



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΣΑΚΚΑΔΙΚΩΝ  
ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ  
MARKOV

Διπλωματική Εργασία της  
Κολιαράκη Μαρίας Νικολέττας

Επιβλέπων: Γ. Ματσόπουλος  
Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2014





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

## Μελέτη Χρονικών Διαστημάτων Μεταξύ Διαδοχικών Σακκαδικών Κινήσεων με Χρήση Μοντέλων Markov

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

**ΜΑΡΙΑΣ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑΣ ΚΟΛΙΑΡΑΚΗ**

**Επιβλέπων :** Γ. Ματσόπουλος  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26 Μαρτίου 2014.

(Υπογραφή)

.....  
Γιώργος Ματσόπουλος  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....  
Νικόλαος Ουζούνογλου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....  
Μυρσίνη Μακρόπουλου  
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2014

*(Υπογραφή)*

.....

**ΜΑΡΙΑ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ ΚΟΛΙΑΡΑΚΗ**

© 2014 – All rights reserved

## **ABSTRACT**

Purpose: Saccadic movements are really useful tool for neurobiology. A big number of researches has examined the relationship between the saccade characteristics (amplitude, velocity, orientation, duration, saccadic reaction time) and psychopathological factors. Even if we ask somebody to focus on a stable target, we can record saccadic movements due to the try to make corrections of the focus spot. In this study, we examine the Inter Saccadic Intervals (ISIs) of a control group (normal sample). The intervals are separated in two states (short and long ISIs). We have used markov models to test the hypothesis that the transition from one state (short/ long) to another (long/ short) is random. If the hypothesis is wrong, there are states that are “attractors” for each state. To sum up, we want to produce a prediction model for the time one person making saccades.

Methodology: This study used the oculomotor dataset from the ASPIS sample (Athens Study for Psychosis Proneness and Incidence of Schizophrenia). Each subject has tried three fixation tasks, saccadic and anti-saccadic movements’, as well cognition tasks. Analysis is made on results of three tasks. In each task subjects are asked to make no eye movement for 50 seconds. In first task (task2) there was a visual target (target condition). In second task (task3) there was a visual target, but distracting targets also appeared in random intervals (distractor condition). In third task (task4) subjects are asked to focus without visual target (no target condition). Subjects have completed psychometrics forms. The record of oculomotor signals is made only for the right eye. The data sampling is made with frequency 600 samples per second. Blinks and microsaccades (i.e. saccadic movements shorter than 0,5 degrees) are taken of data sample. In this study are used data from about 800 persons in each task.

Sample is taken as it is uniform for each task and we created a histogram of frequencies. Thresholding was made initially in four ways. First way was the visual estimation, extracting directly from histograms, while the choosing of the bins size is made for the best resolution. Second way was thresholding by using the second derivative of the distribution line. The two other ways are based to Euclidian distance between the spots of the distribution and they are automated matlab’s functions. Finally the way of the second derivative is chosen. For calculating State Transition Matrices, markov chains have been used.

Results: It seems that subjects tend to stay from a state of short ISI to the same state and the same for long ISIs. This tension is stronger for short ISIs. In a second order analysis, we can note that for each current state there is a tension be on the same state after two transitions, whichever the intervening state is.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Σκοπός:** Οι σακκαδικές κινήσεις αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο για τη νευροβιολογία. Πλήθος ερευνών έχουν ασχοληθεί με τη σύνδεση των χαρακτηριστικών των σακκαδικών (πλάτος, ταχύτητα, κατεύθυνση, διάρκεια, χρόνος απόκρισης) με ψυχοπαθολογικούς παράγοντες. Όταν ζητάμε από κάποιον να εστιάσει σε σταθερό στόχο, μπορούμε να καταγράψουμε σακκαδικές κινήσεις, που οφείλονται στην προσπάθεια να διορθώσει αποκλίσεις του σημείου εστίασης. Στην παρούσα εργασία μελετάμε τα χρονικά διαστήματα μεταξύ διαδοχικών σακκαδικών κινήσεων (Inter Saccade Intervals- ISI) από υγιή άτομα, χωρίζοντας σε δύο καταστάσεις (μικρά και μεγάλα). Χρησιμοποιούμε μοντέλα markov, για να εξετάσουμε αν η μετάβαση από μία κατάσταση (short ή long ISI) σε άλλη είναι τυχαία ή υπάρχουν καταστάσεις «ελκυστές». Με λίγα λόγια να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο πρόβλεψης για το χρόνο που εμφανίζονται οι σακκαδικές.

**Μεθοδολογία:** Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία προέρχονται από την βάση δεδομένων του Αιγινήτειου Νοσοκομείου. Κάθε άτομο εξετάστηκε σε δοκιμασίες προσήλωσης, σακκαδικών και αντισακκαδικών κινήσεων, όπως και δοκιμασίες αντίληψης. Η ανάλυση έγινε σε αποτελέσματα από τρεις δοκιμασίες. Σε κάθε δοκιμασία ζητούνταν από τα άτομα που συμμετέχουν να μην πραγματοποιήσουν καμία οφθαλμική κίνηση για 50 δευτερόλεπτα. Στην πρώτη (task2) υπήρχε οπτικός στόχος (target condition). Στη δεύτερη (task3) υπήρχε οπτικός στόχος, αλλά εμφανίζονταν κατά διαστήματα και στόχοι απόσπασης της προσοχής (distractor condition). Στην τρίτη (task4) ζητείται εστίαση χωρίς ύπαρξη οπτικού στόχου (no target condition). Τα ίδια άτομα συμπλήρωσαν ψυχομετρικά έντυπα. Η καταγραφή των οφθαλμικών σημμάτων έγινε από το δεξιό μάτι μόνο. Η δειγματοληψία των δεδομένων έγινε με συχνότητα 600δείγματα/δευτερόλεπτο. Από τα δεδομένα απαλείφθηκαν οι βλεφαρισμοί και αφαιρέθηκαν οι μικροσακκαδικές κινήσεις (δηλαδή σακκαδικές κινήσεις μικρότερες από 0,5 degrees). Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από περίπου 800 άτομα σε κάθε διαδικασία.

Το δείγμα πάρθηκε ως ενιαίο και για κάθε task δημιουργήθηκε ιστόγραμμα συχνότητων. Η επιλογή κατωφλιού έγινε με τέσσερις τρόπους. Ο πρώτος ήταν οπτικός προσδιορισμός, από τα ιστογράμματα με επιλογή του εύρους των ομάδων βάσης της ευκρίνειας. Ο δεύτερος ήταν ο προσδιορισμός μέσω την δεύτερης παραγώγου της καμπύλης της κατανομής. Οι άλλοι δύο τρόποι ομαδοποίησης βασίζονται στην ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των σημείων της κατανομής και είναι αυτοματοποιημένες συναρτήσεις του matlab. Τελικά επιλέχθηκε ο τρόπος της περιβάλλουσας. Για τη δημιουργία των πινάκων μετάβασης χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι του markov.

**Αποτελέσματα:** Φαίνεται ότι υπάρχει μια τάση από μικρά ISI να μένουμε σε μικρά και το ίδιο για τα μεγάλα. Η τάση αυτή είναι μάλιστα πιο ισχυρή για τα μικρά ISIs. Σε κάθε περίπτωση ακόμα και σε μια ανάλυση δεύτερης τάξης παρατηρούμε ότι ανεξάρτητα από το πια θα είναι η ενδιάμεση μετάβαση μετά από δύο μεταβάσεις τείνει να ξανακάνει την ίδια με την αρχική.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή.....	1
1.1 Οφθαλμικές κινήσεις.....	2
1.2 Σκοπός της εργασίας και μέθοδος ανάλυσης δεδομένων.....	3
1.3 Παρουσίαση της δομής.....	4

### Κεφάλαιο 2

Οφθαλμικές κινήσεις-Ο ρόλος των σακκαδικών στις νευροφυσιολογικές ερευνες	
2.1 Το σύστημα προσήλωσης (fixation system).....	5
2.1.1 Τρέμουλο ή φυσιολογικός νυσταγμός (tremor).....	5
2.1.2 Κινήσεις διολίσθησης (drifts).....	6
2.1.3 Μικροσακκαδικές (microsaccades).....	6
2.1.4 Ο ρόλος των οφθαλμικών κινήσεων προσήλωσης.....	7
2.2 Βλεφαρισμοί των οφθαλμών.....	8
2.3 Σακκαδικές παρεμβολές.....	8
2.4 Οφθαλμοκινητικό σύστημα.....	8
2.4.1 Ομαλές κινήσεις παρακολούθησης (smooth pursuit movements).....	9
2.4.2 Κινήσεις σύγκλισης-απόκλισης (vergence movements).....	9
2.4.3 Σακκαδικές κινήσεις (saccades).....	9
2.5 Προηγούμενες έρευνες.....	9

### Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία Ανάλυσης Σακκαδικών Κινήσεων

3.1 Εισαγωγή.....	13
3.2 Προεπεξεργασία (preprocessing).....	14
3.2.1 Επεξεργασία Λαμβανόμενων Σημάτων.....	15

3.3 Μοντέλο Πρόβλεψης Σακκαδικών.....	18
3.3.1 Ανάλυση Markov.....	19
3.3.2 Στατιστική Αναφορά Σχετικά Με Τα Μοντέλα Markov.....	20
3.4 Μαρκοβιανά Μοντέλα Για Τη Μελέτη Των Μοτίβων Σακκαδικών.....	24
3.4.1 Μοντέλο Τριών Καταστάσεων.....	24
3.4.2 Μοντέλο Δύο Καταστάσεων-Πρώτης Τάξης.....	27
3.4.3 Μοντέλο Δύο Καταστάσεων-Δεύτερης Τάξης.....	27
3.5 Αποτελέσματα.....	28
3.5.1 Επιλογή Κατωφλιού.....	28
3.5.2 Μαρκοβιανά Μοντέλα Για Τη Μελέτη Των Inter Saccadic Intervals...36	
3.5.2.1 Το Μοντέλο Τριών Καταστάσεων.....	36
3.5.2.2 Το Μοντέλο Δυο Καταστάσεων-Πρώτης Τάξης- Επιλογή Μεθόδου Εύρεσης Κατωφλιού.....	38
3.5.2.3 Το Μοντέλο Δύο Καταστάσεων-Πρώτης Τάξης-Short vs Long ISIs..48	
3.5.2.4 Το Μοντέλο Δύο Καταστάσεων-Δεύτερης Τάξης. Έλεγχος Για Μνήμη Δεύτερης Τάξης Στο Σύστημα.....	50

## **Κεφάλαιο 4**

### Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

4.1 Συζήτηση των Αποτελεσμάτων.....	57
4.2 Ποιοτική Προσέγγιση των Αποτελεσμάτων.....	62
4.3 Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	65

<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>67</b>
--------------------------	-----------



## Κεφάλαιο 1

### Εισαγωγή

---

Η μελέτη της κίνησης του ματιού, της απόκρισης δηλαδή στα οπτικά ερεθίσματα, μας αποκαλύπτει πολλά για τη λειτουργία του εγκεφάλου. Οι κινήσεις των ματιών καταστούν δυνατή την παρατήρηση κινούμενων αντικειμένων, την περιήγηση του βλέμματος σε μια εικόνα και πολλά άλλα. Όταν παρατηρούμε μια σταθερή εικόνα, το βλέμμα μας κινείται, έτσι ώστε να δημιουργεί έναν νοητικό «χάρτη» των ενδιαφερόντων σημείων [1]. Ο ρόλος των οφθαλμικών κινήσεων κατά τη διάρκεια που προσηλώνουμε το βλέμμα μας αλλά και κατά τη διάρκεια που «ανιχνεύουμε» το οπτικό μας περιβάλλον είναι πολύ σημαντικός για την αντίληψη της όρασης. Η σταθερή εικόνα, έχει παρατηρηθεί ότι προκαλεί νευρωνική προσαρμογή, δηλαδή αδρανοποίηση των νευρώνων στους οποίους οφείλονται οι οφθαλμικές κινήσεις. Στην πραγματικότητα όμως, η νευρωνική προσαρμογή αποφεύγεται επειδή τα μάτια μας εκτελούν συνεχώς ακούσιες κινήσεις, με αποτέλεσμα η εικόνα στον αμφιβληστροειδή να μη μένει σταθερή ακόμα και όταν προσηλώνουμε το βλέμμα μας σε ένα σταθερό σημείο.

Ο ανθρώπινος αμφιβληστροειδής είναι ανισοτροπικός. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχει την ίδια ικανότητα επεξεργασίας του οπτικού σήματος σε όλη την επιφάνειά του (λόγω διαφορετικής πυκνότητας κωνίων και ραβδίων). Το αντικείμενο παρατήρησης πρέπει να βρίσκεται στο κέντρο του αμφιβληστροειδή, στην περιοχή (fovea) που είναι υπεύθυνη για την οπτική επεξεργασία. Εκεί έχουμε μεγάλη πυκνότητα κωνίων, με αποτέλεσμα η περιοχή να έχει μεγάλη διακριτική ικανότητα. Στην περιφερειακή περιοχή, υπάρχει μεγάλη πυκνότητα ραβδίων. Η περιοχή αυτή είναι υπεύθυνη για την ανίχνευση και την κατεύθυνση του οπτικού ερεθίσματος. Οι κινήσεις που εκτελεί το βλέμμα για να κρατήσει το σημείο του ενδιαφέροντος στην κεντρική περιοχή είναι οι σακκαδικές κινήσεις.

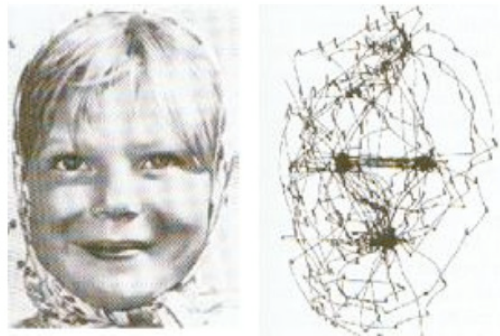
Υπάρχουν κινήσεις που εντάσσονται στο μηχανισμό προσήλωσης (fixation system), όπως είναι οι μικροσακκαδικές (microsaccades), και κινήσεις που έχουν να κάνουν με τον μηχανισμό της παρατήρησης (gaze control system). Τέτοιες είναι οι σακκαδικές κινήσεις αλλά και πιο αργές κινήσεις όπως οι ομαλές κινήσεις παρακολούθησης (smooth pursuit). Σακκαδική κίνηση είναι η ταυτόχρονη κίνηση και των δύο ματιών κατά τη μετατόπιση του σημείου εστίασης. Οι σακκαδικές αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για τη νευροβιολογία, αφού είναι ένα δημοφιλές μέσο για τη μελέτη της κινητικής και της γνωστικής λειτουργία αλλά και της μνήμης και συχνά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τεχνικές, όπως η λειτουργική απεικόνιση και η διακρανιακή μαγνητική διέγερση [2].

Η παράλληλη μελέτη των δεδομένων που προκύπτουν από πειράματα στους τομείς της ανατομίας, της νευροφυσιολογίας και της ψυχοφυσικής της όρασης μπορεί να καταστήσει δυνατό τον επιθυμητό συσχετισμό της δραστηριότητας και απόκρισης των νευρώνων με την οπτική μας αντίληψη. Επιπλέον, επειδή η μελέτη των σακκαδικών κινήσεων των οφθαλμών μπορεί να γίνει με τρόπο μη επεμβατικό, υποστηρίζεται η έρευνα σχετικών ψυχοκινητικών λειτουργιών, νοητικών διεργασιών υψηλότερου επιπέδου, αλλά και των σχετικών μηχανισμών του νευρικού συστήματος. Συνεπώς η μελέτη των σακκαδικών κινήσεων κρίνεται σκόπιμη σε περιπτώσεις

ψυχιατρικής ασθένειας, καθώς δύναται να αυξήσει την αποτελεσματικότητα στην ιατρική διάγνωση, αλλά και να αποτελέσει σύστημα υποστήριξης απόφασης για τους αρμόδιους ιατρούς. Στην περίπτωση της σχιζοφρένειας, για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί πως τα άτομα που πάσχουν εμφανίζουν χαρακτηριστικές δυσλειτουργίες που σχετίζονται με τις κινήσεις των βολβών των ματιών (σακκαδικές κινήσεις).

### 1.1 ΟΦΘΑΛΜΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ

Οι οφθαλμικές κινήσεις είναι χρήσιμες για την εξερεύνηση του εξωτερικού κόσμου καθώς χάρη σε αυτές ο οπτικός άξονας προσανατολίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε τα είδωλα των αντικειμένων του ενδιαφέροντός μας να μεταφερθούν στο κεντρικό βοθρίο όπου μπορούν να αναλυθούν πλήρως. Η όραση είναι μια ενεργητική διαδικασία κατά την οποία οι οφθαλμικές κινήσεις μετακινούν το βλέμμα πολλές φορές το δευτερόλεπτο σε επιλεγμένα σημεία της εικόνας με σκοπό τη διερεύνηση των ενδιαφερόντων χαρακτηριστικών. Μας επιτρέπει να συγκεντρώνουμε περιοδικά την προσοχή μας στα σημεία της εικόνας που περιέχουν την πιο σημαντική πληροφορία. Επιπλέον οι οφθαλμοκινήσεις αποκαλύπτουν κατά κάποιο τρόπο τη στρατηγική που ακολουθεί ο παρατηρητής κατά τη διερεύνηση μιας οπτικής σκηνής. Κάθε σκανάρισμα αντανακλά και προδίδει την πρόθεση και το «σκοπό» του τελευταίου.



Εικόνα 1.1 Διερεύνηση εικόνας με τη βοήθεια σακκαδικών κινήσεων. Οι οφθαλμοί κινούνται συνεχώς και συγκεντρώνουν την προσοχή (μαύρες κουκίδες) σε περιοχές ενδιαφέροντος.

Το μάτι μπορεί να δώσει δύο γενικούς τύπους ως αντίδραση στα ερεθίσματα. Ο πρώτος είναι αυτός όπου τα μάτια δεν κινούνται, δηλαδή οι βλεφαρισμοί, η προσαρμογή του φακού και οι αποκρίσεις του επιθηλίου του οφθαλμού, ενώ ο δεύτερος είναι αποκρίσεις όπου το μάτι κινείται, δηλαδή σακκαδικές, ομαλές κινήσεις παρακολούθησης, νυσταγμός κ.λπ.. Το σύστημα παρατήρησης που είναι υπεύθυνο για τον εντοπισμό και τη διατήρηση των εικόνων στο κεντρικό βοθρίο χωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Σύστημα προσήλωσης (Fixation system)
2. Οφθαλμοκινητικό σύστημα (Oculomotor system)
3. Σύστημα κίνησης κεφαλιού (Head motor system)

Το οφθαλμοκινητικό σύστημα καταφέρνει να διατηρεί το είδωλο του ενδιαφέροντος αντικειμένου στο κεντρικό βοθρίο με τριών ειδών κινήσεις: τις σακκαδικές, τις ομαλές κινήσεις παρακολούθησης (smooth pursuit movements) και τις κινήσεις σύγκλισης/απόκλισης (vergence eye movement).

Στο σύστημα προσήλωσης έχουν παρατηρηθεί επίσης τρία είδη κινήσεων: το τρέμουλο (ή φυσιολογικός νυσταγμός) (tremor), οι κινήσεις διολίσθησης (drifts) και οι μικροσακκαδικές κινήσεις (microsaccades) [3], [4]

## **1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

Οι εκούσιες αλλά και οι ακούσιες κινήσεις δίνουν πληροφορίες για τις προθέσεις αλλά και για την κατάσταση του ατόμου. Στην εργασία αυτή εξετάζουμε αν υπάρχουν σημαντικές πληροφορίες στις σακκαδικές κινήσεις, που εντοπίστηκαν σε δεδομένα από τρία tasks, δηλαδή τρεις δοκιμασίες. Η παράμετρος με την οποία θα ασχοληθούμε είναι ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο σακκαδικές κινήσεις (ISI). Χρησιμοποιούμε μοντέλα Markov για να διαπιστώσουμε αν μια συγκεκριμένη διαδοχή inter-saccadic interval (διασακκαδικά διαστήματα) είναι περισσότερο πιθανή από μία άλλη. Αν δηλαδή υπάρχει κάποιο μοντέλο πρόβλεψης. Συγκρίνουμε τις μεταβάσεις καταστάσεων του συστήματος με ένα σύστημα χωρίς μνήμη.

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε είναι από το δείγμα της ASPPIS (Athens Study of Psychosis Proneness and Incidence of Schizophrenia) [5]. Πρόκειται για μια έρευνα που έγινε σε 2120 άτομα, 18-25 ετών, της Ελληνικής Πολεμικής Αεροπορίας, με γραπτή συναίνεση αυτών. Κάθε άτομο εξετάστηκε σε δοκιμασίες προσήλωσης, σακκαδικών και αντισακκαδικών κινήσεων, όπως και δοκιμασίες αντίληψης. Σε κάθε δοκιμασία ζητούνταν από τα άτομα που συμμετέχουν, να μην πραγματοποιήσουν καμία οφθαλμική κίνηση για 50 δευτερόλεπτα. Τα ίδια άτομα συμπλήρωσαν ψυχομετρικά έντυπα.

Στην πρώτη δοκιμασία (target condition), ζητήθηκε από τα άτομα να επικεντρωθούν απλά σε έναν οπτικό στόχο στο κέντρο της οθόνης ενός υπολογιστή (λευκός σταυρός 0.3°x0.3°). Στη δεύτερη δοκιμασία (distracters condition), ζητήθηκε να επικεντρωθούν ξανά σε έναν κεντρικό στόχο και να αγνοήσουν τους στόχους που μπορεί να εμφανιστούν δεξιά ή αριστερά. Δύο μικροί και δύο μεγάλοι λευκοί σταυροί χρησιμοποιήθηκαν, καθένας εμφανιζόταν για 500ms σε τυχαία χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας. Οι στόχοι απόσπασης της προσοχής μπορεί να εμφανίζονταν σε τυχαία απόσταση 2°-9° και τυχαία θέση σε σχέση με το κέντρο. Στην τρίτη δοκιμασία, ζητήθηκε από τα άτομα που συμμετείχαν να μείνουν προσηλωμένοι σε μια αρχική κατάσταση (ευθεία μπροστά) και να αποφύγουν τις οφθαλμικές κινήσεις. Πριν από κάθε δοκιμασία, πραγματοποιούνταν μια διαδικασία βαθμονόμησης που αποτελούνταν από σακκαδικές κινήσεις σε στόχους που βρίσκονταν 10° και 5° δεξιά και αριστερά από τον κεντρικό στόχο. [5]

Η καταγραφή των οφθαλμικών σημάτων έγινε από το δεξί μάτι μόνο, χρησιμοποιώντας την συσκευή υπερύθρων IRIS SCALAR. Ένας ψηφιακός μετατροπέας 12-bit χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή των σημάτων σε ψηφιακή μορφή και ένας υπολογιστής χρησιμοποιήθηκε για την παρουσίαση των στόχων. Η δειγματοληψία των δεδομένων έγινε με συχνότητα 600δείγματα/δευτερόλεπτο.

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από περίπου 800 άτομα. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων ήταν:

1. Προεπεξεργασία (Preprocessing) των σημάτων
2. Ομαδοποίηση των δεδομένων (data clustering) και επιλογή κατωφλιού ISI
3. Δημιουργία πινάκων markov

### **1.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ**

Στην εισαγωγή που προηγήθηκε επιχειρήθηκε να «πειστεί» ο αναγνώστης για τη χρησιμότητα των σακκαδικών κινήσεων στη μελέτη ψυχικών διαταραχών, αλλά και να δοθεί μια σύντομη περιγραφή της ερευνητικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει μια περιγραφή των οφθαλμικών κινήσεων. Στην παράγραφο 2.1 περιγράφονται οι οφθαλμικές κινήσεις προσήλωσης και ο ρόλος τους, στις 2.2 και 2.3 οι μηχανισμοί των βλεφαρισμών και των σακκαδικών παρεμβολών και στο 2.4 παρουσιάζονται τα είδη κινήσεων του οφθαλμοκινητικού συστήματος. Στην παράγραφο 2.5 γίνεται μια αναδρομή σε προηγούμενες έρευνες που χρησιμοποιούν σακκαδικές κινήσεις.

Στο κεφάλαιο 3, θα περιγραφεί η μεθοδολογία ανάλυσης των δεδομένων, από την αρχική μορφή των σημάτων ως την ανάπτυξη των μοντέλων Markov. Παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία της έρευνας και της επεξεργασίας των δεδομένων, οι τρόποι ανίχνευσης και διαχωρισμού των οφθαλμικών κινήσεων, τα μοντέλα markov αλλά και τα πειραματικά αποτελέσματα, με τα συμπεράσματα από τη σύγκρισή τους. Στο 3.1, θα επιχειρηθεί μια σύντομη αναφορά σε ότι θα ακολουθήσει. Στο 3.2 περιγράφεται η προεπεξεργασία των σημάτων της πειραματικής διαδικασίας (αφαίρεση βλεφαρισμών, μετατροπή του σήματος σε αριθμητικά δεδομένα). Στο 3.3 θα γίνει αναλυτική περιγραφή του μοντέλου πρόβλεψης σακκαδικών, η μέθοδος markov. Στο 3.4 η περιγραφή θα εξειδικευτεί στα μοντέλα που θα χρησιμοποιήσουμε. Στο 3.5 παρουσιάζεται αναλυτικά η μέθοδος επιλογής κατωφλιού και τα ποσοτικά αποτελέσματα της επεξεργασίας.

Στο κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης, τα συμπεράσματα που βγάλαμε, προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις της έρευνας με βάση αυτά τα αποτελέσματα και αναλύονται ποιοτικά τα συμπεράσματα.

## Κεφάλαιο 2

### Οφθαλμικές κινήσεις – ο ρόλος των σακκαδικών στις νευροφυσιολογικές έρευνες

---

#### 2.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΗΛΩΣΗΣ (FIXATION SYSTEM)

Το σύστημα σταθεροποίησης προσδιορίζεται από τις οφθαλμικές κινήσεις προσήλωσης. Το οπτικό μας σύστημα ελέγχεται από τους νευρώνες, η λειτουργία των οποίων αποτελεί τη βάση κάθε οπτικής επεξεργασίας. Οι σταθερές φωτεινές εντάσεις παράγουν αδύναμες νευρωνικές αποκρίσεις, ενώ οι απότομες αλλαγές των φωτεινών εντάσεων στο χώρο και το χρόνο προκαλούν ισχυρές νευρωνικές αποκρίσεις [6], [7]. Το αποτέλεσμα πρακτικά είναι τα σταθερά χαρακτηριστικά να εξασθενούν και τελικά να χάνονται από την οπτική μας αντίληψη.

Οι οφθαλμικές κινήσεις κατά τη διάρκεια της προσήλωσης είναι συνεπώς απαραίτητες, για να ξεπεραστεί η αδυναμία της οπτικής αντίληψης λόγω αδράνειας των αμφιβληστροειδικών νευρώνων, ακόμη και αν αυτό σημαίνει ενδεχόμενη μείωση της οπτικής οξύτητας [8]. Ο σκοπός των οφθαλμοκινητικών μηχανισμών προσήλωσης δεν είναι η αμφιβληστροειδική σταθεροποίηση, αλλά η ελεγχόμενη μετακίνηση του αμφιβληστροειδικού ειδώλου, ώστε να είναι τελικά κατάλληλο για οπτική επεξεργασία [9].

Οι οφθαλμοί μας κινούνται συνεχώς, ακόμα και όταν προσηλώνουμε το βλέμμα μας σε κάποιο αντικείμενο. Τις οφθαλμοκινήσεις αυτές, ενώ το πλάτος τους είναι αρκετό για να είναι ορατές, δεν τις αντιλαμβανόμαστε, ενώ αν δεν υπήρχαν, η οπτική μας αντίληψη θα χανόταν τελείως, ως αποτέλεσμα της νευρωνικής προσαρμογής [10]. Παρακάτω θα περιγραφούν τα τρία είδη κινήσεων προσήλωσης που γνωρίζουμε: τρέμουλο ή φυσιολογικός νυσταγμός, κινήσεις διολίσθησης και μικροσακκαδικές κινήσεις.

##### 2.1.1 ΤΡΕΜΟΥΛΟ Ή ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΝΥΣΤΑΓΜΟΣ (TREMOR)

Οι τρέμουλο-κινήσεις είναι ακούσιες, μη συζυγείς, απεριοδικές και κυματοειδείς κινήσεις των οφθαλμών και έχουν το μικρότερο πλάτος από όλες τις οφθαλμικές κινήσεις. Το πλάτος τους δεν ξεπερνά τη διάμετρο ενός κωνίου στην περιοχή του βοθρίου (fovea), δηλαδή περίπου  $2.5\mu\text{m}$  ή  $0.5\text{arcmin}$  (αντιστοιχία σε γωνία όρασης). Αποκαλούνται και φυσιολογικός νυσταγμός, έχουν συχνότητα περίπου  $90\text{Hz}$  [4] και ταχύτητα μικρότερη από  $20\text{arcmin/sec}$  [10]. Τα πλάτη και οι συχνότητές τους είναι συνήθως στο εύρος του θορύβου του συστήματος καταγραφής και για το λόγο αυτό είναι αρκετά δύσκολη η ακριβής καταγραφή τους.

Οι τρέμουλο-κινήσεις δεν γίνονται αντιληπτές, επειδή η συχνότητά τους είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη διακριτική χρονική ικανότητα του ανθρώπου, άρα δεν έχουν ορατά αποτελέσματα [11]. Είναι σημαντικό το ότι, παρόλο το μικρό τους μέγεθος, είναι ικανές να διατηρήσουν τους νευρώνες σε λειτουργία. Παρόλα αυτά ο ρόλος τους στην υποστήριξη της όρασης δεν έχει ακόμα προσδιοριστεί. Επιπλέον οι

τρέμουλο-κινήσεις συμβαίνουν ανεξάρτητα στους δύο οφθαλμούς, κάτι που ίσως δημιουργεί ένα όριο στη στερεοσκοπική μας όραση [12].

### **2.1.2 ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΔΙΟΛΙΣΘΗΣΗΣ (DRIFTS)**

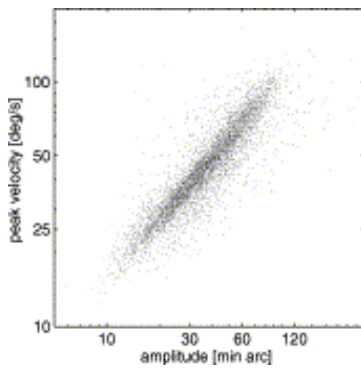
Οι κινήσεις διολίσθησης είναι αργές καμπυλοειδείς κινήσεις των οφθαλμών, που συμβαίνουν ταυτόχρονα με τις τρέμουλο-κινήσεις στο χρονικό διάστημα μεταξύ των μικροσακκαδικών κινήσεων, για λόγους διατήρησης της προσήλωσης. Είναι ακούσιες κινήσεις και έχουν καταγραφεί και ως συζυγείς και ως μη συζυγείς. Συμβαίνουν περίπου κατά το 95% - 97% του χρόνου προσήλωσης και η ταχύτητά τους δεν ξεπερνά τα 30 arcmins/sec [10].

Κατά τη διάρκειά τους το είδωλο μετατοπίζεται για 5-15 φωτουπόδοχες, δηλαδή για 2.5arcmins - 7.5arcmins (12.5 $\mu$ m - 37.5 $\mu$ m) και για το λόγο αυτό αρχικά η ύπαρξή τους είχε αποδοθεί στην αστάθεια των οφθαλμοκινητικών μυών. Πρόσφατες έρευνες, όμως, έχουν δείξει πως ο ρόλος τους είναι η διατήρηση της προσήλωσης και είναι αντισταθμιστικός ως προς το ρόλο των μικροσακκαδικών κινήσεων, σε διαστήματα όπου οι τελευταίες απουσιάζουν ή σε διαστήματα όπου η αντιστάθμισή τους δεν είναι επαρκής. [13], [14]

### **2.1.3 ΜΙΚΡΟΣΑΚΚΑΔΙΚΕΣ (MICROSACCADES)**

Οι μικροσακκαδικές αποτελούν τις γρηγορότερες και μεγαλύτερες σε εύρος από τις οφθαλμικές κινήσεις προσήλωσης. Είναι μικρές, απότομες, συζυγείς και ακούσιες κινήσεις, συμβαίνουν στη διάρκεια της προσήλωσης και μεταφέρουν το αμφιβληστροειδικό είδωλο δια μέσω μερικών δεκάδων φωτουπόδοχών. Το πλάτος τους κυμαίνεται μεταξύ 5 arcmin - 120 arcmin (25  $\mu$ m - 100  $\mu$ m) και η ταχύτητά τους είναι μεγαλύτερη από 10<sup>0</sup>/sec. Η συχνότητά τους είναι από 0.1 Hz - 5.0 Hz, ενώ διαρκούν περίπου 25 msec [15]. Οι μικροσακκαδικές κινήσεις δεν μπορούν να προσδιοριστούν μόνο από το μέγεθός τους καθώς το πλάτος των εκούσιων σακκαδικών κινήσεων μπορεί να είναι το ίδιο μικρό. Για το λόγο αυτό καθοριστικά για τον προσδιορισμό τους είναι η ταχύτητα και η επιτάχυνσή τους. Μικροσακκαδικές κινήσεις έχουν παρατηρηθεί και σε διάφορα άλλα είδη εκτός του ανθρώπου και κυρίως σε είδη με φοβική όραση (foveal vision).

Ένας από τους πιθανότερους ρόλους των μικροσακκαδικών κινήσεων είναι η αντιστάθμιση των μετατοπίσεων των οφθαλμών, που παράγονται από τις κινήσεις διολίσθησης (drifts) [16], [17]. Η πραγματοποίηση, η κατεύθυνση και το πλάτος των μικροσακκαδικών σχετίζεται με προηγούμενες μετατοπίσεις του ειδώλου στον αμφιβληστροειδή, δηλαδή οι μικροσακκαδικές κινήσεις τείνουν να επαναφέρουν το είδωλο στην αρχική του θέση στην περιοχή του κεντρικού βοθρίου, του αμφιβληστροειδή. Επιπλέον παίζουν σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη της όρασης, αντιδρώντας στη νευρωνική προσαρμογή και αδρανοποίηση [18], [14]. Βοηθούν στην εξισορρόπηση της νευρωνικής προσαρμογής σε μικρή κλίμακα χρόνου και στη διόρθωση των σφαλμάτων προσήλωσης σε πιο ευρεία κλίμακα χρόνου [19].



Εικόνα 2.1 :

Η γραμμική σχέση πλάτους και ταχύτητας των μικροσακκαδικών κινήσεων.

Η σχέση της ταχύτητας των μικροσακκαδικών με το πλάτος τους είναι γραμμική (εικόνα 2.1), κατά αντιστοιχία με τις σακκαδικές κινήσεις. Για το λόγο αυτό έχει προταθεί πως ίσως οι μικροσακκαδικές και οι σακκαδικές κινήσεις να ελέγχονται από τα ίδια κέντρα του εγκεφάλου [3]. Όσον αφορά στην κατευθυντικότητα των μικροσακκαδικών κινήσεων (αλλά και των κινήσεων διολίσθησης), έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει κάποια επιλεκτικότητα, τόσο στις οριζόντιες όσο και στις κατακόρυφες κατευθύνσεις. Παράγοντες όπως η παρουσία αστιγματισμού, οι οπτικές εκτροπές υψηλής τάξης αλλά και η αστάθεια των οφθαλμοκινητικών μυών, πιθανότατα να την επηρεάζουν.

Παρά το γεγονός ότι οι μικροσακκαδικές είναι ακούσιες κινήσεις, έχει παρατηρηθεί πως μπορούν να κατασταλούν εκούσια από έμπειρους παρατηρητές για μερικά δευτερόλεπτα χωρίς την απώλεια της οπτικής αντίληψης του στόχου [13], ενώ συμβαίνει συχνά και κατά την πραγματοποίηση εργασιών που απαιτούν πολύ προσεκτική προσήλωση. Φυσικά η παρατήρηση αυτή δεν αναιρεί το θεμελιώδη ρόλο των μικροσακκαδικών κινήσεων στη λειτουργικότητα της όρασης [15].

#### 2.1.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΠΡΟΣΗΛΩΣΗΣ

Ο ρόλος των οφθαλμικών κινήσεων κατά την διάρκεια της προσήλωσης σε ένα στόχο, αλλά και κατά την διάρκεια που διερευνούμε το οπτικό μας περιβάλλον, είναι πολύ σημαντικός για τη λειτουργικότητα της όρασης. Ένα κρίσιμο ερώτημα το οποίο παραμένει αναπάντητο είναι ποιος είναι ο ακριβής λόγος συνύπαρξης των τριών αυτών διαφορετικών οφθαλμικών κινήσεων προσήλωσης.

Τα υποδεκτικά πεδία στην περιοχή της fovea είναι τόσο μικρά ώστε οι drift και οι tremor κινήσεις μπορούν να εξαλείφουν την αδρανοποίηση των νευρώνων ακόμα και κατά την απουσία των μικροσακκαδικών κινήσεων. Επίσης οι μικροσακκαδικές κινήσεις είναι επαρκείς για την υποστήριξη της όρασης ακόμα και κατά την απουσία των drifts και των tremors γιατί τα υποδεκτικά πεδία στην περιφέρεια είναι τόσο μεγάλα, ώστε μόνο οι μικροσακκαδικές κινήσεις είναι αρκετά μεγάλες και γρήγορες (σε σύγκριση με drifts και tremors) για να εμποδίσουν την νευρωνική αδρανοποίηση.

Αδιευκρίνιστο επίσης παραμένει και το αν διαφέρει ο ρόλος των μικροσακκαδικών κινήσεων από αυτόν των drifts και tremors. Το πιο πιθανό είναι ότι οι μικροσακκαδικές κινήσεις είναι περισσότερο σημαντικές για την περιφερική όραση και οι drifts και οι tremors περισσότερο σημαντικές για την κεντρική όραση.

Όσον αφορά τη συνήθη κατεύθυνση των μικροσακκαδικών και drift κινήσεων έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα ατομικό χαρακτηριστικό που μπορεί να εξαρτάται από τις οπτικές εκτροπές, τον προσανατολισμό των νευρώνων ή την αστάθεια των οφθαλμοκινητικών μυών.

## **2.2 ΒΛΕΦΑΡΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΩΝ**

Το βλεφάρισμα είναι η γνωστή κίνηση γρήγορου ανοιγοκλεισίματος των βλεφάρων. Μια νέα μελέτη ειδικών του Πανεπιστημίου της Οσάκα στην Ιαπωνία δείχνει ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος εκμεταλλεύεται αυτόν τον ελάχιστο χρόνο του ανοιγοκλεισίματος των βλεφάρων για να ξεκουραστεί. Οι περισσότεροι άνθρωποι έχουν περίπου 15 - 20 τέτοιες στιγμές ξεκούρασης του εγκεφάλου τους ανά λεπτό. Αυτή η πνευματική ξεκούραση μπορεί να διαρκέσει από ένα έως και μερικά δευτερόλεπτα προτού αποκατασταθεί πλήρως η προσοχή του ατόμου. Τα αποτελέσματα προέκυψαν μετά από διεξαγωγή απεικονιστικών εξετάσεων σε 20 υγιείς νεαρούς εθελοντές, στη διάρκεια των οποίων οι ερευνητές παρατήρησαν πως όταν οι εθελοντές έκλειναν στιγμιαία τα μάτια τους οι περιοχές του εγκεφάλου που συνδέονται με την προσοχή έβγαιναν παροδικά εκτός λειτουργίας [20].

Τα σήματα που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης ήταν σήματα γωνιακής απόκλισης των οφθαλμών και σήματα γωνιακής ταχύτητας των οφθαλμών. Στα σήματα αυτά καταγράφηκαν και βλεφαρισμοί, όπως είναι φυσιολογικό, οι οποίοι έχουν χαρακτηριστικά υψηλή ταχύτητα (υψηλότερη της ταχύτητας των σακκαδικών), ενώ η διάρκειά τους είναι μικρότερη από αυτή των σακκαδικών κινήσεων των οφθαλμών. Με αυτόν τον τρόπο έγινε δυνατός και ο διαχωρισμός τους και τελικά η απαλοιφή τους, όπως εξηγείται εκτενέστερα παρακάτω.

## **2.3 ΣΑΚΚΑΔΙΚΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ**

Οι σακκαδικές παρεμβολές αποτελούν ένα άλλο είδος ακούσιων κινήσεων, πρόσφατα τεκμηριωμένες, που συμβαίνουν παράλληλα με τις οφθαλμικές κινήσεις προσήλωσης. Οι σακκαδικές παρεμβολές έχουν μέγεθος 3 με 4 φορές μεγαλύτερο από των σακκαδικών [21]. Οι φυσιολογικές σακκαδικές παρεμβολές διακρίνονται σε: μονοφασικές (Monophasic square-wave intrusions- MSWI), διφασικές (biphasic square-wave intrusions- BSWI), ενός παλμού (Single Saccadic Pulses- SSP) και διπλού παλμού (double Saccadic Pulses-DSP). Το πλάτος, η διάρκεια και η συχνότητα διαφέρουν για κάθε κατηγορία.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι MSWI και BSWI έχουν τη μορφή τετραγωνικού παλμού και λέμε ότι είναι square-wave jerks, οι δύο άλλες κατηγορίες έχουν τη μορφή κορυφών στο σήμα. Στις δύο πρώτες περιπτώσεις ο οφθαλμός μένει ακίνητος για ένα χρονικό διάστημα πριν επιστρέψει στο σημείο προσήλωσης, ενώ στις δύο επόμενες ο οφθαλμός είτε επιστρέφει με μια αργή κίνηση διολίσθησης(SSP), είτε επιστρέφει αμέσως με μία δεύτερη σακκαδική(DSP).

Οι οφθαλμικές κινήσεις προσήλωσης διακόπτονται συχνά από square-wave jerks. Η διάρκεια μιας MSWI μπορεί να είναι από 20 msec μέχρι 870 msec και μιας BSWI από 20msec μέχρι 130msec.

## **2.4 ΟΦΘΑΛΜΟΚΙΝΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Ο ρόλος του οφθαλμοκινητικού συστήματος είναι να διατηρεί το είδωλο του αντικειμένου-στόχου στο κεντρικό βοθρίο και συνεπώς υποστηρίζει την παρατήρηση ακίνητων και κινούμενων στόχων. Αυτό επιτυγχάνεται με τριών ειδών κινήσεις:

- (α) τις σακκαδικές κινήσεις (saccades),
- (β) τις ομαλές κινήσεις παρακολούθησης (smooth pursuit movements) και
- (γ) τις κινήσεις σύγκλισης / απόκλισης (vergence eye movements).



#### **2.4.1 ΟΜΑΛΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ (SMOOTH PURSUIT MOVEMENTS)**

Οι ομαλές κινήσεις παρακολούθησης είναι κινήσεις με τις οποίες μπορούμε να παρακολουθήσουμε ένα αντικείμενο που κινείται στο οπτικό μας πεδίο. Η μέγιστη ταχύτητά τους είναι περίπου  $100^{\circ}/\text{sec}$  (πολύ μικρότερη από αυτή των σακκαδικών) και εξαρτάται από την ταχύτητα του κινούμενου αντικειμένου. Η προβλεψιμότητα της κίνησης του αντικειμένου (κατεύθυνση και στιγμιά έναρξης) καθορίζει και την ταχύτητα απόκρισής τους.

#### **2.4.2 ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ-ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ (VERGENCE EYE MOVEMENTS)**

Είναι μη συζυγείς οφθαλμικές κινήσεις κατά τις οποίες τα μάτια είτε συγκλίνουν (converge), κατά τη-ν διάρκεια της προσαρμογής, είτε αποκλίνουν (diverge) και συμβαίνουν όταν ένα αντικείμενο-στόχος πλησιάζει ή απομακρύνεται αντίστοιχα. Εξαρτώνται από το βαθμό ανομοιότητας του αμφιβληστροειδικού ειδώλου. Ανομοιότητα του αμφιβληστροειδή (retina disparity) ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο το είδωλο του αντικειμένου-στόχου προβάλλεται σε διαφορετικές περιοχές του αμφιβληστροειδή σε κάθε μάτι. Η σχετική αυτή κίνηση των ματιών αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία η οποία απαιτεί ανώτερη επεξεργασία στον εγκεφαλικό φλοιό και για αυτό παρατηρείται καθυστέρηση στην απόκριση κίνησης.

#### **2.4.3 ΣΑΚΚΑΔΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ (SACCADES)**

Από τις οφθαλμικές κινήσεις του οφθαλμοκινητικού συστήματος, οι σακκαδικές έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη συγκεκριμένη μελέτη αλλά και συνολικά για τη νευροφυσιολογία. Οι σακκαδικές είναι εκούσιες συζυγείς κινήσεις των οφθαλμών, με τις οποίες μεταφέρουμε το σημείο του ενδιαφέροντός μας στο κεντρικό βοθρίο ή σαρώνουμε μία εικόνα (σχήμα). Είναι οι πιο γρήγορες κινήσεις του ανθρώπινου σώματος ( $\sim 700^{\circ}/\text{sec}$ ) και είναι πολύ σύντομες ( $\sim 50 \text{ msec}$ ). Το πλάτος τους ( $1^{\circ} - 20^{\circ}$ ) και η κατεύθυνσή τους είναι εκούσια, ενώ η ταχύτητά τους είναι ακούσια και καθορίζεται από την εκκεντρότητα του στόχου (όσο αυξάνεται η εκκεντρότητα του στόχου άρα και το πλάτος της σακκαδικής τόσο αυξάνεται και η ταχύτητά της). Επιπλέον, η εκκεντρότητα και η προβλεψιμότητα του στόχου καθορίζει και την καθυστέρηση της απόκρισής τους. Τέλος, μπορούν να πραγματοποιηθούν και χωρίς την ύπαρξη στόχου, ακόμα δηλαδή και σε σκοτοπικές συνθήκες.

### **2.5 ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ**

Περισσότερο από εκατό χρόνια πριν, οι Diefendorf και Dodge περιέγραψαν για πρώτη φορά ένα φαινόμενο σε σχιζοφρενείς ασθενείς, το οποίο σήμερα είναι γνωστό ως δυσλειτουργία των ομαλών κινήσεων παρακολούθησης (SPERM dysfunction) [22], η πρωτοποριακή αυτή εργασία αποτέλεσε την αρχή για να γίνουν αντικείμενο ενδιαφέροντος οι οφθαλμικές κινήσεις. Από τότε μέχρι σήμερα, στην ψυχιατρική έρευνα όλοι οι τύποι οφθαλμικών κινήσεων έχουν διερευνηθεί, αλλά οι πλέον χρησιμοποιούμενοι είναι οι σακκαδικές κινήσεις. Ασθενείς με ψυχιατρικές και νευρολογικές διαταραχές έχει παρατηρηθεί ότι δεν μπορούν να ανταποκριθούν σε διάφορες δοκιμασίες όπως αυτές της προσήλωσης και της παρακολούθησης ενός

κινούμενου στόχου. Οι σακκαδικές κινήσεις έχουν χρησιμοποιηθεί ως υποψήφιοι ενδοφαινότυποι για ψυχιατρικές διαταραχές.

Αρχικά, οι σακκαδικές κινήσεις εξετάστηκαν εκτενώς σε φυσιολογική όραση με σκοπό την κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς [23]. Ειδικότερα, υπάρχουν μελέτες [24], όπου οι σακκαδικές κινήσεις καταγράφηκαν για άτομα που έβλεπαν φωτογραφίες οι οποίες περιστρέφονταν με διαφορετική κλίση. Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρήθηκε ότι η κατεύθυνση των σακκαδικών ακολουθούσε την κατεύθυνση της σκηνής.

Εκτός όμως από αυτές τις έρευνες, οι σακκαδικές μετρήθηκαν και σε ειδικές ομάδες, όπως άτομα με ελλειμματική προσοχή- Υπερκινητικότητα (Deficit Hyperactivity Disorder), ηλικιωμένους και σχιζοφρενείς, με σκοπό να διαφοροποιηθούν αυτές οι ασθένειες από τις αντίστοιχες μετρήσεις σε υγιή άτομα. Με βάση την ηλικία [25] έχει ελεγχθεί ο χρόνος της σακκαδικής απόκρισης (Saccadic Reaction Time), η απόσταση μεταξύ της έναρξης της πρώτης σακκαδικής και των ακόλουθων σακκαδικών, που αναγνωρίζονταν ως η πρώτη κορυφή από μια πολυτροπική κατανομή SRTs, φαίνεται να αυξάνεται με την ηλικία. Σε άλλη μελέτη [26], η ανάπτυξη αντανάκλαστικού/ ακούσιου ελέγχου των σακκαδικών σε φυσιολογικά παιδιά διερευνήθηκε συγκρίνοντας παραμέτρους όπως το πλάτος της σακκαδικής, τη διάρκεια, τα ποσοστά σφάλματος και η ηλικία μεταξύ υπερκινητικών και «υγιών» ομάδων ελέγχου. Σε «υγιές» δείγμα, παρατηρήθηκαν σημαντικές συσχετίσεις, ενώ σημαντικές διαφορές υπήρξαν μεταξύ υπερκινητικών και «υγιών» σε εξάχρονα και οχτάχρονα παιδιά στη διάρκεια και το πλάτος των σακκαδικών.

Σαν αποτέλεσμα της βασικής έρευνας που περιλαμβάνει καταγραφές μονάδας, μελέτες βλαβών, καθώς και κλινική έρευνα και λειτουργική απεικόνιση, υπάρχει ένας σημαντικός όγκος γνώσης για τη νευροφυσιολογία των σακκαδικών κινήσεων. Η ώθηση της εστίασης στις σακκαδικές κινήσεις προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από το γεγονός ότι οι σακκαδικές είναι μια μη επεμβατική αλλά προσβάσιμη μέθοδος για να εξερευνηθούν οι ψυχοκινητικές λειτουργίες καθώς και ανώτερης τάξης γνωστικές λειτουργίες και οι νευρικοί τους μηχανισμοί. Παρόλα αυτά η μελέτη των σακκαδικών κινήσεων σε ψυχικά ασθενείς ομάδες μπορεί να ανοίξει ένα «παράθυρο στον εγκέφαλο» των διαταραγμένων ατόμων. Μετά την πρώτη δημοσίευση των Diefendorf και Dodge πάνω στη λειτουργικότητα του σακκαδικού συστήματος σε σχιζοφρενείς ασθενείς [22], το ενδιαφέρον για τη μελέτη των σακκαδικών κινήσεων στη σχιζοφρένεια έχει αυξηθεί σταθερά συμπεριλαμβανομένων των ακούσιων σακκαδικών καθώς και των αντανάκλαστικών [27]. Σε έρευνα που δημοσιεύτηκε με τίτλο «μεγαλύτερη διαφοροποίηση στους χρόνους αντίδρασης σακκαδικών σε ασθενείς με σχιζοφρένεια» το 2009 [28], ο διάμεσος χρόνος αντίδρασης (Reaction Time) και η διαφοροποίησή του μετρήθηκε μέσω οπτικά καθοδηγούμενων σακκαδικών σε 53 ασθενείς με σχιζοφρένεια και 1089 φυσιολογικά άτομα, καταλήγοντας σε μια διαφοροποίηση στη μέση κατανομή της ομάδας ασθενών. Σε άλλη μελέτη, σημειώθηκε ότι στους σχιζοφρενείς ασθενείς στους οποίους χορηγούνταν φαρμακευτική αγωγή, η κορυφή των ταχυτήτων των σακκαδικών μειώνονταν με την αύξηση των πλατών τους [29]. Συγκεκριμένα σε πλάτη μεγαλύτερα από 300ms, η κορυφή των ταχυτήτων μειώνονται σημαντικά σχετικά με το υγιές δείγμα. Σύμφωνα με άλλη έρευνα και πριν τη θεραπεία οι σχιζοφρενείς ασθενείς παρουσιάζουν γρηγορότερα σακκαδικά πλάτη σε απρόσμενους οπτικούς στόχους [30]. Η θεραπεία με Risperidone μείωσε το έλλειμμα στην λειτουργία της προσήλωσης και επίσης μια μικρή μείωση της διάρκειας της σακκαδικής. Η

ικανότητα να παραμένει κανείς προσηλωμένος σε ένα σταθερό οπτικό κέντρο και οι περιφερειακοί στόχοι ήταν ασύνδετα πριν και μετά τη θεραπεία.

Η ανάλυση των σακκαδικών σημάτων για τη μελέτη της ανθρώπινης συμπεριφοράς και διαφόρων ασθενειών βασίζεται σε αναγνώριση διαφορετικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τα λαμβανόμενα σήματα. Αρχικά, οι ταχύτητες των σακκαδικών οφθαλμικών κινήσεων χρησιμοποιήθηκαν σαν χαρακτηριστικό για τη διάκριση προσήλωσης και σακκαδικών. Ειδικά, σε μια δημοσίευση χαρτογράφησης των οφθαλμικών κινήσεων [31], οι χαμηλές ταχύτητες που συνδέονται με προσήλωση ενώ οι υψηλές ταχύτητες με σακκαδικές. Σε μια άλλη μελέτη, η διάρκεια και τα τελικά σημεία των σακκαδικών κινήσεων των ματιών, σε συνδιασμό με την ταχύτητα, έχουν μετρηθεί ως τα κύρια χαρακτηριστικά για τον προσδιορισμό διαφόρων ιατρικών διαταραχών όπως δυσλεξία, σχιζοφρένεια, σύνδρομο του Tourette, και η ιδεοψυχαναγκαστική διαταραχή (OCD) [23], [32].

Παρόλο που οι οφθαλμικές κινήσεις γίνονται όλο και πιο δημοφιλές «εργαλείο» για την διερεύνηση της συμπεριφοράς, οι κινήσεις συχνά είναι πολύ δύσκολο να αναλυθούν. Μεγάλος βαθμός υποκειμενικότητας στην ανάλυση οφθαλμικών κινήσεων μπορεί να είναι η αναγνώριση των κύριων τύπων οφθαλμικών κινήσεων όπως σακκαδικές, μικροσακκαδικές, κινήσεις προσήλωσης και βλεφαρισμοί με ένα αυτόματο σύστημα απόφασης. Σε αυτήν την κατεύθυνση, στο παρελθόν, τα χαρακτηριστικά των οφθαλμικών κινήσεων αναλύθηκαν σε πολλές μελέτες και η οπτική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων δοκιμασιών που μοντελοποιήθηκαν επιτυχώς με έναν αυτόματο τρόπο. Σε μια μελέτη, μια ανάλυση των προτύπων των οφθαλμικών κινήσεων έχει διεξαχθεί, χρησιμοποιώντας μεθόδους ανίχνευσης σε τρεις εφαρμογές όπως η επίλυση εξισώσεων και περιβάλλοντα διεπαφής για ανάγνωση και παρατήρηση από επτά συμμετέχοντες [33]. Προκειμένου να αναγνωρίσουμε τα σημεία προσήλωσης και τις σακκαδικές, χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι βασισμένες σε αντιστοίχιση ακολουθιών και Κρυμμένα Μοντέλα Markov, καταλήγοντας σε αναγνώριση των οφθαλμικών κινήσεων με τέτοια ακρίβεια όση των ειδικών αλλά σε σημαντικά λιγότερο χρόνο με συνολική ακρίβεια 87.5% - 93.7% [33]. Σε άλλη μελέτη, χρησιμοποιήθηκε μια εφαρμογή των μεθόδων εκπαίδευσης μηχανής από την επιστήμη των υπολογιστών για να βελτιώσει την ακρίβεια της ανίχνευσης ελαφρώς διανοητικής εξασθένησης σε 60 συμμετέχοντες, μοντελοποιώντας τους τύπους οφθαλμικών κινήσεων όπως κινήσεις προσήλωσης, σακκαδικές και κινήσεις επαναπροσήλωσης κατά τη διάρκεια μιας δοκιμασίας Οπτικά Συζευγμένης Σύγκρισης [34]. Τα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται σαν διακριτικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνουν τη διάρκεια της προσήλωσης, τις επανα-προσηλώσεις, την κατεύθυνση των σακκαδικών και τη διάμετρο της κόρης την οποία δίνουμε σαν είσοδο σε έναν ταξινομητή μιας μηχανής υποστήριξης διανυσμάτων (Support Vector Machine). Χρησιμοποιώντας αυτόν των αλγόριθμο ομαδοποίησης, η αντίστοιχη ηλικιακή ομάδα ελέγχου (φυσιολογική) μπορεί να διαχωριστεί από την ελαφρώς διανοητικά εξασθενημένη ομάδα με συνολική ακρίβεια 87%. Σε πρόσφατη έρευνα, ένα σύνολο 90 χαρακτηριστικών (συμπεριλαμβανομένου του μέσου όρου και της διακύμανσης του πλάτους του σήματος, τα μέγιστα πλάτη Ηλεκτροφθαλμογραφικών (EOG) σημάτων, το ποσοστό των μικρών ή μεγάλων σακκαδικών, οι θετικές και οι αρνητικές σακκαδικές στην οριζόντια ή κάθετη κατεύθυνση, μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών) περιγράφουν με τον καλύτερο τρόπο τα δεδομένα οφθαλμικών κινήσεων που συγκεντρώθηκαν από 10 συμμετέχοντες σε πέντε δραστηριότητες: αντιγραφή κειμένου, ανάγνωση τυπωμένου χαρτιού, τήρηση χειρόγραφων σημειώσεων, παρακολούθηση βίντεο και

περιήγηση στο διαδίκτυο [35]. Αυτά τα χαρακτηριστικά κατατάχθηκαν και αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο επιλογής χαρακτηριστικών του ελάχιστου πλεονασμού του μέγιστου ενδιαφέροντος με έναν ταξινομητή SVM, προκειμένου να διαχωρίσουμε με αυτόματο τρόπο τις πέντε δραστηριότητες. Επιτεύχθηκε συνολική ακρίβεια 80.2% από την προτεινόμενη μεθοδολογία.

## Κεφάλαιο 3

### Μεθοδολογία Ανάλυσης Σακκαδικών κινήσεων

---

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως αναφέραμε και παραπάνω πολλές μελέτες έχουν γίνει για την ανάλυση των σακκαδικών κινήσεων. Οι περισσότερες μελετούν την κατεύθυνση, τη διάρκεια, το πλάτος, την ταχύτητα, τα τελικά σημεία των σακκαδικών και την ανάπτυξη των αντανακλαστικών. Η συγκεκριμένη ανάλυση ασχολείται με το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο σακκαδικές και εξετάζει αν υπάρχει μοντέλο πρόβλεψης για αυτό το χρονικό διάστημα, το οποίο θα λέμε διασακκαδικό διάστημα ή ISI ( Inter Saccadic Interval).

Εκτός από τις σακκαδικές κινήσεις και άλλες οφθαλμικές κινήσεις έχουν μελετηθεί. Οι REM κινήσεις, που είναι κινήσεις του ματιού στη διάρκεια του ύπνου, προκάλεσαν το γενικό ενδιαφέρον, ξεκινώντας από τους Aserinsky & Kleitman (1953,1955) [36] [37]. Οι κινήσεις αυτές μελετήθηκαν, όπως και οι σακκαδικές, με σκοπό να συνδεθούν με νευροφυσιολογία του εγκεφάλου. Στη συνέχεια θα ακολουθήσουμε μια μέθοδο που βασίζεται στη μέθοδο Markov, την οποία πρότειναν οι Boukadoum & Ktonas (1988) [38]. Η μέθοδος αυτή διαχωρίζει τα διαστήματα ανάμεσα στα REMs (inter- REM intervals) σε διαφορετικές ομάδες, ανάλογα με τη διάρκεια. Κάθε ομάδα συνδέεται με μια κατάσταση στην αλυσίδα Markov. Οι πίνακες πιθανοτήτων μετάβασης (STPMs) υπολογίζονται στη συνέχεια από τα διαθέσιμα δεδομένα και χρησιμοποιούνται για να εξετάσουν τη διάδραση ανάμεσα στις καταστάσεις [39] [40].

Η Markovιανή μεθοδολογία κάνει διαχωρισμό ανάμεσα στα μικρά διαστήματα που ακολουθούνται από μικρά και σε αυτά που ακολουθούνται από μεγάλα. Αυτό το μοντέλο δύο καταστάσεων χρησιμοποιήθηκε από τον Boukadoum (1983) [41] όπως και ο Wu(1991) [40], τα αποτελέσματα που πήραν ήταν ότι οι πίνακες πιθανοτήτων μετάβασης (State Transition Probabilities Matrices) είναι ίδιοι κατά τη διάρκεια της νύχτας και από άτομο σε άτομο.

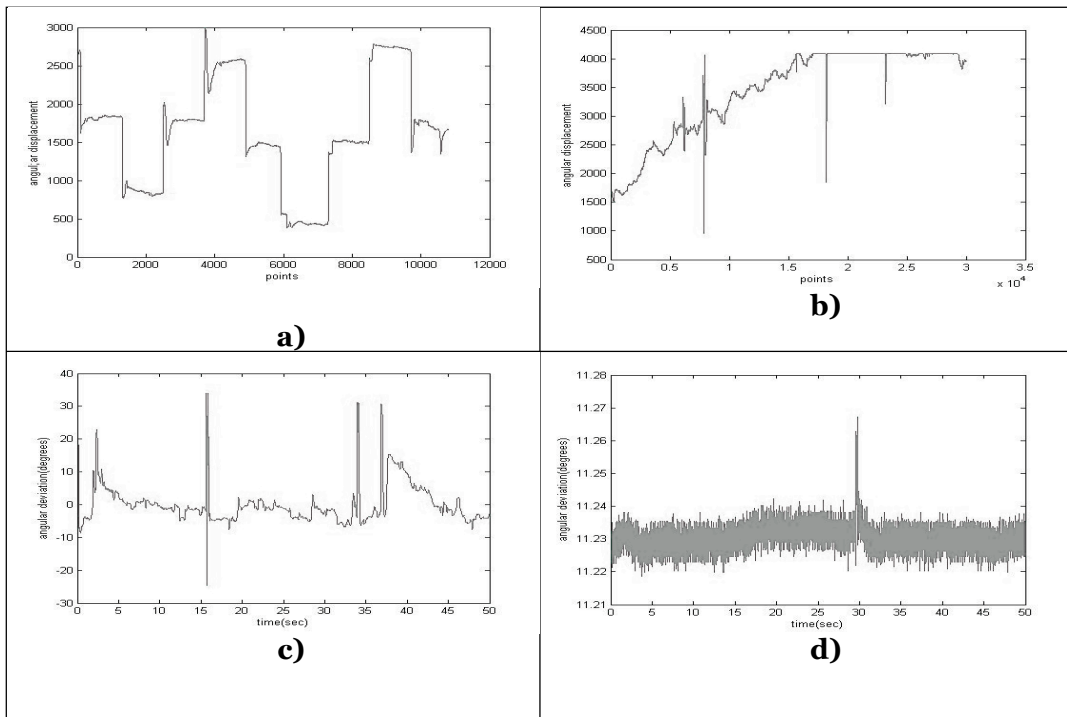
Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφεί η ανάλυση των δεδομένων από την αρχική μορφή των σημάτων ως την στατιστική ανάλυση των δεδομένων. Επιπλέον θα δοθούν οι ορισμοί και μια περιγραφή της μεθόδου που ακολουθήθηκε, μια ανάλυση της διαδικασίας για την επιλογή κατωφλιού που ακολουθήθηκε και μια εκτενής αναφορά στις markovιανές αλυσίδες. Τέλος θα γίνει παρουσίαση των ποσοτικών αποτελεσμάτων που εξήχθησαν.

### 3.2 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (PREPROCESSING)

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία προέρχονται από την βάση δεδομένων του Αιγινήτειου Νοσοκομείου, η οποία περιέχει σήματα οφθαλμικών κινήσεων τα οποία παρήχθησαν ύστερα από χρήση διαφόρων οφθαλμικών διαδικασιών σε 2.120 άτομα της Ελληνικής πολεμικής αεροπορίας, ηλικίας 18-25 ετών, ύστερα από γραπτή συναίνεση αυτών [5]. Κάθε άτομο εξετάστηκε σε δοκιμασίες προσήλωσης, σακκαδικών και αντισακκαδικών κινήσεων, όπως και δοκιμασίες αντίληψης. Συγκεκριμένα, ζητήθηκε από κάθε άτομο να μην εκτελεί οφθαλμικές κινήσεις (προσήλωση) για 50 δευτερόλεπτα σε τρεις καταστάσεις: 1) στην παρουσία οπτικού στόχου, 2) στην παρουσία οπτικού στόχου σε συνδυασμό με την τυχαία εμφάνιση παραπλανητικών στόχων τριγύρω, 3) χωρίς κανένα στόχο. Τα ίδια άτομα συμπλήρωσαν ψυχομετρικά έντυπα. Η καταγραφή των οφθαλμικών σημάτων έγινε από το δεξί μάτι μόνο, χρησιμοποιώντας την συσκευή υπερύθρων IRIS SCALAR [5]. Ένας ψηφιακός μετατροπέας 12-bit χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή των σημάτων σε ψηφιακή μορφή και ένας υπολογιστής χρησιμοποιήθηκε για την παρουσίαση των στόχων. Η δειγματοληψία των δεδομένων έγινε με συχνότητα 600δείγματα/δευτερόλεπτο.

Πριν από κάθε δοκιμασία προσήλωσης, πραγματοποιούνταν μια διαδικασία βαθμονόμησης που περιλάμβανε σακκαδικές κινήσεις σε στόχους που βρίσκονταν και δεξιά και αριστερά από έναν κεντρικό στόχο προσήλωσης (εικόνα 1a, 1c) [5].

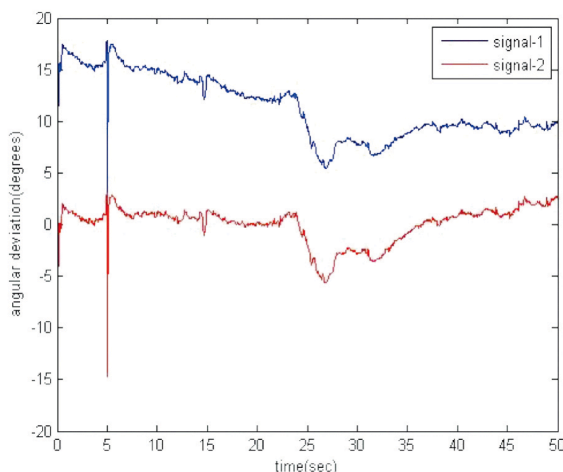
1.Μερικά σήματα διακόπτονταν από τυχαίο θόρυβο εξαιτίας της κίνησης του ατόμου και/ή την αστάθεια της συσκευής που τοποθετήθηκε στο κεφάλι του συμμετέχοντα (εικόνα 3.1 1b, 1d). Αυτά τα σήματα αφαιρέθηκαν από τη μελέτη, η οποία τελικά συμπεριέλαβε ένα σύνολο από 2.335 οφθαλμοκινητικά σήματα από 1.392 άτομα [42].



Εικόνα 3.1 a) Χαρακτηριστικό σήμα βαθμονόμησης, b) ένα θορυβώδες σήμα βαθμονόμησης, το οποίο εξαιρέθηκε από τη μελέτη, c) καταγεγραμμένο σήμα κατά τη διάρκεια της δεύτερης κατάστασης, d) ένα θορυβώδες καταγεγραμμένο σήμα το οποίο εξαιρέθηκε από τη μελέτη.

### 3.2.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το μέρος, εφαρμόστηκαν δύο διαδικασίες: α) μια μέθοδος επεξεργασίας σήματος για να αφαιρεθούν οι γραμμικές τάσεις από το καταγεγραμμένο σήμα και β) ο υπολογισμός της γωνιακής ταχύτητας των «απογραμμικοποιημένων» σημάτων, ο οποίος επίσης χρησιμοποιείται ως είσοδος στο προτεινόμενο σύστημα απόφασης. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για αφαίρεση των γραμμικών τάσεων αποτελείται από αφαίρεση της μέσης τιμής ή της γραμμικής τάσης, αποδίδοντας ένα μηδενικό μέσο υπόλειμμα. Η αφαίρεση μιας τάσης από τα δεδομένα μας επιτρέπει να επικεντρωθούμε στην ανάλυση στις διακυμάνσεις των δεδομένων. Μια γραμμική τάση δείχνει συνήθως μια συστηματική αύξηση ή μείωση στα δεδομένα. Μια συστηματική μετατόπιση μπορεί να προκληθεί από μετατόπιση του αισθητήρα, για παράδειγμα. Ενώ οι τάσεις μπορούν να είναι σημαντικές, μερικά είδη αναλύσεων δίνουν πιο ευκρινή αποτελέσματα από τη στιγμή που θα αφαιρέσουμε τις τάσεις. [43]. Μια διαδικασία αφαίρεσης των γραμμικών τάσεων εφαρμόζεται στα σήματα με σκοπό να δημιουργήσει μια κοινή αναφορά σε όλα τα δεδομένα της εισόδου (Εικόνα 3.2)



Εικόνα 3.2 Σήμα γωνιακής απόκλισης

Στη βιβλιογραφία, το κατώφλι ταχύτητας για την αναγνώριση της προσήλωσης είναι ο πιο απλός τρόπος αναγνώρισης που διαχωρίζει τα σημεία προσήλωσης από τα σημεία των σακκαδικών, βασιζόμενο στην ταχύτητα από σημείο σε σημείο [44]. Τα προφίλ ταχύτητας των σακκαδικών οφθαλμικών κινήσεων δείχνουν ουσιαστικά δύο κατανομές ταχυτήτων: χαμηλές ταχύτητες για προσήλωση (<100 deg/sec) και υψηλές για σακκαδικές (>300 deg/sec). Αυτό το στοιχείο των σακκαδικών οφθαλμικών κινήσεων κάνει το διαχωρισμό με βάση την ταχύτητα ισχυρό και αρκετά απλό. Ενώ είναι πιθανό να δημιουργηθεί ένας τοπικά προσαρμοστικός αλγόριθμος αναγνώρισης της προσήλωσης με βάση την ταχύτητα, τα πρότυπα της ταχύτητας έχουν ισχυρό φυσικό και φυσιολογικό υπόβαθρο και γι αυτό είναι ένα στατικό και επαρκές κριτήριο. Το κατώφλι υπολογίζεται από τις ταχύτητες από σημείο σε σημείο για κάθε σημείο στη βάση δεδομένων. Κάθε ταχύτητα υπολογίζεται ως η απόσταση μεταξύ του τρέχοντος σημείου και του επόμενου (ή του προηγούμενου) [31]. Επίσης, οι μικροσακκαδικές θεωρούνται ακούσιες οφθαλμικές κινήσεις, που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια απόπειρας οπτικής προσήλωσης, έτσι η διαφοροποίηση των σημείων ενισχύει τη διάκριση των σημείων προσήλωσης.

Όπως είπαμε και παραπάνω, οι σακκαδικές είναι μικρές απότομες κινήσεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές της πρώτης παραγώγου του καταγεγραμμένου σήματος. Πιο αναλυτικά, δεδομένου ότι τα καταγεγραμμένα δεδομένα μετρούν την γωνιακή απόκλιση των ματιών, η πρώτη παράγωγος είναι η γωνιακή ταχύτητα της οφθαλμικής κίνησης. Παρόλα αυτά, η πρώτη παράγωγος πρέπει να υπολογιστεί δυναμικά, λαμβάνοντας υπ όψη ότι τα δεδομένα της οφθαλμικής κίνησης συχνά περιλαμβάνουν πολλές μικρότερες οφθαλμικές κινήσεις (τρέμολο, διολίσθηση και μικροσακκαδικές), οι οποίες θα μπορούσαν να διαχωριστούν σημαντικά από τη διαφόρηση. Η γωνιακή ταχύτητα  $\omega(t)$ , την χρονική στιγμή  $t$  ορίζεται ως η πρώτη παράγωγος της γωνιακής μετατόπισης  $a(t)$ :

$$\omega(t) = \frac{da(t)}{dt} \quad (3-1)$$

Η εξομάλυνση υλοποιείται μέσω συνέλιξης με πυρήνα εξομάλυνσης  $h(t)$ , οπότε:

$$\omega(t) = \frac{d(\alpha * h)(t)}{dt} = \left( a * \frac{dh}{dt} \right)(t) \quad (3-2)$$

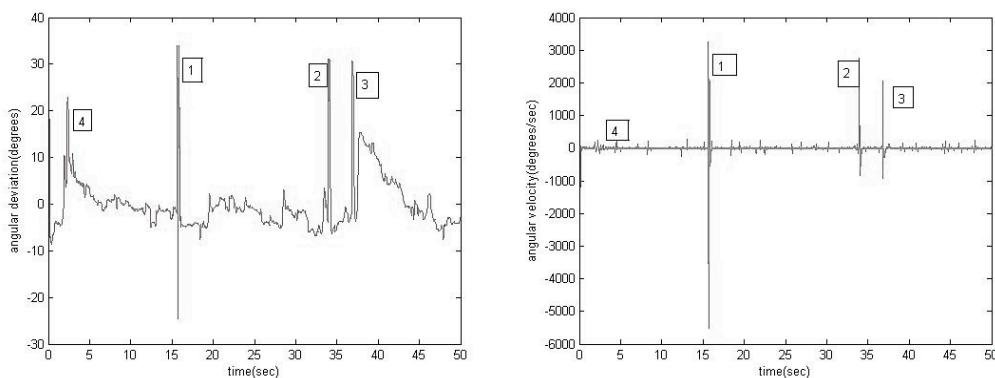
Ένας κατάλληλος πυρήνας για αυτή την διαδικασία είναι ο γκαουσιανός πυρήνας:

$$h(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (3-3)$$

όπου η παράμετρος  $\sigma$  καθορίζει το επίπεδο εξομάλυνσης.

Ύστερα, από δοκιμές παρατηρήθηκε ότι η καλύτερη τιμή της τυπικής απόκλισης του Γκαουσιανού πυρήνα  $\sigma$ , είναι η τιμή  $\sigma=1$ .

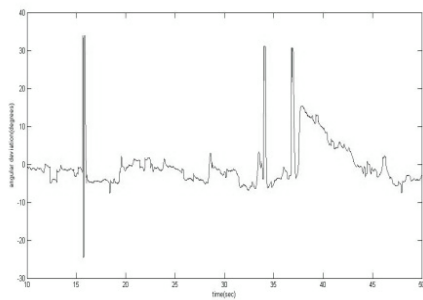
Η γωνιακή ταχύτητα του αρχικού σήματος παρουσιάζεται στη συνέχεια



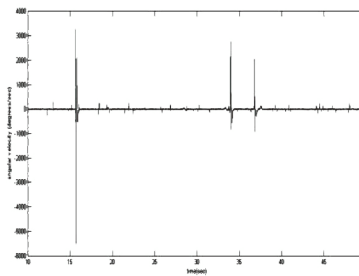
**Εικόνα 3.3** a) Το αποθρομβοποιημένο σήμα της γωνιακής απόκλισης και b) Η γωνιακή του ταχύτητα



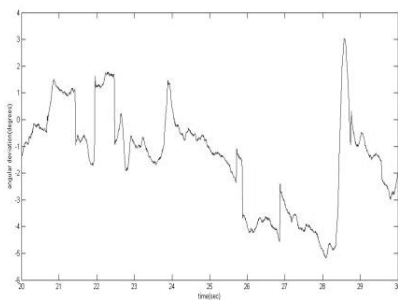
Ειδικοί γιατροί του Αιγινήτειου νοσοκομείου, αναγνώρισαν τις οφθαλμικές κινήσεις σε κάθε σήμα, με οπτική εξέταση. Στην παραπάνω εικόνα οι ειδικοί εντόπισαν blinks (που σημειώνονται με 1,2,3) και σακκαδικές (που σημειώνονται με 4). Όπως φαίνεται, οι ειδικοί εντόπισαν βλεφαρισμούς (blinks) και στο σήμα γωνιακής απόκλισης αλλά και στο «καθαρισμένο» σήμα γωνιακής ταχύτητας. Σε σύγκριση με τις σακκαδικές, ένας βλεφαρισμός (blink) χαρακτηρίζεται από μικρή ακολουθία από δύο μεγάλα peak στο καταγεγραμμένο σήμα: ένα θετικό και το άλλο αρνητικό. Επίσης, η διάρκεια μεταξύ αυτών των peaks είναι πολύ μικρότερη από αυτή των σακκαδικών. Παρόλα αυτά, η διάκριση μεταξύ σακκαδικών και βλεφαρισμών συχνά δεν είναι τόσο προφανής. Για παράδειγμα, στο σήμα που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.3, παρά την υψηλή γωνιακή απόκλιση που παρουσιάζει το μάτι (Εικόνα 3.3α), η ταχύτητα αυτών των σημείων είναι εξαιρετικά χαμηλή, ώστε αυτά τα κομμάτια θεωρούνται ως μία ακολουθία σακκαδικές (εικόνα 3.3b). Στην επόμενη εικόνα, απεικονίζονται διαφορετικοί τύποι οφθαλμικών κινήσεων, όπως αυτοί αναγνωρίστηκαν από τους ειδικούς. Στην εικόνα συνδέεται η γωνιακή απόκλιση με το σήμα της γωνιακής ταχύτητας.



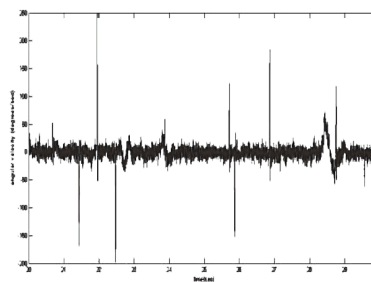
(a) Blinks



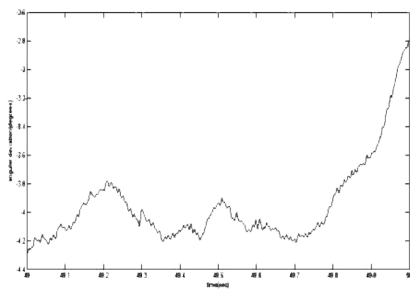
(d) Blinks



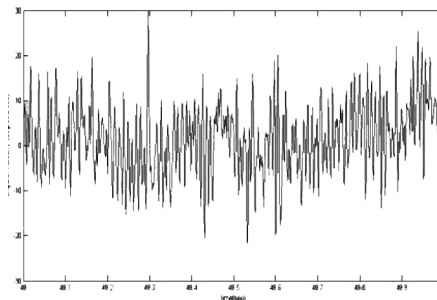
(b) Saccades



(e) Saccades



(c) Fixation points



(f) Fixation points

Εικόνα 3.4

(a) Σήμα με βλεφαρισμούς,

(b) Σήμα με σακκαδικές,

(c) σήμα με τα σημεία προσήλωσης,

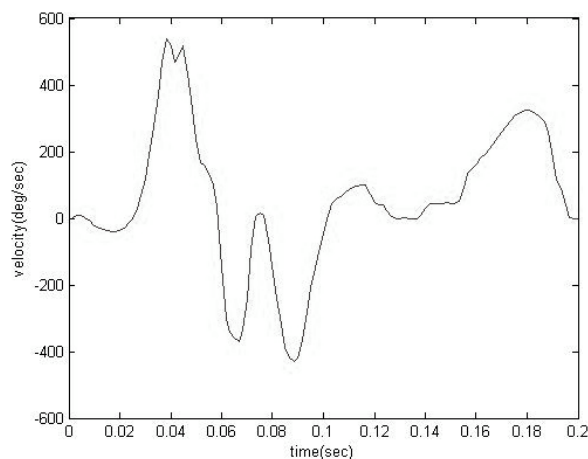
(d) σήμα ταχύτητας με βλεφαρισμούς,

(e) σήμα ταχύτητας με σακκαδικές,

(f) σήμα ταχύτητας με σημεία προσήλωσης.

Οι εικόνες είναι μεγεθυμένα μέρη του αρχικού σήματος της εικόνας 4a,4b.

Για την απομάκρυνση των βλεφαρισμών (blinks) δημιουργήθηκε ένα πρότυπο βλεφαρισμού. Συγκεκριμένα, βλεφαρισμοί από διάφορα σήματα συλλέχθηκαν στο πεδίο της ταχύτητας και υπολογίζοντας τη μέση τιμή αυτών δημιουργήθηκε το πρότυπο που φαίνεται στην Εικόνα 3.5. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η ετεροσυσχέτιση μεταξύ του σήματος και του προτύπου του βλεφαρισμού. Τα σημεία όπου παρουσιάστηκαν οι μεγαλύτερες τιμές της ετεροσυσχέτισης (πάνω από ένα κατώφλι) σημειώθηκαν ως βλεφαρισμοί και αντικαταστάθηκαν με γραμμική παρεμβολή.



Εικόνα 3.5 Πρότυπο του βλεφαρισμού

### 3.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΣΑΚΚΑΔΙΚΩΝ

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος που οι Ktonas & Boukadoum (1987)<sup>[38]</sup> χρησιμοποίησαν για την ανάλυση δεδομένων από σήματα REM. Η Μέθοδος αυτή βασίζεται στις αλυσίδες Markov. Στη συγκεκριμένη μελέτη, τα inter-saccadic intervals χωρίζονται σε διαφορετικές κλάσεις ανάλογα με τη διάρκειά τους. Κάθε κλάση αντιστοιχεί σε μια κατάσταση της Markovιανής αλυσίδας. Οι πίνακες πιθανότητας μετάβασης της κατάστασης (STPMs) υπολογίζονται από τα δεδομένα και χρησιμοποιούνται για να αναλυθεί η διάδραση μεταξύ των καταστάσεων.

Στο κεφάλαιο αυτό θα δοθούν κάποιοι ορισμοί, μια περιγραφή των μεθόδων που ακολουθήθηκαν για στατιστική ανάλυση, κάποια πράγματα για τις αλυσίδες Markov.

### 3.3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ MARKOV

Μια διαδικασία Markov  $k$  τάξης (Howard 1971) είναι μια τυχαία διαδικασία στην οποία η πιθανότητα η νιοστή κατάσταση μιας διαδικασίας να είναι  $j$  εξαρτάται μόνο από τις προηγούμενες καταστάσεις της διαδικασίας αυτής. Δηλαδή:

$$P(S_m = j | S_{m-1}, S_{m-2}, \dots, S_1) = P(S_m = j | S_{m-1}, S_{m-2}, \dots, S_{m-k}) \quad (3-4)$$

Ως εκ τούτου, η διαδικασία έχει μνήμη του παρελθόντος πληρότητας  $k$ , και η έκβαση ενός μελλοντικού γεγονότος ( $S_m$ ) επηρεάζεται από την παρούσα και τις προηγούμενες καταστάσεις ( $S_{m-1}, S_{m-2}, \dots, S_{m-k}$ ) που καταλαμβάνονται από τη διαδικασία. Μια διαδικασία μηδενικής τάξης, δείχνει ότι δεν υπάρχει τέτοια εξάρτηση σε καμιά προηγούμενη ή παρούσα κατάσταση. Μια τέτοια διαδικασία θα ήταν εντελώς τυχαία στη φύση και ονομάζεται ανανεωτική διαδικασία.

Μια διαδικασία Markov είναι εντελώς περιγράψιμη από τον πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης (STPM), συμβολίζεται με  $P$  και ένα διάνυσμα  $\pi$ , που περιέχει την αρχική πιθανότητα για κάθε κατάσταση. Για μια διαδικασία πρώτης τάξης ( $k=1$ ) γράφουμε:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (3-5)$$

και

$$\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) \quad (3-6)$$

Όπου

$$P_{ij} = P(S_m = j | S_{m-1} = i) \quad (3-7)$$

είναι η πιθανότητα μια μετάβαση από την κατάσταση  $i$  στην κατάσταση  $j$ ,  $\pi_i$  είναι η πιθανότητα να είναι σε μια κατάσταση  $i$  και  $n$  ο αριθμός των καταστάσεων στη διαδικασία. Μια διαδικασία υψηλότερης τάξης απαιτείται για πολυδιάστατο πίνακα STPM. Αφού κάθε γραμμή στον  $P$  περιγράφει μια διακριτή κατάσταση πυκνότητας πιθανότητας, το άθροισμα των εισόδων σε μια γραμμή στον  $P$ , πρέπει να είναι ίσο με 1. Το ίδιο ισχύει και για το διάνυσμα  $\pi$ .

Αν ο αριθμός των καταστάσεων σε μια μαρκοβιανή διαδικασία είναι πεπερασμένος, ονομάζεται Μαρκοβιανή αλυσίδα. Μια μονοδεσμική αλυσίδα Markov είναι μια αλυσίδα Markov που δεν μπορεί να διαχωριστεί σε διαφορετικές αλυσίδες, δηλαδή είναι αδύνατο να βρούμε δύο ή περισσότερα υποσύνολα των καταστάσεων από τα οποία είναι αδύνατο να ξεφύγουμε. Μια παροδική κατάσταση, δηλαδή μια κατάσταση που μπορεί να είναι αρχική και είναι αδύνατο να ξαναγυρίσει, μπορεί να είναι μέρος μιας μονοδεσμικής αλυσίδας. Όλες οι εισοδοί, στον STPM που συνδέονται με μια παροδική κατάσταση θα είναι μηδενικές. Μία αλλά μοναδική κατάσταση παγίδευσης, δηλαδή κατάσταση από την οποία είναι αδύνατο να ξεφύγει, μπορεί να υπάρχει επίσης σε μια μονοδεσμική αλυσίδα. Σε αυτήν την περίπτωση όμως η αλυσίδα, μακροπρόθεσμα, θα περιοριστεί σε μόνο μία κατάσταση. Μπορεί να αποδειχθεί (Howard 1971) ότι μια μονοδεσμική αλυσίδα Markov ικανοποιεί τη σχέση:

$$\pi = \pi P \quad (3-8)$$

Από τα παραπάνω, μόνο ο πίνακας P , αρκεί για να περιγράψει μια μονοδεσμική αλυσίδα. Οι αλυσίδες Markov που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή τη μελέτη θα θεωρούνται μονοδεσμικές. Επιπλέον, θα θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν καταστάσεις παροδικές ή παγίδευσης. Αυτό σημαίνει, ότι όλοι οι πίνακες STPM μπορούν να έχουν μηδενικά στοιχεία, αλλά όλες η στήλες πρέπει να έχουν τουλάχιστον ένα μη μηδενικό όρο. Επίσης κανένα στοιχείο του STPM δεν επιτρέπεται να είναι ίσο με ένα.

Ο γενικός ορισμός της αλυσίδας Markov υποθέτει ότι η μετάβαση των καταστάσεων συμβαίνει σε ισαπέχοντα, προκαθορισμένο χρόνο. Η παραδοχή αυτή δεν ισχύει για τις σακκαδικές κινήσεις του ματιού, όπως και για τα REM που μελέτησαν οι Ktonas & Boukadoum,[38] αφού οι μεταβάσεις μπορούν να συμβούν σε τυχαίο χρόνο με οποιοδήποτε Inter-Saccadic Interval (χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών σακκαδικών). Άρα δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ακριβώς το μοντέλο Markov. Αντί για αυτό, χρειαζόμαστε ένα μοντέλο όπου η διάδραση μεταξύ των διαφορετικών καταστάσεων περιγράφεται από έναν STPM πίνακα, όμως τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των μεταβάσεων είναι τυχαίες μεταβλητές, που περιγράφονται από μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Ένα τέτοιο μοντέλο ονομάζεται Semi- Markov ( ΗμιΜαρκοβιανή) αλυσίδα. Από την πρακτική σκοπιά, εφόσον το μόνο που μας ενδιαφέρει είναι να αναλύσουμε τη σχέση μεταξύ των καταστάσεων, όλα τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τις αλυσίδες Markov, εφαρμόζονται και στις Semi-Markov. Όλα τα μοντέλα σε αυτή τη μελέτη, βασίζονται σε μονοδεσμικές, συνεχούς χρόνου, semi- Markov αλυσίδες.

Τα μοντέλα, που βασίζονται σε semi-Markov αλυσίδες, χρησιμοποιήθηκαν για να ποσοτικοποιηθούν οι εναλλαγές των Inter-Saccadic Intervals.

### 3.3 .2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ MARKOV

Προκειμένου να συγκρίνουμε τις αλυσίδες Markov με μια υποκειμενική εκτίμηση, μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει μεθόδους ελέγχου υπόθεσης. Ο έλεγχος που θα χρησιμοποιηθεί είναι επέκταση της βασικής δοκιμής προσαρμογής  $\chi^2$  [45],

που προτάθηκε από τους Anderson & Goodman (1957) [46]. Υπάρχουν δύο υποθέσεις που ενδιαφερόμαστε ιδιαίτερω να ελέγξουμε. Η πρώτη είναι, αν έχουμε δύο δείγματα χρονοσειρών, να ελέγξουμε αν οι STPM είναι ισοδύναμοι. Στη δεύτερη υπόθεση, θέλουμε να ελέγξουμε ένα δείγμα που προέρχεται από ανάλυση πρώτης τάξης σε σύγκριση με ένα δείγμα που προέρχεται από υψηλότερης τάξης ανάλυση Markov. Με αυτόν τον τρόπο, θέλουμε να διερευνήσουμε αν αξίζει να κάνουμε μια υψηλότερης τάξης ανάλυση ή αρκεί η απλή ανάλυση πρώτης τάξης.

Πριν τον έλεγχο της υπόθεσης, πρέπει να υπολογίσουμε τον πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης των καταστάσεων (STPM), για κάθε δείγμα χρονοσειράς που μας ενδιαφέρει. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε τις εκτιμήτριες μέγιστης πιθανοφάνειας [46]. Αυτές δίνονται από τον τύπο:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (3-9)$$

Όπου το  $n_{ij}$  είναι ο αριθμός των μεταβάσεων από μια κατάσταση  $i$  σε μια κατάσταση  $j$ , σε ένα δείγμα.

και

$$n_i = \sum_{j=1}^k n_{ij} \quad (3-10)$$

Παρομοίως, η πιθανότητα να βρεθεί στην κατάσταση  $i$ , μπορεί να υπολογιστεί:

$$\pi_i = \frac{n_i}{n} \quad (3-11)$$

Όπου το  $n$  είναι ο συνολικός αριθμός των μεταβάσεων.

Κάτω από τη μηδενική υπόθεση ότι ο  $P$  είναι ισοδύναμος με κάποιον πίνακα αναφοράς (αρχικών καταστάσεων), ας πούμε  $P^{(0)}$ , αναμένουμε την τιμή:

$$E[n_{ij}] = n_i P_{ij}^{(0)} \quad (3-12)$$

Η οποία είναι ο αναμενόμενος αριθμός μεταβάσεων κατάστασης, που συνδέεται με μια θέση  $ij$  στον STPM για συγκεκριμένο  $n_i$ . Έτσι, σε πλήρη αναλογία με το βασική δοκιμή προσαρμογής  $\chi^2$  [45], μπορούμε να σχηματίσουμε την στατιστική:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{(n_{ij} - n_i P_{ij}^{(0)})^2}{n_i P_{ij}^{(0)}} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_i \frac{(\hat{P}_{ij} - P_{ij}^{(0)})^2}{P_{ij}^{(0)}} \quad (3-13)$$

Αποδείχθηκε από τους Anderson & Goodman (1957) [46] ότι, για μεγάλο  $n_i$ ,  $X^2$  θα έχει μια κατανομή  $\chi^2$ . Αφού κάθε γραμμή στον  $\hat{P}$  εμπίπτει στον περιορισμό,

$$\sum_{j=1}^k \hat{P}_{ij} = 1 \quad (3-14)$$

Ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας για το  $X^2$  θα είναι  $k(k-1)$ . Επομένως, η μηδενική υπόθεση,

$$H_0: P = P^{(0)} \quad (3-15)$$

θα είναι αποδεκτή, με σημαντικότητα  $\alpha$ , αν  $X^2$  είναι μικρότερο από  $\chi_{\alpha; k(k-1)}^2$ .

Παρόλα αυτά, όπως αναφέραμε παραπάνω μας ενδιαφέρει κυρίως να ελέγξουμε την υπόθεση,

$$H_0: P^{(1)} = P^{(2)} \quad (3-16)$$

Όπου  $P^{(1)}$  και  $P^{(2)}$  είναι τα STPM για δύο δείγματα. Με άλλα λόγια, θέλουμε να ελέγξουμε την υπόθεση ότι τα δύο κατανομές καταστάσεων γεννιούνται από την ίδια αλυσίδα Markov. Για το λόγο αυτό, Anderson & Goodman (1957) [46] πρότειναν ότι η στατιστική στην εξίσωση (3-13) μετασχηματίζεται ως εξής:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{n_i^{(1)} n_i^{(2)}}{n_i^{(1)} + n_i^{(2)}} \cdot \frac{(p_{ij}^{(1)} - p_{ij}^{(2)})^2}{\hat{p}_{ij}^*}, \quad (3-17)$$

όπου

$$\hat{p}_{ij}^* = \frac{n_{ij}^{(1)} + n_{ij}^{(2)}}{n_i^{(1)} + n_i^{(2)}} \quad (3-19)$$

Είναι η εκτιμήτρια του  $P_{ij}$  που λαμβάνεται από τα δεδομένα των δύο δειγμάτων χρονοσειρών. Όπως και πριν, το  $X^2$  θα έχει κατανομή  $\chi^2$  με  $k(k-1)$  βαθμούς ελευθερίας.

Τελικά θέλουμε να ελέγξουμε την υπόθεση ότι η κατανομή καταστάσεων σε χρόνο εξάγεται από μια μαρκοβιανή αλυσίδα πρώτης τάξης σε αντιπαραβολή με το ότι παράγεται από μια μαρκοβιανή υψηλότερης τάξης. Για το λόγο αυτό, οι Anderson & Goodman (1957) [46] πρότειναν την παρακάτω διαδικασία. Πρώτον, θεωρούμαι μια μαρκοβιανή αλυσίδα δεύτερης τάξης ως μια πιο περίπλοκη αλυσίδα πρώτης τάξης.

Αυτό γίνεται αν θέσουμε ένα ζευγάρι καταστάσεων  $h$  και  $i$  σαν αναπαράσταση μιας σύνθετης κατάστασης  $(h,i)$ . Τότε η πιθανότητα μετάβασης από μια κατάσταση  $(h,i)$  σε μια κατάσταση  $(i,j)$  είναι  $P_{ij}$ . Φυσικά αυτό σημαίνει ότι είναι αδύνατη μια μετάβαση από την κατάσταση  $(h,i)$  στην κατάσταση  $(g,j)$  ( $g \neq i$ ). Για παράδειγμα ο STPM μιας αλυσίδας δευτέρας τάξης για δύο καταστάσεις είναι:

$$P = \begin{bmatrix} P_{111} & P_{112} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{121} & P_{122} \\ P_{211} & P_{212} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{221} & P_{222} \end{bmatrix} \quad (3-20)$$

Σύμφωνα με την αρχική υπόθεση ότι η αλυσίδα είναι πρώτης τάξης, οι πιθανότητες μετάβασης  $P_{hij}$  είναι ανεξάρτητες από το  $h$  και έτσι έχουμε

$$P_{hij} = P_{ij}, \forall h, i, j \quad (3-21)$$

Προκειμένου να ελέγξουν αυτήν την υπόθεση, οι Anderson & Goodman (1957) πρότειναν:

$$X^2 = \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{hi} \cdot \frac{(P_{hij} - P_{ij})^2}{\hat{P}_{ij}}, \quad (3-22)$$

όπου

$$n_{hi} = \sum_{j=1}^k n_{hij}, \quad (3-23)$$

$$\hat{P}_{hij} = \frac{n_{hij}}{n_{hi}} \quad (3-24)$$

και

$$\hat{P}_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (3-25)$$

Μπορεί να αποδειχθεί ότι το  $X^2$  έχει μια περιορισμένη κατανομή  $\chi^2$ . Τα στοιχεία του εμπίπτουν στον περιορισμό,

$$\sum_{j=1}^k \hat{P}_{hij} = 1 \quad (3-26)$$

και

$$\sum_{h=1}^k n_{hij} = n_{ij} \quad (3-27)$$

Έτσι, ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας του  $X^2$  θα είναι  $k(k-1)^2$ . Αν το  $X^2$  είναι μικρότερο από  $\chi_{\alpha; k(k-1)^2}^2$ , η υπόθεση ότι η αλυσίδα είναι πρώτης τάξης είναι αποδεκτή σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$ . Αν όχι, η δοκιμή έχει εντοπίσει μια διαφορά μεταξύ των πιθανοτήτων μετάβαση της πρώτης και της δεύτερης τάξης και μπορεί να αξίζει να εξετάσουμε και την ανάλυση δεύτερης τάξης. Στις αναλύσεις που θα ακολουθήσουν, θα χρησιμοποιούμε την εξίσωση 3-22.

Εξίσου σημαντική παράμετρος είναι η πιθανότητα  $\beta$  ότι η υπόθεση είναι αποδεκτή παρόλο που δεν είναι αληθινή. Αν το  $\beta$  είναι μεγάλο, η αξία μιας αρχικής υπόθεσης, η οποία έχει γίνει αποδεκτή από τη δοκιμή, δεν ενδυναμώνεται με καμία αποδείξιμη προέκταση. Με άλλα λόγια, το γεγονός ότι μια υπόθεση είναι αποδεκτή από μια δοκιμή με μεγάλο  $\beta$  σημαίνει ότι είναι πιθανό αλλά όχι απαραίτητα σίγουρο ότι η υπόθεση είναι πραγματική. Αφού δεν υπάρχει συγκεκριμένη εναλλακτική υπόθεση στην περίπτωση της δοκιμής προσαρμογής, δεν είναι δυνατό να επιλέξουμε, ή ακόμα και να υπολογίσουμε, την τιμή του  $\beta$ . Είναι παρόλα αυτά σημαντικό να κρατήσουμε αυτό το ερώτημα και να το επιβεβαιώσουμε, οποιαδήποτε δοκιμή κι αν χρησιμοποιηθεί.

### **3.4 ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΟΤΙΒΩΝ ΣΑΚΚΑΔΙΚΩΝ**

Πριν προχωρήσουμε στην ουσιαστική ανάλυση των δεδομένων, που θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο, πρέπει να αποφασίσουμε ποια μοντέλα θα επιλέξουμε να χρησιμοποιήσουμε δηλαδή πώς να ορίσουμε τις καταστάσεις στις αλυσίδες μας. Παρακάτω θα περιγραφούν τρία διαφορετικά μοντέλα. Τα δύο από αυτά χρησιμοποιήθηκαν από τον Wu (1991) [40], για να μελετήσει τις κατευθύνσεις των REM, ενώ το τρίτο είναι ένα μοντέλο δεύτερης τάξης που στοχεύει στη μελέτη της μετάβασης από μια κατάσταση «bad performer», μια κατάσταση δηλαδή με πολλές σακκαδικές (μικρά ISIs), σε μια κατάσταση «good performer», με λίγες σακκαδικές (μεγάλα ISIs).

#### **3.4.1 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΡΙΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**

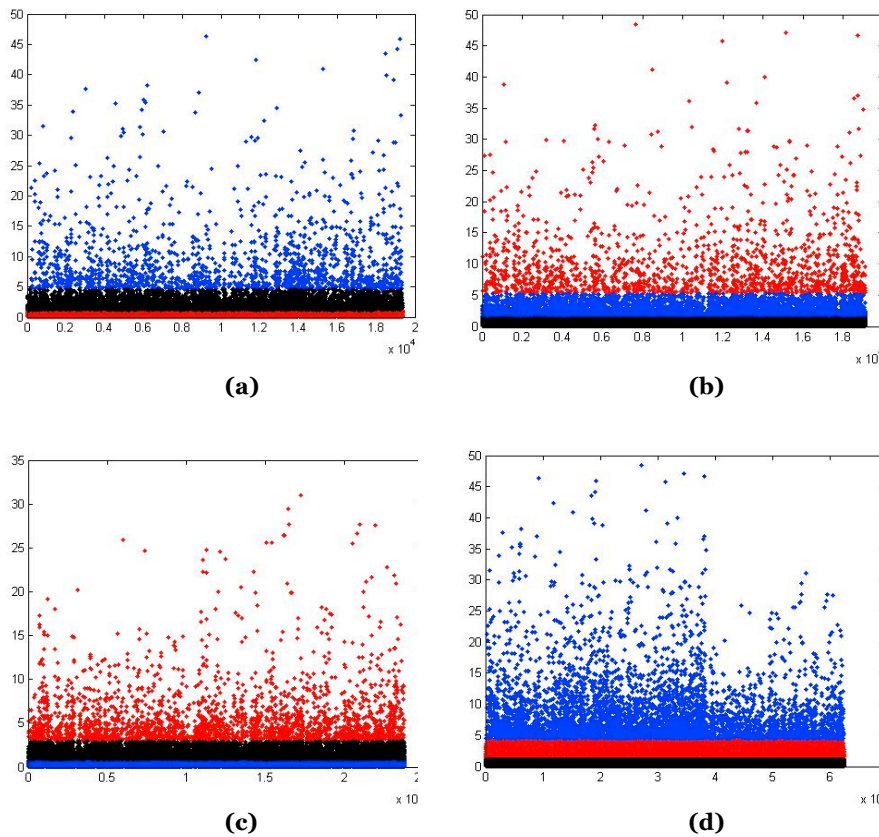
Η Μαρκοβιανή ανάλυση έχει δοκιμαστεί από τον Wu (1991) [40] για τις κατευθύνσεις των REM καθώς και από τους Hansotia et al. (1990) [47] χρησιμοποιώντας δύο εντελώς διαφορετικά μοντέλα. Στη μελέτη αυτή θα



χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο τριών καταστάσεων, όπως ορίστηκε από το Wu, για να ελέγξουμε αν τα διαστήματα μεταξύ των σακκαδικών (Inter Saccadic Intervals) ακολουθούν ένα μη τυχαίο μοτίβο. Θα χωρίσουμε τα ISI σε τρεις ομάδες short, medium και long που συνδέονται με μια κατάσταση, η καθεμία, σε ένα μοντέλο αλυσίδας markov. Ο ορισμός έγινε με βάση τρία κατώφλια που βρέθηκαν με τις μεθόδους k-means και fc-means. Δεν χρησιμοποιήσαμε κάποιο κριτήριο για το μέγεθος της βάσης δεδομένων.

Οι δύο διαδικασίες βασίζονται στην ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των σημείων που προκύπτουν από τα δεδομένα. Οι διαδικασίες είναι σχεδόν ταυτόσημες, η μόνη διαφορά είναι η εισαγωγή ενός διάνυσματος, στην fuzzy c-means το οποίο εκφράζει το ποσοστό κατά το οποίο ανήκει ένα σημείο σε καθεμία από τις συστάδες σημείων. Αυτό το διάνυσμα μπαίνει σε έναν εκθέτη «δυσκαμψίας», με στόχο να αποκτήσουν μεγαλύτερη βαρύτητα οι ισχυρότερες συνδέσεις και λιγότερη οι ασθενείς συνδέσεις. Όταν ο παράγοντας δυσκαμψίας τείνει στο άπειρο οι δύο μέθοδοι ταυτίζονται.

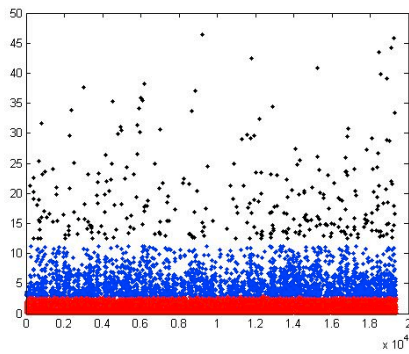
Παρακάτω φαίνονται γραφικά οι ομαδοποιήσεις με την k-means και τη fuzzy c-means για τρεις καταστάσεις.



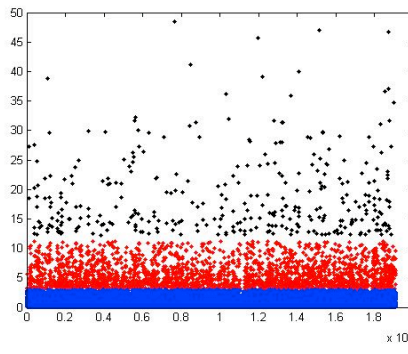
Εικόνα 3.8

- a) διάγραμμα κατανομής δεδομένων για το task2 για τρεις καταστάσεις με βάση τη μέθοδο k-means
- b) το ίδιο για το task3
- c) το ίδιο για το task4
- d) το ίδιο για όλα τα tasks

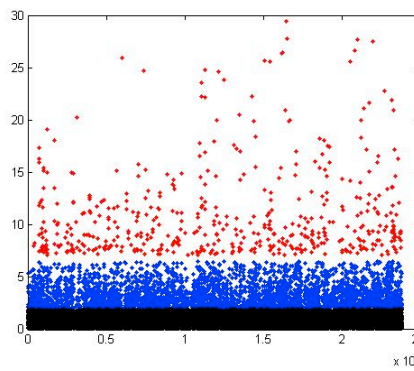
Fuzzy c-means:



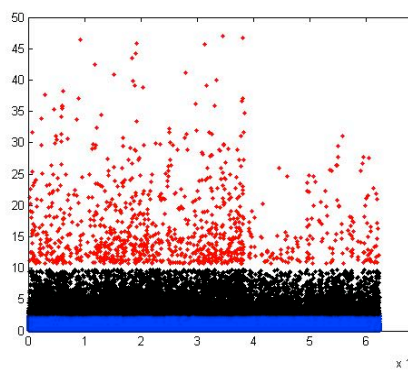
(a)



(b)



(c)



(d)

Εικόνα 3.9

(a) διάγραμμα κατανομής δεδομένων για το task2 σε τρεις καταστάσεις με βάση τη μέθοδο fuzzy c-means

(b) το ίδιο για το task3

(c) το ίδιο για το task4

(d) το ίδιο για όλα τα tasks μαζί

Πίνακας 3.1

Τα αποτελέσματα για τα κατώφλια από τις δύο μεθόδους

	k-means		fuzzy c-means	
	task2	task3	task2	task3
task2	1,1773	4,6054	2,9472	12,4489
task3	1,329	5,2844	3,0469	12,2492
task4	0,9186	2,9461	1,8865	7,0406
all tasks	1,1579	4,4699	2,5988	10,7264

### **3.4.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ**

Αυτό είναι το κανονικό μοντέλο δύο καταστάσεων Markov, που χρησιμοποιήθηκε από το Boukadoum (1983) [41] και αργότερα από το Wu (1991) [40]. Απαιτείται ο ορισμός της τιμής κατώφλιου που διαχωρίζει τα μικρά (short) από τα μεγάλα (long) διασακκαδικά διαστήματα (Inter Saccadic Intervals). Δεν υπάρχει κάποια προκαθορισμένη διαδικασία για αυτά τα κατώφλια. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε τέσσερις διαφορετικές μεθόδους για να επιλέξουμε την καταλληλότερη. Η μία είναι οπτική, με ιστογράμματα, η δεύτερη είναι γραφική με τη συνάρτηση της δεύτερης παραγώγου και οι άλλες δύο είναι προγραμματιστικές, οι δύο που χρησιμοποιήσαμε και στο μοντέλο τριών καταστάσεων.

Ορίζουμε ένα μοντέλο Markov, στο οποίο οι δυο καταστάσεις συνδέονται με μικρά (short ISIs) και μεγάλα (long ISIs) διασακκαδικά διαστήματα. Αφού οριστεί το μοντέλο, μπορούμε να υπολογίσουμε τους πίνακες πιθανοτήτων μετάβασης (STPMs) όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 3.3.

### **3.4.3 ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ**

Προκειμένου να μελετήσουμε πιο αναλυτικά την ποσοτική ανάλυση των βιοφυσικών μηχανισμών που εμπλέκονται με τη μετάβαση από μια κατάσταση λίγων σε μια κατάσταση πολλών σακκαδικών και το αντίστροφο, θα πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη σημασία στο Inter Saccadic Interval (διασακκαδικό διάστημα) στην αρχή και στο τέλος της μετάβασης. Ένας τρόπος να γίνει αυτό, θα ήταν να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο όπου ένα μικρό (short) ISI που προηγήθηκε από ένα μεγάλο (long) ISI αντιμετωπίζεται διαφορετικά από ένα μικρό (short) ISI που προηγήθηκε από ένα άλλο μικρό (short) ISI. Ομοίως έχουμε δύο διαφορετικές περιπτώσεις για τα long ISIs.

Το Μοντέλο μοιάζει με μοντέλο τέταρτης τάξης. Ο ορισμός των καταστάσεων εξαρτάται μόνο από την παρούσα κατάσταση και την προηγούμενη μετάβαση. Με αυτό το μοντέλο προσδοκούμε να αποκαλύψουμε την τάση να μείνουμε σε μια κατάσταση πολλών σακκαδικών (s-s) σε μια κατάσταση λίγων σακκαδικών (l-l). Ένα τέτοιο μοντέλο θα αποκαλύψει πια κατάσταση είναι ισχυρότερη (ή ασθενέστερη) στη διαδικασία του μηχανισμού προσήλωσης. Φυσικά, ένα μοντέλο υψηλότερης τάξης θα μας έδινε ακόμα πιο αναλυτικές πληροφορίες για αυτό το ερώτημα. Παρόλα αυτά πρέπει να έχουμε κατά νου ότι ο αριθμός των θέσεων των πινάκων πιθανοτήτων μετάβασης STPMs, για ένα μοντέλο δύο καταστάσεων διπλασιάζεται όταν η τάξη αυξάνεται κατά ένα. Ένα μοντέλο τρίτης τάξης λοιπόν θα απαιτούσε τον υπολογισμό 16 πιθανοτήτων για τη συμπλήρωση του πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης. Εφόσον όμως το μοντέλο δεύτερης τάξης για ένα μοντέλο δύο καταστάσεων χρησιμοποιεί τον ορισμό του μοντέλου πρώτης τάξης για τις καταστάσεις θεωρείται χρήσιμο.

Όπως έχουμε πει και παραπάνω, ορίζουμε:

$$\hat{P}_{hij} = \frac{n_{hij}}{n_{hi}} \quad (3-28)$$

Όπου

$$\sum_{j=1}^k n_{hij} = n_{hi} \quad (3-29)$$

Για να είναι σημαντικά τα αποτελέσματα του μοντέλου δεύτερης τάξης δε θα πρέπει να ικανοποιείται η υπόθεση:

$$H_0: P_{hij} = P_{ij}, \forall h, i, j \quad (3-30)$$

Πρέπει δηλαδή να απορριφτεί από τη δοκιμή  $X^2$ . Αυτή η δοκιμή περιγράφηκε στην παράγραφο 3.3 και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση (3-22) για να εξακριβώσουμε αν μια κατανομή στο χρόνο δίνει σημαντικά στοιχεία σε μια δεύτερης ή υψηλότερης τάξης προσέγγιση.

### 3.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.5.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ

Το μοντέλο πρόβλεψης που περιγράφηκε παραπάνω απαιτεί το διαχωρισμό μεταξύ short και long σακκαδικών. Για το λόγο αυτό χρειάζεται η εκτίμηση ενός κατωφλιού (threshold), το οποίο εκφράζει τη διάρκεια του ISI, που θεωρείται οριακή ανάμεσα στις δύο καταστάσεις. Μετά από δοκιμές επιλέξαμε ως καλύτερη μέθοδο την οπτική προσέγγιση με ιστογράμματα. Οι άλλες μέθοδοι ήταν με την δεύτερη παράγωγο και δύο μέθοδοι υπολογιστικές, η k- means και η Fuzzy C- means.

Το δείγμα αντιμετωπίστηκε σαν να ήταν ενιαίο. Όλα τα δεδομένα μπήκαν σε ένα πίνακα από τον οποίο εξήχθησαν τα αποτελέσματα. Αρχικά είχαμε περίπου 700 αρχεία σε μορφή πίνακα για κάθε μία από τις τρεις δοκιμασίες. Συγκεκριμένα είχαμε 724 πίνακες για το task2, 786 για το task3 και 675 για το task4. Οι πίνακες αυτοί ενοποιήθηκαν και φτιάξαμε έναν για κάθε task και έναν ακόμα δοκιμαστικά με τα δεδομένα από όλες τις δοκιμασίες. Όλοι οι πίνακες περιέχουν δεδομένα για σακκαδικές με απόκλιση μεγαλύτερη από 5°. Οι στήλες είναι τέσσερις. Στην πρώτη περιέχεται ο χρόνος στον οποίο ξεκινάει η σακκαδική, στη δεύτερη είναι η γωνιακή ταχύτητα και στην τρίτη η γωνιακή απόκλιση. Στην τέταρτη στήλη έχουμε υπολογίσει

τα ISIs από τα δεδομένα της πρώτης στήλης. Για κάθε subject η πρώτη γραμμή της τέταρτης στήλης είναι μηδέν.

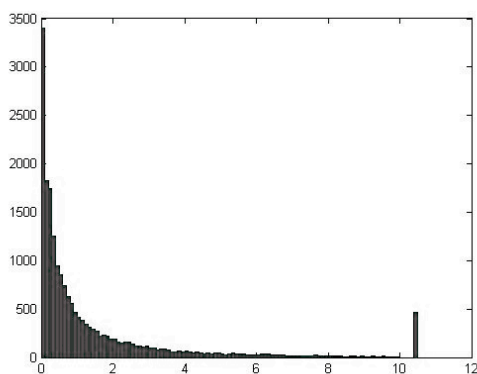
### ➤ Μέθοδος με ιστογράμματα (οπτική μέθοδος)

Η εύρεση κατωφλιού από ιστόγραμμα μπορεί, όπως καταλαβαίνουμε, να χωριστεί σε δύο διαδικασίες, η μία είναι η κατασκευή ιστογράμματος και η άλλη η επιλογή του κατάλληλου κατωφλιού.

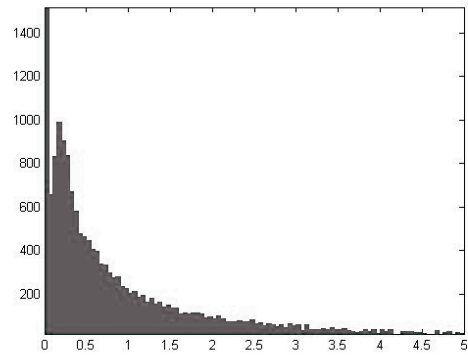
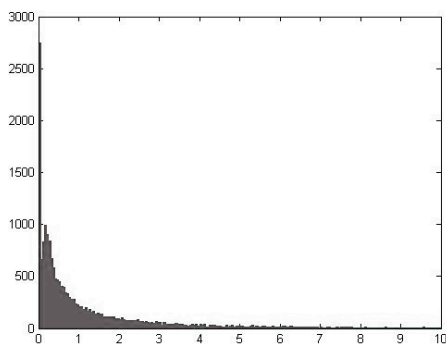
Η κατασκευή ενός ιστογράμματος ενός συνόλου δεδομένων είναι μια μέθοδος να εκτιμήσουμε την κατανομή των δεδομένων σχεδιάζοντας τον αριθμό των δεδομένων που υπάρχει σε ένα σύνολο διαστημάτων. Τα σύνολα αυτά έχουν συνήθως το ίδιο μέγεθος (όπως και στη διαδικασία που ακολουθήσαμε). Ένα πρώτο πρόβλημα που εμφανίζεται, είναι πως θα επιλέξουμε το μέγεθος των συνόλων που αναφέραμε δηλαδή το μέγεθος των bin του ιστογράμματος. Αυτό είναι ένα πραγματικά σημαντικό πρόβλημα αφού η επιλογή του μεγέθους των bins επηρεάζει σημαντικά τη μορφή του ιστογράμματος. Αν επιλέξουμε πολύ μικρό μέγεθος bin, το ιστόγραμμα αποκτά πολύ θόρυβο και έχει πολλές διακυμάνσεις. Αν, από τη άλλη, επιλέξουμε πολύ μεγάλο μέγεθος bin χάνονται οι επιμέρους συνεισφορές και πιθανώς να έχουμε κακή ακρίβεια στο κατώφλι που θα υπολογίσουμε.

Ένα ιστόγραμμα κατασκευάστηκε για κάθε task και ένα για όλα τα tasks μαζί, το οποίο τελικά απορρίφτηκε από τη συζήτηση των αποτελεσμάτων γιατί δεν παρουσιάζει βιοφυσικό ενδιαφέρον. Από αυτά μετά από δοκιμές εξάχθηκε ως κατώφλι το σημείο που το ιστόγραμμα εμφανίζει τοπικό ελάχιστο. Η επιλογή του μεγέθους των στηλών του ιστογράμματος έγινε μετά από δοκιμές.

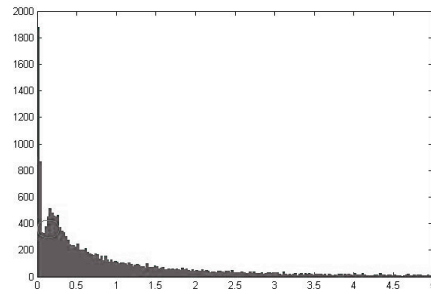
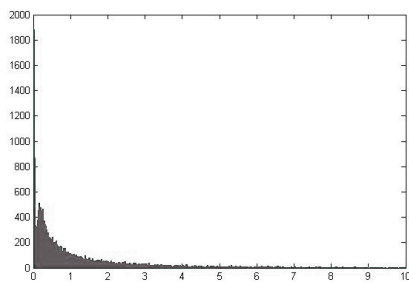
Μελετάμε ιστογράμματα για ISIs μικρότερα από 10sec. Στο πρώτο ιστόγραμμα, φαίνεται για το task2 στο τέλος η ποσότητα των δεδομένων που απορρίψαμε. Παρατηρούμε ότι μπορούμε να βγάλουμε ασφαλές συμπέρασμα.



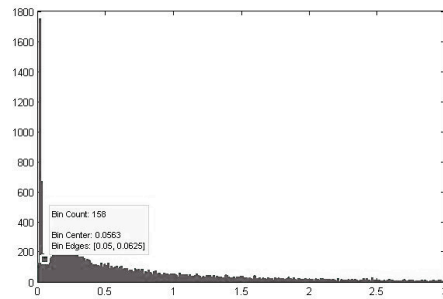
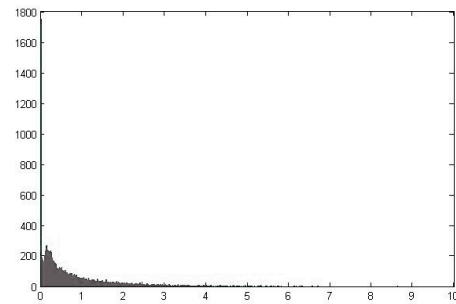
Ιστόγραμμα 1 Το task2 για μέγεθος bin 0.1



**Ιστόγραμμα 2 α.** Στο task2, για μέγεθος bin 0.05 β. το ίδιο ιστόγραμμα εστιασμένο στην περιοχή που μας ενδιαφέρει. Είναι φανερό ότι το τοπικό ελάχιστο βρίσκεται στο δεύτερο bin άρα στα 0.075 seconds.

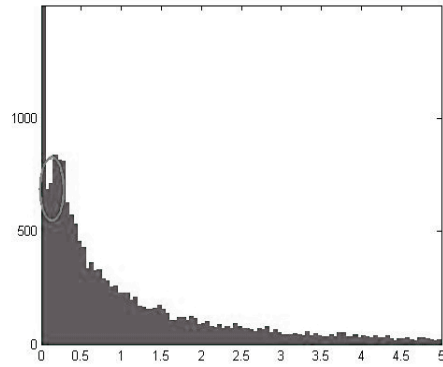
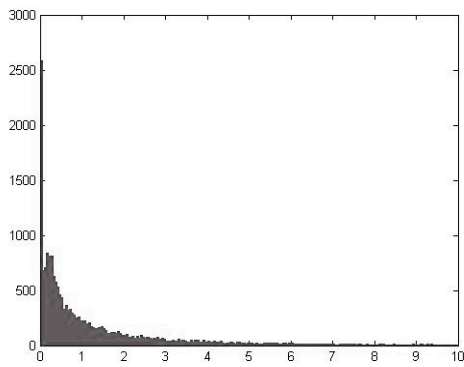


**Ιστόγραμμα 3 α.** Στο task2, για μέγεθος bin 0.025 (δηλαδή 0.05/2) β. το ίδιο εστιασμένο στην περιοχή που μας ενδιαφέρει. Το τοπικό ελάχιστο βρέθηκε στα 0.0875 seconds με χρήση των κατάλληλων εργαλείων του matlab.

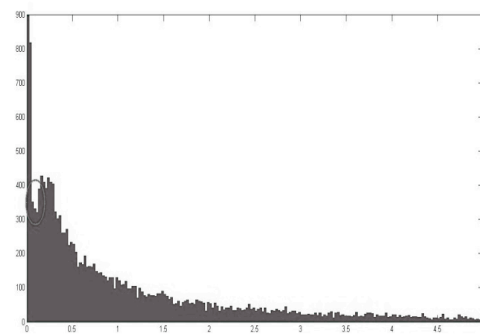
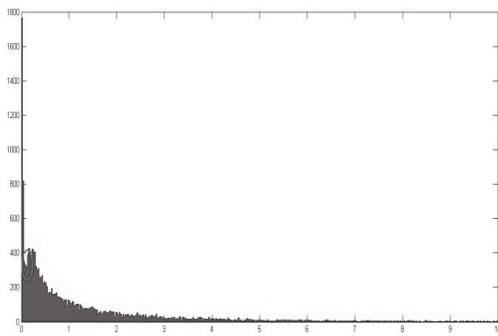


**Ιστόγραμμα 4 α.** Στο task2, για μέγεθος bin 0.0125 β. το ίδιο εστιασμένο, στην περιοχή που μας ενδιαφέρει. Το τοπικό ελάχιστο βρέθηκε στα 0.05825 s.

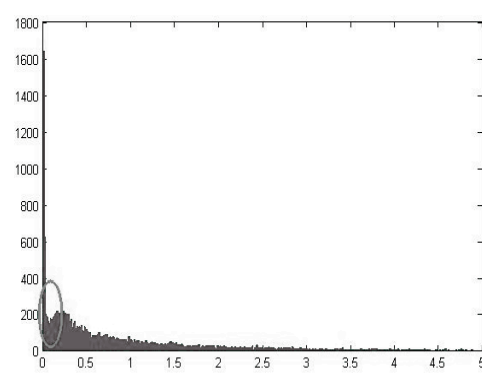
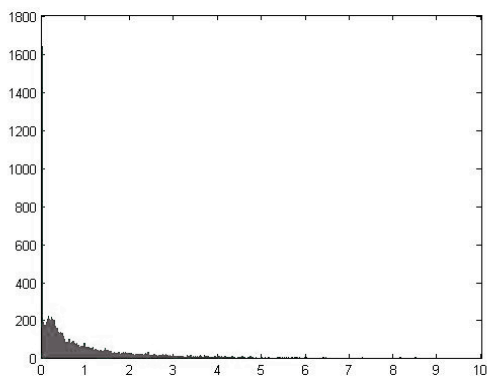
Τελικά το κατώφλι για το task2, βρέθηκε από το μέσο όρο των τριών κατωφλιών 0.0729 sec. Η ανάλυση σταμάτησε όταν το τοπικό ελάχιστο έπαψε να είναι ευδιάκριτο.



**Ιστόγραμμα 5 α.** Για το task3, με μέγεθος bin 0.05 β. Το ίδιο ιστόγραμμα εστιασμένο. Το κατώφλι βρέθηκε 0.075.

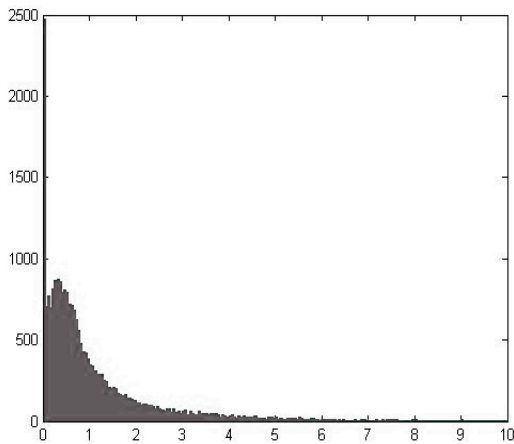


**Ιστόγραμμα 6 α.** Για το task3, με μέγεθος bin 0.025 β. το ίδιο, εστιασμένο. Το τοπικό ελάχιστο βρέθηκε στα 0.1125 seconds.

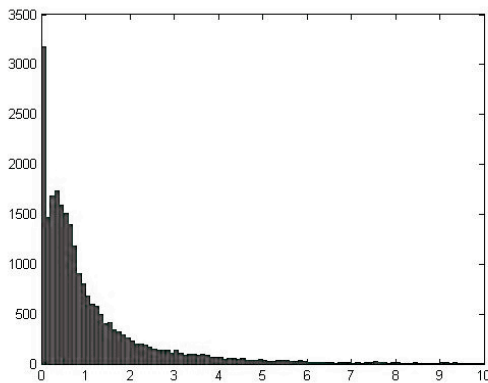


**Ιστόγραμμα 7 α.** Στο task3 για μέγεθος bin 0.0125 β. το ίδιο, εστιασμένο. Το τοπικό ελάχιστο βρέθηκε στα 0.08125 seconds.

Από το μέσο όρο αυτών το κατώφλι για το task3 υπολογίστηκε 0.0896.



**Ιστογράμμα 8** Στο task4 το ελάχιστο αρχίζει να γίνεται δυσδιάκριτο ήδη από το μέγεθος 0.05s. Παρατηρούμε δύο διαδοχικά τοπικά ελάχιστα, από τα οποία δεν μπορούμε να επιλέξουμε κάποιο με αντικειμενικά κριτήρια.



**Ιστογράμμα 9** Για το task4 παίρνουμε λοιπόν, το μέγεθος bin 0.1second και κατώφλι 0.15s.

### ➤ Μέθοδος Περιβάλλουσας

Η οπτική προσέγγιση που περιγράφηκε παραπάνω, αν και είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη, δεν θεωρείται πολύ αντικειμενική μέθοδος, αφού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Επίσης είναι μη-αυτόματη οπότε αργή και επίπονη. Επιπλέον η οπτική προσέγγιση μπορεί να έχει διαφορετικό αποτέλεσμα αν για παράδειγμα διαφοροποιηθεί η βαθμονόμηση των αξόνων. Φτιάχνοντας μια αυτόματη μέθοδο πρέπει να αποφύγουμε αυτές τις ανεπιθύμητες εξαρτήσεις.

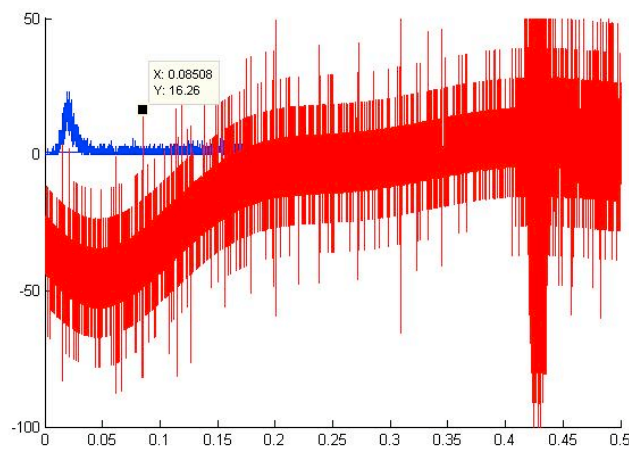
Η μέθοδος που περιγράφεται παρακάτω βασίζεται στα ιστογράμματα, ωστόσο επειδή είναι υπολογιστική, ελαχιστοποιείται ο υποκειμενισμός της οπτικής εκτίμησης. Το κατώφλι είναι το σημείο που υπάρχει κάποια αλλαγή μεταξύ των διαφορετικών συνεισφορών. Αυτό το σημείο μπορούμε να το ορίσουμε ως το σημείο όπου έχουμε διαφορά «τάσεων». Οι τάσεις εκφράζονται από την πρώτη παράγωγο



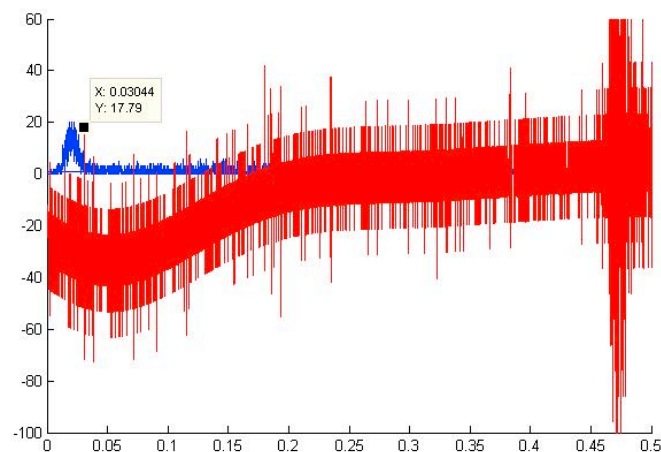
και ο ρυθμός με τον οποίο οι τάσεις μεταβάλλονται εκφράζεται από τη δεύτερη παράγωγο. Από αυτά καταλήγουμε στην υπόθεση ότι ένα καλό σημείο κατώφλιού θα έπρεπε να βρίσκεται σε κάποια ακραία τιμή της δεύτερης παραγώγου του ιστογράμματος.

Η περιβάλλουσα είναι η δεύτερη παράγωγος της εξομαλυμένης κατανομής πυκνότητας πιθανότητας, δηλαδή του διαγράμματος της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας του δείγματος. Το σημείο του πρώτου τοπικού μεγίστου της δεύτερης παραγώγου, μετά το μέγιστο της συνάρτησης κατανομής, λαμβάνεται ως κατώφλι για το δείγμα δεδομένων. Η μέθοδος αυτή αποδίδει καλά ανεξάρτητα από το μέγεθος των bin.

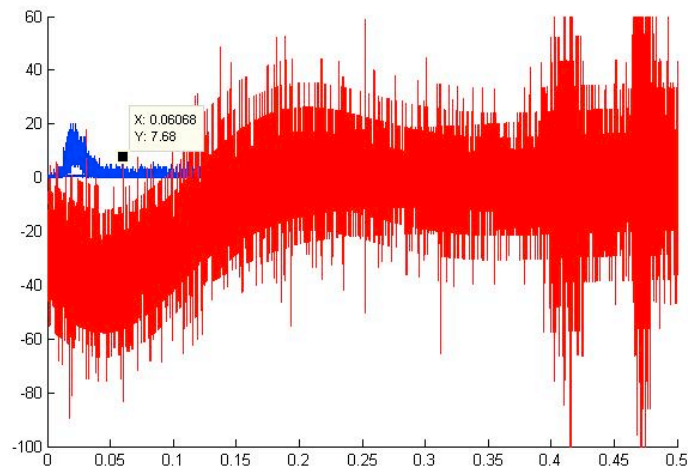
Στα παρακάτω διαγράμματα με μπλε σχεδιάζεται η κατανομή του δείγματος δεδομένων και με κόκκινο η περιβάλλουσα.



**Διάγραμμα 1 Περιβάλλουσα για την κατανομή του task2, κατώφλι 0.085s**



**Διάγραμμα 2 Περιβάλλουσα για την κατανομή του task3, κατώφλι 0.03s**

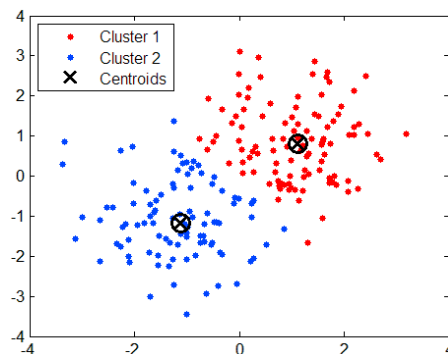


Διάγραμμα 3 Περιβάλλουσα για την κατανομή του task4, κατόφλι 0.06s

### ➤ k- means & fuzzy c-means

Με μια πρώτη ματιά οι δύο συναρτήσεις φαίνονται πανομοιότυπες, βασίζονται και οι δύο στην ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των σημείων, η μόνη διαφορά είναι η εισαγωγή ενός διανύσματος που εκφράζει την επί τοις εκατό «αναφορά» σε ένα δοσμένο σημείο κάθε ομάδας. Αυτό το διάνυσμα υπάρχει για να δίνει μεγαλύτερη σημαντικότητα σε ισχυρές συνδέσεις. Η fuzzy c- means είναι αρκετά πιο αργή από την k-means, γιατί χρειάζεται να κάνει περισσότερους υπολογισμούς, καθώς προσδιορίζει διαφοροποιήσεις για κάθε σημείο και κάθε κατεύθυνση.

#### • K-means

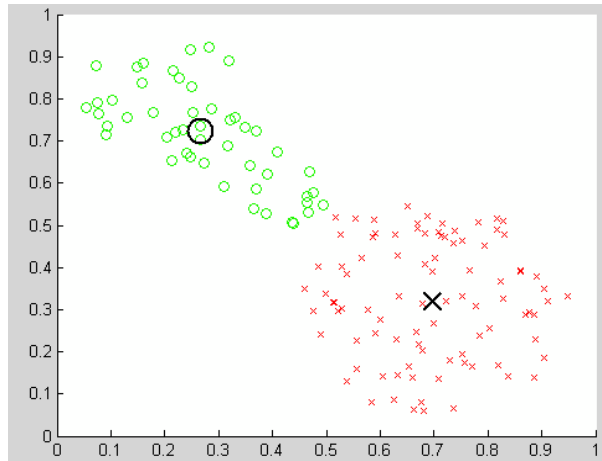


Η συνάρτηση kmeans έχει δύο φάσεις για να ελαχιστοποιήσει το άθροισμα όλων των αποστάσεων από το κέντρο κάθε κλάσης. Η πρώτη φάση χρησιμοποιεί επαναλήψεις, όπου κάθε μία επανάληψη πραγματοποιεί ανακατανομή των σημείων στο πλησιέστερο κέντρο βάρους διασποράς τους, ακολουθούμενο από τον επανυπολογισμό των κέντρων βάρους της κλάσης. Αυτή η φάση συχνά δεν συγκλίνει στη λύση, που είναι ένα τοπικό ελάχιστο, δηλαδή, ένα υποσύνολο των δεδομένων, όπου κάθε σημείο σε διαφορετική κλάση έχει αυξημένο άθροισμα των αποστάσεων. Αυτό είναι πιο πιθανό για μικρά σύνολα δεδομένων. Η πρώτη φάση, δυνητικά προσεγγίζει μόνον μία λύση ως σημείο εκκίνησης για τη δεύτερη φάση.

Στη δεύτερη φάση για κάθε σημείο υπολογίζεται εκ νέου, η απόσταση από τα κέντρα των κλάσεων. Στη φάση αυτή, θα προκύψει ένα τοπικό ελάχιστο, αν και μπορεί να υπάρχουν άλλα τοπικά ελάχιστα με χαμηλότερο άθροισμα αποστάσεων. Το πρόβλημα της εύρεσης ολικού ελαχίστου μπορεί να λυθεί μόνο, με πολύ προσεκτική επιλογή των σημείων εκκίνησης, αλλά χρησιμοποιώντας πολλές επαναλήψεις με τυχαία σημεία εκκίνησης συνήθως οδηγεί σε μια λύση η οποία είναι το ολικό ελάχιστο.

- **Fuzzy c-means**

Στη μέθοδο αυτή κάθε σημείο ανήκει με διαφορετικό ποσοστό σε κάθε κλάση.



Τα κατώφλια που προέκυψαν για την ανάλυση δύο κλάσεων είναι:

Πίνακας 1 Κατώφλια για ανάλυση 2 καταστάσεων

	<b>task2</b>	<b>task 3</b>	<b>task4</b>
<b>Οπτική προσέγγιση</b>	0.0729	0.0896	0.15
<b>Περιβάλλουσα</b>	0.085	0.03	0.06
<b>k-means</b>	2.2495	2.3678	0.7192
<b>F C- means</b>	5.5927	5.6403	3.3074

Τα κατώφλια που προέκυψαν για την ανάλυση τριών κλάσεων είναι:

Πίνακας 2 Κατώφλια για ανάλυση 3 καταστάσεων

	<b>task2</b>		<b>task3</b>		<b>task4</b>	
<b>k- means</b>	1.1773	4.6054	1.329	5.2844	0.9186	2.9461
<b>FC-means</b>	2.9472	12.4489	3.0469	12.2492	1.8865	7.0406

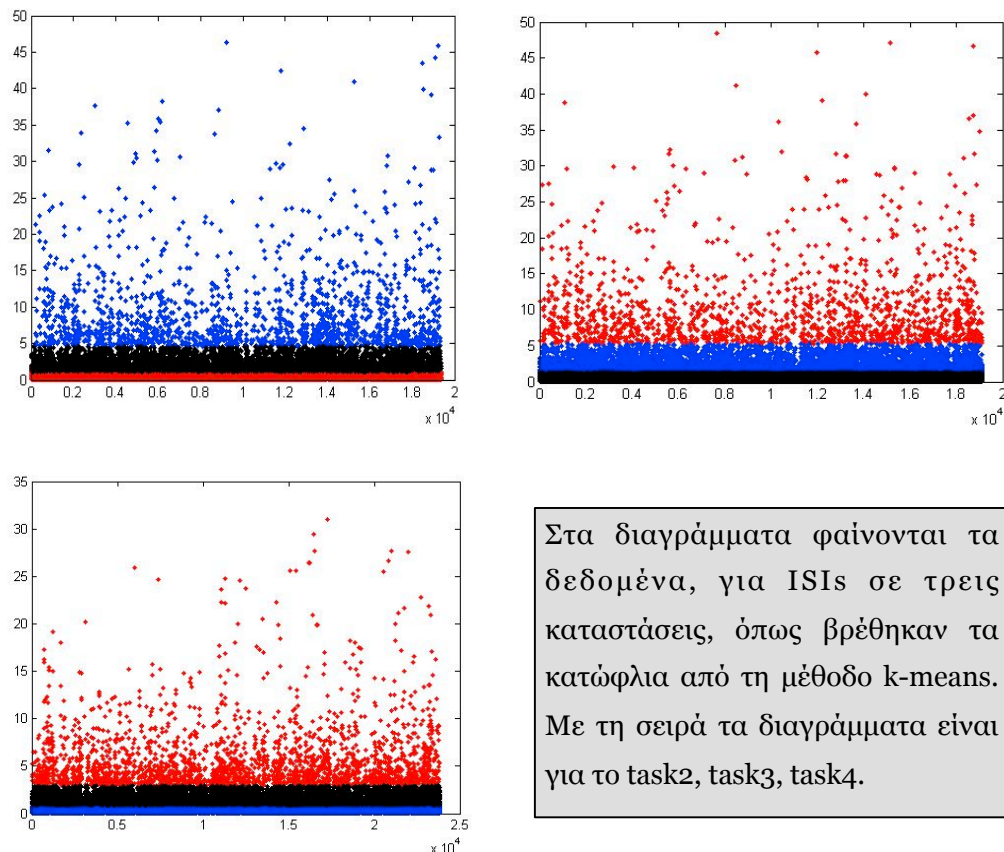
### 3.5.2 ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ Inter Saccadic Interval

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης σύμφωνα με το Μαρκοβιανό μοντέλο τριών καταστάσεων πρώτης τάξης και δύο καταστάσεων, πρώτης και δεύτερης τάξης. Τα κατώφλια που διαχωρίζουν τις καταστάσεις παρουσιάστηκαν παραπάνω.

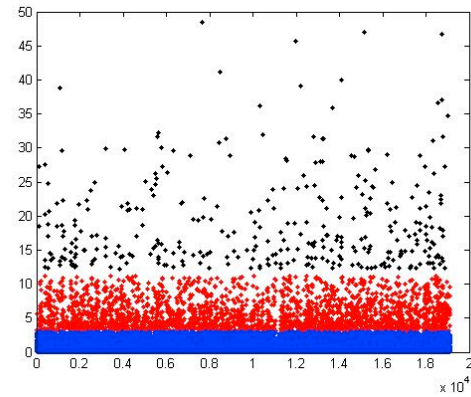
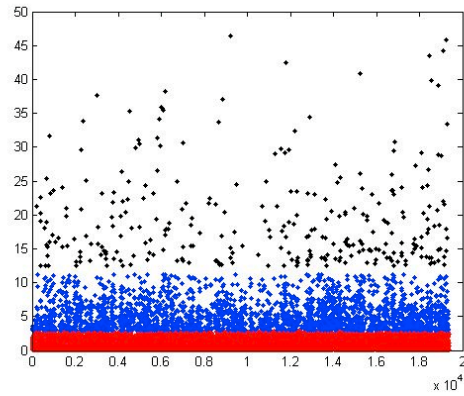
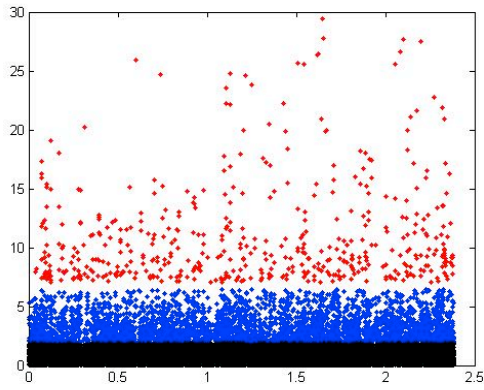
Για την ανάλυση δύο καταστάσεων παρουσιάζονται επιπλέον τα αποτελέσματα μετά την απαλοιφή των σακκαδικών δονήσεων.

#### 3.5.2.1 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΡΙΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Χρησιμοποιούμε το μοντέλο τριών καταστάσεων για τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν ανάμεσα σε δύο διαδοχικές σακκαδικές κινήσεις. Χωρίζουμε τα ISIs σε τρεις καταστάσεις short (μικρά), medium (μέτρια) και long (μεγάλα). Τα κατώφλια ορίστηκαν όπως παραπάνω από τις μεθόδους k-means και f-c means.



Οι καταστάσεις ορίζονται όπως παραπάνω. Τώρα μπορούμε να υπολογίσουμε τον πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης από τα δεδομένα των ISIs, όπως περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στα αποτελέσματα συμπεριλαμβάνεται και η δοκιμή  $\chi^2$ . Ο πίνακας θα έχει την εξής μορφή:



Στα διαγράμματα φαίνονται τα δεδομένα, για ISIs σε τρεις καταστάσεις, όπως βρέθηκαν τα κατώφλια από τη μέθοδο fuzzy c-means. Με τη σειρά τα διαγράμματα είναι για το task2, task3, task4.

	<b>short</b>	<b>Medium</b>	<b>long</b>
<b>short</b>	ss	sm	sl
<b>medium</b>	ms	mm	ml
<b>long</b>	ls	lm	ll

Στους πίνακες που ακολουθούν θα παρατηρήσουμε ότι με βάση τη δοκιμή, τα αποτελέσματα είναι σημαντικά. Δηλαδή η μετάβαση από τη μία κατάσταση στην άλλη δεν είναι τυχαία. Γενικά παρατηρείται μια τάση να μένει η ίδια κατάσταση. Παρόλα αυτά, επειδή τα αποτελέσματα δεν έχουν ξεκάθαρη βιοφυσική σημασία για τις τρεις καταστάσεις και οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν ελαφρώς διαφοροποιημένα αποτελέσματα, χωρίς να έχουμε αντικειμενικό κριτήριο για το ποια θα επιλέξουμε, δεν θα προχωρήσουμε σε παραπάνω ανάλυση για το μοντέλο των τριών καταστάσεων. Πάντως φαίνεται ότι μάλλον θα έδινε ενδιαφέροντα αποτελέσματα μια τέτοια ανάλυση.

Πίνακας 3 Αποτελέσματα της μαρκοβιανής ανάλυσης στο task2 για το μοντέλο τριών καταστάσεων

<b>kmeans</b>	<b>STM</b>			<b>STPM</b>			<b>π</b>			<b>χ<sup>2</sup></b>
	9136	2831	754	0,718	0,223	0,06	0,684	0,238	0,078	483,261
	2854	1185	407	0,642	0,267	0,092	0,684	0,238	0,078	
	759	423	295	0,514	0,286	0,2	0,684	0,238	0,078	
<b>fcmeans</b>	<b>STM</b>			<b>STPM</b>			<b>π</b>			<b>χ<sup>2</sup></b>
	14241	1717	151	0,884	0,107	0,009	0,866	0,121	0,013	405,61
	1739	473	71	0,762	0,207	0,031	0,866	0,121	0,013	
	161	75	16	0,639	0,298	0,063	0,866	0,121	0,013	

Πίνακας 4 Αποτελέσματα της μαρκοβιανής ανάλυσης στο task3 για το μοντέλο τριών καταστάσεων

<b>kmeans</b>	<b>STM</b>			<b>STPM</b>			<b>π</b>			<b>χ<sup>2</sup></b>
	8939	2845	742	0,714	0,227	0,059	0,684	0,243	0,073	328,754
	2865	1239	356	0,642	0,277	0,08	0,684	0,243	0,073	
	748	379	235	0,549	0,278	0,173	0,684	0,243	0,073	
<b>fcmeans</b>	<b>STM</b>			<b>STPM</b>			<b>π</b>			<b>χ<sup>2</sup></b>
	13669	1785	190	0,874	0,114	0,012	0,855	0,13	0,015	336,665
	1819	524	71	0,754	0,217	0,029	0,855	0,13	0,015	
	202	68	20	0,697	0,234	0,069	0,855	0,13	0,015	

Πίνακας 5 Αποτελέσματα της μαρκοβιανής ανάλυσης στο task4 για το μοντέλο τριών καταστάσεων

<b>kmeans</b>	<b>STM</b>			<b>STPM</b>			<b>π</b>			<b>χ<sup>2</sup></b>
	9815	3644	1020	0,678	0,252	0,07	0,627	0,277	0,096	709,222
	3639	2036	724	0,569	0,318	0,113	0,627	0,277	0,096	
	1073	741	482	0,467	0,323	0,21	0,627	0,277	0,096	
<b>fcmeans</b>	<b>STM</b>			<b>STPM</b>			<b>π</b>			<b>χ<sup>2</sup></b>
	16175	2623	247	0,849	0,138	0,013	0,825	0,156	0,018	662,391
	2687	860	124	0,732	0,234	0,034	0,825	0,156	0,018	
	266	138	54	0,581	0,301	0,118	0,825	0,156	0,018	

### 3.5.2.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ-ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ

Όπως περιγράφηκε και παραπάνω αυτή είναι η αλυσίδα Markov όπως χρησιμοποιήθηκε από τον Boukadoum (1983) [41] και λίγο αργότερα από τον Wu(1991), [40] για τη μελέτη των REM. Για να ορίσουμε τις δύο καταστάσεις short (μικρά) και long (μεγάλα) διασακκαδικά διαστήματα (ISIs), επιλέγουμε τη μέθοδο της οπτικής

προσέγγισης. Αφού δεν έχουμε αντικειμενικό κριτήριο στις δύο υπολογιστικές μεθόδους – kmeans και fmeans. Τα κατώφλια που προέκυψαν από τη μέθοδο της περιβάλλουσας προσεγγίζουν τα κατώφλια που πήραμε από την οπτική προσέγγιση.

Επειδή τα κατώφλια είναι κάτω από 80 ms στα δεδομένα μας σε πρώτη φάση εμπλέκονται και σακκαδικές παρεμβολές (square wave jerks). Για το λόγο αυτό στη συνέχεια αφαιρέσαμε τα δεδομένα που ήταν κάτω από 100ms και τα δεδομένα κάτω από 450ms και φτιάξαμε τους πίνακες μετάβασης εκ νέου, προκειμένου να ελέγξουμε τα αποτελέσματα χωρίς να τις συμπεριλάβουμε. Δηλαδή να μελετήσουμε μόνο σακκαδικές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι διαφορετικά.

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται οι μεταβάσεις. Για απλοποίηση μπορούμε να βάλουμε στη θέση του s το 1 και στη θέση του l τον αριθμό 2.

	<b>short</b>	<b>long</b>
<b>short</b>	ss	sl
<b>Long</b>	ls	ll

Πίνακας 6 Αποτελέσματα του task2 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε με οπτική προσέγγιση (0,0729s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
307	2656	0,104	<b>0,896</b>	0,159	0,841	79,7167
2650	13031	<b>0,169</b>	0,831	0,159	0,841	

Πίνακας 7 Αποτελέσματα του task3 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε από την οπτική προσέγγιση (0,0896s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
376	2640	0,125	<b>0,875</b>	0,164	0,836	40,2397
2629	12703	<b>0,171</b>	0,829	0,164	0,836	

Πίνακας 8 Αποτελέσματα του task4 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε από την οπτική προσέγγιση (0,15s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
810	3036	<b>0,211</b>	0,789	0,166	0,834	67,2622
3030	16298	0,157	<b>0,843</b>	0,166	0,834	

Η ανάλυση πρώτης τάξης στο task2 έδειξε ότι:

1) Αν προερχόμαστε από κατάσταση 1, υπάρχει μια τάση μετάβασης από την κατάσταση 1 (s) στην κατάσταση 2 (l). Δηλαδή η πιθανότητα (0,897) του πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης είναι ισχυρότερη από ότι στην μήτρα χωρίς μνήμη (0,8414). Μπορούμε να πούμε δηλαδή, ότι η κατάσταση 2 αποτελεί έναν ελκυστή ή αλλιώς, αν προερχόμαστε από κατάσταση 1 είναι πιθανότερο να πάμε σε 2 από ότι αν δεν υπήρχε μνήμη στο σύστημα.

2) Αν προερχόμαστε από κατάσταση 2, η μετάβαση από τη 2 στην 1 είναι ισχυρότερη, αφού στη μήτρα χωρίς μνήμη έχουμε 0,159 έναντι 0,169 του πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης. Αυτό σημαίνει ότι η κατάσταση 1 αποτελεί έναν ελκυστή ή αλλιώς αν προερχόμαστε από κατάσταση 2 είναι πιθανότερο να πάμε σε 1 από ότι αν δεν υπήρχε μνήμη στο σύστημα.

Μάλιστα εδώ αξίζει να παρατηρήσουμε ότι η απόδοση του ελκυστή στην πρώτη περίπτωση είναι  $0,8964 - 0,8414 = 0,055$  ( $6,5\% = 0,055 / 0,8414$ ) ενώ στη δεύτερη είναι  $0,169 - 0,159 = 0,01$  ( $6,2\%$ ). Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι όταν η αρχική κατάσταση είναι 1, η τάση να πάει σε 2 (κοιτώντας πόσο αυτή η τάση διαφέρει από την τάση που θα υπήρχε αν δεν υπήρχε δομή-μνήμη πρώτης τάξης =  $6,5\%$  αύξηση) είναι το ίδιο περίπου ισχυρή με την τάση, όταν η αρχική κατάσταση είναι 2, να πάει σε 1. Δηλαδή η κατάσταση 2 έλκει καταστάσεις 1 περίπου ισοδύναμα με τον τρόπο που η κατάσταση 1 έλκει καταστάσεις 2.

Σε γενικές γραμμές περίπου τα ίδια συμπεράσματα εξάγουμε από το task3. Οι ελκυστές είναι όπως και στο task2 για την κατάσταση 1 η κατάσταση 2 και για την κατάσταση 2 η κατάσταση 1. Παρατηρούμε επίσης ότι η διαφορά από τον πίνακα π στην πρώτη περίπτωση  $0,875 - 0,836 = 0,039$  ( $4,7\%$ ) ενώ στη δεύτερη περίπτωση  $0,171 - 0,164 = 0,007$  ( $4,3\%$ ). Δηλαδή και πάλι, η κατάσταση 2 έλκει καταστάσεις 1 περίπου ισοδύναμα με τον τρόπο που η κατάσταση 1 έλκει καταστάσεις 2.

Στο task4 τα συμπεράσματα αλλάζουν. Ελκυστής για τα μικρά ISIs μένουν τα μικρά ISIs και για τα μεγάλα, τα μεγάλα. Δηλαδή από την κατάσταση 1 φαίνεται μια τάση να παραμένει σε κατάσταση 1 και από την κατάσταση 2, σε κατάσταση 2. Η απόδοση του ελκυστή για την πρώτη περίπτωση είναι  $0,211 - 0,166 = 0,045$  ( $27\%$ ) και για την δεύτερη  $0,843 - 0,834 = 0,009$  ( $1\%$ ). Δηλαδή η τάση μετά από ένα μικρό διασακκαδικό διάστημα να ακολουθήσει και άλλο μικρό διασακκαδικό διάστημα είναι πολύ πιο ισχυρή από την τάση να μείνει το μεγάλο διασακκαδικό σε μεγάλο.

Με το κατόφλι που προέκυψε από τη μέθοδο της περιβάλλουσας όπως αναμέναμε τα αποτελέσματα είναι πανομοιότυπα.

Πίνακας 9 Αποτελέσματα του task2 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατόφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο της περιβάλλουσας (0,085s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
389	2728	0,125	<b>0,875</b>	0,167	0,833	47,744
2723	12804	<b>0,175</b>	0,825	0,167	0,833	



Πίνακας 10 Αποτελέσματα του task3 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε από τη μέθοδο της περιβάλλουσας (0,03s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
88	2009	0,042	<b>0,958</b>	0,114	0,886	120,4797
1995	14256	<b>0,123</b>	0,877	0,114	0,886	

Πίνακας 11 Αποτελέσματα του task4 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε από τη μέθοδο της περιβάλλουσας (0,06s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
284	2262	<b>0,112</b>	0,888	0,109	0,891	0,1259
2253	18375	0,109	0,891	0,109	0,891	

Οι παρατηρήσεις για το task2 και το task3 παραμένουν οι ίδιες.

Οι τάσεις για το task2 είναι:

- για τη μετάβαση 1→2,  $0,875-0,833=0,042$  (5%)
- για τη μετάβαση 2→1,  $0,175-0,167=0,008$  (4,8%)

Οι τάσεις για το task3 είναι:

- για τη μετάβαση 1→2,  $0,958-0,886=0,072$  (8,1%)
- για τη μετάβαση 2→1,  $0,123-0,114=0,009$  (7,9%)

Στο task4 βλέπουμε ότι η δοκιμή χ<sup>2</sup> δίνει πολύ χαμηλή τιμή, άρα το αποτέλεσμα δεν μπορεί να θεωρηθεί σημαντικό. Παρατηρούμε μία τάση περίπου 3% μετά από μικρό ISI να επαναληφθεί μικρό ISI παρόλα αυτά πρέπει να θεωρήσουμε το σύστημα όμοιο με ένα σύστημα χωρίς μνήμη.

Τα αποτελέσματα με κατώφλια που πήραμε από τις διαδικασίες k-means και f c-means, καθώς και από τις ίδιες διαδικασίες για τρεις καταστάσεις θεωρώντας ως μεγάλα τα μεσαία και μεγάλα ISIs, είναι ακριβώς τα αντίθετα. Ένας επιπλέον λόγος που απορρίπτουμε αυτές τις μεθόδους είναι ότι δεν εμφανίζεται διαφοροποίηση ανάμεσα στο task2 και το task4 όπως περιμέναμε και όπως εμφανίζεται με τις προηγούμενες διαδικασίες.

Υπενθυμίζουμε τα κατώφλια από κάθε διαδικασία

	task2	task 3	task4
<b>k-means</b>	2.2495	2.3678	0.7192
<b>k-means (3cl)</b>	1.1773	1.329	0.9186
<b>F C-means</b>	5.5927	5.6403	3.3074
<b>F C-means (3cl)</b>	2.9472	3.0469	1.8865

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις διαδικασίες αυτές, στην ανάλυση πρώτης τάξης, για δύο καταστάσεις.

Πίνακας 12 Αποτελέσματα του task2 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο k-means

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
12854	2360	<b>0,845</b>	0,155	0,818	0,182	396,5104
2400	1030	0,7	<b>0,3</b>	0,818	0,182	

Πίνακας 13 Αποτελέσματα του task3 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο k-means

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
12268	2504	<b>0,83</b>	0,17	0,808	0,192	250,7717
2554	1022	0,714	<b>0,286</b>	0,808	0,192	

Πίνακας 14 Αποτελέσματα του task4 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο k-means

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
15408	3142	<b>0,831</b>	0,169	0,804	0,196	419,2038
3223	1401	0,697	<b>0,303</b>	0,804	0,196	

Εντελώς αντίστροφα με τα προηγούμενα, η ανάλυση πρώτης τάξης του task2 για δύο καταστάσεις με βάση το κατώφλι που πήραμε από τη μέθοδο k-means δίνει ότι:

- 1) Αν προερχόμαστε από κατάσταση 1, υπάρχει μια τάση μετάβασης από την 1 στην 1 (0,845) ισχυρότερη από ότι στην μήτρα χωρίς μνήμη π (0,818), δηλαδή αν προερχόμαστε από κατάσταση 1 είναι πιθανότερο να παραμείνουμε σε 1 από ότι αν δεν υπήρχε μνήμη στο σύστημα.
- 2) Η μετάβαση από 2 σε 2 (0,3) είναι ισχυρότερη από ότι στον π (0,182). Αυτό σημαίνει ότι αν προερχόμαστε από κατάσταση 2 είναι πιθανότερο να παραμείνουμε 2 από ότι αν δεν υπήρχε μνήμη στο σύστημα.

Η διαφορά από τον πίνακα π στην πρώτη περίπτωση είναι  $0,845-0,818=0,027$  (14,8%) ενώ στη δεύτερη είναι  $0,3-0,182=0,118$  (65%). Ίσως λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι όταν η αρχική κατάσταση είναι 1, η τάση να παραμείνει σε 1 είναι πολύ ασθενέστερη από την τάση, όταν η αρχική κατάσταση είναι 2, να παραμείνει σε 2. Δηλαδή η κατάσταση 2 έλκει καταστάσεις 2 πολύ ισχυρότερα από ότι η κατάσταση 1 έλκει καταστάσεις 1.

Ακριβώς το ίδιο για το task3:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,83 - 0,808 = 0,022$  (2,8%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,286 - 0,192 = 0,094$  (49%)

και για το task4:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,831 - 0,804 = 0,027$  (3,4%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,303 - 0,196 = 0,107$  (54,6%)

Τα ίδια συμπεράσματα βγάζουμε για ομαδοποίηση με τη μέθοδο k-means για τρεις καταστάσεις, θεωρώντας ως κατάσταση 1 τα short και κατάσταση 2 τα medium και large ISIs.

**Πίνακας 15** Αποτελέσματα του task2 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο k-means (3cl), με το κατώφλι που προέκυψε για τρεις καταστάσεις.

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
9136	3585	0,718	0,282	0,684	0,316	218,7747
3613	2310	0,61	0,39	0,684	0,316	

**Πίνακας 16** Αποτελέσματα του task3 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο k-means (3cl), με κατώφλι που προέκυψε για τρεις καταστάσεις.

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
8939	3587	0,714	0,286	0,684	0,316	159,2738
3613	2209	0,621	0,379	0,684	0,316	

**Πίνακας 17** Αποτελέσματα του task4 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατώφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο k-means (3cl), με κατώφλι που προέκυψε για τρεις καταστάσεις.

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
9815	4664	0,678	0,322	0,627	0,373	429,3141
4712	3983	0,542	0,458	0,627	0,373	

Οι αποδόσεις των ελκυστών για το task2:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,718 - 0,684 = 0,034$  (5%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,39 - 0,316 = 0,074$  (23,4%)

Οι αποδόσεις των ελκυστών για το task3:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,714 - 0,684 = 0,03$  (4,4%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,379 - 0,316 = 0,063$  (20%)

και για το task4:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,678 - 0,627 = 0,051$  (8,1%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,458 - 0,373 = 0,085$  (22,7%)

Όμοια για την *fc-means*:

Πίνακας 18 Αποτελέσματα του task2 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατόφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο *fc-means*.

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
16662	879	0,95	0,05	0,942	0,058	340,5169
900	203	0,816	0,184	0,942	0,058	

Πίνακας 19 Αποτελέσματα του task3 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατόφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο *fc-means*.

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
16098	1008	0,941	0,059	0,934	0,066	208,212
1038	204	0,836	0,164	0,934	0,066	

Πίνακας 20 Αποτελέσματα του task4 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατόφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο *fc-means*.

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
19762	1484	0,93	0,07	0,92	0,08	363,5466
1556	372	0,807	0,193	0,92	0,08	

Οι αποδόσεις των ελκυστών για το task2:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,95 - 0,942 = 0,008$  (8,5%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,184 - 0,058 = 0,126$  (217%)

Οι αποδόσεις των ελκυστών για το task3:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,941 - 0,934 = 0,007$  (7,4%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,164 - 0,66 = 0,098$  (148%)

και για το task4:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,93 - 0,92 = 0,01$  (1,1%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,193 - 0,08 = 0,113$  (141,3%)

και για την ίδια μέθοδο με το κατόφλι που προκύπτει για ομαδοποίηση σε τρεις καταστάσεις:

Πίνακας 21 Αποτελέσματα του task2 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατόφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο fc-means(3cl), για ομαδοποίηση σε τρεις καταστάσεις.

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
14241	1868	0,884	0,116	0,866	0,134	341,0771
1900	635	0,75	0,25	0,866	0,134	

Πίνακας 22 Αποτελέσματα του task3 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατόφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο fc-means(3cl), για ομαδοποίηση σε τρεις καταστάσεις.

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
13669	1975	0,874	0,126	0,855	0,145	297,0727
2021	683	0,747	0,253	0,855	0,145	

Πίνακας 23 Αποτελέσματα του task4 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις, με το κατόφλι που βρέθηκε με τη μέθοδο fc-means(3cl), για ομαδοποίηση σε τρεις καταστάσεις.

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
16175	2870	0,849	0,151	0,825	0,175	423,5572
2953	1176	0,715	0,285	0,825	0,175	

Για το task2 οι αποδόσεις των ελκυστών είναι:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,884 - 0,866 = 0,018$  (21%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,25 - 0,134 = 0,116$  (86%)

Για το task3:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,874 - 0,855 = 0,019$  (2,2%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,253 - 0,145 = 0,108$  (74,5%)

Για το task4:

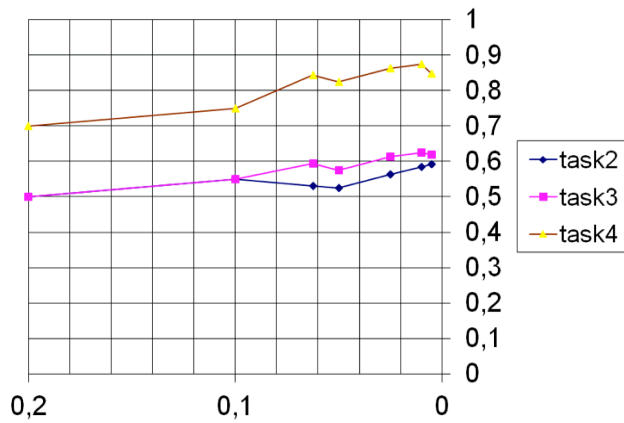
- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1$ ,  $0,849 - 0,825 = 0,024$  (2,9%)
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$ ,  $0,285 - 0,175 = 0,11$  (62,9%)

Αν θυμηθούμε τις τρεις δοκιμές στις οποίες αντιστοιχεί το κάθε task, η ποιοτική ομοιότητα στα αποτελέσματα δεν είναι αναμενόμενη. Το task2 και το task3 είναι δοκιμασίες που υπάρχει ένας σταυρός στο κέντρο που είναι το σημείο προσήλωσης, η διαφορά είναι ότι στο task3 εμφανίζονται άλλοι στόχοι ανά τακτά χρονικά διαστήματα γύρω από το κέντρο (distractors). Στο task4 δεν υπάρχει κανένας στόχος. Αναμένουμε λοιπόν ποιοτική διαφοροποίηση ανάμεσα στο task2 και το task4. Στα παρακάτω αποτελέσματα λοιπόν οι μέθοδοι k-means και fc-means θα παραλείπονται επειδή φαίνεται να μην είναι ακριβείς

### **3.5.2.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ-ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ – Short VS Long ISIs**

Με βάση την ανάλυση που έγινε παραπάνω η μέθοδος που επιλέγουμε για την εύρεση κατωφλιού ως πιο έγκυρη είναι η μέθοδος της περιβάλλουσας. Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για ISIs μεγαλύτερα από 100ms και στη συνέχεια για ISIs μεγαλύτερα από 450ms. Σκοπός μας είναι να αφαιρέσουμε τις σακκαδικές παρεμβολές (square wave jerks), που έχουμε ήδη περιγράψει στο πρώτο κεφάλαιο αυτής της εργασίας και είναι ακούσιες οφθαλμικές κινήσεις και να μελετήσουμε μόνο τις εκούσιες σακκαδικές κινήσεις του οφθαλμοκινητικού συστήματος.

Ωστόσο και στη μέθοδο της περιβάλλουσας, επειδή βασίζεται στα ιστογράμματα, τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται με την αλλαγή του εύρους των bins.



Εικόνα 3.8

Διάγραμμα αποτελεσμάτων bin width-threshold. Παρατηρούμε ότι στο τέλος τείνει να αποκτήσει σταθερή τιμή.

bin width	task2	task3	task4
0,2000	0,5000	0,5000	0,7000
0,1000	0,5500	0,5500	0,7500
0,0625	0,5313	0,5938	0,8438
0,0500	0,5250	0,5750	0,8250
0,0250	0,5625	0,6125	0,8625
0,0100	0,5850	0,6250	0,8750
0,0050	0,5925	0,6195	0,8475
<b>average</b>	0,5875	0,6325	0,8875

Πίνακας 24

Τα κατόφλια που προέκυψαν με τη μέθοδο της περιβάλλουσας για κάθε task, για κάθε εύρος bin. ISI>100ms

Με βάση το μέσο όρο, αλλά και από το διάγραμμα επιλέγουμε ως πιο κατάλληλη την τιμή για εύρος bin 0,01s.

#### A. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ISI > 100ms

Πίνακας 25 Αποτελέσματα του task2 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις (0,585s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
639	1915	0,25	0,75	0,211	0,789	29,4408
1887	7512	0,201	0,799	0,211	0,789	

Πίνακας 26 Αποτελέσματα του task3 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις (0,625s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
552	1803	<b>0,234</b>	0,766	0,198	0,802	25,1005
1799	7745	0,188	<b>0,812</b>	0,198	0,802	

Πίνακας 27 Αποτελέσματα του task4 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις(0,875s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
665	1810	<b>0,269</b>	0,731	0,148	0,852	334,4953
1833	12562	0,127	<b>0,873</b>	0,148	0,852	

Τα αποτελέσματα τώρα είναι διαφορετικά από τα προηγούμενα. Θεωρούμε αυτά τα αποτελέσματα έγκυρα καθώς μελετούν το φαινόμενο της πραγματοποίησης σακκαδικών κινήσεων αφαιρώντας τα αποτελέσματα από το φαινόμενο των σακκαδικών παρεμβολών. Η ανάλυση που προηγήθηκε στην ενότητα 3.5.2.2 πρέπει να θεωρηθεί χρήσιμη μόνο για την επιλογή κατάλληλης μεθόδου ομαδοποίησης των δεδομένων.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση πρώτης τάξης στο task2 δείχνει ότι:

- 1) Αν προερχόμαστε από κατάσταση 1, υπάρχει μια τάση να παραμένουμε στην κατάσταση 1. Ο ελκυστής έχει απόδοση  $0,25-0,211=0,039$  (18,5%).
- 2) Αν προερχόμαστε από κατάσταση 2, υπάρχει τάση να παραμείνουμε σε κατάσταση 2 αφού στη μήτρα χωρίς μνήμη έχουμε 0,799 έναντι 0,789 του πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης. Η απόδοση δηλαδή είναι 1,3%.

Η τάση λοιπόν να παραμείνει ο παρατηρητής σε μια κατάσταση μικρών διασακκαδικών διαστημάτων είναι ισχυρότερη από την τάση να παραμείνει σε κατάσταση μεγάλων διασακκαδικών διαστημάτων (ISI).

Τα ίδια συμπεράσματα εξάγουμε από το task3. Οι ελκυστές είναι όπως και στο task2 για την κατάσταση 1 η κατάσταση 1 και για την κατάσταση 2 η κατάσταση 2. Παρατηρούμε επίσης ότι η απόδοση στην πρώτη περίπτωση είναι  $0,234-0,198=0,036$  (18,2%) ενώ στη δεύτερη περίπτωση  $0,812-0,802=0,01$  (1,3%).

Η τάση να παραμείνουμε σε κατάσταση μικρών διασακκαδικών είναι πάλι ισχυρότερη και μάλιστα είναι περίπου τα ίδια με το task2.

Στο task4 ελκυστής για τα μικρά ISIs μένουν τα μικρά ISIs και για τα μεγάλα, τα μεγάλα, όπως στα άλλα δύο tasks. Η απόδοση του ελκυστή για την πρώτη περίπτωση είναι  $0,269-0,148=0,121$  (81,8%) και για την δεύτερη  $0,873-0,852=0,021$  (2,5%). Δηλαδή η τάση να μείνει το μεγάλο διασακκαδικό σε μεγάλο διπλασιάζεται, ενώ η απόδοση του ελκυστή μετά από ένα μικρό διασακκαδικό διάστημα να ακολουθήσει και άλλο μικρό διασακκαδικό διάστημα τετραπλασιάζεται.



## B. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ $ISI > 450ms$

bin width	task2	task3	task4
0,2000	1,5000	1,1000	0,9000
0,1000	1,5500	1,1500	0,8500
0,0625	1,5938	1,1563	0,9063
0,0500	1,6250	1,1250	0,8750
0,0250	1,6125	1,1625	0,9125
0,0100	1,5950	1,1850	0,9250
0,0050	1,6425	1,1725	0,9275
<b>average</b>	1,5884	1,1502	0,8995

Πίνακας 28 Αποτελέσματα του task2 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις (1,595s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
729	1182	<b>0,381</b>	0,619	0,321	0,679	46,5723
1200	2893	0,293	<b>0,707</b>	0,321	0,679	

Πίνακας 29 Αποτελέσματα του task3 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις (1,185s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
515	1270	<b>0,289</b>	0,711	0,279	0,721	1,0911
1274	3351	0,275	<b>0,725</b>	0,279	0,721	

Πίνακας 30 Αποτελέσματα του task4 για ανάλυση πρώτης τάξης σε δύο καταστάσεις (0,925s)

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
874	1882	<b>0,317</b>	0,683	0,28	0,72	25,681
1893	5222	0,266	<b>0,734</b>	0,28	0,72	

Παρατηρούμε εδώ ότι τα αποτελέσματα έχουν μικρή σημαντικότητα σύμφωνα με τη δοκιμή  $\chi^2$ . Είναι σημαντικά, αλλά ειδικά για το task3 αναμένουμε μικρή απόδοση των ελκυστών. Οι συμμετέχοντες έχουν την τάση να παραμένουν στην αρχική κατάσταση, όπως και πριν. Θα ασχοληθούμε λοιπόν με την απόδοση των ελκυστών.

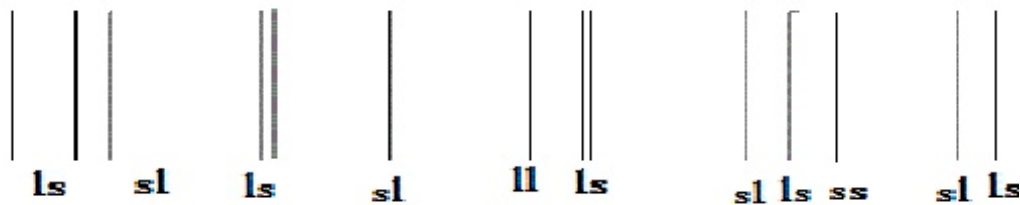
Η απόδοση της μετάβασης  $1 \rightarrow 1$  στο task2 είναι  $0,381 - 0,321 = 0,06$  (18,7%) ενώ στη μετάβαση  $2 \rightarrow 2$  είναι  $0,707 - 0,679 = 0,028$  (4,1%). Η τάση λοιπόν να παραμείνει ο παρατηρητής σε μια κατάσταση μικρών διασκακδικών διαστημάτων είναι ισχυρότερη από την τάση να παραμείνει σε κατάσταση μεγάλων διασκακδικών διαστημάτων (ISI), όπως συνέβαινε και στα προηγούμενα αποτελέσματα.

Στο task3 όπως περιμέναμε οι ελκυστές έχουν πολύ μικρότερη απόδοση: 3,6% για τη μετάβαση 1→1 και 0,6% για τη μετάβαση 2→2. Η τάση να παραμένει ο συμμετέχοντας σε μικρά ISI παραμένει ισχυρότερη από την τάση να παραμένει σε μεγάλα.

Στο task4 ελκυστής για τα μικρά ISIs μένουν τα μικρά ISIs και για τα μεγάλα, τα μεγάλα, όπως στα άλλα δύο tasks. Η απόδοση για την πρώτη περίπτωση είναι  $0,317-0,28=0,037$  (13,2%) και για την δεύτερη  $0,734-0,72=0,014$  (1,9%).

### 3.5.2.4 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ- ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΙΑ ΜΝΗΜΗ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Προκειμένου να αποκτήσουμε μια πιο αναλυτική ποσοτική εικόνα του μηχανισμού που έχει να κάνει με τη λειτουργία των κινήσεων προσήλωσης, στο μοντέλο αυτό θα δώσουμε σημασία στο τι συμβαίνει πριν και μετά από ένα μικρό ή ένα μεγάλο διασακκαδικό διάστημα. Ένας τρόπος να το κάνουμε αυτό είναι να ορίσουμε ένα μοντέλο στο οποίο ένα μικρό ISI που προηγείται από ένα μεγάλο ISI να θεωρείται διαφορετικό από ένα άλλο που προηγείται από ένα άλλο μικρό ISI. Ομοίως για τα μεγάλα ISIs, κάποιο που προηγείται από ένα μικρό πρέπει να θεωρείται διαφορετικό από κάποιο που προηγείται από ένα μεγάλο.



Εικόνα 3.4.2 Στο μοντέλο τεσσάρων καταστάσεων στοχεύουμε να ποσοτικοποιήσουμε το μηχανισμό που δημιουργεί μια διαδοχή μικρών σακκαδικών

Εύκολα μπορούμε να καταλάβουμε γιατί στον πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης (State Transition Probabilities Matrix) θα εμφανιστούν μηδενικά. Για παράδειγμα το μοντέλο τεσσάρων καταστάσεων που απεικονίζεται παραπάνω, μια μετάβαση long- long (22) δεν μπορεί να ακολουθείται από μια μετάβαση short- short (11). Στο μοντέλο των τεσσάρων καταστάσεων ισχύει το ίδιο για άλλες επτά καταστάσεις. Όσο αυξάνονται οι καταστάσεις, αυξάνονται οι μηδενικές θέσεις στον πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης.

Το μοντέλο δύο καταστάσεων δεύτερης τάξης έχει αρκετές ομοιότητες με το μοντέλο τέταρτης τάξης. Εδώ μας ενδιαφέρει να ελέγξουμε αν για παράδειγμα από μια μετάβαση ss (11) έχουμε περισσότερες πιθανότητες να μεταβούμε σε κατάσταση s (1) ή σε κατάσταση l(2). Αν δηλαδή κατά κάποιο τρόπο ο μηχανισμός συνεχίζει να δημιουργεί σακκαδικές. Το μέγεθος του πίνακα ασφαλώς θα είναι διπλάσιο από ότι στην πρώτη τάξη. Γενικά για κάθε μία τάξη που ανεβαίνουμε ο πίνακας

διπλασιάζεται. Μπορούμε να υπολογίσουμε τον πίνακα δύο καταστάσεων, δεύτερης τάξης με τον τύπο:

$$\hat{P}_{hij} = \frac{n_{hij}}{n_{hi}} \quad (3-31)$$

Εδώ το  $n_{hij}$  είναι ο συνολικός αριθμός μεταβάσεων στην κατάσταση  $j$ , όπου η αμέσως προηγούμενη κατάσταση είναι η  $i$  και η προηγούμενη από αυτή η  $h$  και

$$n_{hi} = \sum_{j=1}^k n_{hij} \quad (3-32)$$

Όπως και να χει, η χρήση του μοντέλου δεύτερης τάξης δεν μπορεί να δικαιολογηθεί αν δεν αποδεικνύει μια σημαντική εξάρτηση της πιθανότητας  $P_{hij}$  από την κατάσταση  $h$ .

Με άλλα λόγια, η υπόθεση

$$H_0: P_{hij} = P_{ij}, \forall h, i, j \quad (3-33)$$

πρέπει να απορριφθεί από τη δοκιμή που έχει περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα. Χρησιμοποιούμε λοιπόν τη στατιστική κατανομή  $X^2$ .

Ο τύπος είναι

$$X^2 = \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{hi} \cdot \frac{(\hat{P}_{hij} - \hat{P}_{ij})^2}{\hat{P}_{ij}} \quad (3-34)$$

Ο πίνακας λοιπόν θα έχει τη μορφή:

	<b>ss</b>	<b>sl</b>	<b>ls</b>	<b>ll</b>
<b>ss</b>	$P_{111}$	$P_{112}$	0	0
<b>sl</b>	0	0	$P_{121}$	$P_{122}$
<b>ls</b>	$P_{211}$	$P_{212}$	0	0
<b>ll</b>	0	0	$P_{221}$	$P_{222}$

Παρακάτω παρουσιάζονται αποτελέσματα για  $ISI > 100ms$  και για  $ISI > 450ms$  με τα κατώφλια που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω.

#### A. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ $ISI > 100ms$

Πίνακας 31 Αποτελέσματα για το task2, για ανάλυση δύο καταστάσεων, δεύτερης τάξης

STM				STPM				π				$\chi^2$
200	414	0	0	<b>0,326</b>	0,674	0	0	0,255	0,745	0	0	68,4275
0	0	476	1348	0	0	<b>0,261</b>	0,739	0	0	0,205	0,795	
417	1386	0	0	0,231	<b>0,769</b>	0	0	0,255	0,745	0	0	
0	0	1335	5693	0	0	0,19	<b>0,81</b>	0	0	0,205	0,795	

Πίνακας 32 Αποτελέσματα για το task3, για ανάλυση δύο καταστάσεων, δεύτερης τάξης

STM				STPM				π				$\chi^2$
175	348	0	0	<b>0,335</b>	0,665	0	0	0,24	0,76	0	0	88,441
0	0	436	1278	0	0	<b>0,254</b>	0,746	0	0	0,192	0,808	
358	1337	0	0	0,211	<b>0,789</b>	0	0	0,24	0,76	0	0	
0	0	1284	5940	0	0	0,178	<b>0,822</b>	0	0	0,192	0,808	

Πίνακας 33 Αποτελέσματα για το task4, για ανάλυση δύο καταστάσεων, δεύτερης τάξης

STM				STPM				π				$\chi^2$
243	403	0	0	<b>0,376</b>	0,624	0	0	0,27	0,73	0	0	131,529
0	0	344	1409	0	0	<b>0,196</b>	0,804	0	0	0,13	0,87	
412	1370	0	0	0,231	<b>0,769</b>	0	0	0,27	0,73	0	0	
0	0	1442	10581	0	0	0,12	<b>0,88</b>	0	0	0,13	0,87	

Η ανάλυση δεύτερης τάξης έδωσε αρκετά ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Για το task2 παρατηρούμε:

(α) Από μια μετάβαση  $h=1 \rightarrow i=1$  (δηλαδή short  $\rightarrow$  short) είναι ισχυρότερη η πιθανότητα να πάμε σε  $j=1$  (0,326) από ότι στην  $\pi$  (0,255), η κατάσταση 1 αποτελεί

ελκυστή. Έχουμε δηλαδή μεγαλύτερη πιθανότητα από μια μετάβαση  $1 \rightarrow 1$  να μεταβούμε ξανά σε κατάσταση 1 από ότι σε ένα σύστημα χωρίς μνήμη.

(β) Από μια μετάβαση  $h=1 \rightarrow i=2$  (δηλαδή  $\text{short} \rightarrow \text{long}$ ) είναι ισχυρότερη η πιθανότητα να πάμε σε  $j=1$  (0,261) από ότι στην  $\pi$  (0,205), η κατάσταση 1 αποτελεί ελκυστή.

(γ) Από μια μετάβαση  $h=2 \rightarrow i=1$  (δηλαδή  $\text{long} \rightarrow \text{short}$ ) είναι ισχυρότερη η πιθανότητα να πάμε σε  $j=2$  (0,769) από ότι στην  $\pi$  (0,745). Η πιθανότητα μετάβασης  $2 \rightarrow 1 \rightarrow 2$  είναι μεγαλύτερη από ότι σε ένα σύστημα χωρίς μνήμη.

(δ) Από μια μετάβαση  $h=2 \rightarrow i=2$  (δηλαδή  $\text{long} \rightarrow \text{long}$ ) είναι ισχυρότερη η πιθανότητα να πάμε σε  $j=2$  (0,81) από ότι στην  $\pi$  (0,795), η κατάσταση 2 αποτελεί ελκυστή.

Οι αποδόσεις των ελκυστών είναι:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1 \rightarrow 1$ , 27,8%
- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ , 27,3%
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 1 \rightarrow 2$ , 3,2%
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 2$ , 1,9%

Σε κάθε περίπτωση υπάρχει η τάση να επιστρέφουμε στην ίδια κατάσταση μετά από δύο μεταβάσεις. Ενώ στην περίπτωση των μικρών διασακκαδικών η τάση να έχουμε δύο συνεχόμενες μεταβάσεις μικρών διασακκαδικών είναι ελαφρώς ισχυρότερη από την τάση να μεσολαβήσει διαφορετική κατάσταση, στην περίπτωση των μεγάλων διασακκαδικών η τάση να προηγηθεί μετάβαση  $2 \rightarrow 1$  μιας μετάβασης  $1 \rightarrow 2$  είναι αρκετά πιο ισχυρή από την πιθανότητα δύο συνεχόμενων μεταβάσεων  $2 \rightarrow 2$ . Επιπλέον η απόδοση των ελκυστών είναι μεγαλύτερη για τη μετάβαση από μικρό ISI σε μικρό μετά από δύο μεταβάσεις από ότι από μεγάλο σε μεγάλο.

Στο task3 εξάγουμε περίπου τα ίδια συμπεράσματα.

Οι αποδόσεις των ελκυστών είναι:

- για τις μεταβάσεις  $1 \rightarrow 1 \rightarrow 1$ , είναι 39,6%
- για τις μεταβάσεις  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ , είναι 32,3%
- για τις μεταβάσεις  $2 \rightarrow 1 \rightarrow 2$ , είναι 3,8%
- για τις μεταβάσεις  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 2$ , είναι 1,7%

Στο task4 παρατηρούμε επίσης την τάση να επανέλθει ο παρατηρητής στην αρχική κατάσταση μετά από δύο μεταβάσεις. Οι αποδόσεις των ελκυστών είναι:

- για το  $1 \rightarrow 1 \rightarrow 1$  είναι 39,3%
- για το  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$  είναι 50,8%
- για το  $2 \rightarrow 1 \rightarrow 2$  είναι 53,4%
- για το  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 2$  είναι 1,1%

Είναι ελαφρώς διαφοροποιημένα τα αποτελέσματα, με ισχυρότερη τάση τη μετάβαση  $1 \rightarrow 2$  μετά τη μετάβαση  $2 \rightarrow 1$ . Επιπλέον οι τάσεις να έχουμε τρεις διαδοχικές ίδιες καταστάσεις είναι λιγότερο ισχυρές.

## B. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ISI > 450ms

Πίνακας 34 Αποτελέσματα για το task2, για ανάλυση δύο καταστάσεων, δεύτερης τάξης

STM				STPM				π				χ <sup>2</sup>
89	212	0	0	<b>0,296</b>	0,704	0	0	0,103	0,897	0	0	2588,9
0	0	912	1675	0	0	<b>0,353</b>	0,647	0	0	0,17	0,829	
208	2361	0	0	0,081	<b>0,919</b>	0	0	0,103	0,897	0	0	
0	0	1657	10831	0	0	0,133	<b>0,867</b>	0	0	0,17	0,829	

Πίνακας 35 Αποτελέσματα για το task3, για ανάλυση δύο καταστάσεων, δεύτερης τάξης

STM				STPM				π				χ <sup>2</sup>
160	341	0	0	<b>0,319</b>	0,681	0	0	0,29	0,71	0	0	3,8608
0	0	343	877	0	0	0,281	<b>0,719</b>	0	0	0,282	0,718	
343	888	0	0	0,279	<b>0,721</b>	0	0	0,29	0,71	0	0	
0	0	892	2267	0	0	0,282	0,718	0	0	0,282	0,718	

Πίνακας 36 Αποτελέσματα για το task4, για ανάλυση δύο καταστάσεων, δεύτερης τάξης

STM				STPM				π				χ <sup>2</sup>
308	546	0	0	<b>0,361</b>	0,639	0	0	0,318	0,682	0	0	17,4385
0	0	531	1288	0	0	<b>0,292</b>	0,708	0	0	0,269	0,731	
548	1289	0	0	0,298	<b>0,702</b>	0	0	0,318	0,682	0	0	
0	0	1308	3709	0	0	0,261	<b>0,739</b>	0	0	0,269	0,731	

Σε συγκριση με την ανάλυση πρώτης τάξης τα αποτελέσματα είναι περισσότερο σημαντικά, ειδικά στο task2. Το task3 έχει και εδώ το μικρότερο βαθμό σημαντικότητας.

Όπως και για τα  $ISI > 100ms$

(α) Από μια μετάβαση  $h=1 \rightarrow i=1$  (δηλαδή short  $\rightarrow$  short) είναι ισχυρότερη η πιθανότητα να πάμε σε  $j=1$  (0,296) από ότι στην  $\pi$  (0,103).

(β) Από μια μετάβαση  $h=1 \rightarrow i=2$  (δηλαδή short  $\rightarrow$  long) είναι ισχυρότερη η πιθανότητα να πάμε σε  $j=1$  (0,353) από ότι στην  $\pi$  (0,170).

(γ) Από μια μετάβαση  $h=2 \rightarrow i=1$  (δηλαδή long  $\rightarrow$  short) είναι ισχυρότερη η πιθανότητα να πάμε σε  $j=2$  (0,919) από ότι στην  $\pi$  (0,897).

(δ) Από μια μετάβαση  $h=2 \rightarrow i=2$  (δηλαδή long  $\rightarrow$  long) είναι ελαφρώς ισχυρότερη η πιθανότητα να πάμε σε  $j=2$  (0,867) από ότι στην  $\pi$  (0,829).

Οι αποδόσεις των ελκυστών για το task2 είναι:

- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 1 \rightarrow 1$ , 187,4%
- για τη μετάβαση  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ , 105,9%
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 1 \rightarrow 2$ , 2,5%
- για τη μετάβαση  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 2$ , 4,6%

Για το task3 η απόδοση για μεταβάσεις  $1 \rightarrow 1 \rightarrow 1$  είναι 10% και για  $2 \rightarrow 1 \rightarrow 2$ , 1,5%. Οι μεταβάσεις  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$  είναι σχεδόν τυχαίες και  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 2$  είναι απολύτως τυχαίες.

Οι αποδόσεις των ελκυστών για το task4 είναι:

- Το  $1 \rightarrow 1 \rightarrow 1$  είναι 13,5%
- Το  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 1$  είναι 8,6%
- Το  $2 \rightarrow 1 \rightarrow 2$  είναι 2,9%
- Το  $2 \rightarrow 2 \rightarrow 2$  είναι 1,1%

Οι παρατηρήσεις είναι ίδιες με το task2. Ο πιο ισχυρός ελκυστής είναι η τάση να έχουμε δύο διαδοχικές μεταβάσεις  $1 \rightarrow 1$ .





## Κεφάλαιο 4

### Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

---

#### 4.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τώρα που έχουμε τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των μαρκοβιανών μοντέλων σε δεδομένα σακκαδικών, είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε τη χρησιμότητά τους. Ένα από τα πιο προφανή συμπεράσματα είναι ότι όταν ο αριθμός των καταστάσεων του μοντέλου είναι σχετικά μεγάλος, η ανάλυση γίνεται δύσκολη. Γι αυτό η ανάλυση που έγινε για το μοντέλο τριών καταστάσεων είναι πολύ επιφανειακή.

Εκτός από τους πίνακες μετάβασης με βάση τα μοντέλα markov, πραγματοποιήσαμε και δοκιμή  $\chi^2$  της υπόθεσης. Η αρχική υπόθεση στο μοντέλο πρώτης τάξης είναι:

$$H_0: P = P^{(0)} \quad (4-1)$$

Αυτό σημαίνει ότι αν η υπόθεση είναι πάνω από 50% πιθανή, το σύστημα δεν έχει μνήμη. Η πιθανότητα επιβεβαίωσης της υπόθεσης προκύπτει από τους πίνακες πιθανοτήτων  $\chi^2$ . Ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας για το  $\chi^2$  θα είναι  $k(k-1)$ . Όπου το  $k$  είναι ο αριθμός των καταστάσεων. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα έχουμε 1 βαθμό ελευθερίας, για δύο καταστάσεις και 6 βαθμούς ελευθερίας για 3 καταστάσεις. Ο πίνακας, για δύο καταστάσεις, δίνει 1% πιθανότητα επαλήθευσης, όταν η τιμή της δοκιμής είναι 6,635. Γενικά όσο η τιμή της δοκιμής αυξάνεται, μειώνεται η πιθανότητα επαλήθευσης της αρχικής υπόθεσης.

Ξεκινώντας από το μοντέλο τριών καταστάσεων, η ανάλυση έγινε μόνο στην πρώτη φάση της μελέτης, για δεδομένα δηλαδή που περιέχουν και σακκαδικές παρεμβολές και με κατώφλια που προέκυψαν από τις μεθόδους f c-means και k-means, τις οποίες στη συνέχεια απορρίψαμε. Αυτό αφενός σημαίνει ότι από τα αποτελέσματα που εξάγουμε δεν μπορεί να βγει κανένα συμπέρασμα νευροφυσιολογικής φύσης. Ωστόσο το γεγονός ότι η δοκιμή της υπόθεσης  $H_0: P = P^{(0)}$  δίνει σημαντικό αποτέλεσμα μπορεί να αποτελέσει αφετηρία για παραπάνω ανάλυση του μοντέλου τριών καταστάσεων.

#### ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ

Στο task2, έχουμε τη δοκιμασία σε συνθήκες στόχου. Το μοντέλο δύο καταστάσεων πρώτης τάξης μας δίνει μια τάση μετά από μικρό ISI να ακολουθεί μικρό ISI και μετά από μεγάλο να ακολουθεί μεγάλο. Φαίνεται δηλαδή μια τάση του συμμετέχοντα να

παραμένει σε μια κατάσταση «πυκνών» ή «αραιών» σακκαδικών. Το ίδιο παρατηρείται και για τα δεδομένα που είναι πάνω από 100ms αλλά και για τα δεδομένα που είναι πάνω από 450 ms. Η απόδοση των ελκυστών μάλιστα είναι περίπου ίδιες για τις δύο σειρές δεδομένων με μεγαλύτερη και στις δύο περιπτώσεις την τάση από κατάσταση short να μεταβεί σε short. Η τάση από long να μείνει σε κατάσταση long είναι λιγότερο ισχυρή και είναι πιο ισχυρή στα δεδομένα άνω των 450 ms σε σχέση με τα δεδομένα άνω των 100ms. Η απόδοση των ελκυστών για ISI>100ms είναι 18,5% για τη μετάβαση 1→1 και 1,3% για τη μετάβαση 2→2. Για ISI>450ms η απόδοση των ελκυστών είναι 18,7% για τη μετάβαση 1→1 και 4,1% για τη μετάβαση 2→2.

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα του task2 για ISI>100ms

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
639	1915	<b>0,25</b>	0,75	0,211	0,789	29,4408
1887	7512	0,201	<b>0,799</b>	0,211	0,789	

Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα του task2 για ISI>450ms

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
729	1182	<b>0,381</b>	0,619	0,321	0,679	46,5723
1200	2893	0,293	<b>0,707</b>	0,321	0,679	

Στο task3, για δεδομένα πάνω από 450 ms τα αποτελέσματα φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη τυχαιότητα. Υπενθυμίζουμε ότι το task3 είναι η κατάσταση με τους παραπλανητικούς στόχους μαζί με τον κεντρικό στόχο. Στα δεδομένα άνω των 100ms το task3 είναι όμοιο με το task2 οι ελκυστές έχουν απόδοση 18,2% για μετάβαση 1→1 και 1,3% για μετάβαση 2→2. Για τα δεδομένα άνω των 450ms οι ελκυστές έχουν απόδοση 3,6% για τη μετάβαση 1→1 και 0,6% για τη μετάβαση 2→2. Η δοκιμή υπόθεσης χ<sup>2</sup> δίνει αρκετά χαμηλή τιμή, με βάση τους πίνακες η πιθανότητα να ισχύει η υπόθεση, να έχουμε σύστημα χωρίς μνήμη είναι λίγο περισσότερο από 10%.

Πίνακας 4.3 Τα αποτελέσματα για το task3 για ISI>100ms

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
552	1803	<b>0,234</b>	0,766	0,198	0,802	25,1005
1799	7745	0,188	<b>0,812</b>	0,198	0,802	

Πίνακας 4.4 Τα αποτελέσματα για το task3 για ISI>450ms

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
515	1270	<b>0,289</b>	0,711	0,279	0,721	1,0911
1274	3351	0,275	<b>0,725</b>	0,279	0,721	

Στο task4 οι ελκυστές όπως και στις άλλες δύο δοκιμές είναι για την κατάσταση short η κατάσταση short και για την κατάσταση long, η κατάσταση long. Στην περίπτωση αυτή για τα δεδομένα άνω των 100ms οι τάσεις είναι πιο ισχυρές. Η απόδοση του ελκυστή της κατάστασης 1 είναι σχεδόν τετραπλάσια από την απόδοση του ίδιου, για τη σειρά δεδομένων με κάτω όριο τα 100ms, στις δοκιμασίες 2 και 3 και η απόδοση του ελκυστή της κατάστασης 2 είναι σχεδόν διπλάσια.

Στα δεδομένα άνω των 450ms τα αποτελέσματα με βάση τη δοκιμή υπόθεσης, είναι σημαντικά. Επιβεβαιώνεται ότι έχουμε μνήμη πρώτης τάξης και σε αυτή τη δοκιμασία, όπως και στο task2 και με λιγότερη βεβαιότητα στο task3. Ο ελκυστής για την κατάσταση 1 είναι 13,2% έναντι 18,7% για το task2 και 3,6% για το task3 και για την κατάσταση 2 είναι 1,9% έναντι 4,1% για το task2 και 0,6% για το task3. Ο ελκυστής της κατάστασης 1 είναι και εδώ πολύ πιο ισχυρός από τον ελκυστή της κατάστασης 2 σε σχέση με το task2.

Πίνακας 4.5 Τα αποτελέσματα για το task4 για ISI>100ms

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
665	1810	<b>0,269</b>	0,731	0,148	0,852	334,4953
1833	12562	0,127	<b>0,873</b>	0,148	0,852	

Πίνακας 4.6 Τα αποτελέσματα για το task4 για ISI>450ms

STM		STPM		π		χ <sup>2</sup>
874	1882	<b>0,317</b>	0,683	0,28	0,72	25,681
1893	5222	0,266	<b>0,734</b>	0,28	0,72	

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ

Στο μοντέλο δύο καταστάσεων δεύτερης τάξης, ελέγχουμε αν υπάρχει μνήμη δεύτερης τάξης. Η αρχική υπόθεση είναι :  $H_0: P_{hij} = P_{ij}, \forall h, i, j$ . Υποθέτουμε δηλαδή ότι οι πιθανότητες μετάβασης  $P_{hij}$  είναι ανεξαρτητες από το h. Ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας του  $\chi^2$  θα είναι  $k(k-1)^2$ , όπου k είναι ο αριθμός των καταστάσεων. Ο βαθμός ελευθερίας δηλαδή, είναι και πάλι ένας.

Στο task2, είναι προφανές ότι υπάρχει μνήμη δεύτερης τάξης. Συγκεκριμένα, για τα δεδομένα άνω των 100ms. Ελκυστής για την μετάβαση 1→1 είναι η μετάβαση 1→1. Μετά την μετάβαση 1→2 υπάρχει τάση να ακολουθήσει μετάβαση 2→1. Σε κάθε περίπτωση μετά από δύο μεταβάσεις υπάρχει τάση να ξαναβρεθούμε στην ίδια κατάσταση. Η απόδοση των ελκυστών στην πρώτη περίπτωση είναι 27,8% και στη

δεύτερη περίπτωση είναι 27,3%. Περίπου το ίδιο για τις μεταβάσεις 2→1, που έχει την τάση να ακολουθείται από την μετάβαση 1→2, με απόδοση 3,2% και 2→2 που έχει την τάση να ακολουθείται από μετάβαση 2→2, με απόδοση 1,9%. Γενικά η κατάσταση 1 έχει ισχυρότερη τάση να επιστρέψει σε κατάσταση 1 μετά από δύο μεταβάσεις, από την τάση η κατάσταση 2 να επιστρέψει στην κατάσταση 2 μετά από 2 μεταβάσεις. Ενώ η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις 1 είναι πιο ισχυρή από το να έχουμε ενδιάμεσα κατάσταση 2, η τάση να μεσολαβήσει κατάσταση 1 ανάμεσα σε δύο καταστάσεις 1 είναι ισχυρότερη από την τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις 2.

Για τα δεδομένα άνω των 450ms, η απόδοση του ελκυστή 1→1 της μετάβασης 1→1 είναι 187,4%. Η πιθανότητα δηλαδή είναι σχεδόν τριπλάσια από ότι σε ένα σύστημα χωρίς μνήμη. Η απόδοση του ελκυστή 2→1 της μετάβασης 1→2 είναι 105,9%, περίπου διπλάσια πιθανότητα από ένα σύστημα χωρίς μνήμη. Η απόδοση του ελκυστή 1→2 της μετάβασης 2→1 είναι 2,5% και η απόδοση του ελκυστή 2→2 της μετάβασης 2→2 είναι 4,6%. Η τάση τώρα να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις 2 είναι αρκετά πιο ισχυρή από την τάση να μεσολαβεί κατάσταση 1.

Πίνακας 4.7 Τα αποτελέσματα δύο καταστάσεων- δεύτερης τάξης για το task2 για ISI>100ms

STM				STPM				π				χ <sup>2</sup>
200	414	0	0	<b>0,326</b>	0,674	0	0	0,255	0,745	0	0	68,4275
0	0	476	1348	0	0	<b>0,261</b>	0,739	0	0	0,205	0,795	
417	1386	0	0	0,231	<b>0,769</b>	0	0	0,255	0,745	0	0	
0	0	1335	5693	0	0	0,19	<b>0,81</b>	0	0	0,205	0,795	

Πίνακας 4.8 Τα αποτελέσματα δύο καταστάσεων- δεύτερης τάξης για το task2 για ISI>450ms

STM				STPM				π				χ <sup>2</sup>
89	212	0	0	<b>0,296</b>	0,704	0	0	0,103	0,897	0	0	2588,9
0	0	912	1675	0	0	<b>0,353</b>	0,647	0	0	0,17	0,829	
208	2361	0	0	0,081	<b>0,919</b>	0	0	0,103	0,897	0	0	
0	0	1657	10831	0	0	0,133	<b>0,867</b>	0	0	0,17	0,829	

Στο task3 τα δεδομένα άνω των 100ms, δίνουν αποτελέσματα που μοιάζουν με τα αποτελέσματα από το task2. Σε κάθε περίπτωση υπάρχει η τάση να έχουμε την ίδια κατάσταση μετά από δύο καταστάσεις. Η απόδοση του ελκυστή της μετάβασης 1→1, που είναι η μετάβαση 1→1 είναι 39,6%. Η απόδοση του ελκυστή της μετάβασης 1→2 που είναι η μετάβαση 2→1 είναι 32,3%. Η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις 1 είναι ισχυρότερη από την τάση να μεταβούμε σε κατάσταση 1 μετά από μετάβαση 1→2. Η απόδοση του ελκυστή της μετάβασης 2→1, που είναι η μετάβαση 1→2, είναι 3,8%. Η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις 2 έχει απόδοση 1,7%.

Τα δεδομένα άνω των 450ms όπως και στην πρώτη τάξη φαίνεται να είναι λιγότερο σημαντικά. Η δοκιμή υπόθεσης έχει πιθανότητα 5%, να ισχύει. Δηλαδή υπάρχει μνήμη δεύτερης τάξης με βεβαιότητα 95%. Στο task3 η απόδοση της τάσης να έχουμε δύο διαδοχικές μεταβάσεις 1→1 είναι 10% και η τάση να έχουμε μετάβαση 1→2 μετά από μετάβαση 2→1 έχει απόδοση ελκυστή 1,5%. Οι μεταβάσεις 1→2→1 είναι σχεδόν τυχαίες και 2→2→2 είναι απολύτως τυχαίες.

Πίνακας 4.9 Τα αποτελέσματα δύο καταστάσεων- δεύτερης τάξης για το task3 για ISI>100ms

STM				STPM				π				χ <sup>2</sup>
175	348	0	0	<b>0,335</b>	0,665	0	0	0,24	0,76	0	0	88,441
0	0	436	1278	0	0	<b>0,254</b>	0,746	0	0	0,192	0,808	
358	1337	0	0	0,211	<b>0,789</b>	0	0	0,24	0,76	0	0	
0	0	1284	5940	0	0	0,178	<b>0,822</b>	0	0	0,192	0,808	

Πίνακας 4.10 Τα αποτελέσματα δύο καταστάσεων- δεύτερης τάξης για το task3 για ISI>450ms

STM				STPM				π				χ <sup>2</sup>
160	341	0	0	<b>0,319</b>	0,681	0	0	0,29	0,71	0	0	3,8608
0	0	343	877	0	0	0,281	0,719	0	0	0,282	0,718	
343	888	0	0	0,279	<b>0,721</b>	0	0	0,29	0,71	0	0	
0	0	892	2267	0	0	0,282	0,718	0	0	0,282	0,718	

Στο task4 παρατηρούμε επίσης την τάση να επανέλθει ο παρατηρητής στην αρχική κατάσταση μετά από δύο μεταβάσεις. Η τάση όμως η ενδιάμεση κατάσταση να είναι διαφορετική από την αρχική είναι πιο ισχυρή σε αυτή τη δοκιμασία, στα δεδομένα που είναι άνω των 100ms. Η απόδοση του ελκυστή 1→1 της μετάβασης 1→1 είναι 39,3%. Η τάση να έχουμε μεταβάσεις 1→2→1 έχει απόδοση 50,8%. Η τάση να έχουμε μεταβάσεις 2→1→2 έχει απόδοση 53,4%. Ενώ η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις 2 είναι 1,1%, πολύ λιγότερο ισχυρή από όλες τις υπόλοιπες.

Στα δεδομένα άνω των 450ms, τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά. Η ισχυρότερη τάση είναι η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις 1, με απόδοση 13,5%. Η τάση να έχουμε ενδιάμεση κατάσταση 2 έχει απόδοση 8,6%. Στην περίπτωση των μεγάλων διασακκαδικών διαστημάτων έχουμε πιο ισχυρή τάση να μεσολαβεί κατάσταση 1. Η τάση αυτή έχει απόδοση 2,9% ενώ 1,1% είναι η τάση να έχουμε δύο διαδοχικές μεταβάσεις 2→2.

Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα δύο καταστάσεων- δεύτερης τάξης για το task4 για ISI>100ms

STM				STPM				π				χ <sup>2</sup>
243	403	0	0	<b>0,376</b>	0,624	0	0	0,27	0,73	0	0	131,5294
0	0	344	1409	0	0	<b>0,196</b>	0,804	0	0	0,13	0,87	
412	1370	0	0	0,231	<b>0,769</b>	0	0	0,27	0,73	0	0	
0	0	1442	10581	0	0	0,12	<b>0,88</b>	0	0	0,13	0,87	

Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα δύο καταστάσεων- δεύτερης τάξης για το task4 για ISI>450ms

STM				STPM				π				χ <sup>2</sup>
308	546	0	0	<b>0,361</b>	0,639	0	0	0,318	0,682	0	0	17,4385
0	0	531	1288	0	0	<b>0,292</b>	0,708	0	0	0,269	0,731	
548	1289	0	0	0,298	<b>0,702</b>	0	0	0,318	0,682	0	0	
0	0	1308	3709	0	0	0,261	<b>0,739</b>	0	0	0,269	0,731	

#### **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:**

Τα αποτελέσματα από τα δεδομένα άνω των 100ms φανερώνουν μία ομοιότητα ανάμεσα στις δοκιμασίες 2 (με στόχο) και 3 (με παραπλανητικούς στόχους) και μια διαφοροποίηση της δοκιμασίας 4 (χωρίς στόχο). Τα αποτελέσματα από τα δεδομένα άνω των 450ms όμως διαφοροποιούνται για κάθε δοκιμασία. Η παρατήρηση ισχύει τόσο για το μοντέλο πρώτης τάξης, όσο και για το μοντέλο δεύτερης τάξης.

## **4.2 ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

### **ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**

Παρατηρούμε μια μικρή διαφοροποίηση για τα δεδομένα άνω των 450ms και τα δεδομένα άνω των 100ms. Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε πια από τα δύο αποτελέσματα είναι περισσότερο κοντά στην πραγματικότητα γιατί στα δεδομένα μεταξύ 100ms και 450ms υπάρχουν σακαδικές παρεμβολές (square wave jerks), αλλά και σακαδικές κινήσεις.

Στην πιο απλή δοκιμασία, με στόχο στο κέντρο της οθόνης, τα αποτελέσματα από τις δύο σειρές δεδομένων μοιάζουν αρκετά. Στην περίπτωση λοιπόν που υπάρχει στόχος αν ο παρατηρητής έχει πραγματοποιήσει δύο σακαδικές, σε μικρό διασακαδικό διάστημα η πιθανότητα να πραγματοποιήσει ξανά σακαδική μετά

από μικρό διασακκαδικό είναι 18,7% μεγαλύτερη από ότι σε ένα σύστημα χωρίς μνήμη (18,5% στη σειρά δεδομένων άνω των 450ms). Αντίστοιχα για τα μεγάλα διασακκαδικά διαστήματα η διαφορά από το σύστημα χωρίς μνήμη είναι 1,3% για τα δεδομένα άνω των 100ms και 4,1% για τα δεδομένα άνω των 450ms. Πολύ πιο ισχυρή δηλαδή είναι η τάση όταν τα διασακκαδικά είναι μικρή να μένει σε μια κατάσταση συχνών σακκαδικών.

Στα δεδομένα άνω των 100ms τα αποτελέσματα της δοκιμασίας με παραπλανητικούς στόχους, ταυτόχρονα με την ύπαρξη σταθερού στόχου μοιάζουν με τα αποτελέσματα από τη διαδικασία με στόχο (χωρίς παραπλανητικούς στόχους). Η πιθανότητα μικρό διασακκαδικό διάστημα να ακολουθήσει μικρό διασακκαδικό διάστημα είναι 18,2% περισσότερο από ότι σε ένα σύστημα χωρίς μνήμη. Για τα μεγάλα διασακκαδικά διαστήματα το αντιστοιχο ποσοστό είναι 1,3%.

Τα δεδομένα άνω των 450ms έχουν μεγαλύτερη τυχαιότητα. Η πιθανότητα να ισχύει η υπόθεση, να έχουμε σύστημα χωρίς μνήμη είναι λίγο περισσότερο από 10%. Η απόδοση των ελκυστών είναι 3,6% για τα μικρά διασακκαδικά και 0,6% για τα μεγάλα. Αυτό σημαίνει ότι είτε οι παραπλανητικοί στόχοι δημιουργούν αρκετά square wave jerks με διάρκεια 100ms έως 450ms, ώστε να αλλοιώνεται το αποτέλεσμα. Είτε ότι οι παραπλανητικοί στόχοι επηρεάζουν αρνητικά τη μνήμη του συστήματος, ειδικά στα μεγάλα διασακκαδικά διαστήματα.

Τα αποτελέσματα στη δοκιμή χωρίς στόχο (task4) είναι λίγο διαφοροποιημένα. Για δεδομένα άνω των 100ms. Στα δεδομένα άνω των 100ms η πιθανότητα να ακολουθήσει μικρό διασακκαδικό, ένα μικρό διασακκαδικό είναι τετραπλάσια από τις προηγούμενες δοκιμασίες. Ο ελκυστής της κατάστασης μικρού διασακκαδικού διαστήματος έχει απόδοση 81,2% και του μεγάλου διασακκαδικού 2,5%. Η τάση να επαναλάβει μια κατάσταση ο παρατηρητής είναι πολύ πιο ισχυρή όταν δεν υπάρχει στόχος.

Στα δεδομένα άνω των 450ms δεν βγάζουμε τα ίδια συμπεράσματα. Η ομοιότητα πάντως με τη σειρά δεδομένων άνω των 100ms είναι ότι η τάση να επαναληφθεί μια κατάσταση μικρού διασακκαδικού είναι αρκετά πιο ισχυρή από την τάση να επαναληφθεί μια κατάσταση μικρού διασακκαδικού. Η απόδοση των ελκυστών είναι 13,2% για μικρό διασακκαδικό διάστημα και 1,9% για μεγάλο. Περίπου εξαπλάσια απόδοση δηλαδή έχει ο ελκυστής του μικρού διασακκαδικού. Στις άλλες δύο δοκιμασίες για κάτω όριο πάλι τα 450ms, αντίστοιχα οι απόδοση του ελκυστή για τα μικρά διασακκαδικά είναι 3,56 φορές μεγαλύτερη από την απόδοση του μεγάλου διασακκαδικού διαστήματος για το task2 και για το task3 η απόδοση του ελκυστή του μικρού διασακκαδικού είναι πενταπλάσια από την απόδοση του ελκυστή του μεγάλου διασακκαδικού.

## **ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΤΑΞΗΣ ΔΥΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**

Είναι προφανές σε όλες τις δοκιμασίες ότι στο σύστημα υπάρχει μνήμη δεύτερης τάξης. Τα δεδομένα διαφοροποιούνται και εδώ ανάμεσα στα δεδομένα άνω των 450ms και τα δεδομένα άνω των 100ms.

Στο task2 (ύπαρξη στόχου), υπάρχει τάση να επανέλθουμε στην ίδια κατάσταση μετά από δύο μεταβάσεις, ανεξάρτητα από την κατάσταση που έχει

μεσολαβήσει. Στα δεδομένα άνω των 100ms, ισχυρότερη είναι η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις μικρών σακκαδικών. Γενικότερα η τάση να επανέλθουμε μετά από δύο καταστάσεις στην ίδια κατάσταση είναι ισχυρότερη για τα μικρά διασακκαδικά διαστήματα. Για μεγάλα διασακκαδικά διαστήματα η τάση είναι ισχυρότερη όταν μεσολαβεί μικρό διασακκαδικό διάστημα.

Για τα δεδομένα άνω των 450ms, η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις μικρών διασακκαδικών διαστημάτων είναι πολύ ισχυρή. Η διαφοροποίηση εδώ είναι ότι και για τα μεγάλα διασακκαδικά διαστήματα είναι πιο ισχυρή η τάση να έχουμε δύο διαδοχικές μεταβάσεις 2→2. Ισχυρότερη είναι και πάλι η τάση να έχουμε την ίδια κατάσταση μετά από δύο μεταβάσεις για μικρά διασακκαδικά.

Στο task3 (δοκιμασία με παραπλανητικούς στόχους) τα δεδομένα άνω των 100ms, δίνουν αποτελέσματα που μοιάζουν με τα αποτελέσματα από το task2 (ύπαρξη στόχου). Σε κάθε περίπτωση υπάρχει η τάση να έχουμε την ίδια κατάσταση μετά από δύο καταστάσεις. Οι ελκυστές είναι ισχυρότεροι από ότι στο task2, όμως οι παρατηρήσεις παραμένουν ίδιες. Όπως και στο task2 η τάση να επανέλθουμε μετά από δύο καταστάσεις στην ίδια κατάσταση είναι ισχυρότερη για τα μικρά διασακκαδικά διαστήματα, ωστόσο στο task3 η σχετική διαφορά της απόδοσης των ελκυστών είναι μεγαλύτερη. Για μεγάλα διασακκαδικά διαστήματα η τάση είναι ισχυρότερη όταν μεσολαβεί μικρό διασακκαδικό διάστημα. Για μικρά διασακκαδικά διαστήματα είναι ισχυρότερη η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές ίδιες καταστάσεις.

Τα δεδομένα άνω των 450ms όπως και στην πρώτη τάξη φαίνεται να είναι λιγότερο σημαντικά. Η πιθανότητα να υπάρχει μνήμη δεύτερης τάξης είναι 95%. Σημαντικοί ελκυστές εδώ είναι μόνο η μετάβαση 1→1 για τη μετάβαση 1→1, που έχει απόδοση 10% και η μετάβαση 1→2 για τη μετάβαση 2→1, που έχει απόδοση 1,5%. Στο task3 η απόδοση της τάσης να έχουμε δύο διαδοχικές μεταβάσεις 1→1 είναι 10% και η τάση να έχουμε μετάβαση 1→2 μετά από μετάβαση 2→1 έχει απόδοση ελκυστή 1,5%. Παραμένει δηλαδή ισχυρότερη η τάση να έχουμε τρεις ίδιες διαδοχικές καταστάσεις μικρών διασακκαδικών διαστημάτων, ενώ στην περίπτωση των μεγάλων διασακκαδικών διαστημάτων είναι ισχυρότερη η τάση να μεσολαβήσει μικρό διασακκαδικό μεταξύ δύο μεγάλων.

Στο task4 (χωρίς στόχο) παρατηρούμε επίσης την τάση να επανέλθει ο παρατηρητής στην αρχική κατάσταση μετά από δύο μεταβάσεις. Η τάση όμως η ενδιάμεση κατάσταση να είναι διαφορετική από την αρχική είναι πιο ισχυρή σε αυτή τη δοκιμασία, στα δεδομένα που είναι άνω των 100ms. Ισχυρότερη τάση είναι η τάση η κατάσταση μικρού διασακκαδικού να μεσολαβεί ανάμεσα σε δύο μεγάλα διασακκαδικά διαστήματα (με απόδοση 53,4%). Η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις μεγάλων διασακκαδικών είναι πάρα πολύ μικρή με απόδοση ελκυστή μόλις 1,1%. Από μικρό διασακκαδικό διάστημα πιο ισχυρή είναι η τάση να μεσολαβεί μεγάλο διασακκαδικό διάστημα ανάμεσα σε δύο μικρά. Η διαφορά από την απόδοση του ελκυστή για τρεις διαδοχικές καταστάσεις μικρών διασακκαδικών διαστημάτων είναι μικρότερη από την περίπτωση των μεγάλων διασακκαδικών διαστημάτων, που περιγράψαμε παραπάνω.

Στα δεδομένα άνω των 450ms, τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά. Υπάρχει ξεκάθαρα μνήμη δεύτερης τάξης στο σύστημα, σε αντίθεση με τη δοκιμασία με παραπλανητικούς στόχους, ωστόσο οι τάσεις είναι πολύ λιγότερο ισχυρές από ότι στην δοκιμασία με στόχο, κυρίως στα μικρά διασακκαδικά διαστήματα. Έχουμε



δηλαδή μικρότερη διαφορά στην απόδοση μεταξύ μικρών και μεγάλων διασακκαδικών διαστημάτων. Η ισχυρότερη τάση είναι η τάση να έχουμε τρεις διαδοχικές καταστάσεις 1, με απόδοση 13,5%. Όταν ξεκινάμε από μεγάλο διασακκαδικό διάστημα έχουμε περισσότερες πιθανότητες να μεσολαβήσει μικρό διασακκαδικό και να επιστρέψει σε κατάσταση μεγάλου διασακκαδικού διαστήματος.

Συνοψίζοντας, υπάρχει η τάση να επιστρέψουμε στην κατάσταση από την οποία ξεκινάμε, μετά από δύο μεταβάσεις. Η τάση αυτή είναι ισχυρότερη όταν ξεκινάμε από μικρό διασακκαδικό διάστημα, ωστόσο όταν δεν υπάρχει στόχος, δηλαδή οπτικό ερέθισμα της παρατήρησης, η τάση να επιστρέψουμε σε μια κατάσταση μεγάλου διασακκαδικού μετά τη μεσολάβηση μικρού διασακκαδικού είναι ισχυρότερη από τις υπόλοιπες, για τα δεδομένα άνω των 100ms. Η διαφοροποίηση αυτή της δοκιμασίας χωρίς στόχο είναι διαφορετική για τα δεδομένα άνω των 450ms, χωρίς να μπορούμε να αποφανθούμε με ασφάλεια για το πια είναι πιο σωστή. Στα δεδομένα άνω των 450ms, πάντως, η διαφορά μεταξύ των τάσεων ξεκινώντας από μικρό διασακκαδικό ή ξεκινώντας από μεγάλο διασακκαδικό, είναι μικρότερη, ωστόσο παραμένει ισχυρότερη η τάση να επανέλθουμε σε μικρό διασακκαδικό μετά από δύο μεταβάσεις. Θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε ότι η έλλειψη στόχου ευνοεί την παρουσία των μεγάλων διασακκαδικών διαστημάτων, ο παρατηρητής έχει την τάση να μην πραγματοποιεί σακκαδικές κινήσεις. Η ύπαρξη παραπλανητικών στόχων φαίνεται να επηρεάζει τη μνήμη του συστήματος, ειδικά στα μεγάλα διασακκαδικά διαστήματα.

#### **4.3 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ**

Οι σακκαδικές κινήσεις αποτελούν σημαντικό εργαλείο μελέτης για τους νευροφυσιολόγους. Στο κεφάλαιο 2 είδαμε μια σειρά από έρευνες που συνδέουν τις σακκαδικές κινήσεις των οφθαλμών με μια σειρά από παθολογίες του νευρικού και διανοητικού συστήματος, καθώς και με άλλες παραμέτρους όπως η ηλικία ή η λήψη φαρμακευτικών παρασκευασμάτων. Τα συνηθισμένα μεγέθη που μελετώνται είναι το πλάτος, η διάρκεια, ο χρόνος σακκαδικής απόκρισης, η ταχύτητα, η κατεύθυνση. Σε κάθε περίπτωση η μελέτη γίνεται μέσα από συγκεκριμένες διαδικασίες.

Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των μαρκοβιανών μοντέλων για τα διασακκαδικά διαστήματα (ISI), φαίνεται λογικό να συμπεράνουμε ότι σε κάθε άτομο υπάρχουν νευροφυσιολογικοί μηχανισμοί που σχετίζονται με τον αριθμό σακκαδικών που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της παρατήρησης. Κάθε υγιές άτομο έχει την τάση να μένει στην ίδια κατάσταση μικρών ή μεγάλων διασακκαδικών διαστημάτων, η οποία είναι ισχυρότερη όταν πρόκειται για μικρά διασακκαδικά διαστήματα. Στην ανάλυση δεύτερης τάξης μάλιστα βρήκαμε ότι όπως και να χει υπάρχει η τάση να έχουμε ίδια κατάσταση διασακκαδικού διαστήματος (μικρό ή μεγάλο) ανά δύο μεταβάσεις, για παράδειγμα η πρώτη με τη δεύτερη και η τρίτη με την τέταρτη έχουν ίδιου «τύπου» ISI. Η μνήμη του συστήματος φαίνεται επίσης να επηρεάζεται αρνητικά από την ύπαρξη παραπλανητικών στόχων κυρίως στα μεγάλα ISI. Παρόλα αυτά η μελέτη έγινε σε ενιαίο δείγμα δεδομένων. Θα είχε λοιπόν ενδιαφέρον να ελέγξουμε αν τα αποτελέσματα επαληθεύονται για κάθε ένα υγιές άτομο που συμμετείχε στην έρευνα.

Επιπλέον τα μοντέλα Markov θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη μελέτη της σχέσης σακκαδικών με άλλες νευρολογικές παθήσεις. Παθήσεις όπως η δυσλεξία, η σχιζοφρένεια, η κατάθλιψη, το σύνδρομο του Tourette, η ιδεοψυχαναγκαστική διαταραχή (OCD), η ελλειμματική προσοχή- Υπερκινητικότητα, έχουν συνδεθεί από διάφορες μελέτες με τις σακκάδικες κινήσεις των οφθαλμών. Τα παραπάνω αποτελέσματα θα μπορούσαν να συγκριθούν με αποτελέσματα από τέτοια άτομα, προκειμένου να ελέγξουμε πιθανό ενδοφαινότυπο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο διαχωρισμός των square wave jerks από τις σακκαδικές κινήσεις, εφόσον παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα μεταβάλλονται σημαντικά, μετά την αφαίρεσή τους.

## Βιβλιογραφία

- [1] D. P. Munoz and S. Everling, "Lookaway: the anti-saccade task and the voluntary control of eye movement.," *Nat. Rev. Neurosci*, no. 5, pp. 218-228, 2004.
- [2] R. J. Leigh and C. Kennard, "Using saccades as a research tool in the clinical neurosciences," *Brain*, vol. 127, p. 460-477., 2004.
- [3] A. L. Yarbus, *Eye Movements and Vision*, New York: Plenum Press, 1967.
- [4] R. Carpenter, *Movements of the Eyes*, London: Pion, 1988.
- [5] N. Smyrnis, E. Kattoulas, I. Evdokimidis, N. C. Stefanis, D. Avramopoulos, G. Pantas, C. Theleritis and C. N. Stefanis, "Active eye fixation performance in 940 young men: effects of IQ, schizotypy, anxiety and depression," *Exp Brain Res*, vol. 1, no. 156, pp. 1-10, May 2004.
- [6] S. W. Kuffler, "Neurons in the retina; organization, inhibition and excitation problems.," *Cold Spring Harb Symp Quant Biol*, no. 17, pp. 281-292, 1952.
- [7] D. Hubel and T. N. Wiesel, "35. Hubel, D. H. and T. N. Wiesel (1965). "Receptive Fields and Functional Architecture in Two Nonstriate Visual Areas (18 and 19) of the Cat.," *J Neurophysiol*, no. 28, pp. 229-289.
- [8] L. A. Riggs and F. Ratliff, "Visual acuity and the normal tremor of the eyes," *Science*, vol. 114, no. 2949, pp. 17-18, 1951.
- [9] C. Sharpe, "The visibility and fading of thin lines visualized by their controlled movement across the retina.," *J Physiol*, vol. 1, no. 222, pp. 113-134, 1972.
- [10] S. Martinez-Conde, S. L. Macknik and D. H. Hubel, "The role of fixational eye movements in visual perception.," *Nat Rev Neurosci*, vol. 5, no. 3, pp. 229-40., 2004.
- [11] H. Geritts and A. J. H. Vendrik, "Artificial movements of a stabilized image.," *Vision Research*, vol. 10, no. 12, p. 1443-1456, December 1970.
- [12] A. Skavenski, R. M. Hansen, R. M. Steinman and B. J. Winterson, "Quality of retinal image stabilization during small natural and artificial body rotations in man," *Vision research*, vol. 19, no. 6, pp. 675-683, 1979.
- [13] A. Spauschus, J. Marsden, D. M. Halliday, J. R. Rosenberg and P. Brown, "The origin of ocular microtremor in man," *Exp Brain Res*, vol. 126, no. 4, pp. 556-562, June 1999.
- [14] F. Møller, M. L. Laursen, A. K. Sjølie and J. Tygesen, "Binocular quantification and characterization of microsaccades," *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, vol. 240, no. 9, pp. 765-770, September 2002.
- [15] R. Ditchburn, "The function of small saccades," *Vision Research*, vol. 20, no. 3, pp. 271-272., 1980.
- [16] T. N. Cornsweet, "Determination of the Stimuli for Involuntary Drifts and Saccadic Eye Movements.," *JOSA*, vol. 46, no. 11, pp. 987-988, 1956.
- [17] B. J. Winterson and H. Collewin, "Microsaccades during finely guided visuomotor tasks.," *Vision Res*, vol. 16, no. 12, pp. 1387-90., 1976.
- [18] R. Ditchburn, D. H. Fender and S. Mayne, "Vision with controlled movements of the retinal image.," *J. Physiol.*, no. 145, pp. 98-107, 1959.
- [19] R. Engbert and R. Klieg, "Microsaccades keep the eyes' balance during fixation.," *Psychol Sci*, vol. 15, no. 6, pp. 431-436, 2004.
- [20] D. Denney and C. Denney, "The eye blink electro-oculogram.," *British Journal of Ophthalmology*, no. 68, pp. 225-228, 1984.

- [21] R. Abadi and E. Gowen, "Characteristics of Saccadic intrusions," *Vision Res*, vol. 44, no. 23, pp. 2675-90, 2004.
- [22] A. Diefendorf and R. Dodge, "An experimental study of the ocular reactions of the insane from photographic records," *Brain*, no. 31, pp. 451-489, 1908.
- [23] J. B. Smeets and I. T. Hooge, "Nature of variability in saccades," *J Neurophysiol*, no. 90, p. 12-20, 2003.
- [24] T. Foulsham, A. Kingstone and G. Underwood, "Turning the world around: Patterns in saccade direction vary with picture orientation," *Vis Res*, vol. 48, no. 17, p. 1777-1790, August 2008.
- [25] A. Peltsch, A. Hemraj, A. Garcia and D. P. Munoz, "Age-related trends in saccade characteristics among the elderly," *Neurobiology of Aging*, no. 32, pp. 669-679, 2011.
- [26] Y. Goto, K. Hatakeyama, T. Kitama, H. Kanemura, Y. Sato, K. Aoyagi, K. Sugita and M. Aihara, "Saccade eye movements as a quantitative measure of frontostriatal network in children with ADHD," *Brain and Development*, vol. 32, no. 5, p. 347-355, May 2010.
- [27] J. Cotti, M. Panouillères, D. P. Munoz, J.-L. Vercher, D. Péliesson and A. Guillaume, "Adaptation of reactive and voluntary saccades: different patterns of adaptation revealed in the antisaccade task," *J Physiol. Jan 1, 2009; 587(Pt 1): 127-138.*, vol. 587, no. 1, pp. 127-138, 1 January 2009.
- [28] N. Smyrnis, T. Karantinos, I. Malogiannis, C. Theleritis, A. Mantas, N. C. Stefanis, J. Hatzimanolis and I. Evdokimidis, "Larger variability of saccadic reaction times in schizophrenia patients," *Psychiatry Research*, no. 168, pp. 129-136, 2009.
- [29] R. R.S., D. S. Manoach, M. V. Cherkasova, K. A. Lindgren, D. C. Goff and J. J. Barton, "The relationship of saccadic peak velocity to latency: evidence for a new prosaccadic abnormality in schizophrenia.," *Exp Brain Res.*, vol. 159, no. 1, pp. 99-107, November 2004.
- [30] M. S. Harris, M. S. Keshavan, J. L. Reilly and J. A. Sweeney, "Abnormalities in visually guided saccades suggest corticofugal dysregulation in never-treated schizophrenia.," *Biol Psychiatry.*, vol. 57, no. 2, pp. 145-154, 15 January 2005.
- [31] D. D. Salvucci, "Mapping Eye Movements to Cognitive Processes," 1999.
- [32] D. C. Gooding and M. Basso, "A The tell-tale tasks: a review of saccadic research in psychiatric patient populations.," *Brain and cognition.*, vol. 68, no. 3, pp. 371-390, 2008.
- [33] D. D. Salvucci and J. R. Anderson, "Automated Eye-Movement Protocol Analysis," *HUMAN-COMPUTER INTERACTION*, vol. 16, pp. 39-86, 2001.
- [34] D. Lagun, C. Manzanares, S. M. Zola, E. A. Buffalo and E. Agichteina, "Detecting cognitive impairment by eye movement analysis using automatic classification algorithms," *J Neurosci Methods*, vol. 201, no. 1, pp. 196-203, 30 September 2011.
- [35] A. Bulling, J. A. Ward, H. Gellersen and G. Troster, "Eye Movement Analysis for Activity Recognition Using Electrooculography," *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, vol. 33, no. 4, April 2011.
- [36] E. Aserinsky and N. Kleitman, "Regularly Occuring Periods of Eye Motility During Sleeping," *Science*, no. 118, pp. 273-274, 1953.
- [37] E. Aserinsky and N. Kleitman, "Two Types of Ocular Motility Occuring in Sleep," *Journal of Applied Physiology*, no. 8, pp. 1-10, 1955.

- [38] A. M. Boukadoum and P. Y. Ktonas, "Non-random Patterns of REM Occurrences During REM Sleep in Normal Human Subjects: An Automated Second-order Study Using Markovian Modeling," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, no. 70, pp. 404-416, 1988.
- [39] P. Ktonas and A. M. Boukadoum, "Recording Automated Detection and Quantification of Rapid Eye Movement Patterns During Human REM Sleep," in *Chronobiotechnology and Chronobiological Engineering*, Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1987, pp. 229-240.
- [40] F. Wu, "Automated Detection and Markovian Analysis of Detailed Rapid Eye Movement (REM) Patterns During Human REM Sleep," 1991.
- [41] A. M. Boukadoum, "Rapid Eye Movement (REM) Occurrence Patterns During Stage 1- REM Sleep in Humans: An Automated Study Using Markovian Modeling," 1983.
- [42] A. Korda, P. Asvestas, G. Matsopoulos, E. Ventouras, D. Cavouras, P. Ktonas and N. Smyrnis, "Saccadic Movement Identification Using Signal Processing Techniques," in *4th International Conference on Experiments/Process/System Modelling/Simulation & Optimization (4th IC-EpsMsO)*, Athens, 2011.
- [43] Z. Wu, N. E. Huang, S. R. Long and C.-K. Peng, "On the trend, detrending, and variability of nonlinear and nonstationary time series," *Proc Natl Acad Sci U S A.*, vol. 104, no. 38, pp. 14889-14894, 18 September 2007.
- [44] M. Nyström and K. Holmqvist, "An Adaptive Algorithm for Fixation, Saccade, and Glissade Detection in Eye-Tracking Data," *Behavior Research Methods*, vol. 42, no. 1, pp. 188-204, February 188-204.
- [45] W. Cochran, "The chi-squared Test of Goodness Fit," *Annals of Mathematical Statistics*, no. 23, pp. 315-345, 1952.
- [46] T. Anderson and L. Goodman, "Statistical Inference About Markov Chains," *Annals of Mathematical Statistics*, no. 28, pp. 89-110, 1957.
- [47] P. Hansotia, S. Broste, E. So, K. Ruggles, R. Wall and M. Friske, "Eye Movement Patterns in REM Sleep," *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, no. 76, pp. 388-399, 1990.