



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ**

«ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ  
ΦΥΣΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ  
ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΑΡΧΕΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ»

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ  
ΕΜΠ 2008

**ΑΘΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011**





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ**

«ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ  
ΦΥΣΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ  
ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΑΡΧΕΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ»

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ  
ΕΜΠ 2008

**ΑΘΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2011**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ  
ΕΜΠ 2008**

**ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

**1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:**

**1.1 Τίτλος:**

«Χαρτογραφική γενίκευση φυσικών γραμμικών οντοτήτων βασισμένη σε αρχές οπτικής αντίληψης»

**1.2 Θεματική Επιτροπή:**

Επιστήμη Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

**1.3 Επιστημονικές Περιοχές:**

α) Κύρια : Γεωδαιτική Χαρτογραφία

β) Δευτερεύουσα : Αλγόριθμοι

**2. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΕΡΓΟΥ:**

**2.1 Ονοματεπώνυμο:** Βύρωνας Νάκος

**2.2 Βαθμίδα & σχέση εργασίας:** Καθηγητής, Μέλος Δ.Ε.Π.

**2.3 Σχολή Ε.Μ.Π.:** Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

**2.4 Επικοινωνία:**

**Τηλ.:** 210-7722733    **Fax:** 210-7722734    **e-mail:** bnakos@central.ntua.gr

**3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΔΙΑΡΚΕΙΑ:**

**3.1 Συνολικό κόστος έργου:** 15.000,00 €

**3.2 Χρονική διάρκεια έργου:** 24 μήνες

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	2
1.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	2
1.2 Στόχοι της έρευνας	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	8
Μέθοδος κατάτμησης χαρτογραφικών γραμμών	8
2.1 Θεωρητική αναφορά	8
2.2 Κατηγορίες ε-τμημάτων	9
2.3 Ορισμός διαμέτρου εφαρμογής ε	10
2.4 Υλοποίηση της τεχνικής του κυλιόμενου δίσκου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή	11
2.4.1 Βασική αρχή και περιβάλλον υλοποίησης	11
2.4.2 Εντοπισμός, φιλτράρισμα και συγχώνευση ε-μη-κυρτών τμημάτων και εντοπισμός ε-κυρτών τμημάτων.	12
2.4.3 Διαχωρισμός ε-μη-κυρτών τμημάτων σε κατηγορίες	14
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	16
Επεξεργασία ε-τμημάτων	16
3.1 Εξομάλυνση ε-τμημάτων	16
3.1.1 Θεωρητική αναφορά	16
3.1.2 Τελεστής εξομάλυνσης Gauss	16
3.2 Γενίκευση ε-τμημάτων	17
3.2.1 Γενίκευση μονόπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων (Κατηγορία Α)	17
3.2.1.1 Εξομάλυνση και εντοπισμός χαρακτηριστικών σημείων	17
3.2.1.2 Διόγκωση	18
3.2.1.3 Ομοπαράλληλος μετασχηματισμός	19
3.2.1.3.1 Αναγκαιότητα εφαρμογής ομοπαράλληλου μετασχηματισμού	19
3.2.1.3.2 Γενικές αρχές ομοπαράλληλου μετασχηματισμού	19
3.2.2 Γενίκευση αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων (Κατηγορία Β)	20
3.2.2.1 Εντοπισμός καμπών κατά μήκος των αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων	21
3.2.2.2 Απλοποίηση αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων	22
3.2.2.3 Επιλογή προς διατήρηση/αφαίρεση καμπών	23
3.2.2.4 Μετεπεξεργασία καμπών	24
3.2.3 Γενίκευση τμημάτων σύγκλισης (Κατηγορία Γ)	26
3.2.3.1 Ιδιότητες περιοχής σύγκλισης	26
3.2.3.2 Επεξεργασία περιοχής και τμημάτων σύγκλισης	28
3.2.3.3 Συμπύεση τμήματος σύγκλισης	31
3.2.4 Γενίκευση ε-κυρτών τμημάτων (Κατηγορία Δ)	33
3.3 Συνένωση γενικευμένων ε-τμημάτων - Δημιουργία γενικευμένης γραμμής	33
3.4 Ποσοτικές ιδιότητες	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	35
Πιλοτική εφαρμογή	35
4.1 Αρχείο αναφοράς	35
4.2 Κατάτμηση ακτογραμμής νήσου Περιστέρα	35
4.3 Γενίκευση ε-τμημάτων	37

4.3.1	Γενίκευση μονόπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων	37
4.3.2	Γενίκευση αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων	38
4.3.3	Γενίκευση τμημάτων σύγκλισης	40
4.3.4	Γενίκευση ε-κυρτών τμημάτων	42
4.4	Συνένωση και εξομάλυνση γενικευμένων ε-τμημάτων	43
4.5	Αξιολόγηση αποτελέσματος	44
	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	49
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	52
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b>	
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</b>	

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα έρευνα εστιάζεται στο πεδίο της γενίκευσης ψηφιακών χαρτογραφικών γραμμών. Ειδικότερα, εισάγεται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία γενίκευσης φυσικών γραμμικών οντοτήτων. Στο πρώτο στάδιο του έργου, παρουσιάζεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των σημαντικότερων μελετών που έχουν εκπονηθεί πάνω στο αντικείμενο και επιχειρείται μια κριτική των θεωρητικών αρχών και των εμπειρικών ερευνών, ώστε να τεκμηριωθεί το θεωρητικό υπόβαθρο της έρευνας. Στη συνέχεια, αναπτύσσεται η προτεινόμενη τεχνική γενίκευσης, η οποία στηρίζεται στο εννοιολογικό πλαίσιο 'κατάτμηση-χαρακτηρισμός-γενίκευση μέσω κατάλληλου τελεστή', που αποτελεί ερευνητικό άξονα στη σύγχρονη χαρτογραφία.

Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται μία μέθοδος κατάτμησης των γραμμών σε ομοιογενή τμήματα, η οποία βασίζεται σε αρχές οπτικής αντίληψης. Στη συνέχεια, θεσπίζονται παράμετροι χαρακτηρισμού των τμημάτων που προκύπτουν (ε-τμήματα, όπως ονομάζονται). Ορίζονται τέσσερις κατηγορίες ε-τμημάτων, στις οποίες αυτά εντάσσονται ανάλογα τη μορφή και τον τρόπο δημιουργίας τους και παράλληλα, καθορίζονται και υπολογίζονται ποσοτικά μέτρα που τα χαρακτηρίζουν. Για κάθε κατηγορία, προτείνονται τελεστές γενίκευσης (απλοποίηση, διόγκωση, μεγέθυνση, συγχώνευση κτλ.) που κρίνονται απαραίτητοι για τη γενίκευση των ε-τμημάτων και σχεδιάζονται οι αλγόριθμοι εφαρμογής τους. Οι επιμέρους διεργασίες επεξεργασίας των γραμμών κωδικοποιούνται, αλληλοσυνδέονται και ενσωματώνονται σε κατάλληλο λογισμικό περιβάλλον, ώστε να δημιουργηθεί μία ενιαία πλατφόρμα υλοποίησης των τεχνικών. Ο σχεδιασμός της μεθόδου πραγματοποιείται με άξονα την εφαρμογή της σε γραμμές που απεικονίζουν φυσικές οντότητες, οι οποίες, λόγω της πολυπλοκότητας και της τυχαίας μορφής τους, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον.

Στο πειραματικό στάδιο της έρευνας, η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόζεται πιλοτικά στην ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς - που ανήκει στο σύμπλεγμα των Σποράδων - κλίμακας 1:50.000, για ένα σενάριο γενίκευσης στο οποίο ο παράγωγος χάρτης είναι κλίμακας 1:1.000.000. Στόχος είναι ο έλεγχος της λειτουργικότητας των προτεινόμενων τεχνικών. Παράλληλα, αξιολογείται η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων τους, με κριτήριο τα ζητούμενα και το θεωρητικό υπόβαθρο του έργου, αλλά και σε σύγκριση με τρεις εκδοχές της ακτογραμμής στην παράγωγη κλίμακα που έχουν δημιουργηθεί μέσω διαφορετικών μεθοδολογιών.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ένας χάρτης αποτελεί προϊόν μεταφοράς και γραφικής αναπαράστασης του πραγματικού κόσμου στα περιορισμένα όρια ενός χαρτιού ή μιας οθόνης υπολογιστή. Ο χαρτογράφος καλείται να επιλέξει από την εκάστοτε πρωτογενή πληροφορία που διαθέτει την κατάλληλη, ώστε να αποδώσει βέλτιστα το παραγόμενο γραφικό αποτέλεσμα. Γίνεται, λοιπόν, φανερό πως η γενίκευση, δηλαδή ‘η επιλεγμένη και απλοποιημένη αναπαράσταση των λεπτομερειών που είναι κατάλληλες ως προς την κλίμακα και το σκοπό του χάρτη’ (Διεθνής Χαρτογραφική Ένωση 1973), αποτελεί μία από τις κυρίαρχες έννοιες της χαρτογραφικής διαδικασίας. Ένα μεγάλο μέρος του ενδιαφέροντος στο πεδίο αυτό επικεντρώνεται στη γενίκευση γραμμικών οντοτήτων, αφού μέσω αυτών απεικονίζεται ο μεγαλύτερος όγκος χωρικών φαινομένων (π.χ. δρόμοι, ακτογραμμές, ποτάμια, σύνορα κτλ.).

Η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή χαρτογραφία δημιούργησε την ανάγκη, αλλά συγχρόνως και πρόσφορο έδαφος για αυτοματοποίηση της διαδικασίας γενίκευσης. Στην προσπάθεια αυτή, οι χαρτογράφοι καλούνται να διαχειριστούν και να δώσουν λύσεις σε δύο ζητούμενα. Το πρώτο έχει να κάνει με την καταγραφή και απόδοση των γραμμικών οντοτήτων μέσω διανυσματικών αναπαραστάσεων. Οι γεωμετρικές και φυσικές ιδιότητες συνεχών φαινομένων (καμπυλότητα, συνέχεια κτλ.), όπως είναι οι αναλογικές γραμμές, παύουν να υφίστανται στις διακριτές αναπαραστάσεις. Δημιουργείται, λοιπόν, η ανάγκη εύρεσης νέων μεθόδων ανάλυσης και επεξεργασίας των ψηφιακών γραμμών, βασισμένων σε νέα δεδομένα.

Το δεύτερο αφορά την ίδια την έννοια της γενίκευσης, η οποία θεωρείται από τις πιο πολύπλοκες της χαρτογραφικής παραγωγής. Σύμφωνα με τους Brassel και Weibel (1988), πρόκειται για μια διανοητική διαδικασία επεξεργασίας της πληροφορίας, η οποία περιλαμβάνει λειτουργίες όπως η σύγκριση, η διάκριση, ο συνδυασμός, η αναγνώριση σχέσεων, η τακτοποίηση, η αφαίρεση ή η απόδοση. Κατά τη χειροκίνητη γενίκευση ο χαρτογράφος επιδιώκει ένα γεωγραφικά ακριβές, αλλά και οπτικά ορθό αποτέλεσμα, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως ο βαθμός αλλαγής κλίμακας, ο σκοπός του χάρτη, αλλά και η μορφή και ο χαρακτήρας της γραμμής. Έτσι, ακολουθώντας μια ολιστική διαδικασία, με τη βοήθεια της οποίας εξετάζεται και αναλύεται η γραμμή τόσο σε τοπικό, όσο και σε γενικό επίπεδο και αξιολογείται το κατά το πόσο η διατήρηση, η τροποποίηση ή η αφαίρεση του κάθε χαρακτηριστικού της θα επηρεάσει τις γύρω θέσεις αλλά και ολόκληρη τη γραμμή. Η διεργασία αυτή λαμβάνει χώρα συνεχώς και επαναληπτικά κατά την πορεία ολοκλήρωσης της γενίκευσης. Γίνεται φανερό, εκτός των άλλων, πως η χειροκίνητη γενίκευση ενέχει μεγάλη δόση υποκειμενικότητας, αφού εξαρτάται κατά πολύ από τα λογικά και αισθητικά κριτήρια του χαρτογράφου.

Στην ψηφιακή χαρτογραφία, η έρευνα στο πεδίο της γενίκευσης εστιάζει στην εύρεση μεθόδων επεξεργασίας των γραμμών που αποδίδονται μέσω διακριτής δομής αρχείων, τεχνικών που θα προσομοιώνουν τις λειτουργίες της αντίστοιχης χειροκίνητης διαδικασίας, καθώς και μέτρων αποτίμησης της ορθότητας των αποτελεσμάτων. Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντάται ένα πλήθος μεθοδολογιών που σχετίζονται με τα παραπάνω θέματα. Οι περισσότερες, όμως, εστιάζουν στο πρόβλημα της απλοποίησης γραμμικών οντοτήτων. Με τον όρο ‘απλοποίηση’ νοείται η απαλοιφή σημείων της αρχικής γραμμής, ώστε αυτή να αποδοθεί στην παράγωγη κλίμακα. Έχει δημιουργηθεί



ένας μεγάλος αριθμός αλγορίθμων απλοποίησης, οι οποίοι ως επί τω πλείστων, χρησιμοποιούν γεωμετρικά κριτήρια, καθώς και περιορισμούς που τίθενται από τον χρήστη, για την επιλογή των σημείων που θα αφαιρεθούν και αυτών που θα διατηρηθούν στην απλοποιημένη γραμμή (McMaster 1987, Li 2007). Σημαντικότερος και ευρέως εφαρμοζόμενος αλγόριθμος απλοποίησης γραμμών είναι αυτός που έχει προταθεί από τους Douglas και Peucker (1973).

Η εγκυρότητα των αλγορίθμων απλοποίησης αποτελεί θέμα συζήτησης για τους χαρτογράφους. Ένα γενικό συμπέρασμα εστιάζει στο ότι δεν καλύπτουν από μόνοι τους τις απαιτήσεις για την παραγωγή ορθών χαρτών. Και τούτο οφείλεται στην ίδια τη δομή της λειτουργίας τους. Οι περισσότεροι, και πιο έγκυροι εξ αυτών, στηρίζονται στην ανάλυση της γεωμετρίας της γραμμής εφαρμόζοντας ένα γεωμετρικό κριτήριο σε όλο το εύρος της. Όμως, κάθε γραμμική οντότητα (ή ακόμα και θέσεις πάνω σε αυτή) έχει διαφορετική δομή και χαρακτήρα. Απαιτείται, λοιπόν, ανάλυσή της και επιλογή των προς διατήρηση σημείων μέσω κατάλληλου γεωμετρικού κριτηρίου ή συνδυασμού τέτοιων ανά περίπτωση και όχι μέσω ενός, προκαθορισμένου για το σύνολο της. Παράλληλα, η παρέμβαση του χρήστη μέσω του ορισμού της παραμέτρου περιορίζει την έννοια της αντικειμενικότητας που επιδιώκεται μέσω της αυτοματοποίησης της διαδικασίας γενίκευσης.

Η εν γένει αναποτελεσματικότητα των αλγορίθμων απλοποίησης και οι λόγοι από τους οποίους αυτή πηγάζει, άνοιξε νέους ορίζοντες στην έρευνα γύρω από τη γενίκευση. Ένα πρώτο συμπέρασμα είναι πως η απλοποίηση από μόνη της δεν ολοκληρώνει μια διαδικασία γενίκευσης. Αποτελεί έναν από τους τελεστές της. Σύμφωνα με τους McMaster και Shea (1992) και άλλες διεργασίες, όπως η εξομάλυνση, η μεγέθυνση, η ενίσχυση, η συγχώνευση και η μετάθεση ή κατά περίπτωση ο συνδυασμός αυτών, εμπεριέχονται στην έννοια της γενίκευσης. Αποτελούν άλλωστε ενέργειες που λαμβάνουν χώρα και στην αντίστοιχη χειροκίνητη διαδικασία. Η έρευνα, λοιπόν, οφείλει να εστιάσει στη δημιουργία ανάλογων τελεστών ή και μοντέλων γενίκευσης όπου αυτοί συνδυάζονται.

Παράλληλα, παρατηρείται πως οι υπάρχοντες αλγόριθμοι απλοποίησης παρέχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα εφαρμοζόμενοι σε ορισμένες γραμμές και μη αποδεκτά σε άλλες. Αλλά ακόμα και από την εφαρμογή τους στην ίδια γραμμή, η ποιότητα της απλοποίησης δεν είναι η ίδια σε όλες τις θέσεις. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αυτό οφείλεται στο γεγονός πως οι γραμμικές οντότητες έχουν ξεχωριστή δομή και χαρακτήρα. Για παράδειγμα, μια γραμμή που αναπαριστά ένα ποταμό ημιτονοειδούς μορφής έχει διαφορετική δομή από μία που αναπαριστά μια πολύπλοκη ακτογραμμή ή σε μια γραμμή που αναπαριστά ένα δρόμο που ξεκινά από μια πεδινή περιοχή και καταλήγει σε μια ορεινή, η δομή της μεταβάλλεται κατά μήκος της. Πάνω σε αυτό το πρόβλημα, η Buttenfield (1989) τονίζει πως οι χαρτογραφικές γραμμές 'συμπεριφέρονται' διαφορετικά κατά τη διαδικασία γενίκευσης, ανάλογα με τη μορφολογία και το χαρακτήρα τους. Τις διαχωρίζει σε εκείνες των οποίων η δομή μεταβάλλεται με την αλλαγή κλίμακας (εξαρτώμενες κλίμακας) και σε εκείνες που δεν μεταβάλλεται (ανεξάρτητες κλίμακας). Γίνεται, λοιπόν, φανερό πως δεν μπορεί να υπάρξει ένας γενικός κανόνας γύρω από τον τρόπο που πρέπει να γενικεύονται οι γραμμές.

Επιδιώκοντας να αντιμετωπισθούν τα παραπάνω προβλήματα, οι χαρτογράφοι οδηγήθηκαν στην ιδέα της προεπεξεργασίας των γραμμών πριν τη γενίκευσή τους. Πιο συγκεκριμένα, πρότειναν πως κάθε γραμμή θα πρέπει να μην αντιμετωπίζεται ενιαία, αλλά να κατατέμνεται βάσει χαρακτηριστικών της μορφής και της γεωμετρίας της. Η

διαδικασία της γενίκευσης θα λαμβάνει χώρα σε κάθε τμήμα με τον κατάλληλο τελεστή. Πάνω σε αυτή την ιδέα ο Dutton (1999, 36) αναφέρει πως 'χωρίζοντας τη γραμμή σε τμήματα, ώστε να είναι κάθε ένα από αυτά περισσότερο ομοιογενές, και εφαρμόζοντας κατάλληλους αλγορίθμους και παραμέτρους σε κάθε ένα τμήμα ανεξάρτητα, τα αποτελέσματα της γενίκευσης θα είναι καλύτερα'.

Η έρευνα τις τελευταίες δύο δεκαετίες πραγματοποιείται κάτω από το εννοιολογικό πλαίσιο της ανάλυσης και χαρακτηρισμού των γραμμικών οντοτήτων, την απομόνωση ομοιογενών τμημάτων και, τελικά, την εφαρμογή κατάλληλων κάθε φορά τελεστών γενίκευσης. Μια σειρά προτάσεων και εφαρμογών παρουσιάζεται στη διεθνή βιβλιογραφία. Οι Wang και Müller (1998) προτείνουν έναν αλγόριθμο γενίκευσης, στον οποίο θεωρούνται τμήματα της γραμμής οι καμπές (bends). Αυτές ορίζονται ως το σύνολο των διαδοχικών κορυφών της γραμμής που έχουν ομόσημη γωνία κάμψης (θετική ή αρνητική) και εμπεριέχονται μεταξύ δύο κορυφών αντίθετου προσήμου. Σε κάθε καμπή υπολογίζονται οι ποσοτικές ιδιότητες (μέγεθος και σχήμα) και ορίζονται οι σχέσεις με τις γειτονικές. Με βάση το χαρακτηρισμό αυτό, οι καμπές απαλείφονται ή διατηρούνται, ενώ οι τελευταίες παίρνουν την τελική μορφή τους μετά από εφαρμογή τελεστών απαλοιφής, συνδυασμού και μεγέθυνσης ή συνδυασμού αυτών όπου κρίνεται αναγκαίο.

Η Plazanet και οι συνεργάτες της (Plazanet et al. 1995) υποστηρίζουν πως για το σχεδιασμό ενός πλήρους εργαλείου γενίκευσης γραμμικών οντοτήτων είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός μοντέλου, το οποίο θα κατατέμνει τη γραμμή σε ομοιογενή και χαρακτηρισμένα τμήματα. Για κάθε κατηγορία θα πρέπει να καθορισθεί ο καταλληλότερος αλγόριθμος γενίκευσης. Έτσι, 'επιτυγχάνεται η τελική αρμονία αν η γραμμή γενικευθεί ανά τμήματα' (Plazanet et al. 1995, 305). Πάνω σε αυτή την ιδέα προτείνουν κανόνες χαρακτηρισμού των γραμμών. Αρχικά αναφέρουν πως κάθε γραμμή μπορεί να αναλυθεί σε τρία επίπεδα αντίληψης: το γενικό (αντιστοιχεί σε ολόκληρη τη γραμμή), το ενδιάμεσο (τμήμα της γραμμής) και το τοπικό (καμπή της γραμμής). Στη συνέχεια, προτείνουν τους κυματισμούς, την ομοιογένεια, την πυκνότητα και την πολυπλοκότητα ως κριτήρια χαρακτηρισμού. Αναπτύσσοντας τα κριτήρια αυτά στα τρία επίπεδα αντίληψης, καταλήγουν σε μια μέθοδο κατάτμησης των γραμμών η οποία, υπολογίζοντας και τις γεωμετρικές ιδιότητες των τμημάτων, μετατρέπεται σε ένα μοντέλο προεπεξεργασίας των γραμμών, ώστε αυτές να γενικευθούν σε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα.

Στηριζόμενος στην ιδέα κατάτμηση-χαρακτηρισμός-εφαρμογή κατάλληλου τελεστή, ο Mustière (2005) παρουσιάζει μια μεθοδολογία γενίκευσης γραμμικών οντοτήτων που αναπαριστούν οδικό δίκτυο. Μεταξύ άλλων, τονίζει πως θα ήταν χρήσιμο να βρεθούν εργαλεία τυποποίησης της περιγραφής του χώρου (spatial-analysis tools), τα οποία θα υποβοηθούν τις λειτουργίες των αλγορίθμων γενίκευσης. Στη μέθοδό του προτείνεται ένα κατάλληλο εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιεί την έννοια της ευαναγνωσιμότητας για να αποκόψει τμήματα (τα ονομάζει καμπές - bends) κατά μήκος των γραμμών. Ορίζει πως μια γραμμή είναι μη-ευανάγνωστη από τη μία ή και από τις δύο πλευρές της όταν ο άξονας της 'είναι μακριά' από τα όρια (εσωτερικά ή εξωτερικά) του συμβόλου απεικόνισής της και καθορίζει εμπειρικά την ανοχή. Με τη μέθοδο αυτή, κάθε γραμμή αποκόπτεται σε τμήματα που ανήκουν σε μία εκ των τριών κατηγοριών: 1) απομονωμένη καμπή, 2) αλληλουχία καμπών και 3) μικρές καμπές που αποτελούν θόρυβο. Τα τμήματα της γραμμής που ανήκουν σε κάθε μία από αυτές μεταβάλλονται διαφορετικά κατά τη διαδικασία γενίκευσης, ώστε να διατηρείται, τόσο η οριζοντιογραφική ακρίβεια, όσο και η ευαναγνωσιμότητα του τελικού προϊόντος. Ο Mustière (2005) καθορίζει πως: 1) οι απομονωμένες καμπές είναι αναγκαίο να

μεγεθύνονται. Για το λόγο αυτό εφαρμόζει τους τελεστές γενίκευσης *MinBreak* και *MaxBreak*. 2) σε περίπτωση αλληλουχίας καμπών, αυτή θα πρέπει είτε να μεγεθύνεται, είτε να της αφαιρούνται καμπές, μέσω των τελεστών *Accordion* και *Schematization*, ενώ, 3) οι μικρές καμπές θα πρέπει να εξομαλύνονται μέσω φίλτρων εξομάλυνσης *Gauss* ή *Plaster*. Η μέθοδος γενίκευσης χαρτογραφικών γραμμών ονομάζεται *GALBE* και αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα καθολικού μοντέλου γενίκευσης, βασισμένο στο εννοιολογικό πλαίσιο της σύγχρονης χαρτογραφικής έρευνας.

Το μοντέλο που παρουσιάζεται από τον Mustière (2005) έχει τις βάσεις του στο σύστημα γενίκευσης *PlaGe* που αναπτύχθηκε από την ομάδα του Lecordix (Lecordix et al. 1997). Στόχος της είναι η δημιουργία ενός διαδραστικού συστήματος, το οποίο παρέχει μεθόδους προεπεξεργασίας και ανάλυσης των γραμμών και κωδικοποιημένους τελεστές γενίκευσης, σε ένα περιβάλλον άμεσης πρόσβασης και οπτικοποίησης των εφαρμογών αυτών, ώστε ο χρήστης να παρεμβαίνει όποτε κρίνεται απαραίτητο. Αρχικά, εφαρμόστηκαν μέσω του συστήματος γνωστοί αλγόριθμοι απλοποίησης σε γραμμές που αναπαριστούν οδικό δίκτυο. Αξιολογώντας τα αποτελέσματα κατέληξαν στο συμπέρασμα πως υπάρχουν θέσεις όπου απαιτείται μεγέθυνση ή σμίκρυνση της παράγωγης γραμμής, όπως και θέσεις όπου η πολυπλοκότητα επιβάλει την εφαρμογή μιας σειράς αλγορίθμων και όχι μόνον ενός, διεργασίες που δεν καλύπτουν οι υπάρχοντες αλγόριθμοι. Καταλήγουν πως είναι απαραίτητη η κατάτμηση της γραμμής και η εφαρμογή διαφορετικών αλγορίθμων ή διαφορετικών τιμών ανοχών σε κάθε τμήμα. Για την κάλυψη των παραπάνω αναγκών οι Lecordix et al. (1997) εισάγουν στο σύστημα μια μέθοδο κατάτμησης γραμμών που στηρίζεται στα σημεία καμπής (inflection points) και μια σειρά τελεστών γενίκευσης (αλγόριθμοι *Lowe*, *Accordion*, *Balloon* και *Schematization*) που καλύπτουν τις διεργασίες μεγέθυνσης και σμίκρυνσης μεμονωμένων ή αλληλουχίας καμπών. Η τεχνική του συστήματος *PlaGe* περιλαμβάνει την επαναλαμβανόμενη κατάτμηση των γραμμών μέχρι να δημιουργηθούν ομοιογενή τμήματα, το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση αυτών μέσω των ποσοτικών τους ιδιοτήτων που υπολογίζονται και την εφαρμογή των απαραίτητων τελεστών γενίκευσης. Σε κάθε βήμα ο χρήστης μπορεί να παρεμβαίνει, ελέγχοντας και βελτιστοποιώντας το τελικό αποτέλεσμα. Θα μπορούσε να ειπωθεί πως σε ένα τέτοιο σύστημα, η υποκειμενική παρέμβαση του χρήστη δε συνάδει με την αντικειμενικότητα που προσδοκάται στην αυτοματοποιημένη γενίκευση. Στην πραγματικότητα, όμως, συμβαίνει το εντελώς αντίθετο. Ο χρήστης λαμβάνει αποφάσεις βάσει πληροφοριών που προκύπτουν μετά από επεξεργασία της γραμμής μέσω σειράς αντικειμενικών (γεωμετρικών, μαθηματικών κτλ.) κριτηρίων, που ουσιαστικά τον 'καθοδηγούν' στη λήψη των καλύτερων αποφάσεων. Οι χαρτογράφοι έχουν καταλήξει πως η βέλτιστη λύση στον τομέα της ψηφιακής γενίκευσης μπορεί να δοθεί μέσω διαδραστικών συστημάτων, στα οποία ο υπολογιστής θα δίνει πληροφορίες και ο άνθρωπος θα παίρνει τις τελικές αποφάσεις.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια νέα τεχνολογία στα πλαίσια της χαρτογραφικής γενίκευσης, που βρίσκει εφαρμογή και στη γενίκευση γραμμικών οντοτήτων. Ονομάζεται *Agent Project* (Automatic GEneralization New Technology) (Ruas & Duchêne 2007) και βασίζεται στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Σύμφωνα με τους Russell και Norvig (2003), agent είναι οποιαδήποτε οντότητα, η οποία μπορεί να αντιληφθεί το περιβάλλον της μέσω αισθητήρων και να ενεργήσει σε αυτό μέσω επιδραστών. Θεωρείται ότι κάθε ορθολογική οντότητα agent μπορεί να αντιληφθεί τις πράξεις της, οι οποίες λογίζονται ως ορθές. Ως 'ορθή' πράξη ορίζεται αυτή που προξενεί τα βέλτιστα αποτελέσματα. Στο πλαίσιο της χαρτογραφίας, κάθε χαρτογραφική οντότητα είναι αυτόνομη και αποτελεί agent. Χαρακτηρίζεται από

περιορισμούς (constraints) που περιγράφουν τις επιβεβλημένες τιμές ποσοτικών χαρακτηριστικών της (μέγεθος, απόσταση, πυκνότητα κτλ.) που απαιτούνται για την αναπαράστασή της. Σε περίπτωση που αυτές οι τιμές δεν είναι κατάλληλες, η οντότητα χρειάζεται να γενικευθεί. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα επαναληπτικά, εφαρμόζοντας τον κατάλληλο, μεταξύ ενός πλήθους τελεστών γενίκευσης. Κάθε φορά η ποιότητα του αποτελέσματος αξιολογείται, μέχρι να βρεθεί η βέλτιστη λύση, μέχρι δηλαδή, να καλυφθούν οι περιορισμοί που χαρακτηρίζουν την οντότητα. Οι Ruas και Duchêne (2007), ορίζουν τρεις κατηγορίες οντοτήτων: 1) τις οντότητες micro-agent, οι οποίες είναι υπεύθυνες αποκλειστικά για τη δική τους γενίκευση (π.χ. ένας δρόμος), 2) τις οντότητες meso-agent, που επηρεάζουν τη γενίκευση μιας ομάδας agent (π.χ. οδικό δίκτυο) και 3) τις οντότητες macro-agent που ελέγχουν ή επηρεάζουν τη γενίκευση ενός μεγάλου αριθμού agents. Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις, οι περιορισμοί (constraints) κάθε οντότητας εμπεριέχουν περιορισμούς και άλλων οντοτήτων, με αποτέλεσμα η διαδικασία να γίνεται αρκετά πιο πολύπλοκη. Το *Agent Project*, που συνοπτικά περιγράφηκε, είναι πρωτοποριακό, η έρευνα για την εξέλιξή του συνεχίζεται και αναμένεται να δημιουργήσει μια νέα πραγματικότητα στον τομέα της ψηφιακής χαρτογραφικής γενίκευσης.

## 1.2 Στόχοι της έρευνας

Στις μέρες μας, είναι κοινώς αποδεκτό στη χαρτογραφική κοινότητα, πως οι αλγόριθμοι απλοποίησης που συνήθως εφαρμόζονται για τη γενίκευση ψηφιακών γραμμών, δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις παραγωγής χαρτογραφικά και αισθητικά ορθών προϊόντων, αφού η δομή και η λειτουργία τους δεν υποστηρίζει μία τόσο σύνθετη διεργασία. Αντικείμενο έρευνας, πλέον, για τους χαρτογράφους είναι η δημιουργία αυτοματοποιημένων, καθολικών συστημάτων γενίκευσης, τα οποία θα προσομοιώνουν την αντίστοιχη χειροκίνητη διαδικασία. Για το λόγο αυτό, οι χαρτογράφοι επιδιώκουν να καταγράψουν τους κανόνες που τη διέπουν, να τους παραμετροποιήσουν και να δημιουργήσουν εργαλεία υλοποίησής τους, πάντα υπό τις δεσμεύσεις που η ψηφιακή αναπαράσταση των γραμμών θέτει. Μια βασική αρχή πάνω στην οποία στηρίζονται οι έρευνες είναι πως κάθε γραμμή (ή ακόμη και κάθε τμήμα αυτής), ανάλογα με τη μορφολογία και το χαρακτήρα της, 'συμπεριφέρεται' διαφορετικά κατά τη διαδικασία αλλαγής κλίμακας. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την ανάγκη διαφορετικού τρόπου γενίκευσης, ώστε το αποτέλεσμα να είναι χαρτογραφικά αποδεκτό. Ζητούμενο, λοιπόν, είναι η εύρεση μεθόδων εντοπισμού ομοιογενών γραμμών ή ομοιογενών τμημάτων κατά μήκος των γραμμών. Η γενίκευση αυτών προϋποθέτει το χαρακτηρισμό τους μέσω ποιοτικών και ποσοτικών κριτηρίων και την βάσει αυτού εφαρμογή των κατάλληλων τελεστών γενίκευσης.

Η παραπάνω ερευνητική τάση αποτελεί οδηγό για την παρούσα έρευνα. Αντικείμενο είναι η δημιουργία μιας μεθόδου γενίκευσης ψηφιακών χαρτογραφικών γραμμών, η οποία στηρίζεται στο εννοιολογικό πλαίσιο κατάτμηση-χαρακτηρισμός-γενίκευση. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάζεται μία μεθοδολογία κατά την οποία η εκάστοτε γραμμή κατατέμενεται σε ομοιογενή τμήματα. Ως κριτήριο κατάτμησης χρησιμοποιείται η ευαναγνωσιμότητα των γραμμών, η οποία ορίζεται μέσω χαρτογραφικών κανόνων που στηρίζονται στην οπτική αντίληψη, ενώ η υλοποίηση της διαδικασίας βασίζεται θεωρητικά, στην ιδέα του κυλιόμενου δίσκου που έχει επινοηθεί από τον Perkal (1966a). Τα δημιουργούμενα τμήματα κατηγοριοποιούνται με βάση τη γεωμετρία τους και χαρακτηρίζονται μέσω ποσοτικών κριτηρίων. Η γενίκευση της γραμμής ολοκληρώνεται με την εφαρμογή κατάλληλων τελεστών γενίκευσης (μεγέθυνση,

συγγώνευση, απλοποίηση, διεύρυνση κτλ.) σε κάθε τμήμα, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει και τα ποσοτικά χαρακτηριστικά του.

Η μέθοδος αναπτύσσεται με σκοπό την εφαρμογή της σε γραμμές που αναπαριστούν φυσικές οντότητες (π.χ. ακτογραμμές, ποτάμια κτλ.). Χαρακτηριστικό των εν λόγω γραμμών είναι η πολυπλοκότητα στη δομή τους και το μη προβλέψιμο του σχήματός τους. Για παράδειγμα, μια ακτογραμμή είναι δυνατό να περιλαμβάνει μια σειρά διαδοχικών κόλπων και χερσονήσων, διαφόρων μεγεθών και διαμορφώσεων ή ένας ποταμός να έχει τυχαίο σχηματισμό, ανάλογα με το ανάγλυφο του εδάφους στο οποίο ρέει. Αντιθέτως, η μορφή των γραμμών που αναπαριστούν τεχνητά φαινόμενα (π.χ. δρόμοι), συνήθως χαρακτηρίζεται από ομαλότητα και συμμετρία λόγω του τρόπου κατασκευής τους. Τα χαρακτηριστικά των φυσικών γραμμών μετατρέπουν την ανάλυση και επεξεργασία τους σε μια σύνθετη διαδικασία, αφού είναι αρκετά δύσκολη η θέσπιση γενικών κανόνων τυποποίησης της μορφής και της γεωμετρίας τους, καθώς και η δημιουργία εργαλείων γενίκευσής τους, τα οποία συνήθως έχουν ως βάση την ανάλυση λιγότερο πολύπλοκων γραμμών. Η επιλογή τους στο προτεινόμενο έργο γίνεται, αφενός για την εγκυρότερη αποτίμηση των εφαρμογών και αφετέρου, διότι αντίστοιχες έρευνες δεν συναντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία.

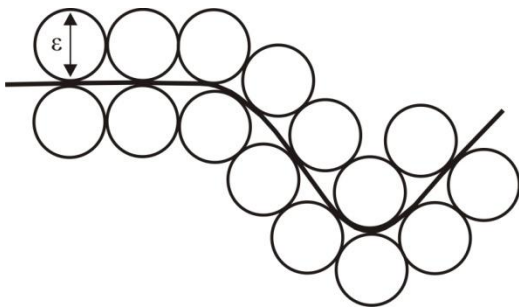
Στο στάδιο σχεδιασμού της μεθόδου, ορίζονται και τεκμηριώνονται θεωρητικά οι παράμετροι (κριτήρια κατάτμησης, χαρακτηρισμού και τελεστές γενίκευσης) που απαιτούνται για την εφαρμογή της προτεινόμενης τεχνικής. Στο στάδιο ανάπτυξης, λαμβάνει χώρα η αυτοματοποίηση των διαδικασιών σε ψηφιακό περιβάλλον. Στο λογισμικό πακέτο διαχείρισης χωρικών δεδομένων *ArcGIS v.9.3* δομείται ένα μοντέλο κατάτμησης γραμμών και υπολογισμού ποσοτικών χαρακτηριστικών και κατηγοριοποίησης των προκύπτοντων τμημάτων. Παράλληλα, στο προγραμματιστικό περιβάλλον του λογισμικού *MatLab 2008b*, κωδικοποιούνται οι ρουτίνες μέσω των οποίων υλοποιούνται οι τελεστές γενίκευσης. Τέλος, τα τρία στάδια επεξεργασίας αλληλοσυνδέονται, ώστε να προκύψει μία ενιαία λειτουργία που θα είναι δυνατό να εκτελεσθεί σε οποιαδήποτε γραμμική οντότητα. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται πιλοτικά στην ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς. Σκοπός είναι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επιμέρους διεργασιών, αλλά και του τελικού προϊόντος που προκύπτει από την τεχνική.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

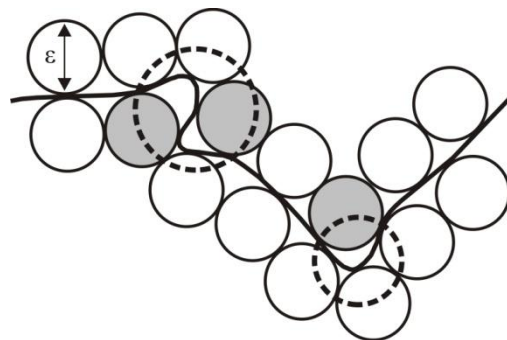
### Μέθοδος Κατάτμησης Χαρτογραφικών Γραμμών

#### 2.1 Θεωρητική αναφορά

Η μεθοδολογία κατάτμησης γραμμών βασίζεται στην έννοια της ‘ε-περιοχής’, που εισήχθη από τον Πολωνό μαθηματικό Julian Perkal (1966a), σε έρευνά του σχετική με την εύρεση μεθόδων μέτρησης του αναπτύγματος αναλογικών γραμμών. Ο Perkal ορίζει την ‘ε-περιοχή’ ως ‘το γεωμετρικό τόπο των σημείων του επιπέδου που απέχουν απόσταση μικρότερη από  $\varepsilon$  από τη γραμμή’ (Perkal 1966a, 8). Θεωρητικά, η ‘ε-περιοχή’ γύρω από μία γραμμή στο επίπεδο δημιουργείται όταν ένας δίσκος διαμέτρου  $\varepsilon$  κυλά κατά μήκος της και από τις δύο πλευρές της στο επίπεδο. Το μέγεθος της περιοχής εξαρτάται από το μέγεθος του  $\varepsilon$ . Επεκτείνοντας την ιδέα της ‘ε-περιοχής’, ο Perkal εισάγει την έννοια της ε-κυρτότητας, βάσει της οποίας χωρίζει τις γραμμές (ή μέρη των γραμμών) σε ε-κυρτά και ε-μη-κυρτά τμήματα. Ένα τμήμα μιας γραμμής είναι ε-κυρτό ‘εάν δίσκος διαμέτρου  $\varepsilon$  μπορεί να εφάπτεται και στις δύο πλευρές αυτής’ (Perkal 1966a, 9) (Σχήμα 1). Αντίθετα, όταν υπάρχουν τμήματα στα οποία ο δίσκος δεν εφάπτεται, τότε τα συγκεκριμένα τμήματα της γραμμής είναι ε-μη-κυρτά (τμήματα εντός διακεκομμένου κύκλου στο Σχήμα 2).



Σχήμα 1: Παράδειγμα ε-κυρτού τμήματος γραμμής.



Σχήμα 2: Παράδειγμα ε-μη-κυρτού τμήματος γραμμής.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, τα ε-μη-κυρτά τμήματα είναι λιγότερο ομαλά, καθώς εμφανίζουν έντονες ανωμαλίες στο σχήμα της γραμμής και παρουσιάζουν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα ε-κυρτά. Έτσι, σε μια πιθανή διαδικασία γενίκευσης χρήζουν ιδιαίτερης επεξεργασίας. Αυτό τονίζει σε μελέτη της και η Beard (1991), σύμφωνα με την οποία ‘η έλλειψη ε-κυρτότητας σε μια γραμμή αποτελεί μια άμεση απόδειξη ότι αυτή δεν είναι ευανάγνωστη και ότι απαιτείται να γενικευθεί’ (Beard 1991, 9). Και ο Perkal, άλλωστε, χρησιμοποιεί την ιδέα της ε-κυρτότητας σε μια μέθοδο γενίκευσης, όπως την παρουσίασε σε μετέπειτα μελέτη του (Perkal 1966b). Σύμφωνα με αυτή, γύρω από κάθε κλειστή γραμμή ορίζονται δύο πεδία, ένα εσωτερικό ( $D$ ) και ένα εξωτερικό ( $D'$ ). Κατά τη διαδικασία γενίκευσης (ε-γενίκευση, όπως ονομάζεται), ένας δίσκος διαμέτρου  $\varepsilon$ , κυλάει, ξεχωριστά, στην εσωτερική και στην εξωτερική πλευρά της γραμμής. ‘Το σύνολο των σημείων που περιλαμβάνονται πλήρως

στο πεδίο  $D$  και έχουν την ιδιότητα να περιέχονται μέσα στους δίσκους διαμέτρου  $\varepsilon$ , ορίζονται ως  $\varepsilon$ -γενίκευση του πεδίου  $D'$  (Perkal 1966b, 4). Αντίστοιχα ισχύουν για το πεδίο  $D'$ . Με άλλα λόγια, με την κύλιση του δίσκου εντοπίζονται τα  $\varepsilon$ -κυρτά τμήματα της γραμμής, τα οποία και διατηρούνται. Αντίθετα, τα  $\varepsilon$ -μη-κυρτά τμήματα, απαλείφονται και αντικαθίστανται από το τμήμα του δίσκου που ενώνει τα σημεία επαφής. Παρόλο που οι μελέτες του Perkal σχετίζονται με την επεξεργασία αναλογικών γραμμών, οι έννοιες που εισάγει αποτελούν χρήσιμο εργαλείο στη σύγχρονη, ψηφιακή χαρτογραφία.

Η ιδέα της  $\varepsilon$ -κυρτότητας χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα ως θεωρητικό πλαίσιο για την κατάτμηση των ψηφιακών χαρτογραφικών γραμμών. Θεωρητικά, σε μια διαδικασία αντίστοιχη του Perkal, δίσκος διαμέτρου  $\varepsilon$  κυλάει και από τις δύο πλευρές της γραμμής στο επίπεδο, κατατέμνοντάς την σε  $\varepsilon$ -τμήματα,  $\varepsilon$ -κυρτά και  $\varepsilon$ -μη-κυρτά. Το μέγεθος της διαμέτρου  $\varepsilon$  ορίζεται βάσει χαρτογραφικών κανόνων, οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με την κλίμακα του χάρτη, το πάχος του συμβόλου και το όριο οπτικής αντίληψης. Επιτυγχάνεται, με τον τρόπο αυτό, ο διαχωρισμός της γραμμής σε τμήματα όπου εμφανίζονται προβλήματα οπτικής ευαναγνωσιμότητας ( $\varepsilon$ -μη-κυρτά) και σε τμήματα όπου δεν εμφανίζονται ( $\varepsilon$ -κυρτά), στη συγκεκριμένη κλίμακα. Ολοκληρώνεται, έτσι, μία πρώτη επεξεργασία της γραμμής (κατάτμηση και χαρακτηρισμός με βάση ένα κοινό κριτήριο), ώστε να εφαρμοσθούν στη συνέχεια, κατάλληλοι τελεστές κατά τη γενίκευση.

## 2.2 Κατηγορίες $\varepsilon$ -τμημάτων

Με την περάτωση της τεχνικής του κυλιόμενου δίσκου του Perkal, η ψηφιακή χαρτογραφική γραμμή κατατέμεται καθ' όλο το μήκος της, σε  $\varepsilon$ -κυρτά και  $\varepsilon$ -μη-κυρτά τμήματα. Τα τελευταία, λόγω της πολυπλοκότητάς τους, αναπαριστούν μια ποικιλία γεωμετρικών σχηματισμών, οι οποίοι ομαδοποιούνται βάσει των χαρακτηριστικών τους σε τρεις τυπικές κατηγορίες. Συγκεντρωτικά, λοιπόν, κάθε  $\varepsilon$ -τμήμα της γραμμής, ανάλογα με τη μορφή και τον τρόπο δημιουργίας του, ανήκει σε μία εκ των τεσσάρων κατηγοριών:

- κατηγορία Α: Μονόπλευρα  $\varepsilon$ -μη-κυρτά τμήματα

Τμήματα της γραμμής που η  $\varepsilon$ -μη-κυρτότητα αφορά σε μία απλή κύρτωση ή κοίλωση, η οποία εμφανίζεται στη μία (αριστερή ή δεξιά) πλευρά της γραμμής,

- κατηγορία Β: Αμφίπλευρα  $\varepsilon$ -μη-κυρτά τμήματα

Τμήματα της γραμμής που η  $\varepsilon$ -μη-κυρτότητα αφορά σε μία επαλληλία κυρτώσεων/κοιλώσεων, οι οποίες εμφανίζονται και στις δύο πλευρές της γραμμής,

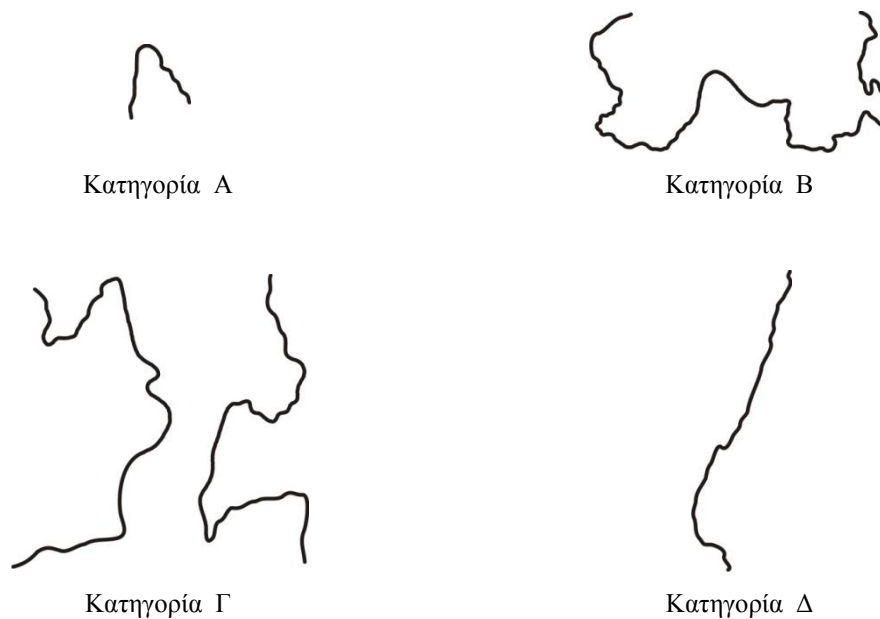
- κατηγορία Γ: Τμήματα σύγκλισης

Τμήματα της γραμμής, τα οποία πλησιάζουν μεταξύ τους σε απόσταση μικρότερη από την κρίσιμη απόσταση της οπτικής ευαναγνωσιμότητας εκφρασμένης στην κλίμακα του χάρτη και

- κατηγορία Δ:  $\varepsilon$ -κυρτά τμήματα.

Τμήματα της γραμμής που χαρακτηρίζονται εξολοκλήρου ως  $\varepsilon$ -κυρτά.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα των τεσσάρων κατηγοριών ε-τμημάτων που δημιουργούνται κατά την κατάτμηση των ψηφιακών γραμμών μέσω της προτεινόμενης τεχνικής.



Σχήμα 3: Τυπικά παραδείγματα κατηγοριών ε-τμημάτων που αποκόπτονται με την προτεινόμενη τεχνική.

### 2.3 Ορισμός διαμέτρου εφαρμογής ε

Ο ορισμός της διαμέτρου ε του δίσκου που εφαρμόζεται αποτελεί σημαντική παράμετρο για την προτεινόμενη μεθοδολογία. Είναι αναγκαίο να βασίζεται σε χαρτογραφικούς κανόνες, ώστε να έχει αντικειμενικό χαρακτήρα, να είναι δηλαδή, η διάμετρος του δίσκου ανεξάρτητη της γραμμής και παρέμβασης του χρήστη. Οι παράγοντες που συνεκτιμώνται για το ορισμό της τιμής του ε είναι το πάχος του χαρτογραφικού συμβόλου της γραμμής, το όριο διακριτικής ικανότητας του ανθρώπινου οφθαλμού (δηλαδή, η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο συμβόλων, ώστε να γίνονται αντιληπτά ως ξεχωριστές γραφικές οντότητες από το ανθρώπινο μάτι) και μια τιμή ανοχής, ώστε να αποφεύγονται περιπτώσεις συμπτώσεων ή σφαλμάτων στρογγύλευσης του υπολογιστή (Σχήμα 4). Η διάμετρος, λοιπόν, του δίσκου, με τρόπο που να εξασφαλίζεται η οπτική ευαναγνωσιμότητα του χάρτη, ορίζεται από τη σχέση:

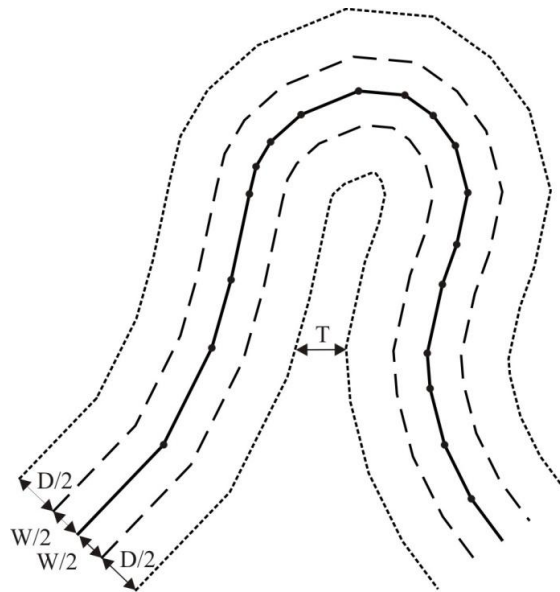
$$\varepsilon = W + D + T$$

όπου: W: το πάχος χαρτογραφικής γραμμής

D: το όριο οπτικής αντίληψης

και T: τιμή ανοχής.





Σχήμα 4: Επιλογή διαμέτρου εφαρμογής  $\epsilon$  του δίσκου του Perkal.

## 2.4 Υλοποίηση της τεχνικής του κυλιόμενου δίσκου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή

### 2.4.1 Βασική αρχή και περιβάλλον υλοποίησης

Σε περιβάλλον ηλεκτρονικού υπολογιστή, η υλοποίηση της αναλυτικής διαδικασίας του Perkal πραγματοποιείται σε λογισμικό πακέτο συστήματος διαχείρισης χωρικών δεδομένων. Η διαδικασία του κυλιόμενου δίσκου επιτυγχάνεται με τη εφαρμογή του εργαλείου ‘ζώνη επιρροής’ (buffer) που υποστηρίζεται από το συγκεκριμένο λογισμικό. Η γενική ιδέα της εφαρμογής παρουσιάζεται στο Σχήμα 5. Αρχικά, γύρω από κάθε πλευρά της γραμμής (Σχήμα 5-συνεχής γραμμή) δημιουργείται μία ‘ζώνη επιρροής’ (διακεκομμένη γραμμή), με πλάτος ίσο με το μισό της διαμέτρου  $\epsilon$  του δίσκου του Perkal. Στη συνέχεια, μία νέα ‘ζώνη επιρροής’ με το ίδιο πλάτος, δημιουργείται γύρω από τα όρια της αρχικής (εστιγμένη γραμμή). Τα εσωτερικά όρια της νέας ‘ζώνης επιρροής’ τέμνουν τη γραμμή σε ορισμένες θέσεις. Οι θέσεις αυτές οριοθετούν τα ε-τμήματα της γραμμής. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η μέθοδος που περιγράφεται είναι μια ικανοποιητική προσέγγιση της τεχνικής του Perkal. Η δεύτερη ‘ζώνη επιρροής’ που εφαρμόζεται προσομοιώνει τον κυλιόμενο κύκλο και η τομή μεταξύ ‘ζώνης επιρροής’ και γραμμής αντιστοιχεί στα επαπτόμενα σημεία του δίσκου και της γραμμής, όπως αναφέρεται στην μελέτη του Perkal (1966a).

Με άξονα τη γενική ιδέα, όπως περιγράφεται παραπάνω, επιχειρείται η αυτοματοποίηση της διαδικασίας κατάτμησης χαρτογραφικών γραμμών. Στόχος είναι η δόμηση ενός μοντέλου επεξεργασίας γραμμικών οντοτήτων, στο οποίο η παρέμβαση του χρήστη αφορά μόνο τον αρχικό καθορισμό των παραμέτρων εφαρμογής. Η υλοποίηση πραγματοποιείται στο περιβάλλον του λογισμικού πακέτου ArcGIS v.9.3, με τη βοήθεια του εργαλείου *Model Builder*. Το *Model Builder* αποτελεί μία εφαρμογή του λογισμικού, η οποία παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας και εκτέλεσης μοντέλων επεξεργασίας χωρικών δεδομένων. Με τον όρο ‘μοντέλο’ νοείται μια αλληλουχία χωρικών διεργασιών, που υλοποιούνται με τη εφαρμογή κατάλληλων εργαλείων και σκοπό έχουν τη μετατροπή των αρχικών δεδομένων στα παράγωγα επιθυμητά προϊόντα. Το *Model Builder* επιλέχθηκε, αφού τα εργαλεία που παρέχει καλύπτουν τις

απαιτήσεις για τη δημιουργία του μοντέλου κατάτμησης γραμμών. Παράλληλα, υποστηρίζει λειτουργίες που συμβάλλουν στην αυτοματοποίηση, συνολικά, της προτεινόμενης τεχνικής γενίκευσης. Σημαντικότερη είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης στο μοντέλο εργαλείων και ρουτινών, που δομούνται από το χρήστη για την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών (π.χ. τελεστές γενίκευσης γραμμών στη συγκεκριμένη έρευνα) κατά την επεξεργασία των οντοτήτων. Επιπλέον, ο υπολογισμός και η καταγραφή σε βάσεις, ποσοτικών και τοπολογικών πληροφοριών για τις γεωγραφικές οντότητες σε όλα τα στάδια επεξεργασίας, καθώς η άμεση οπτικοποίηση του τελικού, αλλά και των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων, αποτελούν ουσιαστικές παροχές για την εύκολη και έγκυρη διαχείριση των δεδομένων. Έτσι, στο περιβάλλον του *Model Builder* γίνεται εφικτή η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος επεξεργασίας γραμμικών οντοτήτων.



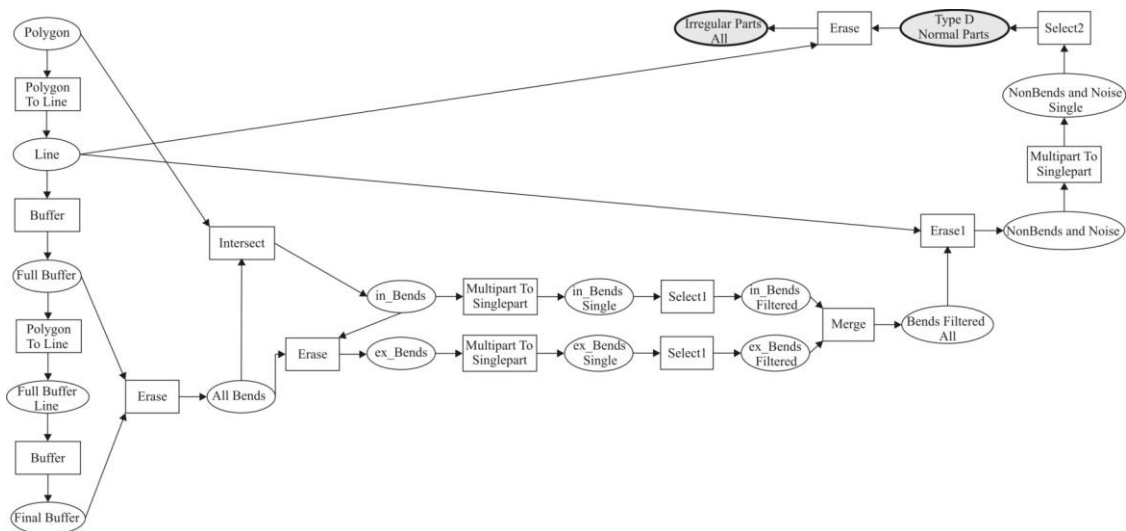
Σχήμα 5: Παράδειγμα εφαρμογής της τεχνικής του Perkal σε ψηφιακό περιβάλλον.

Για την αυτοματοποίηση της προτεινόμενης μεθόδου κατάτμησης γραμμών δημιουργείται ένα μοντέλο, με το οποίο εκτελείται μια αλληλουχία εργαλείων, κατάλληλα δομημένων, ώστε να λαμβάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στο παρόν κείμενο το μοντέλο παρουσιάζεται τμηματικά, ανάλογα με το στάδιο της έρευνας που περιγράφεται. Αναφορά γίνεται στις πιο σημαντικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα. Στα διαγράμματα ροής που ακολουθούν (Σχήματα 6, 7, 15 και 17), οι οντότητες που εισάγονται ή προκύπτουν μετά από μια επιμέρους επεξεργασία αναπαριστώνται με έλλειψη, ενώ τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται με ορθογώνιο. Τα βέλη απεικονίζουν τη ροή των πράξεων και τις εκάστοτε οντότητες που συμμετέχουν σε αυτές. Στο Παράρτημα Α προσαρτώνται τα Σχήματα 6, 7, 15 και 17 σε μεγαλύτερο μέγεθος για την ευκολότερη παρατήρησή τους.

#### **2.4.2 Εντοπισμός, φιλτράρισμα και συγχώνευση ε-μη-κυρτών τμημάτων και εντοπισμός ε-κυρτών τμημάτων**

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η διαδικασία εφαρμογής διαδοχικών ‘ζωνών επιρροής’ (*Buffer*) εσωτερικά και εξωτερικά της γραμμής, όπως αναφέρεται στη γενική περιγραφή της μεθόδου. Αποτέλεσμα είναι η αποκοπή ε-μη-κυρτών τμημάτων και από τις δύο πλευρές αυτής (*in\_Bends* και *ex\_Bends*, αντίστοιχα).

Ένα μεγάλο μέρος από τα ε-μη-κυρτά τμήματα που δημιουργούνται δεν είναι ορατά στην κλίμακα του χάρτη, αφού έχουν πολύ μικρό μέγεθος και στενό/επίμηκες σχήμα, αποτελώντας, ουσιαστικά, 'θόρυβο'. Για το λόγο αυτό, πριν από οποιαδήποτε περαιτέρω εφαρμογή, υπόκεινται σε μια διαδικασία φιλτραρίσματος (*Select1*). Για την επίτευξη αυτού, κατά τη διαδικασία κατάτμησης υπολογίζεται το εμβαδό του πολυγώνου που δημιουργείται μεταξύ του αποκομμένου τμήματος και της γραμμής βάσης, της γραμμής, δηλαδή, που ενώνει την αρχή και το πέρας αυτού. Τα ε-μη-κυρτά τμήματα με εμβαδό μικρότερο μίας ανοχής, θεωρείται ότι δεν χρήζουν ιδιαίτερης επεξεργασίας, αφού, λόγω μεγέθους, δεν είναι ορατά στην παράγωγη κλίμακα και επομένως, δεν δημιουργούν πρόβλημα ευαναγνωσιμότητας. Τα τμήματα αυτά απομονώνονται, συνενώνονται (*Erase1*) με τα ε-κυρτά και ως τέτοια αντιμετωπίζονται στις επόμενες διεργασίες. Έτσι, με την ολοκλήρωση του συγκεκριμένου σταδίου, κατά μήκος της γραμμής εντοπίζονται διαδοχικά, φιλτραρισμένα ε-μη-κυρτά τμήματα (*Bends Filtered All*) και 'ενημερωμένα' ε-κυρτά, τα οποία είναι προϊόν συνένωσης των αρχικών και των ε-μη-κυρτών που αποτελούν 'θόρυβο' (*NonBends and Noise*).



Σχήμα 6: Εντοπισμός, φιλτράρισμα και συγχώνευση ε-μη-κυρτών τμημάτων.

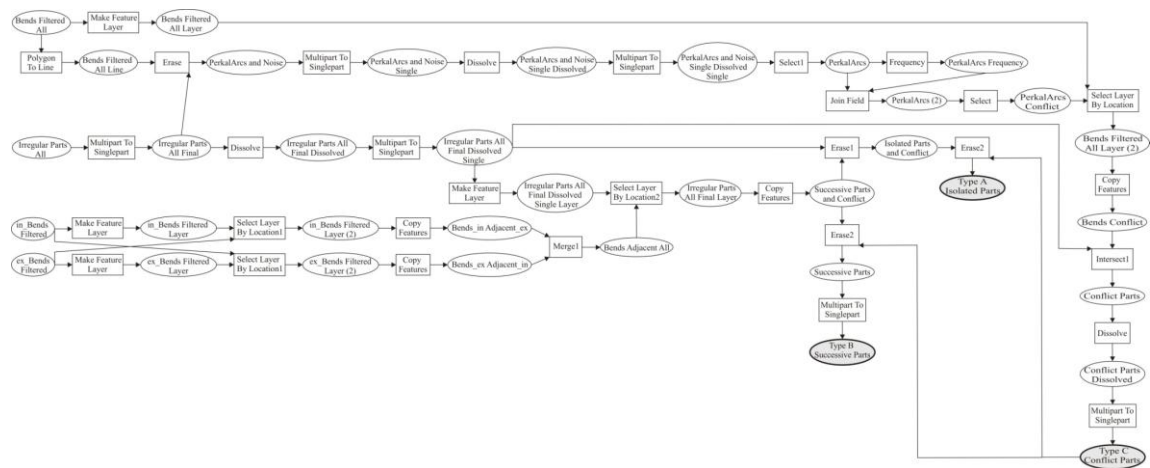
Εντοπισμός ε-κυρτών τμημάτων.

Σε επόμενο στάδιο, για την αποφυγή εμφάνισης κατακερματισμένων ε-μη-κυρτών τμημάτων που μεταξύ τους παρεμβάλλονται ε-κυρτά τμήματα με μήκος που πλησιάζει το μέγεθος του ορίου της οπτικής αντίληψης, εφαρμόζεται μια διαδικασία συγχώνευσης στα φιλτραρισμένα ε-μη-κυρτά τμήματα. Στόχος είναι, όσα τμήματα απέχουν μεταξύ τους απόσταση στο όριο της οπτικής αντίληψης, να υπόκεινται σε περαιτέρω επεξεργασία ως ενιαίες οντότητες, αφού ως τέτοιες γίνονται αντιληπτές από τον αναγνώστη του χάρτη. Για την υλοποίηση αυτού, υπολογίζεται και εξετάζεται το μήκος της ευθείας βάσης που συνδέει τα άκρα των ε-κυρτών τμημάτων, όπως έχουν δομηθεί μετά τη διαδικασία φιλτραρίσματος. Το μήκος αυτό αποτελεί, ουσιαστικά, την απόσταση μεταξύ των ε-μη-κυρτών τμημάτων. Τα τμήματα των οποίων η ευθεία βάση είναι μικρότερη ενός κατωφλίου, το οποίο εξαρτάται από το όριο οπτικής αντίληψης και μια τιμή ανοχής στην κλίμακα του χάρτη, αποκόπτονται από τα ε-κυρτά και συνενώνονται (*Select2*) με τα εκατέρωθεν ε-μη-κυρτά. Επιτυγχάνεται, έτσι, η συγχώνευση των ε-μη-κυρτών τμημάτων. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, κατά

μήκος της γραμμής έχουν απομονωθεί ε-μη-κυρτά τμήματα (στην αρχική τους μορφή ή ως αλληλουχίες μετά τη συγχώνευση) (*Irregular Parts All*) και ε-κυρτά (εναπομείναντα μετά τη συγχώνευση) τμήματα (*Type D Normal Parts*).

### 2.4.3 Διαχωρισμός ε-μη-κυρτών τμημάτων σε κατηγορίες

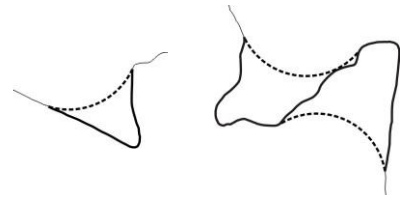
Η εφαρμογή της ιδέας του Perkal, με την τεχνική και τους κανόνες που περιγράφονται στην προηγούμενη ενότητα, έχει ως αποτέλεσμα την κατάτμηση των ψηφιακών χαρτογραφικών γραμμών καθ' όλο το μήκος τους. Τα τμήματα που προκύπτουν χαρακτηρίζονται είτε ως ε-κυρτά, είτε ως ε-μη-κυρτά. Σε ένα δεύτερο επίπεδο ανάλυσης, τα ε-μη-κυρτά τμήματα είναι δυνατό να διαχωρισθούν σε τρεις επιμέρους κατηγορίες, ανάλογα με τη μορφή και τον τρόπο δημιουργίας τους. Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η διαδικασία εντοπισμού και διάκρισης αυτών ως ανεξάρτητες οντότητες.



Σχήμα 7: Διαχωρισμός ε-μη-κυρτών τμημάτων σε κατηγορίες.

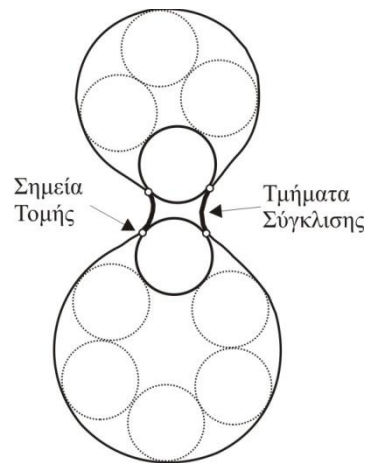
Από την περιγραφή της μεθόδου κατάτμησης γίνεται αντιληπτό πως ένα μέρος των ε-μη-κυρτών τμημάτων δημιουργείται από την κύλιση του δίσκου του Perkal εσωτερικά της γραμμής και ένα δεύτερο μέρος, από την αντίστοιχη διαδικασία εξωτερικά αυτής (*in\_Bends Filtered* και *ex\_Bends Filtered*, αντίστοιχα). Τα εσωτερικά και εξωτερικά τμήματα είναι δυνατό να εμφανίζονται απομονωμένα (να γειτνιάζουν, δηλαδή, με ε-κυρτά τμήματα) ή να επικαλύπτονται σε ένα μέρος τους (Σχήμα 8). Το γεγονός αυτό διαφοροποιεί τα τμήματα ως προς τη μορφή τους, αφού τα πρώτα χαρακτηρίζονται από μία κύρτωση ή κοίλωση, ενώ τα επικαλυπτόμενα, μετά την ένωση τους, εμφανίζονται ως επαλληλία κυρτώσεων και κοιλώσεων. Με βάση την ιδιότητα αυτή πραγματοποιείται ένας πρώτος διαχωρισμός των ε-μη-κυρτών τμημάτων. Τα επικαλυπτόμενα τμήματα (*Bends\_in\_Adjacent\_ex* και *Bends\_ex\_Adjacent\_in*) εντοπίζονται (*Select Layer by Location1*), συνενώνονται (*Merge1, Bends Adjacent All*) και διαχωρίζονται από τα απομονωμένα. Σε ένα δεύτερο επίπεδο επεξεργασίας, ελέγχεται η συμμετοχή ή μη των τμημάτων (επικαλυπτόμενων και απομονωμένων) στις αλληλουχίες που έχουν διαμορφωθεί από τη διαδικασία συγχώνευσης, όπως αυτή περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα. Τα τμήματα που αποτελούν μέρος αλληλουχιών εντοπίζονται (*Select Layer by Location2*) και ενσωματώνονται σε αυτές. Έτσι, τελικά, προκύπτουν δύο κατηγορίες τμημάτων. Η πρώτη (*Successive Parts and*

*Conflict*) περιλαμβάνει τα τμήματα που έχουν τη μορφή επαλληλίας κυρτώσεων και κοιλώσεων, δηλαδή τις αλληλουχίες και τα επικαλυπτόμενα που δε μετέχουν σε αυτές. Στη δεύτερη (*Isolated Parts and Conflict*) διαχωρίζονται (*Erase1*) τα απομονωμένα τμήματα που δεν έχουν ενταχθεί σε κάποια αλληλουχία κατά τη διαδικασία συγχώνευσης και χαρακτηρίζονται από μία κύρτωση ή κοίλωση.



Σχήμα 8: Παράδειγμα απομονωμένου και επικαλυπτόμενου τμήματος.

Εκτός των δύο παραπάνω περιπτώσεων, είναι πιθανό να εμφανίζονται θέσεις κατά μήκος της γραμμής, όπου η απόσταση μεταξύ δύο ή περισσότερων απέναντι ε-μη-κυρτών τμημάτων είναι μικρότερη από το όριο οπτικής ευαναγνωσιμότητας. Οι θέσεις αυτές χρήζουν ειδικής επεξεργασίας κατά τη γενίκευση και για το λόγο αυτό, τα τμήματα που τις διαμορφώνουν θεωρούνται ξεχωριστή κατηγορία. Τα εν λόγω τμήματα εντοπίζονται από την εφαρμογή της τεχνικής του Perkal εσωτερικά της γραμμής. Θεωρητικά, ο δίσκος του Perkal κυλά κατά μήκος της, δημιουργώντας ε-τμήματα. Αν η γραμμή, σε κάποια θέση της, παρουσιάζει ‘στένωση’, ο δίσκος σταματά να κυλά, αδυνατώντας να τη διαπεράσει. Είναι φανερό, πως το γεγονός παρατηρείται και στο έτερο μέρος της γραμμής. Τα σημεία όπου αποκόπτεται η κύλιση του δίσκου οριοθετούν τις προβληματικές θέσεις (Σχήμα 9). Σε πρακτικό επίπεδο, ο εντοπισμός των τμημάτων που πιθανά ανήκουν στην κατηγορία, πραγματοποιείται με βάση αυτή τη λογική. Ιδιότητα που τα χαρακτηρίζει είναι πως η δημιουργία τους είναι αποτέλεσμα τομής της γραμμής με δύο ή παραπάνω ‘ζώνες επιρροής’.



Σχήμα 9: Δημιουργία τμήματος σύγκλισης.

Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, κάθε ε-μη-κυρτό τμήμα προκύπτει από την τομή μίας ‘ζώνης επιρροής’ με τη γραμμή. Για το λόγο αυτό, εκτελείται μια σειρά διεργασιών, κατά την οποία απομονώνονται (*Select1*) τα τόξα των ‘ζωνών επιρροής’ μεταξύ των άκρων των ε-μη-κυρτών τμημάτων (*PerkalArcs*). Κάθε τόξο αντιστοιχίζεται στο τμήμα που ανήκει. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται έλεγχος (*PerkalArcs Frequency*) και εντοπίζονται τα τμήματα στα οποία αναλογούν δύο ή περισσότερα τόξα (*Bends Conflict*). Τα τμήματα αυτά αποκόπτονται (*Intersect1*) από τα υπόλοιπα, δημιουργώντας μια ξεχωριστή κατηγορία (*Type C Conflict Parts*). Πριν τον εντοπισμό τους, τα τμήματα σύγκλισης, όπως ονομάζονται, ενυπάρχουν ως μέρη επάλληλων ή απομονωμένων τμημάτων. Έτσι, μια τελευταία διεργασία είναι ο διαχωρισμός τους (*Erase2*), ώστε να προκύψουν οι τελικές οντότητες των άλλων δύο κατηγοριών (*Type A Isolated Parts* και *Type B Successive Parts*).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Επεξεργασία ε-τμημάτων

#### 3.1 Εξομάλυνση ε-τμημάτων

##### 3.1.1 Θεωρητική αναφορά

Μία γραμμή που αποδίδεται στην αρχική της μορφή χαρακτηρίζεται από λεπτομέρεια ανάλογη της κλίμακας. Η λεπτομέρεια αυτή, η οποία μπορεί, είτε να αναπαριστά την πραγματικότητα, είτε να είναι προϊόν μη ορθής ψηφιοποίησης, είναι δυνατό να επηρεάσει τις μετέπειτα διαδικασίες ανάλυσης, χαρακτηρισμού και γενίκευσης. Για παράδειγμα, ένας πολύ μικρός κόλπος που αναπαριστάται σε μια αρχική ακτογραμμή είναι σχεδόν βέβαιο πως δε θα αποδοθεί στην παράγωγη κλίμακα. Υπάρχει περίπτωση, όμως, ο τελεστής γενίκευσης που θα εφαρμοσθεί να εξαρτηθεί από αυτόν, γεγονός που θα μειώσει την ποιότητα του αποτελέσματος. Για την αντιμετώπιση ανάλογων προβλημάτων κρίνεται σκόπιμο, οι γραμμές να υπόκεινται σε μια διαδικασία εξομάλυνσης, πριν από την τελική επεξεργασία τους σε μία, δηλαδή, μικρομετατόπιση των σημείων που τις δομούν, ώστε να αποκτήσουν μια πιο ομαλή μορφή, χωρίς να μεταβληθεί ο χαρακτήρας και η γεωμετρία τους. Πρέπει να τονισθεί, πως το αποτέλεσμα της εξομάλυνσης στις περισσότερες εφαρμογές δεν επαρκεί να εξαντλήσει τις ανάγκες της χαρτογραφικής γενίκευσης. Η χρήση του όμως, ως ενδιάμεσο βήμα για την επιλογή των προς διατήρηση θέσεων μιας γραμμής, αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμη, αφού αυτή γίνεται μέσω ενός αντικειμενικού κριτηρίου και αποφεύγεται το ανθρώπινο λάθος.

##### 3.1.2 Τελεστής εξομάλυνσης Gauss

Η εξομάλυνση πραγματοποιείται με την εφαρμογή του τελεστή *Gauss*, ο οποίος δίδεται από τις σχέσεις (Lecordix et al. 1997, Fritsch 1997):

$$X_1(i) = \sum_{k=-4\sigma}^{4\sigma} X(i-k) \cdot g_{\sigma}(k) \quad , \text{ όπου } \quad g_{\sigma}(k) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-k^2/2\sigma^2}$$
$$Y_1(i) = \sum_{k=-4\sigma}^{4\sigma} Y(i-k) \cdot g_{\sigma}(k)$$

Η γενική αρχή λειτουργίας του τελεστή εξομάλυνσης *Gauss* έγκειται στη μετατόπιση του εκάστοτε σημείου της γραμμής, με βάση τις συντεταγμένες του ίδιου, αλλά και των γειτονικών του. Οι συντεταγμένες της νέας θέσης ( $X_1$ ,  $Y_1$ ) υπολογίζονται από το μέσο όρο των συντεταγμένων του προς εξέταση, των  $4\sigma$  πριν και των  $4\sigma$  μετά αυτού σημείων. Η μεταβλητή  $\sigma$ , δηλαδή, καθορίζει τον αριθμό των γειτονικών σημείων που συμμετέχουν στην επεξεργασία. Από την τιμή της εξαρτάται ο βαθμός εξομάλυνσης, ο οποίος μεγαλώνει, αυξανομένης αυτής. Κάθε σημείο συμβάλλει στον υπολογισμό του μέσου όρου υπό ένα συντελεστή βάρους  $g_{\sigma}$ , η τιμή του οποίου εξαρτάται τόσο από την τιμή του  $\sigma$ , όσο και από το πλήθος των σημείων που παρεμβάλλονται μεταξύ αυτού και του προς μετατόπιση. Τα βάρη των συμμετεχόντων

σημείων ακολουθούν κανονική κατανομή με κεντρικό αυτό του οποίου οι συντεταγμένες υπολογίζονται και το άθροισμά τους ισούται με τη μονάδα. Αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι μία μετάθεση, το διάνυσμα της οποίας επηρεάζεται όλο και λιγότερο από τις συντεταγμένες των πιο απομακρυσμένων σημείων. Η προκύπτουσα γραμμή εμφανίζεται εξομαλυσμένη, με τις επουσιώδεις λεπτομέρειες να απαλείφονται. Το μέγεθος της εξομάλυνσης εξαρτάται τόσο από την αρχική μορφή της γραμμής, όσο και από την επιλογή της τιμής της μεταβλητής  $\sigma$  από το χρήστη.

Κατά την υλοποίηση του τελεστή εξομάλυνσης *Gauss* στο προτεινόμενο μοντέλο ανακύπτει ένα πρόβλημα, αναφορικά με την εφαρμογή του στις ακραίες θέσεις των ε-τμημάτων (ανοιχτές γραμμές). Πιο συγκεκριμένα, για την εφαρμογή του τελεστή σε ένα σημείο  $i$  της γραμμής χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες των  $4\sigma$  πριν και  $4\sigma$  μετά αυτού σημείων. Στην αρχή του τμήματος, τα  $4\sigma$  πριν σημεία δεν υπάρχουν, όπως και τα  $4\sigma$  μετά το πέρας του. Το γεγονός ισχύει για τα πρώτα και τα τελευταία  $4\sigma$  σημεία κάθε ανοιχτής γραμμής. Δεδομένου πως μια γραμμή πρέπει να εξομαλύνεται ισοβαρώς, καθ' όλο το μήκος της, ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα γραφικής ανομοιογένειας και ασυνεχειών, είναι απαραίτητη η αντιμετώπιση του προβλήματος. Η λύση που προτείνεται είναι η δημιουργία 'εικονικών' σημείων πριν την αρχή και μετά το πέρας των ε-τμημάτων. Το πλήθος τους είναι ανάλογο της μεταβλητής  $\sigma$  με την οποία εφαρμόζεται κάθε φορά ο τελεστής. Ειδικότερα, δημιουργούνται  $4\sigma$  σημεία πριν την αρχή και  $4\sigma$  μετά το πέρας του ε-τμήματος. Οι συντεταγμένες των 'εικονικών' σημείων υπολογίζονται σύμφωνα με την αρχή της συμμετρίας. Δηλαδή, τα 'εικονικά' σημεία είναι συμμετρικά των ακραίων (πρώτων ή τελευταίων, ανάλογα με τη θέση)  $4\sigma$  σημείων της γραμμής, τόσο ως προς τον άξονα X, όσο και ως προς τον άξονα Y. Με τον τρόπο αυτό, τα 'εικονικά' σημεία ακολουθούν την κατεύθυνση της υφιστάμενης γραμμής, δημιουργώντας μια ομαλή και φυσική συνέχειά της, ώστε το αποτέλεσμα της εξομάλυνσης να είναι ρεαλιστικό.

## 3.2 Γενίκευση ε-τμημάτων

### 3.2.1 Γενίκευση μονόπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων (Κατηγορία Α)

Τα μονόπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα, συνήθως, έχουν τη μορφή μιας απομονωμένης κύρτωσης ή κοίλωσης. Για την ευκρινή απόδοση τους σε χάρτες μικρότερης κλίμακας απαιτείται η μεγέθυνση τους, ώστε να εξασφαλίζεται το όριο οπτικής αντίληψης. Η επεξεργασία στην οποία υπόκεινται για την επίτευξη αυτού, συνίσταται κατά σειρά, στην εξομάλυνση, τη διόγκωση και την εφαρμογή του ομοπαράλληλου μετασχηματισμού.

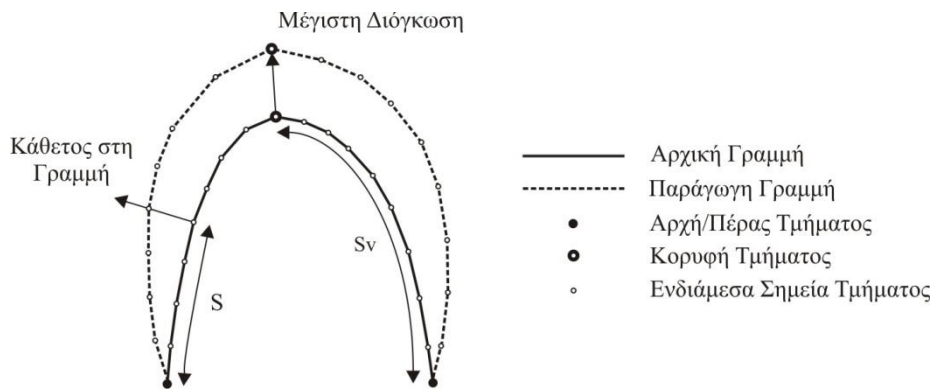
#### 3.2.1.1 Εξομάλυνση και εντοπισμός χαρακτηριστικών σημείων

Τα ε-τμήματα στην αρχική τους μορφή, αποδίδονται με λεπτομέρεια ανάλογη της κλίμακας. Η λεπτομέρεια αυτή είναι δυνατό να επηρεάσει τον αλγόριθμο διόγκωσης που εφαρμόζεται στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας, αφού, όπως αναφέρεται και παρακάτω, η δομή και η λειτουργία του απευθύνεται σε ομαλές ή μη πολύπλοκες γραμμικές οντότητες. Για το λόγο αυτό, τα ε-τμήματα εξομαλύνονται, ώστε να εξαλειφθούν οι τοπικές λεπτομέρειες, μέχρις επιπέδου που, δυνητικά, να διαμορφώνονται από μία κύρια κύρτωση ή κοίλωση. Η εξομάλυνση πραγματοποιείται μέσω του τελεστή *Gauss*, σε βαθμό ανάλογο της αρχικής λεπτομέρειας και της μορφής

της γραμμής. Στη συνέχεια, εντοπίζονται τα χαρακτηριστικά σημεία (άκρα και κορυφή) του εξομαλυσμένου ε-τμήματος. Ως ‘αρχή’ και ‘πέρας’ θεωρούνται τα σημεία αποκοπής του από την υπόλοιπη γραμμή. Για τον εντοπισμό της κορυφής υπολογίζονται οι κλίσεις των ενδιάμεσων σημείων του τμήματος, ως η γωνιακή διαφορά της διεύθυνσης των ευθυγράμμων τμημάτων ‘σημείο-επόμενο σημείο’ και ‘σημείο-προηγούμενο σημείο’. ‘Κορυφή’ θεωρείται το σημείο στο οποίο αντιστοιχεί η μέγιστη απόλυτη τιμή γωνίας κλίσης.

### 3.2.1.2 Διόγκωση

Το εξομαλυσμένο ε-τμήμα διογκώνεται μέσω του αλγορίθμου ‘Balloon’. Ο εν λόγω αλγόριθμος παρουσιάστηκε από την ομάδα του Lecordix (Lecordix et al. 1997) και είναι σχεδιασμένος για τη διόγκωση γραμμικών οντοτήτων που απεικονίζουν τεχνητά φαινόμενα και, πιο συγκεκριμένα, οδικό δίκτυο. Η υλοποίησή του βασίζεται σε τροποποίηση ώστε να προσαρμοστεί στα χαρακτηριστικά της γενίκευσης φυσικών χαρτογραφικών γραμμών (Λαμπράκη 2009). Σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας του, κάθε σημείο της γραμμής μετατοπίζεται κάθετα σε αυτή, με κατεύθυνση εξωτερικά της. Το μέγεθος της μετατόπισης (διόγκωσης) είναι ανάλογο της επικαμπύλιας απόστασης του σημείου από την αρχή ή το πέρας της γραμμής, ανάλογα με τη θέση του (πριν ή μετά) σε σχέση με την κορυφή. Αποτέλεσμα είναι η γραμμή να διογκώνεται σταδιακά, από μία μηδενική τιμή στα άκρα έως μία μέγιστη στην κορυφή της (Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Ο αλγόριθμος *Balloon*.

Η μετατόπιση των σημείων δίνεται μέσω των μαθηματικών σχέσεων:

$$\begin{aligned} X_c &= X_i + \text{Inflating} \cdot \text{Sense} \cdot u \cdot S/S_v \\ Y_c &= Y_i + \text{Inflating} \cdot \text{Sense} \cdot v \cdot S/S_v \end{aligned}, \text{ όπου:}$$

$X_c, Y_c$ : οι συντεταγμένες της προκύπτουσας γραμμής,

$X_i, Y_i$ : οι συντεταγμένες της αρχικής γραμμής,

*Inflating*: ο συντελεστής διόγκωσης της γραμμής,

*Sense*: +1 ή -1, ανάλογα με το πρόσημο της καμπυλότητας,

$u, v$ : ο συντελεστής διεύθυνσης της κάθετης στη γραμμή,

$S$ : το επικαμπύλιο μήκος ανάμεσα στην αρχή ή το πέρας της γραμμής και το εκάστοτε σημείο  $i$ ,



$S_y$ : το επικαμπύλιο μήκος ανάμεσα στην αρχή ή το πέρας της γραμμής και την κορυφή.

### 3.2.1.3 Ομοπαράλληλος μετασχηματισμός

#### 3.2.1.3.1 Αναγκαιότητα εφαρμογής ομοπαράλληλου μετασχηματισμού

Ο αλγόριθμος διόγκωσης ‘Balloon’ έχει προταθεί από την ομάδα του Lecordix (Lecordix et al. 1997) για την εφαρμογή σε γραμμικές οντότητες που αναπαριστούν οδικό δίκτυο. Η χρήση του σε γραμμές που αποδίδουν φυσικά φαινόμενα, στις οποίες απευθύνεται η παρούσα τεχνική, παρουσιάζει ορισμένα προβλήματα. Η πολυπλοκότητα και οι λεπτομέρειες που, εκ των πραγμάτων, χαρακτηρίζουν αυτού του είδους τις γραμμές έχουν επιπτώσεις στην ποιότητα του τελικού προϊόντος, αφού ο αλγόριθμος είναι σχεδιασμένος να ‘αντιμετωπίζει’ περισσότερο ομαλά ή κανονικά σχήματα.

Μετά από σειρά δοκιμών παρατηρήθηκε πως, σε ορισμένες περιπτώσεις, ο αλγόριθμος ‘Balloon’ διογκώνει τη γραμμή με χαρτογραφικά αναποτελεσματικό τρόπο. Το παράγωγο, δηλαδή, ε-τμήμα είναι πιθανό να μεγθυνθεί σε τέτοιο βαθμό που να έρχεται σε σύμπτωση με παρακείμενα τμήματα ή η έκτασή του να είναι δυσανάλογη σε σχέση με την αρχική του στο σύνολο της γραμμής. Σε κάθε περίπτωση, ανακύπτει θέμα οπτικής ποιότητας του αποτελέσματος. Επιπρόσθετα, κάτι τέτοιο επηρεάζει την ακρίβεια του τελικού προϊόντος. Για παράδειγμα, αν το ε-τμήμα αποτελεί άκρο μιας χερσονήσου, η διόγκωσή του σε βαθμό που να απεικονίζεται μέσα στη θάλασσα θα μπορούσε να μειώσει την αξιοπιστία του αποτελέσματος της γενίκευσης σε περίπτωση ναυτικού χάρτη. Για την επίλυση ανάλογου είδους προβλημάτων λαμβάνει χώρα μία επιπλέον επεξεργασία του ε-τμήματος, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η διατήρηση της κορυφής του, (θεωρητικά, η κορυφή επαναφέρεται στην αρχική της θέση), η σταδιακή ‘εκτόνωση’ της διόγκωσης προς τα πλάγια αυτού και η ελάττωση του μεγέθους του, όπως παρουσιάζονται στο παράδειγμα του Σχήματος 11. Παράλληλα, η αρχή και το πέρας του ε-τμήματος, τα οποία έχουν μετατοπισθεί κατά τη διαδικασία εξομάλυνσης, ταυτίζονται με τα αντίστοιχα της αρχικής γραμμής. Η διατήρηση των άκρων του γενικευμένου τμήματος είναι απαραίτητη, αφού αποτελούν τα σημεία σύνδεσης με την υπόλοιπη γραμμή. Η επεξεργασία υλοποιείται (Λαμπράκη 2009) με την εφαρμογή ομοπαράλληλου μετασχηματισμού, ο οποίος περιγράφεται στην επόμενη ενότητα. Να σημειωθεί πως η ‘επαναφορά’ της κορυφής στην αρχική της θέση δεν είναι επιβεβλημένη, αλλά λαμβάνει χώρα κατ’ εκτίμηση του χρήστη σε περιπτώσεις που κρίνεται απαραίτητη, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η χαρτογραφική ποιότητα του τελικού προϊόντος.

#### 3.2.1.3.2 Γενικές αρχές ομοπαράλληλου μετασχηματισμού

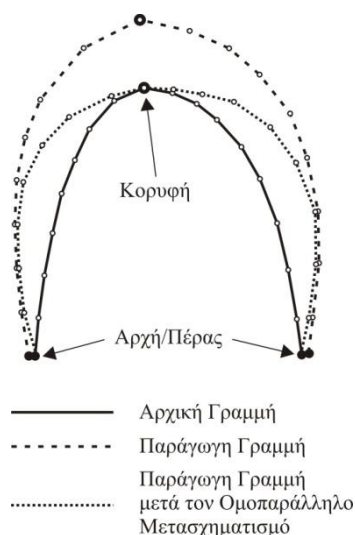
Ο ομοπαράλληλος μετασχηματισμός είναι ένας από τους πλέον διαδεδομένους μετασχηματισμούς στη χαρτογραφική διαδικασία, αφού επιφέρει ομογενείς παραμορφώσεις στα γραφικά αντικείμενα που εφαρμόζεται. Η μαθηματική σχέση μέσω της οποίας ορίζεται είναι (Νάκος 2006):

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \cos \theta_x & \sin \theta_y \\ -\sin \theta_x & \cos \theta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, \text{ όπου:}$$

$T_x$  και  $T_y$  η μετάθεση,

$\theta_x$  και  $\theta_y$  στροφές των αξόνων:  $X$  και  $Y$ , αντίστοιχα και

$S_x$  και  $S_y$  κλίμακες κατά τους άξονες:  $X$  και  $Y$ , αντίστοιχα.



Σχήμα 11: Παράδειγμα ομοπαράλληλου μετασχηματισμού μονόπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων.

Οι γεωμετρικές παράμετροι του ομοπαράλληλου μετασχηματισμού, δηλαδή, είναι έξι: δύο μεταθέσεις, δύο στροφές και δύο κλίμακες, κατά τους άξονες  $X$  και  $Y$ , αντίστοιχα. Συχνά χρησιμοποιείται και με τις ακόλουθες γραμμικές σχέσεις:

$$x' = ax + by + c,$$

$$y' = dx + ey + f.$$

Οι συντελεστές των γραμμικών σχέσεων ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  και  $f$ ) συσχετίζονται με τις έξι γεωμετρικές παραμέτρους από τις ακόλουθες σχέσεις (Νάκος, 2006):

Μετάθεση:  $T_x = c$  και  $T_y = f$

Στροφές:  $\theta_x = \arctan\left(-\frac{d}{a}\right)$  και  $\theta_y = \arctan\left(\frac{b}{e}\right)$

Κλίμακες:  $S_x = \sqrt{a^2 + d^2}$  και  $S_y = \sqrt{b^2 + e^2}$

Ο ομοπαράλληλος μετασχηματισμός μπορεί να δώσει σημαντικές λύσεις στο θέμα της ορθής απόδοσης των γενικευμένων γραμμών, αφού επιδρά ομογενώς στη γεωμετρία και τη θέση ενός αντικειμένου, καθώς επιφέρει στρεβλή μετάθεση, στροφή και αλλαγή κλίμακας.

### 3.2.2 Γενίκευση αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων (Κατηγορία Β)

Τα αμφίπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα παρουσιάζονται ως μία επαλληλία δύο ή περισσότερων κυρτώσεων και κοιλώσεων κατά μήκος της γραμμής. Η μορφή και η γεωμετρία των εν λόγω ε-τμημάτων είναι συνήθως αρκετά πολύπλοκη, γεγονός που μετατρέπει τη γενίκευσή τους σε μια σύνθετη διαδικασία. Για την ευκρινή αναπαράστασή τους σε μικρότερη κλίμακα, απαιτείται η εφαρμογή μίας σειράς χαρτογραφικών μετασχηματισμών, συνδυασμένων κατάλληλα, ανάλογα με τη μορφολογία τους και το βαθμό γενίκευσης.

Η πολυπλοκότητα στη δομή των αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων καθιστά την ανάλυση και διαχείρισή τους ιδιαίτερα δύσκολη. Για το λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία μία προεπεξεργασία τους, ώστε να εξαχθούν πληροφορίες απαραίτητες για τη ολοκλήρωση της γενίκευσής τους. Έτσι, τα ε-τμήματα υπόκεινται σε μια διαδικασία περαιτέρω κατάτμησης. Τα προκύπτοντα νέα τμήματα (καμπές) αποτελούν τις θεμελιώδεις οντότητες που δομούν τα ε-τμήματα και από την ανάλυση και επεξεργασία αυτών, εξάγονται οι παράγωγες γραμμές. Πάνω σε αυτή τη λογική, ζητούμενο, πλέον, είναι η ευκρινής απόδοση των καμπών στην περιορισμένη επιφάνεια ενός χάρτη

μικρότερης κλίμακας. Η επίτευξη αυτού απαιτεί την απλοποίησή τους, την αφαίρεση μέρους αυτών και μεγέθυνση των εναπομεινανσών, μόνο τη μεγέθυνση και την εξομάλυνσή τους. Οι τελεστές γενίκευσης εφαρμόζονται σε συνδυασμό, ανάλογα με τη μορφή του ε-τμήματος και το επίπεδο αλλαγής κλίμακας.

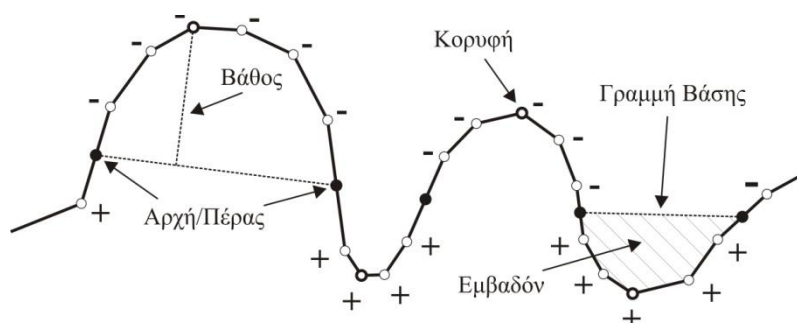
### 3.2.2.1 Εντοπισμός καμπών κατά μήκος των αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων

Η επιλογή κατάλληλου τελεστή γενίκευσης, καθώς και των παραμέτρων εφαρμογής του προϋποθέτει, σε αρκετές περιπτώσεις, τη γνώση χαρακτηριστικών της δομής των υπό εξέταση ε-τμημάτων. Μία μέθοδος ανάλυσης της γεωμετρίας ψηφιακών γραμμικών οντοτήτων, ώστε να εξαχθούν πληροφορίες απαραίτητες για την περαιτέρω επεξεργασία, είναι ο εντοπισμός καμπών κατά μήκος τους.

Στην έρευνα, χρησιμοποιείται, προσαρμόζεται και υλοποιείται σε κώδικα ο ορισμός που προτείνουν οι Wang και Müller (1998) για τις καμπές. Σύμφωνα με αυτόν, μία καμπή (bend) είναι 'εκείνο το τμήμα της γραμμής που περιέχει έναν αριθμό διαδοχικών κορυφών, με τις γωνίες κάμψης σε όλες τις κορυφές που περιέχονται στην καμπή να είναι είτε θετικές είτε αρνητικές και η κάμψη των ακραίων κορυφών της να είναι με αντίθετα πρόσημα' (Wang & Müller 1998, 5). Πιο απλά, μία καμπή είναι το τμήμα μιας γραμμής, το οποίο αποτελείται από έναν αριθμό σημείων με ομόσημες γωνίες κλίσης. Ως 'κλίση σημείου' ορίζεται η γωνιακή διαφορά της διεύθυνσης των ευθυγράμμων τμημάτων 'σημείο-επόμενο σημείο' και 'σημείο-προηγούμενο σημείο'. Από τα παραπάνω απορρέουν δύο βασικά χαρακτηριστικά των ψηφιακών γραμμών. Το πρώτο είναι πως δύο διαδοχικές καμπές είναι πάντα ετερόσημες και το δεύτερο, ότι μια γραμμή αποτελείται από διαδοχικές καμπές. Η μεθοδολογία των Wang και Müller αποτελεί χρήσιμο εργαλείο προεπεξεργασίας και ανάλυσης των αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων κατά τη διαδικασία γενίκευσής τους, αφού οι έννοιες που εισάγει χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των επιμέρους καμπών που διαμορφώνουν τις επαλληλίες, αλλά και χαρακτηριστικών θέσεων αυτών.

Η προσαρμογή της μεθόδου στις ανάγκες της έρευνας συνίσταται στη δημιουργία ενός κώδικα, μέσω του οποίου υπολογίζονται οι κλίσεις των σημείων και απομονώνονται οι καμπές, ως το σύνολο των σημείων με ομόσημες κλίσεις (Λαμπράκη 2009). Μία διαφοροποίηση σε σχέση με τους ορισμούς των Wang και Müller έχει να κάνει με την οριοθέτηση των καμπών. Σύμφωνα με αυτούς, η αρχή και το πέρας κάθε καμπής θεωρούνται τα σημεία αλλαγής του προσήμου κλίσης (σημεία κάμψης/inflection points). Κάτι τέτοιο, όμως, έχει ως αποτέλεσμα οι καμπές που απομονώνονται να αλληλεπικαλύπτονται (βλ. Wang & Müller 1998, 6, σχήματα 3 και 4), γεγονός που δε συνάδει με τη φιλοσοφία και τις απαιτήσεις της παρούσας έρευνας. Για το λόγο αυτό, ως αρχή ή πέρας καμπής ορίζονται τα μέσα των διανυσμάτων, των οποίων τα άκρα έχουν διαφορετικού προσήμου κλίσεις (Σχήμα 10). Έτσι, εξασφαλίζεται πως το πέρας μιας καμπής συμπίπτει με την αρχή της επόμενης, με τις δύο αυτές καμπές να μην επικαλύπτονται. Το πρώτο σημείο του ε-τμήματος ορίζεται ως η αρχή της πρώτης καμπής και το τελευταίο ως το πέρας της τελευταίας. Σαν 'κορυφή' καμπής ορίζεται το σημείο στο οποίο αντιστοιχεί η μέγιστη απόλυτη τιμή γωνίας κλίσης. Τέλος, σε κάθε καμπή υπολογίζεται το μήκος της γραμμής βάσης (BL) (γραμμή που ενώνει την αρχή και το πέρας της), το εμβαδόν του χωρίου που δημιουργείται μεταξύ καμπής και γραμμής βάσης και το βάθος της (WT) (κάθετος από την κορυφή στη γραμμή βάσης). Στο παράδειγμα του Σχήματος 12 παρουσιάζεται μία αλληλουχία καμπών, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους.

Στη διεθνή βιβλιογραφία επισημαίνεται πως οι θέσεις κατά μήκος μίας γραμμής μπορούν να χαρακτηρισθούν ως λιγότερο ή περισσότερο σημαντικές, ανάλογα την πληροφορία που εμπεριέχουν και παρέχουν στον παρατηρητή. Οι ‘σημαντικές’ θέσεις καθορίζουν τη γεωγραφική διαμόρφωση της γραμμής και θεωρούνται ικανές από μόνες τους να περιγράψουν το απεικονιζόμενο σχήμα. Για το λόγο αυτό, κρίνεται απαραίτητο να διατηρούνται κατά τη διαδικασία γενίκευσης. Μεταξύ άλλων, ‘υψηλής σημασίας’ ορίζονται οι θέσεις αλλαγής καμπυλότητας και μέγιστης αλλαγής κλίσης μίας γραμμής (Nakos & Mitropoulos 2005). Στο παρόν μοντέλο, μέσω της μεθόδου εντοπισμού καμπών των Wang και Müller, ανευρίσκονται τα σημεία αλλαγής καμπυλότητας (σημεία κάμψης/inflection points), ενώ παράλληλα, εντοπίζονται και τα σημεία μέγιστης αλλαγής κλίσης (κορυφές καμπών). Τα ‘χαρακτηριστικά’, όπως ονομάζονται, αυτά σημεία παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του τελικού προϊόντος και για το λόγο αυτό, η διατήρησή τους αποτελεί οδηγό στις διεργασίες γενίκευσης των αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων.



Σχήμα 12: Καμπές κατά μήκος γραμμών και χαρακτηριστικά αυτών

### 3.2.2.2 Απλοποίηση αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων

Όπως αναφέρεται στη γενική περιγραφή, η λειτουργία του μοντέλου γενίκευσης αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων στηρίζεται στην αρχή της ανεύρεσης και επεξεργασίας των επιμέρους καμπών που τα δομούν. Τα τμήματα, στην αρχική τους μορφή, αποδίδονται με λεπτομέρεια ανάλογη της κλίμακας, η οποία, αν εφαρμοσθεί η μέθοδος των Wang και Müller (βλ. ενότητα 3.2.2.1), ‘μετατρέπεται’ σε ένα πλήθος εντοπιζόμενων καμπών. Από αυτές, ένα μέρος απαιτείται για τη διαμόρφωση της γενικευμένης γραμμής. Οι υπόλοιπες, είτε αποτελούν ‘θόρυβο’ (μικρολεπτομέρεια), είτε δεν είναι ευδιάκριτες στην παράγωγη κλίμακα. Ένα ζητούμενο, λοιπόν, είναι η τροποποίηση της αρχικής γραμμής, ώστε να ‘ανιχνεύονται’ οι απαραίτητες καμπές για την εκάστοτε εφαρμογή. Οι παράμετροι ‘πόσες’ και ‘ποιές’ καμπές επιλέγονται για περαιτέρω επεξεργασία, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Η λύση που προτείνεται είναι η απλοποίηση των αρχικών ε-τμημάτων με τρόπο κατάλληλο, ώστε να εντοπίζονται οι κύριες, ορατές στην παράγωγη κλίμακα, καμπές. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα με την εφαρμογή ενός τελεστή εξομάλυνσης.

Η εξομάλυνση, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, λειτουργεί ως φίλτρο καθαρισμού του ‘θορύβου’ που χαρακτηρίζει τις γραμμικές οντότητες στην αρχική τους μορφή. Στο παρόν μοντέλο, χρησιμοποιείται ως ‘εργαλείο’ απλοποίησης των αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων. Η διαφορά έγκειται στον αναλογικά μεγαλύτερο βαθμό, με τον οποίο υλοποιείται. Η εφαρμογή στηρίζεται στην ιδέα, πως η λεπτομέρεια ενός ε-τμήματος, η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κλίμακα, εμμέσως

ποσοτικοποιείται με τη δημιουργία των επιμέρους καμπών κατά μήκος του. Εφαρμόζοντας, λοιπόν, έναν τελεστή εξομάλυνσης (έναν τελεστή, δηλαδή, αφαίρεσης λεπτομέρειας) σε κατάλληλο βαθμό, είναι δυνατό να αφαιρούνται οι μη απαραίτητες και να λαμβάνονται οι σημαντικές για την απόδοση του τμήματος στην επιθυμητή παράγωγη κλίμακα, καμπές. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η απαλοιφή/διατήρηση καμπών βάσει ενός αντικειμενικού, κοινού για όλο το ε-τμήμα κριτηρίου, περιορίζοντας την παρέμβαση του χρήστη στην επιλογή του βαθμού εξομάλυνσης. Οι νέες καμπές που διαμορφώνουν την εξομαλυσμένη γραμμή εντοπίζονται μέσω της μεθόδου Wang και Müller. Με δεδομένο ότι τα χαρακτηριστικά σημεία αυτών αντιστοιχίζονται και επαναφέρονται στην αρχική τους θέση σε επόμενο στάδιο επεξεργασίας (βλ. ενότητα 3.2.2.4), η διαδικασία απλοποίησης, στο σύνολό της, θα μπορούσε να ειπωθεί ως μια διαδικασία πρώτης αφαίρεσης/συγχώνευσης των καμπών που δομούν τα ε-τμήματα. Η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτάται κατά πολύ από την ορθότητα του αποτελέσματος εξομάλυνσης. Η εφαρμογή πραγματοποιείται μέσω του τελεστή *Gauss* (βλ. ενότητα 3.1.2), σε βαθμό ανάλογο της αρχικής λεπτομέρειας, της μορφής της γραμμής και της παράγωγης κλίμακας.

### 3.2.2.3 Επιλογή προς διατήρηση/αφαίρεση καμπών

Με την ολοκλήρωση του σταδίου απλοποίησης, τα αμφίπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα διαμορφώνονται από τις κύριες, απαραίτητες για την απόδοσή τους στη νέα κλίμακα, καμπές. Το γεγονός αυτό από μόνο του, όμως, δε διασφαλίζει την ευαναγνωσιμότητά τους στον παράγωγο χάρτη. Οι νέες καμπές χρήζουν περαιτέρω επεξεργασίας, ώστε να προκύψει ένα γενικευμένο προϊόν. Στο παρόν στάδιο, αξιολογείται η σημαντικότητα των καμπών ως ανεξάρτητες οντότητες, αλλά και ως προς την αλληλουχία, και επιλέγονται εκείνες που θα διαμορφώσουν το τελικό ε-τμήμα. Η επιλογή πραγματοποιείται με βάση χαρτογραφικά κριτήρια (οπτική αντίληψη, γεωμετρία γραμμής), σε συνδυασμό με ποσοτικά χαρακτηριστικά των καμπών.

Ένας βασικός κανόνας, πάνω στον οποίο στηρίζεται η επιλογή για διατήρηση ή αφαίρεση κάθε καμπής είναι η ευαναγνωσιμότητά της ως αυτόνομη οντότητα. Για το λόγο αυτό, τίθεται ως κριτήριο η αναλογία του μήκους της γραμμής βάσης τους (BL), ως προς τη διάμετρο εφαρμογής  $\varepsilon$  του θεωρητικού δίσκου του Perkal. Βάσει των κανόνων οπτικής αντίληψης που έχουν οριστεί (βλ. ενότητες 2.1 και 2.3), οι καμπές στις οποίες θα μπορούσε να εισέλθει ο δίσκος του Perkal καλύπτουν το όριο ευαναγνωσιμότητας στη συγκεκριμένη κλίμακα και ως εκ τούτου, είναι δυνατό να αποδοθούν ευκρινώς στον παράγωγο χάρτη. Έτσι, καμπές με γραμμή βάσης μεγαλύτερη ή ίση της διαμέτρου  $\varepsilon$  ( $BL \geq \varepsilon$ ) επιλέγεται να διατηρηθούν. Οι υπόλοιπες ( $BL < \varepsilon$ ) κρίνονται ως μη ορατές και είναι υποψήφιες προς αφαίρεση. Σε ειδικές περιπτώσεις που ανακύπτει θέμα επιλογής μεταξύ δύο καμπών που δεν καλύπτουν το κριτήριο διατήρησης αφαιρείται εκείνη με τη μικρότερη γραμμή βάσης (BL).

Σε ένα δεύτερο επίπεδο αξιολόγησης, λαμβάνεται υπόψη η σημαντικότητα της εκάστοτε καμπής ως προς το σύνολο του τμήματος στο οποίο ανήκει. Η διαδικασία αυτή είναι εξίσου σημαντική, αν αναλογισθεί κανείς πως η τελική γραμμή διαμορφώνεται από μία αλληλουχία καμπών και πως η βέλτιστη απόδοση αυτής είναι το ζητούμενο. Έτσι, εκτός των ποσοτικών, τίθενται πρόσθετα κριτήρια, τα οποία σχετίζονται με τη διατήρηση της συνέχειας και του χαρακτήρα του συνόλου της γραμμής. Μία θεμελιώδης αρχή που επιβάλλεται να προσμετράται είναι η διατήρηση της ετεροσημότητας των καμπών που δομούν τη γραμμή (βλ. ενότητα 3.2.2.1). Κάθε

καμπή, δηλαδή, πρέπει να ακολουθείται από μία αντιθέτου προσήμου. Εξ αυτού προκύπτει ο περιορισμός της αφαίρεσης πάντοτε ζεύγους καμπών. Ο κανόνας αυτός έχει σημαίνουσα βαρύτητα για τη γεωμετρία του παράγωγου ε-τμήματος και υπερισχύει του κριτηρίου ευαναγνωσιμότητας (αναλογία γραμμής βάσης προς διάμετρο ε). Έτσι, μία καμπή που έχει ορισθεί ως διατηρούμενη ( $BL \geq \varepsilon$ ), συνήθως, επιλέγεται να απαλειφθεί, αν είναι άμεσα γειτονική αφαιρούμενης. Επιπρόσθετα, μία γενικευμένη αλληλουχία καμπών πρέπει να διατηρεί τη φορά της αρχικής και της τελικής καμπής, όπως αυτές ορίζονται από την αρχική γραμμή, ώστε να μην διαταράσσεται η γενική μορφή της και να μη δημιουργούνται προβλήματα ασυνέχειας με τα εκατέρωθεν ε-τμήματα. Τέλος, συνεκτιμώνται δεσμεύσεις υποκειμενικού ενδιαφέροντος, οι οποίες συνδέονται με τα απεικονιζόμενα φαινόμενα και το σκοπό του χάρτη. Για παράδειγμα, σε ένα ναυτικό χάρτη, επιλέγεται να διατηρηθεί μία χερσόνησος σε βάρος ενός γειτονικού κόλπου, ώστε να εξασφαλισθεί η ασφαλής πλεύση. Η διατήρηση ή αφαίρεση των καμπών που δομούν τα αμφίπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα είναι μια αρκετά σύνθετη διαδικασία. Στο μοντέλο επιτυγχάνεται η εν μέρει αυτοματοποίησή της, με τη θέσπιση και υλοποίηση αντικειμενικών κανόνων επιλογής. Απαιτείται, όμως, η παρέμβαση και ο έλεγχος από το χρήστη, ώστε να διασφαλίζεται το δυνατόν ορθότερο αποτέλεσμα.

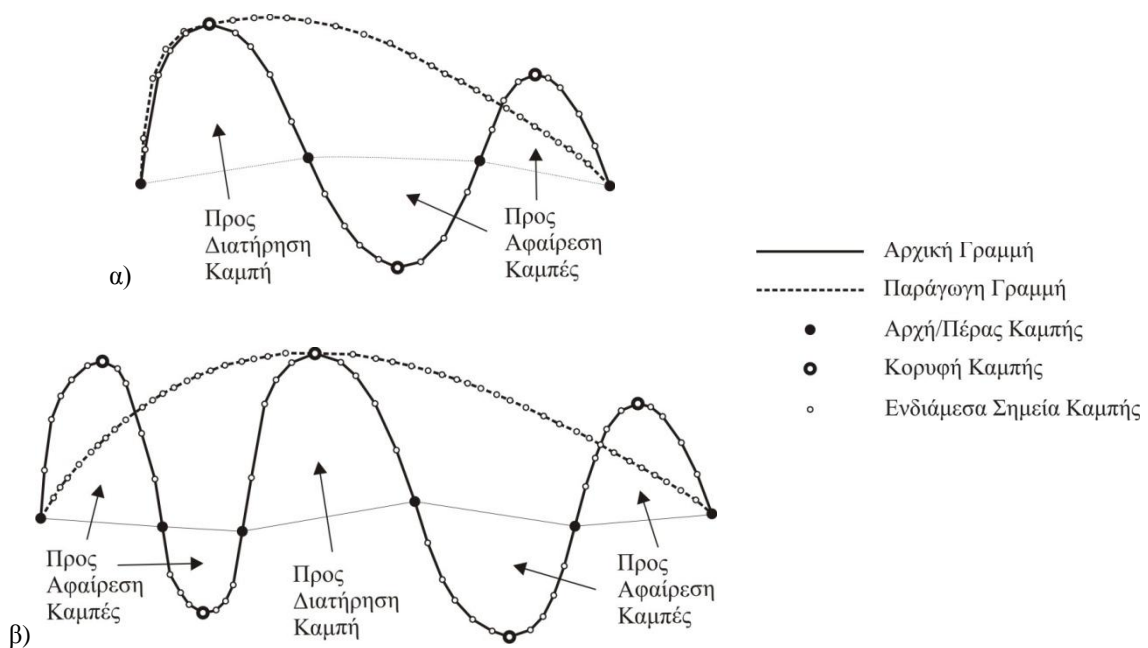
#### 3.2.2.4 Μετεπεξεργασία καμπών

Μετά την περάτωση των δύο πρώτων σταδίων επεξεργασίας, τα αμφίπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα έχουν απλοποιηθεί και από τις προκύπτουσες νέες καμπές έχουν καθορισθεί εκείνες που θα τα διαμορφώσουν στην παράγωγη κλίμακα. Σε ένα τελευταίο επίπεδο επεξεργασίας, οι καμπές αυτές υπόκεινται σε κατάλληλους μετασχηματισμούς, ώστε να παραχθεί η γενικευμένη μορφή των ε-τμημάτων. Οι μετασχηματισμοί εφαρμόζονται ανάλογα με τις αποφάσεις που έχουν παρθεί κατά τη διαδικασία επιλογής (βλ. ενότητα 3.2.2.3). Βάσει αυτών, κάθε καμπή που αποτελεί μέρος μιας αλληλουχίας είναι δυνατό: 1) να διατηρείται, όπως και οι εκατέρωθεν της, 2) να διατηρείται και να αφαιρείται μία εκ των εκατέρωθεν της, 3) να διατηρείται και να αφαιρούνται οι εκατέρωθεν της και 4) να αφαιρείται. Κάθε ενδεχόμενο αντιμετωπίζεται διαφορετικά, με την εφαρμογή κατάλληλων τελεστών, οι οποίοι διασφαλίζουν την οπτική και γεωμετρική ποιότητα του τελικού προϊόντος (Λαμπράκη 2009).

Στην πρώτη περίπτωση, όπου μία καμπή, καθώς και οι εκατέρωθεν γειτονικές της, επιλέγεται να διατηρηθούν, η εξασφάλιση της ευαναγνωσιμότητας της πρώτης στον παράγωγο χάρτη προϋποθέτει τη διόγκωσή της. Το ίδιο ισχύει και στην ειδική περίπτωση που διατηρείται το σύνολο των καμπών που διαμορφώνουν το αμφίπλευρο ε-μη-κυρτό τμήμα. Η διεργασία διόγκωσης λαμβάνει χώρα με την εφαρμογή του αλγορίθμου *Balloon* (Lecordix et al. 1997), σε συνδυασμό με ομοπαράλληλο μετασχηματισμό. Η επεξεργασία είναι αντίστοιχη με αυτή που εφαρμόζεται στα μονόπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα, όπως παρουσιάζεται στις ενότητες 3.2.1.2 και 3.2.1.3. Ως χαρακτηριστικές θέσεις των καμπών (αρχή, πέρας, κορυφή) λαμβάνονται αυτές που έχουν προκύψει από τη μέθοδο εντοπισμού καμπών των Wang και Müller.

Στην περίπτωση που επιλέγεται να αφαιρεθούν ένα ή περισσότερα ζεύγη καμπών από μία αλληλουχία, εμφανίζεται η ανάγκη κάλυψης του κενού χώρου που δημιουργείται. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διεύρυνση των γειτονικών, εναπομεινανσών καμπών. Ειδικότερα, όταν μία καμπή διατηρείται και αφαιρείται μία γειτονική της, τότε αυτή διευρύνεται προς την κατεύθυνση της αφαιρούμενης. Αντίστοιχα, αν αφαιρούνται

και οι δύο εκατέρωθεν, διευρύνεται και από τις δύο πλευρές της. Η διεύρυνση πραγματώνεται με τον ομοπαράλληλο μετασχηματισμό (βλ. ενότητα 3.2.1.3.2) των συμμετασχόντων καμπών. Στην περίπτωση μονόπλευρης αφαίρεσης καμπών, η γραμμή μετασχηματίζεται με τρόπο, ώστε η προκύπτουσα να διέρχεται από την κορυφή της διατηρούμενης, ξεκινώντας από την αρχή αυτής και καταλήγοντας στο πέρας της τελευταίας αφαιρούμενης (ή το πέρας της διατηρούμενης και την αρχή της αφαιρούμενης, ανάλογα με την κατεύθυνση διεύρυνσης), όπως παρουσιάζεται στο παράδειγμα το Σχήματος 13α. Στην περίπτωση αφαίρεσης εκατέρωθεν καμπών, η γραμμή μετασχηματίζεται έτσι, ώστε η προκύπτουσα γραμμή να διέρχεται από την κορυφή της διατηρούμενης και ως άκρα να διατηρεί την αρχή της πρώτης και το πέρας της τελευταίας αφαιρούμενης (Σχήμα 13β). Οι χαρακτηριστικές θέσεις των καμπών έχουν εντοπισθεί μέσω της μεθόδου εντοπισμού καμπών των Wang και Müller, ενώ η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις γενικευμένες καμπές.



Σχήμα 13: Παραδείγματα αφαίρεσης και διεύρυνσης καμπών

Εξετάζοντας τα παράγωγα ε-τιμήματα που προκύπτουν από τις προαναφερθείσες διεργασίες παρατηρείται πως, σε αρκετές περιπτώσεις, εμφανίζονται ασυνέχειες και γωνίες στις θέσεις σύνδεσης των επιμέρους καμπών ή και στις θέσεις σύνδεσης του ε-τιμήματος με την υπόλοιπη γραμμή. Το γεγονός αυτό, που οφείλεται στη σειρά μετατροπών που υπόκειται το ε-τιμήμα, και κυρίως, στο σχετικά μεγάλο βαθμό εξομάλυνσης και τη γεωμετρία που εφαρμόζει ο ομοπαράλληλος μετασχηματισμός, μειώνει την οπτική ποιότητα του αποτελέσματος. Μία λύση που προτείνεται και χρησιμοποιείται είναι η διόγκωση των καμπών όπου εντοπίζεται το πρόβλημα. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα μέσω του αλγορίθμου *Balloon* (Lecordix et al. 1997), όπως περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες. Η διόγκωση πραγματοποιείται, συνήθως, σε μικρό βαθμό, ικανό να 'ομαλοποιήσει' τη γραμμή, χωρίς να μεταβάλει τη γεωμετρία της.

Μία θεμελιώδης αρχή, πάνω στην οποία στηρίζεται η ορθή γενίκευση μιας γραμμικής οντότητας είναι η διατήρηση των χαρακτηριστικών της θέσεων. Κατά την

επεξεργασία των αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων, οι αρχικές καμπές απλοποιούνται, αφαιρούνται, συγχωνεύονται ή μεγεθύνονται, ώστε να προκύψουν οι τελικές, που διαμορφώνουν την προκύπτουσα γραμμή. Έτσι, ως χαρακτηριστικές θέσεις του παράγωγου ε-τμήματος ορίζονται μόνο οι κορυφές και τα άκρα των καμπών που έχουν διατηρηθεί (στα οποία συμπεριλαμβάνονται και τα άκρα του ε-τμήματος). Για την ορθή ολοκλήρωση της γενίκευσης κρίνεται αναγκαίο οι συγκεκριμένες θέσεις να εντοπισθούν στην αρχική γραμμή και το ε-τμήμα να μετασχηματισθεί κατάλληλα, ώστε να διέρχεται από αυτές. Τα σημεία που δομούν τα ε-τμήματα υπόκεινται μια σειρά μεταθέσεων, χωρίς, όμως, να απαλείφονται, να χάνουν την αύξουσα σειρά τους ή τη σύνδεση τους με την καμπή στην οποία ανήκουν. Έτσι, είναι εφικτή η αντιστοίχιση των χαρακτηριστικών σημείων της παράγωγης γραμμής με τα ομόλογα τους στην αρχική και η επαναφορά στην πρώτη τους θέση. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα με την εφαρμογή του ομοπαράλληλου μετασχηματισμού των ε-τμημάτων, σύμφωνα με τις αρχές που περιγράφονται στην ενότητα 3.2.1.3.2. Με τον τρόπο αυτό, η γραμμή επανασηματίζεται, λαμβάνοντας την τελική, γενικευμένη της μορφή. Με την ολοκλήρωση των παραπάνω διεργασιών, τα αμφίπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα έχουν υποστεί τους κατάλληλους μετασχηματισμούς, ώστε να αποδίδονται ευκρινώς στον παράγωγο χάρτη, διατηρώντας, συγχρόνως, τη μορφολογία τους.

### 3.2.3 Γενίκευση τμημάτων σύγκλισης (Κατηγορία Γ)

Για τις θέσεις όπου εμφανίζεται σύγκλιση τμημάτων (κατηγορία Γ), στην παρούσα έρευνα εισάγεται μια νέα μέθοδος επεξεργασίας και γενίκευσής τους. Η μέθοδος ονομάζεται ‘αλγόριθμος *Depress*’ και στηρίζεται στη γενική ιδέα της μετατόπισης των γραμμικών τμημάτων με τρόπο κατάλληλο, ώστε η περιοχή ανάμεσα τους να διευρύνεται και, θεωρητικά, να διέρχεται από αυτή ο δίσκος του Perkal, συνθήκη που εξασφαλίζει την οπτική ευαναγνωσιμότητα.

Ένα γεγονός που πρέπει να επισημανθεί είναι, πως ο αλγόριθμος *Depress* δεν αντιμετωπίζει κάθε τμήμα σύγκλισης ανεξάρτητα, όπως συμβαίνει με τις διαδικασίες γενίκευσης των άλλων τριών κατηγοριών (Α, Β και Δ) που περιγράφονται στην έρευνα. Εισάγεται η έννοια της ‘περιοχής σύγκλισης’, η οποία διαμορφώνεται από δύο ή παραπάνω αλληλοεπηρεαζόμενα τμήματα σύγκλισης. Κάθε τμήμα, ως επιμέρους οντότητα της περιοχής, ‘συμβάλει’ στη δημιουργία των παραμέτρων και βάσει αυτών υπόκειται σε επεξεργασία, ώστε να επιτευχθεί η ορθή γενίκευσή της.

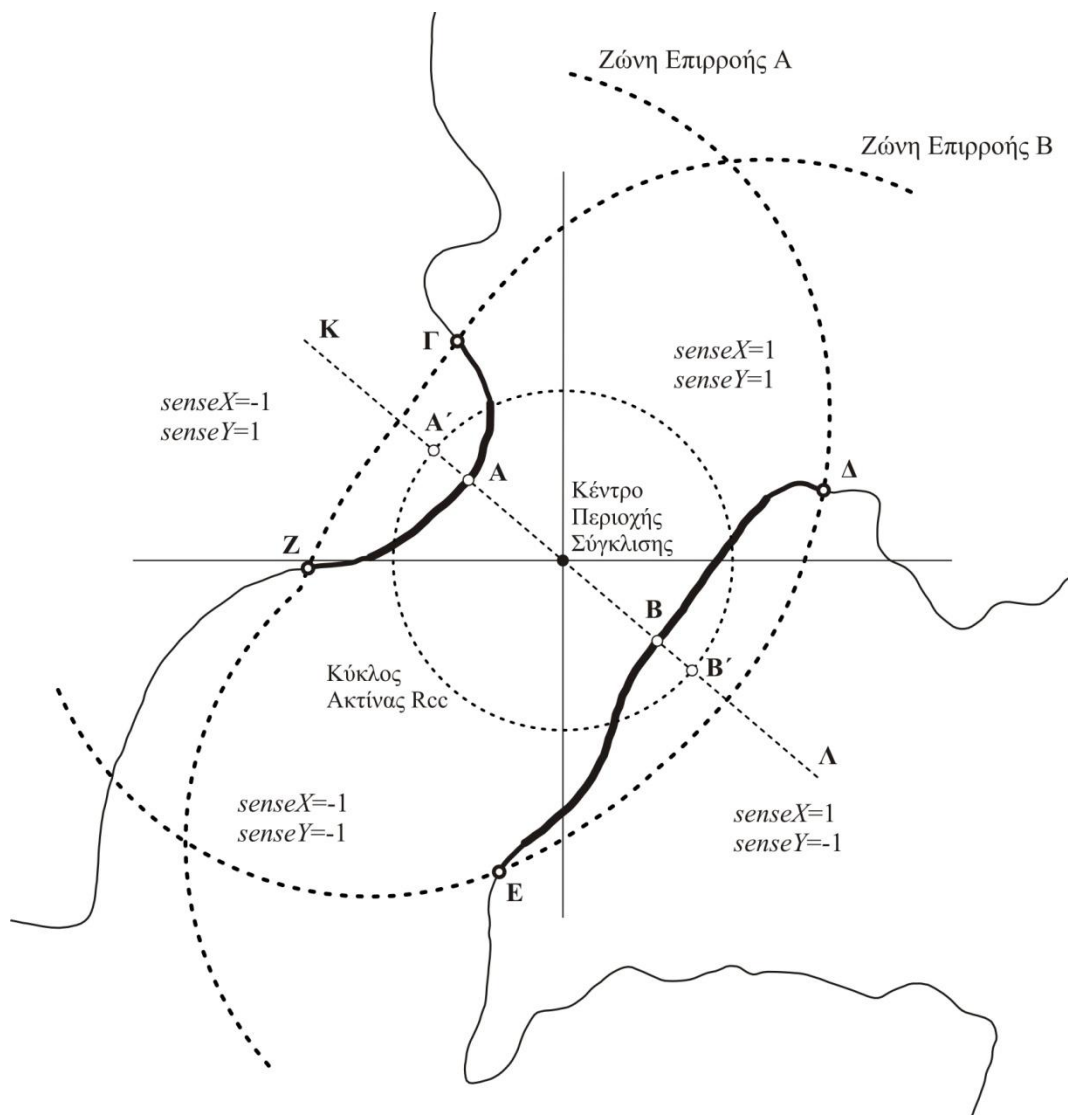
#### 3.2.3.1 Ιδιότητες περιοχής σύγκλισης

Σε ένα πρώτο επίπεδο επεξεργασίας, ανευρίσκονται οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν την περιοχή σύγκλισης. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των τμημάτων σύγκλισης, εντοπίζονται τα σημεία μεταξύ των οποίων αυτή εμφανίζεται (Α και Β στο Σχήμα 14), καθώς και το μέσο μεταξύ των σημείων αυτών, το οποίο αποτελεί το κέντρο της περιοχής σύγκλισης (Σχήμα 14). Το κέντρο περιοχής σύγκλισης αποτελεί ιδιαίτερης σημαντικότητας θέση, αφού, όπως προκύπτει και από τον ορισμό του, σε αυτή εμφανίζεται σε μέγιστο βαθμό το πρόβλημα οπτικής ευαναγνωσιμότητας. Τα σημεία ελάχιστης απόστασης ορίζονται ως οι ‘κορυφές’ των τμημάτων στα οποία ανήκουν.

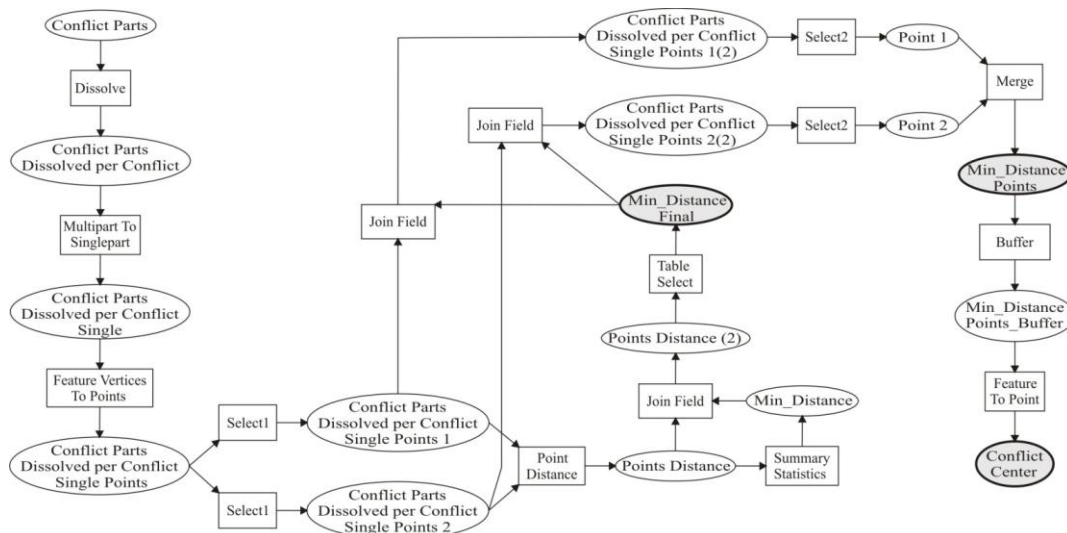
Η επεξεργασία λαμβάνει χώρα στο περιβάλλον του λογισμικού πακέτου *ArcGIS* v.9.3, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 15. Τα γραμμικά τμήματα που διαμορφώνουν



την περιοχή σύγκλισης (*Conflict Parts*) διασπώνται (*Feature Vertices To Points*) στα σημεία από τα οποία δομούνται και διαχωρίζονται (*Select1*) σε ανεξάρτητες οντότητες. Στη συνέχεια, υπολογίζονται (*Point Distance*), μία προς μία, όλες οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων των γραμμών και επιλέγεται (*Summary Statistics*) η ελάχιστη (*Min\_Distance*). Τα σημεία, μεταξύ των οποίων αυτή εμφανίζεται, εντοπίζονται (*Table Select*) και αποκόπτονται (*Select2*) από τα υπόλοιπα (*Min\_Distance Points*). Τέλος, γύρω από τα σημεία, δημιουργείται (*Buffer*) ο γεωμετρικός τύπος των θέσεων που απέχουν απόσταση από αυτά ίση ή μικρότερη της ελάχιστης. Το κέντρο του πεδίου αυτού αποτελεί το κέντρο της περιοχής σύγκλισης (*Conflict Center*), το οποίο και εντοπίζεται (*Feature To Point*).



Σχήμα 14: Παράδειγμα περιοχής σύγκλισης.



Σχήμα 15: Υπολογισμός ποσοτικών ιδιοτήτων και εντοπισμός χαρακτηριστικών θέσεων των περιοχών σύγκλισης.

### 3.2.3.2 Επεξεργασία περιοχής και τμημάτων σύγκλισης

Όπως αναφέρεται παραπάνω, το πρόβλημα ευαναγνωσιμότητας των περιοχών σύγκλισης θεωρητικά επιλύεται, αν δίσκος του Perkal με διάμετρο ίση με αυτή που έχει οριστεί στη διαδικασία αποκοπής τμημάτων (βλ. ενότητα 2.3), διέρχεται από αυτές.

Προσομοιώνοντας την παραπάνω διαδικασία, φέρεται κύκλος ακτίνας  $R_{cc} = \frac{\varepsilon}{2}$ , με

κέντρο το κέντρο περιοχής σύγκλισης. Τα μέρη των τμημάτων που βρίσκονται εντός του κύκλου απέχουν μεταξύ τους αποστάσεις μικρότερες της ανοχής  $\varepsilon$ . Συνεπώς, αυτά πρέπει να μετατεθούν τόσο, ώστε η μεταξύ τους απόσταση να είναι ίση ή μεγαλύτερη της ανοχής, θεωρητικά δηλαδή, ο κύκλος να μην τα τέμνει. Θέτοντας το κριτήριο του Perkal στη θέση όπου εμφανίζεται σε μέγιστο βαθμό το πρόβλημα, εξασφαλίζεται η επίλυσή του σε όλο το εύρος της περιοχής σύγκλισης. Η μέγιστη (και αναγκαία) μετατόπιση  $L = \frac{\varepsilon - \text{Min\_Distance}}{2}$  είναι αυτή που απαιτείται για να μετατοπιστούν τα

σημεία ελάχιστης απόστασης (A και B) κατά μήκος της ευθείας ΚΛ που διέρχεται από αυτά, σε θέσεις πάνω στον κύκλο (A' και B', αντίστοιχα) (Σχήμα 14). Τα υπόλοιπα σημεία του τμήματος σύγκλισης μετατίθενται σε αποστάσεις ανάλογες αυτής και σε κατεύθυνση παράλληλη της ΚΛ, διασφαλίζοντας πως η νέα τους θέση εντοπίζεται εκτός κύκλου. Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

Εντός του κύκλου ακτίνας  $R_{cc}$  είναι δυνατό να αποκόπτονται: 1) ακέραια τα τμήματα σύγκλισης, όπως έχουν προκύψει από την κατάτμηση της γραμμής, 2) μέρη των τμημάτων σύγκλισης (γραμμές μεγάλου πάχους στο Σχήμα 14) και 3) μέρη τμημάτων που ανήκουν στις υπόλοιπες τρεις κατηγορίες (A, B και Δ) και γειτνιάζουν με την περιοχή σύγκλισης. Στην πρώτη περίπτωση, η οποία λόγω ασυμμετρίας και τυχαίας μορφής των φυσικών γραμμών δεν παρουσιάζεται συχνά, η γενίκευση πραγματοποιείται αποκλειστικά στα τμήματα σύγκλισης. Στη δεύτερη, η επεξεργασία λαμβάνει χώρα σε όλο το μήκος τους και όχι μόνο στις θέσεις που βρίσκονται εντός του κύκλου, ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα του αποτελέσματος στο σύνολο του τμήματος που έχει οριστεί ως 'σύγκλισης'. Στην τρίτη, τα μέρη εντός του κύκλου

αποκόπτονται από τις γραμμές στις οποίες ανήκουν, συνενώνονται με τα τμήματα σύγκλισης και ως τέτοια αντιμετωπίζονται στην περαιτέρω επεξεργασία τους. Τα εκτός κύκλου μέρη των γειτονικών γραμμών παραμένουν στην αρχική τους κατηγορία και γενικεύονται με τις ανάλογες διαδικασίες. Για το λόγο αυτό, η γενίκευση των τμημάτων σύγκλισης πραγματοποιείται πριν τη γενίκευση των τμημάτων των άλλων τριών κατηγοριών.

Η επίλυση του προβλήματος οπτικής ευαναγνωσιμότητας στις περιοχές σύγκλισης επιτυγχάνεται με τη μετατόπιση ‘προς τα έξω’ των τμημάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του κύκλου  $R_{cc}$ , ώστε η προβληματική περιοχή να ‘ανοίξει’ και, θεωρητικά, να εισέρχεται χωρίς να την τέμνει ο δίσκος του Peikal. Δοκιμαστικές εφαρμογές της ιδέας αυτής οδήγησαν στο συμπέρασμα πως είναι πιθανή η εμφάνιση ασυνεχειών ή μη διατήρηση της καμπυλότητας στο τελικό προϊόν. Όπως φαίνεται στο παράδειγμα του Σχήματος 16, το γενικευμένο τμήμα σύγκλισης έχει αντίθετη καμπυλότητα της αρχικής, ενώ στις θέσεις σύνδεσης με την υπόλοιπη γραμμή είναι εμφανής η ασυνέχεια στην ομαλότητα. Και οι δύο περιπτώσεις, οι οποίες είναι δυνατό να παρουσιάζονται μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, συνιστούν πρόβλημα, αφού μεταβάλλεται η μορφή της γραμμής και μειώνεται η οπτική ποιότητα του αποτελέσματος.



Σχήμα 16: Προβλήματα κατά τη γενίκευση τμημάτων σύγκλισης.

Βασική αιτία εμφάνισης του παραπάνω προβλήματος είναι ο τρόπος λειτουργίας του αλγορίθμου συναρτήσεως της γεωμετρικής δομής των προς επεξεργασία τμημάτων. Τα σημεία που διαμορφώνουν τα τμήματα μετατοπίζονται αναλογικά και υπό συγκεκριμένη κατεύθυνση, από μια μέγιστη απόσταση  $L$  στην κορυφή, μέχρι μία μηδενική στις θέσεις σύνδεσης. Με δεδομένο πως το μέγεθος μετάθεσης είναι συγκεκριμένο, το πρόβλημα ανακύπτει όταν το μήκος του τμήματος είναι, για τις παραμέτρους εφαρμογής, μικρό ή η καμπυλότητά του μεγάλη ή εμφανίζεται συνδυασμός των παραπάνω. Τα τμήματα ‘συμπίεζονται’ διατηρώντας σταθερά τα ακραία τους σημεία. Όταν η ‘συμπίεση’ αυτή είναι δυσανάλογη του μήκους, το αποτέλεσμα είναι η παραμόρφωση της προκύπτουσας γραμμής. Γίνεται αντιληπτό πως, το πρόβλημα θα απαλειφόταν ή θα περιοριζόταν σε αποδεκτό βαθμό, αν στο τμήμα σύγκλισης δινόταν η δυνατότητα επέκτασης του μήκους, μέσω μιας μετατόπισης των ακραίων του σημείων. Με άξονα την ιδέα αυτή, επιχειρείται η επιμήκυνση των τμημάτων σύγκλισης, με την προσθήκη γραμμικών τμημάτων εκατέρωθεν των ακραίων σημείων τους. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με μια νέα οριοθέτηση της περιοχής σύγκλισης, σε θέσεις εκτός του κύκλου ακτίνας  $R_{cc}$ . Με τον τρόπο αυτό, και διατηρώντας τις παραμέτρους γενίκευσης που αφορούν τα τμήματα που ανήκουν στην αρχική περιοχή σύγκλισης, εξασφαλίζεται, εμμέσως, η προαναφερθείσα επέκταση του μήκους τους.

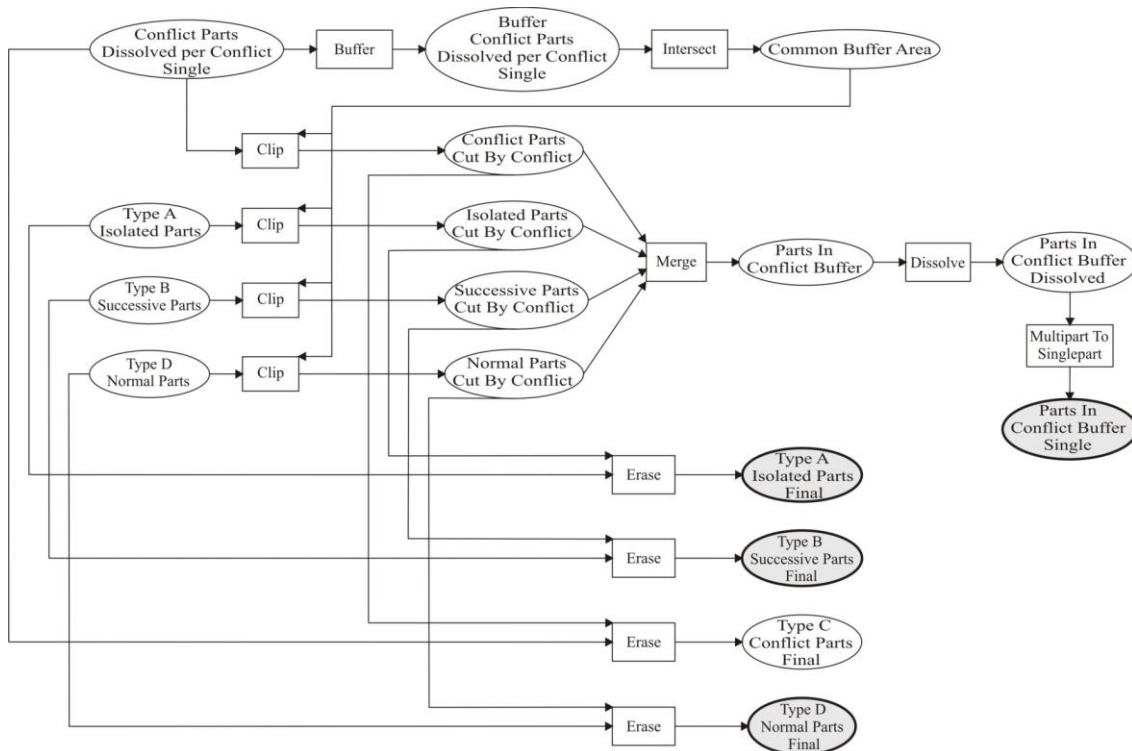
Σημαντικό ζητούμενο είναι η έκταση της περιοχής εκτός κύκλου ακτίνας  $R_{cc}$  που θα χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των νέων τμημάτων σύγκλισης. Και τούτο, διότι τα επιπλέον τμήματα που αποκόπτονται από τις γειτονικές γραμμές θα πρέπει να είναι τα ικανά και αναγκαία για την επίλυση των προβλημάτων σύγκλισης, χωρίς όμως, να

επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό η δομή των γειτονικών και κατ' επέκταση, το σύνολο της γενικευμένης γραμμής. Παράλληλα, γίνεται προσπάθεια εύρεσης ενός παραμετροποιημένου τρόπου επιλογής τους, ώστε να μην είναι αυθαίρετος και να είναι ανεξάρτητος, τόσο από τη μορφολογία της εκάστοτε γραμμής, όσο και από το επίπεδο γενίκευσης.

Η λύση που προτείνεται είναι η οριοθέτηση της νέας περιοχής μέσω εφαρμογής ζωνών επιρροής. Η διαδικασία υλοποιείται στο περιβάλλον του λογισμικού πακέτου ArcGIS v.9.3 και παρουσιάζεται στο Σχήμα 17. Γύρω από κάθε τμήμα σύγκλισης (*Conflict Parts Dissolved per Conflict Single*), όπως έχει προκύψει από την εφαρμογή του δίσκου του Perkal (πριν, δηλαδή, την εφαρμογή του κύκλου  $R_{cc}$ ), δημιουργείται ζώνη επιρροής (*Buffer*), εύρους ίσου με τη διάμετρο  $\epsilon$ . Κάθε μία τέμνει τη γραμμή σε τουλάχιστον δύο σημεία. Τα σημεία τομής της ζώνης επιρροής κάθε τμήματος που εντοπίζονται εγγύτερα στο εξαρτώμενο τμήμα σύγκλισης, ορίζουν την επιπλέον περιοχή εξέτασης γύρω από το δεύτερο. Η περιοχή, η οποία ονομάζεται 'διευρυμένη περιοχή σύγκλισης' (*Common Buffer Area*), απομονώνεται (*Intersect*). Τα μέρη των γειτονικών τμημάτων που εντοπίζονται εντός αυτής αποκόπτονται (*Clip*) και συνενώνονται (*Merge*) με τα αρχικά τμήματα σύγκλισης, δημιουργώντας τα 'διευρυμένα τμήματα σύγκλισης' (*Parts In Conflict Buffer Single*). Αντίθετα, τα μέρη των γειτονικών τμημάτων που βρίσκονται εκτός της διευρυμένης περιοχής σύγκλισης απομονώνονται (*Erase*), δημιουργώντας τα τελικά, προς επεξεργασία  $\epsilon$ -τμήματα, των υπολοίπων τριών κατηγοριών (*Type A Isolated Parts Final*, *Type B Successive Parts Final* και *Type D Normal Parts Final*). Στο παράδειγμα του Σχήματος 14, η ζώνη επιρροής του τμήματος με κορυφή Β τέμνει τη γραμμή πλησίον του τμήματος με κορυφή Α στα σημεία Γ και Ζ. Αντίστοιχα, η ζώνη επιρροής του τμήματος Α στα σημεία Δ και Ε. Μεταξύ αυτών αποκόπτονται τμήματα από τα γειτονικά (γραμμές μέσου πάχους), συνενώνονται με τα αρχικά (γραμμές μεγάλου πάχους) και διαμορφώνονται τα διευρυμένα τμήματα σύγκλισης. Τα σημεία τομής οριοθετούν τη διευρυμένη περιοχή σύγκλισης, και παίζουν σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία της γραμμής, αφού αποτελούν σημεία σύνδεσης της 'προβληματικής' με τις γειτονικές περιοχές και παραμένουν σταθερά κατά τη διαδικασία γενίκευσης.

Η εφαρμογή στηρίζεται θεωρητικά στην ιδέα πως, εκατέρωθεν κάθε τμήματος σύγκλισης προσαρτώνται μέρη των γειτονικών, μεγέθους ικανού και αναγκαίου, ώστε ο δίσκος του Perkal να διέρχεται από τη διευρυμένη περιοχή που δημιουργείται, αν μετατοπισθεί μόνο το συγκεκριμένο τμήμα σύγκλισης. Η ζώνη επιρροής εύρους  $\epsilon$  σε κάθε τμήμα προσομοιώνει, ακριβώς, αυτή τη διαδικασία. Γίνεται φανερό πως, με την υλοποίηση σε όλα τα τμήματα, εξασφαλίζεται η επίλυση του προβλήματος οπτικής ευαναγνωσιμότητας της περιοχής σύγκλισης. Η εφαρμογή πραγματοποιείται στα αρχικά τμήματα σύγκλισης, αφού βάσει αυτών ορίζεται το ζητούμενο γενίκευσης. Η φιλοσοφία λειτουργίας της ζώνης επιρροής διασφαλίζει πως η μορφή και το μέγεθος κάθε διευρυμένης περιοχής σύγκλισης εξαρτάται αποκλειστικά από τη μορφή των τμημάτων της αρχικής περιοχής σύγκλισης στα οποία εφαρμόζεται. Παράλληλα, με τον ορισμό του εύρους εφαρμογής ίσο με την ανοχή  $\epsilon$ , επιτυγχάνεται η συνάρτηση της διαδικασίας με το εκάστοτε επιθυμητό επίπεδο γενίκευσης. Η επέκταση των περιοχών σύγκλισης λαμβάνει χώρα σε κάθε εφαρμογή, αφού, και σε περιπτώσεις όπου δεν εμφανίζονται προβλήματα που περιγράφηκαν παραπάνω, συμβάλει στην αισθητική βελτιστοποίηση του αποτελέσματος. Έτσι, συμπερασματικά, η επίλυση του προβλήματος σύγκλισης ολοκληρώνεται με τη γενίκευση των τμημάτων που ανήκουν στη διευρυμένη περιοχή σύγκλισης, βάσει των παραμέτρων που προκύπτουν από την ανάλυση των αρχικών τμημάτων σύγκλισης. Στα τμήματα των γειτονικών που

βρίσκονται εκτός ζώνης επιρροής πραγματοποιείται η κατάλληλη επεξεργασία, ανάλογα με την κατηγορία (A, B ή Δ) στην οποία ανήκουν. Να σημειωθεί πως κάτι τέτοιο δε συνιστά πρόβλημα στην ποιότητα του τελικού προϊόντος, αφού η περίπτωση σύγκλισης αποτελεί το πιο σημαντικό, αλλά και δύσκολο ζητούμενο στη διαδικασία γενίκευσης της γραμμής, όπως αυτή περατώνεται στην έρευνα.



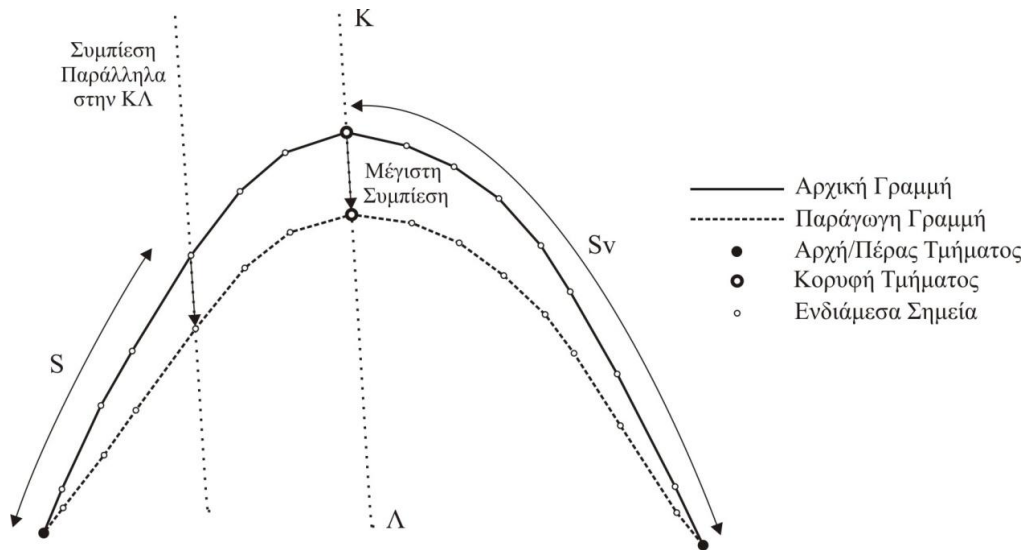
Σχήμα 17: Δημιουργία διευρυμένης περιοχής σύγκλισης και αποκοπή τελικών ε-τμημάτων.

Τα διευρυμένα τμήματα σύγκλισης υπόκεινται σε μια διαδικασία εξομάλυνσης, ώστε να εξαλειφθούν μικρολεπτομέρειες της γραμμής, οι οποίες πιθανά επηρεάσουν το αποτέλεσμα της εφαρμογής του τελεστή συμπίεσης που λαμβάνει χώρα στη συνέχεια. Η διεργασία υλοποιείται με τη χρήση του τελεστή *Gauss*, όπως παρουσιάζεται στην ενότητα 3.1.2. Αξίζει να επισημανθεί, πως η εξομάλυνση επιλέγεται να εφαρμοσθεί στα διευρυμένα και όχι στα αρχικά τμήματα σύγκλισης. Κάτι τέτοιο συμβαίνει, διότι τα χαρακτηριστικά των περιοχών σύγκλισης (ελάχιστη απόσταση, κορυφές, κέντρο, ευθεία ΚΛ) είναι αναγκαίο να εντοπίζονται στην αρχική γραμμή. Ο υπολογισμός τους σε μια εξομαλυσμένη εκδοχή αυτής, θα είχε ως αποτέλεσμα την εξαγωγή εσφαλμένων ή ανακριβών δεδομένων, τα οποία με τη σειρά τους, θα επηρέαζαν την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Παράλληλα, η εξομάλυνση των ε-τμημάτων (σύγκλισης και γειτονικών) στην αρχική τους μορφή και η εφαρμογή των διεργασιών αποκοπής και συνένωσης στα παράγωγα, θα επέφερε σημαντικές παραμορφώσεις και σφάλματα στη γεωμετρία των τελικών ε-τμημάτων.

### 3.2.3.3 Συμπίεση τμήματος σύγκλισης

Τα διευρυμένα τμήματα σύγκλισης υπόκεινται σε διαδικασία ‘συμπίεσης’, ώστε να ολοκληρωθεί η γενίκευση. Κάθε σημείο που δομεί τη γραμμή μετατοπίζεται ‘προς τα

έξω', βάσει ενός συντελεστή συμπίεσης. Το μέγεθος της μετατόπισης είναι ανάλογο της επικαμπύλιας απόστασης του μετατοπιζόμενου σημείου από την αρχή ή το πέρας του τμήματος. Αν το σημείο εντοπίζεται πριν το σημείο ελάχιστης απόστασης χρησιμοποιείται η αρχή, ενώ σε αντίθετη περίπτωση το πέρας. Η μετατόπιση γίνεται σε κατεύθυνση παράλληλη της ευθείας ΚΛ που ενώνει τα σημεία ελάχιστης απόστασης και φορά ανάλογη με τη θέση του ως προς το κέντρο της περιοχής σύγκλισης.



Σχήμα 18: Ο αλγόριθμος Depress.

Η μετατόπιση των σημείων κατά την εφαρμογή δίνεται μέσω των μαθηματικών σχέσεων:

$$\begin{aligned} X_c &= X_i + \text{Depress} \cdot \text{Sense} \cdot a \cdot S/S_v \\ Y_c &= Y_i + \text{Depress} \cdot \text{Sense} \cdot b \cdot S/S_v \end{aligned}, \text{ όπου:}$$

$X_c, Y_c$ : οι συντεταγμένες της προκύπτουσας γραμμής.

$X_i, Y_i$ : οι συντεταγμένες της αρχικής γραμμής.

*Depress*: ο συντελεστής συμπίεσης της γραμμής. Η τιμή του είναι σταθερή σε κάθε εφαρμογή, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής σύγκλισης και το

$$\text{επίπεδο γενίκευσης και είναι ίση με } \text{Depress} = \frac{\varepsilon - \text{Min\_Distance}}{2}.$$

*Sense*: +1 ή -1, ανάλογα με τη θέση της κορυφής του τμήματος, σε σχέση με το κέντρο της περιοχής σύγκλισης (Σχήμα 14),

$a, b$ : ο συντελεστής διεύθυνσης της ευθείας ΚΛ που διέρχεται από τις κορυφές των τμημάτων σύγκλισης (A, B στο Σχήμα 14),

$S$ : το επικαμπύλιο μήκος ανάμεσα στην αρχή ή το πέρας της γραμμής και το εκάστοτε σημείο  $i$ . Για τα σημεία που βρίσκονται πριν την κορυφή, το μήκος  $S$  δίνεται από

$$\text{τη σχέση } S_i = S_{i-1} + \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2}, \text{ ενώ για τα σημεία που βρίσκονται}$$

$$\text{μετά την κορυφή από τη σχέση } S_i = S_{i+1} + \sqrt{(X_i - X_{i+1})^2 + (Y_i - Y_{i+1})^2}.$$

$S_v$ : το επικαμπύλιο μήκος ανάμεσα στην αρχή ή το πέρας της γραμμής και την κορυφή.

Στο παρόν κείμενο παρουσιάζεται η διαδικασία γενίκευσης περιοχών σύγκλισης που διαμορφώνονται από δύο τμήματα. Ο αλγόριθμος *Depress* είναι σχεδιασμένος για εφαρμογές και σε περιοχές που δομούνται από παραπάνω των δύο τμημάτων. Κατά την υλοποίηση του, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής σύγκλισης και γενικεύονται τα τμήματα, μεταξύ των οποίων εμφανίζεται η ελάχιστη απόσταση. Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της νέας περιοχής που προκύπτει. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα επαναληπτικά, μέχρι να δημιουργηθεί η περιοχή, από την οποία θα διέρχεται ο θεωρητικός δίσκος του Perkal.

### 3.2.4 Γενίκευση ε-κυρτών τμημάτων (Κατηγορία Δ)

Τα ε-κυρτά τμήματα, όπως αναφέρεται και στον ορισμό τους (βλ. κεφάλαιο 2.1) χαρακτηρίζονται από ομαλότητα και μικρή πολυπλοκότητα. Η επεξεργασία για την απόδοση τους σε μικρότερη κλίμακα έγκειται στη γενίκευσή τους μέσω ενός τελεστή απλοποίησης. Η διεργασία εκτελείται μέσω ομώνυμων αλγορίθμων, η λειτουργία των οποίων στηρίζεται στην επιλογή και αφαίρεση σημείων που δομούν τη γραμμή, με βάση γεωμετρικά κριτήρια. Στην έρευνα χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι *bendsimplify* ή *pointremove* που υποστηρίζονται από το λογισμικό πακέτο *ArcGIS* v.9.3. Ο πρώτος είναι μια περαιτέρω ανάπτυξη της ιδέας που παρουσιάστηκε από την Visvalingam και τον Whyatt (1993) και είναι βασισμένος στην έρευνα που επινοήθηκε από τους Wang και Müller (1998). Η εφαρμογή του στηρίζεται στον εντοπισμό κυρτώσεων κατά μήκος των γραμμών, την ανάλυση των ιδιοτήτων τους και την βάσει αυτών, απαλοιφή των πιο ασήμαντων. Ο αλγόριθμος απλοποίησης *pointremove* βασίζεται στον αλγόριθμο που επινοήθηκε από τους Douglas και Peucker (1973), με ορισμένες μικρές τροποποιήσεις. Ο αλγόριθμος είναι δομημένος με τέτοιο τρόπο, ώστε να διατηρούνται τα σημεία που βρίσκονται στα τμήματα αλλαγής της κλίσης της γραμμής και να απαλείφονται τα υπόλοιπα. Οι αλγόριθμοι *bendsimplify* και *pointremove* έχουν χρησιμοποιηθεί σε παλαιότερες μελέτες της ερευνητικής ομάδας (Nakos and Mitropoulos 2005), με τα αποτελέσματα των εφαρμογών να κρίνονται ως αρκετά ικανοποιητικά και για τις δύο περιπτώσεις.

### 3.3 Συνένωση γενικευμένων ε-τμημάτων - Δημιουργία γενικευμένης γραμμής

Σε ένα τελευταίο στάδιο επεξεργασίας, τα γενικευμένα ε-τμήματα επανενώνονται, ώστε να συνθέσουν τη γενικευμένη εκδοχή της αρχικής γραμμής, η οποία αποτελεί και το ζητούμενο της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα στο περιβάλλον του λογισμικού πακέτου *ArcGIS* v.9.3. Όπως αναφέρεται σε προηγούμενες ενότητες, ένας βασικός περιορισμός κατά την επεξεργασία του συνόλου των ε-τμημάτων είναι η διατήρηση (ή η επαναφορά σε περίπτωση μετατόπισης) της αρχικής θέσης των άκρων τους. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται εφικτή η ορθή και χωρίς τοπολογικές αστοχίες συνένωσή τους. Η παράγωγη γραμμή είναι πιθανό να παρουσιάζει ασυνέχειες σε σημεία σύνδεσης των τμημάτων ή ανεπαίσθητες αιχμές και σπασίματα κατά μήκος της. Το γεγονός αυτό οφείλεται στους σύνθετους, αλλά και διαφορετικούς μετασχηματισμούς που έχουν υποστεί τα τμήματα κατά τη γενίκευσή τους. Για τη διόρθωση τέτοιου είδους ατελειών, η γραμμή εξομαλύνεται σε μικρό βαθμό, με την εφαρμογή του τελεστή *Gauss* (βλ. ενότητα 3.1.2), ώστε να διαμορφωθεί η τελική, γενικευμένη εκδοχή της.

### 3.4 Ποσοτικές ιδιότητες

Ο υπολογισμός ποσοτικών μέτρων των γραμμών αποτελεί σημαντικό στάδιο μιας ολοκληρωμένης τεχνικής γενίκευσης. Μέσω αυτών, η γραμμή χαρακτηρίζεται βάσει πραγματικών/αντικειμενικών κριτηρίων, με αποτέλεσμα ο χαρτογράφος να λαμβάνει ουσιώδεις πληροφορίες, χρήσιμες για την περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία της.

Στα στάδια επεξεργασίας των γραμμικών οντοτήτων της μεθοδολογίας που παρουσιάζεται, υπολογίζεται μια σειρά ποσοτικών ιδιοτήτων, οι οποίες, σε συνδυασμό με ανοχές που θεσπίζονται, βοηθούν στην αυτοματοποίηση ορισμένων επιμέρους διεργασιών. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διαδικασία κατάτμησης, υπολογίζεται το εμβαδό του πολυγώνου που δημιουργείται μεταξύ των ε-μη-κυρτών τμημάτων και της γραμμής βάσης αυτών, καθώς και το μήκος της ευθείας βάσης των ε-κυρτών τμημάτων. Το πρώτο βρίσκει εφαρμογή στο φίλτράρισμα και το δεύτερο στη συγχώνευση των ε-μη-κυρτών τμημάτων. Απαραίτητες πληροφορίες για την ανάλυση της γεωμετρίας των γραμμών ανακύπτουν από τον προσδιορισμό των γωνιών κλίσης μεταξύ των διανυσμάτων που τις δομούν, αφού μέσω αυτών εντοπίζονται χαρακτηριστικές θέσεις, όπως αλλαγής και μέγιστης καμπυλότητας, οι οποίες έχουν σημαίνοντα ρόλο στις διεργασίες γενίκευσης. Στο μοντέλο επεξεργασίας των αμφίπλευρών ε-μη-κυρτών τμημάτων υπολογίζεται το μήκος της γραμμής βάσης των καμπών που αποκόπτονται μέσω της μεθόδου εντοπισμού καμπών των Wang και Müller, ώστε να ολοκληρωθεί η επιλογή αυτών που διατηρούνται ή απαλείφονται. Παράλληλα, υπολογίζονται ιδιότητες, όπως το εμβαδό και το βάθος των καμπών, οι οποίες σχεδιάζεται να συμπεριληφθούν ως κριτήρια επιλογής σε μελλοντική έρευνα. Κατά τη διαδικασία ανάλυσης των περιοχών σύγκλισης υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ομώνυμων τμημάτων, βάσει της οποίας, αφενός προσδιορίζονται ουσιώδη, για την περαιτέρω επεξεργασία, χαρακτηριστικά, όπως οι κορυφές και το κέντρο τους και αφετέρου, προσδιορίζεται ο συντελεστής συμπίεσης που εφαρμόζεται κατά τη γενίκευση. Τέλος, για την επιλογή κατάλληλης ανοχής των αλγορίθμων απλοποίησης των ε-κυρτών τμημάτων είναι απαραίτητη η γνώση του αριθμού και της πυκνότητας των σημείων που τα δομούν.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Πιλοτική εφαρμογή

#### 4.1 Αρχείο αναφοράς

Η τεχνική κατάτμησης και γενίκευσης χαρτογραφικών γραμμών, εφαρμόζεται πιλοτικά στην ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς, που ανήκει στο σύμπλεγμα των Σποράδων. Πρόκειται για μια γραμμή που αναπαριστά μια φυσική οντότητα (ζητούμενο του έργου) και χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας. Συνδυάζει απομονωμένες κοιλώσεις και κυρτώσεις, αλληλουχίες αυτών και θέσεις όπου είναι δυνατό να εμφανισθεί σύγκλιση τμημάτων, γεγονός που την καθιστά αντιπροσωπευτική για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης πρότασης.

Η ακτογραμμή έχει δημιουργηθεί μετά από ψηφιοποίηση αναλογικού χάρτη της Γ.Υ.Σ., σαρωμένου στα 600dpi, κλίμακας 1:50.000, με μέσο βήμα ψηφιοποίησης 0,1mm στον χάρτη (5m στο έδαφος). Το τελικό αρχείο αναφοράς έχει προέλθει μετά από καθαρισμό, ώστε να απαλειφθούν σφάλματα ψηφιοποίησης (επαναχαράξεις, κόμβοι, αιχμές κτλ.) και εξομάλυνση (ανεπαίσθητη μετατόπιση των σημείων, ώστε η γραμμή να αποκτήσει μία πιο ομαλή και 'φυσική' μορφή, χωρίς να μεταβληθεί η γεωγραφική θέση των σημείων και ο χαρακτήρας της) του πρωτογενούς, όπως προτείνεται από τον Jenks (1981). Τα δεδομένα διορθώθηκαν και εξομαλύνθηκαν με παραμέτρους κοντά στην τιμή ανοχής της ψηφιοποίησης της αναλογικής γραμμής.

#### 4.2 Κατάτμηση ακτογραμμής νήσου Περιστεράς

Η προτεινόμενη τεχνική κατάτμησης (βλ. Σχήμα 6) υλοποιείται στην αρχική ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα για ένα σενάριο γενίκευσης, στο οποίο ο παράγωγος χάρτης είναι κλίμακας 1:1.000.000. Η διάμετρος εφαρμογής ε ορίζεται από τη σχέση  $\varepsilon = W + D + T$  (βλ. ενότητα 2.3). Θεωρώντας πως σε ένα χάρτη κλίμακας 1:1.000.000, μια ακτογραμμή, συνήθως, αποδίδεται με γραμμή πάχους  $W=0,1\text{mm}$ , το όριο οπτικής αντίληψης είναι  $D=0,2\text{mm}$  (Rouleau 1984) και η τιμή ανοχής  $T=0,05\text{mm}$ , η τιμή της τίθεται  $\varepsilon=0,35\text{mm}$  (στον χάρτη) ή  $\varepsilon=350\text{m}$  (στο έδαφος).

Κατά την κύλιση του θεωρητικού δίσκου του Perkal εσωτερικά και εξωτερικά της ακτογραμμής, αυτή διασπάται σε 293 ε-τμήματα, εκ των οποίων 50 ε-κυρτά και 243 ε-μη-κυρτά. Τα ε-μη-κυρτά τμήματα υπόκεινται σε μια διαδικασία φιλτραρίσματος, ώστε να εντοπισθούν εκείνα που, λόγω μεγέθους, δεν είναι ορατά και αποτελούν, ουσιαστικά, 'θόρυβο'. Με δεδομένο πως, σε χάρτη κλίμακας 1:1.000.000, η γραμμή αποδίδεται με σύμβολο πάχους  $W=0,1\text{mm}$ , το ελάχιστο εμβαδό που μπορεί να γίνει αντιληπτό από τον αναγνώστη είναι  $0,01\text{mm}^2$  (στον χάρτη). Έτσι, προς περαιτέρω επεξεργασία ως ε-μη-κυρτά λαμβάνονται τα τμήματα με εμβαδό μεγαλύτερο ή ίσο των  $10.000\text{m}^2$  (στο έδαφος). Τα υπόλοιπα συνενώνονται με τα ε-κυρτά. Στη συνέχεια, εξετάζεται η απόσταση μεταξύ των φιλτραρισμένων ε-μη-κυρτών τμημάτων (γραμμή βάσης ε-κυρτών τμημάτων). Στις περιπτώσεις που αυτή είναι μικρότερη ενός κατωφλίου των  $0,25\text{mm}$  στον χάρτη (ή  $250\text{m}$  στο έδαφος), τα τμήματα συγχωνεύονται, προσαρτώντας και τα ενδιάμεσα ε-κυρτά, αφού εκλαμβάνονται από τον αναγνώστη του χάρτη ως ενιαίες και όχι ως ανεξάρτητες οντότητες. Για τον καθορισμό της τιμής του

κατωφλίου λαμβάνεται υπόψη το όριο διακριτικής ικανότητας  $D=0,2\text{mm}$  και μία τιμή ανοχής  $T=0,05\text{mm}$ , στο συγκεκριμένο χάρτη. Με την ολοκλήρωση των διεργασιών φιλτραρίσματος και συγχώνευσης, η ακτογραμμή διαμορφώνεται από δεκαοκτώ ε-μη-κυρτά και δεκαέξι ε-κυρτά τμήματα.



Σχήμα 19: Αποτέλεσμα εφαρμογής του μοντέλου κατάτμησης στην ακτογραμμή της νήσου Περιστέρας.

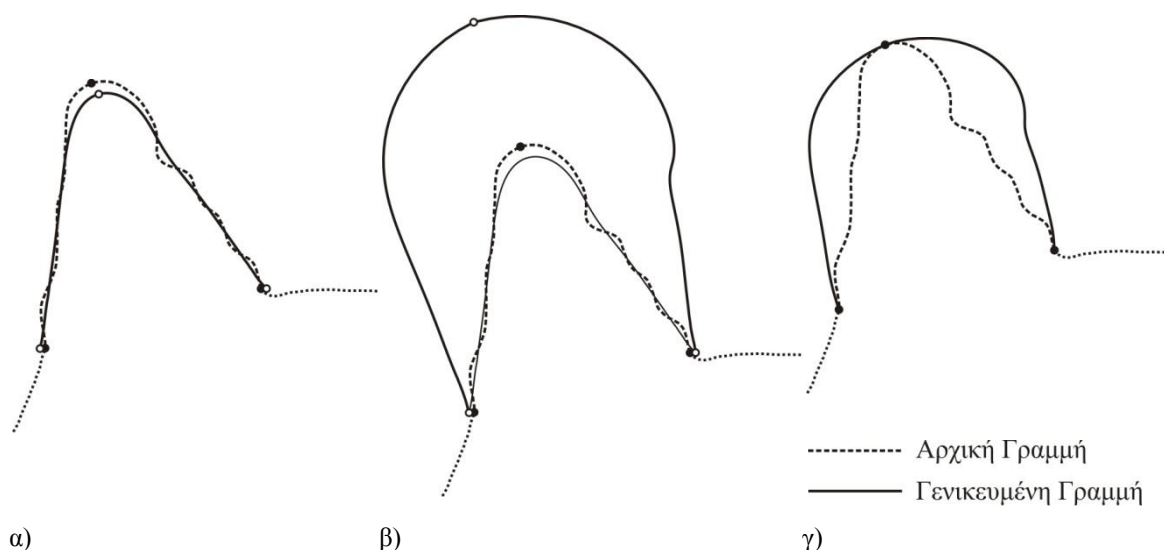
Στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας, εφαρμόζοντας το κατάλληλο μοντέλο (βλ. Σχήμα 7), τα ε-μη-κυρτά τμήματα διαχωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες, ανάλογα με τη μορφή και τον τρόπο δημιουργίας τους. Έτσι, τελικά, κατά μήκος της ακτογραμμής αποκόπτονται οκτώ μονόπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα (κατηγορία Α), οκτώ αμφίπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα (κατηγορία Β), δύο τμήματα σύγκλισης, που ορίζουν μία περιοχή

σύγκλισης (κατηγορία Γ) και δεκαέξι ε-κυρτά τμήματα (κατηγορία Δ). Τέλος, για τις ανάγκες γενίκευσης των τμημάτων σύγκλισης, δημιουργείται η διευρυμένη περιοχή σύγκλισης (διεξοδικότερη αναφορά στην ενότητα 4.3.3), προσαρτώντας μέρος των γειτονικών ε-τμημάτων. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του μοντέλου κατάτμησης στην ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς παρουσιάζεται στο Σχήμα 19.

### 4.3 Γενίκευση ε-τμημάτων

#### 4.3.1 Γενίκευση μονόπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων

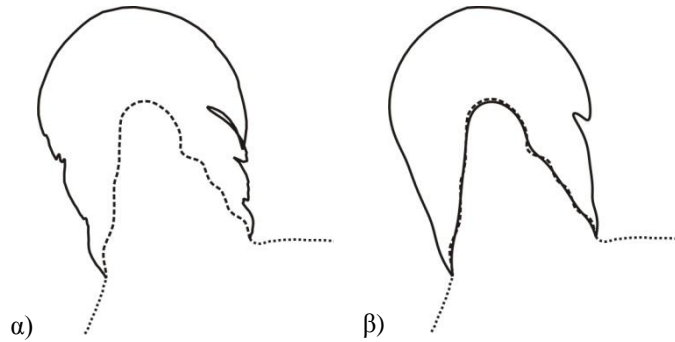
Κατά μήκος της ακτογραμμής αποκόπτονται οκτώ μονόπλευρα ε-μη κυρτά τμήματα. Για την ευκρινή απόδοση τους στον χάρτη κλίμακας 1:1.000.000 υλοποιείται μια σειρά διεργασιών, η οποία στόχο έχει τη μεγέθυνση τους. Για την ευκολότερη κατανόηση της επεξεργασίας που υπόκεινται τα εν λόγω τμήματα, στο Σχήμα 20 παρουσιάζεται ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα γενίκευσης ενός εξ αυτών. Οι γραμμικές οντότητες του σχήματος αναπαριστώνται μεγεθυμένες για την καλύτερη παρατήρηση των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 20: Παράδειγμα γενίκευσης μονόπλευρου ε-μη-κυρτού τμήματος

Σε ένα πρώτο στάδιο επεξεργασίας, το ε-τμήμα εξομαλύνεται, με σκοπό την εξάλειψη των τοπικών λεπτομερειών. Η διαδικασία υλοποιείται με τη χρήση του τελεστή εξομαλύνσης *Gauss*, σε βαθμό κατάλληλο ( $\sigma=9$ ), ώστε η παράγωγη γραμμή να αποδίδεται από τη μία κύρια κοίλωση, διατηρώντας συγχρόνως την αρχική μορφή της (Σχήμα 20α). Στη συνέχεια, εντοπίζονται οι χαρακτηριστικές θέσεις του παράγωγου τμήματος (λευκοί κύκλοι στο Σχήμα 20). Ως αρχή και πέρας θεωρούνται τα σημεία αποκοπής του από την υπόλοιπη γραμμή. Παράλληλα, υπολογίζονται οι γωνίες κλίσης μεταξύ των ευθυγράμμων τμημάτων που το δομούν. Το σημείο όπου εμφανίζεται η μεγαλύτερη απόλυτη τιμή γωνίας κλίσης ορίζεται ως η κορυφή του. Ο αύξοντας αριθμός των χαρακτηριστικών σημείων καταγράφεται, ώστε να αντιστοιχηθούν οι θέσεις τους στην αρχική γραμμή (μαύροι κύκλοι στο Σχήμα 20).

Στο εξομαλυσμένο τμήμα εφαρμόζεται ο αλγόριθμος *Balloon* (Lecordix et al. 1997). Αποτέλεσμα είναι η σταδιακή διόγκωση του, από μία μηδενική τιμή στα άκρα, έως μία μέγιστη στην κορυφή (Σχήμα 20β). Το μέγεθος της διόγκωσης καθορίζεται εμπειρικά από τον χρήστη, με γνώμονα τη μεγέθυνση των ενδιάμεσων σημείων του τμήματος σε βαθμό κατάλληλο, ώστε να είναι ευανάγνωστο στην παράγωγη κλίμακα. Η ποιότητα της εφαρμογής του αλγορίθμου *Balloon* εξαρτάται άμεσα από την



Σχήμα 21: Παραδείγματα εφαρμογής αλγορίθμου *Balloon* σε ελλειπώς εξομαλυσμένη γραμμή.

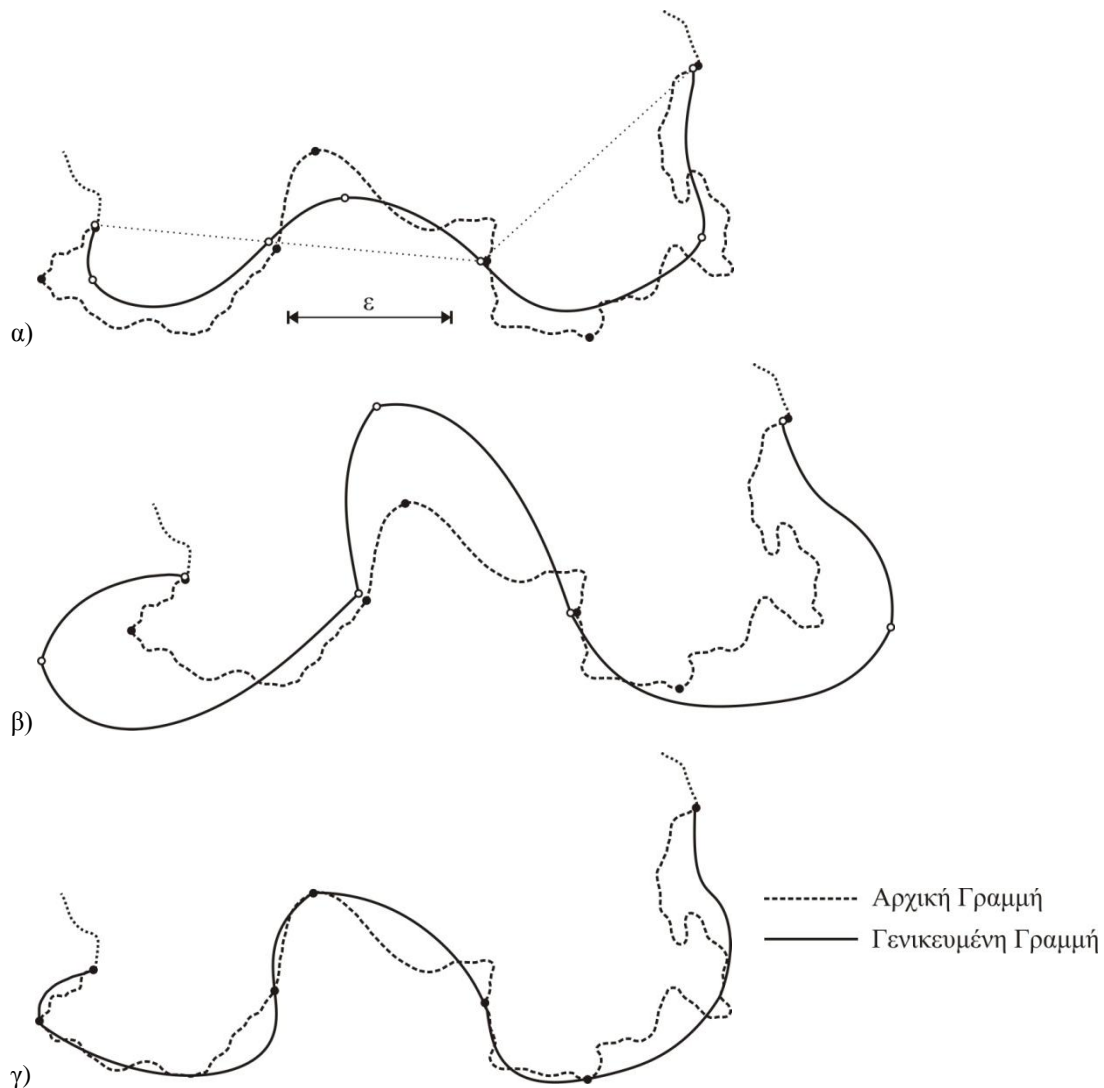
εξομάλυνση του αρχικού ε-τμήματος. Και τούτο, διότι ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, λόγω της δομής λειτουργίας του (μετατόπιση σημείων με διεύθυνση κάθετη στη γραμμή) εμφανίζεται αρκετά ευαίσθητος στις ανωμαλίες που πιθανά υπάρχουν στη γραμμή. Έτσι, είναι δυνατό να προκύψουν χαρτογραφικά και αισθητικά μη αποδεκτά προϊόντα, όπως αυτά που παρουσιάζονται στο Σχήμα 21. Στην πρώτη περίπτωση, ο αλγόριθμος εφαρμόζεται στο αρχικό, μη εξομαλυσμένο ε-τμήμα, ενώ στη δεύτερη, σε μια εξομαλυσμένη, σε μη ικανοποιητικό όμως βαθμό ( $\sigma=5$ ), εκδοχή του. Γίνεται, λοιπόν, φανερό πως υπάρχει άμεση συνάρτηση των διεργασιών εξομάλυνσης και διόγκωσης. Για το λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαίο να αντιμετωπίζονται ενιαία από τον χρήστη.

Εξετάζοντας το Σχήμα 20β, γίνεται φανερό πως το ε-τμήμα έχει διογκωθεί δυσανάλογα, σε σύγκριση με το σύνολο της γραμμής. Το γεγονός οφείλεται στη δομή του αλγορίθμου *Balloon*, σε συνδυασμό με τον τρόπο εφαρμογής του. Βάσει της αρχής λειτουργίας του αλγορίθμου, κάθε σημείο της γραμμής μετατοπίζεται ανάλογα με την απόσταση του από το εγγύτερο άκρο, με την μετατόπιση της κορυφής να είναι η μέγιστη. Κατά την εφαρμογή του, πρωτεύον ζητούμενο είναι η διόγκωση των ενδιάμεσων σημείων του ε-τμήματος. Ορίζοντας, όμως, τον κατάλληλο συντελεστή διόγκωσης για την επίτευξη αυτού, η κορυφή και τα παρακείμενα αυτής σημεία μετατοπίζονται σε μη αποδεκτό βαθμό. Για την επίλυση του προβλήματος, σε ένα τελευταίο στάδιο επεξεργασίας, στο διογκωμένο τμήμα εφαρμόζεται ο ομοπαράλληλος μετασχηματισμός. Με τον τρόπο αυτό, η διόγκωση 'εκτονώνεται' προς τα πλάγια της γραμμής (Σχήμα 20γ), ενώ το γενικευμένο ε-τμήμα διέρχεται από την κορυφή του αρχικού, γεγονός που εξασφαλίζει την ποιότητα του αποτελέσματος. Παράλληλα, ο μετασχηματισμός εφαρμόζεται έτσι, ώστε τα άκρα του ε-τμήματος, τα οποία έχουν μετατοπισθεί κατά τη διαδικασία εξομάλυνσης, να 'επαναφέρονται' στην αρχική τους θέση, γεγονός απαραίτητο για την μετέπειτα επανένωσή του με την υπόλοιπη γραμμή.

#### 4.3.2 Γενίκευση αμφίπλευρων ε-μη-κυρτών τμημάτων

Παρατηρώντας τα οκτώ αμφίπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα που αποκόπτονται κατά μήκος της ακτογραμμής (Σχήμα 19), γίνεται εμφανές πως η μορφή και η γεωμετρία τους ποικίλλει, γεγονός που οφείλεται στους διαφορετικούς τρόπους δημιουργίας τους κατά τη διαδικασία κατάτμησης. Παρόλα αυτά, η σειρά διεργασιών στην οποία υπόκεινται ώστε να αποδοθούν στον παράγωγο χάρτη είναι κοινή. Οι όποιες

διαφοροποιήσεις αφορούν την επιλογή και εφαρμογή των κατάλληλων χαρτογραφικών μετασχηματισμών, ανάλογα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των ποσοτικών χαρακτηριστικών τους. Στο Σχήμα 22 παρουσιάζεται η διαδικασία γενίκευσης ενός χαρακτηριστικού, αρκετά πολύπλοκου, αμφίπλευρου ε-μη-κυρτού τμήματος. Για την ευκολότερη παρατήρηση των επιμέρους διεργασιών, οι γραμμικές οντότητες του σχήματος αποδίδονται σε μεγέθυνση.



Σχήμα 22: Παράδειγμα γενίκευσης αμφίπλευρου ε-μη-κυρτού τμήματος.

Στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας το ε-τμήμα απλοποιείται, με σκοπό την απαλοιφή των λεπτομερειών της αρχικής γραμμής και τη διαμόρφωσή του από τις απαραίτητες για την παράγωγη κλίμακα καμπές. Η διαδικασία πραγματοποιείται με την εξομάλυνση σε μεγάλο βαθμό του τμήματος, με τη χρήση του τελεστή *Gauss*. Ο τελεστής εφαρμόζεται με μεγάλες τιμές  $\sigma$ , οι οποίες επιλέγονται εμπειρικά από τον χρήστη, ανάλογα με την πολυπλοκότητα της γραμμής και το επίπεδο γενίκευσης. Μετά από δοκιμές, στο ε-τμήμα του παραδείγματος η εξομάλυνση πραγματοποιείται με τιμή  $\sigma=40$  και έχει ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωσή του από τρεις κύριες καμπές (Σχήμα 22α). Στις καμπές αυτές εντοπίζονται τα χαρακτηριστικά σημεία (άκρα, κορυφές - λευκοί κύκλοι στο Σχήμα 22) και συγχρόνως, υπολογίζεται το μήκος της γραμμής βάσης τους, μέσω

της μεθόδου των Wang και Muller, η οποία έχει κωδικοποιηθεί και προσαρμοσθεί κατάλληλα για τις ανάγκες της έρευνας. Με το πέρας της διαδικασίας ολοκληρώνεται μια πρώτη αφαίρεση/συγχώνευση των καμπών που συνθέτουν το ε-τμήμα. Από τις συνολικά τριάντα έξι που θα αποκόπτονταν αν εφαρμοζόταν η μέθοδος των Wang και Muller στην αρχική γραμμή, διατηρούνται μόνο τρεις, αφού οι υπόλοιπες δεν είναι ευανάγνωστες στην παράγωγη κλίμακα. Οι τρεις κύριες καμπές αποτελούν τις θεμελιώδεις οντότητες πάνω στις οποίες βασίζονται οι μετέπειτα διεργασίες γενίκευσης, ενώ παράλληλα, η εξομαλυσμένη μορφή τους δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την ορθή εφαρμογή των τελεστών γενίκευσης, οι οποίοι παρουσιάζουν ευαισθησία σε πολύπλοκες γραμμές.

Στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας, αξιολογείται η καταλληλότητα των τριών κύριων καμπών για τη διαμόρφωση της γενικευμένης γραμμής. Πιο συγκεκριμένα, κρίνεται πόσες και ποιες καμπές πρέπει να διατηρηθούν, ώστε το παράγωγο ε-τμήμα να είναι ευανάγνωστο και γεωμετρικά ορθό στον παράγωγο χάρτη. Κριτήριο αποτελεί η αναλογία της γραμμής βάσης τους προς τη διάμετρο εφαρμογής  $\varepsilon$  του θεωρητικού δίσκου του Perkal. Βάσει αυτού, επιλέγεται η διατήρηση και των τριών καμπών, αφού οι γραμμές βάσης τους είναι μεγαλύτερες του  $\varepsilon=350\text{m}$  στο έδαφος (βλ. ενότητα 4.2), με αποτέλεσμα να θεωρούνται ορατές στην κλίμακα 1:1.000.000. Παράλληλα, η φορά των δύο ακραίων καμπών προσεγγίζει τη φορά των αντίστοιχων της αρχικής γραμμής, γεγονός που διασφαλίζει την ομαλή σύνδεσή τους με τα γειτονικά ε-τμήματα (Σχήμα 22α).

Με δεδομένο πως οι τρεις κύριες καμπές επιλέγεται να διατηρηθούν, εφαρμόζονται σε αυτές οι κατάλληλοι μετασχηματισμοί, ώστε να αποδοθούν ορθά στον παράγωγο χάρτη. Αρχικά, κρίνεται απαραίτητη η διόγκωσή τους, σε βαθμό που να εξασφαλίζεται η ευαναγνωσιμότητά τους. Η διεργασία πραγματοποιείται με την υλοποίηση του αλγορίθμου *Balloon* (Lecordix et al. 1997). Αποτέλεσμα είναι οι καμπές να διογκώνονται από μια μηδενική τιμή στα άκρα έως μια μέγιστη στην κορυφή τους (Σχήμα 22β). Στη συνέχεια, στις διογκωμένες γραμμές εφαρμόζεται ομοπαράλληλος μετασχηματισμός. Στόχος είναι ο επανασχηματισμός των καμπών, αφού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 22β, η μορφή τους δεν είναι χαρτογραφικά και αισθητικά αποδεκτή. Η διαδικασία υλοποιείται με άξονα την ταύτιση των κορυφών και των άκρων των τριών καμπών με τα αντίστοιχα σημεία της αρχικής γραμμής (μαύροι κύκλοι στο Σχήμα 22), τα οποία εντοπίζονται μέσω του κοινού άξονα αριθμού τους. Με τον τρόπο αυτό, η διόγκωση εκτονώνεται προς τα πλάγια των καμπών, ενώ παράλληλα, το γενικευμένο ε-τμήμα διέρχεται από τις χαρακτηριστικές θέσεις του αρχικού (Σχήμα 22γ), γεγονός που αποτελεί βασική αρχή για την ορθή γενίκευση χαρτογραφικών γραμμών.

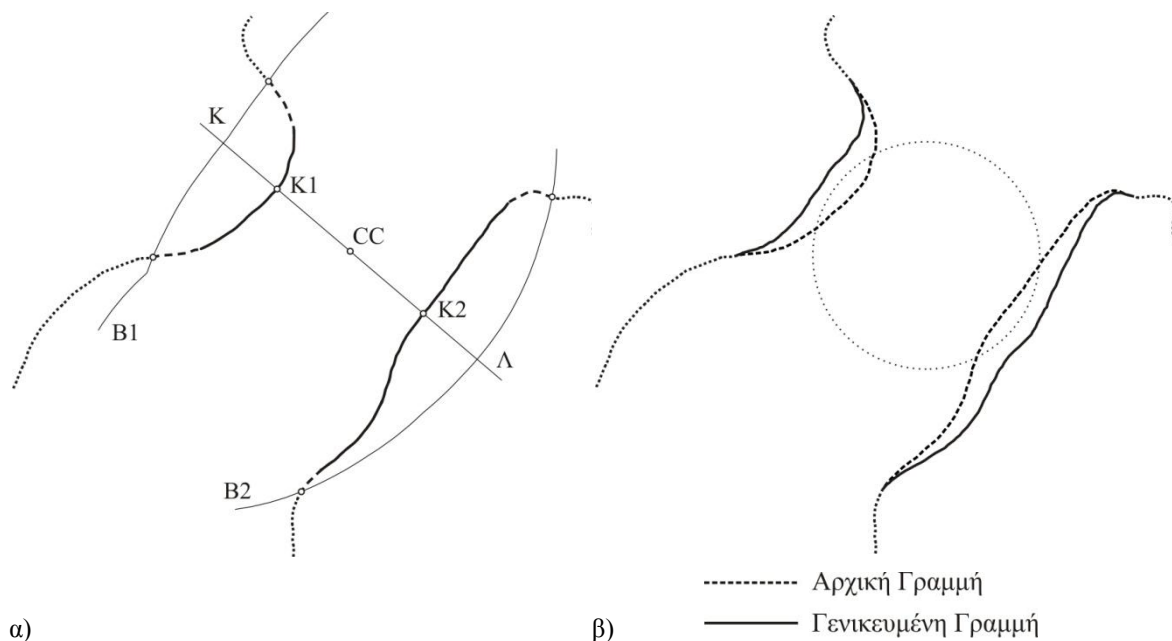
#### 4.3.3 Γενίκευση τμημάτων σύγκλισης

Κατά μήκος της ακτογραμμής της νήσου Περιστεράς αποκόπτονται δύο τμήματα σύγκλισης, τα οποία διαμορφώνουν μία ομώνυμη περιοχή. Στο πρώτο στάδιο επεξεργασίας, ανευρίσκονται και αναλύονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής σύγκλισης, βάσει των οποίων καθορίζονται οι παράμετροι γενίκευσης. Μέσω του μοντέλου που έχει δημιουργηθεί για το σκοπό αυτό (βλ. Σχήμα 15), υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των δύο τμημάτων ( $\text{Min\_Distance} = 255,87\text{m}$ , στο έδαφος) και εντοπίζονται οι κορυφές τους (K1, K2) και το κέντρο της περιοχής σύγκλισης (CC) (Σχήμα 23α). Παράλληλα, υπολογίζεται η διεύθυνση της νοητής ευθείας ΚΛ που διέρχεται από τις δύο κορυφές. Στη συνέχεια, υλοποιείται το μοντέλο διεύρυνσης της περιοχής σύγκλισης (βλ. Σχήμα 17). Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 23α, γύρω από τα

δύο τμήματα σύγκλισης φέρονται ζώνες επιρροής (B1, B2), με εύρος ίσο με την διάμετρο εφαρμογής  $\epsilon$ , δηλαδή 350m στο έδαφος ή 0,35mm στον χάρτη (βλ. ενότητα 4.2). Οι ζώνες επιρροής τέμνουν την ακτογραμμή σε θέσεις εκατέρωθεν των τμημάτων. Τα μέρη των γειτονικών ε-τμημάτων που εντοπίζονται εντός των ζωνών επιρροής (διακεκομμένες γραμμές) αποκόπτονται και συνενώνονται με τα αρχικά (συνεχείς γραμμές), διαμορφώνοντας τα διευρυμένα τμήματα σύγκλισης. Τα τμήματα των γειτονικών ε-τμημάτων που εντοπίζονται εκτός ζωνών επιρροής συστήνουν την τελική μορφή αυτών (εστιγμένες γραμμές).

Τα διευρυμένα τμήματα σύγκλισης εξομαλύνονται μέσω του τελεστή *Gauss* με μικρές τιμές  $\sigma$ , αφού οι γραμμές δεν παρουσιάζουν σημαντικές ανωμαλίες. Τα προκύπτοντα τμήματα υπόκεινται σε μία διαδικασία συμπίεσης με την εφαρμογή του αλγορίθμου *Depress*. Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση της περιοχής σύγκλισης, η τιμή του συντελεστή συμπίεσης ( $Depress = \frac{\epsilon - Min\_Distance}{2}$ )

ορίζεται 47,065m (στο έδαφος), η μετατόπιση των σημείων πραγματοποιείται παράλληλα της ευθείας ΚΛ και σε κατεύθυνση ανάλογη της θέσης της κορυφής του εκάστοτε τμήματος ως προς το κέντρο της περιοχής σύγκλισης. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής παρουσιάζεται στο Σχήμα 23β. Παρατηρείται πως τα τμήματα που διαμορφώνουν την περιοχή σύγκλισης έχουν μετατοπισθεί κατάλληλα, ώστε να διέρχεται από αυτή ο θεωρητικός δίσκος του Perkal, γεγονός που εξασφαλίζει την οπτική ευαναγνωσιμότητά της στην παράγωγη κλίμακα. Επιπρόσθετα, τα γενικευμένα τμήματα διατηρούν την καμπυλότητα των αρχικών, ενώ στις θέσεις σύνδεσης με τα γειτονικά δεν εμφανίζονται ασυνέχειες. Διασφαλίζεται, έτσι, η γεωμετρική και 'αισθητική' εγκυρότητα του τελικού προϊόντος. Επισημαίνεται πως οι γραμμές του Σχήματος 23 αποδίδονται σε μεγαλύτερη κλίμακα, για την καλύτερη παρατήρηση των αποτελεσμάτων των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την υλοποίηση του μοντέλου γενίκευσης.



Σχήμα 23: Προεπεξεργασία και γενίκευση τμημάτων σύγκλισης.

#### 4.3.4 Γενίκευση ε-κυρτών τμημάτων

Η επεξεργασία στην οποία υπόκεινται τα δεκαέξι ε-κυρτά τμήματα της ακτογραμμής, ώστε να αποδοθούν στον παράγωγο χάρτη, συνίσταται στην απλοποίηση τους, η οποία πραγματοποιείται με την εφαρμογή του αλγορίθμου *bendsimplify*. Η δομή και η λειτουργία του συγκεκριμένου αλγορίθμου έχει ως αποτέλεσμα τη απαλοιφή της λεπτομέρειας και τη διατήρηση της καμπυλότητας των γραμμών. Για το λόγο αυτό, προτιμάται έναντι του αλγορίθμου *pointremove*, ο οποίος διατηρεί θέσεις πολυπλοκότητας και δημιουργεί αρκετά ‘απότομα’ σπασίματα ή αιχμές στην παράγωγη γραμμή, κυρίως σε περιπτώσεις μεγάλου βαθμού γενίκευσης. Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες της ερευνητικής ομάδας, ‘ο αλγόριθμος *bendsimplify* μπορεί να θεωρηθεί χαρτογραφικά ως πιο κατάλληλος από τον αλγόριθμο *pointremove*, ειδικά για την απεικόνιση των γραμμών σε πολύ μικρές κλίμακες’ (Nakos & Mitropoulos 2005, 49), γεγονός που λαμβάνει χώρα στη συγκεκριμένη εφαρμογή.

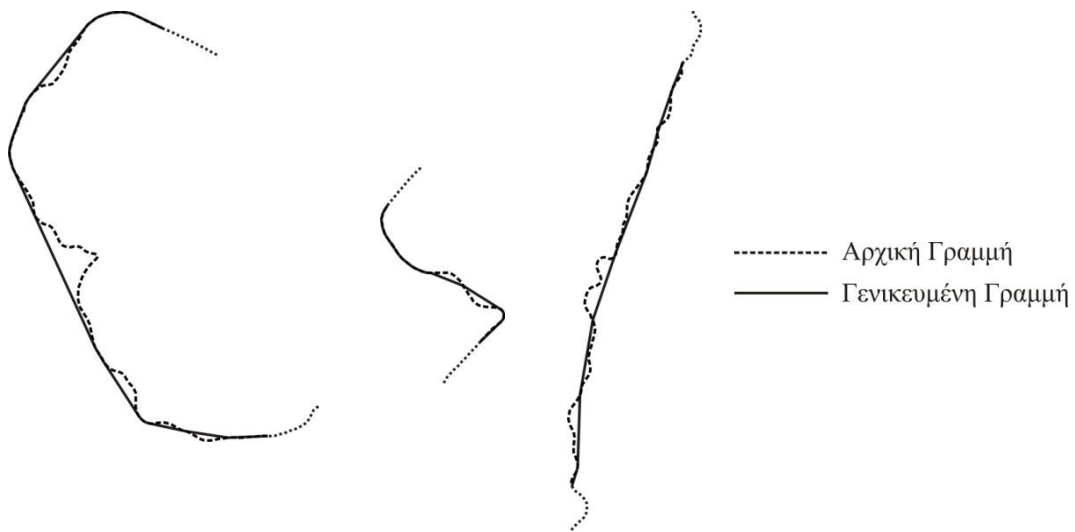
Η επιλογή της παραμέτρου εφαρμογής (ανοχή) πραγματοποιείται ανεξάρτητα για κάθε ε-κυρτό τμήμα, βάσει εμπειρικών κριτηρίων. Παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι η μορφή του ε-τμήματος, καθώς και ο αριθμός των σημείων που το δομούν. Παράλληλα, επιδιώκεται οι παράγωγες γραμμές να διατηρούν την καμπυλότητα των αρχικών και να μη δημιουργούνται ασυνέχειες στις θέσεις σύνδεσης με τα γειτονικά ε-τμήματα. Τα δεδομένα απλοποίησης των δεκαέξι ε-κυρτών τμημάτων παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 1.** Δεδομένα απλοποίησης ε-κυρτών τμημάτων

A/A ε-τμήματος	Αριθμός σημείων ε-τμήματος		Ανοχή (m)
	Αρχικό	Παράγωγο	
1	142	25	150
2	207	69	100
3	98	29	120
4	122	13	150
5	362	15	170
6	413	66	150
7	62	10	80
8	110	34	80
9	466	62	250
10	235	48	100
11	208	52	200
12	76	14	90
13	55	4	100
14	47	29	50
15	142	55	110
16	489	44	400



Στο Σχήμα 24 παρουσιάζονται τρία χαρακτηριστικά παραδείγματα γενίκευσης των ε-κυρτών τμημάτων της ακτογραμμής της νήσου Περιστεράς. Οι γραμμές αποδίδονται σε μεγαλύτερη κλίμακα για την ευκολότερη παρατήρηση του αποτελέσματος.



Σχήμα 24 : Παραδείγματα γενίκευσης ε-κυρτών τμημάτων

#### 4.4 Συνένωση και εξομάλυνση γενικευμένων ε-τμημάτων

Με την ολοκλήρωση των διεργασιών γενίκευσης, τα 34 ε-τμήματα έχουν υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, ανάλογα με την κατηγορία (Α, Β, Γ ή Δ) στην οποία ανήκουν και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, ώστε να αποδίδονται χαρτογραφικά και αισθητικά ορθά στο χάρτη κλίμακας 1:1.000.000. Επόμενο στάδιο είναι η συνένωσή τους, ώστε να ανασυνθέσουν τη γενικευμένη, πλέον, εκδοχή της ακτογραμμής της νήσου Περιστερά. Η διαδικασία πραγματοποιείται στο περιβάλλον του λογισμικού πακέτου *ArcGIS* v.9.3 και είναι αρκετά απλή, αφού παρά τη σειρά μετασχηματισμών που υφίστανται τα ε-τμήματα, δε μεταβάλλεται η θέση των άκρων τους, τα οποία αποτελούν και τα σημεία σύνδεσης.

Εξετάζοντας την προκύπτουσα ακτογραμμή, εντοπίζονται θέσεις όπου το αποτέλεσμα χρήζει διορθώσεων. Τα προβλήματα αφορούν, κυρίως, ασυνέχειες που εμφανίζονται σε θέσεις σύνδεσης των ε-τμημάτων ή αιχμές και απότομα σπασίματα κατά μήκος της γραμμής. Τέτοιου είδους ατέλειες θεωρούνται αναμενόμενες, αφού οφείλονται στους σύνθετους και διαδοχικούς μετασχηματισμούς που έχουν υποστεί η γραμμή και τα ε-τμήματα κατά την επεξεργασία τους. Μολονότι το μέγεθος και η σπουδαιότητά τους ως προς το σύνολο της γραμμής δεν είναι τέτοια που να επηρεάζουν σημαντικά το αποτέλεσμα, κρίνεται σκόπιμη η διόρθωσή τους, ώστε να βελτιωθεί αισθητικά το τελικό προϊόν. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξομάλυνση, σε μικρό βαθμό, της ακτογραμμής. Η διαδικασία υλοποιείται με τη χρήση του τελεστή *Gauss*. Με την ολοκλήρωση της διεργασίας προκύπτει η τελική, γενικευμένη μορφή της ακτογραμμής της νήσου Περιστεράς, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 25α. Να σημειωθεί πως η ακτογραμμή παρουσιάζεται σε μεγέθυνση, με προσαρμοσμένο πάχος γραμμής, για την ευκολότερη παρατήρηση και αξιολόγηση του αποτελέσματος.

#### 4.5 Αξιολόγηση αποτελέσματος

Η παράγωγη ακτογραμμή της νήσου Περιστερά, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 25α, αποτελεί το προϊόν σύνθεσης των επιμέρους, ανεξάρτητα γενικευμένων ε-τμημάτων της. Κάθε ένα από αυτά έχει γενικευθεί μέσω κατάλληλων τελεστών, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει και τα ποσοτικά χαρακτηριστικά του, με στόχο την ευανάγνωστη απεικόνισή του στο χάρτη κλίμακας 1:1.000.000. Το ερώτημα που τίθεται είναι το κατά πόσο τα ‘ορθώς’ γενικευμένα ε-τμήματα συνθέτουν μία ‘ορθώς’ γενικευμένη ακτογραμμή, ως ενιαία οντότητα.

Παρατηρώντας την ακτογραμμή του Σχήματος 25α, θα μπορούσε να ειπωθεί ως ένα γενικό συμπέρασμα, πως το αποτέλεσμα της εφαρμογής είναι αρκετά ικανοποιητικό. Το μεγαλύτερο μέρος της λεπτομέρειας της αρχικής γραμμής (βλ. Σχήμα 19) έχει απαλειφθεί, γεγονός που συνάδει με τη μεγάλη μεταβολή κλίμακας που προέβλεπε το σενάριο γενίκευσης. Συγχρόνως, όμως, διατηρείται η βασική μορφή και ο χαρακτήρας της. Οι μικροί κυματισμοί και οι πολύ μικρού μεγέθους κόλποι και χερσόνησοι έχουν χαρακτηριστεί ως ε-κυρτά τμήματα κατά τη διαδικασία κατάτμησης και έχουν αφαιρεθεί μέσω του κατάλληλου, για την εξάλειψη της λεπτομέρειας, αλγορίθμου απλοποίησης *bendsimplify*. Οι αντίστοιχοι σχηματισμοί που αποτελούν μέρος των ε-μηκυρτών τμημάτων απαλείφονται κατά το στάδιο εξομάλυνσης που προηγείται των διεργασιών γενίκευσης. Οι μέσου και μεγάλου μεγέθους κόλποι και χερσόνησοι, είτε έχουν διευρυνθεί όταν εμφανίζονται απομονωμένοι ώστε να είναι ευανάγνωστοι, είτε έχουν συγχωνευθεί με μεγαλύτερους γειτονικούς, όταν αποτελούν μέρος επαλληλίας. Έτσι, στην ακτογραμμή απεικονίζονται μόνο εκείνοι που είναι οπτικά αντιληπτοί στην παράγωγη κλίμακα και συγχρόνως, δε δημιουργούν προβλήματα σύμπτωσης με παρακείμενους. Θέσεις υψηλής πολυπλοκότητας, όπως για παράδειγμα το νότιο μέρος της γραμμής, αποδίδονται από τις βασικές, μεγαλύτερες καμπύλες. Παράλληλα, το τμήμα όπου εμφανίζεται στένωση (περιοχή σύγκλισης) έχει διευρυνθεί συμμετρικά ως προς το κέντρο του και σε κατάλληλο βαθμό, διατηρώντας τη συνέχειά του με τα γειτονικά τμήματα. Τέλος, η ακτογραμμή αποδίδεται σε ικανοποιητικό βαθμό ομαλή, δεδομένου και του μεγάλου βαθμού γενίκευσης. Απότομα σπασίματα ή ασυνέχειες, ακόμη και σε θέσεις μεγάλης μεταβολής της καμπυλότητάς της, δεν εμφανίζονται, γεγονός που οφείλεται στους περιορισμούς για διατήρηση της συνέχειας που τίθενται κατά τη γενίκευση των ε-τμημάτων και την εξομάλυνση της γραμμής μετά την ανασύνθεσή της.

Για την εγκυρότερη αξιολόγηση του αποτελέσματος, η ακτογραμμή που έχει προκύψει από την εφαρμογή της προτεινόμενης τεχνικής συγκρίνεται με τρεις εκδοχές αυτής, οι οποίες έχουν παραχθεί από διαφορετικές διεργασίες. Η πρώτη (Σχήμα 25β) έχει δημιουργηθεί μετά από ψηφιοποίηση αναλογικού χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:1.000.000. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με μέσο βήμα ψηφιοποίησης 0,1mm στο χάρτη (100m στο έδαφος), ενώ η γραμμή έχει καθαρισθεί από σφάλματα ψηφιοποίησης και εξομαλυνθεί, ώστε να πάρει την τελική της μορφή. Οι άλλες δύο αποτελούν τα προϊόντα γενίκευσης της ακτογραμμής της νήσου Περιστεράς κλίμακας 1:50.000, μέσω των αλγορίθμων απλοποίησης *bendsimplify* (Σχήμα 25γ) και *pointremove* (Σχήμα 25δ) (βλ. ενότητα 3.2.4). Οι τιμές των ανοχών εφαρμογής των δύο αλγορίθμων καθορίστηκαν με τρόπο, ώστε ο αριθμός των διατηρούμενων κορυφών να είναι ίσος. Το κριτήριο αυτό αποτελεί ένα αντικειμενικό μέτρο υλοποίησης και σύγκρισης αλγορίθμων, αφού βασίζεται σε ποσοτικές ιδιότητες της γραμμής. Ο αριθμός των διατηρούμενων κορυφών προσδιορίζεται σύμφωνα με τις ‘Αρχές της Επιλογής’ (Töpfer & Pillewizer 1966), η οποία για την περίπτωση των ακτογραμμών (γραμμικά σύμβολα

ίσου πάχους) εκφράζεται από τη σχέση:  $n = n_0 \frac{S}{S_0}$ , όπου  $S_0$  και  $n_0$  η κλίμακα και ο αριθμός κορυφών του αρχικού χάρτη και  $S$  και  $n$  του παράγωγου, αντίστοιχα. Η ακτογραμμή διαμορφώνεται από 326 σημεία στην περίπτωση του αλγορίθμου *bendsimplify* και 330 στην περίπτωση του αλγορίθμου *pointremove*, αριθμός που προσεγγίζει και τον αριθμό σημείων της ψηφιοποιημένης γραμμής της Γ.Υ.Σ. (316).



Σχήμα 25: Η ακτογραμμή της νήσου Περιστεράς παραγμένη από τέσσερις διαφορετικές μεθόδους.

Η ακτογραμμή του Σχήματος 25β, ως προϊόν χειροκίνητης επεξεργασίας, αποτελεί ένα αξιόπιστο κριτήριο για την αξιολόγηση της προτεινόμενης τεχνικής. Συγκρίνοντας την οπτικά με την παράγωγη ακτογραμμή (Σχήμα 25α), παρατηρείται πως η μορφή τους ομοιάζει σε μεγάλο βαθμό. Στις δύο γραμμές απεικονίζονται οι ίδιοι, μεγάλου μεγέθους χαρακτηριστικοί κόλποι και χερσόνησοι, καθώς και οι ίδιες, σημαντικές ακραίες θέσεις (ακρωτήρια). Με άλλα λόγια, οι κύριες, αντιπροσωπευτικές γεωγραφικές οντότητες, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη χαρτογραφικά και αισθητικά έγκυρη διαμόρφωση της γραμμής στη συγκεκριμένη κλίμακα, αποδίδονται και στις δύο περιπτώσεις. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τη μη απόδοση σημαντικά περισσότερης λεπτομέρειας στην παράγωγη ακτογραμμή, αναδεικνύει την εν γένει αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης τεχνικής. Παράλληλα, παρατηρείται πως η ακτογραμμή του Σχήματος 25α, προσεγγίζει σε ομαλότητα αυτή του ψηφιοποιημένου χάρτη της Γ.Υ.Σ. Δεδομένου του μεγάλου βαθμού γενίκευσης, κάτι τέτοιο αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου, αφού η επεξεργασία της γραμμής πραγματοποιείται μέσω εργαλείων που λειτουργούν βάσει αιτιοκρατικών κανόνων και δεν έχουν τη δυνατότητα 'παρέμβασης' και 'διόρθωσης', που έχει ο χαρτογράφος κατά τη χειροκίνητη σχεδίαση ενός χάρτη.

Οι απεικονιζόμενοι σχηματισμοί που περιγράφονται παραπάνω, αποτελούν, στην πλειοψηφία τους, μέρη ε-μη-κυρτών τμημάτων που ανήκουν στις κατηγορίες Α και Β. Κατά τη διαδικασία, δηλαδή, κατάτμησης της γραμμής, εντοπίζονται ως θέσεις που παρουσιάζουν προβλήματα ευαναγνωσιμότητας και χρήζουν ιδιαίτερης επεξεργασίας. Η γενίκευσή τους πραγματοποιείται με αποτελεσματικό τρόπο, τόσο σε επίπεδο διατήρησης χαρακτηριστικών σημείων, όσο και σε επίπεδο επιλογής/επεξεργασίας και τελικά απόδοσης, των απαραίτητων καμπών από τις οποίες δομούνται. Οι επιμέρους, λοιπόν, διεργασίες κατάτμησης/χαρακτηρισμού, αλλά και γενίκευσης των συγκεκριμένων ε-τμημάτων θα μπορούσαν να θεωρηθούν επιτυχείς. Επιπλέον, ένα πλεονέκτημα της προτεινόμενης μεθόδου είναι πως ορισμένα χαρακτηριστικά σημεία (ακρωτήρια, βαθύτερο σημείο κόλπων) των βασικών σχηματισμών που απεικονίζονται, αποδίδονται στην αρχική τους θέση (σε αντίθεση με τη γραμμή του χάρτη της Γ.Υ.Σ), γεγονός που βελτιώνει χαρτογραφικά το προϊόν.

Η επιπλέον λεπτομέρεια που παρουσιάζεται στην παράγωγη, από την προτεινόμενη τεχνική, ακτογραμμή έχει τη μορφή είτε μικρών κυματισμών, είτε μικρού μεγέθους κόλπων ή χερσονήσων. Οι πρώτοι, συνήθως εντοπίζονται κατά μήκος των ε-κυρτών τμημάτων. Μία λύση για την εξάλειψή τους είναι η εφαρμογή μεγαλύτερου βαθμού απλοποίησης. Κάτι τέτοιο, όμως, θα είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια της καμπυλότητας και της ομαλότητας των παράγωγων τμημάτων σε σχέση με την υπόλοιπη γραμμή, αφού κατά την απλοποίηση αφαιρούνται κορυφές, γεγονός που δε συμβαίνει στην γενίκευση των ε-μη-κυρτών τμημάτων ή τη δημιουργία απότομων σπασιμάτων και ασυνχειών στα σημεία σύνδεσης με τα γειτονικά, αφού θα μεταβάλλονταν η διεύθυνση των ακραίων θέσεών τους. Και τα δύο θα υποβάθμιζαν, αντί να βελτιώσουν, την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Στη δεύτερη περίπτωση, οι μικροί κόλποι και χερσόνησοι, συνήθως, είναι μονόπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα (σπανιότερα μπορεί να είναι και αμφίπλευρα ε-μη-κυρτά τμήματα με δύο κύριες καμπές). Παρόλο που φαινομενικά προσδίδουν λεπτομέρεια στη γραμμή, η γενίκευσή τους έχει πραγματοποιηθεί με τρόπο κατάλληλο, ώστε να διασφαλίζεται η ευαναγνωσιμότητά τους στην παράγωγη κλίμακα. Παράλληλα, δεδομένου πως έχουν χαρακτηριστεί ως 'προβληματικά' κατά τη διαδικασία κατάτμησης, η γενίκευσή τους με την εφαρμογή ενός αλγορίθμου απλοποίησης, πιθανά, δε θα έδινε λύση στο

ζητούμενο της ευκρινούς απόδοσής τους ή θα δημιουργούσε αισθητικές και χαρτογραφικές ατέλειες (ασυνέχειες, σπασίματα κτλ.) στην παράγωγη γραμμή.

Οι ακτογραμμές που απεικονίζονται στα Σχήματα 25γ και 25δ αποτελούν προϊόντα γενίκευσης της αρχικής, μέσω των αλγορίθμων απλοποίησης *bendsimplify* και *pointremove*, αντίστοιχα. Η σύγκριση της ακτογραμμής που παράγεται από την προτεινόμενη τεχνική με αυτές παρουσιάζει ενδιαφέρον, δεδομένου πως και οι τρεις αποτελούν αποτέλεσμα εφαρμογής τεχνητών μεθόδων γενίκευσης.

Η ακτογραμμή που προκύπτει από την εφαρμογή του αλγορίθμου *pointremove* χαρακτηρίζεται από μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας. Αποδίδονται όλοι οι γεωγραφικοί σχηματισμοί (κόλποι, χερσόνησοι) και η πλειοψηφία των μικροκυματισμών της αρχικής γραμμής, ακόμη και σε ομαλά τμήματά της. Σε αρκετές θέσεις της, η σύμπτωση μεταξύ γραμμών είναι εμφανής. Η διατήρηση τόσο μεγάλου βαθμού λεπτομέρειας στη συγκεκριμένη κλίμακα, μετατρέπει το προϊόν σε χαρτογραφικά και αισθητικά μη αποδεκτό. Ωστόσο, πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός πως δεν εμφανίζονται απότομα σπασίματα και ασυνέχειες, ενώ, λόγω της δομής του αλγορίθμου, διατηρείται η πλειοψηφία των χαρακτηριστικών θέσεων της γραμμής. Αντίθετα, η παράγωγη ακτογραμμή από την εφαρμογή του αλγορίθμου *bendsimplify* αποδίδεται με την ελάχιστη λεπτομέρεια, λιγότερη από αυτήν της ακτογραμμής του ψηφιοποιημένου χάρτη της Γ.Υ.Σ. (Σχήμα 25β). Βασικοί, όμως, κόλποι που χαρακτηρίζουν τη μορφολογία της ακτογραμμής, όπως αυτοί στο νότιο μέρος της, δεν απεικονίζονται, γεγονός που υποβαθμίζει χαρτογραφικά το προϊόν. Σημαντικό, επίσης, χαρακτηριστικό είναι η εμφάνιση απότομων σπασιμάτων και ασυνεχειών κατά μήκος της γραμμής, που έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της ομαλότητάς της. Το φαινόμενο αυτό, που οφείλεται στο μεγάλο βαθμό γενίκευσης, υποβαθμίζει αισθητικά το προϊόν, δεν επηρεάζει, όμως, σε μη αποδεκτό επίπεδο τη χαρτογραφική του εγκυρότητα.

Παρατηρώντας τις τρεις εκδοχές της ακτογραμμής, θα μπορούσε να ειπωθεί ως ένα γενικό σχόλιο, πως το σχήμα αυτής που έχει δημιουργηθεί από την προτεινόμενη τεχνική αποτελεί ένα συνδυασμό των υπόλοιπων δύο, έχοντας διατηρήσει τις θετικές τους ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα, η ακτογραμμή αποδίδεται με λεπτομέρεια που προσεγγίζει τα επίπεδα λεπτομέρειας εκείνης που προέρχεται από την εφαρμογή του αλγορίθμου *bendsimplify*. Συγχρόνως, όμως, διατηρεί τους βασικούς γεωγραφικούς σχηματισμούς, ενώ παράλληλα, εμφανίζεται σημαντικά πιο εξομαλυσμένη. Σε σύγκριση με την ακτογραμμή που έχει δημιουργηθεί από τον αλγόριθμο *pointremove*, διατηρεί αναλόγως τη συνέχεια, αποδίδει μεγάλο μέρος των χαρακτηριστικών θέσεων, με σαφώς, όμως, λιγότερη λεπτομέρεια. Ως ένα βαθμό, ομοιάζει ως μια γενικευμένη εκδοχή αυτής.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως οι δύο αλγόριθμοι απλοποίησης έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως, όμως και ατέλειες στη λειτουργία τους, οι οποίες υποβαθμίζουν την ποιότητα των παράγωγων προϊόντων. Εκ του αποτελέσματος κρινόμενη, η προτεινόμενη τεχνική καλύπτει ικανοποιητικά αυτές τις αδυναμίες, διατηρώντας, συγχρόνως, τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα. Η ακτογραμμή που προκύπτει από την εφαρμογή της είναι χαρτογραφικά και αισθητικά πιο έγκυρη από εκείνες των δύο αλγορίθμων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο διαφορετικό τρόπο λειτουργίας τους. Ο αλγόριθμος *pointremove* αποσκοπεί αποκλειστικά στην απαλοιφή σημείων της γραμμής. Στηρίζεται στην καθολική ανάλυσή της βάσει ενός γεωμετρικού κριτηρίου, ώστε να επιλεγούν εκείνα τα σημεία που θα αφαιρεθούν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αντιμετωπίζονται όλες οι θέσεις της ομότροπα, γεγονός που δε συνάδει με τη διαφορετική συμπεριφορά των γραμμών κατά την αλλαγή κλίμακας, ανάλογα με τη

μορφή και το χαρακτήρα τους' (βλ. ενότητα 1.1). Επιβεβαιώνεται, έτσι, η αναγκαιότητα δημιουργίας μεθόδων γενίκευσης που στηρίζονται στο εννοιολογικό πλαίσιο 'κατάτμηση-χαρακτηρισμός-γενίκευση'. Αντίθετα, η λειτουργία του αλγόριθμου *bendsimplify* βασίζεται σε αυτή την αρχή και προσεγγίζει στη θεωρία του την προτεινόμενη τεχνική. Κατά την εφαρμογή του η γραμμή κατατέμενεται σε ομοιογενείς οντότητες (καμπές/bends), οι οποίες χαρακτηρίζονται μέσω ποσοτικών και ποιοτικών κριτηρίων και βάσει αυτών γενικεύονται μέσω κατάλληλων τελεστών. Η φιλοσοφία του όμως, αποσκοπεί κυρίως στην αφαίρεση των καμπών, δηλαδή στην αφαίρεση σημείων, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των ασυνεχειών που παρουσιάζονται στη συγκεκριμένη εφαρμογή. Επιπλέον, εκτιμάται ως μειονέκτημα του αλγορίθμου η μη κατηγοριοποίηση των τμημάτων (καμπών) και κατά συνέπεια, η γενίκευσή τους σειριακά, ως προς το σύνολο της γραμμής. Στη λειτουργία αυτή, οφείλεται η απαλοιφή σημαντικών κόλπων από την παράγωγη ακτογραμμή. Αντίθετα, στην προτεινόμενη τεχνική, κάθε ε-τμήμα αποκόπτεται από τη γραμμή, εντάσσεται σε μία από τις τέσσερις κατηγορίες και γενικεύεται ανεξάρτητα και με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με την κατηγορία που ανήκει. Η γενίκευση, συνήθως, δε συνίσταται στην αφαίρεση, αλλά στη μετατόπιση σημείων. Έτσι, εξασφαλίζεται η απόδοση σημαντικών γεωγραφικών σχηματισμών και η ορθή (στα πλαίσια των θεωρητικών κανόνων που έχουν τεθεί) γενίκευση όλων των τμημάτων.

Συνοψίζοντας, θα μπορούσε να ειπωθεί πως το αποτέλεσμα της εφαρμογής της προτεινόμενης τεχνικής στην ακτογραμμή της νήσου Περιστέρα είναι αρκετά ικανοποιητικό. Η παράγωγη ακτογραμμή καλύπτει τις απαιτήσεις ευαναγνωσιμότητας, οι οποίες αποτελούσαν ζητούμενο κατά το σχεδιασμό της μεθόδου, ενώ παράλληλα, αισθητικά θεωρείται αποδεκτή. Η ομοιότητα, σε μεγάλο βαθμό, του σχήματός της με το σχήμα της ακτογραμμής του χάρτη της Γ.Υ.Σ. επιβεβαιώνει το γεγονός. Συγχρόνως, τα αποτελέσματα της σύγκρισής της με τις ακτογραμμές που προκύπτουν από δύο ευρέως διαδεδομένους αλγορίθμους γενίκευσης είναι άκρως ενθαρρυντικά. Σημαντικά μειονεκτήματα που οφείλονται στη λειτουργία των αλγορίθμων δεν παρουσιάζονται στην προτεινόμενη μέθοδο, σε αντίθεση με ορισμένα θετικά τους στοιχεία. Το γεγονός αποδεικνύει πως η τεχνική είναι ορθά δομημένη σε θεωρητικό επίπεδο και ικανοποιητικά εφαρμόσιμη. Προβλήματα και ατέλειες έχουν επισημανθεί και αποτελούν ζητούμενα μελλοντικής έρευνας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια, ερευνητικό ζητούμενο για τους χαρτογράφους είναι η δημιουργία ‘καθολικών συστημάτων γενίκευσης’, τα οποία εκτιμάται πως αποτελούν τη βέλτιστη λύση στο πεδίο της γενίκευσης ψηφιακών γραμμών. Επιδίωξη είναι η προσομοίωση μέσω αυτών, της αντίστοιχης χειροκίνητης διαδικασίας. Οι χαρτογράφοι έχουν καταλήξει πως κατά την περάτωση της τελευταίας, ο άνθρωπος αναλύει τη γραμμή, εντοπίζει τμήματά της με κοινά χαρακτηριστικά, τα οποία και μετασχηματίζει κατάλληλα. Έτσι, και η φιλοσοφία των καθολικών συστημάτων βασίζεται στο τρίπτυχο ‘κατάτμηση-χαρακτηρισμός-γενίκευση’. Με άλλα λόγια, η λειτουργία τους στηρίζεται στην κατάτμηση της γραμμής σε ομοιογενή τμήματα, το χαρακτηρισμό τους μέσω ποσοτικών ή και ποιοτικών κριτηρίων και βάσει αυτών, τη γενίκευση τους μέσω κατάλληλων τελεστών.

Με άξονα το παραπάνω εννοιολογικό πλαίσιο, σχεδιάζεται και υλοποιείται μία τεχνική γενίκευσης ψηφιακών χαρτογραφικών γραμμών, αποσκοπώντας να συμβάλλει στη νέα ερευνητική τάση πάνω στο αντικείμενο. Η τεχνική ενσωματώνει μια σειρά επιμέρους διεργασιών επεξεργασίας γραμμικών οντοτήτων, οι οποίες, γενικά, μπορούν να διαχωρισθούν σε τρία στάδια.

Το πρώτο αφορά την κατάτμηση των γραμμών σε ομοιογενή τμήματα. Η μεθοδολογία που εισάγεται, στηρίζεται στην ιδέα του κυλιόμενου δίσκου του Perkal (1966a), η οποία προσαρμόζεται στην ψηφιακή απεικόνιση δεδομένων. Για την ολοκλήρωσή της χρησιμοποιείται ως κριτήριο η ευαναγνωσιμότητα των γραμμών, η οποία ορίζεται μέσω χαρτογραφικών κανόνων που στηρίζονται στην οπτική αντίληψη. Με τον τρόπο αυτό, η διαδικασία λαμβάνει αντικειμενικό χαρακτήρα και διασφαλίζεται η δυνατότητα εφαρμογής της σε κάθε γραμμή και για οποιοδήποτε σενάριο γενίκευσης.

Στο δεύτερο στάδιο επεξεργασίας λαμβάνει χώρα η κατηγοριοποίηση και ο χαρακτηρισμός των τμημάτων που αποκόπτονται κατά μήκος της γραμμής. Ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας και τη μορφή τους, τα τμήματα διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες. Στην πρώτη εντάσσονται τμήματα που διαμορφώνονται από μία κύρια καμπύλη, στη δεύτερη εκείνα που έχουν τη μορφή επαλληλίας δύο ή περισσότερων καμπυλών, στην τρίτη τμήματα που πλησιάζουν μεταξύ τους απόσταση που δημιουργεί πρόβλημα ευαναγνωσιμότητας και στην τέταρτη ομαλά τμήματα. Είναι εμφανές, πως οι τέσσερις κατηγορίες καλύπτουν χαρακτηριστικούς τύπους σχηματισμών στους οποίους μπορεί να αποδομηθεί μια γραμμική οντότητα. Παράλληλα, ο εντοπισμός (όπως και οι μετέπειτα διεργασίες γενίκευσης) τμημάτων που ανήκουν στην τρίτη κατηγορία μπορεί να θεωρηθεί καινοτόμος, αφού μολονότι αποτελεί ερευνητικό ζητούμενο στη διεθνή βιβλιογραφία (γνωστό ως ‘bottleneck’), δε συναντάται αντίστοιχη μεθοδολογία διαχείρισης. Σημαντικό, επίσης, στοιχείο της μεθόδου, όσον αφορά την οικονομία χρόνου, είναι πως οι ποσοτικές ιδιότητες δεν υπολογίζονται για το σύνολο της γραμμής, αλλά κάθε φορά, υπολογίζονται εκείνες που είναι απαραίτητες για τη γενίκευση του εκάστοτε τμήματος, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει.

Στο τρίτο στάδιο επεξεργασίας ολοκληρώνεται η γενίκευση των γραμμών. Κάθε τμήμα γενικεύεται ως ανεξάρτητη οντότητα, μέσω ενός ή συνδυασμού τελεστών, ανάλογα με την κατηγορία που ανήκει, τις ποσοτικές ιδιότητες και τη γεωμετρία του. Έτσι, διασφαλίζεται, ως ένα βαθμό, η αντικειμενικότητα της διαδικασίας, περιορίζοντας σημαντικά την παρέμβαση του χρήστη. Για κάθε κατηγορία ορίζονται

κατάλληλοι χαρτογραφικοί μετασχηματισμοί των τμημάτων (μεγέθυνση για την πρώτη, αφαίρεση, συγχώνευση και μεγέθυνση για τη δεύτερη, διεύρυνση για την τρίτη και απλοποίηση για την τέταρτη), οι οποίοι περατώνονται μέσω τελεστών γενίκευσης (διόγκωση, συμπίεση, εξομάλυνση, αφαίρεση και διεύρυνση) και χαρτογραφικών 'εργαλείων' (εντοπισμός καμπών, ομοπαράλληλος μετασχηματισμός) που δημιουργούνται. Η αυτοτελής επεξεργασία των τμημάτων συντελεί στον δυνατόν εγκυρότερο μετασχηματισμό τους, ώστε να αποδοθούν στην παράγωγη κλίμακα. Συγχρόνως, όμως, τίθενται δεσμεύσεις (διατήρηση χαρακτηριστικών σημείων, διεύθυνσης ακραίων θέσεων κτλ.) που αφορούν την ορθή ένταξή τους στο σύνολο της γραμμής, γεγονός αναγκαίο για τη δημιουργία ενός αποδεκτού τελικού προϊόντος. Πλεονέκτημα του έργου μπορεί να θεωρηθεί πως οι αλγόριθμοι εφαρμογής των τελεστών γενίκευσης που εισάγονται, σχεδιάζονται με γνώμονα την υλοποίησή τους σε γραμμές που αναπαριστούν φυσικές οντότητες (ακτογραμμές, ποτάμια κτλ.). Το γεγονός αυτό, τους μετατρέπει σε πιο αξιόπιστους, αφού η επιτυχής λειτουργία στις πιο πολύπλοκες και ακανόνιστου σχήματος γραμμές, δημιουργεί εχέγγυα για την αποτελεσματικότητά τους σε οποιαδήποτε γραμμή. Παράλληλα, αποτελεί καινοτομία, δεδομένου πως το ζήτημα της γενίκευσης τέτοιου είδους γραμμών δεν έχει αντιμετωπισθεί ευρέως στη διεθνή έρευνα.

Δεδομένου πως η μεθοδολογία που παρουσιάζεται είναι αρκετά πολύπλοκη, τόσο στο θεωρητικό σχεδιασμό, όσο και στην υλοποίησή της, τα αποτελέσματα μίας εφαρμογής αποτελούσαν ζητούμενο της έρευνας. Τα συμπεράσματα από την πιλοτική εφαρμογή στην ακτογραμμή της νήσου Περιστέρα θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως αρκετά ενθαρρυντικά. Το παράγωγο προϊόν κρίνεται χαρτογραφικά και αισθητικά αποδεκτό, σύμφωνα με τα δεδομένα και τις απαιτήσεις που ορίζονται στο θεωρητικό υπόβαθρο του έργου. Η βασική μορφή και ο χαρακτήρας της γραμμής διατηρείται, παρά τον μεγάλο βαθμό γενίκευσης. Η ομοιότητά της με την ακτογραμμή που προέρχεται από χειροκίνητη επεξεργασία και αποτελεί αξιόπιστο κριτήριο αξιολόγησης αναδεικνύει το γεγονός. Παράλληλα, η μη εμφάνιση ατελειών που παρατηρούνται σε ακτογραμμές που έχουν δημιουργηθεί μέσω διαφορετικών τεχνικών γενίκευσης, δημιουργεί θετικά συμπεράσματα όσον αφορά τη λειτουργία της μεθόδου. Ένα γενικό συμπέρασμα από την πρώτη εφαρμογή στην ακτογραμμή της νήσου Περιστέρα, είναι πως έχουν δημιουργηθεί οι σωστές βάσεις στο σχεδιασμό της τεχνικής. Μέσω της μεθοδολογίας κατάτμησης εντοπίζονται και χαρακτηρίζονται αντιπροσωπευτικοί σχηματισμοί της γραμμής, ενώ οι μέθοδοι γενίκευσης που προτείνονται λειτουργούν ικανοποιητικά. Η επίλυση μειονεκτημάτων που έχουν επισημανθεί (εμφάνιση λεπτομέρειας, ασυνεχειών κτλ.), καθώς και ο ορισμός πρόσθετων μέτρων ανάλυσης και χαρακτηρισμού των τμημάτων (βάθος, εμβαδό, αναλογία βάσης προς βάθος καμπών κτλ.) που θα βελτιώσουν το αποτέλεσμα, αποτελούν ζητούμενα μελλοντικής έρευνας. Παράλληλα, η εξαγωγή ενός τελικού συμπεράσματος για τη λειτουργικότητα και την εγκυρότητα της τεχνικής απαιτεί την εφαρμογή της σε πλήθος γραμμών και για διάφορα σενάρια γενίκευσης.

Η μέθοδος που παρουσιάζεται μπορεί να χαρακτηρισθεί ως ένα 'καθολικό σύστημα γενίκευσης', αφού η επεξεργασία της γραμμής ολοκληρώνεται μέσω μιας σειράς διεργασιών που στηρίζονται στο τρίπτυχο 'κατάτμηση-χαρακτηρισμός-γενίκευση' και πραγματοποιείται σε περιβάλλον ενός λογισμικού. Συγχρόνως, όμως, παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να χρησιμοποιήσει ανεξάρτητα, είτε το μοντέλο κατάτμησης/χαρακτηρισμού, είτε τους τελεστές γενίκευσης που έχουν δημιουργηθεί. Αν και η έρευνα βρίσκεται σε αρχικό στάδιο, τα πρώτα δείγματα από την εφαρμογή της



είναι ενθαρρυντικά και η ολοκλήρωσή της θα μπορούσε να συμβάλει στη δημιουργία 'εργαλείων' γενίκευσης ψηφιακών χαρτογραφικών γραμμών.

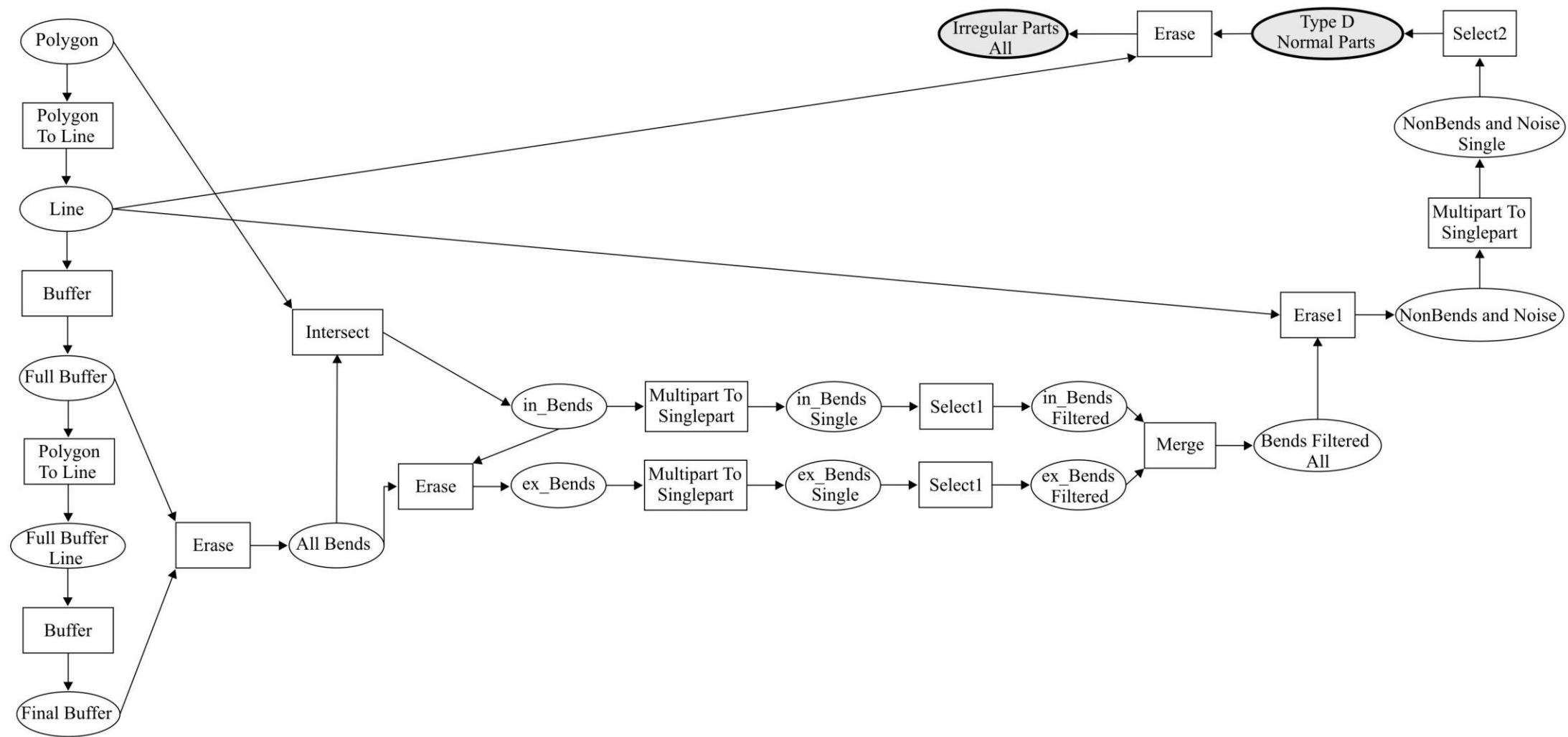
## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Brassel K.E. and R. Weibel, 1988. "A Review and Conceptual Framework on Automated Map Generalization", *International Journal of Geographical Information Systems*, 2(3): 229-244.
- Beard M.K., 1991. "Theory of the Cartographic Line Revisited/Implications for Automated Generalization", *Cartographica*, 25(4): 32-58.
- Buttenfield B., 1989. "Scale-Dependence and Self-Similarity in Cartographic Lines", *Cartographica*, 26(1): 79-99.
- Douglas D.H. and Th. P. Peucker, 1973. "Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to represent a Digitized Line or its Caricature", *The Canadian Cartographer*, 10(2): 112-122.
- Dutton, G. 1999. "Scale, Sinuosity and Point Selection in Digital Line Generalization" *Cartography and Geographic Information Science*, 26(1): 33-53.
- Fritsch E., 1997. *Représentations de la géométrie et des contraintes cartographiques pour la généralisation du linéaire routier*. PhD dissertation, Université de Marne La Vallée.
- Jenks G.F., 1981. "Lines, Computers, and Human Frailties". *Annals of the Association of American Geographers*, 71/1: 1-10.
- Λαμπράκη Σ., 2009. «Ανάπτυξη αλγορίθμων συγχώνευσης επάλληλων καμπών για τη γενίκευση φυσικών χαρτογραφικών γραμμών». Διπλωματική Εργασία. Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Lecordix F., C. Plazanet and J.-Ph. Lagrange, 1997. "A Platform for Research in Generalization: Application to Caricature". *GeoInformatica* 1(2): 161-182.
- Li Z., 2007. "Algorithmic Foundation of Multi-Scale Spatial Representation". *Taylor & Francis Group*, Boca Raton: 280.
- McMaster R.B., 1987. "Automated Line Generalization", *Cartographica*, 24(2): 74-111.
- McMaster R.B. and K.S. Shea, 1992. "Generalization in Digital Cartography", (Resource Publications in Geography). Washington, D.C., Association of American Geographers.
- Mustière S., 2005. "Cartographic Generalization of Roads in a Local Adaptive Approach: A Knowledge Acquisition Problem", *International Journal of Geographic Information Science*, 19(8-9): 937-955.
- Νάκος Β., 2006. *Αναλυτική Χαρτογραφία*. Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Nakos B., and V. Mitropoulos, 2005. "Critical Points Detection Using the Length Ratio (LR) for Line Generalization". *Cartographica*, 40(3): 35-51.
- Perkal J., 1966a. "On the Length of Empirical Curves", *Discussion Paper 10*. Department of Geography, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Perkal, J., 1966b. "An Attempt at Objective Generalization." *Discussion Paper 10*. Department of Geography, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

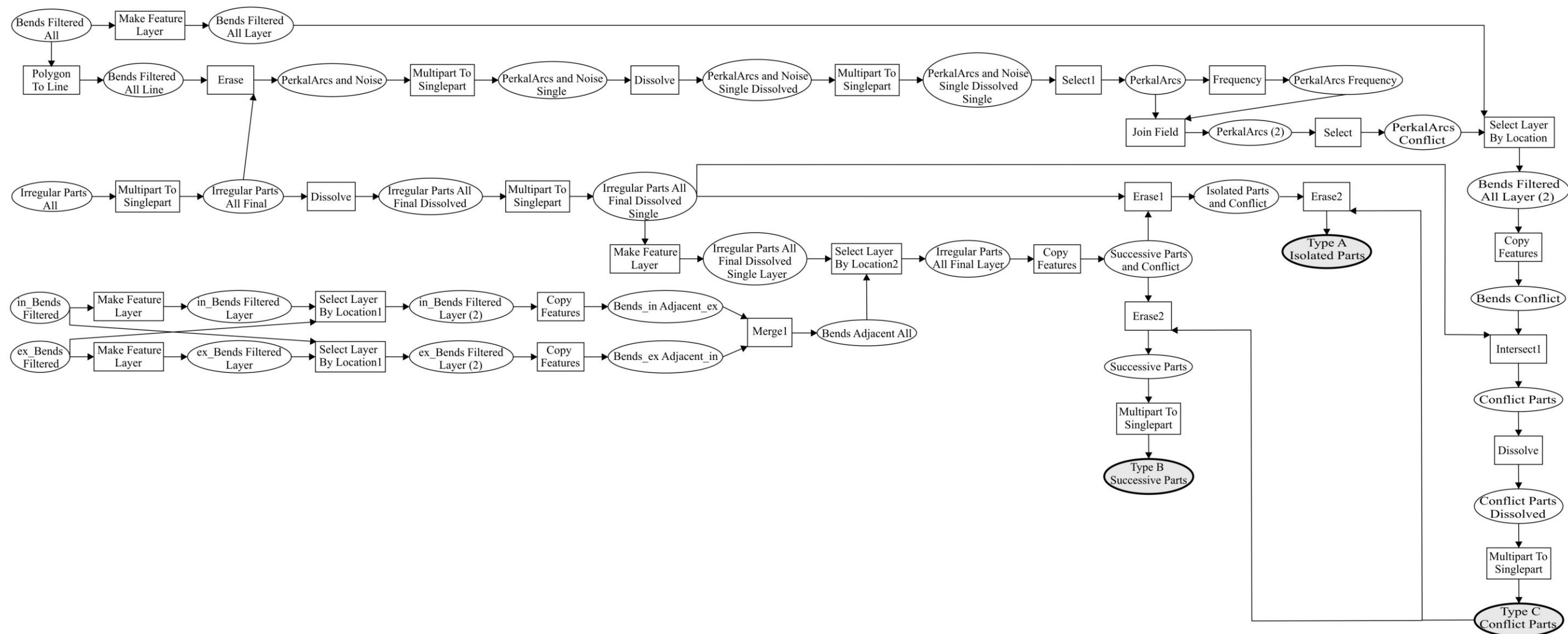
- Plazanet C., J.G. Affholder and E. Fritsch, 1995. "The Importance of Geometric Modeling in Linear Feature Generalization", *Cartography and Geographic Information Systems*, 22(4): 291-305.
- Rouleau, B., 1984. "Theory of Cartographic Expression and Design", *In Basic Cartography for Students and Technicians*, (Vol. 1), International Cartographic Association, Hampshire, pp. 81-111.
- Ruas A. and C. Duchêne, 2007, "A Prototype Generalisation System Based on the Multi-Agent System Paradigm". *In Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications* (Mackaness W.A., A. Ruas, and L.T.Sarjakiski, Eds.), Elsevier Ltd., Amsterdam: 269-284.
- Russell, S.J. and Norvig P., 2003. "Artificial Intelligence: A Modern Approach" (Prentice Hall Series in Artificial Intelligence). 2nd ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Töpfer, F. and Pillewizer, W. 1966. "The Principles of Selection." *The Cartographic Journal*, 3(1): 10-16.
- Visvalingam, M., and Whyatt, J.D. 1993. "Line Generalisation by Repeated Elimination of Points." *The Cartographic Journal* 30(1): 46-51.
- Wang, Z., and Müller, J.-C. 1998. "Line Generalization Based on Analysis of Shape Characteristics." *Cartography and Geographic Information Systems*, 25(1): 3-15.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

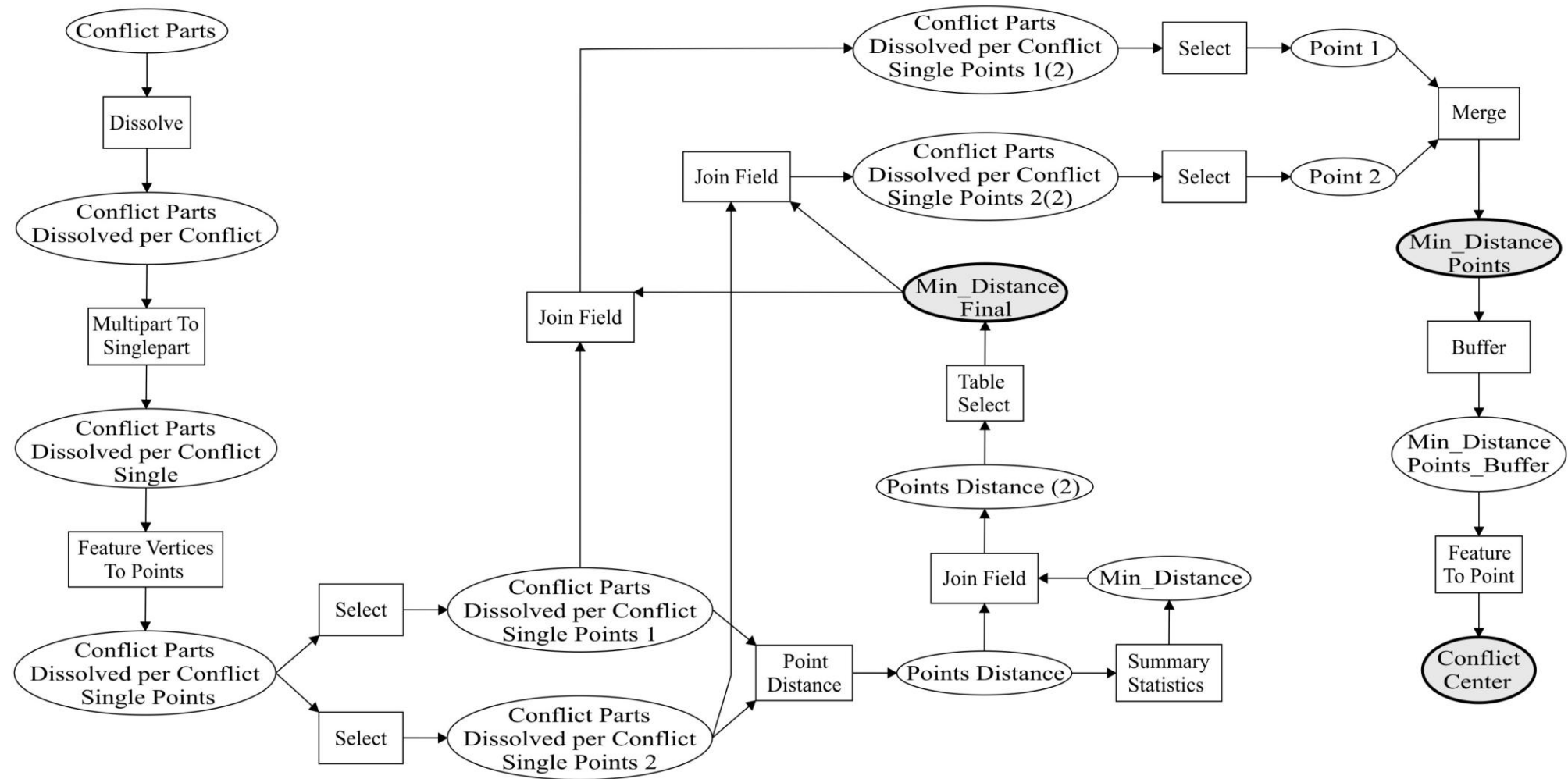
Διαγράμματα ροής μοντέλου κατάτμησης γραμμών



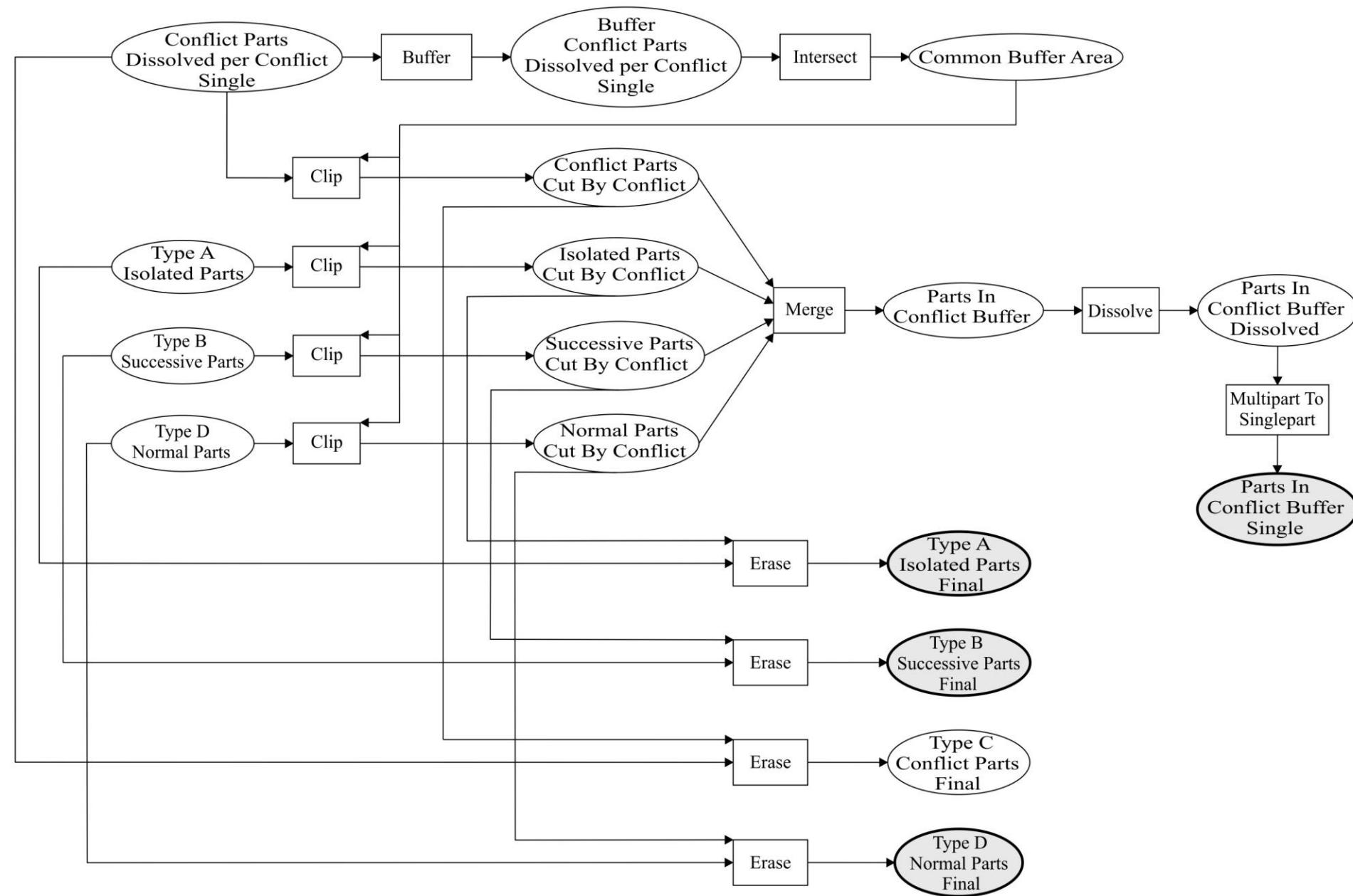
Σχήμα 6: Εντοπισμός, φιλτράρισμα και συγχώνευση ε-μη-κυρτών τμημάτων. Εντοπισμός ε-κυρτών τμημάτων.



Σχήμα 7: Διαχωρισμός ε-μη-κυρτών τμημάτων σε κατηγορίες.



Σχήμα 15: Υπολογισμός ποσοτικών ιδιοτήτων και εντοπισμός χαρακτηριστικών θέσεων των περιοχών σύγκλισης.



Σχήμα 17: Δημιουργία διευρυμένης περιοχής σύγκλισης και αποκοπή τελικών ε-τεμμάτων.



## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

Άρθρο:

Mitropoulos V., Nakos B., 2011, ‘A methodology on natural occurring lines segmentation and generalization based on visual perception principles.’ In Proceedings of *14<sup>th</sup> Workshop of the ICA commission on Generalization and Multiple Representation*, Paris, 30 June and 1<sup>st</sup> July 2011.

# A methodology on natural occurring lines segmentation and generalization based on visual perception principles

Vasilis Mitropoulos, Byron Nakos

mitrovas@hotmail.com – bnakos@central.ntua.gr

School of Rural & Surveying Engineering  
National Technical University of Athens

## **Introduction**

Line generalization can be considered as one of the most complex processes in the cartographic production. In manual line generalization, cartographers ought to select the features to be maintained at the target scale and modify them properly in order to form a geographically accurate and visually effective product; they are taking into account factors such as the rate of scale change, the character of the cartographic line and the purpose of the map. A holistic procedure is followed by cartographers through which they examine the line both globally and locally, estimating how the retention, modification or removal of each line characteristic could affect its neighbor locations as well as the whole line. According to Brassel and Weibel (1988), line generalization is a mental process of information processing that contains functions like comparison, combination, discrimination, recognition of relations, removing etc. It is evident that manual line generalization is a subjective procedure, depending on logical and aesthetic criteria.

In digital cartography, the aim is the automation of line generalization process. Research focuses on finding methods of formalizing the manual generalization techniques satisfying the constraints generalization depends on. In recent decades, cartographic research (Buttenfield 1989, Plazanet et al. 1995, Wang and Muller 1998, Dutton 1999, Mustière 2005, Lecordix et al. 2005) concludes that the most valid way to achieve this is the development of universal line generalization systems which operate on the basic principle of line's 'segmentation-analysis-generalization by appropriate operator'. The central idea is that each line or each part of a line should be treated differently in the process of generalization, depending on its character. Thus, cartographers ought to find methods of segmenting lines on the basis of several attributes of form and geometry and then characterize the segments qualitatively and quantitatively. Generalization will be accomplished by implementing the appropriate operators to each line part with the suitable tolerance values, according to the analysis outcomes and the demands of generalization.

An automated line generalization model that is based on the conceptual framework segmentation-classification-generalization is demonstrated in this paper. The technique addresses to the generalization of natural occurring lines such as coastlines, rivers etc, lines that are characterized by the complexity and the randomness of their forms. We form and implement a method of segmenting cartographic lines on the basis of visual perception principles, define the legibility rules which classify both quantitatively and qualitatively the line segments and finally we design and apply the appropriate generalization operators for each case. The concept of the method is based on a corresponding research proposed by Nakos et al. (2008).

## Methodology

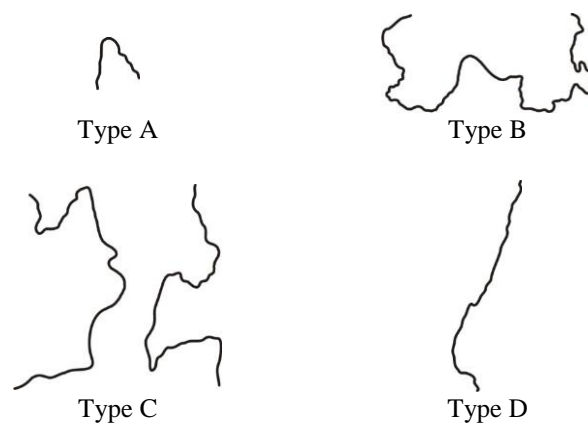
The method of line segmentation is based on the concept of  $\varepsilon$ -convexity introduced by Julian Perkal (1966). According to this method, when a disc of diameter  $\varepsilon$  rolls on both sides of a line, it divides the line into  $\varepsilon$ -convex and  $\varepsilon$ -non-convex parts. By adapting Perkal's idea to the needs of the present research we design a technique of segmenting lines. The implementation of the concept to digital environment is carried out using the software package *ArcGIS* v.9.3 (© ESRI) more specifically, the *Model Builder* platform supported by the package. The result is a model which runs a chain of individual processes, appropriately structured to apply the desired tasks. The parameter of implementation corresponds to the size of the diameter  $\varepsilon$  of Perkal's disc and it is defined according to the visual perception limit, line's symbol width and the target scale. Thus, it is completely independent of the line's form and any user's intervention.

The implementation of the method results into the partition of a digital cartographic line to  $\varepsilon$ -convex and  $\varepsilon$ -non-convex parts, generally called  $\varepsilon$ -parts. The  $\varepsilon$ -non-convex parts are filtered using rules of visual perception in order to avoid 'noise'. The  $\varepsilon$ -non-convex parts with size smaller than a tolerance are not visually observed and merged with the  $\varepsilon$ -convex parts. Then, the length between the rest  $\varepsilon$ -non-convex parts is examined. The successive parts that have a distance smaller than the visual perception limit are aggregated, as long as they are been perceived as a compound entity by the map reader.

The  $\varepsilon$ -parts are grouped into four types according to their form and the way of their creation:

- Type A: One-sided  $\varepsilon$ -non-convex parts  
 $\varepsilon$ -parts marked by a single turning point, which appears in one side of the line (left or right),
- Type B: Both-sided  $\varepsilon$ -non-convex parts  
 $\varepsilon$ -parts described by successive curves, which appear on both sides of the line,
- Type C: Parts of convergence  
 $\varepsilon$ -parts approaching each other at a distance smaller than a critical distance of legibility expressed in the target scale of the map and
- Type D:  $\varepsilon$ -convex parts.

Typical examples of the four types of  $\varepsilon$ -parts created by applying the line segmentation technique are presented in Figure 1.



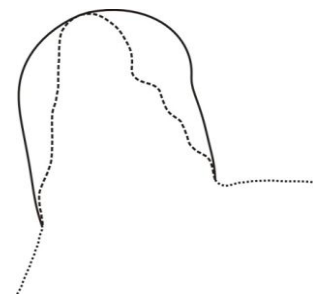
**Figure 1:** Typical examples of the four types of  $\varepsilon$ -parts.

Before the stage of generalization, the  $\varepsilon$ -parts are normalized and filtered by a smoothing procedure in order to eliminate minor details that may affect the generalization processing and reduce the quality of the final result. The application is accomplished by using the Gaussian smoothing operator.

The  $\varepsilon$ -parts are characterized by different form and geometry according to the type they belong to. Therefore, it is necessary to generalize the line by applying the appropriate generalization operators in each case. We propose, encode and implement some operators that correspond to the demands of generalization of the four types of the  $\varepsilon$ -parts. In the following paragraphs a brief description of the generalization techniques designed for each segment type is developed.

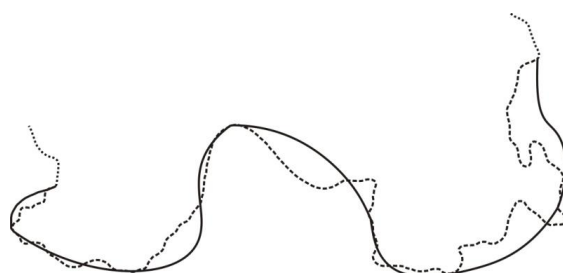
The one-sided  $\varepsilon$ -non-convex parts (Type A) need to be enlarged in order to be legibly represented at a smaller scale map. The generalization process includes the application of a smoothing operator, the detection of characteristic points (endpoints and apex) of the smoothed  $\varepsilon$ -part, the application of an expansion operator and an affine transformation. More specifically, the segment is normalized to the extent that is potentially formed by one curve, by applying the Gaussian smoothing operator. Then, the Balloon algorithm (Lecordix et al. 1997) is implemented in order to expand the segment. Finally, an affine transformation is applied to the derivative line in order to maintain the characteristic points of the initial one. An example of generalization of a  $\varepsilon$ -part of Type A is presented in Figure 2.

**Figure 2:** An example of generalization of a  $\varepsilon$ -part of Type A  
(Initial line: dotted and generalized line: solid).

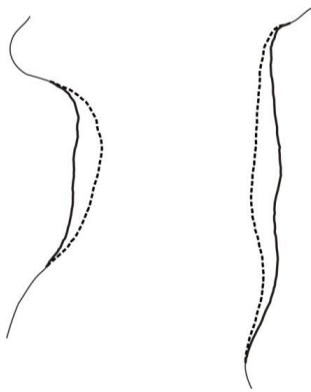


In the case of both-sided  $\varepsilon$ -non-convex parts (Type B), firstly each segment is heavily smoothed, by applying the Gauss filtering operator in order to detect the essential bends for the target scale. Secondly, the characteristic points of these bends (endpoints and apex) are detected. The visible representation in smaller scale usually requires either the expansion of one or more bends, or its removal and the enlargement of the rest or even any combination of them. The selection of the appropriate operator is based on the geometry and quantitative characteristics of the bends composing each  $\varepsilon$ -part. Finally, an affine transformation is applied to each remaining bend, in order bends' characteristic points to match with the corresponding points of the initial line. An example of generalization of a  $\varepsilon$ -part of Type A is presented in Figure 3.

**Figure 3:** An example of generalization of a  $\varepsilon$ -part of Type B (Initial line: dotted and generalized line: solid).



In the generalization process of the parts of convergence (Type C), the concept of ‘convergence region’ is introduced, identifying by two or more interacting  $\varepsilon$ -parts. Each part, as a separate entity, contributes to the establishment of the quantitative parameters of the region (center, points of minimum distance and the direction of the line passes through them) on which the generalization procedure depends on. The processing is carried out using a model structured at the *Model Builder* platform. The concept of generalization is based on the displacement of the interacting  $\varepsilon$ -parts in a way that the region is been widen. Therefore, the distance between the segments is greater than the parameter  $\varepsilon$ . This rule ensures that the convergence region is visually perceived in the target scale. The displacement of the  $\varepsilon$ -parts is achieved by applying the ‘Depress algorithm’ devised and encoded in the present research. An example of generalization of a  $\varepsilon$ -part of Type C is presented in Figure 4.



**Figure 4:** An example of generalization of a  $\varepsilon$ -part of Type C (Initial line: dotted and generalized line: solid).

The  $\varepsilon$ -convex parts (Type D), as being legible and smooth, they can be generalized effectively by the use of existing line simplification algorithms. Line simplification algorithms such as the bendsimplify supported by the software package *ArcGIS v.9.3* (© ESRI) provide quite satisfactory results, as shown in Figure 5.

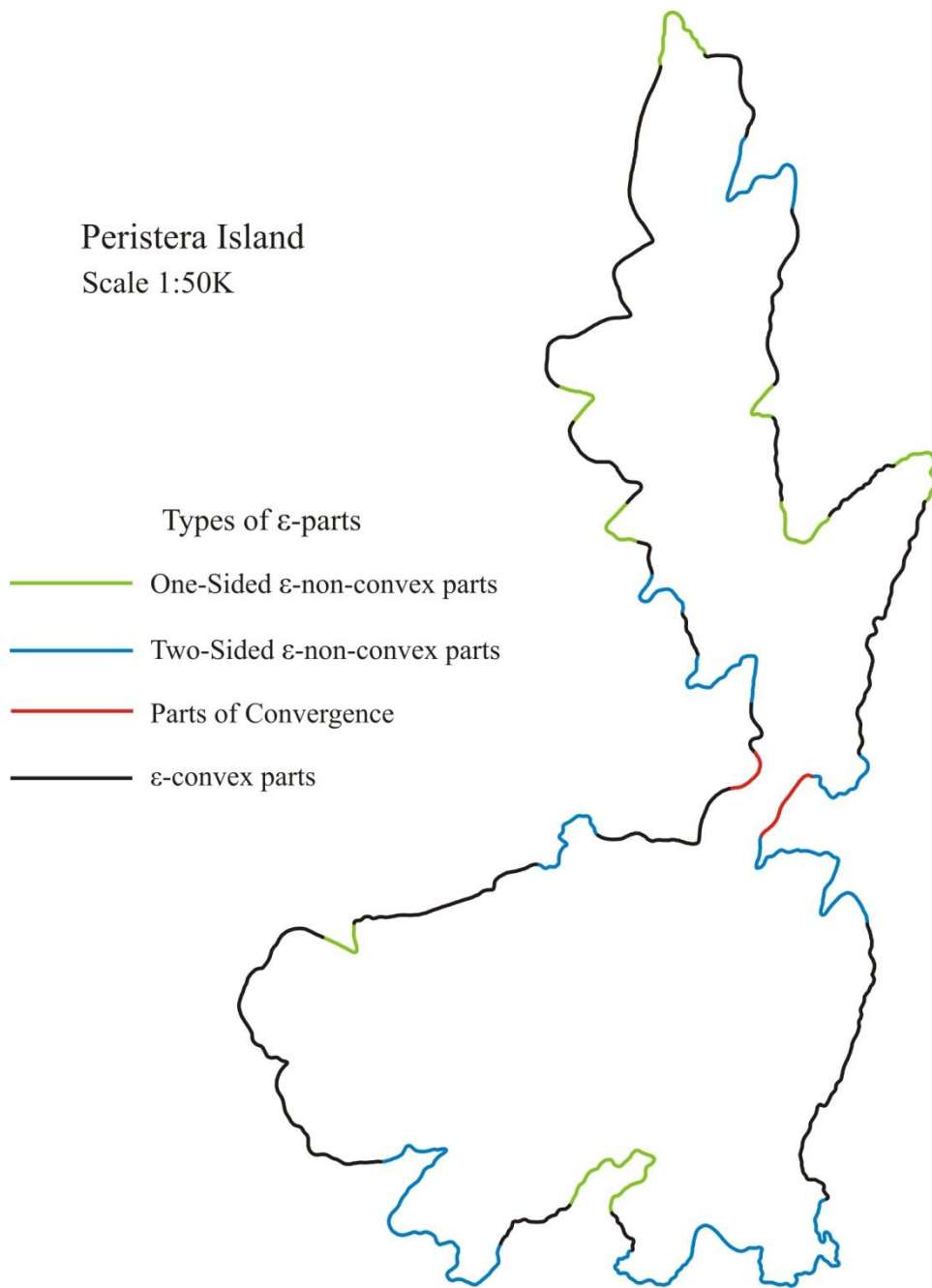


**Figure 5:** An example of generalization of a  $\varepsilon$ -part of Type D (Initial line: dotted and generalized line: solid).

The line generalization operators of expansion, enlargement, removal and displacement, as well as the Gaussian smoothing operator and the affine transformation have been developed using the Mapping Toolbox 2, in the programming software environment of *MatLab 2008b*.

### Case study

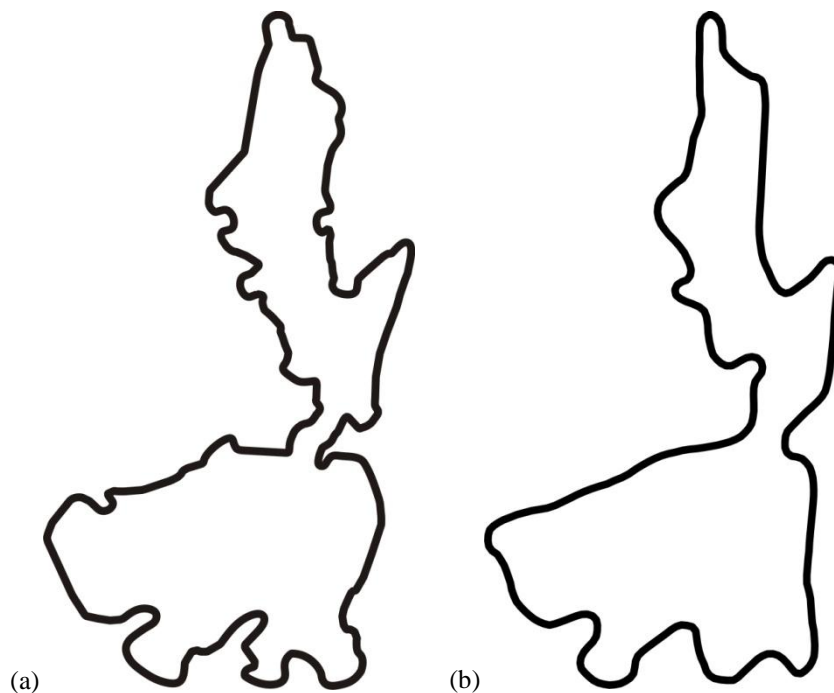
The model of line segmentation and generalization is applied to the coastline of Peristera Island. The coastline was digitized from a paper map of scale 1:50K and the methodology is carried out for a generalization scenario of 1:1M target scale. The parameter of implementation (diameter  $\varepsilon$ ) and the tolerances of the individual procedures (filtering, aggregation etc) are defined on the basis of the scale of the derivative map. The results of the implementation of the segmentation method are illustrated in Figure 6. The coastline is segmented into thirty-four  $\varepsilon$ -parts from which eight are one-sided  $\varepsilon$ -non-convex, eight both-sided  $\varepsilon$ -non-convex, two parts of convergence and sixteen  $\varepsilon$ -convex.



**Figure 6:** Peristera Island coastline and the  $\varepsilon$ -parts generated by the implementation of the proposed method.

The  $\varepsilon$ -parts are generalized by using the appropriate generalization operators depending on the type (A, B, C or D) they belong to. The operators' implementation parameters and tolerances are determined according to the form and the quantitative characteristics of each  $\varepsilon$ -part, taking into account the scale of the target map. After been generalized as separate entities, the thirty-four  $\varepsilon$ -parts are combined to produce the generalized coastline. Then, the coastline is smoothed by applying the Gaussian filter operator in order to normalize discontinuities which may appear to segments' connection locations or spikes, produced by the line's successive transformations. The final form of Peristera Island coastlines is depicted in Figure 7a. It is worth noting that the map is represented enlarged so the results can be better observed.

The outcome of generalization could be considered as fairly satisfactory. The coastline is shaped by its basic formations (bays, peninsulas), thus retaining its main figure. At the same time, the unnecessary for the target scale details have been removed. Its shape is quite smooth, and spikes or sudden breaks of the line are not detected. In Figure 7b, the coastline of Peristera Island, digitized from a paper map of scale 1:1M is presented. Assuming that this version of the line is a product of manual generalization process, it can be a standard for assessing the proposed technique. By comparing visually the two lines (Figure 7a & 7b) it is obvious that their shape is quite similar since the characteristic large bays and peninsulas and some crucial locations are maintained and depicted. The difference is that some small bays that could be considered as detail for the specific scale are represented at the coastline generated from the proposed technique.



**Figure 7:** The Peristera Island coastline generated from the proposed study (a) and digitized from a map of scale 1:1M (b).

### **Concluding remarks**

A holistic methodology of cartographic lines segmentation and generalization based on visual perception principles is presented in this study. Although the research is at an early stage, the outcome of the implementation on the coastline of Peristera Island reveals that the methodology is very promising. The derivative coastline contains detail that however is discerned, according to the legibility rules defined in the study. Further work is in progress to encode the tools of generalization and filtering operators in a convenient programming environment so as to incorporate them to the software package *ArcGIS*. The aim is the creation of an integrated interactive environment of generalizing natural occurring lines.

### **Acknowledgments**

The research has been supported by the Senator Committee of Basic Research, Programme “PEVE 2008”, R.C. No 65/1706 of the National Technical University of Athens.

## References

- Brassel K.E. and R. Weibel, 1988. "A Review and Conceptual Framework on Automated Map Generalization", *International Journal of Geographical Information Systems*, 2(3): 229-44.
- Buttenfield B., 1989. "Scale-Dependence and Self-Similarity in Cartographic Lines", *Cartographica*, 26(1): 79-99.
- Dutton, G. 1999. "Scale, Sinuosity and Point Selection in Digital Line Generalization" *Cartography and Geographic Information Science*, 26(1): 33-53
- Lecordix F., C. Plazanet and J.-Ph. Lagrange, 1997. "A Platform for Research in Generalization: Application to Caricature". *GeoInformatica* 1(2): 161-82.
- Mustière S., 2005. "Cartographic Generalization of Roads in a Local Adaptive Approach: A Knowledge Acquisition Problem", *International Journal of Geographic Information Science*, 19(8-9): 937-55.
- Perkal J., 1966a. "On the Length of Empirical Curves", *Discussion Paper 10*. Department of Geography, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- Plazanet C., J.G. Affholder and E. Fritsch, 1995. "The Importance of Geometric Modeling in Linear Feature Generalization", *Cartography and Geographic Information Systems*, 22(4): 291-305.
- Nakos B., J. Gaffuri, and S. Mustière, 2008. "A transition from simplification to generalization of natural occurring lines". Proceedings of 11<sup>th</sup> *ICA Workshop on Map Generalisation and Multiple Representation*, Montpellier, France.
- Wang, Z., and Müller, J.-C. 1998. "Line Generalization Based on Analysis of Shape Characteristics." *Cartography and Geographic Information Systems*, 25(1): 3-15.



