

ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

Spatial Interpolation

Διονύσιος Καλύβας

Επίκουρος Καθηγητής
Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών



ΧΩΡΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (ορισμός)

- ◆ Χωρική παρεμβολή είναι η διαδικασία του υπολογισμού της τιμής μιας παραμέτρου σε θέσεις που δεν υπάρχουν μετρήσεις χρησιμοποιώντας μετρήσεις που έχουν γίνει σε σημεία μέσα στην ίδια την περιοχή
- ◆ Η πρόβλεψη των τιμών μιας ιδιότητας σε θέσεις έξω από την περιοχή των παρατηρήσεων καλείται **extrapolation**

Η Χωρική Παρεμβολή χρησιμοποιείται :

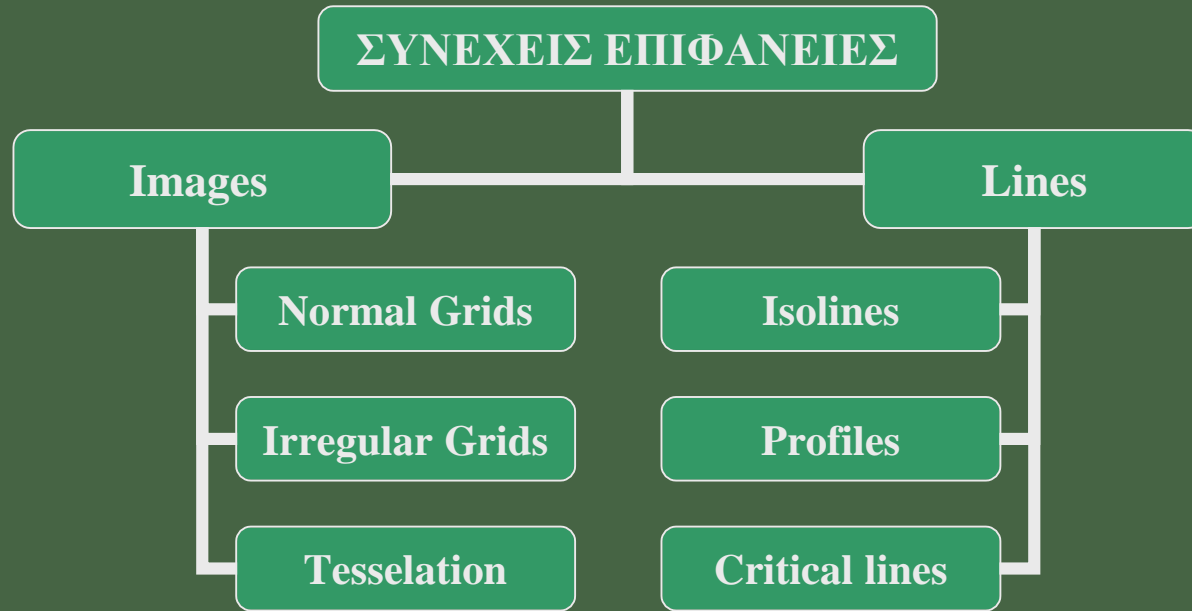
- ◆ Όταν τα δεδομένα δεν καλύπτουν επαρκώς όλη την επιφάνεια της υπό εξέταση περιοχής. Δηλαδή, η μετατροπή των δεδομένων από σύνολα σημείων σε συνεχείς επιφάνειες.
- ◆ Όταν η επιφάνεια έχει διαφορετικό επίπεδο χωρικής ευκρίνειας, μέγεθος κυψελίδας ή διεύθυνση από αυτήν που απαιτείται για τη συγκεκριμένη επεξεργασία.
 - π.χ. Η μετατροπή σκαναρισμένων εικόνων (αεροφωτογραφιών, χαρτών ή εικόνων τηλεπισκόπησης) από ένα χωρικό πλαίσιο - με δεδομένο μέγεθος και διεύθυνση - σε κάποιο άλλο (convolution).
- ◆ Όταν η συνεχής επιφάνεια παρίσταται από ένα μοντέλο δεδομένων διαφορετικό από αυτό που απαιτείται. Δηλαδή, η μετατροπή μιας συνεχούς επιφάνειας από ένα χωρικό σχηματισμό σε άλλο.
 - π.χ. από TIN σε raster (κανονικό πλέγμα) ή από raster σε TIN ή από vector (πολύγωνα) σε raster.

Οπτικοποίηση επιφανειών (συνεχών) παρεμβολής

- ❖ Οι συνεχείς επιφάνειες, που μπορούν να προκύψουν από τη χωρική παρεμβολή, χρησιμοποιούνται είτε μεμονωμένα είτε σαν χαρτογραφικά καλύμματα (map overlays) σε ένα GIS. Συνήθως παριστάνονται από εικόνες ή γραμμές.
- ❖ Οι **μέθοδοι εικόνας** περιλαμβάνουν κανονικά πλαίσια (grids) ή ακανόνιστα (TINS) και πολύγωνα, στα οποία οι μεταβολές στις τιμές των εξεταζόμενων μεταβλητών διακρίνονται από ζώνες διαφορετικού χρώματος.
- ❖ Η **γραμμική αναπαράσταση** γίνεται με ισογραμμές (καμπύλες κατά μήκος των οποίων η ιδιότητα έχει την ίδια τιμή) και διακεκριμένες γραμμές (π.χ. γραμμές κλίσεων, ακτογραμμές)

Επιπλέον είναι δυνατός ο συνδυασμός των τύπων αναπαράστασης ώστε να μεγαλώσουν την προοπτική άποψη.

Οπτικοποίηση συνεχών επιφανειών



Πηγές στοιχείων της Χωρικής Παρεμβολής

- ◆ Δεδομένα ιδιοτήτων, από θέσεις δειγματοληψίας (τυχαίας, κανονικής, κλπ...) μετρημένων άμεσα ή έμμεσα στο πεδίο ενδιαφέροντος
- ◆ Ψηφιοποιημένοι χάρτες
- ◆ Στερεοσκοπικές αεροφωτογραφίες ή αλληλοκαλυπτόμενες δορυφορικές εικόνες με χρήση φωτογραμμετρίας
- ◆ Σαρωτές δορυφόρων ή αεροπλάνων καθώς και σαρωτές κειμένων

ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Κατηγορίες - διακρίσεις

- ◆ Ακριβείς – Μη ακριβείς
- ◆ Γενικές – Τοπικές
- ◆ Ντετερμινιστικές – Γεωστατιστικές

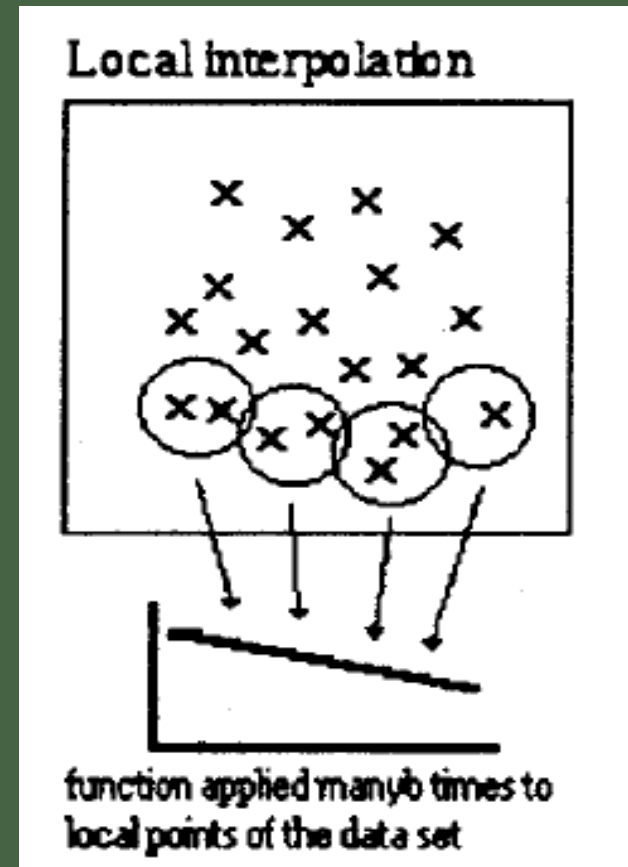
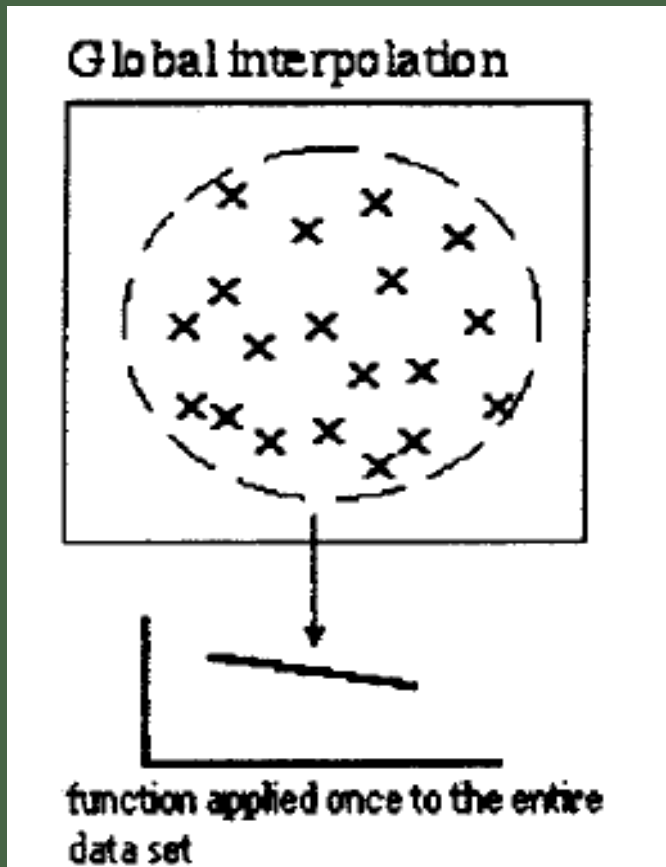
ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Ακριβείς – Μη ακριβείς

- ◆ *Ακριβείς μέθοδοι παρεμβολής ονομάζονται αυτές στις οποίες γίνεται ακριβής πρόβλεψη της τιμής μίας ιδιότητας σε ένα σημείο δειγματοληψίας και η οποία ταυτίζεται με αυτή που μετρήθηκε*
- ◆ *Μη ακριβείς μέθοδοι παρεμβολής ονομάζονται όλες οι υπόλοιπες*

ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΙΚΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

Γενικές - τοπικές



Διαφορά Γενικών (Global) και τοπικών (Local) μεθόδων

1) Γενικές (Global) μέθοδοι

- ❖ Χρησιμοποιούν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα δηλ. η πρόβλεψη της τιμής μιας μεταβλητής καθορίζεται από τις τιμές της μεταβλητής του συνόλου των σημείων όπου έχει γίνει δειγματοληψία.
- ❖ Οι γενικές μέθοδοι χωρικής παρεμβολής χρησιμοποιούνται κυρίως όχι για την άμεση εκτίμηση αλλά για την εξέταση και πιθανώς την απομάκρυνση των επιδράσεων ακραίων τιμών πάνω στις γενικές μεταβολές.
- ❖ Χρησιμοποιούνται όταν είναι γνωστό ότι οι περιοχές που εξετάζουμε έχουν μία γενική “τάση”
- ❖ Είναι συνήθως εύκολο να υπολογιστούν γιατί βασίζονται στην ανάλυση της διακύμανσης και την παλινδρόμηση. Έτσι προκύπτουν οι αντίστοιχες μέθοδοι της ταξινόμησης και των επιφανειών τάσης.

1) Γενικές (Global) μέθοδοι (συν.)

Δύο μέθοδοι γενικής παρεμβολής:

- ◆ Με μοντέλα ταξινόμησης (classifications models) τα οποία χωρίζουν την περιοχή σε τομείς ή υποπεριοχές.
- ◆ Με μεθόδους παλινδρόμησης :
 - A. Trend surface analysis
 - B. Regression model

Γενικές Μέθοδοι Μοντέλα Ταξινόμησης

- ❖ Όταν τα χωρικά δεδομένα είναι αραιά, πολλές φορές είναι εύκολο να υποθέσουμε ότι οι παρατηρήσεις έχουν παρθεί από στατιστικά σταθερό πληθυσμό. Συνεπώς η μέση τιμή και η διακύμανση είναι ανεξάρτητες από τη θέση και το μέγεθος του support (τεχνικός όρος που περιγράφει το εμβαδό ή τον όγκο του φυσικού δείγματος στο οποίο γίνονται μετρήσεις).
- ❖ Οι μέθοδοι της ταξινόμησης χωρίζουν την υπό μελέτη περιοχή σε τομείς. Ο κάθε τομέας αποτελεί ένα ομογενές πολύγωνο που χαρακτηρίζεται από στατιστικές παραμέτρους (π.χ. η μέση τιμή και η διακύμανση) υπολογισμένες από όλα τα σημεία δειγματοληψίας που υπάρχουν σε αυτόν τον τομέα.
- ❖ Η ταξινόμηση σε ομογενή πολύγωνα προϋποθέτει ότι η διακύμανση μέσα στους τομείς είναι μικρότερη από αυτή μεταξύ των τομέων. Δηλαδή, οι σημαντικές αλλαγές λαμβάνουν χώρα στα όρια των τομέων.

Γενικές Μέθοδοι

Μοντέλα Ταξινόμησης (συν._1)

Χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις ή μετρήσεις κάποιων χαρακτηριστικών στην περιοχή, την χωρίζουμε σε ομογενή πολύγωνα.

Το πιο απλό χρησιμοποιούμενο στατιστικό μοντέλο είναι αυτό της ανάλυσης διακύμανσης και έχει τη μορφή :

$$z(x_0) = \mu + a_k + \varepsilon$$

όπου: z = η τιμή της ιδιότητας στο σημείο x_0
 μ = γενικός μέσος,
 a_k = απόκλιση από το γενικό μέσο
 ε = διακύμανση εντός των πολυγώνων
(θόρυβος)

Γενικές Μέθοδοι Μοντέλα Ταξινόμησης (συν._2)

Οι προϋποθέσεις που βρίσκονται πίσω από αυτό το μοντέλο είναι οι εξής :

1. Κανονική κατανομή των τιμών της ιδιότητας εντός των πολυγώνων
2. Η διακύμανση (ϵ) εντός των πολυγώνων είναι ίδια σε όλα τα πολύγωνα
3. Η ποσοτική μεταβολή της ιδιότητας, μεταξύ των πολυγώνων, είναι τυχαία
4. Η αλλαγή των τιμών της ιδιότητας γίνεται στα όρια των πολυγώνων

Η σχετική διακύμανση σ_w^2 / σ_t^2 , όπου σ_w^2 είναι η διακύμανση μέσα στα πολύγωνα και σ_t^2 είναι η συνολική διακύμανση είναι μέτρο της ακρίβειας της ταξινόμησης. Όσο μικρότερη είναι η σχετική διακύμανση τόσο καλύτερη είναι η ταξινόμηση. Η συνολική διακύμανση ισούται:

$\sigma_t^2 = \sigma_w^2 + \sigma_b^2$, όπου σ_b^2 η διακύμανση μεταξύ των πολυγώνων

Γενικές Μέθοδοι-Μοντέλα Ταξινόμησης (συν._3)

Κανονικοποίηση των κατανομών

1. Λογαριθμική

$$U = \ln(A+C)$$

Όπου: U = διορθωμένη τιμή, A = αρχική τιμή,
 C = σταθερά

Η λογαριθμική μετατροπή χρησιμοποιείται για
εξομάλυνση των τιμών

2. Λογική (logit)

$$U = \ln(p/q)$$

Όπου p = παρατηρούμενη αναλογία, $q = 1-p$

Αποφεύγεται η συγκέντρωση των τιμών στα άκρα της
κατανομής

Γενικές Μέθοδοι - Μοντέλα Ταξινόμησης (συν._4)

Κανονικοποίηση των κατανομών

3. Μετατροπή τετραγωνικής ρίζας

$$U = (A)0.5$$

Εξάλειψη μεσαίου μεγέθους ασυμετρίας

4. Γωνιακές μετατροπές

$$U = \sin^{-1} (p)0.5$$

Όπου P = παρατηρούμενη αναλογία

Η μετατροπή αυτή «απλώνει» την κατανομή στα άκρα της, όταν οι τιμές συγκεντρώνονται στο μέσον.

Γενικές Μέθοδοι

Επιφάνειες Τάσης (Trend Surfaces)

- ❖ Όταν η μεταβολή στο χώρο μιας ιδιότητας είναι συνεχής τότε είναι δυνατό η μεταβολή αυτή να περιγραφεί από μια μαθηματική εξίσωση που θα προσαρμόζει μια ευθεία ή επιφάνεια (ανάλογα αν η μεταβολή της ιδιότητας γίνεται σε μία ή δύο διαστάσεις, αντίστοιχα) στις τιμές της ιδιότητας από τα σημεία δειγματοληψίας.
- ❖ Ειδικότερα στις μεθόδους χωρικής παρεμβολής με επιφάνειες τάσης, γίνεται συνήθως πολλαπλή παλινδρόμηση μεταξύ των τιμών της ιδιότητας και των συντεταγμένων των σημείων μέτρησής της. Η επιλογή της καλύτερα προσαρμοζόμενης επιφάνειας γίνεται με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των προβλεπόμενων (\hat{z}) και των πραγματικών (z) τιμών της ιδιότητας.
- ❖ Το αποτέλεσμα της παλινδρόμησης είναι ο καθορισμός μαθηματικών πολυωνυμικών εξισώσεων που συνδέουν την εξαρτημένη μεταβλητή (z), που περιγράφει την ιδιότητα, με τις χωρικές συντεταγμένες των σημείων. Ο γεωμετρικός τόπος των πολυωνυμικών εξισώσεων είναι οι επιφάνειες προσαρμογής που περιγράφουν τη χωρική μεταβολή της μεταβλητής.

Γενικές Μέθοδοι Επιφάνειες Τάσης (Trend Surfaces) _1

- ❖ Η γενική εξίσωση της επιφάνειας από πολυωνυμικές εξισώσεις είναι :

$$f(x,y) = \sum_{r+s \leq p} (b_{rs} * x^r * y^s)$$

- x & y οι χωρικές συντεταγμένες (ανεξάρτητες μεταβλητές)
- p η τάξη του πολυωνύμου
- b_{rs} συντελεστές

- ❖ Οι τιμές $z(x,y)$ της ιδιότητας σε ένα σημείο με συντεταγμένες x,y θα δίνεται από τη σχέση :

$$z(x,y) = f(x,y) + \varepsilon$$

- ε η διαφορά της πραγματικής από την προβλεπόμενη τιμή

Γενικές Μέθοδοι

Επιφάνειες Τάσης (Trend Surfaces) _2

Η τάξη του πολυωνύμου καθορίζει τη μορφή της ευθείας ή της επιφάνειας.

Μερικοί χαρακτηριστικοί τύποι πολυωνύμων είναι οι παρακάτω :

A. Ευθείες

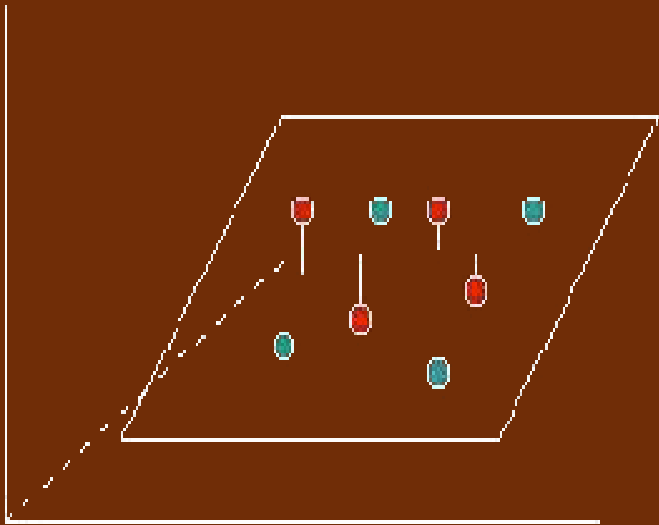
1. b_0 (μηδενικού βαθμού)
2. $b_0 + b_1x$ (1ου βαθμού)
3. $b_0 + b_1x + b_2x^2$ (2ου βαθμού)

B. Επιφάνειες

1. b_0 (επίπεδο μηδενικού βαθμού)
2. $b_0 + b_1x + b_2y$ (γραμμικό 1ου βαθμού)
3. $b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2$ (2ου βαθμού)

Γενικές Μέθοδοι Επιφάνειες Τάσης (Trend Surfaces) _3

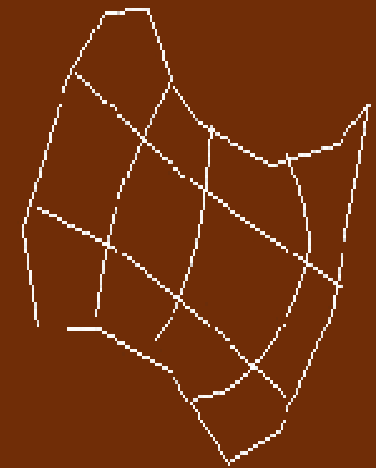
ΠΟΛΥΩΝΥΜΑ



Πρώτου βαθμού



Δεύτερου βαθμού



Τρίτου βαθμού

Γενικές Μέθοδοι

Επιφάνειες Τάσης (Trend Surfaces) _4

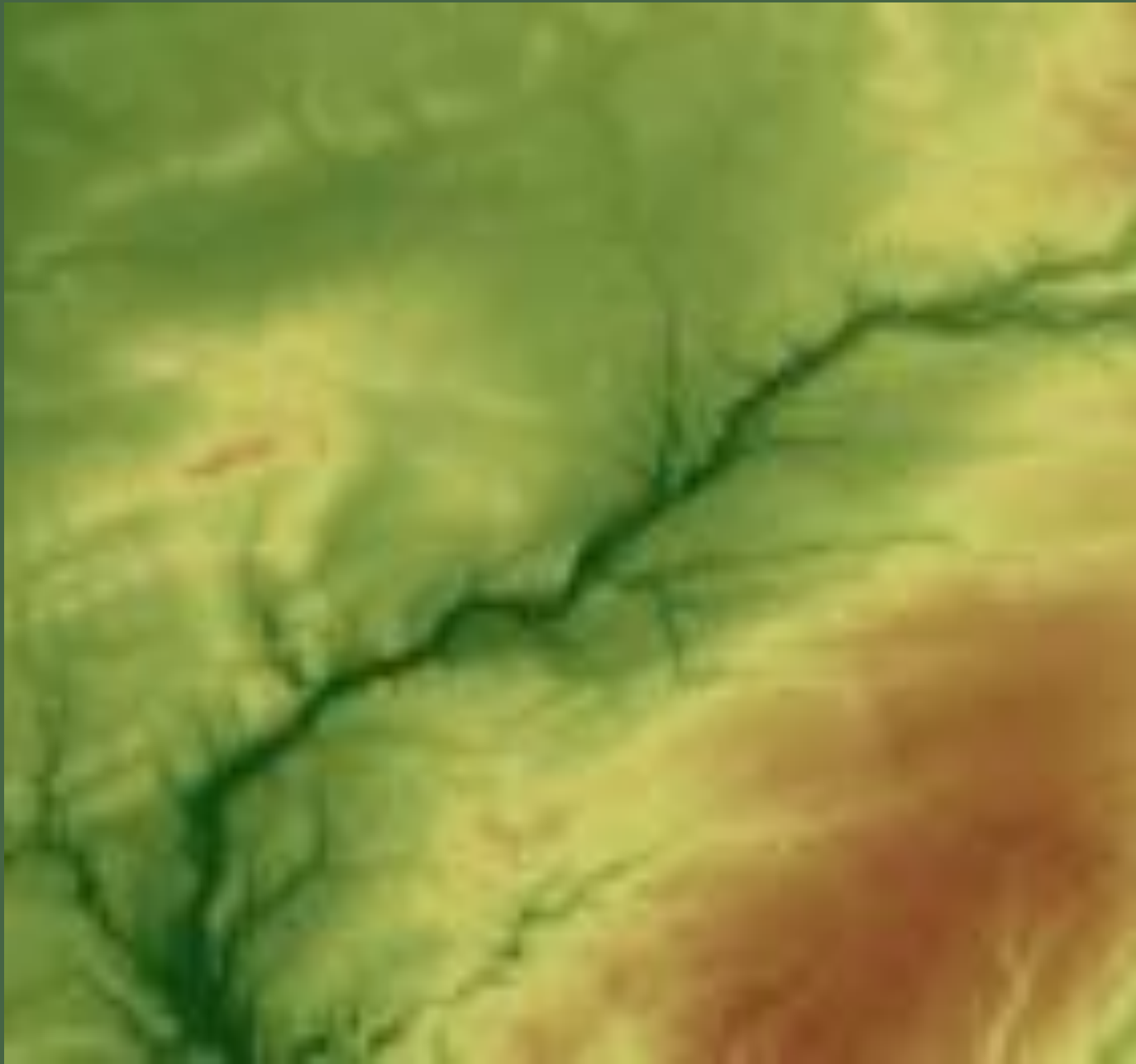
- ◆ Οι αποκλίσεις από μια επιφάνεια τάσης είναι σχεδόν πάντοτε, σε κάποιο βαθμό, χωρικά εξαρτημένες.
- ◆ Από τις πιο αποδοτικές χρήσεις της ανάλυσης των επιφανειών τάσης είναι η εύρεση τμημάτων της εξεταζόμενης περιοχής που έχουν μεγαλύτερη απόκλιση από τη γενική τάση. Έτσι, η κύρια χρήση τους αποσκοπεί στην αφαίρεση γενικών χαρακτηριστικών των δεδομένων πριν χρησιμοποιηθεί κάποια τοπική μέθοδος.

Γενικές μέθοδοι - Πολλαπλή παλινδρόμηση (Global methods-Regression models)

- ◆ Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να προβλέψουμε την χωρική μεταβολή μιας ιδιότητας, εάν γνωρίζουμε την χωρική μεταβολή μιας ή περισσότερων άλλων ιδιοτήτων οι οποίες σχετίζονται με την πρώτη.
- ◆ Η εξίσωση που περιγράφει αυτή την συσχέτιση είναι της μορφής :

$$Z(x) = \sum b_i P_i + \varepsilon$$

Όπου **b_i** = οι συντελεστές συσχέτισης και
P_i = οι ανεξάρτητες μεταβλητές





2) ΤΟΠΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

- Καθορίζουν την τιμή της ιδιότητας ενός σημείου από περιορισμένο αριθμό άλλων σημείων, γειτονικών ως προς αυτό.
- Η διαδικασία που ακολουθείται, σε γενικές γραμμές, είναι η εξής :
 - 1) Προσδιορίζεται η περιοχή (neighbourhood) γύρω από το υπό εκτίμηση σημείο
 - 2) Εντοπίζονται τα σημεία δειγματοληψίας
 - 3) Επιλέγεται η κατάλληλη μαθηματική συνάρτηση που εκφράζει τη μεταβολή μεταξύ αυτού του μικρού αριθμού των σημείων
 - 4) Επιλύεται η εξίσωση για το προβλεπόμενο σημείο σε ένα κανονικό πλέγμα
 - 5) Επαναλαμβάνεται η εφαρμογή των ανωτέρων σταδίων μέχρι να υπολογιστούν όλα τα σημεία της μελετώμενης περιοχής

➤ Για τη χωρική παρεμβολή σε μια ιδιότητα, με τοπικές μεθόδους, πρέπει να καθορίζονται τα παρακάτω στοιχεία:

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί.

Το μέγεθος, το σχήμα και ο προσανατολισμός της περιοχής.

Ο αριθμός των σημείων δειγματοληψίας στην περιοχή.

Η κατανομή που ακολουθούν οι τιμές της ιδιότητας (κανονικό πλέγμα ή ακανόνιστη κατανομή).

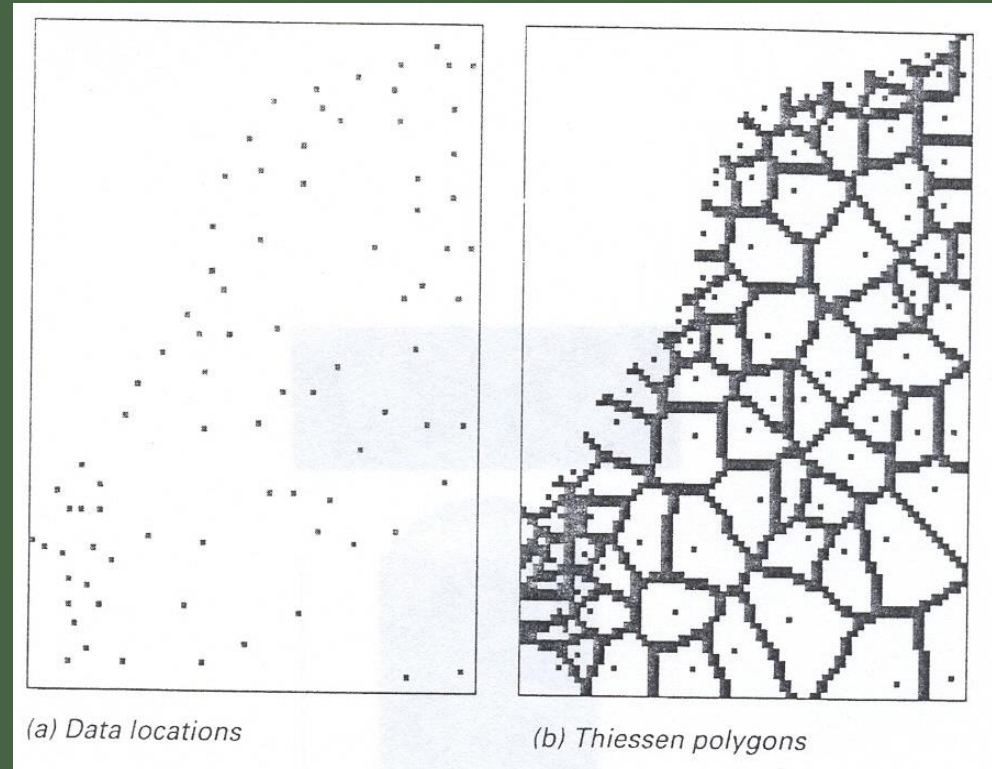
Η ενδεχόμενη συνεισφορά εξωτερικών πληροφοριών.

➤ Οι ευρύτερα διαδεδομένες μέθοδοι, που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Nearest Neighbours
- ✓ Inverse Distance Weighting
- ✓ Splines

Nearest Neighbours

- Με τη Nearest Neighbours μέθοδο (γνωστή και ως **πολύγωνα Thiessen, Dirichlet ή Voronoi**) η μελετώμενη περιοχή χωρίζεται σε πολύγωνα έτσι ώστε σε κάθε ένα από αυτά να περιέχεται και ένα σημείο, για το οποίο υπάρχουν δεδομένα.



Αν τα δεδομένα παρουσιάζουν συμμετρική εξάπλωση, τότε τα πολύγωνα Thiessen είναι όμοια μεταξύ τους. Σε αντίθετη περίπτωση, προκύπτει ένα ακανόνιστο δίκτυο πολυγώνων.

- ❖ Είναι μια εύκολη και γρήγορη μέθοδος συσχέτισμού σημειακών δεδομένων στο χώρο, η οποία βρίσκει εφαρμογές στα GIS, στη γεωγραφική ανάλυση και στη μετεωρολογία.
- ❖ Ενδείκνυται να χρησιμοποιείται όταν απαιτείται χάρτης ποιοτικών δεδομένων - όπως είναι οι χρήσεις γης - και δεν ενδιαφέρει η παράξενη και απότομη μορφή των ορίων.
- ❖ Αντίθετα, αν τα σημεία δειγματοληψίας είναι λιγοστά, η εφαρμογή της μεθόδου αντενδείκνυται, ιδιαίτερα για ιδιότητες που μεταβάλλονται βαθμιαία (π.χ. βροχόπτωση και θερμοκρασία). Αυτό συμβαίνει γιατί :
 - (α) η μορφή του τελικού παραγόμενου χάρτη εξαρτάται από την κατανομή των παρατηρήσεων
 - (β) η μεταβολή των τιμών της ιδιότητας γίνεται στα όρια των πολυγώνων ενώ εντός των πολυγώνων υπάρχει ομοιομορφία, η οποία όμως δεν υφίσταται στην πραγματικότητα.
- ❖ Λόγω του ότι οι προβλέψεις στα σημεία δεδομένων είναι ίσες με τις μετρημένες τιμές, η μέθοδος κατατάσσεται στους ακριβείς εκτιμητές.

Inverse Distance Weighting

- Η μέθοδος της χωρικής παρεμβολής **αντίστροφης απόστασης** συνδυάζει την ιδέα της “κοντινότητας” των Thiessen πολυγώνων με τη σταδιακή μεταβολή των επιφανειών τάσης. Βασίζεται, δηλαδή, στην υπόθεση ότι η τιμή μιας ιδιότητας - σε ένα σημείο όπου δεν υπάρχει μέτρηση - είναι ο σταθμισμένος, σε σχέση με την απόσταση, μέσος όρος των τιμών της ιδιότητας στα σημεία δειγματοληψίας, που περιβάλλουν το υπό εξέταση σημείο.
- Ο σταθμισμένος μέσος προκύπτει αν προσδώσουμε βάρη στην απόσταση μεταξύ του σημείου που αναζητούμε την τιμή της μεταβλητής και του εκάστοτε σημείου δειγματοληψίας που βρίσκεται εντός της περιοχής από όπου θα αντληθούν τα δεδομένα.

- ❖ Η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρύτατα από τα GIS για τη δημιουργία πλεγματικών χαρτών από σημειακά δεδομένα.
- ❖ Η μορφή του χάρτη εξαρτάται από την ομαδοποίηση των δεδομένων. Συχνά, σε απομονωμένα σημεία, των οποίων οι τιμές διαφέρουν αρκετά από αυτές των διπλανών τους, παρατηρείται η δημιουργία “αυγοειδών” σχηματισμών (duck eggs).
- ❖ Σχετικά με τον έλεγχο της ακρίβειας των προβλέψεων ή της ποιότητας των επιφανειών που παράγονται, επισημαίνεται πως η μέθοδος δεν έχει κάποιο σχετικό εσωτερικό μηχανισμό. Κατά συνέπεια είναι σημαντικό να υπάρχουν επιπρόσθετες παρατηρήσεις (με το ίδιο support σε σχέση με τις αρχικές) με σκοπό τη σύγκριση των προβλέψεων και την εξαγωγή συμπερασμάτων.
- ❖ Γενικά, πάντως, η μέθοδος θεωρείται πως συνιστά έναν ακριβή παρεμβολέα (στα σημεία δειγματοληψίας λαμβάνεται η πραγματική τιμή της ιδιότητας).

Splines

- Με τις μεθόδους splines παρέχεται η δυνατότητα διαφορετικές περιοχές να περιγράφονται από διαφορετικές πολυωνυμικές συναρτήσεις.
- Οι συναρτήσεις splines εφαρμόζονται κομματιαστά σε μικρό αριθμό σημείων αλλά η ένωση μεταξύ δύο τμημάτων της καμπύλης είναι συνεχής. Αυτό, πρακτικά, σημαίνει ότι παρέχεται η δυνατότητα διόρθωσης ενός μέρους της καμπύλης χωρίς να χρειάζεται να την υπολογίσουμε ξανά ολόκληρη όπως συμβαίνει με τις επιφάνειες τάσης.

■ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ :

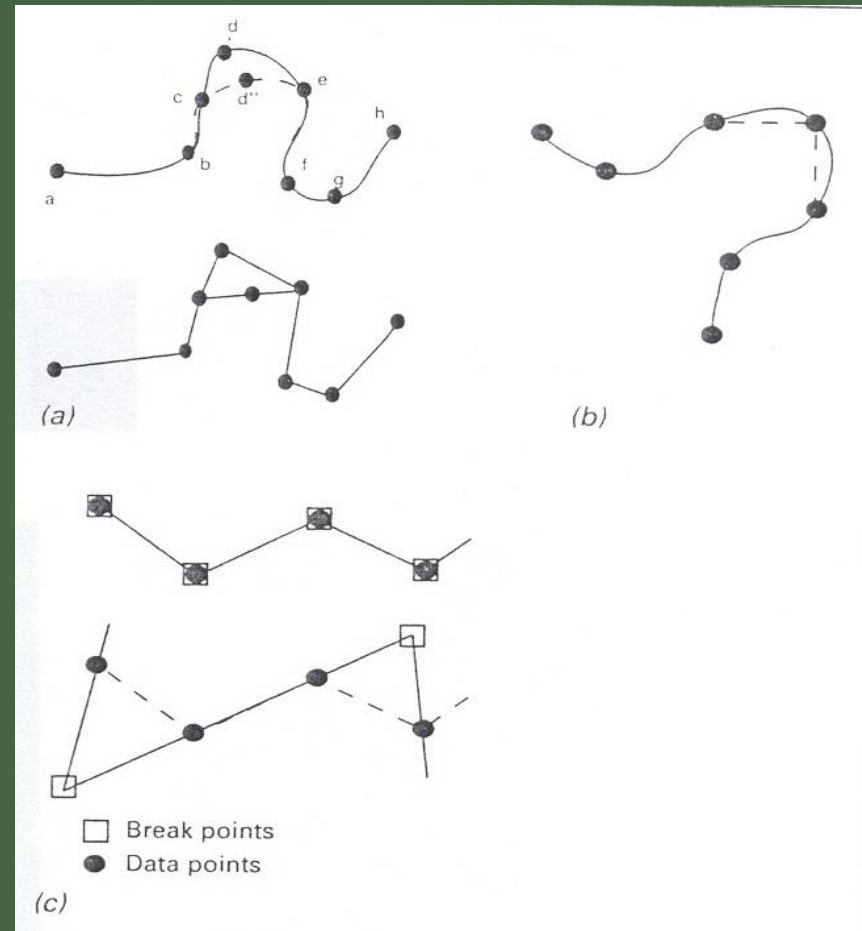
- Αποτελεί μια γρήγορη και σχετικά ακριβή μέθοδο πρόβλεψης των τιμών της εξεταζόμενης ιδιότητας.
- Επιτυγχάνεται διατήρηση των ιδιαίτερων τοπικών χαρακτηριστικών της μεταβλητής και ο παραγόμενος χάρτης δεν παρουσιάζει αισθητικά προβλήματα απότομων μεταβολών.

■ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ :

- Μεγαλύτερη δυσκολία της μεθόδου αποτελεί ο προσδιορισμός των σημείων τομής αφού η επιφάνεια που θα προκύψει εξαρτάται από τα σημεία αυτά.
 - Δεν περιέχουν μια άμεση τεχνική υπολογισμού του σφάλματος πρόβλεψης. Ο υπολογισμός γίνεται με μια περιοδικά επαναλαμβανόμενη τεχνική που ονομάζεται "jack - knifing"
- Έλεγχοι των εκτιμώμενων επιφανειών αποδεικνύουν ότι τα λάθη εκτιμήσεων είναι πολύ μικρά. Σε αντίθεση με τις επιφάνειες τάσης και τις μεθόδους αντίστροφης απόστασης οι splines διατηρούν τα χωρικά τους χαρακτηριστικά.

✓ Λόγω των δυσκολιών που ανακύπτουν κατά τον υπολογισμό των splines σε κάθε διάστημα, εφαρμόζονται παραλλαγές της, πολύ πιο πρακτικές στη χρήση. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι **B - splines**. Κάθε B - spline είναι το άθροισμα άλλων splines, οι οποίες εξ' ορισμού είναι μηδέν σε περιοχές έξω από το διάστημα ενδιαφέροντος.

✓ Οι B - splines χρησιμοποιούνται, συχνά, για να ομαλοποιήσουν ψηφιοποιημένες γραμμές (π.χ. τα όρια εδαφολογικών χαρτών)



Σύγκριση Μεθόδων Χωρικής Παρεμβολής

- ❑ Παρά την πληθώρα των μεθόδων που μπορούν να εκτελέσουν χωρική παρεμβολή, σε ένα ορισμένο σύνολο αρχικών δεδομένων, η πραγματική δυσκολία έγκειται στην εκλογή της καταλληλότερης μεθόδου για την κάθε εξεταζόμενη περίπτωση.
- ❑ Κάθε μέθοδος έχει πλεονεκτήματα τα οποία εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τα αρχικά δεδομένα. Αυτό σημαίνει πως μια μέθοδος που δίνει πολύ καλά αποτελέσματα σε ένα συγκεκριμένο σύνολο σημειακών δεδομένων μπορεί να έχει μικρή ακρίβεια σε κάποιο άλλο σύνολο δεδομένων ή σε διαφορετικές περιοχές της ίδιας επιφάνειας.
- ❑ Θα πρέπει να γίνει σαφές πως οι διαφορές που πιθανόν προκύπτουν μεταξύ των μεθόδων χωρικής παρεμβολής είναι μάλλον αποτέλεσμα της φύσης των ιδιοτήτων που μελετώνται, των τιμών τους στα σημεία δειγματοληψίας και των επιλεγμένων κριτηρίων εκτίμησης παρά της ίδιας της μεθόδου.

ΔΙΑΛΛΕΙΜΑ



ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Σε αυτήν την ενότητα θα εξετάσουμε τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου (DEM) σαν μια ειδική περίπτωση δημιουργίας συνεχών επιφανειών από χωρική παρεμβολή, η οποία έχει αρκετές χρήσεις στα Γ.Π.Σ. Στις μέρες μας, όμως, έχουν πολλές εφαρμογές.

Ειδικότερα, χρησιμοποιούνται στην :

- αποθήκευση υψομετρικών δεδομένων για ψηφιακούς τοπογραφικούς χάρτες σε εθνικές Βάσεις Δεδομένων.
- δημιουργία ψηφιακών και αναλογικών ορθοφωτοχαρτών.
- τρισδιάστατη απεικόνιση των εδαφικών σχηματισμών για στρατιωτικούς σκοπούς (εκπαίδευση πιλότων, συστήματα καθοδήγησης όπλων) αλλά και στο σχεδιασμό τοπίου (αρχιτεκτονική τοπίου)
- σύγκριση και στη στατιστική ανάλυση διαφόρων τύπων εδαφών.
- χορήγηση δεδομένων για μοντέλα εξομοίωσης τοπίων.

Τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου (DEM) μπορεί να παρασταθούν με μαθηματικά οριζόμενες επιφάνειες ή με σημειακές ή γραμμικές εικόνες.

Στα Γ.Π.Σ τα DEM μοντελοποιούνται με :

- ✓ κανονικά πλέγματα (υψομετρικούς πίνακες) και
- ✓ ακανόνιστα τριγωνικά δίκτυα (TINs)

Οι δύο μορφές είναι αντιστρεπτές μεταξύ τους και το ποια θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το είδος της ανάλυσης που απαιτείται.

Υψομετρικοί Πίνακες

Οι υψομετρικοί πίνακες είναι η πιο διαδεδομένη μορφή για την παράσταση των υψομετρικών επιφανειών. Αρχικά προέκυψαν από τις ποσοτικές μετρήσεις στερεοσκοπικών αεροφωτογραφιών που δημιουργούνται από stereoplotters.

Μπορούν να δημιουργηθούν από χωρική εκτίμηση από κανονικά ή ακανόνιστα σημειακά δεδομένα, με τον ίδιο τρόπο, όπως και άλλα ποσοτικά δεδομένα. Λόγω της ευκολίας με την οποία χειρίζονται οι υπολογιστές τους πίνακες, ιδιαίτερα στα πλεγματικά Γ.Π.Σ., οι υψομετρικοί πίνακες είναι η πιο διαθέσιμη μορφή DEM.

Αν και οι υψομετρικοί πίνακες είναι χρήσιμοι για τον υπολογισμό κλίσεων, γωνιών, εκθέσεων και σκιάσεων το κανονικό πλέγμα έχει ορισμένα μειονεκτήματα.

Αυτά τα **μειονεκτήματα** περιλαμβάνουν :

(α) το πλήθος των περιπτώσεων δεδομένων σε περιοχές με ομοιόμορφο ανάγλυφο

(β) την αδυναμία να προσαρμοσθούν σε περιοχές με διαφορετική πολυπλοκότητα του ανάγλυφου χωρίς να αλλάζει το μέγεθος του πλέγματος

(γ) την υπερβολική έμφαση κατά μήκος των αξόνων του πλέγματος για κάποιες μορφές υπολογισμού (π.χ. των γραμμών θέασης)

Τριγωνικά Δίκτυα

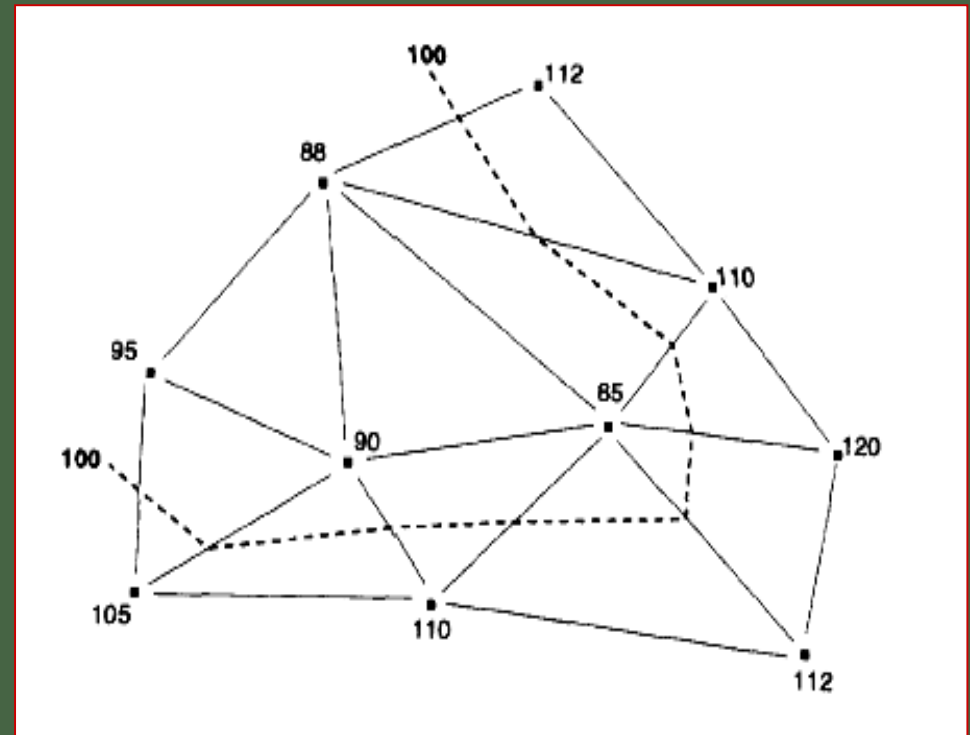
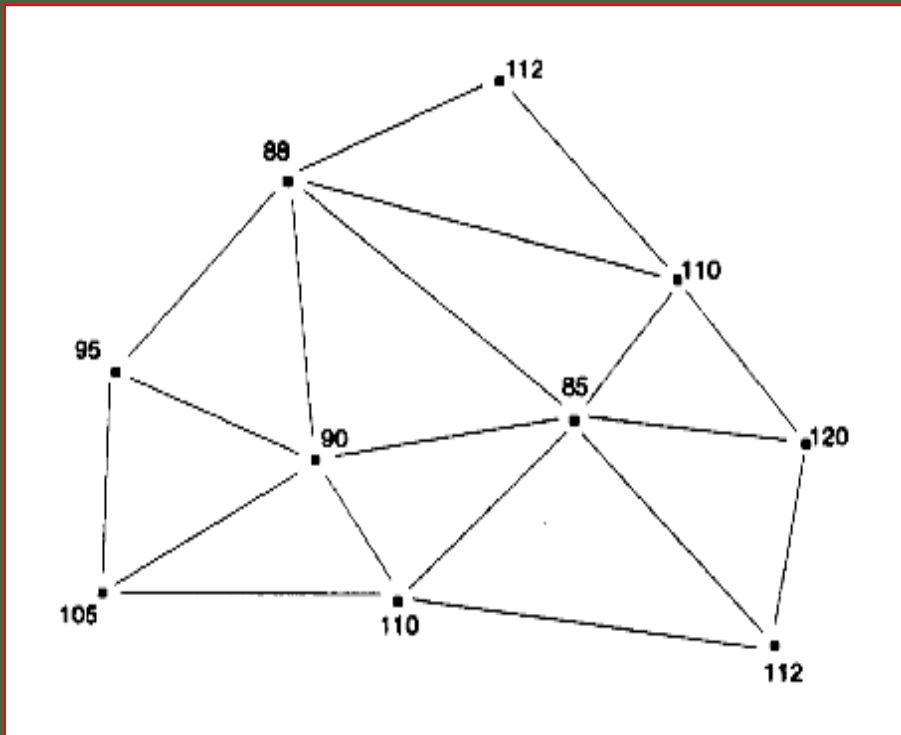
Το Ακανόνιστο Τριγωνικό Δίκτυο (Triangulated Irregular Network - TIN) σχεδιάστηκε από τον Peucker το 1978, για την ψηφιακή μοντελοποίηση του υψομέτρου, προκειμένου να αποφεύγονται τα μειονεκτήματα των υψομετρικών πινάκων και να παρέχονται πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα για πολλούς τύπους υπολογισμών (π.χ. slope) από τα συστήματα που βασίζονται μόνο στις ψηφιοποιημένες γραμμές.

Το TIN είναι ένα μοντέλο ανάγλυφου που χρησιμοποιεί ένα φύλλο από συνδεδεμένες τριγωνικές επιφάνειες βασισμένες στη Delaunay τριγωνοποίηση ή σε ακανόνιστα κατανομημένα σημεία δεδομένων.

Αντίθετα με τους υψομετρικούς πίνακες επιτρέπει επί πλέον πληροφορία να συλλέγεται σε περιοχές πολύπλοκου ανάγλυφου χωρίς να είναι ανάγκη να συλλέγονται περιττά δεδομένα.

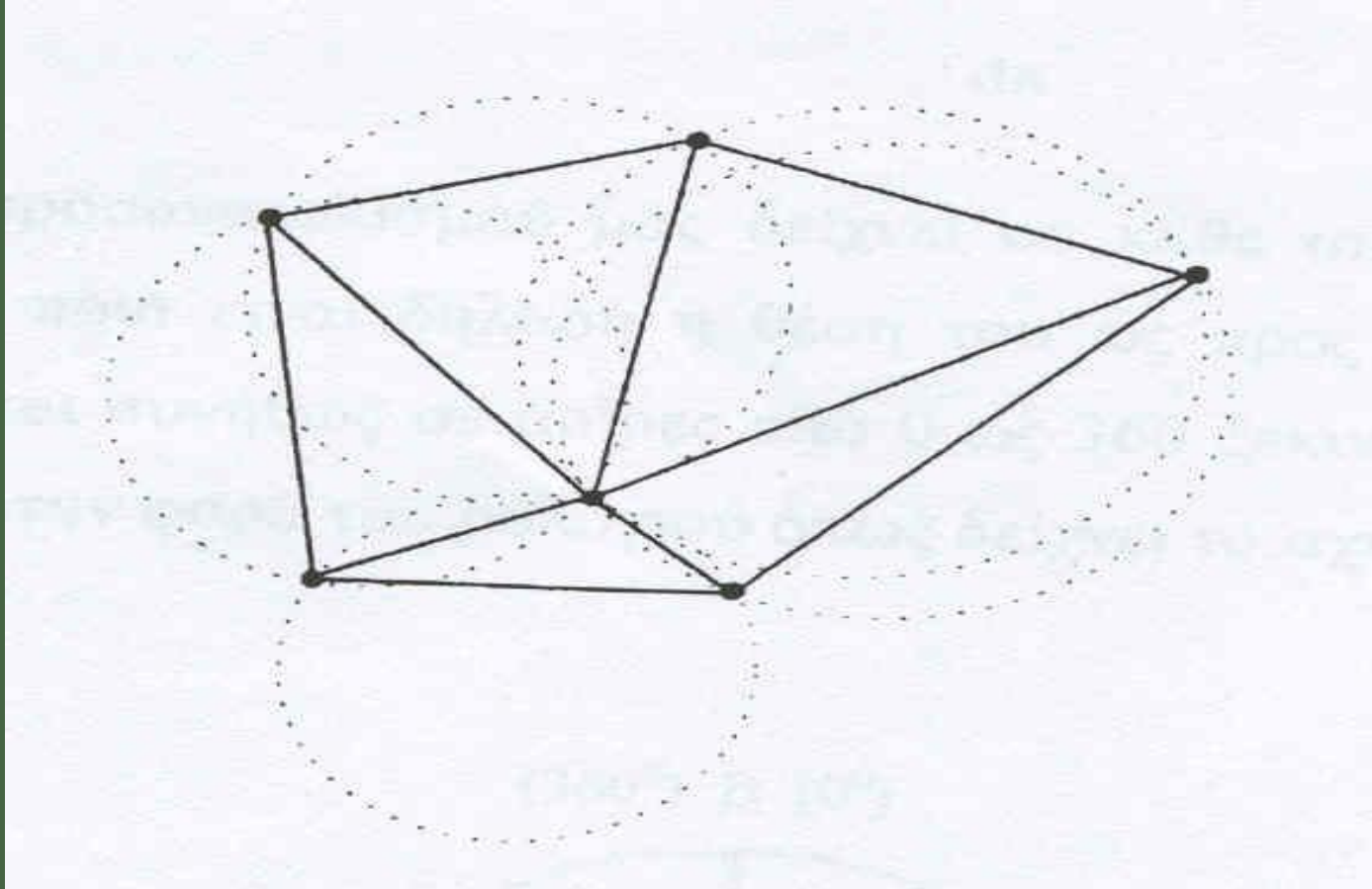
Επομένως, η συλλογή των δεδομένων για ένα TIN μπορεί να ακολουθεί λοφοσειρές, γραμμές ποταμών και άλλα σημαντικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά που δύναται να ψηφιοποιηθούν με την απαιτούμενη λεπτομέρεια.

Τέλος, παρέχουν ικανοποιητική και αξιόπιστη αποθήκευση των δεδομένων υψομέτρου με κόστος την εισαγωγή μιας τριγωνικής διαφοροποίησης του χώρου, με συνέπεια τη χρησιμοποίηση πολύπλοκης χωρικής ανάλυσης.



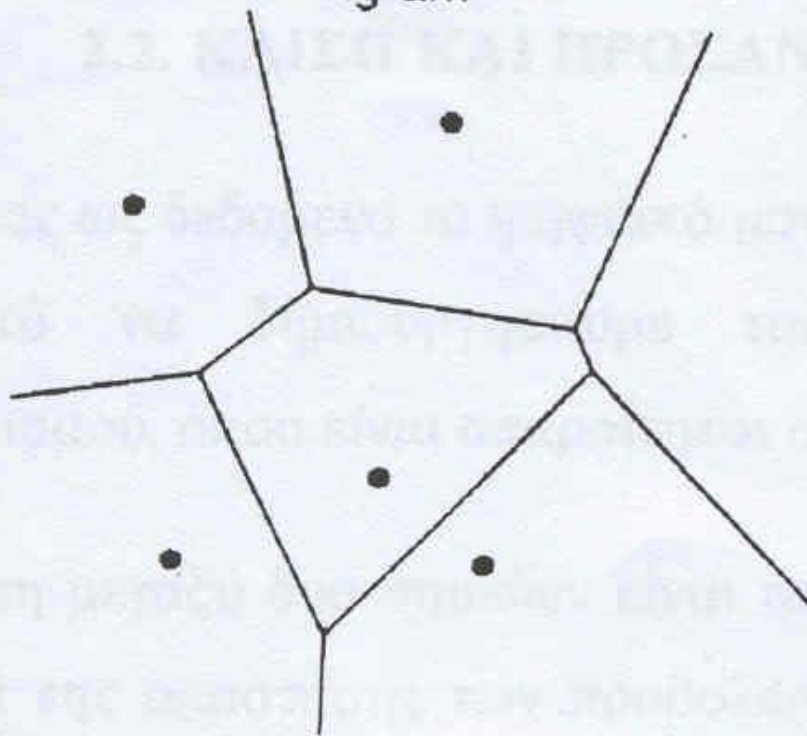
Η τριγωνοποίηση της εξεταζόμενης περιοχής δημιουργείται από σημεία τα οποία ή υπάρχουν στο σημειακό επίπεδο ή λαμβάνονται από τις γραμμές ή τα πολύγωνα.

Ο τρόπος που δημιουργούνται τα τρίγωνα περιορίζεται από το κριτήριο delaunay κατά το οποίο κάθε κύκλος που περνάει από τα τρία σημεία του τριγώνου δεν περιέχει κανένα άλλο σημείο που συμμετέχει στη διαδικασία της τριγωνοποίησης.

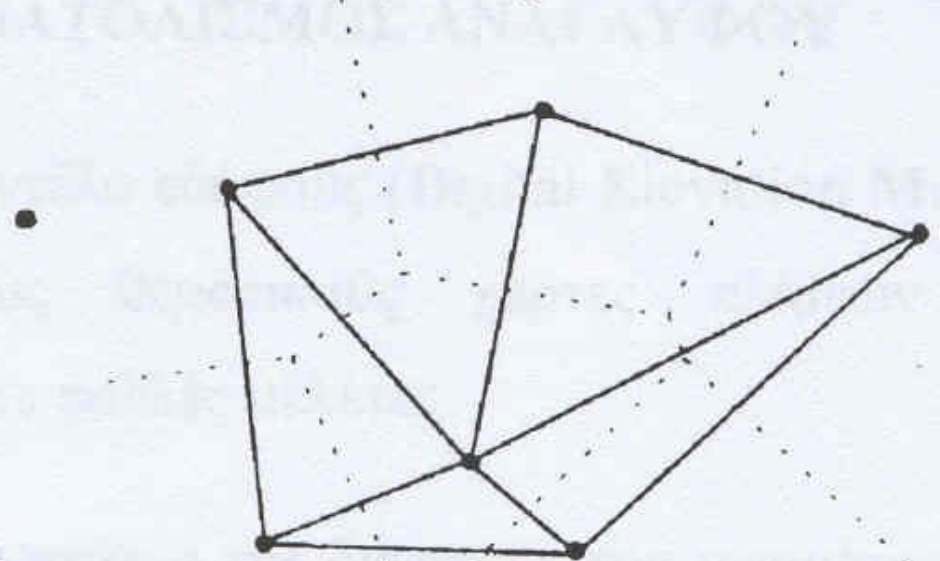


Στο σχήμα έχουμε κάποια σημεία για τα οποία έχουν δημιουργηθεί τα πολύγωνα Thiessen (Voronoi diagram) και έχει γίνει τριγωνοποίησή τους σύμφωνα με το κριτήριο delaunay.

a. Voronoi diagram



b. Delaunay triangulation



Η τριγωνοποίηση Delaunay σχετίζεται στενά με τα πολύγωνα Thiesen. Κάθε πλευρά του πολυγώνου είναι μεσοκάθετος των ευθειών που ενώνουν το σημείο με κάθε άλλο των γειτονικών πολυγώνων. Αν τα γειτονικά σημεία ενωθούν μεταξύ τους τότε προκύπτει η Delaunay τριγωνοποίηση

Η τριγωνοποίηση των σημείων δειγματοληψίας είναι πολύ ευέλικτη παράσταση της επιφάνειας.

Πλεονέκτημα των τριγωνικών δικτύων είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα αρχικά σημεία παρατηρήσεων σε αντίθεση σε κανονικά πλέγματα που δημιουργούνται με χωρική παρεμβολή από τις αρχικές παρατηρήσεις και επομένως είναι πιο επιρρεπή σε λάθη.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των τριγωνικών δικτύων είναι ότι η πυκνότητα δειγματοληψίας προσαρμόζεται με τα δεδομένα. Δηλαδή μπορεί να υπάρχουν κοντινά σημεία δειγματοληψίας με μικρά τρίγωνα και όπου η επιφάνεια μεταβάλλεται απότομα και αραιά σημεία με μεγάλα τρίγωνα όπου η επιφάνεια είναι σχετικά επίπεδη ή με σταθερή κλίση.

❖ Μετατροπή Υψομετρικών Πινάκων σε TINs

Πολλές φορές είναι επιθυμητή η μετατροπή των πλεγματικών υψομετρικών δεδομένων σε TIN. Ο σκοπός της μετατροπής είναι η εύρεση του μικρότερου δυνατού συνόλου σημείων που δίνουν τη μέγιστη πληροφορία για τις τοπογραφικές δομές (π.χ. οι κορυφές, λοφοσειρές, πεδιάδες και αλλαγές της κλίσης)

Είναι γενικά αποδεκτό ότι τα πιο κατάλληλα σημεία είναι εκείνα που βρίσκονται στα μέγιστα ελάχιστα και στα σημεία αλλαγής της κλίσης. Τέτοια σημεία αντιστοιχούν σε κορυφές, ράχες κοιλάδες και περάσματα.

Στις υδρολογικές μελέτες των DEM είναι πολύ ενδιαφέρον να προσεγγισθούν τέτοια σημεία για μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των καναλιών στράγγισης και των λεκανών απορροής.

Εάν πρέπει όλη η επιφάνεια να παρασταθεί με την ίδια λεπτομέρεια τότε είναι απαραίτητο να επιλεγούν και άλλα σημεία λιγότερο διακεκριμένα.

Ο Lee (1991) αναφέρει τις εξής τρεις μεθόδους για τη μετατροπή των πλεγματικών δεδομένων σε TIN :

VIP (Very Important Points)

HT (Hierarchy transform)

DH (Drop Heuristic)

Σκοπός της μετατροπής είναι η δημιουργία του μικρότερου δυνατού συνόλου ακανόνιστα κατανεμημένων σημείων που παρέχουν την μέγιστη πληροφορία για τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά.

Κάθε μία από τις μεθόδους έχει διαφορετικά **πλεονεκτήματα**. Για παράδειγμα η VIP μέθοδος είναι η καλύτερη για τον εντοπισμό σημαντικών σημείων (όπως κορυφές, σημεία αλλαγής κλίσης, κλπ), ενώ η HT έχει μία πολύ ικανοποιητική δομή δεδομένων με κόστος όμως την παραγωγή μακρόστενων τριγώνων.

Η DH μέθοδος ελαχιστοποιεί την απώλεια της πληροφορίας κάθε φορά που ένα σημείο δεδομένων απορρίπτεται από το πλέγμα αλλά απαιτεί πολύ χρόνο για τον υπολογισμό. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από το στόχο του χρήστη.

Τελευταία, μία άλλη μέθοδος έχει προταθεί από τον Dutton (1996) για τη μοντελοποίηση του ανάγλυφου του πλανήτη. Βασίζεται στην αναδρομική πολυεδρική διαίρεση της σφαίρας σε ισόπλευρα τρίγωνα και είναι γνωστή σαν **Γεωδαιτικό Υψομετρικό Μοντέλο του Πλανητικού Ανάγλυφου** (Geodetic Elevation Model of Planetary Relief) μιας και επιχειρεί να φέρει ολόκληρη την επιφάνεια της γης σε ένα σύστημα.

Μετατροπή TINs σε Υψομετρικούς Πίνακες

Η μετατροπή των υψομετρικών δεδομένων από TIN σε πλέγμα επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ενός κανονικού πλέγματος με την απαιτούμενη ακρίβεια και διεύθυνση πάνω στο TIN. Κάθε κυψελίδα του πλέγματος εξετάζεται με τη σειρά ώστε να βρεθούν οι κοντινότερες σε αυτήν κορυφές TIN και υπολογίζεται ένας γραμμικός ή δευτέρου βαθμού μέσος όρος των υψών του TIN.

Πηγές Δεδομένων για DEM

Το υψόμετρο της επιφάνειας της γης είναι πολύ εύκολο να μετρηθεί. Οι πηγές δεδομένων περιλαμβάνουν κατ' ευθείαν μετρήσεις στον αγρό με Θεοδολιχο, GPS, στερεοσκοπικές αεροφωτογραφίες, συστήματα σκαναρίσματος από αεροπλάνα και δορυφόρους και την ψηφιοποίηση ισογραμμών από παραδοσιακούς χάρτες.

Για τη συστηματική χαρτογράφηση υψομετρικά δεδομένα δημιουργούνται με φωτογραμμομετρικές μεθόδους από επικαλυπτόμενες αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες. Για ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ειδικοί scanners για μετρήσεις υψηλής ακριβείας των επιφανειών

Οι Sonar scanners τοποθετούνται σε πλοία και υποβρύχια και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση του υψομέτρου του βυθού της θάλασσας και των λιμνών, ενώ τα ραντάρ υπεδάφους για τη χαρτογράφηση του υψομέτρου των στρωμάτων του υπεδάφους.

Όταν στέρεο-αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες είναι η πηγή των υψομετρικών δεδομένων, έχουμε τέλεια κάλυψη της επιφάνειας στο επίπεδο της χωρικής ευκρίνειας του χάρτη.

Δημιουργία DEM από Στέρεο Αεροφωτογραφίες και Δορυφορικές Απεικονίσεις

Ο Makarovic (1976) διέκρινε αρκετές μεθόδους φωτογραμμετρικής δειγματοληψίας για τα DEM.

- ◆ **Επιλεκτική** δειγματοληψία έχουμε όταν τα διάφορα σημεία τα επιλέγουμε πριν από ή κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής διαδικασίας.
- ◆ **Προσαρμοσμένη** θεωρείται η δειγματοληψία όταν τα περιττά σημεία μπορούν να απορρίπτονται κατά τη φάση τη δειγματοληπτική σε περιοχές, οι οποίες έχουν πολύ λίγες έξτρα πληροφορίες.
- ◆ **Η βαθμιαία** δειγματοληψία προϋποθέτει το συνδυασμό της συλλογής δειγμάτων και την ανάλυση των δεδομένων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι εκείνα που καθορίζουν το πως θα προχωρήσει η δειγματοληψία .

Η λήψη των δειγμάτων μπορεί να είναι **χειροκίνητη** (εκτεθειμένη σε λάθη), **ημιαυτόματη** και **εντελώς αυτόματη** η οποία μάλιστα μπορεί να υπερέχει σε ταχύτητα αλλά όχι και σε ακρίβεια από την ημιαυτόματη.

Η προοδευτική λήψη δειγμάτων περιλαμβάνει μια σειρά από επιτυχή τρεξίματα, ξεκινώντας -αρχικά- με ένα αδρό δίκτυο και προχωρώντας σε δίκτυα με μεγαλύτερη πυκνότητα.

Χωρική Παρεμβολή από Ψηφιοποιημένες Ισοϋψείς σε έναν Υψομετρικό Χάρτη

Το πιο διαδεδομένο γραμμικό μοντέλο της επιφάνειας είναι το σύνολο των ισοϋψών. Η ψηφιοποίηση των ισοϋψών είναι μία πηγή δεδομένων για τα ψηφιακά μοντέλα επιφανείας.

Ατυχώς οι ψηφιοποιημένες ισοϋψείς δεν είναι ιδιαίτερα καλές για τον υπολογισμό των κλίσεων ή για τη δημιουργία σκιασμένων μοντέλων ανάγλυφων και έτσι πρέπει να μετατραπούν σε ένα υψομετρικό πίνακα.

Γεωμετρικές Διορθώσεις Υψομετρικών Χαρτών και άλλων Πλεγματικών Δεδομένων

Όλες οι εικόνες που συλλέγονται από αεροπλάνα ή δορυφόρους περιέχουν γεωμετρικές στρεβλώσεις λόγω της καμπυλότητας της γης, της κίνησης του αεροπλάνου, των ατμοσφαιρικών επιδράσεων και της μεταβολής του υψομέτρου της επιφάνειας της γης. Χάρτες από σκανάρισμα περιέχουν στρεβλώσεις που προέρχονται από το τύλιγμα των χαρτών. Όλες αυτές οι πηγές λαθών χρειάζεται να απομακρυνθούν πριν τα δεδομένα καταχωρηθούν σε μια αξιόπιστη γεωμετρική βάση αναφοράς.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να διορθωθεί η γεωμετρία μιας ψηφιοποιημένης επιφάνειας και πιθανώς για τη δημιουργία μιας νέας με διαφορετική χωρική ευκρίνεια, μέγεθος κυψελίδας ή διεύθυνση από την αρχική, είναι γνωστές σαν **convolution**.

Ψηφιακοί Ορθοφωτοχάρτες

Τα πιο χρήσιμα χαρτογραφικά προϊόντα που μπορούν να αντληθούν από ένα DEM είναι οι σύγχρονες ψηφιακές ορθοφωτογραφίες.

Οι ψηφιακοί ορθοφωτογραφικοί χάρτες χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο για να παράσχουν γεωμετρικά σωστές, υψηλής ανάλυσης φωτογραφικές απεικονίσεις.

Αρχικά, σχεδιάστηκαν για να μειώσουν το κόστος και το χρόνο δημιουργίας τοπογραφικών χαρτών μεγάλης κλίμακας σε περιοχές, οι οποίες μεταφέρονταν με πλήρη εδαφική αποτύπωση ή όπου υπήρχαν οικονομικοί περιορισμοί για την παραγωγή πλήρους τοπογραφικής κάλυψης στους χάρτες αυτούς.

Οι κλίμακες των ορθοφωτογραφικών χαρτών είναι συνήθως μεγαλύτερες από 1 : 25.000

Δημιουργούνται με σάρωση ασπρόμαυρων ή έγχρωμων αεροφωτογραφιών σε μια ανάλυση που κυμαίνεται μεταξύ 200 μm - 10 μm .

Οι απεικονίσεις διορθώνονται από την στρέβλωση με μαθηματικές μεθόδους χρησιμοποιώντας πληροφορίες από διάφορες πηγές.

ΤΕΛΟΣ

◆ ΤΕΛΟΣ

◆ ΤΕΛΟΣ

◆ ΤΕΛΟΣ

◆ ΤΕΛΟΣ