



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ
ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ
ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Ε. ΚΡΑΣΑΝΑΚΗ

Διπλωματούχου Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ :

Β. ΦΙΛΙΠΠΑΚΟΠΟΥΛΟΥ

Ομότιμη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ
ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ
ΣΕ ΧΑΡΤΕΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Ε. ΚΡΑΣΑΝΑΚΗ

Διπλωματούχου Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ :**

1. Β. ΦΙΛΙΠΠΑΚΟΠΟΥΛΟΥ, Ομ. Καθ.
Ε.Μ.Π. (Επιβλέπουσα)
2. Ι. ΕΥΔΟΚΙΜΙΔΗΣ, Καθ. Ε.Κ.Π.Α.
3. Β. ΝΑΚΟΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.

**ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ :**

1. Β. ΦΙΛΙΠΠΑΚΟΠΟΥΛΟΥ, Ομ. Καθ.
Ε.Μ.Π. (Επιβλέπουσα)
2. Ι. ΕΥΔΟΚΙΜΙΔΗΣ, Καθ. Ε.Κ.Π.Α.
3. Β. ΝΑΚΟΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.
4. Μ. ΚΟΚΛΑ, Λέκτορας Ε.Μ.Π.
5. Μ. ΜΥΡΙΔΗΣ, Ομ. Καθ. Α.Π.Θ.
6. Δ. ΝΑΘΑΝΑΗΛ, Λέκτορας Ε.Μ.Π.
7. Λ. ΤΣΟΥΛΟΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, 2014

Η παρούσα διδακτορική διατριβή χρηματοδοτήθηκε από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας (Ε.Λ.Κ.Ε.) του Ε.Μ.Π.

.....
“Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα”.

(Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)

© 2014 Βασίλειος Ε. Κρασανάκης. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διδακτορικής διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Πρόλογος

Η παραδοσιακή μορφή του χάρτη έχει γνωρίσει αρκετές επεκτάσεις με την εξέλιξη των μέσων απόδοσης από την αναλογική στην ψηφιακή μορφή. Οι χάρτες κινούμενης εικόνας αποτελούν μία έκφραση αυτών των επεκτάσεων καθώς η λειτουργία τους βασίζεται αποκλειστικά στην αξιοποίηση ψηφιακών μέσων. Οι δυνατότητες που παρέχονται στο στάδιο του χαρτογραφικού σχεδιασμού είναι εμπλουτισμένες στην περίπτωση των χαρτών κινούμενης εικόνας. Αναμφισβήτητα, η αξιοποίηση μεταβλητών που προσδίδουν ιδιότητες κίνησης στα χαρτογραφικά σύμβολα αποτελεί μια εντυπωσιακή προσέγγιση που ακολουθεί τις σύγχρονες τάσεις για ψηφιακή απόδοση των γεωγραφικών φαινομένων. Βέβαια, η χρήση των χαρτών αυτού του τύπου δημιουργεί ένα βασικό ερώτημα το οποίο σχετίζεται με την αποδοτικότητα του χρήστη στη διαδικασία της ανάγνωσης. Η μελέτη και η διερεύνηση των χαρτών ως προς τις διαδικασίες της ανάγνωσης και της κατανόησης απαιτεί τη σύνθεση ενός θεωρητικού πλαισίου το οποίο συνδέεται άμεσα με θεωρίες που σχετίζονται με την αντίληψη, την προσοχή καθώς και τη γενικότερη λειτουργία της όρασης. Έτσι, η διεξαγωγή πειραματικών ερευνών στο πεδίο της χαρτογραφίας μπορεί να έχει σημαντική επίδραση προς αυτή την κατεύθυνση. Η αξιοποίηση μεθόδων που εφαρμόζονται σε ερευνητικά πεδία τα οποία σχετίζονται με τη μελέτη της οπτικής συμπεριφοράς μπορεί να φανεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη της αντίληψης του χάρτη. Η έρευνα που πραγματοποιείται στην παρούσα διατριβή εντάσσεται στο πλαίσιο που περιγράφεται παραπάνω έχοντας σαν βαθύτερο σκοπό την ανάδειξη μιας μεθοδολογίας για τη διερεύνηση αντιληπτικών ορίων σε χάρτες κινούμενης εικόνας βασισμένη στην καταγραφή και την ανάλυση οφθαλμικών κινήσεων.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας του Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (Σ.Α.Τ.Μ.) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.) με χρηματοδότηση από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας (Ε.Λ.Κ.Ε.) του ΕΜΠ.

Η ενασχόληση μου με το ερευνητικό πεδίο όπου εντάσσεται η παρούσα διδακτορική διατριβή ξεκίνησε στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας η οποία εκπονήθηκε στο ίδιο Εργαστήριο κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου

στο ΕΜΠ. Η μελέτη στοιχείων που σχετίζονται με την αντιληπτική διαδικασία κατά τη διάρκεια ανάγνωσης χαρτογραφικών υποβάθρων μου φάνηκε από την πρώτη στιγμή αρκετά ενδιαφέρουσα ενώ ο συνδυασμός της με τη διεξαγωγή πειραματικής έρευνας καταγράφοντας κινήσεις οφθαλμών αύξησε το ενδιαφέρον μου για περαιτέρω ενασχόληση με το συγκεκριμένο αντικείμενο. Κάπως έτσι ξεκίνησε ένα ταξίδι προς αυτή την κατεύθυνση το οποίο οφείλω να ομολογήσω πως είχε αρκετές όμορφες αλλά και δύσκολες στιγμές. Βέβαια, η ιδιαίτερη ομορφιά των δυσκολιών έκανε πάντα το ταξίδι αυτό πιο ελκυστικό.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Ομότιμη Καθηγήτρια ΕΜΠ κα. Βασιλική Φιλιππακοπούλου υπό την επίβλεψη της οποίας εκπονήθηκε η παρούσα έρευνα. Είναι υποχρέωση μου να αναφέρω πως αισθάνομαι ιδιαίτερα τυχερός που είχα τη δυνατότητα να συνεργαστώ μαζί της. Η εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη χρονική περίοδο της συνεργασίας μας ήταν καθοριστικής σημασίας για την ολοκλήρωση της διατριβής. Την ευχαριστώ ιδιαίτερος για τη συνεχή καθοδήγηση, τις συζητήσεις μας και τις συμβουλές της σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής καθώς και για το ειλικρινές ενδιαφέρον της στις δύσκολες στιγμές.

Εξίσου θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον Καθηγητή ΕΜΠ κ. Βύρωνα Νάκο για τις συμβουλές του και τις συζητήσεις μας σε όλη τη διάρκεια των διδακτορικών μου σπουδών. Ο κ. Νάκος ήταν πάντα δίπλα μου στις όμορφες και τις δύσκολες στιγμές αυτής της προσπάθειας έχοντας πάντα την όρεξη να ακούσει οποιοδήποτε προβληματισμό μου. Τον ευχαριστώ επίσης για την άριστη συνεργασία μας στα πλαίσια της εκπόνησης του επικουρικού έργου που προσέφερα σε προπτυχιακά μαθήματα της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ. Η δυνατότητα αυτή μου παρείχε την ευκαιρία να γνωρίσω καλύτερα τα αντικείμενα της θεματικής και της αναλυτικής χαρτογραφίας και μου έδωσε την χαρά να συμμετάσχω στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Ευχαριστώ τον Καθηγητή ΕΚΠΑ κ. Ιωάννη Ευδοκίμηδη για τη βοήθεια και τη συμμετοχή του στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή της διδακτορικής μου διατριβής. Επιπλέον, ευχαριστώ τη Λέκτορα ΕΜΠ κα. Μαργαρίτα Κόκλα, τον Ομότιμο Καθηγητή ΑΠΘ κ. Μύρωνα Μυρίδη, το Λέκτορα ΕΜΠ κ. Δημήτριο Ναθαναήλ και τον Καθηγητή ΕΜΠ κ. Λύσανδρο Τσούλο για τη συμμετοχή τους

στην επταμελή εξεταστική επιτροπή.

Καθοριστικής σημασίας ήταν η συζήτηση πάνω σε θέματα που αφορούσαν τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διατριβής με τον Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ κ. Δημητρίου Φουσκάκη του Τομέα Μαθηματικών της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του ΕΜΠ. Τον ευχαριστώ για τις συμβουλές του καθώς και για την άμεση ανταπόκρισή του στα ερωτήματά μου.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην Αλεξάνδρα Λέλλη, την Ιομήνη-Ελένη Λόκκα και την Βιβή Λοτίδη για τη συλλογή των δεδομένων της πειραματικής έρευνας στα πλαίσια των διπλωματικών τους εργασιών οι οποίες εκπονήθηκαν στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας του ΕΜΠ. Η συνεισφορά τους ήταν πραγματικά ανεκτίμητης αξίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας του ΕΜΠ τα οποία συντέλεσαν ώστε να έχω μια όμορφη καθημερινότητα σε ένα ευχάριστο και φιλικό περιβάλλον. Στο γεγονός αυτό συντέλεσαν ιδιαίτερος σε μεγάλο βαθμό ο Βασίλης Μητρόπουλος και η Ναταλία Μπλάνα με τους οποίους μοιραστήκαμε τον ίδιο χώρο εργασίας αλλά και τις σκέψεις-ανησυχίες μας πάνω σε ερευνητικά και άλλα ζητήματα. Τους ευχαριστώ για όλα.

Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας του ΕΜΠ για την υποτροφία που μου παρείχε για την εκπόνηση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου για την συμπαράσταση, την υπομονή και την κατανόηση τους αυτή την περίοδο.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την παρούσα διδακτορική διατριβή στην οικογένεια μου για την φροντίδα και την αγάπη που μου δείχνει δίνοντας μου πάντα την ουσιαστική ώθηση για κάθε επόμενο βήμα.

Βασίλειος Κρασανάκης

Αθήνα, 2014

Περιεχόμενα

	σελ.
Πρόλογος	i
Περιεχόμενα	iv
Εικόνες	vii
Πίνακες	xiii
Περίληψη	xv
Extended Abstract	xviii
Εισαγωγή	1
E.1 Σκοπός και συνεισφορά της διδακτορικής διατριβής	5
E.2 Η διάρθρωση της διδακτορικής διατριβής	7
Κεφάλαιο 1. Στοιχεία οπτικής αντίληψης και προσοχής στα στάδια ανάγνωσης χαρτών	11
1.1 Η έννοια της οπτικής αντίληψης	11
1.2 Το στάδιο της προ-προσοχής	15
1.3 Οπτική αντίληψη και προσοχή στους χάρτες	21
1.3.1 Η επίδραση στοιχείων της φυσιολογίας του οφθαλμού στην ανάγνωση του χάρτη	30
Κεφάλαιο 2. Χάρτες κινούμενης εικόνας και χαρτογραφικός σχεδιασμός	36
2.1 Χάρτες κινούμενης εικόνας	36
2.2 Δυναμικές μεταβλητές	39
2.3 Κατηγορίες χαρτών κινούμενης εικόνας	45
Κεφάλαιο 3. Ανάλυση και οπτικοποίηση οφθαλμικών κινήσεων	47
3.1 Από την καταγραφή στην ανάλυση των δεδομένων	47
3.2 Βασικά μεγέθη καταγραφής	48
3.2.1 Προσηλώσεις	48
3.2.2 Σακκαδικές κινήσεις	51
3.2.3 Οπτικό ίχνος	52
3.3 Παράγωγα μεγέθη καταγραφής	53
3.3.1 Μεγέθη που σχετίζονται με τις προσηλώσεις	53
3.3.2 Μεγέθη που σχετίζονται με τις σακκαδικές κινήσεις	55
3.3.3 Μεγέθη που σχετίζονται με το οπτικό ίχνος	56
3.4 Άλλα μεγέθη καταγραφής	61
3.5 Αλγόριθμοι εντοπισμού οφθαλμικών κινήσεων προσήλωσης	61
3.6 Μέθοδοι οπτικοποίησης οφθαλμικών καταγραφών	63
3.6.1 Οπτικοποίηση θέσεων και διαρκειών προσηλώσεων	63

3.6.2	Θερμικοί χάρτες	64
3.6.3	Κύβος χώρου-χρόνου	70
3.7	Εργαλεία λογισμικού για την ανάλυση οφθαλμικών κινήσεων	71
	Κεφάλαιο 4. Αξιοποίηση τεχνικών καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων σε χαρτογραφικά πειράματα	74
4.1	Πρώιμες χαρτογραφικές έρευνες	75
4.2	Σύγχρονες χαρτογραφικές έρευνες	86
	Κεφάλαιο 5. Ανάπτυξη αλγορίθμου εντοπισμού προσηλώσεων και λογισμικού ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων	100
5.1	Κίνητρα	100
5.2	Ανάπτυξη αλγορίθμου ανίχνευσης προσηλώσεων	101
5.2.1	Περιγραφή αλγορίθμου	102
5.2.2	Πλεονεκτήματα εφαρμογής χωρικών κριτηρίων σε δύο βήματα	105
5.3	Ανάπτυξη λογισμικού ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων	106
5.3.1	Ανάλυση δεδομένων οφθαλμικών καταγραφών με το EyeMMV toolbox	106
5.3.2	Μελέτη περίπτωσης	107
5.3.3	Δημιουργία απεικόνισης θερμικού χάρτη	114
5.4	Επικύρωση αλγορίθμου εντοπισμού προσηλώσεων	117
	Κεφάλαιο 6. Σχεδιασμός Πειραματικής Έρευνας	123
6.1	Κίνητρα	123
6.2	Στόχος πειραματικής έρευνας	124
6.3	Οι μεταβλητές της πειραματικής έρευνας	124
6.4	Η μέθοδος	127
6.5	Οι οπτικές σκηνές	128
6.6	Τα υποκείμενα της έρευνας	137
6.7	Η πειραματική διάταξη	138
6.7.1	Έλεγχος βαθμονόμησης συστήματος καταγραφής	139
6.7.2	Έλεγχος θορύβου συστήματος καταγραφής	145
	Κεφάλαιο 7. Ανάλυση και αποτελέσματα πειραματικής έρευνας	149
7.1	Η προσέγγιση ανάλυσης της πειραματικής έρευνας	149
7.2	Προσδιορισμός τιμών παραμέτρων ανάλυσης	150
7.2.1	Η παράμετρος της αξιοπιστίας των δεδομένων	151
7.2.2	Οι παράμετροι εντοπισμού προσηλώσεων	154
7.2.3	Η παράμετρος εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου	156
7.3	Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μέσω του ορισμού στατιστικών δεικτών	157
7.4	Ανάλυση της συνολικής συμπεριφοράς	160
7.5	Αποτελέσματα της πειραματικής έρευνας	161

7.5.1 Αναζήτηση της ελάχιστη οριακής τιμής διάρκειας και διερεύνηση της συνολικής συμπεριφοράς απόκρισης των υποκειμένων	170
Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα και αξιολόγηση, μελλοντική έρευνα	176
8.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση	176
8.2 Μελλοντική έρευνα	183
Βιβλιογραφία	190
B.1 Βιβλιογραφικές πηγές	190
B.2 Δικτυακές πηγές	208
Παράρτημα	209
Βιογραφικό σημείωμα	216

Εικόνες

	σελ.
Εικόνα 1.1 Οι αρχές της προσέγγισης (α), της ομοιότητας (β), της κλειστότητας (γ) και της καλής συνέχειας (δ) για την αντιληπτική ομαδοποίηση της σχολής Gestalt.	15
Εικόνα 1.2 Η αναζήτηση του κόκκινου “L” είναι εύκολη μεταξύ των περισπαστών ενώ το “T” δεν μπορεί να διακριθεί εύκολα (Wolfe & Horowitz 2004).	18
Εικόνα 1.3 Το σχήμα και η ομάδα σχημάτων “+” εντοπίζεται εύκολα μεταξύ των περισπαστών (Wolfe & DiMase 2003).	18
Εικόνα 1.4 Οι αντιληπτικές διαδικασίες που είναι δυνατόν να συμβαίνουν κατά την αναζήτηση ενός συμβόλου σε ένα χάρτη που διαβάζεται για πρώτη φορά (Lloyd 2005).	25
Εικόνα 1.5 Οι ιδιότητες της ομαδοποίησης και της γεννίασης μπορούν να λειτουργήσουν συνδυαστικά για την υλοποίηση της διαδικασίας της ομαδοποίησης (Slocum 1983).	28
Εικόνα 1.6 Προσαρμογή των κυττάρων φωτούποδοχέων στη σκοτοπική όραση σε δύο φάσεις (Πλαϊνης κ.α. 2007).	31
Εικόνα 1.7 Η πυκνότητα των ραβδίων και των κωνίων και η θέση του τυφλού σημείου στον αμφιβληστροειδή χιτώνα (Wandell 1995).	32
Εικόνα 1.8 Οι καμπύλες απορρόφησης (%) των διαφορετικών τύπων φωτούποδοχέων σε συνάρτηση με το μήκος κύματος (nm) (http://en.wikipedia.org/wiki/Rod_cell , πρωτότυπο διάγραμμα από Bowmaker & Dartnall 1980).	33
Εικόνα 1.9 Η γεωμετρία της διάταξης αντικειμένου-οφθαλμού-ειδώλου στον αμφιβληστροειδή χιτώνα (Φελώνη 2008).	34
Εικόνα 1.10 Τα γράμματα που περιέχονται στο οπτικό ερέθισμα μπορούν να διαβαστούν παρατηρώντας το κέντρο του χωρίς να απαιτείται η μετακίνηση του βλέμματος από το ένα σημείο στο άλλο (Anstis 1974).	35
Εικόνα 2.1 Οι οπτικές μεταβλητές του Bertin στο χαρτογραφικό σχεδιασμό και η αποδοτικότητα τους σε δεδομένα διαφορετικών κλιμάκων μέτρησης (DiBiase et al. 1992).	40
Εικόνα 2.2 Απεικόνιση μιας σκηνής με μικρή (αριστερά) και μεγάλη (δεξιά) διάρκεια αντίστοιχα (MacEachren 1995).	41
Εικόνα 2.3 Ταχύτερος (αριστερά) και πιο αργός (δεξιά) χρόνος απεικόνισης ενός χαρακτηριστικού εκφρασμένος σε διαφορετικό αριθμό καρτέ εικόνων μέχρι την εμφάνιση του χαρακτηριστικού (MacEachren 1995).	41
Εικόνα 2.4 Παράδειγμα απεικόνισης ενός χαρακτηριστικού όπου η ακολουθία των σκηνών ακολουθεί τη χρονολογική σειρά των δεδομένων (Kraak & Ormeling 2003).	42
Εικόνα 2.5 Μικρός (αριστερά) και μεγάλος (δεξιά) βαθμός αλλαγής στην απεικόνιση ενός σημειακού χαρακτηριστικού (Köbben & Yaman 1995).	43
Εικόνα 2.6 Υψηλή (πάνω) και χαμηλότερη (κάτω) συχνότητα εμφάνισης ενός χαρακτηριστικού Köbben & Yaman 1995).	43
Εικόνα 2.7 Συγχρονισμός σειρών δεδομένων βροχόπτωσης και βλάστησης με βάση το χρόνο (Kraak & Ormeling 2003).	44
Εικόνα 2.8 Η αποδοτικότητα των δυναμικών μεταβλητών σε δεδομένα διαφορετικών κλιμάκων ιεράρχησης (MacEachren 1995).	45

Εικόνα 3.1 Σύγκριση αλγορίθμων εντοπισμού προσηλώσεων με χωρικά (αριστερά) και χωροχρονικά (δεξιά) κριτήρια αντίστοιχα (Goldberg & Kotval 1999).	49
Εικόνα 3.2 Τα γεγονότα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μιας τυπικής προσήλωσης (Goldberg & Kotval 1999).	50
Εικόνα 3.3 Προσηλώσεις (fixations) και σακκαδικές κινήσεις (saccades) στο διάγραμμα απεικόνισης των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων (x,y) κατά τη διαδικασία ανάγνωσης ενός κειμένου (Larsson 2010).	52
Εικόνα 3.4 Προσηλώσεις (fixations) και σακκαδικές κινήσεις (saccades) στο διάγραμμα απεικόνισης της οριζόντιας συντεταγμένης x σε συνάρτηση με το χρόνο t (Larsson 2010).	52
Εικόνα 3.5 Υπολογισμός του μεγέθους της χωρικής πυκνότητας (Goldberg & Kotval 1999).	58
Εικόνα 3.6 Σύγκριση διαφορετικών τρόπων υπολογισμού χωρικής κάλυψης (Goldberg & Kotval 1999).	59
Εικόνα 3.7 Δημιουργία του πίνακα μετάβασης (Goldberg & Kotval 1999).	60
Εικόνα 3.8 Ψευδοκώδικας για τον εντοπισμό κινήσεων προσήλωσης με βάση τον υπολογισμό της ταχύτητας των καταγραφών και την εφαρμογή αντίστοιχων κριτηρίων που σχετίζονται μ' αυτήν (Salvucci & Goldberg 2000).	62
Εικόνα 3.9 Απεικόνιση των προσηλώσεων και των σακκαδικών κινήσεων που συμβαίνουν κατά την οφθαλμική καταγραφή (http://www.strategyone.com/strategyonehomepagegazeplot.html).	64
Εικόνα 3.10 Θερμικός χάρτης με διαφορετικές εντάσεις της ίδιας απόχρωσης (Çöltekin et al. 2008).	65
Εικόνα 3.11 Διαφορετικοί τύποι δημιουργίας θερμικού χάρτη (από αριστερά: Count, Absolute Duration, Relative Duration αντίστοιχα) για δεδομένα της ίδιας οπτικής σκηνής (Matos 2011).	67
Εικόνα 3.12 Τα στάδια δημιουργίας ενός θερμικού χάρτη αριθμού προσηλώσεων (count heatmap).	69
Εικόνα 3.13 Θερμικοί χάρτες για το σύνολο των συμμετεχόντων και για τρεις διαφορετικούς συμμετέχοντες σε πείραμα αναζήτησης στο διαδίκτυο (Dumais et al. 2010).	69
Εικόνα 3.14 Η απόδοση της χωρικής διάστασης (πάνω αριστερά) και της χρονικής διάστασης (κάτω αριστερά) δύο οπτικών ιχνών σε σύγκριση με την απεικόνιση του κύβου του χώρου-χρόνου (Li et al. 2010).	70
Εικόνα 3.15 Απόδοση των οπτικών ιχνών των υποκειμένων μιας έρευνας σε 2 διαστάσεις (αριστερά) και μέσω της απεικόνισης του κύβου του χώρου-χρόνου (δεξιά) σε ψηφιακό περιβάλλον (Popelka & Brus 2011).	71
Εικόνα 4.1 Οπτικό ίχνος της οπτικής αναζήτησης στα πειράματα του Jenks (Jenks 1973).	76
Εικόνα 4.2 Περιοχές που έχουν παρατηρηθεί κατά την ανάγνωση του χάρτη στα πειράματα του Jenks (Jenks 1973).	76
Εικόνα 4.3 Χάρτης του χρόνου παρατήρησης στα πειράματα του Jenks (Jenks 1973).	76
Εικόνα 4.4 Μικρές περιοχές των χαρτογραφικών υποβάθρων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Phillips και Noyes (Phillips & Noyes 1977).	81
Εικόνα 4.5 Η μορφή των έξι από τους δέκα τοπογραφικούς χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Chang, Antes και Lenzen (Chang et al. 1985).	83
Εικόνα 4.6 Τα 12 τμήματα χαρτών των πειραμάτων των Castner και Eastman, τα οποία χαρακτηρίζονται από διαφορετικές κλίμακες, διαφορετική γεωμορφολογία εδάφους και διαφορετικούς τρόπους απόδοσης των υψομέτρων (Castner & Eastman 1985).	85
Εικόνα 4.7 Η συχνότητα των τριών διαφορετικών τύπων προσηλώσεων σε συνάρτηση με τη διάρκεια τους (Castner & Eastman 1985).	86
Εικόνα 4.8 Τα χαρτογραφικά υπόβαθρα που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Brodersen, Andersen και Weber (Brodersen et al. 2002).	90
Εικόνα 4.9 Τα χαρτογραφικά υπόβαθρα διαφορετικής πολυπλοκότητας που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα του εργαστηρίου Χαρτογραφίας Ε.Μ.Π. (Michaelidou et al. 2005, Πούλιου 2006, Τσαγκαράκη	

2007, Κρασανάκης 2009).	91
Εικόνα 4.10 Οι διαδραστικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Çöltekin, Garlandini, Heil και Fabrikant (Çöltekin et al. 2008).	92
Εικόνα 4.11 Ένα δείγμα από τους χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν σαν οπτικά ερεθίσματα στην έρευνα των Garlandini & Fabrikant (Garlandini & Fabrikant 2009).	93
Εικόνα 4.12 Οι ημιστατικές χαρτογραφικές απεικονίσεις που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Orach και Nossun (Orach & Nossun 2011).	94
Εικόνα 4.13 Η μορφή του υποβάθρου όπου πραγματοποιείται η αναζήτηση των ονομάτων στην έρευνα των Ooms, De Maeyer, Fack, Van Assche και Witlox (Ooms et al. 2010).	95
Εικόνα 4.14 Η μορφή των χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα των Popelka & Brychtova: χάρτης 2 διαστάσεων (αριστερά) και χάρτης 3 διαστάσεων (δεξιά) (Popelka & Brychtova 2013).	96
Εικόνα 4.15 Οι θερμικοί χάρτες που προέκυψαν κατά τη σάρωση των χαρτογραφικών γραμμών στην έρευνα των Bargiota, Mitropoulos, Krassanakis & Nakos (Bargiota et al. 2013).	98
Εικόνα 5.1 Η εφαρμογή των χωρικών παραμέτρων (t_1, t_2) για τον εντοπισμό του κέντρου της προσήλωσης σε ένα πρωτόκολλο αποτελούμενο από 5 σημεία καταγραφής (1, 2, 3, 4 και 5). Το σημείο Ft2 αντιστοιχεί στην τελική θέση του κέντρου μετά την εφαρμογή των χωρικών κριτηρίων.	103
Εικόνα 5.2 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου εντοπισμού προσηλώσεων.	104
Εικόνα 5.3 Τα μεγέθη που υποστηρίζονται από το λογισμικό EyeMMV toolbox.	107
Εικόνα 5.4 Η διάταξη των εννέα σταθερών στόχων του οπτικού ερεθίσματος που αξιοποιήθηκε για την ανάδειξη λειτουργιών του λογισμικού εργαλείου EyeMMV (Κρασανάκης 2009).	108
Εικόνα 5.5 Υπολογισμός μεγεθών που σχετίζονται με τις προσηλώσεις. Για την εφαρμογή του αλγορίθμου ανίχνευσης αξιοποιούνται οι τιμές των χωρικών και των χρονικών περιορισμών.	110
Εικόνα 5.6 Υπολογισμός των παραγόμενων μεγεθών που προκύπτουν από τις προσηλώσεις, τις σακκαδικές κινήσεις και το βασικό παράγωγο μέγεθος του οπτικού ίχνους.	111
Εικόνα 5.7 Οι θέσεις και οι διάρκειες των προσηλώσεων μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου εντοπισμού. Τα σημεία και οι τιμές με κόκκινο χρώμα αντιστοιχούν στα κέντρα και στις διάρκειες των προσηλώσεων μετά την εφαρμογή των κριτηρίων ($t_1, t_2, \text{min duration}$) ενώ τα σημεία και οι τιμές με μπλε χρώμα αντιστοιχούν στον εντοπισμό με βάση τα κριτήρια ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$). Τα σημεία με πράσινο χρώμα αντιστοιχούν τα σημεία της καταγραφής που δεν συμμετέχουν στην ανάλυση των προσηλώσεων οι οποίες υπολογίζονται αξιοποιώντας τα κριτήρια ($t_1, t_2, \text{min duration}$).	112
Εικόνα 5.8 Διαφορετικοί τρόποι απεικόνισης δεδομένων οφθαλμικών καταγραφών οι οποίο υποστηρίζονται από το λογισμικό EyeMMV που αναπτύχθηκε. (a) Διάγραμμα οριζόντιων (κόκκινο χρώμα) και κατακόρυφων (μπλε χρώμα) συντεταγμένων κατά μήκος το χρόνο (b) Απεικόνιση της χωρικής διασποράς της καταγραφής. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο οπτικό ίχνος που δημιουργείται από τα σημεία της καταγραφής που απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα (c) Κύβος χωρο-χρόνου. Τα σημεία της καταγραφής απεικονίζονται με μπλε χρώμα ενώ το οπτικό ίχνος με κόκκινο (d) Οπτικοποίηση του οπτικού ίχνους της καταγραφής μετά την ανάλυση του σε προσηλώσεις και σακκαδικές κινήσεις. Το μέγεθος της ακτίνας κάθε κύκλου αντιστοιχεί στην τιμή της σχετικής διάρκειας της προσήλωσης. Οι σακκαδικές κινήσεις απεικονίζονται με μπλε χρώμα.	113
Εικόνα 5.9 Οπτικοποίηση και ανάλυση δεδομένων σε προεπιλεγμένη περιοχή ενδιαφέροντος.	114
Εικόνα 5.10 Παραγωγή θερμικών απεικονίσεων αξιοποιώντας το λογισμικό EyeMMV με διαφορετικές παραμέτρους εισόδου (g_s, k_s, s). (a) $g_s=0.25/3 \approx 0.083$, $k_s=5$, $s=3$, (b) $g_s=0.25/4 \approx 0.063$, $k_s=5$, $s=3$, (c) $g_s=0.25/6 \approx 0.042$, $k_s=5$, $s=3$, (d) $g_s=0.25/3 \approx 0.083$, $k_s=30$ $s=20$ και (e) $g_s=0.25/3 \approx 0.083$, $k_s=70$, $s=50$. Όσο το	

μέγεθος του φατνίου του κανάβου μειώνεται, παρουσιάζεται μεγαλύτερος αριθμός διακριτών περιοχών (b, c) ενώ όσο οι τιμές των μεγεθών του πυρήνα και της τυπικής απόκλισης Gauss αυξάνονται, η συνολική εικόνα της απεικόνισης εξομαλύνεται (d, e).	117
Εικόνα 6.1 Το βασικό χαρτογραφικό υπόβαθρο της πειραματικής έρευνας το οποίο αποτελεί τμήμα ενός πραγματικού τοπογραφικού χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού.	129
Εικόνα 6.2 Συσχέτιση της έντασης στο χρωματικό σύστημα Munsell με την ποσοστιαία ανάκλαση (Robinson et al. 1995).	130
Εικόνα 6.3 Τα υπόβαθρα που αξιοποιήθηκαν για την υλοποίηση της πειραματικής έρευνας: το λευκό υπόβαθρο (Μέρος A-Part A), το υπόβαθρο τυπικού χάρτη (Μέρος B-Part B) και τα υπόβαθρα με βαθμωτά επίπεδα περιεχόμενης πληροφορίας (Μέρος Γ-Part C). Από τα αριστερά προς τα δεξιά αυξάνεται το επίπεδο πληροφορίας στο υπόβαθρο πάνω στο οποίο συμβαίνει η κίνηση του σημειακού συμβόλου.	131
Εικόνα 6.4 Διαδοχικές θέσεις του κινούμενου σημειακού συμβόλου στα διαφορετικά Μέρη της πειραματικής έρευνας: Κινήσεις πάνω σε λευκό (κενό) υπόβαθρο (Μέρος A-Part A), σε υπόβαθρο τυπικού χάρτη (Μέρος B-Part B) και σε υπόβαθρα με βαθμωτά επίπεδα περιεχόμενης πληροφορίας (Μέρος Γ-Part C).	132
Εικόνα 6.5 Η γεωμετρική διάταξη του συστήματος υποκείμενο-οθόνη προβολής οπτικών ερεθισμάτων. Η εύρεση του κέντρου της όραση βασίζεται στη χρήση φωτοδίοδων υπερύθρου φωτός (IR) και καμερών ενώ η χρήση ενός μηχανισμού σταθεροποίησης του υποκειμένου συντελεί στην επίτευξη της μέγιστης δυνατής χωρικής ακρίβειας στον εντοπισμό της θέσης του βλέμματος.	139
Εικόνα 6.6 Η ανακατασκευή του τετραγωνικού κανάβου για κάθε οφθαλμό ως ένδειξη για την ποιότητα της βαθμονόμησης του συστήματος. Η διαδικασία της βαθμονόμησης είναι περισσότερο επιτυχής όσο πιο κανονικό είναι το σχήμα του ανακατασκευασμένου κανάβου (Μπαργιώτα 2013).	140
Εικόνα 6.7 Η διάταξη των σταθερών στόχων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της βαθμονόμησης κάθε υποκειμένου της πειραματικής έρευνας. Κάθε στόχος εμφανίζεται ξεχωριστά για χρονική διάρκεια 3 sec.	143
Εικόνα 6.8 Τα κέντρα των εκτιμώμενων μέσων θέσεων πριν και μετά τη διαδικασία της ασαφούς ταξινόμησης. Τα σημεία με τις διαφορετικές αποχρώσεις αντιστοιχούν στα διαφορετικά νέφη τα οποία προκύπτουν από την καταγραφή κατά την παρατήρηση καθενός από τους σταθερούς στόχους.	145
Εικόνα 6.9 Σχέδιο της εικόνας των τεχνητών οφθαλμών (πριν την προσαρμογή τους στο τεχνητό κρανίο) που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο του θορύβου του συστήματος καταγραφής.	146
Εικόνα 6.10 Προσαρμογή των τεχνητών οφθαλμών στο τεχνητό κρανίο για τη μέτρηση του θορύβου του συστήματος καταγραφής.	146
Εικόνα 6.11 Η εικόνα των τεχνητών οφθαλμών μετά την εφαρμογή του υπερύθρου φωτός και τον εντοπισμό της κόρης από το σύστημα καταγραφής μέσω της εφαρμογής αλγορίθμων κατάτμησης.	147
Εικόνα 7.1 Συσχέτιση της μεταβλητής της διάρκειας (Duration) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσήλωση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση του κενού (blank) υποβάθρου. Οι τιμές της διάρκειας και των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.	163
Εικόνα 7.2 Συσχέτιση της μεταβλητής της διάρκειας (Duration) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια	

προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσηλώση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση του υποβάθρου τοπογραφικού χάρτη (map). Οι τιμές τις διάρκειας και των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.

164

Εικόνα 7.3 Συσχέτιση της μεταβλητής της διάρκειας (Duration) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσηλώση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση υποβάθρων διαφορετικού επιπέδου πληροφορίας. Οι τιμές τις διάρκειας και των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.

165

Εικόνα 7.4 Συσχέτιση της μεταβλητής της απόστασης (Distance) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσηλώση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση του κενού (blank) υποβάθρου. Οι τιμές των αποστάσεων αντιστοιχούν σε pixels, οι τιμές των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.

166

Εικόνα 7.5 Συσχέτιση της μεταβλητής της απόστασης (Distance) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσηλώση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση του υποβάθρου τοπογραφικού χάρτη (map). Οι τιμές των αποστάσεων αντιστοιχούν σε pixels, οι τιμές των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.

167

Εικόνα 7.6 Συσχέτιση της μεταβλητής της απόστασης (Distance) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσηλώση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση υποβάθρων διαφορετικού επιπέδου πληροφορίας. Οι τιμές των αποστάσεων αντιστοιχούν σε pixels, οι τιμές των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που

αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση . Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης. 168

Εικόνα 7.7 Συσχέτιση της μεταβλητής του επιπέδου πληροφορίας με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσηλώση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση υποβάθρων διαφορετικού επιπέδου πληροφορίας. Τα επίπεδα πληροφορίας διαφοροποιούνται από τα διαφορετικά επίπεδα μεταβολή της έντασης (0%-τοπογραφικός χάρτης, 35% και 75%) των χαρτογραφικών συμβόλων. Οι τιμές των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση . Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης. 169

Πίνακες

	σελ.
Πίνακας 1.1 Οι τιμές κλίσης της καμπύλης RT-set size (msec/αντικ) και χαρακτηριστικά παραδείγματα για κάθε κατηγορία αναζήτησης (Wolfe 1998).	20
Πίνακας 3.1 Επισκόπηση των λογισμικών εργαλείων που διανέμονται ελεύθερα και είναι κατάλληλα για ανάλυση καταγραφών οφθαλμικών κινήσεων.	72
Πίνακας 5.1 Οι διαφορετικές τιμές μεγέθους φατνίου (gs), πυρήνα Gauss (ks) και τυπικής απόκλισης Gauss (s) που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή θερμικών απεικονίσεων αξιοποιώντας το λογισμικό EyeMMV	116
Πίνακας 5.2 Οι οριζόντιες (x) και οι κατακόρυφες (y) συντεταγμένες των σταθερών στόχων στο σύστημα συντεταγμένων του συστήματος καταγραφής (Κρασανάκης 2009).	118
Πίνακας 5.3 Υπολογισμός των οριζόντιων (x) και των κατακόρυφων (y) συντεταγμένων σταθερών σημείων με 3 διαφορετικούς τρόπους: Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$), Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$), Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salvucci & Goldberg 2000). Οι συντεταγμένες παρουσιάζονται στο σύστημα συντεταγμένων του συστήματος καταγραφής.	119
Πίνακας 5.4. Σύγκριση των διαφορών στις συντεταγμένες των 9 σταθερών σημείων. Οι συντεταγμένες υπολογίζονται με 3 διαφορετικούς τρόπους: Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$), Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$), Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salvucci & Goldberg 2000). Οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων υπολογίζονται μέσω της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των αντιστοιχών στόχων και η συνολική διαφορά εκφράζονται σαν γωνιακά μεγέθη (μοίρες οπτικού γωνίας).	120
Πίνακας 5.5 Υπολογισμός της διάρκειας των προσηλώσεων που αντιστοιχούν στα σταθερά σημεία με 3 διαφορετικούς τρόπους: Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$), Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$), Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salvucci & Goldberg 2000). Οι διάρκειες εκφράζονται σε ms.	121
Πίνακας 5.6 Σύγκριση των διαφορών στις διάρκειες των 9 σταθερών σημείων. Οι διάρκειες υπολογίζονται με 3 διαφορετικούς τρόπους: Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$), Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$), Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salvucci & Goldberg 2000). Η μέση διαφορά υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των διαφορών για τα 9 σταθερά σημεία. Οι διαφορές εκφράζονται σε ms.	121
Πίνακας 6.1 Οι συντεταγμένες (pixels) του κινούμενου στόχου στις οπτικές σκηνές, οι αποστάσεις (pixels) μεταξύ των διαδοχικών θέσεων και οι χρόνοι (msec) που επλήχθηκαν σε δύο κατηγορίες για τα Μέρη Α και Β της πειραματικής έρευνας.	134
Πίνακας 6.2 Οι συντεταγμένες (pixels) του κινούμενου στόχου στις οπτικές σκηνές, οι χρόνοι (msec) παραμονής στις διαφορετικές θέσεις και τα αντίστοιχα υπόβαθρα με διαφορετικό επίπεδο πληροφορίας που επλήχθηκαν: αρχικός χάρτης (0% μεταβολή) και χάρτες με αύξηση της έντασης κατά 35% και 70% για το Μέρος Γ της πειραματικής έρευνας.	136
Πίνακας 6.3 Οι συντεταγμένες των σταθερών στόχων (μονάδες στο σύστημα συντεταγμένων του συστήματος καταγραφής) που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της διαδικασίας της βαθμονόμησης.	142
Πίνακας 6.4 Προσδιορισμός του θορύβου του συστήματος καταγραφής ως προς τη χωρική και τη χρονική διάσταση μέσω της καταγραφής των θέσεων του βλέμματος που προκύπτει από ένα ζεύγος τεχνητών οφθαλμών προσαρμοσμένων σε τεχνητό κρανίο. Οι τιμές προέκυψαν μετά από τη συλλογή 10515 σημείων καταγραφής.	148

Πίνακας 7.1 Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των εκτιμήσεων κατά τους δύο ελέγχους της μέσης χωρικής ακρίβειας των δεδομένων, οι μέσες τιμές που προέκυψαν από τις μέσες εκτιμήσεις των δύο ελέγχων για κάθε πειραματικό μέρος καθώς και η συνολικά εκτιμώμενη μέση χωρική ακρίβεια των δεδομένων.	153
Πίνακας 7.2 Μέση απόκριση των υποκειμένων όπως προκύπτει από τον προσδιορισμό του δείκτη του χρόνου πρώτης προήλωσης στο στόχο για όλες τις περιπτώσεις υποβάθρων που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική έρευνα.	173
Πίνακας Π.1 Οι τιμές των στατιστικών δεικτών για το πειραματικό Μέρος Α.	209
Πίνακας Π.2 Οι τιμές των στατιστικών δεικτών για το πειραματικό Μέρος Β.	212
Πίνακας Π.3 Οι τιμές των στατιστικών δεικτών για το πειραματικό Μέρος Α.	214

Περίληψη

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει σκοπό τη διερεύνηση στοιχείων που σχετίζονται με την οπτική αντίληψη χαρτών κινούμενης εικόνας αξιοποιώντας τεχνικές καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων. Πιο συγκεκριμένα, κύριος στόχος της διατριβής είναι ο προσδιορισμός της ελάχιστης οριακής τιμής της δυναμικής μεταβλητής της διάρκειας που απαιτείται για τον εντοπισμό ενός κινούμενου σημειακού συμβόλου πάνω σε χαρτογραφικά υπόβαθρα από την κεντρική όραση. Στα πλαίσια της διατριβής σχεδιάζεται και υλοποιείται μια πειραματική έρευνα όπου οι μεταβλητές που εξετάζονται σχετίζονται τόσο με ιδιότητες της κίνησης του κινούμενου σημειακού συμβόλου όσο και με το επίπεδο της περιεχόμενης πληροφορίας του χαρτογραφικού υποβάθρου. Η ιδιότητα της κίνησης συντίθεται από τις μεταβλητές της διάρκειας η οποία αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που το σημειακό σύμβολο διατηρεί τη θέση του πάνω στο χαρτογραφικό υπόβαθρο και της μετάθεσης η οποία εκφράζεται μέσω της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των διαδοχικών θέσεων του σημειακού συμβόλου. Το βασικό υπόβαθρο που αξιοποιείται στην πειραματική έρευνα αποτελείται από έναν πραγματικό τοπογραφικό χάρτη ο οποίος χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων που απεικονίζει. Η επίτευξη των διακριτών επιπέδων πληροφορίας επιτυγχάνεται μεταβάλλοντας το επίπεδο της έντασης των επιμέρους χαρτογραφικών συμβόλων του τοπογραφικού χάρτη ενώ η διερεύνηση υλοποιείται και σε κενό υπόβαθρο. Τα υποκείμενα που συμμετέχουν στην έρευνα καλούνται να παρατηρήσουν τις οπτικές σκηνές που σχεδιάζονται κατά τον πειραματικό σχεδιασμό χωρίς να απαιτείται η εκπόνηση κάποιας συγκεκριμένης εργασίας (σε συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης) ενώ οι οφθαλμικές κινήσεις τους καταγράφονται.

Η ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων που καταγράφονται κατά την πειραματική διαδικασία βασίζεται στο κύριο μέγεθος που αναφέρεται στις προσηλώσεις και στη δημιουργία στατιστικών δεικτών οι οποίοι προκύπτουν από αυτές και αξιοποιούνται για την ποσοτική περιγραφή της οπτικής συμπεριφοράς του συνόλου των υποκειμένων. Η αναζήτηση του ελάχιστου ορίου εντοπισμού, η

συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών της πειραματικής διαδικασίας αλλά και η προσέγγιση της μελέτης της συνολικής συμπεριφοράς παρατήρησης ολοκληρώνεται αξιοποιώντας το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης. Η ανίχνευση των προσηλώσεων πραγματοποιείται μέσω ενός νέου αλγορίθμου ο οποίος αναπτύσσεται στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Ο νέος αλγόριθμος βασίζεται τόσο σε χωρικά όσο και σε χρονικά κριτήρια για τον εντοπισμό των προσηλώσεων, εντάσσεται στους αλγορίθμους διασποράς (I-DT) ενώ για την επικύρωσή του γίνεται μια σύγκριση με έναν αλγόριθμο της ίδιας οικογένειας αξιοποιώντας πραγματικά δεδομένα παρατήρησης. Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία ενός νέου λογισμικού εργαλείου (EyeMMV toolbox) το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Το λογισμικό εργαλείο υποστηρίζει την πλήρη ανάλυση πειραματικών δεδομένων οφθαλμικών καταγραφών σε βασικά και παράγωγα μεγέθη και παρέχει τη δυνατότητα υλοποίησης κατάλληλων μεθόδων για την οπτικοποίηση των δεδομένων.

Για τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων εφαρμόζεται μια διαδικασία ελέγχου της βαθμονόμησης του συστήματος καταγραφής η οποία πραγματοποιείται εκτιμώντας τη θέση του βλέμματος κατά την παρατήρηση σταθερών στόχων μέσω ενός αλγορίθμου ασαφούς ταξινόμησης. Επιπροσθέτως, για τη διερεύνηση του επιπέδου του θορύβου ως προς τη χωρική και τη χρονική διάσταση του συστήματος καταγραφής που χρησιμοποιείται στη διεξαγωγή της πειραματικής έρευνας εφαρμόζεται μια διαδικασία ελέγχου αξιοποιώντας μετρήσεις από ένα ζεύγος τεχνητών οφθαλμών.

Η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων έδειξε πως η δυναμική μεταβλητή της διάρκειας διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο στη διαδικασία καθώς εμφανίζει σχεδόν απόλυτη συσχέτιση με τη μέση διάρκεια προσηλώσεων πάνω στο κινούμενο σημειακό σύμβολο. Το αναζητούμενο όριο προσδιορίζεται με ακρίβεια μικρότερη από την ελάχιστη διάρκεια μιας προσηλώσης και αντιστοιχεί στην τιμή 360 ± 87 ms. Η επίδραση του επιπέδου της περιεχόμενης πληροφορίας περιορίζεται μόνο στην απόκριση των υποκειμένων που αφορά το χρονικό διάστημα μετά τον εντοπισμό του συμβόλου από την κεντρική όραση ενώ το μέγεθος που εκφράζει τη μετάθεση του στόχου δεν δείχνει να έχει σημαντική επίδραση στη διαδικασία εντοπισμού.

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής

διατριβής μπορεί αξιοποιηθεί για τη διερεύνηση των οριακών τιμών των μεταβλητών του χαρτογραφικού συμβολισμού που χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση δυναμικών αλλαγών σε χάρτες κινούμενης εικόνας.

Development of a methodology of eye movement analysis for the study of visual perception in animated maps

by

Vassilios E. Krassanakis

Dipl. R.S. Eng. NTUA

Dissertation submitted for the degree of

Doctor of Engineering

National Technical University of Athens

School of Rural & Surveying Engineering

Extended abstract

The objective of the present doctoral dissertation is the study of elements related to visual perception in animated maps using techniques of capturing and analyzing eye movements. More specifically, the main aim is referred to the investigation of the minimum threshold of the dynamic variable of duration which is required for the detection by the central vision of one moving point symbol on cartographic backgrounds with discriminant levels of information. The referred minimum temporal threshold is examined through an experimental study based on the collection of eye tracking data. The analysis of the experimental data is based on the identification of fixation events which are detected through an innovative algorithm introduced for the purposes of the present dissertation. The introduced algorithm is also used for the development of a complete post-analysis toolbox appropriate for eye movement analysis.

An extended literature review is presented in order to compose the theoretical framework of the examined research fields. Specifically, the literature review contains: (a) Review of concepts related to aspects of visual perception, description of the preattentive stage of vision and basic features, the influence of perception and attention in map reading process and the constraints provided by the physiology of eyes in cartographic symbolization. (b) Description of animated maps and dynamic variables of cartographic symbolization. Moreover, different

types of animated maps are reported. (c) Review of eye movement analysis process; main and derived metrics, fixation identification algorithms, data visualization techniques and software appropriate for the performance of analysis. & (d) Review of studies performed in cartographic research using eye tracking methodology. The contribution of the present doctoral dissertation is twofold as it provides crucial indications about the limits of cartographic symbolization in the case of animated maps and it suggests an extension of the existing fixation identification algorithms. Moreover, the complete analysis toolbox that is developed can be used for the experimental analysis and visualization of data collected using eye tracking techniques.

A cartographic experimental study is designed and performed for the examination of the main research question. The location of a point symbol changes in successive visual scenes while the background remains constant. Hence, subject perceive the change of the point symbol's location as a moving object. The experimental variables are related to both properties that characterize the element of motion of the moving point symbol and the level of information of the cartographic backgrounds. The properties which are referred to the moving point symbol are the duration and the range of relocation. Duration is equal to the time that the location of the moving point symbol remains constant on the background while the range of relocation corresponds to the Euclidean distance calculated between two successive locations of the moving point symbol. A real topographic map composes the main base background of the experimental study. The topographic map is characterized by high level of visual complexity as it consists of a variety of different cartographic symbols which represent different geographic information such as several point symbols, contours, annotation, hydrological and transport network. Cartographic backgrounds with discrete level of information are produced in order to serve as base maps of the experimental study. The production of different information levels is based on the change of intensity of the cartographic symbols of the topographic map. Moreover, a blank background is also used as the level characterized by the absence of information. Different combinations among the experimental variables produce the total amount of stimuli that compose the visual scenes of the experimental study.

Subjects are asked to observe some stimuli on a computer monitor while their eye movements are recorded by an eye tracking device. Therefore, the experimental study is performed under free viewing conditions without a specific task to complete. The conditions remain constant for all subjects during the experimental process. The eye tracking data are collected in the sampling frequency of 60Hz using the pupil location method. Totally, 86 subjects participate in the experimental study.

The analysis of the recorded eye movements is based on the computation of fixation events and on the definition of 6 statistical indexes derived from fixations. The fixations' derived indexes include computations referred to the subjects' percentage that succeed to detect the moving point symbol, the mean duration of fixations on the point symbol, the mean percentage of the ratio of the fixations' duration on point symbol to the total duration on the visual scene, the mean number of fixations on the point symbol, the mean percentage of the ratio of the number of fixations on point symbol to the total duration on the visual scene and the mean time to first fixation on the point symbol. The statistical indexes are computed for every visual scene of the experimental study. The statistical indexes are used for the quantitative description of subjects' visual reaction. The model of linear regression is also used in order to examine possible correlations among the experimental variables and for the investigation of the total visual reaction.

The detection of fixations is performed using an introduced algorithm. The new algorithm is based on temporal and spatial constraints for fixation identification and it is a dispersion based algorithm (I-DT). The spatial constraint is based on a “two-step” thresholds while the temporal ones corresponds to the minimum fixation duration. The validation of the results of the fixation identification algorithm is made by comparing with those of an algorithm of dispersion type with a moving window using real eye tracking data. The introduced algorithm is used for the development of a new toolbox called EyeMMV (Eye Movements Metrics & Visualizations) appropriate for post-experimental eye movement analysis. The toolbox developed in the scripting language of MATLAB. EyeMMV toolbox supports the complete analysis of eye tracking data in main (fixations, saccades, scan path) and derived metrics. It further supports different

types of visualizations (gaze plots, fixation locations and duration plots, space-time-cube, heatmap) and regions of interest (ROIs) analysis. A case study is also reported in order to provide the functionality of the toolbox.

The data quality collected in the cartographic experimental study is tested through a calibration checking procedure. It is based on the estimation of mean gaze positions during the observation of fixed targets by performing a fuzzy clustering algorithm (c-means). Moreover, a checking procedure is performed using a pair of artificial eyes for the investigation of the level of spatial and temporal noise produced during the capturing of eye movements by the specific eye tracking equipment that is used in the experimental study.

The results of the analysis reveal important suggestions about subjects' reaction in moving point symbols in animated maps. The analysis indicates that the dynamic variable of duration is the most important variable for the detection by the central vision of the moving point symbols as it is fully correlated with the mean value of fixation duration. The value of the minimum temporal threshold required for the fixation on the moving point symbol corresponds to 360 ± 87 ms. The value of the standard deviation of the minimum temporal threshold is smaller than the minimum duration of a fixation (100 ms) which is reported in literature. The level of background's information influences only the post detection reaction of subjects while the range of relocation does not affect the procedure of moving point detection by the central vision. The presented methodology can be used in order to investigate thresholds of the quantitative variables of cartographic symbolization which are used in order to visualize dynamic changes in animated maps.

In comparison with an existing dispersion type algorithm, the introduced algorithm produces strongly related results in fixation detection. It suggests a process of removing the level of noise produced by the eye tracking equipment in the case that it is constant and can be reported. Furthermore, the source code of EyeMMV toolbox is distributed through GitHub under GNU GPLv.3 license (link: <https://github.com/krasvas/EyeMMV>). EyeMMV toolbox can be executed in every computer platform (Windows, Linux & Mac OS) where MATLAB software has been pre-installed, having all the benefits of MATLAB including its advantageous speed of execution.

Some other interesting points for future research include the investigation of the minimum temporal threshold in other types of maps and/or in more realistic conditions conducting experiments with novice and professional map users (or/and users with different genders and ages). Moreover, subjects' post-reaction (after moving point detection) can be examined. Additionally, statistical indexes which are defined for the analysis can be used in order to examine the relation between the observation and the level of information as indicators for the cognitive load or as metrics to measure the perceived complexity during map reading.

Εισαγωγή

Ο χάρτης αποτελεί μια ιδιαίτερη απεικόνιση η λειτουργία της οποίας βασίζεται στην επιτυχή επικοινωνία του χαρτογράφου με τον αναγνώστη με σκοπό τη μεταφορά πληροφοριών που σχετίζονται με το γεωγραφικό χώρο. Η επιτυχία μεταφοράς του μηνύματος που περιέχει αυτή την πληροφορία συνδέεται άμεσα με την αποτελεσματικότητα του χαρτογραφικού συμβολισμού μέσω του οποίου υλοποιείται η απόδοση μιας αφαιρετικής εικόνας του φυσικού χώρου. Η αποτελεσματικότητα των χαρτογραφικών συμβόλων στα διάφορα στάδια ανάγνωσης ενός χάρτη έχει άμεση σχέση με τις διεργασίες της όρασης και της οπτικής αντίληψης. Έτσι, η μελέτη στοιχείων που συνδέονται με αυτές τις διεργασίες είναι σε θέση να υποδείξει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το χαρτογραφικό σχεδιασμό και τη διαδικασία ανάγνωσης χαρτών.

Η διαδικασία λειτουργίας της όρασης δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητή. Ωστόσο, έρευνες σε διάφορους τομείς (π.χ. βιολογία, ψυχολογία, νευροεπιστήμη) που σχετίζονται με τη μελέτη της οπτικής συμπεριφοράς και της οπτικής αντίληψης έχουν συνεισφέρει στην κατανόηση πολλών διαδικασιών που αφορούν την ανάγνωση οπτικών σκηνών. Κατά τη διάρκεια ανάγνωσης μιας οπτικής σκηνής το σύνολο των οπτικών διεργασιών που επιτρέπουν τον εντοπισμό στοιχείων της σκηνής που αναζητούνται μέσω της χωρικής προσοχής συνιστούν τη διαδικασία της οπτικής αναζήτησης (Vecera 2000). Μια τυπική εργασία οπτικής αναζήτησης περιλαμβάνει την αναζήτηση ενός στόχου πάνω σε μια οπτική σκηνή η οποία αποτελείται από ένα σύνολο περισπαστών (Chun & Wolfe 2001). Μια βασική διάκριση μεταξύ των διαφορετικών τύπων οπτικής αναζήτησης βασίζεται στην αποδοτικότητα της διαδικασίας. Έτσι, η διαδικασία της οπτικής αναζήτησης μπορεί να είναι αποδοτική ή μη αποδοτική (Wolfe 1998). Είναι γεγονός ότι υπάρχουν κάποιοι στόχοι οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να “ξεπετάγονται” μεταξύ των υπολοίπων στοιχείων μιας οπτικής σκηνής. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε την ύπαρξη μιας οπτικής σκηνής αποτελούμενης από ένα σύνολο σημειακών συμβόλων με ίδιο σχήμα και μέγεθος τα οποία είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα πάνω σε ένα λευκό υπόβαθρο και υποθέτοντας επίσης ότι όλα τα σημειακά σύμβολα έχουν μαύρο χρώμα και ένα μόνο

σύμβολο έχει κόκκινο χρώμα, το σύμβολο αυτό θα εντοπίζεται εύκολα κατά τη διαδικασία της οπτικής αναζήτησης καθώς η διαδικασία εντοπισμού του θα απαιτεί μικρό χρονικό διάστημα. Στην διαδικασία αυτή σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι διεργασίες του σταδίου της προ-προσοχής (Nessier 1967). Το στάδιο της προ-προσοχής περιλαμβάνει τις διαδικασίες που συμβαίνουν κατά την πρώτη παρατήρηση μιας οπτικής σκηνής αποτελώντας ουσιαστικά το πρωταρχικό στάδιο της όρασης. Παρά το γεγονός ότι το στάδιο αυτό συμβαίνει πριν τη διαδικασία της οπτικής προσοχής, το σύνολο των χαρακτηριστικών τα οποία είναι διαθέσιμα στο στάδιο αυτό και επεξεργάζονται με μία διαδικασία “κάτω-πάνω” είναι σε θέση να κατευθύνουν την επιλεκτική προσοχή κατά τη διάρκεια της οπτικής αναζήτησης (Wolfe 2005). Μεταξύ των ιδιοτήτων που μπορούν να χαρακτηρίζουν ένα στόχο σε μία οπτική σκηνή το χρώμα, η κίνηση, ο προσανατολισμός και το μέγεθος αποτελούν αναμφισβήτητα χαρακτηριστικά τα οποία είναι διαθέσιμα σε στάδιο προ-προσοχής (Wolfe & Horowitz 2004).

Η ανάγκη για ενσωμάτωση θεωριών που σχετίζονται με την όραση και την αντιληπτική διαδικασία για τη μελέτη των διαδικασιών ανάγνωσης των χαρτών έχει γίνει φανερή από τη χαρτογραφική κοινότητα (MacEachren 1995, Keates 1996, Lloyd 1997, Sluter 2001, Montello 2002, Lloyd 2005). Η αξιοποίηση της ψυχολογικής έρευνας για τη διερεύνηση της ανάγνωσης χαρτών μπορεί να υλοποιηθεί αντιστοιχίζοντας τα οπτικά ερεθίσματα με χάρτες και τη διαδικασία της οπτικής αντίληψης με την αντίδραση του αναγνώστη του χάρτη (Ciołkosz-Styk 2012). Βέβαια, γίνεται φανερό πως η εφαρμογή των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει στην έρευνα για την όραση και τις διάφορες διαδικασίες που συνδέονται με αυτήν απαιτεί τη διεξαγωγή πειραματικών ερευνών οι οποίες θα πρέπει να εξετάζουν τη λειτουργία διαφορετικών ιδιοτήτων που σχετίζονται με την οπτική αντίληψη και την προσοχή σε συνθήκες παρατήρησης πραγματικών χαρτών. Επιπροσθέτως, η αξιοποίηση των στοιχείων που συνδέονται με τη φυσιολογία των αισθητήριων οργάνων της όρασης είναι σε θέση να συντελέσει στην υπόδειξη βασικών ορίων στη διαδικασία του χαρτογραφικού σχεδιασμού (MacEachren 1995).

Η διαδικασία του χαρτογραφικού συμβολισμού περιλαμβάνει την αξιοποίηση ενός συνόλου μεταβλητών για την γραφική απόδοση φαινομένων του γεωγραφικού χώρου. Στην περίπτωση των χαρτών δύο διαστάσεων τα δομικά στοιχεία του

χαρτογραφικού σχεδιασμού αποτελούνται από τις οπτικές μεταβλητές (Bertin 1967, 1983, Morrison 1984, MacEachren 1995) ενώ στην περίπτωση των χαρτών κινούμενης εικόνας ο χαρτογραφικός σχεδιασμός ολοκληρώνεται μέσω της συνδυασμένης αξιοποίησης των οπτικών και των δυναμικών μεταβλητών (DiBiase et al. 1992). Οι χάρτες κινούμενης εικόνας αποτελούν μια μορφή χαρτών η οποία είναι άμεσα συνυφασμένη με την αξιοποίηση ψηφιακών μέσων για τη διαδικασία ανάγνωσής τους καθώς χαρακτηρίζονται από συνεχόμενη κίνηση κατά τη διάρκεια της παρατήρησής τους (Slocum et al. 2009). Παρά το γεγονός ότι οι δυνατότητες που παρέχονται για την αναπαράσταση των δεδομένων είναι εμπλουτισμένες στην περίπτωση των χαρτών κινούμενης εικόνας, σε πολλές μελέτες τονίζεται η ανάγκη αξιολόγησης της αποδοτικότητας (Karl 1992, Griffin et al. 2006, Harrower 2007) και της επίδρασης της συγκεκριμένης κατηγορίας χαρτών στη διαδικασία απόκτησης γνώσης (Fabrikant 2005, Harrower & Fabrikant 2008). Επιπροσθέτως, σε διάφορες μελέτες σημειώνεται η ανάγκη εκπόνησης πειραματικών μελετών για τη διερεύνηση της λειτουργίας των δυναμικών μεταβλητών του χαρτογραφικού σχεδιασμού (Kraak & MacEachren 1994, Xiaofang et al. 2005).

Η μέτρηση της απόδοσης των υποκειμένων σε πειραματικές έρευνες που έχουν ως σκοπό τη μελέτη στοιχείων της οπτικής αντίληψης μπορεί να ολοκληρωθεί αξιοποιώντας δύο διαφορετικές μεθοδολογίες: η μια μεθοδολογία συνδέεται με την μέτρηση του χρόνου αντίδρασης και της ορθότητας των απαντήσεων των υποκειμένων ενώ η δεύτερη βασίζεται στην καταγραφή και την ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων των υποκειμένων προσφέροντας τη δυνατότητα “παρακολούθησης” της θέσης του βλέμματος η οποία προκύπτει από την κεντρική όραση του υποκειμένου κατά την παρατήρηση μιας οπτικής σκηνής. Από τις πρώιμες μελέτες (Buswell 1935, Yarbus 1967) όπου αναφέρονται μέθοδοι καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων μέχρι σήμερα, η συγκεκριμένη μεθοδολογία έχει αποδειχθεί αρκετά πολύτιμη με εφαρμογές σε διάφορα επιστημονικά και ερευνητικά πεδία (Duchowski 2002, Richardson 2004, Duchowski 2007). Συγκεκριμένα η μεθοδολογία καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων αποτελεί ένα σύγχρονο εργαλείο διεξαγωγής πειραματικών ερευνών με εφαρμογές σε τομείς που σχετίζονται με την ψυχολογία (π.χ. Cavanagh et al. 2014), τη νευροεπιστήμη (π.χ. Ennis et al. 2014), τη μελέτη της διαδικασίας ανάγνωσης (Rayner 1998), τη μελέτη

οδηγικής συμπεριφοράς (π.χ. Sodhi et al. 2002), τη μελέτη αντίληψης έργων τέχνης (π.χ. Quiroga & Pedreira 2011), τη μελέτη της συμπεριφοράς σε ιστοσελίδες (π.χ. Pan et al. 2004) και κατά την αναζήτηση στο διαδίκτυο (π.χ. Kim et al. 2014), τη διαφήμιση (π.χ. Lohse 1997) κτλ. Επιπλέον, υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές (π.χ. Zheng et al. 2014) όπου αναφέρεται ο συνδυασμός της συγκεκριμένης μεθοδολογίας με τη μέθοδο του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EEG).

Η ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων βασίζεται στη “μοντελοποίηση” των σημείων που προκύπτουν από τη διαδικασία καταγραφής σε βασικά και παράγωγα μεγέθη (Poole & Ball 2005) καθώς και σε ένα σύνολο διαφορετικών μεθόδων οπτικοποίησης. Κατά τη διάρκεια της παρατήρησης μιας οπτικής σκηνής, ο οφθαλμός εκτελεί συνεχόμενες κινήσεις με σκοπό την παρατήρηση των περιεχόμενων στοιχείων. Οι βασικές κινήσεις που εκτελούνται αντιστοιχούν στις προσηλώσεις και τις σακκαδικές κινήσεις. Κατά τη διάρκεια μιας προσηλώσης, ο οφθαλμός παραμένει σχετικά στάσιμος σε μία περιοχή της σκηνής ενώ οι σακκαδικές κινήσεις εκτελούνται με σκοπό τη μετάβαση του βλέμματος μεταξύ των περιοχών παρατήρησης της σκηνής. Έτσι, ενώ το βλέμμα ενός παρατηρητή μπορεί να περιορίζεται σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου, η κίνηση προσηλώσης που συμβαίνει για την παρατήρηση του σημείου αυτού έχει περιορισμένη χωρική και χρονική έκταση. Οι κινήσεις προσηλώσης περιέχουν άλλες μικροκινήσεις (για το λόγο αυτό ο οφθαλμός κατά τη διάρκεια μιας προσηλώσης παραμένει σχετικά στάσιμος): το τρέμουλο, κινήσεις διολίσθησης και μικροσακκαδικές κινήσεις (Martinez-Conde et al. 2004). Ο εντοπισμός των προσηλώσεων μεταξύ των δεδομένων που προκύπτουν από την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων υλοποιείται μέσω αλγορίθμων. Η εφαρμογή των αλγορίθμων εντοπισμού προσηλώσεων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και αποτελεί τη βάση της ανάλυσης των δεδομένων καθώς τα μεγέθη των προσηλώσεων και των σακκαδικών κινήσεων που εξάγονται μπορούν να έχουν μεγάλη επίδραση σε υψηλότερου επιπέδου αναλύσεις για τη διερεύνηση της οπτικής συμπεριφοράς ενός παρατηρητή (Salvucci & Goldberg 2000).

Μεταξύ των ερευνητικών πεδίων που σχετίζονται με τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός παρατηρητή, η μεθοδολογία καταγραφής και ανάλυσης των οφθαλμικών κινήσεων έχει αξιοποιηθεί και στην χαρτογραφική έρευνα για τη

μελέτη της αντίληψης των διαφόρων σταδίων ανάγνωσης χαρτών καθώς και για τη διερεύνηση της γενικότερης λειτουργίας και αποδοτικότητάς τους. Ενώ οι πρώιμες μελέτες (π.χ. Jenks 1973) στο πεδίο της χαρτογραφίας ξεκίνησαν με μια πιο γενική προσέγγιση διερεύνησης του βλέμματος ενός αναγνώστη χάρτη (Steinke 1987), οι σύγχρονες χαρτογραφικές έρευνες αξιοποιούν τη συγκεκριμένη μεθοδολογία πειραματικής έρευνας για τη μελέτη θεμελιωδών στοιχείων του χαρτογραφικού συμβολισμού (Garlandini & Fabrikant 2009, Dong et al. 2014) βασιζόμενες σε θεωρίες που σχετίζονται με την όραση και την οπτική προσοχή. Επιπροσθέτως, η μεθοδολογία καταγραφής και ανάλυσης των οφθαλμικών κινήσεων αξιοποιείται στη χαρτογραφική έρευνα για τη μελέτη της αντίληψης χαρτών η λειτουργία των οποίων βασίζεται στη χρήση H/Y (π.χ. σε χάρτες κινούμενης εικόνας (Opach et al. 2013)) ή/και του διαδικτύου (π.χ. σε διαδικτυακούς - διαδραστικούς χάρτες (Alaçam & Dalci 2009)).

E.1 Σκοπός και συνεισφορά της διδακτορικής διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει ως αντικείμενο τη μελέτη στοιχείων της οπτικής αντίληψης σε χάρτες κινούμενης εικόνας αξιοποιώντας τεχνικές καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια της παρούσας έρευνας γίνεται διερεύνηση της ελάχιστης οριακής τιμής της δυναμικής μεταβλητής της διάρκειας που απαιτείται για τον εντοπισμό ενός κινούμενου σημειακού συμβόλου πάνω σε ένα τοπογραφικό χάρτη.

Για την επίτευξη του ερευνητικού στόχου σχεδιάζεται και υλοποιείται μια πειραματική έρευνα στην οποία εξετάζεται η διαδικασία εντοπισμού ενός κινούμενου σημειακού συμβόλου σε συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης (χωρίς να εκτελείται κάποια συγκεκριμένη εργασία). Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της πειραματικής έρευνας συλλέγονται δεδομένα που προέρχονται από την καταγραφή της θέσης του βλέμματος των υποκειμένων που συμμετέχουν στην πειραματική διαδικασία. Η διερεύνηση πραγματοποιείται εξετάζοντας τις μεταβλητές της διάρκειας και της μετάθεσης του σημειακού συμβόλου η οποία εκφράζεται μέσω της Ευκλείδειας απόστασης. Ενώ αυτές οι δύο μεταβλητές μπορούν να περιγράψουν με ποσοτικούς όρους την κίνηση του σημειακού συμβόλου, η διαδικασία εντοπισμού

εξετάζεται πάνω σε χαρτογραφικά υπόβαθρα με διακριτά επίπεδα πληροφορίας τα οποία υλοποιούνται μέσω της μεταβολής του επιπέδου της έντασης των επιμέρους χαρτογραφικών συμβόλων του τοπογραφικού χάρτη που αξιοποιείται ως βασικό υπόβαθρο για τη διεξαγωγή της παρούσας έρευνας.

Η ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων βασίζεται στον εντοπισμό των προσηλώσεων των υποκειμένων μέσω ενός νέου αλγορίθμου ο οποίος εισάγεται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Ο αλγόριθμος εντοπισμού των προσηλώσεων αποτελεί τη βάση για τη δημιουργία ενός νέου εργαλείου λογισμικού (EyeMMV toolbox) το οποίο αναπτύσσεται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής παρέχοντας τη δυνατότητα ολοκληρωμένης ανάλυσης πειραματικών δεδομένων που προκύπτουν από την εκπόνηση ερευνών όπου αξιοποιείται η μεθοδολογία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων.

Η συνεισφορά της παρούσας διδακτορικής διατριβής στο ερευνητικό πεδίο της χαρτογραφίας αλλά και στη μεθοδολογία ανάλυσης των οφθαλμικών κινήσεων μπορεί να συνοψιστεί στα ακόλουθα σημεία:

- Η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται κατά τη διαδικασία της πειραματικής έρευνας υποδεικνύει το ελάχιστο όριο εντοπισμού ενός κινούμενου σημειακού συμβόλου πάνω σε χαρτογραφικά υπόβαθρα με μεγάλο επίπεδο περιεχόμενης πληροφορίας παρέχοντας σημαντικές υποδείξεις για τα όρια του χαρτογραφικού σχεδιασμού στην περίπτωση των χαρτών κινούμενης εικόνας και συγκεκριμένα στην επιλογή των τιμών της δυναμικής μεταβλητής της διάρκειας.
- Ο αλγόριθμος εντοπισμού των προσηλώσεων καθώς και το λογισμικό ανάλυσης πειραματικών δεδομένων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής μπορούν να αξιοποιηθούν και να προσαρμοστούν στην ανάλυση πειραματικών ερευνών οι οποίες βασίζονται στην καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων υποκειμένων για τη μελέτη της οπτικής συμπεριφοράς κατά την παρατήρηση οπτικών ερεθισμάτων.
- Στην παρούσα διδακτορική διατριβή υποδεικνύεται μια πλήρης μεθοδολογία σχεδιασμού και ανάλυσης πειραματικών ερευνών για τη διερεύνηση των οριακών τιμών των μεταβλητών του χαρτογραφικού σχεδιασμού αξιοποιώντας

τεχνικές καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων.

E.2 Η διάρθρωση της διδακτορικής διατριβής

Το κύριο μέρος της παρούσας διδακτορικής διατριβής αποτελείται από 8 κεφάλαια όπου γίνεται βιβλιογραφική ανάλυση των ερευνητικών αντικειμένων στα οποία εντάσσεται η παρούσα έρευνα και περιγράφονται τα στοιχεία που συνθέτουν τη συνεισφορά της διατριβής:

- Στο **Κεφάλαιο 1** περιγράφονται έννοιες που αφορούν στοιχεία της οπτικής αντίληψης και της προσοχής με σκοπό τη σύνδεση τους με τις διαδικασίες ανάγνωσης χαρτών. Συγκεκριμένα, περιγράφεται η έννοια της οπτικής αντίληψης και της όρασης σε στάδιο προ-προσοχής και παρουσιάζονται στοιχεία που σχετίζονται με την όραση και την αντιληπτική διαδικασία σε διάφορα στάδια ανάγνωσης χαρτών. Επιπροσθέτως, αναφέρονται στοιχεία της φυσιολογίας των αισθητήριων οργάνων της όρασης τα οποία επιδρούν στη διαδικασία ανάγνωσης χάρτη και στις επιλογές που γίνονται στο στάδιο του χαρτογραφικού σχεδιασμού.
- Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφονται οι έννοιες των χαρτών κινούμενης εικόνας καθώς και οι δυναμικές μεταβλητές που αξιοποιούνται κατά τη διαδικασία του χαρτογραφικού συμβολισμού. Επιπλέον, αναφέρονται οι διαφορετικές κατηγορίες χαρτών που μπορούν να υλοποιηθούν αξιοποιώντας τεχνικές κινούμενης εικόνας.
- Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η μεθοδολογία ανάλυσης και οπτικοποίησης δεδομένων που προκύπτουν από την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων. Συγκεκριμένα, αναλύονται τα βασικά μεγέθη ανάλυσης (προσηλώσεις και σακκαδικές κινήσεις) καθώς και παράγωγα μεγέθη που προκύπτουν από αυτά αλλά και από το οπτικό ίχνος που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της παρατήρησης. Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στις υπάρχοντες κατηγορίες αλγορίθμων εντοπισμού του βασικού μεγέθους που προκύπτει από την ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων και αφορά τις προσηλώσεις και παρουσιάζονται διάφορες μέθοδοι οπτικοποίησης οφθαλμικών καταγραφών.

Επιπλέον, αναφέρονται βασικά λογισμικά εργαλεία τα οποία χρησιμοποιούνται στην ανάλυση πειραματικών ερευνών όπου αξιοποιούνται τεχνικές καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων.

- Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται μια βιβλιογραφική ανάλυση πειραματικών ερευνών που έχουν γίνει στη χαρτογραφική έρευνα αξιοποιώντας τεχνικές καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων. Οι χαρτογραφικές έρευνες που παρουσιάζονται ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: σε πρώιμες και σύγχρονες μελέτες.
- Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται ο αλγόριθμος εντοπισμού προσηλώσεων και η ανάπτυξη του λογισμικού ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων που εισάγονται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται αρχικά τα κίνητρα και ο σκοπός ανάπτυξης του συγκεκριμένου αλγορίθμου και του λογισμικού ανάλυσης. Έπειτα, περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του αλγορίθμου ο οποίος βασίζεται στην εφαρμογή χωρικών και χρονικών κριτηρίων και παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα εφαρμογής χωρικών κριτηρίων σε δύο βήματα. Επιπροσθέτως, παρουσιάζεται το λογισμικό ανάλυσης και τα δεδομένα ανάλυσης τα οποία υποστηρίζει ενώ περιγράφεται μία μελέτη περίπτωσης με σκοπό την ανάδειξη των δυνατοτήτων του λογισμικού εργαλείου. Στο τέλος του Κεφαλαίου 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επικύρωσης του αλγορίθμου που εισάγεται μετά τη σύγκριση του με έναν αλγόριθμο ο οποίος βασίζεται στη διασπορά (τύπου I-DT) των δεδομένων για τον εντοπισμό των προσηλώσεων.
- Στο **Κεφάλαιο 6** περιγράφεται ο σχεδιασμός της πειραματικής έρευνας που υλοποιείται στην παρούσα διδακτορική διατριβή. Αφού περιγράφονται τα κίνητρα και ο στόχος που οδήγησαν στη διερεύνηση του συγκεκριμένου ερευνητικού ζητήματος παρουσιάζονται οι μεταβλητές της πειραματικής έρευνας, η μέθοδος η οποία αξιοποιείται για τη μέτρηση της απόδοσης των υποκειμένων, οι οπτικές σκηνές που χρησιμοποιούνται και περιγράφεται το προφίλ των υποκειμένων που έλαβαν μέρος στην πειραματική έρευνα καθώς και η πειραματική διάταξη του συστήματος καταγραφής που χρησιμοποιείται

για την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων. Επιπροσθέτως, παρουσιάζεται μια διαδικασία που αναπτύχθηκε για τον έλεγχο της βαθμονόμησης του συστήματος καταγραφής η οποία έχει ως βάση την εφαρμογή ενός αλγορίθμου ασαφούς ταξινόμησης και περιγράφεται μία διαδικασία ελέγχου του θορύβου του συστήματος καταγραφής μέσω μετρήσεων που έγιναν αξιοποιώντας τη χρήση τεχνητών οφθαλμών οι οποίοι δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής.

- Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την υλοποίηση της πειραματικής έρευνας. Αρχικά αναλύεται η προσέγγιση που ακολουθείται στη διαδικασία της ανάλυσης και παρουσιάζονται οι επιλογές των παραμέτρων που συνδέονται με την ανάλυση και σχετίζονται με την αξιοπιστία των δεδομένων, τον εντοπισμό των προσηλώσεων και τον εντοπισμό του κινούμενου σημειακού συμβόλου. Έπειτα, περιγράφεται η διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων που υλοποιείται μέσω του ορισμού στατιστικών δεικτών οι οποίοι συνδέονται με τα μεγέθη που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή. Επιπροσθέτως, περιγράφεται η προσέγγιση που ακολουθείται για την ανάλυση της συνολικής συμπεριφοράς των υποκειμένων η οποία αναφέρεται σε διάρκειες που αντιστοιχούν σε τιμές μεγαλύτερες από το αναζητούμενο όριο εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου. Στο τέλος του Κεφαλαίου 7 παρατίθενται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων τα οποία περιλαμβάνουν στοιχεία για τη διερεύνηση της ελάχιστης οριακής τιμής της δυναμικής της διάρκειας όπως υποδεικνύεται μέσα από τη συγκεκριμένη έρευνα καθώς και για τη διερεύνηση της συνολικής συμπεριφορά απόκρισης ως προς τις μεταβλητές του πειραματικού σχεδιασμού.
- Στο **Κεφάλαιο 8** συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα διδακτορική διατριβή ενώ τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αξιολογούνται μέσα από μια σύγκριση με άλλες ερευνητικές μελέτες. Επιπροσθέτως, στο τέλος του Κεφαλαίου 8 παρουσιάζονται πιθανές επεκτάσεις στα πλαίσια των ερευνητικών αντικειμένων στα οποία κινείται η παρούσα διατριβή καθώς παρατίθενται στοιχεία τα οποία μπορούν να

αποτελέσουν τη βάση για τη διεξαγωγή μελλοντικών ερευνών.

Η διδακτορική διατριβή αποτελείται επιπλέον από την ενότητα της **Βιβλιογραφίας** όπου αναφέρονται οι βιβλιογραφικές και δικτυακές πηγές και από το **Παράρτημα** όπου περιέχονται οι αναλυτικές τιμές των στατιστικών δεικτών που προέκυψαν από την ανάλυση της πειραματικής έρευνας.

Κεφάλαιο 1

Στοιχεία οπτικής αντίληψης και προσοχής στα στάδια ανάγνωσης χαρτών

1.1 Η έννοια της οπτικής αντίληψης

Η έννοια της αντίληψης σχετίζεται άμεσα με την απόκτηση πληροφοριών, η οποία έχει ως κύριο σκοπό την κατανόηση του εξωτερικού κόσμου. Η αντίληψη περιλαμβάνει το σύνολο εκείνων των διεργασιών οι οποίες είναι απαραίτητες για να αναγνωρίζουμε, να οργανώνουμε και να αισθανόμαστε ερεθίσματα του περιβάλλοντος μέσω των αισθητήριων οργάνων μας (Sternberg & Sternberg 2011). Τα οπτικά ερεθίσματα του περιβάλλοντος γίνονται αντιληπτά μέσα από τη διαδικασία της όρασης, βασικό “εργαλείο” της οποίας αποτελούν οι οφθαλμοί. Η αντίληψη των οπτικών ερεθισμάτων αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως οπτική αντίληψη.

Η διαδικασία λειτουργίας της όρασης δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητή (MacEachren 1995). Ωστόσο, η μελέτη της αποτελεί αντικείμενο πολλών διαφορετικών επιστημονικών πεδίων (π.χ. νευροψυχολογία, επιστήμη υπολογιστών), ενώ τα αποτελέσματα της έρευνας για την όραση βρίσκουν εφαρμογή σε τομείς που σχετίζονται τόσο με την ανθρώπινη συμπεριφορά αλλά και με την όραση υπολογιστών. Η ανάγκη για την κατανόηση αυτής της σημαντικής λειτουργίας του ανθρώπου οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων θεωριών αλλά και θεωρητικών μοντέλων, έχοντας ως βάση τόσο άλλες θεωρίες που αφορούν τη φυσιολογία του αισθητήριου οργάνου (οφθαλμού) όσο και την προσέγγιση μέσω πειραματικής έρευνας. Οι προσεγγίσεις του Gibson (1979) και του Marr (1982) αποτελούν δύο από τις βασικότερες θεωρίες οι οποίες προσπαθούν να εξηγήσουν τον τρόπο με τον οποίο ολοκληρώνεται η διαδικασία της όρασης.

Ο Gibson, μέσω της “οικολογικής προσέγγισης” του, θεωρεί την όραση σαν μία ενεργή διαδικασία (MacEachren 1995). Σύμφωνα με την οικολογική προσέγγιση της όρασης, η αντίληψη προκύπτει από τη δομή του ερεθίσματος και είναι ανεξάρτητη από την εμπειρία που έχουμε με αυτό (Sternberg & Sternberg 2011).

Αυτό σημαίνει ότι αντιλαμβανόμαστε άμεσα τα στοιχεία του περιβάλλοντος χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη ενδιάμεσων γνωσιακών διαδικασιών (Sternberg & Sternberg 2011), χρησιμοποιώντας πληροφορίες υφής σαν νοήματα για την αντίληψη του βάθους και των αποστάσεων (Goldstein 1981, Sternberg & Sternberg 2011).

Σε αντίθεση με την οικολογική προσέγγιση του Gibson, ο Marr (1982) αντιμετωπίζει την όραση σαν μια σειρά διαδικασιών-σταδίων (MacEachren 1995). Συγκεκριμένα, ο Marr (1982) περιγράφει τρία επίπεδα μέσω των οποίων οποιοδήποτε σύστημα πληροφοριών μπορεί να κατανοηθεί. Στο πρώτο επίπεδο, που αναφέρεται στην υπολογιστική θεωρία, καθορίζεται ο σκοπός της διαδικασίας και η δομή πραγματοποίησης της. Στο δεύτερο επίπεδο, που αναφέρεται ως επίπεδο της αναπαράστασης και του αλγορίθμου, εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο αυτή η υπολογιστική θεωρία μπορεί να εφαρμοστεί, ενώ το τρίτο επίπεδο, το επίπεδο του υλικού επεξεργασίας, περιλαμβάνει τον τρόπο με τον οποίο ο περιγραφόμενος αλγόριθμος μπορεί να υλοποιηθεί φυσικά. Τα στάδια τα οποία περιγράφει ο Marr για τα σύνθετα συστήματα επεξεργασίας πληροφοριών μπορούν να θεωρηθούν σαν ανεξάρτητα (Glennester 2002).

Η έννοια της οπτικής αντίληψης συνδέεται άμεσα με εκείνες της οπτικής αναζήτησης και της οπτικής προσοχής. Ο Vecera (2000, σελ. 355) αναφέρει τον όρο “οπτική αναζήτηση” ως *“τη συλλογή των οπτικών διεργασιών που μας επιτρέπουν να εντοπίσουμε αυτό που ψάχνουμε χρησιμοποιώντας την χωρική προσοχή για να συνδυάσουμε χαρακτηριστικά των αντικειμένων”*. Κατά τη διάρκεια μίας τυπικής εργασίας οπτικής αναζήτησης ένας παρατηρητής αναζητά ένα συγκεκριμένο στόχο ανάμεσα σε ένα σύνολο περιπαστών (Vecera 2000, Chun & Wolfe 2001).

Η οπτική προσοχή κατά την παρατήρηση μιας οπτικής σκηνής περιγράφεται συνήθως μέσω δύο διακριτών προσεγγίσεων, οι οποίες εξηγούν διαφορετικά τον τρόπο με τον οποίο αυτή κατευθύνεται. Η “παραδοσιακή” προσέγγιση θέλει την προσοχή να κατευθύνεται προς συγκεκριμένες περιοχές του ερεθίσματος που υποδεικνύονται μέσω ενός “σημειακού φωτός” (Posner et al. 1980) ή μέσω ενός “πολλαπλού σημειακού φωτός” (Hahn & Kramer 1998). Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, το σημειακό φως λειτουργεί ώστε να “φωτίσει” κάποια περιοχή (ή αντίστοιχα κάποιες περιοχές στην περίπτωση του πολλαπλού φωτός) του οπτικού ερεθίσματος. Η “σύγχρονη” προσέγγιση για την εξήγηση της οπτικής προσοχής υποδεικνύει ότι

αυτή κατευθύνεται βάσει συγκεκριμένων αντικειμένων του ερεθίσματος (Scholl 2001). Διάφορα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την προσομοίωση της οπτικής προσοχής (Geerincx 2009). Τα μοντέλα αυτά βασίζονται τόσο στην προσέγγιση που θεωρεί το χώρο σαν “μονάδα” προσοχής (π.χ. θεωρία ενοποίησης χαρακτηριστικών (Treisman & Gelade 1980), μοντέλο καθοδηγούμενης αναζήτησης (Cave & Wolfe 1990)) αλλά και στην αντίστοιχη όπου τα αντικείμενα του οπτικού ερεθίσματος είναι εκείνα που κατευθύνουν την προσοχή.

Η οπτική αναζήτηση περιλαμβάνει γνωσιακές διαδικασίες οι οποίες είναι δυνατόν να εκτελούνται σειριακά ή παράλληλα. Σε μια σειριακή αναζήτηση και ενώ ένας παρατηρητής αναζητά ένα στόχο μεταξύ περιορισμένων, τα στοιχεία της σκηνής εξετάζονται ξεχωριστά και γίνεται η σύγκριση του καθενός με το στόχο (Sternberg 1969). Ο Sternberg (1969) διακρίνει δύο διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί μια σειριακή διαδικασία. Η σειριακή διαδικασία τερματίζεται με την εύρεση του επιθυμητού στόχου και στην περίπτωση αυτή η αναζήτηση χαρακτηρίζεται ως σειριακή αυτο-τερματιζόμενη ή ολοκληρώνεται αφού εξεταστεί κάθε στοιχείο της σκηνής σε σύγκριση με το στόχο. Στη δεύτερη περίπτωση, η αναζήτηση χαρακτηρίζεται ως σειριακή εξαντλητική. Σε αντίθεση με τις σειριακές αναζητήσεις, κατά τη διάρκεια μιας παράλληλης αναζήτησης τα αντικείμενα του οπτικού ερεθίσματος εξετάζονται ταυτόχρονα την ίδια χρονική στιγμή (Townsend 1990).

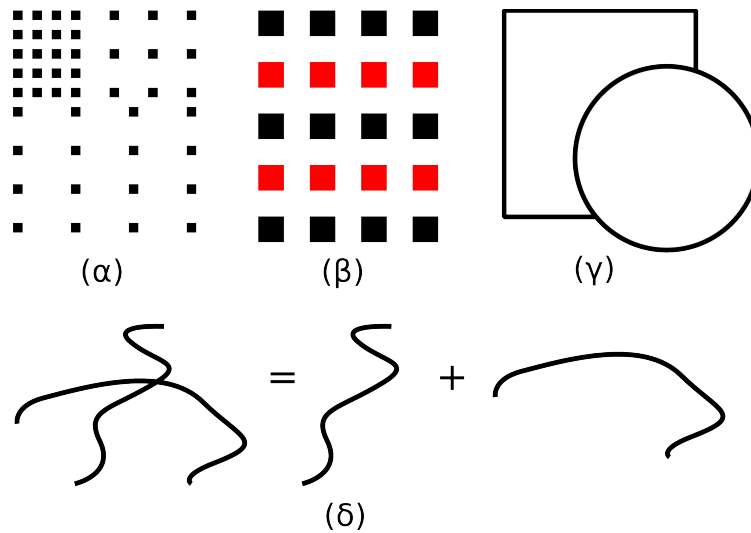
Σύμφωνα με τη θεωρία ενοποίησης χαρακτηριστικών, ο διαχωρισμός μεταξύ του παράλληλου και του σειριακού σταδίου είναι διακριτός (Treisman 1988). Αντίθετα, ο Wolfe (1998) θεωρεί τις σειριακές και τις παράλληλες αναζητήσεις ως τα δύο άκρα ενός συνεχούς μέσου. Είναι γεγονός ότι υπάρχουν κάποιοι στόχοι οι οποίοι “ξεπετάγονται” σε σχέση με τους περιοριστές κάνοντας την αναζήτηση ευκολότερη. Για παράδειγμα, είναι ευκολότερο να εντοπισθεί το γράμμα “C” μεταξύ γραμμάτων “O” παρά το ανάποδο (Treisman & Gormican 1988). Ο Wolfe (1998) προτείνει ότι η διάκριση που μπορεί να γίνει θα πρέπει να αναφέρεται σε αποδοτικές και μη αποδοτικές αναζητήσεις.

Η διαδικασία της οπτικής αναζήτησης, επηρεάζεται τόσο από πληροφορίες που υπάρχουν στη μνήμη του παρατηρητή όσο και από πληροφορίες οι οποίες προκύπτουν από τα στοιχεία του οπτικού ερεθίσματος. Στις περιπτώσεις που η

διαδικασία καθοδηγείται από κάποιο στόχο, τότε η αναζήτηση που πραγματοποιεί ο παρατηρητής μιας οπτικής σκηνής είναι μία “από πάνω προς τα κάτω” διαδικασία (Vecera 2000). Αντίστοιχα, στις περιπτώσεις που το οπτικό ερέθισμα περιλαμβάνει κάποια προεξέχοντα χαρακτηριστικά ή αντιληπτικές ομάδες, η πληροφορία μεταφέρεται στον παρατηρητή “από κάτω προς τα πάνω” και η διαδικασία της αναζήτησης καθοδηγείται από το το οπτικό ερέθισμα (Vecera 2000). Κατά την παρατήρηση μιας οπτικής σκηνής, στις διαδικασίες του διαχωρισμού αντικειμένων και της προσοχής επιδρούν πληροφορίες που προκύπτουν τόσο από “πάνω-κάτω” αλλά και από “κάτω-πάνω” διεργασίες (Vecera 2000).

Στην περίπτωση των “πάνω-κάτω” διαδικασιών και κατά την αρχική παρατήρηση μιας οπτικής σκηνής, η διαδικασία της αντιληπτικής ομαδοποίησης διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο. Οι αρχές της αντιληπτικής ομαδοποίησης εισάγονται αρχικά από το Wertheimer (1912, 1923), ενώ η επέκταση της θεωρίας πραγματοποιείται από τους Köhler (1929) και Koffka (1935). Οι αρχές που διέπουν την αντιληπτική ομαδοποίηση χαρακτηρίζονται ως αρχές ή νόμοι Gestalt στη διεθνή βιβλιογραφία. Οι αρχές Gestalt αποτελούν ένα σύνολο ιδιοτήτων σύμφωνα με τις οποίες κάποια στοιχεία της οπτικής σκηνής μπορούν να αντιληφθούν σαν ολότητες ή δομές οι οποίες προεξέχουν. Οι νόμοι της αντιληπτικής ομαδοποίησης αναφέρονται στις ιδιότητες της προσέγγισης, της ομοιότητας, της κοινής πορείας, της μορφολογικής σταθερότητας, του αντικειμενικού συνόλου, της καλής συνέχειας, της κλειστότητας, της απλότητας και της εμπειρίας ή συνήθειας (MacEachren 1995). Στην Εικόνα 1.1 δίνεται ένα παράδειγμα κάποιων από τις βασικές αρχές ομαδοποίησης της σχολής Gestalt. Συγκεκριμένα στην Εικόνα 1.1 απεικονίζονται οι ιδιότητες της προσέγγισης (Εικόνα 1.1.α), της ομοιότητας (Εικόνα 1.1.β), της κλειστότητας (Εικόνα 1.1.γ) και της καλής συνέχειας (Εικόνα 1.1.δ).

Οι αρχές ομαδοποίησης έχουν μεγάλη επίδραση στο διαχωρισμό πρώτου πλάνου-φόντου κατά τη διαδικασία ανάγνωσης μιας οπτικής σκηνής. Η συμβολή της θεωρίας της σχολής Gestalt είναι αρκετά σημαντική έχοντας επίδραση σε ένα ευρύ επιστημονικό φάσμα, το οποίο σχετίζεται τόσο με επιστήμες που μελετούν την ανάγνωση οπτικών ερεθισμάτων αλλά και την όραση υπολογιστών (π.χ. Desolneux et al. 2004).



Εικόνα 1.1 Οι αρχές της προσέγγισης (α), της ομοιότητας (β), της κλειστότητας (γ) και της καλής συνέχειας (δ) για την αντιληπτική ομαδοποίηση της σχολής Gestalt.

Τα στοιχεία που είναι καθοριστικά για την ολοκλήρωση των διαδικασιών της οπτικής αντίληψης εξετάζονται σε πεδία που έχουν να κάνουν τόσο με φυσικές εικόνες (π.χ. αντίληψη ενός φυσικού τοπίου) όσο και με τεχνητές εικόνες αλλά και διεπιφάνειες (π.χ. αντίληψη της διεπιφάνειας χρήστη ενός λογισμικού σε περιβάλλον Η/Υ). Επιπροσθέτως, στην περίπτωση της δημιουργίας οπτικών ερεθισμάτων οι οποίες πρόκειται να αξιοποιηθούν από κάποιον χρήστη με σκοπό την εκτέλεση κάποιας λειτουργίας (π.χ. οδήγηση, χρήση διεπιφάνειας λογισμικού), τα στοιχεία που επιδρούν στην οπτική διαδικασία θα πρέπει να είναι γνωστά και να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό. Για να γίνει περισσότερο κατανοητή αυτή η πρόταση αρκεί να σκεφτούμε την περίπτωση της σήμανσης στο οδικό δίκτυο, όπου η επιλογή της απόχρωσης, του σχήματος αλλά και του μεγέθους ενός σήματος είναι καθοριστικής σημασίας τόσο για την κατηγοριοποίηση του σε μία “οπτική” ομάδα όσο και για τον καθορισμό συγκεκριμένων ιδιοτήτων οι οποίες μπορούν να το κάνουν να “προεξέχει” σε σχέση με τα υπόλοιπα αλλά κυρίως σε σχέση με το υπόλοιπο οπτικό πεδίο.

1.2 Το στάδιο της προ-προσοχής

Ο Wolfe (2000) συνδέει τη διαδικασία της όρασης μ' αυτήν της προσοχής διακρίνοντας τέσσερις κατηγορίες. Έτσι, η παρατήρηση ενός οπτικού ερεθίσματος

είναι δυνατόν να πραγματοποιείται σε στάδιο προ-προσοχής, με προσοχή, σε στάδιο μετά-προσοχής ή χωρίς προσοχή. Στα περισσότερα πειράματα που σχετίζονται με τη διαδικασία της οπτικής αναζήτησης, τα υποκείμενα της έρευνας καλούνται να εκτελέσουν μία συγκεκριμένη διαδικασία. Με τον τρόπο αυτό η διαδικασία που εκτελείται απαιτεί προσοχή. Βέβαια υπάρχουν και περιπτώσεις όπου μετά την εύρεση του αντικειμένου της οπτικής σκηνής που αναζητείται, η κατεύθυνση της προσοχής οδηγείται σε κάποιο άλλο αντικείμενο. Η περίπτωση αυτή συνιστά μια διαδικασία μετά-προσοχής. Σχετικά με τις μελέτες που εντάσσονται στην όραση χωρίς προσοχή, ο Wolfe (2000) αναφέρει ότι οι έρευνες που πραγματοποιούνται προσπαθούν να “εξαναγκάσουν” τα υποκείμενα να προσέξουν ένα οπτικό ερέθισμα ενώ κάποιο άλλο οπτικό ερέθισμα παρουσιάζεται ταυτόχρονα.

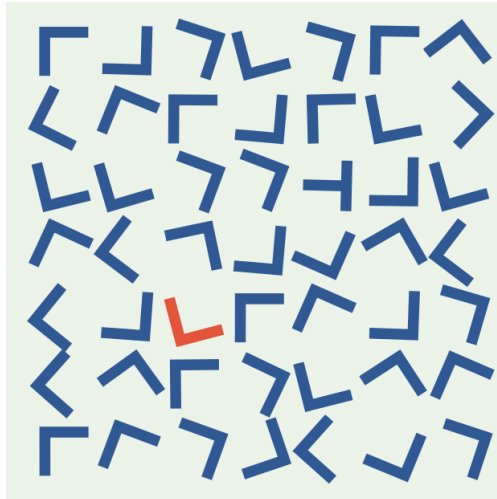
Ενώ οι περισσότερες ενδείξεις που έχουμε για την όραση σχετίζονται με διαδικασίες που διέπονται από προσοχή, η λειτουργία του σταδίου προ-προσοχής δείχνει να συνδέεται περισσότερο με τις διαδικασίες που συμβαίνουν στην όραση μετά την προσοχή ή χωρίς προσοχή. Η επεξεργασία σε στάδιο προ-προσοχής αποτελεί το πρώτο αντιληπτικό επίπεδο προσοχής κατά την πρώτη θέαση ενός οπτικού ερεθίσματος. Σύμφωνα με τους Treisman και Gelade (1980), στο συγκεκριμένο αντιληπτικό επίπεδο τα στοιχεία της οπτικής σκηνής επεξεργάζονται με πολύ γρήγορους ρυθμούς και οι διαδικασίες “κάτω-πάνω” είναι εκείνες που κυριαρχούν.

Η πρώτη αναφορά της έννοιας του σταδίου της “προ-προσοχής” γίνεται από το Neisser (1967) (αναφορά Wolfe 2000). Η όραση κατά την προ-προσοχή πραγματοποιείται χωρίς περιορισμούς χωρητικότητας, ενώ στο στάδιο αυτό τα στοιχεία του οπτικού πεδίου επεξεργάζονται ταυτόχρονα (Wolfe 2000). Η ταυτόχρονη αυτή επεξεργασία στοιχείων του οπτικού πεδίου συνιστά την ύπαρξη μιας “παράλληλης” οπτικής διεργασίας. Βέβαια, δεν έχουμε την ικανότητα της αναγνώρισης όλων των αντικειμένων του οπτικού πεδίου “με μια ματιά” (Wolfe 2005). Οι πληροφορίες οι οποίες γίνονται διαθέσιμες από την αρχική παράλληλη επεξεργασία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον έλεγχο της επιλογής (Wolfe 2005). Για την κατανόηση της πρότασης αυτής, χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα που αναφέρει ο Wolfe (2005): *“αναζητώντας το κόκκινο αυτοκίνητο μας στο χώρο στάθμευσης, επιλέγουμε να εξετάσουμε τα κόκκινα αυτοκίνητα, όχι τα μπλε”*.

Τα χαρακτηριστικά για τα οποία η οπτική πληροφορία είναι διαθέσιμη πριν

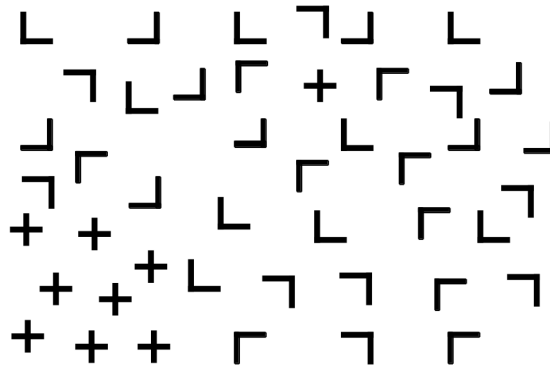
τη διαδικασία της επιλεκτικής προσοχής στην όραση, λειτουργώντας έτσι ώστε να την κατευθύνουν, ονομάζονται “χαρακτηριστικά προ-προσοχής” ή “βασικά χαρακτηριστικά” (Wolfe 2005). Η έννοια της επιλεκτικής προσοχής αναφέρεται στην ικανότητα παρατήρησης μιας διάστασης μιας οπτικής σκηνής (ή αντίστοιχα κάποιου οπτικού ερεθίσματος) ενώ κάποια άλλη αγνοείται. Όταν κατά τη διαδικασία της οπτικής αναζήτησης ενός στόχου, ο τελευταίος εξέχει (λόγω του βασικού χαρακτηριστικού του) μεταξύ των στοιχείων περισπαστών της σκηνής τότε λέμε ότι ο στόχος αυτός “ξεπετάγεται”. Ο μηχανισμός ο οποίος υποδεικνύει αυτή τη διαδικασία προεξοχής ονομάζεται επεξεργασία σε στάδιο προ-προσοχής καθώς είναι λογικό να συμβαίνει πριν το στάδιο της συνειδητής προσοχής (Ware 2004). Η ύπαρξη των χαρακτηριστικών της προ-προσοχής είναι αρκετά σημαντική για τη μελέτη της οπτικής διαδικασίας, ενώ τα χαρακτηριστικά αυτά σύμφωνα με τους Mack, Tang, Tuma και Kahn (Mack et al. 1992) είναι τόσο βασικά για την αντίληψη, με τον ίδιο τρόπο που το αλφάβητο είναι βασικό για τη γλώσσα.

Η επίδραση του σταδίου της προ-προσοχής στη διαδικασία της οπτικής αναζήτησης μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητή μέσα από κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα. Ας υποθέσουμε την ύπαρξη μιας οπτικής σκηνής όπου απεικονίζονται σχήματα μορφής “L” μπλε απόχρωσης και διαφορετικού προσανατολισμού, ένα σχήμα μορφής “L” κόκκινης απόχρωσης και ένα σχήμα μορφής “T” μπλε απόχρωσης (Εικόνα 1.2). Είναι προφανές ότι η αναζήτηση του κόκκινου “L” είναι εύκολη μεταξύ των υπολοίπων σχημάτων-περισπαστών. Αντιθέτως, το σχήμα “T” δεν μπορεί να διακριθεί άμεσα μεταξύ των υπολοίπων παρά τη μοναδικότητα του σε σύγκριση με τα σχήματα-περισπαστές. Έτσι, στο συγκεκριμένο παράδειγμα η μοναδικότητα στην απόχρωση προσδίδει την ιδιότητα της προεξοχής του σχήματος που τη φέρει, όπου εδώ είναι το κόκκινο σχήμα “L”, γεγονός το οποίο δε συμβαίνει με τη μοναδικότητα του σχήματος στο σχήμα “T”.



Εικόνα 1.2 Η αναζήτηση του κόκκινου “L” είναι εύκολη μεταξύ των περισπαστών ενώ το “T” δεν μπορεί να διακριθεί εύκολα (Wolfe & Horowitz 2004).

Ομοίως στην Εικόνα 1.3, το σχήμα “+” ή μια ομάδα σχημάτων τύπου “+” μπορεί εντοπιστεί εύκολα μεταξύ σχημάτων τύπου “L”.



Εικόνα 1.3 Το σχήμα και η ομάδα σχημάτων “+” εντοπίζεται εύκολα μεταξύ των περισπαστών (Wolfe & DiMase 2003).

Στην περίπτωση αυτή τα σχήματα που περιέχονται στην οπτική σκηνή έχουν όλα την ίδια απόχρωση αλλά διαφέρουν ως προς τις ιδιότητές τους. Πιο συγκεκριμένα, τα σχήματα τύπου “+” περιλαμβάνουν μια διασταύρωση, είναι συμμετρικά και αποτελούνται από τέσσερις γραμμικές απολήξεις. Αντιστοίχως, τα σχήματα “L” δεν εμφανίζουν κάποια συμμετρία (μετά τις αλλαγές προσανατολισμού) και αποτελούνται από δύο γραμμικές απολήξεις. Έτσι τα δύο διαφορετικά σχήματα που

απαρτίζουν την οπτική σκηνή διαφοροποιούνται ως προς την ύπαρξη διασταύρωσης, τη συμμετρία και τον αριθμό των γραμμικών απολήξεων. Γίνεται προφανές πως μία από αυτές τις ιδιότητες (ή κάποιος συνδυασμός τους) οδηγούν στην προεξοχή του σχήματος “+” μεταξύ σχημάτων “L” διαφορετικών βαθμών προσανατολισμού. Συγκεκριμένα, η οπτική σκηνή που απεικονίζεται στην Εικόνα 1.3 χρησιμοποιείται από τους Wolfe και DiMase (2003). Σε ένα σύνολο πειραμάτων εξετάζουν αν η ύπαρξη διασταύρωσης αποτελεί ένα χαρακτηριστικό του σχήματος το οποίο είναι διαθέσιμο σε στάδιο προ-προσοχής καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως η συγκεκριμένη ιδιότητα δεν αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό.

Οι Wolfe και Horowitz (2004) συγκεντρώνουν στην εργασία τους τα χαρακτηριστικά εκείνα που έχουν εξετασθεί με σκοπό τη συσχέτιση τους με την αντίληψη σε στάδιο προ-προσοχής κατατάσσοντας τα σε πέντε κατηγορίες: τα αναμφισβήτητα, τα πιθανά, τα ενδεχόμενα, τα αβέβαια καθώς και τα πιθανά μη βασικά χαρακτηριστικά. Η κατηγοριοποίηση αυτή προέκυψε μετά από βιβλιογραφική ανάλυση στο αντικείμενο της ψυχολογίας που αφορά τη μελέτη της οπτικής προσοχής κατά την παρατήρηση οπτικών ερεθισμάτων και σκηνών. Η κατηγορία των αναμφισβήτητων χαρακτηριστικών περιλαμβάνει το χρώμα, την κίνηση, τον προσανατολισμό και το μέγεθος (συμπεριλαμβανομένου του μήκους και της χωρικής συχνότητας). Στην κατηγορία των πιθανών χαρακτηριστικών περιλαμβάνονται το τρεμοπαίξιμο, η πολωμένη φωτεινότητα, η μετατόπιση Vernier, το στερεοσκοπικό βάθος και η κλίση, εικονογραφικά νοήματα βάθους, το σχήμα, η γραμμική απόληξη, η κλειστότητα, η τοπολογική ιδιότητα και η καμπυλότητα. Επιπροσθέτως, η κατηγορία των ενδεχόμενων χαρακτηριστικών αναφέρεται στα χαρακτηριστικά της διεύθυνσης φωτισμού (σκίαση), της στιλπνότητας (λάμψη), της διαστολή, του αριθμός και της αναλογίας διαστάσεων. Η καινοτομία, τα γράμματα (γνωστά σύνολα σε γενικές γραμμές) και αλφαριθμητικές κατηγορίες ταξινομούνται στα αβέβαια χαρακτηριστικά. Τέλος, η κατηγορία των πιθανών μη-χαρακτηριστικών περιέχει τα χαρακτηριστικά διασταύρωση, οπτική ροή, αλλαγή χρώματος, όγκοι 3 διαστάσεων, πρόσωπα (γνωστά, ανάποδα, θυμωμένα κτλ), όνομα παρατηρητή και σημασιολογική κατηγορία.

Οι Wolfe και Horowitz (2004) υποδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να εξετασθεί η επίδραση ενός χαρακτηριστικού στη διαδικασία της οπτικής

αναζήτησης. Έτσι, ο παράγοντας που εξετάζεται στις μελέτες που σχετίζονται με την εύρεση βασικών χαρακτηριστικών είναι ο χρόνος αντίδρασης (RT) σε σχέση με τον αριθμό των αντικειμένων (set size) που υπάρχουν στην οπτική σκηνή. Ο χρόνος αντίδρασης αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε το υποκείμενο της έρευνας να απαντήσει αν ο στόχος είναι παρών ή απών στη σκηνή. Εξετάζοντας την κλίση της καμπύλης που προκύπτει από το συνδυασμό των δύο μεγεθών μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της οπτικής αναζήτησης. Ανάλογα με την τιμή της κλίσης, ο Wolfe (1998) ταξινομεί τις αναζητήσεις σε τέσσερις κατηγορίες αποδοτικότητας. Συγκεκριμένα, διακρίνει τις αναζητήσεις σε αποδοτικές, σε αρκετά αποδοτικές, σε μη-αποδοτικές και σε αρκετά μη-αποδοτικές. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι τιμές των κλίσεων καθώς και ένα παράδειγμα για κάθε μία από τις κατηγορίες που διακρίνει ο Wolfe (1998). Επιπροσθέτως, σε πειράματα διερεύνησης της οπτικής αναζήτησης η αξιολόγηση της αποδοτικότητας συνδυάζεται με το ποσοστό της ορθότητας των απαντήσεων που δίνονται από τα υποκείμενα που συμμετέχουν στην έρευνα.

Πίνακας 1.1 Οι τιμές κλίσης της καμπύλης *RT-set size* (msec/αντικ) και χαρακτηριστικά παραδείγματα για κάθε κατηγορία αναζήτησης (Wolfe 1998).

Κατηγορία αναζήτησης	Κλίση καμπύλης <i>RT-set size</i> (msec/αντικ.)	Παράδειγμα
αποδοτικές	~ 0	κάθετα αντικείμενα μεταξύ οριζοντίων
αρκετά αποδοτικές	~ 5-10	συνδυαστικές αναζητήσεις χρώματος και σχήματος
μη-αποδοτικές	~ 20-30	αντικείμενα σχήματος “T” μεταξύ αντικειμένων σχήματος “L”
αρκετά μη-αποδοτικές	> 30	συνδυαστικές αναζητήσεις με δύο διαφορετικούς συνδυασμούς

Τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται από τους Wolfe και Horowitz (2004) και είναι υπεύθυνα για την αποδοτικότητα των διαδικασιών της οπτικής αναζήτησης βρίσκονται υπό συνεχή εξέταση από την επιστημονική κοινότητα. Ο έλεγχος της λειτουργίας τους ως βασικά χαρακτηριστικά στην μελέτη ιδιαίτερων οπτικών σκηνών με συγκεκριμένο περιεχόμενο αποτελεί μια αρκετά σημαντική διαδικασία,

ενώ μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη της επίδρασης τους σε ιδιαίτερες απεικονίσεις.

1.3 Οπτική αντίληψη και προσοχή στους χάρτες

Ο χάρτης αποτελεί μια ιδιαίτερη απεικόνιση η οποία ουσιαστικά είναι μία αφαίρεση της πραγματικότητας με σκοπό την αναπαράσταση ενός μέρους του φυσικού κόσμου. Αντιμετωπίζοντας το χάρτη σαν ένα οπτικό ερέθισμα, η ιδιαιτερότητά του έγκειται στο γεγονός ότι συνιστά μια τεχνητή αναπαράσταση και όχι ένα μέρος της πραγματικότητας ή μια φυσική εικόνα. Η μελέτη της λειτουργίας του χάρτη μπορεί να βασιστεί σε στοιχεία που έχουν να κάνουν με την όραση και την αντιληπτική διαδικασία. Το γεγονός αυτό έχει γίνει κατανοητό εδώ και αρκετά χρόνια από την χαρτογραφική κοινότητα καθώς αρκετοί χαρτογράφοι ενσωματώνουν στην έρευνά τους αντίστοιχες θεωρίες αλλά και εφαρμογές οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν με τη διαδικασία του σχεδιασμού και της ανάγνωσης του χάρτη (π.χ. Robinson & Petchenic 1976, MacEachren 1995, Keates 1996, Lloyd 1997, Montello 2002, Lloyd 2005).

Η διαδικασία μεταφοράς της ψυχολογικής έρευνας για τη μελέτη χαρτογραφικών απεικονίσεων μπορεί να βασιστεί στην υπόθεση ότι τα χαρτογραφικά σύμβολα αντιστοιχούν στα οπτικά ερεθίσματα ενώ η αντίληψή τους στην αντίδραση του αναγνώστη σ' αυτά (Ciolkosz-Styk 2012). Για ένα μεγάλο μέρος των θεμελιωδών χαρτογραφικών ερευνών, που σχετίζονται με τη διαδικασία της αντίληψης χαρτών, τα υπόβαθρα που χρησιμοποιούνται αποτελούν θεματικούς χάρτες (π.χ. Dobson 1983, Carr et al. 1992). Επιπλέον, σε αρκετές έρευνες έχουν χρησιμοποιηθεί τοπογραφικοί χάρτες (π.χ. Brodersen et al. 2002, Ooms et al. 2014), χάρτες αναγλύφου (π.χ. Chang et al. 1985, Popelka & Brychtova 2013) αλλά και δυναμικοί - διαδραστικοί χάρτες (π.χ. Coltekin et al. 2008, Opach & Nossun 2011). Πολλές φορές, οι χάρτες που χρησιμοποιούνται σε πειραματικές έρευνες είναι αρκετά αφαιρετικοί καθώς μεταβάλλονται μόνο ως προς τα συγκεκριμένα στοιχεία που εξετάζονται. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι θέλουμε να εξετάσουμε πως αντιλαμβάνεται ο αναγνώστης σύμβολα που χαρακτηρίζονται από κάποια ιδιότητα που ενδεχομένως τα κάνει να “εξέχουν”, το χαρτογραφικό υπόβαθρο που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι καθοριστικής σημασίας. Στην περίπτωση που περιέχει

πρόσθετα στοιχεία όπως γραμμές κανάβου, υψομετρικές καμπύλες, σκίαση αναγλύφου, ονοματολογία κτλ., θα υπάρχει επίδραση στη διαδικασία της ανάγνωσης επηρεάζοντας κατά συνέπεια τη διαδικασία της προσοχής. Από το παράδειγμα αυτό, γίνεται κατανοητό ότι τα υπόβαθρα χαρτογραφικών πειραμάτων είναι λογικό να είναι απλά. Βέβαια, είναι προφανές ότι η εφαρμογή και η εκπόνηση χαρτογραφικών πειραμάτων με όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικούς χάρτες μπορεί να δώσει σημαντικά αποτελέσματα σχετικά με τη διαδικασία ανάγνωσης του χάρτη.

Για να γίνει κατανοητή η επίδραση των στοιχείων της οπτικής αντίληψης στην ανάγνωση του χάρτη θα πρέπει πρώτα να εξεταστούν οι διαδικασίες που συμβαίνουν κατά τη διάρκειά της. Επιπροσθέτως, είναι αρκετά σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι ο σκοπός δημιουργίας του χάρτη είναι πάντα η μεταφορά της πληροφορίας (Brodersen 2001). Ο δημιουργός του χάρτη αποτυπώνει ένα κομμάτι της πραγματικότητας ενώ ο αναγνώστης αντιλαμβάνεται ένα μέρος του χαρτογραφικού αποτελέσματος ανάλογα με την προηγούμενη εμπειρία του (Salichtchev 1978). Στη διαδικασία αυτή, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τα γραφικά εργαλεία σύμφωνα με τα οποία πραγματοποιείται ο σχεδιασμός. Η βελτίωση της αποδοτικότητας του σχεδιασμού για την εκπόνηση πολλαπλών εργασιών κατά την ανάγνωση του χάρτη μπορεί να βασιστεί σε θεωρίες που έχουν να κάνουν με φαινόμενα προσοχής (Lloyd 2005).

Η ανάγνωση του χάρτη συνδέεται άμεσα με τη διεργασία που εκτελείται από τον αναγνώστη ο οποίος τον χρησιμοποιεί ως ένα εργαλείο για να αλληλεπιδράσει με στοιχεία που έχουν σχέση με γεωχωρικές πληροφορίες και αναπαραστάσεις. Με τον τρόπο αυτό, η χρήση του χάρτη είναι δυνατόν να συνδέεται με διαδικασίες μάθησης και γνώσης. Ο Keates (1996) υποδεικνύοντας τρία κλασικά παραδείγματα χρήσης του παραδοσιακού χάρτη (οπτικό ερέθισμα δύο διαστάσεων) σημειώνει αντίστοιχα τρεις χαρακτηριστικές σχέσεις μεταξύ του αναγνώστη, του χάρτη και των μηχανισμών γνώσης:

- Ο αναγνώστης είναι δυνατόν να αναζητά μια πληροφορία σε ένα χάρτη έχοντας προηγουμένως κάποια ελάχιστη ή ανύπαρκτη γνώση σχετικά με την πληροφορία αυτή ενώ δεν έχει ως σκοπό να την αξιοποιήσει για κάποια περαιτέρω εργασία (π.χ. αναζήτηση μιας τοποθεσίας με ιδιαίτερο όνομα χωρίς την ύπαρξη κάποιας επιπλέον πρόθεσης για μάθηση).

- Ο αναγνώστης είναι δυνατόν να αναζητά μια πληροφορία με σκοπό την αξιοποίησή της σε κάποια μελλοντική πράξη (π.χ. πλοήγηση).
- Ο αναγνώστης είναι δυνατόν να εξετάζει τη συνολική έκταση του χάρτη ή ένα μέρος τους έχοντας ως σκοπό την εκμάθηση κάποιας πληροφορίας (π.χ. εκπαιδευτικοί χάρτες).

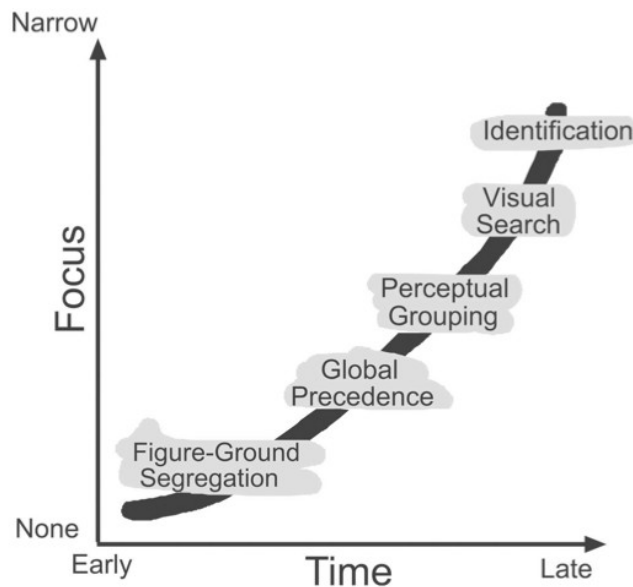
Χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα τις παραπάνω σχέσεις μεταξύ αναγνώστη και χάρτη (χωρίς αυτό να σημαίνει ότι εξαντλούν όλες τις ενδεχόμενες εργασίες που μπορούν να γίνουν αξιοποιώντας κάποιο χάρτη), ο Keates (1996) εξηγεί πως μπορούν οι διαδικασίες που απαιτούν οπτική αναζήτηση να ταξινομηθούν σε κάποιες κύριες κατηγορίες. Σύμφωνα με την προσέγγιση του Keates, κατά την πρώτη παρατήρηση του χάρτη οι διαδικασίες που συμβαίνουν εξαρτώνται από την ανίχνευση και τη διάκριση. Αυτό σημαίνει ότι ο αναγνώστης του χάρτη κατά το πρώτο στάδιο ανάγνωσής του είναι σε θέση να αναζητά σύμβολα και να τα ξεχωρίζει μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό συνιστά με τη σειρά του ότι ο αναγνώστης μπορεί να κατευθύνει επιλεκτικά την προσοχή του σε συγκεκριμένες περιοχές του οπτικού ερεθίσματος. Σε επόμενο στάδιο η διαδικασία της ανάγνωσης που μπορεί να συμβεί σχετίζεται με τον προσδιορισμό. Σε αντίθεση με τη διάκριση, κατά το στάδιο του προσδιορισμού ο αναγνώστης δεν είναι απλά σε θέση να διακρίνει ένα σύμβολο σε σχέση με κάποιο άλλο, αλλά μπορεί να δώσει συγκεκριμένο όνομα για το τι αντιπροσωπεύει (π.χ. μία κόκκινη γραμμή απεικονίζει έναν κύριο δρόμο οδικού δικτύου). Επιπροσθέτως, ο Keates διαχωρίζει την έννοια του προσδιορισμού με εκείνη της αναγνώρισης. Ενώ κατά τη διαδικασία του προσδιορισμού ο αναγνώστης μπορεί να προσδιορίσει τη γεωγραφική πληροφορία που αναπαριστάται, η αναγνώριση του επιτρέπει να είναι σε θέση να αντιληφθεί ότι ένα στοιχείο του χάρτη μοιάζει με κάτι γνωστό. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Keates σχετικά με την αναγνώριση της Μεσογείου σε ένα χάρτη λόγω του ήδη γνωστού σχήματός της. Η τελευταία διαδικασία που συμβαίνει κατά την παρατήρηση του χάρτη έχει σχέση με την ερμηνεία της πληροφορίας η οποία εντοπίζεται σύμφωνα με τις προηγούμενες διαδικασίες. Η διαδικασία της ερμηνείας είναι δύσκολο να διαχωριστεί από την αντίστοιχη της αναγνώρισης καθώς ο τρόπος με τον οποίο ολοκληρώνεται η οπτική αντίληψη στο χάρτη αλλά και πως αυτή συνδέεται με την προϋπάρχουσα γνώση αποτελούν ζητήματα που δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητά.

Η ανάγνωση του χάρτη περιλαμβάνει διαδικασίες οι οποίες μπορούν να συμβαίνουν “από κάτω προς τα πάνω” ή από “πάνω προς τα κάτω”, ενώ πολλές φορές οι δύο αυτές ροές της πληροφορίας λειτουργούν συνδυαστικά (Lloyd 2005). Σύμφωνα με τους Castner και Eastman (1984, 1985) σε συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης χάρτη δηλαδή στην περίπτωση που δεν εκτελείται κάποια εργασία, σημαντικότερο ρόλο διαδραματίζουν οι φυσικές ιδιότητες και οι ιδιότητες Gestalt στην αντιληπτική διαδικασία. Στην περίπτωση που ο αναγνώστης έχει κάποια προηγούμενη γνώση για τη διαδικασία και το πρόβλημα που έχει να λύσει κάνοντας χρήση του χάρτη, η γνωσιακή διαδικασία που οδηγεί τη συμπεριφορά του είναι σημαντικότερη σε σύγκριση με τις αποφάσεις που έχουν ληφθεί κατά το χαρτογραφικό σχεδιασμό (Steinke 1987).

Ο Lloyd (2005) παραθέτει ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα έχοντας ως κύριο στόχο να υποδείξει πιθανές αντιληπτικές διαδικασίες και διαδικασίες προσοχής που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της χρήσης ενός χάρτη για την εκπόνηση μιας συγκεκριμένης εργασίας. Η εργασία χάρτη που υποθέτει ο Lloyd στο παράδειγμα του αναφέρεται στην εύρεση ενός συμβόλου σε ένα χάρτη που διαβάζεται για πρώτη φορά από τον αναγνώστη με σκοπό ο τελευταίος να απαντήσει αν το συγκεκριμένο σύμβολο υπάρχει ή όχι στην οπτική σκηνή. Η πρώτη αντίδραση του αναγνώστη αναφέρεται στο διαχωρισμό πρώτου-πλάνου φόντου (figure-ground segregation). Έπειτα, επεξεργάζονται κάποια τοπικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητές τους (global precedence) και στην περίπτωση που ο στόχος έχει μία μοναδική ιδιότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στο χάρτη τότε επιτυγχάνεται γρήγορα η διαδικασία του προσδιορισμού (identification). Στην περίπτωση που ο αναζητούμενος στόχος μοιράζεται κάποια χαρακτηριστικά με τους περισπαστές της σκηνής τα αντικείμενα που συνθέτουν τη σκηνή ομαδοποιούνται (perceptual grouping) με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία μέχρι την επίτευξη του προσδιορισμού και τη λήψη της τελικής απόφασης του αναγνώστη. Οι διαδικασίες που είναι δυνατόν να συμβαίνουν στο παράδειγμα που παραθέτει ο Lloyd εμφανίζονται στην Εικόνα 1.4 σε ένα ποιοτικό διάγραμμα χρόνου (time) και συγκέντρωσης (focus).

Η ανάγνωση του χάρτη και οι αντιληπτικές διαδικασίες που τη συνοδεύουν σχετίζονται άμεσα με τη διαδικασία του σχεδιασμού. Έτσι, η επιλογή των

μεταβλητών που διέπουν το χαρτογραφικό συμβολισμό είναι σημαντική για την αποτελεσματικότητα του χάρτη (MacEachren 1995). Συγκεκριμένα, κατά την παρατήρηση ενός χάρτη, το αρχικό στάδιο της όρασης εξαρτάται από το σύνολο των διαφορετικών αντιθέσεων που παράγονται από τα σύμβολα που τον απαρτίζουν (MacEachren 1995). Για τη δημιουργία του πρωταρχικού σκίτσου που περιγράφεται στην προσέγγιση του Marr, οι αντιθέσεις μεταξύ των στοιχείων της οπτικής σκηνής (σε συνδυασμό με το μέγεθος και τον προσανατολισμό) είναι καθοριστικής σημασίας για την ολοκλήρωση των αντιληπτικών διαδικασιών που σχετίζονται με τις σχετικές θέσεις μεταξύ αντικειμένων ή/και χαρακτηριστικών. Επιπλέον, σύμφωνα με το MacEachren (1995) ο βέλτιστος χαρτογραφικός σχεδιασμός θα πρέπει να διευκολύνει τη διαδικασία της αντιληπτικής ομαδοποίησης στοιχείων του χάρτη. Παρά το γεγονός ότι ο χαρτογραφικός συμβολισμός έχει βασιστεί στους νόμους της σχολής Gestalt ή απλά ταυτίζεται με αυτούς λόγω απλής λογικής (π.χ. κοινά σημειακά σύμβολα σε διαφορετικές θέσεις του χάρτη απεικονίζουν το ίδιο ή ίδιας φύσεως γεωγραφικό στοιχείο), πέρα από ελάχιστες (π.χ. Muller 1979, Slocum 1983) οι περισσότερες έρευνες που έχουν γίνει στη χαρτογραφία δεν εξετάζουν τις συγκεκριμένες αρχές ως προς τις διαδικασίες της αντιληπτικής ομαδοποίησης αλλά περιορίζονται σε μελέτες που έχουν να κάνουν με το διαχωρισμό πρώτου πλάνου-φόντου (π.χ. Dent 1972).



Εικόνα 1.4 Οι αντιληπτικές διαδικασίες που είναι δυνατόν να συμβαίνουν κατά την αναζήτηση ενός συμβόλου σε ένα χάρτη που διαβάζεται για πρώτη φορά (Lloyd 2005).

Ο MacEachren (1995), περιγράφοντας τους κανόνες που διέπουν τις διαδικασίες της αντιληπτικής ομαδοποίησης, σημειώνει τις αντίστοιχες συνδέσεις που μπορούν να γίνουν σε σύγκριση με το χαρτογραφικό σχεδιασμό:

- Σύμβολα που οι μεταξύ τους αποστάσεις είναι κοντινές (δηλαδή το ένα προσεγγίζει το άλλο) γίνονται αντιληπτά σαν ανεξάρτητες ομάδες.
- Η ομοιότητα μεταξύ των μεταβλητών του χαρτογραφικού σχεδιασμού τόσο στην κλασική περίπτωση του χάρτη δύο διαστάσεων αλλά και σε περιπτώσεις όπου η χρήση του χάρτη εμπεριέχει μεταβλητές που σχετίζονται με αφή ή ακοή (ψηφιακοί χάρτες) είναι δυνατόν να οδηγεί σε διαδικασίες αντιληπτικής ομαδοποίησης.
- Στην περίπτωση που αντικείμενα των δυναμικών χαρτών κινούνται μαζί (κοινή πορεία) μπορούν να γίνουν αντιληπτά σαν ολότητες.
- Σε σύγκριση με την ιδιότητα Gestalt που αναφέρεται στο αντικειμενικό σύνολο (διατήρηση μιας σταθερής κατάστασης στην ομαδοποίηση), ο MacEachren υποστηρίζει ότι η ύπαρξη μιας σταθερής ομαδοποίησης κατά την αλλαγή ενός συνόλου χαρτών θα είναι πιθανόν πιο αποτελεσματική όταν η τελευταία πραγματοποιείται μέσα από τη δημιουργία ενός δυναμικού χάρτη παρά στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται πολλοί χάρτες.
- Καμπυλόγραμμα τμήματα τα οποία είναι δυνατόν να υπάρχουν σε ένα χάρτη δύο αποχρώσεων (μαύρο/άσπρο) διαφοροποιούνται λόγω καλής συνέχειας και γίνονται αντιληπτά σαν διακριτές ομάδες.
- Η ιδιότητα της κλειστότητας η οποία αναφέρεται στην αντίληψη μιας ολότητας λόγω συγκεκριμένων ορίων μιας περιοχής βρίσκει εφαρμογή σε χάρτες όπου χρησιμοποιούνται βαθμωτά σύμβολα (π.χ. κύκλοι) για την απεικόνιση ενός μεγέθους. Στην περίπτωση αυτή, ακόμα και αν τα σύμβολα επικαλύπτονται και στο χάρτη εμφανίζονται μόνο τμήματα τους, ο αναγνώστης έχει τη δυνατότητα να τα αντιλαμβάνεται και να είναι σε θέση να εκτιμά το μέγεθος τους.
- Λόγω της ιδιότητας της απλότητας, μία σύνθετη εικόνα σε ένα χάρτη είναι πιθανότερο να αντιλαμβάνεται σαν πολλές απλές εικόνες παρά σαν το σύνολο πολύπλοκων εικόνων.

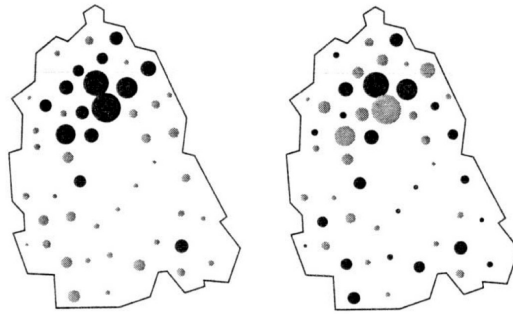
Οι παραπάνω νόμοι είναι πιθανό να έχουν άμεση εφαρμογή αν θεωρήσουμε το χάρτη

σαν ένα οποιοδήποτε οπτικό ερέθισμα. Για τη χαρτογραφική έρευνα, είναι αρκετά σημαντικό να προσδιοριστούν εκείνοι οι παράγοντες οι οποίοι είναι σε θέση να επιδράσουν στις διαδικασίες ανάγνωσης όταν τα γραφικά εργαλεία (οπτικές και δυναμικές μεταβλητές) που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του χάρτη αλλάζουν τιμές.

Ο Slocum (1983), εξετάζοντας τη διαδικασία της αντιληπτικής ομαδοποίησης σε χάρτες με βαθμωτά κυκλικά σύμβολα, διαπίστωσε ότι η ομοιότητα στην οπτική μεταβλητή του μεγέθους δεν συμβάλλει θετικά στη διαδικασία, ενώ η ιδιότητα της προσέγγισης λειτουργεί ώστε να σχηματιστούν αντιληπτικές ομάδες. Ο Slocum εξέτασε τη διαδικασία της αντιληπτικής ομαδοποίησης υποθέτοντας επίσης τη θετική επίδραση της ιδιότητας της καλής συνέχειας. Η συγκεκριμένη υπόθεση όμως ήταν δυνατό να εξεταστεί χωρίς τη δυνατότητα καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων (MacEachren 1995).

Το αποτέλεσμα της έρευνας του Slocum σχετικά με την θετική επίδραση της προσέγγισης έρχεται σε συμφωνία με συναφείς χαρτογραφικές έρευνες (McCleary 1975, Eastman 1985). Συγκεκριμένα, ο McCleary (1975) χρησιμοποιώντας σαν βασικό υπόβαθρο ένα χάρτη κουκίδων και ζητώντας από τα υποκείμενα της έρευνας του την ομαδοποίηση περιοχών, παρατήρησε ότι οι ομάδες που δημιουργήθηκαν εμφάνιζαν άμεση συσχέτιση με τις αντίστοιχες αποστάσεις μεταξύ των κουκίδων. Σε αντίστοιχη έρευνα, ο Eastman (1975) χρησιμοποιώντας χάρτες με απουσία γραφικής οργάνωσης διαπίστωσε ότι η ιδιότητα της προσέγγισης βοηθάει τη διαδικασία της ομαδοποίησης.

Ένα σημαντικό στοιχείο σχετικά με τους παράγοντες που επιδρούν στις διαδικασίες της αντιληπτικής ομαδοποίησης αναφέρεται στην πιθανότητα να λειτουργούν συνδυαστικά. Το παράδειγμα που δίνει ο MacEachren (1995) θέλοντας να τονίσει την εφαρμογή της παραπάνω πρότασης στο χαρτογραφικό συμβολισμό είναι αρκετά αντιπροσωπευτικό. Συγκεκριμένα, ο MacEachren, παρουσιάζοντας τους χάρτες από την έρευνα του Slocum (1983) (Εικόνα 1.5), υποδεικνύει πως είναι δυνατόν οι ιδιότητες της ομοιότητας και της γειννίασης μπορούν να λειτουργήσουν ενισχύοντας την ομαδοποίηση των συμβόλων του χάρτη.



Εικόνα 1.5 Οι ιδιότητες της ομαδοποίησης και της γειτνίασης μπορούν να λειτουργήσουν συνδυαστικά για την υλοποίηση της διαδικασίας της ομαδοποίησης (Slocum 1983).

Στην Εικόνα 1.5, παρουσιάζονται δύο χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν δύο διαφορετικές τιμές ενός σημειακού φαινομένου οι οποίες αποδίδονται αξιοποιώντας τις οπτικές μεταβλητές του μεγέθους και της έντασης. Στην περίπτωση που τα γειτονικά βαθμωτά κυκλικά σύμβολα έχουν την ίδια ένταση (Εικόνα 1.5, χάρτης αριστερά) η διαδικασία της ομαδοποίησης λειτουργεί αποτελεσματικότερα σε σύγκριση με την αντίστοιχη περίπτωση που τα αντίστοιχα σύμβολα διαφορετικής έντασης (Εικόνα 1.5, χάρτης δεξιά).

Η λειτουργία των γραφικών μεταβλητών του χάρτη, εκτός από τις διαδικασίες της αντιληπτικής ομαδοποίησης, μπορεί να έχει επίδραση και σε διαδικασίες που σχετίζονται με την επιλεκτική προσοχή. Οι διαστάσεις για τις οποίες διευκολύνεται η επιλεκτική προσοχή χαρακτηρίζονται ως διαχωρίσιμες, ενώ αντίστοιχα οι ενοποιημένες διαστάσεις γίνονται αντιληπτές σαν ανεξάρτητες μονάδες-ολότητες (Shortrige 1982). Η ιδιότητα της επιλεκτικότητας συνδέεται άμεσα με αυτή της ομαδοποίησης καθώς αν έχουμε τη δυνατότητα να παρατηρούμε μια διάσταση της σκηνής αγνοώντας τις υπόλοιπες τότε αυτό με τη σειρά του υποδεικνύει ότι η διάσταση αυτή αποτελεί μια αντιληπτική οντότητα (MacEachren 1995). Η επιλεκτικότητα των οπτικών μεταβλητών και ενδεχόμενων συνδυασμών τους είναι αρκετά σημαντική για τη χαρτογραφία καθώς μπορεί να υποδείξει αποδοτικούς τρόπους απόδοσης ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων.

Η θέση θεωρήθηκε από το Bertin ως η ισχυρότερη οπτική μεταβλητή για τη διαδικασία της επιλεκτικότητας ενώ είναι αρκετά σημαντική για τις διαδικασίες της προσοχής. Η σημαντικότητα της θέσης ενός αντικειμένου ή μιας διάστασης στις

διαδικασίες της οπτικής προσοχής μπορεί να γίνει κατανοητή αν σκεφτούμε ότι για να προσέξουμε κάτι σε προχωρημένο στάδιο της όρασης θα πρέπει πρώτα να το έχουμε εντοπίσει. Ο Bertin, εισάγοντας τις οπτικές μεταβλητές του χαρτογραφικού σχεδιασμού, υποστηρίζει ότι εκτός από την κυρίαρχη μεταβλητή της θέσης, το μέγεθος, η ένταση, το μοτίβο, απόχρωση και ο προσανατολισμός στην περίπτωση των σημειακών και των γραμμικών συμβόλων αποτελούν επιλεκτικές διαστάσεις (MacEachren 1995). Παρά το γεγονός ότι οι υποδείξεις του Bertin σχετικά με την επιλεκτικότητα των μεταβλητών δεν είχαν αποδειχθεί πειραματικά από τον ίδιο (Green 1998), μεταγενέστερες έρευνες ενισχύουν κάποιους από τους ισχυρισμούς του. Συγκεκριμένα, έρευνες των Olson & Attneave (1970) καθώς και του Northdurft (1992) έδειξαν ότι διαφορές στον προσανατολισμό είναι σε θέση ενισχύσουν τη διάκριση περιοχών και μοτίβων, ενώ στην έρευνα του Julesz (1975) υποδεικνύεται ότι η επιλεκτικότητα των μεταβλητών της απόχρωσης και της έντασης επιτυγχάνεται στην περίπτωση που οι τελευταίες έχουν εμφανίζουν διακριτές διαφορές. Επιπροσθέτως, ο MacEachren αναφέρει την ύπαρξη μαρτυριών οι οποίες ενδυναμώνουν την άποψη που ταυτίζεται με αυτή του Bertin για το χαρακτηρισμό του σχήματος ως μη επιλεκτική μεταβλητή. Βέβαια, υπάρχουν ενδείξεις (Michaelidou et al. 2005) για συγκεκριμένες διαστάσεις του σχήματος, όπως είναι οι γραμμικές απολήξεις και οι οπές οι οποίες μπορούν να ενισχύσουν την επιλεκτική προσοχή της μεταβλητής του σχήματος όταν αυτή αξιοποιείται στο χαρτογραφικό σχεδιασμό.

Η αντιληπτική ομαδοποίηση των συμβόλων του χάρτη είναι ίσως από τις σημαντικότερες διαδικασίες που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης του καθώς επιδρά στη δημιουργία αντιληπτικών οντοτήτων οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για περαιτέρω επεξεργασία. Όμως, όπως υποδεικνύεται και από το παράδειγμα του Lloyd (2005) που αναφέρεται παραπάνω, η διάκριση του πρώτου πλάνου από το φόντο είναι λογικό να προηγείται της ομαδοποίησης των συμβόλων. Το πρόβλημα του διαχωρισμού πρώτου πλάνου-φόντου είναι από τα βασικά προβλήματα που έχουν απασχολήσει την ψυχολογική έρευνα. Στα περισσότερα ψυχολογικά πειράματα, τα οποία μπορούν να βρεθούν και σε άμεση σύγκριση με την αντίστοιχη χαρτογραφική έρευνα, γίνεται συσχέτιση του αναφερόμενου ζητήματος με τους νόμους της σχολής Gestalt. Ο MacEachren (1995), συνοψίζοντας τη

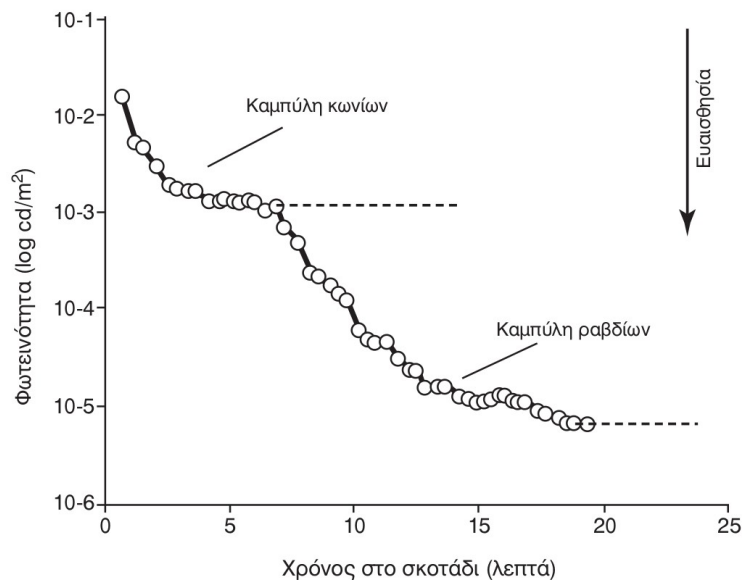
σχετική βιβλιογραφία, σημειώνει τους παράγοντες που σχετίζονται με το χαρτογραφικό συμβολισμό και τη διάκριση του πρώτου πλάνου-φόντου. Οι παράγοντες που αναφέρονται από το MacEachren είναι είναι η ετερογένεια, η καμπυλότητα, η ιδιότητα των αντικειμένων να περιβάλλονται, ο προσανατολισμός και το σχετικό μέγεθος. Μεταξύ των παραγόντων αυτών, η ετερογένεια χαρακτηρίζεται ως ο βασικός παράγοντας ώστε μια περιοχή να “εξέχει” και να τοποθετείται σε πρώτο πλάνο κατά την αντίληψη της σκηνής. Αν και ο διαχωρισμός πρώτου πλάνου-φόντου συμβαίνει στα πρώτα στάδια της αντίληψης είναι πιθανόν να επηρεάζεται και από πληροφορίες που υπεισέρχονται από υψηλότερες γνωσιακές διαδικασίες.

1.3.1 Η επίδραση στοιχείων της φυσιολογίας του οφθαλμού στην ανάγνωση του χάρτη

Η μετάδοση της πληροφορίας κατά την ανάγνωση του χάρτη είναι δυνατόν να προέρχεται από την εισροή παραγόντων που έχουν να κάνουν με τα χαρακτηριστικά στοιχεία του οπτικού ερεθίσματος ή από προηγούμενη εμπειρία και γνώση του αναγνώστη. Παρά το γεγονός ότι η δημιουργία του πρωταρχικού σκίτσου, όπως αυτό υπεισέρχεται από την προσέγγιση του Marr, δεν επηρεάζεται από γνωσιακές επεξεργασίες ανώτερου επιπέδου, η διαδικασία της ανάγνωσης μιας σκηνής εμφανίζεται να είναι περισσότερο σύνθετη. Όπως γίνεται κατανοητό από το παράδειγμα του Lloyd που παρατίθεται παραπάνω, οι διαδικασίες ανάγνωσης χάρτη επηρεάζονται από επεξεργασίες διαφορετικών αντιληπτικών και γνωσιακών σταδίων, ενώ πολλές φορές οι επεξεργασίες αυτές είναι δυνατόν να συμβαίνουν ταυτόχρονα χωρίς να υπάρχουν διακριτά όρια. Ενώ η κατανόηση των αντιληπτικών σταδίων δείχνει να είναι αρκετά πολύπλοκη, υπάρχουν κάποια στοιχεία που σχετίζονται με την φυσιολογία των αισθητήριων οργάνων της όρασης τα οποία μπορούν να φανούν ιδιαίτερος χρήσιμα για τη δημιουργία των χαρτών. Η αξιοποίηση των στοιχείων αυτών έγκειται στον προσδιορισμό δυνατοτήτων και περιορισμών στο στάδιο του χαρτογραφικού σχεδιασμού.

Οι οφθαλμοί αποτελούν το αισθητήριο όργανο για την ολοκλήρωση των διαδικασιών της όρασης. Σε πολλές περιπτώσεις, επιχειρείται η προσομοίωση του οπτικού συστήματος με ένα κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης όπου ο οφθαλμός

αντιστοιχεί στη συσκευή λήψης της εικόνας (Cameron et al. 2001). Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας (retinal) περιέχει το φωτοευαίσθητο τμήμα του οφθαλμού όπου η εικόνα που εισέρχεται από τον εξωτερικό κόσμο απεικονίζεται ανεστραμμένη ενώ έπειτα μέσω των νευρικών ώσεων μεταφέρεται στον εγκέφαλο. Στη διαδικασία αυτή, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τα κύτταρα-φωτοϋποδοχείς που υπάρχουν στην επιφάνεια του αμφιβληστροειδούς. Οι φωτοϋποδοχείς του οφθαλμού έχουν διαφορετική πυκνότητα και εμφανίζουν διαφορετική ευαισθησία στα διαφορετικά μήκη κύματος. Συγκεκριμένα, υπάρχουν δύο κατηγορίες κυττάρων, τα κωνία και τα ραβδία τα οποία είναι υπεύθυνα για τη λειτουργία της φωτοπικής και της σκοτοπικής όρασης αντίστοιχα. Η μετάβαση από το φωτοπική στη σκοτοπική όραση είναι μια φωτοχημική διαδικασία που απαιτεί κάποιο χρόνο προσαρμογής (Πλαϊνης κ.α. 2007). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.6, η προσαρμογή διαρκεί τουλάχιστον 30 min και πραγματοποιείται σε δύο στάδια τα οποία ουσιαστικά αντιστοιχούν στη λειτουργία των κωνίων (στα πρώτα 5-8 min της προσαρμογής) και τη φάση των ραβδίων αντίστοιχα (Πλαϊνης κ.α. 2007).

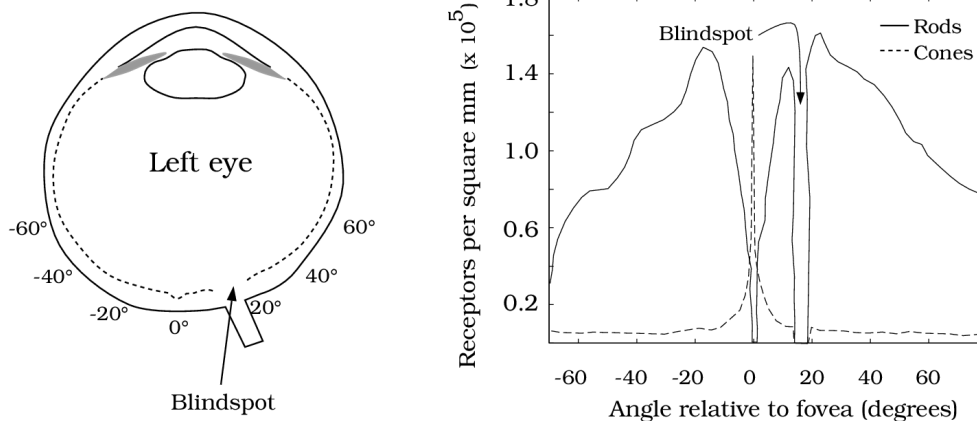


Εικόνα 1.6 Προσαρμογή των κυττάρων φωτοϋποδοχέων στη σκοτοπική όραση σε δύο φάσεις (Πλαϊνης κ.α. 2007).

Η φωτοπική όραση σχετίζεται με την ευαισθησία για την αντίληψη του χρώματος ενώ η σκοτοπική όραση αναφέρεται στην αντίδραση σε χαμηλές συνθήκες φωτισμού. Παρά το γεγονός ότι ο αριθμός των ραβδίων (περίπου 100-120

εκατομμύρια κύτταρα) είναι αρκετά μεγαλύτερος από αυτόν που αντιστοιχεί στα κωνία, με αναλογία περίπου αντίστοιχη 20 προς ένα, το βοθρίο αποτελείται μόνο από κωνία. Το βοθρίο βρίσκεται στο κέντρο της ωχράς κηλίδας και αποτελεί σημείο με τη μεγαλύτερη οξύτητα. Η πυκνότητα των φωτοϋποδοχέων στον αμφιβληστροειδή χιτώνα φαίνεται στην Εικόνα 1.7. Στην επιφάνεια του αμφιβληστροειδούς υπάρχει επίσης το τυφλό σημείο όπου δεν υπάρχουν κύτταρα-φωτοϋποδοχείς (Εικόνα 1.7).

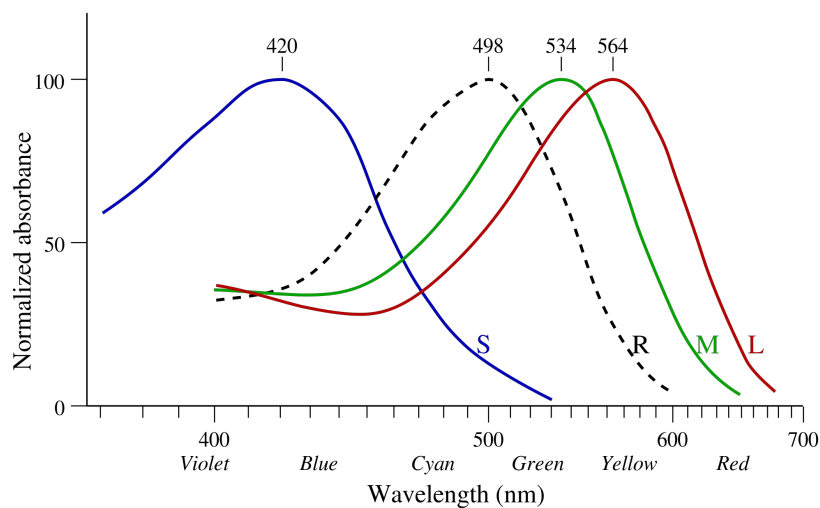
Οι περιοχές όπου μπορούν να λειτουργήσουν τα ραβδία (rods) και τα κωνία (cones) συνιστούν τη λειτουργία της μεσοπικής όρασης (Wandell 1995). Όπως φαίνεται από το διάγραμμα (Εικόνα 1.7), η μεγαλύτερη πυκνότητα των κωνίων εμφανίζεται σε μια μικρή περιοχή γύρω από το βοθρίο (fovea). Βέβαια, κωνία υπάρχουν σε όλη την έκταση του αμφιβληστροειδούς (εκτός από την περιοχή που εκτείνεται το τυφλό σημείο (Blindspot)) τα οποία λειτουργούν κυρίως προειδοποιητικά. Τα κωνία ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες. Τα S-κωνία είναι ευαίσθητα σε μικρού μήκους κύματα, τα M-κωνία σε μεσαίου μήκους κύματα και τα L-κωνία σε μεγάλου μήκους κύματα. Στην Εικόνα 1.8, απεικονίζονται οι καμπύλες απορρόφησης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος για τα διαφορετικά είδη κυττάρων του αμφιβληστροειδή χιτώνα.



Εικόνα 1.7 Η πυκνότητα των ραβδίων και των κωνίων και η θέση του τυφλού σημείου στον αμφιβληστροειδή χιτώνα (Wandell 1995).

Τα ραβδία είναι περισσότερο ευαίσθητα στην περιοχή του μήκους κύματος που αντιστοιχεί στο κυανό (cyan) και το πράσινο (green) χρώμα, ενώ τα κωνία εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στην περιοχή γύρω από το πράσινο και κίτρινο χρώμα, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα της Εικόνας 1.8.

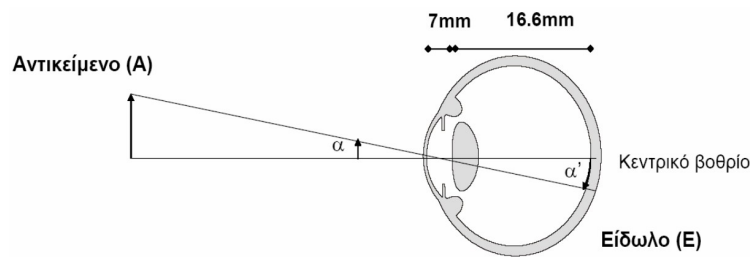
Η λειτουργία των κυττάρων-φωτοϋποδοχέων είναι καθοριστικής σημασίας για τις επιλογές που πραγματοποιούνται στο στάδιο του χαρτογραφικού σχεδιασμού. Η κατανομή των κυττάρων στην επιφάνεια του αμφιβληστροειδή επιδρά στην οπτική οξύτητα του αναγνώστη κατά τη διαδικασία της ανάγνωσης του χάρτη. Έτσι, τόσο η αντίληψη του συνόλου των διαφορετικών αποχρώσεων των συμβόλων του χάρτη αλλά και η διαδικασία ανάγνωσης του υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού επηρεάζονται από την πυκνότητα των αντίστοιχων κυττάρων στο βοθρίο της ωχρής κηλίδας.



Εικόνα 1.8 Οι καμπύλες απορρόφησης (%) των διαφορετικών τύπων φωτοϋποδοχέων σε συνάρτηση με το μήκος κύματος (nm) (http://en.wikipedia.org/wiki/Rod_cell, πρωτότυπο διάγραμμα από Bowmaker & Dartnall 1980).

Ένα άλλο στοιχείο που σχετίζεται με τη φυσιολογία του οφθαλμού και μπορεί να δώσει χρήσιμες υποδείξεις για το χαρτογραφικό σχεδιασμό σχετίζεται με την οπτική οξύτητα με την οποία μπορούμε να παρατηρούμε τα αντικείμενα του ορατού πεδίου. Το όριο που υποδεικνύει τη μέγιστη οπτική οξύτητα αντιστοιχεί στην ελάχιστη απόσταση μεταξύ των φωτοϋποδοχέων στο βοθρίο. Η απόσταση αυτή είναι ίση με $2.5 \mu\text{m}$ ή 0.5 arcmin του οπτικού τόξου. Οπτικό τόξο μεγέθους 1° (έκταση που αντιπροσωπεύει το μέγεθος των φωτοϋποδοχέων στο κεντρικό βοθρίο όσο η συνολική έκταση του βοθρίου αντιστοιχεί σε γωνία περίπου ίση με 5° οπτικού τόξου) αντιστοιχεί σε μια εικόνα περίπου ίση με $290 \mu\text{m}$ δεδομένου ότι η απόσταση από το σημείο που τέμνονται οι προσπίπτουσες ακτίνες έως την επιφάνεια του

αμφιβληστροειδούς είναι σταθερή και ίση με 16.6 mm (Εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9 Η γεωμετρία της διάταξης αντικειμένου-οφθαλμού-ειδώλου στον αμφιβληστροειδή χιτώνα (Φελώνη 2008).

Για να γίνει κατανοητή η συσχέτιση του μεγέθους ενός αντικειμένου με το μέγεθος της εικόνας του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή, ο MacEachren (1995) αναφέρει ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα: παρατηρώντας σε ένα χάρτη εικονογραφικών συμβόλων ένα σύμβολο μεγέθους 4mm από την κανονική απόσταση ανάγνωσης που αντιστοιχεί περίπου σε 46cm, το είδωλο που δημιουργείται στην επιφάνεια του αμφιβληστροειδούς αντιστοιχεί σε τόξο μεγέθους 30 arcmin. Ουσιαστικά το όριο αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος του ειδώλου που μπορεί να δημιουργηθεί στην επιφάνεια του αμφιβληστροειδή από την παρατήρηση ενός οπτικού ερεθίσματος. Είναι προφανές, ότι το ελάχιστο μήκος του αντικειμένου που μπορεί να διακριθεί εξαρτάται επιπλέον και από την απόσταση θέασης.

Το μέγεθος της οπτικής οξύτητας μειώνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται αντίστοιχα και η ευκρίνεια των αντικειμένων του οπτικού πεδίου. Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη επίδραση στην ευκρίνεια με την οποία παρατηρούμε στοιχεία του χάρτη, καθώς είναι διαφορετικό να τα βλέπουμε στην περιοχή του κυρίου μέρους του χάρτη τοποθετημένα σε διαφορετικές θέσεις από το να τα παρατηρούμε το ένα δίπλα στο άλλο στο υπόμνημα (MacEachren 1995). Στην Εικόνα 1.10, υπάρχει ένα σύνολο γραμμάτων το μέγεθος των οποίων αυξάνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια. Παρατηρώντας στο κέντρο του οπτικού ερεθίσματος η ανάγνωση των γραμμάτων είναι εφικτή χωρίς να απαιτείται η μετακίνηση του βλέμματος μεταξύ των διαφορετικών θέσεων (Anstis 1974).



Εικόνα 1.10 Τα γράμματα που περιέχονται στο οπτικό ερέθισμα μπορούν να διαβαστούν παρατηρώντας το κέντρο του χωρίς να απαιτείται η μετακίνηση του βλέμματος από το ένα σημείο στο άλλο (Anstis 1974).

Από τους φωτοϋποδοχείς του αμφιβληστροειδούς, το εισερχόμενο φως μεταφέρεται μέσω των διπολών, των οριζόντιων και των βραχύνων κυττάρων στα γαγγλιακά κύτταρα και από εκεί στο οπτικό νεύρο και έπειτα στον εγκέφαλο όπου και γίνεται η επεξεργασία του οπτικού ερεθίσματος. Η μεταφορά της οπτικής πληροφορίας από τα γαγγλιακά κύτταρα βασίζεται στην εκπομπή σημάτων ενώ η μεταβολή του ρυθμού αυτής της εκπομπής κινεί τη διαδικασία. Η λειτουργία των γαγγλιακών κυττάρων είναι διαφορετική στο κέντρο και στην περιφέρεια της όρασης. Η παράλληλη δράση γαγγλιακών κυττάρων στο κέντρο και στην περιφέρεια είναι δυνατόν να λειτουργήσει παράγοντας ανασταλτικές μεταξύ τους δράσεις. Το φαινόμενο που δημιουργείται ονομάζεται παράλληλη αναστολή και ουσιαστικά σχετίζεται άμεσα με την αντίληψη των αντιθέσεων του οπτικού πεδίου.

Στην χαρτογραφική έρευνα, το φαινόμενο της παράλληλης αναστολής των γαγγλιακών κυττάρων βρίσκει εφαρμογή στους σε χάρτες με διαφορετικές εντάσεις (MacEachren 1995). Ουσιαστικά η λειτουργία των γαγγλιακών κυττάρων επιδρά στην αντίληψη των διαφορετικών αντιθέσεων του χάρτη (π.χ. χωροληθής απεικόνιση όπου αξιοποιούνται τόνοι του γκρι). Στη χαρτογραφική έρευνα, χαρακτηριστική μελέτη η οποία έχει τη βάση της στο φαινόμενο της παράλληλης αναστολής είναι αυτή της Brewer (1991). Το αποτέλεσμα της μελέτης αυτής ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου χρωματικών προτύπων τα οποία μπορούν να παράγουν συνδυασμούς διαφορετικών και μη επικαλυπτόμενων κατηγοριών για την αξιοποίηση τους στους χάρτες.

Κεφάλαιο 2

Χάρτες κινούμενης εικόνας και χαρτογραφικός σχεδιασμός

2.1 Χάρτες κινούμενης εικόνας

Η συνεχής εξέλιξη του τομέα της πληροφορικής υπήρξε ένας σημαντικός αρωγός στην προσπάθεια των χαρτογράφων για τον εμπλουτισμό της κλασικής μορφής του διοδιάστατου χάρτη. Οι χαρτογραφικές απεικονίσεις δύο διαστάσεων εμπλουτίζονται λειτουργώντας σε ψηφιακό περιβάλλον, το οποίο επιτρέπει την διαδραστική επικοινωνία με το χρήστη. Η έννοια του ψηφιακού χάρτη είναι άμεσα συνδεδεμένη με το μέσο προβολής του, η λειτουργία του οποίου έχει σαν βάση τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το μέσο προβολής είναι δυνατόν να αντιστοιχεί σε οποιαδήποτε οθόνη γραφικών, όπως μια τυπική οθόνη υπολογιστή, μια τηλεόραση ή μια απεικόνιση που επιτυγχάνεται μέσα από τη χρήση ενός μηχανισμού προβολής. Η επικοινωνία μεταξύ αναγνώστη και χάρτη ολοκληρώνεται μέσα από τη διεπιφάνεια χρήστη που χρησιμοποιείται για την προβολή. Η βελτίωση της επικοινωνίας και της απόδοσης του χάρτη συνδέεται άμεσα με τη βελτίωση της διεπιφάνειάς του. Όπως γίνεται φανερό, η χρήση γραφικών μέσα από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή επιτρέπει τη δημιουργία απεικονίσεων με δυναμικό χαρακτήρα, εμπεριέχοντας με κάποιο τρόπο την έννοια της κίνησης στην απεικόνιση, η οποία δεν υφίσταται σε ένα στατικό χάρτη.

Οι χάρτες κινούμενης εικόνας χαρακτηρίζονται από συνεχόμενη αλλαγή κατά τη διάρκεια της παρατήρησής τους (Slocum et al. 2009). Ο ανθρώπινος εγκέφαλος εμφανίζεται εξίσου ικανός στην οπτικοποίηση στατικών αλλά και χαρτογραφικών απεικονίσεων με κίνηση (Peterson 1995). Ένας χάρτης, ο οποίος εμπεριέχει κίνηση είναι δυνατόν να είναι διαδραστικός ή μη (Kraak & Ormeling 2003). Ο διαδραστικός χάρτης αποτελεί μία απεικόνιση, υποβοηθούμενη από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, η οποία προσπαθεί να μιμηθεί την αναπαράσταση των νοητικών χαρτών στον ανθρώπινο εγκέφαλο (Peterson 1995). Η αλληλεπίδραση του χρήστη με το χάρτη είναι πιθανή μέσω του γραφικού μέρους, το οποίο περιλαμβάνει την αναπαράσταση σημείων, γραμμών και επιφανειών, αλλά και μέσω των χαρακτηριστικών που απεικονίζονται, ο χαρακτήρας των οποίων μπορεί να είναι

ποιοτικός ή ποσοτικός (Peterson 1995). Στο πλαίσιο της διεπαφής του χρήστη με το διαδραστικό χάρτη, ο Peterson (1995) αναφέρει ως χαρακτηριστικά παραδείγματα αλληλεπίδρασης με το γραφικό μέρος την αλλαγή στην κλίμακα, την προοπτική θέασης ή το συμβολισμό του χάρτη. Οι στατικοί χάρτες, σε αντίθεση με τους διαδραστικούς, χαρακτηρίζονται από χαμηλό επίπεδο αλληλεπίδρασης με το χρήστη καθώς ο τελευταίος δεν μπορεί να επέμβει στην επιλογή του τρόπου και των στοιχείων της απεικόνισης (Peterson 1995).

Μια θεμελιώδης ταξινόμηση των χαρτών με κίνηση είναι δυνατόν να επιτευχθεί με κριτήριο τη συσχέτιση της αλλαγής τους με το χρόνο. Στη διαδικασία αυτή, σημειώνεται ότι υπάρχουν διαφορετικές θεωρήσεις στον ορισμό της έννοιας του χρόνου κατά τον οποίο συμβαίνει ένα γεγονός. Το γεγονός αυτό μπορεί να συμβαίνει στην κλίμακα του χρόνου της πραγματικότητας, στο χρόνο τον οποίο καταγράφεται σε μία βάση δεδομένων ή στο χρόνο που το γεγονός απεικονίζεται σε ένα χάρτη (Kraak & Ormeling 2003). Οι χάρτες κινούμενης εικόνας είναι δυνατόν να είναι χρονικοί ή μη. Στις χαρτογραφικές χρονικές απεικονίσεις κινούμενης εικόνας υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ του απεικονιζόμενου χρόνου και του πραγματικού χρόνου (Kraak & Ormeling 2003). Η λειτουργία των χρονικών χαρτών αυτού του είδους έγκειται στην υπόδειξη αλλαγών στη θέση ή τα χαρακτηριστικά των χωρικών δεδομένων που απεικονίζονται (Kraak & Ormeling 2003).

Η ένταξη της έννοιας του χρόνου στις χαρτογραφικές απεικονίσεις είναι βαρύνουσας σημασίας. Πολλές φορές, δεν αρκεί η κατανόηση ενός απεικονιζόμενου φαινομένου που συμβαίνει σε ένα γεωγραφικό χώρο αν δεν γίνεται αντιληπτή η χρονική διάρκεια στην οποία αναφέρεται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η απεικόνιση της μεταβολής του πληθυσμού σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο για μια χρονική περίοδο. Βέβαια, για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η λύση του κλασικού στατικού χάρτη ο οποίος υποδεικνύει τη μεταβολή αποδίδοντας μέσω των χαρακτηριστικών της ποσοτικής και της ποιοτικής (αρνητικές ή θετικές μεταβολές) διαφοροποίησής της. Όμως, στην συγκεκριμένη περίπτωση η επιλογή ενός και μόνο στατικού χάρτη δεν μπορεί να δώσει λύση στην περίπτωση που τα χρονικά δεδομένα αναφέρονται σε περισσότερες από δύο χρονικές περιόδους. Στο πρόβλημα αυτό, μια ενδεχόμενη λύση θα μπορούσε να ήταν η υποδιαίρεση του κλασικού στατικού χάρτη σε μία σειρά από στατικούς

χάρτες (Kraak & Ormeling 2003). Βέβαια υπάρχουν και εναλλακτικές χαρτογραφικές απεικονίσεις που είναι δυνατόν να περιέχουν τη χρονική διάσταση. Οι χαρτογραφικές απεικονίσεις αυτές είναι η απεικόνιση του κύβου του χώρου-χρόνου και μια απεικόνιση με τη μορφή χαρτογράμματος (Kraak & Ormeling 2003). Στον κύβο του χώρου-χρόνου το οριζόντιο επίπεδο αποτελείται από το γεωγραφικό χώρο, ενώ η τρίτη διάσταση είναι η χρονική. Επιπλέον, η χρονική διάσταση σε ένα στατικό χάρτη μπορεί να υποδεικνύεται μέσα από μια απεικόνιση μορφής χαρτογράμματος, όπου ο γεωγραφικός χώρος παραμορφώνεται ανάλογα με το χρόνο (π.χ. χρόνος μετάβασης από ένα σημείο του γεωγραφικού χώρου σε ένα άλλο) (Kraak & Ormeling 2003). Η ταυτόχρονη ένταξη των διαστάσεων του χώρου και του χρόνου σε μια χαρτογραφική απεικόνιση μπορεί να υλοποιηθεί μέσω των χαρτών κινούμενης εικόνας, όπου η κίνηση αποτελεί το μέτρο της χρονικής μεταβολής των δεδομένων. Στους χάρτες κινούμενης εικόνας, η χαρτογράφηση του χρόνου έγκειται στην χαρτογράφηση αλλαγών στην γεωμετρία, στα χαρακτηριστικά ή στο συνδυασμό τους (Kraak & Ormeling 2003). Οι χάρτες κινούμενης εικόνας, όπως αναφέρεται παραπάνω, είναι δυνατόν να μην συνδέονται άμεσα με την έννοια του χρόνου της πραγματικότητας. Οι χάρτες αυτού του είδους δείχνουν αλλαγές οι οποίες προκαλούνται από παράγοντες διαφορετικούς από το χρόνο (Peterson 1995). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, μη χρονικής χαρτογραφικής απεικόνισης κινούμενης εικόνας είναι η απόδοση ενός ποσοτικού μεγέθους (π.χ. πληθυσμού) με διαφορετικές μεθόδους ομαδοποίησης των δεδομένων.

Οι χάρτες κινούμενης εικόνας αποτελούν την προσέγγιση των χαρτογράφων για την αφαιρετική απόδοση της πραγματικότητας, η οποία συμβαδίζει και λειτουργεί συνδυαστικά με τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η μελέτη της λειτουργίας στην αντίληψη και την αποδοτικότητα του αναγνώστη των ψηφιακών χαρτών, που περιέχουν με κάθε τρόπο την έννοια της κίνησης, είναι καθοριστικής σημασίας για το σχεδιασμό τους. Σε κάθε περίπτωση, ανεξάρτητα από τη μορφή του μέσου που ονομάζεται χάρτης (αναλογικός ή ψηφιακός, στατικός ή κινούμενης εικόνας), κύριος σκοπός παραμένει η αποτελεσματική επικοινωνία του χαρτογράφου με τον αναγνώστη για την αφαιρετική μεταφορά της πραγματικότητας.

2.2 Δυναμικές μεταβλητές

Ο χαρτογραφικός σχεδιασμός είναι άμεσα συνδεδεμένος με την επιλογή του κατάλληλου συμβολισμού για την απόδοση χωρικών στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν τόσο γεωμετρικά χαρακτηριστικά όσο και βασικά ή παράγωγα μεγέθη που είναι δυνατόν να περιγράψουν φυσικές ή μη ποσότητες, τάσεις, μετακινήσεις, καθώς ακόμα και φυσικά ή μη φαινόμενα. Αν θεωρήσουμε το χάρτη ως ένα μέσο επικοινωνίας και αντίληψης των στοιχείων αυτών, γίνεται ξεκάθαρο το γεγονός ότι η επιλογή των κατάλληλων μεθόδων συμβολισμού αποτελεί για τους χαρτογράφους έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες στη διαδικασία που ονομάζεται οπτικοποίηση. Η αλλαγή χαρακτηριστικών γραφικών ιδιοτήτων, όπως το μέγεθος και η απόχρωση, των δομικών στοιχείων του χάρτη έγκειται στην παραμετροποίηση των οπτικών μεταβλητών. Ο Bertin (1967, 1983), ορίζοντας τις οπτικές μεταβλητές αναγνώρισε τη λογική σχέση μεταξύ αυτών και των κατηγοριών μέτρησης και κατάταξης των δεδομένων (DiBiase et al. 1992). Οι κύριες οπτικές μεταβλητές, μέσω των οποίων επιτυγχάνονται οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των στοιχείων του χάρτη είναι η θέση, το μέγεθος, η απόχρωση, το σχήμα/μορφή, η ένταση, ο προσανατολισμός και η υφή. Στην Εικόνα 2.1 απεικονίζονται οι κύριες μεταβλητές στις περιπτώσεις σημειακών, γραμμικών και επιφανειακών συμβόλων καθώς επίσης και η αποδοτικότητά τους στις διαφορετικές κλίμακες μέτρησης δεδομένων: ονομαστική, τάξεως και διαστήματος/λόγου. Επιπλέον, το διάστημα, το μοτίβο και ο κόκκος εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία σαν επιπρόσθετες μεταβλητές. Οι οπτικές μεταβλητές αποτελούν τα δομικά γραφικά στοιχεία των στατικών χαρτών. Ένας στατικός χάρτης δημιουργείται, μέσω της χρήσης των οπτικών μεταβλητών για το σχεδιασμό συμβόλων, μεταξύ δύο ή τριών χωρικών διαστάσεων, ενώ ένας δυναμικός χάρτης δημιουργείται μεταξύ δύο ή τριών χωρικών διαστάσεων και της χρονικής διάστασης (DiBiase et al. 1992). Τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία ενός δυναμικού χάρτη αποτελούν τις δυναμικές μεταβλητές. Η απόδοση ενός δυναμικού χάρτη χαρακτηρίζεται από στοιχεία τα οποία δεν είναι διαθέσιμα σε ένα στατικό χάρτη: δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας απεικονίσεων μέσω κινούμενης εικόνας, αναπαραστάσεων υποβοηθούμενων με ήχο και αλληλεπίδρασης του χρήστη με την απεικόνιση (DiBiase et al. 1992). Οι δυναμικές μεταβλητές λειτουργούν σε συνδυασμό με τις οπτικές μεταβλητές για τη δημιουργία χαρτών κινούμενης

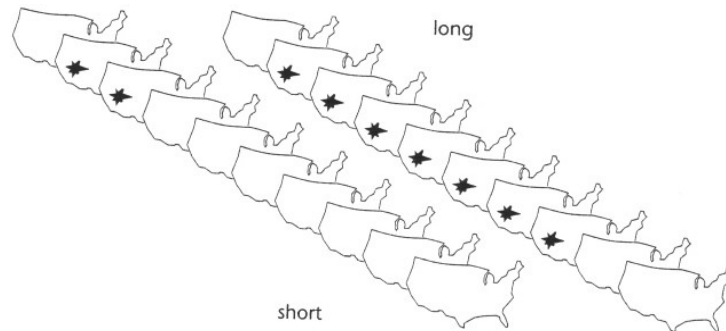
εικόνας. Η έννοια των δυναμικών μεταβλητών εισάγεται από τους DiBiase, MacEachren, Krygier και Reeves (DiBiase et al. 1992) . Οι δυναμικές μεταβλητές για το χαρτογραφικό σχεδιασμό των χαρτών κινούμενης εικόνας παρουσιάζονται παρακάτω.

	Point features	Line features	Area features	Nominal data	Ordinal data	Interval/Ratio data
POSITION				Effective	Effective	Effective
SIZE				Not Effective	Effective	Effective
VALUE				Not Effective	Effective	Marginally Effective
TEXTURE				Effective	Marginally Effective	Not Effective
HUE				Effective	Marginally Effective	Not Effective
ORIENTATION				Effective	Not Effective	Not Effective
SHAPE				Marginally Effective	Not Effective	Not Effective

Εικόνα 2.1 Οι οπτικές μεταβλητές του Bertin στο χαρτογραφικό σχεδιασμό και η αποδοτικότητα τους σε δεδομένα διαφορετικών κλιμάκων μέτρησης (DiBiase et al. 1992).

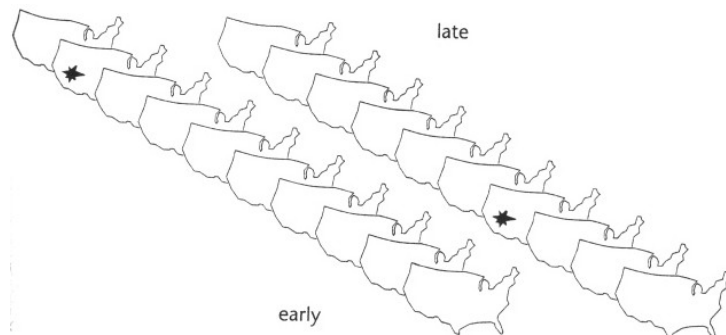
Η διάρκεια ορίζεται σαν το μήκος του χρόνου κατά το οποίο εμφανίζεται ένα καρτέ εικόνας ή ένα σύνολο ιδίων καρτέ της κινούμενης εικόνας (Slocum et al. 2009). Η διάρκεια της σκηνής αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα κατά το οποίο δεν συμβαίνει καμία αλλαγή στη σκηνή αυτή (Kraak & Ormeling 2003). Γενικά, μια ομάδα καρτέ της κινούμενης εικόνας στα οποία δεν υφίσταται καμία αλλαγή μπορούν να θεωρηθούν σαν μία ενιαία σκηνή (Slocum et al. 2009). Η διαφορά στην απεικόνιση μιας σκηνής ως στατικού χάρτη ή ως μέρος ενός χάρτη κινούμενης εικόνας είναι ότι στην περίπτωση του χάρτη κινούμενης εικόνας, η διάρκεια εμφάνισης μπορεί να αντιμετωπισθεί σαν μεταβλητή του σχεδιασμού (DiBiase et al. 1992). Η μέτρηση του μεγέθους της διάρκειας γίνεται σε μονάδες χρόνου, δηλαδή σε ποσοτικές μονάδες. Έτσι, είναι λογικό ότι η δυναμική μεταβλητή της διάρκειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναπαράσταση ποσοτικών δεδομένων (Slocum et al. 2009). Σκηνές μεγαλύτερης διάρκειας σχετίζονται με μεγαλύτερες ποσότητες της

μεταβλητής η οποία πιθανόν να είναι επιθυμητό να τονίζεται (DiBiase et al. 1992). Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζονται δύο παραδείγματα μικρής (short) και μεγάλης (long) διάρκειας εμφάνισης ενός χαρακτηριστικού σε μία σκηνή.



Εικόνα 2.2 Απεικόνιση μιας σκηνής με μικρή (αριστερά) και μεγάλη (δεξιά) διάρκεια αντίστοιχα (MacEachren 1995).

Ο χρόνος της απεικόνισης αντιστοιχεί στο χρόνο κατά τον οποίο εισάγεται κάποια αλλαγή στην απεικόνιση αυτή (MacEachren 1995, Kraak & Ormeling 2003, Slocum et al. 2009). Ο χρόνος αυτός μπορεί να συνδεθεί άμεσα με τη χρονολογική ημερομηνία, γεγονός το οποίο καθορίζει τη χρονική τοποθεσία (MacEachren 1995, Kraak & Ormeling 2003). Σε ένα δυναμικό χάρτη το μέγεθος του χρόνου της απεικόνισης στο οποίο ενεργοποιείται ένα χαρακτηριστικό είναι σε θέση να υποδείξει τη δημιουργία ενός φαινομένου (MacEachren 1995). Βέβαια, ο χρόνος της απεικόνισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επισήμανση συγκεκριμένων θέσεων. Στην περίπτωση αυτή δε συνδέεται με τη χρονολογική ημερομηνία (MacEachren 1995). Στην Εικόνα 2.3 απεικονίζεται η διαφορά του χρόνου της απεικόνισης εκφρασμένη σε διαφορετικό αριθμό καρτέ μέχρι την εμφάνιση του χαρακτηριστικού.



Εικόνα 2.3 Ταχύτερος (αριστερά) και πιο αργός (δεξιά) χρόνος απεικόνισης ενός χαρακτηριστικού εκφρασμένος σε διαφορετικό αριθμό καρτέ μέχρι την εμφάνιση του χαρακτηριστικού (MacEachren 1995).

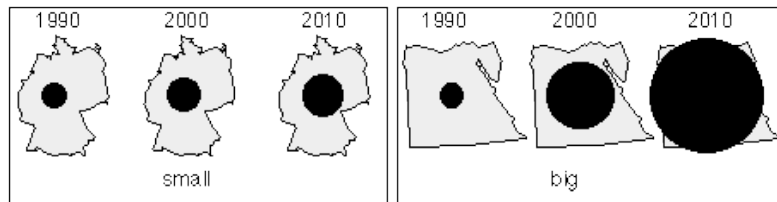
Η σειρά ακολουθίας των καρτέ ή των σκηνών σε ένα χάρτη κινούμενης εικόνας αποτελεί μία επιπλέον δυναμική μεταβλητή (MacEachren 1995, Kraak & Ormeling 2003). Ουσιαστικά, η δυναμική μεταβλητή της ακολουθίας ταυτίζεται με τη σειρά εμφάνισης (DiBiase et al. 1992, Slocum et al. 2009). Στην περίπτωση που τα στοιχεία προς απεικόνιση αποτελούν χρονοσειρές δεδομένων, είναι λογικό η ακολουθία των καρτέ ή των σκηνών να ακολουθεί τη χρονολογική σειρά (MacEachren 1995). Βέβαια, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η ακολουθία των καρτέ ή των σκηνών δεν είναι απαραίτητο να ακολουθεί τη χρονολογική σειρά (DiBiase et al. 1992) και να σχετίζεται με την αριθμητική ακολουθία μίας ποσότητας διαφορετικής του χρόνου (MacEachren 1995). Στην Εικόνα 2.4 απεικονίζεται ένα παράδειγμα όπου η ακολουθία των σκηνών ακολουθεί τη χρονολογική σειρά των δεδομένων κατά την οπτικοποίηση ενός χαρακτηριστικού.



Εικόνα 2.4 Παράδειγμα απεικόνισης ενός χαρακτηριστικού όπου η ακολουθία των σκηνών ακολουθεί τη χρονολογική σειρά των δεδομένων (Kraak & Ormeling 2003).

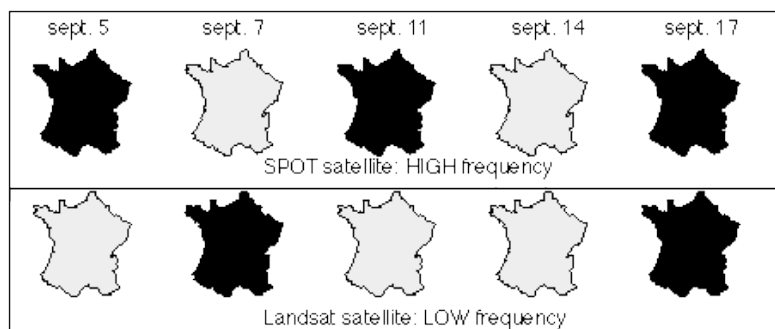
Ο βαθμός αλλαγής αντιστοιχεί στη διαφορά του μεγέθους των αλλαγών στη μονάδα του χρόνου για κάθε ακολουθία καρτέ ή σκηνών (Kraak & Ormeling 2003, Slocum et al. 2009). Η τιμή του βαθμού αλλαγής μπορεί να γραφεί και σαν το πηλίκο m/d , όπου m το μέγεθος των αλλαγών μεταξύ των σκηνών και d το μέγεθος της διάρκειας κάθε σκηνής (DiBiase et al. 1992, MacEachren 1995). Οι αλλαγές στα καρτέ της εικόνας ή των σκηνών είναι δυνατόν να σχετίζονται με αλλαγές σε θέσεις ή σε χαρακτηριστικά των οντοτήτων των σκηνών (DiBiase et al. 1992, Slocum et al. 2009). Είναι προφανές, ότι στην περίπτωση που δεν συμβαίνουν αλλαγές στην απεικόνιση η τιμή του λόγου είναι μηδενική. Αυξάνοντας την τιμή του παράγοντα m , διατηρώντας σταθερή τη ποσότητα d , ο χαρακτήρας της κίνησης γίνεται λιγότερο ομαλός και περισσότερο απότομος (DiBiase et al. 1992). Αντίθετα, στην περίπτωση που η ποσότητα d μειώνεται, ενώ ο παράγοντας m παραμένει σταθερός, μειώνεται και ο φαινομενικός βαθμός αλλαγής (DiBiase et al. 1992). Σε ένα χάρτη κινούμενης

εικόνας, ο βαθμός αλλαγής είναι δυνατόν να είναι σταθερός ή μεταβλητός (MacEachren 1995). Στην Εικόνα 2.5 φαίνονται δύο παραδείγματα με μικρό και μεγάλο βαθμό αλλαγής αντιστοιχα.



Εικόνα 2.5 Μικρός (αριστερά) και μεγάλος (δεξιά) βαθμός αλλαγής στην απεικόνιση ενός σημειακού χαρακτηριστικού (Köbben & Yaman 1995).

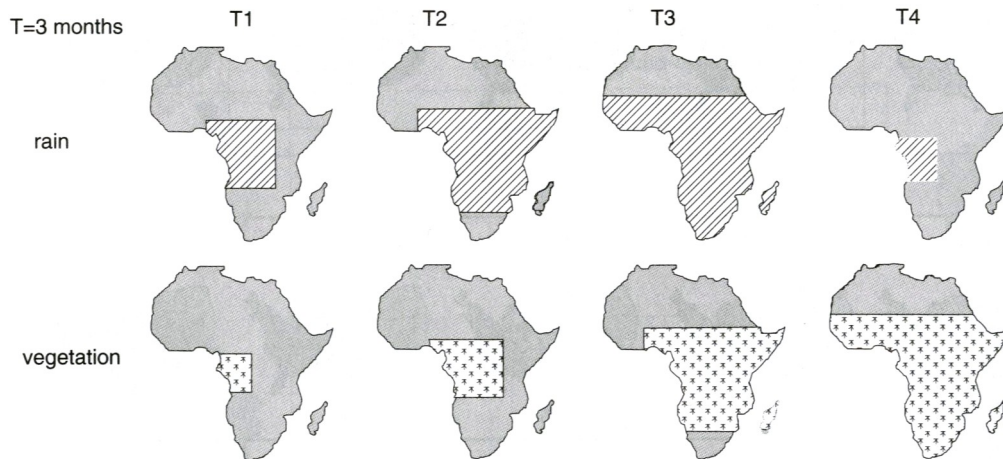
Η συχνότητα ή χρονική υφή αντιστοιχεί στον αριθμό των αναγνωρίσιμων σταδίων στη μονάδα του χρόνου (MacEachren 1995, Slocum et al. 2009). Η συχνότητα συνδέεται άμεσα με τη διάρκεια καθώς η μία μπορεί να οριστεί με όρους της άλλης (Kraak & Ormeling 2003). Αντιμετωπίζεται σαν ξεχωριστή δυναμική μεταβλητή, καθώς οι άνθρωποι αντιδρούν σ' αυτή και την αντιλαμβάνονται ως ανεξάρτητη (MacEachren 1995, Kraak & Ormeling 2003). Στην Εικόνα 2.6 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα όπου διακρίνεται η διαφορά μεταξύ υψηλής (high frequency) και χαμηλότερης συχνότητας (low frequency) εμφάνισης ενός χαρακτηριστικού.



Εικόνα 2.6 Υψηλή (πάνω) και χαμηλότερη (κάτω) συχνότητα εμφάνισης ενός χαρακτηριστικού Köbben & Yaman 1995).

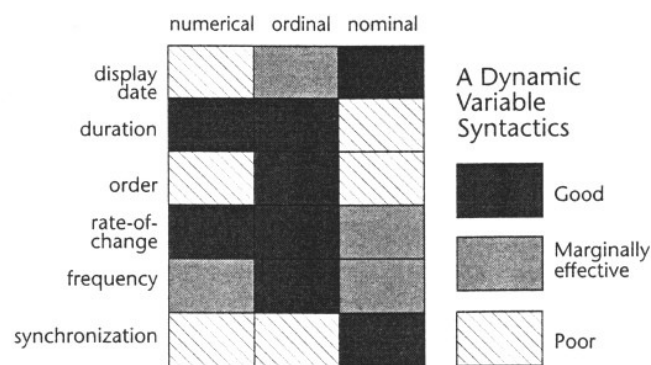
Ο συγχρονισμός ή αντιστοιχία φάσης αναφέρεται στη χρονική αντιστοιχία δύο ή περισσότερων χρονικών σειρών (MacEachren 1995, Kraak & Ormeling 2003, Slocum et al. 2009). Γίνεται φανερό το γεγονός ότι ο συγχρονισμός των χρονικών

σειρών πραγματοποιείται με βάση το χρόνο. Ο συγχρονισμός απεικονίσεων εμφανίζεται ιδιαίτερα σημαντικός σε αρκετές περιπτώσεις, παρέχοντας τη δυνατότητα αποκάλυψης συσχετίσεων και κρυφών προτύπων μεταξύ των συγχρονισμένων απεικονιζόμενων δεδομένων (MacEachren 1995). Στην Εικόνα 2.7 φαίνεται ο συγχρονισμός δύο σειρών δεδομένων, βροχόπτωσης (rain) και βλάστησης (vegetation) με βάση τον κοινό χρόνο μεταξύ των δεδομένων.



Εικόνα 2.7 Συγχρονισμός σειρών δεδομένων βροχόπτωσης και βλάστησης με βάση το χρόνο (Kraak & Ormeling 2003).

Οι δυναμικές μεταβλητές της διάρκειας, του βαθμού αλλαγής και της ακολουθίας εισήχθησαν από τους DiBiase, MacEachren, Krygier και Reeves (DiBiase et al. 1992) και συμπληρώθηκαν αργότερα από το MacEachren (1995) με τις μεταβλητές του χρόνου απεικόνισης, της συχνότητας και του συγχρονισμού. Οι διαφοροποιήσεις που προκύπτουν από τις διαφορετικές τιμές των δυναμικών μεταβλητών, είναι δυνατόν να αντιστοιχούν σε ονομαστικές διαφοροποιήσεις (χρόνος απεικόνισης, ακολουθία, συγχρονισμός) ή σε διαφοροποιήσεις αριθμητικής (numerical) φύσεως (διάρκεια, συχνότητα, βαθμός αλλαγής). Σύμφωνα με τους Kraak και Ormeling (2003), οι μεταβλητές της διάρκειας και της ακολουθίας αποτελούν τις σημαντικότερες δυναμικές μεταβλητές και πρέπει να τοποθετούνται στο υπόμνημα κατά το σχεδιασμό του χάρτη κινούμενης εικόνας. Στην Εικόνα 2.8 παρουσιάζεται σε μορφή διαγράμματος η αποδοτικότητα των δυναμικών μεταβλητών για δεδομένα που ανήκουν σε διαφορετικές κλίμακες ιεράρχησης: αριθμητική (numerical), τάξεως (ordinal) και ονομαστική (nominal).



Εικόνα 2.8 Η αποδοτικότητα των δυναμικών μεταβλητών σε δεδομένα διαφορετικών κλιμάκων ιεράρχησης (MacEachren 1995).

2.3 Κατηγορίες χαρτών κινούμενης εικόνας

Στην εργασία των DiBiase, MacEachren, Krygier και Reeves (DiBiase et al. 1992), όπου εισάγεται η έννοια των δυναμικών μεταβλητών, διακρίνονται τρεις κατηγορίες απεικονίσεων στις οποίες οι μεταβλητές αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν στη διαδικασία του χαρτογραφικού σχεδιασμού. Γίνεται λόγος για απεικονίσεις στις οποίες δίνεται έμφαση στην ύπαρξη ενός φαινομένου σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία, σε απεικονίσεις όπου δίνεται έμφαση σε ένα χαρακτηριστικό ενός φαινομένου και στις απεικονίσεις όπου αναπαριστώνται αλλαγές στη θέση ενός φαινομένου ή ενός χαρακτηριστικού. Η ίδια διάκριση, για τους χάρτες κινούμενης εικόνας, ακολουθείται και στο βιβλίο των Slocum, McMaster, Kessler και Howard (2009).

Η χρήση των δυναμικών μεταβλητών στην περίπτωση που δίνεται έμφαση στη τοποθεσία ενός φαινομένου παράγει την απλούστερη μορφή δυναμικών χαρτών η οποία θα μπορούσε να αντικατασταθεί από ένα απλό στατικό γραφικό (DiBiase et al. 1992). Βέβαια, στην περίπτωση που η απεικόνιση της θέσης γίνεται με δυναμικό χαρακτήρα, η χρήση των οπτικών μεταβλητών που έχουν χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό ενδυναμώνεται. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της χρήσης ενός σημειακού συμβόλου που “αναβοσβήνει” για την υπόδειξη θέσεων σεισμών (DiBiase et al. 1992).

Μια στρατηγική για τη δημιουργία απεικονίσεων όπου δίνεται έμφαση σε ένα χαρακτηριστικό περιλαμβάνει την παραγωγή μιας δυναμικής απεικόνισης από διάφορες σκηνές ενός στατικού χάρτη, όπου σε κάθε σκηνή απεικονίζεται μια

κατηγορία του χαρακτηριστικού αυτού (DiBiase et al. 1992). Επιπλέον, έμφαση στη χωρική διασπορά ενός χαρακτηριστικού θα μπορούσε να δοθεί τονίζοντας επλεγμένα μέρη του με χαρακτηριστικό παράδειγμα την αλληλουχία σε ένα χάρτη που απεικονίζεται τμηματικά (Slocum et al. 2009).

Στην τρίτη κατηγορία χαρτών κινούμενης εικόνας, οι δυναμικές μεταβλητές αξιοποιούνται για την οπτικοποίηση φαινομένων τα οποία αλλάζουν στη διάσταση του χρόνου και του χώρου (DiBiase et al. 1992). Οι αλλαγές που συμβαίνουν και μπορούν να οπτικοποιηθούν είναι δυνατόν να σχετίζονται με χωρικές αλλαγές (fly-by ή fly-over όπως αναφέρεται σε Slocum et al. 2009), με χρονολογικές αλλαγές και με αλλαγές χαρακτηριστικών (re-expressions) (DiBiase et al. 1992). Σε μια απεικόνιση τύπου “fly-by”, ο χρήστης έχει την αίσθηση της “ιπτάμενης” περιήγησης πάνω από μία τρισδιάστατη επιφάνεια (Slocum et al. 2009). Οι απεικονίσεις που σχετίζονται με χρονολογικές αλλαγές αποτελούν τις περισσότερο προφανείς απεικονίσεις κινούμενης εικόνας, τόσο σε κοινωνικές όσο και σε φυσικές επιστήμες (DiBiase et al. 1992). Οι απεικονίσεις τύπου “re-expressions”, αποτελούν εναλλακτικές γραφικές αναπαραστάσεις, των οποίων η δομή έχει αλλάξει μέσα από ένα μετασχηματισμό των πρωταρχικών δεδομένων (DiBiase et al. 1992).

Τόσο η χρήση των δυναμικών μεταβλητών στο δυναμικό χαρτογραφικό σχεδιασμό, όσο και η γενικότερη αξιολόγηση της αποδοτικότητας των χαρτών κινούμενης εικόνας αποτελούν δύο στοιχεία τα οποία έχουν εισαχθεί στη χαρτογραφική έρευνα τα τελευταία χρόνια. Αναμφίβολα, η αναπαράσταση δεδομένων με τη βοήθεια χαρτών που περιέχουν κίνηση είναι αρκετά εντυπωσιακή. Το ζητούμενο στο χαρτογραφικό σχεδιασμό είναι η δημιουργία αυτών των απεικονίσεων που θα αποτελούν την καλύτερη αφαίρεση της πραγματικότητας μεταφέροντας αναλλοίωτο το μήνυμα του χαρτογράφου στον αναγνώστη. Βέβαια, στην περίπτωση των χαρτών κινούμενης εικόνας, οι δυνατότητες του αναγνώστη του χάρτη είναι διευρυμένες καθώς σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να επέμβει τόσο στη μορφή όσο και στο τρόπο απεικόνισης των χαρτογραφικών στοιχείων και αντικειμένων.

Κεφάλαιο 3

Ανάλυση και οπτικοποίηση οφθαλμικών κινήσεων

Η διαδικασία καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων μπορεί να ολοκληρωθεί με διαφορετικές μεθόδους-τεχνικές για τον εντοπισμό του κέντρου της όρασης. Οι βασικές μέθοδοι για την καταγραφή των κινήσεων αναφέρονται στην τεχνική της ηλεκτρο-οφθαλμογραφίας, σε τεχνικές που ολοκληρώνονται με τη χρήση ειδικούς φακούς επαφής και σε τεχνικές οι οποίες σχετίζονται με την καταγραφή βίντεο των οφθαλμών. Σε προηγούμενη μελέτη (Κρασανάκης 2009), παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας κάθε μιας από τις παραπάνω μεθόδους. Στο κεφάλαιο αυτό της παρούσας διατριβής, τα μεγέθη και οι μέθοδοι που περιγράφονται αναφέρονται σε τεχνικές οι οποίες βασίζονται στη χρήση καμερών για την ανίχνευση των κινήσεων των οφθαλμών οι οποίες έχουν επικρατήσει μεταξύ των άλλων, κυρίως λόγω μεγαλύτερης αμεσότητας στη διαδικασία εφαρμογής τους.

3.1 Από την καταγραφή στην ανάλυση των δεδομένων

Κατά τη διάρκεια της καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, τα συστήματα καταγραφής εξάγουν σαν πρωταρχικά δεδομένα τις χωροχρονικές συντεταγμένες των κινήσεων των οφθαλμών, οι οποίες διεξάγονται κατά την παρατήρηση μιας οπτικής σκηνής. Η οπτική σκηνή είναι δυνατόν να αποτελεί μια απεικόνιση δύο διαστάσεων ή να επεκτείνεται στο φυσικό χώρο, οπότε η αντίστοιχη απεικόνιση μετατρέπεται στις τρεις διαστάσεις. Η δημιουργία και η μελέτη βασικών και παράγωγων μεγεθών από τα πρωταρχικά δεδομένα της καταγραφής δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης της συγκεκριμένης μεθοδολογίας για την εξαγωγή ερευνητικών συμπερασμάτων. Τα βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση της καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων είναι οι προσηλώσεις των οφθαλμών και οι σακκαδικές κινήσεις (Poole & Ball 2005). Η προσήλωση συντελείται σε μια χρονική στιγμή κατά την οποία ο οφθαλμός είναι σχετικά ακίνητος, ενώ η σακκαδική κίνηση είναι μια γρήγορη κίνηση μεταξύ δύο προσηλώσεων (Ehmke & Wilson 2007). Η διαδοχή σακκαδικής κίνησης – προσήλωσης - σακκαδικής κίνησης σε μια οθόνη αποτελεί το οπτικό ίχνος της καταγραφής (Goldberg & Kotval 1999), το οποίο είναι ένα από τα

βασικά παράγωγα μεγέθη.

Η ανάλυση των δεδομένων, προϋποθέτει την προ-επεξεργασία των αρχικών στοιχείων με σκοπό τη “μοντελοποίησή” τους από στοιχεία καταγραφής στα βασικά παράγωγα μεγέθη (προσηλώσεις και σακκαδικές κινήσεις). Κατά καιρούς, διαφορετικοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την ταξινόμηση των καταγραφικών μεγεθών στα βασικά μεγέθη (Goldberg & Schryver 1993). Η επιλογή του καταλληλότερου αλγορίθμου αναγνώρισης εξαρτάται από την φύση των στοιχείων που εξετάζονται κατά την πειραματική διαδικασία.

Οι μετρήσεις που προκύπτουν από τη διαδικασία καταγραφής αποτελούνται από στοιχεία, τόσο χρονικής όσο και χωρικής φύσης. Τα στοιχεία αυτά παράγουν κάποια βασικά μεγέθη, τα οποία συνδέονται άμεσα με τις γνωσιακές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της οπτικής παρατήρησης. Ο συνδυασμός των βασικών μεγεθών μπορεί να δώσει παράγωγα μεγέθη τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν στη διερεύνηση της υπόθεσης που εξετάζεται. Επιπλέον, η επιλογή κατάλληλων μεθόδων οπτικοποίησης για την αναπαράσταση βασικών ή παράγωγων μεγεθών είναι δυνατόν να παρέχει σημαντικά στοιχεία στην αξιολόγηση, κατά τη μελέτη μιας οπτικής σκηνής ή της αντιστοιχίας γνωσιακής διαδικασίας.

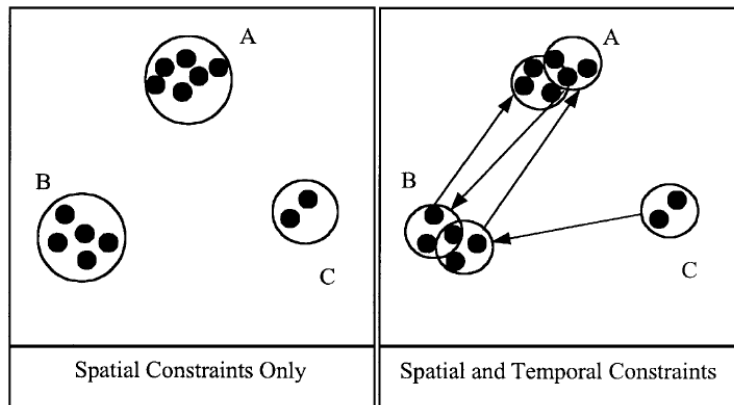
3.2 Βασικά μεγέθη καταγραφής

3.2.1 Προσηλώσεις

Τα στοιχεία που συνθέτουν μια οπτική σκηνή επηρεάζουν τη διαδικασία της παρατήρησής της αλλά και τον τρόπο αποκωδικοποίησης των μηνυμάτων τα οποία αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής. Κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης μιας οπτικής σκηνής ο οφθαλμός εστιάζει σε διάφορα σημεία παραμένοντας σχετικά στάσιμος. Τη χρονική στιγμή κατά την οποία συμβαίνει αυτή η σχετική σταθεροποίηση (βλέπε παράγραφο 3.5) θεωρούμε ότι η οφθαλμική κίνηση που πραγματοποιείται είναι η προσήλωση.

Η διαδικασία εντοπισμού των προσηλώσεων από τα στοιχεία της χωρο-χρονικής καταγραφής απαιτεί την εφαρμογή διαφορετικών κριτηρίων. Διαφορετικοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την απομόνωση των προσηλώσεων από το σύνολο των καταγραφικών στοιχείων των οφθαλμικών κινήσεων και την επιλογή των

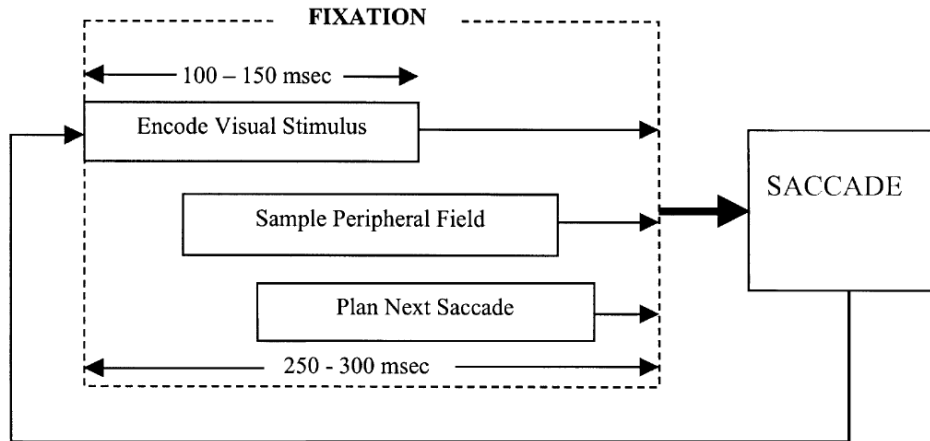
κατάλληλων τιμών των κριτηρίων αυτών (Blignaut 2009). Τα περισσότερα εμπορικά λογισμικά που υποστηρίζουν τα συστήματα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων συνοδεύονται από κάποιον από τους αλγόριθμους εντοπισμού των προσηλώσεων. Τα κριτήρια που εφαρμόζονται στους περισσότερους αλγόριθμους αυτού του είδους είναι κυρίως χωρικά με τη δυνατότητα εφαρμογής και χρονικών περιορισμών (Goldberg & Kotval 1999). Στην Εικόνα 3.1 γίνεται μια σύγκριση δύο διαφορετικών αλγορίθμων όπου στη μία περίπτωση, για τον εντοπισμό των προσηλώσεων, χρησιμοποιούνται μόνο χωρικοί περιορισμοί ενώ αντίστοιχα στην άλλη περίπτωση, ο εντοπισμός των των προσηλώσεων ολοκληρώνεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο χωρικά όσο και χρονικά κριτήρια. Η εφαρμογή διαφορετικών κριτηρίων και διαφορετικών τιμών του εκάστοτε κατωφλίου είναι σε θέση να επηρεάσει τον εντοπισμό των προσηλώσεων από τα πρωταρχικά στοιχεία της καταγραφής.



Εικόνα 3.1 Σύγκριση αλγορίθμων εντοπισμού προσηλώσεων με χωρικά (αριστερά) και χωροχρονικά (δεξιά) κριτήρια αντίστοιχα (Goldberg & Kotval 1999).

Επιπλέον, βασικός περιορισμός στον εντοπισμό μιας προσήλωσης είναι η ελάχιστη διάρκειά της. Η ελάχιστη διάρκεια μιας οφθαλμικής κίνησης προσήλωσης αντιστοιχεί στο διάστημα μεταξύ των 100-150ms (Viviani 1990, Goldberg & Kotval 1999, Duchowski 2007). Μια τυπική κίνηση προσήλωσης έχει διάρκεια μεταξύ των 250-300ms (Viviani 1990). Κατά τη διάρκεια μιας τυπικής προσήλωσης συμβαίνουν τουλάχιστον τρία διαφορετικά γεγονότα, η λειτουργία των οποίων δεν είναι απαραίτητα διαχωρίσιμη (Εικόνα 3.2), δηλαδή δεν συμβαίνει αναγκαστικά το επόμενο μόνο όταν ολοκληρωθεί το προηγούμενο (Viviani 1990, Goldberg & Kotval 1999). Η οπτική πληροφορία κωδικοποιείται ώστε να καταγραφεί η συνολική σκηνή

(Loftus & Mackworth 1978, Goldberg & Kotval 1999), συλλέγονται πληροφορίες από το περιφερειακό οπτικό πεδίο ώστε να καθοριστούν οι επακόλουθες πληροφοριακές περιοχές και σχεδιάζεται η σακκαδική κίνηση που πρόκειται να ακολουθήσει. Στην Εικόνα 3.2 φαίνονται τα διαφορετικά γεγονότα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μιας τυπικής προσήλωσης (fixation).



Εικόνα 3.2 Τα γεγονότα που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια μιας τυπικής προσήλωσης (Goldberg & Kotval 1999).

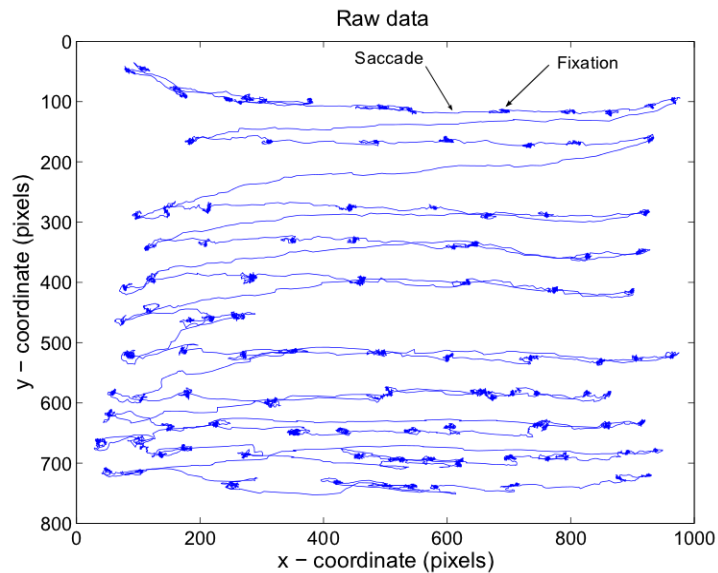
Κατά τη διάρκεια της παρατήρησης ενός συγκεκριμένου στόχου-αντικειμένου στην οπτική σκηνή, το εύρος της έκτασης μιας τυπικής οφθαλμικής κίνησης προσήλωσης αντιστοιχεί περίπου σε 2° - 3° από το κέντρο του στόχου (Robinson 1979).

Η απομόνωση των οφθαλμικών κινήσεων προσήλωσης αποτελεί ένα από τα βασικότερα στοιχεία που προκύπτουν από την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων και συντελούν στην ανάλυση τους. Οι οφθαλμικές κινήσεις προσήλωσης είναι σε θέση να υποδείξουν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία ανάγνωσης και τις γνωσιακές διεργασίες που συμβαίνουν όταν παρατηρείται ένα οπτικό ερέθισμα. Κατά τη σάρωση μιας οπτικής σκηνής, η ύπαρξη μεγάλης συχνότητας προσηλώσεων δηλώνει ότι ο παρατηρητής παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τη συγκεκριμένη σκηνή ή ότι η σκηνή (αντίστοιχα το αντικείμενο-στόχος) εμφανίζεται περισσότερο πολύπλοκη στην αποκωδικοποίηση της (Just & Carpenter 1976, Jacob & Karn 2003, Poole & Ball 2006). Η μετάβαση μεταξύ των οφθαλμικών κινήσεων προσήλωσης κατά τη διάρκεια της οπτικής διαδικασίας πραγματοποιείται μέσω των σακκαδικών κινήσεων.

3.2.2 Σακκαδικές κινήσεις

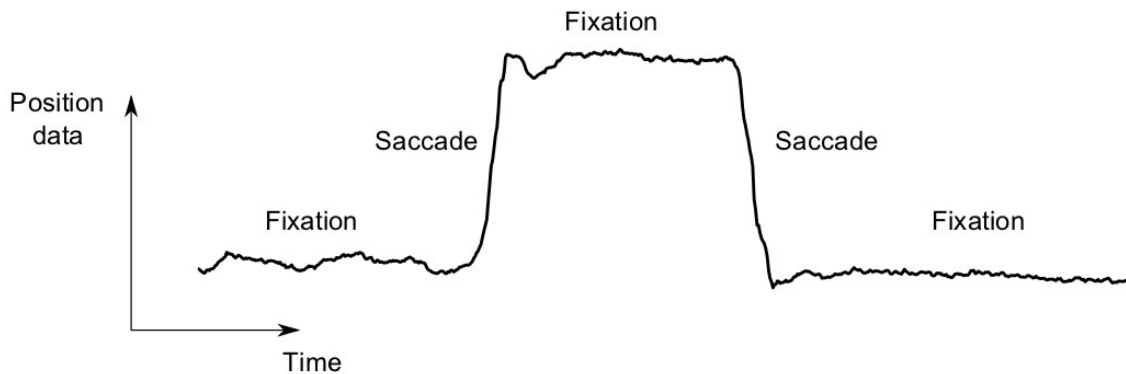
Αναλύοντας τα δεδομένα της οφθαλμικής καταγραφής, εκτός από τις προσηλώσεις, βασικές οφθαλμικές κινήσεις είναι οι σακκαδικές. Κατά τη σύνθετη οπτική και γνωσιακή διαδικασία της παρατήρησης ή της αναζήτησης σε μία οπτική σκηνή, οι σακκαδικές κινήσεις εκτελούνται με σκοπό τη μετάβαση από ένα σημείο επικέντρωσης της προσοχής του βλέμματος σε ένα άλλο. Το χρονικό εύρος εκτέλεσης μιας σακκαδικής κίνησης αντιστοιχεί στο διάστημα μεταξύ 10-100ms (Duchowski 2007). Κατά τη διάρκεια μιας σακκαδικής κίνησης, δεν εκτελούνται διαδικασίες κωδικοποίησης και έτσι οι κινήσεις αυτές δεν μπορούν να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την πολυπλοκότητα ή με την προεξοχή αντικειμένων που αποτελούν την οπτική σκηνή (Poole & Ball 2006). Οι σακκαδικές κινήσεις οι οποίες είναι σε θέση να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την γνωσιακή διαδικασία, που συνοδεύει την αντίστοιχη οπτική, είναι οι οπισθοδρομικές σακκαδικές κινήσεις (Rayner & Pollatsek 1989, Poole & Ball 2006).

Η μορφή, τόσο των σακκαδικών κινήσεων όσο και των οφθαλμικών κινήσεων προσηλώσης, είναι χαρακτηριστική κατά τη δημιουργία απεικονίσεων από τα πρωταρχικά δεδομένα της καταγραφής. Η ύπαρξη των βασικών οφθαλμικών κινήσεων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σάρωσης μιας οπτικής σκηνής γίνεται ευδιάκριτη στο διάγραμμα των δύο οριζοντιογραφικών συντεταγμένων (x,y) αλλά και κατά την απεικόνιση της μίας εκ των δύο διευθύνσεων (οριζόντια ή κατακόρυφη) σε συνάρτηση με το χρόνο (x,t ή y,t αντίστοιχα). Στην Εικόνα 3.3 διακρίνονται οι προσηλώσεις (fixations) και οι σακκαδικές κινήσεις (saccades) απεικονίζοντας τις δύο οριζοντιογραφικές συντεταγμένες κατά τη διάρκεια ανάγνωσης ενός κειμένου (Larsson 2010).



Εικόνα 3.3 Προσηλώσεις (fixations) και σακκαδικές κινήσεις (saccades) στο διάγραμμα απεικόνισης των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων (x,y) κατά τη διαδικασία ανάγνωσης ενός κειμένου (Larsson 2010).

Επιπλέον, στην Εικόνα 3.4 παρουσιάζεται μια σχηματική απεικόνιση της μίας εκ των δύο οριζοντιογραφικών συντεταγμένων, συγκεκριμένα της οριζόντιας, σε συνάρτηση με το χρόνο, διακρίνεται η μορφή των βασικών οφθαλμικών κινήσεων (Larsson 2010).



Εικόνα 3.4 Προσηλώσεις (fixations) και σακκαδικές κινήσεις (saccades) στο διάγραμμα απεικόνισης της οριζόντιας συντεταγμένης x σε συνάρτηση με το χρόνο t (Larsson 2010).

3.2.3 Οπτικό ίχνος

Το οπτικό ίχνος αποτελεί το βασικό παράγωγο μέγεθος της οφθαλμικής καταγραφής καθώς προκύπτει από τα δύο βασικά μεγέθη: τις προσηλώσεις με τις σακκαδικές κινήσεις. Η σύνθεση του οπτικού ίχνους γίνεται από τη διαδοχή των βασικών

οφθαλμικών κινήσεων η οποία ακολουθεί το πρότυπο προσηλώση-σακκαδική κίνηση-προσηλώση κτλ. Η απεικόνιση της μορφής του οπτικού ίχνος μπορεί να δώσει άμεσα την εικόνα της σάρωσης ενός παρατηρητή πάνω σε μία οπτική σκηνή. Κατά τη διαδικασία της αναζήτησης ενός στόχου σε μία επιφάνεια παρατήρησης, η μορφή του βέλτιστου οπτικού ίχνους είναι μία ευθεία γραμμή η οποία κατευθύνεται προς το στόχο και αποτελείται από σχετικά μικρής διάρκειας προσηλώση κατά την εύρεση του στόχου (Goldberg & Kotval 1999, Poole & Ball 2006).

3.3 Παράγωγα μεγέθη καταγραφής

Η δημιουργία και η μελέτη παράγωγων μεγεθών της καταγραφής μπορεί να αξιοποιηθεί στην αξιολόγηση της χρησιμότητας οπτικών σκηνών, διαφόρων αναπαραστάσεων. Οι αναπαραστάσεις αυτές μπορεί να αποτελούνται από εικόνες, κείμενο, σύμβολα αλλά και από συνδυασμούς των αντικειμένων αυτών, τα οποία είναι δυνατό να έχουν αναλογική ή ψηφιακή μορφή. Μπορούμε να αναλογιστούμε την πληθώρα των διαφορετικών αντικειμένων που εμφανίζονται σαν οπτικά ερεθίσματα φέρνοντας στο μυαλό μας, για παράδειγμα, πόσα διαφορετικά αντικείμενα μπορεί να εμφανίζονται σε μια κοινή ιστοσελίδα που βρίσκεται στο διαδίκτυο. Μια τέτοια αναπαράσταση μπορεί να είναι και ο χάρτης (αναλογικό ή ψηφιακό). Η διαδικασία της αξιολόγησης διεπιφανειών (π.χ. ιστοσελίδων, περιβαλλόντων γραφικών λογισμικών), μελετάται εκτεταμένα στο επιστημονικό-γνωστικό αντικείμενο που σχετίζεται με την αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τον υπολογιστή.

Τα παράγωγα μεγέθη που υπολογίζονται είναι άμεσα συνδεδεμένα με τις προσηλώσεις, τις σακκαδικές κινήσεις αλλά και με το βασικό παράγωγο μέγεθος που είναι το οπτικό ίχνος (διαδοχή μεταξύ σακκαδικών κινήσεων και προσηλώσεων). Οι Poole & Ball (2006) και οι Ehmke & Wilson (2007) ταξινομούν τα μετρητικά μεγέθη στις τρεις αντίστοιχες κατηγορίες.

3.3.1 Μεγέθη που σχετίζονται με τις προσηλώσεις

Η μοντελοποίηση των αρχικών καταγραφών σε προσηλώσεις και σακκαδικές κινήσεις παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης των επιμέρους διακριτών μεγεθών. Συγκεκριμένα, με την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων σε μία οπτική σκηνή

και την απομόνωση των προσηλώσεων που συμβαίνουν σ' αυτή, μπορεί να υπολογισθούν διαφορετικά μετρητικά στοιχεία. Ο συνολικός αριθμός των προσηλώσεων μπορεί να υποδειξει στοιχεία σχετικά με την αποδοτικότητα της οπτικής αναζήτησης. Σε μια θεωρητικά βέλτιστη σχεδιαστικά επιφάνεια, μεγαλύτερος αριθμός προσηλώσεων υποδεικνύει λιγότερο αποδοτική διαδικασία αναζήτησης (Goldberg & Kotval 1999).

Η συγκέντρωση προσηλώσεων οι οποίες συμβαίνουν σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια δηλώνουν ότι τα στοιχεία που απεικονίζονται στην επιφάνεια αυτή είναι άξια οπτικής προσοχής ή ότι η περιοχή αυτή είναι, εν δυνάμει, σημαντικότερη από μια άλλη με λιγότερες προσηλώσεις (Jacob & Karn 2003, Poole et al. 2004). Επιπλέον, στην περίπτωση που οι περιοχές ενδιαφέροντος αποτελούνται μόνο από κείμενο, υπολογίζοντας το πηλίκο του μέσου αριθμού προσηλώσεων ανά περιοχή ενδιαφέροντος με το μέσο αριθμό των λέξεων που υπάρχουν στο συγκεκριμένο κείμενο αποφεύγεται η σύγκριση με τις περιπτώσεις όπου κατά την παρατήρηση του αντικειμένου συμβαίνουν περισσότερες προσηλώσεις λόγω της δυσκολίας ως προς την κατανόηση του (Poole et al. 2004).

Ένα βασικό μέγεθος που συνοδεύει κάθε προσήλωση μετά τον εντοπισμό της από τα αρχικά δεδομένα, μέσω διαφόρων αλγορίθμων όπως αναφέρεται παραπάνω, είναι η διάρκεια της. Όσο μεγαλύτερη είναι η μέση διάρκεια της προσήλωσης, υποδεικνύεται ότι η εξαγωγή πληροφορίας από τα απεικονιζόμενα στοιχεία της οπτικής σκηνής πραγματοποιείται δυσκολότερα (Jacob & Karn 2003) ή ότι τα στοιχεία αυτά προσελκύουν περισσότερο την προσοχή του βλέμματος του παρατηρητή (Just & Carpenter 1976). Επιπροσθέτως, το σύνολο της διάρκειας των προσηλώσεων σε μια περιοχή ενδιαφέροντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση της κατανομής της οπτικής προσοχής μεταξύ των αντικειμένων στόχων της οπτικής σκηνής (Poole & Ball 2006).

Συγκρίνοντας τις προσηλώσεις που συμβαίνουν πάνω σε μια οπτική σκηνή κατά τη διαδικασία της οπτικής αναζήτησης σε σχέση με τους στόχους της σκηνής, μπορούμε να υπολογίσουμε κάποια βοηθητικά μεγέθη τα οποία είναι σε θέση να μας υποδείξουν επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες και την αποδοτικότητα του στόχου αυτού. Όσο ο χρόνος που απαιτείται για την πρώτη προσήλωση στο στόχο είναι μικρότερος υποδεικνύεται ότι ο συγκεκριμένος στόχος εμφανίζει καλύτερες

ιδιότητες προσοχής (Byrne et al. 1999). Όταν μετά την προσήλωση στο στόχο της οπτικής σκηνής, συμβαίνουν επιπλέον προσηλώσεις, ο στόχος αυτός στερείται νοήματος ή ορατότητας από τον παρατηρητή (Goldberg & Kotval 1999). Επιπροσθέτως, υπολογίζοντας το μέγεθος των προσηλώσεων στο στόχο μπορούμε να εξάγουμε πληροφορίες σχετικά με το επίπεδο της αποδοτικότητας της οπτικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, το μέγεθος αυτό υπολογίζεται από το λόγο των προσηλώσεων της οπτικής σκηνής που συμβαίνουν στο στόχο σε σχέση με το συνολικό αριθμό των προσηλώσεων. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του λόγου αυτού, τόσο μικρότερο επίπεδο αποδοτικότητας στην αναζήτηση υποδεικνύεται (Goldberg & Kotval 1999).

Κατά την εκτέλεση μιας εργασίας αναζήτησης, συγκρίνοντας τις προσηλώσεις που συμβαίνουν από το σύνολο του πληθυσμού των παρατηρητών σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα για τη σημαντικότητα των περιοχών αυτών στην οπτική σκηνή. Όσο το ποσοστό των παρατηρητών που προσηλώνουν σε μια περιοχή ενδιαφέροντος μειώνεται, η συγκεκριμένη περιοχή θα πρέπει να τονισθεί ή να αφαιρεθεί κατά το σχεδιασμό (Albert 2002).

3.3.2 Μεγέθη που σχετίζονται με τις σακκαδικές κινήσεις

Οι σακκαδικές κινήσεις είναι οι κινήσεις που συμβαίνουν μεταξύ των προσηλώσεων. Με τον υπολογισμό του παράγωγου μεγέθους του αριθμού των σακκαδικών κινήσεων μπορούμε να χαρακτηρίσουμε το μέγεθος της διαδικασίας αναζήτησης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σακκαδικών κινήσεων υποδεικνύεται περισσότερη αναζήτηση (Goldberg & Kotval 1999). Επιπλέον, ο υπολογισμός του πλάτους των σακκαδικών κινήσεων δηλώνει το ποσοστό της περιεκτικότητας νοήματος των κινήσεων αυτών. Συγκεκριμένα, μακρύτερες σε πλάτος σακκαδικές κινήσεις δηλώνουν ότι οι μετακινήσεις κατά μήκος της οπτικής σκηνής περιέχουν περισσότερους νοηματικούς υπαινιγμούς σε σχέση με μικρότερες σε πλάτος αντίστοιχα (Goldberg et al. 2002). Την παρουσία λιγότερων νοηματικών συνθημάτων μπορεί να υποδηλώσει η εκτέλεση οπισθοδρομικών σακκαδικών κινήσεων κατά τη διάρκεια της αναζήτησης (Sibert et al. 2000). Η ύπαρξη οπισθοδρομικών σακκαδικών κινήσεων δηλώνει τη μη αντιστοιχία μεταξύ των προσδοκιών του παρατηρητή σε σχέση με το σχεδιασμό της οπτικής σκηνής (Sibert &

Jacob 2000, Goldberg & Kotval 1999).

Η διαφορά των διευθύνσεων μεταξύ των διαδοχικών σακκαδικών κινήσεων παρέχει στοιχεία σχετικά με τη σειρά και την κατεύθυνση παρατήρησης των αντικειμένων της οπτικής σκηνής. Σακκαδικές κινήσεις με διαφορά διεύθυνσης μεγαλύτερη της ορθής γωνίας από τις αντίστοιχες προηγούμενες σακκαδικές που έχουν προηγηθεί, δηλώνουν γρήγορη αλλαγή κατεύθυνσης στην κίνηση του βλέμματος. Το γεγονός αυτό είναι δυνατόν να σημαίνει ότι ο στόχος κατά την παρατήρηση έχει αλλάξει ή ότι ο σχεδιασμός δεν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες του παρατηρητή που συμμετέχει στην αναζήτηση της οπτικής σκηνής (Cowen et al. 2002).

3.3.3 Μεγέθη που σχετίζονται με το οπτικό ίχνος

Κατά την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων ενός παρατηρητή, το οπτικό ίχνος είναι το βασικό παράγωγο μέγεθος το οποίο δίνει τη δυνατότητα της απόδοσης και της μελέτης του αποτελέσματος της γνωσιακής διαδικασίας, η οποία συντελείται κατά τη διάρκεια της οπτικής παρατήρησης μιας σκηνής. Όπως αναφέρεται και παραπάνω, το οπτικό ίχνος αποτελεί τη διαδοχή των βασικών μεγεθών της καταγραφής (σακκαδική κίνηση - προσήλωση - σακκαδική κίνηση) και μας παρέχει τη δυνατότητα μελέτης και αξιολόγησης της διαδικασίας αναζήτησης και της επιφάνειας μιας οπτικής σκηνής μέσω διαφορετικών παράγωγων μεγεθών.

Από το πηλίκο του συνολικού αριθμού των προσηλώσεων προς τον αντίστοιχο των σακκαδικών κινήσεων μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τις διαδικασίες που πραγματοποιούνται κατά τη σάρωση μιας σκηνής. Ο χρόνος που δαπανάται για την επεξεργασία των αντικειμένων μιας σκηνής αντιστοιχεί στο χρόνο των προσηλώσεων, ενώ αντίστοιχα ο χρόνος στον οποίο πραγματοποιούνται σακκαδικές κινήσεις αντιστοιχεί στο χρόνο αναζήτησης μεταξύ των αντικειμένων της οπτικής σκηνής. Μεγαλύτερες τιμές του λόγου, υποδεικνύουν μεγαλύτερο ποσοστό επεξεργασίας ή μικρότερο ποσοστό αναζήτησης (Goldberg & Kotval 1999).

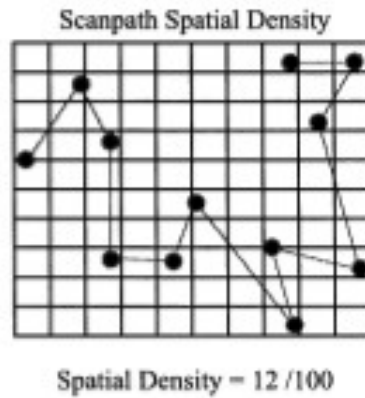
Η διάρκεια του οπτικού ίχνους υπολογίζεται ως το γινόμενο του αριθμού των καταγραφών του ίχνους επί το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών καταγραφών (Goldberg & Kotval 1999). Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τη συχνότητα δειγματοληψίας του συστήματος καταγραφής. Έτσι αν έχουμε, για παράδειγμα, ένα

σύστημα το οποίο λειτουργεί σε συχνότητα 30Hz, η χρονική διαφορά μεταξύ των καταγραφών θα είναι ίση με 33.33msec (αφού η συχνότητα (f) ισούται με το αντίστροφο της περιόδου δειγματοληψίας (T), $f=1/T$). Βέβαια, το μέγεθος της διάρκειας του οπτικού ίχνους μπορεί να υπολογισθεί ως το άθροισμα της διάρκειας των προσηλώσεων και των σακκαδικών κινήσεων. Η διάρκεια του οπτικού ίχνους σχετίζεται περισσότερο με την πολυπλοκότητα της γνωσιακής διεργασίας, καθώς το μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας αντιστοιχεί στη διάρκεια των προσηλώσεων (Goldberg & Kotval 1999). Οπτικά ίχνη μεγαλύτερης διάρκειας υποδεικνύουν λιγότερο αποδοτική αναζήτηση σε σχέση με αντίστοιχα μικρότερης διάρκειας (Goldberg & Kotval 1999).

Ένα άλλο μέγεθος το οποίο είναι σε θέση να υποδείξει πληροφορίες σχετικά με την αποδοτικότητα της διαδικασίας της οπτικής αναζήτησης είναι το μήκος του οπτικού ίχνους. Το παράγωγο αυτό μέγεθος είναι δυνατόν να υπολογισθεί είτε ως το άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ σημείων της καταγραφής ή ως το αντίστοιχο άθροισμα μεταξύ των προσηλώσεων (Goldberg & Kotval 1999). Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του οπτικού ίχνους, η οπτική διαδικασία φαίνεται να είναι λιγότερο αποδοτική (Goldberg et al. 2002). Γεγονός το οποίο φυσικά εξαρτάται από το σχεδιασμό της οπτικής σκηνής.

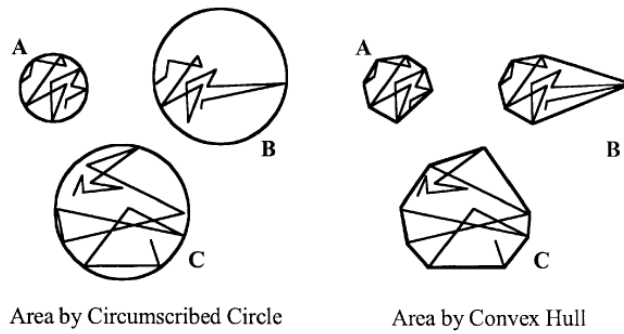
Ο υπολογισμός της χωρικής πυκνότητας του οπτικού ίχνους αντιπροσωπεύει τη χωρική κατανομή των οφθαλμικών καταγραφών. Όσο οι προσηλώσεις του βλέμματος ενός παρατηρητή πραγματοποιούνται σε μια μικρότερη περιοχή της οπτικής σκηνής, η διαδικασία της αναζήτησης είναι περισσότερο αποτελεσματική, σε σχέση με τις περιπτώσεις όπου οι προσηλώσεις που συμβαίνουν είναι ομοιόμορφες (Cowen et al. 2002). Επιπλέον, μικρότερη χωρική πυκνότητα υποδεικνύει μια πιο άμεση διαδικασία αναζήτησης ανεξάρτητα από τη χρονική σειρά που συμβαίνουν οι καταγραφές (Goldberg & Kotval 1999). Πειράματα των Goldberg & Kotval, έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια της χρήσης μιας διεπιφάνειας με καλύτερο σχεδιασμό σε σχέση με μία άλλη, η χωρική πυκνότητα των καταγραφών που παράγονται είναι μικρότερη σε σχέση με τις αντίστοιχες σε μια διεπιφάνεια με πιο φτωχό σχεδιασμό. Χωρίζοντας της οπτικής σκηνή σε ένα τετραγωνικό κανάβο, το μέγεθος της χωρικής πυκνότητας μπορεί να υπολογισθεί ως το ηλίκο του αριθμού των φατνίων στις οποίες υπάρχουν καταγραφές προς το συνολικό αριθμό των φατνίων του κανάβου

(Goldberg & Kotval 1999). Στην Εικόνα 3.5 φαίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού της χωρικής πυκνότητας του οπτικού ίχνους της καταγραφής.



Εικόνα 3.5 Υπολογισμός του μεγέθους της χωρικής πυκνότητας (Goldberg & Kotval 1999).

Εκτός από το μέγεθος της χωρικής πυκνότητας, από το οπτικό ίχνος που δημιουργείται κατά τη διάρκεια της παρατήρησης, μπορούμε να υπολογίσουμε τη χωρική κάλυψη της καταγραφής, μέσω της κυρτής επιφάνειας. Το εμβαδόν της κυρτής επιφάνειας, μαζί με το μήκος του οπτικού ίχνους, οριοθετούν-ορίζουν τη σάρωση στην οπτική σκηνή ή σε κάποια τοπική περιοχή (Goldberg & Kotval 1999). Το εμβαδόν που καταλαμβάνεται από το σύνολο των καταγραφών της οπτική σκηνής μπορεί να εκφραστεί από το εμβαδόν που προκύπτει χρησιμοποιώντας έναν κύκλο, ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις καταγραφές. Βέβαια, με τον τρόπο αυτό, το παράγωγο μέγεθος που θα προκύψει είναι πιθανόν να μην είναι τόσο αντιπροσωπευτικό σε σχέση με τη χωρική κάλυψη της περιοχής (οι καταγραφές είναι δυνατόν να μην είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες, αλλά να καταλαμβάνουν μεγαλύτερο μέρος σε μια διεύθυνση). Για το λόγο αυτό, το παράγωγο μέγεθος της χωρικής κάλυψης υπολογίζεται μέσω του εμβαδού της κυρτής επιφάνειας. Στην Εικόνα 3.6, γίνεται φανερό πως ο υπολογισμός μέσω κυρτής επιφάνειας, είναι πιο αντιπροσωπευτικός για την εκτίμηση του μεγέθους της χωρικής κάλυψης.

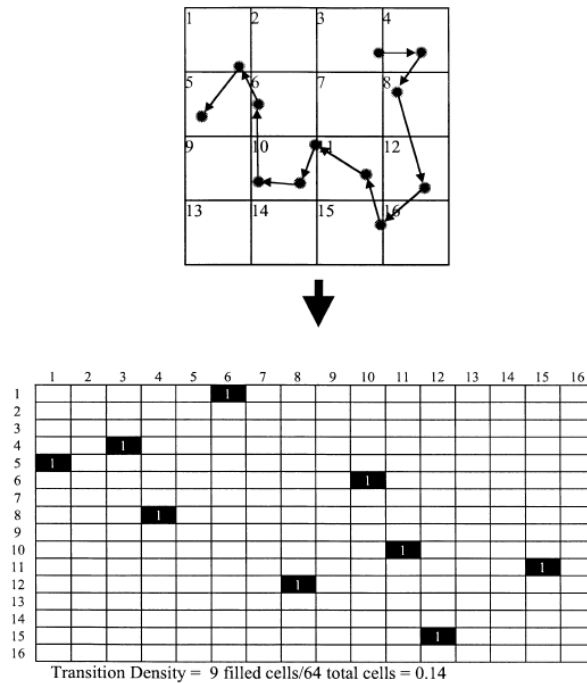


Εικόνα 3.6 Σύγκριση διαφορετικών τρόπων υπολογισμού χωρικής κάλυψης (Goldberg & Kotval 1999).

Για την εύρεση του εμβαδού της κυρτής επιφάνειας που δημιουργείται από ένα σύνολο σημείων πάνω σε ένα επίπεδο, έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς διαφορετικοί αλγόριθμοι. Ένας από αυτούς αναπτύσσεται στην εργασία των Goldberg & Kotval (1999, σελ. 639).

Η μελέτη μιας οπτικής σκηνής, περιλαμβάνει τη μελέτη της αποτελεσματικής ή μη λειτουργίας των επιμέρους περιοχών της. Η σειρά παρατήρησης των διαφορετικών περιοχών υποδεικνύει πολλές φορές τη σημασία που αυτές φαίνονται να έχουν στον παρατηρητή. Η σημασία αυτή, είναι δυνατόν να προκύπτει λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της (από “κάτω προς τα πάνω” παρατήρηση), τα οποία την κάνουν να “εξέχει” σε σχέση με τις υπόλοιπες, ή λόγω ιδιοτήτων οι οποίες ανακαλούν ένα μέρος των γνώσεων του παρατηρητή (από “πάνω προς τα κάτω” παρατήρηση). Το παράγωγο μέγεθος που προκύπτει από το οπτικό ίχνος και υποδεικνύει τις περιοχές μετάβασης στην οπτική σκηνή είναι ο πίνακας μετάβασης. Μέσω του πίνακα μετάβασης εκφράζεται η συχνότητα με την οποία συμβαίνουν οφθαλμικές μετακινήσεις μεταξύ προκαθορισμένων περιοχών ενδιαφέροντος (Ponsoda et al. 1995). Είναι κατανοητό, ότι οπτικά ίχνη με την ίδια χωρική πυκνότητα, είναι δυνατόν να έχουν εντελώς διαφορετικές μεταβάσεις, το ένα μπορεί να είναι αποδοτικό και το άλλο να δηλώνει μεταβάσεις λόγω αβεβαιότητας του παρατηρητή (Hendrickson 1989). Ο πίνακας μετάβασης, ουσιαστικά, αποτελεί μια πινακοποιημένη αναπαράσταση του αριθμού των μετακινήσεων από και προς προκαθορισμένες περιοχές (Goldberg & Kotval 1999). Στην Εικόνα 3.7 φαίνεται ένα παράδειγμα δημιουργίας του πίνακα μετάβασης. Από τον πίνακα μετάβασης, υπολογίζοντας το ηλικό του αριθμού των κελιών που είναι συμπληρωμένα προς το

συνολικό αριθμό τους, παίρνουμε την πυκνότητα του πίνακα μετάβασης. Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα των μετακινήσεων, η διαδικασία της οπτικής αναζήτησης είναι εξαντλητική, γεγονός το οποίο με τη σειρά του δηλώνει την ένδειξη για φτωχό σχεδιασμό της σκηνής (Goldberg & Kotval 1999). Αντίθετα, ένας αραιός πίνακας μετάβασης υποδεικνύει την ύπαρξη αποδοτικής αναζήτησης (Goldberg & Kotval 1999).



Εικόνα 3.7 Δημιουργία του πίνακα μετάβασης (Goldberg & Kotval 1999).

Κατά τη διάρκεια της παρατήρησης μιας επιφάνειας, το οπτικό ίχνος που δημιουργείται, είναι δυνατόν να έχει κάποια κανονική μορφή. Εξετάζοντας την κανονικότητα του οπτικού ίχνους, “κυκλικά” πρότυπα αναζήτησης-ανάγνωσης της οπτικής σκηνής αποκλίνουν από μία φυσιολογική συμπεριφορά και υποδεικνύουν την ύπαρξη προβλημάτων λόγω έλλειψης εξάσκησης του παρατηρητή ή λόγω μη αποτελεσματικού σχεδιασμού της επιφάνειας αναζήτησης (Goldberg & Kotval 1999).

Στο σχεδιασμό μιας οπτικής σκηνής, πολλές φορές, η διάταξη των αντικειμένων που την αποτελούν διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Υπολογίζοντας τη διεύθυνση με την οποία σαρώνεται μια οπτική σκηνή μπορούμε να διευκολυνθούμε ως προς την τοποθέτηση συγκεκριμένων αντικειμένων. Για παράδειγμα, καταγράφοντας τις οφθαλμικές κινήσεις, αν η σάρωση γίνεται περισσότερο από το

αριστερό προς το δεξί μέρος, τότε ένα κείμενο το οποίο βρίσκεται στην κατακόρυφη διεύθυνση θα εμφανίζεται να είναι πιο δυσανάγνωστο. Το παράγωγο μέγεθος που υποδεικνύει τη διεύθυνση με την οποία γίνεται η σάρωση μιας οπτικής σκηνής είναι η διεύθυνση του οπτικού ίχνους. Η διεύθυνση του οπτικού ίχνους μπορεί να καθορίσει τη στρατηγική αναζήτησης μεταξύ των στοιχείων της σκηνής (Altonen et al. 1998).

3.4 Άλλα μεγέθη καταγραφής

Κατά τη διάρκεια της καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, εκτός από τα μεγέθη που αναφέρονται παραπάνω και προκύπτουν από τη χωροχρονική καταγραφή, υπάρχουν άλλα, τα οποία εξάγονται από τα συστήματα καταγραφής και με τη σειρά τους μπορούν να υποδείξουν χρήσιμες πληροφορίες για τη μελέτη της διαδικασίας σάρωσης-ανάγνωσης μιας οπτικής σκηνής. Τέτοια μεγέθη είναι ο βαθμός βλεφαρισματος και το μέγεθος της κόρης. Για παράδειγμα, διαστολή της κόρης του παρατηρητή υποδεικνύει περισσότερη προσπάθεια (Marshall 2000, Pomplun & Sunkara 2003).

Βέβαια οι τιμές των μεγεθών αυτών μπορεί να εξαρτώνται από διαφορετικούς παράγοντες οι οποίοι δεν σχετίζονται με τις γνωσιακές διαδικασίες. Για το λόγο αυτό δεν αξιοποιούνται στις μελέτες καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων (Poole & Ball 2006).

3.5 Αλγόριθμοι εντοπισμού οφθαλμικών κινήσεων προσήλωσης

Το βασικότερο μέγεθος στην ανάλυση καταγραφών που προκύπτουν από οφθαλμικές κινήσεις είναι οι κινήσεις προσήλωσης. Μια κίνηση προσήλωσης συμβαίνει τη χρονική στιγμή που οι οφθαλμοί παραμένουν σχετικά στάσιμοι (Poole & Ball 2005). Η στιγμή αυτή χαρακτηρίζεται από διαφορετικά είδη μικρομετακινήσεων όπως είναι τα τρέμουλα, οι κινήσεις διολίσθησης και οι μικροσακκαδικές κινήσεις (Martinez-Conde et al. 2004). Πρακτικά, για την ανάλυση των δεδομένων γίνεται η θεώρηση ότι οι προσηλώσεις αποτελούν κινήσεις οι οποίες συμβαίνουν σε διακριτά σημεία με περιορισμένη χωρική και χρονική διασπορά. Η διαδικασία εντοπισμού των προσηλώσεων μεταξύ πρωτοκόλλων οφθαλμικών καταγραφών μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση σε αναλύσεις υψηλότερου επιπέδου (Salvucci & Goldberg 2000). Το

αποτέλεσμα της διαδικασίας εντοπισμού των προσηλώσεων αποτελεί ένα σύνολο δεδομένων τα οποία μοντελοποιούν την καταγραφή σε ένα σύνολο σημείων προσηλώσης τα οποία συνοδεύονται από το χρόνο έναρξης τους και τη διάρκεια τους (Salvucci 2000).

Οι Salvucci & Goldberg (2000) προτείνουν μια βασική ταξινόμηση των αλγορίθμων εντοπισμού προσηλώσεων. Για τη διάκριση μεταξύ των διαφορετικών προτεινόμενων τύπων, εξετάζουν κριτήρια τα οποία έχουν να κάνουν τόσο με τη χωρική διασπορά των προσηλώσεων όσο και με τη χρονική τους διάσταση. Οι χωρικές ιδιότητες των προσηλώσεων εξετάζονται με κριτήρια που βασίζονται στην ταχύτητα, τη διασπορά και το εμβαδόν ενώ αντίστοιχα τα χρονικά χαρακτηριστικά σχετίζονται με τη χρονική ευαισθησία και τοπική προσαρμογή των αλγορίθμων. Για παράδειγμα, στην Εικόνα 3.8 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας ενός αλγορίθμου εντοπισμού προσηλώσεων ο οποίος βασίζεται στον υπολογισμό της ταχύτητας των σημείων καταγραφής και στην αντίστοιχη εφαρμογή κατωφλίων ταχύτητας. Ο αλγόριθμος που περιγράφεται στην Εικόνα 3.8 παρουσιάζεται σε μορφή ψευδοκώδικα.

```
I-VT (protocol, velocity threshold)  
Calculate point-to-point velocities for each  
point in the protocol  
Label each point below velocity threshold as  
a fixation point, otherwise as a saccade  
point  
Collapse consecutive fixation points into  
fixation groups, removing saccade points  
Map each fixation group to a fixation at the  
centroid of its points  
Return fixations
```

Εικόνα 3.8 Ψευδοκώδικας για τον εντοπισμό κινήσεων προσηλώσης με βάση τον υπολογισμό της ταχύτητας των καταγραφών και την εφαρμογή αντίστοιχων κριτηρίων που σχετίζονται μ' αυτήν (Salvucci & Goldberg 2000).

Μετά από αξιολόγηση και σύγκριση των διαφορετικών ειδών αλγορίθμων, οι Salvucci & Goldberg καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι αλγόριθμοι που βασίζονται στη διασπορά των δεδομένων εμφανίζουν την ίδια αποτελεσματικότητα με αλγόριθμους που βασίζονται στην ταχύτητα ενώ οι αλγόριθμοι με βάση το εμβαδόν

έχουν περιορισμούς. Επιπροσθέτως, οι Salvucci & Goldberg σημειώνουν στην εργασία τους τη σημαντικότητα των αλγορίθμων εντοπισμού ως προς τη χρονική ευαισθησία και την τοπική τους προσαρμογή. Αλγόριθμοι εντοπισμού προσηλώσεων που βασίζονται στη διασπορά (I-DT) ενσωματώνονται σε πολλά εμπορικά λογισμικά συμπεριλαμβανομένου των ASL, SMI και Tobii Technology, ενώ άλλες πλατφόρμες λογισμικού, όπως το EyeLink, συνδυάζουν αλγόριθμους που βασίζονται στην ταχύτητα με κριτήρια που σχετίζονται με την επιτάχυνση και τα κατωφλία κίνησης (Nyström & Holmqvist 2010).

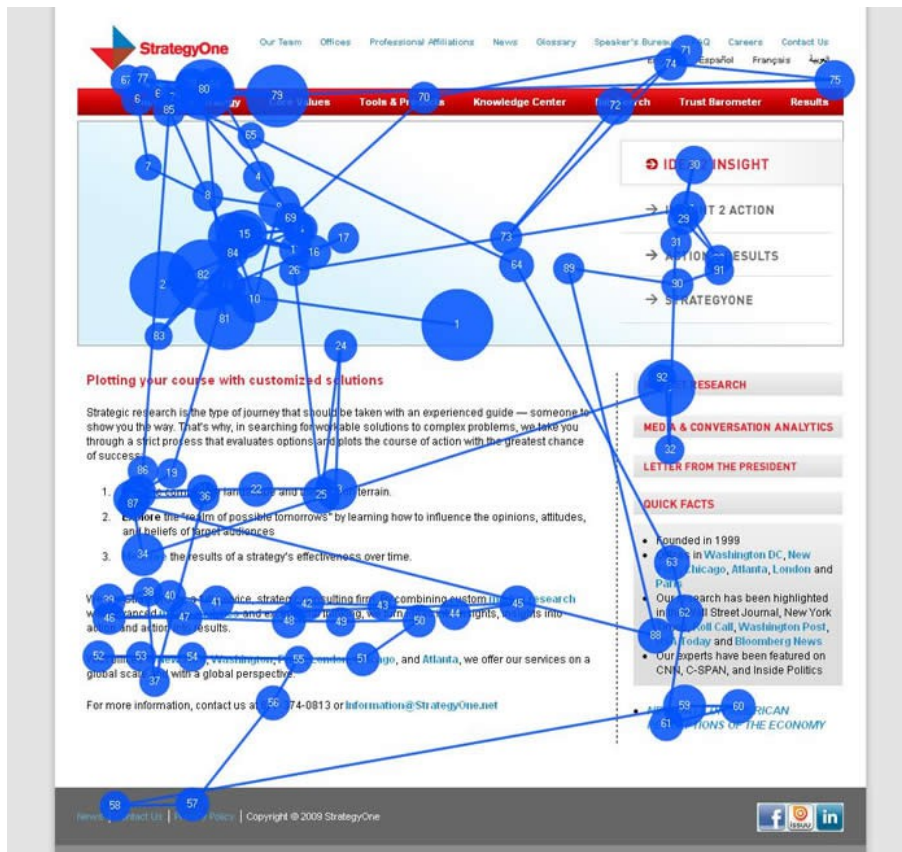
3.6 Μέθοδοι οπτικοποίησης οφθαλμικών καταγραφών

Τα δεδομένα που καταγράφονται με τη μέθοδο των οφθαλμικών κινήσεων, ουσιαστικά μοντελοποιούνται σε ένα πρότυπο το οποίο υποδεικνύει τη διαδοχή σακκαδικών κινήσεων και προσηλώσεων. Η οπτικοποίηση των δεδομένων που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη μεθοδολογία μπορεί να υποδείξει σημαντικά χαρακτηριστικά ως προς τις δομές των βασικών μεγεθών των προσηλώσεων και των σακκαδικών κινήσεων αλλά και του βασικού παράγωγου μεγέθους του οπτικού ίχνους (Blascheck et al. 2014). Διαφορετικές μέθοδοι οπτικοποίησης δεδομένων που προκύπτουν από οφθαλμικές καταγραφές συνοψίζονται σε αρκετές μελέτες (π.χ. Blascheck et al. 2014, Raschke et al. 2014) όπου παρουσιάζονται είτε στατικοί είτε δυναμικοί τρόποι απόδοσης των δεδομένων (Burch et al. 2014) που σχετίζονται με στατικά ή κινούμενα οπτικά ερεθίσματα (Kurzahls & Weiskopf 2013). Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι κύριες μέθοδοι απόδοσης δεδομένων που προκύπτουν από καταγραφή των κινήσεων των οφθαλμών οι οποίες μπορούν να εφαρμόζονται στις εκάστοτε οπτικές σκηνές που μελετώνται ή να συνδυάζονται μαζί με άλλα στατιστικά στοιχεία που αφορούν τα μεγέθη της καταγραφής σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος των οπτικών ερεθισμάτων.

3.6.1 Οπτικοποίηση θέσεων και διαρκειών προσηλώσεων

Συνήθως, κατά την οπτικοποίηση των οφθαλμικών καταγραφών, οι οποίες πλέον υποδεικνύονται μέσω του μοντέλου της διαδοχής, οι προσηλώσεις απεικονίζονται σαν σημειακά κυκλικά σύμβολα. Κάθε κυκλικό σύμβολο τοποθετείται στη θέση όπου έχει συμβεί μία κίνηση προσηλώσης, ενώ το μέγεθος των συμβόλων μεταβάλλεται

ανάλογα με τη διάρκειά τους. Όσο μεγαλύτερη είναι η ακτίνα των σημειακών κυκλικών συμβόλων τόσο μεγαλύτερη διάρκεια προσηλώσης αντιπροσωπεύει. Οι σακκαδικές κινήσεις απεικονίζονται ως ευθύγραμμα τμήματα τα οποία ενώνουν τις προσηλώσεις υποδεικνύοντας τη σειρά με την οποία αυτές συμβαίνουν. Στην Εικόνα 3.9 φαίνεται ένα παράδειγμα απόδοσης των θέσεων και της διάρκειας των προσηλώσεων καθώς και των σακκαδικών κινήσεων μετά την ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων.

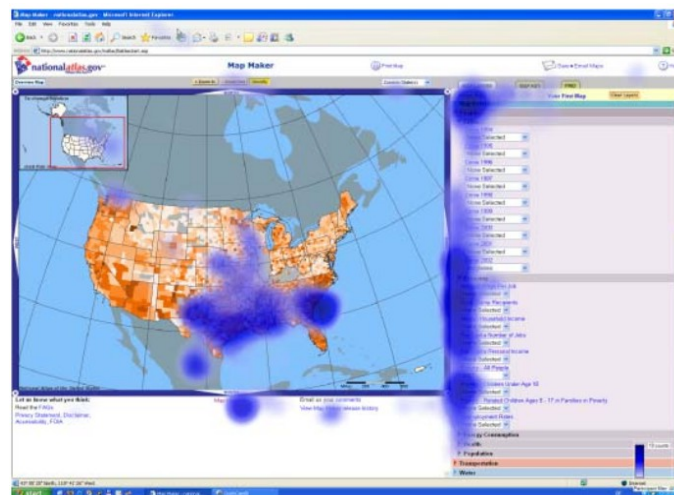


Εικόνα 3.9 Απεικόνιση των προσηλώσεων και των σακκαδικών κινήσεων που συμβαίνουν κατά την οφθαλμική καταγραφή (<http://www.strategyone.com/strategyonehomepag gazeplot.html>).

3.6.2 Θερμικοί χάρτες

Οι θερμικοί χάρτες αποτελούν διδοιάστατες γραφικές απεικονίσεις σημειακών οντοτήτων μέσω διαφορετικών αποχρώσεων ή και διαφορετικών εντάσεων μιας συγκεκριμένης απόχρωσης. Η αναπαράσταση των δεδομένων με τη βοήθεια θερμικών απεικονίσεων αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο μέσω χρωματικών διαβαθμίσεων συνοψίζει τα δεδομένα που θα ήταν δυσκολότερο να γίνουν αντιληπτά αν

αναπαριστάνονταν αριθμητικά (Bojko 2009). Με αυτόν τον τρόπο υποδεικνύεται το σύνολο της κατανομής των οντοτήτων και η συγκεκριμένη μέθοδος οπτικοποίησης μπορεί να φανεί αρκετά χρήσιμη στην άμεση παρατήρηση συγκεκριμένων προτύπων ή τάσεων της κατανομής ενός συνόλου σημείων. Η χρήση της μεθόδου αναπαράστασης των δεδομένων μέσω θερμικών χαρτών χρησιμοποιείται ευρέως στις μελέτες αξιολόγησης διεπιφανειών και ενσωματώνεται σε σύγχρονα λογισμικά συστημάτων καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων. Οι θερμικοί χάρτες που αφορούν δεδομένα οφθαλμικών κινήσεων, αρκετές φορές, αναφέρονται στη βιβλιογραφική ανάλυση με τον όρο θερμικοί χάρτες προσοχής (Siirtola & Raiha 2011, Bojko 2009). Στην ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων, η χρήση των θερμικών χαρτών πραγματοποιείται με σκοπό την οπτικοποίηση του συνόλου των προσηλώσεων που συμβαίνουν σε μία οπτική σκηνή. Στην Εικόνα 3.10 φαίνεται ένας θερμικός χάρτης όπου έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές εντάσεις μίας απόχρωσης για την απεικόνιση της κατανομής της προσοχής του βλέματος κατά τη διάρκεια παρατήρησης ενός διαδραστικού χάρτη (Çöltekin et. al. 2008).



Εικόνα 3.10 Θερμικός χάρτης με διαφορετικές εντάσεις της ίδιας απόχρωσης (Çöltekin et al. 2008).

Η δημιουργία ενός θερμικού χάρτη μπορεί να ολοκληρωθεί με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την ιδιότητα των προσηλώσεων στην οποία αναφέρεται. Έτσι, οι βασικές κατηγορίες θερμικών χαρτών στην περίπτωση της καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων είναι οι ακόλουθες:

- Θερμικός χάρτης αριθμού προσηλώσεων. Στην περίπτωση αυτή, ο χάρτης που δημιουργείται δηλώνει τον αριθμό των προσηλώσεων που συμβαίνουν σε μια οπτική σκηνή. Σε αυτήν την κατηγορία θερμικού χάρτη η διάρκεια των προσηλώσεων δεν λαμβάνεται υπόψη στη δημιουργία του.
- Θερμικός χάρτης απόλυτης διάρκειας. Στην περίπτωση αυτή, ο θερμικός χάρτης σχετίζεται με την απόλυτη διάρκεια των προσηλώσεων που συμβαίνουν στην οπτική σκηνή, χωρίς να υπάρχει άμεση σύνδεση με τον αριθμό τους.
- Θερμικός χάρτης σχετικής διάρκειας. Εδώ, το μέγεθος από το οποίο παράγεται ο θερμικός χάρτης είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη σχετική διάρκεια των προσηλώσεων, δηλαδή τη διάρκεια της εκάστοτε προσηλώσεως σε σχέση με το σύνολο της διάρκειας όλων των προσηλώσεων της οπτικής σκηνής.
- Θερμικός χάρτης ποσοστού συμμετεχόντων. Στον τέταρτο τύπο θερμικού χάρτη υποδεικνύονται το ποσοστό των συμμετεχόντων που προσηλώνουν στις διαφορετικές περιοχές της οπτικής σκηνής.

Γίνεται φανερό ότι η επιλογή του διαφορετικού τύπου θερμικού χάρτη είναι σημαντική και εξαρτάται άμεσα από την πειραματική διαδικασία. Η δημιουργία μιας απεικόνισης αυτού του είδους λειτουργεί συμπληρωματικά με σκοπό την οπτικοποίηση των δεδομένων και δεν έχει σχέση με την ανάλυσή τους (Bojko 2009). Το γεγονός αυτό γίνεται κατανοητό αν σκεφτεί κανείς ότι το αποτέλεσμα της οπτικοποίησης είναι άμεσα συνδεδεμένο με τα κριτήρια εντοπισμού των προσηλώσεων μέσα από τα στοιχεία της καταγραφής. Το τελικό αποτέλεσμα της απεικόνισης είναι δυνατόν να διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του θερμικού χάρτη που επιλέγεται. Στην Εικόνα 3.11 φαίνεται η μορφή των διαφορετικών τύπων θερμικού χάρτη, των τριών πρώτων κατηγοριών, για δεδομένα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων που αφορούν την ίδια οπτική σκηνή.



Εικόνα 3.11 Διαφορετικοί τύποι δημιουργίας θερμικού χάρτη (από αριστερά: *Count*, *Absolute Duration*, *Relative Duration* αντίστοιχα) για δεδομένα της ίδιας οπτικής σκηνής (Matos 2011).

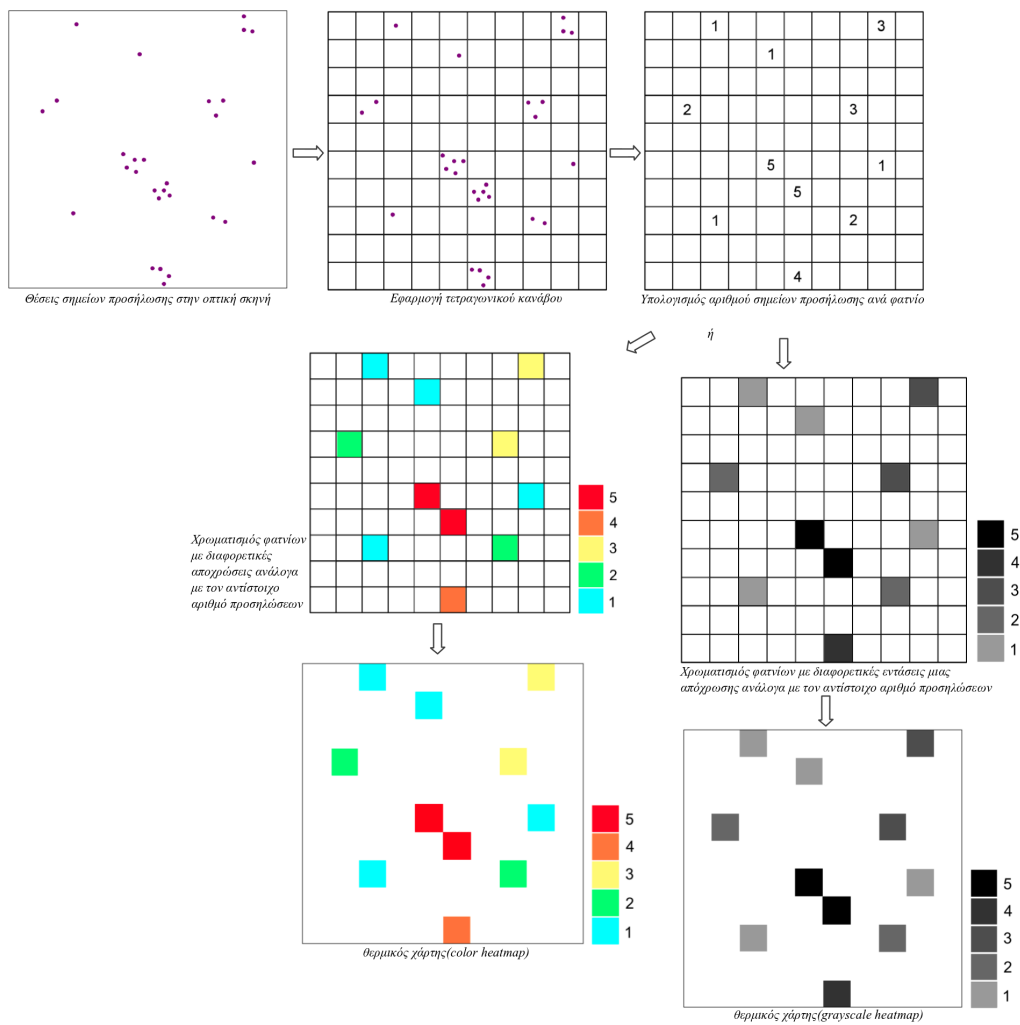
Για να κατανοήσουμε το τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουμε τη διαδικασία κατασκευής μιας απεικόνισης αυτού του είδους, ας εξετάσουμε την περίπτωση της δημιουργίας ενός θερμικού χάρτη από τον αριθμό των προσηλώσεων:

Έστω ότι από τα χωροχρονικά δεδομένα της καταγραφής, εντοπίζονται οι θέσεις των σημείων προσηλώσης που συμβαίνουν σε μία οπτική σκηνή. Στην περίπτωση δημιουργίας του συγκεκριμένου τύπου θερμικού χάρτη, η διάρκεια των προσηλώσεων δεν επηρεάζει τη διαδικασία δημιουργίας του και έτσι μας ενδιαφέρει μόνο η θέση των σημείων προσηλώσης. Στη συνέχεια, τοποθετείται ένας τετραγωνικός κανάβος επί των θέσεων των προσηλώσεων. Το μέγεθος του φατινού του τετραγωνικού κανάβου αποτελεί μια από τις βασικές παραμέτρους της διαδικασίας που επηρεάζουν την ακρίβεια της τελικής απεικόνισης. Η επιλογή του συγκεκριμένου μεγέθους πραγματοποιείται λαμβάνοντας κυρίως υπόψη την ακρίβεια με την οποία έχουν εντοπισθεί οι θέσεις των προσηλώσεων μετά την ανάλυση των καταγραφικών στοιχείων. Μετά την εφαρμογή του κανάβου, υπολογίζεται ο αριθμός των σημείων προσηλώσης που αντιστοιχούν σε κάθε φατινίο. Ανάλογα με τον αριθμό των σημείων που περιέχονται σε κάθε φατινίο, το τελευταίο χρωματίζεται με την αντίστοιχη απόχρωση ή ένταση μιας απόχρωσης. Τα στάδια δημιουργίας ενός θερμικού χάρτη αριθμού προσηλώσεων φαίνονται στην Εικόνα 3.12.

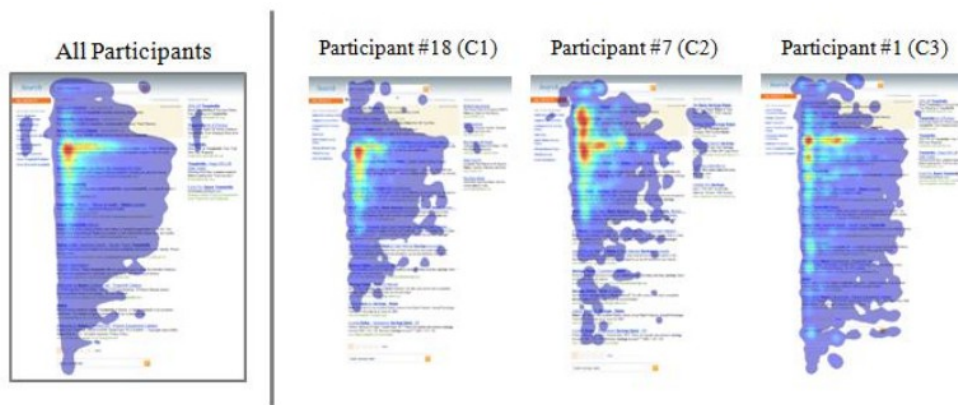
Στις περισσότερες μελέτες, για τη δημιουργία του θερμικού χάρτη μιας οπτικής σκηνής τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται αντιστοιχούν στις προσηλώσεις του συνόλου των συμμετεχόντων της έρευνας. Βέβαια, η κατασκευή της συγκεκριμένης απεικόνισης μπορεί να ολοκληρωθεί χρησιμοποιώντας τα

πρωταρχικά δεδομένα της καταγραφής αντι των προσηλώσεων. Επιπλέον, ο θερμικός χάρτης είναι δυνατόν να μην αντιστοιχεί στο σύνολο των προσηλώσεων του δείγματος και να δημιουργείται μόνο από τα δεδομένα της καταγραφής του εκάστοτε παρατηρητή. Μ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να εξετάζεται η συμπεριφορά του κάθε παρατηρητή για τον έλεγχο της ύπαρξης ή της ομοιότητας προτύπων σάρωσης. Στην Εικόνα 3.13 φαίνονται τρεις διαφορετικές θερμικές απεικονίσεις διαφορετικών συμμετεχόντων καθώς και ο θερμικός χάρτης που προκύπτει από όλους τους συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια της χρήσης μιας μηχανής αναζήτησης διαδικτύου (Dumais et al. 2010).

Η χρήση των θερμικών απεικονίσεων συντελεί στην ολοκλήρωση της οπτικοποίηση των στοιχείων που αναλύονται μετά την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων κατά τη διάρκεια της παρατήρησης μιας σκηνής. Πολλές φορές, η δημιουργία των θερμικών χαρτών είναι απαραίτητη για την κατανόηση της κατανομής της προσοχή του βλέμματος ενός παρατηρητή ή του συνόλου των παρατηρητών.



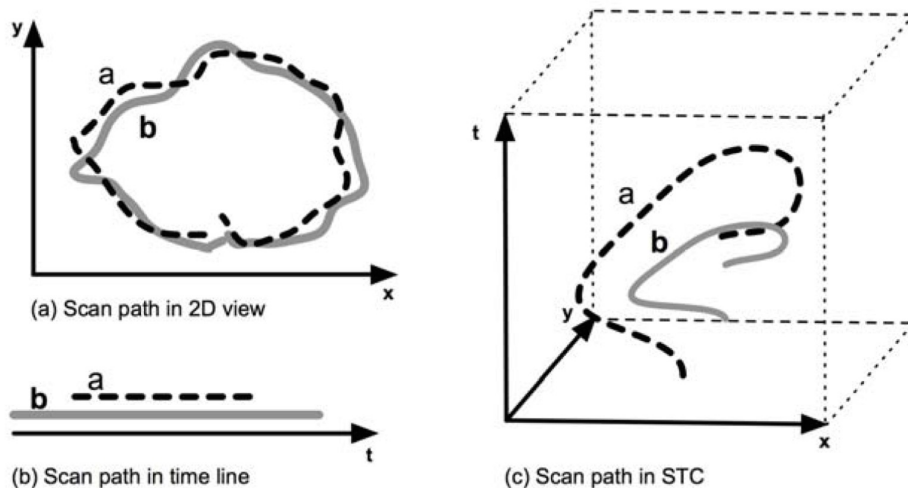
Εικόνα 3.12 Τα στάδια δημιουργίας ενός θερμικού χάρτη αριθμού προσηλώσεων (count heatmap).



Εικόνα 3.13 Θερμικοί χάρτες για το σύνολο των συμμετεχόντων και για τρεις διαφορετικούς συμμετέχοντες σε πείραμα αναζήτησης στο διαδίκτυο (Dumais et al. 2010).

3.6.3 Κύβος χώρου-χρόνου

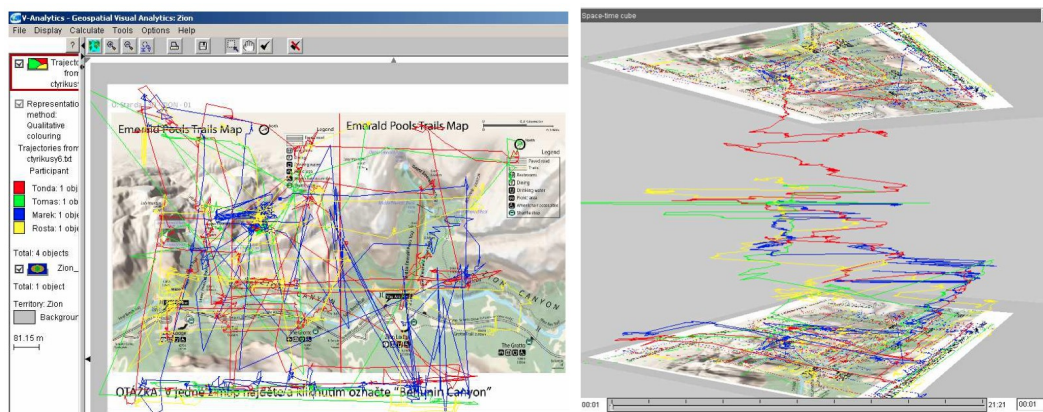
Οι μέθοδοι απόδοσης των δεδομένων που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή και αναφέρονται στις παραπάνω παραγράφους παρέχουν τη δυνατότητα οπτικοποίησης της ατομικής ή της συλλογικής συμπεριφοράς των υποκειμένων που συμμετέχουν σε μια έρευνα όπου εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μεθοδολογία. Επιπροσθέτως, στην περίπτωση των θερμικών χαρτών παρέχεται η δυνατότητα απόδοσης της χωρικής συμπεριφοράς με ταυτόχρονη ένδειξη της τρίτης διάστασης η οποία σχετίζεται με το μέγεθος της διάρκειας των προσηλώσεων (είτε του απόλυτου μεγέθους ή κάποιου παράγωγου μεγέθους). Η ένδειξη της τρίτης διάστασης μπορεί να υποδειχθεί και από την απεικόνιση του κύβου χώρου-χρόνου. Στη συγκεκριμένη απεικόνιση χρησιμοποιείται ένα σύστημα αξόνων 3 διαστάσεων όπου οι άξονες αντιστοιχούν στις χωρικές συντεταγμένες της καταγραφής και στη χρονική διάσταση. Στην απεικόνιση του κύβου χώρου-χρόνου απεικονίζονται συνήθως τα δεδομένα που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή πριν την ανάλυση τους στα βασικά μεγέθη των προσηλώσεων και των σακκαδικών κινήσεων. Στην Εικόνα 3.14 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα όπου η συγκεκριμένη μέθοδος απόδοσης του οπτικού ίχνους συγκρίνεται με αντίστοιχες οπτικοποιήσεις οι οποίες υποδεικνύουν μόνο τη χωρική ή μόνο τη χρονική διάσταση των δεδομένων της οφθαλμικής καταγραφής.



Εικόνα 3.14 Η απόδοση της χωρικής διάστασης (πάνω αριστερά) και της χρονικής διάστασης (κάτω αριστερά) δύο οπτικών ίχνων σε σύγκριση με την απεικόνιση του κύβου του χώρου-χρόνου (Li et al. 2010).

Είναι προφανές πως η συγκεκριμένη μέθοδος απόδοσης μπορεί να υλοποιηθεί και να

χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο αξιολόγησης σε ψηφιακό περιβάλλον το οποίο είναι σε θέση να παρέχει διευρυμένες δυνατότητες διαδραστικότητας στο χρήστη οι οποίες είναι απαραίτητες στις περιπτώσεις όπου η σύγκριση των οπτικών ιχνών που προκύπτουν από διαφορετικά υποκείμενα μιας έρευνας είναι απαραίτητη. Στην Εικόνα 3.15 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα απόδοσης των οπτικών ιχνών των υποκειμένων μιας έρευνας σε σύγκριση με την αντίστοιχη απόδοση δύο διαστάσεων σε ψηφιακό περιβάλλον.



Εικόνα 3.15 Απόδοση των οπτικών ιχνών των υποκειμένων μιας έρευνας σε 2 διαστάσεις (αριστερά) και μέσω της απεικόνισης του κύβου του χώρου-χρόνου (δεξιά) σε ψηφιακό περιβάλλον (Popelka & Brus 2011).

3.7 Εργαλεία λογισμικού για την ανάλυση οφθαλμικών κινήσεων

Τα συστήματα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν τη θέση του βλέμματος ενός παρατηρητή με συχνότητες δειγματοληψίας 25-2000Hz (Anderson et al. 2010, Holmqvist et al. 2011). Γίνεται προφανές το γεγονός ότι τα δεδομένα που παράγονται από το σήμα που καταγράφεται είναι αρκετά πυκνά. Για παράδειγμα, ο αριθμός των δεδομένων που προκύπτουν από ένα σύστημα το οποίο καταγράφει τις συντεταγμένες του βλέμματος για χρονική διάρκεια ενός λεπτού με συχνότητα δειγματοληψίας 25 Hz αντιστοιχεί σε 1500 σημεία. Έτσι, η ανάλυση του σήματος απαιτεί την αξιοποίηση κατάλληλου λογισμικού για την ανάλυση των δεδομένων στα βασικά και παράγωγα μεγέθη.

Έχει αναπτυχθεί ένα σύνολο από διαφορετικά εργαλεία λογισμικού για την ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων με εξειδικευμένες προσεγγίσεις, όπως είναι το eSeeTrack το οποίο αξιοποιείται για τη μελέτη προτύπων των διαδοχικών θέσεων του βλέμματος (Tsang et al. 2010), ή για την προσαρμογή σε υπάρχοντα εργαλεία

ανάλυσης, όπως είναι το GazeTracker™ (Lankford 2000). Επιπροσθέτως, τα περισσότερα συστήματα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων συνοδεύονται από το αντίστοιχο λογισμικό το οποίο αξιοποιείται τόσο για την καταγραφή όσο και για την ανάλυση του σήματος που καταγράφεται. Βέβαια, ενώ το εμπορικό λογισμικό που συνοδεύει τα συστήματα καταγραφής λειτουργεί για την ανάλυση και τη καταγραφή τις περισσότερες φορές δεν μπορεί να επεκταθεί ή να παραμετροποιηθεί με σκοπό την προσαρμογή του σε πολλές έρευνες (Gitelman 2002). Έτσι η ανάπτυξη κατάλληλων εργαλείων ανοικτού κώδικα για την ανάλυση οφθαλμικών κινήσεων, όπως είναι το ILAB (Gitelman 2002), το OGAMA (Voßkühler et al. 2008) και το GazeAlyze (Berger et al. 2012), μπορεί να βοηθήσει τους ερευνητές στη διερεύνηση διαφορετικών αλγορίθμων ή παραμέτρων που σχετίζονται με τη διαδικασία της οπτικής προσοχής. Σε πολλές μελέτες γίνεται διερεύνηση των κατάλληλων τιμών παραμέτρων που σχετίζονται με τη καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων (π.χ. Shic et al. 2008, Blignaut 2009) όπως μπορεί να είναι για παράδειγμα η αναζήτηση ενός κατωφλίου για τον εντοπισμό κινήσεων προσήλωσης. Γίνεται λοιπόν φανερό η σπουδαιότητα της ύπαρξης εργαλείων ανοικτού κώδικα έγκειται για τη βελτίωση ή την τροποποίηση υπαρχόντων εργαλείων.

Στον Πίνακα 3.1 γίνεται μια επισκόπηση των ελεύθερα διαθέσιμων λογισμικών εργαλείων που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία και είναι κατάλληλα για την ανάλυση καταγραφών οφθαλμικής κίνησης. Τα περισσότερα ελεύθερα λογισμικά εργαλεία αποτελούνται από μια διεπιφάνεια χρήστη μέσω της οποίας είναι δυνατόν να επιτυγχάνεται μεγάλος βαθμός διαδραστικότητας.

Πίνακας 3.1 Επισκόπηση των λογισμικών εργαλείων που διανέμονται ελεύθερα και είναι κατάλληλα για ανάλυση καταγραφών οφθαλμικών κινήσεων.

Λογισμικό ανάλυσης	Δημιουργοί λογισμικού	Έτος δημοσίευσης
ILAB	Gitelman	2002
Eyelink Toolbox	Cornelissen et al.	2002
iComp	Heminghous & Duchowski	2006
openEyes	Li et al.	2006
eyePatterns	West et al.	2006
ASTEF	Camilli et al.	2008
iComponent	Spakov & Miniotas	2008
OGAMA	Voßkühler et al.	2008

Λογισμικό ανάλυσης	Δημιουργοί λογισμικού	Έτος δημοσίευσης
ITU Gaze Tracker	San Agustin et al.	2010
GazeAlyze	Berger et al.	2012
EHCA Toolbox	Schwab et al.	2012
GazeParser	Sogo	2013

Κεφάλαιο 4

Αξιοποίηση τεχνικών καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων σε χαρτογραφικά πειράματα

Η μέθοδος καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων χρησιμοποιείται στη χαρτογραφία από το 1971 (Steinke 1987, MacEachren 1995). Οι αρχικές μελέτες της χαρτογραφικής κοινότητας δεν βασιζόταν σε κάποια δομημένη θεωρητική βάση (MacEachren 1995). Όπως αναφέρει ο Steinke (1987), οι έρευνες των χαρτογράφων ακολούθησαν την εξής προσέγγιση: *“Ας παρατηρήσουμε τι γίνεται αν τοποθετήσουμε ένα χάρτη μπροστά από κάποιον, καταγράφοντας την κίνηση των οφθαλμών του”* (Steinke 1987). Το χτίσιμο μιας θεωρητικής βάσης απαιτεί τη μελέτη επιστημονικών ερευνών, σχετικών τόσο με τις γνωσιακές διαδικασίες οι οποίες συμβαίνουν κατά την παρατήρηση μιας σκηνής όσο και με την αξιολόγηση της διαδικασίας σχεδιασμού της. Το ενδιαφέρον των χαρτογράφων εστιάζεται σε έρευνες που σχετίζονται με τις μετακινήσεις του βλέμματος μεταξύ διαφορετικών περιοχών μιας οθόνης γραφικών (Steinke 1987). Συγκεκριμένα, ερευνώνται οι περιοχές του οπτικού ερεθίσματος όπου εστιάζεται η προσοχή του βλέμματος, ο χρόνος εστίασης στις περιοχές αυτές και η σειρά παρατήρησης μεταξύ των διαφορετικών θέσεων. Όπως αναφέρει στην εργασία του ο Steinke (1987), οι μελέτες στις οποίες, αρχικά τουλάχιστον, έστρεψαν το ενδιαφέρον τους οι χαρτογράφοι είχαν να κάνουν με ζωγραφική, διαφημίσεις σε εφημερίδες και φωτογραφίες. Δύο είναι οι βασικοί λόγοι για τους οποίους οι συγκεκριμένες μελέτες υπήρξαν σημαντικές για τη χαρτογραφική έρευνα (Steinke 1987):

- Τα αντικείμενα που εξετάζονται είναι δύο διαστάσεων.
- Τα αντικείμενα υφίσταται έντονη διακύμανση μεταξύ των γραφικών τους ιδιοτήτων (π.χ. μέγεθος, σχήμα, πρότυπο κτλ).

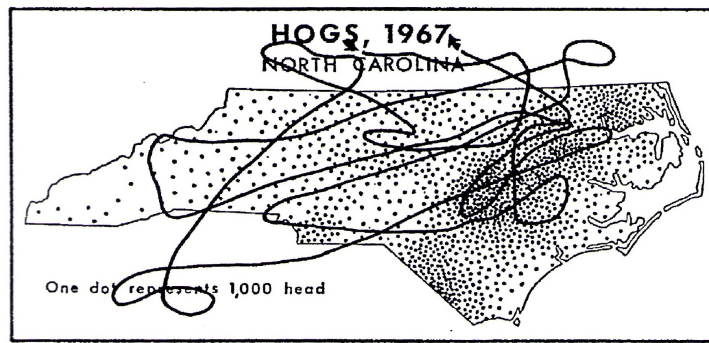
Είναι εύκολο να αναλογιστεί κανείς τις ομοιότητες των συγκεκριμένων μελετών με την περίπτωση του κλασικού αναλογικού χάρτη δύο διαστάσεων, ο σχεδιασμός του οποίου πραγματοποιείται διαφοροποιώντας τις οπτικές μεταβλητές. Οι μελέτες αυτές συντελούν στην ανάπτυξη της χαρτογραφικής έρευνας, υποδεικνύοντας τη χρήση

συγκεκριμένων τεχνικών καταγραφής αλλά και τη διατύπωση συγκεκριμένων ερωτημάτων (Steinke 1987).

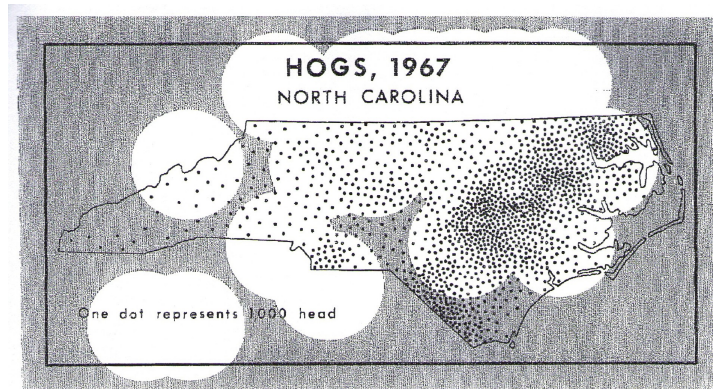
4.1 Πρώιμες χαρτογραφικές έρευνες

Το έναυσμα για την ενασχόληση της χαρτογραφικής κοινότητας με τη μεθοδολογία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων για τη μελέτη της λειτουργίας του χάρτη, έδωσε ο ψυχολόγος Williams (1971) (αναφορά Steinke 1987). Ο Williams (1971) διεξήγαγε πειράματα με σκοπό την καταγραφή του χρόνου διάρκειας, αλλά και τρόπου (κινήσεις οφθαλμών) εντοπισμού ενός συγκεκριμένου στόχου. Τα σύμβολα που χρησιμοποίησε ο Williams ήταν γεωμετρικά ενώ ο εντοπισμός του επιθυμητού στόχου γινόταν μεταξύ 100 συμβόλων. Η έρευνα του Williams, έδειξε ότι τα υποκείμενα επικεντρώνουν το βλέμμα τους περισσότερο σε σύμβολα με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Επιπλέον, έδειξε ότι ο διαχωρισμός συμβόλων είναι αποδοτικότερος όταν χρησιμοποιείται το χρώμα σε σχέση με το μέγεθος, ενώ η αναζήτηση είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν σαν μοναδικό χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται το μέγεθος σε σχέση με το σχήμα. Επιπροσθέτως, η έρευνα του Williams υποδηλώνει πως όταν ένα υποκείμενο έχει πληροφορίες σχετικά με περισσότερες από μία διαστάσεις ενός συμβόλου, επικεντρώνεται στη διάσταση την οποία είναι σε θέση να διαχωρίσει ευκολότερα, αγνοώντας τις υπόλοιπες (αναφορά Steinke 1987).

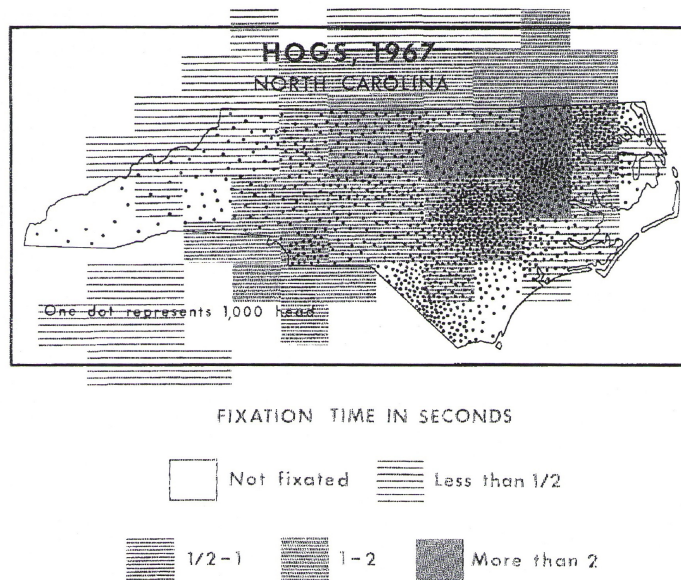
Ο Jenks (1973) χρησιμοποιώντας ένα χάρτη κουκκίδων ζήτησε από 8 υποκείμενα να σχεδιάσουν περιοχές γύρω από τις διαφορετικές κλάσεις πυκνότητας κουκκίδων, καταγράφοντας τις κινήσεις των οφθαλμών τους. Η ιδέα στην οποία βασίστηκε η δουλειά του Jenks ήταν η ακόλουθη: “αν γνωρίζουμε σε ποια σημεία κοιτάει ο αναγνώστης ενός θεματικού χάρτη, οι λεπτομέρειες που είναι δυνατόν να θυμηθεί θα ανήκουν σε ένα από τα σημεία αυτά (Fleming 1969), ενώ αν δεν κοιτάει κάπου είναι πιθανόν να μην μπορεί να δει και να θυμηθεί αυτές τις λεπτομέρειες του χάρτη” (Jenks 1973). Ο Jenks δημιούργησε τρεις διαφορετικούς τύπους “χαρτών αντίληψης” των παρατηρητών: χάρτες του οπτικού ίχνους της οπτικής αναζήτησης (Εικόνα 4.1), χάρτες που απεικονίζουν τις περιοχές που έχουν παρατηρηθεί κατά την ανάγνωση του χάρτη (Εικόνα 4.2) και χάρτες όπου απεικονίζεται ο χρόνος παρατήρησης (Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.1 Οπτικό ίχνος της οπτικής αναζήτησης στα πειράματα του Jenks (Jenks 1973).



Εικόνα 4.2 Περιοχές που έχουν παρατηρηθεί κατά την ανάγνωση του χάρτη στα πειράματα του Jenks (Jenks 1973).



Εικόνα 4.3 Χάρτης του χρόνου παρατήρησης στα πειράματα του Jenks (Jenks 1973).

Ο Jenks παρατήρησε ότι η σειρά με την οποία διαβάζεται ο χάρτης είναι ασταθής, μη οργανωμένη και παρουσιάζει ανομοιομορφία μεταξύ των υποκειμένων. Τα υποκείμενα έδειξαν να παρατηρούν τις περιοχές του χάρτη όπου η κατανομή των κουκκίδων είναι πυκνότερη και την περιοχή όπου είναι τοποθετημένος ο τίτλος του. Ο Jenks συμπέρανε ότι οι βοηθητικές πληροφορίες του χάρτη αποσπούν τον αναγνώστη, ενώ η θέση στην οποία τοποθετούνται διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κατεύθυνση των διαδικασιών ανάγνωσης του.

Σε συνέχεια της δουλειάς του Jenks, ο Dobson (1977, 1979) θέλοντας να εξετάσει κατά πόσο η ύπαρξη ορίων είναι σε θέση να ενθαρρύνει την απόκτηση πληροφοριών ή όχι (αναφορά Steinke 1987) σχεδίασε ένα νέο χαρτογραφικό πείραμα κάνοντας χρήση της μεθοδολογίας καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων. Συγκεκριμένα, κατασκεύασε δύο χάρτες με κυκλικά σύμβολα, εκ των οποίων ο ένας περιείχε γραμμές ορίων ενώ ο άλλος όχι. Στα πειράματα του Dobson συμμετείχαν συνολικά 20 υποκείμενα (10 για κάθε χάρτη), από τα οποία ζητήθηκε να διαβάσουν το χάρτη όπως θα γινόταν αν τον έβλεπαν σε ένα διδακτικό βιβλίο ή ένα άρθρο. Έπειτα, τα υποκείμενα κλήθηκαν να απαντήσουν σε ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με το πως σκέφτηκαν κατά την ανάγνωση του χάρτη και σχετικά με διάφορα χαρακτηριστικά του. Οι παράμετροι της οφθαλμικής καταγραφής ως προς τις οποίες ο Dobson μελέτησε την οπτική συμπεριφορά των υποκειμένων ήταν οι θέσεις των σημείων προσήλωσης, η διάρκεια και ο συνολικός αριθμός των προσηλώσεων καθώς και ο συνολικός χρόνος παρατήρησης. Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων υποκειμένων. Στα πειράματα της έρευνας του Dobson, η σειρά παρατήρησης μεταξύ των περιοχών του χάρτη δεν εμφανίζει κάποια ομοιομορφία, ενώ οι μορφές των οπτικών ιχνών ήταν μοναδικές. Τα οπτικά ίχνη που καταγράφηκαν ήταν απλά, χωρίς να εμφανίζουν κάποια κυκλική μορφή. Ο Dobson δεν κατάφερε να διαπιστώσει διαφορά στην επεξεργασία της χωρικής πληροφορίας μεταξύ των δύο διαφορετικών χαρτών. Βέβαια, ένα σημαντικό στοιχείο των αποτελεσμάτων ήταν ότι τα υποκείμενα προσηλώνουν την προσοχή του βλέμματος σε περιοχές του χάρτη όπου υπάρχει πληροφορία, ενώ οι αναγνώστες αγνοούν τα χαρακτηριστικά ή τις περιοχές οι οποίες κρίνονται ως μη πληροφοριακές. Το στοιχείο αυτό, υποδεικνύει μια διαδικασία υψηλής οπτικής επεξεργασίας όπου οι πληροφορίες των διαφόρων

μερών του περιφερειακού πεδίου αξιολογούνται και αποφασίζεται προς τα πού κατευθύνεται η κεντρική όραση (Steinke 1987). Επιπλέον, ο Steinke (1987), παραθέτοντας στην εργασία του τη δουλειά του Dobson, σημειώνει ότι η γραφική οργάνωση της χαρτογραφικής απεικόνισης είναι σημαντική όσο και η ικανότητα του αναγνώστη να χρησιμοποιήσει τη γραφική πληροφορία ώστε να δομήσει μια αποτελεσματική αναζήτηση.

Οι εργασίες των Jenks και Dobson, συμπληρώθηκαν από την αντίστοιχη του Steinke (1979), ο οποίος έθεσε ως βασικούς στόχους της έρευνάς του την επιδίωξη για γνώση περισσότερων στοιχείων σχετικά με τη διαδικασία ανάγνωσης του χάρτη μέσω των οφθαλμικών κινήσεων καθώς και τη διερεύνηση της επίδρασης της παρουσίας ή μη συγκεκριμένων στοιχείων, στα οποία δεν συμπεριλαμβάνεται το κύριο μέρος, στο τρόπο ανάγνωσης αλλά και στην κατανόηση ως προς το πρωταρχικό μήνυμα της χαρτογραφικής απεικόνισης. Ο Steinke, για την έρευνα του, κατασκεύασε τρεις διαφορετικές εκδοχές του ίδιου χάρτη. Στην πρώτη εκδοχή ο χάρτης αποτελούταν μόνο από το κύριο μέρος, στη δεύτερη προστέθηκε τίτλος, υπόμνημα και οι πηγές δημιουργίας, ενώ στην τρίτη εκδοχή ο χάρτης συμπληρώθηκε από το ένα βέλος που έδειχνε τη διεύθυνση του Βορρά, από τη κλίμακα, από τα στοιχεία του συντάκτη του και από διάφορες συμπληρωματικές γραμμές. Ακολουθώντας τη μεθοδολογία του Dobson, ο Steinke δεν περιορίσε τα υποκείμενα της έρευνάς του σε μία συγκεκριμένη εργασία. Συγκεκριμένα, ζητήθηκε να παρατηρηθεί ο χάρτης όπως αν συναντιόταν σε ένα διδακτικό βιβλίο, χωρίς να υπάρχει κάποιος περιορισμός στο χρονικό διάστημα παρατήρησης. Μετά την καταγραφική διαδικασία, τα υποκείμενα συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο, βασικό μέρος του οποίου ήταν η ανακατασκευή του προτύπου των κυκλικών συμβόλων πάνω στο κύριο χαρτογραφικό υπόβαθρο. Με την κατασκευή του προτύπου των κύκλων από τα υποκείμενα, μετά την ελεύθερη παρατήρηση του χάρτη, σκοπός του Steinke ήταν να εξετάσει κατά πόσο το κάθε υποκείμενο κατανόησε ή όχι το πρωταρχικό μήνυμα της απεικόνισης. Στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, παρατηρήθηκε μεγάλη πολυπλοκότητα και ανομοιόμορφη συμπεριφορά παρατήρησης για κάθε υποκείμενο. Βέβαια, παρά το γεγονός αυτό, το κοινό στοιχείο μεταξύ των καταγραφών ήταν ότι μεγάλο μέρος της προσοχής του βλέμματος αφιερώθηκε στις περιοχές των χαρτών όπου υπήρχαν πληροφορίες, όπως το κύριο μέρος, το υπόμνημα και ο τίτλος, ενώ

όμοια οπτική συμπεριφορά δεν υποδεικνυόταν σε λιγότερο πληροφοριακές περιοχές. Επιπλέον, ο Steinke παρατήρησε ομοιότητα ως προς το σημείο απ' όπου ξεκινούσε η δημιουργία των οπτικών ιχνών (από το πάνω ή από το κεντρικό μέρος του απεικονιζόμενου χάρτη). Η ανάλυση των σημείων προσήλωσης, έδειξε ότι ο μέσος χρόνος προσήλωσης στα σημεία όπου υπάρχει κείμενο είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο σε θέσεις όπου υπάρχουν γραφικά στοιχεία. Επιπροσθέτως, με τη δημιουργία και έπειτα με την εκτέλεση πειραμάτων με τις τρεις διαφορετικές εκδοχές του ίδιου χάρτη, ο Steinke συμπέρανε ότι όσο ο αριθμός των στοιχείων του χάρτη αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και ο χρόνος παρατήρησης, αλλά λιγότερος χρόνος αφιερώνεται στο κύριο μέρος του. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι οι ανακατασκευές των κυκλικών συμβόλων ήταν ακριβέστερες στην πρώτη εκδοχή του χάρτη όπου εμφανιζόταν μόνο το κύριο μέρος.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, αρχικά από τον Jenks, αλλά και έπειτα από τους Dobson και Steinke ήταν παρεμφερείς. Οι δύο τελευταίοι ως φοιτητές του Jenks (αναφορά Steinke 1987) θέλησαν να επεκτείνουν την αρχική προσέγγιση με σκοπό να εξάγουν περισσότερα συμπεράσματα σχετικά με τη μελέτη της διαδικασίας ανάγνωσης-παρατήρησης του χάρτη, κάνοντας χρήση της μεθοδολογίας καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων. Η δουλειά των τριών ερευνητών έδειξε ότι κατά την παρατήρηση του χάρτη, διαχωρίζονται οι χρήσιμες πληροφορίες και η προσοχή του βλέμματος κατευθύνεται στις περιοχές όπου αυτές υφίστανται. Τόσο η παρουσία όσο και η θέση των βοηθητικών στοιχείων του χάρτη δείχνουν να κατευθύνουν την διαδικασία ανάγνωσης του (Jenks 1973).

Παράλληλα με τις έρευνες των Jenks, Dobson και Steinke, το 1971 ο Guyot (αναφορά Steinke 1987 και MacEachren 1995) χρησιμοποίησε τη μεθοδολογία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων με σκοπό τη σύγκριση σκιασμένων προτύπων κατά την παρατήρηση δύο χαρτών και τη σύγκρισή τους με ένα πρότυπο χάρτη. Τα στοιχεία της μεθόδου τα οποία ανέλυσε ο Guyot ήταν ο αριθμός, η διάρκεια, η σειρά των σημείων προσήλωσης καθώς και η θέση της πρώτης προσήλωσης στη σκηνή. Ο Guyot παρατήρησε ότι η προσοχή του βλέμματος των υποκειμένων συγκεντρώνεται περισσότερο στο χάρτη που επιλεγόταν ότι μοιάζει περισσότερο με τον πρότυπο χάρτη. Επιπλέον, μέσα από τη δουλειά του Guyot υποδεικνύεται ότι, κατά την παρατήρηση ενός χάρτη υπάρχει κάποια περιφερειακή εξέταση που είναι σε θέση να

αναγνωρίζει όμοια πρότυπα και στη συνέχεια να υπαγορεύει την οπτική συμπεριφορά σύμφωνα με την οποία ολοκληρώνεται η διαδικασία της οπτικής αναζήτησης.

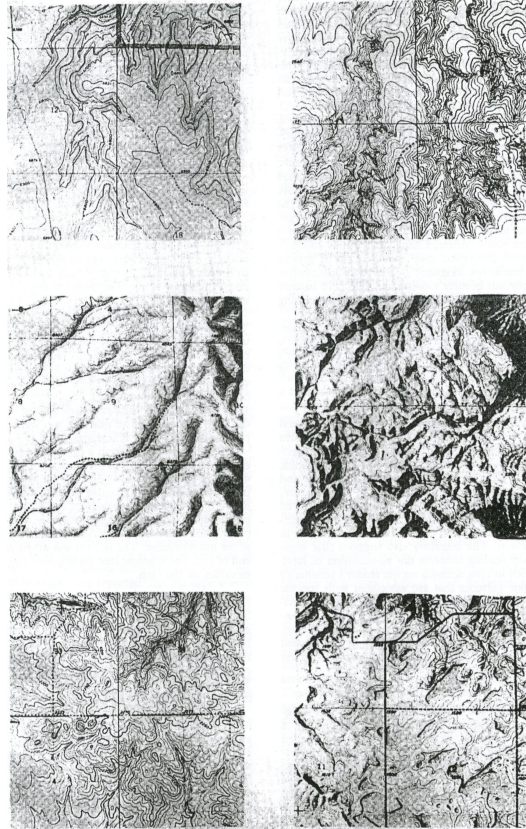
Η μεθοδολογία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων εφαρμόστηκε και σε πειράματα του DeLucia (1974, 1976). Συγκεκριμένα, ο DeLucia χρησιμοποίησε τμήματα τεσσάρων τοπογραφικών χαρτών όπου απεικονιζόταν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί δύο διαφορετικών κλιμάκων και δύο διαφορετικών τρόπων απόδοσης της τοπογραφίας της περιοχής. Οι διαφορετικές κλίμακες των χαρτών ήταν 1:62500 και 1:25000, ενώ οι δύο τρόποι απόδοσης του αναγλύφου ήταν με ισοΰψεις καμπύλες και με σκιασμένο ανάγλυφο. Στο πείραμα συμμετείχαν συνολικά τέσσερα υποκείμενα. Αρχικά παρατηρούνταν και οι τέσσερις χάρτες σε συνθήκες ελεύθερης σάρωσης και έπειτα μόνο οι χάρτες με το σκιασμένο ανάγλυφο και τις ισοΰψεις σε κλίμακα 1:62500. Τα υποκείμενα έπρεπε να εντοπίσουν ένα χαρακτηριστικό και έπειτα να συγκρίνουν και να βαθμολογήσουν δύο σύμβολα, δίνοντας μια λεκτική απάντηση. Ο DeLucia συμπέρανε ότι οι παράγοντες που καθορίζουν την ανάγνωση του χάρτη έχουν να κάνουν τόσο με τη μορφή του όσο και με την προς εκτέλεση εργασία. Σε μια κατάσταση ελεύθερης παρατήρησης, ο σχεδιασμός του χάρτη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο, ενώ όταν εκτελείται μια συγκεκριμένη εργασία, η φύση της εργασίας επηρεάζει περισσότερο τη διαδικασία. Τα χαρακτηριστικά που προσελκύουν την προσοχή του βλέμματος των αναγνώστων είναι αρκετά, ενώ οι τελευταίοι τείνουν να επιστρέφουν σε σημεία ενδιαφέροντος. Επιπλέον, ο DeLucia σημείωσε ότι η διαδικασία εντοπισμού δε γίνεται με γραμμικό τρόπο και δεν εμφανίζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών τύπων χαρτών. Ο DeLucia αναφέρει χαρακτηριστικά στην εργασία του ότι ο σχεδιασμός των πειραμάτων θα πρέπει να είναι σε θέση να αξιολογήσει το χάρτη ως προς το πόσο αποτελεσματικά επιτρέπει στον αναγνώστη να εκτελέσει λειτουργίες που αναφέρονται στο αρχικό πρόβλημα σχεδιασμού (DeLucia 1976).

Η διαδικασία της οπτικής αναζήτησης πάνω σε χάρτες με τη βοήθεια της μεθοδολογίας καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, μελετήθηκε και από τους Phillips και Noyes (Phillips & Noyes 1977, Noyes 1978). Συγκεκριμένα, οι Phillips και Noyes σχεδίασαν πειράματα με σκοπό τη μελέτη της διαδικασίας εντοπισμού ονομάτων πάνω σε χαρτογραφικά υπόβαθρα (Εικόνα 4.4). Διαπιστώθηκε, ότι ο

Σε συνέχεια των χαρτογραφικών μελετών, η επίδραση των διαφορετικών σχεδιασμών στη διαδικασία ανάγνωσης χάρτη μελετήθηκε από τους Mullis, Chang και Antes, μέσω της μεθοδολογίας καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, με τη διεξαγωγή δύο σειρών πειραμάτων (Mullis & Chang 1984, Antes et al. 1985). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν χάρτες με κυκλικά σύμβολα, οι οποίοι διέφεραν ως προς την πολυπλοκότητα των κύκλων, τη διαρρύθμιση και την εξισορρόπηση μεταξύ των στοιχείων τους. Ζητήθηκε από τα υποκείμενα να παρατηρήσουν τους χάρτες χωρίς να δοθούν συγκεκριμένες οδηγίες. Στην πρώτη σειρά των πειραμάτων ζητήθηκε ο επανασχεδιασμός των μεγαλύτερων κύκλων του χάρτη. Στη δεύτερη σειρά, ζητήθηκε από τα υποκείμενα να ανακαλέσουν στη μνήμη τους τον τίτλο και τον υπότιτλο του χάρτη, τον αριθμό των κύκλων που εμφανιζόταν στο υπόμνημα καθώς και να επανασχεδιάσουν τους μεγαλύτερους κύκλους. Παρατήρησαν ότι δεν σημειώνονταν σημαντικές διαφορές στην επίδοση της μνήμης των παρατηρητών. Στην έρευνα των Mullis, Chang και Antes, ο χαρτογραφικός σχεδιασμός δεν δείχνει να επηρεάζει σημαντικά την απόδοση ανάγνωσης ή τις εργασίες μνήμης που σχετίζονται με την αποτελεσματικότητα του χάρτη.

Ο παράγοντας της επίδρασης της εμπειρίας στην ανάγνωση του χάρτη, εκτός από τον Castner (1979), μελετήθηκε και από τους Chang, Antes και Lenzen (1985) μέσω της μεθοδολογίας καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων. Τα υποκείμενα των πειραμάτων τους (συνολικά 44) ταξινομήθηκαν σε δύο ομάδες (22 άτομα ανά ομάδα) ανάλογα με την εμπειρία τους (ομάδα έμπειρων και μη υποκειμένων αντίστοιχα). Για τη διεξαγωγή της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν δέκα τοπογραφικοί χάρτες, οι οποίοι περιελάμβαναν περιοχές με χαμηλά και υψηλά υψόμετρα, όπου υπήρχαν αραιές και πυκνές υψομετρικές καμπύλες αντίστοιχα (Εικόνα 4.5). Στους πέντε από τους δέκα χάρτες η υψομετρική πληροφορία δινόταν μόνο με ισοϋψείς καμπύλες, ενώ στους υπόλοιπους πέντε, η τρίτη διάσταση γινόταν αντιληπτή και μέσω της σκίασης αναγλύφου. Τα υποκείμενα της έρευνας κλήθηκαν να απαντήσουν πληροφορίες σχετικές με απόλυτα και σχετικά υψόμετρα. Η συγκεκριμένη έρευνα έδειξε ότι ο παράγοντας της εμπειρίας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση της συγκεκριμένης εργασίας. Η ομάδα των έμπειρων υποκειμένων ήταν σε θέση να ερμηνεύσει καλύτερα τις υψομετρικές πληροφορίες. Συγκεκριμένα, οι διάρκειες των προσηλώσεων ήταν μικρότερες στην περίπτωση των έμπειρων υποκειμένων, ενώ οι

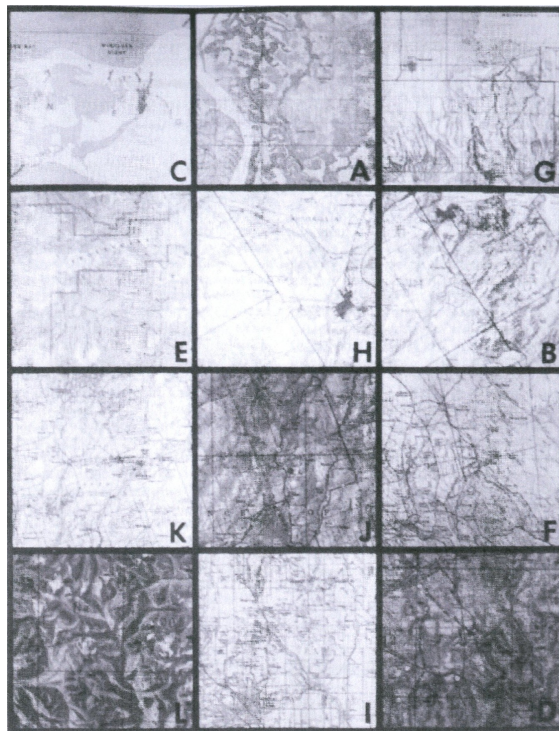
αποστάσεις μεταξύ των προσηλώσεων που αντιστοιχούν στο μήκος των σακκαδικών κινήσεων δεν εμφάνιζαν σημαντικές διαφορές.



Εικόνα 4.5 Η μορφή των έξι από τους δέκα τοπογραφικούς χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Chang, Antes και Lenzen (Chang et al. 1985).

Οι Castner και Eastman (1984, 1985) διερεύνησαν τον τρόπο με τον οποίο επιδρά η αντιλαμβανόμενη πολυπλοκότητα στη διαδικασία ανάγνωσης του χάρτη. Κατά τη διάρκεια της παρατήρησης ενός χάρτη είναι δυνατόν να εκτελείται κάποια εργασία ή όχι. Όταν υπάρχει μία εργασία προς εκτέλεση κατά την παρατήρηση του χάρτη, η συγκεκριμένη εργασία έχει μεγάλη σημασία μέχρι να επισπευσθούν ορισμένες γνωσιακές διαδικασίες. Οι διαδικασίες αυτές κατευθύνουν την οπτική συμπεριφορά κάνοντας τις σχεδιαστικές επιλογές του χαρτογράφου λιγότερο σημαντικές (Steinke 1987). Στην περίπτωση αυτή, τα μετρητικά στοιχεία της οφθαλμικής καταγραφής (προσηλώσεις, αποστάσεις μεταξύ προσηλώσεων, οπτικά ίχνη κτλ), τα οποία ουσιαστικά αποτελούν τεχνητά δημιουργήματα, θα πρέπει να

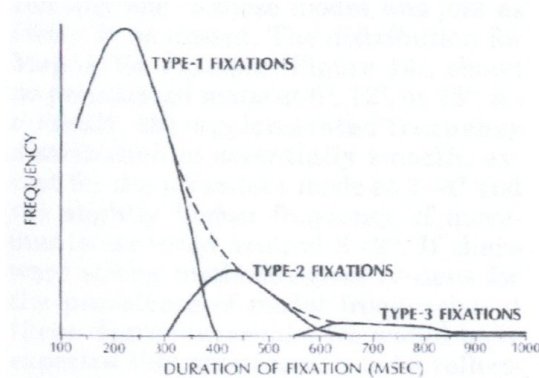
είναι διακριτά και ερμηνεύσιμα (Castner & Eastman 1984, αναφορά Steinke 1987). Όταν η παρατήρηση του χάρτη γίνεται χωρίς να υπάρχει μια συγκεκριμένη εργασία προς εκτέλεση, ο αναγνώστης ανταποκρίνεται στις φυσικές ιδιότητες του μεμονωμένου οπτικού ερεθίσματος, στις ιδιότητες Gestalt όλων των ερεθισμάτων συνολικά και σε γνωσιακές ιδιότητες (από “κάτω προς τα πάνω” παρατήρηση) οι οποίες δημιουργούνται κατά την παρατήρηση του ερεθίσματος (Castner & Eastman 1984). Τα πειράματα των Castner και Eastman (1985) βασίστηκαν στην υπόθεση ότι όσο η αντιλαμβανόμενη πολυπλοκότητα αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και δυσκολία στη διαδικασία της ανάγνωσης του χάρτη. Η δυσκολία στην ανάγνωση υποδεικνύεται μέσα από προσηλώσεις μεγάλης διάρκειας οι οποίες συνδυάζονται με μικρότερου μήκους σακκαδικές κινήσεις. Για τη διερεύνηση της συγκεκριμένης υπόθεσης, διεξάχθηκαν πειράματα όπου δύο ομάδες υποκειμένων κλήθηκαν να βαθμολογήσουν την πολυπλοκότητα χαρτών, οι οποίοι χαρακτηριζόταν από μεγάλο εύρος οπτικής πολυπλοκότητας. Συνολικά παρατηρήθηκαν 12 τμήματα χαρτών, με διαφορετικές κλίμακες, γεωμορφολογία εδάφους και διαφορετικούς τρόπους απόδοσης υψομέτρων (Εικόνα 4.6). Η παρατήρηση κάθε χάρτη γινόταν για έξι δευτερόλεπτα. Τα στοιχεία της οφθαλμικής καταγραφής στα οποία βασίστηκε η ανάλυση των αποτελεσμάτων ήταν η διάρκεια των προσηλώσεων και το μήκος των μεταξύ τους αποστάσεων.



Εικόνα 4.6 Τα 12 τμήματα χαρτών των πειραμάτων των Castner και Eastman, τα οποία χαρακτηρίζονται από διαφορετικές κλίμακες, διαφορετική γεωμορφολογία εδάφους και διαφορετικούς τρόπους απόδοσης των υψομέτρων (Castner & Eastman 1985).

Οι Castner και Eastman όρισαν τρεις διαφορετικούς τύπους προσηλώσεων ανάλογα με τη διάρκεια τους. Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει τις προσηλώσεις που συμβαίνουν σε χρονικό διάστημα μέχρι και 300 msec. Στο συγκεκριμένο τύπο προσηλώσεων αντιστοιχεί η πρωταρχική απόκτηση των δεδομένων. Ο δεύτερος τύπος προσηλώσεων περιλαμβάνει προσηλώσεις διάρκειας από 400-550 msec. Στον τύπο αυτόν των προσηλώσεων αντιστοιχούν διαδικασίες που σχετίζονται με κωδικοποιήσεις δεδομένων και διαδικασίες σχετικές με πολύπλοκα ή άγνωστα στοιχεία της οπτικής σκηνής. Στον τρίτο τύπο, ανήκουν οι προσηλώσεις που συμβαίνουν σε χρονικό διάστημα από 650 msec και πάνω. Στην περίπτωση αυτή, οι γνωσιακές διαδικασίες που συμβαίνουν πιθανόν είναι αρκετά υψηλού επιπέδου. Στην Εικόνα 4.7 απεικονίζεται μέσω ενός διαγράμματος η συχνότητα των τριών διαφορετικών τύπων προσηλώσεων σε συνάρτηση με τη διάρκεια τους. Η ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων σε προσηλώσεις των τριών διαφορετικών τύπων έδειξε ότι ο δεύτερος τύπος προσηλώσεων εμφανίζει θετική και αρκετά σημαντική συσχέτιση με την

αντιλαμβανόμενη πολυπλοκότητα. Για τις συσχετίσεις των μεγεθών, οι Castner και Eastman χρησιμοποίησαν μεθόδους ανάλυσης συσχέτισης. Η αντιλαμβανόμενη πολυπλοκότητα σχετίζεται με γνωσιακές διαδικασίες υψηλού επιπέδου, οι οποίες αντικατοπτρίζονται μέσω μεγάλης διάρκειας προσηλώσεων (δεύτερου τύπου όπως κατατάσσονται από τους Castner και Eastman) και από κατακερματισμό του χάρτη σε περισσότερες εικόνες, όπως υποδεικνύεται από το μικρότερο μήκος σακκαδικών κινήσεων (Castner & Eastman 1985).



Εικόνα 4.7 Η συχνότητα των τριών διαφορετικών τύπων προσηλώσεων σε συνάρτηση με τη διάρκεια τους (Castner & Eastman 1985).

4.2 Σύγχρονες χαρτογραφικές έρευνες

Στο χρονικό διάστημα που ακολουθεί, μετά τα πειράματα των Castner και Eastman, το πεδίο των υπολογιστών εμφανίζει μεγάλη άνθηση. Το στοιχείο αυτό συντέλεσε με τη σειρά του στην εφαρμογή της μεθόδου καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων για την αξιολόγηση της χρησιμότητας διεπιφανειών διαφόρων λογισμικών. Στο πεδίο των γεωεπιστημών, την ίδια περίοδο αρχίζουν να αναπτύσσονται τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, η λειτουργία των οποίων ολοκληρώνεται σε περιβάλλοντα, προσωπικών πλέον, υπολογιστικών συστημάτων. Το 1991, ο Morita αξιοποιώντας τη μεθοδολογία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, αξιολογεί το περιβάλλον ενός συστήματος πληροφοριών σχετικών με τις χρήσεις γης, τα χαρακτηριστικά των κτηρίων και τους κανονισμούς οριοθέτησης συνοικιών. Στα πειράματα του Morita, συμμετείχε μόνο ένα υποκείμενο, οι οφθαλμικές κινήσεις του οποίου καταγραφόταν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης δύο εργασιών. Η πρώτη εργασία σχετιζόταν με την αντιστοίχιση ενός βασικού χαρτογραφικού υποβάθρου με μια διεύθυνση που δινόταν. Η δεύτερη εργασία αφορούσε την αντιστοίχιση

διαφορετικών κατηγοριών χρήσεων με κτίρια κωδικοποιημένα με διαφορετικούς χρωματισμούς πάνω στην επιφάνεια μιας θεματικής απεικόνισης. Η λειτουργικότητα της διεπιφάνειας του λογισμικού κρινόταν με βάση την εξέταση της οπτικής σκηνής σε σχέση με τη θέση του κύριου μενού επιλογών και τη διάρθρωση των διαφορετικών παραθύρων που αποτελούσαν το σύστημα. Επιπλέον, η αξιολόγηση της σκηνής μέσω των οφθαλμικών κινήσεων, βασίστηκε στη σειρά των επιλογών που ακολουθεί το υποκείμενο, τη σειρά ανάγνωσης των θεματικών χαρτών και την παρουσία ή μη ιδιόμορφων οφθαλμικών κινήσεων. Η έρευνα του Morita κατέληξε σε αξιολογικά αποτελέσματα, γεγονός το οποίο συντέλεσε σε μια σειρά διαφορετικών προτάσεων για το σχεδιασμό των διεπιφανειών αυτού του είδους συστημάτων. Ο Morita υποστήριξε ότι η θέση του κύριου μενού θα πρέπει να αντιστοιχεί στην περιοχή μεταξύ του πάνω και του κεντρικού μέρους της σκηνής. Τα παράθυρα της εφαρμογής του συστήματος θα πρέπει να είναι οργανωμένα ώστε να αποφεύγονται άσκοπες μετακινήσεις του βλέμματος. Επιπλέον, η συγκεκριμένη έρευνα έδειξε ότι θα πρέπει να παρέχονται πληροφορίες στο χρήστη του συστήματος για τα επόμενα βήματα που πρόκειται να ακολουθήσει. Επιπροσθέτως, ο Morita σημείωσε ότι είναι προτιμότερο διαφορετικές πληροφορίες να υφίστανται σε διαφορετικές απεικονίσεις παρά ένας θεματικός χάρτης να περιλαμβάνει το σύνολο των διαφορετικών πληροφοριών. Επιπροσθέτως, στη συγκεκριμένη έρευνα παρατηρήθηκε ότι η προσοχή του βλέμματος του υποκειμένου προσελκύεται από στοιχεία της οθόνης τα οποία μετακινούνται. Έτσι, οι μετακινήσεις των στοιχείων της οθόνης τα οποία δεν είναι τόσο σημαντικά θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται. Η ύπαρξη του κύριου μενού θεωρείται απαραίτητη από τον Morita, ο οποίος την ισοσταθμίζει με την παρουσία του υποβάθρου ενός χάρτη. Ο Morita, μέσω της έρευνας του, υποστήριξε ότι η οθόνη ενός συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών θα πρέπει να αποτελείται από δύο κύρια μέρη, το κύριο παράθυρο επιλογών και το μέρος απεικόνισης των γεωγραφικών πληροφοριών.

Ο MacEachren (1995) συνοψίζοντας τις μελέτες των χαρτογράφων (έως τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο), οι οποίες σχετιζόνταν με τη μελέτη της διαδικασίας σάρωσης της οπτικής σκηνής, μέσω της καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, παρουσιάζει δύο βασικά ζητήματα που είναι άμεσα συνδεδεμένα με την χρήση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Το πρώτο ζήτημα σχετίζεται με τη φύση της

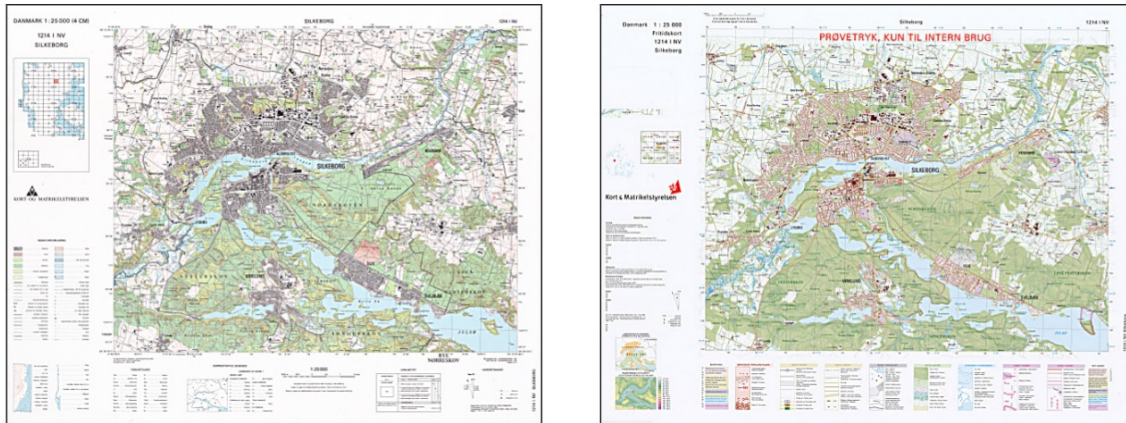
διαδικασίας, η οποία είναι αρκετά δύσκολη αλλά και δαπανηρή. Το δεύτερο ζήτημα, στο οποίο αναφέρεται, σχετίζεται περισσότερο με τον εννοιολογικό χαρακτήρα της διαδικασίας, υποστηρίζοντας ότι δεν υπάρχει τρόπος να αποδειχθεί αν οι θέσεις προσήλωσης του βλέμματος αποτελούν κατά ανάγκη και θέσεις προσοχής. Για το λόγο αυτό, πολλές μελέτες που θέτουν σαν ερώτημα τη διαδικασία της οπτικής αναζήτησης ενός συγκεκριμένου στόχου χρησιμοποιούν σαν μεθοδολογία μέτρησης της ανθρώπινης συμπεριφοράς τη καταγραφή του χρόνου αναζήτησης και της ορθότητας των απαντήσεων των υποκειμένων (MacEachren 1995).

Από το 1995 (που ο MacEachren θέτει τα δύο ζητήματα στη χαρτογραφική κοινότητα σχετικά με την αξιοποίηση της μεθοδολογίας) και έπειτα, τα συστήματα καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων έχουν αναπτυχθεί αρκετά. Η διεξαγωγή πειραμάτων, χαρτογραφικών αλλά και άλλων, μέσω της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι προσιτή και πλέον όχι τόσο δαπανηρή όπως τα πρώτα χρόνια που εμφανίστηκε. Σύγχρονα συστήματα καταγραφής, επιτρέπουν στον παρατηρητή της οπτικής σκηνής την παρατήρηση υπό συνθήκες συνηθισμένης θέασης χωρίς την απαίτηση για την αυστηρή ακινητοποίηση του. Γίνεται πλέον φανερό, ότι η μεθοδολογία καταγραφής του χρόνου αντίδρασης και της ορθότητας των απαντήσεων, είναι δυνατόν να επεκταθεί από αυτήν της καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων. Η μεθοδολογία δίνει άμεσα τη δυνατότητα, εκτός από την καταγραφή των θέσεων των μετακινήσεων του βλέμματος, της μέτρησης του χρόνου αντίδρασης. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει άμεσος τρόπος να καθορισθεί το αν οι θέσεις προσήλωσης του βλέμματος είναι κατ' ανάγκη και θέσεις προσοχής, όπως υποστηρίζει ο MacEachren, αν γνωρίζουμε σε ποια σημεία κοιτάει ο αναγνώστης ενός χάρτη, οι λεπτομέρειες οι οποίες είναι δυνατόν να θυμηθεί θα ανήκουν σε ένα από τα σημεία αυτά (Flemming 1969). Η πρόταση αυτή αποτέλεσε και τη βασική υπόθεση των πρωταρχικών ερευνών που ξεκίνησαν από τη χαρτογραφική κοινότητα (Jenks 1973). Επιπλέον, όπως σημειώνεται και από τους Çöltekin, Garlandini, Heil και Fabrikant (2008), η έννοια των χαρτών πλέον μπορεί να πάρει διαφορετική μορφή. Στις μέρες μας γίνεται λόγος για διαδραστικούς χάρτες, όπου αναγνώστης είναι σε θέση να καθορίσει τη μορφή και τα στοιχεία απεικόνισης ανάλογα με τις ανάγκες του.

Οι Brodersen, Andersen και Weber (2002) διεξήγαγαν πειράματα ώστε να εξετάσουν την ποιότητα της επικοινωνίας μεταξύ του αναγνώστη και του χάρτη. Για

τους σκοπούς της συγκεκριμένης έρευνας, η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων, συνδυάστηκε με την καταγραφή βίντεο της πειραματικής διαδικασίας καθώς και από ένα σύστημα βαθμολόγησης της ποιότητας της επικοινωνίας. Η βιντεοσκόπηση των πειραμάτων λειτούργησε βοηθητικά, δίνοντας τη δυνατότητα απομόνωσης σχολίων ή ιδιαίτερων συμπεριφορών (π.χ. νευμάτων κτλ.) των παρατηρητών κατά την εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών, ενώ η βαθμολόγηση της ποιότητας πραγματοποιήθηκε μέσω της αξιολόγησης της ταχύτητας, της βεβαιότητας και της ορθότητας των απαντήσεων των υποκειμένων. Στην ανάλυση των πειραμάτων των Brodersen, Andersen και Weber συμμετείχαν 10 υποκείμενα τα οποία κλήθηκαν να απαντήσουν σε ερωτήσεις διαφορετικού επιπέδου δυσκολίας πάνω σε δύο διαφορετικά χαρτογραφικά υπόβαθρα (Εικόνα 4.8). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δύο τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:25000, οι οποίοι απεικόνιζαν την ίδια γεωγραφική περιοχή, με διαφορετικό τρόπο οργάνωσης της πληροφορίας. Οι ερωτήσεις ήταν σχετικές με τον εντοπισμό κάποιας θέσης, με την αποκωδικοποίηση κάποιων στοιχείων του χάρτη, με την κυριολεκτική κατανόηση κάποιων στοιχείων ή την αποκωδικοποίησή τους και την κατανόηση της ερμηνείας τους. Τα στοιχεία των οφθαλμικών κινήσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ήταν ο αριθμός και η διάρκεια των σημείων προσήλωσης, η κατανομή του ποσοστού των προσηλώσεων καθώς και η κατανομή των οριζόντιων σε σχέση με τις κατακόρυφες κινήσεις. Από τη συγκεκριμένη έρευνα προέκυψε ότι ο αριθμός και η διάρκεια των προσηλώσεων δείχνει να επηρεάζεται από την πολυπλοκότητα του χάρτη, ενώ αντικείμενα με μεγάλες αντιθέσεις προσελκύουν την οπτική προσοχή. Η χρήση του υπομνήματος ήταν η ίδια ακόμα και αν αυξανόταν το επίπεδο δυσκολίας στην προς εκτέλεση εργασία. Η διάταξη του χάρτη και η συγκεκριμένα η σχετική θέση μεταξύ κυρίου μέρους και υπομνήματος, επηρεάζουν το ποσοστό των οριζόντιων σε σχέση με τις κατακόρυφες κινήσεις. Στην περίπτωση του χάρτη που η θέση του υπομνήματος ήταν κάτω από το κύριο μέρος, οι κατακόρυφες κινήσεις ήταν περισσότερες. Στο χαρτογραφικό σχεδιασμό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η απόδοση του ανθρώπινου οφθαλμού είναι καλύτερη στην οριζόντια διεύθυνση. Επιπροσθέτως, η βαθμολόγηση της συμπεριφοράς ήταν σύμφωνη με την ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων, ενώ οι Brodersen, Andersen και Weber υποστηρίζουν ότι ο συνδυασμός των μεθόδων είναι σε θέση να δώσει χρήσιμες πληροφορίες στους

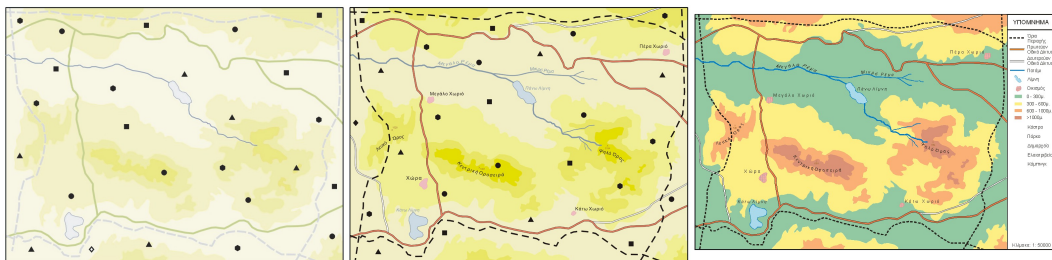
χαρτογράφους.



Εικόνα 4.8 Τα χαρτογραφικά υπόβαθρα που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Brodersen, Andersen και Weber (Brodersen et al. 2002).

Στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ έχει διεξαχθεί μία σειρά πειραμάτων με σκοπό τη μελέτη της επιρροής ιδιοτήτων της οπτικής μεταβλητής του σχήματος κατά τη διάρκεια της αναζήτησης ενός στόχου (Michaelidou et al. 2005, Πούλιου 2006, Τσαγκαράκη 2007, Κρασανάκης 2009, Krassanakis et al. 2011). Συγκεκριμένα μελετήθηκαν οι ιδιότητες της οπής και των γραμμικών απολήξεων οι οποίες χαρακτηρίζαν σημειακούς στόχους, τόσο αφαιρετικών όσο και γεωμετρικών συμβόλων που ήταν τοποθετημένοι στο κέντρο, το μέσο και την περιφέρεια πάνω σε απλό και σύνθετο χαρτογραφικό υπόβαθρο αλλά και σε υπόβαθρο που πλησίαζε την εικόνα πραγματικού χάρτη (Εικόνα 4.8). Επιπλέον, εξετάστηκε και η περίπτωση της οπτικής αναζήτησης όταν ο στόχος απουσίαζε από την οπτική σκηνή. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε βασιζόταν στις κλασικές μεθόδους μέτρησης του χρόνου αντίδρασης και της ορθότητας των απαντήσεων των υποκειμένων. Ένα μέρος των πειραμάτων αυτών, και συγκεκριμένα το πείραμα όπου η αναζήτηση των συμβόλων-στόχων γινόταν πάνω σε απλό χαρτογραφικό υπόβαθρο επαναλήφθηκε καταγράφοντας τις οφθαλμικές κινήσεις οκτώ παρατηρητών (Κρασανάκης 2009, Krassanakis et al. 2011). Τα στοιχεία των οφθαλμικών καταγραφών που εξετάστηκαν κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων ήταν περισσότερο ποιοτικά και αφορούσαν τη θέση του σημείου της οπτικής σκηνής απ' όπου ξεκινάει η αναζήτηση του στόχου, τη

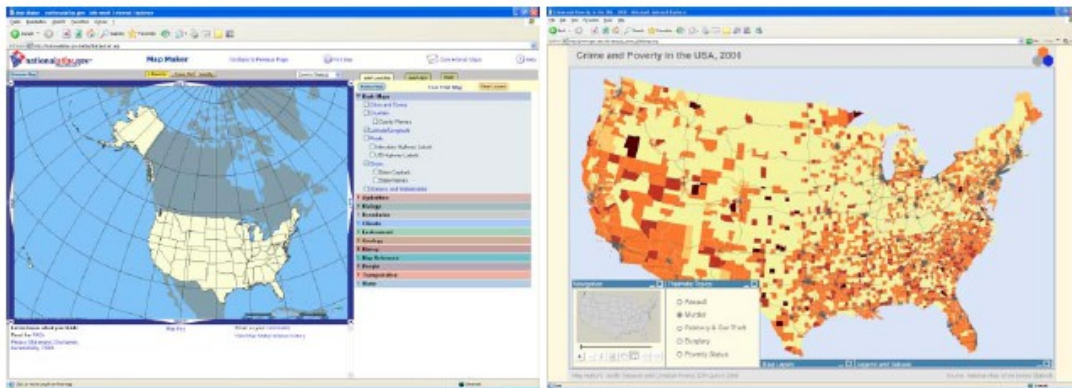
θέση των σημείων προσήλωσης, τη μορφή και την κατεύθυνση του οπτικού ίχνους και τον έλεγχο αν το υποκείμενο βεβαιώνεται ή όχι αν ο εντοπισμός του στόχου αντιστοιχούσε στο σωστό σύμβολο. Το συγκεκριμένο πείραμα, έδειξε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η διαδικασία της οπτικής αναζήτησης σε μία οπτική σκηνή, ξεκινάει από το σημείο όπου ο στόχος είχε τοποθετηθεί στην προηγούμενη σκηνή. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, η προσοχή του βλέμματος των υποκειμένων κατευθυνόταν στις ίδιες θέσεις, πριν γίνει οποιαδήποτε άλλη διαδικασία οπτικής αναζήτησης. Οι θέσεις εστίασης της προσοχής του βλέμματος αντιστοιχούσαν στις περιοχές του υποβάθρου όπου υπάρχει πληροφορία (σύμβολα) ή το υπόβαθρο γίνεται πιο σύνθετο, ενώ οι μεταβάσεις μεταξύ των περιοχών αυτών γινόταν μέσω σακκαδικών κινήσεων. Η πολυπλοκότητα της μορφής του οπτικού ίχνους ήταν μεγαλύτερη όταν ο στόχος εμφανιζόταν στην περιφέρεια του χάρτη ή όταν ο στόχος απουσίαζε. Επιπροσθέτως, στις δύο αυτές περιπτώσεις το οπτικό ίχνος καταλάμβανε περισσότερο χώρο στην οπτική σκηνή. Η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων κατά την οπτική αναζήτηση, όταν ο στόχος ήταν απών, δεν έδειξε ότι υπάρχει κάποια συγκεκριμένη μορφή ή πρότυπο σάρωσης. Η επιβεβαίωση για την εύρεση του στόχου ήταν ανεξάρτητη από τη θέση που ήταν τοποθετημένος.



Εικόνα 4.9 Τα χαρτογραφικά υπόβαθρα διαφορετικής πολυπλοκότητας που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα του εργαστηρίου Χαρτογραφίας Ε.Μ.Π. (Michaelidou et al. 2005, Πούλιου 2006, Τσαγκαράκη 2007, Κρασανάκης 2009).

Τα πειράματα των Çöltekin, Garlandini, Heil και Fabrikant (2008) εντάσσονται στις σύγχρονες χαρτογραφικές μελέτες που διεξάγονται μέσω της μεθοδολογίας καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων. Τα συγκεκριμένα πειράματα περιλάμβαναν την αξιολόγηση δύο ηλεκτρονικών χαρτών (εικόνα) με σκοπό την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων στο σχεδιασμό των διεπιφανειών των χαρτών που παρατίθενται στο διαδίκτυο. Συνολικά συμμετείχαν 30 υποκείμενα, τα οποία

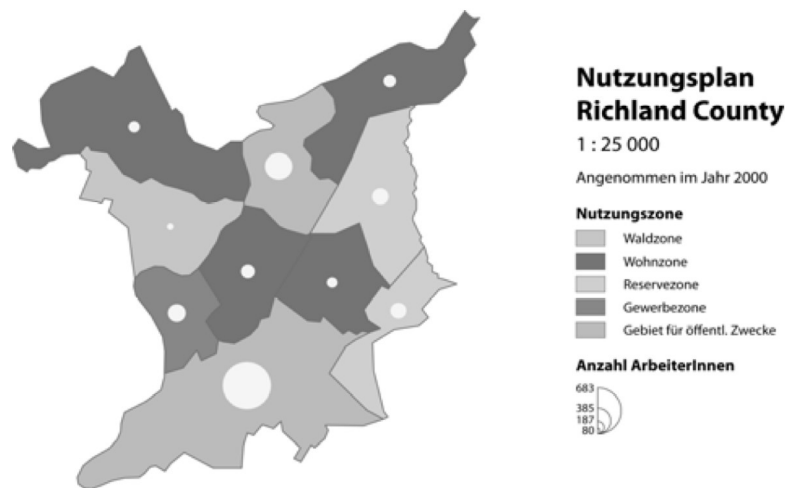
κλήθηκαν να απαντήσουν σε ερωτήσεις εύρεσης στοιχείων από τα δεδομένα των χαρτών. Οι ερωτήσεις ανήκαν σε διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας, ενώ οι χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν απευθύνονται στο μέσο χρήστη του διαδικτύου. Η διεξαγωγή του πειράματος συνδυάζεται με τον έλεγχο των υποκειμένων ως προς την ικανοποίηση με τη χρήση του εκάστοτε χάρτη, την αποδοτικότητά του και την ορθότητα ως προς την ολοκλήρωση των εργασιών. Η μεθοδολογία καταγραφής των κινήσεων των οφθαλμών συνδυάστηκε με τις κλασικές μεθόδους μέτρησης του χρόνου αντίδρασης και της ορθότητας των αποτελεσμάτων. Ο παράγοντας της ευχρηστίας των χαρτών εξετάστηκε μέσα από τη συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου τυποποιημένης κλίμακας με άμεσο σκοπό τη σύγκρισή τους. Κατά την ανάλυση για την τελική σύγκριση των δύο χαρτών, οπτικοποιήθηκαν οι θέσεις των προσηλώσεων και των σακκαδικών κινήσεων καθώς και η μορφή του οπτικού ίχνους.



Εικόνα 4.10 Οι διαδραστικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Çöltekin, Garlandini, Heil και Fabrikant (Çöltekin et al. 2008).

Η μέτρηση της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας των υποκειμένων μετρήθηκε και στην έρευνα των Garlandini & Fabrikant (2009) με σκοπό τη διερεύνηση της λειτουργίας των οπτικών μεταβλητών του μεγέθους, της έντασης, της απόχρωσης και του προσανατολισμού σε χάρτες δύο διαστάσεων. Στη συγκεκριμένη έρευνα η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων των υποκειμένων συνδυάστηκε με τη χρήση μοντέλων οπτικής προεξοχής. Σκοπός των μοντέλων αυτών είναι η πρόβλεψη της οπτικής προσοχής η οποία προκύπτει με επεξεργασία από κάτω προς τα πάνω και σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του οπτικού ερεθίσματος. Το μοντέλο οπτικής προεξοχής που χρησιμοποιήθηκε στη

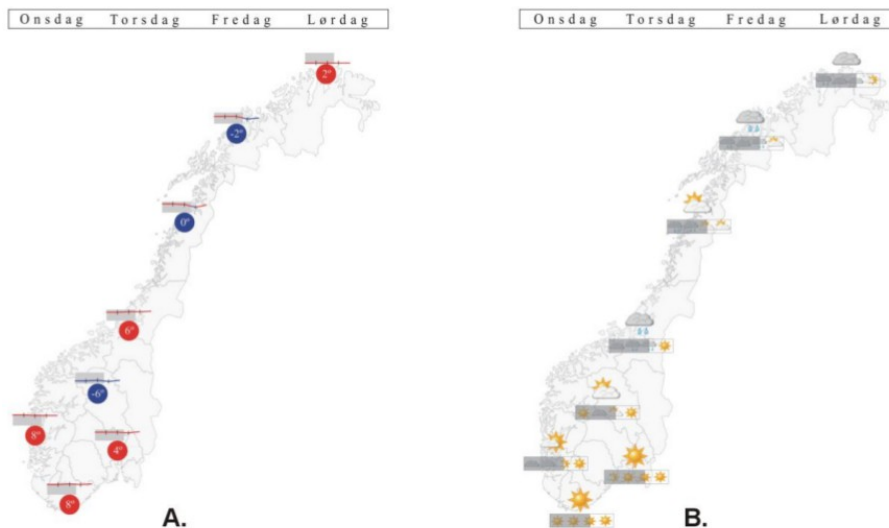
συγκεκριμένη έρευνα είναι το μοντέλο των Itti et al. (1998). Στην έρευνα συμμετείχαν 20 υποκείμενα και χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 64 χάρτες. Στην Εικόνα 4.10 φαίνεται ένας από τους χάρτες της συγκεκριμένης έρευνας. Τα υποκείμενα κλήθηκαν να αποκρίθουν πατώντας ένα κουμπί όταν συνέβαινε κάποια αλλαγή στο οπτικό ερέθισμα που παρατηρούσαν ενώ μετά την προβολή των οπτικών ερεθισμάτων απαντούσαν σε 3 ερωτήματα που σχετιζόταν με την παρατήρηση η μη αλλαγής, με το σημείο που γινόταν η αλλαγή καθώς και με τη φύση της αλλαγής που παρατηρούσαν. Η έρευνα των Garlandini & Fabrikant κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η οπτική μεταβλητή του μεγέθους εντοπίζεται με μεγαλύτερη ταχύτητα και μεγαλύτερη ορθότητα μεταξύ των υπολοίπων που εξετάζονται ενώ ο προσανατολισμός εμφανίζεται ως η λιγότερο αποδοτική οπτική μεταβλητή.



Εικόνα 4.11 Ένα δείγμα από τους χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν σαν οπτικά ερεθίσματα στην έρευνα των Garlandini & Fabrikant (Garlandini & Fabrikant 2009).

Η μεθοδολογία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, εκτός από τις περιπτώσεις των διαδραστικών και διαδικτυακών χαρτών, έχει χρησιμοποιηθεί σε χαρτογραφικά πειράματα με ημιστατικές και κινούμενες χαρτογραφικές απεικονίσεις (Opach & Nossun 2011). Συγκεκριμένα, οι Opach και Nossun διεξήγαγαν δύο πειράματα. Στο πρώτο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν δύο ημιστατικοί χάρτες καιρού, εκ των οποίων ο ένας απεικόνιζε τη θερμοκρασία με αριθμητικά δεδομένα ενώ ο άλλος μέσω συμβόλων (Εικόνα 4.11). Στο δεύτερο πείραμα, χρησιμοποιήθηκε μία σύνθετη κινούμενη απεικόνιση. Στα πειράματα συμμετείχαν δέκα υποκείμενα συνολικά, τα οποία έπρεπε να απαντήσουν σε ερωτήσεις

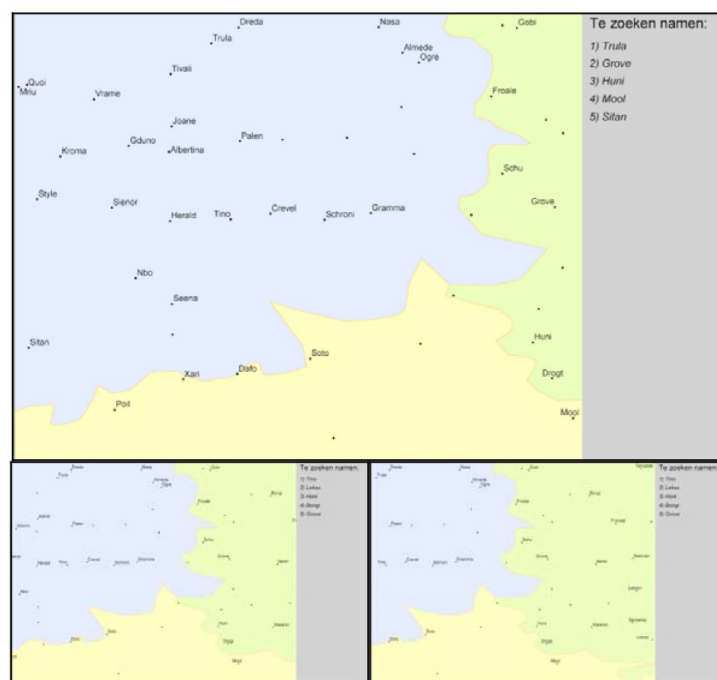
χρησιμοποιώντας ή παρατηρώντας τις απεικονίσεις. Κατά την ανάλυση των οφθαλμικών καταγραφών, οι Orach και Nossun χρησιμοποίησαν τον αριθμό των προσηλώσεων, το παρατηρούμενο μήκος και το χρόνο που απαιτείται για την πρώτη προσήλωση στην οπτική σκηνή. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν μεγάλη ποικιλομορφία στη στρατηγική της οπτικής συμπεριφοράς των υποκειμένων. Η συγκεκριμένη μελέτη αποτέλεσε μια πρώτη προσέγγιση για τη χρήση της μεθοδολογίας σε απεικονίσεις αυτού του είδους.



Εικόνα 4.12 Οι ημιστατικές χαρτογραφικές απεικονίσεις που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Orach και Nossun (Orach & Nossun 2011).

Η αξιοποίηση της μεθοδολογίας καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων σε συνδυασμό με την καταγραφή του χρόνου απόκρισης χρησιμοποιήθηκε και στη μελέτη των Ooms, De Maeyer, Fack, Van Assche και Witlox (2012) στην οποία εξετάζεται η συμπεριφορά υποκειμένων με διαφορετικό επίπεδο εμπειρίας στον εντοπισμό ονομάτων σε διαδραστικούς χάρτες (τα αποτελέσματα μιας πρώιμης μορφής της συγκεκριμένης έρευνας παρουσιάζονται στην εργασία των Ooms, De Maeyer και Fack (2010)). Συγκεκριμένα, στην έρευνα των Ooms, De Maeyer, Fack, Van Assche και Witlox χρησιμοποιήθηκαν 20 χάρτες ενώ καταγράφηκαν οι οφθαλμικές κινήσεις 16 ειδικών και 15 αρχαρίων υποκειμένων. Τα υποκείμενα της έρευνας κλήθηκαν να εντοπίσουν διαφορετικά ονόματα πάνω σε ομοιόμορφα

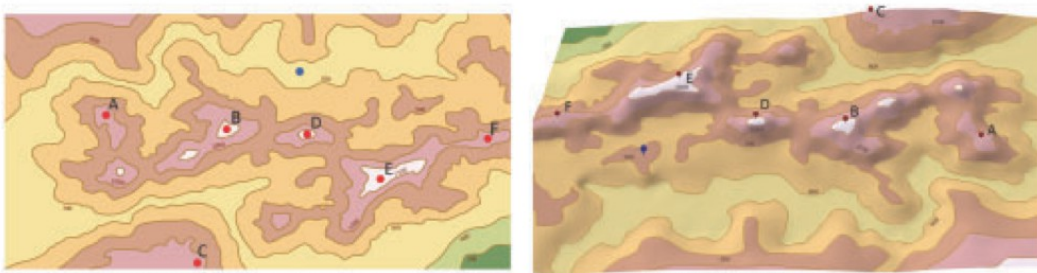
χαρτογραφικά υπόβαθρα. Η μορφή του υποβάθρου που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.12 (Ooms et al. 2010). Παρά το γεγονός ότι το πρότυπο της αναζήτησης των ειδικών και των αρχαρίων χρηστών ήταν παρόμοιο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας οι ειδικοί χρήστες χρειάζονται λιγότερο χρόνο σε σχέση με τους αρχάριους χρήστες για τον εντοπισμό των ονομάτων. Το μικρότερο διάστημα του απαιτούμενου χρόνου για την περίπτωση των ειδικών χρηστών αντιστοιχεί σε μικρότερες διάρκειες προσηλώσεων και σε περισσότερες προσηλώσεις στη μονάδα του χρόνου.



Εικόνα 4.13 Η μορφή του υποβάθρου όπου πραγματοποιείται η αναζήτηση των ονομάτων στην έρευνα των Ooms, De Maeyer, Fack, Van Assche και Witlox (Ooms et al. 2010).

Ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων σε συνδυασμό με τη χρήση ερωτηματολογίων χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα των Popelka & Brychtova (2013). Η συγκεκριμένη έρευνα είχε ως σκοπό την αναζήτηση διαφορετικών στρατηγικών στην γνωσιακή επεξεργασία χαρτών 2 διαστάσεων (2D) και 3 διαστάσεων (3D) οι οποίοι αξιοποιούνται για την οπτικοποίηση του γήινου αναγλύφου. Στη συγκεκριμένη έρευνα συμμετείχαν 40 υποκείμενα (20 φοιτητές που είχαν διδαχθεί χαρτογραφία και 20 φοιτητές διαφορετικού αντικειμένου). Η πειραματική

διαδικασία χωρίστηκε σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος χρησιμοποιήθηκαν 11 οπτικές σκηνές οι οποίες περιείχαν ένα χάρτη 2 διαστάσεων και ένα χάρτη 3 διαστάσεων ταυτόχρονα ενώ στο δεύτερο μέρος αξιοποιήθηκαν 15 οπτικές σκηνές οι οποίες περιείχαν είτε ένα χάρτη 2 διαστάσεων ή ένα χάρτη 3 διαστάσεων. Η μορφή των χαρτών της συγκεκριμένης έρευνας παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.13. Τα υποκείμενα καλούνται να απαντήσουν σε χωρικά ερωτήματα κατά την παρατήρηση των οπτικών σκηνών ενώ μετά την καταγραφή των κινήσεων των οφθαλμών καλούνται να συμπληρώσουν ερωτηματολόγια που σχετίζονται με την κατανόηση και την προτίμηση τους ως προς τα χαρτογραφικά υπόβαθρα της πειραματικής διαδικασίας. Τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων της έρευνας έδειξαν ότι τα υποκείμενα προτιμούν το χάρτη 3 διαστάσεων χωρίς όμως να υποδεικνύεται κάποια διαφορά στην αντιληπτική διαδικασία μεταξύ των δύο μορφών οπτικοποίησης στην περίπτωση του πρώτου πειραματικού μέρους. Μάλιστα, φαίνεται η σειρά εμφάνισης των χαρτών να επηρεάζει τη διαδικασία. Η μοναδική διαφορά στη στρατηγική επεξεργασίας των δύο μορφών χαρτών παρατηρείται στο δεύτερο πειραματικό μέρος των πειραμάτων των Popelka & Brychtova όταν αξιοποιείται ως μέτρο σύγκρισης το μήκος του οπτικού ίχνους.

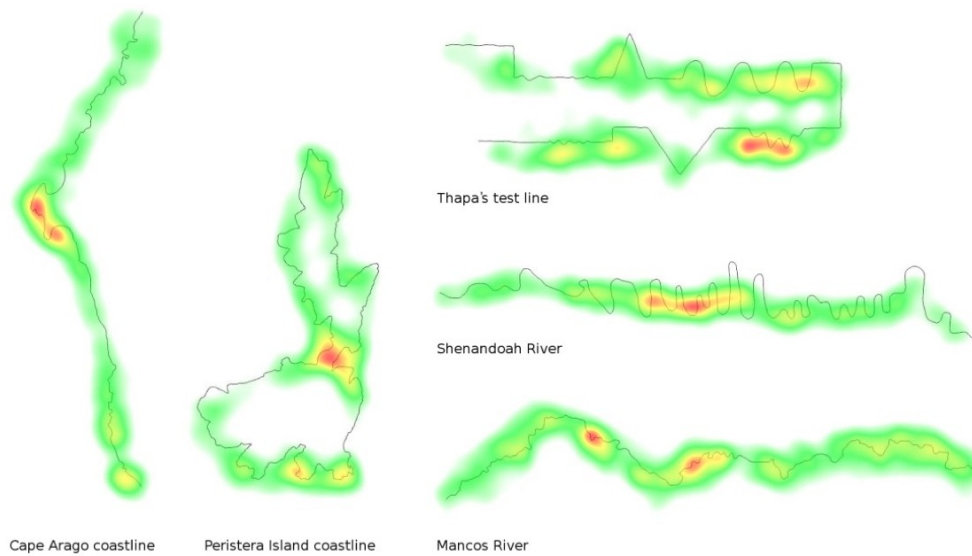


Εικόνα 4.14 Η μορφή των χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνας των Popelka & Brychtova: χάρτης 2 διαστάσεων (αριστερά) και χάρτης 3 διαστάσεων (δεξιά) (Popelka & Brychtova 2013).

Η αξιοποίηση της μεθοδολογίας των οφθαλμικών κινήσεων έχει αξιοποιηθεί με σκοπό τη μελέτη και τη σύγκριση χρηστών με πλήρη και μη πλήρη όραση. Στη μελέτη των Dong, Zhang, Liao, Liu, Li & Yang (2013) εξετάζεται η επίδραση των τριών διαστάσεων του χρώματος: της απόχρωσης, του κορεσμού και της έντασης στην ικανότητα διαχωρισμού της γεωγραφικής πληροφορίας. Ενώ η συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιεί αντίστοιχες τεχνικές με την έρευνα των Garlandini & Fabrikant (2009), η μέτρηση της αποδοτικότητας γίνεται τόσο σε άτομα με κανονική όραση όσο

και σε άτομα με περιορισμούς όρασης στο κόκκινο και το πράσινο. Στη συγκεκριμένη έρευνα, συμμετείχαν 42 συνολικά υποκείμενα εκ των οποίων τα 37 διέθεταν κανονική όραση ενώ η όραση των υπολοίπων 5 παρουσίαζε τη συγκεκριμένη ιδιαιτερότητα. Τα υποκείμενα κλήθηκαν να αντιστοιχήσουν μια περιοχή που τους υποδεικνυόταν με αντίστοιχες περιοχές σε 15 διαφορετικούς χάρτες με διαφοροποιήσεις ως προς τις 3 διαστάσεις του χρώματος. Η απόκριση των υποκειμένων υπολογίστηκε μετρώντας το χρόνο που μεσολαβεί από τη πρώτη προσήλωση στη σκηνή μέχρι την επιλογή της αντίστοιχης περιοχής. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα υποκείμενα με την κανονική όραση εντόπιζαν ταχύτερα και αποτελεσματικότερα τις περιοχές που σχετιζόταν με τη διάσταση της απόχρωσης, ενώ στις περιπτώσεις του κορεσμού και της έντασης δεν προέκυψαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων υποκειμένων (γεγονός που υποδεικνύει την ίδια ικανότητα στη διαδικασία διαχωρισμού-εντοπισμού).

Η ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων έχει χρησιμοποιηθεί και για τη διερεύνηση της συσχέτισης της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης με την αντιληπτική διαδικασία. Στην έρευνα των Bargiota, Mitropoulos, Krassanakis & Nakos (2013) εξετάζεται η πιθανότητα συσχέτισης μεταξύ των προσηλώσεων που προκύπτουν από την παρατήρηση χαρτογραφικών γραμμών με τα κρίσιμα σημεία της γραμμής (Nakos & Mitropoulos 2005). Στην έρευνα συμμετείχαν 52 υποκείμενα τα οποία κλήθηκαν να παρατηρήσουν 5 διαφορετικές γραμμές σε 4 διαφορετικούς προσανατολισμούς (συνολικά το πείραμα αποτελούταν από 20 οπτικές σκηνές). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα υποκείμενα προσηλώνουν για περισσότερο χρόνο στις περιοχές όπου υπάρχουν κρίσιμα σημεία σε σύγκριση με τα πιο ομαλά τμήματα των χαρτογραφικών γραμμών. Στην Εικόνα 4.14 παρουσιάζονται οι θερμικοί χάρτες που προέκυψαν από τη σάρωση των γραμμών που αξιοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη έρευνα όπου υποδεικνύεται η συνολική συμπεριφορά των υποκειμένων.



Εικόνα 4.15 Οι θερμικοί χάρτες που προέκυψαν κατά τη σάρωση των χαρτογραφικών γραμμών στην έρευνα των Bargiota, Mitropoulos, Krassanakis & Nakos (Bargiota et al. 2013).

Η βιβλιογραφική ανάλυση που πραγματοποιείται σε αυτό το κεφάλαιο της παρούσας διατριβής έχει σκοπό την ανάδειξη χαρακτηριστικών μελετών στη χαρτογραφική έρευνα όπου αξιοποιείται η μεθοδολογία καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων. Η διεξαγωγή πειραμάτων από τη χαρτογραφική κοινότητα για τη μελέτη διαφορετικών παραγόντων που επηρεάζουν τόσο τη διαδικασία του σχεδιασμού όσο και τη διαδικασία ανάγνωσης και αντίληψης του χάρτη, μέσω της μεθοδολογίας καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, ξεκίνησε από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Από τότε μέχρι σήμερα, η λειτουργία και η ακρίβεια των συστημάτων που χρησιμοποιούνται σ' αυτού του είδους τις πειραματικές διαδικασίες έχει διαφοροποιηθεί αρκετά, παρέχοντας τη δυνατότητα διεξαγωγής πειραμάτων σε συνθήκες κανονικής παρατήρησης. Η μορφή ενός χάρτη μπορεί να είναι αναλογική αλλά και ψηφιακή, ενώ για το χαρτογραφικό σχεδιασμό χρησιμοποιούνται τόσο οι οπτικές όσο και οι δυναμικές μεταβλητές αλλά και ο συνδυασμός τους. Σε πρόσφατες μελέτες αξιοποιείται η μελέτη κινήσεων ματιών για την αξιολόγηση της λειτουργίας οπτικών μεταβλητών σε χάρτες κινούμενης εικόνας (π.χ. Dong et al. 2014), εξετάζεται η διαδικασία αντίληψης χαρτών κινούμενης εικόνας με πολλαπλά-περιεχόμενα (Orach et al. 2013) ενώ πολλές φορές οι χάρτες που αξιολογούνται είναι σχεδιασμένοι για χρήση μέσω διαδικτύου (π.χ. Alazam & Dalci 2009). Γίνεται φανερό πως η μεθοδολογία καταγραφής των κινήσεων των οφθαλμών είναι σε θέση

να υποστηρίξει την, συνεχώς αναπτυσσόμενη, πορεία εξέλιξης των χαρτογραφικών υποβάθρων, αποτελώντας ένα ισχυρό εργαλείο αξιολόγησης της διαδικασίας ανάγνωσής τους.

Κεφάλαιο 5

Ανάπτυξη αλγορίθμου εντοπισμού προσηλώσεων και λογισμικού ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων

5.1 Κίνητρα

Η μεθοδολογία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο σε ερευνητικά πεδία που σχετίζονται με την όραση και την αντίληψη ενώ η ανάλυση των στοιχείων της καταγραφής μπορεί να υποδείξει σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση των διαδικασιών που σχετίζονται με την όραση κατά την παρατήρηση οπτικών σκηνών. Το “ισχυρό” στοιχείο της συγκεκριμένης μεθοδολογίας έγκειται στο γεγονός ότι προβάλλει μια αντικειμενική και ποσοτική μαρτυρία για την ανάλυση των οπτικών διαδικασιών και ειδικότερα των διεργασιών που σχετίζονται με την προσοχή (Duchowski 2002). Έτσι, η μεθοδολογία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων χρησιμοποιείται σε ένα σύνολο διαφορετικών μελετών οι οποίες είναι δυνατόν να ανήκουν σε διαφορετικά ερευνητικά πεδία (π.χ. εφαρμογές εμφανίζονται στη νευροεπιστήμη, την ψυχολογία, στο γενικότερο τομέα που ασχολείται με τη διαδραστικότητα μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή. Μεταξύ των ερευνητικών πεδίων όπου αξιοποιείται η συγκεκριμένη μεθοδολογία εμφανίζεται και η έρευνα στο πεδίο της χαρτογραφίας (βλέπε Κεφάλαιο 4).

Η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων παράγει ένα μεγάλο όγκο δεδομένων τα οποία θα πρέπει να αναλυθούν ώστε να γίνει εφικτή η εξαγωγή των συμπερασμάτων που σχετίζονται με την εκάστοτε έρευνα που πραγματοποιείται. Γίνεται φανερό, πως η αξιοποίηση εξειδικευμένων λογισμικών ανάλυσης ή η ανάπτυξη αντίστοιχων εργαλειοθηκών σε υπάρχοντα λογισμικά είναι απαραίτητη (βλέπε Κεφάλαιο 3). Επιπροσθέτως η ανάπτυξη ανοιχτών εργαλείων μπορεί βοηθήσει στην προσαρμογή της διαδικασίας της ανάλυσης σε συγκεκριμένες απαιτήσεις που σχετίζονται με το σχεδιασμό της πειραματικής διαδικασίας (βλέπε Κεφάλαιο 3).

Στην παρούσα διατριβή προτείνεται ένας νέος αλγόριθμος εντοπισμού προσηλώσεων ο οποίος βασίζεται στην εφαρμογή χωρικών και χρονικών κριτηρίων

στα δεδομένα που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή. Επιπροσθέτως δημιουργείται ένα νέο λογισμικό εργαλείο το οποίο υποστηρίζει την πλήρη ανάλυση πειραματικών δεδομένων αξιοποιώντας τον προτεινόμενο αλγόριθμο και τα μεγέθη ανάλυσης που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας διατριβής. Έτσι, το ολοκληρωμένο εργαλείο ανάλυσης που δημιουργείται μπορεί να αξιοποιηθεί σε μελέτες που δεν σχετίζονται μόνο με χαρτογραφικά πειράματα ενώ η ελεύθερη διανομή του πηγαίου κώδικα παρέχει τη δυνατότητα συνδυασμού του με άλλα εργαλεία ανάλυσης.

5.2 Ανάπτυξη αλγορίθμου ανίχνευσης προσηλώσεων

Η ανίχνευση των προσηλώσεων που αντιστοιχούν σε ένα σύνολο δεδομένων οφθαλμικών κινήσεων υλοποιείται έχοντας βάση παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται τόσο με τη χωρική διασπορά όσο και με το χρονικό εύρος των καταγραφών. Έτσι, η λειτουργία και η επιλογή ενός αλγορίθμου ανίχνευσης προϋποθέτει τη γνώση στοιχείων που αφορούν τις χωρο-χρονικές ιδιότητες των κινήσεων προσήλωσης. Επιπροσθέτως, η εφαρμογή ενός αλγορίθμου ανίχνευσης απαιτεί την προσαρμογή των τιμών των αντιστοιχών παραμέτρων στις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας.

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής αναπτύχθηκε ένας νέος αλγόριθμος ανίχνευσης προσηλώσεων ο οποίος βασίζεται τόσο σε χωρικούς όσο και σε χρονικούς περιορισμούς. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος των καταγραφών που ανήκουν σε μία προσήλωση υλοποιείται σε δύο βήματα. Στα δύο αυτά βήματα, υπολογίζεται η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ κάθε καταγραφής από ένα κέντρο που αντιπροσωπεύει το μέσο σημείο. Αυτό σημαίνει ότι το χωρικό κατώφλι καθορίζεται μέσω της περιφέρειας ενός κύκλου και όχι μέσω των ορίων που δημιουργούνται από ένα τετράγωνο όπως συνήθως υλοποιείται στους αλγορίθμους τύπου I-DT (Salvucci & Goldberg 2000, Nyström & Holmqvist 2010). Η εφαρμογή ενός δεύτερου χωρικού κατωφλίου είναι σε θέση να απαλείψει το θόρυβο που υπάρχει στα δεδομένα που προκύπτουν από καταγραφές οφθαλμικών κινήσεων, ο οποίος αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα στην εφαρμογή των υπάρχοντων αλγορίθμων τύπου I-DT (Nyström & Holmqvist 2010).

5.2.1 Περιγραφή αλγορίθμου

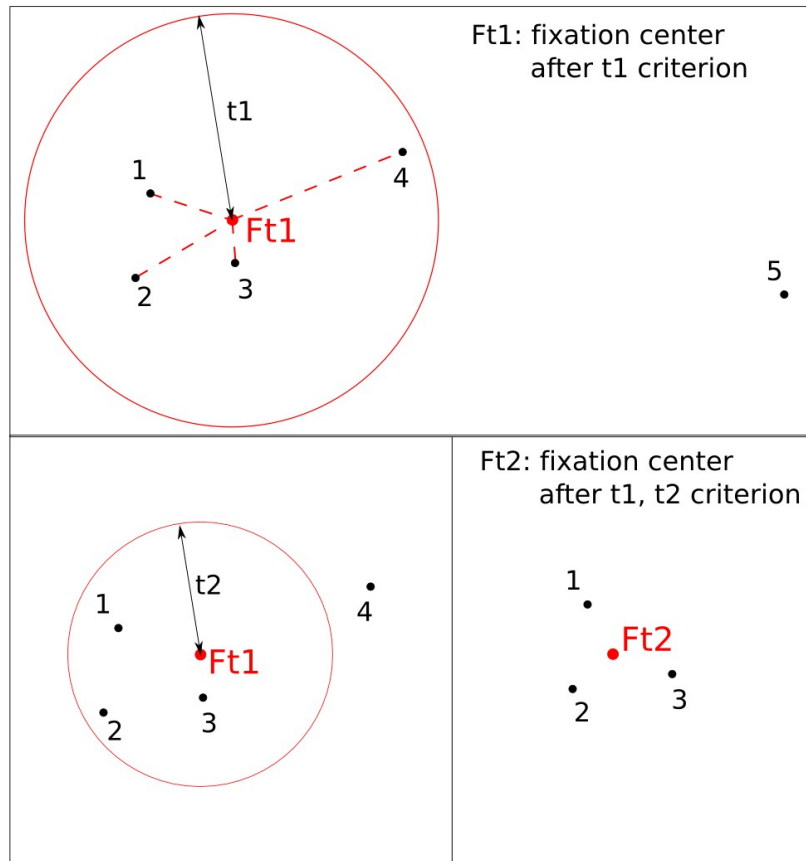
Η υλοποίηση του αλγορίθμου βασίζεται στην εφαρμογή τριών συνολικά παραμέτρων οι οποίες επιλέγονται πριν την εφαρμογή του αλγορίθμου και οι τιμές τους είναι ανεξάρτητες. Συγκεκριμένα, εισάγονται δύο χωρικές παράμετροι και μία χρονική παράμετρος για τον έλεγχο των καταγραφών και την ανίχνευση των προσηλώσεων στο πρωτόκολλο των δεδομένων. Η εφαρμογή του αλγορίθμου έγκειται στον προσδιορισμό των συντεταγμένων του κέντρου και της διάρκειας που αντιστοιχεί για κάθε προσήλωση. Έτσι, αν υποθέσουμε ότι τα δεδομένα εισόδου αποτελούνται από μία σειρά καταγραφών σε μορφή (x,y,t) όπου x, y οι χωρικές συντεταγμένες και t οι χρονικές συντεταγμένες και δύο χωρικές παραμέτρους (t_1 και t_2) και μία χρονική παράμετρο που αντιστοιχεί στην ελάχιστη διάρκεια μιας προσήλωσης, τότε ο αλγόριθμος που εισάγεται μπορεί να περιγραφεί σε τρία διαδοχικά στάδια.

Στο πρώτο στάδιο υλοποίησης του αλγορίθμου, ξεκινώντας από το πρώτο σημείο καταγραφής του πρωτοκόλλου υπολογίζεται η μέση τιμή της οριζόντιας και της κατακόρυφης συντεταγμένης μέχρι το σημείο καταγραφής για το οποίο η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ αυτού και του μέσου σημείου να είναι μεγαλύτερη από την πρώτη χωρική παράμετρο t_1 . Αν η απόσταση είναι μεγαλύτερη, δημιουργείται μια νέα κλάση προσήλωσης. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μια πρώτη ταξινόμηση των προσηλώσεων σε κλάσεις.

Στο επόμενο στάδιο για κάθε μία κλάση που έχει δημιουργηθεί υπολογίζεται η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του μέσου σημείου και κάθε καταγραφής που ανήκει στην κλάση. Αν η απόσταση που αντιστοιχεί σε κάποια καταγραφή είναι μεγαλύτερη από την τιμή της χωρικής παραμέτρου t_2 , τότε το σημείο καταγραφής δε συμμετέχει στον υπολογισμό των συντεταγμένων της προσήλωσης. Μετά την αφαίρεση των σημείων καταγραφής που δεν πληρούν το κριτήριο της χωρικής παραμέτρου t_2 , οι συντεταγμένες των προσηλώσεων υπολογίζονται ως ο μέσος όρος κάθε κλάσης ενώ η διάρκεια κάθε προσήλωσης αντιστοιχεί στη διαφορά μεταξύ του χρόνου που συνοδεύει την τελευταία και την πρώτη καταγραφή της κλάσης.

Τα βήματα τα οποία υλοποιούνται για την εφαρμογή των χωρικών παραμέτρων παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.1. Συγκεκριμένα, στο σχήμα παρουσιάζεται διαγραμματικά η εφαρμογή των δύο χωρικών κριτηρίων (t_1, t_2) για τον εντοπισμό του κέντρου μιας προσήλωσης σε ένα πρωτόκολλο που αποτελείται από 5

σημεία καταγραφών (1, 2, 3, 4 και 5). Το σημείο Ft1 αντιστοιχεί στο κέντρο της κλάσης της προσήλωσης μετά την εφαρμογή του κριτηρίου t_1 ενώ το σημείο Ft2 αντιπροσωπεύει τη τελική θέση της προσήλωσης μετά την εφαρμογή και των δύο χωρικών περιορισμών.

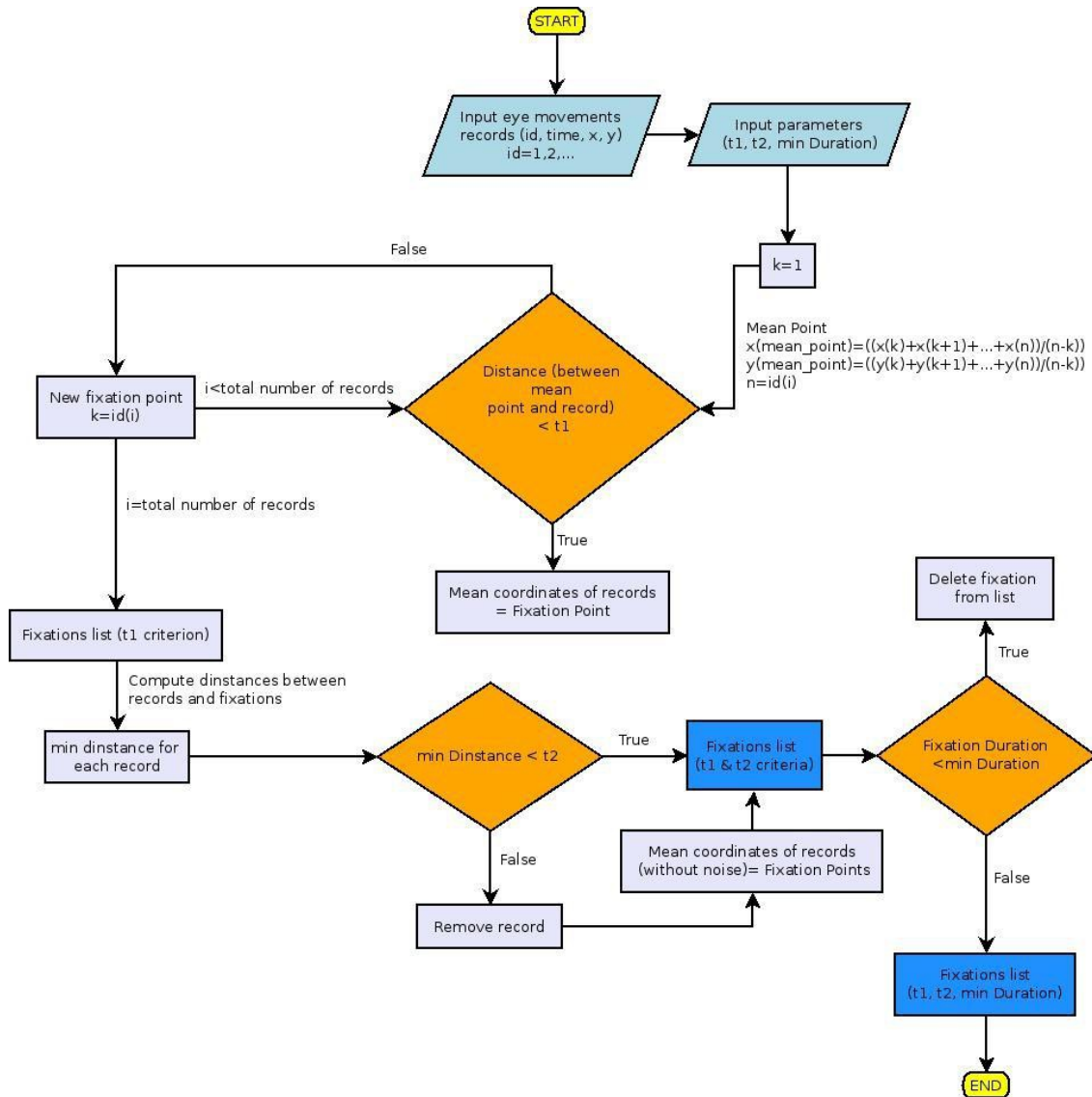


Εικόνα 5.1 Η εφαρμογή των χωρικών παραμέτρων (t_1, t_2) για τον εντοπισμό του κέντρου της προσήλωσης σε ένα πρωτόκολλο αποτελούμενο από 5 σημεία καταγραφής (1, 2, 3, 4 και 5). Το σημείο Ft2 αντιστοιχεί στην τελική θέση του κέντρου μετά την εφαρμογή των χωρικών κριτηρίων.

Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο υλοποίησης του αλγορίθμου, οι προσηλώσεις με διάρκειες μικρότερες από τη διάρκεια που ορίζεται από τη χρονική παράμετρο αφαιρούνται. Ουσιαστικά, η χρονική παράμετρος που χρησιμοποιείται σχετίζεται με την ελάχιστη διάρκεια στην οποία μπορεί να πραγματοποιείται μια κίνηση προσήλωσης.

Η λειτουργία του αλγορίθμου εντοπισμού που εισάγεται παρουσιάζεται σε μορφή διαγράμματος ροής στην Εικόνα 5.2. Τα δεδομένα εισόδου για την εφαρμογή

του αλγορίθμου αποτελούν οι χωρο-χρονικές συντεταγμένες των σημείων καταγραφής και οι τιμές των 3 παραμέτρων για την εφαρμογή του αλγορίθμου. Ο αλγόριθμος εφαρμόζεται με σκοπό τον προσδιορισμό της τελικής λίστας με τις συντεταγμένες των προσηλώσεων που αντιστοιχούν στο πρωτόκολλο της οφθαλμικής καταγραφής.



Εικόνα 5.2 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου εντοπισμού προσηλώσεων.

Οι απαραίτητες χωρικές παράμετροι t_1 και t_2 , όπως αναφέρεται και παραπάνω, επιλέγονται ανεξάρτητα. Ο προσδιορισμός του δεύτερου χωρικού κατωφλίου t_2 μπορεί επίσης να υπολογιστεί αξιοποιώντας στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται με τη διασπορά των σημείων που ανήκουν σε κάθε κλάση μετά την

κατηγοριοποίηση που πραγματοποιείται με την εφαρμογή του πρώτου χωρικού κατωφλίου t_1 . Συγκεκριμένα, μετά την εφαρμογή του κριτηρίου t_1 είναι δυνατόν να υπολογιστεί η μέση θέση και η τυπική απόκλιση του μέσου σημείου της κλάσης που αντιπροσωπεύει κάθε προσήλωση. Έτσι το μέσο σημείο της κλάσης περιγράφεται από τη μορφή $(\mu_x \pm \sigma_x, \mu_y \pm \sigma_y)$, όπου (μ, σ) η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση αντίστοιχα ενώ οι δείκτες (x, y) αντιστοιχούν στον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα συντεταγμένων. Υπολογίζοντας την απόσταση κάθε σημείου της κλάσης από το μέσο σημείο, η τιμή της παραμέτρου t_2 μπορεί να θεωρηθεί ως το στατιστικό διάστημα 3σ , όπου $\sigma = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^{1/2}$. Μ' αυτόν τον τρόπο τα σημεία της κλάσης τα οποία βρίσκονται εκτός του στατιστικού κατωφλίου που αντιστοιχεί σε Ευκλείδεια απόσταση ίση με 3σ δεν αξιοποιούνται στον υπολογισμό της μέσης θέσης του κέντρου της προσήλωσης κατά την εφαρμογή των χωρικών κριτηρίων.

5.2.2 Πλεονεκτήματα εφαρμογής χωρικών κριτηρίων σε δύο βήματα

Το πλεονέκτημα της εφαρμογής χωρικών κριτηρίων σε δύο βήματα για τον εντοπισμό των κέντρων των προσηλώσεων είναι δυνατόν να κατανοηθεί αναλογιστούμε την έννοια της προσήλωσης από δύο διαφορετικές οπτικές. Απ' τη μια μεριά, οι προσηλώσεις αποτελούν κινήσεις του οφθαλμού στη διάρκεια των οποίων ο τελευταίος παραμένει σχετικά σταθερός εντός κάποιου συγκεκριμένου χωρικού εύρους. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την αξιοποίηση ενός χωρικού κατωφλίου το οποίο θα αντιστοιχεί στο εύρος της χωρικής διασποράς που αντιπροσωπεύει το μέγεθος της προσήλωσης. Το χωρικό αυτό κατώφλι συνδέεται με την πρώτη χωρική παράμετρο (t_1) του αλγορίθμου η οποία είναι δυνατόν να εκτιμηθεί λαμβάνοντας υπόψη το οπτικό εύρος που αντιστοιχεί στη κεντρική όραση. Απ' την άλλη πλευρά, ο εντοπισμός ενός γεγονότος προσήλωσης συνδέεται με το σήμα το οποίο αξιοποιείται από το σύστημα καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων. Έτσι, η εφαρμογή της δεύτερης χωρικής παραμέτρου (t_2) είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση της συνεκτικότητας μεταξύ των σημείων που αποτελούν την κλάση της προσήλωσης. Η συνεκτικότητα μεταξύ των σημείων καταγραφής που εντάσσονται σε μία προσήλωση είναι δυνατόν να επηρεάζεται από παράγοντες που σχετίζονται με την ακρίβεια του συστήματος καταγραφής και το ποσοστό του θορύβου του σήματος που παράγεται κατά την διαδικασία καταγραφής. Στην περίπτωση που αξιοποιείται ο στατιστικός

δείκτης β ως χωρική παράμετρος, ο υπολογισμός της μέσης θέσης προσαρμόζεται σε κάθε κλάση προσήλωσης χωριστά, ενώ στην περίπτωση που η δεύτερη χωρική παράμετρος έχει σταθερή τιμή, το χωρικό κατώφλι είναι το ίδιο για όλες τις προσηλώσεις που αφορούν ένα πρωτόκολλο δεδομένων οφθαλμικών κινήσεων. Η επιλογή μιας σταθερής τιμής για τη χωρική παράμετρο t_2 προτείνεται στις περιπτώσεις που η ακρίβεια του συστήματος καταγραφής που αξιοποιείται μπορεί να μετρηθεί και να αντιστοιχεί σε κάποιο μέγεθος με σταθερή τιμή.

5.3 Ανάπτυξη λογισμικού ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων

Ο αλγόριθμος που περιγράφεται παραπάνω αξιοποιήθηκε για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου λογισμικού εργαλείου το οποίο υποστηρίζει πλήρη ανάλυση δεδομένων που προκύπτουν από πειράματα όπου καταγράφονται οφθαλμικές κινήσεις. Συγκεκριμένα, στο εργαλείο που αναπτύχθηκε ενσωματώθηκαν τα παραγόμενα μεγέθη των προσηλώσεων και των σακκαδικών κινήσεων αλλά και οι διαφορετικές μέθοδοι οπτικοποίησης των οφθαλμικών καταγραφών που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 3. Το εργαλείο ονομάζεται EyeMMV (Eye Movement Metrics and Visualizations) toolbox και αναπτύχθηκε στο περιβάλλον του λογισμικού MATLAB της Mathworks®. Ο πηγαίος κώδικας του λογισμικού διανέμεται ελεύθερα μέσω του GitHub με άδεια χρήσης GNU GPLv.3 στο σύνδεσμο <http://github.com/krasvas/EyeMMV>.

5.3.1 Ανάλυση δεδομένων οφθαλμικών καταγραφών με το EyeMMV toolbox

Το λογισμικό EyeMMV αποτελεί μια πλήρη βιβλιοθήκη συναρτήσεων για την υλοποίηση πειραματικών αναλύσεων δεδομένων οφθαλμικής κίνησης. Συγκεκριμένα αποτελείται από ένα σύνολο συναρτήσεων μέσω των οποίων υποστηρίζονται οι ακόλουθες λειτουργίες:

- Εντοπισμός των προσηλώσεων με βάση τα δύο χωρικά και το ένα χρονικό κριτήριο. Επιπροσθέτως, παρέχεται η δυνατότητα εξαγωγής των συντεταγμένων αξιοποιώντας σαν δεύτερη χωρική παράμετρο το στατιστικό κατώφλι β όπως περιγράφεται παραπάνω.
- Ανάλυση παραγόμενων μεγεθών που προκύπτουν από προσηλώσεις, σακκαδικές κινήσεις αλλά και από το βασικό παράγωγο μέγεθος του οπτικού

ίχνους που περιγράφει τη διαδοχή προσηλώσεων και σακκαδικών κινήσεων.

- Υποστήριξη διαφορετικών απεικονίσεων που περιλαμβάνουν το διάγραμμα των οριζόντιων και των κατακόρυφων συντεταγμένων σε συνάρτηση με το χρόνο, διάγραμμα χωρικής διασποράς των καταγραφών καθώς και των προσηλώσεων που προκύπτουν και διάγραμμα του οπτικού ίχνους. Επιπροσθέτως, το λογισμικό έχει τη δυνατότητα δημιουργίας του χωροχρονικού κύβου καθώς και θερμικών απεικονίσεων.
- Υποστήριξη ανάλυσης σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος. Συγκεκριμένα παρέχεται η δυνατότητα εξαγωγής στατιστικών στοιχείων σχετικά με τις προσηλώσεις που συμβαίνουν μέσα σε προεπιλεγμένες περιοχές.

Τα παραγόμενα μεγέθη τα οποία υποστηρίζονται από το EyeMMV toolbox παρουσιάζονται διαγραμματικά στην Εικόνα 5.3.

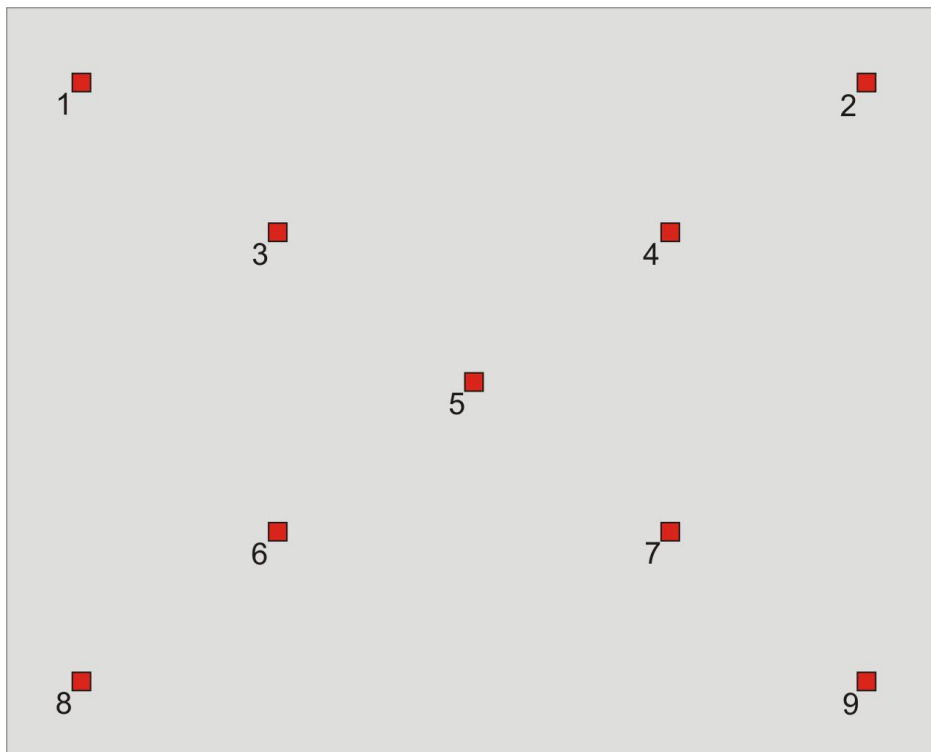


Εικόνα 5.3 Τα μεγέθη που υποστηρίζονται από το λογισμικό EyeMMV toolbox.

5.3.2 Μελέτη περίπτωσης

Για την ανάδειξη της λειτουργίας και των δυνατοτήτων του λογισμικού που αναπτύχθηκε παρουσιάζεται μία μελέτη περίπτωσης. Αξιοποιώντας δεδομένα οφθαλμικών καταγραφών ενός υποκειμένου κατά την παρατήρηση ενός οπτικού ερεθίσματος αποτελούμενο από 9 σταθερούς στόχους (Εικόνα 5.4) υπολογίστηκαν

όλα τα βασικά και παράγωγα μεγέθη και παράχθηκαν οι διαφορετικές απεικονίσεις των δεδομένων που υποστηρίζονται από το λογισμικό εργαλείο. Η συλλογή των οφθαλμικών κινήσεων πραγματοποιήθηκε με συχνότητα δειγματοληψίας 30Hz στα πλαίσια μιας προηγούμενης έρευνας (Κρασανάκης 2009). Για τη συλλογή των δεδομένων ζητήθηκε από το υποκείμενο της έρευνας να παρατηρήσει κάθε στόχο για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (~5sec) ώστε να μπορούν να συλλεχθούν αρκετά δεδομένα καταγραφής. Η καταγραφή ολοκληρώθηκε αξιοποιώντας το σύστημα Viewpoint EyeTracker® της Arrington Research τα χαρακτηριστικά του οποίου περιγράφονται στο Κεφάλαιο 6 της παρούσας διατριβής. Περισσότερες πληροφορίες για τη λειτουργία και τη διάταξη του εργαστηριακού εξοπλισμού περιγράφονται επίσης και σε προηγούμενες έρευνες (Κρασανάκης 2009, Krassanakis et al. 2011).



Εικόνα 5.4 Η διάταξη των εννέα σταθερών στόχων του οπτικού ερεθίσματος που αξιοποιήθηκε για την ανάδειξη λειτουργιών του λογισμικού εργαλείου EyeMMV (Κρασανάκης 2009).

Για την εκτέλεση του λογισμικού απαιτείται ο καθορισμός των παραμέτρων του αλγορίθμου εντοπισμού των προσηλώσεων. Οι τιμές των παραμέτρων που επιλέχθηκαν αντιστοιχούν στα μεγέθη $t_1=0.250$, $t_2=0.100$ (σε μονάδες του συστήματος καταγραφής) και ελάχιστη διάρκεια προσήλωσης ίση με 150ms. Οι τιμές

των χωρικών παραμέτρων αντιστοιχούν στο σύστημα αναφοράς του συστήματος καταγραφής το οποίο έχει ως αρχή το πάνω αριστερό άκρο της οθόνης και μέγιστες τιμές 1.25 και 1.00 κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι οι επιλεγμένες τιμές των χωρικών και των χρονικών περιορισμών δεν συνδέονται με τις συνθήκες παρατήρησης και έχουν επιλεχθεί ώστε να αναδειχθούν οι δυνατότητες του λογισμικού. Πλήρης ανάλυση για την επιλογή των τιμών των παραμέτρων υπάρχει στο Κεφάλαιο 7 της παρούσας διατριβής.

Ο υπολογισμός των βασικών και των παράγωγων μεγεθών της οφθαλμικής καταγραφής όπως αυτά υπολογίζονται στο περιβάλλον υλοποίησης, παρουσιάζονται στις Εικόνες 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 & 5.9. Συγκεκριμένα στην Εικόνα 5.5 παρουσιάζονται οι τιμές των βασικών μεγεθών που σχετίζονται με τις προσηλώσεις όπου όπως φαίνεται ο υπολογισμός των θέσεων προσηλώσεων υλοποιείται με δύο τρόπους. Ο ένας τρόπος αξιοποιεί τις διαφορετικές τιμές των δύο χωρικών παραμέτρων ενώ ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού αντικαθιστά τη δεύτερη παράμετρο με το στατιστικό χωρικό κατώφλι που αντιστοιχεί στην τιμή 3σ. Στην Εικόνα 5.6 παρουσιάζονται τα παράγωγα μεγέθη που σχετίζονται με τις προσηλώσεις, τις σακκαδικές κινήσεις και το παραγόμενο οπτικό ίχνος της καταγραφής. Για τον προσδιορισμό των μεγεθών των επαναλαμβανόμενων προσηλώσεων, του διαστήματος για τον υπολογισμό της χωρικής πυκνότητας και του διαστήματος για την υλοποίηση του πίνακα μετάβασης οι τιμές που καθορίστηκαν είναι 0.100, 0.250 και 0.250 (σε μονάδες του συστήματος καταγραφής) αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές, όπως και στην περίπτωση των παραμέτρων για τον υπολογισμό των προσηλώσεων, δεν συνδέονται με την ανάλυση και καθορίζεται με σκοπό την ανάδειξη των δυνατοτήτων του λογισμικού και μόνο.

Η ανάλυση των σημείων της καταγραφής σε βασικά και παράγωγα μεγέθη συνοδεύεται από ένα σύνολο απεικονίσεων των μεγεθών της οφθαλμικής καταγραφής. Στην Εικόνα 5.7 απεικονίζονται οι θέσεις των σημείων καταγραφής και οι θέσεις και οι διάρκειες των παραγόμενων προσηλώσεων οι οποίες υπολογίζονται τόσο με τη χρήση των παραμέτρων ($t_1, t_2, \text{min duration}$) αξιοποιώντας σαν δεύτερη χωρική παράμετρο είτε των προεπιλεγμένη τιμή ή το στατιστικό κατώφλι που αντιστοιχεί στο διάστημα 3σ. Επιπλέον στην Εικόνα 5.7 φαίνονται και τα σημεία που δεν συμμετέχουν στην ανάλυση των καταγραφών σε προσηλώσεις για την περίπτωση που ο υπολογισμός των προσηλώσεων πραγματοποιείται με βάση τις δύο

προεπιλεγμένες χωρικές παραμέτρους t_1 και t_2 (δηλαδή η παράμετρος t_2 δεν αντιστοιχεί στο διάστημα 3ο).

```

Fixation Detection Report

Import Parameters:
Spatial Parameter t1: 0.250
Spatial Parameter t2: 0.100
Minimum Fixation Duration: 150.00
Maximum Coordinate in Horizontal Dimension: 1.25
Maximum Coordinate in Vertical Dimension: 1.00

Number of Raw Data: 1448
Number of Data used in the analysis(t1,t2,minDur): 1411
Number of Data used in the analysis(t1,3s,minDur): 1411

Fixations:
Total Number of Fixations(t1,t2,minDur): 11
Total Number of Fixations(t1,3s,minDur): 11

t1,t2,minDur:
ID-Xcenter-Ycenter-Nt1-Nt2-StartTime-EndTime-Duration
1 0.5505 0.6639 8 7 2699.1000 2899.0000 199.9000
2 0.0916 0.8975 135 134 2998.9000 7430.7000 4431.8000
3 1.1437 0.8872 149 146 7597.3000 12428.9000 4831.6000
4 0.3424 0.7220 151 148 12595.5000 17493.8000 4898.3000
5 0.8857 0.7093 162 161 17593.7000 22925.2000 5331.5000
6 0.6077 0.5027 153 152 22958.5000 27990.0000 5031.5000
7 0.3436 0.2959 160 159 28056.7000 33321.4000 5264.7000
8 0.8933 0.2917 162 157 33521.4000 38719.5000 5198.1000
9 1.1099 0.0719 10 10 38786.2000 39086.1000 299.9000
10 0.1070 0.1030 173 170 39186.0000 44817.3000 5631.3000
11 1.1519 0.0961 181 167 44950.6000 50482.0000 5531.4000

t1,3s,minDur:
ID-Xcenter-Ycenter-Nt1-N3s-StartTime-EndTime-Duration
1 0.5326 0.6731 8 8 2699.1000 2932.3000 233.2000
2 0.0908 0.8983 135 132 3065.6000 7430.7000 4365.1000
3 1.1437 0.8872 149 146 7597.3000 12428.9000 4831.6000
4 0.3424 0.7220 151 148 12595.5000 17493.8000 4898.3000
5 0.8867 0.7105 162 158 17660.4000 22891.8000 5231.4000
6 0.6072 0.5027 153 151 22991.8000 27990.0000 4998.2000
7 0.3432 0.2949 160 157 28056.7000 33321.4000 5264.7000
8 0.8933 0.2917 162 157 33521.4000 38719.5000 5198.1000
9 1.1099 0.0719 10 10 38786.2000 39086.1000 299.9000
10 0.1077 0.1026 173 171 39152.7000 44817.3000 5664.6000
11 1.1401 0.1012 181 179 44950.6000 50881.9000 5931.3000

Raw Data and Fixations are visualized successfully

End of Fixation Detection report

```

Εικόνα 5.5 Υπολογισμός μεγεθών που σχετίζονται με τις προσηλώσεις. Για την εφαρμογή του αλγορίθμου ανίχνευσης αξιοποιούνται οι τιμές των χωρικών και των χρονικών περιορισμών.


```

Eye Movement metrics analysis

Input Parameters:
Threshold for repeat fixations: 0.100
Scanpath spacing (spatial density computation): 0.250
Transition matrix spacing: 0.250

Fixation Metrics Analysis:
Total number of fixations: 11
Mean duration of fixations: 4240.9
Time to first fixation: 2699.1
Repeat Fixations:
(Fixation_1_id-Fixation_2_id-Distance)
9 11 0.048
Total duration of all fixations: 46650.0

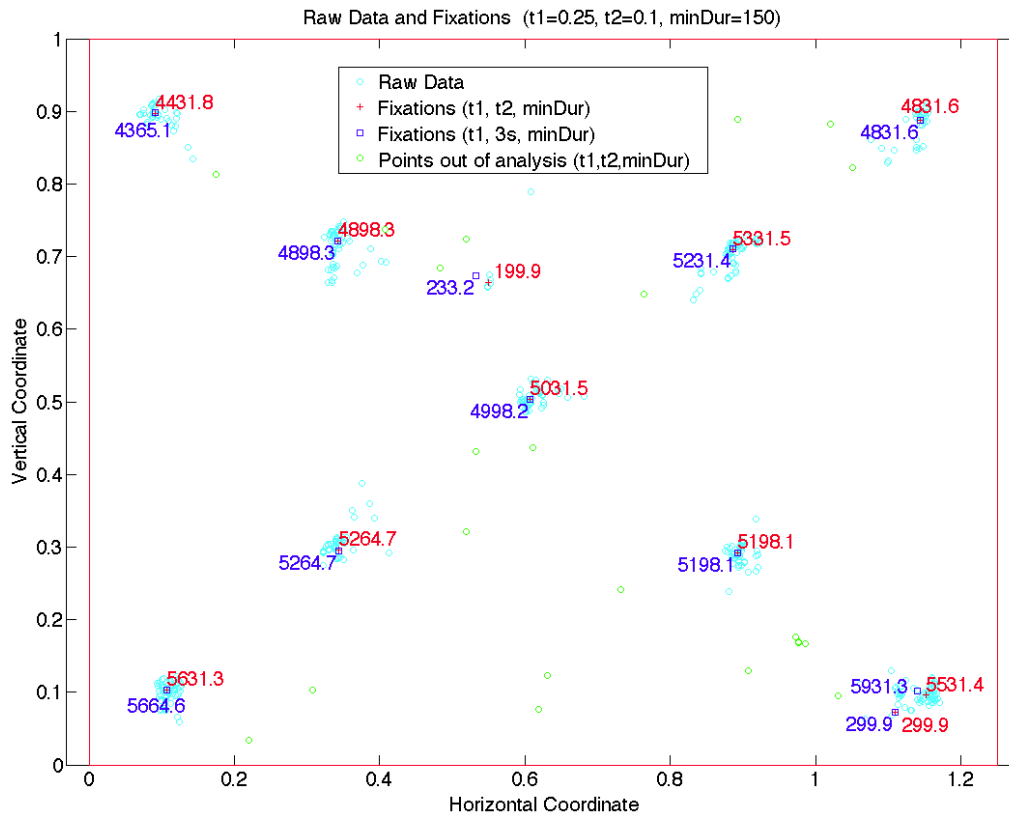
Saccades Analysis:
Total number of saccades: 10
Saccades list:
(ID-X_Start_Point-Y_Start_Point-X_End_Point-Y_End_Point-
Duration-Amplitude-Direction_angle-Start_Fixation-End_Fixation)
1 0.5505 0.6639 0.0916 0.8975 99.9 0.515 296.978 1 2
2 0.0916 0.8975 1.1437 0.8872 166.6 1.052 90.561 2 3
3 1.1437 0.8872 0.3424 0.7220 166.6 0.818 258.351 3 4
4 0.3424 0.7220 0.8857 0.7093 99.9 0.543 91.339 4 5
5 0.8857 0.7093 0.6077 0.5027 33.3 0.346 233.382 5 6
6 0.6077 0.5027 0.3436 0.2959 66.7 0.335 231.938 6 7
7 0.3436 0.2959 0.8933 0.2917 200.0 0.550 90.438 7 8
8 0.8933 0.2917 1.1099 0.0719 66.7 0.309 135.420 8 9
9 1.1099 0.0719 0.1070 0.1030 99.9 1.003 271.776 9 10
10 0.1070 0.1030 1.1519 0.0961 133.3 1.045 90.378 10 11

Scanpath Analysis:
Scanpath length: 6.517
Scanpath duration: 47782.9
Saccades/Fixations Ratio: 0.024
Scanpath Spatial Density: 0.450
Transition Matrix:
-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20
1- 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
5- 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
6- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
8- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9- 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
12- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
13- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
14- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
15- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
17- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20- 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
Transition Density: 0.025

```

End of Metrics Analysis Report

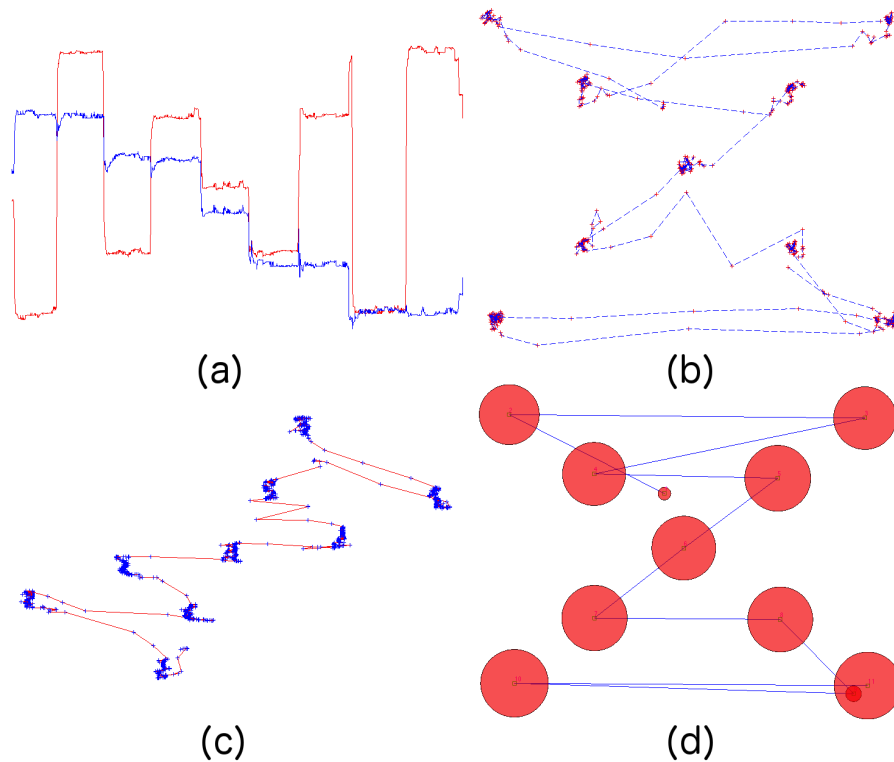
Εικόνα 5.6 Υπολογισμός των παραγόμενων μεγεθών που προκύπτουν από τις προσηλώσεις, τις σακκαδικές κινήσεις και το βασικό παράγωγο μέγεθος του οπτικού ίχνους.



Εικόνα 5.7 Οι θέσεις και οι διάρκειες των προσηλώσεων μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου εντοπισμού. Τα σημεία και οι τιμές με κόκκινο χρώμα αντιστοιχούν στα κέντρα και στις διάρκειες των προσηλώσεων μετά την εφαρμογή των κριτηρίων ($t_1, t_2, \text{min duration}$) ενώ τα σημεία και οι τιμές με μπλε χρώμα αντιστοιχούν στον εντοπισμό με βάση τα κριτήρια ($t_1, 3s, \text{min duration}$). Τα σημεία με πράσινο χρώμα αντιστοιχούν τα σημεία της καταγραφής που δεν συμμετέχουν στην ανάλυση των προσηλώσεων οι οποίες υπολογίζονται αξιοποιώντας τα κριτήρια ($t_1, t_2, \text{min duration}$).

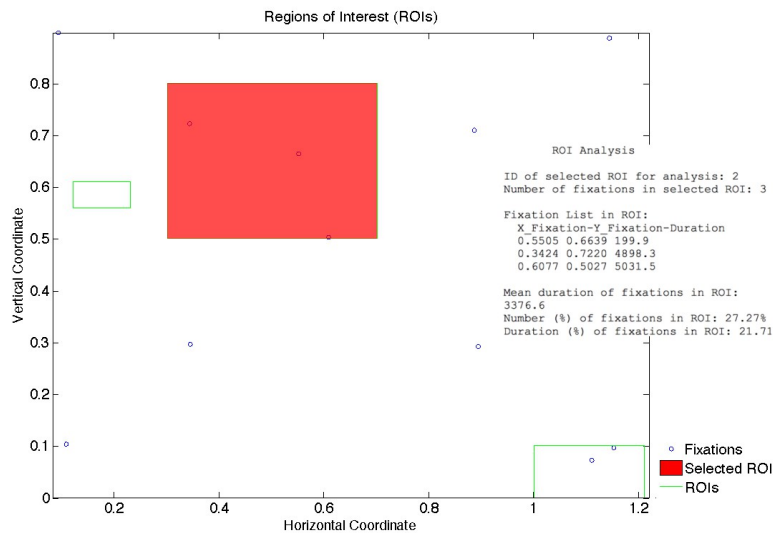
Αξιοποιώντας τα δεδομένα εισόδου και τις ίδιες τιμές χωρικών παραμέτρων και του χρονικού περιορισμού, το λογισμικό EyeMMV παράγει επιπλέον απεικονίσεις (Εικόνα 5.8). Συγκεκριμένα, οι οριζόντιες και οι κατακόρυφες συντεταγμένες των δεδομένων της οφθαλμικής καταγραφής πριν την ανάλυση των προσηλώσεων απεικονίζονται σε συνάρτηση με το χρόνο της καταγραφής (Εικόνα 5.8, σχήμα a). Επιπλέον, στο σχήμα b (Εικόνα 5.8) απεικονίζονται οι χωρικές συντεταγμένες των ίδιων δεδομένων στο επίπεδο, ενώ στο σχήμα c (Εικόνα 5.8) τα δεδομένα απεικονίζονται σε ένα χώρο τριών διαστάσεων. Στο σχήμα d (Εικόνα 5.8) φαίνεται η απεικόνιση του οπτικού ίχνους (μετά την ανάλυση των καταγραφών σε προσηλώσεις και σακκαδικές κινήσεις) όπου η ακτίνα κάθε κύκλου αντιστοιχεί στη σχετική διάρκεια κάθε σημείου προσήλωσης ενώ οι σακκαδικές κινήσεις αναπαρίστανται σαν τις γραμμές μετάβασης μεταξύ των προσηλώσεων. Για τις ανάγκες του

συγκεκριμένου παραδείγματος επιλέχθηκε η τιμή 0.1 (σε μονάδες στο σύστημα καταγραφής) για την αναπαράσταση της μέγιστης ακτίνας προσήλωσης.



Εικόνα 5.8 Διαφορετικοί τρόποι απεικόνισης δεδομένων οφθαλμικών καταγραφών οι οποίο υποστηρίζονται από το λογισμικό EyeMMV που αναπτύχθηκε. (a) Διάγραμμα οριζόντιων (κόκκινο χρώμα) και κατακόρυφων (μπλε χρώμα) συντεταγμένων κατά μήκος το χρόνο (b) Απεικόνιση της χωρικής διασποράς της καταγραφής. Η μπλε διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο οπτικό ίχνος που δημιουργείται από τα σημεία της καταγραφής που απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα (c) Κύβος χωρο-χρόνου. Τα σημεία της καταγραφής απεικονίζονται με μπλε χρώμα ενώ το οπτικό ίχνος με κόκκινο (d) Οπτικοποίηση του οπτικού ίχνους της καταγραφής μετά την ανάλυση του σε προσηλώσεις και σακκαδικές κινήσεις. Το μέγεθος της ακτίνας κάθε κύκλου αντιστοιχεί στην τιμή της σχετικής διάρκειας της προσήλωσης. Οι σακκαδικές κινήσεις απεικονίζονται με μπλε χρώμα.

Επιπροσθέτως, η ανάλυση των δεδομένων μπορεί να περιοριστεί σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος που έχουν προεπιλεγθεί (Εικόνα 5.9).



Εικόνα 5.9 Οπτικοποίηση και ανάλυση δεδομένων σε προεπιλεγμένη περιοχή ενδιαφέροντος.

5.3.3 Δημιουργία απεικόνισης θερμικού χάρτη

Οι μέθοδοι δημιουργίας ενός θερμικού χάρτη παρουσιάζονται αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επιπροσθέτως, στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια σχηματική αναπαράσταση (Εικόνα 3.12) του τρόπου δημιουργίας ενός θερμικού χάρτη από σημεία προσήλωσης που προκύπτουν από την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων. Οι περισσότερες μέθοδοι δημιουργίας θερμικών χαρτών σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με τη διάρκεια των προσηλώσεων. Παρά το γεγονός, ότι η Bojko (2009) προτείνει την αποφυγή της χρήσης των δεδομένων της καταγραφής πριν την ανάλυσή τους σε προσηλώσεις και άλλες οφθαλμικές κινήσεις, η παραγωγή του θερμικού χάρτη με το λογισμικό EyeMMV που αναπτύχθηκε πραγματοποιείται αξιοποιώντας τις θέσεις σημείων οι οποίες είναι δυνατόν να αναφέρονται είτε σε σημεία της καταγραφής ή σε κέντρα προσηλώσεων. Η πρόταση της Bojko βασίζεται στο γεγονός ότι το σήμα των πρωταρχικών δεδομένων περιέχει θόρυβο. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι τα περισσότερα λογισμικά που συνοδεύουν συστήματα εντοπισμού των οφθαλμικών κινήσεων περιέχουν αλγορίθμους οι οποίοι αξιοποιώντας διάφορες μεθόδους φιλτραρίσματος πετυχαίνουν την αφαίρεση σημείων που δεν αντιπροσωπεύουν την καταγραφή και αποτελούν θόρυβο στα δεδομένα της. Έτσι, στην περίπτωση που ο χρήστης χρησιμοποιεί το λογισμικό EyeMMV αξιοποιώντας τις θέσεις των αρχικών δεδομένων για την παραγωγή θερμικών χαρτών συνίσταται η χρήση των θέσεων των

φιλτραρισμένων σημείων καταγραφής (δηλαδή των δεδομένων που προκύπτουν μετά την εφαρμογή κάποιου κατάλληλου αλγορίθμου για την αφαίρεση του θορύβου). Στην περίπτωση που αξιοποιούνται οι θέσεις των σημείων προσήλωσης για τη δημιουργία του θερμικού χάρτη, λαμβάνεται υπόψη μόνο η χωρική διασπορά και όχι οι διάρκειες που συνοδεύουν κάθε κέντρο.

Το βασικότερο μέγεθος που αξιοποιείται για την παραγωγή της απεικόνισης του θερμικού χάρτη αντιστοιχεί στην παράμετρο του μεγέθους φατνίου του κανάβου (σχήμα σε προηγούμενο κεφάλαιο). Για κάθε φατνίο του τετραγωνικού κανάβου που εφαρμόζεται στην οπτική σκηνή της καταγραφής, υπολογίζεται η πυκνότητα των σημείων εισόδου (σημεία καταγραφής ή κέντρα προσηλώσεων) και γίνεται η αντιστοίχιση της τιμής της πυκνότητας με μία τιμή έντασης μιας συγκεκριμένης απόχρωσης ή μια απόχρωση του συνεχούς χρωματικού φάσματος. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί πως, παρά το γεγονός ότι η επιλογή της έντασης μιας συγκεκριμένης απόχρωσης αποτελεί από πλευρά γραφικής σημειολογίας τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο για την απόδοση των διαφοροποιήσεων, η χρήση του συνεχούς χρωματικού φάσματος αξιοποιείται για τη δημιουργία απεικονίσεων θερμικών χαρτών κατά την ανάλυση οφθαλμικών καταγραφών. Επιπροσθέτως, για την ομαλοποίηση της συνολικής εικόνας της θερμικής απεικόνισης εφαρμόζεται ένα φίλτρο Gauss. Η εφαρμογή του φίλτρου για την ομαλοποίηση βασίζεται στην παράμετρο του πυρήνα και της τυπικής απόκλισης της καμπύλης Gauss.

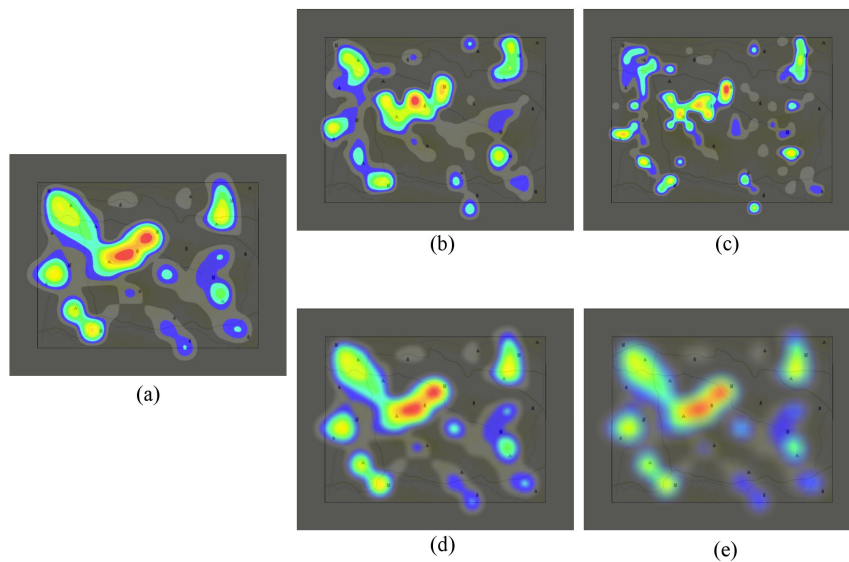
Για την ανάδειξη της λειτουργίας του EyeMMV ως προς την παραγωγή θερμικών απεικονίσεων παρουσιάζεται μία ακόμα μελέτη περίπτωσης. Συγκεκριμένα, η θερμική απεικόνιση παράγεται αξιοποιώντας τις οφθαλμικές καταγραφές 8 υποκειμένων οι οποίες συλλέχθηκαν στα πλαίσια μιας προηγούμενης μελέτης (Κρασσανάκης 2009, Krassanakis et al. 2011). Στην έρευνα αυτή, ζητήθηκε από τα υποκείμενα να εντοπίσουν ένα σημειακό σύμβολο μεταξύ συμβόλων περισπαστών σε μια απλοποιημένη μορφή ενός χαρτογραφικού υποβάθρου. Η παραγωγή της θερμικής απεικόνισης έγινε χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές των παραμέτρων του μεγέθους φατνίου (gs), του μεγέθους πυρήνα Gauss (ks) και της τυπικής απόκλισης Gauss (s). Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1. Οι μονάδες της τιμής του μεγέθους φατνίου του κανάβου αντιστοιχούν στο σύστημα συντεταγμένων του συστήματος καταγραφής όπως αυτό περιγράφεται

παραπάνω ενώ οι παράμετροι που σχετίζονται με την εξομάλυνση Gauss αντιστοιχούν σε συντεταγμένες εικονοστοιχείων. Η επιλογή των διαφορετικών τιμών παραμέτρων έγινε ώστε να αναδειχθεί η επίδρασή τους στην παραγωγή της απεικόνισης και οι τιμές αυτές δεν σχετίζονται με την ανάλυση των αποτελεσμάτων για την απάντηση άλλων ερευνητικών αναζητήσεων.

Πίνακας 5.1 Οι διαφορετικές τιμές μεγέθους φατνίου (*gs*), πυρήνα Gauss (*ks*) και τυπικής απόκλισης Gauss (*s*) που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή θερμικών απεικονίσεων αξιοποιώντας το λογισμικό *EyeMMV*

Μέγεθος φατνίου (grid size, <i>gs</i>)	Μέγεθος πυρήνα Gauss (kernel size, <i>ks</i>)	Τυπική απόκλιση Gauss (<i>sigma</i> , <i>s</i>)	Θερμική απεικόνιση (Heatmap)
0.25/3≈0.083	5	3	Σχήμα a
0.25/4≈0.063	5	3	Σχήμα b
0.25/6≈0.042	5	3	Σχήμα c
0.25/3≈0.083	30	20	Σχήμα d
0.25/3≈0.083	70	50	Σχήμα e

Οι θερμικές απεικονίσεις που παράγονται χρησιμοποιώντας τις τιμές του Πίνακα 5.1, παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.10. Όπως γίνεται φανερό, όσο το μέγεθος του φατνίου του κανάβου μειώνεται, παρουσιάζεται μεγαλύτερος αριθμός διακριτών περιοχών (Εικόνα 5.10b & 5.10c) ενώ όσο οι τιμές των μεγεθών του πυρήνα και της τυπικής απόκλισης Gauss αυξάνονται, η συνολική εικόνα της απεικόνισης εξομαλύνεται (Εικόνα 5.10d & 5.10e).



Εικόνα 5.10 Παραγωγή θερμικών απεικονίσεων αξιοποιώντας το λογισμικό EyeMMV με διαφορετικές παραμέτρους εισόδου (gs, ks, s). (a) $gs=0.25/3 \approx 0.083$, $ks=5$, $s=3$, (b) $gs=0.25/4 \approx 0.063$, $ks=5$, $s=3$, (c) $gs=0.25/6 \approx 0.042$, $ks=5$, $s=3$, (d) $gs=0.25/3 \approx 0.083$, $ks=30$, $s=20$ και (e) $gs=0.25/3 \approx 0.083$, $ks=70$, $s=50$. Όσο το μέγεθος του φατνίου του κανάβου μειώνεται, παρουσιάζεται μεγαλύτερος αριθμός διακριτών περιοχών (b, c) ενώ όσο οι τιμές των μεγεθών του πυρήνα και της τυπικής απόκλισης Gauss αυξάνονται, η συνολική εικόνα της απεικόνισης εξομαλύνεται (d, e).

5.4 Επικύρωση αλγορίθμου εντοπισμού προσηλώσεων

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε αποτελεί μια επέκταση των αλγορίθμων τύπου I-DT (Salvucci & Goldberg 2000). Η διαφοροποίηση από τους υπάρχοντες αλγόριθμους αυτού του τύπου έγκειται στη χρήση ενός χωρικού κατωφλίου δύο βημάτων όπως αυτό περιγράφεται παραπάνω καθώς και στον έλεγχο της χωρικής διασποράς μέσω κατωφλίων που οριοθετούνται μέσω περιφερειών κύκλων και όχι τετραγώνων. Η επικύρωση και ο έλεγχος της αξιοπιστίας του εισαγόμενου αλγορίθμου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της σύγκρισης των τιμών των χωροχρονικών συντεταγμένων που προκύπτουν κατά τον υπολογισμό των προσηλώσεων που αφορούν την παρατήρηση ενός συνόλου σταθερών σημείων μιας οπτικής σκηνής. Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου που εισάγεται αξιοποιήθηκαν οι καταγραφές ενός υποκειμένου κατά την παρατήρηση 9 σταθερών σημείων η διάταξη των οποίων φαίνεται στην Εικόνα 5.4. Συγκεκριμένα, το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν είναι το ίδιο με το αντίστοιχο που περιγράφεται στη μελέτη περίπτωσης που παρουσιάζεται στην παράγραφο 5.3.2 της παρούσας διατριβής. Οι χωρικές συντεταγμένες των 9 σταθερών σημείων στο σύστημα αναφοράς του

συστήματος καταγραφής παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2 Οι οριζόντιες (x) και οι κατακόρυφες (y) συντεταγμένες των σταθερών στόχων στο σύστημα συντεταγμένων του συστήματος καταγραφής (Κρασανάκης 2009).

Σταθερό σημείο	Συντεταγμένες	
	x	y
1	0.1000	0.1000
2	1.1500	0.1000
3	0.3625	0.3000
4	0.8875	0.3000
5	0.6250	0.5000
6	0.3625	0.7000
7	0.8875	0.7000
8	0.1000	0.9000
9	1.1500	0.9000

Οι συντεταγμένες των προσηλώσεων που υπολογίστηκαν αξιοποιώντας τις παραμέτρους που παρουσιάζονται στην μελέτη περίπτωση (παραπάνω παράγραφος) συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες συντεταγμένες οι οποίες προέκυψαν από την εφαρμογή ενός αλγορίθμου τύπου I-DT (Salvucci & Goldberg 2000) κινούμενου παραθύρου για τον έλεγχο της διασποράς όπως αυτός έχει υλοποιηθεί στο λογισμικό OGAMA (Vobkühler et al. 2008). Ο αλγόριθμος που έχει ενσωματωθεί στο συγκεκριμένο λογισμικό βασίζεται σε δύο παραμέτρους για τον υπολογισμό των προσηλώσεων μιας οπτικής σκηνής. Η μια παράμετρος (χωρική παράμετρος) αναφέρεται στη μέγιστη απόσταση που ένα σημείο καταγραφής μπορεί να απέχει από τη μέση θέση της προσηλώσης και να αποτελεί σημείο της προσηλώσης αυτής ενώ η δεύτερη παράμετρος (χρονική παράμετρος) αναφέρεται στον ελάχιστο αριθμό αριθμό σημείων καταγραφής τα οποία ορίζουν μια κλάση προσηλώσης (Vobkühler 2009).

Οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για την εφαρμογή του αλγορίθμου των Salvucci & Goldberg (2000) αντιστοιχούν σε 102 pixels για το χωρικό κριτήριο (το μέγεθος αυτό αντιστοιχεί στην τιμή της παραμέτρου $t_2=0.100$ σε μονάδες του συστήματος καταγραφής η οποία αξιοποιείται για τον υπολογισμό των προσηλώσεων μέσω του αλγορίθμου που εισάγεται) και σε 5 σημεία καταγραφής ως τον ελάχιστο

αριθμό σημείων για τον υπολογισμό των προσηλώσεων (ο αριθμός 5 αντιστοιχεί στην ελάχιστη διάρκεια των 150 ms για τον οποία εφαρμόζεται ο αλγόριθμος που εισάγεται καθώς η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων του υποκειμένου πραγματοποιήθηκε με συχνότητα δειγματοληψίας 30 Hz). Οι χωρικές συντεταγμένες των προσηλώσεων που αντιστοιχούν στα εννέα σταθερά σημεία εντοπίστηκαν αξιοποιώντας τον αλγόριθμο που εισάγεται εφαρμόζοντας τα κριτήρια των δύο χωρικών παραμέτρων (t_1 , t_2) και την ελάχιστη διάρκεια (Εντοπισμός 1), της χωρικής παραμέτρου t_1 , του στατιστικού κριτηρίου 3σ και της ελάχιστης διάρκειας (Εντοπισμός 2) και με εφαρμογή του αλγορίθμου των Salvucci & Goldberg (2000). Οι συντεταγμένες των σημείων προσηλώσης που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3 Υπολογισμός των οριζόντιων (x) και των κατακόρυφων (y) συντεταγμένων σταθερών σημείων με 3 διαφορετικούς τρόπους: Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$), Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$), Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salvucci & Goldberg 2000). Οι συντεταγμένες παρουσιάζονται στο σύστημα συντεταγμένων του συστήματος καταγραφής.

Σταθερό σημείο	Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$)		Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$)		Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salvucci & Goldberg 2000)	
	x	y	x	y	x	y
1	0.0916	0.8975	0.0908	0.8983	0.0922	0.8969
2	1.1437	0.8872	1.1437	0.8872	1.1431	0.8868
3	0.3424	0.7220	0.3424	0.7220	0.3424	0.7220
4	0.8857	0.7093	0.8867	0.7105	0.8850	0.7090
5	0.6077	0.5027	0.6072	0.5027	0.6077	0.5027
6	0.3436	0.2959	0.3432	0.2949	0.3436	0.2959
7	0.8933	0.2917	0.8933	0.2917	0.8933	0.2917
8	0.1070	0.1030	0.1077	0.1026	0.1077	0.1026
9	1.1519	0.0961	1.1401	0.1012	1.1519	0.0961

Η σύγκριση των χωρικών συντεταγμένων που προκύπτουν πραγματοποιείται υπολογίζοντας τις Ευκλείδειες αποστάσεις (d) μεταξύ των αντίστοιχων σημείων προσηλώσης. Ο υπολογισμός των διαφορών έγινε για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς μεταξύ των τριών ειδών εντοπισμού που αναφέρονται παραπάνω. Οι διαφορές που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4 εκφρασμένες σε γωνιακά μεγέθη τα οποία προέκυψαν ανάγοντας τις διαφορές με βάση την απόσταση θέασης

του υποκειμένου η οποία αντιστοιχεί σε 55.5 cm. Επιπροσθέτως, μια συνολική εκτίμηση της διαφοράς μεταξύ των διαφορετικών εντοπισμών, πραγματοποιήθηκε ορίζοντας ένα δείκτη εκτίμησης της συνολικής διαφοράς (td) ο οποίος υπολογίζεται ως την τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των επιμέρους αποστάσεων για τα 9 σταθερά σημεία. Δηλαδή ο δείκτης της συνολικής διαφοράς υπολογίζεται από τη σχέση $td_k=(\sum(d_i^2))^{1/2}$, για $k=1, 2, 3$ και για $i=1,2,3,..,9$. Οι τιμές που προκύπτουν για όλες τις δυνατές περιπτώσεις διαφορών (Εντοπισμός 1 - Εντοπισμός 3, Εντοπισμός 1 - Εντοπισμός 2 και Εντοπισμός 1 – Εντοπισμός 2) παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4. Σύγκριση των διαφορών στις συντεταγμένες των 9 σταθερών σημείων. Οι συντεταγμένες υπολογίζονται με 3 διαφορετικούς τρόπους: Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$), Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$), Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salvucci & Goldberg 2000). Οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων υπολογίζονται μέσω της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των αντίστοιχων στόχων και η συνολική διαφορά εκφράζονται σαν γωνιακά μεγέθη (μίρες οπτικού γωνίας).

Σταθερό σημείο	Εντοπισμός 1- Εντοπισμός 3	Εντοπισμός 2- Εντοπισμός 3	Εντοπισμός 1- Εντοπισμός 2
1	0.0264	0.0615	0.0352
2	0.0224	0.0224	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0237	0.0705	0.0486
5	0.0000	0.0155	0.0155
6	0.0000	0.0335	0.0335
7	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.0251	0.0000	0.0251
9	0.0000	0.3996	0.3996
Συνολική διαφορά	0.0489	0.4127	0.4065

Η σύγκριση μεταξύ των προσηλώσεων που προκύπτουν από τους 3 τρόπους εντοπισμού πραγματοποιείται και ως προς την χρονική διάσταση. Οι διάρκειες των προσηλώσεων που εντοπίζονται από τα δεδομένα της καταγραφής σύμφωνα με τους 3 τρόπους εντοπισμού των προσηλώσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5 Υπολογισμός της διάρκειας των προσηλώσεων που αντιστοιχούν στα σταθερά σημεία με 3 διαφορετικούς τρόπους: Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$), Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$), Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salucci & Goldberg 2000). Οι διάρκειες εκφράζονται σε ms.

Σταθερό σημείο	Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$)	Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$)	Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salucci & Goldberg 2000)
1	4432	4365	4465
2	4832	4832	4865
3	4898	4898	4898
4	5332	5231	5365
5	5032	4998	5032
6	5265	5265	5264
7	5198	5198	5199
8	5631	5665	5664
9	5931	5531	5531

Η σύγκριση μεταξύ των διαρκειών που προκύπτουν πραγματοποιείται υπολογίζοντας τις απόλυτες διαφορές μεταξύ των τιμών διάρκειας για όλους τους συνδυασμούς των τρόπων εντοπισμού των προσηλώσεων. Επιπλέον, για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς υπολογίζεται η μέση τιμή των απόλυτων διαφορών με σκοπό να προσδιοριστεί ένας δείκτης της μέσης διαφοροποίησης μεταξύ των εντοπισμών. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6 Σύγκριση των διαφορών στις διάρκειες των 9 σταθερών σημείων. Οι διάρκειες υπολογίζονται με 3 διαφορετικούς τρόπους: Εντοπισμός 1 ($t_1, t_2, \text{min duration}$), Εντοπισμός 2 ($t_1, 3\sigma, \text{min duration}$), Εντοπισμός 3 (αλγόριθμος Salucci & Goldberg 2000). Η μέση διαφορά υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των διαφορών για τα 9 σταθερά σημεία. Οι διαφορές εκφράζονται σε ms.

Σταθερό σημείο	Εντοπισμός 1- Εντοπισμός 3	Εντοπισμός 2- Εντοπισμός 3	Εντοπισμός 1- Εντοπισμός 2
1	33	100	33
2	33	33	33
3	0	0	0
4	33	134	33
5	0	34	0
6	1	1	1
7	1	1	1
8	33	1	33

Σταθερό σημείο	Εντοπισμός 1- Εντοπισμός 3	Εντοπισμός 2- Εντοπισμός 3	Εντοπισμός 1- Εντοπισμός 2
9	400	0	400
Μέση διαφορά	59	34	59

Παρατηρώντας τις επιμέρους αλλά και τις συνολικές και τις μέσες των διαφορών που προκύπτουν ως προς τη χωρική και τη χρονική διάσταση αντίστοιχα γίνεται φανερό ότι ο αλγόριθμος που εισάγεται παρουσιάζει ελάχιστες αποκλίσεις σε σύγκριση με τον αλγόριθμο των Salvucci & Goldberg (2000). Συγκεκριμένα ως προς τη χωρική διάσταση και στην περίπτωση που ο υπολογισμός των παραμέτρων πραγματοποιείται αξιοποιώντας και τις δύο χωρικές παραμέτρους, η συνολική διαφορά αντιστοιχεί σε περίπου 0.05° του οπτικού τόξο που πρακτικά μπορεί να μεταφραστεί σε ταύτιση των αποτελεσμάτων (ως προς τη χωρική διάσταση) των δύο μεθόδων υπολογισμού. Ο αλγόριθμος που εισάγεται μπορεί να δώσει καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με την εφαρμογή μιας χωρικής παραμέτρου στην περίπτωση που μπορεί να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση του μέσου θορύβου του συστήματος που χρησιμοποιείται για τη καταγραφή. Αντίστοιχα, ως προς τη χρονική διάσταση, παρατηρούμε στον πίνακα ότι οι τιμές των μέσων διαφορών που προκύπτουν είναι μικρότερες από την ελάχιστη διάρκεια που μπορεί αντιστοιχεί σε μία κίνηση προσήλωσης. Όπως αναφέρεται παραπάνω, οι τιμές που χρησιμοποιούνται για την επικύρωση του αλγορίθμου εντοπισμού που εισάγεται δεν συνδέονται με τις παραμέτρους του πειράματος. Ο αλγόριθμος εντοπισμού είναι ευαίσθητος στις μεταβολές της διασποράς των τιμών και έτσι οι τιμές που επιλέχθηκαν για την επικύρωση του αλγορίθμου είναι σχετικά μεγάλες ώστε οι προσηλώσεις που προκύπτουν να συνοψίζουν τη συμπεριφορά του βλέμματος γύρω από τα σταθερά σημεία. Στο Κεφάλαιο 7 της παρούσας διατριβής, υπάρχει η περιγραφή μιας πλήρους προσέγγισης για τον προσδιορισμό των χωρικών παραμέτρων με βάση την πειραματική διαδικασία και τον υπολογισμό του θορύβου του συστήματος καταγραφής που χρησιμοποιείται.

Κεφάλαιο 6

Σχεδιασμός Πειραματικής Έρευνας

6.1 Κίνητρα

Η αξιοποίηση τεχνικών κινούμενης εικόνας συνέβαλε σε μια νέα προσέγγιση για τη δημιουργία χαρτών η οποία προϋποθέτει τη χρήση ψηφιακών μέσων τόσο για τη διαδικασία του χαρτογραφικού σχεδιασμού όσο και για την ανάγνωση του χάρτη από τους αναγνώστες. Ενώ η υλοποίηση χαρτών κινούμενης εικόνας εμφανίζεται σαν ένα χρήσιμο εργαλείο με εμπλουτισμένες δυνατότητες απόδοσης γεωγραφικών και άλλων φαινομένων, πολλοί ερευνητές τονίζουν την ανάγκη για αξιολόγηση της αποδοτικότητάς τους ως προς την ανάγνωση (Karl 1992, Griffin et al. 2006, Harrower 2007) καθώς και της επίδρασής τους στις διεργασίες απόκτησης γνώσης (Fabrikant 2005, Harrower & Fabrikant 2008). Η διαδικασία αξιολόγησης της αποδοτικότητας και της ευχρηστίας των χαρτών κινούμενης εικόνας θα πρέπει να σχετίζεται άμεσα με την αξιολόγηση των “δομικών” στοιχείων που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία του χαρτογραφικού σχεδιασμού. Η παραγωγή χαρτών κινούμενης εικόνας υλοποιείται μέσω της συνδυαστικής αξιοποίησης των οπτικών μεταβλητών (Bertin 1967/1983) και των δυναμικών μεταβλητών (DiBiase et al. 1992). Η μελέτη των δυναμικών μεταβλητών, οι οποίες ουσιαστικά είναι εκείνες που προσδίδουν την ιδιότητα της κίνησης στο χάρτη (λειτουργώντας ενδεχομένως συνδυαστικά με κάποια οπτική μεταβλητή), είναι αρκετά σημαντική ενώ πολλές μελέτες (π.χ. Kraak & MacEachren 1994, Xiaofang et al. 2005) τονίζουν την ανάγκη για εκπόνηση πειραματικών ερευνών με σκοπό τη διερεύνηση της λειτουργίας τους. Η διερεύνηση των μεταβλητών του χαρτογραφικού σχεδιασμού είναι σε θέση να υποδείξει τα όρια και τους περιορισμούς που εμφανίζονται στο στάδιο του χαρτογραφικού συμβολισμού (MacEachren 1995, Harrower 2003). Η αξιοποίηση τεχνικών ανίχνευσης και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων εμφανίζεται σαν μια πολύτιμη μέθοδος στο γενικότερο αντικείμενο της μελέτης και της αξιολόγησης των διαδικασιών ανάγνωσης χάρτη (βλέπε Κεφάλαιο 4). Μεταξύ των χαρτογραφικών ερευνών για τη μελέτη της ανάγνωσης χάρτη, η μεθοδολογία ανίχνευσης των οφθαλμικών καταγραφών έχει αξιοποιηθεί και για την αξιολόγηση

χαρτών κινούμενης εικόνας (Nossum & Opach 2011, Opach & Nossum 2011, Smith 2011, Nossum 2013, Opach et al. 2013, Dong et al. 2014). Οι μελέτες αυτές εστιάζουν κυρίως σε ζητήματα που σχετίζονται με τη χρηστικότητα των χαρτών και τη μελέτη της συμπεριφοράς του αναγνώστη.

6.2 Στόχος πειραματικής έρευνας

Στόχος της παρούσας πειραματικής έρευνας είναι η διερεύνηση των οριακών τιμών των δυναμικών μεταβλητών της διάρκειας και του ρυθμού αλλαγής (για την ειδική περίπτωση που το ποσοστό αλλαγής παραμένει σταθερό καθώς η διάρκεια μεταβάλλεται). Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα έχει ως κύριο σκοπό την αναζήτηση της ελάχιστης τιμής της μεταβλητής της διάρκειας για την οποία ένα κινούμενο σημειακό σύμβολο στο χάρτη μπορεί να εντοπιστεί από τον αναγνώστη του. Για την απάντηση του ερευνητικού ερωτήματος σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα χαρτογραφικό πείραμα στο οποίο η επίδοση των υποκειμένων της έρευνας μετρήθηκε αξιοποιώντας τεχνικές καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων.

6.3 Οι μεταβλητές της πειραματικής έρευνας

Η ιδιότητα της κίνησης ενός χαρτογραφικού σημειακού συμβόλου ουσιαστικά αποτελεί μια αλλαγή στη θέση η οποία περιγράφει την έννοια της τοποθεσίας των συμβόλων σε ένα στατικό χάρτη. Η διαφορά με την περίπτωση του στατικού χάρτη έγκειται στο γεγονός ότι αυτή η αλλαγή συμβαίνει κατά τη διάρκεια της παρατήρησης του από τον αναγνώστη και έτσι ο χάρτης αναπαριστάται με τη μορφή κινούμενης εικόνας. Καθώς το χαρακτηριστικό της κίνησης στην έρευνα για την οπτική προσοχή όσο και η μεταβλητή της θέσης-τοποθεσίας στη χαρτογραφική έρευνα θεωρούνται κυρίαρχα χαρακτηριστικά για την ανάγνωση οπτικών σκηνών (αντίστοιχα για την ανάγνωση χαρτών για την περίπτωση της θέσης), η πολυπλοκότητα του οπτικού ερεθίσματος είναι πιθανόν να επιδρά στον εντοπισμό των περιεχόμενων αντικειμένων που χαρακτηρίζονται από τις ιδιότητες αυτές. Τα αντικείμενα αυτά αποτελούν τα χαρτογραφικά σύμβολα στην περίπτωση των χαρτών. Έτσι για τον καθορισμό των παραμέτρων της πειραματικής έρευνας στην οποία γίνεται διερεύνηση της λειτουργίας κινούμενων συμβόλων θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας στοιχεία που σχετίζονται τόσο με την ιδιότητα της κίνησης όσο και με

την πολυπλοκότητα του χαρτογραφικού υποβάθρου.

Αν υποθέσουμε την ύπαρξη ενός σύνθετου χαρτογραφικού υποβάθρου, όπως για παράδειγμα έναν τοπογραφικό χάρτη, η έννοια της πολυπλοκότητας ουσιαστικά αποτελεί μια συνάρτηση των δομικών στοιχείων που τον αποτελούν. Επιπροσθέτως, θεωρώντας την ύπαρξη ενός συνεχούς μέσου το οποίο είναι σε θέση να περιγράψει την πολυπλοκότητα ενός χαρτογραφικού υποβάθρου και όπου το ένα άκρο αντιστοιχεί σε ένα κενό υπόβαθρο χωρίς πληροφορία ενώ το άλλο άκρο περιλαμβάνει ένα χαρτογραφικό υπόβαθρο με μεγάλη ποσότητα πληροφορίας (άρα και μεγάλη πολυπλοκότητα), γεννιέται το ερώτημα για το πώς μπορούμε να δημιουργήσουμε ενδιάμεσα χαρτογραφικά υπόβαθρα με διακριτά επίπεδα περιλαμβανόμενης πληροφορίας και πολυπλοκότητας. Όπως αναφέρεται παραπάνω, το επίπεδο της πολυπλοκότητας ενός χάρτη συνδέεται με τα σύμβολα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία του. Ενώ το ποσοστό της πολυπλοκότητας είναι δύσκολο να μετρηθεί, γίνεται φανερό ότι ένας χάρτης που περιλαμβάνει για παράδειγμα ένα δίκτυο μεταφορών και διαφορετικές χρήσεις γης είναι περισσότερο σύνθετος από τον αντίστοιχο χάρτη ίδιας κλίμακας, στην ίδια περιοχή και με ίδιο συμβολισμό ο οποίος περιλαμβάνει μόνο τις χρήσεις γης και όχι το δίκτυο μεταφορών. Σύμφωνα με τον ίδιο συλλογισμό, η πολυπλοκότητα δύο χαρτών με ίδια κλίμακα, στην ίδια περιοχή και με ίδιο συμβολισμό όπου ο ένας περιλαμβάνει ένα δίκτυο δρόμων ενώ ο άλλος ένα υποσύνολο του δικτύου αυτού, είναι διακριτή. Έτσι, η αφαίρεση θεματικών οντοτήτων (ή μέρους αυτών) είναι σε θέση να μειώσει την πολυπλοκότητα ενός χάρτη ο οποίος αποτελείται από ένα δεδομένο επίπεδο χαρτογραφικής πληροφορίας (π.χ. οδικό δίκτυο, σιδηροδρομικό δίκτυο, υδρογραφικό δίκτυο, χρήσεις γης, σύμβολα με θέσεις ενδιαφέροντος, πληροφορίες αναγλύφου κτλ).

Γίνεται φανερό πως η παραπάνω προσέγγιση, ενώ δίνει τη δυνατότητα μείωσης της πολυπλοκότητας του χάρτη, δεν είναι δυνατόν να εμφανίζει πάντα ρεαλιστική εφαρμογή καθώς το σύνολο της πληροφορίας που απεικονίζει ένας χάρτης συνδέεται άμεσα με άλλους παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται τόσο με την κλίμακα απόδοσης των χαρτογραφικών στοιχείων όσο και με το σκοπό υλοποίησης της χαρτογραφικής απεικόνισης και τις ιδιαιτερότητες της απεικονιζόμενης περιοχής. Έτσι, αν η διατήρηση των χαρτογραφικών συμβόλων είναι απαραίτητη, η μείωση του επιπέδου της γραφικής πληροφορίας μπορεί να

επιτευχθεί μέσω της παραμετροποίησης των χαρτογραφικών συμβόλων. Ειδικότερα, στην περίπτωση των χαρτών κινούμενης εικόνας εξαιρώντας τα στοιχεία που σχετίζονται με οποιαδήποτε μορφή κίνησης, το επίπεδο της πληροφορίας το οποίο μπορεί να μειωθεί σχετίζεται με το μέρος του χαρτογραφικού υποβάθρου το οποίο παραμένει σταθερό κατά την παρατήρηση. Για να γίνει περισσότερο κατανοητή αυτή η πρόταση μπορούμε να υποθέσουμε ένα χάρτη κινούμενης εικόνας όπου απεικονίζεται η πορεία ενός στοιχείου πάνω σε ένα σταθερό υπόβαθρο (π.χ. πορεία ενός οχήματος σε ένα οδικό δίκτυο, ενός πλοίου στη θαλάσσια επιφάνεια ή ενός ορειβάτη πάνω σε ένα ορεινό μονοπάτι). Καθώς η ιδιότητα της κίνησης είναι ίσως το κύριο θέμα της χαρτογραφικής απεικόνισης, η μείωση της πληροφορίας μπορεί να υλοποιηθεί στα χαρτογραφικά στοιχεία που συνθέτουν το γεωγραφικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο απεικονίζεται η πορεία του κινούμενου στοιχείου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, ο σχεδιασμός της παρούσας πειραματικής έρευνας απαιτεί να ληφθούν υπόψη μεταβλητές που συνδέονται με την ιδιότητα της κίνησης ενός συμβόλου καθώς και με μεταβλητές που σχετίζονται με τη δημιουργία χαρτογραφικών υποβάθρων με διακριτά επίπεδα πληροφορίας. Η ιδιότητα της κίνησης ενός χαρτογραφικού συμβόλου μπορεί να περιγραφεί μέσω δύο βασικών μεγεθών. Το ένα μέγεθος αφορά τη διάρκεια που το σύμβολο παραμένει σταθερό σε μία θέση της σκηνής ενώ το άλλο σχετίζεται με τη μεταβολή που υπεισέρχεται στη θέση του κατά τη διάρκεια της κίνησης. Η μεταβολή της θέσης μπορεί να εκφραστεί μέσω της Ευκλείδειας απόστασης (απόσταση μετάθεσης ή μετατόπισης) δύο διαδοχικών θέσεων του συμβόλου. Μ' αυτόν το τρόπο διερευνάται η δυναμική μεταβλητή της διάρκειας για την ειδική περίπτωση που ο ρυθμός αλλαγής εκφράζεται μέσω της μεταβολής που αντιστοιχεί σε μόνο μία αλλαγή στο χάρτη (αλλαγή στη θέση του συμβόλου) η οποία εκφράζεται μέσω της απόστασης των διαδοχικών θέσεων.

Για τη διερεύνηση του ερευνητικού στόχου και για να εξετασθεί συγκεκριμένα αν το επίπεδο πληροφορίας του χαρτογραφικού υποβάθρου επηρεάζει την ελάχιστη διάρκεια εντοπισμού ενός κινούμενου σημειακού συμβόλου είναι απαραίτητη η δημιουργία οπτικών σκηνών με διακριτά επίπεδα πληροφορίας. Η διαφοροποίηση μεταξύ των επιπέδων πραγματοποιήθηκε μεταβάλλοντας την ένταση των επιμέρους χαρτογραφικών συμβόλων ενός τυπικού τοπογραφικού χάρτη με

συγκεκριμένο επίπεδο γραφικής πολυπλοκότητας. Η επιλογή της μεταβλητής της έντασης για την δημιουργία διακριτών επιπέδων πληροφορίας έγινε λόγω της ύπαρξης δύο βασικών παραγόντων που σχετίζονται με τη διαδικασία ανάγνωσης του χάρτη. Ο πρώτος παράγοντας μπορεί να γίνει κατανοητός αν αναλογιστούμε το κύριο ερευνητικό ερώτημα της παρούσας πειραματικής έρευνας όπου ουσιαστικά εξετάζονται τα ελάχιστα όρια απόκρισης του αναγνώστη σε ένα κινούμενο οπτικό ερέθισμα. Γίνεται προφανές ότι οι γνωσιακές διαδικασίες που ενεργοποιούνται αναφέρονται στα πρώτα στάδια της όρασης κατά την παρατήρηση του οπτικού ερεθίσματος. Σύμφωνα με την προσέγγιση του Marr (1982) για την όραση, οι διαφορές έντασης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του πρωταρχικού σκίτσου (MacEachren 1995) κατά την παρατήρηση μιας οπτικής σκηνής. Έτσι, η διερεύνηση της διαδικασίας εντοπισμού της κίνησης μπορεί να ισχυροποιηθεί αν εξετασθεί σε επίπεδα μεταβαλλόμενης χαρτογραφικής πληροφορίας τα οποία μπορούν αν υλοποιηθούν μέσω της μεταβολής των εντάσεων των χαρτογραφικών συμβόλων. Από την άλλη πλευρά, ο δεύτερος παράγοντας για τον οποίο επιλέγεται η ένταση σχετίζεται με τη δυνατότητα άμεσης εφαρμογής στην περίπτωση χαρτών κινούμενης εικόνας όπου το κύριο μέγεθος το οποίο απεικονίζεται είναι η χαρτογράφηση μιας μεταβαλλόμενης θέσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ένας χάρτης που αξιοποιείται για την πλοήγηση ενός κινούμενου οχήματος. Στην περίπτωση αυτή, η θέση του οχήματος στο γεωγραφικό χώρο πρέπει να γίνεται άμεσα αντιληπτή από τον αναγνώστη. Χαρτογραφικά υπόβαθρα με διαφορετική ένταση είναι πιθανόν να επιδρούν στη διαδικασία απόκρισης του αναγνώστη του χάρτη.

6.4 Η μέθοδος

Για τη διερεύνηση του ερευνητικού στόχου σχεδιάστηκε μια πειραματική έρευνα στην οποία η επίδοση των υποκειμένων μετρήθηκε αξιοποιώντας τεχνικές καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων. Συγκεκριμένα, τα υποκείμενα της έρευνας παρατηρούσαν την κίνηση ενός σημειακού συμβόλου πάνω σε χαρτογραφικά υπόβαθρα με διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας. Η μεταβολή της θέσης του σημειακού συμβόλου στις διαδοχικές οπτικές σκηνές της πειραματικής έρευνας δίνει τη δυνατότητα της αντίληψης ενός κινούμενου σημειακού συμβόλου από τα υποκείμενα της έρευνας. Η μεταβολή του επιπέδου πολυπλοκότητας των οπτικών

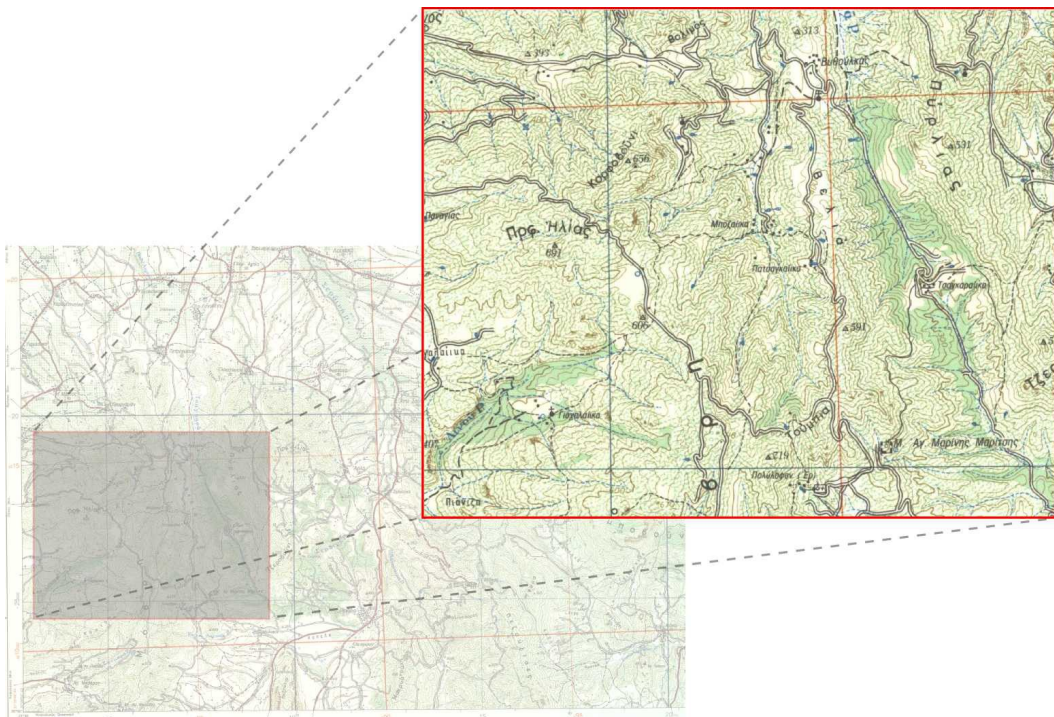
σκηνών βασίστηκε στην αλλαγή της ποσότητας της έντασης στο συμβολισμό των χαρτογραφικών στοιχείων ενός τυπικού χαρτογραφικού υποβάθρου. Η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων πραγματοποιήθηκε σε συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης χωρίς την απαίτηση για ολοκλήρωση κάποιας συγκεκριμένης εργασίας από τα υποκείμενα της έρευνας. Αξιζει να σημειωθεί πως μέσω της συγκεκριμένης μεθοδολογίας καταγράφουμε τη “δραστηριότητα” της κεντρικής και όχι της περιφερειακής όρασης. Παρά το γεγονός ότι δεν είμαστε σε θέση να εντοπίσουμε την οπτική συμπεριφορά των υποκειμένων στο στάδιο της προ-προσοχής, καθώς το συγκεκριμένο στάδιο είναι πολύ γρήγορο (~50ms) ενώ η ελάχιστη διάρκεια που μπορεί να σημειωθεί μια προσήλωση αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη χρονική διάρκεια (όριο ~100ms), οι συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης εξασφαλίζουν ότι οι γνωσιακές διαδικασίες οι οποίες υπεισέρχονται στην αντιληπτική διαδικασία είναι ελάχιστες δυνατές. Έτσι, ενώ ο εντοπισμός την κίνησης μπορεί να γίνει από την περιφερειακή όραση, με τη συγκεκριμένη πειραματική έρευνα εξετάζουμε τα αποτελέσματα της αντιληπτικής διαδικασίας στην κεντρική όραση.

Η πειραματική έρευνα που σχεδιάστηκε μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη ανάλογα με το βασικό υπόβαθρο των οπτικών σκηνών που χρησιμοποιήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα τα υποκείμενα της έρευνας παρατηρούσαν τη μετακίνηση του σημειακού συμβόλου σε κενές (λευκό υπόβαθρο) οπτικές σκηνές (Μέρος Α), σε χαρτογραφικό υπόβαθρο τυπικού χάρτη (Μέρος Β) και σε οπτικές σκηνές με διακριτά επίπεδα πληροφορίας (Μέρος Γ). Η συλλογή των δεδομένων καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών στο εργαστήριο Χαρτογραφίας του ΕΜΠ (Λέλλη 2013, Λόκκα 2013, Λοτίδη 2014).

6.5 Οι οπτικές σκηνές

Η επιλογή των οπτικών σκηνών για την εκπόνηση της παρούσας έρευνας πραγματοποιήθηκε έτσι ώστε το βασικό υπόβαθρο το οποίο χρησιμοποιείται να περιέχει τη γεωγραφική πληροφορία ενός τυπικού τοπογραφικού χάρτη (Μέρος Β). Επιπλέον, για την επίτευξη των διακριτών επιπέδων πολυπλοκότητας (Μέρος Γ) ο παράγοντας που παραμετροποιήθηκε αντιστοιχεί στην ποσότητα της έντασης όλων των χαρτογραφικών συμβόλων του υποβάθρου. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.1, το βασικό χαρτογραφικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί

τμήμα ενός πραγματικού χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Το υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε σε κανονικοποιημένη μορφή για την εκπόνηση του Β Μέρους της πειραματικής έρευνας ενώ για την μεταβολή της έντασης των χαρτογραφικών συμβόλων (Μέρος Γ), το χαρτογραφικό υπόβαθρο διανυσματοποιήθηκε και η απόδοση των συμβόλων υλοποιήθηκε μετρώντας δειγματοληπτικά την απόχρωση κάθε συμβόλου στην κανονικοποιημένη μορφή. Η διανυσματοποίηση του βασικού υποβάθρου επιτρέπει την ψηφιακή επεξεργασία του άρα και τη μεταβολή της πολυπλοκότητάς του μέσω της μεταβολή της έντασης των επιμέρους συμβόλων. Η διανυσματοποίηση του χαρτογραφικού υποβάθρου έγινε στα πλαίσια διπλωματικής εργασίας η οποία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Χαρτογραφίας του ΕΜΠ (Λοτιδη 2014).

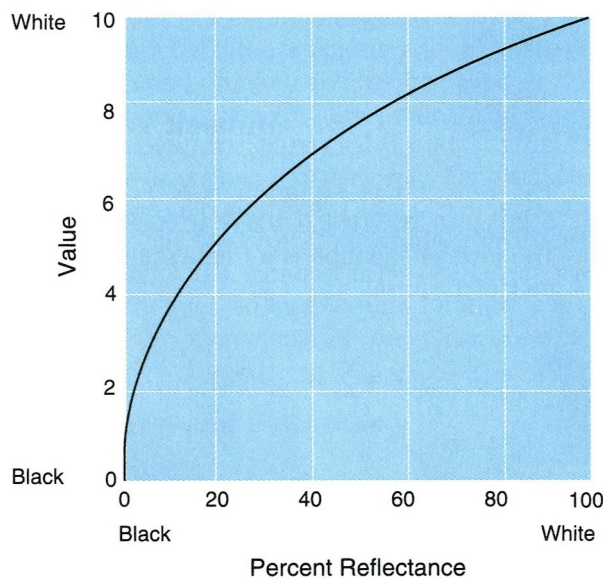


Εικόνα 6.1 Το βασικό χαρτογραφικό υπόβαθρο της πειραματικής έρευνας το οποίο αποτελεί τμήμα ενός πραγματικού τοπογραφικού χάρτη της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού.

Το βασικό χαρτογραφικό υπόβαθρο της έρευνας περιλαμβάνει μεγάλη ποικιλία διαφορετικών χαρτογραφικών συμβόλων όπως οδικό και υδρολογικό δίκτυο, ισοϋψείς καμπύλες, στοιχεία ονοματολογίας διαφορετικών μεγεθών, σημειακά σύμβολα (π.χ. τριγωνομετρικά κτλ) καθώς και διαφορετικά επιφανειακά σύμβολα.

Για τη δημιουργία των κλιμακωτών υποβάθρων πληροφορίας, η ένταση των

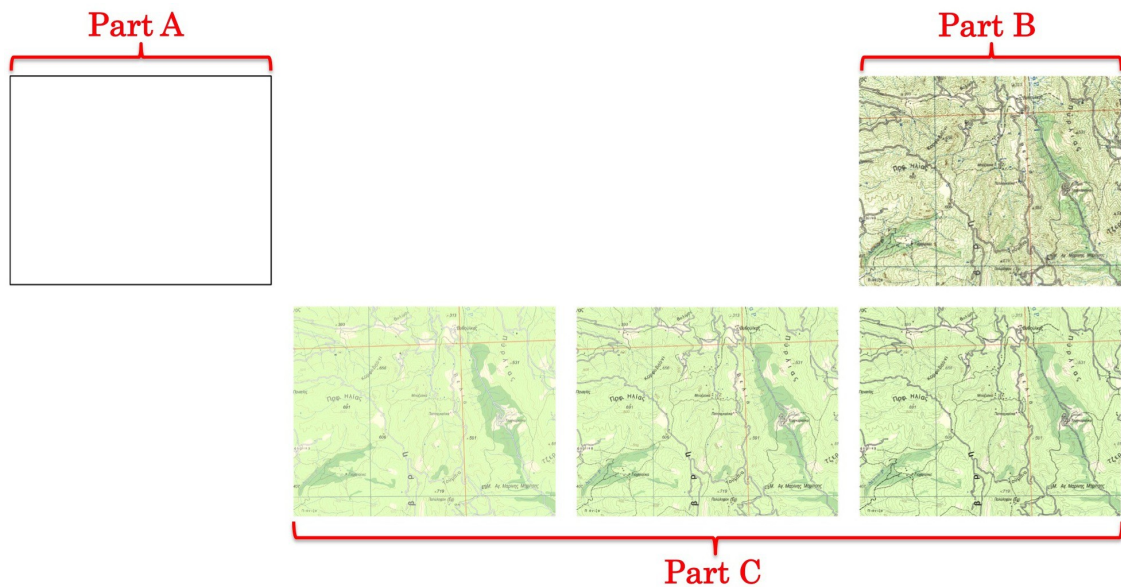
συμβόλων του διανυσματοποιημένου υποβάθρου μεταβλήθηκε κατά 35% και 70% της αρχικής. Η επιλογή του επιπέδου μεταβολής έγινε έτσι ώστε το αποτέλεσμα που παράγεται να αποτελείται από διακριτά επίπεδα πληροφορίας. Η επιλογή των συγκεκριμένων ποσοστών είναι ασφαλής παρά το γεγονός ότι βασίστηκε σε εμπειρική εκτίμηση. Η εκτίμηση αυτή ισχυροποιείται από το διάγραμμα (Εικόνα 6.2) όπου γίνεται φανερό ότι διαφορετικές μεταβολές έντασης (άξονας y) δεν είναι το ίδιο αντιληπτές. Συγκεκριμένα το διάγραμμα της Εικόνας 6.2 απεικονίζει τη σχέση μεταξύ κλίμακας έντασης (Value) στο χρωματικό πρότυπο Munsell σε συνάρτηση με την ποσοστιαία ανάκλαση (Percent Reflectance). Τα ποσοστά 35% και 70% μπορούν να θεωρηθούν σαν χαρακτηριστικά σημεία της καμπύλης.



Εικόνα 6.2 Συσχέτιση της έντασης στο χρωματικό σύστημα Munsell με την ποσοστιαία ανάκλαση (Robinson et al. 1995).

Οι διαφορετικές οπτικές σκηνές που δημιουργήθηκαν για τα όλα τα μέρη (Α, Β και Γ) της πειραματικής έρευνας χρησιμοποιήθηκαν σε κανονικοποιημένη μορφή με ανάλυση 1280x1024 pixels η οποία συνάδει με την ανάλυση της οθόνης προβολής που αξιοποιήθηκε για την προβολή των οπτικών ερεθισμάτων. Στην Εικόνα 6.3 παρουσιάζονται τα υπόβαθρα που αξιοποιήθηκαν σε όλα τα μέρη πειραματικής έρευνας. Ξεκινώντας από το λευκό υπόβαθρο (Μέρος Α) όσο κινούμαστε από τα αριστερά προς τα δεξιά (Εικόνα 6.3) παρατηρείται αύξηση ου επιπέδου της πληροφορίας του υποβάθρου πάνω στο οποίο γίνεται η μετακίνηση του κινούμενου

σημειακού συμβόλου. Το δεξί άκρο αντιστοιχεί στον τυπικό χάρτη, ο οποίος στην περίπτωση του πειραματικού Μέρους Β προέκυψε από σάρωση και επιλογή ενός τμήματος τοπογραφικού χάρτη (χάρτης πάνω και δεξιά στην Εικόνα 6.3) ενώ για την υλοποίηση του Μέρους Γ ο χάρτης (χάρτης κάτω και δεξιά στην Εικόνα 6.3) προέκυψε από ψηφιοποίηση του χάρτη υποβάθρου του Μέρους Β. Ο χάρτης που αξιοποιείται στο Μέρος Β είναι ισοδύναμος ως προς το επίπεδο της περιεχόμενης πληροφορίας με το χάρτης με τη μεγαλύτερη πολυπλοκότητα του Μέρους Γ της πειραματικής έρευνας.

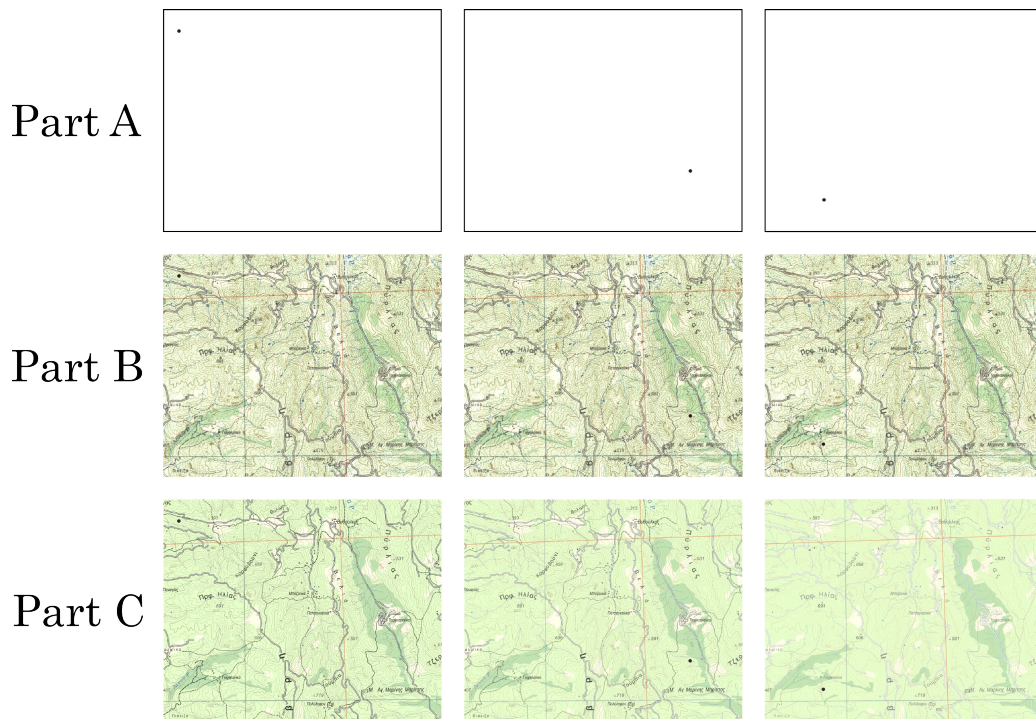


Εικόνα 6.3 Τα υπόβαθρα που αξιοποιήθηκαν για την υλοποίηση της πειραματικής έρευνας: το λευκό υπόβαθρο (Μέρος Α-Part A), το υπόβαθρο τυπικού χάρτη (Μέρος Β-Part B) και τα υπόβαθρα με βαθμωτά επίπεδα περιεχόμενης πληροφορίας (Μέρος Γ-Part C). Από τα αριστερά προς τα δεξιά αυξάνεται το επίπεδο πληροφορίας στο υπόβαθρο πάνω στο οποίο συμβαίνει η κίνηση του σημειακού συμβόλου.

Το σημειακό σύμβολο το οποίο επιλέχθηκε είχε κυκλικό σχήμα και διαστάσεις 15x15 pixels, οι οποίες αντιστοιχούν περίπου σε έναν κύκλο φυσικής διαμέτρου 4.5 mm στην οθόνης προβολής (βλέπε παράγραφο 6.7). Η επιλογή του μεγέθους του συμβόλου έγινε ώστε να μην παρατηρείται διαφορά (άρα και ποσοτική διαφοροποίηση) μεταξύ των υπόλοιπων σημειακών συμβόλων του υποβάθρου. Το σύμβολο είναι συμπαγές, χωρίς να χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη της τοπολογικής ιδιότητας της οπής ενώ η επιλογή του σχήματος του έγινε έτσι ώστε να μην περιέχει γεωμετρικά χαρακτηριστικά (όπως π.χ. γραμμικές απολήξεις) τα οποία είναι πιθανόν να λειτουργούν συνδυαστικά έχοντας επίδραση στην αντίληψη της κίνησης

(βλέπε Κεφάλαιο 1).

Η θέση του σημειακού συμβόλου μεταβαλλόταν στις διαδοχικές οπτικές σκηνές ώστε τα υποκείμενα να αντιλαμβάνονται την αλλαγή στη θέση σαν κίνηση. Στο Μέρος Α και Β της πειραματικής έρευνας το υπόβαθρο πάνω στο οποίο γίνεται η μετακίνηση παραμένει σταθερό ενώ στο Μέρος Γ μαζί με την αλλαγή της θέσης του σημείου αλλάζει και το επίπεδο πολυπλοκότητας του υποβάθρου. Συνολικά υλοποιήθηκαν 144 οπτικές σκηνές με διαφορετικού συνδυασμούς θέσεων του σημειακού συμβόλου και υποβάθρου. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν 49 οπτικές σκηνές για το κενό υπόβαθρο (Μέρος Α), 49 οπτικές σκηνές με υπόβαθρο το τοπογραφικό χάρτη (Μέρος Β) και 46 οπτικές σκηνές με υπόβαθρα τους χάρτες με μεταβαλλόμενο επίπεδο περιεχόμενης πληροφορίας (Μέρος Γ). Στην Εικόνα 6.4 φαίνονται 3 διαδοχικές θέσεις (αντίστοιχες για κάθε πειραματικό μέρος της έρευνας) του κινούμενου σημειακού συμβόλου σε όλα τα Μέρη (Α, Β και Γ) της πειραματικής έρευνας.



Εικόνα 6.4 Διαδοχικές θέσεις του κινούμενου σημειακού συμβόλου στα διαφορετικά Μέρη της πειραματικής έρευνας: Κινήσεις πάνω σε λευκό (κενό) υπόβαθρο (Μέρος Α-Part A), σε υπόβαθρο τυπικού χάρτη (Μέρος Β-Part B) και σε υπόβαθρα με βαθμιαία επίπεδα περιεχόμενης πληροφορίας (Μέρος Γ-Part C).

Επιπροσθέτως, πριν και μετά την προβολή των οπτικών σκηνών κάθε πειραματικού μέρους εμφανιζόταν οπτικές σκηνές με 5 σταθερούς στόχους με σκοπό τον έλεγχο

της διαδικασίας βαθμονόμησης και την εκτίμηση της ορθότητας και της ακρίβειας των δεδομένων που καταγράφονται (βλέπε παράγραφο 6.7.1).

Τα Μέρη Α και Β της πειραματικής έρευνας πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη διερεύνηση διαφορετικών συνδυασμών απόστασης (η οποία εκφράζει τη μετάθεση του κινούμενου σημειακού συμβόλου) και χρόνου παραμονής του σημειακού στόχου σε κάθε οπτική σκηνή (ο χρόνος εκφράζει τη δυναμική μεταβλητή της διάρκειας) οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν στον εντοπισμό του κινούμενου σημείου από την κεντρική όραση. Αφού θεωρήθηκε μια βασική ταξινόμηση των αποστάσεων σε 3 κατηγορίες (με βάση το μήκος της διαγωνίου των οπτικών σκηνών): μικρές (0-500 pixels), μεσαίες (500-1000 pixels) και μεγάλες (1000-1560 pixels), οι αποστάσεις που επιλέχθηκαν ήταν ομοιόμορφα κατανομημένες στις κατηγορίες αυτές. Επιπροσθέτως, η επιλογή των χρόνων που εξετάστηκαν έγινε με βάση την ελάχιστη διάρκεια που μπορεί να συμβεί μια κίνηση προσήλωσης (~100 ms). Συγκεκριμένα, οι χρόνοι που εξετάστηκαν αντιστοιχούν σε 100 ms, 150 ms, 200 ms, 250 ms, 300 ms, 350 ms, 400 ms, 450 ms, 500 ms, 600 ms, 700 ms, 800 ms, 900ms, 1 sec, 2 sec και 3 sec. Η διαφορά των διαφορετικών χρόνων που επιλέχθηκαν στο διάστημα από 100 ms έως 500 ms αντιστοιχεί σε 50 msec (μικρότερη από την ελάχιστη διάρκεια προσήλωσης) ενώ στο διάστημα από 500 ms έως 1 sec οι διαφορές αντιστοιχούν στην ελάχιστη διάρκεια προσήλωσης (100 ms). Με αυτό τον τρόπο, το κρίσιμο χρονικό διάστημα όπου αναμένεται ο εντοπισμός του κινούμενου συμβόλου αποτελείται από χρόνους με διαφορές ίσες (100 ms) ή μικρότερες (50 ms) από την ελάχιστη διάρκεια μιας κίνησης προσήλωσης, παρέχοντας ουσιαστικά τη δυνατότητα για την εκτίμηση της “μέσης” συμπεριφοράς κάθε υποκειμένου σε επίπεδο μικρότερο από τη διάρκεια ελάχιστης προσήλωσης. Οι χρόνοι μεγαλύτεροι του 1 sec επιλέχθηκαν με σκοπό την επικύρωση της προσέγγισης του πειράματος (οι χρόνοι των 2 sec και 3 sec είναι επαρκής για τον εντοπισμό του κινούμενου συμβόλου). Οι χρόνοι που εξετάστηκαν για τα Μέρη Α και Β της πειραματικής έρευνας ταξινομήθηκαν σε δύο κατηγορίες (α και β) καθώς το σύστημα καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης συγκεκριμένου αριθμού οπτικών σκηνών. Έτσι τα Μέρη Α και Β της πειραματικής έρευνας υλοποιήθηκαν σε 4 πειραματικές διαδικασίες (σε κάθε μέρος εξετάστηκαν και οι δύο κατηγορίες χρόνων α και β). Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των θέσεων του σημειακού συμβόλου, οι

αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών θέσεων καθώς και οι δύο κατηγορίες (α και β) χρόνων που επιλέχθηκαν.

Πίνακας 6.1 Οι συντεταγμένες (pixels) του κινούμενου στόχου στις οπτικές σκηνές, οι αποστάσεις (pixels) μεταξύ των διαδοχικών θέσεων και οι χρόνοι (msec) που επιλέχθηκαν σε δύο κατηγορίες για τα Μέρη Α και Β της πειραματικής έρευνας.

Σύμβολο	X (pixels)	Y (pixels)	Απόσταση (pixels)	Χρόνος - Α (msec)	Χρόνος - Β (msec)
T1	73	101	-	2000	700
T2	1039	743	1160	800	450
T3	270	873	780	400	300
T4	1245	86	1260	200	250
T5	932	78	300	2000	700
T6	465	455	600	600	350
T7	606	566	180	400	300
T8	1198	941	700	800	450
T9	1242	1008	80	600	350
T10	49	38	1540	200	250
T11	156	568	540	100	150
T12	1200	220	1100	2000	700
T13	861	250	340	3000	900
T14	288	864	840	600	350
T15	1221	47	1240	1000	500
T16	1252	155	100	800	450
T17	74	911	1400	100	150
T18	634	915	560	1000	500
T19	610	56	860	400	300
T20	1029	898	940	2000	700
T21	753	389	580	400	300
T22	324	489	440	800	450
T23	125	501	200	400	300
T24	1223	18	1200	600	350
T25	335	224	920	3000	900
T26	531	395	260	800	450
T27	212	950	640	3000	900
T28	1137	318	1120	200	250
T29	89	943	1220	100	150
T30	159	432	500	600	350
T31	810	741	720	2000	700
T32	1224	836	420	100	150
T33	79	179	1320	400	300
T34	329	53	280	1000	500

Σύμβολο	X (pixels)	Y (pixels)	Απόσταση (pixels)	Χρόνος - A (msec)	Χρόνος - B (msec)
T35	1000	974	1140	1000	500
T36	543	392	740	200	250
T37	619	599	220	600	350
T38	448	938	380	3000	900
T39	1233	57	1180	800	450
T40	122	972	1440	100	150
T41	41	176	800	2000	700
T42	1244	612	1280	200	250
T43	77	39	1300	3000	900
T44	490	580	680	200	250
T45	1144	666	660	1000	500
T46	1025	678	120	100	150
T47	1004	644	40	3000	900
T48	1198	785	240	1000	500
T49	102	14	1340	2000	700

Το Μέρος Γ της πειραματικής έρευνας υλοποιήθηκε με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης υποβάθρων με διαφορετικό επίπεδο πληροφορίας στο χρόνο εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου ενώ δεν εξετάζει το μέγεθος της απόστασης το οποίο εξετάζεται στα Μέρη Α και Β της πειραματικής έρευνας. Όπως αναφέρεται παραπάνω, τα χαρτογραφικά υπόβαθρα που επιλέχθηκαν αποτελούνταν από 3 διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας. Οι χρόνοι που επιλέχθηκαν αντιστοιχούν στο κρίσιμο διάστημα μεταξύ 200-750 msec καθώς μια πρώτη ανάλυση των αποτελεσμάτων του Μέρους Α και Β (Krassanakis 2013, Krassanakis et al. 2013a) έδειξε πως οι συνδυασμοί που προκύπτουν σ' αυτό το διάστημα δίνουν και αποτελεσματικές αλλά και μη αποτελεσματικές αναζητήσεις. Η αποτελεσματικότητα στην αναζήτηση έγκειται στον εντοπισμό του κινούμενου συμβόλου από την κεντρική όραση. Συγκεκριμένα, οι χρόνοι που επιλέχθηκαν αντιστοιχούν σε διάρκειες 200 ms, 337.5 ms, 475 ms, 612.5 ms και 750 ms. Η διαφορά μεταξύ των χρόνων αντιστοιχεί σε χρόνο λίγο μεγαλύτερο από την ελάχιστη διάρκεια προσήλωσης. Αυτό σημαίνει πως η εκτίμηση (η οποία ουσιαστικά γίνεται στο διάστημα που αντιστοιχεί στο μισό της διαφοράς, δηλαδή περίπου σε 69 msec) του χρονικού διαστήματος μπορεί να γίνει σε χρόνο μικρότερο της ελάχιστης διάρκειας προσήλωσης. Συνολικά δημιουργήθηκαν 46 οπτικές σκηνές με διαφορετικούς συνδυασμούς επιπέδου έντασης και χρόνου όπου οι συντεταγμένες των θέσεων του

συμβόλου είναι οι ίδιες με τις θέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στα Μέρη Α και Β της πειραματικής έρευνας για τα σύμβολα T1-T44 ενώ επιλέχθηκαν δύο νέοι συνδυασμοί T45* και T46* ώστε οι αποστάσεις των διαδοχικών θέσεων να μοιράζονται εξίσου σε 3 κατηγορίες (μικρές, μεσαίες και μεγάλες). Στον Πίνακα 6.2, υπάρχουν οι συντεταγμένες των κινούμενων στόχων, οι χρόνοι που επιλέχθηκαν καθώς και το επίπεδο μεταβολής της έντασης στα χαρτογραφικά σύμβολα σε κάθε οπτική σκηνή.

Πίνακας 6.2 Οι συντεταγμένες (pixels) του κινούμενου στόχου στις οπτικές σκηνές, οι χρόνοι (msec) παραμονής στις διαφορετικές θέσεις και τα αντίστοιχα υπόβαθρα με διαφορετικό επίπεδο πληροφορίας που επιλέχθηκαν: αρχικός χάρτης (0% μεταβολή) και χάρτες με αύξηση της έντασης κατά 35% και 70% για το Μέρος Γ της πειραματικής έρευνας.

Σύμβολο	X (pixels)	Y (pixels)	Χρόνος (msec)	Μεταβολή έντασης στο αρχικό υπόβαθρο
T1	73	101	475	0.00%
T2	1039	743	750	35.00%
T3	270	873	200	70.00%
T4	1245	86	612.5	35.00%
T5	932	78	337.5	70.00%
T6	465	455	612.5	0.00%
T7	606	566	475	0.00%
T8	1198	941	750	70.00%
T9	1242	1008	337.5	0.00%
T10	49	38	200	35.00%
T11	156	568	475	70.00%
T12	1200	220	337.5	70.00%
T13	861	250	475	35.00%
T14	288	864	612.5	35.00%
T15	1221	47	200	0.00%
T16	1252	155	750	0.00%
T17	74	911	475	70.00%
T18	634	915	612.5	35.00%
T19	610	56	200	0.00%
T20	1029	898	337.5	35.00%
T21	753	389	475	35.00%
T22	324	489	200	70.00%
T23	125	501	612.5	0.00%
T24	1223	18	200	70.00%
T25	335	224	475	0.00%
T26	531	395	612.5	0.00%
T27	212	950	200	35.00%

Σύμβολο	X (pixels)	Y (pixels)	Χρόνος (msec)	Μεταβολή έντασης στο αρχικό υπόβαθρο
T28	1137	318	612.5	70.00%
T29	89	943	337.5	35.00%
T30	159	432	612.5	70.00%
T31	810	741	337.5	0.00%
T32	1224	836	200	0.00%
T33	79	179	475	70.00%
T34	329	53	750	35.00%
T35	1000	974	337.5	0.00%
T36	543	392	750	35.00%
T37	619	599	612.5	70.00%
T38	448	938	337.5	70.00%
T39	1233	57	475	35.00%
T40	122	972	750	0.00%
T41	41	176	750	70.00%
T42	1244	612	337.5	35.00%
T43	77	39	750	70.00%
T44	490	580	200	35.00%
T45*	578	599	750	0.00%
T46*	740	422	475	0.00%

6.6 Τα υποκείμενα της έρευνας

Στην πειραματική έρευνα συμμετείχαν συνολικά 86 υποκείμενα, ηλικίας από 19-60 ετών για τα Μέρη Α και Β και ηλικίας 20-35 ετών για το Μέρος Γ. Συγκεκριμένα, για την Κατηγορία α χρόνων συμμετείχαν 7 γυναίκες και 14 άντρες στα Μέρη Α και Β, για την Κατηγορία β χρόνων 9 γυναίκες και 12 άντρες στα Μέρη Α και Β και στο Μέρος Γ της πειραματικής έρευνας 26 γυναίκες και 18 άντρες. Όλα τα υποκείμενα της πειραματικής έρευνας ήταν εθελοντές. Η πειραματική διαδικασία υλοποιήθηκε για κάθε υποκείμενο ξεχωριστά σε ένα χώρο όπου ο μοναδικός φωτισμός προερχόταν από την οθόνη προβολής του χειριστή και την οθόνη προβολής των οπτικών ερεθισμάτων (βλέπε παράγραφο 6.7) ώστε η οπτική διαδικασία να μην εμποδίζεται από άλλους περισπαστές του οπτικού πεδίου. Όλα τα υποκείμενα που συμμετείχαν στην έρευνα είχαν δυνατότητα όρασης χωρίς τη βοήθεια γυαλιών οράσεως ή φακών επαφής. Η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων κάθε υποκειμένου έγινε σε συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης χωρίς την απαίτηση για ολοκλήρωση κάποιας συγκεκριμένης εργασίας. Κάθε υποκείμενο κλήθηκε να συμμετάσχει σε ένα πείραμα όπου απαιτείται να παρατηρήσει μια οθόνη υπολογιστή κατά την προβολή διαφόρων

οπτικών ερεθισμάτων χωρίς καμία οδηγία σχετική με την πειραματική έρευνα και τον αναζητούμενο ερευνητικό στόχο. Οι μόνες οδηγίες που δόθηκαν σχετίζονται με τη διαδικασία της βαθμονόμησης του συστήματος καθώς και του ελέγχου της ακρίβειας και της ορθότητάς της.

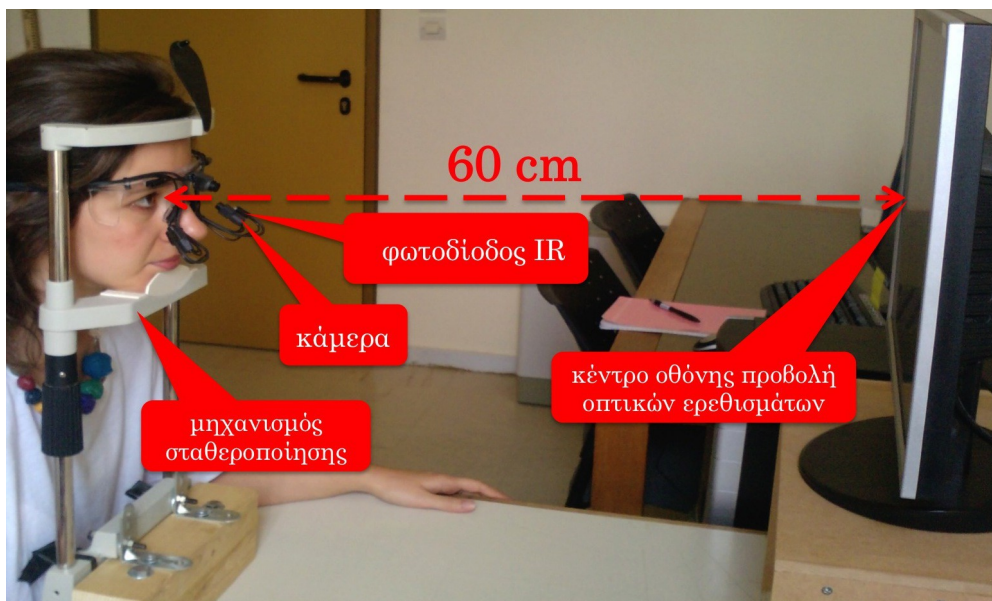
6.7 Η πειραματική διάταξη

Η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων των υποκειμένων της έρευνας έγινε με συχνότητα δειγματοληψίας 60 Hz. Το μέγεθος αυτό μεταφράζεται σε μία χρονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων της καταγραφής η οποία αντιστοιχεί σε περίπου 16.67 msec. Η οθόνη προβολής των οπτικών ερεθισμάτων είχε μέγεθος διαγωνίου 19 inches και ανάλυση εικόνας 1280x1024 pixels. Η απόσταση μεταξύ υποκειμένου και οθόνης προβολής των οπτικών ερεθισμάτων επιλέχθηκε επιλέχθηκε στα 60 cm. Το μέγεθος αυτό αντιστοιχεί στη μέση απόσταση θέασης μιας οθόνης υπολογιστή (Jenny et al. 2008).

Το σύστημα καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Viewpoint Eye Tracker® από την Arrington Research. Η χωρική ακρίβεια του συστήματος αντιστοιχεί στο εύρος 0.25°-1.00° του οπτικού τόξου ενώ το εύρος καταγραφής αντιστοιχεί σε $\pm 44^\circ$ και $\pm 20^\circ$ οπτικής γωνίας κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση αντίστοιχα. Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στη χρήση μιας φωτοδιόδου υπερύθρου φωτός με ταυτόχρονη καταγραφή της εικόνας του οφθαλμού ενώ το σύστημα έχει τη δυνατότητα καταγραφής και των δύο οφθαλμών. Για τον εντοπισμό του κέντρου της κεντρικής όρασης το σύστημα έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης 3 διαφορετικών μεθόδων. Συγκεκριμένα, ο εντοπισμός του κέντρου της όρασης για κάθε οφθαλμό είναι δυνατόν να γίνει μέσω του εντοπισμού του κέντρου της κόρης, του εντοπισμού της ανάκλασης του αμφιβλητρουειδούς και του εντοπισμού του διανύσματος του κέντρου της κόρης και της ανάκλασης του αμφιβλητρουειδούς. Η διαδικασία εντοπισμού της κεντρικής όρασης ολοκληρώνεται σε ένα σύνολο διαδοχικών σταδίων. Κατά τη διάρκεια της καταγραφής η φωτοδίοδος με το υπέρυθρο φως φωτίζει τον οφθαλμικό βολβό επιτρέποντας το διαχωρισμό μεταξύ κόρης και ίριδας. Με την εφαρμογή αλγορίθμων κατάτμησης στο βίντεο της εικόνας του ματιού, το σύστημα εντοπίζει την κόρη και την ανάκλαση του αμφιβλητρουειδούς. Η αντιστοίχιση της θέσης του βλέμματος με τις συντεταγμένες στην οθόνη προβολής

του οπτικού ερεθίσματος πραγματοποιείται υλοποιώντας μια διαδικασία βαθμονόμησης μέσω σταθερών στόχων. Εκτενέστερες περιγραφές σχετικά με τη λειτουργία καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος καταγραφής υπάρχουν σε προηγούμενες μελέτες (Κρασανάκης 2009, Krassanakis et al. 2011b).

Για την εκπόνηση της παρούσας έρευνας ο εντοπισμός του κέντρου της όρασης βασίστηκε στη μέθοδο εντοπισμού της κόρης ενώ η διαδικασία της βαθμονόμησης του συστήματος ολοκληρώθηκε χρησιμοποιώντας 9 στόχους στην οθόνη προβολής του οπτικού ερεθίσματος. Επιπροσθέτως, για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια χρησιμοποιήθηκε ένας μηχανισμός σταθεροποίησης του υποκειμένου. Στην Εικόνα 6.5 φαίνεται η γεωμετρική διάταξη του συστήματος υποκείμενο-οθόνη προβολής οπτικών ερεθισμάτων καθώς και οι θέσεις τις φωτοδιόδου υπεράυθρου φωτός και των καμερών καταγραφής της εικόνας των οφθαλμών.

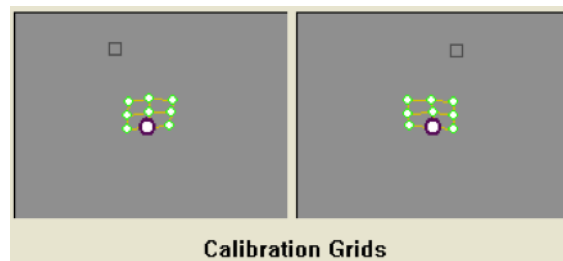


Εικόνα 6.5 Η γεωμετρική διάταξη του συστήματος υποκείμενο-οθόνη προβολής οπτικών ερεθισμάτων. Η εύρεση του κέντρου της όραση βασίζεται στη χρήση φωτοδιόδων υπεράυθρου φωτός (IR) και καμερών ενώ η χρήση ενός μηχανισμού σταθεροποίησης του υποκειμένου συντελεί στην επίτευξη της μέγιστης δυνατής χωρικής ακρίβειας στον εντοπισμό της θέσης του βλέμματος.

6.7.1 Έλεγχος βαθμονόμησης συστήματος καταγραφής

Το σύστημα καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε, ενώ παρέχει τη δυνατότητα βαθμονόμησης με σκοπό τη συσχέτιση των συντεταγμένων του συστήματος κίνησης

του οφθαλμού με τις συντεταγμένες του βλέμματος στην οθόνη προβολής των οπτικών σκηνών, δεν δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της χωρικής ακρίβειας με την οποία πραγματοποιείται η διαδικασία της καταγραφής. Όπως αναφέρεται παραπάνω, ο προσανατολισμός των δύο συστημάτων αναφοράς βασίζεται στη χρήση σταθερών σημείων. Τα σημεία αυτά αποτελούν σημεία ενός τετραγωνικού κανάβου ο οποίος καλύπτει την οθόνη προβολής των οπτικών ερεθισμάτων. Η ποιότητα της βαθμονόμησης για κάθε υποκείμενο υποδεικνύεται μέσω της ανακατασκευής του κανάβου από τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί κατά τη διαδικασία του προσανατολισμού. Στην Εικόνα 6.6 φαίνεται ένα παράδειγμα της εικόνας ενός ανακατασκευασμένου κανάβου κατά τη βαθμονόμηση του συστήματος σε μια προηγούμενη μελέτη (Μπαργιώτα 2013) όπου η πειραματική διαδικασία υλοποιήθηκε με το ίδιο σύστημα καταγραφής. Η κανονικότητα του ανακατασκευασμένου κανάβου δηλώνει την ποιότητα της διαδικασίας της βαθμονόμησης.



Εικόνα 6.6 Η ανακατασκευή του τετραγωνικού κανάβου για κάθε οφθαλμό ως ένδειξη για την ποιότητα της βαθμονόμησης του συστήματος. Η διαδικασία της βαθμονόμησης είναι περισσότερο επιτυχής όσο πιο κανονικό είναι το σχήμα του ανακατασκευασμένου κανάβου (Μπαργιώτα 2013).

Το πρόβλημα του ελέγχου της διαδικασίας της βαθμονόμησης αλλά και της εκτίμησης της χωρικής ακρίβειας στην καταγραφή των συντεταγμένων του βλέμματος είχε αντιμετωπισθεί και σε μια προηγούμενη μελέτη (Κρασανάκης 2009). Στη μελέτη αυτή, η λύση που δόθηκε αξιοποιεί μια οπτική σκηνή αποτελούμενη από 9 σταθερούς στόχους ομοιόμορφα κατανεμημένους στην οθόνη προβολής των οπτικών ερεθισμάτων. Η σκηνή αυτή προβάλλεται πριν και μετά την προβολή των οπτικών ερεθισμάτων της πειραματικής έρευνας. Από κάθε υποκείμενο που συμμετέχει στην πειραματική διαδικασία ζητείται η παρατήρηση καθενός από τους

9 σταθερούς στόχους για ένα μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα (~4, 5 sec) ώστε να μπορούν να συλλεχθούν αρκετά σημεία καταγραφής για κάθε στόχο. Για την εκτίμηση της μέσης χωρικής ακρίβειας υπολογίζεται αρχικά η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ κάθε σημείου της καταγραφής και όλων των σταθερών στόχων. Έπειτα, κάθε σημείο ταξινομείται στην κλάση του σταθερού στόχου από τον οποίο απέχει τη μικρότερη απόσταση σε σχέση με τους υπόλοιπους. Ουσιαστικά, μ' αυτόν τον τρόπο τα σημεία καταγραφής ταξινομούνται στην κλάση ενός στόχου όταν ανήκουν στο αντίστοιχο πολύγωνο Thiessen με κέντρο το στόχο αυτό. Μετά από την πρώτη ταξινόμηση, υπολογίζεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των σημείων που αντιστοιχούν σε κάθε στόχο. Η τελική μέση θέση των σημείων του βλέμματος υπολογίζεται αφού αφαιρεθούν τα σημεία που ανήκουν έξω από το στατιστικό κατώφλι 3σ. Η χωρική ακρίβεια στις εννέα διαφορετικές θέσεις της οθόνης προβολής των οπτικών ερεθισμάτων εκτιμάται ως την Ευκλείδεια απόσταση της μέσης θέσης των σημείων του βλέμματος από τη θέση του σταθερού στόχου ενώ η μέση χωρική ακρίβεια της καταγραφής αντιστοιχεί στο μέσο όρο όλων των τιμών που προκύπτουν σε κάθε σταθερό στόχο. Υλοποιώντας την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω, είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε την ποιότητα της βαθμονόμηση καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής έρευνας καθώς η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στην αρχή και το τέλος του πειράματος για κάθε υποκείμενο. Μια πιο αναλυτική περιγραφή της παραπάνω προσέγγισης υπάρχει σε προηγούμενη έρευνα (Κρασανάκης 2009).

Ενώ η προσέγγιση που περιγράφεται παραπάνω μπορεί να δώσει μια εκτίμηση της μέσης χωρικής ακρίβειας με την οποία γίνεται η καταγραφή, ο προσδιορισμός της μέσης θέσης του βλέμματος σε κάθε σταθερό στόχο είναι πιθανόν να επηρεάζεται από την ύπαρξη των υπολοίπων στόχων στην οπτική σκηνή καθώς ζητείται από τα υποκείμενα να παρατηρήσουν τις διαφορετικές θέσεις αριθμημένων στόχων οι οποίοι παρουσιάζονται ταυτόχρονα. Επιπροσθέτως, η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων στόχων είναι προτιμότερη ώστε να μειώνεται ο συνολικός χρόνος της πειραματικής διαδικασίας ο οποίος είναι προφανές ότι είναι σε θέση να επιδράσει στην συνολική κόπωση του υποκειμένου (άρα και στην απόδοση του υποκειμένου κατά τη διάρκεια του πειράματος).

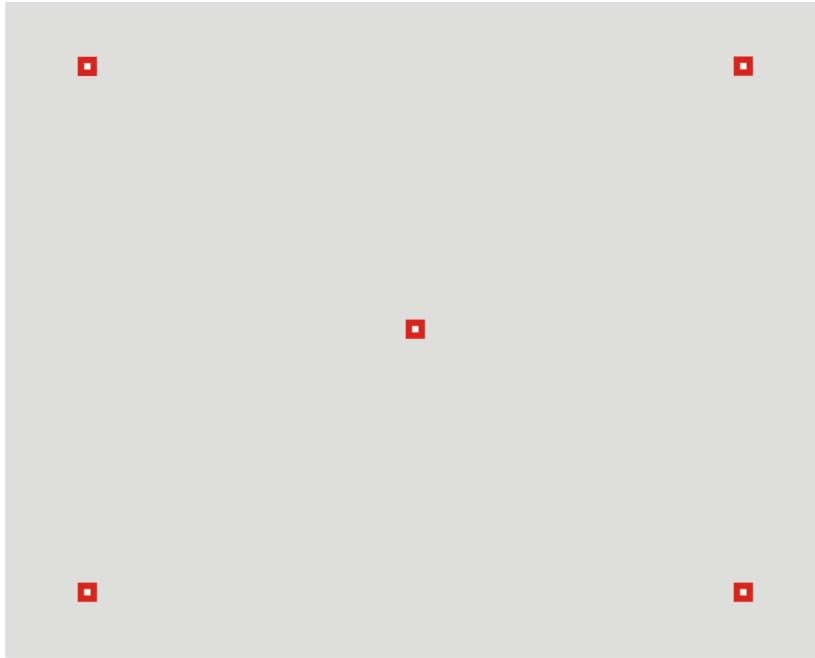
Στην παρούσα πειραματική έρευνα, ο έλεγχος της βαθμονόμησης υλοποιείται

μέσω της παρατήρησης ενός οπτικού ερεθίσματος αποτελούμενο από 5 σταθερές θέσεις στόχων. Για να μην αποσπάται η προσοχή του βλέμματος του υποκειμένου, ο κάθε στόχος εμφανίζεται ξεχωριστά για χρονική διάρκεια 3 sec. Η διάρκεια είναι αρκετή για τη συλλογή αρκετών σημείων καταγραφής (~180 σημεία καταγραφής αφού η συχνότητα δειγματοληψίας αντιστοιχεί σε 60 Hz) και την εκτίμηση της μέσης θέσης του βλέμματος σε σχέση με το σταθερό στόχο. Οι συντεταγμένες των σημείων των σταθερών στόχων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στον Πίνακα αντιστοιχούν σε μονάδες του συστήματος αναφοράς του συστήματος καταγραφής το οποίο έχει ως αρχή την πάνω αριστερά γωνιά της οθόνης και μέγιστες τιμές 1.25 και 1.00 κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση αντίστοιχα.

Πίνακας 6.3 Οι συντεταγμένες των σταθερών στόχων (μονάδες στο σύστημα συντεταγμένων του συστήματος καταγραφής) που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της διαδικασίας της βαθμονόμησης.

Σταθερός στόχος	x (tracker)	y (tracker)
1	0.125	0.100
2	1.125	0.100
3	0.625	0.500
4	0.125	0.900
5	1.125	0.900

Επιπροσθέτως, στην Εικόνα 6.7 φαίνεται η διάταξη των στόχων που αξιοποιούνται για τον έλεγχο της χωρικής ακρίβειας της πειραματικής διαδικασίας.

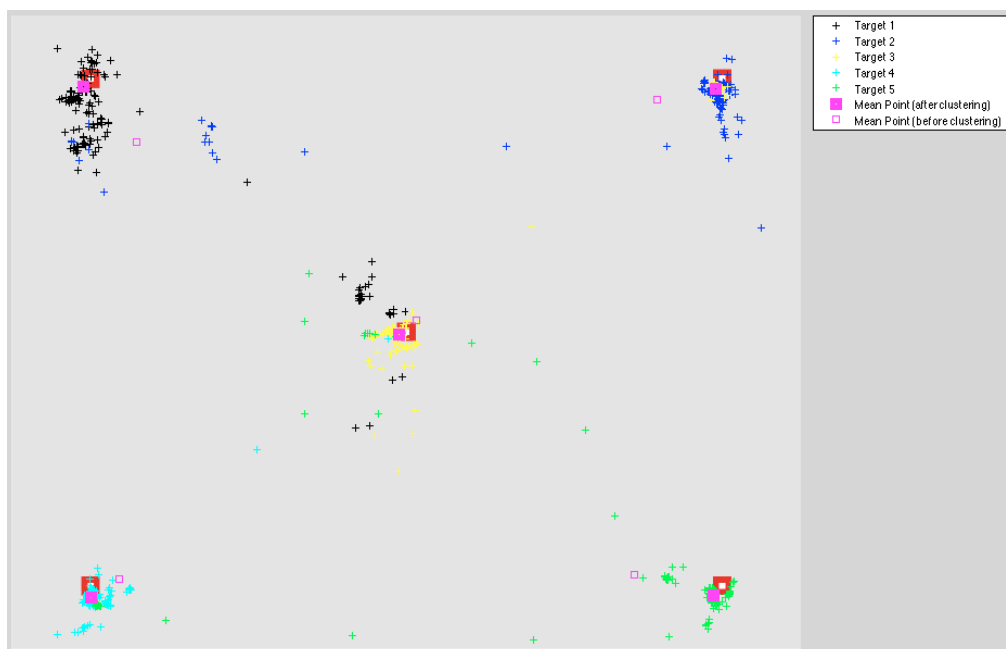


Εικόνα 6.7 Η διάταξη των σταθερών στόχων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της βαθμονόμησης κάθε υποκειμένου της πειραματικής έρευνας. Κάθε στόχος εμφανίζεται ξεχωριστά για χρονική διάρκεια 3 sec.

Κατά την παρουσίαση ενός στόχου, ακόμα και στην περίπτωση που δεν υπάρχουν περιοριστές, το βλέμμα του υποκειμένου είναι πιθανόν να έχει και άλλες θέσεις πριν την παρατήρηση του σταθερού σημείου. Για παράδειγμα από τη χρονική στιγμή που θα εμφανιστεί για πρώτη φορά ένας σταθερός στόχος μέχρι τη στιγμή που θα εντοπισθεί από την κεντρική όραση μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα. Αντίστοιχα, όταν ένας ο στόχος αλλάζει θέση είναι πιθανόν να υπάρχουν σημεία καταγραφής τα οποία καταγράφονται λόγω της μετάβασης από τη μια θέση του οπτικού ερεθίσματος στην άλλη. Είναι φανερό πως τα σημεία αυτά θα πρέπει να παραλειφθούν κατά τη διαδικασία εκτίμησης της χωρικής ακρίβειας του συστήματος. Αντίστοιχα, σημεία τα οποία έχουν συντεταγμένες που υπερβαίνουν τα όρια της οθόνης όπου προβάλλεται το οπτικό ερέθισμα δεν θα πρέπει επίσης να συμπεριλαμβάνονται. Σημεία καταγραφής της εκτός του περιγράμματος της οθόνης προβολής είναι δυνατόν να καταγράφονται λόγω του περιορισμού του βλέμματος ή να οφείλονται σε θόρυβο του συστήματος που χρησιμοποιείται.

Λαμβάνοντας υπόψη μας τα παραπάνω στοιχεία, η εκτίμηση της χωρικής ακρίβειας βασίστηκε στον υπολογισμό της καλύτερης θέσης του νέφους των σημείων μέσω της χρήσης ενός αλγορίθμου ασάφειας. Συγκεκριμένα η εκτίμηση της μέσης

χωρικής ακρίβειας έγινε υπολογίζοντας το μέσο όρο των εκτιμήσεων της χωρικής ακρίβειας για κάθε έναν από τους 5 σταθερούς στόχους. Ο υπολογισμός της χωρικής ακρίβειας κάθε στόχου υλοποιείται με βάση μια σειρά διαδοχικών βημάτων. Αξιοποιώντας ως δεδομένα εισόδου τα σημεία που καταγράφονται κατά την εμφάνιση του οπτικού ερεθίσματος με ένα σταθερό στόχο αρχικά αφαιρούνται σημεία τα οποία βρίσκονται εκτός των ορίων της οθόνης προβολής των οπτικών σκηνών. Έπειτα, αντί να χρησιμοποιηθεί το στατιστικό κατώφλι του 3σ όπως έγινε στην προηγούμενη προσέγγιση (Κρασανάκης 2009) η θέση του νέφους υπολογίζεται εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο ασαφούς ταξινόμησης C-means (Bezdek 1981). Για την εφαρμογή του αλγορίθμου ορίζεται ο αριθμός 5 ως το μέγεθος των κλάσεων που αναμένονται για την ταξινόμηση του νέφους των σημείων. Παρά το γεγονός ότι το φυσικό πρόβλημα υποδεικνύει την ύπαρξη μίας κλάσης, αφού υπάρχει ένα σταθερό σημείο παρατήρησης ο αριθμός 5 ορίζεται λόγω του αριθμού των συνολικών σταθερών στόχων (ακόμα και αν το βλέμμα του υποκειμένου προσανατολιστεί σε κάποια προηγούμενη θέση τα κέντρα που δημιουργούνται δεν είναι λογικό να υπερβαίνουν τις υπάρχοντες θέσεις των στόχων που χρησιμοποιούνται). Αφού υπολογιστούν οι συναρτήσεις συμμετοχής όλων των σημείων του νέφους στις 5 νέες κλάσεις που εντοπίζονται, κάθε σημείο αντιστοιχίζεται στην κλάση για την οποία η συνάρτηση συμμετοχής εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή. Έτσι, κάθε μία από τις 5 κλάσεις που προέκυψαν αντιστοιχείται με ένα υποσύνολο σημείων του νέφους και κάθε σημείο ανήκει πλέον μόνο σε μία κλάση. Η κλάση με το μεγαλύτερο αριθμό σημείων αντιπροσωπεύει τη μέση θέση των σημείων καταγραφής που αφορούν την παρατήρηση του στόχου ενώ η μέση χωρική ακρίβεια για το συγκεκριμένο στόχο υπολογίζεται ως η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του κέντρου της επικρατούσας κλάσης και της θέσης του σταθερού στόχου. Στην Εικόνα 6.8 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα όπου φαίνεται η θέση του εκτιμώμενου κέντρου μετά τη διαδικασία ταξινόμησης (Mean Point after clustering) σε σύγκριση με το μέσο κέντρο που υπολογίζεται ως τη μέση τιμή των συντεταγμένων των καταγραφών κατά την παρατήρηση του σταθερού στόχου (Mean Point before clustering). Τα σημεία με τις διαφορετικές αποχρώσεις αντιστοιχούν στα διαφορετικά νέφη τα οποία προκύπτουν από την καταγραφή κατά την παρατήρηση καθενός από τους σταθερούς στόχους.



Εικόνα 6.8 Τα κέντρα των εκτιμώμενων μέσων θέσεων πριν και μετά τη διαδικασία της ασαφούς ταξινόμησης. Τα σημεία με τις διαφορετικές αποχρώσεις αντιστοιχούν στα διαφορετικά νέφη τα οποία προκύπτουν από την καταγραφή κατά την παρατήρηση καθενός από τους σταθερούς στόχους.

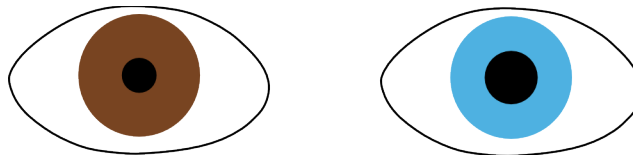
Όπως αναφέρεται και σε προηγούμενη μελέτη (Κρασανάκης 2009), το σύστημα καταγραφής που αξιοποιήθηκε εμφανίζει μεγάλη ευαισθησία στην αλλαγή της σχετικής θέσης μεταξύ της οθόνης προβολής των οπτικών ερεθισμάτων και του οπτικού κέντρου του υποκειμένου. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται ο μηχανισμός σταθεροποίησης (Εικόνα 6.5) του υποκειμένου. Εφαρμόζοντας τη διαδικασία ελέγχου της βαθμονόμησης που περιγράφεται παραπάνω στην αρχή και στο τέλος της πειραματικής έρευνας, δηλαδή πριν την εμφάνιση των οπτικών σκηνών που αφορούν το ερευνητικό ερώτημα το οποίο διερευνάται, είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε την ακρίβεια με την οποία έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία της βαθμονόμησης καθώς και να έχουμε τον έλεγχο της διαδικασίας καταγραφής μέχρι και την ολοκλήρωση της προβολής όλων των οπτικών σκηνών.

6.7.2 Έλεγχος θορύβου συστήματος καταγραφής

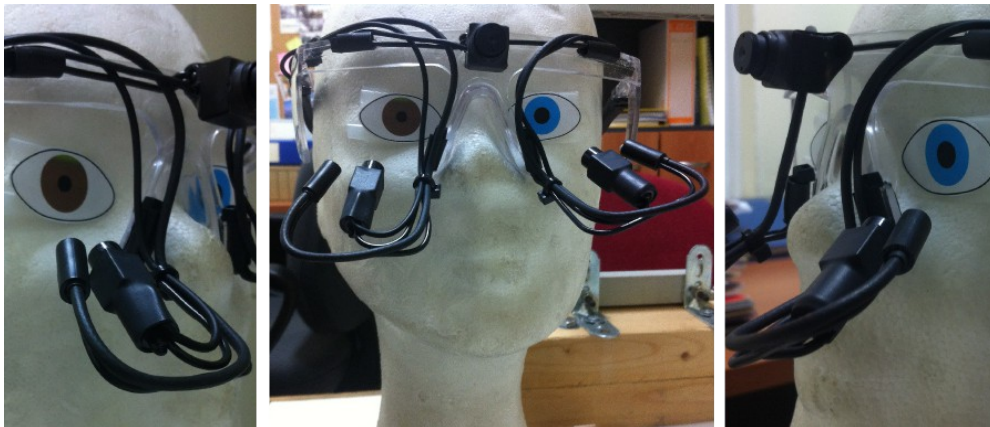
Το ζήτημα της αξιοπιστίας των μετρήσεων που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή δεν εξαρτάται μόνο από τη διαδικασία του προσανατολισμού του συστήματος αναφοράς όπου υλοποιείται η κίνηση των οφθαλμών με το σύστημα

προβολής των οπτικών ερεθισμάτων (διαδικασία βαθμονόμησης). Συγκεκριμένα, ο προσδιορισμός της θέσης του βλέμματος του παρατηρητή εξαρτάται και από τον ενδεχόμενο θόρυβο ο οποίος είναι πιθανόν να μεταφέρεται από το σύστημα καταγραφής στα δεδομένα θέσης του βλέμματος που παράγονται.

Μια διερεύνηση του επιπέδου του ενδεχόμενου θορύβου του συστήματος μπορεί να υλοποιηθεί προσδιορίζοντας τις συντεταγμένες των σημείων του βλέμματος που καταγράφονται κατά την απουσία μετακίνησης του συστήματος της οφθαλμοκίνησης. Η επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου αξιοποιώντας δεδομένα που προκύπτουν από κάποιο ανθρώπινο οφθαλμό είναι ακατόρθωτη, καθώς το μάτι ακόμα και στην περίπτωση της προσήλωσης σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο παραμένει σχετικά στάσιμο (βλέπε Κεφάλαιο 3). Έτσι για τη μέτρηση του θορύβου του συστήματος καταγραφής χρησιμοποιήθηκε ένα ζεύγος τεχνητών οφθαλμών οι οποίοι δημιουργήθηκαν για το σκοπό αυτό. Συγκεκριμένα, έχοντας ως βάση την εικόνα δύο αληθινών οφθαλμών, σχεδιάστηκαν δύο οφθαλμοί (Εικόνα 6.9) με διαφορετικό χρώμα ίριδας (καφέ και μπλε) και διαφορετικό μέγεθος κόρης. Έπειτα, οι οφθαλμοί που σχεδιάστηκαν προσαρμόστηκαν πάνω σε ένα τεχνητό κρανίο (Εικόνα 6.10).

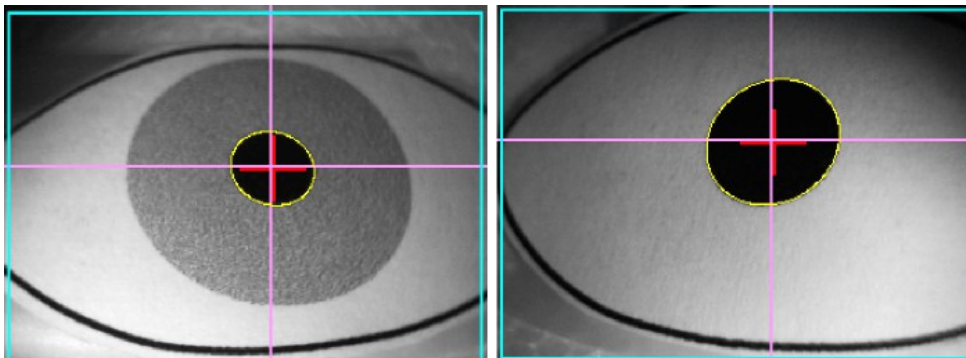


Εικόνα 6.9 Σχέδιο της εικόνας των τεχνητών οφθαλμών (πριν την προσαρμογή τους στο τεχνητό κρανίο) που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο του θορύβου του συστήματος καταγραφής.



Εικόνα 6.10 Προσαρμογή των τεχνητών οφθαλμών στο τεχνητό κρανίο για τη μέτρηση του θορύβου του συστήματος καταγραφής.

Στην Εικόνα 6.11 φαίνεται η εικόνα των τεχνητών οφθαλμών μετά την εφαρμογή του υπερύθρου φωτός από τις φωτοδιόδους του συστήματος και κατά τη διάρκεια του εντοπισμού της κόρης από την ίριδα ο οποίος βασίζεται στην εφαρμογή αλγορίθμων κατάτμησης. Η χρήση τεχνητών οφθαλμών έχει αξιοποιηθεί και σε άλλες μελέτες με σκοπό τη διερεύνηση εντοπισμού της κόρης (π.χ. Bodale & Talbar 2010, 2011) ή για τον έλεγχο του επιπέδου θορύβου σε συστήματα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων (π.χ. Coey et al. 2012).



Εικόνα 6.11 Η εικόνα των τεχνητών οφθαλμών μετά την εφαρμογή του υπερύθρου φωτός και τον εντοπισμό της κόρης από το σύστημα καταγραφής μέσω της εφαρμογής αλγορίθμων κατάτμησης.

Για τον προσδιορισμό του επιπέδου του θορύβου του συστήματος πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα όπου καταγράφηκαν οι συντεταγμένες που προκύπτουν από την εικόνα των δύο σταθερών τεχνητών οφθαλμών οι οποίοι προσαρμόστηκαν στο τεχνητό κρανίο. Η διαδικασία της καταγραφής ολοκληρώθηκε με συχνότητα δειγματοληψίας 60 Hz ενώ η συνολική διάρκεια του πειράματος αντιστοιχεί σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (~2.92 min) όπου έγινε η συλλογή αρκετών σημείων καταγραφής (10515 σημεία).

Το επίπεδο του θορύβου προσδιορίστηκε τόσο κατά τη χωρική όσο και κατά τη χρονική διάσταση. Συγκεκριμένα, υπολογίζοντας την τυπική απόκλιση κατά την οριζόντια (s_x) και κατά την κατακόρυφη (s_y) διεύθυνση της μέσης θέσης του βλέμματος που προκύπτει από τους δύο τεχνητούς οφθαλμούς, η συνολική απόκλιση κατά τη χωρική διάσταση υπολογίζεται από τη σχέση $s_{total}^{[spatial]}=(s_x^2+s_y^2)^{1/2}$. Αντίστοιχα, ο θόρυβος του συστήματος ως προς τη χρονική διάσταση προσδιορίζεται υπολογίζοντας την τυπική απόκλιση της μέσης διαφοράς των διαδοχικών σημείων καταγραφής και το άμεσα συνδεδεμένο μέγεθος της τυπικής απόκλισης της μέσης

συχνότητας δειγματοληψίας που προκύπτει. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4 Προσδιορισμός του θορύβου του συστήματος καταγραφής ως προς τη χωρική και τη χρονική διάσταση μέσω της καταγραφής των θέσεων του βλέμματος που προκύπτει από ένα ζεύγος τεχνητών οφθαλμών προσαρμοσμένων σε τεχνητό κρανίο. Οι τιμές προέκυψαν μετά από τη συλλογή 10515 σημείων καταγραφής.

Μέτρηση θορύβου συστήματος καταγραφής ως προς τη χωρική διάσταση		
	Οφθαλμός A	Οφθαλμός B
Μέση οριζόντια θέση (pixels)	554.1652	572.1475
Μέση κατακόρυφη θέση (pixels)	391.8231	455.4601
Τυπική απόκλιση κατά την οριζόντια διεύθυνση (pixels)	0.3124	0.2989
Τυπική απόκλιση κατά την κατακόρυφη διεύθυνση (pixels)	0.8859	0.5787
Συνολική απόκλιση (pixels)	0.9393	0.6514
Μέτρηση θορύβου συστήματος καταγραφής ως προς τη χρονική διάσταση		
	Οφθαλμός A	Οφθαλμός B
Μέση χρονική απόσταση διαδοχικών μετρήσεων (msec)	16.6593	16.6578
Τυπική απόκλιση μέσης διαφοράς (msec)	0.1661	0.3172
Μέση συχνότητα δειγματοληψίας (Hz)	60.0265	60.0319
Τυπική απόκλιση μέσης συχνότητας (msec)	0.0006	0.0011
Συνολικός αριθμός καταγραφών	10515	

Κεφάλαιο 7

Ανάλυση και αποτελέσματα πειραματικής έρευνας

7.1 Η προσέγγιση ανάλυσης της πειραματικής έρευνας

Η πειραματική έρευνα που σχεδιάστηκε και περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο υλοποιήθηκε με σκοπό τη διερεύνηση της ελάχιστης τιμής της διάρκειας για τον εντοπισμό ενός κινούμενου σημειακού συμβόλου πάνω σε διαφορετικές οπτικές σκηνές με διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας. Ενώ η βιβλιογραφία στο πεδίο της οπτικής προσοχής υποδεικνύει το γεγονός πως ο εντοπισμός της κίνησης υφίσταται από την περιφερειακή όραση σε ένα πρωταρχικό στάδιο το οποίο συμβαίνει πριν τη διαδικασία της προσοχής, το στάδιο αυτό είναι ικανό να κατευθύνει την κεντρική όραση προς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά επιδρώντας στις διαδικασίες προσοχής (βλέπε Κεφάλαιο 1). Στην παρούσα έρευνα διερευνάται το ελάχιστο χρονικό όριο το οποίο απαιτείται για τη διαδικασία του εντοπισμού ενός κινούμενου συμβόλου από την κεντρική όραση.

Καθώς η διαδικασία του εντοπισμού εξετάζεται σε συνδυασμό με διαφορετικές παραμέτρους δημιουργείται ένα βασικό ερώτημα το οποίο δεν σχετίζεται με τις υπόλοιπες παραμέτρους αλλά μόνο με την ιδιότητα της κίνησης. Το ερώτημα αυτό συνδέεται με τον ορισμό της διαδικασίας του εντοπισμού ο οποίος εξαρτάται από δύο βασικές παραμέτρους: τη θέση του βλέμματος και τη θέση του κινούμενου στόχου. Μια πρώτη προσέγγιση για τον ορισμό της διαδικασίας του εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου από την κεντρική όραση περιλαμβάνει υποδεικνύει ότι η διαδικασία του εντοπισμού συμβαίνει τη χρονική στιγμή κατά την οποία οι συντεταγμένες του βλέμματος ταυτίζονται με τις αντίστοιχες συντεταγμένες της θέσης του συγκεκριμένου συμβόλου (παρά το γεγονός ότι το σημειακό σύμβολο κινείται οι συντεταγμένες του είναι σταθερές για κάθε δεδομένη οπτική σκηνή). Ενώ η προσέγγιση αυτή ακούγεται λογική για να δοθεί λύση στο πρόβλημα του εντοπισμού, περιλαμβάνει δύο αδύναμα σημεία. Το πρώτο σημείο σχετίζεται με την οπτική διαδικασία κατά την παρατήρηση της σκηνής. Ο σκοπός του εντοπισμού επιβάλλει την προσήλωση του βλέμματος στη θέση της οπτικής σκηνής όπου υπάρχει ο κινούμενος στόχος. Σύμφωνα με τη φυσιολογία του ανθρώπινου οφθαλμού (βλέπε

Κεφάλαιο 1) κατά τη διάρκεια της προσήλωσης η θέση του βλέμματος είναι σχετικά στάσιμη (βλέπε Κεφάλαιο 3). Αυτό σημαίνει ότι για να ελεγχθεί η διαδικασία του εντοπισμού δεν αρκεί να γίνει ο έλεγχος των συντεταγμένων της θέσης του βλέμματος σε σχέση με τις συντεταγμένες της θέσης του συμβόλου αλλά πρέπει πρώτα η κίνηση του βλέμματος να μεταφραστεί σε κινήσεις προσήλωσης. Έτσι, η σύγκριση θα πρέπει να επιτυγχάνεται με βάση τις συντεταγμένες του βλέμματος οι οποίες έχουν προκύψει από τη “μετάφραση” της ακολουθίας των θέσεων του βλέμματος σε οφθαλμικές κινήσεις προσήλωσης και σε σακκαδικές κινήσεις. Το δεύτερο σημείο που πρέπει να συμπεριληφθεί στον ορισμό της έννοιας του εντοπισμού σχετίζεται με τον τρόπο που καταγράφεται η θέση του βλέμματος. Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων της θέσης του βλέμματος συνοδεύεται από μια αβεβαιότητα η οποία μπορεί να συνδεθεί με την ποιότητα ολοκλήρωσης της διαδικασίας της βαθμονόμησης του συστήματος αλλά και με τη διατήρηση της σχετικής θέσης των δύο συστημάτων αναφοράς όπου στο ένα παρουσιάζονται τα οπτικά ερεθίσματα ενώ το άλλο αφορά το κέντρο της όρασης και της κίνησης των οφθαλμών του υποκειμένου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, για την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την πειραματική έρευνα, θεωρήθηκε ότι η διαδικασία του εντοπισμού του κινούμενου σημειακού συμβόλου μπορεί να ελεγχθεί μετά από την επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν από την καταγραφή του βλέμματος με σκοπό τον προσδιορισμό των βασικών μεγεθών που αφορούν τις προσηλώσεις κάθε οπτικής σκηνής. Ο υπολογισμός των συντεταγμένων των προσηλώσεων για κάθε οπτική σκηνή έγινε εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε και παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5 της παρούσας διατριβής. Το κινούμενο σύμβολο θεωρείται ότι εντοπίζεται σε μία οπτική σκηνή όταν η ανάλυση των δεδομένων που έχουν προκύψει από την οφθαλμική καταγραφή υποδεικνύει την ύπαρξη σημείων προσήλωσης γύρω από μια περιοχή της σταθερής θέσης του σημειακού συμβόλου στην οπτική σκηνή. Το εύρος της περιοχής αυτής ουσιαστικά αντιστοιχεί στο αντίστοιχο εύρος με τη μεγαλύτερη οξύτητα της κεντρικής όρασης.

7.2 Προσδιορισμός τιμών παραμέτρων ανάλυσης

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει από την πειραματική έρευνα

προϋποθέτει την επιλογή ενός συνόλου διαφορετικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, οι παράμετροι της ανάλυσης συνδέονται με την αξιοπιστία των δεδομένων που καταγράφονται από το σύστημα καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων, με τον αλγόριθμο εντοπισμού που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή των προσηλώσεων καθώς και με την τιμή της μέγιστης απόστασης στην οποία θεωρείται ότι μια προσηλώση συνδέεται με τον εντοπισμό του σημειακού συμβόλου στην οπτική σκηνή.

7.2.1 Η παράμετρος της αξιοπιστίας των δεδομένων

Όπως αναφέρεται σε προηγούμενο κεφάλαιο, η διαδικασία του ελέγχου της βαθμονόμησης του συστήματος καθώς και της χωρικής ακρίβειας σε όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας είναι απαραίτητη. Ένας μηχανισμός ακινητοποίησης χρησιμοποιείται έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ υποκειμένου και οθόνης προβολής να παραμένει σταθερή για όλα τα υποκείμενα της έρευνας και να εξασφαλίζεται η καλύτερη δυνατή λειτουργία στη μέθοδο εντοπισμού της κόρης από το σύστημα καταγραφής. Ο έλεγχος της χωρικής ακρίβειας επιτυγχάνεται με σκοπό την εξασφάλιση των συνθηκών αυτών για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων του βλέμματος. Είναι προφανές πως η κόπωση του παρατηρητή μπορεί να έχει επίδραση στον παράγοντα της ακινητοποίησης του υποκειμένου καθορίζοντας τη χωρική ακρίβεια κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας, πριν το στάδιο της επεξεργασίας για τον υπολογισμό των προσηλώσεων όλων των υποκειμένων για κάθε οπτική σκηνή, πραγματοποιήθηκε έλεγχος της αξιοπιστίας των δεδομένων που καταγράφηκαν. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, το σύστημα που αξιοποιήθηκε παρείχε τη δυνατότητα καταγραφής των θέσεων του βλέμματος και από τους δύο οφθαλμούς του υποκειμένου. Σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5 της παρούσας διατριβής, για κάθε υποκείμενο εκτιμήθηκε η μέση χωρική ακρίβεια πριν και μετά την προβολή των οπτικών σκηνών για κάθε ένα από τα μέρη της πειραματικής έρευνας. Οι συντεταγμένες του βλέμματος που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε υποκείμενο στο επόμενο επίπεδο ανάλυσης των δεδομένων αντιστοιχούν στον οφθαλμό του υποκειμένου για τον οποίο η τιμή της εκτιμώμενης μέσης χωρικής ακρίβειας είναι μικρότερη για τους δύο

ελέγχους που γίνονται (πριν και μετά την προβολή των οπτικών σκηνών). Επιπροσθέτως, λαμβάνοντας υπόψη μας τη μέγιστη χωρική ακρίβεια που δίνει ο κατασκευαστής η οποία αντιστοιχεί σε γωνία 1° του οπτικού τόξου (~ 36 pixels στην οθόνη προβολής για τη συγκεκριμένη απόσταση θέασης και τη συγκεκριμένη οθόνη προβολής των οπτικών σκηνών), τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την ανάλυση των αποτελεσμάτων αντιστοιχούν στα υποκείμενα για τα οποία η εκτίμηση της μέσης χωρικής διάρκειας δεν ξεπερνάει στις περισσότερες περιπτώσεις την ακρίβεια του συστήματος καταγραφής. Σε ελάχιστες περιπτώσεις, όπου η εκτιμώμενη μέση χωρική ακρίβεια αντιστοιχούσε σε τιμές μεγαλύτερες της 1° έως και σε τιμές που αντιστοιχούν γύρω στο διπλάσιο της τιμής της ακρίβειας του συστήματος, εξετάσθηκε η θέση του βλέμματος σε κάθε έναν από τα σταθερά σημεία που χρησιμοποιούνται ώστε να διερευνηθεί αν η αύξηση της εκτιμώμενης ακρίβειας οφείλεται σε καταγραφές που αφορούν κάποιο συγκεκριμένο σημείο ή όχι. Στις περιπτώσεις που η αύξηση της μέσης τιμής οφειλόταν σε δεδομένα που αφορούν την παρατήρηση κάποιου μεμονωμένου σημείου, τα δεδομένα αξιοποιήθηκαν για περαιτέρω ανάλυση.

Από το σύνολο των υποκειμένων που συμμετείχαν στην πειραματική έρευνα τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν στην ανάλυση των προσηλώσεων αντιστοιχούν σε 16 υποκείμενα για το Μέρος Α και για την Κατηγορία α χρόνων, 16 υποκείμενα για το Μέρος Α και για την κατηγορία β χρόνων, 17 υποκείμενα για το Μέρος Β και για την Κατηγορία α χρόνων, 16 υποκείμενα για το Μέρος Β και για την κατηγορία β χρόνων και 28 υποκείμενα για το Μέρος Γ της πειραματικής έρευνας.

Στον Πίνακα 7.1 φαίνονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των εκτιμήσεων κατά τους δύο ελέγχους της μέσης χωρικής ακρίβειας των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν στην περαιτέρω ανάλυση σε κάθε ένα από τα πειραματικά μέρη της έρευνας, οι μέσες τιμές που προέκυψαν από τις μέσες εκτιμήσεις των δύο ελέγχων για κάθε πειραματικό μέρος καθώς και η συνολικά εκτιμώμενη μέση χωρική ακρίβεια των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν στην ανάλυση των προσηλώσεων. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 7.1, οι τιμές της εκτιμώμενης μέσης χωρικής ακρίβειας είναι μεγαλύτερες κατά τον έλεγχο μετά την προβολή των οπτικών σκηνών. Το γεγονός αυτό είναι πιθανόν να οφείλεται στην κόπωση των παρατηρητών η οποία εξαρτάται από το χρόνο της πειραματικής διαδικασίας (γίνεται

φανερό και από την περίπτωση του Μέρους Γ το οποίο διαρκεί για μικρότερο χρονικό διάστημα και όπου οι μέσες εκτιμήσεις έχουν μικρότερες τιμές σε σχέση με τα άλλα δύο μέρη της πειραματικής έρευνας).

Πίνακας 7.1 Οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των εκτιμήσεων κατά τους δύο ελέγχους της μέσης χωρικής ακρίβειας των δεδομένων, οι μέσες τιμές που προέκυψαν από τις μέσες εκτιμήσεις των δύο ελέγχων για κάθε πειραματικό μέρος καθώς και η συνολικά εκτιμώμενη μέση χωρική ακρίβεια των δεδομένων.

Πειραματικό μέρος	Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των μεσαίων τιμών της χωρικής ακρίβειας πριν την προβολή των οπτικών σκηνών (pixels)	Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των μεσαίων τιμών της χωρικής ακρίβειας μετά την προβολή των οπτικών σκηνών (pixels)
Μέρος Α	21 ± 10	31 ± 14
Μέρος Β	23 ± 8	29 ± 13
Μέρος Γ	21 ± 6	24 ± 7
Μέση χωρική ακρίβεια πριν την προβολή των οπτικών σκηνών (pixels)		22 (~0.62°)
Μέση χωρική ακρίβεια πριν την προβολή των οπτικών σκηνών (pixels)		28 (~0.77°)
Μέση χωρική ακρίβεια δεδομένων ανάλυσης (pixels)		25 (~0.70°)

Η παραπάνω προσέγγιση για την εκτίμηση της χωρικής ακρίβειας με την οποία ολοκληρώνεται η διαδικασία της καταγραφής για κάθε υποκείμενο βασίζεται στον υπολογισμό της μέσης θέσης παρατήρησης κατά τη διάρκεια της προσήλωσης σε σταθερά σημεία της οθόνης (βλέπε παράγραφο 6.7.1). Είναι προφανές πως η επιτευχθείσα ακρίβεια αντιστοιχεί σε μικρότερες τιμές από τις εκτιμώμενες που παρουσιάζονται στον Πίνακα καθώς η επικέντρωση του βλέμματος ακριβώς στο κέντρο ενός σημείου (απ' όπου υπολογίζεται η απόκλιση) είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί από τα υποκείμενα ακόμα και αν η διαδικασία γίνεται για μικρό χρονικό διάστημα και χωρίς την ύπαρξη άλλων συμβόλων περιπασιών στην οθόνη προβολής των οπτικών ερεθισμάτων. Έτσι, παρά το γεγονός ότι με τη συγκεκριμένη προσέγγιση δεν είναι δυνατή η ακριβής εκτίμηση της ακρίβειας της θέσης των συντεταγμένων του βλέμματος που καταγράφονται, η καταγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιούνται (και δεν αποκλείονται από την πρώτη ανάλυση των δεδομένων) στο επόμενο επίπεδο ανάλυσης το οποίο αφορά τον υπολογισμό των προσηλώσεων ολοκληρώνεται εντός των ορίων της ακρίβειας που υποδεικνύεται μέσω των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος καταγραφής.

7.2.2 Οι παράμετροι εντοπισμού προσήλωσεων

Το επόμενο βήμα για την ανάλυση των οφθαλμικών καταγραφών αποτελείται από τον εντοπισμό των κινήσεων προσήλωσης. Ο εντοπισμός των προσήλωσεων πραγματοποιήθηκε αξιοποιώντας τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε και περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5 της παρούσας διατριβής. Για την εφαρμογή του αλγορίθμου απαιτείται ο ορισμός δύο χωρικών και μιας χρονικής παραμέτρου οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν σύμφωνα με τις συνθήκες διεξαγωγής της πειραματικής διαδικασίας καθώς και της φύσης του ερευνητικού ζητήματος.

Η διατήρηση των ίδιων συνθηκών ανάλυσης ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιογένεια ως προς τη βαρύτητα συμμετοχής επιβάλλει την επιλογή κοινών παραμέτρων για όλα τα υποκείμενα που συμμετέχουν στην έρευνα. Έτσι, είναι κατανοητό ότι η επιλογή των ορίων είναι αρκετά σημαντική για τη διαδικασία της ανάλυσης (Blignaut & Beelders 2009). Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται για την ανάλυση των δεδομένων ανήκει στην οικογένεια των αλγορίθμων διασποράς (I-DT). Τα μεγέθη των χωρικών καταφλίων τα οποία υποδεικνύουν την ελάχιστη διασπορά των δεδομένων τα οποία μπορούν να περιέχονται σε μια κλάση προσήλωσης μπορούν να εκφραστούν με διαφορετικούς τρόπους, όπως την απόσταση μεταξύ των σημείων της κλάσης που απέχουν το μέγιστο μεταξύ τους, την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων της κλάσης και την ακτίνα που εκφράζει την απόσταση του σημείου από το κέντρο της κλάσης (Blignaut & Beelders 2009). Οι χωρικές παράμετροι του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται βασίζονται στη σύγκριση της Ευκλείδειας απόστασης του σημείου της καταγραφής από την υπολογιζόμενη μέση θέση της κλάσης της προσήλωσης. Έτσι, η έκφραση της διασποράς σαν ακτίνα κλάσης όπως αναφέρεται σε αντίστοιχες μελέτες (π.χ. Camilli et al. 2008) μπορεί να συγκριθεί άμεσα με την επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων του αλγορίθμου.

Αρκετές μελέτες (π.χ. Salvucci & Goldberg 2000, Jacob & Karn 2003, Camilli et al. 2008) αναφέρουν τις τιμές του ακτινικού χωρικού καταφλίου μέσα στο εύρος 0.25° - 1° του οπτικού τόξου. Πιο πρόσφατες έρευνες (Blignaut 2009, Blignaut & Beelders 2009) σημειώνουν ότι οι συγκεκριμένες τιμές είναι αρκετά μικρές και προσδιορίζουν το βέλτιστο εύρος για την επιλογή του ακτινικού χωρικού καταφλίου στο διάστημα 0.7° - 1.3° του οπτικού τόξου. Σύμφωνα με τον Blignaut (2009) η

επιλογή του συγκεκριμένου εύρους οδηγεί στο βέλτιστο (από άποψη ακρίβειας) εντοπισμό του οπτικού ίχνους της καταγραφής).

Στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκε ως τιμή χωρικού κατωφλίου για τον υπολογισμό των προσηλώσεων η μέση τιμή στο εύρος 0.7° - 1.3° , δηλαδή 1° (~36 pixels). Η τιμή αυτή ταυτίζεται και με τη μεγαλύτερη τιμή χωρικής ακρίβειας του συστήματος καταγραφής ενώ είναι μεγαλύτερη από τη μέση εκτιμώμενη χωρική ακρίβεια των δεδομένων που αξιοποιούνται στην ανάλυση των προσηλώσεων (~ 0.7°). Ο αλγόριθμος υπολογισμού των προσηλώσεων εφαρμόζει τον έλεγχο με βάση την οριακή τιμή του ακτινικού χωρικού κατωφλίου σε δύο βήματα με σκοπό την παράκαμψη δεδομένων τα οποία μπορεί να οφείλονται στην ύπαρξη σταθερού επιπέδου θορύβου του συστήματος (βλέπε Κεφάλαιο 5). Όπως προέκυψε από μετρήσεις με τη χρήση τεχνητών οφθαλμών (βλέπε παράγραφο 6.7.2), το επίπεδο του εκτιμώμενου θορύβου του συστήματος καταγραφής που χρησιμοποιήθηκε ως προς τη χωρική διάσταση αντιστοιχεί σε μία τιμή μικρότερη από 1 pixel (~ 0.02° του οπτικού τόξου). Καθώς η επιλογή του ορίου γίνεται με βάση τη μέση τιμή στο διάστημα 0.7° - 1.3° , το οποίο αναφέρεται ως το βέλτιστο στη βιβλιογραφία, δεν έχει νόημα η επιλογή διαφορετικών τιμών για τις χωρικές παραμέτρους του αλγορίθμου προσδιορισμού των προσηλώσεων. Έτσι, για την εφαρμογή του αλγορίθμου επιλέχθηκε οι τιμές των χωρικών παραμέτρων $t_1 = t_2 = 1.00^{\circ}$ (36 pixels).

Εκτός όμως από τις παραμέτρους που αφορούν τη χωρική διασπορά, η εφαρμογή του αλγορίθμου εντοπισμού απαιτεί την επιλογή μιας χρονικής παραμέτρου η τιμή της οποίας εκφράζει την ελάχιστη διάρκεια μιας προσηλώσης που μπορεί να εντοπιστεί μεταξύ των δεδομένων της καταγραφής. Οι προσηλώσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της οπτικής αναζήτησης έχουν μια μέση διάρκεια που αντιστοιχεί στην τιμή 275 ms (Rayner 1998) ενώ κατά την παρατήρηση οπτικών σκηνών το μέσο εύρος των διαρκειών κυμαίνεται στο διάστημα 260-330 ms (van der Lans et al. 2011). Οι τιμές των μέσων διαρκειών είναι αντιπροσωπευτικές για τις διάρκειες που αναμένονται κατά την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων και αναφέρονται ώστε να υπάρχει μια σύγκριση με την επιλογή της ελάχιστης διάρκειας προσηλώσης. Σύμφωνα με τους Jacob και Karn (2003) και τους Poole και Ball (2005) οι ελάχιστες τιμές διάρκειας μιας προσηλώσης αντιστοιχούν στο εύρος 100-200 ms. Άλλες μελέτες σημειώνουν το αντίστοιχο διάστημα στο εύρος 100-150 ms

(Viviani 1990, Goldberg & Kotval 1999) ενώ ο Duchowski (2007) αναφέρει ως ελάχιστη τιμή του εύρος της διάρκειας των προσηλώσεων την τιμή των 150 ms . Όπως σημειώνεται και στην περίπτωση των χωρικών παραμέτρων, η επιλογή της χρονικής παραμέτρου είναι αρκετά σημαντική για τη διαδικασία της ανάλυσης (Poole & Ball 2005) και θα πρέπει να έχει ενιαία τιμή για τον προσδιορισμό των προσηλώσεων που αφορούν τα δεδομένα όλων των υποκειμένων ώστε να εξασφαλίζεται η ύπαρξη ισοβαρών συνθηκών. Επιπροσθέτως, είναι αρκετά σημαντικό η επιλογή των παραμέτρων να προσαρμόζεται στις συνθήκες της εκάστοτε πειραματικής διαδικασίας. Η παρούσα πειραματική έρευνα εξετάζει τις οφθαλμικές κινήσεις των υποκειμένων σε συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης. Στην έρευνα των Manor και Gordon (2003) βρέθηκε ότι η χρήση της τιμή των 100 ms ως χρονικό κατώφλι είναι κατάλληλη για τον εντοπισμό προσηλώσεων σε συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης. Έτσι, για τον υπολογισμό των προσηλώσεων στην παρούσα πειραματική έρευνα χρησιμοποιήθηκε το χρονικό κατώφλι των 100 ms.

7.2.3 Η παράμετρος εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου

Η διαδικασία που διερευνάται ως αντίδραση των υποκειμένων στην παρούσα διατριβή αφορά τον εντοπισμό ενός κινούμενου συμβόλου. Πιο συγκεκριμένα, διερευνάται ο χρόνος αντίδρασης της κεντρικής όρασης στην αλλαγή της θέσης ενός σημειακού συμβόλου. Ένα απαραίτητο στοιχείο για την ανάλυση του ερευνητικού ερωτήματος αφορά τον προσδιορισμό της έννοιας του εντοπισμού του συμβόλου. Ουσιαστικά, ο καθορισμός του εντοπισμού προϋποθέτει την επιλογή της τιμής μιας παραμέτρου με χωρική διάσταση. Η παράμετρος αυτή εκφράζει τη σχέση της θέσης του βλέμματος του υποκειμένου με την αντίστοιχη θέση του σημειακού συμβόλου. Για να καθοριστεί αυτή η παράμετρος αρκεί να οριστεί η μέγιστη απόσταση για την οποία θεωρείται ότι το σύμβολο εντοπίζεται από την κεντρική όραση του υποκειμένου.

Η επιλογή της τιμής της συγκεκριμένης παραμέτρου μπορεί να βασιστεί στα χαρακτηριστικά του ανθρώπινου οφθαλμού και τη λειτουργία της οπτικής διαδικασίας. Κατά τη διαδικασία της όρασης, οι κινήσεις του κεφαλιού και των οφθαλμών συνδυάζονται με σκοπό την προβολή των οπτικών ερεθισμάτων στην περιοχή του κεντρικού βοθρίου όπου επιτρέπεται η έγχρωμη και λεπτομερής

επεξεργασία (Πλαϊνης κ.α. 2007). Παρά το γεγονός ότι το όριο διαχωρισμού της περιοχής του βοθρίου από την περιοχή που βρίσκεται εκτός αυτού δεν είναι ξεκάθαρα ορισμένο (Strasburger et al. 2011), το εύρος της περιοχής του βοθρίου αντιστοιχεί σε 5.2° του οπτικού τόξου ενώ η περιοχή του κεντρικού βοθρίου όπου εμφανίζεται η μέγιστη δυνατή οξύτητα (βλέπε Κεφάλαιο 1) αντιστοιχεί σε οπτικό τόξο εύρους 1° (Wandell 1995). Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, η τιμή που επιλέχθηκε για τη συγκεκριμένη παράμετρο είναι ίση με την απόσταση που αντιστοιχεί στην οπτική γωνία 1° (~ 36 pixels για τη συγκεκριμένη απόσταση θέασης των οπτικών ερεθισμάτων).

7.3 Ανάλυση πειραματικών δεδομένων μέσω του ορισμού στατιστικών δεικτών

Ο ορισμός των παραμέτρων που περιγράφονται παραπάνω επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων που έχουν προκύψει από την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων. Συγκεκριμένα, αξιοποιώντας τις καταγραφές για τις οποίες έχει ελεγχθεί η αξιοπιστία των δεδομένων (βλέπε παράγραφο 7.2.1) και εφαρμόζοντας τις παραμέτρους που αναφέρονται στις παραγράφους 7.2.1, 7.2.2 και 7.2.3 η διαδικασία της ανάλυσης ολοκληρώνεται σε ένα σύνολο διαδοχικών βημάτων.

Βήμα 1^ο: Για κάθε υποκείμενο της έρευνας και για κάθε οπτική σκηνή όλων των Μερών (Α, Β και Γ) της πειραματικής έρευνας υπολογίζονται οι οφθαλμικές κινήσεις προσήλωσης, οι οποίες ουσιαστικά αποτελούν τις “μοντελοποιημένες” θέσεις του βλέμματος των υποκειμένων οι οποίες συνοδεύονται από τις διάρκειες της σχετικής σταθεροποίησης σε κάθε θέση της οπτικής σκηνής.

Βήμα 2^ο: Για κάθε υποκείμενο της έρευνας και για κάθε οπτική σκηνή όλων των Μερών (Α, Β και Γ) της πειραματικής έρευνας υπολογίζεται ένα σύνολο στατιστικών στοιχείων τα οποία ορίζονται με σκοπό να συνδεθούν τα δεδομένα που προκύπτουν από την καταγραφή της κεντρικής όρασης με τη θέση του κινούμενου σημειακού συμβόλου. Τα στατιστικά στοιχεία που υπολογίζονται περιλαμβάνουν:

- Τη συνολική διάρκεια των προσηλώσεων πάνω στο σημειακό σύμβολο.
- Το ποσοστό της συνολικής διάρκειας των προσηλώσεων πάνω στο σημειακό σύμβολο προς τη συνολική διάρκεια των προσηλώσεων στην οπτική σκηνή.
- Το συνολικό αριθμό των προσηλώσεων πάνω στο σημειακό σύμβολο.
- Το ποσοστό του συνολικού αριθμού των προσηλώσεων πάνω στο σημειακό

σύμβολο προς το συνολικό αριθμό των προσηλώσεων στην οπτική σκηνή.

- Το χρόνο που απαιτείται για την πρώτη προσήλωση στο σημειακό σύμβολο.

Βήμα 3^ο: Τα στατιστικά στοιχεία που υπολογίζονται υποδεικνύοντας την απόκριση των υποκειμένων ταξινομούνται ανά οπτική σκηνή ώστε το μοναδιαίο στοιχείο που αφορά την περαιτέρω ανάλυση να σχετίζεται αποκλειστικά με τον εντοπισμό του συμβόλου. Έτσι τα δεδομένα που προκύπτουν απ' όλα τα υποκείμενα ανάγονται στις αντίστοιχες οπτικές σκηνές όλων των πειραματικών μερών που περιγράφονται στο σχεδιασμό της πειραματικής διαδικασίας.

Βήμα 4^ο: Για κάθε οπτική σκηνή ορίζεται ένα σύνολο στατιστικών δεικτών οι οποίοι εκφράζουν τη συμπεριφορά απόκρισης όλων των υποκειμένων της πειραματικής έρευνας. Οι στατιστικοί δείκτες που ορίστηκαν για την ανάλυση των αποτελεσμάτων είναι οι ακόλουθοι:

- **Δείκτης επιτυχίας (Index success):** Ο δείκτης υπολογίζεται ως το ποσοστό των υποκειμένων τα οποία εντοπίζουν μέσω της κεντρικής τους όρασης τη θέση του σημειακού συμβόλου στην οπτική σκηνή. Οι ενδεχόμενες τιμές του δείκτη κυμαίνονται στο διάστημα τιμών $[0, 1]$ όπου η τιμή 0 αντιπροσωπεύει την πλήρη αποτυχία στον εντοπισμό του κινούμενου σημειακού συμβόλου (0% του συνολικού αριθμού των υποκειμένων) ενώ η τιμή 1 αντιστοιχεί σε πλήρη επιτυχία στον εντοπισμό της θέσης του σημειακού συμβόλου (100% του συνολικού αριθμού των υποκειμένων εντοπίζουν τη θέση του συμβόλου στην οπτική σκηνή).
- **Δείκτης Διάρκειας (Index duration):** Η τιμή του δείκτη εκφράζει τη μέση διάρκεια των προσηλώσεων, όπως προκύπτει από τη συνολική συμπεριφορά όλων των υποκειμένων, που αντιστοιχούν στον εντοπισμό της θέσης του σημειακού συμβόλου.
- **Δείκτης ποσοστού διάρκειας (Index duration percentage):** Ο δείκτης εκφράζει το μέσο ποσοστό της διάρκειας των προσηλώσεων που αφορούν τον εντοπισμό της θέσης του σημειακού συμβόλου προς τη συνολική διάρκεια των προσηλώσεων στην οπτική σκηνή. Οι τιμές του δείκτη αντιστοιχούν στο διάστημα $[0, 1]$, όπου η μέγιστη τιμή υποδεικνύει πως όλες οι προσηλώσεις που έγιναν στην οπτική σκηνή αντιστοιχούν στη θέση του σημειακού συμβόλου.

- **Δείκτης αριθμού προσηλώσεων (Index number):** Η τιμή του δείκτη εκφράζει το μέσο αριθμό προσηλώσεων που γίνονται για τον εντοπισμό της θέσης του σημειακού συμβόλου από την κεντρική όραση.
- **Δείκτης ποσοστού αριθμού προσηλώσεων (Index number percentage):** Ο δείκτης εκφράζει το μέσο ποσοστό του αριθμού των προσηλώσεων για τον εντοπισμό του σημειακού συμβόλου προς τον αριθμό των συνολικών προσηλώσεων στην οπτική σκηνή. Οι τιμές του δείκτη ανήκουν στο διάστημα $[0, 1]$, όπου η τιμή 1 αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου ο συνολικός αριθμός των προσηλώσεων της οπτικής σκηνής αντιστοιχεί στον εντοπισμό του σημειακού συμβόλου.
- **Δείκτης χρόνου πρώτης προσήλωσης (Index time first fixation):** Η τιμή του δείκτη εκφράζει τη μέση τιμή του χρόνου που απαιτείται για να γίνει η πρώτη προσήλωση της κεντρικής όρασης πάνω στο σημειακό σύμβολο της οπτικής σκηνής.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως ο ορισμός συγκεκριμένων στατιστικών δεικτών για την εξαγωγή συμπερασμάτων από την ανάλυση οφθαλμικών κινήσεων συνιστάται σε πολλές μελέτες (π.χ. Just & Carpenter 1976, Goldberg & Kotval 1999, Poole & Ball 2005). Στην παρούσα έρευνα, για τον υπολογισμό των στατιστικών δεικτών της διάρκειας, του ποσοστού της διάρκειας, του αριθμού των προσηλώσεων, του ποσοστού του αριθμού των προσηλώσεων και του χρόνου της πρώτης προσήλωσης δεν λαμβάνονται υπόψη οι περιπτώσεις για τις οποίες το υποκείμενο δεν εντοπίζει καθόλου το σημειακό σύμβολο στην οπτική σκηνή, όπου δηλαδή δεν υπάρχει επιτυχία εντοπισμού. Συνεπώς, οι τιμές των δεικτών αυτών είναι μεγαλύτερες του μηδενός όταν εντοπίζεται το σημειακό σύμβολο στην οπτική σκηνή ενώ για την περίπτωση που το σημειακό σύμβολο δεν εντοπίζεται οι τιμές όλων των δεικτών είναι ίσες με το μηδέν.

Η αναγωγή της ανάλυσης στον προσδιορισμό μέσων στατιστικών δεικτών που αντιπροσωπεύουν τη συμπεριφορά του συνόλου των υποκειμένων ανά οπτική σκηνή επιτρέπει την άμεση σύνδεση των χαρακτηριστικών που περιγράφουν την οπτική σκηνή με τα δεδομένα που προκύπτουν από την διαδικασία της καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων. Συγκεκριμένα, μέσω της συγκεκριμένης προσέγγισης τα χαρακτηριστικά της οπτικής σκηνής τα οποία σχετίζονται με την αλλαγή στη θέση

του συμβόλου που περιγράφεται μέσω της διάρκειας αλλαγής και της μετάθεσης αλλαγής καθώς και με το επίπεδο της περιεχόμενης πληροφορίας του υποβάθρου πάνω στο οποίο συμβαίνει η αλλαγή αυτή και εκφράζεται μέσω διαφορετικών επιπέδων (που διαφοροποιούνται μέσω της τιμής της έντασης των χαρτογραφικών συμβόλων) συνδέονται με στοιχεία που προκύπτουν από το βασικό μέγεθος της ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων το οποίο αφορά τις κινήσεις προσήλωσης.

7.4 Ανάλυση της συνολικής συμπεριφοράς

Ο προσδιορισμός των τιμών των στατιστικών δεικτών που περιγράφονται στην παράγραφο 7.3 μπορεί να υποδείξει τις ελάχιστες τιμές της διάρκειας για τις οποίες το σημειακό σύμβολο εντοπίζεται πάνω στις οπτικές σκηνές. Επιπλέον, οι τιμές των δεικτών μπορούν να προσδιοριστούν υποδεικνύοντας την απόκριση μεγεθών που προκύπτουν από την παρατήρηση στις υπόλοιπες παραμέτρους της οπτικής διαδικασίας (το μέγεθος μετάθεσης που εκφράζεται μέσω της απόστασης και το υπόβαθρο πάνω στο οποίο γίνεται η μετακίνηση). Εκτός όμως από την υπόδειξη της “οριακής” συμπεριφοράς της κεντρικής όρασης των υποκειμένων, τα στοιχεία που προκύπτουν αντιστοιχούν σε ένα μεγάλο εύρος τιμών παραμέτρων το οποίο συνοδεύει τη διαδικασία της μετακίνησης. Για να κατανοηθεί η παραπάνω πρόταση αρκεί να δούμε το παράδειγμα της παραμέτρου του χρόνου για τον οποίο η θέση του σημειακού συμβόλου παραμένει σταθερή ο οποίος ουσιαστικά εκφράζει τη δυναμική μεταβλητή της διάρκειας. Παρά το γεγονός ότι η ελάχιστη τιμή για την απόκριση των υποκειμένων αναμένεται σε χρόνους μεγαλύτερους των 100 ms (ελάχιστος χρόνος στον οποίο μπορεί να σημειωθεί μια προσήλωση) το εύρος των τιμών που επιλέχθηκαν κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού της πειραματικής έρευνας αντιστοιχεί σε τιμές που φτάνουν μέχρι και τα 3 sec όπου υπάρχει η βεβαιότητα για τον εντοπισμό του κινούμενου σημειακού συμβόλου. Έτσι, εξετάζοντας τη συνολική αντίδραση των υποκειμένων μέσα σε αυτό το εύρος, είναι δυνατή η μελέτη της συνολικής συμπεριφοράς απόκρισης (και όχι μόνο της συμπεριφοράς γύρω από την ελάχιστη τιμή) στις διαφορετικές τιμές των παραμέτρων της πειραματικής έρευνας.

Για την ανάλυση της συνολικής συμπεριφοράς μελετήθηκε η απόκριση των υποκειμένων στις διαφορετικές μεταβλητές του πειραματικού σχεδιασμού μέσω του μοντέλου της γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression). Συγκεκριμένα, για την

εφαρμογή του μοντέλου της γραμμικής παλινδρόμησης, οι μεταβλητές της διάρκειας (duration), της απόστασης (distance) καθώς και του επιπέδου της πληροφορίας (level of information) του υποβάθρου όπου γίνεται η μετακίνηση χρησιμοποιήθηκαν ως επεξηγηματικές μεταβλητές ενώ οι τιμές των στατιστικών δεικτών που υποδεικνύουν την απόκριση του βλέματος ως μεταβλητές απόκρισης. Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται το απλό μοντέλο καθώς εξετάζεται κάθε επεξηγηματική μεταβλητή ξεχωριστά ως προς τις τιμές των στατιστικών δεικτών. Η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) της γραμμικής παλινδρόμησης υποδεικνύει κατά πόσο υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ της ανεξάρτητης (επεξηγηματικής μεταβλητής) με την εξαρτημένη (μεταβλητή απόκρισης) μεταβλητή. Οι ενδεχόμενες τιμές του συντελεστή προσδιορισμού ανήκουν στο διάστημα $[0, 1]$ όπου η τιμή 0 αντιστοιχεί σε απουσία συσχέτισης ενώ η τιμή 1 σε απόλυτη γραμμική συσχέτιση (είτε θετική ή αρνητική) μεταξύ των δύο μεταβλητών.

7.5 Αποτελέσματα της πειραματικής έρευνας

Για κάθε ένα από τα 3 Μέρη (Α, Β και Γ) της πειραματικής έρευνας διερευνήθηκε η συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων κάθε πειραματικού μέρους και των στατιστικών δεικτών που υπολογίζονται από τις καταγραφές που συλλέγονται από τα υποκείμενα. Η διαδικασία της διερεύνησης πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής του απλού γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης για τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Μέρος Α και Μέρος Β: Συσχέτιση καθενός από τους δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή με την παράμετρο της διάρκειας του σημειακού συμβόλου στην οπτική σκηνή (παράμετρος Duration) και με την παράμετρο της μεταβολής της θέσης που εκφράζεται μέσω της απόστασης (Παράμετρος Distance) για το κενό χαρτογραφικό υπόβαθρο (Μέρος Α) και για το υπόβαθρο του τοπογραφικού χάρτη (Μέρος Β).
- Μέρος Γ: Συσχέτιση όλων των στατιστικών δεικτών ξεχωριστά με την παράμετρο της διάρκειας και με την παράμετρο που εκφράζει τη μεταβολή του επιπέδου πληροφορίας (παράμετρος Information Level). Επιπροσθέτως, παρά το γεγονός ότι ο σχεδιασμός του Μέρους Γ της πειραματικής διαδικασίας δεν έγινε με σκοπό τον έλεγχο της παραμέτρου της απόστασης η

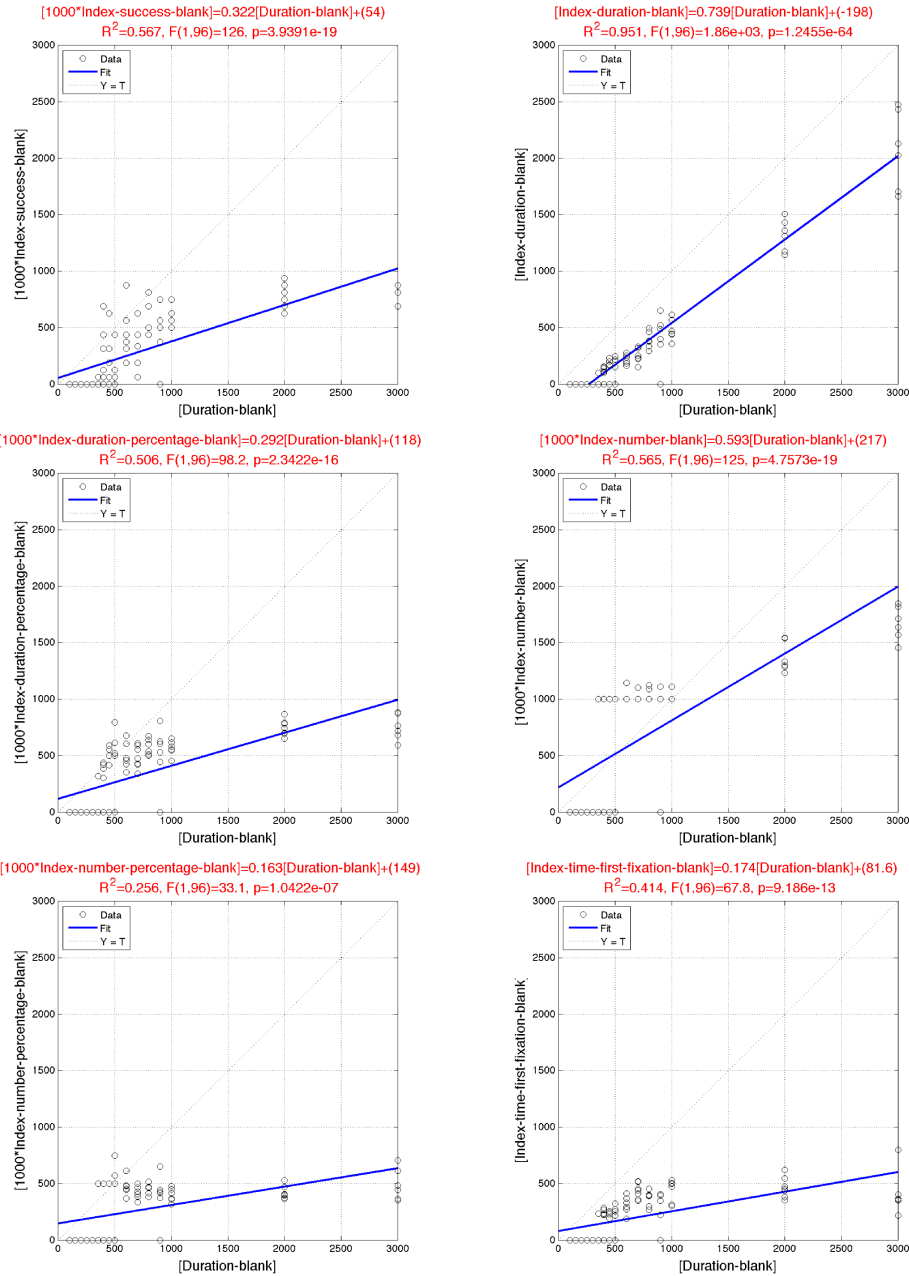
οποία ελέγχεται κατά τα Μέρη Α και Β, διερευνάται επίσης η συσχέτιση μέσω του ίδιου μοντέλου.

Τα αποτελέσματα της προσαρμογής του απλού γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης παρουσιάζονται στα διαγράμματα της Εικόνας 7.1 για την περίπτωση της παραμέτρου της διάρκειας πάνω σε κενό υπόβαθρο (Μέρος Α) ενώ τα αντίστοιχα διαγράμματα διάρκειας για την περίπτωση του τοπογραφικού χάρτη (Μέρος Β) παρουσιάζονται στην Εικόνα 7.2. Στην Εικόνα 7.3 παρουσιάζεται η συνολική διάρκεια απόκρισης των υποκειμένων στην περίπτωση που αλλαγή της θέσης πραγματοποιείται πάνω σε χαρτογραφικά υπόβαθρα με μεταβαλλόμενο επίπεδο πληροφορίας.

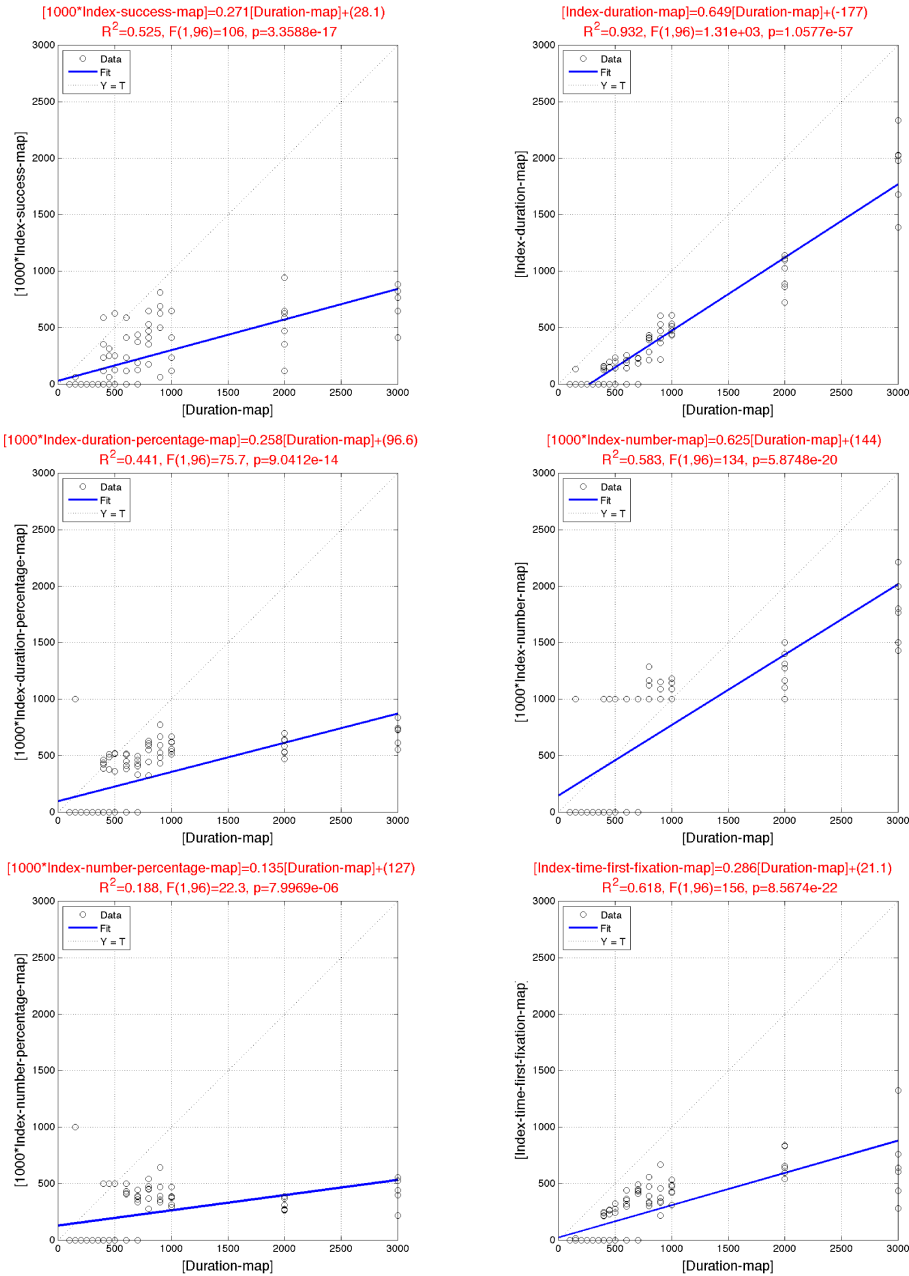
Τα διαγράμματα προσαρμογής του απλού γραμμικού μοντέλου για τη διερεύνηση της παραμέτρου της αλλαγής της θέσης που εκφράζεται μέσω της απόστασης παρουσιάζονται στις Εικόνες 7.4, 7.5 και 7.6 για τις μετακινήσεις του σημειακού συμβόλου πάνω σε κενό υπόβαθρο (Μέρος Α) , σε τοπογραφικό χάρτη (Μέρος Β) και σε χάρτες διαφορετικών επιπέδων έντασης (Μέρος Γ) αντίστοιχα.

Η προσαρμογή των γραμμικών μοντέλων για την περίπτωση της διερεύνησης της επίδρασης του διαφορετικού επιπέδου πληροφορίας στις τιμές των στατιστικών δεικτών παρουσιάζεται στα διαγράμματα της Εικόνας 7.7.

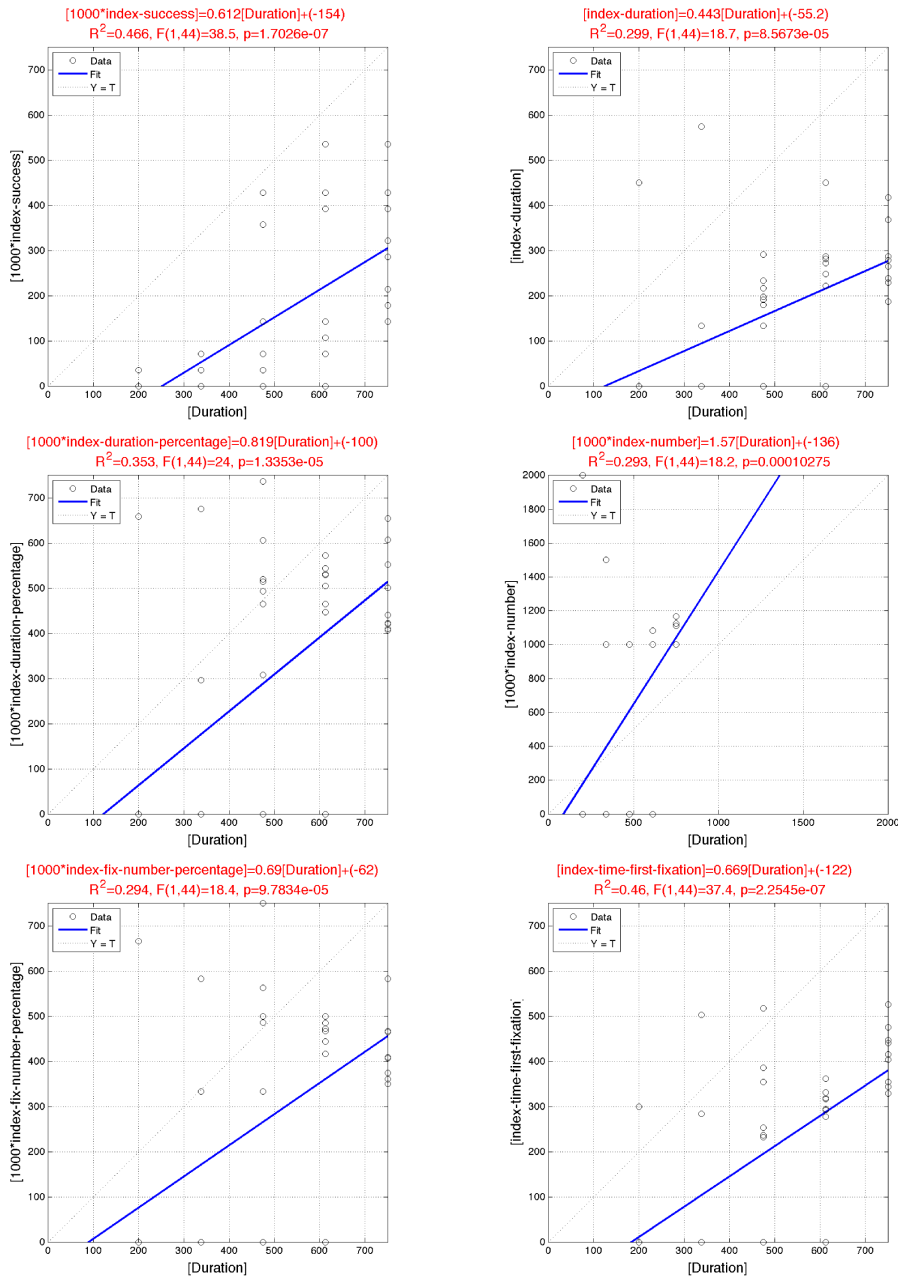
Οι τιμές όλων των στατιστικών δεικτών που υπολογίζονται για όλες τις παραμέτρους, όλων των Μερών της πειραματικής έρευνας υπάρχουν στο Παράρτημα της παρούσας διατριβής.



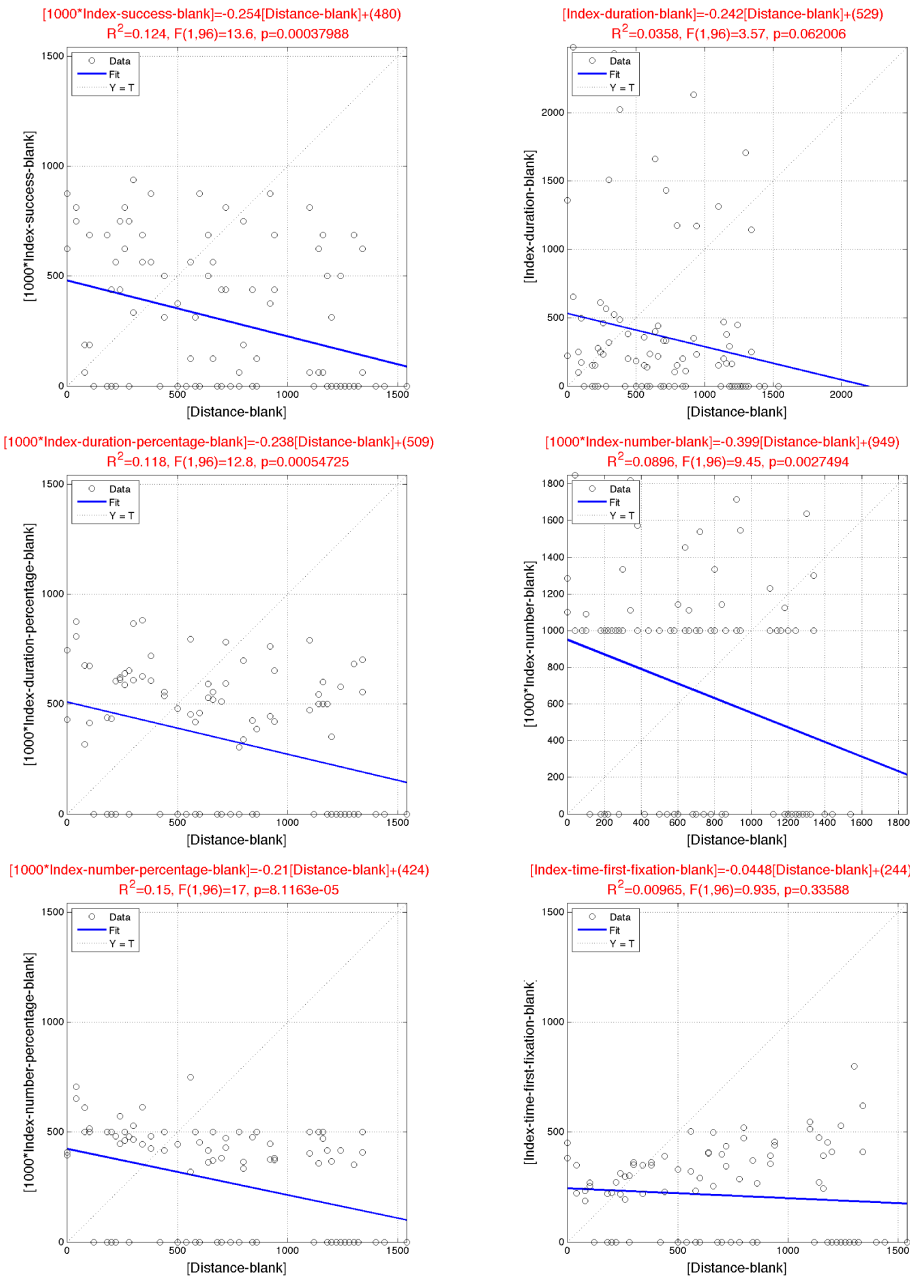
Εικόνα 7.1 Συσχέτιση της μεταβλητής της διάρκειας (*Duration*) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσηλώση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση του κενού (*blank*) υποβάθρου. Οι τιμές της διάρκειας και των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.



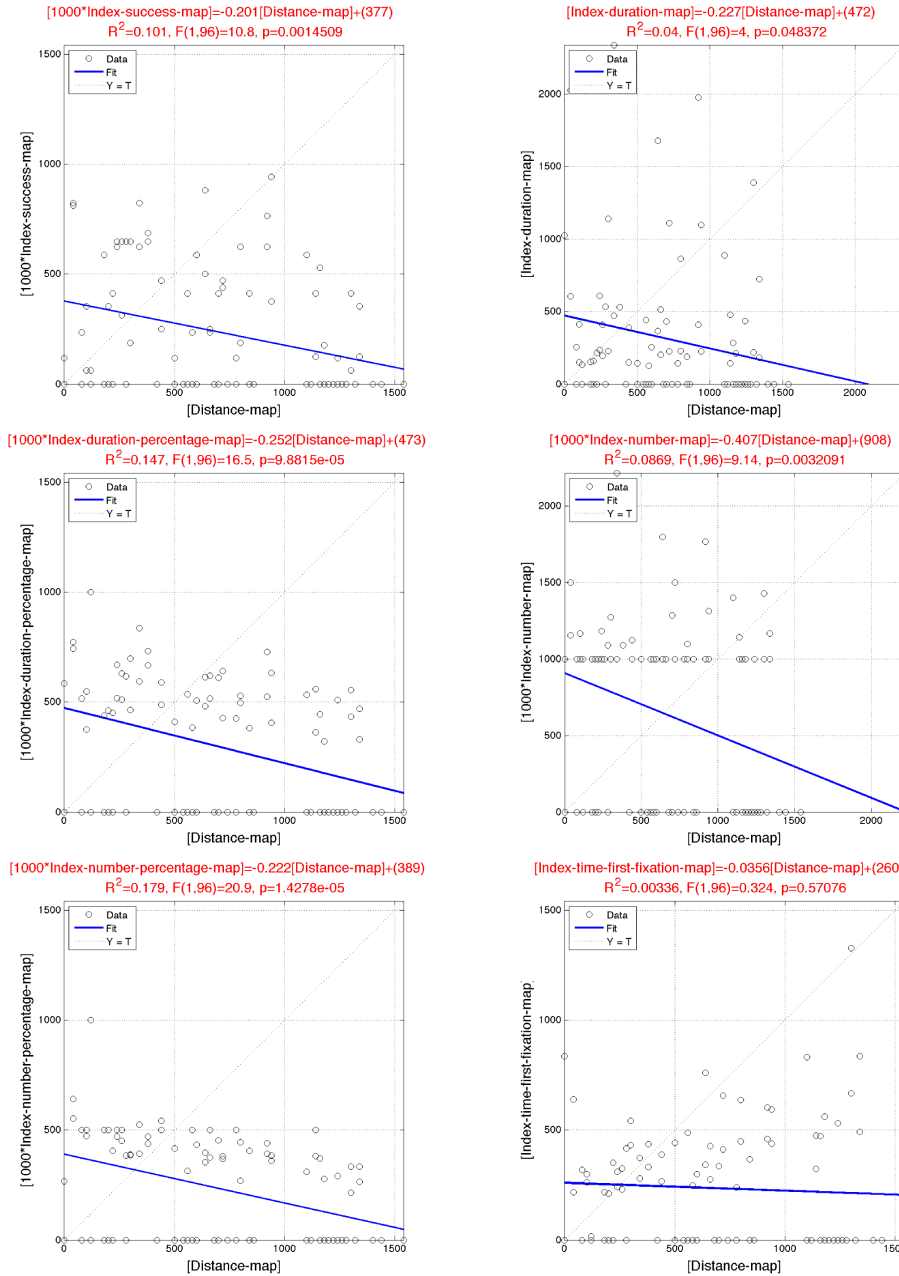
Εικόνα 7.2 Συσχέτιση της μεταβλητής της διάρκειας (*Duration*) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσηλώση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση του υποβάθρου τοπογραφικού χάρτη (*map*). Οι τιμές της διάρκειας και των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.



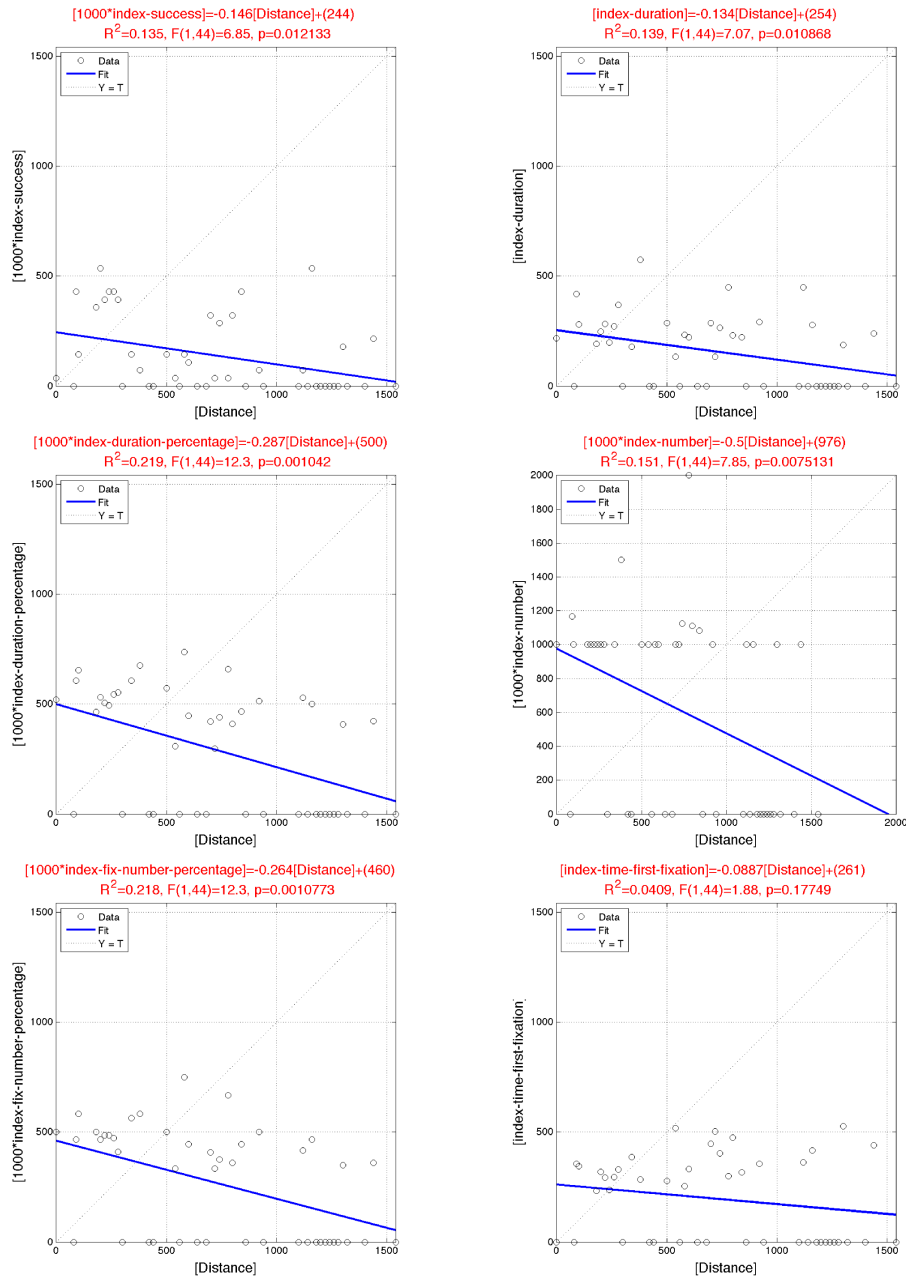
Εικόνα 7.3 Συσχέτιση της μεταβλητής της διάρκειας (*Duration*) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσήλωση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση υποβάθρων διαφορετικού επιπέδου πληροφορίας. Οι τιμές της διάρκειας και των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.



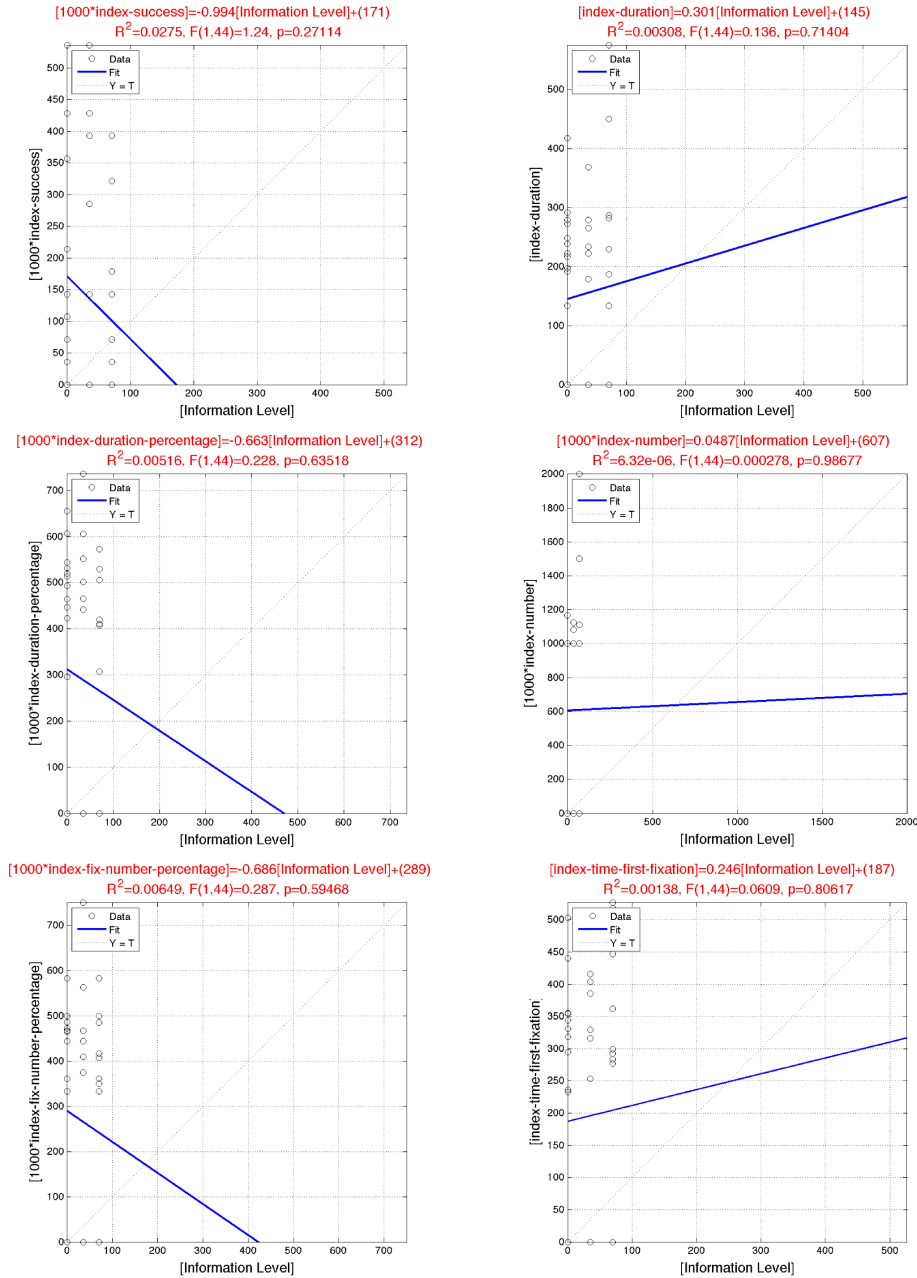
Εικόνα 7.4 Συσχέτιση της μεταβλητής της απόστασης (*Distance*) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προήλωση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση του κενού (*blank*) υποβάθρου. Οι τιμές των αποστάσεων αντιστοιχούν σε *pixels*, οι τιμές των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε *ms* ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.



Εικόνα 7.5 Συσχέτιση της μεταβλητής της απόστασης (*Distance*) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προήλωση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση του υποβάθρου τοπογραφικού χάρτη (*map*). Οι τιμές των αποστάσεων αντιστοιχούν σε *pixels*, οι τιμές των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε *ms* ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.



Εικόνα 7.6 Συσχέτιση της μεταβλητής της απόστασης (*Distance*) με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσήλωση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση υποβάθρων διαφορετικού επιπέδου πληροφορίας. Οι τιμές των αποστάσεων αντιστοιχούν σε *pixels*, οι τιμές των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε *ms* ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R^2) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.



Εικόνα 7.7 Συσχέτιση της μεταβλητής του επιπέδου πληροφορίας με του στατιστικούς δείκτες που προκύπτουν από την οφθαλμική καταγραφή: επιτυχία εντοπισμού (πάνω αριστερά), μέση διάρκεια προσηλώσεων (πάνω δεξιά), ποσοστό διάρκειας προσηλώσεων (μέση αριστερά), αριθμός προσηλώσεων (μέση δεξιά), ποσοστό αριθμού προσηλώσεων (κάτω αριστερά) και χρόνος για την πρώτη προσήλωση (κάτω δεξιά) για την περίπτωση υποβάθρων διαφορετικού επιπέδου πληροφορίας. Τα επίπεδα πληροφορίας διαφοροποιούνται από τα διαφορετικά επίπεδα μεταβολή της έντασης (0%-τοπογραφικός χάρτης, 35% και 75%) των χαρτογραφικών συμβόλων. Οι τιμές των δεικτών που εκφράζουν διάρκεια αντιστοιχούν σε ms ενώ οι τιμές των δεικτών που αφορούν ποσοστά έχουν πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό 1000 ώστε τα διαγράμματα να παρουσιάζονται σε ίδια κλίμακα κατά την οριζόντια και κατά την κατακόρυφη διάσταση. Στον τίτλο κάθε διαγράμματος αναφέρονται η εξίσωση της ευθείας του γραμμικού μοντέλου καθώς και η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R²) και οι τιμές F και p όπως προσδιορίζονται μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης.

7.5.1 Αναζήτηση της ελάχιστη οριακής τιμής διάρκειας και διερεύνηση της συνολικής συμπεριφοράς απόκρισης των υποκειμένων

Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν τη συμπεριφορά απόκρισης των υποκειμένων σε 3 διαφορετικές παραμέτρους που σχετίζονται με το χαρτογραφικό σχεδιασμό: τη διάρκεια παρουσίασης ενός κινούμενου συμβόλου, την παράμετρο της μετάθεσης του η οποία εκφράζεται μέσω της απόστασης καθώς και το διαφορετικό επίπεδο της πληροφορίας του υποβάθρου πάνω στο οποίο γίνεται η μετακίνηση του συμβόλου. Η εξαγωγή συμπερασμάτων από τα διαγράμματα που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της πειραματικής έρευνας μπορεί να επιτευχθεί παρατηρώντας τη συνολική συμπεριφορά η οποία εκφράζεται μέσα από τις τάσεις των στατιστικών δεικτών σε σύγκριση με κάθε μία από τις παραμέτρους του πειραματικού σχεδιασμού.

Η πειραματική διαδικασία έδειξε ότι η παράμετρος της διάρκειας αποτελεί τον πιο καθοριστικό παράγοντα στη διαδικασία του εντοπισμού του κινούμενου σημειακού συμβόλου. Η συμπεριφορά του δείκτη της επιτυχίας εντοπισμού και στα 3 Μέρη της πειραματικής έρευνας (Εικόνα 7.1, Εικόνα 7.2, Εικόνα 7.3) για την περίπτωση της παραμέτρου της διάρκειας υποδεικνύει την ύπαρξη ενός σημείου (γύρω από τα 400 ms) όπου οι τιμές του δείκτη αρχίζουν να αυξάνονται απότομα. Το γεγονός αυτό δηλώνει με τη σειρά του ότι υπάρχει μια “κρίσιμη ζώνη” τιμών για την οποία η κεντρική όραση των υποκειμένων αρχίζει να αποκρίνεται επιτυχώς στην ιδιότητα της κίνησης. Μάλιστα, παρατηρώντας το διάγραμμα του δείκτη επιτυχίας για το Μέρος Γ (Εικόνα 7.3), γίνεται φανερό πως η επιλογή των χαρακτηριστικών τιμών διάρκειας σε ένα μικρότερο εύρος έχει γίνει σωστά καθώς η συμπεριφορά που αναφέρεται παραπάνω εμφανίζεται γύρω από το μέσο των επιλεγμένων τιμών διάρκειας που απεικονίζονται στο συγκεκριμένο διάγραμμα. Εξετάζοντας την πιθανότητα γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της διάρκειας και του δείκτη επιτυχίας παρατηρούμε ότι οι συντελεστές προσδιορισμού δεν έχουν αρκετά μεγάλες τιμές ($R^2=0.567$, $F(1,96)=126$, $p<0.001$ για το κενό υπόβαθρο, $R^2= 0.525$, $F(1,96)=106$, $p<0.001$ για τον τοπογραφικό χάρτη και $R^2=0.466$, $F(1,44)=38.4$, $p<0.001$ για τα χαρτογραφικά υπόβαθρα με διαφορετικό επίπεδο πληροφορίας) ώστε να μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών. Βέβαια, όπως και στις περιπτώσεις των υπόλοιπων στατιστικών δεικτών που αξιοποιούνται, η ανάλυση με βάση με το απλό μοντέλο της γραμμικής

παλινδρόμησης έγινε εξετάζοντας την τιμή του δείκτη για όλο το εύρος των διαρκειών (100-3000 ms). Έτσι, είναι λογικό η σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών να μην είναι απόλυτα γραμμική καθώς η συμπεριφορά του δείκτη διαφέρει για τα διαστήματα που βρίσκονται εκτός του κρίσιμου εύρους εντοπισμού.

Η διαδικασία του εντοπισμού του σημειακού συμβόλου συνδέεται άμεσα με τις κινήσεις προσήλωσης κατά την απόκριση των υποκειμένων. Παρατηρώντας την τιμή του δείκτη που εκφράζει τη μέση διάρκεια προσήλωσης με την παράμετρο της διάρκειας του συμβόλου βλέπουμε πως, τόσο στην περίπτωση του κενού υποβάθρου (Μέρος Α) όσο και στην περίπτωση του τοπογραφικού χάρτη (Μέρος Β) όπου η διάρκεια εξετάζεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών, υπάρχει μια ισχυρή γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών ($R^2=0.951$, $F(1,96)=1860$, $p<0.001$ για το κενό υπόβαθρο, $R^2= 0.932$, $F(1,96)=1310$, $p<0.001$ για τον τοπογραφικό χάρτη), ενώ αντίθετα στην περίπτωση του Μέρους Γ όπου το εύρος των τιμών της διάρκειας είναι περισσότερο περιορισμένο, τα δύο μεγέθη δεν συσχετίζονται άμεσα ($R^2=0.299$, $F(1,96)=18.7$, $p<0.001$). Το γεγονός αυτό δηλώνει επίσης ότι το συγκεκριμένο εύρος (200-750 ms) είναι καλά ορισμένο για τη διερεύνηση της ελάχιστης οριακής διάρκειας εντοπισμού.

Εξετάζοντας, το δείκτη του ποσοστού της διάρκειας προσηλώσεων στο σημειακό σύμβολο σε σύγκριση με τη διάρκεια του σημειακού συμβόλου (Εικόνα 7.1, Εικόνα 7.2, Εικόνα 7.3), παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μικρή τάση αύξησης με την αύξηση της παραμέτρου της διάρκειας. Βέβαια, στην περίπτωση του κενού υποβάθρου (Μέρος Α), η προσαρμογή μιας γραμμικής σχέσης δεν φαίνεται να είναι αρκετά ισχυρή ($R^2=0.506$, $F(1,96)=98.2$, $p<0.001$). Στοιχείο το οποίο είναι πιθανόν να οφείλεται στην επίδραση των τιμών που προκύπτουν από τις περιπτώσεις που δεν εντοπίζεται το σημειακό σύμβολο. Η πιθανότητα γραμμικής συσχέτισης μειώνεται ακόμα περισσότερο στις περιπτώσεις του τοπογραφικού χάρτη ($R^2=0.441$, $F(1,96)=75.7$, $p<0.001$) αλλά και στην περίπτωση των υποβάθρων με διαφορετική ποσότητα πληροφορίας ($R^2=0.353$, $F(1,44)=24$, $p<0.001$). Το στοιχείο αυτό μπορεί να αποτελεί μια ένδειξη για τον ισχυρισμό ότι ο παράγοντας του υποβάθρου (το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο διαφορετικών χαρτογραφικών συμβόλων) επιδρά στη συνολική διαδικασία ανάγνωσης της σκηνής ο οποία περιλαμβάνει και τις οφθαλμικές κινήσεις μετά τη διαδικασία εντοπισμού. Ο συγκεκριμένο ισχυρισμός

είναι λογικός καθώς, ενώ η ιδιότητα της κίνησης αποτελεί το κυρίαρχο οπτικό ερέθισμα το οποίο εξέχει της οπτικής σκηνής, όταν ο χρόνος είναι μεγαλύτερος από τον ελάχιστο απαιτούμενο υπάρχουν στοιχεία της οπτικής σκηνής τα οποία είναι πιθανό να προσελκύουν το βλέμμα του παρατηρητή.

Επιπροσθέτως εξετάζοντας τις τιμές του δείκτη του αριθμού προσηλώσεων σε σύγκριση με τη διάρκεια του σημειακού συμβόλου, παρατηρούμε ότι η αντίδραση των υποκειμένων είναι σχεδόν ομοιόμορφη για τις περιπτώσεις του κενού υποβάθρου και του τοπογραφικού χάρτη ενώ παρατηρείται μια τάση αύξησης του δείκτη για μεγαλύτερες τιμές διάρκειας προβολής του σημειακού συμβόλου. Η ομοιομορφία στις γραμμικές παραστάσεις που προκύπτουν ενισχύει την άποψη σύμφωνα με την οποία το υπόβαθρο δεν διαδραματίζει αρκετά σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό του σημειακού συμβόλου.

Αντίστοιχα με τη λειτουργία του δείκτη του ποσοστού διάρκειας των προσηλώσεων σε σύγκριση με τη διάρκεια του συμβόλου, ο δείκτης του ποσοστού του αριθμού των των προσηλώσεων εμφανίζει όμοια συμπεριφορά (με μικρότερες τιμές συντελεστών προσδιορισμού). Βέβαια, συγκρίνοντας τις γραμμικές παραστάσεις του κενού υποβάθρου και του υποβάθρου του τοπογραφικού χάρτη, η μεταξύ τους ομοιότητα υποδεικνύει την ανεξαρτησία του συγκεκριμένου δείκτη από την ύπαρξη των άλλων χαρτογραφικών συμβόλων αποδυναμώνοντας την πιθανότητα για τη δημιουργία μεγαλύτερου αριθμού προσηλώσεων λόγω μεγαλύτερης ποσότητας γραφικής πληροφορίας. Το γεγονός αυτό, δεν σημαίνει ότι δεν μπορούν να συμβούν προσηλώσεις με διαφορετικές διάρκειες υποδεικνύοντας την περαιτέρω γνωσιακή επεξεργασία των υπολοίπων στοιχείων της σκηνής (μετά τον εντοπισμό του στόχου).

Εκτός από το δείκτη της επιτυχίας εντοπισμού του συμβόλου από τον οποίο προκύπτει ξεκάθαρα ότι υπάρχει ένα κρίσιμο χρονικό διάστημα εντοπισμού, ο δείκτης που δηλώνει το χρόνο της πρώτης προσήλωσης σε σύγκριση με τη διάρκεια προβολής του σημειακού συμβόλου είναι αρκετά σημαντικός για τη διερεύνηση του ελάχιστου χρονικού ορίου. Εξαιρώντας τις τιμές που αντιστοιχούν στο μη εντοπισμό του συμβόλου, οι τιμές για τις υπόλοιπες διάρκειες μπορούν να υποδείξουν τον ελάχιστο χρόνο απόκρισης των υποκειμένων στην κίνηση του σημειακού συμβόλου ενώ αποτελούν ταυτόχρονα μια διαδικασία ελέγχου με το

χρόνο που προκύπτει από την ανάλυση των τιμών του δείκτη της επιτυχίας.

Επιπλέον, εκτός από τη μελέτη των διαγραμμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση και υποδεικνύουν τις γενικές τάσεις της μέσης συμπεριφοράς των υποκειμένων, η λεπτομερής αναζήτηση του ελάχιστου ορίου εντοπισμού μπορεί να προκύψει εξετάζοντας τις αναλυτικές τιμές του δείκτη επιτυχίας και του δείκτη πρώτης προσήλωσης στο σύμβολο (οι αναλυτικές τιμές των δεικτών υπάρχουν στο Παράρτημα της παρούσας διατριβής. Συγκεκριμένα, από τις τιμές του δείκτη επιτυχίας προκύπτει ότι τα υποκείμενα ξεκινούν να εντοπίζουν το κινούμενο σύμβολο από τη χρονική διάρκεια των 400 ms για την περίπτωση του κενού υποβάθρου (εκτός μίας περίπτωσης όπου το κινούμενο σύμβολο εντοπίζεται στα 150 ms αλλά η τιμή του δείκτη επιτυχίας δηλώνει ότι αναφέρεται σε ποσοστό μόλις 6% των υποκειμένων για την περίπτωση αυτή), σε 400 ms για την περίπτωση του τοπογραφικού χάρτη (εκτός μίας περίπτωσης όπου το κινούμενο σύμβολο εντοπίζεται στα 150 ms αλλά η τιμή του δείκτη επιτυχίας δηλώνει ότι αναφέρεται σε ποσοστό μόλις 6% των υποκειμένων για την περίπτωση αυτή) ενώ στην περίπτωση των χαρτών με το διαφορετικό επίπεδο έντασης το κινούμενο σύμβολο εντοπίζεται από τη διάρκεια που αντιστοιχεί εντός του διαστήματος μεταξύ 337.5-475 ms (εκτός μίας περίπτωσης όπου το κινούμενο σύμβολο εντοπίζεται στα 200 ms αλλά η τιμή του δείκτη επιτυχίας δηλώνει ότι αναφέρεται σε ποσοστό μόλις 4% των υποκειμένων για την περίπτωση αυτή).

Όπως αναφέρεται παραπάνω, η τιμή της ελάχιστης οριακής διάρκειας εντοπισμού μπορεί επίσης να προσδιοριστεί αξιοποιώντας τις τιμές του δείκτη του χρόνου πρώτης προσήλωσης στο κινούμενο σύμβολο. Συγκεκριμένα, το μέσο όριο εντοπισμού μπορεί να προσδιοριστεί ως η μέση τιμή του δείκτη για τις περιπτώσεις που το σημειακό σύμβολο εντοπίζεται (Index $6 > 0$). Οι τιμές που προκύπτουν παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2 Μέση απόκριση των υποκειμένων όπως προκύπτει από τον προσδιορισμό του δείκτη του χρόνου πρώτης προσήλωσης στο στόχο για όλες τις περιπτώσεις υποβάθρων που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική έρευνα.

Υπόβαθρο κίνησης συμβόλου	Μέσος χρόνος και τυπική απόκλιση απόκρισης (ms)
Κενό (Μέρος Α)	362 ± 119
Τοπογραφικός χάρτης (Μέρος Β)	441 ± 216
Τοπογραφικοί χάρτες με διαφορετικό επίπεδο πληροφορίας (Μέρος Γ)	360 ± 87

Η διαδικασία εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου δείχνει να μην επηρεάζεται από το υπόβαθρο πάνω στο οποίο γίνεται η μετακίνηση του κινούμενου συμβόλου όπως υποδεικνύεται από τις ελάχιστες τιμές του δείκτη επιτυχίας που αναφέρονται παραπάνω. Βέβαια, από τις αντίστοιχες μέσες τιμές που προσδιορίζονται μέσω του δείκτη του χρόνου της πρώτης προσήλωσης (Πίνακας 7.2) μπορούν να υποθεθεί μια μικρή διαφοροποίηση μεταξύ του κενού και του χαρτογραφικού υποβάθρου από την οποία όμως δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο αποτέλεσμα καθώς η τυπική απόκλιση των μέσω τιμών είναι σχετικά μεγάλη. Παρατηρώντας όμως το μέσο όριο που προκύπτει από την περίπτωση των χαρτών με διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας (Μέρος Γ) ενισχύεται το επιχείρημα που αναφέρει ότι ο εντοπισμός της κίνησης δεν δείχνει να επηρεάζεται από το υπόβαθρο του χάρτη. Μάλιστα, ο προσδιορισμός του μέσου δείκτη που δηλώνει την απόκριση των υποκειμένων για την περίπτωση του πειραματικού Μέρους Γ (360 ± 87 ms) εμφανίζει μια τυπική απόκλιση με τιμή μικρότερη από τη διάρκεια που αντιστοιχεί στην ελάχιστη διάρκεια προσήλωσης (100 ms).

Η επίδραση των παραμέτρων του ποσοστού της μετάθεσης το οποίο εκφράζεται μέσω της απόστασης μετακίνησης και του υποβάθρου στη διαδικασία εντοπισμού του σημειακού συμβόλου από την κεντρική όραση των υποκειμένων μπορεί να διερευνηθεί και μέσα από τα διαγράμματα (Εικόνα 7.4, Εικόνα 7.5, Εικόνα 7.6) που προκύπτουν κατά την προσαρμογή του απλού γραμμικού μοντέλου παλινδρόμησης.

Εξετάζοντας τη συμπεριφορά απόκρισης με την παράμετρο της απόστασης (Εικόνα 7.4, Εικόνα 7.5, Εικόνα 7.6) παρατηρούμε ότι υπάρχει μια γενικότερη τάση σύμφωνα με την οποία όσο η απόσταση μεγαλώνει οι τιμές των στατιστικών δεικτών μειώνονται. Το γεγονός αυτό γίνεται φανερό από τις αρνητικές τιμές των συντελεστών διεύθυνσης (των κλίσεων) όλων των γραμμικών μοντέλων όπως έχουν προκύψει από την ανάλυση παλινδρόμησης. Η τάση αυτή σημειώνεται για όλους τους στατιστικούς δείκτες και στα τρία Μέρη της πειραματικής διαδικασίας. Ωστόσο, η τάση αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί αρκετά σημαντική ώστε να υποδείξει μια καθολική συμπεριφορά καθώς οι τιμές των συντελεστών προσδιορισμού δεν είναι αρκετά μεγάλες σε καμία περίπτωση ώστε να θεωρηθεί ότι το γραμμικό μοντέλο προσαρμόζεται καλά. Το στοιχείο αυτό γίνεται φανερό παρατηρώντας τόσο

τα διαγράμματα των στατιστικών δεικτών όσο και τις αναλυτικές τιμές των δεικτών που έχουν προκύψει (Παράρτημα) όπου φαίνεται ότι υπάρχουν μηδενικές τιμές στους δείκτες απόκρισης σε όλο το εύρος των επιλεγμένων αποστάσεων σε όλα τα υπόβαθρα όπου εξετάζεται η μετακίνηση.

Καθώς η παράμετρος της απόστασης δεν δείχνει να επιδρά στη διαδικασία εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου η παράμετρος του διαφορετικού επιπέδου πληροφορίας εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά. Συγκεκριμένα, τα διαγράμματα που προκύπτουν από το απλό γραμμικό μοντέλο (Εικόνα 7.7) υποδεικνύουν ότι οι στατιστικοί δείκτες δεν συσχετίζονται με τη μεταβολή της έντασης του χαρτογραφικού υποβάθρου. Παρά το γεγονός ότι οι τιμές των συντελεστών προσδιορισμού είναι περίπου μηδενικές ($R^2 \approx 0$) για όλες τις περιπτώσεις των δεικτών (το οποίο δηλώνει πρακτικά ασυσχέτιστες μεταβλητές) δεν μπορεί να διεξαχθεί κάποιο συμπέρασμα ως προς τη συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών καθώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν δεν είναι στατιστικά σημαντικά (μεγάλες p τιμές). Οι μεγάλες p τιμές που προκύπτουν από την ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης δείχνουν ότι το γραμμικό μοντέλο δεν είναι κατάλληλο για να περιγράψει τη συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους του επιπέδου πληροφορίας με τους στατιστικούς δείκτες που υποδεικνύουν την απόκριση των υποκειμένων στην κίνηση του σημειακού συμβόλου.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα και αξιολόγηση, μελλοντική έρευνα

8.1 Συμπεράσματα και αξιολόγηση

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή αναπτύσσεται και περιγράφεται μια μεθοδολογία ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων για τη μελέτη στοιχείων της οπτικής αντίληψης σε χάρτες κινούμενης εικόνας. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη διδακτορική διατριβή βρίσκουν εφαρμογή τόσο στο πεδίο της χαρτογραφικής έρευνας που σχετίζεται με τη μελέτη του χαρτογραφικού συμβολισμού και των αντιληπτικών διαδικασιών που συμβαίνουν κατά την ανάγνωση χαρτών όσο και στην έρευνα που συνδέεται με τη μελέτη και την ανάλυση οφθαλμικών κινήσεων κατά την παρατήρηση οπτικών σκηνών. Η ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από την πειραματική έρευνα που υλοποιήθηκε βασίστηκε στην αξιοποίηση του αλγορίθμου και του λογισμικού ανάλυσης που αναπτύχθηκαν και παρουσιάζονται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Έτσι, τα συμπεράσματα που συνοψίζονται στην παρούσα ενότητα σχετίζονται με την έρευνα και στα δύο αυτά ερευνητικά πεδία.

Τα συμπεράσματα της διδακτορικής διατριβής που αφορούν τη μεθοδολογία καταγραφής και ανάλυσης των οφθαλμικών κινήσεων συνδέονται με τον αλγόριθμο και το λογισμικό εργαλείο που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 5. Ο αλγόριθμος ανίχνευσης προσηλώσεων που εισάγεται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής ανήκει στην οικογένεια των αλγορίθμων διασποράς (I-DT). Σύμφωνα με τους Salvucci & Goldberg (2000), μεταξύ των διαφορετικών ειδών των διαθέσιμων αλγορίθμων ανίχνευσης προσηλώσεων, οι αλγόριθμοι που βασίζονται στη διασπορά των δεδομένων εμφανίζουν την ίδια αποτελεσματικότητα με τους αλγορίθμους που έχουν ως βάση την ταχύτητα των δεδομένων του βλέμματος. Σε μια άλλη μελέτη (Komogortsev et al. 2010) υποδεικνύεται πως η αξιοποίηση κατωφλίων ταχύτητας αποτελεί καλύτερη επιλογή στην περίπτωση των αναλύσεων που βασίζονται στον εντοπισμό των σακκαδικών κινήσεων. Σκοπός της δημιουργίας του προτεινόμενου αλγορίθμου είναι η ανίχνευση των προσηλώσεων (και όχι των σακκαδικών κινήσεων) οι οποίες αποτελούν τη βάση για την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από την πειραματική έρευνα που υλοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή.

Η επέκταση των υπάρχοντων αλγορίθμων τύπου I-DT με την πρόταση του νέου αλγορίθμου βασίζεται στην εφαρμογή ενός χωρικού κατώφλιου “δύο βημάτων”. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος που προτείνεται παρουσιάζει μια λύση για την απαλοιφή του θορύβου των δεδομένων που προκύπτουν από τη διαδικασία καταγραφής των οφθαλμικών κινήσεων. Σύμφωνα με τους Nyström & Holmqvist (2010) η ύπαρξη στοιχείων θορύβου στα δεδομένα συλλογής, αποτελεί πρόβλημα στους υπάρχοντες αλγορίθμους διασποράς. Η εφαρμογή ενός χωρικού κατώφλιου “δύο βημάτων” συμπεριλαμβάνει την περιορισμένη έκταση στην οποία συμβαίνει μια κίνηση προσήλωσης (όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με την περίπτωση της ελάχιστης διάρκειας της προσήλωσης η οποία αξιοποιείται επίσης σαν παράμετρος από τον προτεινόμενο αλγόριθμο) μέσω του πρώτου βήματος ενώ το δεύτερο χωρικό κατώφλι χρησιμοποιείται για την αφαίρεση του θορύβου του συστήματος στην περίπτωση που ο τελευταίος είναι σταθερός και μπορεί να μετρηθεί στο σύστημα καταγραφής. Στο Κεφάλαιο 6 της παρούσας διατριβής υποδεικνύεται μια μέθοδος για τον υπολογισμό του επιπέδου του θορύβου ως προς τη χωρική και τη χρονική διάσταση για το σύστημα καταγραφής που αξιοποιείται στην πειραματική έρευνα. Η μέθοδος μέτρησης του θορύβου που παρουσιάζεται βασίζεται στη χρήση τεχνητών οφθαλμών.

Η επικύρωση του αλγορίθμου που εισάγεται υλοποιείται αξιοποιώντας πραγματικά δεδομένα οφθαλμικών κινήσεων ενός υποκειμένου κατά την παρατήρηση εννέα σταθερών στόχων. Συγκρίνοντας τις χωροχρονικές συντεταγμένες των προσηλώσεων που προκύπτουν από την εφαρμογή του προτεινόμενου αλγορίθμου με τις αντίστοιχες συντεταγμένες που προσδιορίζονται από την εφαρμογή ενός αλγορίθμου διασποράς όπως αυτός έχει εισαχθεί σε υπάρχον λογισμικό ανάλυσης (Vobkühler et al. 2008), οι διαφορές που προκύπτουν τόσο ως προς τη χωρική (0.05° του οπτικού τόξου) αλλά και τη χρονική διάσταση (μικρότερη από τη διάρκεια δύο διαδοχικών καταγραφών της θέσης του βλέμματος) φανερώνουν τη σύγκλιση των αποτελεσμάτων. Βέβαια, είναι προφανές πως δεν μπορεί να γίνει απόλυτη σύγκριση καθώς οι παράμετροι που επιλέγονται θα πρέπει να έχουν φυσική σημασία και να προσαρμόζονται στα χαρακτηριστικά στοιχεία της εκάστοτε έρευνας (π.χ. η παράμετρος θορύβου συστήματος, ελάχιστη διάρκεια προσήλωσης, χωρική ακρίβεια συστήματος καταγραφής κτλ.). Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται αναλυτικά η

προσέγγιση που ακολουθείται για την επιλογή των παραμέτρων του αλγορίθμου για την ανάλυση της πειραματικής έρευνας που υλοποιήθηκε. Στην περίπτωση που ο θόρυβος του συστήματος καταγραφής είναι γνωστός και η τιμή του μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση των δεδομένων, ο αλγόριθμος που προτείνεται είναι δυνατόν να παράγει καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με άλλους αλγορίθμους που δεν λαμβάνουν υπόψη τους τη παράμετρο του θορύβου.

Ο αλγόριθμος που προτείνεται υλοποιείται από ένα νέο εργαλείο λογισμικού ανάλυσης (EyeMMV toolbox) το οποίο δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Το λογισμικό υποστηρίζει την ανάλυση πειραματικών δεδομένων που προκύπτουν από πειράματα όπου συλλέγονται οφθαλμικές καταγραφές υποκειμένων σε όλα τα παράγωγα μεγέθη που εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Goldberg & Kotval 1998, Poole & Ball 2005, Ehmke & Wilson 2007). Επιπροσθέτως, υποστηρίζονται διαφορετικές μορφές οπτικοποίησης δεδομένων που αξιοποιούνται στη συγκεκριμένη μεθοδολογία ανάλυσης. Η ελεύθερη διανομή του πηγαίου κώδικα του λογισμικού που αναπτύχθηκε επιτρέπει την αξιοποίηση του συγκεκριμένου εργαλείου σε ένα μεγάλο φάσμα ερευνών όπου καταγράφονται οφθαλμικές κινήσεις για την ανάλυση της οπτικής συμπεριφοράς υποκειμένων ενώ παράλληλα γίνεται δυνατή η παραμετροποίησή του με σκοπό την προσαρμογή του στην εκάστοτε έρευνα. Η ανάγκη αυτή επισημαίνεται και από τον Gitelman (2002) ο οποίος σημειώνει ότι η δυνατότητα αυτή δεν παρέχεται από τα περισσότερα εμπορικά λογισμικά που συνοδεύουν τα συστήματα καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων.

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης προσηλώσεων που αναπτύχθηκε αποτέλεσε τη βάση για την ανάλυση των στοιχείων που προέκυψαν από τη διεξαγωγή της πειραματικής έρευνας για τη διερεύνηση του ελάχιστου ορίου της δυναμικής μεταβλητής της διάρκειας κατά την παρατήρηση ενός κινούμενου σημειακού συμβόλου. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την έρευνα προέκυψαν από την ανάλυση των στατιστικών δεικτών που υπολογίζονται με βάση τις προσηλώσεις των υποκειμένων σε συνδυασμό με τις μεταβλητές παραμετροποίησης της μετακίνησης του συμβόλου (διάρκεια, απόσταση και επίπεδο πληροφορίας υποβάθρου) κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Η συμπεράσματα που προκύπτουν από την πειραματική έρευνα σχετίζονται τόσο με τη διερεύνηση του ελάχιστου ορίου που διερευνάται όσο και με την επίδραση των υπολοίπων μεταβλητών στον εντοπισμό του σημειακού

συμβόλου.

Η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων έδειξε πως η μεταβλητή της διάρκειας κατέχει σημαντική θέση στη διαδικασία εντοπισμού του κινούμενου σημειακού συμβόλου από την κεντρική όραση των υποκειμένων σε συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης (χωρίς τα υποκείμενα να υποβάλλονται στην εκπόνηση κάποιας συγκεκριμένης εργασίας χάρτη) καθώς ο δείκτης της μέσης διάρκειας προσήλωσης συσχετίζεται ισχυρά (οι τιμές των συντελεστών προσδιορισμού που προκύπτουν από το γραμμικό μοντέλο της παλινδρόμησης έχουν τιμές κοντά στη μονάδα για σημαντικό επίπεδο εμπιστοσύνης) με τη διάρκεια του κινούμενου συμβόλου. Η ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών παραγόντων παρατηρείται τόσο στην περίπτωση του κενού υποβάθρου όσο και στην περίπτωση του τοπογραφικού χάρτη υποδεικνύοντας το γεγονός ότι είναι ανεξάρτητη από την περιεχόμενη πληροφορία του υποβάθρου.

Η συμπεριφορά που υποδεικνύεται από τις τιμές του δείκτη επιτυχίας εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου υποδηλώνει την ύπαρξη μιας “κρίσιμης ζώνης” γύρω από τα 400 ms η οποία αποτελεί ουσιαστικά μια ζώνη κατωφλίου πάνω από την οποία η απόκριση της κεντρικής όρασης του συνόλου των υποκειμένων στην ιδιότητα της κίνησης αρχίζει να γίνεται επιτυχής. Το επίπεδο της περιεχόμενης πληροφορίας δεν επιδρά στην διαδικασία εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου από την κεντρική όραση των υποκειμένων ενώ η επιρροή του στην διαδικασία παρατήρησης των οπτικών σκηνών περιορίζεται στην απόσπαση της προσοχής του βλέμματος μετά τον εντοπισμό του σημειακού συμβόλου όπως υποδεικνύεται από τα αντίστοιχα διαγράμματα που προκύπτουν από την ανάλυση.

Η ύπαρξη ενός ελάχιστου ορίου διάρκειας ενισχύεται από τη συμπεριφορά του δείκτη που δηλώνει τον απαιτούμενο χρόνο για την πρώτη προσήλωση στο κινούμενο σύμβολο. Όπως προκύπτει από τα αντίστοιχα διαγράμματα, οι τιμές του συγκεκριμένου δείκτη δείχνουν να σταθεροποιούνται για τις περιπτώσεις που εντοπίζεται το κινούμενο σύμβολο στην οπτική σκηνή. Εξετάζοντας τις μέσες τιμές που προκύπτουν από τον υπολογισμό του συγκεκριμένου δείκτη εμφανίζεται μια μικρή διαφοροποίηση μεταξύ των περιπτώσεων του κενού υποβάθρου και του τοπογραφικού χάρτη η οποία όμως δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ένδειξη επίδρασης της περιεχόμενης πληροφορίας του υποβάθρου καθώς οι μέσες τιμές που προκύπτουν

συνοδεύονται από μεγάλες τυπικές αποκλίσεις. Η καλύτερη προσέγγιση της τιμής του ελάχιστου ορίου προσδιορίζεται από το Μέρος Γ της πειραματικής έρευνας όπου η διαδικασία του εντοπισμού του κινούμενου συμβόλου από την κεντρική όραση πραγματοποιείται σε διακριτά επίπεδα πληροφορίας. Συγκεκριμένα προσδιορίζοντας την ελάχιστη τιμή απόκρισης ως το μέσο όρο του απαιτούμενου χρόνου για την πρώτη προσήλωση στο στόχο προκύπτει το ελάχιστο αναζητούμενο όριο το οποίο αντιστοιχεί στην τιμή 360 ± 87 ms. Η προκύπτουσα τιμή είναι σε συμφωνία με το αποτέλεσμα που προκύπτει από την ανάλυση των άλλων δύο μερών της πειραματικής έρευνας και υποδηλώνει την ύπαρξη του ορίου μέσα σε μια κρίσιμη ζώνη γύρω από τα 400 ms. Επιπροσθέτως η τυπική απόκλιση με την οποία προσδιορίζεται η τιμή του ορίου αντιστοιχεί σε μικρότερο χρονικό διάστημα από την ελάχιστη τιμή διάρκειας προσήλωσης η οποία αναφέρεται σε πολλές μελέτες (Viviani 1990, Goldberg & Kotval 1999, Manor & Gordon 2003, Duchowski 2007), γεγονός το οποίο υποδεικνύει ότι ο προσδιορισμός του συγκεκριμένου ορίου αντιστοιχεί σε επίπεδο προσήλωσης.

Ο απαιτούμενος χρόνος που προσδιορίζεται μέσω της παρούσας πειραματικής έρευνας για τον εντοπισμό του κινούμενου συμβόλου από την κεντρική όραση αντιστοιχεί σε τιμές μεγαλύτερες από τη μέση διάρκεια προσηλώσεων η οποία αναφέρεται στα 275 ms στην περίπτωση της οπτικής αναζήτησης σύμφωνα με τον Rayner (1998). Η διερεύνηση του χρόνου που προσδιορίζεται αναφέρεται στην κίνηση πάνω σε στατικά υπόβαθρα. Σύμφωνα με άλλες μελέτες (Royden et al. 2001, Matsuno & Tomonaga 2006), η αναζήτηση ενός κινούμενου σημειακού συμβόλου μεταξύ άλλων σημειακών συμβόλων είναι περισσότερο αποτελεσματική στην περίπτωση που το σημειακό σύμβολο κινείται μεταξύ στάσιμων συμβόλων σε σύγκριση με την περίπτωση που αναζητείται ένα στάσιμο σύμβολο μεταξύ αντιστοιχών κινούμενων. Συγκεκριμένα, στη μελέτη των Royden et al. (2001) προσδιορίζεται ο χρόνος αντίδρασης υποκειμένων κατά τη διάρκεια της αναζήτησης κινούμενων σημειακών συμβόλων μεταξύ στατικών σημειακών συμβόλων εξετάζοντας διάφορες συνθήκες κίνησης (ομοιόμορφες, τυχαίες, κινήσεις Brown). Οι χρόνοι αντίδρασης που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη μελέτη αντιστοιχούν δε τιμές πάνω από 500 ms. Η τιμή αυτή επαληθεύεται και από αντιστοιχη μελέτη των Matsuno & Tomonaga (2006). Στην περίπτωση της παρούσας πειραματικής έρευνας,

το στατικό υπόβαθρο αποτελείται από έναν τοπογραφικό χάρτη ενώ το όριο που προσδιορίζεται αναφέρεται στον εντοπισμό του κινούμενου συμβόλου από την κεντρική όραση, χωρίς να απαιτείται η εκπόνηση κάποιας εργασίας οπτικής αναζήτησης από τα υποκείμενα που συμμετέχουν. Έτσι είναι λογικό το όριο που προσδιορίζεται να αντιστοιχεί σε μικρότερες τιμές χρόνου σε σχέση με το χρόνο αντίδρασης που αναφέρεται στις μελέτες των Royden et al. (2001) και Matsuno & Tomonaga (2006) καθώς η μέτρηση του χρόνου αντίδρασης βασίζεται στην υπόδειξη για εκπόνηση κάποιας εργασίας αναζήτησης (εύρεση κινούμενου συμβόλου) αρά και την ενσωμάτωση γνωσιακών διαδικασιών στη διαδικασία παρατήρησης.

Η διερεύνηση του συγκεκριμένου ορίου εξετάζεται επιπλέον σε σύγκριση με την παράμετρο της απόστασης η οποία εκφράζει το επίπεδο μετάθεσης του σημειακού συμβόλου. Παρά το γεγονός ότι υπάρχει μια μικρή τάση μείωσης της απόδοσης ως προς την απόκριση με την αύξηση των αποστάσεων, η τάση αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί σημαντική καθώς όπως φαίνεται από τα αντίστοιχα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 7 της παρούσας διατριβής τα γραμμικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τη συσχέτιση με τους στατιστικούς δείκτες που υποδεικνύουν στοιχεία της παρατήρησης των υποκειμένων δεν μπορούν να προσαρμοστούν.

Η απόκριση των υποκειμένων στην ιδιότητα της κίνησης έρχεται σε συμφωνία με την έρευνα στο πεδίο της ψυχολογίας όπου υποδεικνύεται ότι η συγκεκριμένη ιδιότητα αποτελεί αναμφισβήτητο βασικό χαρακτηριστικό που επεξεργάζεται στο στάδιο της προ-προσοχής όπως υποδεικνύεται από πολλές μελέτες (π.χ. Wolfe 1998, Wolfe & Horowitz 2004, Wolfe 2005 κτλ.). Έτσι, η κίνηση αποτελεί ένα βασικό χαρακτηριστικό προεξοχής κατά την παρατήρηση οπτικών σκηνών. Αξίζει να σημειωθεί πως, με την ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων, διάφορα υπολογιστικά μοντέλα προεξοχής έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την προσομοίωση της διαδικασίας της όρασης κατά την παρατήρηση φυσικών σκηνών και φωτογραφιών (π.χ. Itti et al. 1998, Harel et al. 2006, Hou et al. 2012). Συγκεκριμένα, τα μοντέλα προεξοχής βασίζονται σε θεωρίες που σχετίζονται με στοιχεία της όρασης και της προσοχής έχοντας ως κύριο στόχο την πρόβλεψη της θέσης, της σειράς αλλά και της γενικότερης κατανομής των προσηλώσεων που μπορούν να συμβούν κατά τη διαδικασία της παρατήρησης. Στα μοντέλα προεξοχής

εκτός από τις περιπτώσεις που αφορούν τις στατικές εικόνες λαμβάνεται υπόψη και η ιδιότητα της κίνησης σαν βασικό χαρακτηριστικό για τον προσδιορισμό των προεξοχόντων στοιχείων της σκηνής και την πρόβλεψη των προσηλώσεων των υποκειμένων κατά τη διάρκεια των “κάτω-πάνω” διεργασιών (Itti & Koch 2001, Ouerhani & Hügli 2003, Itti 2005).

Εκτός από τα ειδικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση της πειραματικής έρευνας μπορούν να εξαχθούν και κάποια γενικά συμπεράσματα και σχετικά με τη μεθοδολογία η οποία ακολουθείται για την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων με σκοπό τη διερεύνηση του ερευνητικού ερωτήματος που τίθεται αλλά και σχετικά με την γενικότερη αξιοποίηση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας μέτρησης απόδοσης των υποκειμένων σε χαρτογραφικά πειράματα.

Αναμφισβήτητα, η καταγραφή των κινήσεων των ματιών κατά τη διάρκεια της παρατήρησης μιας οπτικής σκηνής είναι σε θέση να υποδείξει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία της ανάγνωσης σε σύγκριση με τα χαρακτηριστικά από τα οποία αποτελείται. Ειδικότερα, στην περίπτωση των χαρτών τα χαρακτηριστικά αυτά είναι συγκεκριμένα και επιλέγονται κατά τη διαδικασία του χαρτογραφικού συμβολισμού για την απόδοση των φαινομένων του γεωγραφικού χώρου. Έτσι, η ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων εμφανίζεται σαν ένα χρήσιμο εργαλείο για τη διερεύνηση των “δομικών στοιχείων” του χάρτη. Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα διατριβή συσχετίζοντας μεταβλητές της οπτικής συμπεριφοράς με μεταβλητές που διέπουν το χαρτογραφικό συμβολισμό αποδεικνύεται επιτυχής για την αναζήτηση της οριακής τιμής της μεταβλητής της διάρκειας καθώς και για τη διερεύνηση της επίδρασης των παραμέτρων της απόστασης και του επιπέδου πληροφορίας στη διαδικασία. Επιπροσθέτως, στην ανάλυση που ακολουθείται παρέχεται η δυνατότητα μιας διαδικασίας εσωτερικού ελέγχου για την αναζήτηση του επιθυμητού ορίου καθώς οι δείκτες της επιτυχίας εντοπισμού και του απαιτούμενου χρόνου για την πρώτη προσήλωση στο κινούμενο σύμβολο μπορούν να υποδείξουν το όριο αξιοποιώντας μεγέθη που προκύπτουν από την καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων.

Η διεξαγωγή πειραματικών ερευνών αξιοποιώντας τεχνικές καταγραφής των κινήσεων των οφθαλμών προϋποθέτει τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων που συλλέγονται (Holmqvist et al. 2011). Εκτός του αλγορίθμου ανίχνευσης των

προσηλώσεων που αναπτύχθηκε, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής παρουσιάζεται μια διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση της μέσης ακρίβειας υπολογισμού της θέσης του βλέμματος η οποία βασίζεται στην παρατήρηση σταθερών στόχων και στον προσδιορισμό των κέντρων των μέσων θέσεων αξιοποιώντας έναν αλγόριθμο ασαφούς ταξινόμησης. Μεταξύ των παραγόντων που μπορούν να επιδράσουν στην ποιότητα των δεδομένων μια βασική παράμετρος αποτελεί η κόπωση των υποκειμένων. Έτσι, η πειραματική διαδικασία θα πρέπει να διαρκεί όσο το δυνατόν μικρότερο χρονικό διάστημα.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων που προκύπτουν από τη διεξαγωγή πειραματικών ερευνών όπου καταγράφονται οφθαλμικές κινήσεις απαιτεί την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων καθώς το σήμα που καταγράφεται είναι συνήθως αρκετά πυκνό ως προς τη χρονική παράμετρο δεδομένου των σύγχρονων συστημάτων καταγραφής τα οποία έχουν τη δυνατότητα καταγραφής δεδομένων με αρκετά μεγάλες συχνότητες δειγματοληψίας. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή η επεξεργασία των δεδομένων για την εξαγωγή των στατιστικών δεικτών υλοποιήθηκε επεκτείνοντας τη λειτουργία του λογισμικού εργαλείου που δημιουργήθηκε με σκοπό την πλήρη αυτοματοποίηση της διαδικασίας ανάλυσης και την εξαγωγή των τιμών των υπολογιζόμενων παραμέτρων σε γρήγορους χρόνους οι οποίοι ουσιαστικά δεν επηρεάζονται από την επεξεργαστική ισχύ του υπολογιστικού συστήματος που αξιοποιείται.

8.2 Μελλοντική έρευνα

Η θεωρητική βάση της διδακτορικής διατριβής συνδέεται άμεσα με την έρευνα σχετικά με την οπτική αντίληψη κατά τη διαδικασία ανάγνωσης οπτικών σκηνών. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά ο Green (1998), η αντιληπτική διαδικασία είναι τόσο περίπλοκη που πάντα θα απαιτούνται μελέτες που σχετίζονται με τη χρησιμότητα. Εκτός από τα στοιχεία που συνθέτουν τη συνεισφορά της παρούσας διατριβής πάνω στην έρευνα που σχετίζεται με τη μελέτη των δομικών στοιχείων σχεδιασμού χαρτών κινούμενης εικόνας αλλά και πάνω στην αξιοποίηση τεχνικών καταγραφής και ανάλυσης οφθαλμικών κινήσεων, η βιβλιογραφική ανασκόπηση που έχει γίνει και παρουσιάζεται στα πρώτα κεφάλαια μπορεί να αποτελέσει τη θεωρητική βάση για μελλοντικές έρευνες πάνω στο ερευνητικό πλαίσιο όπου

εντάσσεται η παρούσα έρευνα. Στις επόμενες παραγράφους της παρούσας ενότητας παρουσιάζονται μελλοντικές επεκτάσεις που προκύπτουν από την έρευνα που υλοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για την ανάλυση των δεδομένων που καταγράφονται κατά την πειραματική έρευνα που υλοποιήθηκε μπορεί να αξιοποιηθεί για τη διερεύνηση των ελάχιστων ορίων αντίληψης αλλαγών σε χάρτες κινούμενης εικόνας. Οι αλλαγές αυτές μπορούν να συνδέονται με τα δομικά στοιχεία του χαρτογραφικού συμβολισμού τα οποία στην περίπτωση των χαρτών κινούμενης εικόνας είναι δυνατόν να αποτελούνται τόσο από οπτικές όσο και από δυναμικές μεταβλητές. Επιπλέον, η διερεύνηση των ορίων εντοπισμού αλλαγών από την κεντρική όραση μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε συνδυαστικά σύμβολα, δηλαδή στην περίπτωση που συνδυάζονται δύο (ή και παραπάνω) μεταβλητές του χαρτογραφικού συμβολισμού για την απόδοση μιας μοναδιαία οντότητας. Για να γίνει περισσότερο κατανοητή αυτή η πρόταση, αρκεί να αναλογιστούμε ένα κινούμενο χάρτη όπου απεικονίζονται σε πραγματικό χρόνο οι θέσεις κάποιων πλοίων. Στην περίπτωση αυτή αξιοποιούνται δυναμικές μεταβλητές που σχετίζονται με την κίνηση ενώ παράλληλα μπορούν να αξιοποιηθούν οπτικές μεταβλητές για την απόδοση ποιοτικών διαφοροποιήσεων μεταξύ των απεικονιζόμενων οντοτήτων (π.χ. αξιοποίηση της απόχρωσης για την υπόδειξη διαφορετικών τύπων πλοίων). Θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να γίνει η διερεύνηση του ορίου που προκύπτει από την παρούσα διατριβή στην περίπτωση που το κινούμενο σύμβολο αποτελείται και από άλλα χαρακτηριστικά τα οποία είναι διαθέσιμα σε στάδιο προ-προσοχής. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να εξετασθεί κατά πόσο η διαδικασία εντοπισμού μπορεί να βοηθηθεί από την ύπαρξη άλλων χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα: Τι γίνεται στην περίπτωση που το κινούμενο σύμβολο αποτελείται από γραμμικές απολήξεις για τις οποίες υπάρχουν ενδείξεις ότι ανήκουν στην κατηγορία των βασικών χαρακτηριστικών; Μια διερεύνηση κινούμενη στο πλαίσιο αυτό που περιγράφεται μπορεί να υποδείξει χρήσιμες πληροφορίες για το χαρτογραφικό συμβολισμό ειδικότερα για τις περιπτώσεις όπου η ανάγκη για άμεση αντίληψη της θέσης ενός κινούμενου συμβόλου από τον αναγνώστη είναι επιτακτική (π.χ. περίπτωση χαρτών πλοήγησης οχημάτων οι οποίοι έχουν ως σκοπό την απόδοση της θέσης του οχήματος σε συνθήκες πραγματικού χρόνου).

Η ιδιότητα της κίνησης στους χάρτες κινούμενης εικόνας εμπεριέχεται στο κύριο χαρτογραφικό υπόβαθρο το οποίο χρησιμοποιείται για την απόδοση των φαινομένων ενώ είναι πιθανόν να αξιοποιείται και στο υπόμνημα των χαρτογραφικών συμβόλων. Στην παρούσα πειραματική έρευνα εξετάζεται το ελάχιστο όριο εντοπισμού στην περίπτωση που η ιδιότητα της κίνησης εμφανίζεται μόνο κατά την απόδοση του φαινομένου. Πως όμως επηρεάζεται η απόδοση των υποκειμένων στην περίπτωση που κινούμενα στοιχεία αξιοποιούνται και για το υπόμνημα των συμβόλων; Η θέση του υπομνήματος ή ο χώρος που καταλαμβάνει διαδραματίζει κάποιο ιδιαίτερο ρόλο στη διαδικασία; Στην περίπτωση που η ύπαρξη του υπομνήματος με κινούμενα σύμβολα έχει επίδραση σε στοιχεία της αντιληπτικής διαδικασίας η επίδραση αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά στο στάδιο του χαρτογραφικού συμβολισμού.

Στη διερεύνηση που έγινε στα πλαίσια της πειραματικής έρευνας χρησιμοποιήθηκε σαν βασικό υπόβαθρο ένας τοπογραφικός χάρτης λόγω του μεγάλου επιπέδου γραφικής πολυπλοκότητας από το οποίο χαρακτηρίζεται. Παρά το γεγονός ότι η ανάλυση έδειξε πως το επίπεδο της πληροφορίας δεν επιδρά (τουλάχιστον σε μεγάλο βαθμό) στον προσδιορισμό του ελάχιστου ορίου διάρκειας, ο έλεγχος και σε άλλες θεματικές κατηγορίες χάρτη (π.χ. χάρτης δρόμων, χάρτης ναυσιπλοΐας) είναι απαραίτητος με σκοπό τη γενίκευση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Εκτός όμως από την επιλογή του βασικού υποβάθρου, σημαντικό ρόλο παίζει και ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επιλογή για μείωση του επιπέδου πολυπλοκότητας. Ένας εναλλακτικός τρόπος περιλαμβάνει την αφαίρεση μέρους των οντοτήτων που αποδίδονται στο χάρτη διατηρώντας το επίπεδο έντασης. Βέβαια η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν είναι τόσο ρεαλιστική ως προς τη χρήση των χαρτών καθώς η περιεχόμενη πληροφορία που πρέπει να απεικονιστεί επηρεάζεται από παράγοντες που έχουν να κάνουν κυρίως με την κλίμακα απόδοσης αλλά και την κατηγορία της απεικόνισης.

Ο υπολογισμός των στατιστικών δεικτών που βασίζονται στα κύρια μεγέθη των προσηλώσεων αξιοποιείται και για τη διερεύνηση της συνολικής συμπεριφοράς των υποκειμένων. Η συνολική συμπεριφορά αναφέρεται σε διάρκειες με τιμές που αντιστοιχούν μετά τον εντοπισμό του κινούμενου συμβόλου. Δεδομένου του στοιχείου ότι η κίνηση αποτελεί κυρίαρχο χαρακτηριστικό στη διαδικασία, τα

σύμβολα που συνθέτουν το στατικό υπόβαθρο (στη συγκεκριμένη περίπτωση τον τοπογραφικό χάρτη) επιδρούν στη γενικότερη διαδικασία ανάγνωσης της σκηνής παρά το γεγονός ότι η ανάλυση έδειξε πως το όριο εντοπισμού δεν επηρεάζεται από την ποσότητα της πληροφορίας. Ένα βασικό ερώτημα που δημιουργείται μπορεί να περιγραφεί με βάση την ακόλουθη πρόταση: Κατά πόσο το επίπεδο της χαρτογραφικής πληροφορίας σχετίζεται με το επίπεδο της αντιλαμβανόμενης πληροφορίας; Η μέτρηση του επιπέδου ποσότητας της περιεχόμενης πληροφορίας σίγουρα δεν είναι εύκολη καθώς η διαφορετική φύση των κύριων μορφών δεδομένων (σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά) δεν επιτρέπει ένα ενιαίο σύστημα μέτρησης. Ακόμα και στην περίπτωση που η εικόνα του χάρτη αντιμετωπίζεται σαν κανονικοποιημένη μορφή και όχι ως διανυσματική δεν μπορεί να δοθεί άμεση λύση στις περιπτώσεις που εμφανίζονται υπερκαλύψεις μεταξύ των διαφορετικών οντοτήτων. Από την άλλη πλευρά όμως, μια ένδειξη για την αντιλαμβανόμενη πολυπλοκότητα του χάρτη μπορεί να δοθεί μελετώντας τη συμπεριφορά των στατιστικών δεικτών που σχετίζονται με τις κινήσεις των οφθαλμών του παρατηρητή σε συνθήκες ελεύθερης παρατήρησης. Μεγαλύτερη φόρτιση κατά την παρατήρηση (η οποία μπορεί να φανερωθεί μέσω μεγαλύτερων τιμών των στατιστικών δεικτών) υποδηλώνει μεγαλύτερη ποσότητα πληροφορίας η οποία είναι διαθέσιμη για περαιτέρω επεξεργασία στα διάφορα στάδια ανάγνωσης χάρτη.

Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε πως το επίπεδο της πληροφορίας επιδρά κυρίως στην οπτική διαδικασία μετά τον εντοπισμό του κινούμενου συμβόλου από την κεντρική όραση. Στη διερεύνηση της διαδικασίας για τη μελέτη της αντίδρασης μετά τον εντοπισμό του συμβόλου είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν επιπλέον μοντέλα προεξοχής για την υπόδειξη των περιοχών του στατικού υποβάθρου που προεξέχουν κατά τη διαδικασία της παρατήρησης. Το βασικό ερώτημα που δημιουργείται λαμβάνοντας υπόψη μας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μια πρώτη έρευνα που έγινε (Krassanakis et al. 2013b) και αποτελεί μια επέκταση της παρούσας διατριβής είναι το ακόλουθο: κατά πόσο τα μοντέλα αυτά μπορούν να έχουν άμεση εφαρμογή σε χάρτες; Η διερεύνηση του συγκεκριμένου ερωτήματος είναι πιθανόν να οδηγήσει στον προσδιορισμό συγκεκριμένων παραμέτρων ή επεκτάσεων των υπάρχοντων μοντέλων προεξοχής για την εφαρμογή τους σε χάρτες.

Στη διερεύνηση που σχετίζεται με τη μελέτη της οπτικής συμπεριφοράς των

υποκειμένων μετά τον εντοπισμό του κινούμενου σημειακού συμβόλου και για τη διερεύνηση των παραμέτρων του χαρτογραφικού σχεδιασμού σημαντικό ρόλο μπορεί να διαδραματίσει η τμηματική εφαρμογή του απλού γραμμικού μοντέλου της παλινδρόμησης. Συγκεκριμένα, εφαρμόζοντας το γραμμικό μοντέλο για τα δεδομένα που προκύπτουν από τους στατιστικούς δείκτες και αφορούν τις θέσεις μετά τον κρίσιμο χρόνο εντοπισμού μπορεί να διερευνηθεί η ύπαρξη ή μη κάποιας συσχέτισης μεταξύ των δομικών στοιχείων του χάρτη και των δεδομένων που σχετίζονται με την παρατήρηση.

Η διεξαγωγή πειραματικών ερευνών για τη διερεύνηση στοιχείων της οπτικής αντίληψης κατά την ανάγνωση χαρτών αναμφίβολα αποτελεί ένα απαραίτητο μέρος στα πλαίσια της μελέτης της λειτουργίας των χαρτών. Η αξιοποίηση πραγματικών χαρτών σε πειραματικές έρευνες συμβάλει στην εξαγωγή συμπερασμάτων που είναι δυνατόν να προσεγγίζουν καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες ανάγνωσης. Βέβαια, οι συνθήκες ανάγνωσης ενός χάρτη δεν σχετίζονται μόνο με την άμεση σχέση μεταξύ αναγνώστη και απεικόνισης αλλά συνδέονται και με τις συνθήκες που επικρατούν στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι, κατά τη διερεύνηση της διαδικασίας της οπτικής αναζήτησης που συμβαίνει σε πραγματικές συνθήκες ο ρόλος των περισπαστών δεν περιορίζεται μόνο σε σύμβολα του χάρτη αλλά σχετίζεται και με στοιχεία του εξωτερικού περιβάλλοντος. Θα παρουσιάζε μεγάλο ενδιαφέρον η διερεύνηση των ορίων απόκρισης στην κίνηση ενός συμβόλου σε ένα χάρτη σε συνθήκες πραγματικού χρόνου. Ένα κλασικό παράδειγμα καθημερινής αξιοποίησης χαρτών κινούμενης εικόνας το οποίο είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί για τη διερεύνηση που περιγράφεται παραπάνω σε πραγματικές συνθήκες αποτελεί η χρήση χαρτών πλοήγησης οχημάτων όπου η θέση του οχήματος υποδεικνύεται σε πραγματικό χρόνο πάνω σε ένα χαρτογραφικό υπόβαθρο το οποίο συνήθως αποτελείται από το οδικό δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή το ρόλο των περισπαστών διαδραματίζουν και στοιχεία του περιβάλλοντος (σήμανση, τοπίο, άλλα οχήματα κτλ.) παρά το γεγονός ότι οι κύριοι περισπαστές οι οποίοι σχετίζονται με τον τρόπο απόδοσης του φαινομένου (στο παράδειγμα της θέσης του οχήματος) περιορίζονται σε ένα μικρότερο πεδίο το οποίο περιλαμβάνει την οθόνη προβολής της χαρτογραφικής απεικόνισης. Επιπροσθέτως, εκτός από τις συνθήκες που σχετίζονται με τους άμεσους περισπαστές εντός ή εκτός της χαρτογραφικής απεικόνισης, η διαδικασία

εντοπισμού ενός κινούμενου συμβόλου είναι πιθανόν να επηρεάζεται και από τις συνθήκες φωτισμού. Στο παράδειγμα που χρησιμοποιήθηκε ο παράγοντας αυτός διαμορφώνεται ανάλογα με την ώρα της ημέρας αλλά και λόγω διαφορετικών καιρικών συνθηκών. Επιπλέον, άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την απόδοση των υποκειμένων συνδέονται με την απόσταση θέασης αλλά και το μέγεθος της οθόνης προβολής του χάρτη.

Η διαδικασία εντοπισμού της κίνησης του σημειακού συμβόλου εξετάζεται σε σχέση με την κεντρική όραση των υποκειμένων. Ο εντοπισμός της κίνησης σε ένα οπτικό πεδίο επηρεάζεται από τη λειτουργία της περιφερειακής όρασης για την οποία δεν παρέχεται η δυνατότητα καταγραφής από τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της θέσης του βλέμματος. Έτσι, μια διαδικασία ελέγχου του ελάχιστου ορίου που προσδιορίζεται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής μπορεί να υλοποιηθεί βασιζόμενη σε μετρήσεις του χρόνου αντίδρασης σε αλλαγές τις οπτικής σκηνής με ταυτόχρονη ανάλυση της ορθότητας των απαντήσεων των υποκειμένων. Βέβαια, στην περίπτωση που το υποκείμενο καλείται να αποκρίθει σε αλλαγές που συμβαίνουν σε μια οπτική σκηνή η διαδικασία της παρατήρησης παύει να υλοποιείται σε ελεύθερες συνθήκες. Το γεγονός αυτό έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα την εκπόνηση μιας διαδικασίας αναζήτησης η οποία συμβαίνει “πάνω-κάτω” στην οποία υπεισέρχονται και γνωσιακοί παράγοντες. Παρόλο αυτά, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να διερευνηθεί κατά πόσο οι γνωσιακοί παράγοντες σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της κίνησης τα οποία είναι διαθέσιμα σε στάδιο προ-προσοχής επηρεάζουν τη διαδικασία εντοπισμού (είτε μέσω της κεντρικής όρασης με καταγραφή οφθαλμικών κινήσεων ή μέσω της μέτρησης του χρόνου αντίδρασης) σε χάρτες κινούμενης εικόνας.

Η διαδικασία ανάγνωσης χάρτη επηρεάζεται απ' όλα τα μέρη του συστήματος χάρτης-αναγνώστης-εξωτερικές συνθήκες. Ενώ οι προτάσεις που αναφέρονται παραπάνω για επεκτάσεις της παρούσας έρευνας σχετίζονται με την παραμετροποίηση της οπτικής σκηνής (του χάρτη) αλλά και με τον έλεγχο σε διαφορετικές συνθήκες παρατήρησης μια περαιτέρω προσέγγιση με σκοπό τη διερεύνηση των ορίων εντοπισμού είναι δυνατό να περιλαμβάνει στοιχεία που σχετίζονται με τον αναγνώστη. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να σχετίζονται με την προηγούμενη εμπειρία του αναγνώστη με χάρτες κινούμενης εικόνας, με το φύλο

αλλά και την ηλικία. Επιπροσθέτως, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η διερεύνηση του ελάχιστου ορίου αντίληψης και σε άτομα με περιορισμένη όραση.

Εκτός όμως από τις μελλοντικές επεκτάσεις που αφορούν τη χαρτογραφική έρευνα για τη μελέτη των χαρτών κινούμενης εικόνας μπορούν να σημειωθούν και κάποιες προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση παραγόντων που σχετίζονται με τη μεθοδολογία ανάλυσης των οφθαλμικών κινήσεων. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος ανίχνευσης των προσηλώσεων μπορεί να ελεγχθεί με δεδομένα καταγραφής που προέρχονται από συστήματα με διαφορετική συχνότητα δειγματοληψίας, χωρική ακρίβεια καθώς και διαφορετικό επίπεδο θορύβου. Επιπλέον, οι τιμές των χωρικών παραμέτρων που αξιοποιούνται για την εφαρμογή του αλγορίθμου μπορούν να προσδιοριστούν για την εκάστοτε πειραματική έρευνα με την ίδια προσέγγιση που ακολουθείται και στην παρούσα διατριβή.

Τέλος, το λογισμικό εργαλείο ανάλυσης που αναπτύχθηκε μπορεί να συνδυαστεί με αντίστοιχα εργαλεία τα οποία αξιοποιούνται για εξειδικευμένες εφαρμογές ή/και για την ανάλυση άλλων μεθόδων (π.χ. ηλεκτροεγκεφαλογράφημα) οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν με την καταγραφή οφθαλμικών κινήσεων σε ερευνητικά πεδία που σχετίζονται με τη μελέτη της οπτικής συμπεριφοράς κατά την παρατήρηση οπτικών σκηνών.

Βιβλιογραφία

B.1 Βιβλιογραφικές πηγές

- Alaçam Ö., Dalci M. (2009), A Usability Study of WebMaps with Eye Tracking Tool: The Effect of Iconic Representation of Information, In Jacko J.A. (ed.): *Human-Computer Interaction*, LNCS 5610, Springer-Verlang Berlin Heidelberg, 12-21.
- Albert W. (2002), Do web users actually look at ads? A case study of banner ads and eye-tracking technology, *Proceedings of the Eleventh Annual Conference of the Usability Professionals' Association*.
- Altonen A., Hyrskykari A., Raiha K. (1998), 101 Spots, or how do users read menus?, *Proceedings of CHI'98 Human Factors in Computing Systems*, 132-139.
- Andersson, R., Nyström, M., Holmqvist, K., (2010), Sampling frequency and eye-tracking measures: how speed affects durations, latencies, and more, *Journal of Eye Movement Research*, 3(3):6, 1-12.
- Anstis S. (1974), A chart demonstrating variation in acuity with retinal position, *Vision Research*, 14, 589-592.
- Antes J. R., Chang K. T., Mullis C. (1985), The visual effect of map design: an eye-movement analysis, *The American Cartographer*, 12(2), 143-155.
- Bargiota T., Mitropoulos V., Krassanakis V., Nakos B. (2013), Measuring locations of critical points along cartographic lines with eye movements, *Proceedings of the 26th International Cartographic Association Conference*, Dresden, Germany.
- Bejdek J. C., (1981), *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, New York: Plenum Press.
- Berger, C., Winkels, M., Lischke, A., Hoppner, J. (2012), GazeAlyze: a MATLAB toolbox for the analysis of eye movement data, *Behavior Research Methods*, 44, 404-419.
- Bertin J. C. (1967, 1983), *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps*, Madison: University of Wisconsin Press (French Edition 1967).

- Blascheck T., Kurzhals K., Raschke M., Burch M., Weiskopf D., Ertl T. (2014), State-of-the-Art of Visualization for Eye Tracking Data, *Proceedings of the Eurographics Conference on Visualization (EuroVis)*, Swansea, Wales, United Kingdom.
- Blignaut P. (2009), Fixation identification: the optimum threshold for a dispersion algorithm, *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(4), 881-895.
- Blignaut P., Beelders T. (2009), The effect of fixational eye movements on fixation identification with dispersion-based fixation detection algorithm, *Journal of Eye Movement Research*, 2(5):4, 1-14.
- Bodade R., Talbar S. (2010), Novel approach of accurate iris localisation form high resolution eye images suitable for fake iris detection, *International Journal of Information Technology and Knowledge Management*, 3(2), 685-690.
- Bodade R., Talbar S. (2011), Fake Iris Detection: A Holistic Approach, *International Journal of Computer Applications*, 19(2), 1-7.
- Bojko A. (2009), Informative or Misleading? Heatmaps Deconstructed, In Jacko J.A. (ed.): *Human-Computer Interaction*, HCII 2009, Part I, LNCS 5610, Springer-Verlang Berlin Heidelberg, 30-39.
- Bowmaker J. K., Dartnall H. J. (1980), Visual pigments of rods and cones in a human retina, *The Journal of Physiology*, 298(1), 501-511.
- Brewer C. A. (1991), *The prediction of surround-induced changes in map color appearance*, PhD Dissertation, Department of Geography, Michigan State University.
- Brodersen L. (2001), *Maps as Communication-Theory and Methodology in Cartography*, National Survey and Cadastre Denmark.
- Brodersen L., Andersen H. H. K., Weber S. (2002), *Applying Eye-Movement Tracking for the study of Map Perception and Map Design*, National Survey Cadastre – Denmark, 4(9).
- Burch M., Beck F., Raschke M., Blascheck T., Weiskopf D. (2014), A Dynamic Graph Visualization Perspective on Eye Movement Data, *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 151-158.
- Buswell G. T. (1935), *How people look at pictures: A study of the psychology of perception in art*, Chicago: University of Chicago Press.

- Byrne M. D., Anderson J. R., Douglas S, Matessa M. (1999), Eye tracking the visual search of clickdown menus, *Proceedings of the CHI'02 Workshop on Psychological Computing*, NY: ACM Press.
- Cameron J.R., Skofronick J.G., Grant R.M. (2001), *Physics of the Body* (Φυσική του Ανθρώπινου Σώματος, Επιμέλεια Ελληνικής Έκδοσης: Γεωργίου Ε., Γιακουμάκη Ε., Κόττου Σ., Ντάλλες Κ., Σερεφογλου Α., Σκυλλάκου Λουίζη Α., Επιστημονικές Εκδόσεις ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ Α.Ε.).
- Camilli M., Nacchia R., Terenzi M., Di Nocera F. (2008), ASTEF: A simple tool for examining fixations. *Behavior Researcher Methods*, 40(2), 373-382.
- Carr D. B., Olsen A. R., White D. (1992), Hexagon mosaic maps for display of univariate and bivariate geographical data, *Cartography and Geographic Information Systems*, 19(4), 228-236.
- Castner H. W. (1979), Viewing time and experience as factors in map design research, *The Canadian Cartographer*, 16(2), 145-158.
- Castner H. W., Eastman J. R. (1984), Eye-movement parameters and perceived map complexity: I, *The American Cartographer*, 11(2), 107-111.
- Castner H. W., Eastman J. R. (1985), Eye-movement parameters and perceived map complexity: II, *The American Cartographer*, 12(1), 29-40.
- Castner H. W., Lywood D. W. (1978), Eye movement recording/some approaches to the study of map perception, *The Canadian Cartographer*, 15(2), 142-150.
- Cavanagh J. F., Wiecki T. V., Kochar A., Frank M. J. (2014) Eye Tracking and Pupilometry Are Indicators of Dissociable Latent Decision Processes, *Journal of Experimental Psychology: General* (doi: 10.1037/a0035813).
- Cave K. R., Wolfe J. M. (1990), Modeling the role of parallel processing in visual search, *Cognitive Psychology*, 22(2), 225-271.
- Chang K. T., Lenzen T., Antes J. (1985), The Effect of Experience on Reading Topographic Relief Information: Analyses of Performance and Eye Movements, *The Cartographic Journal*, 22, 88-94.
- Chun M. M., Wolfe J. M. (2001), Visual Attention, In Goldstein (Ed.), *Blackwell's handbook of perception*, 272-310, Oxford: Blackwell.
- Ciołkosz-Styk A. (2012), The visual search method in map perception research, *Geoinformation Issues*, 4(1), 33-42.

- Coey C. A., Wallot S., Richardson M. J., Orden G. V. (2012), On the Structure of Measurement Noise in Eye-Tracking, *Journal of Eye Movement Research*, 5(4):5, 1-10.
- Çöltiken A., Garlandini S., Heil B., Fabrikant S. I. (2008), Evaluating the Effectiveness of Interactive Map Interface Designs: A Case Study with Eye Movement Analysis, *Proceedings of the 17th International Research Symposium on Computer-based Cartography*, Shepherdstown, West Virginia, USA.
- Cornelissen F. W., Peters E. M., Palmer J. (2002), The Eyelink Toolbox: Eye tracking with MATLAB and the Psychophysics Toolbox, *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(4), 613-617.
- Cowen L., Ball L. J., Delin J. (2002), An eye-movement analysis of web-page usability, In X. Faulkner, J. Finlay, F. Detienne (Eds): *People and Computer XVI-Memorable yet invisible: Proceedings of HCI 2002*, 317-335.
- DeLucia A. A. (1974), *The map interpretation process: its observation and analysis through the technique of eye movement recording*, PhD Dissertation, University of Washington.
- DeLucia A. A. (1976), How people read maps: some objective evidence, *Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping*, 135-144.
- Dent B. D. (1972), Visual organization and thematic map communication, *Annals of the Association of American Geographers*, 62(1), 79-93.
- Desolneux A., Moisan L., Morel J. M. (2004). Gestalt theory and Computer Vision, In A. Carsetti (ed.): *Seeing, Thinking and Knowing*, 71-101, Kluwer Academic Publishers.
- DiBiase D., MacEachren A. M., Krygier J. B., Reeves C. (1992), Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization, *Cartography and Geographic Information Systems*, 19(4), 201-214.
- Dobson M. W. (1977), *The adoption of an eye movement recording technique to a cartographic experiment involving the graduated circle simple*, PhD Dissertation, University of Washington.
- Dobson M. W. (1979), The influence of map information on fixation localization, *The American Cartographer*, 6(1), 51-65.

- Dobson M. W. (1983), Visual information processing and cartographic communication: The utility of redundant stimulus dimensions, In D. R. F. Taylor (Ed.), *Graphic communication and design in contemporary cartography*, 149-175, New York: Wiley & Sons.
- Dong W., Zhang S., Liao H. Liu Z., Li Z., Yang X. (2013), Assessing the Effectiveness and Efficiency of Map Colour for Colour Impairments Using an Eye-tracking Approach, *The Cartographic Journal*, 0(0), 1-12.
- Dong W., Liao H., Xu F., Liu Z., Zhang S. (2014), Using eye tracking to evaluate the usability of animated maps, *Science China Earth Sciences*, 57(3), 512-522.
- Duchowski, A. T. (2002), A breath-first survey of eye-tracking applications, *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 34 (4), 455-470.
- Duchowski, A.T. (2007), *Eye Tracking Methodology: Theory & Practice* (2nd ed.). London: Springer-Verlag.
- Dumais T. S., Buscher G., Cutrell E. (2010), Individual differences in gaze patterns for web search, *Proceedings of the third symposium on Information interaction in context*, ACM, 185-194.
- Eastman J. R. (1985), Graphic organization and memory structures for map learning, *Cartographica: International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 22(1), 1-20.
- Ehmke C., Wilson S. (2007), Identifying Web Usability Problems from Eye-Tracking Data, In *People and Computer XXI-HCI... but not as we know it: Proceedings of HCI 2007*, BCS Press, London.
- Ennis R., Cao D., Lee B. B., Zaidi Q. (2014), Eye Movements and the Neural Basis of Context Effects on Visual Sensitivity, *The Journal of Neuroscience*, 34(24), 8119-8129.
- Fabrikant S. (2005), Towards an understanding of geovisualization with dynamic displays: Issues and Prospects, *Proceedings Reasoning with Mental and External Diagrams: Computational Modeling and Spatial Assistance*, American Association for Artificial Intelligence, Stanford.
- Fleming M. (1969), Eye Movement Indices of Cognitive Behavior, *AV Communication Review*, 17(4), 383-398.

- Garlandini S., Fabrikant S. I. (2009), Evaluating the Effectiveness and Efficiency of Visual Variables for Geographic Information Visualization, In Hornsby et al. (Eds.): *COSIT 2009*, LNCS 5756, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 195-211.
- Geerinck T. (2009), *Visual Attention Framework: Application to Event Analysis*, PhD Dissertation, VRIJE Universiteit Brussel, Faculty of Engineering, Department of Electronics and Informatics, Brussels.
- Gibson J. J. (1979), *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin, Boston.
- Gitelman, D. R. (2002), ILAB: A program for postexperimental eye movement analysis, *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(4), 605-612.
- Glennerster A. (2002), Computational theories of vision, *Current Biology*, 12(20), R682-R685.
- Goldberg, J. H., Kotval, X. P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 631-645.
- Goldberg J. H., Schryver J. C. (1993), Eye-gaze determination of user intent at the computer interface. In Findlay, J.M., Walker, R., Kentridge, R.W. (Eds): *Eye Movement Research: Mechanisms, Processes and Applications*. North-Holland Press, Amsterdam, 491-502.
- Goldberg J. H., Stimson M. J., Lewenstein M., Scott N., Wichansky A. M. (2002), Eye tracking in web search tasks: Design implications, *Proceedings of the Eye tracking research and applications symposium (ETRA 2002)*. ACM Press, New York, 51-58.
- Goldstein E. B. (1981), The ecology of J. J. Gibson's perception, *Leonardo*, 14(3), 191-195.
- Green M. (1998), Toward a Perceptual Science of Multidimensional Data Visualization: Bertin and Beyond, *ERGO/GERO Human Factors Science*.
- Griffin A. M., MacEachren A. M., Hardisty F., Steiner E., Li B. (2006), A Comparison of Animated Maps with Static Small-Multiple Maps for Visually Identifying Space-Time Clusters, *Annals of the Association of*

- American Geographers, 96(4), 740-753.
- Guyot R. A. (1971), *A review of selected works on eye movements: with a view towards their potential relevance to understanding how maps are read*, unpublished research paper, University of Wisconsin.
- Hahn S., Kramer A. (1998), Further evidence for the deviation of attention among non-contiguous locations, *Visual Cognition*, 5, 217-256.
- Harel J., Koch C., Perona P. (2006), Graph-Based Visual Saliency, *Advances in neural information processing systems*, 542-552.
- Harrower M. (2003), Tips for Designing Effective Animated Maps, *Cartographic Perspectives*, 44, 63-65.
- Harrower M. (2007), The Cognitive Limits of Animated Maps, *Cartographica*, 42(4), 349-357.
- Harrower M., Fabrikant S. (2008), The role of map animation for geographic visualization, In Dodge, McDerby, Turner (Eds.), *Geographic Visualization* (pp. 49-65), John Wiley & Sons, London.
- Heminghaus J., Duchowski A.T. (2006), iComp: A tool for scanpath visualization and comparison, *Proceedings of the 3rd Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, 152-152.
- Hendrickson J.J. (1989), Performance, preference, and visual scan patterns on a menu-based system: Implications for interface design, *Proceedings of CHI'89 Human Factors in Computing Systems Conference*, 217-222.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., Van de Weijer, J. (2011), *Eye tracking: A Comprehensive Guide to Methods and Measures*. Oxford: Oxford University Press.
- Hou X., Harel J., Koch C. (2012), Image signature: Highlighting Sparse Salient Regions, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(11), 1254-1259.
- Itti L., Koch C., Niebur E. (1998), A Model of Saliency-Based Visual Attention for Rapid Scene Analysis, *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 20(11), 1254-1259.
- Itti L., Koch C. (2001), Computational modelling of visual attention, *Nature reviews neuroscience*, 2(3), 194- 203.

- Itti L. (2005), Quantifying the contribution of low-level saliency to human eye movements in dynamic scenes, *Visual Cognition*, 12(6), 1093-1123.
- Jacob, R. J. K., Karn, K. S. (2003), Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises. In Hyona, Radach, & Deubel (Eds.), *The Mind's Eyes: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movements* (pp. 573-605), Oxford: Elsevier Science.
- Jenks G. F. (1973), Visual Integration in Thematic Mapping: Fact or Fiction?, *International Yearbook of Cartography*, 13, 27-35.
- Jenny B., Jenny H., Räber S., (2008), Map design for the Internet, In Peterson (Ed.) *International Perspectives on Maps and the Internet* (pp. 31-48), New York: Springer Berlin Heidelberg.
- Julesz B. (1975), Experiments in the visual perception of texture, *Scientific American*, 232, 34-43.
- Just M. A., Carpenter P. A. (1976), Eye fixation and cognitive processes, *Cognitive Psychology*, 8, 441-480.
- Karl D. (1992), Cartographic Animation: Potential and Research Issues, *Cartographic Perspectives*, 13, 3-9.
- Keates J. S. (1996), Understanding maps. 2nd ed. Harlow, Essex, England: Longman.
- Kim J. Thomas P., Sankaranarayana R., Gedeon T., Yoon H. J. (2014), Eye-tracking analysis of user behavior and performance in web search on large and small screens, *Journal of the Association for Information Science and Technology* (doi: 10.1002/asi.23187).
- Köbben B., Yaman M. (1995), Evaluating Dynamic Visual Variables, *Teaching Animated Cartography*, International Cartographic Association Seminar, Madrid, Spain.
- Koffka K. (1935), *Principles of Gestalt Psychology*, New York: Harcourt, Brace & World.
- Köhler W. (1929), *Gestalt Psychology*. New York: Liveright.
- Komogortsev O. V., Jayaratha S., Koh D. H., Gowda S. M. (2010), Qualitative and Quantitative Scoring and Evaluation of the Eye Movement Classification Algorithms, *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking Research*

and Applications, 65-68.

- Kraak M J., MacEachren A. M. (1994), Visualization of spatial data's temporal component, *Proceedings, Spatial Data Handling, Advances in GIS Research*, Edinburg.
- Kraak M. J., Ormeling F. (2003), *Cartography: Visualization of Geospatial Data*, Second Edition, Prentice Hall, 160-167.
- Κρασανάκης Β. (2009), *Καταγραφή του ίχνους της οπτικής αναζήτησης: Μια μέθοδος διερεύνησης της επιλεκτικότητας της οπής ως βασικού χαρακτηριστικού του σχήματος*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Krassanakis V. (2013), Exploring the map reading process with eye movement analysis. In Kiefer, Giannopoulos, Raubal & Hegarty (Eds.), *Eye Tracking for Spatial Research, Proceedings of the 1st International Workshop (in conjunction with COSIT 2013)* (pp. 2-7), Scarborough, United Kingdom.
- Krassanakis V., Filippakopoulou V., Nakos B. (2011a), The influence of attributes of shape in map reading process, *Proceedings of the 25th International Cartographic Association Conference*, Paris, France.
- Krassanakis, V., Filippakopoulou, V., Nakos, B. (2011b), An Application of Eye Tracking Methodology in Cartographic Research, *Proceedings of the EyeTrackBehavior2011(Tobii)*, Frankfurt, Germany.
- Krassanakis V., Lelli A., Lokka I. E., Filippakopoulou V., Nakos B. (2013a), Investigating dynamic variables with eye movement analysis, *Proceedings of the 26th International Cartographic Association Conference*, Dresden, Germany.
- Krassanakis V., Lelli A., Lokka I. E., Filippakopoulou V., Nakos B. (2013b), Searching for salient locations in topographic maps. In Pfeiffer & Essig (Eds.), *Proceedings of the First International Workshop on Solutions for Automatic Gaze Data Analysis 2013 (SAGA 2013)* (pp. 41-44), Bielefeld, Germany.
- Kurzahls K., Weiskopf D. (2013), Space-time visual analytics of eye-tracking data for dynamic stimuli, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19 (12), 2129-2138.

- Lankford, C. (2000), GazeTrackerTM: Software designed to facilitate eye movement analysis, *Proceedings of the 2000 symposium on Eye Tracking research & applications*, 51-55.
- Larsson L. (2010), *Event detection in eye-tracking data*, Master Thesis, Department of Electrical and Information Technology, Lund University, Sweden.
- Λέλλη Α. (2013), *Διερεύνηση παραμέτρων δυναμικών μεταβλητών με οφθαλμικές κινήσεις σε οπτικές σκηνές*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Li, D., Badcock, J., Parkhurst, D. J. (2006), openEyes: a low-cost head-mounted eye-tracking solution, *Proceedings of the 2006 symposium on Eye Tracking research & applications*, 95-100.
- Li, X., Çöltiken, A. Kraak, M. J. (2010), Visual exploration of eye movement data using the Space-Time-Cube, In Fabrikant et al. (Eds.), *Geographic Information Science* (pp. 295-309), Berlin: Springer-Verlag.
- Lloyd R. (1997), Visual Search Processes Used in Map Reading, *Cartographica*, 34(1), 11-32.
- Lloyd R. (2005), Attention on Maps, *Cartographic Perspectives*, 52, 28-57.
- Loftus R.G., Mackworth N.H. (1978), Cognitive determinants of fixation location during picture viewing, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4(4), 565-572.
- Lohse G. L. (1997), Consumer eye movement patterns on yellow pages advertising, *Journal of Advertising*, 26(1), 61-73.
- Λόκκα Ι. Ε. (2013), *Διερεύνηση παραμέτρων δυναμικών μεταβλητών με οφθαλμικές κινήσεις σε τοπογραφικό χάρτη*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Λοτίδη Π. (2014), *Διερεύνηση της δυναμικής μεταβλητής ρυθμός αλλαγής με μετρήσεις οφθαλμικών κινήσεων σε χάρτες μεταβαλλόμενης έντασης*, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- MacEachren A. M. (1995), *How maps work: Representation, Visualization, and Design*, New York: The Guilford press.

- Mack A., Tang B., Tuma R., Kahn S., Rock I. 1992, Perceptual Organization and Attention, *Cognitive Psychology*, 24, 475-501.
- Manor B. R., Gordon E. (2003), Defining the temporal threshold for ocular fixation in free-viewing visuocognitive tasks, *Journal of Neuroscience Methods*, 128, 85-93.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., Hubel, D. H. (2004), The role of fixational eye movements in visual perception, *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 229-240.
- Marr D. (1982), *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, W. H. Freeman and Company, New York.
- Marshall S. (2000), *Method and apparatus for eye tracking and monitoring pupil dilation to evaluate cognitive activity*, U.S. Patent 6, 090, 051, July 2000.
- Matos R. (2011), Designing eye tracking experiments to measure behavior, Presentation in Post Conference Course, *EyeTrackBehavior Conference*, Tobii Technology, Frankfurt.
- Matsuno T., Tomonaga M. (2006), Visual search for moving and stationary items in chimpanzees (*Pan troglodytes*) and humans (*Homo sapiens*), *Behavioural Brain Research*, 172, 219-232.
- McCleary, G. F. (1975), In pursuit of the map user, *Proceedings of the International Symposium on Computer-Assisted Cartography (Auto-Carto II)*, 238-250.
- Michaelidou E., Filippakopoulou V., Nakos B., Petropoulou A. (2005), Designing Point Map Symbols: The effect of preattentive attribute of shape, *Proceedings of the 22th International Cartographic Association Conference*, A Coruna, Spain.
- Montello D. R. (2002), Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches, *Cartography and Geographic Information Science*, 29(3), 283-304.
- Morita T. (1991), Criteria for evaluation of display design in an interactive GIS using the eye movement measurement method, *Proceedings of the 15th International Cartographic Association Conference*, 2, 882-890.

- Morrison J. L. (1984), Applied cartographic communication: Map symbolization for atlases. *Cartographica*, 21(1), 44-84.
- Μπαργιώτα Θ. (2013), *Ανάλυση περιοχών κρίσιμων σημείων χαρτογραφικών γραμμών με τη βοήθεια οφθαλμικών κινήσεων*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, ΔΠΜΣ Γεωπληροφορική, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Muller J. C. (1979), Perception of continuously shaded maps, *Annals of the Association of American Geographers*, 69(2), 240-249.
- Mullis C., Chang K. T. (1984), An eye movement analysis of the effect of configuration in map design, *Technical papers of the American Congress on Surveying and Mapping*, 157-165.
- Nakos B., Mitropoulos V. (2005), Critical Points Detection Using the Length Ratio (LR) for Line Generalization, *Cartographica*, 40(3), 35-51.
- Neisser U. (1967), *Cognitive Psychology*, New York: Appleton, Century, Crofts.
- Northdurft H. C. (1992), Feature analysis and the role of similarity in preattentive vision, *Perception & Psychophysics*, 52(4), 355-375.
- Noyes E. J. (1978), The positioning of type on maps: how to reduce the masking of information, *Paper read at the NATO Conference on the Visual Presentation of Information*, Het Vennebos, Netherlands.
- Nossum A. S. (2013), *Exploring new visualization methods for multi-storey indoor environments and dynamic spatial phenomena*, PhD Dissertation, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Nossum A. S., Opach T. (2011), Innovative analysis methods for eye-tracking data from dynamic, interactive and multi-component maps and interfaces, *Proceedings of the 25th International Cartographic Association Conference*, Paris, France.
- Nyström, M., Holmqvist, K. (2010), An adaptive algorithm for fixation, saccade, and glissade detection in eye tracking data, *Behavior Research Methods*, 42(1), 188-204.
- Olson R. K., Attneave F. (1970), What variables produce similarity grouping?, *The American Journal of Psychology*, 83(1), 1-21.
- Ooms K., De Mayer P., Fack V. (2010), Analysing eye movement patterns to improve map design, *Proceedings of a joint symposium of ISPRS Technical*

- Commission IV & AutoCart (in conjunction with ASPRS/CaGIS 2010)*, Orlando, Florida.
- Ooms K., De Mayer P., Fack V., Van Assche E., Witlox F. (2012), Interpreting maps through the eyes of expert and novice users, *International Journal of Geographical Information Science*, 26(10), 1773-1788.
- Ooms K., De Mayer P., Fack V. (2014), Study of the attentive behavior of novice and expert map users using eye tracking, *Cartography and Geographic Information Science*, 41(1), 37-54.
- Opach T., Nossum A. (2011), Evaluating the usability of cartographic animations with eye-movement analysis, *Proceedings of the 25th International Cartographic Association Conference*, Paris, France.
- Opach T., Gołębiowska I., Fabrikant S. I. (2013), How Do People View Multi-Component Animated Maps?, *The Cartographic Journal*, 0(0), 1-13.
- Ouerhani N., Hügli H. (2003), A Model of Dynamic Visual Attention for Object Tracking in Natural Image Sequences, In Mira & Alvarez (Eds.): *Computational Methods in Neural Modeling*, LNCS 2686, Springer-verlag, 702-709.
- Pan B., Hembrooke H. A., Gay G. K., Granka L. A., Feusner M. K., Newman J. K. (2004), The Determinants of Web Page Viewing Behavior: An Eye-Tracking Study, *Proceedings of the Eye Tracking Research and Application Symposium*, 147-154.
- Peterson M. P. (1995), *Interactive and Animated Cartography*, Prentice Hall Series in Geographic Information Science, 43-56.
- Phillips R. J., Noyes E. J. (1977), Searching for names in two city street maps, *Applied Ergonomics*, 8, 73-77.
- Πλαϊνης Σ., Τσιλιμπάρης Μ.Κ., Παλλήκαρης Ι.Γ. (2007), Νευροφυσιολογία του αμφιβληστροειδή και των οπτικών οδών, *Οφθαλμολογία*, 19(4), 269-283.
- Pomplun M., Sunkara S (2003), Pupil dilation as an indicator of cognitive workload in Human-Computer Interaction, *Proceedings of HCI Interantional 2003*, 3, 542-546.
- Ponsoda V., Scott D., Findlay J.M. (1995), A probability vector and transition matrix analysis of eye movements during visual search, *Acta Psychologica*,

88, 167-185.

- Poole, A., Ball, L. J. (2005), Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects. In C. Ghaoui (Eds.), *Encyclopedia of human computer interaction* (pp. 211-219), Pennsylvania: Idea Group.
- Poole A., Ball L. J., Phillips P. (2004), In search of salience: A response time and eye movement analysis of bookmark recognition, In S. Fisher, P. Markopoulos, D. Moore, R. Ruddle (Eds.): *People and Computers XVIII- design for Life: Proceedings of HCI 2004*, London.
- Popelka S., Brus J. (2011), Space-Time-Cube visualization of Eye-tracking data, *Proceedings of the EyeTrackBehavior2011(Tobii)*, Frankfurt, Germany.
- Popelka S., Brychtova A. (2013), Eye-tracking Study on Different Perception of 2D and 3D Terrain Visualization, *The Cartographic Journal*, 50(3), 240-246.
- Posner M. I., Snyder C. R., Davidson B. J. (1980), Attention and the detection of signals, *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174.
- Πούλιου Ε. (2006), *Η επίδραση χαρακτηριστικών του σχήματος στην αναζήτηση σημειακών συμβόλων*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Quiroga R. Q., Pedreira C. (2011), How do we see art: an eye-tracker study, *Frontiers in Human Neuroscience*, 5(98), 1-9.
- Raschke M., Blascheck T., Burch M. (2014), Visual Analysis of Eye Tracking Data, *Handbook of Human Centric Visualization*, 391-409.
- Rayner K., Pollatsek A. (1989), *The psychology of reading*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Rayner K. (1998), Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research, *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Richardson D. C. (2004), Eye tracking: Research areas and applications. In G. Wnek & G. Bowlin (Eds.), *Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering* (pp. 573-582), New York: Marcel Dekker.
- Robinson A. H., Petchenik B. B. (1976). *The Nature of Maps*, Chicago: University of Chicago Press.
- Robinson G. H. (1979), Dynamics of the eye and head during movement between

- displays: A qualitative and quantitative guide for designers, *Human Factors*, 21(3), 343-352.
- Robinson A. H., Morrison J. L., Muehrcke P. C., Kimerling A. J., Guptill S. C. (1995), *Elements of Cartography*, New York: John Wiley & Sons.
- Royden C. S., Wolfe J. M., Klempe N. (2001), Visual search asymmetries in motion and optic flow fields, *Perception & Psychophysics*, 63(3), 436-444.
- Salichtchev K. A. (1978), Cartographic communication/its place in the theory of science, *The Canadian Cartographer*, 15(2), 93-99.
- Salvucci, D. D. (2000), An interactive model-based environment for eye-movement protocol analysis and visualization, *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 57-63.
- Salvucci, D. D., Goldberg, J. H. (2000), Identifying Fixations and Saccades in Eye-Tracking Protocols, *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 71-78.
- San Agustin, J., Mollenbach, E., Barret, M. (2010), Evaluation of a Low-Cost Open-source Gaze Tracker, *Proceedings of the 2010 symposium on Eye Tracking research & applications*, 77-80.
- Scholl B. J. (2001), Objects and attention: the state of the art, *Cognition*, 80, 1-46.
- Schwab, S., Würmle, O., Altorfer, A. (2012). Analysis of eye and head coordination in a visual peripheral recognition task. *Journal of Eye Movement Research*, 5(2):3, 1-9.
- Shic F., Scassellati, B., Chawarska, K. (2008), The Incomplete Fixation Measure, *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, 111-114.
- Shortridge B. G. (1982), Stimulus processing models from psychology: Can we use them in cartography?, *American Cartographer*, 9(2), 155-167.
- Sibert J. L., Gokturt M., Lavine R. A. (2000), The Reading Assistant: Eye gaze triggered auditory prompting for reading remediation", *Proceedings of the Thirteenth Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 101-107.
- Sibert L. E., Jacob R. J. K. (2000), Evaluation of eye gaze interaction, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (CHI*

- 2000), ACM Press, New York, 282-288.
- Siitrola H., Raiha K. J. (2011), Using Gaze Data in Evaluating Interactive Visualizations, In Ebert et al. (Eds): *HCIV (INTERACT)*, LNCS 6431, IFIP International Federation for Information Processing 2011, 127-141.
- Slocum T. A. (1983), Predicting Visual Clusters on Graduated Circle Maps, *The American Geographer*, 10(1), 59-72.
- Slocum T. A., McMaster R. B., Kessler F. C., Howard H. H. (2009), *Thematic Cartography and Geovisualization*, Third Edition, Prentice Hall Series in Geographic Information Science.
- Sluter R. S. (2001), New theoretical research trends in cartography, *Revista Brasileira de Cartografia*, 53, 29-37.
- Smith J. (2011), Effective color schemes for 3D animations of urban landscapes with a spatial and temporal dimension, *Proceedings of the 25th International Cartographic Association Conference*, Paris, France.
- Sodhi M., Reimer B., Cohen J. L., Vastenburg E., Kaars R. (2002), On-Road Driver Eye Movement Tracking Using Head-Mounted Devices, *Proceedings of the Eye Tracking Research and Application Symposium*, 61-68.
- Sogo, H. (2013), GazeParser: an open-source and multi platform library for low-cost eye tracking and analysis, *Behavior Research Methods*, 45(3), 684-695.
- Spakov, O., Miniotas, D. (2008), iComponent: software with flexible architecture for developing plug-in modules for eye trackers, *Information Technology and Control*, 37 (1), 26-32.
- Steinke T. R. (1979), *An evaluation of map design and map reading using eye movement recordings*, PhD dissertation, University of Kansas.
- Steinke T. R. (1987), Eye movements studies in cartography and related fields, *Studies in Cartography, Monograph 37, Cartographica*, 24(2), 40-73.
- Sternberg R. J., Sternberg K. (2011), *Cognitive Psychology*, 6th edition, Cengage Learning.
- Sternberg S. (1969), Memory-scanning: Mental processes revealed by reaction-time experiments, *American scientist*, 57(4), 421-457.
- Strasburger H., Rentschler I., Jüttner M. (2011), Peripheral vision and pattern

- recognition: A review, *Journal of Vision*, 11(5):13, 1-82.
- Townsend J. T. (1990), Serial vs. Parallel processing: Sometimes They Look like Tweedledum and Tweedledee but They Can (And Should) be distinguished, *Psychological Science*, 1(1), 46-54.
- Treisman A, Gormican S. (1988), Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries, *Psychological Review*, 95(1), 15-48.
- Treisman A. (1988), Features and objects: The fourteenth Bartlett Memorial Lecture, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40(2), 201-237.
- Treisman A., Gelade G. (1980), A feature integration theory of attention, *Cognition Psychology*, 12, 97-136.
- Τσαγκαράκη Α. (2007), *Η επίδραση χαρακτηριστικών του σχήματος και της εικονικότητας στην αναζήτηση σημειακών συμβόλων σε χάρτη*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Tsang, H. Y., Tory, M., Swindells, C. (2010), eSeeTrack-Visualizing Sequential Fixation Patterns, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16 (6), 953-962.
- van der Lans R., Wedel M., Pieters R. (2011), Defining eye-fixation sequences across individuals and tasks: the Binocular-Individual Threshold (BIT) algorithm, *Behavior Research Methods*, 43 (1), 239-257.
- Vecera S.P. (2000), Towards a Biased Competition Account of Object-Based Segregation and Attention, *Brain and Mind*, 1, 353-384.
- Viviani P. (1990), Eye movements in visual search: Cognitive, perception, and motor control aspects, In Kowler E. (Ed.): *Eye movements and their role in visual and cognitive processes* (pp. 363-393), Amsterdam: Elsevier Science.
- Voßkühler, A., Nordmeier, V., Kuchinke, L., Jacobs, A. M. (2008), OGAMA (Open Gaze and Mouse Analyzer): Open-source software designed to analyze eye and mouse movements in slideshow study designs, *Behavior Researcher Methods*, 40(4), 1150-1162.
- Voßkühler, A. (2009), *OGAMA Description (for Version 2.5) A software to record, analyze and visualize gaze and mouse movements in screen based*

- environments*, Freie Universität Berlin, Germany.
- Wandell B. A. (1995), *Foundations of vision*, Sinauer Associates.
- Ware C. (2004), *Information Visualization Perception for design*, 2nd ed., San Francisco, Morgan Kaufmann.
- Wertheimer M. (1912), Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung, *Zeitschrift für Psychologie*, 61, 161-265.
- Wertheimer M. (1923), Untersuchungen zur Lehre von den Gestalt, *Psychologische Forschung*, 4(1), 301-350.
- West, J. M., Haake, A. R., Rozanski, P., Karn, K. S. (2006), eyePatterns: Software for Identifying Patterns and Similarities Across Fixation Sequences, *Proceedings of the 2006 symposium on Eye Tracking research & applications*, 149-154.
- Williams L. G. (1971), The role of the user in the map communication process: Obtaining information from displays with discrete elements, Monograph 2, *Cartographica*, 8(2), 29-34.
- Wolfe J. M. (1998), Visual Search, In H. Pashler (Ed.): *Attention*, London, UK: University London Press.
- Wolfe J. M. (2000), Visual Attention, In De Valois K.K. (Ed.): *Seeing*, 2nd ed., San Diego, CA: Academic Press.
- Wolfe J. M. (2005), Guidance of Visual Search by Preattentive Information, In: L. Itti & G. Rees & J. Tsotsos (Eds), *Neurobiology of attention*, San Diego, CA: Academic Press/Elsevier.
- Wolfe J. M., DiMase J. S. (2003), Do intersections serve as basic feature in visual search?, *Perception*, 32, 645-656.
- Wolfe J. M., Horowitz T. S. (2004), What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it?, *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 1-7.
- Φελώνη Ε. (2008), *Αξιολόγηση της αναγνωρισιμότητας διαφορετικών οπτοτύπων σε φυσιολογικό πληθυσμό και σε ασθενής με χαμηλή όραση*, Διπλωματική εργασία, Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Οπτική και Όραση, Πανεπιστήμιο Κρήτης.
- Xiaofang W., Qingyun D., Zhiyong X., Na L. (2005), Research and Design of Dynamic symbol in GIS, *Proceedings of the International Symposium on*

Spatio-temporal Modeling, Spatial Reasoning, Analysis, Data Mining and Data Fusion, Beijing.

Yarbus A. L. (1967), *Eye Movements and Vision*, New York: Plenum press.

Zheng W. L., Dong B. N., Lu B. L. (2014), Multimodal Emotion Recognition using EEG and Eye Tracking Data, Proceedings of the 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.

B.2 Δικτυακές πηγές

- http://en.wikipedia.org/wiki/Rod_cell
- <http://www.strategyone.com/strategyonehomepagegazeplot.html>

Παράρτημα

Οι πίνακες που περιέχονται στο Παράρτημα περιέχουν τις αναλυτικές τιμές των στατιστικών δεικτών για όλα τα Μέρη (Α, Β και Γ) της πειραματικής έρευνας όπως υπολογίζονται από τη διαδικασία της ανάλυσης που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 7 της παρούσας διατριβής καθώς και τις αντίστοιχες παραμέτρους του πειραματικού σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, οι στατιστικοί δείκτες που προσδιορίζονται είναι οι ακόλουθοι (για την πλήρη περιγραφή των δεικτών βλέπε Παράγραφο Κεφάλαιο 7):

- Index 1: Index success
- Index 2: Index duration
- Index 3: Index duration percentage
- Index 4: Index number
- Index 5: Index number percentage
- Index 6: Index time first fixation

Στους Πίνακες (Π.1, Π.2, Π.3) που ακολουθούν οι τιμές των δεικτών 2 και 6 που αφορούν διάρκεια έχουν υπολογισθεί σε ms ενώ οι υπόλοιποι δείκτες (1, 3, 4 και 5) είναι αδιάστατοι αριθμοί.

Πίνακας Π.1 Οι τιμές των στατιστικών δεικτών για το πειραματικό Μέρος Α.

Χρόνος-Διάρκεια (ms)	Απόσταση (pixels)	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
2000	0	0.88	1359	0.74	1.3	0.40	382
800	1160	0.69	378	0.60	1.0	0.47	393
400	780	0.06	101	0.30	1.0	0.50	286
200	1260	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
2000	300	0.94	1507	0.87	1.3	0.53	352
600	600	0.88	234	0.46	1.1	0.45	291
400	180	0.69	152	0.44	1.0	0.50	220
800	700	0.44	333	0.51	1.0	0.38	399
600	80	0.19	250	0.68	1.0	0.61	188
200	1540	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
100	540	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
2000	1100	0.81	1313	0.79	1.2	0.40	547
3000	340	0.69	2433	0.88	1.8	0.61	219
600	840	0.44	200	0.43	1.1	0.48	370
1000	1240	0.50	446	0.58	1.0	0.42	529
800	100	0.69	495	0.67	1.1	0.52	269

Χρόνος-Διάρκεια (ms)	Απόσταση (pixels)	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
100	1400	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
1000	560	0.56	355	0.45	1.0	0.32	504
400	860	0.13	109	0.39	1.0	0.50	268
2000	940	0.69	1172	0.65	1.5	0.37	454
400	580	0.31	137	0.42	1.0	0.50	233
800	440	0.50	381	0.54	1.0	0.42	391
400	200	0.44	150	0.43	1.0	0.50	224
600	1200	0.31	163	0.35	1.0	0.37	409
3000	920	0.88	2132	0.76	1.7	0.45	357
800	260	0.81	462	0.64	1.0	0.46	298
3000	640	0.69	1663	0.59	1.5	0.36	404
200	1120	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
100	1220	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
600	500	0.38	183	0.48	1.0	0.44	330
2000	720	0.81	1432	0.78	1.5	0.47	437
100	420	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
400	1320	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
1000	280	0.75	565	0.65	1.0	0.48	302
1000	1140	0.63	470	0.54	1.0	0.36	475
200	740	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
600	220	0.56	277	0.60	1.0	0.48	271
3000	380	0.88	2024	0.72	1.6	0.48	363
800	1180	0.50	292	0.50	1.1	0.42	453
100	1440	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
2000	800	0.75	1175	0.70	1.3	0.37	473
200	1280	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
3000	1300	0.69	1706	0.68	1.6	0.35	800
200	680	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
1000	660	0.56	439	0.56	1.1	0.37	500
100	120	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
3000	40	0.81	2477	0.88	1.8	0.71	350
1000	240	0.75	612	0.62	1.0	0.45	314
2000	1340	0.63	1142	0.70	1.3	0.41	620
700	0	0.63	221	0.43	1.1	0.41	452
450	1160	0.06	167	0.50	1.0	0.50	243
300	780	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
250	1260	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	300	0.33	320	0.61	1.0	0.47	361
350	600	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
300	180	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
450	700	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0

Χρόνος-Διάρκεια (ms)	Απόσταση (pixels)	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
350	80	0.06	100	0.32	1.0	0.50	233
250	1540	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
150	540	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	1100	0.06	150	0.47	1.0	0.50	514
900	340	0.56	522	0.63	1.1	0.44	349
350	840	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	1240	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
450	100	0.19	172	0.41	1.0	0.50	254
150	1400	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	560	0.13	151	0.79	1.0	0.75	322
300	860	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	940	0.44	231	0.42	1.0	0.38	441
300	580	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
450	440	0.31	200	0.55	1.0	0.50	228
300	200	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
350	1200	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
900	920	0.38	350	0.45	1.0	0.38	393
450	260	0.63	230	0.59	1.0	0.50	194
900	640	0.50	398	0.53	1.0	0.42	408
250	1120	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
150	1220	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
350	500	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	720	0.44	331	0.59	1.0	0.43	346
150	420	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
300	1320	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	280	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	1140	0.06	200	0.50	1.0	0.50	271
250	740	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
350	220	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
900	380	0.56	485	0.61	1.0	0.43	348
450	1180	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
150	1440	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	800	0.19	150	0.34	1.0	0.33	521
250	1280	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
900	1300	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
250	680	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	660	0.13	216	0.52	1.0	0.50	254
150	120	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
900	40	0.75	651	0.81	1.0	0.65	222
500	240	0.44	248	0.61	1.0	0.57	218
700	1340	0.06	250	0.56	1.0	0.50	410

Πίνακας Π.2 Οι τιμές των στατιστικών δεικτών για το πειραματικό Μέρος Β.

Χρόνος-Διάρκεια (ms)	Απόσταση (pixels)	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
2000	0	0.12	1024	0.58	1.0	0.27	836
800	1160	0.53	283	0.44	1.0	0.37	473
400	780	0.12	142	0.42	1.0	0.50	238
200	1260	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
2000	300	0.65	1140	0.70	1.3	0.39	543
600	600	0.59	255	0.51	1.0	0.43	299
400	180	0.59	154	0.44	1.0	0.50	217
800	700	0.41	431	0.61	1.3	0.45	336
600	80	0.24	254	0.52	1.0	0.50	318
200	1540	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
100	540	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
2000	1100	0.59	887	0.53	1.4	0.31	831
3000	340	0.82	2335	0.84	2.2	0.52	279
600	840	0.41	188	0.38	1.0	0.40	366
1000	1240	0.12	433	0.51	1.0	0.29	532
800	100	0.35	411	0.55	1.2	0.47	301
100	1400	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
1000	560	0.41	440	0.54	1.0	0.31	488
400	860	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
2000	940	0.94	1097	0.63	1.3	0.38	595
400	580	0.24	125	0.38	1.0	0.50	247
800	440	0.47	388	0.59	1.1	0.54	389
400	200	0.35	158	0.46	1.0	0.50	211
600	1200	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
3000	920	0.76	1978	0.73	1.8	0.44	603
800	260	0.65	407	0.63	1.0	0.45	326
3000	640	0.88	1679	0.61	1.8	0.40	759
200	1120	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
100	1220	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
600	500	0.12	142	0.41	1.0	0.42	442
2000	720	0.47	1110	0.64	1.5	0.37	656
100	420	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
400	1320	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
1000	280	0.65	535	0.62	1.1	0.38	417
1000	1140	0.41	476	0.56	1.1	0.38	476
200	740	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
600	220	0.41	214	0.45	1.0	0.40	352
3000	380	0.65	2029	0.73	2.0	0.44	437
800	1180	0.18	211	0.32	1.0	0.28	560
100	1440	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0

Χρόνος-Διάρκεια (ms)	Απόσταση (pixels)	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
2000	800	0.63	863	0.53	1.1	0.27	637
200	1280	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
3000	1300	0.41	1390	0.55	1.4	0.22	1327
200	680	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
1000	660	0.24	512	0.62	1.0	0.38	428
100	120	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
3000	40	0.82	2024	0.74	1.5	0.55	639
1000	240	0.65	607	0.67	1.2	0.47	310
2000	1340	0.35	722	0.47	1.2	0.26	835
700	0	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
450	1160	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
300	780	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
250	1260	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	300	0.19	228	0.46	1.0	0.39	432
350	600	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
300	180	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
450	700	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
350	80	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
250	1540	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
150	540	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	1100	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
900	340	0.63	470	0.59	1.0	0.39	374
350	840	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	1240	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
450	100	0.06	150	0.38	1.0	0.50	263
150	1400	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	560	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
300	860	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	940	0.38	225	0.41	1.0	0.36	439
300	580	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
450	440	0.25	150	0.49	1.0	0.50	266
300	200	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
350	1200	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
900	920	0.63	408	0.53	1.0	0.39	459
450	260	0.31	197	0.51	1.0	0.50	230
900	640	0.50	364	0.48	1.0	0.35	343
250	1120	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
150	1220	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
350	500	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	720	0.44	226	0.43	1.0	0.38	411
150	420	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0

Χρόνος-Διάρκεια (ms)	Απόσταση (pixels)	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
300	1320	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	280	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	1140	0.13	142	0.36	1.0	0.50	324
250	740	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
350	220	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
900	380	0.69	530	0.67	1.1	0.47	332
450	1180	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
150	1440	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
700	800	0.19	228	0.50	1.0	0.44	450
250	1280	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
900	1300	0.06	217	0.43	1.0	0.33	667
250	680	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
500	660	0.25	200	0.52	1.0	0.50	276
150	120	0.06	133	1.00	1.0	1.00	17
900	40	0.81	605	0.77	1.2	0.64	218
500	240	0.63	233	0.52	1.0	0.50	240
700	1340	0.13	183	0.33	1.0	0.33	491

Πίνακας Π.3 Οι τιμές των στατιστικών δεικτών για το πειραματικό Μέρος Α.

Χρόνος-Διάρκεια (ms)	Απόσταση (pixels)	Μεταβολή έντασης (%)	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
475	0	0	0.04	217	0.52	1.0	0.50	0
750	1160	35	0.54	279	0.50	1.0	0.47	416
200	780	70	0.04	450	0.66	2.0	0.67	299
612.5	1260	35	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
337.5	300	70	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
612.5	600	0	0.11	222	0.45	1.0	0.44	331
475	180	0	0.36	192	0.46	1.0	0.50	232
750	700	70	0.32	287	0.42	1.0	0.41	447
337.5	80	0	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
200	1540	35	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
475	540	70	0.04	133	0.31	1.0	0.33	518
337.5	1100	70	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
475	340	35	0.14	179	0.61	1.0	0.56	386
612.5	840	35	0.43	222	0.47	1.1	0.44	316
200	1240	0	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
750	100	0	0.14	279	0.66	1.0	0.58	344
475	1400	70	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
612.5	560	35	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
200	860	0	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
337.5	940	35	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0

Χρόνος-Διάρκεια (ms)	Απόσταση (pixels)	Μεταβολή έντασης (%)	Index 1	Index 2	Index 3	Index 4	Index 5	Index 6
475	580	35	0.14	233	0.74	1.0	0.75	253
200	440	70	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
612.5	200	0	0.54	248	0.53	1.0	0.47	319
200	1200	70	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
475	920	0	0.07	292	0.51	1.0	0.50	355
612.5	260	0	0.43	272	0.54	1.0	0.47	295
200	640	35	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
612.5	1120	70	0.07	450	0.53	1.0	0.42	362
337.5	1220	35	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
612.5	500	70	0.14	287	0.57	1.0	0.50	277
337.5	720	0	0.04	133	0.30	1.0	0.33	503
200	420	0	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
475	1320	70	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
750	280	35	0.39	368	0.55	1.0	0.41	330
337.5	1140	0	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
750	740	35	0.29	265	0.44	1.1	0.38	404
612.5	220	70	0.39	282	0.51	1.0	0.48	292
337.5	380	70	0.07	575	0.68	1.5	0.58	284
475	1180	35	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
750	1440	0	0.21	239	0.42	1.0	0.36	440
750	800	70	0.32	230	0.41	1.1	0.36	476
337.5	1280	35	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
750	1300	70	0.18	187	0.41	1.0	0.35	527
200	680	35	0.00	0	0.00	0.0	0.00	0
750	90	0	0.43	418	0.61	1.2	0.47	355
475	240	0	0.43	197	0.49	1.0	0.49	236

Βιογραφικό σημείωμα

Βασίλειος Εμμ. Κρασανάκης

Προσωπικές πληροφορίες

Ημερομηνία γέννησης 13 Δεκεμβρίου 1986
Τόπος γέννησης Ηράκλειο Κρήτης
Εθνικότητα Ελληνική

Στοιχεία επικοινωνίας

Διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου krasvas@mail.ntua.gr
Προσωπική ιστοσελίδα <http://users.ntua.gr/krasvas>

Εκπαίδευση

2010-σήμερα Υποψήφιος Διδάκτορας ΕΜΠ
Εργαστήριο Χαρτογραφίας, Τομέας Τοπογραφίας, Σχολή Αγρονόμων
και Τοπογράφων Μηχανικών
Επίβλεψη: Β. Φιλιππακοπούλου (Ομότιμη Καθηγήτρια ΕΜΠ)

2004-2009 Δίπλωμα Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού ΕΜΠ
Βαθμός διπλώματος: 8.06/10, 7ος από τους 99 αποφοιτήσαντες του
ακαδημαϊκού έτους
Διπλωματική διατριβή: “Καταγραφή του ίχνους της οπτικής
αναζήτησης: Μια μέθοδος διερεύνησης της επιλεκτικότητας της οπής
ως βασικού χαρακτηριστικού του σχήματος” (Βαθμός: 10/10,
Εργαστήριο Χαρτογραφίας, Τομέας Τοπογραφίας, Επίβλεψη: Β.
Φιλιππακοπούλου)

2001-2004 Απολυτήριο Πειραματικού Ενιαίου Λυκείου Ηρακλείου Κρήτης
Βαθμός απολυτηρίου: “Άριστα” 18.7/20

Ξένες γλώσσες

Αγγλικά First Certificate in English (FCE), University of Cambridge
Γερμανικά Zertifikat Deutsch, Goethe-Intsitute

Διακρίσεις και Υποτροφίες

- Υποτροφία από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας (ΕΛΚΕ) του ΕΜΠ για την εκπόνηση διδακτορικής διατριβής (Διάρκεια υποτροφίας: 3 έτη, από 23 Ιουνίου 2011 έως 22 Ιουνίου 2014)
- Βραβείο από το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (ΙΚΥ) για την επίδοση σπουδών κατά το ακαδημαϊκό έτος 2005-2006 (Βραβείο προγράμματος 2006-2007)
- Τιμητικό Δίπλωμα από την Ελληνική Μαθηματική Εταιρία (Έπαινος για την επίδοση στον πανελλήνιο μαθηματικό διαγωνισμό “Θαλής”, Ηράκλειο Κρήτης, Μάρτιος 2004)

Διδακτική Εμπειρία

Επικουρικό έργο στα ακόλουθα μαθήματα της ΣΑΤΜ, ΕΜΠ:

Ακαδ. έτος 2013-2014	Χαρτογραφία II (Αναλυτική Χαρτογραφία, Υποχρεωτικό μάθημα 4ου εξαμήνου)
Ακαδ. έτος 2012-2013	Χαρτογραφία II (Αναλυτική Χαρτογραφία, Υποχρεωτικό μάθημα 4ου εξαμήνου)
Ακαδ. έτος 2011-2012	Θεματική Χαρτογραφία (Κατ' Επιλογήν Υποχρεωτικό μάθημα 5ου εξαμήνου)
Ακαδ. έτος 2011-2012	Θεματική Χαρτογραφία (Κατ' Επιλογήν Υποχρεωτικό μάθημα 6ου εξαμήνου)
Ακαδ. έτος 2010-2011	Θεματική Χαρτογραφία (Κατ' Επιλογήν Υποχρεωτικό μάθημα 6ου εξαμήνου)

Εισηγητής σε σεμινάριο του Ινστιτούτου Εκπαίδευσης & Επιμόρφωσης Μελών Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΙΕΚΕΜ ΤΕΕ):

13 Μαΐου-5 Ιουνίου 2013	Τίτλος σεμιναρίου: “Διαχείριση γεωπληροφοριών μέσω διαδικτύου-Διαδικτυακή χαρτογραφία & χαρτογραφία με πολυμέσα” (σεμινάριο 32 ωρών, σε συνεργασία με τον κ. Βύρωνα Νάκο, Καθηγητή ΕΜΠ)
-------------------------	---

Δημοσιευμένο ερευνητικό έργο

Δημοσιεύσεις

- **Krassanakis V.**, Filippakopoulou V., Nakos B. (2014), EyeMMV toolbox: An

- eye movement post-analysis tool based on a two-step spatial dispersion threshold for fixation identification, *Journal of Eye Movement Research*, 7(1): 1, 1-10. [peer-reviewed journal paper]
- Karagiorgou S., **Krassanakis V.**, Vescoukis V., Nakos B. (2014), Experimenting with polylines on the visualization of eye tracking data from observations of cartographic lines. In P. Kiefer, I. Giannopoulos, M. Raubal, A. Krüger (eds.), *Proceedings of the 2nd International Workshop on Eye Tracking for Spatial Research (co-located with the 8th International Conference on Geographic Information Science (GIScience 2014))*, Vienna, Austria, pp. 22-26. [full paper review]
 - Τζελέπης Β., **Κρασσανάκης Β.**, Νάκος Β. (2014), Αξιοποίηση ελεύθερου λογισμικού/λογισμικού ανοικτού κώδικα (ΕΛ/ΛΑΚ) για τη δημιουργία διαδικτυακών χαρτών στην εκπαίδευση. *Πρακτικά 13ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας της Χαρτογραφικής Επιστημονικής Εταιρίας Ελλάδας*. [κρίση στην περίληψη]
 - Misthos L. M., Nakos B., Mitropoulos V., **Krassanakis V.**, Menegaki M., Batzakis D. V. (2014), The Effectiveness of Propagating Viewsheds' Geovisualization from Topographically Prominent Viewroutes. *Proceedings of the 10th International Congress of the Hellenic Geographical Society*. [abstract review]
 - **Krassanakis V.**, Lelli A., Lokka I. E., Filippakopoulou V., Nakos B. (2013), Searching for salient locations in topographic maps, In T. Pfeiffer & K. Essig (eds.), *Proceedings of the First International Workshop on Solutions for Automatic Gaze Data Analysis 2013 (SAGA 2013)*, Bielefeld, Germany: Center of Excellence Cognitive Interaction Technology, pp. 41-44. [full paper review]
 - **Krassanakis V.** (2013), Exploring the map reading process with eye movement analysis, In P. Kiefer, I. Giannopoulos, M. Raubal, M. Hegarty, (eds.), *Eye Tracking for Spatial Research, Proceedings of the 1st International Workshop (in conjunction with COSIT 2013)*, Scarborough, United Kingdom, pp. 2-7. [full paper review, oral presentation by Krassanakis V.]

- **Krassanakis V.**, Mitropoulos V., Nakos B. (2013), A cartographic approach of the process of map symbolization on gvSIG software, *Proceedings of the 9th International gvSIG Conference*, Valencia, Spain. [invited paper]
- **Krassanakis V.**, Lelli A., Lokka I. E., Filippakopoulou V., Nakos B. (2013), Investigating dynamic variables with eye movement analysis, *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference*, Dresden, Germany [abstract review, oral presentation by Krassanakis V.]
- Bargiota T., Mitropoulos V., **Krassanakis V.**, Nakos B. (2013), Measuring locations of critical points along cartographic lines with eye movement analysis, *Proceeding of the 26th International Cartographic Conference*, Dresden, Germany. [abstract review]
- **Κρασσανάκης Β.**, Τζελέπης Ν. (2012). Χρήση πακέτων λογισμικού ανοικτού κώδικα για διαχείριση και οπτικοποίηση θεματικών δεδομένων, *7ο Πανελλήνιο Συνέδριο της HellasGIS*, Αθήνα, Ελλάδα. [κρίση στην περίληψη, παρουσίαση poster από τον Κρασσανάκη Β.]
- **Krassanakis V.**, Filippakopoulou V., Nakos B. (2011), An Application of Eye Tracking Methodology in Cartographic Research, *Proceedings of the EyeTrackBehavior 2011 (Tobii)*, Frankfurt, Germany. [abstract review, poster presentation by Krassanakis V.]
- **Krassanakis V.**, Filippakopoulou V., Nakos B. (2011). The influence of attributes of shape in map reading process, *Proceedings of the 25th International Cartographic Conference*, Paris, France. [abstract review, poster presentation by Krassanakis V.]

Άλλες παρουσιάσεις-ομιλίες

- **Krassanakis V.** (2014), Eye Movement Analysis and Applications: Experiments in the field of Map Perception, Language and Learning Lab., Department of Philosophy and History of Science, National and Kapodistrian University of Athens. [invited talk]
- **Krassanakis V.** (2013), Using EyeMMV Toolbox for eye movement analysis in cartographic experiments, Pre-Conference Workshop of International Cartographic Conference (ICC, ICA) 2013: Eye Tracking: Why, When, and How?, Dresden, Germany. [accepted for oral presentation after submission]

of a statement of interest]

Διανομή πηγαίου κώδικα

Ο πηγαίος κώδικας του λογισμικού εργαλείου EyeMMV toolbox που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής διανέμεται ελεύθερα μέσω του GitHub με άδεια χρήσης GPLv.3 (σύνδεσμος: <https://github.com/krasvas/EyeMMV>). Επιπροσθέτως, το EyeMMV toolbox εντάσσεται στα λογισμικά εργαλεία που προτείνονται στην ιστοσελίδα της Επιτροπής Γνωσιακής Οπτικοποίησης (Commission on Cognitive Visualization) της Διεθνούς Χαρτογραφικής Ένωσης (International Cartographic Association) (σύνδεσμος: <http://www.geo.uzh.ch/microsite/icacogvis/resources.html>).

Επιπρόσθετες πληροφορίες

Γνώσεις Η/Υ	<ul style="list-style-type: none">▪ Λειτουργικά συστήματα: Linux, Mac OS, Windows▪ Γλώσσες προγραμματισμού: Python, C++, IDL▪ Μαθηματικό λογισμικό και λογισμικό στατιστικής: MATLAB, Octave, Mathematica, PSPP▪ Εξειδικευμένο εμπορικό λογισμικό: AutoCAD, CorelDRAW, ArcGIS, ER Mapper, Surfer, Photoshop▪ Εξειδικευμένο λογισμικό ανοικτού κώδικα: Quantum GIS, OpenJUMP GIS, GIMP, Inkscape, Dia, Kompozer, MapServer, OpenLayers
Στρατιωτικές υποχρεώσεις	Εκπληρωμένες κατά το χρονικό διάστημα από 11 Νοεμβρίου 2009 έως 11 Αυγούστου 2010
Μέλος	<ul style="list-style-type: none">▪ Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος▪ Commission on Cognitive Visualization (International Cartographic Association, ICA)