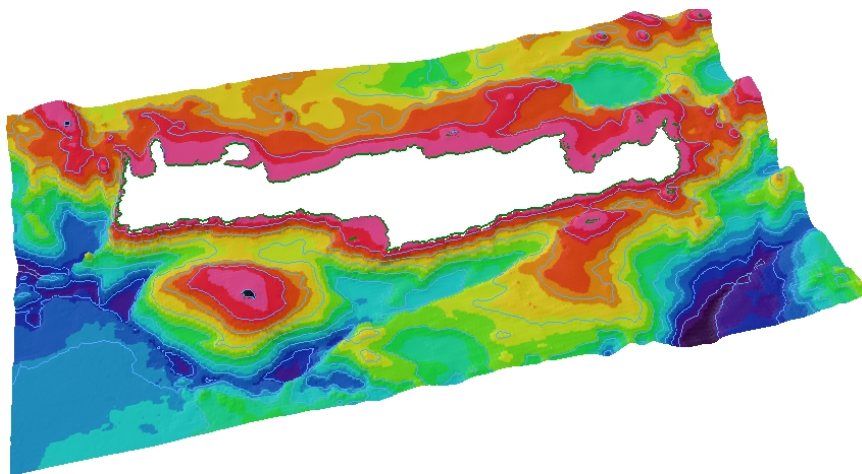




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΠΜΣ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
ΦΥΣΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
ΘΕΩΡΙΑ & ΠΡΑΞΗ



ΚΑΡΑΛΗ ΟΛΓΑ

Επιβλέπων καθηγητής: Τσούλος Λύσανδρος, καθηγητής Ε.Μ.Π

Εξεταστική Επιτροπή: Φιλίππακοπούλου Βασιλική, καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Νάκος Βύρωνας, καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα 2009

*Στους γονείς μου,
Θεόδωρο και Φωτεινή
& στα αδέρφια μου,
Νίκο και Κωνσταντίνο*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Επιθυμώ να εκφράσω όλο μου το σεβασμό και την ευγνωμοσύνη στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Λύσανδρο Τσούλο, καθηγητή της σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ, ο οποίος με εμπιστεύθηκε και με καθοδήγησε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής εργασίας. Τον ευχαριστώ γιατί αποτελεί παράδειγμα προς μίμηση σε μια εποχή που η αγάπη για την αλήθεια και την εκπαίδευση δοκιμάζεται.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κ. Αντελίνα Σκοπελίτη, Υ/Δ του τμήματος Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ, για τις χρήσιμες υποδείξεις της, καθώς και όλους τους καθηγητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών Γεωπληροφορικής για τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση και ηθική στήριξη που μου προσέφερε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της έρευνας, στα πλαίσια αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, είναι η μελέτη, ανάλυση και συγκριτική θεώρηση σύγχρονων μεθόδων δημιουργίας και απόδοσης τρισδιάστατων επιφανειών, με έμφαση στην απόδοση του μοντέλου της γήινης επιφάνειας. Ειδικότερα, γίνεται προσπάθεια εντοπισμού, αξιολόγησης και αξιοποίησης των θεωρητικών και πειραματικών συμπερασμάτων που σχετίζονται με το αντικείμενο της οπτικοποίησης. Ακολουθεί η υλοποίηση με την απόδοση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού γύρω από τη νησιωτική περιοχή της Κρήτης. Η δημιουργία και σύγκριση των ψηφιακών μοντέλων γίνεται με τη χρήση των πακέτων λογισμικού ArcGIS και Surfer, με αξιοποίηση της μεθόδου Inverse Distance Weighted, ενώ η απόδοση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού επιτυγχάνεται με τη χρήση του Fledermaus, ενός νέου πακέτου λογισμικού το οποίο παρέχει εξαιρετικά αποτελέσματα οπτικοποίησης. Σημαντική ενότητα αποτελεί η αναφορά στη διαδικασία της δυναμικής απόδοσης του ψηφιακού μοντέλου, η οποία εστιάζει στην απεικόνιση αντικειμένων τριών διαστάσεων. Συγκεκριμένα, αναφέρεται η χρησιμότητα της κάμερας, ο σχεδιασμός της σκηνής με τον προσδιορισμό της πτήσης καθώς και η διάρκεια της πτήσης. Επίσης, αναφέρονται οι διαφορετικοί τύποι και μέθοδοι φωτισμού.

ABSTRACT

The aim of the research in this thesis is the study, analysis and comparison of the contemporary methods used for the creation and rendering of 3D surfaces. Focus is given on Earth's surface. Especially, attempts are made for the identification, evaluation and development of theoretical and experimental findings, which refer to the visualization process. It is followed by the implementation and rendering of the digital bathymetric model around the island of Crete. The creation and evaluation of the DTM is carried out with the use of ArcGIS and Surfer environments, both with the Inverse Distance Weighted method, while the rendering is accomplished in Fledermaus, a new software package with excellent visualization capabilities. An important section of this work refers to the dynamic visualization process of the DTM, which focus to the 3D objects representation. More specifically, the importance of the camera use is elaborated along with the scene planning including the flight assessment and the duration of the flight. Moreover, the different light types and methods are presented and evaluated.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ.....	7
1.1 Στάδια Οπτικής Αντίληψης.....	7
1.2 Ομαδοποίηση Στοιχείων	7
1.3 Διαχωρισμός Οπτικών Διαστάσεων	11
1.3.1 Τρεις διαστάσεις	13
1.3.1.1 Αντίληψη του βάθους.....	13
1.3.1.2 Εφαρμογή αντίληψης του βάθους στη χαρτογραφία.....	14
1.4 Σύνοψη.....	16
2 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ.....	17
2.1 Η εξέλιξη της οπτικοποίησης του τοπίου.....	17
2.2 Βασικές Έννοιες και Αρχές της Οπτικοποίησης.....	20
2.3 Γεωγραφική Οπτικοποίηση	21
2.3.1 Μοντέλα πολλαπλής ανάλυσης (multi-resolution)	22
2.3.2 Μορφές ψηφιακών μοντέλων εδάφους.....	22
2.3.3 Απόδοση της υφής (texturing) και multi-texturing	23
2.3.4 Δημιουργία δυναμικών βασικών δομών υφής	24
2.3.5 Προχωρημένες τεχνικές απόδοσης	26
2.4 Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση.....	27
2.4.1 Το γενικό μοντέλο της τρισδιάστατης οπτικοποίησης.....	27
2.4.2 Θεωρία και τεχνολογία της τρισδιάστατης οπτικοποίησης.....	29
2.4.3 Τρισδιάστατη αναπαράσταση	30
2.5 Οπτικοποίηση Κίνησης.....	31
2.6 Διαστάσεις	31
2.6.1 Απόδοση διαστάσεων	31
2.6.1.1 Οι διαστάσεις των πρωτογενών δεδομένων	31
2.6.1.2 Οι διαστάσεις συλλογής δεδομένων.....	32
2.6.1.3 Οι διαστάσεις της οπτικής αναπαράστασης	32
2.6.1.4 Οι διαστάσεις του μέσου απεικόνισης.....	32

2.6.1.5	Οι διαστάσεις των σχημάτων	32
2.7	Η Χρήση της Τρίτης Διάστασης στην Οπτικοποίηση.....	33
2.7.1	Αληθές τρισδιάστατο (true 3D)	33
2.7.2	Τεχνικές αληθούς τρισδιάστατου	36
2.7.2.1	Ανάγλυφο.....	36
2.7.2.2	Χρωμοστερεοσκοπική απεικόνιση.....	36
2.7.2.3	Dresden 3D LC display.....	37
2.7.3	Σχέση αληθών τρισδιάστατων τεχνικών και γεω-οπτικοποίησης.....	38
2.7.4	Χαρτογραφικό θεωρητικό υπόβαθρο αληθών 3D τεχνικών.....	39
2.8	Χαρακτηριστικά των Τρισδιάστατων Οπτικών Αναπαραστάσεων.....	40
2.9	Η Έννοια της Κλίμακας – Διαδικασία Μιρμαpping.....	42
2.9.1	Η απεικόνιση της κλίμακας	42
2.9.2	Τρισδιάστατη απόδοση.....	43
2.9.3	Η διαδικασία του Μιρμαpping.....	44
2.10	Μέθοδοι Οπτικοποίησης.....	45
2.10.1	Προοπτικοί εικονογραφικοί χάρτες	46
2.10.1.1	Τρισδιάστατα διαγράμματα.....	46
2.10.1.2	Πλάγια άποψη περιοχών	46
2.10.1.3	Σχηματικοί χάρτες.....	46
2.10.2	Μορφομετρικοί χάρτες	47
2.10.3	Εδαφικοί χάρτες.....	47
2.10.4	Γραμμοσκιάσεις.....	47
2.10.5	Χρήση ισοϋψών καμπυλών.....	48
2.10.5.1	Ισοδιάσταση	48
2.10.5.2	Ακρίβεια ισοϋψών.....	48
2.10.5.3	Γενίκευση ισοϋψών.....	49
2.10.5.4	Χρωματισμός κατά ζώνες	49
2.10.6	Σκίαση αναγλύφου.....	49
2.10.6.1	Κατακόρυφος φωτισμός.....	49
2.10.6.2	Πλάγιος φωτισμός.....	50
2.10.6.3	Η σκίαση ως συμβολισμός.....	50
2.11	Εικονική Πραγματικότητα και Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση.....	50
2.11.1	Αναπαράσταση εικονικού περιβάλλοντος	51
2.11.1.1	Μοντέλα δεδομένων και βάσεις δεδομένων	51
2.11.1.2	Τρισδιάστατη μοντελοποίηση.....	52
2.11.1.3	Επίπεδο λεπτομέρειας (LOD)	52
2.11.2	Κατηγοριοποίηση	53

2.11.2.1	Στατικές, δυναμικές και πραγματικού χρόνου εφαρμογές	55
2.11.2.2	Ακουστικές αναπαραστάσεις.....	56
2.11.3	Πλεονεκτήματα εικονικής πραγματικότητας	56
2.11.4	Μειονεκτήματα εικονικής πραγματικότητας.....	56
2.12	Σύνοψη.....	57
3	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΚΑΙ	
	ΙΣΟΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩ-ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	59
3.1	Διαδικασία Δημιουργίας Ισαριθμικών Καμπυλών και Ισοεπιφανειών	59
3.2	Δημιουργία κατάλληλης αναπαράστασης.....	60
3.2.1	Ορθότητα οριακών σημείων (Correctness of Boundary Points).....	61
3.2.1.1	Δημιουργία ισαριθμικών	61
3.2.1.2	Δημιουργία ισοεπιφανειών	62
3.2.2	Αποσύνθεση καννάβου (Grid Decomposition).....	63
3.2.2.1	Δημιουργία ισαριθμικών	63
3.2.2.2	Δημιουργία ισοεπιφανειών	64
3.2.3	Τοπολογική ορθότητα.....	65
3.2.3.1	Δημιουργία ισαριθμικών	65
3.2.3.2	Δημιουργία ισοεπιφανειών	66
3.2.4	Αλληλεπίδραση.....	68
3.2.4.1	Δημιουργία ισαριθμικών	69
3.2.4.2	Δημιουργία ισοεπιφανειών	70
3.3	Σύνοψη.....	71
4	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ – ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ	73
4.1	Μοντελοποίηση Συμπαγών Σωμάτων.....	73
4.2	Δυναμικές Οπτικές Μεταβλητές.....	74
4.3	Απόδοση του ψηφιακού μοντέλου	77
4.3.1	Η χρήση της κάμερας.....	77
4.3.2	Σχεδιασμός της σκηνης.....	79
4.3.2.1	Η θέση της κάμερας	79
4.3.2.2	Η θέση της κάμερας και ο ορίζοντας.....	79
4.3.3	«Οδηγώντας» την κάμερα.....	80
4.3.3.1	Η διαδρομή της κάμερας	80
4.3.3.2	Μήκος και τύπος της διαδρομής.....	81

4.3.3.3	Διάρκεια πτήσης.....	81
4.3.4	Φωτισμός.....	82
4.3.4.1	Τύποι φωτισμού	83
4.3.4.2	Ο φωτισμός και η λειτουργία του	85
4.3.4.3	Μέθοδοι φωτισμού.....	86
4.4	Μέθοδοι Κινούμενης Εικόνας	86
4.4.1	Σταθερή ακολουθία	87
4.4.2	Ακολουθία καθορισμένη από το χρήστη	87
4.5	Προσομοίωση.....	88
4.5.1	Εικονική πραγματικότητα.....	88
4.5.2	Τύποι εικονικής πραγματικότητας.....	88
4.6	Διαδραστική Χαρτογραφία.....	89
4.7	Σύνοψη	89
5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	91
5.1	Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας του Βυθού.....	92
5.1.1	Επιλογή κατάλληλης μεθόδου	92
5.1.2	Μέθοδος Inverse Distance Weighted (IDW).....	92
5.1.2.1	Η συνάρτηση Power (p).....	93
5.1.2.2	Επιλογή γειτονίας.....	93
5.1.2.3	Δημιουργία επιφανείας με τη μέθοδο Inverse Distance Weighted στο ArcGIS.....	93
5.1.3	Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου με τη μέθοδο IDW	94
5.1.3.1	ArcGIS	94
5.1.3.2	Surfer.....	96
5.2	Σύγκριση Αποτελεσμάτων	99
5.3	Απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού.....	100
5.3.1	Fledermaus	100
5.3.1.1	Μέθοδοι εξερεύνησης δεδομένων (Data Exploration Modes)	101
5.3.1.2	Δημιουργία τομών (Profiling).....	102
5.3.1.3	Χρωματική απεικόνιση (Color map display)	102
5.3.1.4	Σκίαση και φωτισμός (Shading and illumination).....	102
5.3.1.5	Έλεγχος της κίνησης (Moving controls)	105
6	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ.....	107

6.1	Προκλήσεις - Προτάσεις	108
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	111

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας συνίσταται στη μελέτη, ανάλυση και συγκριτική θεώρηση των μεθόδων δημιουργίας και απόδοσης τρισδιάστατων επιφανειών με έμφαση στην απόδοση του μοντέλου της γήινης επιφάνειας. Η χαρτογραφική απόδοση της τρίτης διάστασης της γήινης επιφάνειας αποτελεί βασικό μέλημα του χαρτογράφου, ο οποίος στην πλειονότητα των περιπτώσεων την υλοποιεί αξιοποιώντας τα εργαλεία που παρέχει το εκάστοτε περιβάλλον λογισμικού. Στο πλαίσιο αυτό γίνεται προσπάθεια εντοπισμού, αξιολόγησης και αξιοποίησης των θεωρητικών και πειραματικών συμπερασμάτων που σχετίζονται με το αντικείμενο της οπτικοποίησης και ακολουθεί υλοποίησή τους με εφαρμογή στη δημιουργία και απόδοση του ψηφιακού μοντέλου γύρω από την περιοχή της Κρήτης. Η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου γίνεται με χρήση δύο πακέτων λογισμικού και συγκεκριμένα με το ArcGIS και το Surfer, με συνακόλουθη σύγκριση των αντίστοιχων αποτελεσμάτων.

Ειδικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στην οπτική αντίληψη η οποία χαρακτηρίζει τον τρόπο με τον οποίο ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται άμεσα την «εικόνα». Τα στάδια της οπτικής αντίληψης σύμφωνα με τον Marr [60] είναι τρία: το στάδιο της επεξεργασίας στο οποίο μετασχηματίζει την πληροφορία της εικόνας σε αυτό που ονομάζεται πρωταρχικό σκίτσο, το δεύτερο στο οποίο παράγει το σκίτσο 2.5 διαστάσεων και το τρίτο στάδιο βάσει του οποίου ορίζεται το τρισδιάστατο μοντέλο της απεικόνισης που αποτελεί είναι ένα ιεραρχικό μοντέλο. Επίσης αναφέρεται ο διαχωρισμός των οπτικών διαστάσεων, ένα από τα βασικότερα ζητήματα της οπτικής αντίληψης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αντίληψη του βάθους σε σχέση με τη χαρτογραφία.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί ένα είδος εισαγωγής στην οπτικοποίηση αφού η τρίτη διάσταση απορρέει από τον εγωκεντρικό χώρο και εξαρτάται από την οπτική αντίληψη. Επίσης, τόσο οι διαστάσεις των πρωτογενών δεδομένων, όσο και αυτές της αναπαράστασης σχετίζονται με τα στάδια της οπτικής διαδικασίας. Τέλος, μια εικόνα ή ένας χάρτης αξιοποιεί τους μηχανισμούς της ανθρώπινης οπτικής αντίληψης ερμηνεύοντας την τρισδιάστατη πραγματικότητα έτσι ώστε να προσαρμόσει την πληροφορία του υψομέτρου στο χώρο.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην οπτικοποίηση, η οποία αποτελεί τη διαδικασία απόδοσης των τρισδιάστατων χωρικών δεδομένων, μετασχηματίζοντας το «γεωμετρικό» σε «συμβολικό» και παρέχοντας στους ερευνητές τη δυνατότητα να παρατηρήσουν τις διακυμάνσεις του αναγλύφου και να καταλήξουν σε διάφορα συμπεράσματα. Πρόκειται για μια διαδικασία μέσω της οποίας μπορούν να οπτικοποιηθούν οποιαδήποτε φαινόμενα προέρχονται ή

διαδραματίζονται στο γεωγραφικό χώρο, ενώ ο βασικότερος στόχος όσον αφορά τον κλάδο της χαρτογραφίας είναι η απεικόνιση του αναγλύφου με όσο το δυνατόν καλύτερο τρόπο.

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη των μεθόδων οπτικοποίησης του τοπίου και αναφέρονται οι βασικές έννοιες και αρχές της οπτικοποίησης. Επίσης, αναλύεται η έννοια της γεω-οπτικοποίησης η οποία ορίζεται ως η διαδικασία αξιοποίησης δεδομένων με γεω-αναφορά. Παρουσιάζονται τα μοντέλα πολλαπλής ανάλυσης, οι μορφές των ψηφιακών μοντέλων εδάφους, η απόδοση της υψύς, η δημιουργία δυναμικών βασικών δομών και γίνεται αναφορά σε προχωρημένες τεχνικές απόδοσης.

Βασική ενότητα του κεφαλαίου αυτού αποτελεί η τρισδιάστατη οπτικοποίηση, η οποία αναφέρεται στην αναπαράσταση των τρισδιάστατων αντικειμένων και επιφανειών και η οποία προσφέρει ρεαλισμό υψηλού επιπέδου. Ο επιπλέον βαθμός ελευθερίας που προσφέρει η z-διάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αναπαράσταση άλλων μεταβλητών, όπως π.χ. της μεταβλητής του χρόνου. Προκειμένου να γίνει κατανοητή η διαδικασία απόδοσης της τρίτης διάστασης εξετάζεται το γενικό μοντέλο οπτικοποίησης στο οποίο εντάσσονται οι διαφορετικές φάσεις οπτικοποίησης, όπως παρουσιάστηκαν από τον Urson και τους συνεργάτες του [99], καθώς και από τους Haber και McNabb [35]. Επιπρόσθετα, γίνεται αναφορά στην τεχνολογία και στη θεωρία της τρισδιάστατης οπτικοποίησης, καθώς και στην τρισδιάστατη αναπαράσταση. Ένα επιπλέον «είδος» οπτικοποίησης είναι η οπτικοποίηση της κίνησης ή αλλιώς η οπτικοποίηση των αλλαγών, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης κινούμενων συμβόλων στο χαρτογραφικό υπόβαθρο.

Στο κεφάλαιο αυτό δεν θα μπορούσε να μη γίνει αναφορά στην ύπαρξη και στο σημαντικό ρόλο των διαστάσεων και συγκεκριμένα στη χρήση της τρίτης διάστασης στη χαρτογραφία. Στις τελευταίες ενότητες του δεύτερου κεφαλαίου αναφέρονται οι μέθοδοι οπτικοποίησης και τα διαφορετικά είδη χαρτών που μπορούν να προκύψουν, καθώς επίσης γίνεται αναφορά στην εικονική πραγματικότητα και στη σχέση της με την τρισδιάστατη οπτικοποίηση.

Οι ενότητες του συγκεκριμένου κεφαλαίου σχετικά με τη γεω-οπτικοποίηση και την τρισδιάστατη οπτικοποίηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην εκπόνηση του εφαρμοσμένου μέρους αυτής της εργασίας το οποίο στηρίζεται στη δημιουργία και απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού γύρω από τη νήσο Κρήτη. Όπως, αναφέρεται και στη σχετική ενότητα τα περισσότερα συστήματα πλοήγησης αποτελούν εφαρμογές της γεω-οπτικοποίησης, ενώ μέσω της τρισδιάστατης οπτικοποίησης ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει το μοντέλο από διαφορετικές οπτικές γωνίες, γεγονός το οποίο συνδέεται με τη φυσική ικανότητα του ανθρώπου να βλέπει τρισδιάστατα.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται ορισμένες προσεγγίσεις για τη δημιουργία ισοϋψών καμπυλών και ισοεπιφανειών στη γεω-οπτικοποίηση. Στόχο της διαδικασίας δημιουργίας ισοϋψών καμπυλών αποτελεί η αναπαράσταση συνεχών φαινομένων στο επίπεδο, τα οποία ορίζονται από σημεία στο δισδιάστατο ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων, με γραμμές που ενώνουν τα σημεία που εμφανίζουν ίδιες τιμές. Όσον αφορά τη διαδικασία δημιουργίας ισοεπιφανειών στόχο αποτελεί η αναπαράσταση μιας επιφάνειας με κάποια συγκεκριμένη τιμή στο εσωτερικό ογκομετρικών συνεχών φαινομένων μέσω της αρχικής τιμής ενός ογκομετρικού μονοδιάστατου μεγέθους. Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία αποτελεί προέκταση της δημιουργίας ισοϋψών καμπυλών, όπου η επιφάνεια που βρίσκεται στα σύνορα διαχωρίζει τα σημεία με τιμές μεγαλύτερες ή ίσες από κάποια συγκεκριμένη τιμή σε σχέση με τα σημεία με μικρότερη τιμή.

Το τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται στη μοντελοποίηση επιφανειών και στη δυναμική χαρτογράφηση. Η μοντελοποίηση του εδάφους και ειδικότερα της τοπογραφίας μιας περιοχής αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία. Οι τοπογραφικές επιφάνειες μπορούν να μοντελοποιηθούν είτε από διανυσματικά δεδομένα μέσω των ισοϋψών καμπυλών και των τιμών υψομέτρων, είτε από κανονικοποιημένα ψηφιακά δεδομένα με τη μορφή ενός πίνακα υψομέτρων.

Ειδικότερα, σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη μοντελοποίηση των συμπαγών σωμάτων (π.χ. γεωλογικές δομές). Μοντέλα τέτοιου είδους δεδομένων μπορούν να δημιουργηθούν είτε με την επέκταση του μοντέλου κανονικοποιημένων δεδομένων, είτε με τη χρήση της τεχνικής αναπαράστασης των ορίων (Boundary Representation - BR). Επίσης, γίνεται αναφορά στις δυναμικές οπτικές μεταβλητές και παρουσιάζονται οι δυναμικές μεταβλητές μεταξύ των οποίων η ημερομηνία σκηνης, η διάρκεια, η σειρά, ο ρυθμός αλλαγής, η συχνότητα και ο συγχρονισμός [56].

Σημαντική ενότητα αυτού του κεφαλαίου αποτελεί η αναφορά στη διαδικασία της δυναμικής απόδοσης του ψηφιακού μοντέλου. Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία αναφέρεται στην απεικόνιση αντικειμένων τριών διαστάσεων σε μια αυστηρά καθορισμένη δομή δεδομένων και περιλαμβάνει τόσο γεωμετρικές πληροφορίες, όσο και πληροφορίες που αφορούν την υφή, το φωτισμό και τη σκίαση. Συγκεκριμένα, αναφέρεται η χρησιμότητα της κάμερας με την παρουσίαση των δύο διαφορετικών ειδών της, ο σχεδιασμός της σκηνης με τον προσδιορισμό του μήκους και του τύπου της διαδρομής που αυτή η κάμερα θα ακολουθήσει, καθώς και η διάρκεια της πτήσης η οποία εξαρτάται από τη μεταβολή του χρόνου και από τα σημεία ενδιαφέροντος από τα οποία διέρχεται η πτήση. Σε αυτή την ενότητα δε θα μπορούσε να μη γίνει αναφορά στους διαφορετικούς τύπους φωτισμού μεταξύ των οποίων ο σημειακός φωτισμός

(point light), ο φωτισμός που προκύπτει από τους σημειακούς προβολείς (target light or target spotlight), ο άμεσος ή παράλληλος φωτισμός (direct or parallel light) και ο φωτισμός ολόκληρης περιοχής (area light). Σύμφωνα με κάποιον άλλο τρόπο κατηγοριοποίησης των διαφορετικών τύπων φωτός υπάρχει ο περιβάλλον φωτισμός (ambient light), κύριος φωτισμός (main light) και φωτισμός γεμίματος (fill light). Τέλος, γίνεται αναφορά στις μέθοδους φωτισμού.

Ενότητα αυτού του κεφαλαίου αποτελούν οι μέθοδοι κινούμενης εικόνας κάθε μια από τις οποίες περιλαμβάνει τη δημιουργία χαρτών από διαφορετικές θέσεις, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, με τη χρήση διαφορετικών χαρτογραφικών τεχνικών και παραμέτρων. Τέλος, σε αυτό το κεφάλαιο λαμβάνει χώρα ο προσδιορισμός της έννοιας της εικονικής πραγματικότητας, η οποία αποτελεί την πιο σύγχρονη μέθοδο προσομοίωσης, μέσω της οποίας απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά της χαρτογραφικής οπτικοποίησης με την επέκταση στην τρίτη και τέταρτη διάσταση, ενώ δημιουργείται η ψευδαίσθηση της ελευθερίας, όσον αφορά τη βαρύτητα.

Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασίζεται η απόδοση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού γύρω από τη νήσο Κρήτη σε θέματα που αφορούν το φωτισμό, τη σκίαση και την πλοήγηση στον τρισδιάστατο χώρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόδοση του ψηφιακού μοντέλου αποτελεί το τελευταίο και βασικό στάδιο απεικόνισης του μοντέλου. Η προσομοίωση του φωτός αποτελεί μια εύκολη διαδικασία αφού τα περισσότερα πακέτα λογισμικού προσφέρουν τη δυνατότητα προσομοίωσης του φωτός και το μόνο μέλημα του χρήστη είναι να επιλέξει τον κατάλληλο τύπο φωτισμού και να μεταβάλλει κάποιες από τις παραμέτρους που επηρεάζουν την απόδοση. Επίσης, ο «σωστός» χειρισμός της κάμερας, η επιλογή του κατάλληλου τύπου και μήκους διαδρομής, ο ορισμός του χρόνου διαδρομής και της ταχύτητας της κάμερας αποτελούν ορισμένα από τα στοιχεία τα οποία συντελούν σε ένα καλό αποτέλεσμα πλοήγησης στον τρισδιάστατο χώρο.

Τέλος, το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί το εφαρμοσμένο μέρος αυτής της μελέτης, όπου δημιουργείται το ψηφιακό μοντέλο του βυθού της θαλάσσιας περιοχής γύρω από την Κρήτη και τα γειτονικά νησιά. Το ψηφιακό μοντέλο δημιουργήθηκε με τη βοήθεια δύο πακέτων λογισμικού και συγκεκριμένα με το ArcGIS και το Surfer, με τη χρήση της μεθόδου Inverse Distance Weighted. Η δημιουργία του αριθμητικού ψηφιακού μοντέλου από διαφορετικά πακέτα λογισμικού στοχεύει στη σύγκριση των αποτελεσμάτων καθενός από αυτά και ακολουθεί η απόδοση αυτού του μοντέλου από το πακέτο λογισμικού Fledermaus, το οποίο προσφέρει εξαιρετικά αποτελέσματα οπτικοποίησης.

Το πακέτο λογισμικού Fledermaus παρέχει ένα σύνολο εργαλείων τρισδιάστατης οπτικοποίησης για την επεξεργασία, ανάλυση και απόδοση των δεδομένων προσφέροντας τη δυνατότητα στο

χρήστη να εξετάζει έναν εικονικό τρισδιάστατο κόσμο. Ένα από τα πλεονεκτήματα που διαθέτει είναι η δυνατότητα εισαγωγής μιας μεγάλης ποικιλίας διαφορετικών τύπων δεδομένων.

Όσον αφορά τη διαδικασία της απόδοσης με το συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού τα αποτελέσματα είναι εξαιρετικά. Ειδικότερα, το συγκεκριμένο πακέτο παρέχει δύο ισχυρούς μηχανισμούς για την εξερεύνηση των δεδομένων σε έναν τρισδιάστατο χώρο, επιτρέποντας τη γρήγορη και εύκολη πλοήγηση στον εικονικό κόσμο. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας τομών, δημιουργίας παλέτας χρωμάτων από τον χρήστη, μεταβολής των παραμέτρων σκίασης και φωτισμού, ελέγχου της κίνησης μέσω της δημιουργίας μιας τρισδιάστατης πτήσης κλπ..

1 ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ

Η έννοια της οπτικής αντίληψης χαρακτηρίζει τον τρόπο με τον οποίο ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται άμεσα την «εικόνα». Σύμφωνα με τον Marr [60] η οπτική αντίληψη διαμορφώνεται σε τρία στάδια, γνωστά ως στάδια του σκελετού απεικόνισης του Marr.

1.1 Στάδια Οπτικής Αντίληψης

Κατά το πρώτο στάδιο της οπτικής αντίληψης γίνεται μετασχηματισμός της πληροφορίας της εικόνας σε αυτό που ονομάζεται πρωταρχικό σκίτσο, όπου γίνεται σαφής η πληροφορία της εικόνας στον αμφιβληστροειδή. Πρωταρχικά στοιχεία αυτού του σκίτσου περιλαμβάνουν αντιληπτικές μονάδες, όπως «άμορφα τμήματα επιφανειών» και «τμήματα ακμών». Συνεπώς, σε αυτό το στάδιο διαχωρίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά από τις λεπτομέρειες.

Το επόμενο στάδιο παράγει το σκίτσο 2.5 διαστάσεων το οποίο «συλλαμβάνεται» σε μια σειρά κυττάρων με σύμβολα τα οποία δείχνουν τις διάφορες ιδιότητες στις οποίες επικεντρώνεται ο παρατηρητής. Τέλος, το τρίτο στάδιο ορίζει το τρισδιάστατο μοντέλο της απεικόνισης, ένα ιεραρχικό μοντέλο με κάθε επίπεδο να αποτελείται από μερικούς άξονες στους οποίους αντιστοιχούν κάποια ογκομετρικά σχήματα αρχετύπων. Το ιεραρχικό μοντέλο ξεχωρίζει πληροφορίες που αναφέρονται στη διάταξη των τμημάτων κάποιου μεγέθους από αυτές της εσωτερικής δομής των τμημάτων, καθώς και πληροφορίες για το σχήματα ενός μεμονωμένου στοιχείου από το σχήμα αντικειμένων γενικών κατηγοριών [56].

Η προσέγγιση του Marr είχε σημαντική επίδραση στον κλάδο των οπτικών μηχανών. Η επίδρασή του οφείλεται στην αλληλεπίδραση της θεωρητικής του προσέγγισης με τρία σκέλη, μεταξύ των οποίων της θεωρίας υπολογισμών, του αλγορίθμου απεικόνισης και της υλοποίησης, στη διαχείριση της όρασης ως ένα πρόβλημα επεξεργασίας πληροφοριών και της έμφασης στις μορφές απεικόνισης που δημιουργούνται στα στάδια αυτής της διαδικασίας.

1.2 Ομαδοποίηση Στοιχείων

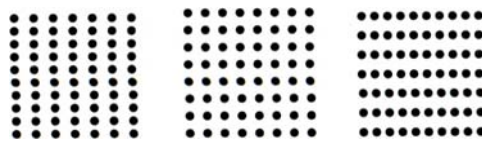
Η ομαδοποίηση των στοιχείων, η οποία αναφέρθηκε στο τρίτο στάδιο της αντιληπτικής αναπαράστασης έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές. Όπως αναφέρεται από τον Kohler [44], το μοτίβο του ερεθίσματος οφείλεται στην ομαδοποίηση των στοιχείων στο πεδίο των αισθήσεων. Συγκριτικά με τη θεωρία του Marr, τα στοιχεία που ομαδοποιούνται μπορεί να είναι οι κορυφές, οι ακμές και η ομοιότητα. Όσον αφορά τους χάρτες, η ορατότητα των ακμών και

των κορυφών γίνεται κατά το στάδιο της αναπαράστασης του πρωταρχικού σκίτσου, ως αντίδραση στα σύμβολα του χάρτη (σημεία, γραμμές, μοτίβα) [56].

Σύμφωνα με τον Wertheimer (1923), οι κανόνες ομαδοποίησης εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι αναπτύσσονται στη συνέχεια [56]:

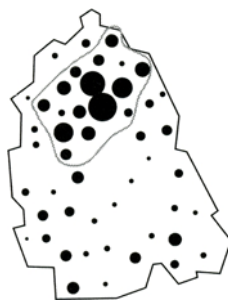
- **Εγγύτητα (proximity)**

Ο πρώτος παράγοντας που επηρεάζει τους κανόνες ομαδοποίησης είναι η εγγύτητα, σύμφωνα με την οποία τα αντικείμενα που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους σχηματίζουν μια ομάδα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Ομαδοποίηση βάσει του παράγοντα της εγγύτητας [56]

Χαρτογραφικά, η εγγύτητα αποτελεί βασική αρχή για την περιγραφή των φαινομένων σε μια περιοχή του χάρτη. Ένα ενδιαφέρον μέρος της επιχειρηματολογίας του Wertheimer, όσον αφορά τον φωτισμό ενός σημείου ενδιαφέροντος στους δυναμικούς χάρτες (Εικόνα 2), είναι ότι η εγγύτητα μπορεί να εφαρμοστεί και στον ήχο. Έτσι, ήχοι «κοντά» μεταξύ τους σε κάποιο συγκεκριμένο χρόνο θα σχηματίσουν μια ομάδα. Σε αυτό αναφέρθηκε αρχικά ο Krygier [46] όταν προσδιόρισε τη μεταβλητή του ρυθμού σαν «μια ομάδα και ταξινόμηση των ήχων».

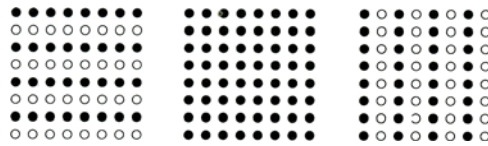


Εικόνα 2: Η σημασία της εγγύτητας στην αναγνώριση περιφερειών [56]

- **Ομοιότητα (similarity)**

Ο δεύτερος παράγοντας αφορά την ομοιότητα η οποία σχετίζεται με μη τοπικά χαρακτηριστικά (χρώμα, μορφή, ήχος) των αντιληπτικών ομάδων (Εικόνα 3). Η ομοιότητα προσδιορίζεται ως προς το χρώμα, την απόχρωση, την ένταση του χρώματος, του σχήματος κλπ.. Επίσης, ομοιότητα παρατηρείται και ως προς τις μεταβλητές αφής και ακοής. Ο

Wertheimer επισημαίνει ότι η ομοιότητα δεν είναι απόλυτη, αλλά μπορεί να σημειωθεί σε κάποιο βαθμό.



Εικόνα 3: Ομαδοποίηση βάσει του παράγοντα της ομοιότητας (άσπροι και μαύροι κύκλοι) [56]

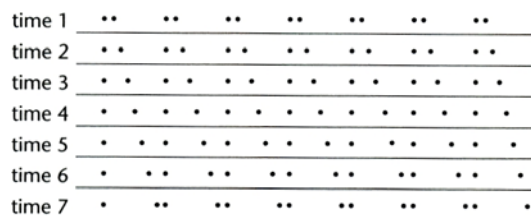
- **Κοινή πορεία (common fate)**

Η κοινή πορεία αποτελεί τον τρίτο παράγοντα ο οποίος αναφέρεται σε αντικείμενα τα οποία κινούνται μαζί. Ειδικότερα, ο Wertheimer υποστηρίζει ότι όταν οι μονάδες που ανήκουν σε μια ομάδα κινούνται μαζί πιθανό να γίνουν αντιληπτές, ενώ μονάδες από διαφορετικές ομάδες γίνονται εύκολα αντιληπτές.

Μια συγκεκριμένη κίνηση κάποιων αντικειμένων που ανήκουν σε διαφορετικές αντιληπτικές ομάδες (perceptual group) θα «αγνοήσουν» τους παράγοντες της εγγύτητας, της ομοιότητας, ή άλλους παράγοντες προκειμένου να δημιουργήσουν μια νέα ομάδα βάσει της κοινής πορείας. Χαρτογραφικά αυτό έχει εφαρμογή μόνο στους δυναμικούς χάρτες.

- **Μορφολογική σταθερότητα (pragnanzstufen)**

Η μορφολογική σταθερότητα αναφέρεται στην ομαδοποίηση, όπου παρατηρείται μια σχετική οριακή απόσταση στην οποία οι μονάδες φαίνονται να ομαδοποιούνται ή να καταλαμβάνουν χώρο με ένα μη διαφοροποιημένο τρόπο. Σε ένα παράδειγμα ο Wertheimer υποστηρίζει ότι για μια σειρά κουκίδων η ομαδοποίηση θα είναι της μορφής ab-cd-ef-gh-ij ή μπορεί να είναι a-bc-de-fg-hi-j σε περιπτώσεις όπου τα διαστήματα μεταξύ των κουκίδων είναι διαφορετικά (Εικόνα 4).



Εικόνα 4: Ομαδοποίηση βάσει του παράγοντα της μορφολογική σταθερότητας [56]

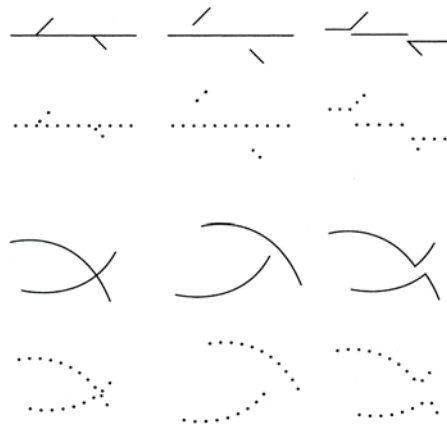
- **Αντικειμενικό σύνολο (objective set)**

Σύμφωνα με αυτόν τον παράγοντα, ένα σύνολο από αντιληπτές μονάδες αντιμετωπίζεται αρχικά σαν μια ομάδα και όταν με το πέρασμα της ώρας αλλάξει, η αντίληψη προσπαθεί να διατηρήσει αυτή την αρχική ομάδα. Το παράδειγμα του Wertheimer βασίζεται στο σενάριο

κατά το οποίο 7 ζευγάρια κουκίδων αλλάζουν βαθμιαία τις θέσεις τους, όπως απεικονίζεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4). Ομοίως με τον παράγοντα της κοινής πορείας, η ομαδοποίηση με βάση το αντικειμενικό σύνολο εφαρμόζεται μόνο στους δυναμικούς χάρτες.

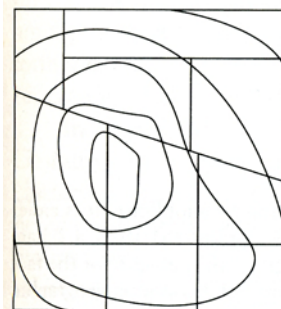
- **Καλή συνέχεια (good continuation)**

Ο παράγοντας της καλής συνέχειας αναφέρεται στα στοιχεία που ακολουθούν σταθερή διεύθυνση και αναφέρεται όχι μόνο στη διάταξη των ευθείων γραμμών, αλλά και στις καμπύλες (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Ομαδοποίηση βάσει του παράγοντα καλής συνέχειας. Στη πρώτη γραμμή παρατηρεί κανείς μια μακριά γραμμή με δύο μικρότερες και όχι μια μικρή γραμμή ενωμένη με δύο γωνιακές [56]

Χαρτογραφικά, αυτός ο παράγοντας επιτρέπει στις καμπύλες ενός μαυρόασπρου χάρτη να απεικονίζονται σαν χωριστές καμπύλες γραμμές, διαφοροποιημένες από τους δρόμους ή τα ποτάμια τα οποία μπορεί να τέμνουν (Εικόνα 6).

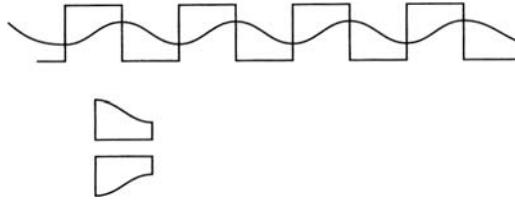


Εικόνα 6: Διαφοροποίηση γραμμών σύμφωνα με τον παράγοντα της καλής συνέχειας [56]

- **Κλειστότητα (closure)**

Η κλειστότητα αφορά τα κλειστά αντικείμενα τα οποία σχηματίζουν μια ομάδα. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούνται τα οριακά στοιχεία σαν μια ολότητα. Ακόμη και στις περιπτώσεις

που οι ακμές τους επικαλύπτονται, υπάρχει πιθανότητα να εφαρμοστεί ο παράγοντας της καλής συνέχειας. Με αυτόν τον τρόπο ο παρατηρητής θα μπορέσει να δει τα διαφορετικά όρια των μονάδων και μέσω της κλειστότητας να προσδιορίσει τις ακμές τους σαν μια ομάδα (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Επικράτηση της καλής συνέχειας στην ομαδοποίηση βάσει της κλειστότητας [56]

Χαρτογραφικά, ο παράγοντας της κλειστότητας εφαρμόζεται σε βαθμονομημένους χάρτες οι οποίοι αποδεικνύουν ότι η επικάλυψη μεταξύ των κύκλων δεν εμποδίζει τον παρατηρητή από το να παρατηρήσει κάποιο τμήμα του κύκλου σαν να ήταν ολόκληρος [34].

- **Απλότητα (simplicity)**

Ο παράγοντας της απλότητας αναφέρεται στην ομαδοποίηση των αντικειμένων με την απλούστερη μορφή. Δηλαδή, από πολλά γεωμετρικά πιθανά σχήματα προκύπτει το απλούστερο, το καλύτερο και το πιο σταθερό.

- **Εμπειρία ή συνήθεια (experience or habit)**

Ο τελευταίος παράγοντας της εμπειρίας ή της συνήθειας αναφέρεται σε γνωστά σχήματα ή διατάξεις που δημιουργούν ομάδες.

Επιπλέον, ο Eastman [26] ερεύνησε μια πλευρά της αντιληπτικής ομαδοποίησης και ειδικότερα την επίδραση αρκετών διαφοροποιήσεων του σχεδίου ενός τυπικού χάρτη γενικής αναφοράς στην αντιληπτική οργάνωση του χάρτη. Επίσης, βρήκε ότι οι χάρτες «ερέθιζαν» πέντε διαφορετικές ομαδοποιήσεις, η κάθε μια από τις οποίες ήταν πρωταρχικά συνδεδεμένη με ένα ή δύο από τα σχέδια του χάρτη [56].

1.3 Διαχωρισμός Οπτικών Διαστάσεων

Ένα από τα βασικά ζητήματα της οπτικής αντίληψης είναι ο διαχωρισμός των οπτικών διαστάσεων. Μια μελέτη που αφορούσε την αντιληπτική οργάνωση έδωσε έμφαση στο ρόλο της

επιλεκτικής προσοχής¹, η οποία αποτελεί τρόπο μέτρησης του ρόλου των διαφορετικών χαρακτηριστικών της οπτικής σκηνής κατά το στάδιο της αντιληπτικής ομαδοποίησης [82]. Εάν παρατηρείται δυσκολία στην απομόνωση των διαστάσεων ή των μεταβλητών τότε αυτές δεν ομαδοποιούνται, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις που οι ξεχωριστές διαστάσεις δεν μπορούν να παρατηρηθούν επιλεκτικά θεωρούνται ότι είναι ομαδοποιημένες. Ο Pomerantz [82] βάσει μιας σειράς πειραμάτων εξέτασε την επιλεκτική προσοχή σε χαρακτηριστικά σύνθετων ερεθισμάτων. Παρόμοια με τον Pomerantz τοποθετήθηκε χαρτογραφικά και ο Bertin [6], ο οποίος υπέθεσε ότι οι οπτικές μεταβλητές μπορούν να αναλυθούν ανεξάρτητα από τη μεταξύ τους συσχέτιση και την επιλεκτικότητα. Η επιλεκτικότητα του Bertin ταυτίζεται με την επιλεκτική προσοχή του Pomerantz. Έτσι, στα σημεία όπου ο Pomerantz επικεντρώνεται στο αν οι συνθέσεις μεταξύ δύο ή περισσότερων αντικειμένων που προσεγγίζουν το ένα το άλλο αντιμετωπίζονται σαν μια ομάδα, ο Bertin ενδιαφέρεται για το αν τα αντικείμενα μπορούν να σχηματίσουν διασκορπισμένα πάνω στο χάρτη οπτικές ομάδες [56]. Επίσης, αναφέρει ότι η θέση του αντικειμένου στο χώρο, το μέγεθος, η ένταση, το μοτίβο, η απόχρωση και ο προσανατολισμός (μόνο των σημειακών και γραμμικών συμβόλων) αποτελούν επιλεκτικές μεταβλητές.

Όσον αφορά τον προσανατολισμό, οι Olson και Attneave [76] έδειξαν ότι ο διαφορετικός προσανατολισμός των απλών σημειακών συμβόλων μπορεί να κάνει ευδιάκριτες τις περιοχές του χάρτη. Ο Nothdurft [72] απέδειξε ότι διαφορές στον προσανατολισμό της τάξεως του 20% είναι αρκετές για τον επιτυχή διαχωρισμό τους. Παρόλα αυτά υπήρχε εκείνη την περίοδο μια ομάδα χαρτογράφων που πίστευε ότι σημαντικότερο ρόλο για τον επιτυχή διαχωρισμό των συμβόλων διαδραματίζει η κλίση και όχι ο προσανατολισμός.

Δεν έχουν ελεγχθεί όλες οι μεταβλητές του Bertin για την επιλεκτικότητα και εκτός από την κλίση πιστεύεται ότι σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η απόχρωση και η ένταση του χρώματος. Επίσης, ο Nothdurft αγνόησε μια γραφική επιλεκτική μεταβλητή, γνωστή ως *κοκκώδες*, η οποία σύμφωνα με τον Julesz [40] συντελεί στον εύκολο διαχωρισμό των περιοχών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Bertin θεωρούσε τις οπτικές μεταβλητές απομονωμένα στοιχεία και δεν ασχολήθηκε καθόλου με τη δυναμική τους αλληλεπίδραση στους χάρτες. Αντίθετα, ο Pomerantz έδειξε, με μια σειρά πειραμάτων κατά μήκος των γραμμών που συνέθεσε, ότι μέσω κατάλληλων διεργασιών μπορεί να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο η όραση «αντιδρά» σε πολυμεταβλητά σύμβολα που σχεδιάζονται προκειμένου να μεταδώσουν με έμφαση τη

¹ Ο όρος επιλεκτική προσοχή αναφέρεται στην ικανότητα παρατήρησης μιας μόνο διάστασης της οπτικής σκηνής [56].

μειωμένη πληροφορία. Επίσης, με αυτόν τον τρόπο μπορεί να τονιστεί η διάκριση και ο διαχωρισμός της πληροφορίας έτσι ώστε να δοθεί βάρος στις συσχετίσεις [56].

Ωστόσο, καμιά χαρτογραφική έρευνα δεν επικεντρώθηκε στην επιλεκτική προσοχή των οπτικών μεταβλητών στα σύμβολα του χάρτη που αποτελούνται από πολλές μεταβλητές. Έτσι, η Shortridge [89] εξέτασε την έννοια των ενοποιημένων σε αντίθεση με τις διαχωρίσιμες διαστάσεις (π.χ. των οπτικών μεταβλητών) για τις οποίες η επιλεκτική προσοχή είναι εύκολη [56].

1.3.1 Τρεις διαστάσεις

Μια από τις τάσεις του ανθρώπου είναι η προσπάθεια μετατροπής των εικόνων σε αντικείμενα σε όσο το δυνατόν περισσότερες περιπτώσεις [15].

1.3.1.1 Αντίληψη του βάθους

Τα παρακάτω χαρακτηριστικά σχετίζονται με την ανθρώπινη αντίληψη του βάθους.

- **Γραμμική προοπτική**

Μέσω της απεικόνισης του βάθους σε μια εικόνα ή ένα σχήμα δίνεται η δυνατότητα της τρισδιάστατης απόδοσης του αντικειμένου. Συνεπώς, τα αντικείμενα βασιζόμενα στη γραμμική προοπτική μοιάζουν να γίνονται μεγαλύτερα ή μικρότερα καθώς ο παρατηρητής πλησιάζει ή απομακρύνεται από αυτά. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ερμηνεία του βάθους γίνεται μέσω της γραμμικής οπτικής.

Η απλούστερη εκδοχή οφθαλμαπάτης που προέρχεται από τη γραμμική προοπτική, λέγεται «οφθαλμαπάτη του Ponzo», σύμφωνα με την οποία υπάρχουν δύο γραμμές που συγκλίνουν προς το πάνω μέρος της εικόνας μαζί με δύο οριζόντιες γραμμές.

- **Σχετικό μέγεθος**

Το σχετικό μέγεθος αποτελεί μια άλλη ένδειξη του βάθους, όπου σε μια εικόνα που απεικονίζει αντικείμενα του ίδιου σχήματος, η οπτική αντίληψη του παρατηρητή είναι ότι τα μικρότερα αντικείμενα είναι αυτά που βρίσκονται πιο μακριά.

- **Κλίση υφής**

Η κλίση της υφής μπορεί να θεωρηθεί ως ο συνδυασμός της γραμμικής προοπτικής και του σχετικού μεγέθους. Έτσι σε μια εικόνα που είναι γεμάτη από όμοια σχήματα που βρίσκονται σε ίσες αποστάσεις, τα σχήματα που είναι περισσότερο συνωστισμένα μπορεί να θεωρηθούν ότι είναι τα πιο απομακρυσμένα.

- **Ύψος στο πεδίο**

Το ύψος στο πεδίο ή αλλιώς επίπεδο είναι γνωστό ως σχετικό ύψος και αποτελεί μια ακόμη ένδειξη του υπολογισμού του βάθους. Σε αυτή την περίπτωση, η πιο συνηθισμένη υπόθεση είναι ότι το σχήμα του οποίου η βάση βρίσκεται σε ψηλότερο σημείο από τη βάση ενός όμοιου σχήματος βρίσκεται πιο μακριά. Πρόκειται για μια ένδειξη συσχέτισης των αντικειμένων με τον ορίζοντα.

- **Υπέρθεση**

Σύμφωνα με την υπέρθεση, όταν ένα αντικείμενο σκοτεινιάζει τμήμα ενός άλλου αντικειμένου τότε αυτό που απεικονίζεται σκοτεινιασμένο φαίνεται ότι βρίσκεται πιο μακριά.

- **Σκίαση**

Η σκίαση αποτελεί σημαντική ένδειξη του βάθους αφού είναι η μόνη ένδειξη για το εάν κάποιο σχήμα έχει εξόγκωμα ή βαθούλωμα. Ειδικότερα, τα σχήματα που είναι σκιασμένα στο κάτω μέρος μοιάζουν να έχουν εξάρσεις, ενώ αυτά που είναι σκιασμένα στο άνω μέρος φαίνονται να έχουν υψώσεις.

1.3.1.2 Εφαρμογή αντίληψης του βάθους στη χαρτογραφία

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών διευκόλυνε την παραγωγή εικόνων που χρησιμοποιούν ως πρωταρχικό οπτικό ερέθισμα βάθους τη διοφθαλμική παράλλαξη. Αυτές οι εικόνες αποτελούνται από ζευγάρια αναπαραστάσεων τα οποία απεικονίζουν τη χαρτογραφούμενη περιοχή από ελάχιστα διαφορετικές μεταξύ τους οπτικές γωνίες. Η παρατήρηση του βάθους σε στερεοζεύγη χαρτών απαιτεί - τις περισσότερες φορές - τη μη μετατόπιση του κεφαλιού του παρατηρητή, ο οποίος φορά ειδικά γυαλιά.

Μια άλλη τεχνική χρησιμοποιεί τα αντίθετα χρώματα του κόκκινου και του πράσινου στοχεύοντας στην παραγωγή δύο αλληλεπικαλυπτόμενων όψεων.

- **Προοπτικές προσεγγίσεις**

Στις προοπτικές προσεγγίσεις περιλαμβάνονται τα τέσσερα προοπτικά οπτικά ερεθίσματα της πλάγιας προβολής, της γραμμικής προοπτικής, του μεγέθους στον αμφιβληστροειδή και της μεταβολής της κλίσης [18]. Στους χάρτες προοπτικών όψεων, η οπτική αντίληψη «διαχειρίζεται» ταυτόχρονα τα οπτικά ερεθίσματα.

Για παράδειγμα, η απεικόνιση του γήινου αναγλύφου δίνει έμφαση στην υφή της κλίσης, ενώ τα διαγράμματα απεικόνισης ισοϋψών καμπυλών δίνουν έμφαση στη γραμμική προοπτική, καθώς και στη διαφοροποίηση του μεγέθους. Επίσης, η μέθοδος που αναφέρεται στη μοντελοποίηση στερεών δίνει έμφαση στη γραμμική προοπτική, όπου η σκίαση χρησιμοποιείται ως επιπλέον μη προοπτικό οπτικό ερέθισμα βάθους [18].

- **Μη προοπτικές προσεγγίσεις**

Ανεξαρτήτως του αν οι χάρτες διαφόρων τύπων προοπτικών όψεων είναι αποτελεσματικοί, έχουν δύο προβλήματα, αφού όποια και αν είναι η επιλογή της οπτικής γωνίας θέασης πάντα θα υπάρχουν κρυμμένα στοιχεία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, στην περίπτωση της γραμμικής προοπτικής, τη μεταβολή της κλίμακας στο σύνολο του χάρτη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι μη προοπτικές προσεγγίσεις οι οποίες προσφέρουν τη δυνατότητα πανοραμικής αναπαράστασης του αναγλύφου, δίνοντας την αίσθηση του βάθους. Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση της σκίασης και του χρώματος [18].

1. Σκίαση

Ο παρατηρητής εύκολα μπορεί να αναγνωρίσει τη διαφορά μεταξύ της σκίασης που προκύπτει από διαφορετικές τιμές της κλίσης και αυτής που προκύπτει από τη διαφοροποίηση του προσανατολισμού.

Οι πραγματικές επιφάνειες δεν αντανακλούν το φως με τον ίδιο τρόπο που γίνεται η αντανάκλαση όταν αυτή η επιφάνεια απεικονίζεται στον υπολογιστή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πραγματικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από άμεσες και σύνθετες αλληλεπιδράσεις του ανακλώμενου φωτός, τις οποίες το ανθρώπινο μάτι μπορεί να παρατηρεί.

Συνεπώς, για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος κρίνεται αναγκαία η ενσωμάτωση κάποιων παραλλαγών της ανάκλασης του φωτός (όμοιες με αυτές του πραγματικού περιβάλλοντος) μέσω της προσομοίωσης της πηγής του φωτός. Το καλύτερο σημείο τοποθέτησης της φωτεινής πηγής κρίνεται ότι είναι πάνω αριστερά, αφού στην πραγματικότητα το φυσικό φως προσπίπτει από επάνω. Ειδικότερα, στο χάρτη το φως προσπίπτει από ΒΔ διεύθυνση, γεγονός αντίθετο με το πραγματικό φυσικό φως, όσον αφορά το βόρειο ημισφαίριο.

2. Χρώμα

Οι Moellering και Kimerling [65] ανέπτυξαν μια διαδικασία απόδοσης του χρώματος η οποία είχε τον τίτλο MKS-ASPECT (1993) και υπέθεσαν ότι ο προσανατολισμός αποτελεί ένα ποιοτικό φαινόμενο, όπου οι διαφορές της απόχρωσης προσφέρουν τη δυνατότητα καλύτερης αναπαράστασης [18].

Στη συνέχεια, επινόησαν ένα σύστημα εναρμόνισης των χρωμάτων το οποίο επιτρέπει στον παρατηρητή το διαχωρισμό των περιοχών διαφορετικού προσανατολισμού, παρέχοντας ταυτόχρονα οπτικά ερεθίσματα βάθους τα οποία οδηγούν στην ερμηνεία των τριών διαστάσεων της επιφάνειας. Το σύστημα αυτό βασίζεται στη θεωρία OPT (Opponent Process Theory), σύμφωνα με την οποία υπάρχουν τέσσερις μοναδικές

αποχρώσεις μέσω των οποίων παράγονται όλες οι υπόλοιπες, ενώ αδύνατοι κρίνονται οι συνδυασμοί των αποχρώσεων κόκκινο – πράσινο και μπλε – κίτρινο.

1.4 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στην έννοια της οπτικής αντίληψης η οποία αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται άμεσα την «εικόνα». Πρόκειται για μια έννοια της οποίας η επεξήγηση και ανάλυση κρίνεται απαραίτητη σε χαρτογραφικές μελέτες και κυρίως σε αυτές που βασίζονται στη διαδικασία της οπτικοποίησης, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση της μελέτης εφαρμογής. Ειδικότερα αφού δημιουργηθεί το ψηφιακό μοντέλο του βυθού γύρω από την Κρήτη και τα γειτονικά νησιά με διαφορετικά πακέτα λογισμικού και με τη χρήση διαφορετικών μεθόδων, ακολουθεί η οπτικοποίηση του αποτελέσματος.

Μια από τις ενότητες που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο αυτό ήταν ο διαχωρισμός των οπτικών διαστάσεων [56] ο οποίος αποτελεί ένα από τα βασικότερα ζητήματα της οπτικής αντίληψης. Όσον αφορά την αντίληψη του βάθους υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά που σχετίζονται με αυτήν, όπως η γραμμική προοπτική, το σχετικό μέγεθος, η κλίση υφής, το ύψος στο πεδίο, η υπέρθεση και η σκίαση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης, από τα παραπάνω χαρακτηριστικά, παρατηρούνται το ύψος στο πεδίο το οποίο αποτελεί μια ένδειξη υπολογισμού του βάθους και η σκίαση μέσω της οποίας γίνονται ορατές οι εξάρσεις και οι υβώσεις πάνω στην επιφάνεια.

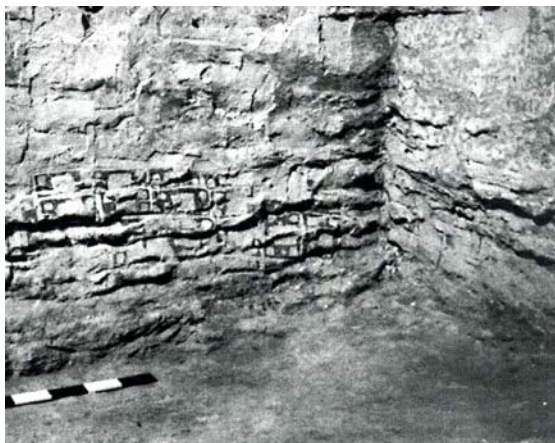
2 ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Η οπτικοποίηση αποτελεί διαδικασία απόδοσης των τρισδιάστατων χωρικών δεδομένων, μετασχηματίζοντας το «γεωμετρικό» σε «συμβολικό» και παρέχοντας στους ερευνητές τη δυνατότητα να παρατηρήσουν τις διακυμάνσεις του αναγλύφου και να καταλήξουν σε διάφορα συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, η διαδικασία της οπτικοποίησης υποβοηθά τη διαδικασία της επιστημονικής ανακάλυψης [63]. Έτσι, οποιαδήποτε φαινόμενα προέρχονται ή διαδραματίζονται στο γεωγραφικό χώρο ή σχετίζονται με αυτόν, μπορούν να οπτικοποιηθούν.

Όσον αφορά τον κλάδο της χαρτογραφίας, ένας από τους βασικότερους στόχους της οπτικοποίησης είναι η απεικόνιση του αναγλύφου με όσο το δυνατό καλύτερο τρόπο. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα μια λεπτομερή απεικόνιση της μορφολογίας του εδάφους, ενώ πλεονέκτημά της αποτελεί η δυνατότητα άντλησης ποσοτικών, ποιοτικών και θεματικών πληροφοριών οι οποίες μπορούν να αποτυπωθούν σε ένα χάρτη δύο ή τριων διαστάσεων. Η οπτικοποίηση αναγλύφου χρησιμοποιείται στην ανάλυση του τοπίου, αντικείμενο της οποίας είναι η ανάλυση, η αξιολόγηση, ο σχεδιασμός και η διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος [97].

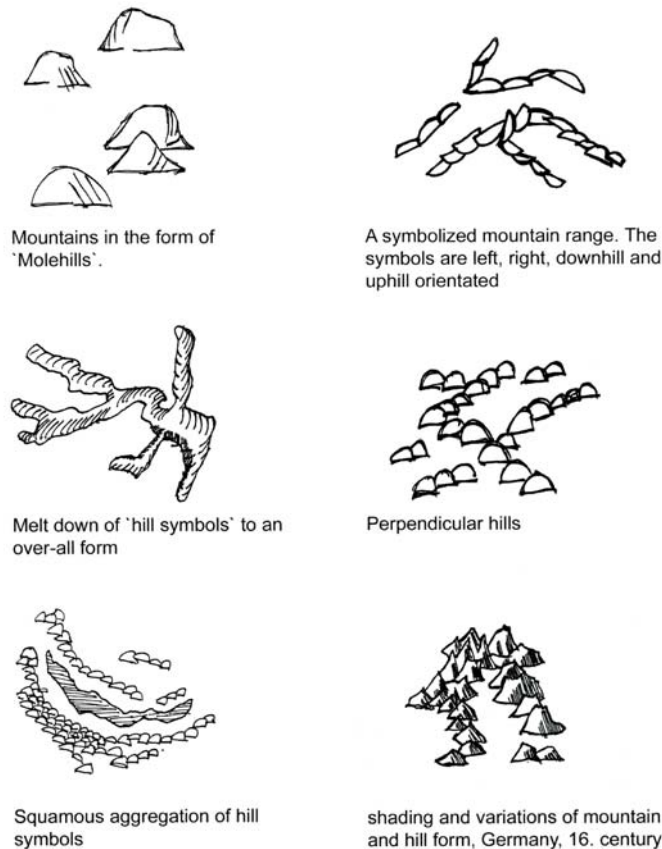
2.1 Η εξέλιξη της οπτικοποίησης του τοπίου

Μια από τις παλιότερες χαρτογραφικές απεικονίσεις του τοπίου ανακαλύφθηκε το 1963 κατά τη διάρκεια ανασκαφών στο Catal Hoyuk, στη κεντρική Ανατολία. Πρόκειται για μια τοιχογραφία τριών μέτρων που χρονολογείται γύρω στο 6200 π.Χ.. Σύμφωνα με ειδικούς αναπαριστά την πόλη του Catal Hoyuk (Εικόνα 8), όπου εκτός από τα σπίτια και τις αναβαθμίδες απεικονίζονται και οι δύο κορυφές του ηφαιστείου Hasan Dag [84].



Εικόνα 8: Catal Hoyuk (τοιχογραφία) – μια από τις πρώτες χαρτογραφικές αναπαραστάσεις [84]

Οι πρώτες μορφές αναπαράστασης του εδάφους προσαρμόζονταν στις αναπαραστάσεις της πραγματικότητας, οι οποίες ίσχυαν για πολλούς αιώνες, και οι χάρτες είχαν τη μορφή δισδιάστατων εικόνων που απεικόνιζαν πόλεις, κάστρα, μοναστήρια, δάση και βουνά (Εικόνα 9).



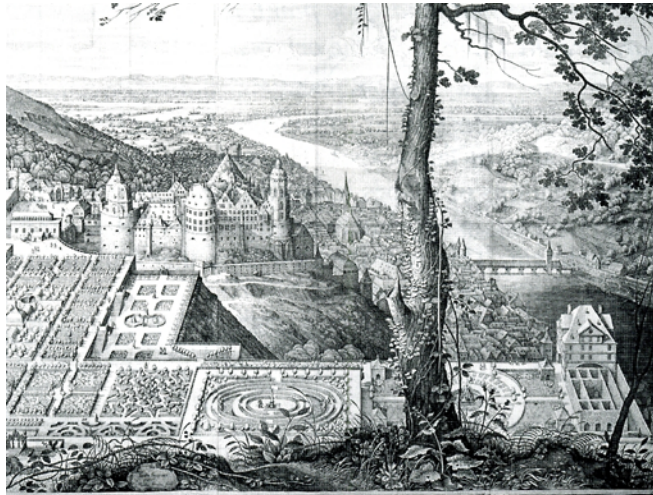
Εικόνα 9: Εξέλιξη απεικόνισης λόφων και βουνών [84]

Μια από τις καινοτομίες που προσέφερε η Αναγέννηση ήταν η χρήση της προοπτικής στην απεικόνιση του τοπίου και το γεγονός ότι οδήγησε στην αύξηση του βαθμού ρεαλισμού και στις τρισδιάστατες αναπαραστάσεις των μορφών του τοπίου. Παράδειγμα αποτελούν οι χάρτες της Τοσκάνης του Leonardo da Vinci (1502-1503) [84] (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Μέρος χάρτη της Τοσκάνης του Leonardo da Vinci [84]

Ένας άλλος πρωτοπόρος της αναπαράστασης του τοπίου και των κήπων ήταν ο καλλιτέχνης Salomon de Caus, ο οποίος δυστυχώς δεν κατάφερε ποτέ να ολοκληρώσει το Hortus Palatinus στο κάστρο της Χαϊδεμβέργης της Γερμανίας (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Χάραξη πάνω σε χαλκό του Hortus Palatinus στο κάστρο της Χαϊδεμβέργης (1620) [84]

Ταυτόχρονα αναπτύχθηκε η χρήση ισοϋψών καμπυλών για την αναπαράσταση της υψομετρικής πληροφορίας του εδάφους. Πρόκειται για γραμμές οι οποίες ενώνουν σημεία ίδιου υψομέτρου – με υψομετρική αφετηρία συνήθως το επίπεδο της μέσης στάθμης της θάλασσας - και δημιουργούνται από παρεμβολές μεταξύ σημείων γνωστού υψομέτρου. Πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου αποτελεί η απόδοση ποσοτικής πληροφορίας του εδάφους [84]. Ο πρώτος που χρησιμοποίησε τις ισοϋψείς καμπύλες ήταν ο Pieter Bruinss το 1584 στο ναυτιλιακό χάρτη της Ολλανδίας. Οι Humphrey Repton, Lancelot Brown και William Kent άσκησαν τη μεγαλύτερη

επιρροή στις αναπαραστάσεις των αγγλικών κήπων (1720-1820), η οποία έγινε γνωστή και στην Ευρώπη μετά το 1750. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου κατασκευάστηκαν μεγάλοι κήποι, όπως το Stowe στην Αγγλία και το Woerlitzer στη Γερμανία.

Η μετάβαση σε μια πιο ολοκληρωμένη θεώρηση της χαρτογραφικής απόδοσης έλαβε χώρα λίγο πριν το τέλος του 19ου αιώνα, όπου μέχρι τότε η διαφορά ύψους απεικονιζόταν με διαφορετική χρωματική διαβάθμιση, ενώ σε άλλες εφαρμογές χρησιμοποιούσαν τη σκίαση του αναγλύφου κλπ. Τα πρώτα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM) στο πεδίο της χαρτογραφίας δημιουργήθηκαν από τους Miller και Laflamme, στο τέλος της δεκαετίας του 50, στο εργαστήριο φωτογραμμετρίας του τμήματος πολιτικών μηχανικών του M.I.T. [64].

2.2 Βασικές Έννοιες και Αρχές της Οπτικοποίησης

Βασικές έννοιες της οπτικοποίησης αποτελούν ο φωτορεαλισμός, ο ρεαλισμός, η αυθεντικότητα (authenticity) και η αξιοπιστία. Πρόκειται για έννοιες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές περιπτώσεις, ενώ η σημασία τους εξαρτάται από το γενικότερο πλαίσιο των εφαρμογών [84]. Για παράδειγμα, μια σκηνή από κινούμενα σχέδια είναι αξιόπιστη παρόλο που δεν αναπαριστά ορθά την πραγματικότητα. Επίσης, οι ρεαλιστικές σκηνές που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά παιχνίδια δίνουν την εντύπωση ενός αξιόπιστου και αυθεντικού μοντέλου που παρόλα αυτά δεν είναι φωτορεαλιστικό. Ωστόσο, η σκηνή μιας ταινίας πρέπει να είναι φωτορεαλιστική και να μην αφήνει υποψίες για έλλειψη της αυθεντικότητάς της [84]. Συνεπώς, πρέπει να ορίζονται εκ των προτέρων οι απαιτήσεις του χρήστη για την υλοποίηση των εφαρμογών.

Σύμφωνα με τον Sheppard [87] υπάρχουν πέντε αρχές οπτικοποίησης της τοπογραφίας μιας περιοχής. Η πρώτη αρχή αναφέρεται στον αντιπροσωπευτικό της χαρακτήρα βάσει του οποίου το αποτέλεσμα πρέπει να αναπαριστά βασικά χαρακτηριστικά της τοπογραφίας της περιοχής. Η δεύτερη αρχή αναφέρεται στην ακρίβεια (exactness) σύμφωνα με την οποία η οπτικοποίηση πρέπει να αναπαριστά την πραγματική όψη της τοπογραφίας, ενώ η αρχή της οπτικής σαφήνειας αναφέρεται στις λεπτομέρειες και τα στοιχεία του εδάφους τα οποία πρέπει να είναι ευπροσδιόριστα. Η τέταρτη αρχή αναφέρεται στο ενδιαφέρον που πρέπει να προκαλεί στον παρατηρητή το αποτέλεσμα της οπτικοποίησης, αποσπώντας την προσοχή του για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Τέλος, σύμφωνα με την αρχή της γνησιότητας (legitimacy) θα πρέπει να επαληθεύεται και να εξακριβώνεται το επίπεδο ακρίβειας του αποτελέσματος.

2.3 Γεωγραφική Οπτικοποίηση

Η γεω-οπτικοποίηση ορίζεται ως η διαδικασία αξιοποίησης δεδομένων με γεωαναφορά και αποτελεί ένα πεδίο έρευνας και πρακτικής, το οποίο αναπτύσσει οπτικές μεθόδους και εργαλεία για την υποστήριξη χωρικών εφαρμογών και γεω-δεδομένων [58]. Επίσης, αφορά το μεγαλύτερο μέρος των περισσότερων συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. Ορισμένες από τις εφαρμογές της γεω-οπτικοποίησης αποτελούν τα συστήματα πλοήγησης των οχημάτων, τα συστήματα ελέγχου και οι υπηρεσίες βασισμένες στην θέση που παρέχουν ψηφιακούς χάρτες σε κινητές συσκευές.

Η γεω-οπτικοποίηση δίνει έμφαση στην ανάπτυξη θεωρίας, εργαλείων και μεθόδων. Επιπλέον, αντικείμενό της είναι η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα εργαλεία και οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται προκειμένου να διευκολύνουν τη λήψη αποφάσεων. Η αλληλεπίδραση της γεω-οπτικοποίησης με τη χαρτογραφία και τα τρισδιάστατα γραφικά δημιουργήθηκε εξαιτίας της τεχνολογικής και θεωρητικής της ανάπτυξης [25].

Ειδικότερα, η γεω-οπτικοποίηση αντιπροσωπεύει ένα θεμελιώδη τομέα εφαρμογής της τρισδιάστατης ηλεκτρονικής γραφιστικής. Δεδομένου ότι η γεω-πληροφορία αντιπροσωπεύει μια ουσιαστική πηγή των περισσότερων συστημάτων πληροφοριών (π.χ. των κινητών), τα τρισδιάστατα γραφικά μπορούν να παρέχουν λύσεις προκειμένου να εκπληρώσουν τις ανάγκες των εφαρμογών που βασίζονται και χειρίζονται τα γεω-δεδομένα.

Τα τρισδιάστατα γραφικά πραγματικού χρόνου προσφέρουν μια αναπτυσσόμενη συλλογή εξεζητημένων εικόνων σύνθεσης. Η τεχνολογία, εάν προορίζεται για τη γεωγραφική πληροφορία, μπορεί να βελτιώσει και να επεκτείνει τις δυνατότητες των συστημάτων γεω-οπτικοποίησης αφού οι έννοιες και οι εφαρμογές εξαρτώνται από την τεχνολογία των τρισδιάστατων γραφικών. Η τρισδιάστατη απόδοση σε πραγματικό χρόνο επιτυγχάνει την οπτικοποίηση πολύπλοκων χαρακτηριστικών προσφέροντας ρεαλισμό υψηλού επιπέδου. Οι εφαρμογές συνήθως βασίζονται σε αλγόριθμους και σε δομές δεδομένων, οι οποίες υποβοηθούνται από την ταχύτητα των γραφικών. Λεπτομερής εισαγωγή σε γενικές έννοιες έγινε από τους Akenine – Moiller και Haines [2].

Η Χαρτογραφία και τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών που αποτελούν τις ρίζες της γεω-οπτικοποίησης, μπορούν να συμβάλλουν σε στρατηγικές οπτικού σχεδιασμού και αναπαράστασης, καθώς και να προσφέρουν δυνατότητες για τη σύνδεση της οπτικής αναπαράστασης με βάσεις δεδομένων. Για παράδειγμα, οι χαρτογραφικές μέθοδοι γενίκευσης που αφορούν την κλίμακα και σημασιολογικά συσχετισμένα χαρακτηριστικά μπορούν να εφαρμοστούν σε μοντέλα πολλαπλής ανάλυσης. Με αυτόν τον τρόπο, η γεω-οπτικοποίηση

μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων κατευθύνσεων στην οπτικοποίηση και να βελτιώσει τις υπάρχουσες τεχνικές τρισδιάστατων γραφικών.

2.3.1 Μοντέλα πολλαπλής ανάλυσης (multi-resolution)

Τα μοντέλα πολλαπλής ανάλυσης είναι απαραίτητα για το διαχωρισμό των γεωγραφικών δεδομένων πολλαπλής ανάλυσης. Σε ένα τρισδιάστατο πολυγωνικό μοντέλο εφαρμόζεται η απλοποίηση της επιφάνειας, όπου το επίπεδο λεπτομέρειας εξαρτάται από την ανάλυση. Η ανάλυση αναφέρεται στην πυκνότητα και στην ακρίβεια των γεωμετρικών χαρακτηριστικών.

Όσον αφορά τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους έχουν αναπτυχθεί τεχνικές προκειμένου να μπορούν να κατηγοριοποιηθούν είτε ως κανονικοποιημένα μοντέλα, είτε ως ακανόνιστα μοντέλα. Οι DeFloriani και Magillo [19] δίνουν μια λεπτομερή αντιπαραβολή των κανονικοποιημένων και ακανόνιστων μοντέλων εδάφους πολλαπλής ανάλυσης και συζητήσαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα όλων των τύπων αναπαράστασης.

2.3.2 Μορφές ψηφιακών μοντέλων εδάφους

Πρόσφατα, τα μοντέλα πολλαπλής ανάλυσης βοήθησαν στη βελτιστοποίηση των διαφορετικών μορφών των ψηφιακών μοντέλων εδάφους, αποτελώντας αντικείμενο συνεχούς έρευνας. Η βασικότερη σχετική έρευνα περιλαμβάνει [25]:

- **Υβριδικά μοντέλα εδάφους**

Τα υβριδικά μοντέλα εδάφους συσχετίζουν το ακανόνιστο δίκτυο τριγώνων (TIN) με τα κανονικοποιημένα μοντέλα εδάφους σε ένα απλό μοντέλο πολλαπλής ανάλυσης. Γενικά, τα TIN αναπαριστούν με λεπτομέρεια τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μοντέλου εδάφους (π.χ. κοίτη ποταμών). Συνεπώς, με αυτόν τον τρόπο μπορούν να συνδυαστούν τα πλεονεκτήματα των διαφορετικών τύπων αναπαράστασης, αλλά ο αλγόριθμος απόδοσης γίνεται λιγότερο αποδοτικός.

- **Μοντέλα εδάφους διατήρησης της όψης (appearance)**

Τα μοντέλα εδάφους διατήρησης της όψης εγγυώνται εικόνες που προσφέρουν αποδόσεις υψηλής αντιληπτικότητας ανεξάρτητα από την τρέχουσα κατάσταση απλοποίησης. Η πληροφορία του φωτισμού και της σκίασης εμπεριέχεται σε δισδιάστατα σχήματα απόδοσης υψής που εφαρμόζονται σε μια επιφάνεια εδάφους, ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας [22].

- **Ολοκληρωμένη πολλαπλή ανάλυση μοντέλων εδάφους**

Πρόκειται για μοντέλα εδάφους τα οποία εξασφαλίζουν καινοτόμες μεθόδους οπτικοποίησης θεματικών δεδομένων και τα οποία συνδέονται με τις επιφάνειες εδάφους.

- **Τρισδιάστατα αστικά μοντέλα πολλαπλής ανάλυσης**

Τα τρισδιάστατα αστικά μοντέλα πολλαπλής ανάλυσης τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους τα χαρακτηριστικά των κτισμάτων και υποστηρίζουν τη γενίκευση των οικοδομικών τετραγώνων και των κτισμάτων, αντί της μείωσης πολυγώνων.

Εφόσον οι τεχνικές πολλαπλής ανάλυσης διαφέρουν στη στρατηγική, στην ποιότητα και στην αποτελεσματικότητα, δεν φαίνεται να υπάρχει μια γενική λύση. Οι Η/Υ δεν υλοποιούν τεχνικές πολλαπλής ανάλυσης ούτε εξειδικευμένες τεχνικές για ψηφιακά μοντέλα εδάφους σε επίπεδο υλικού. Έτσι αυτές υλοποιούνται σε επίπεδο λογισμικού στα διάφορα προγράμματα.

2.3.3 Απόδοση της υφής (texturing) και multi-texturing

Μέρος της γεω-οπτικοποίησης αποτελεί και η απόδοση της υφής (texturing). Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία αναφέρεται στον εμπλουτισμό ενός τρισδιάστατου μοντέλου ή ενός γραφικού με επιπλέον πληροφορίες. Εφαρμόζεται στην επιφάνεια ενός σχήματος ή ενός πολυγώνου και η διαδικασία είναι παρόμοια με την εφαρμογή ενός σχεδιασμένου χαρτιού πάνω σε ένα λευκό κουτί [109].

Η υφή αναπαριστά θεμελιώδη γραφικά τα οποία βοηθούν στη χαρτογράφηση χώρων πολλαπλών διαστάσεων. Για παράδειγμα, με την τεχνική της υφής μπορεί να επιτευχθεί η χαρτογράφηση μιας δισδιάστατης εικόνας σε μια τρισδιάστατη επιφάνεια. Με την απόδοση της υφής ασχολήθηκαν οι Haeberli και Segal [36]. Η εφαρμογή απόδοσης της υφής μπορεί να ρυθμιστεί από ορισμένες παραμέτρους με διαδικασίες μετασχηματισμού συντεταγμένων, γειτονικών και γραμμικών παρεμβολών (φιλτράρισμα), ρυθμίσεων, συνδυασμών, αντικαταστάσεων και mirroring.

Η διαδικασία απόδοσης συγκεκριμένης υφής αποτελεί την πιο σημαντική τεχνική της γεω-οπτικοποίησης και στοχεύει στο να κάνει ορατά τα γεωγραφικά δεδομένα. Ταυτόχρονα με αυτή τη διαδικασία μπορούν να καλυφθούν δισδιάστατες γεω-αναφερόμενες εικόνες (π.χ. αεροφωτογραφίες) μέσω της κωδικοποίησης των δισδιάστατων βασικών δομών της τρισδιάστατης γεωμετρίας, όπως των επιφανειών εδάφους. Γενικά, οι επιφάνειες αυτού του είδους βελτιώνουν το βαθμό ρεαλισμού ο οποίος εξαρτάται από τις ρεαλιστικές απεικονίσεις.

Μια εφαρμογή των τρισδιάστατων βασικών δομών περιλαμβάνει την κωδικοποίηση και την οπτικοποίηση των ογκομετρικών δεδομένων, όπως για παράδειγμα των γεωλογικών δομών του

εδάφους. Επίσης, μπορούν να αναπαρασταθούν ογκομετρικά αντικείμενα και ειδικότερα η κίνηση και η παραμόρφωση ασαφών γεω-αντικειμένων, π.χ. των συννέφων.

Η γεω-οπτικοποίηση έχει πολλές εφαρμογές σε multitexturing μοντέλα, μερικές από τις οποίες περιλαμβάνουν την αναπαράσταση των πολυμερών θεματικών πληροφοριών μέσω μιας συλλογής βασικών δομών. Επίσης, περιλαμβάνουν οπτικούς συνδυασμούς των ανεξάρτητων δομών, καθώς και μια ποικιλία τοπικών στοιχείων των θεματικών δεδομένων μέσω της χρήσης κάποιου φίλτρου [25].

Η διαδικασία multitexturing αναφέρεται στη χρήση περισσοτέρων του ενός texture πάνω σε ένα πολύεδρο σε μια χρονική στιγμή. Για παράδειγμα, αντί κάθε φορά που αποδίδεται μια επιφάνεια να υπολογίζεται ο φωτισμός που πρέπει να έχει, υπάρχει η εναλλακτική της εφαρμογής μιας «φωτεινής» υφής [109].

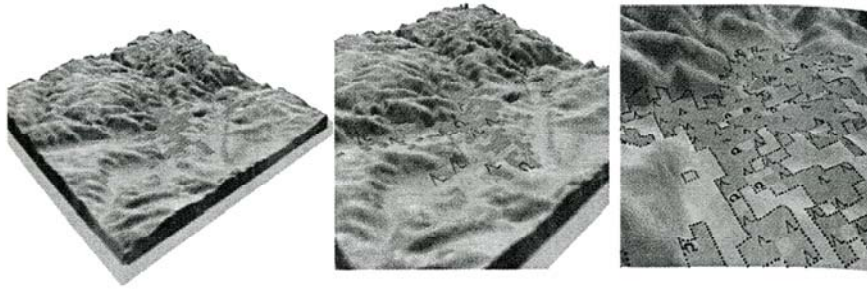
2.3.4 Δημιουργία δυναμικών βασικών δομών υφής

Πρόκειται για μια διαδικασία που υποδηλώνει τη δυναμική δημιουργία αυτών των δεδομένων καθώς και την άμεση ανάπτυξη των αποτελεσμάτων κατά τη διαδικασία της απόδοσης. Ο δυναμικός τρόπος απόδοσης της υφής καθιστά εφικτή μια μεγάλη αλληλουχία τεχνικών αποτύπωσης των δεδομένων και κυρίως των δυναμικών δεδομένων [25].

Τα περιεχόμενα των βασικών δομών μπορούν να προσδιοριστούν στα δισδιάστατα διανυσματικά γραφικά από ιεραρχικές περιγραφές, όπως για παράδειγμα από τα γραφικά σχημάτων. Επίσης, αυτές οι δομές περιλαμβάνουν δισδιάστατα σχήματα (σημεία, γραμμές και πολύγωνα), καθώς και τις περιγραφές τους (χρώμα, πάχος και στυλ γραμμής).

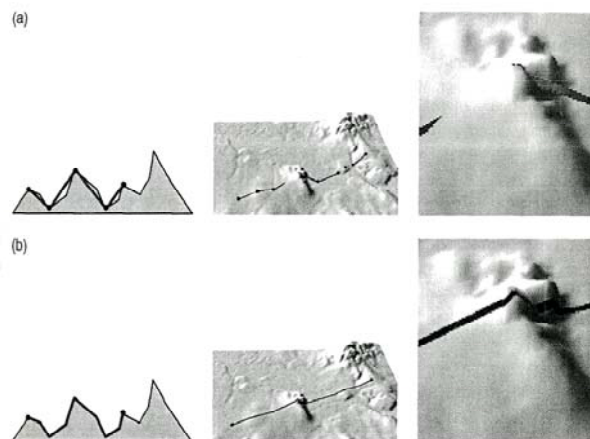
Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να κωδικοποιηθεί το περιεχόμενο μιας εικόνας έτσι ώστε να μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακή μορφή οποιασδήποτε ανάλυσης. Πριν το στάδιο της απόδοσης η κύρια τρισδιάστατη σκηνή, της οποίας η περιγραφή αποδίδεται σε off-screen canva, ονομάζεται ψηφιακή ζώνη, γνωστή ως P - buffer σε ένα OpenGL σύστημα. Στη συνέχεια, το P - buffer αντιγράφεται στη μνήμη της δομής και σιγά σιγά η σκηνή μπορεί να αποδοθεί σε on-screen canva [25].

Ο δυναμικός τρόπος απόδοσης της συγκεκριμένης υφής προσφέρει τη δυνατότητα υλοποίησης δυναμικών χαρτογραφικών αναπαραστάσεων. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 12) εξηγείται αυτή η διαδικασία στην περίπτωση θεματικών δεδομένων [25], μέσω της παράθεσης διαφορετικών επιπέδων λεπτομέρειας της απεικόνισης των χρήσεων γης. Ειδικότερα, η βλάστηση απεικονίζεται σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας με τη χρήση διαφορετικού χαρτογραφικού συμβολισμού. Αυτή η διαφορά οφείλεται στην απόσταση από την κάμερα.



Εικόνα 12: Διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας απεικόνισης των χρήσεων γης [25]

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται η δυναμική χαρτογραφικών αναπαραστάσεων με στόχο την απεικόνιση των διανυσματικών δεδομένων [42], [43]. Σε περίπτωση που κάποιος επιθυμεί να αναπαραστήσει τα διανυσματικά δεδομένα με τη χρήση γεωμετρικών αντικειμένων (π.χ. πολυγωνικά όρια που προκύπτουν από τις τομές των γραμμών) πρέπει να τα προσαρμόσει, διατηρώντας τη συνεκτικότητά τους με την επιφάνεια αναφοράς πολλαπλής ανάλυσης.



Εικόνα 13: Οπτική αναπαράσταση διανυσματικών δεδομένων [25]

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται η οπτική αναπαράσταση των διανυσματικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, στο (a) η απεικόνιση βασίζεται στη γεωμετρική αναπαράσταση όπου αποκόπηκαν μικρά τμήματα έτσι ώστε η αναπαράσταση να προσαρμοστεί στη γήινη επιφάνεια. Αντίθετα, στη δεύτερη περίπτωση (b) τα μικρά τμήματα κωδικοποιήθηκαν προσωρινά σε μια δισδιάστατη βασική δομή, προβάλλοντάς τα στη γήινη επιφάνεια.

Ένα από τα μειονεκτήματα αυτής της διαδικασίας είναι ότι παραλείπει προβλήματα που μπορεί να προκύψουν, όπως το γεγονός ότι τα διανυσματικά δεδομένα μπορούν να μετατραπούν δυναμικά σε ψηφιακή μορφή και να επικαλυφθούν από την επιφάνεια αναφοράς της πολλαπλής ανάλυσης.

2.3.5 Προχωρημένες τεχνικές απόδοσης

Οι προχωρημένες τεχνικές απόδοσης αναφέρονται σε μια κατηγορία αλγορίθμων πραγματικού χρόνου τρισδιάστατης απόδοσης οι οποίοι επιτυγχάνουν ένα υψηλό βαθμό οπτικού ρεαλισμού και δυναμισμού. Γενικά, αυτές οι τεχνικές βασίζονται στον επαναληπτικό αλγόριθμο πολλαπλής απόδοσης και σκίασης.

Ο επαναληπτικός αλγόριθμος απόδοσης χρειάζεται να επεξεργαστεί αρκετές φορές την απεικόνιση του τοπίου με τη χρήση διαφορετικών ρυθμίσεων. Γενικά, η τελευταία επανάληψη συνδυάζει τα αποτελέσματα των προηγούμενων επαναλήψεων σε μια εικόνα [25]. Αξίζει να σημειωθεί ότι με τη χρήση του επαναληπτικού αλγόριθμου απόδοσης μπορούν να επιτευχθούν επιδράσεις, όπως η αντανάκλαση του φωτός, η σκίαση κλπ..

Τυπικά, η εφαρμογή του επαναληπτικού αλγορίθμου απόδοσης δεν ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο, αλλά χαρακτηρίζεται από μια απευθείας χρήση και διαχείριση των χαμηλού επιπέδου μέσων απόδοσης. Ωστόσο, το μοναδικό κοινό στοιχείο της πλειοψηφίας των επαναληπτικών αλγορίθμων είναι το γεγονός ότι η γεωμετρία του τοπίου περνά σε κάθε επανάληψη από το στάδιο της απόδοσης. Συγκεκριμένα, κάθε επανάληψη προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η επεξεργασία και η «μεταγλώττιση» της σκηνής.

Για παράδειγμα, στην πρώτη επανάληψη οι περισσότεροι αλγόριθμοι σκίασης πραγματικού χρόνου δημιουργούν ένα χάρτη σκίασης, δηλαδή ένα δισδιάστατο σκαρίφημα το οποίο απεικονίζει τη σκηνή όπως φωτίζεται από τη φωτεινή πηγή. Αυτός ο χάρτης σκίασης χρησιμοποιείται, στη συνέχεια, προκειμένου να αποφασιστεί ο αριθμός των επαναλήψεων για το εάν τα αντικείμενα βρίσκονται ή όχι στη σκιά. Στη δεύτερη επανάληψη, ο αλγόριθμος αποδίδει μόνο τα αντικείμενα στα μέρη όπου παρατηρείται έλλειψη σκιάς, ενώ στο τελευταίο στάδιο ο αλγόριθμος αποδίδει τα αντικείμενα μόνο στα σκιερά μέρη της τελικής εικόνας.

Αυτή η ιδέα παρουσιάστηκε από το σύστημα του Pixar RenderMan, ενώ σήμερα έχει εφαρμογή στα συστήματα απόδοσης πραγματικού χρόνου, όπως στο OpenGL 2.0 (3Dlabs) [1].

Η απεικόνιση ανήκει σε προηγμένες μορφές απόδοσης στηριζόμενη στους επαναληπτικούς αλγόριθμους απόδοσης, στη γεωμετρία και στα στάδια σκίασης. Συνεπώς, ο χάρτης που προκύπτει υποδηλώνει μια δισδιάστατη βασική δομή η οποία ορίζει τις μετατοπίσεις ύψους (height-offsets) της επιφάνειας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετατοπίσεις ύψους χρησιμοποιούνται για το φωτισμό, επαναπροσδιορίζοντας την επιφάνεια σε κάθε σημείο που πρόκειται να φωτιστεί (εφαρμόζεται μια μη γεωμετρική παραμόρφωση, αλλά οι τελικές επιφάνειες εμφανίζονται ως μια «λεπτεπίλεπτη» δομή).

2.4 Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση

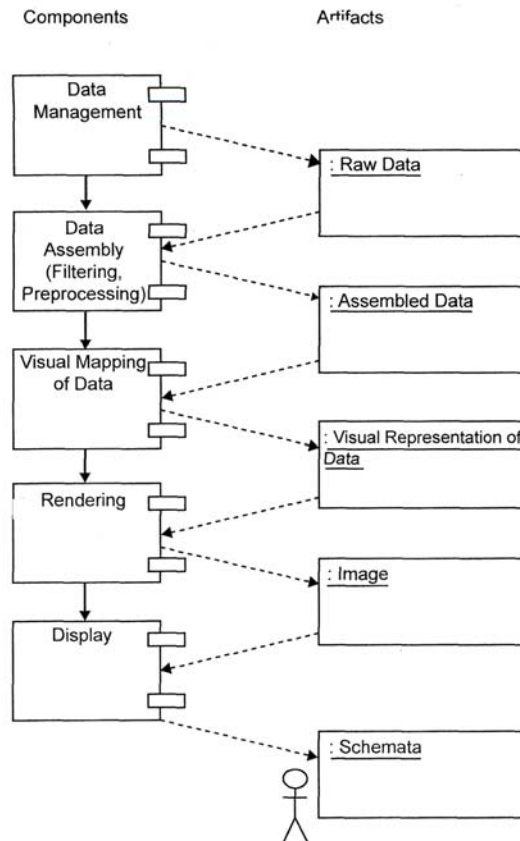
Η έννοια της τρισδιάστατης οπτικοποίησης αναφέρεται στην αναπαράσταση τρισδιάστατων αντικειμένων και επιφανειών. Για αρκετά χρόνια η τρίτη διάσταση, ως κεντρικό και μεταβαλλόμενο φαινόμενο, χρησιμοποιήθηκε από πολλά συστήματα οπτικοποίησης χωρίς όμως να παρατηρείται διάκριση του πότε και του πώς μπορούσε να χρησιμοποιηθεί πιο αποτελεσματικά [25].

Η τρισδιάστατη οπτικοποίηση κρίνεται αναγκαία για πολλούς λόγους [84]. Ένας από τους βασικούς λόγους είναι ότι ο παρατηρητής μπορεί να παρατηρήσει το μοντέλο από διαφορετικές οπτικές γωνίες και να δει ένα αντικείμενο ή μια περιοχή τρισδιάστατα. Αυτό συνδέεται με τη φυσική ικανότητα του ανθρώπου να βλέπει τρισδιάστατα με αποτέλεσμα την καλύτερη κατανόηση της πολυπλοκότητας των επιφανειών και της γεωμετρίας τους.

Επίσης, μέσω της τρισδιάστατης οπτικοποίησης καθίσταται δυνατή η αλληλεπίδραση του παρατηρητή με τις τρεις διαστάσεις, ενώ ταυτόχρονα οι προβληματικές περιοχές (αδύναμα σημεία) πολύπλοκων κατασκευών μπορούν να αναπαρασταθούν ευκολότερα τρισδιάστατα. Επιπρόσθετα, η τρισδιάστατη οπτικοποίηση επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων ενώ οι έννοιες και οι ιδέες στη διαδικασία του σχεδιασμού μπορούν να αποδοθούν ευκολότερα.

2.4.1 Το γενικό μοντέλο της τρισδιάστατης οπτικοποίησης

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η έννοια των τριών διαστάσεων (3D) εξετάστηκε το γενικό μοντέλο οπτικοποίησης στο οποίο απεικονίζονται οι διαφορετικές φάσεις οπτικοποίησης, όπως παρουσιάστηκαν από τον Urson και τους συνεργάτες του [99], καθώς και από τους Haber και McNabb [35]. Ειδικότερα, κάθε στάδιο αυτής της διαδικασίας παράγει αντικείμενα τα οποία μπορούν να συνδεθούν με τις αντίστοιχες διαστάσεις τους.



Εικόνα 14: Οι διαδοχικές φάσεις οπτικοποίησης, όπως τροποποιήθηκαν από τους Haber και McNabb [25]

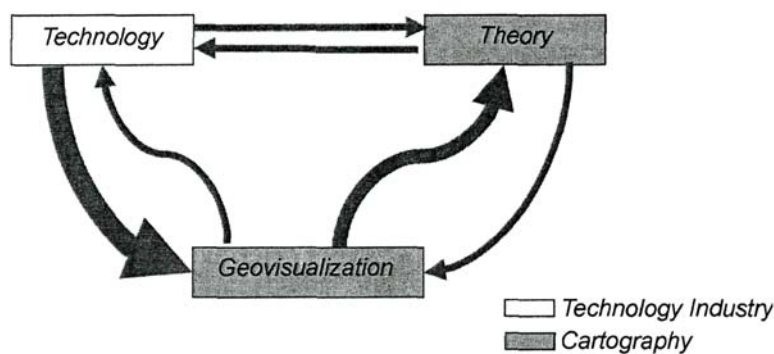
Σύμφωνα με την Εικόνα 14, η διαδικασία της οπτικοποίησης αποτελείται από μια αλληλουχία πέντε στοιχείων τα οποία περιγράφουν τα διαφορετικά στάδιά της [99]. Το πρώτο στάδιο αναφέρεται στη διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων και συγκεκριμένα στη διαχείριση και πρόσβαση στα πρωτογενή δεδομένα, ενώ το δεύτερο στάδιο αφορά τη συγκέντρωση των δεδομένων, όπως τη σύνθεση, την ενσωμάτωση, τη συσχέτιση, το φιλτράρισμα και την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων.

Ακολουθούν τα στάδια της οπτικής απεικόνισης, δηλαδή της μετατροπής και του μετασχηματισμού των δεδομένων μέσω τρισδιάστατων γραφημάτων, καθώς και τα στάδια της απόδοσης (rendering) και της απεικόνισης (display). Το στάδιο της απόδοσης αναφέρεται στη σύνθεση μιας ή περισσότερων εικόνων τρισδιάστατης οπτικής αναπαράστασης μέσω της διαδικασίας της προβολής, με αποτέλεσμα τη δημιουργία δισδιάστατων εικόνων [25].

2.4.2 Θεωρία και τεχνολογία της τρισδιάστατης οπτικοποίησης

Η χαρτογραφία και η γεω-οπτικοποίηση αποτελούν δύο εξελισσόμενες επιστήμες [57], αφού και οι δύο θεωρούνται επιστήμες που καθοδηγούνται από άλλες, όπως για παράδειγμα από τις υπολογιστικές επιστήμες [96]. Αυτή η μεταξύ τους σχέση προσδίδει στη χαρτογραφία μια ξεχωριστή θέση.

Στην Εικόνα 15 απεικονίζονται οι «δρόμοι» ανάπτυξης της γεω-οπτικοποίησης, καθώς και οι επιδράσεις της με την τεχνολογία και με τη χαρτογραφική θεωρία. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτές οι επιδράσεις δεν είναι συμμετρικές. Για παράδειγμα, η γεω-οπτικοποίηση αξιοποιεί περισσότερο την τεχνολογία και λιγότερο τη θεωρία της χαρτογραφίας.



Εικόνα 15: Αλληλεπιδράσεις της γεω-οπτικοποίησης, της θεωρίας της οπτικοποίησης και της τεχνολογίας της οπτικοποίησης [25]

Η τρισδιάστατη γεω-οπτικοποίηση αξιοποιεί τις υπάρχουσες τεχνολογίες από την ανάπτυξη πρωτότυπων μεθόδων απεικόνισης οι οποίες είναι απαραίτητες για τα νέα μέσα (βάθος με κίνηση), από τη γεφύρωση των κενών μεταξύ των συστημάτων λογισμικού που οφείλεται στις ειδικές απαιτήσεις (απόδοση), καθώς και από τη μετατροπή των υπάρχοντων χαρτών ή από την παράθεση των μεθόδων για τις ψηφιακές εφαρμογές (προοπτική προβολή).

Η επίδραση της τεχνολογίας στην τρισδιάστατη οπτικοποίηση δεν περιορίζεται σε πρόσφατες εξελίξεις. Από το 1940, η εκτενής τεχνολογική και θεωρητική ανάπτυξη στερεοσκοπικών μεθόδων σε συνδυασμό με τη χαρτογραφία δημοσιεύτηκε στην Petermanns Geographische Mitteilunge [33], [11]. Παρά την πρόοδο που έγινε, οι τρισδιάστατοι χάρτες δεν ήταν αποδεκτοί. Το 1966 οι Decks και Brown ισχυρίστηκαν ότι οι τρισδιάστατοι χάρτες αποτελούσαν χρήσιμα εργαλεία τα οποία είχαν παραμεληθεί ορισμένες φορές, ενώ μετά τη δεκαετία του 1980 άρχισαν να αποτελούν στήριγμα [62].

Με πολύ μικρές αλλαγές στην τεχνολογία κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η ανάπτυξη έτεινε να είναι περισσότερο θεωρητική και εμπειρική, όπως η δουλειά του Kraak [45], ο οποίος

εκτίμησε τις μεθόδους της τρισδιάστατης οπτικοποίησης (στερεοσκοπική απεικόνιση) στη θεματική χαρτογραφία. Πρόσφατα, η τρισδιάστατη οπτικοποίηση υποστηρίζεται από λογισμικό υψηλού επιπέδου καθώς και από ένα σύνολο κατάλληλων τεχνικών.

2.4.3 Τρισδιάστατη αναπαράσταση

Συνήθως, η τρισδιάστατη οπτικοποίηση του τοπίου και των γεωδεδομένων βασίζεται στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Επιπρόσθετοι όροι για το ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι το ψηφιακό μοντέλο τοπίου ή το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων.

Ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους έχει γεωμετρικές πληροφορίες και αποδίδει την επιφάνεια του υψηλότερου επιπέδου εδάφους, λαμβάνοντας υπόψη ότι το μοντέλο του τοπίου μπορεί να περιλαμβάνει πληροφορίες που αφορούν κτίρια, καθώς και σχήματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση στατιστικών αναλύσεων.

Ως βασική αρχή, τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους διαφέρουν ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζονται τα γεωμετρικά δεδομένα [84].

- **Grid DTM**

Ο όρος Grid DTM αναφέρεται σε έναν επίπεδο κάνναβο (grid) συγκεκριμένης ανάλυσης (25m, 50m κλπ.), όπου κάθε σημείο του καννάβου έχει κάποιο ύψος. Για την αναπαράσταση των δεδομένων δεν απαιτείται μεγάλος χώρος στη μνήμη εξαιτίας του ότι δεν είναι απαραίτητες όλες οι συντεταγμένες για κάθε σημείο. Πρέπει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη δημιουργία ενός DTM είναι 2.5D και όχι 3D.

- **TIN**

Το δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων (TIN) χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των ψηφιακών επιφανειών εδάφους. Η κατασκευή του TIN βασίζεται σε δύο χαρακτηριστικά και συγκεκριμένα στα σημεία με x, y, z συντεταγμένες και στις ακμές. Συνεπώς, το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ένα μωσαϊκό από τρίγωνα μέσω των οποίων παράγεται μια συνεκτική επιφάνεια. Το υψόμετρο κάθε σημείου της επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί μέσω της διαδικασίας της παρεμβολής των x, y, z τιμών των γειτονικών κορυφών του τριγώνου στο οποίο ανήκει. Συνεπώς, ορίζεται ακριβώς η κλίση των επιφανειών.

Κάθε κορυφή του τριγώνου κωδικοποιείται βάσει της θέσης και του υψομέτρου του και δημιουργείται ένα σύνολο τριγώνων με διαφορετικά μεγέθη και σχήματα. Σε περιοχές όπου τα σημεία δεδομένων είναι κοντά μεταξύ τους (όπως στις περιοχές με μεγάλες αλλαγές υψομέτρου) τα τρίγωνα είναι μικρά. Αντίθετα, όταν τα σημεία είναι αραιά (όπως στις επίπεδες επιφάνειες) το μέγεθος των τριγώνων αυξάνεται.

Ένα από τα προβλήματα που προκύπτει κατά τη δημιουργία του TIN είναι η δημιουργία επίπεδων τριγώνων, παρόλο που τα τρίγωνα αυτά έχουν προκύψει από σημεία διαφορετικού υψομέτρου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια του μοντέλου και των υπολογισμών εξαρτάται από τη γνησιότητα των δεδομένων.

2.5 Οπτικοποίηση Κίνησης

Η κίνηση εμφανίστηκε στη χαρτογραφία πριν από μερικές δεκαετίες. Η Disney για πρώτη φορά παρουσίασε την κατάληψη της Βαρσοβίας από τη Γερμανία (1940) χρησιμοποιώντας κινούμενα σύμβολα πάνω σε ένα χαρτογραφικό υπόβαθρο [78]. Ο βασικός στόχος της κίνησης στη χαρτογραφία είναι η οπτικοποίηση των αλλαγών. Οι τεχνικές κίνησης κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες, τη χρονική και τη μη χρονική χαρτογραφική κίνηση [85].

Η μη χρονική χαρτογραφική κίνηση απεικονίζει τις αλλαγές που προκύπτουν από άλλες μεταβλητές και μπορούν να περιλαμβάνουν οπτικά χρονικά δεδομένα με μη χρονικό τρόπο, απεικονίζοντας διαφορετικές ομάδες χωρικών δεδομένων.

Στα μη χρονικά δεδομένα υπάρχουν τρεις γενικές μορφές. Η πρώτη αναφέρεται στις αλλαγές που γίνονται στα δεδομένα που πρόκειται να απεικονιστούν (changing time), η δεύτερη αφορά αλλαγές που σχετίζονται με την αναπαράσταση (changing data), ενώ στην τρίτη οι αλλαγές αφορούν την ίδια την αναπαράσταση των δεδομένων (representation) [78].

Στην περίπτωση που οι αλλαγές σχετίζονται με την αναπαράσταση υπάρχουν τριών ειδών κινήσεις. Οι πτήσεις, που είναι η πιο διαδεδομένη μη χαρτογραφική κίνηση, η γραφική αλλαγή κλίμακας όπου δεν υπάρχει αλλαγή χαρακτηριστικών (π.χ. στην μεγέθυνση μιας στατικής εικόνας) και οι χωρικές τάσεις [94].

2.6 Διαστάσεις

2.6.1 Απόδοση διαστάσεων

2.6.1.1 Οι διαστάσεις των πρωτογενών δεδομένων

Οι διαστάσεις στο Καρτεσιανό σύστημα αναφοράς προσδιορίζουν ανεξάρτητα μεταβαλλόμενες ποσότητες μετρημένες σε ποσοστιαία κλίμακα, παρέχοντας μια μοναδική εγγραφή για την τοποθεσία [25]. Άλλα χαρακτηριστικά ενός συνόλου δεδομένων τα οποία μοιάζουν με τις χωρικές διαστάσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν σαν «διαστάσεις» μέτρησης. Η μέτρηση του χρόνου σαν μια συνεχή, ανεξάρτητη μεταβλητή αποτελεί ένα συνηθισμένο παράδειγμα, του

οποίου η αντιμετώπιση με ανάλογο τρόπο με τις χωρικές διαστάσεις έγινε δημοφιλής από το «Lund School» [37], [38].

Είναι δυνατόν κάθε ανεξάρτητη συνεχής μεταβλητή να αντιμετωπιστεί σαν διάσταση με το δικό της τρόπο, αλλά κάνοντάς το αυτό η διάσταση του συνόλου των δεδομένων υπερβαίνει τη διάσταση του μέσου στο οποίο πρόκειται να γίνει η οπτικοποίηση. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε γεωμετρικές πράξεις, όπως στην περιστροφή, οι οποίες μπορεί να έχουν αμφίβολο ή περιορισμένο νόημα στα πλαίσια μιας τέτοιας λογικής, όπου επιλεγμένες μεταβλητές απεικονίζονται σε χωρικές διαστάσεις.

2.6.1.2 Οι διαστάσεις συλλογής δεδομένων

Τα αντικείμενα χωροθετούνται σε μια συγκεκριμένη περιοχή, ανεξάρτητα από τις διαστάσεις του καθενός από αυτά. Για παράδειγμα, τρισδιάστατα μπορεί να απεικονιστεί ο όγκος των σημειακών μεταβλητών, καθώς μπορούν να συνδυαστούν τα επίπεδα των δισδιάστατων διανυσματικών πεδίων. Έτσι, θα αποκτήσουν τη μορφή τρισδιάστατων διανυσματικών πεδίων [25].

Επίσης, σε αυτό το στάδιο υπολογίζονται οι τρισδιάστατες μεταβλητές, όπου γίνεται η εκχώρηση τιμών της τρίτης διάστασης των δισδιάστατων περιοχών ενός τοπογραφικού χάρτη (συνήθως αναφέρονται σε $2^{1/2}$ διαστάσεις, όπου κάθε δισδιάστατη περιοχή συνδέεται με τη μεταβλητή του ύψους).

2.6.1.3 Οι διαστάσεις της οπτικής αναπαράστασης

Η οπτικοποίηση των τρισδιάστατων δεδομένων βασίζεται στη τρισδιάστατη γεωμετρία τους. Συχνά σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιούνται απεικονίσεις υψηλού επιπέδου.

2.6.1.4 Οι διαστάσεις του μέσου απεικόνισης

Οι τρισδιάστατες οπτικές αναπαραστάσεις απεικονίζονται από κάποιο μέσο με αποτέλεσμα δισδιάστατες απεικονίσεις. Περιβάλλοντα εργασίας όπως το CAVE ή το 3D workbench δημιουργούν στερεοσκοπικές απεικονίσεις οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως τρισδιάστατες αναπαραστάσεις.

2.6.1.5 Οι διαστάσεις των σχημάτων

Ο MacEachren [56] χρησιμοποίησε την ονομασία «σχήματα» προκειμένου να περιγράψει τις δομές αναπαράστασης και οργάνωσης των εννοιών. Η ικανότητα της επεξεργασίας των διαστάσεων μιας εικόνας και της κατασκευής σχημάτων αποτελεί μια υποκειμενική διαδικασία.

2.7 Η Χρήση της Τρίτης Διάστασης στην Οπτικοποίηση

Η τρίτη διάσταση χρησιμοποιείται ευρέως στον επιστημονικό τομέα [104]. Παρόλο που η τρίτη διάσταση προσδιορίζεται από το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με τη χρήση των x , y , z τιμών, η ανθρώπινη αντίληψη «ερεθισμού» στην τρίτη διάσταση απορρέει από τον εγωκεντρικό χώρο και εξαρτάται από την οπτική αντίληψη.

Έτσι, οι x και y τιμές ορίζουν ένα οπτικό πεδίο που συμπληρώνεται από τη z διάσταση η οποία αντιστοιχεί στο υψόμετρο [101]. Ο διαφορετικός τρόπος με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε το χώρο αποτελεί την κυριότερη αιτία των δυσκολιών που δημιουργούνται στον ορισμό της τρίτης διάστασης.

Μπορούν να διακριθούν πέντε στοιχεία της απόδοσης διαστάσεων τα οποία σχετίζονται με τα στάδια της οπτικής διαδικασίας. Αυτά περιλαμβάνουν τις διαστάσεις των πρωτογενών δεδομένων, της οπτικής αναπαράστασης και του μέσου απεικόνισης [104].

Ο Kraak [45] όρισε ως τρισδιάστατο χάρτη τον χάρτη που εμπεριέχει ερεθίσματα τα οποία επιτρέπουν στον αναγνώστη να αντιλαμβάνεται τρισδιάστατα τα στοιχεία του χάρτη. Ο Jensen [39] έδωσε τον ορισμό του τρισδιάστατου μόνο για το αρχικό στάδιο της αντίληψης των χαρακτηριστικών του χάρτη, ενώ ο Kraak αναφέρθηκε στις διαστάσεις αυτής της αντίληψης (perception).

2.7.1 Αληθές τρισδιάστατο (true 3D)

Το περιβάλλον στο οποίο ζούμε προσφέρει πολλές ενδείξεις για την αντίληψη της τρίτης διάστασης. Οι εικόνες αξιοποιούν τους μηχανισμούς της ανθρώπινης οπτικής αντίληψης και ερμηνεύουν την τρισδιάστατη πραγματικότητα προκειμένου να προσαρμόσουν την πληροφορία του υψομέτρου στο χώρο. Οι παρεμβολές του υψομέτρου, όπως οι επικαλύψεις ή οι προοπτικές απεικονίσεις αποτελούν τις πηγές για την αντίληψη της τρίτης διάστασης. Ωστόσο, τόσο η ποιότητα όσο και η ακρίβεια της τρισδιάστατης αντίληψης εξαρτώνται από τη χωρική αίσθηση των ατόμων και ειδικότερα από το οπτικό περιβάλλον και τις εικόνες [25].

Σύμφωνα με τη μοντέρνα ψυχολογία, η αντίληψη του ύψους βασίζεται σε δέκα πρότυπα [74], από τα οποία τα τέσσερα είναι φυσιολογικά και τα έξι ψυχολογικά.

- **Φυσιολογικά πρότυπα**

Τα φυσιολογικά πρότυπα περιλαμβάνουν: την προσαρμογή, τη σύγκλιση, τη στερεοσκοπική ανομοιότητα και την παράλλαξη της κίνησης. Με την προσαρμογή ρυθμίζεται η εστιακή απόσταση του φακού, ενώ η έννοια της σύγκλισης αναφέρεται στη γωνία που δημιουργείται από τους δύο άξονες των ματιών. Επίσης, όσον αφορά τη στερεοσκοπική ανομοιότητα, αυτή

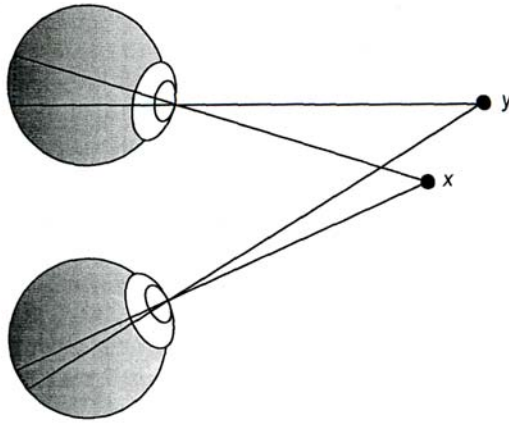
αναφέρεται στην ανομοιότητα μεταξύ των εικόνων του ιδίου αντικειμένου, ενώ η παράλλαξη της κίνησης αφορά τα αποτελέσματα της αλλαγής των θέσεων του αντικειμένου στο χώρο είτε λόγω της κίνησης του αντικειμένου, είτε λόγω της κίνησης του παρατηρητή.

- **Ψυχολογικά πρότυπα**

Τα ψυχολογικά πρότυπα περιλαμβάνουν το οπτικό ερέθισμα του μεγέθους της εικόνας, την προοπτική απεικόνιση της γραμμής, την προοπτική απεικόνιση του επιφανειακού χώρου, την επικάλυψη, τη σκίαση, τη σκοτεινότητα και την κλίση του εδάφους. Με το οπτικό ερέθισμα του μεγέθους της εικόνας και με την προοπτική απεικόνιση όσο μεγαλύτερη είναι η εικόνα που απεικονίζει ένα αντικείμενο τόσο πιο κοντά στον παρατηρητή βρίσκεται. Έτσι, η βαθμιαία μείωση του μεγέθους της εικόνας συνεπάγεται την απομάκρυνση του αντικειμένου. Η προοπτική απεικόνιση του επιφανειακού χώρου αφορά την ασάφεια των μακρινών αντικειμένων και εξαιτίας της επικάλυψης τα συνεχή περιγράμματα εμφανίζονται πιο κοντά στον παρατηρητή. Επίσης, η σκίαση και η φωτεινότητα είναι αποτέλεσμα της εντύπωσης της κυρτότητας ή του βαθουλώματος εξαιτίας του ότι τα περισσότερα εικονογραφικά στοιχεία τείνουν να είναι εκ των άνω. Τέλος, η κλίση του εδάφους αποτελεί ένα είδος γραμμικής απεικόνισης το οποίο περιγράφει τα επίπεδα της τραχύτητας ενός ομοιόμορφου αντικειμένου [74], [10].

Όταν συνδυαστούν όλα τα παραπάνω ενισχύουν την αντίληψη του ύψους. Οι περισσότερες πραγματικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούν τη στερεοσκοπική ανομοιότητα και την οπτική επαφή από ένα μάτι (monocular cue shadows) είναι πολύ δημοφιλείς. Αυτού του είδους οι τρισδιάστατες πανοραμικές όψεις συχνά εφαρμόζουν τη γραμμική αντίληψη και επωφελούνται από την αντίληψη του χώρου σε συνδυασμό με τη στερεοσκοπική ανομοιότητα.

Κατά κύριο λόγο, η στερεοσκοπική παράλλαξη (Εικόνα 16) αποτελεί το θεμέλιο της αντίληψης του ύψους. Τα μάτια παρατηρούν το περιβάλλον από διαφορετικές γωνίες και συγκλίνουν εστιάζοντας σε ένα σημείο x στο περιβάλλον (ομοίως με τους οπτικούς άξονες σε αυτό το σημείο). Τα γειτονικά σημεία y προβάλλονται πάνω στις θέσεις του αμφιβληστροειδή χιτώνα σε απόσταση από το οπτικό κέντρο.



Εικόνα 16: Στερεοσκοπική παράλλαξη – η βασική παραδοχή της έννοιας του βάθους [25]

Αυτές οι αποστάσεις διαφέρουν και στα δύο μάτια και το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως στερεοσκοπική ανομοιότητα, η οποία αυξάνεται καθώς αυξάνεται το βάθος στο χώρο [81]. Η στερεοσκοπική όψη των αντικειμένων επιτυγχάνεται με παρόμοιες μεθόδους, αποτελώντας τη βασική αρχή για τις περισσότερες αληθείς τρισδιάστατες τεχνικές και πρακτικά χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των μέσων αποστάσεων σε εμπειρικές μελέτες και σε αυτό-στερεοσκοπικές απεικονίσεις.

Δύο εικόνες του ίδιου αντικειμένου ξεχωρίζουν χωρικά και αναπαριστώνται από το αριστερό και δεξί μάτι του παρατηρητή την ίδια χρονική στιγμή. Το ζευγάρι αυτό των εικόνων παρουσιάζει το αντικείμενο ελαφρώς από διαφορετική οπτική σκοπιά ανάλογα με τη γεωμετρία των ματιών. Οι περισσότερες αληθείς τρισδιάστατες τεχνικές βασίζονται στην τεχνική της στερεοσκοπικής αντίληψης, επιτυγχάνοντας ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών εφαρμογών.

Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ του τρισδιάστατου και του αληθούς τρισδιάστατου (true 3D). Ένας χάρτης ή μια εικόνα είναι πραγματικά τρισδιάστατος είτε εάν οι έννοιες που προκύπτουν είναι μεταφορικές (figurative) όταν γίνεται αντιληπτή η τρίτη διάσταση, είτε εάν τίθεται πίσω ή μπροστά από ένα φύλλο χαρτί ή την οθόνη. Ο χώρος είναι αποτέλεσμα της προβολής με κάθε είδους παρεμβολές σε συνδυασμό με παρεμβολές του ύψους. Παραδείγματα αποτελούν το ανάγλυφο, τα ολογράμματα, οι στερεοσκοπικές παραθέσεις κλπ. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι παρατηρούνται τρισδιάστατες απεικονίσεις στους περισσότερους χάρτες και εικόνες, το αληθές τρισδιάστατο παρατηρείται μόνο σε περιπτώσεις κίνησης μέσα από την παράλλαξη της κίνησης (motion parallax), για παράδειγμα σε πανοραμικές απόψεις κλπ.. [25].

2.7.2 Τεχνικές αληθούς τρισδιάστατου

Οι αληθείς τρισδιάστατες τεχνικές μπορούν να εξεταστούν αναδεικνύοντας τη χρησιμότητά τους στις εφαρμογές της γεω-οπτικοποίησης, εδώ και μια δεκαετία. Παρόλο που είναι διαθέσιμος ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών μόνο ορισμένες από αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη γεω-οπτικοποίηση, εξαιτίας του υψηλού τεχνικού και οικονομικού κόστους.

Οι αληθείς τρισδιάστατες τεχνικές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν ή την ποιότητα της πληροφορίας που προϋποθέτουν. Ο Schenkel [86] έδωσε μια λεπτομερή κατηγοριοποίηση στα πλαίσια της τεχνικής της δυναμικής περιγραφής των τεχνικών και της καταλληλότητάς τους στη γεω-οπτικοποίηση λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση κλπ..

Η δημιουργία αναγλύφου, η χρωμοστερεοσκοπική απεικόνιση και η Dresden 3D LC απεικόνιση για τις αυτοστερεοσκοπικές απεικονίσεις αποτελούν ορισμένες από τις βασικές μεθόδους αληθών τρισδιάστατων τεχνικών. Η δημιουργία αναγλύφου αποτελεί μια κλασσική στερεοσκοπική τεχνική που βασίζεται στη στερεοσκοπική ανομοιότητα (binocular disparity) [25]. Η χρωμοστερεοσκοπική τεχνική είναι μια εναλλακτική τεχνική που βασίζεται στη χρωματική απόκλιση (chromatic aberration), ενώ η αυτοστερεοσκοπική απεικόνιση είναι μια σύγχρονη ψηφιακή τεχνική αληθούς τρισδιάστατου η οποία προσαρμόζει την αρχή της στερεοσκοπικής ανομοιότητας. Όσον αφορά τη χρωματική απόκλιση αυτή προκαλείται από ένα φακό ο οποίος έχει διαφορετικό δείκτη διάθλασης σε διαφορετικά μήκη κύματος [108].

2.7.2.1 Ανάγλυφο

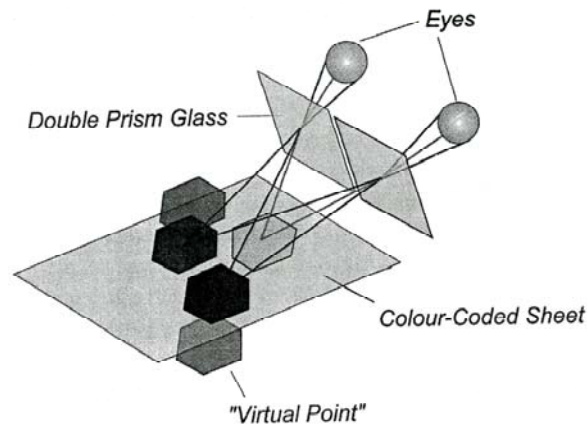
Προκειμένου να επιτευχθεί ένα κοινότυπο αποτέλεσμα στερεοσκοπίας, η μέθοδος του αναγλύφου απεικονίζει μια τρισδιάστατη σκηνή από δύο οπτικές γωνίες, ταυτόχρονα με τη χρήση συμπληρωματικών χρωμάτων. Ένα στερεο-ζεύγος στην ίδια σκηνή απεικονίζεται με συμπληρωματικά χρώματα, όπως το κόκκινο και το πράσινο ή ορισμένες φορές το κόκκινο και το μπλε.

Κάθε μάτι δέχεται μια απλή στερεο-εικόνα που αντιστοιχεί στα συμπληρωματικά χρώματα και το οπτικό σύστημα του παρατηρητή και ο εγκέφαλος «ενώνουν» αυτές τις δύο εικόνες σε μια ασπρόμαυρη εικόνα [27].

2.7.2.2 Χρωμοστερεοσκοπική απεικόνιση

Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στη χρωματική διασπορά. Στο ανθρώπινο μάτι, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και το μικρό μήκος κύματος υφίστανται διάθλαση περισσότερο από ότι η ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι οι κόκκινες αποχρώσεις φαίνονται πιο κοντά στον παρατηρητή σε αντίθεση με τις μπλε.

Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλεονέκτημα για τη γεω-οπτικοποίηση στα διαφορετικά επίπεδα ύψους της εικόνας και αποδίδεται με τη χρήση χρωμάτων τα οποία ταξινομούνται ανάλογα με το μήκος κύματος [90]. Το ειδικό διπλό γυάλινο πρίσμα είναι χρήσιμο σε αυτή τη τεχνική εντείνοντας το αποτέλεσμα της χρωματικής απόκλισης (Εικόνα 17).



Εικόνα 17: Χρωμοστερεοσκοπική απεικόνιση με χρήση πρίσματος διπλής όψεως [25]

Τόσο το ανάγλυφο, όσο και η χρωμοστερεοσκοπική απεικόνιση έχουν ένα γραφικό μειονέκτημα που αφορά το βαθμό ελευθερίας στις αληθείς τρισδιάστατες τεχνικές. Αυτός ο βαθμός ελευθερίας περιγράφει χαρακτηριστικά, όπως το χρώμα, τη φωτεινότητα, το μέγεθος κλπ.. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρωμοστερεοσκοπική απεικόνιση δε μπορεί να απεικονίσει τις αποχρώσεις των χρωμάτων.

2.7.2.3 Dresden 3D LC display

Το Dresden 3D Display (D4D) αποτελεί μια ομαλή αυτοστερεοσκοπική παρουσίαση της οπτικής αναπαράστασης των γεωγραφικών δεδομένων. Σύμφωνα με αυτή την εφαρμογή, ο παρατηρητής μπορεί να δει την απεικόνιση στο εσωτερικό της γωνίας, γύρω στις 50 μοίρες, και είναι ικανός να κινηθεί πλευρικά με βαθμό ελευθερίας εντός αυτής της γωνίας. Τα πιο σημαντικά στοιχεία του D4D είναι η τεχνική της απόκρυψης (mask) του πρίσματος, το μάτι και η οθόνη (LC) (liquid crystal). Οι δύο στερεο-εικόνες του αντικειμένου γίνονται αντιληπτές από τα μάτια του παρατηρητή μέσω της μάσκας του πρίσματος.

Περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά την γεω-οπτικοποίηση αναφέρονται από τον Liehmann (2002), του οποίου η δουλειά προσέφερε μια γενική επισκόπηση εφαρμογών, όπως των συμμετοχικών επικαλύψεων, των στατικών και των δυναμικών πανοραμικών όψεων, καθώς και των τοπογραφικών αναπαραστάσεων. Το Dresden 3D LC Display επιλέχθηκε γιατί αποτελεί μια από τις πιο αληθείς τρισδιάστατες τεχνικές, που επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ των

δυσδιάστατων χαρτών και των αναλογικών αληθών χαρτών καθιστώντας ικανό το αποτέλεσμα της οπτικοποίησης της αληθούς τρίτης διάστασης [25].

2.7.3 Σχέση αληθών τρισδιάστατων τεχνικών και γεω-οπτικοποίησης

Η γεω-οπτικοποίηση αρχικά επικεντρώθηκε στην αναπαράσταση και στην απεικόνιση του τρισδιάστατου φυσικού περιβάλλοντος. Στη μακρά ιστορία της χαρτογραφίας αναδύθηκε μια μεγάλη ποικιλία τρισδιάστατων μεθόδων προσομοίωσης [45], με τη σκίαση των ορεινών όγκων την πιο γνωστή. Μια από τις ιδιομορφίες των αποτελεσματικών μεθόδων της τρισδιάστατης προσομοίωσης είναι ότι επωφελούνται των χαρακτηριστικών του ανθρώπινου οπτικού συστήματος για την αίσθηση του πραγματικού κόσμου, προκαλώντας την ψευδαίσθηση της τρίτης διάστασης σε μια δισδιάστατη απεικόνιση. Στην οθόνη η τρίτη διάσταση γίνεται αντιληπτή μέσω της χρήσης του στερεογράμματος.

Η πρόσφατη ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών προσέφερε πρωτότυπες μεθόδους και τεχνικές στην τρισδιάστατη γεω-οπτικοποίηση με την παράλλαξη της κίνησης να αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα. Οι Graf [33] και Carlberg [11] ήταν οι πρώτοι που παρουσίασαν τις χαρτογραφικές αληθείς μεθόδους, οι οποίες εφαρμόστηκαν πρόσφατα στη γεω-οπτικοποίηση [104].

Βασικά, οι αληθείς τρισδιάστατες τεχνικές χρησιμοποιούνται προκειμένου να απεικονίσουν φαινόμενα με χωρική έκταση, όπως το αστικό περιβάλλον. Αλληλεπιδράσεις διαφορετικών φαινομένων, κίνηση φαινομένων στο χώρο (π.χ. στη γεωλογία, κλιματολογία, αρχιτεκτονική του χώρου κλπ.) αποτελούν δημοφιλείς απεικονίσεις. Πεδία στα οποία εφαρμόζονται αληθείς τρισδιάστατες τεχνικές στη γεω-οπτικοποίηση περιλαμβάνουν [25]:

- Μηχανισμούς σχεδιασμού – π.χ. κλιματολογικός σχεδιασμός [29], [98], [107].
- Αναλύσεις – π.χ. περιβαλλοντικές αναλύσεις που βασίζονται σε αντικειμενοστραφή δεδομένα [5].
- Εκπαίδευση – π.χ. η χρήση αναγλύφων για την εκπαίδευση στη γεωλογία και στη χαρτογραφία στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Ντακότας [73].
- Πηγές πληροφοριών – π.χ. η ‘SRTM mission’ αναπαράσταση των τρισδιάστατων δεδομένων με πολλαπλές στερεοσκοπικές τεχνικές [69] ή ο ‘True 3D Atlas’ στη Dresden 3D LC απεικόνιση [49].
- Χάρτες ως τέχνη – π.χ. η δουλειά του Ambroziak [3].

2.7.4 Χαρτογραφικό θεωρητικό υπόβαθρο αληθών 3D τεχνικών

Προκειμένου να εξακριβωθεί η χρησιμότητα των αληθών τρισδιάστατων τεχνικών της γεω-οπτικοποίησης κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη θεωρητικού υπόβαθρου [25]. Η εφαρμογή τέτοιου είδους τεχνικών στη γεω-οπτικοποίηση επιτρέπει στους ερευνητές και στους επιστήμονες να εκτιμήσουν άτυπα τη δυναμική της. Ωστόσο, υπάρχει η ανάγκη εμπειρικής ανάλυσης και αντικειμενικών μετρήσεων προκειμένου να αποκτηθεί περαιτέρω γνώση για τη χρησιμότητα των πιθανοτήτων που παρέχονται από ένα αληθές τρισδιάστατο [104].

Ορισμένες από τις χαρτογραφικές θεωρίες δημιουργούν προσεγγίσεις που μπορούν προσαρμοστούν με τις αληθές τρισδιάστατες τεχνικές, όπως για παράδειγμα οι θεωρίες για τις ιδιότητες και τη σημασιολογία του χάρτη. Άλλες, όπως η θεωρία της σύνταξης χαρτών ή των γραφικών συστημάτων δεν μπορούν να καλύψουν πλήρως τις μοναδικές ιδιότητες των αληθινά τρισδιάστατων. Ένας από τους κύριους στόχους αυτών των θεωριών είναι η κατάλληλη προσέγγιση των χαρακτηριστικών Gestalt όπως το ύψος, το χρώμα, η φωτεινότητα κλπ. [25]. Παρέχοντας επιπλέον θεματική πληροφορία, οι αντιληπτικές θεωρίες διευκολύνουν την αντίληψη για τους τρόπους με τους οποίους βλέπουν και σκέφτονται οι άνθρωποι, τις ικανότητές και τους περιορισμούς τους.

Ο Gilmartin [31] προέβλεψε μια έγκυρη προσέγγιση για τις εμπειρικές έρευνες στη χαρτογραφία, περιγράφοντας τα προκαταρκτικά στάδια της διαδικασίας ανάγνωσης του χάρτη η οποία χωρίζεται σε τρία μέρη, μεταξύ των οποίων η πρωταρχική ψυχολογία, η πρωταρχική γνώση και η ψυχοφυσιολογική γνωσιακή σφαίρα (psychophysical-cognitive sphere).

Η πρωταρχική ψυχολογία ταυτοποιεί τη σχέση μεταξύ της φυσικής διέγερσης που εκπέμπεται από την αληθή πραγματική εικόνα ή από τα απλά σύμβολα με την αντίστοιχη αντίληψή τους από τον παρατηρητή. Η πρωταρχική γνώση περιλαμβάνει τη διαδικασία διέγερσης από μια αληθινή τρισδιάστατη εικόνα η οποία εξαρτάται από την εμπειρία του παρατηρητή, τη γνώση και το συναίσθημα. Τέλος, η ψυχοφυσιολογική γνωσιακή σφαίρα σχετίζεται με τη διαδικασία ανάγνωσης του χάρτη ως σύνολο. Οι αληθείς τρισδιάστατες τεχνικές που αποτελούν μια νέα μέθοδο απεικόνισης στη γεω-οπτικοποίηση χρησιμοποιούν τα ανωτέρω προκαταρκτικά στάδια με το τρίτο στάδιο να έχει τη μεγαλύτερη επίδραση.

Σύμφωνα με μια δεύτερη θεωρητική προσέγγιση παρατίθεται μια σειρά από τα χαρακτηριστικά των αληθών τρισδιάστατων εικόνων, όπου η συναφής κατηγοριοποίηση των Castner και Eastman [12] χρησιμοποιείται σαν γενική πηγή. Αυτοί προσδιόρισαν τη διαφορά μεταξύ της «αυθόρμητης» παρατήρησης κατά την οποία ο παρατηρητής δεν έχει προκαθορισμένες απαιτήσεις, από την «στοχευμένη» παρατήρηση (task-specific) όπου ο παρατηρητής βλέπει μια

εικόνα προκειμένου να εκπληρώσει κάποιο συγκεκριμένο στόχο του. Αυτή η διάκριση είναι ιδιαίτερης σημασίας καθώς οι ιδιότητες μιας εικόνας επηρεάζουν ποικιλοτρόπως τις διαφορετικές διαδικασίες παρατήρησης. Τα χαρακτηριστικά των εικόνων είναι τριών ειδών [25]:

- **Φυσικές ιδιότητες**

Οι φυσικές ιδιότητες αναφέρονται σε στοιχεία σχεδιασμού (απλά σύμβολα ή ερεθίσματα), όπως το χρώμα, η φωτεινότητα, η σκίαση, η απόδοση της υφής κλπ..

- **Ιδιότητες Gestalt**

Πρόκειται για σύνθετα και πολύπλοκα στοιχεία σχεδιασμού (περισσότερα του ενός απλού συμβόλου ή ερεθίσματος), όπως ο παραλληλισμός, η ομοιότητα, η εγγύτητα κλπ..

- **Γνωσιακές ιδιότητες**

Οι γνωσιακές ιδιότητες είναι οι υποκειμενικές συσχετίσεις που προκύπτουν από την εμπειρία και την γνώση του χρήστη.

Οι φυσικές ιδιότητες και οι ιδιότητες Gestalt μιας αληθούς τρισδιάστατης εικόνας επηρεάζουν περισσότερο τη διαδικασία της οπτικής αντίληψης όταν οι εικόνες παρατηρούνται «αυθόρμητα», αλλά όταν μια εικόνα εξετάζεται προκειμένου να λυθεί ένα συγκεκριμένο πρόβλημα οι γνωσιακές ιδιότητες έρχονται στην επιφάνεια. Όταν η παρατήρηση είναι στοχευμένη τότε τα γραφικά σχεδιαστικά στοιχεία έχουν μικρότερη επίδραση στην οπτική αντίληψη. Το οπτικό ερέθισμα που προκαλούν έχει στενή σχέση με το δεδομένο πρόβλημα.

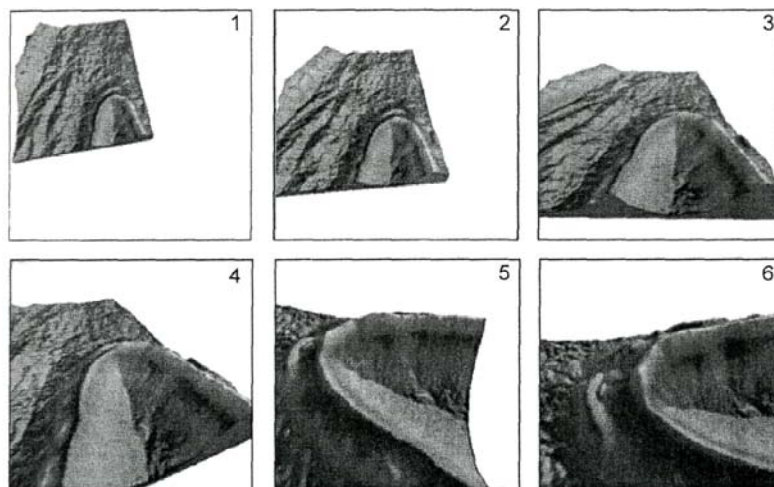
Εναλλακτικά, όταν η παρατήρηση του χάρτη είναι αυθόρμητη, τα γραφικά σχεδιαστικά στοιχεία «ρυθμίζουν» τα σημεία ή τις περιοχές προσοχής. Το ποσοστό επίδρασης που έχει κάθε μια από τις ιδιότητες κατά τη διαδικασία της οπτικής αντίληψης εξαρτάται στενά από το ποιος θα είναι ο χρήστης. Για παράδειγμα, εάν μια εικόνα εμφανιστεί ως αποτέλεσμα μιας τεχνικής, αυτή θα δημιουργήσει μεγαλύτερο αντίκτυπο ανάμεσα σε αυτούς τους χρήστες που η εμπειρία τους με τη συγκεκριμένη τεχνική είναι μέτρια ή σχεδόν ανύπαρκτη.

2.8 Χαρακτηριστικά των Τρισδιάστατων Οπτικών Αναπαραστάσεων

Η τρισδιάστατη οπτική αναπαράσταση ενός φαινομένου μπορεί να γίνει ανεξαρτήτως των διαστάσεων του και των διαστάσεων του μέσου μέσω του οποίου γίνεται η οπτικοποίηση. Η οπτικοποίηση προϋποθέτει απεικονίσεις επιλεγμένων μεγεθών του συνόλου των δεδομένων με βάση τις οπτικές μεταβλητές. Αυτό συνήθως συνεπάγεται την απλοποίηση και αφαίρεση της πληροφορίας, όπως αυτή μπορεί να εκφραστεί με τη χρήση ενός μειωμένου σετ οπτικών μεταβλητών, π.χ. το μέγεθος, την απόχρωση, την υφή, τον προσανατολισμό κλπ. [6], [66], [55].

Η ορθή οπτική αναπαράσταση προϋποθέτει την κατανόηση του τι απεικονίζεται. Για παράδειγμα, η συμβατική δισδιάστατη χαρτογραφία απεικονίζει συνήθως τις δύο χωρικές διαστάσεις του συνόλου των δεδομένων, ενώ η τρισδιάστατη αναπαράσταση απεικονίζεται μέσω της προβολής των τριών διαστάσεων πάνω σε ένα δισδιάστατο επίπεδο. Ο βαθμός ελευθερίας λαμβάνεται υπόψη σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται το βάθος, με σκοπό την ενίσχυση αυτής της προβολής (προοπτική απεικόνιση και παράλληλη κίνηση).

Η τρισδιάστατη γεω-οπτικοποίηση δεν περιορίζεται στην αναπαράσταση δεδομένων τα οποία έχουν τρεις διαστάσεις. Ο επιπλέον βαθμός ελευθερίας που προσφέρει η z-διάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αναπαράσταση άλλων μεταβλητών, όπως για παράδειγμα για την απεικόνιση της μεταβλητής του χρόνου [37], [28]. Επίσης, τρισδιάστατα μπορούν να απεικονιστούν τα συνεχή δεδομένα, όπως η πυκνότητα του πληθυσμού [104], η θερμοκρασία [77] κ.ά.. Γενικά, το μέγεθος, η διάρκεια και το στάδιο εξέλιξης των δεδομένων μπορούν να απεικονιστούν στο χάρτη. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί κανείς να ενισχύσει τις τρισδιάστατες φυσικές ιδιότητες της αναπαράστασης, έχοντας τη δυνατότητα απεικόνισης δυναμικών μεταβλητών. Στο παρακάτω σύνολο εικόνων (Εικόνα 18) απεικονίζεται η αναπαράσταση μιας δυναμικής διαδικασίας και ειδικότερα η κίνηση στον τρισδιάστατο χώρο.



Εικόνα 18: Αναπαράσταση της εξέλιξης της δυναμικής διαδικασίας [25]

Ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται η κάθε αναπαράσταση επηρεάζεται από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η πλοήγηση στο χώρο. Οι διάφορες αναπαραστάσεις και τα πρότυπα πλοήγησης μπορούν να προστεθούν, ώστε να ενισχύσουν την ψευδαίσθηση της μετακίνησης [74], [101], [29].

Τα πρότυπα πλοήγησης όχι μόνο επιτρέπουν την τρισδιάστατη αναπαράσταση των οπτικών αντικειμένων, αλλά επιτρέπουν την κατασκευή του τρισδιάστατου χώρου πάνω στον οποίο

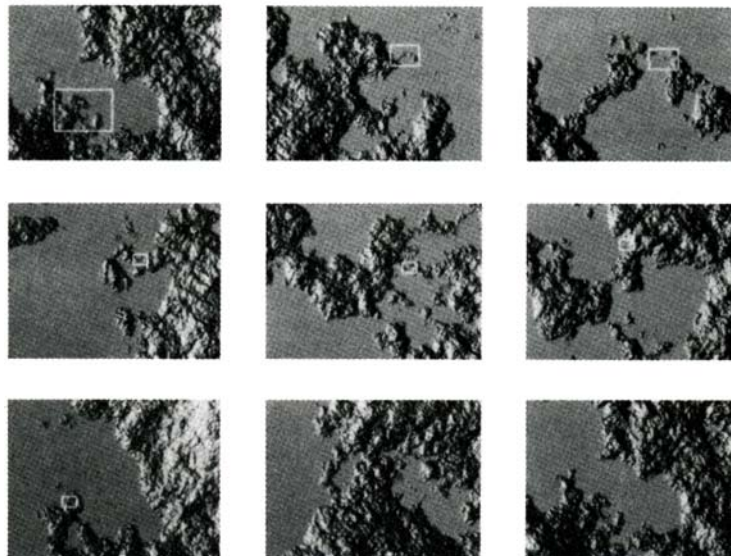
χωροθετούνται τα αντικείμενα. Αυτό επιτρέπει την αξιοποίηση της αίσθησης του χώρου, καθώς και του τι βρίσκεται πίσω ή κάτω κλπ., ανεξαρτήτως του αν αυτά τα χαρακτηριστικά βρίσκονται εντός ή εκτός της περιοχής μελέτης.

2.9 Η Έννοια της Κλίμακας – Διαδικασία Mirmapping

Η έννοια της κλίμακας χαρακτηρίζεται από τρία στοιχεία και συγκεκριμένα από τη χαρτογραφική κλίμακα, από τη συχνότητα δειγματοληψίας, καθώς επίσης και από τη χωρική έκταση [25]. Η πληροφορία που αναπαριστάται με τη χρήση των τριών διαστάσεων αποτελεί έναν τρόπο οπτικοποίησης των πολυδιάστατων δεδομένων (multi-dimensional data).

2.9.1 Η απεικόνιση της κλίμακας

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες με στόχο τον χαρακτηρισμό της κλίμακας ανάλογα με τα χωρικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων και των γεωστατιστικών [75], [68], τη μοντελοποίηση fractal (Εικόνα 19) [16] και τη Φασματική και Κυματική ανάλυση [79], [30]. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια οπτικοποίησης των δεδομένων η δυναμική τρισδιάστατη οπτικοποίηση είναι χρήσιμη, αφού προϋποθέτει την απόδοση δεδομένων σε μια σειρά κλιμάκων οι οποίες μπορούν να αλλάξουν δυναμικά [103].



Εικόνα 19: Απεικόνιση μιας fractal ακτής [32]

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται μια ακτή fractal, όπου η γραμμή μιας παραλίας έχει φτιαχτεί στον υπολογιστή. Έτσι, οι λεπτομέρειες δεν είναι τυχαίες, αλλά η fractal διάσταση είναι

σταθερή, συνεπώς ο βαθμός ανωμαλίας ή αταξίας φαίνεται να είναι ο ίδιος, όσο και αν η εικόνα υποστεί μεγέθυνση [32].

Η κλίμακα μπορεί να απεικονιστεί με διάφορους τρόπους. Ειδικότερα, υπάρχουν τριών ειδών κλίμακες, οι οποίες αντιστοιχούν σε αυτές που προσδιόρισαν οι Lam και Quattrochi [47]. Η παραδοσιακή χαρτογραφική προσέγγιση της κλίμακας προσδιορίζει τη σχέση μεταξύ του μεγέθους (magnitude) της χαρτογραφικής αναφοράς (φαινόμενο που αναπαριστάται) και της χαρτογραφικής αναπαράστασης. Ωστόσο, παρόλο που η ύπαρξη κλίμακας κρίνεται απαραίτητη στο μεγαλύτερο σύνολο χαρτών, κρίνεται ακατάλληλη στους δυναμικούς χάρτες.

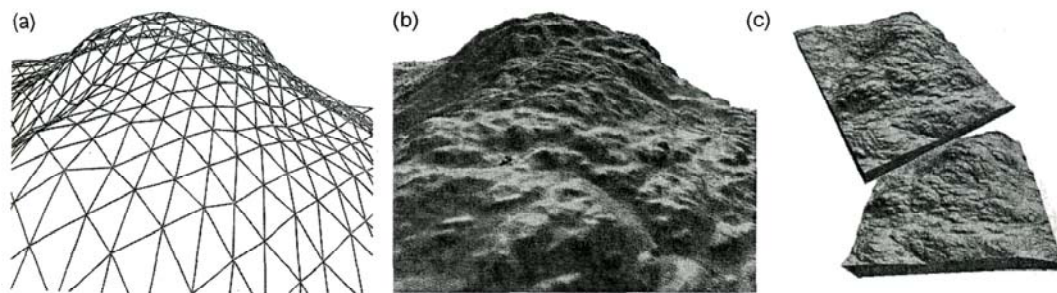
Όσον αφορά την τρισδιάστατη αναπαράσταση, η ιδέα χρήσης της κλίμακας έχει ελάχιστη σημασία. Σε αυτές τις περιπτώσεις η κλίμακα μπορεί να αντικατασταθεί από το επίπεδο λεπτομέρειας με το οποίο αναπαριστάται η ευκρίνεια, καθώς και από τη χωρική έκταση, γνωστή ως γεωγραφική κλίμακα [7].

Σε ορισμένες περιπτώσεις, καθώς αυξάνεται η ευκρίνεια μειώνεται η έκταση της αναφερόμενης περιοχής. Συνεπώς, εφαρμόζοντας τη διαδικασία zoom in και zoom out στη χαρτογραφική αναπαράσταση, επιτυγχάνεται η διάκριση της διαφοράς των αντικειμένων του πραγματικού κόσμου καθώς πλησιάζουμε ή απομακρυνόμαστε από αυτά. Στην περίπτωση των συνεχών μοντέλων επιφανείας όπου η χωρική πληροφορία προέρχεται από τα μοντέλα εδάφους, υπάρχει ένα επιπλέον είδος απεικόνισης της κλίμακας.

Όσον αφορά την κλίμακα των συνεχών επιφανειών μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές, στον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο οι ιδιότητες της μετρούμενης επιφάνειας διαφέρουν τόσο σε επίπεδο λεπτομέρειας, όσο και στην έκταση πάνω στην οποία γίνονται οι μετρήσεις. Τέτοιες τεχνικές αποτελούν η παραμετροποίηση πολλαπλής κλίμακας [102] και ο χαρακτηρισμός μικρών περιοχών [59], [95].

2.9.2 Τρισδιάστατη απόδοση

Η κατασκευή του τρισδιάστατου κόσμου βασίζεται στη χρήση της γεωμετρίας. Ο χώρος αποτελείται από πολλά αντικείμενα, κάθε ένα από τα οποία έχει τη δική του γεωμετρία, ανάλογη της δομής των χωρικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται από το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών GIS (χωρική αναφορά ψηφιακών δεδομένων, δομές διανυσματικών δεδομένων, κλπ.) (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Τα στοιχεία της τρισδιάστατης απόδοσης: (a) γεωμετρία, (b) υφή και (c) όψη μετασχηματισμού [25]

Σε αυτές τις περιπτώσεις οι δομές πρέπει να προσαρμόζονται μεταβάλλοντας την πολυπλοκότητά τους ανάλογα με τις παραλλαγές που μπορούν να αναπαρασταθούν [83], [8]. Οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να προσαρμοστούν οι δομές εξαρτώνται από τη χωρική αυτοσυσχέτιση και από τη κατανομή των χαρακτηριστικών που μοντελοποιούνται [41].

Σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον απόδοσης, το αποτέλεσμα της οπτικοποίησης πρέπει να είναι κάποια χαρακτηριστική επιφάνεια με μια υφή, όπου να απεικονίζεται η λεπτομερής χωρική θέση της γεωμετρίας της περιοχής. Επίσης, η δυναμική τρισδιάστατη απόδοση προϋποθέτει τη διαδικασία μετασχηματισμού. Μεταβάλλοντας την προβολή των χαρακτηριστικών στην οθόνη μπορεί να προσομοιωθεί η κίνηση στον τρισδιάστατο χώρο. Συνεπώς, προκειμένου να διατηρηθεί π.χ. η ψευδαίσθηση της κίνησης του νερού μέσα στο χώρο, πρέπει να υπολογιστούν οι μετασχηματισμοί και να μεταβληθεί η κατάστασή τους 10 – 100 φορές το δευτερόλεπτο.

Η απόδοση των δυναμικών δεδομένων σε τρεις διαστάσεις μπορεί να δημιουργήσει εναλλακτικούς τρόπους οπτικοποίησης πολλαπλών κλιμάκων της πληροφορίας. Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες για την τρισδιάστατη απόδοση, όπως η VRML, η Java3D, η Direct3D, η OpenGL κλπ..

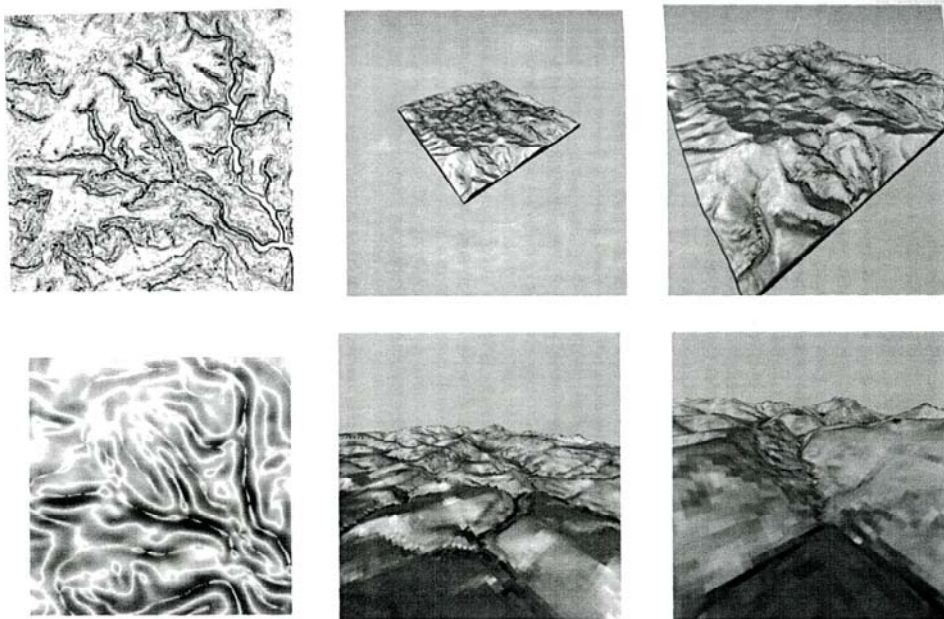
2.9.3 Η διαδικασία του Mipmapping

Η απόδοση υφής με έμφαση στην ψηφιακή ανάλυση είναι πιθανό να οδηγήσει σε μεγάλη ποσότητα πληροφορίας. Ένα μοντέλο ψηφιακής επιφάνειας 1000x1000 pixels με τυπική διακύμανση 128x128 κελιών θα οδηγήσει σε επεξεργασία 1.6×10^{10} pixels για την απόδοση υφής εάν δεν χρησιμοποιηθούν ευριστικές μέθοδοι βελτιστοποίησης της επεξεργασίας [25].

Η πιο ευρεία χρήση τους για την απεικόνιση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων είναι γνωστή ως mipmapping σύμφωνα με την οποία προϋπολογίζονται βελτιστοποιημένες συλλογές από εικόνες

bitmap οι οποίες συνοδεύουν τη βασική απόδοση υψής προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα κατά τη διαδικασία της απόδοσης [110].

Με αυτή τη διαδικασία τα χαρακτηριστικά που απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα υπολογίζονται σε διαφορετικά bitmap επίπεδα με αποτέλεσμα όταν αλλάζει θέση ο παρατηρητής, κάθε νέα θέση του να μπορεί να απεικονιστεί με μια διαφορετική αλληλουχία χαρακτηριστικών. Συνεπώς, με αυτή τη διαδικασία αυξάνεται η αποδοτικότητα και η ταχύτητα με την οποία μπορούν να αποδοθούν πλούσιες σε χαρακτηριστικά σκηνές, επιτρέποντας στις επιφανειακές ιδιότητες να αναπαριστώνται οπτικά ταυτόχρονα με διαφορετικά μεγέθη κλίμακας. Στην περίπτωση των επιφανειακών μετρήσεων, οι οπτικές αναπαραστάσεις του συνόλου των μετρήσεων μετατοπίζονται σε μια bitmap ζώνη και κάθε επίπεδο αντιστοιχεί σε μια διαφορετική κλίμακα, όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 21), όπου οι αποστάσεις των κορυφών δείχνουν το μέγεθος των καμπυλών που υπολογίστηκαν πάνω σε μια μεγάλη έκταση. Καθώς ο παρατηρητής μετακινείται γύρω από την περιοχή αλλάζει δυναμικά η αναπαράσταση, αφού η κλίμακα μεταβάλλεται ως εξαρτημένη μεταβλητή.



Εικόνα 21: Καμπυλότητα μιας επιφάνειας μετρημένη με διαφορετικές κλίμακες (αριστερές εικόνες), βασισμένες στις ζώνες χαρακτηριστικών στο bitmap [25]

2.10 Μέθοδοι Οπτικοποίησης

Οι μέθοδοι οπτικοποίησης ποικίλουν ως προς τον τύπο και ως προς τον σκοπό τους. Ορισμένες από τις τεχνικές επικεντρώνονται μόνο στον οπτικό χαρακτήρα του αναγλύφου, ενώ άλλες είναι πιο αναλυτικές δίνοντας ακριβείς υψομετρικές πληροφορίες [4]. Επίσης, οι μέθοδοι

οπτικοποίησης ταξινομούνται σε δύο βασικές ενότητες οντοτήτων οι οποίες μπορούν να οπτικοποιηθούν. Σύμφωνα με τους Lange και Bishop [48] υπάρχει τόσο η οπτικοποίηση των δεδομένων, μοντέλων και σχέσεων, όσο και η οπτικοποίηση των τοπίων και περιβαλλόντων που αλλάζουν (π.χ. δυναμικά περιβάλλοντα).

2.10.1 Προοπτικοί εικονογραφικοί χάρτες

2.10.1.1 Τρισδιάστατα διαγράμματα

Το 19^ο αιώνα χρησιμοποιήθηκαν τα τρισδιάστατα διαγράμματα (αντισυμβατική μορφή χάρτη) με στόχο την απεικόνιση γεωλογικών εννοιών, ενώ πρόσφατα χρησιμοποιούνται ως μια τυπική μορφή γραφικής έκφρασης από τους γεωλόγους. Οι γεωλογικές μελέτες εικονογραφήθηκαν με διατομές, όπου η πάνω άκρη της διατομής ήταν μια εγκάρσια τομή της επιφάνειας και πάνω στην οποία προστέθηκε η σκιαγράφιση.

Με τα τρισδιάστατα διαγράμματα απεικονίζεται ο φλοιός της γης με τη μορφή μιας στήλης, κάνοντας ορατά τα στοιχεία του εδάφους κατά μήκος αυτής. Επίσης, μπορούν να παρασταθούν τα διαδοχικά στάδια της γεωλογικής εξέλιξης μιας περιοχής [4].

2.10.1.2 Πλάγια άποψη περιοχών

Η πλάγια άποψη μιας περιοχής (αντισυμβατική μορφή χάρτη), δημιουργείται, είτε πάνω σε μια ορθογραφική προβολή, είτε πάνω σε μια πλάγια φωτογραφία και απαιτεί την υπερβολή στη ρεαλιστική απεικόνιση του αναγλύφου [4].

2.10.1.3 Σχηματικοί χάρτες

Οι σχηματικοί χάρτες προήλθαν από τα τρισδιάστατα διαγράμματα και τις πλάγιες απόψεις, συνδυάζοντας την προοπτική άποψη των εξάρσεων του εδάφους, με τη δισδιάστατη ακρίβεια των συμβατικών χαρτών.

- **Φυσιογραφικό διάγραμμα**

Στα φυσιογραφικά διαγράμματα, ο χαρτογράφος στοχεύει στη συσχέτιση του αναγλύφου με τη γεωλογία και τη γεωμορφολογία μέσω της μεταβολής της έντασης του χρώματος και της υψής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την απεικόνιση των διαφορετικών δομών των πετρωμάτων.

- **Χάρτης εδαφικού τύπου**

Χαρακτηριστικό των χαρτών εδαφικού τύπου είναι η έμφαση που αποδίδεται στους σχηματισμούς του εδάφους μέσω της χρήσης σχηματικών συμβόλων.

Μειονέκτημα των δύο παραπάνω σχηματικών χαρτών αποτελεί το γεγονός ότι τα στοιχεία δε βρίσκονται στη σωστή επιπεδομετρική τους θέση, αφού η πλάγια όψη του αναγλύφου έχει κατακόρυφη διάσταση [4].

2.10.2 Μορφομετρικοί χάρτες

Η δυνατότητα κατασκευής υψομετρικών χαρτών, χαρτών προσανατολισμού ή κλίσεων με τη χρήση DTM δεδομένων, είναι απλή αφού μπορεί να χρησιμοποιηθούν σύμβολα των συμπεριλαμβανομένων περιοχών, με στόχο την ενίσχυση των ισαριθμικών ή δασυμετρικών γραμμών. Επίσης, σε αυτού του είδους τους χάρτες απεικονίζεται το τοπικό ανάγλυφο, δηλαδή η διαφορά μεταξύ του υψηλότερου και του χαμηλότερου υψομέτρου μιας περιοχής [4]. Ωστόσο, ένα από τα μειονεκτήματα αυτών των χαρτών είναι η δυσκολία καθορισμού του θέματος που πρόκειται να απεικονιστεί.

- **Χάρτης ζωνών κλίσεων**

Οι χάρτες ζωνών κλίσεων κατασκευάζονται σε σχετικά μικρές κλίμακες και η χρησιμότητά τους αναφέρεται στην αξιολόγηση των σχέσεων μεταξύ των ειδών της εδαφικής διάβρωσης [4].

- **Χάρτης κατεύθυνσης κλίσεως**

Οι χάρτες κατεύθυνσης κλίσεως είναι γνωστοί και ως χάρτες προσανατολισμού, όπου ως προσανατολισμός ορίζεται η κατεύθυνση της πυξίδας σε συνδυασμό με το μέγιστο βαθμό μεταβολής του ύψους ή της κλίσεως. Η όψη υπολογίζεται σε σχέση με τις έδρες που δημιουργούνται κατά την προσαρμογή ενός επιπέδου σε τρεις ή περισσότερες υψομετρικές τιμές από ένα DTM [4].

2.10.3 Εδαφικοί χάρτες

Οι εδαφικοί χάρτες απεικονίζουν βουνά, λόφους, πεδιάδες, ώριμα κατατετημημένο λοφώδες έδαφος κλπ.. Οι μέθοδοι απεικόνισης αυτών των χαρτών αποτελούν δασυμετρικές μορφές χαρτογράφησης, όπου οι γραμμές που ορίζουν τα σύμβολα της περιοχής αποτελούν ζώνες αλλαγής [4].

2.10.4 Γραμμοσκιάσεις

Η μέθοδος της γραμμοσκίασης προτάθηκε από τον Johann Georg Lehmann (1799), ο οποίος πρότεινε να τοποθετήσει ξεχωριστές γραμμές στην κατεύθυνση της μεγαλύτερης κλίσης. Αυτό

σημαίνει ότι ο προσανατολισμός μιας γραμμοσκίασης πάνω στο χάρτη είναι κάθετος στις ισοϋψείς. Η χρήση των γραμμοσκιάσεων αποδείχθηκε χρήσιμη σε χάρτες μεγάλης κλίμακας στρατιωτικών τοπογραφικών χαρτών.

Επίσης, ο Lehmann πρότεινε να δημιουργηθούν τα πλάτη των γραμμοσκιάσεων ανάλογα με την κλίση των πλαγιών στις οποίες αναφέρονται. Έτσι, στους χάρτες όπου σχεδιάζονται κοντά πολλές γραμμοσκιάσεις, απεικονίζονται συλλογικά πληροφορίες για τη διαμόρφωση της επιφάνειας [4].

2.10.5 Χρήση ισοϋψών καμπυλών

Ο πιο ακριβής τρόπος απόδοσης των υψομετρικών πληροφοριών γίνεται με τη χρήση ισοϋψών καμπυλών, γραμμών που ενώνουν τα σημεία ίσου υψομέτρου. Πρόκειται για ισαπέχουσες οριζόντιες επιφάνειες που προκύπτουν μέσα από την τρισδιάστατη επιφάνεια του εδάφους και την ορθή προβολή των ιχνών στην επιφάνεια του χάρτη [4].

Η απόδοση που προσφέρουν οι ισοϋψείς καμπύλες δεν είναι τόσο καλή, όσο η απόδοση μέσω της σκίασης του αναγλύφου.

2.10.5.1 Ισοδιάσταση

Η επιλογή της κατακόρυφης απόστασης μεταξύ των ισοϋψών είναι ιδιαίτερης σημασίας. Η αύξηση της ισοδιάστασης συνεπάγεται τη μείωση λεπτομερειών στην απόδοση της επιφάνειας. Ωστόσο, ορισμένες φορές η αύξηση είναι αναγκαία λόγω της μικρής κλίμακας ή της έλλειψης των δεδομένων. Συνεπώς, σε αυτές τις περιπτώσεις οι ισοϋψείς μπορούν να προσεγγίσουν μόνο τη μορφή της επιφάνειας.

Η επιλογή της ισοδιάστασης βασίζεται στην ακρίβεια και πληρότητα των δεδομένων, τον σκοπό και την κλίση του χάρτη. Συνήθως, η πολύ μικρή ισοδιάσταση συνεπάγεται συνωστισμό των ισοϋψών στο χαρτογραφικό αποτέλεσμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ισοδιάσταση συνήθως είναι σταθερή γιατί η μεταβλητή ισοδιάσταση υπολογίζεται και αποδίδεται οπτικά πολύ δύσκολα [4].

2.10.5.2 Ακρίβεια ισοϋψών

Η ακρίβεια των ισοϋψών περιλαμβάνει τη σχετική και την απόλυτη ακρίβεια. Η σχετική ακρίβεια υπολογίζεται εύκολα και αναφέρεται στη σχέση των ισοϋψών μεταξύ τους, ενώ η απόλυτη ακρίβεια δίνει ακριβή υψόμετρα.

Ένα σχετικό πρόβλημα προκύπτει εξαιτίας της αυθαίρετης τοποθέτησης των οριζόντιων επιπέδων των ισοϋψών ως προς το έδαφος, η οποία μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση των μικρών σε μέγεθος στοιχείων.

2.10.5.3 Γενίκευση ισοϋψών

Το πάχος της γραμμής των ισοϋψών καμπυλών ενδέχεται να περιορίζει το βαθμό καμπυλότητας με αποτέλεσμα μια ισοϋψής γραμμή να μη μπορεί να αντικατοπτρίσει κάθε υψομετρική μεταβολή. Για το λόγο αυτό γενικεύονται ανεξαρτήτως της κλίμακας στην οποία βρίσκονται.

Πιο συγκεκριμένα, η γενίκευση των ισοϋψών γίνεται προκειμένου να τοποθετηθούν οι ισοϋψείς όσο το δυνατόν ακριβέστερα, να αποδοθούν οι λεπτομέρειες και να απεικονιστούν σωστά τα στοιχεία του εδάφους.

2.10.5.4 Χρωματισμός κατά ζώνες

Η πιο γνωστή μέθοδος αναπαράστασης πληροφοριών είναι ο χρωματισμός κατά ζώνες ή αλλιώς υψομετρικός χρωματισμός. Τα χρώματα των ζωνών σε χάρτες μικρής κλίμακας μπορούν να συνδυαστούν με εικονογραφικές τεχνικές ή με τεχνικές σκίασης.

2.10.6 Σκίαση αναγλύφου

Οι ισοϋψείς καμπύλες απεικονίζουν με ακρίβεια τα υψόμετρα, αλλά το αποτέλεσμα του χάρτη που προκύπτει δεν είναι αρκετά ρεαλιστικό. Η πιο ρεαλιστική απεικόνιση του αναγλύφου επιτυγχάνεται μέσω των χρωμάτων και της υφής, ενώ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η αλληλεπίδραση μεταξύ του φωτός με το σκοτάδι.

Η σκίαση αναγλύφου συνίσταται σε ένα χάρτη διαφορών φωτεινότητας με κάποιες προϋποθέσεις. Αρχικά, γίνεται υπόθεση ότι το φως προέρχεται από σταθερή κατεύθυνση και υψόμετρο και ανακλάται από διάφορες πλαγιές μιας ανακλαστικής επιφάνειας, ενώ ο παρατηρητής βλέπει το χάρτη από ορθογώνια άποψη. Θεωρητικά, η φωτεινή πηγή εντοπίζεται στο ζενίθ ή σε οποιαδήποτε άλλη θέση που παρέχει πλάγιο φωτισμό [4].

2.10.6.1 Κατακόρυφος φωτισμός

Ο κατακόρυφος φωτισμός δημιουργεί ένα μοτίβο ανάκλασης στο οποίο οι οριζόντιες επιφάνειες είναι λευκές ανεξάρτητα από το υψόμετρο στο οποίο βρίσκονται. Οι σκουρότερες επιφάνειες αντιστοιχούν σε περιοχές που αποκλίνουν από το να είναι οριζόντιες.

2.10.6.2 Πλάγιος φωτισμός

Στον πλάγιο φωτισμό η ανακλαστικότητα της επιφάνειας εξαρτάται από τον προσανατολισμό της σε σχέση με το προσπίπτον φως. Ο πλάγιος φωτισμός είναι βορειοδυτικός και έτσι αυτή η επιφάνεια με κάθετη κλίση στο φωτισμό θα απεικονίζεται με λευκό χρώμα, αφού η αντανάκλαση θα είναι μέγιστη.

Κάθε άλλη επιφάνεια με βορειοδυτική φορά και με τη μεγαλύτερη ή μικρότερη κλίση θα απεικονίζεται σκουρότερη. Η γκριζα σκίαση αντιστοιχεί σε οριζόντια επιφάνεια. Ομοίως, όσο μια κορυφογραμμή αποκλίνει από τη βορειοδυτική κατεύθυνση, τόσο πιο σκούρα θα είναι. Η μέγιστη σκοτεινότητα αντιστοιχεί σε απότομη πλαγιά της οποίας η φορά είναι νοτιοανατολική.

Η κατεύθυνση του φωτός και το υψόμετρο της φωτεινής πηγής διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απεικόνιση της επιφάνειας. Χαμηλώνοντας το υψόμετρο της φωτεινής πηγής, δίνεται περισσότερη έμφαση στις μορφές χαμηλού αναγλύφου προκαλώντας μεγαλύτερες αντιθέσεις [4].

2.10.6.3 Η σκίαση ως συμβολισμός

Η σκίαση αναγλύφου χρησιμοποιεί συνήθως σύμβολα για την απεικόνιση της περιοχής με διαφορετικές τιμές. Αξίζει να τονιστεί ότι ένας χάρτης σκίασης αποτελεί μια γενικευμένη απεικόνιση και όχι ένα ακριβές αντίγραφο του πραγματικού κόσμου. Το αποτέλεσμα ρεαλισμού είναι εξαιρετικό όταν προκύπτει από τη χρήση πλήρους χρωματισμού, ενσωματώνοντας παραλλαγές που αντιστοιχούν στη βλάστηση, στις εποχές και στις μεταβολές χρωματισμού της επιφάνειας [4].

2.11 Εικονική Πραγματικότητα και Τρισδιάστατη Οπτικοποίηση

Η χρήση της τρίτης διάστασης στην οπτικοποίηση προσφέρει νέες δυνατότητες εξερεύνησης και αλληλεπίδρασης του συνόλου των γεωγραφικών δεδομένων, όπου με τη μέθοδο της τρισδιάστατης οπτικοποίησης είναι πιθανό να γίνουν διακριτά τα διαφορετικά επίπεδα της πληροφορίας.

Η γνώση του τι είναι από πίσω, από μπροστά, απέναντι και κάτω ή μέσα στο αντικείμενο (το οποίο εξερευνάται) μπορεί να αποδοθεί με τη χρήση διαφορετικών τεχνικών και μέσων. Καλύτερες είναι οι διαφορετικές μορφές της εικονικής πραγματικότητας (VR), οι οποίες παρόλο που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις HMDs απεικονίσσεις ή σε μεγαλύτερες εκτάσεις, όπως πανοραμικές απόψεις ή σπήλαια, δίνουν στο χρήστη την αίσθηση ότι μπορεί να ελέγχει ή να αλληλεπιδρά με ένα μοντέλο το οποίο αναπαριστάται σε πραγματικό χρόνο σε τρεις

διαστάσεις. Συνεπώς, όταν παρέχεται κίνηση μέσα ή γύρω από το μοντέλο, τότε -υπολογίζεται ξανά η οπτική γωνία με τη μεταβολή των παραμέτρων, προκειμένου ο χρήστης να αλλάξει θέση. Ο MacEachren μαζί με άλλους ερευνητές προσδιόρισαν τη διαφορά μεταξύ της αντικειμενικής θεώρησης της αναπαράστασης του αντικειμένου με αυτήν του περιβάλλοντος της εικονικής πραγματικότητας. Έτσι, το περιβάλλον οπτικοποίησης μπορεί να αποτελείται από ένα σύνθετο συνδυασμό αντικειμένων και συμπεριφορών που επιδεικνύουν τους ποικίλους βαθμούς ρεαλισμού. Το πλεονέκτημα της αύξησης του βαθμού ρεαλισμού έγκειται στα καλύτερα αποτελέσματα που προσφέρει στην πλοήγηση. Η απόδοση διαστάσεων του κάθε τύπου οπτικοποίησης δεν εξαρτάται μόνο από το χώρο, αλλά και από τις διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά του συνόλου των δεδομένων.

2.11.1 Αναπαράσταση εικονικού περιβάλλοντος

Το πρώτο στάδιο δημιουργίας του εικονικού περιβάλλοντος, αφορά τη σωστή επιλογή του είδους αναπαράστασης του μοντέλου που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις επόμενες φάσεις της οπτικοποίησης. Υπάρχει ποικιλία αναπαραστάσεων, όπως τα τρισδιάστατα τοπία, η αναπαράσταση του κόσμου με φωτορεαλισμό, καθώς και οι εικονικές αναπαραστάσεις [25].

2.11.1.1 Μοντέλα δεδομένων και βάσεις δεδομένων

Μια από τις σημαντικότερες πλευρές της μοντελοποίησης αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου δεδομένων για την κατασκευή του εικονικού περιβάλλοντος, όπου το πρώτο στάδιο αναφέρεται στην επιλογή του σωστού μοντέλου εννοιών. Προϋπόθεση για την ανάπτυξη του εννοιολογικού μοντέλου δεδομένων αποτελεί η επιλογή αντικειμένων και ο ορισμός των μεταξύ τους σχέσεων.

Μια άλλη άποψη προϋποθέτει τη λογική κατασκευή της μελέτης που αφορά την επιλογή κατάλληλης αναπαράστασης του τρισδιάστατου μοντέλου. Οι παραδοσιακές βάσεις δεδομένων των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών δεν είναι κατάλληλες για περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται πολλές μεταβλητές (multi-variate) [106], [80]. Επίσης, είναι πιθανό να προσδιοριστούν τα διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας συσχέτισης κάθε μιας από τις οντότητες σε μια βάση δεδομένων.

Όταν εξετάζονται οι διαφορές μεταξύ των εφαρμογών των Γεωγραφικών Πληροφοριών και των προϋποθέσεων για τη δημιουργία πολύ-μεταβλητών μοντέλων και μοντέλων με πολλές διαστάσεις, είναι προφανές ότι τα εργαλεία κατασκευής βάσεων γεωγραφικών δεδομένων δεν

είναι κατάλληλα για κάθε σκοπό. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη εργαλείων μοντελοποίησης, τα οποία να μπορούν να κατασκευάσουν τρισδιάστατα αντικείμενα [91].

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη ενός τρισδιάστατου εργαλείου GIS το οποίο να μπορεί να εκτελεί ερωτήματα σε μια χωρική βάση δεδομένων.

Πολύ λίγες εφαρμογές λαμβάνουν υπόψη αυτόν τον περιορισμό στη δημιουργία οπτικού περιβάλλοντος, με συνέπεια η πλειοψηφία των αποτελεσμάτων να αφορά μια νέα βάση δεδομένων για τις αντικειμενοστραφείς δομές (OODBMS). Αυτό σημαίνει ότι είναι πολύ δύσκολο να αποφευχθούν οι ανακολουθίες στη βάση δεδομένων, δημιουργώντας μεγάλο πρόβλημα. Για το λόγο αυτό αξιοποιείται το OpenGIS Consortium (OGC) το οποίο ασχολείται με την ανάπτυξη προτύπων στοχεύοντας στην πληρέστερη διαλειτουργικότητα, στη χρήση και στην επεξεργασία τη γεωγραφικής πληροφορίας.

2.11.1.2 Τρισδιάστατη μοντελοποίηση

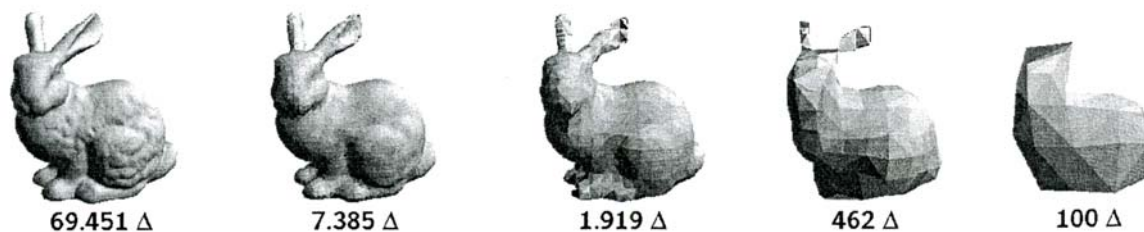
Ο κύριος στόχος της διαδικασίας δημιουργίας εικονικού περιβάλλοντος είναι η γεωμετρική μοντελοποίηση των χαρακτηριστικών σε τρεις διαστάσεις.

Η τρισδιάστατη μοντελοποίηση αποτελείται από επιμέρους διαδικασίες, μερικές από τις οποίες περιλαμβάνουν τη γεωμετρική κατασκευή, την κατασκευή της σκηνής, τον ορισμό και τη αρχικοποίηση των ιδιοτήτων των αντικειμένων, την απόδοση του εσωτερικού των αντικειμένων, την απόδοση του εξωτερικού των αντικειμένων, την κίνηση του μοντέλου, τη σύνδεση με πληροφορία πολυμέσων, την κατασκευή διεπαφών για διαφορετικά επίπεδα αλληλεπιδράσεων και την πλοήγηση στο εσωτερικό του μοντέλου.

2.11.1.3 Επίπεδο λεπτομέρειας (LOD)

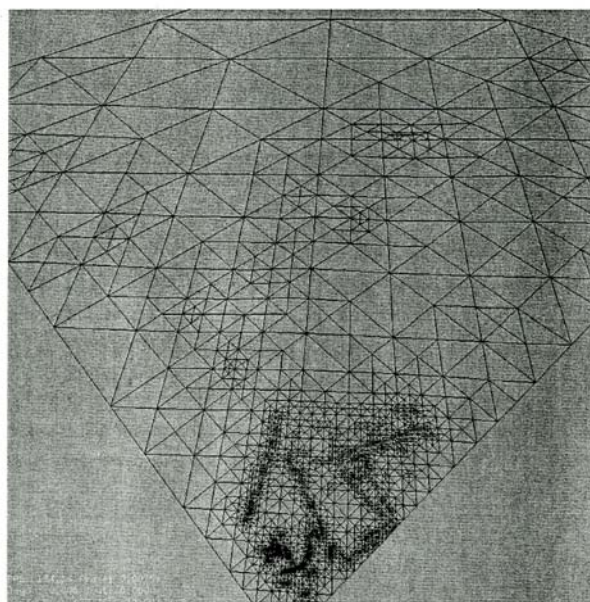
Το επίπεδο λεπτομέρειας (LOD) αποτελεί σημαντική διαδικασία μοντελοποίησης που εμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1990 [54]. Όταν ο βασικός στόχος της βάσης δεδομένων είναι η υποστήριξη και διεξαγωγή οπτικοποιήσεων είναι χρήσιμο να εξετάζεται το ενδεχόμενο να μη μπορεί να «φορτωθεί» όλη η βάση δεδομένων.

Ο χρήστης που ενδιαφέρεται για την προοπτική απεικόνιση είναι σημαντικό να «φορτώσει» αρχικά μόνο τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που είναι ορατά από ένα συγκεκριμένο σημείο συγκεκριμένης οπτικής γωνίας. Στη συνέχεια, καθορίζει τα επίπεδα λεπτομέρειας ή πολυπλοκότητας για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο δίνοντας συμβουλές στους παρατηρητές προκειμένου να ερμηνεύσουν κατάλληλα το αντικείμενο συμπεριλαμβάνοντας παραμέτρους, όπως την απόσταση από το χρήστη.



Εικόνα 22: Διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας ενός αντικειμένου [25]

Στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 22) απεικονίζονται τα επίπεδα λεπτομέρειας ενός αντικειμένου. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε πολλές εφαρμογές τρισδιάστατης μοντελοποίησης δεν απαιτούνται λεπτομερείς αναπαραστάσεις με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η ποιότητα οπτικοποίησης. Στην Εικόνα 23 απεικονίζεται το αποτέλεσμα οπτικοποίησης του εδάφους, όπου διακρίνεται το τριγωνικό δίκτυο και η σημασία του επιπέδου λεπτομέρειας.

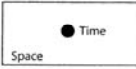
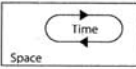
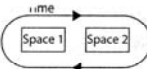
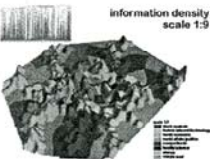
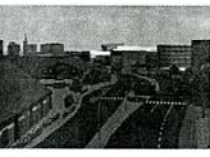
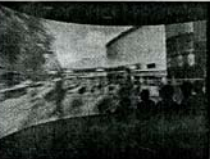


Εικόνα 23: Οπτικοποίηση εδάφους, όπου διακρίνεται το τριγωνικό δίκτυο [25]

2.11.2 Κατηγοριοποίηση

Το εικονικό περιβάλλον μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Ένα είδος κατηγοριοποίησης επηρεάζεται από το βαθμό ρεαλισμού του μοντέλου, ενώ ένα άλλο είδος κατηγοριοποίησης επηρεάζεται από τη μεταβλητή του χρόνου. Σε αυτή την περίπτωση το εικονικό περιβάλλον μπορεί να χαρακτηριστεί είτε ως στατικό, είτε ως δυναμικό, είτε ως πραγματικού χρόνου (Εικόνα 24).

Ειδικότερα, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται το στατικό, το δυναμικό και το περιβάλλον πραγματικού χρόνου, σε συνδυασμό με το είδος αναπαράστασης. Τα είδη οπτικής αναπαράστασης, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, είναι οι εικονικές αναπαραστάσεις και οι αναπαραστάσεις με τη χρήση συμβόλων, οι αληθοφανείς αναπαραστάσεις, καθώς και οι αναδυόμενες (immersive) αναπαραστάσεις.

Virtual environments in geovisualization		Static	Dynamic	Real-time
				
Symbolic and iconic representations		Mapping of Information	SimCity	MUDs, virtual worlds (active worlds – alpha world)
Verisimilar representations		Computer-generated ray-traced landscapes and urban models. Navigable panoramas	Flight simulation	3D multi-user games
Immersive representations		3D displays Stereoscopic displays	Simulation sequences run in immersive visualization environments	VR – HMDs, panorama, CAVE

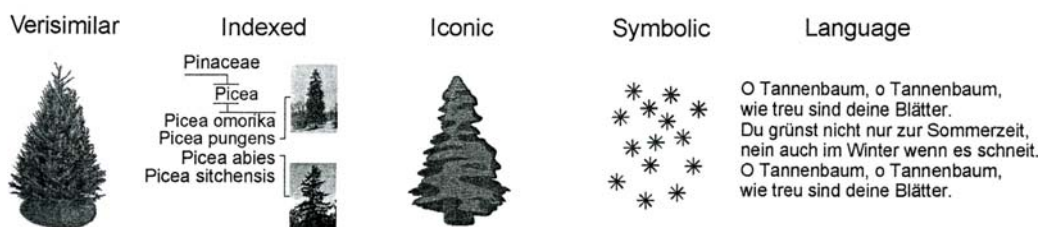
Εικόνα 24: Απεικόνιση χαρακτηριστικών και επιπέδου αναπαραστάσεων διαφορετικού οπτικού περιβάλλοντος γεω-οπτικοποίησης [25]

Εκτός από την απόφαση για την αναπαράσταση του εικονικού περιβάλλοντος, πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο βαθμός ρεαλισμού του μοντέλου, ο οποίος εξαρτάται από εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες. Οι εξωτερικοί παράγοντες αφορούν το είδος της διεπαφής, την ικανότητα υπολογισμού πίσω από τη διεπαφή, το είδος της αλληλεπίδρασης και εξετάζουν κατά πόσο μπορεί το εικονικό περιβάλλον να χρησιμοποιηθεί για σύνθετες εφαρμογές ή για μια ατομική χρήση.

Οι εσωτερικές ρυθμίσεις περιλαμβάνουν το ευρύτερο πλαίσιο του εικονικού περιβάλλοντος, το σκοπό του μοντέλου και την ποιότητα της γεωγραφικής πληροφορίας που πρόκειται να μοντελοποιηθεί. Εάν ο σκοπός του εικονικού περιβάλλοντος έγκειται στην απεικόνιση μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής τοποθεσίας και οι χρήστες πρέπει να αναγνωρίζουν τα αντικείμενα του μοντέλου, τότε ο βαθμός ρεαλισμού του μοντέλου συνιστάται να είναι αρκετά υψηλός έτσι ώστε η γεωγραφική πληροφορία να απεικονίζεται με λεπτομέρεια.

Οι περισσότερες αναπαραστάσεις της πραγματικότητας είναι γνωστές και ως αληθοφανείς αναπαραστάσεις, οι οποίες αναφέρονται στο βαθμό ομοιότητας με την πραγματικότητα. Προκειμένου να αυξηθεί ο βαθμός αληθοφάνειας απαιτείται αυξημένο επίπεδο γνώσης της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και της απόδοσης κάθε τύπου του εικονικού περιβάλλοντος.

Οι εικονικές αναπαραστάσεις χρησιμοποιούν απλοποιημένα σύμβολα για την απεικόνιση των αντικειμένων ή μιας συγκεκριμένης ιδιότητας, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την ομοιότητα του σχήματος. Συνεπώς, σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα (Εικόνα 25) η αναπαράσταση του δέντρου σε ένα εικονικό περιβάλλον μπορεί να μοντελοποιηθεί με πολλούς τρόπους. Σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται να απεικονιστεί μόνο του ένα δέντρο, πρέπει αυτό να οπτικοποιηθεί με λεπτομέρεια (verisimilar).



Εικόνα 25: Απεικόνιση διαφορετικών τρόπων αναπαράστασης ενός αντικειμένου [25]

Μπορεί κανείς να δημιουργήσει ένα μοντέλο για κάθε τύπο και στη συνέχεια να επιλεγεί ο κατάλληλος τρόπος αναπαράστασης για το ποιο δέντρο θα μοντελοποιηθεί, πού μπορεί να χωροθετηθεί γεωγραφικά και πως μπορεί να απεικονιστεί (ύψος, χρώμα κλπ.). Αυτού του είδους οι αναπαραστάσεις είναι γνωστές ως indexed αναπαραστάσεις.

2.11.2.1 Στατικές, δυναμικές και πραγματικού χρόνου εφαρμογές

Τα μοντέλα εικονικού περιβάλλοντος διαφέρουν ως προς τα χρονικά τους χαρακτηριστικά. Παρατηρείται μεγάλη διαφορά μεταξύ των μοντέλων που κατασκευάζονται για στατικές εφαρμογές με αυτά που σχεδιάζονται για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Η διαφορά αυτή μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση δύο σημαντικών μεταβλητών, του χώρου και του χρόνου.

Η σχετική αναπαράσταση του χώρου (static representation) αναφέρεται στην αναπαράσταση ενός συγκεκριμένου χώρου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να κατηγοριοποιηθούν οι αναπαραστάσεις που αναφέρονται σε παραδοσιακούς χάρτες και σε αληθοφανείς αναπαραστάσεις (φωτογραφίες).

Η δυναμική αναπαράσταση προϋποθέτει την ύπαρξη ενός μοντέλου που ταιριάζει κατάλληλα στο χώρο, αλλά περιλαμβάνει αντικείμενα και πληροφορίες που μεταβάλλονται συνεχώς κατά

τη διάρκεια του χρόνου, π.χ. οι καιρικές συνθήκες. Τέλος, η αναπαράσταση πραγματικού χρόνου περιλαμβάνει μια σειρά αλλαγών στο μοντέλο που επηρεάζει την αναπαράσταση διαφορετικών περιοχών την ίδια χρονική στιγμή.

2.11.2.2 Ακουστικές αναπαραστάσεις

Οι ακουστικές αναπαραστάσεις προσφέρουν στο χρήστη τη δυνατότητα πλοήγησης και δράσης στο εικονικό περιβάλλον, όπου ο ήχος και ο θόρυβος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως όργανα μέτρησης της απόστασης και της χωροθέτησης ενός αντικειμένου. Ειδικότερα, στις γεωγραφικές εφαρμογές ο ήχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βοήθημα στην πλοήγηση και ως δείκτης τιμών στους χάρτες.

2.11.3 Πλεονεκτήματα εικονικής πραγματικότητας

Τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας εμπεριέχουν την έννοια της δυναμικότητας η οποία συμβάλλει στη μοντελοποίηση και δυναμική παρουσίαση του πραγματικού κόσμου. Επιπλέον, παρέχουν ένα τρισδιάστατο περιβάλλον στο οποίο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να κινηθεί μέσα σε αυτό.

Η διαφορά των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας από άλλους τρόπους μοντελοποίησης και παρουσίασης του πραγματικού κόσμου (φωτογραφίες, διαγράμματα, μακέτες, βίντεο κλπ.) είναι η αίσθηση κίνησης του χρήστη στο πραγματικό περιβάλλον.

Επίσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα αλλαγής της οπτικής του γωνίας, γεγονός που βοηθά στην απόκτηση καλύτερης προοπτικής του χώρου και μπορεί να επικοινωνήσει με άλλους χρήστες μέσω της ψηφιακής αναπαράστασης. Τέλος, μπορεί να κάνει κινήσεις που στην πραγματικότητα κρίνονται ανέφικτες, όπως το να διανύσει μεγάλες αποστάσεις σε ελάχιστο χρόνο.

2.11.4 Μειονεκτήματα εικονικής πραγματικότητας

Ωστόσο υπάρχουν και μειονεκτήματα της εικονικής πραγματικότητας εξαιτίας της εσφαλμένης εντύπωσης που προσφέρουν τα συστήματα υπολογιστών στο ότι μπορούν να υλοποιήσουν όλες τις εφαρμογές, γεγονός το οποίο δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Ένα από τα μειονεκτήματα που επηρεάζει την ανάπτυξη και λειτουργικότητα αυτών των συστημάτων είναι ότι πρόκειται για εικονικά μοντέλα και όχι για αληθινές αναπαραστάσεις. Η αναπαράσταση της πραγματικότητας γίνεται με υποκειμενικό τρόπο, όπου ο σχεδιαστής μπορεί να «παραπλανήσει» τους χρήστες εξαιτίας των περιορισμένων γνώσεών τους, οι οποίοι δεν είναι σε θέση να κρίνουν την ακρίβεια και ορθότητα της αποτύπωσης (Bulmer, 2001). Επίσης,

μειονέκτημα αποτελεί η απαραίτητη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, όπου προβλήματα αντιμετωπίζουν οι άνθρωποι μεγαλύτερης ηλικίας οι οποίοι δεν έχουν ή δεν γνωρίζουν υπολογιστή.

2.12 Σύνοψη

Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί το βασικότερο κεφάλαιο αυτής της μελέτης αφού αναλύει την έννοια της οπτικοποίησης η οποία αναφέρεται στη διαδικασία απόδοσης των χωρικών δεδομένων. Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία μετασχηματίζει το «γεωμετρικό» σε «συμβολικό» παρέχοντας τη δυνατότητα να παρατηρηθούν οι διακυμάνσεις του αναγλύφου με όσο το δυνατόν καλύτερο τρόπο, και συγκεκριμένα του ψηφιακού μοντέλου των βαθυμετρικών σημείων γύρω από την Κρήτη και τις γειτονικές νήσους. Πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η λεπτομερής απεικόνιση της μορφολογίας του εδάφους και η δυνατότητα άντλησης ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών, οι οποίες μπορούν να αποτυπωθούν σε ένα δισδιάστατο ή τρισδιάστατο χάρτη.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται χρήση των μοντέλων πολλαπλής ανάλυσης, τα οποία εντάσσονται στη γεω-οπτικοποίηση, αφού εφαρμόστηκε η διαδικασία απλοποίησης της ακτογραμμής της Κρήτης και των γειτονικών νήσων. Επίσης, γίνεται αναφορά και ανάλυση της τρισδιάστατης οπτικοποίησης μέσω της οποίας ο παρατηρητής μπορεί να δει το ψηφιακό μοντέλο από διαφορετικές οπτικές γωνίες και να παρατηρήσει περιοχές οι οποίες πιθανότατα να μην ήταν ορατές από μια συγκεκριμένη θέση. Μέρος της τρισδιάστατης οπτικοποίησης αποτελεί η τρισδιάστατη αναπαράσταση η οποία βασίζεται στο ψηφιακό μοντέλο μέσω του οποίου αποδίδεται η επιφάνεια του υψηλότερου επιπέδου εδάφους. Το ψηφιακό μοντέλο που προέκυψε από την παρούσα μελέτη είναι ένα grid συγκεκριμένης ανάλυσης με κάθε σημείο του καννάβου να έχει το αντίστοιχο υψόμετρο.

Η σχέση της οπτικοποίησης με την οπτική αντίληψη υλοποιείται μέσω της χρήσης της τρίτης διάστασης, η οποία προσδιορίζεται από το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με τη χρήση των x , y , z τιμών. Έτσι, η ανθρώπινη αντίληψη «ερεθισμού» στην τρίτη διάσταση απορρέει από τον εγωκεντρικό χώρο και εξαρτάται από την οπτική αντίληψη.

Βασική ενότητα αυτού του κεφαλαίου αποτελεί η παρουσίαση της αληθούς τρισδιάστατης τεχνικής, καθώς και η σχέση της ανωτέρω τεχνικής με τη διαδικασία της γεω-οπτικοποίησης. Ο κύριος στόχος των αληθών τρισδιάστατων τεχνικών είναι η απεικόνιση φαινομένων με χωρική έκταση (π.χ. το αστικό περιβάλλον) [25].

Επιπρόσθετα, σε αυτό το κεφάλαιο δεν θα μπορούσε να μη γίνει αναφορά στη διαδικασία του *mirroring*. Πρόκειται για μια διαδικασία βάσει της οποίας προϋπολογίζονται βελτιστοποιημένες συλλογές από εικόνες *bitmap*, οι οποίες συνοδεύουν τη βασική απόδοση υψής προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα κατά τη διαδικασία της απόδοσης [110]. Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας είναι η βελτίωση της ταχύτητας με την οποία μπορούν να αποδοθούν πλούσιες σε χαρακτηριστικά σκηνές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά που απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα υπολογίζονται σε διαφορετικά *bitmap* επίπεδα.

Οι μέθοδοι οπτικοποίησης ποικίλουν ως προς τον τύπο και το σκοπό, αφού ορισμένες από αυτές επικεντρώνονται μόνο στην οπτική απεικόνιση του αναγλύφου, ενώ άλλες δίνουν πιο ακριβείς υψομετρικές πληροφορίες. Στην συγκεκριμένη μελέτη η οπτικοποίηση βασίζεται στη χρήση ισουψών καμπυλών όπου γίνεται χρωματισμός κατά ζώνες, ανάλογα με το βάθος κάθε περιοχής του βυθού. Επίσης, για την οπτικοποίηση του ψηφιακού μοντέλου των βαθυμετρικών σημείων εφαρμόστηκε σκίαση του αναγλύφου και συγκεκριμένα ο πλάγιος φωτισμός.

3 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΣΑΡΙΘΜΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩ-ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Τα γεω-χωρικά δεδομένα είναι εγγενώς δομημένα σε δύο, τρεις ή τέσσερις διαστάσεις. Στην περίπτωση της γεω-οπτικοποίησης, όταν τα δεδομένα αποτελούν ένα συνεχές πεδίο (π.χ. ατμοσφαιρική πίεση), μια κοινή προσέγγιση αποτελεί η απεικόνιση του συνόλου των σημείων, όπου το συνεχές πεδίο έχει μια συγκεκριμένη τιμή ή ένα όριο. Για τα δισδιάστατα δεδομένα η διαδικασία αυτή γίνεται με τη δημιουργία των ισαριθμικών καμπυλών, ενώ στα τρισδιάστατα δεδομένα επιτυγχάνεται με τη δημιουργία των ισοεπιφανειών. Σύμφωνα με τον Shneiderman [88] η ισοεπιφάνεια ορίζεται ως ένα υποσύνολο δεδομένων και αποτελεί μέρος της διαδικασίας της γεω-οπτικοποίησης, προσδιορίζοντας τα όρια, με στόχο τη σάρωση μιας περιοχής και την εξαγωγή των σημείων ενδιαφέροντός της.

Οι δύο αυτές τεχνικές σχετίζονται αφού και οι δύο εξάγουν τη γεωμετρία από τα δεδομένα λαμβάνοντας διατομές του χώρου κατά την εξαρτημένη μεταβλητή [25]. Στην περίπτωση ισαριθμικών δημιουργούνται γραμμές με ίδια τιμή από δισδιάστατα δεδομένα, ενώ στην περίπτωση ισοεπιφανειών δημιουργούνται επιφάνειες με όμοια τιμή για κάποιο μέγεθος.

3.1 Διαδικασία Δημιουργίας Ισαριθμικών Καμπυλών και Ισοεπιφανειών

Στόχος της διαδικασίας δημιουργίας ισαριθμικών καμπυλών είναι η αναπαράσταση συνεχών φαινομένων σε ένα δισδιάστατο επίπεδο, με γραμμές που ενώνουν τα σημεία που εμφανίζουν ίδιες τιμές. Έτσι, τα δεδομένα ορίζονται σημειακά σε ένα δισδιάστατο τετραγωνικό κάρναβο και είναι κοινή πρακτική η υπόθεση ότι μοντελοποιούνται σε μια διγραμμική παρεμβολή σε κάθε κελί του καννάβου, γραμμικά κατά μήκος των πλευρών. [25].

Εφόσον το βασικό σχεδιαστικό στοιχείο στις δύο διαστάσεις είναι η γραμμή, αναζητείται μια τμηματικά γραμμική προσέγγιση στις ισαριθμικές. Μια κοινή στρατηγική αποτελεί η εξέταση του κάθε κελιού ανεξάρτητα και όταν υπάρχουν μεγαλύτερες και μικρότερες τιμές του καννάβου στις γωνίες του κελιού τότε το τμήμα της ισαριθμικής βρίσκεται εντός του κελιού. Τυπικά, το πρόβλημα είναι ο υπολογισμός και η απεικόνιση των γραμμών με την ίδια τιμή, δίνοντας τις τιμές της διγραμμικής συνάρτησης F^{2D} στις κορυφές του τετραγωνικού κελιού. Το κελί μετασχηματίζεται σε ένα μοναδιαίο τετράγωνο $[0,1] \times [0,1]$ και η συγκεκριμένη τιμή τίθεται 0.

$$F^{2D}(x,y) = ax + by + cxy + d,$$

με $a = F_{10} - F_{00}$, $b = F_{01} - F_{00}$, $c = F_{00} + F_{11} - F_{01} - F_{00}$ και $d = F_{00}$, όπου F_{00} , F_{01} , F_{10} και F_{11} οι τιμές της συνάρτησης στις κορυφές κάθε κελιού, υποθέτοντας ότι $c \neq 0$ η ισαριθμική καμπύλη στο εσωτερικό του κελιού είναι μια υπερβολή.

Όσον αφορά τη διαδικασία δημιουργίας ισοεπιφανειών στόχος είναι η αναπαράσταση μιας επιφάνειας με κάποια συγκεκριμένη τιμή στο εσωτερικό ογκομετρικών συνεχών φαινομένων αποτελώντας προέκταση της δημιουργίας ισαριθμικών καμπυλών, όπου η επιφάνεια που βρίσκεται στα σύνορα διαχωρίζει τα σημεία με τιμές μεγαλύτερες ή ίσες από κάποια συγκεκριμένη τιμή σε σχέση με τα σημεία με μικρότερη τιμή.

Τα δεδομένα ορίζονται σημειακά πάνω στο τρισδιάστατο τετραγωνικό πλέγμα και το μοντέλο μέσα σε κάθε κελί αποτελεί μια τριγραμμική παρεμβολή, γραμμική κατά μήκος των ακμών και διγραμμική στις επιφάνειες του κελιού. Όπως και στη δημιουργία ισαριθμικών, κοινή στρατηγική αποτελεί η εξέταση του κάθε κελιού ανεξάρτητα. Εάν βρεθούν τιμές του πλαισίου που περιέχουν την συγκεκριμένη τιμή τότε τμήμα της ισοεπιφάνειας είναι μέσα στο κελί [25]. Το κελί ορίζεται ως μοναδιαίος κύβος με μια γωνία στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων και η συγκεκριμένη τιμή τίθεται 0 και η παρεμβολή F^{3D} μπορεί να γραφτεί ως:

$$F^{3D}(x,y,z) = a + ex + cy + bz + gxy + fxz = dyz + hxyz,$$

όπου $a = F_{000}$, $b = F_{001} - F_{000}$, $c = F_{010} - F_{000}$ κλπ.

Το βασικό σχεδιαστικό στοιχείο στις τρεις διαστάσεις είναι το τρίγωνο και αναζητάται μια τμηματική προσέγγιση τριγωνισμού στις τρεις διαστάσεις.

3.2 Δημιουργία κατάλληλης αναπαράστασης

Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία αποτελείται από τέσσερα βήματα σε κάθε ένα από τα οποία βελτιώνεται η αναπαράσταση του διγραμμικού ή τριγραμμικού μοντέλου. Συνεπώς, το αποτέλεσμα του τελευταίου σταδίου είναι η δημιουργία κατάλληλης αναπαράστασης, όπου ο χαρτογράφος επιθυμεί όχι μόνο την παρουσίαση αλλά και την εξερεύνηση [25].

- **Πρώτο στάδιο – Ορθότητα οριακών σημείων**

Κατά το πρώτο στάδιο θεωρείται ότι το μοντέλο είναι γραμμικό παραπλεύρως των ακμών, έτσι ώστε να προσδιοριστούν τα σημεία τομής των παρεμβολών με τις γραμμές του καννάβου. Ωστόσο, σε αυτό το στάδιο δε γίνεται καμιά προσπάθεια να υπολογιστεί η φυσική καμπυλότητα των παρεμβολών στο εσωτερικό του κάθε κελιού.

Αντιθέτως, χρησιμοποιείται μια «τυχαία» (ad hoc) στρατηγική που στοχεύει στη σύνδεση των τομών (διασταυρώσεις) των σημείων, όσον αφορά τη διαδικασία της δημιουργίας των ισαριθμικών καμπυλών ή των τριγωνικών τμημάτων (στην περίπτωση δημιουργίας ισοεπιφανειών).

- **Δεύτερο στάδιο – Αποσύνθεση καννάβου**

Στο δεύτερο στάδιο της αποσύνθεσης του καννάβου η λύση επικεντρώνεται στην ανάλυση (αποσύνθεση) του κελιού σε τριγωνικά ή τετραγωνικά (tetrahedral) μέρη. Το πλεονέκτημα έγκειται στο γεγονός ότι αφού οι ισαριθμικές είναι ευθείες γραμμές, η επιφάνεια σκιαγραφείται ευκολότερα. Παρόλα αυτά το μοντέλο είναι τμηματικά γραμμικό μέσα το κελί του καννάβου και ασυνεχές στην πρώτη παράγωγο.

- **Τρίτο στάδιο – Τοπολογική ορθότητα**

Στο τρίτο στάδιο της τοπολογικής ορθότητας, εξετάζεται η διγραμμική ή τριγραμμική παρεμβολή και προσεγγίζεται η εσωτερική τοπολογία. Συνεπώς, προκύπτει μια γραμμική αναπαράσταση (γραμμές ή τρίγωνα).

Αξίζει να σημειωθεί η αντίθεση μεταξύ του δεύτερου με το τρίτο στάδιο. Στο δεύτερο στάδιο το κελί αναλύεται σε τμήματα, όπου εφαρμόζεται το γραμμικό μοντέλο σε κάθε τμήμα (με επακριβείς γραμμικές ισαριθμικές και ισοεπιφάνειες), ενώ στο τρίτο στάδιο εφαρμόζεται ένα διγραμμικό ή τριγραμμικό μοντέλο σε κάθε κελί (με μη γραμμικές ισαριθμικές ή ισοεπιφάνειες). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη τμηματική γραμμική προσέγγιση των ισοϋψών και των ισοεπιφανειών.

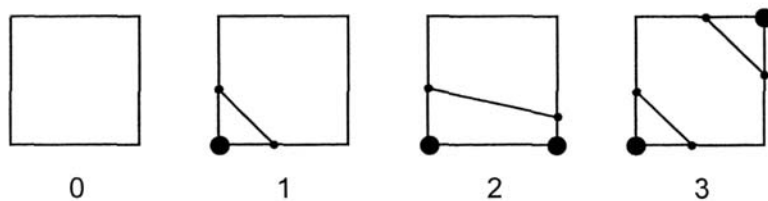
- **Τέταρτο στάδιο**

Πρόκειται για το τελευταίο στάδιο στο οποίο βελτιώνεται η αναπαράσταση που προέκυψε κατά το προηγούμενο στάδιο.

3.2.1 Ορθότητα οριακών σημείων (Correctness of Boundary Points)

3.2.1.1 Δημιουργία ισαριθμικών

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 26), αρχικά σχεδιάζεται η μηδενική ισαριθμική και ακολουθεί ο υπολογισμός των σημείων τομής των υπερβολών με τις ακμές των κελιών, μέσω της αντίστροφης γραμμικής παρεμβολής (inverse linear interpolation). Η βασική μέθοδος είναι η προσέγγιση των υπερβολών με ευθείες γραμμές, συνδέοντας τα σημεία τομής [25].



Εικόνα 26: Κανονικές διατάξεις ορθογωνικών κελιών όταν τα δεδομένα ποικίλουν γραμμικά μεταξύ των σημείων καννάβου [25]

Υπάρχουν 16 διαφορετικές κορυφές οι οποίες εξαρτώνται από το εάν οι τιμές στις γωνίες είναι θετικές ή αρνητικές. Οι 16 αυτές περιπτώσεις μπορούν να περιοριστούν σε τέσσερις κανονικές περιπτώσεις, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 26, στην οποία οι θετικές γωνίες απεικονίζονται με μαύρη βούλα.

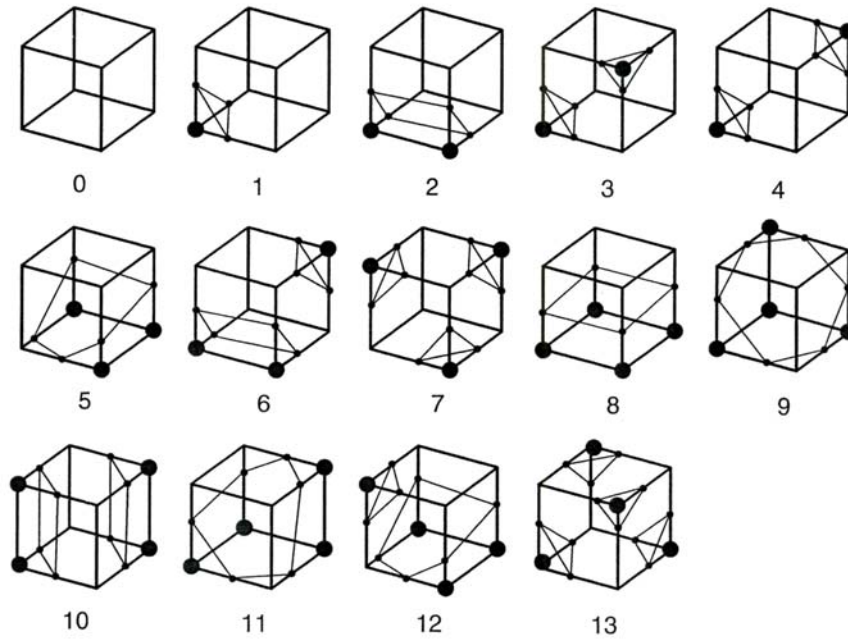
Ειδικότερα, μπορεί να μην υπάρχει καμιά ισαριθμική ή να υπάρχει μια ισαριθμική η οποία θα αποκόπτει την γωνία. Επίσης, παρατηρείται η περίπτωση του τμήματος της ισαριθμικής που αποκόπτει τις δύο γωνίες και αυτή των δύο τμημάτων που αποκόπτουν δύο απέναντι γωνίες. Ωστόσο, η τελευταία περίπτωση απαιτεί τυχαία επιλογή σε σχέση με το ποιες γωνίες θα αποκοπούν [92].

Συμπερασματικά, τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου είναι η ορθότητα των οριακών σημείων με σκοπό τη συνάφεια μεταξύ των κελιών, καθώς και η μη ύπαρξη εγγύησης για τοπολογική ορθότητα.

3.2.1.2 Δημιουργία ισοεπιφανειών

Η κλασική προσέγγιση της δημιουργίας ισοεπιφανειών είναι αυτή του αλγορίθμου Marching Cubes (MC) που προτάθηκε από τους Lorensen και Cline [50], με παρόμοια πρόταση αυτή των Wyvill και των συνεργατών του [105]. Κάθε κορυφή του κύβου μπορεί να έχει είτε μεγαλύτερη, είτε μικρότερη τιμή από αυτή του κατώτατου ορίου, δίνοντας 256 διαφορετικούς σχηματισμούς. Οι διασταυρώσεις της ισοεπιφάνειας με τις ακμές του κύβου μπορούν εύκολα να υπολογιστούν μέσω της αντίστροφης γραμμικής παρεμβολής.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η διαδικασία τριγωνισμού για το σύνολο των σημείων που διασταυρώνονται παρέχοντας μια παραπλήσια προσέγγιση της ισοεπιφάνειας μέσα στον κύβο. Οι Lorensen και Cline συμφώνησαν ότι για λόγους συμμετρίας και συμπληρωματικότητας υπάρχουν 15 κανονικές διατάξεις που αποσκοπούν στην αντιστοίχιση των τριγώνων πάνω στην ισοεπιφάνεια. Ωστόσο, από αυτό το σύνολο κατέληξαν στις 14 κανονικές διατάξεις (Εικόνα 27) εξαιτίας του ότι το ένα απορρίφθηκε λόγω ανακλαστικής (reflectional) συμμετρίας.



Εικόνα 27: Βασικές περιπτώσεις του αλγορίθμου Marching Cubes (MC), όπου παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται η ισοεπιφάνεια και οι ακμές των κύβων. Σημειώνονται οι θετικές γωνίες [25]

Η συμπεριφορά της παρεμβολής F^{3D} στο εσωτερικό του κύβου δεν είναι απλή, αλλά αποτελεί μια μη τετριμμένη κυβική επιφάνεια, όπου:

$$F^{3D}(x,y,z) = a + ex + cy + bz + gxy + fxz = dyz + hxyz,$$

όπου $a = F_{000}$, $b = F_{001} - F_{000}$, $c = F_{010} - F_{000}$ κλπ.

Οι δυσκολίες που προσδιορίστηκαν από τον Durst (1988) [24] ήταν ίδιες ακριβώς με τα προβλήματα που προσδιορίστηκαν από τους πρωτοπόρους στη δημιουργία των ισοϋψών, όταν εφάρμοσαν τυχαίες στρατηγικές προκειμένου να αναπαραστήσουν τις ισοϋψείς μιας διγραμμικής παρεμβολής ενώνοντας τα σημεία τομής.

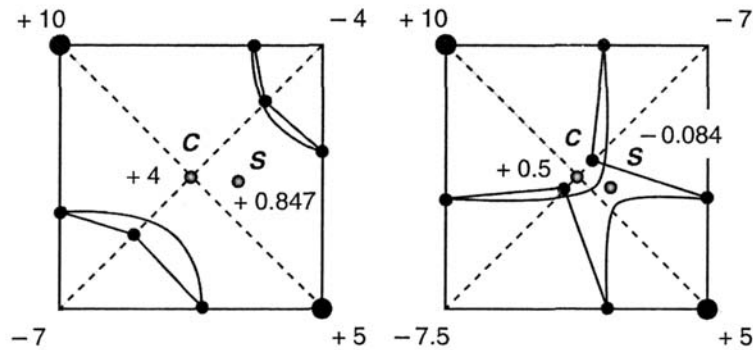
Τα κύρια χαρακτηριστικά του MC αλγορίθμου είναι η ορθότητα κατά μήκος των ακμών του κύβου, λάθη σαν συνέπεια κακώς ταιριασμένων προτύπων μεταξύ των γειτονικών κελιών και μη σωστή τοπολογία στο εσωτερικό του κελιού.

3.2.2 Αποσύνθεση καννάβου (Grid Decomposition)

3.2.2.1 Δημιουργία ισαριθμικών

Έντονη ήταν η προσπάθεια που έγινε προκειμένου να γίνει ξεκάθαρη η μέθοδος δημιουργίας ισαριθμικών από πολλούς συγγραφείς, οι οποίοι πρότειναν την ανάλυση των τετραγωνικών

κελιών σε τρίγωνων [17]. Η τιμή στο κέντρο του κελιού προκύπτει από τον μέσο όρο των τιμών των τεσσάρων γωνιακών σημείων. Στη συνέχεια, τα δύο επιπλέον σημεία που διασταυρώνονται βρίσκονται στις διαγωνίους του κελιού και προκύπτουν από την αντίθετη γραμμική παρεμβολή (inverse linear interpolation), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Μέθοδος four-triangles, με δύο επιπλέον σημεία να βρίσκονται στις διαγωνίους του τετραγώνου του κελιού [51]

Πιο συγκεκριμένα, το αριστερό αποτέλεσμα είναι τοπολογικά σωστό σε αντίθεση με αυτό στα δεξιά. Αυτό, εξαιτίας του ότι σωστό μπορεί να θεωρηθεί μόνο όταν το κεντρικό σημείο C και το σημείο καμπής S (saddle point) έχουν το ίδιο πρόσημο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία του μέσου όρου στο κέντρο του κελιού αντιστοιχεί στην διγραμμική παρεμβολή, αλλά ακολουθείται από τη γραμμική παρεμβολή στο εσωτερικό του κάθε τριγώνου.

Συνεπώς, τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου είναι η ορθότητα των οριακών σημείων, ενώ δεν υπάρχει σωστή τοπολογία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 28. Σωστή είναι μόνο όταν και τα δύο σημεία καμπής και το κέντρο βρίσκονται στην ίδια περιφέρεια της υπερβολής. Τέλος, δεν υπάρχει συνέχεια παραγώγου (derivative) της ισοϋψούς καθώς αυτή διασταυρώνεται με τη διαγώνιο.

3.2.2.2 Δημιουργία ισοεπιφανειών

Ομοίως με την μέθοδο των τεσσάρων τριγώνων (four-triangles) δημιουργίας ισαριθμικών, η μέθοδος Marching Tetrahedra (MT) [21] προέκυψε στην προσπάθεια να λυθεί το πρόβλημα της αβεβαιότητας του MC αλγορίθμου. Σε αυτή την περίπτωση ο κύβος αναλύεται σε τετράεδρα και στη συνέχεια εφαρμόζεται η MT μέθοδος σε κάθε ένα από αυτά.

Κάθε πρόσθετη τιμή της κορυφής μπορεί να προκύψει από την τριγραμμική παρεμβολή. Το πλεονέκτημα αυτής της ανάλυσης είναι παρόμοιο με αυτό της μεθόδου των τεσσάρων τριγώνων

δημιουργίας ισοϋψών, όπου η γραμμική παρεμβολή εφαρμόζεται σε κάθε τετράεδρο βασιζόμενη πάνω στις τιμές των τεσσάρων κορυφών.

$$F^T(x,y,z) = a + bx + cy + dz$$

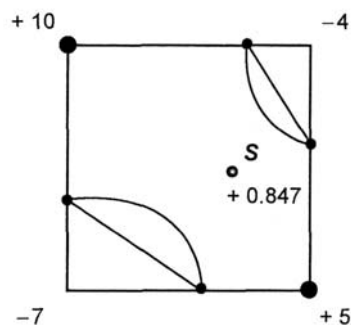
Συνοψίζοντας τα προηγούμενα προκύπτει ότι τα κύρια χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου είναι ότι η τριγωνοποίηση της επιφάνειας είναι απλή εξαιτίας της γραμμικής παρεμβολής, δεν είναι ξεκάθαρο ποια είναι η καλύτερη ανάλυση του κύβου σε τετράεδρο και η τοπολογία στο εσωτερικό του κύβου δεν είναι πάντα σωστή συγκρινόμενη με την ισοεπιφάνεια της τριγραμμικής παρεμβολής και παρατηρείται ασυνέχεια του μοντέλου κατά μήκος των πλευρών του τετραέδρου.

3.2.3 Τοπολογική ορθότητα

3.2.3.1 Δημιουργία ισαριθμικών

Αυτή η μέθοδος αναδείχθηκε αρχικά ως μια βελτίωση της διαδικασίας δημιουργίας ισοεπιφανειών και επήλθε βελτίωση στη διαδικασία δημιουργίας ισαριθμικών. Αναπτύχθηκε από τους Nielson και Hamann το 1991 [71], οι οποίοι προσπάθησαν να επιλύσουν την αβεβαιότητα της MC μεθόδου μελετώντας τη συμπεριφορά των πλευρών των κελιών (το οποίο είναι και το πρόβλημα των ισαριθμικών) μέσω της διγραμμικής παρεμβολής.

Οι Nielson και Hamann μελέτησαν τις ασύμπτωτες των καμπυλών των υπερβολών και τη συμπεριφορά στο σημείο τομής τους (σημείο καμπής). Όταν ένα ζευγάρι αντίθετων γωνιών έχει τιμές δεδομένων διαφορετικού προσήμου από το άλλο ζευγάρι γίνεται σύνδεση αυτών των «ζευγαριών» προκειμένου να αποκοπούν οι κορυφές των αντίθετων προσήμων στο σημείο καμπής (Εικόνα 29) [25]. Η τιμή της εξίσωσης του F^{2D} μεταξύ των δύο τμημάτων των ισαριθμικών (περιλαμβάνοντας το σημείο καμπής S) είναι θετική.



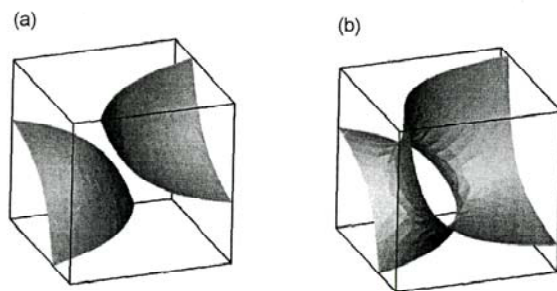
Εικόνα 29: Χρήση ασυμπτωτικής επανάληψης για την επίλυση αμφιβολιών [25]

Γενικά, τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου είναι η ορθότητα των οριακών σημείων, της τοπολογίας και η ασυνέχεια της οπτικής αναπαράστασης, λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στο επίπεδο των ισοϋψών (ή αλλαγές στα δεδομένα).

3.2.3.2 Δημιουργία ισοεπιφανειών

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο κλασικός αλγόριθμος MC έχει μια πρωτοπόρα προσέγγιση για την εκτίμηση της F^{3D} παρεμβολής. Όχι μόνο εμφανίζονται κοιλότητες μεταξύ των κελιών όταν δύο διπλανά κελιά έχουν καθορισμένες δομές, αλλά δεν αναπαριστάται τοπολογικά σωστά το εσωτερικό του κελιού. Οι ασύμπτωτες δίνουν μια συνέχεια στο χώρο, αλλά το πρόβλημα αφορά την αντιμετώπιση του ακριβούς σχήματος της εσωτερικής επιφάνειας. Ο Natarajan [70] βρήκε ότι μπορούν να παρατηρηθούν περισσότερα σημεία αμφιβολίας. Για παράδειγμα, εξέτασε ένα κύβο όπου ένα ζευγάρι αντίθετων κορυφών είναι θετικό όταν οι εναπομείνουσες έξι κορυφές είναι αρνητικές (Εικόνα 27, 4). Ένας απλός τριγωνισμός μπορεί να αποκόψει τις θετικές κορυφές με τριγωνικά τμήματα, αλλά αυτά προσεγγίζουν την καμπυλωτή επιφάνεια η οποία είναι κυρτή στο κέντρο του κελιού.

Φαντάζεται κανείς ότι αυξάνονται ενιαία οι τιμές των δεδομένων και έτσι τα μηδενικά τμήματα της ισοεπιφάνειας μετακινούνται το ένα προς το άλλο με αποτέλεσμα η τριγωνική προσέγγιση να εξακολουθεί να διαχωρίζεται σε δύο τμήματα. Ωστόσο, τα τριγωνικά τμήματα επιφάνειας μπορούν να συνδεθούν το ένα με το άλλο και όταν αυτό συμβαίνει τότε ενώνονται σε απλές επιφάνειες με ένα τούνελ (Εικόνα 30).



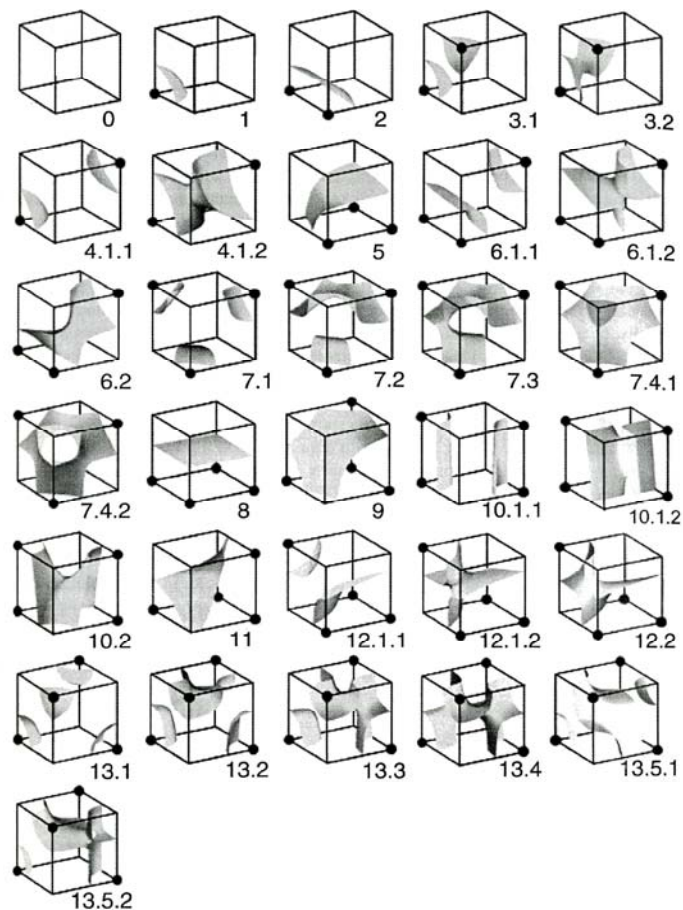
Εικόνα 30: Δύο πιθανές τοπολογίες (a) και (b) στην διάταξη MC. Η τιμή του σημείου καμπής μπορεί να διαχωριστεί σε δύο καταστάσεις [25]

Ο Natarajan έδειξε ότι το κλειδί για την αναγνώριση των τούνελ είναι η τιμή στην οποία βρίσκεται το σημείο καμπής, το οποίο είναι τρισδιάστατο και του οποίου η τιμή αξιοποιήθηκε από τους Nielson και Hamann [71] που προσδιόρισαν τα σημεία αμφιβολίας στην επιφάνεια στην ασυμπτωτική επανάληψη. Το «σώμα» του σημείου καμπής χωροθετείται εκεί όπου

εμφανίζεται η μετάβαση από το ένα τμήμα στο άλλο. Αυτό δείχνει το πρώτο σχήμα (a) της παραπάνω εικόνας.

Η τοπολογική ορθότητα της ισοεπιφάνειας στον ευθύγραμμο κάρναβο παρουσιάστηκε από τον Chernyaev [13], ο οποίος εξακρίβωσε 33 κανονικές δομές που καλύπτουν τόσο την επιφάνεια, όσο και τις εσωτερικές αμφιβολίες. Πρόσφατα, οι Lopes και Brodlie [53] απέδειξαν ότι οι δύο περιπτώσεις μπορούν να μειωθούν όταν δεν είναι κανονικές.

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 31) απεικονίζονται 31 διαφορετικές περιπτώσεις. Ο πρώτος αριθμός δείχνει τον πραγματικό αριθμό MC, όπως και στην Εικόνα 27, ενώ ο δεύτερος δείχνει την ανάλυση των σημείων αμφιβολίας (έξι σημεία αμφιβολίας στην περίπτωση 13, τρία στην 7, δύο στις 10 και 12, ένα στις 3 και 6 και κανένα στις υπόλοιπες) και το τρίτο την ανάλυση της εσωτερικής αμφιβολίας.



Εικόνα 31: Οι 31 διαφορετικές περιπτώσεις του MC αλγορίθμου [25]

Ο Cignoni και οι συνεργάτες του [14] επέκτειναν τις 256 διαφορετικές περιπτώσεις σε 798, αλλά μόνο οι 88 από αυτές έχουν ευδιάκριτες δομές. Πρότειναν το «extended look up table» (ELUT), το οποίο επιδιώκει τη δημιουργία τριγώνων για ένα μεγάλο αριθμό περιπτώσεων βασιζόμενοι

στις τιμές των επιφανειών καμπής και body face. Επίσης, ο Matveyev [61] εξέτασε τη συμπεριφορά των παρεμβολών παραπλεύρως των διαγωνίων του κάθε κελιού προκειμένου να λυθούν οι αμφιβολίες.

Πολλές από αυτές τις προσπάθειες έγιναν προκειμένου να αναλυθούν τα τρίγωνα της επιφανείας. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό απέτυχε να γίνει σωστά και προτάθηκε ο τριγωνισμός που προϋπέθετε τρίγωνα στις πλευρές του κάθε κελιού, το οποίο δεν θα έπρεπε να επιτρεπόταν.

Οι Van Gelder και Wilhelms [100] προσδιόρισαν αυτή τη σημαντική παραδοχή προκειμένου να δημιουργήσουν συνεχείς τριγωνικές επιφάνειες (C_0) όπου κάθε ακμή του πολυγώνου πρέπει να ανήκει σε περισσότερα από δύο τρίγωνα. Γενικά, η επιλογή για επιπλέον εσωτερικά σημεία χρειάζεται προκειμένου να συμπληρωθούν επιπλέον τρίγωνα στην τυχαία (ad hoc) μέθοδο.

Όλες αυτές οι μέθοδοι αφορούν την αναπαράσταση ασυνεχών ισοεπιφανειών με την εκδοχή της κατώτατης τιμής. Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της μεθόδου είναι η ορθότητα των οριακών σημείων και της τοπολογίας, τόσο στα όρια όσο και στο εσωτερικό των κελιών. Επίσης, η μέθοδος τριγωνισμού δεν είναι ξεκάθαρη όταν προστίθενται επιπλέον σημεία στο εσωτερικό των κελιών και δεν υπάρχει συνέχεια στην οπτική αναπαράσταση όσον αφορά τις αλλαγές στα επίπεδα των ισοϋψών [25].

3.2.4 Αλληλεπίδραση

Οι χαρτογραφικές απεικονίσεις αντιμετωπίζονται ως δυναμικές διεπαφές. Η σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ του χάρτη και του ερευνητή είναι αυτή που καθορίζει τις διαδικασίες καθώς εξερευνώνται τα γεωχωρικά δεδομένα [57]. Η ευκαιρία για τη γεω-οπτικοποίηση έγκειται στη δημιουργία κατανοητών τεχνικών για την αναπαράσταση των δεδομένων.

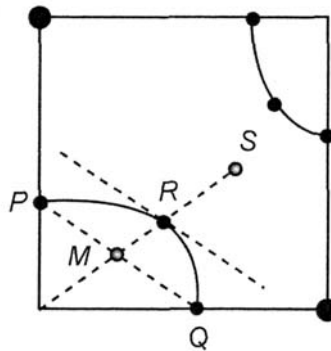
Οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη ενότητα δείχνουν τη δυνατότητα δημιουργίας τοπολογικής ορθότητας. Ωστόσο, παρατηρείται πρόβλημα όσον αφορά την ποιότητα αφού η οπτική αναπαράσταση δεν είναι συνεχής καθώς μεταβάλλονται τα δεδομένα. Για το λόγο αυτό χρειάζονται βελτίωση οι υπάρχουσες μέθοδοι σε περιπτώσεις όπου διεξάγονται ορισμένες από τις παρακάτω λειτουργίες [25]:

- Τα επίπεδα των ισαριθμικών μεταβάλλονται ή μετατρέπεται η αφετηρία της ισοεπιφάνειας
- Οι τιμές των δεδομένων μεταβάλλονται συνεχώς
- Η οπτική γωνία μεταβάλλεται συνεχώς, π.χ. εφαρμόζοντας τη διαδικασία zoom είτε στις ισοϋψείς, είτε στην ισοεπιφάνεια.

Η λύση δημιουργείται από την αναπαράσταση των ισαριθμικών ή των ισοεπιφανειών στο εσωτερικό του κελιού.

3.2.4.1 Δημιουργία ισαριθμικών

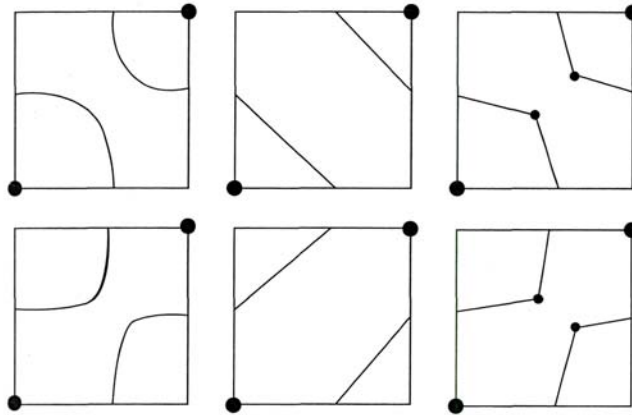
Για τη δημιουργία ισαριθμικών οι Lopes και Brodlie [52] μετέτρεψαν τη βασική μέθοδο με ασυμπτωτική παράταση (asymptotic decider) προσθέτοντας ένα επιπλέον σημείο για κάθε ζευγάρι σημείων τομής, γνωστό ως τοπικό μέγιστο (shoulder point). Κάθε τμήματα της ισαριθμικής σχεδιάζεται σαν μια τεθλασμένη γραμμή από το σημείο τομής στο τοπικό μέγιστο και στη συνέχεια στο άλλο σημείο τομής. (Εικόνα 32). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δύο τμημάτων γραμμικής προσέγγισης στο κωνικό τόξο.



Εικόνα 32: Απεικόνιση του σημείου R (τοπικό μέγιστο) [25]

Το σημείο R αποτελεί ένα σημείο της υπερβολής του τμήματος του κύκλου, το οποίο βρίσκεται στη γραμμή MS και είναι παράλληλο της χορδής PQ. Τα σημεία P και Q είναι τα ακριανά σημεία της υπερβολής, ενώ το σημείο R αποτελεί το τοπικό μέγιστο του τόξου του κύκλου το οποίο μπορεί εύκολα να υπολογιστεί αφού βρίσκεται στη γραμμή όπου βρίσκεται το σημείο M. Το σημείο M αποτελεί το μέσο της χορδής PQ, και βρίσκεται στην ίδια γραμμή με το σημείο S, δηλαδή με το σημείο καμπής της διγραμμικής παρεμβολής.

Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου αφορά την ομαλή οπτική αναπαράσταση καθώς η ισαριθμική κινείται ομαλά δια μέσω του σημείου (Εικόνα 33). Επίσης, μπορεί να προστεθεί ένα επιπλέον σημείο μέσω της εφαρμογής μεγέθυνσης πάνω στην ισαριθμική καμπύλη.



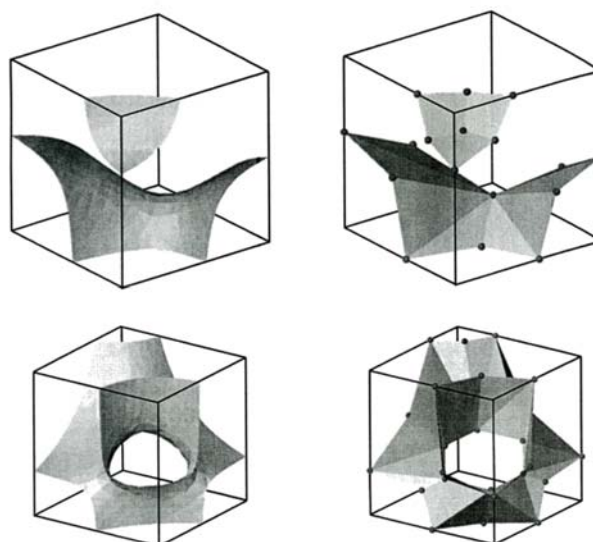
Εικόνα 33: Τα τοπικά μέγιστα (δεξιά) βοηθούν στην ομαλή μεταβολή από την πάνω στην κάτω γραμμή, σε αντίθεση με την ασυμπτωτική μέθοδο της Εικόνα 31 [25]

3.2.4.2 Δημιουργία ισοεπιφανειών

Όσον αφορά τη δημιουργία ισοεπιφανειών, προστίθενται αρχικά τα σημεία της επιφάνειας που διασταυρώνονται με τις ακμές των κελιών ώστε να έχουν τη μορφή μιας εξωτερικής γραμμής της ισοεπιφάνειας. Οι ακμές του πολυγώνου κείτονται (βρίσκονται) πάνω στις επιφάνειες των κελιών, αποτελώντας προσεγγίσεις για τις ισοϋψείς αυτών πάνω στις επιφάνειες [53], [51].

Στη συνέχεια αυτό το πολύγωνο επεκτείνεται με την προσθήκη των τοπικών μεγίστων, γεγονός το οποίο βελτιώνει την ακρίβεια των επιφανειών. Στο εσωτερικό υπάρχουν δύο κατηγορίες σημείων τα οποία βοηθούν στον ορισμό της συμπεριφοράς των παρεμβολών.

Η μια κατηγορία αφορά τα bi-shoulder σημεία, τα οποία είναι τρισδιάστατα, αντίστοιχα αυτών των τοπικών μεγίστων, ενώ η άλλη κατηγορία αποτελείται από τα σημεία έξαρσης (inflection), σημεία τα οποία αποτελούν γενικεύσεις του σημείου καμπής. Με αυτά τα σημεία υπάρχει η πιθανότητα δημιουργίας σωστών τριγώνων που να αναπαριστούν την εσωτερική τοπολογία με ακρίβεια (Εικόνα 34).



Εικόνα 34: Απεικόνιση κλίσης σημείων Bi-shoulder. Δημιουργία τριγώνων (δεξιά) για την καλύτερη δημιουργία επιφανειών (αριστερά) [25]

3.3 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν προσεγγίσεις για τη δημιουργία ισοϋψών καμπυλών και ισοεπιφανειών για τη γεω-οπτικοποίηση. Η διαδικασία δημιουργίας ισαριθμικών καμπυλών αναφέρεται στην αναπαράσταση συνεχών φαινομένων σε ένα δισδιάστατο επίπεδο με γραμμές που ενώνουν σημεία με ίδιες τιμές. Ωστόσο, η διαδικασία δημιουργίας ισοεπιφανειών στοχεύει στην αναπαράσταση μιας επιφάνειας με κάποια συγκεκριμένη τιμή στο εσωτερικό των συνεχών φαινομένων.

Η επιλογή της κατάλληλης αναπαράστασης υλοποιείται σε φάσεις, μεταξύ των οποίων της ορθότητας των οριακών σημείων, της αποσύνθεσης του καννάβου, της τοπολογικής ορθότητας, καθώς και το στάδιο της βελτίωσης του αποτελέσματος που προκύπτει κατά το προηγούμενο στάδιο. Όλες οι παραπάνω φάσεις εξετάζονται τόσο στη δημιουργία ισαριθμικών καμπυλών, όσο και στη δημιουργία ισοεπιφανειών.

4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ – ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ

Η μοντελοποίηση του εδάφους και ειδικότερα της τοπογραφίας μιας περιοχής αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία. Υπάρχουν πολλοί οι οποίοι επιθυμούν τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους με γεωαναφορά, τα οποία να μπορούν να διαχειριστούν διαδραστικά. Αυτό επιτεύχθηκε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα με τη χρήση των GIS, όπου όσο το δυνατόν περισσότεροι χρησιμοποιούσαν αυτό το πακέτο λογισμικού χωρίς πραγματικά να γνωρίζουν όλες του τις δυνατότητες [84].

Οι τοπογραφικές επιφάνειες μπορούν να μοντελοποιηθούν είτε από διανυσματικά δεδομένα, μέσω των ισοϋψών και των τιμών υψομέτρων, είτε από κανονικοποιημένα ψηφιακά δεδομένα με τη μορφή ενός πίνακα υψομέτρων [4].

Ως ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) ορίζεται το τοπογραφικό μοντέλο εδάφους αποψιλωμένης γης, στο οποίο απεικονίζεται μόνο το υπόστρωμα και όχι η βλάστηση, τα κτίρια και άλλα χαρακτηριστικά του εδάφους. Το μοντέλο αυτό μπορεί να διαχειριστεί από υπολογιστικά προγράμματα, όπου τα αρχεία του μοντέλου εδάφους περιέχουν υψομετρικά δεδομένα σε ψηφιακή μορφή [84].

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος ακανόνιστων τριγωνικών δικτύων (TIN), τα οποία αποτελούνται από μια σειρά μη επικαλυπτόμενων τριγωνικών επιφανειών καθένα από τα οποία καθορίζει μια επίπεδη επιφάνεια, καλύπτοντας πλήρως την τοπογραφική επιφάνεια.

Ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), το οποίο διαθέτει υψομετρικά δεδομένα με τη μορφή TIN, επιτρέπει τόσο τον αποτελεσματικό υπολογισμό των στοιχείων κλίσης και προσανατολισμού, όσο και τη δημιουργία απεικονίσεων δεδομένων με ισοϋψείς, ανάγλυφο με σκιά ή προοπτικά [4].

4.1 Μοντελοποίηση Συμπαγών Σωμάτων

Υπάρχουν τύποι δεδομένων που απαιτούν τη μοντελοποίηση της τρίτης διάστασης, αφού τα συμπαγή σώματα (π.χ. γεωλογικές δομές) κωδικοποιούνται όχι μόνο με τις x και y συντεταγμένες, αλλά και με τη z συντεταγμένη που αναφέρεται στη μεταβλητή του βάθους. Τα μοντέλα επιφανείας, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, κωδικοποιούν τις τιμές του z , αλλά μόνο μια τιμή επιτρέπεται για κάθε θέση, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα μοντέλο 2.5 διαστάσεων. Όμως, στην πραγματικότητα σε μια δεδομένη θέση με x , y συντεταγμένες μπορούν να αντιστοιχούν πολλαπλές τιμές του z [4].

Μοντέλο τέτοιου είδους δεδομένων μπορεί να δημιουργηθεί με την επέκταση του μοντέλου κανονικοποιημένων δεδομένων κατά μια επιπλέον διάσταση. Συνεπώς, τα δισδιάστατα τετράγωνα γίνονται τρισδιάστατοι κύβοι (ογκοστοιχεία voxels), κάθε ένα από τα οποία κωδικοποιείται με κάποιες ιδιότητες (όπως τύπος βράχου κλπ.). Η χωρική θέση ενός ογκοστοιχείου προκύπτει από τη θέση του στον πίνακα $x y z$, καθώς και από το μέγεθος των κύβων, ενώ η αναπαράσταση των ογκοστοιχείων επιτρέπει την κατασκευή μοντέλων αντικειμένων [4].

Ένας άλλος τρόπος μοντελοποίησης συμπαγών σωμάτων είναι η χρήση της τεχνικής αναπαράστασης ορίων (boundary representation BR). Πρόκειται για μια διαδικασία που αποτελεί επέκταση του μοντέλου διανυσματικών δεδομένων σε τρεις διαστάσεις.

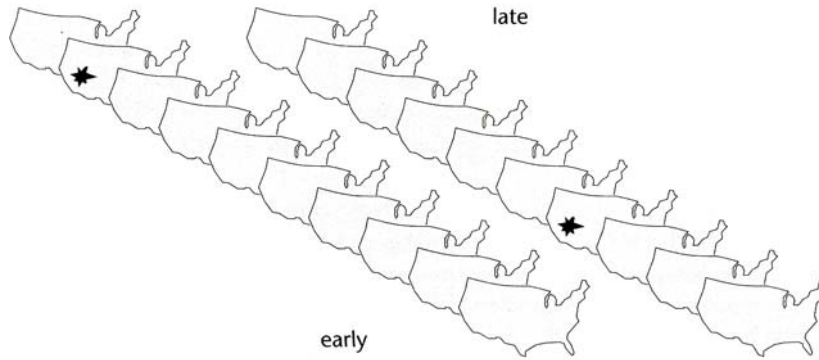
Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα συμπαγές αντικείμενο προσδιορίζεται από την επιφάνεια που το περικλείει. Οι μονοδιάστατες γραμμές οριοθετούν δισδιάστατες επίπεδες περιοχές που τοποθετούνται σε τρισδιάστατους χώρους (όπως συμβαίνει με τις όψεις ενός TIN) και χρησιμοποιούνται για την οριοθέτηση ενός τρισδιάστατου συμπαγούς σώματος [4].

4.2 Δυναμικές Οπτικές Μεταβλητές

Στους δυναμικούς χάρτες υπάρχουν τριών ειδών δυναμικές μεταβλητές μεταξύ των οποίων η ημερομηνία σκηνής, η διάρκεια, η σειρά, ο ρυθμός αλλαγής, η συχνότητα και ο συγχρονισμός [56].

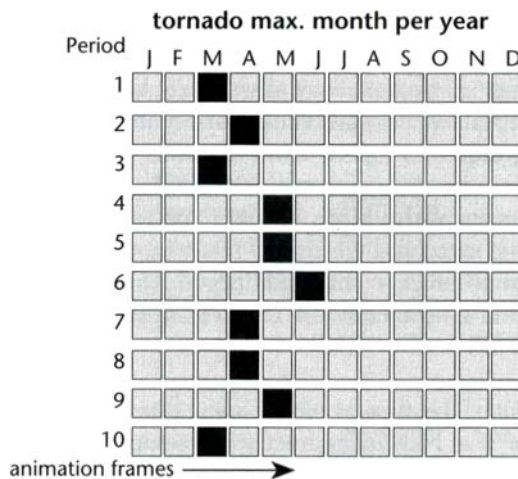
- **Ημερομηνία απεικόνισης (display date)**

Ο χρόνος ξεκινά από τη στιγμή που μια απεικόνιση αλλάζει, ενώ η «ημερομηνία» απεικόνισης μπορεί να συνδεθεί με μια χρονική θέση (temporal location). Η ημερομηνία της απεικόνισης προσδιορίζεται σε σχέση με τη χρονική διάρκεια, η οποία είναι είτε γραμμική, είτε κυκλική. Σε ένα δυναμικό χάρτη, η ημερομηνία απεικόνισης κατά την οποία ένα χαρακτηριστικό «ανάβει» για πρώτη φορά μπορεί να απεικονίσει τη δημιουργία ενός φαινομένου (Εικόνα 35).



Εικόνα 35: Η ημερομηνία απεικόνισης καθορίζεται από ένα σύνολο πλαισίων [56]

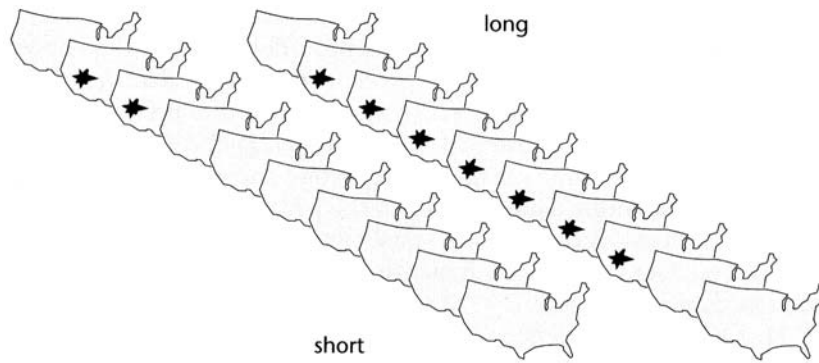
Για επαναλαμβανόμενους κύκλους (π.χ. οι μήνες του χρόνου) η ημερομηνία απεικόνισης χρησιμοποιείται για την απεικόνιση κάποιου μήνα κατά τη διάρκεια του έτους κατά τον οποίο ο αριθμός των γεννήσεων, των ασθενειών κλπ. είναι υψηλός. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 36) απεικονίζεται ο μήνας κατά τον οποίο εμφανίστηκαν οι περισσότεροι ανεμοστρόβιλοι κατά τη διάρκεια μιας δεκαετίας.



Εικόνα 36: Ημερομηνία απεικόνισης όπου εφαρμόζεται η επανάληψη ανά μήνα κατά τη διάρκεια ενός έτους [56]

- **Διάρκεια (duration)**

Η διάρκεια αναφέρεται στο χρόνο μεταξύ δύο αναγνωρίσιμων καταστάσεων. Η διάρκεια μπορεί να εφαρμοστεί σε μεμονωμένα «πλαίσια» προσομοίωσης τα οποία συνήθως είναι συγκεκριμένης διάρκειας με αποτέλεσμα την ομαλή αλλαγή κατά τη διάρκεια του χρόνου. Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτό που ο Szego ονομάζει σκηνή [93], μια σειρά «πλαισίων» χωρίς καμιά αλλαγή από πλαίσιο σε πλαίσιο, όπου η διάρκεια της σκηνης εξαρτάται από τον αριθμό των πλαισίων (Εικόνα 37).



Εικόνα 37: Απεικόνιση διάρκειας της σκηνής (scene duration) [56]

Αξίζει να σημειωθεί ότι μια συνδεδεμένη σειρά σκηνών μπορεί να θεωρηθεί ως ένα επεισόδιο, τα οποία ενδέχεται να αποτελούν φάσεις ενός κύκλου. Σε αυτή την περίπτωση, προφανώς τα επεισόδια και οι φάσεις έχουν κάποια διάρκεια, η οποία ελέγχεται έμμεσα από τον έλεγχο της διάρκειας των πλαισίων.

Τέλος, όταν τα επεισόδια αποτελούν φάσεις ενός επαναλαμβανόμενου κύκλου τότε η διάρκεια μπορεί να εφαρμοσθεί μεταξύ των επαναλήψεων μιας φάσης (περίοδος κύκλου). Ο Monmonier [67] εφάρμοσε αυτήν την τεχνική στην εστίαση ξεχωριστών κατηγοριών ενός χωροπληθούς χάρτη προκειμένου να επιστήσει την προσοχή στις περιφερειακές δομές. Η ερευνητική ομάδα του πανεπιστημίου της Πενσυλβάνιας πρότεινε μια παρόμοια εφαρμογή για την καλύτερη ανάδειξη των μικρών χαρακτηριστικών (όπως τα επίκεντρα σεισμών) χωρίς την ανάγκη της ύπαρξης μεγαλύτερων συμβόλων [20].

- **Σειρά (order)**

Η έννοια σειρά αναφέρεται στην ακολουθία των σκηνών και των πλαισίων, όπου ο χρόνος είναι εγγενώς σειριακός.

- **Ρυθμός αλλαγής (rate of change)**

Ο ρυθμός αλλαγής, σταθερός ή μεταβλητός, ορίζεται ως η διαφορά μεγέθους της αλλαγής της μονάδας του χρόνου καθενός από τα πλαίσια ή τις σκηνές μιας ακολουθίας.

- **Συχνότητα (frequency)**

Η συχνότητα αποτελεί μια μεταβλητή τεχνικής ανακύκλωσης του χρώματος και αναφέρεται στον αριθμό αναγνωρίσιμων καταστάσεων ανά μονάδα χρόνου, όπου η χρονική συχνότητα ορίζεται ως ο λόγος δύο χρονικών διαστημάτων. Δηλαδή, ο λόγος του χρόνου από σκηνή σε σκηνή, από επεισόδιο σε επεισόδιο και από φάση σε φάση.

- **Συγχρονισμός (synchronism)**

Ο συγχρονισμός, γνωστός ως αντιστοιχία φάσης, ορίζεται ως η αντιστοιχία δύο ή περισσοτέρων χρονικών σειρών. Ο συγχρονισμός εφαρμόζεται στο ταίριασμα χρονολογικών ημερομηνιών μεταξύ δύο ή περισσοτέρων δεδομένων με ακρίβεια.

4.3 Απόδοση του ψηφιακού μοντέλου

Η διαδικασία της απόδοσης αναφέρεται στη δημιουργία μιας εικόνας από ένα μοντέλο με τη χρήση διαφόρων πακέτων λογισμικού. Το μοντέλο απεικονίζει αντικείμενα τριών διαστάσεων σε μια αυστηρά καθορισμένη γλώσσα ή δομή δεδομένων και περιλαμβάνει γεωμετρικές πληροφορίες καθώς και πληροφορίες που αφορούν την υφή, το φωτισμό και τη σκίαση. Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία αποτελεί το τελευταίο και βασικό στάδιο στην απεικόνιση του μοντέλου.

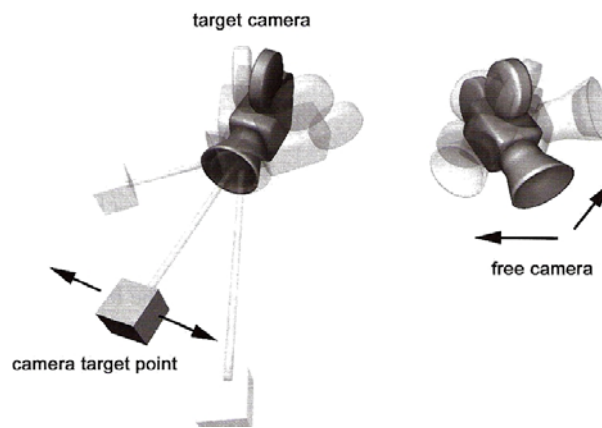
Μια εικόνα η οποία προκύπτει από τη διαδικασία της απόδοσης μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητή όσον αφορά τον αριθμό των οπτικών χαρακτηριστικών. Ορισμένες από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της απόδοσης είναι οι ακόλουθες:

- Απόχρωση (shading) – αναφέρεται στο πόσο επηρεάζεται η φωτεινότητα της επιφάνειας με την αλλαγή του φωτισμού
- Απόδοση υφής (texture mapping) – μέθοδος απεικόνισης των λεπτομερειών στο χάρτη
- Διαφάνεια ή θολότητα (transparency or opacity) – μετάδοση του φωτός μέσω στερεών αντικειμένων
- Διάθλαση (refraction)
- Πλάγιος φωτισμός (indirect illumination) – ο φωτισμός των επιφανειών αντικατοπτρίζεται από άλλες επιφάνειες και όχι ευθέως από μια φωτεινή πηγή.
- Ύψος πεδίου (depth of field) – τα αντικείμενα εμφανίζονται θολά όταν βρίσκονται αρκετά μακριά
- Μη φωτορεαλιστική απόδοση (non-photorealistic rendering) – η απόδοση των σκηνών με περίτεχνο στυλ μοιάζει με μια ζωγραφιά

4.3.1 Η χρήση της κάμερας

Προκειμένου να παρατηρήσει κανείς από πολύ κοντά τα βάθη οποιασδήποτε τρισδιάστατης σκηνής είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάμερας η οποία βοηθά στην παρακολούθηση και πλοήγηση στο εσωτερικό του τρισδιάστατου κόσμου, όπως συμβαίνει και στην πραγματικότητα. Ωστόσο, ανεξαρτήτως από την ύπαρξη αυτού του εργαλείου στην τρισδιάστατη οπτικοποίηση υπάρχουν κάποια βασικά στοιχεία, η γνώση των οποίων διευκολύνει το «σωστό» χειρισμό της κάμερας.

Στα τρισδιάστατα γραφικά παρατηρούνται δύο είδη κάμερας (Εικόνα 38) [84]:



Εικόνα 38: Τα δύο είδη κάμερας στα πακέτα λογισμικού [84]

- **Target cameras**

Πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό είδος κάμερας το οποίο χρησιμοποιείται στην τρισδιάστατη οπτικοποίηση και προσφέρει τη δυνατότητα του επακριβούς ορισμού της θέσης της κάμερας καθώς και του σημείου ενδιαφέροντος.

Κάθε ένα από αυτά τα σημεία μπορεί να κινηθεί και να αλλάξει θέση ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Αυτό έχει ως πλεονέκτημα τα σημεία ενδιαφέροντος (points of interest - POI) να μπορούν να συνδεθούν με ένα αντικείμενο όχι μόνο για την αναπαράσταση αλλά και για τη δυναμική αναπαράσταση. Αυτό το σημείο (target point) μπορεί να προσαρτηθεί σε ένα κινούμενο αντικείμενο, εξασφαλίζοντας ότι το βασικό σημείο ενδιαφέροντος παραμένει στο επίκεντρο της κάμερας.

- **Free cameras**

Με αυτό το είδος κάμερας μπορεί κανείς να κάνει περιήγηση σε μια περιοχή χωρίς να έχει ορίσει ενδιάμεσα σημεία ενδιαφέροντος. Τα περισσότερα πακέτα λογισμικού έχουν και τους δύο τύπους κάμερας, ενώ άλλα έχουν μόνο τον έναν τύπο με τη δυνατότητα προσθήκης ενδιάμεσων σημείων ενδιαφέροντος. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση εφαρμογής του πρώτου είδους κάμερας είναι σε πτήσεις πάνω από μια συγκεκριμένη περιοχή. Για παράδειγμα, προκειμένου η κάμερα (target camera) να ακολουθήσει μια διαδρομή θα πρέπει τόσο το σημείο ενδιαφέροντος όσο και η κάμερα να συνδεθούν με τη διαδρομή, γεγονός που συνεπάγεται περισσότερη δουλειά. Για το λόγο συνίσταται η χρήση της free cameras.

4.3.2 Σχεδιασμός της σκηνής

Για τη «σωστή» σύνθεση της τρισδιάστατης σκηνής λαμβάνονται υπόψη πολλοί παράγοντες, μεταξύ των οποίων ο φωτισμός, η γωνία της κάμερας και η εικόνα, οι οποίοι πρέπει να εξετάζονται ταυτόχρονα.

4.3.2.1 Η θέση της κάμερας

Ανεξαρτήτως του σχεδιασμού της σκηνής, η θέση της κάμερας ορίζεται από το μελετητή. Ο χρήστης αποφασίζει το τι είναι σημαντικό, ποια πλευρά του μοντέλου θέλει να αποτελεί το επίκεντρο προσοχής και πως αυτό θα αναπαρασταθεί.

Ορισμένα ερωτήματα τα οποία πρέπει να απαντηθούν για τη σωστή επιλογή θέσης της κάμερας αφορούν την επιλογή του σημείου ενδιαφέροντος και τον προσδιορισμό της σχέσης του με τα υπόλοιπα αντικείμενα. Επίσης, ο χρήστης θα πρέπει να εξετάσει εάν υπάρχουν κάποια άλλα αντικείμενα του χώρου στα οποία να πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία, να προσδιορίσει τις χωρικές ιδιότητες των αντικειμένων, τις μεταξύ τους αποστάσεις, τη φωτεινότητα, τις περιοχές που εμφανίζονται με σκιά και τέλος τον σκοπό της οπτικοποίησης [84].

4.3.2.2 Η θέση της κάμερας και ο ορίζοντας

Η θέση του ορίζοντα αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επιτυχή σύνθεση της εικόνας. Ανάλογα με το που βρίσκεται ο ορίζοντας, η εικόνα εμφανίζεται εντυπωσιακή, ήρεμη, κουραστική ή πληκτική. Η θέση του ορίζοντα καθορίζεται από το ύψος και τη γωνία της κάμερας [84]. Γενικά, συνιστάται η θέση του ορίζοντα να μην είναι στο κέντρο της εικόνας γιατί με αυτόν τον τρόπο η εικόνα χωρίζεται σε δύο ίσα μέρη.

Εάν η θέση του ορίζοντα βρίσκεται στο πάνω μέρος της εικόνας δίνει τη δυνατότητα στον παρατηρητή να φανταστεί το μεγάλο ύψος τοποθέτησης της κάμερας από την οποία φαίνεται η σκηνή, δίνοντας μια γενική επιπτική εικόνα. Στην περίπτωση που ο ορίζοντας βρίσκεται στο κέντρο περίπου της εικόνας, «κόβει» την εικόνα σε δύο ίσα μέρη και προσδίδει μια ηρεμία η οποία γρήγορα μπορεί να οδηγήσει σε πλήξη. Συνεπώς, συνιστάται η αλλαγή θέσης του ορίζοντα είτε προς το πάνω είτε προς το κάτω τρίτο της εικόνας. Τέλος, η θέση του ορίζοντα στο κάτω μέρος της εικόνας συνδέεται με μια χαμηλή θέση της κάμερας τονίζοντας την κυριαρχία των αντικειμένων στη σκηνή.

4.3.3 «Οδηγώντας» την κάμερα

4.3.3.1 Η διαδρομή της κάμερας

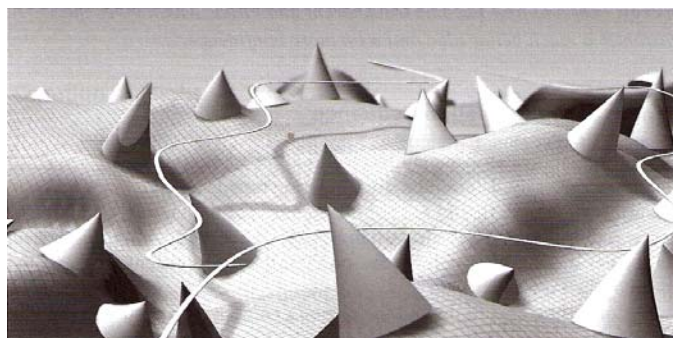
Ο ορισμός της διαδρομής που θα ακολουθήσει η κάμερα δεν εξαρτάται από το πακέτο λογισμικού στο οποίο θα προσδιοριστεί αφού η διαδικασία που εφαρμόζεται είναι η ίδια σε κάθε περίπτωση [84]. Ο χρήστης παρατάσσει στη σειρά κάθε πολύγωνο ή κάθε σημείο από το οποίο θα περάσει η κάμερα, συνδέει την κάμερα με αυτή τη διαδρομή, (Εικόνα 39) ρυθμίζει τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη γωνία της κάμερας, ορίζει κάποιο χρόνο και αποδίδει το αποτέλεσμα.



Εικόνα 39: Ο σχεδιασμός της διαδρομής της κάμερας [84]

Αρχικά, το αποτέλεσμα που προκύπτει μπορεί να προκαλέσει κάποιο ενθουσιασμό λόγω του ότι η δουλειά ολοκληρώθηκε. Ωστόσο η δεύτερη παρακολούθηση είναι αποθαρρυντική, αφού η κάμερα ξεκινά απότομα, κινείται κατά μήκος της διαδρομής με την ίδια ταχύτητα, περνά από τα σημαντικότερα σημεία «απαθώς» σαν ένα ρομπότ. Συνεπώς, ο χρήστης πλήττει και γυρίζει πίσω το «χρόνο» έτσι ώστε να δει καλύτερα τα σημεία ενδιαφέροντος.

Πριν τη διαδικασία επιλογής της διαδρομής της κάμερας, η οποία ακολουθεί την τοπογραφία της περιοχής (Εικόνα 40), πρέπει να ληφθεί υπόψη ο χρόνος που είναι στη διάθεση του χρήστη, το μήκος και ο τύπος της διαδρομής, ο χρόνος και η ταχύτητα με την οποία θα καλύψει η κάμερα τη διαδρομή, η ύπαρξη σημείων ενδιαφέροντος τα οποία θα πρέπει να δοθούν με περισσότερη λεπτομέρεια και το εάν κρίνεται αναγκαίο η διαδρομή της κάμερας να καλύψει όλη την περιοχή.



Εικόνα 40: Απόδοση της τοπογραφίας και σχεδιασμός της διαδρομής της κάμερας [84]

4.3.3.2 Μήκος και τύπος της διαδρομής

Το μήκος της διαδρομής θα πρέπει να είναι μεγάλο έτσι ώστε να περάσει από όσα το δυνατόν περισσότερα σημεία ενδιαφέροντος. Τα εμπόδια και οι επαναλαμβανόμενες προσεγγίσεις των ίδιων σημείων δεν έχουν κάποιο νόημα και ενδέχεται να εκνευρίσουν τον παρατηρητή.

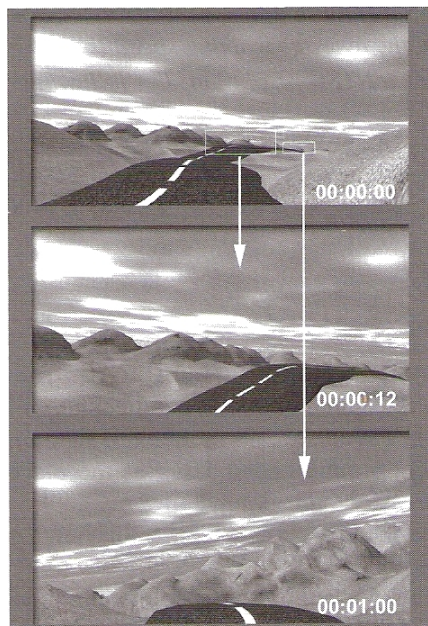
4.3.3.3 Διάρκεια πτήσης

Για τον υπολογισμό της διάρκειας της πτήσης πρέπει ο χρήστης να λάβει υπόψη ότι το ελικόπτερο δεν πετάει γρηγορότερα από 200 km/h (~46.7 m/s) και ένας πεζός ο οποίος παρατηρεί την περιοχή δεν κινείται γρηγορότερα από 5 km/h (~1.5 m/s).

- **Μεταβολή του χρόνου**

Δεν είναι πάντα αναγκαίο να παρουσιάζεται ολόκληρη η διαδρομή της κίνησης. Σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να «κοπεί» η διαδρομή σε επιμέρους τμήματα χωρίς όμως να αλλοιωθεί το περιεχόμενο της δυναμικής αναπαράστασης.

Για παράδειγμα, για την αναπαράσταση της τοπογραφίας μιας περιοχής το σημαντικότερο μέρος αφορά το σχεδιασμό των λόφων σε απόσταση 1.5 km (Εικόνα 41). Προκειμένου να μπορέσει ο παρατηρητής να λάβει την πληροφορία πρέπει η πτήση να γίνει κατά μήκος του δρόμου. Η διάρκεια της συγκεκριμένης δυναμικής αναπαράστασης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 1.5 minutes. Επίσης, ένας περίπατος στην περιοχή δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την ταχύτητα του πεζού (~1.5 m/s). Ωστόσο, μια πτήση κατά μήκος του δρόμου (1.5 km) διαρκεί 36 sec.



Εικόνα 41: Μέθοδοι επιτάχυνσης της κάμερας [84]

Ο δρόμος δεν μπορεί να αγνοηθεί, αλλά υπάρχουν μέθοδοι οι οποίοι επιταχύνουν κάποιες διαδικασίες. Η πρώτη μέθοδος αφορά έναν απλό τεμαχισμό. Ο χρήστης αφήνει την κάμερα να πετά κατά μήκος του δρόμου γύρω από την περιοχή ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, τους λόφους. Αρχικά η κάμερα είναι ακίνητη, στη συνέχεια να επιταχύνει για 2 sec – ακολουθεί κόψιμο – η κάμερα βρίσκεται μπιστά στην περιοχή με τους λόφους και κατευθύνεται προς τα κάτω.

- **Σημεία προσοχής – ορόσημα (landmarks)**

Κάθε πακέτο λογισμικού προσφέρει τη δυνατότητα σύνδεσης ενός αντικειμένου με τη διαδρομή. Όμως, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως έχει ιδιαίτερη σημασία η ταχύτητα με την οποία θα γίνει αυτή η διαδρομή. Σε ορισμένες περιοχές η επιτάχυνση ή η επιβράδυνση της κίνησης προκαλεί διέγερση στον παρατηρητή. Από τα ορόσημα (π.χ. κτίριο, συνοικία κλπ.) η κάμερα δεν πρέπει να διέρχεται με την ίδια ταχύτητα με την οποία κινείται σε όλη την υπόλοιπη περιοχή.

4.3.4 Φωτισμός

Στην αναπαράσταση του τοπίου υπάρχει μόνο μια βασική πηγή φωτός και αυτή είναι ο ήλιος. Χωρίς την ύπαρξη του ήλιου δεν υπάρχει φως ούτε σεληνόφως (Εικόνα 42).

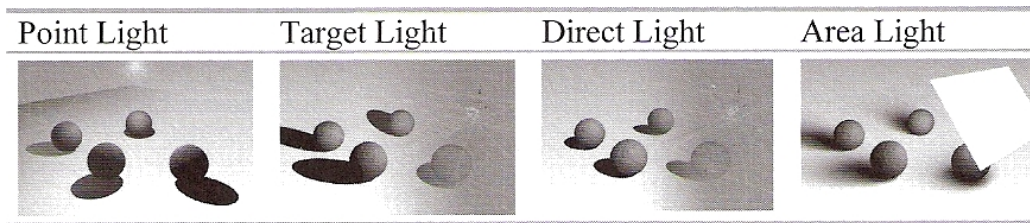


Εικόνα 42: Ο ήλιος εξασφαλίζει φως και σκιά [84]

Σήμερα, τα περισσότερα πακέτα λογισμικού με δυνατότητες τρισδιάστατης απόδοσης περιλαμβάνουν περισσότερο εξεζητημένες μεθόδους προσομοίωσης του φωτός. Η θέση του ήλιου, η γεωγραφική θέση, η κατάσταση του ουρανού (καθαρός ή συννεφιασμένος), η ώρα της ημέρας και πολλές άλλες λεπτομέρειες μπορούν να προσδιοριστούν [84].

4.3.4.1 Τύποι φωτισμού

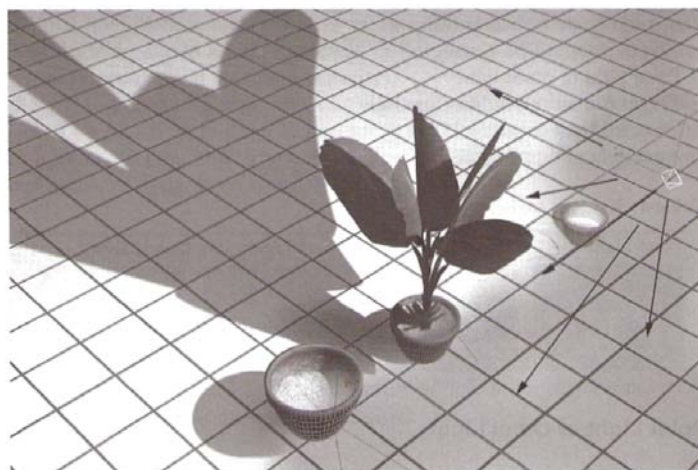
Κάθε πακέτο λογισμικού που μπορεί να απεικονίσει μια περιοχή τρισδιάστατα έχει τους δικούς του τύπους φωτός. Η επιλογή του τύπου φωτός είναι υποκειμενική και επηρεάζεται από το χρήστη και τις προτιμήσεις του. Ορισμένοι χρήστες οι οποίοι δημιουργούν εξαιρετικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας μερικούς σημειακούς προβολείς σε αντίθεση με άλλους οι οποίοι προτιμούν τη χρήση ηλιοφάνειας βασιζόμενοι σε περίπλοκα ραδιοσκοπικά συστήματα προσομοίωσης. Τα βασικά είδη φωτισμού (Εικόνα 43) είναι ίδια σε όλα τα πακέτα λογισμικού.



Εικόνα 43: Είδη φωτισμού [84]

- **Σημειακός φωτισμός (Point Light or Omni Light)**

Η πηγή η οποία διαχέει φως εξ ίσου σε όλες τις κατευθύνσεις ονομάζεται point light ή omni light (Εικόνα 44). Η πιο γνωστή πηγή φωτός είναι ο ήλιος. Ωστόσο, στην προσομοίωση ο ήλιος ποτέ δεν προσομοιώνεται ως ένα φωτεινό σημείο (point light) λόγω της λαμπερότητάς του. Λόγω του ότι στην πραγματικότητα είναι τεράστιο το μέγεθος του ήλιου σε σχέση με αυτό της γης, οι ακτίνες αντανakλούν στον πλανήτη μας με παράλληλη φορά. Έτσι, κάποιος μπορεί να επιλέξει τον παράλληλο φωτισμό.

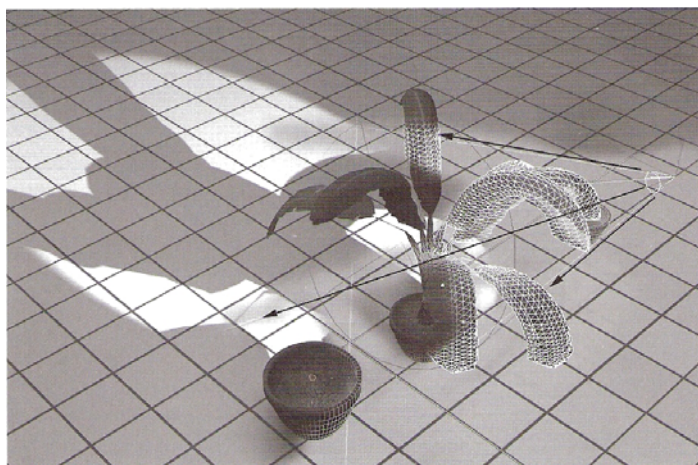


Εικόνα 44: Πηγή η οποία διαχέει το φως προς όλες τις κατευθύνσεις (point light) [84]

Σε κάθε περίπτωση αυτός ο τύπος φωτισμού δεν αποτελεί την πρώτη επιλογή για τον φωτισμό μιας σκηνής. Κάθε μέθοδος υπολογισμού της σκίασης απαιτεί μεγάλη μνήμη και χωρητικότητα. Έτσι, ο σημειακός φωτισμός απαιτεί περισσότερους υπολογισμούς και συνήθως συνίσταται η χρήση του σημειακών προβολέων (spotlight) ή του παράλληλου φωτισμού.

- **Σημειακοί προβολείς (Target Light or Target Spotlight)**

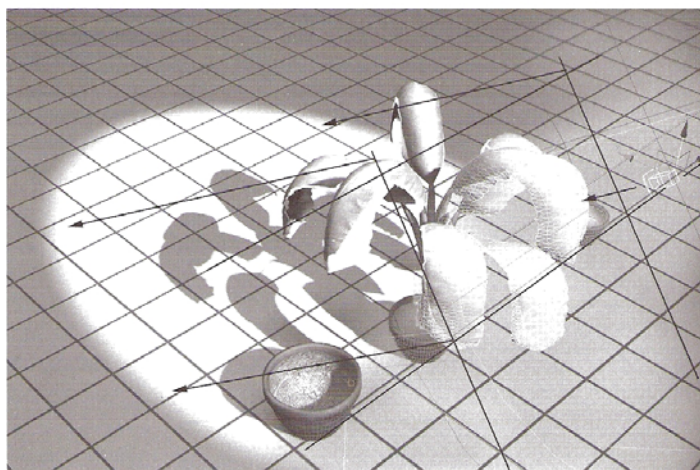
Εξαιτίας της κωνικής μορφής με την οποία εξαπλώνονται οι ακτίνες, ο σημειακός προβολέας αποτελεί την πρώτη επιλογή στην προσομοίωση του διάχυτου φωτός, του αναβοσβήματος ή των άλλων τεχνητών πηγών φωτός. Στα παλιότερα πακέτα λογισμικού ένας ή περισσότεροι προβολείς ήταν η κύρια πηγή φωτός για το φωτισμό της σκηνής. Η χρησιμότητα αυτής της πηγής φωτός είναι η δυνατότητα που προσφέρει στο να φωτίζει συγκεκριμένα αντικείμενα, σε αντίθεση με την παραπάνω πηγή φωτός (Εικόνα 45).



Εικόνα 45: Πηγή η οποία διαχέει το φως προς μια κατεύθυνση (spotlight) [84]

- **Άμεσος ή παράλληλος φωτισμός (Direct Light or Parallel-Light)**

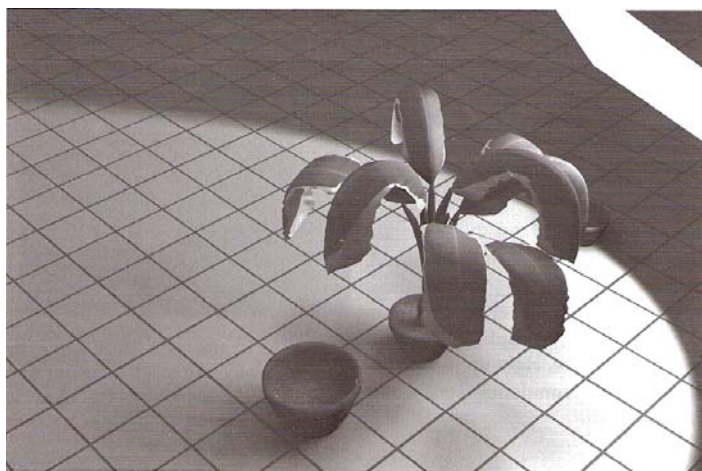
Εξετάζοντας τον ήλιο ως πηγή φωτός και λαμβάνοντας υπόψη την απόστασή του από τη γη και το μικρό μέγεθος του πλανήτη μας είναι φανερό ότι οι ακτίνες φωτός που αντανακλούν στη γη είναι περισσότερο παράλληλες (Εικόνα 46). Το διάνυσμα φωτός είναι το ίδιο για όλες τις ακτίνες που υποδηλώνει ότι οι σκιές όλων των σημειακών αντικειμένων θα έχουν την ίδια κατεύθυνση.



Εικόνα 46: Οι ακτίνες που διέρχονται παράλληλα (direct light) [84]

- **Φωτισμός της περιοχής (Area Light)**

Παρόλο που η πηγή φωτός είναι ένα πολύ μικρό σημείο η περιοχή την οποία φωτίζει έχει κάποιο «μέγεθος». Σε μια σφαιρική φωτεινή πηγή, το μέγεθος αυτό επηρεάζεται από τη διάμετρο της σφαίρας και σε μια ορθογώνια φωτεινή πηγή επηρεάζεται από το μήκος και το πλάτος. Στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται αυτό το είδος φωτισμού, σε μεγάλο σύνολο δεδομένων, οι ακτίνες αντανακλούν στο αντικείμενο παράλληλα, σχεδόν ευθεία (Εικόνα 47).



Εικόνα 47: Εξάπλωση του φωτός σε όλη της περιοχή (area light) [84]

4.3.4.2 Ο φωτισμός και η λειτουργία του

Εκτός από τα διαφορετικά είδη φωτός υπάρχει και άλλος τρόπος ορισμού του περιγράφοντας τη λειτουργία του, όπου ο χρήστης αποφασίζει για το ποιός τύπος φωτισμού είναι κατάλληλος για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Η κατηγοριοποίηση σε αυτή την περίπτωση αφορά:

- **Περιβάλλον φωτισμός (Ambient Light)**

Ο περιβάλλον φωτισμός σε συνδυασμό με τη χρωματική απόχρωση της τρισδιάστατης σκηνής προκαλεί μια λάμψη. Εάν ο χρήστης επιθυμεί να δώσει την αίσθηση της νύχτας στην εικόνα χρησιμοποιεί σκούρες αποχρώσεις του μπλε, ενώ εάν θέλει να δώσει την αίσθηση της ημέρας χρησιμοποιεί ανοιχτόχρωμες αποχρώσεις μεταξύ του κίτρινου και του άσπρου. Αξίζει να τονιστεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις ο φωτισμός ορισμένων αντικειμένων προκύπτει από την αντανάκλαση άλλων αντικειμένων.

- **Κύριος φωτισμός (Main Light)**

Ο κύριος φωτισμός αποτελεί την καταλληλότερη πηγή φωτός σε μια σκηνή. Αυτό το είδος φωτισμού προσδιορίζει την κατεύθυνση του φωτός και της σκιάς. Συνήθως, ο κύριος φωτισμός προσδιορίζεται σαν πηγή φωτός η οποία φωτίζει τη σκηνή από την πάνω γωνία.

- **Φωτισμός «γεμίματος» (Fill Light)**

Αυτό το είδος φωτισμού δίνει μια λάμψη στη σκίαση που δημιουργείται από τον κύριο φωτισμό με στόχο την εξομάλυνση των ορίων των σκιών. Η φωτεινότητα σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή του κύριου φωτισμού. Εκτός από τον φωτισμό που δημιουργείται από τον ήλιο έχουν δημιουργηθεί σηματοδότες οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως τεχνητές πηγές φωτός.

4.3.4.3 Μέθοδοι φωτισμού

Υπάρχει μεγάλος αριθμός μεθόδων που μπορεί να εφαρμοστεί στην απόδοση φωτισμού σε τρισδιάστατες σκηνές, μερικές από τις οποίες απαιτούν πολλούς υπολογισμούς. Βασικά, υπάρχουν δύο μέθοδοι φωτισμού: η μέθοδος του απλού φωτισμού με τη χρήση βασικών πηγών φωτός βασισμένες σε φυσικές παραμέτρους και η μέθοδος της μοντελοποίησης σε πραγματικό χρόνο.

Στην πρώτη μέθοδο πρωταρχικό ρόλο έχει η εμπειρία, το ένστικτο και η παρατήρηση προσφέροντας πολύ καλά αποτελέσματα. Αντίθετα, η δεύτερη μέθοδος βασίζεται λιγότερο στο ένστικτο και περισσότερο στα μαθηματικά. Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ο μεγάλος αριθμός υπολογισμών και ο χρόνος που απαιτείται. Οι δύο αυτές μέθοδοι έχουν αρκετά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, αλλά και οι δύο είναι πολύ σημαντικές στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση.

4.4 Μέθοδοι Κινούμενης Εικόνας

Η κίνηση του χάρτη μπορεί να επιτευχθεί μέσω της χρήσης τεχνικών κινούμενης εικόνας, κάθε μια από τις οποίες περιλαμβάνει τη δημιουργία χαρτών από διαφορετικές θέσεις, σε

διαφορετικές χρονικές περιόδους, με τη χρήση διαφορετικών χαρτογραφικών τεχνικών και παραμέτρων. Η αίσθηση της κίνησης είναι αποτέλεσμα της εναλλαγής μεταξύ των εικόνων [4].

4.4.1 Σταθερή ακολουθία

Οι πιο απλοί χάρτες κινούμενης εικόνας είναι αυτοί που απεικονίζουν μια περιοχή με σειρά διαδοχικών εικόνων με μια σταθερή ακολουθία. Όταν οι κατανομές των στοιχείων από τη μια εικόνα στην άλλη είναι μικρές, τότε δημιουργείται η αίσθηση ομαλής κίνησης σε αντίθεση με περιπτώσεις όπου η πληροφορία είναι ελάχιστη με αποτέλεσμα τη δημιουργία απότομης κίνησης.

Επίσης, σύνολο τεχνικών χρησιμοποιείται για τον φωτισμό μιας περιοχής, η οποία μπορεί να απεικονίζει μια περιβαλλοντική σκηνή μέσω διαφορετικών χαρτογραφικών κλιμάκων. Αποτέλεσμα είναι μια κινούμενη εικόνα στην οποία η μεγέθυνση οδηγεί σε μια μεγάλης κλίμακας όψη τοπίου, ενώ η σμίκρυνση σε μικρότερης κλίμακας όψη τοπίου.

Η μέθοδος κινούμενης εικόνας με σταθερή ακολουθία δεν χρησιμοποιείται αρκετά εξαιτίας του αυξημένου κόστους των σύγχρονων μεθόδων που χρησιμοποιεί.

4.4.2 Ακολουθία καθορισμένη από το χρήστη

Το αποτέλεσμα της χαρτογράφησης με τη χρήση κινούμενης εικόνας σταθερής ακολουθίας είναι πολύ καλό για περιβαλλοντικές απεικονίσεις.

Με αυτή τη διαδικασία ο χρήστης μπορεί να προσομοιώσει ρεαλιστικά την κίνηση από ένα σημείο θέασης σε ένα άλλο, ελέγχοντας την πτήση. Επίσης, μπορεί να ξεκινήσει από ψηλά και σιγά σιγά να κατευθύνεται προς τα χαρακτηριστικά της εικόνας που παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον.

- **Αποθηκευμένες εικόνες**

Σε αυτή την περίπτωση υπολογίζονται οι απόψεις από ένα σύνολο θέσεων θέασης, οι οποίες αρχικά αποθηκεύονται και στη συνέχεια ανακτώνται από τον χρήστη του συστήματος, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να επιλέξει την πορεία που θα ακολουθήσει.

Μειονέκτημα αυτής της μεθόδου αποτελεί η αργή και ασταθής κίνηση, η οποία εμποδίζει την θέαση ορισμένων περιοχών.

- **Εικόνες από ηλεκτρονικό υπολογιστή**

Αυτή η μέθοδος προσφέρει ευελιξία στην επιλογή της πορείας πτήσεως με μειονέκτημα την υπέρβαση των υπολογιστικών απαιτήσεων σε σχέση με αυτές του συστήματος αποθηκευμένης εικόνας. Η πτήση πραγματικού χρόνου πραγματοποιείται είτε μετακινώντας

το μοχλό χειρισμού, είτε αποδίδοντας μια σειρά συντεταγμένων θέασης από το πληκτρολόγιο του υπολογιστή.

4.5 Προσομοίωση

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η τρίτη διάσταση δίνει έμφαση στα οπτικά σήματα του χάρτη για την καλύτερη κατανόησή του από τον παρατηρητή.

4.5.1 Εικονική πραγματικότητα

Η εικονική πραγματικότητα αποτελεί την πιο σύγχρονη μέθοδο προσομοίωσης, μέσω της οποίας απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά της χαρτογραφικής οπτικοποίησης με την επέκταση στην τρίτη και τέταρτη διάσταση, ενώ δημιουργείται η ψευδαίσθηση ελευθερίας όσον αφορά τη βαρύτητα, την κίνηση και την οπτική. Οι τεχνικές της εικονικής πραγματικότητας δημιουργούν ένα περιβάλλον όμοιο με αυτό του πραγματικού κόσμου, με το οποίο ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδρά.

Η εικονική πραγματικότητα μπορεί να προσεγγιστεί ως μια μορφή δυναμικής χαρτογραφίας [85], αφού σύμφωνα με τον Dorling [23] υπάρχουν τρεις τύποι κίνησης. Η μετακίνηση και μεγέθυνση σε στατικές τρισδιάστατες εικόνες (κίνηση στο χώρο), η κίνηση σε χρονοσειρές σε δισδιάστατες εικόνες (κίνηση στο χρόνο) και η χρήση της κίνησης για την πλοήγηση σε τρισδιάστατα αντικείμενα [94].

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο εικονικό περιβάλλον απουσιάζει το σύμβολο του βορρά, με αποτέλεσμα η περιοχή να προσαρμόζεται σύμφωνα με τη θέση του παρατηρητή.

4.5.2 Τύποι εικονικής πραγματικότητας

Οι τύποι της εικονικής πραγματικότητας είναι η πλήρης εμβάπτιση, η διαφανής εικονική πραγματικότητα, η εικονική πραγματικότητα προβολής και η επιτραπέζια.

- **Πλήρης εμβάπτιση**

Η πλήρης εμβάπτιση αποτελεί μια μορφή η οποία εφαρμόζεται σε περιβάλλοντα εξομοίωσης και όπου ο συμμετέχων είναι υποκείμενο του οποίου ερεθίζεται η όραση, η ακοή, η κίνηση και η αφή. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται η χρήση εξοπλισμού (μάσκα, ηχεία, κινούμενες πλατφόρμες, γάντια κλπ.). Η πλήρης προσομοίωση της κίνησης επιτυγχάνεται με κινούμενες πλατφόρμες της θέσης του χρήστη, ο οποίος μπορεί να προσθέσει ή να αφαιρέσει χαρακτηριστικά με δική του πρωτοβουλία [94].

- **Διαφανής εικονική πραγματικότητα**

Στην διαφανή εικονική πραγματικότητα (Transparent VR), ως υπόβαθρο χρησιμοποιούνται εικόνες του πραγματικού κόσμου πάνω στις οποίες εμφανίζεται η χωρική πληροφορία [94].

- **Εικονική πραγματικότητα προβολής**

Η εικονική πραγματικότητα προβολής (Projection VR) εφαρμόζεται μόνο σε γραφικές αναπαραστάσεις μεγάλης κλίμακας, αποτελώντας μια εκδοχή ημι-εμβάπτισης (semi-immersive), όπου δημιουργείται μια ψευδαίσθηση μέσω της πλοήγησης στο χώρο (Cave Automatic Virtual Environment).

Σε αυτή την περίπτωση οι χρήστες φορούν ειδικά γυαλιά στερεοσκοπικής όρασης και κινούνται με τη βοήθεια μιας φορητής μικροσυσκευής [94].

- **Επιτραπέζια**

Η πιο κοινή μορφή εικονικής πραγματικότητας είναι η επιτραπέζια (Desktop VR), γνωστή και ως εικονική πραγματικότητα μη εμβάπτισης [94].

4.6 Διαδραστική Χαρτογραφία

Η διαδραστική χαρτογραφία αναφέρεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και του χάρτη, αφού η θέση θέασης στην προσομοίωση και στην κινούμενη εικόνα ελέγχεται από αυτόν. Ο πλήρης διαδραστικός χάρτης επιτρέπει την ελεύθερη ανταλλαγή ερωτήσεων και απαντήσεων μεταξύ του χάρτη και του χρήστη, ο οποίος μπορεί να προσαρμόζει τις χαρτογραφικές ενδείξεις. Ο διαδραστικός χάρτης είναι χρήσιμος ως μια οπτική διεπαφή των δεδομένων που αποθηκεύονται στη μνήμη του υπολογιστή, ο οποίος αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ των χαρτών που χρησιμοποιούνται για την οπτική απόδοση και των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση.

4.7 Σύνοψη

Στο τελευταίο κεφάλαιο της θεωρητικής προσέγγισης της παρούσας μελέτης γίνεται σύντομη αναφορά στη μοντελοποίηση επιφανειών και στη δυναμική χαρτογράφηση. Η μοντελοποίηση της τοπογραφίας μιας περιοχής είναι μια σύνθετη διαδικασία, αφού αυτές οι επιφάνειες μπορούν να μοντελοποιηθούν είτε από διανυσματικά δεδομένα μέσω των ισοϋψών καμπυλών, είτε από κανονικοποιημένα ψηφιακά δεδομένα με μορφή ενός πίνακα υψομέτρων [4].

Ενότητες αυτού του κεφαλαίου αποτελούν η παρουσίαση των μεταβλητών οι οποίες επηρεάζουν τη δυναμική χαρτογράφηση, η απόδοση του ψηφιακού μοντέλου καθώς επίσης και οι μέθοδοι κινούμενης εικόνας, κάθε μια από τις οποίες περιλαμβάνει τη δημιουργία χαρτών από

διαφορετικές θέσεις παρατήρησης, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, με τη χρήση διαφορετικών χαρτογραφικών τεχνικών και παραμέτρων [4].

Στην ενότητα παρουσίασης της απόδοσης του ψηφιακού μοντέλου γίνεται αναφορά στη χρήση της κάμερας η οποία βοηθά στην παρακολούθηση και πλοήγηση στο εσωτερικό του τρισδιάστατου κόσμου. Η σωστή θέση της κάμερας βοηθά στη «σωστή» σύνθεση της σκηνής όπου λαμβάνονται υπόψη ο φωτισμός, η γωνία της κάμερας καθώς και η εικόνα.

Ο ορισμός της διαδρομής, το μήκος της και η διάρκεια πτήσης εξαρτώνται από το χρήστη ο οποίος θα πρέπει να λάβει υπόψη του ότι θα πρέπει να περάσει από όλα τα σημεία ενδιαφέροντος. Επίσης, η διάρκεια πτήσης βασίζεται σε κάποιες αρχές. Τέλος, όσον αφορά το φωτισμό, παρουσιάζονται οι τύποι, οι κατηγορίες και οι μέθοδοι φωτισμού.

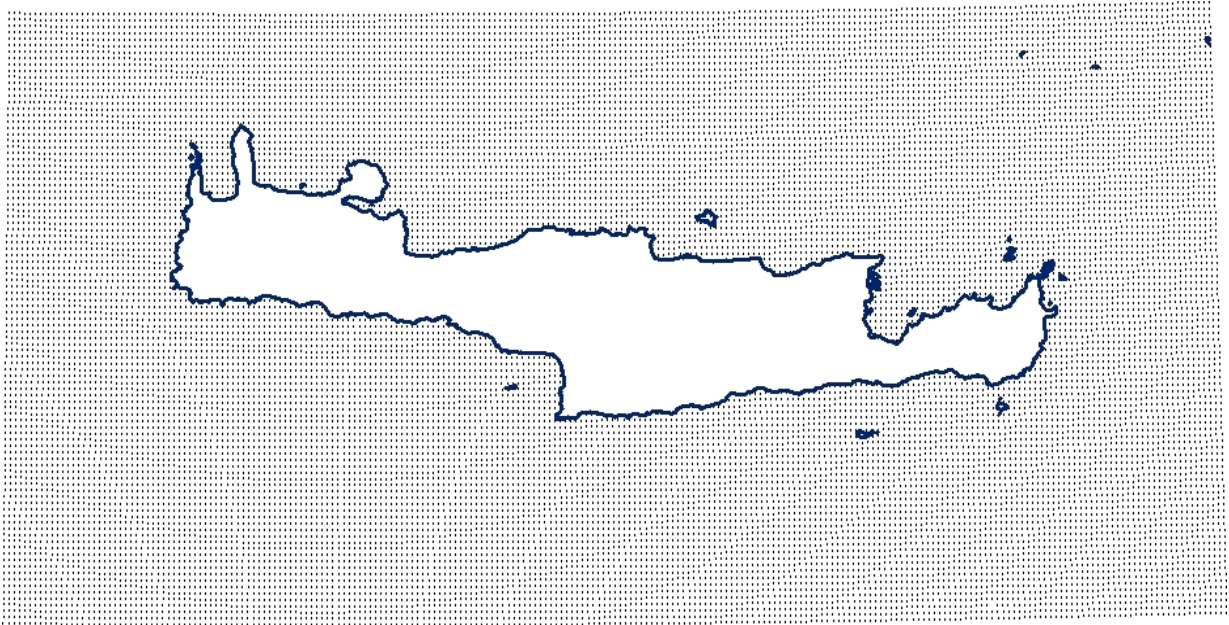
5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Το αντικείμενο της παρούσης εργασίας συνίσταται στη δημιουργία και απόδοση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού γύρω από τη θαλάσσια περιοχή της νήσου Κρήτης και των γειτονικών νήσων. Η υλοποίηση της εφαρμογής έγινε με τη χρήση δύο πακέτων λογισμικού και συγκεκριμένα με το ArcGIS και το Surfer με συνακόλουθη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο παραπάνω πακέτων λογισμικού. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του βυθού δημιουργήθηκε και με τα δύο πακέτα λογισμικού με την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου, ενώ η απόδοση του παραπάνω μοντέλου έγινε με το λογισμικό Fledermaus λόγω των ιδιαίτερων δυνατοτήτων που παρέχει.

Η νήσος Κρήτη, η οποία βρίσκεται στο νότιο άκρο του Αιγαίου Πελάγους και καλύπτει περιοχή έκτασης 8.336 km^2 , είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδος και το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της Ανατολικής Μεσογείου. Το μήκος της ανέρχεται σε 260 km στη διεύθυνση Α-Δ, ενώ το πλάτος της ποικίλλει από 60 km (μεταξύ των ακρωτηρίων Δίων και Λίθινου) μέχρι και 12 km στον Ισθμό της Ιεράπετρας (Ανατολική Κρήτη). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ακτογραμμή της νήσου παρουσιάζει βαθύ γεωγραφικό διαμελισμό, προσδίδοντας στη Κρήτη πάνω από 1.000 km ακτών.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα βαθυμετρικά σημεία γύρω από την Κρήτη και τα γειτονικά νησιά, καθώς και η ακτογραμμή των παραπάνω νήσων, τα οποία προήλθαν από το National Geophysical Data Center (NGDC) [111], το οποίο παρέχει δεδομένα για όλον τον κόσμο με ανάλυση 1, 2, 4 και 10 minutes, όπου κάθε minute ισούται περίπου με 1800 m. Τα όρια της περιοχής μελέτης είναι 22.999961° με 26.833361° ανατολικά και 34.383373° με 35.983373° βόρεια (Εικόνα 48), ενώ η ανάλυση των δεδομένων είναι 2 minutes.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω όρια, αφού έγινε η μετατροπή τους στο προβολικό σύστημα GRS 1987, μεταβλήθηκαν κατά τη διαδικασία δημιουργίας του ψηφιακού μοντέλου προκειμένου να παρατηρείται ταύτιση των επιφανειών που προκύπτουν από τα διαφορετικά πακέτα λογισμικού, έτσι ώστε να είναι εφικτή και αποτελεσματική η σύγκριση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 48: Δεδομένα της περιοχής μελέτης (GGRS 1987) [111]

5.1 Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας του Βυθού

5.1.1 Επιλογή κατάλληλης μεθόδου

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι δημιουργίας ψηφιακού μοντέλου της επιφάνειας του βυθού, η κάθε μια από τις οποίες προσφέρει διαφορετική ερμηνεία των δεδομένων, αφού κάθε μέθοδος υπολογίζει τις τιμές των κομβικών σημείων με διαφορετικό αλγόριθμο. Η Inverse Distance Weighted (IDW), η Kriging, η Natural Neighbor, η Nearest Neighbor και η Moving Average αποτελούν ορισμένες από τις μεθόδους δημιουργίας ΨΜΕ με τη μέθοδο GRID.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η Inverse Distance Weighted, μια από τις απλούστερες και γρηγορότερες μεθόδους παρεμβολής, όπου η εξαγόμενη επιφάνεια επηρεάζεται από τη διαδικασία ομαδοποίησης.

5.1.2 Μέθοδος Inverse Distance Weighted (IDW)

Η μέθοδος παρεμβολής IDW υποθέτει ότι σημεία τα οποία βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο είναι περισσότερο όμοια σε σχέση με σημεία που είναι απομακρυσμένα μεταξύ τους. Προκειμένου να υπολογιστεί η τιμή σε μια άγνωστη περιοχή, η μέθοδος αυτή λαμβάνει υπόψη της τις τιμές των σημείων που βρίσκονται περιμετρικά. Τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στην ζητούμενη τιμή έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα από όσα βρίσκονται πιο μακριά. Η επίδραση κάθε σημείου είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης από τη ζητούμενη τιμή.

5.1.2.1 Η συνάρτηση Power (p)

Η βέλτιστη τιμή του εκθέτη (p) καθορίζεται από την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης (Root Mean Square Prediction Error - RMSPE). Το RMSPE υπολογίζεται από την διασταυρούμενη αξιολόγηση (cross-validation). Κατά το cross-validation κάθε σημείο αφαιρείται και συγκρίνεται με την πρόγνωση της τιμής του σημείου για αυτή την περιοχή μέσω της υλοποίησης του μοντέλου. Το RMSPE αποτελεί ένα στατιστικό μέτρο ποσοτικοποίησης του σφάλματος της επιφάνειας πρόβλεψης.

Τα βάρη (w) είναι αντιστρόφως ανάλογα της απόστασης υψωμένης στη δύναμη (p), συνεπώς καθώς αυξάνεται η απόσταση η τιμή του βάρους μειώνεται ραγδαία, ενώ η ταχύτητα με την οποία τα βάρη μειώνονται εξαρτάται από την τιμή του εκθέτη (p). Εάν $p = 0$ τότε δεν υπάρχει μείωση λόγω της απόστασης και λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε βάρος w_i θα είναι το ίδιο, η πρόβλεψη θα είναι ο μέσος όλων των υπό μέτρηση τιμών. Εάν αυξηθεί το p, τότε τα βάρη των απομακρυσμένων σημείων μειώνονται ραγδαία και εάν η τιμή του p γίνει πολύ υψηλή, τότε μόνο τα άμεσα γειτονικά σημεία θα επηρεάσουν την πρόβλεψη.

5.1.2.2 Επιλογή γειτονίας

Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι τιμές των σημείων τα οποία βρίσκονται το ένα κοντά στο άλλο είναι περισσότερο όμοιες σε σχέση με τις τιμές εκείνων που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση, καθώς απομακρύνεται κανείς από την περιοχή ενδιαφέροντος, οι μετρούμενες τιμές θα σχετίζονται ελάχιστα με την τιμή της περιοχής όπου γίνεται πρόβλεψη.

Προκειμένου να επιταχυνθούν οι υπολογισμοί μπορεί κανείς να θεωρήσει μηδενικές τιμές για τα πιο απομακρυσμένα σημεία. Είναι κοινή πρακτική να περιορίσει κανείς τον αριθμό των τιμών των σημείων που χρησιμοποιούνται όταν γίνεται πρόβλεψη των άγνωστων τιμών μιας περιοχής, καθορίζοντας μια περιοχή αναζήτησης. Το σχήμα της περιοχής αυτής περιορίζει το πόσο μακριά και από που θα χρησιμοποιηθούν οι τιμές για την πρόβλεψη.

5.1.2.3 Δημιουργία επιφάνειας με τη μέθοδο Inverse Distance Weighted στο ArcGIS

Στη συνάρτηση IDW υπάρχουν δύο επιλογές: ο τύπος σταθερής ακτίνας (fixed search radius type) και ο τύπος μεταβλητής ακτίνας (variable search radius type).

Με τον τύπο σταθερής ακτίνας (fixed search radius type), η ακτίνα του κύκλου που χρησιμοποιείται για να βρει τα δοσμένα σημεία είναι ίδια για κάθε παρεμβαλλόμενο κελί. Ορίζοντας μια ελάχιστη τιμή και με σταθερή ακτίνα R χρησιμοποιείται ο ελάχιστος αριθμός σημείων για τον υπολογισμό κάθε παρεμβαλλόμενου κελιού.

Η υψηλότερη τιμή (power) δίνει περισσότερη έμφαση στα γειτονικά σημεία, δημιουργώντας μια πιο λεπτομερή και λιγότερο εξομαλυμένη επιφάνεια, ενώ η χαμηλότερη τιμή λαμβάνει υπόψη περισσότερο τα περιμετρικά σημεία τα οποία είναι και πιο μακριά, δημιουργώντας μια πιο ομαλή επιφάνεια. Επίσης, χρησιμοποιώντας κάποιο όριο (barrier) μπορεί κανείς να περιορίσει την αναζήτηση των σημείων γύρω από αυτό το όριο.

Με τον τύπο της μεταβλητής ακτίνας (variable search radius type) η αρίθμηση αναπαριστά τον αριθμό των σημείων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της τιμής των παρεμβαλλόμενων κελιών. Αυτό σημαίνει ότι η τιμή της μεταβλητής ακτίνας για κάθε παρεμβαλλόμενο κελί εξαρτάται από το πόσο μακριά πρέπει να επεκταθεί προκειμένου να επιτευχθεί ο ακριβής αριθμός σημείων.

Με την μεταβλητή ακτίνα, ο αριθμός των σημείων που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής του παρεμβαλλόμενου κελιού είναι καθορισμένος και έτσι η ακτίνα μεταβάλλεται για κάθε παρεμβαλλόμενο κελί, ανάλογα με το πόσο μακριά πρέπει να γίνει η αναζήτηση γύρω από κάθε κελί, ώστε να επιτευχθεί ο καθορισμένος αριθμός σημείων. Έτσι, ορισμένες γειτονιές μπορεί να είναι μικρότερες από κάποιες άλλες ανάλογα με την πυκνότητα των σημείων μέτρησης κοντά στο παρεμβαλλόμενο κελί. Επίσης, μπορεί να καθορισθεί η μέγιστη απόσταση την οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει η ακτίνα. Γενικά, πρέπει να χρησιμοποιούνται μικρότερες γειτονιές ή ο αριθμός των σημείων να είναι μικρός όταν το φαινόμενο που μελετάται παρουσιάζει μεγάλο βαθμό μεταβλητότητας.

5.1.3 Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου με τη μέθοδο IDW

Η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του βυθού με τη μέθοδο IDW υλοποιήθηκε με τη βοήθεια των πακέτων λογισμικού ArcGIS και Surfer. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πρόκειται για μια μέθοδο παρεμβολής η οποία υποθέτει ότι τα σημεία που βρίσκονται το ένα κοντά στο άλλο είναι περισσότερο όμοια σε σχέση με τα σημεία τα οποία είναι απομακρυσμένα μεταξύ τους.

Ο υπολογισμός της τιμής μια άγνωστης περιοχής σχετίζεται με τις τιμές των σημείων που βρίσκονται περιμετρικά των αγνώστων σημείων. Έτσι, τα σημεία τα οποία βρίσκονται πιο κοντά στη ζητούμενη τιμή έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα σε αντίθεση με αυτά που βρίσκονται πιο μακριά.

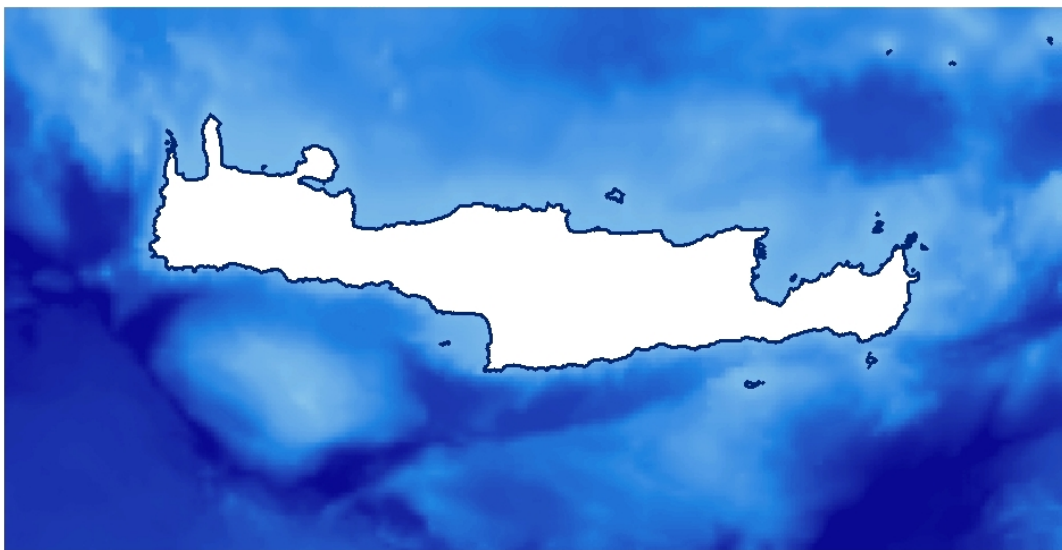
5.1.3.1 ArcGIS

Στο πακέτο λογισμικού ArcGIS, η συνάρτηση IDW έχει δύο επιλογές για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου. Σύμφωνα με την πρώτη επιλογή η ακτίνα είναι σταθερή (fixed search

radius type), ενώ υπάρχει και η επιλογή της μεταβλητής ακτίνας (variable search radius type). Στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου των βαθυμετρικών σημείων έγινε με την επιλογή της σταθερής ακτίνας λόγω του ότι τα δεδομένα είναι ισοκαταναμημένα.

Η επιλογή της ακτίνας για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του βυθού με τη μέθοδο IDW έγινε βάσει του μεγέθους pixel. Σύμφωνα με τη θεωρητική προσέγγιση της συγκεκριμένης μεθόδου το μήκος της ακτίνας είναι πενταπλάσιο του μεγέθους του pixel.

Μια από τις παραμέτρους της μεθόδου IDW είναι η τιμή του εκθέτη (p) η οποία καθορίζεται από την ελαχιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος πρόβλεψης (Root Mean Square Prediction Error RMSPE). Επίσης, σημαντικό ρόλο στο αποτέλεσμα που προκύπτει διαδραματίζει το μέγεθος του pixel που ορίζεται από το χαρτογράφο, η οποία σχετίζεται με το μήκος της ακτίνας, το οποίο είναι πενταπλάσιο του μεγέθους του pixel. Στην παρούσα εργασία η τιμή του (p) ισούται με 2, ενώ το μέγεθος του pixel είναι ίσο με 500 m που σημαίνει ότι το μήκος της ακτίνας είναι ίσο με 2500 m (Εικόνα 49).



Εικόνα 49: Ψηφιακό μοντέλο βαθυμετρικών σημείων με τη μέθοδο IDW (ArcGIS)

Αξίζει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο μέγεθος pixel προέκυψε από μια σειρά πειραμάτων κατά τα οποία δημιουργήθηκαν αντίστοιχα ψηφιακά μοντέλα τόσο με μεγαλύτερο μέγεθος pixel, όσο και με μικρότερο. Η συγκεκριμένη τιμή μεγέθους pixel (500 m) προσέγγιζε όσο το δυνατόν καλύτερα τα όρια της ακτογραμμής. Στο ψηφιακό μοντέλο με τη χρήση μεγαλύτερου pixel (4 m) παρατηρούνταν εντονότερες διαφορές γύρω από την ακτογραμμή με αποτέλεσμα να μην ακολουθούνται σωστά τα όριά της κυρίως σε περιοχές όπου η ακτογραμμή εμφανίζει τη μεγαλύτερη ανομοιομορφία (π.χ. στα Ανατολικά της Κρήτης). Αντίθετα, το μικρότερο μέγεθος

pixel άφηνε κενές περιοχές λόγω του ότι το μήκος της ακτίνας ήταν αρκετά μικρό σε σχέση με τις αποστάσεις μεταξύ των δεδομένων.

Με τη δημιουργία του συγκεκριμένου ψηφιακού μοντέλου του βυθού προκύπτουν κάποια στατιστικά στοιχεία (Πίνακας 1), ορισμένα από τα οποία κρίνονται αναγκαία να αναφερθούν αφού βοηθούν, στη συνέχεια, στη σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών ψηφιακών μοντέλων τα οποία προκύπτουν από διαφορετικά πακέτα λογισμικού. Το συγκεκριμένο μέγεθος του pixel (500 m) συνεπάγεται τη δημιουργία 706 γραμμών ως προς τον άξονα x και 363 γραμμών ως προς τον άξονα y.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ GRID	
Z Minimum	-4396.91
Z Maximum	0
Z Mean	-1331.47
Z Standard Deviation	1069.67

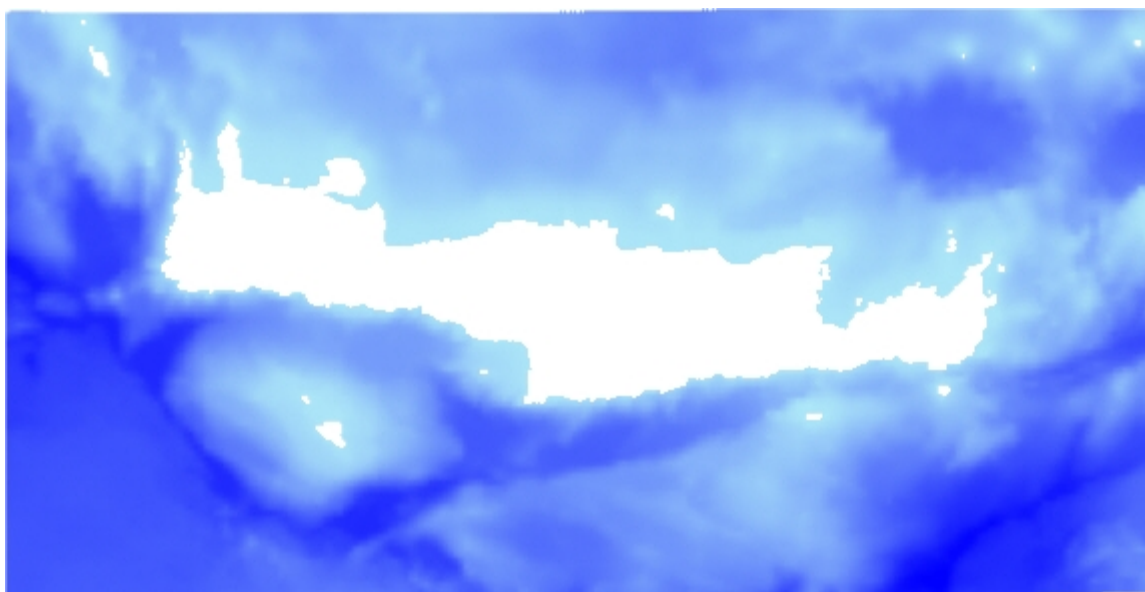
Πίνακας 1: Στατιστικά αποτελέσματα δημιουργίας grid (ArcGIS)

Ο παραπάνω Πίνακας 1 παρουσιάζει κάποια στατιστικά αποτελέσματα, σύμφωνα με τα οποία η ελάχιστη τιμή z είναι -4396.91 m, ενώ η μέγιστη τιμή z είναι 0 m. Επίσης, η μέση τιμή του βάθους είναι ίση με -1331.47 m, ενώ η τυπική απόκλιση ισούται με 1069.67.

5.1.3.2 Surfer

Για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του βυθού στην περιοχή μελέτης με τη χρήση του πακέτου λογισμικού Surfer χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες παράμετροι με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του αντίστοιχου μοντέλου από το πακέτο λογισμικού ArcGIS (Εικόνα 50). Συγκεκριμένα, η τιμή του (p) ορίζεται ίση με 2 και το μέγεθος του pixel ίσο με 500 m.

Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι στο συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού ορίζονται επιπλέον παράμετροι για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του βυθού παρόλο που χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος. Μια από τις επιπλέον παραμέτρους που χρησιμοποιείται είναι ο μέγιστος αριθμός σημείων ο οποίος ορίστηκε ίσος με 9, τιμή η οποία υπολογίστηκε από το πακέτο λογισμικού ArcGIS. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκε κύκλος ακτίνας 2500 m και υπολογίστηκε ο αριθμός των σημείων που περικλείονται σε αυτόν.



Εικόνα 50: Ψηφιακό μοντέλο βαθυμετρικών σημείων με τη μέθοδο IDW (Surfer)

Αξίζει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού το μέγεθος του pixel επηρεάζει τον αριθμό των γραμμών που δημιουργούνται. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο μπορεί κανείς να επιλέξει τον αριθμό των γραμμών ως προς τους άξονες x και y αντίστοιχα και το πρόγραμμα να ορίσει αυτόματα το μέγεθος του pixel. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης, τα 500 m μέγεθος pixel συνεπάγονται τη δημιουργία 706 στηλών και 363 γραμμών, όπως αντίστοιχα προέκυψαν από τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου με τη χρήση του πακέτου λογισμικού ArcGIS, αφού έχουν χρησιμοποιηθεί οι ίδιες παράμετροι.

Ομοίως έχουν προκύψει κάποια στατιστικά στοιχεία τα οποία αναλύονται στη συνέχεια. Το πακέτο λογισμικού Surfer παρέχει πιο λεπτομερή παρουσίαση στατιστικών στοιχείων (Πίνακας 2) σε αντίθεση με το πακέτο λογισμικού ArcGIS.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ GRID	
Z Minimum	-4396.91
Z Maximum	0
Z Mean	-1526.65
Z Standard Deviation	1015.47
Z Coef. Of Skewness	-0.44
Z Root Mean Square	1833.53

Πίνακας 2: Στατιστικά αποτελέσματα δημιουργίας grid (Surfer)

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 2) προκύπτει ότι η ελάχιστη τιμή βάθους ισούται με -4396.91 m, ενώ η μέγιστη τιμή είναι ίση με 0 m. Επιπρόσθετα, υπολογίστηκαν η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση, η τιμή των οποίων είναι ίση με -1526.65 m και 1015.47, αντίστοιχα. Εάν θεωρηθεί το ύψος ως μια τυχαία μεταβλητή, το μέγεθος που μετράει την ασυμμετρία αυτής της τυχαίας μεταβλητής είναι το skewness, το οποίο είναι ίσο με -0.44. Τέλος, η μέση τετραγωνική ρίζα ισούται με 1833.53.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα στατιστικά αποτελέσματα της δημιουργίας του ψηφιακού μοντέλου των βαθυμετρικών σημείων γύρω από την Κρήτη και τα γειτονικά νησιά διαφέρουν ανάλογα με το πακέτο λογισμικό το οποίο χρησιμοποιείται. Παρόλο που εφαρμόζεται η ίδια μέθοδος και οι μεταβλητές είναι ίδιες, παρατηρούνται διαφορές (Πίνακας 3) οι οποίες αναλύονται και υπολογίζονται σε παρακάτω ενότητα.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ GRID		
	ArcGIS	Surfer
Z Minimum	-4396.91	-4396.91
Z Maximum	0	0
Z Mean	-1331.47	-1526.65
Z Standard Deviation	1069.67	1015.47
Z Coef. Of Skewness		-0.44
Z Root Mean Square		1833.53

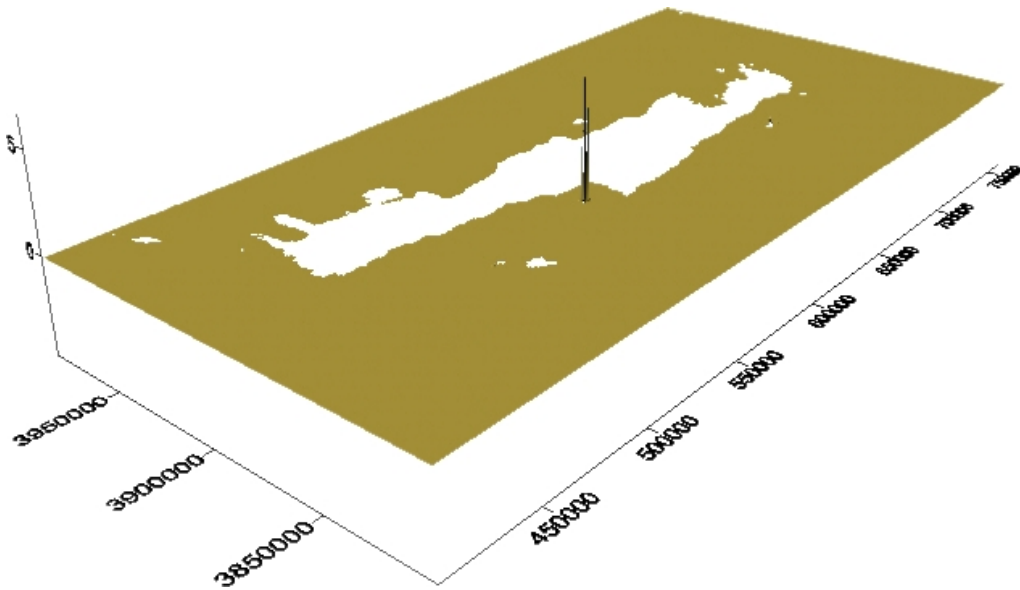
Πίνακας 3: Σύγκριση αποτελεσμάτων δημιουργίας grid με τη μέθοδο IDW, με τη χρήση δύο διαφορετικών πακέτων λογισμικού (ArcGIS, Surfer)

Στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 3) παρουσιάζονται οι αριθμητικές διαφορές που προκύπτουν από τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου των βαθυμετρικών σημείων με τη μέθοδο IDW, με τη χρήση των πακέτων λογισμικού ArcGIS και Surfer. Οι διαφορές αυτές παρατηρούνται στη μέση τιμή του ύψους και στην τυπική απόκλιση. Επίσης, παρατηρείται ο μη υπολογισμός της ασυμμετρίας (skewness) καθώς και της μέσης τετραγωνικής ρίζας από το πακέτο λογισμικού ArcGIS.

5.2 Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Στην ενότητα αυτή γίνεται χώρα η σύγκριση των επιμέρους ψηφιακών μοντέλων που δημιουργήθηκαν από τα δύο πακέτα λογισμικού με τη μέθοδο IDW, μέσω της διαδικασίας της αφαίρεσης.

Αρχικά, γίνεται η σύγκριση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού που προέκυψε από τα πακέτα λογισμικού ArcGIS και Surfer, με τη χρήση της μεθόδου IDW. Η σύγκριση των παραπάνω ψηφιακών μοντέλων έγινε στο Surfer, μέσω της «αφαίρεσης» των δύο αυτών μοντέλων. Ο τύπος της αφαίρεσης που εφαρμόστηκε για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων είναι $C = A - B$, όπου A και B είναι τα ψηφιακά μοντέλα που δημιουργήθηκαν από κάθε λογισμικό. Το αποτέλεσμα που προκύπτει απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 51), όπου παρουσιάζονται τα σημεία με τις μεγαλύτερες και μικρότερες διαφορές των δύο ψηφιακών μοντέλων. Όπου οι διαφορές είναι μεγάλες σημαίνει ότι στα συγκεκριμένα σημεία διαφέρει αρκετά το ένα ψηφιακό μοντέλο από το άλλο.



Εικόνα 51: Απεικόνιση των διαφορών των ψηφιακών μοντέλων που προέκυψαν από τα πακέτα λογισμικού ArcGIS και Surfer

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διαφορές των αποτελεσμάτων των δύο πακέτων λογισμικού είναι πολύ μικρές (Πίνακας 4) εκτός από ένα σημείο όπου παρατηρείται εντονότερη διαφορά. Σε αυτό το σημείο κρίνεται αναγκαίο να αναφερθεί ότι η δημιουργία του grid με το πακέτο λογισμικού ArcGIS βασίζεται στο κέντρο του κάθε κελιού, σε αντίθεση με το grid που δημιουργείται με το Surfer όπου λαμβάνονται υπόψη οι ακμές του κάθε κελιού.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	
ArcGIS - Surfer	
Z Minimum	-4.95
Z Maximum	6.61
Z Mean	0.0001
Z Standard Deviation	0.03
Z Coef. Of Skewness	209.37
Z Root Mean Square	0.03

Πίνακας 4: Στατιστικά αποτελέσματα της σύγκρισης δύο διαφορετικών ψηφιακών μοντέλων

5.3 Απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού

Η απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού γύρω από την Κρήτη και τα γειτονικά νησιά έγινε από το πακέτο λογισμικού Fledermaus, αφού πρόκειται για ένα πακέτο το οποίο προσφέρει εξαιρετικές δυνατότητες όσον αφορά τη διαδικασία της οπτικοποίησης.

Η οπτικοποίηση του ψηφιακού μοντέλου βασίστηκε σε στοιχεία που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο της οπτικοποίησης. Ειδικότερα, ικανοποιούνται οι πέντε αρχές της οπτικοποίησης, όπως παρουσιάστηκαν από τον Sheppard [87]. Σύμφωνα με το γενικό μοντέλο οπτικοποίησης [99] [34] έγινε συλλογή των δεδομένων από το National Geophysical Data Center (NGDC) [111], ενώ στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία επεξεργασίας όπου έγινε η απλοποίηση της ακτογραμμής της Κρήτης και των γειτονικών νήσων. Σύμφωνα με τα επόμενα στάδια έγινε η οπτική απεικόνιση μέσω της δημιουργίας του ψηφιακού μοντέλου, η απόδοση και η απεικόνιση. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τρισδιάστατη οπτικοποίηση βασίστηκε στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους το οποίο αποδίδει τα βαθυμετρικά σημεία της θαλάσσιας περιοχής.

Επίσης, για την απεικόνιση της επιφάνειας του βυθού έγινε χρήση της διαδικασίας mirmapping σύμφωνα με την οποία τα χαρακτηριστικά που απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα υπολογίζονται σε διαφορετικά mirmap επίπεδα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ότι όταν κινηθεί ο παρατηρητής, κάθε νέα θέση του να απεικονίζεται με μια διαφορετική αλληλουχία χαρακτηριστικών.

5.3.1 Fledermaus

Πρόκειται για ένα πακέτο λογισμικού το οποίο παρέχει ένα σύνολο εργαλείων τρισδιάστατης οπτικοποίησης για την επεξεργασία, ανάλυση και απόδοση των δεδομένων. Επίσης, δίνει τη

δυνατότητα στο χρήστη να εξετάζει έναν εικονικό τρισδιάστατο κόσμο ο οποίος αποτελείται από πολλά μοντέλα τα οποία περιλαμβάνουν επιφάνειες, εικόνες, σημεία, γραμμές κλπ.. Το συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού είναι προσαρμοσμένο για την απόδοση των γεωγραφικών δεδομένων, όπως για παράδειγμα των ψηφιακών μοντέλων εδάφους ή των χαρτών απεικόνισης των εκτάσεων που καλύπτονται με βουνά με τρισδιάστατες ισοϋψείς.

Το Fledermaus επιτρέπει την εισαγωγή μιας μεγάλης ποικιλίας τύπων δεδομένων και σχεδιάστηκε ειδικά για τη δυναμική απόδοση ενός μεγάλου συνόλου τρισδιάστατων αντικειμένων με όσο το δυνατόν καλύτερη ανάλυση.

5.3.1.1 Μέθοδοι εξερεύνησης δεδομένων (Data Exploration Modes)

Το πακέτο λογισμικού Fledermaus παρέχει δύο ισχυρούς μηχανισμούς για την εξερεύνηση των δεδομένων σε έναν τρισδιάστατο χώρο, επιτρέποντας τη γρήγορη και εύκολη πλοήγηση στον εικονικό κόσμο. Κάθε μια από αυτές τις μεθόδους δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να τοποθετήσει την κάμερα σε οποιοδήποτε σημείο της σκηνής με αποτέλεσμα, κατά την απόδοση, να απεικονίζεται αυτό που «βλέπει» η κάμερα από την κάθε της θέση με τον αντίστοιχο προσανατολισμό της.

- **Μέθοδος τρισδιάστατης πτήσης (3D Flight Mode)**

Πρόκειται για μια μέθοδο η οποία χρησιμοποιεί έξι βαθμούς ελευθερίας. Ειδικότερα, προσφέρει μια δυναμική στην πλοήγηση στον τρισδιάστατο κόσμο με τη χρήση κάποιων τρισδιάστατων τεχνασμάτων, όπως το BAT ή το Space Navigator. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ενεργοποίηση αυτού του τεχνάσματος πρέπει να γίνει πριν την εφαρμογή αυτής της μεθόδου.

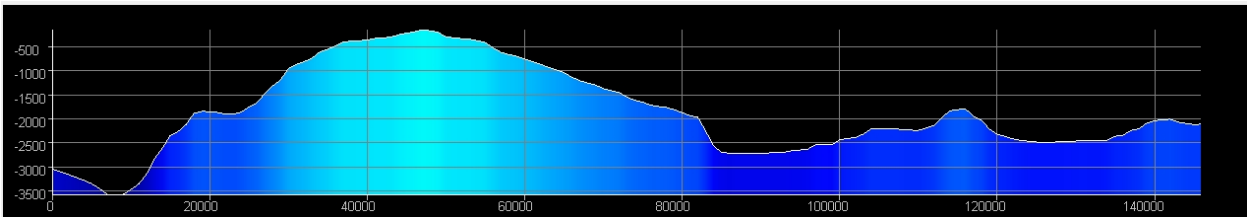
- **(Widget Navigation Interface)**

Πρόκειται για μια μέθοδο - pick and zoom - η οποία βασίζεται στη μεγέθυνση ή σμίκρυνση στο κέντρο της σκηνής και στην τεχνική της περιστροφής των δεδομένων. Αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι περιστροφές και οι μεγεθύνσεις/σμικρύνσεις γίνονται στο κέντρο της οθόνης και «πατώντας» σε ένα νέο σημείο της εικόνας αυτό μεταφέρεται αυτομάτως στο κέντρο της σκηνής.

Και οι δύο αυτές μέθοδοι έχουν τη δική τους δυναμική καθώς και κάποιες αδυναμίες. Συνεπώς, η πρώτη μέθοδος παρέχει μια πιο εξομαλυμένη πλοήγηση τόσο σε μικρά όσο και σε μεγαλύτερα πακέτα δεδομένων σε αντίθεση με τη δεύτερη μέθοδο η οποία παρέχει μια γρήγορη και εντυπωσιακή κεντρικά μεγενθυμένη και περιστρεφόμενη πλοήγηση η οποία γρήγορα εστιάζει στην περιοχή ενδιαφέροντος.

5.3.1.2 Δημιουργία τομών (Profiling)

Πρόκειται για μια διαδικασία μέσω της οποίας εμφανίζεται ένα διάγραμμα που αναπαριστά τις διαβαθμίσεις της επιφάνειας (Εικόνα 52). Ειδικότερα, οι δύο άξονες του διαγράμματος αναφέρονται στο ύψος (y) και στην απόσταση (x) κατά μήκος της επιφάνειας που έχουν επιλεγεί με την κίνηση του κέρσορα. Με αυτό τον τρόπο μπορεί ο χρήστης να παρακολουθήσει τις αυξομειώσεις του ύψους και το πως αυτές μεταβάλλονται με τη μεταβολή της απόστασης.



Εικόνα 52: Δημιουργία τομών στο ψηφιακό μοντέλο

5.3.1.3 Χρωματική απεικόνιση (Color map display)

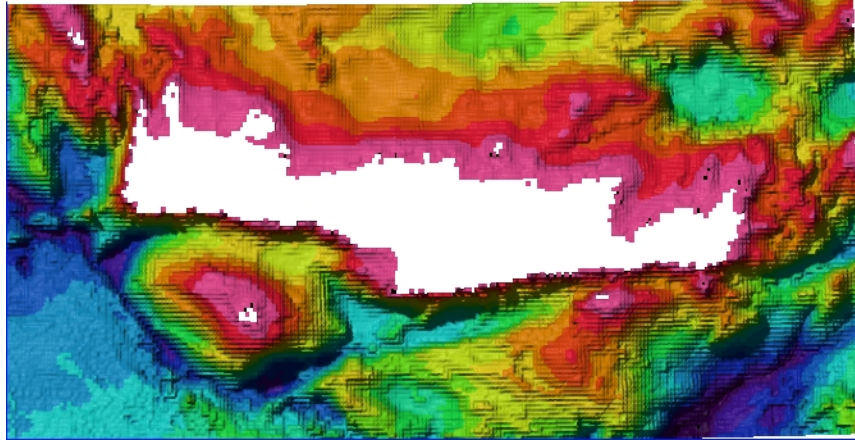
Το συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού περιλαμβάνει μια μεγάλη σειρά χρωμάτων καθώς επίσης και τη δυνατότητα δημιουργίας μιας καινούριας παλέτας χρωμάτων. Έτσι, ο χρήστης μπορεί είτε να χρησιμοποιήσει κάποιες από τις προκαθορισμένες παλέτες χρωμάτων, είτε να δημιουργήσει τη δική του παλέτα και να την αποθηκεύσει προκειμένου να τη χρησιμοποιήσει σε άλλες εφαρμογές.

Υπάρχουν δύο τύποι χρωμάτων: ο απλός τύπος ο οποίο περιλαμβάνει 256 διαφορετικά χρώματα για την απεικόνιση του υψομέτρου μιας επιφάνειας και ο τύπος που βασίζεται στα βάθη και περιλαμβάνει έναν πίνακα όπου απεικονίζονται τα εύρη μεταξύ των υψομετρικών διαφορών με καθορισμένα χρώματα.

5.3.1.4 Σκίαση και φωτισμός (Shading and illumination)

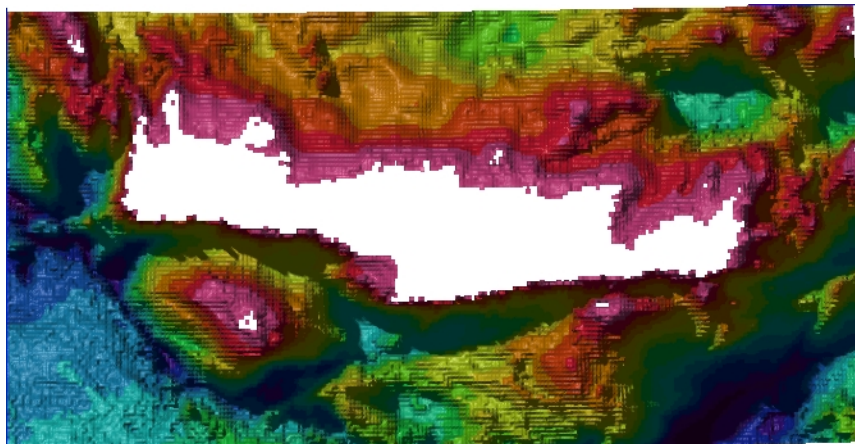
Η σκίαση και ο φωτισμός ορίζονται αρχικά από το πακέτο λογισμικού Fledermaus, αλλά παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να προσδιορίσει και να ορίσει ο ίδιος τις τιμές των μεταβλητών. Μεταξύ των παραμέτρων ανήκουν η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων (effective sun angle) η οποία αυξάνει το μήκος της σκιάς προσδίδοντας σκοτεινότητα στην εικόνα, η κατακόρυφη κλίμακα (vertical scale) η οποία αυξάνει το μήκος σκίασης της εικόνας χωρίς όμως να τη σκοτεινιάζει, η ελαφρά σκίαση (soft shadow) κλπ..

Στην Εικόνα 53 απεικονίζεται το ψηφιακό μοντέλο του βυθού όπως προκύπτει από το Fledermaus χωρίς την παρέμβαση του χρήστη.

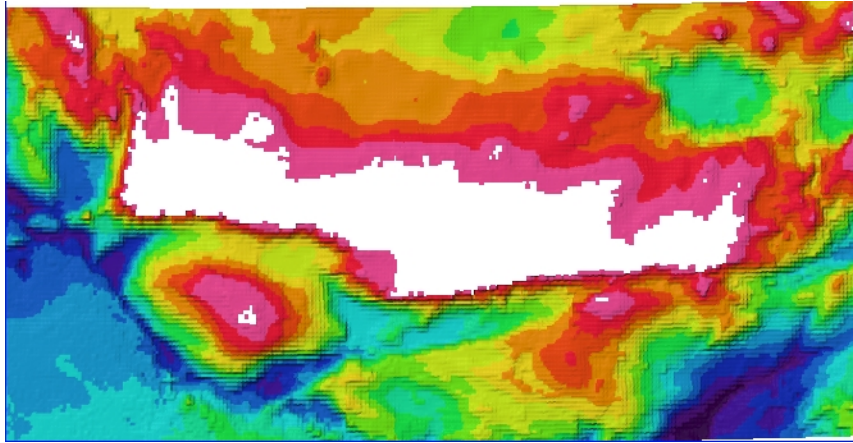


Εικόνα 53: Απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού (Fledermaus)

Εάν ο χρήστης μεταβάλλει τις παραμέτρους φωτός καθώς και τη διεύθυνση σκίασης το παραπάνω μοντέλο θα απεικονιστεί με διαφορετικό τρόπο. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα αποτελέσματα. Στις Εικόνα 54 και Εικόνα 55 απεικονίζεται το ψηφιακό μοντέλο βυθού γύρω από τη νησιωτική περιοχή της Κρήτης με τη μεταβολή των παραμέτρων φωτός. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η επιλογή του κατάλληλου τύπου φωτισμού αποτελεί μια υποκειμενική διαδικασία και επηρεάζεται από τον εκάστοτε χρήστη και τις προτιμήσεις του [84]. Παρατηρεί κανείς ότι αυξομειώνοντας κάποιες μεταβλητές η περιοχή μπορεί να εμφανιστεί πιο σκοτεινή (Εικόνα 54) ή πιο φωτεινή (Εικόνα 55).

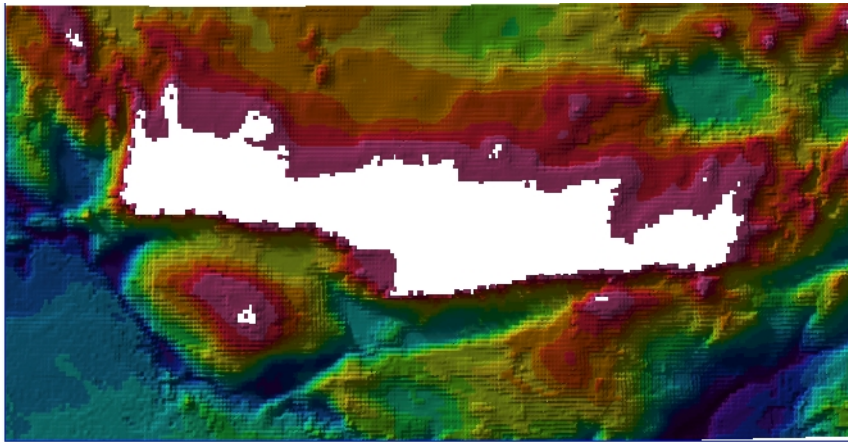


Εικόνα 54: Απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού με αλλαγή των παραμέτρων φωτός

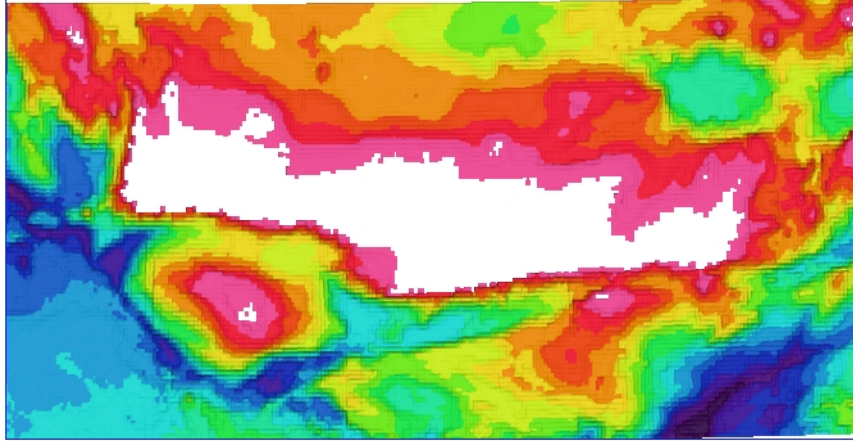


Εικόνα 55: Απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού με αλλαγή των παραμέτρων φωτός

Τέλος, όσον αφορά τη σκίαση του αναγλύφου χρησιμοποιήθηκε ο πλάγιος φωτισμός με την φωτεινή πηγή να βρίσκεται νοτιοδυτικά. Ωστόσο, μεταβάλλοντας τη γωνία πρόσπτωσης αυξομειώνεται η σκίαση, όπως απεικονίζεται στις δυο παρακάτω εικόνες. Στην Εικόνα 56 απεικονίζεται η μεγαλύτερη δυνατή σκίαση (με γωνία πρόσπτωσης ίση με 4), ενώ στην Εικόνα 57 απεικονίζεται η μικρότερη (με γωνία πρόσπτωσης ίση με 89).



Εικόνα 56: Απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού με αλλαγή των παραμέτρων σκίασης



Εικόνα 57: Απεικόνιση του ψηφιακού μοντέλου του βυθού με αλλαγή των παραμέτρων σκίασης

5.3.1.5 Έλεγχος της κίνησης (*Moving controls*)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού προσφέρει τη δυνατότητα εγγραφής μιας διαδρομής πτήσης (*flight path*) με στόχο την εξερεύνηση της σκηνής. Αυτή η πτήση στη συνέχεια μπορεί να αποθηκευτεί και να επαναληφθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε διαδρομή εγγράφεται σε 30 frame/sec.

Για τη δημιουργία της διαδρομής πτήσης ορίζονται κάποια σημεία κατά μήκος του αναγλύφου από τα οποία πιστεύει ο χρήστης ότι πρέπει να διέλθει η κάμερα. Στη συνέχεια, ο χρήστης αφού ορίσει τη χρονική διάρκεια της κίνησης, το ύψος και την κλίση της κάμερας το πακέτο λογισμικού *Fledermaus* δημιουργεί την πτήση.

6 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Ο στόχος της παρούσης εργασίας ήταν η μελέτη, ανάλυση και συγκριτική θεώρηση των μεθόδων δημιουργίας και απόδοσης τρισδιάστατων επιφανειών και ειδικότερα στην απόδοση του μοντέλου της γήινης επιφάνειας. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας έγινε προσπάθεια εντοπισμού, αξιολόγησης και αξιοποίησης των θεωρητικών και πειραματικών συμπερασμάτων που σχετίζονται με το αντικείμενο της οπτικοποίησης και ακολούθησε η υλοποίησή τους με εφαρμογή στη δημιουργία και απόδοση του ψηφιακού μοντέλου γύρω από την περιοχή της Κρήτης. Η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του βυθού έγινε με τη χρήση δύο πακέτων λογισμικού και ειδικότερα του ArcGIS και του Surfer με τη χρήση της μεθόδου Inverse Distance Weighted. Αφού έγινε η σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων ακολούθησε η απόδοση του ψηφιακού μοντέλου από το πακέτο λογισμικού Fledermaus, το οποίο προσφέρει καλύτερες δυνατότητες οπτικοποίησης.

Η θεωρητική προσέγγιση της συγκεκριμένης μελέτης αφορούσε την ανάλυση δύο βασικών εννοιών, της οπτικής αντίληψης και της οπτικοποίησης. Η έννοια της οπτικοποίησης χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την απόδοση του ψηφιακού μοντέλου με όσο το δυνατόν καλύτερο τρόπο. Επίσης, παρουσιάστηκαν κάποιες προσεγγίσεις για τη δημιουργία ισοϋψών καμπυλών και ισοεπιφανειών στη γεω-οπτικοποίηση, ενώ έγινε και αναφορά στη μοντελοποίηση και στη δυναμική χαρτογράφηση.

Επιπρόσθετα, αναπτύχθηκαν κάποιες βασικές αρχές που αφορούν τη διαδικασία της απόδοσης ενός ψηφιακού μοντέλου. Ειδικότερα, έγινε αναφορά στη χρησιμότητα της κάμερας, στα δύο βασικά είδη τα οποία χρησιμοποιούνται στα πακέτα λογισμικού, στον προσδιορισμό του μήκους και του τύπου της διαδρομής που αυτή θα ακολουθήσει, καθώς και στη διάρκεια της πτήσης. Επίσης, προσδιορίστηκαν και αναλύθηκαν οι διαφορετικοί τύποι φωτισμού.

Όσον αφορά το εφαρμοσμένο μέρος της συγκεκριμένης μελέτης, δημιουργήθηκε αρχικά το ψηφιακό μοντέλο σε κάθε ένα από τα πακέτα λογισμικού με τη χρήση της κατάλληλης μεθόδου και στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία της αφαίρεσης. Με αυτό τον τρόπο έγινε σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων αφού παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν κάποια στατιστικά αποτελέσματα. Σημειώνεται ότι δεν χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου και στα τρία πακέτα λογισμικού εξαιτίας της μη υποστήριξης μιας μεθόδου και από τα τρία πακέτα λογισμικού.

Τέλος, η οπτικοποίηση του αποτελέσματος έγινε από το πακέτο λογισμικού Fledermaus βάσει κανόνων και στοιχείων που παρουσιάστηκαν στη θεωρητική προσέγγιση της μελέτης. Το

συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού επιλέχθηκε για την οπτικοποίηση του αποτελέσματος εξαιτίας των μεγάλων δυνατοτήτων που προσφέρει στην οπτικοποίηση μιας επιφάνειας.

6.1 Προκλήσεις - Προτάσεις

Κατά την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, παρουσιάστηκαν διάφορα προβλήματα σχετικά με τη σύγκριση των ψηφιακών μοντέλων του βυθού. Όπως αναφέρθηκε ήδη τα μοντέλα αυτά προέκυψαν από δύο διαφορετικά πακέτα λογισμικού με τη μέθοδο IDW. Αξίζει να σημειωθεί ότι η δημιουργία του Grid με το πακέτο λογισμικού ArcGIS βασίζεται στον υπολογισμό της τιμής της τρίτης διάστασης στο κέντρο του κάθε κελιού, σε αντίθεση με το Grid που δημιουργείται με το Surfer όπου λαμβάνονται υπόψη οι ακμές του κάθε κελιού. Το γεγονός αυτό υποχρεώνει τον μελετητή που θέλει να συγκρίνει το παραγόμενο αποτέλεσμα σε επαναπροσδιορισμό των ορίων της μελέτης και στη μετατροπή του Grid από το πακέτο λογισμικού ArcGIS σε μορφή αναγνωρίσιμη από το Surfer.

Όσον αφορά την οπτικοποίηση του αποτελέσματος, η απόδοση του ψηφιακού μοντέλου από το πακέτο λογισμικού Fledermaus προσφέρει εξαιρετικές δυνατότητες στο χρήστη. Αποτελεί ένα σύστημα δυναμικής τρισδιάστατης οπτικοποίησης των δεδομένων, το οποίο χρησιμοποιείται για μια ποικιλία εφαρμογών. Η διαδικασία της πλοήγησης επιτρέπει την τρισδιάστατη διερεύνηση των γεωχωρικών δεδομένων. Επίσης, υποστηρίζει την εισαγωγή μιας μεγάλης ποικιλίας δεδομένων διαφορετικών τύπων formats στη δημιουργούμενη σκηνή. Εκτός όμως από τη δυνατότητα εισαγωγής διαφορετικών τύπων formats, ο χρήστης μπορεί να προσθέσει στη σκηνή ψηφιακούς χάρτες εδάφους, γραμμές, πολύγωνα, δορυφορικές εικόνες κλπ.. Μερικές από τις εφαρμογές στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού είναι οι γεωλογικές και υδρογραφικές μελέτες, οι περιβαλλοντικές και στρατιωτικές εφαρμογές, το Google Earth, στην ακαδημαϊκή έρευνα κλπ..

Όσο αφορά την ακαδημαϊκή κοινότητα, το Fledermaus θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τόσο για εκπαιδευτικούς σκοπούς, όσο και για την εκπόνηση φωτορεαλιστικών μελετών, αφού προσφέρει περισσότερες δυνατότητες σε σχέση με άλλα πακέτα λογισμικού που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων. Επιπρόσθετα, προσφέρει νέες δυνατότητες στο χρήστη, όπως η αλλαγή του φωτισμού και της σκίασης του ψηφιακού μοντέλου, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα πλοήγησης. Αξίζει να τονιστεί ότι η δημιουργία ψηφιακού μοντέλου με το συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού είναι ιδιαίτερα απλή και δεν απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ, σε αντίθεση με τους προκατόχους του. Ωστόσο, ένα από τα

μειονεκτήματά του είναι ο περιορισμένος αριθμός μεθόδων που διαθέτει για τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου.

Συνέχεια αυτής της έρευνας μπορεί να αποτελέσει η περαιτέρω διερεύνηση του θεωρητικού υποβάθρου που σχετίζεται με την απόδοση του ψηφιακού μοντέλου, όπου θα διερευνηθούν εκτενέστερα – ει δυνατόν μέσω ποσοτικοποίησης - και οι παράμετροι που επηρεάζουν τη μεταβολή της φωτεινότητας και της σκίασης του ψηφιακού μοντέλου, η σωστή θέση τοποθέτησης της φωτεινής πηγής, καθώς και το μέγεθος της γωνίας πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων. Όσον αφορά στο πρακτικό μέρος της απόδοσης του ψηφιακού μοντέλου, θα μπορούσαν να αξιολογηθούν περισσότερο οι δυνατότητες οπτικοποίησης που προσφέρει το πακέτο λογισμικού Fledermaus. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού παρέχει εξαιρετικά αποτελέσματα οπτικοποίησης.

Μια από τις δυνατότητες που προσφέρει το Fledermaus και η οποία δεν εξετάστηκε στα πλαίσια αυτής της μελέτης, είναι η δυνατότητα του χρήστη να δημιουργήσει οπτικοποίηση πραγματικού χρόνου σε μια τρισδιάστατη σκηνή. Για παράδειγμα, μπορεί να εισάγει στη σκηνή ένα πλωτό σκάφος ή οποιοδήποτε άλλο όχημα. Το μέγεθος και ο προσανατολισμός, είτε του πλωτού σκάφους, είτε του οχήματος μπορούν να μεταβληθούν σε πραγματικό χρόνο καθώς αυτό κινείται. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε κινητό μέσο ορίζεται από ένα σημείο στο οποίο έχει γίνει καταγραφή της θέσης του, ενώ η διαδρομή που θα ακολουθήσει ορίζεται από το χρήστη ο οποίος επιλέγει τα σημεία από τα οποία αυτό θα διέλθει, διαδικασία όμοια με αυτή της δημιουργίας μιας κινηματογραφικής ταινίας.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. 3Dlabs, 2002, 3Dlabs OpenGL 2.0 Specifications, Online: <http://www.3dlabs.com/support/developer/og12> (23/10/03).
2. Akenine-Moller T. and Haines E., 2002, *Real-Time Rendering*, A. K. Peters.
3. Ambroziak B. M and Ambroziak J. R., 1999, *Infinite Perspectives. Two Thousand Years of Three-Dimensional Mapmaking*, New York: Princeton Architectural Press.
4. Arthur H. Robinson, Joel L. Morrison, Phillip C. Muehrcke, A. Jon Kimerling, Stephen C. Guphill, 2002, *Στοιχεία χαρτογραφίας*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.
5. Benton S. A, Duston-Roberge D. A. and Simard R., 1985, *Achromatic holographic stereograms of Landsat multispectral scanner data*, *Optical Engineering*, 24(2), pp. 338-340.
6. Bertin J., 1983, *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*, Madison: University of Wisconsin Press (French edition, 1977).
7. Bian L., 1997, *Multiscale nature of spatial data in scaling up environmental models*, In: Quattrochi D. and Goodchild M., (eds.), *Scale in Remote Sensing and GIS*, pp.13-26.
8. de Boer W., 2000, *Fast Terrain Rendering Using Geometrical MipMapping*, Online: http://www.flipcode.com/tutorials/tut_geomipmaps.shtml (23/10/03).
9. Brewer C., A., 1993, *Color Selection for Maps: Interactive Tutorial*, Unpublished hypermedia document, Department of Geography, San Diego State University.
10. Buchroithner M. F. and Kirschenbauer S., 1998, *Derivation of relief information from various cartographic representation*, In: Kriz K., (ed.), *Hochgebirgskartographie Silvretta 98 High Mountain Cartography*, Vienna: Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, pp.65-75.
11. Carlberg B., 1943, *Zeichnen kartographischer raumbilder*, *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 89, pp. 302-308.
12. Castner H. W. and Eastman J. R., 1984, *Eye-movement parameters and perceived map complexity*, *The American Cartographer*, 11(2), 107-119.
13. Chernyaev E., 1995, *Parching cubes 33: construction of topologically correct isosurfaces*, (CN/95-17), CERN.
14. Cignoni P., Ganovelli F., Montani C. and Scopigno R., 2000, *Reconstruction of topologically correct and adaptive trilinear surfaces*, *Computers and Graphics*, 24(3), pp. 399-418.
15. Daniel Chandler, UWA, July 1997.
16. Davies S. and Hall P, 1999, *Fractal analysis of surface roughness by using spatial data*, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 61(1), pp. 3-37.
17. Dayhoff M., 1963, *A contour-map program for X-ray crystallography*, *Communications of the ACM*, 6(10), pp. 620-622.
18. Δαραβέλης Λουκάς, 2000, *Αντιληπτική Κατηγοριοποίηση και Κρίση – Η αντίληψη του Βάθους από Εικόνες δύο διαστάσεων*, Σημειώσεις μαθήματος.
19. DeFloriani L. and Magillo P., 2002, *Regular and irregular multi-resolution terrain models: a comparison*, *Proceedings of ACM GIS 2002*, pp. 143-147.
20. DiBiase D., MacEachren A. M., Krygier J. B. and Reeves C., 1992, *Animation and the role of map design in scientific visualization*. *Cartography and Geographic Information Systems*, 19(4), 201-214.
21. Doi A. and Koide A., 1991, *An Efficient method for triangulating equi-valued surfaces by using tetrahedral cells*, *IEICE Transactions on Communication Electronic Information Systems*, E-74(1), pp. 214-224.

22. Dollner J., Baumann K. and Hinrichs K., 2000, *Texturing techniques for terrain visualization*, Proceedings IEEE Visualization, Salt Lake City, pp. 227-234.
23. Dorling G., 1992, *Stretching space and splicing time: from cartographic animation to interactive visualization*, Cartography and Geographic Information Systems, 19, 4 1992, pp. 215-227.
24. Durst M., 1988, *Letters: additional reference to "Marching Cubes"*, Computer Graphics, 22(2), pp. 72-73.
25. Dykes J., MacEachren A. M., Kraak M. J., 2005, *Exploring Geovisualization*, Elsevier Ltd., All rights reserved.
26. Eastman J. R., 1985b, *Graphic organization and memory structures for map learning*, American Cartographer, 22, pp. 1-20.
27. Falk D., Brill D. and Stork D., 1986, *Seeing the Light (Optics in Nature, Photography, Color; Vision and Holography)*, New York: Wiley.
28. Forer P., 1998, *Geometric approaches to the nexus of time, space and microprocess: implementing a practical model for mundane socio-spatial systems*, In: Egenhofer, M. J. and Golledge R. G., (eds.), *Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems*, New York: Oxford University Press, pp. 171-190.
29. Fuhrmann A. and MacEachren A. M., 1999, *Navigating desktop GeoVirtual environments*, IEEE Information Visualization 99, Late Breaking Hot Topics Proceedings, San Francisco, CA, pp. 11-14, Online: <http://geovista.psu.edu/publications/amm/ammlV99.pdf> (October 23-28).
30. Gallant J. and Hutchinson M., 1996, *Towards an understanding of landscape scale and structure*, In: NCGIA, (ed.), *Proceedings of the Third International Conference on Integrating GIS and environmental Modelling*, Santa Barbara: University of California, Online: http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/gallant_john/paper.html.
31. Gilmartin P. P. 1981, *The interface of cognitive and psychophysical research in cartography*, Cartographica, 18(3), pp. 9-20.
32. Gleick James, 1990, *Χάος: Μια νέα επιστήμη*, Εκδόσεις Κάτοπτρο – Αλ. Μάμαλης & ΣΙΑ Ο.Ε., Αθήνα.
33. Graf U., 1943, *Das raum-modell bei stereoskopischen verfahren in der kartographie*, Petermanns Geographische Mitteilungen, 89, pp. 65-69.
34. Groop R. E. and Cole D., 1978, *Overlapping graduated circles: Magnitude estimation and method of portrayal*, Canadian Cartographer, 15, 114-122.
35. Haber A. B. and McNabb D. A., 1990, *Visualization idioms: a conceptual for scientific visualization systems*, In: Nielson G., Shriver B. and Rosenblum L., (eds.), *Visualization in Scientific Computing*, Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, pp. 74-93.
36. Haerberli P. and Segal M., 1993, *Texture mapping as a fundamental drawing primitive*, Proceedings of 4th Eurographics Workshop on Rendering, pp. 259-266.
37. Hagerstrand T., 1968, *Innovation Diffusion as Spatial Process*, Chicago: University of Chicago Press.
38. Hagerstrand T., 1970, *What about people in regional science*, Papers, Regional Science Association, 24, pp. 1-21.
39. Jensen J. R., 1978, *Three-dimensional choropleth maps: development and aspects of cartographic communication*, The Canadian Cartographer, 15(2), pp. 123-141.
40. Julesz B., 1975, *Experiments in the visual perception of texture*, Scientific American, 232, pp. 34-43.
41. Kahler R., Simon M. and Hege H.-C., 2003, *Interactive volume rendering of large sparse data sets using adaptive mesh refinement hierarchies*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 9(3), pp. 341-351.

42. Kersting O. and Dollner J., 2002a, *Interactive 3D visualization of vector-data in GIS*, Proceedings ACM GIS 2002, Washington, pp. 107-112.
43. Kersting O. and Dollner J., 2002b, *Interactively developing 3D graphics in Tel*, Proceedings USENIX Annual Technical Conference, Monterey, CA.
44. Kohler W., *Gestalt psychology*, New York: Liveright.
45. Kraak M. J., 1988, *Computer-Assisted Cartographical Three-Dimensional Imaging Techniques*, Delft, The Netherlands: Delft University Press.
46. Krygier J., 1991, *An elemental approach to animation and sound in information graphics*, Electronically published on the INGRAPHX listserv. *Geographer*, 44 (88-98).
47. Lam N. and Quattrochi D., 1992, *On issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences*, Professional
48. Lange E., Bishop I.D, 2005, *Visualization in Landscape and Environmental Planning: technology and applications*, London, Taylor and Francis.
49. Liehmann S., 2003, *Der Dresdner Echt-3D-Atlas*, - Konzeption und prototypische Erstellung einer geowissenschaftlich orientierten Präsentation für das, *Dresdner 3D-Display*, Institute for Cartography, Dresden University of Technology.
50. Lorensen W. and Cline H., 1987, *Marching Cubes: a high resolution 3D surface reconstruction algorithm*, *Computer Graphics*, 21(4), pp. 163-169.
51. Lopes A., 1999, *Accuracy in Scientific Visualization*, School of Computer Studies, University of Leeds, pp. 168.
52. Lopes A. and Brodlie K., 1998, *Accuracy in contour drawing*, Eurographics UK 98, Leeds, UK, pp. 301-311.
53. Lopes A. and Brodlie K., 2003, *Improving the robustness and accuracy of the marching cubes algorithm for isosurfacing*, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 9(1), pp. 16-29.
54. Luebke D., Reddy M., Cohen J., Varshney A., Watson B. and Huebner R., 2002, *Level of Detail for 3D Graphics*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 432.
55. MacEachren A. M., 1994, *Some Truth with Maps: A Primer on Symbolization and Design*, Washington: Association of American Geographers, pp. 129.
56. MacEachren A. M., 1995, *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design*, London: The Guilford Press. Kohler W., *Gestalt Psychology*, New York: Liveright.
57. MacEachren A. M. and Kraak M.J., 2001, *Research challenges in Geovisualization*, *Cartography and Geographic Information Science*, Special Issue on Geovisualization, 28(1), pp. 2-12.
58. MacEachren, A. M., Hardisty, F., Dai, X. P., & Pickle, L., 2003, *Supporting visual analysis of federal geospatial statistics communications of the ACM*, 46, 1, pp. 59-60.
59. Mark D. and Aronson P., 1984, *Scale-dependent fractal dimensions of topographic surfaces: an empirical investigation with applications in geomorphology and computer mapping*, *Mathematical Geology*, 16(7), pp. 671-683.
60. Marr D., 1985, *Vision: The philosophy and the approach*, In: A. M. Aitkenhead and J. M. Slack, (eds.), *Issues in Cognitive Modeling* (pp. 103-126), London: Erlbaum.
61. Matveyev S., 1994, *Approximation of isosurface in the marching cube: ambiguity problem*, In: Bergeron R. D. and Kaufman A., (eds.), *IEEE Visualization 94*. Washington, DC: IEEE Computer Society Press, pp. 288-292.
62. McCleary G., Jenks G. and Ellis S., 1991, *Cartography and map displays*, In: Ellis S., (ed.), *Pictorial Communication in Virtual and Real Environments*, London: Taylor and Francis, pp. 76-96.
63. McCormick, B.H., DeFanti, T.A, and Brown, M.D. (Eds), 1987, *Visualization in Scientific Computing*, *Computer Graphics*, 21(6).

64. Miller C. L & Laflamme R. A., 1958, *The Digital Terrain Model – Theory & Application in: Photogrammetric Engineering*, Vol. XXIV, No. 3, June 1958. The American Society of Photogrammetry.
65. Moellering H. and Kimerling J., 1990, *A new digital slope-aspect display process*, *Cartography and Geographic Information Systems*, 17(2), pp. 151-159.
66. Monmonier M., 1991, *How to Lie with Maps*, Chicago, IL: University of Chicago Press, pp. 176.
67. Monmonier M., 1992, *Authoring graphics scripts: Experience and principles*. *Cartography and Geographic Information Systems*, 19 (4), pp. 247-260.
68. Mulla D., 1988, *Using geostatistics and spectral analysis to study spatial patterns in the topography of southeastern Washington State USA*, *Earth Surface Processes and Landforms*, 13, pp. 389-405.
69. NASA (2003) NASA – Home, Online: <http://www.nasa.gov/home/> (23/10/03).
70. Natarajan B., 1994, *On generating topologically consistent isosurfaces from uniform samples*, *The Visual Computer*, 11, pp. 52-62.
71. Nielson G. and Hamann B., 1991, *The asymptotic decider: resolving the ambiguity in Marching Cubes*, In: Nielson G. and Roseblum L., (eds.), *IEEE Visualization 91*, San Diego, CA: IEEE Computer Society Press, pp. 83-90.
72. Nothdurft H., C., 1992, *Feature analysis and the role of similarity in preattentive vision*, *Perception and Psychophysics*, 52(4), pp. 355-375.
73. North Dakota State University (Department of GeoSciences), 2002, 3D Anaglyph Home Page – North Dakota State University, Online: <http://www.ndsu.nodak.edu/instruct/schwert/anaglyph> (23/10/03).
74. Okoshi T., 1976, *Three-Dimensional Imaging Techniques*, New York: Academic Press.
75. Oliver M. and Webster R., 1986, *Semivariograms for modeling the spatial pattern of landform and soil properties*, *Earth Surface Processes and Landforms*, 11, pp. 491-504.
76. Olson R. K. and Attneave F., 1970, *What variables produce similarity grouping?*, *American Journal of Psychology*, 83, pp. 1-21.
77. Paetsch O. and Kuhn W., 1999, *Realtime Visualization of Steel Structures in Fire Engineering*, Online: <http://www.zib.de/Visual/projects/fireeng-vis/>.
78. Peterson M., 2000, *Cartographic Animation*, Year Book of Geography, Mc Graw Hill (<http://maps.unomaha.edu/mp/Articles/CartographicAnimation.html>).
79. Pike R. and Rozema W., 1975, *Spectral analysis of landforms*, *Annals of the Association of American Geographers*, 65(4), pp. 499-516.
80. Pilouk M., 1996, *Integrated Modelling for 3D GIS*, The Netherlands: Wageningen Agricultural University and ITC.
81. Poggio T., 1987, *Wie Computer und Menschen Sehen*, Wahrnehmung und Visuelles System, Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH & Co.
82. Pomerantz J. R., 1985, *Perceptual Organization in information processing*, In A. M. Aitkenhead and J. M. Slack (Eds.), *Issues in Cognitive Modelling*, London: Erlbaum.
83. Roettger S., Heidrich W., Slusallek P. and Seidel H.-P., 1998, *Real-time generation of continuous levels of detail for height fields*, In: Scala V., (ed.) *Proceedings, WSCG '98*, pp.315-322, online: <http://www.vis.informatik.uni-stuttgart.de/~roettger/html/Main/papers.html>.
84. Rudiger Mach, Peter Petschek, 2007, *Visualization of Digital Terrain and Landscape Data*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
85. Sandercock M., 1999, *Cartographic visualization relies on the use of maps to present a cartographic idea, in this visualization metaphor relevant in today's digital world*, (<http://www.gisca.adelaide.edu.au/~msanderc/index.html>).

86. Schenkel R., 2000, *A cartographic systematization of 3D display-technologies*, In: Buchroithner M., (ed.), Dresden: Dresden University of Technology, pp. 157-166.
87. Sheppard Stephen, 1989, *Visual Simulation. A User's Guide for Architects, Engineers and Planners*, Van Nostrand Reinhold, New York.
88. Shneiderman B., 1996, *The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations*, In: Nielson G. and Roseblum L., (eds.), IEEE Visualization 91, San Diego, CA: IEEE Computer Society press, pp. 336-343.
89. Shortridge B., G., 1982, *Stimulus processing models from Psychology: Can we use them in cartography?*, American Cartographer, 9, pp. 155-167.
90. Steenblik R. A., 1986, 1991, *Stereoscopic Process and Apparatus Using Different Deviations of Different Colours*, US Patents No. 4-597-634 and 5-002-364.
91. Storer J. and Zlatanova S., 2003, *Visualization and editing of 3D objects organized in a DBMS*, In: Woodford P., (ed.), EuroSDR comm., 5 Workshop on Visualization and Rendering, ITC 22-24, January 2003, Netherlands: EuroSDR.
92. Sutcliffe D., 1980, *Contouring over rectangular grids and skewed rectangular grids*, In: Brodli K., (ed.), Mathematical Methods in Computer Graphics and Design, London: Academic Press, pp. 39-62.
93. Szego J., 1987, *Human Cartography: Mapping the World of Man*, Stockholm: Swedish Council for Building Research.
94. Σιδηρόπουλος Γ., Παππάς Β., *Η μη χρονική χαρτογραφική κίνηση και η αστική (μεγάλη) κλίμακα έργων*, Σειρά Ερευνητικών Εργασιών, 9(7): 111-132.
95. Tate N. and Wood J., 2001, *Fractals and scale dependencies in topography*, In: Tate N. and Atkinson P., (eds.), Scale in Geographical Information Systems. Chichester: Wiley, pp. 35-51.
96. Taylor F. D., 1993, *Geography, GIS and the modern mapping sciences: convergence or divergence?*, Cartographica, 30(2&3), pp. 47-53.
97. Τσουγλαράκη Α., 1996, *Ψηφιακή εικονική αναπαράσταση αναγλύφου στην ανάλυση τοπίου*, Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ, Ι, τεύχος 3, σ.27-40.
98. Uhlenkuken C., Schmidt B. and Streit U., 1999, *Workbench-basierte Benutzerschnittstellen für raumbezogene 3D-Anwendungen*, In: Schmidt B. and Uhlenkuken C., (eds.), Visualisierung raumbezogener Daten: Methoden und Anwendungen, Beiträge zum 2. GeoVISC-Workshop, Schriftenreihe des Instituts für Geoinformatik, University of Muenster, Muenster: IFGI Prints, Bd. 6.
99. Upson C., Faulhaber T., Kamins D., Schlegel D., Laidlaw D., Vroom J., Gurwitz R. and van Dam A., 1989, *The application visualization system: a computational environment for scientific visualization*, IEEE Computer Graphics and Applications, 9(4), pp. 30-42.
100. Van Gelder A. and Wilhelms J., 1994, *Topological considerations in isosurface generation*, ACM Transactions on Graphics, 13(4), pp. 337-375.
101. Ware C. and Osborne S., 1990, *Exploration and virtual camera control in virtual three dimensional environments*, ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 24(2), pp. 175-183.
102. Wood J., 1998, *Modelling the continuity of surface form using digital elevation models*, In: Poiker T. and Chrisman N., (eds.), Proceedings, Eighth International Symposium on Spatial Data Handling, Vancouver: IGU, pp.725-736.
103. Wood J., 2002, *Visualising the structure and scale dependency of landscapes*, In: Fisher P. and Unwin D., (eds.), Visual Reality in Geography, London: Taylor and Francis, pp. 163-174.
104. Wood J., Fisher P., Dykes J., Unwin D. and Stynes K., 1999, *The use of the landscape metaphor in understanding population data*, Environment and Planning B: Planning and Design, pp. 281-295.

105. Wyvill G., McPheeters C. and Wyvill B., 1986, *Data structure for soft objects*, The Visual Computer, 2, pp. 227-234.
106. Zlatanova S., 2000, *3D GIS for Urban Development*, The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) and Institute for Computer Graphics and Vision, ITC and Graz University of Technology, pp. 222.
107. Zehner B. and Kumpel H.-J., 2001, *Immersive Visualisierungstechniken bei der Geophysikalischen Erkundung des Untergrundes*, Kartographische Nachrichten, 51(4).
108. http://en.wikipedia.org/wiki/Chromatic_aberration
109. [http://en.wikipedia.org/wiki/Texture_\(computer_graphics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Texture_(computer_graphics))
110. <http://en.wikipedia.org/wiki/Mipmap>
111. http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd_designagrid.html?dbase=grdet1