλοποίησης. Επιπλέον, ελαχιστοποιεί την πολυπλοκότητα της γραμμής ενώ, ταυτόχρονα, διατηρεί τη βασική μορφή της. Κατά συνέπεια, ο αλγόριθμος **Bendsimplify** μπορεί να θεωρηθεί χαρτογραφικά πιο κατάλληλος ειδικά για την απεικόνιση των γραμμών σε μικρές κλίμακες. Το αποτέλεσμα που παρέχει μπορεί να θεωρηθεί, από αισθητικής απόψεως, περισσότερο ικανοποιητικό, κυρίως στο τέταρτο και πέμπτο επίπεδο γενίκευσης (δηλαδή, στις μεγάλες μεταβολές της κλίμακας).

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι ο McMaster (1989), ύστερα από τη διερεύνηση ενός μεγάλου αριθμού αντιπροσωπευτικών αλγορίθμων γενίκευσης, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος των **Douglas-Peucker** συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα. Μεταξύ των κριτηρίων της αξιολόγησης των αλγορίθμων αναφέρεται η ελαχιστοποίηση των μεταθέσεων που υφίστανται οι γενικευμένες γραμμές, δηλαδή η ελαχιστοποίηση της αλλοίωσης της γεωμετρικής πληροφορίας κατά τη γενίκευση. Στην περίπτωση αυτή, το αποτέλεσμα της γενίκευσης παρουσιάζει την καλύτερη οπτικά εικόνα, δηλαδή, διατηρούνται τα ίδια χαρακτηριστικά σημεία που θα επέλεγε και ο χαρτογράφος. Παραμένει, όμως, για τον αλγόριθμο αυτόν το σημαντικό μειονέκτημα να είναι απαγορευτικός στην εφαρμογή για μεγάλες μεταβολές μεταξύ της κλίμακας του αρχικού και του παράγωγου χάρτη (Thapa 1988).

7.1.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Παρατηρώντας τις προηγούμενες ενότητες, όπου περιγράφονται τα αποτελέσματα των αλγορίθμων γενίκευσης χαρτογραφικής γραμμής σε ποσοτικό και ποιοτικό επίπεδο, μπορούν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα.

Ο αλγόριθμος Bendsimplify παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές T.A.D. και στις πέντε κλίμακες στις οποίες γενικεύτηκε η ακτογραμμή. Αυτό σημαίνει πως παρουσιάζει και τις μεγαλύτερες γεωμετρικές παραμορφώσεις στις γραμμές που εφαρμόζεται. Σύμφωνα με την ποιοτική αξιολόγηση που έγινε, αυτό ισχύει αλλά δεν καθιστά το

αποτέλεσμα ως το λιγότερο ικανοποιητικό. Αντίθετα, θεωρείται, από αισθητικής απόψεως, περισσότερο ικανοποιητικός, κυρίως στις μικρές κλίμακες καθώς μειώνει το επίπεδο της λεπτομέρειας αντίστοιχα με το επίπεδο απλοποίησης και παρουσιάζει μία πιο ξεκάθαρη μορφή στις παράγωγες γραμμές.

Ο αλγόριθμος των **Douglas-Peucker** παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές T.A.D. σε όλα τα επίπεδα γενίκευσης. Αυτό σημαίνει πως το αποτέλεσμα της γενίκευσης που παρέχει ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει τις μικρότερες γεωμετρικές παραμορφώσεις. Ωστόσο, ο υψηλός βαθμός πολυπλοκότητας θεωρείται ελάττωμα, στα υψηλά επίπεδα απλοποίησης, αφού η διατήρηση της λεπτομέρειας στις μικρές κλίμακες είναι ανεπιθύμητη.

Όσον αφορά στους αλγόριθμους των **Lang**, **Visvalingam-Whyatt** και **Reumann-Witkam**, η αξιολόγησή τους τόσο σε επίπεδο ποιοτικό όσο και ποσοτικό φαίνεται να είναι σε γενικές γραμμές παρόμοια.

Συμπερασματικά, ο δείκτης T.A.D. μπορεί να παρέχει πληροφορία σχετικά με το επίπεδο πολυπλοκότητας σε κάθε κλίμακα, ωστόσο, απαιτείται και μία ποιοτική (οπτική) ανάλυση των γενικευμένων γραμμών, έτσι ώστε να είναι από αισθητικής άποψης ικανοποιητικά τα αποτελέσματα.

Στο επόμενο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, αναλύονται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν αναφορικά με τη γενίκευση χαρτογραφικής γραμμής και τους αλγόριθμους που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χαρτογραφική γενίκευση αποτελεί, τόσο σε διανοητικό όσο και σε τεχνικό επίπεδο, μία από τις πιο προκλητικές πτυχές της χαρτογραφικής διαδικασίας. Αποτελεί ένα από τα πλέον βασικά θέματα μελέτης και έρευνας της Αναλυτικής Χαρτογραφίας αλλά και ισχυρό εργαλείο, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα απεικόνισης χαρτών μεγάλων επιφανειών σε μικρές κλίμακες, όπου επιλεκτικά αναπαριστώνται οι πληροφορίες ενδιαφέροντος.

Με την εισαγωγή του H/Y ως χαρτογραφικού εργαλείου στις συμβατικές διεργασίες της γενίκευσης, διαμορφώθηκε η έννοια της αυτοματοποιημένης χαρτογραφίας. Ενώ, λοιπόν η χειροκίνητη γενίκευση αποτελεί υποκειμενική διαδικασία, καθώς βασίζεται στην αντίληψη, την επιδεξιότητα και την εμπειρία του χαρτογράφου, η αυτοματοποιημένη γενίκευση ξεπερνά το συγκεκριμένο πρόβλημα σε ένα μεγάλο βαθμό. Βέβαια, η γενίκευση αποτελεί πολύπλοκη χαρτογραφική διεργασία με στόχους που ακόμα και σήμερα δεν έχουν υλοποιηθεί σε ψηφιακό περιβάλλον με ολοκληρωμένο τρόπο, λόγω των υποκειμενικών παραγόντων που την καθορίζουν.

Όσον αφορά στην αυτοματοποιημένη γενίκευση της χαρτογραφικής γραμμής, η οποία αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης της εν λόγω εργασίας, έχουν προταθεί και εξεταστεί πολλοί αλγόριθμοι. Ωστόσο, οι περισσότεροι παρουσιάζουν ελλείψεις, γεγονός το

οποίο, αρκετές φορές, οδηγεί στη λήψη μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων. Στα πλαίσια της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν πέντε αλγόριθμοι γενίκευσης χαρτογραφικής γραμμής: οι Bendsimplify, Douglas-Peucker, Lang, Reumann-Witkam και Visvalingam-Whyatt. Η γενίκευση με τη χρήση των αλγορίθμων Douglas-Peucker και Bendsimplify πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό πρόγραμμα *ArcGIS*, στο οποίο είναι ενσωματωμένοι. Οι αλγόριθμοι Lang, Reumann-Witkam και Visvalingam-Whyatt προγραμματίστηκαν με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού *Visual Basic v. 6.0*.

Για την ολοκλήρωση της εφαρμογής της εργασίας χρησιμοποιήθηκε η ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς, η οποία αποτελεί μία αντιπροσωπευτική γραμμική οντότητα, ως προς την πολυπλοκότητα που εμφανίζει το σχήμα της.

Οι αλγόριθμοι αξιολογήθηκαν σε ποσοτικό και ποιοτικό επίπεδο. Για την ποσοτική αξιολόγησή τους χρησιμοποιήθηκε το μέτρο της ολικής επιφανειακής μετάθεσης (T.A.D.), ενώ η ποιοτική αξιολόγηση βασίστηκε στην οπτική ανάλυση των γενικευμένων ακτογραμμών.

Βάσει της ποσοτικής αξιολόγησης που πραγματοποιήθηκε, ο αλγόριθμος Douglas-Peucker παρουσίασε τις χαμηλότερες τιμές T.A.D. και κατά συνέπεια το πλέον ικανοποιητικό αποτέλεσμα γενίκευσης στις πέντε παραγόμενες κλίμακες. Όσον αφορά στην ποιοτική αξιολόγηση, διατήρησε την πολυπλοκότητα της ακτογραμμής σε όλα τα επίπεδα γενίκευσης, με μία μικρή μείωση στο πέμπτο επίπεδο, γεγονός το οποίο μπορεί να υποθεθεί και από τις τιμές του δείκτη T.A.D. Ωστόσο, αυτή η διατήρηση λεπτομέρειας στις μικρές κλίμακες θεωρείται ελάττωμα. Συμπερασματικά,

ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, παρόλο που παρουσιάζει μικρή γεωμετρική παραμόρφωση, δε μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικός στις μικρές κλίμακες.

Όσον αφορά στους αλγόριθμους Lang, Visvalingam-Whyatt και Reumann-Witkam, η αξιολόγησή τους τόσο σε επίπεδο ποιοτικό όσο και ποσοτικό φαίνεται να είναι ανάλογη.

Πιο συγκεκριμένα, οι αλγόριθμοι Lang και Visvalingam-Whyatt παρουσίασαν ανάλογες τιμές ολικής επιφανειακής μετάθεσης, στις αντίστοιχες κλίμακες με εξαίρεση το πέμπτο επίπεδο γενίκευσης όπου ο T.A.D. του αλγόριθμου Lang υπερέβη αυτόν του Visvalingam-Whyatt κατά δέκα μονάδες, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος Lang στις πολύ μικρές κλίμακες είναι πιο αποτελεσματικός. Ο αλγόριθμος Reumann-Witkam παρουσίασε ελαφρώς λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα από τους δύο προηγούμενους αλγόριθμους γενίκευσης.

Οι αλγόριθμοι Lang και Visvalingam-Whyatt, στα δύο πρώτα επίπεδα γενίκευσης διατηρούν όλους τους μεγάλους και κάποιους από τους μικρότερους κόλπους και χερσονήσους. Ο αλγόριθμος Reumann-Witkam διατηρεί, επίσης, τις μεγάλες καμπύλες της γραμμής στα πρώτα επίπεδα απλοποίησης. Η πολυπλοκότητα της ακτογραμμής διατηρείται στα τέσσερα πρώτα επίπεδα γενίκευσης, ενώ στο πέμπτο παρατηρείται μία μείωση.

Οι αλγόριθμοι Lang και Visvalingam-Whyatt στις πολύ μικρές κλίμακες διατηρούν, έως ένα βαθμό, ανεπιθύμητη λεπτομέρεια, γεγονός το οποίο καθιστά το αποτέλεσμα,

αισθητικά, όχι απόλυτα ικανοποιητικό. Ο αλγόριθμος Reumann-Witkam διατηρεί, επίσης, ένα επίπεδο πολυπλοκότητας στις μικρές κλίμακες, ωστόσο, το επίπεδο λεπτομέρειας είναι μικρότερο από αυτό των προαναφερθέντων αλγορίθμων. Το αποτέλεσμα, ακόμα και στις μικρές κλίμακες, μπορεί να θεωρηθεί σχετικά ικανοποιητικό καθώς η μορφή της αρχικής γραμμής διατήρησης διατηρείται.

Βάσει της ποσοτικής αξιολόγησης, ο αλγόριθμος των Wang-Müller (Bendsimplify) παρουσίασε το λιγότερο ικανοποιητικό αποτέλεσμα, καθώς παρουσίασε τις μεγαλύτερες τιμές T.A.D. σε όλα τα επίπεδα γενίκευσης. Από την ποιοτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε, παρατηρήθηκε ότι ο αλγόριθμος Bendsimplify στα πρώτα δύο επίπεδα απλοποίησης, διατηρεί τις μεγάλες καμπύλες της αρχικής γραμμής, ενώ στα τελευταία επίπεδα, ο βαθμός απλοποίησης είναι ιδιαίτερα μεγάλος.

Ο μεγάλος βαθμός γεωμετρικής παραμόρφωσης που παρατηρείται, ο οποίος συμπεραίνεται και από τις τιμές T.A.D., δεν καθιστά το αποτέλεσμα ως μη ικανοποιητικό. Αντίθετα, θεωρείται, από αισθητικής απόψεως, ιδιαίτερα ικανοποιητικό, κυρίως στις μικρές κλίμακες καθώς μειώνει το επίπεδο της λεπτομέρειας αντίστοιχα και ταυτόχρονα, διατηρεί τη βασική μορφή της γραμμής. Κατά συνέπεια, ο αλγόριθμος Bendsimplify μπορεί να θεωρηθεί χαρτογραφικά πιο κατάλληλος ειδικά για την απεικόνιση των γραμμών σε μικρές κλίμακες.

Επίσης, εξετάστηκε ο αριθμός των sliver polygons ανά km ακτογραμμής, που σχηματίστηκαν ύστερα από την επίθεση αρχικής και γενικευμένης γραμμής. Οι αλγόριθμοι Bendsimplify και Reumann-Witkam παρουσίασαν σταδιακή μείωση των παραγόμενων πολυγώνων με τη μείωση της κλίμακας, γεγονός απόλυτα λογικό και

αναμενόμενο. Αντίθετα, οι αλγόριθμοι Douglas-Peucker, Lang και Visvalingam-Whyatt, παρουσίασαν μία αύξηση του αριθμού των πολυγώνων από το πρώτο στο δεύτερο επίπεδο γενίκευσης και κατόπιν μία σταδιακή μείωση. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι συγκεκριμένοι αλγόριθμοι λειτουργούν και ως αλγόριθμοι μείωσης δεδομένων όταν εφαρμόζονται πολύ μικρές τιμές ανοχής επειδή εξαλείφουν τις πλεονάζουσες κορυφές. Μάλιστα, ο Douglas-Peucker αποτελεί καταλληλότερο αλγόριθμο μείωσης δεδομένων καθώς παρουσιάζει μεγαλύτερη διαφορά, στον αριθμό των παραγόμενων πολυγώνων, από το πρώτο στο δεύτερο επίπεδο γενίκευσης.

Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο δείκτης T.A.D. μπορεί να πληροφορήσει για το επίπεδο γεωμετρικής παραμόρφωσης σε κάθε κλίμακα, ωστόσο, δεν αρκεί για την αξιολόγηση των γενικευμένων χαρτογραφικών γραμμών. Απαιτείται, λοιπόν, και μία ποιοτική ανάλυση των γενικευμένων γραμμών, έτσι ώστε να είναι και από αισθητικής άποψης ικανοποιητικά τα αποτελέσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Λιβιεράτος, Ε. 1988. *Γενική Χαρτογραφία και Εισαγωγή στη Θεματική Χαρτογραφία*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
2. Κουτσόπουλος, Κ. 2002. *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
3. Νάκος, Β. 1990. *Ψηφιακή απεικόνιση χαρτογραφικών φαινομένων βασισμένη στη θεωρία της κλασματικής γεωμετρίας. Εφαρμογή στο τοπογραφικό ανάγλυφο με ψηφιακά μοντέλα*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
4. Νάκος, Β. 2002. *Κλασματική Γεωμετρία και Χαρτογραφία*.
5. Νάκος, Β. 2005. *Αναλυτική Χαρτογραφία*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, τομέας Τοπογραφίας.
6. Νέος Παγκόσμιος Άτλας 1996. τόμος 12, σελ. 112. Εκδόσεις Δομή, Αθήνα.
7. Παρασχάκης, Ι., Παπαδοπούλου, Μ., Πατιάς, Π. 1998. *Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Buttenfield, B. 1985. *Treatment of Cartographic Line*. *Cartographica*, vol. 22, No 2, pp 1-26.
2. Boyle, A. R. 1970. The Quantised Line. *The Cartographic Journal*, 7(2): 91-94.
3. Brassel, K.E., Weibel, R. 1988. A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization. *International Journal of Geographical Information Systems*, 2(3): 224-244.
4. Brophy, D.M. 1972. *Automated Linear Generalization in Thematic Cartography*. Master's Thesis, Department of Geography, University of Wisconsin.
5. Buttenfield, B. 1985, Treatment of the Cartographic Line. *Cartographica*, 22(2): 1-26.
6. Buttenfield, B. 1989. Scale-Dependence and Self-Similarity in Cartographic Lines. *Cartographica*, 26(1): 79-100.
7. Catlow, D., Du D. 1984. The Structuring and Cartographic Generalization of Digital River Data. *Proceedings*, 44th Annual ACSM Meeting, Washington, D.C. Falls Church, VA: American Congress on Surveying and Mapping, 511-520.
8. Chaikin, G.M. 1974. An algorithm for high speed curve generation. *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 3, p. 346-349.

9. Chasen, S.H. 1978. *Geometric principles and procedures for computer graphic applications*. Englewood, N.J.: Prentice Hall, Inc.
10. Chrisman, N.R. 1983. Epsilon Filtering: A Technique for Automated Scale Changing. *Technical Papers*, 43rd Annual ACSM Meeting, Washington, D.C. Falls Church, VA: American Congress on Surveying and Mapping, 322-331.
11. Chrisman, N.R. 1989. Modelling Error in Overlaid Categorical Maps. In *The Accuracy of Spatial Databases*. Ed. M.F. Goodchild and S. Gopal. Taylor and Francis, London, pp. 21-34.
12. Christ, F. 1976. Fully Automated and Semi-Automated Interactive Generalization, Symbolization and Light Drawing of a Small Scale Topographic Map. *Nachrichten aus dem Karten-und Vermessungswesen, Ubersetzung*, Heft nr. 33:19-36.
13. Dettori, G. and B. Falcidieno. 1982. An Algorithm for Selecting Main Points on a Line. *Computers and Geosciences*, 8(1): 3-10.
14. Deveau, T.J. 1985. Reducing the Number of Points in a Plane Curve Representation. *Proceedings*, Seventh International Symposium on Automated Cartography, AUTO-CARTO VII, Washington, D.C. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry and the American Congress on Surveying and Mapping, 152-160.
15. Douglas, D.H., Peucker T.K. 1973. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Character. *The Canadian Cartographer*, 10(2): 112-123.
16. Dutton, G.H. 1981. Fractal Enhancement of Cartographic Line Detail. *The American Cartographer*, 8(1): 23-40.

17. Eckert, M. 1908. On the Nature of Maps and Map Logic. Translated by W. Joerg. *Bulletin of the American Cartographical Society*, 40(6): 344-351.
18. Goodchild, M.F. 1978. Statistical Aspects of the Polygon Overlay Problem. In *Harvard Papers on Geographic Information Systems*. Ed. G. Dutton. Addison Wesley, Massachusetts.
19. Goodchild, M.F. 1980. Fractals and the Accuracy of Geographical Measures. *Mathematical Geology*, 12(2): 85-98.
20. Goodchild, M.F. 1991. Issues of Quality and Uncertainty. *Advances in Cartography*. Ed. J.C. Muller. Elsevier Applied Science, London, pp. 113-139.
21. Gordon, W.J., Riesenfeld R.F. 1974. Bernstein-Bezier methods for the computer-aided design of free-form curves and surfaces. *Journal of the Association for Computing Machinery*, vol. 21:2, p. 293-310.
22. Grunreich D. 1985. Computer-Assisted Generalization. *Papers CERCO-Cartography Course*. Frankfurt a.M.
23. Imhof, E. 1951. *Terrain et Carte*. E. Rentch.
24. Imhof, E. 1982. *Cartographic Relief Presentation*. Ed. Harry J. Steward. Walter de Gruyter & Co., Berlin.
25. Jenks, G.F. 1981. Lines, Computers and Human Frailties. *Annals of the Association of American Geographers*, 71 (1): 1-10.
26. Jenks, G.F. 1985. Linear Simplification: How Far Can We Go? Paper Presented to the 10th Annual Meeting of the Canadian Cartographic Association, Fredericton, New Brunswick.
27. Joao, E.M. 1998. *Causes and Consequences of Map Generalization*. Taylor and Francis, London.

28. Keates, J.S. 1973. *Cartographic Design and Production*. Longman Inc., New York.
29. Lang, T. 1969. Rules for the Robot Draughtsmen. *The Geographical Magazine*, 42(1): 50-51.
30. Lichtner, W. 1978. Locational Characteristics and the Sequence of Computer Assisted Processes of Cartographic Generalization. *Nachrichten aus dem Karten-und Vermessungswegen*, Reihe II, Übersetzungen Heft nr. 35, 65-75.
31. Lichtner, W. 1979. Computer-Assisted Processing of Cartographic Generalization in Topographic Maps, *Geo-Processing*, 1: 183-199.
32. Maling, D.H. 1968. How long is a piece of string? *Cartographic journal*, vol. 5:2, p. 147-156.
33. Mandelbrot. B.B. 1967. How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. *Science*, 156(3775): 636-638.
34. Mandelbrot, B.B., 1982. *The Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman and Co., New York.
35. Mandelbrot, B.B., D.E. Passoja, and A.J. Paullay. 1984. Fractal Character of fracture surfaces of metals. *Nature*, 308: 721-722.
36. Marino, J.S. 1978. *Characteristic Points and Their Significance in Cartographic Line Generalization*. Unpublished Masters Thesis, Department of Geography-Meteorology, The University of Kansas.
37. Marino, J.S. 1979. Identification of Characteristics along Naturally Occurring Lines: An Empirical Study. *The Canadian Cartographer*, 16(1): 70-80.
38. Mark, D.M. 1989. Conceptual Basis for Geographic Line Generalization. *Proceedings*, Ninth International Symposium on Computer-Assisted Cartography, AUTO-CARTO IX, Baltimore, Maryland. Falls Church, VA:

- American Society of Photogrammetry and Remote Sensing and American Congress on Surveying and Mapping, 56-67.
39. McMaster, R.B. 1983. *Mathematical measures for the evaluation of simplified lines on maps*. Unpublished Ph.D. Dissertation, Department of Geography-Meteorology, University of Kansas.
40. McMaster, R.B. 1986. A Statistical Analysis of Mathematical Measures for Linear Simplification. *American Cartographer*, 13/2: 103-16.
41. McMaster, R.B. 1987. *Automated Line Generalization*. *Cartographica*, 24(2): 74-111.
42. McMaster, R.B. 1989. The Integration of Simplification and Smoothing Algorithms in Line Generalization. *Cartographica*, 26(1): 101-121.
43. McMaster, R.B., Shea K.S. 1988. Cartographic Generalization in a Digital Environment: A Framework for Implementation in a Geographic Information System. *Proceedings GIS/LIS'88*, San Antonio, Texas. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing and American Congress on Surveying and Mapping; Washington, D.C.: Association of American Geographers; McLean, VA: Urban and Regional Information Systems Association, 240-249.
44. McMaster, R.B., Shea K.S. 1992. *Generalization in Digital Cartography*. Association of American Cartographers, Washington.
45. Monmonier, M.S. 1983. Raster-Mode Area Generalization of Land Use and Land Cover Maps. *Cartographica*, 20(4): 65-91.
46. Monmonier, M.S. 1989. Interpolated Generalization: Cartographic Theory for Expert-Guided Feature Displacement. *Cartographica*, 26(1): 43-04.
47. Morrison, J.L. 1974. A Theoretical Framework for Cartographic

- Generalization with Emphasis on the Process of Symbolization. *International Yearbook of Cartography*, 14: 115-127.
48. Müller, J.C. 1983. Visual Versus Computerized Seriation: The Implications for Automated Map Generalization. *Proceedings, Sixth International Symposium on Automated Cartography, Automated Cartography: International Perspectives on Achievements and Challenges, AUTO-CARTO VI, Ottawa, Canada. Ontario: The Steering Committee Sixth International Symposium on Automated Cartography*, 277-287.
 49. Müller, J.C. 1986. Fractal Dimension and Inconsistencies in Cartographic Line Representations. *The Cartographic Journal*, 23(2): 123-130.
 50. Müller, J.C. 1987a. Optimum Point Density and Compaction Rates for the Representation of Cartographic Lines". *Proceedings of AUTO CARTO 8, Baltimore, Maryland*, pp. 221-230.
 51. Müller, J.C. 1987b. Fractal and Automated Line Generalization. *The Cartographic journal*, 24(1): 27-34.
 52. Müller, J.C. 1991. Digital Terrain Modelling. In *Geographical Information Systems. Principles and Applications* (Vol. 1, D. Maguire, M.F. Goodchild, & D.W. Rhind Eds.), Longman Scientific & Technical, Essex: 457-475.
 53. Nakos, B. 2004. The SP-Displacement Measure for Assessing Line Simplification. *Spatial Science*, vol. 49, n. 1, pp. 1-10.
 54. Nickerson, B.G. 1988. Automated Cartographic Generalization for Linear Features. *Cartographica*, 25(3):16-66.
 55. Nickerson, B.G., Freeman H.R. 1986. Development of a Rule based System for Automatic Map Generalization. *Proceedings, Second International Symposium on Spatial Data Handling, Seattle, Washington. Williamsville,*

- N.Y.: International Geographical Union Commission on Geographical Data Sensing and Processing, 537-556.
56. Perkal, J. 1966. An Attempt at Objective Generalization. In *Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers, Discussion Paper 10*, ed. John Nystuen. Translated by W. Jackowski from Perkal, J. 1958. Proba obiektywnej generalizacji. *Geodezja i Kartografia*, Tom VI, Zeszyt 2, 130-142, Ann Arbor: University of Michigan.
57. Raisz, E. 1948. *General Cartography*. McGraw-Hill inc., New York.
58. Raisz, E. 1962. *Principles of Cartography*. John Wiley and Sons inc., New York.
59. Ratajski, L. 1967. Phénomènes des points de généralisation. *International Yearbook of Cartography*, 7: 143-151.
60. Richardson, L.F. 1961. The problem of contiguity: an appendix to the statistics of deadly quarrels. *General Systems Yearbook*, vol. 6, p. 139- 187.
61. Riesenfeld, R.F. 1975. On Chaikin's algorithm. *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 4:3, p.
62. Robinson, A.H. 1953. *Elements of Cartography*. 1st Edition. John Wiley and Sons inc., New York.
63. Robinson, A.H. 1960. *Elements of Cartography*. 2nd Edition. John Wiley and Sons inc., New York.
64. Robinson, A.H., Sale R.D. 1969. *Elements of Cartography*. 3rd Edition. John Wiley and Sons inc., New York.
65. Robinson, A.H., Sale R.D., Morrison J.L. 1978. *Elements of Cartography*. 4th Edition. John Wiley and Sons inc., New York.

66. Robinson, A.H., Sale R.D., Morrison J.L., Muehrcke P.C. 1984. *Elements of Cartography*. 5th Edition. John Wiley and Sons inc., New York.
67. Sadahiro Y. 2001. Number of Polygons Generated by Map Overlay: The Case of Convex Polygons. *Transactions in GIS*, vol. 5, n. 4, pp. 345-353.
68. Shea, K.S. 1991. Design Considerations for an artificially Intelligent System. In *Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation*, ed. B.P. Buttenfield, R.B. McMaster, 3-20. Longman Ltd, London.
69. Shiryaev, E.E. 1987. *Computers and the Representation of Geographical Data*. Chichester: Great Britain: John Wiley and Sons, Ltd. Translated by V.M. Divid, N.N. Protsenko, and Yu. U. Rajabov from Shiryaev E.E. 1977. *Kartograficheskoe otobrazhenie preobrazovanie geoinformatsii*. Moscow: Nedra Publishers.
70. Shokalsky, V.M. 1930. *Dlina Glavnevshikh Rek Aziatatskov Chasti SSSR I Sposob Izmereniya Dlin Rek Po Kartem*. Moscow: Rechtransizdat; as discussed in Maling (1968), "How long is a piece of string?" *Cartographic journal*, vol. 5, no. 2, p. 147-156.
71. Srnka, E. 1970. The analytical solution of regular generalization in cartography. *International Yearbook of Cartography*, vol. 10, p. 48-60.
72. Steinhaus, H. 1954. Length, shape, and area. *Colloquium Mathematica*, vol. 3.
73. Steinhaus, H. 1960. *Mathematical snapshots*. Oxford: University Press.
74. Swiss Society of Cartography 1987. *Cartographic Generalization*, 2nd ed. SGK-Publikationen, Zurich.
75. Thapa, K. 1988. *Automatic Line Generalization Using Zero-Crossings*. P.E. & R.S, 54(4): 511-517.

76. Tobler, W.R. 1966. Numerical Map Generalization. In *Michigan Inter-University Community of Mathematical Geographers, Discussion Paper 8*, ed. John Nystuen. Ann Arbor: University of Michigan.
77. Tobler, W.R. 1989. An update to numerical map generalization. *Cartographica*, 26(1): 7-8.
78. Töpfer, F., Pillewizer W. 1966. The Principles of Selection, A Means of Cartographic Generalisation. *The Cartographic Journal*, 3(1): 10-16.
79. Visvalingam M., Whyatt J.D. 1990. The Douglas-Peucker Algorithm for Line Simplification: Re-evaluation through Visualization. *Computer Graphics Forum 9*: 213-28.
80. Veregin H. 1999. Line Simplification, Geometric Distortion and Positional Error. *Cartographica*. Vol. 36, n. 1, pp. 25-39.
81. White, E.R. 1983. *Perceptual Evaluation of Line Generalization Algorithms*. Unpublished Masters Thesis, Department of Geography, Virginia Polytechnic Institute and State University.
82. White, E.R. 1985. Assessment of Line Generalization Algorithms Using Characteristic Points. *The American Cartographer*, 12(1): 17-28.
83. Whittaker E., Robinson G. 1944. *The Calculus of Observations*, 4th ed. Blackie and Son, London.
84. Wright, J.K. 1942. Map Makers are Human. *Geographical Review*, 32: 527-544.