

Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους Digital Terrain Models

Weibel, R., and M. Heller. 1990. "A framework for digital terrain modelling". *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling*, International Geographical Union, Columbus Ohio: 219-229.

Weibel, R., and M. Heller. 1991. "Digital Terrain Modelling". In *Geographical Information Systems. Principles and Applications* (Volume 1, D. Maguire, M.F. Goodchild, and D.W. Rhind Eds.), Longman Scientific & Technical, Essex: 269-297.

Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους – ΨΜΕ
Digital Terrain Models – DTM

→ Miller & Laflamme 1958

Ψηφιακά Μοντέλα Υψομέτρων – ΨΜΥ
Digital Elevation Models – DEM



Παρέχουν τη βάση για την ανάπτυξη μεγάλου αριθμού εφαρμογών που σχετίζονται με τις γεω-επιστήμες και τα αντικείμενα των μηχανικών

Στη γεωπληροφορική παρέχουν τη δυνατότητα μοντελοποίησης, ανάλυσης και απόδοσης χωρικών φαινομένων που σχετίζονται με το ανάγλυφο ή άλλες επιφάνειες με ανάλογες χωρικές ιδιότητες

- Δημιουργία
- Διαχείριση
- Ερμηνεία (ανάλυση)
- Οπτικοποίηση

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ΨΜΕ μπορεί να κατανοηθεί ως ψηφιακή αναπαράσταση της γεωμετρικής μορφής ενός τμήματος της γήινης επιφάνειας



Με δεδομένο ότι οι γκρεμοί ή τα ρήγματα αποτελούν σπάνιες χαρακτηριστικές μορφές του ανάγλυφου Η γήινη επιφάνεια συνήθως αναπαρίσταται ως «πεδίο»



Σ' αυτό το πλαίσιο το ΨΜΕ αποτελεί ένα μοντέλο 2.5D παρά 3D



Επεκτάσεις που να επιτρέπουν τη μοντελοποίηση γκρεμών ή ρηγμάτων παρέχονται συνήθως σε συστήματα εξειδικευμένων εφαρμογών σαν αυτές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μοντέλων γεωλογικών επιφανειών

1/3

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

δεδομένα
μοντέλα δεδομένων
αλγόριθμοι

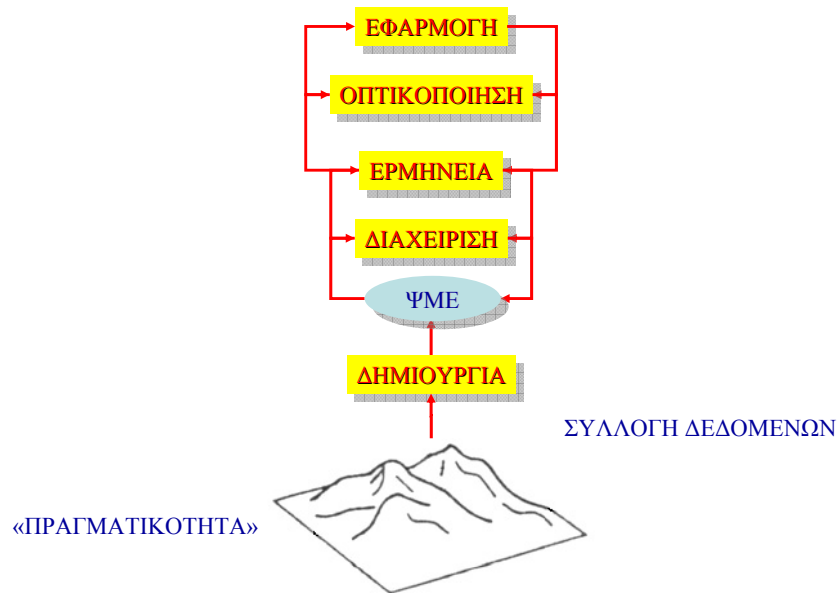
ΨΜΕ

Εντελώς διαφορετικοί απ' αυτούς που χρησιμοποιούνται για οριζοντιογραφικά δεδομένα (2D)

Η δραστηριότητα μοντελοποίησης και η επεξεργασία ψηφιακών δεδομένων της φυσικής γήινης επιφάνειας μπορούν να ειδωθούν ως συστατικά προϊόντων ΣΓΠ που λειτουργούν ανεξάρτητα από τα συστατικά μοντελοποίησης οριζοντιογραφικών δεδομένων χωρίς να είναι συνδεδεμένα με τις κλασικές λειτουργίες επεξεργασίας (π.χ. τοπολογία πολυγώνων, δικτύων ή επεξεργασία κανονικοποιημένων δεδομένων)

2/3

ΕΙΣΑΓΩΓΗ



3/3

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΜΕ

Η επιλογή των πηγών δεδομένων και οι τεχνικές δειγματοληψίας υψομετρικών δεδομένων είναι καθοριστικοί παράγοντες της ποιότητας του ΨΜΕ που θα δημιουργηθεί

Τα δεδομένα για τη δημιουργία ΨΜΕ αποτελούνται από παρατηρήσεις υψομέτρων και όταν είναι δυνατό από συμπληρωματική πληροφορία που αφορά χωρικά φαινόμενα τα οποία επηρεάζουν σημαντικά τη μορφή της φυσικής γήινης επιφάνειας (π.χ. στοιχεία επιφανειακών ασυνεχειών)

Μπορούν να υπάρξουν και επιπλέον κριτήρια εκτός των ποιοτικών προϋποθέσεων που να αιτιολογούν την επιλογή συγκεκριμένων τεχνικών δειγματοληψίας (π.χ. αποτελεσματικότητα, κόστος ή τεχνολογική ωριμότητα)

Διαδικασίες δημιουργίας ΨΜΕ:

- Από επίγειες μετρήσεις
- Από φωτογραμμετρική απόδοση (χειροκίνητη, ημι-αυτόματη ή αυτόματη)
- Από ψηφιοποίηση χαρτογραφικών προϊόντων
- Από ραντάρ, υψομετρία με λέιζερ ή ηχοβολιστικά (sonar)
- Με υπολογιστική προσομοίωση (π.χ. κλασματική γεωμετρία)

ΨΜΕ ΑΠΟ ΕΠΙΓΕΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι επίγειες μετρήσεις είναι πολύ ακριβείς
Οι τοπογράφοι επιλέγουν στις επίγειες αποτυπώσεις να καταγράψουν το χαρακτήρα της γεωμετρικής μορφής της γήινης επιφάνειας (μετρούν σε χαρακτηριστικά σημεία των λεπτομερειών της μορφής του εδάφους)



ΨΜΕ πολύ υψηλής ακρίβειας





- Χρονοβόρα διαδικασία συλλογής δεδομένων
- Περιορίζεται σε μικρές περιοχές

- Δημιουργία ΨΜΕ πολύ μεγάλων κλιμάκων
- Συμπληρωματική μέθοδος (π.χ. φωτογραμμετρικής απόδοσης σε περιοχές με δασοκάλυψη)

ΨΜΕ ΑΠΟ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ

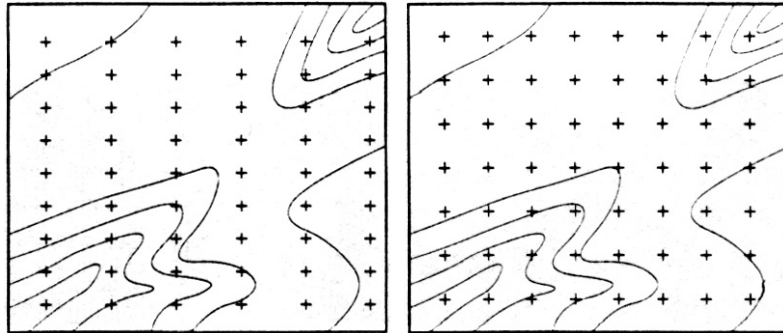
Στερεοσκοπική ερμηνεία επικαλυπτόμενων ζευγών αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων (π.χ. εικόνων SPOT) χρησιμοποιώντας χειροκίνητα ή αναλυτικά φωτογραμμετρικά όργανα (stereoplotters)

Δειγματοληπτικές τεχνικές:

- Κανονικά σχήματα δειγματοληψίας (διατομές-πλέγμα) 
- Προοδευτική δειγματοληψία (progressive sampling) 
- Επιλεκτική δειγματοληψία (selective sampling) 
- Μικτή δειγματοληψία (composite sampling) 
- Ψηφιακή συσχέτιση στερεο-εικόνων (digital stereo image correlation)

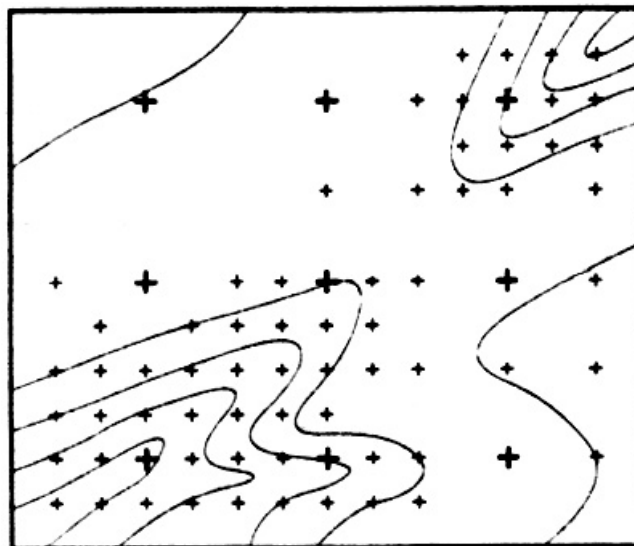
ΨΜΕ υψηλής ή μεσαίας ακρίβειας

- Μεγάλα τεχνικά έργα 
- Εθνικές συλλογές δεδομένων



ΔΙΑΤΟΜΕΣ

ΠΛΕΓΜΑ

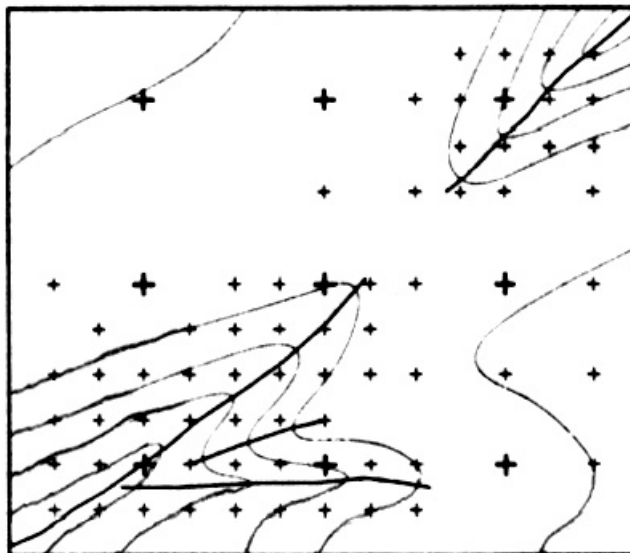


(Makarovic 1973)





(Makarovic 1984)



(Makarovic 1977;1979)



ΨΜΕ ΑΠΟ ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΤΩΝ

- Χειροκίνητη ψηφιοποίηση
- Ημι-αυτόματη ψηφιοποίηση (line following)
 - Σάρωση και διανυσματοποίηση
- Χαμηλό κόστος και μεγάλη ταχύτητα
- Μεγάλος ο υφιστάμενος όγκος αναλογικών χαρτών

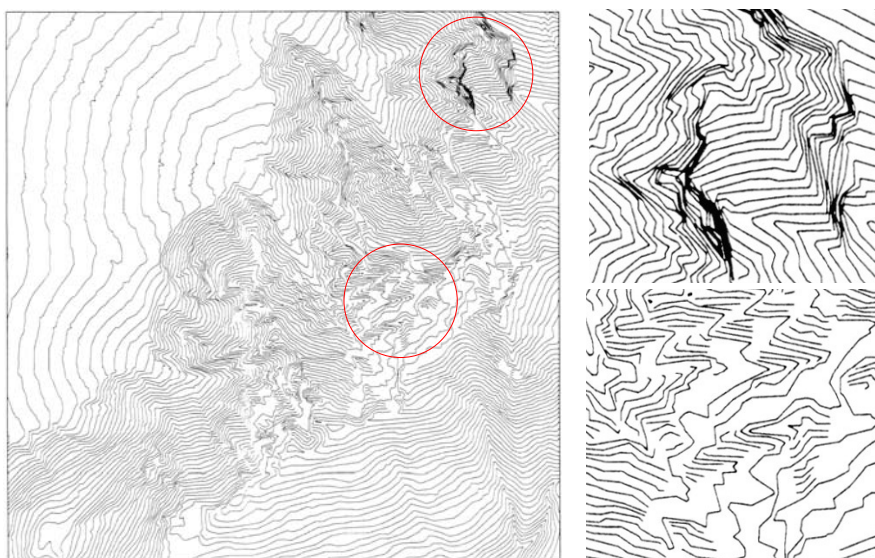
Οι ισαριθμικές καμπύλες (υψομετρικές) δεν αποτελούν την καλύτερη δυνατή πληροφορία για την αριθμητική αναπαράσταση μιας επιφάνειας (επηρεασμένη πυκνότητα δεδομένων)

Σφάλματα χαρτοσύνθεσης

Γενίκευση



ΨΜΕ μεσαίων ή μικρών κλιμάκων



ΔΟΜΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

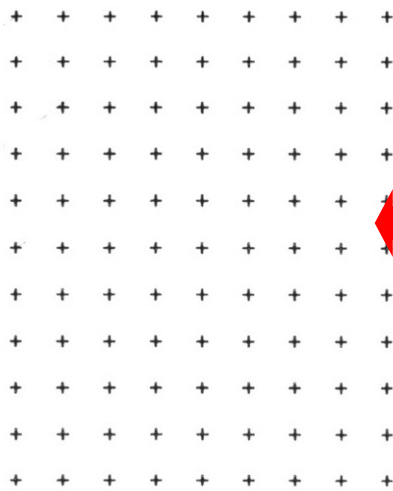
Τα δεδομένα καταγραφής της γεωμετρικής μορφής της γήινης επιφάνειας δεν έχουν καμία διάταξη



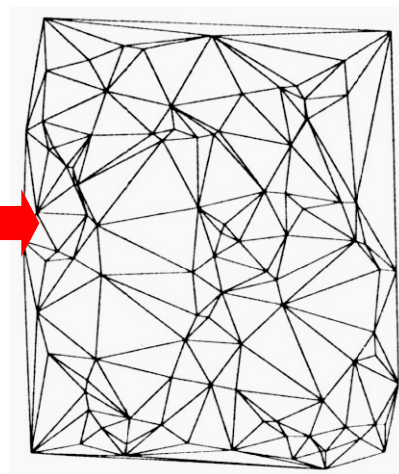
1. Να δομηθούν οι απαραίτητες τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των δεδομένων
2. Να δημιουργηθεί ένα μοντέλο παρεμβολής κατάλληλο να ακολουθήσει τη συμπεριφορά της επιφάνειας

ΔΟΜΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΨΜΕ

ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ
ΠΛΕΓΜΑ



ΔΟΜΗ ΤΡΙΓΩΝΩΝ
ΤΙΝ



ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

- Υπολογισμός υψομέτρων (z) σε σημειακές θέσεις
- Υπολογισμός υψομέτρων (z) στις κορυφές ενός ορθογωνίου πλέγματος από δεδομένα με τυχαία σημειακή κατανομή
- Υπολογισμός θέσεων (x,y) σημείων κατά μήκος υψομετρικών καμπυλών
- Πύκνωση / αραιώση ενός ορθογωνίου πλέγματος (resampling)

Βιβλιογραφία: *Schut 1976; Schumaker 1976; Lam 1983; Heller 1986; McCullagh 1988*

- Ολικές μέθοδοι (global)
- Τοπικές ή τμηματικές μέθοδοι (local ή piecewise)

Η χρήση απομακρυσμένων δεδομένων κατά την παρεμβολή μπορεί να παραμορφώσει την παρεμβαλλόμενη επιφάνεια γιατί το ανάγλυφο ως επιφάνεια είναι μη-στατική (non-stationary) και μη-περιοδική (non-periodic)

«ΣΤΑΤΙΚΕΣ» «ΜΗ-ΣΤΑΤΙΚΕΣ» ΤΥΧΑΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

«Στατικές» τυχαίες διαδικασίες:
(Stationary random processes)

Όταν ένα φυσικό φαινόμενο μελετάται ως μια τυχαία διαδικασία, οι ιδιότητες του φαινομένου μπορούν υποθετικά να περιγραφούν για οποιαδήποτε χρονική στιγμή (θέση) υπολογίζοντας τις μέσες τιμές μιας δειγματοληπτικής συνάρτησης που περιγράφουν την τυχαία διαδικασία

Όταν μια χρονική (θεσιακή) καταγραφή είναι «στατική» γενικά σημαίνει ότι οι υπολογιζόμενες ιδιότητες ενός μικρού χρονικού διαστήματος δεν διαφέρουν «σημαντικά» από το ένα χρονικό διάστημα (θέση) στο επόμενο

«Μη-στατικές» τυχαίες διαδικασίες:
(Non-stationary random processes)

Οι ιδιότητες μιας «μη-στατικής» τυχαίας διαδικασίας είναι εν γένει συναρτήσεις μεταβαλλόμενες ως προς το χρόνο (θέση)


(Bendat & Piersol 1971)

ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

- Δεν υφίσταται ο «άριστος» αλγόριθμος παρεμβολής που να υπερέχει σαφώς από όλους τους υπόλοιπους για όλες τις εφαρμογές
- Η ποιότητα ενός δημιουργούμενου ΨΜΕ καθορίζεται από την κατανομή και την ακρίβεια των αρχικών δεδομένων (π.χ. διαδικασία δειγματοληψίας) και την καταλληλότητα της χρησιμοποιούμενης μεθόδου παρεμβολής (σε σχέση με τη γεωμετρική συμπεριφορά της επιφάνειας του ανάγλυφου)
- Τα πιο σημαντικά κριτήρια για την επιλογή μιας μεθόδου παρεμβολής βασίζονται στο βαθμό κατά τον οποίο:
 - (1) μπορούν να ληφθούν υπόψη δομικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του ανάγλυφου και
 - (2) η συνάρτηση παρεμβολής να μπορεί να ενσωματώνει επιφάνειες ανάγλυφου με διάφορα χαρακτηριστικά

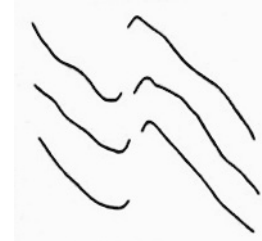
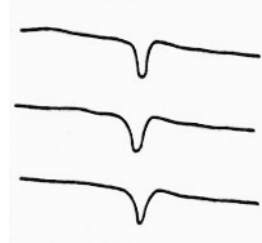
1/2

ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ

- Κατάλληλοι αλγόριθμοι παρεμβολής πρέπει να ενσωματώνουν το χαρακτήρα των δεδομένων (είδος, ακρίβεια, σημασία κλπ.) καθώς επίσης και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των δεδομένων (π.χ. χωρική κατανομή δεδομένων). Ικανοποιητικές λύσεις υφίστανται για την παρεμβολή καλά επιλεγμένων και πυκνών δεδομένων (π.χ. φωτογραμμετρικά δεδομένα). Παρ' όλα αυτά υπάρχουν κρίσιμες περιπτώσεις της γεωμετρικής μορφής του ανάγλυφου που η αντιμετώπισή τους είναι περιοριστική με τις υφιστάμενες διαδικασίες 
- Άλλα κριτήρια που μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή συγκεκριμένης μεθόδου παρεμβολής σχετίζονται με την επίτευξη του επιθυμητού επιπέδου ακρίβειας και την υπολογιστική πολυπλοκότητα

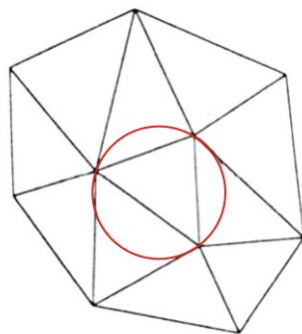
2/2



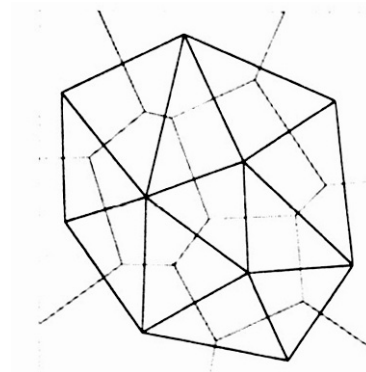


ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ

1. Δόμηση τριγωνικού ακανόνιστου δικτύου (TIN)
2. Παρεμβολή εντός του κάθε τριγώνου προσαρμόζοντας τοπικά πολυώνυμα

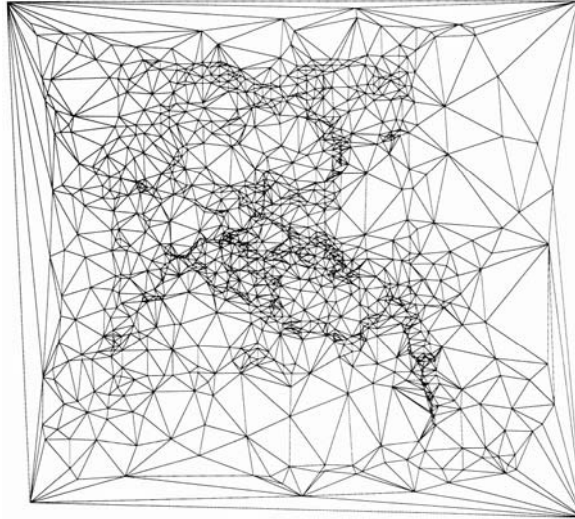


DELAUNAY



VORONOI

ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ

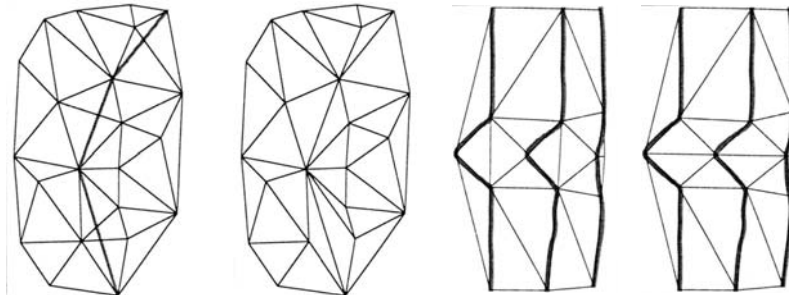


2/3

ΤΡΙΓΩΝΙΣΜΟΣ

Η αρχή τριγωνισμού Delaunay δεν μπορεί να διαχειριστεί κρίσιμες μορφές της γεωμετρίας της επιφάνειας του ανάγλυφου (διαφάνεια 21)

Ανάλογα προβλήματα μπορεί να ξεπεραστούν με τη δέσμευση (constrain) οι γραμμές ασυνεχειών να αποτελούν πλευρές του τριγωνισμού παρακάμπτοντας την αρχή Delaunay



3/3

ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΑΠΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Παρ' όλο που οι ψηφιοποιημένες υψομετρικές καμπύλες δεν αποτελούν τα πιο κατάλληλα δεδομένα για την αναπαράσταση της γεωμετρίας της γήινης επιφάνειας εξακολουθούν να αποτελούν την πλέον δημοφιλή πηγή δεδομένων για τη δημιουργία ΨΜΕ.

Η διαδικασία της παρεμβολής με δεδομένα προερχόμενα από ψηφιοποιημένες υψομετρικές καμπύλες είναι πολύπλοκη και χρήζει ειδικής προσοχής.

Οι περισσότεροι αλγόριθμοι παρεμβολής για παραγωγή ΨΜΕ σε δομή κανονικού πλέγματος χρησιμοποιούν γραμμικές ή κυβικές συναρτήσης παρεμβολής καταμήκος προκαθορισμένων διευθύνσεων ή κατά τις διευθύνσεις της μέγιστης τοπικής κλίσης.
(*Clarke et al 1982; Oswald and Raetzsch 1984*)

Παρ' όλα αυτά ορισμένα προβλήματα που παρουσιάζονται στη διαφάνεια 21 δεν ξεπερνιούνται μ' αυτούς τους αλγόριθμους.

Μια αξιοσημείωτη μέθοδος που να αντιμετωπίζει ανάλογα προβλήματα έχει προταθεί από τον *Hutchinson (1988, 1989)*. Στη μέθοδο αυτήν ενσωματώνεται ένας αλγόριθμος ενίσχυσης των στοιχείων του υδρολογικού δικτύου, με τον οποίο αυτόματα απαλείφονται βυθίσματα ή τρύπες στο προσαρμοζόμενο πλέγμα και ένας αλγόριθμος με τον οποίο υπολογίζονται αυτόματα γραμμές ασυνέχειας της επιφάνειας του ανάγλυφου συνδέοντας σημεία με τοπικά μέγιστα καμπυλότητας κατά μήκος των υψομετρικών καμπυλών. 1/2

ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΑΠΟ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Ο *Christensen (1987)* παρουσίασε μια μέθοδο τριγωνισμού που χρησιμοποιεί τη μεσαία γραμμή (*medial axis*) μεταξύ διαδοχικών υψομετρικών καμπυλών για τη δόμηση των τριγώνων, η οποία πλεονεκτεί σε σχέση με τον τριγωνισμό που βασίζεται στην αρχή *Delaunay*

Η έρευνα προσανατολίζεται σήμερα σε προσεγγίσεις που προσπαθούν να αναγνωρίσουν κρίσιμες περιπτώσεις των δεδομένων των υψομετρικών καμπύλων και να αντικαθιστούν τοπικά το κριτήριο *Delaunay* στη διαδικασία του τριγωνισμού

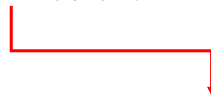
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΨΜΕ

Τροποποίηση και βελτίωση
που αποσκοπεί
στην αποτελεσματικότητα και ευελιξία
ενός συστήματος ΨΜΕ

- Διόρθωση
- Φιλτράρισμα
- Συνένωση / Συγχώνευση
- Μετατροπή δομής

ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΨΜΕ

Ενημέρωση και απαλοιφή σφαλμάτων



Διόρθωση σε αλληλεπιδρούσα επικοινωνία χρήστη-υπολογιστή
για επιλεγμένη τροποποίηση των ιδιοτήτων ή συγκεκριμένων στοιχείων ενός ΨΜΕ

ΠΛΕΓΜΑ:

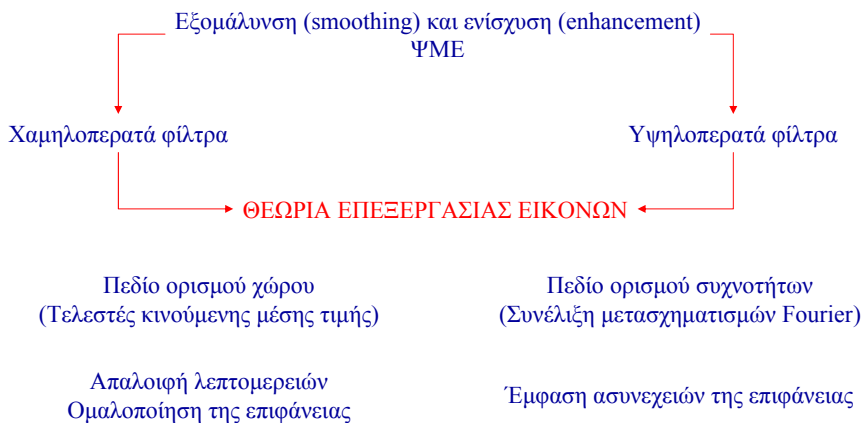
- Τροποποίηση υψομέτρων στις κορυφές του πλέγματος

TIN:

- Τοπική συνόρθωση της τοπολογίας
- ύστερα από εισαγωγή ή διαγραφή σημείων



ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΨΜΕ



- ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ
- ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΖΟΜΕΝΟ ΦΙΛΤΡΟ ΤΡΙΓΩΝΩΝ
ADAPTIVE TRIANGULAR MESH FILTER - ATM**

Τριγωνισμός προσαρμοζόμενος σε προκαθορισμένη υψομετρική **ανοχή**

(Heller 1990)

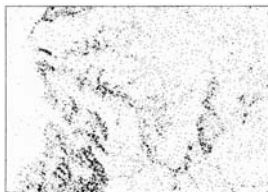
311 x 221 = 68731



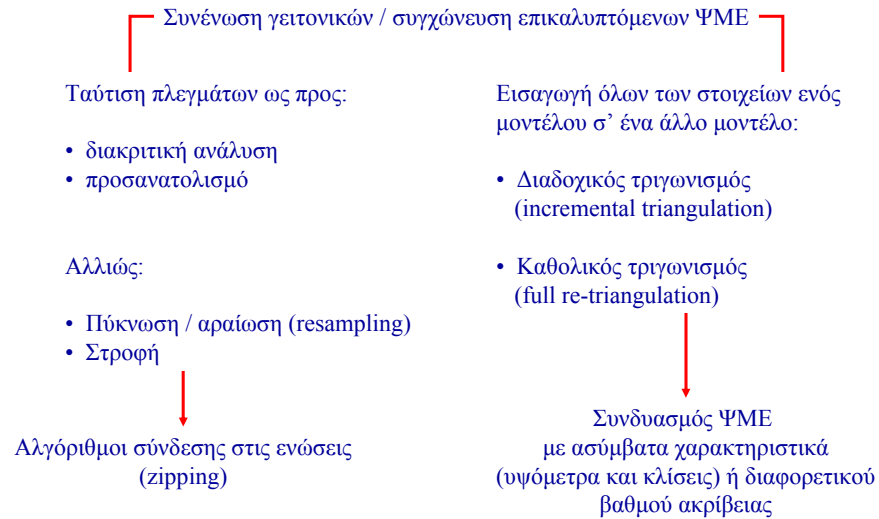
11450 (16.7%)
T = 5m



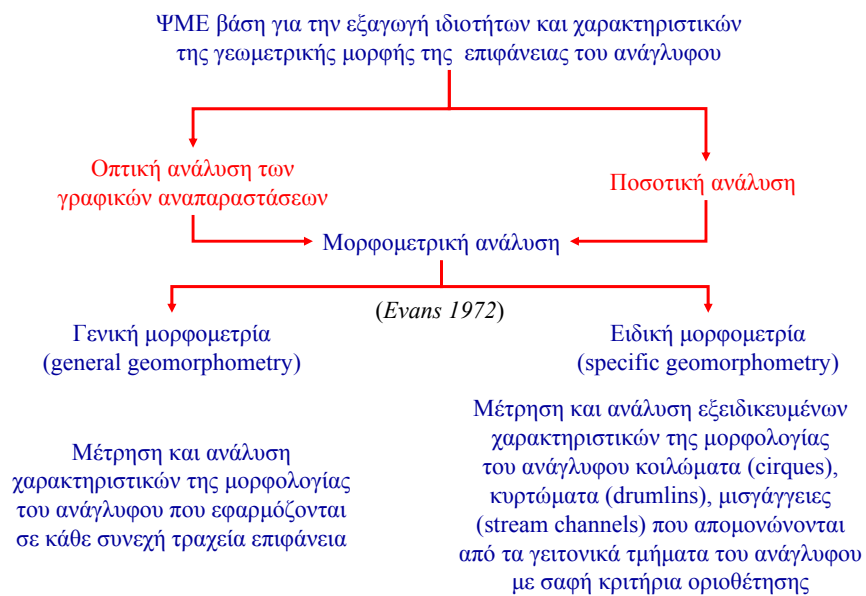
5732 (8.3%)
T = 10m



ΣΥΝΕΝΩΣΗ / ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗ ΨΜΕ



ΕΡΜΗΝΕΙΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ



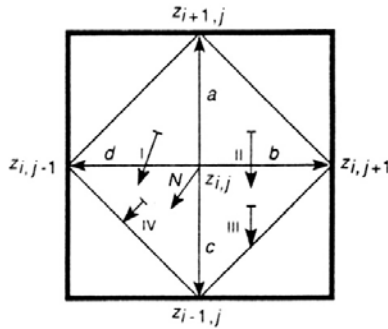
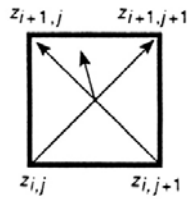
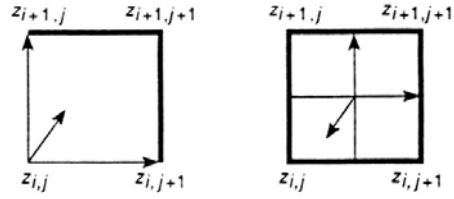
ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ

Κλίση της επιφάνειας:

- Μέγιστη κλίση (gradient)
- Προσανατολισμός (aspect)

Ρυθμός μεταβολής κλίσης:

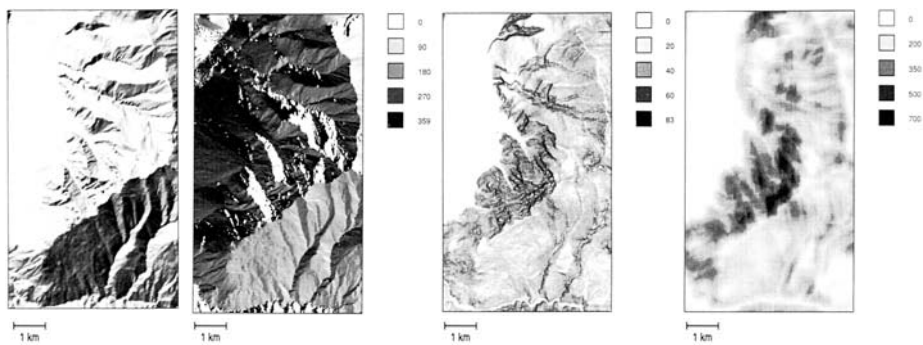
- Κυρτότητα (convexity)
- Καμπυλότητα (curvature)



$$\begin{aligned}
 I &= d \times a \\
 II &= a \times b \\
 III &= b \times c \\
 IV &= c \times d \\
 N &= (I + II + III + IV) / 4
 \end{aligned}$$

1/3

ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ



220 x 390

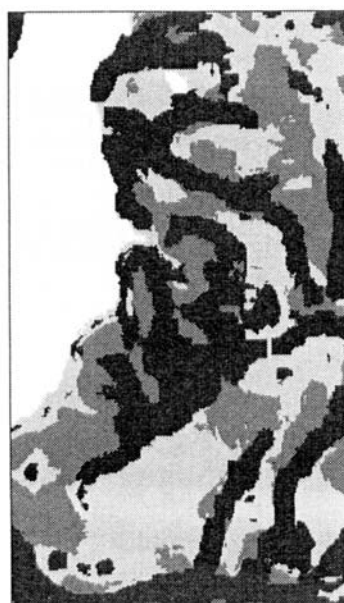
χάρτης κλίσεων (σε μοίρες)

χάρτης προσανατολισμού (σε μοίρες)

χάρτης τοπικού ανάγλυφου (σε μοίρες)

2/3

ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ



- Επίπεδο έδαφος
- Μεσαίες κλίσεις
- Απότομες κλίσεις
- Τραχύ ανάγλυφο

1 km

3/3

ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

GEO-642-2

ΕΙΔΙΚΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ

Σχηματισμός εδαφικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τις υδρολογικές ιδιότητες της επιφάνειας του εδάφους

Από ένα ΨΜΕ μπορούν να εξαχθούν (Douglas 1986):

- Σημειακά χαρακτηριστικά: μέγιστα (peaks), ελάχιστα (pits), διαβάσεις (passes)
- Γραμμικά χαρακτηριστικά: δίκτυα απορροής (drainage channels) και κορυφογραμμές (ridges)
- Επιφανειακά χαρακτηριστικά: λεκάνες απορροής (drainage basins) και λόφοι (hills)

Αναλυτική εξαγωγή της γεωμετρικής μορφής των υδρολογικών χαρακτηριστικών τοπολογικά συνδεδεμένων σε συνεχή δίκτυα

ΨΜΕ - ΠΛΕΓΜΑ

- Αλγόριθμοι:
- Ανίχνευσης
 - Τοπολογικής σύνδεσης (χάραξη ίχνους – trace operation)

ΨΜΕ - TIN

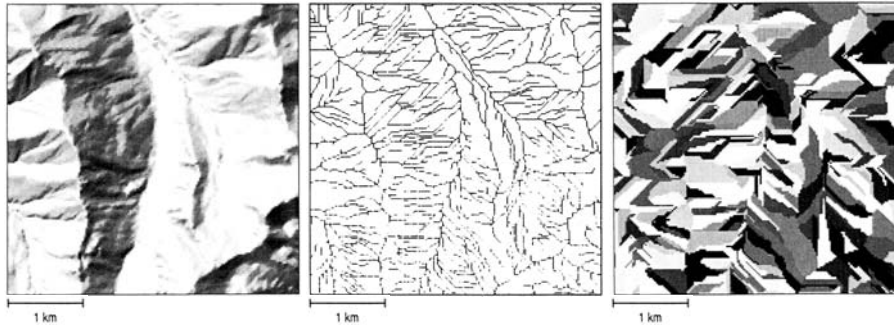
- Αλγόριθμοι:
- Διανυσματική ανάλυση

ΣΥΧΝΗ ΧΡΗΣΗ ← → ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

ΨΗΦΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

GEO-642-2

ΕΙΔΙΚΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΑ



ΨΜΕ

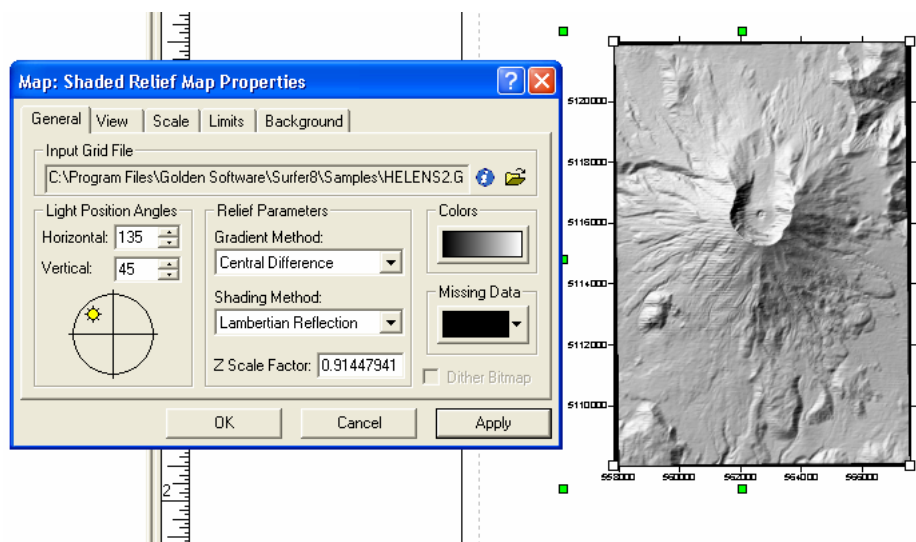
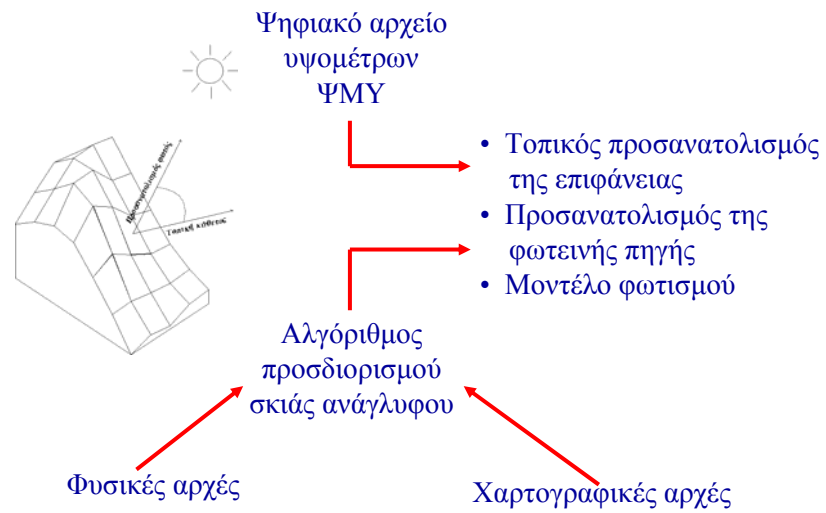
ΔΙΚΤΥΟ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
ΚΑΙ
ΚΟΡΥΦΟΓΡΑΜΜΕΣ

ΛΕΚΑΝΕΣ
ΑΠΟΡΡΟΗΣ

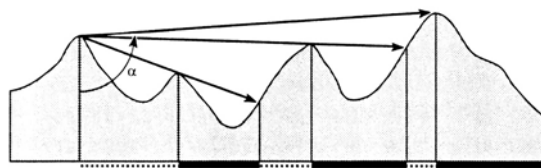
ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΨΜΕ

- Υψομετρικές καμπύλες
- Σκίαση ανάγλυφου
- Συνδυασμένη απεικόνιση με 2-D δεδομένα
π.χ. ορθοφωτογραφία
- Προοπτικές απεικονίσεις
- Προσομοιώσεις δυναμικών απεικονίσεων
π.χ. περι-ηγήσεις (walk-through), πτήσεις (fly-through)

ΣΚΙΑΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ



ΜΕΛΕΤΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

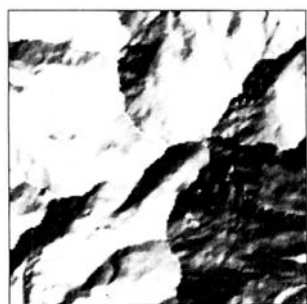


α
..... Ορατό
———— Μη-ορατό

Χάρτης ορατότητας



ΧΑΡΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΚΙΑΣ



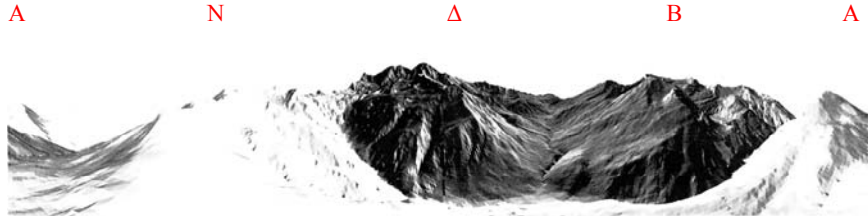
ΨΜΕ 160 x 160



ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΛΥΨΗ
ΜΕ ΦΥΣΙΚΗ ΣΚΙΑ



ΠΑΝΟΡΑΜΙΚΗ ΘΕΑ



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΜΕ

DTM application domains		Surveying & photogrammetry		Planning & resource management				earth scienc.		
		Civil engineering	Environm. & urban plann.	Remote sensing	Soil science	Agriculture & forestry	Meteorology & climatology	Geology & geomorphology	Hydrology	Military
DTM generation	ground survey data input	●	●	●						●
	photogrammetric input	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	manual digitizing (contours)			●	●	●	●	●	●	●
	scanning/vectorization (contours)			●	●	●	●	●	●	●
	automatic correlation of stereo images	●		●	●	●	●	●	●	●
	use of existing (available) data	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	non-terrain vars. form model input 1			●	●	●	●	●	●	●
	triangulation 2	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	interpolation to gridded DTM	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	interpolation from contour data			●	●	●	●	●	●	●
special interpol. algs (non-terrain)			●	●	●	●	●	●	●	

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:

- Δεν εφαρμόζονται
- Μικρής σημασίας
- Μεσαίας σημασίας
- Μεγάλης σημασίας

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΜΕ

DTM application domains		Surveying & photogrammetry		Planning & resource management				earth scienc.		
		Civil engineering	Environm. & urban plann.	Remote sensing	Soil science	Agriculture & forestry	Meteorology & climatology	Geology & geomorphology	Hydrology	Military
DTM manipulation	DTM editing	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	DTM joining and merging	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	TIN filtering	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	grid-to-TIN conversion	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	smoothing/enhancement filters	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	obtain heights for 2-D features	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	interface to raster system	●	●	●	●	●	●	●	●	●

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:
 □ Δεν εφαρμόζονται
 ● Μικρής σημασίας
 ● Μεσαίας σημασίας
 ● Μεγάλης σημασίας

2/5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΜΕ

DTM application domains		Surveying & photogrammetry		Planning & resource management				earth scienc.		
		Civil engineering	Environm. & urban plann.	Remote sensing	Soil science	Agriculture & forestry	Meteorology & climatology	Geology & geomorphology	Hydrology	Military
DTM interpretation	autom. error detection/correction	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	gradient/aspect analysis	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	other derivatives (e.g. convexity)	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	intervisibility analysis	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	relief shadow analysis	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	drainage network extraction	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	drainage basin extraction	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	profiles	●	●	●	●	●	●	●	●	●
volumetric calculations (cut & fill)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:
 □ Δεν εφαρμόζονται
 ● Μικρής σημασίας
 ● Μεσαίας σημασίας
 ● Μεγάλης σημασίας

3/5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΜΕ

DTM application domains		Surveying & photogrammetry		Planning & resource management				earth scienc.		
		Civil engineering	Environm. & urban plann.	Remote sensing	Soil science	Agriculture & forestry	Meteorology & climatology	Geology & geomorphology	Hydrology	Military
DTM visualization	contouring (incl. hypsometric tints)	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	automatic hillshading			●	●	●	●	●	●	●
	perspective (wireframe or shaded)	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	perspective with 2-D overlays	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	3-D objects on surface (perspective)		●	●				●		●
	orthophotos	●	●	●	●			●		●
	cartographic generalization			●	●	●	●	●	●	●
	photorealism		●	●						●
animation			●						●	

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:
 □ Δεν εφαρμόζονται
 ● Μικρής σημασίας
 ● Μεσαίας σημασίας
 ● Μεγάλης σημασίας

4/5

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΨΜΕ

DTM application domains		Surveying & photogrammetry		Planning & resource management				earth scienc.		
		Civil engineering	Environm. & urban plann.	Remote sensing	Soil science	Agriculture & forestry	Meteorology & climatology	Geology & geomorphology	Hydrology	Military
DTM applic.	programming interfaces	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	interfaces to exist. applic. progs.	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Data 3 struct.	triangulated irregular network (TIN)	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	rectangular grids (elevation matrices)	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Data	data volume	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	structural features	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	statistical surfaces			●	●	●	●	●	●	●

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:
 □ Δεν εφαρμόζονται
 ● Μικρής σημασίας
 ● Μεσαίας σημασίας
 ● Μεγάλης σημασίας

5/5

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Bendat, J.S., and Piersol, A.G., 1971, *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*. John Wiley & Sons, New York.
- Christensen, A.H.J., 1987, Fitting a triangulation to contour lines. In *Proceedings of AUTOCARTO 5*: 57-67.
- Clarke, K.C., Grün, A., and Loon, J.C., 1982, The application of contour data for generating high fidelity grid digital elevation models. In *Proceedings of AUTOCARTO 5*: 213-222.
- Douglas, D.H., 1986, Experiments to locate ridges and channels to create a new type of digital elevation model. *Cartographica*, 23(4): 29-61.
- Evans, I.S., 1972, General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In *Spatial Analysis in Geomorphology* (Chorley, R.J. ed.), Methuen, London: 17-90.
- Heller, M., 1990, Triangulation algorithms for adaptive terrain modeling. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling*: 163-174.
- Heller, M., 1990, Triangulation and interpolation of surfaces. In *A Selected Bibliography on Spatial Data Handling: data structures, generalization and three-dimensional mapping* (Sieber, R., and Brassel, K.E. eds), Geoprocessing Series 6:36-45.
- Hutchinson, M.F., 1988, Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Spatial Data Handling*: 117-133.
- Hutchinson, M.F., 1989, A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106(1&2): 211-232.
- Lam, S.N., 1983, Spatial interpolation methods: a review. *The American Cartographer*, 10(2): 129-149.
- Makarovic, B., 1973, Progressive sampling for digital terrain models. *ITC Journal*, 1973(3): 397-416.
- Makarovic, B., 1977, Composite sampling for digital terrain models. *ITC Journal*, 1977(3): 406-433.
- Makarovic, B., 1979, From progressive to composite sampling for digital terrain models. *Geo-Processing*, 1: 145-166.
- Makarovic, B., 1984, Structures for geo-information and their application in selective sampling for digital terrain models. *ITC Journal*, 1984(4): 285-295.
- McCullagh, M.J., 1988, Terrain and surface modelling systems: theory and practice. *Photogrammetric Record*, 12(72): 747-779.
- Miller, C.L., and Laflamme, R.A., 1958, The digital terrain model-theory and application. *Photogrammetric Engineering*, 24(3): 433-442.
- Oswald, H., and Raetzch, H., 1984, A system for generation and display of digital elevation models. *Geo-Processing*, 2:197-218.
- Schumaker, L.L., 1976, Fitting surfaces to scattered data. In *Approximation Theory II* (Lorentz, G.G. et al, eds.), Academic Press, New York: 203-268.
- Schut, G.H., 1976, Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models. *The Canadian Surveyor*, 30(5): 389-412.
- Weibel, R., and Heller, M., 1990, A framework for digital terrain modeling. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling*: 219-229.
- Weibel, R., and Heller, M., 1991, Digital Terrain Modelling. In *Geographical Information Systems. Principles and Applications* (Volume 1, D. Maguire, M.F. Goodchild, and D.W. Rhind eds.), Longman Scientific & Technical, Essex: 269-297.