



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



# Ανάλυση ηλεκτροεγκεφαλογραφικών δεδομένων από διεπαφή εγκεφάλου υπολογιστή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

της

**Αιμιλίας Ντέσκα**

**Επιβλέπων:** Δρ. Τσίπουρας Μάρκος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Κοζάνη, Ιούλιος 2023





HELLENIC DEMOCRACY  
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA

FUCULTY OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL &  
COMPUTER ENGINEERING



# Analysis of electroencephalographic data by a brain computer interface

THESIS

---

**AIMILIA NTETSKA**

**SUPERVISOR:** Dr. Markos Tsipouras

Associate professor

Kozani, July 2023





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

## ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Ανάλυση ηλεκτροεγκεφαλογραφικών δεδομένων από διεπαφή εγκεφάλου υπολογιστή” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Τσίπουρα Μάρκου, Αναπληρωτή Καθηγητή αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Ντέσκα Αιμιλία, Δρ. Τσίπουρας Μάρκος, 2023, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή:



## Περίληψη

---

Η τεχνολογία της διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή αποτελεί άμεσο σύνδεσμο μεταξύ υπολογιστή και ανθρώπινου εγκεφάλου. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει μακροσκελή βήματα προόδου και ενσωματώνεται σε διαφορετικούς κλάδους όπως η ιατρική, τα βιντεοπαιχνίδια και μηχανική.

Στο παρόν σύγγραμμα περιγράφεται η ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου παιχνιδιού ελεγχόμενο από διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή που υλοποιήθηκε στο λογισμικό του Unity. Κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού τα ηλεκτροεγκεφαλογραφικά σήματα λαμβάνονται από τον ηλεκτροεγκεφαλογραφο Muse 2 και στη συνέχεια μεταδίδονται με τη χρήση του Lab Streaming Layer πρωτοκόλλου στην πλατφόρμα του OpenViBE, όπου επεξεργάζονται και κατηγοριοποιούνται κατά την εκτός σύνδεσης επεξεργασία. Για την διαδικασία της κατηγοριοποίησης χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος του πολυεπίπεδου Perceptron και ο ταξινομητής ανάλυσης γραμμικής διάκρισης σε συνδυασμό με τη στρατηγική 1vsAll. Τα επιμέρους αποτελέσματα ταξινόμησης είναι 98,17% και 95,5% αντίστοιχα. Τα σήματα κατατάσσονται σε μία από τις τρεις κατηγορίες οι οποίες είναι είτε η δεξιά ή η αριστερή κινητική εικόνα είτε το ανοιγόκλεισμα ματιών, ανάλογα με τη κατεύθυνση που κοιτάζει και σκέφτεται ο παίκτης. Η κάθε απόφαση που θα παρθεί από τον ταξινομητή θα αποτελέσει την επόμενη κίνηση του παίκτη εντός της πίστας. Στη μελέτη συμμετείχαν 17 εθελοντές των δύο φύλων με μέσο όρο ηλικίας 22 ετών. Στόχος τους ήταν η επίτευξη το σωστού ελέγχου της διεπαφής και μέσω νοητικών εντολών προκειμένου να συλλέξουν τον μεγαλύτερο αριθμό νομισμάτων που αποτέλεσε και την κύρια μετρική αξιολόγησης της εντός σύνδεσης επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα ταξινόμησης και τα εντός σύνδεσης αποτελέσματα που αντιπροσωπεύονται από τα σκορ, είναι αρκετά υποσχόμενα και ανοίγουν την πόρτα στην εξαγωγή παρόμοιων μελετών.

**Λέξεις Κλειδιά:** Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή, Παιχνίδι ελεγχόμενο από Διεπαφή Εγκεφάλου-Υπολογιστή, Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, Ηλεκτροεγκεφαλογράφος Muse 2, Κινητική Εικόνα, Unity, Gaming, OpenViBE, Πολυεπίπεδο Perceptron, Ταξινομητής Ανάλυσης Γραμμική Διάκριση





## ***Abstract***

---

Brain-computer interface technology is the direct link between the computer and the human brain. Over the last years, this technology shows rapid growth and is incorporating in various fields such as the medical field, gaming and mechanics. This essay describes the development of a 3D BCI controlled game implemented using the Unity software. The EEG signals are acquired by the Muse 2 electroencephalograph and then streamed by the Lab Streaming Layer Protocol on to the OpenViBE platform to be processed and classified during the offline process. As for the classifier two algorithms were used, Multilayer Perceptron (MLP) and Linear Discriminant Analysis (LDA) in combination with the 1vsAll strategy. Classification results are 98.17% and 95.5% respectively. The signals are classified in one of three categories either right or left Motor Imagery or blink. Every decision taken by the classifier is representing the players in game avatar's next move. In this study 17 volunteers of both sexes and average age of 22 took part. Their goal was to achieve maximum control of the interface and therefore the game avatar using mental commands, in order to collect the highest number of coins which was the main evaluation metric of the online processing. The outcome results of the classification and online processing, which is represented by score, are promising for further research and open the possibility of similar studies.

**Keywords:** Brain-Computer Interface, BCI Game, Electroencephalogram, Muse 2 Headband, Motor Imagery, Unity, Gaming, OpenViBE, Multilayer Perceptron, Linear Discriminant Analysis



## **Ευχαριστίες**

---

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ ανήκει στην οικογένειά μου Αμέλα, Γιώργος και Νίκος η οποία με βοήθησε τόσο κατά τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής προσφέροντας μου τόσο υλική αλλά και ψυχική υποστήριξη στις δύσκολες στιγμές μαθαίνοντας μου από μικρή ηλικία πως όλα είναι δυνατά αρκεί να τα πιστέψουμε.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου και τα κοντινά μου άτομα που στάθηκαν δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια και αποτελούσαν την δεύτερη μου οικογένεια, όσο ήμουν χιλιόμετρα μακριά από την δική μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Μάρκο Τσίπουρα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και τη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε.

Να ευχαριστήσω επίσης τους υποψήφιους διδάκτορες Γεώργιο Πράπα και Κοσμά Γλαβά που με βοήθησαν από τη πρώτη μέρα εκπόνησης της εργασίας, λύνοντας κάθε απορία και ενδοιασμό που είχα και ήταν πάντα πρόθυμοι να συνεισφέρουν.

Τέλος, ευχαριστώ όλους τους εθελοντές που ήταν πρόθυμοι να βοηθήσουν στην πειραματική διαδικασία και αφιέρωσαν χρόνο για την διεξαγωγή των πειραμάτων.

Αιμιλία Ντέσκα  
Κοζάνη, Ιούλιος 2023



# Περιεχόμενα

---

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	- 1 -
ABSTRACT	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΚΑΤΆΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΆΤΩΝ	9
ΚΑΤΆΛΟΓΟΣ ΕΙΚΌΝΩΝ	11
ΚΑΤΆΛΟΓΟΣ ΠΙΝΆΚΩΝ	12
ΠΡΌΛΟΓΟΣ	14
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΉ	15
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	15
1.2 Οργάνωση του τόμου	17
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΌ ΥΠΌΒΑΘΡΟ	18
2.1 Ανθρώπινο νευρικό σύστημα	18
2.1.1 Ανθρώπινος εγκέφαλος	18
2.1.2 Ηλεκτροφυσιολογία Εγκεφάλου	21
2.1.3 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα	24
2.1.3.1 Σύστημα τοποθέτησης ηλεκτροδίων	25
2.1.3.2 Ερμηνεία και περιγραφή ηλεκτροεγκεφαλογραφικών σημάτων.	26
2.1.3.3 Επεξεργασία και διαγνώσεις μέσω ηλεκτροεγκεφαλογραμήματος	28
2.2.1 Ορισμός διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή	29
2.2.2 Υλοποίηση και εφαρμογές διεπαφών εγκεφάλου υπολογιστή	29
2.3 Εφαρμογές διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή στον τομέα του gaming	31
2.4 Παρόμοιες εργασίες	31

ΚΕΦΆΛΑΙΟ 3: ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	34
3.1 Εξαρτήματα	33
3.1.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφος	34
3.1.2 BlueMuse	35
3.1.3 Lab Streamng Layer	35
3.1.4 OpenViBE	35
3.2 Σχεδίαση Παιχνιδιού	36
3.3 Μεθοδολογία	37
3.3.1 Επεξεργασία εκτός σύνδεσης	38
3.3.3.1 Λήψη ηλεκτροεγκεφαλικών σημάτων	38
3.3.3.2 Επεξεργασία σήματος	38
3.4.2 Ταξινόμηση	39
3.4.2.1 Ταξινομητής Πολυπίεδου Perceptron	39
3.4.2.2 Ταξινομητής Ανάλυσης Γραμμικής Διάκρισης	40
3.4.3 Εντός σύνδεσης Επεξεργασία	41
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	43
4.1 Περιγραφή Δείγματος και Υλοποίηση Πειράματος	44
4.2 Αποτελέσματα Ταξινόμησης	45
4.3 Ατομικά Αποτελέσματα	48
4.4 Συλλογικά Αποτελέσματα	71
ΚΕΦΆΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	74
5.1 Συμπεράσματα Μελέτης	74
5.2 Συγκριτική Μελέτη	75
5.3 Περιορισμοί	78
5.4 Μελλοντικές Εργασίες	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΪΑ	79
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΪΕΣ - ΑΡΚΤΙΚΌΛΕΞΑ - ΑΚΡΩΝΪΜΙΑ	79
ΑΠΌΔΟΣΗ ΞΕΝΌΓΛΩΣΣΩΝ ΌΡΩΝ	83

## Κατάλογος Σχημάτων

---

Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής βημάτων υλοποίησης συστήματος διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή	37
Σχήμα 2. Σενάριο για εκτός σύνδεσης επεξεργασία στην εφαρμογή OpenViBE.	39
Σχήμα 3. Σενάριο για εκτός σύνδεσης επεξεργασία στην εφαρμογή OpenViBE.	41
Σχήμα 4. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 1.	49
Σχήμα 5. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 2.	50
Σχήμα 6. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 3.	52
Σχήμα 7. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 4.	53
Σχήμα 8. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 5.	54
Σχήμα 9. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 6.	56
Σχήμα 10. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 7.	57
Σχήμα 11. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 8.	58
Σχήμα 12. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 9.	60
Σχήμα 13. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 10.	61
Σχήμα 14. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 11.	61
Σχήμα 15. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 12.	63

Σχήμα 16. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 13.	64
Σχήμα 17. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 14.	65
Σχήμα 18 . Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 15.	67
Σχήμα 19. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 16.	68
Σχήμα 20. Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 17.	69
Σχήμα 21. Γραφική αναπαράσταση των σκορ που συγκέντρωσαν όλοι οι συμμετέχοντες.	72
Σχήμα 22. Γραφική αναπαράσταση των κατά μέσο όρο σκορ που συγκέντρωσαν οι συμμετέχοντες διατεταγμένα με αύξουσα σειρά.	73
Σχήμα 23. Ιστόγραμμα που παρουσιάζει τις διαφορετικές κατηγορίες που κατατάσσονται οι χρήστες ανάλογα με την απόδοση τους στο παιχνίδι διεπαφής εγκεφάλου.	73
Σχήμα 24. Γραφική αναπαράσταση του μέσου όρου των σκορ όλων των παιχτών ανάλογα με τον αριθμό προσπάθειας.	76



## Κατάλογος Εικόνων

---

Εικόνα 1. Ανθρώπινο αυτόνομο νευρικό σύστημα και οι λειτουργίες του. [1]	19
Εικόνα 2. Οι 3 περιοχές στις οποίες χωρίζεται ανατομικά ο εγκέφαλος. [2]	20
Εικόνα 3. Οι τέσσερις εγκεφαλικοί λοβοί. [2]	20
Εικόνα 4. Δομή νευρικού κυττάρου. [3]	22
Εικόνα 5. Σχηματική αναπαράσταση νευρικής ώσης. [3]	23
Εικόνα 6. Αναπαράσταση νευρικής σύναψης με τη παρουσία νευροδιαβιβαστών. [4]	23
Εικόνα 7.α Καταγραφή ΗΕΓ. [5]	25
Εικόνα 7.β Πίνακας τοπολογίας ηλεκτροδίων για το σύστημα 10-20 και 10-10. [6]	26
Εικόνα 8. Κυρίαρχοι ρυθμοί από καταγραφές ΗΕΓ. [7]	27
Εικόνα 8.α ρυθμός “άλφα”.	27
Εικόνα 8.β ρυθμός “βήτα”.	27
Εικόνα 8.γ ρυθμός “δέλτα”.	27
Εικόνα 8.β ρυθμός “θήτα”.	27
Εικόνα 9.α Σημεία τοποθέτησης ηλεκτροδίων. [15]	35
Εικόνα 9.β. Συσκευή Muse [15]	35
Εικόνα 10. Στιγμιότυπο από το παιχνίδι	36

## Κατάλογος Πινάκων

---

Πίνακας 1. Εγκεφαλικοί ρυθμοί	27
Πίνακας 2. Στοιχεία εθελοντών.	43
Πίνακας 3. Αποτελέσματα της ταξινόμησης του αλγορίθμου πολυεπίπεδου Perceptron.	44
Πίνακας 4. Αποτελέσματα της ταξινόμησης με τη χρήση του αλγορίθμου ανάλυσης γραμμικής ανάλυσης.	45
Πίνακας 5. Αποτελέσματα του Subject 1.	47
Πίνακας 6. Αποτελέσματα του Subject 2.	49
Πίνακας 7. Αποτελέσματα του Subject 3.	50
Πίνακας 8. Αποτελέσματα του Subject 4.	51
Πίνακας 9. Αποτελέσματα του Subject 5.	53
Πίνακας 10. Αποτελέσματα του Subject 6.	55
Πίνακας 11. Αποτελέσματα του Subject 7.	56
Πίνακας 12. Αποτελέσματα του Subject 8.	57
Πίνακας 13. Αποτελέσματα του Subject 9.	58
Πίνακας 14. Αποτελέσματα του Subject 10.	59
Πίνακας 15. Αποτελέσματα του Subject 11.	61
Πίνακας 16. Αποτελέσματα του Subject 12.	62
Πίνακας 17. Αποτελέσματα του Subject 13.	63
Πίνακας 18. Αποτελέσματα του Subject 14.	65
Πίνακας 19. Αποτελέσματα του Subject 15.	66
Πίνακας 20. Αποτελέσματα του Subject 16.	67
Πίνακας 21. Αποτελέσματα του Subject 17.	69

Πίνακας 22. Αποτελέσματα παιχνιδιού.	70
Πίνακας 23. Συγκριτικός πίνακας με τη σχετική βιβλιογραφία.	77

## ***Πρόλογος***

---

Το παρόν σύγγραμμα αποτελεί έρευνα που εντάσσεται στους κλάδους της ιατρικής πληροφορικής, εξόρυξης δεδομένων και του gaming. Πραγματοποιήθηκε εντός των πλαισίων εκπόνησης διπλωματικής εργασίας από το τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Τα πειράματα που περιγράφονται έλαβαν μέρος στα σύγχρονα εργαστήρια του τμήματος με εξοπλισμό που παρέιχε το πανεπιστήμιο.

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

---

## 1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Στη σημερινή εποχή η τεχνολογία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας. Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία έχει εισαχθεί και στον τομέα της υγείας, συμβάλλοντας στην ραγδαία εξέλιξη της. Η εισχώρηση αυτή οδήγησε στην δημιουργία νέων κλάδων όπως αυτός της βιοϊατρικής, της ιατρικής πληροφορικής και της βιοπληροφορικής που ακμάζουν τα τελευταία χρόνια.

Η διεπαφή εγκεφάλου υπολογιστή αποτελεί τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στον ανθρώπινο εγκέφαλο και τον υπολογιστή. Αντίθετα, με τις συνηθισμένες συσκευές εισόδου που χρησιμοποιούνται (ποντίκι,πληκτρολόγιο κ.τ.λ.) η διεπαφή εγκεφάλου υπολογιστή μετατρέπει σε εντολές τα ΗΕΓ σήματα που προέρχονται από ενεργές περιοχές του εγκεφάλου. Οι εφαρμογές της απευθύνονται κυρίως στο πεδίο της ιατρικής και πιο συγκεκριμένα σε ασθενείς με χρόνιες νευρολογικές παθήσεις καθώς δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον χωρίς την χρήση περιφερικών νεύρων και μυών.

Τα συστήματα ΔΕΥ μπορούν να διαχωριστούν με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι με βάση την προέλευση των ΗΕΓ σημάτων. Με αυτόν τον τρόπο τα συστήματα εντάσσονται σε μία από τις τρεις υποκατηγορίες παθητικά, ενεργά και αντιδραστικά. Ενώ, ο άλλος τρόπος διαχωρισμού είναι η θέση τοποθέτησης των ηλεκτροδίων, σε αυτή τη περίπτωση τα συστήματα μπορεί να είναι επεμβατικά ή μη επεμβατικά.

Τα συστήματα ΔΕΥ μπορούν να ενσωματωθούν με εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας βοηθώντας στην αποκατάσταση ατόμων με νευρική και κινητική αναπηρία. Με τη χρήση περιβαλλόντων επαυξημένης πραγματικότητας οι ασκήσεις αποθεραπείας είναι πιο ελκυστικές και διαδραστικές στον χρήστη. Ταυτόχρονα, μπορεί να παρακολουθείται η πρόοδος του και να υποβάλλονται σε συγκεκριμένες δοκιμασίες προκειμένου να βελτιώσουν τις κινητικές ικανότητες σε σημεία που υστερούν. Με αυτόν τον τρόπο έχουν σημειωθεί μεγάλα άλματα στην βιοϊατρική τεχνολογία καθώς έχει επιτευχθεί η κίνηση προσθετικών μελών και αμαξιδίων με νοητικές εντολές. Τα τελευταία χρόνια οι διεπαφές εγκεφάλου υπολογιστή έχουν επεκταθεί και σε άλλους κλάδους πέρα από αυτούς της ιατρικής, τοποθετώντας στο προσκήνιο θεραπευτές, μηχανικούς και πληροφορικούς, ένας από αυτούς είναι ο τομέας του gaming. Με αυτό τον τρόπο βελτιώνεται η εμπειρία του χρήστη καθώς με τη χρήση του μυαλού μπορεί να κατευθύνει τον παίκτη του, ενώ ταυτόχρονα δίνει τη δυνατότητα σε άτομα με κινητικές αναπηρίες να συμμετάσχουν στα παιχνίδια.

Η εισχώρηση της ΔΕΥ στο gaming προσφέρει πολλά θετικά. Καταρχάς, τα παιχνίδια αυτά είναι προσβάσιμα σε όλους. Αντιθέτως με τα απλά συμβατικά βιντεοπαιχνίδια που δέχονται

εντολές από ποντίκι ή πληκτρολόγιο τα συγκεκριμένα παιχνίδια δέχονται νοητικές εντολές, κάνοντας τα προσβάσιμα και σε άτομα με κινητικές δυσκολίες που δεν μπορούν να επιτύχουν τον συγχρονισμό όρασης κίνησης. Επιπλέον, το παιχνίδι μπορεί να παρέχει ανάδραση σε πραγματικό χρόνο ανάλογα με το πόσο συναισθηματικά δεσμεύεται ο χρήστης τροποποιώντας τη ταχύτητα του, αυξάνοντας το επίπεδο δυσκολίας ή ακόμα και με την τοποθέτηση συμβάντων κλειδιών προκειμένου να αποκτήσει ή να εξασκήσει νέες ικανότητες. Με αυτόν τον τρόπο το παιχνίδι γίνεται πιο εξατομικευμένο και παρέχει μια ξεχωριστή και πιο ζωντανή εμπειρία που καθλώνει τον χρήστη και αναπτύσσει ένα είδος ανταγωνισμού διαφορετικό με αυτά που έχει ήδη δει. Επίσης, μπορεί να χρησιμεύσουν για την βελτίωση των νοητικών ικανοτήτων τους. Μέσα από το παιχνίδι μπορεί να αυξηθεί ο βαθμός της συγκέντρωσης και αντίληψης του χρήστη, ενώ ταυτόχρονα μπορεί να παρακολουθούνται τα επίπεδα χαλάρωσης και συγκέντρωσης. Τέλος, μπορεί να προσφέρει και σε ερευνητικό τομέα των κλάδων της νευρολογίας και ψυχολογίας, εφόσον μέσα από τα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την εξοικείωση, αντίληψη, τρόπο μάθησης και συμπεριφορά του χρήστη μέσα σε συγκεκριμένες καταστάσεις υπό άλλες συνθήκες θα ήταν δύσκολο να αντιμετωπίσει.

Παρά τα θετικά που προσφέρει η εισαγωγή της ΔΕΥ στα βιντεοπαιχνίδια, υπάρχουν ακόμα περιορισμοί που χρειάζεται να αντιμετωπιστούν οι οποίοι πηγάζουν κυρίως από το αρχικό στάδιο που βρίσκεται η συγκεκριμένη τεχνολογία. Πολλές φορές σημειώνονται μεγάλα ποσοστά σφαλμάτων που οφείλονται σε εξωτερικούς θορύβους, σε μετατοπίσεις σημάτων και αλλαγές στην εγκεφαλική δραστηριότητα. Προκειμένου το παιχνίδι εξατομικευτεί στον χρήστη χρειάζεται μια διαδικασία εκπαίδευσης η οποία είναι συνήθως χρονοβόρα και αποσπά από την διασκεδαστική εμπειρία, ενώ σε συνδυασμό με το παιχνίδι προκαλούν αίσθημα κόπωσης στον χρήστη. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα είναι πως είναι γενικά κοστοβόρα τεχνολογία καθώς χρησιμοποιεί ΗΕΓ για την λήψη εντολών σε αντίθεση με τα κλασικά βιντεοπαιχνίδια που δέχονται από πληκτρολόγιο και ποντίκι. Επίσης τα παιχνίδια είναι συμβατά με τη συσκευή στην οποία αναπτύχθηκαν έτσι αν κάποιος θέλει να παίξει άλλο παιχνίδι πιθανώς να χρειαστεί να αγοράσει εκ νέου καινούργιο εξοπλισμό. Τέλος, υπάρχουν διάφοροι ηθικοί ενδοιασμοί και φόβοι για παραβίαση της ιδιωτικότητας των χρηστών.

Στη παρούσα διπλωματική αναπτύχθηκε μια διεπαφή εγκεφάλου υπολογιστή. Οι καταγραφές πάρθηκαν με τη χρήση της συσκευής ΗΕΓ Muse 2 εντός του εργαστηρίου για την ελαχιστοποίηση των εξωτερικών θορύβων. Ζητήθηκε από τους εθελοντές να καθίσουν σε μια καρέκλα ελαχιστοποιώντας τις κινήσεις τους και υποβλήθηκαν σε 3 καταγραφές (αριστερά, δεξιά, ανοιγόκλεισμα ματιών) για την εκπαίδευση του ταξινομητή. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν εκτός σύνδεσης στην πλατφόρμα OpenVibe προκειμένου να εκπαιδευτεί το μοντέλο και να γίνει η κατηγοριοποίηση. Κατά τη διαδικασία αυτή, απομακρύνθηκαν οι συχνότητες εκτός του πλαισίου 8-40Hz. Στη συνέχεια το σήμα χωρίστηκε στα ηλεκτροεγκεφαλικά κύματα Α,Β1,Β2,Γ1,Γ2 και υπολογίζεται η ενέργεια του σήματος. Τα επεξεργασμένα σήματα κατηγοριοποιήθηκαν από τους ταξινομητές Πολυεπιπέδου Perceptron και Ανάλυσης Γραμμικής Διάκρισης. Έπειτα, οι χρήστες έλαβαν μέρος στην εντός σύνδεσης επεξεργασία, που αποτελούταν από δέκα διαδοχικές προσπάθειες σε ένα τρισδιάστατο παιχνίδι που αναπτύχθηκε στη πλατφόρμα του Unity. Σκοπός του παιχνιδιού ήταν ο παίκτης να συλλέξει τον μεγαλύτερο αριθμό νομισμάτων, με το επιμέρους σκορ κάθε προσπάθειας να καταγράφεται.

## 1.2 Οργάνωση του τόμου

Τα θέματα που πραγματεύεται αυτή η διπλωματική χωρίζονται σε 5 ενότητες. Στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζεται το ανθρώπινο νευρικό σύστημα, η φυσιολογία του, τα παραγόμενα ηλεκτροεγκεφαλικά βιοσήματα, η χρήση τους καθώς και η ερμηνεία τους. Έπειτα, περιγράφονται οι διεπαφές εγκεφάλου υπολογιστή η εξέλιξη και λειτουργία τους ανά τα χρόνια καθώς και η συγχώνευση τους στον τομέα του gaming. Στο πρώτο μέρος της τρίτης θεματικής ενότητας περιγράφεται ο εξοπλισμός και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της διεπαφής και για τον σχεδιασμό του παιχνιδιού. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται και αναλύεται η μεθοδολογία και η επεξεργασία των βιοσημάτων. Περιγράφεται το σενάριο της εκτός σύνδεσης επεξεργασίας στην πλατφόρμα του OpenViBE. Η ενότητα τελειώνει με τη παρουσίαση του σεναρίου της εντός σύνδεσης επεξεργασία και τη λειτουργία του κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού.

Η ενότητα 4 είναι αφιερωμένη στα σκορ των χρηστών και τα πορίσματα που προκύπτουν μέσω αυτών. Αρχικά, παρουσιάζεται αναλυτικά το δείγμα των εθελοντών που συμμετείχαν στο πείραμα, αναφέροντας το φύλο, την ηλικία και την κατάσταση της όρασης τους, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται η πειραματική διαδικασία και ο τρόπος λήψης των καταγραφών. Ακολουθούν τα αποτελέσματα ταξινόμησης για το πολυεπίπεδο Perceptron και την ανάλυση γραμμικής διάκρισης, τα οποία προέκυψαν από τις καταγραφές κάθε εθελοντή. Έπειτα, παραθέτονται σε μορφή πινάκων και σχημάτων τα ατομικά σκορ που επιτεύχθηκαν από τους χρήστες σε καθεμία από τις 10 προσπάθειες τους και σχολιάζονται αναλυτικά και αιτιολογούνται αυξομειώσεις στα σκορ. Το κεφάλαιο τελειώνει με την υποενότητα 4.3 που πραγματεύεται τον συλλογικό σχολιασμό των αποτελεσμάτων. Σε αυτό το σημείο έχουν υπολογιστεί οι μέσοι όροι των σκορ που συγκέντρωσαν οι παίκτες στο σύνολο των προσπαθειών τους και συγκρίνονται οι αποδόσεις μεταξύ τους. Επισημαίνονται τα υψηλότερα και χαμηλότερα σκορ όπως και οι αντίστοιχες αποδόσεις. Τέλος, οι παίκτες χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες με γνώμονα την απόδοσή τους. Στη πρώτη κατηγορία είναι οι παίκτες που δεν κατάφεραν να αποκτήσουν καλό έλεγχο της διεπαφής και δυσκολευόντουσαν να αλλάξουν κατεύθυνση, η δεύτερη κατηγορία εμπεριέχει παίκτες που είχαν ικανοποιητικό έλεγχο της διεπαφής, ενώ η τελευταία κατηγορία είχε παίκτες που είχαν πλήρη έλεγχο της διεπαφής και κατάφεραν να εξοικειωθούν πλήρως σε αυτή. Εν κατακλείδι, το παρόν σύγγραμμα ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από αυτή την μελέτη και την σύγκριση τους με προηγούμενες, υπάρχουσες μελέτες και πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές έρευνες και εργασίες.

## Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο

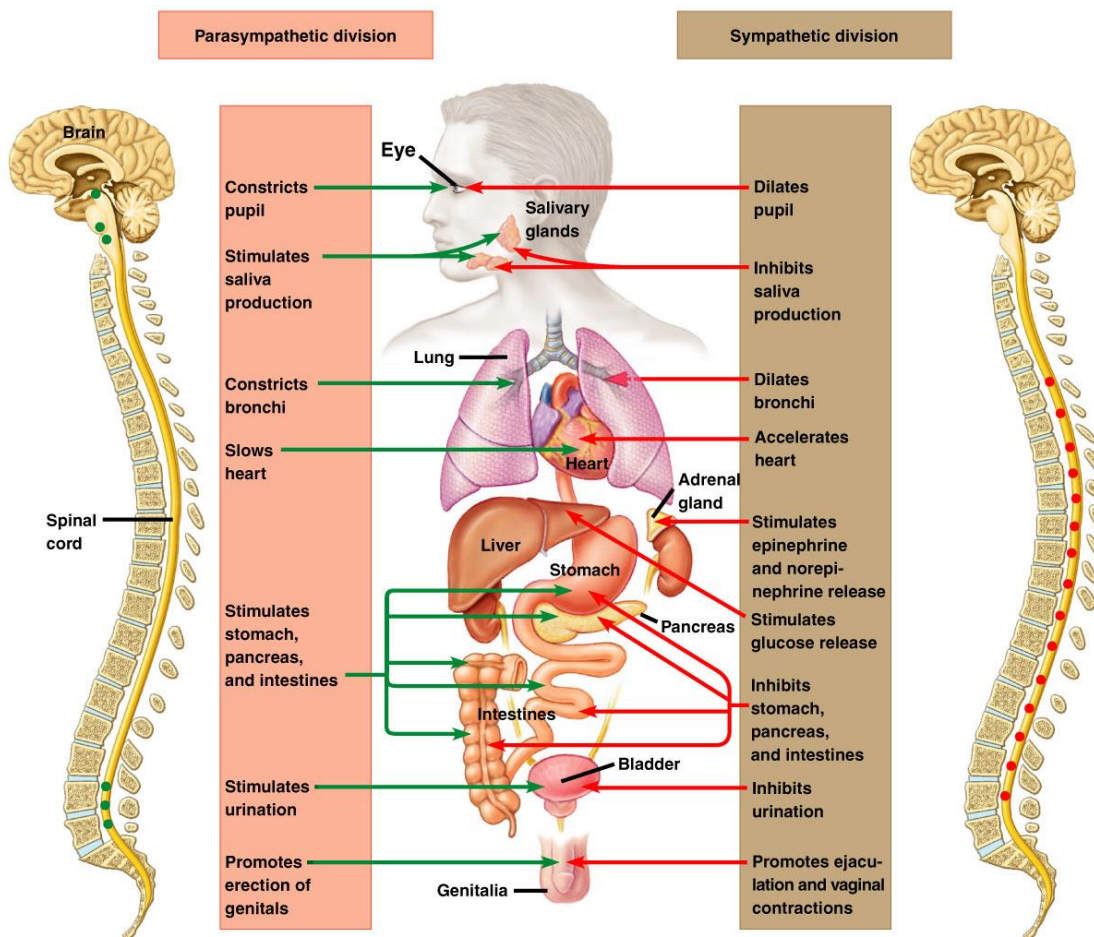
---

### 2.1 Ανθρώπινο νευρικό σύστημα

Το νευρικό σύστημα αποτελεί από τα πιο σημαντικά και πιο περίπλοκα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού. Είναι υπεύθυνο για την σωστή και αρμονική λειτουργία όλων των οργάνων και συστημάτων που συνθέτουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Αποτελεί το παράθυρο ανάμεσα στον οργανισμό και τον εξωτερικό κόσμο, εφόσον είναι υπεύθυνο για την μεταφορά αισθητήριων πληροφοριών από το εξωτερικό περιβάλλον όπου στη συνέχεια επεξεργάζονται και παράγουν εκούσια ή ακούσια μία απόκριση/απάντηση. Πέρα από τις ζωτικές λειτουργίες που αποφέρει μέσω του συντονισμού ιστών, είναι επίσης υπεύθυνο για ανώτερες λειτουργίες, όπως βούληση, σκέψη, μνήμη και ομιλία.

Αποτελείται από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ), που είναι ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός και το Περιφερειακό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ). Το ΠΝΣ δεν περιβάλλεται από οστά σε αντίθεση με το ΚΝΣ και αποτελείται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα το οποίο δρα αυτόνομα και είναι υπεύθυνο για όλες τις εκούσιες λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος π.χ λειτουργία καρδιάς, πνευμόνων, νεφρών και άλλων όπως φαίνεται στην **Εικόνα 1**. Χωρίζεται στο Συμπαθητικό και Παρασυμπαθητικό τα οποία δρουν αντίθετα μεταξύ τους, για παράδειγμα το συμπαθητικό σύστημα αυξάνει τον καρδιακό παλμό ενώ το παρασυμπαθητικό τον μειώνει. Τα νεύρα του συμπαθητικού εξέρχονται από τα τμήματα της σπονδυλικής στήλης στο ύψος του θώρακα και της οσφύς (θωρακο-οσφυϊκό), ενώ του παρασυμπαθητικού εξέρχονται από τμήματα στο ύψος του κρανίου και του ιερού (κρανιο-ιερό). Το δεύτερο μέρος του ΠΝΣ ονομάζεται σωματικό σύστημα και αποτελείται από νεύρα που ξεκινούν από τον νωτιαίο μυελό καταλήγοντας στους μύες και είναι υπεύθυνα για τις κινητικές λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος.



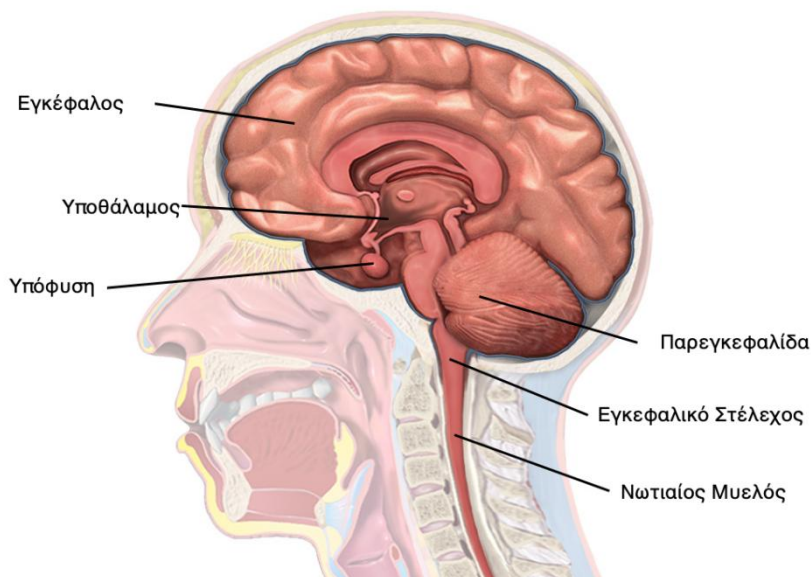


Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

Εικόνα 1. Ανθρώπινο αυτόνομο νευρικό σύστημα και οι λειτουργίες του. [1]

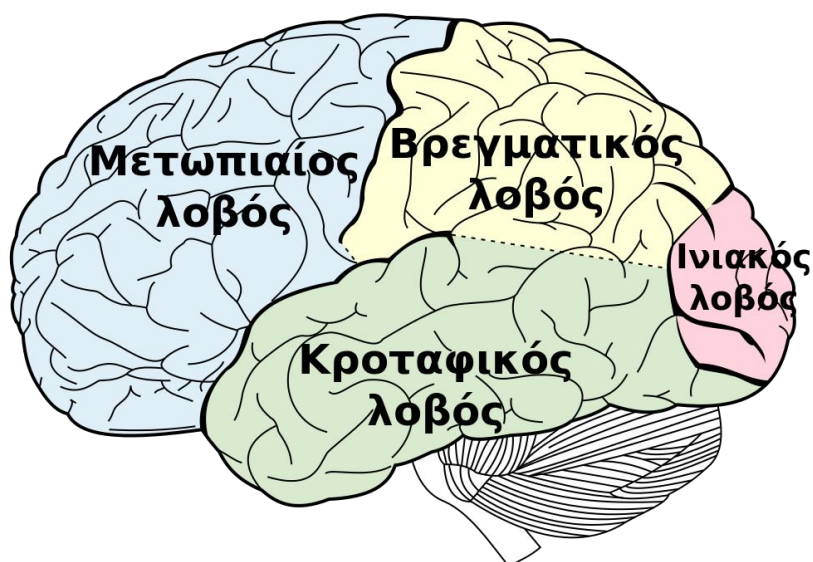
## 2.1.1 Ανθρώπινος εγκέφαλος

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος πρόκειται για ένα όργανο μάζας 1,3 - 1,4 κιλά και αποτελείται από δισεκατομμύρια νευρικά και νευρογλοιακά κύτταρα που δικτυώνονται μεταξύ τους για την ανταλλαγή πληροφοριών. Πάνω από το 50% του εγκεφαλικού φλοιού αποτελεί συνειρμικές περιοχές που είναι υπεύθυνες για τη μνήμη, αιτιολόγηση, έκφραση - ομιλία, συναισθήματα και κρίση. Για την διαφύλαξη της ασφάλειας τους περιβάλλεται από την κρανιακή κοιλότητα και τρεις επιπλέον προστατευτικές μεμβράνες, τις μήνιγγες. Ανάμεσα στις δυο εσωτερικές μήνιγγες βρίσκεται το εγκεφαλονωτιαίο υγρό, που συμβάλλει στη μείωση των κραδασμών και στη θρέψη και στήριξη του εγκεφάλου. Ο εγκέφαλος οπτικά μπορεί να χωριστεί σε δύο περιοχές ανάλογα με το χρώμα, μία γκρι που ονομάζεται φαιά ουσία και μια λευκή, την λευκή ώση. Η αλλαγή στα χρώματα οφείλεται στο γεγονός ότι η φαιά ουσία περιέχει τα κυτταρικά σώματα των νευρώνων, τα οποία δεν περιέχουν μυελίνη, ενώ η λευκή ώση πρόκειται για τις εμμύελες νευρικές ίνες, δερμάει τους νευράξονες αυτών των κυττάρων που έχουν μυελίνη. Ανατομικά ο εγκέφαλος χωρίζεται σε τρεις περιοχές τα εγκεφαλικά ημισφαίρια, το στέλεχος και την παρεγκεφαλίδα, Όπως αποτυπώνεται στην **Εικόνα 2**.



**Εικόνα 2.** Οι 3 περιοχές στις οποίες χωρίζεται ανατομικά ο εγκέφαλος. [2]

Τα ημισφαίρια μπορούν να χαρακτηριστούν ως τα σημαντικότερα τμήματα για τη λειτουργία του εγκεφάλου, στην επιφάνεια τους εμφανίζουν πολλαπλές αυλακώσεις (αύλακες) και προεξοχές (έλικες). Οι βαθιές αύλακες λέγονται σχισμές και η πιο μεγάλη σε μήκος είναι εκείνη υπεύθυνη για τον χωρισμό του εγκεφάλου σε ημισφαίρια. Το αριστερό ημισφαίριο σχετίζεται με την ομιλία, την κατανόηση, τη γραφή και την αριθμητική, ενώ το δεξί σχετίζεται με λειτουργίες όπως τη δημιουργικότητα, χωρικές ικανότητες και μουσικές και καλλιτεχνικές δεξιότητες. Τα δύο ημισφαίρια συνδέονται μεταξύ τους στη βάση με το μεσολόβιο. Τα ημισφαίρια χωρίζονται από σχισμές σε λοβούς όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3**.



**Εικόνα 3.** Οι τέσσερις εγκεφαλικοί λοβοί. [2]

Οι εγκεφαλικοί λοβοί είναι τέσσερις σε σύνολο, ο μετωπιαίος, ο βρεγματικός, ο κροταφικός και ο ινιακός. Συγκεκριμένες περιοχές στο οπίσθιο μέρος του μετωπιαίου λοβού είναι υπεύθυνες για την κίνηση ορισμένων σκελετικών μυών, ενώ γενικώς σχετίζεται με την συμπεριφορά, τη προσωπικότητα, τη νοημοσύνη και τα συναισθήματα. Στον βρεγματικό λοβό

καταλήγουν οι ώσεις των αισθητικών νευρώνων και είναι το σημείο που ερμηνεύεται η αίσθηση και η αφή. Η πρόσθια περιοχή του λοβού είναι υπεύθυνη για την αφή, τη πίεση και την αίσθηση του πόνου ενώ οι υπόλοιπες αντιλαμβάνονται ερεθίσματα από διάφορα μέρη του σώματος. Επιπλέον, ο ινιακός λοβός είναι το κέντρο της όρασης και βοηθάει στην αντίληψη του χρώματος, του φωτός και της κίνησης. Τέλος ο κροταφικός λοβός αποτελεί το κέντρο της ακοής και επιμελείται λειτουργίες όπως η μνήμη και η αναγνώριση της γλώσσας

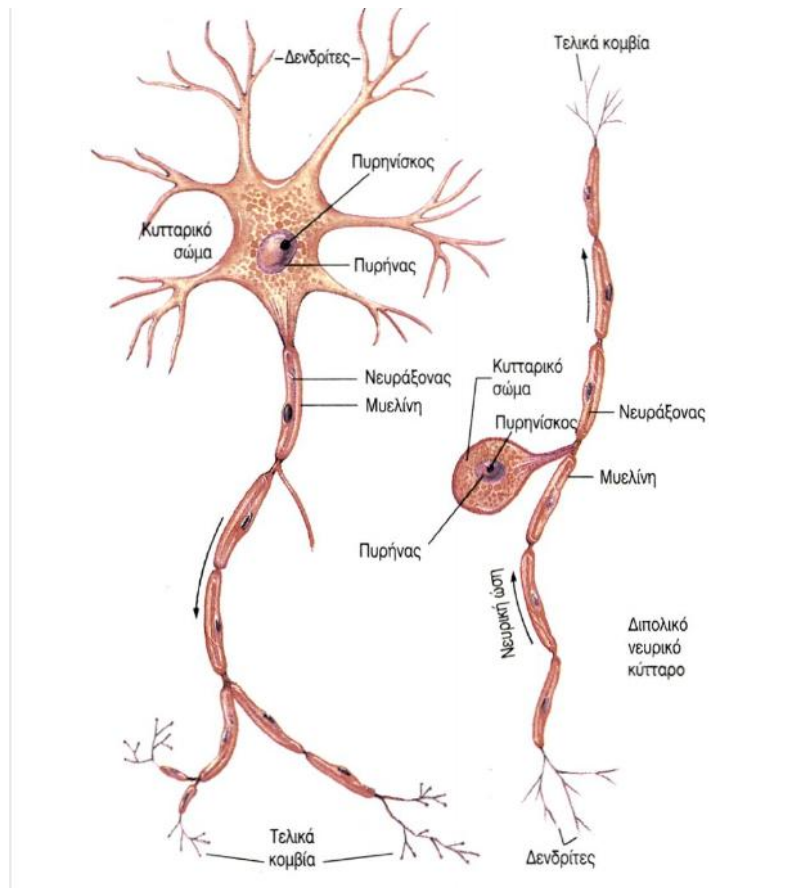
Από το στέλεχος του εγκεφάλου διέρχονται αμφίδρομα πληροφορίες ανάμεσα στον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Είναι υπεύθυνο για βασικές ζωτικές λειτουργίες του οργανισμού όπως η αναπνοή, η ρύθμιση του καρδιακού παλμού και τον ύπνο, ενώ ρυθμίζει και λειτουργίες όπως η προσοχή και η συγκέντρωση. Η παρεγκεφαλίδα λαμβάνει πληροφορίες από αισθητήρια όργανα του σώματος και τα ερμηνεύει. Επιπλέον, είναι υπεύθυνη για κινητικές λειτουργίες όπως κίνηση, ισορροπία και κατ' επέκταση σωστή στάση.

Ανάμεσα στα δύο ημισφαίρια βρίσκεται ο διεγκέφαλος, ο οποίος χωρίζεται σε 3 μέρη. Τον θάλαμο, τον υποθάλαμο και την υπόφυση. Στον θάλαμο καταλήγουν οι πληροφορίες που προέρχονται από τα περιφερειακά νευρικά κύτταρα, εκεί επεξεργάζονται και κατευθύνονται στο κατάλληλο ημισφαίριο. Ο υποθάλαμος βρίσκεται στο έδαφος της τρίτης κοιλότητας και αναλαμβάνει λειτουργίες όπως η ομοιόσταση του οργανισμού, η πείνα, η δίψα και η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος. Τέλος, η υπόφυση βρίσκεται στη βάση του κρανίου επάνω σε μία μικρή θήκη οστού και είναι υπεύθυνη σε συνεργασία με τον υποθάλαμο για την έκκριση ορμονών από τους αδένες.

## 2.1.2 Ηλεκτροφυσιολογία Εγκεφάλου

Τα όργανα του νευρικού συστήματος αποτελούνται από δύο ειδών κύτταρα, τα νευρικά κύτταρα/ νευρώνες και τα νευρογλοιακά. Οι νευρώνες αποτελούν την βάση για τη δομή και τη λειτουργία του νευρικού συστήματος και αντιδρούν σε μεταβολές του περιβάλλοντος, όπως αλλαγή θερμοκρασίας, pH κ.α. Τα νευρογλοιακά κύτταρα είναι περισσότερα σε πλήθος και δρουν κυρίως βοηθητικά. Περιβάλλουν τους νευράξονες και συμβάλλουν στην μόνωση και τη γρηγορότερη μεταφορά της ώσης.

Οι νευρώνες, όπως φαίνεται στην **εικόνα 3** αποτελείται από το κυτταρικό σώμα το οποίο περιέχει τα δομικά σημεία του κυττάρου, όπως τον πυρήνα και τα οργανίδια και τις νευρικές αποφιάδες που χωρίζονται στους δενδρίτες και τους νευράξονες. Οι δενδρίτες είναι μικρές σε μήκος αποφιάδες που εμφανίζουν πολλές διακλαδώσεις, αντιθέτως οι νευράξονες έχουν μεγάλο μήκος, ξεπερνώντας το 1 μέτρο σε ορισμένες περιπτώσεις όπου στο τέλος τους διακλαδίζονται σε μικρές απολήξεις καθεμία από τις οποίες καταλήγει σε ένα τελικό άκρο, ονομαζόμενο τελικό κομβίο.

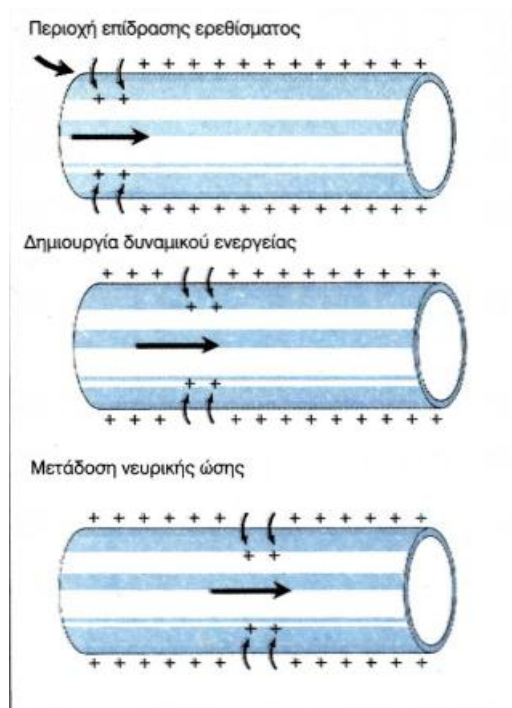


Εικόνα 4. Δομή νευρικού κυττάρου [3]

Το δυναμικό ηρεμίας παρουσιάζεται όσο ο νευρώνας βρίσκεται σε ηρεμία, δηλαδή η εξωτερική μεμβράνη δεν δέχεται ερεθίσματα. Η κυτταρική μεμβράνη εξωτερικά περιέχει υψηλή συγκέντρωση σε ιόντα νατρίου  $\text{Na}^+$ , ενώ εσωτερικά είναι φορτισμένη με ιόντα καλίου  $\text{K}^+$  και άλλων αρνητικών ιόντων όπως  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  κ.α. Αυτή η άνιση κατανομή διατηρείται μέσω ενός μηχανισμού ενεργητικής μεταφοράς που εντοπίζεται στην μεμβράνη που περιβάλλει το νευρικό κύτταρο και ονομάζεται αντλία  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Ο τρόπος λειτουργίας της είναι πως για κάθε 3 ιόντα  $\text{Na}^+$  που απομακρύνει από το εσωτερικό του κυττάρου, ταυτόχρονα μεταφέρει 2 ιόντα  $\text{K}^+$ , ενώ τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα διαχέονται ελάχιστα. Τα εξωτερικά θετικά ιόντα και τα εσωτερικά αρνητικά ιόντα προκαλούν μια διαφορά δυναμικού ίση με  $-70\text{mV}$  που ορίζεται ως δυναμικό ηρεμίας.

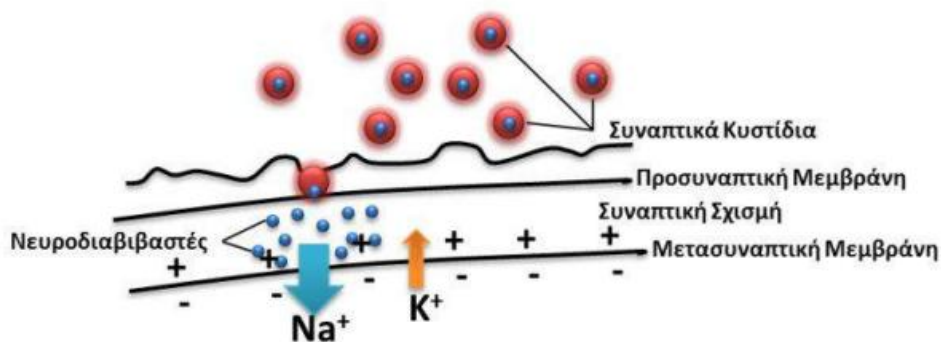
Η νευρική ώση παρατηρείται στις μεταβολές του περιβάλλοντος που προκύπτουν από διάφορα ερεθίσματα και επιδρούν στο δυναμικό ηρεμίας. Αν ο νευρώνας δεχθεί κάποια συγκεκριμένης έντασης ερεθίσματα για περισσότερη χρονική διάρκεια από 1 msec η διαπερατότητα της μεμβράνης σε ιόντα  $\text{Na}^+$  αυξάνεται. Με αυτόν τον τρόπο εισάγονται μαζικά πολλά ιόντα  $\text{Na}^+$  στο κύτταρο και επιφέρει στην θετική εσωτερική φόρτιση της μεμβράνης, με τη τιμή της να φτάνει στα  $50\text{mV}$ . Κατ' ακολουθία για ένα μικρό χρονικό διάστημα απομακρύνονται από το κύτταρο ιόντα  $\text{K}^+$  λόγω προσωρινής αύξησης της διαπερατότητας στο συγκεκριμένο ιόν. Εκείνη τη στιγμή το δυναμικό λαμβάνει τιμές μικρότερες από  $-70\text{mV}$ . Όταν πλέον η διαπερατότητα επανέλθει στα σημεία που βρισκόταν προ επιδράσεως του ερεθίσματος, αποκαθίσταται η συγκέντρωση των ιόντων και η διαφορά δυναμικού επανέρχεται στα  $-70\text{mV}$ . Οι αλλαγές που προκλήθηκαν στην στο δυναμικό της μεμβράνης του συγκεκριμένου κυττάρου αποτελούν ερέθισμα στα γειτονικά κύτταρα και με αυτόν τον τρόπο το δυναμικό ενέργειας μεταδίδεται κατά μήκος του νευράξονα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται νευρική ώση.





**Εικόνα 5.** Σχηματική αναπαράσταση νευρικής ώσης. [3]

Οι συνάψεις αποτελούν τον τρόπο σύνδεσης ανάμεσα στους νευρώνες, ενώ ταυτόχρονα καθορίζουν την κατεύθυνση μεταφοράς των νευρικών ώσεων καθώς η πορεία που ακολουθούν είναι από το προσυναπτικό προς το μετασυναπτικό άκρο. Λειτουργούν συνδέοντας τα τελικά κομβία ενός νευράξονα με άλλα νευρικά κύτταρα ή με ειδικά διαμορφωμένες θέσεις εκτελεστικών οργάνων π.χ. μυών, αδένων κ.α. Μέσω των συνάψεων επιτυγχάνεται η μεταφορά της νευρικής ώσης με τη βοήθεια ορισμένων χημικών ενώσεων, που λέγονται νευροδιαβιβαστικές ουσίες, οι οποίες παράγονται από τα νευρικά κύτταρα. Η δράση τους διαρκεί για μικρά χρονικά διαστήματα καθώς είτε απορροφούνται από το προσυναπτικό άκρο είτε αποικοδομούνται με τη βοήθεια ενζύμων. Η πιο διαδεδομένη στο ΚΝΣ και το ΠΝΣ είναι η ακετυλοχολίνη. Ορισμένα ερεθίσματα μεταβάλλουν το δυναμικό της κυτταρικής μεμβράνης, αυτό μεταδίδεται κατά μήκος όλου το άξονα, με την ώση να καταλήγει στα τελικά κομβία. Εκείνη την στιγμή απελευθερώνονται οι νευροδιαβιβαστικές ουσίες μέσω μίας συνοπτικής σχισμής και προσδένονται στους υποδοχείς του μετασυναπτικού άκρο. Σε περίπτωση που δράσει διεγερτικά προκαλεί αύξηση στην διαπερατότητα της μετασυναπτικής μεμβράνης σε  $\text{Na}^+$ , όπου με τη σειρά του οδηγεί στην μαζική εισροή ιόντων  $\text{Na}^+$  που ισοδυναμεί με την δημιουργία νευρικής ώσης κατά μήκος του νευράξονα.



**Εικόνα 6.** Αναπαράσταση νευρικής σύναψης με τη παρουσία νευροδιαβιβαστών [4]

### 2.1.3 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Οι πρώτες μελέτες για το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα πραγματοποιήθηκαν το 1929 από τον Hans Berger και εκ τότε έχει καθιερωθεί ως κλινικό διαγνωστικό εργαλείο για νευρολογικές παθήσεις αλλά και ερευνητικούς σκοπούς. Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα παρακολουθεί και καταγράφει την ηλεκτρική δραστηριότητα στο τριχωτό της κεφαλής. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελεί ένα περίπλοκο σύστημα το οποίο μεταφέρει και επεξεργάζεται πληροφορίες. Λειτουργεί μέσω των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε πολλούς νευρώνες είτε στο κεντρικό είτε στο περιφερειακό σύστημα. Όταν η νευρική δραστηριότητα μεταφέρεται και είναι αισθητή στην επιφάνεια του κρανιακού φλοιού καταγράφεται ως ηλεκτροεγκεφαλογραφικό σήμα.

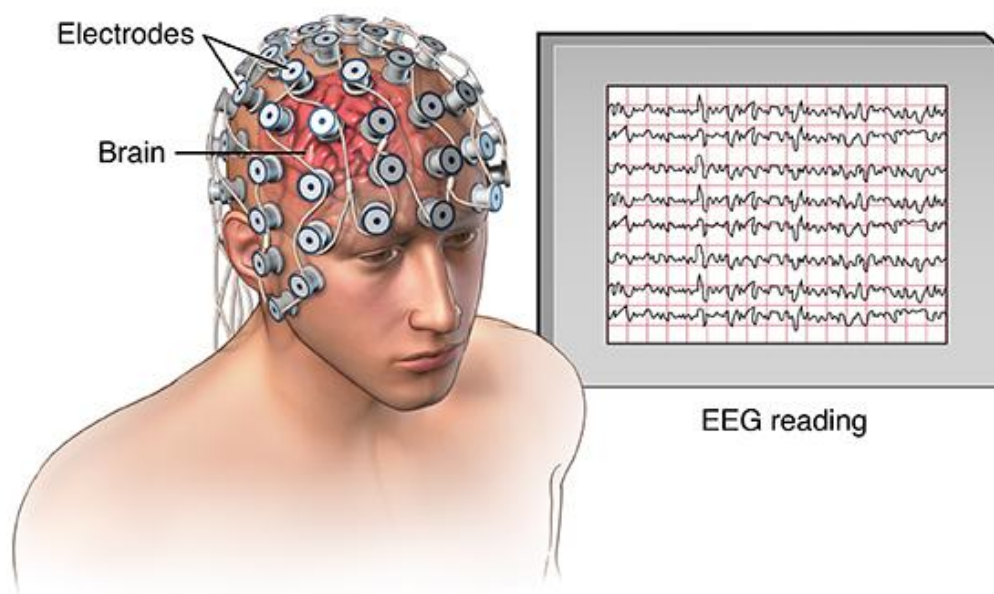
Οι δραστηριότητες που καταγράφονται από τα ηλεκτρόδια είναι το δυναμικό δράσης ή τα διεγερτικά μετασυναπτικά δυναμικά. Το δυναμικό δράσης παράγεται κατά τη δημιουργία της νευρικής ώσης και ξεκινά από την αρχή του άξονα “ρέοντα” δια μέσου του, έως τις προσυναπτικές μεμβράνες. Και οι δύο δραστηριότητες προκύπτουν από την άθροιση πολλαπλών μετασυναπτικών δυναμικών στη πυραμιδική στοιβάδα του εγκεφαλικού φλοιού που λειτουργούν είτε διεγερτικά είτε ανασταλτικά.

Κατά τη διαδικασία λήψης του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία του τριχωτού της κεφαλής ανάλογα με τον πίνακα τοπολογίας, με σκοπό να καταγράψουν ηλεκτρικά σήματα που προέρχονται από το κεντρικό νευρικό σύστημα. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος τοποθέτησης των ηλεκτροδίων είναι το σύστημα 10-20. Έπειτα γίνεται η προεπεξεργασία και η ποσοτική ανάλυση των καταγραφόμενων σημάτων και τελικά η καταγραφή και η αποθήκευση του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. Η εγκεφαλική δραστηριότητα μπορεί να αποτυπώνεται είτε σε χαρτί με τη βοήθεια γαλβανόμετρων είτε σε οθόνη υπολογιστή.

Η διαδικασία λήψης του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος απαιτεί συγκεκριμένο εξοπλισμό. Αρχικά, χρειάζονται τα ηλεκτρόδια που θα τοποθετηθούν στον ασθενή για την ανίχνευση ηλεκτρικών σημάτων στον εγκεφαλικό φλοιό και την εισαγωγή αυτών στο σύστημα. Έπειτα, διότι τα σήματα είναι ασθενή απαιτείται ενίσχυση. Ο ιδανικός ενισχυτής πρέπει να αντεπεξέρχεται καλά στον θόρυβο, να έχει χαμηλή διαρροή ρεύματος και υψηλή αναλογία αναστολής παρεμβολής. Στη συνέχεια, το σήμα πρέπει να φιλτράρεται. Ο ρυθμός δειγματοληψίας του ΗΕΓ είναι περίπου 250Hz που καλύπτει τη ζώνη 0-125 Hz. Πρακτικά ο ρυθμός μπορεί να είναι λίγο υψηλότερος προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη ανάλυση του σήματος σε αυτές τις περιπτώσεις τοποθετείται ειδικό φίλτρο για την απομάκρυνση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (50 ή 60 Hz). Τέλος, η καταγραφή το ΗΕΓ πρέπει να αποθηκευτεί σε εξωτερική συσκευή ώστε να είναι δυνατή η αρχειοθέτηση και ανάκτηση της.

Με τη πάροδο των χρόνων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας, τα σήματα μπορούν να επεξεργάζονται πιο γρήγορα και αποτελεσματικά, ανεξαρτήτως από το μέγεθος τους. Αυτό έδωσε την δυνατότητα για περαιτέρω μελέτη του ΗΕΓ και εκτός νοσοκομειακών εργαστηρίων.

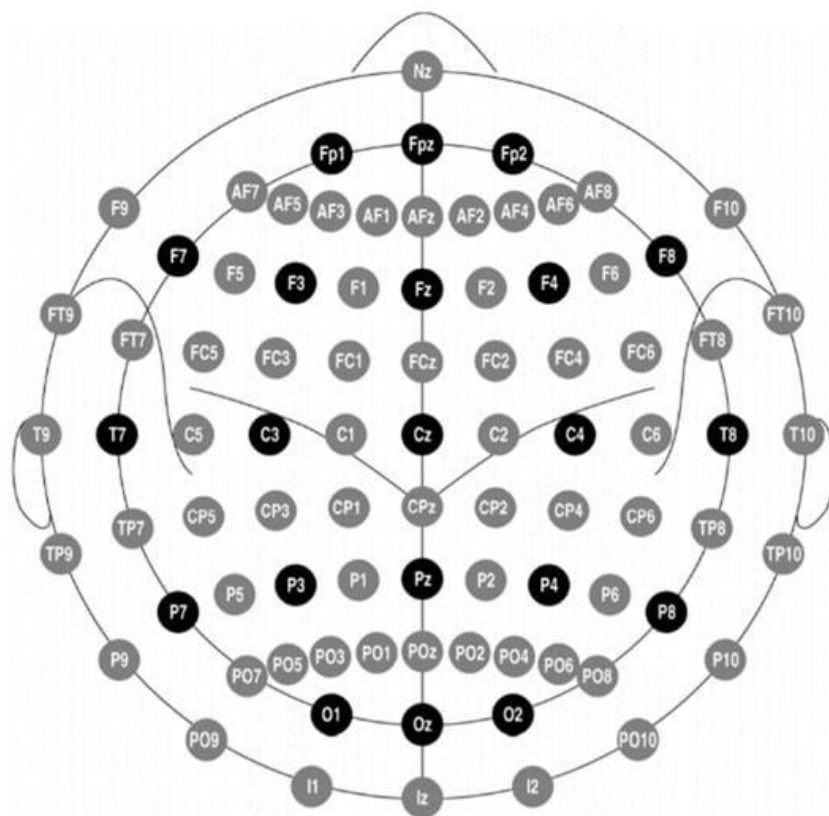
## Electroencephalogram (EEG)



Εικόνα 7.α. Καταγραφή ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος. [5]

### 2.1.3.1 Σύστημα τοποθέτησης ηλεκτροδίων

Τα πιο ευρέως διαδεδομένα συστήματα τοπολογίας ηλεκτροδίων κατά τη λήψη του ΗΕΓ από νευροφυσιολόγους είναι τα συστήματα 10-20 και 10-10. Τα σημεία τοποθέτησης των ηλεκτροδίων κατά αυτά τα συστήματα απέχουν κατά 10% ή 20% αντίστοιχα από το σημείο οδηγό. Η σειρά τοποθέτησης των ηλεκτροδίων είναι προκαθορισμένη ανάλογα με τα σημεία οδηγούς και ακολουθεί τη σειρά ινιακό όγκωμα, ριζορίνιο και τράγοι των δύο αυτιών. Η θέση του ηλεκτροδίου ξεκινά με ένα γράμμα είτε P για Partial είτε C για Central είτε F για Frontal είτε T για Temporal ή z για zero και ακολουθείτε από έναν ζυγό ή μονό αριθμό που υποδηλώνει την θέση του στη δεξιά η αριστερή πλευρά αντίστοιχα (π.χ. η μορφή που ακολουθεί είναι Fp1,Fp2, C3,T4) όπως φαίνεται και στην **εικόνα 7.β**. Το σύστημα 10-10 προσφέρει πιο λεπτομερή δεδομένα και χρησιμοποιείται κυρίως για κλινικούς σκοπούς, ενώ το σύστημα 10-20 μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε κλινικές -ιατρικές μελέτες όσο και άλλες μελέτες.



**Εικόνα 7.β** Πίνακας τοπολογίας ηλεκτροδίων για το σύστημα 10-20 και 10-10. Με το μαύρο χρώμα είναι τα σημεία τοποθέτησης για το σύστημα 10-20 και με γκρι χρώμα για σημεία τοποθέτησης για το σύστημα 10-10. [6]

### 2.1.3.2 Ερμηνεία και περιγραφή ηλεκτροεγκεφαλογραφικών σημάτων.

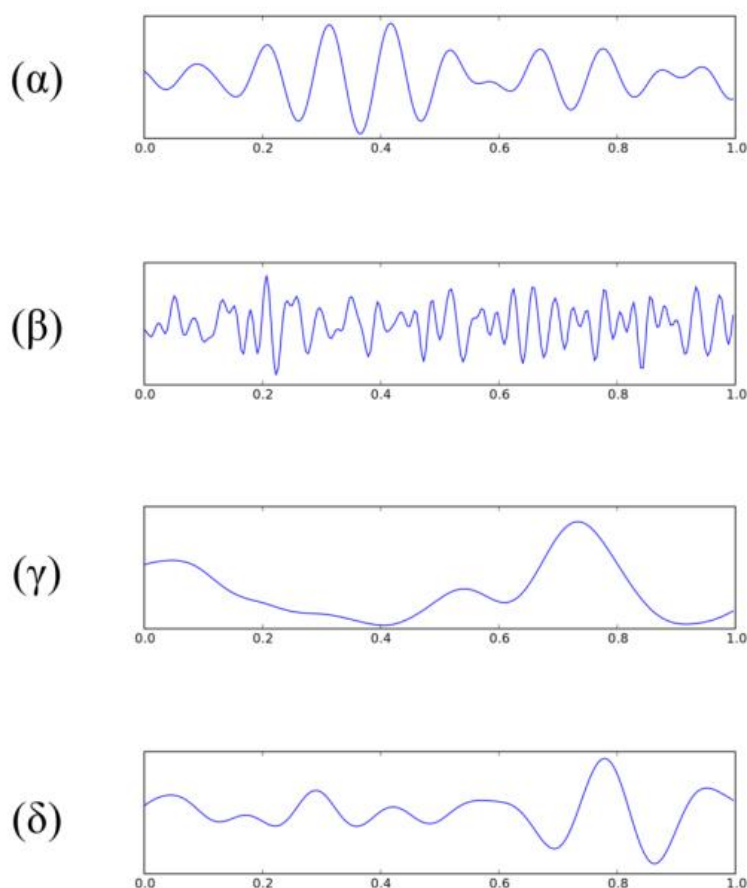
Μελετώντας το ΗΕΓ ως σήμα μπορεί να αποφανθεί πως μοιάζει αρκετά με τον θόρυβο, αυτό οφείλεται στην εκ φύσεως πολυπλοκότητα του νευρικού συστήματος. Αρχικά το ΗΕΓ αποτελεί θορυβώδη και ψευδοστοχαστική διαδικασία. Το πλάτος των ΗΕΓ κυμάτων κυμαίνεται ανάμεσα στα 10 και 300μV και επηρεάζεται από θορύβους όπως την αναπνοή, καρδιακούς παλμούς και ανοιγόκλεισμα ματιών που σε συνδυασμό με την υψηλού βαθμού τυχαιότητα και μη στασιμότητα καθιστούν εύκολη την αλλοίωση το σήματος. Επίσης, είναι μη στάσιμο και χρονικά μεταβαλλόμενο διότι διαφέρει ανάλογα με τη φυσιολογική κατάσταση και η κυματομορφή μπορεί να έχει τη μορφή ακανόνιστων αιχμών ή πολυαιχμών, πολυατράκτων ή ατράκτων. Στις περισσότερες παθολογικές καταστάσεις, όπως είναι οι επιληπτικές κρίσεις, το ΗΕΓ επιδεικνύει εμφανή παραδοξότητα ή μη-στασιμότητα. Ωστόσο, πρακτικά το ΗΕΓ μπορεί να θεωρηθεί στάσιμη διαδικασία για μικρές χρονικές περιόδους (περίπου 3,5 δευτερόλεπτα). Τέλος, παρουσιάζει μεγάλη μη γραμμικότητα λόγω της εξάρτησης του από τον χρόνο, τη κατάσταση και τη θέση

Το ΗΕΓ μπορεί να έχει τη μορφή μίας ισοηλεκτρικής γραμμής (ευθείας) που σηματοδοτεί την ηρεμία του ασθενή, είτε να παρουσιάζει επάρματα (αποκλίνουσες γραμμές από το οριζόντιο επίπεδο) που σηματοδοτούν τη διαφορά δυναμικού, δηλαδή την ενεργοποίηση νευρώνων λόγω κάποιου ερεθίσματος. Ο τρόπος ερμηνείας και τα συμπεράσματα που μπορούν να παρθούν έχουν άμεση σχέση με τη μορφολογία, τη πολικότητα, την συμμετρία του πλάτους και την κατανομή των επαυμάτων στον χώρο και χρόνο.

Από τις αρχικές μελέτες παρατηρήθηκε η ύπαρξη ρυθμικών ομαλά επαναλαμβανόμενων “ημιτονοειδών” κυμάτων, σταθερής συχνότητας και περιόδου. Αυτά τα κύματα έχουν μελετηθεί



και έχουν εντοπιστεί προσεγγιστικά τέσσερα είδη κυμάτων-ρυθμών, συχνά γνωστά και ως Berger Waves Η αρμονική συχνότητα τους καθορίζει τον ρυθμό που ανήκει το σήμα μιας απαγωγής. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι ζώνες συχνοτήτων δεν είναι σαφής αλλά προσεγγιστικές. Ο ρυθμός “άλφα” είναι τα κύματα με βασική συχνότητα 8-13Hz και πλάτος συνήθως 30μV (Εικόνα 7.α.). Ονομάζονται έτσι γιατί ήταν τα πρώτα κύματα που μελέτησε ο Hans Berger και εμφανίζονται στα υγιή άτομα όταν έχουν κλειστά μάτια και βρίσκονται σε ηρεμία. Το άνοιγμα των ματιών οδηγεί στη μείωση του ρυθμού άλφα. Ο ρυθμός “βήτα” είναι τα κύματα με υψηλή βασική συχνότητα 13-30Hz και χαμηλό πλάτος που συνήθως δεν υπερβαίνει τα 30μV (Εικόνα 7.β.). Ήταν ο δεύτερος ρυθμός που μελετήθηκε και παρατηρείται σε υγιείς ανθρώπους όσο είναι σε εγρήγορση και έχουν ανοιχτά μάτια. Ο ρυθμός “δέλτα” (Εικόνα 7.γ.) στους ενήλικες εμφανίζεται κατά τη διάρκεια ορισμένων φάσεων του ύπνο αλλά αποτελεί τον κύριο εγκεφαλικό ρυθμό κατά την νεογνή ηλικία έως τον 2 ετών. Η ζώνη συχνότητας τους είναι 0.5-4Hz και έχουν το πλάτος τους μπορεί να φτάσει μερικές εκατοντάδες μV. Τέλος στην Εικόνα 7.δ αποτυπώνεται ο ρυθμός “θήτα” ο οποίος έχει ζώνη συχνότητας 4-8Hz και πολύ χαμηλό πλάτος περίπου στα 400μV, αυτός ο ρυθμός εμφανίζεται κυρίως σε μικρά παιδιά κάτω από την ηλικία των 5 ετών.



**Εικόνα 8.** Κυρίαρχοι ρυθμοί από καταγραφές ΗΕΓ. **(α)** ρυθμός “άλφα” **(β)** ρυθμός “βήτα” **(γ)** ρυθμός “δέλτα” **(δ)** ρυθμός “θήτα” [7]

Όνομα ρυθμού	Συχνότητα	Πλάτος
Άλφα	8-13 Hz	30μV
Βήτα	13-30Hz	<30μV
Δέλτα	0.5-4Hz	10-300 μmV
Θήτα	4-8Hz	100μV

**Πίνακας 1.** Εγκεφαλικοί ρυθμοί

### **2.1.3.3 Επεξεργασία ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και διαγνώσεις.**

Η διαδικασία επεξεργασίας των ΗΕΓ σημάτων είναι μια προκαθορισμένη διεργασία και χωρίζεται σε πέντε βήματα. Αρχικά, απαιτείται η απομάκρυνση του θορύβου παρεμβολής από το σήμα για την εξασφάλιση της καλύτερης ποιότητας του. Έπειτα γίνεται η εξαγωγή χαρακτηριστικών όπου διαχωρίζονται κάποια χαρακτηριστικά με βάση κάποιες μετρικές οι οποίες μπορεί να είναι οι ζώνες συχνότητας, η εντροπία, η ισχύς φάσματος ακόμα και διαταραχές προερχόμενες από γεγονότα. Στη συνέχεια επιλέγονται χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται άμεσα με συγκεκριμένες διαγνώσεις, με αυτό τον τρόπο μειώνεται η διάσταση του προβλήματος. Στη συνέχεια όλα αυτά τα δεδομένα λειτουργούν ως είσοδοι για την εκπαίδευση αλγορίθμων ταξινόμησης προκειμένου να ανιχνευτούν τυχόν ανωμαλίες. Μετά την ταξινόμηση και κατηγοριοποίηση τα αποτελέσματα μπορούν να μελετηθούν και να χρησιμοποιηθούν σε κλινικές διαγνώσεις.

Τα εξαγόμενα αποτελέσματα μπορούν να αναλυθούν από ειδικούς νευροφυσιολόγους και να ανιχνεύσουν παθήσεις και διαταραχές. Οι πιο σύνηθες διαγνώσεις για τις οποίες χρησιμοποιείται το ΗΕΓ είναι:

- Επιληψία
- Εγκεφαλικό
- Λοιμώξεις νευρικού συστήματος (π.χ. εγκεφαλίτιδα)
- Εγκεφαλική βλάβη- τραυματισμοί στο κεφάλι
- Άνοια
- Όγκος στον εγκέφαλο
- Διαταραχές ύπνου
- Εγκεφαλικό θάνατο

## 2.2.1 Ορισμός διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή

Η διεπαφή εγκεφάλου υπολογιστή αποφέρει την άμεση σύνδεση ανάμεσα σε ανθρώπινο εγκέφαλο και ηλεκτρονικό υπολογιστή χωρίς τη χρήση μυϊκής δραστηριότητας και προσφέρει μεγάλο βαθμό ελευθερίας είτε για νοητική ή σωματική ενδυνάμωση είτε για υποκατάστατα άκρων σε ασθενείς. Κατά τη χρήση της ο υπολογιστής ελέγχεται μέσω νοητικών εντολών.

Τα συστήματα ΔΕΥ μπορούν να διαχωριστούν με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος είναι ο πρώτος είναι με βάση τον τη προέλευση των σημάτων όπου χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες, τα παθητικά που προέρχονται από ακούσιες γνωστικές καταστάσεις του εγκεφάλου. Τα ενεργά όπου τα σήματα λαμβάνονται από εκούσια εγκεφαλικά δραστηριότητα ή από εξωτερικά ερεθίσματα και τέλος τα αντιδραστικά που τα σήματα είναι εκούσια και προέρχονται από κινητικές εικόνες “Motor Imagery” ή από προκαλούμενα οπτικά ερεθίσματα.

Ο άλλος τρόπος διαχωρισμού των ΔΕΥ είναι βάσει της θέσης των ηλεκτροδίων και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες επεμβατικά και μη επεμβατικά. Στην πρώτη κατηγορία τα σήματα προέρχονται από χειρουργικά εμφυτευμένα ηλεκτρόδια στον εγκέφαλο. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε άτομα με σοβαρές κινητικές αναπηρίες καθώς συμβάλλει στην ανάκτηση της αυτονομίας τους. Προσφέρει σήματα υψηλότερης ποιότητας με λιγότερο θόρυβο. Στα μη επεμβατικά συστήματα τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στην επιφάνεια του τριχωτού της κεφαλής, ο πιο σύνηθες τρόπος ανάκτησης σημάτων είναι μέσω ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος όπου καταγράφει την ηλεκτροεγκεφαλικά δραστηριότητα στις περιοχές του εγκεφάλου. Οι κλινικές συσκευές περιλαμβάνουν είτε 32 είτε 64 ηλεκτρόδια, ενώ στις εμπορικές το πλήθος των ηλεκτροδίων κυμαίνεται από 1 έως 64. Αυτού του τύπου συστήματα συμφέρουν καθώς είναι πιο φθηνά, προσβάσιμα και ασφαλή για πειράματα.

## 2.2.2 Υλοποίηση και εφαρμογές διεπαφών εγκεφάλου υπολογιστή

Η πρώτη προσπάθεια υλοποίησης διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή προτάθηκε από τον J.J Vidal [8] σε σχετικό άρθρο το 1973. Τα τελευταία χρόνια έχουν υλοποιηθεί πολλαπλές ΔΕΥ με σκοπό την εφαρμογή τους σε διαφορετικούς τομείς της επιστήμης. Ασχέτως τον σκοπό υλοποίησης όλες οι ΔΕΥ λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο. Για την λήψη των εντολών χρησιμοποιείται συσκευή ΗΕΓ, προκειμένου να καταγράψει την ηλεκτροεγκεφαλικά δραστηριότητα. Τα ηλεκτρόδια μπορεί είτε να τοποθετούνται επεμβατικά είτε στο τριχωτό της κεφαλής. Συνήθως προτιμάται ο δεύτερος τρόπος καθώς είναι πιο ασφαλής και πιο οικονομικός. Οι ΗΕΓ μπορεί να είναι είτε κλινικής χρήσης με 32 ή 64 ηλεκτρόδια είτε εμπορικοί όπως το Muse 2, Epoch +, Insight κ.α οι οποίοι με τη σειρά τους μπορούν να έχουν στεγνά ή υγρά ηλεκτρόδια. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως έχουν υπάρξει μελέτες οι οποίες λαμβάνουν τα ΗΕΓ σήματα μέσω μαγνητικών τομογράφων ώστε να εντοπίζουν δραστηριότητα σε σημεία του εγκεφάλου που δεν μπορεί να ανιχνεύσει ο απλός ΗΕΓ. Έπειτα, τα σήματα υποβάλλονται σε τεχνικές επεξεργασίας σήματος όπως φιλτράρισμα, αφαίρεση θορύβου με σκοπό την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών. Στη συνέχεια, τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση πληροφοριών (π.χ μοτίβων) και συμβάλουν στην διαδικασία της ταξινόμησης. Για τη ταξινόμηση συνήθως χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης προκειμένου να κατηγοριοποιήσουν τα εγκεφαλικά σήματα σε διαφορετικές κατηγορίες που αντιπροσωπεύουν τις εντολές-προθέσεις του χρήστη. Τέλος, η εντολή αποτυπώνεται στον υπολογιστή ή στη συσκευή ως κίνηση, οπτικό ερέθισμα ή ήχος.

Οι εφαρμογές των ΔΕΥ μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ελέγχου και παρακολούθησης. Οι ΔΕΥ που χρησιμοποιούνται για έλεγχο βρίσκουν εφαρμογή σε έλεγχο

εξωτερικών συσκευών μέσω νοητικών εντολών. Αντιθέτως, οι εφαρμογές παρακολούθησης στοχεύουν στην ανίχνευση της νοητικής ή ψυχικής κατάστασης και την προσαρμογή του περιβάλλοντος του χρήστη. Αυτού του είδους διεπαφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για διαγνωστικούς σκοπούς.

Οι ΔΕΥ μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλούς τομείς ο κυριότερος είναι σε αποκατάσταση ατόμων με αναπηρία καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τεχνική ενδυνάμωσης τόσο σε νοητικό επίπεδο αλλά και σε σωματικό. Με τη χρήση της διεπαφής οι εργοθεραπευτικές ασκήσεις γίνονται πιο ενδιαφέρουσες και αλληλεπιδραστικές τον καθιστούν πιο πρόθυμο να συμμετάσχει. Επιπλέον, σε συνδυασμό με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, οι ασθενείς μπορούν να υποβάλλονται σε εξειδικευμένες ασκήσεις που συμβάλουν σε πιο γρήγορη αποκατάσταση σε σημεία και κινήσεις που υστερούν. Επίσης σε άτομα που δεν μπορεί να αποκατασταθεί η κινητικότητα τους ΔΕΥ μπορούν ενσωματωθούν σε προσθετικά μέλη ή ακόμα και αμαξίδια προκειμένου να διευκολυνθούν και να αποκτήσουν ορισμένες ελευθερίες. Επιπλέον, επειδή για τον έλεγχο των ΔΕΥ ορισμένες εγκεφαλικές δραστηριοποιούνται έντονα και για μεγάλα χρονικά διαστήματα, βελτιώνεται η πλαστικότητα του εγκεφάλου. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικό για πλήρη αποκατάσταση ασθενείς των οποίων εγκεφαλικές περιοχές έχουν νεκρωθεί (π.χ από εγκεφαλικό).

Πέρα από τον βιοϊατρικό τομέα χρησιμοποιείται και σε άλλες εφαρμογές όπως χαρτογράφηση του εγκεφάλου με σκοπό την ανίχνευση ψεμάτων, υπολογισμού χρόνου αντιδράσεων σε συγκεκριμένα ερεθίσματα, έλεγχος ρομπότ και βιντεοπαιχνιδιών ακόμα και επαυξημένης πραγματικότητας. Το 2020 ο οργανισμός “Brain/Neural Computer Interaction” κοινοποίησε 6 θεματικές για τη χρήση ΔΕΥ. [9]

- Επαναφορά λειτουργικότητας σε ασθενείς.
- Αντικατάσταση μη λειτουργικών άκρων με χρήση έξυπνων προσθετικών μελών και νευροπροσθετικών.
- Ενίσχυση εμπειρίας χρηστών σε βιντεοπαιχνίδια .
- Συμπλήρωση πραγματικότητας μέσω ενσωμάτωσης τους με επαυξημένη πραγματικότητα.
- Βελτίωση μέσω επαναφορά κινήσεων σε άτομα που είχαν υποστεί προσωρινές εγκεφαλικές βλάβες π.χ από εγκεφαλικό.
- Έρευνα για αποκρυπτογράφηση όλων των εγκεφαλικών λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο.

Λόγω της πρόσφατης και ραγδαίας εξέλιξης των ΔΕΥ υπάρχουν ακόμη πολλοί ηθικοί προβληματισμοί και ενδιαασμοί για την ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων, και παραβίαση ιδιωτικότητας των χρηστών. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η πλήρης εμπιστοσύνη ανάμεσα στον χρήστη και τους κατασκευαστές πρέπει να θεσπιστούν τα κατάλληλα νομικά πλαίσια ώστε να επιτευχθεί το αίσθημα ασφάλειας. Πρόσφατες μελέτες προτείνουν την χρήση κωδικών για τη σύνδεση στη διεπαφή ή ακόμη και πρόσβαση μόνο με την αναγνώριση προσώπου.

## 2.3 Εφαρμογές διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή στον τομέα του gaming

Τα τελευταία χρόνια με η εξέλιξη των υπολογιστών επέτρεψε στην ανάπτυξη καλύτερων γραφικών και υποστήριξης παιχνιδιών που απαιτούν μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ. Καθ'αυτὸν τὸν τρόπο ἡ βιομηχανία τῶν βιντεοπαιχνιδιῶν χρειάστηκε νὰ ἐξελιχθεῖ ὥστε νὰ βελτιωθεῖ ἡ συνολικὴ ἐμπειρία τοῦ χρήστη. Ἐνας τρόπος νὰ πραγματοποιηθεῖ αὐτὸ εἶναι ἡ εἰσχώρηση τῶν ΔΕΥ στον τομέα τοῦ gaming καὶ τῶν βιντεοπαιχνιδιῶν. Με αὐτὸν τὸν τρόπο τὰ βιντεοπαιχνίδια γίνονται πιο ἐλκυστικὰ καὶ ἡ ἐμπειρία τοῦ παίκτη εἶναι πιο ἐντονὴ καὶ ζωντανή. Ἐπιπλέον, τὰ παιχνίδια αὐτὰ εἶναι προσβάσιμα σὲ ὅλους καθὼς δέχονται μόνο νοητικὲς ἐντολές καὶ δὲν απαιτοῦν σωματικὴ κίνηση.

Κύριο μέλημα γιὰ τὴν ἀνάπτυξη παιχνιδιῶν βασισμένα στὴ ΔΕΥ ἡ εἶναι ἡ ἐπίτευξη μιᾶς ἀμεσης καὶ φυσικῆς ἀλληλεπίδρασης ἀνάμεσα σὲ χρήστη με περιβάλλον, ὥστε νὰ παρακινεῖ τοὺς χρήστες νὰ βελτιῶνεται στον νοητικὸ ἔλεγχο μέσω συγκέντρωσης, ἐνῶ ταυτόχρονα διασκεδάζουν. Οἱ ἐρευνες ποὺ ἔχουν πραγματοποιηθεῖ στον τομέα τῆς ἀνάπτυξης παιχνιδιῶν ἐλεγχόμενων ἀπὸ ΔΕΥ ἀποδεικνύουν πως προσφέρουν ποικίλα οφέλη τόσο στὴν ἀπόκτηση νέων γνώσεων, σὲ ἀπόκτηση νέων ἐμπειριῶν καὶ βελτίωση δεξιοτήτων ποὺ σχετίζονται ἀμεσα με τὰ παιχνίδια ὅπως ἐπίλυση προβλημάτων, βελτίωση μνήμης καὶ βελτίωση με τὴν ἀπόδοσή του χρόνου.

Ἡ συνεχὴς ἀνάπτυξη τῆς βιομηχανίας βιντεοπαιχνιδιῶν ἐπηρεάζεται ἀμεσα ἀπὸ τὴν εξέλιξη τῆς εἰκονικῆς πραγματικότητας “VR” καὶ τὴν ἀνάπτυξη κατάλληλων εργαλείων καὶ τεχνικῶν γιὰ τὴ γρήγορη δημιουργία προτύπων. Οἱ παραπάνω παράγοντες βοήθησαν στὴν ἐνσωμάτωση τῶν ΔΕΥ στον τομέα τῶν βιντεοπαιχνιδιῶν. Ἐπιπλέον, ἀναπτύχθηκαν παιχνίδια ποὺ βοηθοῦν σὲ ἐρευνες, ὅπως παραδείγματα αποτελοῦν παιχνίδια ποὺ ἀναπτύχθηκαν γιὰ τὴ μελέτη ἀνθρώπινης συμπεριφορᾶς μέσω εἰκονικῶν ἐρεθισμάτων, παιχνίδια σχεδιασμένα γιὰ τὴν μέτρηση καὶ ἀξιολόγηση τῆς ἀπόδοσης χρήστη κ.α.

Στὶς ΔΕΥ τὰ σήματα λαμβάνονται με τὴ χρήση ἠλεκτροεγκεφαλογραφήματος ποὺ ἀνιχνεύει καὶ καταγράφει τὴ δραστηριότητα τῶν νευρῶν. Αὐτὰ τὰ κύματα ἀντιστοιχοῦν σὲ συνειδητὲς σκέψεις οἱ ὁποῖες ἀναλύονται ἀπὸ υπολογιστὴ καὶ μετατρέπονται σὲ ἐντολές ποὺ λειτουργοῦν ὡς εἰσοδοὶ στο παιχνίδι. Ὡς μετρικὲς γιὰ τὴν ἀπόδοση τοῦ χρήστη μποροῦν νὰ ληφθοῦν ὁ γνωστικὸς φόρτος, ἐπίπεδα ἀγχους, ἀφοσίωση - συγκέντρωση, χαλάρωση καὶ ἐξοικείωση.

## 2.4 Παρόμοιες εργασίες

Ἐντὸς τῶν τελευταίων χρόνων ἔχουν δημοσιευθεῖ πολλαπλά ἐπιστημονικὰ ἀρθρα ποὺ συνδυάζουν τὶς ΔΕΥ με παιχνίδια. Σκοπὸς γιὰ τὴν ἀνάπτυξη αὐτῶν τῶν παιχνιδιῶν εἶναι ὁ ἔλεγχος τοῦ ἐντὸς παιχνιδιοῦ παίκτη μέσω νοητικῶν ἐντολῶν. Σὲ αὐτὴ τὴν υποενοτητα παρουσιάζονται 5 ἐπιστημονικὰ ἀρθρα ποὺ πραγματεύονται παιχνίδια ἐλεγχόμενα ἀπὸ διεπαφὴ εγκεφάλου υπολογιστῆ. Χρησιμοποιήθηκαν 4 διαφορετικὲς συσκευές γιὰ τὴν καταγραφή τῶν ΗΕΓ δεδομένων τὸ Muse 2, Emotiv Epoch +, Neurosky Mindwave καὶ Emotiv Insight. Τὴ καλύτερη χωρική ἀνάλυση τὴν ἔχει τὸ Emotiv Epoch+ ποὺ ἔχει 14 ἠλεκτρόδια ἀκολουθεῖ τὸ Emotiv Insight με 5 ἠλεκτρόδια, μετὰ τὸ Muse 2 με 4 καὶ τελευταῖο εἶναι τὸ Neurosky Mindwave με 1 ἠλεκτρόδιο. Παρόλο τὴ μεγαλύτερη χωρική ἀνάλυση τοῦ Emotiv Epoch εἶναι δυσκολότερο στὴ τοποθέτηση τοῦ ὁπότε προτιμοῦνται μικρότεροι, πιο διακριτικοὶ ΗΕΓ ὅπως Muse 2 καὶ Insight .

Τὸ παιχνίδι Zombie Jumper [10] ἀναπτύχθηκε ἀπὸ τὸν Κ. Γλαβὰ στο Unity 3D Engine, ἀποτελεῖ ἓνα δισδιάστατο παιχνίδι ἐλεγχόμενο ἀπὸ ΔΕΥ με 2 ἐπίπεδα δυσκολίας. Γιὰ τὸν ἔλεγχο τοῦ παιχνιδιοῦ χρειαζόντουσαν δύο νοητικὲς ἐντολές, ἡ πρὸς τὰ εμπρός κίνηση καὶ τὸ ἀνοιγόκλεισμα ματιῶν ποὺ ἀντιπροσωπεύει τὴν ἀναπήδηση ἐντὸς τοῦ παιχνιδιοῦ. Στόχος τοῦ

παιχνιδιού είναι ο χρήστης να αποφύγει τα Zombies πηδώντας πάνω από αυτά. Για την λήψη των ΗΕΓ σημάτων χρησιμοποιήθηκε το Muse 2. Η επεξεργασία των σημάτων πραγματοποιήθηκε στη πλατφόρμα του OpenViBE και για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος γραμμικής ανάλυσης διάκρισης (LDA). Στο πρώτο επίπεδο δυσκολίας συμμετείχαν 37 εθελοντές ενώ στα δεύτερο επίπεδο δυσκολίας συμμετείχαν οι 18 καλύτεροι παίκτες. Η συγκεκριμένη μελέτη συνέβαλε και στόχευε στην κατανόηση και αξιολόγηση της εξοικείωσης που παρουσιάζουν οι χρήστες σε περιβάλλοντα ΔΕΥ με μετρικές όπως ο μέσος όρος σκορ και η βελτίωση.

Ο HjØrungdal [11] ανέπτυξε ένα περιβάλλον εκ μάθησης διαμέσου παιχνιδιού, το οποίο αναπτύχθηκε στο Unity 3D Engine για τον έλεγχο αναπηρικών αμαξιδίων μέσω εγκεφαλικών εντολών. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα βιντεοπαιχνίδι, η ΔΕΥ και ένα σύστημα ελέγχου αναπηρικού αμαξιδίου. Για την καταγραφή των ΗΕΓ δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Emotiv Epoch+, ενώ για την επεξεργασία τους χρησιμοποιήθηκε το API της ίδιας εταιρείας, το οποίο είναι συμβατό με Unity. Το παιχνίδι προσφέρει ανάδραση και εκτέλεση των εντολών εντός πραγματικού χρόνου, με αυτόν τον τρόπο οι χρήστες μαθαίνουν να ελέγχουν την κίνηση του αμαξιδίου μέσω νοητικών εντολών. Η διεπαφή αναλύει τα δεδομένα και τα μεταφράζει σε εντολές, οι οποίες με τη σειρά τους μετατρέπονται σε κινήσεις μέσω του μηχανισμού ελέγχου. Συνολικά οι χρήστες υποβλήθηκαν σε πέντε διαφορετικά επίπεδα του παιχνιδιού για πιο εκτεταμένη εκμάθηση του χρήστη. Οι συμμετέχοντες της συγκεκριμένης έρευνας ήταν ασθενείς με σοβαρά κινητικά προβλήματα. Το συνολικό δείγμα της συγκεκριμένης μελέτης είναι 3 άντρες οι οποίοι επέδειξαν αξιοσημείωτα ποσοστά βελτίωσής στον έλεγχο της ακρίβειας της ΔΕΥ και της ταχύτητας του αμαξιδίου.

Ο Vasiljevic [12] σχεδίασε ένα παιχνίδι νοητικού πολέμου "Mental War" ελεγχόμενο από τον ΗΕΓ NeuroSky MindWave, ο οποίος έχει 1 ηλεκτρόδιο. Για τη μεταφορά των σημάτων χρησιμοποιήθηκε μια ενότητα λογισμικού γραμμένη στη γλώσσα προγραμματισμού C++ ενώ τα γραφικά αναπτύχθηκαν σε SFML. Το αναφερόμενο παιχνίδι πρόκειται για μια προσομοίωση διελκυστίνδας όπου κερδίζει ο παίκτης με τον μεγαλύτερο βαθμό συγκέντρωσης. Το βιντεοπαιχνίδι έδινε την επιλογή 3 διαφορετικών λειτουργιών ενός παίκτη, ανταγωνιστικού και συνεργατικού. Στη λειτουργία ενός παίκτη, ο χρήστης ανταγωνίζεται τον υπολογιστή και υπάρχουν τρία επίπεδα δυσκολίας εύκολο, ενδιάμεσο και δύσκολο. Στο δεύτερο επίπεδο λειτουργίας, αυτό του ανταγωνιστικού, παίζεται με παραπάνω παίκτες οι οποίοι αντιμετωπίζουν ο ένας τον άλλον. Αυτός με τα υψηλότερα επίπεδα συγκέντρωσης παρασέρνει τον άλλον στην πλευρά του και κερδίζει. Στο τελευταίο επίπεδο λειτουργίας, συνεργατικό, οι παίκτες μοιράζονται σε ομάδες και ανταγωνίζονται είτε με τον υπολογιστή είτε με άλλη ομάδα. Ο βαθμός συγκέντρωσης της ομάδας προκύπτει μέσω του υπολογισμού του μέσου όρου όλων των βαθμών συγκέντρωσης των παιχτών. Για παράδειγμα εάν ένας παίκτης έχει χαμηλή συγκέντρωση, οι άλλοι παίκτες πρέπει να την αναπληρώσουν μέσω περισσότερης έμφαση στη συγκέντρωση. Για τη δοκιμή και αξιολόγηση του παιχνιδιού συμμετείχαν 24 άτομα. Η μέση βαθμολογία συγκέντρωσης για τον έναν παίκτη ήταν 53,49% και ο μέσος χρόνος συμμετοχής ήταν 90,99 δευτερόλεπτα. Ενώ για το δεύτερο και τρίτο επίπεδο λειτουργίας (ανταγωνιστικά και συνεργατικά) ο μέσος όρος ήταν ήταν 54,42% και η μέση διάρκεια 56,22 δευτερόλεπτα.

Ο Joselli [13] το 2014 σε σχετική δημοσίευση ανέπτυξε ένα παιχνίδι ονομαζόμενο MindNinja. Πρόκειται για παιχνίδι δράσης, ίδια φιλοσοφίας με το Fruit Ninja που επιτρέπει στους παίκτες να αλληλεπιδρούν εντός του παιχνιδιού με τη χρήση ΗΕΓ σημάτων. Ως ΗΕΓ χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Neurosky Mindwave. Σκοπός σχεδίασης του παιχνιδιού είναι η ανάπτυξη γνωστικών δεξιοτήτων που όπως συγκέντρωση και εστίαση. Η εργασία πραγματεύεται και αναλύει την γενική ιδέα πίσω από αυτό, την εξέλιξη του παιχνιδιού ενώ αξιολογεί και την αποτελεσματικότητά του. Περιλαμβάνει τις αρχές σχεδιασμού του παιχνιδιού και τη χρήση των σημάτων ΗΕΓ ως βάση για τον έλεγχο του παιχνιδιού. Επιπλέον, αναφέρεται την επιλογή και εφαρμογή αλγόριθμου εκμάθησης για την αξιολόγηση της απόδοσης του παίκτη. Κατά το στάδιο

της αξιολόγησης συμμετείχαν 11 άτομα. Και οι μετρικές αξιολόγησης των παικτών ήταν το σκορ, οι χαμένες κοπές, επίπεδο προσοχής, επίπεδο στρες, επίπεδο προσήλωσης και παρακολούθηση εξέλιξης.

Ο Rosca[14] το 2019 ανέπτυξε ένα τρισδιάστατο παιχνίδι νοητικού μπιλιάρδου στη πλατφόρμα του Unity 3D. Για τη λήψη των ΗΕΓ σημάτων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Emotiv Insight η οποία έχει 5 αισθητήρες. Μέσω του γυροσκοπίου 3 αξόνων του Emotiv ενημερώνονταν η θέση της λευκής μπάλας στο τραπέζι ώστε να ταιριάζει με τη θέση του παίκτη. Προκειμένου να παίξουν αυτό το παιχνίδι χρησιμοποιούνται η ουδέτερη στάση και τα επίπεδα προσοχής. Ο χρήστης είναι σε θέση να ελέγξει την ταχύτητα και τη δύναμη της λευκής μπάλας μέσω των επιπέδων προσοχής του. Πριν το πραγματικό πείραμα, οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν σε μια εκτός σύνδεσης επεξεργασία όπου εκπαιδεύτηκαν στις ουδέτερες καταστάσεις και τις καταστάσεις προσοχής. Για το επίπεδο προσοχής, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να οπτικοποιήσουν την κίνηση ενός κύβου. Το νοητικό μπιλιάρδο δοκιμάστηκε σε 3 υγιείς χρήστες οι οποίοι έπαιζαν έναν γύρο από κάθε παιχνίδι μέχρι να εξαντληθούν οι μπάλες επάνω στο τραπέζι.

## ***Κεφάλαιο 3: Εξαρτήματα και Μεθοδολογία***

---

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται το πρακτικό μέρος της διπλωματικής. Αρχικά, στην **ενότητα 3.1** επιδεικνύεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διεκπεραίωση των πειραμάτων. Έπειτα, ακολουθεί η **ενότητα 3.2** στην οποία περιγράφεται η σχεδίαση του παιχνιδιού. Τέλος, στην **ενότητα 3.3** επισημαίνεται η μεθοδολογία για την επεξεργασία των ΗΕΓ σημάτων και την εξαγωγή δεδομένων.

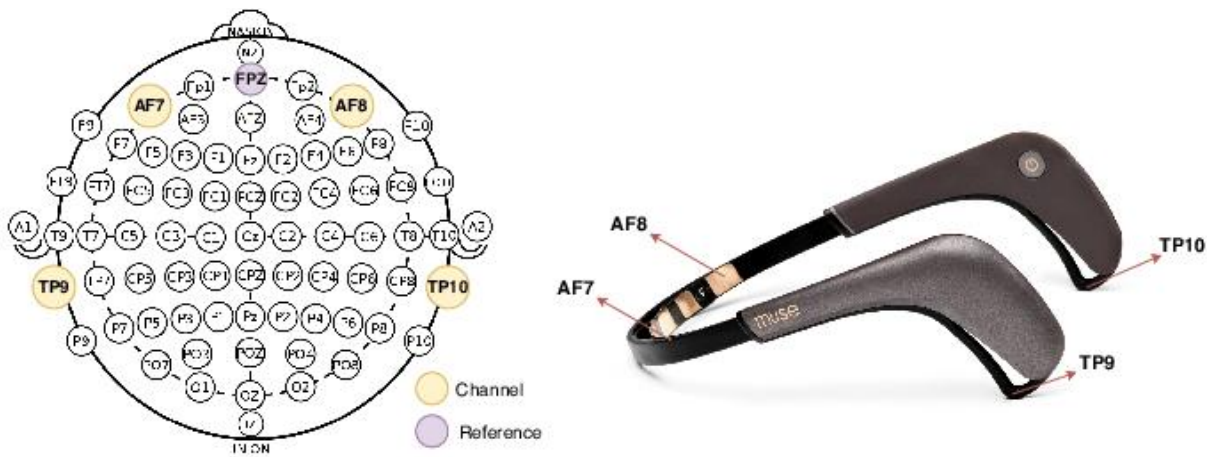
### **3.1 Εξοπλισμός**

Ο κύριος στόχος των πειραμάτων ήταν η εξοικείωση των χρηστών με το περιβάλλον της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Για να πραγματοποιηθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας εμπορικός ΗΕΓ για να μεταδίδει τα κατάλληλα σήματα σε ένα ελεγχόμενο από διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή παιχνίδι. Στην συγκεκριμένη υποενότητα αναφέρονται τα εξαρτήματα και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.

#### **3.1.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφος**

Για την εξαγωγή των ηλεκτροεγκεφαλικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Muse 2, που πρόκειται για μια εμπορική συσκευή ΗΕΓ, χαμηλού κόστους που προσφέρει μεγάλη ευελιξία καθώς είναι φορητός και προσαρμόζεται κατάλληλα στο κεφάλι κάθε χρήστη. Έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές και έρευνες μεταξύ αυτών και για διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή. Η σύνδεση του με τον υπολογιστή γίνεται μέσω Bluetooth. Το Muse 2 χρησιμοποιεί στεγνά ηλεκτρόδια και αυτό το καθιστά επιρρεπές σε εξωτερικούς θορύβους όπως κινήσεις και ηλεκτρικές συσκευές. Ωστόσο λόγω της τιμής του και της εύκολης μεταφοράς επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Το Muse έχει 4 ηλεκτρόδια τα οποία τοποθετούνται στον μετωπιαίο λοβό, τα δύο από αυτά βρίσκονται στα αριστερά, το ένα πίσω από το αυτί (TP9) και το άλλο στο μέτωπο (AF7) ενώ τα άλλα δύο στα δεξιά (AF8) και (TP10) στο μέτωπο και πίσω από το αυτί αντίστοιχα. Τα σήματα που καταγράφει συνδέονται με την συγκέντρωση, τον διαλογισμό και τη χαλάρωση. Επιπλέον, παρέχει και άλλους αισθητήρες όπως γυροσκόπιο, οξύμετρο και επιταχυνσιόμετρο για τη καταγραφή της κίνησης και της αναπνοής.





**Εικόνα 9. (α)** Στην αριστερή εικόνα επισημαίνονται τα σημεία τοποθέτησης των αισθητήρων. **(β)** Στη δεξιά φωτογραφία φαίνεται ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος Muse 2 με ενδείξεις για τη θέση των αισθητήρων πάνω στη συσκευή. [15]

### 3.1.2 BlueMuse

Το BlueMuse πρόκειται για μία εφαρμογή [39] η οποία συνδέεται με το Muse 2 μέσω Bluetooth και δίνει την δυνατότητα για ζωντανή μετάδοση μέσω του lab streaming layer (LSL) πρωτοκόλλου. Η συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι ευκολόχρηστη καθώς αναγνωρίζει αυτόματα όλους τους ΗΕΓ εντός της εμβέλειας του Bluetooth, ενώ μπορεί να υποστηρίξει την ταυτόχρονη σύνδεση και μετάδοση δεδομένων περισσότερων από ένα Muse. Επιπλέον, προσφέρει την απεικόνιση των ηλεκτροεγκεφαλογραφικών κυμάτων σε πραγματικό χρόνο, την ανάλυση συχνότητας και την παρακολούθηση της ψυχικής κατάστασης.

### 3.1.3 Lab Streaming Layer

Το Lab Streaming Layer [40] είναι ένα σύστημα ανοιχτού κώδικα και συμβατό με όλα τα λογισμικά της αγοράς. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο πραγματικού χρόνου το οποίο μπορεί να μεταδίδει, να καταγράφει και να συγχρονίζει χρονικά σειριακά δεδομένα που προέρχονται από εξωτερικούς αισθητήρες σε συσκευές του δικτύου, ακόμα και αν αυτά έχουν διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης. Επιπλέον, εξασφαλίζει την ασφαλή μετάδοση των των δεδομένων εφόσον προέρχεται από το TCP πρωτόκολλο. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος Muse 2 συνδέεται με την πλατφόρμα BlueMuse μέσω Bluetooth. Τα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα που προκύπτουν αποστέλλονται στον Acquisition Server της εφαρμογής OpenViBE μέσω μιας LSL ροής που δημιουργείται αυτόματα.

### 3.1.4 OpenViBE

Το OpenViBE πρόκειται για ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην ανάπτυξη διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα προσφέρει τη δυνατότητα καταγραφής, επεξεργασίας και ταξινόμησης των δεδομένων που προκύπτουν από τις καταγραφές του ηλεκτροεγκεφαλογράφου. Αυτή η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε εκτός σύνδεσης, είτε σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, περιέχει μία πληθώρα από ενσωματωμένους αλγορίθμους, (LDA, MLP κ.τ.λ) ενώ δίνει και την δυνατότητα προσθήκης νέων αλγορίθμων. Τέλος, παρέχει προγράμματα οδήγησης προκειμένου να συνδέει τους ηλεκτροεγκεφαλογράφους και με άλλες εφαρμογές.

## 3.2 Σχεδίαση Παιχνιδίου

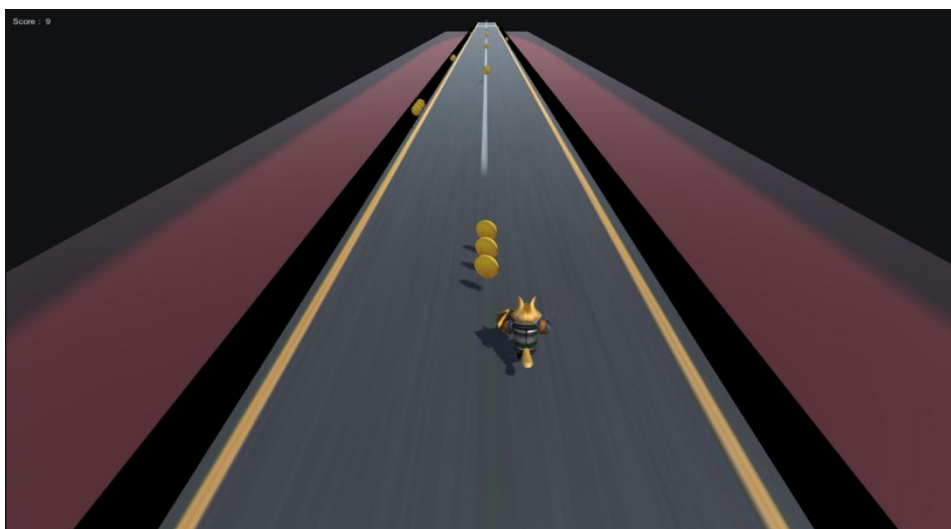
Η σχεδίαση και ανάπτυξη του παιχνιδιού υλοποιήθηκε στην πλατφόρμα του Unity. Το Unity χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάπτυξη διςδιάστατων και τριςδιάστατων παιχνιδιών και με την προσθήκη κατάλληλων βιβλιοθηκών και εργαλείων μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή.

Προκειμένου η εφαρμογή να λαμβάνει τα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα προστέθηκε η βιβλιοθήκη liblsl, για να συνδεθεί το Unity με την διεπαφή. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα που καταγράφει ο ηλεκτροεγκεφαλογράφος ταξινομούνται από τον ταξινομητή πραγματικού χρόνου, που αναπτύχθηκε στην πλατφόρμα του OpenViBE και στη συνέχεια αποστέλλονται στην εφαρμογή μέσω μίας ροής που δημιουργεί το LSL πρωτόκολλο. Με τη χρήση σεναρίων, γραμμένα στη γλώσσα προγραμματισμού C#, τα δεδομένα αποστέλλονται και λαμβάνονται από την εφαρμογή ανά δείγμα. Με αυτόν τον τρόπο, το παιχνίδι λαμβάνει τις εντολές για την κίνηση του παίχτη μέσω των ηλεκτροεγκεφαλικών δεδομένων αντί για τα πλήκτρα του υπολογιστή.

Οι εντολές που μπορεί να λάβει το συγκεκριμένο παιχνίδι χωρίζονται σε 3 κατηγορίες. Όσο ο χρήστης κοιτάει στα δεξιά και φαντάζεται να κινεί το δεξί του χέρι το δείγμα ανήκει στη πρώτη κατηγορία και ο παίχτης στρίβει στα δεξιά. Όσο ο χρήστης κοιτάει στα αριστερά και φαντάζεται να κινεί το αριστερό του χέρι το δείγμα ανήκει στη δεύτερη κατηγορία και ο παίχτης στρίβει στα αριστερά. Ενώ εάν ο χρήστης ανοιγοκλείσει τα μάτια του το δείγμα ανήκει στη τρίτη κατηγορία και ο παίχτης αναπηδά.

Το παιχνίδι είναι τριςδιάστατο και ο παίχτης κινείται συνεχώς ευθεία. Η πίστα αποτελείται από τρεις λωρίδες πάνω στις οποίες βρίσκονται συνολικά πενήντα νομίσματα διαμοιρασμένα σε 16 συστάδες των τριών νομισμάτων και μια των δύο. Οι συστάδες βρίσκονται κατά μήκος της πίστας στο έδαφος των τριών λωρίδων με εξαίρεση δύο οι οποίες βρίσκονται στον αέρα, απαιτώντας από τον χρήστη να αναπηδήσει για να τις πιάσει.

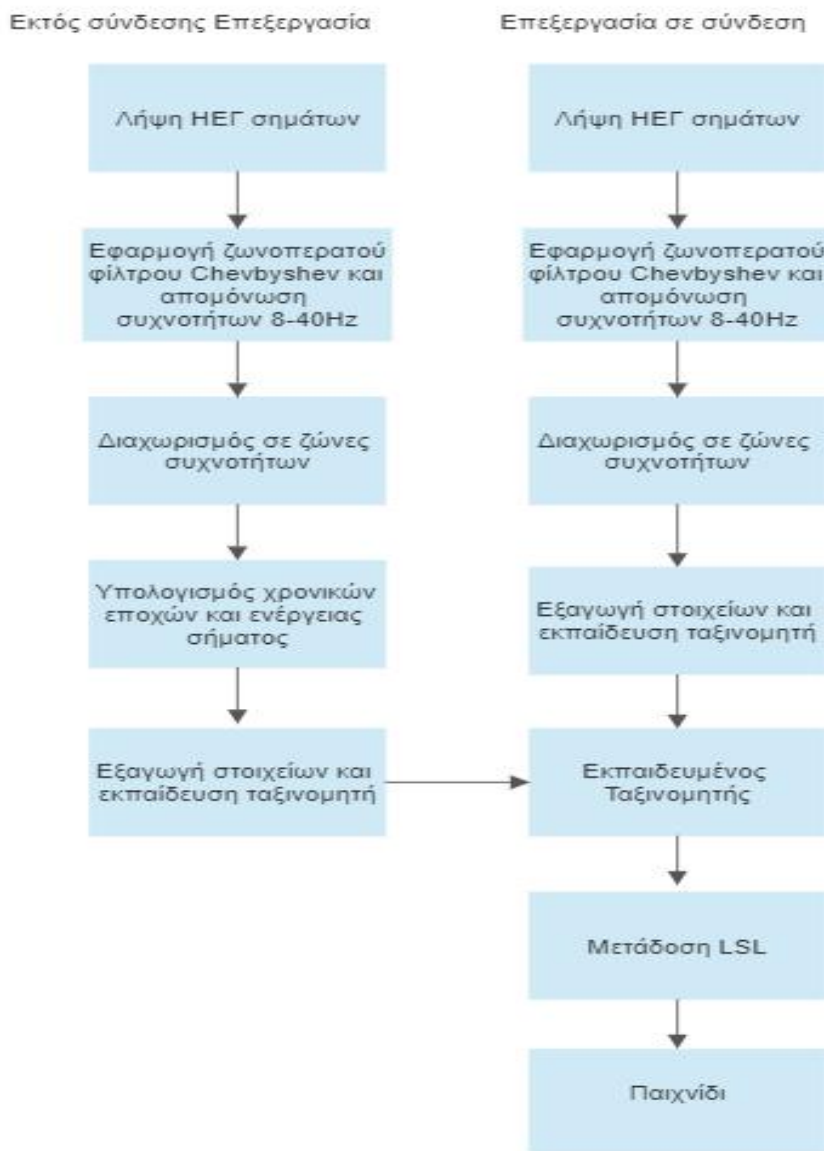
Στόχος είναι ο χρήστης, να ελέγξει τον παίχτη μέσω του εγκεφαλογράφου, δίνοντας τις κατάλληλες εντολές (αριστερά, δεξιά, αναπήδηση) ώστε να συλλέξει όσο το δυνατόν περισσότερα νομίσματα.



**Εικόνα 10.** Στιγμιότυπο από το παιχνίδι. Ο παίχτης κινείται στην πίστα ανάλογα με τις νοητικές εντολές που δέχεται από τον χρήστη ανά 3 δευτερόλεπτα.

### 3.3 Μεθοδολογία

Στο **Σχήμα 1** απεικονίζονται τα διαγράμματα ροής που προτάθηκαν για την διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή τόσο για την εκτός σύνδεσης επεξεργασία, όσο και για την σε σύνδεση επεξεργασία. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν. Η **ενότητα 3.4.1** εμβαθύνει στη διαδικασία της επεξεργασίας εκτός σύνδεσης. Στη συνέχεια, έπεται η **ενότητα 3.4.2**, όπου παρουσιάζονται οι ταξινομητές του Πολυεπιπέδου Percetron και της Ανάλυσης Γραμμικής Διάκρισης, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των δεδομένων. Τέλος, στην **ενότητα 3.4.3** περιγράφεται η διαδικασία της εντός σύνδεσης επεξεργασίας.



**Σχήμα 1.** Το παραπάνω διάγραμμα ροής παρουσιάζει τα δυο βήματα που πραγματοποιούνται για την λειτουργία του συστήματος Διεπαφής Εγκεφάλου Υπολογιστή. Στην αρχή, πραγματοποιείται μια εκτός σύνδεσης επεξεργασία προκειμένου να εκπαιδευτεί το μοντέλο στα ΗΕΓ δεδομένα. Στη συνέχεια, ακολούθησε μία επεξεργασία εντός σύνδεσης κατά την οποία ο χρήστης δίνει εντολές μέσω του ΗΕΓ και αυτές μεταφράζονται σε εντολές για τον χειρισμό του παίκτη από τον ταξινομητή, εντός πραγματικού χρόνου .

### 3.3.1 Εκτός σύνδεσης επεξεργασία

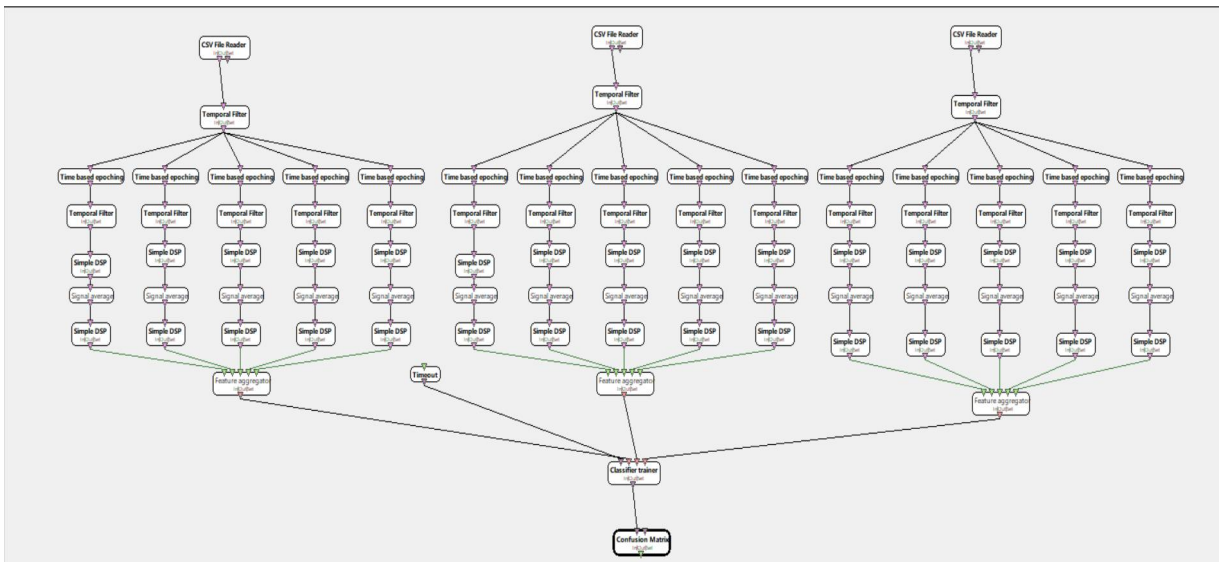
Σε αυτή την υποενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα της εκτός σύνδεσης επεξεργασίας όπως φαίνονται στο **Σχήμα 3**. Η **υποενότητα 3.3.1.1** αναφέρεται στην λήψη των ηλεκτροεγκεφαλικών σημάτων από τον διακομιστή του OpenVibe. Στην **υποενότητα 3.3.1.2** παρουσιάζεται η επεξεργασία που υπέστη το σήμα, με τη χρήση του ζωνοπερατού φίλτρου, τη διάσπαση σε ζώνες συχνοτήτων και τον υπολογισμό των χρονικών εποχών και ενέργειας στο σήμα..

#### 3.3.1.1 Λήψη ηλεκτροεγκεφαλικών σημάτων

Η εκτός σύνδεσης επεξεργασία χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του ταξινομητή. Ο διακομιστής του OpenViBE δέχεται τα ακατέργαστα σήματα που έχουν καταγραφεί από τον ηλεκτροεγκεφαλογράφο Muse 2 με ρυθμό δειγματοληψίας 256 Hz. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο κατάλληλο σενάριο που έχει αναπτυχθεί για την εξαγωγή χαρακτηριστικών με στόχο τη σωστή κατηγοριοποίηση. Αρχικά, οι καταγραφές εισάγονται στον ταξινομητή σε μορφή .csv. Κάθε κουτί, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4** δέχεται μία από τις καταγραφές. Στο πρώτο κουτί τοποθετείται η καταγραφή για τα δεξιά, στο μεσαίο για τα αριστερά και στο τελευταίο το ανοιγόκλεισμα των ματιών.

#### 3.3.3.2 Επεξεργασία σήματος

Αφού γίνει η εισαγωγή των καταγραφών πρέπει να αφαιρεθεί ο θόρυβος από αυτές. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με την χρήση του ζωνοπερατού φίλτρου Chebyshev διατηρώντας τις συχνότητες από 8 Hz έως 40Hz, δηλαδή στις συχνότητες που είναι συμβατές με την εγκεφαλική λειτουργία. Προκειμένου να αναλυθούν τα ΗΕΓ δεδομένα για την αναγνώριση χαρακτηριστικών ή μοτίβων που σχετίζονται με συγκεκριμένες συμπεριφορές ή καταστάσεις ακολουθεί η διακριτοποίηση του σήματος. Αναλυτικότερα, το συνεχές ΗΕΓ σήμα διαιρείται σε μικρότερες διαδοχικές χρονικές περιόδους ή αλλιώς εποχές με τη χρονική διάρκεια τους να κυμαίνεται από 1 δευτερόλεπτο έως μερικά λεπτά. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, μετά από δοκιμές στο μοντέλο επιλέγονται μη επικαλυπτόμενα παράθυρα των 3 δευτερολέπτων με σκοπό ο ταξινομητής να μπορεί να λάβει απόφαση κάθε τρία δευτερόλεπτα. Ο χρόνος των 3 δευτερολέπτων επιλέχθηκε καθώς ήταν αυτός που ελαχιστοποιούσε τα σφάλματα. Έπειτα, το σήμα διασπάται σε 5 διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων που αντιστοιχούν στα εγκεφαλικά κύματα. Η πρώτη ζώνη αντιστοιχεί στα κύματα Άλφα και έχει εύρος 8 Hz ως 12 Hz. Η δεύτερη ζώνη αντιστοιχεί στα κύματα Βήτα 1 και έχει εύρος 12 Hz ως 20 Hz. Η τρίτη ζώνη αντιστοιχεί στα κύματα Βήτα 2 και έχει εύρος 20 Hz ως 30 Hz. Η τέταρτη ζώνη αντιστοιχεί στα κύματα Γάμμα 1 και έχει εύρος 30 Hz ως 35 Hz. Τέλος, η πέμπτη ζώνη αντιστοιχεί στα κύματα Γάμμα 2 και έχει εύρος 35 Hz ως 40 Hz. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η ενέργεια κάθε ζώνης συχνότητας καθώς αυτή είναι η βάση για τον ταξινομητή. Βάσει των επιμέρους ενεργειών δημιουργείται ένα διάνυσμα που αποτελείται από όλες τις ενέργειες σε λογαριθμική κλίμακα. Όλα τα διανύσματα χαρακτηριστικών που σχηματίστηκαν από τις καταγραφές χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του ταξινομητή.



**Σχήμα 2.** Το σενάριο που χρησιμοποιήθηκε για την εκτός σύνδεσης επεξεργασία στην εφαρμογή OpenViBE. Σε κάθε κουτί τοποθετείται το αρχείο .csv για διαφορετική εντολή (αριστερά, δεξιά, ανοιγόκλεισμα ματιών) προκειμένου να επιτευχθεί ο έλεγχος της ΔΕΥ. Τα σήματα φιλτράρονται και απομακρύνονται οι συχνότητες που δεν βρίσκονται ενδιάμεσα από 8-40 Hz. Στο επόμενο βήμα, τα φιλτραρισμένα σήματα χωρίζονται σε εποχές των 3 δευτερολέπτων και υπολογίζονται τα κύματα του ΗΕΓ (Άλφα, Βήτα 1, Βήτα 2, Γάμμα 1, Γάμμα 2). Ύστερα, υπολογίζεται η ενέργεια των σημάτων για κάθε ζώνη συχνότητας και δημιουργείται ένα διάνυσμα, το οποίο έχει ως χαρακτηριστικά τις ενέργειες σε λογαριθμική κλίμακα. Τέλος, όλα τα διανύσματα χαρακτηριστικών χρησιμοποιούνται ως είσοδοι για την διαδικασία εκπαίδευσης.

### 3.4.2 Ταξινόμηση

Μετά την λήψη των καταγραφών και την εκτός σύνδεσης επεξεργασία, τα δεδομένα εισήχθησαν στον ταξινομητή προκειμένου να γίνει η ταξινόμηση της κάθε εντολής σε μία από τις 3 κατηγορίες (αριστερά, δεξιά, αναπήδηση). Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν 2 διαφορετικοί αλγόριθμοι ταξινόμησης. Στην **υποενότητα 3.3.2.1** αναλύεται ο αλγόριθμος του πολυεπίδου Perceptron και στον **πίνακα 1** παραθέτονται τα αποτελέσματα ταξινόμησης που προσφέρει. Ενώ, στην **υποενότητα 3.3.2.2** περιγράφεται ο άλλος αλγόριθμος ταξινόμησης, ο LDA και στον **πίνακα 2** αναγράφονται τα αποτελέσματα ταξινόμησης.

#### 3.4.2.1 Ταξινομητής Πολυεπίδου Perceptron

Ο ταξινομητής του πολυεπίδου Perceptron (MLP) πρόκειται για ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο το οποίο περιέχει κρυφά επίπεδα ανάμεσα από αυτά της εισόδου και εξόδου. Κάθε επίπεδο αποτελείται από νευρώνες Perceptron, που έχουν ως είσοδο ένα χαρακτηριστικό και συνδέονται με νευρώνες προηγούμενων επιπέδων. Αυτή η οργάνωση ονομάζεται μορφή αλυσίδας, δηλαδή η έξοδος του προηγούμενου επιπέδου εκλαμβάνεται ως είσοδος στο επόμενο, έτσι κάθε επίπεδο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα διαφορετικό αφαιρετικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, καθένα από τα κρυφά επίπεδα εξάγει χαρακτηριστικά από τα δεδομένα εισόδου του βάσει των υποθέσεων και των βαρών που προσαρμόζονται κατά τη διαδικασία εκπαίδευσης. Με αυτόν τον τρόπο, το τελευταίο επίπεδο παράγει την έξοδο, της οποίας το αποτέλεσμα χρησιμοποιείται για προβλέψεις. Το πλήθος των κρυφών επιπέδων εξαρτάται από το πρόβλημα και την πολυπλοκότητα του, καθώς όσο αυξάνεται ο αριθμός των κρυφών επιπέδων τόσο πιο πολύπλοκες γίνονται οι διαχωριστικές επιφάνειες και παύουν να μοιάζουν σε υπερεπίπεδο.

Ο λόγος επιλογής αυτού του ταξινομητή είναι η υψηλή ακρίβεια και η ευελιξία που προσφέρει. Επιπλέον, μπορεί να λειτουργήσει σε μη γραμμικά διαχωρίσιμα προβλήματα βρίσκοντας πάντοτε την κατάλληλη διαχωριστική επιφάνεια σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, είναι ιδανικός για τη συγκεκριμένη εφαρμογή εφόσον μπορεί να διαχειρίζεται μεγάλα σύνολα δεδομένων από πολλαπλά άτομα και να τα ταξινομεί σωστά ενώ ταυτόχρονα είναι ικανός να πραγματοποιεί αποτελεσματικές γενικεύσεις σε νέα δεδομένα από διαφορετικά άτομο. Τέλος, μετά από κατάλληλες τροποποιήσεις μπορεί να επιτύχει χωρίς επίβλεψη εκπαίδευση μειώνοντας το συνολικό κόστος υλοποίησης της κατηγοριοποίησης των ΗΕΓ δεδομένων.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή για την ταξινόμηση των ηλεκτροεγκεφαλικών δεδομένων αναπτύχθηκε, ένα πολυεπίπεδο Perceptron με 2 κρυφά επίπεδα και τη στρατηγική One Vs All. Δηλαδή κάθε κλάση θα συγκρίνεται με όλες τις υπόλοιπες. Ως συνάρτηση ενεργοποίησης στα κρυφά επίπεδα εφαρμόστηκε η υπερβολική εφαπτομένη, ενώ στο επίπεδο εξόδου εφαρμόστηκε η συνάρτηση softmax, προκειμένου να κανονικοποιηθούν οι έξοδοι στο διάστημα 0 ως 1 και το άθροισμα των τιμών του διανύσματος εξόδου να είναι ίσο με 1. Στις δυο συναρτήσεις οι παράμετροι παρέμειναν στις προκαθορισμένες τιμές του OpenViBE. Τέλος, για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική των διασταυρωμένων επικυρώσεων με 10 πλαίσια. Δηλαδή, το σετ δεδομένων χωρίστηκε σε 10 ίσα μέρη και τα 9 από αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση και το δέκατο για τον έλεγχο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται 10 φορές όπου σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιείται ένα άλλο μέρος για να τεστάρει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης.

### 3.4.2.2 Ταξινομητής Ανάλυσης Γραμμικής Διάκρισης

Ο ταξινομητής ανάλυσης γραμμικής διάκρισης- Linear Discriminant Analysis (LDA) αποτελεί μια στατιστική τεχνική που χρησιμοποιείται για τη μείωση και ταξινόμηση διαστάσεων. Στόχος είναι η εύρεση ενός γραμμικού συνδυασμού χαρακτηριστικών που διαχωρίζει στο μέγιστο τις διαφορετικές κατηγορίες δεδομένων. Αναλυτικότερα, με τη χρήση του συγκεκριμένου ταξινομητή υπολογίζεται μια προβολή που μεγιστοποιεί την αναλογία διασποράς μεταξύ των κατηγοριών προς τη διασπορά εντός της κατηγορίας. Δηλαδή, μεγιστοποιεί την απόσταση μεταξύ των κλάσεων, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιεί τη διακύμανση σε κάθε κλάση. Ο αλγόριθμος LDA υπολογίζει τα μέσα κάθε κλάσης και τους πίνακες διασποράς για τα δεδομένα εισόδου. Έπειτα, βάσει των τα ιδιοδιανυσμάτων και των ιδιοτιμών των πινάκων διασποράς καθορίζει τη βέλτιστη κατεύθυνση προβολής. Η προβολή που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μείωση διαστάσεων επιλέγοντας τις διαστάσεις που περιέχουν τη περισσότερη πληροφορία. Τέλος, να χρησιμοποιηθεί για ταξινόμηση με την ανάθεση νέων σημείων δεδομένων σε κλάσεις με βάση την θέση τους σε σχέση με την προβολή.

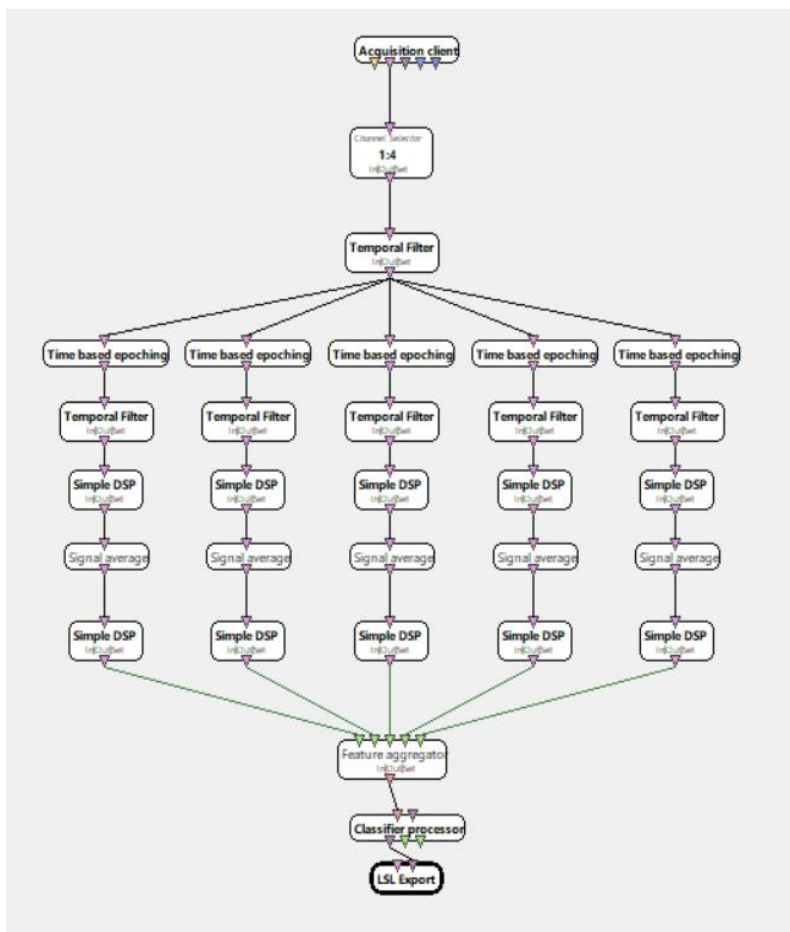
Ο λόγος επιλογής του συγκεκριμένου ταξινομητή είναι πως μπορεί να εξάγει αποτελεσματικά ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα που προέρχονται από πολλαπλά κανάλια, μειώνοντας τις διαστάσεις και αφαιρώντας περιττές πληροφορίες. Αυτό συμβάλει στην εστίαση στα διακριτές στοιχεία των δεδομένων εισόδου. Επιπλέον, παρέχει υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης όταν ισχύουν οι υποκείμενες υποθέσεις της γραμμικής διαχωρισιμότητας καθώς είναι ένας αλγόριθμος μάθησης με επίβλεψη που στοχεύει να βρει τον βέλτιστο γραμμικό διαχωριστικό υποχώρο για τον διαχωρισμό διαφορετικών κλάσεων. Ο αλγόριθμος LDA έχει μειωμένη ευαισθησία στον θόρυβο με αποτέλεσμα θόρυβοι που αποτυπώνονται στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, όπως ανοιγόκλεισμα των ματιών, να μην επηρεάζουν την έξοδο του ταξινομητή. Τέλος, μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλες ποσότητες ηλεκτροεγκεφαλικών δεδομένων αποτελεσματικά σε πραγματικό χρόνο λόγω της χαμηλής πολυπλοκότητας που έχει, καθιστώντας τον ιδανικό για πρακτικές εφαρμογές.



Στη συγκεκριμένη εφαρμογή για την ταξινόμηση των εισαγόμενων δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος LDA και τη στρατηγική One Vs All. Δηλαδή κάθε κλάση θα συγκρίνεται με όλες τις υπόλοιπες. Οι παράμετροι του αλγορίθμου παρέμειναν στις προκαθορισμένες τιμές του OpenViBE. Τέλος, για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική των διασταυρωμένων επικυρώσεων με 10 πλαίσια. Δηλαδή, το σετ δεδομένων χωρίστηκε σε 10 ίσα μέρη και τα 9 από αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση και το δέκατο για τον έλεγχο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται 10 φορές όπου σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιείται ένα άλλο μέρος για να τεστάρει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης.

### 3.4.3 Εντός Σύνδεσης Επεξεργασία

Μετά το πέρας της εκτός σύνδεσης επεξεργασίας και την εκπαίδευση του ταξινομητή ο χρήστης μπορεί να μεταβεί στο σενάριο που φαίνεται στο **Σχήμα 5**, το οποίο έχει αναπτυχθεί για την εντός σύνδεσης επεξεργασία. Το ΗΕΓ σήμα που παράγεται από το Muse 2 στέλνεται σε συγκεκριμένη θύρα του διακομιστή του OpenViBE μέσω της σύνδεσης που δημιουργείται με την εφαρμογή BlueMuse χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο LSL. Με τον επιλογέα καναλιών, απομακρύνεται το κανάλι Right Aux και διατηρούνται τα κανάλια που αντιστοιχούν στους αισθητήρες TP9,AF7,AF8,TP10. Η διαδικασία είναι ίδια με την εκτός σύνδεσης επεξεργασία, με τη διαφορά πως δεν είναι αναγκαία η χρονική διακριτοποίηση. Αναλυτικότερα, το σήμα φιλτράρεται, κρατώντας τις συχνότητες 8-40 Hz. Ύστερα, το φιλτραρισμένο σήμα χωρίζεται σε ζώνες συχνότητας και για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών υπολογίζεται η ενέργεια κάθε ζώνης. Τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά εισέρχονται στον ταξινομητή για να κατηγοριοποιήσει τις νοητικές εντολές. Τα αποτελέσματα του ταξινομητή μεταδίδονται στο παιχνίδι μέσω της ροής του LSL, αυτό επιτυγχάνεται με την υλοποίηση του LSL streambox, που καθιστά δυνατή την επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του OpenViBE και του παιχνιδιού.



**Σχήμα 3.** Το σενάριο για την εντός σύνδεσης επεξεργασία . Ακολουθεί τα ίδια βήματα με την εκτός σύνδεσης επεξεργασία με τη διαφορά ότι δεν χρειάζεται να γίνει διακριτοποίηση του σήματος σε μικρότερα χρονικά παράθυρα. Ο διακομιστής του OpenViBE δέχεται τα σήματα από τη συσκευή ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος Muse 2 και οι ταξινομημένες περιπτώσεις αποστέλλονται μέσω μίας ροής LSL για να γίνει χρήση τους στην εφαρμογή ΔΕΥ.



## Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

---

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που διεξάχθηκαν από την δοκιμή της διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή στους εθελοντές. Στην **ενότητα 4.1** γίνεται η περιγραφή του δείγματος και ο τρόπος υλοποίησης των πειραμάτων. Στην **ενότητα 4.2** παραθέτονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα του κάθε συμμετέχοντα ξεχωριστά. Τέλος, στην **ενότητα 4.3** γίνεται μια ανάλυση όλων των αποτελεσμάτων από τους εθελοντές και σχολιάζονται συλλογικά με βάση τα σκορ τους. Στην **ενότητα 4.4** σχολιάζεται η απόδοση όλων των παικτών συναρτήσει του αριθμού προσπάθειας προκειμένου να βρεθεί το χρονικό περιθώριο που οι χρήστες πέτυχαν τη μέγιστη βελτίωση, καθώς και τον βαθμό εξοικείωσης που παρουσίασαν κατά διάρκεια των πειραμάτων.

### 4.1 Περιγραφή Δείγματος και Υλοποίηση Πειράματος

Στον έλεγχο και την δοκιμή της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή συμμετείχαν 17 εθελοντές (7 γυναίκες και 10 άντρες) μεταξύ των ηλικιών 21-24, με μέσο όρο ηλικίας 22.06. Κάθε εθελοντής είναι υγιής και είχε είτε φυσιολογική είτε φορούσε γυαλιά ή φακούς. Στον **πίνακα 2** έχουν αποτυπωθεί τα σχετικά στοιχεία, για το φύλο, την ηλικία και την κατάσταση της όρασης του. Επιπλέον, υπογράφοντας επίσημη συγκατάθεση συμφώνησαν στην χρήση των καταγραφών τους για την συγκεκριμένη έρευνα. Όλες οι καταγραφές γίνανε εντός του εργαστηρίου για να ελαχιστοποιηθεί ο εξωτερικός θόρυβος και υπό επίβλεψη. Οι συμμετέχοντες να κάθισαν σε μία καρέκλα, όπου τους φορέθηκε το Muse 2 και τους ζητήθηκε να περιορίσουν τις κινήσεις τους προκειμένου να παρθούν τρεις ξεχωριστές ηλεκτροεγκεφαλικές καταγραφές. Η πρώτη καταγραφή διήρκεσε πέντε λεπτά όπου ζητήθηκε από τους εθελοντές να κοιτάξουν αριστερά και να φαντάζονται ότι κινούν το αριστερό τους χέρι. Η δεύτερη καταγραφή διήρκεσε πέντε λεπτά όπου ζητήθηκε από τους εθελοντές να κοιτάξουν δεξιά και να φαντάζονται ότι κινούν το δεξί τους χέρι. Τέλος, η τρίτη καταγραφή διήρκεσε δύο λεπτά όπου ζητήθηκε από τους εθελοντές να ανοιγοκλείνουν με δύναμη τα μάτια τους κάθε ένα δευτερόλεπτο. Συνολικά έγιναν 51 καταγραφές οι οποίες συμπεριλήφθηκαν στην επεξεργασία εκτός σύνδεσης (offline processing), παρέχοντας 51 διανύσματα χαρακτηριστικών που χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι για τον ταξινομητή σε κάθε εθελοντή. Η ακρίβεια του ταξινομητή του Πολυεπίπεδου Perceptron κυμαίνεται από 95.57 έως 100 και του ταξινομητή Ανάλυσης Γραμμικής Διάκρισης από 84.5 έως 100.

**Πίνακας 2.** Στοιχεία εθελοντών. Στην πρώτη στήλη αναγράφεται ο αριθμός του κάθε συμμετέχοντα, στη δεύτερη το φύλο, στη τρίτη η ηλικία και στην τελευταία η κατάσταση της όρασης του.

Subject	Φύλο	Ηλικία	Κατάσταση Όρασης
1	Γυναίκα	21	Με γυαλιά
2	Γυναίκα	21	Φυσιολογική
3	Γυναίκα	22	Με γυαλιά
4	Άντρας	22	Φυσιολογική
5	Γυναίκα	22	Φυσιολογική
6	Γυναίκα	22	Φυσιολογική
7	Γυναίκα	22	Με γυαλιά
8	Άντρας	22	Φυσιολογική
9	Άντρας	22	Φυσιολογική
10	Άντρας	22	Με γυαλιά
11	Άντρας	22	Με γυαλιά
12	Άντρας	22	Με γυαλιά
13	Άντρας	24	Φυσιολογική
14	Άντρας	23	Με γυαλιά
15	Άντρας	22	Φυσιολογική
16	Γυναίκα	22	Με γυαλιά
17	Άντρας	22	Φυσιολογική

Όλοι οι συμμετέχοντες δεν είχαν λάβει προηγουμένως μέρος σε πείραμα με παιχνίδι διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή. Για τη διασφάλιση της κατάλληλης προετοιμασίας οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν για το πρωτόκολλο που ακολουθεί η συγκεκριμένη έρευνα προτού ξεκινήσουν. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η λήψη των τριών καταγραφών, ακολουθώντας από την εκτός σύνδεσης επεξεργασία και την ταξινόμηση από το Πολυεπίπεδο Percptron. Ύστερα, οι συμμετέχοντες χρειάστηκε να εξασκήσουν τις νοητικές εντολές για το αριστερά και δεξιά, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ταξινόμησης. Η διαδικασία αυτή διήρκεσε 45 δευτερόλεπτα για κάθε εντολή. Ύστερα από αυτό, ήταν έτοιμοι να μεταβούν στην διαδικασία της εντός σύνδεσης επεξεργασίας. Πριν την έναρξη του παιχνιδιού, δόθηκαν 10 δοκιμαστικές προσπάθειες, οι οποίες δεν θα καταγραφόντουσαν, έτσι ώστε οι συμμετέχοντες να εξοικειωθούν με το περιβάλλον του παιχνιδιού και την λειτουργία της διεπαφής. Όταν ήταν έτοιμοι, ακολούθησε η αξιολόγηση της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή, όπου χρειάστηκε να

παίζουν 10 επιπλέον φορές, αυτή τη φορά καταγράφοντας το σκορ που πέτυχαν σε κάθε προσπάθεια.

## 4.2 Αποτελέσματα Ταξινόμησης

Μετά από την λήψη των απαιτούμενων καταγραφών ακολούθησε η ταξινόμηση τους σε μία από τις τρεις κατηγορίες (αριστερά, δεξιά, ανοιγόκλεισμα). Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί ταξινομητές. Σε αυτή την ενότητα παραθέτονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν από τους ταξινομητές του πολυεπίπεδου Perceptron και της ανάλυσης γραμμικής διάκρισης.

Στον **πίνακα 3** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ταξινόμησης των ΗΕΓ δεδομένων σε 3 κατηγορίες. Στη πρώτη στήλη του πίνακα αναγράφεται ο αριθμός του συμμετέχοντα, στη δεύτερη στήλη το αληθώς θετικό ποσοστό “True Positive Rate” (TPR) για το αριστερό Motor Imagery, στην επόμενη για το δεξί Motor Imagery και στη τέταρτη στήλη το ανοιγόκλεισμα των ματιών. Τέλος, η τελευταία στήλη περιέχει τη γενική ακρίβεια των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης για κάθε συμμετέχοντα. Ο μέσος όρος της ακρίβειας της ταξινόμησης για τα 17 άτομα είναι 98,17%. Ο μέσος όρος των “True Positive Rate” (TPR) για το αριστερό Motor Imagery είναι 98,66%, για το δεξί Motor Imagery είναι ο μεγαλύτερος με ποσοστό 98,91% ενώ στο ανοιγόκλεισμα των ματιών σημειώνεται ο μικρότερος μέσος όρος με ποσοστό 96,94%. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αποδεικνύουν πως η συγκεκριμένη μέθοδος προσφέρει υψηλή ακρίβεια για την ταξινόμηση των ΗΕΓ δεδομένων.

**Πίνακας 3.** Αποτελέσματα της ταξινόμησης του αλγορίθμου πολυεπίπεδου Perceptron. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε αληθώς θετικό ποσοστό “True Positive Rate” (TPR) για κάθε Motor Imagery και για το ανοιγόκλεισμα των

Subjects	MLP-Left	MLP-Right	MLP-Blink	Ακρίβεια Ταξινόμησης
1	100	100	100	100,00
2	100	100	100	100,00
3	91,7	100	95	95,57
4	100	100	92	97,33
5	100	100	100	100,00
6	100	100	98	99,33
7	100	95,9	100	98,63
8	97,9	100	92	96,63
9	100	96,9	100	98,97
10	100	100	100	100,00
11	98,9	97,9	98	98,27

12	100	99	96	98,33
13	99	100	88	95,67
14	100	99	98	99,00
15	100	99	98	99,00
16	93,8	99	93,9	95,57
17	95,9	94,8	99	96,57

Στον **πίνακα 4**, παραθέτονται τα αποτελέσματα του ταξινομητή LDA για τις τρεις νοητικές εντολές που πραγματοποίησε ο κάθε χρήστης. Σε κάθε στήλη βρίσκονται τα αληθές θετικά ποσοστά για την κάθε εντολή. Η πρώτη στήλη περιέχει τα αποτελέσματα για το αριστερό Motor Imagery, η δεύτερη για το δεξί Motor Imagery, η τέταρτη για το ανοιγόκλεισμα των ματιών και η τελευταία, ενώ στη τελευταία στήλη αναγράφεται η ακρίβεια της ταξινόμησης. Ο μέσος όρος της ακρίβειας ταξινόμησης για όλους τους συμμετέχοντες είναι 95,5%. Ο μέσος όρος για το αριστερό Motor Imagery είναι 97,26%, ενώ για το δεξιά είναι μεγαλύτερος με τιμή 97,82%. Τέλος, το ανοιγόκλεισμα των ματιών έχει το μικρότερο αληθές θετικό ποσοστό με μέσο όρο 91,41%. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι αρκετά ικανοποιητικά και αποτελούν ένδειξη για υψηλή ακρίβεια στην ταξινόμηση των ΗΕΓ δεδομένων.

**Πίνακας 4.** Αποτελέσματα της ταξινόμησης με τη χρήση του αλγορίθμου ανάλυσης γραμμικής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε αληθώς θετικό ποσοστό "True Positive Rate" (TPR) για κάθε Motor Imagery και για το ανοιγόκλεισμα των ματιών. Στη τελευταία στήλη βρίσκεται η ακρίβεια της ταξινόμησης για κάθε συμμετέχοντα.

Subjects	LDA-Left	LDA-Right	LDA-Blink	Ακρίβεια Ταξινόμησης
1	100	99	100	99,67
2	96,8	100	97,5	98,10
3	100	91,7	95	95,57
4	92,8	93,8	90	92,20
5	100	100	84	94,67
6	100	100	98	99,33
7	100	91,8	98	96,60
8	96,9	100	92	96,30
9	100	96,9	82	92,97

10	100	99	75,5	91,50
11	100	100	100	100,00
12	100	97,9	96	97,97
13	100	99	90	96,33
14	75,3	100	78,4	84,57
15	100	99	90	96,33
16	94,8	99	100	97,93
17	96,9	95,9	87,6	93,47

Βάσει των εξαγόμενων αποτελεσμάτων ταξινόμησης παρατηρείται πως ο αλγόριθμος του πολυεπίπεδου Perceptron έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από τον ταξινομητή διάκρισης γραμμικής ανάλυσης. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τον μέσο όρο της ακρίβειας ταξινόμησης, εφόσον για το πολυεπίπεδο Perceptron είναι 98,17% ενώ για ταξινομητή διάκρισης γραμμικής ανάλυσης είναι 95,5%. Παρόλα που συγκριτικά διαφέρουν τα αποτελέσματα μεταξύ τους, τα επιμέρους ποσοστά ταξινόμησης τους λαμβάνουν αρκετά υψηλές τιμές, γεγονός που τα καθορίζει ως ικανά να αντεπεξέλθουν και να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή παρόμοιες με αυτή.

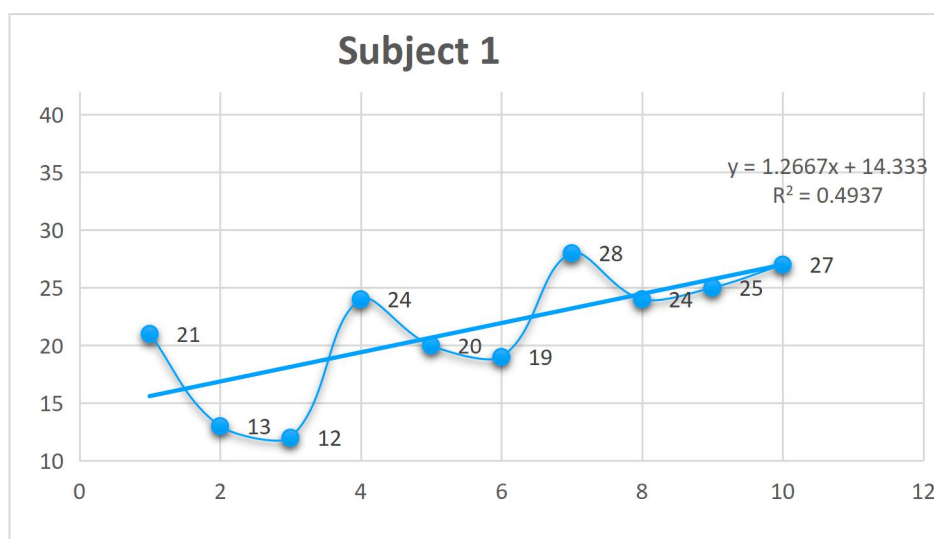
### 4.3 Ατομικά Αποτελέσματα

Μετά την εξοικείωση του, ο κάθε χρήστης συμμετείχε σε 10 διαδοχικές προσπάθειες, καταγράφοντας το σύνολο των νομισμάτων που σύλλεξε. Στην υποενότητα αυτή, αναλύονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα του κάθε συμμετέχοντα ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα κάθε χρήστη παρουσιάζονται με 2 διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι με τη μορφή πίνακα, όπου στη πρώτη στήλη αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στη δεύτερη το σκορ της. Ο δεύτερος τρόπος είναι με τη χρήση γραφικής παράστασης με τον άξονα y να αναπαριστά το σκορ και τον άξονα x τον αριθμό προσπάθειας.

Στον **πίνακα 5** παρουσιάζονται τα επιμέρους σκορ που σύλλεξε το subject 1. Ο χρήστης είχε μέσο όρο σκορ 21,3. Η καλύτερη απόδοση επιτεύχθηκε στην όγδοη προσπάθεια, με τον παίχτη να συλλέγει 28 από τα 50 νομίσματα, ενώ η χειρότερη απόδοση σημειώθηκε στη τρίτη προσπάθεια με σκορ 12 στα 50. Ο συγκεκριμένος συμμετέχοντας παρουσίασε αδυναμία να στρίψει δεξιά οδηγώντας σε χαμηλό σκορ στις πρώτες του προσπάθειες. Κατά τη διάρκεια της τέταρτης προσπάθειας κατάφερε να στρίψει πρώτη φορά δεξιά. Στις επόμενες 2 προσπάθειες ο χρήστης βρισκόταν σε ένα μεταβατικό στάδιο που προσπαθούσε να συγχρονίσει τις εντολές που έπρεπε να δώσει και αυτό αποτυπώνεται τόσο στον **πίνακα 3** όσο και από στο **σχήμα 4** πως οι τιμές του σκορ έχουν μία πτώση. Παρόλα αυτά, το **σχήμα 4** φανερώνει πως ο χρήστης τελικά βελτιώθηκε στον έλεγχο του παιχνιδιού, καθώς ευθεία η γραμμικής ποσοστωσης έχει ανοδική κλίση και τα τελευταία σκορ έχουν αυξηθεί. Ωστόσο, αυτή η διακύμανση που παρατηρείται στις τελευταίες προσπάθειες οφείλεται στην κόπωση του χρήστη.

**Πίνακας 5** Αποτελέσματα του Subject 1. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	21
2	13
3	12
4	24
5	20
6	19
7	28
8	24
9	25
10	27



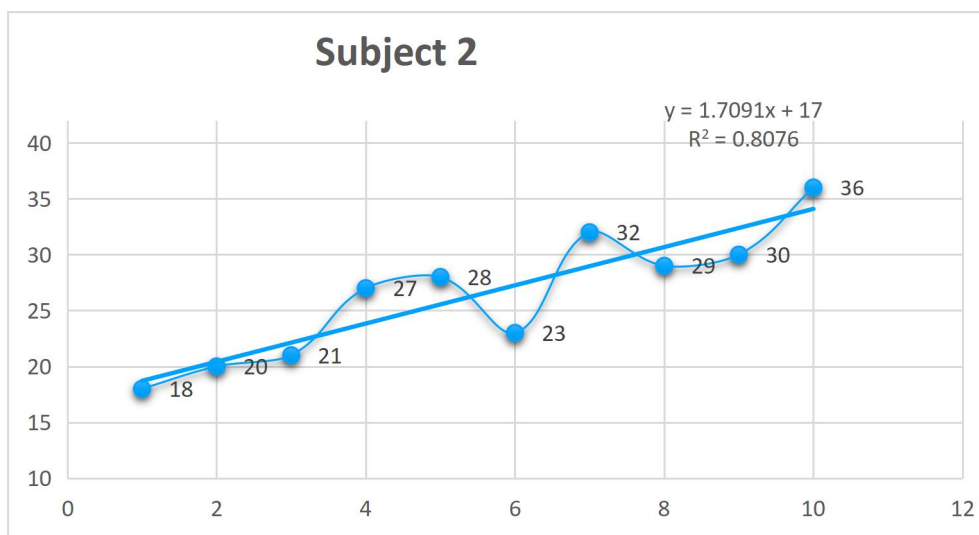
**Σχήμα 4.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 1. Ο άξονας γ αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, το γράφημα έχει εμπλουτιστεί με τη ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=1.2667x+14.33$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Στην δεύτερη στήλη του **πίνακα 6** έχουν καταγραφεί τα σκορ που πέτυχε το Subject 2 κατά τη διάρκεια των 10 προσπαθειών του. Η κατά μέσο όρο απόδοση του ήταν 26,4 με το μέγιστο σκορ να είναι 36 το οποίο σημειώθηκε στην τελευταία προσπάθεια ενώ το ελάχιστο σκορ πραγματοποιήθηκε στην πρώτη προσπάθεια, όπου ο χρήστης κατάφερε να συλλέξει 18 από τα 50 νομίσματα. Μέσα από τη μελέτη του **πίνακα 6** είναι φανερό η εξοικείωση του χρήστη με την διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή. Αναλυτικότερα, στις πρώτες 5 προσπάθειες ο χρήστης παρουσιάζει μία συνεχή βελτίωση που φαίνεται από την αύξηση των σκορ και την ανοδική κλίση

της ευθείας στο **σχήμα 5**. Ωστόσο, στην έκτη προσπάθεια σημειώνεται μία πτώση στα σκορ. Συγκεκριμένα, ο χρήστης σύλλεξε 23 νομίσματα (στην ακριβώς προηγούμενη προσπάθεια είχε 28 νομίσματα), αυτό το γεγονός μπορεί να αποδοθεί σε κόπωση του χρήστη η οποία οδήγησε σε απώλεια της συγκέντρωσης του. Γενικώς, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως ο ΗΕΓ Muse 2, ενισχύει τους ρυθμούς Α, Β και Γ οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με τη συγκέντρωση, με αποτέλεσμα κάθε φορά που ο χρήστης δεν καταβάλλει την απαραίτητη αφοσίωση και συγκέντρωση να υπάρχει μείωση στο σκορ. Στη συνέχεια, ο χρήστης πραγματοποίησε πάλι αρκετά μεγάλα σκορ με μικρή διακύμανση ως την τελευταία φορά όπου σύλλεξε τον μεγαλύτερο αριθμό νομισμάτων, δηλαδή 36. Με την μελέτη του **σχήματος 5** επιβεβαιώνεται η βελτίωση που έδειξε ο χρήστης καθώς η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, με συνάρτηση  $y = 1,7091x + 17$  έχει θετική κλίση. Επιπλέον, η τετραγωνική τιμή του R είναι κοντά στο 1, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η συνάρτηση  $y$  είναι αρκετά ικανή να χωρίσει τα δεδομένα και να αναπαραστήσει την σχέση μεταξύ των δεδομένων.

**Πίνακας 6.** Αποτελέσματα του Subject 2. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	18
2	20
3	21
4	27
5	28
6	23
7	32
8	29
9	30
10	36



**Σχήμα 5.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 2. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=1.7091x+17$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

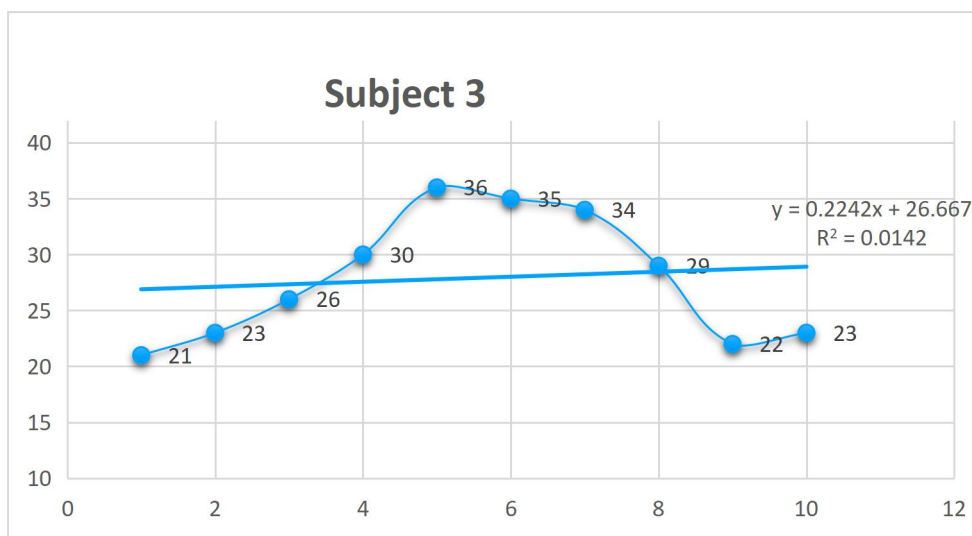
Στον **πίνακα 7** αποτυπώνονται τα σκορ της κάθε προσπάθειας του συμμετέχοντα 3. Ο συγκεκριμένος παίκτης συγκέντρωσε κατά μέσο όρο 27,9 νομίσματα (50,8%). Αναλυτικότερα, η χειρότερη απόδοση του ήταν η πρώτη προσπάθεια όπου συγκέντρωσε 21 νομίσματα, ενώ η πέμπτη προσπάθεια του ήταν η καλύτερη αφού συγκέντρωσε 36 νομίσματα. Κοιτώντας τόσο τον **πίνακα 7** όσο και στο **σχήμα 6** φαίνεται πως ο χρήστης έχει επιτύχει τον έλεγχο του παιχνιδιού από τις πρώτες προσπάθειες και έχει μία συνεχή βελτίωση ως τη πέμπτη προσπάθεια, κατά την οποία συγκέντρωσε το μεγαλύτερο πλήθος νομισμάτων. Στις επόμενες δύο προσπάθειες υπάρχει μία μικρή πτώση κατά ένα νόμισμα, ενώ στις τρεις τελευταίες έχει πέσει αρκετά η απόδοση γεγονός που οφείλεται στην κόπωση του χρήστη και την αδυναμία συγκέντρωσης του. Το πρόβλημα με τη συγκέντρωση είναι ένα πρόβλημα που αντιμετώπισαν αρκετοί χρήστες και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το Muse 2 ενισχύει τους ρυθμούς Α, Β και Γ. Παρόλα αυτά, βάσει του σχήματος 6 παρατηρούμε πως ο χρήστης έχει εξοικειωθεί αρκετά, καθώς η εξίσωση της ευθείας είναι ίση με  $y=0.2242x+26.667$  και έχει ανοδική κλίση. Επιπλέον, εάν απομονώσουμε τις προσπάθειες που ο χρήστης ήταν σε πλήρη συγκέντρωση τα σκορ παρουσίαζαν ραγδαία αύξηση και ο χρήστης είχε αποκτήσει έναν επαρκή έλεγχο της διεπαφής.

**Πίνακας 7.** Αποτελέσματα του Subject 3. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	21
2	23
3	26
4	30



5	36
6	35
7	34
8	29
9	22
10	23

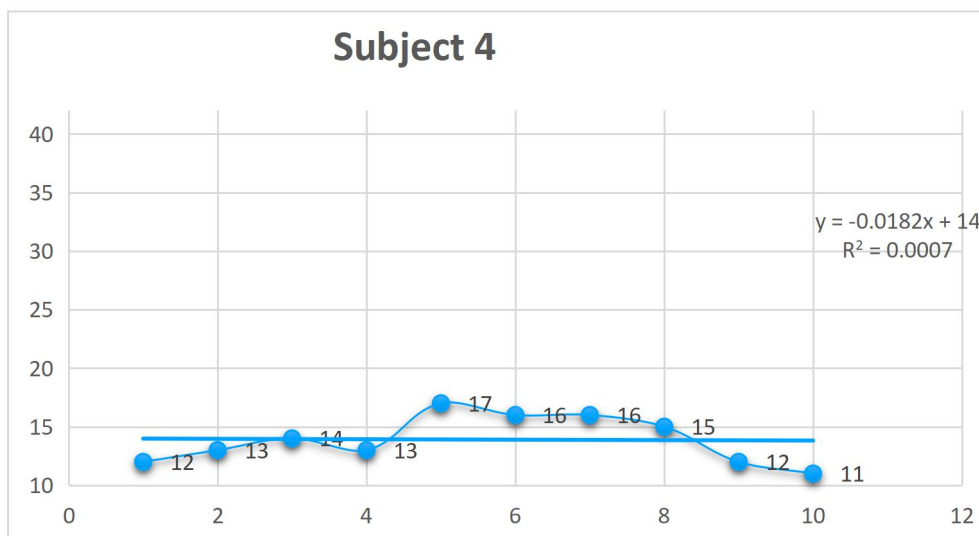


**Σχήμα 5.** Γραφική αναπαράσταση των δέκα προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 3. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=0.2242x+26.667$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Παρακάτω παραθέτεται ο **πίνακας 8** και το **σχήμα 7** που αναπαριστούν τις προσπάθειες και τα σκορ του χρήστη 4. Ο χρήστης 4 είχε κατά μέσο όρο απόδοση 15,6 (31,2%), με τη καλύτερη του απόδοση να σημειώνεται στη πέμπτη προσπάθεια, ενώ η χειρότερη είναι η τελευταία όπου συγκέντρωσε μόνο 11 νομίσματα. Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα που έχουν καταγραφεί στη δεύτερη στήλη του **πίνακα 8**, ο χρήστης αδυνατούσε να ελέγξει σωστά την διεπαφή, οδηγώντας σε μικρά σκορ. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης 4 δεν μπορούσε να στρίψει στα δεξιά με αποτέλεσμα να περιορίζεται στην αριστερή λωρίδα, γεγονός που δεν άλλαξε σε καμία προσπάθεια. Μία λύση που προτάθηκε ήταν να παραμείνει στη κεντρική λωρίδα ανοιγοκλείνοντας συνεχώς τα μάτια. Με αυτή τη τεχνική κατάφερε να μαζέψει 17 νομίσματα κατά τη πέμπτη προσπάθεια του. Στη συνέχεια, η πτώση που παρουσιάζεται οφείλεται τόσο στη κούραση του χρήστη από το συνεχές ανοιγόκλεισμα των ματιών αλλά και στο θέμα συγχρονισμού αφού καμία φορά από την αναπήδηση έχανε συστάδες. Τέλος, στο **σχήμα 7** φαίνεται πως ο χρήστης δεν παρουσίασε βελτίωση, αντιθέτως έχασε τον έλεγχο καθώς η κλίση της ευθείας γραμμικής ποσόστωσης ισούται με  $y=-0.0182x+14$  δηλαδή έχει μία αρνητική κλίση της τάξης του 0.0182.

**Πίνακας 8.** Αποτελέσματα του Subject 4. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	12
2	13
3	14
4	13
5	17
6	16
7	16
8	15
9	12
10	11



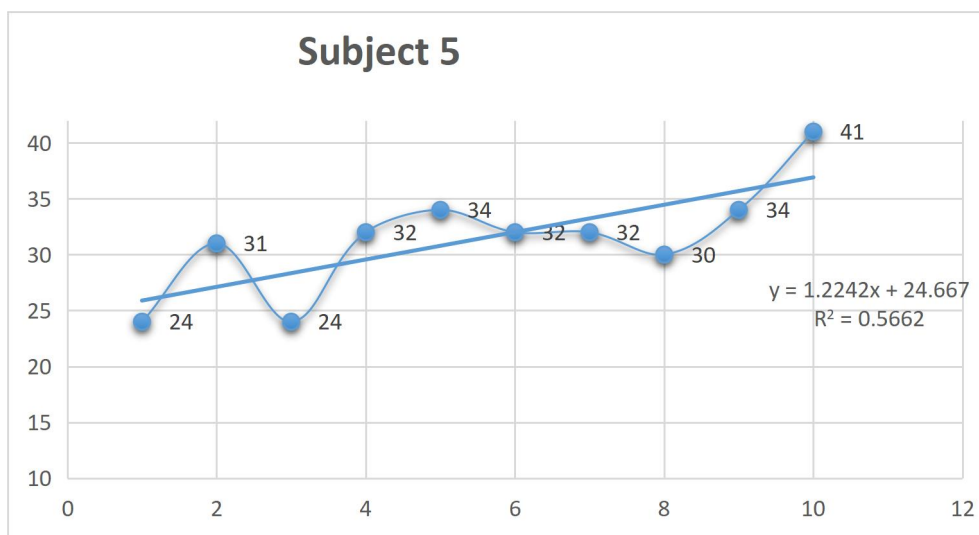
**Σχήμα 7.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 4. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y = -0.0182x + 14.44$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Στη δεύτερη στήλη του **πίνακα 9** αναγράφονται τα σκορ που πραγματοποίησε ο χρήστης 5 και τα ίδια σκορ αναπαρίστανται γραφικά στο **σχήμα 8**. Ο χρήστης 5 ήταν ο χρήστης που συγκέντρωσε τον μεγαλύτερο αριθμό νομισμάτων, αυτό πραγματοποιήθηκε κατά τη δέκατη

προσπάθεια που συγκέντρωσε από τα 50 νομίσματα. Η γενική απόδοση του χρήστη ήταν 31.4 (62.8%) και η χειρότερη προσπάθεια ήταν η πρώτη και η τρίτη όπου κατάφερε να συλλέξει 24 από τα 50 νομίσματα. Ο χρήστης 5 εξ αρχής είχε καλό έλεγχο της διεπαφής και μπορούσε να κατευθύνει τον παίκτη προς όλες τις κατευθύνσεις. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 8 υπάρχει μία μικρή διακύμανση στις 3 πρώτες προσπάθειες και αυτό οφείλεται στο γεγονός πως ο παίκτης προσπαθούσε ακόμα να εξοικειωθεί με την πίστα και τη διεπαφή και πολύ πιθανό στη τρίτη προσπάθεια να υστέρησε στον σωστό συγχρονισμό χάνοντας συστάδες και οδηγώντας σε μείωση του σκορ. Ωστόσο, στις επόμενες έξι προσπάθειες το σκορ είναι γύρω στο 32 με διακύμανση 2 που δείχνει μια καλή και σταθερή πορεία του χρήστη και δεν χάνεται ιδιαίτερα η συγκέντρωση του. Τελικά, στην δέκατη προσπάθεια συγκέντρωσε 41 από τα 50 νομίσματα της πίστας, πιάνοντας και τις 2 συστάδες που βρίσκονταν στον αέρα. Η προσπάθεια αυτή σηματοδοτεί την πλήρη εξοικείωση του χρήστη και τον ολοκληρωτικό έλεγχο της διεπαφής. Κοιτώντας και την ευθεία γραμμική ποσόστωση, παρατηρούμε μία ανοδική κλίση της τάξης του 1.242, γεγονός που δείχνει και επιβεβαιώνει τη βελτίωση του χρήστη.

**Πίνακας 9.** Αποτελέσματα του Subject 5. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	24
2	31
3	24
4	32
5	34
6	32
7	32
8	30
9	34
10	41



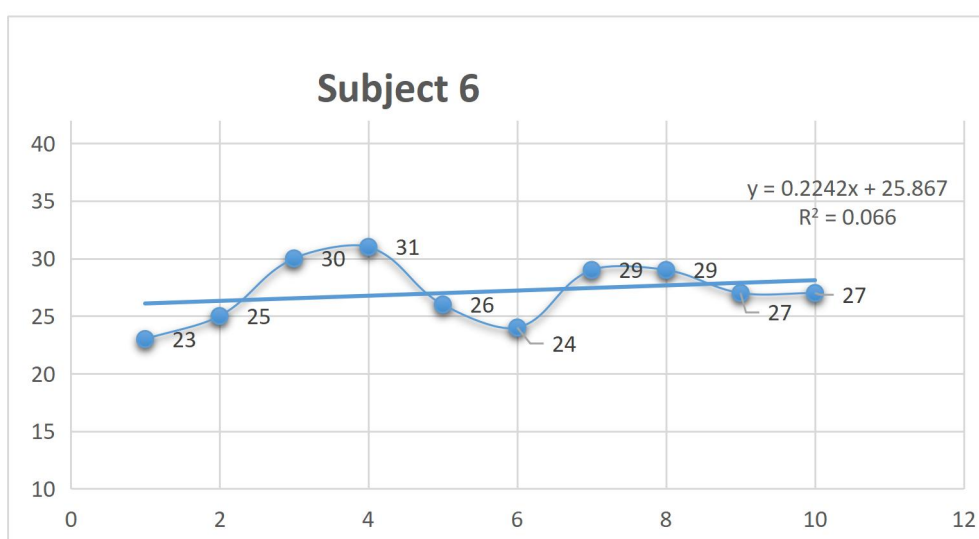
**Σχήμα 8.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 5. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=1.2242x+24.667$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Στον **πίνακα 10** καταγράφονται τα αποτελέσματα από τις προσπάθειες του παίκτη 6 και έπειτα ακολουθεί η γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων αυτών. Ο χρήστης 6 πέτυχε κατά μέσο όρο σκορ ίσο με 27.1 (54.2%). Η καλύτερη του απόδοση σημειώθηκε στη τέταρτη προσπάθεια, με σκορ 31 στα 50 και η χειρότερη του προσπάθεια ήταν η πρώτη όπου συγκέντρωσε 23 νομίσματα. Ο παίκτης 6 εξαρχής μπορούσε να κατευθύνει τον παίκτη προς όλες τις κατευθύνσεις. Στην πρώτη προσπάθεια του συγκέντρωσε το μικρότερο σκορ αλλά στις τρεις επόμενες προσπάθειες παρουσίασε ραγδαία εξέλιξη φτάνοντας στο μέγιστο σκορ του. Οι δύο προσπάθειες που ακολούθησαν δεν ήταν εξίσου αποδοτικές με τις προηγούμενες, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε κόπωση του χρήστη και την απώλεια συγκέντρωσης. Τέλος, κατά τις τέσσερις τελευταίες προσπάθειες τα σκορ αυξήθηκαν ξανά και ο χρήστης επανέκτησε την συγκέντρωσή του. Σε γενικές γραμμές ο συγκεκριμένος χρήστης παρουσίασε μία βελτίωση της τάξης του 0.2242 όπως φαίνεται στην εξίσωση ευθείας της γραμμικής που αναγράφεται στο **σχήμα 9**.

**Πίνακας 10.** Αποτελέσματα του Subject 6. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	23
2	25
3	30
4	31

5	26
6	24
7	29
8	29
9	27
10	27



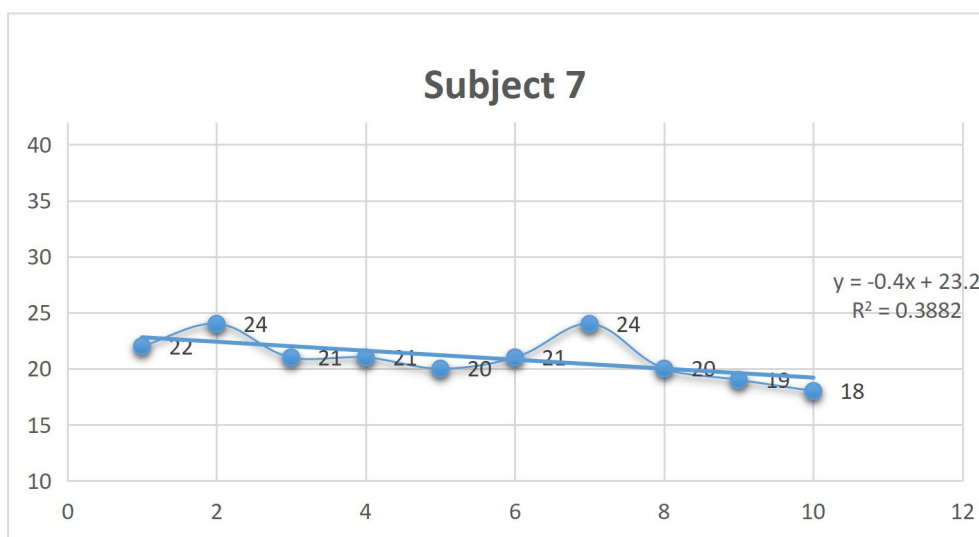
**Σχήμα 9.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 6. Ο άξονας γ αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=0.2242x+25.867$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Ο **πίνακας 11** περιέχει τα αποτελέσματα των προσπαθειών του παίκτη 7. Ο συγκεκριμένος παίκτης είχε κατά μέσο όρο απόδοση 21 (42%) με το καλύτερο σκορ να σημειώνεται στη δεύτερη και στην έβδομη προσπάθεια, 24 από τα 50 νομίσματα, ενώ το μικρότερο σκορ πραγματοποιήθηκε στη τελευταία προσπάθεια του που συγκέντρωσε 18. Αρχικά, στις πρώτες τέσσερις προσπάθειες ο παίκτης 7 μπορούσε να κατευθύνει το εικονίδιο του προς όλες τις κατευθύνσεις και κατάφερε να συλλέξει έναν ικανοποιητικό αριθμό νομισμάτων ο οποίος κυμαινόταν μεταξύ 21 με 24, με το 24 να είναι το μέγιστο. Στην συνέχεια, πιθανώς λόγω κόπωσης και έλλειψης συγκέντρωσης ο χρήστης δεν μπορούσε να κατευθύνει το εικονίδιο του προς τα δεξιά, οδηγώντας τον σε αποκλεισμό στην αριστερή λωρίδα που συνεπάγεται με μικρότερο σκορ. Κατά την έβδομη προσπάθεια ο χρήστης συγκεντρώθηκε ξανά και κατάφερε να κατευθύνει 2 φορές τον παίκτη του προς τα δεξιά φτάνοντας πάλι στο υψηλότερο σκορ του, 24. Τέλος, στις τρεις τελευταίες προσπάθειες πάλι εγκλωβίστηκε στα αριστερά. Μελετώντας τη γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων στο **σχήμα 10** φαίνεται πως ο χρήστης δεν εξοικειώθηκε

τόσο καλά και αντιθέτως η απόδοση του έπεσε αφού η ευθεία της γραμμικής ποσόστωσης έχει αρνητική κλίση.

**Πίνακας 11.** Αποτελέσματα του Subject 7. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	22
2	24
3	21
4	21
5	20
6	21
7	24
8	20
9	19
10	18

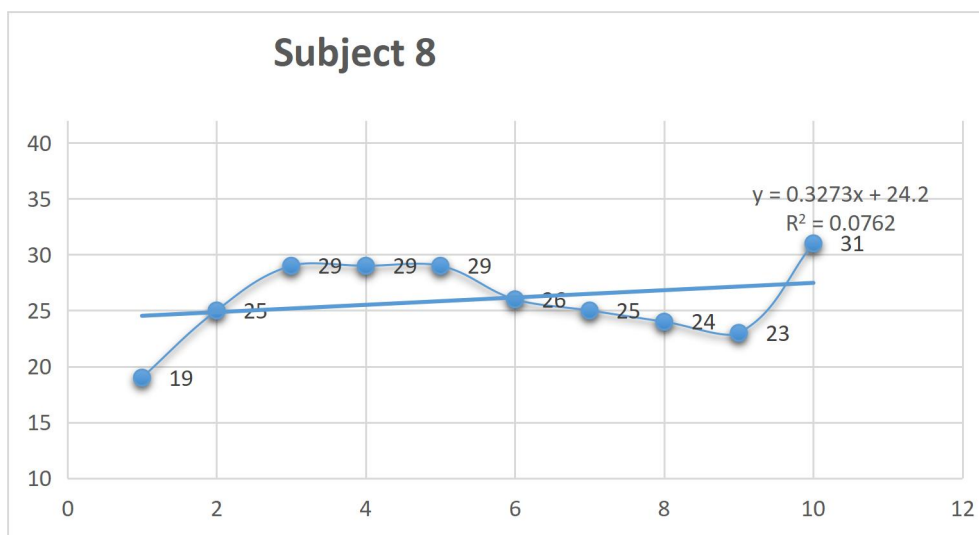


**Σχήμα 10.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 7. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y = -0.4x + 23.2$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Στον **πίνακα 12** αποτυπώνονται τα αποτελέσματα του χρήστη 8 και μετέπειτα στο **σχήμα 11** είναι η γραφική απεικόνιση τους. Ο χρήστης 8 είχε κατά μέσο όρο απόδοση 26 (52%) με τη πρώτη προσπάθεια να είναι η χειρότερη, συγκεντρώνοντας 19 νομίσματα. Ενώ αντιθέτως, η καλύτερη προσπάθεια σημειώθηκε στη δέκατη προσπάθεια του που συγκέντρωσε 31 από τα 50 νομίσματα. Ο συγκεκριμένος παίκτης μπορούσε να κατευθύνει το εικονίδιο του παιχνιδιού ως προς και τις τρεις κατευθύνσεις. Στις πρώτες πέντε προσπάθειες του ήταν συγκεντρωμένος και παρουσίαζε μία σταδιακή βελτίωση φτάνοντας τα 29 νομίσματα στην πέμπτη προσπάθεια. Οι επόμενες τέσσερις προσπάθειες του δεν ήταν ισάξιες με τις προηγούμενες, γεγονός που οδήγησε σε πτώση του σκορ και στη πτώση που φαίνεται στο **σχήμα 11**. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να αιτιολογηθεί από την κόπωση που ένιωσε ο χρήστης μετά από συνεχή συγκέντρωση. Κατά τη τελευταία προσπάθεια ο χρήστης επανέκτησε τη συγκέντρωση του καταφέροντας να συγκεντρώσει 31 από τα 50 νομίσματα και επιτυγχάνοντας το high score του. Όπως φαίνεται και από την εξίσωση ευθείας της γραμμικής ποσόστωσης η εξοικείωση και ο έλεγχος της διεπαφής βελτιώθηκε με τη πάροδο του χρόνου εφόσον έχει θετική κλίση.

**Πίνακας 12.** Αποτελέσματα του Subject 8. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	19
2	25
3	29
4	29
5	29
6	26
7	26
8	24
9	23
10	31



**Σχήμα 11.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 8. Ο άξονας γ αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=0.3272x+24.2$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

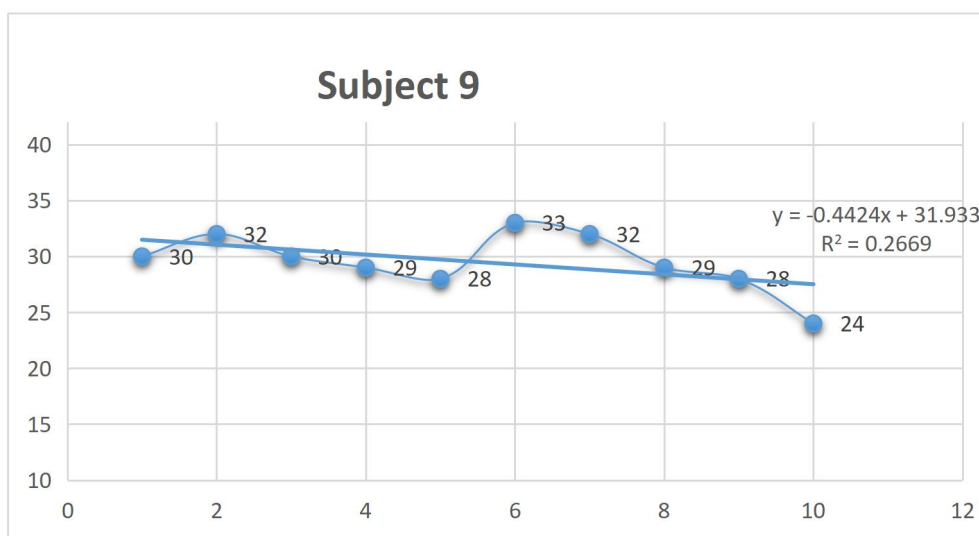
Στον **πίνακα 13** καταγράφηκαν τα σκορ που πραγματοποίησε ο χρήστης 9 και στο **σχήμα 12** απεικονίστηκαν γραφικά τα αποτελέσματα. Ο συγκεκριμένος χρήστης μπορούσε να κατευθύνει τον παίκτη του ως προς και τις τρεις κατευθύνσεις της πίστας. Η κατά μέσο όρο απόδοση του είναι 29,5 (59%), με τη χειρότερη βαθμολογία να σημειώνεται κατά τη τελευταία προσπάθεια με 24 στα 50 νομίσματα και την καλύτερη στην έκτη προσπάθεια του όπου συγκεντρώθηκαν 33 νομίσματα. Με εξαίρεση την τελευταία προσπάθεια ο χρήστης συγκέντρωνε έναν ικανοποιητικό αριθμό νομισμάτων με κάποιες αυξομειώσεις στο πλήθος τους, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε απόσπαση της συγκέντρωσης για μικρά χρονικά διαστήματα, παρόλα αυτά στο σκορ δεν αποτυπώνεται κάποια μεγάλη ή αξιοσημείωτη πτώση. Κατά τη τελευταία προσπάθεια υπάρχει μία μεγάλη πτώση και μπορεί να χαρακτηριστεί ως η χειρότερη προσπάθεια του χρήστη, η σημαντική αυτή πτώση οφείλεται στη κόπωση του χρήστη μετά από υψηλή συγκέντρωση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στο **σχήμα 12** φαίνεται πως ο χρήστης δεν βελτιώθηκε στη χρήση και τον έλεγχο της διεπαφής καθώς η κλίση της ευθείας γραμμικής ποσόστωσης είναι αρνητική, όπως περιγράφεται και από την εξίσωση ευθείας της που ισούται με  $y=-0.4424x+31.933$

**Πίνακας 13.** Αποτελέσματα του Subject 9. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	30
2	32
3	30
4	29



5	28
6	33
7	32
8	29
9	28
10	24

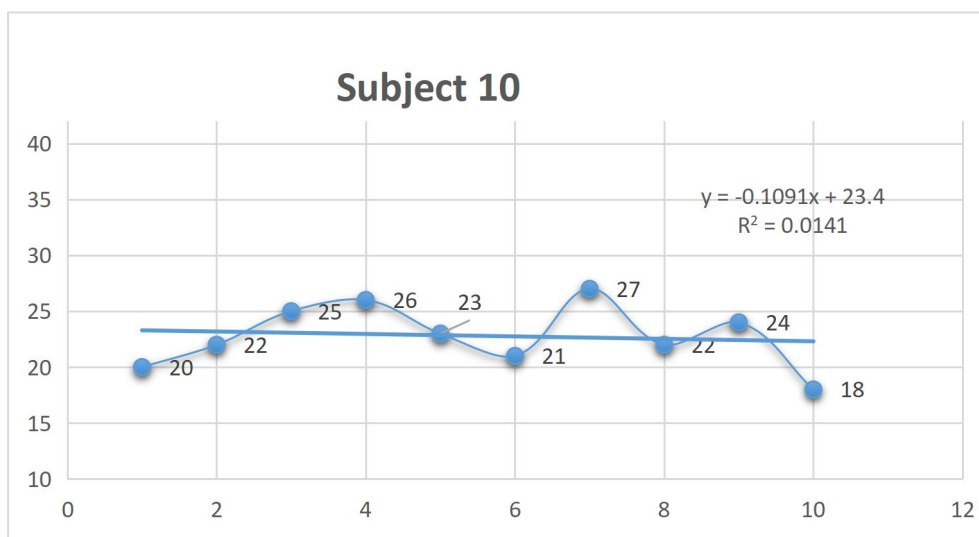


**Σχήμα 12.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 9. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y = -0.4424x + 31.933$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Στον **πίνακα 14** έχουν καταγραφεί τα σκορ που συγκέντρωσε ο χρήστης 10 και στο **σχήμα 13** παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των σκορ, συναρτήσε του αριθμού προσπάθειας. Ο δέκατος χρήστης είχε κατά μέσο όρο απόδοση 22,8 (45,6%) με την χειρότερη προσπάθεια να είναι η τελευταία του όπου συγκέντρωσε 18 νομίσματα. Ενώ στην έβδομη προσπάθεια συγκέντρωσε το μεγαλύτερο σκορ, 27 στα 50. Ο συγκεκριμένος παίκτης είχε τον έλεγχο της διεπαφής και μπορούσε να κατευθύνει τον παίκτη του ως προς τις 3 κατευθύνσεις. Στις πρώτες τέσσερις προσπάθειες ο χρήστης ήταν πλήρως συγκεντρωμένος και παρουσίαζε μια βελτίωση σε κάθε του παιχνίδι. Οι επόμενες δύο προσπάθειες δεν ήταν εξίσου αποδοτικές καθώς στο σκορ παρουσιάζεται μια πτώση, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην κόπωση του χρήστη. Κατά τη διάρκεια της έβδομης προσπάθειας ο χρήστης μπόρεσε να συγκεντρωθεί και πέτυχε την καλύτερη απόδοση του. Ύστερα, τα σκορ παρουσίασαν πάλι μία πτώση οδηγώντας και στην τελευταία προσπάθεια όπου ήταν αυτή με το μικρότερο σκορ. Στο **σχήμα 13** απεικονίζεται μαζί με τη γραφική παράσταση η ευθείας γραμμικής ποσόστωσης, όπως φαίνεται έχει μία καθοδική κλίση, γεγονός που αιτιολογείται και από την εξίσωση της ευθείας αυτής που είναι ίση με  $y = -1.091x + 23.4$  όπου ο συντελεστής της ευθείας είναι αρνητικός οπότε και η κλίση θα είναι καθοδική.

**Πίνακας 14.** Αποτελέσματα του Subject 10. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	20
2	22
3	25
4	26
5	23
6	21
7	27
8	22
9	24
10	18



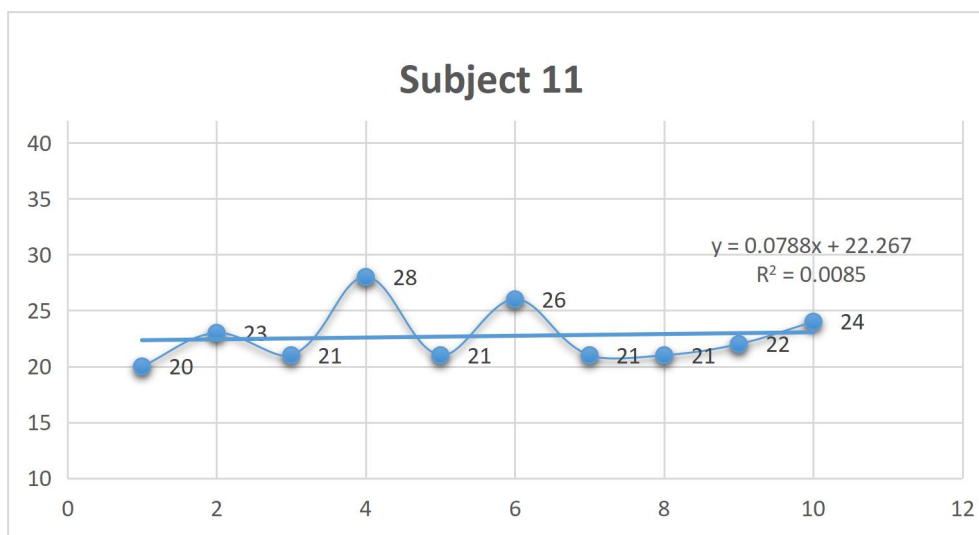
**Σχήμα 13.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 10. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y = 0.1019x + 23.4$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Στον **πίνακα 15** καταγράφονται τα αποτελέσματα των προσπαθειών στις οποίες έλαβε μέρος ο χρήστης 11 και στο σχήμα 14 αναπαριστώνται γραφικά τα αποτελέσματα. Ο χρήστης 11 είχε κατά μέσο όρο σκορ 22,7 (45,4%). Η καλύτερη του προσπάθεια ήταν η τέταρτη που σύλλεξε

28 νομίσματα ενώ η χειρότερη απόδοση του ήταν κατά τη πρώτη προσπάθεια όπου συγκέντρωσε 20 από τα 50 νομίσματα. Ο χρήστης 11 είχε την ικανότητα να ελέγξει και να κατευθύνει τον παίκτη του προς όλες τις κατευθύνσεις. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 14, τα αποτελέσματα που επιτύγχανε ο χρήστης δεν ακολουθούσαν μια συγκεκριμένη πορεία, αλλά παρουσίαζαν διακυμάνσεις ανά μία ή δύο προσπάθειες. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί σε κόπωση του χρήστη, πιθανώς ο χρήστης σε κάποιες προσπάθειες να έδειχνε πλήρη συγκέντρωση με αποτέλεσμα να υπάρχει μία άνοδος στο σκορ αλλά στη συνέχεια δεν μπορούσε να καταβάλει τον ίδιο βαθμό συγκέντρωσης, οδηγώντας σε πτώση των σκορ και την διακύμανση που φαίνεται στο σχήμα 14. Παρόλα αυτά, ο συγκεκριμένος χρήστης παρουσίασε βελτίωση στον έλεγχο της διεπαφής, όπως φαίνεται και στο **σχήμα 14** από την ευθεία γραμμικής ποσόστωσης που έχει ανοδική κλίση με συντελεστή 0,0788.

**Πίνακας 15.** Αποτελέσματα του Subject 11. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	20
2	23
3	21
4	28
5	21
6	26
7	21
8	21
9	22
10	24



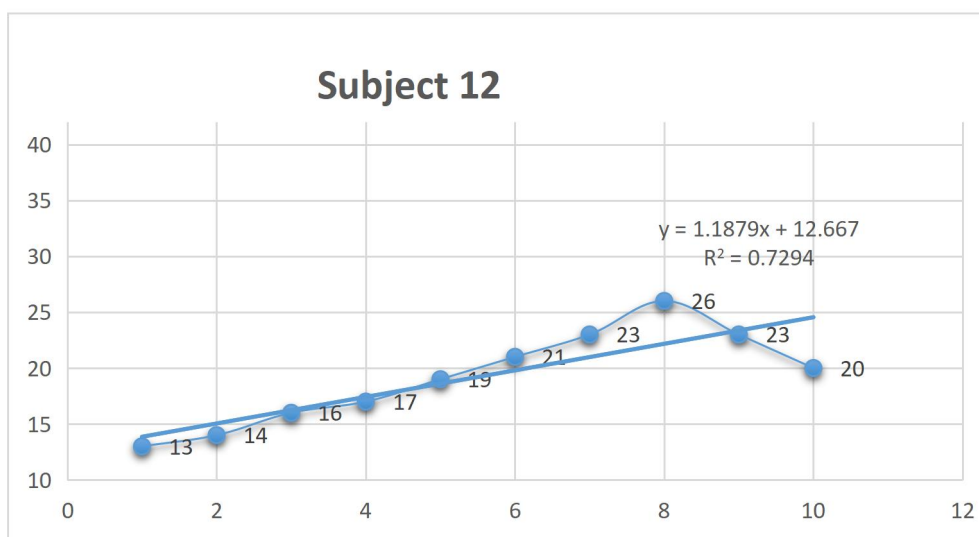
**Σχήμα 14.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 11. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=0.0788x+22.267$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Ο **πίνακας 16** περιλαμβάνει τα σκορ που σύλλεξε ο χρήστης 12 κατά τη διάρκεια των 10 προσπαθειών του, βάσει των σκορ αυτών σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση του σχήματος 15. Ο χρήστης είχε κατά μέσο όρο απόδοση ίση με 19,2 (38,4%), με τη καλύτερη προσπάθεια να είναι η όγδοη όπου συγκέντρωσε 26 νομίσματα ενώ στη πρώτη προσπάθεια σύλλεξε τα λιγότερα, 13 στα 50 νομίσματα. Ο συγκεκριμένος χρήστης στις πρώτες πέντε προσπάθειες του δεν μπορούσε να μεταβεί στην αριστερή λωρίδα της πίστας, με αποτέλεσμα να περιορίζεται στη δεξιά πλευρά. Μια λύση που προτάθηκε και λειτούργησε, ήταν να παραμείνει στη κεντρική λωρίδα χρησιμοποιώντας την αναπήδηση, δηλαδή το ανοιγόκλεισμα των ματιών. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της έκτης προσπάθειας κατάφερε να δώσει την εντολή για την αριστερή στροφή οδηγώντας σε αύξηση των σκορ και μετέπειτα στην επίτευξη του μέγιστου σκορ. Στις δύο επόμενες προσπάθειες δεν κατάφερε να ξεπεράσει το προηγούμενο μέγιστο σκορ, αυτό οφείλεται στη κούραση του παίκτη από τις επαναλαμβανόμενες προσπάθειες και την απώλεια της συγκέντρωσης του. Παρόλα αυτά, ο χρήστης 12 παρουσίασε μεγάλη βελτίωση και εξοικείωση με τη διεπαφή όπως αποδεικνύεται και στα σκορ αλλά και από τον συντελεστή της ευθείας γραμμικής ποσόστωσης είναι ίσος με 1.1879 που παραπέμπει σε ανοδική κλίση της ευθείας.

**Πίνακας 16.** Αποτελέσματα του Subject 12. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	13
2	14

3	16
4	17
5	19
6	21
7	23
8	26
9	23
10	20



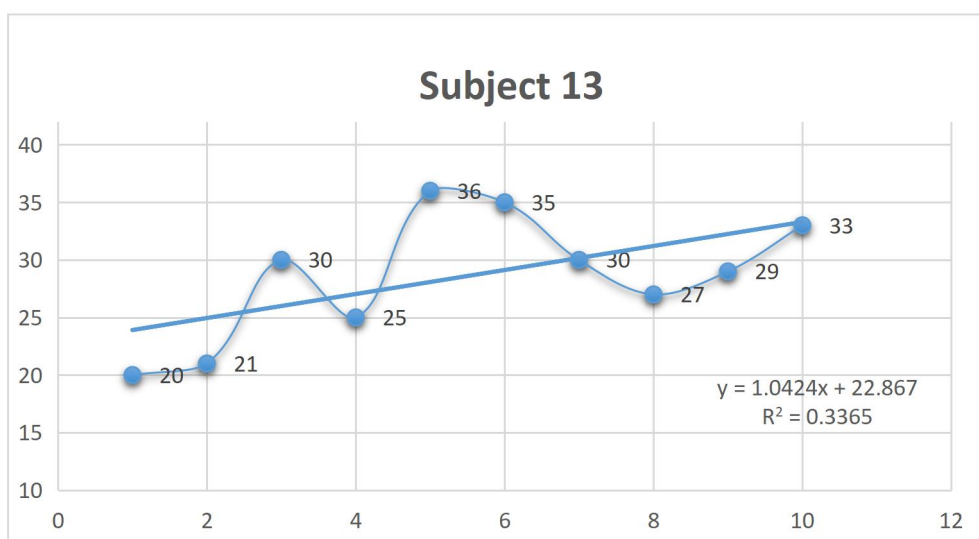
**Σχήμα 15.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 12. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=1.1879x+12.667$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Ο **πίνακας 17** περιέχει τα σκορ που συγκέντρωσε ο χρήστης 13 κατά τη διάρκεια των προσπαθειών του, ενώ στο **σχήμα 16** αναπαριστώνται γραφικά συναρτήσει του αριθμού προσπάθειας. Η μέση απόδοση του χρήστη ήταν 28,6 (57,2%) με τη καλύτερη προσπάθεια να πραγματοποιείται τη πέμπτη φορά συλλέγοντας 36 νομίσματα, ενώ η χειρότερη ήταν η πρώτη όπου συλλέχθηκαν 20 από τα 50 νομίσματα. Ο χρήστης 13 μπορούσε να ελέγξει τη διεπαφή και να κατευθύνει τον παίκτη σε όλες τις κατευθύνσεις. Αρχικά, κατά τις τρεις πρώτες προσπάθειες παρουσιάζει μια βελτίωση και συγκεντρώνει μεγαλύτερο αριθμό νομισμάτων. Αυτό διακόπτεται από τη τέταρτη προσπάθεια όπου το σκορ μειώνεται, αυτό μπορεί να αποδοθεί σε διάσπαση της προσοχής για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα, παρόλα αυτά ο χρήστης επανήλθε πετυχαίνοντας το υψηλότερο σκορ του στην ακριβώς επόμενη προσπάθεια. Στη συνέχεια, κατά την έβδομη και όγδοη προσπάθεια σημειώθηκε μια ακόμη πτώση που αποδίδεται σε κόπωση του συμμετέχοντα.

Παρόλα αυτά, στις δύο τελευταίες προσπάθειες τα σκορ ανεβαίνουν και ο παίκτης ανακτά τον έλεγχο της διεπαφής. Ασχέτως από τις αυξομειώσεις και διακυμάνσεις των σκορ, ο συγκεκριμένος χρήστης παρουσίασε βελτίωση στον έλεγχο της διεπαφής και αυτό φαίνεται από την ανοδική κλίση που έχει η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης που φαίνεται στο **σχήμα 16**.

**Πίνακας 17.** Αποτελέσματα του Subject 13. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	20
2	21
3	30
4	25
5	36
6	35
7	30
8	27
9	29
10	33



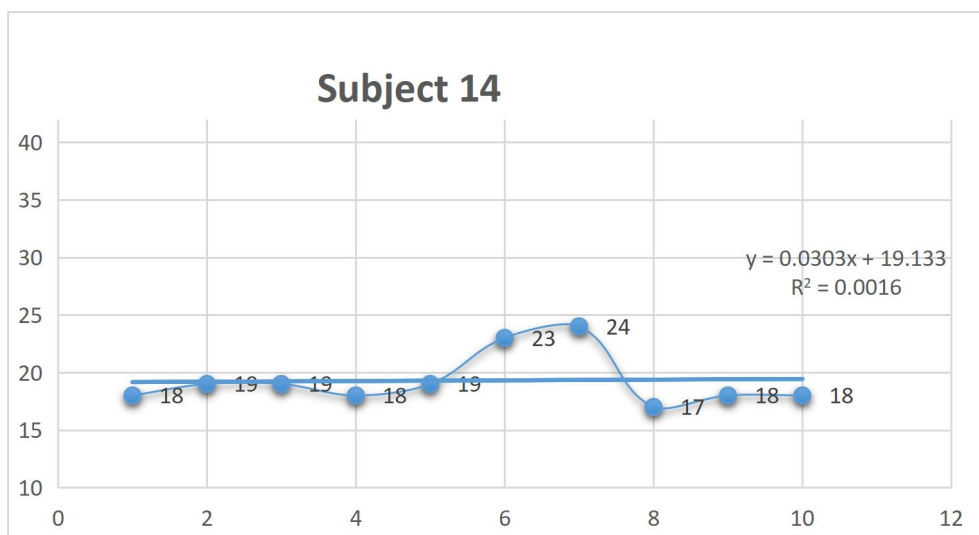
**Σχήμα 16.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 13. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=1.0424x+22.867$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι

κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Παρακάτω παραθέεται ο **πίνακας 18** και το **σχήμα 17** που αναπαριστούν τις προσπάθειες και τα σκορ του χρήστη 14. Ο χρήστης 4 είχε κατά μέσο όρο απόδοση 19,3 (38,6%), με τη καλύτερη του απόδοση να σημειώνεται κατά την έβδομη προσπάθεια, ενώ η χειρότερη είναι η όγδοη όπου συγκέντρωσε 17 νομίσματα από τα 50. Ο συγκεκριμένος χρήστης αδυνατούσε να ελέγξει σωστά την διεπαφή, χωρίς να μπορεί να στρίψει στα δεξιά με αποτέλεσμα να περιορίζεται στην αριστερή λωρίδα, αυτό τον οδήγησε σε μικρά σκορ. Μία λύση που προτάθηκε ήταν να παραμείνει στη κεντρική λωρίδα ανοιγοκλείνοντας συνεχώς τα μάτια. Με αυτή τη τεχνική κατάφερε να παρουσιάσει μία αύξηση στην έκτη και έβδομη προσπάθεια, όπου συγκεντρώσει 24 νομίσματα στην τελευταία. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια πτώση στον αριθμό νομισμάτων, η οποία οφείλεται τόσο στη κούραση του χρήστη από το συνεχές ανοιγόκλεισμα των ματιών αλλά και στο θέμα συγχρονισμού αφού ορισμένες φορές κατά την αναπήδηση έχανε συστάδες. Τέλος, στο **σχήμα 17** φαίνεται πως ο χρήστης παρουσίασε μια βελτίωση, τής τάξης του 0.303. Που φαίνεται από την ευθείας γραμμικής ποσόστωσης ισούται με  $y=0.303x+19.133$ .

**Πίνακας 18.** Αποτελέσματα του Subject 14. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	18
2	19
3	19
4	18
5	19
6	23
7	24
8	17
9	18
10	18



**Σχήμα 17.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 14. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=0.303x+19.133$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

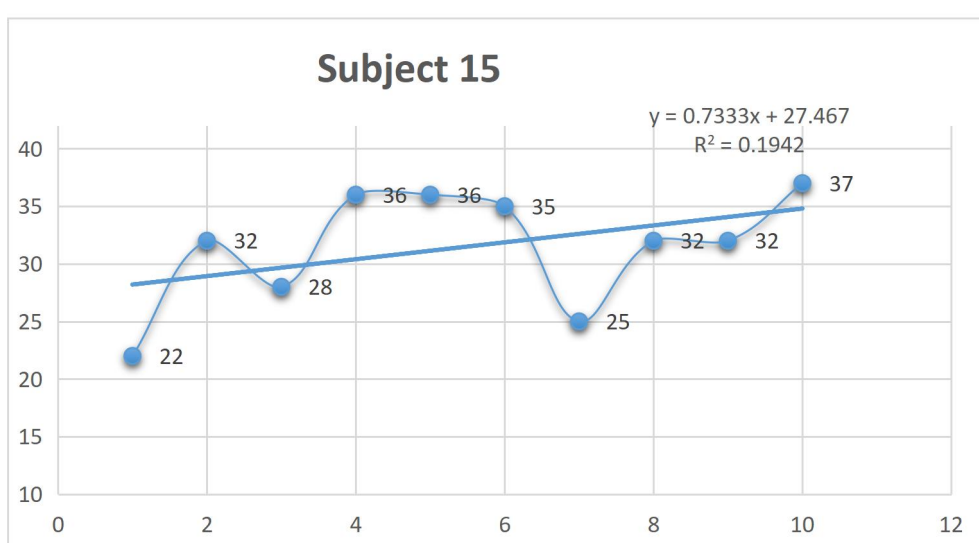
Παρακάτω παραθέτεται ο **πίνακας 19** και το **σχήμα 18** που αναπαριστούν τις προσπάθειες και τα σκορ του χρήστη 15. Ο χρήστης 15 είναι ο χρήστης που παρουσίασε την μεγαλύτερη απόδοση από όλους τους συμμετέχοντες με κατά μέσο όρο σκορ 31,5 (63%) και την καλύτερη του προσπάθεια να πραγματοποιείται την τελευταία φορά συλλέγοντας 37 από τα 50 νομίσματα, ενώ στην πρώτη του προσπάθεια συγκέντρωσε τον μικρότερο αριθμό νομισμάτων, 22 νομίσματα. Όπως φαίνεται και στη γραφική παράσταση στο σχήμα 18 ο συγκεκριμένος χρήστης παρουσιάζει κάποιες διακυμάνσεις στο σκορ του. Ανάμεσα στην πρώτη με τη δεύτερη προσπάθεια υπάρχει μια ραγδαία αύξηση στα σκορ και ακολουθεί μια μικρή πτώση στη τρίτη προσπάθεια που αποδίδεται είτε στη διάσπαση της προσοχής για ένα μικρό χρονικό διάστημα είτε σε κάποιο λάθος συγχρονισμού. Παρόλα αυτά, χρήστης επανήλθε πετυχαίνοντας το υψηλά σκορ στις τρεις ακριβώς επόμενες προσπάθειες. Έπειτα, μια ακόμη σημαντική πτώση σημειώθηκε στην έβδομη προσπάθεια η οποία οφείλεται στην κόπωση του χρήστη που συνεπάγεται με έλλειψη συγκέντρωσης. Τέλος, τα σκορ επανήλθαν σε υψηλά επίπεδα και στην τελευταία του προσπάθεια ο χρήστης συγκέντρωσε το υψηλότερο του σκορ, 37 στα 50 νομίσματα. Τέλος, όπως φαίνεται και στο **σχήμα 18** ο χρήστης βελτιώθηκε στον έλεγχο της διεπαφής καθώς η ευθεία της γραμμικής ποσόστωσης έχει θετική κλίση της τάξης του 0,7333.

**Πίνακας 19.** Αποτελέσματα του Subject 15. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	22
2	32
3	28



4	36
5	36
6	35
7	25
8	32
9	32
10	37



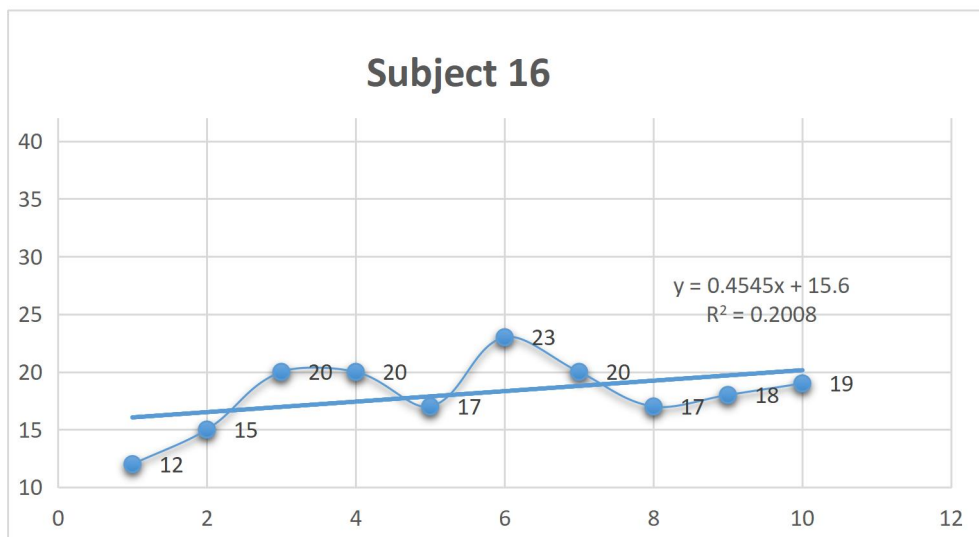
**Σχήμα 18.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 15. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=0.7333x+27.467$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Παρακάτω βρίσκεται ο **πίνακας 20** και το **σχήμα 19** που αναπαριστούν τις προσπάθειες και τα σκορ του χρήστη 16. Ο συγκεκριμένος χρήστης είχε κατά μέσο όρο απόδοση 18,1 (36,2%), με τη καλύτερη του απόδοση να σημειώνεται κατά την έκτη προσπάθεια, ενώ η χειρότερη είναι η πρώτη προσπάθεια με σκορ 12. Ο συγκεκριμένος χρήστης αδυνατούσε να ελέγξει σωστά την διεπαφή. Αναλυτικότερα, δεν μπορούσε να δώσει την νοητική εντολή για να στρίψει στα αριστερά με αποτέλεσμα να περιορίζεται στη δεξιά λωρίδα, γεγονός οδήγησε σε μικρά σκορ. Μία λύση που προτάθηκε ήταν να παραμείνει στη κεντρική λωρίδα ανοιγοκλείνοντας συνεχώς τα μάτια. Με αυτή τη τεχνική κατάφερε να παρουσιάσει μία αύξηση ώσπου κατά τη διάρκειά της έκτης προσπάθειας συγκέντρωσε 23 νομίσματα στην τελευταία. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια πτώση στον αριθμό νομισμάτων, η οποία οφείλεται τόσο στη κούραση του χρήστη που ένιωσε ο χρήστης από το συνεχές ανοιγόκλεισμα των ματιών αλλά και στο θέμα συγχρονισμού αφού ορισμένες φορές κατά την αναπήδηση έχανε συστάδες. Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται και στο

**σχήμα 19** ο χρήστης βελτιώθηκε στον έλεγχο της διεπαφής καθώς η ευθεία της γραμμικής ποσόστωσης έχει μια κλίση της τάξης του 0,4545.

**Πίνακας 20.** Αποτελέσματα του Subject 16. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	12
2	15
3	20
4	20
5	17
6	23
7	20
8	17
9	18
10	19

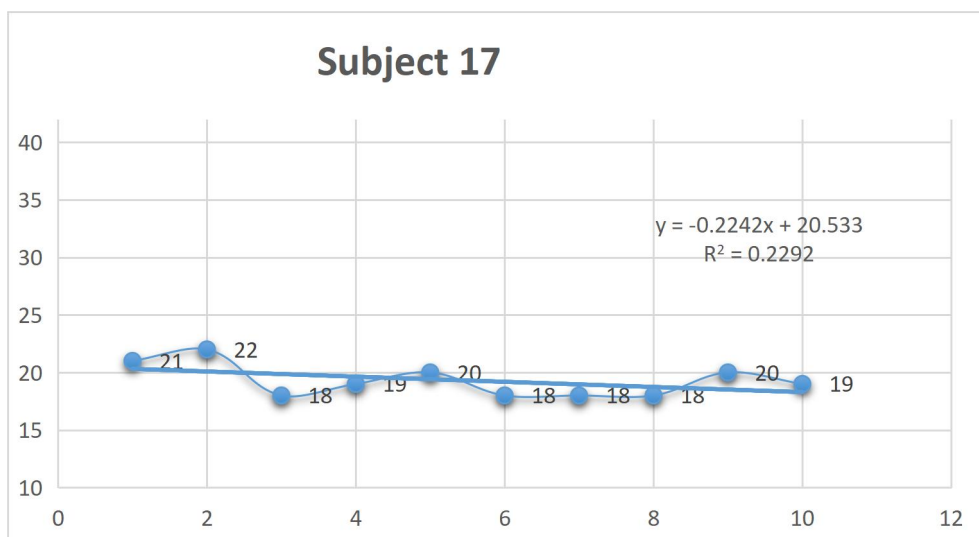


**Σχήμα 19.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 16. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y=0.4545x+15.6$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

Ο **πίνακας 21** περιέχει τα αποτελέσματα των προσπαθειών του παίκτη 17. Ο συγκεκριμένος παίκτης είχε κατά μέσο όρο απόδοση 19,3 (38,6%) με το καλύτερο σκορ να σημειώνεται στη δεύτερη προσπάθεια του, όπου συγκέντρωσε 24 από τα 50 νομίσματα, ενώ το μικρότερο σκορ πραγματοποιήθηκε στη τρίτη, έκτη, έβδομη και όγδοη προσπάθεια όπου συγκέντρωσε 18 νομίσματα. Αρχικά, στις δύο πρώτες προσπάθειες ο συγκεκριμένος παίκτης μπορούσε να κατευθύνει το εικονίδιο του προς όλες τις κατευθύνσεις και κατάφερε να συλλέξει έναν ικανοποιητικό αριθμό νομισμάτων, με τη δεύτερη φορά να είναι αυτή που συγκέντρωσε το μεγαλύτερο σκορ. Στην συνέχεια, πιθανώς λόγω κόπωσης, η οποία συνεπάγεται με την έλλειψη συγκέντρωσης ο χρήστης δεν μπορούσε να κατευθύνει το εικονίδιο του προς τα δεξιά, οδηγώντας τον σε αποκλεισμό στην αριστερή λωρίδα που συνεπάγεται με μικρότερο σκορ. Όπως και στους υπολοίπους παίκτες που δεν κατάφεραν να στρίψουν προτάθηκε να παραμείνει στη κεντρική λωρίδα ανοιγοκλείνοντας τα μάτια του και συνέχισε με αυτή τη τεχνική στις επόμενες προσπάθειες του. Ο αυξομειώσεις που συμβαίνουν οφείλονται στην απώλεια νομισμάτων λόγω συγχρονισμού της αναπήδησης. Μελετώντας τη γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων στο **σχήμα 20** φαίνεται πως ο χρήστης δεν εξοικειώθηκε τόσο καλά και αντιθέτως η απόδοση του έπεσε αφού η ευθεία της γραμμικής ποσόστωσης έχει αρνητική κλίση της τάξης του -0,2242.

**Πίνακας 21.** Αποτελέσματα του Subject 17. Στα αριστερά αναγράφεται ο αριθμός προσπάθειας και στα δεξιά το σκορ που επιτεύχθηκε.

Αριθμός προσπάθειας	Σκορ Προσπάθειας
1	21
2	22
3	18
4	19
5	20
6	18
7	18
8	18
9	20
10	19



**Σχήμα 20.** Γραφική αναπαράσταση του συνόλου προσπαθειών και των σκορ που επιτεύχθηκαν από τον χρήστη 17. Ο άξονας y αναπαριστά το σκορ, ενώ ο άξονας x τον αριθμό προσπάθειας. Επιπλέον, στο γράφημα έχει προστεθεί η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης, της οποίας η εξίσωση φαίνεται πάνω δεξιά και είναι ίση με  $y = -0.2242x + 20.533$ . Επιπλέον, αναγράφεται η τετραγωνική τιμή του R, η οποία συμβολίζει το κατά πόσο η εξίσωση περιγράφει σωστά τη σχέση μεταξύ των αξόνων. Ιδανικά, η τετραγωνική τιμή του R πρέπει να είναι κοντά στο 1 ώστε να αποφανθούμε πως η ευθεία γραμμικής ποσόστωσης αναπαριστά και χωρίζει κατάλληλα τα δεδομένα.

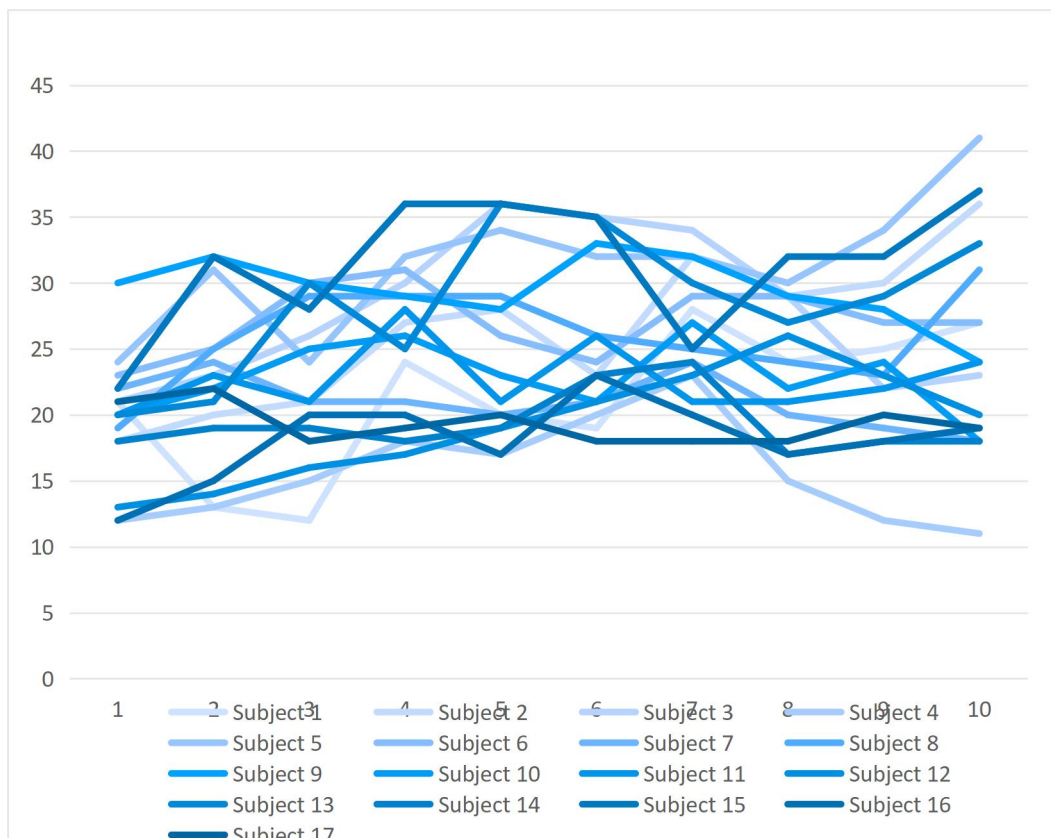
## 4.4 Συλλογικά Αποτελέσματα

Στη ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν συλλογικά τα αποτελέσματα των χρηστών. Στον **πίνακα 22** αποτυπώνονται οι μέσοι όροι των σκορ που συγκέντρωσε ο κάθε παίκτης κατά τη διάρκεια των 10 προσπαθειών. Η χαμηλότερη απόδοση παρουσιάζεται από το subject 4, που συγκέντρωσε κατά μέσο όρο 15,6 (31,2%) νομίσματα, ενώ ο μεγαλύτερος μέσος όρος είναι αυτός του Subject 15 με 31,5 (63%). Ωστόσο, όπως φαίνεται από το **σχήμα 21** το μεγαλύτερο σκορ πραγματοποιήθηκε από το Subject 5 όπου συγκέντρωσε 41 νομίσματα στη δέκατη προσπάθεια του. Ενώ, το χαμηλότερο σκορ είναι 12 στα 50 νομίσματα που πραγματοποιήθηκε από το Subject 4 στην πρώτη του προσπάθεια.

**Πίνακας 22.** Αποτελέσματα παιχνιδιού. Στη στήλη Μέσος Όρος Σκορ αναγράφεται ο μέσος όρος των κερμάτων που συγκέντρωσε ο παίκτης στις 10 προσπάθειές και στη στήλη Ποσοστιαίο Σκορ το αντίστοιχο ποσοστό.

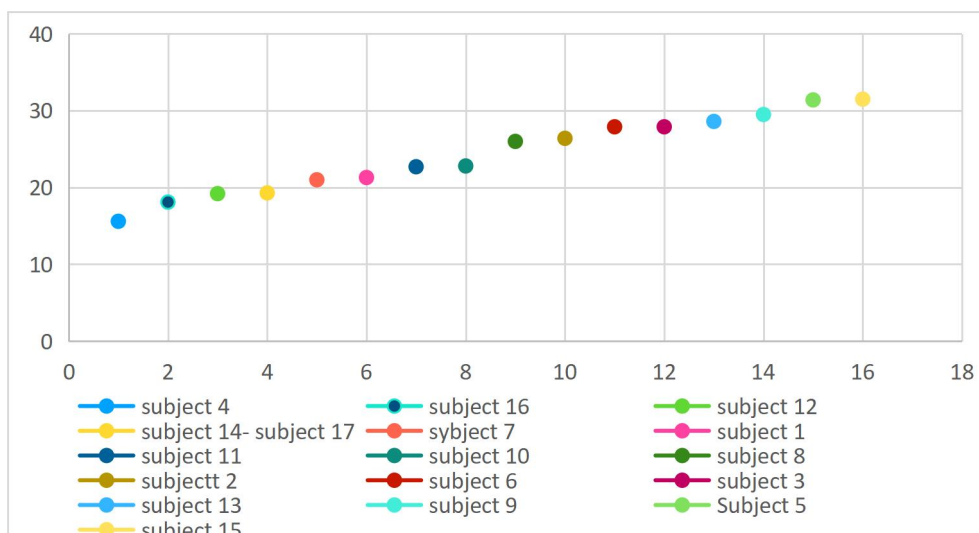
Subject	Μέσος Όρος Σκορ	Ποσοστιαίο Σκορ
1	21,3	42,6
2	26,4	52,8
3	27,9	55,8
4	15,6	31,2
5	31,4	62,8

6	27,1	54,2
7	21	42
8	26	52
9	29,5	59
10	22,8	45,6
11	22,7	45,4
12	19,2	38,4
13	28,6	57,2
14	19,3	38,6
15	31,5	63
16	18,1	36,2
17	19,3	38,6



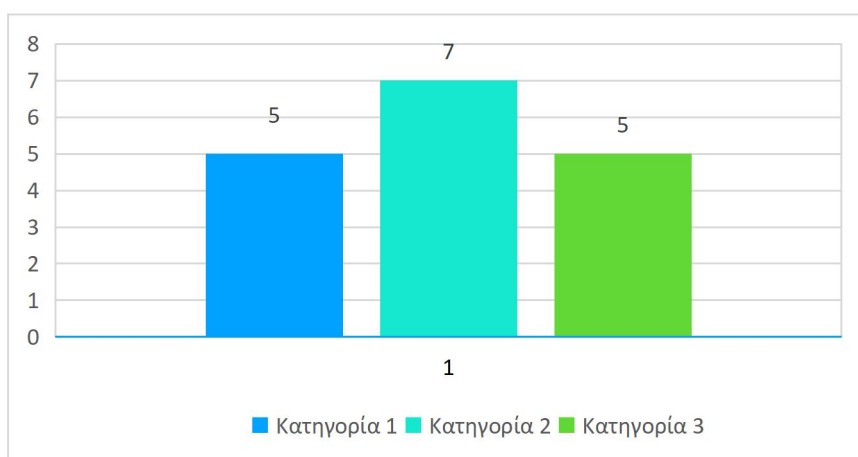
**Σχήμα 21.** Γραφική αναπαράσταση των σκορ που συγκέντρωσαν όλοι οι συμμετέχοντες. Η απόδοση κάθε συμμετέχοντα αναπαρίσταται με διαφορετικό χρώμα με την αντιστοιχία χρώματος- παίκτη να αναγράφεται στο υπόμνημα. Όπως φαίνεται το υψηλότερο σκορ έχει σημειωθεί από τον παίκτη 5, ενώ το χαμηλότερο από τον συμμετέχοντα 4.

Στο **σχήμα 22** παρουσιάζονται γραφικά οι αποδόσεις όλων των συμμετεχόντων κατά αύξουσα σειρά. Όπως προαναφέρθηκε τη χαμηλότερη επίδοση την είχε το subject4 με μέσο όρο 15,6. Ύστερα, ακολουθεί το subject 16 και το subject 12 με μέσο όρο 18,1 και 19,2 αντίστοιχα. Ακολουθούν με ισοβαθμία τα subject 17 και 14 έχοντας μέσο όρο 19,3 και το subject 7 έχοντας μέσο σκορ 21. Στη συνέχεια, βρίσκονται οι συμμετέχοντες 11, 10 και 8 με επιμέρους σκορ 21,3, 22,7, 22,8 και 26. Έπειτα, ακολουθούν τα subject 2, 6, 3, 13 έχοντας απόδοση 26,4, 27,1, 27,3 και 28,6 αντίστοιχα. Τέλος, τις τρεις καλύτερες αποδόσεις τις έχουν τα subjects 9, 5 και 15 με μέση απόδοση 29,5, 31,4 και 31,5.



**Σχήμα 22.** Γραφική αναπαράσταση των κατά μέσο όρο σκορ που συγκέντρωσαν οι συμμετέχοντες. Τα σκορ έχουν καταταχθεί με αύξουσα σειρά.

Βάσει των αποτελεσμάτων οι παίκτες μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες, όπως φαίνεται και στο **σχήμα 23**. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν συνολικά 5 συμμετέχοντες και πιο συγκεκριμένα οι 4,16,12,7 και 14, των οποίων ο μέσος όρος κυμαίνεται από 15,6 (31,2%) έως 19,3 (38,6%). Η συγκεκριμένη κατηγορία περιέχει παίκτες οι οποίοι δεν μπόρεσαν να ελέγξουν αποτελεσματικά τη διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή, το κύριο πρόβλημα που αντιμετώπισαν οι συμμετέχοντες ήταν πως δεν μπορούσαν να ενεργοποιήσουν μία από τις δύο νοητικές εντολές με αποτέλεσμα να περιορίζονται σε μια λωρίδα και να μην μπορούν να αλλάξουν κατεύθυνση. Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται παίκτες οι οποίοι μπορούσαν να αλλάξουν κατευθύνσεις και είχαν έναν ικανοποιητικό έλεγχο της διεπαφής εγκεφάλου υπολογιστή. Συνολικά σε αυτή τη κατηγορία εντάσσονται 8 συμμετέχοντες και ο μέσος όρος του σκορ τους είναι μεταξύ του 21 (42%) και 27,1 (54,2%). Οι συμμετέχοντες που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία είναι τα subject 7,1,11,10,8,2 και 6. Τέλος, στην τελευταία κατηγορία τοποθετούνται οι χρήστες οι οποίοι είχαν άριστο έλεγχο της διεπαφής και μπορούσαν να επιτύχουν τις σωστές νοητικές εντολές στο σωστό χρονικό παράθυρο. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται 5 συμμετέχοντες με την απόδοσή τους να παίρνει τιμές από 27,9 (55,8%) έως 31,5 (63%). Τα subjects 3,13,9,5 και 15 ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία.



**Σχήμα 23.** Ιστόγραμμα που παρουσιάζει τις διαφορετικές κατηγορίες που κατατάσσονται οι χρήστες ανάλογα με την απόδοσή τους στο παιχνίδι διεπαφής εγκεφάλου.

## Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

---

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν από την συγκεκριμένη διπλωματική καθώς και στην ενότητα 5.2 θα παρουσιαστούν μελλοντικές μελέτες και εφαρμογές της διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή.

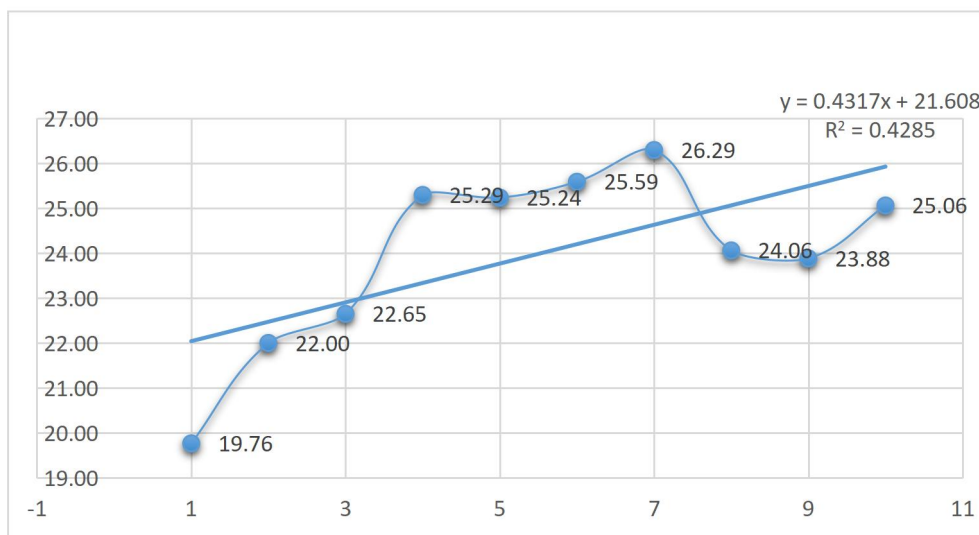
### 5.1 Συμπεράσματα της Μελέτης

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, κατασκευάστηκε ένα παιχνίδι ελεγχόμενο από διεπαφή εγκεφάλου υπολογιστή με τρεις νοητικές Motor Imagery εντολές. Η ανάπτυξη του πραγματοποιήθηκε στο Unity Engine για τρισδιάστατα παιχνίδια και η εκτέλεση του στη πλατφόρμα OpenViBE. Τα ηλεκτροεγκεφαλικά δεδομένα που λειτουργούν ως είσοδοι στο παιχνίδι προέρχονται από τον ηλεκτροεγκεφαλογράφο Muse 2. Σε αυτή την έρευνα συμμετείχαν 17 εθελοντές μεταξύ των ηλικιών 21-23. Οι περισσότεροι συμμετέχοντες κατάφεραν επιτυχώς μέσω νοητικών εντολών να ελέγξουν τον παίκτη τους και να συλλέξουν νομίσματα. Το παιχνίδι BCI χρησιμοποίησε το πολυεπίπεδο Perceptron ως αλγόριθμο ταξινόμησης με ακρίβεια 98.17% και τον ταξινομητή Ανάλυσης Γραμμικής Διάκρισης (LDA) με ακρίβεια 95,5%. Το πείραμα αξιολογείται με τη χρήση εντός σύνδεσης μετρικών όπως η μέση βαθμολογία του παιχνιδιού. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα υποδεικνύουν έναν ικανοποιητικό βαθμό ελέγχου του παίκτη, καθώς εξοικειωνόταν με το περιβάλλον της διεπαφής. Υπήρξαν εξαιρέσεις καθώς κάποιοι συμμετέχοντες δυσκολεύτηκαν με την αριστερή νοητική εντολή, όμως παρόλα αυτά η συγκεκριμένη μελέτη είναι αρκετά υποσχόμενη για επιπλέον έρευνα στην ανάπτυξη BCI παιχνιδιών.

Όπως φαίνεται και στο **σχήμα 24** όπου ο άξονας  $y$  παριστάνει τον μέσο όρο από τα σκορ των συμμετεχόντων για τον αριθμό προσπάθειας που αναγράφεται στον άξονα  $x$ , τα μικρότερα σκορ πραγματοποιήθηκαν κατά τη πρώτη προσπάθεια με μέσο όρο 19,76 (39,52%), ενώ τη καλύτερη απόδοση σημειώθηκε στην έβδομη προσπάθεια με τον μέσο όρο των σκορ να είναι 26.29 (52.58%). Κατά τη πρώτη προσπάθεια όπως αναμενόταν οι περισσότεροι παίκτες συγκέντρωσαν τον μικρότερο αριθμό νομισμάτων. Στη δεύτερη και τρίτη προσπάθεια υπήρξε μια μικρή αύξηση στα σκορ που υποδηλώνει την αρχή της εξοικείωσης των χρηστών με την διεπαφή και τον τρόπο λειτουργίας της οδηγώντας στην αύξηση της απόδοσης τους. Έπειτα, κατά τη τέταρτη, πέμπτη και έκτη προσπάθεια οι παίκτες παρουσίασαν μία συστηματική βελτίωση, η οποία αποτυπώνεται και στους μέσους όρους καθώς ξεπερνούν το 25 (50%). Η έβδομη προσπάθεια είναι εκείνη όπου αρκετοί χρήστες πέτυχαν το μέγιστο σκορ τους και αυτό είναι ορατό και στο σχήμα 24 εφόσον η έβδομη προσπάθεια είναι το τοπικό μέγιστο της γραφικής παράστασης. Στις δύο επόμενες προσπάθειες σημειώνεται μία πτώση στον μέσο όρο. Κατά την



όγδοη προσπάθεια ο μέσος όρος των σκορ των παιχτών είναι 24.06 (48.12%) και στην ένατη 23,88 (47,76%), αυτές οι πτώσεις συμπίπτουν με τα ατομικά σκορ που σχολιάστηκαν στην **ενότητα 4.1**, η συγκεκριμένη μείωση στον αριθμό νομισμάτων οφείλεται στην κόπωση των χρηστών μετά τις συνεχόμενες προσπάθειες τους η οποία τους οδήγησε στο να χάσουν την συγκέντρωσή τους. Τέλος, στη τελευταία προσπάθεια παρατηρείται μία αύξηση αφού ο μέσος όρος είναι 25,06 (50,12%). Αυτή η αύξηση αποδίδεται στην επανάκτηση της συγκέντρωσης των παικτών για τη τελευταία τους προσπάθεια. Τα αποτελέσματα δείχνουν μια αξιοσημείωτη βελτίωση στην απόδοση του χρήστη πριν και μετά το πέρας των προσπαθειών του, που υποδεικνύει πως οι περισσότεροι χρήστες μπορούν να μάθουν μέσα από περιβάλλοντα διεπαφής εγκεφάλου- υπολογιστή.



**Σχήμα 24.** Γραφική αναπαράσταση του μέσου όρου των σκορ όλων των παιχτών ανάλογα με τον αριθμό προσπάθειας.

## 5.2 Συγκριτική Μελέτη

Η έρευνα που υλοποιήθηκε εντός πλαισίων αυτής της διπλωματικής βασίζεται σε παρεμφερείς μελέτες για την ανάπτυξη παιχνιδιών ελεγχόμενα από ΔΕΥ. Στην **ενότητα 2.4** παρουσιάστηκαν στοιχεία παρόμοιων ερευνών με αυτή της παρούσας διπλωματικής και τα κύρια στοιχεία τους αναγράφονται στον **πίνακα 23**.

**Πίνακας 23.** Συγκριτικός πίνακας με τη σχετική βιβλιογραφία.

Συγγραφείς	Συμμετέχοντες	Συσκευές	Νοητικές Εντολές	Επαναλήψεις ανά συμμετέχοντα	Χρονική Διάρκεια Πειράματος	Μετρικές Αξιολόγησης
K. Glavas, Georgios Prapas, Katerina D. Tzimourta, Nikolaos Giannakeas, Markos Tsipouras	38	Muse 2	2	20	40 λεπτά	Μέσος όρος Ταξινόμησης (98,75%)  Μέσος όρος πρώτου παιχνιδιού (52,7%)

[10]								Μέσος όρος δεύτερου παιχνιδιού (75,35%) Βελτίωση
Hjørungdal, R.M., Sanfilippo, F., Osen, O., Rutle, A., Bye, R.T.	3	Emotiv Epor+	4	-	-			Χρόνος Υλοποίησης της διαδικασίας
[11]								
Vasiljevic G.A.M, de Miranda L.C, de Menezes B.C	24	NeuroSky Mind-Wave	2	Επίπε δο 1	Επίπ εδο 2-3	Επίπ εδο 1	Επίπε δο 2- 3	Μέση βαθμολογία Συγκέντρωσης στο πρώτο επίπεδο λειτουργίας (53,49%)  Μέση βαθμολογία Συγκέντρωσης στο δεύτερο επίπεδο λειτουργίας (54,42%)
[12]				30	50	90,9 9 sec	56,22 sec	
Joselli M., Binder F., Clua E. Soluri E.	11	NeuroSky Mind-Wave	1	5		10 λεπτά		Μέσος όρος σκορ ανά παίκτη (163.36)  Μέσος όρος χαμένω κοπών (8)  Μέσος όρος Επίπεδου Προσοχής (74)  Μέσος όρος επίπεδου στρες (41.27)  Μέσος όρος επίπεδου προσήλωσης (73.73)  Μέσος όρος αξιολόγησης
[13]								

						εξέλιξης (1.70)
Rosca, S.D., Leba M.  [14]	3	Emotiv Insight	2	1 γύρος	-	Βαθμός Συγκέντρωσης
Η παρούσα διπλωματική	17	Muse 2	3	20	55 λεπτά	Ακρίβεια Ταξινόμησης για Πολυεπίπεδο Perceptron(95, 5%) Ακρίβεια Ταξινόμησης για LDA ( 98.17%) Μέσος όρος σκορ (59%)

Αν και η άμεση σύγκριση όλων των μελετών δεν είναι εφικτή καθώς κάθε μία υλοποιήθηκε με τη χρήση διαφορετικής συσκευής, τεχνικής ανάλυσης και αξιολόγησης μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα εξ αυτών. Στη μελέτη του Γλαβά, συμμετείχαν συνολικά 38 εθελοντές και για την λήψη των 2 νοητικών εντολών χρησιμοποιήθηκε ο ΗΕΓ Muse 2, ενώ οι μετρικές αξιολόγησης είναι ο μέσος όρος ταξινόμησης (98,75%), ο μέσος όρος πρώτου παιχνιδιού, ο μέσος όρος δεύτερου παιχνιδιού (75,35%) και η βελτίωση που παρουσίασε. Ο Hjørgungdal χρησιμοποίησε τη συσκευή Emotiv Eroc+ για τη καταγραφή των ΗΕΓ σημάτων και το πλήθος νοητικών εντολών ήταν 2. Τα άτομα που συμμετείχαν στην δοκιμή της μελέτης ήταν 3 και η μετρική αξιολόγησης είναι ο χρόνος που χρειάστηκε για την υλοποίηση των δοκιμασιών. Ο Vasiljevic για την ανάπτυξη του παιχνιδιού “νοητικός πόλεμος” χρησιμοποίησε τη συσκευή NeuroSky Mind-Wave για την καταγραφή των 2 νοητικών εντολών. Συνολικά στη μελέτη συμμετείχαν 24 άτομα με τη μετρική αξιολόγησης να είναι η μέση βαθμολογία συγκέντρωσης στο πρώτο και στο δεύτερο επίπεδο λειτουργίας.

Το παιχνίδι Mind Ninja αναπτύχθηκε από τον Joselli, συνολικά είχε 1 νοητική εντολή η οποία λαμβανόταν μέσω του ΗΕΓ NeuroSky Mind-Wave. Στο στάδιο των πειραμάτων συμμετείχαν 11 άτομα και οι μετρικές για την αξιολόγηση τους ήταν 5, πιο συγκεκριμένα ήταν ο μέσος όρος σκορ ανά παίκτη, ο μέσος όρος χαμένων κοπών, ο μέσος όρος Επίπεδου Προσοχής, ο μέσος όρος επίπεδου στρες, ο μέσος όρος επίπεδου προσήλωσης και ο μέσος όρος αξιολόγησης εξέλιξης. Η τελευταία παρόμοια έρευνα που αναφέρθηκε είναι εκείνη του Rosca για την ανάπτυξη του νοητικού μπιλιάρδου, είχε συνολικά 2 νοητικές εντολές που λαμβάνονται μέσω της συσκευής Emotiv Insight. Το παιχνίδι το έπαιξαν 3 άτομα και η μετρική αξιολόγησης που λήφθηκε υπόψιν είναι ο βαθμός συγκέντρωσης.

Με βάση τη παρεμφερή βιβλιογραφία που αναλύεται, ο μέσος όρος συμμετεχόντων είναι 15.8, με το μικρότερο να είναι 3 και το μεγαλύτερο να είναι 38, η παρούσα διπλωματική ξεπερνά τον μέσο όρο και προσφέρει ένα ικανοποιητικό δείγμα των 17 συμμετεχόντων. Επιπλέον η πλειονότητα των παρόμοιων ερευνών χειρίζονται κατά βάση από 1 ή 2 νοητικές εντολές, με την εξαίρεση αυτή του Hjørgungdal που ελέγχεται από 4 νοητικές εντολές και την ΔΕΥ που αναπτύχθηκε στο παρόν σύγγραμμα ελέγχεται μέσω 3 νοητικών εντολών. Επιπλέον, κατά την δοκιμή της ΔΕΥ διεξάχθηκαν πολλές επαναλήψεις και συγκεκριμένα 20 (10 για την εξοικείωση του χρήστη και 10 για την αξιολόγηση) το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον έλεγχο από 3

νοητικές εντολές, τη ταξινόμηση από 2 ταξινομητές και το πλήθος συμμετεχόντων στο δοκιμαστικό στάδιο συνθέτουν ένα περίπλοκο πειραματικό περιβάλλον.

## 5.4 Περιορισμοί

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας το μεγαλύτερο πλήθος περιορισμών συναντήθηκε κατά το πειραματικό στάδιο. Αρχικά, καθώς ο εργαστηριακός χώρος είναι κοινόχρηστος αρκετές φορές μπορεί να υπήρχε εξωτερικός θόρυβος με αποτέλεσμα να αποσπάται η προσοχή των συμμετεχόντων. Επιπλέον, οι μετρήσεις πολλές φορές πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα σε κενές ώρες μαθημάτων, οπότε τις περισσότερες φορές οι συμμετέχοντες ήταν ήδη πνευματικά κουρασμένοι και η συγκέντρωσή τους, ήταν δύσκολη. Τέλος, ένα πρόβλημα που προέκυπτε συχνά είναι η δυσκολία τοποθέτησης του ΗΕΓ Muse 2, αυτό το φαινόμενο συνήθως παρατηρούταν στις γυναίκες, λόγω της παρουσίας των μαλλιών με αποτέλεσμα περισσότερες φορές να χάνεται η επαφή στους αισθητήρες TP9 και TP10.

Σε γενικές γραμμές το πλήθος των προβλημάτων που βρεθήκαμε αντιμέτωποι ήταν επιλύσιμα και με την πάροδο του χρόνου βρήκαμε τρόπο να τα επιλύουμε άμεσα. Παρόλα αυτά, οι δυσκολίες συνέβαλαν στην εμβάθυνση των γνώσεων στο αντικείμενο και βελτιστοποίηση της ιδέας της διπλωματικής

## 5.4 Μελλοντική Εργασία

Σε μελλοντικές έρευνες το παρόν τρισδιάστατο ελεγχόμενο από Motor Imagery εντολές παιχνίδι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως το μέσο για την εκπαίδευση χρηστών στον έλεγχο ρομποτικών συστημάτων, όπως ρομποτικούς βραχίονες, αναπηρικές καρέκλες, drone κτλ. Μπορεί ακόμα να επεκταθεί στη χρήση της τεχνολογίας ΔΕΥ για τον έλεγχο περιβαλλόντων επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας. Στον ερευνητικό τομέα, σε επερχόμενες δημοσιεύσεις θα χρειαστεί να υπάρξει σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ηλεκτοεγκεφαλογράφων και των δυνατοτήτων που παρέχουν σε περιβάλλοντα ελεγχόμενα από διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή. Επιπλέον, ο αριθμός των Motor Imagery εντολών θα πρέπει να διευρυνθεί, εφόσον η πλειοψηφία των δημοσιευμένων άρθρων και εντολών περιέχουν περιβάλλοντα ελεγχόμενα από δύο εντολές. Τέλος, για την εξαγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων και για την παρατήρηση περισσότερων συσχετίσεων θα χρειαστεί να αυξηθεί η πολυπλοκότητα των συστημάτων ΔΕΥ καθώς και ο αριθμός συμμετεχόντων στις έρευνες μαζί με πολλαπλές καταγραφές.

## Βιβλιογραφία

---

- [1] E. Karamani Skarpathaki, 'Το αυτόνομο νευρικό σύστημα', *Spinal Center*, 1 Ιανουάριος 2017. <http://www.spinalcenter.gr/autonomo-nevriko-systima/> (ημερομηνία πρόσβασης 14 Ιούνιος 2023).
- [2] Δ. Βαρθαλίτης, 'Βασικές Γνώσεις Ανατομίας του Εγκεφάλου', 14 Ιούνιος 2023. <https://pediatric-neurosurgery.com/anatomy> (ημερομηνία πρόσβασης 14 Ιούνιος 2023).
- [3] Α. Αστορίνης, Μ. Κωστάκη-Αποστόλου, Φ. Μπαρώννα-Μάμαλη, Β. Περάκη, Π. Πιάλογλου, '9. ΝΕΥΡΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ', στο *Βιολογία Α' Τάξης Ενιαίου Λυκείου, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα, 1999*, 2023. Ημερομηνία πρόσβασης: 14 Ιούνιος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: [http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2666/Biologia\\_A-Lykeiou\\_html-empl/index9.html](http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2666/Biologia_A-Lykeiou_html-empl/index9.html)
- [4] Μ. Τσιπούρας κ.ά., *Medical Informatics*. 2016. Ημερομηνία πρόσβασης: 14 Ιούνιος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/2975>
- [5] Ι. ΚΟΡΦΙΑΤΗ, 'Εγκεφαλογράφημα', 14 Ιούνιος 2023. <https://nevrologosivetakorfiati.gr/%ce%b5%ce%b3%ce%ba%ce%b5%cf%86%ce%b1%ce%bb%ce%bf%ce%b3%cf%81%ce%ac%cf%86%ce%b7%ce%bc%ce%b1/> (ημερομηνία πρόσβασης 14 Ιούνιος 2023).
- [6] R. Oostenveld και P. Praamstra, 'The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements', *Clin. Neurophysiol.*, τ. 112, τχ. 4, Art. τχ. 4, Απριλίου 2001, doi: 10.1016/S1388-2457(00)00527-7.
- [7] Ε.-C. Ventouras και Ε.-Χ. Βεντούρας, 'ΗΛΕΚΤΡΟΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ', Ιανουαρίου 2016, Ημερομηνία πρόσβασης: 14 Ιούνιος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/1837>
- [8] J. J. Vidal, 'Toward Direct Brain-Computer Communication', *Annu. Rev. Biophys. Bioeng.*, τ. 2, τχ. 1, Art. τχ. 1, 1973, doi: 10.1146/annurev.bb.02.060173.001105.
- [9] S. Saha κ.ά., 'Progress in Brain Computer Interface: Challenges and Opportunities', *Front. Syst. Neurosci.*, τ. 15, 2021, Ημερομηνία πρόσβασης: 16 Ιούνιος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnsys.2021.578875>
- [10] K. Glavas, G. Prapas, K. D. Tzimourta, N. Giannakeas, και M. G. Tsiouras, 'Evaluation of the User Adaptation in a BCI Game Environment', *Appl. Sci.*, τ. 12, τχ. 24, Art. τχ. 24, Ιανουαρίου 2022, doi: 10.3390/app122412722.

- [11] R.-M. Hjorungdal, F. Sanfilippo, O. L. Osen, A. Rutle, και R. T. Bye, 'A Game-Based Learning Framework For Controlling Brain-Actuated Wheelchairs', στο *ECMS 2016 Proceedings edited by Thorsten Claus, Frank Herrmann, Michael Manitz, Oliver Rose*, ECMS, Ιουνίου 2016, σσ. 554–563. doi: 10.7148/2016-0554.
- [12] G. Vasiljevic, L. Miranda, και B. Menezes, 'Mental War: An Attention-Based Single/Multiplayer Brain-Computer Interface Game', 2018, σσ. 450–465. doi: 10.1007/978-3-319-95162-1\_31.
- [13] M. Joselli, F. Binder, E. Clua, και E. Soluri, 'Mindninja: Concept, Development and Evaluation of a Mind Action Game Based on EEGs', στο *2014 Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment*, Αυγούστου 2014, σσ. 123–132. doi: 10.1109/SBGAMES.2014.14.
- [14] S.-D. Rosca και M. Leba, 'Design of a Brain-Controlled Video Game based on a BCI System', *MATEC Web Conf.*, τ. 290, σ. 01019, 2019, doi: 10.1051/mateconf/201929001019.
- [15] M. Chaudhary, S. Mukhopadhyay, M. Litoiu, L. Sergio, και M. Adams, *Understanding Brain Dynamics for Color Perception using Wearable EEG headband*. 2020.
- [16] M. Tsipouras κ.ά., 'Βιοϊατρικά Σήματα', *Κατηγοριοποίηση και βασικές αρχές*, Φεβρουαρίου 2016, Ημερομηνία πρόσβασης: 14 Ιούνιος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/2981>
- [17] Β. Ζησιμοπούλου, 'Εγκεφαλογράφημα', 14 Ιούνιος 2023. <https://www.neurologos-online.com/post/%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CE%B5%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CF%86%CE%B7%CE%BC%CE%B1> (ημερομηνία πρόσβασης 14 Ιούνιος 2023).
- [18] Α. Ν. Ράμμος, 'Περιφερικό Νευρικό Σύστημα', 14 Ιούνιος 2023. <https://www.dr-rammos.gr/index.php/faioxromokkytoma-2/o-diachorismos-tou-nevriko-systimatos/periferiko-nevriko-systima> (ημερομηνία πρόσβασης 14 Ιούνιος 2023).
- [19] A. Bashashati, M. Fatourehchi, R. K. Ward, και G. E. Birch, 'A survey of signal processing algorithms in brain-computer interfaces based on electrical brain signals', *J. Neural Eng.*, τ. 4, τχ. 2, Art. τχ. 2, Ιουνίου 2007, doi: 10.1088/1741-2560/4/2/R03.
- [20] U. R. Acharya, S. Vinitha Sree, G. Swapna, R. J. Martis, και J. S. Suri, 'Automated EEG analysis of epilepsy: A review', *Knowl.-Based Syst.*, τ. 45, σσ. 147–165, Ιουνίου 2013, doi: 10.1016/j.knosys.2013.02.014.
- [21] L. F. Nicolas-Alonso και J. Gomez-Gil, 'Brain Computer Interfaces, a Review', *Sensors*, τ. 12, τχ. 2, Art. τχ. 2, Φεβρουαρίου 2012, doi: 10.3390/s120201211.
- [22] O. E. Krigolson, C. C. Williams, A. Norton, C. D. Hassall, και F. L. Colino, 'Choosing MUSE: Validation of a Low-Cost, Portable EEG System for ERP Research', *Front. Neurosci.*, τ. 11, 2017, Ημερομηνία πρόσβασης: 14 Ιούνιος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2017.00109>
- [23] A. Hramov κ.ά., 'Classifying the Perceptual Interpretations of a Bistable Image Using EEG and Artificial Neural Networks', *Front. Neurosci.*, τ. 11, σ. 674, Δεκεμβρίου 2017, doi: 10.3389/fnins.2017.00674.
- [24] D. Wen κ.ά., 'Combining brain-computer interface and virtual reality for rehabilitation in neurological diseases: A narrative review', *Ann. Phys. Rehabil. Med.*, τ. 64, τχ. 1, Art. τχ. 1, Ιανουαρίου 2021, doi: 10.1016/j.rehab.2020.03.015.
- [25] 'Documentation', *OpenVIBE*, 29 Ιούλιος 2011. <http://openvibe.inria.fr/documentation-index/> (ημερομηνία πρόσβασης 14 Ιούνιος 2023).
- [26] C. S. Herrmann, D. Strüber, R. F. Helfrich, και A. K. Engel, 'EEG oscillations: From correlation to causality', *Int. J. Psychophysiol.*, τ. 103, σσ. 12–21, Μαΐου 2016, doi: 10.1016/j.ijpsycho.2015.02.003.

- [27] D. P. Subha, P. K. Joseph, R. Acharya U, και C. M. Lim, 'EEG Signal Analysis: A Survey', *J. Med. Syst.*, τ. 34, τχ. 2, Art. τχ. 2, Απριλίου 2010, doi: 10.1007/s10916-008-9231-z.
- [28] R. Atangana, D. Tchiotsop, G. Kenne, και L. C. DjoufackNkengfac K, 'EEG Signal Classification using LDA and MLP Classifier', στο *Health Informatics - An International Journal*, Φεβρουαρίου 2020, σσ. 14–32. doi: 10.5121/hij.2020.9102.
- [29] NHS UK, 'Electroencephalogram (EEG)', *nhs.uk*, 18 Οκτώβριος 2017. <https://www.nhs.uk/conditions/electroencephalogram/> (ημερομηνία πρόσβασης 16 Ιούνιος 2023).
- [30] P. Peining, G. Tan, A. Aung, και A. aung Phyo wai, 'Evaluation of Consumer-Grade EEG Headsets for BCI Drone Control', Αυγούστου 2017.
- [31] L.-D. Liao κ.ά., 'Gaming control using a wearable and wireless EEG-based brain-computer interface device with novel dry foam-based sensors', *J. NeuroEngineering Rehabil.*, τ. 9, τχ. 1, Art. τχ. 1, Ιανουαρίου 2012, doi: 10.1186/1743-0003-9-5.
- [32] 'Lab Streaming Layer', 14 Ιούνιος 2023. <https://labstreaminglayer.org/#/> (ημερομηνία πρόσβασης 14 Ιούνιος 2023).
- [33] 'Introduction — Labstreaminglayer 1.13 documentation', 14 Ιούνιος 2023. <https://labstreaminglayer.readthedocs.io/info/intro.html> (ημερομηνία πρόσβασης 14 Ιούνιος 2023).
- [34] S. Balakrishnama και A. Ganapathiraju, 'LINEAR DISCRIMINANT ANALYSIS - A BRIEF TUTORIAL'.
- [35] Y. Narayan, 'Motor-Imagery EEG Signals Classification using SVM, MLP and LDA Classifiers', *Turk. J. Comput. Math. Educ. TURCOMAT*, τ. 12, τχ. 2, Art. τχ. 2, Απριλίου 2021, doi: 10.17762/turcomat.v12i2.2393.
- [36] M. Grosse-Wentrup και M. Buss, 'Multiclass Common Spatial Patterns and Information Theoretic Feature Extraction', *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, τ. 55, τχ. 8, Art. τχ. 8, Δεκεμβρίου 2008, doi: 10.1109/TBME.2008.921154.
- [37] H. Ramchoun, M. Amine, J. Idrissi, Y. Ghanou, και M. Ettaouil, 'Multilayer Perceptron: Architecture Optimization and Training', *Int. J. Interact. Multimed. Artif. Intell.*, τ. 4, τχ. 1, Art. τχ. 1, 2016, doi: 10.9781/ijimai.2016.415.
- [38] H. Sterk, 'Think & Play: Classifying Left and Right Hand Motor Imagery EEG Signals by Using Dry Electrodes for Real-Time BCI Gaming', Master Thesis, 2022. Ημερομηνία πρόσβασης: 14 Ιούνιος 2023. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://studenttheses.uu.nl/handle/20.500.12932/41764>
- [39] Kowaleski, J. BlueMuse. 2019. Available online: <https://github.com/kowalej/BlueMuse> (accessed on 25 May 2022).
- [40] Kothe, C. Lab Streaming-Layer. 2018. Available online: <https://github.com/sccn/labstreaminglayer> (accessed on 25 May 2022).

## Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - Ακρωνύμια

κ.α	και άλλα
ΔΕΥ	Διεπαφή εγκεφάλου υπολογιστή
ΗΕΓ	Ηλεκτροεγκεφαλογράφος /ηλεκτροεγκεγαλο- γράφημα,
1VsAll	1 versus all
κ.τ.λ	και τα λοιπά
ΝΣ	Νευρικό Σύστημα
ΠΝΣ	Περιφερειακό Νευρικό Σύστημα
ΚΝΣ	Κεντρικό Νευρικό Σύστημα
EEG	Electroencephalograph
π.χ.	παραδείγματος χάριν/-η
VR	Virtual Reality
LSL	Lab Streaming Layer
TCP	Transmission Control Protocol
LDA	Linear Discriminant Analysis
MLP	Multilayer Perceptron
TPR	True Positive Rate



## Απόδοση Ξενόγλωσσων Όρων

---

Gaming	Βιντεοπαιχνίδια
Motor Imagery	Κινητική εικόνα
1 versus All	1 εναντίον όλων
Lab Streaming Layer	Στρώμα Ροής Εργαστηρίου
Electoencephalogram	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
Electrodes	Ηλεκτρόδια
Brain	Εγκέφαλος
EEG Reading	Ανάγνωση Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος
Partial	Μερικός
Frontal	Πρόσθιος
Temporal	Κροταφικός
Zero	Μηδενικός
Brain/Neural Computer Interactive	Εγκεφαλική/Νευρική αλληλεπίδραση μέσω Υπολογιστή
Virtual Reality	Εικονική Πραγματικότητα
Mind Ninja	Εγκεφαλικός Νίντζα
Fruit Ninja	Νίντζα φρούτων
Transmission Control Protocol	Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης
Lab Streaming Layer Streambox	Πακέτο μετάδοσης Στρώματος Ροής Εργαστηρίου
Offline Processing	Εκτός Σύνδεσης Επεξεργασία
Subject	Υποκείμενο / Συμμετέχον
True Positive Rate	Αληθές Θετικό Ποσοστό
Left	Αριστερά
Right	Δεξιά
Blink	Ανοιγόκλεισμα ματιών/ βλεφάρισμα