



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Αξιολόγηση μακροχρόνιας χρήσης διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Τσεκάνι Μπρισέλντα

Επιβλέπων: Δρ. Τσίπουρας Μάρκος

Αναπληρωτής καθηγητής

ΚΟΖΑΝΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2023



HELLENIC DEMOCRACY
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA

FUCULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL &
COMPUTER ENGINEERING



Evaluation of long-term use of the brain-computer interface

THESIS

Cekani Briselda

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 “ Αξιολόγηση μακροχρόνιας χρήσης 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. Τσίπουρα Μάρκου, Αναπληρωτή Καθηγητή 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) Τσεκάνι Μπρισελντα, Δρ. Τσίπουρας Μάρκος, 2023, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή:

ΤΣΕΚΑΝΙ ΜΠΡΙΣΕΛΝΤΑ

Περίληψη

Η ραγδαία πρόοδος στη τεχνολογία διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή σηματοδότησε μια νέα εποχή στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, προσφέροντας τη δυνατότητα για πρωτοποριακές εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως η υγειονομική περίθαλψη, τα παιχνίδια και η επικοινωνία. Πρόκειται για συστήματα τα οποία βασίζονται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και αποκτούν εγκεφαλικά σήματα, τα αναλύουν και στη συνέχεια τα μεταφράζουν σε εντολές που μεταδίδονται σε μια συσκευή εξόδου για την εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών. Στόχος της συγκεκριμένης μελέτης είναι η αξιολόγηση της μακροχρόνιας χρήσης των διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή. Προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση, αναπτύχθηκε ένα παιχνίδι στη πλατφόρμα του Unity, το οποίο ελέγχεται από μια διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή. Σκοπός του παιχνιδιού είναι να μετακινήσει ο χρήστης τον χαρακτήρα που βρίσκεται στο κέντρο της οθόνης προς τα δεξιά και προς τα αριστερά μέσω των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών σημάτων. Η καταγραφή των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών σημάτων έγινε με τη βοήθεια της συσκευής Muse 2. Έπειτα, ακολουθεί η επεξεργασία και η ταξινόμηση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών σημάτων στο σενάριο που αναπτύχθηκε για την επεξεργασία εκτός σύνδεσης στη πλατφόρμα του OpenVibe. Για την ταξινόμηση των σημάτων, χρησιμοποιήθηκε ο ταξινομητής ανάλυσης γραμμικής διάκρισης με ακρίβεια ταξινόμησης (97,86%). Αφού ολοκληρωθούν τα παραπάνω, ακολουθεί η δοκιμή του παιχνιδιού σε πραγματικό χρόνο. Πλέον τα σήματα έχουν κατηγοριοποιηθεί σε δύο κατηγορίες, δηλαδή τη μετακίνηση του χαρακτήρα είτε προς τα αριστερά, είτε προς τα δεξιά ανάλογα με του που φαντάζεται και σκέφτεται ο χρήστης ότι θέλει να μετακινηθεί. Στο πείραμα έλαβαν μέρος συνολικά 4 συμμετέχοντες (δύο γυναίκες και δύο άνδρες). Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη μελέτη εξετάζει τη μακροχρόνια χρήση διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή, οι συμμετέχοντες έπαιξαν συνολικά δέκα φορές το παιχνίδι με μια συχνότητα επανάληψης μέρα παρά μέρα, όπου σε κάθε επανάληψη το παιχνίδι παίζεται δώδεκα φορές, έξι φορές μέχρι να επιτύχει δύο σωστές κινήσεις προς τα αριστερά και έξι φορές μέχρι να επιτύχει δύο σωστές κινήσεις προς τα δεξιά. Η μετρική αξιολόγησης της συγκεκριμένης μελέτης είναι ο αριθμός των κινήσεων που θα κάνει ο χρήστης μέχρι να καταφέρει να πραγματοποιήσει τις δύο σωστές κινήσεις τόσο για τα αριστερά όσο και για τα δεξιά.

Λέξεις Κλειδιά: Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή (ΔΕΥ), Μη επεμβατική ΔΕΥ, Μακροχρόνια χρήση ΔΕΥ, Ηλεκτροεγκεφαλογράφος, Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, Παιχνίδι Ελεγχόμενο από τον Εγκέφαλο, Ταξινομητής Γραμμικής Διάκρισης, OpenVibe, Unity

Abstract

Rapid advances in brain-computer interface technology have marked a new era in human-computer interaction, offering the potential for ground-breaking applications in areas such as healthcare, gaming and communication. These are computer-based systems that acquire brain signals, analyse them and then translate them into commands that are transmitted to an output device to perform specific actions. The aim of this study is to evaluate the long-term use of brain-computer interfaces. In order to perform the evaluation, a game was developed on the Unity platform, which is controlled by a brain-computer interface. The goal of the game is for the user to move the character located in the center of the screen to the right and to the left via electroencephalographic signals. The electroencephalographic signals were recorded with the help of the Muse 2 device. Next, the processing and classification of the electroencephalographic signals in the script developed for offline processing on the OpenVibe platform follows. The linear discriminant analysis classifier was used to classify the signals with classification accuracy (97.86%). After the above is completed, the real-time testing of the game follows. Now signals have been categorized into two categories, namely moving the character either to the left or to the right depending on where the user imagines and thinks the character wants to move. A total of 4 participants (two females and two males) took part in the experiment. Since this study examines long-term brain-computer interface use, participants played the game a total of ten times with a day-to-day repetition frequency, where in each repetition the game is played twelve times, six times until two correct leftward movements are achieved and six times until two correct rightward movements are achieved. The evaluation metric for this study is the number of moves the user makes until they achieve the two correct moves for both left and right.

Keywords: Brain-Computer Interface (BCI), Non-invasive BCI, Long-term use of BCI, Electroencephalograph, Electroencephalogram, Brain-Controlled Game, Linear Discrimination Classifier, OpenVibe, Unity

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη σε όλους όσους έπαιξαν ρόλο στην ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης. Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υπομονή, την ενθάρρυνση και τη κατανόηση που έδειξαν κατά τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου, κ. Μάρκο Τσίπουρα για την υποστήριξη, τη καθοδήγηση καθώς και τις επιστημονικές γνώσεις που μου προσέφερε.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ και στους υποψήφιους διδάκτορες Γεώργιο Πράπα και Κοσμά Γλαβά οι οποίοι ήταν πρόθυμοι να με βοηθήσουν σε ό,τι κι αν χρειαζόμουν.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους συμμετέχοντες οι οποίοι αφιέρωσαν αμέτρητες ώρες για τη υλοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης. Δίχως τη δικιά τους παρουσία, η μελέτη αυτή δεν θα ήταν δυνατή.

Κοζάνη, Οκτώβριος 2023

Μπρισέλντα Τσεκάνι

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	- 1 -
ABSTRACT	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	14
1.2 Οργάνωση του τόμου	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	17
2.1 Νευρικό Σύστημα	17
2.1.1 Εγκέφαλος	18
2.1.2 Ηλεκτροφυσιολογία Εγκεφάλου	18
2.1.3 Ανατομία και Δομή	22
2.1.4 Λειτουργίες του Εγκεφάλου και Γνωστικές Διεργασίες	24
2.1.5 Διαταραχές και Ασθένειες του Εγκεφάλου	24
2.2 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα	25
2.2.1 Λειτουργία Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος	27
2.2.2 Συχνότητες και Καταστάσεις Εγκεφαλικών Κυμάτων	27
2.2.3 Εφαρμογές του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος	29

2.2.3.1 Συσκευές Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος	30
2.3 Ορισμός Διεπαφής Εγκεφάλου-Υπολογιστή	33
2.3.1 Εφαρμογές Διεπαφών Εγκεφάλου-Υπολογιστή	34
2.3.2 Εφαρμογές διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή στον τομέα του gaming	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ	37
3.1 Εξοπλισμός	37
3.2 Σχεδίαση Παιχνιδιού	39
3.3 Μεθοδολογία	41
3.4 Επεξεργασία Σύνδεσης σε Πραγματικό Χρόνο	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	46
4.1 Περιγραφή Δείγματος και Υλοποίηση Πειράματος	46
4.2 Αποτελέσματα Ταξινόμησης	48
4.3 Ατομικά Αποτελέσματα	53
4.4 Συλλογικά Αποτελέσματα	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
5.1 Συμπεράσματα της Μελέτης	73
5.2 Συγκριτική Μελέτη	77
5.3 Περιορισμοί	81
5.4 Μελλοντική Εργασία	81
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ - ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ - ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ	87
ΑΠΟΔΟΣΗ ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΩΝ ΌΡΩΝ	88

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων της κάθε προσπάθειας του πρώτου συμμετέχοντα.	55
Σχήμα 2: Γραφική απεικόνιση της απόδοσης του πρώτου συμμετέχοντα με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.....	56
Σχήμα 3: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων της κάθε προσπάθειας του δεύτερου συμμετέχοντα.	59
Σχήμα 4: Γραφική απεικόνιση της απόδοσης του δεύτερου συμμετέχοντα με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.....	60
Σχήμα 5: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων της κάθε προσπάθειας του τρίτου συμμετέχοντα.	63
Σχήμα 6: Γραφική απεικόνιση της απόδοσης του τρίτου συμμετέχοντα με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.	64
Σχήμα 7: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων της κάθε προσπάθειας του τέταρτου συμμετέχοντα.	67
Σχήμα 8: Γραφική απεικόνιση της απόδοσης του τέταρτου συμμετέχοντα με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.....	68
Σχήμα 9: Μέσος όρος επαναλήψεων για τις κινήσεις προς τα αριστερά του κάθε συμμετέχοντα για κάθε προσπάθεια.	70
Σχήμα 10: Μέσος όρος επαναλήψεων για τις κινήσεις προς τα δεξιά του κάθε συμμετέχοντα για κάθε προσπάθεια.	71
Σχήμα 11: Γραφική απεικόνιση (σε γραμμές) της απόδοσης όλων των συμμετεχόντων με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.	71
Σχήμα 12: Γραφική παράσταση ποσοστών ακρίβειας του πρώτου συμμετέχοντα.....	74
Σχήμα 13: Γραφική παράσταση ποσοστών ακρίβειας του δεύτερου συμμετέχοντα.....	75
Σχήμα 14: Γραφική παράσταση ποσοστών ακρίβειας του τρίτου συμμετέχοντα.	75
Σχήμα 15: Γραφική παράσταση ποσοστών ακρίβειας του τέταρτου συμμετέχοντα.	76
Σχήμα 16: Συγκεντρωτικό γράφημα επίδοσης των συμμετεχόντων.	76

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Μέρη Νευρικού Συστήματος	18
Εικόνα 2: Νευρικός Ιστός [3].....	19
Εικόνα 3: Δομή ενός νευρώνα [3].....	20
Εικόνα 4: Αναπαράσταση Νευρικών συνάψεων [5].	22
Εικόνα 5: Ανατομία εγκεφάλου [7].....	23
Εικόνα 6: Απεικόνιση των λοβών του ημισφαιρίου [8].....	23
Εικόνα 7: Ηλεκτροεγκεφαρογράφημα (ΗΕΓ) [16].....	26
Εικόνα 8: Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα κλειστού βρόχου με βάση διεπαφή εγκεφάλου - υπολογιστή.	26
Εικόνα 9: Απεικόνιση των ζωνών συχνότητας ΗΕΓ σημάτων (delta band, theta band, alpha band, beta band και gamma band) [18].	29
Εικόνα 10: Συσκευή Muse 2 [19].	33
Εικόνα 11: Συσκευή Emotiv Insight [20].	33
Εικόνα 12: Συσκευή Neurosity Notion [21].	33
Εικόνα 13: Συσκευή BrainBit Headset	33
Εικόνα 14: a) Αισθητήρες στηρίγματος κεφαλής Muse 2 b) Σημεία τοποθέτησης των αισθητήρων [25].	38
Εικόνα 15: Στιγμιότυπο του παιχνιδιού.....	40
Εικόνα 16: απεικονίση δύο σεναρίων (επεξεργασία εκτός σύνδεσης και επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο).	41
Εικόνα 17: σενάριο που δημιουργήθηκε για την επεξεργασία εκτός σύνδεσης.....	44
Εικόνα 18: σενάριο που δημιουργήθηκε για την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο.....	45

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Συχνότητες ΗΕΓ κυμάτων.....	28
Πίνακας 2: Γνωρίσματα ΗΕΓ συσκευών.....	30
Πίνακας 3: Συγκέντρωση των συμμετεχόντων σε έναν πίνακα μαζί με τα βασικά χαρακτηριστικά τους (φύλο, ηλικία και κατάσταση όρασης).....	47
Πίνακας 4: Αποτελέσματα ταξινόμησης ΗΕΓ σημάτων του πρώτου συμμετέχοντα σύμφωνα με τον αλγόριθμο ταξινόμησης LDA.	49
Πίνακας 5: Αποτελέσματα ταξινόμησης ΗΕΓ σημάτων του δεύτερου συμμετέχοντα σύμφωνα με τον αλγόριθμο ταξινόμησης LDA.	50
Πίνακας 6: Αποτελέσματα ταξινόμησης ΗΕΓ σημάτων του τρίτου συμμετέχοντα σύμφωνα με τον αλγόριθμο ταξινόμησης LDA.	51
Πίνακας 7: Αποτελέσματα ταξινόμησης των ΗΕΓ σημάτων του τέταρτου συμμετέχοντα σύμφωνα με τον αλγόριθμο ταξινόμησης LDA.....	52
Πίνακας 8: Μέσοι όροι των 10 προσπαθειών από κάθε συμμετέχοντα.	52
Πίνακας 9: Μέσος όρος των τεσσάρων συμμετεχόντων.	52
Πίνακας 10: Πίνακας αποτελεσμάτων του πρώτου συμμετέχοντα.	54
Πίνακας 11: Πίνακας μέσων όρων του πρώτου συμμετέχοντα.	54
Πίνακας 12: Χρόνος εκτέλεσης παιχνιδιού του πρώτου συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια.	56
Πίνακας 13: Πίνακας αποτελεσμάτων του δεύτερου συμμετέχοντα.	58
Πίνακας 14: Πίνακας μέσων όρων του δεύτερου συμμετέχοντα.	58
Πίνακας 15: Χρόνος Εκτέλεσης Παιχνιδιού του Δεύτερου Συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια.	60
Πίνακας 16: Πίνακας αποτελεσμάτων του τρίτου συμμετέχοντα.	61
Πίνακας 17: Πίνακας μέσων όρων του τρίτου συμμετέχοντα.	62
Πίνακας 18: Χρόνος Εκτέλεσης Παιχνιδιού του Τρίτου Συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια.	64
Πίνακας 19: Πίνακας αποτελεσμάτων του τέταρτου συμμετέχοντα.....	66
Πίνακας 20: Πίνακας μέσων όρων του τέταρτου συμμετέχοντα.....	66
Πίνακας 21: Χρόνος Εκτέλεσης Παιχνιδιού του Τέταρτου Συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια.	68
Πίνακας 22: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων όρων των τεσσάρων συμμετεχόντων.	69
Πίνακας 23: Συγκεντρωτικός πίνακας χρόνου εκτέλεσης παιχνιδιού από κάθε συμμετέχοντα.....	70
Πίνακας 24: Ποσοστά ακρίβειας μεταξύ των πέντε πρώτων προσπαθειών και των πέντε τελευταίων προσπαθειών από κάθε συμμετέχοντα.	74
Πίνακας 25: Συγκριτικός πίνακας με τη σχετική βιβλιογραφία.	79

Πρόλογος

Στις σελίδες που ακολουθούν, εξερευνάτε η χρήση διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή ύστερα από μακροχρόνια χρήση κατά την εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Τα πειράματα της συγκεκριμένης μελέτης διεξήχθησαν στο εργαστήριο του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας στη Κοζάνη. Η μελέτη αυτή, δεν θα ήταν δυνατή χωρίς την υποστήριξη και την καθοδήγηση πολλών ανθρώπων. Πρόκειται επομένως για ένα αποτέλεσμα συλλογικής και όχι ατομικής προσπάθειας. Πέρα από τη συγκεκριμένη μελέτη, η εργασία αυτή διερευνά και τον τρόπο με τον οποίο η ενσωμάτωση συστημάτων διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή μπορεί να βελτιώσει τη καθημερινή ζωή των ανθρώπων.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Οι διαπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή (Brain Computer Interface - ΔΕΥ), αποτελούν μια τεχνολογία η οποία συνεχώς αλλάζει τα δεδομένα. Βασικό χαρακτηριστικό τους αποτελεί η απευθείας σύνδεση του εγκεφάλου με τους υπολογιστές η οποία με τη σειρά της προκαλεί μεγάλες αλλαγές σε διάφορους τομείς όπως υγεία, ρομποτική, παιχνίδια, εικονική πραγματικότητα κ.α.. Σε αντίθεση με τα συνηθισμένα gadget υπολογιστών όπως το ποντίκι ή το πληκτρολόγιο, μια ΔΕΥ παίρνει τα σήματα που στέλνει ο εγκέφαλος και στη συνέχεια τα μετατρέπει σε εντολές που αντιλαμβάνεται ο υπολογιστής. Θα μπορούσε να ισχυριστεί ότι πρόκειται για μια απευθείας επικοινωνία του εγκεφάλου με τον υπολογιστή χωρίς να είναι απαραίτητη η παρέμβαση των χεριών ή κάποιων άλλων συσκευών.

Οι ΔΕΥ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις επεμβατικές και τις μη επεμβατικές. Οι διαφορές τους έγκειται στους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τη καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας, δηλαδή εάν οι αισθητήρες διεισδύουν στο δέρμα ή όχι. Στη κατηγορία των επεμβατικών ΔΕΥ, η δραστηριότητα καταγραφής προκύπτει από εμφυτευμένα ηλεκτρόδια στον εγκέφαλο ενώ στη κατηγορία των μη επεμβατικών ΔΕΥ η δραστηριότητα καταγραφής προκύπτει από αισθητήρες οι οποίοι τοποθετούνται στην επιφάνεια του τριχωτού της κεφαλής. Σύμφωνα με προηγούμενες μελέτες που είχαν πραγματοποιηθεί, έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι οι επεμβατικές ΔΕΥ έχουν καλύτερα αποτελέσματα καταγραφής σε σχέση με τις μη επεμβατικές ΔΕΥ. Ωστόσο, λόγω της νευροχειρουργικής επέμβασης που χρειάζεται να υποστούν οι χρήστες στη περίπτωση της επεμβατικής ΔΕΥ, η χρήση μη επεμβατικών ΔΕΥ είναι προτιμότερη.

Ο συνδυασμός ΔΕΥ με την τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality, VR), στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης προσφέρει ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων. Πιο συγκεκριμένα, βάση της εικονικής πραγματικότητας, οι ΔΕΥ συμβάλλουν στην ενίσχυση της θεραπείας τόσο στη νευρολογική όσο και στη σωματική αποκατάσταση, καθιστώντας την ιδιαίτερα εξατομικευμένη. Έτσι, οι ασκήσεις αποθεραπείας των ατόμων με κινητική αναπηρία γίνονται πιο ελκυστικές και διαδραστικές. Ακόμη, συμβάλλουν στην διαχείριση του πόνου, η οποία δε βασίζεται στη χρήση κάποιου φαρμάκου. Με αυτόν τον τρόπο, τα προγράμματα γνωστικής αποκατάστασης γίνονται ολοένα και καλύτερα. Επιπλέον, υποστηρίζεται η απομακρυσμένη πρόσβαση και παρακολούθηση της υγειονομικής περίθαλψης ακόμα και σε περιπτώσεις όπου ο ασθενής βρίσκεται σε κάποια απομακρυσμένη περιοχή. Αυτό, αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα και σε περιπτώσεις όπου οι ίδιοι οι ασθενείς αδυνατούν να επικοινωνήσουν. Στον τομέα των παιχνιδιών,

ο συνδυασμός ΔΕΥ και των παιχνιδιών έχει επιφέρει εξίσου αρκετές δυνατότητες. Αρχικά, παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να μπορούν να ελέγχουν ένα παιχνίδι μέσα από τα σήματα του εγκεφάλου τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι χρήστες να αποκτούν εξαιρετικά επίπεδα ελέγχου σε εικονικούς κόσμους, χρησιμοποιώντας τη φαντασία τους προκειμένου να πραγματοποιήσουν μια κίνηση. Ακόμη, μέσω των σημάτων τους, μπορούν να προκύψουν και συμπεράσματα όσον αφορά τη συγκέντρωση, τη χαλάρωση και τον ενθουσιασμό τους. Επιπλέον, επιτρέπει τα άτομα με σωματικές αναπηρίες να πραγματοποιήσουν μια δραστηριότητα (π.χ. η συμμετοχή τους στα παιχνίδια) η οποία υπό άλλες συνθήκες θα ήταν αδύνατον να γίνει.

Ένα άλλο εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό, αποτελεί η βελτίωση των νοητικών ικανοτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης μπορεί να βελτιώσει τη συγκέντρωση του, να ενισχύσει τη μνήμη του καθώς και τη προσοχή του τη στιγμή που παίζει το παιχνίδι. Ωστόσο, η χρήση ΔΕΥ παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις κατά τη χρήση της οι οποίες πρέπει να αντιμετωπιστούν προτού χρησιμοποιηθεί. Ένα από τα βασικότερα προβλήματα αποτελεί το υψηλό ποσοστό σφαλμάτων που εμφανίζεται. Αυτά τα υψηλά ποσοστά, μπορεί να οφείλονται είτε στην επίδραση εξωτερικού θορύβου, είτε σε αλλαγές στην εγκεφαλική δραστηριότητα και επιδρούν άμεσα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του παιχνιδιού. Ακόμη, προκειμένου οι χρήστες να εξοικειωθούν με τη συσκευή ΗΕΓ, θα πρέπει να υποβληθούν σε μια διαδικασία εκπαίδευσης. Αυτή η διαδικασία πολλές φορές μπορεί να διαρκέσει αρκετή ώρα κάτι το οποίο μπορεί να επηρεάσει την επίδοση του χρήστη στο παιχνίδι.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Αξιολόγηση μακροχρόνιας χρήσης διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή», μελετάται η μακροχρόνια εγκεφαλική δραστηριότητα του ανθρώπου μέσα από την ανάπτυξη ενός παιχνιδιού το οποίο ελέγχεται από ένα σύστημα ΔΕΥ. Η διαδικασία των πειραμάτων διεξάχθηκε στον χώρο των εργαστηρίων του Πανεπιστημίου της Δυτικής Μακεδονίας και για την καταγραφή των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών σημάτων έγινε χρήση της συσκευής Muse 2. Στο πείραμα αυτό συμμετείχαν συνολικά τέσσερις συμμετέχοντες, 2 γυναίκες και 2 άνδρες. Αρχικά τους φορέθηκε η συσκευή στο τριχωτό της κεφαλής και τους ζητήθηκε να καθίσουν σε μια καρέκλα προκειμένου να περιοριστεί ο αριθμός των κινήσεων τους και κατά συνέπεια να περάσουν σε μια φάση χαλάρωσης. Στη συνέχεια ξεκίνησε η διαδικασία της καταγραφής. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 2 καταγραφές, μια καταγραφή για τα αριστερά και μια καταγραφή για το δεξιά. Έπειτα, οι δύο αυτές καταγραφές εισήχθησαν στο σενάριο που δημιουργήθηκε για την εκτός σύνδεση επεξεργασία στη πλατφόρμα του OpenVibe. Εκεί ουσιαστικά πραγματοποιείται η εκπαίδευση του μοντέλου και πραγματοποιούνται τα παρακάτω βήματα: εφαρμογή φίλτρου προκειμένου να αφαιρεθεί ο θόρυβος, διαχωρισμός του σήματος σε πέντε ρυθμούς, δημιουργία χρονικών εποχών και υπολογισμός της ενέργειας. Για την κατηγοριοποίηση του σήματος χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος LDA. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας ακολούθησε δημιουργία ενός σεναρίου για την επεξεργασία του σήματος σε πραγματικό χρόνο όπου και πραγματοποιείται η δοκιμή σε απευθείας σύνδεση. Για την πραγματοποίηση της δοκιμής, αναπτύχθηκε ένα παιχνίδι στη πλατφόρμα του Unity. Σκοπός του παιχνιδιού είναι η μετακίνηση του χαρακτήρα που βρίσκεται στο κέντρο 2 φορές προς τα αριστερά και 2 φορές προς τα δεξιά. Στο παιχνίδι αυτό καταγράφονται επίσης ο συνολικός αριθμός των κινήσεων προς τα αριστερά και δεξιά καθώς και ο χρόνος που χρειάστηκε για την εκτέλεση του παιχνιδιού.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Προτού ξεκινήσει η εξερεύνηση της "Αξιολόγησης της μακροχρόνιας χρήσης της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή", είναι σημαντικό να κατανοηθεί πρώτα το δομημένο πλαίσιο της μελέτης. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο με τίτλο "Οργάνωση του Τόμου" περιέχει μια σύντομη περιγραφή των κεφαλαίων που θα ακολουθήσουν. Αρχικά, το Κεφάλαιο 2 με τίτλο «Θεωρητικό Υπόβαθρο» ξεδιπλώνει τη θεμελιώδη έννοια των ΔΕΥ εξερευνώντας το νευρικό σύστημα, την ανατομία του εγκεφάλου, την ηλεκτροφυσιολογία και τις γνωστικές διεργασίες. Έπειτα, πραγματοποιείται μια εμβάθυνση στον θεμελιώδη ρόλο της τεχνολογίας των ηλεκτροεγκεφαλογραφημάτων και των εφαρμογών της, η οποία παρέχει ένα στέρεο θεωρητικό υπόβαθρο απαραίτητο για την κατανόηση των δυνατοτήτων των ΔΕΥ, ιδίως στον τομέα των παιχνιδιών. Μεταβαίνοντας στο Κεφάλαιο 3 με τίτλο «Ανάλυση του Θέματος», περνάμε από τη θεωρία στην πράξη. Αναλύεται σχολαστικά η μεθοδολογία της έρευνάς μας. Αρχικά, παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή δεδομένων και την πρακτική εφαρμογή της μελέτης. Επιπλέον, ακολουθεί η περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό του παιχνιδιού καθώς και την ενσωμάτωσή του με την τεχνολογία ΔΕΥ. Αυτό το κεφάλαιο γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ της θεωρητικής κατανόησης και των πραγματικών εφαρμογών ΔΕΥ στο πλαίσιο του παιχνιδιού. Στο κεφάλαιο 4 με τίτλο «Αποτελέσματα» παρουσιάζονται και αναλύονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από κάθε συμμετέχοντα κατά τη διάρκεια των πειραμάτων πρώτα σε ατομικό επίπεδο και ύστερα σε συλλογικό επίπεδο. Έτσι, αποκαλύπτονται οι πρακτικές επιπτώσεις της μακροχρόνιας χρήσης ΔΕΥ, ιδίως στον τομέα των παιχνιδιών. Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 με τίτλο «Συμπεράσματα» συντίθεται η ερευνητική διαδρομή. Εξάγονται συμπεράσματα από τα αποτελέσματα που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται τυχόν περιορισμοί που κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε καθώς επίσης και μια συγκριτική ανάλυση με άλλα συστήματα που χρησιμοποιούν ΔΕΥ. Αυτό το σχολαστικά δομημένο πλαίσιο διασφαλίζει ότι η διατριβή μας δεν αποτελεί απλώς μια συλλογή γεγονότων, αλλά μια συνεκτική, ολοκληρωμένη διερεύνηση της μακροπρόθεσμης χρήσης ΔΕΥ στον τομέα των παιχνιδιών. Προσκαλεί τους αναγνώστες να ξεκινήσουν αυτό το ταξίδι με σαφήνεια και διορατικότητα, κινούμενοι απρόσκοπτα από τα θεωρητικά θεμέλια στην πρακτική εφαρμογή, από τα δεδομένα στα τεκμηριωμένα συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Νευρικό Σύστημα

Το νευρικό σύστημα πρόκειται για ένα περίπλοκο και εξελιγμένο δίκτυο κυττάρων, ιστών και οργάνων και χρησιμεύει ως σύστημα επικοινωνίας του σώματος, επιτρέποντας τον ομαλό συντονισμό και την ενσωμάτωση διαφόρων σωματικών λειτουργιών. Στο επίκεντρο αυτού του πολύπλοκου συστήματος βρίσκεται ο εγκέφαλος, ένα εξαιρετικό όργανο τεράστιας σημασίας. Αποτελείται από δύο κύρια μέρη όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 1**: το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ) και το περιφερικό νευρικό σύστημα (ΠΝΣ). Το ΚΝΣ αποτελείται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό, τα οποία περικλείονται μέσα στις προστατευτικές οστέινες δομές του κρανίου και της σπονδυλικής στήλης αντίστοιχα. Το ΠΝΣ από την άλλη πλευρά, εκτείνεται πέρα από το ΚΝΣ και περιλαμβάνει νευρικές ίνες και γάγγλια. Χωρίζεται στο σωματικό νευρικό σύστημα που διέπει τις εκούσιες κινήσεις και την αισθητηριακή αντίληψη και στο αυτόνομο νευρικό σύστημα που ρυθμίζει ακούσιες διεργασίες όπως ο καρδιακός ρυθμός, η πέψη και ο ρυθμός της αναπνοής. Η περίπλοκη αλληλεπίδραση αυτών των στοιχείων επιτρέπει στο νευρικό σύστημα να διευκολύνει την απρόσκοπτη ολοκλήρωση και τον συντονισμό των σωματικών λειτουργιών, ενώ παράλληλα παρέχει την δυνατότητα της αντίληψης, της κατανόησης και της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Με την κατανόηση της ανατομίας, της δομής, των λειτουργιών και της συμμετοχής του εγκεφάλου σε γνωστικά καθήκοντα, αποκτάτε βαθιά γνώση των θεμελιωδών μηχανισμών που διέπουν την ανθρώπινη συμπεριφορά και νόηση. Η εμβάθυνση στα θαύματα του νευρικού συστήματος και του εγκεφάλου όχι μόνο προάγει τις επιστημονικές γνώσεις, αλλά προσφέρει επίσης δυναμικές εφαρμογές στην ιατρική, την ψυχολογία και την τεχνητή νοημοσύνη, μεταμορφώνοντας τον τρόπο αντίληψης και αλληλεπίδρασης με τον κόσμο [1].



ΕΙΚΟΝΑ 1: ΜΕΡΗ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

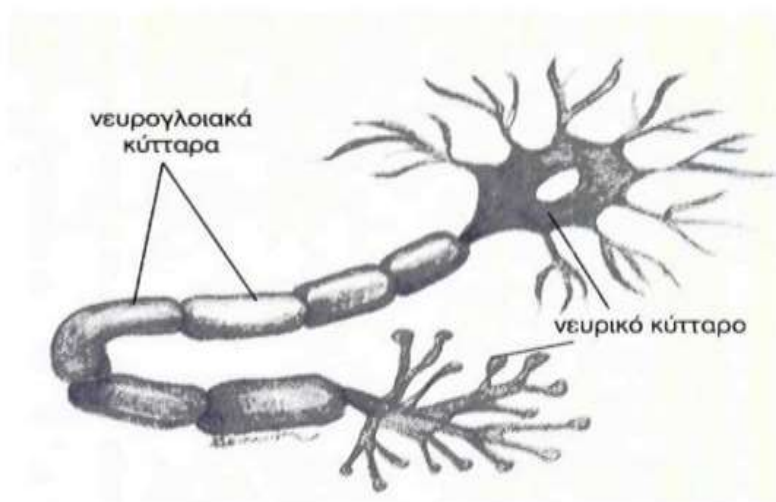
2.1.1 Εγκέφαλος

Ο εγκέφαλος, ως το κεντρικό κέντρο ελέγχου του νευρικού συστήματος, είναι ένα αξιολογούμενο όργανο που ενορχηστρώνει ένα τεράστιο φάσμα λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος και ζυγίζει μόλις λίγα κιλά. Αποτελείται από δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένους νευρώνες, όπου λαμβάνει και επεξεργάζεται αισθητηριακές πληροφορίες, ρυθμίζοντας τόσο τις εκούσιες όσο και τις ακούσιες κινήσεις. Η πολυπλοκότητά του επιτρέπει την αυτογνωσία, τη λήψη αποφάσεων, την επίλυση προβλημάτων και τις συναισθηματικές εμπειρίες. Η ανατομική οργάνωση του, συμπεριλαμβανομένου του εγκεφαλικού φλοιού, της παρεγκεφαλίδας και του εγκεφαλικού στελέχους, αντανακλά τις εξειδικευμένες λειτουργίες του, επιτρέποντας τις γνωστικές ικανότητες και την τελειοποίηση του κινητικού ελέγχου. Η κατανόηση της δομής και των λειτουργιών του παρέχει τα θεμέλια για τη μελέτη της νευρικής βάσης της ανθρώπινης νόησης και συμπεριφοράς. Από τη ρύθμιση αυτόνομων λειτουργιών όπως η αναπνοή και η πέψη έως τη διευκόλυνση της μάθησης, της μνήμης και της γλωσσικής επεξεργασίας, ο εγκέφαλος επιδεικνύει την αξιολογούμενη προσαρμοστικότητα και πλαστικότητα του. Τα νευρωνικά κυκλώματα εντός του εγκεφάλου ενσωματώνουν πληροφορίες από διάφορες αισθητηριακές λειτουργίες, επιτρέποντας την προσοχή, την αντίληψη και την επίλυση προβλημάτων. Οι εκτελεστικές λειτουργίες αποδίδονται στον προμετωπιαίο φλοιό, επηρεάζοντας τη λήψη αποφάσεων, τον προγραμματισμό και τον έλεγχο των παρορμήσεων. Αυτές οι γνωστικές εργασίες προσφέρουν πολύτιμες γνώσεις για την ανθρώπινη νόηση και συμπεριφορά, προωθώντας την πρόοδο των νευροεπιστημών και της γνωστικής έρευνας [2].

2.1.2 Ηλεκτροφυσιολογία Εγκεφάλου

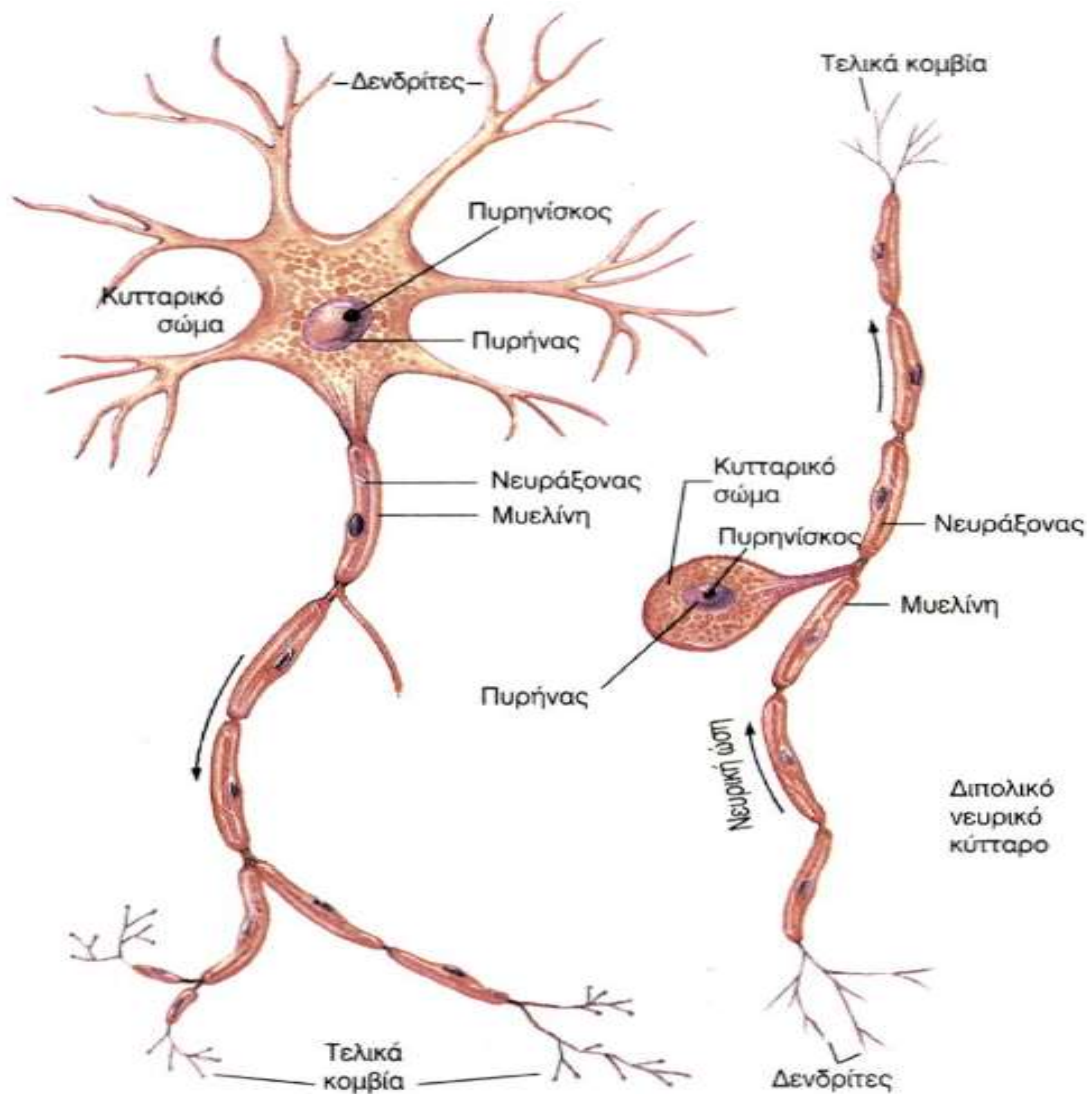
Όργανα του νευρικού συστήματος όπως ο εγκέφαλος, ο νωτιαίος μυελός και τα νεύρα αποτελούνται από νευρικό ιστό. Υπάρχουν δύο είδη κυττάρων του νευρικού ιστού: τα νευρικά κύτταρα ή νευρώνες και τα νευρογλοιακά κύτταρα όπως φαίνονται και στην **Εικόνα 2**. Οι νευρώνες, τα δομικά στοιχεία του νευρικού συστήματος, παίζουν σημαντικό ρόλο στη μετάδοση καθώς και στην επεξεργασία πληροφοριών. Στον ανθρώπινο εγκέφαλο, υπάρχουν κατά προσέγγιση 10^8 νευρώνες, όπου μεταξύ τους συνδέονται μέσω 10^{15} συνάψεων. Τα κύτταρα αυτά διαθέτουν μοναδικές δομικές και λειτουργικές ιδιότητες, οι οποίες συμβάλλουν στην ικανότητά τους να

εκτελούν βασικές εργασίες που διέπουν τη νόηση, τη μνήμη και τον κινητικό έλεγχο. Από την άλλη, ο ρόλος των νευρογλοιακών κυττάρων είναι μονάχα βοηθητικός και στο σύνολο είναι πολύ περισσότεροι από τους νευρώνες [3].



ΕΙΚΟΝΑ 2: ΝΕΥΡΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ [3].

Οι νευρώνες αποτελούνται από ένα μείγμα οργανικής ύλης με κύρια μέρη το κυτταρικό σώμα, τους δενδρίτες και τον άξονα, όπως απεικονίζεται στην **Εικόνα 3**. Το κυτταρικό σώμα αποτελεί τον πυρήνα του νευρώνα και στεγάζει τον πυρήνα, το κέντρο ελέγχου που περιέχει τις γενετικές οδηγίες που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία του νευρώνα. Από το κυτταρικό σώμα εκτείνονται οι δενδρίτες, πρόκειται δηλαδή για προεξοχές που μοιάζουν με κλαδιά και χρησιμεύουν ως κεραιές για τη λήψη σημάτων από άλλους νευρώνες. Αυτοί οι δενδρίτες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη σύλληψη πληροφοριών από το περιβάλλον ή από άλλα κύτταρα. Στο αντίθετο άκρο του νευρώνα εκτείνεται ο άξονας, μια μακρά, καλωδιοειδής δομή που είναι υπεύθυνη για τη μετάδοση σημάτων μακριά από το κυτταρικό σώμα (σύναψη). Γύρω από ορισμένους άξονες είναι τυλιγμένο ένα περίβλημα μυελίνης, αποτελούμενο από νευρογλοιακά κύτταρα, το οποίο χρησιμεύει για τη μόνωση και την επιτάχυνση της μετάδοσης των ηλεκτρικών ερεθισμάτων. Η σύνθεση των νευρώνων διευκολύνει την ταχεία και ακριβή επικοινωνία που διέπει τις σκέψεις, τα συναισθήματα και τις πράξεις μας [4].

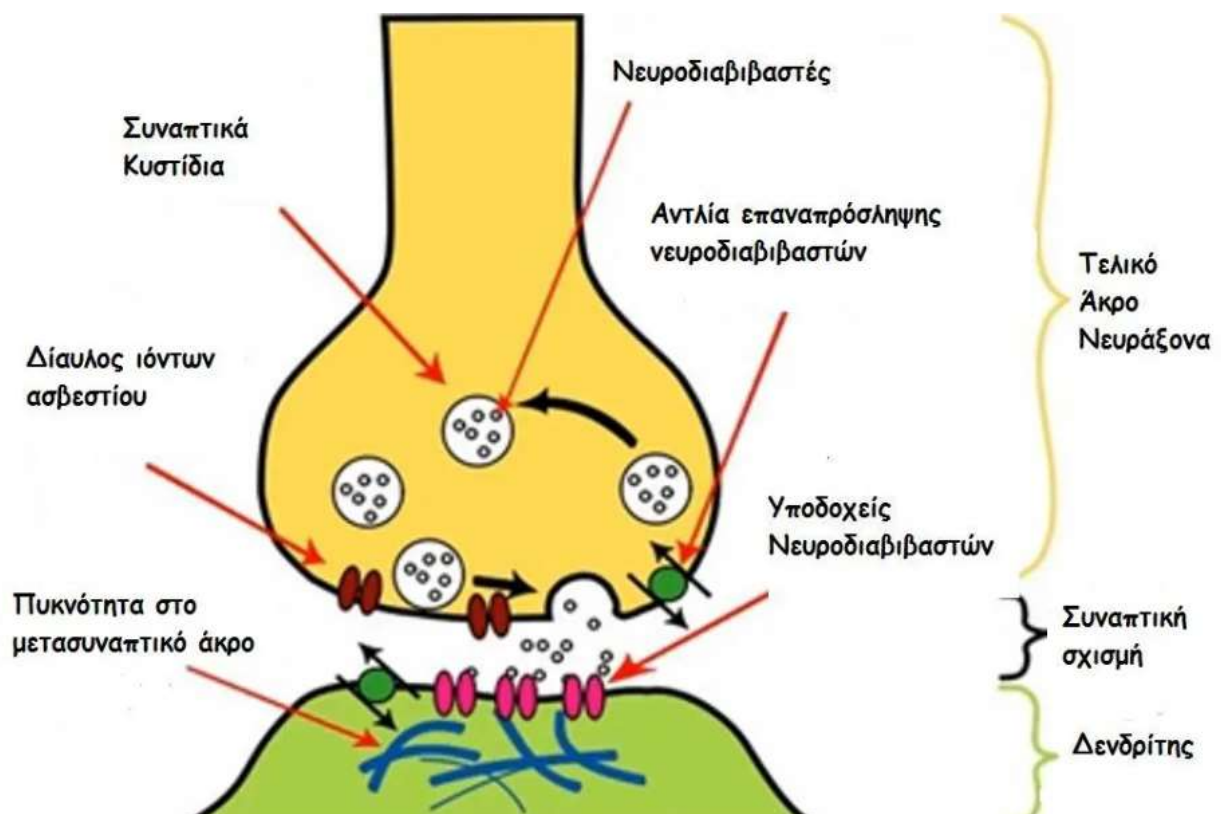


ΕΙΚΟΝΑ 3: ΔΟΜΗ ΕΝΟΣ ΝΕΥΡΩΝΑ [3].

Στην αδρανή φάση ενός νευρώνα, το δυναμικό της μεμβράνης παραμένει εξαιρετικά σταθερό με το εσωτερικό να διατηρεί αρνητικό φορτίο σε σχέση με το εξωτερικό. Αυτή η ισορροπία επιτυγχάνεται μέσω της δραστηριότητας της αντλίας νατρίου-καλίου (Na^+ , K^+), η οποία ρυθμίζει την κίνηση των ιόντων νατρίου και καλίου, εξασφαλίζοντας ότι οι συγκεντρώσεις τους και στις δύο πλευρές της μεμβράνης παραμένουν σχετικά σταθερές με την πάροδο του χρόνου. Η κατάσταση αυτή αναφέρεται συνήθως ως δυναμικό ηρεμίας. Το δυναμικό της μεμβράνης προσδιορίζεται με βάση την υπόθεση ότι το εξωκυττάριο δυναμικό έχει μηδενιστεί. Κατά συνέπεια, το απαιτούμενο δυναμικό, είτε θετικό είτε αρνητικό, προκύπτει από το πλεονάζον φορτίο που βρίσκεται εντός της μεμβράνης. Μεταξύ των νευρώνων το δυναμικό ηρεμίας μπορεί να καλύπτει ένα εύρος από -90 mV έως -40 mV, ανάλογα με τον τύπο του κυττάρου, με την πιο διαδεδομένη τιμή να κυμαίνεται γύρω στα -70 mV. Η δυνατότητα του εγκεφάλου να επεξεργάζεται, να αποθηκεύει και να μεταδίδει πληροφορίες βασίζεται στο φαινόμενο των νευρωνικών δυναμικών δράσης. Αυτά τα γρήγορα και με ακρίβεια ενορχηστρωμένα ηλεκτρικά γεγονότα χρησιμεύουν ως το θεμελιώδες νόμισμα της επικοινωνίας μεταξύ των νευρώνων, διευκολύνοντας τα τεράστια νευρωνικά δίκτυα που διέπουν τη νόηση, την αντίληψη και τη συμπεριφορά.

Τα δυναμικά δράσης, γνωστά και ως νευρικά ερεθίσματα, είναι σύντομες και παροδικές αλλαγές στο ηλεκτρικό δυναμικό της μεμβράνης ενός νευρώνα, που του επιτρέπουν να μεταδίδει πληροφορίες σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτή η ηλεκτροχημική διαδικασία διέπεται κυρίως από τις ιοντικές κινήσεις του νατρίου (Na^+), του καλίου (K^+) και άλλων ιόντων κατά μήκος της νευρωνικής μεμβράνης. Όταν ένας νευρώνας δέχεται μια αρκετά ισχυρή διεγερτική είσοδο, συνήθως μέσω συναπτικής μετάδοσης από άλλους νευρώνες, η αποπόλωση της μεμβράνης προκαλεί το άνοιγμα των διαύλων νατρίου με πύλη τάσης, οδηγώντας σε εισροή ιόντων νατρίου και στην ταχεία αύξηση του δυναμικού της μεμβράνης, που αποτελεί την ανοδική κίνηση του δυναμικού δράσης. Μετά την αιχμή, ανοίγουν οι ενεργοποιημένοι από την τάση δίαυλοι καλίου, προκαλώντας την έξοδο ιόντων καλίου από τον νευρώνα, οδηγώντας σε επαναπόλωση και αποκατάσταση του δυναμικού ηρεμίας της μεμβράνης. Αυτή η περίπλοκη αλληλεπίδραση των διαύλων ιόντων και της επιλεκτικής διαπερατότητας της μεμβράνης επιτρέπει στα δυναμικά δράσης να διαδίδονται κατά μήκος του άξονα του νευρώνα, μεταδίδοντας ηλεκτρικά σήματα σε συνάψεις με άλλους νευρώνες ή κύτταρα-στόχους.

Η διαδικασία της συναπτικής μετάδοσης βρίσκεται στο επίκεντρο της νευρωνικής επικοινωνίας, η οποία επιτρέπει την επεξεργασία πληροφοριών του εγκεφάλου καθώς και την ενορχήστρωση σύνθετων συμπεριφορών. Σε εξειδικευμένες συνδέσεις που ονομάζονται συνάψεις, οι νευρώνες ανταλλάσσουν πληροφορίες μέσω της απελευθέρωσης και της λήψης νευροδιαβιβαστών όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 4**. Όταν ένα δυναμικό δράσης φτάνει στο προσυναπτικό τερματικό, ενεργοποιεί το άνοιγμα των διαύλων ασβεστίου με πύλη τάσης, οδηγώντας σε εισροή ιόντων ασβεστίου στο τερματικό. Αυτή η εισροή ασβεστίου προκαλεί τη σύντηξη συναπτικών κυστιδίων γεμάτων με νευροδιαβιβαστές με την προσυναπτική μεμβράνη, απελευθερώνοντας νευροδιαβιβαστές στη συναπτική σχισμή. Οι νευροδιαβιβαστές στη συνέχεια συνδέονται με ειδικούς υποδοχείς στη μετασυναπτική μεμβράνη, ενεργοποιώντας τους μετασυναπτικούς διαύλους και προκαλώντας ένα μετασυναπτικό δυναμικό. Οι διεγερτικές συνάψεις, που συχνά χρησιμοποιούν νευροδιαβιβαστές όπως το γλουταμικό, προκαλούν αποπόλωση της μετασυναπτικής μεμβράνης, αυξάνοντας την πιθανότητα πυροδότησης ενός δυναμικού δράσης. Αντίθετα, οι ανασταλτικές συνάψεις, που χρησιμοποιούν νευροδιαβιβαστές όπως το γ-αμινοβουτυρικό οξύ (gamma-aminobutyric acid - GABA), προκαλούν υπερπόλωση, μειώνοντας τις πιθανότητες δημιουργίας δυναμικού δράσης. Η ακριβής ενορχήστρωση των διεγερτικών και ανασταλτικών σημάτων αποτελεί τη βάση της λεπτής ισορροπίας που διαμορφώνει τα νευρωνικά κυκλώματα, την επεξεργασία πληροφοριών και τελικά τη λειτουργία του εγκεφάλου. Επιπλέον, η συναπτική μετάδοση υπόκειται σε πλαστικότητα, με τη μακροχρόνια ενδυνάμωση (Long-term Potentiation - LTP) να ενισχύει τις συναπτικές συνδέσεις και τη μακροχρόνια κατάθλιψη (Long-term Depression - LTD) να τις αποδυναμώνει. Αυτοί οι μηχανισμοί συναπτικής πλαστικότητας συμβάλλουν στη μάθηση, τη μνήμη και τις προσαρμοστικές αλλαγές στον εγκέφαλο, καθιστώντας τη συναπτική μετάδοση κεντρική διαδικασία για την κατανόηση της πολύπλοκης δυναμικής του νευρικού συστήματος.



ΕΙΚΟΝΑ 4: ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΝΕΥΡΙΚΩΝ ΣΥΝΑΨΕΩΝ [5].

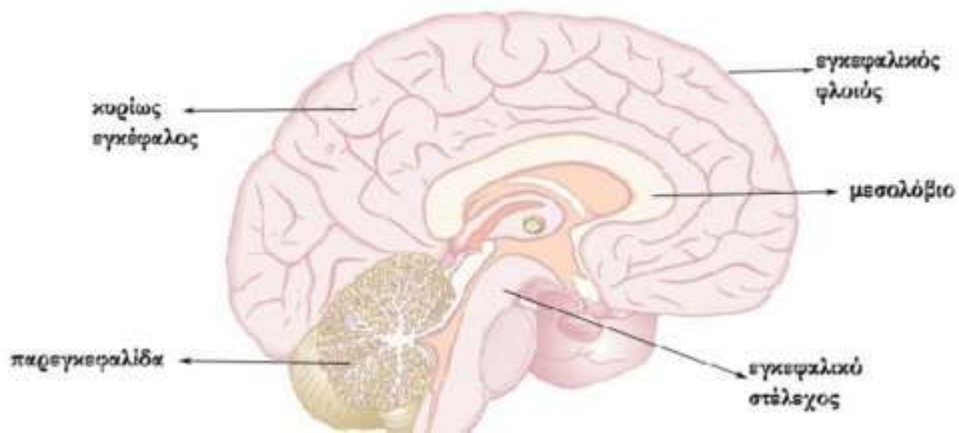
2.1.3 Ανατομία και Δομή

Η παρούσα υπό-ενότητα παρέχει μια λεπτομερή εξέταση της ανατομικής δομής του εγκεφάλου, υπογραμμίζοντας τις ξεχωριστές περιοχές και τις εξειδικευμένες λειτουργίες του. Όπως προαναφέρθηκε, ο εγκέφαλος είναι το κέντρο διοίκησης του κεντρικού νευρικού συστήματος ολόκληρου του σώματος. Τα κύρια μέρη του εγκεφάλου χωρίζονται σε τρεις περιοχές (**Εικόνα 5**): τον εγκεφαλικό φλοιό, τη παρεγκεφαλίδα και το εγκεφαλικό στέλεχος. Ο εγκεφαλικός φλοιός, ο οποίος βρίσκεται στο εξωτερικό στρώμα του εγκεφάλου, όπου αναφέρεται ως «φαιά ουσία» και χαρακτηρίζεται από τη σπειροειδή του εμφάνιση, περιβάλλει τα εγκεφαλικά ημισφαίρια. Ο εγκεφαλικός φλοιός διαιρείται σε δύο ημισφαίρια, το αριστερό και το δεξί ημισφαίριο. Μεταξύ τους τα δύο ημισφαίρια συνδέονται με μια δέσμη νευρικών ινών που ονομάζεται εγκεφαλικό στέλεχος. Το κάθε ημισφαίριο χωρίζεται σε τέσσερις λοβούς (**Εικόνα 6**): τον μετωπιαίο, τον βρεγματικό, τον κροταφικό και τον ινιακό [6].

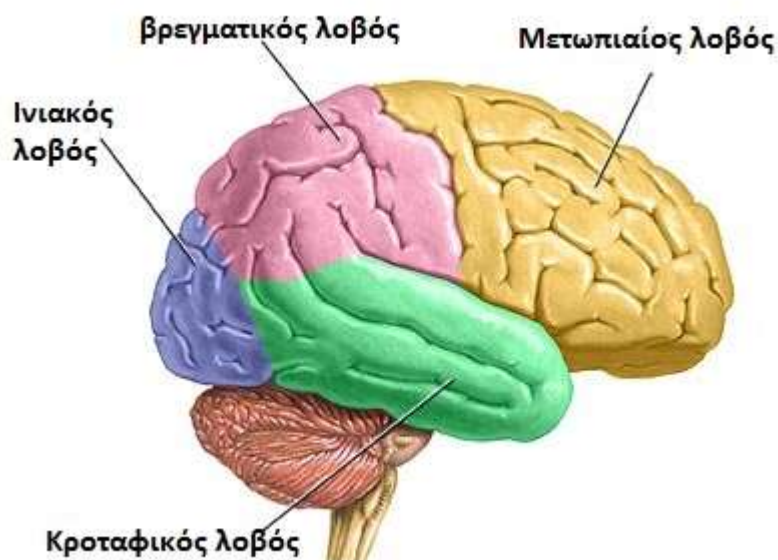
- **Μετωπιαίος Λοβός:** Βρίσκεται στο μπροστινό μέρος του φλοιού και αναλαμβάνει κρίσιμο ρόλο στις εκτελεστικές λειτουργίες όπως η λήψη αποφάσεων, ο προγραμματισμός και η μνήμη εργασίας.
- **Βρεγματικός Λοβός:** Επεξεργάζεται τις αισθητηριακές πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένης της αφής, της θερμοκρασίας, του πόνου και της αντίληψης του χώρου.
- **Κροταφικός Λοβός:** Είναι απαραίτητος για την ακουστική επεξεργασία, την κατανόηση της γλώσσας και τον σχηματισμό της μνήμης.

- **Ινιακός Λοβός:** Είναι υπεύθυνος για την οπτική επεξεργασία, ερμηνεύοντας τα οπτικά ερεθίσματα που λαμβάνονται από τα μάτια.

Η παρεγκεφαλίδα βρίσκεται στο πίσω μέρος του εγκεφάλου, κάτω από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια. Λόγω του μικρού μεγέθους της, σε σχέση με τον μέγεθος του εγκεφάλου, περιέχει περίπου τους μισούς νευρώνες του εγκεφάλου. Παίζει καθοριστικό ρόλο στον συντονισμό της κίνησης, της ισορροπίας και της στάσης του σώματος. Λαμβάνει πληροφορίες από τα αισθητήρια συστήματα, τις κινητικές περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού και τους ιδιοδεκτικούς υποδοχείς σε όλο το σώμα. Συγκρίνοντας αυτές τις εισερχόμενες πληροφορίες με τα κινητικά προγράμματα από τον εγκέφαλο, η παρεγκεφαλίδα τελειοποιεί και προσαρμόζει τις κινητικές εντολές, εξασφαλίζοντας ομαλές και συντονισμένες κινήσεις. Τέλος, το εγκεφαλικό στέλεχος είναι το κατώτερο τμήμα του εγκεφάλου, που συνδέει τον εγκεφαλικό φλοιό και την παρεγκεφαλίδα με τον νωτιαίο μυελό. Αποτελείται από τρεις κύριες περιοχές: τον προμήκη μυελό, τον νωτιαίο μυελό και τον μέσο εγκέφαλο.



ΕΙΚΟΝΑ 5: ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ [7].



ΕΙΚΟΝΑ 6: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΛΟΒΩΝ ΤΟΥ ΗΜΙΣΦΑΙΡΙΟΥ [8].

2.1.4 Λειτουργίες του Εγκεφάλου και Γνωστικές Διεργασίες

Σε αυτό το υπό-κεφάλαιο, διερευνώνται οι ποικίλες λειτουργίες που επιτελεί ο εγκέφαλος και ο ρόλος του στη διευκόλυνση των γνωστικών καθηκόντων. Βασικές φυσιολογικές λειτουργίες, όπως η ρύθμιση του καρδιακού ρυθμού, της αναπνοής και της πέψης, διέπονται από εξειδικευμένους πυρήνες του εγκεφαλικού στελέχους. Η ικανότητα του εγκεφάλου να μαθαίνει και να προσαρμόζεται αποδίδεται στην αξιοσημείωτη ευπλαστικότητα του, που του επιτρέπει να επανασυνδέει νευρωνικές συνδέσεις και να δημιουργεί νέες, φαινόμενο που παρατηρείται κατά την ανάπτυξη, τη μάθηση και την αποκατάσταση από εγκεφαλικές βλάβες. Η μνήμη, μια ουσιαστική γνωστική διαδικασία, εμπλέκει πολλαπλές περιοχές του εγκεφάλου, με τον ιππόκαμπο να διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη διαμόρφωση και παγίωση των αναμνήσεων. Το αριστερό ημισφαίριο του εγκεφάλου, ιδίως οι περιοχές Broca και Wernicke, εμπλέκεται σε μεγάλο βαθμό στην επεξεργασία της γλώσσας, επιτρέποντάς την κατανόηση και την παραγωγή λόγου. Επιπλέον, εκτελεστικές λειτουργίες όπως η λήψη αποφάσεων, ο προγραμματισμός και ο έλεγχος των παρορμήσεων συνδέονται με τον προμετωπιαίο φλοιό, ο οποίος συντονίζει διάφορες γνωστικές διαδικασίες και διαμορφώνει τη συμπεριφορά των ανθρώπων. Με τη διερεύνηση αυτών των εγκεφαλικών λειτουργιών και των υποκείμενων νευρωνικών μηχανισμών τους, αποκτούνται βαθιές γνώσεις για τη νευρωνική βάση της ανθρώπινης νόησης, ανοίγοντας το δρόμο για μελλοντικές προόδους στη νευροεπιστήμη και τη γνωστική έρευνα [6].

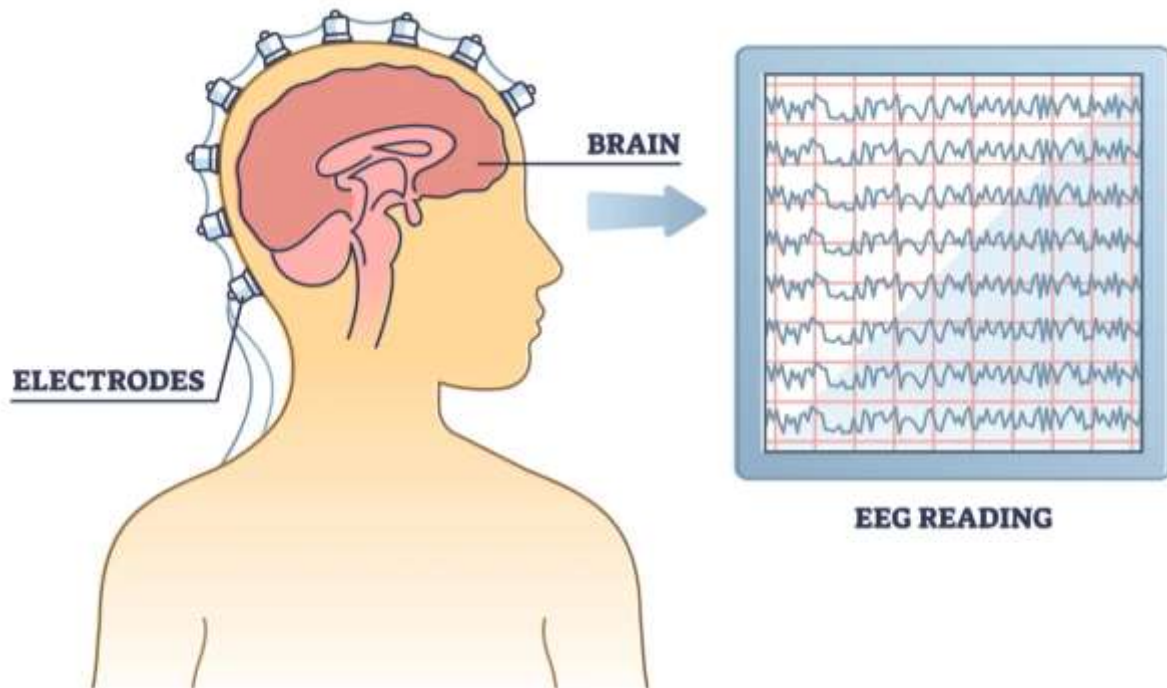
2.1.5 Διαταραχές και Ασθένειες του Εγκεφάλου

Ο εγκέφαλος, παρά την εξαιρετική πολυπλοκότητα και ανθεκτικότητά του, είναι ευάλωτος σε ένα ευρύ φάσμα διαταραχών και ασθενειών που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ποιότητα ζωής ενός ατόμου. Αυτή η υπό-ενότητα εμβαθύνει στο ποικίλο φάσμα των νευρολογικών διαταραχών, διερευνώντας τα αίτια, τα συμπτώματα και τις πιθανές θεραπείες τους. Οι νευρολογικές διαταραχές περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα, που κυμαίνεται από αναπτυξιακές καταστάσεις όπως ο αυτισμός και οι διανοητικές αναπηρίες έως εκφυλιστικές ασθένειες όπως η νόσος Αλτσχάιμερ και η νόσος Πάρκινσον. Επιπλέον, διαταραχές όπως η επιληψία, η σκλήρυνση κατά πλάκας και το εγκεφαλικό επεισόδιο διαταράσσουν τη φυσιολογική λειτουργία του εγκεφάλου, οδηγώντας σε επιληπτικές κρίσεις, κινητικές διαταραχές και γνωστικά ελλείμματα [9], [10], [11]. Οι διαταραχές της ψυχικής υγείας, συμπεριλαμβανομένης της κατάθλιψης, του άγχους και της σχιζοφρένειας, έχουν επίσης περίπλοκες συνδέσεις με τη χημεία και τα κυκλώματα του εγκεφάλου. Η κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών αυτών των διαταραχών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών παρεμβάσεων και θεραπειών για την ανακούφιση του φορτίου που επιβάλλουν στα άτομα και την κοινωνία. Επιπλέον, η διερεύνηση της ικανότητας του εγκεφάλου να ανακάμπτει και να προσαρμόζεται μετά από τραυματισμό ή ασθένεια παρέχει πολύτιμες γνώσεις για τη νευροπλαστικότητα και ανοίγει νέους δρόμους για στρατηγικές αποκατάστασης και νευροεκφυλιστικές θεραπείες [12].

2.2 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (electroencephalogram - ΗΕΓ) είναι μια **μη επεμβατική** τεχνική νευροαπεικόνισης που έχει φέρει επανάσταση στην κατανόηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας και λειτουργίας (**Εικόνα 7**) [13]. Ξεκινώντας από την ιστορική προοπτική, η τυχαία ανακάλυψη του Hans Berger το 1924 σηματοδότησε τη γέννηση του ΗΕΓ, οδηγώντας στον εντοπισμό χαρακτηριστικών μοτίβων εγκεφαλικών κυμάτων. Με την πάροδο του χρόνου, η τεχνολογία του ΗΕΓ εξελίχθηκε σημαντικά, με τα ψηφιακά συστήματα να επιτρέπουν την απόκτηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τις εξελιγμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος να βελτιώνουν τις αναλυτικές δυνατότητες. Τα ηλεκτρόδια του ΗΕΓ στο τριχωτό της κεφαλής ανιχνεύουν ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται από συγχρονισμένους νευρώνες, παρέχοντας μια μακροσκοπική εικόνα της εγκεφαλικής δραστηριότητας με εξαιρετική χρονική ανάλυση. Οι συχνότητες των εγκεφαλικών κυμάτων π.χ. άλφα, βήτα, δέλτα και θήτα, αντιστοιχούν σε διακριτές γνωστικές και συναισθηματικές καταστάσεις, βοηθώντας στη μελέτη των γνωστικών διεργασιών και των νευροψυχιατρικών διαταραχών [14].

Οι εφαρμογές του ΗΕΓ στη νευροεπιστημονική έρευνα είναι εκτεταμένες, ιδίως στη διερεύνηση της προσοχής, της μνήμης, της γλώσσας, της λήψης αποφάσεων και της συναισθηματικής ρύθμισης. Τα δυναμικά που σχετίζονται με γεγονότα και προέρχονται από δεδομένα ΗΕΓ προσφέρουν γνώσεις σχετικά με τις αποκρίσεις του εγκεφάλου σε ερεθίσματα και γνωστικά καθήκοντα, φωτίζοντας τις νευρωνικές διεργασίες που διέπουν την ανθρώπινη συμπεριφορά. Επιπλέον, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην κατανόηση νευρολογικών και ψυχιατρικών καταστάσεων, υποστηρίζοντας την έγκαιρη διάγνωση και την εξατομικευμένη θεραπεία. Στον κλινικό τομέα, αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο των διαγνωστικών αξιολογήσεων για νευρολογικές διαταραχές, ιδίως για την επιληψία [9], [10], [11]. Η συνεχής παρακολούθηση του βοηθά στον εντοπισμό επιληπτικών εστιών και στην καθοδήγηση χειρουργικών επεμβάσεων για την ανθεκτική στα φάρμακα επιληψία. Επιπλέον, το έχει καθοριστική σημασία στην ιατρική του ύπνου, καθώς χαρακτηρίζει τα στάδια του ύπνου, διαγιγνώσκει τις διαταραχές του ύπνου και βελτιώνει την ποιότητα του ύπνου. Η εξέλιξη της τεχνολογίας του ΗΕΓ οδήγησε στην ενσωμάτωσή της στην έρευνα για τη ΔΕΥ (**Εικόνα 8**). Οι ΔΕΥ με βάση το ΗΕΓ επιτρέπουν στα άτομα με σοβαρές κινητικές αναπηρίες να ελέγχουν βοηθητικές συσκευές, προσθετικά και εικονικά είδωλα χρησιμοποιώντας νοητικές εντολές. Η τεχνολογία αυτή έχει επίσης δείξει ότι υπόσχεται πολλά για τη νευροαποκατάσταση και τις εμπειρίες εμβυθιστικού νευροπαιχνιδιού. Εν κατακλείδι, το ΗΕΓ αποτελεί μια μετασχηματιστική δύναμη στη νευροεπιστήμη και την τεχνολογία. Από την τυχαία ανακάλυψή του έως τις σύγχρονες εξελίξεις, έχει προσφέρει ανεκτίμητες γνώσεις σχετικά με τη δυναμική του εγκεφάλου, τις γνωστικές λειτουργίες και τις νευροψυχιατρικές διαταραχές. Οι εφαρμογές του επεκτείνονται στην κλινική διάγνωση, στην ιατρική του ύπνου και στον πρωτοποριακό τομέα των ΔΕΥ. Καθώς η τεχνολογία του ΗΕΓ συνεχίζει να εξελίσσεται, υπόσχεται να ξεκλειδώσει νέες δυνατότητες για την κατανόηση του εγκεφάλου και τη βελτίωση των αλληλεπιδράσεων ανθρώπου-μηχανής [15].



ΕΙΚΟΝΑ 7: ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΡΟΓΡΑΦΗΜΑ (ΗΕΓ) [16].



ΕΙΚΟΝΑ 8: ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΔΙΕΠΑΦΗ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ.

2.2.1 Λειτουργία Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

Η λειτουργία του ΗΕΓ έχει τις ρίζες της στις θεμελιώδεις αρχές της ηλεκτροφυσιολογίας. Το πολύπλοκο δίκτυο νευρώνων του εγκεφάλου παράγει ηλεκτρική δραστηριότητα μέσω της ανταλλαγής ιόντων στις κυτταρικές μεμβράνες. Όταν εκατομμύρια νευρώνες συγχρονίζουν την πυροδότησή τους, δημιουργούν ηλεκτρικά πεδία που μπορούν να ανιχνευθούν στην επιφάνεια του τριχωτού της κεφαλής. Τα ηλεκτρόδια ΗΕΓ τοποθετούνται στρατηγικά στο τριχωτό της κεφαλής για να καταγράψουν αυτές τις μικροσκοπικές διακυμάνσεις τάσης. Τα καταγεγραμμένα ηλεκτρικά σήματα ενισχύονται και φιλτράρονται ώστε να αναδεικνύονται συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Η προκύπτουσα κυματομορφή ΗΕΓ αντιπροσωπεύει το άθροισμα των μετασυναπτικών δυναμικών που συμβαίνουν σε έναν πληθυσμό νευρώνων, παρέχοντας ένα στιγμιότυπο της συλλογικής ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου σε κάθε δεδομένη στιγμή. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του ΗΕΓ έγκειται στην εξαιρετική χρονική του ανάλυση. Μπορεί να ανιχνεύσει ταχείες αλλαγές στην εγκεφαλική δραστηριότητα με ακρίβεια χιλιοστών του δευτερολέπτου, καθιστώντας το ιδανικό για τη διερεύνηση γρήγορων νευρωνικών διεργασιών, όπως η αισθητηριακή αντίληψη, ο κινητικός έλεγχος και η γλωσσική επεξεργασία. Αυτή η χρονική ευαισθησία επιτρέπει στους ερευνητές να μελετήσουν τη δυναμική φύση του εγκεφάλου και να κατανοήσουν το συγχρονισμό και το συντονισμό των νευρωνικών συμβάντων κατά τη διάρκεια γνωστικών εργασιών ή αντιδράσεων σε ερεθίσματα.

Εκτός από τις ερευνητικές εφαρμογές του, το ΗΕΓ χρησιμεύει ως βασικό διαγνωστικό εργαλείο στην κλινική νευρολογία. Για παράδειγμα, είναι απαραίτητο για τη διάγνωση της επιληψίας [9], [10], [11]. Κατά τη διάρκεια μιας επιληπτικής κρίσης, η μη φυσιολογική σύγχρονη δραστηριότητα μπορεί να παρατηρηθεί ως αιχμές, απότομα κύματα ή μοτίβα αργών κυμάτων στο ΗΕΓ, υποδεικνύοντας τη θέση της εστίας της κρίσης και καθοδηγώντας τις κατάλληλες στρατηγικές θεραπείας. Είναι επίσης ζωτικής σημασίας στην ιατρική του ύπνου. Αναλύοντας τα ειδικά για τον ύπνο μοτίβα εγκεφαλικών κυμάτων, οι ειδικοί στον ύπνο μπορούν να προσδιορίσουν τα διάφορα στάδια του ύπνου, να αξιολογήσουν τη συνέχεια του ύπνου και να διαγνώσουν διαταραχές του ύπνου, όπως η αϋπνία, η άπνοια ύπνου και η ναρκοληψία. Επιπλέον, έχει συμβάλει σημαντικά στη μελέτη της συνείδησης, των γνωστικών διεργασιών και των ψυχιατρικών καταστάσεων στη κατανόηση της δυναμικής του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια της προσοχής, της μνήμης, της λήψης αποφάσεων και της ρύθμισης των συναισθημάτων. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι χρησιμοποιείται στην έρευνα για νευρολογικές και ψυχιατρικές διαταραχές, όπως η νόσος του Alzheimer, η κατάθλιψη και η σχιζοφρένεια, βοηθώντας στη διαλεύκανση των υποκείμενων νευρωνικών μηχανισμών και καθοδηγώντας δυνητικά θεραπευτικές παρεμβάσεις [14].

2.2.2 Συχνότητες και Καταστάσεις Εγκεφαλικών Κυμάτων

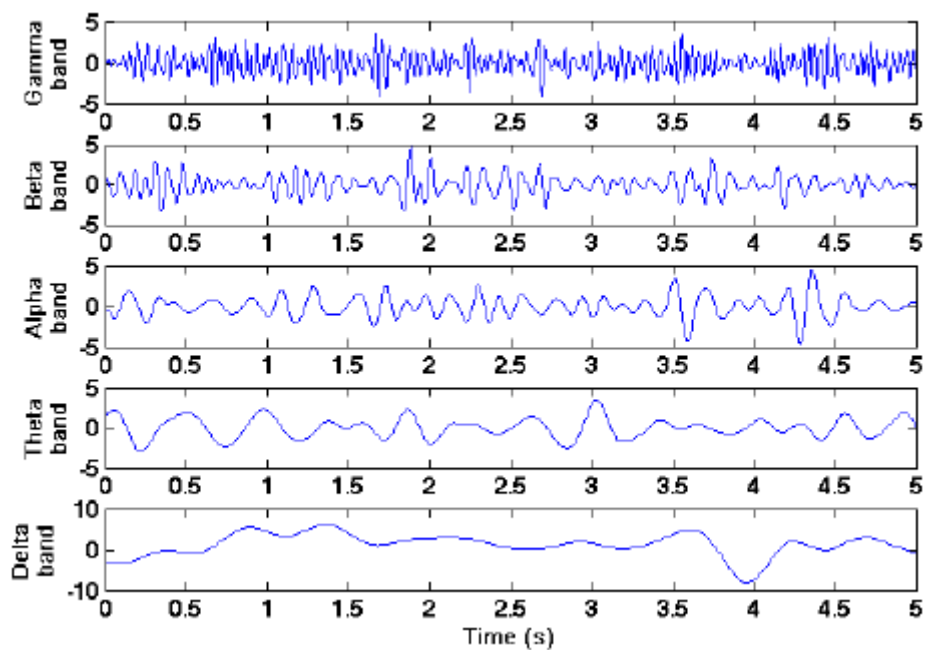
Οι συχνότητες των εγκεφαλικών κυμάτων αντικατοπτρίζουν τα ρυθμικά μοτίβα της νευρωνικής δραστηριότητας που συμβαίνουν σε διάφορες περιοχές του εγκεφάλου. Αυτές οι συχνότητες συνδέονται με διάφορες γνωστικές και συναισθηματικές καταστάσεις, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τη λειτουργική οργάνωση του εγκεφάλου. Η καταγραφή των κυμάτων, πραγματοποιείται με τη χρήση τεχνικών όπως το ΗΕΓ. Συνολικά, παρατηρούνται πέντε συχνότητες (δέλτα, θήτα, άλφα, βήτα και γάμα) όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 1** και απεικονίζονται στην **Εικόνα 9**.

- Οι ρυθμοί **δέλτα** με ζώνη συχνοτήτων 0,5 – 4 Hz κυριαρχούν στο ΗΕΓ κατά τη διάρκεια του βαθύ ύπνου και της απώλειας συνείδησης.
- Οι ρυθμοί **θήτα** με ζώνη συχνοτήτων 4 – 8 Hz παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της βαθιάς χαλάρωσης - υπνηλίας, της ονειροπόλησης και της μετάβασης μεταξύ εγρήγορσης και ύπνου. Είναι επίσης εμφανή σε ορισμένες διαλογιστικές και δημιουργικές καταστάσεις.
- Οι ρυθμοί **άλφα** με ζώνη συχνοτήτων 8 – 13 Hz αποτελούν χαρακτηριστικό γνώρισμα της χαλαρής εγρήγορσης, ιδιαίτερα όταν τα μάτια είναι κλειστά. Γίνονται πιο έντονα κατά τη διάρκεια καταστάσεων χαλάρωσης και διαλογισμού. Επιτρέπει τη επικέντρωση στις εσωτερικές λειτουργίες και την ενίσχυση της προσοχής.
- Οι ρυθμοί **βήτα** με ζώνη συχνοτήτων 13 – 30 Hz συνδέονται με την ενεργή νόηση, την επίλυση προβλημάτων και την εστιασμένη προσοχή. Οι ρυθμοί βήτα με υψηλότερη ζώνη συχνοτήτων, περίπου 20-30 Hz, παρατηρούνται κατά τη διάρκεια γνωστικών προκλήσεων, ενώ οι ρυθμοί βήτα με χαμηλότερη ζώνη συχνοτήτων, περίπου 12-20 Hz, συνδέονται με μια χαλαρή αλλά σε εγρήγορση νοητική κατάσταση.
- Οι ρυθμοί **γάμα** με ζώνη συχνοτήτων 30-100 Hz (χονδρικά), είναι οι ταχύτερες συχνότητες εγκεφαλικών κυμάτων και διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενσωμάτωση πληροφοριών σε διάφορες περιοχές του εγκεφάλου. Εμπλέκονται σε σύνθετες γνωστικές διαδικασίες, όπως η αντιληπτική δέσμευση, η μνήμη εργασίας και η συνείδηση.

Οι συχνότητες καθώς και οι καταστάσεις των εγκεφαλικών κυμάτων αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για την αξιολόγηση των γνωστικών και συναισθηματικών καταστάσεων τόσο σε ερευνητικό όσο και σε κλινικό επίπεδο. Τα γνωστικά καθήκοντα προκαλούν συγκεκριμένα μοτίβα ΗΕΓ και οι αποκλίσεις από τη φυσιολογική δραστηριότητα των εγκεφαλικών κυμάτων μπορεί να είναι ενδεικτικές νευρολογικών δυσλειτουργιών ή καταστάσεων ψυχικής υγείας [17].

Πίνακας 1: Συχνότητες ΗΕΓ κυμάτων

Όνομα Ζώνης Συχνοτήτων	Εύρος Ζώνης Συχνοτήτων (Hz)	Ψυχική Κατάσταση
Δέλτα	0,5 - 4	Ύπνος
Θήτα	4 – 8	Βαθιά Χαλάρωση
Άλφα	8 - 13	Ξεκούραση/Χαλάρωση
Βήτα	13 – 30	Εγρήγορση/Ενεργό Μυαλό
Γάμα	30 - 100	Έντονη Συγκέντρωση



ΕΙΚΟΝΑ 9: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΗΕΓ ΣΗΜΑΤΩΝ (DELTA BAND, THETA BAND, ALPHA BAND, BETA BAND ΚΑΙ GAMMA BAND) [18].

2.2.3 Εφαρμογές του Ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος

Οι εφαρμογές του ΗΕΓ καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τομέων, καθιστώντας τον ένα ευέλικτο και απαραίτητο εργαλείο σε διάφορα επιστημονικά και πρακτικά πλαίσια. Στην κλινική νευρολογία, έχει καθοριστική σημασία για τη διάγνωση και τη διαχείριση νευρολογικών διαταραχών. Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διάγνωση της επιληψίας, βοηθώντας στην ταξινόμηση των τύπων επιληπτικών κρίσεων, στον εντοπισμό των εστιών επιληπτικών κρίσεων και στην καθοδήγηση των χειρουργικών επεμβάσεων για την ανθεκτική στα φάρμακα επιληψία [9], [10], [11]. Χρησιμοποιείται επίσης στην αξιολόγηση ασθενών με διαταραχή της συνείδησης, εγκεφαλικές κακώσεις, εγκεφαλοπάθειες και υποψίες για όγκους στον εγκέφαλο. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της εγκεφαλικής λειτουργίας κατά τη διάρκεια της αναισθησίας, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια των ασθενών κατά τη διάρκεια των χειρουργικών επεμβάσεων. Πέρα από τη διάγνωση, χρησιμοποιείται ευρέως στη γνωστική νευροεπιστήμη για τη διερεύνηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων γνωστικών εργασιών και παραδειγμάτων συμπεριφοράς. Ακόμη, οι ερευνητές το χρησιμοποιούν το για τη μελέτη της προσοχής, της μνήμης, της αντίληψης, της γλωσσικής επεξεργασίας και της λήψης αποφάσεων. Η χρονική ανάλυση του επιτρέπει την ακριβή παρακολούθηση των νευρωνικών συμβάντων, αποκαλύπτοντας την αλληλουχία και τον συντονισμό των εγκεφαλικών διεργασιών καθώς εκτυλίσσονται σε πραγματικό χρόνο.

Έχει βρει πολύτιμες εφαρμογές στην ιατρική του ύπνου, επιτρέποντας στους ειδικούς του ύπνου να αναλύουν την αρχιτεκτονική του ύπνου, να εντοπίζουν τις διαταραχές του ύπνου και να αξιολογούν τα αποτελέσματα της θεραπείας. Με την παρακολούθηση των μοτίβων των εγκεφαλικών κυμάτων κατά τη διάρκεια του ύπνου, το ΗΕΓ βοηθά στη διάκριση των διαφόρων σταδίων του ύπνου, όπως ο ύπνος ταχείας κίνησης των ματιών (Rapid Eye Movement - REM) και ο ύπνος μη-REM, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τη διάγνωση διαταραχών του ύπνου και την έρευνα σχετικά με τον ύπνο. Επιπλέον, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη των γνωστικών

και συναισθηματικών διεργασιών σε διάφορους πληθυσμούς, συμπεριλαμβανομένων των παιδιών, των ηλικιωμένων και των ασθενών με νευροψυχιατρικές διαταραχές. Βοηθά στην κατανόηση της νευρικής βάσης των γνωστικών διαταραχών και της συναισθηματικής απορρύθμισης σε καταστάσεις όπως η νόσος του Alzheimer, η διαταραχή ελλειμματικής προσοχής και υπερκινητικότητας (Attention Deficit Hyperactivity Disorder - ΔΕΠΥ), η κατάθλιψη, το άγχος και η σχιζοφρένεια. Εκτός του ιατρικού τομέα, έχει βρει εφαρμογές και σε μη ιατρικούς τομείς. Στο νευρομάρκετινγκ, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των αντιδράσεων των καταναλωτών σε διαφημίσεις, προϊόντα και λογότυπα εμπορικών σημάτων. Με τη μέτρηση της δραστηριότητας των εγκεφαλικών κυμάτων και τη συσχέτισή της με συναισθηματικές καταστάσεις, οι έμποροι αποκτούν πληροφορίες για τις προτιμήσεις των καταναλωτών και μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις στρατηγικές διαφήμισης για την καλύτερη στόχευση συγκεκριμένων δημογραφικών ομάδων. Η νευροανάδραση, μια μορφή βιοανάδρασης, επιτρέπει στα άτομα να αυτορυθμίζουν την εγκεφαλική τους δραστηριότητα. Λαμβάνοντας ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα μοτίβα των εγκεφαλικών τους κυμάτων, τα άτομα μπορούν να μάθουν να τροποποιούν τις γνωστικές και συναισθηματικές τους καταστάσεις. Η νευροανάδραση έχει χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της προσοχής, τη μείωση του στρες και του άγχους και τη βοήθεια στη θεραπεία καταστάσεων όπως η ΔΕΠΥ και ορισμένοι τύποι πονοκεφάλων.

2.2.3.1 Συσκευές Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος

Ένα ευρύ φάσμα επιλογών υπάρχει όσον αφορά τις συσκευές ΗΕΓ που μπορεί να χρησιμοποιηθούν όπως φαίνονται και στον **Πίνακα 2**. Οι συσκευές αυτές προσφέρουν ένα μη επεμβατικό μέσο καταγραφής της ηλεκτρικής δραστηριότητας στον εγκέφαλο και καλύπτουν διάφορες ανάγκες, από την κλινική διάγνωση έως τις εφαρμογές που απευθύνονται στον καταναλωτή και τις ΔΕΥ. Υπάρχει μια ποικιλία εφαρμογών ΗΕΓ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τη κατηγορία ανάγκης τους. Στην κατηγορία των φορητών συσκευών ΗΕΓ, ανήκουν συσκευές όπως: Muse, Emotiv Insight, Neurosity Notion, BrainBit Headset κ.α.. Μερικά από τα βασικά γνωρίσματα αυτών των συσκευών είναι το μικρό μέγεθος, η ευκολία χρήσης σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών και η εύκολη εφαρμογή τους. Το τελευταίο γνώρισμα, τις καθιστά κατάλληλες ακόμη και για προσωπική χρήση πέρα από τη χρήση σε εργαστηριακό περιβάλλον. Ακόμη, παρέχουν τη δυνατότητα σε ερευνητές, κλινικούς ιατρούς και άτομα να διερευνήσουν τη δυναμική του εγκεφάλου σε πραγματικές συνθήκες. Οι **Εικόνες 10-13** αναπαριστούν τις ΗΕΓ συσκευές Muse 2, Emotiv Insight, Neurosity Notion και BrainBit αντίστοιχα.

Φορητές HEG Συσκευές	Χαρακτηριστικά
Muse [19]	<ul style="list-style-type: none"> • Μέτρηση εγκεφαλικών σημάτων • Στήριγμα κεφαλής με ενσωματωμένους αισθητήρες που ακουμπάνε στο μέτωπο • Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές διαλογισμού και διαχείρισης του στρες. • Ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο της δραστηριότητας των εγκεφαλικών σημάτων • Προσιτή συσκευή
Emotiv Insight [20]	<ul style="list-style-type: none"> • Φορητό ακουστικό • Προσφέρει μεγάλο βαθμό κινητικότητας • Πολλαπλά ηλεκτρόδια στρατηγικά τοποθετημένα σε όλο το τριχωτό της κεφαλής • Χρήση σε εφαρμογές (γνωστική εκπαίδευση, ελεγχόμενο από τον εγκέφαλο παιχνίδια και εκπαιδευτικοί σκοποί)
Neurocity Notion [21]	<ul style="list-style-type: none"> • Στήριγμα κεφαλής • Ενισχύει την εστίαση και τη παραγωγικότητα • Παρακολουθεί μοτίβα εγκεφαλικών κυμάτων • Παρέχει ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο • Απευθύνεται σε όσους επιθυμούν να βελτιώσουν τα επίπεδα προσοχής και συγκέντρωσης
	<ul style="list-style-type: none"> • Συμπαγές ακουστικό

BrainBit Headset	<ul style="list-style-type: none">• Άνετη εφαρμογή• Ασύρματη σύνδεση σε εφαρμογή για κινητά• Παρακολουθεί εγκεφαλική δραστηριότητα σε πραγματικό χρόνο
-------------------------	--



ΕΙΚΟΝΑ 10: ΣΥΣΚΕΥΗ MUSE 2 [19].



ΕΙΚΟΝΑ 12: ΣΥΣΚΕΥΗ NEUROSITY NOTION [21].



ΕΙΚΟΝΑ 11: ΣΥΣΚΕΥΗ EMOTIV INSIGHT [20].



ΕΙΚΟΝΑ 13: ΣΥΣΚΕΥΗ BRAINBIT HEADSET .

2.3 Ορισμός Διεπαφής Εγκεφάλου-Υπολογιστή

Ο συνδετικός κρίκος που συνδέει το ανθρώπινο μυαλό με τη σφαίρα της ψηφιακής τεχνολογίας αναφέρεται ως Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή (Brain Computer Interface - ΔΕΥ). Η πρόοδος αυτή οφείλεται στον διαρκώς εξελισσόμενο χώρο όπου διασταυρώνονται η νευροεπιστήμη και η τεχνολογία. Λειτουργεί στο σταυροδρόμι διαφορετικών πεδίων, που περικλείουν την νευροεπιστήμη, τη μηχανική, την επιστήμη των υπολογιστών καθώς επίσης και την τεχνολογία. Στόχος της είναι η αποκωδικοποίηση των νευρονικών διεγρασιών και στη συνέχεια η μετάφρασή τους σε εντολές. Μια ΔΕΥ λαμβάνει διάφορες μορφές. Για την καταγραφή και την ερμηνεία των ηλεκτρικών σημάτων του ΗΕΓ, τοποθετούνται ηλεκτρόδια απευθείας στο τριχωτό της κεφαλής. Έτσι

επιτρέπεται στους χρήστες να χειρίζονται συσκευές ή λογισμικά μέσω των φανταστικών τους κινήσεων ή εστιασμένης προσοχής. Η συγκεκριμένη διαδικασία καταγραφής, ανήκει στην κατηγορία της μη επεμβατικής ΔΕΥ. Υπάρχει και η κατηγορία επεμβατικής ΔΕΥ όπου εμφυτεύονται ηλεκτρόδια μέσα στον εγκέφαλο. Αυτή η ιδιότητα, προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια και ενδεχομένως επιτρέπεται και η αμφίδρομη επικοινωνία, όπου όχι μόνο αποκωδικοποιούνται τα σήματα από τον εγκέφαλο αλλά στέλνονται και εξωτερικά σήματα πίσω στον εγκέφαλο [22].

2.3.1 Εφαρμογές Διεπαφών Εγκεφάλου-Υπολογιστή

Παρακάτω, θα παρουσιαστούν διάφορες εφαρμογές οι οποίες αξιοποιούν το δυναμικό των ΔΕΥ. Από την επανάσταση στις ιατρικές θεραπείες και την ενδυνάμωση των έξυπνων περιβαλλόντων έως τον επαναπροσδιορισμό της εκπαίδευσης και τη διαμόρφωση του πεδίου των παιχνιδιών και της ψυχαγωγίας, κάθε τομέας εφαρμογής καταδεικνύει τις μετασχηματιστικές δυνατότητες των ΔΕΥ. Αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν αναδειχθεί σε ένα πρωτοποριακό σύνολο εργαλείων, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ της ανθρώπινης νόησης και της τεχνολογικής καινοτομίας σε αυτούς τους δυναμικούς τομείς. Στον τομέα της ιατρικής, έχουν επιφέρει μετασχηματιστικές εξελίξεις οι οποίες προσφέρουν καινοτόμες λύσεις για άτομα με νευρολογικές διαταραχές και αναπηρίες. Μέσω της νευροπροσθετικής, επιτρέπει την άμεση επικοινωνία μεταξύ του εγκεφάλου και των εξωτερικών συσκευών, αποκαθιστώντας τον κινητικό έλεγχο και τις αισθητηριακές λειτουργίες σε ασθενείς με παθήσεις όπως τραυματισμοί του νωτιαίου μυελού ή ακρωτηριασμοί άκρων. Επιπλέον, η αποκατάσταση της επικοινωνίας ήταν το κύριο επίκεντρο της ερευνητικής κοινότητας επιτρέποντας σε ασθενείς με σοβαρές κινητικές βλάβες, όπως η αμυοτροφική πλευρική σκλήρυνση (Amyotrophic Lateral Sclerosis - ALS), να εκφράζονται και να αλληλεπιδρούν με τον κόσμο γύρω τους.

Η νευροαποκατάσταση έχει επίσης σημειώσει σημαντική πρόοδο, καθώς οι ΔΕΥ διευκολύνουν τις στοχευμένες θεραπείες για τους επιζώντες από εγκεφαλικά επεισόδια, καθοδηγώντας τη νευρική τους πλαστικότητα και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών αποκατάστασης. Αυτές οι ιατρικές εφαρμογές, αποτελούν ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων που όχι μόνο βελτιώνει την ποιότητα ζωής των ασθενών αλλά ανοίγει και το δρόμο για πρωτοφανείς νευροεπιστημονικές γνώσεις. Στο πεδίο των έξυπνων περιβαλλόντων, μπορεί να αναδιαμορφωθεί ο τρόπος με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με την τεχνολογία και το περιβάλλον τους. Με την απρόσκοπτη ενσωμάτωση με τις υποστηρικτικές τεχνολογίες, παρέχουν τη δυνατότητα στα άτομα με αναπηρίες να ελέγχουν διάφορες πτυχές του περιβάλλοντός τους μέσω απλών νευρωνικών εντολών. Πέρα από την προσβασιμότητα, συμβάλλουν στη γνωστική ενίσχυση, επιτρέποντας την παρακολούθηση της γνωστικής κατάστασης σε πραγματικό χρόνο, προωθώντας έτσι βελτιστοποιημένους χώρους εργασίας και βοηθώντας στη μείωση του στρες.

Ακόμη, η συγχώνευση τους με τα έξυπνα σπίτια υπόσχεται τη δημιουργία περιβαλλόντων που προβλέπουν τις ανάγκες των χρηστών, ρυθμίζοντας το φωτισμό, τη θερμοκρασία και άλλους παράγοντες με βάση τη γνωστική και συναισθηματική τους κατάσταση. Αυτές οι εφαρμογές υπογραμμίζουν το ρόλο των ΔΕΥ στην προώθηση μιας συμβιωτικής σχέσης μεταξύ ανθρώπου και τεχνολογίας, ενισχύοντας τόσο τη λειτουργικότητα όσο και την ευημερία. Στον τομέα της εκπαίδευσης προσφέρουν νέες προσεγγίσεις στη γνωστική αξιολόγηση οι οποίες επιτρέπουν τους εκπαιδευτικούς να μετρήσουν την προσοχή, τη δέσμευση και την αποτελεσματικότητα της μάθησης σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, μπορούν να επιτρέψουν προσαρμοστικές μαθησιακές

εμπειρίες, προσαρμόζοντας το περιεχόμενο και το ρυθμό στις γνωστικές καταστάσεις των μαθητών, βελτιστοποιώντας έτσι τη μαθησιακή διαδικασία και προωθώντας τη βαθύτερη κατανόηση. Αυτού του είδους στρατηγικές εκπαίδευσης έχουν τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν διαφορετικά μαθησιακά στυλ και ικανότητες, βελτιώνοντας τα συνολικά εκπαιδευτικά αποτελέσματα. Η αξιοποίηση των ΔΕΥ στην εκπαίδευση αποτελεί παράδειγμα της ικανότητάς τους να γεφυρώνουν τη νευροεπιστήμη και την παιδαγωγική, προσφέροντας μια πορεία προς πιο αποτελεσματικές και χωρίς αποκλεισμούς διδακτικές μεθοδολογίες.

Όσον αφορά τον τομέα των παιχνιδιών και της ψυχαγωγίας, εισάγεται μια νέα διάσταση εμπύθισης και αλληλεπίδρασης. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπουν στους παίκτες να ελέγχουν τα παιχνίδια χρησιμοποιώντας τη εγκεφαλική τους δραστηριότητα, ενισχύοντας την αίσθηση της δράσης και δημιουργώντας πρωτόγνωρες εμπειρίες παιχνιδιού. Υπόσχονται επίσης την αναγνώριση συναισθημάτων, επιτρέποντας στα παιχνίδια να προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο στις συναισθηματικές καταστάσεις των παικτών, προσαρμόζοντας έτσι το περιεχόμενο και τις προκλήσεις. Η ενσωμάτωση τους σε συστήματα εικονικής πραγματικότητας ανοίγει πόρτες σε πιο αληθινούς και διαδραστικούς εικονικούς κόσμους, δημιουργώντας ένα περιβάλλον όπου οι σκέψεις και οι προθέσεις επηρεάζουν άμεσα την ψηφιακή εμπειρία. Καθώς συνεχίζουν να διευρύνουν τα όρια της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής, η βιομηχανία παιχνιδιών και ψυχαγωγίας είναι έτοιμη να υποστεί μια αλλαγή παραδείγματος που θα θολώσει τα όρια μεταξύ του πραγματικού και του εικονικού [23].

2.3.2 Εφαρμογές διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή στον τομέα του gaming

Όπως προαναφέρθηκε, μια από τις χρήσεις ΔΕΥ, παρατηρείται στον τομέα των παιχνιδιών. Τα παιχνίδια, προσφέρουν εναλλακτικούς τρόπους αλληλεπίδρασης μέσω συσκευών που καταγράφουν και στη συνέχεια ερμηνεύουν την εγκεφαλική δραστηριότητα του χρήστη η οποία σχετίζεται με φανταστικές κινήσεις των άκρων. Για την καταγραφή των εγκεφαλικών σημάτων, απαραίτητη είναι η χρήση μιας συσκευής ΗΕΓ (στη παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε χρήση της συσκευής Muse 2). Η εγκεφαλική δραστηριότητα του χρήστη καταγράφεται μέσω των ηλεκτροδίων που διαθέτει η συσκευή και τοποθετούνται στο τριχωτό της κεφαλής. Τα σήματα του εγκεφάλου των χρηστών, τους δίνουν τη δυνατότητα να μπορούν να ελέγχουν έναν χαρακτήρα και κατά συνέπεια να παίξουν ψηφιακά παιχνίδια. Μέσω των σημάτων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη συγκέντρωση, τη χαλάρωση και τον ενθουσιασμό του χρήστη. Στη συνέχεια, αυτά τα σήματα μετατρέπονται σε ενέργειες (μετακίνηση χαρακτήρα ή αντικειμένου είτε προς τα αριστερά είτε προς τα δεξιά, αναπήδηση του χαρακτήρα κ.α.) μέσω ειδικών προγραμμάτων του υπολογιστή. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα τα παιχνίδια να είναι πιο διαδραστικά και κατά συνέπεια πιο ενδιαφέροντα διότι οι ενέργειες που προκύπτουν κάθε φορά εξάγονται από τις σκέψεις-φαντασίες του χρήστη. Αξίζει να σημειωθεί ότι χαρακτηρίζεται σαν δρόμος διπλής κατεύθυνσης όπου από τη μία το παιχνίδι ανταποκρίνεται στον εγκέφαλο του χρήστη και από την άλλη ο εγκέφαλος του χρήστη καθορίζει το αποτέλεσμα του παιχνιδιού. Ακόμη, η χρήση ΔΕΥ στα παιχνίδια χαρίζει στους χρήστες νέες ικανότητες που δεν είχαν προηγουμένως. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η εφεύρεση παρέχει τη δυνατότητα σε άτομα με σωματικές αναπηρίες να παίζουν ευκολότερα παιχνίδια. Επίσης συνεισφέρει αποτελεσματικά στην πνευματική εκπαίδευση και κατά συνέπεια την βελτίωση. Ο χρήστης μπορεί να δουλέψει τη συγκέντρωση, τη μνήμη καθώς και τη προσοχή του ενώ παίζει το παιχνίδι. Ο τρόπος με τον οποίο παίζονται πλέον τα παιχνίδια αποτελεί μια μεγάλη αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο αυτά γίνονται κατανοητά πλέον. Εν κατακλείδι, χάρις την εμφάνιση εφαρμογών ΔΕΥ στον τομέα των παιχνιδιών, ο σκοπός της βιομηχανίας να κινήσει το

ενδιαφέρων των χρηστών, να τους γοητεύσει και να τους εμπνεύσει σε βαθύ επίπεδο, ολοένα και αυξάνεται.

Κεφάλαιο 3: Ανάλυση του Θέματος

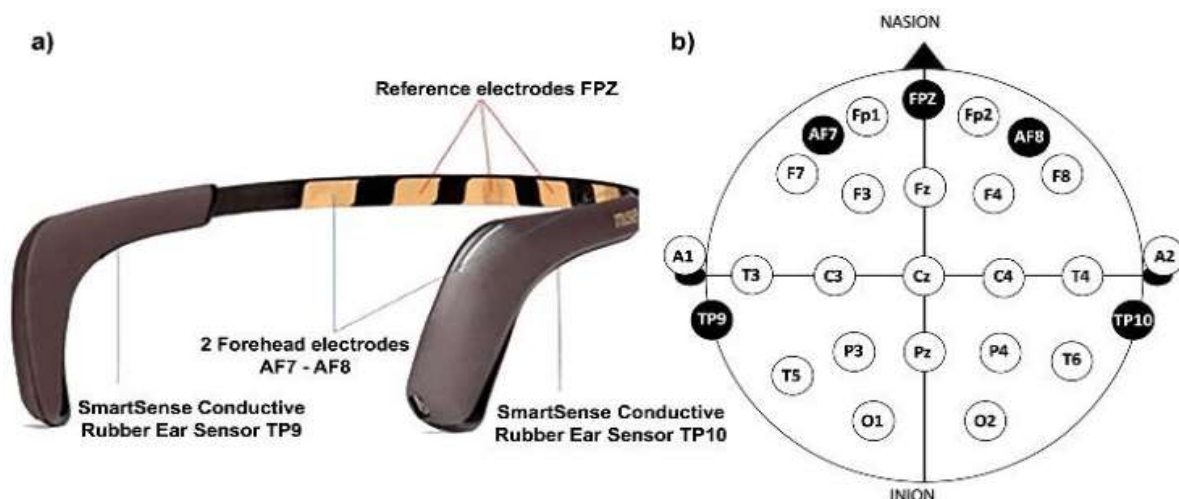
Σε αυτό το κεφάλαιο θα δοθεί βάση στη παρουσίαση των εφαρμογών που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και της συσκευής του ηλεκτροεγκεφαλογράφου για την υλοποίηση του πρακτικού μέρους της συγκεκριμένης μελέτης. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη σχεδίαση του παιχνιδιού καθώς και η ανάπτυξη των κατάλληλων σεναρίων για την επεξεργασία των ΗΕΓ σημάτων.

3.1 Εξοπλισμός

Η εργασία αυτή, μελετά την εγκεφαλική δραστηριότητα του ανθρώπου μέσα από την ανάπτυξη ενός παιχνιδιού το οποίο ελέγχεται από ένα σύστημα ΔΕΥ. Για την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας του ανθρώπου, χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Muse 2 της εταιρίας Interaxon.

3.1.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφος – Muse 2

Το στήριγμα κεφαλής, Muse 2, είναι κατάλληλο για τη καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας. Πρόκειται για μια συσκευή η οποία είναι διαθέσιμη στο εμπόριο, βρίσκεται σε χαμηλό κόστος και δεν χαρακτηρίζεται από κάποια δυσκολία όσον αφορά την εφαρμογή της. Χρησιμοποιεί επίπεδα ηλεκτρόδια τα οποία εστιάζουν στο μέσο του μετώπου και στο πίσω μέρος των αυτιών. Πιο συγκεκριμένα, διαθέτει 5 ηλεκτρόδια όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 14**, εκ των οποίων τα δύο είναι τα μετωπιαία ηλεκτρόδια, τα οποία στηρίζονται στο μέτωπο (AF7 και AF8) και τα άλλα δύο πρόκειται για τα κροταφικά ηλεκτρόδια όπου το ένα στηρίζεται στο πίσω μέρος του δεξιού αυτιού (TP9) και το άλλο στο πίσω μέρος του αριστερού αυτιού (TP10). Τέλος υπάρχει και το ηλεκτρόδιο αναφοράς (FPZ) το οποίο στηρίζεται στο κέντρο του μετώπου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η σύνδεση της συσκευής με τον υπολογιστή γίνεται μέσω Bluetooth [24].



ΕΙΚΟΝΑ 14: Α) ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ MUSE 2 Β) ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ [25].

3.1.2 BlueMuse

Η συσκευή Muse 2 μεταδίδει δεδομένα, χρησιμοποιώντας το Lab Streaming Layer - LSL. Η εμφάνιση αυτών των δεδομένων, προϋποθέτει σύνδεση Bluetooth με τη συγκεκριμένη συσκευή. Η σύνδεση αυτή μπορεί να επιτευχθεί μέσω της εφαρμογής BlueMuse. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπει τη μετάδοση ΗΕΓ δεδομένων από τη συσκευή σε πραγματικό χρόνο, ενώ ταυτόχρονα συλλέγει δεδομένα από άλλους αισθητήρες του. Ακόμη, είναι κατάλληλη για τη καταγραφή και την αποθήκευση δεδομένων, την οπτικοποίηση των μοτίβων του εγκεφάλου καθώς και την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν [26].

3.1.3 Lab Streaming Layer

Το Lab Streaming Layer (LSL) πρόκειται για ένα πακέτο λογισμικού που μεταδίδει και απεικονίζει δεδομένα. Αποτελείται από ένα σύνολο εργαλείων και βιβλιοθηκών που επιτρέπει στους ερευνητές να μεταδίδουν, να λαμβάνουν, να συγχρονίζουν και να καταγράφουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται με διάφορες ΗΕΓ συσκευές όπως συσκευές παρακολούθησης ματιών και άλλους φυσιολογικούς αισθητήρες. Μέσω του LSL είναι δυνατή η καταγραφή δεδομένων για ανάλυση, καθώς και ο συγχρονισμός ροών δεδομένων. Στη συγκεκριμένη μελέτη, ως στήριγμα κεφαλής, θα χρησιμοποιηθεί η συσκευή Muse 2, η οποία συνδέεται μέσω Bluetooth με την εφαρμογή BlueMuse. Στη συνέχεια, δημιουργείται μια ροή LSL, μέσω της οποίας αποστέλλονται τα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα στον Acquisition Server που προέκυψαν στην εφαρμογή OpenVibe [27].

3.1.4 OpenVibe

Το OpenVibe είναι μια πλατφόρμα ελεύθερου λογισμικού και ανοικτού κώδικα, κατάλληλη για τον σχεδιασμό, τη δοκιμή και τη χρήση ΔΕΥ. Ασχολείται με τη δημιουργία online και offline σεναρίων. Παρέχει μια πληθώρα επιλογή αλγορίθμων επεξεργασίας του σήματος για την απόκτηση, το

φιλτράρισμα, την ταξινόμηση, την επεξεργασία και την οπτικοποίηση εγκεφαλικών σημάτων σε πραγματικό χρόνο. Οι αλγόριθμοι αυτοί, μπορούν να γίνουν χρήση προκειμένου να σχεδιαστεί, να δοκιμαστεί στη χρήση ΔΕΥ τόσο σε πραγματικά όσο και σε εικονικό περιβάλλον [28].

3.1.5 Python

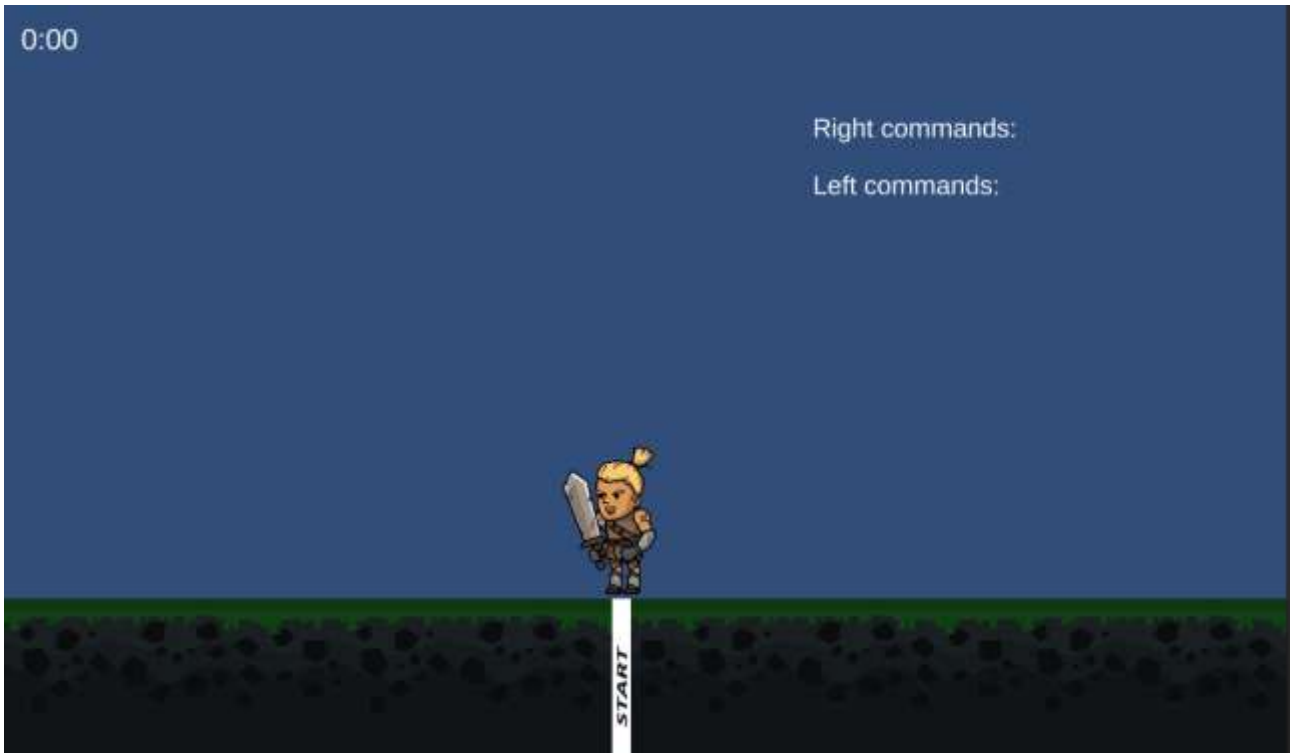
Απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί το Lab Streaming Layer, είναι η εγκατάσταση της Python. Πιο συγκεκριμένα, το Muse Lab Streaming Layer πρόκειται για ένα σενάριο Python το οποίο παρέχει τη δυνατότητα συνεχής ροής εγκεφαλικών σημάτων από τη συσκευή Muse 2.

3.2 Σχεδίαση Παιχνιδιού

Η σχεδίαση του παιχνιδιού υλοποιήθηκε σε μια δημοφιλή πλατφόρμα ανάπτυξης παιχνιδιών, το Unity. Το σύστημα αυτό επιτρέπει τόσο στην επαυξημένη όσο και στην εικονική πραγματικότητα τη δημιουργία δισδιάστατων και τρισδιάστατων παιχνιδιών. Παρέχει επίσης τη δυνατότητα σύνδεσης με ΔΕΥ με σκοπό τη δημιουργία διαδραστικών εμπειριών οι οποίες ελέγχονται από την εγκεφαλική δραστηριότητα του χρήστη. Η σύνδεση αυτή, πραγματοποιείται μέσω της εισαγωγής απαραίτητων βιβλιοθηκών και εργασιών. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη liblsl, η οποία συνδέει τη ΔΕΥ με το Unity. Πιο συγκεκριμένα τα ηλεκτροεγκεφαλογραφικά δεδομένα που καταγράφονται από τη συσκευή ΗΕΓ Muse 2 ταξινομούνται από τον ταξινομητή πραγματικού χρόνου και στη συνέχεια μέσω μιας ροής που δημιουργεί η βιβλιοθήκη liblsl μεταδίδονται. Τέλος, με τη βοήθεια των σεναρίων έγινε δυνατή η ανάγνωση καθώς και η μετάδοση δεδομένων ανά δείγμα. Να σημειωθεί ότι τα σενάρια γράφτηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού C#.

Το παιχνίδι αποτελείται από έναν χαρακτήρα, όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 15**, ο οποίος κινείται συνεχώς προς τα δεξιά. Το παιχνίδι που σχεδιάστηκε έχει ως σκοπό την επίτευξη δύο σωστών μετακινήσεων του χαρακτήρα προς τα αριστερά και δύο σωστών μετακινήσεων του χαρακτήρα προς τα δεξιά. Για να μετακινηθεί ο χαρακτήρας προς τα αριστερά, θα πρέπει ο χρήστης κατά τη διάρκεια της καταγραφής να κοιτάει προς τα αριστερά και να φαντάζεται ότι θέλει να μετακινηθεί προς τα αριστερά. Το ίδιο ισχύει και για τη μετακίνηση του χαρακτήρα προς τα δεξιά. Θα πρέπει δηλαδή ο χρήστης κατά τη διάρκεια της καταγραφής να κοιτάει προς τα δεξιά και να φαντάζεται ότι θέλει να μετακινηθεί προς τα δεξιά. Επομένως, ανάλογα με την εντολή που θα πάρει ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος, εάν ο χρήστης κοιτάει προς τα αριστερά και φαντάζεται ότι θέλει να κινηθεί προς τα αριστερά, θα πρέπει ο χαρακτήρας να μετακινηθεί προς τα αριστερά. Ενώ, εάν ο χρήστης κοιτάζει προς τα δεξιά και φαντάζεται ότι θέλει να κινηθεί προς τα δεξιά, θα πρέπει ο χαρακτήρας να μετακινηθεί προς τα δεξιά. Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη μελέτη αξιολογεί τη μακροχρόνια χρήση ΔΕΥ, ο κάθε χρήστης πρέπει να επαναλάβει τη διαδικασία της εκπαίδευσης 10 φορές. Σε κάθε εκπαίδευση, ο χρήστης θα παίξει 12 φορές το παιχνίδι. Τις πρώτες έξι φορές θα πρέπει να μετακινήσει δύο φορές τον χαρακτήρα προς τα αριστερά και τις υπόλοιπες έξι φορές, θα πρέπει να μετακινήσει δύο φορές τον χαρακτήρα προς τα δεξιά. Εάν ο χρήστης μετακινήσει επτά συνεχόμενες φορές τον χαρακτήρα προς τα αριστερά, τότε το παιχνίδι τερματίζει. Το ίδιο ισχύει και για τις επτά συνεχόμενες μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα δεξιά. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι το παιχνίδι τερματίζει μετά τις επτά συνεχόμενες μετακινήσεις, ο χρήστης στη χειρότερη περίπτωση έχει στη διάθεση του 9 ευκαιρίες να πραγματοποιήσει τις δύο σωστές κινήσεις που πρέπει χωρίς να τερματιστεί το παιχνίδι. Εάν η 10η ευκαιρία δεν είναι η επιθυμητή μετακίνηση του

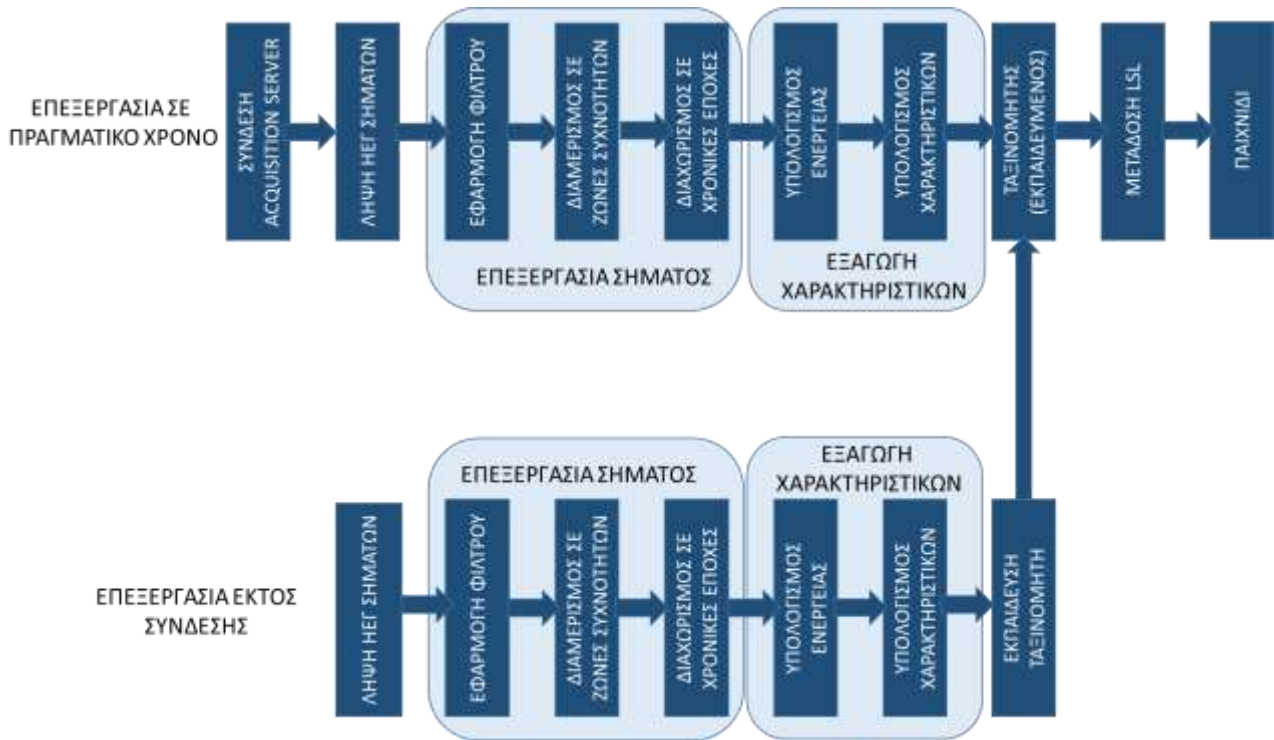
χαρακτήρα προς τη κατεύθυνση που πρέπει, τότε το παιχνίδι τερματίζει. Ακόμη, το παιχνίδι διαθέτει ένα χρονόμετρο στο οποίο καταγράφεται ο χρόνος που παίζεται το παιχνίδι. Επιπλέον, σε κάθε παιχνίδι, μετράει τον αριθμό των μετακινήσεων του χαρακτήρα προς τα αριστερά (Left commands) και αντίστοιχα τον αριθμό των μετακινήσεων του χαρακτήρα προς τα δεξιά (Right commands). Τέλος, δεδομένου ότι το παιχνίδι έχει σχεδιαστεί γύρω από μια εποχή τριών δευτερολέπτων, ο χαρακτήρας αλλάζει θέση κάθε τρία δευτερόλεπτα (3 seconds) με βάση τη νοητική εντολή που του δίνει ο χρήστης.



ΕΙΚΟΝΑ 15: ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΟ ΤΟΥ ΠΑΙΧΝΙΔΙΟΥ.

3.3 Μεθοδολογία

Προτού αναλυθεί η διαδικασία δημιουργίας των δύο σεναρίων (επεξεργασία σήματος εκτός σύνδεσης και επεξεργασία σήματος σε πραγματικό χρόνο), ακολουθεί μια οπτική αναπαράσταση των σεναρίων που αναπτύχθηκαν σε μορφή διαγράμματος ροής όπως φαίνεται στην **Εικόνα 16**. Έπειτα, θα ακολουθήσει μια αναλυτική περιγραφή δημιουργίας των σεναρίων. Τέλος, θα αναλυθεί η μέθοδος ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία του σήματος.



ΕΙΚΟΝΑ 16: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΥΟ ΣΕΝΑΡΙΩΝ (ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΚΤΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ).

3.3.1 Επεξεργασία εκτός Σύνδεσης

Σε αυτό το σημείο, θα ακολουθήσει μια αναλυτική περιγραφή του σεναρίου που δημιουργήθηκε για την επεξεργασία του σήματος εκτός σύνδεσης. Αρχικά θα δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη πλατφόρμα λογισμικού OpenVibe, μέσω της οποίας πραγματοποιείται η λήψη των ΗΕΓ σημάτων. Στη συνέχεια, αφού γίνει η καταγραφή των σημάτων, τα σήματα αυτά θα χρησιμοποιηθούν ως σήματα εισόδου στο σενάριο που δημιουργήθηκε για την εκτός σύνδεσης επεξεργασία προκειμένου να προβούν σε κατάλληλη επεξεργασία.

3.3.1.1 Λήψη Ηλεκτροεγκεφαλικών Σημάτων

Η καταγραφή των ακατέργαστων σημάτων, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του διακομιστή OpenVibe. Για την ακρίβεια, δημιουργήθηκε ένα σενάριο το οποίο λαμβάνει τα δεδομένα αυτά, με ρυθμό δειγματοληψίας 256, και τα αποθηκεύει σε ένα αρχείο .csv. Το στήριγμα κεφαλής Muse 2 διαθέτει έξι κανάλια (AF7,AF8, TP9, TP10, timestamp, AUX), από τα οποία επιλέχθηκαν μόνο τα τέσσερα από αυτά (AF7,AF8, TP9, TP10). Η διαδικασία της καταγραφής θα επαναληφθεί δύο φορές όπου θα γίνει μια καταγραφή για τα αριστερά και μια για τα δεξιά. Στη συνέχεια, αφού διεξαχθεί με επιτυχία η φάση της καταγραφής, τα δεδομένα αυτά θα εισαχθούν στο σενάριο που έχει δημιουργηθεί για την εκτός σύνδεσης επεξεργασία, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η εξαγωγή των χαρακτηριστικών για τη ταξινόμηση τους.

3.3.1.2 Επεξεργασία Σήματος

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η επεξεργασία του σήματος θα γίνει στο σενάριο που δημιουργήθηκε για την εκτός σύνδεσης επεξεργασία (Εικόνα 17). Το σενάριο δέχεται ως είσοδο δύο .csv αρχεία, τα οποία θα υποστούν τις ίδιες μορφοποιήσεις στη πορεία. Στο κουτί που βρίσκεται προς τα αριστερά, τοποθετείται η καταγραφή για τα αριστερά, ενώ στο κουτί που βρίσκεται προς τα δεξιά, τοποθετείται η καταγραφή για τα δεξιά. Αφού φορτωθούν τα δύο αρχεία, στη συνέχεια θα ακολουθήσει η παρακάτω διαδικασία:

1. Εφαρμόζεται ένα φίλτρο Butterworth 4ης τάξης με ζώνη διέλευσης μεταξύ 8 Hz και 40 Hz προκειμένου να αφαιρεθεί ο θόρυβος καθώς τα σήματα που προέκυψαν από τη καταγραφή είναι θορυβώδη.
2. Το σήμα διαχωρίζεται σε πέντε ρυθμούς: άλφα, βήτα1, βήτα2, γάμα1 και γάμα2 με ζώνες συχνοτήτων 9-13 Hz, 13-20 Hz, 20-30 Hz, 30-35 Hz και 35-40 Hz αντίστοιχα. Η ζώνη άλφα αντιστοιχεί στη κατάσταση χαλάρωσης. Η ζώνη βήτα στη κατάσταση της ενεργού σκέψης. Τέλος, η ζώνη γάμα σχετίζεται με ασθένειες του εγκεφάλου.
3. Δημιουργούνται χρονικές εποχές στα συνεχή σήματα ΗΕΓ. Η διαίρεση του σήματος σε εποχές, τη καθιστά ευκολότερη στην ανάλυση συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγονται μη επικαλυπτόμενα παράθυρα των τριών δευτερολέπτων.

3.3.1.3 Εξαγωγή Χαρακτηριστικών

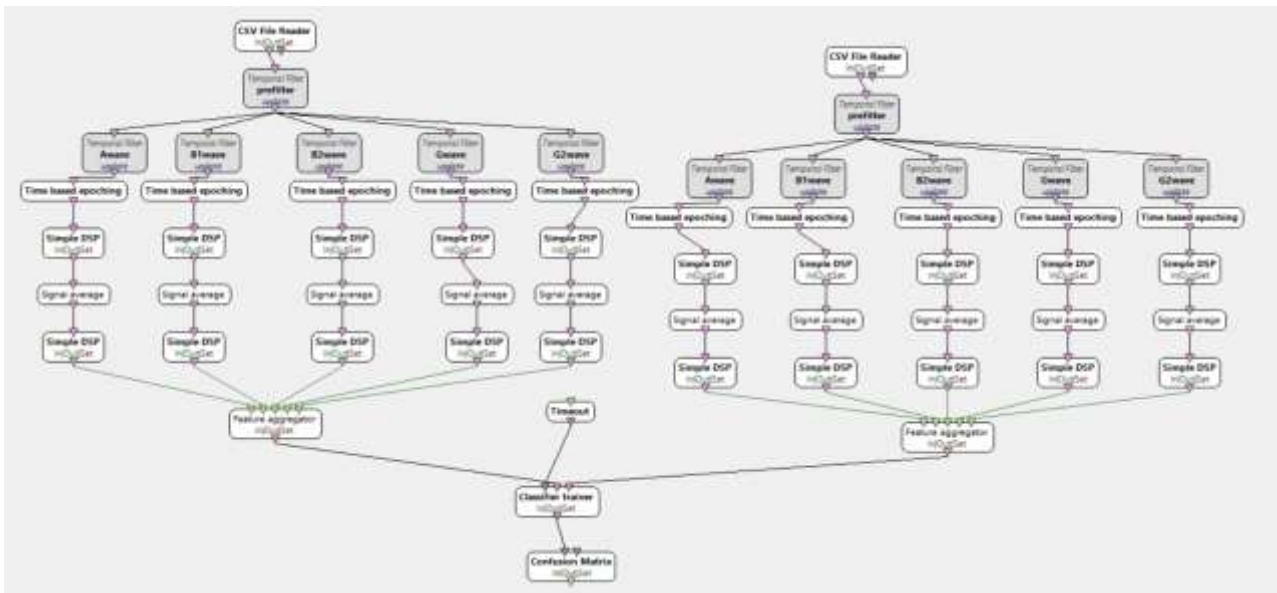
Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας του σήματος, ακολουθεί η εξαγωγή των χαρακτηριστικών. Για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών υλοποιούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Από κάθε ζώνη συχνότητας, υπολογίζεται η ενέργεια. Για να υπολογιστεί η ενέργεια, τετραγωνίζεται το σήμα. Αφού τετραγωνιστεί, υπολογίζεται ο μέσος όρος και στη συνέχεια λογαριθμίζεται.
2. Τέλος, κάθε κομμάτι εισόδου κατατάσσεται σε ένα διάγραμμα χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά που λαμβάνονται στις εισόδους, χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση του ταξινομητή.

3.3.1.4 Εκπαίδευση Ταξινομητή

Αφού διεξαχθεί με επιτυχία η καταγραφή ηλεκτροεγκεφαλογραφικών σημάτων, η επεξεργασία του σήματος καθώς και η εξαγωγή των χαρακτηριστικών, σειρά έχει η ταξινόμηση των δεδομένων που προέκυψαν. Για να πραγματοποιηθεί η ταξινόμηση, χρησιμοποιήθηκε ο ταξινομητής ανάλυσης γραμμικής διάκρισης (Linear Discriminant Analysis - LDA). Η πλατφόρμα του λογισμικού OpenVibe που πραγματοποιήθηκε η καταγραφή των ΗΕΓ σημάτων, διαθέτει τρεις μεθόδους ταξινόμησης (LDA, Support Vector Machines - SVM, Multi-Layer Perceptron - MLP) κατάλληλες για δυαδική ταξινόμηση. Στη συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο ταξινομητής LDA, ένας στατιστικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται ευρέως στη μηχανική μάθηση για ταξινόμηση, μείωση διαστάσεων και διακριτική μοντελοποίηση. Στοχεύει στην ανακάλυψη ενός γραμμικού συνδυασμού χαρακτηριστικών που βελτιστοποιεί το διαχωρισμό των κλάσεων, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη διακύμανση εντός της κλάσης. Υποθέτει κανονική κατανομή των δεδομένων και ίσους πίνακες συνδιακύμανσης μεταξύ των κλάσεων. Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει την προεπεξεργασία δεδομένων, τον υπολογισμό στατιστικών κλάσεων, τον υπολογισμό πινάκων διασποράς που αποτυπώνουν τόσο τις διακυμάνσεις μεταξύ των κλάσεων όσο και τις διακυμάνσεις εντός των κλάσεων, την επίλυση ενός γενικευμένου προβλήματος ιδιοτιμών και τη χρήση των διανυσμάτων διάκρισης που προκύπτουν. Η θεμελιώδης ιδέα πίσω από τον συγκεκριμένο ταξινομητή είναι η επιλογή ενός ορίου απόφασης που μεγιστοποιεί την απόσταση μεταξύ των μέσων όρων των κλάσεων, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη διακύμανση ή τη διακύμανση εντός της κλάσης. Ακόμη, βρίσκει πρακτικές εφαρμογές σε πολυάριθμους τομείς, όπως η αναγνώριση προσώπων, η αναγνώριση χαρακτήρων και η βιοπληροφορική. Με την προβολή του συνόλου δεδομένων σε έναν χώρο χαμηλότερης διάστασης με διακριτά χαρακτηριστικά κλάσεων, μετριάζει αποτελεσματικά την υπερπροσαρμογή και μειώνει την υπολογιστική πολυπλοκότητα. Είναι ζωτικής σημασίας να σημειωθεί ότι είναι ένας αλγόριθμος μάθησης με επίβλεψη, ο οποίος απαιτεί επισημασμένα δεδομένα εκπαίδευσης για την εκμάθηση της γραμμικής συνάρτησης διάκρισης [29], [30].

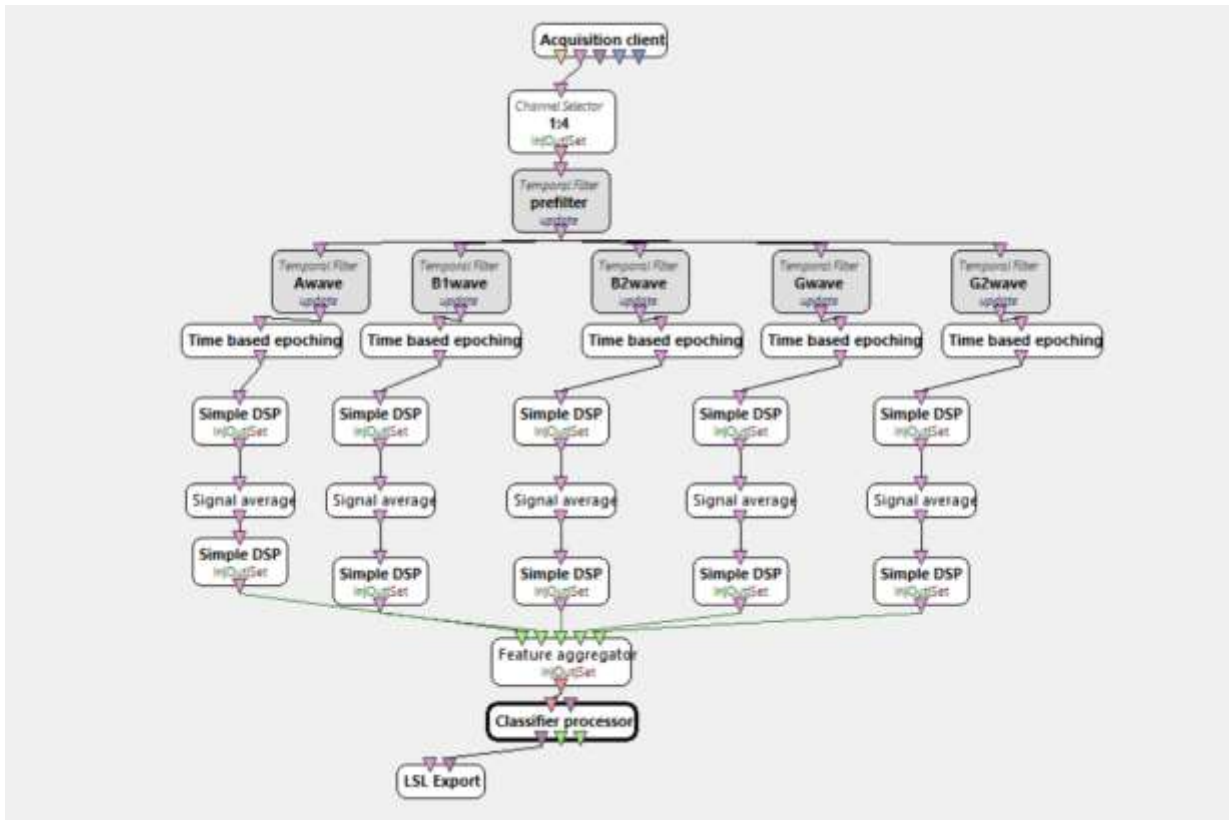
Για να εφαρμοστεί ο συγκεκριμένος ταξινομητής, εφαρμόστηκαν οι παρακάτω ρυθμίσεις. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος εκπαίδευσης του ταξινομητή χωρίς στρατηγική ανά ζεύξη (native). Η στρατηγική αυτή, διαβιβάζει όλα τα δεδομένα σε έναν μόνο εκπαιδευτή ταξινομητών. Στη συνέχεια, για την αξιολόγηση της απόδοσης του ταξινομημένου ΗΕΓ σήματος, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική των διασταυρωμένων επικυρώσεων με 10 πλαίσια. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής χωρίζει όλα τα διαθέσιμα δείγματα σε 10 τυχαία ίσα τμήματα. Από τα 10 διαθέσιμα τμήματα δειγμάτων, το 1 τμήμα χρησιμοποιείται ως δεδομένο επικύρωσης και τα υπόλοιπα 9 τμήματα εφαρμόζονται ως σύνολα εκπαίδευσης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται 10 φορές, όπου κάθε φορά οι συνδυασμοί των παραμέτρων που προκύπτουν είναι διαφορετικοί.



ΕΙΚΟΝΑ 17: ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΚΤΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ.

3.4 Επεξεργασία Σύνδεσης σε Πραγματικό Χρόνο

Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία του σήματος εκτός σύνδεσης καθώς και η εκπαίδευση του αλγορίθμου ταξινόμησης, ακολουθεί η δοκιμή σε πραγματικό χρόνο όπως απεικονίζεται στην **Εικόνα 18**. Αναπτύχθηκε επομένως ένα καινούργιο σενάριο για την επεξεργασία σύνδεσης σε πραγματικό χρόνο. Αρχικά παίρνει το σήμα HEF και το μεταδίδει μέσω του πρωτοκόλλου LSL, σε μια συγκεκριμένη θύρα του διακομιστή OpenVibe. Έπειτα, από τα 6 κανάλια που διαθέτει το στήριγμα κεφαλής Muse 2 (AF7, AF8, TP9, TP10, timestamp, AUX), επιλέγονται μόνο τα κανάλια AF7, AF8, TP9 και TP10. Στη συνέχεια, ακολουθείται η ίδια διαδικασία που ακολουθείται στην εκτός σύνδεσης επεξεργασία: εφαρμογή Butterworth φίλτρου 4ης τάξης με ζώνη διέλευσης μεταξύ 8 Hz και 40 Hz, διαχωρισμός σήματος σε πέντε ρυθμούς, δημιουργία χρονικών εποχών στα συνεχή σήματα HEF, υπολογισμός ενέργειας, υπολογισμός μέσου όρου, εφαρμογή λογαριθμικής κλίμακας και τέλος τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν εισάγονται στον ταξινομητή. Κατόπιν, μέσω του LSL EXPORT, ο ταξινομητής μεταφράζει τις αποφάσεις του σε αριθμούς οι οποίες στέλνονται μέσω του LSL STREAM στο παιχνίδι. Οι αποφάσεις που μπορεί να πάρει είναι δύο, είτε να μετακινηθεί προς τα αριστερά είτε να μετακινηθεί προς τα δεξιά. Ο ταξινομητής αυτές τις αποφάσεις τις αντιλαμβάνεται ως 33025 και 33026 αντίστοιχα.



ΕΙΚΟΝΑ 18: ΣΕΝΑΡΙΟ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ.

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τη μακροχρόνια χρήση ΔΕΥ. Προτού γίνει αυτό, θα γίνει μια περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για τη διεξαγωγή των καταγραφών. Στη συνέχεια, θα απεικονιστούν τα αποτελέσματα ταξινόμησης από κάθε συμμετέχοντα με τη χρήση του αλγορίθμου ταξινόμησης LDA. Τέλος, θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από κάθε προσπάθεια τόσο ξεχωριστά όσο και συλλογικά.

4.1 Περιγραφή Δείγματος και Υλοποίηση Πειράματος

Για την δοκιμασία του πειράματος αυτού, συμμετείχαν συνολικά τέσσερις εθελοντές (δύο γυναίκες και δύο άνδρες). Οι τρεις από τους τέσσερις συμμετέχοντες είναι 23 ετών (δύο γυναίκες και ένας άνδρας) ενώ ο τέταρτος συμμετέχοντας είναι 19 ετών. Όσον αφορά την όρασή τους, οι τρεις από τους τέσσερις (μία γυναίκα και δύο άνδρες) έχουν φυσιολογική όραση ενώ η άλλη γυναίκα φοράει γυαλιά (**Πίνακας 3**). Προκειμένου να διεξαχθούν οι καταγραφές των συμμετεχόντων υπό τη δικιά τους επιθυμία, υπέγραψαν μια επίσημη συγκατάθεση. Να σημειωθεί ότι οι τρεις από τους τέσσερις συμμετέχοντες είχαν συμμετάσχει στο παρελθόν και σε άλλα πειράματα ΔΕΥ. Οι καταγραφές του πειράματος, διεξάχθηκαν στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου στη ΖΕΠ, Κοζάνη τόσο για την ελαχιστοποίηση του εξωτερικού θορύβου και κατά συνέπεια την καλύτερη συγκέντρωση, όσο και για την επίβλεψη από έναν έμπειρο ερευνητή. Για να μπορέσει να ξεκινήσει η διαδικασία της καταγραφής των ΗΕΓ σημάτων ήταν αναγκαίο να ακολουθηθούν τα παρακάτω βήματα:

- Αρχικά, ζητήθηκε από κάθε εθελοντή να καθίσει σε μία καρέκλα.
- Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του ερευνητή, φορέθηκε η συσκευή Muse 2 στο μέτωπο τους και τους ζητήθηκε να περιορίσουν τις κινήσεις τους όσο το δυνατόν περισσότερο για να βρεθούν σε μία κατάσταση χαλάρωσης.
- Εφόσον βρεθούν στην επιθυμητή κατάσταση, μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία της εκπαίδευσης.
- Συνολικά, από κάθε συμμετέχοντα πραγματοποιήθηκαν δύο καταγραφές. Στη πρώτη καταγραφή, τους ζητήθηκε, έχοντας ανοιχτά τα μάτια τους, να κοιτάνε προς τα αριστερά και να φαντάζονται ότι θέλουν να κινηθούν προς τα αριστερά για 5 λεπτά. Μόλις ολοκληρωθούν τα 5 λεπτά καταγραφής για τα αριστερά ακολουθούν μερικά λεπτά ξεκούρασης προτού ξεκινήσει η δεύτερη καταγραφή. Στη δεύτερη καταγραφή, διεξάγεται

η ίδια διαδικασία με τη πρώτη καταγραφή, με τη μόνη διαφορά ότι σε αυτή τη περίπτωση οι συμμετέχοντες κοιτάνε προς τα δεξιά και φαντάζονται ότι θέλουν να κινηθούν προς τα δεξιά για 5 λεπτά. Δεδομένου ότι εξετάζεται η μακροχρόνια χρήση ΔΕΥ, ο κάθε συμμετέχοντας εκπαιδεύτηκε δέκα φορές στο σύνολο. Επομένως, συνολικά πραγματοποιήθηκαν 80 καταγραφές. Η συχνότητα με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι καταγραφές ήτανε μέρα παρά μέρα. Στη συνέχεια, μετά το πέρας της ολοκλήρωσης των δύο καταγραφών, οι καταγραφές εισήχθησαν στο σενάριο για την επεξεργασία του σήματος εκτός σύνδεσης που δημιουργήθηκε. Από την εισαγωγή αυτή, προκύπτουν δύο διανύσματα χαρακτηριστικών τα οποία με τη σειρά τους χρησιμοποιούνται ως είσοδοι του ταξινομητή LDA. Συνολικά, δημιουργήθηκαν 80 διανύσματα χαρακτηριστικών, δηλαδή 20 διανύσματα από κάθε εθελοντή. Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, ύστερα από τη χρήση του ταξινομητή LDA, το ποσοστό ακρίβειας που προέκυψε κυμαίνεται από 89 έως 100%.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της εκπαίδευσης που πραγματοποιείται στο σενάριο για την επεξεργασία του σήματος εκτός σύνδεσης, ακολουθεί η μετάβαση στο σενάριο επεξεργασίας του σήματος σε πραγματικό χρόνο. Εκεί ουσιαστικά, οι εθελοντές θα είναι έτοιμοι να παίξουν το παιχνίδι σύμφωνα με τις νοητικές εντολές που θα δώσουν. Σε κάθε προσπάθεια, ο κάθε παίκτης θα χρειαστεί να παίξει το παιχνίδι δώδεκα φορές. Τις έξι πρώτες φορές θα πρέπει μετακινήσει τον χαρακτήρα προς τα αριστερά δύο φορές και τις υπόλοιπες έξι φορές, θα προσπαθήσει να μετακινήσει τον χαρακτήρα προς τα δεξιά δύο φορές. Η μετακίνηση του χαρακτήρα είναι ανάλογη των νοητικών εντολών του συμμετέχοντα. Για να γίνει αντιληπτή μια νοητική εντολή, χρειάζονται 3 seconds. Συνεπώς για να ολοκληρωθεί μια επανάληψη θα χρειαστούν 36 sec στη καλύτερη περίπτωση, ενώ στη χειρότερη θα χρειαστούν 360sec, δηλαδή 6 λεπτά. Στη καλύτερη περίπτωση, ο συμμετέχοντας θα πραγματοποιήσει αμέσως δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα και στις δώδεκα επαναλήψεις. Ενώ, στη χειρότερη περίπτωση δεν θα μπορέσει να μετακινήσει ποτέ τον χαρακτήρα προς την επιθυμητή κατεύθυνση με αποτέλεσμα το παιχνίδι να τερματίσει (Game Over). Προτού ξεκινήσει η διαδικασία της καταγραφής, οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε τέσσερις δοκιμαστικές προσπάθειες προκειμένου να εξοικειωθούν με το παιχνίδι. Κατόπιν, ξεκινάει η καταγραφή προσπαθειών.

Πίνακας 3: Συγκέντρωση των συμμετεχόντων σε έναν πίνακα μαζί με τα βασικά χαρακτηριστικά τους (φύλο, ηλικία και κατάσταση όρασης).

Συμμετέχοντας	Φύλο	Ηλικία	Κατάσταση Όρασης
1	Θήλυ	23	Με γυαλιά
2	Άρρεν	19	Φυσιολογική
3	Άρρεν	23	Φυσιολογική
4	Θήλυ	23	Φυσιολογική

4.2 Αποτελέσματα Ταξινόμησης

Αφού ολοκληρώθηκαν οι καταγραφές των ΗΕΓ σημάτων, στη συνέχεια ταξινομήθηκαν σε δύο κατηγορίες (αριστερά και δεξιά). Παρακάτω παρουσιάζονται 5 πίνακες (**Πίνακα 4, Πίνακα 5, Πίνακα 6, Πίνακα 7 και Πίνακα 8**). Οι **πίνακες 4 έως 7** αντιστοιχούν στους **συμμετέχοντες 1 έως 4** αντίστοιχα. Σε αυτούς τους τέσσερις πίνακες, αναγράφονται οι δέκα προσπάθειες από κάθε συμμετέχοντα μαζί με τα ποσοστά για το αριστερά Motor Imagery, για το δεξί Motor Imagery καθώς και την ακρίβεια ταξινόμησης που είχαν κάθε φορά. Αντίστοιχα, ο **Πίνακας 8** παρουσιάζει τον μέσο όρο όλων των προσπαθειών από κάθε συμμετέχοντα.

Πρώτος Συμμετέχοντας

Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 4**) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ταξινόμησης του πρώτου συμμετέχοντα. Το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας με βάση τον αλγόριθμο LDA είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό ακρίβειας είναι 97%. Το υψηλότερο ποσοστό για το Left Motor Imagery είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό είναι 97.9%. Τέλος, το υψηλότερο ποσοστό για το Right Motor Imagery είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό είναι 95.9%. Σύμφωνα με τον **Πίνακα 8**, για τον πρώτο συμμετέχοντα, προκύπτουν οι παρακάτω μέσοι όροι:

- Ακρίβεια: 98.7%
- Left Motor Imagery: 99.5%
- Right Motor Imagery: 98.1%

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται να αντιλαμβάνεται καλύτερα την κίνηση προς τα αριστερά συγκριτικά με την κίνηση προς τα δεξιά.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα ταξινόμησης ΗΕΓ σημάτων του πρώτου συμμετέχοντα σύμφωνα με τον αλγόριθμο ταξινόμησης LDA.

ΠΡΩΤΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ		ΑΚΡΙΒΕΙΑ	LDA-ΑΡΙΣΤΕΡΑ	LDA-ΔΕΞΙΑ
ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ	1 ^η	97.9%	100%	95.9%
	2 ^η	99.5%	100%	99%
	3 ^η	97.9%	97.9%	97.9%
	4 ^η	100%	100%	100%
	5 ^η	97%	97.9%	96.9%
	6 ^η	99.5%	99%	100%
	7 ^η	98.8%	100%	97.9%
	8 ^η	97.9%	100%	95.9%
	9 ^η	99.5%	100%	99%
	10 ^η	99.5%	100%	98.9%

Δεύτερος Συμμετέχοντας

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ταξινόμησης του δεύτερου συμμετέχοντα. Το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας με βάση τον αλγόριθμο LDA είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό ακρίβειας είναι 90.605263%. Το υψηλότερο ποσοστό για το Left Motor Imagery είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό είναι 90.7%. Τέλος, το υψηλότερο ποσοστό για το Right Motor Imagery είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό είναι 85.6%. Σύμφωνα με τον Πίνακα 8, για τον δεύτερο συμμετέχοντα, προκύπτουν οι παρακάτω μέσοι όροι:

- Ακρίβεια: 97.6%
- Left Motor Imagery: 98.2%
- Right Motor Imagery: 97.2%

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται να αντιλαμβάνεται καλύτερα την κίνηση προς τα αριστερά συγκριτικά με την κίνηση προς τα δεξιά.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα ταξινόμησης ΗΕΓ σημάτων του δεύτερου συμμετέχοντα σύμφωνα με τον αλγόριθμο ταξινόμησης LDA.

ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ		ΑΚΡΙΒΕΙΑ	LDA-ΑΡΙΣΤΕΡΑ	LDA-ΔΕΞΙΑ
ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ	1 ^η	100%	100%	100%
	2 ^η	93.7%	90.7%	96.9%
	3 ^η	99%	100%	97.9%
	4 ^η	90.6%	95.9%	85.6%
	5 ^η	99.5%	99%	100%
	6 ^η	99.5%	99%	100%
	7 ^η	98.4%	99%	97.9%
	8 ^η	98.4%	100%	96.9%
	9 ^η	99.5%	100%	99%
	10 ^η	97.9%	97.9%	97.9%

Τρίτος Συμμετέχοντας

Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 6**) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ταξινόμησης του τρίτου συμμετέχοντα. Το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας με βάση τον αλγόριθμο LDA είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό ακρίβειας είναι 91.710526%. Το υψηλότερο ποσοστό για το Left Motor Imagery είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό είναι 92.8%. Τέλος, το υψηλότερο ποσοστό για το Right Motor Imagery είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό είναι 90.7%. Σύμφωνα με τον **Πίνακα 8**, για τον τρίτο συμμετέχοντα, προκύπτουν οι παρακάτω μέσοι όροι:

- Ακρίβεια: 97.3%
- Left Motor Imagery: 97.8%
- Right Motor Imagery: 96.8%

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται να αντιλαμβάνεται καλύτερα την κίνηση προς τα αριστερά συγκριτικά με την κίνηση προς τα δεξιά.

Πίνακας 6: Αποτελέσματα ταξινόμησης ΗΕΓ σημάτων του τρίτου συμμετέχοντα σύμφωνα με τον αλγόριθμο ταξινόμησης LDA.

ΤΡΙΤΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ		ΑΚΡΙΒΕΙΑ	LDA-ΑΡΙΣΤΕΡΑ	LDA-ΔΕΞΙΑ
ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ	1 ^η	99.5%	99%	100%
	2 ^η	98.7%	97.9%	99%
	3 ^η	92.7%	94.8%	90.7%
	4 ^η	95.3%	96.9%	93.8%
	5 ^η	100%	100%	100%
	6 ^η	97.4%	97.9%	96.9%
	7 ^η	100%	100%	100%
	8 ^η	99.5%	100%	99%
	9 ^η	91.7%	92.8%	90.7%
	10 ^η	98.4%	99%	97.9%

Τέταρτος Συμμετέχοντας

Στον παρακάτω πίνακα (**Πίνακας 7**) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ταξινόμησης του τέταρτου συμμετέχοντα. Το υψηλότερο ποσοστό ακρίβειας με βάση τον αλγόριθμο LDA είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό ακρίβειας είναι 89.026316%. Το υψηλότερο ποσοστό για το Left Motor Imagery είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό είναι 82.5%. Τέλος, το υψηλότερο ποσοστό για το Right Motor Imagery είναι 100% ενώ το χαμηλότερο ποσοστό είναι 95.5%. Σύμφωνα με τον **Πίνακα 8**, για τον τέταρτο συμμετέχοντα, προκύπτουν οι παρακάτω μέσοι όροι:

- Ακρίβεια: 97.7%
- Left Motor Imagery: 96.1%
- Right Motor Imagery: 99.2%

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, φαίνεται να αντιλαμβάνεται καλύτερα την κίνηση προς τα δεξιά συγκριτικά με την κίνηση προς τα αριστερά.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα ταξινόμησης των ΗΕΓ σημάτων του τέταρτου συμμετέχοντα σύμφωνα με τον αλγόριθμο ταξινόμησης LDA.

ΤΕΤΑΡΤΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ		ΑΚΡΙΒΕΙΑ	LDA-ΑΡΙΣΤΕΡΑ	LDA-ΔΕΞΙΑ
ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ	1 ^η	98.4%	94.8%	100%
	2 ^η	98.4%	97.9%	99%
	3 ^η	97%	94.8%	99%
	4 ^η	97.4%	94.8%	100%
	5 ^η	98.4%	97.9%	99%
	6 ^η	99.5%	99%	100%
	7 ^η	100%	100%	100%
	8 ^η	89.0%	82.5%	95.5%
	9 ^η	100%	100%	100%
	10 ^η	98.9%	99%	99%

Πίνακας 8: Μέσοι όροι των 10 προσπαθειών από κάθε συμμετέχοντα.

ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ	Μ.Ο. ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ LDA	Μ.Ο. LDA-ΑΡΙΣΤΕΡΑ	Μ.Ο. LDA-ΔΕΞΙΑ
1 ^{ος}	98.7%	99.5%	98.1%
2 ^{ος}	97.6%	98.2%	97.2%
3 ^{ος}	97.3%	97.8%	96.8%
4 ^{ος}	97.7%	96.1%	99.2%

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 9), περιέχει μια συνολική εικόνα μέσου όρου των τεσσάρων συμμετεχόντων, συμπεριλαμβανομένων και των 10 προσπαθειών.

Πίνακας 9: Μέσος όρος των τεσσάρων συμμετεχόντων.

	Μ.Ο. ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ	Μ.Ο. LDA-ΑΡΙΣΤΕΡΑ	Μ.Ο. LDA-ΔΕΞΙΑ
ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ	97.9%	97.9%	97.8%

4.3 Ατομικά Αποτελέσματα

Περνώντας στην επόμενη φάση, αφού έχουν πραγματοποιηθεί μερικές δοκιμαστικές προσπάθειες, ξεκινάει η καταγραφή των προσπαθειών. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, σε κάθε προσπάθεια, ο κάθε συμμετέχοντας θα χρειαστεί να παίξει συνολικά δώδεκα φορές το παιχνίδι. Τις έξι πρώτες φορές ο κάθε συμμετέχοντας θα πρέπει να μετακινήσει δύο φορές τον χαρακτήρα προς τα αριστερά κοιτώντας προς τα αριστερά, ενώ τις υπόλοιπες έξι φορές θα πρέπει να μετακινήσει τον χαρακτήρα δύο φορές προς τα δεξιά κοιτώντας προς τα δεξιά. Παρακάτω ακολουθεί αναλυτική περιγραφή η οποία σχετίζεται με την απόδοση των προσπαθειών από κάθε συμμετέχοντα.

Πρώτος Συμμετέχοντας

Ο **Πίνακας 10** περιέχει μια συνολική εικόνα εκπαίδευσης του πρώτου συμμετέχοντα, με βάση τις προσπάθειες, τις επαναλήψεις ανά προσπάθεια καθώς και τον αριθμό των κινήσεων που έχει κάνει κάθε φορά. Πιο συγκεκριμένα, οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των προσπαθειών (δέκα προσπάθειες στο σύνολο) και οι κατακόρυφες στήλες αντιπροσωπεύουν τις επαναλήψεις ανά προσπάθεια (δώδεκα επαναλήψεις στο σύνολο). Για την εξέταση της πορείας του πρώτου συμμετέχοντα, θα ληφθούν υπόψιν τρεις πίνακες (**Πίνακας 4**, **Πίνακας 10** και **Πίνακας 12**). Στην πρώτη του προσπάθεια, όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 4**, τα ποσοστά για το αριστερό Motor Imagery και για το δεξί Motor Imagery είναι 100% και 95.9% αντίστοιχα. Έχοντας ως δεδομένα τα παραπάνω ποσοστά και τις ενδείξεις του **Πίνακα 10**, ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας στη πρώτη του προσπάθεια πέτυχε δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα αριστερά και στις έξι πρώτες επαναλήψεις. Ωστόσο, στις επαναλήψεις 7, 8 και 9 όπου έπρεπε να επιτευχθούν δύο σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα δεξιά φαίνεται να αντιμετώπισε μια δυσκολία. Για την ακρίβεια, στις επαναλήψεις 7 και 8 δεν κατάφερε να πραγματοποιήσει καμία κίνηση προς τα δεξιά με αποτέλεσμα το παιχνίδι να τερματίσει. Η δυσκολία αυτή που αντιμετώπισε οφείλεται στο ποσοστό που προέκυψε για το δεξί Motor Imagery (95.9%) όπου δεν είχε αντιληφθεί πλήρως τη νοητική κίνηση προς τα δεξιά. Παρόλο που στις εναπομείναντες προσπάθειες τα ποσοστά για το αριστερό Motor Imagery και για το δεξί Motor Imagery δεν έχουν πάντα το υψηλότερο ποσοστό (100%), φαίνεται να διατηρεί μια σταθερή πορεία δύο συνεχόμενων σωστών μετακινήσεων του χαρακτήρα και προς τα αριστερά αλλά και προς τα δεξιά. Με άλλα λόγια, αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αντιληφθεί ευκολότερα την εντολή που δίνει ο συμμετέχοντας. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στον **Πίνακα 4**, τα ποσοστά που προέκυψαν δείχνουν ότι μπορεί να αντιληφθεί καλύτερα την κίνηση προς τα αριστερά σε σχέση με την κίνηση προς τα δεξιά. Στη συνέχεια, για να μπορέσουν να αποτυπωθούν όλες οι προσπάθειες σε ένα γράφημα, υπολογίστηκε από κάθε προσπάθεια ένας μέσος όρος για τις επαναλήψεις 1 έως 6 και ένας μέσος όρος για τις επαναλήψεις 7 έως 12. Ο πρώτος μέσος όρος αντιστοιχεί στις κινήσεις για τα αριστερά, ενώ ο δεύτερος μέσος όρος αντιστοιχεί στις κινήσεις για τα δεξιά. Οι μέσοι όροι από κάθε προσπάθεια απεικονίζονται στον **Πίνακα 11**. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το παιχνίδι έχει σχεδιαστεί γύρω από μια εποχή τριών δευτερολέπτων. Αυτό σημαίνει ότι ο χαρακτήρας αλλάζει θέση κάθε τρία δευτερόλεπτα με βάση τη νοητική εντολή που του δίνει ο χρήστης. Στον **Πίνακα 12** αναγράφονται οι συνολικοί χρόνοι εκτέλεσης των παιχνιδιών του συγκεκριμένου συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια. Τέλος, ακολουθεί μια γραφική απεικόνιση (**Σχήμα 1**) των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στον **Πίνακα 11**. Να σημειωθεί ότι ο αριθμός "11" που αναγράφεται στον **Πίνακα 10** είναι ένας τυχαίος αριθμός ο οποίος υποδηλώνει ότι δεν ήταν δυνατή η επίτευξη δύο σωστών μετακινήσεων του χαρακτήρα με αποτέλεσμα το παιχνίδι να τερματίσει.

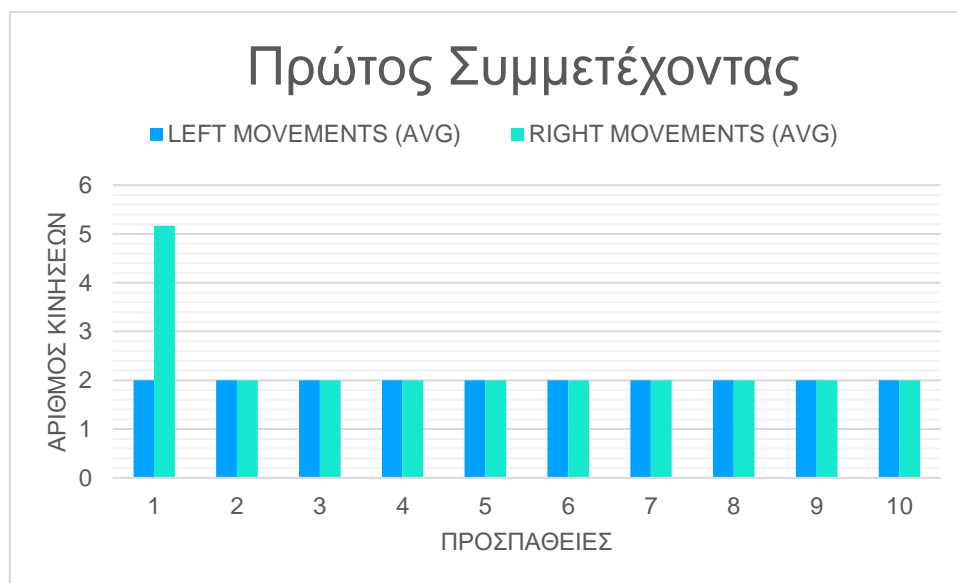
Πίνακας 10: Πίνακας αποτελεσμάτων του πρώτου συμμετέχοντα.

Προσπάθειες	Επαναλήψεις ανά προσπάθεια/Αριθμός σωστών κινήσεων											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	2	2	2	2	2	11	11	3	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Πίνακας 11: Πίνακας μέσων όρων του πρώτου συμμετέχοντα.

Προσπάθειες	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ (Μ.Ο.)
1	2	5,2
2	2	2
3	2	2
4	2	2
5	2	2
6	2	2
7	2	2
8	2	2
9	2	2
10	2	2

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τη παρακάτω γραφική παράσταση(**Σχήμα 1**), ο πρώτος συμμετέχοντας στη πρώτη του προσπάθεια φαίνεται να αντιμετωπίζει μια μικρή δυσκολία όσον αφορά την μετακίνηση του χαρακτήρα δύο φορές προς τα δεξιά. Ωστόσο, στις υπόλοιπες προσπάθειες, δείχνει να έχει αντιληφθεί πλήρως τη νοητική κίνηση προς τα δεξιά. Αυτό αποδεικνύεται από τις δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα δεξιά. Όσον αφορά τη νοητική κίνηση προς τα αριστερά, ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας δεν αντιμετώπισε καμία δυσκολία και αυτό αποδεικνύεται από τις δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα αριστερά σε όλες του τις προσπάθειες.

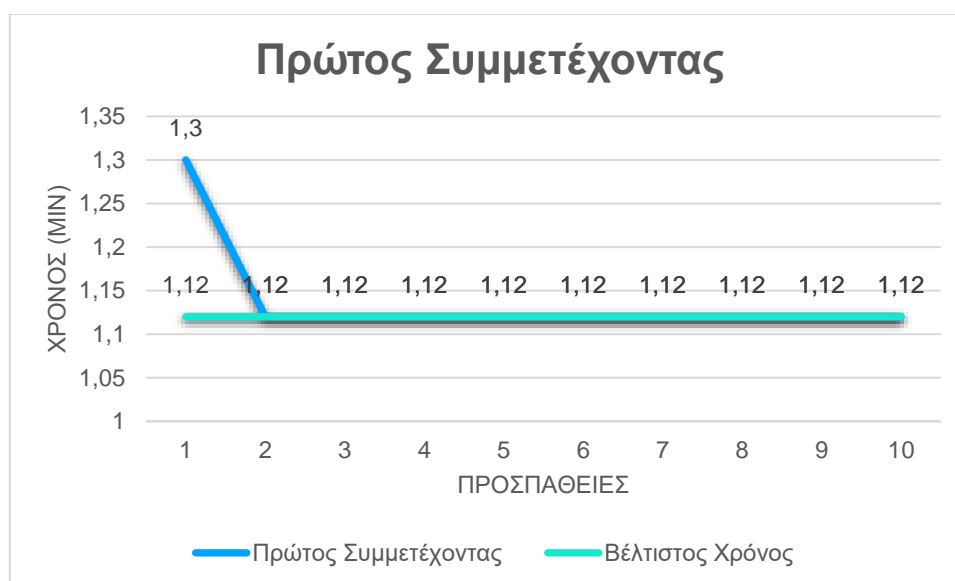


Σχήμα 1: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων της κάθε προσπάθειας του πρώτου συμμετέχοντα.

Ο παρακάτω πίνακας (**Πίνακας 12**), περιέχει τους χρόνους εκτέλεσης της κάθε προσπάθειας του πρώτου εθελοντή. Λαμβάνοντας ακόμη υπόψιν τον **Πίνακα 10** καθώς και ότι ο χαρακτήρας αλλάζει θέση κάθε τρία δευτερόλεπτα με βάση τη νοητική εντολή που του δίνει ο χρήστης, προκύπτει ο **Πίνακας 12** με τους αντίστοιχους χρόνους από κάθε προσπάθεια. Μπορεί εύλογα επομένως να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ο χρόνος εκτέλεσης είναι ανάλογος με τον αριθμό των μετακινήσεων του χαρακτήρα. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια γραφική απεικόνιση των χρόνων από κάθε προσπάθεια (**Σχήμα 2**). Η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει τους χρόνους που πραγματοποίησε ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας για την ολοκλήρωση του παιχνιδιού. Η πετρόλ γραμμή αντιπροσωπεύει την ιδανική περίπτωση όπου ο συμμετέχοντας πραγματοποιεί σε όλες του τις προσπάθειες δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα προς την επιθυμητή κατεύθυνση κάθε φορά. Αυτό σημαίνει ότι συνολικά πραγματοποιήθηκαν 24 μετακινήσεις του χαρακτήρα, δηλαδή απαιτήθηκε 1 λεπτό και 12 δευτερόλεπτα για να ολοκληρωθεί επιτυχώς η κάθε προσπάθεια.

Πίνακας 12: Χρόνος εκτέλεσης παιχνιδιού του πρώτου συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια.

Προσπάθειες	Συνολικός Χρόνος Πρώτου Συμμετέχοντα (min)
1	1 min 3 sec (+ 2 Game Over)
2	1 min 12 sec
3	1 min 12 sec
4	1 min 12 sec
5	1 min 12 sec
6	1 min 12 sec
7	1 min 12 sec
8	1 min 12 sec
9	1 min 12 sec
10	1 min 12 sec



Σχήμα 2: Γραφική απεικόνιση της απόδοσης του πρώτου συμμετέχοντα με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.

Δεύτερος Συμμετέχοντας

Ο **Πίνακας 13** περιέχει μια συνολική εικόνα της εκπαίδευσης του δεύτερου συμμετέχοντα, με βάση τις προσπάθειες, τις επαναλήψεις ανά προσπάθεια καθώς και τον αριθμό των κινήσεων που έχει κάνει κάθε φορά. Πιο συγκεκριμένα, οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των προσπαθειών (δέκα προσπάθειες στο σύνολο) και οι κατακόρυφες στήλες αντιπροσωπεύουν τις επαναλήψεις ανά προσπάθεια (δώδεκα επαναλήψεις στο σύνολο). Για την αξιολόγηση της εκπαίδευσης του δεύτερου συμμετέχοντα, θα ληφθούν υπόψιν τρεις πίνακες (**Πίνακας 5**, **Πίνακας 13** και **Πίνακας 15**). Σύμφωνα με τις ενδείξεις του **Πίνακα 13**, ο δεύτερος συμμετέχοντας φαίνεται να διατηρεί μια σχεδόν σταθερή πορεία όσον αφορά την επίτευξη των σωστών κινήσεων. Πιο συγκεκριμένα, στις πρώτες 3 προσπάθειες επιτυγχάνει δύο συνεχόμενες σωστές κινήσεις προς τα αριστερά, εκτός από την 7η επανάληψη της 1ης προσπάθειας όπου έγιναν τρεις μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα δεξιά μέχρι να πετύχει τις δύο σωστές που χρειαζόταν. Ωστόσο, το ποσοστό για το δεξί Motor Imagery για την πρώτη προσπάθεια είναι 100%. Στην 4η προσπάθεια, στις επαναλήψεις 1 έως 6, διατηρεί σταθερή πορεία δύο συνεχόμενων σωστών κινήσεων προς τα αριστερά. Στις επαναλήψεις 7 έως 12 αντιλαμβάνεται τη νοητική κίνηση προς τα αριστερά με μια δυσκολία. Πιο συγκεκριμένα, στις επαναλήψεις 7, 8 και 9 μετακινεί τον χαρακτήρα 7, 5 και 7 φορές αντίστοιχα μέχρι να καταφέρει να πραγματοποιήσει δύο σωστές μετακινήσεις προς τα δεξιά. Η δυσκολία που αντιμετωπίζει ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας για τη μετακίνηση του χαρακτήρα προς τα δεξιά δεν θεωρείται παράξενη καθώς όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τον **Πίνακα 5**, το ποσοστό για το δεξί Motor Imagery ισούται με 85.6%. Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορεί να αντιληφθεί πλήρως την κίνηση προς τα δεξιά. Στις υπόλοιπες προσπάθειες και ιδιαίτερα προς το τέλος των προσπαθειών ο συμμετέχοντας διατηρεί μια σταθερή πορεία δύο συνεχόμενων σωστών κινήσεων σε όλες τις επαναλήψεις, παρόλο που τα ποσοστά για το αριστερό Motor Imagery και για το δεξί Motor Imagery δεν έχουν πάντα το υψηλότερο ποσοστό (100%). Και σε αυτή τη περίπτωση, τα ποσοστά που προέκυψαν από τον **Πίνακα 5** δείχνουν ότι ο συμμετέχοντας μπορεί να αντιληφθεί καλύτερα την κίνηση προς τα αριστερά σε σχέση με την κίνηση προς τα δεξιά. Στη συνέχεια, για να μπορέσουν να αποτυπωθούν όλες οι προσπάθειες σε ένα γράφημα, υπολογίστηκαν από κάθε προσπάθεια ένας μέσος όρος για τις επαναλήψεις 1 έως 6 και ένας μέσος όρος για τις επαναλήψεις 7 έως 12. Ο πρώτος μέσος όρος αντιστοιχεί στις κινήσεις για τα αριστερά, ενώ ο δεύτερος μέσος όρος αντιστοιχεί στις κινήσεις για τα δεξιά. Οι μέσοι όροι από κάθε προσπάθεια απεικονίζονται στον **Πίνακα 14**. Ακόμη, δεδομένου ότι ο χαρακτήρας αλλάζει θέση κάθε τρία δευτερόλεπτα με βάση τη νοητική εντολή που του δίνει ο χρήστης προκύπτει ο **Πίνακας 15**. Εκεί, αναγράφονται οι συνολικοί χρόνοι εκτέλεσης των παιχνιδιών του συγκεκριμένου συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια. Τέλος, ακολουθεί μια γραφική απεικόνιση (**Σχήμα 3**) των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στον **Πίνακα 14**.

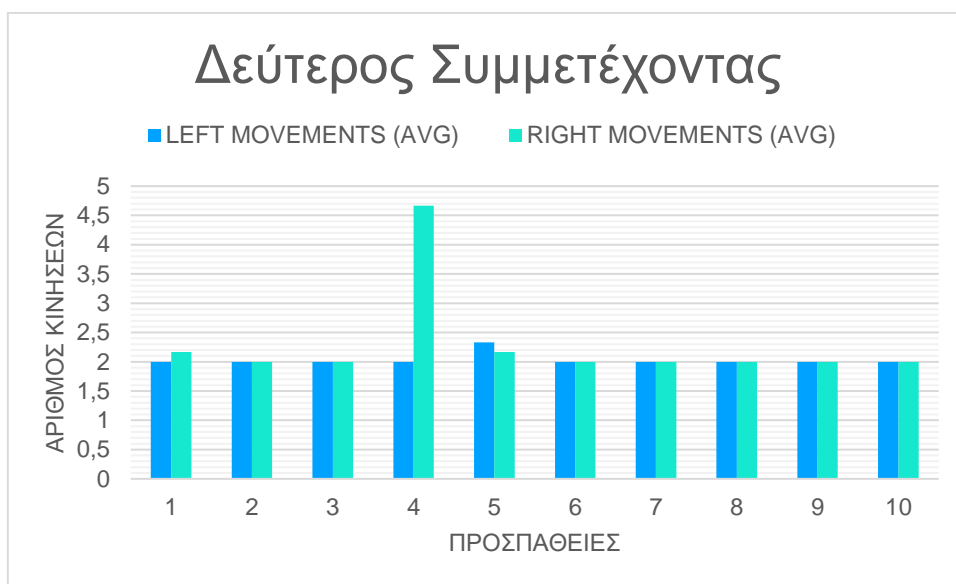
Πίνακας 13: Πίνακας αποτελεσμάτων του δεύτερου συμμετέχοντα.

Προσπάθειες	Επανάληψεις ανά προσπάθεια/Αριθμός σωστών κινήσεων											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	7	5	7	3	2	4
5	2	3	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Πίνακας 14: Πίνακας μέσων όρων του δεύτερου συμμετέχοντα.

Προσπάθειες	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ (Μ.Ο.)
1	2	2,2
2	2	2
3	2	2
4	2	4,7
5	2,3	2,2
6	2	2
7	2	2
8	2	2
9	2	2
10	2	2

Ο δεύτερος συμμετέχοντας, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3** φαίνεται να αντιλαμβάνεται πλήρως τη νοητική κίνηση προς τα αριστερά στη πρώτη του προσπάθεια. Αυτό αποδεικνύεται από τις δύο συνεχόμενες μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα αριστερά. Στις επόμενες δύο προσπάθειες πραγματοποιεί δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα και προς τα αριστερά αλλά και προς τα δεξιά. Στη τέταρτη προσπάθεια, πραγματοποιεί δύο συνεχόμενες μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα αριστερά, αλλά δυσκολεύεται αρκετά να πραγματοποιήσει δύο μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα δεξιά. Στη πέμπτη προσπάθεια, παρατηρείται μια δυσκολία στη μετακίνηση του χαρακτήρα και προς τα αριστερά αλλά και προς τα δεξιά. Ωστόσο, η δυσκολία μετακίνησης του χαρακτήρα προς τα δεξιά είναι μικρότερος συγκριτικά με τη δυσκολία που αντιμετώπισε στη τέταρτη προσπάθεια. Στις υπόλοιπες πέντε προσπάθειες που απομένουν, ο συμμετέχοντας φαίνεται να παρουσιάζει μια βελτίωση και να μπορεί πλέον να πραγματοποιεί δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα και προς τα αριστερά αλλά και προς τα δεξιά.

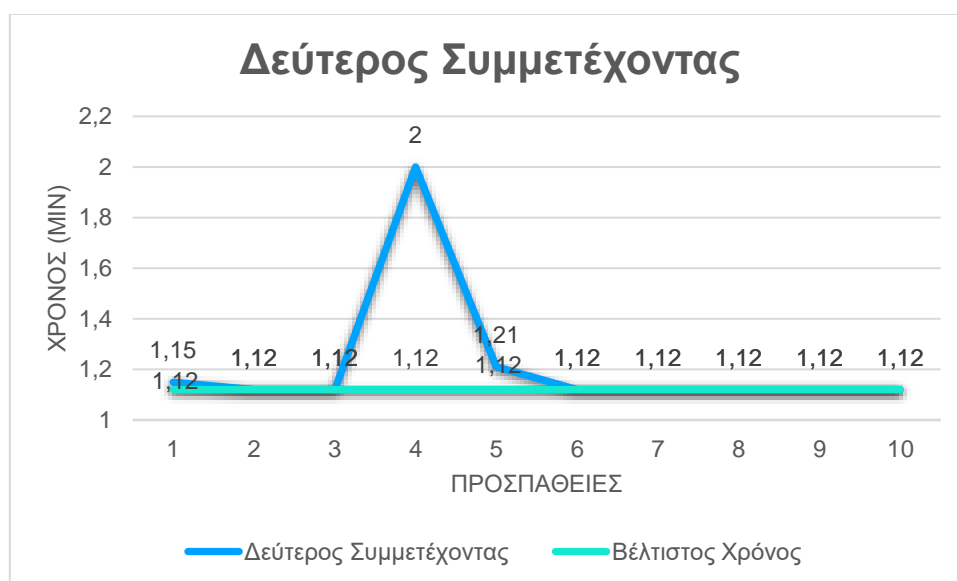


Σχήμα 3: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων της κάθε προσπάθειας του δεύτερου συμμετέχοντα.

Ο παρακάτω πίνακας (**Πίνακας 15**), περιέχει τους χρόνους εκτέλεσης της κάθε προσπάθειας του δεύτερου εθελοντή. Λαμβάνοντας ακόμη υπόψιν τον **Πίνακα 13** καθώς και ότι ο χαρακτήρας αλλάζει θέση κάθε τρία δευτερόλεπτα με βάση τη νοητική εντολή που του δίνει ο χρήστης, προκύπτει ο **Πίνακας 15** με τους αντίστοιχους χρόνους από κάθε προσπάθεια. Μπορεί εύλογα επομένως να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ο χρόνος εκτέλεσης είναι ανάλογος με τον αριθμό των μετακινήσεων του χαρακτήρα. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια γραφική απεικόνιση των χρόνων από κάθε προσπάθεια (**Σχήμα 4**). Η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει τους χρόνους που πραγματοποίησε ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας για την ολοκλήρωση του παιχνιδιού. Η πετρόλ γραμμή αντιπροσωπεύει την ιδανική περίπτωση όπου ο συμμετέχοντας πραγματοποιεί σε όλες του τις προσπάθειες δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα προς την επιθυμητή κατεύθυνση κάθε φορά. Αυτό σημαίνει ότι συνολικά πραγματοποιήθηκαν 24 μετακινήσεις του χαρακτήρα, δηλαδή απαιτήθηκε 1 λεπτό και 12 δευτερόλεπτα για να ολοκληρωθεί επιτυχώς η κάθε προσπάθεια.

Πίνακας 15: Χρόνος Εκτέλεσης Παιχνιδιού του Δεύτερου Συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια.

Προσπάθειες	Συνολικός Χρόνος Δεύτερου Συμμετέχοντα (min)
1	1 min 15 sec
2	1 min 12 sec
3	1 min 12 sec
4	2 min
5	1 min 21 sec
6	1 min 12 sec
7	1 min 12 sec
8	1 min 12 sec
9	1 min 12 sec
10	1 min 12 sec



Σχήμα 4: Γραφική απεικόνιση της απόδοσης του δεύτερου συμμετέχοντα με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.

Τρίτος Συμμετέχοντας

Ο Πίνακας 16 περιέχει μια συνολική εικόνα της εκπαίδευσης του τρίτου συμμετέχοντα, με βάση τις προσπάθειες, τις επαναλήψεις ανά προσπάθεια καθώς και τον αριθμό των κινήσεων που έχει κάνει κάθε φορά. Πιο συγκεκριμένα, οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των προσπαθειών (δέκα προσπάθειες στο σύνολο) και οι κατακόρυφες στήλες αντιπροσωπεύουν τις

επαναλήψεις ανά προσπάθεια (δώδεκα επαναλήψεις στο σύνολο). Για την αξιολόγηση της εκπαίδευσης του τρίτου συμμετέχοντα, θα ληφθούν υπόψιν τρεις πίνακες (**Πίνακας 6**, **Πίνακας 16** και **Πίνακας 18**). Αρχικά, ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας φαίνεται να παρουσιάζει μια σταθερή πορεία από την 5η προσπάθεια και μετά. Στις πρώτες πέντε προσπάθειες υπήρχε μια αστάθεια όσον αφορά την επίτευξη των μετακινήσεων που χρειαζόταν. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται να αντιμετωπίζει μεγαλύτερο πρόβλημα κατά την αντίληψη της κίνησης προς τα δεξιά. Αυτό συμβαίνει κυρίως στην 7η επανάληψη της 1^{ης} προσπάθειας όπου γίνεται η εναλλαγή της νοητική κίνησης από τα αριστερά προς τα δεξιά. Από την 5η προσπάθεια και μετά, αρχίζει να διατηρεί μια σχεδόν σταθερή πορεία δύο συνεχόμενων σωστών μετακινήσεων και προς τα αριστερά αλλά και προς τα δεξιά. Και σε αυτή τη περίπτωση, τα ποσοστά που προέκυψαν από τον **Πίνακα 6** δείχνουν ότι ο συμμετέχοντας μπορεί να αντιληφθεί καλύτερα την κίνηση προς τα αριστερά σε σχέση με την κίνηση προς τα δεξιά. Στη συνέχεια, για να μπορέσουν να αποτυπωθούν όλες οι προσπάθειες σε ένα γράφημα, υπολογίστηκαν από κάθε προσπάθεια ένας μέσος όρος για τις επαναλήψεις 1 έως 6 και ένας μέσος όρος για τις επαναλήψεις 7 έως 12. Ο πρώτος μέσος όρος αντιστοιχεί στις κινήσεις για τα αριστερά, ενώ ο δεύτερος μέσος όρος αντιστοιχεί στις κινήσεις για τα δεξιά. Οι μέσοι όροι από κάθε προσπάθεια απεικονίζονται στον **Πίνακα 17**. Ακόμη, δεδομένου ότι ο χαρακτήρας αλλάζει θέση κάθε τρία δευτερόλεπτα με βάση τη νοητική εντολή που του δίνει ο χρήστης προκύπτει ο **Πίνακας 18**. Εκεί, αναγράφονται οι συνολικοί χρόνοι εκτέλεσης των παιχνιδιών του συγκεκριμένου συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια. Τέλος, ακολουθεί μια γραφική απεικόνιση (**Σχήμα 5**) των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στον **Πίνακα 17**. Να σημειωθεί ότι ο αριθμός "11" στον Πίνακα 16 είναι ένας τυχαίος αριθμός ο οποίος υποδηλώνει ότι δεν ήταν δυνατή η επίτευξη δύο σωστών κινήσεων και το παιχνίδι τερμάτισε.

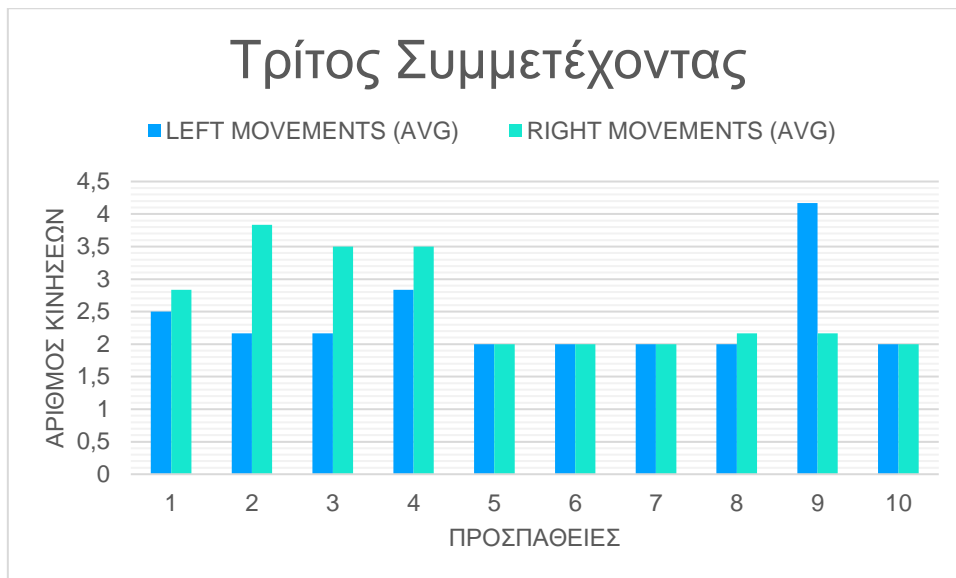
Πίνακας 16: Πίνακας αποτελεσμάτων του τρίτου συμμετέχοντα.

Προσπάθειες	Επαναλήψεις ανά προσπάθεια/Αριθμός σωστών κινήσεων											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	4	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2	5
2	2	2	2	2	3	2	6	5	2	4	3	3
3	2	2	2	2	2	3	8	3	3	2	2	3
4	5	2	3	2	2	3	8	3	3	2	2	3
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2
9	11	5	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Πίνακας 17: Πίνακας μέσων όρων του τρίτου συμμετέχοντα.

Προσπάθειες	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ (Μ.Ο.)
1	2,5	2,8
2	2,2	3,8
3	2,2	3,5
4	2,8	3,5
5	2	2
6	2	2
7	2	2
8	2	2,2
9	4,2	2,2
10	2	2

Ο τρίτος συμμετέχοντας, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 5**, στις πρώτες τέσσερις προσπάθειες φαίνεται να μην αντιλαμβάνεται πλήρως τη νοητική κίνηση προς τα αριστερά και προς τα δεξιά. Αυτό αποδεικνύεται από τις αρκετές λανθασμένες μετακινήσεις του χαρακτήρα μέχρι να επιτύχει τις δύο σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Παρόλο που αντιλαμβάνεται με δυσκολία και τις δύο νοητικές εντολές, μεγαλύτερη δυσκολία παρουσιάζεται στη μετακίνηση του χαρακτήρα προς τα δεξιά. Στις επόμενες τρεις προσπάθειες υπάρχει μια βελτίωση αφού ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας πραγματοποιεί δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Στην επόμενη προσπάθεια αντιλαμβάνεται τη νοητική κίνηση προς τα αριστερά και για αυτό πετυχαίνει δύο συνεχόμενες μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα αριστερά, ενώ για τη μετακίνηση του χαρακτήρα προς τα δεξιά χρειάζονται παραπάνω κινήσεις. Στην ένατη προσπάθεια παρουσιάζει μια δυσκολία στη μετακίνηση του χαρακτήρα και προς τις δύο κατευθύνσεις. Μεγαλύτερη δυσκολία ωστόσο φαίνεται να αντιμετωπίζεται στη μετακίνηση του χαρακτήρα προς τα αριστερά. Τέλος, στη τελευταία προσπάθεια πραγματοποίησε δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα και προς τις δύο κατευθύνσεις.

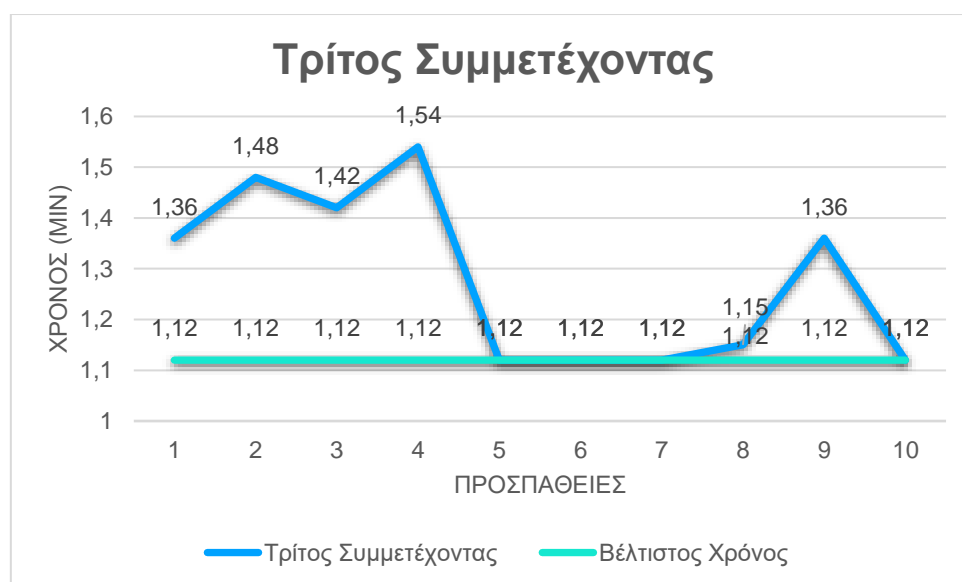


Σχήμα 5: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων της κάθε προσπάθειας του τρίτου συμμετέχοντα.

Ο παρακάτω πίνακας (**Πίνακας 18**), περιέχει τους χρόνους εκτέλεσης της κάθε προσπάθειας του δεύτερου εθελοντή. Λαμβάνοντας ακόμη υπόψιν τον **Πίνακα 16** καθώς και ότι ο χαρακτήρας αλλάζει θέση κάθε τρία δευτερόλεπτα με βάση τη νοητική εντολή που του δίνει ο χρήστης, προκύπτει ο **Πίνακας 18** με τους αντίστοιχους χρόνους από κάθε προσπάθεια. Μπορεί εύλογα επομένως να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ο χρόνος εκτέλεσης είναι ανάλογος με τον αριθμό των μετακινήσεων του χαρακτήρα. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια γραφική απεικόνιση των χρόνων από κάθε προσπάθεια (**Σχήμα 6**). Η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει τους χρόνους που πραγματοποίησε ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας για την ολοκλήρωση του παιχνιδιού. Η πετρόλ γραμμή αντιπροσωπεύει την ιδανική περίπτωση όπου ο συμμετέχοντας πραγματοποιεί σε όλες του τις προσπάθειες δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα προς την επιθυμητή κατεύθυνση κάθε φορά. Αυτό σημαίνει ότι συνολικά πραγματοποιήθηκαν 24 μετακινήσεις του χαρακτήρα, δηλαδή απαιτήθηκε 1 λεπτό και 12 δευτερόλεπτα για να ολοκληρωθεί επιτυχώς η κάθε προσπάθεια.

Πίνακας 18: Χρόνος Εκτέλεσης Παιχνιδιού του Τρίτου Συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια.

Προσπάθειες	Συνολικός Χρόνος Τρίτου Συμμετέχοντα (min)
1	1 min 36 sec
2	1 min 48 sec
3	1 min 42 sec
4	1 min 54 sec
5	1 min 12 sec
6	1 min 12 sec
7	1 min 12 sec
8	1 min 15 sec
9	1 min 36 sec (+ 1 Game Over)
10	1 min 12 sec



Σχήμα 6: Γραφική απεικόνιση της απόδοσης του τρίτου συμμετέχοντα με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.

Τέταρτος Συμμετέχοντας

Ο **Πίνακας 19** περιέχει μια συνολική εικόνα της εκπαίδευσης του τέταρτου συμμετέχοντα, με βάση τις προσπάθειες, τις επαναλήψεις ανά προσπάθεια καθώς και τον αριθμό των κινήσεων που έχει κάνει κάθε φορά. Πιο συγκεκριμένα, οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των προσπαθειών (δέκα προσπάθειες στο σύνολο) και οι κατακόρυφες στήλες αντιπροσωπεύουν τις επαναλήψεις ανά προσπάθεια (δώδεκα επαναλήψεις στο σύνολο). Για την αξιολόγηση της εκπαίδευσης του τέταρτου εθελοντή, θα ληφθούν υπόψιν τρεις πίνακες (**Πίνακας 7**, **Πίνακας 19** και **Πίνακας 21**). Σύμφωνα με τις ενδείξεις του **Πίνακα 19**, ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας φαίνεται να παρουσιάζει μια σχεδόν σταθερή πορεία όπου τις περισσότερες φορές πετυχαίνει σχεδόν δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις και προς τα αριστερά αλλά και προς τα δεξιά. Η μεγαλύτερη δυσκολία φαίνεται να παρουσιάστηκε στην 5η προσπάθεια και κυρίως στην αντίληψη της νοητικής κίνησης προς τα αριστερά. Συγκεκριμένα, σε όλες τις επαναλήψεις χρειάστηκαν να γίνουν πολλές μετακινήσεις προκειμένου να επιτευχθούν οι δύο σωστές που χρειαζόταν. Σε αυτό το σημείο, να επισημανθεί ότι το ποσοστό για το αριστερό Motor Imagery στη 5η προσπάθεια ισούται με 97.9%. Ναι μεν μπορεί το ποσοστό να είναι αρκετό υψηλό για να χρειαστούν τόσες κινήσεις προκειμένου να επιτευχθούν οι δύο σωστές αλλά παίζει πολύ σημαντικό ρόλο και η συγκέντρωση καθώς και ο θόρυβος που μπορεί να υπήρχε στον χώρο του εργαστηρίου όπου και πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Στις υπόλοιπες προσπάθειες ο συμμετέχοντας αρχίζει να αποκτά μια σταθερή πορεία δύο συνεχόμενων σωστών μετακινήσεων. Σε αυτή τη περίπτωση, τα ποσοστά που προέκυψαν από τον **Πίνακα 7** δείχνουν ότι ο συμμετέχοντας μπορεί να αντιληφθεί καλύτερα την μετακίνηση προς τα δεξιά σε σχέση με την μετακίνηση προς τα αριστερά. Στη συνέχεια, για να μπορέσουν να αποτυπωθούν όλες οι προσπάθειες σε ένα γράφημα, υπολογίστηκαν από κάθε προσπάθεια ένας μέσος όρος για τις επαναλήψεις 1 έως 6 και ένας μέσος όρος για τις επαναλήψεις 7 έως 12. Ο πρώτος μέσος όρος αντιστοιχεί στις κινήσεις για τα αριστερά, ενώ ο δεύτερος μέσος όρος αντιστοιχεί στις κινήσεις για τα δεξιά. Οι μέσοι όροι από κάθε προσπάθεια απεικονίζονται στον **Πίνακα 20**. Ακόμη, δεδομένου ότι ο χαρακτήρας αλλάζει θέση κάθε τρία δευτερόλεπτα με βάση τη νοητική εντολή που του δίνει ο χρήστης προκύπτει ο **Πίνακας 21**. Εκεί, αναγράφονται οι συνολικοί χρόνοι εκτέλεσης των παιχνιδιών του συγκεκριμένου συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια. Τέλος, ακολουθεί μια γραφική απεικόνιση (**Σχήμα 7**) των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στον **Πίνακα 20**. Να σημειωθεί ότι ο αριθμός "11" στον Πίνακα 19 είναι ένας τυχαίος αριθμός ο οποίος υποδηλώνει ότι δεν ήταν δυνατή η επίτευξη δύο σωστών κινήσεων και το παιχνίδι τερμάτισε.

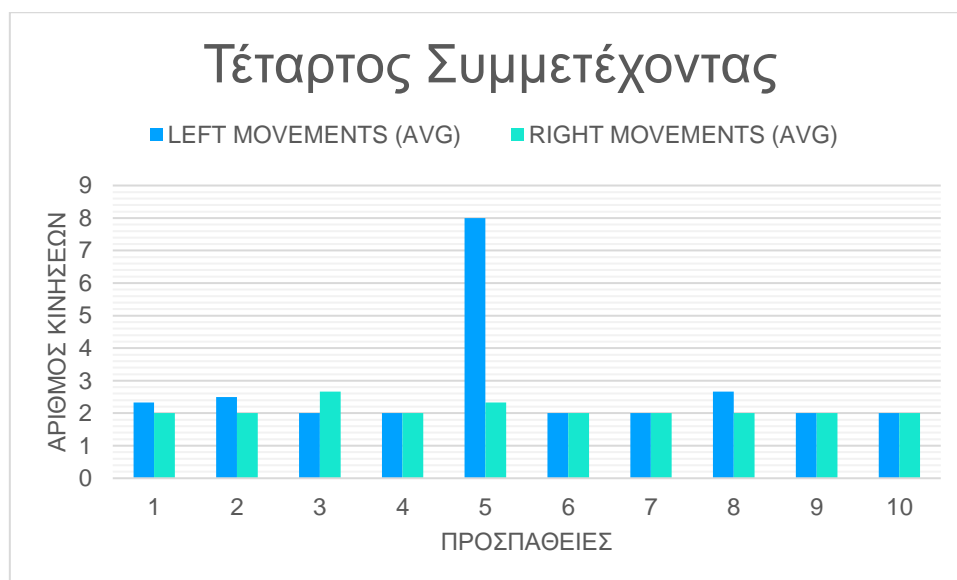
Πίνακας 19: Πίνακας αποτελεσμάτων του τέταρτου συμμετέχοντα.

Προσπάθειες	Επανάληψεις ανά προσπάθεια/Αριθμός σωστών κινήσεων											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	3	3
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	6	8	7	8	8	11	4	2	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	5	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Πίνακας 20: Πίνακας μέσων όρων του τέταρτου συμμετέχοντα.

Προσπάθειες	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡΑ (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ (Μ.Ο.)
1	2,3	2
2	2,5	2
3	2	2,7
4	2	2
5	8	2,3
6	2	2
7	2	2
8	2,7	2
9	2	2
10	2	2

Ο τέταρτος συμμετέχοντας, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 7**, στις δύο πρώτες προσπάθειες πραγματοποιεί δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα δεξιά, ενώ για να επιτύχει δύο μετακινήσεις του χαρακτήρα προς τα αριστερά πραγματοποιεί παραπάνω κινήσεις. Στη τρίτη προσπάθεια, έχει αντιληφθεί πλήρως τη νοητική κίνηση προς τα αριστερά και έτσι καταφέρνει να πραγματοποιήσει δύο σωστές συνεχόμενες κινήσεις προς τα αριστερά, ενώ το ίδιο δεν ισχύει για τη μετακίνηση του χαρακτήρα προς τα δεξιά. Στη τέταρτη προσπάθεια, πραγματοποιεί δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα και προς τα αριστερά αλλά και προς τα δεξιά. Στην επόμενη προσπάθεια, ο συγκεκριμένος εθελοντής αντιμετωπίζει τεράστια δυσκολία στη μετακίνηση του χαρακτήρα προς τα αριστερά αλλά έχει ικανοποιητική επίδοση στη μετακίνηση του χαρακτήρα προς τα δεξιά. Στις επόμενες δύο προσπάθειες έχει αντιληφθεί πλήρως τη νοητική κίνηση και προς τις δύο κατευθύνσεις και πραγματοποιεί δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις και προς τις δύο κατευθύνσεις. Στην όγδοη προσπάθεια, πραγματοποιεί παραπάνω από δύο κινήσεις προκειμένου να επιτύχει τις δύο επιθυμητές προς τα αριστερά, ενώ για τη μετακίνηση προς τα δεξιά πραγματοποιεί δύο σωστές συνεχόμενες. Τέλος, στη επόμενες δύο προσπάθειες έχει αντιληφθεί τις νοητικές κινήσεις πλήρως. Αυτό αποδεικνύεται από τις δύο σωστές συνεχόμενες μετακινήσεις του χαρακτήρα και προς τις δύο κατευθύνσεις.

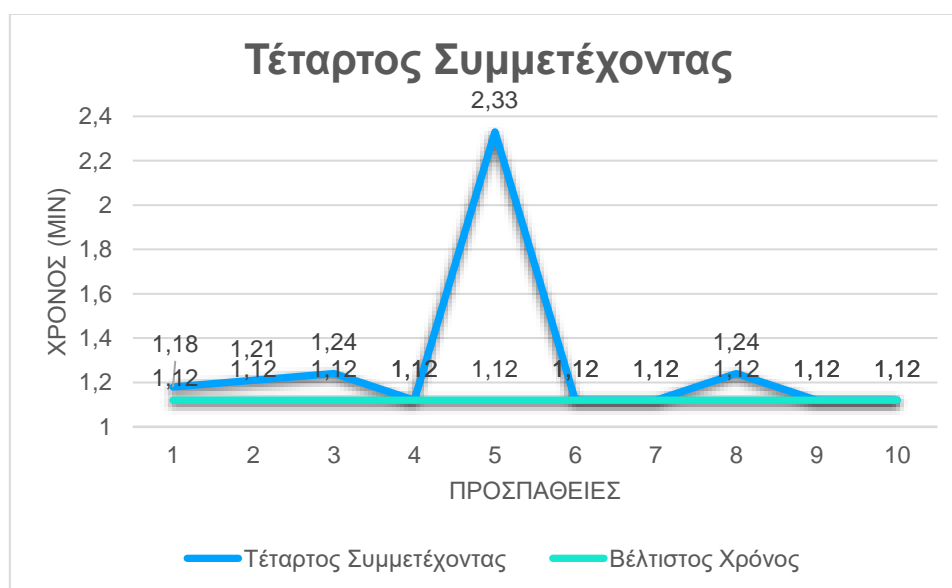


Σχήμα 7: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων της κάθε προσπάθειας του τέταρτου συμμετέχοντα.

Ο παρακάτω πίνακας (**Πίνακας 21**), περιέχει τους χρόνους εκτέλεσης της κάθε προσπάθειας του δεύτερου εθελοντή. Λαμβάνοντας ακόμη υπόψιν τον **Πίνακα 19** καθώς και ότι ο χαρακτήρας αλλάζει θέση κάθε τρία δευτερόλεπτα με βάση τη νοητική εντολή που του δίνει ο χρήστης, προκύπτει ο **Πίνακας 21** με τους αντίστοιχους χρόνους από κάθε προσπάθεια. Μπορεί εύλογα επομένως να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ο χρόνος εκτέλεσης είναι ανάλογος με τον αριθμό των μετακινήσεων του χαρακτήρα. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια γραφική απεικόνιση των χρόνων από κάθε προσπάθεια (**Σχήμα 8**). Η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει τους χρόνους που πραγματοποίησε ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας για την ολοκλήρωση του παιχνιδιού. Η πετρόλ γραμμή αντιπροσωπεύει την ιδανική περίπτωση όπου ο συμμετέχοντας πραγματοποιεί σε όλες του τις προσπάθειες δύο συνεχόμενες σωστές μετακινήσεις του χαρακτήρα προς την επιθυμητή κατεύθυνση κάθε φορά. Αυτό σημαίνει ότι συνολικά πραγματοποιήθηκαν 24 μετακινήσεις του χαρακτήρα, δηλαδή απαιτήθηκε 1 λεπτό και 12 δευτερόλεπτα για να ολοκληρωθεί επιτυχώς η κάθε προσπάθεια.

Πίνακας 21: Χρόνος Εκτέλεσης Παιχνιδιού του Τέταρτου Συμμετέχοντα από κάθε προσπάθεια.

Προσπάθειες	Συνολικός Χρόνος Τέταρτου Συμμετέχοντα (min)
1	1 min 18 sec
2	1 min 21 sec
3	1 min 24 sec
4	1 min 12 sec
5	2 min 33 sec (+ 1 Game Over)
6	1 min 12 sec
7	1 min 12 sec
8	1 min 24 sec
9	1 min 12 sec
10	1 min 12 sec



Σχήμα 8: Γραφική απεικόνιση της απόδοσης του τέταρτου συμμετέχοντα με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.

4.4 Συλλογικά Αποτελέσματα

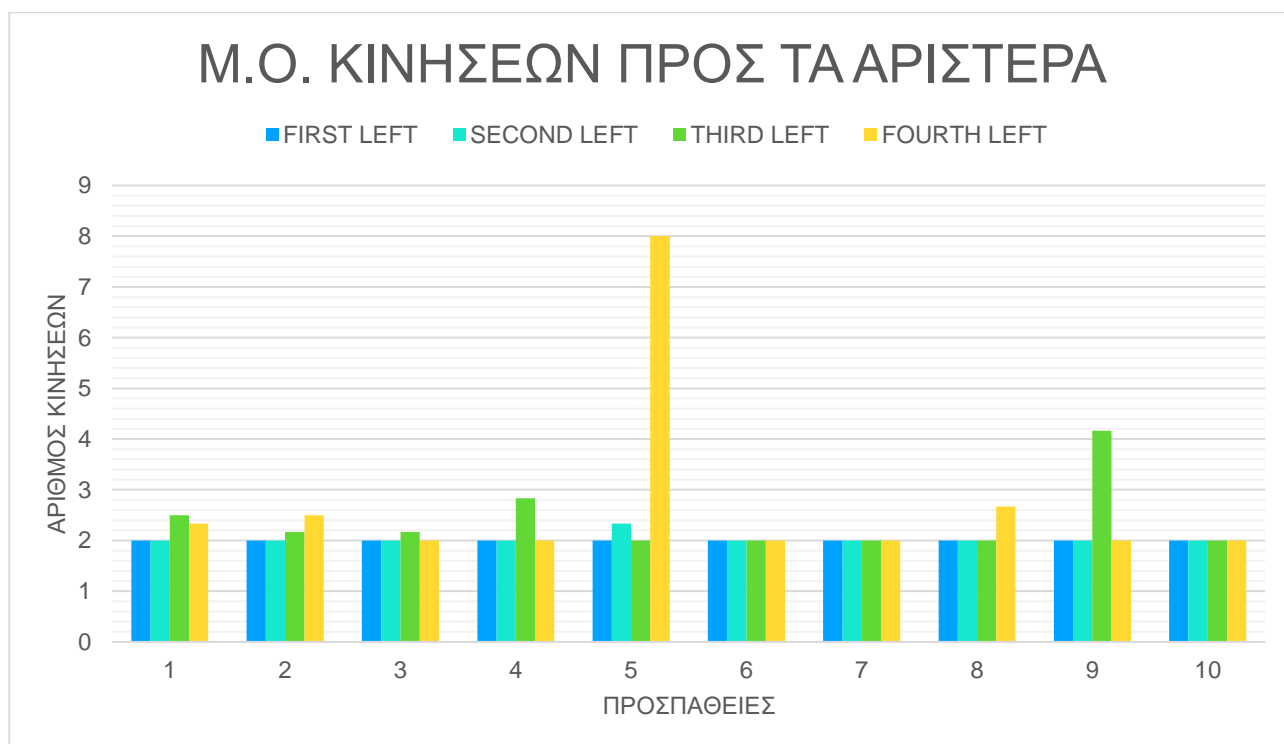
Στην ενότητα αυτή, θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα από κάθε συμμετέχοντα. Πιο συγκεκριμένα, από κάθε προσπάθεια του κάθε συμμετέχοντα έχουν υπολογιστεί δύο μέσοι όροι. Ο ένας μέσος όρος αντιστοιχεί στις 6 επαναλήψεις που πραγματοποιήθηκαν για τις κινήσεις προς τα αριστερά και ο άλλος μέσος όρος αντιστοιχεί στις υπόλοιπες 6 επαναλήψεις που πραγματοποιήθηκαν για τις κινήσεις προς τα δεξιά. Όλα αυτά, αποτυπώνονται στον **Πίνακα 22**. Στη συνέχεια, για να υπάρξει μια καλύτερη οπτική απεικόνιση του **Πίνακα 22**, δημιουργήθηκε ένα γράφημα (**Σχήμα 9**) που απεικονίζει τον μέσο όρο των επαναλήψεων της κάθε προσπάθειας για την κίνηση προς τα αριστερά και ένα γράφημα (**Σχήμα 10**) που απεικονίζει τον μέσο όρο των επαναλήψεων της κάθε προσπάθειας για την κίνηση προς τα δεξιά. Δημιουργήθηκε επίσης και ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τους χρόνους από κάθε προσπάθεια που χρειάστηκαν οι συμμετέχοντες (**Πίνακας 23**). Έπειτα, για την καλύτερη απεικόνιση των χρόνων, δημιουργήθηκαν δύο γραφήματα (**Σχήμα 11** και **Σχήμα 12**). Στη μια περίπτωση η απεικόνιση των χρόνων γίνεται σε γραμμές, ενώ στην άλλη περίπτωση γίνεται σε στήλες.

Πίνακας 22: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσων όρων των τεσσάρων συμμετεχόντων.

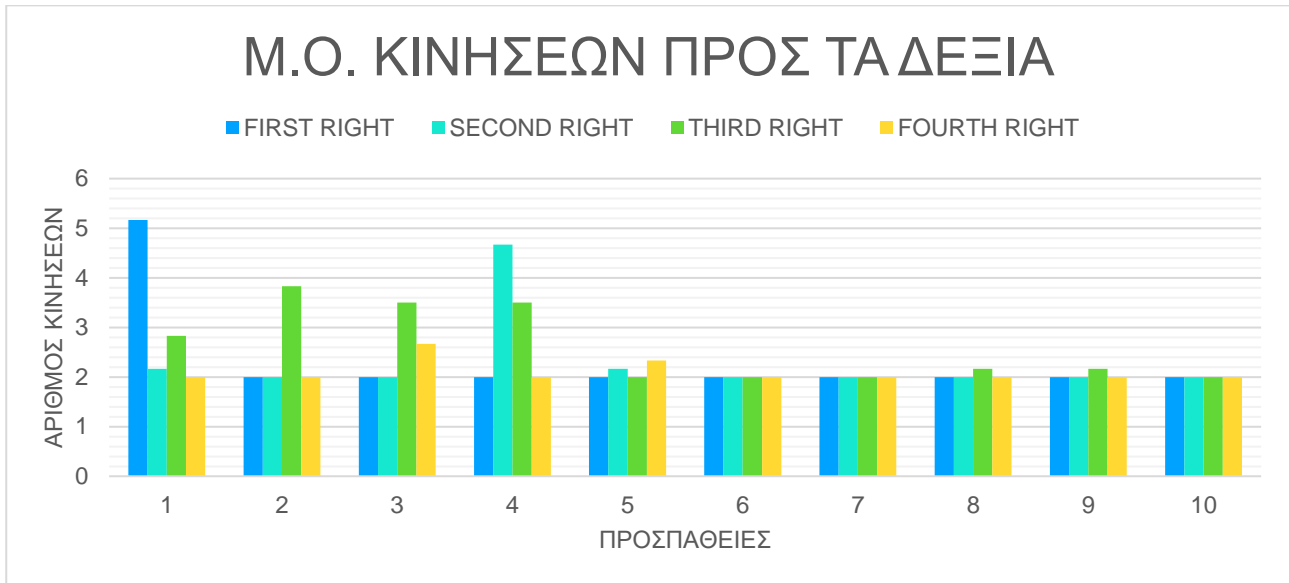
ΠΡΟΣ ΠΑΘΕ ΙΕΣ	ΠΡΩΤΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ		ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ		ΤΡΙΤΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ		ΤΕΤΑΡΤΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ	
	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡ Α (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕ ΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡ Α (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕ ΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡ Α (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΑΡΙΣΤΕΡ Α (Μ.Ο.)	ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΔΕΞΙΑ (Μ.Ο.)
1	2	5,2	2	2,2	2,5	2,8	2,3	2
2	2	2	2	2	2,2	3,8	2,5	2
3	2	2	2	2	2,2	3,5	2	2,7
4	2	2	2	4,7	2,8	3,5	2	2
5	2	2	2,3	2,2	2	2	8	2,3
6	2	2	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2,2	2,7	2
9	2	2	2	2	4,2	2,2	2	2
10	2	2	2	2	2	2	2	2

Πίνακας 23: Συγκεντρωτικός πίνακας χρόνου εκτέλεσης παιχνιδιού από κάθε συμμετέχοντα.

Προσπάθειες	Χρόνος Εκτέλεσης Συμμετεχόντων (min)			
	Πρώτος	Δεύτερος	Τρίτος	Τέταρτος
1	1 min 3 sec	1 min 15 sec	1 min 36 sec	1 min 18 sec
2	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 48 sec	1 min 21 sec
3	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 42 sec	1 min 24 sec
4	1 min 12 sec	2 min	1 min 54 sec	1 min 12 sec
5	1 min 12 sec	1 min 21 sec	1 min 12 sec	2 min 33 sec
6	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 12 sec
7	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 12 sec
8	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 15 sec	1 min 24 sec
9	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 36 sec	1 min 12 sec
10	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 12 sec	1 min 12 sec



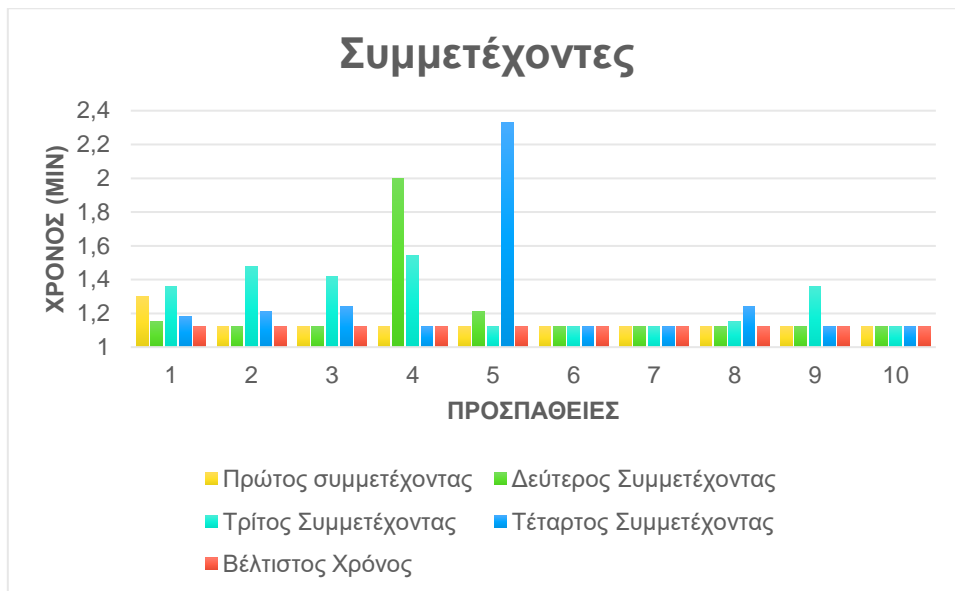
Σχήμα 9: Μέσος όρος επαναλήψεων για τις κινήσεις προς τα αριστερά του κάθε συμμετέχοντα για κάθε προσπάθεια.



Σχήμα 10: Μέσος όρος επαναλήψεων για τις κινήσεις προς τα δεξιά του κάθε συμμετέχοντα για κάθε προσπάθεια.



Σχήμα 11: Γραφική απεικόνιση (σε γραμμές) της απόδοσης όλων των συμμετεχόντων με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.



Σχήμα 12: Γραφική απεικόνιση (σε στήλες) της απόδοσης όλων των συμμετεχόντων με βάση τον χρόνο εκτέλεσης του παιχνιδιού.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξαχθούν συμπεράσματα από τα αποτελέσματα που προέκυψαν στο Κεφάλαιο 4. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει μια συγκριτική ανάλυση παρόμοιων ερευνών ΔΕΥ με χρήση κάποιας συσκευής ΗΕΓ. Έπειτα, θα αναφερθούν ορισμένες προκλήσεις προς αντιμετώπιση κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, θα παρουσιαστούν ορισμένες μελλοντικές μελέτες της ΔΕΥ.

5.1 Συμπεράσματα της Μελέτης

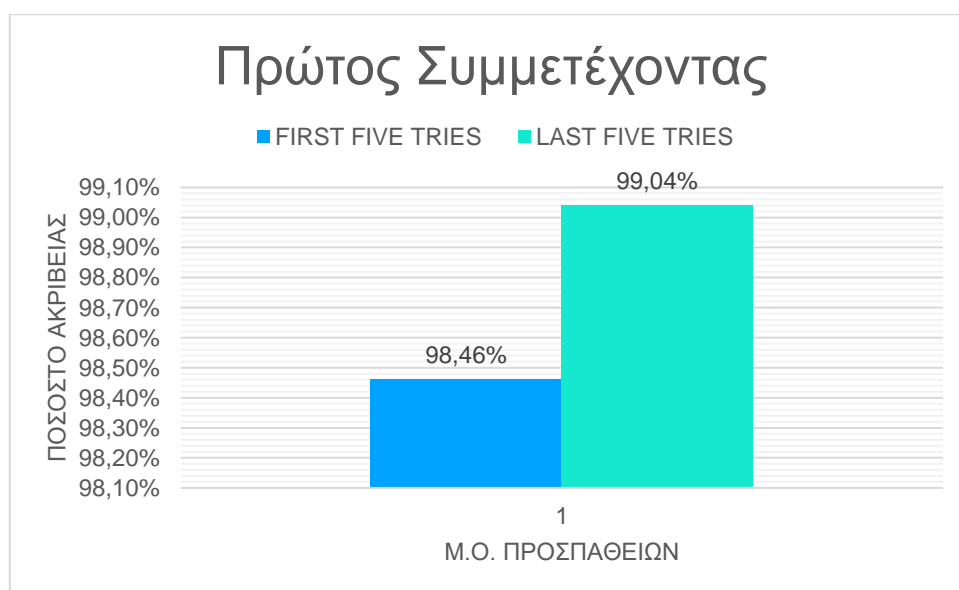
Στη παρούσα διπλωματική εργασία, με τίτλο «Αξιολόγηση μακροχρόνιας χρήσης διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή», διερευνήθηκε η μακροχρόνια ανθρώπινη εγκεφαλική δραστηριότητα μέσα από την ανάπτυξη ενός παιχνιδιού το οποίο δημιουργήθηκε στο Unity Engine και ελέγχεται από ένα σύστημα ΔΕΥ. Για την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας έγινε χρήση της συσκευής Muse 2, της εταιρίας Interaxon. Στο πείραμα έλαβαν μέρος συνολικά τέσσερις συμμετέχοντες, δύο γυναίκες και δύο άνδρες. Για την αξιολόγηση της μακροχρόνιας χρήσης διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή, οι συμμετέχοντες χρειάστηκε να επαναλάβουν τη διαδικασία της εκπαίδευσης και στη συνέχεια να παίξουν το παιχνίδι 10 φορές με μια συχνότητα επανάληψης μέρα παρά μέρα. Σε κάθε επανάληψη, οι δύο καταγραφές που γινόντουσαν χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι στο σενάριο που είχε δημιουργηθεί για την επεξεργασία του σήματος εκτός σύνδεσης. Στο σενάριο αυτό, εφαρμόστηκαν ορισμένα φίλτρα στα σήματα για να αφαιρεθεί ο θόρυβος. Από εκεί, προέκυψαν τα διανύσματα χαρακτηριστικών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην εκπαίδευση του ταξινομητή. Για την εκπαίδευση του ταξινομητή χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος LDA.

Ο πρώτος συμμετέχοντας (γένος θηλύ), σημείωσε ποσοστό ακρίβειας ίσο με 98.75%. Ο δεύτερος συμμετέχοντας (γένος άρρεν) σημείωσε ποσοστό ακρίβειας ίσο με 97.65%. Ο τρίτος συμμετέχοντας (γένος άρρεν) σημείωσε ποσοστό ακρίβειας ίσο με 97.32%. Ο τέταρτος συμμετέχοντας (γένος θηλύ) σημείωσε ποσοστό ακρίβειας ίσο με 97.71%. Τα ποσοστά που αναφέρονται παραπάνω αναγράφονται στον **Πίνακα 8**. Στη συνέχεια, ακολουθεί ο **Πίνακας 24** στον οποίο αναγράφονται οι μέσοι όροι μεταξύ των πρώτων πέντε προσπαθειών και των τελευταίων πέντε προσπαθειών από κάθε συμμετέχοντα. Από τους μέσους όρους προκύπτει ότι κατά βάση υπήρξε μια βελτίωση όσον αφορά την ακρίβεια του ταξινομητή. Η **ακρίβεια ταξινόμησης του πρώτου συμμετέχοντα αυξήθηκε κατά 0,58%** (από 98,46% πήγε στα 99,04%) όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 12**. Η **ακρίβεια ταξινόμησης του δεύτερου συμμετέχοντα αυξήθηκε κατά 2,18%** (από 96,56% πήγε στα 98,74%) όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 13**. Η **ακρίβεια ταξινόμησης του τρίτου συμμετέχοντα αυξήθηκε κατά 0,19%** (από 97,21% πήγε στα 97,4%) όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 14**. Δε συμβαίνει όμως το

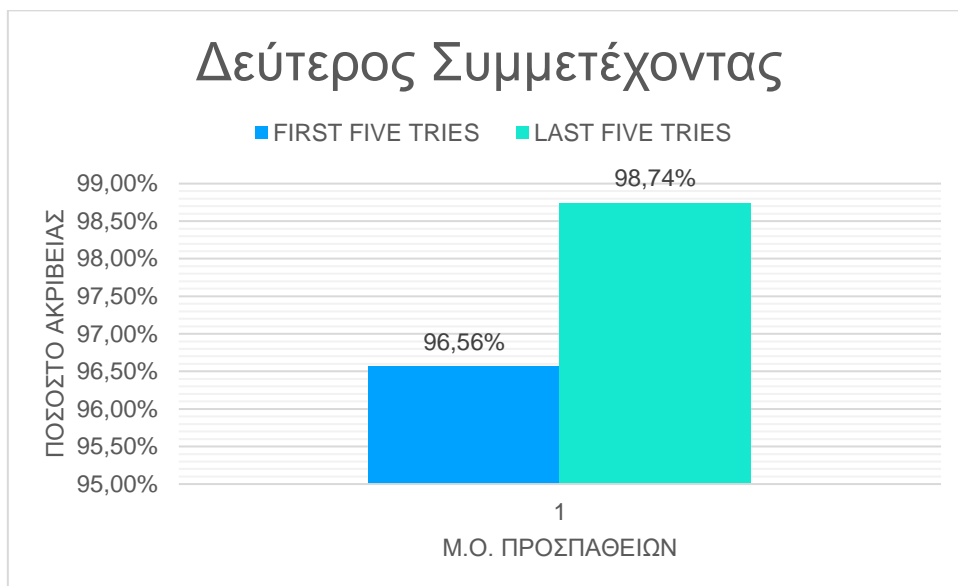
ίδιο στον **τέταρτο συμμετέχοντα (Σχήμα 15)** όπου παρατηρείται μια μικρή **μείωση κατά 0,47%** (από 97,93% στα 97,46%). Αυτή η μείωση μπορεί να οφείλεται και στην αδυναμία συγκέντρωσης του συγκεκριμένου συμμετέχοντα λόγω της ύπαρξης θορύβου που υπήρχε στον χώρο του εργαστηρίου ορισμένες φορές. Τα παραπάνω αποτελέσματα, απεικονίζονται συγκεντρωτικά στο **Σχήμα 16**.

Πίνακας 24: Ποσοστά ακρίβειας μεταξύ των πέντε πρώτων προσπαθειών και των πέντε τελευταίων προσπαθειών από κάθε συμμετέχοντα.

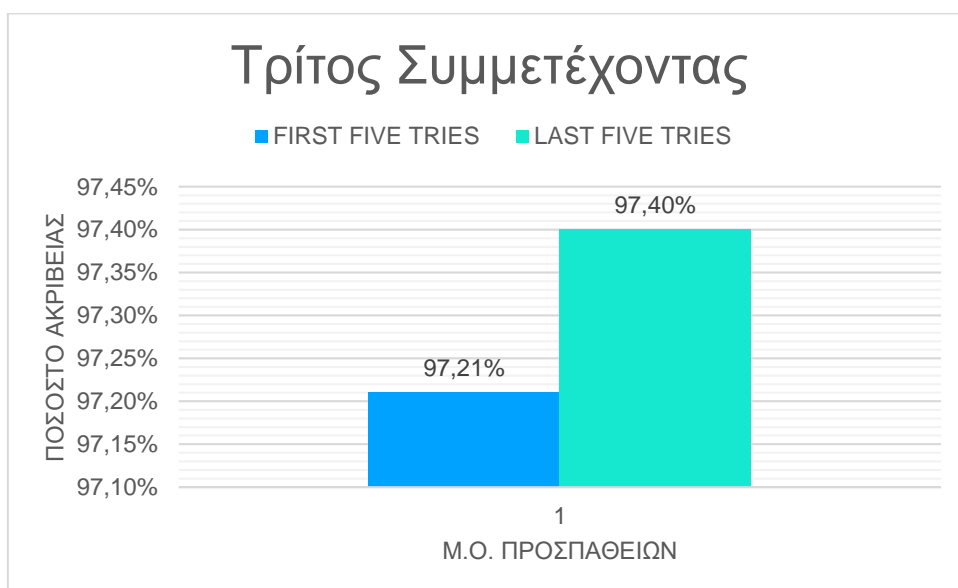
Μ.Ο. ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ LDA	ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ	
	ΠΕΝΤΕ ΠΡΩΤΕΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ	ΤΕΛΕΥΤΑΙΕΣ ΠΕΝΤΕ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ
ΠΡΩΤΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ	98,5%	99,0%
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ	96,6%	98,7%
ΤΡΙΤΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ	97,2%	97,4%
ΤΕΤΑΡΤΟΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΑΣ	97,9%	97,5%



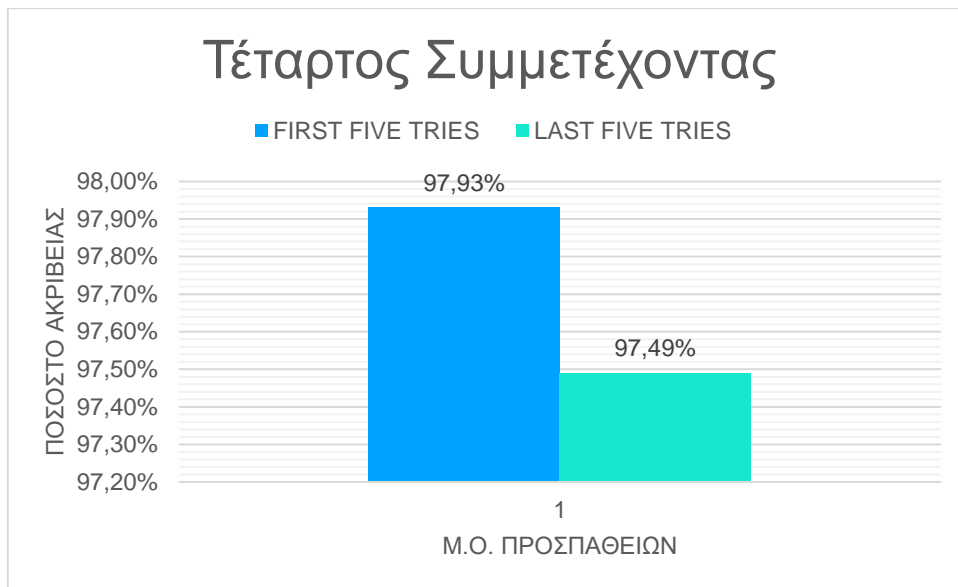
Σχήμα 12: Γραφική παράσταση ποσοστών ακρίβειας του πρώτου συμμετέχοντα.



Σχήμα 13: Γραφική παράσταση ποσοστών ακρίβειας του δεύτερου συμμετέχοντα

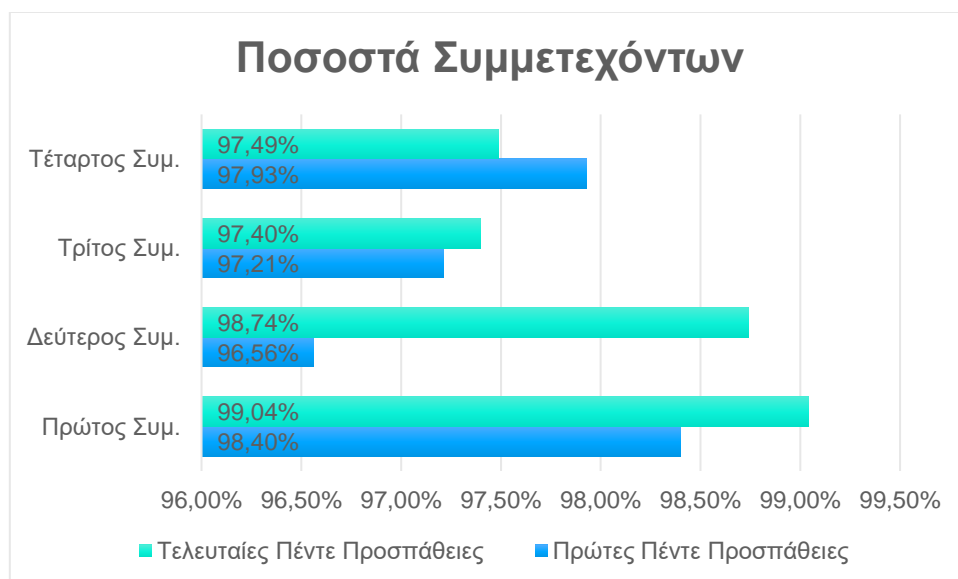


Σχήμα 14: Γραφική παράσταση ποσοστών ακρίβειας του τρίτου συμμετέχοντα.



Σχήμα 15: Γραφική παράσταση ποσοστών ακρίβειας του τέταρτου συμμετέχοντα.

Ακόμη, σύμφωνα με τα ποσοστά του **Πίνακα 8**, παρατηρείται ότι ο πρώτος, ο δεύτερος και ο τρίτος συμμετέχοντας δυσκολεύονται περισσότερο στο να αντιληφθούν την νοητική κίνηση προς τα δεξιά σε σχέση με τη νοητική κίνηση προς τα αριστερά. Από την άλλη, ο τέταρτος συμμετέχοντας φαίνεται να μπορεί να αντιλαμβάνεται ευκολότερα την νοητική κίνηση προς τα δεξιά σε σχέση με τη νοητική κίνηση προς τα αριστερά. Το συνολικό ποσοστό ακρίβειας των γυναικών ισούται με 98,23%, ενώ το συνολικό ποσοστό ακρίβειας των ανδρών ισούται με 97,49%. Λαμβάνοντας υπόψιν τα ποσοστά ακρίβειας που προέκυψαν παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι μεταξύ των δύο φύλων, οι γυναίκες φαίνεται να έχουν καλύτερα ποσοστά ταξινόμησης. Ανεξαρτήτως φύλου όμως, αποδεικνύεται ότι με το πέρασμα του χρόνου υπάρχει μια βελτίωση και στα ποσοστά ακρίβειας αλλά και στον αριθμό των σωστών κινήσεων που απαιτούνται για την μετακίνηση του χαρακτήρα προς την επιθυμητή κατεύθυνση.



Σχήμα 16: Συγκεντρωτικό γράφημα επίδοσης των συμμετεχόντων.

5.2 Συγκριτική Μελέτη

Ο Πίνακας 25 περιέχει πέντε ερευνητικές μελέτες πάνω σε συστήματα που χρησιμοποιούν ΔΕΥ. Σκοπός της συγκεκριμένης ενότητας είναι η σύγκριση των ερευνητικών μελετών. Ωστόσο, για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί μια συγκριτική μελέτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τις υπόλοιπες τέσσερις, θα πρέπει να πληρούνται δύο προϋποθέσεις. Αρχικά, θα πρέπει η αξιολόγηση συστημάτων ΔΕΥ να είναι μακροχρόνια και επίσης να έχει γίνει χρήση της ίδιας συσκευής ΗΕΓ, δηλαδή της Muse 2. Δεδομένου ότι καμία από τις τέσσερις ερευνητικές μελέτες δεν πληροί τις παραπάνω προϋποθέσεις, η σύγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τις υπόλοιπες είναι αδύνατο να συμβεί. Για αυτόν τον λόγο παρακάτω ακολουθεί μια παρουσίαση των τεσσάρων ερευνητικών μελετών.

Το έργο του Γλαβά [31] (2022) με τίτλο « Evaluation of the User Adaptation in a BCI Game Environment», ο συγγραφέας εξετάζει κατά πόσο μπορεί να προσαρμοστεί ο χρήστης σε ένα περιβάλλον παιχνιδιού ΔΕΥ. Για την αξιολόγηση των ΗΕΓ σημάτων αναπτύχθηκε ένα παιχνίδι, το *Zombie Jumper*, στη πλατφόρμα του Unity, ενώ για τη καταγραφή των 2 ΗΕΓ σημάτων έγινε χρήση της συσκευής Muse 2. Στο πείραμα αυτό συμμετείχαν συνολικά 37 συμμετέχοντες όπου ο κάθε συμμετέχοντας έπρεπε να πηδήξει πάνω από κάποιους χαρακτήρες «ζόμπι» οι οποίοι μπορεί είτε να κινούνται είτε να είναι ακίνητοι. Προκειμένου ο χρήστης να πηδήξει πάνω από κάποιους χαρακτήρες, αρκεί να ανοιγοκλείσει τα μάτια του. Για να εξεταστεί εάν οι χρήστες παρουσιάζουν κάποια βελτίωση στο περιβάλλον αυτό, έπαιξαν το παιχνίδι τουλάχιστον 20 φορές. Τέλος, οι μετρικές αξιολόγησης της συγκεκριμένης μελέτης είναι η ακρίβεια ταξινόμησης με ποσοστό επιτυχίας 98,75%, η επιτυχία του πρώτου παιχνιδιού με ποσοστό επιτυχίας 52,7% και η επιτυχία του δεύτερου παιχνιδιού με ποσοστό επιτυχίας 70,35%. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί και από τα ποσοστά επιτυχίας μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου παιχνιδιού, είναι εμφανές ότι οι συμμετέχοντες φαίνεται να παρουσίασαν βελτίωση στο περιβάλλον ΔΕΥ που αναπτύχθηκε.

Το έργο του Tezza [32] (2020) με τίτλο «Brain-Controlled Drone Racing Game: A Qualitative Analysis», ο συγγραφέας παρουσιάζει ένα βιντεοπαιχνίδι αγώνων το οποίο αναπτύχθηκε στη πλατφόρμα του Unity και ελέγχεται από μια ΔΕΥ. Πιο συγκεκριμένα, το παιχνίδι αγώνων drone ελέγχεται από τον εγκέφαλο μέσω της συσκευής ΗΕΓ, *Emotiv Insight*. Στο πείραμα συμμετείχαν συνολικά 54 συμμετέχοντες όπου σε κάθε γύρο του παιχνιδιού θα πρέπει να επιταχύνουν και να επιβραδύνουν το drone. Οι μετρικές αξιολόγησης του συγκεκριμένου πειράματος σχετίζονται με τον βαθμό ενθουσιασμού των συμμετεχόντων όσον αφορά την ενσωμάτωση της τεχνολογίας ΔΕΥ στα παιχνίδια καθώς επίσης και το ποσό που θα πλήρωναν για να αγοράσουν κάποιο παιχνίδι ελεγχόμενο από ΔΕΥ. Οι 50 από τους 54 συμμετέχοντες, δήλωσαν ενθουσιασμένοι με το παιχνίδι και ότι θα πλήρωναν γύρω στα 200\$ με 500\$ για να το αγοράσουν .

Το έργο του Πράπα [33] (2022) με τίτλο «Mind the Move: Developing a Brain-Computer Interface Game with Left-Right Motor Imagery» αναπτύχθηκε ένα τρισδιάστατο παιχνίδι στη πλατφόρμα του Unity, το οποίο ελέγχεται από μια ΔΕΥ. Για την καταγραφή των ΗΕΓ σημάτων, έγινε χρήση της συσκευής Muse 2. Στο πείραμα έλαβαν μέρος 33 συμμετέχοντες όπου σκοπός του κάθε συμμετέχοντα είναι η συλλογή όσο το δυνατών περισσότερων νομισμάτων. Ο έλεγχος του παιχνιδιού γίνεται μέσω τριών νοητικών εντολών, το κοίταγμα προς τα αριστερά, το κοίταγμα προς τα δεξιά και το ανοιγοκλείσιμο των ματιών. Εάν ο συμμετέχοντας κοιτάξει προς τα αριστερά τότε το άβαταρ μετακινείται προς τα αριστερά, ενώ εάν ο συμμετέχοντας κοιτάει προς τα δεξιά τότε το

άβαταρ μετακινείται προς τα δεξιά. Τέλος εάν ο συμμετέχοντας ανοιγοκλείσει τα μάτια του, τότε το άβαταρ αναπηδά στο παιχνίδι. Ο λόγος για τον οποίο αναπτύχθηκε το συγκεκριμένο παιχνίδι είναι για να αξιολογηθεί εάν οι συμμετέχοντες προσαρμόζονται εύκολα στο παιχνίδι καθώς και αν υπάρχει κάποια βελτίωση σε αυτό μετά την εκπαίδευση. Προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδοση του παιχνιδιού λήφθηκαν υπόψιν δύο μετρικές, το μέσο σκόρ του παιχνιδιού (26,6 ή 55,3%) καθώς και ο μέσος όρος των νομισμάτων.

Το έργο του Hjørungdal [34] (2016) με τίτλο «A Game-based Learning Framework for Controlling Brain-Actuated Wheelchairs» βασίζεται στην ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου παιχνιδιού προκειμένου να εκπαιδευτούν οι ασθενείς με μειωμένη λειτουργικότητα των άκρων κάνοντας χρήση ενός ηλεκτρικού αναπηρικού αμαξιδίου. Το παιχνίδι αναπτύχθηκε στο περιβάλλον του Unity ενώ για την καταγραφή των ΗΕΓ σημάτων, έγινε χρήση της συσκευής Emotiv EPOC. Ο έλεγχος του παιχνιδιού γίνεται μέσω τεσσάρων νοητικών εντολών (“push”, “pull”, “left” και “right”). Στο πείραμα έλαβαν μέρος 3 συμμετέχοντες όπου χρησιμοποιώντας το εικονικό εκπαιδευτικό περιβάλλον και μέσω των νοητικών εντολών να μπορούν να ελέγχουν το αναπηρικό αμαξίδιο. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι ο έλεγχος ενός αναπηρικού αμαξιδίου μέσω ΗΕΓ σημάτων. Η μετρική αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα είναι ο χρόνος υλοποίησης ενός επιπέδου του παιχνιδιού. Συνολικά το παιχνίδι περιέχει 5 επίπεδα. Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένα επίπεδο, τόσο καλύτερος είναι ο έλεγχος του αναπηρικού αμαξιδίου μέσω του εγκεφάλου.

Πίνακας 25: Συγκριτικός πίνακας με τη σχετική βιβλιογραφία.

Συγγραφείς	Συμμετέχοντες	Συσκευή	Νοητικές Εντολές	Επαναλήψεις ανά συμμετέχοντα	Χρονική διάρκεια Πειράματος	Μετρικές Αξιολόγησης
K.Glavas, Georgios Prapas, Katerina D. Tzimourta, Nikolaos Giannakeas,Markos Tsipouras [31]	37	Muse 2	2	20	40	Ακρίβεια ταξινόμησης (98,75%) Ποσοστό επιτυχίας πρώτου παιχνιδιού (52,7%) Ποσοστό επιτυχίας δεύτερου παιχνιδιού (70,35%)
Dante Tezza, Derek Caprio, Sarah Garcia, Blanche Pinto, Denis Laesker & Marvin Andujar [32]	54	Emotiv Insight	2	4	30	Ποσό πληρωμής παικτών για τα παιχνίδια
Georgios Prapas , Kosmas Glavas , Katerina D. Tzimourta, Alexandros T. Tzallas and Markos G. Tsipouras [33]	33	Muse 2	3	20	55	Ακρίβεια ταξινόμησης (96,94%)

						Μέσος όρος σκορ του παιχνιδιού (27,6) Μέσος όρος συστάδων (10,04) Ποσοστό βελτίωσης (7,5%)
Rolf-Magnus Hjørungdal* , Filippo Sanfilippo† , Ottar L. Osen , Adrian Rutle and Robin T. Bye [34]	3	Emotiv Epos+	4	-	-	Χρόνος υλοποίησης διαδικασίας
Η συγκεκριμένη μελέτη	4	Muse 2	2	120	12	Ακρίβεια ταξινόμησης (97,86%) Ποσοστό επιτυχίας αριστερά (97,89%) Ποσοστό επιτυχίας δεξιά (97,83%)

5.3 Περιορισμοί

Θα αποτελούσε σοβαρή παράλειψη η μη αναφορά των προκλήσεων που κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, οι περισσότερες προκλήσεις παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια ολοκλήρωσης των πειραματικών διαδικασιών. Αρχικά, το γεγονός ότι ο χώρος του εργαστηρίου που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν κοινόχρηστος, καθιστούσε τη καταγραφή των σημάτων όλο και πιο δύσκολη όσον αφορά τη συγκέντρωση των εθελοντών. Κατά συνέπεια, ο θόρυβος που επικρατούσε, επηρέαζε και το σήμα. Ακόμη, όσον αφορά τη συσκευή Muse 2, παρουσιαζόταν θέμα κατά την εφαρμογή της κυρίως στις γυναίκες λόγω της παρουσίας μαλλιών. Επιπλέον, η συσκευή αυτή, παρουσίαζε μερικές αδυναμίες όσον αφορά τη λειτουργία της. Αυτές είχαν ως αποτέλεσμα τη διακοπή της λειτουργίας της κατά τη διάρκεια καταγραφής των ΗΕΓ σημάτων. Εξαιτίας αυτού, η διαδικασία της καταγραφής έπρεπε να ξεκινήσει πάλι από την αρχή. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, οι προκλήσεις που παρουσιάστηκαν συνέβαλαν στην επίλυση τους όλο και πιο γρήγορα καθώς και στην εξοικείωση όλο και περισσότερο με τις εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν.

5.4 Μελλοντική Εργασία

Η αξιολόγηση των ΔΕΥ για μεγάλα χρονικά διαστήματα έχει βαθιές επιπτώσεις σε διάφορους τομείς. Η συστηματική παρακολούθηση των χρηστών ΔΕΥ αποδίδει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με την απόδοση, την προσαρμοστικότητα και τη συνολική αποτελεσματικότητα. Επιπλέον, η κατανόηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στον ανθρώπινο εγκέφαλο και τη συμπεριφορά επιτρέπει την ανάπτυξη εξατομικευμένων λύσεων ΔΕΥ προσαρμοσμένων στις ατομικές ανάγκες. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα από μακροχρόνιες αξιολογήσεις συμβάλλουν στον καθορισμό δεοντολογικών κατευθυντήριων γραμμών και πρωτοκόλλων ασφαλείας για την ευρεία εφαρμογή των ΔΕΥ σε τομείς όπως η υγειονομική περίθαλψη, η υποστηρικτική τεχνολογία και η αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή. Εν τέλει, τα ευρήματα αυτά διαμορφώνουν το μελλοντικό τοπίο των ΔΕΥ, ξεκλειδώνοντας τις δυνατότητές τους να ενδυναμώσουν άτομα με διαφορετικές ικανότητες και να βελτιώσουν σημαντικά τις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-μηχανή.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, διάφοροι τομείς απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση. Αρχικά, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί συγκριτική ανάλυση με άλλα συστήματα ΗΕΓ προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα του σήματος, η μετάδοση των δεδομένων και η μακροπρόθεσμη σταθερότητα με στόχο τη βελτιστοποίηση του συστήματος ΔΕΥ. Επιπλέον, θα είχε μεγαλύτερο ενδιαφέρον εάν η συγκεκριμένη μελέτη δοκιμαζόταν σε περισσότερα άτομα και σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Σε αυτό το σημείο, να σημειωθεί ότι οι καταγραφές διαρκούν 2 εβδομάδες (μέρα παρά μέρα) και ότι στο πείραμα έλαβαν μέρος τέσσερις συμμετέχοντες. Η αύξηση του μεγέθους του δείγματος, συμβάλλει στην ενίσχυση της γενίκευσης των ευρημάτων. Ακόμη, η επέκταση της διάρκειας των μελετών σε μακροπρόθεσμη βάση, σε συνδυασμό με τη συνεχή εκπαίδευση των συμμετεχόντων, θα βοηθήσει στη κατανόηση της βιωσιμότητας και της προσαρμογής τους σε συστήματα ΔΕΥ. Έτσι λοιπόν, το μέλλον της έρευνας ΔΕΥ υπόσχεται να ξεκλειδώσει νέους ορίζοντες καθιστώντας τις ΔΕΥ πιο προσιτές για ποικίλες εφαρμογές.

Βιβλιογραφία

- [1] T. M. Jessell, E. R. Kandel και J. H. Schwartz, Principles of Neural Science, 2000.
- [2] M. F. Bear, B. W. Connors και M. A. Paradiso, Neuroscience: Exploring the Brain, 2015.
- [3] Α. Καστορίνης, Μ. Κωστάκη-Αποστολοπούλου, Φ. Μπαρόνα-Μαμαλή, Β. Περάκη και Π. Πιάλογλου, «Νευρικό Σύστημα,» 1999. [Ηλεκτρονικό]. Available: http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2666/Biologia_A-Lykeiou_html-empl/index9.html. [Πρόσβαση 7 Ιουλίου 2023].
- [4] E. R. Kandel, The Molecular Biology of Memory Storage: A Dialogue between Genes and Synapses, 2001.
- [5] Α. Ν. Ράμμος, «Οι νευρικές συνάψεις,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.dr-rammos.gr/index.php/myelos-ton-epinefridion/organosi-nevrikoy-systimatos/oi-nevrikes-synapseis>. [Πρόσβαση 2023 Ιουλίου 2].
- [6] M. F. Bear, B. W. Connors και M. A. Paradiso, Neuroscience: Exploring the Brain, 2015.
- [7] «Λιμπικό σύστημα και νεοφλοιός: Πως εξελίχθηκε ο εγκέφαλος,» 24 05 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.healthyliving.gr/2016/05/24/exelixh-egefalou-6/>. [Πρόσβαση 7 Ιούλιο 2023].
- [8] Ν. Θεοδοσόπουλος, «Βασικές Λειτουργίες του Εγκεφάλου,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://nasost.com/vasikes-leitourgies-egkefalou/>. [Πρόσβαση 7 Ιούλιο 2023].
- [9] Α. Τ. Tzallas, Μ. Γ. Tsiouras και D. Ι. Fotiadis, Epileptic Seizure Detection in EEGs Using, 2009.
- [10] Α. Τ. Tzallas, Μ. Γ. Tsiouras, D. Γ. Tsalikakis, Ε. C. Karvounis, L. Astrakas, S. Konitsiotis και Μ. Tzaphlidou, Automated epileptic seizure detection methods: a review study, 2012.
- [11] Μ. Τσίπουρας, Α. Τζάλλας, Ε. Καρβούνης και Ν. Γιαννακέας, Ιατρική Πληροφορική, 2015.
- [12] A. Fornito, A. Zalesky και M. Breakspear, The connectomics of brain disorders, 2015.
- [13] F. Cincotti, D. Mattia, F. Aloise, S. Bufalari, G. Schalk, G. Oriolo, A. Cherubini, M. G. Marciani και F. Babiloni, Non invasive Brain-Computer Interface system: towards its application as assistive technology, 2010.
- [14] E. Niedermeyer και F. L. Silva, Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields, 2004.
- [15] F. Lopes da Silva, EEG and MEG: Relevance to Neuroscience, 2013.
- [16] O. Guy-Evans, «EEG (Electroencephalogram): Purpose, Procedure, And Risks,» 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.simplypsychology.org/what-is-an-ee.html>. [Πρόσβαση 7 Ιούλιο 2023].

- [17] B. McDermott, E. Porter, D. Hughes, B. McGinley, M. Lang, M. O'Halloran και M. Jones, *Gamma Band Neural Stimulation in Humans and the Promise of a New Modality to Prevent and Treat Alzheimer's Disease*, 2018.
- [18] S. Nagib Abbas Seha, «Research Gate,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/figure/The-five-frequency-bands-of-EEG-signal_fig1_275830679. [Πρόσβαση 7 Ιούλιο 2023].
- [19] A. Mutyala, «Muse 101 — How to start Developing with the Muse 2 right now,» 21 Αύγουστος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://anushmutyala.medium.com/muse-101-how-to-start-developing-with-the-muse-2-right-now-a1b87119be5c>. [Πρόσβαση 8 Σεπτέμβριος 2023].
- [20] «Insight User Manual,» 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://emotiv.gitbook.io/insight-manual/>. [Πρόσβαση 8 Σεπτέμβριος 2023].
- [21] «The Best EEG Brain Computer for Programmers: Notion 2 from Neurosity,» 3 Ιανουάριος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=aeP2Pi92Na0>. [Πρόσβαση 8 Σεπτέμβριος 2023].
- [22] J. D. R. Milan, R. Rupp, G. R. Müller-Putz, R. Murray-Smith, C. Giugliemma, M. Tangermann και D. Mattia, *Combining brain-computer interfaces and assistive technologies: state-of-the-art and challenges*, 2010.
- [23] J. A. Smith και R. B. Johnson, *Brain-Computer Interfaces: Innovations and Applications*, 2020.
- [24] B. Gary και P. S. Williams, *The Utility of Electroencephalography*, 2022.
- [25] M. Arnesano, «ReaserchGate,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/figure/a-MUSE-2-headband-sensors-overview-b-Top-down-view-of-the-EEG-electrode-positions-on_fig1_357537669. [Πρόσβαση 8 Σεπτέμβριο 2023].
- [26] A. Pluta , «Working with MUSE,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.krigoisonlab.com/working-with-muse.html>. [Πρόσβαση 8 Σεπτέμβριο 2023].
- [27] W. Qile, Z. Qinqi, S. Weitong, B. Chadwick, K. Kangsoo και L. Roghayeh, *A scoping review of the use of lab streaming layer framework in virtual and augmented reality research*, 2023.
- [28] Y. Renard, F. Lotte, G. Gibert, M. Congedo, E. Maby, V. Delannoy, O. Bertrand και A. Lecuyer, *OpenViBE: An Open-Source Software Platform to Design, Test and Use Brain-Computer Interfaces in Real and Virtual Environments*, 2010.
- [29] Y. Narayan, *Motor-Imagery EEG Signals Classification using SVM, MLP and LDA Classifiers*, 2021.
- [30] U. A. Rajendra, S. S. Vinitha, G. Swapna, J. M. Roshan και S. S. Jasjit, *Automated EEG analysis of epilepsy: A review*, 2013.
- [31] K. Glavas, G. Prapas, K. D. Tzimourta, N. Giannakeas και M. G. Tsipouras, *Evaluation of the User Adaptation in a BCI Game Environment*, 2022.
- [32] D. Tezza, D. Caprio, C. Garcia, B. Pinto, D. Laesker και M. Andujar, *Brain-Controlled Drone Racing Game: A Qualitative Analysis*, 2020.
- [33] G. Prapas, K. Glavas, K. D. Tzimourta, A. T. Tzallas και M. G. Tsipouras, *Mind the Move: Developing a Brain-Computer Interface Game*, 2022.
- [34] R. M. Hjørungdal, F. Sanfilippo, O. L. Osen, A. Rutle και R. T. Bye, *A Game-based Learning Framework for Controlling Brain-Actuated Wheelchairs*.

Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

κ.α.	και άλλα
π.χ.	Παραδείγματος χάριν
ΔΕΥ	Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή
VR	Virtual Reality
ΗΕΓ	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
LDA	Linear Discriminant Analysis
ΚΝΣ	Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
ΠΝΣ	Περιφερικό Νευρικό Σύστημα
GABA	Gamma-aminobutyric-acid
LTP	Long-term Potentiation
LTD	Long-term Depression
REM	Rapid Eye Movement
ΔΕΠΥ	Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητας
ALS	Amyotrophic Lateral Sclerosis
LSL	Lab Streaming Layer
SVM	Support Vector Machines
MLP	Multi-Layer Perceptron
M.O.	Μέσος Όρος

Απόδοση Ξενόγλωσσων Όρων

Brain Computer Interface
Virtual Reality
Gadget
Gaming
Online
Offline
Native
GameOver
Drone
Push
Pull
Left
Right
Motor Imagery
Left Motor Imagery
Right Motor Imagery

Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή
Εικονική Πραγματικότητα
Μικροσυσκευή
Βιντεοπαιχνίδια
Σε σύνδεση
Εκτός Σύνδεσης
Εγγενής
Τέλος παιχνιδιού
Μη επανδρωμένο ιπτάμενο όχημα
Σπρώχνω
Τραβάω
Αριστερά
Δεξιά
Κινητική Απεικόνιση
Αριστερή Κινητική Απεικόνιση
Δεξιά Κινητική Απεικόνιση