



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

# Εφαρμογή αλγορίθμων αναγνώρισης προτύπων και ομαδοποίησης σε σήματα προκλητών δυναμικών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βροντίση Ν. Θάλεια

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς  
Καθηγητής

Αθήνα, Μάρτιος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΣΗΜΑΤΑ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βροντίση Θάλεια

**Επιβλέπων:** Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15<sup>η</sup> Μαρτίου 2013

.....(Υπογραφή).....

Κωνσταντίνος  
Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....(Υπογραφή).....

Ηλίας Κουκούτσης

Επίκουρος Καθηγητής  
Ε.Μ.Π.

.....(Υπογραφή).....

Γεώργιος Καμπουράκης

Αναπληρωτής Καθηγητής  
Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2013

.....(Υπογραφή).....

Βροντίση Θάλεια

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Καθηγητής Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς 2013

Copyright © Βροντίση Θάλεια 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

# Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί κομμάτι μίας πληρέστερης ερευνητικής εργασίας, που ως στόχο της έχει την κατηγοριοποίηση των προκλητών δυναμικών (ERPs – Evoked Related Potentials) που προέρχονται από ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα υγείων υποκειμένων, τα οποία συμμετείχαν στην πειραματική διαδικασία. Σημειώνεται πως το πείραμα που πραγματοποιήθηκε ήταν *in vivo* (λατινογενής έκφραση η οποία ερμηνεύεται ως «εν ζωή»), δηλαδή πραγματοποιήθηκε σε ζωντανούς οργανισμούς. Τα προκλητά δυναμικά παρήχθησαν θέτοντας δύο ειδών ερωτήσεις στους συμμετέχοντες, τις «έγκυρες» που σχετίζονται με την Αριστοτέλεια επαγωγική συλλογιστική και τα «λογικά παράδοξα», τα οποία σχετίζονται με τα παράδοξα του Ζήνωνα. Για την καλύτερη δυνατή κατηγοριοποίηση τους, εφαρμόστηκαν στα προκλητά δυναμικά τεχνικές Αναγνώρισης Προτύπων και Ψηφιακής Επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε μια διαδικασία ομοιοθεσίας στο πεδίο του πλάτους και στο πεδίο του χρόνου για το κάθε ERP σήμα και στη συνέχεια, ακολούθησε η βέλτιστη προσαρμογή σε κάθε ηλεκτρόδιο χωριστά, των καμπυλών ERPs ανά δύο. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η εξαγωγή κάποιων αρχικών ομάδων, κάθε μία από τις οποίες προσέφεραν ένα βέλτιστο κοινό πρότυπο μετά από εξαντλητικό ταίριασμα όλων των καμπυλών της ομάδας. Σε αυτά τα βέλτιστα κοινά πρότυπα πραγματοποιήθηκε προσαρμογή καμπυλών ώστε να σχηματιστούν οι τελικές ομάδες ERPs ανά ηλεκτρόδιο.

Στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την τελική κατηγοριοποίηση πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια ενδελεχής στατιστική ανάλυση, στόχος της οποίας ήταν να δείξει κατά πόσον οι δύο εξεταζόμενες εγκεφαλικές λειτουργίες, η λογική συνεπαγωγή και ο παράδοξος συλλογισμός αντανακλούν με διαφορετικό τρόπο στα καταγεγραμμένα από το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) σήματα προκλητών δυναμικών των συμμετεχόντων. Επομένως, επιχειρείται στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας η υποστήριξη της θέσης πως η βαθύτερη νοητική διαδικασία του έγκυρου και του παράδοξου συλλογίζεσθαι διαφοροποιούνται και πως αυτή η διαφορά γίνεται κατανοητή από τα ERPs των υποψηφίων. Με άλλα λόγια, η εργασία θέτει ως βάση την υπόθεση ότι θα υπάρξουν ομοιότητες στα βιολογικά σήματα των συμμετεχόντων εκείνων που παρουσιάζουν κοινές νομοτελειακές λειτουργίες.

Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 1 δίνεται αναλυτικά ο στόχος της παρούσας διπλωματικής. Το Κεφάλαιο 2 αποτελεί μια εισαγωγή στις έννοιες που θα χρειασθεί να είναι γνώριμες για να είναι κατανοητή η ανάγνωση της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, οι έννοιες αυτές αφορούν στην Αριστοτέλεια επαγωγική συλλογιστική, στα παράδοξα του Ζήνωνα και στις εσωτερικές εγκεφαλικές

διεργασίες που βρίσκονται πίσω από τις συλλογιστικές αυτές. Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο, γίνεται μία πρώτη αναφορά στη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη εργασία για τη μελέτη του εγκεφάλου, η οποία κάνει χρήση των προκλητών δυναμικών (ERPs). Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν για την διεξαγωγή της εργασίας. Αρχικά παρουσιάζεται η κεντρική ιδέα, η διάταξη, οι συνθήκες και η αναλυτική διαδικασία του πειράματος και στη συνέχεια δίδονται πληροφορίες σχετικά με το ερωτηματολόγιο και τα χαρακτηριστικά του συμμετέχοντα πληθυσμού. Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, αρχίζει η θεωρητική ανάλυση της προσέγγισης όπου παρατίθενται οι ενέργειες τόσο της ευρύτερης ερευνητικής εργασίας, όσο και της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση της προεπεξεργασίας των ληφθέντων ERPs σημάτων και παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθείται για τη μείωση του σηματοθορυβικού λόγου. Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 5 δίνεται αρχικά μια πλήρης ανάλυση του φαινομένου της Τυχαίας Αρνητικής Μεταβολής (Contingent Negative Variation, CNV) και ακολούθως παρουσιάζονται τόσο με μαθηματικούς ορισμούς όσο και εννοιολογικά οι μετασχηματισμοί που εφαρμόστηκαν στα σήματα προκλητών δυναμικών που λάβαμε από τα υποκείμενα, ο τρόπος επιλογής του κατάλληλου σφάλματος προσαρμογής και τελικά με χρήση αυτών η πρώτη ομαδοποίηση των δεδομένων μας. Τα βήματα που ακολουθούνται για την τελική ομαδοποίηση δίνονται στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, ενώ στο 7<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζεται ενδελεχώς η μέθοδος για τον εντοπισμό της στατιστικής διαφοράς μεταξύ «έγκυρης συλλογιστικής» και την «συλλογιστική των παραδόξων» σε όλα τα υποκείμενα για κάθε ηλεκτρόδιο χωριστά. Στο Κεφάλαιο 8, παρουσιάζονται αναλυτικά κάποια παραδείγματα ενός συγκεκριμένου ηλεκτροδίου ώστε να λάβει ο αναγνώστης μια πληρέστερη και περισσότερο κατανοητή εικόνα του πειράματος. Τέλος, στο 9<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν μετά από την πραγματοποίηση όλης της προαναφερθείσας διαδικασίας.

# Abstract

The present dissertation is a part of a larger research project which focuses on the classification of the ERPs (Evoked Related Potentials) deriving from the electroencephalograms of healthy people, who participated in the experimental procedure. It should be noted that the experiment was carried out in vivo (Latin for “within the living”), which means that the experimentation used a whole, living organism. In order to produce the evoked potentials, the participants were asked to answer two types of questions, the “valid”, which are related to Aristotle’s deductive reasoning and the “paradoxes”, related to Zenon’s paradoxes. In order to achieve their optimal classification, pattern recognition techniques and digital processing were applied to the ERPs. In particular, an application of time-domain and amplitude scaling was implemented on each ERP signal, followed by the optimal fit of two ERPs to each electrode separately. This resulted in the extraction of a number of preliminary groups, each of which gave an optimal group representative after exhaustively matching all the curves of the group. In order to form the final groups of ERPs per electrode, an adjustment of the curves was made to those optimal group representatives.

A detailed statistical analysis was performed on the results obtained by the final classification. The aim of this analysis was to show whether the two examined brain functions, the logical implication and the paradoxical reasoning, reflect in a different way on the recorded from the electroencephalogram (EEG) of the participants evoked potential signals. Therefore, this research project attempts to prove that the underlying mental process of the valid and paradox reasoning are different and that difference is reflected on the ERPs of the subjects. In other words, the present dissertation is premised on the hypothesis that there will be similarities in the biological signals of the participants with common deterministic functions.

Indicatively, the 1<sup>st</sup> Chapter presents in detail the aim of the present dissertation. The 2<sup>nd</sup> Chapter is an introduction to the terms and definitions that will be needed for a comprehensible reading of this thesis. More specifically, these definitions relate to the Aristotelian deductive reasoning, the paradoxes of Zeno and the internal brain processes underlying those reasoning procedures. What is more, in the same chapter, a reference on the method that will be used for the study of the brain, is made. It is noted that this method makes use of the evoked potentials (ERPs). The 3<sup>rd</sup> Chapter gives a detailed description of the experiments carried out to complete the

dissertation. In the first place, the main idea and the conditions of the experiment are presented, continued by the exact procedure that has been followed. Also, information on the questionnaire and the characteristics of the participating population is provided. In the 4<sup>th</sup> chapter, a theoretical analysis is given which summarizes both the actions of the larger project and the analysis that this dissertation uses. In this chapter, an analysis of the pre-processing of the received ERP signals is made and the procedure followed to reduce the signal-to-noise-ratio (SNR) is presented. In Chapter 5 a complete analysis of the Contingent Negative Variation (CNV) phenomenon is made. Then, the transformations applied to the ERP signals received by the participating subjects, are presented both in mathematical and conceptual terms. In addition, the process of choosing a properly defined error function is given. Finally, with the use of the aforementioned procedures, a first grouping of the data is achieved. In the 6<sup>th</sup> Chapter, the steps followed for the final grouping are presented. In Chapter 7, the method to detect the statistical difference between “valid reasoning” and “paradoxical reasoning” is given for all the subjects and for each individual electrode. In the 8<sup>th</sup> Chapter, detailed examples of a specific electrode are presented in order to provide the reader with a more clear and complete view of the experiment. Finally, in the 9<sup>th</sup> Chapter the reader will come across a presentation of the results obtained from the present dissertation.

# Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Παπαοδυσσέα για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την παρούσα εργασία καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής. Επίσης, τον ευχαριστώ για τη βοήθεια και τη συνεχή καθοδήγηση που μου προσέφερε. Θα ήθελα να αναφερθώ στο γεγονός ότι ο κ. Παπαοδυσσέας, με την ανιδιοτελή αγάπη του για την επιστήμη και την έρευνα, αποτελεί πλέον για μένα πηγή έμπνευσης και δύναμης για τα μελλοντικά ακαδημαϊκά και επαγγελματικά μου βήματα.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βαθέων τον υποψήφιο διδάκτορα Σόλωνα Ζάννο για τις πολύτιμες υποδείξεις και συμβουλές του. Ο χρόνος και οι γνώσεις που μου προσέφερε αποτέλεσαν καθοριστικά στοιχεία για την περάτωση της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τον αν. καθηγητή Παναγιώτη Ρουσόπουλο καθώς και τους υποψήφιους διδάκτορες Φώτη Γιαννόπουλο και Δημήτρη Αραπατζή για την υλική και επιστημονική υποστήριξη που μου παρείχαν.

Φυσικά, δε θα μπορούσα να παραλείψω από τις ευχαριστίες την οικογένειά μου καθώς και τους φίλους μου για την κατανόηση και την υποστήριξη που μου προσέφεραν τόσο για την περάτωση της παρούσας εργασίας, αλλά και στη συνολική μου διαδρομή στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.



# Περιεχόμενα

<u>Περίληψη</u> .....	1
<u>Abstract</u> .....	3
<u>Ευχαριστίες</u> .....	5
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Ο ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ</u> .....	8
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u> .....	9
2.1. Η Αριστοτέλεια λογική και τα παράδοξα του Ζήνωνος .....	9
2.2. Μια σύντομη αναφορά στην υποκείμενη νευροφυσιολογική συμπεριφορά του εγκεφάλου.....	10
2.3. Η μέθοδος μελέτης του εγκεφάλου που βασίζεται στα προκλητά δυναμικά (ERPs).....	12
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΒΑΣΙΣΤΗΚΕ Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ</u> .....	16
3.1. Η κεντρική ιδέα του πειράματος .....	16
3.2. Η σχετική πειραματική διάταξη και η καταγραφή των ERPs .....	16
3.3. Συνοπτική περιγραφή του ερωτηματολογίου .....	19
3.4. Μια περισσότερο αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας του πειράματος .....	19
3.5. Χαρακτηριστικά του πληθυσμού στον οποίον έγινε το πείραμα .....	21
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΛΗΦΘΕΝΤΩΝ ERPs ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ</u> .	22
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΑ ΣΗΜΑΤΑ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ</u>	24
5.1. Το φαινόμενο της Τυχαίας Αρνητικής Μεταβολής (Contingent Negative Variation, CNV).....	26
5.2. Εφαρμογή κατάλληλων μετασχηματισμών στο ERP σήμα .....	29
5.3. Επιλογή κατάλληλου σφάλματος προσαρμογής .....	29
5.4. Μία πρώτη ομαδοποίηση των προκλητών δυναμικών ανά περίπτωση Αριστοτέλειας και παράδοξης λογικής .....	30
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΞΑΓΩΓΗ ΙΔΕΑΤΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΟΜΑΔΑ ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΝΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ</u> .....	33

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΙΔΕΑΤΩΝ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΩΝ ΣΤΗΝ «ΕΓΚΥΡΗ ΣΥΛΛΟΓΙΣΤΙΚΗ» ΚΑΙ ΣΤΗ «ΣΥΛΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΣΤΑ ΠΑΡΑΔΟΞΑ» .....</u>	<u>37</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΕΝΑ ΠΛΗΘΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ.....</u>	<u>41</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</u>	<u>82</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</u>	<u>83</u>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Ο ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μέρος μιας εκτενέστερης ερευνητικής μελέτης που ως σκοπό έχει την κατηγοριοποίηση των προκλητών δυναμικών (ERPs – Evoked Related Potentials). Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια ενός πειράματος όπου οι συμμετέχοντες απαντούσαν σε συγκεκριμένο σύνολο ερωτήσεων που αφορούσαν την Αριστοτέλεια λογική και το παράδοξο του Ζήνωνος, κατεγράφησαν τα προκλητά δυναμικά (ERPs) των συμμετεχόντων. Αναλυτικότερα, για να προκληθούν τα δυναμικά αυτά στα υποκείμενα που συμμετείχαν στο πείραμα, τους τέθηκαν ερωτήσεις που ανήκουν σε δύο κύριες κατηγορίες: τις «έγκυρες» ερωτήσεις, οι οποίες σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, σχετίζονται με τον επαγωγικό συλλογισμό, και τα «λογικά παράδοξα», τα οποία σχετίζονται με τα παράδοξα που διατύπωσε ο Ζήνων ο Ελεάτης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στο να βοηθήσει προς την κατεύθυνση του να αποδειχθεί ότι η βαθύτερη νοητική διεργασία που πραγματοποιείται κατά την έκθεση σε έγκυρες ερωτήσεις διαφέρει από εκείνη που προκύπτει από την έκθεση στα παράδοξα και πως η διαφορά αυτή παρουσιάζεται στα αντίστοιχα προκλητά δυναμικά των υποκειμένων. Προς τον σκοπό αυτόν, εφαρμόστηκαν συγκεκριμένες τεχνικές Αναγνώρισης Προτύπων και Ψηφιακής Επεξεργασίας Σήματος στα προκλητά δυναμικά, ούτως ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη κατά το δυνατόν κατηγοριοποίησή τους. Ισοδυνάμως, η υπόθεση στην οποία βασίστηκε η παρούσα εργασία και την οποία προσπάθησε να θεμελιώσει με χρήση πληροφοριακών και μαθηματικών μεθόδων είναι πως άνθρωποι με κοινές νομοτελειακές λειτουργίες εμφανίζουν τις ομοιότητες αυτές στα βιολογικά τους σήματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 2.1 Η Αριστοτέλεια λογική και τα παράδοξα του Ζήνωνος

Από την αρχαιότητα η ανθρώπινη σκέψη έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας με τον Αριστοτέλη να θεωρείται ο πρώτος μελετητής της. Η διαδικασία της κρίσεως και του συλλογίζεσθαι (reasoning) έχει κατά καιρούς χαρακτηριστεί ως μια από τις πιο ανεπτυγμένες και σπουδαιότερες ικανότητες του ανθρώπου. Η λογική είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με πληθώρα ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, όπως η επιστήμη, η φιλοσοφία, τα μαθηματικά και οι τέχνες. Η χρήση της δε δίνει στον άνθρωπο μόνο τη δυνατότητα για λογικό συλλογισμό, αλλά επίσης την ικανότητα να λύσει προβλήματα, να διεξάγει έρευνα, να αποφασίσει για κάποια δράση του και να κατανοήσει τον κόσμο γενικότερα. Ιδιαίτερο κλάδο της λογικής αποτελεί η συλλογιστική κατά την οποία ξεκινώντας από κάποια υπόθεση και μέσα από τη μελέτη λογικών δομών και προτάσεων καταλήγει κανείς στην παραγωγή σαφούς συμπεράσματος (συλλογιστική πορεία).

Η λογική, η οποία αναδείχτηκε σε επιστήμη από τον Αριστοτέλη, αποτέλεσε ένα χρήσιμο εργαλείο για τον κάθε επιστήμονα. Σύμφωνα με τον Αριστοτέλη, ο επαγωγικός συλλογισμός ξεκινάει από ένα σύνολο δύο προτάσεων και καταλήγει σε ένα συμπέρασμα με απόλυτη βεβαιότητα. Για παράδειγμα, ξεκινώντας τη συλλογιστική πορεία από τις προτάσεις «Όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί» και «Όλοι οι Αθηναίοι είναι άνθρωποι» ισχυριζόταν πως αυτές υποδηλώνουν πως «Όλοι οι Αθηναίοι είναι θνητοί». Μια σειρά από συνδέσεις που περιγράφονται από το κατηγορηματικό συνδετικό ρήμα «είναι», και καθορίζονται από το υποκείμενο «Όλοι», συγκροτούν τη λογική μορφή του συμπεράσματος, ορίζοντας την ορθότητα του συγκεκριμένου συλλογισμού [1]. Ψυχολόγοι και γνωσιακοί επιστήμονες έχουν προσπαθήσει κατά καιρούς να μελετήσουν και να ερμηνεύσουν τη συλλογιστική λογική, αλλά μόλις πρόσφατα, προτάθηκαν συγκεκριμένα πρότυπα (μοντέλα) κωδικοποίησης και αποσαφήνισης των βαθύτερων μηχανισμών. Ωστόσο, οι βαθύτερες διεργασίες είναι ελάχιστα κατανοητές [2], [3].

Σε αντιπαράθεση με τα παραπάνω, σημειώνεται πως ο Ζήνων ο Ελεάτης, πριν από περίπου 2500 χρόνια, συνέλαβε κάποια παράδοξα με σκοπό να αποδείξει την ασυνέχεια στις Πυθαγόρειες ιδέες περί πολλαπλότητας και αλλαγής. Σκοπός του έργου του Ζήωνα ήταν να υπερασπιστεί τον δάσκαλο του, τον Παρμενίδη, ο οποίος πίστευε στη «μία και μοναδική αλήθεια και πραγματικότητα» και θεωρούσε πως η αλλαγή είναι αδύνατη, ή με άλλα λόγια πως κάθε έννοια της κίνησης ή της πολυπλοκότητας των φυσικών φαινομένων θα είναι ψευδαίσθηση, αφού θα υπάρχει μία αλήθεια. Θεωρώντας λοιπόν το αξίωμα που αφορούσε στην ενότητα

και στη διαχρονικότητα της ύπαρξης ως δεδομένο, χρησιμοποίησε τη μέθοδο της έμμεσης απόδειξης των παραδόξων του, συντελούμενη από τρία κύρια βήματα: 1) την προσωρινή υπόθεση μιας θέσης στην οποία αντιτιθόταν, 2) μία προσπάθεια να εξάγει ένα άμεσο συμπέρασμα ή μια αντίφαση, και ως εκ τούτου 3) την κατάρριψη της προσωρινής υπόθεσης. Ο Ζήνων έδειξε πως η κοινή αντίληψη της πραγματικότητας οδηγεί σε παράδοξα και οξύμωρα. Αυτά ακριβώς τα παράδοξα είναι που εντυπωσιάζουν όχι μόνο τους φιλοσόφους, αλλά και τους μαθηματικούς, επηρεάζοντας έντονα μεταγενέστερες έρευνες [4], [5], [6].

Τα παράδοξα καταδεικνύουν το φαινομενικά λογικό αδύνατο της καθημερινής εμπειρίας πάνω σε φυσικά θέματα. Τέτοιες συλλογιστικές μπορεί, εκτός των άλλων, να θεωρηθούν εφάμιλλες με τις γνωσιακές αυταπάτες. Ευτυχώς, οι γνωσιακές αυταπάτες, φαίνονται να παραβιάζουν τους κανόνες της ορθολογικής σκέψης μόνο σε φιλοσοφικό επίπεδο (φιλοσοφικοί προβληματισμοί) [4], [7]. Το παράδοξο όπως φαίνεται προκύπτει από την ανικανότητα των ανθρώπων να ξεχωρίσουν διαισθητικά τα μη ή ελλιπώς επιβεβαιωμένα στοιχεία (Nickerson 1996; McKenzie & Mikkelsen, 2000). Σύμφωνα με τον Sainsbury (1995), τα παράδοξα είναι τα επιχειρήματα με μη αποδεκτά συμπεράσματα, αποδεκτές προϋποθέσεις και ένα αποδεκτό συμπερασματικό μοτίβο.

## 2.2 Μια σύντομη αναφορά στην υποκείμενη νευροφυσιολογική συμπεριφορά του εγκεφάλου

Ο άνθρωπος δύναται να δραστηριοποιηθεί σε γνωσιακό επίπεδο κυρίως μέσω του νευρικού του συστήματος. Κρίνεται ιδιαίτερης σημασίας η μελέτη του βιολογικού υποβάθρου του γνωσιακού εξοπλισμού με σκοπό την ανάλυση της συμπεριφοράς του εγκεφάλου κατά τις νοητικές λειτουργίες. Με το θέμα αυτό ασχολείται η επιστήμη της γνωσιακής νευροφυσιολογίας, η οποία αποτελεί κλάδο της γνωσιακής ψυχολογίας. Η επιστήμη αυτή μελετά τη συσχέτιση των νοητικών διεργασιών του εγκεφάλου με τις γνωσιακές λειτουργίες του ανθρώπου (την αντίληψη, τη μνήμη, τις αναπαραστάσεις, τη νόηση, τη γλώσσα, τη λήψη αποφάσεων, τη λύση προβλημάτων κ.α.). Ο εντοπισμός των ανωτέρω νοητικών λειτουργιών είναι κατά κύριο λόγο μια δυναμική έννοια και όχι τόσο ανατομική αφού αν και αυτές οι διαδικασίες ελέγχονται από συγκεκριμένες εγκεφαλικές περιοχές, εντούτοις αυτές οι περιοχές επικοινωνούν μεταξύ τους. Υπάρχει δηλαδή μια αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των εγκεφαλικών περιοχών ελέγχου οι οποίες αλληλεπικαλύπτουν νοητικές διεργασίες και αυτός είναι και ο λόγος που παρά τις εκτεταμένες βλάβες ή τραυματισμούς ο εγκέφαλος διατηρεί την ικανότητα των γνωσιακών λειτουργιών. Τονίζεται εδώ ότι σε γενικές γραμμές, η γνωσιακή νευροφυσιολογία εστιάζει στη μελέτη διαταραχών της εγκεφαλικής δραστηριότητας (είτε λόγω ασθένειας ή τραυματισμού) με σκοπό την εξαγωγή ενός μοντέλου φυσιολογικής λειτουργίας.

Χρήσιμη είναι εδώ μια αναφορά στη φυσιολογία του εγκεφάλου. Ο εγκέφαλος αποτελείται από δύο ημισφαίρια, το δεξί και το αριστερό. Τα δυο ημισφαίρια δεν έχουν συμμετρική λειτουργία, δηλαδή το καθένα φιλοξενεί τα κέντρα διαφορετικών δεξιοτήτων και αντιληπτικών ικανοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, στο αριστερό ημισφαίριο γίνονται κυρίως οι λεκτικές, αναλυτικές και λογικές νοητικές διεργασίες. Το αριστερό ημισφαίριο είναι υπεύθυνο για την αντίληψη του χρόνου, την ομιλία, τη γραφή, την αντίληψη του λόγου, τον συμβολισμό, τη λεκτική μνήμη, την αναλυτική σκέψη. Επίσης είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με λέξεις κατά κυριολεξία, την επεξεργασία των ακουστικών ερεθισμάτων και της αφηρημένης πληροφορίας, την πρόκληση ελεγχόμενης συμπεριφοράς και τη δευτερογενή ερμηνεία συμπεριφοράς. Σε αυτό εκτελούνται διαδικασίες σχετικές με τα μαθηματικά και τη γραμματική. Από την άλλη, το δεξί ημισφαίριο είναι υπεύθυνο για την οπτική αντίληψη του χώρου, την κατανόηση των μεταφορικών εννοιών και του χιούμορ, τη συσχέτιση, τη σύνθεση λεγομένων, τη συναισθηματική φόρτιση, την οπτική μνήμη, την επικοινωνία, τόσο με τόνο φωνής όσο και με εκφράσεις του προσώπου. Επίσης, η προσοχή, η διάκριση πολύπλοκων ακουστικών τόνων, η πρόκληση παρορμητικής συμπεριφοράς, τα αισθήματα, οι συγκινήσεις, η δημιουργικότητα, η φαντασία και η καλλιτεχνική έκφραση είναι και αυτές λειτουργίες που ελέγχονται από το δεξί ημισφαίριο.

Από τα παραπάνω, και σύμφωνα με τη θεωρία Νοητικής Λογικής όσον αφορά το συλλογίζεσθαι, προκύπτει πως η συνεπαγωγή σχετίζεται με τη γλωσσική ικανότητα, και άρα υποστηρίζεται κυρίως από το αριστερό ημισφαίριο του εγκεφάλου. Σύμφωνα όμως με τη θεωρία του Νοητικού Προτύπου του συλλογίζεσθαι, η συλλογιστική πορεία βασίζεται στα, εκ φύσεως χωρητικά, νοητικά σύνολα των καταστάσεων που καθορίζονται από τις προϋποθέσεις. Αντίστοιχα, λογικό θα ήταν οι συλλογιστικές διαδικασίες να λαμβάνουν χώρα σε περιοχές του εγκεφάλου που είναι υπεύθυνες για τη απεικόνιση (δεξί ημισφαίριο). Τελικά, και με βάση τη γνώση από τις σύγχρονες θεωρίες πάνω στον τομέα του ανθρώπινου συλλογίζεσθαι, υπάρχει στην ουσία ένας συνδυασμός δύο συστημάτων με διαφορετικές νευρικές διεργασίες που ελέγχονται στη συλλογιστική λογική. Σε αυτό το πλαίσιο, διακρίνονται δύο συστήματα ως εξής: 1) ένα εξελικτικά παλιό και διαισθητικό σύστημα, με διεργασίες που είναι αστραπιαίες και αυτόματες εκ φύσεως και 2) ένα εξελικτικά καινούριο σύστημα, με αργή, «ρητή» και θεμελιώδη φύση, το οποίο συνδέει την ικανότητα εξαγωγής συνεπαγωγής με λογικούς κανόνες, δεσμεύοντας τους διανοητικούς «πόρους» του υποκειμένου. Για το πρώτο σύστημα, μόνο το προϊόν του συλλογισμού γίνεται διαθέσιμο στη συνείδηση, σε αντίθεση με το σύστημα (2) όπου έχουμε συνειδητή εποπτεία όχι μόνο του αποτελέσματος αλλά και των μέσων που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία του συλλογισμού. Τα δύο αυτά συστήματα θεωρείται ότι δεν είναι απολύτως ξεχωριστά, αλλά λειτουργούν παράλληλα και με αμοιβαίο τρόπο στις διεργασίες λήψης αποφάσεων.

Όσον αφορά στη γενικότερη εργασία, στο πλαίσιο της οποίας εντάσσεται η παρούσα διπλωματική εργασία, αυτή έχει σχεδιαστεί με σκοπό να μελετήσει υγιή υποκείμενα τα οποία υπόκεινται σε δύο συλλογιστικές διεργασίες, και συγκεκριμένα στους έγκυρους συλλογισμούς και στα παράδοξα (της μορφής που διατύπωσε ο Ζήνων ο Ελεάτης).

Οι νοητικές διεργασίες που προκαλούνται από τα παράδοξα του Ζήωνα και από την επαγωγική συλλογιστική του Αριστοτέλη, αν και αποτελούν φαινομενικά ασυσχέτιστες συλλογιστικές, φαίνονται να συνδέονται με συγκεκριμένους βαθείς, έμφυτους γνωσιακούς μηχανισμούς που σχετίζονται με την προσπάθεια της κατανόησης των θεμελιωδών διαδικασιών συλλογιστικής στην πιο ακραία τους μορφή. Είναι αλήθεια ωστόσο πως η φύση των διεργασιών που σχετίζονται με τα παράδοξα δεν έχει μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό, αφήνοντας με αυτόν τον τρόπο ένα ανοιχτό πεδίο για βαθύτερη έρευνα. Φυσικά τέτοιου είδους έρευνες δεν έχουν μόνο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον, αλλά σχετίζονται στενά και με την κλινική πρακτική [8].

Αξίζει να αναφερθεί πως οι συλλογιστικές διεργασίες στις οποίες υπόκεινται τα υποκείμενα της προκειμένης εργασίας είναι προσαρμοσμένες έτσι ώστε να προκαλούν την εργασιακή μνήμη ή μνήμη εργασίας (EM, working memory WM). Σύγχρονες νευροψυχολογικές αντιλήψεις ορίζουν την EM ως την ικανότητα των ανθρώπων (υποκειμένων) να διατηρούν πληροφορίες σε ετοιμότητα, χρήσιμες για την πραγματοποίηση μιας διεργασίας που πραγματοποιείται εκείνη τη στιγμή [9]. Η EM λαμβάνει χώρα σε πολύπλοκες γνωσιακές δραστηριότητες, όπως ο συλλογισμός, η εποπτεία, η επίλυση προβλημάτων, η λήψη αποφάσεων, η οργάνωση και η αναζήτηση/τροποποίηση της εκκίνησης ή της αναστολής της αντίδρασης και δεν ανήκει στην κατηγορία της «απομνημόνευσης» αυτής κάθε αυτής [10], [11]. Συνεπώς, η EM, συμπεριλαμβάνει, εκτός των άλλων, και ένα κεντρικό ελεγκτικό σύστημα. Επομένως, στόχος της μελέτης, η οποία έχει να κάνει με υγιή υποκείμενα, είναι ο καθορισμός της ύπαρξης (ή όχι) διαφορετικών εγκεφαλικών δομών ηλεκτρο-φυσιολογικής δραστηριότητας, όπως αυτή φαίνεται κατά την απεικόνιση των προκλητών δυναμικών (ERPs). Κάθε πειραματική διάταξη και συνθήκη είναι τροποποιημένη έτσι, ώστε να προκαλεί την εργασιακή μνήμη.

### 2.3 Η μέθοδος μελέτης του εγκεφάλου που βασίζεται στα προκλητά δυναμικά (ERPs)

Η χρήση των προκλητών δυναμικών αποτελεί μια μη επεμβατική μέθοδο μελέτης της εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια μιας γνωσιακής διεργασίας.

Πρόκειται για τη μελέτη μιας ηλεκτροφυσιολογικής απόκρισης σε κάποιο ερέθισμα. Τι είναι όμως τα προκλητά δυναμικά;

Τα προκλητά δυναμικά (Π.Δ.), (Evoke Potentials, EP) αποτελούν ένα τμήμα μιας μεγαλύτερης ομάδας δυναμικών, των βιωματικών δυναμικών (Β.Δ.), (Event-Related Potentials, ERP). Τα τελευταία είναι οι διαφορές δυναμικού που προκαλούνται ως άμεση απόκριση (ή και προετοιμασία) του ανθρώπου σε ένα συγκεκριμένο γεγονός (γνωσιακού, αισθητικού ή κινησιακού περιεχομένου) και συνήθως μετρώνται στη δερματική επιφάνεια του κεφαλιού. Το γεγονός μπορεί να προέρχεται από το εξωτερικό, ως προς το υποκείμενο, περιβάλλον (προκλητά δυναμικά) ή μπορεί να αποτελεί μια ενδοψυχολογική διαδικασία αυτού (εκπεμπόμενα δυναμικά – Evoked Potentials). Στην παρούσα διπλωματική μελετώνται τα προκλητά δυναμικά, καθώς στο πείραμα τα υποκείμενα υπόκεινται σε εξωτερικά ερεθίσματα, και για τον λόγο αυτόν ταυτίζονται εδώ οι όροι βιωματικά και προκλητά δυναμικά.

Τα προκλητά δυναμικά χωρίζονται σε δύο κύριες ομάδες, στα ενδογενή και τα εξωγενή. Τα ενδογενή σχετίζονται με το ψυχολογικό αντίκτυπο που προκαλούν τα εξωτερικά ερεθίσματα στον άνθρωπο. Παρατηρούνται τουλάχιστον 70msec μετά την παραγωγή του ερεθίσματος και διαφοροποιούνται αναλόγως με τα αν το ερέθισμα είναι ευχάριστο ή δυσάρεστο, γνωστό ή άγνωστο για το υποκείμενο. Από την άλλη, τα εξωγενή προκλητά δυναμικά παρατηρούνται σε χρόνο μικρότερο των 100 msec και σχετίζονται με την ίδια τη φύση του ερεθίσματος (συχνότητα, ένταση κ.α.).

Επιπλέον κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει στα προκλητά δυναμικά με βάση το είδος του εξωτερικού ερεθίσματος που τα προκαλεί. Επομένως, έχουμε τα εξής:

- Ακουστικά προκλητά δυναμικά (AEP – Auditory Evoked Potential): Προκαλούνται από κάποιο ακουστικό ερέθισμα (τόνοι έντασης και συχνοτήτων, λέξεις, διάφοροι ήχοι κ.α.)
- Οπτικά προκλητά δυναμικά (VEP – Visual Evoked Potential): Προκαλούνται από κάποιο οπτικό ερέθισμα (αλλαγή χρωμάτων ή έντασης φωτισμού, εμφάνιση εικόνας κ.α.)
- Σωματοαισθητικά προκλητά δυναμικά (SEP – Somatosensory Evoked Potential): Προκαλούνται από μικρής διάρκειας και έντασης ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο ερεθίζει ένα συγκεκριμένο νεύρο.

Συνεχίζοντας με τη μέθοδο της μελέτης της εγκεφαλικής δραστηριότητας με τα ERPs, αυτά μετρώνται με μεγάλη αξιοπιστία κάνοντας χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (HEG). Με το HEG μετράται η εγκεφαλική



δραστηριότητα του εγκεφάλου για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τις μετρήσεις τις παίρνουμε από ηλεκτρόδια που έχουμε τοποθετήσει στο κεφάλι του υποκειμένου. Το θέμα που προκύπτει όμως είναι πως το ΗΕΓ δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες για την απόκριση του εγκεφάλου σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα ή γεγονός. Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει το υποκείμενο να υποβληθεί σε πλήθος μετρήσεων (τουλάχιστον 30) (time-locked δοκιμές) ώστε να προκύψει στη συνέχεια μια μέση τιμή των αποτελεσμάτων των ΗΕΓ και άρα και της εγκεφαλικής δραστηριότητας που ως αποτέλεσμα θα δώσει μια σχετική καμπύλη, την επονομαζόμενη ERP. Τα προκλητά δυναμικά απαρτίζονται από τις «ERP συνιστώσες» (“ERP components”) όπου κάθε συνιστώσα αντανακλά σε εγκεφαλική δραστηριότητα που συσχετίζεται με μια ή περισσότερες ψυχικές λειτουργίες. Επιπλέον, το γεγονός ότι τα προκλητά δυναμικά είναι σήματα που χαρακτηρίζονται από έντονες μεταβολές στην πολικότητα (θετικά ή αρνητικά δυναμικά), στο πλάτος, στο χρονισμό και την κατανομή τους στις διάφορες περιοχές του εγκεφάλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάκριση και αναγνώριση ψυχολογικών και νευρικών υπο-διαδικασιών που περιέχονται σε σύνθετα γνωσιακά ή/και αντιληπτικά έργα.

Σημαντική είναι εδώ η αναφορά στα πλεονεκτήματα της εξεταζόμενης μεθόδου σε σχέση με άλλες φυσιολογικές μετρήσεις. Όπως προαναφέρθηκε, πρόκειται για μια μη επεμβατική και άρα ασφαλέστερη μέθοδο σε αντίθεση με άλλες μεθόδους όπου μικροηλεκτρόδια πρέπει να μπουν στο εσωτερικό του εγκεφάλου ή το υποκείμενο πρέπει να εκτεθεί σε ακτινοβολία (PET- Positron Emission Tomography / τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων). Επίσης, η χρήση των προκλητών δυναμικών αποτελεί μια οικονομική επιλογή συγκριτικά με άλλες απεικονιστικές μεθόδους (Fmri, PET) καθώς η αγορά και η συντήρηση ενός ηλεκτροεγκεφαλογράφου είναι πολύ φθηνότερη από ότι άλλων απεικονιστικών συστημάτων. Τέλος, με τα ERPs πετυχαίνουμε άριστη χρονική ανάλυση (της τάξεως msec), χωρίς όμως να συμβαίνει το ίδιο και με τη χωρική ανάλυση. Αυτό είναι και το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου αυτής καθώς εμποδίζει τον χρήστη να απομονώσει ένα συγκεκριμένο συστατικό/κομμάτι του ERP από το ολικό.

Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως οι τεχνικές που χρησιμοποιούν τα προκλητά δυναμικά αποτελούν χρήσιμα εργαλεία στην μελέτη των διεργασιών των πληροφοριών και φαίνεται πως είναι ευαίσθητες σε λεπτές νευρο-ψυχολογικές αλλαγές [12], [13], [14], [15]. Χάρη στην ιδιότητα της υψηλής ανάλυσης, τα προκλητά δυναμικά, μπορούν να γίνουν πολύ χρήσιμα στην μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τη διαδικασία του συλλογισμού. Ο βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιάσει άμεσα στοιχεία για την συσχέτιση ή μη της Αριστοτέλειας συλλογιστικής (επαγωγικός συλλογισμός) και του συλλογισμού που προκύπτει από την έκθεση στα παράδοξα. Μια συγκριτική μελέτη αυτών των προτύπων ενεργοποίησης στην Αριστοτέλεια συλλογιστική κι εκείνης που συνδέεται με τα

παράδοξα, μπορεί να αποκαλύψει σημαντικές πτυχές της διεργασίας του συλλογισμού, συσχετιζόμενης με την αντίληψη, την προσοχή και τη γνωσιακή συμπεριφορά. Σημειώνουμε ότι, αυτές οι πτυχές είναι αδύνατον να γίνουν εμφανείς μόνο με τις κλασσικές μεθόδους ανάλυσης της συμπεριφοράς.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΒΑΣΙΣΤΗΚΕ Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΓΑΣΙΑ

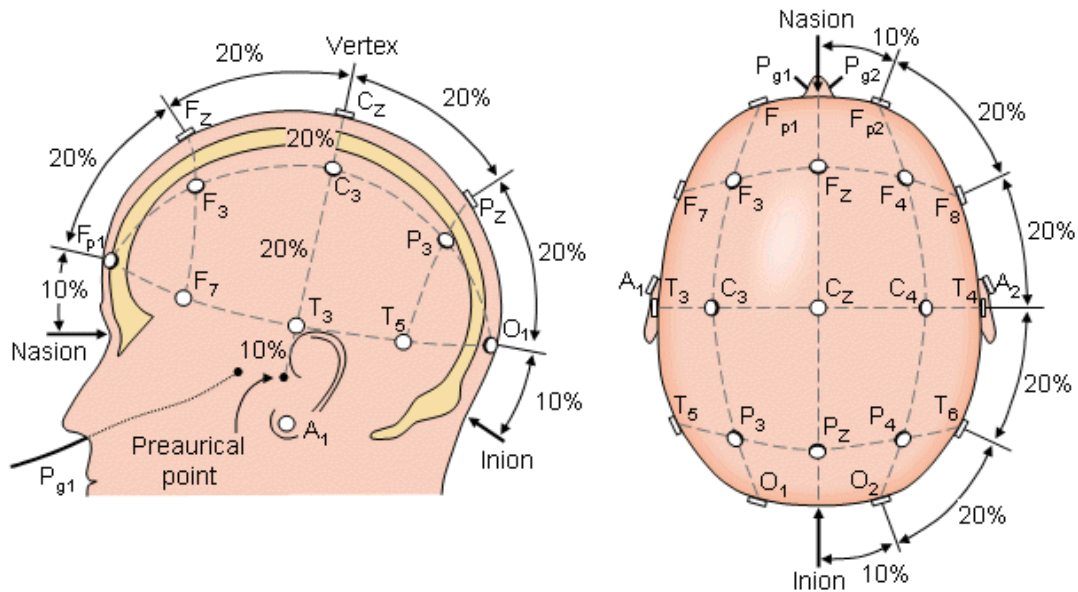
## 3.1 Η κεντρική ιδέα του πειράματος

Η ιδέα του πειράματος ξεκίνησε από την υπόθεση πως υπάρχουν νομοτελειακές λειτουργίες οι οποίες είναι κοινές για μια ομάδα ανθρώπων όσον αφορά στις νοητικές τους διεργασίες. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην παρούσα εργασία εξετάζονται οι έγκυροι συλλογισμοί και οι συλλογισμοί που προκύπτουν από την έκθεση στα παράδοξα. Επόμενο είναι λοιπόν, άνθρωποι με κοινές νομοτελειακές λειτουργίες στις παραπάνω κατηγορίες συλλογισμών να παρουσιάζουν αντίστοιχα βιολογικά σήματα με ομοιότητες. Αξιοποιώντας λοιπόν το γεγονός αυτό μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε σε ομάδες τα υποκείμενα με κριτήριο την ομοιότητα των ψηφιακών σημάτων που δίνουν. Άρα ανάλογα με την έγκυρη συλλογιστική και την κατανόηση των παραδόξων πραγματοποιείται στην παρούσα διπλωματική η προαναφερθείσα κατηγοριοποίηση καθώς και η εξαγωγή συμπεράσματος περί της συσχέτισης ή μη της Αριστοτέλειας συλλογιστικής με τους συλλογισμούς που προκύπτουν από τα παράδοξα.

## 3.2 Η σχετική πειραματική διάταξη και η καταγραφή των ERPs

Για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου πειράματος, χρησιμοποιήθηκε ένας κλωβός Faraday με στόχο την εξάλειψη των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις μετρήσεις. Τα εξωτερικά αυτά ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορεί να δημιουργούνται από κινητά τηλέφωνα, ηλεκτροκινητήρες, γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κ.α. Σημειώνεται εδώ πως η απόσβεση του μέσου πεδίου ξεπέρασε τα 30dB. Για την καταγραφή του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (HEΓ) έγινε χρήση 30 ηλεκτροδίων κρανίου (αισθητήρες μετατροπής του ρεύματος ιόντων που εμφανίζεται μέσα στο ανθρώπινο σώμα σε ρεύμα ηλεκτρονίων μέσα στα καλώδια, τα οποία στη συνέχεια το οδηγούν σε επόμενα στάδια επεξεργασίας) κατασκευασμένα από άργυρο (Ag) και χλωριούχο άργυρο (AgCl) τα οποία τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια του κεφαλιού σύμφωνα με το «παγκόσμιο 10-20 σύστημα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας» [16]. Η ονομασία του συστήματος οφείλεται στην επιλογή του 20% της απόστασης μεταξύ των δύο αυτιών ως προς τον απόσταση ανάμεσα σε δύο οποιαδήποτε ηλεκτρόδια και στην επιλογή του 10% της

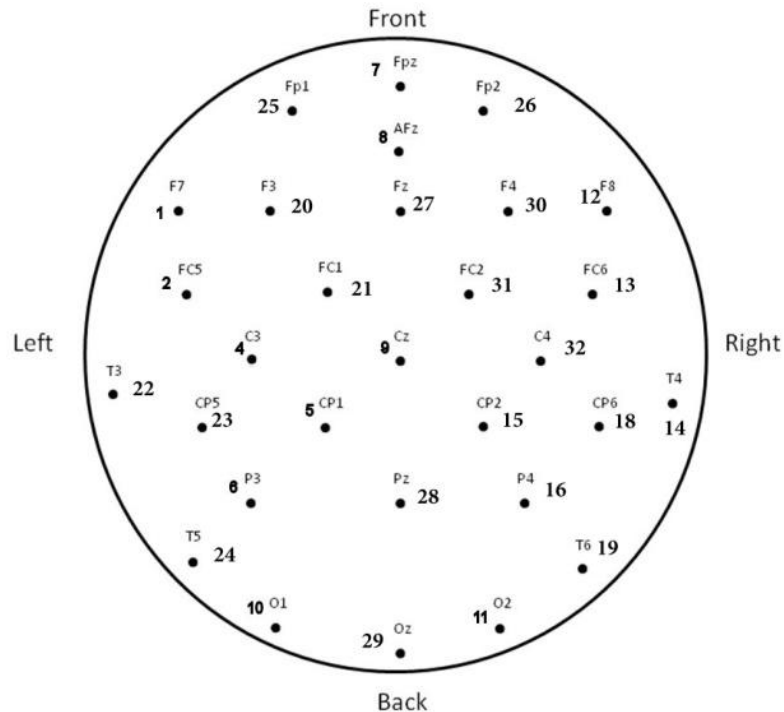
αποστάσεως μεταξύ των δύο αυτιών ως προς την απόσταση από το αυτί στο κοντινότερο προς αυτό ηλεκτρόδιο του. Κατά συνέπεια, οι θέσεις των ηλεκτροδίων προσαρμόζονται ανάλογα με τις διαστάσεις του κεφαλιού του εκάστοτε εξεταζομένου. Μια αναπαράσταση της τοποθέτησης των ηλεκτροδίων στο κεφάλι του εξεταζομένου σύμφωνα με το υπό συζήτηση σύστημα δίνει η ακόλουθη εικόνα 3.2.1.



Εικόνα 3.2.1: Αναπαράσταση τοποθέτησης ηλεκτροδίων στο κεφάλι του εξεταζόμενου σύμφωνα με το 10-20 σύστημα.

Επιπλέον, στην εικόνα 3.2.2 παρουσιάζεται σε μορφή χάρτη η διάταξη των ηλεκτροδίων αυτών. Δύο ηλεκτρόδια, συνδεδεμένα στους λοβούς των αυτιών, εξυπηρετούν στη λήψη του δυναμικού αναφοράς.

Εικόνα 3.2.2: Τοπολογικός χάρτης ERP ηλεκτροδίων πειράματος



Όσον αφορά στην καταγραφή των ERPs, αποκλείστηκαν καταγραφές με ΕΕΓ μεγαλύτερο των 75μV. Η αντίσταση των ηλεκτροδίων διατηρούταν διαρκώς σε επίπεδα μικρότερα των 5kΩ. Το εύρος συχνοτήτων των ενισχυτών είχε ορισθεί στα 0.05-35Hz, με στόχο τον αποκλεισμό παρεμβολών από το σήμα του δικτύου παροχής ενέργειας, που είναι καθορισμένο σταθερά στα 50Hz. Το πείραμα περιλάμβανε και καταγραφή της κίνησης των οφθαλμών των υποκειμένων από έναν ηλεκτρο-οφθαλμογράφο (EOG). Το προκλητό βιο-δυναμικό σήμα ψηφιοποιήθηκε με ρυθμό δειγματοληψίας 1kHz. Τα σήματα καταγράφηκαν για διάστημα 2000msec (1000 msec πριν από το πρώτο προειδοποιητικό ερέθισμα (EEG) και 1000 msec μετά από αυτό (ERP)).

Η καταγραφή των ERPs όμως, παρουσιάζει και κάποιους περιορισμούς οι οποίοι οφείλονται κατά κύριο λόγο στην κατάσταση του εξεταζόμενου. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει το ενδεχόμενο ο εξεταζόμενος να συνηθίσει/ προσαρμοστεί στα εξωτερικά ερεθίσματα με αποτέλεσμα τα προκλητά δυναμικά να μην καταγράφονται με ακρίβεια, με την έννοια ότι δε θα αναπαριστούν την πραγματική αντίδραση που θα εμφάνιζε υπό κανονικές συνθήκες το υποκείμενο στο ερέθισμα αυτό. Επίσης, μετά την πάροδο ενός χρονικού διαστήματος ο εξεταζόμενος ενδέχεται να κουραστεί ή να μην είναι επικεντρωμένος στη διαδικασία του πειράματος με αποτέλεσμα να

επηρεαστούν τα προκλητά δυναμικά τόσο σε ένταση όσο και σε χρόνο. Για αυτό τον λόγο χρειάζεται να υπάρχει κάποιος μέγιστος αριθμός επαναλήψεων πέραν των οποίων γίνεται η παραδοχή ότι οι μετρήσεις δεν είναι πλέον αξιόπιστες. Ένας τρόπος για να αποφευχθεί η εξοικείωση του εξεταζόμενου με τα πειράματα είναι να υπόκειται σε αλληπάλληλες δοκιμές που όμως υφίστανται σε απεριοδικό χρόνο. Φυσικά, θα πρέπει να γίνεται τακτικός έλεγχος της κατάστασης του εξεταζόμενου κατά την διάρκεια της διαδικασίας καταγραφής.

### 3.3 Συνοπτική περιγραφή του ερωτηματολογίου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παρούσα εργασία είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να εντοπίζονται δύο νοητικές διεργασίες, η μια σχετίζεται με τους έγκυρους συλλογισμούς και η άλλη με τους συλλογισμούς που προκύπτουν μετά από έκθεση σε παράδοξα. Για να πραγματοποιηθεί λοιπόν το πείραμα κατασκευάστηκε ένα ερωτηματολόγιο με σχετικές προτάσεις (έγκυρα του Αριστοτέλη, παράδοξα του Ζήνωνα) και ζητήθηκε από τα υποκείμενα να απαντήσουν σχετικά με την ορθότητα των προτάσεων αυτών. Παρατίθενται τα εξής δύο ενδεικτικά παραδείγματα:

- 1) Σχετικά με τους έγκυρους συλλογισμούς, δόθηκαν οι παρακάτω προτάσεις σε κάθε συμμετέχοντα: «Όλοι οι άνθρωποι είναι ζώα. Όλα τα ζώα είναι θνητά. Επομένως, όλοι οι άνθρωποι είναι θνητοί.»
- 2) Σχετικά με τους συλλογισμούς που σχετίζονται με τα παράδοξα, δόθηκαν οι παρακάτω προτάσεις σε κάθε συμμετέχοντα: «Ένα κινούμενο βέλος καταλαμβάνει μια συγκεκριμένη θέση σε κάθε στιγμή. Αλλά όταν ένα σώμα καταλαμβάνει μια συγκεκριμένη θέση, τότε είναι ακίνητο. Επομένως, το βέλος δεν μπορεί ταυτόχρονα να κινείται και να είναι ακίνητο [1].»

### 3.4 Μια περισσότερο αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας του πειράματος

Αφού επεξηγήθηκε πλήρως η πειραματική διαδικασία σε όλους τους συμμετέχοντες και μετά την πλήρη κατανόηση της από αυτούς, οι συμμετέχοντες εισήλθαν στον επίσημο χώρο του πειράματος. Στη συνέχεια, κάθισαν σε απόσταση ενός μέτρου από την οθόνη του υπολογιστή όπου θα εμφανίζονταν οι ερωτήσεις. Το δωμάτιο διεξαγωγής του πειράματος ήταν ηλεκτρομαγνητικά απομονωμένο. Πριν από την επίσημη έναρξη του πειράματος, δόθηκαν στους συμμετέχοντες οδηγίες και πραγματοποιήθηκαν ορισμένες δοκιμές στο πλαίσιο των ασκήσεων εκπαίδευσης. Στη συνέχεια, άρχισαν να εμφανίζονται στην οθόνη μία μία οι σειρές προτάσεων συνοδευόμενες από την ερώτηση «σωστό ή λάθος». Η διάρκεια εμφάνισης των

προτάσεων ήταν ευθέως ανάλογη με τον αριθμό των γραμμάτων που περιείχε, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.4.1.

Σειρά ενεργειών	Διάρκεια ενεργειών
Έγκυρη ή παράδοση πρόταση (οπτική αναπαράσταση)	Διάρκεια ανάλογη με τον αριθμό των γραμμάτων στις προτάσεις π.χ. μία πρόταση αποτελούμενη από 92 γράμματα, εμφανιζόταν για 11,04sec
καταγραφή ΕΕΓ	1000ms (κενή εικόνα)
Προειδοποιητικό ερέθισμα	100ms
Καταγραφή ERP	1sec
Επαναληπτικό προειδοποιητικό ερέθισμα	100ms
Απάντηση	Μέσα σε 5sec
Περίοδος μεταξύ ολοκλήρωσης της απάντησης και έναρξης της επόμενης σειράς προτάσεων.	4-9 sec

Πίνακας 3.4.1: Διαδοχή γεγονότων κάθε δοκιμής

Στη συνέχεια, τη θέση της σειράς των προτάσεων με την ερώτηση έπαιρνε μια κενή εικόνα στην οθόνη για ένα διάστημα 1000ms. Έπειτα, σειρά είχε ένα ηχητικό προειδοποιητικό σήμα εντάσεως 65dB, συχνότητας 500Hz και διάρκειας 100ms, ακολουθούμενο από ένα πανομοιότυπο προειδοποιητικό ερέθισμα μετά από ένα διάστημα 900ms. Στους συμμετέχοντες ζητήθηκε να απαντάνε στην ερώτηση μετά από το δεύτερο ηχητικό προειδοποιητικό ερέθισμα. Σημειώνεται εδώ πως κάθε είδος ερώτησης (έγκυρα Αριστοτέλη, παράδοξα Ζήνωνα στην προκειμένη διπλωματική) περιείχε 39 συλλογισμούς. Οι συμμετέχοντες θα έπρεπε σύμφωνα με τις οδηγίες να κρίνουν κάθε έναν από αυτούς τους συλλογισμούς ως ορθό ή λανθασμένο. Αναφέρεται επιπλέον ότι για κάθε υποκείμενο και για κάθε δοκιμή καταγράφηκε ο βαθμός εμπιστοσύνης της κρίσης του/της ως ένας αριθμός που κυμαινόταν από 0 (καθόλου σίγουρο) ως 100 (απολύτως σίγουρο). Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ένα μειονέκτημα της μεθόδου καταγραφής της εγκεφαλικής δραστηριότητας μέσω των προκλητά δυναμικά είναι πως μετά από έναν αριθμό επαναλήψεων των διαδικασιών του πειράματος, το υποκείμενο ενδέχεται να εξοικειωθεί με τις συνθήκες του πειράματος. Για την αποφυγή της εξοικείωσης αυτής, η έναρξη της εμφάνισης της επόμενης σειράς προτάσεων

κυμαινόταν από 4-9sec μετά την ολοκλήρωση της προηγούμενης προφορικής απάντησης. Στον πίνακα 3.4.1 παρουσιάζεται μια πλήρης διαδοχή των διαδικασιών της κάθε πειραματικής δοκιμής.

### 3.5 Χαρακτηριστικά του πληθυσμού στον οποίον έγινε το πείραμα

Η παρούσα εργασία είναι εγκεκριμένη από την επιτροπή δεοντολογίας του Mental Health Research Institute (UMHRI). Συνολικά στο πείραμα συμμετείχαν πενήντα ένα υποκείμενα η μέση ηλικία των οποίων ήταν 33,6 χρόνια με τυπική απόκλιση 9,1. Αφού ενημερώθηκαν πλήρως σχετικά με τη διαδικασία του πειράματος, όλοι οι συμμετέχοντες ανεξαιρέτως έδωσαν γραπτή συγκατάθεση. Σημειώνεται εδώ πως όλοι είχαν φυσιολογική όραση και κανένας δεν είχε νευρολογικό ή ψυχιατρικό ιστορικό.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ

## ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ

### ΛΗΦΘΕΝΤΩΝ ERPs ΨΗΦΙΑΚΩΝ

#### ΣΗΜΑΤΩΝ

Η καταγραφή που πραγματοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα αφορούσε κάθε ηλεκτρόδιο και κάθε ερώτηση ξεχωριστά. Συνολικά, για κάθε ερώτηση σε ένα υποκείμενο καταγράφηκαν 2000 δείγματα (εκφρασμένα σε mV) σε 2sec, που υποδεικνύει πως η περίοδος δειγματοληψίας ήταν 1msec. Πιο συγκεκριμένα, στα πρώτα 1000msec έγινε καταγραφή του EEG ενώ στα επόμενα 1000msec του ERP. Συμβολίζουμε τη συγκεκριμένη ακολουθία δεδομένων με το σύμβολο  $S_{k,q,j}^x$ , όπου με  $X$  καθορίζεται το είδος της ερώτησης (επομένως, το  $X$  παίρνει είτε την τιμή  $V$  όταν μελετάμε τους έγκυρους συλλογισμούς, "Valid reasoning", είτε την τιμή  $P$  στην περίπτωση των παραδόξων, "Paradoxes"), με  $k$  υποδηλώνεται το υπό μελέτη ηλεκτρόδιο, με  $q$  καθορίζεται ο αριθμός της ερώτησης στον οποίον βρισκόμαστε τη δεδομένη στιγμή της καταγραφής, και με  $j$  συμβολίζεται το υποκείμενο το οποίο μελετάμε. Έχοντας ως στόχο τη μείωση του σηματοθορυβικού λόγου (signal-to-noise-ratio, SNR) για το κάθε ένα από τα υποκείμενα, για κάθε ηλεκτρόδιο και για κάθε είδος ερωτήσεων ακολουθήθηκε μια τυποποιημένη διαδικασία, η οποία παρουσιάζεται ακολούθως [20]:

Α) Για να πετύχουμε εξάλειψη θορύβου παίρνουμε για κάθε ερώτηση ξεχωριστά τον μέσο όρο των τιμών του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EEG), δηλαδή των τιμών που καταγράφηκαν στα 1000 πρώτα msec πριν από την πρώτη ηχητική διέγερση. Συμβολίζουμε την υπολογιζόμενη αυτή ποσότητα ως  $\alpha_{k,q,j}^x$ .

Β) Αφαιρούμε την ως άνω ποσότητα ( $\alpha_{k,q,j}^x$ ) από την αρχικά καταγραφόμενη ακολουθία ( $S_{k,q,j}^x$ ) και λαμβάνουμε μια μεταφρασμένη εκδοχή του  $S_{k,q,j}^x$  την οποία συμβολίζουμε με τον ίδιο τρόπο. Ουσιαστικά αφαιρούμε τη dc συνιστώσα στα 1000 πρώτα msec.

Γ) Στη συνέχεια, πήραμε τη μέση τιμή της ακολουθίας  $S_{k,q,j}^x$  και για τις 39 ερωτήσεις, λαμβάνοντας έτσι τη μέση καμπύλη  $S_{k,j}^x$ .

Δ) Με όμοιο τρόπο υπολογίσαμε έπειτα τον μέσο όρο των 1000 πρώτων τιμών του  $S_{k,j}^x$  και συμβολίσαμε την ποσότητα με  $\alpha_{k,j}^x$ .

Ε) Τέλος, αφαιρέσαμε την τελευταία ποσότητα από τη μέση καμπύλη που λάβαμε στο βήμα Γ και ως αποτέλεσμα πήραμε την καμπύλη  $S_{k,j}^x$ , η οποία αποτελεί έναν μέσο όρο των ΕΕΓ των υποκειμένων για ένα συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο και για είδος ερωτήσεων ένα συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο.

ΣΤ) Αφαίρεση των τελευταίων 650ms λόγω τυχαίας αρνητικής μεταβολής (cognitive negative variation)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ

## ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ

### ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΑ ΣΗΜΑΤΑ

### ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΚΑΙ

### ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥΣ

Τα ψηφιακά σήματα που λάβαμε μετά την αρχική τους επεξεργασία, όπως αναλύθηκε παραπάνω, δεν τα κρατήσαμε ολόκληρα, αλλά μόνο ένα μέρος τους. Πιο συγκεκριμένα, θεωρώντας ως αρχή την έναρξη του πρώτου ηχητικού σήματος, κρατήσαμε ό,τι υπήρχε στο χρονικό διάστημα  $(101, 400]$ ms. Αυτό το διάστημα επελέγη για τους εξής λόγους:

Από τα πρώτα 1000ms (πριν δηλαδή την πρώτη ηχητική διέγερση) κρατήσαμε τα 100ms (θα μπορούσαμε να κρατήσουμε και τα 1000ms) τα οποία χρησιμοποιήσαμε μόνο για την αφαίρεση της dc συνιστώσας. Εκεί θεωρήσαμε μόνο φαινομενικά θορυβώδες σήμα συνήθους εγκεφαλικής λειτουργίας και όχι προκλητό σήμα. Στη συνέχεια, στο δεύτερο δευτερόλεπτο (στα επόμενα 1000ms δηλαδή) κρατήσαμε το διάστημα  $(101, 400]$ ms εφόσον θεωρήσουμε ως αρχή την έναρξη της ηχητικής διέγερσης. Τα υπόλοιπα 600ms (από 401 ως 1000ms) τα κόψαμε καθώς σε εκείνο το διάστημα εμφανίζεται ένα φαινόμενο γνωστό ως τυχαία αρνητική μεταβολή (Contingent Negative Variation ή σε συντομία CNV), το οποίο θα αναλυθεί στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου [17], [18].

Για το αποκομμένο αυτό σήμα θα χρησιμοποιήσουμε τον συμβολισμό  $R_{k,j}^x$ , όπου όπως και παραπάνω ισχύει πως το  $X$  υποδεικνύει το είδος των υπο μελέτη ερωτήσεων, το  $k$  αναφέρεται στο υπό μελέτη ηλεκτρόδιο (με εξαίρεση τα ηλεκτρόδια που είναι συνδεδεμένα στο λοβό των αυτιών), και τέλος το  $j$  δείχνει το υποκείμενο στο οποίο βρισκόμαστε τη δεδομένη στιγμή.

Σε προηγούμενο σημείο της διπλωματικής, έγινε αναφορά στην κεντρική ιδέα του πειράματος και υπογραμμίστηκε η υπόθεση πως με βάση τις νοητικές διεργασίες τους οι άνθρωποι δύναται να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τις νομοτελειακές τους λειτουργίες. Τονίσθηκε επίσης πως κάποια αντίστοιχη νομοτέλεια θα εμφανιζόταν και στη μορφή των βιολογικών σημάτων που θα λαμβάνονταν από τα υποκείμενα και άρα και στα ψηφιακά σήματα  $R_{k,j}^x$ . Υποθέτουμε λοιπόν τώρα, πως

υποκείμενα που παρουσιάζουν κοινή συλλογιστική πορεία και άρα ανήκουν στην ίδια ομάδα, θα χαρακτηρίζονται από μια κοινή ιδεατή πρότυπη καμπύλη, την  $P_{k,j}^x$ . Τα σήματα  $R_{k,j}^x$  των διαφόρων υποκειμένων παίρνουν έτσι τον ρόλο μιας «θορυβώδους» εκδοχής του  $P_{k,j}^x$ . Επιπλέον, θεωρούμε πως η παραμόρφωση του  $P_{k,j}^x$  που παράγει τα διάφορα  $R_{k,j}^x$  οφείλεται στα εξής: α) σε έναν αιτιατό και β) σε στοχαστικό θόρυβο. Η νομοτελειακή συνιστώσα της παραμόρφωσης σχετίζεται με εγκεφαλικές λειτουργίες οι οποίες δεν επηρεάζουν τη μορφή του σήματος  $P_{k,j}^x$ . Ειδικότερα, θεωρούμε ότι αυτές οι εγκεφαλικές λειτουργίες δεν εξαρτώνται από τις εξής παραμέτρους:

1. Από την ένταση / πλάτος του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος, που αντανακλά στο πλάτος του ERP.
2. Από την ταχύτητα της αντίδρασης του υποκειμένου.

Προκειμένου λοιπόν να απαλείψουμε το ρόλο των αιτιατών αυτών συνιστωσών στα αντίστοιχα ERPs, εφαρμόζουμε στα ψηφιακά σήματα των ERPs κατάλληλους μετασχηματισμούς. Παράλληλα, για τη μείωση της στοχαστικής συνιστώσας έχει αναπτυχθεί μια νέα προσέγγιση που δίνει μια καλή εκτίμηση της  $P_{k,j}^x$  καμπύλης.

Δεδομένου του γεγονότος πως περιοχές του εγκεφάλου που εμφανίζουν κοινές καμπύλες  $P_{k,j}^x$ , θα εμφανίζουν και κοινή εγκεφαλική δραστηριότητα, ακολουθείται η διαδικασία που θα περιγραφεί στο παρόν κεφάλαιο (πέντε) αλλά και στο επόμενο (έξη), για την κατηγοριοποίηση των υποκειμένων ανάλογα με την «έγκυρη συλλογιστική» τους αλλά και την «κατανόηση του παραδόξου».

Ειδικότερα, στο παρόν κεφάλαιο επιτελούνται τα εξής :

- ❖ Βήμα α: Σε κάθε ένα από τα σήματα  $R_{k,j}^x$ , που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο, εφαρμόζεται μια σειρά μετασχηματισμών με στόχο να καταστείλει τις νομοτελειακές αποκλίσεις μεταξύ των σημάτων, οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες διαφορές στις νοητικές λειτουργίες των διαφόρων υποκειμένων. Οι μετασχηματισμοί αυτοί αφορούν στην αποκατάσταση του πλάτους και στη χρονική ομοιοθεσία.
- ❖ Βήμα β: Ορίζεται μια συνάρτηση σφάλματος η οποία υποδεικνύει τον βαθμό ομοιότητας δυο καμπυλών. Φυσικά, η συνάρτηση αυτή λαμβάνει υπόψη της τους μετασχηματισμούς που εφαρμόστηκαν στο σήμα στο προηγούμενο βήμα και είναι στην ουσία ανεξάρτητη από την ενέργεια του προτύπου σήματος.
- ❖ Βήμα γ: Στο βήμα αυτό στόχο έχουμε τη δημιουργία υπο-ομάδων παρόμοιων καμπυλών. Προς αυτό έγινε βέλτιστη προσαρμογή των

καμπυλών  $R_{k,j}^x$ , χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των βημάτων α) και β). Πιο συγκεκριμένα, θέτουμε κάθε φορά ως καμπύλη αναφοράς το σήμα  $R_{k,j}^x$  ενός υποκειμένου και προσαρμόζουμε βέλτιστα σε αυτό τα ERPs όλων των υπολοίπων συμμετεχόντων, πάντα για την ίδια ομάδα ερωτήσεων X (Valid ή Paradox) και πάντα μετά την εφαρμογή των προηγούμενων δύο βημάτων. Με βάση ένα καλά επιλεγμένο κατώφλι, όσο το σφάλμα προσαρμογής έπαιρνε τιμές μικρότερες του κατωφλίου, κατατάσσαμε τις προσαρμοσμένες αυτές καμπύλες στην ίδια υπο-ομάδα  $G_{k,1,j}^x$ . Τελικά, για κάθε ένα από τα ERPs ( $R_{k,j}^x$ ) που ορίζουμε ως καμπύλη αναφοράς, παίρνουμε μια αντίστοιχη υπο-ομάδα  $G_{k,i,j}^x$  αποτελούμενη από ERPs άλλων συμμετεχόντων που ταιριάζουν βέλτιστα στην καμπύλη αναφοράς, καθώς το σφάλμα προσαρμογής τους έχει τιμή μικρότερη από την τιμή του κατωφλίου.

### 5.1 Το φαινόμενο της Τυχαίας Αρνητικής Μεταβολής (Contingent Negative Variation, CNV)

Θα ακολουθήσει εδώ μια σύντομη ανάλυση του φαινομένου του Contingent Negative Variation (CNV) σήματος. Το CNV είναι ένα αργά εξελισσόμενο προκλητό δυναμικό (event-related) αρνητικής τιμής, το οποίο καταγράφεται στην επιφάνεια του κεφαλιού και παρατηρείται με τη βοήθεια ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (HEG). Συγκεκριμένα, είναι ένα αρνητικό δυναμικό, το οποίο αντανάκλα τη διαμόρφωση του HEG σήματος κατά τη χρονική διάρκεια μεταξύ δύο διακεκριμένων ερεθισμάτων. Το πρώτο είναι το προειδοποιητικό ερέθισμα S1, το οποίο ουσιαστικά προειδοποιεί πως θα υπάρξει ένα δεύτερο ερέθισμα, το επιτακτικό ερέθισμα S2. Το CNV αποτελείται από γνωσιακά και κινησιακά συστατικά και εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της αναμονής για μία απόκριση, δηλαδή κατά την προσμονή για μια απάντηση. Με άλλα λόγια, το υπό ανάλυση σήμα πρόκειται για έναν δείκτη διέγερσης του εγκεφαλικού φλοιού κατά την αναμονή μιας απόκρισης [21]. Ωστόσο, η νευροανατομική λειτουργική του βάση δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητή. Όντως, μισό αιώνα περίπου μετά την ανακάλυψη του σήματος τυχαίας αρνητικής μεταβολής [26], δεν είναι ακόμα απολύτως ξεκάθαρη η αιτία που προκαλεί αυτό το αργά εξελισσόμενο, αρνητικής τιμής κύμα στο HEG όταν ένα άτομο αναμένει ένα γεγονός κάποιας σημασίας [22].

Από τα πρώτα χρόνια της ανάλυσής του, έχει προταθεί πως το CNV, και πιο συγκεκριμένα το πλάτος του, αντανάκλα το προσδόκιμο, ένα κίνητρο που σχετίζεται με την πρόθεση του υποκειμένου να δράσει [22] και [27]. Το πλάτος του θεωρείται ένας αυτορυθμιζόμενος εγκεφαλικός μηχανισμός που υποδεικνύει την κατάσταση της επεξεργασίας γνωσιακών ερεθισμάτων. Πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι το πλάτος του CNV σήματος αυξάνεται κατά τη διάρκεια κάποιας απαίτησης που

χρειάζεται προσοχή και μειώνεται σημαντικά με την παρουσία κάποιου ερεθίσματος που αποσπά την προσοχή [17], [28]. Στην περίπτωση του πειράματός μας δηλαδή, το πλάτος του σήματος είναι ολοένα και μεγαλύτερης τιμής όσο απομακρυνόμαστε από το προειδοποιητικό ερέθισμα (πρώτη ηχητική προειδοποίηση) και πλησιάζουμε προς το επιτακτικό ερέθισμα (δεύτερη ηχητική προειδοποίηση), καθώς τότε μεγαλώνει και η απαίτηση προσοχής, ενώ απομακρυνόμαστε χρονικά από την παρουσία του ερεθίσματος που απέσπασε την προσοχή του υποκειμένου [23]. Γενικότερα, είναι γεγονός πως το φαινόμενο του πλάτους του CNV σήματος είναι γενικού ενδιαφέροντος καθώς αντανακλά μία μεγάλη ποικιλία νευρωνικών, ψυχολογικών και νευροδιαβιβαστικών επιδράσεων της εγκεφαλικής λειτουργίας. Συμπληρωματικά αναφέρουμε την άποψη των Leifer, Otto, Hart, & Huff [29], Loveless [30], Naatanen & Merisalo [31], πως το πλάτος του CNV αντανακλά συγκεκριμένα το προσδόκιμο, την προσοχή και την προετοιμασία [24].

Εφόσον λοιπόν το CNV είναι άμεσα εξαρτώμενο από τα ερεθίσματα που προαναφέραμε, και στην ουσία σχετίζεται άμεσα με την αναμονή για το δεύτερο ερέθισμα, τίθεται το ερώτημα του τι γίνεται στην περίπτωση όπου έχουμε επανάληψη της πειραματικής διαδικασίας καταγραφής του ΗΕΓ (και άρα του CNV) στο ίδιο υποκείμενο και επομένως, αυτό να συνηθίσει εν μέρει την όλη διαδικασία. Οι Timsit-Berthier, Geronzo, and Rousseau [32] μετά την πραγματοποίηση μιας πληθώρας καταγραφών ΗΕΓ σε εθελοντές που βρίσκονταν σε φυσιολογική κατάσταση διαπίστωσαν ότι τα πλάτη των CNV σημάτων μεταβάλλονταν σημαντικά. Η διακύμανση για την ίδια συνεδρία ερμηνεύθηκε ως «εγκλιματισμός» και ακολουθήθηκε από μια σταθερή περίοδο. Η μείωση κατά 40% στην αρνητικότητα που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της συνεδρίασης υποτέθηκε ότι αντιπροσωπεύει την «εξοικείωση». Επίσης, υπήρξε μια σημαντική μείωση στο πλάτος του S1-S2 κατά την πάροδο τριών εβδομαδιαίων συνεδριάσεων. Σημειώνεται πως για τα ευρήματα μεταξύ των συνεδριών δεν προβλέφθηκαν συντελεστές συσχέτισης. Είναι φυσικά αναμενόμενο πως τα μέση πλάτη των CNV άλλαζαν ανάμεσα στις συνεδρίες. Σε γενικές γραμμές, οι καταγραφές των σημάτων αυτών χρησιμοποιούνται ως εργαλείο στην αξιολόγηση και διάγνωση νευρολογικών διαταραχών και ψυχολογικών καταστάσεων. Επομένως, καθίσταται δυνατή με την επαναπραγματοποίηση των πειραματικών καταγραφών των CNVs η σύγκριση στρατηγικών θεραπείας από άποψη αποτελεσμάτων. Ένα ερώτημα που τίθεται είναι αν αυτές οι αλλαγές στα πλάτη των CNVs κατά τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις οφείλονται σε πραγματικές μεταβολές στη λειτουργία του εγκεφάλου ή σε πιθανή αστάθεια της ίδιας της καταγραφικής διαδικασίας. Υπάρχει γενικά η άποψη ότι τα προαναφερθέντα συμπεράσματα προκύπτουν γενικότερα όταν αξιολογούνται δυναμικά συσχετιζόμενα με κάποιο γεγονός [24].

Δεδομένου ότι το CNV αναπτύσσεται μόνο όταν απαιτείται κάποια απόκριση σε ένα σχετικά προβλέψιμο χρονικό διάστημα, γίνεται εμφανές πως υπάρχει εξάρτηση από κάποια συγκεκριμένη χρονική προετοιμασία και άρα, απαιτείται η ικανότητα εκτίμησης του χρόνου. Η ικανότητα αυτή έχει συχνά ερμηνευθεί με χρήση μοντέλων χρονισμού, όπως εκείνο του βηματοδότη-συσσωρευτή [33], [34], [35], [36], [37], [38]. Δεδομένης της ομοιότητας μεταξύ του CNV και των υποτιθέμενων χαρακτηριστικών της διαδικασίας συσσώρευσης σε αυτά τα μοντέλα, έχει προταθεί ότι το CNV είναι η υπογραφή ενός νευρωνικού υποστρώματος του χρονικού συσσωρευτή [39]. Σύμφωνα με τους υποστηρικτές της άποψης αυτής έχουν πραγματοποιηθεί κάποιες εμπειρικές μελέτες, οι οποίες υποστηρίζουν την παραπάνω υπόθεση με την έννοια πως αν το πλάτος του CNV σχετίζεται με τις τιμές του χρονικού συσσωρευτή, παραλλαγές στο CNV θα έπρεπε να αντανakλώνται στη χρονική επίδοση. Το πρώτο πείραμα πραγματοποιήθηκε από τους Macar, F., Vidal, F., and Casini, L. [40], ενώ, επίσης ακολούθησε μια μελέτη- απάντηση από τους Koponowicz, T. W., and van Rijn, H. [41]. Τονίζεται πως υπήρξαν και άλλα παρόμοια πειράματα που σκοπό είχαν την ένδειξη παραλλαγών του CNV που σχετίζονται με την επίδοση, όμως δε θα γίνει περεταίρω ανάλυση τους στην παρούσα εργασία καθώς δεν αποτελεί αντικείμενό της.

Ωστόσο, αν και σταθερές, εξαρτώμενες από την επίδοση παραλλαγές του CNV θα αποτελούσαν απόδειξη της υπόθεσης πως το CNV μπορεί να αποτελεί την υπογραφή ενός νευρωνικού υποστρώματος του χρονικού συσσωρευτή, καμία από τις πραγματοποιηθείσες μελέτες δεν έδωσε κατηγορηματική απόδειξη υπέρ της άποψης αυτής. Τίθεται επομένως το ζήτημα του τι τελικά εκπροσωπεί η αρνητικότητα του CNV, αν όχι την αντανάκλαση του συσσωρευτή χρονικής πληροφορίας.

Μια επεξήγηση του φαινομένου CNV υποθέτει ότι αυτό αντανakλά την ετοιμότητα ή την προετοιμασία για την επεξεργασία ενός γεγονότος αντί της χρονικής συσσώρευσης. Σύμφωνα με την άποψη αυτή, η αυξανόμενη αρνητικότητα (η οποία οδηγεί σε μειωμένα όρια επεξεργασίας πληροφοριών) αντανakλά την προσδοκία ενός επερχόμενου και σχετικού γεγονότος. Για την υποστήριξη της άποψης αυτής έχουν παρασχεθεί δεδομένα μετά από την πραγματοποίηση έρευνας από τον Elbert σχετικής με CNV [42], καθώς και έρευνας που έκανε χρήση της fMRI μεθόδου. Μετά από μία σειρά σύγχρονων μελετών από τους Forstmann και van Maanen, [43], [44], οι οποίοι χρησιμοποίησαν παρόμοια επιχειρήματα με τον Elbert, έγινε εμφανές πως η συσσώρευση της αρνητικότητας δεν αποτελεί πηγή χρονικής πληροφορίας, αλλά συνέπεια χρονικής προετοιμασίας για ένα επερχόμενο γεγονός [22].

## 5.2 Εφαρμογή κατάλληλων μετασχηματισμών στο ERP σήμα

Αρχικά, εφαρμόζεται η μέθοδος της χρονικής ομοιοθεσίας στο σήμα  $R_{k,j}^X$  ώστε να ληφθεί υπόψη ο παράγοντας της καθυστέρησης στην απόκριση του συμμετέχοντα. Η χρονική ομοιοθεσία γενικά έχει ως εξής: σε ένα σήμα συνεχούς χρόνου  $x(t)$  ο μετασχηματισμός ορίζεται ως  $x(\lambda t)$  όπου το  $t$  αφορά τον χρόνο και το  $\lambda$  αποτελεί τον παράγοντα ομοιοθεσίας. Στην περίπτωση που το σήμα είναι ψηφιακό, έστω  $x(t_i)$ , οι τιμές μεταξύ των δειγμάτων είναι άγνωστες με επακόλουθο να είναι άγνωστο και το  $x(\lambda t_i)$ . Για να παρακάμψουμε αυτό το εμπόδιο, εφαρμόζουμε αρχικά γραμμική παρεμβολή στο σήμα με σκοπό να εξασφαλίζουμε τη συνέχειά αυτού και της πρώτης παραγώγου του στα σημεία δεδομένων.

Όσον αφορά τώρα τις διαφορές στα πλάτη των ERPs, εφαρμόζουμε τη μέθοδο της ομοιοθεσίας στον κατακόρυφο άξονα των  $\gamma$ . Με την εφαρμογή του μετασχηματισμού αυτού σε ένα σήμα  $x(t)$ , παίρνουμε ένα σήμα  $\alpha x(t)$ .

Τελικά, με την εφαρμογή και των δύο μετασχηματισμών σε ένα σήμα  $x(t)$  λαμβάνουμε ως αποτέλεσμα το σήμα  $\alpha x(\lambda t)$ .

## 5.3 Επιλογή κατάλληλου σφάλματος προσαρμογής

Για να εξάγουμε τη σχέση του σφάλματος, θεωρούμε πως έστω το σήμα  $y(t)$  είναι η καμπύλη αναφοράς και το σήμα  $x(t)$  η καμπύλη στην οποία θα εφαρμοστούν οι μετασχηματισμοί που αναλύθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Δεδομένου πως επιθυμούμε τη σύγκριση των δύο αυτών σημάτων μπορούμε να ορίσουμε την εξής συνάρτηση σφάλματος προσαρμογής :

$$\varepsilon(\alpha, \lambda) = \frac{1}{2} \frac{\int_{t_1}^{t_2} (y(t) - \alpha x(\lambda t))^2 dt}{\int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt} \quad (1)$$

Προφανώς ο παρονομαστής  $\int_{t_1}^{t_2} y^2 dt$  έχει εισαχθεί για να απαλείψουμε την εξάρτηση της τιμής του σφάλματος από την ενέργεια του προτύπου σήματος  $y(t)$ .

Η σχέση αυτή μετατρέπεται από ολοκλήρωμα σε άθροισμα στην περίπτωση που τα σήματα είναι ψηφιακά.



## 5.4 Μία πρώτη ομαδοποίηση των προκλητών δυναμικών ανά περίπτωση Αριστοτέλειας και παράδοξης λογικής

Για την ομαδοποίηση εφαρμόζεται αρχικά η μέθοδος προσαρμογής. Προσαρμόζουμε βέλτιστα τις καμπύλες  $y(t)$  και  $x(t)$  μέσω της τροποποίησης των παραγόντων ομοιοθεσίας  $\alpha^*$  και  $\lambda^*$  έτσι ώστε να μειωθεί το σφάλμα  $\varepsilon(\alpha, \lambda)$  που ορίστηκε ανωτέρω :

$$\varepsilon(\alpha, \lambda) = \frac{1}{2} \left( \frac{\int_0^{t_2-t_1} \alpha^2 x^2(\lambda(\tau + t_1)) d\tau}{\int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt} + \frac{\int_0^{t_2-t_1} y(\tau + t_1)^2 d\tau}{\int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt} \right) - \frac{\int_0^{t_2-t_1} \alpha x(\lambda(\tau + t_1)) y(\tau + t_1) d\tau}{\int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt}$$

(2)

Για τη μείωση του σφάλματος υπάρχει αναλυτική λύση η οποία προκύπτει από τον μηδενισμό της πρώτης παραγώγου (της κλίσης) της συνάρτησης του σφάλματος. Συγκεκριμένα, η τιμή  $\alpha^*$  που καθιστά σταθερό το σφάλμα  $\varepsilon(\alpha, \lambda)$  ως προς το  $\alpha$  ορίζεται ως:

$$\left. \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha} \right|_{\alpha^*} = 0 \Rightarrow$$

$$\alpha^* = \frac{\int_0^{t_2-t_1} x(\lambda(\tau + t_1)) y(\tau + t_1) d\tau}{\int_0^{t_2-t_1} x^2(\lambda(\tau + t_1)) d\tau} \quad (3)$$

Αντικαθιστώντας με  $\alpha^*$  το  $\alpha$  που υπάρχει στη συνάρτηση σφάλματος, παίρνουμε:

$$\varepsilon(\alpha^*, \lambda) = \frac{1}{2} \left( \frac{\int_0^{t_2-t_1} y(\tau + t_1)^2 d\tau}{\int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt} - \frac{\int_0^{t_2-t_1} \alpha^{*2} x^2(\lambda(\tau + t_1)) d\tau}{\int_{t_1}^{t_2} y^2(t) dt} \right) \quad (4)$$

Με όμοιο τρόπο, η τιμή  $\lambda^*$  που καθιστά σταθερό το σφάλμα  $\varepsilon(\alpha, \lambda)$  ως προς το  $\lambda$  ορίζεται ως:

$$\left. \frac{\partial \varepsilon}{\partial \lambda} \right|_{(\alpha, \lambda^*)} = 0 \Rightarrow$$

(5)

$$\frac{\alpha}{2} \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_0^{t_2-t_1} x^2(\lambda(\tau + t_1)) d\tau - \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_0^{t_2-t_1} x(\lambda(\tau + t_1)) y(\tau + t_1) d\tau = 0$$

Από τις σχέσεις (4) και (5) παίρνουμε τώρα:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \lambda} \Big|_{(\alpha^*, \lambda^*)} &= 0 \Rightarrow \\ \frac{\partial}{\partial \lambda} \alpha^* &= \frac{1}{2} \alpha^* \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_0^{t_2-t_1} x^2(\lambda(\tau + t_1)) d\tau \\ \Leftrightarrow \frac{\partial}{\partial \lambda} \alpha^{*2} &= \alpha^{*2} \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_0^{t_2-t_1} x^2(\lambda(\tau + t_1)) d\tau \end{aligned} \quad (6)$$

Προκύπτει λοιπόν ότι,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \lambda} \Big|_{(\alpha^*, \lambda^*)} &= 2\alpha^{*2} \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_0^{t_2-t_1} x^2(\lambda(\tau + t_1)) d\tau = 0 \Rightarrow \\ \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_0^{t_2-t_1} x^2(\lambda(\tau + t_1)) d\tau &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Με επέκταση της σχέσης (7) παίρνουμε:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_0^{t_2-t_1} x^2(\lambda(\tau + t_1)) d\tau &= \\ = \frac{\partial}{\partial \lambda} \int_0^{\lambda(t_2-t_1)} \frac{1}{\lambda} x^2(\tau + \lambda t_1) d\tau &= \frac{t_2-t_1}{\lambda} x^2(\lambda t_2) - \frac{1}{\lambda^2} \int_0^{\lambda(t_2-t_1)} x^2(\tau + \lambda t_1) d\tau \end{aligned} \quad (8)$$

Από τις (7) και (8) φαίνεται ότι:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \lambda} \Big|_{(\alpha^*, \lambda^*)} &= 0 \Rightarrow \\ \lambda^* &= \frac{\int_0^{\lambda(t_2-t_1)} x^2(\tau + \lambda t_1) d\tau}{(t_2 - t_1) x^2(\lambda t_2)} \end{aligned} \quad (9)$$

Για τον υπολογισμό των βέλτιστων τιμών για τους παράγοντες ομοιοθεσίας  $\lambda^*$  (time scaling) και  $\alpha^*$  (amplitude scaling) ξεκινάμε από ένα τυχαίο σημείο  $t_c = \frac{t_1+t_2}{2}$  του χρονικού πεδίου του σήματος  $X$  και κάνουμε χρήση των ακόλουθων σχέσεων:

$$\lambda^* = \frac{2T}{t_2 - t_1}, \quad (10)$$

$$\text{Όπου για το } T \text{ ισχύει: } T : \frac{1}{T} \int_{t_c-T}^{t_c+T} x^2(\tau + t_c - T) d\tau = x^2(t_c + T) \quad (11)$$

$$\alpha^* = \frac{\int_0^{t_2-t_1} x(\lambda^*(\tau + t_1)) y(\tau + t_1) d\tau}{\int_0^{t_2-t_1} x^2(\lambda^*(\tau + t_1)) d\tau} \quad (12)$$

Θεωρούμε στη συνέχεια μια από τις καμπύλες ψηφιακού σήματος  $R^x_{k,j}$  ως καμπύλη αναφοράς (όπως περιγράφηκε στα βήματα β), γ) ) και θεωρούμε όλες τις υπόλοιπες ακολουθίες ( $R^x_{k,i}$ ) πάντα για το ίδιο είδος ερωτήσεων και αναφορικά στο ίδιο ηλεκτρόδιο. Ακολουθώντας τα βήματα α),β),γ) που αναφέραμε νωρίτερα, μετασχηματίζουμε αυτές τις καμπύλες και τις προσαρμόζουμε βέλτιστα στην καμπύλη αναφοράς σύμφωνα με τα παραπάνω βήματα. Αναμένεται το προκύπτον σφάλμα να ακολουθεί την κατανομή Snedecor (F) με  $(n_\gamma-1, n_\gamma-1)$  βαθμούς ελευθερίας, όπου ο όρος  $n_\gamma$  ορίζει τον αριθμό των σημείων της ψηφιακής ERP καμπύλης  $y_i(n)$ , η οποία μετά από γραμμική παρεμβολή δίνει  $y(t)$ .

Γενικά, η παραπάνω υπόθεση συνέχισε να θεωρείται ορθή και μετά από την πραγματοποίηση του σχετικού πειράματος Kolmogorov-Smirnoff ( $\alpha=0.01$ ). Όπως έχουμε σχολιάσει και παραπάνω, θα περίμενε κανείς πως αν δύο καμπύλες αποτελούν θορυβώδεις εκδοχές της ίδιας ιδεατής καμπύλης, τότε το μεταξύ τους σφάλμα θα πρέπει να πλησιάζει το μηδέν. Με αυτή τη λογική, επιλέγουμε ως κατώφλι για το συγκεκριμένο σφάλμα το ανώτερο σημείο  $\epsilon^T$  του 5% της αριστερής ουράς της προαναφερθείσας κατανομής (Snedecor).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΕΞΑΓΩΓΗ ΙΔΕΑΤΟΥ

## ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΟΜΑΔΑ

### ΠΡΟΚΛΗΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΑΝΑ

### ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΗ

### ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ

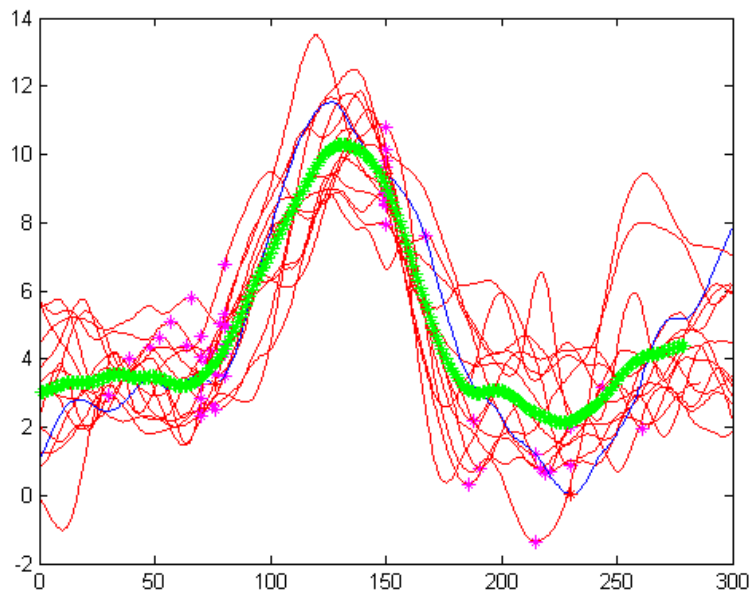
Σε συνέχεια της μεθόδου που ξεκινήσαμε να αναλύουμε στο κεφάλαιο πέντε, περιγράφουμε στο εξής κεφάλαιο τα υπόλοιπα βήματα της μεθόδου, με στόχο την κατηγοριοποίηση των υποκειμένων ανάλογα με την «έγκυρη συλλογιστική» τους αλλά και την «κατανόηση του παραδόξου». Πιο συγκεκριμένα, στο παρών κεφάλαιο πραγματοποιούνται τα εξής:

- ❖ Βήμα δ: Υπολογίζεται αρχικά ο «πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος»  $M_{k,i,j}^x$  για την κάθε υπο-ομάδα. Αυτός προκύπτει μετά από την κατάλληλη εξαγωγή της μέσης καμπύλης των βέλτιστα προσαρμοσμένων καμπυλών που απαρτίζουν την υπο-ομάδα  $G_{k,1,j}^x$ . Αυτή είναι η διαδικασία στην οποία αναφερθήκαμε παραπάνω και θα περιγράψουμε αναλυτικά παρακάτω με την οποία μειώνουμε τον στοχαστικό θόρυβο στις διάφορες εκδοχές των  $P_{k,j}^x$  με αποτέλεσμα να παίρνουμε μια καλή εκτίμηση του ιδεατού ERP σήματος της εξεταζόμενης κάθε φορά υπο-ομάδας.
- ❖ Βήμα ε: Στόχος αυτού του βήματος είναι ο τελικός προσδιορισμός των ομάδων των ERPs των υποκειμένων ανάλογα με την ομοιότητά τους.
- ❖ Βήμα στ: Στο παρών, τελικό, βήμα λαμβάνεται η απόφαση σχετικά με το αν διαφοροποιούνται ή όχι η «έγκυρη συλλογιστική» και η «συλλογιστική γύρω από τα παράδοξα».

Ακολουθεί περαιτέρω ανάλυση των βημάτων δ) ως στ) :

Αρχικά, επιλέγουμε την ομάδα εκείνη που περιέχει τις περισσότερες βέλτιστα προσαρμοσμένες καμπύλες. Συμβολίζουμε με  $Y_{k,1}^x$  την καμπύλη αναφοράς της ομάδας αυτής, όπου το  $k$  υποδεικνύει τον αριθμό του υπό μελέτη ηλεκτροδίου ενώ με το 1 αναφερόμαστε στον κύριο αριθμό της ομάδας. Επίσης, χρησιμοποιούμε το

σύμβολο  $X_{k,m,1}^x$  για να αναφερθούμε στις καμπύλες που έχουν προσαρμοστεί βέλτιστα στην  $Y_{k,1}^x$  και ανήκουν στην ομάδα αυτή (το  $m$  υποδεικνύει την εκάστοτε μετασχηματισμένη καμπύλη). Ακολουθεί ο υπολογισμός της μέσης τιμής των τιμών των  $X_{k,m,1}^y$ ,  $Y_{k,1}^y$  σε κάθε ένα από τα σημεία του διαστήματος  $(101,400]$ ms. Υπολογίζουμε με αυτόν τον τρόπο τη μέση καμπύλη  $M_{k,1}^y$ . Δεδομένου πως η υπόθεση που κάναμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, πως δηλαδή υπάρχει μια αιτιώδης διεργασία για όλα τα μέλη της ίδιας ομάδας, είναι ορθή, τότε φαίνεται αναμενόμενο πως η διαδικασία εξαγωγής της μέσης καμπύλης θα μειώσει τον συνολικό θόρυβο. Δηλαδή, η καμπύλη  $M_{k,1}^y$  αποτελεί έναν καλύτερο αντιπρόσωπο της νοητικής διεργασίας του «έγκυρου συλλογισμού» όλων των μελών της ομάδας που μελετάμε. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται στην εικόνα 6.1 που παρουσιάζεται παρακάτω.



*Εικόνα 6.1: Ο πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος ενός ERP σήματος με πολύ χαμηλή τιμή σφάλματος. Επιβεβαιώνεται η υπόθεση πως υπάρχουν νομοτελειακές λειτουργίες, κοινές για μια ομάδα ανθρώπων.*

Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε τη διαδικασία προσαρμογής, που αναφέρθηκε παραπάνω, σε όλα τα σήματα  $R_{k,j}^y$  με καμπύλη αναφοράς την  $M_{k,1}^y$  αυτή τη φορά. Χρησιμοποιώντας το ίδιο κατώφλι που περιγράφηκε στο βήμα γ) και όσο η τιμή του σφάλματος προσαρμογής είναι μικρότερη από αυτό, θεωρούμε πως οι αντίστοιχες καμπύλες ανήκουν στην ίδια ομάδα. Παίρνουμε με αυτόν τον τρόπο την τελική και πιο ασφαλή εκτίμηση της ομάδας  $G_{k,1}^x$ . Από το σύνολο των πενήντα-ένα καμπυλών  $R_{k,j}^y$ , αφαιρούμε αυτές που ανήκουν στην ομάδα  $G_{k,1}^x$ .

Ακολουθώντας, από τις ομάδες που είχαμε υπολογίσει στο βήμα γ) , επιλέγουμε εκείνη την ομάδα που συνδυάζει τα εξής χαρακτηριστικά : Είναι η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη ομάδα όσον αφορά το πλήθος των στοιχείων της και παράλληλα παρουσιάζει τη μικρότερη επικάλυψη με τα στοιχεία που μόλις αφαιρέσαμε. Σε αυτήν την ομάδα έχουμε τα εξής:  $Y_{k,2}^x$  είναι η καμπύλη αναφοράς , με  $X_{k,m,2}^x$  αναφερόμαστε σε όλες τις καμπύλες που ανήκουν στη δεύτερη ομάδα , σε αυτές δηλαδή που έχουν προσαρμοστεί βέλτιστα στην καμπύλη αναφοράς. Ακολουθεί με παρόμοιο τρόπο ο υπολογισμός της μέσης καμπύλης  $M_{k,2}^V$  (ως η μέση τιμή των  $Y_{k,2}^x$  ,  $X_{k,m,2}^x$  σε κάθε ένα από τα σημεία του διαστήματος (101,400] ) η οποία καμπύλη θα παίξει το ρόλο της καμπύλης αναφοράς στο βήμα αυτό. Έπειτα, εφαρμόζουμε στα σήματα  $R_{k,j}^V$  (εκτός αυτών που μπήκαν στην πρώτη ομάδα) τη διαδικασία βέλτιστης προσαρμογής με αναφορά την  $M_{k,2}^V$  . Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργείται η ομάδα  $G_{k,2}^x$  . Με όμοιο τρόπο αφαιρούμε από τις προηγούμενες καμπύλες  $R_{k,j}^V$  , αυτές που πλέον ανήκουν στη δεύτερη τελική ομάδα.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου να μη μείνει καμία καμπύλη  $R_{k,j}^V$  εκτός ομάδας, ακόμα και αν κάποια αποτελεί το μοναδικό στοιχείο της ομάδας της.

Μετά από αυτή τη διαδικασία καταλήγουμε με έναν μικρό αριθμό ομάδων  $G_{k,i}^x$  , για κάθε μια από τις εγκεφαλικές λειτουργίες  $X$  (έγκυρα, παράδοξα). Τονίζεται εδώ πως ο δείκτης  $i$  υποδεικνύει τον αριθμό της κάθε μιας ομάδας και όχι τον αριθμό του υπο εξέταση υποκειμένου , όπως συνέβαινε παραπάνω με τον δείκτη  $j$ . Με το επόμενο παράδειγμα αυτό θα γίνει περισσότερο κατανοητό. Έστω ότι εξετάζουμε την «έγκυρη συλλογιστική» και ότι το  $j$  (ο αριθμός του συμμετέχοντα που μελετάμε) παίρνει τιμές από 1 ως 45 και έστω ότι μετά τη συμπλήρωση των πέντε βημάτων έχουν προκύψει 6 ομάδες , αυτό σημαίνει ότι το  $i$  παίρνει τιμές από 1 ως 6.

Για κάθε ομάδα  $G_{k,i}^x$  επιλέγουμε τον πιθανό ιδεατό αντιπρόσωπο που δίνει το μικρότερο συνολικά σφάλμα προσαρμογής ανά δείγμα. Ο επιλεγθής πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος θα παίξει το ρόλο του ιδεατού αντιπροσώπου στην υπό εξέταση ομάδα  $G_{k,i}^x$  και τον συμβολίζουμε ως  $P_{k,i}^x$  .

Πλέον βρισκόμαστε στο τελικό στάδιο της συνολικής διαδικασίας όπου θα λάβουμε την απόφαση σχετικά με το αν οι νοητικές διεργασίες στις οποίες υπόκεινται οι άνθρωποι διαφέρουν ανάλογα με το είδος του συλλογισμού (έγκυρος ή παράδοξος). Για να το πετύχουμε αυτό, ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

Αρχικά, αποδίδουμε σε κάθε υποκείμενο ξεχωριστά τον ιδεατό αντιπρόσωπο της ομάδας των έγκυρων συλλογισμών ( $P_{k,i}^V$  ) και της ομάδας των συλλογισμών γύρω από τα παράδοξα ( $P_{k,i}^P$  ) στην οποία ανήκει το υποκείμενο. Στη συνέχεια κάνουμε την υπόθεση πως η σύγκριση των διαφορών των εγκεφαλικών λειτουργιών ( $V$  &  $P$ )

αντανακλά στην διαφορά των ιδεατών αντιπροσώπων ( $P_{k,i}^V$  και  $P_{k,i}^P$ ), όπου η σύγκριση των δύο αυτών καμπυλών γίνεται με τον ίδιο τρόπο που παρουσιάστηκε στα δύο πρώτα βήματα. Τελικά, η απόφαση περί της πιθανής διαφοράς μεταξύ της «έγκυρης συλλογιστικής» και της «παράδοξης κατανόησης», όσον αφορά το συγκεκριμένο υποκείμενο και το συγκεκριμένο ηλεκτρόδιο, θα ληφθεί μετά από την αξιοποίηση στατιστικών κριτηρίων που θα αναλυθούν παρακάτω.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ

## ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΙΔΕΑΤΩΝ

### ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΩΝ ΣΤΗΝ «ΕΓΚΥΡΗ

### ΣΥΛΛΟΓΙΣΤΙΚΗ» ΚΑΙ ΣΤΗ

### «ΣΥΛΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ

### ΣΤΑ ΠΑΡΑΔΟΞΑ»

Για κάθε ένα ηλεκτρόδιο ξεχωριστά, εφαρμόστηκαν στατιστικές δοκιμές, με σκοπό να ελέγξουν τις πιθανές στατιστικές διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ της εγκεφαλικής διεργασίας που λαμβάνει χώρα στην Αριστοτέλεια έγκυρη συλλογιστική και της εγκεφαλικής διεργασίας μετά από την έκθεση σε παράδοξα που εξέφρασε ο Ζήνων ο Ελεάτης. Αυτές οι στατιστικές δοκιμές έχουν ως εξής:

#### Βήμα στ:

- i) Θεωρούμε έστω το τυχαίο υποκείμενο A1 και υποθέτουμε πως το σήμα ERP του υποκειμένου που λάβαμε από το ηλεκτρόδιο k , αναφορικά με την «έγκυρη συλλογιστική» , έχει ενταχθεί στην ομάδα m με ιδεατό αντιπρόσωπο  $P_{k,m}^V$ . Υποθέτουμε ακόμη, ότι το ίδιο υποκείμενο, στο ίδιο ηλεκτρόδιο αλλά αναφορικά με τα «παράδοξα» , έχει ενταχθεί στην ομάδα n, με ιδεατό αντιπρόσωπο την ψηφιακή καμπύλη  $P_{k,n}^P$ .
  
- ii) Στη συνέχεια, ορίζουμε ένα μέτρο διαφοροποίησης των προαναφερθέντων εγκεφαλικών λειτουργιών για το υποκείμενο A1, ως μια καλά ορισμένη απόσταση των δύο ψηφιακών καμπυλών  $P_{k,m}^V$  και  $P_{k,n}^P$ .  
Ορίζουμε τον έναν από τους δύο ιδεατούς αντιπροσώπους να είναι η πρότυπη καμπύλη, με την δεύτερη να προσαρμόζεται στην πρότυπη. Η διαδικασία προσαρμογής είναι η ίδια που αναφέραμε παραπάνω, στα βήματα β) , γ) . Σημειώνεται πως για λόγους απλότητας θα γίνει χρήση των ίδιων συμβολισμών ( $P_{k,m}^V$  και  $P_{k,n}^P$  ) και για τις βέλτιστα προσαρμοσμένες καμπύλες.



Ακολουθως, επιλέγουμε ένα τυχαίο σημείο του κοινού πεδίου των βέλτιστα προσαρμοσμένων καμπυλών  $P_{k,m}^V$  και  $P_{k,n}^P$ , έστω το σημείο  $i$ , και σε αυτό το σημείο υπολογίζουμε την προσημασμένη διαφορά των τιμών των δύο καμπυλών ( $d_i$ ). Υπολογίζονται στη συνέχεια η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των προσημασμένων διαφορών που προκύπτουν από ένα πλήθος έστω  $N_1$  σημείων του κοινού πεδίου των προς εξέταση καμπυλών:

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} d_i}{N_1} \quad (13)$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_1} (d_i - \mu_1)^2}{(N_1 - 1)}} \quad (14)$$

Ως αποτέλεσμα αυτών παίρνουμε την ακόλουθη ποσότητα:

$$t_1 = \frac{\mu_1 - \Delta_k^{V,P}}{S_1 / \sqrt{N_1}} \quad (15)$$

με το  $\Delta_k^{V,P}$  να είναι η θεωρητική μέση τιμή των διαφορών των ιδεατών αντιπροσώπων των ομάδων  $m$  και  $n$ , για την έγκυρη και την παράδοξη συλλογιστική αντίστοιχα, στις οποίες ανήκει το υποκείμενο για το υπό μελέτη ηλεκτρόδιο  $k$ .

- iii) Κάνουμε τώρα τη εύλογη υπόθεση πως αν οι ιδεατοί αντιπρόσωποι  $P_{k,m}^V$  και  $P_{k,n}^P$  διαφέρουν σημαντικά, τότε θα μπορούσε κανείς να υποθέσει πως και οι βαθύτερες εγκεφαλικές λειτουργίες που σχετίζονται με την έγκυρη συλλογιστική και τα παράδοξα διαφέρουν εξίσου. Αντίστοιχα, αν αυτές οι δύο ψηφιακές καμπύλες δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές, τότε θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί πως τα ERPs δεν αντανακλούν διαφορές στις ενδότερες ψυχικές διαδικασίες, όσον αφορά τουλάχιστον το υπό μελέτη ηλεκτρόδιο  $k$ .
- iv) Ακολουθεί εδώ μια ποσοτικοποίηση των παρατηρήσεων και των υποθέσεων που υπογραμμίστηκαν στο iii): Αρχικά, όπως φαίνεται και από τους τύπους που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω, κάναμε την υπόθεση πως οι προσημασμένες διαφορές  $d_i$  που ορίστηκαν στο ii) ακολουθούν κανονική κατανομή. Αυτή η υπόθεση έχει επαληθευθεί με εφαρμογή των δοκιμών (test) των Kolmogorov-

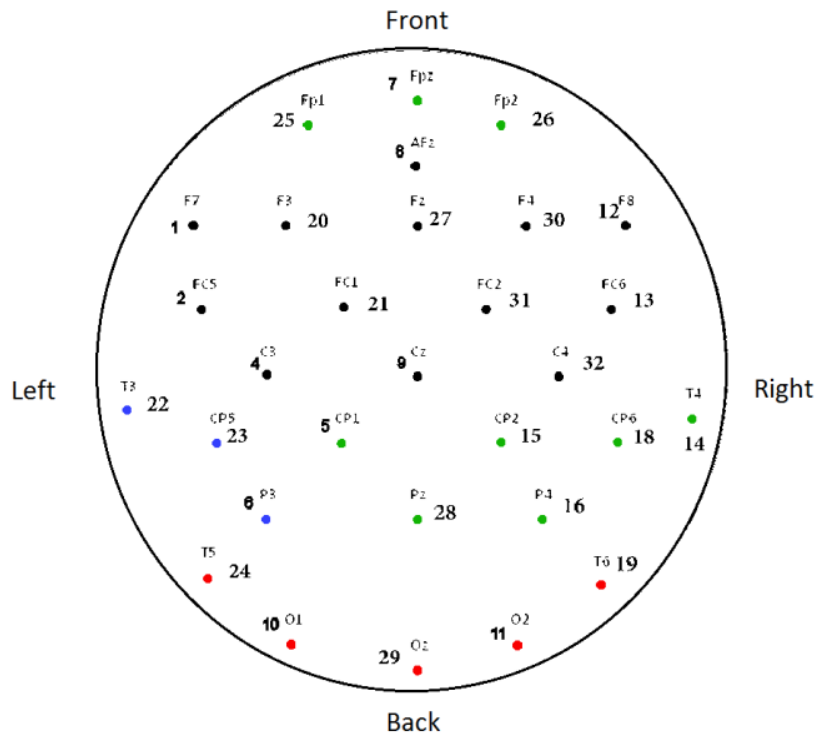
Smirnov ( $\alpha=0.01$ ). Η ποσότητα  $t_1$  που ορίστηκε στο βήμα iii) ακολουθεί την κατανομή Student ή δεδομένου πως το  $N_1$  είναι σχετικά μεγάλης τιμής, η  $t_1$  θα ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή με πολύ καλή ακρίβεια.

Επιπλέον, κάνουμε την υπόθεση  $H_0$  ότι αν οι δύο εγκεφαλικές διεργασίες («έγκυρη συλλογιστική» και «παράδοξα») δεν παράγουν διαφορές στους αντίστοιχους ιδεατούς αντιπροσώπους, τότε  $\Delta_k^{V,P} = 0$ . Με αυτόν τον τρόπο η τιμή της ποσότητας  $t_1$  είναι καλά ορισμένη και ως επακόλουθο, η εγκυρότητα της υπόθεσης  $H_0$  μπορεί να ελεγχθεί άμεσα, όσον αφορά το υποκείμενο  $A_1$  και το ηλεκτρόδιο  $k$  πάντα.

ν) Επαναλαμβάνουμε την ανωτέρω διαδικασία για όλα τα υποκείμενα και για όλα τα ηλεκτρόδια. Για το κάθε ένα ηλεκτρόδιο ξεχωριστά εφαρμόζουμε τη θεωρία γύρω από το Bonferroni test και τη γεωμετρική κατανομή, με σκοπό να αποφασίσουμε αν οι ιδεατοί αντιπρόσωποι των διαφόρων ομάδων παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Σημειώνεται εδώ πως εφαρμογή της μεθόδου σε 45 υποκείμενα, τα οποία εκτέθηκαν σε έγκυρους και παράδοξους συλλογισμούς, έδειξε πως σε συγκεκριμένο αριθμό ηλεκτροδίων παρουσιάστηκαν σημαντικές στατιστικές διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, και όπως παρουσιάζεται και στον χάρτη της εικόνας 7.1, εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα εξής:

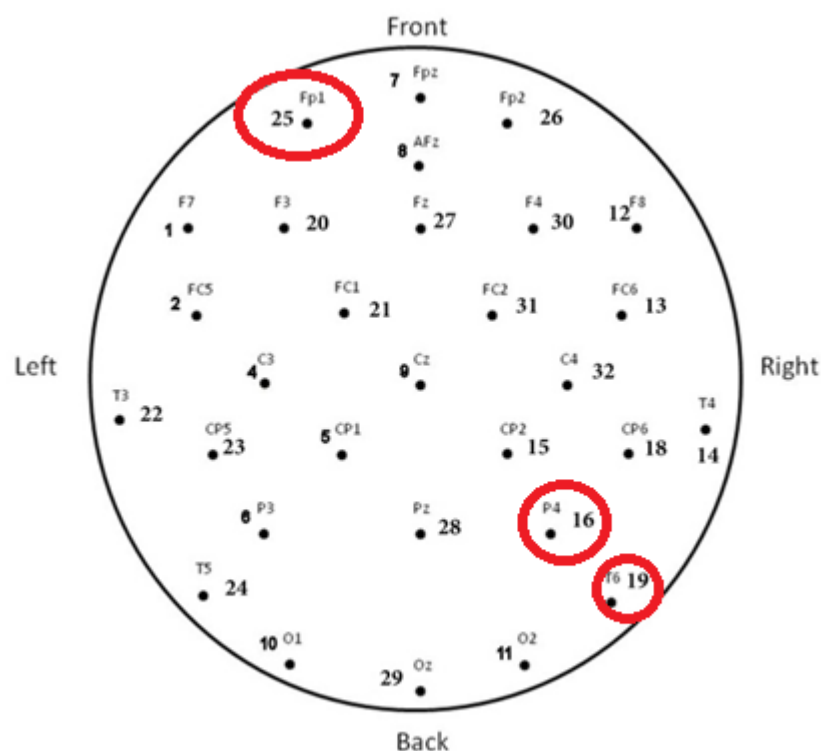
- 5 ηλεκτρόδια με 99% επίπεδο εμπιστοσύνης απεικονίζονται με κόκκινο
- 14 ηλεκτρόδια με 95% επίπεδο εμπιστοσύνης απεικονίζονται με πράσινο
- 17 ηλεκτρόδια με 90% επίπεδο εμπιστοσύνης παρουσιάζονται με μπλε



*Εικόνα 7.1 : Χάρτης όπου απεικονίζονται τα ηλεκτρόδια στα οποία με τη συγκεκριμένη μέθοδο παρουσιάζονται σημαντικές στατιστικές διαφορές μεταξύ των ιδεατών αντιπροσώπων που αντιστοιχούν στις ενδόψυχες διαδικασίες των «έγκυρων συλλογισμών» και των «παραδόξων». Τα ηλεκτρόδια στα οποία οι διαφορές αυτές βρέθηκαν με 99% επίπεδο εμπιστοσύνης παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα. Αυτά με 95% επίπεδο εμπιστοσύνης απεικονίζονται με πράσινο και αυτά με 90% με μπλε χρώμα.*

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΕΝΑ ΠΛΗΘΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ

Για την επίδειξη των πειραμάτων θα χρησιμοποιήσουμε τα ηλεκτρόδια που φαίνονται με κόκκινο κύκλο στο παρακάτω τοπολογικό χάρτη ηλεκτροδίων:



*Εικόνα 8.1: Τοπολογικός χάρτης ηλεκτροδίων με σημειωμένα τα ηλεκτρόδια ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας.*

Παρατηρούμε πως στον χάρτη παρουσιάζονται τα διάφορα ηλεκτρόδια τόσο με ονόματα (πχ: Fp1, CP2.. κτλ) που προκύπτουν από το σύστημα 10-20 όσο και με τους αντίστοιχους αριθμούς (25 και 15 αντίστοιχα) όπως προκύπτουν από τον παρακάτω πίνακα:

Channel	Electrode	Column1
1	F7	
2	FC5	
3	A1	eye1
4	C3	
5	CP1	
6	P3	
7	FPZ	
8	AFZ	
9	CZ	
10	O1	
11	O2	
12	F8	
13	FC6	
14	T4	
15	CP2	
16	P4	
17	A2	eye2
18	CP6	
19	T6	
20	F3	
21	FC1	
22	T3	
23	CP5	
24	T5	
25	FP1	
26	FP2	
27	FZ	
28	PZ	
29	OZ	
30	F4	
31	FC2	
32	C4	

*Πίνακας 8.1: Αντιστοιχία ονομάτων και αριθμών ηλεκτροδίων σύμφωνα με το σύστημα 10-20*

Η επιλογή των συγκεκριμένων ηλεκτροδίων δεν ήταν τυχαία καθώς σκοπό έχει να δείξει τη σχέση των αποτελεσμάτων μεταξύ δύο γειτονικών ηλεκτροδίων, αλλά και μεταξύ ηλεκτροδίων που βρίσκονται τοποθετημένα σε πολύ απομακρυσμένες μεταξύ τους περιοχές (εκ διαμέτρου αντίθετα τοποθετημένα).

Προχωρούμε την ανάλυση με το ηλεκτρόδιο Fr1 που αντιστοιχεί στο ηλεκτρόδιο με τον αριθμό k=25. Σκοπός μας, σε κάθε ένα από τα δύο είδη ερωτήσεων που αναλύουμε, είναι να μελετήσουμε σε πρώτη φάση τις υπο-ομάδες και τους «πιθανούς ιδεατούς αντιπροσώπους» που δίνουν τα υποκείμενα που συμμετείχαν στην πειραματική διαδικασία, όταν δηλαδή το κάθε ένα από αυτά είναι το υποκείμενο αναφοράς, και στη συνέχεια να μελετήσουμε τους ιδεατούς αντιπροσώπους που δίνει η κάθε μία από τις κύριες ομάδες που προκύπτουν από το ηλεκτρόδιο αυτό. Στη συνέχεια, με δεδομένα τα αποτελέσματα αυτά θα βγάλουμε συμπεράσματα περί των ομοιοτήτων ή διαφορών των δεδομένων μας.

Ακολούθως, θα παρουσιαστεί η ανάλυση κάποιων επιλεγμένων υποκειμένων του ηλεκτροδίου Fr1, ενώ φυσικά κατά τη διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας αναλύθηκαν (και τρέξαμε στο πρόγραμμα) και τα 51 υποκείμενα. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στις έγκυρες ερωτήσεις, θα αναφερθούμε στα υποκείμενα: 20, 33, 42, 1. Ο λόγος που επιλέξαμε τα συγκεκριμένα υποκείμενα δεν είναι τυχαίος, καθώς στόχος μας είναι να μελετήσουμε υποκείμενα που ανήκουν στην ίδια κύρια ομάδα (και να δείξουμε γιατί όντως ανήκουν στην ίδια ομάδα) αλλά και υποκείμενα που ανήκουν σε κάποια άλλη κύρια ομάδα, διαφορετική από την πρώτη που θα αναλύσουμε (και να δείξουμε γιατί ανήκουν σε διαφορετική ομάδα από τα προηγούμενα υποκείμενα, αλλά σε ίδια μεταξύ τους ομάδα). Στην προκειμένη περίπτωση, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, τα υποκείμενα 20, 33 σχηματίζουν μια κύρια ομάδα ενώ τα υποκείμενα 42, 1 μια άλλη.

Ξεκινώντας λοιπόν με την περίπτωση των valid (έγκυρων) ερωτήσεων και σε αντιστοιχία με τα όσα είπαμε παραπάνω θα βάλουμε στον κώδικα την τιμή kk=25 υποδεικνύοντας το εικοστό πέμπτο ηλεκτρόδιο, η μεταβλητή kampyli\_anaforas (το ERP του υποκειμένου) αντιπροσωπεύει την καμπύλη αναφοράς και τις θέτουμε την τιμή 20 καθώς το εικοστό υποκείμενο είναι μεταξύ αυτών που όπως είπαμε θα μελετήσουμε, και τέλος, όπου απαιτείται στο πρόγραμμα βάζουμε valid.

```
close all;
clear all;

kato_orio_lamda=0.93;
ano_orio_lamda=1.07;
bima_lamda=0.001;
mikos_plaisiou=30;
vima_overlap=10;
anw_fragma_kampylis=300;

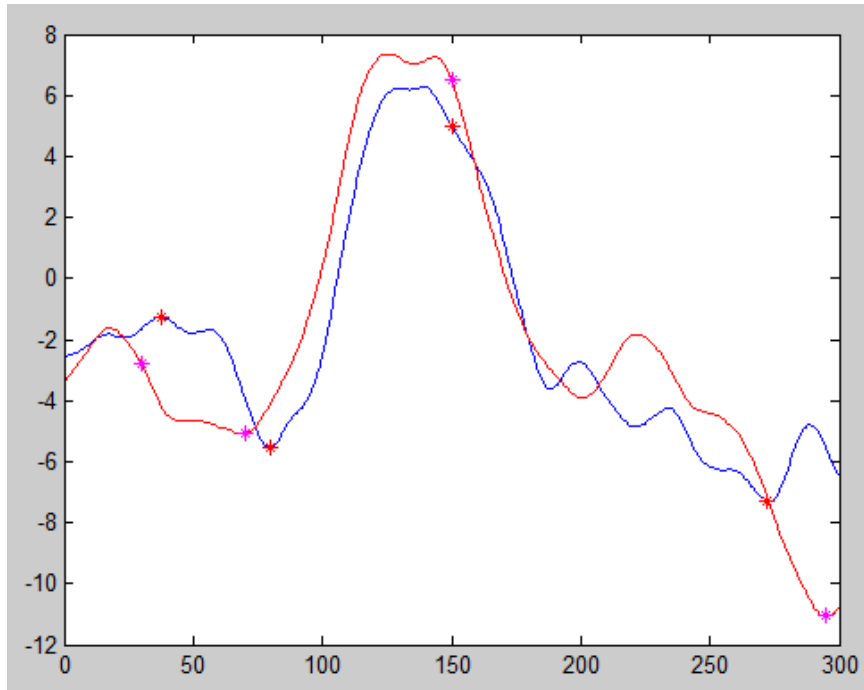
kk=25; %ο αριθμος των ηλεκτροδιων
katwfli=3.95; %Katwfli omoiotitas gia paragwgi platonikou
kampyli_anaforas =20;
```

Και για παράδειγμα:

```
load meses_kampiles01_true;
mesi_kampili_valid_01=mesi_kampili_valid;
load meses_kampiles02_true;
mesi_kampili_valid_02=mesi_kampili_valid;
load meses_kampiles03_true;
mesi_kampili_valid_03=mesi_kampili_valid;
load meses_kampiles04_true;
mesi_kampili_valid_04=mesi_kampili_valid;
load meses_kampiles05_true;
mesi_kampili_valid_05=mesi_kampili_valid;
```

Ακολούθως θα υπολογιστεί ο «πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος»  $M_{k,i,j}^x$  για την κάθε υπο-ομάδα. Αυτός προκύπτει μετά από την κατάλληλη εξαγωγή της μέσης καμπύλης των βέλτιστα προσαρμοσμένων καμπυλών που απαρτίζουν την υπο-ομάδα  $G_{k,1,j}^x$ .

Τρέχουμε λοιπόν το πρόγραμμα που είναι γραμμένο στο περιβάλλον Matlab και λαμβάνουμε τις ακόλουθες εικόνες μέχρι να καταλήξουμε τελικά στον «πιθανό ιδεατό αντιπρόσωπο»  $M_{k,i,j}^x$ . Σημειώνεται εδώ πως κάθε φορά με μπλε χρώμα απεικονίζεται η καμπύλη αναφοράς (στην προκειμένη περίπτωση το ERP του εικοστού υποκειμένου), ενώ με κόκκινο απεικονίζεται το ERP του εκάστοτε υποκειμένου που ανήκει στην ομάδα του υποκειμένου αναφοράς. Τέλος, με πράσινο χρώμα θα απεικονιστεί στη συνέχεια η καμπύλη του πιθανού ιδεατού αντιπροσώπου.



Εικόνα 8.2: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=20$  (μπλε καμπύλη) (καμπύλη αναφοράς) και  $j=21$  (κόκκινη καμπύλη).

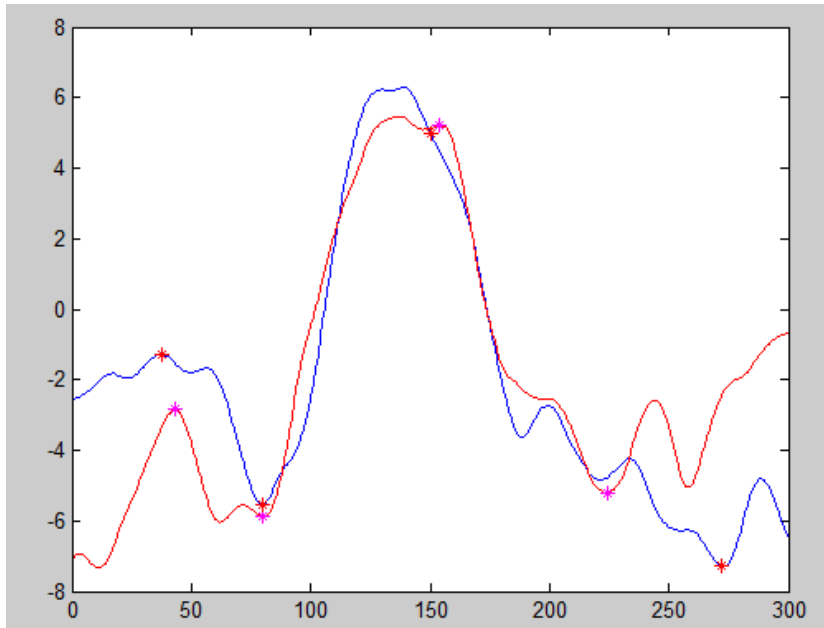
Τα στοιχεία της καμπύλης αυτής παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
21	3,0048

Τα αποτελέσματα θα παρουσιάζονται με αύξουσα σειρά της τιμής του σφάλματος προσαρμογής. Αυτό σημαίνει πως η παραπάνω καμπύλη που εμφανίστηκε πρώτη έχει και το μικρότερο σφάλμα και άρα είναι η «βέλτιστα» προσαρμοσμένη καμπύλη.

Συνεχίζοντας την ανάλυση, το πρόγραμμα δίνει την επόμενη εικόνα:

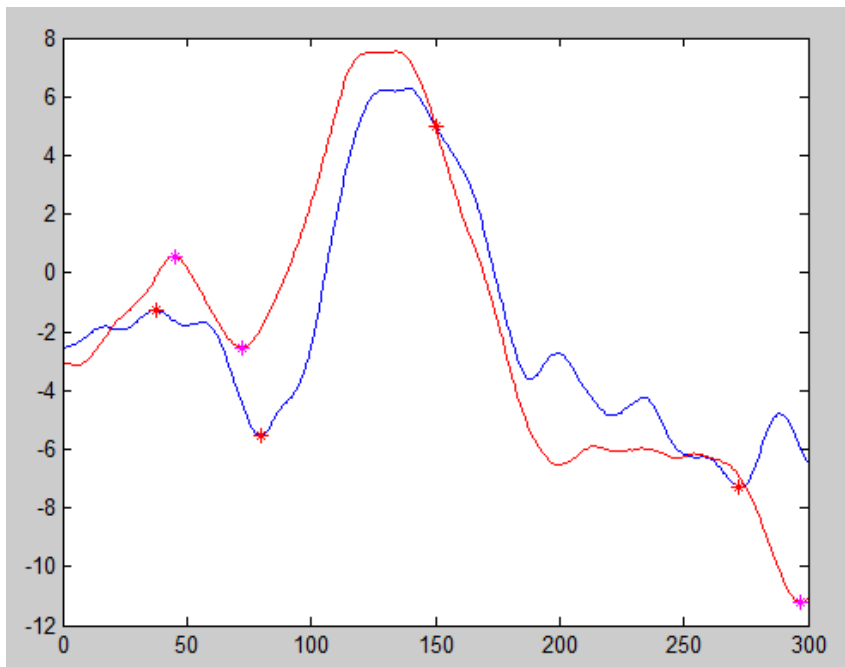




Εικόνα 8.3: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=20$  (μπλε καμπύλη) και  $j=29$ (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
29	3,1312

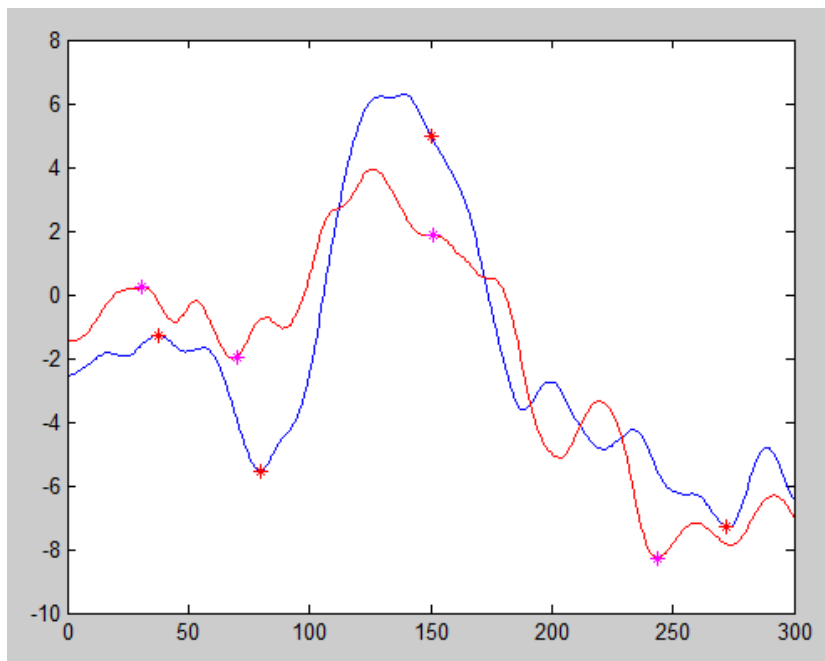
Όπου παρατηρούμε πως η τιμή του σφάλματος αυξήθηκε σε μικρό βαθμό συγκριτικά με την προηγούμενη.



Εικόνα 8.3: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=20$  (μπλε καμπύλη) και  $j=10$ (κόκκινη καμπύλη).

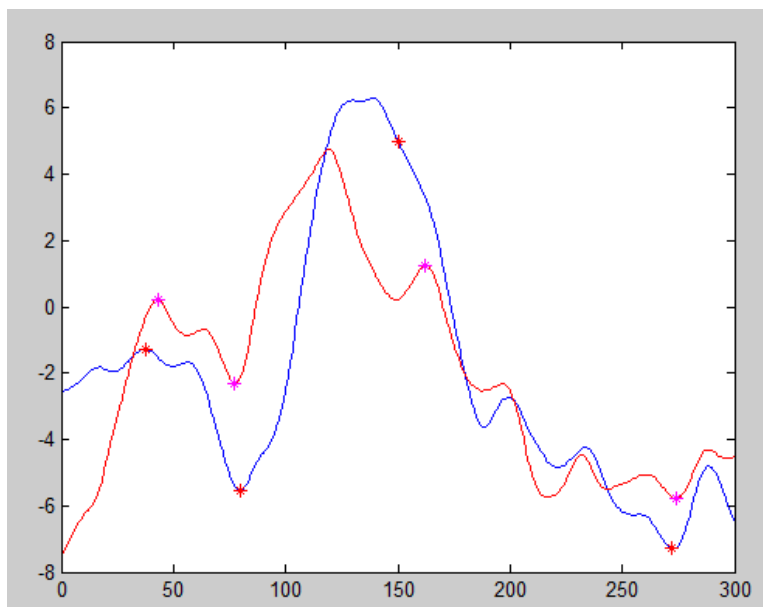
Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
10	3,3286

Συνεχίζοντας:



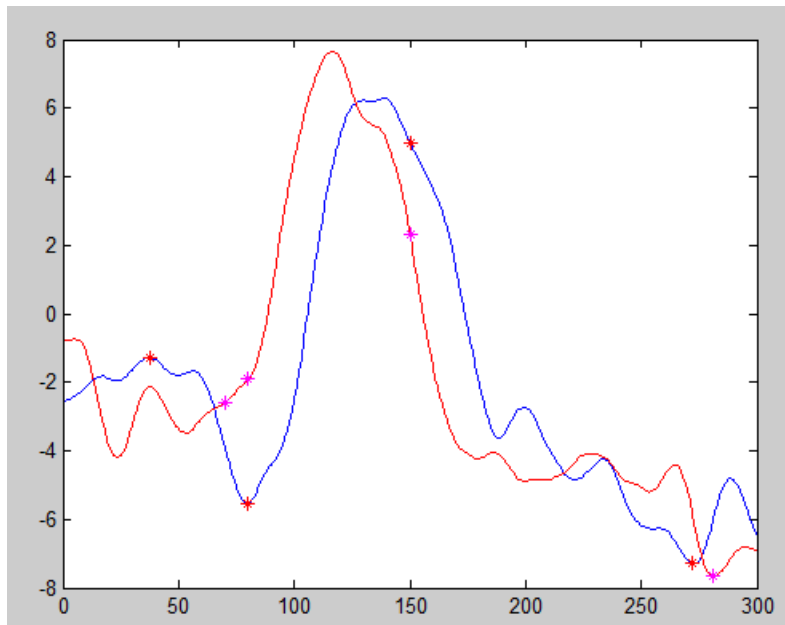
Εικόνα 8.4: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=20$  (μπλε καμπύλη) και  $j=30$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
30	3,4448



Εικόνα 8.5: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=20$  (μπλε καμπύλη) και  $j=17$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
17	3,5806

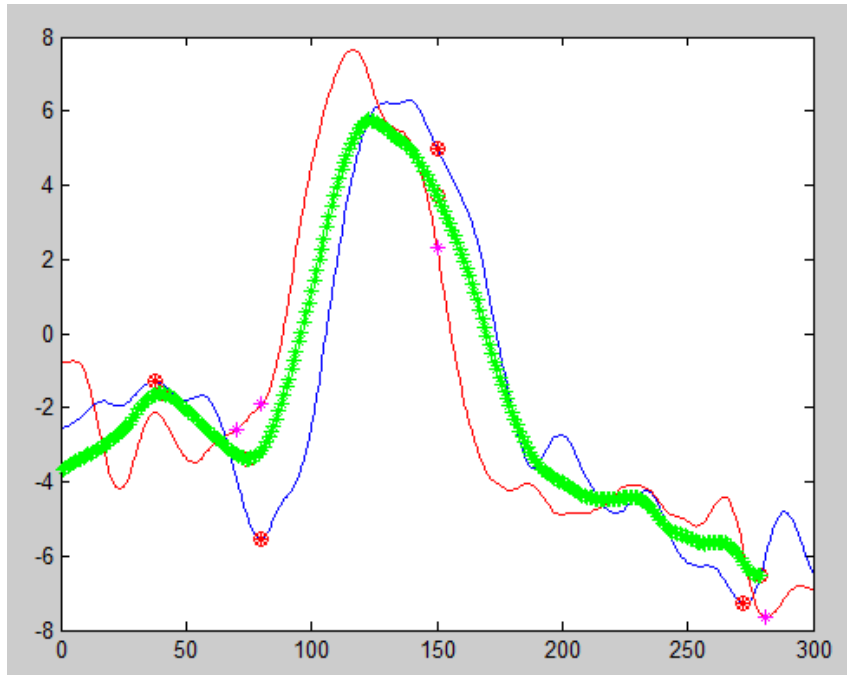


Εικόνα 8.6: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=20$  (μπλε καμπύλη) και  $j=33$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
33	3,9464

Παρατηρούμε πως η καμπύλη του εκάστοτε υποκειμένου δεν εμφανίζει μεγάλες αποκλίσεις από την καμπύλη αναφοράς, γεγονός που αναμέναμε καθώς ανήκουν στην ίδια υπο-ομάδα.

Τελικά, το πρόγραμμα κατασκευάζει τον μέσο όρο των καμπυλών που συγκρίθηκαν με την καμπύλη αναφοράς (μαζί και με την καμπύλη αναφοράς) και μας δίνει τον πιθανό «ιδεατό αντιπρόσωπο» της συγκεκριμένης υπό – ομάδας (ο οποίος κάθε φορά θα απεικονίζεται πάνω στην καμπύλη του τελευταίου υποκειμένου που ανήκει στην ομάδα):



Εικόνα 8.7: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 20, απεικονιζόμενος στην προηγούμενη εικόνα.

Παρατηρούμε πως ο πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος της ομάδας παρουσιάζει, όπως αναμέναμε, πολλές ομοιότητες με την καμπύλη αναφοράς, και συνεπώς και με τις καμπύλες των υποκειμένων που ανήκουν στην υπό εξέταση υπο-ομάδα.

Συνοπτικά, ο πίνακας συσχετισμένων, δηλαδή ο πίνακας που περιέχει τα στοιχεία της υπο-ομάδας μαζί με τα σφάλματα τους δίνεται ακολούθως:

j	σφάλμα
20	
21	3,004795
29	3,131161
10	3,328627
30	3,444764
17	3,580602
33	3,946377

Όπου φυσικά φαίνεται πως τα σφάλματα αυξάνουν μέχρι το σημείο που να μην υπερβαίνουν την τιμή του σφάλματος κατωφλίου : `katwfli=3.95; %Katwfli omoiotitas gia paragwgi platonikou`

Συνεχίζουμε τώρα την ανάλυση μας με το επόμενο υπό ανάλυση υποκείμενο, το τριακοστό τρίτο (33). Το μόνο που αλλάζει στο πρόγραμμα είναι πως βάζουμε στην μεταβλητή `kampyli_anaforas` την τιμή 33:

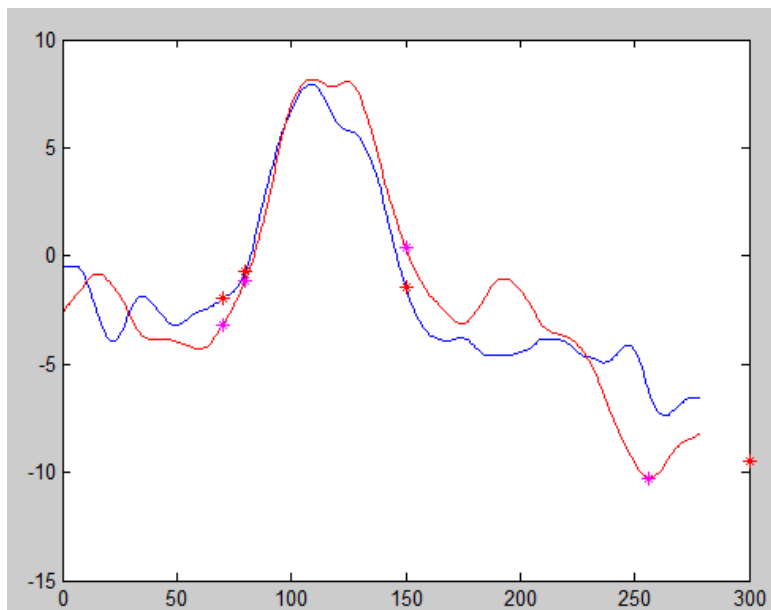
```
close all;
clear all;

kato_orio_lamda=0.93;
ano_orio_lamda=1.07;
bima_lamda=0.001;
mikos_plaisiou=30;
vima_overlap=10;
anw_fragma_kampylis=300;

kk=25; %ο αριθμος των ηλεκτροδιων
katwfli=4.13; %Katwfli oμοiotitas gia paragwgi platonikou
kampyli_anaforas=33;
```

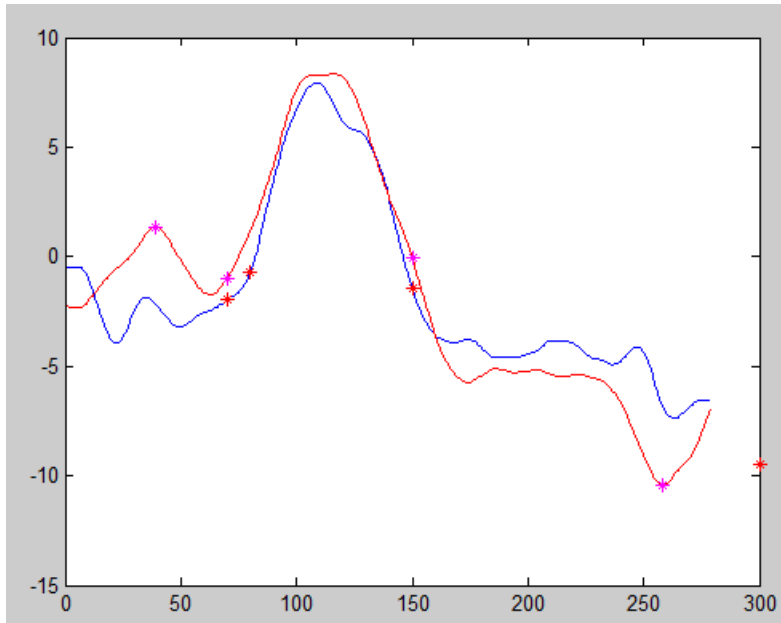
Φυσικά, αλλάζει και η τιμή του κατωφλίου σύμφωνα με τα όσα έχουμε πει παραπάνω σχετικά με τον υπολογισμό του.

Παίρνουμε τα ακόλουθα στοιχεία:



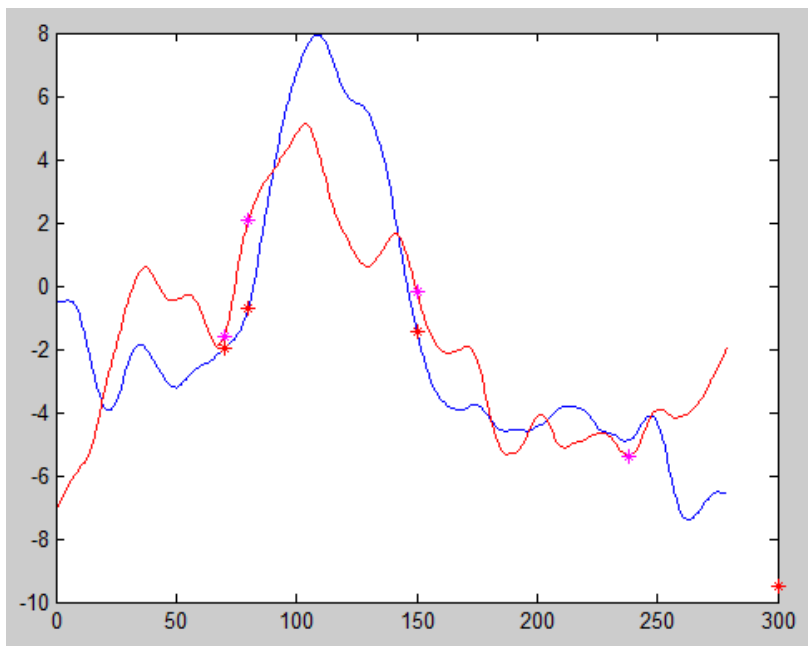
Εικόνα 8.8: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=33$  (μπλε καμπύλη) και  $j=21$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
21	2,7852



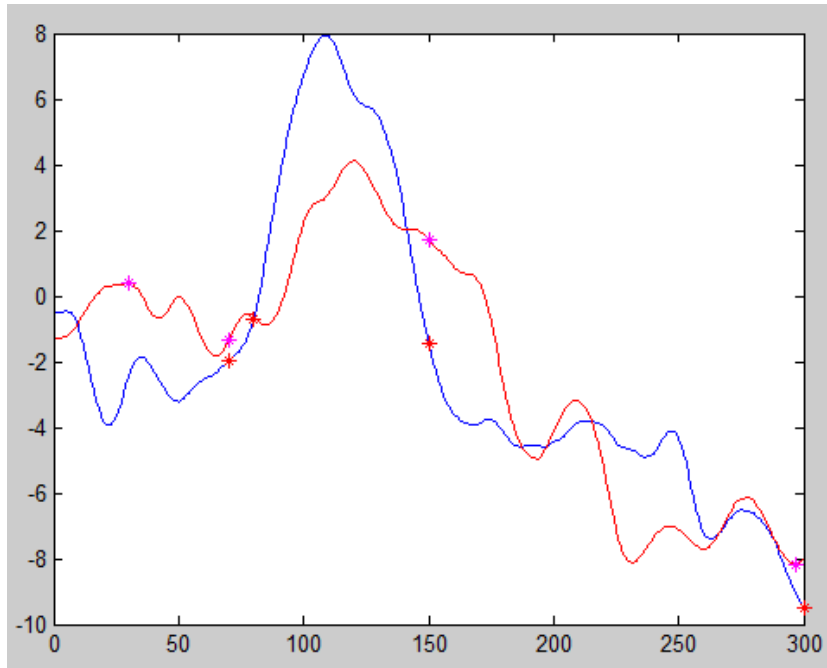
Εικόνα 8.9: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=33$  (μπλε καμπύλη) και  $j=10$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
10	3,0097



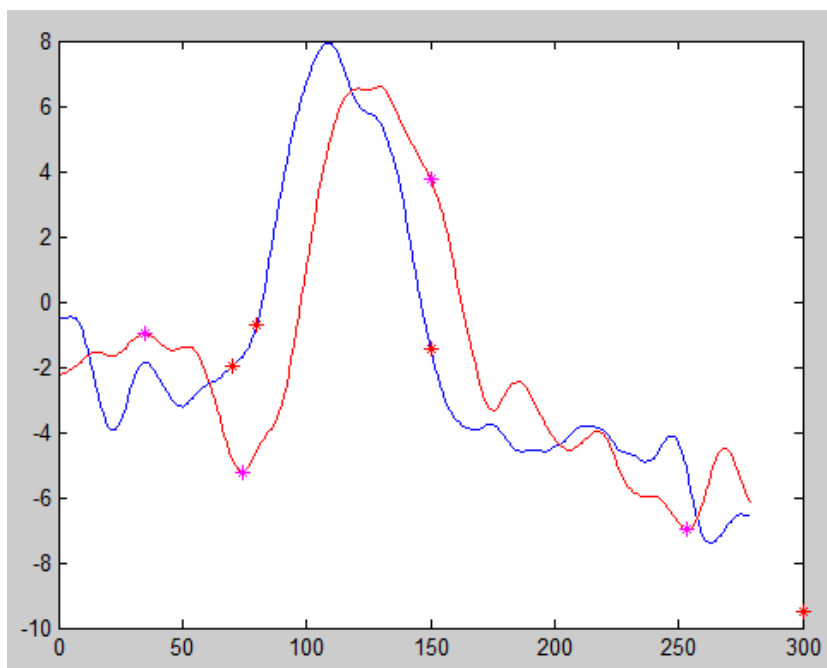
Εικόνα 8.10: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=33$  (μπλε καμπύλη) και  $j=17$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
17	3,4525



Εικόνα 8.11: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=33$  (μπλε καμπύλη) και  $j=30$  (κόκκινη καμπύλη).

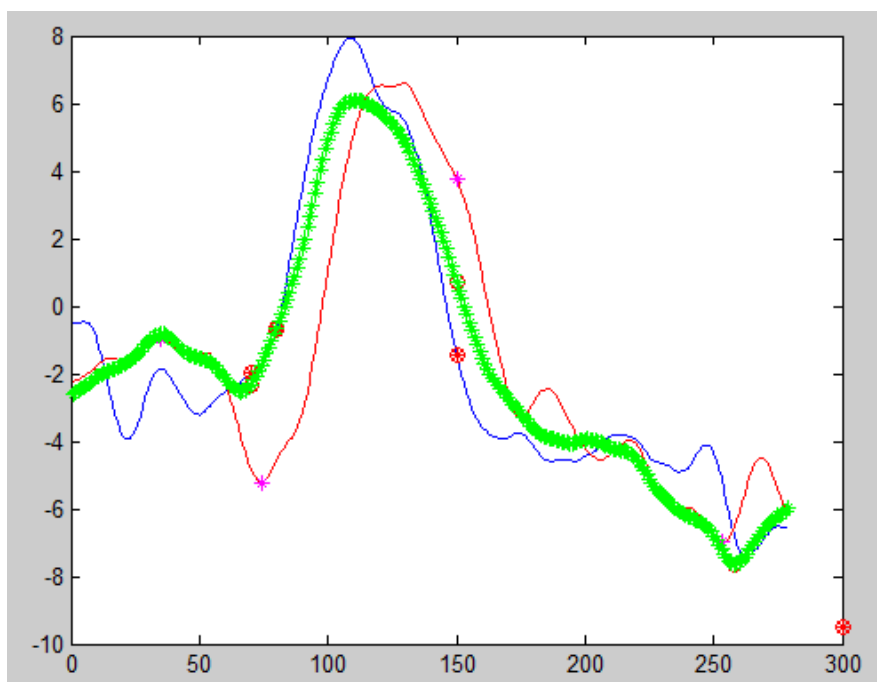
Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
30	3,8343



Εικόνα 8.12: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=33$  (μπλε καμπύλη) και  $j=20$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
20	4,1244

Προκύπτει επομένως ο ακόλουθος πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος:



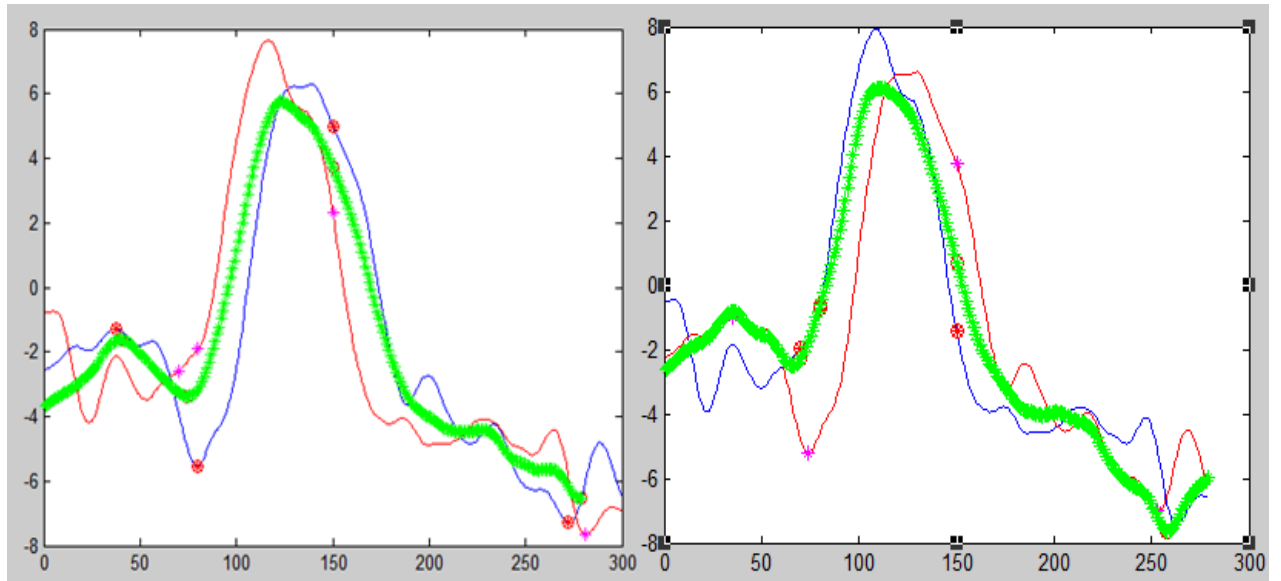
Εικόνα 8.13: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 33, απεικονιζόμενος στην προηγούμενη εικόνα.

Στη συνέχεια δίνεται ο πίνακας συσχετισμένων της παρούσας υπο-ομάδας:

j	σφάλμα
33	
21	2,7852
10	3,0097
17	3,4525
30	3,8343
20	4,1244

Παρατίθενται ακολούθως οι πιθανοί ιδεατοί αντιπρόσωποι που υπολογίστηκαν παραπάνω, με σκοπό τη σύγκρισή τους:

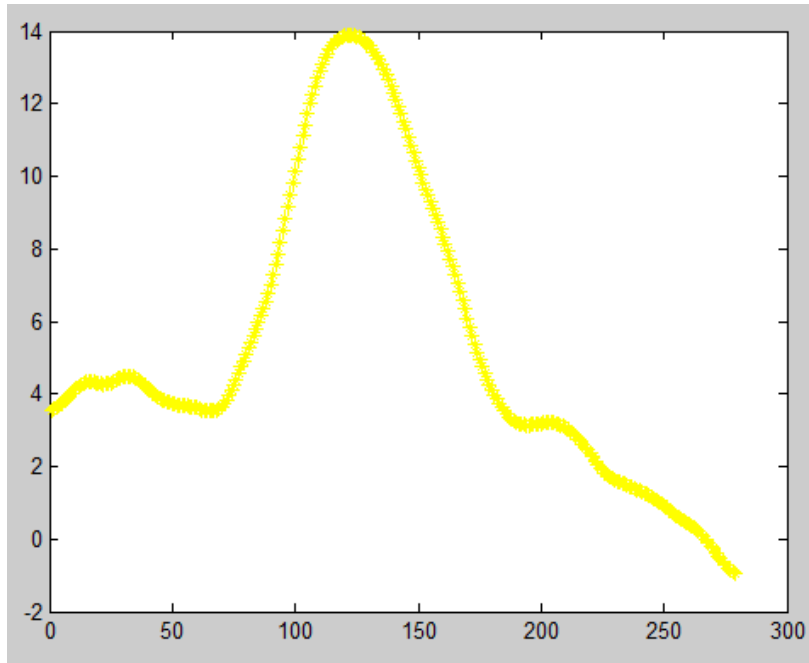




Εικόνα 8.14: Αριστερά: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 20. Δεξιά: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 33.

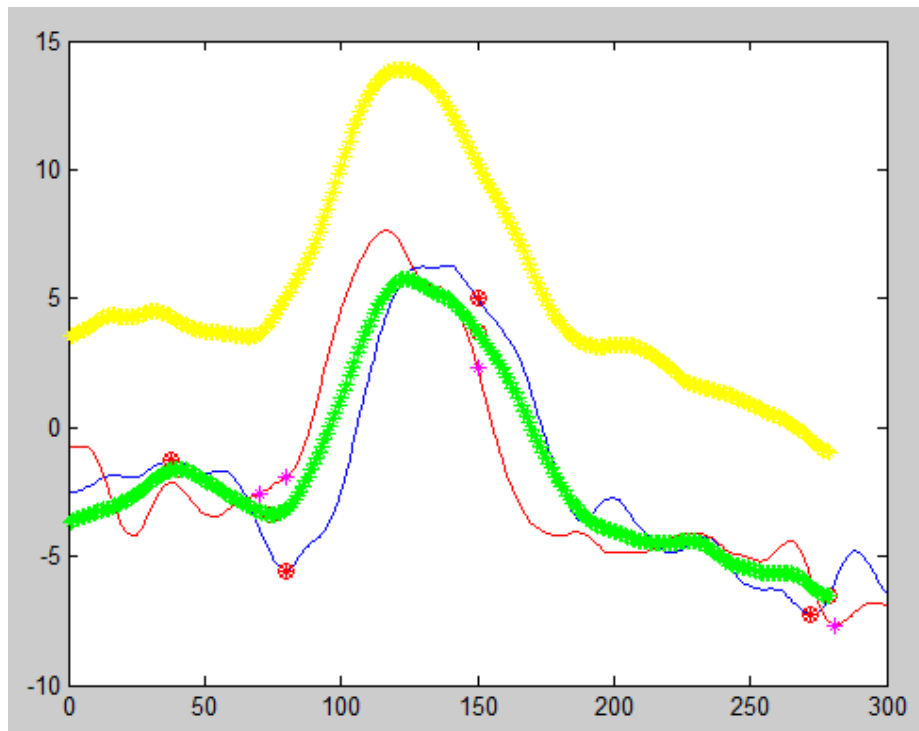
Παρατηρούμε πως τόσο τα υποκείμενα αναφοράς όσο και οι αντίστοιχοι πιθανοί ιδεατοί αντιπρόσωποι εμφανίζουν πολλές ομοιότητες. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο αν λάβουμε υπόψη μας την ανάλυση που έχει προηγηθεί σχετικά με τις υπο-ομάδες και τις κανονικές ομάδες. Εξάλλου δεν πρέπει να ξεχνάμε πως μελετήσαμε στοιχεία της ίδιας κανονικής ομάδας και άρα για να μπήκαν στην ίδια ομάδα θα έπρεπε να πληρούν προϋποθέσεις σύμφωνα με τις οποίες δε θα εμφάνιζαν μεταξύ τους μεγάλες διαφορές. Να σημειωθεί επίσης πως κάτι τέτοιο γίνεται εύκολα αντιληπτό και από το γεγονός ότι οι δύο ομάδες συσχετισμένων περιέχουν περίπου τα ίδια υποκείμενα ως στοιχεία τους.

Στη συνέχεια παρατίθεται ο ιδεατός αντιπρόσωπος (το πλατωνικό) της υπό μελέτης κανονικής ομάδας :



Εικόνα 8.15: Καμπύλη ιδεατού αντιπροσώπου της πρώτης κανονικής ομάδας στις έγκυρες ερωτήσεις.

Παρατηρούμε εδώ μια ομοιότητα μεταξύ των πιθανών ιδεατών αντιπροσώπων που προκύπτουν θέτοντας κάθε φορά ως υποκείμενο αναφοράς κάποιο από τα υποκείμενα που απαρτίζουν την κανονική αυτή ομάδα, με τον ιδεατό αντιπρόσωπο της ομάδας. Σε μια προσπάθεια να δείξουμε την ομοιότητα στη μορφή τους, παρουσιάζουμε ακολούθως στο ίδιο διάγραμμα τον πιθανό ιδεατό αντιπρόσωπο που προκύπτει θέτοντας ως υποκείμενο αναφοράς το υποκείμενο 20 με τον ιδεατό αντιπρόσωπο. Τονίζεται πως η διαφορά που παρουσιάζεται στο πλάτος τους οφείλεται στην ομοιοθεσία κατά πλάτος και κατά χρόνο που πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία προσαρμογής.



Εικόνα 8.16: Σύγκριση καμπύλης ιδεατού αντιπροσώπου της πρώτης κανονικής ομάδας με τον πιθανό ιδεατό αντιπρόσωπο που προκύπτει θέτοντας ένα μέλος της ομάδας ως υποκείμενο αναφοράς, στις έγκυρες ερωτήσεις.

Στη συνέχεια, παρατίθεται η ανάλυση των υποκειμένων 42, 1 τα οποία όπως θα δούμε σχηματίζουν μια δεύτερη κανονική ομάδα. Εξακολουθούμε να μελετάμε το ηλεκτρόδιο 25 για την περίπτωση των valid ερωτήσεων, επομένως το μόνο που αλλάζει στο πρόγραμμα είναι η μεταβλητή `kampyli_anaforas`.

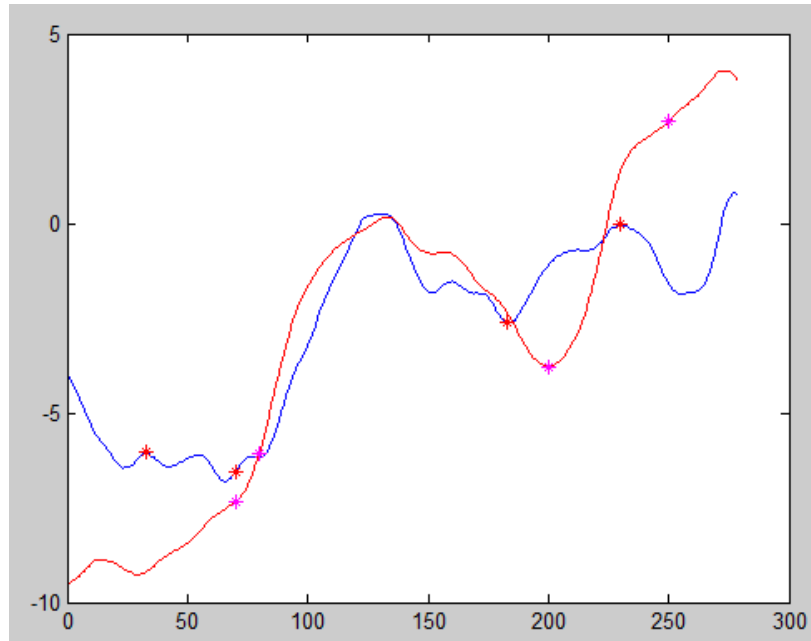
Ξεκινάμε με το υποκείμενο 42:

```
close all;
clear all;

kato_orio_lamda=0.93;
ano_orio_lamda=1.07;
bima_lamda=0.001;
mikos_plaisiou=30;
vima_overlap=10;
anw_fragma_kampylis=300;

kk=25; %ο αριθμος των ηλεκτροδιων
katwfli=3.5; %Katwfli omoiotitas gia paragwgi platonikou
kampyli_anaforas=42;
```

Το πρόγραμμα δίνει τα εξής:

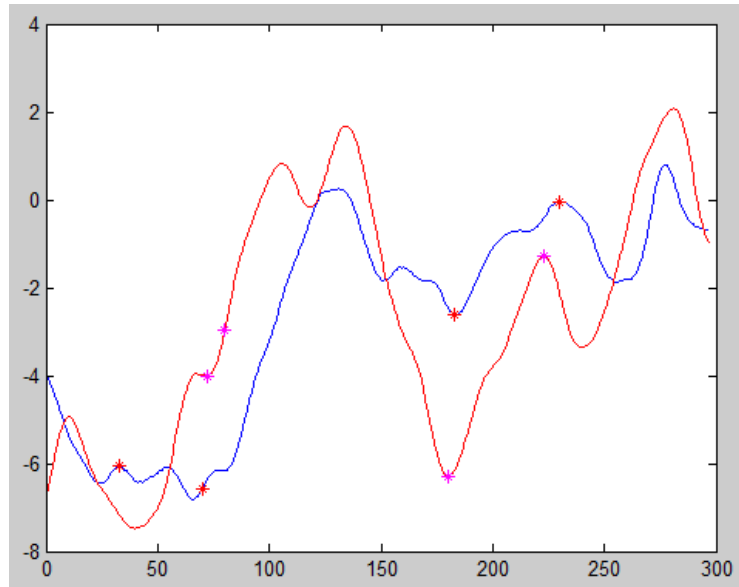


Εικόνα 8.17: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=42$  (μπλε καμπύλη) και  $j=5$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
5	3,0872

Από την πρώτη κιόλας εικόνα γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι βρισκόμαστε σε διαφορετική ομάδα από αυτήν που εξετάζαμε παραπάνω (την ομάδα 1). Αυτό συμβαίνει γιατί οι καμπύλες αναφοράς των υπο-ομάδων που μελετήσαμε προηγουμένως (με υποκείμενα αναφοράς τα στοιχεία της ομάδας 1) διαφέρουν σημαντικά από την καμπύλη αναφοράς της υπο-ομάδας που εξετάζουμε εδώ (της υπο-ομάδας με καμπύλη αναφοράς το υποκείμενο 42).

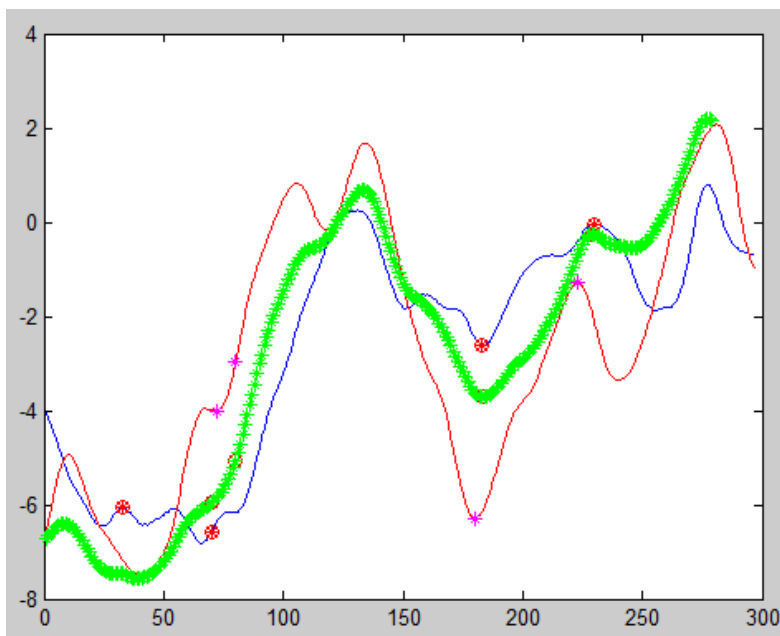
Στη συνέχεια παίρνουμε τα εξής:



Εικόνα 8.18: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=42$  (μπλε καμπύλη) και  $j=45$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
45	3,4919

Η υπο-ομάδα με υποκείμενο αναφοράς το υποκείμενο 42 περιέχει μόνο αυτά τα δύο στοιχεία, και δίνει τον ακόλουθο πιθανό ιδεατό αντιπρόσωπο:



Εικόνα 8.19: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 42, απεικονιζόμενος στην προηγούμενη εικόνα.

Στη συνέχεια δίνεται ο πίνακας συσχετισμένων της παρούσας υπο-ομάδας:

j	σφάλμα
42	
5	3,0872
45	3,4919

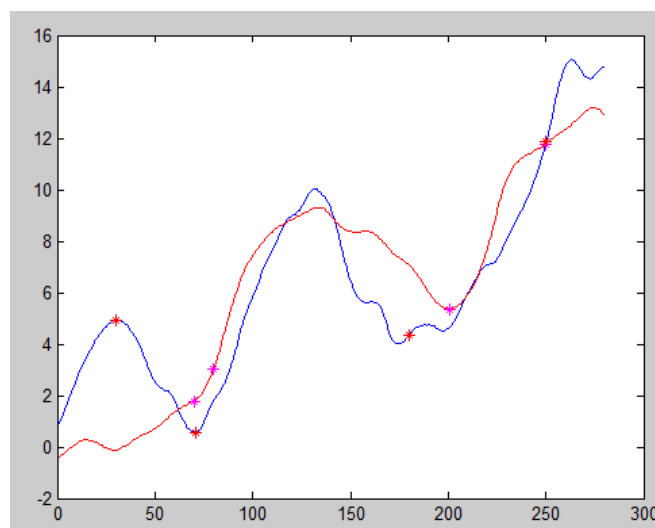
Συνεχίζουμε με το υποκείμενο 1. Βάζουμε δηλαδή στο πρόγραμμα `kampyli_anaforas = 1`.

```
close all;
clear all;

kato_orio_lamda=0.93;
ano_orio_lamda=1.07;
bima_lamda=0.001;
mikos_plaisiou=30;
vima_overlap=10;
anw_fragma_kampylis=300;

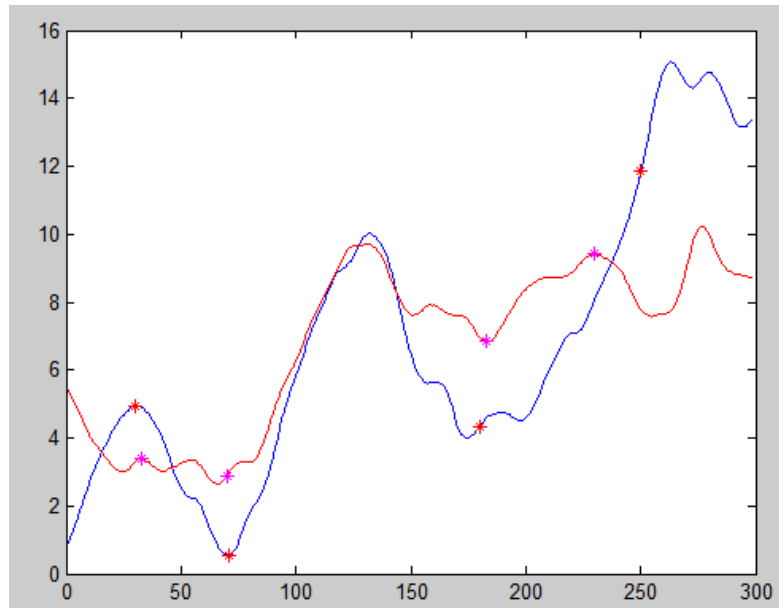
kk=25; %ο αριθμος των ηλεκτροδιων
katwfli=3.98; %Katwfli omoiotitas gia paragwgi platonikou
kampyli_anaforas =1;
```

Και παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:



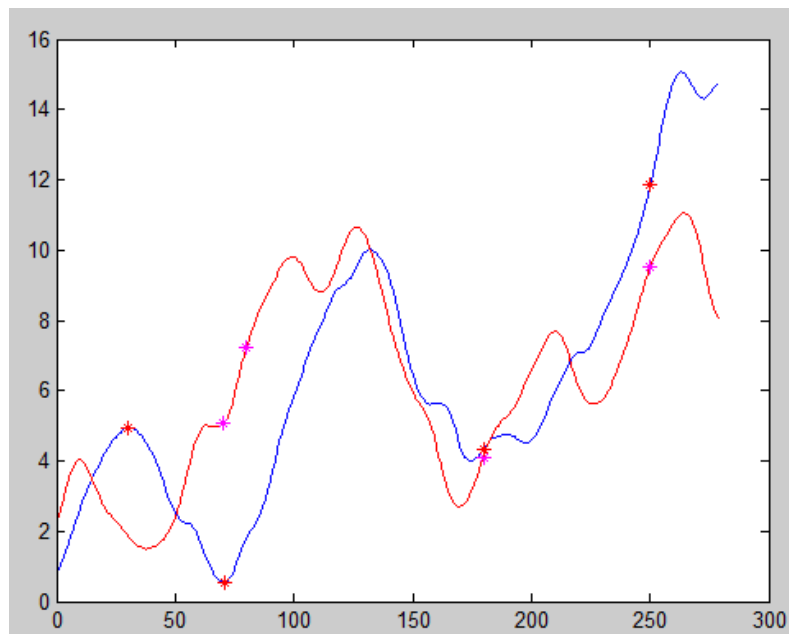
Εικόνα 8.20: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=1$  (μπλε καμπύλη) και  $j=5$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου j	Σφάλμα προσαρμογής ε
5	3,2913



Εικόνα 8.21: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=1$  (μπλε καμπύλη) και  $j=42$ (κόκκινη καμπύλη).

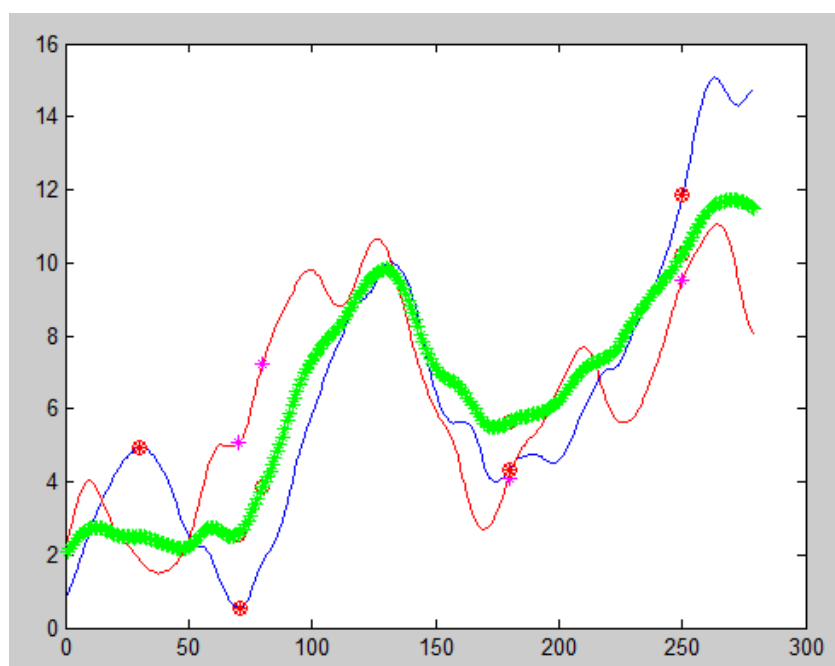
Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
42	3,6243



Εικόνα 8.22: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=1$  (μπλε καμπύλη) και  $j=45$ (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
42	3,9777

Προκύπτει ακολούθως ο πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος της υπο-ομάδας:



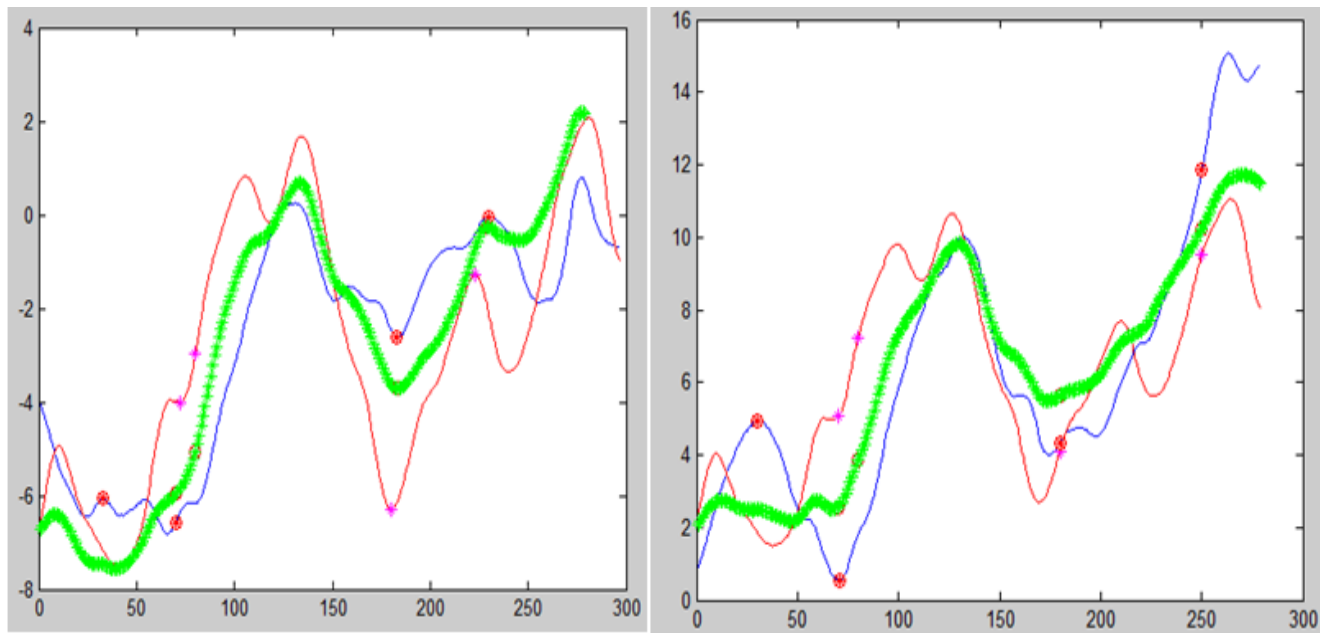
Εικόνα 8.23: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό-ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 1, απεικονιζόμενος στην προηγούμενη εικόνα.

Στη συνέχεια δίνεται ο πίνακας συσχετισμένων της παρούσας υπο-ομάδας:

j	σφάλμα
1	
5	3,2913
42	3,6243
45	3,977

Παρατηρούμε πως η υπο-ομάδα με υποκείμενο αναφοράς το 42 περιέχει περίπου τα ίδια στοιχεία με την ομάδα με υποκείμενο αναφοράς το υποκείμενο 1. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται και από τους παρόμοιους πιθανούς ιδεατούς αντιπροσώπους που προκύπτουν, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα:



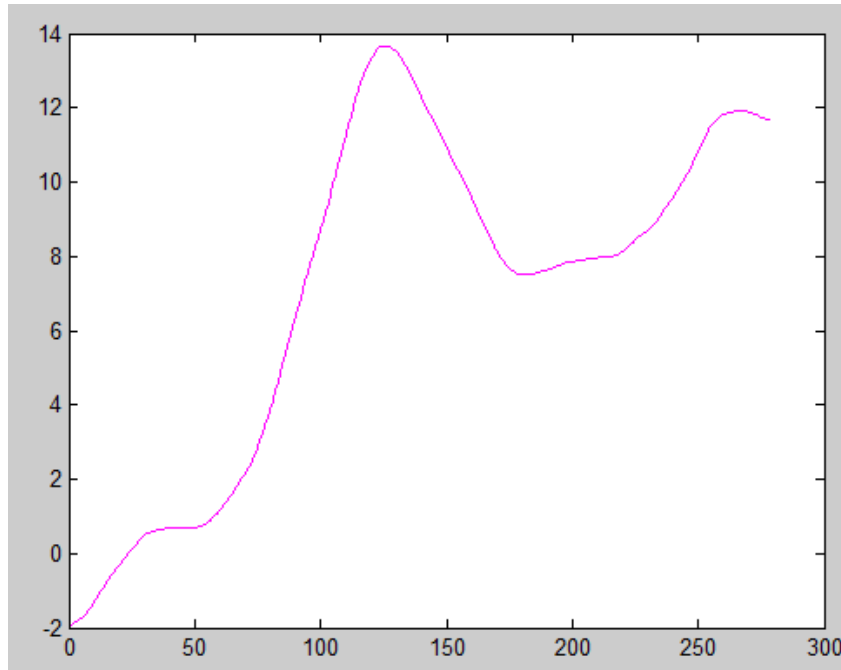


Εικόνα 8.24: Αριστερά: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 42 Δεξιά: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 1.

Παρατηρούμε και πάλι μια ομοιότητα στη μορφή των «πιθανών ιδεατών αντιπροσώπων», όπου όμως σε αυτήν την περίπτωση διαφέρει τόσο η κλίμακα όσο και οι τιμές στις οποίες καταγράφεται στην εκάστοτε περίπτωση. Ο λόγος για αυτές τις διαφορές είναι η ομοιοθεσία κατά πλάτος και κατά χρόνο την οποία υπέστησαν οι διάφορες καμπύλες κατά τη διαδικασία προσαρμογής τους στον εκάστοτε επιλεγέντα αρχικό αντιπρόσωπο.

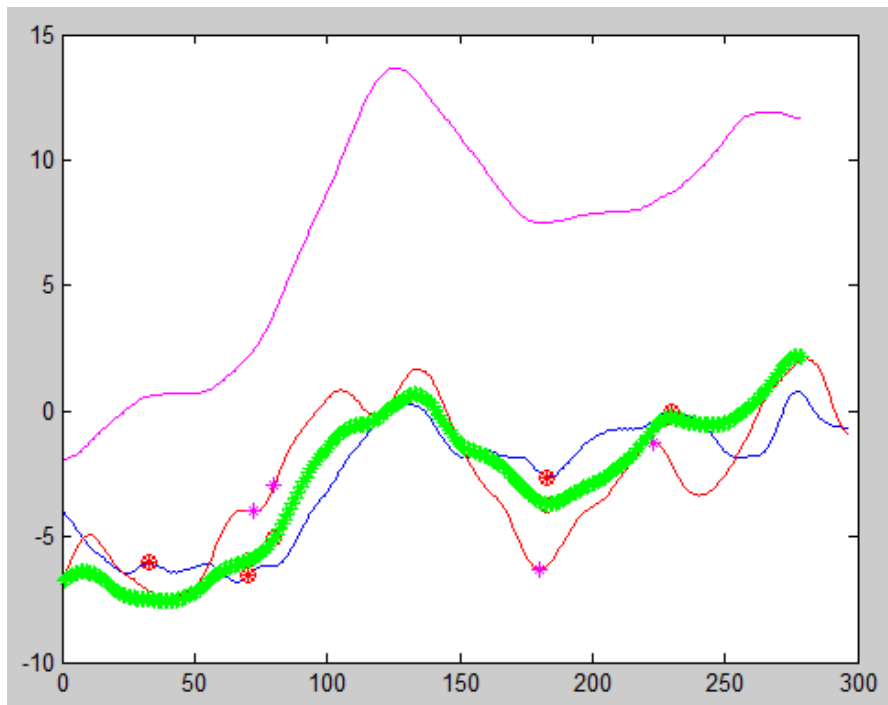
Ακόμη, συγκρίνοντας τους πιθανούς ιδεατούς αντιπροσώπους που προκύπτουν από τα υποκείμενα αναφοράς της πρώτης με αυτούς της δεύτερης ομάδας, παρατηρούμε σημαντικές διαφορές, γεγονός που αναμέναμε καθώς αυτές οι δύο ομάδες είναι δομημένες έτσι ώστε να περιέχουν ανεξάρτητα υποκείμενα, που δηλαδή δεν σχετίζονται τα ERPs τους.

Ακολούθως, απεικονίζεται ο ιδεατός αντιπρόσωπος (πλατωνικό) της δεύτερης κανονικής ομάδας για την περίπτωση των έγκυρων ερωτήσεων:



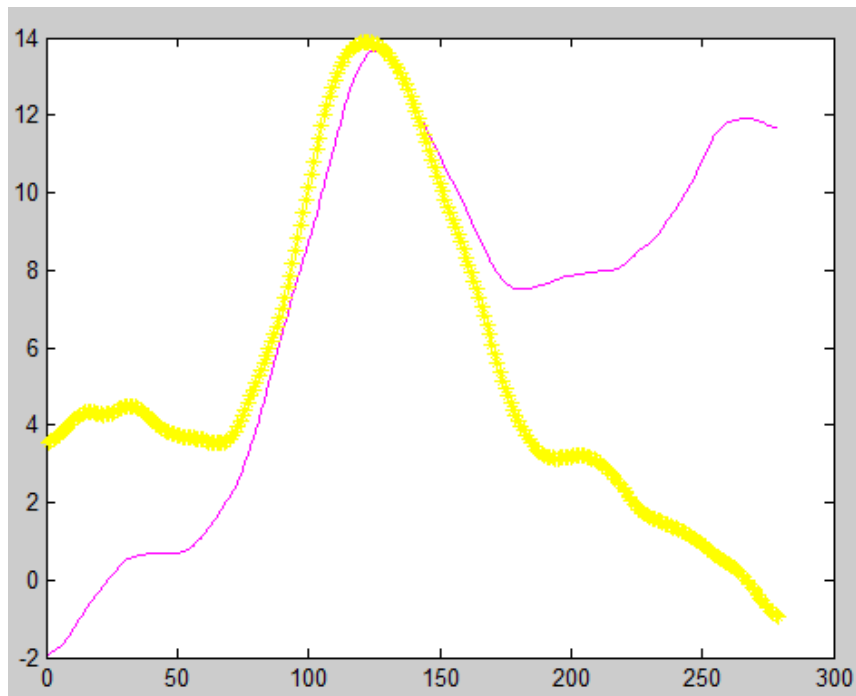
*Εικόνα 8.25: Καμπύλη ιδεατού αντιπροσώπου της δεύτερης κανονικής ομάδας στις έγκυρες ερωτήσεις.*

Παρατηρούμε κάποιες ομοιότητες μεταξύ των πιθανών ιδεατών αντιπροσώπων που προκύπτουν κάθε φορά με υποκείμενο αναφοράς ένα από τα υποκείμενα που απαρτίζουν την υπό εξέταση κανονική ομάδα, με τον ιδεατό αντιπρόσωπο της ομάδας αυτής. Για να φανεί η ομοιότητα που υπάρχει στη μορφή τους, παρουσιάζουμε στη συνέχεια σε κοινό διάγραμμα τον πιθανό ιδεατό αντιπρόσωπο που προκύπτει θέτοντας ως υποκείμενο αναφοράς το υποκείμενο 42 με τον ιδεατό αντιπρόσωπο. Τονίζεται πως η διαφορά που παρουσιάζεται στο πλάτος τους οφείλεται στην ομοιοθεσία κατά πλάτος και κατά χρόνο που πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία προσαρμογής. Πέραν της διαφοράς αυτής, η ομοιότητες είναι εμφανείς:



*Εικόνα 8.26: Σύγκριση καμπύλης ιδεατού αντιπροσώπου της δεύτερης κανονικής ομάδας με τον πιθανό ιδεατό αντιπρόσωπο που προκύπτει θέτοντας ένα μέλος της ομάδας ως υποκείμενο αναφοράς, στις έγκυρες ερωτήσεις.*

Για να είμαστε σε θέση να αντιληφθούμε τις σημαντικές διαφορές στη μορφή των πλατωνικών που δίνουν οι δύο κανονικές ομάδες, τα παραθέτουμε στη συνέχεια σε κοινό διάγραμμα :



Εικόνα 8.27: Σύγκριση των ιδεατών αντιπροσώπων της πρώτης και της δεύτερης κανονικής ομάδας στις έγκυρες ερωτήσεις.

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε την περίπτωση των paradox (παραδόξων) ερωτήσεων. Στον κώδικα αντικαθιστούμε τη μεταβλητή valid με την μεταβλητή paradox. Για παράδειγμα, το αντίστοιχο κομμάτι του κώδικα που αναγράψαμε παραπάνω, γίνεται για την περίπτωση των παραδόξων:

```
load meses_kampiles01_true;
mesi_kampili_paradoxes_01=mesi_kampili_paradoxes;
load meses_kampiles02_true;
mesi_kampili_paradoxes_02=mesi_kampili_paradoxes;
load meses_kampiles03_true;
mesi_kampili_paradoxes_03=mesi_kampili_paradoxes;
load meses_kampiles04_true;
mesi_kampili_paradoxes_04=mesi_kampili_paradoxes;
load meses_kampiles05_true;
mesi_kampili_paradoxes_05=mesi_kampili_paradoxes;
```

Με όμοιο τρόπο, όπως και στην περίπτωση των έγκυρων ερωτήσεων, θα αναλυθούν εδώ κάποια επιλεγμένα υποκείμενα. Συγκεκριμένα θα αναφερθούμε στα υποκείμενα 22, 40 τα οποία όπως θα φανεί ανήκουν στην ίδια ομάδα (ομάδα 1) καθώς και στα υποκείμενα 41, 2 τα οποία σχηματίζουν μια διαφορετική ομάδα (ομάδα 2, όπως και στη περίπτωση των valid ερωτήσεων). Με αντίστοιχο τρόπο με

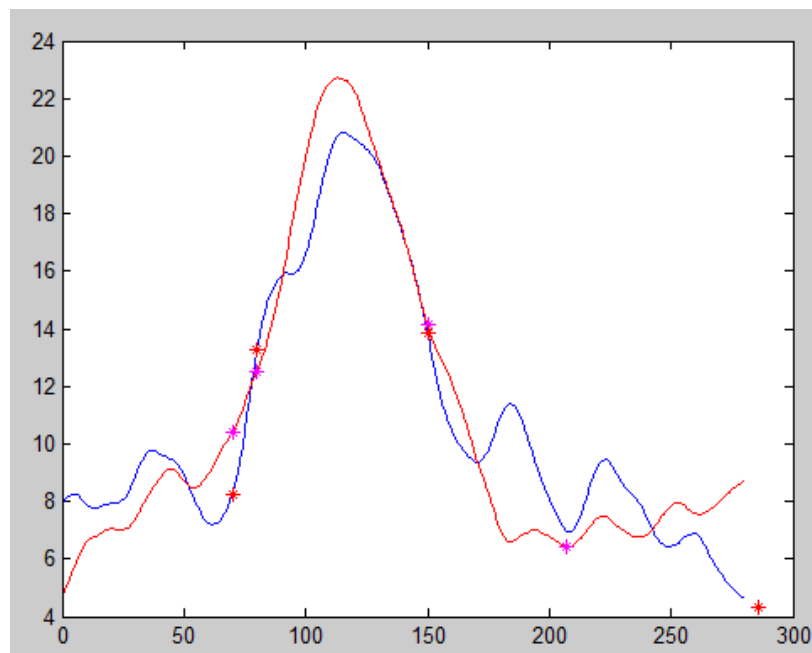
τα όσα αναφέραμε παραπάνω, ξεκινάμε θέτοντας ως υποκείμενο αναφοράς το υποκείμενο 22 και ο κώδικας γίνεται:

```
close all;
clear all;

kato_orio_lamda=0.93;
ano_orio_lamda=1.07;
bima_lamda=0.001;
mikos_plaisiou=30;
vima_overlap=10;
anw_fragma_kampylis=300;

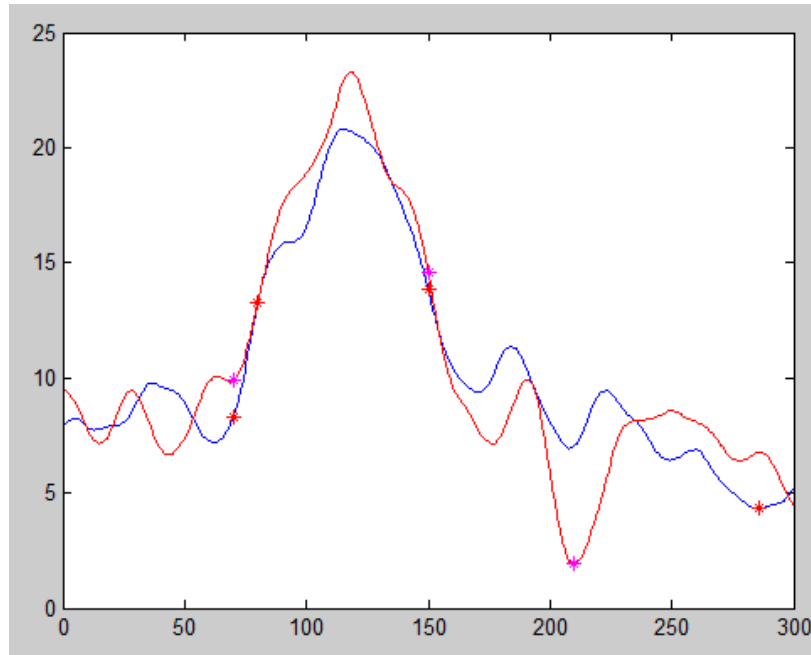
kk=25; %ο αριθμος twn hlektrodiwn
katwfli=3.19; %Katwfli omoiotitas gia paragwgi platonikou
kampyli_anaforas =22;
```

Παίρνουμε λοιπόν τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 8.28: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=22$  (μπλε καμπύλη) και  $j=24$  (κόκκινη καμπύλη).

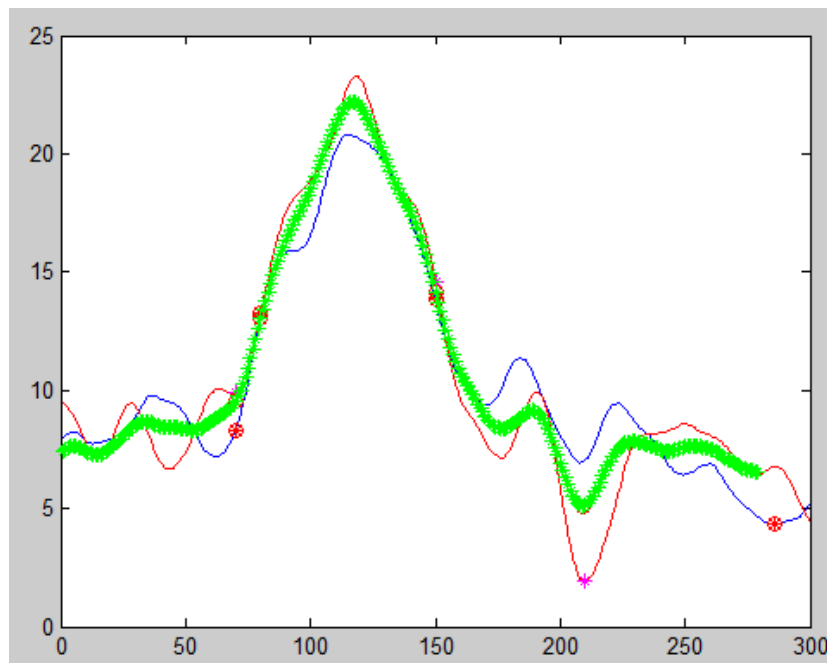
Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
24	2,8088



Εικόνα 8.29: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=22$ (μπλε καμπύλη) και  $j=47$ (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
47	3,1814

Προκύπτει στη συνέχεια ο «πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος» της υπό μελέτης υπο-ομάδας:



Εικόνα 8.30: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 22, απεικονιζόμενος στην προηγούμενη εικόνα, στην περίπτωση των παραδόξων ερωτήσεων.

Παρατηρούμε και πάλι μια σημαντική ομοιότητα τόσο μεταξύ των στοιχείων που αποτελούν την υπο-ομάδα όσο και αυτών με τον «πιθανό ιδεατό αντιπρόσωπο». οι λόγοι για αυτήν την ομοιότητα έχουν αναλυθεί εκτενώς παραπάνω και ισχύουν και σε αυτήν την περίπτωση.

Ο πίνακας συσχετισμένων έχει ως εξής:

j	σφάλμα
22	
24	2,8088
47	3,1814

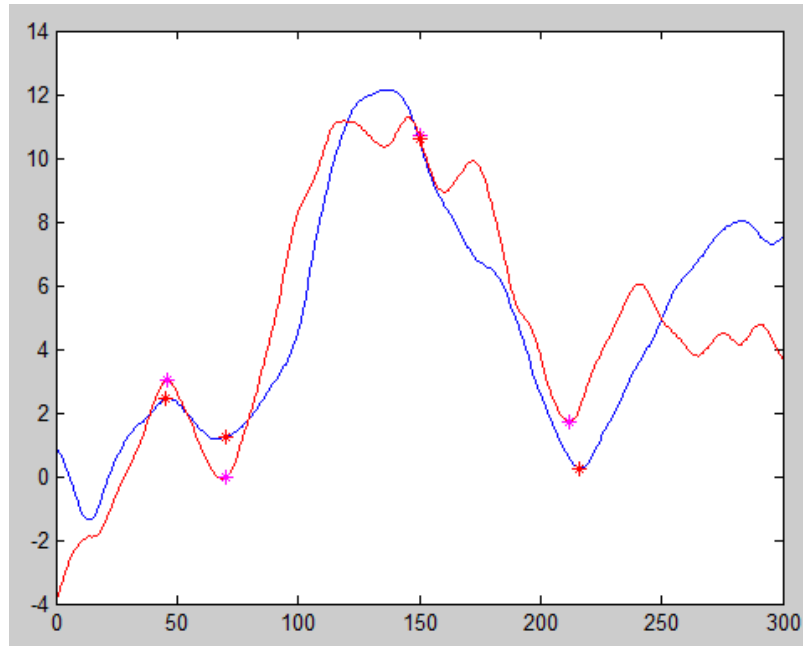
Συνεχίζουμε με το δεύτερο μέλος της ομάδας 1, το υποκείμενο 40, το οποίο και θέτουμε ως υποκείμενο αναφοράς:

```
close all;
clear all;

kato_orio_lamda=0.93;
ano_orio_lamda=1.07;
bima_lamda=0.001;
mikos_plaisiou=30;
vima_overlap=10;
anw_fragma_kampylis=300;

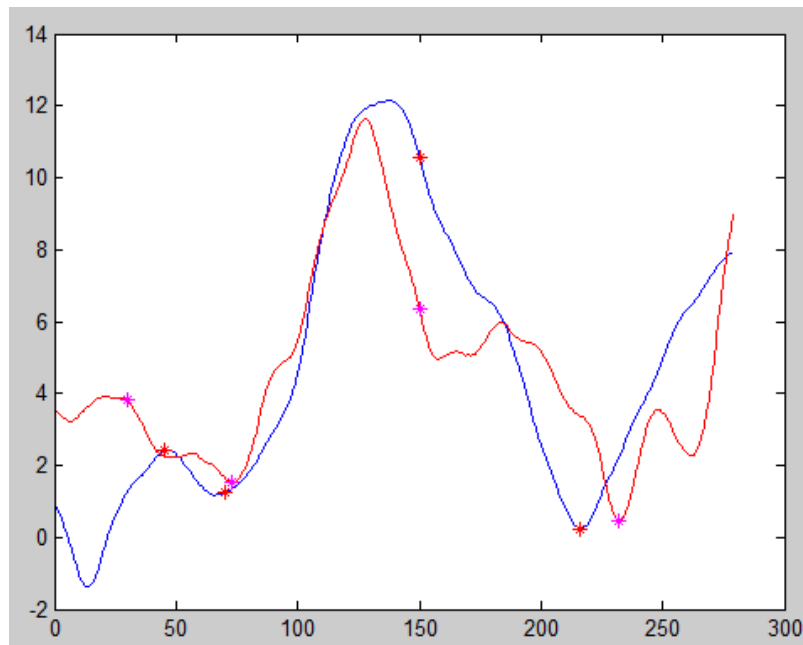
kk=25; %o ari8mos twn hlektrodiwn
katwfli=3.24; %Katwfli omoiotitas gia paragwgi platonikou
kampyli_anaforas =40;
```

Και έχουμε:



Εικόνα 8.31: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=40$ (μπλε καμπύλη) και  $j=30$ (κόκκινη καμπύλη).

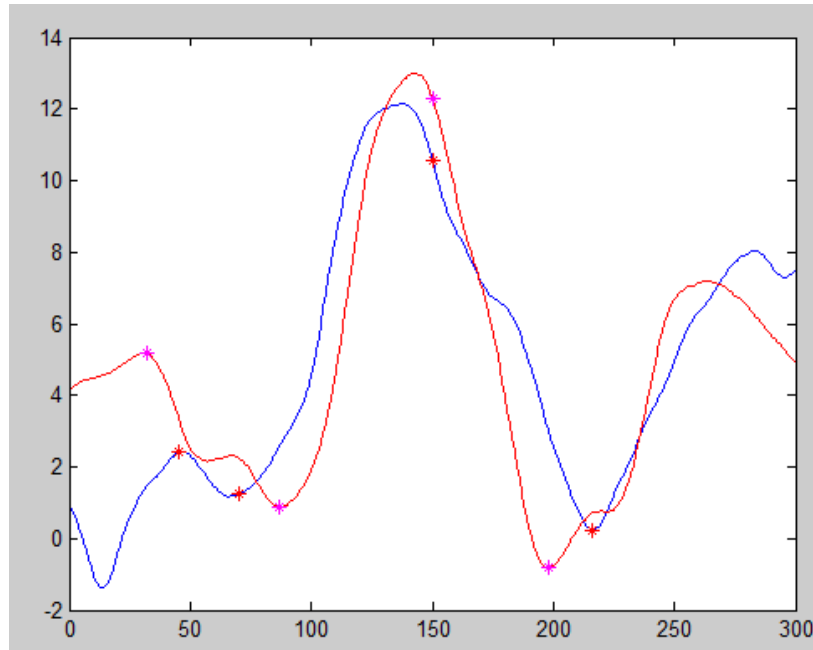
Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
30	2,6643



Εικόνα 8.32: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=40$ (μπλε καμπύλη) και  $j=18$ (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
18	3,2167

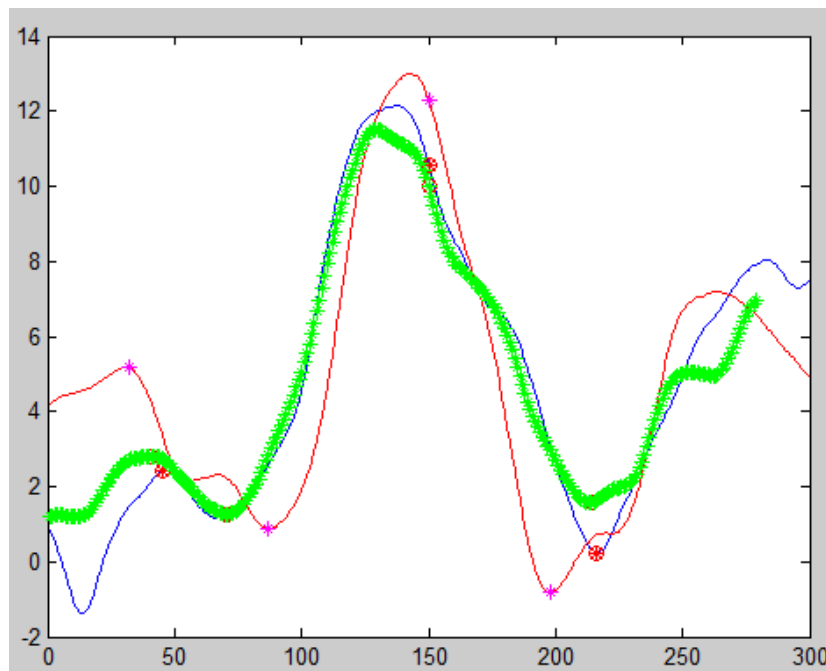




Εικόνα 8.33: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=40$  (μπλε καμπύλη) και  $j=11$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
11	3,2309

Και προκύπτει:

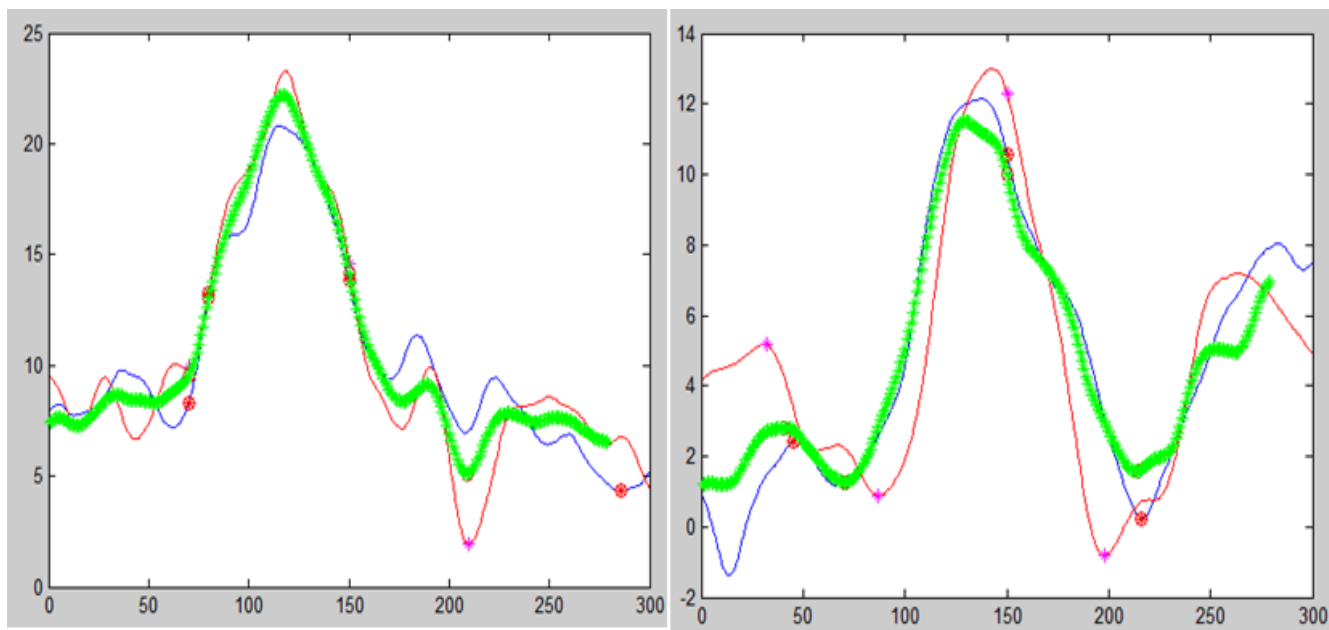


Εικόνα 8.34: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 40, απεικονιζόμενος στην προηγούμενη εικόνα, στην περίπτωση των παραδόξων ερωτήσεων.

Ο πίνακας συσχετισμένων έχει ως εξής:

J	σφάλμα
40	
30	2,6643
18	3,2167
11	3,2309

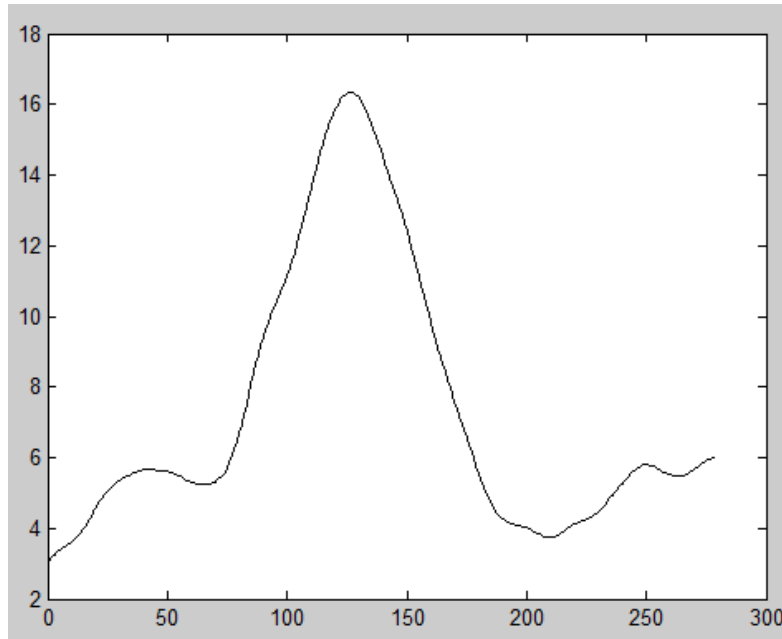
Συγκρίνουμε τώρα τους πιθανούς ιδεατούς αντιπροσώπους της πρώτης ομάδας, όπως προέκυψαν από τις υπο-ομάδες που σχηματίστηκαν με υποκείμενα αναφοράς τα υποκείμενα- στοιχεία της ομάδας:



Εικόνα 8.35: Αριστερά: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό –ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 22 Δεξιά: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό –ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 40.

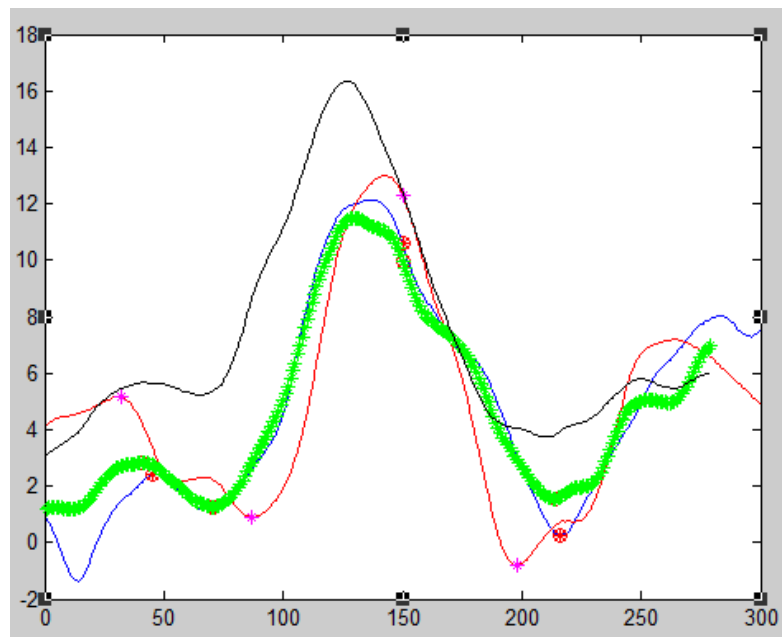
Παρατηρούμε ορισμένες διαφορές μεταξύ των πιθανών ιδεατών αντιπροσώπων, γεγονός που οφείλεται κατά βάση στην ομοιοθεσία κατά πλάτος και κατά χρόνο την οποία υπέστησαν οι διάφορες καμπύλες κατά τη διαδικασία προσαρμογής τους στον εκάστοτε επιλεγέντα αρχικό αντιπρόσωπο.

Ακολουθεί η απεικόνιση της καμπύλης του ιδεατού αντιπροσώπου (πλατωνικού) της πρώτης κανονικής ομάδας για την περίπτωση των paradox ερωτήσεων:



Εικόνα 8.36: Καμπύλη ιδεατού αντιπροσώπου της πρώτης κανονικής ομάδας στα παράδοξα.

Παρατηρούμε μια ομοιότητα μεταξύ των πιθανών ιδεατών αντιπροσώπων των υποκειμένων που απαρτίζουν την κανονική αυτή ομάδα, με τον ιδεατό αντιπρόσωπο της ομάδας. Η ομοιότητα αυτή, της μορφής τους, παρουσιάζεται ακολούθως σε κοινό διάγραμμα του ιδεατού αντιπροσώπου που προκύπτει θέτοντας ως υποκείμενο αναφοράς το υποκείμενο 40 με το κανονικό πλατωνικό:



Εικόνα 8.37: Σύγκριση καμπύλης πλατωνικού της πρώτης κανονικής ομάδας με τον ιδεατό αντιπρόσωπο που προκύπτει θέτοντας ένα μέλος της ομάδας ως υποκείμενο αναφοράς, στις παράδοξες ερωτήσεις.

Στη συνέχεια, παρατίθεται η ανάλυση των υποκειμένων 41, 2 τα οποία όπως θα δούμε σχηματίζουν μια δεύτερη κανονική ομάδα. Εξακολουθούμε να μελετάμε το ηλεκτρόδιο 25 για την περίπτωση των *paradox* ερωτήσεων, επομένως το μόνο που αλλάζει στο πρόγραμμα είναι η μεταβλητή *kampyli\_anaforas*.

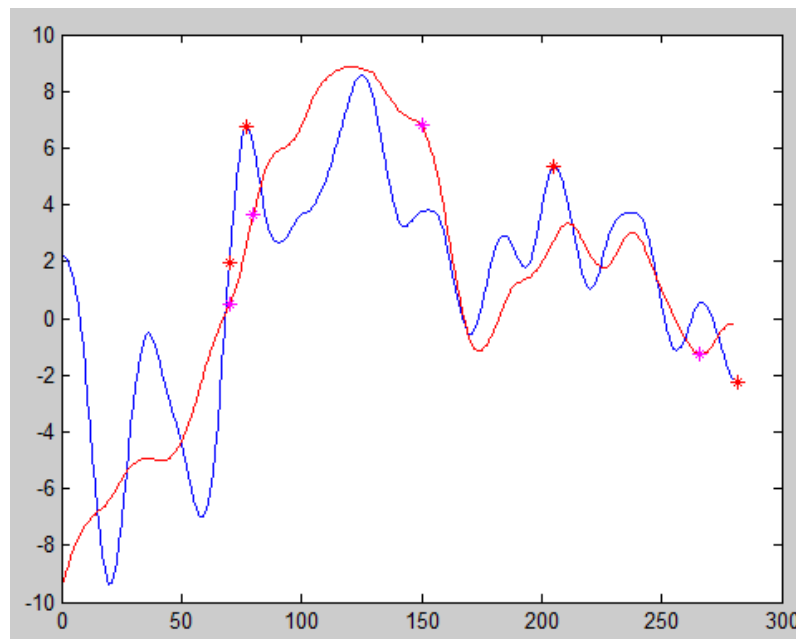
Ξεκινάμε με τη μελέτη της υπο-ομάδας με υποκείμενο αναφοράς το 41:

```
close all;
clear all;

kato_orio_lamda=0.93;
ano_orio_lamda=1.07;
bima_lamda=0.001;
mikos_plaisiou=30;
vima_overlap=10;
anw_fragma_kampylis=300;

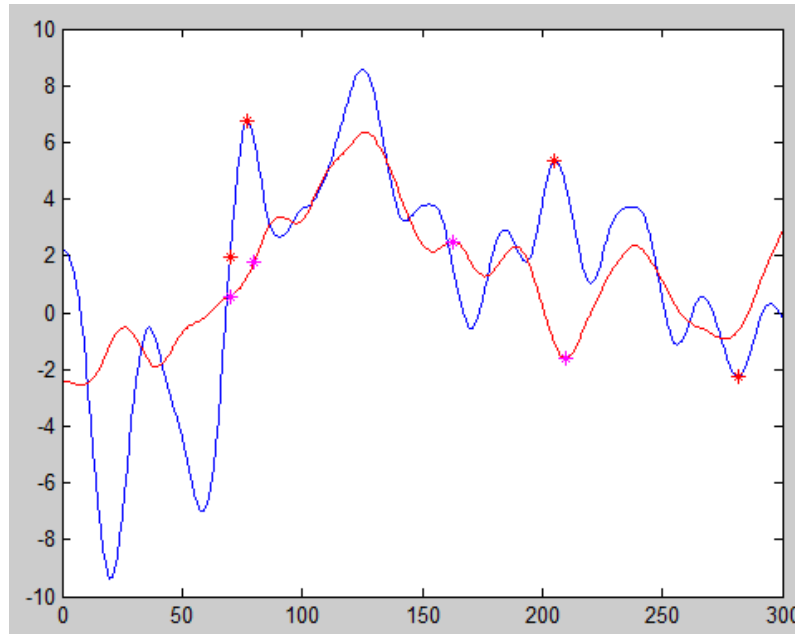
kk=25; %ο αριθμος twn hlektrodiwn
katwfli=4.5; %Katwfli omoiotitas gia paragwgi platonikou
kampyli_anaforas =41;
```

Και το Matlab δίνει τα ακόλουθα:



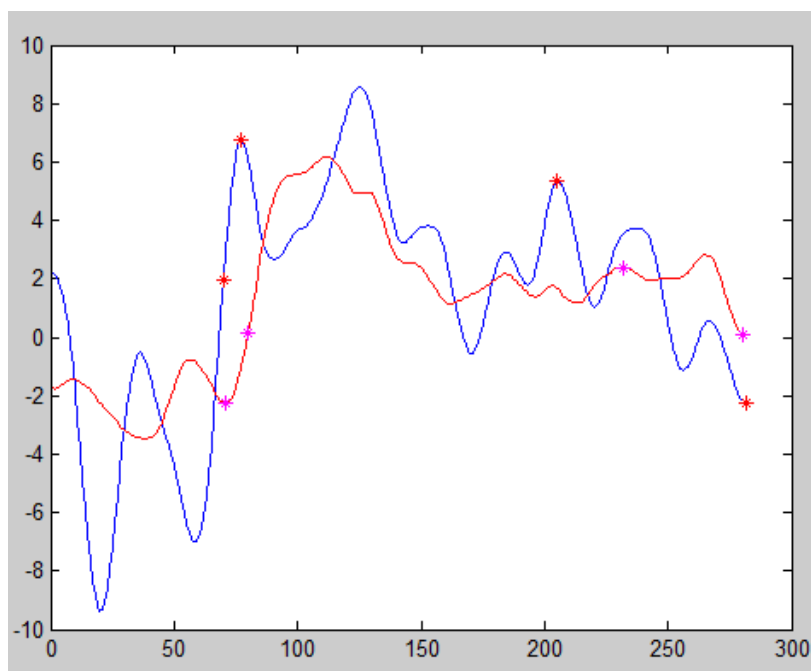
Εικόνα 8.38: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=41$  (μπλε καμπύλη) και  $j=10$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
10	3,8652



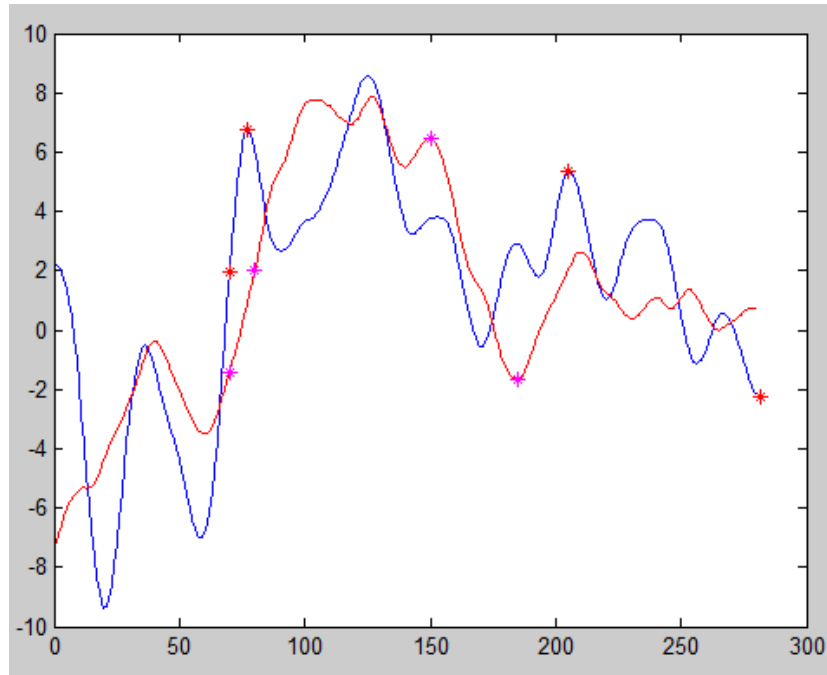
Εικόνα 8.39: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=41$ (μπλε καμπύλη) και  $j=51$ (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
51	3,9804



Εικόνα 8.40: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=41$ (μπλε καμπύλη) και  $j=2$ (κόκκινη καμπύλη).

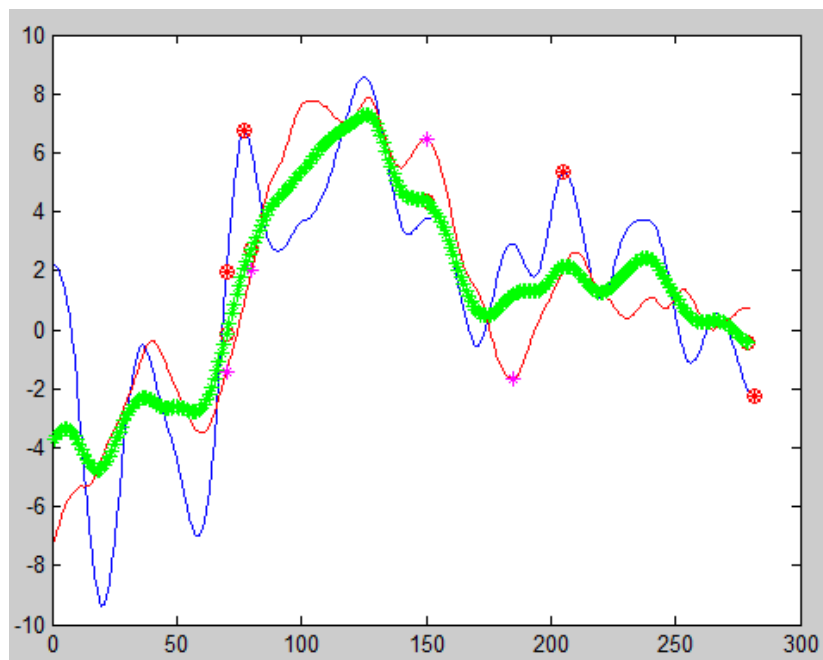
Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
2	4,1628



Εικόνα 8.41: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=41$  (μπλε καμπύλη) και  $j=30$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
30	4,4961

Και έχουμε:



Εικόνα 8.42: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 41, απεικονιζόμενος στην προηγούμενη εικόνα, στην περίπτωση των παραδόξων ερωτήσεων.

Ο πίνακας συσχετισμένων έχει ως εξής:

j	σφάλμα
41	
10	3,865217
51	3,980443
2	4,162779
30	4,496141

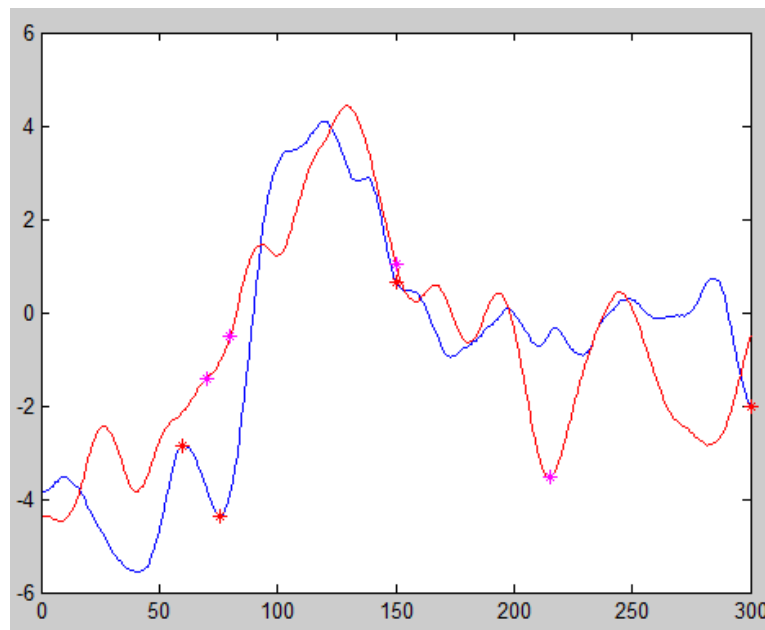
Θέτουμε στη συνέχεια ως υποκείμενο αναφοράς το 2:

```
close all;
clear all;

kato_orio_lamda=0.93;
ano_orio_lamda=1.07;
bima_lamda=0.001;
mikos_plaisiou=30;
vima_overlap=10;
anw_fragma_kampylis=300;

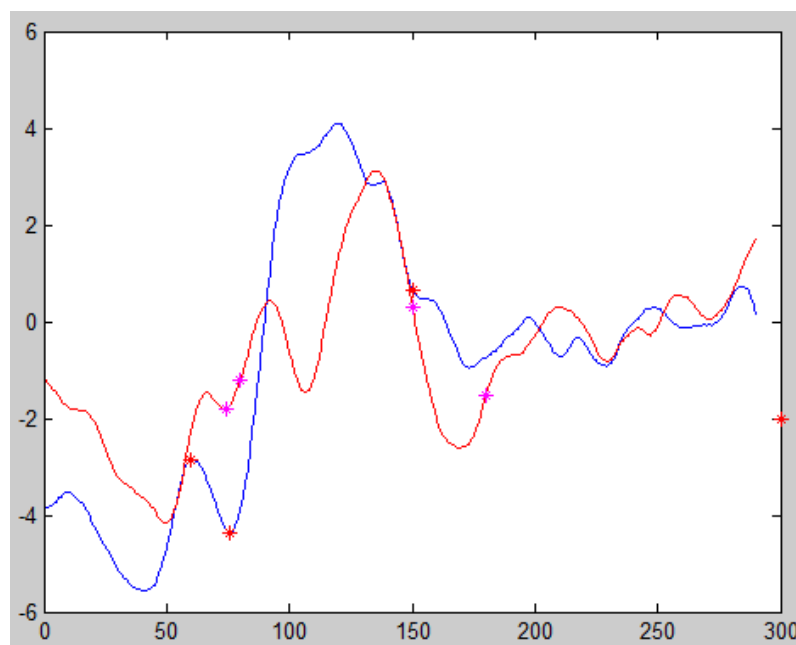
kk=25; %ο αριθμος των ηλεκτροδιων
katwfli=2.81; %Katwfli omoiotitas gia paragwgi platonikou
kampyli_anaforas =2;
```

Και παίρνουμε τα εξής από το τρέξιμο του προγράμματος:



Εικόνα 8.43: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=41$  (μπλε καμπύλη) και  $j=2$  (κόκκινη καμπύλη).

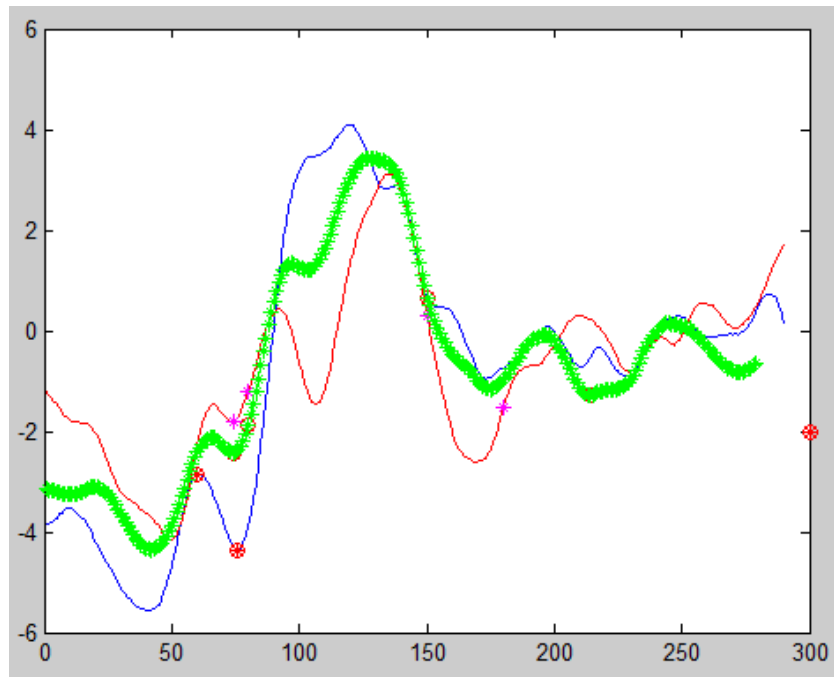
Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
51	2,7274



Εικόνα 8.44: ERPs ηλεκτροδίου  $k=25$ , υποκειμένων  $j=2$  (μπλε καμπύλη) και  $j=45$  (κόκκινη καμπύλη).

Κύριος αριθμός υποκειμένου $j$	Σφάλμα προσαρμογής $\epsilon$
45	2,8014



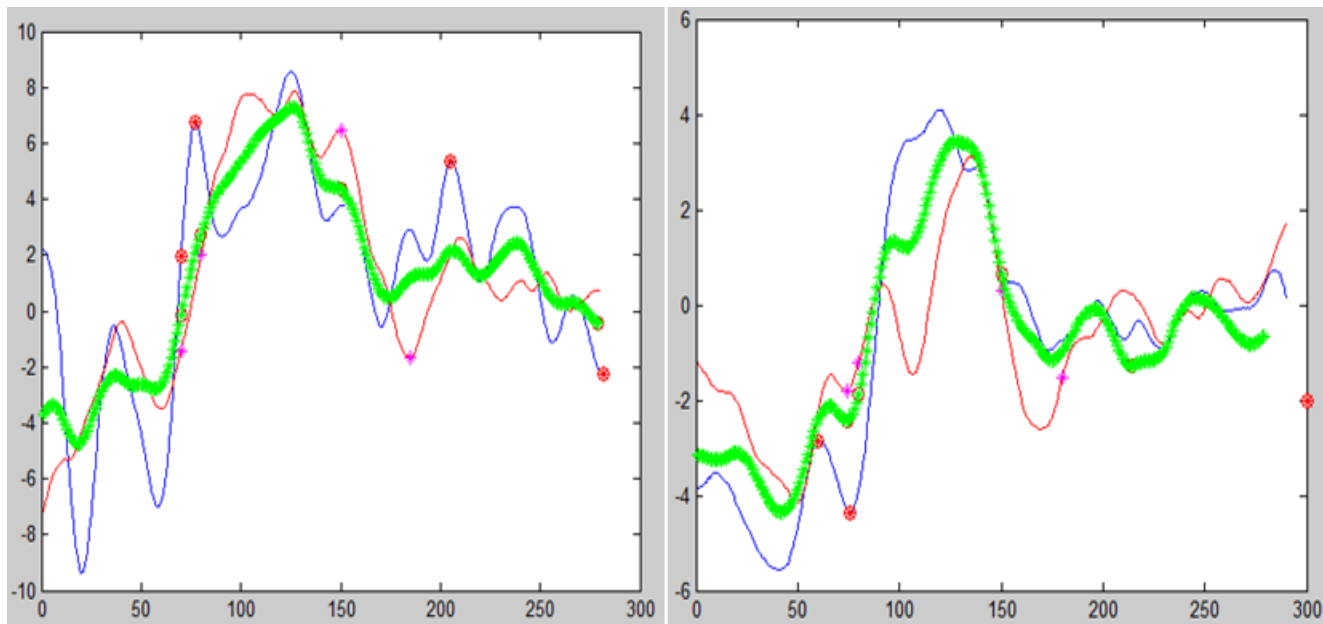


Εικόνα 8.45: Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό –ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 2, απεικονιζόμενος στην προηγούμενη εικόνα, στην περίπτωση των παραδόξων ερωτήσεων.

Ο πίνακας συσχετισμένων έχει ως εξής:

j	σφάλμα
2	
51	2,727353
45	2,801368

Συγκρίνουμε και εδώ τους πιθανούς ιδεατούς αντιπροσώπους των υποκειμένων της ίδιας ομάδας (της δεύτερης), αναμένοντας πως αφού ανήκουν στην ίδια ομάδα θα παρουσιάζουν μικρές διαφορές:

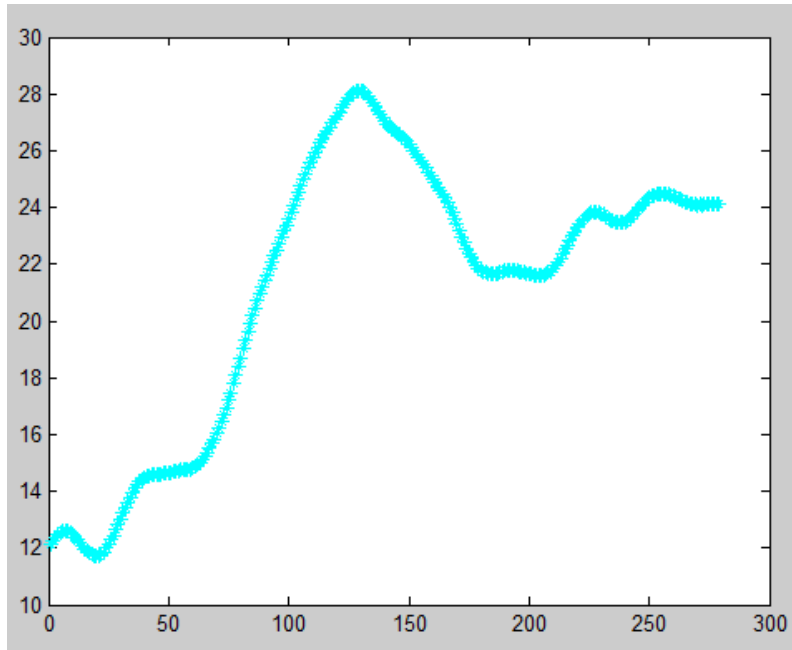


Εικόνα 8.46: Αριστερά :Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 41 Δεξιά:Πιθανός ιδεατός αντιπρόσωπος (πράσινη καμπύλη) υπό – ομάδας ηλεκτροδίου με  $k=25$  και υποκείμενο αναφοράς το 2.

Όντως η ομοιότητα μεταξύ των δύο πιθανών ιδεατών αντιπροσώπων είναι εμφανής.

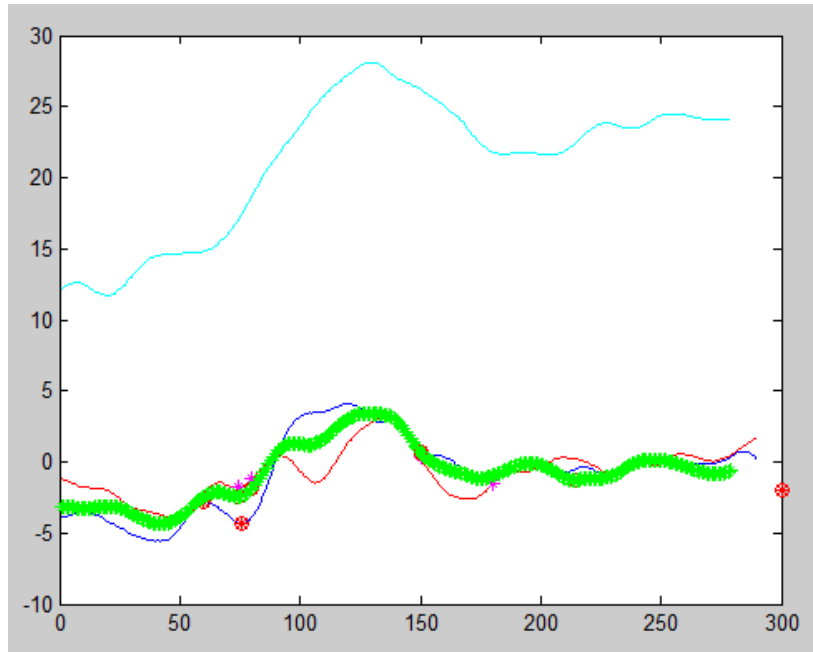
Επίσης, συγκρίνοντας τους πιθανούς ιδεατούς αντιπροσώπους που προκύπτουν με υποκείμενα αναφοράς τα στοιχεία της πρώτης ομάδας με αυτούς της δεύτερης ομάδας, παρατηρούμε σημαντικές διαφορές, γεγονός που αναμέναμε καθώς αυτές οι δύο ομάδες είναι δομημένες έτσι ώστε να περιέχουν ανεξάρτητα υποκείμενα, που δηλαδή δεν σχετίζονται τα ERPs τους.

Παρατίθεται ακολούθως η καμπύλη του ιδεατού αντιπροσώπου της δεύτερης ομάδας για την περίπτωση των paradox ερωτήσεων:



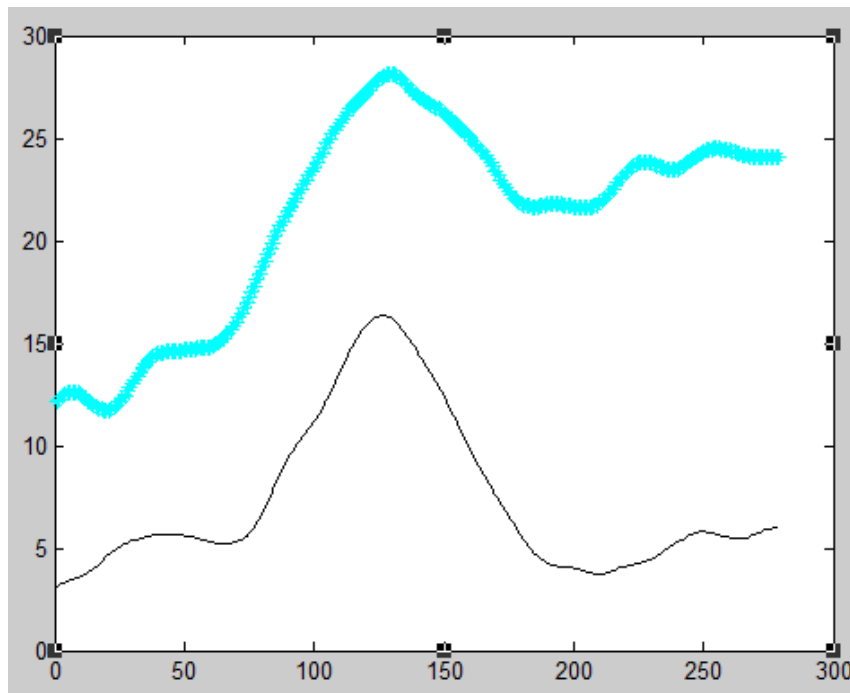
Εικόνα 8.47: Καμπύλη ιδεατού αντιπροσώπου της δεύτερης κανονικής ομάδας στα παράδοξα.

Όπως γίνεται φανερό από τα παραπάνω διαγράμματα, υπάρχει κάποια ομοιότητα μεταξύ των πιθανών ιδεατών αντιπροσώπων που προκύπτουν κάθε φορά όταν θέσουμε ως καμπύλη αναφοράς ένα από τα υποκείμενα που απαρτίζουν την κανονική αυτή ομάδα, με τον ιδεατό αντιπρόσωπο της ομάδας. Η ομοιότητα αυτή, της μορφής τους, παρουσιάζεται ακολούθως σε κοινό διάγραμμα του ιδεατού αντιπροσώπου που προκύπτει θέτοντας ως υποκείμενο αναφοράς το υποκείμενο 2 με το κανονικό πλατωνικό:



*Εικόνα 8.48: Σύγκριση καμπύλης πλατωνικού της δεύτερης κανονικής ομάδας με τον ιδεατό αντιπρόσωπο που προκύπτει θέτοντας ένα μέλος της ομάδας ως υποκείμενο αναφοράς, στις παράδοξες ερωτήσεις.*

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε σε κοινό διάγραμμα τις καμπύλες των ιδεατών αντιπροσώπων των δύο υπό μελέτη ομάδων με στόχο να αντιληφθούμε τις διαφορές στη μορφή τους:



*Εικόνα 8.49: Σύγκριση των ιδεατών αντιπροσώπων της πρώτης και της δεύτερης κανονικής ομάδας στις έγκυρες ερωτήσεις.*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε ομαδοποίηση σημάτων προκλητών δυναμικών ERPs με χρήση τεχνικών αναγνώρισης προτύπων και ψηφιακής επεξεργασίας σήματος. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν τα ERPs σήματα, τα οποία κατεγράφησαν από 26 ηλεκτρόδια κατάλληλα κατανεμημένα στο τριχωτό της κεφαλής 51 υγιών υποκειμένων. Τα βιο-ηλεκτρικά αυτά σήματα αφορούσαν δύο συγκεκριμένες εγκεφαλικές λειτουργίες, την ορθή λογική συνεπαγωγή κατά Αριστοτέλη και τον παράδοξο συλλογισμό κατά Ζήνωνα. Η εφαρμοσθείσα μέθοδος οδήγησε σε ομαδοποίηση των 51 ERPs που αντιστοιχούσαν στις δύο αυτές εγκεφαλικές λειτουργίες, ανά ηλεκτρόδιο. Η ομαδοποίηση αυτή κρίνεται πολύ ικανοποιητική διότι οι καμπύλες κάθε ομάδας παρουσίασαν πολύ μικρό λάθος προσαρμογής, γεγονός που φάνηκε από την ομοιότητα των καμπυλών των πιθανών ιδεατών αντιπροσώπων των διαφόρων υπο-ομάδων ως και του τελικού ιδεατού αντιπροσώπου της κάθε κύριας ομάδας. Επιπλέον, η βέλτιστη προσαρμογή των σχετικών καμπυλών που αντιπροσώπευαν διαφορετικές ομάδες, έδωσε σημαντικά μεγαλύτερα λάθη προσαρμογής. Επίσης, από την ενδεδειγμένη στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν στην παρούσα διπλωματική, φαίνεται ότι οι δύο εγκεφαλικές λειτουργίες, η λογική συνεπαγωγή αφενός και ο παράδοξος κατά Ζήνωνα συλλογισμός αφετέρου αντανακλούν με διαφορετικό τρόπο στα σήματα ηλεκτρικών δυναμικών που κατεγράφησαν με ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) σε υγιή υποκείμενα.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] 1995. Prior Analytics, The complete works of Aristotle. The revised Oxford Translation. Vol., 1., NJ: Princeton University Press. Chichester, West Sussex. pp. 39-113.
- [2] De Neys, W., 2006. Dual processing in reasoning: Two systems but one reasoner. In *psychological Science*. 17 : 428-433.
- [3] Rodriguez-Moreno D., Hirsch J., 2009 Mar. The dynamics of deductive reasoning: an fMRI investigation. In *Neuropsychologia*. 47(4): 949-61.
- [4] Atmanspacher H., Filk T., Römer H., 2004. Quantum Zeno features of bistable perception. In *BIOLOGICAL CYBERNETICS*, Vol. 90 no. 17 : 33-40.
- [5] Caveing M. Zeno, 2000. Greek Thought. A guide to classical Knowledge. Brunschwig J & Lloyd E. R. G. The Belknap Press of Harvard University Press, London, pp.783-795.
- [6] Simplicious. In *Physica.*, 1882. 2 vols. Ed. Hermann Diels. Berlin, 18
- [7] Strumia A., 2007. Complexity seems to open a way towards a new Aristotelian-Thomistic Ontology. In *Acta Biomed*. 78 Suppl 1:32-8.
- [8] Turner W., 2007. Zeno of Elea: Where Space, Time, Physics, and Philosophy Converge An Everyman's Introduction to an Unsung Hero of Philosophy. In *Western Kentucky University: Honors College Capstone Experience/Thesis Projects*. Paper 111.
- [9] Baddeley A., 1998. Recent developments in working memory. In *Curr Opin Neurobiol*, 8: 834-838. Collette F., Van der Linden M., 2002. Brain imaging of the central executive component of working memory. In *Neurosci Biobehav Rev*, 26:105-125.
- [10] Miyake A., Shah P., 1999. *Models of Working Memory*. New York: Cambridge University Press.
- [11] Glassman R.B., 2000. A "theory of relativity" for cognitive elasticity of time and modality dimensions supporting constant working memory capacity: involvement of harmonics among ultradian clocks? In *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 24:163-182.
- [12] Kotchoubey B., Lang S., Bostanov V., Birbaumer N., 2002. Is there a mind? Electrophysiology of unconscious patients. In *News Physiol Sci*. 17:38-42. Review.

- [13] Papageorgiou C.C., Rabavilas A.D., 2003. Abnormal P600 in obsessive-compulsive disorder. A comparison with healthy controls. In *Psychiatry Res.* 119:133-43.
- [14] Papageorgiou C., Liappas I., Ventouras E., Nikolaou C., Kitsonas E., Uzunoglu N., Rabavilas A., 2004. Long-term abstinence syndrome in heroin addicts: indices of P300 alterations associated with a short memory task. In *Progress in Neuropsychopharmacology & Biological Psychiatry.* 28:1109-1115.
- [15] Beratis I.N., Rabavilas A., Nanou E.D., Hountala C., Maganioti A.E., Capsalis C.N., Papadimitriou G.N., Papageorgiou C., 2009. Effect of initiation-inhibition and handedness on the patterns of the P50 event-related potential component: a low resolution electromagnetic tomography study. In *Behav Brain Funct.* 5:51.
- [16] Jasper H., 1958. The ten-twenty electrode system of the international federation. In *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 10:371-375.
- [17] Tecce, J.J., 1972. Contingent negative variation (CNV) and psychological processes in man. In *Psychological Bulletin* **77** (2): 73–108.
- [18] Neumann N., Kübler A., Kaiser J., Hinterberger T, Birbaumer N., 2003. Conscious perception of brain states: mental strategies for brain–computer communication. In *Neuropsychologia.* 41(8) : 1028-36.
- [19] Δ. Κουτσούρης, Σ. Παυλόπουλος, Α. Πρέντζα, 2003. Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Τεχνολογία και Ανάλυση Ιατρικών Σημάτων. 5.3, 5.4, 5.6.
- [20] C. Papaodysseus, F. Giannopoulos, S. Zannos, D. Arabadjis, P. Rousopoulos, X. Stachteia, Charalabos Papageorgiou, 2012. A new approach for the classification of event related potentials for valid and paradox reasoning.-submitted for publication
- [21] Y. Nagai, H.D. Critchley, E. Featherstone, P.B.C. Fenwick, M.R. Trimble, and R.J. Dolan , 2003. Brain activity relating to the contingent negative variation: an fMRI investigation.
- [22] Hedderik van Rijn, Tadeusz W. Kononowicz, Warren H. Meck, Kwun Kei Ng and Trevor B. Penney, 2011. Contingent negative variation and its relation to time estimation: a theoretical evaluation.
- [23] Sarah J. Hart, Nathaniel Lucena, Katherine M. Cleary, Aysenil Belger and FrancC.L.Donkers, 2012. Modulation of early and late event-related potentials by emotion.
- [24] Peter Kropp, Angela Kiewitt, Wolf-Dieter Gerber Hartmut Göbel, Peter Vetter, 2000. Reliability and Stability of Contingent Negative Variation.

- [25] <http://brainlang.georgetown.edu/erplab.htm7>
- [26] Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V.J., McCallum, W. C., and Winter, A. L. (1964). Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature* 203, 380–384.
- [27] McAdam, D. W., Knott, J. R., and Rebert, C. S. (1969). Cortical slow potential changes in man related to interstimulus interval and to pre-trial prediction of interstimulus interval. *Psychophysiology* 5, 349–358.
- [28] Gontier, E., Le Dantec, C., Leleu, A., Paul, I., Charvin, H., Bernard, C., et al. (2007). Frontal and parietal ERPs associated with duration discriminations with or without task interference. *Brain Res.* 1170, 79–89.
- [29] Leifer, L. J., Otto, D. A., Hart, S. G., & Huff, E. M. (1976). Slow potential correlates of predictive behavior during a complex learning task. In W. C. McCallum and J. R. Knott (Eds.), *The responsive brain* (pp. 65–70). Bristol: Wright.
- [30] Loveless, N. (1979). Event-related slow potentials of the brain as expressions of orienting function. In H. D. Kimmel, E. H. VanOlst, & J. Orlebeke (Eds.), *The orienting reflex in humans* (pp. 77–100). Hillsdale: L. Erlbaum.
- [31] Näätänen, R., & Merisalo, A. (1977). Expectancy and preparation in simple reaction time. In S. Dornie (Ed.), *Attention and performance* (pp. 115–138). Hillsdale, L: Erlbaum.
- [32] Timsit-Berthier, M., Geronio, A., & Rousseau, J. C. (1980). CNV and functional state changes during long-lasting and repetitive recording sessions. In H. H. Kornhuber I. Deecke (Eds.), *Progress in brain research, vol. 54: Motivation, motor and sensory processes of the brain: Electrical potentials, behavior and clinical use* (pp. 673–681). North-Holland: Elsevier.
- [33] Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: implications for a model of the “internal clock”. *Psychol. Monogr.* 77, 1–31.
- [34] Gibbon, J., Church, R. M., and Meck, W. H. (1984). Scalar timing in temporal memory. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 423, 52–77.
- [35] Meck, W. H. (1996). Neuropharmacology of timing and time perception. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 3, 227–242.
- [36] Wearden, J. H. (1999). “Beyond the fields we know...”: exploring and developing scalar timing theory. *Behav. Process.* 45, 3–21.
- [37] Meck, W. H., and Benson, A. M. (2002). Dissecting the brain’s internal clock: how frontal-striatal circuitry keeps time and shifts attention. *Brain Cogn.* 48, 195– 11.



- [38] Taatgen, N. A., van Rijn, H., and Anderson, J. R. (2007). An integrated theory of prospective time interval estimation: the role of cognition, attention and learning. *Psychol. Rev.* 114, 577–598.
- [39] Macar, F., and Vidal, F. (2009). Timing processes: an outline of behavioural and neural indices not systematically considered in timing models. *Can. J. Exp. Psychol.* 3, 227–239.
- [40] Macar, F., Vidal, F., and Casini, L. (1999). The supplementary motor area in motor and sensory timing: evidence from slow brain potential changes. *Exp. Brain Res.* 125, 271–280.
- [41] Kononowicz, T. W., and van Rijn, H. (2011). Slow potentials in time estimation: the role of temporal accumulation and habituation. *Front. Integr. Neurosci.* 5, 48. doi: 10.3389/fnint.2011.00048
- [42] Elbert, T. (1993). “Slow cortical potentials reflect the regulation of cortical excitability,” in *Slow Potential Changes in the Human Brain (NATO Sciences Series: A)*, eds W. C. McCallum and S. H. Curry (New York: Plenum Press), 235–251.
- [43] Forstmann, B. U., Dutilh, G., Brown S., Neumann, J., von Cramon D. Y., Ridderinkhof, K. R., and Wagenmakers, E. J. (2008). Striatum and pre-SMA facilitate decisionmaking under time pressure. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 105, 17538–17542.
- [44] van Maanen, L., Brown, S. D., Eichele, T., Wagenmakers, E.-J., Ho, T., Serences, J., and Forstmann, B. U. (in press). Neural correlates of trial-to-trial fluctuations in response caution. *J. Neurosci.*