ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ[1]

Θ. ΖΗΣΗΣ[2] και Η. ΤΕΛΟΓΛΟΥ[3]

ΣΥΝΟΨΗ

Ειδικοί αλγόριθμοι αυτόματης χάραξης ισαριθμικών καμπυλών, όπως ισοϋψών ή ισοπιεζομετρικών, δημιουργούν κατά μια μη συνεχή σειρά ανεξάρτητα ευθύγραμμα τμήματα, τα οποία συνιστούν ένα σύνολο ολοκληρωμένων ισαριθμικών καμπυλών που εμφανίζονται ως τεθλασμένες γραμμές. Ένας νέος αλγόριθμος προτείνεται για τη διευθέτηση των ευθυγράμμων τμημάτων σε μια συνεχή σειρά πράγμα που είναι απαραίτητο για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Κύρια χαρακτηριστικά του αλγόριθμου είναι η εισαγωγή ενός μοναδικού χαρακτηριστικού αριθμού που αντικαθιστά τις συντεταγμένες των άκρων των ευθυγράμμων τμημάτων και ενός βοηθητικού μητρώου που διευκολύνει την αναζήτηση του επόμενου κάθε φορά τμήματος της καμπύλης. Επίσης με την ενσωμάτωση του αλγόριθμου Heapsort επιταχύνεται σημαντικά η όλη διαδικασία.

ABSTRACT

The individual line segments, which make up a contour line may be randomly generated by contouring algorithms, but they must be sorted sequentially along the full length of the contour line so that each contour line be treated as one object and become liable to further manipulation. In this paper, we present a new contour-sorting algorithm, which is based on the transformation of the coordinates of the line, or contour segments endpoints into a pair of characteristic unique numbers. Treatment of the line segments by this number has resulted a fast contour sorting algorithm. The characteristic unique numbers are stored in an array and are sorted into ascending numerical order using the quicksort or heapsort algorithms. Furthermore, an auxiliary array is created which relates the number indicating the order of which each line segment is generated with the numbers of rows of the array of sorted characteristic numbers which correspond to the same line segment. The data stored in the auxiliary array are used to minimize the time required to search the sorted array with the characteristic number in order to find the next line segment endpoint.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ισαριθμική καμπύλη, τρίγωνα Delaunay, αλγόριθμος ταξινόμησης ισαριθμικών

KEY WORDS: contour line, Delaunay triangles, contour sorting algorithm

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χάραξη ισαριθμικών καμπυλών, όπως ισοϋψών ή ισοπιεζομετρικών, είναι μεγάλης σημασίας σε πολλούς τομείς, όπως στη γεωγραφία, γεωφυσική, υδρογεωλογία αλλά και σε μελέτες εγγειοβελτιωτικών έργων. Ειδικότερα σε μελέτες ισοπέδωσης των αγρών αλλά κυρίως για τη σχεδίαση της διάταξης και τη μελέτη δικτύων στραγγιστικών τάφρων ή σωλήνων. Τα στραγγιστικά δίκτυα, που είναι ανάγκη να προσαρμόζονται στο τοπογραφικό ανάγλυφο των αγρών, χρειάζονται ως υπόβαθρο τοπογραφικά διαγράμματα μικρών σχετικά περιοχών, τα οποία προκύπτουν από μετρήσεις ακριβείας στο ύπαιθρο και δεν είναι δυνατόν να προκύψουν από προϋπάρχοντα διαγράμματα. Η κατασκευή όμως των διαγραμμάτων αυτών είναι μια εργασία ρουτίνας μεν, αλλά κοπιώδης, χρονοβόρα και με υψηλό κόστος, όταν γίνεται με το χέρι. Έτσι, η ανάπτυξη αλγορίθμων και προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών (Η/Υ) για την αυτόματη σχεδίαση ισαριθμικών καμπυλών άρχισε σχεδόν με την εμφάνιση των υπολογιστών.

Επιπλέον θα πρέπει να τονισθεί ότι αλγόριθμοι για την αυτόματη σχεδίαση ισαριθμικών πρέπει να περιλαμβάνονται σε πακέτα λογισμικού για τη σχεδίαση στραγγιστικών δικτύων με τη βοήθεια Η/Υ, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατή η εμφάνιση του δημιουργούμενου διαγράμματος στην οθόνη του υπολογιστή. Με τον

1:AN ALGORITHM FOR ARRANGING CONTOUR SEGMENTS INTO STRINGS

2:Αν. Καθηγητής, Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας & Γεωργικής Μηχανικής, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ., 54006 Θεσσαλονίκη, E-mail:zissis@agro.auth.gr

3:Δρ. Γεωπόνος, ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε, Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων, 57400 Σίνδος, Θεσσαλονίκη, E-mail:teloglou@agro.auth.gr

τρόπο αυτό ο μελετητής έχει τη δυνατότητα κατά ένα αλληλεπιδραστικό τρόπο να επιλέγει και να τροποποιεί την πυκνότητα των ισοϋψών μέχρι να κατασκευαστεί ένα τοπογραφικό διάγραμμα κατάλληλο για τη σχεδίαση ενός στραγγιστικού δικτύου.

Τα υψόμετρα του εδάφους είναι πιο εύκολο να μετρώνται σε τυχαία σημεία των αγρών, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη η διαμόρφωση του τοπογραφικού αναγλύφου, αλλά και το ακανόνιστο σχήμα των αγρών. Στη συνέχεια για την κατασκευή των ισοϋψών η επιφάνεια του αγρού καλύπτεται με τρίγωνα Delaunay που έχουν τις κορυφές τους στα σημεία μέτρησης των υψομέτρων. Κατόπιν με γραμμική παρεμβολή, κατά μήκος των πλευρών τους βρίσκονται οι συντεταγμένες δύο σημείων για κάθε συγκεκριμένη τιμή ισοϋψούς. Πρόκειται για τις συντεταγμένες των άκρων ανεξαρτήτων ευθυγράμμων τμημάτων τα οποία συνιστούν τις ισοϋψείς. Κάθε πλήρης ισοϋψής καμπύλη (τεθλασμένη γραμμή) αποτελείται από ανεξάρτητα ευθύγραμμα τμήματα που τέμνουν τις πλευρές των τριγώνων.

Ένας αλγόριθμος ο οποίος διαμορφώνει τα τρίγωνα Delaunay, κάνει την παρεμβολή και δημιουργεί τις ισοϋψείς, δίνεται από τον Watson (1982). Η τριγωνοποίηση Delaunay επιτυγχάνεται με την υποδιαίρεση ενός αρχικού τυχαίου τριγώνου το οποίο περικλείει όλα τα σημεία μέτρησης των υψομέτρων. Βασίζεται στην ιδιότητα σύμφωνα με την οποία δεν πρέπει να υπάρχουν άλλα σημεία μέτρησης που να κείνται μέσα στον περιγεγραμμένο κύκλο κάθε τριγώνου. Αυτό υπολογίζεται συγκρίνοντας την ακτίνα του κύκλου με την απόσταση του κέντρου του περιγεγραμμένου κύκλου από ένα νέο σημείο, εισαγόμενο με οποιαδήποτε (τυχαία) σειρά.

Όπως ήδη αναφέρθηκε με την τριγωνοποίηση και τη γραμμική παρεμβολή έχουμε ως αποτέλεσμα ένα σύνολο ευθυγράμμων τμημάτων, τα οποία γενικά συνιστούν ένα αριθμό ισαριθμικών καμπυλών, που όμως δημιουργούνται και αποθηκεύονται με μια τυχαία σειρά. Όμως για διαγράμματα ισαριθμικών καμπυλών καλής ποιότητας είναι απαραίτητο να γίνει εξομάλυνση των τεθλασμένων γραμμών, που συνήθως γίνεται με τη βοήθεια συναρτήσεων splines. Επίσης σε κατάλληλα σημεία της καμπύλης πρέπει να αναγράφεται η τιμή στην οποία αντιστοιχεί η καμπύλη, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανάγνωση του διαγράμματος. Για τους δύο αυτούς βασικούς λόγους, τα ευθύγραμμα τμήματα που συνιστούν τις ισαριθμικές καμπύλες θα πρέπει να διευθετηθούν και να αποθηκευθούν στη σειρά το ένα μετά το άλλο σ' όλο το μήκος κάθε καμπύλης. Μετά τη διευθέτηση αυτή κάθε καμπύλη θα αποτελεί ένα ενιαίο αντικείμενο και θα είναι δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία της. Αυτή μπορεί να γίνει με την εξαγωγή των καμπυλών ως ενιαίων αντικειμένων σε ειδικού τύπου αρχεία π.χ. αρχεία τύπου DXF, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλα πακέτα λογισμικού και έτσι να εκμεταλλευθούμε τις δυνατότητες αυτών.

Οι Watson (1992) και Jones et al. (2000) περιγράφουν δύο προσεγγίσεις οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μιας ισαριθμικής καμπύλης ως μιας συνεχούς καμπύλης, δηλαδή ως ενός ενιαίου αντικειμένου. Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση, την οποία ήδη κατά μεγάλο μέρος περιγράψαμε, τα ανεξάρτητα ευθύγραμμα τμήματα τα οποία δημιουργούνται με γραμμική παρεμβολή και αποθηκεύονται με την τυχαία σειρά που υπολογίζονται, διευθετούνται το ένα μετά το άλλο ξεκινώντας από ένα αρχικό ευθύγραμμο τμήμα. Ελέγχονται κατόπιν οι συντεταγμένες των άκρων των άλλων ευθυγράμμων τμημάτων, ώστε να βρεθεί άκρο άλλου ευθυγράμμου τμήματος με τις ίδιες συντεταγμένες, για την επέκταση της ισαριθμικής καμπύλης μέχρις ότου αυτή ολοκληρωθεί πλήρως. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση ειδικών αλγορίθμων διευθέτησης. Σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση, τα ευθύγραμμα τμήματα που αποτελούν μια ισαριθμική καμπύλη δημιουργούνται με τη σειρά βρίσκοντας πρώτα την αρχή της καμπύλης και μετά την ακολουθούν δια μέσου των τριγώνων, δημιουργώντας κάθε φορά το διαδοχικό ευθύγραμμο τμήμα, μέχρις ότου η καμπύλη ολοκληρωθεί. Ένας αλγόριθμος αυτής της προσέγγισης πρέπει να περιλαμβάνει και λογισμικό για την ανίχνευση και σάρωση των γειτονικών τριγώνων πράγμα που απαιτεί να είναι γνωστός και ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται τα τρίγωνα. Επίσης θα πρέπει να ελέγχεται αν όλες οι δυνατές ισαριθμικές καμπύλες έχουν υπολογιστεί. Αν και γίνεται παραδεκτό ότι η προσέγγιση αυτή είναι πολύπλοκη έχει προσελκύσει την προσοχή πολλών ερευνητών. Μεταξύ αυτών είναι και οι Kok and Begin (1981), οι οποίοι παρουσίασαν μεθόδους κατασκευής ισοϋψών, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε προγράμματα για τη μελέτη στραγγιστικών δικτύων. Η προσέγγιση που περιγράφτηκε πρώτη, αν και δεν είναι πολύπλοκη, απαιτεί ταχείς αλγόριθμους διευθέτησης. Οι Nickerson et al. (1999) και Jones et al. (2000) παρουσιάζουν τέτοιους αλγόριθμους, με τους οποίους η κατασκευή των ισαριθμικών καμπυλών ως ενιαίων αντικειμένων γίνεται ταχύτερα από ότι με τη δεύτερη προσέγγιση.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται με λεπτομέρεια ένας νέος αλγόριθμος διευθέτησης των ευθυγράμμων τμημάτων που συνιστούν τις ισαριθμικές καμπύλες. Ο αλγόριθμος αυτός στην αρχική του μορφή συμπεριλήφθηκε στο πρόγραμμα DEDRAS (DEsign of DRAinage Systems) που αναπτύχθηκε για τη μελέτη στραγγιστικών δικτύων (Zissis et al., 1996). Αποσκοπεί στη δημιουργία διαγραμμάτων ισοπιεζομετρικών και ισοβαθών καμπυλών αλλά κυρίως τοπογραφικών διαγραμμάτων που είναι απαραίτητα για τη σχεδίαση της διάταξης των στραγγιστικών δικτύων. Ο αλγόριθμος διαφέρει από αυτόν των Jones et al. (2000) κυρίως στο ότι εισάγεται ένας μοναδικός χαρακτηριστικός αριθμός για τις συντεταγμένες των άκρων των ευθυγράμμων τμημάτων με βάση τον οποίο γίνεται στη συνέχεια η διευθέτηση αυτών. Στην εργασία αυτή, ο αλγόριθμος παρουσιάζεται βελτιωμένος και ταχύτερος με την εισαγωγή ενός βοηθητικού μητρώου με στοιχεία τα οποία διευκολύνουν την αναζήτηση του επόμενου κάθε φορά ευθυγράμμου τμήματος της καμπύλης. Επιπλέον διερευνάται η απόδοση δύο αλγορίθμων για την ταξινόμηση κατ’ αύξουσα τάξη μεγέθους του χαρακτηριστικού αριθμού που αντικαθιστά τις συντεταγμένες των άκρων των ευθυγράμμων τμημάτων. Πρόκειται για τον αλγόριθμο γνωστό ως Quicksort που συνήθως χρησιμοποιείται σε τέτοιες εφαρμογές και τον αλγόριθμο γνωστό ως Heapsort (Press et al., 1996).

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος έχει γραφεί σε γλώσσα προγραμματισμού visual C^{++}. Έχει συνδυαστεί με τον αλγόριθμο τριγωνοποίησης του Watson (1982) και μαζί αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο στη σχεδίαση ισαριθμικών καμπυλών.

Ο αλγόριθμος συνίσταται από τα ακόλουθα βήματα:

i) Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία τριγωνοποίησης Delaunay, γίνεται παρεμβολή για κάθε δεδομένη ισαριθμική καμπύλη ώστε να προκύψουν οι συντεταγμένες των άκρων των ευθυγράμμων τμημάτων, οι οποίες αποθηκεύονται σ’ ένα διδιάστατο μητρώο XY(N,4), όπου η μεταβλητή N δηλώνει το συνολικό αριθμό των ευθυγράμμων τμημάτων.

ii) Οι συντεταγμένες x_i,y_i των άκρων κάθε ευθυγράμμου τμήματος, μετασχηματίζονται σε δύο μοναδικούς χαρακτηριστικούς αριθμούς με τη βοήθεια της σχέσης

$$p_i=D*y_i+x_i, \quad i=1,2 \qquad (1)$$

όπου D είναι ένας αριθμός που πρέπει να ικανοποιεί την ανισότητα

$$D>|x_{max}-x_{min}|/\Delta y_{min} \qquad (2)$$

όπου x_{max}, x_{min} είναι η μεγαλύτερη και μικρότερη τιμή της τετμημένης x, αντίστοιχα και Δy_{min} είναι η μη μηδενική απόλυτη τιμή της μικρότερης διαφοράς μεταξύ δύο τιμών y.

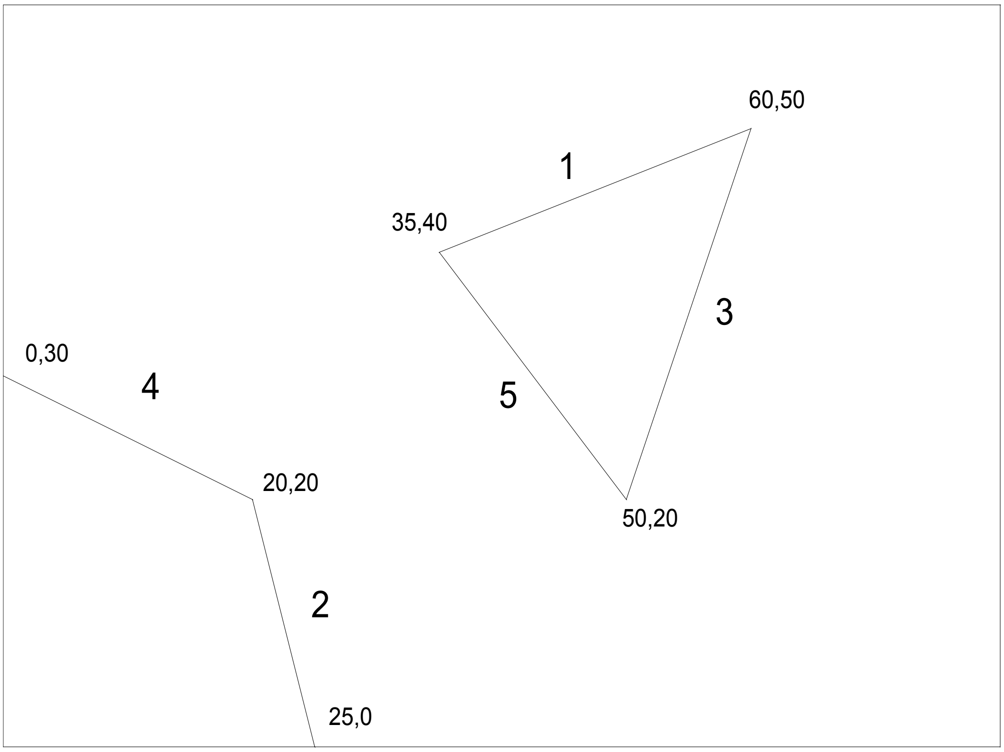
Προφανώς, η τιμή Δy_{min} δεν μπορεί να είναι απειροελάχιστη αφού εξαρτάται από την τάξη μεγέθους της ακρίβειας των μετρηθέντων τιμών y. Η επιλογή αυτή διασφαλίζει τη μοναδικότητα του αριθμού p_i, για κάθε ένα από τα άκρα των ευθυγράμμων τμημάτων. Οι χαρακτηριστικοί αριθμοί αποθηκεύονται στην πρώτη στήλη ενός διδιάστατου μητρώου P(2N,3), όπως παρακάτω:

$$P_{i,1}= D*y_{1i}+x_{1i}, \text{ και } P_{i+N,1}= D*y_{2i}+x_{2i}, \quad i=1,2,.....,N \qquad (3α,β)$$

όπου x_{1i} ,y_{1i} είναι οι συντεταγμένες του τυχαία πρώτου δημιουργηθέντος άκρου του i-οστού ευθυγράμμου τμήματος και x_{2i} ,y_{2i} είναι οι συντεταγμένες του άλλου άκρου.

Στη δεύτερη στήλη του μητρώου P, αποθηκεύεται η τιμή του αύξοντα αριθμού του κάθε ευθυγράμμου τμήματος.

Στην τρίτη στήλη του μητρώου P, αποθηκεύονται αρχικά οι τιμές 1 και 2. Η τιμή 1 αποθηκεύεται στην i-οστή σειρά και δηλώνει ότι το άκρο που αποθηκεύεται είναι η αρχή του ευθυγράμμου τμήματος, όπως αυτό τυχαία προέκυψε κατά τη διαδικασία της παρεμβολής. Ακολούθως, η τιμή 2 δηλώνει ότι το άκρο είναι το δεύτερο ή το τέλος του ευθυγράμμου τμήματος και αποθηκεύεται στη γραμμή i+N.



Σχήμα 1. Παράδειγμα δεδομένων τμημάτων ισαριθμικών καμπυλών.
Figure 1. Example of contour segments data.

Πίνακας I. Διαμόρφωση του μητρώου P.
Table I. Formulation of array P.

Αρχική μορφή μητρώου P Initial form of array P (D=700)			Μητρώο P ταξινομημένο κατ' αύξουσα τάξη μεγέθους των τιμών της 1^{ης} στήλης Array P sorted by the first column values		
28035	1	1	25	2	2
14020	2	1	14020	2	1
35060	3	1	14020	4	2
21000	4	1	14050	3	2
28035	5	1	14050	5	2
35060	1	2	21000	4	1
25	2	2	28035	1	1
14050	3	2	28035	5	1
14020	4	2	35060	3	1
14050	5	2	35060	1	2

Πίνακας II. Διαμόρφωση του μητρώου W.
Table II. Formulation of array W.

W(i,1)	W(i,2)
7	10
1	2
4	9
3	6
5	8

Με βάση τις συντεταγμένες των άκρων των 5 ευθυγράμμων τμημάτων όπως φαίνονται στο Σχ.1 και τον αριθμό κάθε ευθυγράμμου τμήματος που δηλώνει τη σειρά με την οποία δημιουργήθηκαν, σχηματίζεται το μητρώο P όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα I.

iii) Το επόμενο βήμα είναι να ταξινομηθεί το μητρώο P κατά αύξουσα τάξη μεγέθους ως προς τον χαρακτηριστικό αριθμό των άκρων που είναι αποθηκευμένος στην πρώτη στήλη. Το ταξινομημένο μητρώο P έχει τη μορφή που φαίνεται επίσης στον Πίνακα I. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ταξινόμηση αυτή απαιτεί σημαντικό υπολογιστικό χρόνο και έτσι έχει μεγάλη σημασία η επιλογή του κατάλληλου για το σκοπό αυτό αλγόριθμου. Συνήθως σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος γνωστός ως Quicksort, αλλά στην προκειμένη περίπτωση διερευνάται και η απόδοση του αλγόριθμου γνωστού ως Heapsort.

Οι χαρακτηριστικοί αριθμοί των άκρων που ανήκουν σε δύο διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα, εμφανίζονται στο μητρώο P δύο φορές, ενώ για τα άκρα που αποτελούν αρχή ή τέλος μιας ανοιχτής ισαριθμικής καμπύλης, εμφανίζονται μια φορά.

vi) Στη συνέχεια δημιουργείται ένα βοηθητικό μητρώο W(N,2), το οποίο βασίζεται στους αριθμούς των ευθυγράμμων τμημάτων, οι οποίοι εμφανίζονται στη δεύτερη στήλη του ταξινομημένου μητρώου P. Διατρέχοντας το μητρώο P από την πρώτη γραμμή προς την τελευταία, ανιχνεύεται ο αριθμός του ευθυγράμμου τμήματος (j) που είναι αποθηκευμένος στη δεύτερη στήλη. Η τιμή της i-οστής γραμμής του μητρώου P στην οποία βρέθηκε ο αριθμός του ευθυγράμμου τμήματος (j) για πρώτη ή δεύτερη φορά, αποθηκεύεται στη πρώτη ή δεύτερη στήλη αντίστοιχα και την j σειρά του μητρώου W. Σύμφωνα με τις τιμές του ταξινομημένου μητρώου P, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα I, το μητρώο W θα έχει τη μορφή του Πίνακα II.

Αρχικά θεωρείται ότι υπάρχει τουλάχιστον μια ανοιχτή ισαριθμική καμπύλη και αναζητείται το ένα από τα δύο άκρα της, δηλαδή αναζητείται ο χαρακτηριστικός αριθμός που εμφανίζεται μόνο μια φορά στην πρώτη στήλη του μητρώου P ενώ συγχρόνως η τιμή της τρίτης στήλης του ίδιου μητρώου είναι διάφορη του μηδενός. Στην περίπτωση που $P_{i,3}\neq 0$, τότε ο χαρακτηριστικός αριθμός $P_{i,1}$ συγκρίνεται με τον επόμενο $P_{i+1,1}$ και ούτω καθεξής.

(1) Όταν βρεθεί το ένα άκρο μιας ανοιχτής ισαριθμικής καμπύλης, οι συντεταγμένες του αποθηκεύονται σε ένα μητρώο P1.

(2) Από την τιμή της τρίτης στήλης του μητρώου P (1 ή 2), αναγνωρίζεται αν το συγκεκριμένο άκρο είναι η αρχή ή το τέλος του ευθυγράμμου τμήματος.

(3) Η τιμή αυτή αντικαθίσταται με το μηδέν (0), που σημαίνει ότι το σημείο αυτό έχει διευθετηθεί και στο εξής αγνοείται. Κατόπιν, από τις συντεταγμένες του άλλου άκρου του ιδίου ευθυγράμμου τμήματος, που εντοπίζονται στην i-οστή σειρά του μητρώου XY(N,4), υπολογίζεται ο μοναδικός χαρακτηριστικός αριθμός με τη βοήθεια των εξισώσεων (3α) ή (3β).

(4) Από το μητρώο W καθοδηγούμαστε απευθείας στη γραμμή του ταξινομημένου μητρώου P, όπου είναι αποθηκευμένος ο χαρακτηριστικός αριθμός. Ο ίδιος χαρακτηριστικός αριθμός που αντιστοιχεί στο άκρο του γειτονικού ευθυγράμμου τμήματος, λόγω της ταξινόμησης, πρέπει να βρίσκεται στην προηγούμενη ή την επόμενη σειρά και έτσι μπορεί να βρεθεί εύκολα. Τίθεται η τιμή μηδέν (0) στην τρίτη στήλη του ταξινομημένου μητρώου P επίσης και για το άλλο άκρο του προηγούμενου ευθυγράμμου τμήματος. Το άκρο αυτό θεωρείται το σημείο εκκίνησης και η διαδικασία ανεύρεσης του επόμενου άκρου συνεχίζεται από το βήμα (1). Αν δεν βρεθεί τέτοιο σημείο, σημαίνει ότι η ισαριθμική καμπύλη έχει ήδη ολοκληρωθεί ως ένα ξεχωριστό αντικείμενο. Οι συντεταγμένες των διαδοχικών κορυφών της, έχουν αποθηκευτεί σε κατάλληλη μορφή στο μητρώο P1 και γράφονται σε ένα αρχείο για ενδεχόμενη περαιτέρω επεξεργασία.

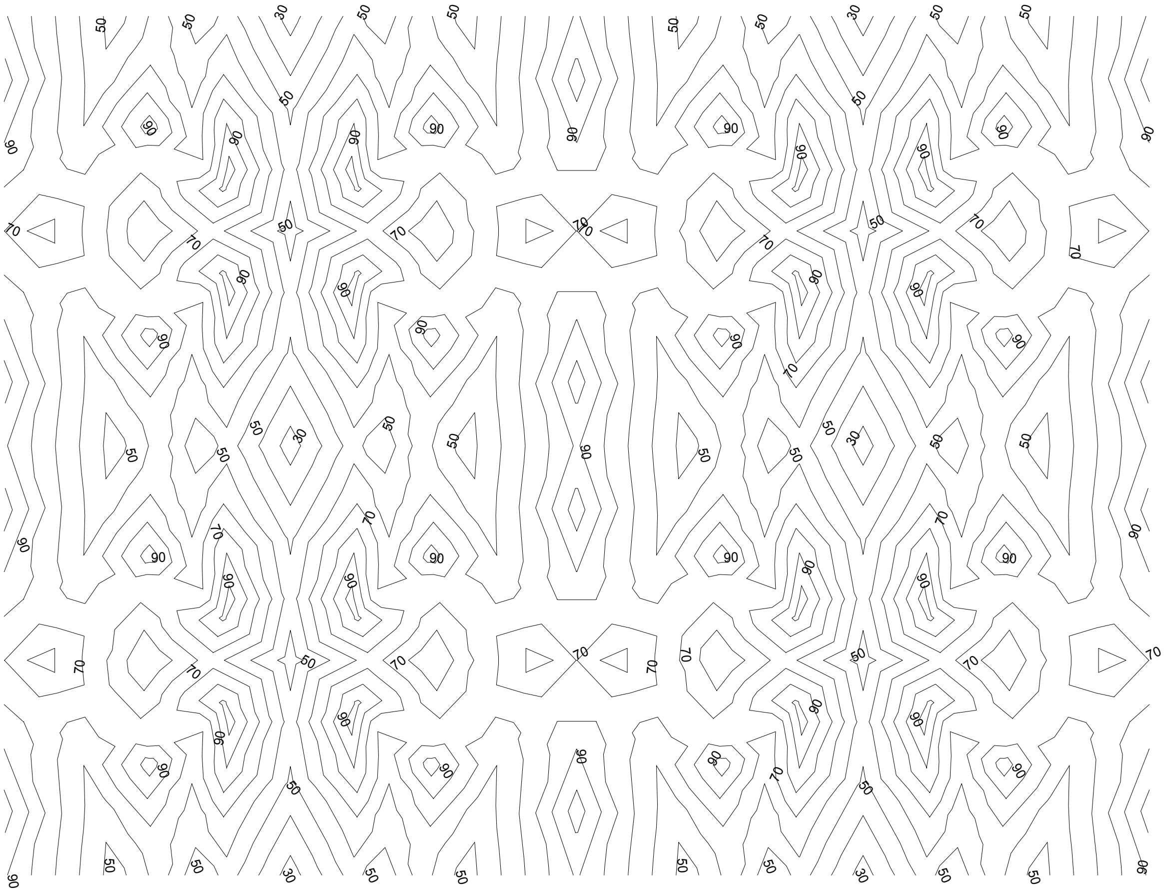
Όταν όλοι οι χαρακτηριστικοί αριθμοί που εμφανίζονται μόνο μια φορά στην πρώτη στήλη του μητρώου P έχουν διευθετηθεί, δηλαδή όλες οι ανοιχτές ισαριθμικές καμπύλες έχουν κατασκευασθεί, το επόμενο βήμα είναι να συνεχιστεί η διαδικασία με τις κλειστές ισαριθμικές καμπύλες.

Η διαδικασία διευθέτησης σε μια κλειστή ισαριθμική καμπύλη μπορεί να ξεκινήσει από ένα οποιοδήποτε τυχαίο σημείο. Ακολουθούνται τα βήματα από το (1) έως το (4) και η καμπύλη θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί όταν ο υπολογιζόμενος χαρακτηριστικός αριθμός είναι ίδιος με αυτόν που υπολογίστηκε κατά την έναρξη της διαδικασίας.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Για την εκτίμηση της απόδοσης του νέου αλγόριθμου χρησιμοποιήθηκαν 2 σειρές δεδομένων.

Πρώτα χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες 644 σημείων τυχαία κατανεμημένων στο επίπεδο x,y και οι μετρημένες τιμές της z διάστασης. Μετά την τριγωνοποίηση Delaunay, με γραμμική παρεμβολή λαμβάνονται ευθύγραμμα τμήματα για διάφορες τιμές ισαριθμικών. Η πυκνότητα των ισαριθμικών και επομένως ο συνολικός αριθμός των ευθυγράμμων τμημάτων εξαρτώνται από την τιμή της ισοδιάστασης. Για τιμές ισοδιάστασης 10, 5, 2.5, 2 και 1 m τα διαγράμματα συνίστανται από 3090, 6284, 12456, 15410 και 30700 ευθύγραμμα τμήματα, τα οποία συνιστούν αντίστοιχα 208, 417, 828, 1022 και 2045 πλήρεις ισαριθμικές καμπύλες. Στο Σχ.2 παρουσιάζεται το κατασκευασθέν διάγραμμα για ισοδιάσταση 10 m.

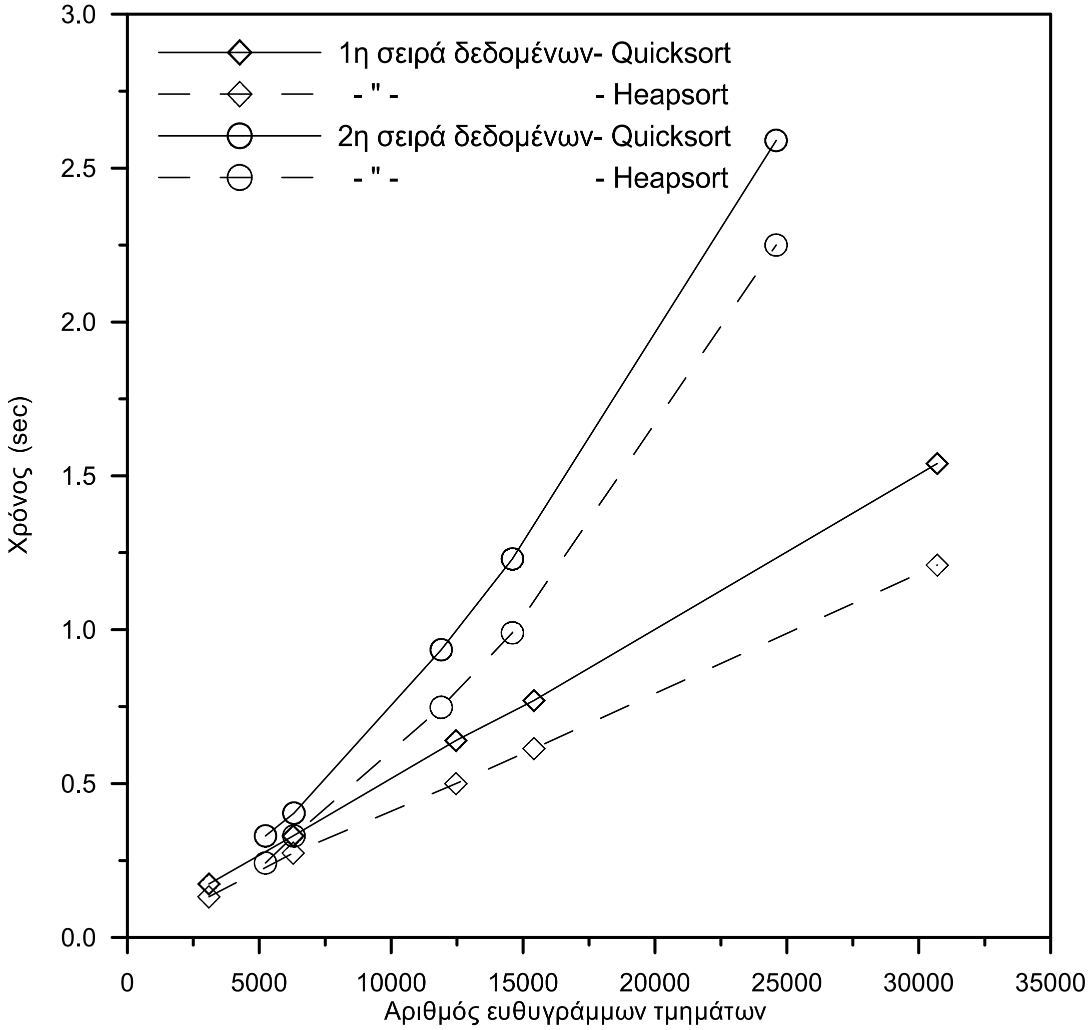


Σχήμα 2. Διάγραμμα αποτελούμενο από 3090 ευθύγραμμα τμήματα και 208 ισαριθμικές καμπύλες.

Figure 2. Contour map consisting of 3090 line segments and 208 contour lines.

Ο προτεινόμενος νέος αλγόριθμος εφαρμόστηκε για να δημιουργήσει κάθε ισαριθμική ως μια ενιαία συνεχή καμπύλη (τεθλασμένη γραμμή). Ο χρόνος που απαιτήθηκε σε ένα προσωπικό υπολογιστή (PC) με επεξεργαστή Pentium στα 100 MHz για κάθε διάγραμμα, φαίνεται στο Σχ. 3.

Η δεύτερη σειρά δεδομένων λαμβάνεται από τα 644 αρχικά σημεία και τις αντίστοιχες τιμές τους, από τα οποία με γραμμική παρεμβολή βρέθηκαν νέες τιμές σ' ένα δίκτυο 1x1 m και συνολικά σε 1073 σημεία. Για ισοδιάσταση 5 m λαμβάνεται ένα διάγραμμα που αποτελείται από 5235 ευθύγραμμα τμήματα και 370 ισαριθμικές. Αυξάνοντας την πυκνότητα του δικτύου αυξάνεται ο αριθμός των ευθυγράμμων τμημάτων χωρίς να μεταβληθεί σημαντικά ο αριθμός των ισαριθμικών. Έτσι για δίκτυα 0.8x0.8, 0.5x0.5, 0.4x0.4 και 0.25x0.25 m λαμβάνονται αντίστοιχα 6313, 11898, 14596 και 24593 ευθύγραμμα τμήματα και 341, 522, 486 και 572 ισαριθμικές καμπύλες.



Σχήμα 3. Μεταβολή του υπολογιστικού χρόνου με τον αριθμό των ευθυγράμμων τμημάτων.
Figure 3. Variation of computation time vs. number of line segments.

Γίνεται επομένως προφανές ότι κάθε αντίστοιχη ισαριθμική αποτελείται από μεγαλύτερο αριθμό ευθυγράμμων τμημάτων από ότι στην πρώτη σειρά δεδομένων. Ο υπολογιστικός χρόνος που απαιτείται για τη δημιουργία των ισαριθμικών ως ενιαίων συνεχών καμπυλών φαίνεται επίσης στο Σχ. 3. Παρατηρούμε ότι ο υπολογιστικός χρόνος αυξάνεται ταχύτερα από ότι στην πρώτη σειρά δεδομένων, καθώς αυξάνεται ο συνολικός αριθμός των ευθυγράμμων τμημάτων, προφανώς γιατί περισσότερα ευθύγραμμα τμήματα πρέπει να ταξινομηθούν για κάθε ισαριθμική.

Θα πρέπει επίσης να σημειώσουμε ότι για την πρώτη σειρά δεδομένων περίπου το 45% του συνολικού υπολογιστικού χρόνου απαιτείται για την ταξινόμηση των χαρακτηριστικών αριθμών με τον αλγόριθμο Quicksort. Για το δεύτερο σετ δεδομένων ο χρόνος αυτός ήταν περίπου το 40% του συνολικού. Ο αλγόριθμος Quicksort είναι γενικά ταχύς, αλλά για τη δυσμενέστερη αρχική κατάσταση των δεδομένων γίνεται πολύ αργός. Ο αλγόριθμος Heapsort από το άλλο μέρος μπορεί για πολλές περιπτώσεις να μην είναι τόσο ταχύς όσο ο Quicksort αλλά ο υπολογιστικός χρόνος λίγο μόνο επηρεάζεται από την αρχική κατάσταση των δεδομένων. Ακόμη και για τη δυσμενέστερη αρχική κατάσταση ο υπολογιστικός χρόνος εμφανίζεται αυξημένος μόνο κατά 20% περίπου από το μέσο υπολογιστικό χρόνο (Press et al., 1996). Με τη χρησιμοποίηση του αλγόριθμου Heapsort ο χρόνος που απαιτείται για την ταξινόμηση μόνο των χαρακτηριστικών αριθμών μειώνεται πάνω από 50% σε σχέση με το χρόνο που απαιτείται από τον αλγόριθμο Quicksort, τόσο για την πρώτη, όσο και τη δεύτερη σειρά δεδομένων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένας νέος αλγόριθμος αναπτύχθηκε για τη διευθέτηση των ανεξαρτήτων ευθυγράμμων τμημάτων που συνιστούν ισαριθμικές καμπύλες και τη δημιουργία αυτών ως ενιαίων συνεχών καμπυλών. Οι συντεταγμένες κάθε άκρου των ευθυγράμμων τμημάτων αντικαθίστανται μ’ έναν μοναδικό χαρακτηριστικό αριθμό έτσι ώστε να είναι ταχεία η ταξινόμηση με βάση αυτόν τον αριθμό. Επίσης η διαδικασία επιταχύνεται και με την εισαγωγή ενός βοηθητικού μητρώου με στοιχεία τα οποία διευκολύνουν την αναζήτηση του επόμενου κάθε φορά ευθυγράμμου τμήματος της καμπύλης να είναι ταχεία.

Επιπλέον, για τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν βρίσκεται ότι ο αλγόριθμος Heapsort είναι ταχύτερος του Quicksort, ο οποίος συνήθως χρησιμοποιείται σε τέτοιες εφαρμογές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]Jones, N.L., Kennard, M.J., Zundel, A.K., 2000. Fast algorithm for generating sorted contour strings. *Computers & Geosciences* 26(7), 831-837.

[2]Kok, R., Begin, J., 1981. Evaluation of automatic contouring methods for drainage design. *Transactions of the ASAE* 24(1), 87-96, 102.

[3]Nickerson, B.G., Judd, P.A., Mayer, L.A., 1999. Data structures for fast searching of SEG-Y seismic data. *Computers & Geosciences* 25(2), 179-190.

[4]Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P., 1996. *Numerical Recipes in FORTRAN 77. The art of scientific computing*, 2nd edition, vol.1, Cambridge University Press, Cambridge.

[5]Watson, D.F., 1982. ACORD: Automatic contouring of raw data. *Computers & Geosciences* 8 (1), 97-101.

[6]Watson, D.F., 1992. *Contouring: A guide to the analysis and display of spatial data*. Pergamon, Oxford, 321 pp.

[7]Zissis, T., Teloglou, I., Terzidis, G., 1996. Computer aided design of subsurface drainage systems, *Proceedings of the second international conference on Hydroinformatics*, A. Müller (ed.), Zurich, Switzerland, 9-13 September 1996, A.A Balkema, Rotterdam.