



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Έλεγχος Αναπηρικού Αμαξιδίου με Χρήση Διεπαφής Εγκεφάλου-Υπολογιστή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΠΗΝΕΛΟΠΗΣ ΑΔΑΜΑΚΙΔΟΥ

Επιβλέπων: Δρ. Τσίπουρας Μάρκος

Αναπληρωτής Καθηγητής

ΚΟΖΑΝΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023



**HELLENIC DEMOCRACY
UNIVERSITY OF WESTERN
MACEDONIA**

**FUCULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL &
COMPUTER ENGINEERING**



Wheelchair Control Using a Brain-Computer Interface

THESIS

PINELOPI ADAMAKIDOU

SUPERVISOR: Dr. Tsipouras Markos

Associate Professor

KOZANI, OCTOBER 2023



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Έλεγχος Αναπηρικού Αμαξιδίου με Χρήση Διεπαφής Εγκεφάλου-Υπολογιστή” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Μάρκου Τσίπουρα αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. 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 μόνο.

Copyright (C) Πηνελόπη Αδαμακίδου, Μάρκος Τσίπουρας, 2023, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή: Πηνελόπη Αδαμακίδου

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή προσελκύει το ενδιαφέρον τόσο των επιστημόνων όσο και των γιατρών αλλά και των μηχανικών, προσφέροντας την δυνατότητα επικοινωνίας του ανθρώπινου εγκεφάλου με τις εξωτερικές συσκευές. Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η συμβολή της στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των ατόμων με κινητικές αναπηρίες, βοηθώντας τους στον έλεγχο των βοηθητικών συσκευών μόνο με την χρήση των σημάτων του εγκεφάλου. Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τον έλεγχο ενός αναπηρικού αμαξιδίου με την χρήση διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Ειδικά, για την λήψη των ακατέργαστων δεδομένων ΗΕΓ, χρησιμοποιήθηκε το στήριγμα κεφαλής Emotiv Insight, το οποίο μέσω του Lab Streaming Layer (LSL) μεταδίδει τα ακατέργαστα δεδομένα ΗΕΓ στην πλατφόρμα του OpenViBE. Προκειμένου, οι συμμετέχοντες να μπορούν να εκτελούν τις απαραίτητες νοητικές εντολές, δηλαδή το δεξί ή αριστερό Motor Imaginary για να στρίψουν, καθώς και το ανοιγοκλείσιμο των ματιών για να σταματήσουν, εκτελούνται οι καταγραφές τριών εντολών. Στην συνέχεια, πραγματοποιείται η επεξεργασία των ακατέργαστων δεδομένων με την επεξεργασία εκτός σύνδεσης, και η ταξινόμηση τους με την χρήση του αλγορίθμου Linear Discriminant Analysis (LDA). Ο μέσος όρος ακρίβειας ταξινόμησης του αλγορίθμου LDA είναι 83.24% και κυμαίνεται μεταξύ 61.8% και 92.83%. Έπειτα, στην επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, αφού ο ταξινομητής καταλάβει ποια είναι η εντολή που δόθηκε, στέλνει τα αποτελέσματα του στην Python και αυτή μέσω USB στέλνει την κατάλληλη εντολή στο αναπηρικό αμαξίδιο. Για την διεκπεραίωση της συγκεκριμένης έρευνας συμμετείχαν 10 εθελοντές ηλικίας 22 με 29 ετών, οι οποίοι έφεραν εις πέρας 3 πειράματα, διαθέτοντας 5 προσπάθειες στο καθένα. Στο πρώτο πείραμα ελέγχεται η ικανότητα του ατόμου να σταματήσει το αναπηρικό αμαξίδιο σε προκαθορισμένα σημεία, ενώ στο δεύτερο και στο τρίτο ελέγχεται ένας συνδυασμός εντολών που περιλαμβάνουν το ξεκίνημα, το σταμάτημα και την αριστερή ή δεξιά στροφή αντίστοιχα. Το σύστημα του ελεγχόμενου από ΔΕΥ αναπηρικού αμαξιδίου, όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα τόσο της ταξινόμησης όσο και της πειραματικής διαδικασίας, είναι πολλά υποσχόμενο για μελλοντική ανάπτυξη και μπορεί να υποστηρίξει ένα μεγάλο φάσμα ηλικιών.

Λέξεις Κλειδιά: Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή, ΔΕΥ, Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, ΗΕΓ, Αναπηρικό Αμαξίδιο, Στήριγμα Κεφαλής Emotiv Insight, OpenViBE, Linear Discriminant Analysis, Ταξινόμηση, Motor Imaginary.

Abstract

In recent years, brain-computer interface technology has attracted the interest of scientists, doctors and engineers alike, offering the possibility of communication between the human brain and external devices. Its contribution to improving the quality of life of people with motor disabilities is particularly important, helping them to control assistive devices using only brain signals. This thesis studies the control of a wheelchair using a brain-computer interface. Specifically, to obtain the raw EEG data, the Emotiv Insight headband was used, which through the Lab Streaming Layer (LSL) transmits the raw EEG data to the OpenViBE platform. In order, the participants can perform the necessary mental commands, namely the right or left Motor Imaginary to turn, and the blinking to stop, the three-command recordings are performed. Next, the raw data is processed by offline processing, and classified using the Linear Discriminant Analysis (LDA) algorithm. The average classification accuracy of the LDA algorithm is 83.24% and ranges between 61.8% and 92.83%. Then, in the online processing, after the classifier understands which command was given, it sends its results to Python and it sends the appropriate command to the wheelchair via USB. To carry out this particular research, 10 volunteers aged 22 to 29 years old participated and completed 3 experiments, allocating 5 attempts in each. The first experiment tests the person's ability to stop the wheelchair at predetermined points, while the second and third tests a combination of commands including starting, stopping and turning left or right respectively. The BCI-controlled wheelchair system, as shown by the results of both the classification and the experimental procedure, shows promise for future development and can support a wide range of ages.

Keywords: Brain-Computer Interface, BCI, Electroencephalogram, EEG, Wheelchair, Emotiv Insight Headband, OpenViBE, Linear Discriminant Analysis, Classification, Motor Imaginary.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης οφείλω να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους ανθρώπους, χωρίς την πολύτιμη βοήθεια των οποίων, δεν θα είχα καταφέρει να εκπληρώσω τον στόχο μου. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου, η οποία επέδειξε εξαιρετική αντοχή, στηρίζοντάς με και με το παραπάνω καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και δίνοντας μου την δύναμη να συνεχίσω και να πιστέψω στις δυνατότητες μου, ακόμα και όταν πολλά πράγματα τα θεωρούσα ακατόρθωτα.

Ένα βαθύ ευχαριστώ στους φίλους μου και σε όλους τους ανθρώπους που βρίσκονται στην ζωή μου, τόσο για τα αξέχαστα φοιτητικά χρόνια και τις όμορφες αναμνήσεις όσο και για την στήριξη τους στα εύκολα και στα δύσκολα, θεωρώντας τους πλέον την δεύτερη οικογένεια μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπον καθηγητή μου, κ. Μάρκο Τσίπουρα, για την εμπιστοσύνη του, αναθέτοντας μου την συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αλλά και για την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης, ένα εγκάρδιο ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα Κοσμά Γλαβά για την άριστη συνεργασία και για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε προκειμένου να με βοηθήσει στην διεκπεραίωση της πειραματικής διαδικασίας, λύνοντας κάθε απορία που είχα.

Τέλος, να ευχαριστήσω όλους τους εθελοντές και τις εθελόντριες, οι οποίοι συμμετείχαν με χαρά και προθυμία στην πειραματική διαδικασία, συμβάλλοντας στην ολοκλήρωση της έρευνας μου.

Πηνελόπη Αδαμακίδου
Κοζάνη, Οκτώβριος 2023

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	- 1 -
ABSTRACT	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	13
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	16
1.2 Οργάνωση του τόμου	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	19
2.1 Ανθρώπινο Νευρικό Σύστημα	19
2.1.1 Ανατομία του Ανθρώπινου Εγκεφάλου	20
2.1.2 Φυσιολογία του Ανθρώπινου Εγκεφάλου	23
2.1.3 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)	25
2.1.3.1 Σύστημα Τοποθέτησης Ηλεκτροδίων	27
2.1.3.2 Σημειολογία ΗΕΓ	28
2.1.3.3 Επεξεργασία ΗΕΓ Σήματος και Εφαρμογές Ανάλυσης ΗΕΓ	30
2.2 Αναπηρικό Αμαξίδιο	31
2.3 Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή	33
2.3.1 Οι Εφαρμογές της Διεπαφής Εγκεφάλου-Υπολογιστή	34
2.4 Παρόμοιες Έρευνες	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	38
3.1 Γενική Εισαγωγή	38
3.1.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφος Emotiv Insight	38
3.1.2 EmotivPRO	39
3.1.3 Lab Streaming Layer (LSL)	40
3.1.4 OpenViBE	40
3.2 Διάγραμμα Μεθοδολογίας	40
3.2.1 Σενάριο Καταγραφής	41
3.2.2 Επεξεργασία Εκτός Σύνδεσης	42
3.2.3 Ταξινόμηση	43
3.2.3.1 Linear Discriminant Analysis (LDA)	43
3.2.4 Επεξεργασία σε Πραγματικό Χρόνο	44
3.3 Python	45
3.3.1 PyCharm	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	47
4.1 Πειραματική Διαδικασία	47
4.1.1 Δείγμα Συμμετεχόντων	47
4.1.2 Καταγραφές εκτός Σύνδεσης	48
4.1.3 Καταγραφές Πραγματικού Χρόνου	48
4.2 Αποτελέσματα	49
4.2.1 Αποτελέσματα Εκτός Σύνδεσης	49
4.2.2 Αποτελέσματα Πραγματικού Χρόνου	50
4.2.2.1 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 1 ^ο Συμμετέχοντα	50
4.2.2.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 2 ^ο Συμμετέχοντα	54
4.2.2.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 3 ^ο Συμμετέχοντα	57
4.2.2.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 4 ^ο Συμμετέχοντα	61
4.2.2.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 5 ^ο Συμμετέχοντα	64
4.2.2.6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 6 ^ο Συμμετέχοντα	68
4.2.2.7 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 7 ^ο Συμμετέχοντα	71
4.2.2.8 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 8 ^ο Συμμετέχοντα	75
4.2.2.9 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 9 ^ο Συμμετέχοντα	78
4.2.2.10 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 10 ^ο Συμμετέχοντα	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86

5.1 Σύγκριση των Αποτελεσμάτων μεταξύ των Συμμετεχόντων	86
5.2 Συμπεράσματα της Μελέτης	89
5.3 Συγκριτική Μελέτη	90
5.4 Περιορισμοί	94
5.5 Μελλοντική Εργασία	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ - ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	102
ΑΠΟΔΟΣΗ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΩΝ ΌΡΩΝ	103

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής για τον σχεδιασμό συστήματος διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή και την λήψη της κατάλληλης εντολής από το αναπηρικό αμαξίδιο.	41
Σχήμα 2. Η εφαρμογή OpenViBE Acquisition Server.	42
Σχήμα 3. Το σενάριο καταγραφής για την καταγραφή του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης.	42
Σχήμα 4. Επεξεργασία εκτός σύνδεσης για την εκπαίδευση του ταξινομητή.	43
Σχήμα 5. Επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο.	45
Σχήμα 6. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 1 ^ο συμμετέχοντα.	51
Σχήμα 7. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 1 ^ο συμμετέχοντα.	52
Σχήμα 8. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 1 ^ο συμμετέχοντα.	53
Σχήμα 9. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 2 ^ο συμμετέχοντα.	55
Σχήμα 10. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 2 ^ο συμμετέχοντα.	56
Σχήμα 11. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 2 ^ο συμμετέχοντα.	57
Σχήμα 12. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 3 ^ο συμμετέχοντα.	58
Σχήμα 13. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 3 ^ο συμμετέχοντα.	59
Σχήμα 14. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 3 ^ο συμμετέχοντα.	60
Σχήμα 15. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 4 ^ο συμμετέχοντα.	62
Σχήμα 16. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 4 ^ο συμμετέχοντα.	63
Σχήμα 17. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 4 ^ο συμμετέχοντα.	64
Σχήμα 18. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 5 ^ο συμμετέχοντα.	65
Σχήμα 19. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 5 ^ο συμμετέχοντα.	66
Σχήμα 20. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 5 ^ο συμμετέχοντα.	67

Σχήμα 21. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 6 ^ο συμμετέχοντα.	69
Σχήμα 22. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 6 ^ο συμμετέχοντα.	70
Σχήμα 23. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 6 ^ο συμμετέχοντα.	71
Σχήμα 24. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 7 ^ο συμμετέχοντα.	72
Σχήμα 25. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 7 ^ο συμμετέχοντα.	73
Σχήμα 26. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 7 ^ο συμμετέχοντα.	74
Σχήμα 27. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 8 ^ο συμμετέχοντα.	76
Σχήμα 28. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 8 ^ο συμμετέχοντα.	77
Σχήμα 29. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 8 ^ο συμμετέχοντα.	78
Σχήμα 30. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 9 ^ο συμμετέχοντα.	79
Σχήμα 31. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 9 ^ο συμμετέχοντα.	80
Σχήμα 32. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 9 ^ο συμμετέχοντα.	81
Σχήμα 33. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος για τον 10 ^ο συμμετέχοντα.	83
Σχήμα 34. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος για τον 10 ^ο συμμετέχοντα.	84
Σχήμα 35. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος για τον 10 ^ο συμμετέχοντα.	85
Σχήμα 36. Γραφική παράσταση του 1 ^{ου} πειράματος με τα συλλογικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων.	87
Σχήμα 37. Γραφική παράσταση του 2 ^{ου} πειράματος με τα συλλογικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων.	88
Σχήμα 38. Γραφική παράσταση του 3 ^{ου} πειράματος με τα συλλογικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων.	89

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Αυτόνομο νευρικό σύστημα του ανθρώπου.	20
Εικόνα 2. Διάκριση του ΚΝΣ στην φαιά και την λευκή ουσία.	21
Εικόνα 3. Ανατομία του ανθρώπινου εγκεφάλου.	21
Εικόνα 4. Τα τμήματα του ανθρώπινου εγκεφάλου.	22
Εικόνα 5. Δομή νευρικού κυττάρου.	23
Εικόνα 6. Σχηματική αναπαράσταση της νευρικής ώσης.	24
Εικόνα 7. Σχηματική απεικόνιση της σύναψης.	25
Εικόνα 8. Καταγραφή ΗΕΓ με την τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής.	26
Εικόνα 9. Το διεθνές σύστημα 10/20 για την τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής.	28
Εικόνα 10. Οι ΗΕΓ ρυθμοί.	29
Εικόνα 11. Η λεγόμενη «καρέκλα μπάνιου» από τον John Dawson το 1783.	32
Εικόνα 12. Ένα σύγχρονο ηλεκτρικό αναπηρικό αμαξίδιο.	33
Εικόνα 13. Παραδείγματα εμπορικών ΗΕΓ συσκευών.	34
Εικόνα 13.α. Neurosky Mindset	34
Εικόνα 13.β. Neurosky Mindwave	34
Εικόνα 13.γ. Emotiv Eroc	34
Εικόνα 13.δ. Neurospec Neuroharmony	34
Εικόνα 13.ε B-Bridge Brain Athlete	34
Εικόνα 14. Ο ΗΕΓ Emotiv Insight	39
Εικόνα 15.α. Στην αριστερή εικόνα φαίνεται η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων του Emotiv Insight.	39
Εικόνα 15.β. Στην δεξιά εικόνα φαίνεται ο ΗΕΓ Emotiv Insight τοποθετημένος πάνω στην κεφαλή.	39
Εικόνα 16. Ο συμμετέχων κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας πάνω στο αναπηρικό αμαξίδιο, φορώντας τον ΗΕΓ Emotiv Insight.	49

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Στοιχεία του κάθε συμμετέχοντα.	47
Πίνακας 2. Αποτελέσματα της ταξινόμησης για τον κάθε συμμετέχοντα.	50
Πίνακας 3. Αποτελέσματα του 1 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	51
Πίνακας 4. Αποτελέσματα του 1 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	52
Πίνακας 5. Αποτελέσματα του 1 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	53
Πίνακας 6. Αποτελέσματα του 2 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	54
Πίνακας 7. Αποτελέσματα του 2 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	55
Πίνακας 8. Αποτελέσματα του 2 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	56
Πίνακας 9. Αποτελέσματα του 3 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	58
Πίνακας 10. Αποτελέσματα του 3 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	59
Πίνακας 11. Αποτελέσματα του 3 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	60
Πίνακας 12. Αποτελέσματα του 4 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	61
Πίνακας 13. Αποτελέσματα του 4 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	62
Πίνακας 14. Αποτελέσματα του 4 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	63
Πίνακας 15. Αποτελέσματα του 5 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	65
Πίνακας 16. Αποτελέσματα του 5 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	66
Πίνακας 17. Αποτελέσματα του 5 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	67
Πίνακας 18. Αποτελέσματα του 6 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	68
Πίνακας 19. Αποτελέσματα του 6 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	69
Πίνακας 20. Αποτελέσματα του 6 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	70
Πίνακας 21. Αποτελέσματα του 7 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	72
Πίνακας 22. Αποτελέσματα του 7 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	73
Πίνακας 23. Αποτελέσματα του 7 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	74
Πίνακας 24. Αποτελέσματα του 8 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	75
Πίνακας 25. Αποτελέσματα του 8 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	76

Πίνακας 26. Αποτελέσματα του 8 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	77
Πίνακας 27. Αποτελέσματα του 9 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	79
Πίνακας 28. Αποτελέσματα του 9 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	80
Πίνακας 29. Αποτελέσματα του 9 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	81
Πίνακας 30. Αποτελέσματα του 10 ^{ου} συμμετέχοντα για το 1 ^ο πείραμα.	82
Πίνακας 31. Αποτελέσματα του 10 ^{ου} συμμετέχοντα για το 2 ^ο πείραμα.	83
Πίνακας 32. Αποτελέσματα του 10 ^{ου} συμμετέχοντα για το 3 ^ο πείραμα.	84
Πίνακας 33. Συλλογικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων για το 1 ^ο πείραμα.	86
Πίνακας 34. Συλλογικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων για το 2 ^ο πείραμα.	87
Πίνακας 35. Συλλογικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων για το 3 ^ο πείραμα.	89
Πίνακας 36. Συγκριτική ανάλυση της παρούσας διπλωματικής με άλλες παρόμοιες εργασίες στην βιβλιογραφία.	91

Πρόλογος

Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε για το παρόν σύγγραμμα βασίζεται στους κλάδους της ιατρικής πληροφορικής, της εξόρυξης δεδομένων και της μηχανικής μάθησης. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί ο έλεγχος ενός αναπηρικού αμαξιδίου με την χρήση διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Προκειμένου να διεκπεραιωθεί η εν λόγω έρευνα, πραγματοποιήθηκαν τρία πειράματα με 5 προσπάθειες στο καθένα, στα οποία συμμετείχαν 10 υγιής εθελοντές ηλικίας 22 με 29 ετών. Σκοπός αυτών των πειραμάτων ήταν η εξοικείωση των συμμετεχόντων με τον υπάρχοντα εξοπλισμό και η βελτίωση της ικανότητας τους να ελέγχουν το αναπηρικό αμαξίδιο με την βοήθεια της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή, εκτελώντας εντολές όπως η αριστερή και δεξιά στροφή, η εκκίνηση και το σταμάτημα. Συγκεκριμένα, η διπλωματική εργασία υλοποιήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας κατά την θερινή περίοδο του Ακαδημαϊκού Έτους 2022-2023, υπό την επίβλεψη του κ. Μάρκου Τσίπουρα, Αναπληρωτή Καθηγητή του παραπάνω Τμήματος. Η πειραματική διαδικασία διεκπεραιώθηκε στο Επιστημονικό και Τεχνολογικό Πάρκο Ηπείρου, όπου βρισκόταν ο απαραίτητος εξοπλισμός, υπό την βοήθεια και καθοδήγηση του υποψήφιου διδάκτορα Κοσμά Γλαβά.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Με την πάροδο των χρόνων η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επηρεάσει σημαντικά την κοινωνία και τον τρόπο ζωής των ανθρώπων, καθώς έχει καταφέρει να κάνει αισθητή την παρουσία της σε διάφορους τομείς, κυρίως όμως στην επικοινωνία, στην ψυχαγωγία, στην υγεία, στην εκπαίδευση και στην εργασία. Ειδικότερα, η υιοθέτηση της τεχνολογίας στην υγειονομική περίθαλψη έχει συνεισφέρει στην επέκταση της σε ποικίλους κλάδους, λόγου χάρη σε αυτόν της βιοϊατρικής, της τηλεϊατρικής, της ανοσοθεραπείας του καρκίνου, της επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας και της ρομποτικής χειρουργικής. Κατ' επέκταση συνέβαλε στην αύξηση της διάρκειας ζωής του ανθρώπου, σώζοντας έτσι πολλές ζωές. Επιπλέον, το ενδιαφέρον των επιστημόνων, των γιατρών αλλά και των μηχανικών κεντρίζεται από την τεχνολογία διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή, η οποία έχει αποτελέσει το επίκεντρο για την ανάπτυξη ακόμα περισσότερων ερευνών.

Οι διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή δίνουν την δυνατότητα της άμεσης αλληλεπίδρασης του ανθρώπινου εγκεφάλου με εξωτερικές τεχνικές συσκευές, όπως τα ρομπότ και τα εικονικά περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, αφού αποκτήσουν τα σήματα του εγκεφάλου, τα επεξεργάζονται, μεταφράζοντας τα σε εντολές ελέγχου για τις συσκευές εξόδου. Πριν πραγματοποιηθεί η χρήση των διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή σε πραγματικό χρόνο, πρέπει να γίνει η εκπαίδευση των συστημάτων αυτών σε δεδομένα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος συγκεκριμένου υποκειμένου. Η εκπαίδευση μπορεί να διαρκέσει από μερικά λεπτά έως και ώρες, γιατί εξαρτάται από τον τύπο της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή που χρησιμοποιείται. Συνήθως, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές για την κινητική απεικόνιση, για παράδειγμα η κίνηση του δεξιού/αριστερού χεριού, η κίνηση του ποδιού, των ματιών δεξιά/αριστερά, το ανοιγοκλείσιμο των ματιών, η κίνηση της γλώσσας αλλά και η καταμέτρηση της σκέψης.

Τα συστήματα διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στα επεμβατικά και στα μη επεμβατικά. Η διαφορά τους είναι ότι στις επεμβατικές τεχνικές αφού προηγηθεί χειρουργική επέμβαση τα ηλεκτρόδια εισέρχονται στο εσωτερικό του κρανίου, ενώ στις μη επεμβατικές η τοποθέτησή τους γίνεται στο τριχωτό της κεφαλής. Οι μη επεμβατικές ΗΕΓ συσκευές έχουν ευρεία χρήση συγκριτικά με τις επεμβατικές, για τον λόγο του ότι είναι πιο οικονομικές, ασφαλείς και εύκολες στην χρήση.

Ένα αρκετά κρίσιμο πρόβλημα, το οποίο απασχολεί παγκοσμίως εκατομμύρια ανθρώπους, φαίνεται να είναι οι κινητικές αναπηρίες, με αρκετούς να πάσχουν από κάποια εγκεφαλική βλάβη ή άλλη

νευρολογική ασθένεια από την αρχή της ζωής τους. Τα άτομα που αντιμετωπίζουν κινητικά προβλήματα αδυνατούν να συγχρονιστούν με τους ρυθμούς της κοινωνίας και δυσκολεύονται στην εκτέλεση της καθημερινής τους ρουτίνας, με άμεσο αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας ζωής τους. Η μεγάλη ανάγκη για υποστηρικτικά συστήματα, τα οποία θα βοηθήσουν τα άτομα αυτά να ανταπεξέλθουν στις καθημερινές τους ανάγκες και να βελτιώσουν σημαντικά της ζωή τους, οδήγησε στην ενσωμάτωση του συστήματος ΔΕΥ για την υποβοήθηση των ατόμων με δυσλειτουργία στα άκρα. Έτσι, για τον έλεγχο των βοηθητικών συσκευών, όπως το αναπηρικό αμαξίδιο, δεν θα χρειάζεται κάποια μυϊκή κίνηση, παρά μόνο τα σήματα του εγκεφάλου. Το συγκεκριμένο σύστημα συμβάλλει στην βελτίωση της ποιότητας ζωής τόσο των πασχόντων, όσο και των ηλικιωμένων ασθενών και μη, βοηθώντας στην ευκολότερη εκτέλεση των καθηκόντων τους. Επιπρόσθετα, ενισχύεται η ανεξαρτησία και η αυτοπεποίθηση των ατόμων μέσα από την συμμετοχή τους σε καθημερινές δραστηριότητες, αλλά και από την δυνατότητα να αλληλοεπιδρούν πιο αποτελεσματικά με υψηλές επιδόσεις με άλλους ανθρώπους. Οι ΔΕΥ υπόσχονται την αποκατάσταση εγκεφαλικών επεισοδίων, στοχεύοντας στην απόκλιση των κατεστραμμένων νευρωνικών οδών και στην παρουσίαση άλλων μέσων επικοινωνίας και ελέγχου για τους ασθενείς που αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους βλάβη. Αυτές οι παρεμβάσεις, μπορούν να οδηγήσουν στην ταχεία αποκατάσταση των ατόμων και στην ανάκτηση των κινητικών τους ικανοτήτων. Εξίσου σημαντική κρίνεται η συμβολή των ΔΕΥ στην εκπαίδευση, δίνοντας την ευκαιρία σε πολλούς να καλύψουν την μεγάλη ανάγκη τους για μάθηση, διαδραστικότητα και κοινωνικοποίηση μέσα από το σχολικό περιβάλλον.

Ωστόσο, η τεχνολογία ΔΕΥ περιλαμβάνει ορισμένους περιορισμούς για τα άτομα με κινητικές αναπηρίες, με βασικότερο την ποιότητα του σήματος. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν τα σήματα του εγκεφάλου που λαμβάνει η ΔΕΥ, αλλοιώνοντας έτσι την ποιότητα και την αξιοπιστία τους. Για παράδειγμα, τα τεχνουργήματα και ο θόρυβος που μπορεί να προκαλούνται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως οι ηλεκτρικές παρεμβολές ή η μυϊκή δραστηριότητα, επηρεάζουν την ακρίβεια της ΔΕΥ, προκαλώντας σφάλματα ή αμφισβητήσιμες επιδόσεις. Η κόπωση του ατόμου, που είναι πιθανόν να οφείλεται στην συνεχή χρήση της ΔΕΥ, μπορεί επίσης να επηρεάσει την απόδοση του σήματος. Παράλληλα, τα συστήματα αυτά έχουν περιορισμένη λειτουργικότητα, επειδή μπορούν να εκτελέσουν ένα συγκεκριμένο εύρος εντολών και όχι το πλήρες φάσμα σε σχέση με τις φυσικές κινήσεις. Ανάλογα με την πάθηση του ατόμου, η ποιότητα και η συνοχή των σημάτων του εγκεφάλου διαφέρει. Συμπληρωματικά, για να είναι πιο αξιόπιστη η χρήση της ΔΕΥ είναι απαραίτητη μία συνεχής εκπαίδευση και βαθμονόμηση, γεγονός που απαιτεί χρόνο, προσπάθεια και συγκέντρωση από τους ασθενείς, καθώς και από τους ειδικούς. Σημαντικό θεωρείται επίσης το κόστος της τεχνολογία ΔΕΥ, το οποίο μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο σε πολλά άτομα που ενώ έχουν ανάγκη την υποστήριξή της ΔΕΥ, τους περιορίζει η οικονομική τους δυνατότητα.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκε ένα υποσύστημα ΔΕΥ για τον έλεγχο ενός αναπηρικού αμαξιδίου. Σε πρώτο στάδιο στο λογισμικό OpenViBE πραγματοποιήθηκαν οι καταγραφές ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης, κατά την διάρκεια των οποίων ζητήθηκε από τους εθελοντές να καθίσουν σε μία καρέκλα και να παραμείνουν όσο το δυνατόν περισσότερο γίνεται ακίνητοι, φορώντας το στήριγμα κεφαλής Emotiv Insight, για τη λήψη των ακατέργαστων δεδομένων ΗΕΓ. Έπειτα, αφού ολοκληρώθηκαν οι καταγραφές, εκτελέστηκε η επεξεργασία εκτός σύνδεσης, στην οποία έγινε η επεξεργασία των δεδομένων. Ειδικότερα, αφού έγινε η φόρτωση των αρχείων .csv, για να εισαχθεί το σήμα του εγκεφάλου, εκτελέστηκε ένα prefilter 8-40Hz για την μείωση του θορύβου. Στην συνέχεια, έγινε ο διαχωρισμός του σήματος σε 5 ζώνες συχνοτήτων και η εποχικοποίηση του. Ακολούθησε ο υπολογισμός της ενέργειας κάθε ζώνης και της μέσης τιμής της ενέργειας, καθώς επίσης και η είσοδος του σήματος στον ταξινομητή. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των δεδομένων ΗΕΓ με την χρήση του αλγορίθμου Linear Discriminant Analysis (LDA). Σε τελικό στάδιο πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, κατά την διάρκεια της οποίας τα άτομα έπρεπε να συμμετέχουν σε 3 πειράματα, εκτελώντας 5 προσπάθειες στο καθένα. Συγκεκριμένα, στο πρώτο πείραμα, τα άτομα κλήθηκαν να σταματήσουν

το αναπηρικό αμαξίδιο σε δύο προκαθορισμένα σημεία, εκτελώντας ένα ανοιγοκλείσιμο των ματιών λίγο πριν το σημείο σταματημού. Στο δεύτερο πείραμα πραγματοποιήθηκε μία διαδρομή, στην οποία οι εθελοντές έπρεπε να πραγματοποιήσουν 7 εντολές συνολικά, 4 αριστερές στροφές και 3 σταματήματα. Αντίθετα, στο τρίτο πείραμα οι εθελοντές έπρεπε να πραγματοποιήσουν 7 εντολές συνολικά, 4 δεξιές στροφές και 3 σταματήματα. Το πρώτο πείραμα αξιολογήθηκε με την μέτρηση της απόστασης σταματημού από τα δύο σημεία, αλλά και των συνολικών στάσεων που πραγματοποιήθηκαν, ενώ το δεύτερο και το τρίτο πείραμα με τον συνολικό αριθμό των εντολών που εκτέλεσαν οι συμμετέχοντες, τις λάθος στροφές και τα σταματήματα.

1.2 Οργάνωση του τόμου

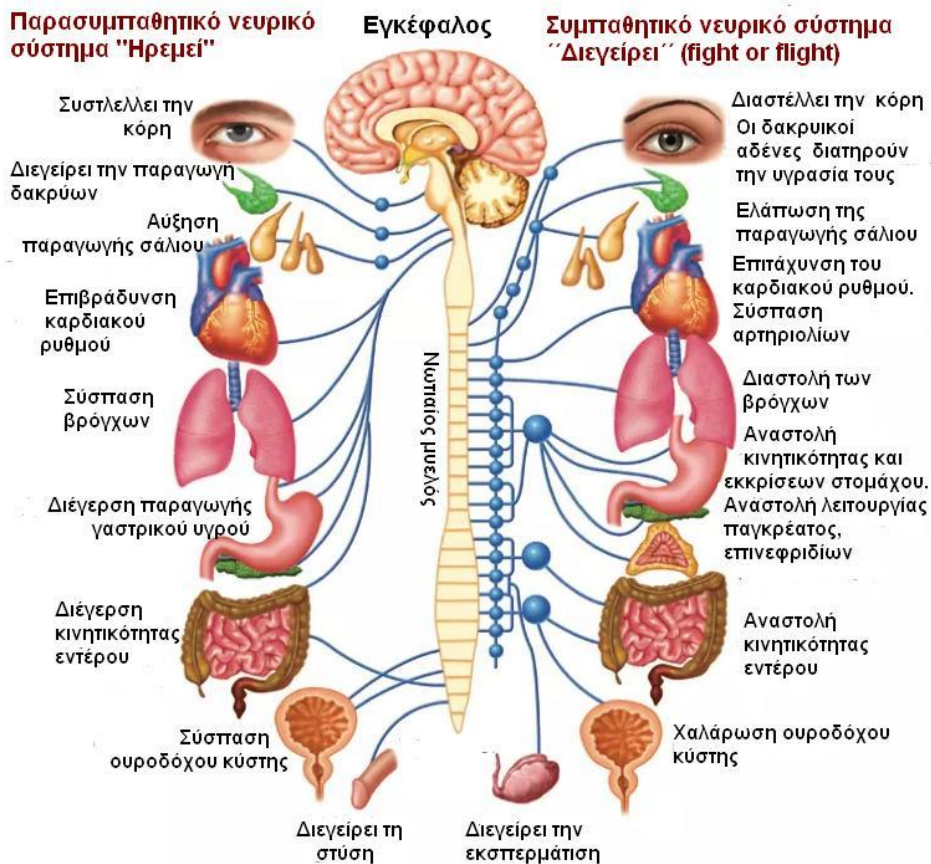
Η ανάλυση του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας υλοποιήθηκε στα ακόλουθα 5 κεφάλαια. Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύονται το ανθρώπινο νευρικό σύστημα, η ανατομία και η φυσιολογία του ανθρώπινου εγκεφάλου, καθώς επίσης και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Συγκεκριμένα, περιγράφονται οι ΗΕΓ ρυθμοί, η διαδικασία επεξεργασίας των ΗΕΓ σημάτων και κατ' επέκταση οι εφαρμογές ανάλυσης ΗΕΓ. Έπειτα, γίνεται μία αναδρομή στην ιστορία του αναπηρικού αμαξιδίου από το παρελθόν μέχρι και σήμερα και αναλύεται η διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή, οι εφαρμογές της ειδικά για άτομα με κινητικές αναπηρίες, αλλά και παρόμοιες έρευνες. Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα εξαρτήματα και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της διεπαφής και την επικοινωνία της με το αναπηρικό αμαξίδιο. Ιδιαίτερα, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που στοχεύει στην απόκτηση των σημάτων ΗΕΓ, στην προεπεξεργασία τους και στην εξαγωγή των χαρακτηριστικών για την ανάπτυξη της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Στις τελευταίες υποενότητες του κεφαλαίου 3 αναλύεται η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και η διαδικασία κατά την οποία τα αποτελέσματα του ταξινομητή αποστέλλονται στην Python, η οποία μέσω USB στέλνει την κατάλληλη εντολή στην αναπηρική καρέκλα. Στην συνέχεια, στο 4^ο κεφάλαιο, αφού γίνει η αναλυτική περιγραφή του δείγματος των ατόμων, η οποία περιλαμβάνει το φύλο, την ηλικία και την κατάσταση της όρασης, περιγράφεται η πειραματική διαδικασία, από την διαδικασία καταγραφής των τριών διαφορετικών εντολών έως και την διαδικασία εκτέλεσης καθενός από τα τρία πειράματα πάνω στο καρότσι. Επιπλέον, αναλύονται στην υποενότητα 4.2.1 τα αποτελέσματα εκτός σύνδεσης, δηλαδή τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των δεδομένων ΗΕΓ για τις 3 ψυχικές εντολές με την χρήση του αλγορίθμου Linear Discriminant Analysis (LDA). Το κεφάλαιο 4 ολοκληρώνεται με την υποενότητα 4.2.2, στην οποία γίνεται η παρουσίαση και ο αναλυτικός σχολιασμός των αποτελεσμάτων πραγματικού χρόνου του κάθε συμμετέχοντα ξεχωριστά σε τρεις πίνακες έναν για το κάθε πείραμα. Στο 5^ο κεφάλαιο, το οποίο είναι και το τελευταίο, γίνεται μία σύγκριση των μέσων όρων των αποτελεσμάτων των συμμετεχόντων ξεχωριστά για το κάθε πείραμα και βγαίνει το πόρισμα για το ποιοι έχουν την καλύτερη επίδοση και ποιοι την χειρότερη. Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την συγκεκριμένη μελέτη, οι περιορισμοί κατά την πειραματική διαδικασία, η σύγκριση της με παρόμοιες έρευνες, καθώς επίσης και οι στόχοι για μελλοντική ανάπτυξη και βελτίωση.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Ανθρώπινο Νευρικό Σύστημα

Το νευρικό σύστημα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα συστήματα του ανθρώπινου σώματος, διότι είναι υπεύθυνο για την σωστή λειτουργία των οργάνων και για την αρμονική λειτουργία μεταξύ τους [1]. Συγκεκριμένα, συμβάλλει στην αλληλεπίδραση του οργανισμού με το περιβάλλον του, τόσο μέσω της αισθητικής λειτουργίας, η οποία ανιχνεύει περιβαλλοντικά ερεθίσματα, όσο μέσω της κινητικής λειτουργίας, η οποία είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο των σκελετικών, καρδιακών και λείων μυών [2]. Επιπλέον, βασικές διαδικασίες απαραίτητες για την καθημερινότητα, όπως η κίνηση, η σκέψη, η μνήμη, η ομιλία, καθώς επίσης η πέψη, η αναπνοή και η ανάπτυξη συντονίζονται από το νευρικό σύστημα [3]. Θεωρείται γνωστό ότι τα νευρικά βλαστικά κύτταρα λόγω της πλαστικότητας τους, έχουν σημαντικό ρόλο στην ανταπόκριση σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος και στην αποφυγή τραυματισμών [2]. Το νευρικό σύστημα αποτελείται ανατομικά από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), το οποίο περιλαμβάνει τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό, και από το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ), το οποίο περιλαμβάνει τα κρανιακά και νωτιαία νεύρα, δηλαδή αυτά που εξάγονται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό αντίστοιχα, αλλά και τα νεύρα του αυτόνομου συστήματος. Τα νεύρα του ΠΝΣ αποστέλλουν τα νευρικά μηνύματα από τα αισθητήρια όργανα και τους υποδοχείς στον οργανισμό προς το ΚΝΣ και έπειτα από το ΚΝΣ προς τους μύες και τους αδένες του σώματος [4]. Ακόμα, το ΠΝΣ αποτελείται από το αυτόνομο ή αλλιώς φυτικό νευρικό σύστημα, το οποίο όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 1** διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, στο συμπαθητικό και στο παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα. Ειδικότερα, το συμπαθητικό νευρικό σύστημα σχετίζεται με την αύξηση του ρυθμού της καρδιάς, της συσταλτικότητας του μυοκαρδίου και της παραγωγής ιδρώτα. Αντίθετα, το παρασυμπαθητικό νευρικό σύστημα συνδέεται με την επιβράδυνση της καρδιάς, την αυξημένη μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού και άλλες δραστηριότητες που συμβάλλουν στην χαλάρωση και στον περιορισμό του υψηλού στρες [5].

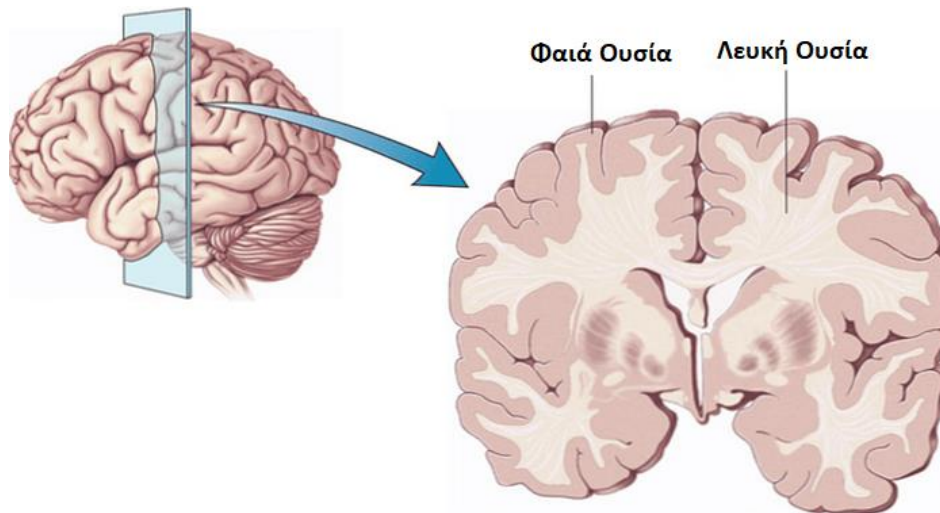
ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



ΕΙΚΟΝΑ 1. ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΜΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΣΥΜΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ [6].

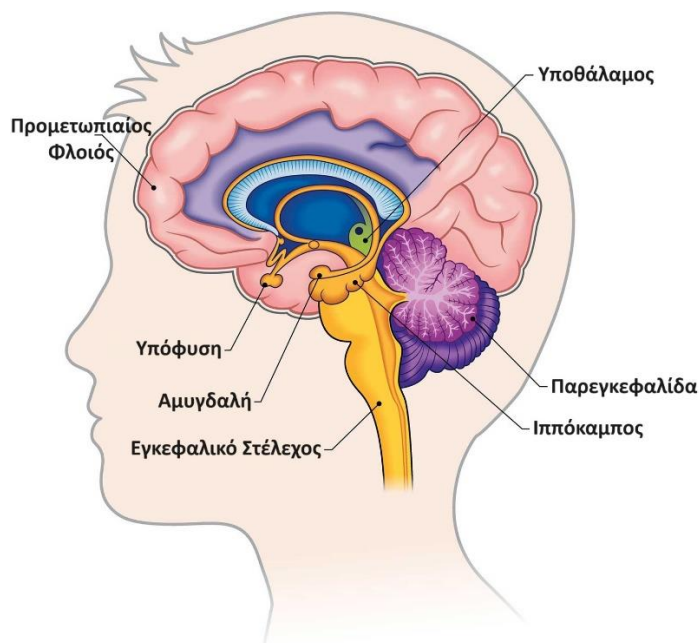
2.1.1 Ανατομία του Ανθρώπινου Εγκεφάλου

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι ένα αξιοσημείωτο όργανο νευρικού ιστού, βάρους 1,3 με 1,4 κιλά, το οποίο ελέγχει σωματικές λειτουργίες, όπως τις αντιδράσεις, τις αισθήσεις, την κίνηση, τα συναισθήματα, την επικοινωνία, την σκέψη και την μνήμη [7], [8]. Περίπου το 60% του εγκεφάλου αποτελείται από λίπος και το 40% από έναν συνδυασμό νερού, αλάτων, πρωτεϊνών και υδατανθράκων. Επιπλέον, διαθέτει αιμοφόρα αγγεία και νεύρα, μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονται οι νευρώνες και τα νευρογλοία. Το ΚΝΣ διακρίνεται σε δύο διακριτά τμήματα, όπως φαίνεται και στην **εικόνα 2**, την φαιά ουσία, η οποία βρίσκεται στο πιο σκούρο, εξωτερικό τμήμα του εγκεφάλου και είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία της πληροφορίας, και την λευκή ουσία, η οποία βρίσκεται στο πιο ανοιχτό, εσωτερικό τμήμα του και είναι υπεύθυνη για την μετάδοση της πληροφορίας. Η διαφορά των δύο αυτών ουσιών στο χρώμα εμφανίζεται λόγω της διαφορετικής σύνθεσης των τμημάτων των νευρώνων, καθώς η φαιά ουσία περιλαμβάνει τα σωματίδια των νευρώνων, ενώ η λευκή περιέχει κυρίως άξονες που συνδέουν τους νευρώνες και καλύπτονται από μυελίνη [9].



ΕΙΚΟΝΑ 2. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΝΣ ΣΤΗΝ ΦΑΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΛΕΥΚΗ ΟΥΣΙΑ [10].

Τα κυριότερα τμήματα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι τα εγκεφαλικά ημισφαίρια, η παρεγκεφαλίδα και το εγκεφαλικό στέλεχος. Πιο συγκεκριμένα, ο εγκέφαλος χωρίζεται στην μέση σε δύο ημισφαίρια, το δεξί, το οποίο ελέγχει την αριστερή πλευρά του σώματος, και το αριστερό, το οποίο ελέγχει τη δεξιά. Η επικοινωνία των δύο ημισφαιρίων επιτυγχάνεται με το στεφανιαίο σώμα, που είναι μία τεράστια δομή λευκής ουσίας και νευρικών οδών στο κέντρο του εγκεφάλου. Τα εγκεφαλικά ημισφαίρια αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του εγκεφάλου και το καθένα από αυτά εκτελεί ορισμένες δραστηριότητες, όπως η αφή, η όραση, η ακοή, η ομιλία, η λογική, το συναίσθημα και η δημιουργικότητα [8], [9], [11].

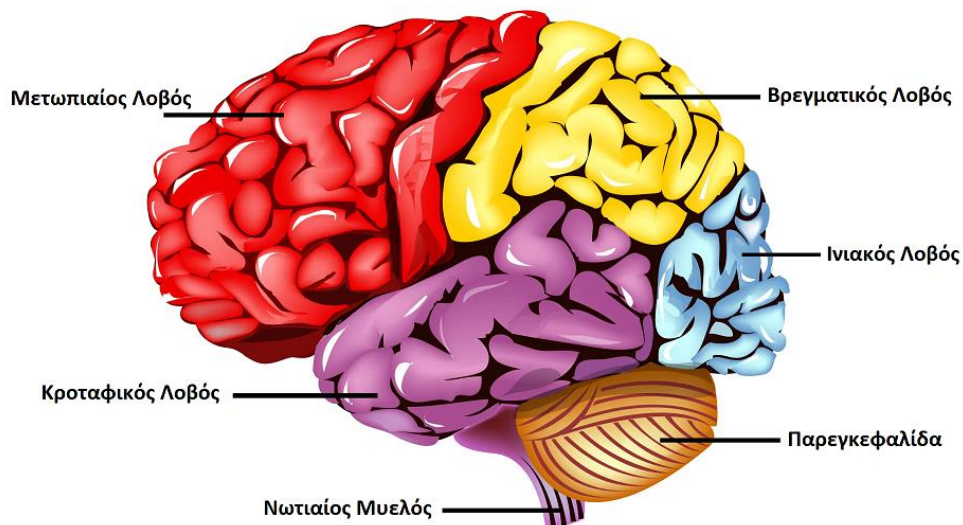


ΕΙΚΟΝΑ 3. ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ [9].

Τα εγκεφαλικά ημισφαίρια όπως φαίνεται και στην **εικόνα 4** χωρίζονται σε 4 λοβούς, τον μετωπιαίο λοβό, τον βρεγματικό, τον κροταφικό και τον ινιακό. Ειδικότερα, ο μετωπιαίος λοβός, είναι ο μεγαλύτερος λοβός συγκριτικά με τους υπόλοιπους τρεις και βρίσκεται μπροστά από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια. Συμβάλλει στην προοπτική μνήμη, δηλαδή στις αναμνήσεις των σχεδίων που έχει κάνει ο άνθρωπος στο παρόν, στο παρελθόν και για το μέλλον. Επιπρόσθετα, ελέγχει την ομιλία, την

προσωπικότητα, το συναίσθημα, την συμπεριφορά, την κριτική ικανότητα και την κίνηση του σώματος [8], [12]. Από την άλλη, ο βρεγματικός λοβός, βρίσκεται πίσω από τον μετωπικό, και είναι υπεύθυνος για την ερμηνεία των κινητικών και σωματοαισθητικών σημάτων, λόγω χάρη της αφής, της πίεσης, του πόνου και της θερμοκρασίας, αλλά και για την χωρική και οπτική αντίληψη. Ο κροταφικός λοβός καταλαμβάνει το μέσο κρανιακό βόθρο και βρίσκεται πίσω από τον μετωπιαίο λοβό και κάτω από τον βρεγματικό. Επιπρόσθετα, συμβάλλει στον έλεγχο της μνήμης και των ειδικών αισθήσεων, όπως η κατανόηση της γλώσσας, η ακοή και η μνήμη. Τέλος, ο ινιακός λοβός αποτελεί τον μικρότερο λοβό του εγκεφαλικού φλοιού και βρίσκεται στο πίσω μέρος του εγκεφάλου, πίσω από τον βρεγματικό και τον κροταφικό λοβό. Ο συγκεκριμένος λοβός σχετίζεται με την αίσθηση της όρασης, δηλαδή επεξεργάζεται και την ερμηνεύει τις οπτικές πληροφορίες.

Τμήματα του Ανθρώπινου Εγκεφάλου



ΕΙΚΟΝΑ 4. ΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ. ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΟΙ 4 ΛΟΒΟΙ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ, Ο ΝΩΤΙΑΙΟΣ ΜΥΕΛΟΣ ΚΑΙ Η ΠΑΡΕΓΚΕΦΑΛΙΔΑ [13].

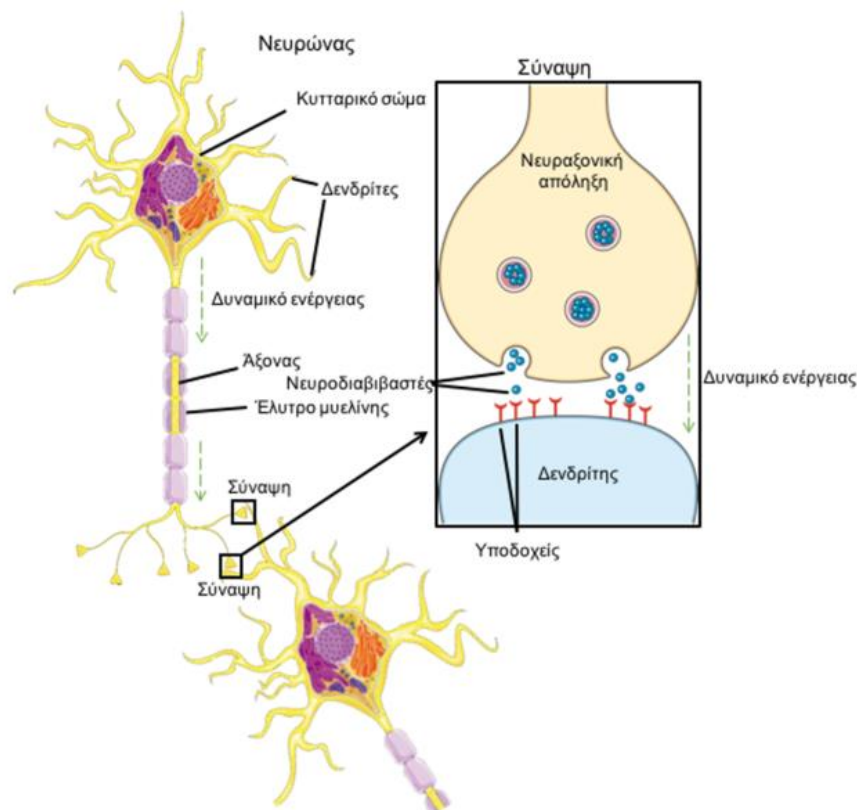
Η παρεγκεφαλίδα βρίσκεται στο πίσω μέρος του εγκεφάλου κάτω από τον ινιακό λοβό και είναι υπεύθυνη για τις ομαλές και συντονισμένες κινήσεις, όπως η κίνηση των μυών και η διατήρηση της στάσης του σώματος [7], [11]. Το εγκεφαλικό στέλεχος πραγματοποιεί την σύνδεση του εγκεφάλου με τον νωτιαίο μυελό και ελέγχει σημαντικές λειτουργίες για την ζωή των ανθρώπων, λόγω χάρη την λειτουργία της καρδιάς, την αναπνοή, την θερμοκρασία του σώματος και τον ύπνο [8].

Ο νωτιαίος μυελός, ο οποίος βρίσκεται μέσα στη σπονδυλική στήλη, αποτελεί σημαντικό τμήμα του ΚΝΣ. Η λειτουργία του νωτιαίου μυελού είναι να μεταφέρει κινητικές εντολές από τον εγκέφαλο στο ΠΝΣ, καθώς και αισθητηριακές πληροφορίες από τα αισθητήρια όργανα στον εγκέφαλο. Τα οστά, οι μήνιγγες και το εγκεφαλονωτιαίο υγρό προστατεύουν τον νωτιαίο μυελό. Οι μήνιγγες χωρίζονται σε τρία στρώματα, την σκληρή μήνιγγα (εξωτερικά), την αραχνοειδή (μεσαία) και την χοριοειδή (εσωτερικά). Τα κενά μεταξύ των στρωμάτων επιτρέπουν τη διέλευση των φλεβών και των αρτηριών, παρέχοντας ροή αίματος στον εγκέφαλο. Το εγκεφαλονωτιαίο υγρό δημιουργείται στο κέντρο του εγκεφάλου και μετακινείται γύρω από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό ανάμεσα στην αραχνοειδή και χοριοειδή μήνιγγα [7], [11].

2.1.2 Φυσιολογία του Ανθρώπινου Εγκεφάλου

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος θεωρείται ο πιο περίπλοκος από τα υπόλοιπα βιολογικά συστήματα, καθώς αποτελείται με πάνω από 100 δισεκατομμύρια κύτταρα επεξεργασίας πληροφοριών, γνωστά ως νευρώνες ή αλλιώς νευρικά κύτταρα [14]. Οι νευρώνες είναι υπεύθυνοι για την αποστολή μηνυμάτων σε όλο το σώμα, προκειμένου να επιτρέπονται δραστηριότητες, όπως η αναπνοή, η ομιλία, η κίνηση και η σκέψη [15]. Ακόμα, διαθέτουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται σε μεταβολές του περιβάλλοντος που αφορούν την πίεση, την θερμοκρασία και το pH. Τα διάφορα είδη νευρώνων διαφέρουν ως προς το μέγεθος, το σχήμα και την λειτουργία τους. Επιπλέον, δεδομένου ότι ο κάθε νευρώνας αλληλοεπιδρά με πάνω από 1.000 νευρώνες, υπολογίζεται ότι ο ενήλικας εγκέφαλος περιέχει πάνω από 60 τρισεκατομμύρια νευρωνικές συνδέσεις [16]. Ο νευρικός ιστός, εκτός από τους νευρώνες, περιέχει και νευρογλοιακά κύτταρα, τα οποία είναι περισσότερα σε πλήθος και είναι υπεύθυνα για την μόνωση και την τροφοδοσία των νευρώνων [17].

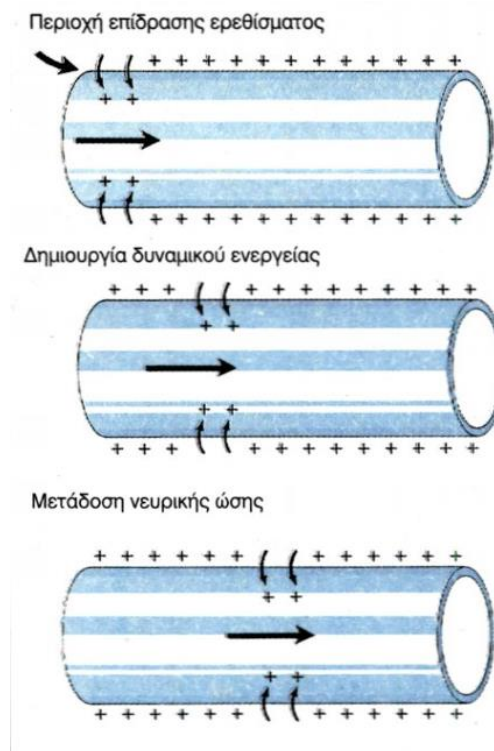
Τα κύρια μέρη ενός νευρώνα παρατηρούνται στην **εικόνα 5** και είναι το κυτταρικό σώμα, το οποίο αποτελείται από τον πυρήνα και τα οργανίδια του κυττάρου, και οι αποφυάδες, οι οποίες διακρίνονται στους δενδρίτες και στον νευράξονα. Συγκεκριμένα, ο δενδρίτης ενός νευρώνα φροντίζει να γίνεται η λήψη των μηνυμάτων από τα γειτονικά κύτταρα, τα οποία μεταφέρουν τα μηνύματα στο σώμα του κυττάρου και αυτό αποφασίζει αν θα μεταβιβαστεί ή όχι το μήνυμα [8]. Αντίθετα, ο νευράξονας λειτουργεί ως δομή εξόδου για τον νευρώνα, διότι για να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ δύο νευρώνων, ο νευρώνας που θέλει να επικοινωνήσει στέλνει ένα ηλεκτρικό μήνυμα, το λεγόμενο δυναμικό δράσης σε όλο το τμήμα του νευρικού άξονα. Στον πυρήνα που βρίσκεται στο κυτταρικό σώμα, γίνεται η παραγωγή των πρωτεϊνών, οι οποίες μεταβιβάζονται στον νευράξονα και στους δενδρίτες [18].



ΕΙΚΟΝΑ 5. ΔΟΜΗ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ [19].

Το δυναμικό δράσης δημιουργείται και μεταδίδεται από αλλαγές της κατιονικής βαθμίδας, ειδικά των ιόντων Na^+ και K^+ , στην πλασματική μεμβράνη του. Για την αλληλεπίδραση των κυττάρων μεταξύ τους, τα δυναμικά δράσης αποπολώνουν τα γειτονικά κύτταρα με την βοήθεια των συνάψεων. Συγκριτικά με το εξωτερικό του κυττάρου, το εσωτερικό είναι αρνητικό, διαθέτοντας δυναμικό ηρεμίας περίπου -60mV . Όταν το αρνητικό εσωτερικό δυναμικό χτυπήσει το κατώφλι, σχηματίζεται ένα νευρωνικό δυναμικό δράσης. Αυτή η μεταβολή του δυναμικού της μεμβράνης ανοίγει τον συνδεδεμένο με τάση κατιονικό διάλυτο (Na^+), οδηγώντας σε αποπόλωση και στο σχηματισμό του νευρωνικού δυναμικού δράσης. Τα νευρωνικά δυναμικά δράσης είναι απαραίτητα για τη μετάδοση ερεθισμάτων κατά μήκος οποιασδήποτε νευρικής ίνας, αλλά και για τη μετάδοση των νευρώνων μέσω των συνάψεων [20].

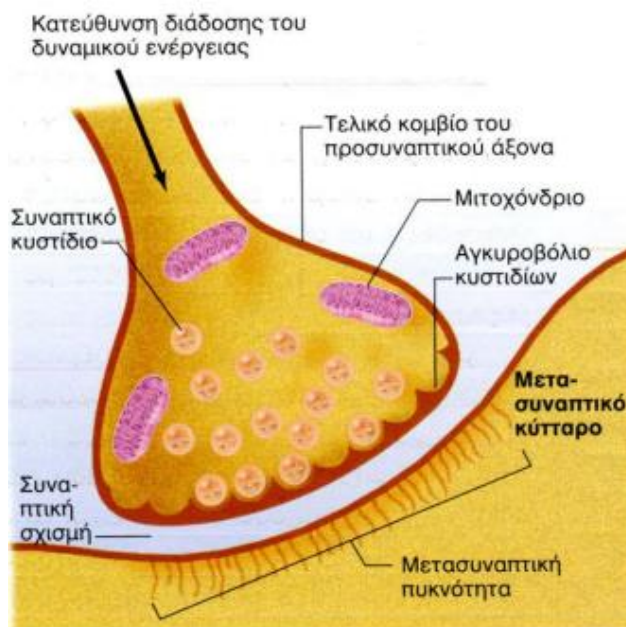
Η νευρική ώση διακρίνεται στην **εικόνα 6**, και προκύπτει από τις διάφορες περιβαλλοντικές αλλαγές, οι οποίες κρίνονται ως ερεθίσματα και έχουν μεγάλη επίδραση στο δυναμικό ηρεμίας. Στην περίπτωση που ένας νευρώνας λάβει ένα ερέθισμα με ένταση που ξεπερνάει τα προκαθορισμένα όρια, θα υπάρξει άνοδος για 1ms της διαπερατότητας της μεμβράνης στα ιόντα Na^+ . Αυτό έχει ως επακόλουθο να εισαχθούν τα ιόντα Na^+ όλα μαζί στο κύτταρο, να είναι θετικά πολωμένη η εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης, με τιμή που να μην ξεπερνά τα $+50\text{mV}$, και αρνητικά η εξωτερική. Έπειτα, σημειώνεται μία πτώση στην επιφάνεια της μεμβράνης, με την τιμή της να είναι μικρότερη από -70mV , λόγω της ανόδου της διαπερατότητας στα ιόντα K^+ και της αποξένωσης τους από το κύτταρο. Οι αλλαγές που προέκυψαν στο δυναμικό της μεμβράνης, οδήγησαν στην μεταφορά του κατά μήκος του νευράξονα. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτει η νευρική ώση [17].



ΕΙΚΟΝΑ 6. ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΝΕΥΡΙΚΗΣ ΩΣΗΣ [17].

Οι συνάψεις είναι τα σημεία στα οποία πραγματοποιείται η σύνδεση και η επικοινωνία μεταξύ των νευρώνων. Οι νευρώνες διαθέτουν εκατοντάδες χιλιάδες συναπτικές συνδέσεις, οι οποίες μπορεί να αφορούν τους ίδιους, γειτονικούς νευρώνες ή νευρώνες σε απομακρυσμένα τμήματα του εγκεφάλου. Η σύναψη που απεικονίζεται στην **εικόνα 7**, διακρίνεται σε δύο τμήματα, το προσυναπτικό άκρο, στο οποίο γίνεται η μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε χημικό και το μετασυναπτικό, το οποίο διαθέτει μία μεμβράνη σε απόσταση λιγότερο από 50nm , με ειδικευμένους υποδοχείς, υπεύθυνους

για την ποιότητα των πληροφοριών που στέλνουν οι νευρώνες [21]. Η βασική διαφορά τους είναι ότι στο πρώτο η πληροφορία εισέρχεται στο κύτταρο, ενώ στο δεύτερο εξέρχεται από αυτό [18]. Επίσης, στο προσυναπτικό άκρο βρίσκονται μιτοχόνδρια και κυστίδια, στα οποία διατίθεται η νευροδιαβιβαστική ουσία, ενώ στο μετασυναπτικό διατίθενται οι υποδοχείς της νευροδιαβιβαστικής ουσίας. Η κίνηση των νευρικών ώσεων είναι περιορισμένη, διότι οι συνάψεις τους επιτρέπουν να κινηθούν μόνο από το προσυναπτικό προς το μετασυναπτικό άκρο [17].



ΕΙΚΟΝΑ 7. ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΨΗΣ [22].

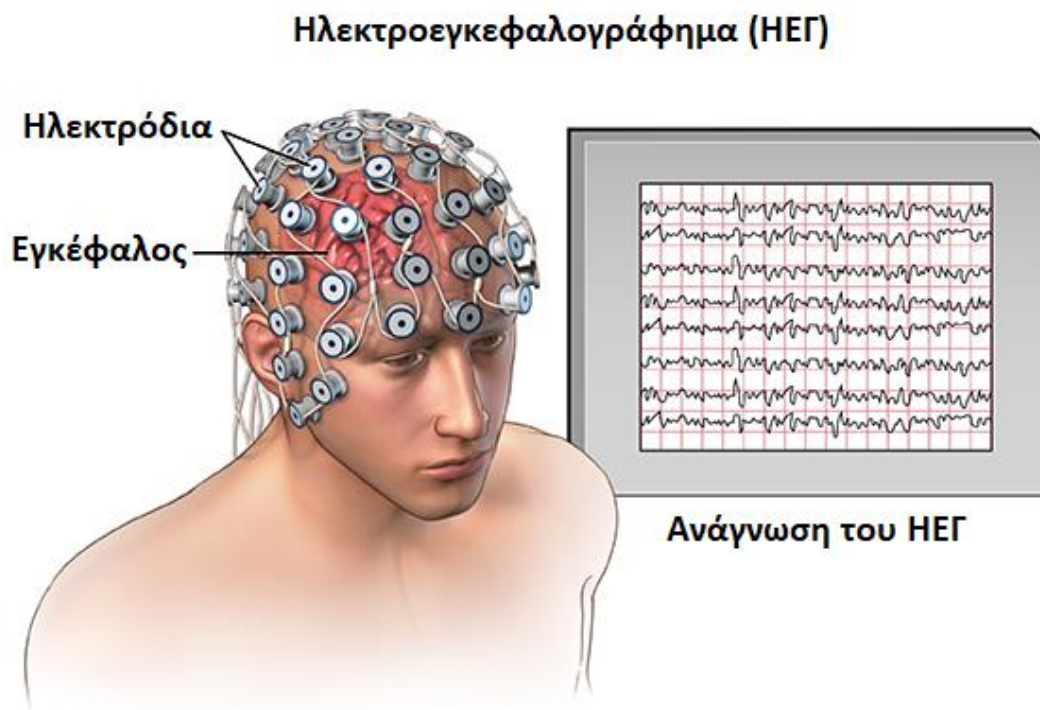
Σημαντικά θεωρούνται επίσης και τα μηνύματα που μεταφέρονται στο άκρο του νευράξονα, όπου οι σάκοι των νευροδιαβιβαστών ανοίγουν στη σύναψη [18]. Οι νευροδιαβιβαστές συμβάλλουν στην μεταφορά μηνυμάτων από ένα νευρικό κύτταρο σε ένα άλλο κύτταρο, επιτυγχάνοντας έτσι την μεταξύ τους επικοινωνία σε όλο το σώμα. Με τον μηχανισμό χημικής συναπτικής μετάδοσης, η οποία πραγματοποιείται με την μεταφορά νευροδιαβιβαστών από προσυναπτικούς νευρώνες σε μετασυναπτικούς υποδοχείς, οι νευροδιαβιβαστές δίνουν στον εγκέφαλο την δυνατότητα να επιτελεί ορισμένες λειτουργίες σημαντικές για την καθημερινή ζωή [23]. Για παράδειγμα, συμβάλλουν στην κίνηση των άκρων, στην ανάπτυξη των αισθήσεων, στην διατήρηση του καρδιακού παλμού και στην ανταπόκριση του σώματος στις πληροφορίες που δέχεται από το περιβάλλον [24].

2.1.3 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ)

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) ανακαλύφθηκε από τον Γερμανό ψυχίατρο Hans Berger στα τέλη της δεκαετίας του 1920, αποτελώντας ορόσημο στην εξέλιξη των επιστημών, ιδίως της νευρολογικής και της νευροχειρουργικής [25]. Αποτελεί μία τεχνική, η οποία είναι συνήθως μη επεμβατική, υπεύθυνη για την μέτρηση και την καταγραφή των ηλεκτρικών πεδίων του εγκεφάλου, με την χρήση ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο τριχωτό της κεφαλής [26]. Η απεικόνιση των ηλεκτρικών σημάτων γίνεται είτε στην οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή είτε σε ειδικό χαρτί με την χρήση γαλβανόμετρου. Η νευρική δραστηριότητα αφορά την επικοινωνία ενός μεγάλου αριθμού νευρώνων στο ΚΝΣ και στο ΠΝΣ. Ειδικότερα, για την πραγματοποίηση της καταγραφής της ως ΗΕΓ, πρέπει πρώτα να μεταφερθεί στην επιφάνεια του φλοιού και του κρανίου.

Το ΗΕΓ έχει την ικανότητα να εντοπίσει μόνο ένα μέρος της ηλεκτρικής δραστηριότητας που συμβαίνει στον εγκέφαλο. Αυτό το επιτυγχάνει παρόλο που ταυτόχρονα με την ηλεκτρική εμφανίζονται και άλλες δραστηριότητες, όπως η φυσιολογική ηλεκτρική, που ελέγχει τις μυϊκές δραστηριότητες της καρδιάς και των οφθαλμών, αλλά και οι περιβαλλοντικοί θόρυβοι, λόγω χάρη

οι θόνοι των ηλεκτρονικών υπολογιστών και οποιοσδήποτε άλλος ηλεκτρικός εξοπλισμός. Κρίνεται επίσης σημαντικό ότι το ΗΕΓ μετρά μετασυναπτικά δυναμικά, και όχι δυναμικά δράσης. Τα μετασυναπτικά δυναμικά απελευθερώνουν νευροδιαβιβαστές στα άκρα του νευρικού άξονα, ενώ τα δυναμικά δράσης αφορούν το ρεύμα από το σώμα προς τον νευράξονα που προκύπτει με την αποπόλωση ενός νευρώνα [26]. Επιπλέον, μέσω του ΗΕΓ είναι εφικτή η παρακολούθηση των ηλεκτρικών ώσεων σε μορφή κυμάτων, οι οποίες συμβάλλουν στην επικοινωνία των κυττάρων του εγκεφάλου, διατηρώντας τα σε λειτουργία για όλες τις ώρες, ακόμα και στο στάδιο του ύπνου [27].



ΕΙΚΟΝΑ 8. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΗΕΓ ΜΕ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΣΤΟ ΤΡΙΧΩΤΟ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ [28].

Όπως φαίνεται στην **εικόνα 8**, προκειμένου να γίνει η αποθήκευση των εγκεφαλικών κυμάτων, τοποθετούνται ηλεκτρόδια σε συγκεκριμένες θέσεις στο τριχωτό της κεφαλής, καταγράφοντας έτσι την τάση του ρεύματος στο εσωτερικό των νευρώνων και γύρω από αυτούς. Το πιο γνωστό σύστημα για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων είναι το σύστημα 10/20, στο οποίο τα σημεία τοποθέτησης είναι σταθερά και το καθένα διαθέτει ξεχωριστή ετικέτα με γράμμα, το οποίο συμβολίζει την περιοχή του εγκεφάλου πάνω από την οποία έχει τοποθετηθεί το ηλεκτρόδιο, και άρτιους και περιττούς αριθμούς, όπου οι πρώτοι συμβολίζουν την δεξιά πλευρά του κεφαλιού και οι δεύτεροι την αριστερή αντίστοιχα [29]. Στην συνέχεια, αφού τα ηλεκτρόδια έχουν συγκεντρώσει τα ηλεκτρικά σήματα από το ΚΝΣ, γίνεται η προεπεξεργασία, η ποσοτική ανάλυση των σημάτων και έπειτα η καταγραφή και η λήψη του ΗΕΓ.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάλυση του ΗΕΓ είναι η ύπαρξη ηλεκτροδίων, τα οποία μπορούν να ανιχνεύσουν τα ηλεκτρικά κύματα στον εγκεφαλικό φλοιό. Επίσης, πρέπει να διατίθεται ενισχυτής ικανός να ανταπεξέλθει στον οποιοδήποτε πιθανό θόρυβο και με υψηλό λόγο αναστολής παρεμβολής. Το εύρος ζώνης του σήματος πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 100Hz και ο ρυθμός δειγματοληψίας να βρίσκεται στα 250Hz. Επιπρόσθετα, κρίνεται αναγκαίο ένα ειδικό φίλτρο, για την αποφυγή των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών που προέρχονται από το ηλεκτρικό ρεύμα [30]. Ένα φυσιολογικό άτομο φορώντας τα ηλεκτρόδια στο τριχωτό της κεφαλής του και ενώ βρίσκεται σε κατάσταση εγρήγορσης, διαθέτει πλάτος ΗΕΓ μεταξύ 10 και 100mV, ενώ σε περίπτωση επιληψίας, τα πλάτη του ΗΕΓ μπορεί να αυξηθούν σχεδόν κατά μία τάξη μεγέθους [31].

Μέσα από την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας η εφαρμογή του ΗΕΓ εξακολουθεί να προσφέρει νέες καινοτομίες στην επεξεργασία του σήματος, καθώς επίσης ακολούθησαν πολλές μελέτες για την συμβολή του στην φυσιολογία του ανθρώπινου εγκεφάλου [30].

2.1.3.1 Σύστημα Τοποθέτησης Ηλεκτροδίων

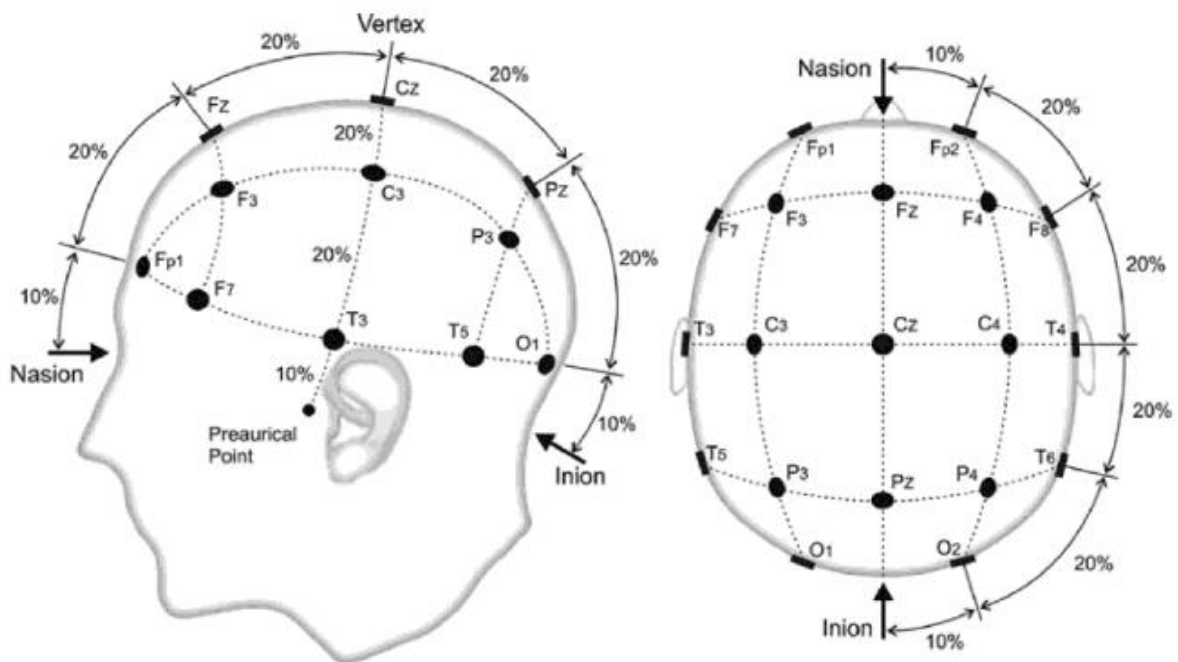
Τα ηλεκτρόδια λειτουργούν ως ηλεκτρικοί δυναμικοί αισθητήρες, εντοπίζοντας τα ηλεκτρικά σήματα που βρίσκονται στον εγκεφαλικό φλοιό. Η σωστή λειτουργία τους κρίνεται ζωτικής σημασίας για την λήψη και την ερμηνεία υψηλής ποιότητας δεδομένων. Διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες, όπου η καθεμία διαθέτει διαφορετικά χαρακτηριστικά [30], [32].

Οι τύποι των ηλεκτροδίων είναι οι ακόλουθοι:

- επιφανειακά ηλεκτρόδια
- βελονοειδή ηλεκτρόδια
- σφηνοειδή ηλεκτρόδια
- υποσκληρίδια ηλεκτρόδια λωρίδας
- εν τω βάθει ηλεκτρόδια

Συγκεκριμένα, τα επιφανειακά ηλεκτρόδια, τα οποία είναι τα πιο κλινικά ευρέως χρησιμοποιούμενα, τοποθετούνται με ζελέ στο δέρμα της κεφαλής με μη επεμβατικό τρόπο. Αντίθετα, τα βελονοειδή ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται για μακροχρόνιες καταγραφές και εισάγονται επεμβατικά κάτω από το τριχωτό της κεφαλής. Επιπλέον, τα υποσκληρίδια ηλεκτρόδια λωρίδας χρησιμοποιούνται συχνά για τη νευροφυσιολογική αξιολόγηση ασθενών με δυσίατες επιληπτικές κρίσεις, ενώ τα ηλεκτρόδια βάθους συλλέγουν τις καταγραφές μικροσυρμάτων κατά την εκτέλεση ενδοκρανιακού ΗΕΓ για την παρακολούθηση της επιληψίας [33], [34].

Τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε προκαθορισμένες θέσεις στο τριχωτό της κεφαλής, οι οποίες είναι οι ίδιες για όλους τους ασθενείς χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος της κεφαλής τους. Το πιο διαδεδομένο σύστημα που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων είναι το σύστημα 10/20, όπως απεικονίζεται στην **εικόνα 9**, σύμφωνα με το οποίο τα ηλεκτρόδια απέχουν μεταξύ τους απόσταση που απαρτίζει ή το 10% ή το 20% από την απόσταση μεταξύ του ριζορινίου, του ινιακού ογκώματος και των τράγων των αυτιών. Το τριχωτό της κεφαλής χωρίζεται στην μέση στο δεξί και στο αριστερό ημισφαίριο, με το δεξί να απαρτίζεται από όλους τους άρτιους αριθμούς, ενώ το αριστερό από όλους τους περιττούς. Κάθε θέση ηλεκτροδίου διαθέτει έναν τίτλο με γράμματα, τα οποία συνοδεύονται από αριθμούς, λόγω χάρη το F αντιστοιχεί στο Frontal, το Fp στο Frontopolar, το C στο Central, το P στο Parietal, το T στο Temporal, το O στο Occipital και το z στο zero (μηδενική απόσταση). Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι οι θέσεις πάνω στην ίδια κατακόρυφη καμπύλη, έχουν όλες τον ίδιο αριθμό, ενώ αυτές πάνω στην ίδια οριζόντια γραμμή έχουν το ίδιο γράμμα [30].



ΕΙΚΟΝΑ 9. ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ 10/20 ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΣΤΟ ΤΡΙΧΩΤΟ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ. ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΟΨΗ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ, ΕΝΩ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η ΠΑΝΩ ΟΨΗ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ [35].

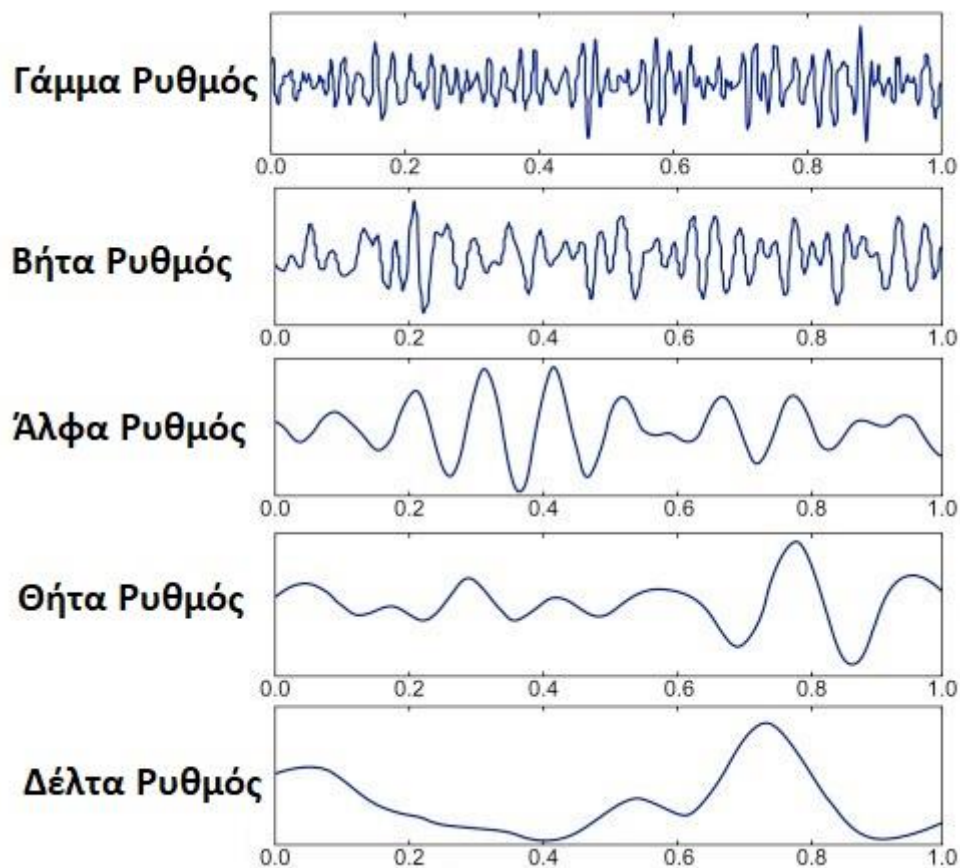
Τα ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο στο τριχωτό της κεφαλής, έτσι ώστε να βρίσκονται κοντά σε συγκεκριμένα σημεία του εγκεφάλου. Για παράδειγμα, το ηλεκτρόδιο που τοποθετημένο στην θέση F7 βρίσκεται πάνω από τα κέντρα που ελέγχουν την ορθολογική δραστηριότητα, ενώ αυτά που είναι τοποθετημένα στην F8 βρίσκονται κοντά σε κέντρα που ελέγχουν τα συναισθήματα. Ο φλοιός γύρω από τις θέσεις C3, C4, Cz είναι υπεύθυνος για την κίνηση και τις αισθήσεις και αυτός γύρω από τις θέσεις T3 και T4 επεξεργάζεται τα συναισθήματα. Τέλος, ο φλοιός γύρω από τις θέσεις P3, P4 και Pz συμβάλλει στην ικανότητα της αντίληψης, ενώ αυτός που βρίσκεται γύρω από τις θέσεις O1 και O2 είναι υπεύθυνος για την όραση [32].

2.1.3.2 Σημειολογία ΗΕΓ

Οι νευρώνες του ανθρώπινου εγκεφάλου επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ηλεκτρικών παλμικών κυμάτων. Ειδικότερα, σχηματίζουν νευρωνικά δίκτυα, τα οποία συνδέονται μέσω της σύναψης, επιτρέποντας έτσι την οποιαδήποτε δραστηριότητα. Με την πραγματοποίηση κάποιας δραστηριότητας, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο ρέει από νευρώνα σε νευρώνα, δημιουργώντας έτσι τα λεγόμενα εγκεφαλικά κύματα [36]. Τα κύματα αυτά έχουν συνήθως ημιτονοειδή μορφή, με πλάτος που κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 100μV και εύρος συχνοτήτων μεταξύ 0.1 και 70Hz [30]. Ο μετασχηματισμός Fourier χρησιμοποιείται για να βρεθεί το φάσμα ισχύος από το ακατέργαστο σήμα του ΗΕΓ, στο οποίο φάσμα τα ημιτονικά κύματα έχουν διαφορετικές συχνότητες το καθένα. Ακόμα, για να γίνει η λήψη των εγκεφαλικών κυμάτων πρέπει οι ασθενείς να είναι όσο το δυνατόν γίνεται χαλαροί, διατηρώντας κλειστά τα μάτια τους [32]. Ανάλογα με τις συχνότητες τους, τα εγκεφαλικά κύματα, διακρίνονται σε ομάδες, γνωστές ως ΗΕΓ ρυθμοί, οι οποίοι διακρίνονται στην **εικόνα 10**.

Οι ρυθμοί αυτοί διακρίνονται σε φυσιολογικούς και παθολογικούς, με τους ρυθμούς άλφα και βήτα να ανήκουν στην πρώτη κατηγορία και τους ρυθμούς θήτα και δέλτα στην δεύτερη. Όταν πρόκειται όμως για παιδιά ή στο στάδιο του ύπνου, τότε οι ρυθμοί θήτα και δέλτα δεν εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία. Μία καταγραφή ΗΕΓ κρίνεται φυσιολογική όταν πρόκειται για ενήλικους ασθενείς, οι οποίοι βρίσκονται σε εγρήγορση και δεν διαθέτουν κάποια εγκεφαλική διαταραχή. Ωστόσο, κάποιος ασθενείς με βλάβη στον εγκέφαλο, μπορεί εξίσου να έχει ένα φυσιολογικό ΗΕΓ.

Όταν τα ημιτονοειδή κύματα έχουν σταθερή περίοδο και συχνότητα, τότε η δραστηριότητα του ΗΕΓ θεωρείται ρυθμική, ενώ θεωρείται άρρυθμη όταν αυτά δεν έχουν σταθερή περίοδο. Επιπλέον, συμμετρική θεωρείται η ΗΕΓ δραστηριότητα, η οποία είναι ίδιου τύπου, με ίδια συχνότητα και πλάτος σε δύο αντίστοιχες θέσεις των εγκεφαλικών ημισφαιρίων, αλλιώς σε άλλη περίπτωση η δραστηριότητα θεωρείται ασύμμετρη. Αντίθετα, όταν για αρκετό διάστημα καταγράφεται μία δραστηριότητα, τότε αυτή χαρακτηρίζεται ως συνεχής, ενώ με διαφορετικά κριτήρια χαρακτηρίζεται ως διαλείπουσα [30].



ΕΙΚΟΝΑ 10. ΟΙ ΗΕΓ ΡΥΘΜΟΙ. ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΤΑ ΓΑΜΜΑ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ, ΣΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΗ ΤΑ ΒΗΤΑ, ΣΤΗΝ ΤΡΙΤΗ ΤΑ ΑΛΦΑ, ΣΤΗΝ ΤΕΤΑΡΤΗ ΤΑ ΘΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΕΜΠΤΗ ΤΑ ΔΕΛΤΑ [37].

Ο πιο διαδεδομένος και μελετημένος ΗΕΓ ρυθμός θεωρείται ο φυσιολογικός ρυθμός άλφα. Ο ρυθμός άλφα έχει συχνότητα 8-13Hz και πλάτος γύρω στα 50μV [32]. Επίσης, σε υγιή άτομα από την ηλικία των 3 ετών μπορεί να φτάσει το εύρος των 8Hz και να παραμείνει έτσι για ακόμα εννιά δεκαετίες. Το πλάτος του ρυθμού διαφέρει από άτομο σε άτομο, αλλά διαφέρει και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές όταν πρόκειται για το ίδιο το άτομο. Παρατηρείται κυρίως στους ενήλικες στις οπίσθιες και ινιακές περιοχές και προκαλείται όταν τα άτομα είναι σε κατάσταση νοητικής χαλάρωσης με κλειστά μάτια, ενώ εξασθενεί με το άνοιγμα των ματιών και την διατάραξη του νου. Στην περίπτωση που το υπόβαθρο του ρυθμού επιβαρυνθεί, τότε πιθανόν να προέκυψε κάποια βλάβη στον εγκέφαλο [38]. Στο στάδιο του ύπνου ο ρυθμός άλφα εξαφανίζεται και εμφανίζονται πιο αργοί ρυθμοί, όπως ο δέλτα και ο θήτα [30].

Ο ρυθμός βήτα έχει συχνότητα 13-35Hz και πλάτος που κυμαίνεται μεταξύ 10 με 20μV και σπάνια ξεπερνά τα 30μV. Εμφανίζεται συχνά σε φυσιολογικούς ενήλικες και παιδιά, σε μετωπιαίες και κεντρικές περιοχές του κεφαλιού. Επιπλέον, το πλάτος αυτού του ρυθμού παρουσιάζει αύξηση κατά

την διάρκεια του ύπνου και κατά την λήψη φαρμακευτικής αγωγής, όπως ηρεμιστικά φάρμακα [30], [38]. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ύπνος διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στον ύπνο μη ταχείας κίνησης των ματιών γνωστό ως NREM και στον ύπνο ταχείας κίνησης των ματιών γνωστό ως REM, οι οποίοι πραγματοποιούνται σε εναλλασσόμενους κύκλους. Ο ύπνος NREM διακρίνεται σε 4 στάδια [32]. Παρατηρείται ότι στο πρώτο στάδιο του ύπνου NREM, το πλάτος της δραστηριότητας του βήτα ρυθμού αυξάνεται, ενώ στο δεύτερο και στο τρίτο στάδιο μειώνεται [38].

Ο ρυθμός θήτα έχει συχνότητα 4-8Hz και εμφανίζεται κυρίως στις μετωπιαίες και κεντρικές περιοχές της κεφαλής, μεταναστεύοντας προς τα πίσω και προχωρώντας στην αντικατάσταση του άλφα ρυθμού. Ο συγκεκριμένος ρυθμός θεωρείται αποτέλεσμα της υπνηλίας και ειδικότερα των δύο πρώτων σταδίων του ύπνου NREM, έτσι για τον λόγο του ότι βρίσκεται στα αρχικά στάδια της υπνηλίας αντικαθιστά τον άλφα ρυθμό. Ακόμα, παρατηρείται αύξηση του ρυθμού θήτα όταν το άτομο διακατέχεται από έντονα συναισθήματα, ενώ όταν είναι σε κατάσταση εγρήγορσης υποδηλώνεται πρόβλημα στην λειτουργία του εγκεφάλου [38].

Ο ρυθμός δέλτα έχει συχνότητα 0,5-4Hz και παρατηρείται στα μετωπιαία και κεντρικά τμήματα της κεφαλής. Το πλάτος της δραστηριότητας του δέλτα ρυθμού αυξάνεται στα δύο τελευταία στάδια του ύπνου [32]. Επίσης, διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες, στην μετωπική διαλείπουσα ρυθμική δραστηριότητα (FIDRA), στην ινιακή διαλείπουσα ρυθμική δραστηριότητα (OIRDA) και στην κροταφική διαλείπουσα ρυθμική δραστηριότητα (TIRDA). Συγκεκριμένα, η πρώτη παρουσιάζεται σε ενήλικα άτομα που είναι σε κατάσταση εγρήγορσης, η δεύτερη σε παιδιά και η τρίτη σε πάσχοντες από επιληψία στον κροταφικό λοβό [38].

Ο γάμμα ρυθμός έχει υψηλότερη συχνότητα συγκριτικά με τα υπόλοιπους ΗΕΓ ρυθμούς, με τιμή που ξεπερνά τα 35 Hz. Ο ρυθμός αυτός εμφανίζεται κυρίως όταν τα άτομα είναι σε κατάσταση εγρήγορσης και συμβάλλει στον συγχρονισμό των νευρώνων, υποστηρίζοντας την συνεχή επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων του εγκεφάλου. Ακόμα, η αίσθηση, η κίνηση, η μνήμη και η αντίληψη σχετίζονται με τους ρυθμούς γάμμα, οι οποίοι συχνά διαταράσσονται σε νευρολογικές και ψυχιατρικές ασθένειες [39].

2.1.3.3 Επεξεργασία ΗΕΓ Σήματος και Εφαρμογές Ανάλυσης ΗΕΓ

Το ΗΕΓ θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία, καθώς έχει συνεισφέρει σε έρευνες πάνω σε διάφορους τομείς, ιδίως της ιατρικής. Δυστυχώς όμως, εμφανίζει αρκετά μειονεκτήματα, τα οποία επηρεάζουν αρνητικά την ανάλυση των σημάτων καθώς και την σωστή επεξεργασία τους. Τα μειονεκτήματα αυτά είναι λόγω χάρη η παρουσία θορύβου και τεχνουργημάτων, τα οποία προκαλούνται από νευρολογικές δραστηριότητες και δραστηριότητες που δεν σχετίζονται με τα νεύρα, όπως οι κινήσεις των οφθαλμών, η αναπνοή ή οι ηλεκτρικές παρεμβολές [40]. Ακόμα, μειονεκτικά λειτουργούν η μη γραμμικότητα και τα μη στάσιμα χαρακτηριστικά, καθώς επίσης και η δια-ατομική μεταβλητότητα. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των ακατέργαστων σημάτων και να γίνει η λήψη μόνο της εγκεφαλικής δραστηριότητας χωρίς τους παραπάνω περιορισμούς, χρησιμοποιούνται ειδικοί αγωγοί επεξεργασίας ΗΕΓ σήματος. Οι αγωγοί αυτοί προχωρούν στην προεπεξεργασία των δεδομένων, στην αρχικοποίηση της διαδικασίας ταξινόμησης και στον διαμερισμό του συνόλου δεδομένων για τον ταξινομητή. Έπειτα, κατηγοριοποιούν τα δεδομένα και αξιολογούν την μέθοδο ταξινόμησης για ένα σύνολο δεδομένων δοκιμής [41].

Με την ανάλυση του ΗΕΓ μπορεί να εντοπιστεί οποιαδήποτε αλλαγή στην δραστηριότητα του εγκεφάλου, η οποία να προμηνύει κάποια εγκεφαλική διαταραχή, όπως η επιληψία, οι νευρολογικές ανωμαλίες ή η δυσλειτουργία των αισθήσεων. Ιδιαίτερα, όσον αφορά την επιληψία, το ΗΕΓ μπορεί να καταγράψει την εγκεφαλική δραστηριότητα με την χρήση ηλεκτροδίων που τοποθετούνται είτε

στο τριχωτό της κεφαλής είτε μέσω χειρουργικής επέμβασης στο εσωτερικό του εγκεφάλου. Επίσης, μπορεί να εκτελέσει την κλινική καταγραφή μεταξύ δύο επιληπτικών κρίσεων και σπανιότερα στην διάρκεια μιας κρίσης [42], [43], [44], [45]. Επιπλέον, το ΗΕΓ έχει σημαντικό ρόλο στην διαγνωστική διερεύνηση όγκων του εγκεφάλου, κάποιας εγκεφαλικής βλάβης έπειτα από τραυματισμό στην κεφαλή, στις διαταραχές του ύπνου με την πολυσομνογραφία, στα εγκεφαλικά επεισόδια, σε φλεγμονές του εγκεφάλου, καθώς επίσης και σε εγκεφαλικές δυσλειτουργίες που είναι πιθανόν να προέρχονται από την εγκεφαλοπάθεια [27], [30], [46]. Βέβαια η ραγδαία πρόοδος της τεχνολογίας έχει καταστήσει το ΗΕΓ ως έναν εξαιρετικά ακριβή βιοδείκτη για την πρόβλεψη της άνοιας, όπως είναι η Νόσος του Αλτσχάιμερ και η μετωποκροταφική άνοια, διότι μέσα από την ανάλυση του σήματος του ΗΕΓ και των τεχνικών επεξεργασίας, είναι πιθανή μία πιο έγκαιρη διάγνωση της [47], [48], [49], [50], [51].

2.2 Αναπηρικό Αμαξίδιο

Η αξία του αναπηρικού αμαξιδίου είναι ανεκτίμητη, καθώς έχει προσφέρει σε πολλά άτομα με αναπηρία την δυνατότητα να κυκλοφορούν ελεύθερα, ανεξάρτητα με το αν αντιμετωπίζουν κάποια κινητική δυσκολία [52]. Πολλοί από αυτούς εξαιτίας των διαταραχών στο νευρικό τους σύστημα, δεν έχουν την ικανότητα να ελέγξουν τους μύες τους, αλλά επίσης δυσκολεύονται στην ομιλία και στην γραφή. Ωστόσο, αρκετοί είναι αυτοί που έχουν τον έλεγχο της εγκεφαλικής τους δραστηριότητας και την κίνησης των ματιών [53].

Το πρώτο αναπηρικό αμαξίδιο κατασκευάστηκε το 1595 για τον βασιλιά Φίλιππο ΙΙ της Ισπανίας, ο οποίος υπέφερε από ουρική αρθρίτιδα. Το αμαξίδιο δεν μπορούσε να κινηθεί αυτόματα, επομένως για την μετακίνηση του ήταν απαραίτητη η βοήθεια από κάποιον συνοδό. Με την πάροδο των χρόνων το αναπηρικό αμαξίδιο αναβαθμίστηκε, καθώς το 1700 ο John Dawson προχώρησε στην κατασκευή ενός αυτοκινούμενου αμαξιδίου, το οποίο είχε συνολικά τρεις τροχούς, έναν στο μπροστινό μέρος και δύο στο πίσω, όπως παρατηρείται στην **εικόνα 11**. Σε περίπτωση δυσκολίας στην χρήση του συγκεκριμένου αμαξιδίου, υπήρξε ρύθμιση στο μπροστινό μέρος προκειμένου γίνει η μεταφορά του από κάποιο άλογο. Έπειτα, μετά από 100 χρόνια χρησιμοποιήσαν διαφορετικά υλικά για την κατασκευή ενός πιο άνετου αμαξιδίου και την δεκαετία του 1860 το αμαξίδιο έμοιαζε περισσότερο με αυτό της σημερινής εποχής, διαθέτοντας τέσσερις τροχούς, σχετικά ίδιους με ενός ποδηλάτου. Στις αρχές της δεκαετίας του 1900 δημιουργήθηκε το πρώτο μηχανοκίνητο αμαξίδιο, ενώ το 1932 και 1950 τα αναπηρικά αμαξίδια αναβαθμίστηκαν σε πτυσσόμενα και μηχανοκίνητα μαζικής παραγωγής, διευκολύνοντας σημαντικά τα άτομα με κινητικά προβλήματα, καθώς επίσης και αυτούς που ήθελαν να ασχοληθούν με τον αθλητισμό και δεν μπορούσαν [54]. Η ζωή εκατομμυρίων ατόμων με αναπηρία άλλαξε, όταν στα τέλη της δεκαετίας του 1970, δημιουργήθηκε ένα εξαιρετικά ελαφρύ αναπηρικό αμαξίδιο, το οποίο σχεδιάστηκε σε μεγάλο βαθμό από τους ίδιους τους χρήστες, ιδίως από την θέληση τους να συμμετέχουν σε αθλητικές δραστηριότητες και να έχουν πρόσβαση στην ευρύτερη κοινότητα [55].



ΕΙΚΟΝΑ 11. Η ΛΕΓΟΜΕΝΗ «ΚΑΡΕΚΛΑ ΜΠΑΝΙΟΥ» ΜΕ ΤΡΕΙΣ ΤΡΟΧΟΥΣ, Η ΟΠΟΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΤΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΝ JOHN DAWSON ΤΟ 1783 [56].

Σήμερα με την ταχεία πρόοδο της τεχνολογίας οι αναπηρικές καρέκλες έχουν αναβαθμιστεί σημαντικά, έχοντας γίνει ελαφρύτερες, ανθεκτικότερες και πιο άνετες στην χρήση, για όλα τα εδάφη και τις καιρικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, κυκλοφορούν στην αγορά μηχανοκίνητες αναπηρικές καρέκλες και αναπηρικές καρέκλες σχεδιασμένες σύμφωνα με τις ανάγκες των αθλητών με αναπηρία, οι οποίες έχουν ρυθμιζόμενα καθίσματα, υποβραχιόνια και προσαρμοσμένους τροχούς που καθιστούν πιο εύκολους τους ελιγμούς και τις περιστροφές του αμαξιδίου, υποστηρίζοντας έτσι τις ατομικές ανάγκες των χρηστών [52], [57]. Επιπλέον, γίνονται αρκετές έρευνες στις οποίες χρησιμοποιούνται ΗΕΓ εργαλεία, για την παρακολούθηση των κυμάτων του εγκεφάλου, προκειμένου άτομα που αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κίνηση ή στην ομιλία, να πραγματοποιούν οποιαδήποτε ενέργεια θέλουν απλά και μόνο με την σκέψη τους [53], [54].

Τα αναπηρικά αμαξίδια χωρίζονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- Χειροκίνητα αναπηρικά αμαξίδια (ελαφριά αναπηρικά αμαξίδια, αμαξίδια με τυπικό βάρος, αμαξίδια με ανακλινόμενη πλάτη, βαρέως τύπου, άκαμπτα με εξαιρετικά ελαφρύ βάρος, αθλητικά αναπηρικά αμαξίδια, αναπηρικές καρέκλες παραλίας, παιδιατρικές και για το μπάνιο κτλ.)
- Ηλεκτρικά αναπηρικά αμαξίδια, όπως απεικονίζεται στην **εικόνα 12** (ελαφριά αναπηρικά αμαξίδια, φορητά, υπαίθρια και βαρέως τύπου)
- Αναπηρικά αμαξίδια μεταφοράς (καρέκλες μεταφοράς, ταξιδιού και βαρέως τύπου) [58]



ΕΙΚΟΝΑ 12. ΕΝΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΑΝΑΠΗΡΙΚΟ ΑΜΑΞΙΔΙΟ [59].

2.3 Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή

Η διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή (ΔΕΥ) είναι ένα ειδικό σύστημα επικοινωνίας, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να έχουν τον άμεσο έλεγχο μιας εφαρμογής ή μιας τεχνικής συσκευής με την αποστολή εντολών χωρίς την χρήση κάποιας νευρικής ή μυϊκής δραστηριότητας [60]. Η διεπαφή αυτή βοηθά στην σύνδεση του εξωτερικού κόσμου, σε πραγματικό χρόνο. Ακόμα, μετατρέπει τις σκέψεις του εγκεφάλου σε εντολές ελέγχου, επιδιώκοντας έτσι τον έλεγχο εξωτερικών συσκευών, όπως είναι τα ηλεκτρονικά παιχνίδια, ο ρομποτικός βραχίονας, το αναπηρικό αμαξίδιο και τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη [61]. Για παράδειγμα, υπάρχουν συσκευές ΔΕΥ, οι οποίες είναι σχεδιασμένες αποκλειστικά για άτομα με κινητικές αναπηρίες που δεν μπορούν να κινήσουν τους μύες τους, αλλά και για άτομα που δεν μπορούν να επικοινωνήσουν με άλλους, χρησιμοποιώντας έτσι συγκεκριμένες δραστηριότητες του εγκεφάλου, όπως οι φανταστικές κινήσεις (Motor Imaginary), τις οποίες οι συσκευές ΔΕΥ τις μεταφράζουν σε εντολές ελέγχου [62].

Οι ΔΕΥ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στις επεμβατικές (invasive BCI) και στις μη επεμβατικές (non-invasive BCI), ανάλογα με το αν για τη μέτρηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες που διεισδύουν εντός ή εκτός του δέρματος αντίστοιχα. Στις επεμβατικές τεχνικές (invasive BCI) η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο εσωτερικό του κρανίου γίνεται κατόπιν χειρουργικής επέμβασης. Εστιάζουν κυρίως σε ασθενείς με παράλυση των άκρων και σε τυφλούς ασθενείς, καθώς η νευροχειρουργική επέμβαση θεωρείται αρκετά επίφοβη [63]. Επίσης, σημαντικό προτέρημα τους θεωρείται η καλή ποιότητα σήματος, καθώς παρουσιάζει μείωση στα ακατέργαστα δεδομένα και στον θόρυβο. Ωστόσο, στις μη επεμβατικές τεχνικές η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων γίνεται στο τριχωτό της κεφαλής [64]. Σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις, λόγω χάρη η ασύρματη καταγραφή, οι ενισχυτές χαμηλού κόστους, η χρονική ανάλυση σε πραγματικό χρόνο, η ανάλυση μηχανικής μάθησης και η προηγμένη μεθοδολογία ανάλυσης σήματος, αποδεικνύουν ότι οι ερευνητές προτιμούν τα συστήματα ΔΕΥ με βάση το ΗΕΓ σε διάφορους τομείς [61]. Οι συσκευές ΗΕΓ συμβάλλουν στην κατανόηση της δυναμικής του εγκεφάλου που καθορίζει την ολοκλήρωση των αντιληπτικών λειτουργιών του σε διάφορα σενάρια. Τα πλεονεκτήματά τους είναι τα ακόλουθα: το κόστος της συσκευής είναι μικρότερο, είναι ευκολότερες στην χρήση, είναι φορητές, ασφαλείς και συμβάλλουν επίσης στη διάγνωση πολλών ψυχολογικών ασθενειών [65].

Παρ' όλα αυτά οι τεχνικές αυτές υστερούν στο ότι τα σήματα είναι παραμορφωμένα και διαθέτουν τεχνουργήματα [66].

Οι συσκευές ΗΕΓ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στις εμπορικές συσκευές, οι οποίες είναι πιο οικονομικές, με τον αριθμό των ηλεκτροδίων να βρίσκεται μεταξύ 1 και 64, και στις κλινικές, οι οποίες συμβάλλουν στον τομέα της ιατρικής και περιλαμβάνουν συνολικά 32 ή 64 ηλεκτρόδια [64]. Επίσης, οι συσκευές αυτές μπορούν να χωριστούν σε ενσύρματες και ασύρματες, μεταφέροντας τα δεδομένα στον υπολογιστή είτε μέσω ενός καλωδίου είτε μέσω ασύρματου δικτύου, όπως το bluetooth. Η διαφορά τους είναι ότι στις ενσύρματες συσκευές ΗΕΓ λόγω σταθερότητας μεταφέρονται περισσότερα δεδομένα, αλλά δυστυχώς οι κινήσεις είναι περιορισμένες. Αντίθετα, στις ασύρματες συσκευές μπορεί να χαθεί ευκολότερα η σύνδεση και να μην πραγματοποιηθεί η καταγραφή των δεδομένων ΗΕΓ [62]. Παρακάτω ακολουθούν μερικά παραδείγματα εμπορικών μη επεμβατικών συσκευών ΗΕΓ, μερικές από τις οποίες αναπαρίστανται στην **εικόνα 13**:

- Neurosky Mindwave, με 1 ΗΕΓ ηλεκτρόδιο
- B-Bridge Brain Athlete, με 3 ΗΕΓ ηλεκτρόδια
- NeuroSpec Neuroharmony, με 3 ΗΕΓ ηλεκτρόδια
- Muse 2, με 4 ΗΕΓ ηλεκτρόδια
- Emotiv Insight, με 5 ΗΕΓ ηλεκτρόδια
- Unicorn Hybrid Black, με 8 ΗΕΓ ηλεκτρόδια
- Emotiv EPOC+, με 14 ΗΕΓ ηλεκτρόδια



ΕΙΚΟΝΑ 13. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΗΕΓ ΣΥΣΚΕΥΩΝ: (Α) NEUROSKY MINDSET, (Β) NEUROSKY MINDWAVE, (Γ) EMOTIV EPOC, (Δ) NEUROSPEC NEUROHARMONY ΚΑΙ (Ε) B-BRIDGE BRAIN ATHLETE [67].

2.3.1 Οι Εφαρμογές της Διεπαφής Εγκεφάλου-Υπολογιστή

Ο κύριος στόχος της τεχνολογίας διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή (ΔΕΥ) είναι η βελτίωση της ζωής των ατόμων με ήπια έως και σοβαρή αναπηρία, προκειμένου τα άτομα αυτά να αποκτήσουν την

ανεξαρτησία που τους αξίζει και να μπορούν να είναι ενεργοί στα κοινά, κρατώντας επικοινωνία με άλλους ανθρώπους χωρίς να βρίσκονται στο περιθώριο. Τα άτομα αυτά μπορεί να έχουν κάποια σωματική αναπηρία, νευρολογική διαταραχή ή να έχουν υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο ή κάποιο τραυματισμό στο νωτιαίο μυελό. Η βασική λειτουργία της ΔΕΥ είναι να μεταφέρει τα ΗΕΓ σήματα από τον εγκέφαλο και να τα μετατρέπει σε εντολές ελέγχου για τον υπολογιστή. Με αυτόν τον τρόπο οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να αλληλοεπιδρούν με τον ψηφιακό κόσμο και να ελέγχουν εξωτερικές συσκευές, χωρίς να χρησιμοποιούν τα χέρια τους παρά μόνο την σκέψη τους. Λόγου χάρη, οι ΔΕΥ επιτρέπουν στα άτομα να χειρίζονται υπολογιστές για την ψυχαγωγία και την ενημέρωσή τους, ρομποτικούς βραχίονες και άλλα προσθετικά άκρα για καθημερινές δουλειές στο σπίτι και εκτός αυτού, καθώς επίσης και αναπηρικά αμαξίδια για την ανεξάρτητη μετακίνησή τους σε περίπτωση κινητικής δυσκολίας [68]. Ακόμα, συμβάλλουν στην αναγνώριση της προσπάθειας ενός ασθενούς να κινήσει το σώμα του, στην κινητική αποκατάσταση μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο με χρήση VR και στον έλεγχο ενός ρομπότ με τη χρήση χειρονομιών του σώματος [62]. Τα αναπηρικά αμαξίδια λόγω του μεγάλου βάρους τους, δυσκολεύουν τους χρήστες να τα ελέγξουν μόνο με την σωματική τους δύναμη, για αυτό και οι ΔΕΥ διευκολύνουν τα άτομα, ελέγχοντας τις μεγάλες αυτές εξωτερικές συσκευές μόνο με τα σήματα που στέλνονται από τον εγκέφαλο. Έχουν γίνει πολλές έρευνες που αποδεικνύουν ότι οι ΔΕΥ μπορούν να χρησιμοποιηθούν από άτομα με παράλυση στα χέρια, δίνοντας τους την ευκαιρία να συμμετέχουν σε δραστηριότητες όπως η γραφή και η μουσική.

Οι ΔΕΥ είναι πιο προσιτές στο ευρύ κοινό, διότι πρώτον είναι πιο οικονομικές συγκριτικά με τις υποστηρικτικές τεχνολογίες και δεύτερον μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο πολλαπλών συσκευών, χωρίς να είναι αναγκαία η αγορά μεγάλου και ακριβού εξοπλισμού για την πρόσβαση σε υποστηρικτικές τεχνολογίες. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ΔΕΥ μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την εκπαιδευτική εμπειρία των ατόμων με σωματικές αναπηρίες, καθώς μπορούν να τους βοηθήσουν να έχουν ευκολότερη πρόσβαση και αλληλεπίδραση με το εκπαιδευτικό υλικό. Με αυτόν τον τρόπο θα αυξηθεί όχι μόνο η αυτοπεποίθηση των μαθητών με αναπηρία, αλλά και το αίσθημα ανεξαρτησίας τους, λόγω της δυνατότητας να ελέγχουν μόνοι τους, με τα δικά τους εγκεφαλικά σήματα, συσκευές, όπως ο υπολογιστής και το αναπηρικό αμαξίδιο, χωρίς να έχουν την ανάγκη να ζητήσουν βοήθεια εντός και εκτός της τάξης. Εκτός από τους μαθητές, μπορούν να επωφεληθούν και οι εκπαιδευτικοί, κατανοώντας καλύτερα τις ανάγκες και τις ικανότητες όλων των μαθητών τους, και παροτρύνοντας τους για καλύτερες επιδόσεις [68]. Οι ΔΕΥ μπορούν να συμβάλλουν επίσης στην πρόγνωση της δυσλεξίας σε μαθητές της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης [69].

Η συνεισφορά των ΔΕΥ κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική για την αυτόνομη πλοήγηση ψηφιακών ή μηχανικών συσκευών, όπως ο έλεγχος ρομπότ, μη επανδρωμένων αεροσκάφων ή ημιαυτόματων αυτοκινήτων, αλλά και για τον έλεγχο σύγχρονων σπιτιών. Ο τομέας των ηλεκτρονικών παιχνιδιών επηρεάστηκε εξίσου, με τους ερευνητές να προχωράνε στην ανάπτυξη νέων εφαρμογών με κύριο στόχο τον κλάδο της ιατρικής και την αποκατάσταση του εγκεφάλου μέσω της απασχόλησης με σοβαρά παιχνίδια και εικονικούς κόσμους. Πιο συγκεκριμένα τα ηλεκτρονικά παιχνίδια διαθέτουν συστήματα εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας (VR) και ο έλεγχος τους γίνεται με την χρήση εγκεφαλικών σημάτων, τα οποία οφείλονται στην κίνηση των ματιών και στις χειρονομίες του σώματος. Σε αρκετές μελέτες η βασική μέθοδος που αξιοποιήθηκε είναι τα επίπεδα προσοχής και διαλογισμού για τον έλεγχο της ΔΕΥ και την λειτουργία των ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Ο κύριος στόχος των παιχνιδιών αυτών είναι η αξιολόγηση των ατόμων μέσα από την προσαρμογή τους στο περιβάλλον ΔΕΥ, καθώς και η πρόοδος τους στο τέλος της εκπαίδευσής τους [62], [63], [64], [66], [70], [71].

2.4 Παρόμοιες Έρευνες

Η πρόοδος της τεχνολογίας συνέβαλε στην ανάπτυξη διαφόρων αρχιτεκτονικών βοηθητικής πλοήγησης για έξυπνες πλατφόρμες αναπηρικών αμαξιδίων, με απώτερο σκοπό την αύξηση της ανεξαρτησίας των ατόμων με σοβαρές κινητικές αναπηρίες, καθώς και την βελτίωση της ποιότητας ζωής τους. Οι τυπικές διεπαφές αντικαταστάθηκαν με ΔΕΥ, προκειμένου να είναι πιο εύκολος ο έλεγχος τους από άτομα που αντιμετωπίζουν κινητικές διαταραχές, λόγω χάρη η πλευρική αμυοτροφική σκλήρυνση, η εγκεφαλική παράλυση και οι τραυματισμοί στον νωτιαίο μυελό. Οι ΔΕΥ διαθέτουν ένα κανάλι επικοινωνίας, το οποίο δεν εξαρτάται από την δραστηριότητα των μυών [72]. Στην συγκεκριμένη υποενότητα θα γίνει η ανάλυση 6 ερευνών, οι οποίες βασίζονται στον έλεγχο ενός αναπηρικού αμαξιδίου από ΔΕΥ. Στα παρακάτω άρθρα χρησιμοποιήθηκαν 3 είδη ΗΕΓ συσκευών, ο ΗΕΓ NeuroSky Mind-Wave με 1 ηλεκτρόδιο, η ΔΕΥ με βάση το P300 και ο ΗΕΓ Emotiv EPOC με 14 ηλεκτρόδια. Το πλεονέκτημα με την ΔΕΥ με βάση το P300 είναι ότι δεν χρειάζεται εκπαίδευση από τον χρήστη, παρά μόνο λίγα λεπτά για να πραγματοποιηθεί η βαθμονόμηση των παραμέτρων του αλγορίθμου ανίχνευσης. Συγκριτικά με το Emotiv EPOC, το NeuroSky Mindwave είναι πιο προσιτό για μελέτες με πολλούς συμμετέχοντες, καθώς απαιτείται λιγότερος χρόνος για την σωστή τοποθέτηση του ακουστικού στον κάθε συμμετέχοντα. Ακόμα, η απόκτηση του σήματος είναι ευκολότερη, διότι οι αισθητήρες του δεν εμποδίζονται από τα μαλλιά ή τους λοβούς των αυτιών. Ωστόσο, ο ΗΕΓ Emotiv EPOC αν και διαθέτει περισσότερους αισθητήρες, αξιολογήθηκε ως ο πιο άνετος στην χρήση [73].

Οι Mazen Abuzaher και Jamil Al-Azzeh [74] στην έρευνα τους ανέπτυξαν ένα αναπηρικό αμαξίδιο ελεγχόμενο από ΔΕΥ, στην αξιολόγηση του οποίου συμμετείχαν 9 άτομα, ηλικίας 20 με 65 ετών, φορώντας τον ΗΕΓ NeuroSky Mind-Wave. Η διαδικασία περιελάμβανε ένα μόνο πείραμα, κατά την διάρκεια του οποίου ο κάθε συμμετέχοντας έπρεπε να εκτελέσει μία διαδρομή, η οποία περιέχει έναν δρόμο με αριστερή και δεξιά στροφή και πινακίδες στάσης. Ο κάθε συμμετέχοντας επανέλαβε την διαδικασία αυτή 20 φορές. Επίσης, το αμαξίδιο είχε βαθμό ελευθερίας 4, την κίνηση προς τα μπροστά, το σταμάτημα, την αριστερή και την δεξιά στροφή. Το πείραμα αξιολογήθηκε με την μέτρηση του αριθμού των επιτυχημένων περιηγήσεων για κάθε συμμετέχοντα, καθώς και με τον μέσο όρο ταξινόμησης να είναι 73.33%.

Στην μελέτη των Ana C. Lopes, Gabriel Pires, και Urbano Nunes [75] συμμετείχαν 11 άτομα, ηλικίας 25 με 40 ετών, από τα οποία τα 10 ήταν υγιή και το ένα είχε εγκεφαλική παράλυση και κινητική αναπηρία. Τα άτομα αυτά διεκπεραίωσαν 2 πειράματα, το πρώτο πείραμα σε ένα δομημένο γνωστό περιβάλλον, ενώ το δεύτερο σε ένα δομημένο άγνωστο περιβάλλον με στατικά και κινούμενα εμπόδια, φορώντας μία ΔΕΥ με βάση το P300 για την επιλογή εντολών οδήγησης. Πιο συγκεκριμένα, το αμαξίδιο μπορούσε να εκτελέσει 5 εντολές, την κίνηση προς τα πίσω, την κίνηση προς τα μπροστά, το σταμάτημα, την αριστερή και την δεξιά στροφή. Να σημειωθεί πως ο συμμετέχων με τα κινητικά προβλήματα για λόγους άνεσης, δεν κάθισε στο αναπηρικό καρότσι που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα, αλλά πραγματοποίησε τα πειράματα εξ' αποστάσεως. Στα συγκεκριμένα πειράματα αξιολογήθηκαν οι επιδόσεις των συμμετεχόντων, όπως ο βαθμός ολοκλήρωσης της αποστολής, το μήκος της διαδρομής και ο χρόνος για την εκτέλεση της, ο λόγος βελτιστοποίησης μήκους διαδρομής, ο λόγος βελτιστοποίησης του χρόνου και ο αριθμός των συγκρούσεων. Ακόμα, ο Μ.Ο. ακρίβειας της ταξινόμησης είναι 77% για το 1^ο πείραμα και 88% για το 2^ο. Τέλος, αξιολογήθηκε το σύστημα πλοήγησης ξεχωριστά για τα δύο πειράματα, και τα αποτελέσματα των online πειραμάτων.

Οι Jiang L., Tham E., Yeo, M., Wang, Z. και Jiang, B. [76] σχεδίασαν ένα αναπηρικό αμαξίδιο, το οποίο ελέγχεται από τον ΗΕΓ Emotiv EPOC. Στο συγκεκριμένο πείραμα συμμετείχαν 5 άτομα και το αμαξίδιο μπορούσε να πραγματοποιήσει 4 εντολές, την κίνηση προς τα μπροστά, το σταμάτημα, την δεξιά και την αριστερή στροφή. Η μετρική αξιολόγηση έγινε με την ακρίβεια της ανίχνευσης των δεξιών και αριστερών στροφών, η οποία έφτασε έως και 95%.

Στην έρευνα των Fattouh A., Horn O. και Bourhis G. [77] αναπτύχθηκε ένα συναισθηματικό σύστημα ελέγχου ΔΕΥ για την οδήγηση ενός έξυπνου αναπηρικού αμαξιδίου. Ο ΗΕΓ Emotiv Eroc χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των ακατέργαστων δεδομένων EEG. Ιδιαίτερα, διεξήχθησαν δύο πειράματα, όπου στο 1ο δεν λαμβάνεται υπόψη η συναισθηματική κατάσταση του χρήστη, ενώ στο 2ο λαμβάνεται. Συγκεκριμένα, αφού επιλεγεί μία εντολή, το σύστημα την εκτελεί, ενώ παράλληλα ελέγχει και την συναισθηματική κατάσταση του ατόμου. Αν το άτομο είναι ικανοποιημένο, τότε εξακολουθεί να εκτελείται η επιλεγμένη εντολή, ενώ όταν είναι δυσαρεστημένο, το αμαξίδιο θα σταματήσει και ο συμμετέχων πρέπει να επιλέξει άλλη εντολή. Στην πειραματική διαδικασία συμμετείχε ένα μόνο άτομο, το οποίο όπως έδειξαν τα αποτελέσματα ήταν πιο συγκεντρωμένος στο 2ο πείραμα, όπου λαμβάνεται υπόψη η συναισθηματική του κατάσταση. Η μετρική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με τον χρόνο συγκέντρωσης, ο οποίος στο 1ο πείραμα είναι 227.41 sec, ενώ στο δεύτερο 74.49 sec.

Οι Achic F., Montero J., Penaloza C. και Cuellar F. [78] προτείνουν ένα σύστημα αποτελούμενο από ένα ηλεκτρικό αναπηρικό αμαξίδιο με ενσωματωμένο ρομποτικό βραχίονα, το οποίο ελέγχεται από μια υβριδική ΔΕΥ. Για την ολοκλήρωση της έρευνας πραγματοποιήθηκαν 2 πειράματα, με τους συμμετέχοντες να φοράνε το στήριγμα κεφαλής Emotiv EPOC. Συγκεκριμένα, στο 1ο πείραμα συμμετείχαν 3 άτομα, τα οποία κλήθηκαν να καθίσουν στο αναπηρικό αμαξίδιο και να εκτελέσουν αυχενικές κινήσεις με το κεφάλι. Λόγου χάρι, η μετωπική κάμψη προκαλούσε την κίνηση προς τα εμπρός, η ραχιαία κάμψη την κίνηση προς τα πίσω και η περιστροφή του κεφαλιού την δεξιά ή την αριστερή στροφή του αμαξιδίου. Αντίθετα, στο 2ο πείραμα συμμετείχαν 4 άτομα, τα οποία κλήθηκαν να μετακινήσουν τον ρομποτικό βραχίονα σε μια προ-προγραμματισμένη κατεύθυνση με την ανίχνευση οπτικών ερεθισμάτων μέσω των σημάτων του ΗΕΓ. Η μετρική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με τους βαθμούς κλίσης που έκανε κάθε χρήστης για να παράγει τις επιθυμητές εντολές κίνησης, καθώς και με τον μέσο όρο ακρίβειας ταξινόμησης, όπου στο 1ο πείραμα είναι 100% και στο 2ο 79.38%.

Στην έρευνα των Rebsamen B., Burdet E., Guan C., Teo C. L., Zeng Q., Ang M. και Laugier C. [79] περιγράφετε μια ιεραρχία ελέγχου για την οδήγηση ενός αναπηρικού αμαξιδίου χρησιμοποιώντας μια ΔΕΥ με βάση το P300 για την επιλογή εντολών οδήγησης. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η έρευνα, διεκπεραιώθηκαν δύο πειράματα, στα οποία συμμετείχαν δύο μόνο άτομα. Στο 1ο πείραμα, αφού ξεκίνησε το αμαξίδιο, ο συμμετέχοντας έπρεπε να δώσει εντολή να σταματήσει όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Και τα δύο άτομα κατάφεραν να σταματήσουν το αμαξίδιο σε όλες τις προσπάθειες τους με μέγιστο χρόνο αντίδρασης 13 sec, ενώ στις 17 από τις 26 προσπάθειες ο χρόνος ήταν κάτω από 6 sec. Ωστόσο, στο 2ο πείραμα εξετάζονται οι εντολές που εκτελέστηκαν ακούσια. Έτσι, οι συμμετέχοντες κατόρθωσαν στην διάρκεια των 2 λεπτών να μην εκτελέσουν την εντολή σταματημού, έχοντας εκτελέσει τις 12 από τις 26 προσπάθειες.

Κεφάλαιο 3: Ανάλυση Μεθοδολογίας

3.1 Γενική Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία έχει ως κύριο στόχο τον έλεγχο ενός αναπηρικού αμαξιδίου ελεγχόμενο από μια διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή, έτσι ώστε να εξοικειωθούν οι χρήστες στο περιβάλλον της διεπαφής αυτής. Στα παρακάτω υποκεφάλαια παρουσιάζεται το υλικό και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο επικοινωνίας LSL για να γίνει η σύνδεση των δεδομένων με την διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή, η πλατφόρμα OpenViBE για την ανάπτυξη της διεπαφής και η Python, η οποία παίρνει τα δεδομένα που της στέλνει η διεπαφή, έτσι ώστε να επικοινωνήσει με την καρέκλα μέσω σειριακής επικοινωνίας. Επίσης, στο πείραμα συμμετείχαν 10 άτομα φορώντας το στήριγμα κεφαλής Emotiv Insight που χρησιμοποιείται για την καταγραφή των ακατέργαστων δεδομένων ΗΕΓ.

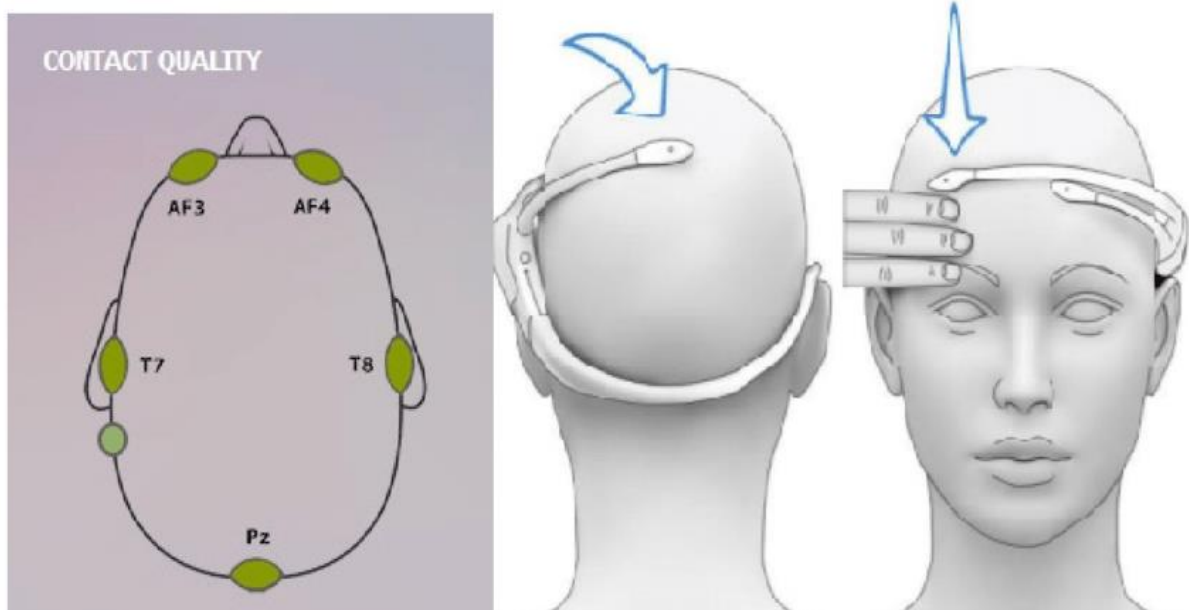
3.1.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφος Emotiv Insight

Για να γίνει η λήψη των ακατέργαστων δεδομένων του Ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος (ΗΕΓ), χρησιμοποιήθηκε το στήριγμα κεφαλής Emotiv Insight, όπως φαίνεται στην **εικόνα 14**, το οποίο είναι σχεδιασμένο για καθημερινή χρήση με εξελιγμένα ηλεκτρονικά που παράγουν καθαρά και ισχυρά σήματα. Στην **εικόνα 15** διακρίνεται ότι το Emotiv Insight διαθέτει 5 αισθητήρες ΗΕΓ (AF3, AF4, Pz, T7, T8) που ανιχνεύουν τη νευρολογική δραστηριότητα και δύο αναφορές CMS/DRL. Το CMS (Common Mode Sense) είναι ένα ενεργό ηλεκτρόδιο, ενώ το DRL (Driven Right Leg) είναι ένα παθητικό ηλεκτρόδιο. Οι αισθητήρες ημι-ξηρού πολυμερούς που διαθέτει είναι εύκολοι στη χρήση και τον καθαρισμό. Ακόμα, ο ελάχιστος χρόνος ρύθμισης της συσκευής είναι περίπου ένα με δύο

λεπτά και η μπαταρία μπορεί να διαρκέσει έως και 20 ώρες. Η συσκευή λειτουργεί ασύρματα και μπορεί να συνδεθεί στον υπολογιστή ή στο κινητό τηλέφωνο [61]. Επιπλέον, θεωρείται ως η μοναδική συσκευή στην κατηγορία των καταναλωτικών ΗΕΓ που μετρά τη δραστηριότητα από όλους τους φλοιώδεις λοβούς του εγκεφάλου, παρέχοντας πληροφορίες σε βάθος, που συνήθως υπάρχουν μόνο στις ερευνητικές συσκευές [80].



ΕΙΚΟΝΑ 14. Ο ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΟΣ ΕΜΟΤΙΒ INSIGHT



ΕΙΚΟΝΑ 15. (Α) ΣΤΗΝ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΕΙΚΟΝΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΤΟΥ ΕΜΟΤΙΒ INSIGHT. (Β) ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΣΤΗΡΙΓΜΑ ΚΕΦΑΛΗΣ ΕΜΟΤΙΒ INSIGHT ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΠΑΝΩ ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΗ [81].

3.1.2 EmotivPRO

Τα δεδομένα ΗΕΓ μεταδίδονται στον υπολογιστή μέσω Bluetooth και το λογισμικό EmotivPRO είναι το εργαλείο, με το οποίο ελέγχεται η ποιότητα της συνδεσιμότητας και παρακολουθούνται οι καταγραφές. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν ακατέργαστα δεδομένα ΗΕΓ, μετρήσεις επιδόσεων και δεδομένα κίνησης. Η Pro έκδοση της Emotiv δίνει την δυνατότητα αποθήκευσης καταγραφών για επιπλέον ανάλυση [82]. Επίσης, το λογισμικό αυτό διαθέτει πολλαπλά φίλτρα επεξεργασίας σήματος, όπως το χαμηλοπερατό φίλτρο, το υψηλοπερατό φίλτρο, το ζωνοπερατό φίλτρο, τα

παράθυρα Hanning και Hamming κ.λπ. και επιτρέπει την αποθήκευση δεδομένων για .hdf5 αρχεία, για ευκολότερη χρήση στην Matlab και στην Python [83].

3.1.3 Lab Streaming Layer (LSL)

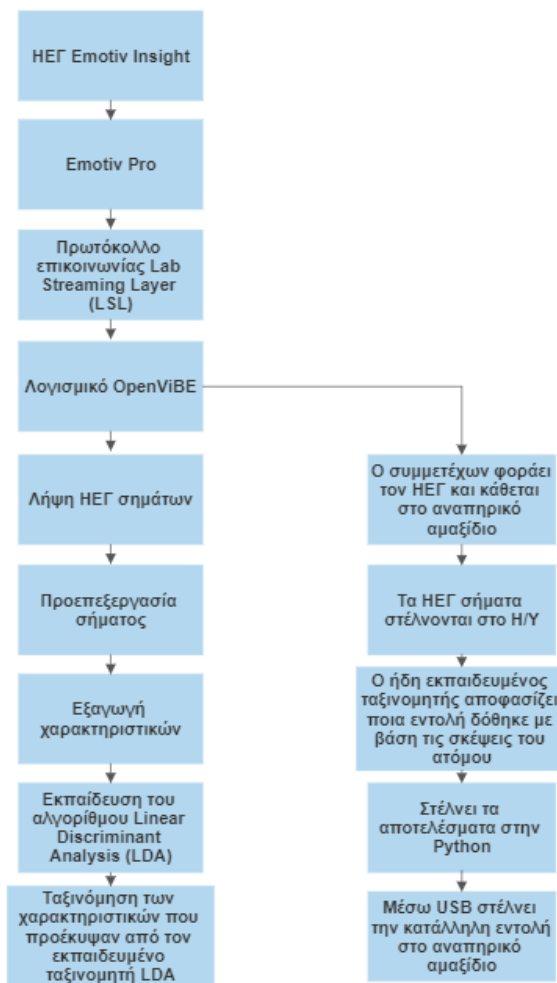
Το πρωτόκολλο επικοινωνίας LSL είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, το οποίο αξιοποιείται για τον συγχρονισμό των δεδομένων ΗΕΓ και των δεικτών έναρξης του συμβάντος, επιδιώκοντας έτσι την επικοινωνία προγραμμάτων και υπολογιστών. Το σύστημα LSL προσδιορίζεται για τη μέτρηση χρονοσειρών δεδομένων σε ερευνητικά πειράματα [84]. Ειδικότερα, χαρακτηρίζεται για την αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων λόγω της κληρονομικότητας του πρωτοκόλλου TCP και για την μειωμένη πολυπλοκότητα συγκριτικά με τη σύνδεση εφαρμογών από πολλές πλατφόρμες [64]. Επιπλέον, μπορεί να διαχειριστεί την δικτύωση, καθώς και τον συγχρονισμό του χρόνου, την προσέγγιση σε πραγματικό χρόνο όσο και την συλλογή, απεικόνιση και καταγραφή των δεδομένων σε δίσκο [85]. Οι αισθητήρες και τα προϊόντα εγκεφάλου, όπως στην συγκεκριμένη εργασία το Emotiv Insight, είναι συμβατές με το LSL, δημιουργώντας αυτόματα μια ροή για να μεταδοθούν τα ακατέργαστα δεδομένα ΗΕΓ. Πιο συγκεκριμένα η ροή αυτή του LSL θα συνδεθεί με τον acquisition server του OpenViBE, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η καταγραφή, η επεξεργασία και στο τέλος η ταξινόμηση των ακατέργαστων δεδομένων ΗΕΓ.

3.1.4 OpenViBE

Το ελεγχόμενο από μία διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή αναπηρικό αμαξίδιο χρησιμοποιείται στην πλατφόρμα OpenViBE, η οποία είναι μία δωρεάν και εύκολα προσβάσιμη πλατφόρμα λογισμικού, που σχεδιάστηκε με σκοπό να επεξεργάζεται δεδομένα βιοσήματος σε πραγματικό χρόνο [86]. Η πλατφόρμα αυτή στοχεύει στην απόκτηση των σημάτων ΗΕΓ, στην προεπεξεργασία τους και στην εξαγωγή χαρακτηριστικών για την ανάπτυξη της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Ακόμα, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο φορητών συσκευών κάτω άκρων, ρομποτικών οχημάτων και εξοπλισμού αποκατάστασης. Επίσης, διαθέτει μια πλατφόρμα για το σχεδιασμό, τη δοκιμή και τη χρήση της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή σε περιβάλλοντα πραγματικού και εικονικού χρόνου [87]. Το OpenViBE προσφέρει στους χρήστες την δυνατότητα εύκολη προσθήκης νέων ενοτήτων λογισμικού, έτσι ώστε να καλύψουν τις ανάγκες τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την έννοια του κουτιού, ενός στοιχειώδες συστατικού, το οποίο παρέχει την δυνατότητα ανάπτυξης επαναχρησιμοποιήσιμων στοιχείων, ελαττώνει τον χρόνο ανάπτυξης και επεκτείνει ταχύτερα τις λειτουργίες [88].

3.2 Διάγραμμα Μεθοδολογίας

Στα **υποκεφάλαια 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 και 3.2.4** παρουσιάζεται το σύνολο ενοτήτων λογισμικού της πλατφόρμας OpenViBE, οι οποίες μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα και αποτελεσματικά για το σχεδιασμό μιας διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Οι ενότητες αυτές περιλαμβάνουν το σενάριο καταγραφής, την επεξεργασία εκτός σύνδεσης, την ταξινόμηση και την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο. Στο **σχήμα 1** απεικονίζεται η διαδικασία με την οποία έγινε η λήψη των ΗΕΓ σημάτων, η επεξεργασία τους με την επεξεργασία εκτός σύνδεσης, η εξαγωγή και η ταξινόμηση των χαρακτηριστικών, καθώς και η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο με την οποία η κατάλληλη εντολή φτάνει στο αναπηρικό αμαξίδιο.

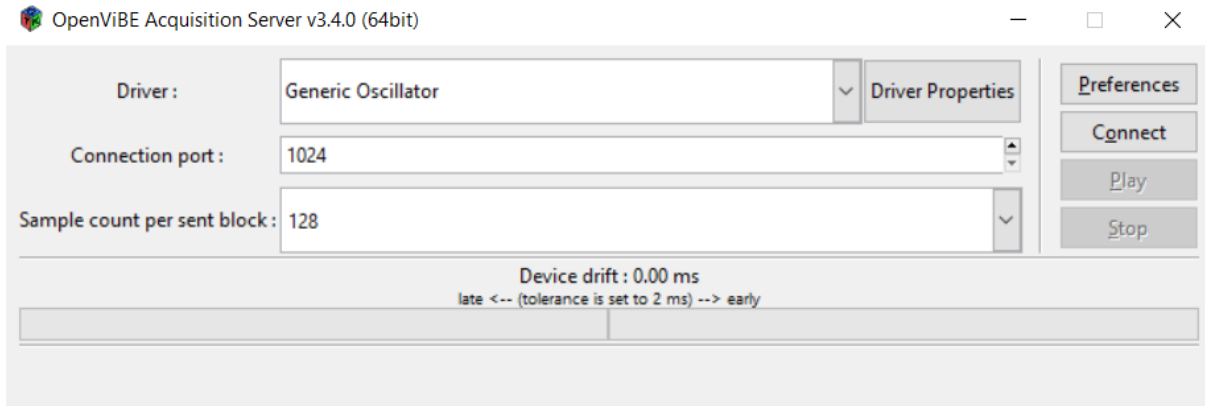


ΣΧΗΜΑ 1. ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΤΙΣ ΔΥΟ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ OPENViBE, ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΜΙΑΣ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ. ΣΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΚΤΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΗ, ΠΡΟΚΕΙΜΕΝΟΥ ΝΑ ΓΙΝΕΙ Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ Η ΕΞΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥΣ. ΕΝΩ ΣΤΑ ΔΕΞΙΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ, ΣΤΗΝ ΟΠΟΙΑ Ο ΕΚΠΑΙΔΕΥΟΜΕΝΟΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΗΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙ ΝΑ ΚΑΤΑΛΑΒΕΙ ΤΙ ΕΝΤΟΛΗ ΔΩΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ ΜΕΣΩ HEГ. ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΗ ΕΞΑΓΟΝΤΑΙ ΣΑΝ ΡΟΗ MARKERS ΣΤΗΝ ΡΥΘΟΝ, Η ΟΠΟΙΑ ΣΤΕΛΝΕΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΝΤΟΛΗ ΣΤΟ ΑΝΑΠΗΡΙΚΟ ΑΜΑΞΙΔΙΟ.

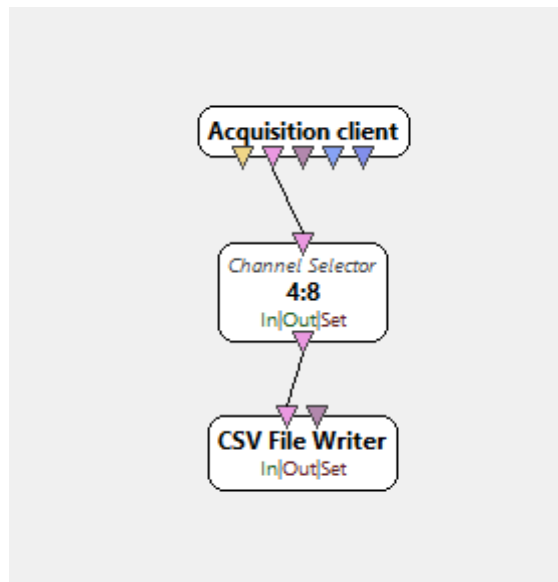
3.2.1 Σενάριο Καταγραφής

Στο σενάριο καταγραφής, πραγματοποιούνται οι καταγραφές ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης για ένα συγκεκριμένο άτομο που συμμετέχει στο πείραμα, ενώ ταυτόχρονα εκτελούνται συγκεκριμένες νοητικές εργασίες, όπως φανταστικές κινήσεις του αριστερού ή του δεξιού χεριού. Το σενάριο που αντιστοιχεί σε αυτή τη διαδικασία συμβάλλει απλώς στη συναρμολόγηση τριών κουτιών [88]. Στο OpenViBE υπάρχει μία μονάδα acquisition server, η οποία φαίνεται στο **Σχήμα 2**, που συνδέεται με εξωτερικά περιφερειακά και μία μονάδα σχεδιαστή για να γίνει η επεξεργασία των δειγμάτων που καταγράφηκαν. Από το κουτί του Acquisition Client στον σχεδιαστή λαμβάνεται η ροή εισόδου, δηλαδή η ροή του σήματος που στέλνει το Emotiv Insight μέσω LSL. Έπειτα, αυτό περνιέται μέσα από ένα κουτί που ονομάζεται Channel Selector, στο οποίο διώχνονται τα κανάλια που δεν χρειάζονται. Αυτό γίνεται γιατί η Emotiv στέλνει 9 στήλες δεδομένων και στο πείραμα χρειάζονται μόνο οι 5, που είναι ουσιαστικά τα κανάλια HEГ. Στην συνέχεια, ο Channel Selector συνδέεται με τον CSV file writer, ο οποίος αποθηκεύει τα δείγματα HEГ που καταγράφηκαν σε ένα αρχείο με μορφή .csv [80], [89]. Ο Acquisition Client που χρησιμοποιήθηκε είναι στο port 127, με

128 Hz δειγματοληψίας. Στην συγκεκριμένη εργασία δημιουργήθηκαν τρία .csv αρχεία για κάθε πείραμα, ένα για κάθε εντολή, δηλαδή το αριστερά, το δεξιά και το ανοιγόκλειμα των ματιών. Το σενάριο καταγραφής φαίνεται στο **Σχήμα 3**.



ΣΧΗΜΑ 2. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ OPENVIBE ACQUISITION SERVER. ΜΕ ΤΟ ΠΑΤΗΜΑ ΤΟΥ PLAY, Ο ACQUISITION SERVER ΣΤΕΛΝΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΑΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.



ΣΧΗΜΑ 3. ΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

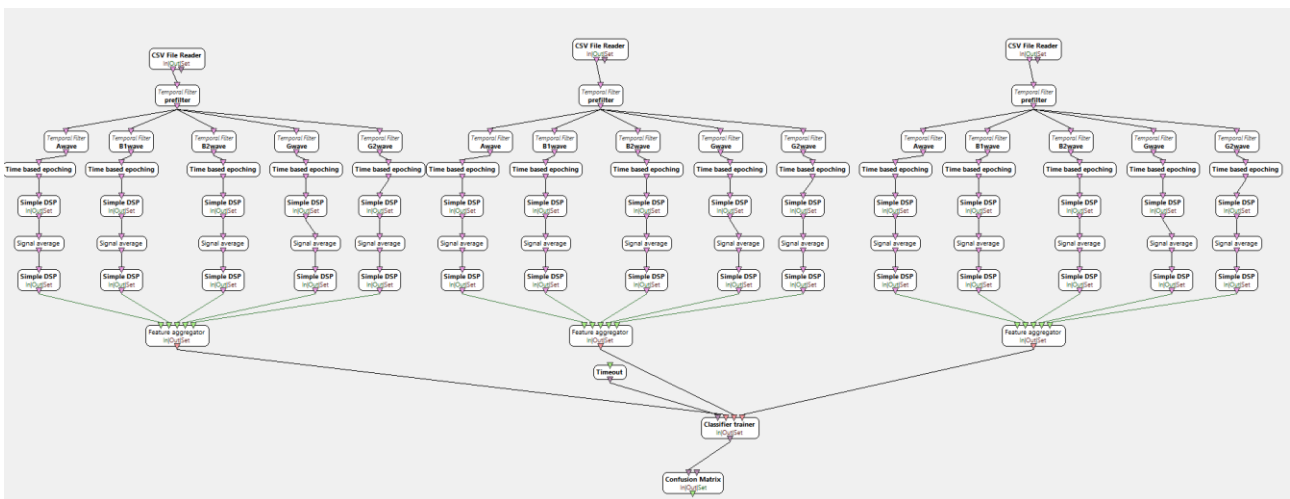
3.2.2 Επεξεργασία Εκτός Σύνδεσης

Αφού ολοκληρωθεί το σενάριο καταγραφής, δηλαδή η διαδικασία καταγραφής των ακατέργαστων δεδομένων ΗΕΓ, ακολουθεί η επεξεργασία εκτός σύνδεσης, η οποία φαίνεται στο **Σχήμα 4**, προκειμένου να γίνει η επεξεργασία των δεδομένων και η εξαγωγή των χαρακτηριστικών για την ταξινόμησή τους. Αρχικά, φορτώνονται τα τρία .csv αρχεία, όπου έγινε η καταγραφή, ώστε να γίνει η εισαγωγή του σήματος του εγκεφάλου [64]. Έπειτα, εκτελείται ένα prefilter για κάθε κανάλι ΗΕΓ, το οποίο είναι ένα Butterworth ζωνοπερατό φίλτρο τέταρτης τάξης μεταξύ 8 και 40 Hz, που αποσκοπεί στην μείωση του θορύβου και των τεχνουργημάτων, λόγω χάρη για να φύγουν κάποιες εντολές ανοίγματος και κλεισίματος των ματιών που έγιναν ακούσια. Το σήμα χωρίζεται σε 5 ζώνες συχνοτήτων [63]:

- Άλφα κύματα μεταξύ 8 και 13 Hz
- Βήτα 1 κύματα μεταξύ 13 και 20 Hz
- Βήτα 2 κύματα μεταξύ 20 και 30 Hz
- Γάμμα κύματα μεταξύ 30 και 35 Hz
- Γάμμα 2 κύματα μεταξύ 35 και 40 Hz

Συγκεκριμένα, τα Άλφα κύματα είναι κυρίως στον ενήλικο ανθρώπινο εγκέφαλο και εμφανίζονται συχνά στον ινιακό φλοιό κατά την περίοδο εγρήγορσης. Η εμφάνιση των κυμάτων αυτών είναι συχνότερη όταν το άτομο είναι χαλαρό με κλειστά μάτια και μειώνεται με την εμφάνιση ταλαντεύσεων του κεφαλιού λόγω κούρασης. Τα Βήτα κύματα έχουν υψηλή ταχύτητα διάδοσης, εμφανίζονται όταν το άτομο είναι σε κατάσταση επαγρύπνησης ή όταν εκτελείται κάποια κίνηση όπου χρειάζεται αρκετός χρόνος για να αντιδράσει [90]. Συνήθως παρατηρούνται και στις δύο πλευρές του μετωπιαίου και του βρεγματικού λοβού. Λόγω του ότι το αναλογικό ΗΕΓ καταγράφει και μετράει ρυθμούς μικρότερους από 25 Hz, τα Γάμμα κύματα αναλύονται μετά την ανάπτυξη του ψηφιακού ΗΕΓ. Τέτοιου είδους κύματα εμφανίζονται σε περιπτώσεις υπερ-εγρήγορσης και ενσωμάτωσης των αισθητηριακών εισροών, με κατάλληλο συνδυασμό της αίσθησης και της μνήμης [91].

Κατόπιν, το σήμα εποχικοποιείται σε χρονικά παράθυρα των τριών δευτερολέπτων χωρίς επικάλυψη, δηλαδή εφαρμόζεται ένα Time based epoching. Το Time epoching εξάγει συγκεκριμένα χρονικά παράθυρα από το συνεχές σήμα του ΗΕΓ και έτσι αυξάνονται τα δεδομένα που είναι για επεξεργασία. Ακολουθώς υπολογίζονται η ενέργεια (Simple DSP) κάθε ζώνης σε κάθε χρονικό παράθυρο και η μέση τιμή της ενέργειας. Και τέλος, περνάει στο κουτί που λέγεται Feature aggregator για να περαστεί ως είσοδος στον ταξινομητή [63].



ΣΧΗΜΑ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΚΤΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΤΑΞΙΝΟΜΗΤΗ

3.2.3 Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση των δεδομένων ΗΕΓ γίνεται με τον αλγόριθμο Linear Discriminant Analysis (LDA), ο οποίος υπάρχει ήδη μέσα στο OpenViBE. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτή την διαδικασία λειτουργούν ως είσοδος στους ταξινομητές και εισάγονται σε ένα αρχείο XML, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν στην εκπαίδευση σε πραγματικό χρόνο [64], [66]. Στην **υποενότητα 3.2.3.1** γίνεται ανάλυση του αλγορίθμου ταξινόμησης, Linear Discriminant Analysis (LDA).

3.2.3.1 Linear Discriminant Analysis (LDA)

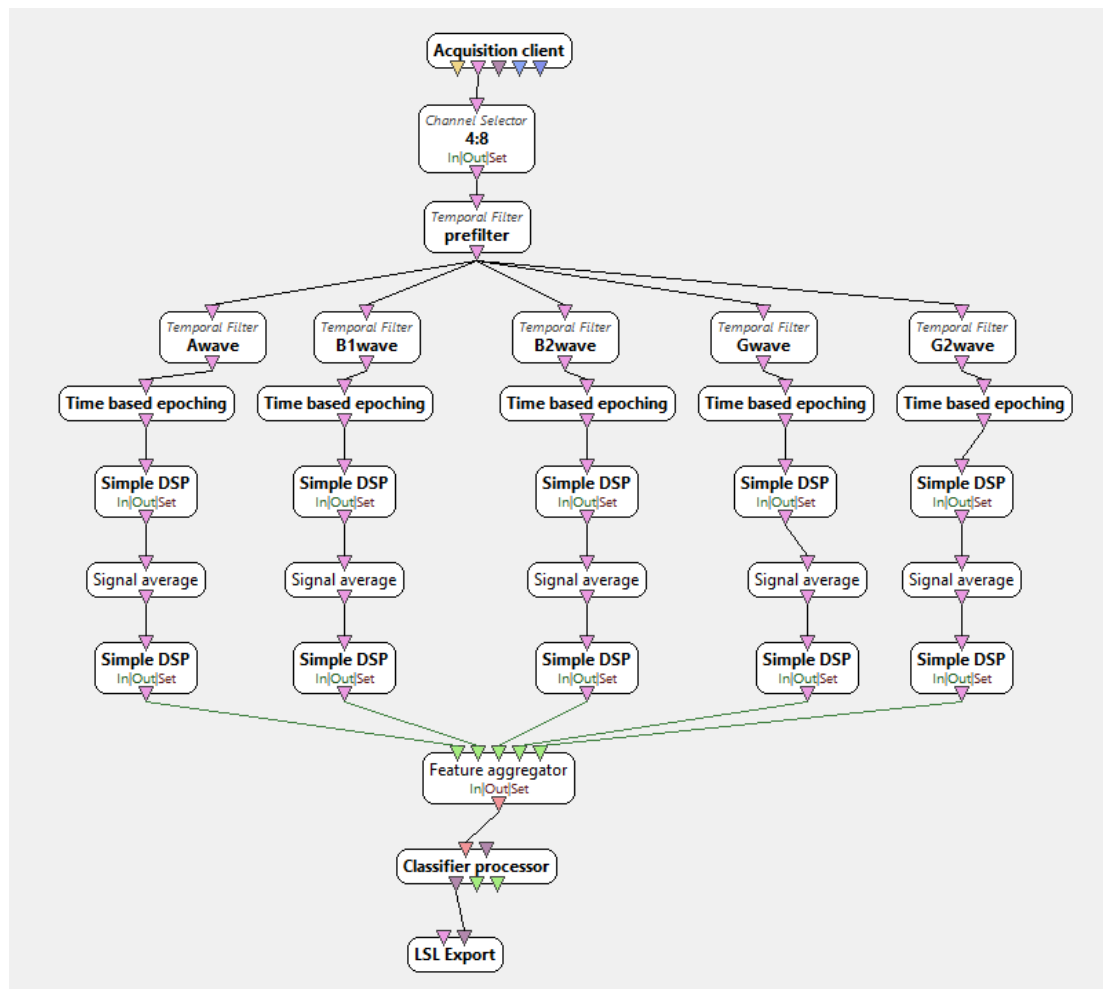
Ο LDA στοχεύει στην εύρεση ενός βέλτιστου γραμμικού μετασχηματισμού, ο οποίος θα μεγιστοποιεί την διαχωριστικότητα των κλάσεων σε έναν χώρο μικρότερης διάστασης [92]. Είναι ευρέως γνωστός σε πολλούς τομείς της επεξεργασίας πληροφορίας, όπως η μηχανική μάθηση, η εξόρυξη δεδομένων, η ανάκτηση πληροφοριών, η αναγνώριση προτύπων, καθώς και στα συστήματα διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή [93]. Ένα από τα πλεονεκτήματα του αλγορίθμου αυτού είναι ότι μέσα από την επίλυση ενός γενικευμένου συστήματος ιδιοτιμών μπορεί να γίνει η λήψη του αποτελέσματος, που οδηγεί στην ταχύτερη επεξεργασία δειγμάτων δεδομένων [94]. Επιπλέον, η μείωση της διάστασης του

χώρου έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε αρκετά προβλήματα ταξινόμησης, λόγω χάρη στην αναγνώριση ομιλίας, στην αναγνώριση προσώπου και στην ανάκτηση πληροφοριών πολυμέσων [95]. Ωστόσο, όταν η δειγματοληψία είναι χαμηλή, έχει ως επακόλουθο η διάσταση του χώρου να είναι υψηλή, γεγονός που καθιστά δύσκολη την εφαρμογή του LDA, λόγω της ιδιομορφίας στους πίνακες διασποράς [92]. Για να προκύψει μια σταθερή λύση με την εφαρμογή του LDA, οι πίνακες διασποράς πρέπει να είναι μη-συγγυτικοί, το οποίο είναι αδύνατον όταν ο αριθμός των χαρακτηριστικών είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των δειγμάτων. Επομένως, θεωρείται αδύνατη η εφαρμογή του LDA σε κλίμακα υψηλής διάστασης δεδομένων [93]. Συγκριτικά με άλλους αλγορίθμους, ο LDA έχει χαμηλές υπολογιστικές απαιτήσεις, αν και τα πολύπλοκα μη γραμμικά δεδομένα ΗΕΓ μπορούν να τον οδηγήσουν στην παραγωγή ελλিপών αποτελεσμάτων [96].

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, ο κύριος στόχος του LDA είναι να διαχωρίζει τα δεδομένα που ανήκουν στις διάφορες κλάσεις. Το σύνολο εκπαίδευσης (training set) χρησιμοποιήθηκε για να διαλέξει ποιες εντολές θα εκτελεστούν, το αριστερά, το δεξιά ή το ανοιγόκλειμα των ματιών, και για να εκπαιδεύσει τον ταξινομητή LDA πάνω σε αυτές τις εντολές. Ο εκπαιδευμένος ταξινομητής LDA ταξινομεί τα χαρακτηριστικά που προέκυψαν. Στην συνέχεια, χρησιμοποιείται στο OpenViBE η διασταυρούμενη επικύρωση (Cross Validation) για την εξαγωγή αυτών των χαρακτηριστικών. Η διαδικασία έχει ως εξής: το σύνολο των δοκιμών θα διαιρείται με επανάληψη για 10 φορές σε ένα χρονοδιάγραμμα BCI σε δύο μη επικαλυπτόμενα σύνολα, όπου το ένα χρησιμοποιείται για εκπαίδευση και το άλλο για δοκιμή [97].

3.2.4 Επεξεργασία σε Πραγματικό Χρόνο

Στην επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, η οποία φαίνεται στο **Σχήμα 5**, δεδομένου ότι έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία εκτός σύνδεσης και έχει δημιουργηθεί το αρχείο XML με την ολοκλήρωση της ταξινόμησης, χρησιμοποιείται ο Acquisition Server για να εισάγει το νέο σήμα σε ένα σενάριο δοκιμών σε πραγματικό χρόνο [98]. Από το “κουτί” του Acquisition Client στον σχεδιαστή λαμβάνεται η ροή του σήματος που στέλνει το Emotiv σε πραγματικό χρόνο μέσω LSL. Σε αυτό το σενάριο χρησιμοποιούνται τα ίδια κουτιά με την επεξεργασία εκτός σύνδεσης, με την μόνη διαφορά ότι αντί να εκπαιδεύεται ο ταξινομητής (classifier trainer), ανά 3 δευτερόλεπτα ο ήδη εκπαιδευμένος ταξινομητής (classifier processor) παίρνει μία απόφαση με βάση τις σκέψεις του ατόμου που συμμετέχει στο πείραμα. Πιο συγκεκριμένα, αφού το άτομο έχει καθίσει στο αναπηρικό αμαξίδιο και έχει φορέσει την συσκευή Emotiv Insight, αρχίζει να σκέφτεται είτε αριστερά είτε δεξιά είτε να ανοιγοκλείνει τα μάτια, προκειμένου ανά τρία δευτερόλεπτα ο εκπαιδευμένος ταξινομητής να μπορεί να καταλάβει μέσα από την επεξεργασία και μέσω των εγκεφαλικών κυμάτων τι εντολή δόθηκε. Για παράδειγμα, ο ταξινομητής μπορεί να εμφανίσει 3 αριθμούς, από τους οποίους, το 3.0.25 αντιστοιχεί στο δεξιά, το 3.0.26 στο αριστερά και το 3.0.27 στο ανοιγόκλειμα των ματιών. Μόλις, καταλάβει ποια είναι εντολή που δόθηκε, τα αποτελέσματα του ταξινομητή εξάγονται μέσω του πλαισίου "LSL Export" σαν ροή Markers στην Python [63].



ΣΧΗΜΑ 5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ

3.3 Python

Η Python θεωρείται ως μία γλώσσα αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, καθώς χρησιμοποιείται για προγραμματισμό γενικού σκοπού για την ανάπτυξη εφαρμογών γραφείου και διαδικτύου. Είναι σχεδιασμένη, έτσι ώστε να δίνεται έμφαση στην σύνταξη και την αναγνωσιμότητα του κώδικα με όσο το δυνατόν λιγότερες γραμμές. Διαθέτει ένα δυναμικό σύστημα, αυτόματη διαχείριση της μνήμης, καθώς επίσης και διερμηνείς για την εγκατάσταση της σε πολλά λειτουργικά συστήματα [99]. Στο παρόν σύγγραμμα, στην επεξεργασία εντός σύνδεσης, μόλις ο εκπαιδευμένος ταξινομητής αναγνωρίσει ποια είναι η εντολή που δόθηκε, στέλνει στην Python τα αποτελέσματα του. Έπειτα, αυτή μέσω USB στέλνει την αντίστοιχη εντολή στο αναπηρικό αμαξίδιο, προκειμένου αυτό να κινηθεί. Στην **υποενότητα 3.3.1** αναλύεται η εφαρμογή PyCharm, στην οποία συγγράφηκε ο κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού python.

3.3.1 PyCharm

Το PyCharm είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE), το οποίο κυκλοφορεί σε δύο εκδόσεις, το PyCharm Pro και το PyCharm Community και παρέχει συνεχή εμπειρία στα λειτουργικά συστήματα Windows, macOS και Linux [100]. Για να είναι εφικτή η επικοινωνία με την Python, στο online σενάριο του OpenViBE, αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία του ΗΕΓ, πρέπει να προστεθεί το πλαίσιο “LSL Export” [101]. Από το πλαίσιο αυτό, χρησιμοποιείται η ροή Markers, δηλαδή τα αποτελέσματα του ταξινομητή και ανάλογα με το αποτέλεσμα, μέσω νήματος, στέλνεται η ανάλογη εντολή, με την χρήση json format, στην καρτέλα μέσω σειριακής επικοινωνίας με το port COM3. Μόνο ένα νήμα μπορεί να εκτελεστεί σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή αναγκάζοντας

πολλαπλά νήματα να εκτελούνται ταυτόχρονα σε μια χρονικά διαδοχική αλληλουχία, δηλαδή να εκτελούνται με πραγματικό παραλληλισμό [102]. Ένα πρόβλημα που προέκυψε με το αμαξίδιο, είναι ότι ο εγκέφαλος που γίνεται η επικοινωνία μέσω της σειριακής επικοινωνίας, πρέπει να δέχεται εντολή ανά μισό δευτερόλεπτο, αλλιώς χάνει την σύνδεση της με το USB.

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

4.1 Πειραματική Διαδικασία

Στην ενότητα 4.1 γίνεται η περιγραφή της διαδικασίας εκτέλεσης των πειραμάτων. Συγκεκριμένα, αναλύεται το δείγμα των συμμετεχόντων στην υποενότητα 4.1.1 και στην συνέχεια η διεργασία για τις καταγραφές εκτός σύνδεσης και πραγματικού χρόνου στις υποενότητες 4.1.2 και 4.1.3.

4.1.1 Δείγμα Συμμετεχόντων

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του συστήματος διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή διεξήχθη μία σειρά πειραμάτων, όπου συμμετείχαν εθελοντικά, όπως φαίνεται και στον **πίνακα 1**, 10 υγιή άτομα (3 γυναίκες και 7 άνδρες) ηλικίας 22 με 29 ετών, με μέσο όρο ηλικίας 24.8 και φυσιολογική όραση. Το κάθε άτομο προτού συμμετάσχει στο πείραμα, ενημερώθηκε για την όλη διαδικασία και έπειτα έδωσε την συγκατάθεση του, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι καταγραφές του για τις ανάγκες της εργασίας.

Πίνακας 1. Στοιχεία του κάθε συμμετέχοντα. Στην πρώτη στήλη φαίνεται ο αριθμός συμμετοχής του κάθε ατόμου στο πείραμα, στην δεύτερη στήλη φαίνεται το φύλο του, στην τρίτη η ηλικία του και στην τέταρτη η κατάσταση της όρασης του.

Συμμετέχοντας	Φύλο	Ηλικία	Κατάσταση Όρασης
1	Άντρας	25	Φυσιολογική
2	Άντρας	29	Φυσιολογική
3	Γυναίκα	23	Φυσιολογική
4	Γυναίκα	22	Φυσιολογική
5	Άντρας	25	Φυσιολογική
6	Άντρας	24	Φυσιολογική
7	Άντρας	24	Φυσιολογική
8	Γυναίκα	22	Φυσιολογική
9	Άντρας	25	Φυσιολογική

10	Άντρας	29	Φυσιολογική
----	--------	----	-------------

4.1.2 Καταγραφές Εκτός Σύνδεσης

Η πειραματική διαδικασία διεκπεραιώθηκε στο Επιστημονικό και Τεχνολογικό Πάρκο Ηπείρου, όπου βρισκόταν το αναπηρικό αμαξίδιο. Σε πρώτο στάδιο, τα άτομα που συμμετείχαν κάθισαν σε μία καρέκλα ακίνητοι, κοιτώντας ευθεία, φορώντας το στήριγμα κεφαλής Emotiv Insight, ώστε να γίνει η καταγραφή τριών διαφορετικών εντολών. Στον χώρο έπρεπε να υπάρχει πλήρης ηρεμία, δηλαδή όσο το δυνατόν λιγότερος εξωτερικός θόρυβος, προκειμένου τα άτομα να είναι συγκεντρωμένα. Στην πρώτη καταγραφή, οι συμμετέχοντες έπρεπε να κοιτάζουν για 5 λεπτά δεξιά, και να σκέφτονται παράλληλα είτε ότι κάνουν μία κίνηση προς τα δεξιά, είτε ότι κινούν το δεξί χέρι ή πόδι. Στην δεύτερη καταγραφή, έπρεπε να κοιτάζουν για 5 λεπτά αριστερά, και να σκέφτονται ταυτόχρονα είτε ότι κάνουν μία κίνηση προς τα αριστερά, είτε ότι κινούν το αριστερό χέρι ή πόδι. Στην τελευταία καταγραφή, ζητήθηκε από τα άτομα για ένα λεπτό να ανοιγοκλείνουν τα μάτια τους με δύναμη, έτσι ώστε να δημιουργηθεί θόρυβος. Μετά από τις 30 συνολικά καταγραφές, ακολουθεί η επεξεργασία εκτός σύνδεσης για την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή των χαρακτηριστικών για την ταξινόμησή τους σε μία από τις 3 κατηγορίες. Ο μέσος όρος ακρίβειας ταξινόμησης του αλγόριθμου Linear Discriminant Analysis (LDA) είναι 83.24% και κυμαίνεται από 61.8% έως 92.83%.

4.1.3 Καταγραφές Πραγματικού Χρόνου

Αφού οι συμμετέχοντες τελείωσαν με τις καταγραφές, ανέβηκαν στο αναπηρικό αμαξίδιο για να δοκιμάσουν την ταχύτητά του και να εξοικειωθούν με τον εξοπλισμό. Στην **εικόνα 4** στο πρώτο πείραμα τα άτομα έπρεπε να ξεκινήσουν και να σταματήσουν το αναπηρικό αμαξίδιο 2 φορές σε προκαθορισμένες θέσεις, ανοιγοκλείνοντας τα μάτια λίγο πριν την θέση που έπρεπε να σταματήσουν. Το κάθε άτομο επανέλαβε αυτή την διαδικασία 5 φορές. Πιο συγκεκριμένα, στο πείραμα αυτό μετρήθηκε η απόσταση που σταμάτησε το αμαξίδιο από την πρώτη αλλά και από την δεύτερη στάση, καθώς και τα συνολικά του σταματήματα/ξεκινήματα. Στο δεύτερο και στο τρίτο πείραμα ελέγχεται η ικανότητα εκτέλεσης αριστερών και δεξιών στροφών αντίστοιχα. Ειδικότερα, στο δεύτερο πείραμα, οι συμμετέχοντες πρέπει να εκτελέσουν 4 αριστερές στροφές και 3 σταματήματα/ξεκινήματα, δηλαδή συνολικά τουλάχιστον 7 εντολές για να ολοκληρώσουν την επιθυμητή διαδρομή. Από την άλλη, στο τρίτο πείραμα, οι συμμετέχοντες πρέπει να εκτελέσουν 4 δεξιές στροφές και 3 σταματήματα/ξεκινήματα, δηλαδή συνολικά τουλάχιστον 7 εντολές για να ολοκληρώσουν την επιθυμητή διαδρομή. Και στα δύο αυτά πειράματα, τα άτομα επανέλαβαν την διαδικασία 5 φορές. Συγκεκριμένα, μετρήθηκε ο συνολικός αριθμός των εντολών που εκτελέστηκαν, τα σταματήματα/ξεκινήματα και οι λάθος εντολές, λόγω χάρη πόσες δεξιές στροφές έγιναν στο δεύτερο πείραμα και πόσες αριστερές στο τρίτο.



ΕΙΚΟΝΑ 16. Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ, ΦΟΡΩΝΤΑΣ ΤΟ ΣΤΗΡΙΓΜΑ ΚΕΦΑΛΗΣ ΕΜΟΤΙΒ INSIGHT ΚΑΙ ΚΑΘΙΣΜΕΝΟΣ ΕΠΑΝΩ ΣΤΟ ΑΝΑΠΗΡΙΚΟ ΑΜΑΞΙΔΙΟ.

4.2 Αποτελέσματα

Στην ενότητα **4.2** πραγματοποιείται η ανάλυση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων εκτός σύνδεσης και πραγματικού χρόνου ξεχωριστά για κάθε έναν από τους 10 συμμετέχοντες μέσα από μία σειρά πινάκων και γραφικών απεικονίσεων.

4.2.1 Αποτελέσματα Εκτός Σύνδεσης

Στην συγκεκριμένη υποενότητα, αφού προηγήθηκε η επεξεργασία των δεδομένων και η εξαγωγή των χαρακτηριστικών για την ταξινόμησή τους, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των δεδομένων HEG για τις 3 ψυχικές εντολές, αριστερά, δεξιά και ανοιγοκλείσιμο ματιών. Για την ταξινόμηση των δεδομένων HEG χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Linear Discriminant Analysis (LDA).

Στον **πίνακα 2** παρουσιάζεται η ακρίβεια της ταξινόμησης του αλγορίθμου LDA για την καταγραφή των τριών ψυχικών εντολών. Συγκεκριμένα, στην πρώτη στήλη βρίσκεται ο αριθμός του κάθε ατόμου, ανάλογα με την σειρά συμμετοχής του στο πείραμα. Στην δεύτερη στήλη βρίσκονται οι καταγραφές των συμμετεχόντων για την αριστερά φανταστική κίνηση, ενώ στην τρίτη στήλη για την δεξιά. Επίσης, στην τέταρτη και στην πέμπτη στήλη παρουσιάζονται οι καταγραφές για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών και η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης κάθε ατόμου αντίστοιχα. Ο μέσος όρος της ακρίβειας της ταξινόμησης για την αριστερή φανταστική κίνηση, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, είναι 76.66% και κυμαίνεται μεταξύ 39.2% με 94.8%, για την δεξιά φανταστική κίνηση είναι 86.76% και κυμαίνεται μεταξύ 25.8% με 100%, για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών είναι 88.09% και κυμαίνεται μεταξύ 74.4% με 100%, ενώ για την συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης κάθε ατόμου που συμμετείχε στο πείραμα είναι 83.24% και κυμαίνεται μεταξύ 61.8%

με 92.83%. Από τα παραπάνω ποσοστά είναι κατανοητό ότι οι μετρήσεις για τις δεξιά φανταστικές κινήσεις έχουν καλύτερο ποσοστό συγκριτικά με τις αριστερά. Τα όχι τόσο υψηλά ποσοστά ακρίβειας ταξινόμησης μπορεί να οφείλονται σε δεδομένα χωρίς επιλογή χαρακτηριστικών, τα οποία είναι περιττά ή θορυβώδη. Ωστόσο, η υψηλή ακρίβεια μπορεί να επιτευχθεί όταν οι χρήστες εξοικειωθούν με το σύστημα και τις λειτουργίες του.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα της ταξινόμησης για τον κάθε συμμετέχοντα. Στην πρώτη στήλη φαίνεται ο αριθμός συμμετοχής του κάθε ατόμου, στην δεύτερη και στην τρίτη φαίνονται τα ποσοστά της ταξινόμησης για τις φανταστικές κινήσεις για το αριστερά και το δεξιά, στην τέταρτη για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών και στην τελευταία για την συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης.

Συμμετέχοντες	LDA - Αριστερό MI	LDA – Δεξί MI	LDA – Ανοιγοκλείσιμο Ματιών	Ακρίβεια Ταξινόμησης
1	84.5%	94.8%	93.5%	90.93%
2	79.0%	92.4%	95.0%	88.8%
3	94.8%	74.2%	100%	89.67%
4	93.8%	89.7%	95.0%	92.83%
5	82.5%	90.7%	100%	91.07%
6	92.8%	25,8%	74.4%	61.8%
7	48.5%	100%	84.6%	75.95%
8	71.1%	100%	76.9%	84.12%
9	80.4%	100%	76.9%	85.11%
10	39.2%	100%	84.6%	72.1%
Μέσος Όρος	76.66%	86.76%	88.09%	83.24%

4.2.2 Αποτελέσματα Πραγματικού Χρόνου

Αφού ολοκληρώθηκαν οι καταγραφές και οι συμμετέχοντες εξοικειώθηκαν με τον εξοπλισμό, προχώρησαν στην διεκπεραίωση των τριών πειραμάτων. Όπως προαναφέρθηκε και στην ενότητα 4.1, στο πρώτο πείραμα μετριέται η απόσταση που σταμάτησε το αμαξίδιο από την πρώτη αλλά και από την δεύτερη στάση, καθώς και τα συνολικά του σταματήματα/ξεκινήματα. Ενώ στο δεύτερο και στο τρίτο πείραμα, όπου ελέγχονται οι αριστερές και οι δεξιές στροφές αντίστοιχα, μετριέται ο συνολικός αριθμός των εντολών που εκτελέστηκαν, τα σταματήματα/ξεκινήματα και οι λάθος εντολές. Στις παρακάτω υποενότητες της ενότητας 4.3 παρουσιάζονται και σχολιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του κάθε συμμετέχοντα ξεχωριστά σε τρεις πίνακες έναν για το κάθε πείραμα.

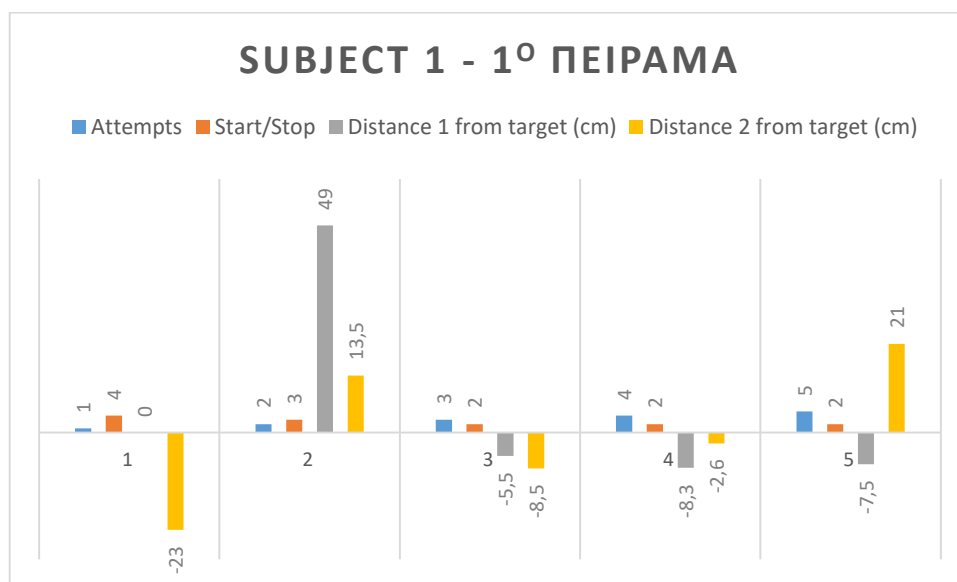
4.2.2.1 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 1^ο Συμμετέχοντα

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πρώτου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση

από τον δεύτερο. Συγκεκριμένα, ο πρώτος συμμετέχοντας έδειξε σημαντική βελτίωση, καθώς έπρεπε να σταματήσει συνολικά 2 φορές, γεγονός που το κατάφερε στην 3^η, 4^η και 5^η προσπάθειά του, με συνολικό μέσο όρο σταματημάτων 2.6. Στο **σχήμα 6** φαίνεται ότι η 4^η προσπάθειά του ήταν αυτή που κατάφερε να βρεθεί πιο κοντά στα σημεία που έπρεπε να σταματήσει, διότι κατάφερε να σταματήσει σε απόσταση 8.3 cm πριν το πρώτο σημείο και 2.6 cm πριν το δεύτερο σημείο. Εξίσου ικανοποιητική ήταν και η 3^η προσπάθεια, όπου ο πρώτος σταματημός έγινε 5.5 cm πριν το πρώτο σημείο και ο δεύτερος 8.5 cm πριν το δεύτερο. Επίσης, είναι να σημαντικό αναφερθεί ότι ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 14.06 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 13.72 cm. Συνεπώς, μέσα από όλες τις προσπάθειες φαίνεται ότι ο συμμετέχοντας κατάφερε να βρεθεί σε πιο κοντινή απόσταση από το δεύτερο σημείο από ότι από το πρώτο.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα του 1^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

1 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	4	0	-23
2	3	49	13.5
3	2	-5.5	-8.5
4	2	-8.3	-2.6
5	2	-7.5	21
Μέσος Όρος	2,6	14.06	13.72

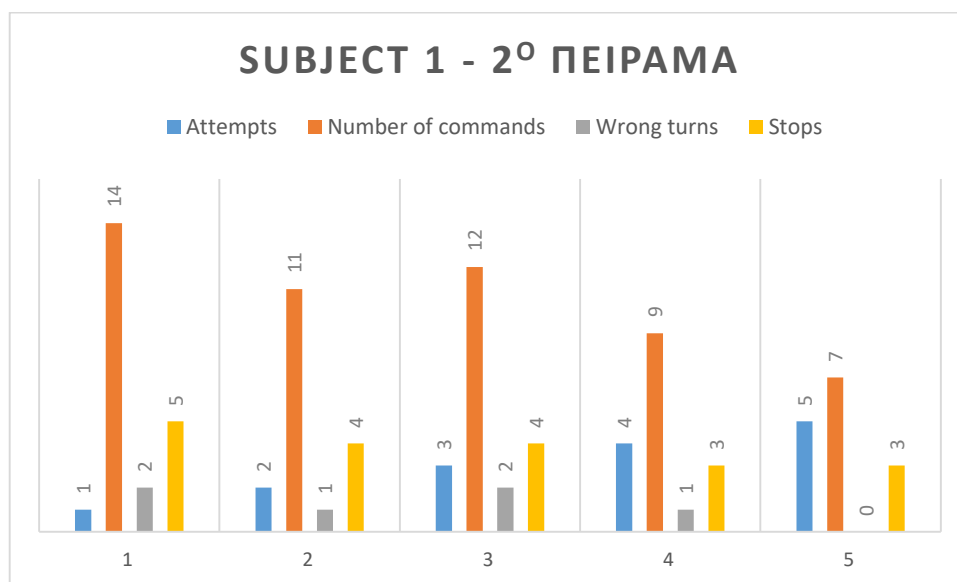


ΣΧΗΜΑ 6. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 1^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 4** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πρώτου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές, δηλαδή οι δεξιές στροφές και στην τέταρτη στήλη οι φορές που σταμάτησε. Στο πείραμα αυτό οι συμμετέχοντες πρέπει να εκτελέσουν 4 αριστερές στροφές και 3 σταματήματα/ξεκινήματα, δηλαδή συνολικά τουλάχιστον 7 εντολές για να ολοκληρώσουν την επιθυμητή διαδρομή. Ο πρώτος συμμετέχοντας κατάφερε να φέρει αυτά τα αποτελέσματα στην 5^η του προσπάθεια, όπως απεικονίζεται και στο **σχήμα 7**, εκτελώντας συνολικά 7 εντολές, 0 δεξιές στροφές και 3 σταματήματα. Η 4^η προσπάθεια ήταν επίσης αποδεκτή, εκτέλεσε όμως μία παραπάνω αριστερή στροφή και μία δεξιά στροφή. Από την 1^η μέχρι την τελευταία προσπάθεια το άτομο επέδειξε ανοδική βελτίωση, καθώς κατάφερε να πετύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα στην τελευταία προσπάθειά του. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 10.6, των λάθος στροφών είναι 1.2 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.8.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα του 1^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

1 ^{ος} Συμμετέχοντας - 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	14	2	5
2	11	1	4
3	12	2	4
4	9	1	3
5	7	0	3
Μέσος Όρος	10.6	1.2	3.8



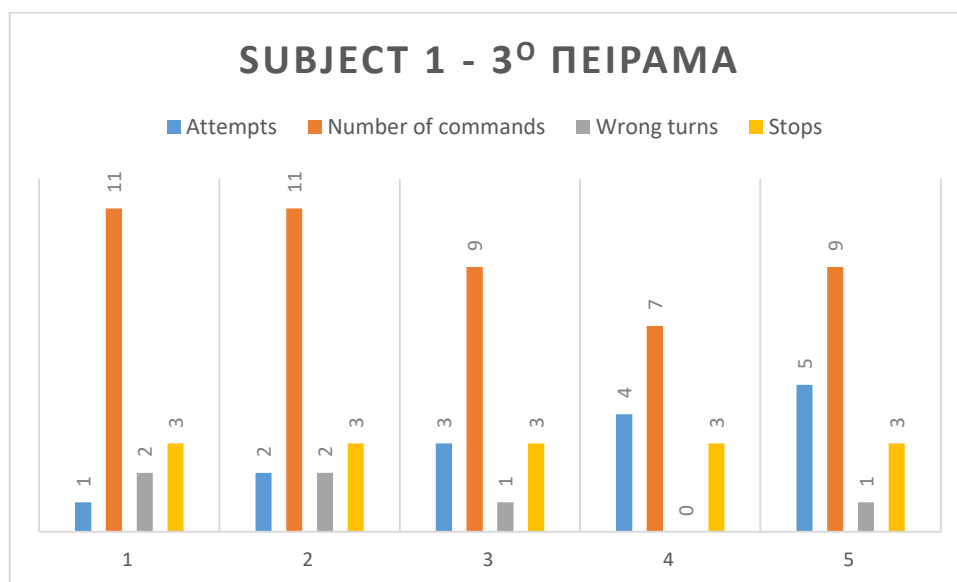
ΣΧΗΜΑ 7. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 1^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 5** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πρώτου συμμετέχοντα για το 3^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές, δηλαδή οι αριστερές στροφές και στην τέταρτη

στήλη οι φορές που σταμάτησε. Στο πείραμα αυτό οι συμμετέχοντες πρέπει να εκτελέσουν 4 δεξιές στροφές και 3 σταματήματα/ξεκινήματα, δηλαδή συνολικά τουλάχιστον 7 εντολές για να ολοκληρώσουν την επιθυμητή διαδρομή. Ο πρώτος συμμετέχοντας κατάφερε να φέρει αυτά τα αποτελέσματα στην 4^η του προσπάθεια, εκτελώντας συνολικά 7 εντολές, 0 αριστερές στροφές και 3 σταματήματα. Στο **σχήμα 8** διακρίνεται ότι η 3^η και η 5^η προσπάθεια του ήταν επίσης ικανοποιητικές, εκτέλεσε όμως, και στις δύο αυτές προσπάθειες, μία παραπάνω δεξιά στροφή και μία αριστερή στροφή. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 9.4, των λάθος στροφών είναι 1.2 και τέλος των σταματημάτων είναι 3. Αυτό αποδεικνύει ότι στο 3^ο πείραμα τα πήγε λίγο καλύτερα από ότι στο 2^ο πείραμα, καθώς ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτέλεσε ήταν μικρότερος κατά 1.2 από το 2^ο πείραμα, ο μέσος όρος των λάθος στροφών ήταν ο ίδιος, ενώ ο μέσος όρος των σταματημάτων ήταν κατά 0.8 μικρότερος στο 3^ο πείραμα. Με την βελτίωση αυτή του συμμετέχοντα, φαίνεται και η εξοικείωσή του με τον εξοπλισμό και την πειραματική διαδικασία.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα του 1^{ου} συμμετέχοντα για το 3^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

1 ^{ος} Συμμετέχοντας – 3 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	11	2	3
2	11	2	3
3	9	1	3
4	7	0	3
5	9	1	3
Μέσος Όρος	9.4	1.2	3



ΣΧΗΜΑ 8. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 1^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, Ο ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 1^{ος} συμμετέχοντας τα πήγε εξαιρετικά καλά και στα τρία πειράματα, γεγονός που αποδεικνύει ότι έπαιξαν σημαντικό ρόλο και τα υψηλά ποσοστά της ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA, τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2. Τα ποσοστά αυτά είναι τα ακόλουθα:

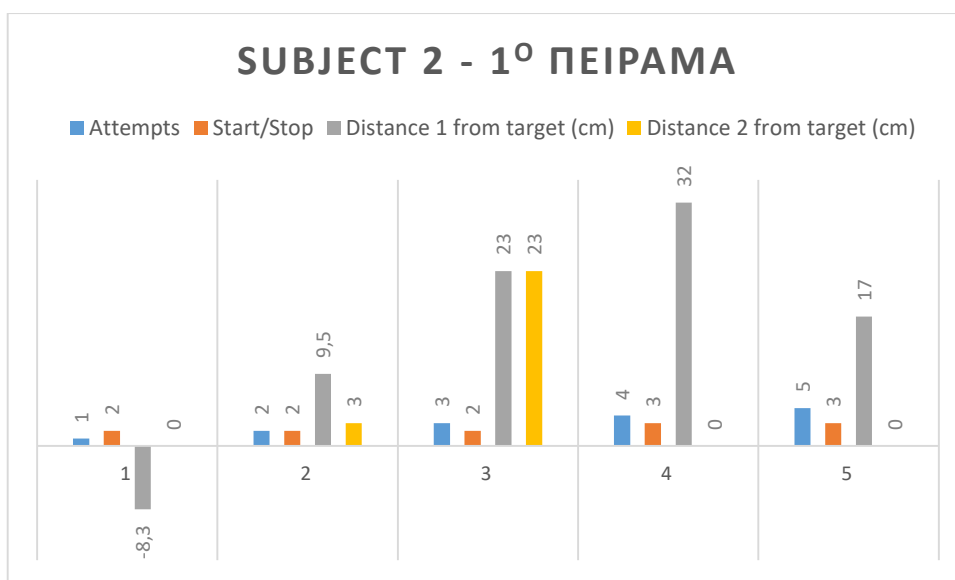
- 84.5% για το αριστερό Motor Imaginary
- 94.8% για το δεξί Motor Imaginary
- 93.5% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 90.93% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

4.2.2.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 2^ο Συμμετέχοντα

Στον **πίνακα 6** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δεύτερου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Η πρώτη στήλη του πίνακα εμφανίζει τις προσπάθειες του ατόμου, η δεύτερη στήλη εμφανίζει τις φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, η τρίτη στήλη εμφανίζει την απόσταση από τον πρώτο στόχο και η τέταρτη στήλη εμφανίζει την απόσταση από τον δεύτερο στόχο. Στο **σχήμα 9** φαίνεται ότι η 1^η προσπάθεια του δεύτερου συμμετέχοντα ήταν και η καλύτερη, διότι κατάφερε να σταματήσει ακριβώς 2 φορές, οι οποίες είναι και οι επιθυμητές φορές που απαιτούσε το 1^ο πείραμα. Επίσης, στην προσπάθειά του αυτή, κατάφερε να βρεθεί πιο κοντά στα σημεία που έπρεπε να σταματήσει, διότι κατάφερε να σταματήσει σε απόσταση 8.3 cm πριν το πρώτο σημείο και ακριβώς πάνω στο δεύτερο σημείο. Ακόμη, θεωρείται ικανοποιητική και η 2^η προσπάθειά του, στην οποία σταμάτησε πάλι δύο φορές, με τον πρώτο σταματημό να γίνεται 9.5 cm μετά το πρώτο σημείο και τον δεύτερο 3 cm μετά από το δεύτερο. Ο 2^{ος} συμμετέχων, ενώ ξεκίνησε με την 1^η και 2^η προσπάθεια να είναι κοντά στα επιθυμητά αποτελέσματα, στην συνέχεια στην 4^η και 5^η προσπάθεια εκτέλεσε 3 σταματήματα αντί για 2. Παρόλα αυτά, στον τρίτο σταματημό κατάφερε να σταματήσει και στις δύο προσπάθειες ακριβώς πάνω στο δεύτερο σημείο. Η κάθοδος αυτή μπορεί να οφείλεται και στην κόπωση του ατόμου ύστερα από τις 5 επαναλήψεις. Ο μέσος όρος σταματημάτων είναι 2.4, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 17.96 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 5.2 cm. Αυτό αποδεικνύει ότι ο συμμετέχοντας κατάφερε να βρεθεί σε πιο κοντινή απόσταση από το δεύτερο σημείο από ότι από το πρώτο.

Πίνακας 6. Αποτελέσματα του 2^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

2 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	2	-8.3	0
2	2	9.5	3
3	2	23	23
4	3	32	0
5	3	17	0
Μέσος Όρος	2.4	17.96	5.2

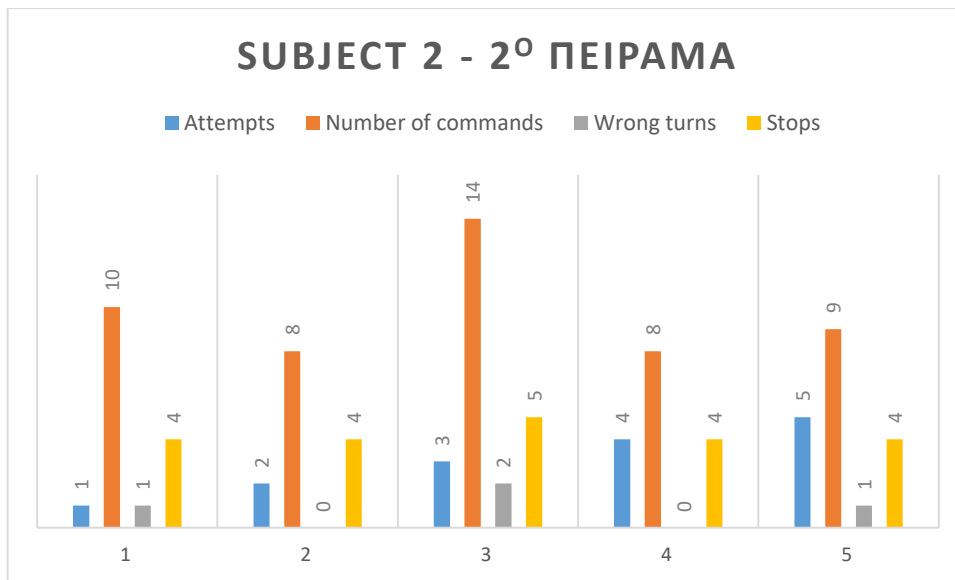


ΣΧΗΜΑ 9. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 2^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 7** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δεύτερου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα εμφανίζονται οι προσπάθειες του ατόμου, στη δεύτερη στήλη ο συνολικός αριθμός των εντολών που εστάλησαν, στην τρίτη στήλη οι λανθασμένες στροφές, δηλαδή οι δεξιές, και στην τέταρτη στήλη ο αριθμός των φορών που σταμάτησε το άτομο. Οι συμμετέχοντες σε αυτό το πείραμα πρέπει να πραγματοποιήσουν τέσσερις αριστερές στροφές και 3 στάσεις, δηλαδή συνολικά τουλάχιστον επτά εντολές για να ολοκληρώσουν την προβλεπόμενη διαδρομή. Ο δεύτερος συμμετέχοντας δεν κατάφερε να φέρει ακριβώς τα επιθυμητά αποτελέσματα, παρόλα αυτά η 2^η και η 4^η προσπάθειά του ήταν αρκετά ικανοποιητικές, καθώς εκτέλεσε συνολικά 8 εντολές, 0 δεξιές στροφές και 4 σταματήματα. Επίσης, σύμφωνα με το **σχήμα 10**, αποδεκτή ήταν και η 5^η προσπάθειά του, εκτέλεσε όμως μία δεξιά στροφή και ένα παραπάνω σταμάτημα. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 9.8, των λάθος στροφών είναι 0.8 και τέλος των σταματημάτων είναι 4.2.

Πίνακας 7. Αποτελέσματα του 2^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

2 ^{ος} Συμμετέχοντας – 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	10	1	4
2	8	0	4
3	14	2	5
4	8	0	4
5	9	1	4
Μέσος Όρος	9.8	0.8	4.2



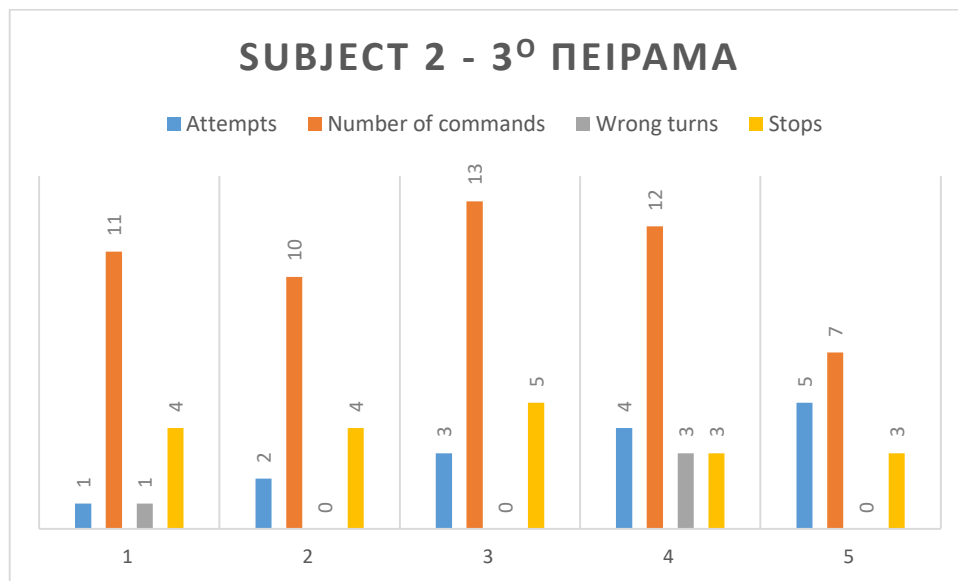
ΣΧΗΜΑ 10. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 2^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 8** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δεύτερου συμμετέχοντα για το 3^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα εμφανίζονται οι προσπάθειες του ατόμου, στη δεύτερη στήλη ο συνολικός αριθμός των εντολών που εστάλησαν, στην τρίτη στήλη οι λανθασμένες στροφές, δηλαδή οι αριστερές, και στην τέταρτη στήλη ο αριθμός των φορών που σταμάτησε το άτομο. Οι συμμετέχοντες σε αυτό το πείραμα πρέπει να πραγματοποιήσουν τέσσερις δεξιές στροφές και 3 στάσεις, δηλαδή συνολικά τουλάχιστον επτά εντολές για να ολοκληρώσουν την προβλεπόμενη διαδρομή. Ο δεύτερος συμμετέχοντας παρουσίασε σημαντική βελτίωση, όπως φαίνεται και στο **σχήμα 11**, καθώς κατάφερε να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα στην 5^η προσπάθειά του εκτελώντας συνολικά 7 εντολές, 0 αριστερές στροφές και 3 σταματήματα. Στην 2^η προσπάθειά του εκτέλεσε δύο παραπάνω σταματήματα και δύο παραπάνω δεξιές στροφές, απέχοντας έτσι από το επιθυμητό αποτέλεσμα. Δεδομένου ότι το πείραμα έγινε σε στενό χώρο, η κίνηση της καρέκλας ήταν περιορισμένη, και προκειμένου να αποφύγει κάποια σύγκρουση ο συμμετέχων σταμάτησε το αμαξίδιο δύο φορές με το χέρι. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 10.6, των λάθος στροφών είναι 0.8 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.8. Αυτό αποδεικνύει ότι στο 2^ο πείραμα τα πήγε λίγο καλύτερα από ότι στο 3^ο πείραμα, καθώς ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτέλεσε ήταν μικρότερος κατά 0.8 από το 3^ο πείραμα, ο μέσος όρος των λάθος στροφών ήταν ο ίδιος, ενώ ο μέσος όρος των σταματημάτων ήταν κατά 0.4 μικρότερος στο 3^ο πείραμα. Ο συμμετέχοντας κατάφερε εξοικειωθεί με τον εξοπλισμό και την πειραματική διαδικασία.

Πίνακας 8. Αποτελέσματα του 2^{ου} συμμετέχοντα για το 3^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

2^{ος} Συμμετέχοντας – 3^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	11	1	4
2	10	0	4
3	13	0	5
4	12	3	3
5	7	0	3

Μέσος Όρος	10.6	0.8	3.8
------------	------	-----	-----



ΣΧΗΜΑ 11. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 2^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 2^{ος} συμμετέχοντας τα πήγε εξίσου ικανοποιητικά και στα τρία πειράματα, γεγονός που αποδεικνύει ότι έπαιξαν σημαντικό ρόλο και τα υψηλά ποσοστά της ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA, τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2. Τα ποσοστά αυτά είναι τα ακόλουθα:

- 79.0% για το αριστερό Motor Imaginary
- 92.4% για το δεξί Motor Imaginary
- 95.0% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 88.8% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

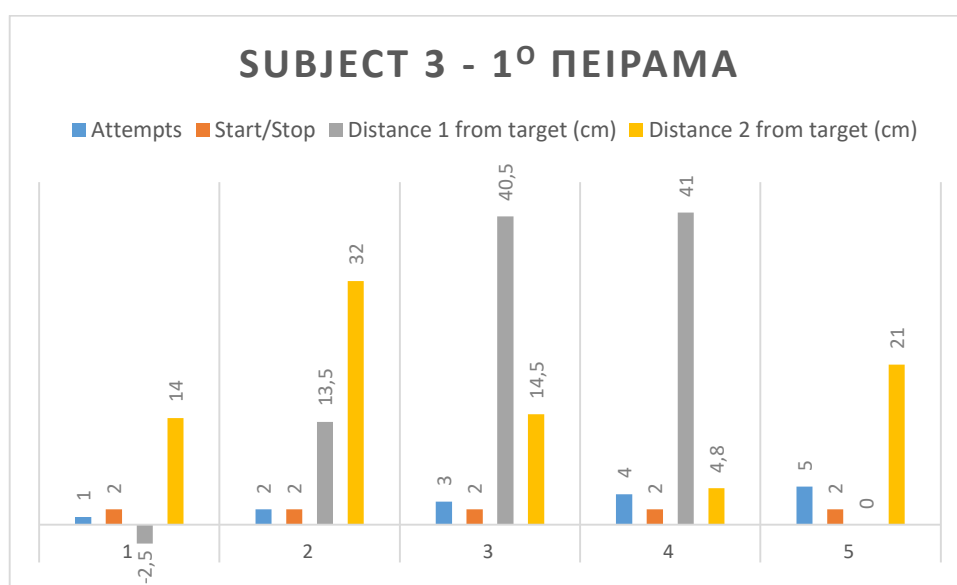
4.2.2.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 3^ο Συμμετέχοντα

Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τρίτου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Η πρώτη στήλη του πίνακα αντιστοιχεί στις προσπάθειες του ατόμου, η δεύτερη στις φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, η τρίτη στην απόσταση από τον πρώτο στόχο και η τέταρτη στην απόσταση από τον δεύτερο. Ο τρίτος συμμετέχοντας είχε σημαντικές επιδόσεις, καθώς κατόρθωσε να σταματήσει και στις πέντε προσπάθειές του ακριβώς 2 φορές, όπως ήταν και το επιθυμητό όριο. Όσον αφορά τις αποστάσεις του από τα δύο επιλεγμένα σημεία που έπρεπε να σταματήσει, η 1^η και η 5^η προσπάθειά του ήταν αυτές που διακρίθηκαν. Στην 1^η προσπάθειά του κατάφερε να σταματήσει σε απόσταση 2.5 cm πριν το πρώτο σημείο και 14 cm μετά από το δεύτερο. Ακόμα, στην 5^η προσπάθειά του σταμάτησε ακριβώς πάνω στο πρώτο σημείο και σε απόσταση 21 cm μετά από το δεύτερο. Ενώ ο συμμετέχοντας ξεκίνησε με την 1^η προσπάθεια να είναι αρκετά ικανοποιητική, παρατηρείται στο σχήμα 12 μία κάθοδος στην 2^η, 3^η και 4^η προσπάθεια, διότι παρόλο που σταμάτησε τις επιθυμητές

φορές, δεν έφτασε σε τόσο κοντινή απόσταση από τα δύο σημεία. Η άνοδος παρατηρείται στην 5^η του προσπάθεια, με αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ο μέσος όρος σταματημάτων είναι 2, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 19.5 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 17.26 cm. Αυτό αποδεικνύει ότι ο συμμετέχοντας κατάφερε να βρεθεί σε πιο κοντινή απόσταση από το δεύτερο σημείο από ότι από το πρώτο.

Πίνακας 9. Αποτελέσματα του 3^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

3 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	2	-2.5	14
2	2	13.5	32
3	2	40.5	14.5
4	2	41	4.8
5	2	0	21
Μέσος Όρος	2	19.5	17.26



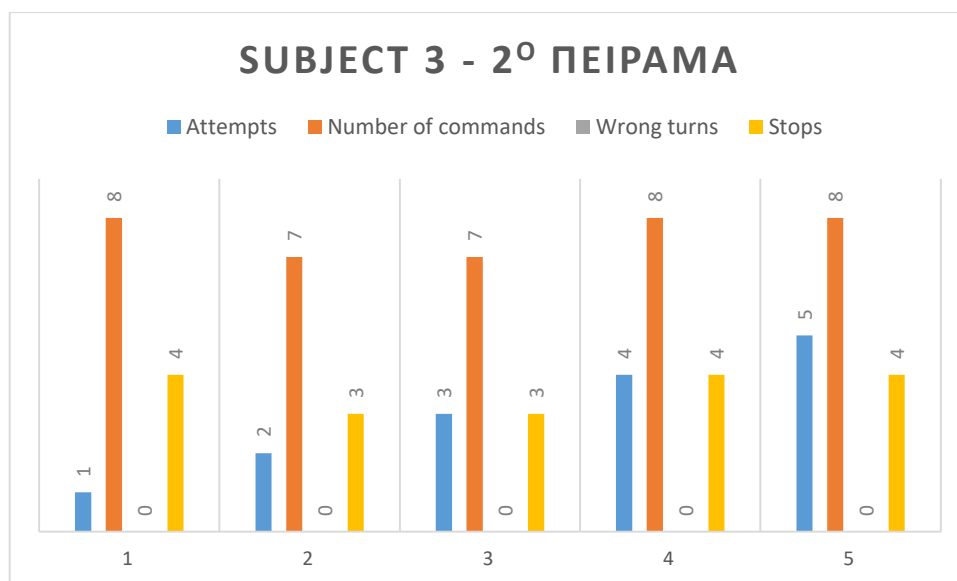
ΣΧΗΜΑ 12. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 3^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 10** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τρίτου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Η πρώτη στήλη του πίνακα αντιστοιχεί στις προσπάθειες του ατόμου, η δεύτερη στον συνολικό αριθμό των εντολών που έδωσε, η τρίτη στις λάθος στροφές, δηλαδή στις δεξιές στροφές και η τέταρτη στήλη στις φορές που σταμάτησε. Στο συγκεκριμένο πείραμα, πρέπει να πραγματοποιηθούν 4 αριστερές στροφές και 3 σταματήματα/ξεκινήματα, δηλαδή συνολικά τουλάχιστον 7 εντολές για να ολοκληρωθεί η διαδρομή. Ο τρίτος συμμετέχοντας κατόρθωσε να φέρει ακριβώς τα επιθυμητά

αποτελέσματα στην 2^η και 3^η προσπάθειά του, εκτελώντας συνολικά 7 εντολές, 0 δεξιές στροφές και 3 σταματήματα. Η 1^η, 4^η και 5^η προσπάθειά του ήταν εξίσου αποδεκτές, μόνο που σταμάτησε μία παραπάνω φορά, έχοντας έτσι εκτελέσει 8 εντολές αντί για 7. Ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας δεν έκανε καμία λάθος στροφή σύμφωνα με το **σχήμα 13**, γεγονός που αποδεικνύει την εξαιρετική ικανότητά του να εκτελεί την αριστερή Motor Imaginary. Για την αποφυγή κάποιας σύγκρουσης, λόγω στενού χώρου, ο συμμετέχων σταμάτησε το αμαξίδιο μία φορά με το χέρι. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 7.6, των λάθος στροφών είναι 0 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.6.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα του 3^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

3 ^{ος} Συμμετέχοντας – 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	8	0	4
2	7	0	3
3	7	0	3
4	8	0	4
5	8	0	4
Μέσος Όρος	7.6	0	3.6



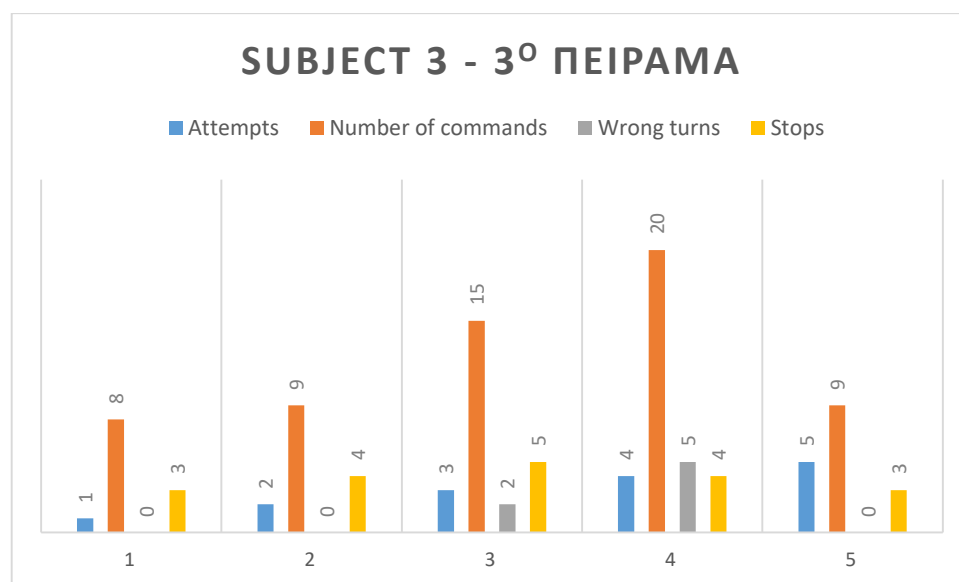
ΣΧΗΜΑ 13. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 3^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 11** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τρίτου συμμετέχοντα για το 3^ο πείραμα. Η πρώτη στήλη του πίνακα αντιστοιχεί στις προσπάθειες του ατόμου, η δεύτερη στον συνολικό αριθμό των εντολών που έδωσε, η τρίτη στις λάθος στροφές, δηλαδή στις αριστερές στροφές και η τέταρτη στήλη στις φορές που σταμάτησε. Στο συγκεκριμένο πείραμα, πρέπει να πραγματοποιηθούν 4 δεξιές στροφές και 3 σταματήματα/ξεκινήματα, δηλαδή συνολικά τουλάχιστον 7 εντολές για να ολοκληρωθεί η διαδρομή. Ο τρίτος συμμετέχοντας δεν κατάφερε να φέρει ακριβώς τα επιθυμητά αποτελέσματα, παρόλα αυτά με βάση το **σχήμα 14** η 1^η προσπάθειά του ήταν και η καλύτερη, καθώς

εκτέλεσε συνολικά 8 εντολές, 0 λάθος στροφές και 3 σταματήματα, άρα έστριψε 1 παραπάνω φορά δεξιά. Επίσης, καλές ήταν η 2^η και η 5^η προσπάθειά του. Συγκεκριμένα, στην 2^η προσπάθειά του εκτέλεσε μία παραπάνω δεξιά στροφή και ένα επιπλέον σταμάτημα, ενώ στην 5^η προσπάθειά του εκτέλεσε 2 επιπλέον δεξιές στροφές. Ο συμμετέχοντας παρόλο που στην 3^η και 4^η προσπάθειά του έκανε 2 και 5 αριστερές στροφές αντίστοιχα, στις υπόλοιπες προσπάθειες κατανόησε τον τρόπο που πρέπει να χειρίζεται τον εξοπλισμό, και έτσι δεν έκανε καμία λάθος στροφή. Δεδομένου ότι ο χώρος που έγινε το πείραμα ήταν στενός και για να μην γίνει κάποια σύγκρουση ο συμμετέχων σταμάτησε το αμαξίδιο μία φορά με το χέρι. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 12.2, των λάθος στροφών είναι 1.4 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.8. Αυτό αποδεικνύει ότι στο 2^ο πείραμα τα πήγε πολύ καλύτερα από ότι στο 3^ο πείραμα, καθώς ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτέλεσε ήταν μικρότερος κατά 4.6 από το 3^ο πείραμα, ο μέσος όρος των λάθος στροφών ήταν κατά 1.4 μικρότερος, ενώ ο μέσος όρος των σταματημάτων ήταν κατά 0.2 μικρότερος. Τα αποτελέσματα αυτά θεωρούνται λογικά και οφείλονται στην κόπωση του ατόμου για την διεκπεραίωση και των τριών πειραμάτων.

Πίνακας 11. Αποτελέσματα του 3^{ου} συμμετέχοντα για το 3^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

3 ^{ος} Συμμετέχοντας – 3 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	8	0	3
2	9	0	4
3	15	2	5
4	20	5	4
5	9	0	3
Μέσος Όρος	12.2	1.4	3.8



ΣΧΗΜΑ 14. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 3^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, Ο ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 3^{ος} συμμετέχοντας τα πήγε επίσης καλά στην πειραματική διαδικασία, γεγονός που αποδεικνύει ότι έπαιξαν σημαντικό ρόλο και τα υψηλά ποσοστά της ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA, τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2. Τα ποσοστά αυτά είναι τα ακόλουθα:

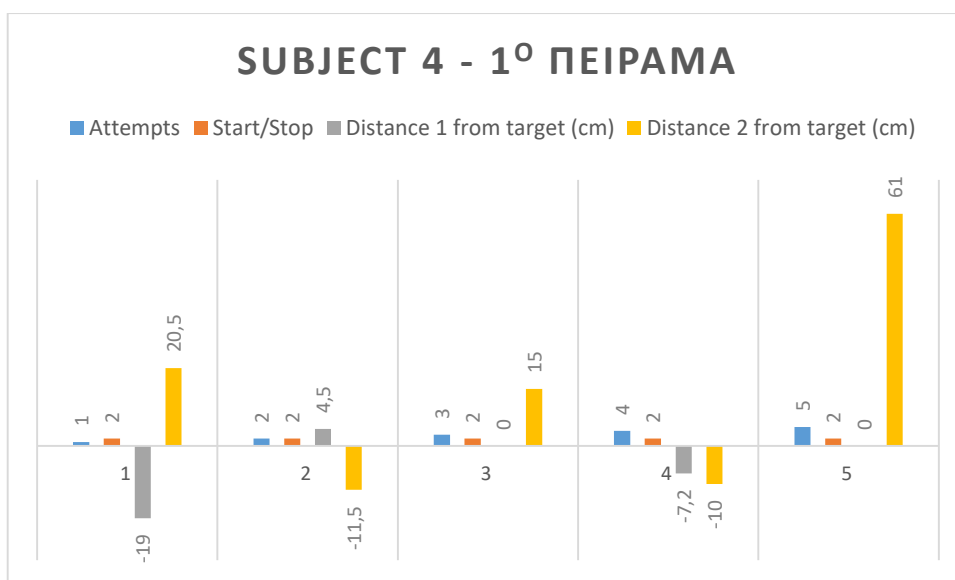
- 94.8% για το αριστερό Motor Imaginary
- 74.2% για το δεξί Motor Imaginary
- 100% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 89.67% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

4.2.2.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 4^ο Συμμετέχοντα

Στον πίνακα 12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τέταρτου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Στις στήλες αυτού του πίνακα αναγράφονται οι προσπάθειες του ατόμου, οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, η απόσταση από τον πρώτο στόχο και η απόσταση από τον δεύτερο. Ο 4^{ος} συμμετέχοντας κατόρθωσε να σταματήσει και στις πέντε προσπάθειές του ακριβώς 2 φορές, όπως ήταν και το επιθυμητό όριο. Η καλύτερή του προσπάθεια, σύμφωνα με το σχήμα 15, θεωρείται η 3^η, καθώς κατάφερε να σταματήσει ακριβώς πάνω στο πρώτο σημείο και σε απόσταση 15 cm μετά από το δεύτερο. Εξίσου καλές θεωρούνται η 2^η και η 4^η προσπάθειά του. Στην 2^η προσπάθεια σταμάτησε 4.5 cm μετά από το πρώτο σημείο και 11.5 cm πριν από το δεύτερο, ενώ στην 4^η σταμάτησε 7.2 cm πριν το πρώτο σημείο και 10 cm πριν το δεύτερο. Ακόμα, στην 5^η προσπάθεια σταμάτησε ακριβώς πάνω στο πρώτο σημείο, αλλά δυστυχώς σταμάτησε 61 cm μετά από το δεύτερο. Ο μέσος όρος σταματημάτων είναι 2, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 6.14 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 23.6 cm. Αυτό αποδεικνύει ότι ο συμμετέχοντας κατάφερε να βρεθεί σε πιο κοντινή απόσταση από το πρώτο σημείο από ότι από το δεύτερο.

Πίνακας 12. Αποτελέσματα του 4^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

4 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	2	-19	20.5
2	2	4.5	-11.5
3	2	0	15
4	2	-7.2	-10
5	2	0	61
Μέσος Όρος	2	6.14	23.6

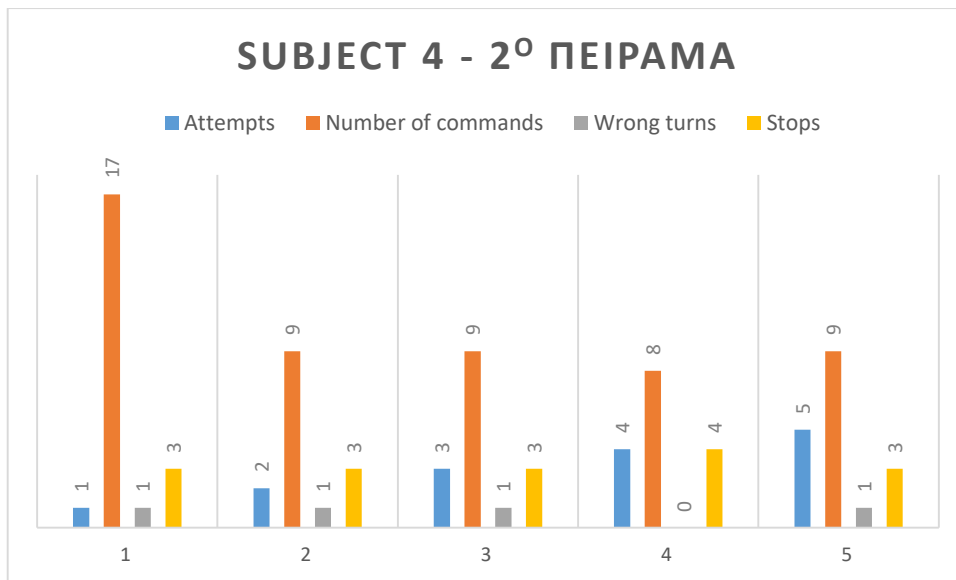


ΣΧΗΜΑ 15. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 4^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 13** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τέταρτου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Στις στήλες αυτού του πίνακα αναγράφονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, οι λάθος στροφές και οι φορές που σταμάτησε. Ειδικότερα, τα άτομα πρέπει να πραγματοποιήσουν 4 αριστερές στροφές και να σταματήσουν 3 φορές για να ολοκληρώσουν την επιθυμητή διαδρομή. Ο 4^{ος} συμμετέχοντας, με βάση το **σχήμα 16**, δεν κατάφερε να φέρει ακριβώς τα επιθυμητά αποτελέσματα, ωστόσο η καλύτερή του προσπάθεια ήταν 4^η, στην οποία εκτέλεσε συνολικά 8 εντολές, καμία λάθος στροφή και 4 σταματήματα, δηλαδή σταμάτησε μία παραπάνω φορά από την επιθυμητή. Επίσης, η 2^η, 3^η και 5^η προσπάθειά του είναι ικανοποιητικές, καθώς εκτέλεσε συνολικά 9 εντολές, 1 δεξιά στροφή και 3 σταματήματα, άρα εκτέλεσε 1 παραπάνω αριστερή στροφή. Είναι φανερή η βελτίωση του συμμετέχοντα, καθώς στην 1^η προσπάθεια που ήταν και η χειρότερη, εκτέλεσε συνολικά 17 εντολές, 1 λάθος στροφή και 3 σταματήματα, δηλαδή εκτέλεσε παραπάνω 9 αριστερές στροφές. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 10.4, των λάθος στροφών είναι 0.8 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.2.

Πίνακας 13. Αποτελέσματα του 4^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

4 ^{ος} Συμμετέχοντας – 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	17	1	3
2	9	1	3
3	9	1	3
4	8	0	4
5	9	1	3
Μέσος Όρος	10.4	0.8	3.2



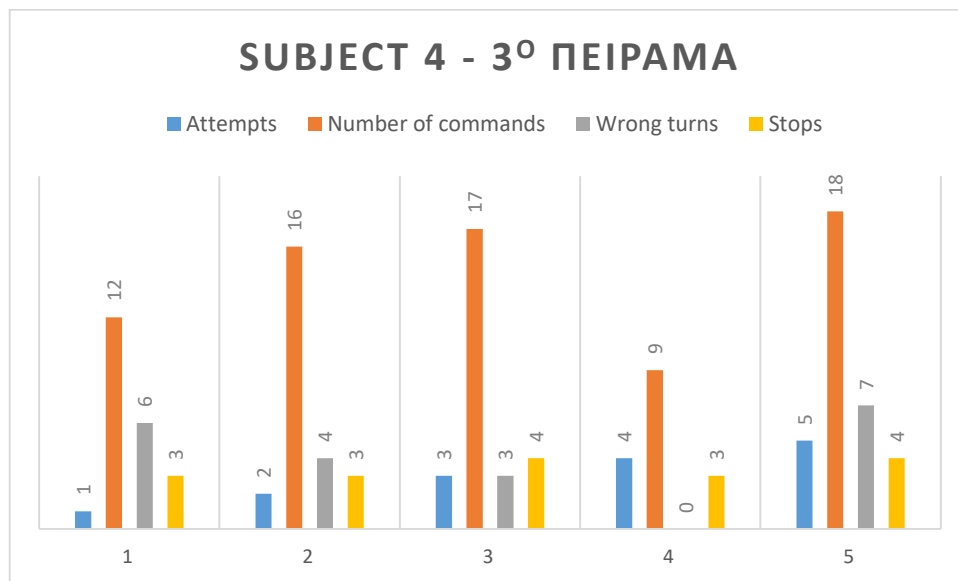
ΣΧΗΜΑ 16. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 4^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 14** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του τέταρτου συμμετέχοντα για το 3^ο πείραμα. Στις στήλες αυτού του πίνακα αναγράφονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, οι λάθος στροφές και οι φορές που σταμάτησε. Ειδικότερα, τα άτομα πρέπει να πραγματοποιήσουν 4 δεξιές στροφές και να σταματήσουν 3 φορές για να ολοκληρώσουν την επιθυμητή διαδρομή. Στο **σχήμα 17** αποδεικνύεται ότι ο 4^{ος} συμμετέχοντας δεν κατάφερε να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, ωστόσο η καλύτερή του προσπάθεια ήταν η 4^η, στην οποία εκτέλεσε συνολικά 9 εντολές, καμία αριστερή στροφή και 3 σταματήματα, δηλαδή εκτέλεσε δύο παραπάνω δεξιές στροφές. Ο συμμετέχοντας παρόλο που στην 4^η προσπάθεια έδειξε βελτίωση και δεν έκανε καμία λάθος στροφή, στις υπόλοιπες προσπάθειες παρουσιάζει αδυναμία στο δεξί Motor Imaginary, καθώς εκτέλεσε έως και 7 αριστερές στροφές στην 5^η του προσπάθεια, η οποία θεωρείται και η χειρότερη. Στην 3^η προσπάθεια πραγματοποίησε συνολικά 17 εντολές, 3 αριστερές στροφές και 4 σταματήματα. Συγκεκριμένα, πραγματοποίησε έξι επιπλέον δεξιές στροφές και ένα επιπλέον σταμάτημα. Δεδομένου ότι το πείραμα διεκπεραιώθηκε σε γραφείο, λόγω στενού χώρου η κίνηση της καρέκλας ήταν περιορισμένη, και προκειμένου να αποφύγει κάποια σύγκρουση ο συμμετέχων σταμάτησε το αμαξίδιο μία φορά με το χέρι. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 14.4, των λάθος στροφών είναι 4 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.4. Αυτό αποδεικνύει ότι στο 2^ο πείραμα τα πήγε πολύ καλύτερα από ότι στο 3^ο πείραμα, καθώς ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτέλεσε ήταν μικρότερος κατά 4 από το 3^ο πείραμα, ο μέσος όρος των λάθος στροφών ήταν κατά 3.2 μικρότερος, ενώ ο μέσος όρος των σταματημάτων ήταν κατά 0.2 μικρότερος. Είναι λογικό το άτομο να φέρει τέτοια αποτελέσματα στο 3^ο πείραμα, διότι κουράστηκε από τις λάθος στροφές και από τα δύο προηγούμενα πειράματα.

Πίνακας 14. Αποτελέσματα του 4^{ου} συμμετέχοντα για το 3ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

4 ^{ος} Συμμετέχοντας – 3 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	12	6	3
2	16	4	3

3	17	3	4
4	9	0	3
5	18	7	4
Μέσος Όρος	14.4	4	3.4



ΣΧΗΜΑ 17. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 4^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 4^{ος} συμμετέχοντας δυσκολεύτηκε να ανταπεξέλθει στην πειραματική διαδικασία, ειδικά στο 3^ο πείραμα, παρόλο που είχε υψηλά ποσοστά ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA (τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2). Τα ποσοστά αυτά είναι τα ακόλουθα:

- 93.8% για το αριστερό Motor Imaginary
- 89.7% για το δεξί Motor Imaginary
- 95.0% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 92.83% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

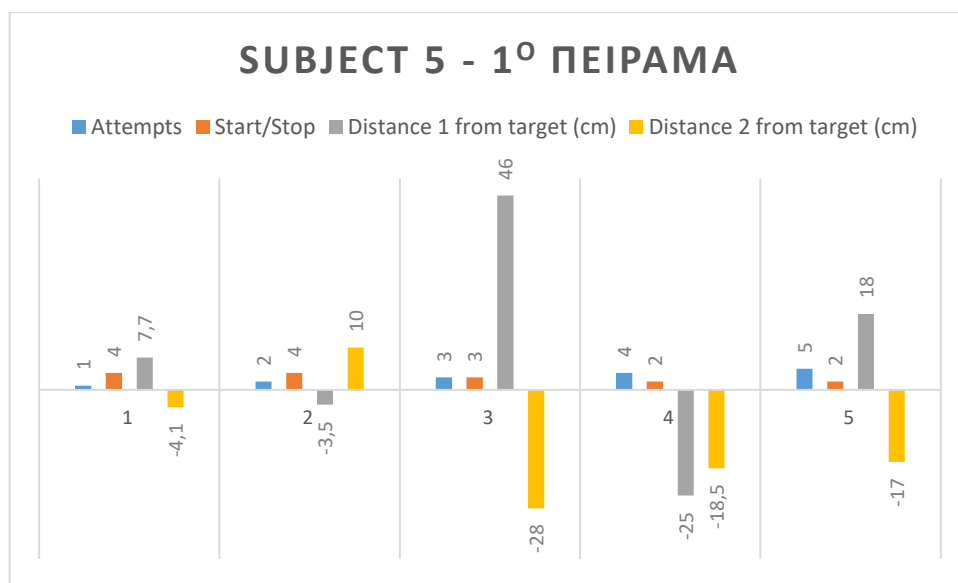
4.2.2.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 5^ο Συμμετέχοντα

Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πέμπτου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Οι προσπάθειες του ατόμου φαίνονται στην πρώτη στήλη του πίνακα, οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε φαίνονται στην δεύτερη, η απόσταση από τον πρώτο στόχο φαίνεται στην τρίτη και η απόσταση από τον δεύτερο στην τέταρτη. Σύμφωνα με το **σχήμα 18**, ο πέμπτος συμμετέχοντας παρουσίασε σταδιακή βελτίωση καταφέροντας στην 4^η και 5^η προσπάθειά του να σταματήσει ακριβώς 2 φορές, όσες είναι και οι επιθυμητές φορές που απαιτούσε το 1^ο πείραμα. Στην 5^η προσπάθεια τα πήγε καλύτερα συγκριτικά με την 4^η, καθώς κατάφερε να σταματήσει πιο κοντά στα επιθυμητά σημεία. Συγκεκριμένα, σταμάτησε 18 cm μετά το πρώτο σημείο και 17 cm πριν από το δεύτερο. Αντίθετα,

στην 4^η προσπάθειά του σταμάτησε 25 cm πριν το πρώτο σημείο και 18.5 cm πριν το δεύτερο. Παρόλο που στην 1^η και 2^η προσπάθεια σταμάτησε 4 φορές και όχι 2, βρέθηκε αρκετά κοντά στα σημεία σταματημού. Στην 1^η προσπάθεια κατάφερε να σταματήσει 7.7 cm μετά το πρώτο σημείο και 4.1 cm πριν το δεύτερο, ενώ στην 2^η προσπάθεια σταμάτησε 3.5 cm πριν το πρώτο σημείο και 10 cm μετά το δεύτερο. Ο μέσος όρος σταματημάτων είναι 3, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 20.04 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 15.52 cm. Αυτό αποδεικνύει ότι ο συμμετέχοντας κατάφερε να βρεθεί σε πιο κοντινή απόσταση από το δεύτερο σημείο από ότι από το πρώτο.

Πίνακας 15. Αποτελέσματα του 5^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

5 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	4	7.7	-4.1
2	4	-3.5	10
3	3	46	-28
4	2	-25	-18.5
5	2	18	-17
Μέσος Όρος	3	20.04	15.52



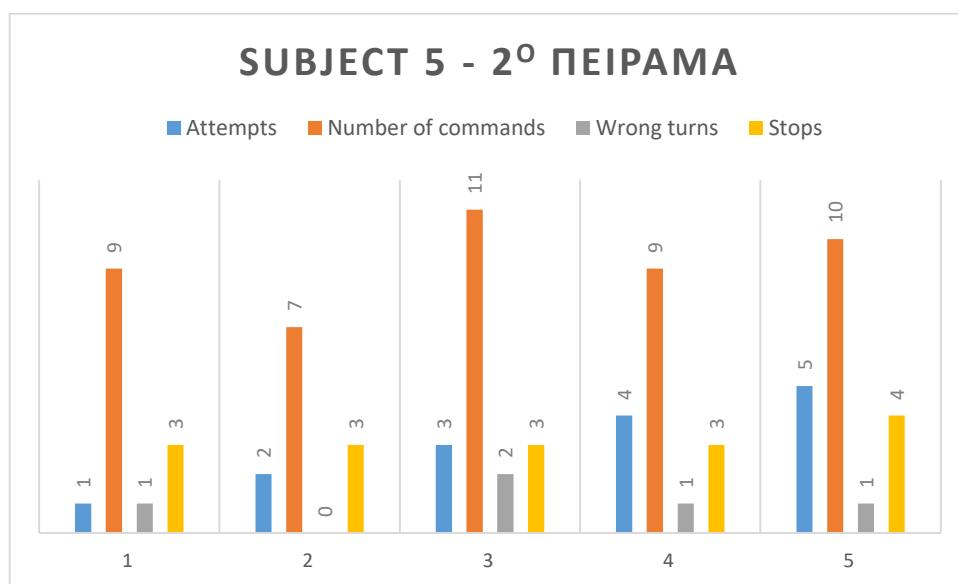
ΣΧΗΜΑ 18. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 5^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΙΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 16** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πέμπτου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Οι προσπάθειες του ατόμου φαίνονται στην πρώτη στήλη του πίνακα, ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε φαίνονται στην δεύτερη, οι λάθος στροφές φαίνονται στην τρίτη και οι φορές που

σταμάτησε στην τέταρτη. Συνολικά πρέπει ο κάθε συμμετέχοντας να εκτελέσει τουλάχιστον 7 εντολές, 4 αριστερές στροφές και 3 σταματήματα/ξεκινήματα. Ο πέμπτος συμμετέχοντας κατάφερε να φέρει ακριβώς τα επιθυμητά αποτελέσματα στην 2^η του προσπάθεια, εκτελώντας συνολικά 7 εντολές, καμία δεξιά στροφή και 3 σταματήματα. Επίσης, στην 1^η και 4^η προσπάθειά του, ενώ κατάφερε να σταματήσει ακριβώς 3 φορές, πραγματοποίησε μία παραπάνω αριστερή στροφή και μία δεξιά στροφή, εκτελώντας συνολικά 9 εντολές. Στην 5^η προσπάθειά του, πραγματοποίησε συνολικά 10 εντολές, διότι σταμάτησε μία επιπλέον φορά, εκτέλεσε μία επιπλέον αριστερή στροφή και μία δεξιά στροφή. Η χειρότερη του προσπάθεια με βάση το **σχήμα 19** ήταν η 3^η, στην οποία ενώ σταμάτησε ακριβώς 3 φορές, πραγματοποίησε δύο παραπάνω αριστερές στροφές και δύο δεξιές στροφές. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 9.2, των λάθος στροφών είναι 1 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.2.

Πίνακας 16. Αποτελέσματα του 5^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

5 ^{ος} Συμμετέχοντας – 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	9	1	3
2	7	0	3
3	11	2	3
4	9	1	3
5	10	1	4
Μέσος Όρος	9.2	1	3.2



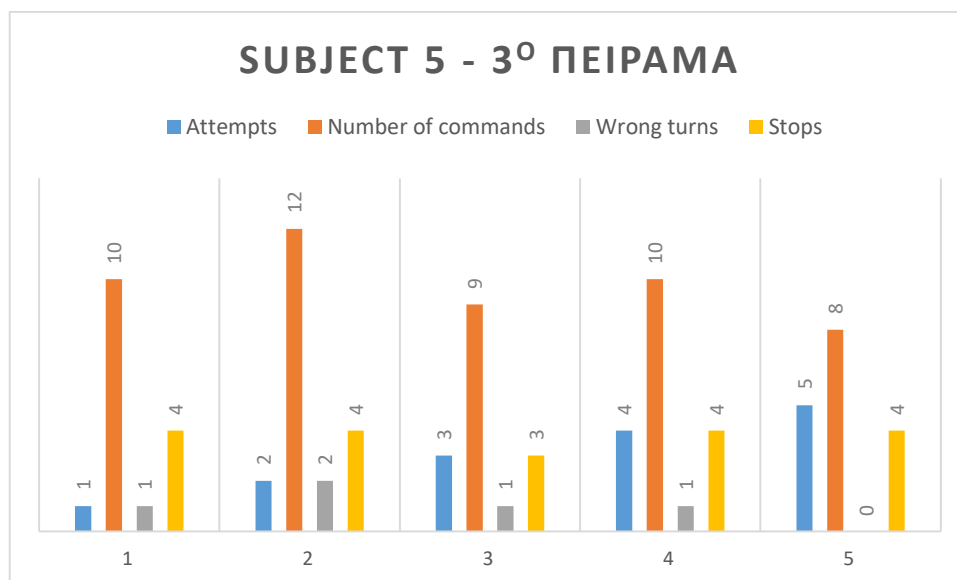
ΣΧΗΜΑ 19. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 5^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 17** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πέμπτου συμμετέχοντα για το 3^ο πείραμα. Οι προσπάθειες του ατόμου φαίνονται στην πρώτη στήλη του πίνακα, ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε φαίνονται στην δεύτερη, οι λάθος στροφές φαίνονται στην τρίτη και οι φορές που σταμάτησε στην τέταρτη. Συνολικά πρέπει ο κάθε συμμετέχοντας να εκτελέσει τουλάχιστον 7

εντολές, 4 δεξιές στροφές και 3 σταματήματα/ξεκινήματα. Ο πέμπτος συμμετέχοντας στην καλύτερη του προσπάθεια, που ήταν η 5^η σύμφωνα με το **σχήμα 20**, κατάφερε να εκτελέσει συνολικά 8 εντολές αντί για 7, επειδή σταμάτησε μία παραπάνω φορά. Εξίσου ικανοποιητική ήταν και η 3^η προσπάθεια, στην οποία πραγματοποίησε συνολικά 9 εντολές, γιατί εκτέλεσε μία αριστερή στροφή και μία παραπάνω δεξιά. Επιπλέον, στην 1^η και 4^η προσπάθειά του, ο συμμετέχοντας πραγματοποίησε συνολικά 10 εντολές, 1 λάθος στροφή και 4 σταματήματα, δηλαδή σταμάτησε μία επιπλέον φορά και εκτέλεσε μία παραπάνω δεξιά στροφή. Η χειρότερη του προσπάθεια ήταν η 2^η, στην οποία εκτέλεσε συνολικά 12 εντολές, με δύο αριστερές στροφές, ένα παραπάνω σταμάτημα και δύο επιπλέον δεξιές στροφές. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 9.8, των λάθος στροφών είναι 1 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.8. Αυτό αποδεικνύει ότι στο 2^ο πείραμα τα πήγε λίγο καλύτερα από ότι στο 3^ο πείραμα, καθώς ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτέλεσε ήταν μικρότερος κατά 0.6 από το 3^ο πείραμα, ο μέσος όρος των λάθος στροφών ήταν ο ίδιος, ενώ ο μέσος όρος των σταματημάτων ήταν κατά 0.6 μικρότερος.

Πίνακας 17. Αποτελέσματα του 5^{ου} συμμετέχοντα για το 3^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

5 ^{ος} Συμμετέχοντας – 3 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	10	1	4
2	12	2	4
3	9	1	3
4	10	1	4
5	8	0	4
Μέσος Όρος	9.8	1	3.8



ΣΧΗΜΑ 20. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 5^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 5^{ος} συμμετέχοντας έφερε αποδεκτά αποτελέσματα στην πειραματική διαδικασία, γεγονός που αποδεικνύει ότι έπαιξαν σημαντικό ρόλο και τα υψηλά ποσοστά της ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA, τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2. Τα ποσοστά αυτά είναι τα ακόλουθα:

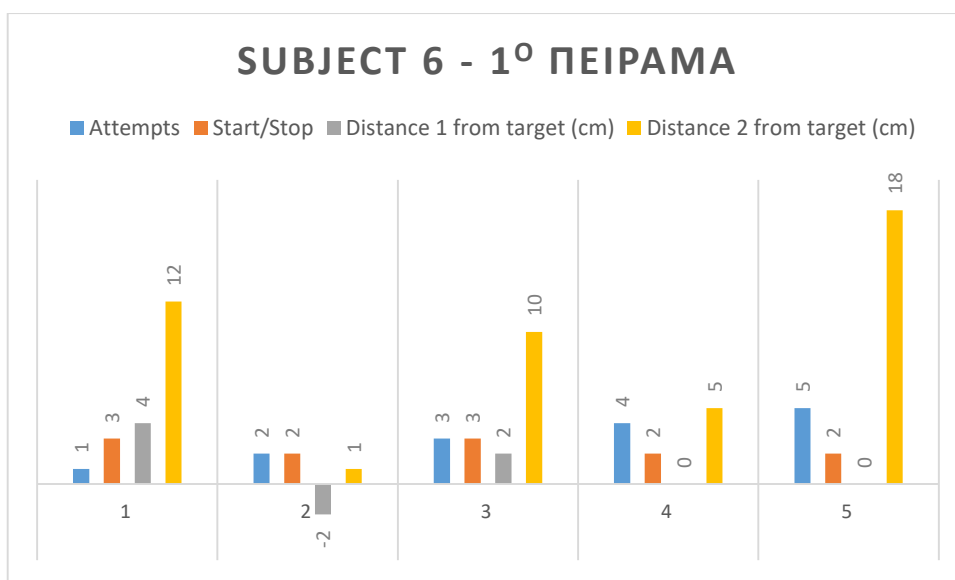
- 82.5% για το αριστερό Motor Imaginary
- 90.7% για το δεξί Motor Imaginary
- 100% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 91.07% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

4.2.2.6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 6^ο Συμμετέχοντα

Στον πίνακα 18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του έκτου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται οι προσπάθειες του ατόμου, πόσες φορές σταμάτησε, η απόσταση σταματημού από το πρώτο σημείο και η απόσταση σταματημού από το δεύτερο. Στο σχήμα 21 διακρίνεται ότι ο έκτος συμμετέχοντας είχε σημαντικές επιδόσεις σε αυτό το πείραμα, καθώς κατάφερε να σταματήσει ακριβώς 2 φορές, και σε αρκετά κοντινή απόσταση και από τα δύο σημεία στην 2^η, 4^η και 5^η προσπάθειά του. Ειδικότερα, στην 2^η προσπάθειά του σταμάτησε σε απόσταση 2 cm πριν το πρώτο σημείο και 1 cm μετά το δεύτερο, ενώ στην 4^η προσπάθεια κατάφερε να σταματήσει ακριβώς πάνω στο πρώτο σημείο και 5 cm μετά το δεύτερο. Εξίσου, στην 5^η και τελευταία προσπάθειά του σταμάτησε ακριβώς πάνω στο πρώτο σημείο και 18 cm μετά το δεύτερο. Ο μέσος όρος σταματημάτων είναι 2.4, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 1.6 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 9.2 cm. Μέσα από όλες τις προσπάθειές του αποδεικνύεται ότι ο συμμετέχοντας κατάφερε να βρεθεί πολύ κοντά στο πρώτο σημείο συγκριτικά με το δεύτερο.

Πίνακας 18. Αποτελέσματα του 6^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

6 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	3	4	12
2	2	-2	1
3	3	2	10
4	2	0	5
5	2	0	18
Μέσος Όρος	2.4	1.6	9.2



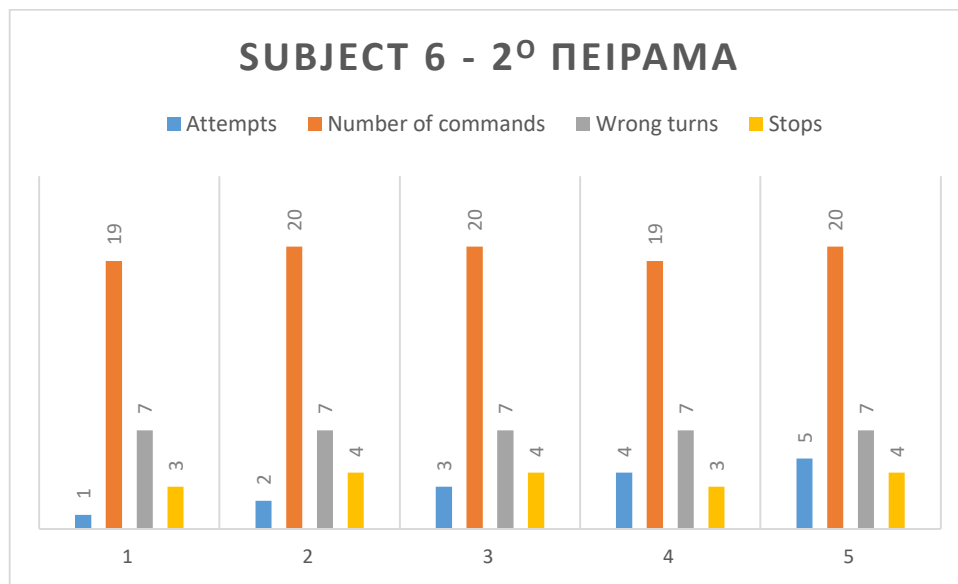
ΣΧΗΜΑ 21. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 6^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 19** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του έκτου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Πιο συγκεκριμένα αναγράφονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο συνολικός αριθμός των εντολών που εκτέλεσε, οι λανθασμένες στροφές, δηλαδή οι δεξιές και οι φορές που σταμάτησε. Πρέπει να πραγματοποιηθούν συνολικά τουλάχιστον επτά εντολές, τέσσερις αριστερές στροφές και τρία σταματήματα/ζεκινήματα. Ο έκτος συμμετέχοντας στην προσπάθειά του να στρίψει αριστερά, έστριβε δεξιά και έτσι δεν κατάφερε να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, έχοντας εκτελέσει συνολικά 19 εντολές στην καλύτερή του προσπάθεια. Στην 1^η και 4^η προσπάθειά του, ενώ σταμάτησε ακριβώς 3 φορές, έστριψε 7 φορές δεξιά και επιπλέον 5 φορές αριστερά για να διορθώσει τις δεξιές στροφές, εκτελώντας έτσι συνολικά 19 εντολές. Επίσης, η 2^η, 3^η και 5^η προσπάθεια με βάση το **σχήμα 22**, θεωρούνται οι χειρότερες στην περίπτωση του έκτου συμμετέχοντα, διότι πραγματοποίησε συνολικά 20 εντολές, με 7 δεξιές στροφές, έναν παραπάνω σταματημό και 5 παραπάνω αριστερές στροφές. Ο συμμετέχων μία φορά σταμάτησε το αμαξίδιο με το χέρι προκειμένου να αποφύγει κάποια σύγκρουση, λόγω στενού χώρου και αδυναμίας σταματημού. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 19.6, των λάθος στροφών είναι 7 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.6. Με τα αποτελέσματα αυτά είναι ολοφάνερη η δυσκολία που αντιμετώπισε το Subject 6 με το αριστερό Motor Imaginary.

Πίνακας 19. Αποτελέσματα του 6^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

6 ^{ος} Συμμετέχοντας – 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	19	7	3
2	20	7	4
3	20	7	4
4	19	7	3

5	20	7	4
Μέσος Όρος	19.6	7	3.6



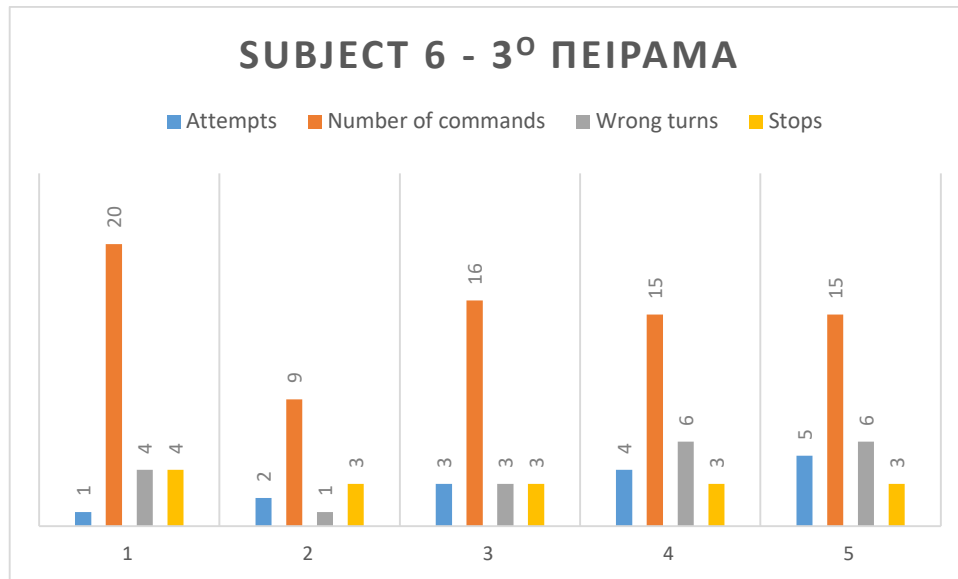
ΣΧΗΜΑ 22. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 6^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 20** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του έκτου συμμετέχοντα για το 3ο πείραμα. Πιο συγκεκριμένα αναγράφονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο συνολικός αριθμός των εντολών που εκτέλεσε, οι λανθασμένες στροφές, δηλαδή οι αριστερές και οι φορές που σταμάτησε. Πρέπει να πραγματοποιηθούν συνολικά τουλάχιστον επτά εντολές, τέσσερις δεξιές στροφές και τρία σταματήματα/ζεκινήματα. Στο **σχήμα 23** φαίνεται ότι ο έκτος συμμετέχοντας δεν μπόρεσε να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, ωστόσο στην 2^η προσπάθειά του, η οποία είναι και η καλύτερη, πραγματοποίησε συνολικά 9 εντολές, με μία λάθος στροφή, 3 σταματήματα και μία επιπλέον δεξιά στροφή. Στην 3^η προσπάθειά του εκτέλεσε συνολικά 16 εντολές, 3 αριστερές στροφές, 3 σταματήματα και 6 επιπλέον δεξιές στροφές, ενώ στην 1^η προσπάθειά του εκτέλεσε συνολικά 20 εντολές, 4 αριστερές στροφές, 4 σταματήματα και 8 επιπλέον δεξιές στροφές. Δυστυχώς, στην 4^η και 5^η προσπάθεια δεν κατάφερε να ολοκληρώσει την πειραματική διαδικασία σωστά, επειδή έστριβε κυρίως αριστερά, κάνοντας μία ολόκληρη στροφή γύρω από τον εαυτό του με το αριστερό Motor Imaginary, εκτελώντας συνολικά 15 εντολές, 6 αριστερές στροφές, 3 σταματήματα και δύο μόνο δεξιές στροφές. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι μία φορά ο συμμετέχων σταμάτησε το αμαξίδιο με το χέρι προκειμένου να αποφύγει κάποια σύγκρουση, λόγω αδυναμίας σταματημού. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 15, των λάθος στροφών είναι 4 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.2.

Πίνακας 20. Αποτελέσματα του 6^{ου} συμμετέχοντα για το 3^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

6^{ος} Συμμετέχοντας – 3^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	20	4	4
2	9	1	3

3	16	3	3
4	15	6	3
5	15	6	3
Μέσος Όρος	15	4	3.2



ΣΧΗΜΑ 23. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 6^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 6^{ος} συμμετέχοντας δυσκολεύτηκε αρκετά στην πειραματική διαδικασία, και αυτό εξηγείται και από τα ποσοστά της ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA, τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2. Ειδικά για το δεξί Motor Imaginary το ποσοστό είναι αρκετά χαμηλό στο 25.8%. Τα ποσοστά αυτά είναι τα ακόλουθα:

- 92.8% για το αριστερό Motor Imaginary
- 25.8% για το δεξί Motor Imaginary
- 74.4% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 61.8% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

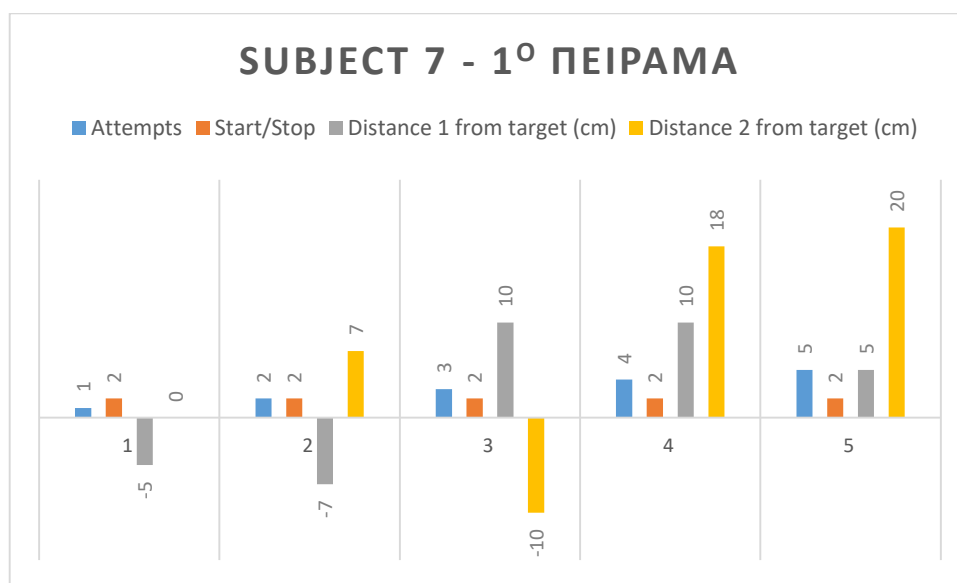
4.2.2.7 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 7^ο Συμμετέχοντα

Στον πίνακα 21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του έβδομου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη εμφανίζονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο αριθμός των φορών που σταμάτησε, στην τρίτη η απόσταση στάσης από το πρώτο σημείο και στην τέταρτη η απόσταση στάσης από το δεύτερο σημείο. Σύμφωνα με το σχήμα 24, ο έβδομος συμμετέχοντας κατάφερε να σταματήσει και στις πέντε προσπάθειές του ακριβώς 2 φορές, όσες απαιτεί και το 1^ο πείραμα. Η 1^η του προσπάθεια ήταν και η καλύτερη, καθώς σταμάτησε 5 cm πριν το πρώτο σημείο και ακριβώς πάνω στο δεύτερο. Εξίσου ικανοποιητική ήταν και η 2^η προσπάθεια, στην οποία σταμάτησε 7 cm

πριν το πρώτο σημείο και 7 cm μετά το δεύτερο. Ακόμα, στην 3^η προσπάθειά του σταμάτησε 10 cm μετά το πρώτο σημείο και 10 cm πριν το δεύτερο, ενώ στην 4^η σταμάτησε 10 cm μετά το πρώτο σημείο και 18 cm μετά το δεύτερο. Ωστόσο, στην τελευταία του προσπάθεια, ενώ κατάφερε να σταματήσει 5 cm μετά το πρώτο σημείο, σταμάτησε 20 cm μετά το δεύτερο. Ο μέσος όρος σταματημάτων είναι 2, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 7.4 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 11 cm. Αυτό αποδεικνύει ότι ο συμμετέχοντας βρέθηκε πιο κοντά στο πρώτο σημείο σε σχέση με το δεύτερο.

Πίνακας 21. Αποτελέσματα του 7^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

7 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	2	-5	0
2	2	-7	7
3	2	10	-10
4	2	10	18
5	2	5	20
Μέσος Όρος	2	7.4	11



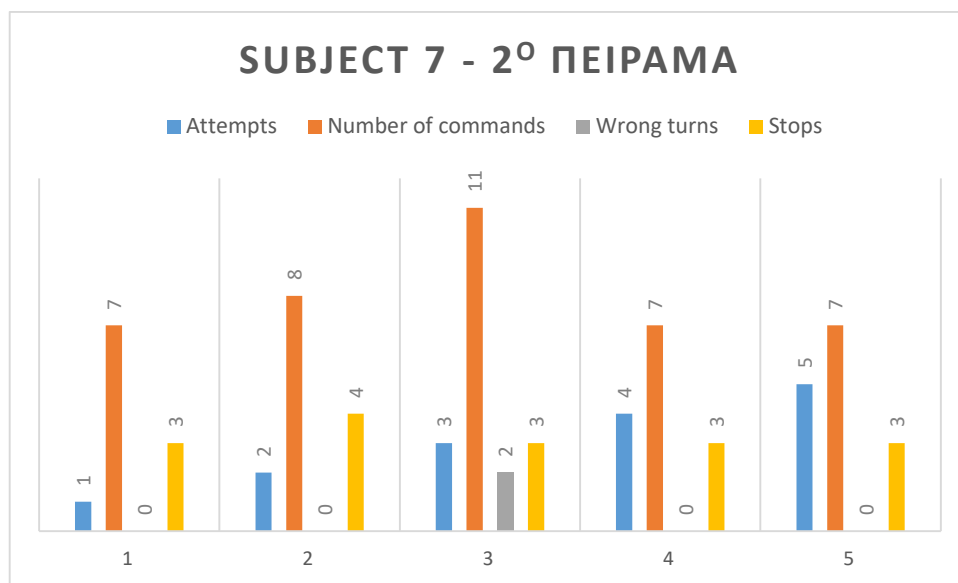
ΣΧΗΜΑ 24. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 7^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 22** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του έβδομου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη εμφανίζονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που εκτέλεσε, στην τρίτη οι λάθος εντολές, δηλαδή οι δεξιές στροφές και στην τέταρτη οι φορές σταματημού. Οι εντολές που πρέπει να πραγματοποιηθούν είναι επτά στο σύνολο,

συγκεκριμένα είναι τέσσερις αριστερές στροφές και τρία σταματήματα/ξεκινήματα. Ο έβδομος συμμετέχοντας κατάφερε να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, στην 1^η, 4^η και 5^η προσπάθειά του, εκτελώντας συνολικά επτά εντολές, καμία λάθος στροφή και τρία σταματήματα. Εξίσου ικανοποιητική θεωρείται και η 2^η προσπάθεια, στην οποία σταμάτησε μία επιπλέον φορά. Η χειρότερη του προσπάθεια με βάση το **σχήμα 25** θεωρείται η 3^η, όπου ενώ σταμάτησε ακριβώς τρεις φορές, έκανε δύο λάθος στροφές και δύο παραπάνω αριστερές στροφές, πραγματοποιώντας συνολικά έντεκα εντολές. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 8, των λάθος στροφών είναι 0.4 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.2. Με τα αποτελέσματα αυτά είναι ολοφάνερη η εξαιρετική ικανότητα του Subject 7 να εκτελεί το αριστερό Motor Imaginary.

Πίνακας 22. Αποτελέσματα του 7^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

7 ^{ος} Συμμετέχοντας – 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	7	0	3
2	8	0	4
3	11	2	3
4	7	0	3
5	7	0	3
Μέσος Όρος	8	0.4	3.2



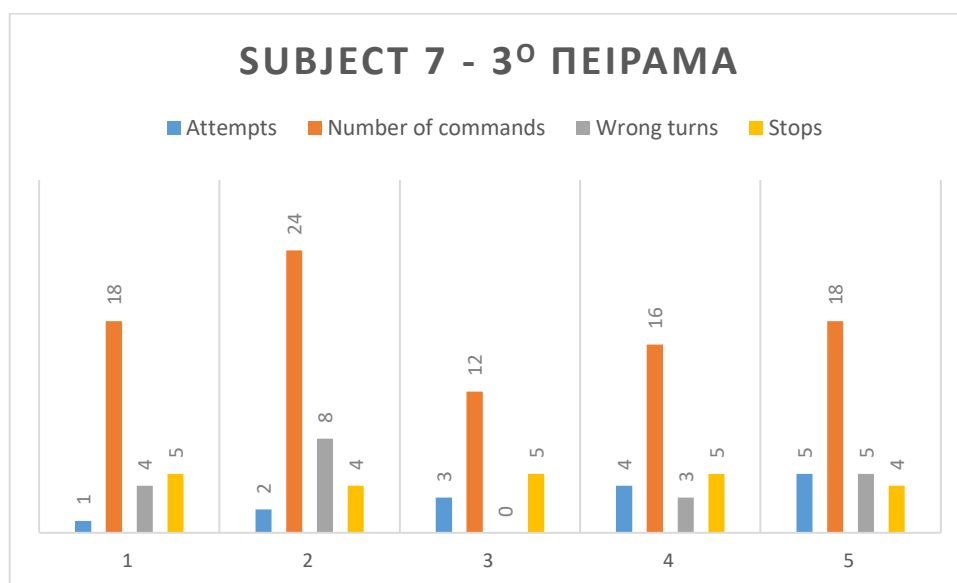
ΣΧΗΜΑ 25. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 7^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 23** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του έβδομου συμμετέχοντα για το 3^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη εμφανίζονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που εκτέλεσε, στην τρίτη οι λάθος εντολές, δηλαδή οι αριστερές στροφές και στην τέταρτη οι φορές που σταμάτησε. Οι εντολές που πρέπει να πραγματοποιηθούν είναι επτά στο σύνολο, συγκεκριμένα είναι τέσσερις δεξιές στροφές και τρία σταματήματα/ξεκινήματα. Στο **σχήμα 26** διακρίνεται ότι ο έβδομος συμμετέχοντας δεν κατάφερε να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, καθώς

στην καλύτερή του προσπάθεια, η οποία είναι η 3^η, εκτέλεσε συνολικά 12 εντολές, με καμία λάθος στροφή και 5 σταματήματα. Συγκεκριμένα, συγκριτικά με τα επιθυμητά όρια, εκτέλεσε 2 παραπάνω σταματήματα και 3 παραπάνω δεξιές στροφές. Επίσης, στην 4^η προσπάθειά του πραγματοποίησε 3 λάθος στροφές, 2 επιπλέον σταματήματα και 4 επιπλέον δεξιές στροφές. Η χειρότερη του προσπάθεια θεωρείται η 2^η, στην οποία πραγματοποίησε οκτώ λάθος στροφές, ένα παραπάνω σταμάτημα και οκτώ επιπλέον δεξιές στροφές, προκειμένου να διορθώσει τις λάθος στροφές. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο συμμετέχων σταμάτησε μία φορά το αμαξίδιο με το χέρι, έτσι ώστε να αποφύγει κάποια πιθανή σύγκρουση εξαιτίας του στενού χώρου. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 17.6, των λάθος στροφών είναι 4 και τέλος των σταματημάτων είναι 4.6. Από τις λάθος στροφές που εκτέλεσε ο συμμετέχων, φαίνεται η αδυναμία του στην εκτέλεση του δεξιού Motor Imaginary, καθώς τα πήγε πολύ καλύτερα στο 2^ο πείραμα από ότι στο 3^ο.

Πίνακας 23. Αποτελέσματα του 7^{ου} συμμετέχοντα για το 3^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

7 ^{ος} Συμμετέχοντας – 3 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	18	4	5
2	24	8	4
3	12	0	5
4	16	3	5
5	18	5	4
Μέσος Όρος	17.6	4	4.6



ΣΧΗΜΑ 26. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 7^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 7^{ος} συμμετέχοντας τα πήγε καλύτερα στο 2^ο πείραμα που έπρεπε να εκτελέσει το αριστερό Motor Imaginary, σε αντίθεση με το 3^ο πείραμα που έπρεπε να εκτελέσει το δεξί, παρόλο που το ποσοστό της ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA για το δεξί ήταν μεγαλύτερο. Τα ποσοστά της ταξινόμησης (τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2) είναι τα ακόλουθα:

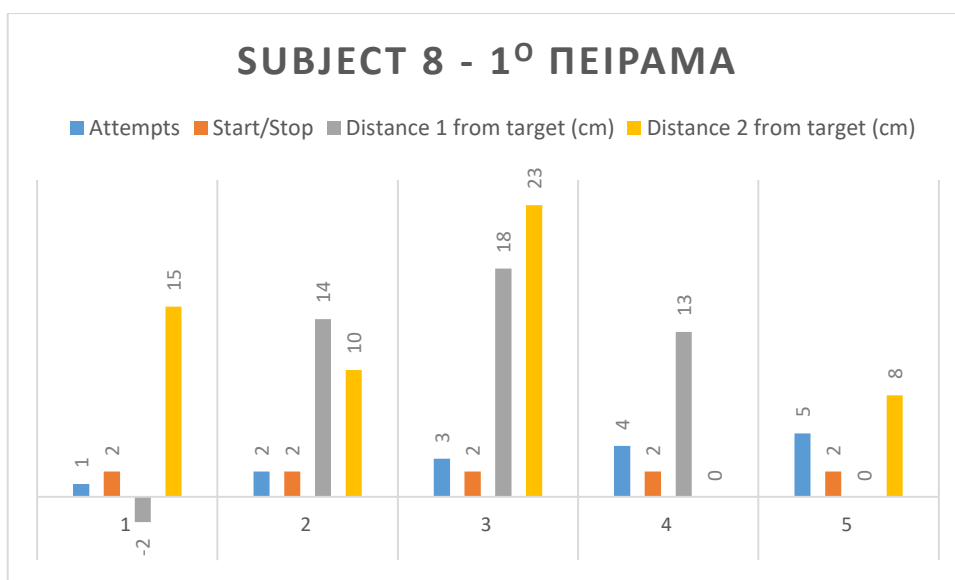
- 48.5% για το αριστερό Motor Imaginary
- 100% για το δεξί Motor Imaginary
- 84.6% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 75.95% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

4.2.2.8 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 8^ο Συμμετέχοντα

Στον **πίνακα 24** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του όγδοου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Στην πρώτη, δεύτερη, τρίτη και τέταρτη στήλη του πίνακα παρουσιάζονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο αριθμός των φορών που σταμάτησε/ξεκίνησε, η απόσταση σταματημού από το πρώτο σημείο και η απόσταση σταματημού από το δεύτερο σημείο αντίστοιχα. Ο όγδοος συμμετέχοντας, σύμφωνα με το **σχήμα 27**, κατόρθωσε να σταματήσει ακριβώς 2 φορές και στις 5 προσπάθειές του, με την 5^η προσπάθεια να είναι και η καλύτερη, σταματώντας ακριβώς πάνω στο πρώτο σημείο και 8 cm μετά το δεύτερο. Εξαιρετικά καλή ήταν και η 4^η προσπάθεια, καθώς σταμάτησε 13 cm μετά το πρώτο σημείο και ακριβώς πάνω στο δεύτερο. Στην πρώτη προσπάθειά του κατάφερε να σταματήσει 2 cm πριν το πρώτο σημείο και 15 cm μετά το δεύτερο. Ο συμμετέχων παρουσίασε σημαντική βελτίωση στις δύο τελευταίες του προσπάθειες, συγκριτικά με τις τρεις πρώτες, με την 3^η προσπάθεια να θεωρείται και η χειρότερη, διότι σταμάτησε 18 cm μετά το πρώτο σημείο και 23 cm μετά το δεύτερο. Ο μέσος όρος σταματημάτων είναι 2, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 9.4 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 11.2 cm. Αυτό αποδεικνύει ότι ο συμμετέχοντας βρέθηκε πιο κοντά στο πρώτο σημείο από ότι στο δεύτερο.

Πίνακας 24. Αποτελέσματα του 8^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

8 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	2	-2	15
2	2	14	10
3	2	18	23
4	2	13	0
5	2	0	8
Μέσος Όρος	2	9.4	11.2



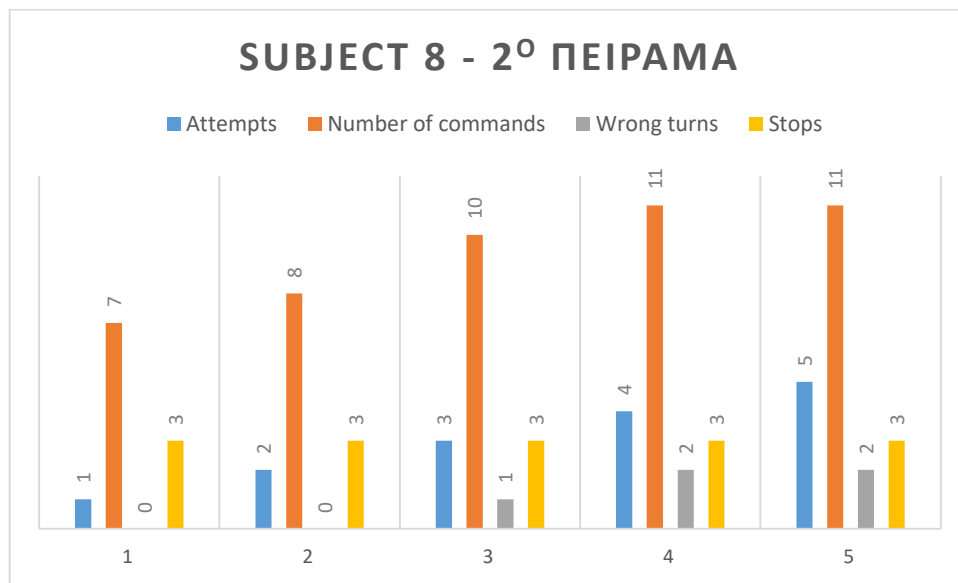
ΣΧΗΜΑ 27. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 8^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 25** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του όγδοου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Στην πρώτη, δεύτερη, τρίτη και τέταρτη στήλη παρουσιάζονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο συνολικός αριθμός των εντολών που πραγματοποίησε, οι λάθος εντολές, δηλαδή οι δεξιές στροφές και οι φορές που σταμάτησε αντίστοιχα. Ειδικά, πρέπει να εκτελεστούν συνολικά 7 εντολές, 4 αριστερές στροφές και 3 σταματήματα. Στο **σχήμα 28** φαίνεται ότι ο όγδοος συμμετέχοντας έφερε τα συγκεκριμένα αποτελέσματα με την 1^η του προσπάθεια, πραγματοποιώντας στο σύνολο επτά εντολές, καμία δεξιά στροφή και τρεις στάσεις. Η 2^η του προσπάθεια ήταν επίσης ικανοποιητική, μόνο που έστριψε μια παραπάνω φορά αριστερά. Στις υπόλοιπες προσπάθειες παρατηρείται μία κάθοδος, πιθανόν λόγω της κόπωσης του ατόμου. Συγκεκριμένα, παρόλο που και στις τρεις προσπάθειες σταμάτησε ακριβώς τρεις φορές, στην 3^η έκανε μία λάθος στροφή και δύο επιπλέον αριστερές στροφές, ενώ στην 4^η και 5^η προσπάθεια πραγματοποίησε δύο λάθος στροφές και δύο επιπλέον αριστερές στροφές. Επίσης, το άτομο χρειάστηκε να σταματήσει το αμαξίδιο δύο φορές με το χέρι, διότι ο χώρος που διεκπεραιώθηκε το πείραμα ήταν αρκετά στενός και δεν προλάβαινε να εκτελέσει την εντολή σταματημού πιο νωρίς. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 9.4, των λάθος στροφών είναι 1 και τέλος των σταματημάτων είναι 3. Παρά τις λάθος εντολές που εκτελέστηκαν, ο συμμετέχων τα πήγε καλά με το αριστερό Motor Imaginary, ολοκληρώνοντας την διαδικασία του 2^{ου} πειράματος.

Πίνακας 25. Αποτελέσματα του 8^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

8 ^{ος} Συμμετέχοντας – 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	7	0	3
2	8	0	3
3	10	1	3
4	11	2	3

5	11	2	3
Μέσος Όρος	9.4	1	3



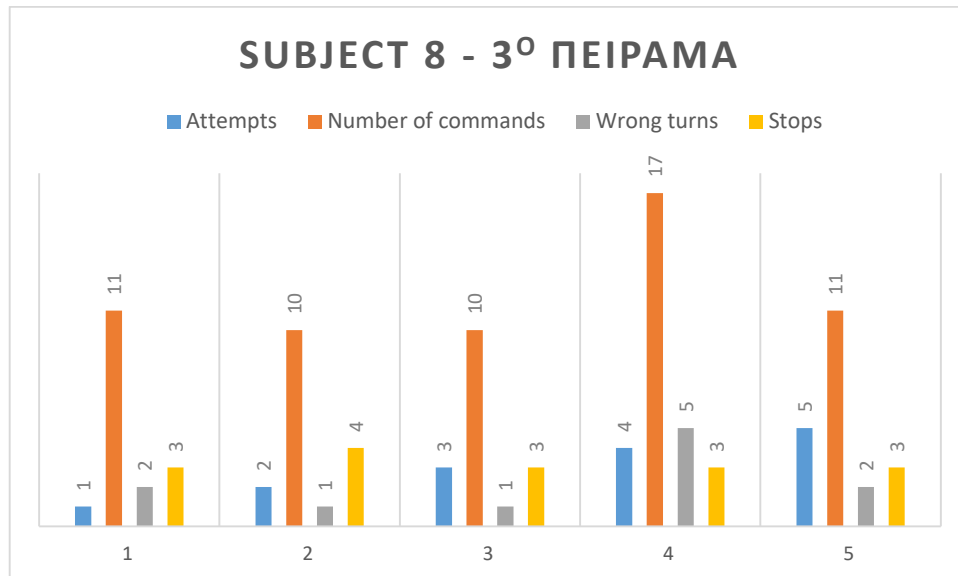
ΣΧΗΜΑ 28. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 8^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΙΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 26** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του όγδοου συμμετέχοντα για το 3^ο πείραμα. Στην πρώτη, δεύτερη, τρίτη και τέταρτη στήλη παρουσιάζονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο συνολικός αριθμός των εντολών που πραγματοποίησε, οι λάθος εντολές, δηλαδή οι αριστερές στροφές και οι φορές που σταμάτησε αντίστοιχα. Ειδικά, πρέπει να εκτελεστούν συνολικά 7 εντολές, 4 δεξιές στροφές και 3 σταματήματα. Με βάση το **σχήμα 29**, ο όγδοος συμμετέχοντας δεν μπόρεσε να φέρει τα παραπάνω αποτελέσματα. Ωστόσο, η καλύτερη του προσπάθεια είναι 3^η, στην οποία πραγματοποίησε συνολικά δέκα εντολές, μία αριστερή στροφή και τρία σταματήματα, άρα έκανε δύο επιπλέον δεξιές στροφές. Στην 2^η του προσπάθεια σταμάτησε μία παραπάνω φορά από το επιθυμητό όριο, εκτέλεσε μία λάθος εντολή και μία παραπάνω δεξιά στροφή. Επιπλέον, στην 1^η και 5^η προσπάθειά του, ενώ κατάφερε να σταματήσει ακριβώς τρεις φορές, πραγματοποίησε δύο λάθος εντολές και δύο παραπάνω δεξιές στροφές. Παρά την αδυναμία του συμμετέχων να εκτελέσει το δεξί Motor Imagary, κατάφερε να ολοκληρώσει την διαδικασία του 3^{ου} πειράματος, με την χειρότερη του προσπάθεια να είναι η 4^η, όπου ενώ σταμάτησε ακριβώς τρεις φορές, εκτέλεσε 5 λάθος εντολές και 5 παραπάνω δεξιές στροφές. Ακόμα, το άτομο σταμάτησε δύο φορές το αμαξίδιο με το χέρι, προκειμένου να αποφύγει κάποια σύγκρουση, λόγω του μικρού χώρου. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 11.8, των λάθος στροφών είναι 2.2 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.2. Από τα αποτελέσματα στα δύο πειράματα, φαίνεται ότι το Subject 8 τα πήγε καλύτερα στο 2^ο πείραμα από ότι στο 3^ο.

Πίνακας 26. Αποτελέσματα του 8^{ου} συμμετέχοντα για το 3^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

8 ^{ος} Συμμετέχοντας – 3 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	11	2	3

2	10	1	4
3	10	1	3
4	17	5	3
5	11	2	3
Μέσος Όρος	11.8	2.2	3.2



ΣΧΗΜΑ 29. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 8^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 8^{ος} συμμετέχοντας ενώ εκτελούσε πιο εύκολα το αριστερό Motor Imaginary, συγκριτικά με το δεξί, έχει μεγαλύτερο ποσοστό ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA στο δεξί από ότι στο αριστερό. Τα ποσοστά της ταξινόμησης (τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2) είναι τα ακόλουθα:

- 71.1% για το αριστερό Motor Imaginary
- 100% για το δεξί Motor Imaginary
- 76.9% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 84.12% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

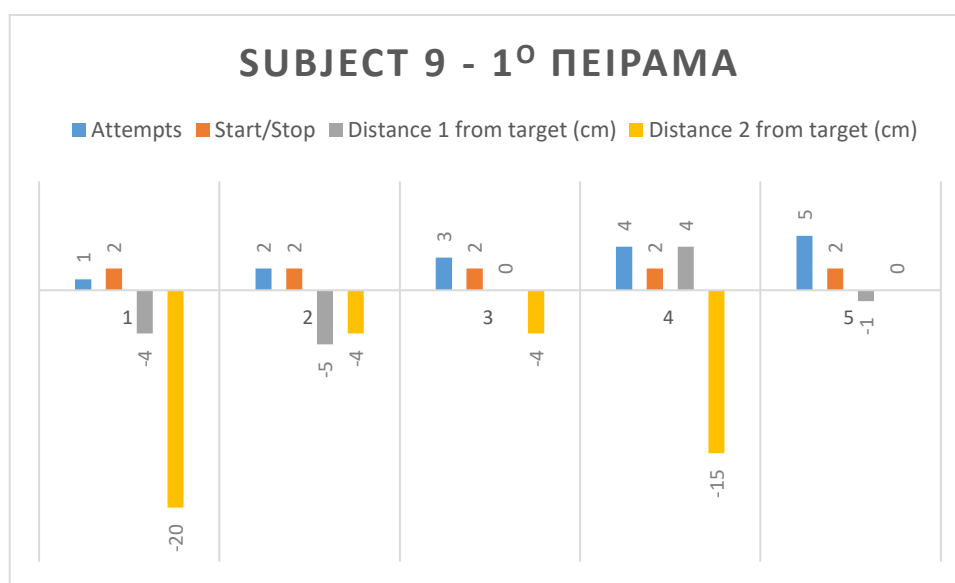
4.2.2.9 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 9^ο Συμμετέχοντα

Στον πίνακα 27 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ένατου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Οι προσπάθειες του ατόμου αναγράφονται στην πρώτη στήλη, ο αριθμός των φορών που σταμάτησε/ξεκίνησε στην δεύτερη, η απόσταση σταματημού από το πρώτο σημείο στην τρίτη και η απόσταση σταματημού από το δεύτερο σημείο στην τέταρτη. Ο ένατος συμμετέχοντας σε όλες τις προσπάθειες του σταμάτησε ακριβώς δύο φορές. Ωστόσο, σύμφωνα με το σχήμα 30, η 5^η προσπάθειά του είναι η καλύτερη, διότι σταμάτησε πολύ κοντά στα δύο καθορισμένα σημεία, σε απόσταση 1 cm

πριν το πρώτο σημείο και ακριβώς πάνω στο δεύτερο σημείο. Εξίσου, ικανοποιητική είναι και η 3^η προσπάθεια, στην οποία σταμάτησε ακριβώς πάνω στο πρώτο σημείο και 4 cm πριν το δεύτερο. Επίσης, στην 2^η του προσπάθεια, κατάφερε να σταματήσει 5 cm πριν το πρώτο σημείο και 4 cm πριν το δεύτερο, ενώ στην 4^η του προσπάθεια σταμάτησε 4 cm μετά το πρώτο σημείο και 15 cm πριν το δεύτερο. Η χειρότερη του προσπάθεια θεωρείται η 1^η, όπου η πρώτη στάση έγινε 4 cm πριν το πρώτο σημείο και η δεύτερη στάση 20 cm πριν το δεύτερο. Ο μέσος όρος σταματημάτων είναι 2, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 2.8 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 8.6 cm. Με τα παραπάνω αποτελέσματα αποδεικνύεται ότι ο συμμετέχοντας βρέθηκε πολύ κοντά στο πρώτο σημείο από ότι στο δεύτερο.

Πίνακας 27. Αποτελέσματα του 9^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

9 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	2	-4	-20
2	2	-5	-4
3	2	0	-4
4	2	4	-15
5	2	-1	0
Μέσος Όρος	2	2.8	8.6



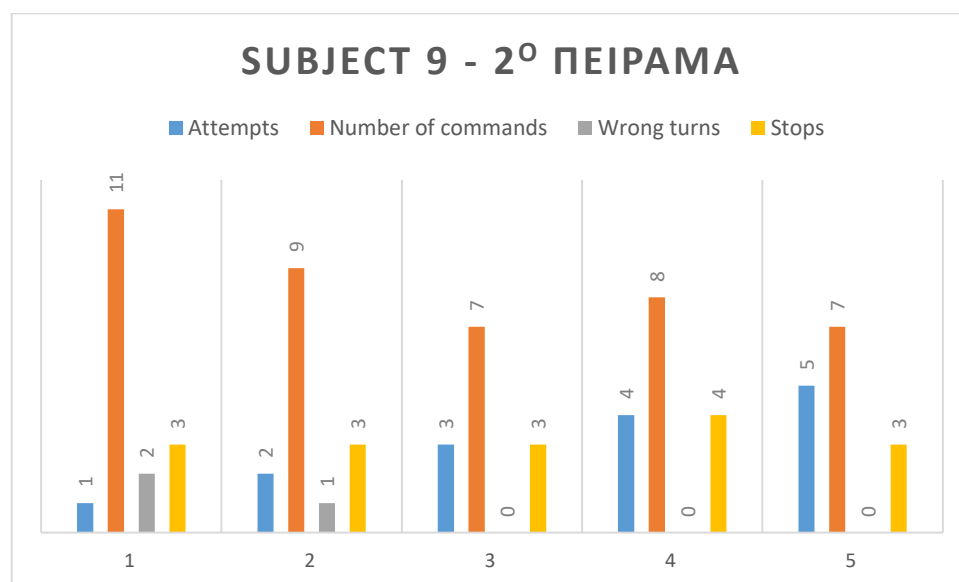
ΣΧΗΜΑ 30. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 9^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 28** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ένατου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Οι προσπάθειες του ατόμου αναγράφονται στην πρώτη στήλη του πίνακα, ο συνολικός αριθμός των

εντολών που πραγματοποίησε στην δεύτερη, οι λάθος εντολές στην τρίτη και οι φορές που σταμάτησε στην τέταρτη. Οι αριστερές στροφές που πρέπει να πραγματοποιηθούν είναι 4 και τα σταματήματα είναι 3, επομένως συνολικά πρέπει να εκτελεστούν 7 εντολές. Στο **σχήμα 31** φαίνεται ότι ο ένατος συμμετέχοντας παρουσίασε σημαντική βελτίωση, με την 1^η προσπάθειά του να είναι η χειρότερη και την 3^η και 5^η να είναι οι καλύτερες. Συγκεκριμένα, στην 1^η προσπάθεια, ενώ σταμάτησε ακριβώς 3 φορές, πραγματοποίησε δύο λάθος εντολές και δύο επιπλέον αριστερές στροφές, εκτελώντας έτσι συνολικά 11 εντολές. Αντίθετα, στην 3^η και 5^η του προσπάθεια εκτέλεσε 7 εντολές συνολικά, χωρίς καμία δεξιά στροφή και με τρία σταματήματα. Εξαιρετικά ικανοποιητική είναι και η 4^η του προσπάθεια, στην οποία εκτέλεσε ένα παραπάνω σταμάτημα. Ακόμα, στην 2^η του προσπάθεια πραγματοποίησε μία λάθος εντολή και μία επιπλέον αριστερή στροφή. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 8.4, των λάθος στροφών είναι 0.6 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.2. Από τις τρεις τελευταίες του προσπάθειες φαίνεται ότι ο συμμετέχων τα πήγε αρκετά καλά με το αριστερό Motor Imaginary.

Πίνακας 28. Αποτελέσματα του 9^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

9 ^{ος} Συμμετέχοντας – 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	11	2	3
2	9	1	3
3	7	0	3
4	8	0	4
5	7	0	3
Μέσος Όρος	8.4	0.6	3.2



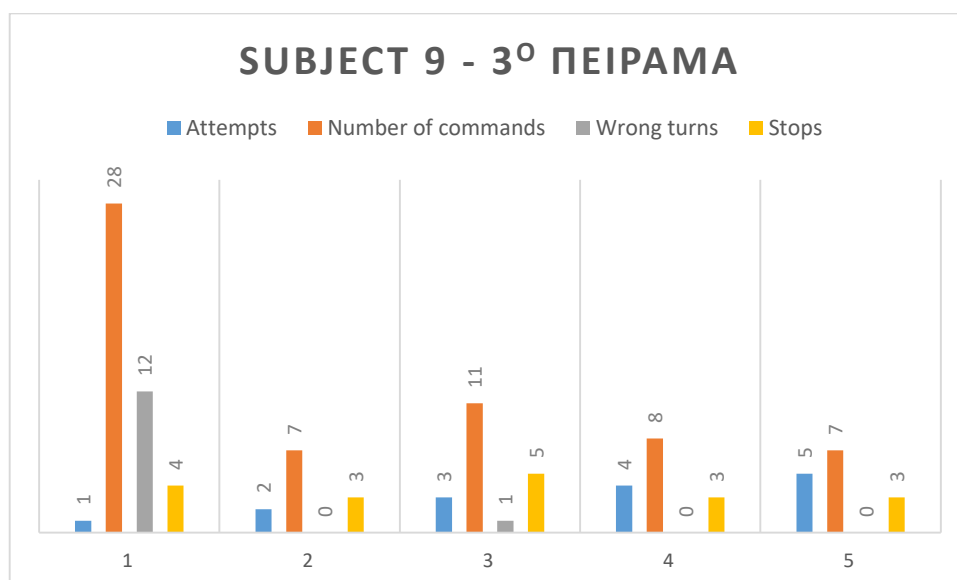
ΣΧΗΜΑ 31. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 9^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 29** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ένατου συμμετέχοντα για το 3^ο πείραμα. Οι προσπάθειες του ατόμου αναγράφονται στην πρώτη στήλη του πίνακα, ο συνολικός αριθμός των εντολών που πραγματοποίησε στην δεύτερη, οι λάθος εντολές στην τρίτη και οι φορές που σταμάτησε στην τέταρτη. Οι δεξιές στροφές που πρέπει να πραγματοποιηθούν είναι 4 και τα

σταματήματα είναι 3, επομένως συνολικά πρέπει να εκτελεστούν 7 εντολές. Ο 9^{ος} συμμετέχοντας στην χειρότερη του προσπάθεια που θεωρείται η 1^η, εκτέλεσε συνολικά 28 εντολές, καθώς πραγματοποίησε 12 λάθος εντολές, 4 σταματήματα και 12 δεξιές στροφές, δηλαδή έκανε ένα παραπάνω σταμάτημα από τα επιτρεπτά και 8 παραπάνω δεξιές στροφές. Τα επιθυμητά αποτελέσματα με βάση το **σχήμα 32**, κατόρθωσε να τα φέρει στην 2^η και 5^η του προσπάθεια. Επίσης, ικανοποιητικά τα πήγε και στην 4^η προσπάθεια, διότι πραγματοποίησε μόνο μία παραπάνω δεξιά στροφή, συμπληρώνοντας συνολικά 8 εντολές. Στην 3^η προσπάθεια σταμάτησε πέντε φορές αντί για τρεις, εκτέλεσε μία λάθος εντολή και μία δεξιά στροφή. Παρόλο που στην 1^η προσπάθεια έστριβε όλο αριστερά, κατάφερε να εξοικειωθεί με το δεξί Motor Imagary. Επιπρόσθετα, το άτομο σταμάτησε μία φορά το αμαξίδιο με το χέρι, λόγω του ότι ο χώρος ήταν μικρός και ήταν δύσκολη η κίνηση της καρέκλας. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 12.2, των λάθος στροφών είναι 2.6 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.6. Επομένως, σύμφωνα με αυτά τα αποτελέσματα στο 3^ο πείραμα, φαίνεται ότι ο συμμετέχων τα πήγε πολύ καλύτερα στο 2^ο.

Πίνακας 29. Αποτελέσματα του 9^{ου} συμμετέχοντα για το 3^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

9 ^{ος} Συμμετέχοντας – 3 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	28	12	4
2	7	0	3
3	11	1	5
4	8	0	3
5	7	0	3
Μέσος Όρος	12.2	2.6	3.6



ΣΧΗΜΑ 32. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 9^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 9^{ος} συμμετέχοντας πραγματοποίησε πιο εύκολα το αριστερό Motor Imaginary, συγκριτικά με το δεξί, παρόλο που το δεξί έχει μεγαλύτερο ποσοστό ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA. Τα ποσοστά της ταξινόμησης (τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2) είναι τα ακόλουθα:

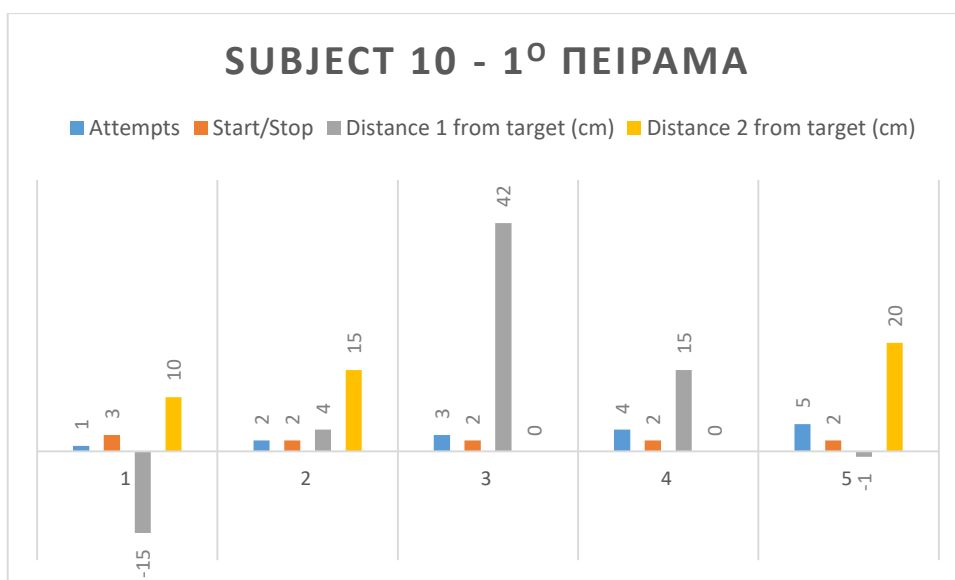
- 80.4% για το αριστερό Motor Imaginary
- 100% για το δεξί Motor Imaginary
- 76.9% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 85.11% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

4.2.2.10 Ανάλυση Αποτελεσμάτων για τον 10^ο Συμμετέχοντα

Στον πίνακα 30 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δέκατου συμμετέχοντα για το 1^ο πείραμα. Ειδικότερα στις στήλες αυτού του πίνακα εμφανίζονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο αριθμός των φορών που εκτέλεσε μία στάση, η απόσταση στάσης από το πρώτο σημείο και η απόσταση στάσης από το δεύτερο σημείο. Σε όλες τις προσπάθειές του ο δέκατος συμμετέχοντας σταμάτησε ακριβώς δύο φορές, εκτός από την 1^η, στην οποία σταμάτησε τρεις φορές. Σύμφωνα με το σχήμα 33, η καλύτερη του προσπάθεια θεωρείται η 4^η, καθώς κατάφερε να σταματήσει 15 cm μετά το πρώτο σημείο και ακριβώς πάνω στο δεύτερο. Επιπλέον, ικανοποιητική είναι και η 2η προσπάθεια, όπου εκτέλεσε την πρώτη στάση 4 cm μετά το πρώτο σημείο και την δεύτερη 15 cm μετά το δεύτερο. Ακόμα, στην 5^η και τελευταία του προσπάθεια, πραγματοποίησε το πρώτο σταμάτημα πολύ κοντά στο πρώτο σημείο, σε απόσταση 1 cm πριν από αυτό, και το δεύτερο σταμάτημα σε απόσταση 20 cm μετά το δεύτερο σημείο. Αντίθετα, ως χειρότερη προσπάθεια μπορεί να χαρακτηριστεί η 3^η, στην οποία παρόλο που βρέθηκε ακριβώς πάνω στο δεύτερο σημείο, σταμάτησε 42 cm μετά το πρώτο. Στην 1^η προσπάθεια, παρόλο που σταμάτησε σχετικά κοντά στα δύο σημεία, σε απόσταση 15 cm πριν το πρώτο και 10 cm μετά το δεύτερο, σταμάτησε μία επιπλέον φορά σε σχέση με το επιθυμητό όριο, εκτελώντας έτσι 3 σταματήματα. Ο μέσος όρος σταματημάτων είναι 2.2, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο είναι 15.4 cm, ενώ ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο είναι 9 cm. Με αυτά τα αποτελέσματα είναι κατανοητό, ότι ο συμμετέχων σταμάτησε σε κοντινότερη απόσταση από το δεύτερο σημείο από ότι από το πρώτο.

Πίνακας 30. Αποτελέσματα του 10^{ου} συμμετέχοντα για το 1^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη οι φορές που σταμάτησε/ξεκίνησε, στην τρίτη η απόσταση από τον πρώτο στόχο και στην τέταρτη η απόσταση από τον δεύτερο.

10 ^{ος} Συμμετέχοντας – 1 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Εκκίνηση/Σταμάτημα	Απόσταση από τον 1 ^ο στόχο (cm)	Απόσταση από τον 2 ^ο στόχο (cm)
1	3	-15	10
2	2	4	15
3	2	42	0
4	2	15	0
5	2	-1	20
Μέσος Όρος	2.2	15.4	9

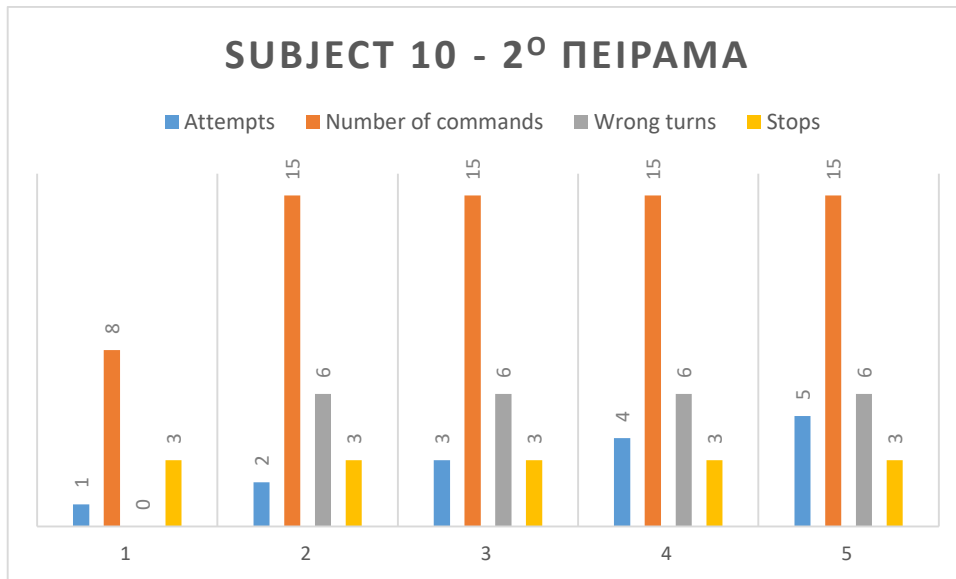


ΣΧΗΜΑ 33. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 10^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ ΚΑΙ ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΟΧΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ. ΟΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΡΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΠΡΙΝ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ, ΕΝΩ ΑΥΤΕΣ ΜΕ ΤΟ ΘΕΤΙΚΟ ΠΡΟΣΗΜΟ, ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΟΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟ ΠΟΥ ΕΓΙΝΕ ΜΕΤΑ ΤΟ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΣΗΜΕΙΟ.

Στον **πίνακα 31** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δέκατου συμμετέχοντα για το 2^ο πείραμα. Πιο συγκεκριμένα στις στήλες αυτού του πίνακα εμφανίζονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο αριθμός των εντολών που εκτέλεσε στο σύνολο, οι λάθος εντολές και οι φορές που πραγματοποίησε κάποιον σταματημό. Οι εντολές που πρέπει να εκτελεστούν είναι 7 στο σύνολο, καθώς το άτομο πρέπει να εκτελέσει 4 αριστερές στροφές και 3 στάσεις. Στο **σχήμα 34** φαίνεται ότι ο δέκατος συμμετέχοντας κατάφερε να ολοκληρώσει σωστά το 2^ο πείραμα μόνο μία φορά, στην 1^η του προσπάθεια, στην οποία πραγματοποίησε συνολικά 8 εντολές, καμία λάθος στροφή και 3 σταματήματα, δηλαδή έστριψε μία φορά επιπλέον αριστερά. Δυστυχώς, στις υπόλοιπες προσπάθειές του δυσκολεύτηκε πολύ να εφαρμόσει το αριστερό Motor Imaginary, διότι εκτελούσε πιο εύκολα το δεξί, κάνοντας έτσι έναν ολόκληρο κύκλο γύρω από τον εαυτό του. Συνολικά εκτέλεσε 15 εντολές, από τις οποίες έξι είναι οι δεξιές στροφές, τρία είναι τα σταματήματα και έξι είναι οι αριστερές στροφές, τις οποίες πραγματοποίησε στην προσπάθειά του να διορθώσει τις λάθος στροφές. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 13.6, των λάθος στροφών είναι 4.8 και τέλος των σταματημάτων είναι 3. Παρόλο που ο συμμετέχων δεν κατάφερε να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, κατόρθωσε να σταματήσει ακριβώς 3 φορές, δηλαδή όσες απαιτούσε και το πείραμα.

Πίνακας 31. Αποτελέσματα του 10^{ου} συμμετέχοντα για το 2^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

10 ^{ος} Συμμετέχοντας – 2 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	8	0	3
2	15	6	3
3	15	6	3
4	15	6	3
5	15	6	3
Μέσος Όρος	13.6	4.8	3

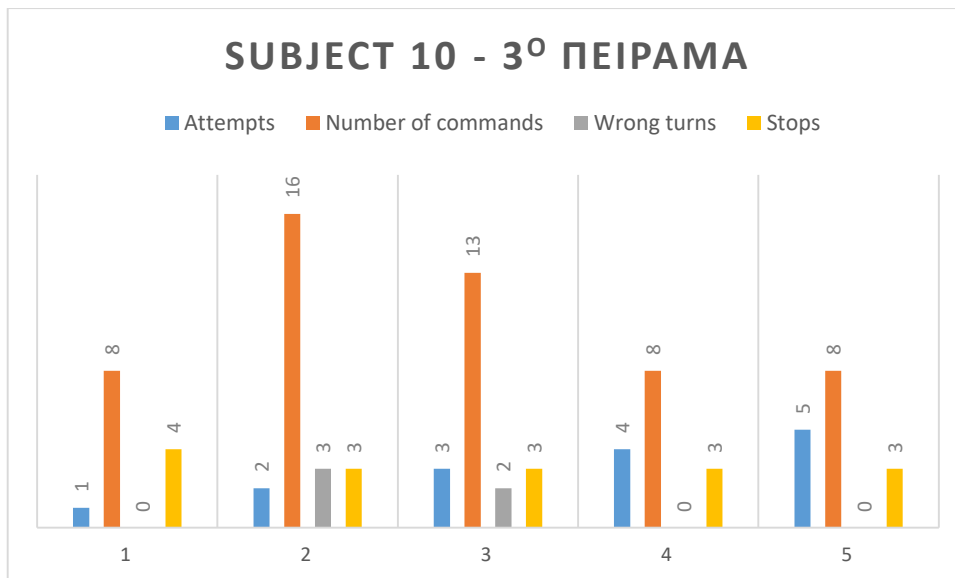


ΣΧΗΜΑ 34. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 10^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 32** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δέκατου συμμετέχοντα για το 3^ο πείραμα. Ειδικά, στις στήλες αυτού του πίνακα παρουσιάζονται οι προσπάθειες του ατόμου, ο αριθμός των εντολών που εκτέλεσε στο σύνολο, οι λάθος εντολές και οι φορές που πραγματοποίησε κάποιον σταματημό. Οι εντολές που πρέπει να εκτελεστούν είναι 7 στο σύνολο, διότι ο συμμετέχων πρέπει να εκτελέσει 4 δεξιές στροφές και 3 στάσεις. Ο δέκατος συμμετέχοντας τα πήγε ικανοποιητικά στο συγκεκριμένο πείραμα, καθώς συγκριτικά με το 2^ο, είχε εξοικειωθεί καλύτερα με το δεξί Motor Imaginary. Με βάση το **σχήμα 35**, η καλύτερη του προσπάθεια είναι η 1^η, η 4^η και η 5^η, στις οποίες εκτέλεσε συνολικά 8 εντολές με την μόνη διαφορά ότι στην 1^η έκανε ένα παραπάνω σταμάτημα, ενώ στις άλλες δύο έστριψε μία παραπάνω φορά δεξιά. Ακόμα, στην 3^η του προσπάθεια εκτέλεσε συνολικά 13 εντολές, 2 λάθος στροφές, 3 σταματήματα και 4 επιπλέον δεξιές στροφές. Η χειρότερη του προσπάθεια είναι η 2^η, επειδή πραγματοποίησε 3 αριστερές στροφές, 3 σταματήματα και 6 παραπάνω δεξιές στροφές, πραγματοποιώντας συνολικά 16 εντολές. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 10.6, των λάθος στροφών είναι 1 και τέλος των σταματημάτων είναι 3.2.

Πίνακας 32. Αποτελέσματα του 10^{ου} συμμετέχοντα για το 3^ο Πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα φαίνονται οι προσπάθειες του ατόμου, στην δεύτερη ο συνολικός αριθμός των εντολών που έδωσε, στην τρίτη οι λάθος στροφές και στην τέταρτη στήλη τα σταματήματα.

10 ^{ος} Συμμετέχοντας – 3 ^ο Πείραμα			
Προσπάθειες	Αριθμός Εντολών	Λάθος Στροφές	Σταματήματα
1	8	0	4
2	16	3	3
3	13	2	3
4	8	0	3
5	8	0	3
Μέσος Όρος	10.6	1	3.2



ΣΧΗΜΑ 35. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ 10^Ο ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ ΜΕ ΣΕΙΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ (1-5), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, ΟΙ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, ΟΙ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Ο 10^{ος} συμμετέχοντας τα πήγε ικανοποιητικά στο 3^ο πείραμα, χρησιμοποιώντας πιο εύκολα το δεξί Motor Imaginary από ότι το αριστερό. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί και από τα ποσοστά της ταξινόμησης με την χρήση του αλγορίθμου LDA (τα οποία αναγράφονται στην ενότητα 4.2). Τα ποσοστά αυτά είναι τα ακόλουθα:

- 39.2% για το αριστερό Motor Imaginary
- 100% για το δεξί Motor Imaginary
- 84.6% για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών
- 72.1% για την ακρίβεια της ταξινόμησης

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται μία σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των συμμετεχόντων, διεξάγονται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και οι περιορισμοί που προέκυψαν κατά την πειραματική διαδικασία. Επίσης, στην ενότητα 5.5 παρουσιάζονται οι μελλοντικοί στόχοι για την ενίσχυση του ελεγχόμενου από ΔΕΥ αναπηρικού αμαξιδίου.

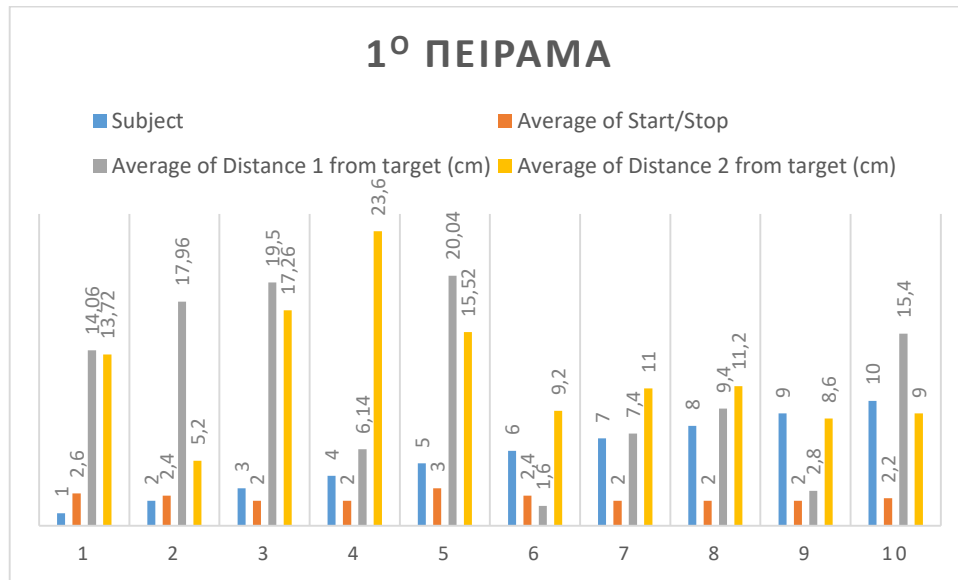
5.1 Σύγκριση των Αποτελεσμάτων μεταξύ των Συμμετεχόντων

Στην ενότητα 5.1 θα γίνει η ανάλυση και η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δέκα συμμετεχόντων για κάθε ένα από τα τρία πειράματα κατά την διάρκεια των πέντε προσπάθειών τους στο καθένα. Στον **πίνακα 33** εμφανίζονται για το 1^ο πείραμα οι μέσοι όροι των συμμετεχόντων για το σταμάτημα/ξεκίνημα, για την απόσταση που σταμάτησαν από το πρώτο επιθυμητό σημείο, καθώς και για την απόσταση που σταμάτησαν από το δεύτερο επιθυμητό σημείο. Ειδικότερα, ο μέσος όρος των στάσεων για όλους τους συμμετέχοντες είναι 2.26 και κυμαίνεται από 2 μέχρι 3 σταματήματα. Αρκετά άτομα κατάφεραν να φέρουν εις πέρας τον επιθυμητό αριθμό στάσεων, πραγματοποιώντας ακριβώς 2 σταματήματα και στις πέντε προσπάθειές τους. Σύμφωνα με το **σχήμα 36**, οι συμμετέχοντες αυτοί είναι ο 3^{ος}, 4^{ος}, 7^{ος}, 8^{ος} και 9^{ος}, ενώ ο 5^{ος} συμμετέχοντας είναι αυτός που σταμάτησε τις περισσότερες φορές. Ακόμη, ο μέσος όρος της απόστασης από το πρώτο σημείο σταματημού για όλους τους συμμετέχοντες είναι 11.43 cm και κυμαίνεται από 1.6 cm μέχρι 20.04 cm. Ο συμμετέχων με τις καλύτερες επιδόσεις που κατάφερε να σταματήσει στην πιο κοντινή απόσταση είναι 6^{ος}, ενώ ο 5^{ος} συμμετέχοντας είναι αυτός με τις χειρότερες επιδόσεις. Τέλος, ο μέσος όρος της απόστασης από το δεύτερο σημείο σταματημού για όλους τους συμμετέχοντες είναι 12.43 cm, με τον 2^ο συμμετέχοντα να έχει σταματήσει πιο κοντά στον στόχο, με μέση απόσταση 5.2 cm και τον 4^ο να έχει την χειρότερη απόδοση, με μέση απόσταση 23.6 cm.

Πίνακας 33. Συλλογικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων για το 1^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα αναγράφεται ο αριθμός συμμετοχής του κάθε ατόμου, στην δεύτερη ο μέσος όρος των σταματημάτων που εκτέλεσε, στην τρίτη η μέση απόσταση από το πρώτο σημείο σταματημού και στην τέταρτη η μέση απόσταση από το δεύτερο σημείο σταματημού. Στην τελευταία γραμμή του πίνακα αποτυπώνεται ο συνολικός μέσος όρος όλων των συμμετεχόντων μαζί για κάθε στήλη.

1 ^ο Πείραμα			
Συμμετέχοντας	Μέσος Αριθμός Εκκινήσεων/Σταματημάτων	Μέση Απόσταση από τον 1 ^ο Στόχο (cm)	Μέση Απόσταση από τον 2 ^ο Στόχο (cm)
1	2.6	14.06	13.72
2	2.4	17.96	5.2
3	2	19.5	17.26
4	2	6.14	23.6

5	3	20.04	15.52
6	2.4	1.6	9.2
7	2	7.4	11
8	2	9.4	11.2
9	2	2.8	8.6
10	2.2	15.4	9
Μέσος Όρος	2.26	11.43	12.43



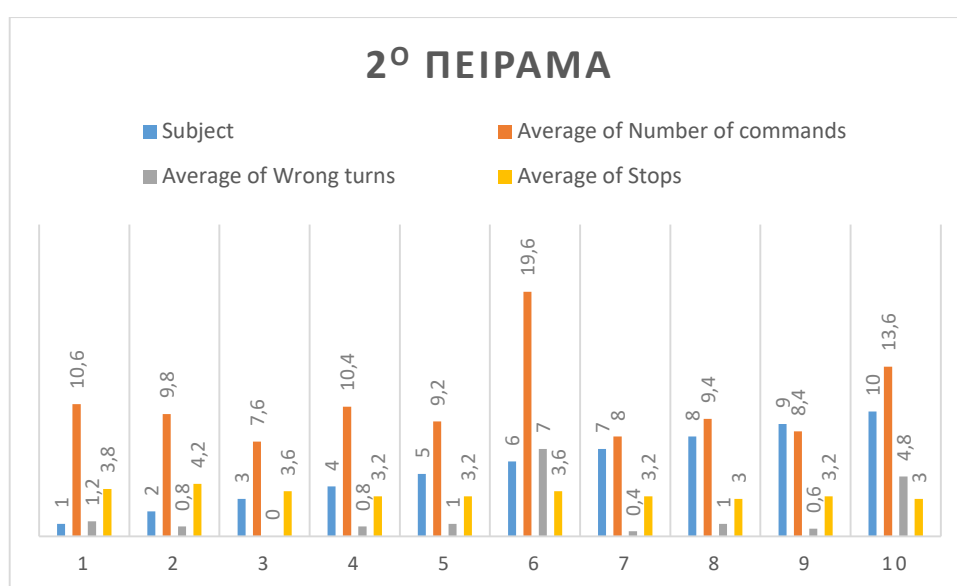
ΣΧΗΜΑ 36. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 1^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑ ΣΥΛΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΑΤΟΜΟΥ (1-10), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΑΤΟΜΟΥ (1-10), Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΕ, Η ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟΥ ΚΑΙ Η ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΤΑΜΑΤΗΜΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 34** παρουσιάζονται για το 2^ο πείραμα οι μέσοι όροι όλων των συμμετεχόντων για τις συνολικές εντολές που εκτελέστηκαν, τις λανθασμένες στροφές και τα σταματήματα. Πιο συγκεκριμένα, ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που πραγματοποίησαν οι συμμετέχοντες είναι 10.66 και κυμαίνεται μεταξύ 7.6 και 19.6. Στο **σχήμα 37** διακρίνεται ότι ο 3^{ος} συμμετέχοντας είναι αυτός με την καλύτερη επίδοση στο 2^ο πείραμα, καθώς κατάφερε να εκτελέσει τις λιγότερες εντολές κατά μέσο όρο. Ωστόσο, ο 6^{ος} συμμετέχοντας εκτέλεσε πολλές επιπλέον εντολές, φέρνοντας έτσι την χειρότερη επίδοση στο 2^ο πείραμα. Επιπλέον, ο μέσος όρος των λάθος εντολών είναι 1.76, με τον 3^ο συμμετέχοντα να έχει την καλύτερη προσπάθεια, καθώς δεν πραγματοποίησε καμία λάθος εντολή, ενώ ο 6^{ος} να έχει την χειρότερη με μέσο όρο λάθος στροφών 7. Ακόμα, ο μέσος όρος των σταματημάτων είναι 3.4 και κυμαίνεται μεταξύ 3, την οποία επίδοση έφερε ο 8^{ος} και ο 10^{ος} συμμετέχοντας, και 4.2, την οποία επίδοση έφερε 2^{ος} συμμετέχοντας.

Πίνακας 34. Συλλογικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων για το 2^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα αναγράφεται ο αριθμός συμμετοχής του κάθε ατόμου, στην δεύτερη ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτέλεσε, στην τρίτη ο μέσος όρος των λάθος εντολών και στην τέταρτη ο μέσος όρος των σταματημάτων. Στην τελευταία γραμμή του πίνακα αποτυπώνεται ο συνολικός μέσος όρος όλων των συμμετεχόντων μαζί για κάθε στήλη.

2^ο Πείραμα

Συμμετέχοντας	Μέσος Αριθμός Εντολών	Μέσος Αριθμός Λάθος Στροφών	Μέσος Αριθμός Σταματημάτων
1	10.6	1.2	3.8
2	9.8	0.8	4.2
3	7.6	0	3.6
4	10.4	0.8	3.2
5	9.2	1	3.2
6	19.6	7	3.6
7	8	0.4	3.2
8	9.4	1	3
9	8.4	0.6	3.2
10	13.6	4.8	3
Μέσος Όρος	10.66	1.76	3.4



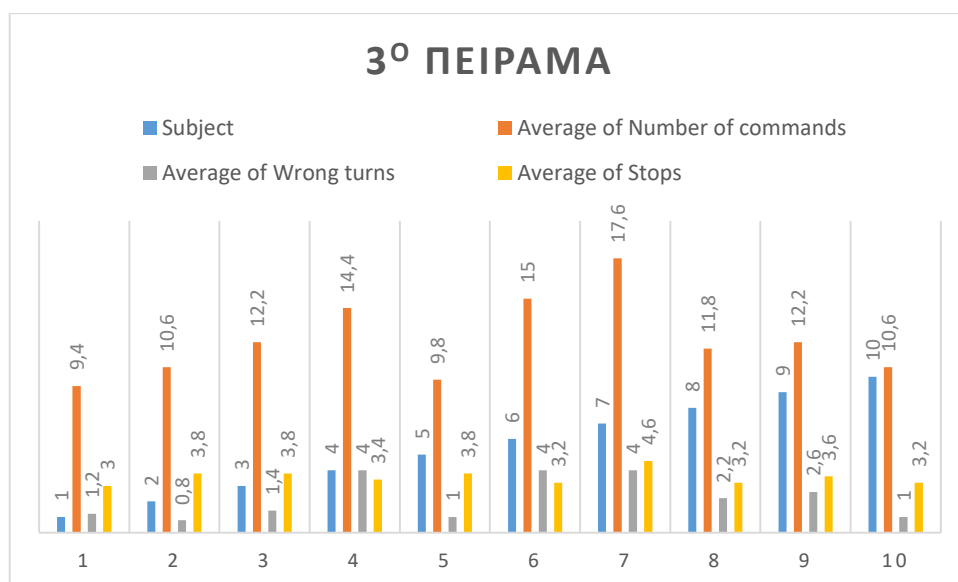
ΣΧΗΜΑ 37. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 2^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑ ΣΥΛΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΑΤΟΜΟΥ (1-10), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΑΤΟΜΟΥ (1-10), Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΩΝ ΚΑΙ Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Στον **πίνακα 35** αποτυπώνονται για το 3^ο πείραμα οι μέσοι όροι για τις συνολικές εντολές που πραγματοποιήθηκαν, τις λάθος εντολές και τα σταματήματα. Ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτελέστηκαν είναι 12.36 και σημειώνεται μεταξύ 9.4 και 17.6. Σύμφωνα με το **σχήμα 38**, την καλύτερη προσπάθεια στο 3^ο πείραμα την έφερε ο 1^{ος} συμμετέχοντας, πραγματοποιώντας τις λιγότερες εντολές κατά μέσο όρο, ενώ την χειρότερη προσπάθεια την έφερε ο 7^{ος} συμμετέχοντας. Επιπρόσθετα, ο μέσος όρος των λάθος εντολών, δηλαδή των αριστερών στροφών, είναι 2.22 και κυμαίνεται μεταξύ 0.8, η οποία θεωρείται η καλύτερη επίδοση και την έφερε ο 2^{ος} συμμετέχοντας, και 4, η οποία θεωρείται η χειρότερη και την εκτέλεσαν ο 4^{ος}, 6^{ος} και 7^{ος} συμμετέχοντας. Τέλος, οι συμμετέχοντες έχουν μέσο όρο στάσεων 3.56, με τον 1^ο συμμετέχοντα να έχει καταφέρει να σταματήσει ακριβώς 3 φορές, όσες είναι και το επιθυμητό όριο, ενώ ο 7^{ος} συμμετέχοντας να έχει κάνει πολλές παραπάνω στάσεις, με μέσο όρο σταματημάτων 4.6.

Πίνακας 35. Συλλογικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων για το 3^ο πείραμα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα αναγράφεται ο αριθμός συμμετοχής του κάθε ατόμου, στην δεύτερη ο μέσος όρος των συνολικών εντολών που εκτέλεσε, στην τρίτη ο μέσος όρος των λάθος εντολών και στην τέταρτη ο μέσος όρος των σταματημάτων.

Στην τελευταία γραμμή του πίνακα αποτυπώνεται ο συνολικός μέσος όρος όλων των συμμετεχόντων μαζί για κάθε στήλη.

3 ^ο Πείραμα			
Συμμετέχοντας	Μέσος Αριθμός Εντολών	Μέσος Αριθμός Λάθος Στροφών	Μέσος Αριθμός Σταματημάτων
1	9.4	1.2	3
2	10.6	0.8	3.8
3	12.2	1.4	3.8
4	14.4	4	3.4
5	9.8	1	3.8
6	15	4	3.2
7	17.6	4	4.6
8	11.8	2.2	3.2
9	12.2	2.6	3.6
10	10.6	1	3.2
Μέσος Όρος	12.36	2.22	3.56



ΣΧΗΜΑ 38. ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ 3^{ΟΥ} ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑ ΣΥΛΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΩΝ. ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΑΤΟΜΟΥ (1-10), ΕΝΩ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Υ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑ, ΣΤΗΝ ΜΠΛΕ, ΚΟΚΚΙΝΗ, ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΝΗ ΡΑΜΠΑ, Ο ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΑΤΟΜΟΥ (1-10), Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΝΤΟΛΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΣΕ, Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΛΑΘΟΣ ΕΝΤΟΛΩΝ ΚΑΙ Ο ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΜΑΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται ότι οι συμμετέχοντες τα πήγαν πολύ καλύτερα στο 2^ο πείραμα, όπου ο μέσος όρος των συνολικών εντολών είναι 10.66, από ότι στο 3^ο πείραμα, όπου ο μέσος όρος των συνολικών εντολών είναι 12.36. Αυτό σημαίνει ότι εξοικειώθηκαν περισσότερο με το αριστερό Motor Imaginary, συγκριτικά με το δεξί, πραγματοποιώντας έτσι λιγότερες λάθος στροφές, δηλαδή δεξιές, στο 2^ο πείραμα.

5.2 Συμπεράσματα της Μελέτης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάστηκε ένα αναπηρικό αμαξίδιο, το οποίο ελέγχεται με την χρήση μιας διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Συγκεκριμένα, για να πραγματοποιηθεί η λήψη

των ακατέργαστων δεδομένων ΗΕΓ, χρησιμοποιήθηκε το στήριγμα κεφαλής Emotiv Insight, το οποίο μέσω Bluetooth συνδέεται με τον υπολογιστή. Το αμαξίδιο μπορεί να εκτελεί τέσσερις συνολικά εντολές, το ξεκίνημα, όπου κινείται ευθεία, το σταμάτημα, την αριστερή και την δεξιά στροφή. Προκειμένου, οι συμμετέχοντες να μπορούν να εκτελούν τις απαραίτητες νοητικές εντολές, δηλαδή το δεξί ή αριστερό ΜΙ για να στρίψουν, καθώς και το ανοιγοκλείσιμο των ματιών για να σταματήσουν, πραγματοποιήθηκαν οι καταγραφές ενός συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης χρησιμοποιώντας το λογισμικό OpenViBE. Έπειτα, αφού έγινε η επεξεργασία των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος LDA για την ταξινόμηση των παραπάνω νοητικών εντολών. Στην συνέχεια στην επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, τα αποτελέσματα του ταξινομητή μέσω του πλαισίου "LSL Export" αποστέλλονται σαν ροή Markers στην Python, η οποία στέλνει την κατάλληλη εντολή στο αναπηρικό αμαξίδιο μέσω USB. Αυτό γίνεται μόνο όταν ο ταξινομητής έχει καταλάβει ποια είναι η νοητική εντολή που δόθηκε. Στην πειραματική διαδικασία συμμετείχαν 10 εθελοντές ηλικίας 22 με 29 ετών, οι οποίοι ολοκλήρωσαν 3 πειράματα, διαθέτοντας 5 προσπάθειες στο καθένα. Ειδικότερα, στο πρώτο πείραμα ελέγχεται το σταμάτημα και το ξεκίνημα του αναπηρικού αμαξιδίου, ενώ στο δεύτερο και στο τρίτο ελέγχεται ένας συνδυασμός εντολών που περιλαμβάνουν το ξεκίνημα, το σταμάτημα και την αριστερή ή δεξιά στροφή αντίστοιχα.

Με την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας, ο μέσος όρος της ακρίβειας της ταξινόμησης είναι 83.24%, γεγονός που αποδεικνύει ότι τα άτομα που συμμετείχαν στο πείραμα κατάφεραν να εξοικειωθούν με τον εξοπλισμό και να είναι σε θέση να ελέγχουν με ακρίβεια την διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή. Υπήρχαν βέβαια και αυτοί που δυσκολεύτηκαν με την διαδικασία, καθώς όπως φαίνεται και στο κεφάλαιο 5.1, η πλειονότητα τα πήγε πολύ καλύτερα στο 2^ο πείραμα, όπου χρησιμοποιούσαν το αριστερό ΜΙ, από ότι στο 3^ο που έπρεπε να χρησιμοποιήσουν το δεξί. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι όλα τα άτομα που συμμετείχαν στα πειράματα ήταν υγιή, νεαρής ηλικίας και χωρίς κάποιο πρόβλημα στην όραση, συνεπώς με διαφορετικά δεδομένα είναι πιθανόν να μην είχαμε τα ίδια αποτελέσματα.

5.3 Συγκριτική Μελέτη

Τα τελευταία χρόνια με την ταχεία πρόοδο της τεχνολογίας αναπτύχθηκαν αρκετά επιστημονικά άρθρα που βασίζονται στον έλεγχο ενός αναπηρικού αμαξιδίου από ΔΕΥ, προκειμένου να βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα ζωής των ατόμων με κινητικά προβλήματα. Στην ενότητα 5.3 στον **πίνακα 36** παρουσιάζονται τα δεδομένα παρόμοιων ερευνών, οι οποίες συνέβαλαν στην διεξαγωγή της μελέτης που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας 36. Συγκριτική ανάλυση της παρούσας διπλωματικής με άλλες παρόμοιες εργασίες στην βιβλιογραφία.

Συγγραφείς	Συσκευές	Συμμετέχοντες	Βαθμός Ελευθερίας	Αριθμός Πειραμάτων	Προσπάθειες	Διάρκεια	Αξιολόγηση
Mazen Abuzaher, Jamil Al-Azzeh [74]	NeuroSky Mind-Wave	9	4	1	20	-	M.O Ακρίβειας Ταξινόμησης (73.33%)
Ana C. Lopes, Gabriel Pires, and Urbano Nunes [75]	P300-based BCI	11 άτομα (10 υγιή και 1 με εγκεφαλική παράλυση και κινητική αναπηρία)	5	2 (ένα σε γνωστό περιβάλλον και ένα σε άγνωστο)	1	Task1: 115 sec Task2: 66 sec	M.O Ακρίβειας Ταξινόμησης (Task1: 77%, Task2: 88%) Μετρήσεις για την αξιολόγηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος πλοήγησης Μετρήσεις για την αξιολόγηση του συστήματος πλοήγησης (Task1, Task2) Αποτελέσματα Online πειραμάτων
Jiang, L., Tham, E., Yeo, M., Wang, Z., & Jiang, B. [76]	Emotiv EPOC	5	4	-	-	-	M.O Ακρίβειας Ταξινόμησης έως και 95% για την ανίχνευση δεξιάς ή αριστερής κατεύθυνσης
Fattouh, A., Horn, O., & Bourhis, G. [77]	Emotiv EPOC	1	4	2	-	-	Χρόνος συγκέντρωσης (Task1: 227.41 sec, Task2: 74.49 sec)
Achic, F., Montero, J., Penaloza, C., & Cuellar, F. [78]	Emotiv EPOC	Task1: 3 Task2: 4	Task1:5 Task2:4	2	1	-	M.O Ακρίβειας Ταξινόμησης (Task1: 100%, Task2: 79.38%)

							Βαθμοί κλίσης που έκανε κάθε χρήστης για να παράγει τις επιθυμητές εντολές κίνησης
Rebsamen, B., Burdet, E., Guan, C., Teo, C. L., Zeng, Q., Ang, M., & Laugier, C. [79]	P300-based BCI	2	9 κουμπιά στο σύνολο αλλά το σημαντικό είναι το κουμπί Stop	2	26	-	<p>Task1: ο χρόνος που σταμάτησε το καρότσι αφού δόθηκε η εντολή (ο χρόνος αντίδρασης κατά μέγιστο ήταν 13 sec και στις 17/26 προσπάθειες ήταν κάτω από 6 sec)</p> <p>Task2: εξετάζει τις εντολές που δόθηκαν ακούσια (καμία εντολή σταματημού δεν εκδόθηκε στην διάρκεια των 2 λεπτών)</p>
Η παρούσα διπλωματική	Emotiv Insight	10	4	3	5	1 ώρα και 30 λεπτά	<p>M.O ακρίβειας ταξινόμησης με τον LDA (83.24%)</p> <p>Αποτελέσματα των 3 πειραμάτων</p>

Στην έρευνα των Mazen Abuzaher και Jamil Al-Azzeh συμμετείχαν 9 άτομα για την πραγματοποίηση ενός μόνο πειράματος, φορώντας το στήριγμα κεφαλής NeuroSky Mind-Wave. Στην πειραματική διαδικασία το αμαξίδιο μπορούσε να εκτελέσει 4 συγκεκριμένες εντολές και η αξιολόγηση του πειράματος έγινε με τον αριθμό των επιτυχημένων περιηγήσεων για κάθε συμμετέχοντα, αλλά και με τον μέσο όρο ταξινόμησης (73.33%). Οι Ana C. Lopes, Gabriel Pires, και Urbano Nunes πραγματοποίησαν την έρευνά τους πάνω σε 2 πειράματα, στα οποία συμμετείχαν 10 υγιή άτομα και 1 άτομο με κινητική αναπηρία, φορώντας μία ΔΕΥ με βάση το P300. Το αμαξίδιο μπορούσε να εκτελέσει 5 συγκεκριμένες εντολές και τα πειράματα αξιολογήθηκαν με τις επιδόσεις των συμμετεχόντων, λόγω χάρη ο βαθμός ολοκλήρωσης της αποστολής, το μήκος της διαδρομής και ο χρόνος για την εκτέλεση της, ο αριθμός των συγκρούσεων κτλ. Ακόμα, αξιολογήθηκε ο Μ.Ο. ακρίβειας της ταξινόμησης για τα δύο πειράματα (1^ο πείραμα: 77% και 2^ο πείραμα: 88%), καθώς και το σύστημα πλοήγησης ξεχωριστά για τα δύο πειράματα, και τα αποτελέσματα των online πειραμάτων. Στο πείραμα των Jiang L., Tham E., Yeo, M., Wang, Z. και Jiang, B. συμμετείχαν 5 άτομα, φορώντας τον ΗΕΓ Emotiv EPOC και το αμαξίδιο μπορούσε να εκτελέσει 4 εντολές. Η αξιολόγηση του πειράματος πραγματοποιήθηκε με την ακρίβεια της ανίχνευσης των δεξιών και αριστερών στροφών (έως και 95%).

Στην μελέτη των Fattouh A., Horn O. και Bourhis G., συμμετείχε 1 άτομο για την διεκπαιρέωση 2 πειραμάτων, φορώντας το στήριγμα κεφαλής Emotiv EPOC. Στην πειραματική διαδικασία στο 1^ο πείραμα δεν λαμβάνεται υπόψη η συναισθηματική κατάσταση του ατόμου, ενώ στο 2^ο λαμβάνεται. Το αυτοκίνητο έχει βαθμό ελευθερίας 4 και τα πειράματα αξιολογήθηκαν με τον χρόνο συγκέντρωσης (1^ο πείραμα: 227.41sec και 2^ο πείραμα: 74.49sec). Η έρευνα των Achic F., Montero J., Penaloza C. και Cuellar F. πραγματοποιήθηκε πάνω σε δύο πειράματα, όπου στο πρώτο έλαβαν μέρος 3 άτομα, ενώ στο δεύτερο 4, φορώντας τον ΗΕΓ Emotiv EPOC. Συγκεκριμένα, στο πρώτο πείραμα το αμαξίδιο μπορούσε να εκτελέσει 5 εντολές ανάλογα με την κάμψη του κεφαλιού και στο δεύτερο μπορούσε να θέσει σε κίνηση έναν ρομποτικό βραχίονα απλά και μόνο με την ανίχνευση οπτικών ερεθισμάτων. Τα πειράματα αξιολογήθηκαν με τον Μ.Ο. ακρίβειας ταξινόμησης (1^ο πείραμα: 100% και 2^ο πείραμα: 79.38%). Οι Rebsamen B., Burdet E., Guan C., Teo C. L., Zeng Q., Ang M. και Laugier C. διεξήγαγαν την μελέτη τους πάνω σε δύο πειράματα, στα οποία συμμετείχαν μόνο δύο άτομα, φορώντας μια ΔΕΥ με βάση το P300 για την επιλογή εντολών οδήγησης. Στο 1^ο πείραμα έπρεπε να δοθεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα μία εντολή σταματημού, ενώ στο 2^ο γινόταν έλεγχος για τις ακούσιες εντολές. Η μετρική αξιολόγηση στο πρώτο πείραμα βασίστηκε στο μέγιστο χρόνο αντίδρασης (13sec και στις 17/26 προσπάθειες ήταν κάτω από 6sec), ενώ στο δεύτερο πείραμα στον χρόνο που δεν εκτέλεσαν κάποιο σταματημό (2min στις 12/26 προσπάθειες).

Παρόλο που δεν είναι εφικτή η σύγκριση των παραπάνω ερευνών μεταξύ τους, λόγω διαφορετικών ΗΕΓ, πειραματικής διαδικασίας και αξιολόγησης, μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Πρώτον, ο μέσος αριθμός των ατόμων που συμμετείχαν στις παραπάνω μελέτες είναι 5.33 και κυμαίνεται μεταξύ 1 και 11, ενώ στην παρούσα διπλωματική συμπληρώθηκε ένας ικανοποιητικός αριθμός των 10 ατόμων. Ακόμα, ο βαθμός ελευθερίας των αναπηρικών αμαξιδίων κυμαίνονται μεταξύ 4 και 9, με το αμαξίδιο της παρούσας διπλωματικής να έχει βαθμό ελευθερίας ίσο με 4. Ωστόσο, παρατηρείται ότι στην πλειονότητα των συγκεκριμένων ερευνών, ο αριθμός των πειραμάτων που εκτελέστηκαν είναι 2, με την έρευνα των Rebsamen B., Burdet E., Guan C., Teo C. L., Zeng Q., Ang M. και Laugier C. ο κάθε συμμετέχοντας να έχει πραγματοποιήσει 26 προσπάθειες. Αντίθετα, στην συγκεκριμένη διπλωματική το πλήθος των πειραμάτων που εκτελέστηκαν ήταν 3 με 5 προσπάθειες στο καθένα. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην διατριβή των Ana C. Lopes, Gabriel Pires και Urbano Nunes συμμετείχε και ένα άτομο με κινητική αναπηρία, καθώς επίσης αν και η πειραματική διαδικασία αποτελούταν μόνο από δύο πειράματα, το 2^ο πείραμα κρίνεται αρκετά περίπλοκο, για τον λόγο του ότι πραγματοποιούνταν σε ένα άγνωστο για τους συμμετέχοντες περιβάλλον, με στατικά και κινούμενα εμπόδια, όπως για παράδειγμα πεζούς. Τέλος, σημαντική θεωρείται και η μελέτη των Fattouh A., Horn O. και Bourhis G., διότι λαμβάνεται υπόψη η συναισθηματική κατάσταση των ατόμων για την εκτέλεση οποιασδήποτε εντολής.

5.4 Περιορισμοί

Οι κυριότεροι περιορισμοί που αντιμετωπίστηκαν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αφορούσαν κυρίως την εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα, προκειμένου να αποφευχθεί ο οποιοσδήποτε εξωτερικός θόρυβος, το πείραμα διεκπεραιώθηκε σε έναν χώρο χωρίς την παρουσία άλλων ατόμων και με πλήρη ησυχία. Αφού, ξεκίνησαν οι καταγραφές των δεδομένων εκπαίδευσης, οι συμμετέχοντες φορώντας το στήριγμα κεφαλής Emotiv Insight έπρεπε να παραμείνουν ακίνητοι για 5 λεπτά σε κάθε μία από τις τρεις καταγραφές και όσο το δυνατόν περισσότερο ήρεμοι και συγκεντρωμένοι. Επίσης, ενώ τα άτομα βρίσκονταν επάνω στο καρότσι για την καλύτερη σύνδεση με τον ΗΕΓ έπρεπε να παραμείνουν σε ηρεμία, αποφεύγοντας την οποιαδήποτε ομιλία, καθώς σε κάποιους συμμετέχοντες παρατηρήθηκε ότι στον χάρτη ποιότητας σήματος της εφαρμογής Emotiv Pro, η σύνδεση των αισθητήρων, όταν μιλούσαν κυμαίνονταν μεταξύ 0% και 10%, ενώ όταν εκτελούσαν λάθος στροφή η σύνδεση έπεφτε έως και 10%. Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι η τοποθέτηση του ΗΕΓ Emotiv Insight είναι πιο δύσκολη σε άτομα με πολλά μαλλιά, κυρίως στις γυναίκες, διότι χάνεται πιο εύκολα η επαφή με τους αισθητήρες Pz, T7 και T8 σε σχέση με τους αισθητήρες AF3 και AF4 που ακουμπάνε στο μέτωπο του ατόμου, οπότε δεν επηρεάζονται. Για την καλύτερη επαφή των αισθητήρων είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ειδικού υγρού εκκίνησης πριν από κάθε χρήση του ΗΕΓ. Επιπλέον, ένα πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε με το αναπηρικό αμαξίδιο, είναι ότι για να μην χαθεί η σύνδεση με το USB, ο εγκέφαλος που γίνεται η επικοινωνία μέσω της σειριακής επικοινωνίας, πρέπει να δέχεται εντολή ανά μισό δευτερόλεπτο. Αυτό παρατηρήθηκε έντονα κατά την εκτέλεση του ανοιγοκλεισίμου των ματιών για τον σταματημό του αμαξιδίου, όπου ο συμμετέχων έπρεπε να κάνει ένα μόνο ανοιγοκλείσιμο, να περιμένει μισό δευτερόλεπτο και στην περίπτωση που δεν πραγματοποιούνταν το σταμάτημα, να επαναλάμβανε την διαδικασία. Τέλος, λόγω του ότι ο χώρος που πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα ήταν πολύ στενός, τα άτομα που συμμετείχαν αναγκάστηκαν αρκετές φορές να σταματήσουν με το χέρι το αμαξίδιο, έτσι ώστε να αποφύγουν κάποια σύγκρουση.

Τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την εκπόνηση τα πειραματικής διαδικασίας αντιμετωπίστηκαν επιτυχώς, καθώς επίσης βοήθησαν στην καλύτερη ανάπτυξη και βελτίωση της έρευνας και στην απόκτηση νέων γνώσεων.

5.5 Μελλοντική Εργασία

Μελλοντικά, το σύστημα του ελεγχόμενου από ΔΕΥ αναπηρικού αμαξιδίου μπορεί να αναπτυχθεί, ώστε να υποστηρίξει ένα μεγαλύτερο φάσμα ηλικιών, διευκολύνοντας έτσι και τα νεαρά αλλά και τα ηλικιωμένα άτομα. Ειδικότερα, όπως και στα σύγχρονα αυτοκίνητα, έτσι και στο αναπηρικό αμαξίδιο μπορούν να τοποθετηθούν αισθητήρες, οι οποίοι συλλέγοντας πληροφορίες για το περιβάλλοντα χώρο, να συμβάλλουν σε μία ασφαλέστερη οδήγηση. Λόγου χάρι, μπορούν να τοποθετηθούν αισθητήρες στο μπροστινό αλλά και στο πίσω μέρος του αμαξιδίου, προκειμένου σε περίπτωση σύγκρουσης να προειδοποιήσουν με κάποιον ήχο τον επιβάτη, καθώς επίσης να σταματήσουν το όχημα ή και να μειώσουν την ταχύτητά του, για να αποφύγουν κάποια σοβαρή πρόσκρουση. Οι αισθητήρες αυτοί θα έχουν την δυνατότητα να αντιλαμβάνονται τις θέσεις των εμποδίων, τις προθέσεις των άλλων ανθρώπων, αλλά και πληροφορίες άλλων ρομπότ. Ακόμα, οι σχεδιαστές του αμαξιδίου μπορούν να εμπλουτίσουν τις ιδιότητές του με περισσότερα χαρακτηριστικά, όπως η δυνατότητα επιλογής παραπάνω κατευθύνσεων, για παράδειγμα η αντίστροφη πορεία, αλλά και η δυνατότητα να ελέγχουν οι επιβάτες την ταχύτητα που αυτό κινείται. Τέλος, θα μπορούσε να ενσωματωθεί λείζερ στο πίσω μέρος του, ώστε κατά την αποφυγή των εμποδίων να είναι ικανό να εκτελέσει ελιγμούς.

Βιβλιογραφία

- [1] ‘Η τροφή μας το φάρμακό μας’, *Προϊόντα της Φύσης*, 2 Μάιος 2023. <https://www.proiontatis-fisis.com/> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [2] P. E. Ludwig, V. Reddy, και M. Varacallo, ‘Neuroanatomy, Central Nervous System (CNS)’, στο *StatPearls*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Ημερομηνία πρόσβασης: 20 Αύγουστος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK442010/>
- [3] ‘Nervous System: What it is, Types, Symptoms’, *Cleveland Clinic*. <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/21202-nervous-system> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [4] C. R. Noback, D. A. Ruggiero, N. L. Strominger, και R. J. Demarest, *The human nervous system: structure and function*. Springer Science & Business Media, 2005.
- [5] M. M. Van den Berg κ.ά., ‘Autonomic nervous system responses to viewing green and built settings: differentiating between sympathetic and parasympathetic activity’, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, τ. 12, τχ. 12, σσ. 15860–15874, 2015.
- [6] Δ. Δ. Ν. Γκέλης, Α. Γκέλη, Δ. Ν. Δ. Γκέλης, Γ. Χριστόπουλος, και Δ. Δ. Ν. Γ. Χριστόπουλος Αικατερίνη Γκέλη, Δρ Νικόλαος Δ. Γκέλης and Γιάννης, ‘Η κατανόηση και αντιμετώπιση του στρες και του άγχους των λυρικών τραγουδιστών©’, *Pharmagel*, 15 Φεβρουάριος 2021. <https://pharmagel.gr/i-katanoisi-kai-antimetopisi-tou-stres-kai-tou-agxou-ton-lyrikon-tragoudiston/> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [7] L. Thau, V. Reddy, και P. Singh, ‘Anatomy, Central Nervous System’, στο *StatPearls*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Ημερομηνία πρόσβασης: 20 Αύγουστος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542179/>
- [8] ‘Βασικές Γνώσεις Ανατομίας του Εγκεφάλου’. <https://pediatric-neurosurgery.com/anatomy> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [9] ‘Brain Anatomy and How the Brain Works’, 14 Ιούλιος 2021. <https://www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/anatomy-of-the-brain> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [10] ‘Εργασιακές λειτουργίες και δομή λευκής ουσίας εγκεφάλου (με εικόνες) / Νευροψυχολογία | Thpanorama - Κάνε τον εαυτό σου καλύτερα σήμερα!’ <https://el.thpanorama.com/articles/neuropsychologia/sustancia-blanca-cerebral-funciones-y-estructura-con-imagenes.html> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [11] ‘Ανατομία και φυσιολογία του εγκεφάλου | Hellenic NeuroOncology Society’. <https://neurooncology.gr/ανατομία-και-φυσιολογία-κνσ/ανατομία-και-φυσιολογία-του-εγκεφάλου/> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).

- [12] 'Physiology, Cerebral Cortex Functions - StatPearls - NCBI Bookshelf'. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538496/> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [13] 'Parts of the Brain: Anatomy, Structure & Functions', 3 Νοέμβριος 2022. <https://www.simplypsychology.org/anatomy-of-the-brain.html> (ημερομηνία πρόσβασης 12 Σεπτέμβριος 2023).
- [14] K. A. Maldonado και K. Alsayouri, 'Physiology, Brain', στο *StatPearls*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Ημερομηνία πρόσβασης: 20 Αύγουστος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551718/>
- [15] 'Brain Basics: The Life and Death of a Neuron', *National Institute of Neurological Disorders and Stroke*. <https://www.ninds.nih.gov/health-information/public-education/brain-basics/brain-basics-life-and-death-neuron> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [16] J. Stiles και T. L. Jernigan, 'The basics of brain development', *Neuropsychol. Rev.*, τ. 20, τχ. 4, σσ. 327–348, 2010.
- [17] '9. ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ'. http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2666/Biologia_A-Lykeiou_html-empl/index9.html (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [18] 'What is a neuron? - Queensland Brain Institute - University of Queensland'. <https://qbi.uq.edu.au/brain/brain-anatomy/what-neuron> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [19] 'The neuron - BrainBarriers4You'. https://brainbarriers4you.eu/the_neuron_el.html (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [20] I. Chen και F. Lui, 'Neuroanatomy, neuron action potential', 2019.
- [21] M. J. Caire, V. Reddy, και M. Varacallo, 'Physiology, Synapse', στο *StatPearls*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Ημερομηνία πρόσβασης: 20 Αύγουστος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526047/>
- [22] 'Π. Ρήγα, Συμπληρωματικά Φυλλάδια Διδασκαλίας, Εργαστήριο Φυσιολογίας II, Εαρινό Εξάμηνο 2009-2010, Διαθέσιμο στο: <http://www.teiath.gr/userfiles/akanellou/phys2%20fyll1%20kns.pdf>'.
- [23] Z. M. Sheffler, V. Reddy, και L. S. Pillarisetty, 'Physiology, Neurotransmitters', στο *StatPearls*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Ημερομηνία πρόσβασης: 20 Αύγουστος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539894/>
- [24] 'Neurotransmitters: What They Are, Functions & Types', *Cleveland Clinic*. <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/22513-neurotransmitters> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [25] M. Tudor, L. Tudor, και K. I. Tudor, 'Hans Berger (1873-1941)—the history of electroencephalography', *Acta Medica Croat. Cas. Hravatske Akad. Med. Znan.*, τ. 59, τχ. 4, σσ. 307–313, 2005.
- [26] A. Biasiucci, B. Franceschiello, και M. M. Murray, 'Electroencephalography', *Curr. Biol.*, τ. 29, τχ. 3, σσ. R80–R85, 2019.
- [27] 'EEG (electroencephalogram) - Mayo Clinic'. <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/eeg/about/pac-20393875> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [28] 'Εγκεφαλογράφημα – ΚΟΡΦΙΑΤΗ IBETA'. <https://nevrologosivetakorfiati.gr/%ce%b5%ce%b3%ce%ba%ce%b5%cf%86%ce%b1%ce%bb%ce%bf%ce%b3%cf%81%ce%ac%cf%86%ce%b7%ce%bc%ce%b1/> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [29] 'Δρ. Γ. Ματσόπουλος, Αν. Καθηγητής, Ι.Κάκκος, 'Επεξεργασία & Ανάλυση Ιατρικών Σημάτων: Καταγραφή και Επεξεργασία EEG', Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διαθέσιμο στο: https://biomig.ntua.gr/courses/biom_eng_med_signal_analysis/EEG_acquisition_and_processing.pdf'.

- [30] M. Tsipouras κ.ά., *Medical Informatics*. 2016. Ημερομηνία πρόσβασης: 20 Αύγουστος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/2975>
- [31] K. Blinowska και P. Durka, ‘Electroencephalography (eeg)’, *Wiley Encycl. Biomed. Eng.*, 2006.
- [32] M. Teplan, ‘Fundamentals of EEG measurement’, *Meas. Sci. Rev.*, τ. 2, τχ. 2, σσ. 1–11, 2002.
- [33] R. P. Lesser, N. E. Crone, και W. R. S. Webber, ‘Subdural electrodes’, *Clin. Neurophysiol.*, τ. 121, τχ. 9, σσ. 1376–1392, 2010.
- [34] ‘Depth Electrode - an overview | ScienceDirect Topics’. <https://www.sciencedirect.com/topics/nursing-and-health-professions/depth-electrode> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [35] B. Graimann, B. Z. Allison, και G. Pfurtscheller, *Brain-computer interfaces: Revolutionizing human-computer interaction*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [36] W. W. Ismail, M. Hanif, S. B. Mohamed, N. Hamzah, και Z. I. Rizman, ‘Human emotion detection via brain waves study by using electroencephalogram (EEG)’, *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, τ. 6, τχ. 6, σσ. 1005–1011, 2016.
- [37] ‘Brain Waves - an overview | ScienceDirect Topics’. <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/brain-waves> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [38] C. S. Nayak και A. C. Anilkumar, ‘EEG Normal Waveforms’, στο *StatPearls*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Ημερομηνία πρόσβασης: 20 Αύγουστος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539805/>
- [39] O. J. Ahmed και S. S. Cash, ‘Finding synchrony in the desynchronized EEG: the history and interpretation of gamma rhythms’, *Front. Integr. Neurosci.*, τ. 7, σ. 58, 2013.
- [40] ‘IM, Chang-Hwan. Computational EEG analysis. Springer... - Μελετητής Google’. https://scholar.google.com/scholar?hl=el&as_sdt=0%2C5&q=IM%2C+Chang-Hwan.+Computational+EEG+analysis.+Springer+Singap+Singap%2C+2018%2C+10%3A+978-981.&btnG= (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [41] M. R. Lakshmi, T. V. Prasad, και D. V. C. Prakash, ‘Survey on EEG signal processing methods’, *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Softw. Eng.*, τ. 4, τχ. 1, 2014.
- [42] V. Christou κ.ά., ‘Evaluating the Window Size’s Role in Automatic EEG Epilepsy Detection’, *Sensors*, τ. 22, τχ. 23, σ. 9233, 2022.
- [43] K. D. Tzimourta κ.ά., ‘A robust methodology for classification of epileptic seizures in EEG signals’, *Health Technol.*, τ. 9, σσ. 135–142, 2019.
- [44] K. D. Tzimourta, L. G. Astrakas, M. G. Tsipouras, N. Giannakeas, A. T. Tzallas, και S. Konitsiotis, ‘Wavelet based classification of epileptic seizures in EEG signals’, στο *2017 IEEE 30th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, IEEE, 2017, σσ. 35–39.
- [45] A. T. Tzallas κ.ά., ‘EEG classification and short-term epilepsy prognosis using brain computer interface software’, στο *2017 IEEE 30th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, IEEE, 2017, σσ. 349–353.
- [46] K. D. Tzimourta κ.ά., ‘EEG-based automatic sleep stage classification’, *Biomed J*, τ. 1, τχ. 6, 2018.
- [47] A. Miltiadous κ.ά., ‘Alzheimer’s disease and frontotemporal dementia: A robust classification method of EEG signals and a comparison of validation methods’, *Diagnostics*, τ. 11, τχ. 8, σ. 1437, 2021.
- [48] K. D. Tzimourta κ.ά., ‘Evaluation of window size in classification of epileptic short-term EEG signals using a Brain Computer Interface software’, *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, τ. 8, τχ. 4, σσ. 3093–3097, 2018.

- [49] K. D. Tzimourta κ.ά., ‘Analysis of electroencephalographic signals complexity regarding Alzheimer’s Disease’, *Comput. Electr. Eng.*, τ. 76, σσ. 198–212, 2019.
- [50] A. Miltiadous, E. Gionanidis, K. D. Tzimourta, N. Giannakeas, και A. T. Tzallas, ‘DICE-net: A Novel Convolution-Transformer Architecture for Alzheimer Detection in EEG Signals’, *IEEE Access*, 2023.
- [51] K. D. Tzimourta κ.ά., ‘Machine learning algorithms and statistical approaches for Alzheimer’s disease analysis based on resting-state EEG recordings: A systematic review’, *Int. J. Neural Syst.*, τ. 31, τχ. 05, σ. 2130002, 2021.
- [52] ‘Η ιστορία και η εξέλιξη των αναπηρικών αμαξιδίων - Vrettos Medical’, 25 Φεβρουάριος 2023. <https://vrettosmed.gr/i-istoria-kai-i-exelixa-ton-anapirikon-amaxidion/> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [53] M. Abuzaher και J. Al-Azzeh, ‘Mind-Wave Wheelchair System’, 2021.
- [54] ‘Wheelchair History: Through the years’, *BraunAbility*. <https://www.braunability.com/us/en/blog/disability-rights/wheelchair-history.html> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [55] H. Stewart και N. Watson, ‘A sociotechnical history of the ultralightweight wheelchair: a vehicle of social change’, *Sci. Technol. Hum. Values*, τ. 45, τχ. 6, σσ. 1195–1219, 2020.
- [56] ‘History of the Wheelchair’, *Science Museum Blog*, 1 Μάρτιος 2019. <https://blog.sciencemuseum.org.uk/history-of-the-wheelchair/> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [57] ‘The history of the wheelchair—from early designs to modern sports’. <https://www.nationalgeographic.com/history/article/wheelchair-history-innovation-technology-independence> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [58] Author 1800WheelChair, ‘The Different Types of Wheelchairs Explained’, *Wheelchair & Mobile Scooter Info | 1800wheelchair.com |*, 26 Αύγουστος 2022. <https://www.1800wheelchair.com/news/the-different-types-of-wheelchairs-explained/> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [59] ‘Livewell Instafold Electric Wheelchair’, *Livewell Today*. <https://www.livewelltoday.co.uk/wheeled-mobility-travel/wheelchairs/electric-wheelchairs/instafold-powerchair/c-27/c-118/p-2644#2644> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [60] B. Blankertz κ.ά., ‘The BCI competition III: Validating alternative approaches to actual BCI problems’, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, τ. 14, τχ. 2, σσ. 153–159, 2006.
- [61] M. Zabcikova, ‘Visual and auditory stimuli response, measured by Emotiv insight headset’, στο MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 2019, σ. 01024.
- [62] M. Soufineyestani, D. Dowling, και A. Khan, ‘Electroencephalography (EEG) technology applications and available devices’, *Appl. Sci.*, τ. 10, τχ. 21, σ. 7453, 2020.
- [63] G. Prapas, K. Glavas, A. T. Tzallas, K. D. Tzimourta, N. Giannakeas, και M. G. Tsipouras, ‘Motor Imagery Approach for BCI Game Development’, στο 2022 7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM), IEEE, 2022, σσ. 1–5.
- [64] K. Glavas, G. Prapas, K. D. Tzimourta, N. Giannakeas, και M. G. Tsipouras, ‘Evaluation of the User Adaptation in a BCI Game Environment’, *Appl. Sci.*, τ. 12, τχ. 24, σ. 12722, 2022.
- [65] N. Veena και N. Anitha, ‘A review of non-invasive BCI devices’, *Int J Biomed Eng Technol*, τ. 34, τχ. 3, σσ. 205–233, 2020.
- [66] K. Glavas, G. Prapas, K. D. Tzimourta, A. T. Tzallas, N. Giannakeas, και M. G. Tsipouras, ‘Intra-User Analysis Based on Brain-Computer Interface Controlled Game’, στο 2022 45th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), IEEE, 2022, σσ. 386–390.
- [67] G. A. M. Vasiljevic και L. C. De Miranda, ‘Brain–computer interface games based on consumer-grade EEG Devices: A systematic literature review’, *Int. J. Human–Computer Interact.*, τ. 36, τχ. 2, σσ. 105–142, 2020.

- [68] M. Frąckiewicz, ‘The Advantages of Brain-Computer Interfaces for Assistive Technology’, *TS2 SPACE*, 27 Απρίλιος 2023. <https://ts2.space/en/the-advantages-of-brain-computer-interfaces-for-assistive-technology/> (ημερομηνία πρόσβασης 20 Αύγουστος 2023).
- [69] P. Christodoulides κ.ά., ‘Classification of EEG signals from young adults with dyslexia combining a Brain Computer Interface device and an Interactive Linguistic Software Tool’, *Biomed. Signal Process. Control*, τ. 76, σ. 103646, 2022.
- [70] G. Prapas, K. Glavas, K. D. Tzimourta, A. T. Tzallas, και M. G. Tsipouras, ‘Mind the Move: Developing a Brain-Computer Interface Game with Left-Right Motor Imagery’, *Information*, τ. 14, τχ. 7, σ. 354, 2023.
- [71] A. Vourvopoulos και F. Liarokapis, ‘Robot navigation using brain-computer interfaces’, στο 2012 IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications, IEEE, 2012, σσ. 1785–1792.
- [72] A. C. Lopes, G. Pires, L. Vaz, και U. Nunes, ‘Wheelchair navigation assisted by human-machine shared-control and a P300-based brain computer interface’, στο 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, 2011, σσ. 2438–2444.
- [73] J. I. Ekandem, T. A. Davis, I. Alvarez, M. T. James, και J. E. Gilbert, ‘Evaluating the ergonomics of BCI devices for research and experimentation’, *Ergonomics*, τ. 55, τχ. 5, σσ. 592–598, 2012.
- [74] M. Abuzaher και J. Al-Azzeh, ‘Mind-Wave Wheelchair System’, 2021.
- [75] A. C. Lopes, G. Pires, και U. Nunes, ‘Assisted navigation for a brain-actuated intelligent wheelchair’, *Robot. Auton. Syst.*, τ. 61, τχ. 3, σσ. 245–258, 2013.
- [76] L. Jiang, E. Tham, M. Yeo, Z. Wang, και B. Jiang, ‘Motor imagery controlled wheelchair system’, στο 2014 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, IEEE, 2014, σσ. 532–535.
- [77] A. Fattouh, O. Horn, και G. Bourhis, ‘Emotional BCI control of a smart wheelchair’, *Int. J. Comput. Sci. Issues IJCSI*, τ. 10, τχ. 3, σ. 32, 2013.
- [78] F. Achic, J. Montero, C. Penalosa, και F. Cuellar, ‘Hybrid BCI system to operate an electric wheelchair and a robotic arm for navigation and manipulation tasks’, στο 2016 IEEE workshop on advanced robotics and its social impacts (ARSO), IEEE, 2016, σσ. 249–254.
- [79] B. Rebsamen κ.ά., ‘Controlling a wheelchair using a BCI with low information transfer rate’, στο 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics, IEEE, 2007, σσ. 1003–1008.
- [80] ‘INSIGHT - 5 Channel EEG Brainwear®’, *EMOTIV*. <https://www.emotiv.com/insight/> (ημερομηνία πρόσβασης 21 Αύγουστος 2023).
- [81] ‘Figure 2 EMOTIV Insight electrode placement [20].’, *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/EMOTIV-Insight-electrode-placement-20_fig2_343809380 (ημερομηνία πρόσβασης 21 Αύγουστος 2023).
- [82] W. Zgallai κ.ά., ‘Deep learning AI application to an EEG driven BCI smart wheelchair’, στο 2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET), IEEE, 2019, σσ. 1–5.
- [83] D. Parikh και K. George, ‘Quadcopter control in three-dimensional space using SSVEP and motor imagery-based brain-computer interface’, στο 2020 11th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), IEEE, 2020, σσ. 0782–0785.
- [84] Y. Wang, C. Markham, και C. Deegan, ‘Assessing the time synchronisation of EEG systems’, στο 2019 30th Irish Signals and Systems Conference (ISSC), IEEE, 2019, σσ. 1–6.
- [85] Q. Wang, Q. Zhang, W. Sun, C. Boulay, K. Kim, και R. L. Barmaki, ‘A scoping review of the use of lab streaming layer framework in virtual and augmented reality research’, *Virtual Real.*, σσ. 1–16, 2023.
- [86] J. Lindgren και A. Lecuyer, ‘OpenViBE and other BCI software platforms’, *Brain-Computer Interfaces 2 Technol. Appl.*, σσ. 179–198, 2016.

- [87] M. Tariq, P. M. Trivailo, και M. Simic, ‘Motor imagery based EEG features visualization for BCI applications’, *Procedia Comput. Sci.*, τ. 126, σσ. 1936–1944, 2018.
- [88] Y. Renard κ.ά., ‘Openvibe: An open-source software platform to design, test, and use brain–computer interfaces in real and virtual environments’, *Presence*, τ. 19, τχ. 1, σσ. 35–53, 2010.
- [89] K. V. Singala και K. R. Trivedi, ‘Analysis of EEG spectrum bands aiding to read human mental states’, στο 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), IEEE, 2016, σσ. 183–185.
- [90] E. Tiago-Costa, E. Quelhas-Costa, και J. Santos-Baptista, ‘Changes in EEG amplitude (Alpha and Beta waves) with Thermal environment’, *Dyna*, τ. 83, τχ. 197, σσ. 87–93, 2016.
- [91] J. S. Kumar και P. Bhuvaneshwari, ‘Analysis of electroencephalography (EEG) signals and its categorization—a study’, *Procedia Eng.*, τ. 38, σσ. 2525–2536, 2012.
- [92] C. H. Park και H. Park, ‘A comparison of generalized linear discriminant analysis algorithms’, *Pattern Recognit.*, τ. 41, τχ. 3, σσ. 1083–1097, 2008.
- [93] D. Cai, X. He, και J. Han, ‘Training linear discriminant analysis in linear time’, στο 2008 IEEE 24th international conference on data engineering, IEEE, 2008, σσ. 209–217.
- [94] P. Xanthopoulos, P. M. Pardalos, T. B. Trafalis, P. Xanthopoulos, P. M. Pardalos, και T. B. Trafalis, ‘Linear discriminant analysis’, *Robust Data Min.*, σσ. 27–33, 2013.
- [95] H. Yu και J. Yang, ‘A direct LDA algorithm for high-dimensional data—with application to face recognition’, *Pattern Recognit.*, τ. 34, τχ. 10, σσ. 2067–2070, 2001.
- [96] M. González κ.ά., ‘Auditory imagery classification with a non-invasive Brain Computer Interface’, στο 2019 9th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER), IEEE, 2019, σσ. 151–154.
- [97] E. Quiles, J. Dadone, N. Chio, και E. Garcia, ‘Cross-platform implementation of an SSVEP-based BCI for the control of a 6-DOF robotic arm’, *Sensors*, τ. 22, τχ. 13, σ. 5000, 2022.
- [98] A. T. Tzallas κ.ά., ‘EEG classification and short-term epilepsy prognosis using brain computer interface software’, στο 2017 IEEE 30th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS), IEEE, 2017, σσ. 349–353.
- [99] S. Athira, F. Francis, R. Raphael, N. S. Sachin, S. Porinchi, και S. Francis, ‘Smart mirror: A novel framework for interactive display’, στο 2016 International conference on circuit, power and computing technologies (ICCPCT), IEEE, 2016, σσ. 1–6.
- [100] ‘Install PyCharm | PyCharm’, *PyCharm Help*.
<https://www.jetbrains.com/help/pycharm/installation-guide.html> (ημερομηνία πρόσβασης 21 Αύγουστος 2023).
- [101] M. H. Hasbulah, F. A. Jafar, M. Hisham Nordin, και K. Yokota, ‘Towards EEG-Based Brain-Controlled Modular Robots: Preliminary Framework by Interfacing OpenVIBE, Python and V-REP for Simulate Modular Robot Control’, στο *Intelligent Manufacturing & Mechatronics: Proceedings of Symposium*, 29 January 2018, Pekan, Pahang, Malaysia, Springer, 2018, σσ. 415–426.
- [102] R. Eggen και M. Eggen, ‘Thread and process efficiency in python’, στο *Proceedings of the international conference on parallel and distributed processing techniques and applications (PDPTA)*, The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer ..., 2019, σσ. 32–36.

Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

κτλ.	και τα λοιπά
ΔΕΥ	Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή
ΚΝΣ	Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
ΠΝΣ	Περιφερικό Νευρικό Σύστημα
ΜΙ	Motor Imaginary
LDA	Linear Discriminant Analysis
ΗΕΓ	Ηλεκτροεγκεφαλογράφος/Ηλεκτροεγκεφαλο-
γράφημα	
Μ.Ο.	Μέσος Όρος

Απόδοση Ξενόγλωσσων Όρων

Φαντασία Κίνησης

Motor Imaginary