



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Ανάπτυξη διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή με χρήση φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΣ ΜΙΜΟΥ

Επιβλέπων: Μάρκος Τσίπουρας

Αναπληρωτής Καθηγητής

ΚΟΖΑΝΗ/ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ/2023



HELLENIC DEMOCRACY
UNIVERSITY OF WESTERN
MACEDONIA

FUCULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL &
COMPUTER ENGINEERING



Brain-computer interface development using a wearable electroencephalograph

THESIS

ANASTASIA MIMOU

SUPERVISOR: Markos Tsipouras

Associate Professor

KOZANI/OCTOBER/2023



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

Δ ΗΛΩΣΗ 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 “Ανάπτυξη διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή με χρήση φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Μάρκου Τσίπουρα αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Αναστασία Μίμου, Μάρκος Τσίπουρας , 2023 , Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή: Αναστασία Μίμου

Περίληψη

Η παρούσα διατριβή εξετάζει την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου παιχνιδιού διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή, που χρησιμοποιεί μια φορητή συσκευή ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Το παιχνίδι διαθέτει τρεις διαφορετικές νοητικές εντολές που επιτρέπουν στους χρήστες να ελέγχουν το Avatar του παιχνιδιού και να συλλέγουν κέρματα. Στόχος της μελέτης ήταν η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του παιχνιδιού BCI με 19 εθελοντές ηλικίας 19 έως 26 ετών, εκ των οποίων 12 άνδρες και 7 γυναίκες. Το παιχνίδι BCI υλοποιήθηκε με τη χρήση της μηχανής Unity Engine και η διεπαφή δημιουργήθηκε με την πλατφόρμα OpenVibe. Τα ακατέργαστα ηλεκτροεγκεφαλικά σήματα καταγράφηκαν μέσω της ασύρματης συσκευής ηλεκτροεγκεφαλογράφου INSIGHT, η οποία συνδέθηκε με την πλατφόρμα διασύνδεσης χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο LSL. Οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε 10 δοκιμαστικές προσπάθειες για να μάθουν το παιχνίδι πριν από την καταγραφή των δεδομένων. Οι περισσότεροι έλεγχαν ικανοποιητικά το Avatar, αλλά κάποιιοι δυσκολεύτηκαν με συγκεκριμένες εντολές. Τα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα ταξινομήθηκαν με τη χρήση του ταξινομητή LDA για την κατηγοριοποίηση των νοητικών εντολών. Οι μετρικές αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο μέσος όρος των κερμάτων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών και η μέση ακρίβεια ταξινόμησης LDA. Η ανάλυση των δεδομένων παρείχε αξιοσημείωτα ευρήματα, με το Subject 14 να εμφανίζει την χαμηλότερη απόδοση στο παιχνίδι και το Subject 10 την χαμηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης. Αντίθετα, το Subject 17 πέτυχε την υψηλότερη μέση βαθμολογία και το Subject 11 την υψηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης. Η μελέτη αναδεικνύει τη σημαντική επίδραση της ακρίβειας ταξινόμησης στην απόδοση του παίκτη στο παιχνίδι BCI. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ της απόδοσης του χρήστη και της ακρίβειας ταξινόμησης είναι πολύπλοκη και επηρεάζεται από παράγοντες όπως η εμπειρία του χρήστη, ο εξωτερικός θόρυβος και η σωματική κόπωση. Συνολικά, η έρευνα αυτή αποκαλύπτει τις πολλά υποσχόμενες δυνατότητες των παιχνιδιών διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή και τα αποτελέσματα της ενθαρρύνουν την περαιτέρω ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα. Τα αποτελέσματα παρέχουν επίσης κίνητρα για συνεχόμενες προσπάθειες βελτίωσης της ακρίβειας ταξινόμησης, των προκλήσεων, αλλά και της συνολικής εμπειρίας του χρήστη. Οι προσπάθειες αυτές αποσκοπούν στην επέκταση των εφαρμογών τους πέρα από τα παιχνίδια.

Λέξεις Κλειδιά: Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή, Παιχνίδι Διεπαφής Εγκεφάλου-Υπολογιστή, Ηλεκτροεγκεφαλογράφος INSIGHT, Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, OpenViBE, Μηχανή παιχνιδιών Unity, Κινητική απεικόνιση, Τρισδιάστατο Παιχνίδι, Ταξινομητής Ανάλυσης Γραμμικής Διάκρισης

Abstract

This thesis examines the development of a 3D brain-computer interface game using a handheld electroencephalography device. The game features three different cognitive commands that allow users to control the game Avatar and collect coins. The aim of the study was to evaluate the effectiveness of the BCI game with 19 volunteers aged 19 to 26 years, including 12 males and 7 females. The BCI game was implemented using the Unity Engine and the interface was created using the OpenVibe platform. Raw electroencephalographic signals were recorded via the INSIGHT wireless electroencephalograph device, which was connected to the interface platform using the LSL protocol. Participants underwent 10 trial attempts to learn the game before data recording. Most controlled Avatar satisfactorily, but some struggled with specific commands. The electroencephalographic data were classified using the LDA classifier to categorize mental commands. The evaluation metrics used were the average number of coins collected during the trials and the average LDA classification accuracy. Analysis of the data provided notable findings, with Subject 14 showing the lowest game performance and Subject 10 showing the lowest classification accuracy. In contrast, Subject 17 achieved the highest mean score and Subject 11 the highest classification accuracy. The study highlights the significant effect of classification accuracy on player performance in the BCI game. However, the relationship between user performance and classification accuracy is complex and influenced by factors such as user experience, external noise and physical fatigue. Overall, this research reveals the promising potential of brain-computer interface games and the results encourage further development in this area. The results also provide motivation for continued efforts to improve classification accuracy, challenges, and the overall user experience. These efforts aim to expand their applications beyond games.

Keywords: Brain-Computer Interface, Brain-Computer Interface Game, INSIGHT Electroencephalograph, Electroencephalogram, OpenViBE, Unity Game Engine, Motor Imagery, 3D Game, Linear Discriminant Analysis Classifier

Ευχαριστίες

Πριν από την παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου την οικογένεια μου Σοφία, Νίκος, Κατερίνα, Γιάννης, οι οποίοι όλα αυτά τα χρόνια της ακαδημαϊκής μου καριέρας μου στάθηκαν με την ακλόνητη αγάπη τους.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους πιο κοντινούς μου ανθρώπους και ιδιαίτερα στον Γιώργο, που ήταν δίπλα μου σε όλη αυτή την προσπάθεια πραγματοποίησης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μάρκο Τσίπουρα, για την καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Να ευχαριστήσω, επίσης, τον υποψήφιο διδάκτορα Κοσμά Γλαβά, ο οποίος με βοήθησε από την πρώτη στιγμή απαντώντας σε όλα τα ερωτήματα και τις προκλήσεις που προέκυψαν.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους εθελοντές που έλαβαν μέρος στην πειραματική διαδικασία της παρούσας εργασίας και συνέβαλλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της.

Μίμου Αναστασία

Κοζάνη, Οκτώβριος 2023

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract	3
Ευχαριστίες.....	5
Περιεχόμενα	7
Κατάλογος Σχημάτων	9
Κατάλογος Εικόνων	12
Κατάλογος Πινάκων	13
Πρόλογος.....	15
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	16
1.1 Ερευνητικό Αντικείμενο.....	16
1.2 Οργάνωση του τόμου	18
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο	19
2.1 Κεντρικό Νευρικό Σύστημα	19
2.1.1 Εγκέφαλος.....	20
2.1.2 Νευρώνας.....	22
2.2 Βιοϊατρικά Σήματα – Βιοσήματα.....	25
2.3 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα	26
2.3.1 Διαδικασία καταγραφής ΗΕΓ	27
2.3.2 Σύστημα Τοποθέτησης Ηλεκτροδίων.....	28
2.3.3 Ρυθμοί ΗΕΓ.....	30
2.3.4 Επεξεργασία Σήματος.....	32
2.4 Νοερή Κίνηση (Motor Imagery)	33
2.5 Διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή.....	34
2.5.1 Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή στον τομέα των παιχνιδιών.....	35
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία Ανάλυσης.....	36
3.1 Διαδικασία	36
3.2 Εκπαίδευση ταξινομητή.....	37
3.2.1 Συσκευή λήψης ΗΕΓ	37

3.2.2	Σύνδεση συσκευής - υπολογιστή.....	39
3.2.3	Λήψη και Επεξεργασία ΗΕΓ σημάτων.....	39
3.2.4	Ταξινόμηση	41
3.3	Πειραματική διαδικασία	41
3.4	Σχεδιασμός Παιχνιδιού.....	43
Κεφάλαιο 4:	Αποτελέσματα	44
4.1	Σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης.....	44
4.2	Αποτελέσματα εκπαίδευσης ταξινομητών.....	45
4.3	Ατομικά αποτελέσματα πειραματικής διαδικασίας	47
4.3.1	Εθελοντής 1	47
4.3.2	Εθελοντής 2.....	49
4.3.3	Εθελοντής 3.....	50
4.3.4	Εθελοντής 4.....	51
4.3.5	Εθελοντής 5.....	53
4.3.6	Εθελοντής 6.....	54
4.3.7	Εθελοντής 7.....	56
4.3.8	Εθελοντής 8.....	57
4.3.9	Εθελοντής 9.....	59
4.3.10	Εθελοντής 10.....	60
4.3.11	Εθελοντής 11	62
4.3.12	Εθελοντής 12.....	63
4.3.13	Εθελοντής 13.....	65
4.3.14	Εθελοντής 14.....	67
4.3.15	Εθελοντής 15.....	68
4.3.16	Εθελοντής 16.....	69
4.3.17	Εθελοντής 17	71
4.3.18	Εθελοντής 18.....	72
4.3.19	Εθελοντής 19.....	74
4.4	Ομαδικά Αποτελέσματα	76
Κεφάλαιο 5:	Συμπεράσματα.....	79
5.1	Συμπεράσματα Πειραματικής Μελέτης	79
5.2	Συγκριτική Μελέτη	81
5.3	Περιορισμοί	84
5.4	Μελλοντική Εργασία.....	84

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Βήματα επεξεργασίας ΗΕΓ σήματος.	33
Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής για τις 2 περιπτώσεις επεξεργασίας σύνδεσης του συστήματος διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Αριστερά φαίνονται τα βήματα για την εκπαίδευση του ταξινομητή, ενώ δεξιά φαίνονται για την πειραματική διαδικασία.	36
Σχήμα 3. Σενάριο λήψης ΗΕΓ σήματος.	39
Σχήμα 4. Σενάριο για την εκπαίδευση του ταξινομητή στην περίπτωση επεξεργασίας εκτός σύνδεσης.	40
Σχήμα 5. Σενάριο για την πειραματική διαδικασία.	42
Σχήμα 6. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 1 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $1.12*x + 24.5$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.	48
Σχήμα 7. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 2 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $1.07*x + 14.1$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.	50
Σχήμα 8. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 3 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0.242*x + 20.7$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.	51
Σχήμα 9. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 4 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0.491*x + 21.8$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.	53
Σχήμα 10. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 5 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0.964*x + 20.6$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.	54
Σχήμα 11. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 6 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $1.83*x + 17.5$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.	56
Σχήμα 12. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 7 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0.103*x + 15$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.	57

Σχήμα 26. Απεικόνιση κατά αύξουσα σειρά των μέσων όρων των σκορ που συγκέντρωσαν οι 19 εθελοντές με τη χρήση γραφήματος ράβδων.	78
Σχήμα 27. Απεικόνιση κατά αύξουσα σειρά των μέσων όρων των σκορ που συγκέντρωσαν οι 19 εθελοντές με τη χρήση γραφήματος γραμμής.	78
Σχήμα 28. Απεικόνιση κατά αύξουσα σειρά των αποτελεσμάτων της ακρίβειας ταξινόμησης, της γραμμής του μέσου όρου των κερμάτων που σύλλεξε ο κάθε εθελοντής και της γραμμής της ακρίβειας ταξινόμησης των ΗΕΓ δεδομένων του.....	80

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Κεντρικό Νευρικό Σύστημα [1].	19
Εικόνα 2. Απεικόνιση των προστατευτικών στρωμάτων του εγκεφάλου [2].	20
Εικόνα 3. Οι 4 εγκεφαλικοί λοβοί [5].	22
Εικόνα 4. Δομή Νευρώνα [7].	22
Εικόνα 5. Τύποι συνάψεων [9].	23
Εικόνα 6. Νευρική Ώση [10].	24
Εικόνα 7. Η διαδικασία μεταβίβασης της νευρικής ώσης σε σύναψη [12].	25
Εικόνα 8. Βιοσήματα [15].	26
Εικόνα 9. Μια από τις πρώτες καταγραφές ΗΕΓ από τον Hans Berger το 1924.	26
Εικόνα 10. Καταγραφή ΗΕΓ [22].	28
Εικόνα 11. Θέσεις Ηλεκτροδίων για το διεθνές σύστημα 10-20 [23].	29
Εικόνα 12. Κυματομορφές ρυθμών.	32
Εικόνα 13. Απεικόνιση της φανταστικής κίνησης [32].	33
Εικόνα 14. Χάρτης απεικόνισης της διέγερσης του εγκεφάλου που αντιστοιχεί στην κινητική δραστηριότητα των άκρων [33].	34
Εικόνα 15. Οι 2 τύποι BCI. Αριστερά απεικονίζεται η μη επεμβατική μέθοδος, ενώ δεξιά η επεμβατική [36].	35
Εικόνα 16. Οι θέσεις των 5 αισθητήρων του εγκεφαλογράφου INSIGHT[40].	38
Εικόνα 17. Οι θέσεις των αισθητήρων AF3,AF4,T7,T8,Pz πάνω στη συσκευή INSIGHT.	38
Εικόνα 18. Στιγμιότυπο παιχνιδιού ελεγχόμενο από εγκεφαλογράφο.	43

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Λίστα ονομάτων των ηλεκτροδίων.	30
Πίνακας 2. Ρυθμοί εγκεφαλικής δραστηριότητας.	31
Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά εθελοντών όσον αφορά το φύλο, την ηλικία και την κατάσταση όρασης τους.	45
Πίνακας 4. Αποτελέσματα που προέκυψαν ύστερα από την ταξινόμηση των καταγραφών με τη χρήση του αλγορίθμου ανάλυσης γραμμικής διάκρισης.	47
Πίνακας 5. Τα αποτελέσματα του Subject 1. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	48
Πίνακας 6. Τα αποτελέσματα του Subject 2. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	49
Πίνακας 7. Τα αποτελέσματα του Subject 3. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	51
Πίνακας 8. Τα αποτελέσματα του Subject 4. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	52
Πίνακας 9. Τα αποτελέσματα του Subject 5. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	54
Πίνακας 10. Τα αποτελέσματα του Subject 6. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	55
Πίνακας 11. Τα αποτελέσματα του Subject 7. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	57
Πίνακας 12. Τα αποτελέσματα του Subject 8. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	58
Πίνακας 13. Τα αποτελέσματα του Subject 9. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	60
Πίνακας 14. Τα αποτελέσματα του Subject 10. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	61
Πίνακας 15. Τα αποτελέσματα του Subject 11. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	63
Πίνακας 16. Τα αποτελέσματα του Subject 12. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	64
Πίνακας 17. Τα αποτελέσματα του Subject 13. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	66
Πίνακας 18. Τα αποτελέσματα του Subject 14. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	67
Πίνακας 19. Τα αποτελέσματα του Subject 15. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	69

Πίνακας 20. Τα αποτελέσματα του Subject 16. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	70
Πίνακας 21. Τα αποτελέσματα του Subject 17. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	72
Πίνακας 22. Τα αποτελέσματα του Subject 18. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	73
Πίνακας 23. Τα αποτελέσματα του Subject 19. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.	75
Πίνακας 24. Ομαδικά Αποτελέσματα Παιχνιδιού. Αντιστοιχία μεταξύ του παίκτη και του μέσου όρου των σκορ που προέκυψε από τις 10 προσπάθειες του παιχνιδιού.....	76
Πίνακας 25. Αποτελέσματα μέσου όρου κερμάτων και ακρίβειας ταξινόμησης του κάθε εθελοντή.	80
Πίνακας 26. Σύγκριση ελεγχόμενων παιχνιδιών διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή	82

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ανάπτυξη διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή με χρήση φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου» αποτελεί μια ολοκληρωμένη επιστημονική έρευνα, η οποία εντάσσεται στους τομείς της ιατρικής πληροφορικής, της εξόρυξης δεδομένων και του gaming.

Ο κυριότερος στόχος της συγκεκριμένης εργασίας είναι να διερευνήσει τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές των παιχνιδιών διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή και τα αποτελέσματά τους, με σκοπό να διευκολύνουν στην περαιτέρω πρόοδο σε αυτόν τον τομέα.

Η ερευνητική αυτή προσπάθεια εντάσσεται στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας που εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Ανατέθηκε, εποπτεύθηκε και συντονίστηκε αποτελεσματικά υπό την καθοδήγηση του κύριου Μάρκου Τσίπουρα, αναπληρωτή καθηγητή του προαναφερθέντος τμήματος.

Η πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για την παρούσα μελέτη εκτελέστηκε στις σύγχρονες εργαστηριακές εγκαταστάσεις του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Η εκτέλεση αυτών των πειραμάτων κατέστη δυνατή μέσω της αξιοποίησης των πόρων που παραχωρήθηκαν από το ίδρυμα.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Ερευνητικό Αντικείμενο

Στον σημερινό ταχέως εξελισσόμενο κόσμο, η τεχνολογία έχει γίνει αναπόσπαστη πτυχή της καθημερινότητας μας, μεταμορφώνοντας διάφορους τομείς και βελτιώνοντας τις ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις. Ειδικότερα, ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης έχει υποστεί αξιοσημείωτες εξελίξεις λόγω των τεχνολογικών ανακαλύψεων τον τελευταίο καιρό. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην υγειονομική περίθαλψη έχει οδηγήσει σε νέους κλάδους, όπως η βιοϊατρική, η ιατρική πληροφορική και η βιοπληροφορική, οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί και έχουν συμβάλει σε πρωτοποριακές ανακαλύψεις.

Η σύγκλιση της τεχνολογίας και της υγειονομικής περίθαλψης έχει οδηγήσει σε μια αξιοσημείωτη εξέλιξη γνωστή ως διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή (ΔΕΥ ή BCI). Σε πλήρη αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους εισαγωγής, όπως είναι τα πληκτρολόγια και τα ποντίκια, η ΔΕΥ εγκαθιστά μια άμεση σύνδεση μεταξύ ανθρώπινου εγκεφάλου και των υπολογιστών, μεταβάλλοντας ριζικά τον τρόπο με τον οποίο εμπλέκεται ο άνθρωπος με την τεχνολογία. Μέσω της μετατροπής των σημάτων του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ) από τις ενεργές περιοχές του εγκεφάλου σε εντολές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, η ΔΕΥ διευρύνει τους ορίζοντες των δυνατοτήτων για τη βελτίωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ανθρώπων και υπολογιστών.

Τα συστήματα διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI) μπορούν να ταξινομηθούν με δύο τρόπους, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τη λειτουργία και τις εφαρμογές τους. Η πρώτη ταξινόμηση βασίζεται στην προέλευση των σημάτων ΗΕΓ που χρησιμοποιούν, οδηγώντας σε τρεις κύριες υποκατηγορίες, οι οποίες είναι οι παθητικές, οι ενεργές και οι αντιδραστικές ΔΕΥ. Τα συστήματα BCI μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν με βάση τη θέση των ηλεκτροδίων, με αποτέλεσμα να υπάρχουν δύο κύριοι τύποι: τα επεμβατικά και τα μη επεμβατικά BCI. Τα επεμβατικά BCI περιλαμβάνουν την εμφύτευση ηλεκτροδίων απευθείας στον εγκεφαλικό ιστό. Από την άλλη πλευρά, τα μη επεμβατικά BCI χρησιμοποιούν εξωτερικούς αισθητήρες που τοποθετούνται στο τριχωτό της κεφαλής.

Οι διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή εστιάζουν κυρίως στον ιατρικό τομέα, ειδικά σε ασθενείς με χρόνιες νευρολογικές παθήσεις. Για άτομα που αντιμετωπίζουν ασθένειες, όπως είναι η παράλυση ή άλλες σοβαρές κινητικές διαταραχές, η ΔΕΥ δημιουργεί νέες δυνατότητες, προσφέροντας ένα μέσο για να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους ανεξάρτητα, χωρίς να χρειάζεται να βασίζονται σε εξωτερικές συμβατικές συσκευές. Αυτή η πρωτοποριακή τεχνολογία επιτρέπει στους ασθενείς να ελέγχουν βοηθητικές συσκευές, προσθετικά ή εικονικά περιβάλλοντα αποκλειστικά μέσω της

σκέψης τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση της ποιότητας ζωής και του επιπέδου ανεξαρτησίας τους.

Η ενσωμάτωση των διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή στον τομέα των παιχνιδιών εισήγαγε μια μετασχηματιστική περίοδο, η οποία διέπεται από μεγαλύτερη διαδραστικότητα και συμμετοχικότητα. Η ενσωμάτωση αυτή, δίνει την ευκαιρία στους παίκτες να δημιουργήσουν μια άμεση σύνδεση μεταξύ των σκέψεών τους και του εικονικού κόσμου, με αποτέλεσμα να αποδίδεται ένα εξαιρετικό επίπεδο συμμετοχής. Επιπλέον, μέσω των BCIs προσφέρονται ευκαιρίες στα άτομα με περιορισμένη κινητικότητα ή σωματικές αναπηρίες, παρέχοντας τους μια εναλλακτική μέθοδο ελέγχου των παιχνιδιών και με αυτό τον τρόπο τους δίνεται η δυνατότητα να απολαμβάνουν πλήρως τα παιχνίδια. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα που έπεται από την έλευση των διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή στα παιχνίδια είναι το αυξημένο επίπεδο εξατομίκευσης που προκύπτει από τη συνεχή παρακολούθηση και ανάλυση της εγκεφαλικής δραστηριότητας των παικτών. Τέλος, χάρη στη χρήση των BCI στον τομέα του gaming, επιτρέπεται η ακριβής παρακολούθηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια εμπειριών παιχνιδιού, προσφέροντας σε ερευνητές την ευκαιρία να μελετήσουν τις γνωστικές διαδικασίες και τις νευρικές αντιδράσεις σε έγκυρες συνθήκες. Επομένως, με αυτές τις αναλύσεις σημειώνεται ερευνητική πρόοδος στους τομείς της νευροεπιστήμης.

Όμως, παρόλο που οι δυνατότητες παιχνιδιών της τεχνολογίας διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή είναι πολλές και ενδιαφέρουσες, αντιμετωπίζουν διάφορες προκλήσεις. Ένα εμπόδιο που προκύπτει είναι ότι συχνά απαιτείται μια φάση εκπαίδευσης για την εγκαθίδρυση αξιόπιστης επικοινωνίας μεταξύ των εγκεφαλικών σημάτων και των εντολών του παιχνιδιού, η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα και να μην είναι επιτυχής για όλους. Επιπλέον, υπάρχουν περιορισμοί στη λειτουργικότητα και η παρατεταμένη χρήση μπορεί να προκαλέσει σωματική δυσφορία. Στην παρούσα διατριβή, πράγματι, διαπιστώθηκαν και τα δύο αυτά εμπόδια όσον αφορά τη διάρκεια της εκπαίδευσης και της σωματικής δυσφορίας που αισθάνθηκαν οι παίκτες κατά τη διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας.

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αναπτύχθηκε μια διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή για τη δημιουργία μιας άμεσης σύνδεσης μεταξύ της ανθρώπινης εγκεφαλικής δραστηριότητας και του παιχνιδιού της μελέτης. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την απόκτηση των εγκεφαλικών δεδομένων ήταν ο εγκεφαλογράφος INSIGHT της εταιρείας EMOTIV. Οι καταγραφές πάρθηκαν σε ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν όσο το δυνατόν πιο πολύ οι εξωτερικές παρεμβολές που θα αποσυντόνιζαν τους εθελοντές κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος. Προκειμένου να ξεκινήσει και να διευκολυνθεί η διαδικασία καταγραφής, ζητήθηκε από τους εθελοντές να καθίσουν σε μια καρέκλα και να παραμείνουν σε κατάσταση ηρεμίας για να ελαχιστοποιηθεί η κινητικότητά τους. Στη συνέχεια, έγινε λήψη των τριών απαιτούμενων καταγραφών που ήταν απαραίτητες για την εκπαίδευση του ταξινομητή, οι οποίες αφορούσαν το δεξιά, το αριστερά και το ανοιγοκλείσιμο των ματιών. Έπειτα, τα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα που αποκτήθηκαν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία εκτός σύνδεσης στο περιβάλλον του OpenVibe, ούτως ώστε να γίνει η ταξινόμηση των σημάτων. Για την βελτίωση της ποιότητας του σήματος, χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο της μεθόδου Butterworth μεταξύ των συχνοτήτων 8-40 Hz. Το φάσμα του ΗΕΓ χωρίστηκε στις πέντε διακριτές ζώνες Α, Β1, Β2, Γ1, Γ2 και υπολογίστηκαν τα ενεργειακά τους επίπεδα. Αφού, πραγματοποιήθηκε κι αυτή η διαδικασία τα επεξεργασμένα σήματα υποβλήθηκαν σε ταξινόμηση χρησιμοποιώντας τον ταξινομητή Γραμμικής Ανάλυσης Διάκρισης (LDA). Η πειραματική διαδικασία ολοκληρώθηκε με την εντός σύνδεσης επεξεργασία, η οποία περιελάμβανε δέκα επαναλήψεις συμμετοχής των εθελοντών στο παιχνίδι της διεπαφής και καταγραφής των αποτελεσμάτων των κερμάτων που συλλέχθηκαν.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη προσφέρουν ελπιδοφόρες προοπτικές για την ανάληψη πρόσθετης έρευνας στον τομέα των παιχνιδιών διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή.

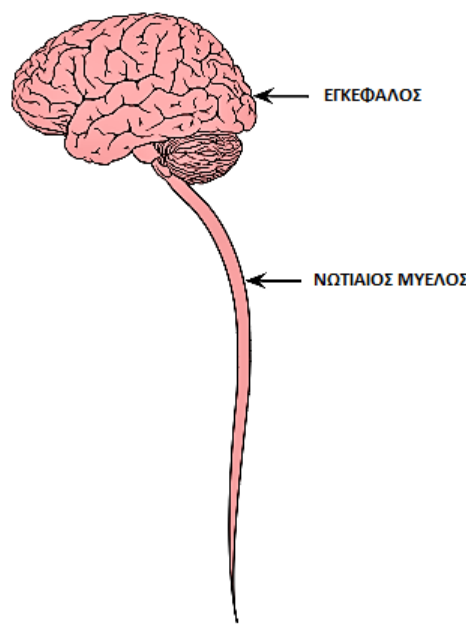
1.2 Οργάνωση του τόμου

Η διατριβή περιλαμβάνει συνολικά 5 κεφάλαια και ενότητες. Στο δεύτερο κεφάλαιο, επιχειρείται μια εκτενής εξέταση, η οποία περιλαμβάνει τη δομή και τη νευροανατομία του ανθρώπινου εγκεφάλου, τα βιοϊατρικά σήματα, το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, τη νοερή κίνηση και την τεχνολογία διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Η συγκεκριμένη ενότητα προσφέρει μια ολοκληρωμένη και σε βάθος κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου, των λειτουργιών των διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή και της διαδικασίας καταγραφής βιοϊατρικών σημάτων με τη χρήση της τεχνολογίας του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Το τρίτο κεφάλαιο υποδιαιρείται σε τέσσερις κύριες ενότητες, δηλαδή την μεθοδολογία ανάλυσης, την εκπαίδευση του ταξινομητή, την πειραματική διαδικασία και το σχεδιασμό του παιχνιδιού. Η αρχική ενότητα παρέχει το διάγραμμα ροής για τις δύο περιπτώσεις της μελέτης, δηλαδή την εκπαίδευση του ταξινομητή και την πειραματική διαδικασία. Η επόμενη δύο ενότητες επεξηγούν λεπτομερώς τις διαδικαστικές πτυχές τόσο της εκπαίδευσης του ταξινομητή, όσο και της πειραματικής διαδικασίας. Τέλος, η τέταρτη ενότητα αυτού του κεφαλαίου ασχολείται εκτενώς με τις ενέργειες για το σχεδιασμό του παιχνιδιού που αφορούν τη διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή. Το κεφάλαιο που ακολουθεί αποτελείται από τέσσερις διακριτές ενότητες. Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης, καταγράφοντας βασικά χαρακτηριστικά των εθελοντών, όπως το φύλο, η ηλικία και η κατάσταση της όρασης. Το κεφάλαιο συνεχίζει την παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη χρήση του ταξινομητή γραμμικής ανάλυσης διάκρισης (LDA) για την κατηγοριοποίηση των καταγραφών στις τρεις κατηγορίες του πειράματος. Επιπλέον, η Ενότητα 4.3 πραγματοποιεί μια ολοκληρωμένη ανάλυση, χρησιμοποιώντας πίνακες και γραφήματα, ενώ παρέχεται διορατικός σχολιασμός σχετικά με τις επιμέρους επιδόσεις κάθε συμμετέχοντα. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των συλλογικών αποτελεσμάτων των εθελοντών που συμμετείχαν στο πείραμα διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI). Το πέμπτο και καταληκτικό κεφάλαιο της παρούσας διατριβής συνοψίζει τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την πειραματική μελέτη και πραγματοποιεί συγκριτική ανάλυση με ανάλογες ερευνητικές προσπάθειες. Επιπλέον, το κεφάλαιο αυτό περιγράφει τους περιορισμούς που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της έρευνας, ενώ παράλληλα παρέχει σχόλια σχετικά με τις πιθανές συνεισφορές αυτής της έρευνας για μελλοντικές προσπάθειες.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

Το νευρικό σύστημα είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση και τον έλεγχο της λειτουργίας όλων των οργάνων του ανθρώπινου σώματος, εξασφαλίζοντας την ομαλή συνεργασία τους. Τα σπονδυλωτά, στα οποία εντάσσεται και ο άνθρωπος, διαθέτουν Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), το οποίο αποτελείται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Το ΚΝΣ διευκολύνει πιο προηγμένες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων των νοητικών και πνευματικών διεργασιών. Επιπλέον, μέσω των αισθητηρίων οργάνων, όπως τα μάτια, τα αυτιά, το δέρμα και οι μύες, το νευρικό σύστημα επιτρέπει στον άνθρωπο να αντιλαμβάνεται και να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του.



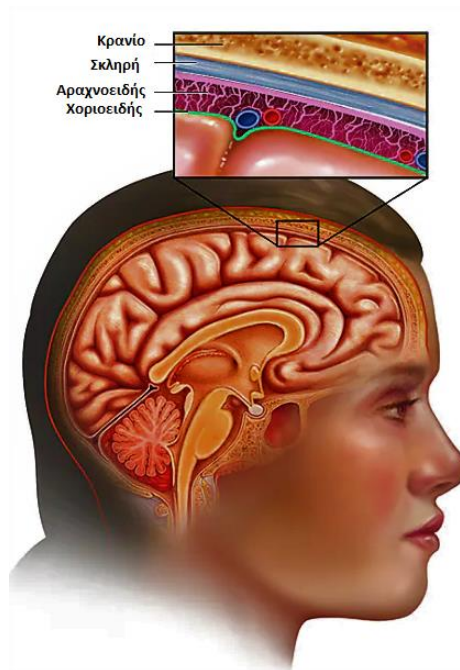
Εικόνα 1. Κεντρικό Νευρικό Σύστημα [1].

2.1.1 Εγκέφαλος

Το σημαντικότερο και μεγαλύτερο τμήμα του κεντρικού νευρικού συστήματος είναι ο εγκέφαλος. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελεί μόλις το 2% του συνολικού βάρους του σώματος, που αντιστοιχεί περίπου σε 1.4 κιλά. Είναι υπεύθυνος για τη ρύθμιση και το συντονισμό των λειτουργιών του σώματος. Συγκεκριμένα, τα κινητικά ερεθίσματα μεταδίδονται μέσω των φυγόκεντρων νεύρων στους μύες και τους αδένες, επιτρέποντας διάφορες δραστηριότητες. Τα αντανακλαστικά κέντρα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση του αυτόματου ελέγχου των σωματικών λειτουργιών. Ακόμη, τα αισθητηριακά ερεθίσματα γίνονται αντιληπτά μέσω των κεντρομόλων νεύρων, τα οποία καταγράφουν τις αισθήσεις και αποτελούν τη βάση της αντίληψης. Ουσιαστικά, χρησιμεύει ως το κέντρο της συνείδησης, της σκέψης, της μνήμης, της λογικής, της κρίσης και των συναισθημάτων.

Ακόμη, ο εγκέφαλος στεγάζεται μέσα στο προστατευτικό κρανίο και όπως φαίνεται και στην **εικόνα 2** περιβάλλεται από τρία στρώματα που ονομάζονται μήνιγγες (σκληρή,αραχνοειδής, χοριοειδής). Η σκληρή μήνιγγα αποτελεί το εξωτερικό στρώμα που καλύπτει την εσωτερική επιφάνεια του κρανίου και περιέχει φλέβες και αρτηρίες που τροφοδοτούν με αίμα τα κρανιακά οστά. Η ενδιάμεση μεμβράνη, που ονομάζεται αραχνοειδής μεμβράνη, αποτελείται από ελαστικό συνεκτικό ιστό και συγκρατεί το εγκεφαλονωτιαίο υγρό που κυκλοφορεί μέσα της. Η εσωτερική μεμβράνη, ο χοριοειδής, είναι η λεπτότερη από τις τρεις και βρίσκεται πλησιέστερα στον εγκεφαλικό φλοιό, εξυπηρετώντας κυρίως προστατευτικό ρόλο.

Το εγκεφαλονωτιαίο υγρό γεμίζει το χώρο μεταξύ της αραχνοειδούς και της χοριοειδούς μεμβράνης και καταλαμβάνει επίσης τις κοιλίες, τις σχισμές και τον κεντρικό σωλήνα της σπονδυλικής στήλης. Λειτουργεί ως μαξιλάρι, παρέχοντας ουσιαστική μηχανική και ανοσολογική προστασία στον εγκέφαλο μέσα στο κρανίο.



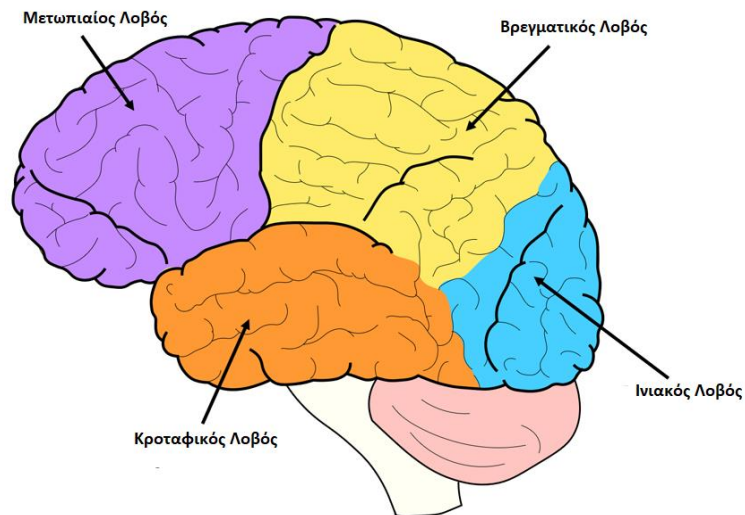
Εικόνα 2. Απεικόνιση των προστατευτικών στρωμάτων του εγκεφάλου [2].

Ο εγκέφαλος χωρίζεται σε δύο ημισφαίρια που χωρίζονται από μια επιμήκη σχισμή. Τα νεύρα και ο νωτιαίος μυελός αναδύονται από την κάτω επιφάνεια του εγκεφάλου και αντίστοιχα ανοίγματα στη

βάση του κρανίου επιτρέπουν τη διέλευση των εγκεφαλικών νεύρων και του νωτιαίου μυελού. Αυτά τα ανοίγματα φιλοξενούν επίσης τα διάφορα αιμοφόρα αγγεία που τροφοδοτούν τον εγκέφαλο.

Τα βασικά μέρη του εγκεφάλου είναι 5 και συγκεκριμένα είναι ο τελικός, ο διάμεσος, ο μέσος, ο οπίσθιος κι ο έσχατος εγκέφαλος. Τα δύο πιο σημαντικά μέρη για τη λειτουργία του εγκεφάλου είναι τα εγκεφαλικά ημισφαίρια, τα οποία βρίσκονται στην ανώτερη περιοχή (τελικός εγκέφαλος). Κάθε ημισφαίριο περιέχει ένα επιφανειακό στρώμα που ονομάζεται εγκεφαλικός φλοιός και περικλείει μια κεντρική περιοχή λευκής ουσίας. Εντός αυτής της λευκής ουσίας, υπάρχουν σημαντικά κέντρα φαιάς ουσίας γνωστά ως βασικά γάγγλια. Δύο κρίσιμα συστατικά του εγκεφάλου είναι ο μυελώδης πυρήνας και το ραβδωτό σώμα. Το ραβδωτό σώμα συνδέεται τόσο με τον εγκέφαλο όσο και με τα κινητικά κέντρα του κορμού και του νωτιαίου μυελού. Ο εγκεφαλικός φλοιός περιέχει ένα πολύπλοκο δίκτυο σπειρών και αυλακώσεων που τον χωρίζουν σε πέντε λοβούς: τον μετωπιαίο, τον βρεγματικό, τον ινιακό, τον κροταφικό και τον κεντρικό λοβό.

- **Μετωπιαίος λοβός:** Η εν λόγω περιοχή του εγκεφάλου επιβλέπει τη συνείδηση, τα συναισθήματα, την εκούσια κίνηση των σκελετικών μυών, αλλά και την έκφραση του λόγου. Στον μετωπιαίο λοβό βρίσκονται τα συνειρμικά κέντρα, όπου λαμβάνουν χώρα προηγμένες νοητικές και γνωστικές διεργασίες, όπως ο σχεδιασμός, η επίλυση σύνθετων προβλημάτων και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της συμπεριφοράς [3].
- **Βρεγματικός λοβός:** Η περιοχή αυτή αναφέρεται ως σωματοαισθητική περιοχή, όπου επεξεργάζονται και γίνονται αντιληπτές οι αισθήσεις από διάφορα αισθητήρια όργανα. Η σωματοαισθητική περιοχή είναι υπεύθυνη για την αναγνώριση των χωρικών σχέσεων και τη διάκριση της έντασης των ερεθισμάτων, συμπεριλαμβανομένων των ομοιοτήτων και των διαφορών τους [4].
- **Ινιακός λοβός:** Βρίσκεται στο οπίσθιο τμήμα του εγκεφάλου και είναι υπεύθυνος για την όραση, στεγάζοντας τον οπτικό φλοιό. Μέσα στον ινιακό λοβό, υπάρχουν συνειρμικά κέντρα που συνδέουν τα οπτικά ερεθίσματα με άλλες αισθητηριακές εμπειρίες [3].
- **Κροταφικός λοβός:** Βρίσκονται τα κέντρα που είναι υπεύθυνα για την ακοή και την όσφρηση. Σε αυτόν τον λοβό, οι θεμελιώδεις ακουστικές αισθήσεις, όπως η ένταση, η ποιότητα και ο τόνος, συγκλίνουν στο ακουστικό σύστημα. Επιπλέον, ο κροταφικός λοβός συνδέεται με την αποθήκευση της μνήμης και τη δημιουργία φανταστικών εικόνων που συχνά εμφανίζονται στα όνειρά μας [4].

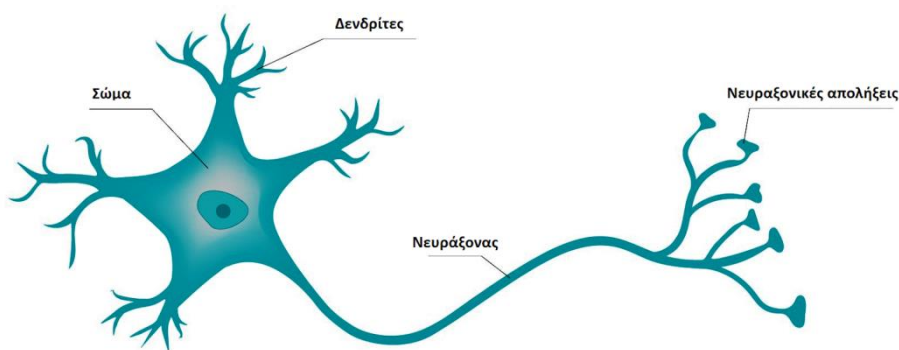


Εικόνα 3. Οι 4 εγκεφαλικοί λοβοί [5].

2.1.2 Νευρώνας

Οι νευρώνες [6] είναι ηλεκτρικά ευαίσθητα κύτταρα που είναι υπεύθυνα για την επεξεργασία και τη μετάδοση πληροφοριών. Οι πληροφορίες αυτές έχουν τη μορφή ασθενών ηλεκτρικών σημάτων, τα οποία ενισχύονται κατά μήκος της διαδρομής του νευρώνα. Ο κύριος στόχος τους είναι να διευκολύνουν τη μετάδοση πληροφοριών από και προς το κεντρικό νευρικό σύστημα. Οι νευρώνες όπως φαίνεται και στην **εικόνα 4** έχουν τέσσερα κύρια μέρη, το κυτταρικό σώμα, τους δενδρίτες, τον άξονα και τις απολήξεις του άξονα.

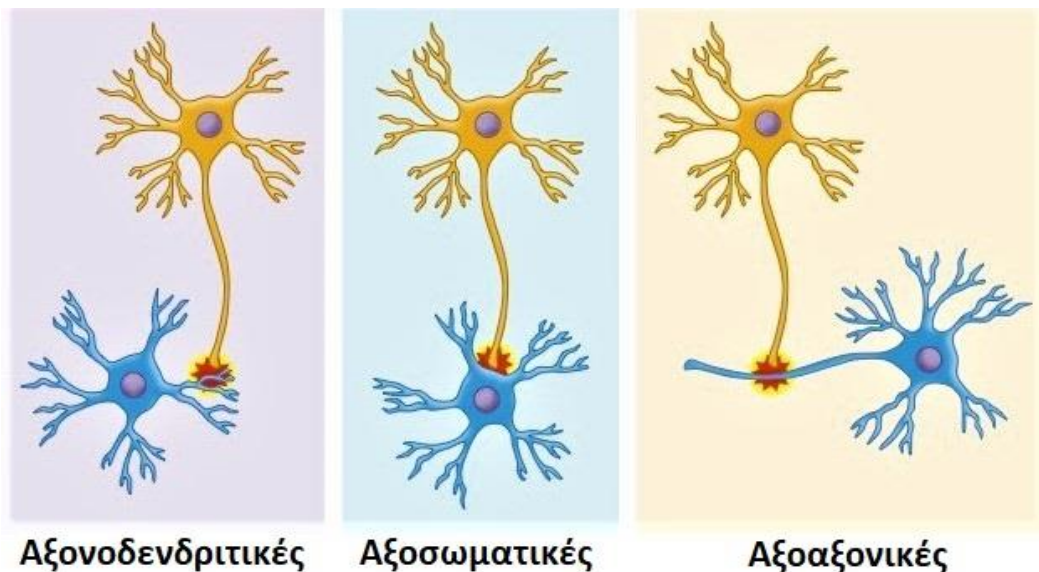
Νευρώνας



Εικόνα 4. Δομή Νευρώνα [7].

Στην πλειονότητα των σπονδυλωτών, αυτοί οι νευρώνες λαμβάνουν σήματα μέσω του κυτταρικού σώματος και των δενδριτών και τα στέλνουν μέσω του άξονα. Επιπλέον, απελευθερώνουν βιοχημικούς αγγελιοφόρους για να επικοινωνούν με άλλα κύτταρα. Γενικά, οι νευρώνες δημιουργούν συνδέσεις με άλλους νευρώνες σε συνάψεις, όπου ενισχύονται τα ηλεκτρικά σήματα. Ανάλογα με τον τόπο σύνδεσης, οι συνάψεις χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες [8]:

1. Οι **αξονοδενδριτικές** αποτελούν την πιο διαδεδομένη και πρωτότυπη μορφή σύνδεσης. Η συναπτική σύνδεση αυτή, λαμβάνει χώρα μεταξύ του άξονα του νευρώνα που εκπέμπει και των δενδριτών του νευρώνα που λαμβάνει.
2. Οι **αξοσωματικές** περιλαμβάνουν τη σύνδεση μεταξύ του άξονα του προσυναπτικού νευρώνα και του σώματος ή του πυρήνα του μετασυναπτικού νευρώνα.
3. Οι **αξοαξονικές** περιλαμβάνουν μια σύνδεση μεταξύ του άξονα του προσυναπτικού νευρώνα και του μετασυναπτικού νευρώνα.



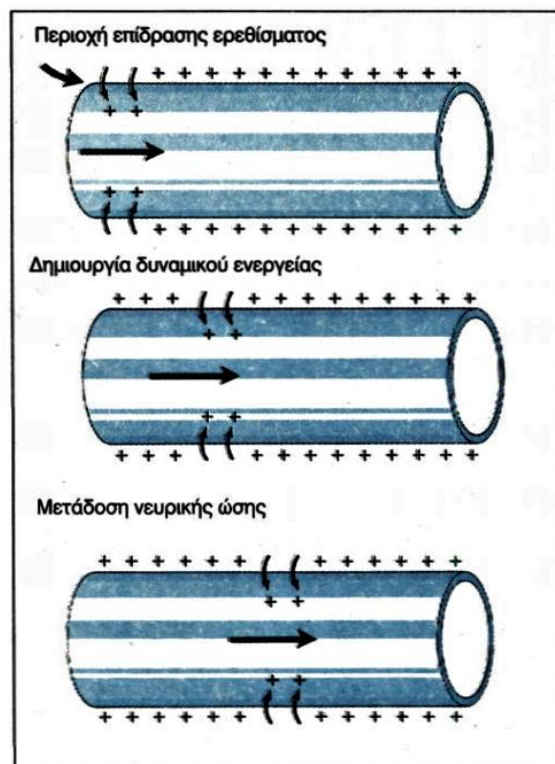
Εικόνα 5. Τύποι συνάψεων [9].

Σε κατάσταση ηρεμίας, η κυτταρική μεμβράνη ενός νευρώνα έχει διαφορετικές συγκεντρώσεις ιόντων μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειάς της. Η εξωτερική επιφάνεια έχει υψηλή συγκέντρωση ιόντων νατρίου (Na^+), ενώ η εσωτερική επιφάνεια έχει υψηλή συγκέντρωση ιόντων καλίου (K^+) και αρνητικών ιόντων, όπως είναι το PO_4^{3-} και το SO_4^{2-} [10]. Για να διατηρηθεί αυτή η ανισορροπία ιόντων, στη μεμβράνη των νευρικών κυττάρων υπάρχει ένας ενεργός μηχανισμός μεταφοράς που ονομάζεται αντλία Na^+/K^+ . Για κάθε τρία ιόντα Na^+ που αντλούνται από το κύτταρο, δύο ιόντα K^+ μεταφέρονται ταυτόχρονα στο κύτταρο [11]. Η κίνηση των αρνητικών ιόντων είναι ελάχιστη. Αυτή η άνιση κατανομή θετικών και αρνητικών ιόντων που υπάρχει στη μεμβράνη του νευρώνα σε κατάσταση ηρεμίας αναφέρεται ως δυναμικό ηρεμίας και είναι περίπου -70 mV [11]. Το δυναμικό αυτό προκύπτει λόγω της διαφοράς ηλεκτρικού φορτίου μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής επιφάνειας της μεμβράνης. Ο νευρώνας διατηρεί αυτό το δυναμικό ηρεμίας όταν δεν διεγείρεται ή όταν δέχεται ερεθίσματα έντασης κάτω από μια συγκεκριμένη οριακή τιμή.

Τα ερεθίσματα από το περιβάλλον μπορούν να επηρεάσουν το δυναμικό ηρεμίας ενός νευρώνα. Όταν ένας νευρώνας συναντήσει ένα ερέθισμα σε μια συγκεκριμένη θέση της μεμβράνης του με

ένταση που υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή, η οποία ποικίλλει μεταξύ των νευρώνων, η διαπερατότητα της μεμβράνης στα ιόντα νατρίου αυξάνεται για περίπου 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μαζική εισροή ιόντων Na^+ στο κύτταρο, με αποτέλεσμα η εσωτερική επιφάνεια της μεμβράνης να φορτίζεται θετικά σε σχέση με την εξωτερική επιφάνεια και η διαφορά δυναμικού να αυξάνεται σε περίπου +50 mV. Στη συνέχεια, για ένα σύντομο χρονικό διάστημα, η διαπερατότητα στα ιόντα καλίου αυξάνεται, με αποτέλεσμα αυτά να εγκαταλείπουν το κύτταρο σε μεγάλες ποσότητες λόγω των διαφορών συγκέντρωσης. Ως αποτέλεσμα, το δυναμικό της μεμβράνης πέφτει σε τιμές χαμηλότερες από -70 mV [10].

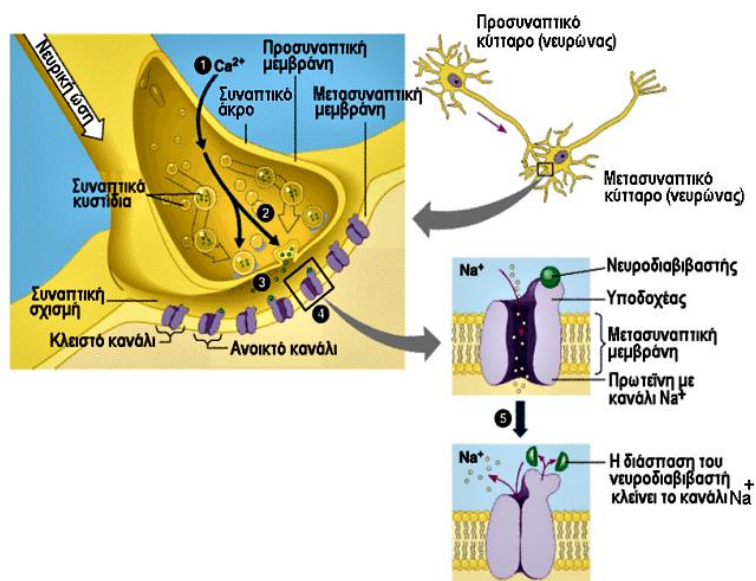
Μετά τη λήψη ενός ερεθίσματος, μόλις η διαπερατότητα της μεμβράνης του νευρώνα επανέλθει στα αρχικά της επίπεδα, με τη βοήθεια της αντλίας Na^+/K^+ , η κατανομή των ιόντων επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση και το δυναμικό ηρεμίας επανέρχεται στα -70 mV [10]. Οι σύντομες διακυμάνσεις του δυναμικού της μεμβράνης, γνωστές ως δυναμικό ενέργειας, χρησιμεύουν ως έναυσμα για αντίστοιχες αλλαγές σε κοντινές περιοχές της μεμβράνης. Αυτός ο μηχανισμός επιτρέπει στο δυναμικό ενέργειας να διαδοθεί κατά μήκος του νευρικού άξονα, προκαλώντας τη νευρική ώση. Ωστόσο, μόνο ερεθίσματα με εντάσεις που ξεπερνούν μια ορισμένη οριακή τιμή μπορούν πραγματικά να δημιουργήσουν το νευρικό ερέθισμα. Τα ερεθίσματα που βρίσκονται κάτω από αυτή την τιμή δεν θα προκαλέσουν την ώθηση. Μετά την παραγωγή μιας νευρικής ώσης, ο νευρώνας εισέρχεται σε μια πυρίμαχη περίοδο, κατά την οποία δεν μπορεί να ανταποκριθεί σε νέα ερεθίσματα. Αυτή η απόλυτη περίοδος αδράνειας διαρκεί για συγκεκριμένη διάρκεια, η οποία συνήθως κυμαίνεται από 0.5 έως 2 χιλιοστά του δευτερολέπτου.



Εικόνα 6. Νευρική Ώση [10].

Η μετάδοση του νευρικού ερεθίσματος, γίνεται με τη χρήση χημικών ουσιών, των νευροδιαβιβαστών, που παράγονται από νευρικά κύτταρα. Ο κυριότερος νευροδιαβιβαστής είναι η ακετυλοχολίνη. Όταν ένα ερέθισμα υπερβαίνει την οριακή τιμή, προκαλεί τοπικές αλλαγές στο δυναμικό της μεμβράνης του νευρώνα, δημιουργώντας νευρική ώση που μεταδίδεται κατά μήκος

του νευρώνα. Στους τελικούς κόμβους, οι νευροδιαβιβαστές απελευθερώνονται στη σύναψη και προσδένονται σε υποδοχείς στο μετασυναπτικό τερματικό. Εάν ο νευροδιαβιβαστής είναι διεγερτικός, ενισχύει τη διαπερατότητα της μετασυναπτικής μεμβράνης στα ιόντα Na^+ , προκαλώντας εισροή ιόντων νατρίου και δημιουργία νευρικής ώσης κατά μήκος του νευρώνα. Οι επιδράσεις των νευροδιαβιβαστών είναι προσωρινές, καθώς επαναρροφώνται από το προσυναπτικό τερματικό ή διασπώνται από ένζυμα. Οι συνάψεις διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην καθοδήγηση των νευρικών ώσεων, επιτρέποντάς τους να ρέουν μόνο από την προσυναπτική προς τη μετασυναπτική πλευρά.



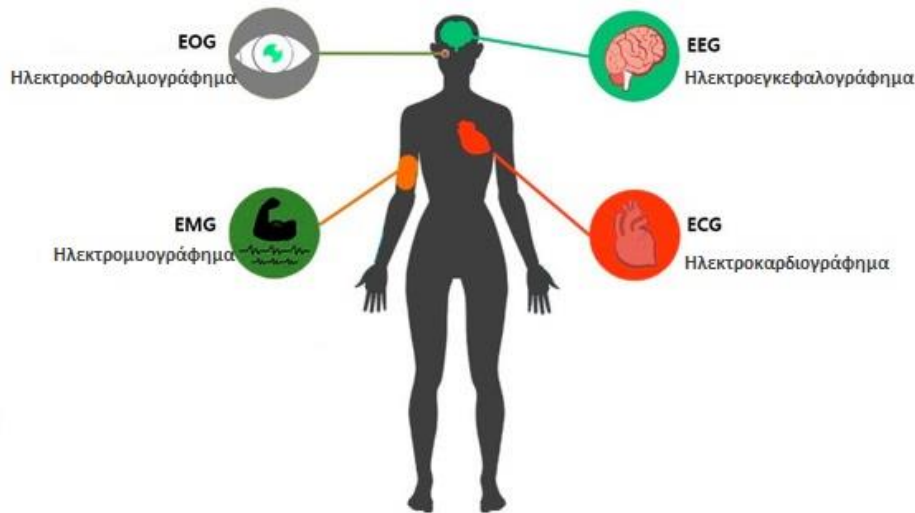
Εικόνα 7. Η διαδικασία μεταβίβασης της νευρικής ώσης σε σύναψη [12].

2.2 Βιοϊατρικά Σήματα – Βιοσήματα

Το βιοϊατρικό σήμα είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις μεταβολές των φυσικών μεγεθών που συμβαίνουν στα όργανα του ανθρώπινου σώματος με την πάροδο του χρόνου[13]. Αυτές οι διακυμάνσεις μπορούν να ανιχνευθούν και να καταγραφούν με τη χρήση κατάλληλων αισθητήρων, ανάλογα με το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό που μετράται. Τα σήματα αυτά είναι συνήθως συνεχή στη φύση τους, αλλά συνήθως μετατρέπονται σε διακριτά σήματα μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται δειγματοληψία. Η ανάλυση αυτών των σημάτων μας επιτρέπει να κατανοήσουμε τους φυσιολογικούς μηχανισμούς που διέπουν συγκεκριμένα βιολογικά γεγονότα ή συστήματα. Τα βιοϊατρικά σήματα μπορούν να αποκτηθούν με διάφορες μεθόδους, όπως [14]:

- Το **ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG)** καταγράφει τα ηλεκτρικά ερεθίσματα που παράγει ο εγκέφαλος.

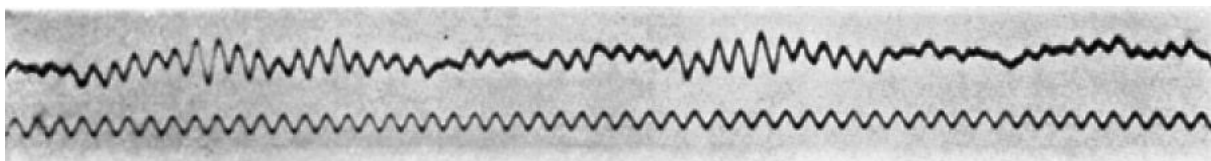
- Το **ηλεκτροκαρδιογράφημα** (ECG) καταγράφει την ηλεκτρική δραστηριότητα που προέρχεται από την καρδιά.
- το **ηλεκτρονευρογράφημα** (ENG) αξιολογεί την απόδοση των περιφερικών νεύρων παρατηρώντας τις αντιδράσεις τους σε ελεγχόμενα ηλεκτρικά ερεθίσματα.
- Το **ηλεκτρομυογράφημα** (EMG) μετρά την ηλεκτρική δραστηριότητα των μυών.
- Το **ηλεκτροοφθαλμογράφημα** (EOG) ανιχνεύει και καταγράφει την ηλεκτρική δραστηριότητα που προέρχεται από το μάτι.



Εικόνα 8. Βιοσήματα [15].

2.3 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα ή εν συντομία ΗΕΓ εμφανίστηκε τη δεύτερη δεκαετία του 20ού αιώνα ως τεχνική καταγραφής της νευροφυσιολογικής απόκρισης του εγκεφάλου. Η ανακάλυψη του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (ΗΕΓ) αποδίδεται στον Γερμανό ψυχίατρο Hans Berger, ο οποίος με τη χρήση ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής και ενός γαλβανόμετρου το 1924 αναγνώρισε αυτή τη μη επεμβατική μέθοδο μέτρησης της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου [16]. Ο Berger το 1929 ονόμασε την πρώτη ρυθμική δραστηριότητα του ΗΕΓ που παρατήρησε σε χαμηλές συχνότητες "κύμα άλφα" και κατέγραψε το πρώτο ανθρώπινο ΗΕΓ [17].



Εικόνα 9. Μια από τις πρώτες καταγραφές ΗΕΓ από τον Hans Berger το 1924.

Η πάνω κυματομορφή είναι το ΗΕΓ, ενώ η κάτω αντιστοιχεί σε ένα σήμα ρολογιού που ταλαντώνεται στα 10 Hz.

Το ΗΕΓ περιλαμβάνει την τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο τριχωτό της κεφαλής για την καταγραφή των συνεχών ταλαντώσεων των εξωκυτταρικών δυναμικών, οι οποίες προκύπτουν από τις ταλαντώσεις των δυναμικών της μεμβράνης των μεγάλων νευρωνικών κυττάρων της σπονδυλικής στήλης [18]. Αυτές οι ταλαντώσεις δημιουργούν δυναμικά του τριχωτού της κεφαλής που μπορούν να μετρηθούν και να αναλυθούν για να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του εγκεφάλου. Η καταγραφή των ηλεκτρικών δυναμικών του εγκεφάλου μπορεί να επιτευχθεί είτε με την τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο κρανίο και τη σύνδεσή τους με έναν ηλεκτροεγκεφαλογράφο είτε με τη χρήση μιας φορητής ασύρματης συσκευής ηλεκτροεγκεφαλογράφου. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας καταγραφής είναι το ΗΕΓ, το οποίο χρησιμεύει ως αναπαράσταση της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου.

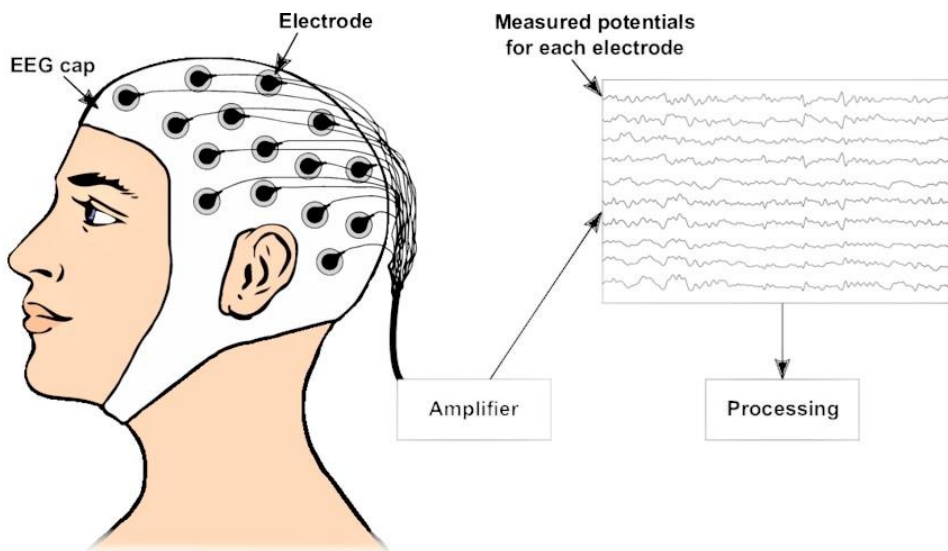
Ακόμη, το ΗΕΓ αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο στην ιατρική για τη μέτρηση της δραστηριότητας των εγκεφαλικών σημάτων. Αποτελεί την κύρια μέθοδο για τη διερεύνηση της εγκεφαλικής λειτουργίας στην επιληψία, επιτρέποντας την αξιολόγηση των επιληπτικών κρίσεων και των καταστάσεων που μπορεί να μοιάζουν με επιληπτικές κρίσεις[19]. Στα άτομα με επιληψία, τα μη φυσιολογικά ηλεκτρικά πρότυπα εκδηλώνονται ως γρήγορα κύματα αιχμής στο ΗΕΓ. Επίσης, χρησιμεύει ως εργαλείο διάγνωσης και παρακολούθησης διαφόρων εγκεφαλικών διαταραχών, όπως είναι η νόσος του Alzheimer[20], ορισμένες ψυχώσεις και η ναρκοληψία. Το ΗΕΓ, επίσης, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην αξιολόγηση της εγκεφαλικής λειτουργίας μετά από τραυματικές εγκεφαλικές κακώσεις και στην παρακολούθηση της διαδικασίας αποκατάστασης [21]. Βοηθά τους επαγγελματίες υγείας να κατανοήσουν την έκταση της εγκεφαλικής βλάβης, να προβλέψουν τα αποτελέσματα και να καθοδηγήσουν τις θεραπευτικές αποφάσεις για άτομα με τραυματικές εγκεφαλικές κακώσεις.

Συνολικά, το ΗΕΓ έχει καθοριστικό ρόλο στη διάγνωση και την παρακολούθηση διαφόρων εγκεφαλικών διαταραχών, προσφέροντας κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την εγκεφαλική δραστηριότητα και καθοδηγώντας τις θεραπευτικές αποφάσεις.

2.3.1 Διαδικασία καταγραφής ΗΕΓ

Κατά τη διαδικασία της καταγραφής, μικροί μεταλλικοί δίσκοι με λεπτά σύρματα, οι οποίοι ονομάζονται ηλεκτρόδια, επικολλούνται στο τριχωτό της κεφαλής. Η τοποθέτηση αυτών πάνω στο δέρμα της κεφαλής πραγματοποιείται αφότου η περιοχή της τοποθέτησης έχει καθαριστεί επαρκώς από λιπαρές ουσίες και έχει εφαρμοστεί ένα αγωγίμο υλικό (γέλη) ώστε να μειωθεί όσο το δυνατόν η αντίσταση.

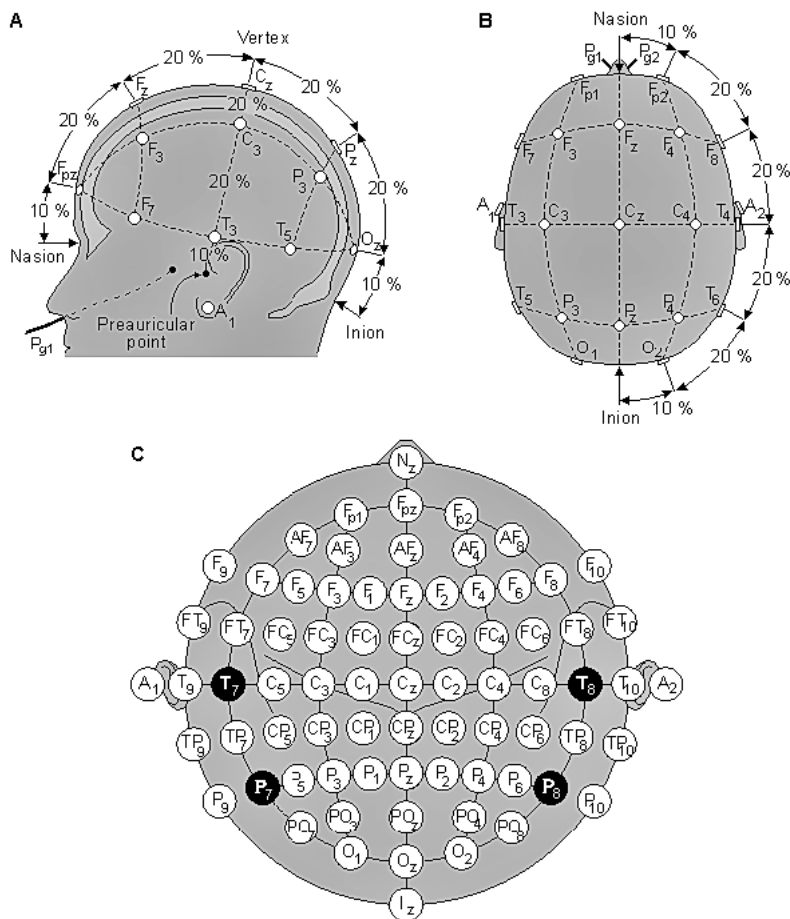
Τα ηλεκτρόδια είναι ικανά να ανιχνεύουν μικροσκοπικά ηλεκτρικά φορτία τα οποία προκύπτουν από τη δραστηριότητα των εγκεφαλικών κυττάρων, όπου στη συνέχεια ενισχύονται και μπορούν είτε να εμφανιστούν ως γράφημα στην οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή είτε να καταγραφούν σε χαρτί με τη χρήση γαλβανόμετρου. Ο κλινικός νευροφυσιολόγος που πραγματοποιεί συνήθως αυτή τη διαδικασία, αξιολογεί κατά τη διάρκεια της τη δραστηριότητα των εγκεφαλικών σημάτων που έχουν καταγραφεί και δίνει ιδιαίτερη προσοχή στη βασική κυματομορφή.



Εικόνα 10. Καταγραφή ΗΕΓ [22].

2.3.2 Σύστημα Τοποθέτησης Ηλεκτροδίων

Για να πραγματοποιηθεί η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων θα πρέπει αρχικά να έχει μετρηθεί το κρανίο. Αφού συμβεί αυτό οι θέσεις των ηλεκτροδίων επιλέγονται με βάση το Διεθνές Σύστημα 10/20 Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, το οποίο έχει θεσπιστεί από την Παγκόσμια Ομοσπονδία Ηλεκτροεγκεφαλογραφίας και Κλινικής Νευροφυσιολογίας. Τα σημεία αναφοράς αυτού του συστήματος είναι η μύτη και το αντιδιαμετρικό σημείο που βρίσκεται στο πίσω μέρος του κρανίου. Η απόσταση των δύο αυτών σημείων στη συνέχεια χωρίζεται σε αποστάσεις οι οποίες απέχουν μεταξύ τους 10% ή 20% της συνολικής απόστασης του κρανίου, όπως μπορεί να φανεί κι από την παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 11. Θέσεις Ηλεκτροδίων για το διεθνές σύστημα 10-20 [23].

Η ονομασία των ηλεκτροδίων στο σύστημα 10-20 αναπτύχθηκε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η μέθοδος τοποθέτησης του ΗΕΓ να είναι τυποποιημένη και να παρέχεται ένα συνεπές σύστημα προσδιορισμού των θέσεων των ηλεκτροδίων. Οι αρχές στις οποίες βασίζονται τα ονόματα είναι τρεις:

1. Κωδικοί γραμμάτων για τους λοβούς
 - F: Μετωπικό
 - C: Κεντρικό
 - T: Κροταφικό
 - P: Βρεγματικό
 - O: Ινιακό
2. Κωδικοί αριθμών για τη θέση του ημισφαιρίου
 - Οι περιττοί αριθμοί χρησιμοποιούνται για ηλεκτρόδια στο αριστερό ημισφαίριο.
 - Οι ζυγοί αριθμοί χρησιμοποιούνται για ηλεκτρόδια στο δεξί ημισφαίριο.
3. Γράμμα “z” για τα ηλεκτρόδια μέσης γραμμής.

Στον **πίνακα 1** παρουσιάζεται η λίστα των ονομάτων των ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο κρανίο.

Ηλεκτρόδια	Ονομασία
Fp1	Αριστερό μετωποπολικό
Fp2	Δεξιό μετωποπολικό

Fz	Μέσο μετωπιαίο
F3	Αριστερό άνω μετωπιαίο
F4	Δεξιό άνω μετωπιαίο
F7	Αριστερό κάτω μετωπιαίο
F8	Δεξιό κάτω μετωπιαίο
Cz	Κορυφαίο ή μέσο κεντρικό
C3	Αριστερό κεντρικό
C4	Δεξιό κεντρικό
T3	Αριστερό μέσο κροταφικό
T4	Δεξιό μέσο κροταφικό
T5	Αριστερό οπίσθιο κροταφικό
T6	Δεξιό οπίσθιο κροταφικό
Pz	Μέσο βρεγματικό
P3	Αριστερό βρεγματικό
P4	Δεξιό βρεγματικό
Oz	Μέσο ινιακό
O1	Αριστερό ινιακό
O2	Δεξιό ινιακό

Πίνακας 1. Λίστα ονομάτων των ηλεκτροδίων.

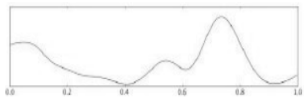
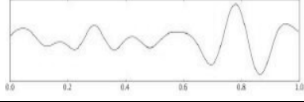
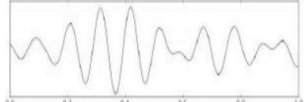
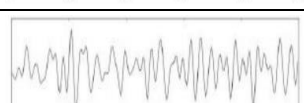
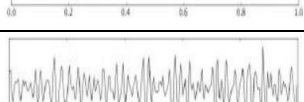
2.3.3 Ρυθμοί ΗΕΓ

Η ερμηνεία του ΗΕΓ βασίζεται σε συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές και πρότυπα, με κύριο πρότυπο τη συχνότητα των μοτίβων που απεικονίζονται στο γράφημα. Παρά την ύπαρξη σαφώς καθορισμένων κριτηρίων, το γράφημα μπορεί μερικές φορές να εμπίπτει στα όρια μεταξύ φυσιολογικού και μη φυσιολογικού. Ένα φυσιολογικό ΗΕΓ χαρακτηρίζεται από ένα άτομο που είναι σε εγρήγορση και δεν έχει καμία οργανική ή λειτουργική εγκεφαλική βλάβη. Κάθε δραστηριότητα ΗΕΓ που αποτελείται από μια ακολουθία ημιτονοειδών κυμάτων με σχετικά σταθερό φάσμα συχνοτήτων αναφέρεται ως ρυθμική. Όταν η περίοδος είναι ακανόνιστη, η δραστηριότητα του ΗΕΓ αναφέρεται ως άρρυθμη. Η δραστηριότητα του ΗΕΓ όταν είναι του ίδιου τύπου, έχει την ίδια συχνότητα και το ίδιο ύψος σε δύο ομόλογες περιοχές του εγκεφάλου λέγεται συμμετρική. Σε διαφορετική περίπτωση η δραστηριότητα του ΗΕΓ χαρακτηρίζεται ως ασύμμετρη.

Το ΗΕΓ περιέχει συχνότητες που κυμαίνονται από 0.5 Hz έως 70 Hz, οι οποίες χωρίζονται σε ομάδες που ονομάζονται ρυθμοί. Συγκεκριμένα, υπάρχουν πέντε ρυθμοί εγκεφαλικής δραστηριότητας οι οποίοι αναλύονται παρακάτω και παραθέτονται συγκεντρωτικά στον **πίνακα 2**:

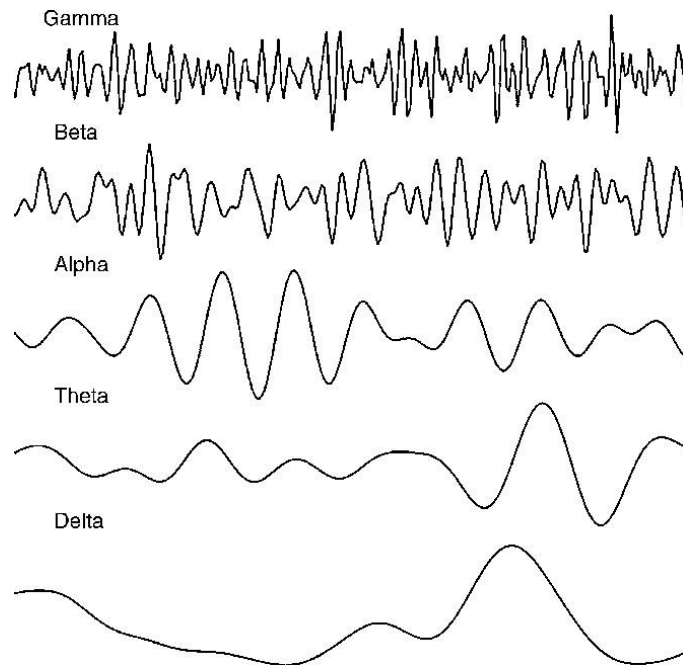
1. **Δέλτα (δ)** : Ο ρυθμός δέλτα κυμαίνεται μεταξύ των συχνοτήτων 0.5-4 Hz και το πλάτος του είναι μεταξύ των 10-300 μV [24]. Παρατηρείται σε μωρά έως το 2ο έτος της ηλικίας τους και σε υγιείς ενήλικες στα στάδια βαθέως ύπνου, στα οποία παρουσιάζεται έλλειψη ονείρων [25].

2. **Θήτα (θ)** : Ο ρυθμός θήτα έχει εύρος συχνοτήτων 4-7 Hz κι έχει ύψος από 50 έως 150 μV [24]. Εντοπίζεται κυρίως στην παιδική ηλικία, την εφηβεία και την νεαρή ενηλικίωση και εκφράζει την κατάσταση της υπνηλίας και της βαθιάς ανάπαυσης [25].
3. **Άλφα (α)** : Ο ρυθμός άλφα περιλαμβάνει κύματα, οι συχνότητες των οποίων κυμαίνονται από 8 έως 13 Hz και φτάνουν από 20 έως 60 μV πλάτος [24]. Εμφανίζεται κατά τη διάρκεια άγρυπνης χαλαρής κατάστασης και ανιχνεύεται καλύτερα όταν τα μάτια είναι κλειστά [25]. Ο ρυθμός αυτός ονομάστηκε άλφα, καθώς ήταν ο πρώτος ρυθμός που μελέτησε ο Hans Berger.
4. **Βήτα (β)** : Ο ρυθμός βήτα εντοπίζεται στις συχνότητες με τιμή από 8 έως 13 Hz και οι τιμές του πλάτους του κυμαίνονται μεταξύ 5 με 20 μV [24]. Αποτελεί τον βασικό ρυθμό ενός υγιούς άγρυπνου ενήλικα και εντοπίζεται σε καταστάσεις ενεργούς σκέψης, εγρήγορσης και εστίασης [25].
5. **Γάμμα (γ)** : Ο ρυθμός γάμμα περιλαμβάνει κύματα, των οποίων οι συχνότητες είναι άνω των 30 Hz και το ύψος των κυμάτων είναι μικρότερα από 20 μV [26]. Παρατηρείται όταν εκτελούνται κινητικές εργασίες ή κατά τη διάρκεια της χαλάρωσης [27].

Ρυθμός	Κυματομορφή	Περιοχή Συχνοτήτων (Hz)	Πλάτος (μV)
Δέλτα		0.5-4	10-300
Θήτα		4-7	50-150
Άλφα		8-13	20-60
Βήτα		13-30	5-20
Γάμμα		>30	<20

Πίνακας 2. Ρυθμοί εγκεφαλικής δραστηριότητας.

Στην **εικόνα 12** απεικονίζονται μαζί όλες οι μπάντες συχνοτήτων:



Εικόνα 12. Κυματομορφές ρυθμών.

2.3.4 Επεξεργασία Σήματος

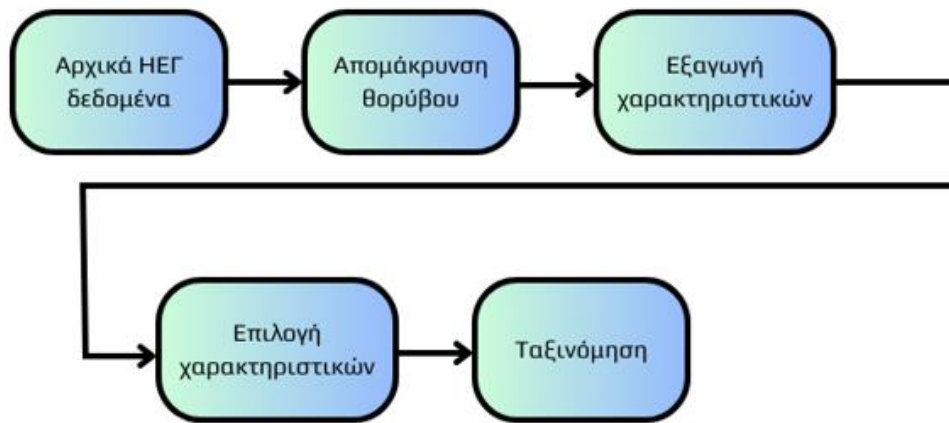
Για να εξαχθούν κρίσιμοι δείκτες από το σήμα, το καταγεγραμμένο ΗΕΓ υποβάλλεται σε αρκετά στάδια επεξεργασίας σήματος. Οι τέσσερις κύριες φάσεις της επεξεργασίας δεδομένων ΗΕΓ είναι η αφαίρεση θορύβου, η εξαγωγή χαρακτηριστικών, η επιλογή χαρακτηριστικών και η ταξινόμηση.

Τα σήματα ΗΕΓ υποβάλλονται σε προεπεξεργασία για να διασφαλιστεί ότι είναι σε κατάλληλη μορφή για περαιτέρω επεξεργασία. Οι παράγοντες θορύβου, οι οποίοι περιλαμβάνουν όλες τις πληροφορίες που δεν σχετίζονται με την εγκεφαλική δραστηριότητα που μελετάται, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την αξιοπιστία του καταγεγραμμένου σήματος ΗΕΓ. Τεχνικά ζητήματα που προκαλούν θόρυβο προκύπτουν από επικαλύψεις συχνότητας μεταξύ σημάτων ΗΕΓ, τα οποία μπορούν να αποδοθούν σε φυσιολογικούς παράγοντες όπως η μυϊκή δραστηριότητα, ο παλμός και το ανοιγοκλείσιμο των ματιών και μη φυσιολογικούς όπως είναι ο θόρυβος λόγω ηλεκτρικής παρεμβολής και ο ιδρώτας [28].

Έπειτα, το ΗΕΓ σήμα που προκύπτει από τη προηγούμενη φάση υπόκειται σε εξαγωγή χαρακτηριστικών όπου χρησιμοποιούνται είτε γραμμικές είτε μη γραμμικές μέθοδοι, αφού τα εγκεφαλικά σήματα αναμειγνύονται με σήματα από έναν περιορισμένο αριθμό εγκεφαλικών δραστηριοτήτων που επικαλύπτονται χρονικά και χωρικά. Επιπλέον, η μετάδοση δεν είναι πάντοτε σταθερή και μπορεί να παραμορφωθεί από τεχνικά ελαττώματα [29]. Το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας του σήματος ΗΕΓ περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με διάφορες διαγνώσεις, προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα του προβλήματος.

Στην τελευταία φάση τα σήματα κατηγοριοποιούνται στο στάδιο της ταξινόμησης λαμβάνοντας υπόψη τα διανύσματα χαρακτηριστικών. Επομένως, είναι αναγκαία η επιλογή καλών διακριτικών χαρακτηριστικών για την επίτευξη αποτελεσματικής αναγνώρισης προτύπων και την ερμηνεία των προθέσεων του χρήστη.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται τα βήματα της επεξεργασίας του ΗΕΓ σήματος.



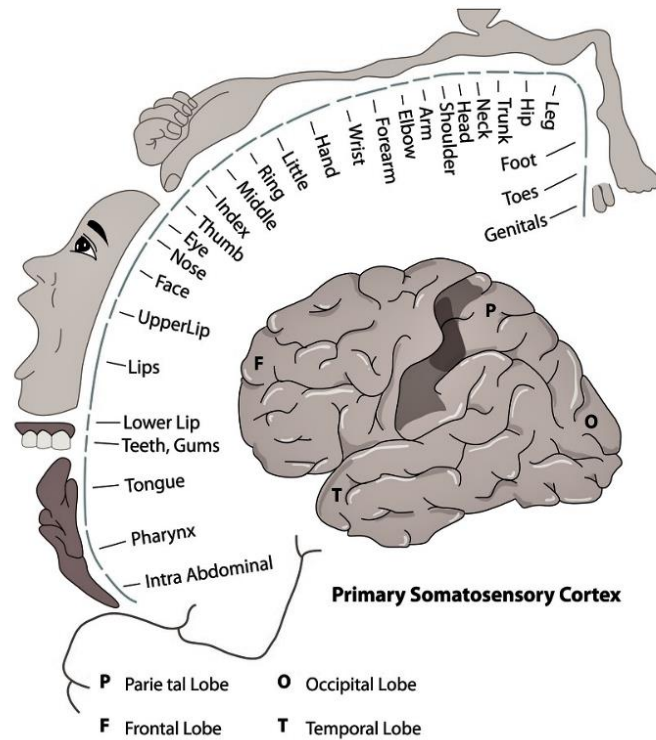
Σχήμα 1. Βήματα επεξεργασίας ΗΕΓ σήματος.

2.4 Νοερή Κίνηση (Motor Imagery)

Με τον όρο νοερή κίνηση εννοούμε την νοητική διαδικασία κατά την οποία το άτομο οραματίζεται τον εαυτό του να εκτελεί μια σωματική ενέργεια χωρίς να την εκτελεί σωματικά ή να ενεργοποιεί τους μύες του. Γενικά, η κινητική απεικόνιση περιλαμβάνει τη συνειδητή ενεργοποίηση περιοχών του εγκεφάλου που σχετίζονται με το σχεδιασμό και την εκτέλεση κινήσεων, ενώ ηθελημένα συγκρατείται η πραγματική φυσική κίνηση.

Η φανταστική κίνηση εφαρμόζεται σε διάφορα πεδία, όπως είναι αυτό του αθλητισμού ή της ιατρικής [30]. Όταν ένα άτομο εκτελεί ή οραματίζεται την εκτέλεση μιας φυσικής ενέργειας, πυροδοτεί ένα φαινόμενο γνωστό ως ERD (Event-Related Desynchronization) στα μοτίβα των εγκεφαλικών κυμάτων μ [31]. Αυτό οδηγεί σε μείωση της φασματικής ισχύος σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Αυτή η παρατηρήσιμη νευρωνική δραστηριότητα λαμβάνει χώρα στον κινητικό φλοιό του εγκεφάλου και η συγκεκριμένη περιοχή που ενεργοποιείται ποικίλλει ανάλογα με το άκρο που εμπλέκεται στην κίνηση, όπως απεικονίζεται στην **εικόνα 14**.





Εικόνα 14. Χάρτης απεικόνισης της διέγερσης του εγκεφάλου που αντιστοιχεί στην κινητική δραστηριότητα των άκρων [33].

2.5 Διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή

Οι διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI) είναι συστήματα βασισμένα σε υπολογιστή που συλλέγουν και αναλύουν τα εγκεφαλικά σήματα πριν τα μεταφράσουν σε εντολές που μεταδίδονται σε μια συσκευή εξόδου για την εκτέλεση συγκεκριμένων δραστηριοτήτων. Το 1924, ο Hans Berger ανακάλυψε την ηλεκτρική δραστηριότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου και ανέπτυξε την ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG) [34]. Έκτοτε, τα συστήματα ΔΕΥ σημειώνουν σημαντική εξέλιξη, με διάφορες ομάδες να καταγράφουν εξελιγμένα σήματα του κινητικού φλοιού του εγκεφάλου, καταγράφοντας νευρωνικά σύνολα και χρησιμοποιώντας τα για τον έλεγχο εξωτερικών συσκευών. Ακόμη, εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς, όπως η ιατρική, τα παιχνίδια και η νευροεπιστήμη. Υπάρχουν δύο τύποι BCI, οι επεμβατικές και οι μη επεμβατικές προσεγγίσεις [35].

Συγκεκριμένα, στις επεμβατικές μεθόδους, τα ηλεκτρόδια εμφυτεύονται απευθείας στον εγκέφαλο. Οι διαδικασίες αυτές παρέχουν μεγάλη ακρίβεια και έχουν τη δυνατότητα να παράγουν σήματα καλύτερης ανάλυσης. Βέβαια, ελλοχεύουν περισσότεροι κίνδυνοι και αποτελούν τις πιο δαπανηρές μεθόδους. Η κύρια μέθοδος επεμβατικής τεχνολογίας BCI είναι η Ηλεκτροκορτικογραφία (ECoG). Η ECoG είναι μια πολύ ελπιδοφόρα ενδιάμεση μέθοδος BCI, επειδή έχει υψηλότερη χωρική ανάλυση, καλύτερη αναλογία σήματος ως προς τον θόρυβο, μεγαλύτερο εύρος συχνότητας και λιγότερες απαιτήσεις εκπαίδευσης από ότι το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG).

Αντίθετα, στις μη επεμβατικές μεθόδους τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο τριχωτό της κεφαλής. Αυτού του είδους οι προσεγγίσεις είναι λιγότερο επικίνδυνες και έχουν χαμηλότερο κόστος, όμως παράγουν σήματα τα οποία έχουν χαμηλότερη ανάλυση. Σε αυτές τις μεθόδους, περιλαμβάνεται η ηλεκτροεγκεφαλογραφία (HEG), η οποία ανιχνεύει την ηλεκτρική δραστηριότητα στον εγκέφαλο μέσω των ηλεκτροδίων, και τη λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI), η οποία παρακολουθεί τις αλλαγές στη ροή του αίματος στον εγκέφαλο [35].



Εικόνα 15. Οι 2 τύποι BCI. Αριστερά απεικονίζεται η μη επεμβατική μέθοδος, ενώ δεξιά η επεμβατική [36].

2.5.1 Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή στον τομέα των παιχνιδιών

Η χρήση διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή (BCIs) στα παιχνίδια παρέχει πολλά πλεονεκτήματα που μπορούν να βελτιώσουν την εμπειρία του παιχνιδιού και να διευρύνουν την προσβασιμότητά του σε ένα ευρύτερο φάσμα παικτών. Τρία από τα βασικά οφέλη της ενσωμάτωσης των BCIs στα παιχνίδια είναι:

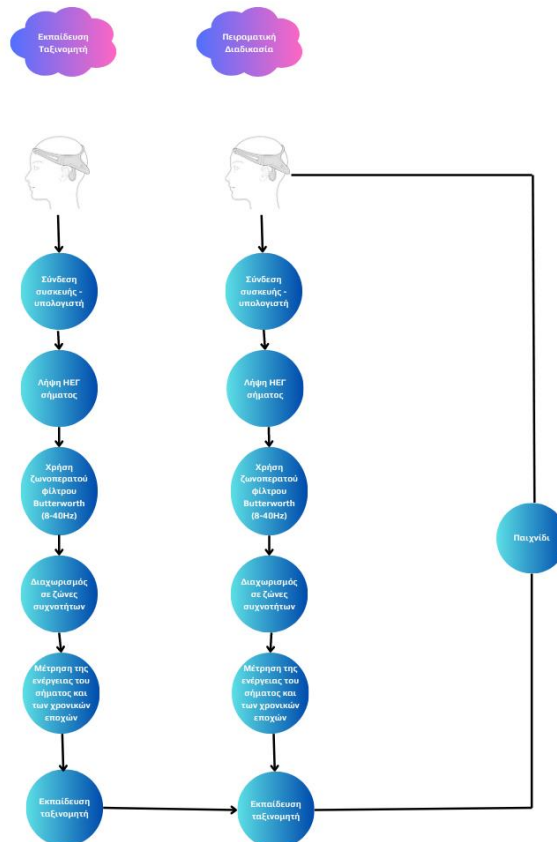
1. **Ενισχυμένη διαδραστικότητα:** Η ενσωμάτωση των BCIs ενισχύει την αυξημένη διαδραστικότητα, δημιουργώντας μια άμεση σύνδεση μεταξύ των παικτών και του παιχνιδιού. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα υψηλότερο επίπεδο εμπύθισης και αλληλεπίδρασης, αυξάνοντας τη συνολική απόλαυση του παιχνιδιού.
2. **Συμμετοχή από άτομα με αναπηρίες:** Τα BCIs προσφέρουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την προσβασιμότητα των παιχνιδιών για άτομα με αναπηρίες, μέσω αυτής της προσέγγισης όσοι αντιμετωπίζουν περιορισμένη κινητικότητα ή σωματικές βλάβες μπορούν να επωφεληθούν από τα BCI ως εναλλακτική μέθοδο ελέγχου του παιχνιδιού [37].
3. **Εξατομικευμένη εμπειρία παιχνιδιού:** Τα BCIs προσφέρουν στους χρήστες μια προσαρμοσμένη εμπειρία παιχνιδιού, παρακολουθώντας και αναλύοντας την εγκεφαλική τους δραστηριότητα. Μέσω αυτής της διαδικασίας, οι διεπαφές μπορούν να προσαρμόσουν το παιχνίδι στις ατομικές προτιμήσεις και ικανότητες του παίκτη. Αυτή η εξατομικευμένη προσέγγιση ενισχύει την ευχαρίστηση και την ικανοποίηση του παίκτη από την περιπέτεια του παιχνιδιού [38].

Γενικά, τα BCIs εισάγουν επίσης καινοτόμους μηχανισμούς παιχνιδιού που ξεπερνούν τις παραδοσιακές μεθόδους, αφού δίνεται η δυνατότητα χειρισμού χαρακτήρων και εκτέλεσης ενεργειών στο παιχνίδι μόνο με τη χρήση σκέψεων. Με αυτό τον τρόπο ανοίγουν έναν κόσμο μοναδικών και δημιουργικών δυνατοτήτων παιχνιδιού.

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία Ανάλυσης

3.1 Διαδικασία

Στο πλαίσιο αυτής της ενότητας, θα παρουσιαστεί η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του ταξινομητή και την εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας του συστήματος διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Ειδικότερα, το **Σχήμα 2** χρησιμεύει ως γραφική αναπαράσταση που περιγράφει τη διαδοχική ροή εργασίας για δύο διαφορετικά σενάρια: την περίπτωση διεπαφής, όπου ο ταξινομητής εκπαιδεύεται μέσω επεξεργασίας εκτός σύνδεσης, και την πειραματική περίπτωση, που περιλαμβάνει την επεξεργασία εντός σύνδεσης. Αυτές οι γραφικές απεικονίσεις παρέχουν μια οπτική επεξήγηση των διαδικαστικών ακολουθιών που αποτελούν αναπόσπαστο μέρος και των δύο πτυχών αυτής της ερευνητικής προσπάθειας.



Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής για τις 2 περιπτώσεις επεξεργασίας σύνδεσης του συστήματος διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Αριστερά φαίνονται τα βήματα για την εκπαίδευση του ταξινομητή, ενώ δεξιά φαίνονται για την πειραματική διαδικασία.

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα ροής, οι ενότητες που θα ακολουθήσουν, δηλαδή οι **3.2** και **3.3**, θα προβούν σε μια ολοκληρωμένη ανάλυση των δύο διαφορετικών περιπτώσεων έρευνας. Θα εμβαθύνουν στις λεπτομέρειες της κάθε υπόθεσης, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των αντίστοιχων χαρακτηριστικών τους.

3.2 Εκπαίδευση ταξινομητή

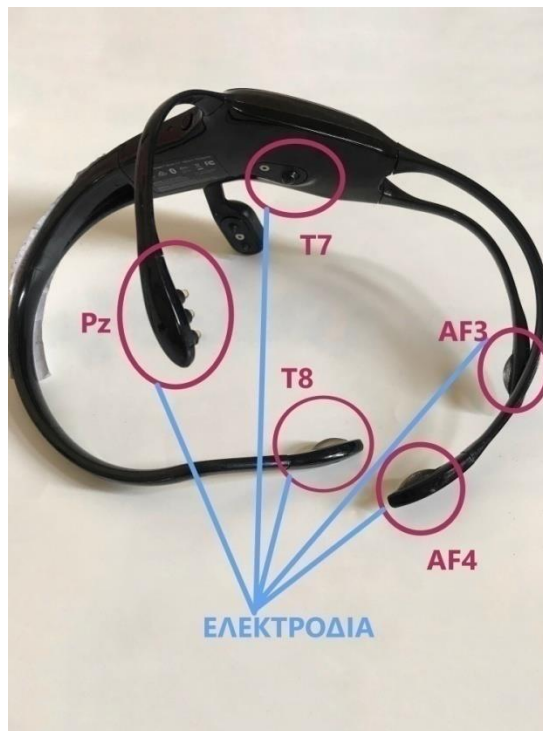
Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν με λεπτομέρεια τα βήματα της εκπαίδευσης του ταξινομητή, δηλαδή της εκτός σύνδεσης επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, στην **3.2.1** θα γίνει αναφορά στη συσκευή λήψης των ΗΕΓ σημάτων. Στην **3.2.2** θα αναλυθούν τα επόμενα βήματα του διαγράμματος ροής (**Σχήμα 2**), δηλαδή η διαδικασία λήψης των ΗΕΓ σημάτων από το λογισμικό OpenVibe, αλλά και η επιρροή της εφαρμογής ζωνοπερατού φίλτρου στο σήμα, η διάσπαση σε ζώνες συχνοτήτων και ο υπολογισμός των χρονικών εποχών και της ενέργειας του σήματος.

3.2.1 Συσκευή λήψης ΗΕΓ

Για την καταγραφή των σημάτων για αυτή τη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ο ασύρματος ηλεκτροεγκεφαλογράφος INSIGHT της εταιρείας EMOTIV. Η συγκεκριμένη συσκευή είναι φορητή, συνδέεται ασύρματα και μπορεί να φορεθεί εύκολα στο κεφάλι του κάθε χρήστη. Ακόμη, διαθέτει 2 ηλεκτρόδια αναφοράς (CMS/DRL) και 5 κανάλια καταγραφής για να ανιχνεύει ολόκληρο τον εγκέφαλο, τα οποία είναι τα εξής: AF3, AF4, T7, T8 και Pz. Ειδικότερα, το AF3 και το AF4 τοποθετούνται στο πάνω μέρος του μετώπου και μετρούν την προσοχή και την λήψη αποφάσεων του εγκεφάλου αντίστοιχα.[39] Το T7 βρίσκεται στην αριστερή πλευρά της συσκευής, έχει επαφή με το τριχωτό της κεφαλής και μετρά τη λεκτική μνήμη και το T8 τοποθετείται πάνω από το δεξί αυτί και αντιλαμβάνεται την συναισθηματική μνήμη. Για την οπτική επεξεργασία χρησιμοποιείται το κανάλι Pz, το οποίο βρίσκεται στο πάνω μέρος του τριχωτού της κεφαλής και διαθέτει 3 ακίδες για καλύτερη διείσδυση. Το σύστημα που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των καναλιών είναι το 10-20 όπως μπορεί να φανεί και στην **εικόνα 16**. Οι αισθητήρες που είναι από υλικό υδρόφιλου ημίξηρου πολυμερούς για να παρέχουν καλύτερη αγωγιμότητα επικαλύπτονται με ειδικό τζελ. Το INSIGHT συνδέεται ασύρματα μέσω Bluetooth με υπολογιστή ή κινητή συσκευή. Παρέχει τη δυνατότητα ρυθμού δειγματοληψίας σήματος 128 Hz, η ανάλυση γίνεται στα 16 bit με $1 \text{ LSB} = 0,1275 \mu\text{V}$, το εύρος ζώνης είναι 0,5-43Hz και τα ψηφιακά φίλτρα εγχοπής στα 50Hz και 60Hz.



Εικόνα 16. Οι θέσεις των 5 αισθητήρων του εγκεφαλογράφου INSIGHT[40].



Εικόνα 17. Οι θέσεις των αισθητήρων AF3,AF4,T7,T8,Pz πάνω στη συσκευή INSIGHT.

Όπως, προαναφέρθηκε η συσκευή του ηλεκτροεγκεφαλογράφου παρέχεται από την εταιρεία EMOTIV, η οποία διαθέτει και το λογισμικό EmotivPro. Το συγκεκριμένο λογισμικό μπορεί να αναγνωρίσει τον ηλεκτροεγκεφαλογράφο και να συνδεθεί με αυτόν πολύ εύκολα μέσω Bluetooth. Μέσω του πρωτοκόλλου Lab Streaming Layer (LSL) υπάρχει η δυνατότητα ζωντανής μετάδοσης των σημάτων που λαμβάνει. Επίσης, προβάλλονται σε πραγματικό χρόνο ροής οι μετρήσεις επιδόσεων (0.1Hz), τα δεδομένα κίνησης και η απώλεια και ποιότητα επαφής. Για το πείραμα που διεξήχθη, η προβολή της ποιότητας επαφής ήταν πολύ σημαντική για να γίνει σωστά η καταγραφή των σημάτων.

3.2.2 Σύνδεση συσκευής - υπολογιστή

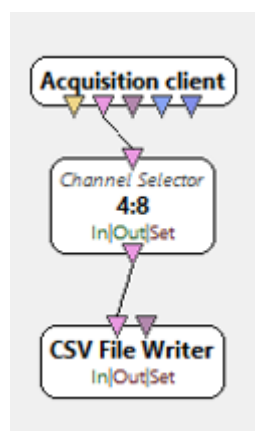
Το Lab Streaming Layer είναι ένα ελεύθερο σύστημα δικτυωμένου ενδιάμεσου λογισμικού, το οποίο είναι ανοικτού κώδικα. Είναι πολύ σημαντικό σε ερευνητικά πειράματα, καθώς έχει τη δυνατότητα να μεταδίδει, να λαμβάνει, να συγχρονίζει και να αποθηκεύει ροές νευρολογικών, φυσιολογικών και συμπεριφορικών δεδομένων που αποκτώνται από μια ποικιλία αισθητήρων. Ακόμη, κληρονομεί την αξιοπιστία του πρωτοκόλλου TCP, οπότε η μεταφορά των δεδομένων γίνεται με ασφάλεια και η απώλεια δεδομένων μειώνεται λόγω της αυτόματης αποκατάστασης βλαβών που παρέχει. Στο πλαίσιο αυτής της πειραματικής μελέτης, η σύνδεση μεταξύ του εγκεφαλογράφου INSIGHT και της εφαρμογής EmotivPro δημιουργήθηκε με τη χρήση της τεχνολογίας Bluetooth. Διευκολύνοντας αυτή τη σύνδεση, το λογισμικό EmotivPro διέθετε ενσωματωμένο το Lab Streaming Layer (LSL), επιτρέποντας ακόμη και την οπτικοποίηση των σημάτων που λαμβάνονταν από τον διασυνδεδεμένο εγκεφαλογράφο.

3.2.3 Λήψη και Επεξεργασία ΗΕΓ σημάτων

Για την καταγραφή των ακατέργαστων ηλεκτροεγκεφαλικών δεδομένων του εγκεφαλογράφου INSIGHT χρησιμοποιήθηκε ο διακομιστής λήψης του OpenVibe.

Το OpenViBE πρόκειται για μια ευέλικτη και δωρεάν πλατφόρμα λογισμικού που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη και τη χρήση διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή (BCIs) σε πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα. Επιτρέπει την επεξεργασία σημάτων EEG σε πραγματικό χρόνο, συμπεριλαμβανομένης της ταξινόμησης και της οπτικοποίησης των δεδομένων[41]. Για να αποκτήσει αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιεί τον Acquisition Server και για να τα επεξεργαστεί χρησιμοποιείται ο OpenVibe Designer. Αυτή η διαδικασία ακολουθείται και στην παρούσα διπλωματική, όπου μέσω μιας LSL ροής που δημιουργείται αποστέλλονται τα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα στον Acquisition Server και στην συνέχεια επεξεργάζονται μέσω του σχεδιασμού της επιθυμητής αλυσίδας επεξεργασίας σήματος στον OpenVibe Designer.[42]

Ειδικότερα, το σενάριο που σχεδιάστηκε αρχικά δεχόταν τα ακατέργαστα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα και διατηρούσε μέσω του επιλογέα καναλιών τα κανάλια 4,5,6,7,8 που αντιστοιχούν στους αισθητήρες AF3,AF4,T7,T8 και Pz του εγκεφαλογράφου INSIGHT. Στη συνέχεια, τα αποθήκευε σε αρχείο .csv, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3**.



Σχήμα 3. Σενάριο λήψης ΗΕΓ σήματος.

Με την ολοκλήρωση της καταγραφής του σήματος, πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός ενός καινούργιου σεναρίου στο οποίο υλοποιείται η επεξεργασία των δεδομένων και η εξαγωγή των χαρακτηριστικών τους με σκοπό την κατηγοριοποίηση τους.

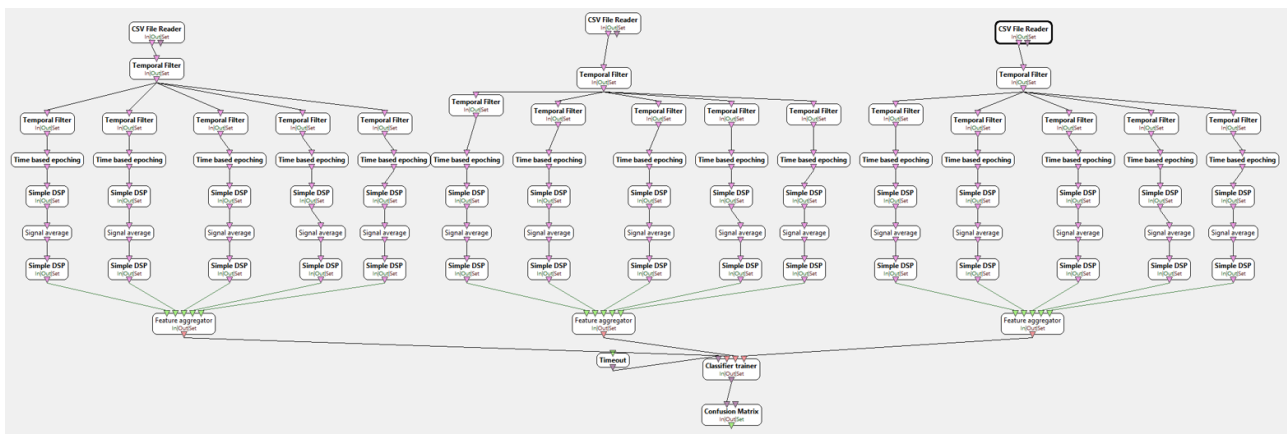
Αρχικά, εισάγονται στα πρώτα οριζόντια κουτιά του ταξινομητή, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 4** τα αρχεία .csv στα οποία έχουν αποθηκευτεί οι καταγραφές. Πιο αναλυτικά, στο πρώτο κουτί του ταξινομητή θα εισαχθεί η καταγραφή για το δεξιά, στο μεσαίο η καταγραφή για το αριστερά και στο τελευταίο θα τοποθετηθεί το αρχείο του ανοιγοκλεισίματος των ματιών. Έπειτα, με γνώμονα την απομάκρυνση του θορύβου, χρησιμοποιήθηκε ένα φίλτρο της μεθόδου Butterworth, τύπου Band pass και τέταρτης διάταξης μεταξύ των συχνοτήτων από 8 Hz έως 40 Hz. Με τη χρήση του φίλτρου επιτεύχθηκε, επίσης, και η αφαίρεση των κυμάτων Δέλτα και Θήτα καθώς αποτελούν τους πιο αργούς ρυθμούς του εγκεφάλου με συχνότητες 0-3 Hz και 3-7 Hz αντίστοιχα[43].

Αφότου γίνει η εφαρμογή του Butterworth φίλτρου, το συνεχές ηλεκτροεγκεφαλικό σήμα θα έχει περάσει από τη διαδικασία της εποχικοποίησης. Τα χρονικά παράθυρα ή αλλιώς “εποχές”, που θα δημιουργηθούν είναι ένα καίριο βήμα για την επεξεργασία του ΗΕΓ σήματος, αφού σε αυτά μπορούν να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά του σήματος σε σχέση με συγκεκριμένα γεγονότα ενδιαφέροντος[44]. Επομένως, στη συγκεκριμένη εφαρμογή διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή θα έχουν εξαχθεί μη επικαλυπτόμενα χρονικά παράθυρα των 3 δευτερολέπτων, καθώς ύστερα από δοκιμές παρατηρήθηκε ότι τότε ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα. Ο χρόνος αυτός αποτελεί και τον χρόνο λήψης των αποφάσεων του ταξινομητή.

Στη συνέχεια, το φάσμα του ΗΕΓ χωρίστηκε σε πέντε ζώνες:

1. Κύματα Άλφα συχνότητας 9 Hz έως 13 Hz.
2. Κύματα Βήτα 1 συχνότητας 13 Hz έως 20 Hz.
3. Κύματα Βήτα 2 συχνότητας 20 Hz έως 30 Hz.
4. Κύματα Γάμμα 1 συχνότητας 30 Hz έως 35 Hz.
5. Κύματα Γάμμα 2 συχνότητας 35 Hz έως 40 Hz.

Τέλος, για την είσοδο του ταξινομητή υπολογίστηκε το μέσο φασματικό πλάτος από ζώνη σε ζώνη.



Σχήμα 4. Σενάριο για την εκπαίδευση του ταξινομητή στην περίπτωση επεξεργασίας εκτός σύνδεσης.

3.2.4 Ταξινόμηση

Για την ταξινόμηση των εγκεφαλικών δεδομένων στις 3 κατηγορίες που αποτελούν τις κινήσεις του avatar του παιχνιδιού (δεξιά, αριστερά, άλμα), δοκιμάστηκε και ενσωματώθηκε στον ταξινομητή του OpenVibe ένας αλγόριθμος. Ειδικότερα, στην **3.2.4.1** θα αναλυθεί η χρήση του αλγορίθμου της γραμμικής ανάλυσης διάκρισης (LDA).

3.2.4.1 Γραμμική Ανάλυση Διάκρισης (LDA)

Η γραμμική ανάλυση διάκρισης [45] είναι μια τεχνική που περιλαμβάνει την εύρεση ενός γραμμικού συνδυασμού. Συγκεκριμένα, προκειμένου να ταξινομηθούν ή να χωριστούν τα δεδομένα σε δύο ή περισσότερες κλάσεις [46], ο ταξινομητής προσδιορίζει έναν γραμμικό συνδυασμό χαρακτηριστικών. Ο στόχος είναι κάθε κλάση να έχει μια κανονική κατανομή των βαθμολογιών διάκρισης στο τέλος της διαδικασίας, αλλά να υπάρχει μεγάλη διαφορά στις μέσες βαθμολογίες μεταξύ των κλάσεων. Η εκτίμηση των βαρών υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε οι διακυμάνσεις ανάμεσα στα μέσα βαθμολογιών των κλάσεων να είναι μέγιστες.

Η τεχνική αυτή επιλέχθηκε, καθώς η γραμμική ανάλυση διάκρισης είναι απλή ως προς τη χρήση και απαιτεί σχετικά μικρή υπολογιστική ισχύ [47]. Όσον αφορά, τα ηλεκτροεγκεφαλικά σήματα η LDA είναι κατάλληλη αφού μπορεί να διαχειριστεί δεδομένα υψηλής διάστασης. Έχει ως θεμελιώδη στόχο την εξαγωγή πολλών πληροφοριών από αυτά μέσω του γραμμικού συνδυασμού που δημιουργείται από τη συμπύκνωση των περιοχών που διαθέτουν σε μικρότερο αριθμό τα χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος [48]. Όταν τα χαρακτηριστικά επιλέγονται με την χρήση της LDA, υπάρχει αύξηση της ακρίβειας ταξινόμησης των δεδομένων, ενώ παράλληλα μειώνεται η υπολογιστική πολυπλοκότητα [49]. Συγκριτικά με τα αρχικά δεδομένα, τα παραγόμενα είναι πιο ενημερωτικά και διακριτά. Ακόμη, τα εξαγόμενα δεδομένα διαθέτουν λιγότερο θόρυβο και λιγότερες περιττές πληροφορίες, όπου στις εφαρμογές διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή είναι πολύ σημαντικό να μην περιέχονται τέτοιου είδους χαρακτηριστικά. Τέλος, η τεχνική διενεργείται σε πραγματικό χρόνο το οποίο την καθιστά κατάλληλη επιλογή για αξιοποίηση σε προβλήματα ταξινόμησης σημάτων για BCI εφαρμογές.

Ο αλγόριθμος LDA που χρησιμοποιήθηκε για την κατηγοριοποίηση των ΗΕΓ δεδομένων σε αυτή την εφαρμογή είχε ως παράμετρο στρατηγικής την μέθοδο OneVsAll. Επιλέχθηκε αυτή η στρατηγική, διότι ο δυαδικός ταξινομητής LDA θα πρέπει να εκπαιδευτεί για τρεις κλάσεις που αποτελούν τις εντολές του παιχνιδιού κι όχι για δύο. Επίσης, ο αριθμός για τα πλαίσια επικύρωσης που επιλέχθηκε ήταν 10. Αυτό σημαίνει ότι το σύνολο δεδομένων χωρίζεται σε δέκα ίσα μέρη και το μοντέλο εκπαιδευεται και δοκιμάζεται δέκα φορές. Κάθε φορά χρησιμεύει ως σύνολο δοκιμής ένα νέο τμήμα και τα υπόλοιπα εννέα τμήματα χρησιμεύουν ως σύνολο εκπαίδευσης. Τέλος, τα αποτελέσματα των δέκα δοκιμών υπολογίζονται κατά μέσο όρο για να προκύψει μια εκτίμηση της απόδοσης του μοντέλου.

3.3 Πειραματική διαδικασία

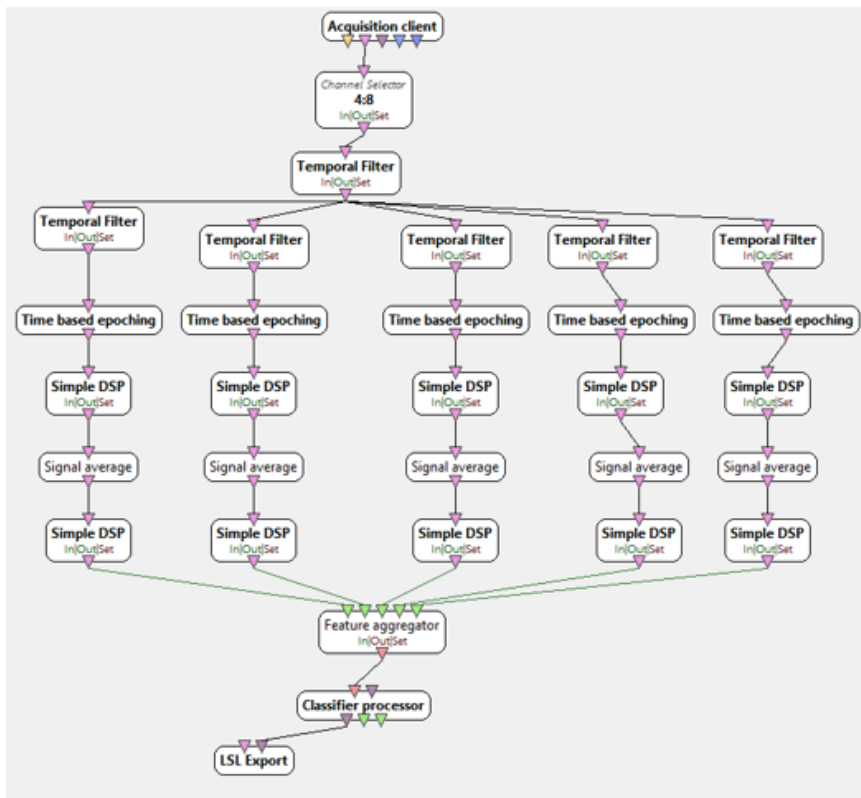
Με την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης του ταξινομητή, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία ενός σεναρίου για την πειραματική διαδικασία, δηλαδή της εντός σύνδεσης επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, το οποίο παρουσιάζεται στο **Σχήμα 5**. Όπως φαίνεται και στο σχήμα ως είσοδος του σεναρίου είναι ο πελάτης απόκτησης στον οποίο εισέρχεται το ΗΕΓ σήμα πραγματικού χρόνου που λαμβάνεται από την συσκευή του εγκεφαλογράφου INSIGHT μέσω μιας ροής LSL. Στη συνέχεια, ο επιλογέας καναλιών διατηρεί τα κανάλια 4,5,6,7,8, τα οποία αντιστοιχούν στους αισθητήρες της

συσκευής και συγκεκριμένα στους AF3,AF4,T7,T8 και Pz. Το αμέσως επόμενο βήμα είναι η χρήση ενός προ-φίλτρου, ώστε να φιλτραριστεί το σήμα και να κρατηθούν οι συχνότητες 8 Hz έως 40 Hz.

Με το πέρας αυτής της διαδικασίας το σήμα θα χωριστεί στις ζώνες συχνότητας:

- Άλφα (9-13 Hz)
- Βήτα 1 (13-20 Hz)
- Βήτα 2 (20-30 Hz)
- Γάμμα 1 (30-35 Hz)
- Γάμμα 2 (35-40 Hz)

Η διαδικασία συνεχίζεται με τον υπολογισμό της ενέργειας που αντιστοιχεί στην κάθε ζώνη. Τα δεδομένα που θα παραχθούν θα εισαχθούν έπειτα στον ταξινομητή LDA με σκοπό την ταξινόμηση των νοητικών εντολών για τις 3 κινήσεις που χρειάζονται για την μετακίνηση του avatar του παιχνιδιού. Τα δεδομένα που θα προκύψουν από αυτή την κατηγοριοποίηση θα μεταδοθούν στο παιχνίδι μέσω μιας ροής LSL. Η διαδικασία της πειραματικής διαδικασίας είναι ίδια με αυτή της εκπαίδευσης του ταξινομητή με μόνη διαφορά την μη χρονική τμηματοποίηση, καθώς δεν είναι απαραίτητη σε αυτό το σενάριο.



Σχήμα 5. Σενάριο για την πειραματική διαδικασία.

3.4 Σχεδιασμός Παιχνιδιού

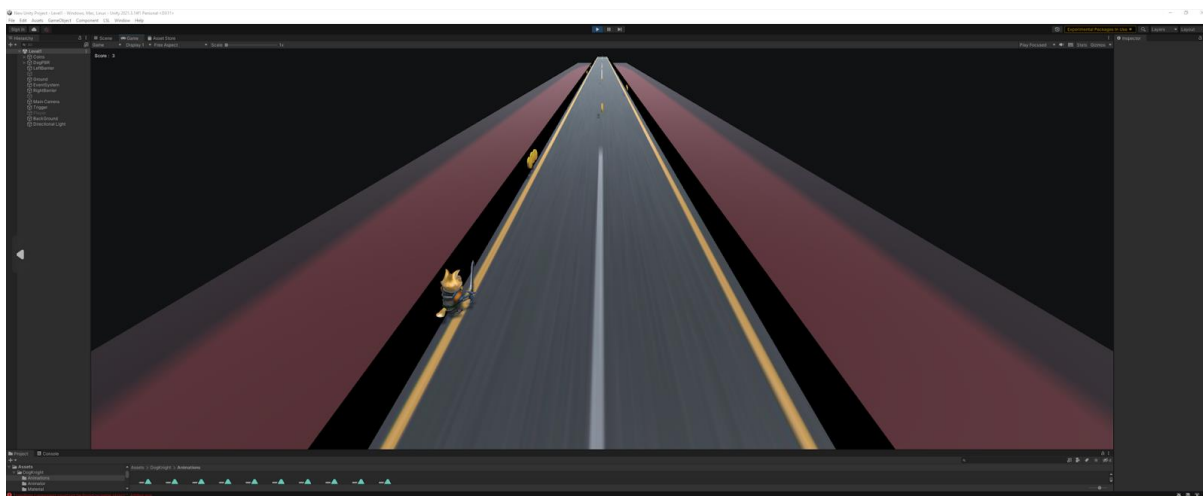
Το τρισδιάστατο παιχνίδι που δημιουργήθηκε σχεδιάστηκε στην πλατφόρμα Unity [50], η οποία αποτελεί μια μηχανή παιχνιδιών διαφόρων πλατφορμών. Χρησιμοποιείται τόσο για το σχεδιασμό δισδιάστατων παιχνιδιών όσο και για τρισδιάστατων, αφού παρέχει πληθώρα εργαλείων φιλικά προς τον προγραμματιστή. Με τη χρήση κατάλληλων βιβλιοθηκών μπορούν να αναπτυχθούν και παιχνίδια που να υποστηρίζουν διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή [51].

Για το παιχνίδι που αναπτύχθηκε για αυτή τη διπλωματική, η βιβλιοθήκη που επιλέχθηκε για τη συνένωση των δεδομένων που παρέχει ο εγκεφαλογράφος με την πλατφόρμα Unity ήταν η liblsl. Ειδικότερα, το LSL παράγει μια ζωντανή ροή, όπου μέσω αυτής μεταδίδονται τα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα που έχουν καταγραφεί από τη συσκευή στην εφαρμογή. Σε αυτά τα δεδομένα έχει γίνει πρώτα μια ταξινόμηση από το σενάριο ταξινόμησης σε πραγματικό χρόνο που υλοποιείται από το OpenVibe. Η επεξεργασία της ροής LSL από σενάρια γραμμένα σε γλώσσα C-sharp οδηγεί στην ανάγνωση των μεταδιδόμενων δεδομένων ανά δείγμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να αντικατασταθούν τα πλήκτρα του υπολογιστή και να αποτελούν αυτά πλέον τις εντολές του παιχνιδιού.

Οι διαθέσιμες εντολές που μπορεί να δώσει ο χρήστης για να κινηθεί το avatar του παιχνιδιού είναι τρεις: δεξιά, αριστερά και άλμα. Για να μετακινηθεί δεξιά θα πρέπει ο χρήστης να κοιτάει δεξιά, ενώ παράλληλα θα πρέπει να φανταστεί και τη δεξιά κίνηση του σώματός του. Για να κινηθεί αριστερά, ο χρήστης θα πρέπει να κάνει την ίδια διαδικασία με την δεξιά κίνηση, αλλά αυτή τη φορά για αριστερά. Για να πραγματοποιηθεί η εντολή του άλματος ο χρήστης θα πρέπει να ανοιγοκλείσει σφιχτά τα μάτια του.

Όσον αφορά το περιβάλλον του παιχνιδιού, είναι σε τρισδιάστατη μορφή και το avatar κινείται σε ευθεία γραμμή. Η πίστα χωρίζεται σε τρεις λωρίδες, στις οποίες είναι τοποθετημένα τα 50 κέρματα χωρισμένα σε δεκαέξι τριάδες και μια δυνάδα. Τα σημεία που βρίσκονται τα κέρματα είναι κυρίως πάνω στην επιφάνεια των λωρίδων, αλλά υπάρχουν και δύο σημεία στα οποία ο χρήστης θα πρέπει να πραγματοποιήσει την εντολή του άλματος.

Σκοπός του παιχνιδιού είναι να γίνει η σωστή καθοδήγηση του avatar μέσω των εντολών που λαμβάνονται από τον εγκεφαλογράφο και να μπορέσει ο χρήστης να μαζέψει όσο το δυνατόν περισσότερα κέρματα μπορεί. Ο αριθμός των κερμάτων που έχει καταφέρει να κερδίσει φαίνεται στην πάνω αριστερή μεριά της οθόνης.



Εικόνα 18. Στιγμιότυπο παιχνιδιού ελεγχόμενο από εγκεφαλογράφο.

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

4.1 Σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης

Για την διεξαγωγή του πειράματος διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή με τη χρήση φορέσιμης συσκευής υπήρξε συμμετοχή από 19 εθελοντές, 7 γυναίκες και 12 άντρες μεταξύ των ηλικιών 19 έως 26 ετών. Στον **πίνακα 3** φαίνονται τα χαρακτηριστικά των εθελοντών σε σχέση με το φύλο, την ηλικία και την κατάσταση της όρασης τους.

Οι καταγραφές των συμμετεχόντων πραγματοποιήθηκαν στον χώρο του εργαστηρίου, προκειμένου να περιοριστούν οι εξωτερικοί παράγοντες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά τη διαδικασία των καταγραφών, όπως είναι ο θόρυβος. Ζητούνταν από αυτούς να καθίσουν σε μια καρέκλα αναπαυτικά και να εξακολουθήσουν να βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας, ούτως ώστε να περιορίσουν την κινητικότητα τους για να μπορέσουν να ξεκινήσουν οι ενέργειες για την λήψη των τριών ξεχωριστών καταγραφών που απαιτούνταν. Η πρώτη καταγραφή αφορούσε την αριστερή κίνηση, οπότε δόθηκε η οδηγία στους εθελοντές να κοιτάζουν αριστερά και να σκέφτονται ότι κινούν κάποιο άκρο της αριστερής πλευράς του σώματός τους. Στην δεύτερη καταγραφή έπρεπε να κοιτάζουν δεξιά και να σκέφτονται ότι προκαλούν, αυτή τη φορά κίνηση σε κάποιο από τα δεξιά άκρα τους. Οι δύο αυτές καταγραφές είχαν διάρκεια 5 λεπτά η κάθε μία και μετά από αυτές προτού ξεκινήσει η διαδικασία για την τρίτη και τελευταία καταγραφή δόθηκε στους εθελοντές ένα λεπτό να κλείσουν τα μάτια τους για να τα ξεκουράσουν. Η τρίτη καταγραφή που διήρκεσε ενάμιση λεπτό αφορούσε το ανοιγοκλεισίμο των ματιών, όπου οι εθελοντές έπρεπε να κοιτάνε ευθεία και να ανοιγοκλείνουν σφιχτά τα μάτια τους ανά ένα δευτερόλεπτο.

Όλα τα δεδομένα που καταγράφηθηκαν από κάθε εθελοντή συμπεριλήφθηκαν στο σενάριο της εκτός σύνδεσης επεξεργασίας και συνολικά υπήρχαν 57 διανύσματα χαρακτηριστικών ως είσοδο του ταξινομητή. Η μέση ακρίβεια ταξινόμησης ήταν 80.64% και οι τιμές κυμαίνονταν από 63.1% έως 96.2%.

Subject	Φύλο	Ηλικία	Κατάσταση Όρασης
1	Γυναίκα	22 ετών	Φυσιολογική
2	Άντρας	22 ετών	Φυσιολογική

3	Γυναίκα	22 ετών	Φυσιολογική
4	Γυναίκα	22 ετών	Φυσιολογική
5	Άντρας	25 ετών	Φυσιολογική
6	Άντρας	23 ετών	Φυσιολογική
7	Άντρας	23 ετών	Γυαλιά
8	Άντρας	23 ετών	Φυσιολογική
9	Άντρας	26 ετών	Φυσιολογική
10	Γυναίκα	21 ετών	Φυσιολογική
11	Γυναίκα	22 ετών	Φυσιολογική
12	Άντρας	23 ετών	Γυαλιά
13	Γυναίκα	19 ετών	Φυσιολογική
14	Άντρας	23 ετών	Γυαλιά
15	Γυναίκα	23 ετών	Φυσιολογική
16	Άντρας	22 ετών	Φυσιολογική
17	Άντρας	26 ετών	Φυσιολογική
18	Άντρας	24 ετών	Γυαλιά
19	Άντρας	20 ετών	Φυσιολογική

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικά εθελοντών όσον αφορά το φύλο, την ηλικία και την κατάσταση όρασης τους.

4.2 Αποτελέσματα εκπαίδευσης ταξινομητών

Από τους 19 εθελοντές που συμμετείχαν στο πείραμα μόνο οι 5 είχαν λάβει ξανά μέρος σε πείραμα με παιχνίδι BCI. Για τον λόγο αυτό χρειάστηκε να γίνει σε όλους λεπτομερής ενημέρωση για τη διαδικασία που καλούνταν να ακολουθήσουν. Ειδικότερα, πριν ξεκινήσει η διαδικασία ενημερώθηκαν για το πρωτόκολλο που θα ακολουθούνταν και εξοικειώθηκαν με τη συσκευή του εγκεφαλογράφου INSIGHT. Στη συνέχεια, έγινε η κατάλληλη τοποθέτηση του εγκεφαλογράφου στον κάθε εθελοντή, με σκοπό την επίτευξη της όσο το δυνατόν καλύτερης ποιότητας επαφής μεταξύ του κεφαλιού του κάθε εθελοντή και των αισθητήρων της συσκευής. Στους συμμετέχοντες που είχαν πυκνό μαλλί παρατηρήθηκε ότι χρειάστηκε περισσότερος χρόνος για να γίνει σωστά η τοποθέτηση. Το επόμενο βήμα που ακολουθήθηκε μετά τη λήψη των τριών ξεχωριστών καταγραφών και της εκτός σύνδεσης επεξεργασίας, ήταν να αρχίσουν οι εθελοντές να δοκιμάζουν το παιχνίδι του πειράματος. Είχαν 10 προσπάθειες που δεν θα καταγράφονταν για να εξοικειωθούν με το περιβάλλον του παιχνιδιού και της μηχανής Unity, αλλά και με τον χειρισμό των νοητικών εντολών. Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία εξοικείωσης, για να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση

της εντός σύνδεσης επεξεργασίας οι συμμετέχοντες έπαιξαν ακόμη 10 φορές το παιχνίδι κι αυτή τη φορά τα σκορ επιτυχίας τους καταγράφονταν.

Αρχικά, θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης του ταξινομητή με χρήση του ταξινομητή ανάλυσης γραμμικής διάκρισης (LDA) που χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των καταγραφών στις 3 κατηγορίες (αριστερά, δεξιά, ανοιγοκλείσιμο) του πειράματος.

Στον **πίνακα 4** παραθέτονται τα αποτελέσματα των τριών κατηγοριών που παράχθηκαν μετά την ταξινόμηση των εγκεφαλικών δεδομένων. Η πρώτη στήλη αναφέρεται στον αριθμό που αντιστοιχεί σε κάθε εθελοντή, η δεύτερη και η τρίτη σχετίζονται με το ποσοστό της ταξινόμησης για την κατηγορία που αφορά το αριστερά και το δεξιά αντίστοιχα κι η τέταρτη στήλη αναγράφει τα αποτελέσματα για το ανοιγοκλείσιμο των ματιών. Η πέμπτη και τελευταία στήλη παρέχει τα αποτελέσματα γενικής ακρίβειας του κάθε εθελοντή. Για τα 19 άτομα που έλαβαν μέρος ο μέσος όρος ακρίβειας ταξινόμησης ήταν 80.64%. Για την πρώτη περίπτωση της κατηγορίας για το αριστερά ο μέσος όρος ήταν 88%, ενώ για το δεξιά το ποσοστό του μέσου όρου ήταν μικρότερο και είχε τιμή 73.92%. Τέλος, το μικρότερο ποσοστό ακρίβειας κατείχε η κατηγορία που αφορούσε το ανοιγοκλείσιμο των ματιών με ποσοστό 71.77%. Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ικανοποιητικά, οπότε ο ταξινομητής LDA αποτελούσε μια καλή επιλογή για τη συγκεκριμένη εφαρμογή διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή.

Εθελοντής	LDA-Αριστερά(%)	LDA-Δεξιά(%)	LDA-Ανοιγοκλείσιμο(%)	Ακρίβεια(%)
1	100.0	85.6	74.4	90.98
2	100.0	96.9	76.9	94.42
3	100.0	68.0	69.2	83.69
4	100.0	100.0	64.1	95.70
5	99.0	71.1	76.9	85.40
6	100.0	62.9	76.9	82.83
7	99.0	74.2	74.4	84.97
8	87.6	73.2	76.5	84.54
9	99.0	100.0	79.5	96.13
10	19.6	99.0	82.1	63.09
11	100.0	99.0	79.5	96.13
12	100.0	27.8	79.5	68.66
13	96.9	40.2	76.9	69.95
14	75.3	99.0	79.5	85.83

15	92.8	96.9	76.9	92.70
16	99.0	78.4	76.9	85.83
17	100.0	70.1	48.7	84.97
18	99.0	36.1	87.2	72.10
19	92.8	100.0	79.5	94.84

Πίνακας 4. Αποτελέσματα που προέκυψαν ύστερα από την ταξινόμηση των καταγραφών με τη χρήση του αλγορίθμου ανάλυσης γραμμικής διάκρισης.

4.3 Ατομικά αποτελέσματα πειραματικής διαδικασίας

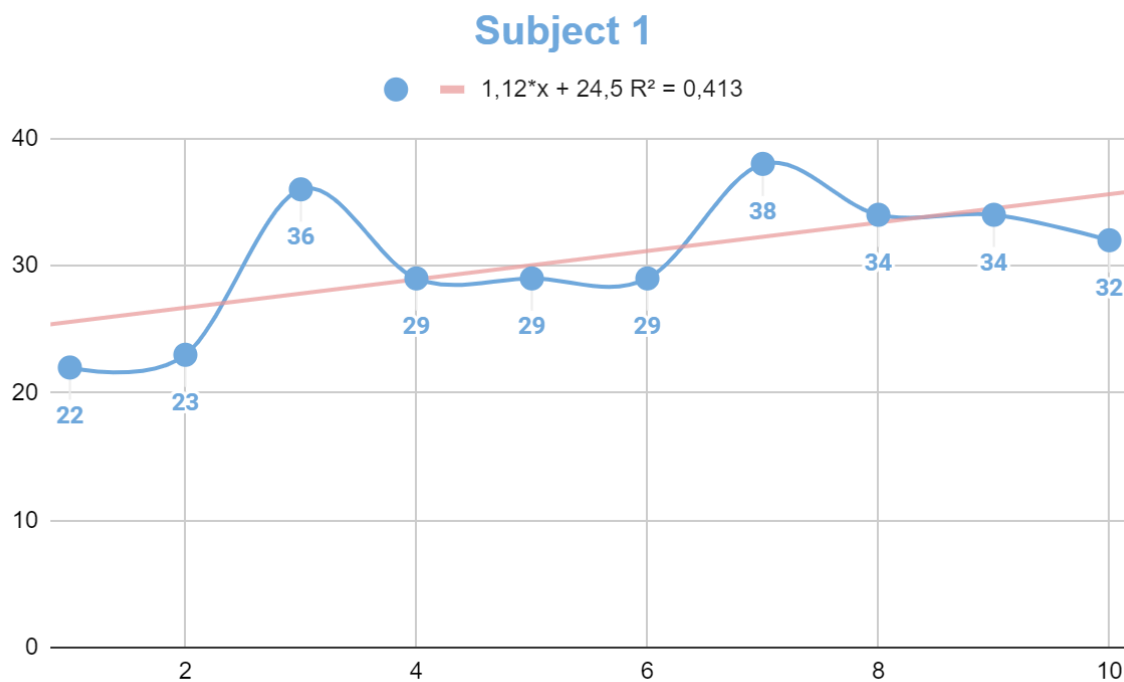
Η ενότητα αυτή θα έχει ως στόχο την ανάλυση και τον σχολιασμό των επιδόσεων του κάθε συμμετέχοντα ξεχωριστά. Πιο αναλυτικά, μετά την εκτός σύνδεσης επεξεργασία τα άτομα που έλαβαν μέρος στην εφαρμογή διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή έπαιξαν το παιχνίδι του πειράματος 10 φορές και από αυτές έγινε καταγραφή του σκορ που πετύχαιναν, δηλαδή των κερμάτων που συνέλεξαν. Η αξιολόγηση των επιδόσεων που είχε ο κάθε εθελοντής θα γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος θα είναι με τη χρήση ενός πίνακα 2 στηλών, όπου η πρώτη στήλη θα αναγράφει τον αριθμό της προσπάθειας και η δεύτερη το σκορ που επιτεύχθηκε στην συγκεκριμένη προσπάθεια. Ο δεύτερος τρόπος με τον οποίο θα αναλυθούν τα αποτελέσματα των συμμετεχόντων είναι με τη δημιουργία γραφικής παράστασης με τον άξονα x να απεικονίζει τον αριθμό της προσπάθειας και τον άξονα y το σκορ της κάθε προσπάθειας. Θα υπάρχει, επίσης, η ευθεία γραμμική ποσόστωση και η τιμή του R^2 στο γράφημα, το οποίο εάν έχει τιμή κοντά στο 1 τότε θα σημαίνει ότι η εξίσωση της ευθείας γραμμικής ποσόστωσης θα χωρίζει και θα απεικονίζει τα δεδομένα σωστά.

4.3.1 Εθελοντής 1

Στον **πίνακα 5** αποτυπώνονται τα ατομικά σκορ που πέτυχε ο εθελοντής 1, ενώ στο **σχήμα 6** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση που προέκυψε από τα σκορ συναρτήσει των προσπαθειών του. Ο μέγιστος αριθμός κερμάτων που κατάφερε να συλλέξει από τα 50 συνολικά κέρματα του παιχνιδιού ήταν το 38 στην προσπάθεια 7, ενώ ο ελάχιστος καταγράφηκε στην πρώτη προσπάθεια που έπαιξε το παιχνίδι. Ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων του ήταν 30.6. Ο χρήστης μπορούσε εξ αρχής να ελέγξει την διεπαφή και να μετακινεί το avatar του παιχνιδιού, ώστε να πραγματοποιείται σωστά η κίνηση που έπρεπε να κάνει. Αρχικά, στις τρεις πρώτες προσπάθειες παρατηρείται σημαντική βελτίωση με το σκορ να φτάνει στην τρίτη προσπάθεια στο 36 με μια απόκλιση από την δεύτερη 13 κερμάτων. Στις επόμενες τρεις προσπάθειες, λόγω κόπωσης του χρήστη υπήρξε πτώση αλλά κατάφερε να διατηρήσει σταθερή την τιμή του σκορ στα 29. Η αμέσως επόμενη δοκιμή ήταν και η καλύτερη, αφού κατάφερε να συγκεντρώσει 38 κέρματα. Ο χρήστης είχε εξοικειωθεί πολύ καλά με το περιβάλλον του παιχνιδιού, οπότε παρατηρήθηκε να έχει αφομοιώσει το μοτίβο των κινήσεων της πίστας και να τις κάνει σχεδόν μηχανικά. Τέλος, όσον αφορά τις προσπάθειες 9 και 10 υπήρξε πάλι μια μικρή πτώση, η οποία οφείλεται στην κόπωση του χρήστη.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	22
2	23
3	36
4	29
5	29
6	29
7	38
8	34
9	34
10	32

Πίνακας 5. Τα αποτελέσματα του Subject 1. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 6. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 1 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $1,12 \cdot x + 24,5$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

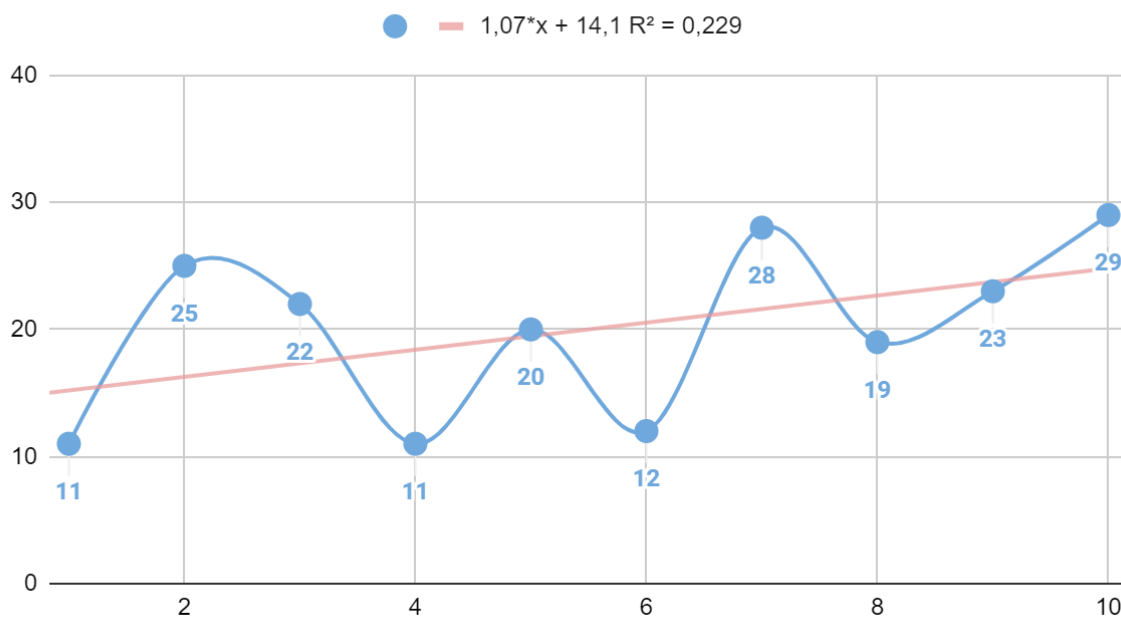
4.3.2 Εθελοντής 2

Στον **πίνακα 6** περιέχονται τα αποτελέσματα των προσπαθειών του εθελοντή 2 και στο **σχήμα 7** αναπαριστάται η γραφική παράσταση του συνόλου των προσπαθειών του σε σχέση με τις τιμές των σκορ του. Ο συγκεκριμένος χρήστης κατά μέσο όρο συγκέντρωσε 20 κέρματα. Τα περισσότερα κέρματα καταγράφηκαν στην τελευταία προσπάθεια και ήταν 29, ενώ τα λιγότερα με τιμή 11 καταγράφηκαν στις προσπάθειες 1 και 4. Πιο αναλυτικά, τα σκορ που πετύχαινε ο παίκτης παρουσίαζαν διακυμάνσεις είτε ανά μία είτε ανά δύο προσπάθειες. Ο λόγος που συνέβη αυτό είναι διότι στην αρχή ο παίκτης δυσκολεύτηκε να πραγματοποιήσει την κίνηση για να μεταβεί στην αριστερή λωρίδα με αποτέλεσμα να καταγράφεται στην πρώτη προσπάθεια σκορ 11. Τη δεύτερη και την τρίτη φορά που δοκίμασε να παίξει το παιχνίδι κατάφερε να συγκεντρωθεί και μπόρεσε να στρίψει αριστερά. Στην τέταρτη προσπάθεια το σκορ που σημείωσε ήταν 11, διότι κι αυτή τη φορά δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί η αριστερή κίνηση. Το ίδιο παρατηρείται να συμβαίνει και στις προσπάθειες 5,6,7 και 8. Στις δύο τελευταίες δοκιμές ο χρήστης μπόρεσε να ανακτήσει τον έλεγχο της κίνησης για τη μετάβαση στην αριστερή λωρίδα και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να καταγράψει στην τελευταία του προσπάθεια το μέγιστο σκορ του με τιμή 29.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	11
2	25
3	22
4	11
5	20
6	12
7	28
8	19
9	23
10	29

Πίνακας 6. Τα αποτελέσματα του Subject 2. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.

Subject 2



Σχήμα 7. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 2 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $1.07 \cdot x + 14.1$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

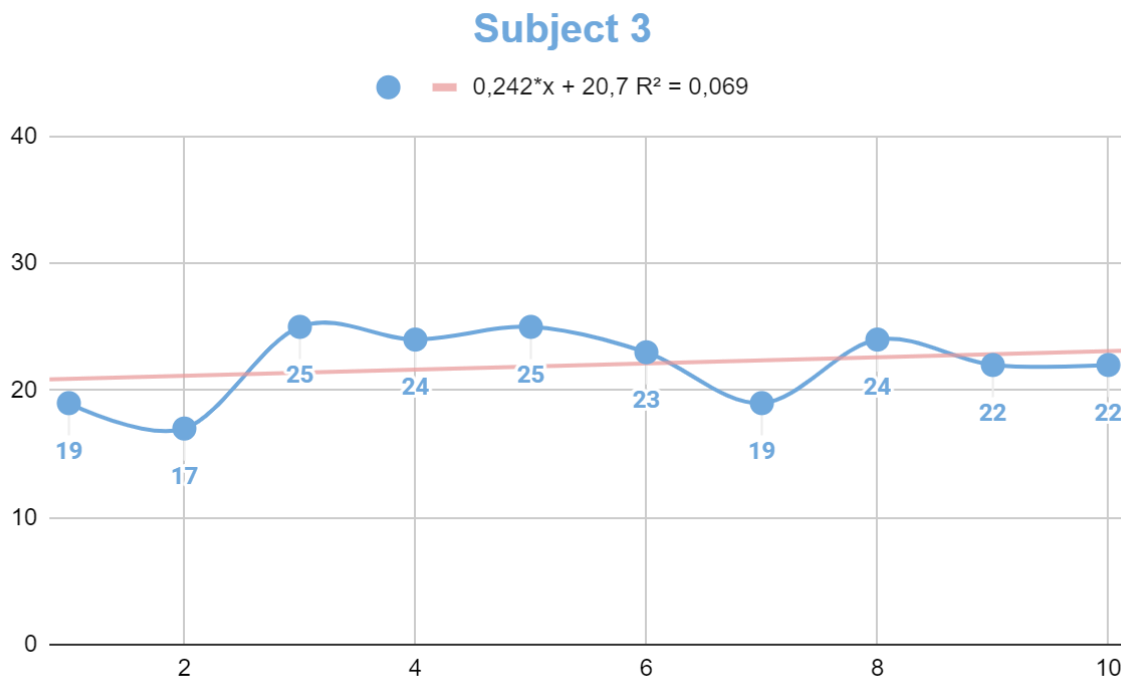
4.3.3 Εθελοντής 3

Οι προσπάθειες με τα σκορ του εθελοντή 3 παρατίθενται παρακάτω με τον **πίνακα 7** και το **σχήμα 8**. Ο χρήστης παρουσίασε απόδοση κατά μέσο όρο 22, με το μέγιστο σκορ με τιμή 25 να σημειώνεται στην τρίτη και την πέμπτη προσπάθεια και το ελάχιστο να σημειώνεται στη δεύτερη προσπάθεια με τιμή 17. Ειδικότερα, όπως μπορεί να παρατηρηθεί κι από τον **πίνακα 7** υπήρχαν αυξομειώσεις στις τιμές των σκορ. Στις πρώτες δύο δοκιμές ο παίκτης αδυνατούσε να στρίψει αριστερά, όποτε παρέμεινε κυρίως στη δεξιά λωρίδα της πίστας. Οι επόμενες δοκιμές βελτιώθηκαν, καθώς ο χρήστης κατάφερε να δώσει την νοητική εντολή για να στρίψει αριστερά με αποτέλεσμα να καταγραφεί ο μέγιστος αριθμός κερμάτων που συνέλεξε στις προσπάθειες 3 και 5. Στη συνέχεια, στην περίπτωση 7 καταγράφεται μια πτώση στον αριθμό των κερμάτων, η οποία είναι απόρροια της κόπωσης του χρήστη από την έντονη συγκέντρωση που χρειάστηκε να καταβάλει. Παρόλα αυτά, ο παίκτης εμφάνισε πρόοδο όπως μπορεί να φανεί κι από την θετική κλίση της ευθείας γραμμικής ποσόστωσης που ήταν 0.242.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	19
2	17
3	25

4	24
5	25
6	23
7	19
8	24
9	22
10	22

Πίνακας 7. Τα αποτελέσματα του Subject 3. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 8. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 3 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0,242 \cdot x + 20,7$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

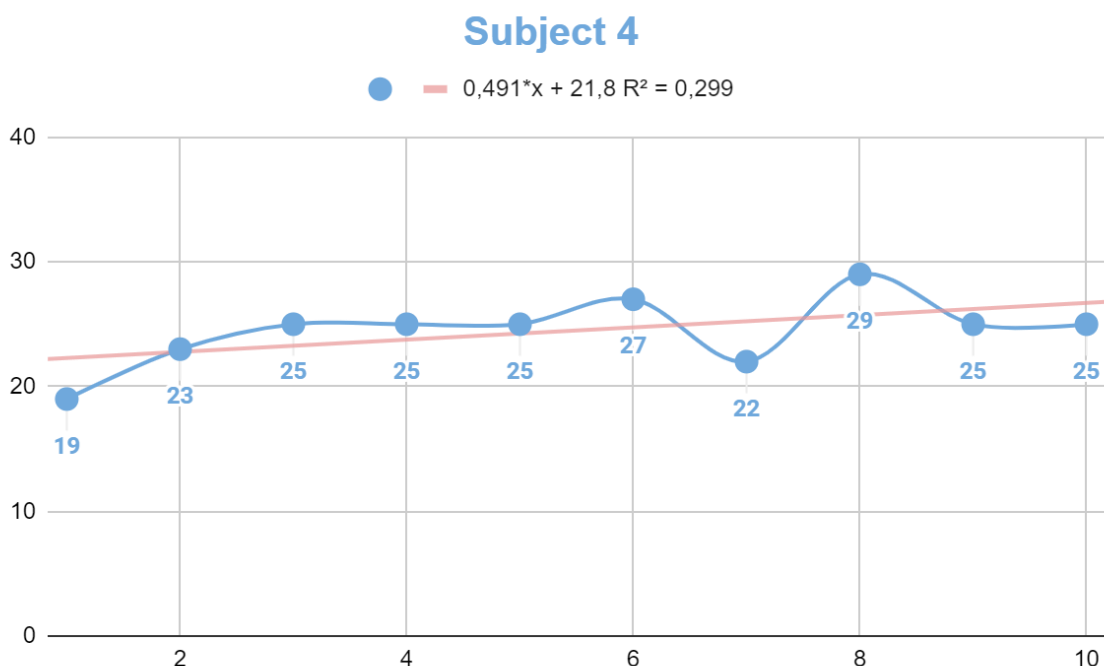
4.3.4 Εθελοντής 4

Τα αποτελέσματα του χρήστη 4 αποτυπώνονται στον **πίνακα 8** και η γραφική τους παράσταση απεικονίζεται στο **σχήμα 9**. Η απόδοση του χρήστη 4 κατά μέσο όρο ήταν 24.5. Στην πρώτη δοκιμή καταγράφηκε ο μικρότερος αριθμός νομισμάτων που συνέλεξε, ο οποίος ήταν 19. Αντίθετα, ο μεγαλύτερος αριθμός που καταγράφηκε ήταν το 29 στην όγδοη προσπάθεια. Σε γενικές γραμμές το Subject 4 μπορούσε να κατευθύνει το avatar του παιχνιδιού προς όλες τις κατευθύνσεις. Ιδιαίτερη δυσκολία, όμως, σημείωσε στην κίνηση του άλματος που αντιστοιχεί στο ανοιγοκλείσιμο των ματιών, καθώς δεν κατάφερε να συλλέξει σχεδόν σε καμία προσπάθεια τα κέρματα που

αντιστοιχούσαν σε αυτή την κίνηση. Στις πρώτες 6 δοκιμές ο παίκτης ήταν ιδιαίτερα προσηλωμένος κατά τη διεξαγωγή του παιχνιδιού, οπότε κατάφερε να σημειώσει και σταδιακή άνοδο στα αποτελέσματα των σκορ του με αποτέλεσμα να μαζέψει στην έκτη προσπάθεια 27 από τα 50 κέρματα. Στην έβδομη προσπάθεια, σημειώνεται πτώση στα κέρματα που συνέλεξε, γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί είτε σε κόπωση του χρήστη είτε σε διάσπαση της προσοχής του κατά την εκτέλεση της δεδομένης προσπάθειας. Στην επόμενη προσπάθεια, όμως, επανέκτησε τη συγκέντρωση του και σημείωσε το μεγαλύτερο σκορ του με τιμή 29. Στις δύο τελευταίες δοκιμές, σημειώνεται πάλι μία μείωση στα σκορ η οποία αποδίδεται στην κούραση που αισθάνθηκε ο χρήστης λόγω της συνεχούς συγκέντρωσης που κατέβαλε.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	19
2	23
3	25
4	25
5	25
6	27
7	22
8	29
9	25
10	25

Πίνακας 8. Τα αποτελέσματα του Subject 4. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 9. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 4 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0,491*x + 21,8$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

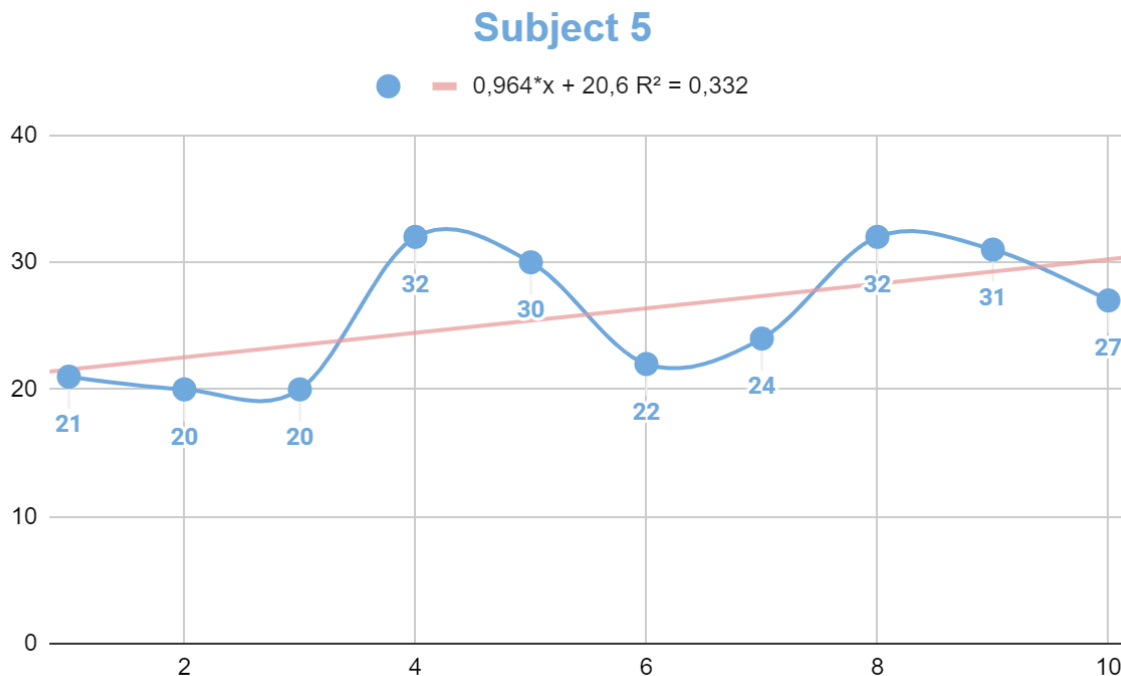
4.3.5 Εθελοντής 5

Στον **πίνακα 9** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που σημείωσε ο εθελοντής 5 κατά τη διάρκεια των 10 προσπαθειών που έπαιξε το παιχνίδι της διεπαφής. Στο **σχήμα 10** αναπαριστώνται με τη χρήση της ευθείας της γραμμικής ποσόστωσης τα αποτελέσματα των προσπαθειών του. Ο μέσος όρος των νομισμάτων που σύλλεξε ο χρήστης ήταν 25,9, με την καλύτερη απόδοση με 32 κέρματα έναντι των 50 να σημειώνεται στην τέταρτη και την όγδοη προσπάθεια και την χειρότερη με 20 στην δεύτερη. Τα αποτελέσματα του χρήστη διακρίνονται από αυξομειώσεις. Στις τρεις πρώτες περιπτώσεις, τα χαμηλά σκορ που προέκυψαν οφείλονται στην αδυναμία υλοποίησης της αριστερής κίνησης. Στις επόμενες δύο προσπάθειες, ο παίκτης κατάφερε να ανακτήσει τον έλεγχο και να δώσει με επιτυχία την εντολή για το αριστερά. Όπως, μπορεί να φανεί και στο **σχήμα 10** στις προσπάθειες 6 και 7, υπήρξε πτώση στο σκορ πράγμα που οφείλεται στην κούραση που διακατείχε τον χρήστη από την έντονη προσήλωση που απέδωσε με σκοπό την επίτευξη της αριστερής μετατόπισης. Μετά κατάφερε για ακόμα δύο προσπάθειες να στρίψει αριστερά, αλλά στην τελευταία προσπάθεια λόγω εξάντλησης του χρήστη σημειώθηκε μια μικρή πτώση στο σκορ.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	21
2	20
3	20

4	32
5	30
6	22
7	24
8	32
9	31
10	27

Πίνακας 9. Τα αποτελέσματα του Subject 5. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 10. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 5 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0,964 \cdot x + 20,6$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

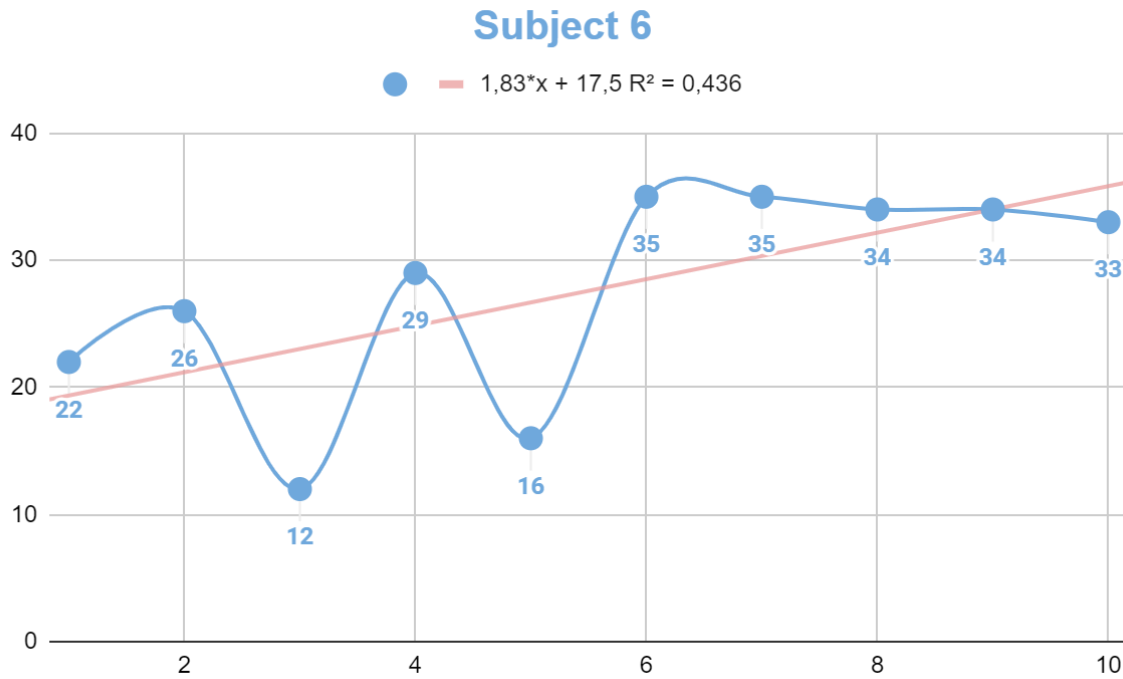
4.3.6 Εθελοντής 6

Ο **πίνακας 10** με τα αποτελέσματα των προσπαθειών του εθελοντή 6 παρατίθεται παρακάτω συνοδευόμενος από το **σχήμα 11**, όπου απεικονίζεται η γραφική παράσταση των σκορ συναρτήσει των προσπαθειών του. Ειδικότερα, ο χρήστης 6 κατά μέσο όρο είχε απόδοση 27.6, με την καλύτερη επίδοση με τιμή 35 να καταγράφεται στις προσπάθειες 6 και 7 και τη χειρότερη με τιμή 12 στην 3. Αρχικά, τις δύο πρώτες φορές που έπαιξε το παιχνίδι ο χρήστης κατάφερε να μετακινήσει σωστά το άβαταρ προς όλες τις κατευθύνσεις αν και παρατηρήθηκε ότι χρειάστηκε εντονότερη προσπάθεια για να καταφέρει να μεταβεί στην αριστερή λωρίδα. Στην τρίτη δοκιμή καταγράφηκε μια πτώση στο σκορ, η οποία ήταν αποτέλεσμα του λανθασμένου συγχρονισμού μεταξύ της εντολής που

πραγματοποιούσε ο χρήστης και της κίνησης που έπρεπε να γίνει για να συμβεί η μετάβαση στη σωστή λωρίδα. Ο χρήστης στην επόμενη προσπάθεια ανέκτησε τον έλεγχο και μπόρεσε να συντονίσει σωστά τις εντολές για τις κινήσεις που έπρεπε να κάνει το avatar του παιχνιδιού κι αυτό είχε ως επακόλουθο να βελτιωθεί το σκορ του. Στην πέμπτη προσπάθεια είτε λόγω κούρασης είτε λόγω λάθους συγχρονισμού σημείωσε ξανά μια πτώση στο σκορ του. Παρόλα αυτά, ο χρήστης επανήλθε στις επόμενες δύο δοκιμές συλλέγοντας συνολικά 35 από τα 50 κέρματα του παιχνιδιού και σημείωσε το μεγαλύτερο σκορ του. Στις τελευταίες τρεις προσπάθειες φαίνεται να υπάρχει μια μικρή πτώση στην στήλη των σκορ του **πίνακα 10**, η οποία οφείλεται στην κούραση του παίκτη. Συμπερασματικά, ο χρήστης διέθετε καλό έλεγχο της διεπαφής, καθώς όπως φαίνεται και στο **σχήμα 11** η ευθεία της γραμμικής ποσόστωσης είχε θετική κλίση και ήταν 1.83.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	22
2	26
3	12
4	29
5	16
6	35
7	35
8	34
9	34
10	33

Πίνακας 10. Τα αποτελέσματα του Subject 6. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 11. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 6 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $1,83 \cdot x + 17,5$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

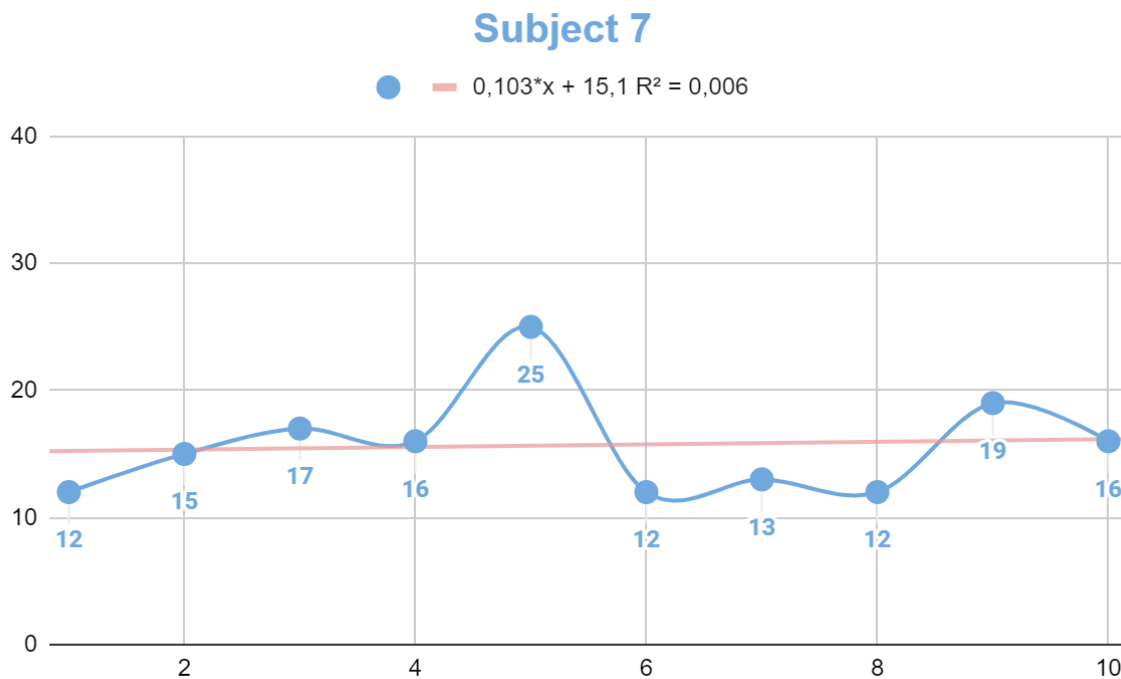
4.3.7 Εθελοντής 7

Τα σκορ του εθελοντή 7 που καταγράφηκαν κατά τη διεξαγωγή του πειράματος παρουσιάζονται στον **πίνακα 11** και αποτυπώνονται με τη χρήση γραφικής παράστασης στο **σχήμα 12**. Η απόδοση που σημείωσε ο χρήστης κατά μέσο όρο ήταν 15.7. Η μέγιστη τιμή του σκορ του ήταν το 25 και καταγράφηκε στην πέμπτη προσπάθεια, ενώ η ελάχιστη με τιμή 12 καταγράφηκε σε τρεις προσπάθειες και συγκεκριμένα στην 1, την 6 και την 8. Ο χρήστης 7 παρουσίασε αδυναμία ως προς τον έλεγχο της διεπαφής. Πιο αναλυτικά, ο συγκεκριμένος παίκτης δυσκολευόταν να υλοποιήσει την νοητική εντολή που αφορούσε την αριστερή κίνηση, με αποτέλεσμα να δεσμεύεται στην μετακίνηση μόνο στη δεξιά λωρίδα. Προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των συλλεγμένων κερμάτων υπήρξε η πρόταση να παραμείνει ο χρήστης στην μεσαία λωρίδα και να πραγματοποιεί την κίνηση του άλματος μέσω του ανοιγοκλεισίματος των ματιών. Η μέθοδος αυτή απέδωσε, καθώς στην πέμπτη προσπάθεια κατάφερε να συγκεντρώσει 25 κέρματα έναντι των 50 που υπήρχαν στην πίστα. Στις προσπάθειες που ακολούθησαν παρουσιάστηκε ελάττωση στον αριθμό των κερδισμένων κερμάτων, η οποία οφείλεται τόσο στην κόπωση του παίκτη από το συνεχές ανοιγοκλείσιμο των ματιών όσο και στο πρόβλημα που προέκυπτε με τον συγχρονισμό του άλματος και τη συλλογή των συστάδων των κερμάτων.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	12
2	15

3	17
4	16
5	25
6	12
7	13
8	12
9	19
10	16

Πίνακας 11. Τα αποτελέσματα του Subject 7. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 12. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 7 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0.103*x + 15$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

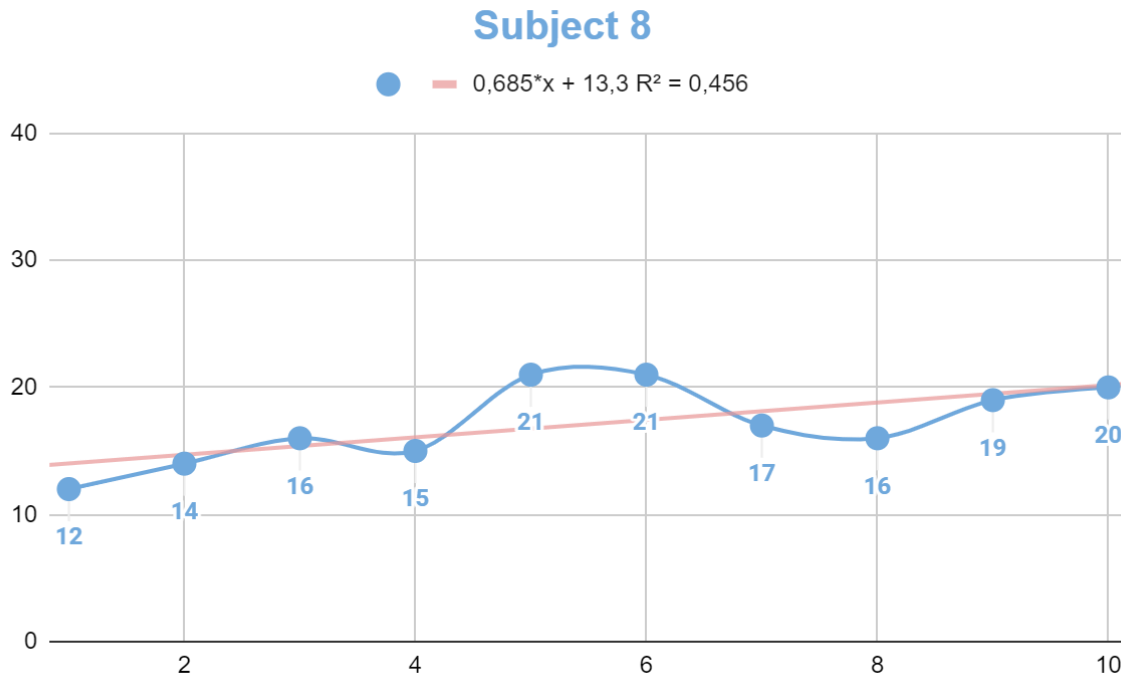
4.3.8 Εθελοντής 8

Τα σκορ των προσπαθειών του εθελοντή 8 προβάλλονται στον **πίνακα 12** και στο **σχήμα 13** απεικονίζεται η γραφική τους παράσταση. Ο μέσος όρος των σκορ που σημείωσε ο παίκτης ήταν 17.1. Το υψηλότερο σκορ που κατάφερε να καταγράψει ήταν το 21 στις προσπάθειες 5 και 6, ενώ το χαμηλότερο ήταν το 12 στην πρώτη προσπάθεια. Ο συμμετέχοντας παρατηρήθηκε να αδυνατεί να ελέγξει την διεπαφή. Αυτό είχε ως συνέπεια να σημειώσει χαμηλά σκορ κατά τη διάρκεια της

διεξαγωγής του πειράματος. Ιδιαίτερη δυσκολία έδειξε ως προς την αριστερή μετατόπιση, γεγονός που τον περιόριζε στον δεξιό διάδρομο της πίστας. Η τεχνική που προτάθηκε να υλοποιηθεί, ήταν να μετακινηθεί στον μεσαίο διάδρομο και να πραγματοποιεί συνεχόμενα άλματα προκειμένου να μαζέψει όσο το δυνατόν περισσότερα νομίσματα μπορεί. Η διαδικασία αυτή ήταν αποτελεσματική, καθώς στην πέμπτη και έκτη προσπάθεια κατάφερε να μαζέψει 21 κέρματα. Ωστόσο, στις επόμενες δύο προσπάθειες παρουσίασε μείωση στο σκορ, η οποία μπορεί να συνέβη είτε εξαιτίας της κούρασης που ενδεχομένως να αισθάνθηκε ο παίκτης είτε λόγω του λάθους συγχρονισμού που μπορεί να υπήρξε σε σχέση με το άλμα και τη συστάδα των κερμάτων της πίστας. Παρόλα αυτά, στις δύο τελευταίες δοκιμές κατάφερε να ανασυνταχθεί και να βελτιώσει το σκορ του.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	12
2	14
3	16
4	15
5	21
6	21
7	17
8	16
9	19
10	20

Πίνακας 12. Τα αποτελέσματα του Subject 8. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 13. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 8 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0,685 \cdot x + 13,3$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

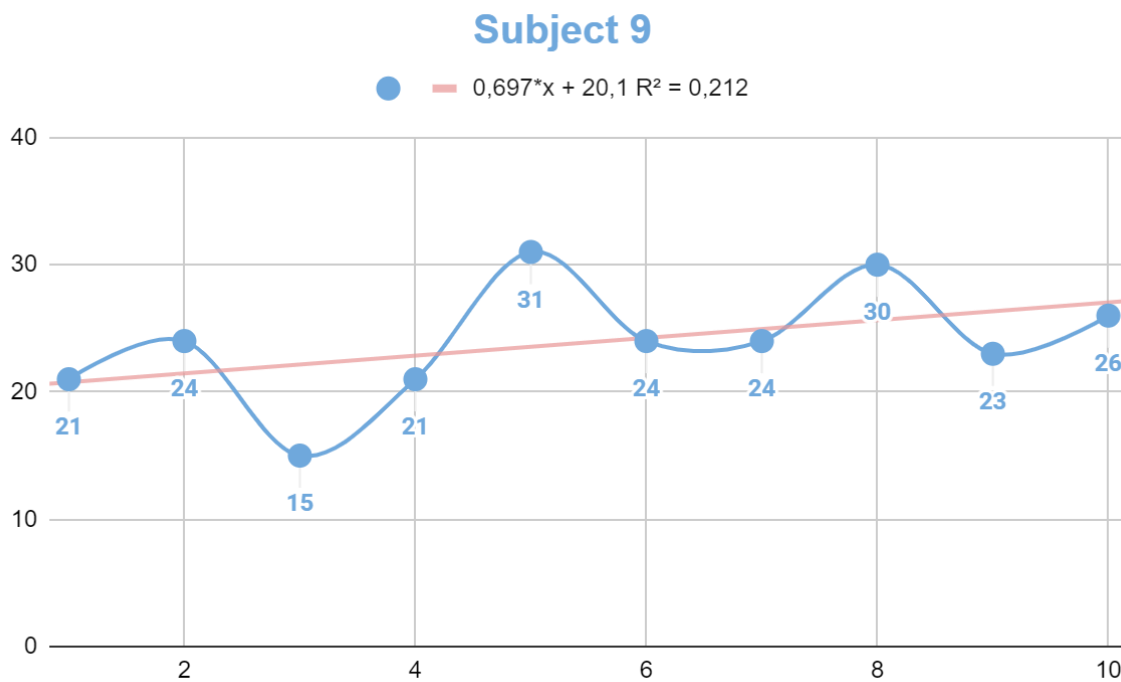
4.3.9 Εθελοντής 9

Στον **πίνακα 13** περιέχονται τα σκορ που συγκέντρωσε το Subject 9 και στο **σχήμα 14** αποτυπώνονται γραφικά τα αποτελέσματα των προσπαθειών του. Η απόδοση του χρήστη 9 κατά μέσο όρο ήταν 23.9 με την καλύτερη επίδοση να καταγράφεται με τιμή 31 στην πέμπτη προσπάθεια, ενώ η χειρότερη ήταν η τρίτη όπου κατάφερε να συλλέξει 15 από τα 50 κέρματα. Ο χρήστης 9 διέθετε την ικανότητα να μετακινεί το avatar του παιχνιδιού προς όλες τις κατευθύνσεις. Όπως μπορεί να προκύψει κι από το **σχήμα 14**, τα αποτελέσματα που απέφερε κατά τη διάρκεια του πειράματος χαρακτηρίζονται από συνεχείς αυξομειώσεις. Το γεγονός αυτό μπορεί να συνέβη λόγω κόρασης που πιθανόν να ένιωθε ο χρήστης κατά τη διαδικασία των δοκιμών. Επίσης, ο παίκτης ενδεχομένως σε κάποιες περιπτώσεις να αφοσιωνόταν πλήρως προκαλώντας έτσι βελτίωση στις τιμές των αποτελεσμάτων του, ενώ αντίθετα σε άλλες να μην πρόσφερε την ίδια ενέργεια συγκέντρωσης με αποτέλεσμα να σημειώνονται πτώσεις στο σκορ. Ωστόσο, όπως φαίνεται και στο **σχήμα 14**, η κλίση της ευθείας τη γραμμικής ποσόστωσης ήταν ανοδική και είχε τιμή 0.697 γεγονός που δείχνει την βελτίωση του παίκτη όσον αφορά τον έλεγχο της διεπαφής.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	21
2	24

3	15
4	21
5	31
6	24
7	24
8	30
9	23
10	26

Πίνακας 13. Τα αποτελέσματα του Subject 9. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 14. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 9 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0,697*x + 20,1$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

4.3.10 Εθελοντής 10

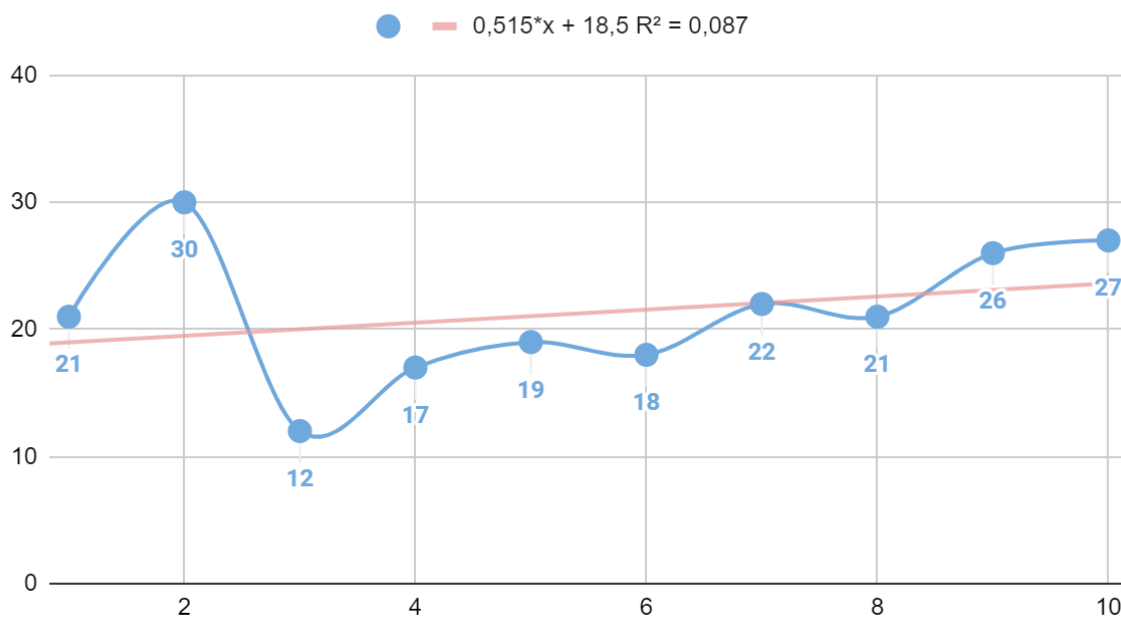
Στην δεύτερη στήλη του **πίνακα 14** αναγράφονται τα αποτελέσματα των προσπαθειών του εθελοντή 10 και αναπαριστώνται γραφικά στο **σχήμα 15**. Ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων του ήταν 21.3. Η καλύτερη απόδοση που είχε ο χρήστης 10 ήταν το 30 και επιτεύχθηκε στη δεύτερη προσπάθεια, ενώ η χειρότερη ήταν το 12 που σημειώθηκε στην τρίτη προσπάθεια. Ο συγκεκριμένος παίκτης εμφάνισε ιδιαίτερη δυσκολία ως προς τη νοητική εντολή για τη δεξιά κίνηση. Παρόλα αυτά, ο συμμετέχοντας στις πρώτες δύο προσπάθειες κατάφερε να σημειώσει αρκετά υψηλά σκορ, καταγράφοντας στη δεύτερη προσπάθεια του κιόλας την καλύτερη του

επίδοση. Στην επόμενη δοκιμή, όμως, όπως μπορεί να φανεί και στο **σχήμα 15** υπάρχει μια μεγάλη πτώση στα καταγραφόμενα σκορ, η οποία οφείλεται στη δυσχέρεια του χρήστη να μετακινήσει το άβαταρ προς τη δεξιά κατεύθυνση. Έπειτα, ο παίκτης κατάφερε να ανακτήσει τον έλεγχο της διεπαφής χωρίς όμως να ξεπεράσει την μέγιστη απόδοση του. Όπως φαίνεται και στον **πίνακα 14** τα σκορ του παίκτη αυξάνονται μέχρι το τέλος των προσπαθειών με εξαίρεση τις προσπάθειες 6 και 8, όπου σημειώνεται μια μικρή πτώση η οποία αποδίδεται στην κόπωση που ενδεχομένως να αισθάνθηκε ο χρήστης.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	21
2	30
3	12
4	17
5	19
6	18
7	22
8	21
9	26
10	27

Πίνακας 14. Τα αποτελέσματα του Subject 10. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.

Subject 10



Σχήμα 15. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 10 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0,515 \cdot x + 18,5$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

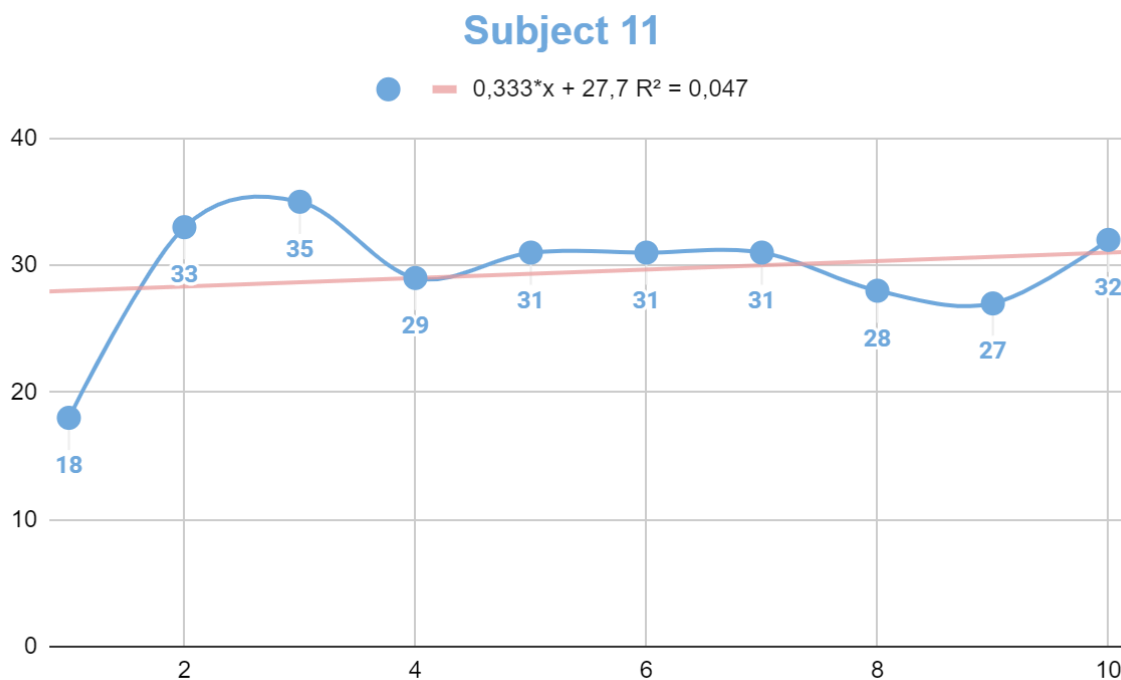
4.3.11 Εθελοντής 11

Τα σκορ του εθελοντή 11 παρατίθενται παρακάτω με τη χρήση του **πίνακα 15** και απεικονίζονται γραφικά στο **σχήμα 16**. Ο μέσος όρος των σκορ του παίκτη 11 ήταν 29.4. Ο μέγιστος αριθμός κερμάτων που κατάφερε να συλλέξει ο χρήστης ήταν το 35 στην προσπάθεια 3 και ο ελάχιστος ήταν το 18 και καταγράφηκε στην πρώτη προσπάθεια. Ο παίκτης 11 διέθετε από την αρχή καλό έλεγχο της διεπαφής και ήταν ικανός να μετακινήσει το avatar προς όλες τις κατευθύνσεις που έπρεπε να ακολουθήσει μέχρι να τερματίσει την πίστα. Όπως φαίνεται και στο **σχήμα 16** μεταξύ των προσπαθειών 1 και 2 υπάρχει ραγδαία αύξηση στα σκορ, η οποία συνεχίζεται και στην τρίτη προσπάθεια σε μικρότερο βαθμό. Στην τέταρτη δοκιμή παρατηρείται μια μείωση στην τιμή των κερμάτων που συλλέχθηκαν, η οποία μπορεί να αποδοθεί είτε σε διάσπαση της προσοχής του χρήστη είτε σε λάθος συγχρονισμό. Ωστόσο, ο χρήστης κατάφερε να επανέλθει και να σημειώσει στις 3 επόμενες δοκιμές αρκετά υψηλά σκορ. Στην όγδοη και την ένατη προσπάθεια, λόγω κόπωσης του χρήστη και κατά συνέπεια έλλειψης της προσήλωσης του καταγράφηκαν ακόμη δύο πτώσεις στο σκορ. Όμως, στην τελευταία προσπάθεια ο εθελοντής μπόρεσε να ανακτήσει την συγκέντρωσή του και να συλλέξει 32 από τα συνολικά 50 κέρματα.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	18
2	33
3	35

4	29
5	31
6	31
7	31
8	28
9	27
10	32

Πίνακας 15. Τα αποτελέσματα του Subject 11. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 16. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 11 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0,333*x + 27,7$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

4.3.12 Εθελοντής 12

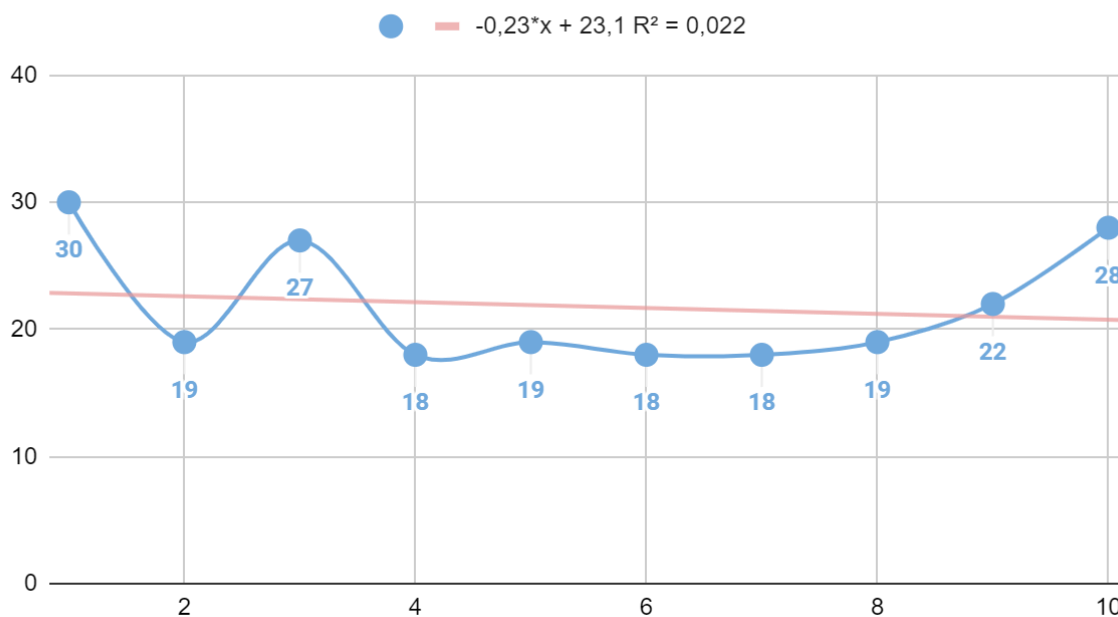
Ο **πίνακας 16** περιέχει τα σκορ που κατέγραψε το Subject 12. Η απόδοση του χρήστη κατά μέσο όρο ήταν 21.8, με το μέγιστο αριθμό κερμάτων με τιμή 30 να αποκτάται στην πρώτη προσπάθεια και τον ελάχιστο με τιμή 18 να καταγράφεται σε τρεις προσπάθειες και συγκεκριμένα στην 4, την 6 και την 7. Αρχικά, στην πρώτη δοκιμή ο χρήστης κατάφερε να σημειώσει την καλύτερη επίδοση του με τιμή 30. Στην επόμενη προσπάθεια, όμως, μπόρεσε να συλλέξει μόνο 19 από τα 50 συνολικά κέρματα, γεγονός που αποδόθηκε στην αδυναμία καθοδήγησης του avatar προς την αριστερή λωρίδα της πίστας, αλλά και την έλλειψη συγκέντρωσης του συμμετέχοντα. Επομένως, προτάθηκε στον χρήστη να προσπαθήσει να μετακινηθεί στη μεσαία λωρίδα και με την κίνηση του

άλματος που πρόεκυψε από το ανοιγοκλείσιμο των ματιών να παραμείνει σε αυτή. Η μέθοδος αυτή φάνηκε να αποδίδει, αφού ο συμμετέχοντας μπόρεσε να μαζέψει 27 κέρματα στην τρίτη προσπάθεια. Ωστόσο, στις επόμενες πέντε δοκιμές τα σκορ του μειώθηκαν αισθητά καταγράφοντας στις τρεις από αυτές την χειρότερη απόδοση του. Στις δύο τελευταίες προσπάθειες, τα σκορ του βελτιώθηκαν χωρίς όμως να ξεπερνούν την τιμή 30 που αποτελούσε την καλύτερη του επίδοση. Στο **σχήμα 17**, μπορεί να φανεί η δυσκολία που αντιμετώπισε ο χρήστης ως προς την αποτελεσματική καθοδήγηση του avatar του παιχνιδιού, καθώς η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης είναι καθοδική κι έχει αρνητική κλίση με τιμή -0.23 .

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	30
2	19
3	27
4	18
5	19
6	18
7	18
8	19
9	22
10	28

Πίνακας 16. Τα αποτελέσματα του Subject 12. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.

Subject 12



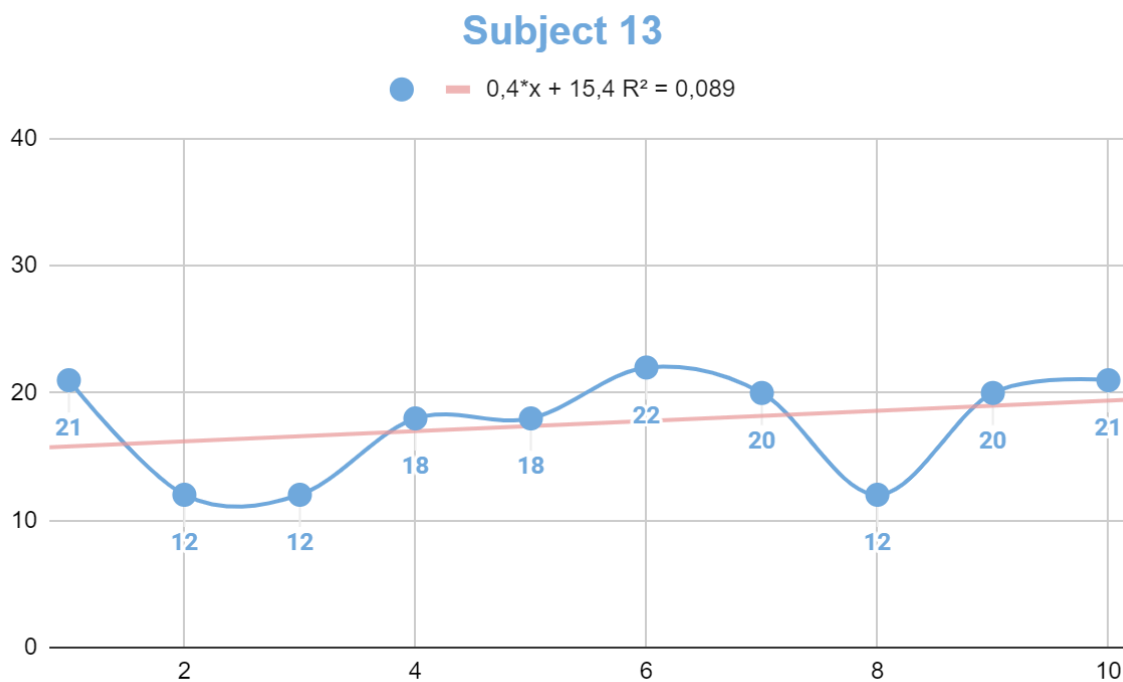
Σχήμα 17. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 12 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $-0,23 \cdot x + 23,1$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

4.3.13 Εθελοντής 13

Παρακάτω παρατίθεται ο **πίνακας 17**, ο οποίος περιλαμβάνει τα σκορ των προσπαθειών του Subject 13 και στο **σχήμα 18** αναπαριστώνται γραφικά. Ο μέσος όρος των κερμάτων που σύλλεξε ο χρήστης 13 στις δέκα προσπάθειες του πειράματος ήταν 17,6. Ο μεγαλύτερος αριθμός κερμάτων που κατέγραψε ήταν το 22 στην έκτη προσπάθεια, ενώ ο μικρότερος ήταν το 12 στις προσπάθειες 2,3 και 8. Αρχικά, στην πρώτη προσπάθεια ο χρήστης κατάφερε να υλοποιήσει σωστά τις νοητικές εντολές του παιχνιδιού, συλλέγοντας με αυτό τον τρόπο έναν ικανοποιητικό αριθμό κερμάτων. Στις επόμενες δύο προσπάθειες παρουσίασε δυσκολία ως προς την αριστερή μετατόπιση του εικονιδίου του παιχνιδιού, γεγονός που τον περιόρισε στον δεξιό διάδρομο με συνέπεια να καταγράψει μικρό σκορ. Η μέθοδος που είχε υποδειχθεί και σε προηγούμενους συμμετέχοντες που είχαν αντιμετωπίσει το ίδιο θέμα προτάθηκε και στον χρήστη 13. Ειδικότερα, η τεχνική που συμβουλευτήκε να ακολουθηθεί ήταν να μετακινηθεί στον μεσαίο διάδρομο και μέσω της αναπήδησης που ήταν αποτέλεσμα του ανοιγοκλεισίματος των ματιών να συλλέξει όσο το δυνατόν περισσότερα κέρματα μπορεί. Χάρη σε αυτή τη διαδικασία, στις επόμενες τρεις δοκιμές τα σκορ του παίκτη παρουσίασαν βελτίωση και στην έκτη δοκιμή κατάφερε να σημειώσει το υψηλότερο σκορ του. Στην προσπάθεια που ακολούθησε υπήρξε μια μικρή μείωση στον αριθμό των κερμάτων, η οποία αποδίδεται σε λάθος συγχρονισμό της αναπήδησης. Στην όγδοη δοκιμή, όμως, ο χρήστης κατέγραψε μια μεγάλη πτώση η οποία μπορεί να οφείλεται είτε σε κόπωση που ενδεχομένως να αισθάνθηκε από το συνεχές ανοιγοκλείσιμο των ματιών είτε να συνέβη κάποιο λάθος συγχρονισμού. Παρόλα αυτά στις προσπάθειες 9 και 10 ο χρήστης επανήλθε και βελτίωσε τα αποτελέσματα του.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	21
2	12
3	12
4	18
5	18
6	22
7	20
8	12
9	20
10	21

Πίνακας 17. Τα αποτελέσματα του Subject 13. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 18. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 13 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0,4 \cdot x + 15,4$ που αποτελεί την γραμμική ποσότωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

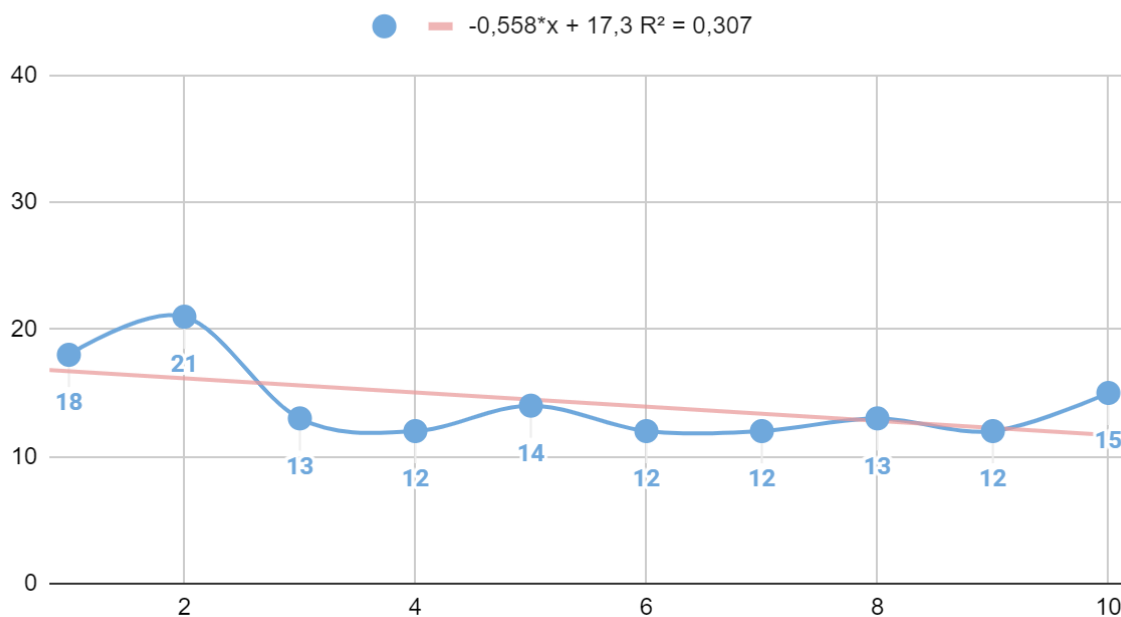
4.3.14 Εθελοντής 14

Ο πίνακας 18 περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των προσπαθειών του εθελοντή 14, τα οποία αναπαριστώνται γραφικά στο **σχήμα 19**. Η απόδοση του παίκτη 14 κατά μέσο όρο ήταν 14.2, με την υψηλότερη βαθμολογία με τιμή 21 να σημειώνεται στη δεύτερη προσπάθεια και την κατώτερη με τιμή 12 να καταγράφεται στις προσπάθειες 4,6,7 και 9. Στον συγκεκριμένο χρήστη εξ αρχής παρατηρήθηκε η αδυναμία που είχε ως προς την καθοδήγηση του avatar του παιχνιδιού, εμφανίζοντας ιδιαίτερη δυσκολία στην δεξιά κίνηση. Στις δύο πρώτες δοκιμές ο χρήστης κατάφερε να μαζέψει έναν αρκετά καλό αριθμό νομισμάτων κατευθύνοντας βέβαια με δυσκολία, αλλά αποτελεσματικά το avatar προς όλες τις κατευθύνσεις. Όμως, από την τρίτη προσπάθεια κι έπειτα οι τιμές των αποτελεσμάτων του κυμαινόντουσαν μεταξύ 12 με 15, με το 12 να αποτελεί τον κατώτερο βαθμό επίδοσης του. Στον παίκτη 14 είχε προταθεί να μετατοπιστεί στην μεσαία λωρίδα της πίστας και να πραγματοποιεί την κίνηση της αναπήδησης ούτως ώστε να συλλέξει περισσότερα νομίσματα. Βέβαια, η τεχνική αυτή δεν απέδωσε και δεν υπήρξε κάποια αύξηση στα σκορ. Όπως φαίνεται κι από το **σχήμα 19** ο χρήστης δεν κατάφερε να εξοικειωθεί με την διεπαφή καταγράφοντας με αυτό τον τρόπο μια καθοδική ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, η οποία είχε αρνητική κλίση.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	18
2	21
3	13
4	12
5	14
6	12
7	12
8	13
9	12
10	15

Πίνακας 18. Τα αποτελέσματα του Subject 14. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.

Subject 14



Σχήμα 19. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 14 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $-0,558*x + 17,3$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

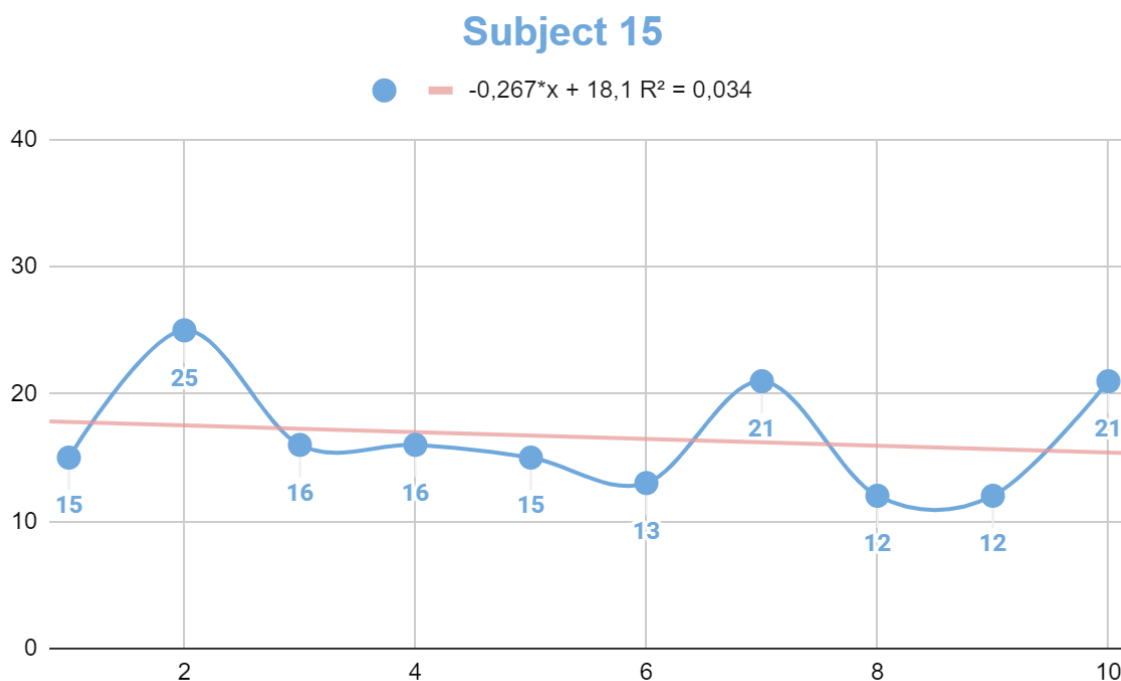
4.3.15 Εθελοντής 15

Παρακάτω παρουσιάζεται ο **πίνακας 19**, ο οποίος περιέχει το σύνολο των αποτελεσμάτων που έλαβε το Subject 15 κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος και απεικονίζονται με τη βοήθεια της ευθείας γραμμικής ποσόστωσης στο **σχήμα 20**. Η γενική απόδοση του δέκατου πέμπτου συμμετέχοντα ήταν 16.6. Ο μεγαλύτερος αριθμός κερμάτων που συγκέντρωσε ο χρήστης ήταν το 25 στην δεύτερη προσπάθεια, ενώ ο χειρότερος ήταν το 12 στην όγδοη και την ένατη προσπάθεια. Ο συγκεκριμένος παίκτης, όπως μπορεί να προκύψει κι από τα αποτελέσματα του δεν διέθετε επαρκώς τον έλεγχο της διεπαφής. Πιο αναλυτικά, ο χρήστης διατηρούσε κυρίως χαμηλά σκορ τα οποία κυμαινόντουσαν μεταξύ των τιμών 12 έως 16. Ο λόγος που συνέβη αυτό είναι επειδή ο εθελοντής παρουσίασε έντονη δυσκολία ως προς τη δεξιά κίνηση. Παρόλο που του προτάθηκε να υλοποιήσει την τεχνική της μεσαίας λωρίδας σε συνδυασμό με την κίνηση του άλματος που είχαν εφαρμόσει και προηγούμενοι συμμετέχοντες, ο χρήστης 15 έδειξε αδυναμία στην κίνηση της αναπήδησης. Αυτό είχε ως επόμενο να περιορίζεται κυρίως στον αριστερό διάδρομο και να λαμβάνει σχετικά μικρό αριθμό κερμάτων. Στις περιπτώσεις 2, 7 και 10, όπου σημειώθηκαν οι αυξήσεις των σκορ του ο χρήστης παρατηρήθηκε να είναι πλήρως συγκεντρωμένος και να πραγματοποιεί την δεξιά μετατόπιση βελτιώνοντας έτσι τα αποτελέσματα του.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	15

2	25
3	16
4	16
5	15
6	13
7	21
8	12
9	12
10	21

Πίνακας 19. Τα αποτελέσματα του Subject 15. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 20. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 15 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $-0.267*x + 18.1$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

4.3.16 Εθελοντής 16

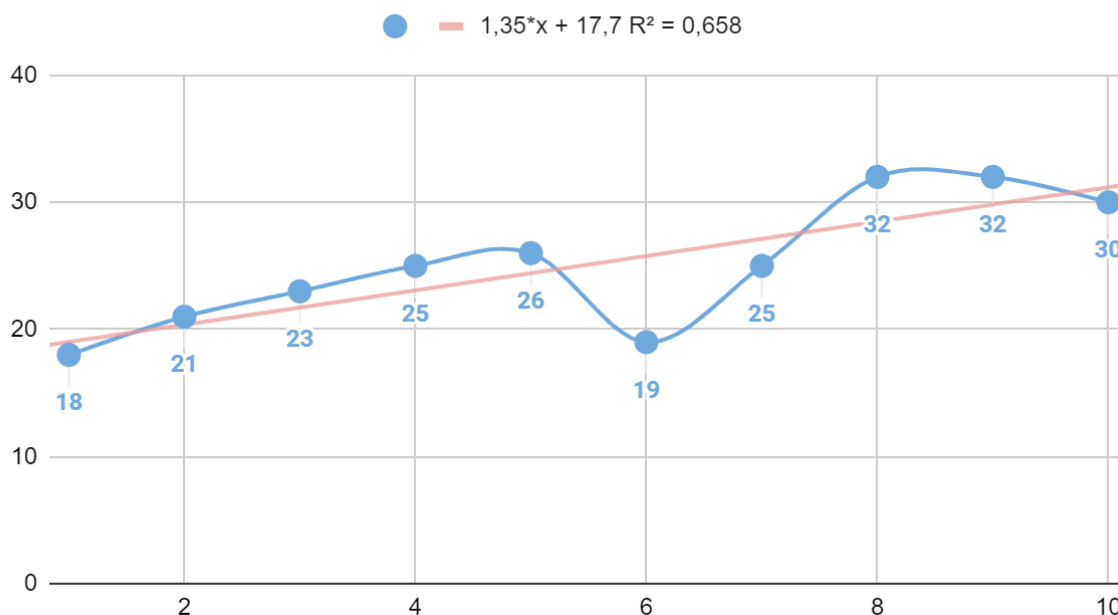
Στον **πίνακα 20** που παρατίθεται παρακάτω έχουν καταγραφεί τα σκορ των προσπαθειών που έλαβε το Subject 16 και στο **σχήμα 21** απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματά του. Η κατά μέσο όρο απόδοση που πέτυχε ο χρήστης 16 ήταν 25. Στις προσπάθειες 8 και 9 κατέγραψε την καλύτερη

επίδοση του η οποία ήταν το 32, ενώ η χειρότερη επίδοση του με τιμή 18 σημειώθηκε στην προσπάθεια 1. Μελετώντας τον **πίνακα 20** μπορεί να γίνει αντιληπτή η εξοικείωση που είχε ο χρήστης σε σχέση με τη διεπαφή εγκεφάλου -υπολογιστή. Συγκεκριμένα, παρατηρείται από τα αποτελέσματα των σκορ του ότι στις πρώτες πέντε προσπάθειες ο παίκτης βελτιώνεται συνεχώς. Όμως, κατά τη διεξαγωγή της έκτης δοκιμής υπήρξε μια σημαντική μείωση στον αριθμό των κερδισμένων κερμάτων, αφού ο παίκτης κατάφερε να συλλέξει 19 από τα 50 συνολικά κέρματα. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην κούραση που πιθανότατα να αισθάνθηκε ο χρήστης και αυτό να είχε ως συνέπεια να μειωθεί η προσήλωσή του. Στη συνέχεια, κατάφερε να πραγματοποιήσει υψηλά σκορ σημειώνοντας στις προσπάθειες 8 και 9 την καλύτερη του επίδοση. Στην τελευταία προσπάθεια υπήρξε μια σχετικά μικρή διακύμανση σε σχέση με τις προηγούμενες δύο δοκιμές, η οποία μπορεί να αποδοθεί στην κόπωση που ενδεχομένως να ένιωσε ο χρήστης.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	18
2	21
3	23
4	25
5	26
6	19
7	25
8	32
9	32
10	30

Πίνακας 20. Τα αποτελέσματα του Subject 16. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.

Subject 16



Σχήμα 21. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 16 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $1.35 \cdot x + 17.7$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

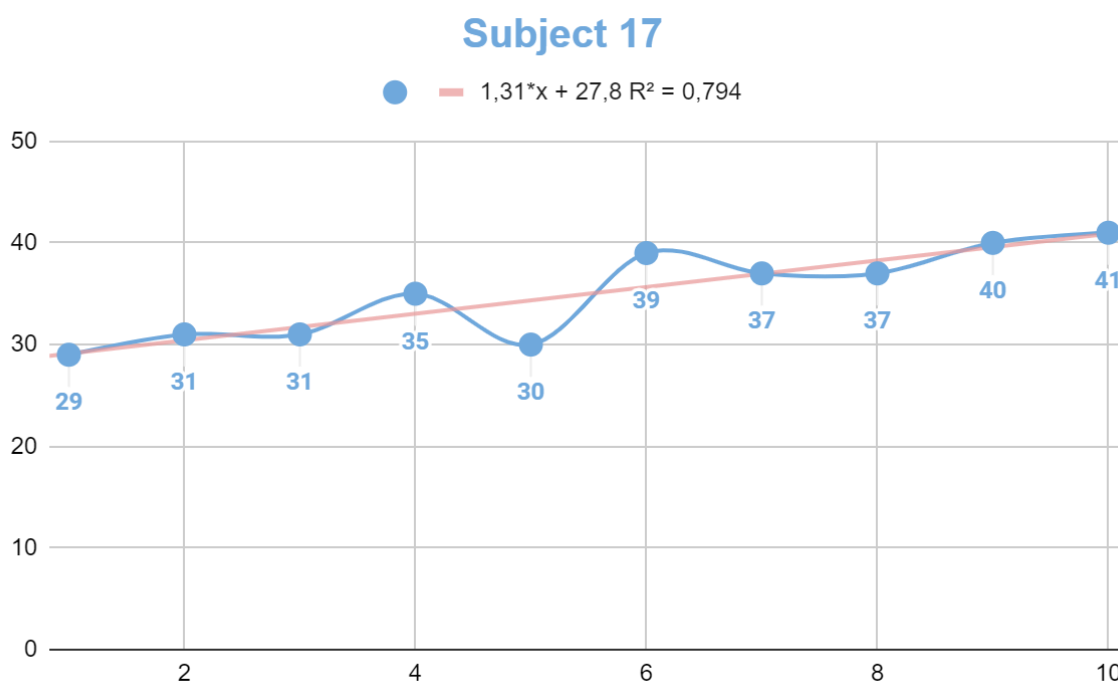
4.3.17 Εθελοντής 17

Τα σκορ των 10 προσπαθειών του εθελοντή 17 αποτυπώνονται στον **πίνακα 21** και απεικονίζονται γραφικά στο **σχήμα 22**. Ο χρήστης 17 κατείχε την καλύτερη κατά μέσο όρο απόδοση σε σχέση με όλους τους υπόλοιπους εθελοντές που έλαβαν μέρος στο πείραμα, αφού είχε κατά μέσο όρο σκορ 35. Η καλύτερη του επίδοση σημειώθηκε κατά τη διεξαγωγή της τελευταίας προσπάθειας μιας και κατάφερε να συλλέξει 41 από τα 50 συνολικά νομίσματα του παιχνιδιού. Αντίθετα, η χειρότερη προσπάθεια του παίκτη ήταν η πρώτη, όπου σημείωσε σκορ 29. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί κι από τον **πίνακα 21** κατά τη διάρκεια των τεσσάρων πρώτων δοκιμών ο χρήστης παρουσίασε μια συνεχή βελτίωση. Όμως, στην πέμπτη προσπάθεια το σκορ του μειώνεται κατά 5 κέρματα, γεγονός που αποδίδεται είτε σε κάποιο λάθος συγχρονισμού είτε σε διάσπαση προσοχής του παίκτη για σχετικά μικρή χρονική περίοδο. Στη δοκιμή που ακολούθησε κατάφερε να ανακτήσει τη συγκέντρωση του και να επανέλθει συλλέγοντας 39 από τα 50 νομίσματα. Έπειτα, λόγω κόπωσης που αισθάνθηκε ο χρήστης τα σκορ στις προσπάθειες 7 και 8 παρουσίασαν μια μικρή μείωση συγκριτικά με την έκτη δοκιμή. Παρόλα αυτά, ο χρήστης 17 βελτιώθηκε στις τελευταίες δύο φορές που έπαιξε το παιχνίδι και κατόρθωσε να ολοκληρώσει το πείραμα λαμβάνοντας το υψηλότερο του σκορ με τιμή 41 στην τελευταία προσπάθεια.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	29
2	31

3	31
4	35
5	30
6	39
7	37
8	37
9	40
10	41

Πίνακας 21. Τα αποτελέσματα του Subject 17. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



Σχήμα 22. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 17 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $1,31 \cdot x + 27,8$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-50 το σκορ.

4.3.18 Εθελοντής 18

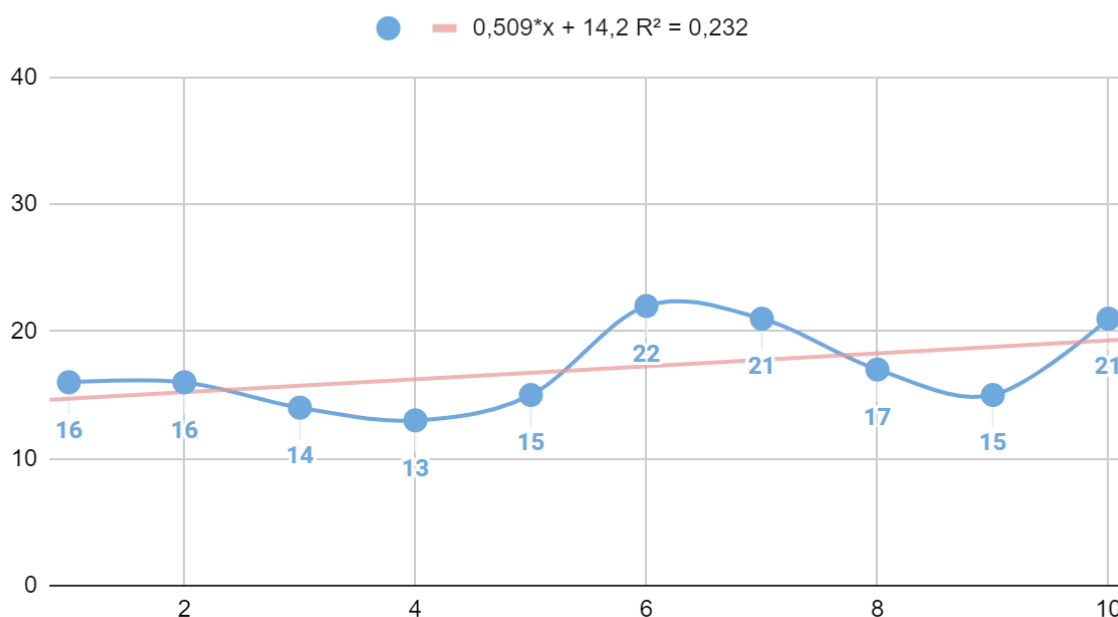
Ο **πίνακας 22** περιλαμβάνει τα σκορ των 10 προσπαθειών του Subject 18 και το **σχήμα 23** που ακολουθεί τα αποτυπώνει γραφικά. Η απόδοση του χρήστη 18 κατά μέσο όρο ήταν 17, με την καλύτερη του επίδοση με τιμή 22 να καταγράφεται στην έκτη προσπάθεια και την χειρότερη με τιμή 13 να καταγράφεται στην τέταρτη. Ο συγκεκριμένος παίκτης αδυνατούσε να ελέγξει με επιτυχία τη διεπαφή, αφού όπως μπορεί να φανεί κι από τον πίνακα των σκορ του τα αποτελέσματα

του δεν ακολουθούσαν μια συγκεκριμένη πορεία, αλλά παρουσίαζαν αυξομειώσεις. Αυτές μπορεί να οφείλονται είτε σε κόπωση είτε σε αδυναμία του χρήστη να καταβάλει τον ίδιο βαθμό συγκέντρωσης σε όλες τις προσπάθειες του πειράματος. Επομένως, το αποτέλεσμα ήταν να καταγράφονται αυξημένα σκορ στις περιπτώσεις που υπήρχε υψηλή συγκέντρωση, ενώ αντίθετα στις περιπτώσεις που ήταν λιγότερο προσηλωμένος μειωνόταν ο αριθμός των κερμάτων που σύλλεγε. Παρόλα αυτά, όπως προκύπτει κι από το **σχήμα 23** ο χρήστης παρουσίασε βελτίωση όσον αφορά τον έλεγχο της διεπαφής, αφού η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης ήταν ανοδική και είχε κλίση 0.509.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	16
2	16
3	14
4	13
5	15
6	22
7	21
8	17
9	15
10	21

Πίνακας 22. Τα αποτελέσματα του Subject 18. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.

Subject 18



Σχήμα 23. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 18 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $0,509 \cdot x + 14,2$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

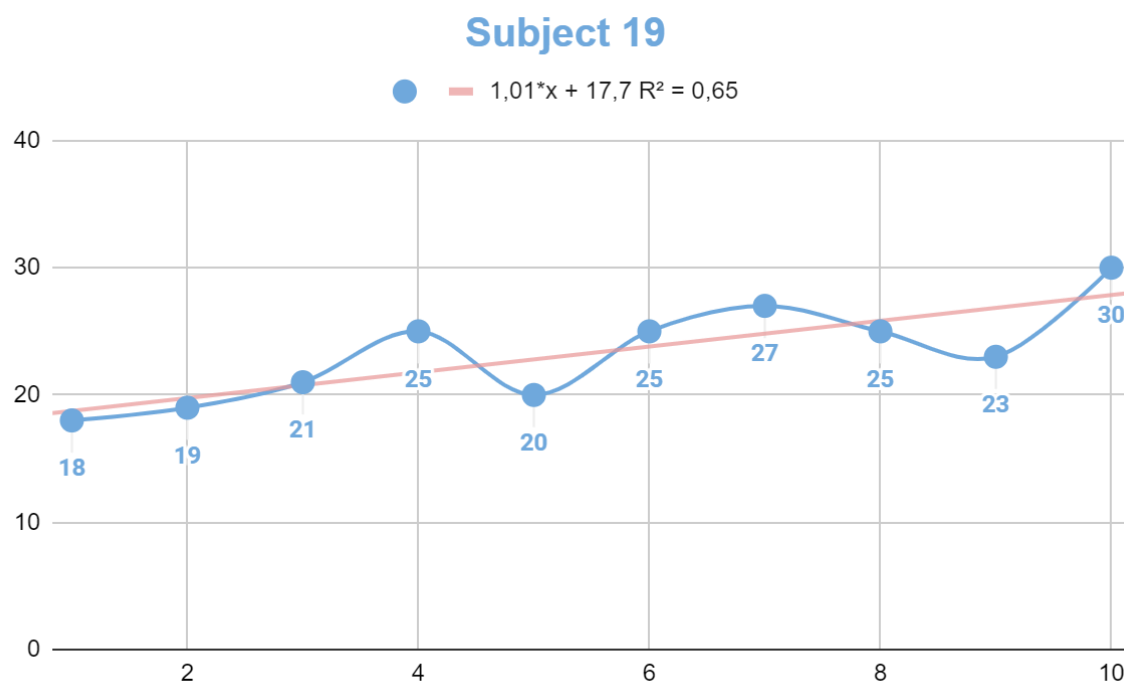
4.3.19 Εθελοντής 19

Τα σκορ των 10 προσπαθειών στις οποίες έλαβε μέρος ο εθελοντής 19 καταγράφονται στον **πίνακα 23** κι αναπαριστώνται γραφικά στο **σχήμα 24**. Ο μέσος όρος των κερμάτων που κατάφερε να συλλέξει ο χρήστης ήταν 23.3. Η καλύτερη του προσπάθεια ήταν η τελευταία στην οποία σημείωσε σκορ 30, ενώ η χειρότερη ήταν η πρώτη με σκορ 18. Ο χρήστης 19 έδειξε εξ αρχής ότι διέθετε επαρκώς τον έλεγχο της διεπαφής, αφού όπως μπορεί να φανεί κι από τον **πίνακα 23** τα σκορ του στις τέσσερις πρώτες προσπάθειες συνεχώς αυξάνονται. Στην πέμπτη δοκιμή υπήρξε μια μείωση στον αριθμό των κερμάτων που κατάφερε να συλλέξει ο παίκτης, η οποία μπορεί να αποδοθεί σε διάσπαση της προσοχής του για σχετικά μικρή χρονική περίοδο. Στις δύο επόμενες προσπάθειες, όμως, κατάφερε να ανακτήσει και πάλι τη συγκέντρωση του και να επανέλθει στην καταγραφή αυξημένων σκορ. Βέβαια, στις προσπάθειες 8 και 9 σημείωσε πτώση στα σκορ του, η οποία αυτή τη φορά αποδίδεται στην κούραση του παίκτη από τις συνεχείς προσπάθειες του πειράματος. Τέλος, στην δέκατη και τελευταία προσπάθεια ο χρήστης 19 κατάφερε να συγκεντρώσει 30 από τα συνολικά 50 κέρματα του παιχνιδιού καταγράφοντας έτσι την υψηλότερη του επίδοση. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί κι από το **σχήμα 24** συμμετέχοντας είχε καλό έλεγχο της διεπαφής, καθώς η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης είχε θετική κλίση 1.01.

Αριθμός Προσπάθειας	Σκορ
1	18

2	19
3	21
4	25
5	20
6	25
7	27
8	25
9	23
10	30

Πίνακας 23. Τα αποτελέσματα του Subject 19. Η αριστερή στήλη αναφέρεται στον αριθμό προσπάθειας και η δεξιά στο σκορ.



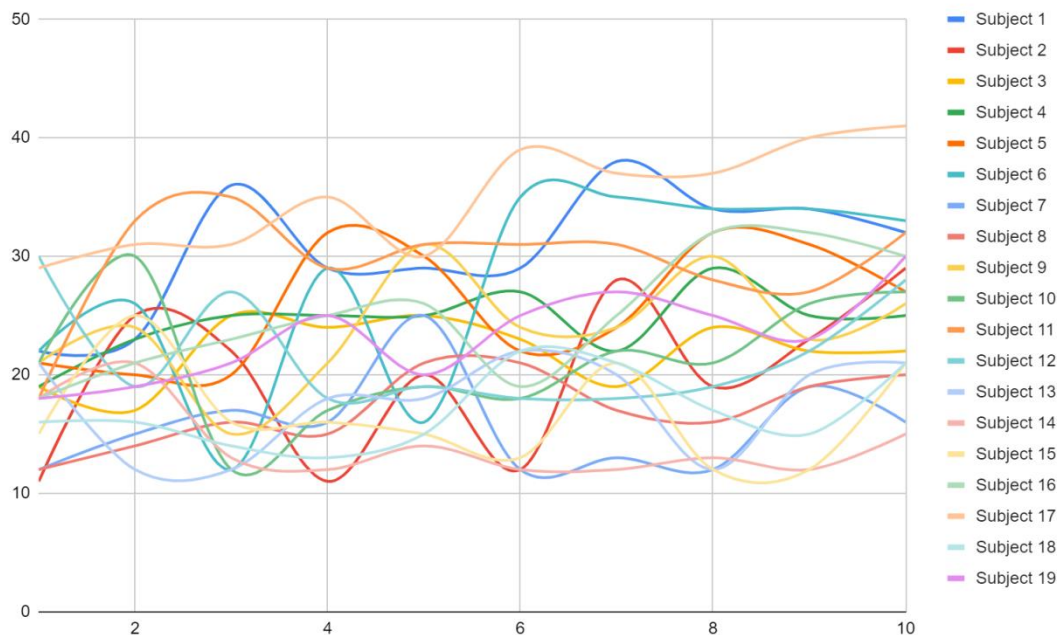
Σχήμα 24. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που επιτεύχθηκαν από το Subject 19 συναρτήσει των προσπαθειών (μπλε γραμμή) και απεικόνιση της εξίσωσης $1.01*x + 17.7$ που αποτελεί την γραμμική ποσόστωση (ροζ γραμμή). Ο άξονας x με εύρος 0-10 αναπαριστά τον αριθμό της προσπάθειας, ενώ ο άξονας y με εύρος 0-40 το σκορ.

4.4 Ομαδικά Αποτελέσματα

Τα ομαδικά αποτελέσματα των εθελοντών που έλαβαν μέρος στη διεξαγωγή του πειράματος της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή θα παρουσιαστούν σε αυτή την ενότητα. Συγκεκριμένα, στον **πίνακα 24** απεικονίζονται οι μέσοι όροι των 19 χρηστών που έπαιξαν το παιχνίδι της διεπαφής. Όπως, μπορεί να φανεί κι από το **σχήμα 25** τον καλύτερο μέσο όρο με τιμή 35 κατείχε ο παίκτης 17, ενώ αντίθετα τον χειρότερο με τιμή 14.2 είχε ο παίκτης 14. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το Subject 17 εκτός από την καλύτερη επίδοση, κατάφερε να συλλέξει και τον μεγαλύτερο αριθμό κερμάτων σε σχέση με τους υπόλοιπους παίκτες αφού μπόρεσε να συγκεντρώσει στην δέκατη του προσπάθεια 41 από τα 50 συνολικά κέρματα του παιχνιδιού.

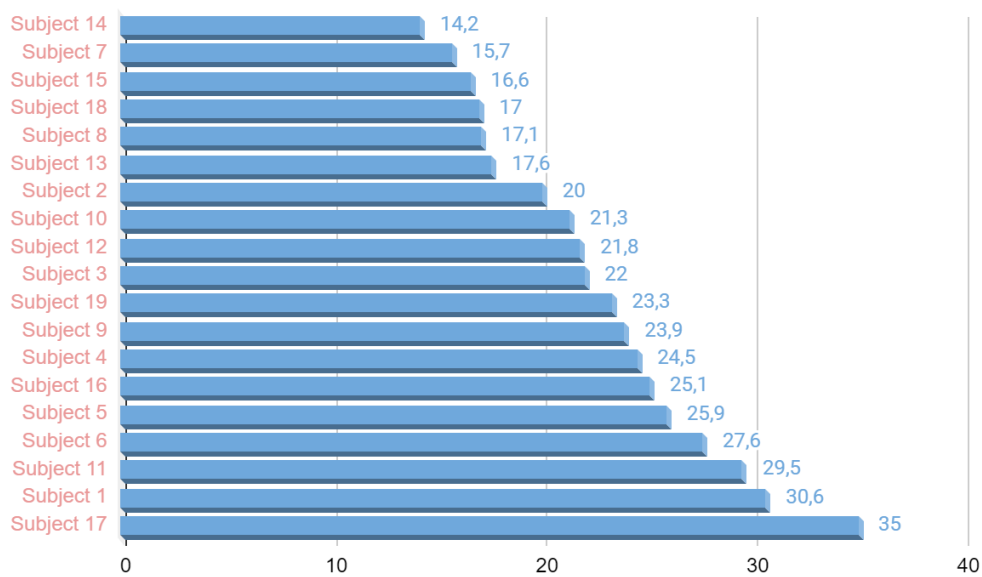
Subject	Μέσος όρος
1	30.6
2	20
3	22
4	24.5
5	25.9
6	27.6
7	15.7
8	17.1
9	23.9
10	21.3
11	29.5
12	21.8
13	17.6
14	14.2
15	16.6
16	25.1
17	35
18	17
19	23.3

Πίνακας 24. Ομαδικά Αποτελέσματα Παιχνιδιού. Αντιστοιχία μεταξύ του παίκτη και του μέσου όρου των σκορ που προέκυψε από τις 10 προσπάθειες του παιχνιδιού.

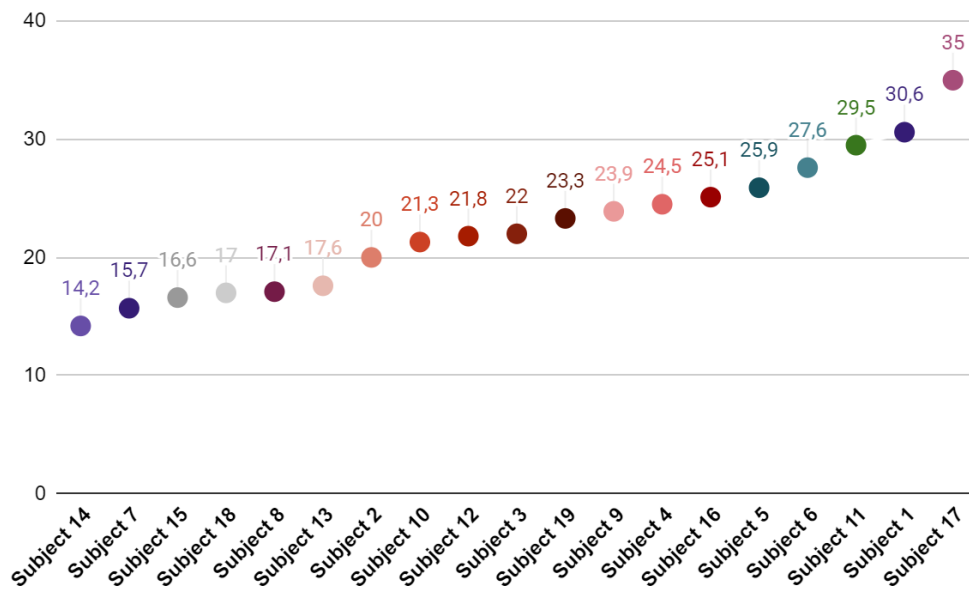


Σχήμα 25. Ομαλό γράφημα γραμμών για την απεικόνιση των 10 σκορ που κατέγραψαν οι 19 συμμετέχοντες.

Στο **σχήμα 26** με τη χρήση ράβδων και στο **σχήμα 27** με τη χρήση γραμμής που ακολουθούν παραθέτονται κατά αύξουσα σειρά τα αποτελέσματα των μέσων όρων των σκορ των 19 εθελοντών του πειράματος. Οι τιμές των αποτελεσμάτων κυμαίνονται από 14.2 μέχρι 35. Όπως, αναφέρθηκε και προηγουμένως την χαμηλότερη επίδοση είχε το Subject 14 με μέσο όρο 14.2. Ακολούθησαν οι παίκτες 7 και 15 με μέσο όρο 15.7 και 16.6 αντίστοιχα. Οι επόμενοι τρεις παίκτες που καταγράφονται είναι οι 18, 8 και 13, των οποίων οι μέσοι όροι ήταν πολύ κοντινοί αφού σημείωσαν τιμές 17, 17.1 και 17.6. Στη συνέχεια, για το διάστημα 20-22 έπονται τέσσερις συμμετέχοντες και συγκεκριμένα οι 2, 10, 12 και 3 με επιμέρους σκορ 20, 21.3, 21.8 και 22. Οι παίκτες 19, 9 και 4 σημειώνονται αμέσως μετά με τιμές 23.3, 23.9 και 24.5 αντίστοιχα. Έπειτα, για τις δειγματικές μέσες τιμές των παικτών που κατάφεραν να συλλέξουν πάνω από τα μισά κέρματα του παιχνιδιού, δηλαδή πάνω από 25, καταγράφονται οι παίκτες 16, 5, 6 και 11 έχοντας μέσο όρο 25.1, 25.9, 27.6 και 29.5. Τέλος, τις δύο καλύτερες προσπάθειες σημείωσαν οι συμμετέχοντες 1 και 7, έχοντας απόδοση 30.6 και 35 αντίστοιχα.



Σχήμα 26. Απεικόνιση κατά αύξουσα σειρά των μέσων όρων των σκορ που συγκέντρωσαν οι 19 εθελοντές με τη χρήση γραφήματος ράβδων.



Σχήμα 27. Απεικόνιση κατά αύξουσα σειρά των μέσων όρων των σκορ που συγκέντρωσαν οι 19 εθελοντές με τη χρήση γραφήματος γραμμής.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα Πειραματικής Μελέτης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο “Ανάπτυξη διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή με χρήση φορέσιμου ηλεκτροεγκεφαλογράφου” αναπτύχθηκε ένα τρισδιάστατο παιχνίδι διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή το οποίο διέθετε τρεις διαφορετικές νοητικές εντολές. Το παιχνίδι υλοποιήθηκε στην μηχανή παιχνιδιών Unity Engine και η ανάπτυξη της διεπαφής έγινε με την πλατφόρμα OpenVibe. Η καταγραφή των ακατέργαστων σημάτων πραγματοποιήθηκε μέσω της ασύρματης συσκευής ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος INSIGHT της εταιρείας EMOTIV και για τη σύνδεση των σημάτων με την πλατφόρμα της διεπαφής έγινε χρήση του πρωτοκόλλου LSL.

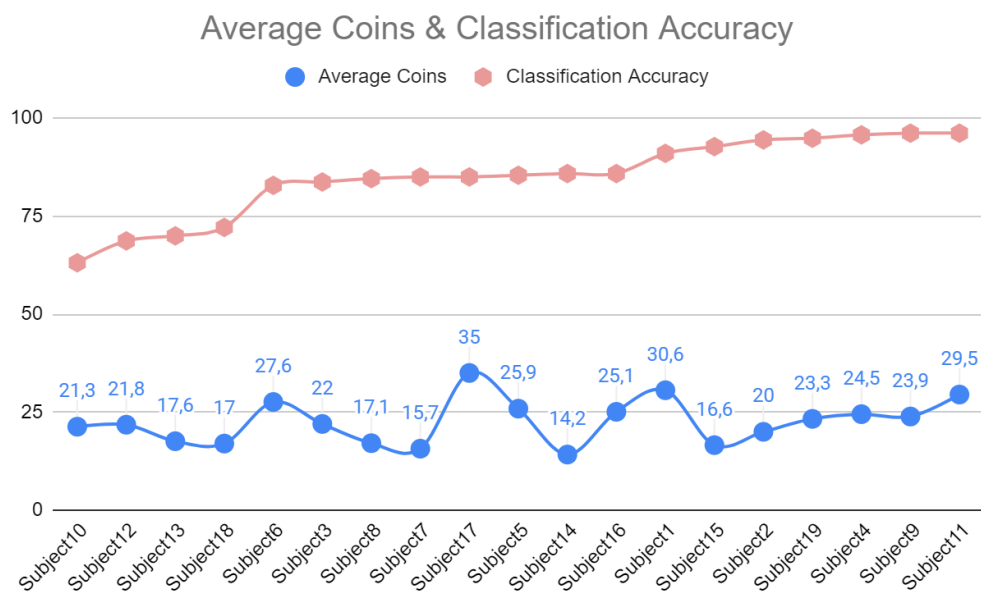
Στο πείραμα έλαβαν μέρος συνολικά 19 εθελοντές εκ των οποίων οι 7 ήταν γυναίκες και οι υπόλοιποι 12 άντρες και οι ηλικίες τους κυμαίνονταν μεταξύ 19-26 έτων. Ο στόχος του παιχνιδιού ήταν να συλλέξει ο χρήστης όσα πιο πολλά κέρματα μπορούσε χρησιμοποιώντας τις νοητικές εντολές για την μετακίνηση του στην πίστα. Αρχικά, δόθηκαν 10 δοκιμαστικές προσπάθειες στους χρήστες οι οποίες δεν θα καταγράφονταν και θα τους βοηθούσαν να εξοικειωθούν με το περιβάλλον του παιχνιδιού. Αφού πραγματοποιήθηκε αυτή η διαδικασία οι χρήστες ήταν πλέον σε θέση να ελέγχουν το avatar του παιχνιδιού. Παρατηρήθηκε ότι η πλειοψηφία των εθελοντών μπορούσε να ελέγχει ικανοποιητικά το avatar, αλλά υπήρξαν και ορισμένοι χρήστες που αντιμετώπισαν ιδιαίτερη δυσκολία στη χρήση είτε της αριστερής είτε της δεξιάς νοητικής εντολής. Ωστόσο, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη μελέτη είναι αρκετά ενθαρρυντικά για περαιτέρω μελλοντική έρευνα όσον αφορά την ανάπτυξη παιχνιδιών διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή.

Στην συγκεκριμένη πειραματική μελέτη για την ταξινόμηση των ΗΕΓ δεδομένων στις τρεις κατηγορίες για τις νοητικές εντολές του παιχνιδιού χρησιμοποιήθηκε ο ταξινομητής Ανάλυσης Γραμμικής Διάκρισης (LDA). Στον **πίνακα 25** παραθέτονται ο μέσος όρος των κερμάτων που κατάφερε να συλλέξει ο κάθε χρήστης κατά τη διάρκεια των 10 προσπαθειών του πειράματος, αλλά και το ποσοστό της ακρίβειας ταξινόμησης των σημάτων του. Στο **σχήμα 28** απεικονίζονται κατά αύξουσα σειρά της στήλης της ακρίβειας ταξινόμησης, η γραμμή της ακρίβειας ταξινόμησης και η γραμμή των μέσων όρων των κερμάτων που συγκέντρωσε ο κάθε χρήστης. Μελετώντας το **σχήμα 28**, παρατηρείται ότι παρόλο που το Subject 14 σημείωσε την χειρότερη απόδοση κατά τη διεξαγωγή του παιχνιδιού, την μικρότερη τιμή όσον αφορά την ακρίβεια ταξινόμησης είχε το Subject 10. Παρόμοια, παρότι το Subject 17 κατείχε το μέγιστο μέσο όρο των σκορ, το μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας ταξινόμησης κατάφερε να καταγράψει το Subject 11. Συμπερασματικά, μέσω της παρούσας εργασίας γίνεται αντιληπτό ότι η ακρίβεια ταξινόμησης αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που ενδέχεται να επηρεάζει την απόδοση των παικτών στο παιχνίδι BCI. Ωστόσο, η

σχέση μεταξύ της απόδοσης του χρήστη και της ακρίβειας ταξινόμησης είναι πολύπλοκη και επηρεάζεται κι από άλλους παράγοντες όπως είναι το επίπεδο εμπειρίας του παίκτη με παιχνίδια διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή, ο εξωτερικός θόρυβος και η κούραση που ενδεχομένως να αισθάνεται ο χρήστης κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

Subject	Average Coins	Classification Accuracy
1	30,6	90,99
2	20	94,42
3	22	83,69
4	24,5	95,71
5	25,9	85,41
6	27,6	82,83
7	15,7	84,98
8	17,1	84,55
9	23,9	96,14
10	21,3	63,09
11	29,5	96,14
12	21,8	68,67
13	17,6	69,96
14	14,2	85,84
15	16,6	92,70
16	25,1	85,84
17	35	84,98
18	17	72,10
19	23,3	94,85

Πίνακας 25. Αποτελέσματα μέσου όρου κερμάτων και ακρίβειας ταξινόμησης του κάθε εθελοντή.



Σχήμα 28. Απεικόνιση κατά αύξουσα σειρά των αποτελεσμάτων της ακρίβειας ταξινόμησης, της γραμμής του μέσου όρου των κερμάτων που σύλλεξε ο κάθε εθελοντής και της γραμμής της ακρίβειας ταξινόμησης των HEG δεδομένων του.

5.2 Συγκριτική Μελέτη

Σε αυτή την ενότητα, θα πραγματοποιήσουμε μια ολοκληρωμένη σύγκριση μεταξύ της μελέτης μας και άλλων σχετικών ερευνητικών μελετών από την παγκόσμια βιβλιογραφία. Η σύγκριση αυτή θα διευκολυνθεί με την επισήμανση των βασικών χαρακτηριστικών, τα οποία συνοψίζονται στον **πίνακα 26**. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν τον αριθμό των εθελοντών που συμμετέχουν σε κάθε μελέτη, τις επαναλήψεις που εκτελούνται ανά συμμετέχοντα κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, τη συσκευή καταγραφής δεδομένων ΗΕΓ που χρησιμοποιείται, τον αριθμό των νοητικών εντολών, το χρόνο που απαιτείται για την πειραματική διαδικασία και τις μετρικές που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Αυτή η δομημένη προσέγγιση αποσκοπεί στην παροχή σαφούς κατανόησης του τρόπου με τον οποίο η μελέτη μας βασίζεται, αλλά ταυτόχρονα διαφοροποιείται από την υπάρχουσα έρευνα στον τομέα.

Συγγραφείς	Χρονιά	Εθελοντές	Επαναλήψεις ανά συμμετέχοντα	Συσκευή	Νοητικές εντολές	Χρονική Διάρκεια	Μετρικές Αξιολόγησης
Prapas et al. [52].	2022	33	20	Muse 2	3	-	Μέση βαθμολογία παιχνιδιού (55.3%) Μέσος αριθμός συστάδων (59%), Μέση βελτίωση του χρήστη
Pires et al. [53].	2011	2	-	g.tec Cap (12 electrodes)	2	>30'	Ακρίβεια Ταξινόμησης 70% (αριστερά) 75% (δεξιά)
Bonnet et al. [54].	2013	20	4	GAMMA Cap (έως 16 electrodes)	2	~30'	Μέση Ακρίβεια Ταξινόμησης 71.3% Ποσοτικό

				s)			Ερωτηματολόγιο
Alchalabi et al. [55].	2017	4	-	Emotiv Eproc+	2	-	Μέση βελτίωση Δέσμευσης (10,25%) και Εστίασης (8,25%)
Queiroz et al. [56].	2018	2	-	Emotiv Insight	2	-	Βαθμολογία Δεξιότητας των 2 Ενεργειών (hot, cold)
Ντέτσκα [57].	2023	17	20	Muse 2	3	55'	Ακρίβεια Ταξινόμησης LDA (98.17%) Ακρίβεια Ταξινόμησης Percepton (95.5%) Μέσος όρος σκορ (59%)
Παρούσα Διπλωματική	2023	19	20	Emotiv Insight	3	60'	Ακρίβεια Ταξινόμησης LDA (80.64%) Μέσος όρος σκορ (45.2%)

Πίνακας 26. Σύγκριση ελεγχόμενων παιχνιδιών διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή

Παρόλο που είναι δύσκολο να γίνει ακριβής σύγκριση μεταξύ της παρούσας διατριβής και των μελετών που παρατίθενται στον **πίνακα 26**, είναι δυνατόν να εξαχθούν ικανοποιητικά συμπεράσματα. Η πρόκληση αυτή απορρέει από διάφορους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως είναι ο διαφορετικός εξοπλισμός, ο διαφορετικός αριθμός συμμετεχόντων και οι διαφορετικές μετρικές αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται.

Στη μελέτη του Πράπα έλαβαν μέρος συνολικά 33 εθελοντές. Η μελέτη επικεντρώθηκε στην καταγραφή των ΗΕΓ δεδομένων για τις 3 γνωστικές εντολές του παιχνιδιού με τη χρήση της συσκευής Muse 2. Κάθε συμμετέχων έπρεπε να παίξει το παιχνίδι συνολικά 20 φορές. Ωστόσο, μόνο οι βαθμολογίες από 10 από αυτές τις προσπάθειες καταγράφηκαν για σκοπούς αξιολόγησης. Οι μετρικές αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη ήταν η μέση βαθμολογία παιχνιδιού (55.3%), ο μέσος αριθμός συστάδων (59%) και η μέση βελτίωση του χρήστη.

Η μελέτη του Pires περιελάμβανε τη συμμετοχή δύο εθελοντών σε ένα παιχνίδι διεπαφής εμπνευσμένο από το Tetris. Τα σήματα ΗΕΓ καταγράφηκαν με τη χρήση συσκευής 12 ηλεκτροδίων g.tec Cap. Ο χρόνος εκπαίδευσης για τις δύο νοητικές εντολές αριστερά και δεξιά ήταν 30 λεπτά, ενώ η ακριβής διάρκεια της εντός σύνδεσης επεξεργασίας δεν καθορίστηκε, καθώς εξαρτιόταν από την απόδοση του κάθε εθελοντή. Η μετρική αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ακρίβεια ταξινόμησης, με ποσοστό 75% για τη δεξιά εντολή και 70% για την αριστερή εντολή.

Όσον αφορά τη μελέτη του Bonnet, η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε δύο διαφορετικές εφαρμογές, όπου η μία ήταν προσαρμοσμένη για μεμονωμένους χρήστες και η άλλη προοριζόταν για πολλαπλούς χρήστες. Σε αυτή τη συγκριτική ανάλυση, η εστίαση θα επικεντρωθεί στην εφαρμογή του ενός χρήστη. Στο πείραμα συμμετείχαν συνολικά 20 εθελοντές, στους οποίους φορέθηκε η συσκευή GAMMACap 16 ηλεκτροδίων. Η πειραματική διαδικασία διήρκεσε περίπου μισή ώρα, στην οποία πραγματοποιήθηκαν 3 συνεδρίες, με την πρώτη να αποτελεί τη συνεδρία εκπαίδευσης του χρήστη για τις νοητικές εντολές δεξιά και αριστερά. Οι μετρικές αξιολόγησης του συγκεκριμένου πειράματος ήταν η μέση ακρίβεια ταξινόμησης (71.3%) και το ποσοτικό ερωτηματολόγιο που δόθηκε στους εθελοντές.

Στην μελέτη του Alchalabi δημιουργήθηκε ένα σοβαρό παιχνίδι για τη βελτίωση της συγκέντρωσης ατόμων με ΔΕΠΥ. Στο πείραμα αυτό, συμμετείχαν 4 υγιείς εθελοντές, στους οποίους φορέθηκε η συσκευή Eroc+ της εταιρείας Emotiv ούτως ώστε να καταγραφούν τα ΗΕΓ σήματα τους. Οι χρήστες εκπαιδεύτηκαν για δύο νοητικές εντολές, όπου η μία ήταν για την κατάσταση της “ώθησης” κι ο χρήστης έπρεπε να σκέφτεται την κίνηση προς τα εμπρός και η άλλη ήταν η “ουδέτερη” στην οποία ο χρήστης θα έπρεπε να βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια μέση βελτίωση της τάξης του 10% στη δέσμευση και 8% στην εστίαση.

Ο Queiroz στην μελέτη του δημιούργησε ένα παιχνίδι διεπαφής εμπνευσμένο από το παιχνίδι “Καυτό” και “Κρύο”. Τα ΗΕΓ δεδομένα των 2 συμμετεχόντων που έλαβαν μέρος στο πείραμα πάρθηκαν από τη συσκευή που χρησιμοποιείται και στην παρούσα διπλωματική, δηλαδή την Emotiv INSIGHT. Οι νοητικές εντολές που υλοποιήθηκαν ήταν η κίνηση προς τα εμπρός για την ενέργεια “Καυτό” και η περιστροφή του ρομπότ της έρευνας γύρω από τον εαυτό του για την ενέργεια “Κρύο”. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με βάση τη βαθμολογία δεξιότητας των 2 ενεργειών (Καυτό, Κρύο).

Στην μελέτη της Ντέτσκο συμμετείχαν συνολικά 17 εθελοντές. Ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των τριών γνωστικών εντολών του παιχνιδιού ήταν ο Muse 2. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας ο κάθε εθελοντής έπρεπε να παίξει το παιχνίδι της διεπαφής συνολικά 20 φορές, αλλά οι 10 βαθμολογίες από αυτές τις προσπάθειες καταγράφηκαν για σκοπούς αξιολόγησης. Οι μετρικές αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη ήταν η

ακρίβεια ταξινόμησης με τη χρήση των ταξινομητών LDA (98.17%) και Perceptron (95.5%) και ο μέσος όρος των σκορ που σύλλεξε ο κάθε παίκτης (59%).

Συμπερασματικά, με βάση τις μελέτες που αναλύθηκαν, ο μέσος αριθμός των εθελοντών που συμμετείχαν στις πειραματικές έρευνες είναι 13. Οι μελέτες που διεξήχθησαν από τους Pires και Queiroz κατέγραψαν τον μικρότερο αριθμό συμμετεχόντων με τιμή 2, ενώ ο μεγαλύτερος αριθμός καταγράφηκε στη μελέτη του Πράπα με τιμή 33. Στην πειραματική μελέτη της παρούσας διατριβής συμμετείχαν 19 υγιείς εθελοντές, που είναι πάνω από το μέσο όρο και αποτελεί ένα ικανοποιητικό δείγμα. Οι περισσότερες μελέτες εκπαίδευσαν τους χρήστες σε 2 νοητικές εντολές, εκτός από τις μελέτες του Πράπα και της Ντέτσκα, οι οποίες υλοποίησαν 3. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο αριθμός των επαναλήψεων που οι χρήστες έπαιζαν τα παιχνίδια διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή δεν καθορίστηκε στις περισσότερες μελέτες. Ωστόσο, η μελέτη του Πράπα και η μελέτη των Ντέτσκα ανέφεραν 20 επαναλήψεις και η μελέτη του Bonnet ανέφερε 4 επαναλήψεις. Στο παρόν πείραμα οι εθελοντές εκπαιδεύτηκαν σε 3 νοητικές εντολές, έπαιζαν το παιχνίδι 20 φορές εκ των οποίων οι 10 ήταν δοκιμαστικές και οι μετρικές αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η μέση ακρίβεια ταξινόμησης LDA και ο μέσος όρος των σκορ των παικτών. Ο συνδυασμός όλων αυτών των παραγόντων δημιουργούν ένα σύνθετο πειραματικό περιβάλλον, από το οποίο μπορούν να προκύψουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σχέση με τη διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή μέσω φορέσιμης συσκευής ηλεκτροεγκεφαλογράφου.

5.3 Περιορισμοί

Παρά την υποσχόμενη δυνατότητα της μελέτης του παιχνιδιού BCI, υπήρχαν αρκετοί περιορισμοί που συναντήθηκαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής μελέτης. Συγκεκριμένα, ο χώρος που διεξήχθη το πείραμα ήταν κοινόχρηστος και υπήρχε εξωτερικός θόρυβος ο οποίος μερικές φορές αποσπούσε την προσοχή των συμμετεχόντων από τις ενέργειες που έπρεπε να κάνουν. Επίσης, σύμφωνα με τα σχόλια αρκετών παικτών, η συσκευή INSIGHT που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή για την καταγραφή και τη μετάδοση των ΗΕΓ δεδομένων τους, ήταν στενή στο σχεδιασμό και πιο ειδικά, η θέση του αισθητήρα T7 προκαλούσε σημαντική πίεση στο σημείο ανάπαυσης του κεφαλιού. Αυτή η πίεση δυσκόλευε τη συγκέντρωση των παικτών. Ένας επιπλέον περιορισμός που εντοπίστηκε αφορούσε τους συμμετέχοντες που φορούσαν γυαλιά, οι οποίοι δυσκολεύτηκαν να εστιάσουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο του δωματίου κατά την καταγραφή των ΗΕΓ δεδομένων τους. Αυτός ο περιορισμός θα μπορούσε ενδεχομένως να επηρεάσει την ακρίβεια των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ζήτημα αυτό δεν αφορά μόνο την παρούσα μελέτη και έχει αναφερθεί και σε άλλες ερευνητικές μελέτες. Τέλος, το κύριο εμπόδιο που αντιμετωπίστηκε σε αυτή τη μελέτη, ήταν η τοποθέτηση της συσκευής εγκεφαλογραφήματος στα κεφάλια των εθελοντών, ιδίως εκείνων με πυκνά μαλλιά, καθώς χρειάστηκε σημαντικός χρόνος για να δημιουργήσει η συσκευή καλή ποιοτική επαφή με το τριχωτό της κεφαλής.

Παρόλα αυτά η βελτιστοποίηση της ίδιας της μελέτης ενισχύθηκε σημαντικά από την επίλυση των δυσκολιών που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

5.4 Μελλοντική Εργασία

Στο μέλλον η παρούσα διπλωματική εργασία θα μπορέσει να αποτελέσει μέσο βοήθειας για την εκπαίδευση χρηστών ως προς τον έλεγχο ρομποτικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, η τεχνολογία BCI θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο προσθετικών άκρων, επιτρέποντας σε άτομα με σωματικές αναπηρίες να εκτελούν καθημερινές δραστηριότητες. Αυτό απαιτεί ισχυρή τεχνολογία

BCI ικανή να ανιχνεύει σωστά τα εγκεφαλικά ερεθίσματα και να τα μετατρέπει σε εντολές κίνησης. Επίσης, θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο υποβοηθητικής επικοινωνίας για άτομα με σοβαρά προβλήματα ομιλίας. Αυτό επιτρέπει στους ανθρώπους να επικοινωνούν μέσω εγκεφαλικών ερεθισμάτων και όχι μέσω των παραδοσιακών τρόπων επικοινωνίας. Τέλος, για να πραγματοποιηθούν όλες αυτές οι μελέτες και να προκύψουν αξιόπιστα αποτελέσματα θα χρειαστεί μεγαλύτερος αριθμός εθελοντών. Μέσω αυτών θα παρέχεται πληθώρα απόψεων σχετικά με τη προσαρμογή του χρήστη σε παιχνίδια BCI, αλλά και θα προσδιορίζονται με ακρίβεια οι περιορισμοί και τα εμπόδια που θα προκύπτουν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, να επιλύονται επιτυχώς τα προβλήματα που θα συναντώνται και θα σχεδιάζονται πιο αποτελεσματικά τα παιχνίδια BCI.

Βιβλιογραφία

- [1] www.nagwa.com. (n.d.). *Lesson Explainer: Organization of the Nervous System | Nagwa*. [online] Available at: <https://www.nagwa.com/en/explainers/297151505616/>.
- [2] Mayo Clinic. (n.d.). *Meninges*. [online] Available at: <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/meningioma/multimedia/meninges/img-20008665>.
- [3] dias.library.tuc.gr. (n.d.). *Εγκεφαλικά δίκτυα μέγιστης ροής συγχρονισμού φάσης μαγνητοεγκεφαλογραφικών σημάτων*. [online] Available at: <http://purl.tuc.gr/dl/dias/696D8EEA-74E8-4667-8A4F-6F4529C0F258> [Accessed 22 Aug. 2023].
- [4] Γιάγκκα, Β. (2009). *Επεξεργασία Εικόνων Μαγνητικής Τομογραφίας Εγκεφάλου Με Διαισθητική Ασαφή Λογική*. [online] Available at: http://ikee.lib.auth.gr/record/290514/files/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%93%CE%B9%CE%AC%CE%B3%CE%BA%CE%B1%CE%92%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE.pdf.
- [5] www.brainframe-kids.com. (n.d.). *Brain Facts: The Four Lobes*. [online] Available at: <https://www.brainframe-kids.com/brain/facts-lobes.htm>.
- [6] Ψαρρού, Χ. (2009). *Ανάλυση Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος Υπό Την Επίδραση Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας*. [online] Available at: <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/15528/1/DT2009-0269.pdf>.
- [7] Vadapalli, P. (2021). *Biological Neural Network: Importance, Components & Comparison*. [online] upGrad blog. Available at: <https://www.upgrad.com/blog/biological-neural-network/>.
- [8] yes, therapy helps! (n.d.). *Συνάψεις: ποιες είναι αυτές, οι τύποι και οι λειτουργίες*. [online] Available at: <https://el.yestherapyhelps.com/synapses-what-are-they-types-and-functions-14259> [Accessed 22 Aug. 2023].
- [9] ib.bioninja.com.au. (n.d.). *Synaptic Formation | BioNinja*. [online] Available at: <https://ib.bioninja.com.au/options/option-a-neurobiology-and/a1-neural-development/synaptic-formation.html>.
- [10] ebooks.edu.gr. (n.d.). *9. ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ*. [online] Available at: http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2666/Biologia_A-Lykeiou_html-empl/index9.html.

- [11] Παπαματθαίου, Χ. (2019). *Ανάλυση Σήματος ERP/EEG Με Χρήση Του Προγράμματος LORETA*. [online] Available at: <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/17190/1/%ce%a0%cf%84%cf%85%cf%87%ce%b9%ce%b1%ce%ba%ce%ae%20%ce%95%cf%81%ce%b3%ce%b1%cf%83%ce%af%ce%b1%203109755.pdf>.
- [12] Κεφαλαίο 11 ο ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ. (n.d.). Available at: https://kkeram1441.files.wordpress.com/2013/07/nevriko_final_pdf.pdf [Accessed 22 Aug. 2023].
- [13] Tsiouras, M., Giannakeas, N., Karvounis, E., Tzallas, A., Τσιπούρας, Μ., Γιαννακέας, Ν., Καρβούνης, Ε. και Τζάλλας, Α. (2021). Βιοϊατρικά Σήματα. *Kallipos.gr*. [online] doi:<http://localhost:8080/jspui/handle/11419/2981>.
- [14] PLUX Biosignals. (n.d.). *What are Biosignals? Get started here!* [online] Available at: <https://www.pluxbiosignals.com/blogs/informative/what-are-biosignals-get-started-here> [Accessed 22 Aug. 2023].
- [15] Maeng, J.-H., Kang, D.-H. και Kim, D.-H. (2020). Deep Learning Method for Selecting Effective Models and Feature Groups in Emotion Recognition Using an Asian Multimodal Database. *Electronics*, 9(12), p.1988. doi:<https://doi.org/10.3390/electronics9121988>.
- [16] Wikipedia Contributors (2019). *Electroencephalography*. [online] Wikipedia. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography>.
- [17] Wikipedia. (2023). *Hans Berger*. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Hans_Berger#External_links [Accessed 22 Aug. 2023].
- [18] Lopez-Gordo, M., Sanchez-Morillo, D. and Valle, F. (2014). Dry EEG Electrodes. *Sensors*, 14(7), pp.12847–12870. doi:<https://doi.org/10.3390/s140712847>.
- [19] Tzimourta, K.D., Tzallas, A.T., N. Giannakeas, Astrakas, L.G., Tsalikakis, D.G. και Tsiouras, M.G. (2017). Epileptic Seizures Classification Based on Long-Term EEG Signal Wavelet Analysis. pp.165–169. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-10-7419-6_28.
- [20] Miltiadous, A., Tzimourta, K.D., Giannakeas, N., Tsiouras, M.G., Afrantou, T., Ioannidis, P. και Tzallas, A.T. (2021). Alzheimer’s Disease and Frontotemporal Dementia: A Robust Classification Method of EEG Signals and a Comparison of Validation Methods. *Diagnostics*, 11(8), p.1437. doi:<https://doi.org/10.3390/diagnostics11081437>.
- [21] Kadri, A. και Apriani, N. (2022). Electroencephalography Findings in Traumatic Brain Injury. *The Open Neurology Journal*, [online] 16(1). doi:<https://doi.org/10.2174/1874205X-v16-e2206100>.
- [22] ResearchGate. (n.d.). *Figure 2.1: Sketch of how to record an Electroencephalogram. An EEG...* [online] Available at: https://www.researchgate.net/figure/Sketch-of-how-to-record-an-Electroencephalogram-An-EEG-allows-measuring-the-electrical_fig1_338423585.
- [23] www.bci2000.org. (n.d.). *User Tutorial:EEG Measurement Setup - BCI2000 Wiki*. [online] Available at: https://www.bci2000.org/mediawiki/index.php/User_Tutorial:EEG_Measurement_Setup.

- [24] Γκιόξη, Ε. (2008). *Ανάλυση Συγχρονισμού Σε Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) Επιφάνειας Με Στόχο Την Πρόβλεψη Επιληπτικών Κρίσεων*. [online] Available at: <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/15243/1/DT2008-0251.pdf>. [Accessed 22 Aug. 2023].
- [25] Liu, N.-H., Chiang, C.-Y. και Chu, H.-C. (2013). *Recognizing the Degree of Human Attention Using EEG Signals from Mobile Sensors*. [online] Available at: https://www.researchgate.net/publication/255790220_Recognizing_the_Degree_of_Human_Attention_Using_EEG_Signals_from_Mobile_Sensors.
- [26] Jia, X. και Kohn, A. (2011). Gamma Rhythms in the Brain. *PLoS Biology*, 9(4), p.e1001045. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001045>.
- [27] Amo, C., De Santiago, L., Barea, R., Lopez-Dorado, A. και Boquete, L. (2017). *Analysis of Gamma-Band Activity from Human EEG Using Empirical Mode Decomposition*. [online] Available at: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/5/989>.
- [28] Al-Qazzaz, N.K., Ali, S.H.B.MD., Ahmad, S.A., Chellappan, K., Islam, Md.S. και Escudero, J. (2014). Role of EEG as Biomarker in the Early Detection and Classification of Dementia. *The Scientific World Journal*, 2014, pp.1–16. doi:<https://doi.org/10.1155/2014/906038>.
- [29] Γκίζα, Ο. (n.d.). ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε. ΜΠΣ : Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Δικτύων ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ EEG ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΆΝΟΙΑ. [online] Available at: <https://olympias.lib.uoi.gr/jspui/bitstream/123456789/31042/1/%CE%9C.%CE%95%20%CE%93%CE%9A%CE%99%CE%96%CE%91%20%CE%9F%CE%A5%CE%A1%CE%91%CE%9D%CE%99%CE%91%20-%202021.pdf> [Accessed 22 Aug. 2023].
- [30] Wikipedia. (2021). *Motor imagery*. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Motor_imagery.
- [31] Matsumoto, J., Fujiwara, T., Takahashi, O., Liu, M., Kimura, A. και Ushiba, J. (2010). Modulation of mu rhythm desynchronization during motor imagery by transcranial direct current stimulation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 7(1). doi:<https://doi.org/10.1186/1743-0003-7-27>.
- [32] Cuenca-Martínez, F., Suso-Martí, L., Grande-Alonso, M., Paris-Alemany, A. και La Touche, R. (2018). Combining motor imagery with action observation training does not lead to a greater autonomic nervous system response than motor imagery alone during simple and functional movements: a randomized controlled trial. *PeerJ*, 6, p.e5142. doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.5142>.
- [33] Polymeneas, M. (2022). *Pain Facts 2 – Map of the body in our brain*. - Paragon PsychConnect. [online] Available at: <https://paragonpsychconnect.com.au/pain-facts-2-map-of-the-body-in-our-brain/> [Accessed 22 Aug. 2023].
- [34] Wikipedia Contributors (2019). *Brain–computer interface*. [online] Wikipedia. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Brain%E2%80%93computer_interface.
- [35] Shih, J.J., Krusienski, D.J. και Wolpaw, J.R. (2012). Brain-Computer Interfaces in Medicine. *Mayo Clinic Proceedings*, [online] 87(3), pp.268–279. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2011.12.008>.

- [36] Ammache, F. (2022). *Brain-Computer Interfaces* [online] Year 2049. Available at: <https://year2049.substack.com/p/-brain-computer-interfaces> [Accessed 22 Aug. 2023].
- [37] Cecilio, J., Andrade, J., Martins, P., Castelo-Branco, M. και Furtado, P. (2016). BCI Framework Based on Games to Teach People With Cognitive and Motor Limitations. *Procedia Computer Science*, 83, pp.74–81. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.101>.
- [38] Anon, (n.d.). *The Advantages of Brain-Computer Interfaces for Gaming and Entertainment – TS2 SPACE*. [online] Available at: <https://ts2.space/en/the-advantages-of-brain-computer-interfaces-for-gaming-and-entertainment/>.
- [39] Dimitrov, G.P., Panayotova, G.S., Kovatcheva, E. και Borissova, D. (2018). *One Approach for Identification of Brain Signals for Smart Devices Control*. [online] Available at: https://www.researchgate.net/profile/Pavel-Petrov-9/publication/326738337_One_Approach_for_Identification_of_Brain_Signals_for_Smart_Devices_Control/links/5b99079745851531058076e4/One-Approach-for-Identification-of-Brain-Signals-for-Smart-Devices-Control.pdf.
- [40] EMOTIV. (n.d.). *EMOTIV Insight 2.0 - 5 Channel Mobile Brainwear®*. [online] Available at: <https://www.emotiv.com/product/emotiv-insight-5-channel-mobile-brainwear/>.
- [41] Renard, Y., Lotte, F., Gibert, G., Congedo, M., Maby, E., Delannoy, V., Bertrand, O. και Lécuyer, A. (2010). OpenViBE: An Open-Source Software Platform to Design, Test, and Use Brain–Computer Interfaces in Real and Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 19(1), pp.35–53. doi:<https://doi.org/10.1162/pres.19.1.35>.
- [42] Singala, K.V. και Trivedi, K.R. (2016). *Connection setup of openvibe tool with EEG headset, parsing and processing of EEG signals*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754278>.
- [43] Bernat, E.M., Nelson, L.D. και Baskin-Sommers, A.R. (2015). Time-frequency theta and delta measures index separable components of feedback processing in a gambling task. *Psychophysiology*, 52(5), pp.626–637. doi:<https://doi.org/10.1111/psyp.12390>.
- [44] EEGLAB Wiki. (n.d.). *Extract Data Epochs*. [online] Available at: https://eeglab.org/tutorials/07_Extract_epochs/Extracting_Data_Epochs.html [Accessed 22 Aug. 2023].
- [45] Bhardwaj, A., Gupta, A., Jain, P., Rani, A. και Yadav, J. (2015). Classification of human emotions from EEG signals using SVM and LDA Classifiers. *2015 2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*. doi:<https://doi.org/10.1109/spin.2015.7095376>.
- [46] Subasi, A. και Ismail Gursoy, M. (2010). EEG signal classification using PCA, ICA, LDA and support vector machines. *Expert Systems with Applications*, [online] 37(12), pp.8659–8666. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.06.065>.
- [47] Saeidi, M., Karwowski, W., Farahani, F.V., Fiok, K., Taiar, R., Hancock, P.A. και Al-Juaid, A. (2021). Neural Decoding of EEG Signals with Machine Learning: A Systematic Review. *Brain Sciences*, 11(11), p.1525. doi:<https://doi.org/10.3390/brainsci11111525>.
- [48] Atangana, R., Tchiotso, D., Djoufack, L. και Kenne, G. (2020). *EEG Signal Classification using LDA and MLP Classifier*. [online] Available at: https://www.researchgate.net/publication/339789817_EEG_Signal_Classification_using_LDA_and_MLP_Classifier

assifier.

- [49] Craik , A.C., He, Y. και L Contreras-Vida, J. (2019). *Deep learning for electroencephalogram (EEG) classification tasks: a review*. [online] Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1741-2552/ab0ab5>.
- [50] Hussain, A., Shakeel, H., Hussain, F. και Uddin, N. (2020). *Unity Game Development Engine: A Technical Survey*. [online] Available at: https://www.researchgate.net/publication/348917348_Unity_Game_Development_Engine_A_Technical_Survey.
- [51] Glavas, K., Prapas, G., Tzimourta, K.D., Giannakeas, N. και Tsipouras, M.G. (2022). Evaluation of the User Adaptation in a BCI Game Environment. *Applied Sciences*, [online] 12(24), p.12722. doi:<https://doi.org/10.3390/app122412722>.
- [52] Prapas, G., Glavas, K., Tzimourta, K.D., Tzallas, A.T. και Tsipouras, M.G. (2023). Mind the Move: Developing a Brain-Computer Interface Game with Left-Right Motor Imagery. *Information*, [online] 14(7), p.354. doi:<https://doi.org/10.3390/info14070354>.
- [53] Pires, G., Torres, M., Casaleiro, N., Nunes, U. και Castelo-Branco, M. (2011). *Playing Tetris with non-invasive BCI*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/SeGAH.2011.6165454>.
- [54] Bonnet, L., Lotte, F. και Lécuyer, A. (2013). *Two Brains, One Game: Design and Evaluation of a Multiuser BCI Video Game Based on Motor Imagery*. [online] Available at: https://www.researchgate.net/publication/260709075_Two_Brains_One_Game_Design_and_Evaluation_of_a_Multiuser_BCI_Video_Game_Based_on_Motor_Imagery.
- [55] Alchalcabi, A.E., Eddin, A.N. και Shirmohammadi, S. (2017). More attention, less deficit: Wearable EEG-based serious game for focus improvement. *2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*. doi:<https://doi.org/10.1109/segah.2017.7939288>.
- [56] Queiroz, R.L., Bichara de Azeredo Coutinho, I., Machado Vieira Lima, P., Sampaio, F.F. και Xexéo, G.B. (2018). *Playing with Robots Using Your Brain*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/SBGAMES.2018.00031>.
- [57] Ντέτσκα, Α. (2023). *Ανάλυση ηλεκτροεγκεφαλικών δεδομένων από διεπαφή εγκεφάλου υπολογιστή*. [online] Available at: https://eclass.uowm.gr/modules/document/file.php/HMMY152/%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%BA%CE%B%CE%B7%CF%81%CF%89%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CF%82/2023_06%20%CE%9D%CF%84%CE%AD%CF%83%CE%BA%CE%B1_c.pdf [Accessed 19 Sep. 2023].

Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

EEG	Ηλεκτροεγκεφαλογράφος
Et al.	Και άλλοι
LDA	Γραμμική Διακριτική Ανάλυση
LSL	Επίπεδο Ροής Εργαστηρίου
TCP	Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης
ΔΕΥ	Διεπαφή Εγκεφάλου Υπολογιστή
HEΓ	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
OneVsAll	Ένας εναντίον όλων
ΝΣ	Νευρικό Σύστημα
ΚΝΣ	Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

Απόδοση Ξενόγλωσσων Όρων

Brain	Εγκέφαλος
Brain-Computer Interface	Διασύνδεση Εγκεφάλου-Υπολογιστή
Electrodes	Ηλεκτρόδια
Electroencephalogram	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
Et al.	Και άλλοι
Gaming	Βιντεοπαιχνίδια
Motor Imagery	Νοερή Κίνηση
OneVsAll	Ένας εναντίον όλων
Lab Streaming Layer	Στρώμα Ροής Εργαστηρίου
Subject	Υποκείμενο / Συμμετέχον