

ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΕΝΗΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Σκοπελίτη Α.

*Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών,
Εργαστήριο Χαρτογραφίας*

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει ένα μοντέλο για την εμπλουτισμένη ψηφιακή καταγραφή των γραμμικών δεδομένων ικανό να υποστηρίξει μια διαδικτυακή υπηρεσία γενίκευσης στα πλαίσια της δυναμικής παραγωγής χαρτών. Η εμπλουτισμένη ψηφιακή καταγραφή των γραμμικών δεδομένων βασίζεται στην αναγνώριση της δομής, στην περιγραφή της μορφής της γραμμής και στη διαδικαστική γνώση για τη βέλτιστη πρακτική γενίκευσης. Επιπλέον υποστηρίζει την εκτίμηση και την καταγραφή της ποιότητας του τελικού αποτελέσματος. Η δυνατότητα υλοποίησης του μοντέλου καταγραφής για τη μεταφορά δεδομένων στο διαδίκτυο ερευνάται βάσει των δυνατοτήτων που προσφέρει η GML (Geography Markup Language - Γεωγραφική Επεκτάσιμη Γλώσσα Σήμανσης).

AN ENHANCED MODEL FOR LINEAR FEATURES THAT SUPPORTS GENERALIZATION IN THE WEB MAPPING CONTEXT

Skopeliti A.

*National Technical University of Athens, Faculty of Rural and Surveying Engineering,
Cartography Laboratory*

Abstract

In recent years cartography has evolved in a new direction with the application of web technologies and services. Maps in the web context are generally generated on-demand and on-the-fly. The demand for dynamic web map generation has also lead to increased requirements on automated map generalization procedures. This paper presents an enhanced model for the digital encoding of linear features that supports a generalization service for web mapping. The model incorporates the structural knowledge for the description of the linear features shape and the procedural knowledge for the most appropriate generalization solution. It supports the assessment and it reports the quality of the generalization result. The implementation of this model for web data transfer is possible utilizing GML (Geography Markup Language).

Λέξεις κλειδιά: γενίκευση γραμμικών οντοτήτων, χαρτογραφία στο διαδίκτυο, GML.

Key words: linear features generalization, web mapping, GML.

1. Εισαγωγή

Η εξάπλωση της χαρτών στο διαδίκτυο (web mapping), η δημιουργία χαρτών σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη (on demand mapping) και η δυνατότητα δημιουργίας χαρτών δυναμικά (on the fly mapping), δηλαδή σε πραγματικό χρόνο, οδήγησε στη δημιουργία πρωτότυπων συστημάτων και υπηρεσιών (web map service) για την απόδοση των ψηφιακών γεωγραφικών δεδομένων. Οι εξελίξεις αυτές δημιούργησαν νέες ανάγκες για την εφαρμογή της χαρτογραφικής γενίκευσης ως μιας υπηρεσίας στα πλαίσια της δυναμικής δημιουργίας

ενός χάρτη για το διαδίκτυο.

Για τη δυναμική δημιουργία χαρτών σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη τα δεδομένα θα πρέπει να είναι διαθέσιμα σε ανάλογη κλίμακα (βαθμό γενίκευσης), το οποίο σπάνια συμβαίνει. Για τη επίλυση του προβλήματος αυτού υπάρχουν δύο εναλλακτικές λύσεις (Cecconi, 2003). Η πρώτη βασίζεται στην ύπαρξη μιας γεωγραφικής βάσης με δεδομένα σε πολλαπλές κλίμακες, την ανάκτηση και την απόδοση τους. Η λύση αυτή είναι η πιο απλή, με μικρότερο υπολογιστικό κόστος, αποτελεσματική για συγκεκριμένες εφαρμογές αλλά μη ευέλικτη λειτουργικά όσον αφορά την ενημέρωση των δεδομένων σε πολλαπλές κλίμακες, όπου τα δεδομένα συχνά δεν συνδέονται ιεραρχικά, και κατά την απόδοση σε κλίμακες που δεν είναι συγγενείς των υπαρχόντων. Η δεύτερη τακτική αφορά την ανάκτηση δεδομένων από τη βάση δεδομένων και τη γενίκευση τους σε πραγματικό χρόνο κατά την παραγωγή του χάρτη (on the fly generalization). Η προσέγγιση αυτή είναι ευέλικτη, επιτρέπει την πλήρη προσαρμογή στις επιλογές του χρήστη και η ενημέρωση της βάσης δεδομένων είναι απλούστερη. Μειονεκτήματα της λύσης αυτής θεωρούνται ο χρόνος εφαρμογής και το κόστος των υπολογισμών. Εκτιμάται ότι η σημερινή ευκολία πρόσβασης σε συστήματα με αυξημένη υπολογιστική ισχύ και με υψηλή ταχύτητα στο διαδίκτυο καθώς και η πρόοδος για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας της γενίκευσης καθιστούν την δεύτερη προσέγγιση ερευνητικά πιο επίκαιρη.

Για να είναι δυνατή η εφαρμογή της γενίκευσης σε πραγματικό χρόνο θα πρέπει να υποστηρίζεται από αλγόριθμους γρήγορους και αποτελεσματικούς και προ-υπολογισμένες δομές και ιδιότητες (Cecconi, 2003). Αυτό επιτυγχάνεται με τον εμπλουτισμό των δεδομένων. Η διαδικασία της εμπλουτισμένης καταγραφής των δεδομένων (data enhancement / enrichment) αναφέρεται στην αποθήκευση επιπλέον βοηθητικής πληροφορίας σε υπάρχοντα δεδομένα ώστε να είναι πιο αποτελεσματικές και πιο απλές η διαχείριση και η επεξεργασία τους σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Η επιπλέον πληροφορία προκύπτει από την ανάλυση των δεδομένων για μια συγκεκριμένη χρήση. Η ανάλυση αυτή υλοποιείται στα πλαίσια ενός Γ.Σ.Π., όπου προσφέρονται ή αναπτύσσονται εξειδικευμένα εργαλεία για την ανάλυση των χωρικών δεδομένων, πρωτίστως της χαρτοσύνθεσης (Ruas, 1999). Η εμπλουτισμένη ψηφιακή καταγραφή συνήθως περιλαμβάνει την εννοιολογική και γεωμετρική περιγραφή των αντικειμένων (Jones et al., 1996) ή ομάδων αντικειμένων (μοτίβο, δομή). Στην περίπτωση της δυναμικής γενίκευσης, η επιπλέον πληροφορία συμβάλει στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας με ορθά αποτελέσματα και ταχύτητα εφαρμογής.

Η έρευνα για τη γενίκευση των διανυσματικών δεδομένων έχει επικεντρωθεί στα γραμμικά δεδομένα. Ένας λόγος είναι ότι η αυτόματη γενίκευση των γραμμικών οντοτήτων είναι λιγότερο πολύπλοκη σε σχέση με αυτή άλλων οντοτήτων. Ένας δεύτερος λόγος είναι ότι οι περισσότερες οντότητες που εμφανίζονται σε ένα τοπογραφικό χάρτη μεσαίας κλίμακας είναι γραμμές. Η εργασία αυτή εστιάζει στο θέμα της γενίκευσης των γραμμικών οντοτήτων καθώς λόγω της υπάρχουσας έρευνας είναι δυνατός ο εμπλουτισμός των δεδομένων. Ο χαρτογράφος που γενικεύει σε αναλογικό περιβάλλον έχει μια συνολική και συνεχή αντίληψη της γραμμής. Λαμβάνει υπόψη του τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και είναι ικανός να αποδώσει τα κυριότερα από αυτά. Η γνώση της μορφής της γραμμής του επιτρέπει τη δημιουργία μιας σωστά γενικευμένης απόδοσης. Σύμφωνα με την τρέχουσα βιβλιογραφία για τη γενίκευση (Buttenfield, 1985; Plazanet et al., 1995; Reichenbacher, 1995; Mustiere, 1998 κ.α.), η αυτοματοποιημένη γενίκευση των γραμμικών οντοτήτων συνδέεται με την αναλυτική περιγραφή του οπτικού χαρακτήρα, δηλαδή της μορφής της γραμμής, και την κατάτμηση των αντικειμένων σε ομοιογενή τμήματα στα οποία θα εφαρμοστούν κατάλληλοι αλγόριθμοι. Οι παραπάνω διαδικασίες επιτυγχάνουν την καταγραφή της δομής των οντοτήτων στη χαρτογραφική βάση δεδομένων (δομική γνώση). Η διαδικαστική γνώση, δηλαδή το πώς υλοποιείται η γενίκευση, μπορεί να παρακολουθηθεί και να συνδεθεί με τη δομική γνώση, επιτρέποντας την απάντηση ερωτημάτων όπως ποιος αλγόριθμος γενίκευσης και ποιές παράμετροι πρέπει να επιλεγούν για μια συγκεκριμένη ενέργεια ανάλογα με την οντότητα, την κλίμακα και την πολυπλοκότητα της γραμμής. Αυτή τη χαρτογραφική γνώση

καταγράφει και ενσωματώνει στη γεωγραφική βάση δεδομένων το μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών δεδομένων που θα αναλυθεί στη συνέχεια.

2. Μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης

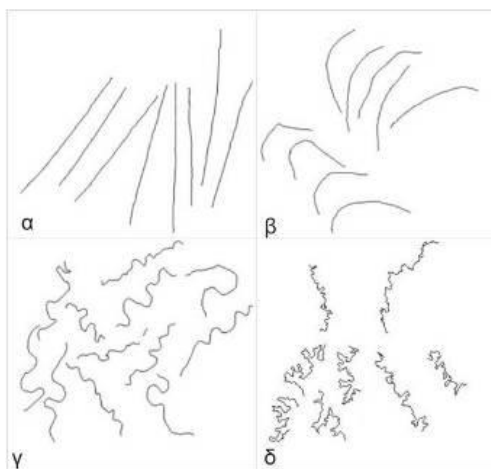
Στόχος της εργασίας αυτής είναι: α. να περιγράψει ένα μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών δεδομένων που στηρίζει την εφαρμογή της γενίκευσης και τον έλεγχο της ποιότητας του αποτελέσματος και β. να περιγράψει την υλοποίηση του μοντέλου εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών δεδομένων για τη γενίκευση στο σχεδιασμό της βάσης δεδομένων και στη δομή μεταφοράς των δεδομένων στο διαδίκτυο βάσει της Geographic Markup Language (GML).

2.1 Περιγραφή της μορφής των γραμμικών οντοτήτων με τη χρήση μέτρων και ανανώριση της δομής μέσω της κατάτμησης σε ομοιογενή τμήματα

Στα πλαίσια της έρευνας που πραγματοποιήθηκε τα τελευταία χρόνια (Skopeliti and Tsoulos, 1999; Σκοπελίτη, 2001; Skopeliti and Tsoulos, 2005) διερευνήθηκε η δυνατότητα περιγραφής της μορφής της χαρτογραφικής γραμμής με μια ομάδα μέτρων και η χρήση αυτών για την ομαδοποίηση των γραμμών. Η μελέτη αυτή αφορά τις φυσικές οντότητες όπως η ακτογραμμή και τα ρέματα, καθώς το σχήμα τους δεν μπορεί να περιγραφεί από τα βασικά γεωμετρικά αρχέτυπα όπως ο κύκλος κ.α. Η βασική ιδέα σε αυτή την προσέγγιση είναι η χρήση μια ομάδας μέτρων που υπολογίζονται σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης. Η άποψη αυτή έχει υιοθετηθεί από πολλούς ερευνητές που ακολούθησαν διαφορετικές τακτικές για την περιγραφή του σχήματος (Buttenfield, 1991; Bernhardt, 1992; Mokhtarian and Mackworth, 1992; Mandelbrot, 1967). Στα πλαίσια της έρευνας αυτής αξιολογήθηκαν όλα τα μέτρα που προτείνονται στη βιβλιογραφία (Buttenfield, 1991; Bernhardt, 1992; McMaster, 1986; Jasinski, 1991 κ.α.) όπως: η κλασματική διάσταση, το πλάτος, η κατάτμηση, η διακύμανση σφάλματος, η γωνιότητα και τα στατιστικά της μεγέθη, η συνταύτιση, μέτρα του μήκους καμπυλότητας, η μέση απόκλιση από τη γραμμή βάσης κ.α.. Ως πειραματικά δεδομένα (Skopeliti and Tsoulos, 2005) χρησιμοποιήθηκαν τμήματα ακτογραμμής μεσαίας κλίμακας τέτοια ώστε: κάθε ένα από αυτά να παρουσιάζει ομοιογένεια της μορφής κατά μήκος του και να διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη μορφή ώστε ως σύνολο να καλύπτουν τη ποικιλία της μορφής που παρουσιάζει η ακτογραμμή. Η Παραγοντική Ανάλυση είναι η στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή από ένα πλήθος αρχικών μέτρων ενός μικρότερου συνόλου με την ελάχιστη απώλεια πληροφορίας. Η Παραγοντική Ανάλυση υλοποιήθηκε με δεδομένα τις τιμές των μέτρων που υπολογίστηκαν για όλα τα τμήματα του συνόλου των πειραματικών δεδομένων. Με βάσει τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης και τη χαρτογραφική κρίση, επιλέχθηκε ένα υποσύνολο των μέτρων για την περιγραφή της μορφής: η μέση γωνιότητα, η μέση απόλυτη γωνιότητα και η διακύμανση σφάλματος της γραμμής. Τα μεγέθη που επιλέχθηκαν με την Παραγοντική Ανάλυση παρουσιάζουν μικρή συσχέτιση μεταξύ τους και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην Ανάλυση Ομάδων. Η Ανάλυση Ομάδων είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση δεδομένων βάσει των χαρακτηριστικών που περιγράφονται από μια ομάδα μέτρων. Το πλήθος των ομάδων και η σύσταση των ομάδων προκύπτει από την εφαρμογή της στατιστικής μεθόδου της Ανάλυσης Ομάδων χωρίς την επέμβαση του χαρτογράφου. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η επιτυχή ταξινόμηση ενός υποσυνόλου των γραμμών με την Ανάλυση Ομάδων σε τέσσερις ομάδες διαφορετικής πολυπλοκότητας, που εκ των υστέρων χαρακτηρίζονται λεκτικά από τον χαρτογράφο ως: ομαλές, ομαλές με μια βασική καμπυλότητα, ημιτονοειδείς και πολύ ημιτονοειδείς. Κατά τη διαδικασία της Ανάλυσης Ομάδων, κάθε γραμμή αποτελεί ένα δάνυσμα στο χώρο, που δημιουργούν τα μέτρα περιγραφής της μορφής, του οποίου το μέτρο εκφράζει ποσοτικά τη μορφή της γραμμής.

Για να είναι επιτυχής η περιγραφή της μορφής και η ταξινόμηση των γραμμικών

οντοτήτων βάσει της προαναφερθείσας μεθόδου, αυτές θα πρέπει να είναι ομοιογενείς ως προς τη μορφή σε όλο το μήκος τους. Επομένως είναι αναγκαία μια μεθοδολογία κατάτμησης. Η μεθοδολογία κατάτμησης σε ομοιογενή τμήματα (Skopeliti and Tsoulos 1999, Skopeliti and Tsoulos 2001a) αφορά τις φυσικές χαρτογραφικές γραμμές όπως η ακτογραμμή, το υδρολογικό δίκτυο κ.α. και βασίζεται στον προσδιορισμό της μορφής της γραμμής βάσει της κλασματικής διάστασης και της μεθόδου περιγραφής της μορφής με ομάδα μέτρων. Με βάση τη μεθοδολογία κατάτμησης και περιγραφής της μορφής των γραμμών με μέτρα, οι χαρτογραφικές γραμμές μιας βάσης δεδομένων που ακολουθεί το μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης αρχικά καταταμούνται σε ομοιογενή τμήματα και στην συνέχεια αυτά ομαδοποιούνται (βλ. παράδειγμα του Σχήματος 2).



Σχήμα 1. Ένα υποσύνολο των δεδομένων ταξινομήθηκε σε τέσσερις ομάδες διαφορετικής πολυπλοκότητας που μπορούν να χαρακτηριστούν ως α. ομαλές, β. ομαλές με μια βασική καμπυλότητα, γ. ημιτονοειδείς και δ. πολύ ημιτονοειδείς.

2.2 Εκτίμηση της ποιότητας της γενίκευσης και προσδιορισμός της βέλτιστης πρακτικής

Η ψηφιακή χαρτογραφική γενίκευση των γραμμικών οντοτήτων εφαρμόζεται με μια σειρά μετασχηματισμών όπως η απλοποίηση, η εξομάλυνση κ.α. Οι μετασχηματισμοί αυτοί απαλείφουν ή μετακινούν τις κορυφές που ορίζουν μια γραμμική οντότητα με αποτέλεσμα να αλλάζει η μορφή και η οριζοντιογραφική θέση. Η έρευνα για την αυτοματοποίηση της γενίκευσης συνδέεται με την εκτίμηση της ποιότητας του αποτελέσματος προκειμένου να είναι δυνατή η επιλογή ή η απόρριψη μιας λύσης. Η εκτίμηση της ποιότητας της γενίκευσης των γραμμικών χαρτογραφικών οντοτήτων απαιτεί την ποσοτική περιγραφή της οριζοντιογραφικής θέσης και της μορφής.

Η μορφή της γραμμής στην αρχική και τη γενικευμένη της κατάσταση μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση της παραπάνω ομάδας μέτρων. Επιπλέον η μεταβολή του σχήματος της γενικευμένης γραμμής σε σχέση με το αρχικό μπορεί να περιγραφεί με την παραπάνω ομάδα μέτρων. Κατά τη διαδικασία της Ανάλυσης Ομάδων, η «απόσταση» ανάμεσα σε δύο γραμμές στο χώρο που δημιουργούν τα μέτρα περιγραφής της μορφής προσδιορίζει την ύπαρξη ομοιότητας ή μη. Αντίστοιχα η «απόσταση» ανάμεσα στην αρχική και τη γενικευμένη γραμμή περιγράφει τη μεταβολή του σχήματος. Πρόκειται για μια ποσοτική περιγραφή της μεταβολής του σχήματος λόγω του μετασχηματισμού της γενίκευσης, απαραίτητη για την αντικειμενική εκτίμηση του αποτελέσματος της γενίκευσης.

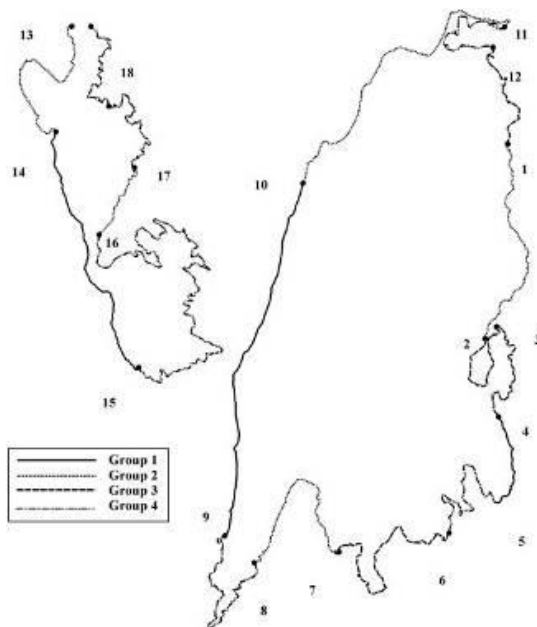
Πέρα από τη επίδραση στη μορφή των γραμμικών οντοτήτων, η χαρτογραφική γενίκευση επιδρά και στη οριζοντιογραφική θέση. Η εκτίμηση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης πραγματοποιείται με μέτρα που έχουν διατυπωθεί στη βιβλιογραφία, όπως η Μέση Ευκλείδεια απόσταση από τη γραμμή υπό έλεγχο προς τη γραμμή αναφοράς και αντίστροφα, η Απόσταση Hausdorff, ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας ανάμεσα στη γραμμή υπό έλεγχο και τη γραμμή αναφοράς προς το μήκος της γραμμής αναφοράς κ.α. (Abbas et al., 1995; McMaster, 1987).

Η δυνατότητα περιγραφής της οριζοντιογραφικής θέσης και της μορφής των γραμμικών χαρτογραφικών οντοτήτων καθώς και της μεταβολής τους με αναλυτικό τρόπο, επιτρέπει την εξαγωγή γνώσης για τα αποτελέσματα της χαρτογραφικής γενίκευσης. Σε υπάρχουσες μελέτες (Σκοπελίτη, 2001; Skopeliti and Tsoulos, 2001a; Skopeliti and Tsoulos, 2001b), έχει αποδειχθεί ότι τα παραπάνω μέτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή της ποιότητας των αποτελεσμάτων της γενίκευσης και τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης. Μέσω πειραματισμού με εναλλακτικές στρατηγικές γενίκευσης που ορίζονται από τους τελεστές γενίκευσης, τους αλγόριθμους και τις τιμές των παραμέτρων η βέλτιστη λύση για κάθε ομάδα γραμμών μπορεί να εντοπιστεί. Μια λύση γενίκευσης θεωρείται βέλτιστη όταν ένας αριθμός κριτηρίων και περιορισμών που προτείνεται από τον χαρτογράφο ικανοποιούνται. Για παράδειγμα η διατήρηση της ποικιλίας των σχημάτων, η διατήρηση των χαρακτηριστικών των αρχικών γραμμών, ο κατάλληλος βαθμός γενίκευσης για την νέα κλίμακα, η ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης του σχήματος και του σφάλματος οριζοντιογραφικής θέσης κ.α. Η βέλτιστη λύση που επιλέγεται από το χαρτογράφο συγκροτεί διαδικαστική γνώση για την γενίκευση των γραμμικών οντοτήτων. Η γνώση που προκύπτει από την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων γενίκευσης και την επιλογή της βέλτιστης λύσης μπορεί να αποθηκευτεί στη βάση δεδομένων με βάση το μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών δεδομένων.

Όταν τα γενικευμένα δεδομένα μεταφέρονται μέσω μιας υπηρεσίας του διαδικτύου ως δεδομένα ή στη μορφή χάρτη, ο χρήστης θα πρέπει να είναι ενήμερος για την ποιότητα τους. Επομένως η διανομή διανυσματικών γεωγραφικών δεδομένων μέσω μιας υπηρεσίας τους διαδικτύου που έχουν υποστεί γενίκευση θα πρέπει να υποστηρίζεται από μετα-δεδομένα για την ακρίβεια. Αυτό επιτυγχάνεται με την καταγραφή της μεταβολής της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης μαζί με τη γενικευμένη γραμμή, βάσει των μεγεθών που προαναφέρθηκαν.

Πίνακας 1 Παράδειγμα των περιορισμών σε επίπεδο μεμονωμένων γραμμών, των μέτρων που χρησιμοποιούνται ως εργαλεία εκτίμησης και των συνθηκών που ελέγχονται.

Περιορισμός	Μέτρο	Συνθήκη
Διατήρηση της ποικιλίας στη μορφή	Ο αριθμός των ομάδων στην ιεραρχική ταξινόμηση με την Ανάλυση Ομάδων	Ο αριθμός των ομάδων στην ιεραρχική ταξινόμηση ισούται με τον αριθμό των ομάδων των αρχικών γραμμών
Διατήρηση της συνολικής πολυπλοκότητας	Ο αριθμός των ομάδων στην μη - ιεραρχική ταξινόμηση με την Ανάλυση Ομάδων	Ο αριθμός των ομάδων στην μη - ιεραρχική ταξινόμηση ε ισούται με τον αριθμό των ομάδων των αρχικών γραμμών
Ελαχιστοποίηση της παραμόρφωσης της μορφής	Μέση μεταβολή της μορφής	Οι τιμές της μέσης μεταβολής της μορφής είναι μικρές
Ελαχιστοποίηση του σφάλματος της οριζοντιογραφικής θέσης	Μέση μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης	Οι τιμές της μέσης μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης είναι μικρότερες της διακριτικής ικανότητας του ματιού στην κλίμακα απόδοσης



Σχήμα 2. Κατάμηση της ακτογραμμής και ομαδοποίηση ανάλογα με την πολυπλοκότητα της μορφής σε τέσσερις ομάδες: «πολύ ομαλές» (group 1), «ομαλές» (group 2), «ημιτονοειδείς» (group 3) και «πολύ ημιτονοειδείς» (group 4).

Η αξιοποίηση των παραπάνω μεθοδολογιών δημιουργεί το μοντέλο εμπλουτισμένης καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης. Το μοντέλο αυτό συντίθεται από τα παρακάτω στοιχεία: α. Περιγραφή της μορφής: επιτυγχάνεται από μια ομάδα επιλεγμένων μέτρων και επιτρέπει την ταξινόμηση των γραμμών ανάλογα με τη μορφή τους σε ομάδες διαφορετικής πολυπλοκότητας π.χ. ομαλές, ημιτονοειδείς κ.α., β. Ποσοτική περιγραφή του αποτελέσματος της γενίκευσης: μέτρα περιγράφουν την αλλαγή του σχήματος και την οριζοντιογραφική θέσης ανάμεσα στην αρχική και γενικευμένη γραμμή. Τα μέτρα αυτά σε συνεργασία με τους περιορισμούς που θα πρέπει να ικανοποιεί το τελικό αποτέλεσμα επιτρέπουν την εκτίμηση της ποιότητας, γ. Διαδικαστική γνώση για τη γενίκευση: μέσω της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της γενίκευσης η βέλτιστη λύση προτείνεται για κάθε ομάδα γραμμών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους και δ. Καταγραφή της ακρίβειας θέσης που αναλύεται στην οριζοντιογραφική ακρίβεια και στην ακρίβεια του σχήματος ως μετα-δεδομένα μαζί με τα γενικευμένα δεδομένα.

Η παραπάνω διαδικασία αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της γενίκευσης χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης στην ακόλουθη μελέτη (Skopeliti and Tsoulos, 2001b). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι η ακτογραμμή της Λευκάδας και της Ιθάκης. Τα δεδομένα έχουν κλίμακα αναφοράς 1:100 000 και ζητείται η απόδοση τους σε κλίμακα 1: 500 000. Ο τελεστής που θα εφαρμοστεί είναι η απλοποίηση. Η ποιότητα του αποτελέσματος κρίνεται από την ικανοποίηση μιας ομάδας περιορισμών σε επίπεδο μεμονωμένης γραμμής. Σε πρώτο στάδιο εφαρμόζεται η διαδικασία αυτόματης αναγνώρισης της δομής και η ακτογραμμή κατατμείται σε ομοιογενή τμήματα (Σχήμα 2). Στη συνέχεια η ομάδα μέτρων υπολογίζεται για κάθε γραμμή και ακολουθεί η ομαδοποίηση τους. Το πλήθος των ομάδων και η σύσταση των ομάδων προκύπτει από την εφαρμογή της στατιστικής μεθόδου της Ανάλυσης Ομάδων χωρίς την επέμβαση του χαρτογράφου (Σχήμα 2). Η ακτογραμμή των δύο νησιών κατατμείται σε δεκαοκτώ τμήματα (18) τα οποία ταξινομούνται

σε τέσσερις ομάδες διαφορετικής πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζονται λεκτικά από τον χαρτογράφο εκ των υστέρων ως «πολύ ομαλές» (VSM - group 1), «ομαλές» (SM- group 2), «ημιτονοειδείς» (SIN- group 3) και ««πολύ ημιτονοειδείς» (VSIN- group 4). Για την εφαρμογή της απλοποίησης διατίθενται οι ακόλουθοι αλγόριθμοι: ο συνολικός αλγόριθμος των Douglas Peucker, οι τοπικοί αλγόριθμοι των Reuman – Witkam, του Lang και της Ευκλείδειας απόστασης και ένας αλγόριθμος που αναγνωρίζει τη δομή Bendsimplify (ESRI ARC/INFO) (BS). Η τιμή της παραμέτρου ανοχής κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων ισούται με τη διακριτική ικανότητα του ματιού (0.25 mm) στη νέα κλίμακα. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς από τη διεθνή βιβλιογραφία (ένα υποσύνολο τους παρουσιάζεται στον Πίνακα 1) που πρέπει να ικανοποιούν οι γραμμικές οντότητες μετά τη γενίκευση σε επίπεδο μεμονωμένης οντότητας, τα μέτρα που προκύπτουν από τη μεθοδολογία περιγραφής της μεταβολής της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης μετατρέπονται σε εργαλεία εκτίμησης καθώς ελέγχουν την ικανοποίηση ή μη κάποιων συνθηκών που περιγράφουν την ποιότητα του αποτελέσματος της γενίκευσης. Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν τη βαθμολόγηση κάθε μιας από τις παραπάνω εναλλακτικές λύσεις απλοποίησης κάθε φορά που ικανοποιείται μια επιθυμητή συνθήκη. Στη συνέχεια επιλέγεται η βέλτιστη πρακτική σε επίπεδο αλγορίθμου για κάθε ομάδα γραμμών, δηλαδή εκείνη που έλαβε τη μεγαλύτερη βαθμολογία. Αυτή την πληροφορία της βέλτιστης πρακτικής σε επίπεδο ομάδας γραμμών καθώς και τη μεταβολή της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης σε επίπεδο γραμμής μεταφέρει το προτεινόμενο μοντέλο. Στη συγκεκριμένη μελέτη βέλτιστα κρίθηκαν βάσει της βαθμολογίας τα αποτελέσματα του αλγορίθμου Bendsimplify για όλες τις ομάδες γραμμών.

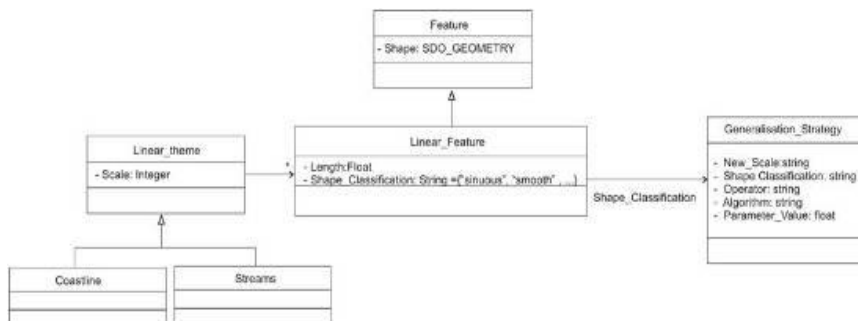
3. Σχήμα καταγραφής στη βάση δεδομένων και μεταφοράς των δεδομένων στο διαδίκτυο

Ο σχεδιασμός της γεωγραφικής βάσης δεδομένων βασίζεται στο μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης. Οι γραμμικές οντότητες ενός θεματικού επιπέδου π.χ. ακτογραμμή αποτελούνται από ομοιογενή τμήματα μετά από την κατάτμηση των αρχικών δεδομένων, είναι ταξινομημένες ανάλογα με τη μορφή τους και συνοδεύονται από τη διαδικαστική γνώση για τη βέλτιστη γενίκευση.

Η χωρική βάση δεδομένων υλοποιείται στην Oracle 9i, που είναι ένα αντικειμενοστραφές και σχεσιακό περιβάλλον διαχείρισης βάσης δεδομένων (DBMS). Στην Oracle 9i το μοντέλο των δεδομένων περιλαμβάνει τον τύπο SDO_GEOMETRY που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της γεωμετρίας των οντοτήτων. Η γεωμετρία αποθηκεύεται βάσει των «απλών οντοτήτων» της κοινοπραξίας OGC. Τα πρότυπα αυτά χρησιμοποιούνται και από την GML. Η συμβατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα επιθυμητή καθώς η γεωγραφική βάση δεδομένων αναπτύσσεται για να τροφοδοτεί την καταγραφή των δεδομένων σε μορφή GML. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα της Oracle να επικοινωνεί με Σ.Γ.Π. όπως το Arc/Info (ESRI). Αυτό διευκολύνει τη διαχείριση των δεδομένων στη βάση και την επεξεργασία της γεωμετρίας.

Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται το διάγραμμα τάξεων UML της γεωγραφικής βάσης δεδομένων. Τα στοιχεία κάθε γραμμικής οντότητας καταγράφονται κατατεμημένα σε ομοιογενή τμήματα. Το πεδίο "Shape_Classification" (Ταξινόμηση Μορφής) καταγράφει την πληροφορία βάσει της οποίας κάθε τμήμα ταξινομείται σε μια ομάδα γραμμών παρόμοιας μορφής π.χ. ομαλή, ημιτονοειδείς κ.α. Ένας επιπλέον πίνακας "Generalisation Strategy" (Τακτική γενίκευσης) καταγράφει τη διαδικαστική γνώση για κάθε ομάδα γραμμών ανάλογα με την κλίμακα του νέου χάρτη (πεδίο "New_Scale"). Στο πεδίο "Operator" αποθηκεύεται για κάθε ομάδα γραμμών ο τελεστής γενίκευσης π.χ. απλοποίηση, εξομάλυνση κ.α., στο πεδίο "Algorithm" (Αλγόριθμος) ο προτεινόμενος αλγόριθμος π.χ. Douglas – Peucker, Lang κ.α. και στο πεδίο "Parameter" (Παράμετρος) η τιμή της παραμέτρου εφαρμογής του αλγορίθμου. Η σύνδεση με το βασικό πίνακα της γεωμετρίας γίνεται με βάσει το κοινό πεδίο "Shape_Classification".

Όταν ο χρήστης υποβάλει ένα ερώτημα ανάκτησης δεδομένων από την βάση δεδομένων για απόδοση σε νέα μικρότερη κλίμακα, τα δεδομένα θα πρέπει να γενικευτούν. Με βάση τη νέα κλίμακα απόδοσης και χρησιμοποιώντας την πληροφορία που αποθηκεύεται στον πίνακα "Generalisation Strategy" σε κάθε ομάδα γραμμών διαφορετικής μορφής εφαρμόζεται ο κατάλληλος τελεστής γενίκευσης, ο αντίστοιχος αλγόριθμος και τιμή της παραμέτρου εφαρμογής. Παράλληλα υπολογίζεται βάσει των παραπάνω μεθοδολογιών η μεταβολή της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης της κάθε γραμμής. Η πληροφορία αυτή ως μεταδεδομένο ποιότητας συνοδεύει τη γενικευμένη γραμμή.

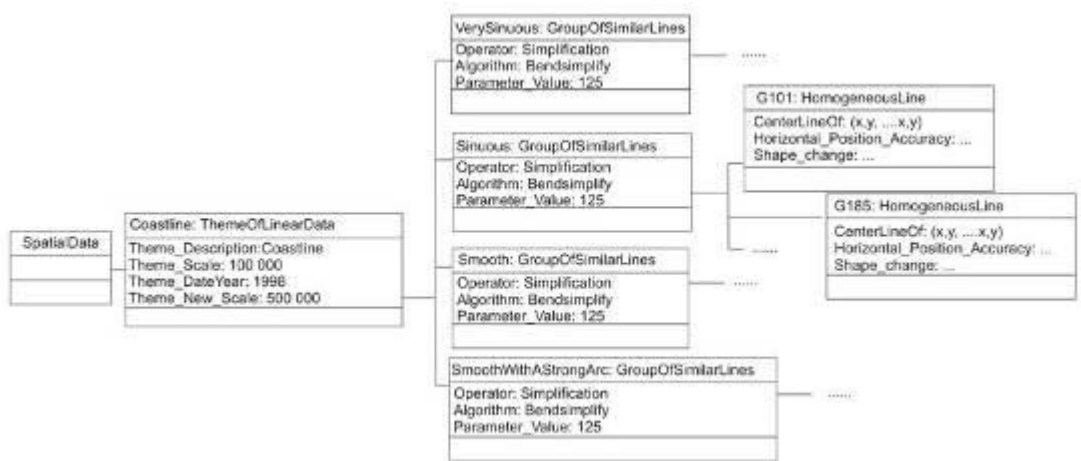


Σχήμα 3. Διάγραμμα τάξεων UML της γεωγραφικής βάσης δεδομένων (γραμμικές οντότητες).

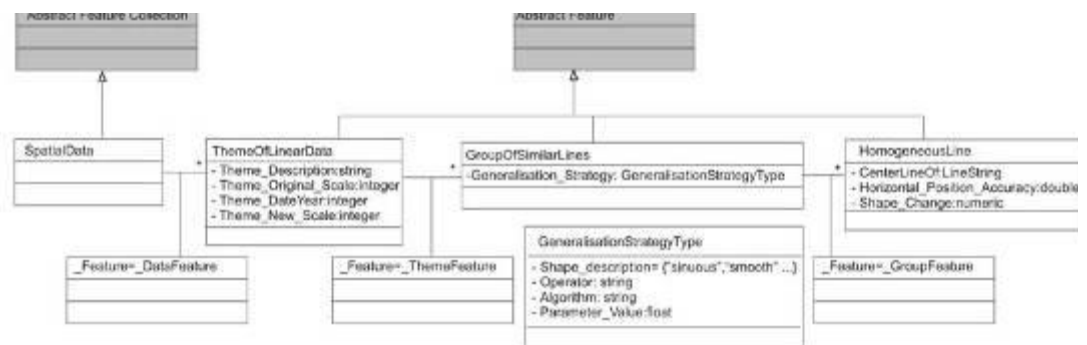
Για την καταγραφή και τη μεταφορά των γεωγραφικών δεδομένων στο διαδίκτυο στα πλαίσια της υπηρεσίας δυναμικής γενίκευσης, το μοντέλο εμπλουτισμένης ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων υλοποιείται με ένα σχήμα εφαρμογής (application schema) της GML. Η GML (Geography Markup Language - Γεωγραφική Επεκτάσιμη Γλώσσα Σήμανσης) είναι πρότυπο της OGC. Πρόκειται για ένα σχήμα XML (eXtensible Markup Language) για την καταγραφή και τη μεταφορά της γεωγραφικής πληροφορίας συμπεριλαμβάνοντας τις χωρικές και τις μη-χωρικές ιδιότητες των γεωγραφικών οντοτήτων. Βασίζεται στην αρχή ότι τα δεδομένα καταγράφονται ανεξάρτητα από την απόδοσή τους. Στηρίζεται στο μοντέλο για τα γεωγραφικά δεδομένα του OGC (OGC Abstract Specification). Ένα σχήμα εφαρμογής δηλώνει τις οντότητες και τις ιδιότητες τους που αφορούν τη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιώντας αυτούσια στοιχεία και τύπους από τα τυπικά σχήματα της GML ή με τον ορισμό νέων βάσει αυτών.

Το Σχήμα 4 παρουσιάζει το UML διάγραμμα τάξεων του σχήματος εφαρμογής της GML. Η πρώτη τάξη σε αυτό το μοντέλο είναι το root element, που είναι το στοιχείο που περιβάλλει όλα τα άλλα στοιχεία. Η τάξη αυτή καλείται SpatialData και είναι τύπου Abstract Feature Collection. Η δεύτερη τάξη καλείται ThemeOfLinearData, είναι τύπου Abstract Feature, και αντιστοιχεί σε κάθε γεωγραφικό θεματικό επίπεδο που χρησιμοποιεί γραμμικά δεδομένα για την καταγραφή του π.χ. ακτογραμμή, υδρογραφικό δίκτυο κ.α. Η τάξη αυτή έχει τις ιδιότητες theme_description, theme_scale και theme_date που αντίστοιχα χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύσουν μια σύντομη περιγραφή του θεματικού επιπέδου, την κλίμακα και την ημερομηνία συλλογής. Μια άλλη τάξη είναι η GroupOfSimilarLines που είναι τύπου AbstractFeature. Η τάξη αυτή χρησιμοποιείται για να καταγράψει ένα σύνολο τμημάτων με παρόμοια μορφή. Από την τάξη αυτή δημιουργούνται μια σειρά στιγμές που αντιπροσωπεύουν μια ομάδα γραμμών με συγκεκριμένη μορφή π.χ. ομαλή, ημιτονοειδείς κ.α. όπως φαίνεται και στο διάγραμμα με αντικειμένων UML (Σχήμα 4). Η τάξη αυτή έχει μια σύνθετη ιδιότητα που καλείται GeneralizationStrategy και περιλαμβάνει πληροφορίες για τη γενίκευση αυτής της ομάδας γραμμών, δηλαδή τον τελεστή γενίκευσης, τον αλγόριθμο και τις τιμές των παραμέτρων που χρειάζονται από τον αλγόριθμο. Η τελευταία τάξη είναι η HomogeneousLine, που είναι τύπου Abstractfeature και καταγράφει τη γεωμετρία

χρησιμοποιώντας το στοιχείο `gml:centerLineOf:LineString`. Επιπλέον δύο ιδιότητες χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ακρίβεια θέσης: η ιδιότητα `HorizontalPositionAccuracy` που αποθηκεύει την τιμή του μέτρου που προσδιορίζει τη μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης και η ιδιότητα `ShapeChange` που αποθηκεύει την τιμή του μέτρου που προσδιορίζει τη μεταβολή της μορφής ανάμεσα στην αρχική και τη γενικευμένη γραμμή. Για τη καλύτερη κατανόηση πέρα από το διάγραμμα UML των τάξεων (Σχήμα 3), παρατίθεται και ένα διάγραμμα αντικειμένων UML που δείχνει τις στιγμές των τάξεων (Σχήμα 5) όπως διαμορφώνεται για την προαναφερθείσα μελέτη.



Σχήμα 5. Διάγραμμα αντικειμένων UML του σχήματος εφαρμογής της GML που απεικονίζει στιγμές των τάξεων σύμφωνα με το ενισχυμένο μοντέλο των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης.



Σχήμα 4. Διάγραμμα τάξεων UML του σχήματος εφαρμογής της GML σύμφωνα με το ενισχυμένο μοντέλο των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης.

4. Επίλογος

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει το εμπλουτισμένο μοντέλο ψηφιακής καταγραφής των γραμμικών οντοτήτων για την υποστήριξη της γενίκευσης που βασίζεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά: οι γραμμικές οντότητες κατατμούνται σε ομοιογενή τμήματα, τα ομοιογενή

τμήματα ταξινομούνται σε ομάδες ανάλογα με τη μορφή τους και για κάθε ομάδα γραμμών παρέχεται διαδικαστική γνώση για τη βέλτιστο σενάριο γενίκευσης. Ειδικά μέτρα περιγράφουν τη μεταβολή του σχήματος και της οριζοντιογραφικής θέσης ανάμεσα στην αρχική και στη γενικευμένη γραμμή. Το εμπλουτισμένο μοντέλο γραμμικών δεδομένων μπορεί να υποστηρίξει μια υπηρεσία γενίκευσης σε πραγματικό χρόνο για τη δυναμική παραγωγή χαρτών στο διαδίκτυο. Η δυνατότητα υλοποίησης του μοντέλου καταγραφής για τη μεταφορά δεδομένων στο διαδίκτυο παρουσιάζεται βάσει της GML. Η χαρτογραφική έρευνα θα πρέπει να εστιάσει στον εμπλουτισμό της διαδικαστικής γνώσης για τη γενίκευση για την υποστήριξη ενός τέτοιου συστήματος, όσον αφορά τη σχέση της αρχικής με τη νέα κλίμακα απόδοσης, όλους τους τελεστές που αφορούν τις γραμμικές οντότητες αλλά και τα άλλα γεωγραφικά δεδομένα.

Βιβλιογραφία

Σκοπελίτη Α., 2001: Αναγνώριση, Εκτίμηση και Συμπεριφορά του Σφάλματος στις Βάσεις Χαρτογραφικών Δεδομένων, Διδακτορική διατριβή, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Abbas I., P. Grussenmeyer and P Hottier, 1995: Controle de la planimetrie d' une base de donnees vectorielles: une nouvelle methode basee sur la distance de Hausdorff: la methode du controle lineaire. Bul. S.F.T.P, 137 (1), 6-11.

Bernhardt M.C., 1992: Quantitative characterization of cartographic lines for generalization. Report No. 425, Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, Columbus, Ohio.

Burghardt D., M. Neun and R. Weibel, 2005: Generalization Services on the Web—Classification and an Initial Prototype Implementation. Cartography and Geographic Information Science, 32 (4), 257-268.

Buttenfield B., 1991: A rule for describing line feature geometry. In B. Buttenfield and R. McMaster, (Eds) Map generalization: Making rules for knowledge representation, U.K.: Longman Scientific, 150-171.

Cecconi A., 2003: Integration of Cartographic Generalisation and Multi-Scale Databases for Enhanced Web Mapping. PhD Thesis, University Zurich, Switzerland.

Geography Markup Language (GML), Version: 3.1.0, 2004. <http://www.opengeospatial.org/>

Jasinski M. J., 1990: The comparison of complexity measures for cartographic lines, NCGIA Report 90-1.

Jones, C. B., D. B. Kidner, L. Q. Luo, G. L. Bundy and J. M. Ware, 1996: Database, Design for a Multi-Scale Spatial Information System. International Journal of Geographic Information Systems, 10(8), 901-920.

Mandelbrot B., 1967: How long is the coast of Britain? Statistical self similarity and fractional dimension. Science, 156, 636-638.

McMaster R. B., 1986: A statistical analysis of mathematical measures for linear simplification. The American Cartographer, 13(2), 103-116.

Moktharian F. and A. K. Mackworth, 1986: Scale-based description and recognition of planar curves and two dimensional curves. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8, 34-43

Mustiere S., 1998: GALBE: Adaptive Generalization – The need for an adaptive process

for automated generalization, an example on roads. Proceedings of GIS' Planet 1, Lisbon, Portugal.

Plazanet C., J. G Affholder and E. Fritsh, 1995: The importance of geometric modelling in linear feature generalization. Cartography and Geographic Information Systems, 22(4), 291-305.

Reichenbacher T., 1995: Knowledge acquisition in map generalization using interactive systems and machine learning. ICA '95, Barcelona, Spain, 2221-2230.

Ruas A., 1999: **Modèle de généralisation de données géographiques a base de contraintes et d`autonomie. Ph.D. thesis, Université de Marne la Vallée, Paris.**

Skopeliti A. and L. Tsoulos, 1999: On the Parametric Description of the Shape of the Cartographic Line, Cartographica, 36 (3), 57-69

Skopeliti A. and L. Tsoulos, 2001a: A Methodology for the Assessment of Generalization Accuracy, Fourth Workshop on Progress in Automated Map Generalization, Beijing, China

Skopeliti A. and L. Tsoulos, 2001b: A knowledge - based approach for the cartographic generalization of linear features, 20th International Cartographic Conference, Beijing, China, 1903 - 1913.

Skopeliti A. and L. Tsoulos, 2005: A model for the Generalisation and Transfer of Linear Features over the Web, International Hydrographic Review, 6(2), 30-44