



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

Διεπαφές εγκεφάλου υπολογιστή για παιχνίδια – Brain Computer Interfaces for Gaming

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

Πυργάκη Ιωάννη

Επιβλέπων καθηγητής: Τσίπουρας Μάρκος

Αναπληρωτής Καθηγητής

ΚΟΖΑΝΗ/ΙΟΥΝΙΟΣ/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

“ Διεπαφές εγκεφάλου υπολογιστή για παιχνίδια – Brain Computer Interfaces for Gaming ” 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 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) Ονοματεπώνυμο Φοιτητή & Επιβλέποντα, Έτος, Πόλη

Copyright (C) Πυργάκης Ιωάννης, Τσίπουρας Μάρκος, 2023, Κοζάνη

Υπογραφή Φοιτητή:

Περίληψη

Στην εργασία αυτή εξετάζονται οι τεχνολογίες διεπαφές εγκεφάλου – υπολογιστή (BCI) σε συνδυασμό με βιντεοπαιχνίδια. Η συγκεκριμένη έρευνα η οποία αποτελεί μία συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση (SLR) επιχειρεί να εντοπίσει και να αναλύσει άρθρα της βιβλιογραφίας στα οποία εξετάζονται εφαρμογές των BCI σε διάφορους τομείς επιστημονικής έρευνας κάνοντας χρήση βιντεοπαιχνιδιών. Η βιβλιογραφική επισκόπηση γίνεται σύμφωνα με το πρωτόκολλο PRISMA και τίθενται συγκεκριμένα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία μπορούν να απαντηθούν από το σύνολο των πληροφοριών που εξάγονται μετά την λεπτομερή εξέταση των άρθρων. Στα πλαίσια της εργασίας γίνεται η τελική επιλογή και συνοπτική παρουσίαση των 26 άρθρων που τελικά συμπεριελήφθησαν στην συστηματική επισκόπηση. Στα άρθρα εξετάζονται συσκευές βιοαίσθησης (EEG, ECG κλπ) μη διεισδυτικού τύπου, οι τεχνικές ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων αισθητήρων όπως επίσης διάφοροι αλγόριθμοι BCI. Διάφορα εμπορικά και προσαρμοσμένα παιχνίδια χρησιμοποιούνται στις έρευνες για ενίσχυση της πειραματικής διαδικασίας ώστε να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις της χρήσης των παιχνιδιών σε μελέτες BCI. Τα στοιχεία δείχνουν ότι οι ερευνητικές τάσεις με φθίνουσα σειρά εκπροσώπησης στα άρθρα που μελετήθηκαν αποτελούν ιατρικές έρευνες και έρευνες αποκατάστασης ασθενών, έρευνες πάνω στις τεχνολογίες BCI, έρευνες πληροφορικής και τέλος έρευνες ψυχαγωγίας. Η μεγάλη εκπροσώπηση των ερευνών ιατρικής στα άρθρα της βιβλιογραφίας δείχνει την σημαντικότητα που έχει η μέθοδος της χρήσης παιχνιδιών συνδυαστικά με τεχνολογίες BCI σε περιβάλλοντα ιατρικής φροντίδας και αποκατάστασης. Οι υπόλοιποι τομείς έρευνας επωφελούνται επίσης σε μεγάλο βαθμό από αυτή την προσέγγιση.

Λέξεις – Κλειδιά: παιχνίδια BCI, βιντεοπαιχνίδια, βιβλιογραφική επισκόπηση, συσκευές EEG, αισθητήρια BCI

Abstract

In this paper the technologies of brain – computer interaction (BCI) using videogames are examined. This research that is identified as a systematic literature review (SLR) attempts to locate and analyze the articles of literature that examine the applications of BCI in different areas of scientific research by making use of videogames. This literature review was created with the use of PRISMA protocol and specific research questions are issued which then can be answered by the body of data that were extracted by meticulous examination of the articles. In the context of this work 26 articles were chosen which then were included in this systematic review. The articles examine non invasive biosensing devices (EEG, ECG etc), methods for the analysis and processing of sensor data as well as different BCI algorithms. Commercial and custom games are used to enhance the experimental procedure in order to determine the implications of using games in BCI researches. The data show that research trends in descending order of representation are medical and rehabilitation research of patients, BCI technology research, informatics research and lastly recreation research. The large representation of medical research among the articles shown in literature proves the importance that the method of using videogames in conjunction with BCI technologies has in areas of medical care and rehabilitation. However other areas of research also benefit greatly from the same approach.

Keywords: BCI games, videogames, systematic literature review, EEG devices, BCI sensors

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	10
2. Θεωρητικό πλαίσιο	11
2.1 Ανθρώπινος εγκέφαλος.....	11
2.2 Βασικές τεχνολογίες BCI/ HCI - Ηλεκτρικά Βιοσήματα	13
2.3 Διεπαφές εγκεφάλου - υπολογιστή για παιχνίδια	14
3. Σκοπός της εργασίας.....	18
3.1 Η προβληματική της εργασίας.....	18
3.2 Στόχοι της εργασίας.....	18
3.3. Ερευνητικά Ερωτήματα	20
4.Μεθοδολογία Έρευνας.....	21
4.1 Μεθοδολογικός Σχεδιασμός Έρευνας.....	21
4.2 Το πρότυπο PRISMA - Τα Στάδια μιας Συστηματικής Βιβλιογραφικής Επισκόπησης	22
4.3 Αναζήτηση και επιλογή των άρθρων – Literature Research.....	23
5. Βιβλιογραφική επισκόπηση	30
6. Αποτελέσματα.....	71
6.1 Περιγραφική ανάλυση των άρθρων	71
6.2 Ερευνητικές κατευθύνσεις της βιβλιογραφίας.....	75
6.3 Μέθοδοι Έρευνας.....	79
6.4 Υπολογιστικές Συσκευές	80
6.5 Βιοαισθητήρες.....	84
6.6 Παιχνίδια.....	89
6.7 Μέθοδοι ανάλυσης σήματος.....	92
6.8 Αλγόριθμοι Ταξινόμητων	95
6.9 Ευθυγράμμιση των ευρημάτων της βιβλιογραφίας και ερευνητικών ερωτημάτων.....	97
7. Συμπεράσματα	99
7.1 Γενικά στοιχεία	99
7.2 Τεχνολογίες αισθητήρων και έρευνα.....	99
7.3 Επιπτώσεις και πλεονεκτήματα	103
7.4 Μέθοδοι επεξεργασίας.....	105
7.5 Τεχνολογικές Εξελίξεις.....	107
8. Περιορισμοί – Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	111
9. Βιβλιογραφία	112

Πίνακας Συντομογραφιών

A

A-BCI: Augmented BCI

ADD: Attention Deficit Disorder

ADHD: Attention Deficit Hyperactivity Disorder

AI: Artificial Intelligence

API: Application Programming Interface

AR: Augmented Reality

AVG: Active Videogames

B

BCI: Brain - Computer Interface

Bi-LSTM: Bidirectional - Long Short - Term Memory

BMI: Brain Machine Interface

BSM: Brainwave Sensing Module

C

CBP: Chebyshev band pass

CLI: Command Line Interface

CP: Cerebral Palsy

CSP: Common Spatial Patterns

CZT: Chirp Z Transformation

D

DCT: Discrete Cosine transformation

E

ECG: Electrocardiography

EDF: European Data Format

EEG: Electroencephalography

EMG: Electromyogram

EOG: Electrooculogram

ERP: Event Related Potentials

ErrP: Error related Potentials

F

FBCSP-MI: Filter - Bank Common Spatial Patterns - Machine Interface

FFT: Fast Fourier Transformation

FL: Focusing Level

G

GBN: Gradient Boosting Machines

H

HCI: Human – Computer Interaction

HMD: Head Mounted Display

K

k-NN: k Nearest Neighbor

L

LSTM: Long Short - Term Memory

M

MAE: Mean Absolute Error

MI: Motor Imagery

ML: Machine Learning

MLP: Multilayer Perceptron

MQTT: MQ Telemetry Transport

MuLES: MuSE Lab EEG Server

mVEP: motion Visual Evoked Potentials

mVR: mobile Virtual Reality

N

NB: Naïve Bayes

NF: Neuro - Feedback

P

PASS: Physical Activity and Stress

PCA: Principle Component Analysis

PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses

PSD: Power Spectrum Density

PTSD: Post - Traumatic Stress Disorder

R

RAE: Relative Absolute Error

RL: Reinforcement Learning

RMSE: Root Mean Squared Error

RRSE: Root Relative Squared Error

S

SCP: slow cortical potentials

SDK: Software Development Kit

SDK: Software Development Kit

SLR: Systematic Literature Review

SSVEP: Steady - State Visual Evoked Potential

STFT: Short Time Fourier Transform

SVM: Support Vector Machines

T

TTD: Thought Translation Device

W

w-ICA: wavelet - enhanced ICA

WT: Wavelet Transform

1. Εισαγωγή

Η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών έχει οδηγήσει στη σημαντική ανάπτυξη παλαιών αλλά και την δημιουργία νέων τομέων της επιστήμης και της τεχνολογίας. Ένας από αυτούς τους τομείς αφορούσε διαχρονικά την αλληλεπίδραση που έχει ο άνθρωπος με τον υπολογιστή.

Η έννοια της αλληλεπίδρασης **ανθρώπου-υπολογιστή** (*Human-Computer Interaction (HCI)*) έχει προταθεί και εφαρμοστεί σε διάφορα πεδία. Το HCI αναφέρεται στην διαδικασία ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ των ανθρώπων και των υπολογιστών με έναν συγκεκριμένο, αλληλεπιδραστικό τρόπο ούτως ώστε να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη εργασία, με αποτέλεσμα ο χρήστης να μπορεί να λειτουργεί τον υπολογιστή με τον πιο εύκολο και άμεσο τρόπο. Η ανάπτυξη των τεχνολογιών HCI ξεκίνησε παραδοσιακά από το περιβάλλον γραμμής εντολών Command Line Interface (CLI) μετεξελιχθηκε στο γραφικό περιβάλλον χρήστη Graphic User interface (GUI) φτάνοντας στις σημερινές μεθόδους αλληλεπίδρασης.

Σε αυτό το σημείο υπεισέρχεται η έννοια των **διεπαφών εγκεφάλου-υπολογιστή** *Brain-Computer Interfaces (BCI)*. Τα BCI είναι τεχνολογίες που αφορούν την άμεση επικοινωνία του ανθρώπινου εγκεφάλου με μια εξωτερική συσκευή συνήθως υπολογιστή ή κάποιο πρόσθετο ρομποτικής τεχνολογίας. Από την αρχή του 21^{ου} αιώνα, η συνεχής ανάπτυξη των τεχνολογιών επεξεργασίας σήματος έχει επιτρέψει σε συστήματα HCI να μπορούν να χρησιμοποιήσουν ανθρώπινα ηλεκτρικά βιοσήματα ως σήματα εισόδου οδηγώντας στην ανάπτυξη συστημάτων και συσκευών BCI. Ο όρος ηλεκτρικά βιοσήματα αναφέρεται στα ηλεκτρικά σήματα ή τις διαφορές δυναμικού που δημιουργούνται στο σώμα των ζωντανών οργανισμών. Η επεξεργασία των σημάτων αυτών που δημιουργούνται στον ανθρώπινο εγκέφαλο, η συλλογή τους με ειδικούς αισθητήρες και η χρήση τους ως σημάτων εισόδου σε κάποιο υπολογιστή ή υπολογιστικό σύστημα αποτελεί την βασική αρχή λειτουργίας για τις εφαρμογές των BCI.

2. Θεωρητικό πλαίσιο

2.1 Ανθρώπινος εγκέφαλος

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος όπως είναι φυσικό αποτελεί το επίκεντρο του ενδιαφέροντος των τεχνολογιών BCI. Η εξέταση του ανθρώπινου εγκεφάλου και της δραστηριότητάς του είναι καθοριστικής σημασίας για όλες τις επιστημονικές μελέτες και αναλύσεις οι οποίες διεξάγονται στα πλαίσια των τεχνολογιών που μελετούν την αλληλεπίδραση ανθρώπου και υπολογιστή. Για τον σκοπό αυτό γίνεται η χρήση ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EEG) διαδικασία κατά την οποία γίνεται καταγραφή και μεταφορά της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου μέσω ηλεκτροδίων τα οποία τοποθετούνται στην επιφάνεια του κρανίου. Ο πρώτος επιστήμονας ο οποίος χρησιμοποίησε αυτή τη μέθοδο ήταν ο Hans Berger το 1929 (Manjunath, και συν. 2020).



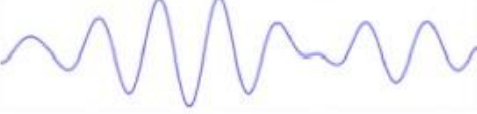


Τα στρώματα των κυττάρων του εγκεφάλου είναι υπεύθυνα για την παραγωγή σημάτων τα οποία ονομάζονται δυναμικά δράσης (action potentials). Αυτά τα δυναμικά μετακινούνται από το ένα στρώμα ενός κυττάρου στο άλλο μέσα στον εγκέφαλο από ένα κενό το οποίο ονομάζεται σύναψη. Αυτή η διαδικασία της μεταφοράς σημάτων ονομάζεται ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου (Manjunath, και συν. 2020). Ένα κρανιακό EEG είναι μια μη διεισδυτική μέθοδος κατά την οποία ένα ηλεκτρικό δυναμικό μετράται κατά μήκος του κρανίου. Κάθε ηλεκτρόδιο (που ονομάζεται επίσης και κανάλι) καταγράφει τη διαφορά δυναμικού μεταξύ του ιδίου και ενός ηλεκτροδίου αναφοράς η ενός παράπλευρου ηλεκτροδίου (Amna και Shahzad 2022).

Εκατομμύρια νευρώνων παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρικό δυναμικό, έτσι υπάρχει πιθανότητα αρκετά από τα δυναμικά αυτά να αλληλοακυρώνονται, λόγος για τον οποίο ένα EEG δεν παρουσιάζει χωρική ανάλυση. Ενώ όμως ένα EEG δεν έχει χωρική ανάλυση, αναπληρώνει την αδυναμία αυτή έχοντας υψηλή χρονική ανάλυση η οποία δειγματοληπτείται σε υψηλές συχνότητες (128, 256 η 512 Hz) (Amna και Shahzad 2022). Η πιο κοινή μέθοδος για την περιγραφή ενός κρανιακού EEG είναι με όρους πέντε ρυθμών συχνοτήτων ή αλλιώς ζωνών συχνοτήτων με ονόματα α , β , γ , δ , και θ οι οποίες αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες καταστάσεις του εγκεφάλου σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Amna και Shahzad 2022).

Σύμφωνα με έρευνες τα κύματα δέλτα (δ) έχουν συνδεθεί με τον ύπνο, τα κύματα θήτα (θ) με την υπνηλία, τα κύματα άλφα (α) με την χαλάρωση και την ηρεμία, τα κύματα βήτα (β) με την εμπλοκή και το ενδιαφέρον και τα κύματα γάμμα (γ) με το στρές και το άγχος (Parsons, Timothy McMahan και Parberry 2022). Το διάγραμμα χ δείχνει τις περιοχές συχνοτήτων και τις συνδεόμενες με αυτές καταστάσεις του εγκεφάλου (Parsons, Timothy McMahan και Parberry 2022).

Ζώνες συχνοτήτων EEG

Common EEG frequency Bands

Frequency Band	Frequency Bandwidth	Filtered Bandwidth	Associated State
Delta	0-4 Hz		Sleep
Theta	4-7 Hz		Drowsy
Alpha	8-12 Hz		Relaxed
Beta	12-30 Hz		Engaged
Gamma	> 30 Hz		Stressed

2.2 Βασικές τεχνολογίες BCI/ HCI - Ηλεκτρικά Βιοσήματα

Τα ηλεκτρικά βιοσήματα στους ζωντανούς οργανισμούς ανακαλύφθηκαν τον 18^ο αιώνα και από το 1970 οι επιστήμονες και οι μελετητές έκαναν συλλογή και επεξεργασία βιοσημάτων με την βοήθεια της τεχνολογίας των υπολογιστών. Οι τεχνολογίες και οι αισθητήρες για την συλλογή ηλεκτρικών βιοσημάτων συνήθως προέρχονται εκ φύσεως από το πεδίο της ιατρικής οργανολογίας (Nuraini, et al. 2021).

Βασικές τεχνολογίες συλλογής βιοσημάτων που χρησιμοποιούνται στα συστήματα BCI/ HCI:

1. **Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα Electroencephalography(EEG):** Μέθοδος κατά την οποία καταγράφεται σε ηλεκτρογράφημα η αυθόρμητη ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου. Η εφαρμογή τους είναι συνήθως μη διεισδυτική με τα ηλεκτρόδια EEG να τοποθετούνται τυπικά κατά μήκος του κρανίου.
2. **Ηλεκτροκαρδιογράφημα Electrocardiography(ECG):** Μέθοδος κατά την οποία καταγράφεται η ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς κατά την διάρκεια των επαναλαμβανόμενων καρδιακών παλμών συνήθως με τοποθέτηση ηλεκτροδίων πάνω στο δέρμα.
3. **Ηλεκτρομυογράφημα Electromyogram(EMG):** Τεχνική κατά την οποία αξιολογείται και καταγράφεται η ηλεκτρική δραστηριότητα των σκελετικών μυών. Το EMG επιτυγχάνεται με την βοήθεια του ηλεκτρομυογράφου ένα όργανο το οποίο χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των διαφορών δυναμικού που εμφανίζεται στα κύτταρα των μυών.
4. **Ηλεκτροοφθαλμογράφημα Electrooculogram(EOG):** Τεχνική κατά την οποία εξετάζεται ο αμφιβληστροειδής και ο κερατοειδής για διάφορες ιατρικές διαγνώσεις. Στο πλαίσιο χρήσης σε εφαρμογές HCI/ BCI χρησιμοποιείται για την καταγραφή των κινήσεων του οφθαλμού.

Οι αλλαγές των βιοσημάτων στους ζωντανούς οργανισμούς είναι τακτικές και μπορούν να διακριθούν μοτίβα ηλεκτρικής δραστηριότητας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Αν τα βιοσήματα αυτά συλλεχθούν και υποστούν επεξεργα-

σία από κατάλληλες συσκευές τότε μπορούν να καταγραφούν χρήσιμες πληροφορίες. Βασισμένοι σε αυτό το χαρακτηριστικό τα ηλεκτρικά βιοσήματα μπορούν να εισαχθούν σε ένα σύστημα HCI/ BCI ως σήματα εισόδου υπολογιστή. Επομένως ένα σύστημα HCI/ BCI βασισμένο σε ηλεκτρικά βιοσήματα μπορεί να περιλαμβάνει τα στάδια συλλογής του σήματος, της επεξεργασίας του με σκοπό την εξαγωγή χαρακτηριστικών, μετέπειτα της κατηγοριοποίησης αυτών των χαρακτηριστικών με τελικό στόχο την μεταμόρφωσή τους σε εντολές ελέγχου του υπολογιστικού συστήματος (Ricardo, et al. 2010).

2.3 Διεπαφές εγκεφάλου - υπολογιστή για παιχνίδια

Τα βιντεοπαιχνίδια υπάρχουν πολλά χρόνια. Η ύπαρξη τους είναι συνδεδεμένη με την ιστορία και την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και αποτελούν ένα εξαιρετο μέσο διασκέδασης και ψυχαγωγίας. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία των υπολογιστών και αργότερα την επανάσταση των φορητών ηλεκτρονικών συσκευών (έξυπνα τηλέφωνα, τάμπλετ κλπ) έχει δώσει σημαντική ώθηση σε αυτό τον τομέα της βιομηχανίας. Η μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύς έχει ανοίξει το δρόμο για καλύτερα γραφικά και έχει οδηγήσει στο σχεδιασμό και υλοποίηση εκλεπτυσμένων και περίπλοκων παιχνιδιών που παγιδεύουν την προσοχή του χρήστη (Arkadiusz, et al. 2014).

Παράλληλα με την εξέλιξη των υπολογιστών έχουν γίνει εντυπωσιακά άλματα προόδου και στις τεχνολογίες αλληλεπίδρασης και ελέγχου των υπολογιστών. Όλες οι τεχνολογίες συλλογής βιοσημάτων που έχουν αναφερθεί προηγουμένως έχουν χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό και ανάπτυξη συσκευών ελέγχου σε βιντεοπαιχνίδια όπως επίσης και άλλα λογισμικά προγράμματα (Daniela, et al. 2016) . Η συνεχής έρευνα και μετεξέλιξη των συσκευών εισόδου του υπολογιστή οδήγησε στην ενσωμάτωση αισθητήρων και τεχνολογιών που προέρχονται από τον τομέα της ιατρικής με εντυπωσιακά αποτελέσματα και πολλαπλά οφέλη. Συγκεκριμένα τα BCI έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην βιομηχανία των πολυμεσικών παιχνιδιών.

Η χρήση αυτοματοποιημένου ελέγχου χρησιμοποιώντας εγκεφαλικά σήματα είναι το επόμενο μεγάλο βήμα για την βιομηχανία αυτή. Η έρευνα των εφαρμογών BCI για τη χρήση σε βιντεοπαιχνίδια ή γενικότερες εφαρμογές πολυμέσων δεν διαφέρει σημαντικά από την έρευνα που συνήθως γίνεται σε στρατιωτικές ή ιατρικές εφαρμογές. Έχοντας αυτό υπόψη η έρευνα και η ανάπτυξη συστημάτων BCI σε βιντεοπαιχνίδια παρουσιάζει κάποια σημαντικά πλεονεκτή-

ματα. Οι χρήστες βιντεοπαιχνιδιών είναι γρήγοροι αποδέκτες της νέας τεχνολογίας και είναι μεγάλη ευχαρίστηση για αυτούς να παίζουν με την νέα τεχνολογία. Η βάση χρηστών βιντεοπαιχνιδιών είναι τεράστια επομένως αυτό αποτελεί ένα πρόσφορο έδαφος για την έρευνα και ανάπτυξη των BCI με σημαντικές οικονομικές προοπτικές (Parsons, Timothy McMahan and Parberry 2022).

Ένα από τα σημαντικά θέματα έρευνας των BCI όσον αφορά τα βιντεοπαιχνίδια αφορά την συλλογή πληροφοριών σχετικά με την εμπειρία του χρήστη με απώτερο σκοπό την προσαρμογή της διεπαφής του παιχνιδιού στο χρήστη και επομένως την βελτίωση της εμπειρίας χρήσης. Υπάρχει πληθώρα Ευρωπαϊκών ερευνητικών έργων τα οποία στοχεύουν να προσδιορίσουν και να μετρήσουν την εμπειρία χρήσης, χρησιμοποιώντας αυτή τη γνώση για να σχεδιαστούν και να υλοποιηθούν μελλοντικά παιχνίδια ειδικά προσαρμοσμένα στους χρήστες τους. Μια συγκεκριμένη μορφή εμπειρίας χρήστη είναι η βύθιση (immersion) και ροή (flow). Αυτό είναι ιδανικός στόχος ενός σχεδιαστή παιχνιδιών και αφορά στο να βυθίζει τον παίκτη στον κόσμο του παιχνιδιού όπου αυτός συναντά αυξανόμενες δυσκολίες τις οποίες αυτός θα πρέπει να επιλύσει με την αύξηση των ικανοτήτων του. Ο χρήστης βυθίζεται στο παιχνίδι ξεχνώντας το χρόνο και τον εξωτερικό κόσμο (Anton, Danny και Boris 2009).

Έως τώρα οι ερευνητικές προσπάθειες για να γίνει κατανοητή η εμπειρία βύθισης επικεντρώνονταν στην συλλογή και χρήση πιο παραδοσιακών φυσιολογικών πληροφοριών για να προσδιοριστεί η συναισθηματική κατάσταση του χρήστη, για παράδειγμα, καρδιακοί παλμοί, εφίδρωση και αρτηριακή πίεση. Τεχνικές για την αποκωδικοποίηση της συναισθηματικής κατάστασης από την γλώσσα σώματος έχουν επίσης μελετηθεί. Είναι πολύ χρήσιμο αν τα BCI μπορούν να μας δίνουν πληροφορίες αν ο παίκτης βαριέται, είναι αγχωμένος ή απογοητευμένος (Anton, Danny και Boris 2009). Από αυτές τις πληροφορίες μπορούμε να διακρίνουμε ξεκάθαρα ότι ο χρήστης δεν είναι βυθισμένος σύμφωνα με τον όραμα του σχεδιαστή. Συνεπώς, μετρώντας την εμπειρία χρήσης και την επιρροή και επιπρόσθετα προσαρμόζοντας το βιντεοπαιχνίδι στην συναισθηματική κατάσταση του χρήστη είναι πολύ σημαντικό θέμα. Κάτι ακόμα πιο ενδιαφέρον, ωστόσο είναι παιχνίδια και περιβάλλοντα παιχνιδιών τα οποία έχουν σχεδιαστεί να επιτρέπουν ή να απαιτούν έλεγχο ο οποίος προέρχεται από εγκεφαλική δραστηριότητα η οποία θα παράγεται ενσυνείδητα από τον παίκτη ή θα προκαλείται από εξωτερικά ερεθίσματα τα οποία θα είναι ενσωματωμένα στο παιχνίδι από το σχεδιασμό του. (Amna και Shahzad 2022)

Όσον αφορά την εξέταση των BCI σε συνδυασμό τους με τις εφαρμογές των βιντεοπαιχνιδιών πρέπει να αναφερθούμε στον πιο συνήθη τρόπο με τον ο-

ποίο συλλέγουμε δεδομένα για την εγκεφαλική δραστηριότητα. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την χρήση καπέλου EEG. Ένα τέτοιο καπέλο έχει ηλεκτρόδια κολλημένα πάνω του τα οποία μετράνε την εγκεφαλική δραστηριότητα σε διάφορες περιοχές του εγκεφάλου. Μπορούμε να “διαβάσουμε” αυτές τις πληροφορίες και να τις κάνουμε διαθέσιμες σε μια μηχανή παιχνιδιού που είναι αυτή η οποία ελέγχει το παιχνίδι ούτως ώστε αυτή να προσαρμόσει το παιχνίδι σε μια αναγνωρισμένη πνευματική κατάσταση του παίκτη ή να μεταφράσει ενσυνείδητη παραγόμενη δραστηριότητα σε εντολές που θα επιτρέπουν στο χρήστη να επιφέρει αλλαγές μέσα στον κόσμο του παιχνιδιού, να κινηθεί μέσα στο παιχνίδι και να πάρει αποφάσεις οι οποίες θα του επιτρέψουν να επιβιώσει μέσα σε αυτό (Amna και Shahzad 2022).

Κατά την εμπειρία χρήσης ενός βιντεοπαιχνιδιού μπορούμε να διακρίνουμε διάφορες μορφές εγκεφαλικής δραστηριότητας:

- Ο παίκτης βιώνει το παιχνίδι, τους στόχους του παιχνιδιού, και την διεπαφή και μεταξύ άλλων μπορεί να νιώσει απογοήτευση, εμπλοκή, ενόχληση, ανία ή στρεσάρισμα. Συγκεκριμένα είναι χρήσιμο να μπορούμε να προσδιορίσουμε αν ο παίκτης είναι σε βύθιση. Προς το παρόν οι έρευνες που αφορούν την βύθιση του χρήστη είναι εμπειρικές και βασίζονται σε ερωτηματολόγια των παικτών σχετικά με την εμπειρία τους. Ωστόσο, γίνονται συνεχώς προσπάθειες για να διαβαστεί η εμπειρία βύθισης από μη λεκτικές εκφράσεις του προσώπου των παικτών, και τα BCI μπορούν να βοηθήσουν να προσαρμοστεί η διεπαφή για να επιτευχθεί καλύτερη αντιστοίχιση δεξιοτήτων και προκλήσεων στο παιχνίδι (Amna και Shahzad 2022).
- Υπάρχουν εξωτερικά ερεθίσματα (οπτικά, ακουστικά, απτικά) που σχεδιάζονται και παράγονται από το περιβάλλον του παιχνιδιού ώστε αυτό να ωθήσει τον χρήστη να επιλέξει ανάμεσα σε συγκεκριμένες δυνατότητες (δηλαδή επιλογές εντός του παιχνιδιού) ή αυτές να προκύψουν με πιο φυσικό τρόπο επειδή το BCI αναγνωρίζει ότι ο παίκτης επιδεικνύει ενδιαφέρον σε συγκεκριμένα γεγονότα μέσα σε αυτό (Amna και Shahzad 2022).
- Ο παίκτης ενσυνείδητα προσπαθεί να παράγει εγκεφαλικά σήματα κάνοντας συγκεκριμένες πνευματικές εργασίες (πχ σκεπτόμενος μια κίνηση ή κάνοντας έναν πνευματικό υπολογισμό), τα σήματα αυτά επομένως μπορούν να μετατραπούν με τέτοιο τρόπο ώστε η εφαρμογή του βιντεοπαιχνιδιού να ελέγχεται από αυτή την εγκεφαλική δραστηριότητα παρά από τη

δραστηριότητα συσκευών ελέγχου όπως το ποντίκι, το πληκτρολόγιο, το joystick κλπ (Amna και Shahzad 2022).

- Ο παίκτης συνειδητά προσπαθεί να ελέγξει την συνολική του εγκεφαλική δραστηριότητα, δραστηριότητα η οποία σχετίζεται με το στρες, την προσοχή και την χαλάρωση και επομένως να ελέγξει μέρος του παιχνιδιού. Η συγκεκριμένη δραστηριότητα του παίκτη υποστηρίζεται αποδοτικά από ανάδραση (οπτική ή ακουστική) από την διεπαφή της εφαρμογής του βιντεοπαιχνιδιού. Αυτού του τύπου η “νευροανάδραση” προσφέρει ώθηση στο χρήστη και του δίνει ερεθίσματα να συνεχίσει την προσπάθεια ελέγχου του περιβάλλοντος του παιχνιδιού με την σκέψη (Amna και Shahzad 2022).

Τα συστήματα BCI ανεξαρτήτως του τομέα έρευνας και εφαρμογής τους σε συνδυασμό με το τομέα των βιντεοπαιχνιδιών εξετάζονται και αναλύονται κάτω από τον φακό των κύριων συνιστωσών τους:

1. Από τους αισθητήρες και τις τεχνικές συλλογής των βιοσημάτων που είναι απαραίτητα για ένα σύστημα BCI και οι οποίοι καταλήγουν μετά από την κατάλληλη έρευνα και σχεδιασμό σε συσκευές εμπορικού τύπου που μπορούν να αλληλεπιδράσουν με υπολογιστές και κατά συνέπεια με τις μηχανές βιντεοπαιχνιδιών.
2. Τις συνθήκες και τεχνικές συλλογής, ανάλυσης και επεξεργασίας των βιοσημάτων και της μετατροπής τους σε χρήσιμα δεδομένα εισόδου για τα υπολογιστικά συστήματα.
3. Στην διεξοδική και συστηματική μελέτη του ανθρώπινου παράγοντα μελετώντας και αναλύοντας δεδομένα από την πνευματική και συναισθηματική συμπεριφορά του αξιοποιώντας στο έπακρο όλα τα τεχνολογικά μέσα που μας παρέχει ο τομέας που σχετίζεται με τα HCI/ BCI. Τα αποτελέσματα από τέτοιες μελέτες συλλέγονται και αναλύονται χρησιμοποιώντας δεδομένα τα οποία προέρχονται από εκτεταμένη αλληλεπίδραση του χρήστη, εν προκειμένω με βιντεοπαιχνίδια για να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα προς όφελος του ανθρώπου και της τεχνολογίας γενικότερα.

3. Σκοπός της εργασίας

3.1 Η προβληματική της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελεί προσπάθεια εξέτασης του αντικειμένου των διεπαφών εγκεφάλου - υπολογιστή (BCI) σε συνδυασμό τους με την τεχνολογία και χρήση των βιντεοπαιχνιδιών. Προκύπτει ανάγκη για συστηματική εξέταση υπάρχουσών πηγών γνώσης για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε την τωρινή κατάσταση αυτής της τεχνολογίας, τις συνθήκες στις οποίες αυτή έχει εφαρμογή, το επίπεδο τεχνολογικής προόδου στην οποία αυτή έχει υπεισέλθει και τις επιπτώσεις όπως και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση της και την έρευνα που έχει γίνει πάνω στον συγκεκριμένο τομέα. Τα BCI σαν τεχνολογίες υπολογιστών ακολουθούν τις ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας οπότε προκύπτει η ανάγκη εκ νέου αναζήτησης των στοιχείων της πιο πρόσφατης βιβλιογραφίας που προκύπτει από νεότερες έρευνες σε μια προσπάθεια επικαιροποίησης της γνώσης και ενδεχομένως της αναθεώρησης των τεχνολογιών αυτών από την διαδικασία αυτή.

3.2 Στόχοι της εργασίας

Αυτή η εργασία έχει στόχο να εξεταστούν οι τεχνολογίες BCI που αφορούν την χρήση και τα χαρακτηριστικά τους σε βιντεοπαιχνίδια μέσα από συστηματική εξέταση μεθοδολογικά επιλεγμένης βιβλιογραφίας που αφορά τον συγκεκριμένο τομέα έρευνας. Η έρευνα που γίνεται στην διπλωματική αυτή εξετάζει τα BCI στο πλαίσιο του συνδυασμού τους με την τεχνολογία των βιντεοπαιχνιδιών στα παρακάτω χαρακτηριστικά.

1. Ερευνώνται οι τεχνολογίες των BCI, τα υπολογιστικά συστήματα και οι συσκευές που είναι εμπορικά διαθέσιμες και πλαισιώνουν τις τεχνολογίες αυτές.
2. Εξετάζονται οι τομείς και περιπτώσεις εφαρμογής των BCI για βιντεοπαιχνίδια. Μελετώνται οι επιπτώσεις που έχουν τα συστήματα αυτά στον άνθρωπο σε διάφορους τομείς της καθημερινής ζωής του. Πέρα από τον ανθρώπινο παράγοντα τα συστήματα αυτά επεκτείνονται και σε άλλους το-

μείς της τεχνολογίας των υπολογιστών όπου η χρήση BCI και βιντεοπαιχνιδιών μπορεί να συνεισφέρει σε περιβάλλοντα εκτός του πλαισίου της διασκέδασης ή ψυχαγωγίας.

3. Αναλύονται οι τεχνολογίες συλλογής και επεξεργασίας των ψηφιακών σημάτων που δημιουργούνται και αναλύονται η αποδοτικότητα τους για την βελτίωση της αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με τον υπολογιστή.
4. Παρουσιάζονται οι προσπάθειες για βελτίωση της τεχνολογίας αυτής από πολλαπλές οπτικές γωνίες παρακολουθώντας τις προσπάθειες για να γίνουν αυτές οι τεχνολογίες πιο προσιτές και εύχρηστες ούτως ώστε να αποκομισθούν στο έπακρο τα οφέλη τους.

Έχοντας τα ανωτέρω υπόψη για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας κρίνεται επωφελές να χρησιμοποιηθεί μια μέθοδος **συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης - ΣΒΕ** (*systematic literature review – SLR*). Μια ΣΒΕ ορίζεται ως «μια συστηματική, με σαφή σχεδιασμό και επαναλαμβανόμενη ως προς τα στάδια που την αποτελούν, μέθοδο». Κύριοι στόχοι της είναι ο εντοπισμός, η αξιολόγηση και η σύνθεση της υπάρχουσας διαθέσιμης βιβλιογραφίας που υπάρχει και είναι καταγεγραμμένη από ερευνητές, ακαδημαϊκούς και επαγγελματίες.

3.3. Ερευνητικά Ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα που προκύπτουν κατά την διαδικασία της βιβλιογραφικής επισκόπησης στα πλαίσια του αντικειμένου της παρούσας εργασίας συνοψίζονται στα εξής:

1. Ποιες είναι οι τεχνολογίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές HCI/ BCI; Ποιες συσκευές υλοποιούνται και είναι διαθέσιμες εμπορικά στην βιομηχανία των βιντεοπαιχνιδιών που εκμεταλλεύονται αυτή την τεχνολογία;
2. Ποιες είναι οι επιπτώσεις και τα πλεονεκτήματα στον χρήστη από την χρήση BCI παιχνιδιών; Πως επηρεάζει το παιχνίδι την συναισθηματική και ψυχολογική κατάσταση του παίκτη και πως μπορούν να συλλεχθούν χρήσιμα δεδομένα από την αλληλεπίδραση του με αυτό;
3. Ποιες μέθοδοι επεξεργασίας και μετατροπής των πρωτογενών δεδομένων από συσκευές BCI χρησιμοποιούνται και ποιες από αυτές εκπροσωπούνται περισσότερο στο σύνολο των ερευνών που μελετώνται;
4. Ποιες τεχνολογικές εξελίξεις προέρχονται από την έρευνα στα BCI και στα βιντεοπαιχνίδια και πως επηρεάζουν τις προσπάθειες για βελτιωμένη σχεδίαση φορητών συσκευών οι οποίες ενσωματώνουν τις τεχνολογίες αισθητήρων BCI σε ήδη υπάρχουσες λύσεις;

4. Μεθοδολογία Έρευνας

4.1 Μεθοδολογικός Σχεδιασμός Έρευνας

Σαν πρώτο βήμα για την διεξαγωγή μιας άρτιας και σωστά σχεδιασμένης έρευνας αποτελεί η επιλογή μιας κατάλληλης ερευνητικής μεθόδου. Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας έχουμε επιλέξει την μέθοδο της ΣΒΕ. Οι λόγοι επιλογής μιας τέτοιας μεθόδου συνοψίζονται στα εξής:

- Τα ΒCI μέσα στα πλαίσια στα οποία διεξάγεται η παρούσα έρευνα θεωρείται πρόσφατη τεχνολογία οπότε απαιτείται ενός είδους «χαρτογράφηση» του όγκου των πληροφοριών που την αφορούν και των διαστάσεων που έχει πάρει στην ζωή του ανθρώπου μέσα από την υπάρχουσα βιβλιογραφία.
- Η ΣΒΕ ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου έχουν τεθεί εκ των προτέρων συγκεκριμένα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία έχουν διατυπωθεί ρητά και εξετάζεται η δυνατότητα απάντησης τους μέσα από την βιβλιογραφία.
- Η φύση των ερωτημάτων που τίθενται για τα ΒCI στα πλαίσια αυτής της εργασίας και των ενδεχόμενων αποτελεσμάτων τα οποία ενδέχεται να εξαχθούν είναι θεωρητική οπότε η ανάγκη για επιλογή μιας μεθόδου η οποία να βασίζεται σε μεταανάλυση ή ανάλυση με στατιστικές διαδικασίες κρίνεται λιγότερο σημαντική.

Για τους παραπάνω λόγους έγινε επικράτηση της μεθόδου ΣΒΕ σε αντίθεση με άλλες μεθόδους οι οποίες θα μπορούσαν ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν όπως πχ. κριτική ανασκόπηση ή αφηγηματική επισκόπηση. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι μια συστηματική επισκόπηση προκειμένου να είναι έγκυρη και μεθοδολογικά δόκιμη είναι απαραίτητο να έχει ακριβή σχεδιασμό, ούτως ώστε αν κάποιος θελήσει να την επαναλάβει να μπορεί να καταλήξει στα ίδια αποτελέσματα.

4.2 Το πρότυπο PRISMA - Τα Στάδια μιας Συστηματικής Βιβλιογραφικής Επισκόπησης

Η συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση η οποία διεξάγεται σε αυτή την πτυχιακή εργασία ακολουθεί το πρότυπο **PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses)**. Το PRISMA είναι ένα σύστημα το οποίο περιγράφει τις διαδικασίες και τα βήματα τα οποία αποτελούν κατευθυντήριες γραμμές για την δημιουργία και σύνθεση μιας ΣΒΕ. Βοηθάει τους επιστημονικούς συγγραφείς να διεξάγουν με συστηματικό και μεθοδικό τρόπο βιβλιογραφικές επισκοπήσεις και μετά – αναλύσεις. Το PRISMA επικεντρώνεται στους τρόπους με τους οποίους οι συγγραφείς μπορούν να εξασφαλίσουν διαφανεείς και πλήρεις αναφορές για τέτοιους τύπους ερευνών.

Το πρότυπο PRISMA περιγράφει ένα σύστημα 27 βημάτων σύμφωνα με μια λίστα απαιτούμενων χαρακτηριστικών (PRISMA Checklist) η οποία καλύπτει την σύνθεση μιας ΣΒΕ ή μετά-αναλύσεως.

Μια συστηματική επισκόπηση μπορεί να διαιρεθεί σε 7 βασικά στάδια τα οποία περιλαμβάνουν μια σειρά απαραίτητων διαδικασιών που ξεκινούν από την επιλογή των βασικών ερωτημάτων που τίθενται προς διερεύνηση έως την σύνθεση των αποτελεσμάτων και την διασύνδεση τους με την θεωρία. Τα στάδια αυτά είναι:

1. **Επιλογή των ερευνητικών ερωτημάτων:** τα βασικά ερωτήματα της έρευνας τα οποία τίθενται με τρόπο ρητό και κατανοητό και αποτελούν οδηγό για όλη την επισκόπηση.
2. **Επιλογή των πηγών:** από τις οποίες θα αντληθεί το υλικό συλλογής των δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα μπορεί να προέρχονται από επιστημονικά περιοδικά, βάσεις δεδομένων επιστημονικών άρθρων, άρθρα από πρακτικά συνεδρίων κ.ά.
3. **Επιλογή των όρων αναζήτησης :** Οι όροι αναζήτησης χρησιμοποιούνται για να περιοριστεί το εύρος των αποτελεσμάτων και επιλέγονται με βάση τις έννοιες και τις λέξεις που περιέχονται στα ερευνητικά ερωτήματα.
4. **Εφαρμογή κριτηρίων διαλογής του υλικού (screening criteria):** κατά τα πρώτα στάδια της αναζήτησης (preliminary searches) ενδέχεται να εμφανιστεί μεγάλος αριθμός άσχετων αποτελεσμάτων σε σχέση με όσα μπορούν να μπουν στην επισκόπηση. Τα κριτήρια αυτά διακρίνονται σε κριτήρια συμπερίληψης (inclusion criteria) και κριτήρια απόρριψης

(exclusion criteria) του διαθέσιμου εντοπισμένου υλικού με προϋποθέσεις που έχει ορίσει ο ίδιος ο ερευνητής. Παραδείγματα κριτηρίων διαλογής μπορεί να είναι η γλώσσα, ο τύπος ερευνών που παρουσιάζονται στα εντοπισμένα άρθρα κλπ.

5. **Εφαρμογή μεθοδολογικών κριτηρίων επιλογής πηγών:** εδώ προσδιορίζεται τι είδους έρευνες θα συμπεριλαμβάνονται στην επισκόπηση; Εμπειρικές μελέτες, μελέτες περίπτωσης, μικτές μέθοδοι; τα δεδομένα που αξιοποιεί η έρευνα είναι πρωτογενή, δευτερογενή, συνδυασμός τους;
6. **Διεξαγωγή της συστηματικής επισκόπησης:** Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την μελέτη του επιλεγμένου υλικού, την ρητή επιλογή ή απόρριψη των άρθρων που θα συμπεριληφθούν στην έρευνα.
7. **Σύνθεση των αποτελεσμάτων:** Η πιο συνηθισμένη μορφή σύνθεσης των αποτελεσμάτων είναι η περιγραφική ανάλυση (descriptive analysis), ενώ η μέτα-ανάλυση κάνει χρήση στατιστικών μεθόδων προκειμένου να συγκριθούν παρόμοιες μελέτες.

4.3 Αναζήτηση και επιλογή των άρθρων – Literature Research

Ένα από τα αρχικά βήματα πριν ξεκινήσει μια συστηματική επισκόπηση αποτελεί η εξαγωγή προκαταρκτικής έρευνας (preliminary research), έτσι ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο υπάρχουν μελέτες που να σχετίζονται με το θέμα που ενδιαφέρει ερευνητικά. Για την παρούσα εργασία, διεξήχθη μέσα στα χρονικά πλαίσια (Φεβρουάριος - Μάρτιος 2023) προκαταρκτική έρευνα σχετικά με τα BCI για βιντεοπαιχνίδια (gaming).

Οι όροι αναζήτησης για την προκαταρκτική έρευνα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:

Εικόνα 1 Προκαταρκτικοί όροι αναζήτησης - Pretest research string

(brain computer interface OR bci) AND (gaming OR games) and (wearable eeg)

Οι παραπάνω όροι αποτέλεσαν τους όρους - κλειδιά, με τους οποίους έγινε αναζήτηση σε βάσεις δεδομένων με σκοπό να διερευνηθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προκαταρκτική αναζήτηση. Οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω (**πίνακας 1**). Οι συγκεκριμένες

βάσεις δεδομένων επιλέχθηκαν τόσο για το εύρος των αποτελεσμάτων που δίνουν όσο και του υψηλού βαθμού συνάφειας των αποτελεσμάτων που δίνουν με τον τεχνολογικό τομέα των BCI στο πλαίσιο της έρευνας.

Η συλλογή των άρθρων/ ερευνών έγινε μετά από αναζήτηση σε:

1. Γενικές βάσεις δεδομένων με επιστημονικά άρθρα όπως το Elsevier (SCIENCE DIRECT).
2. Την βάση IEEE Xplore, η οποία περιέχει καταγραφές (άρθρα κεφάλαια βιβλίων σχετικές με πρακτικά συνεδρίων).
3. Την βάση PUBMED η οποία έχει πρόσβαση στην βάση δεδομένων MEDLINE για αναφορές και έρευνες στις βιοεπιστήμες και τα βιοιατρικά ζητήματα.

Πίνακας 1 Κατανομή των καταγραφών ανά βάση δεδομένων (ημερομηνία καταγραφής 1/3/2023)

Βάση Δεδομένων	Αριθμός Αποτελεσμάτων
SCIENCE DIRECT	33
PUBMED	5
IEEE	13

Η προκαταρκτική έρευνα έδωσε έναν αριθμό αποτελεσμάτων, το σύνολο των οποίων μπορεί ανά βάση δεδομένων να παρατηρηθεί στον επάνω πίνακα. Έχοντας μια πρώτη εικόνα του ως προς διερεύνηση «θέματος» το επόμενο στάδιο της συστηματικής επισκόπησης είναι η εφαρμογή των κριτηρίων επιλογής ή απόρριψης των ευρεθέντων καταγραφών.

Σε αυτό το σημείο θα αναφέρουμε εν συντομία πως για την προκαταρκτική αξιολόγηση των άρθρων χρησιμοποιήθηκε το διαδικτυακό εργαλείο rayyan ai (<https://www.rayyan.ai>) που είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την διευκόλυνση της διεξαγωγής συστηματικών επισκοπήσεων υποβοηθούμενο από τεχνητή νοημοσύνη. Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκε για την επιτάχυνση της εξέτασης των περιλήψεων των άρθρων και για την εφαρμογή των κριτηρίων επιλογής ή απόρριψης. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2) φαίνεται το εργαλείο αυτό.

Εικόνα 2 Ryann ai

The screenshot displays the Ryann AI interface for a search titled "2023-03-06: Brain computer interfaces for gaming". The interface includes a sidebar on the left with sections for "Possible Duplicates", "Inclusion decisions", "Search methods", and "Keywords for include". The main area shows a table of search results with columns for Date, Title, Authors, and Rating. Each result is accompanied by a "John" icon and a category label (e.g., "unrelated research", "gaming related", "medical related").

Date	Title	Authors	Rating
2022-12-01	Interactive Technologies for Emotion Regulation Training: A Scoping Review	Sadka, Ofir; Antle, Alissa	
2019-11-01	Robot-assisted therapy for rehabilitation of children with cerebral palsy - A complementary and alternative approa...	Lins, Alex A.; de Oliveira, Jul...	
2020-10-14	Artificial intelligence within the interplay between natural and artificial computation: Advances in data science, tre...	Górriz, Juan M.; Ramírez, Ja...	
2022-09-01	Leveraging brain-computer interface for implementation of a bio-sensor controlled game for attention deficit peop...	Amin, Muhammad; Tubaisha...	
2009-04-01	Turning shortcomings into challenges: Brain-computer interfaces for games	Nijholt, Anton; Bos, Danny P...	
2020-01-01	Implementation of Brain Machine Interface using Mind wave Sensor	Kounte, Manjunath R; Tripat...	
2021-12-01	Neurofeedback with low-cost, wearable electroencephalography (EEG) reduces symptoms in chronic Post-Traumat...	du Bois, N.; Bigirimana, A.D...	
2015-12-01	Motor imagery based brain-computer interfaces: An emerging technology to rehabilitate motor deficits	Alonso-Valerdi, Luz Maria; S...	

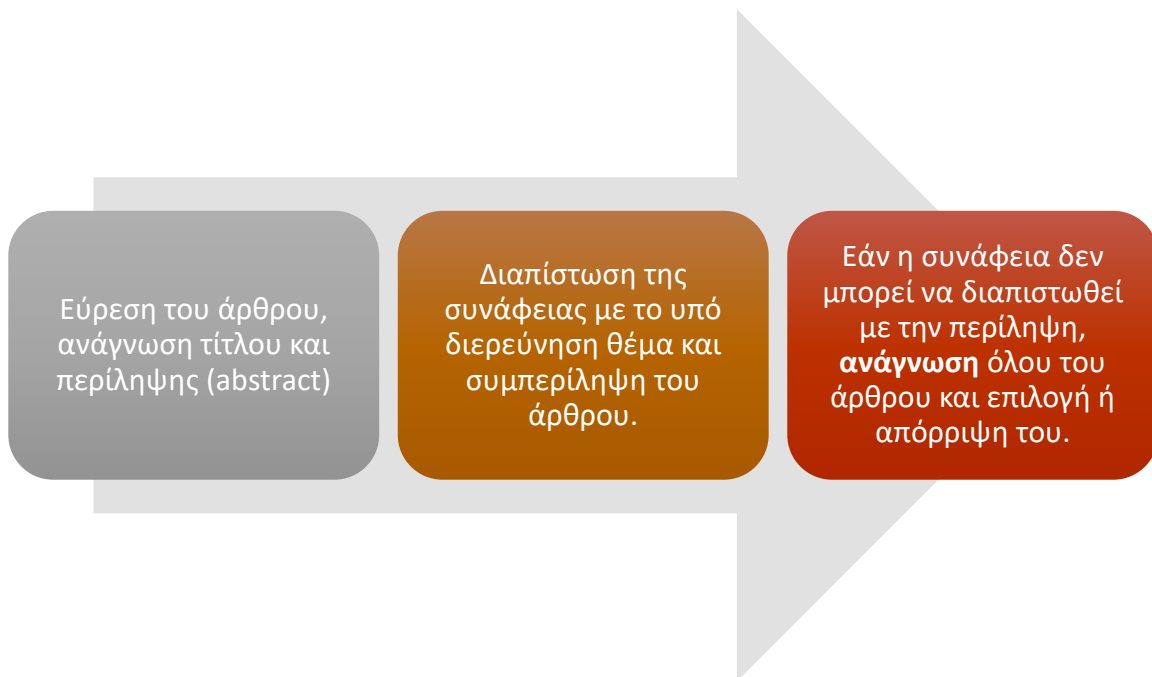
Οι όροι - κλειδιά όπως έχει αναφερθεί και πρωτότερα διαμορφώνονται από τα ερευνητικά ερωτήματα. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας επομένως έγινε επιλογή των όρων **BCI** ή **Brain Computer Interfaces**, **Gaming** ή **Games** τα οποία έδωσαν πληθώρα αποτελεσμάτων στο πλαίσιο της έρευνας για τους δύο αυτούς τομείς. Στο τέλος προστέθηκε και ο όρος **wearable EEG** σε μια προσπάθεια περεταίρω περιορισμού των αποτελεσμάτων σε ένα σύνολο έτοιμο για την εφαρμογή περεταίρω κριτηρίων με σκοπό εξαχθούν τα τελικά άρθρα που θα συμπεριληφθούν στην βιβλιογραφική επισκόπηση.

Τα κριτήρια επιλογής στο προκαταρκτικό στάδιο διαλογής διαμορφώθηκαν ως εξής:

- ✓ Η γλώσσα του δημοσιευμένου υλικού θα πρέπει να είναι στα αγγλικά.
- ✓ Το φίλτρο αναζήτησης έχει οριστεί στον τύπο ερευνητικά άρθρα.
- ✓ Τα άρθρα να έχουν δημοσιευτεί μεταξύ του διαστήματος 2009-2023.

Στο επόμενο βήμα προχωρήσαμε στην επιλογή των κριτηρίων επιλογής και απόρριψης των άρθρων που πέρασαν την προκαταρκτική διαλογή. Η διαδικασία με την οποία αυτή διεξάγεται παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα:

Διάγραμμα 1 Διαδικασία επιλογής των πηγών στη συστηματική επισκόπηση.



Τα κριτήρια επιλογής και απόρριψης των άρθρων στο δεύτερο βήμα της βιβλιογραφικής επισκόπησης παρουσιάζονται αναλυτικότερα παρακάτω.

Κριτήρια επιλογής:

1. Άρθρα τα οποία επικεντρώνονται στα συστήματα BCI και που για οποιαδήποτε επιστημονική αιτιολογία ενσωματώνουν τεχνολογίες βιντεοπαιχνιδιών σε οποιοδήποτε στάδιο της έρευνας τους ακόμα και αν αυτή δεν έχει άμεσο επίκεντρο έρευνας τον τομέα του παιχνιδιού.
2. Άρθρα τα οποία επικεντρώνονται στην έρευνα για την εξέλιξη των τεχνολογιών και συσκευών BCI που έχουν την προοπτική να καταλήξουν ως προσιτές εμπορικές λύσεις τεχνολογίας στον έξω κόσμο. Η εμπορικότητα των συσκευών κρίνεται σημαντική στα πλαίσια αυτής της έρευνας διότι οι εμπορικές συσκευές είναι καταλληλότερες για μελέτη αφού φτάνουν στα χέρια μιας μεγάλης μερίδας χρηστών τεχνολογίας όπως είναι οι παίκτες βιντεοπαιχνιδιών.

3. Άρθρα τα οποία ερευνούν τον ανθρώπινο παράγοντα σωματικά, πνευματικά και ψυχικά σε συνδυασμό με τις τεχνολογίες BCI και τον εξοπλισμό τον οποίο αυτές απαιτούν.

Κριτήρια απόρριψης:

1. Αμιγώς ιατρική έρευνα και ανάλυση σχετικά με τα BCI (**exclude tag: medical related**): Ερευνητικά άρθρα τα οποία αφορούν έρευνες οι οποίες εξετάζουν τα BCI και την χρήση τους σε ιατρικό περιβάλλον. Ενώ τα BCI για βιντεοπαιχνίδια μπορεί να έχουν θετικές επιπτώσεις σε ζητήματα υγείας, προοπτική η οποία μπορεί να εξετάζεται στα άρθρα που τελικώς κατέληξαν στην βιβλιογραφική επισκόπηση, μια αμιγώς ιατρική έρευνα χρησιμοποιεί διεισδυτικές μεθόδους και επεμβάσεις για την χρήση του ηλεκτρονικού εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί για την συλλογή δεδομένων. Συνεπώς τα άρθρα αυτά δεν ενδείκνυνται για συμπερίληψη στα πλαίσια των ερωτημάτων που πραγματεύεται αυτή η εργασία.
2. Διαστημικές εφαρμογές BCI (**exclude tag: space systems**): Άρθρα τα οποία εξετάζουν εφαρμογές των BCI που χρησιμοποιούνται σε διαστημικά συστήματα. Η εξέταση των συστημάτων γίνεται κατά κανόνα σε αφιλόξενο περιβάλλον όπως είναι το περιβάλλον έκτος της γήινης ατμόσφαιρας οπότε οι τεχνολογίες και ο εξοπλισμός ακολουθούν διαφορετικές φιλοσοφίες σχεδίασης και εφαρμογής. Επιπροσθέτως ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται σε τέτοιες εφαρμογές έχει τεράστιο κόστος και είναι εξαιρετικά δύσκολο κάποια από αυτές τις λύσεις να φτάσει σε κάποιο εμπορικό επίπεδο καταναλωτή.
3. Μη σχετική έρευνα (ανεξάρτητη από το gaming) (**exclude tag: unrelated research**): Ερευνητικά άρθρα τα οποία εξετάζουν τα BCI σαν αυτόνομες τεχνολογίες ή που δεν εξετάζουν καθόλου τον παράγοντα του βιντεοπαιχνιδιού για ενίσχυση των βασικών χαρακτηριστικών τους ή των πλεονεκτημάτων τους.
4. Έρευνες ψυχολογικής φύσης (**exclude tag: psychology research**): Άρθρα που αφορούν έρευνα στην επιστήμη της ψυχολογίας για τα BCI.

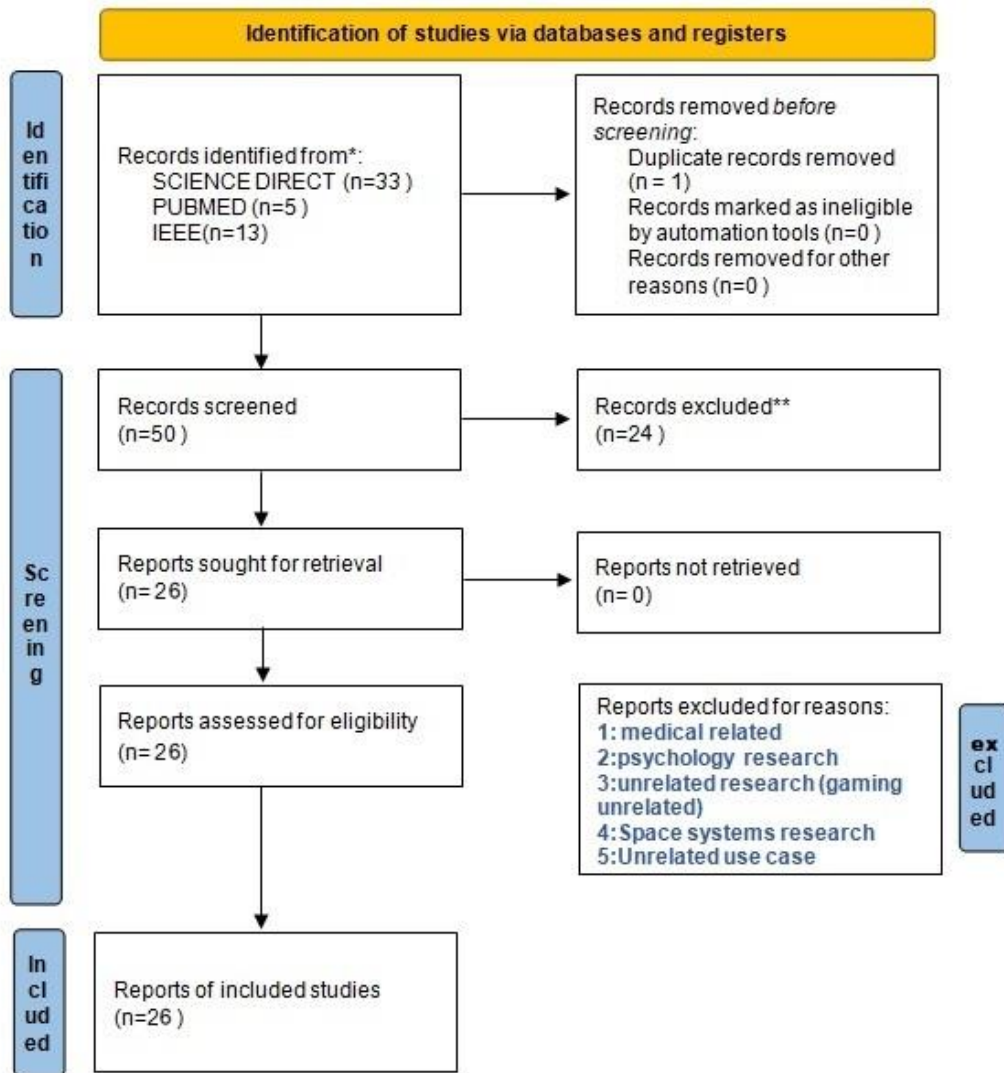
5. Οι έρευνες αυτές είναι καθαρά ψυχιατρικής φύσης και ξεφεύγουν της θεματολογίας που εξετάζεται εδώ.
6. Σενάρια χρήσης εκτός αντικειμένου(*exclude tag: unrelated use case*): Άρθρα τα οποία εξετάζουν σενάρια χρήσης της τεχνολογίας που δεν συμπίπτουν με τους ερευνητικούς όρους που απαιτεί η συγκεκριμένη βιβλιογραφική επισκόπηση π.χ. χρήση των BCI σε έξυπνες πόλεις.

Η παρουσίαση της αναζήτησης των βιβλιογραφικών πηγών ακολουθεί το πρωτόκολλο PRISMA το οποίο, γενικά έχει σαν στόχο να διευκολύνει τον ερευνητή να αναφέρει τα ακολουθούμενα στάδια της συστηματικής επισκόπησης ή της μετα-ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα η δήλωση PRISMA αποτελείται από μια λίστα ελέγχου 27 σημείων (PRISMA Checklist) και ένα διάγραμμα ροής 4 διακριτών φάσεων (flow diagram). Το διάγραμμα ροής PRISMA απεικονίζει σχηματικά και περιγράφει 4 διακριτές φάσεις, από τον εντοπισμό των καταγραφών στις βάσεις, την επιλογή των συναφών με το ερευνητικό θέμα καταγραφών, τον έλεγχο καταλληλότητας και τέλος την συμπερίληψη των σχετικών καταγραφών.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής PRISMA για την έρευνα και την διαδικασία επιλογής των καταγραφών που εντοπίστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Εικόνα 3 Διάγραμμα ροής PRISMA 2020 (flow diagram)

PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases and registers only



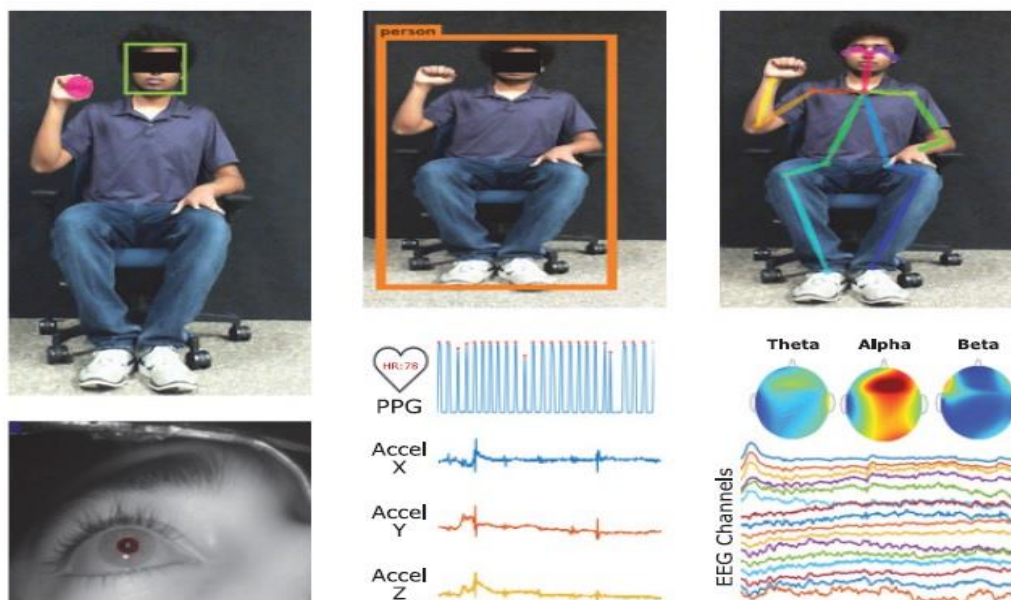
*Consider, if feasible to do so, reporting the number of records identified from each database or register searched (rather than the total number across all databases/registers).

**If automation tools were used, indicate how many records were excluded by a human and how many were excluded by automation tools.

5. Βιβλιογραφική επισκόπηση

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται περιγραφικά τα άρθρα τα οποία τελικώς συμπεριελήφθησαν στην συγκεκριμένη βιβλιογραφική επισκόπηση. Τα άρθρα αυτά αποτελούν τις πηγές δεδομένων που χρειαζόμαστε για να αντλήσουμε τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε για την απάντηση των βασικών ερευνητικών ερωτημάτων τις οποίες θέτει η παρούσα ανάλυση.

(Aashish, Tzyy-Ping and Terrence 2019) ανέπτυξαν ένα σύνθετο φορούμενο σύστημα βιοαισθητήρων το οποίο έχει την δυνατότητα να συλλέγει, να συγχρονίζει, να καταγράφει και να μεταδίδει δεδομένα από πολλαπλούς βιοαισθητήρες: αισθητήρες PPG, EEG, φορούμενα ακουστικά με σύστημα παρακολούθησης βλέμματος, συστήματα καταγραφής κίνησης, GSR κλπ. Το σύστημα αυτό συνδυάζεται με χαρακτηριστικά διαμόρφωσης εργασιών συμπεριλαμβάνοντας επισημάνσεις οπτικών ερεθισμάτων. Η έρευνα αυτή περιγράφει την ανάπτυξη και την ενσωμάτωση των διαφόρων συνιστωσών που απαρτίζουν αυτό το σύστημα. Γίνεται αξιολόγηση αυτών το συστημάτων συγκρίνοντας τις μετρήσεις τους με αυτές που λαμβάνονται από συστήματα βιοαισθητήρων ποιότητας ερευνητικού εργαστηρίου (Aashish, Tzyy-Ping και Terrence 2019).

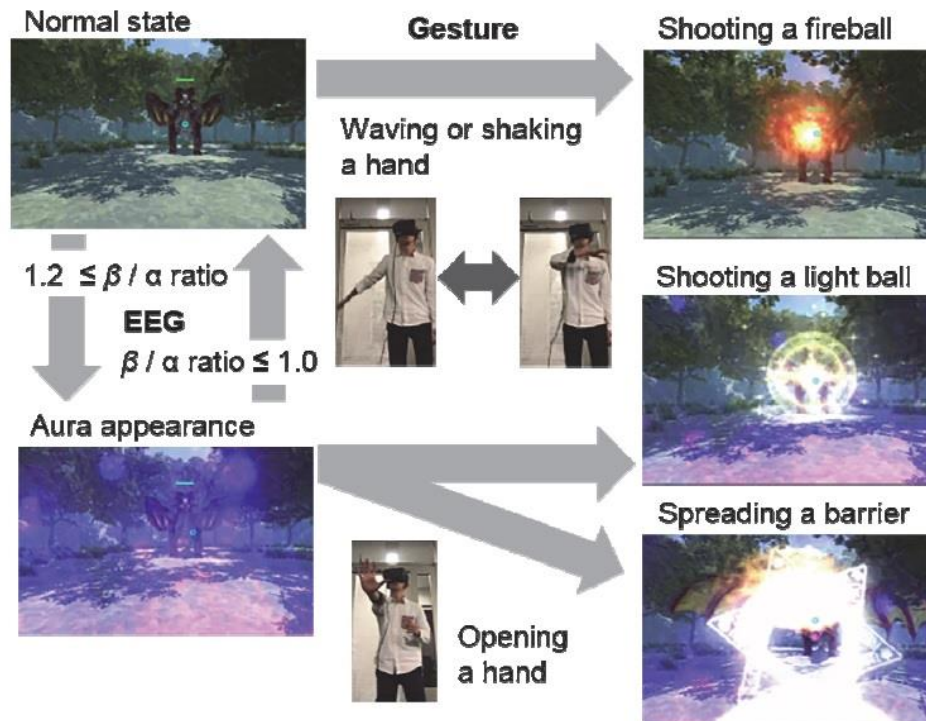


Εικόνα 2

Πρώτα εξετάζεται το φορούμενο σύστημα PPG το οποίο τοποθετείται στους λοβούς των αυτιών με τεχνολογία ακύρωσης θορύβου κίνησης για ηλεκτροκαρδιογράφημα κατά τους υπολογισμούς των καρδιακών παλμών. Γίνεται επίσης σύγκριση των οπτικών προκλητών δυναμικών σταθερής κατάστασης (SSVEP) τα οποία μετρώνται από θωρακισμένους αισθητήρες ξηράς κατάστασης EEG με δυναμικά τα οποία παράγονται από εμπορικά διαθέσιμους αισθητήρες EEG (Aashish, Tzyy-Ping και Terrence 2019). Επιπρόσθετα ερευνάται η επίδραση που έχει η κίνηση του κεφαλιού στην ακρίβεια του φορούμενου συστήματος για την παρακολούθηση του βλέμματος. Στη συνέχεια διεξάγονται δύο πρακτικές ασκήσεις για να γίνει παρουσίαση των εφαρμογών χρήσης πολυσύνθετων συστημάτων αισθητήρων για να ερευνηθούν προηγουμένως αναπάντητα ερωτήματα στην επιστήμη των βιοαισθητήρων. Συγκεκριμένα εκμεταλλευόμενοι την βιοαίσθηση οι ερευνητές δείχνουν ποια στρατηγική δουλεύει καλύτερα παίζοντας το παιχνίδι πού είναι ο waldo? ένα παιχνίδι οπτικής αναζήτησης, στις αλλαγές που επιφέρονται στο EEG σε αντιπαραβολή με τις αληθείς ή ψευδείς τοποθετήσεις οπτικών στόχων σε αυτό το παιχνίδι. Τέλος γίνεται προσπάθεια πρόβλεψης καταστάσεων ήττας/ισοπαλίας/νίκης μέσω βιοαισθητηρίων καθώς επίσης και των περιορισμών των τεχνολογιών αυτών στο κλασικό παιχνίδι πέτρα μολύβι (Aashish, Tzyy-Ping και Terrence 2019).

(Ryota Horie 2017) σε αυτή την έρευνα προτείνουν ένα σύστημα παιχνιδιού BCI το οποίο αποτελείται από ένα απλό καταγραφικό EEG, το οποίο καταγράφει τον λόγο βήτα/άλφα κυμάτων, ένα έξυπνο τάμπλετ, υπολογιστή, και μια οθόνη τοποθετούμενη στο κεφάλι. Σημαντική προσθήκη στο σύστημα αποτελεί μια φορούμενη διεπαφή χειρονομιών η οποία λειτουργεί με ηλεκτρομυογραφία. Η συσκευή τάμπλετ τρέχει μια εφαρμογή Android και συλλέγει πρωτογενή δεδομένα από το καταγραφικό EEG μέσω Bluetooth. Η εφαρμογή εντοπίζει το λόγο βήτα/άλφα κυμάτων και παράγει εντολές ενός byte. Η εφαρμογή στέλνει αυτές τις εντολές σε έναν σέρβερ ο οποίος τρέχει σε ένα υπολογιστή μέσω TCP/IP πάνω σε Wi-Fi ή Lan. Μια εφαρμογή παιχνιδιού ανεπτυγμένη με την χρήση της πλατφόρμας (Unity Technologies, Unity) τρέχει στον υπολογιστή. Ο σέρβερ μετατρέπει τις εντολές ενός byte σε εντολές πληκτρολογίου για να μπορεί να επιτευχθεί ο έλεγχος του παιχνιδιού. Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιείται ο λόγος βήτα/άλφα ως μέτρο συγκέντρωσης. Η φορούμενη διεπαφή χειρονομιών (Thalamic labs, Myo gesture control armband) η οποία τοποθετείται στο χέρι του χρήστη επικοινωνεί με τον υπολογιστή μέσω bluetooth. Η συσκευή αναγνωρίζει δύο τύπους χειρονομιών, άνοιγμα - κλείσιμο του χεριού και κίνηση του δεξιά και αριστερά. Ο συνδυασμός εντολών λειτουργίας παραγόμενες από τον λόγο βήτα/άλφα και

των τύπων των χειρονομιών ελέγχουν την κίνηση και τις πράξεις του χαρακτήρα στο παιχνίδι (Ryota Horie 2017).

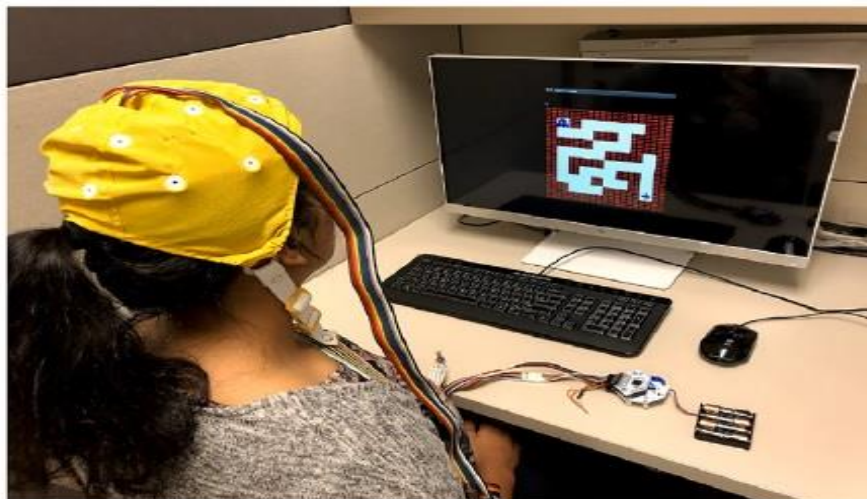
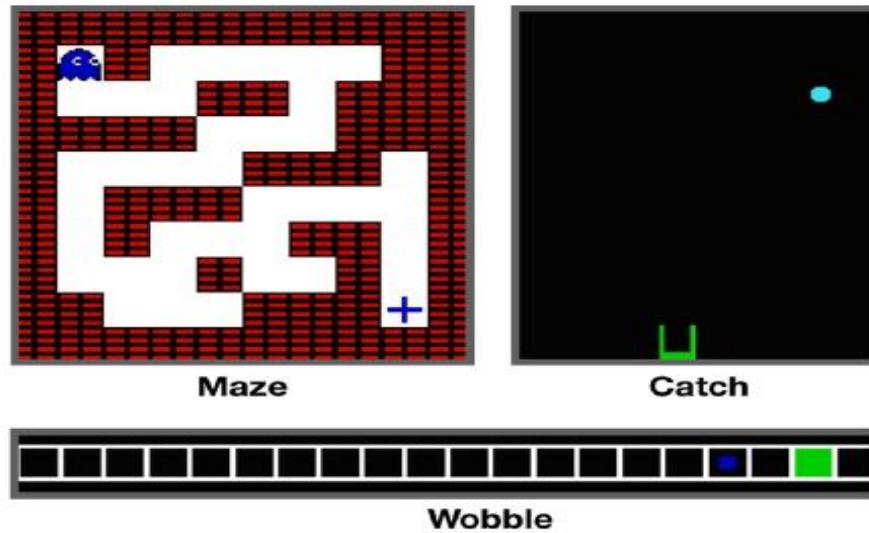


Εικόνα 3 Παιχνίδι χειρονομιών

Το πείραμα έγινε με πλήθος 8 ατόμων (7 άνδρες 1 γυναίκα). Οι εξεταζόμενοι στέκονται φορώντας το καταγραφικό EEG και την συσκευή οθόνης στο κεφάλι και παίζουν το παιχνίδι σε δύο καταστάσεις. Στην μια φορούν την συσκευή διεπαφής χειρονομιών (έλεγχος με χειρονομίες) ενώ στην δεύτερη κατάσταση χρησιμοποιούν το πληκτρολόγιο για τον έλεγχο της κίνησης και των πράξεων του χαρακτήρα μέσα στο παιχνίδι. Μετά το πείραμα στους εξεταζόμενους ζητήθηκε να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο ώστε να απαντήσουν 5 ερωτήσεις σχετικά με την λειτουργικότητα, την αίσθηση παρουσίας, την ευκολία συγκέντρωσης, την διασκέδαση του παιχνιδιού και την αμεσότητα στην εμφάνιση γεγονότων στο παιχνίδι με την κάθε μέθοδο χειρισμού (Ryota Horie 2017).

(Mohit, και συν. 2021) εξετάζουν την βελτίωση παραγόντων ενισχυμένης μάθησης (Reinforcement Learning - RL) με παρέμβαση του ανθρώπινου στοιχείου μέσα στο βρόχο της διαδικασίας εκπαίδευσης του παράγοντα RL. Για παράδειγμα αυτοκίνητα με αυτόματο πιλότο AI να μαθαίνουν με τον άνθρωπο έτοιμο να επέμβει σε επικίνδυνες καταστάσεις. Στην εργασία αυτή, εξετάζεται ένα εναλλακτικό παράδειγμα για την λήψη της ανθρώπινης ανάδρασης (χρησιμοποιώντας άμεσα τα σιωπηρά εγκεφαλικά κύματα) αυξάνοντας σημαντικά τον εμπλουτισμό των λειτουργιών ανταμοιβής και χωρίς να επιβαρύνει τον άνθρωπο μέσα στον βρόχο. Μελετάται η χρήση EEG βασισμένο σε εγκεφαλικά κύματα του ανθρώπου μέσα στο βρόχο ούτως ώστε να παραχθούν οι βοηθητικές λειτουργίες ανταμοιβής για να ενισχυθεί η εκμάθηση του παράγοντα RL. Ένα τέτοιο μοντέλο κερδίζει από την πλούσια δραστηριότητα ενός ισχυρού επεξεργαστή (του ανθρώπινου εγκέφαλου) αλλά ταυτόχρονα να μην επιβαρύνει τον ίδιο τον άνθρωπο αφού η δραστηριότητα στην οποία βασίζεται είναι σιωπηρή. Το παράδειγμα αυτό είναι εμπνευσμένο από ένα, υψηλού επιπέδου σύστημα επεξεργασίας λαθών στους ανθρώπους που παράγει δυναμικά σχετιζόμενα με τα σφάλματα (error related potentials - ErrP) μια αρνητική εκτροπή στα παραγόμενα σήματα EEG (Mohit, και συν. 2021). Όταν ο άνθρωπος εντοπίζει ένα λάθος από τον παράγοντα AI, το παραγόμενο Errp μπορεί να συλλεχθεί μέσω EEG για να ενημερώσει τον παράγοντα για την υποβέλτιστη απόφαση που έλαβε.

Η χρήση ενός βιντεοπαιχνιδιού σαν εξομοίωση ενός πραγματικού περιβάλλοντος είναι επωφελής στο πλαίσιο των αλγόριθμων RL υποβοηθούμενοι από τον άνθρωπο. Έχοντας αυτό υπόψη σχεδιάστηκε ένα πειραματικό πρωτόκολλο όπου ένας παράγοντας μηχανής παίζει ένα παιχνίδι υπολογιστή ενώ ένας άνθρωπος παρακολουθεί σιωπηρά (και αξιολογεί) τις αποφάσεις που παίρνονται από αυτόν. Αυτές οι σιωπηρές ανθρώπινες αντιδράσεις εντοπίζονται τοποθετώντας μερικά ακατέργαστα ηλεκτρόδια στο κρανίο του εγκεφάλου με την μορφή δυναμικών EEG. Το καπέλο ηλεκτροδίων (BIOPAC CAP-100C) τοποθετήθηκε και συνδέθηκε μέσω της πλατφόρμας openBCI Cyton με ένα σταθερό υπολογιστή μέσω ασύρματου καναλιού. Τα παιχνίδια που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα ήταν τα Wobble, Catch, Maze παιχνίδια περιήγησης βασισμένα στην πλατφόρμα OpenAI Gym Atari. Ένας παράγοντας AI έπαιζε τα παιχνίδια και οι χρήστες χαρακτήριζαν τις αποφάσεις το συστήματος σαν σωστές ή λανθασμένες με δύο τρόπους ο πρώτος μέσω σημάτων εγκεφάλου EEG και ο δεύτερος πατώντας κουμπιά σε ένα πληκτρολόγιο.

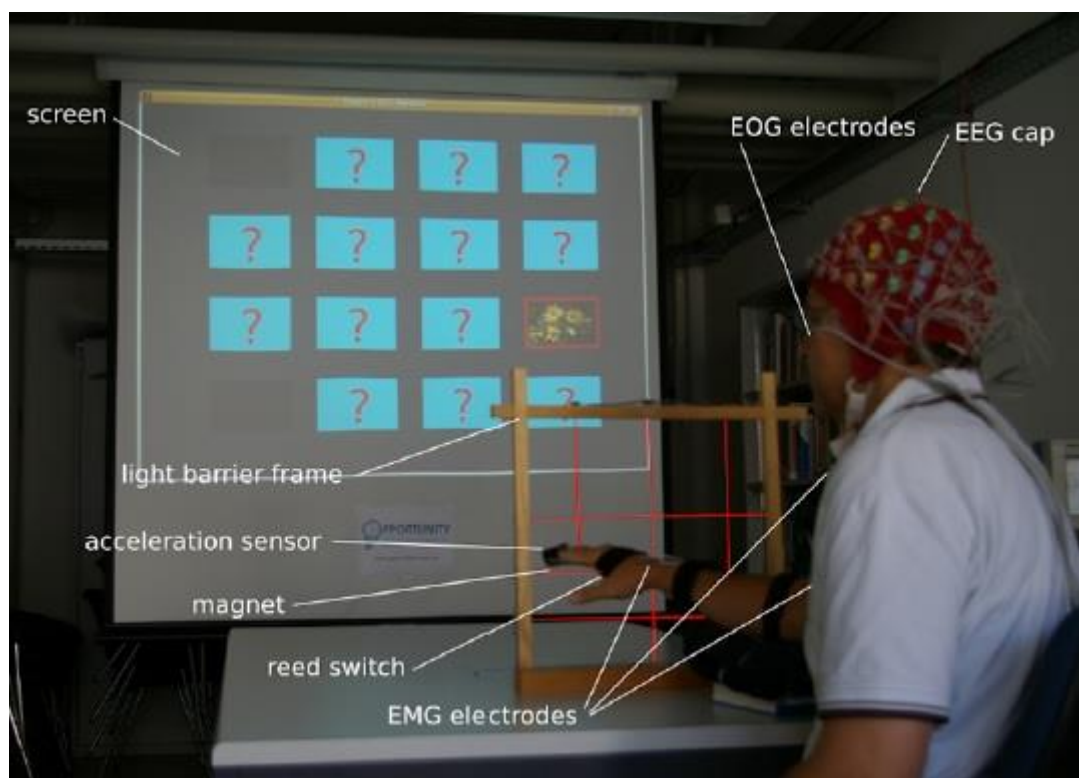


Εικόνα 4 Παιχνίδια και πειραματική διάταξη

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η μέθοδος τιλοποίησης λαθών με την χρήση EEG προερχόμενα από τον ανθρώπινο παράγοντα επιταχύνουν την διαδικασία ενισχυμένης εκμάθησης του παράγοντα RL κατά 2,25 φορές με ταυτόχρονη μείωση των ερωτημάτων κατά 75.56% (Mohit, και συν. 2021).

(Ricardo, και συν. 2010) με την εργασία τους επεκτείνουν την έρευνα πάνω σε προηγούμενες μελέτες στα σφάλματα σημάτων EEG, παρουσιάζοντας μια υβριδική προσέγγιση για την αλληλεπίδραση ανθρώπου - υπολογιστή η οποία χρησιμοποιεί ανθρώπινες χειρονομίες για να στείλει εντολές σε ένα υπολογιστή

και εκμεταλλεύεται την εγκεφαλική δραστηριότητα για να παρέχει σιωπηρή ανάδραση σχετικά με την αναγνώριση αυτών των εντολών. Εδώ εξετάζονται τα δυναμικά σχετιζόμενα με σφάλματα (Errps) που δημιουργούνται κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης ανθρώπου - υπολογιστή με χειρονομίες. Συγκεκριμένα, το πείραμα επιτρέπει την αξιολόγηση εγκεφαλικών σημάτων παραγόμενα από την λάθος αναγνώριση χειρονομιών και την αξιολόγηση του αν αυτά τα σήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσαρμοστεί η συμπεριφορά του συστήματος HCI. Κατά την διάρκεια του πειράματος οι εξεταζόμενοι παίζουν μια εκδοχή ενός παιχνιδιού μνήμης φτιαγμένο για υπολογιστή αποτελούμενο από 8 ζευγάρια εικόνων. Οι χρήστες πρέπει να εντοπίσουν τα ζευγάρια ιδίων φωτογραφιών για να τελειώσουν το παιχνίδι (Ricardo, και συν. 2010).



Εικόνα 5 Πειραματική διάταξη του παιχνιδιού μνήμης

Κατά την διάρκεια των καταγραφών οι χειρονομίες αποκωδικοποιούνται μέσω της χρήσης ενός πλαισίου φραγμού φωτός και ενός μικροδιακόπτη στο χέρι για την χειρονομία κλεισίματος του χεριού έτσι επιτυγχάνεται ακριβής αναγνώριση των χειρονομιών. Καθόλη την διάρκεια του πειράματος έγινε χρήση του συστήματος EEG BioSemi ActiveTwo. Η ταξινόμηση των EEG σημάτων έγινε με την μέθοδο Bayesian Filtering και με χρήση Errps. Η παρούσα έρευνα αποτελεί ένα παράδειγμα υβριδικού συστήματος όπου οι κινήσεις του χρήστη συνδυάζονται με ανάδραση σχετιζόμενη με γνωστικές λειτουργίες εξαγόμενες από EEG

(Ricardo, και συν. 2010). Σε αντίθεση με προηγούμενες μελέτες όπου στους εξεταζόμενους ζητούνταν ρητά να περιορίσουν τις κινήσεις τους στο πείραμα αυτό δεν υπάρχει τέτοιος περιορισμός και μια τεχνική αυτόματης απομάκρυνσης θορύβου χρησιμοποιείται στα πλαίσια του πειράματος. Συμπερασματικά η ανάλυση του προτεινόμενου υβριδικού συστήματος όπου οι κινήσεις του χρήστη συνδυάζονται με γνωστική ανάδραση προερχόμενη από EEG δείχνει μια σημαντική αύξηση της ακρίβειας με τις τεχνικές κατηγοριοποίησης και τιτλοποίησης μέσω EEG που προτείνονται εδώ (Ricardo, και συν. 2010).

(Nataliya, και συν. 2021) στην εργασία το προσπαθούν να συνδυάσουν δύο επίπεδα δεδομένων, της επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality-AR) και των BCI. Επιπλέον οι συσκευές AR οι οποίες χρησιμοποιούν σέτ κεφαλής με οθόνη (head mounted display-HMD) αντιμετωπίζουν ένα μείζων πρόβλημα: Η μικρή εγγύτητα του χρήστη στην οθόνη καθιστά δύσκολο να αποφευχθούν περισπασμοί μέσα στο εικονικό περιβάλλον. Σε αυτή την εργασία οι ερευνητές μειώνουν το περισπασμό συμπεριλαμβάνοντας πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση προσοχής του χρήστη. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι είναι δυνατόν να γίνει διαφοροποίηση μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής προσοχής του χρήστη με χρήση EEG ή δεδομένων κίνησης του οφθαλμού από σέτ κεφαλής AR. Για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας αναπτύχθηκε ένα απλό παιχνίδι χρησιμοποιώντας την μηχανή Unity 3D στο οποίο μια μπάλα ποδοσφαίρου ή ένας κόκκινος κύβος εμφανίζεται σε ένα τραπέζι μπροστά στο χρήστη (Nataliya, et al. 2021). Ο σκοπός του χρήστη είναι να παράγει όσες περισσότερες μπάλες μπορεί σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αν οι κύβοι είναι περισσότεροι από τις μπάλες στο τέλος του χρόνου τότε ο παίκτης έχει χάσει. Οι μπάλες παράγονται όταν ο χρήστης δίνει προσοχή στην οθόνη και είναι εξωτερικά εμπλεγμένος. Αν ο χρήστης χάσει την προσοχή του (που σημαίνει ότι είναι εσωτερικά εμπλεγμένος στις σκέψεις του) τότε το παιχνίδι παράγει κύβους.

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε το σέτ κεφαλής Microsoft HoloLens 2 ως πλατφόρμα AR. Έγινε χρήση υβριδικών ηλεκτροδίων με το σύστημα g.tech Unicorn Hybrid System. Έγινε προσαρμογή του συστήματος ηλεκτροδίων πάνω στο σέτ κεφαλής με σύστημα clip-on σχεδιασμένο και τρισδιάστατα εκτυπωμένο σε υπολογιστή. Το πείραμα διεξήχθη σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον μεικτής πραγματικότητας (Nataliya, et al. 2021). Το HoloLens 2 έχει ενσωματωμένη δυνατότητα παρακολούθησης της κίνησης των οφθαλμών.

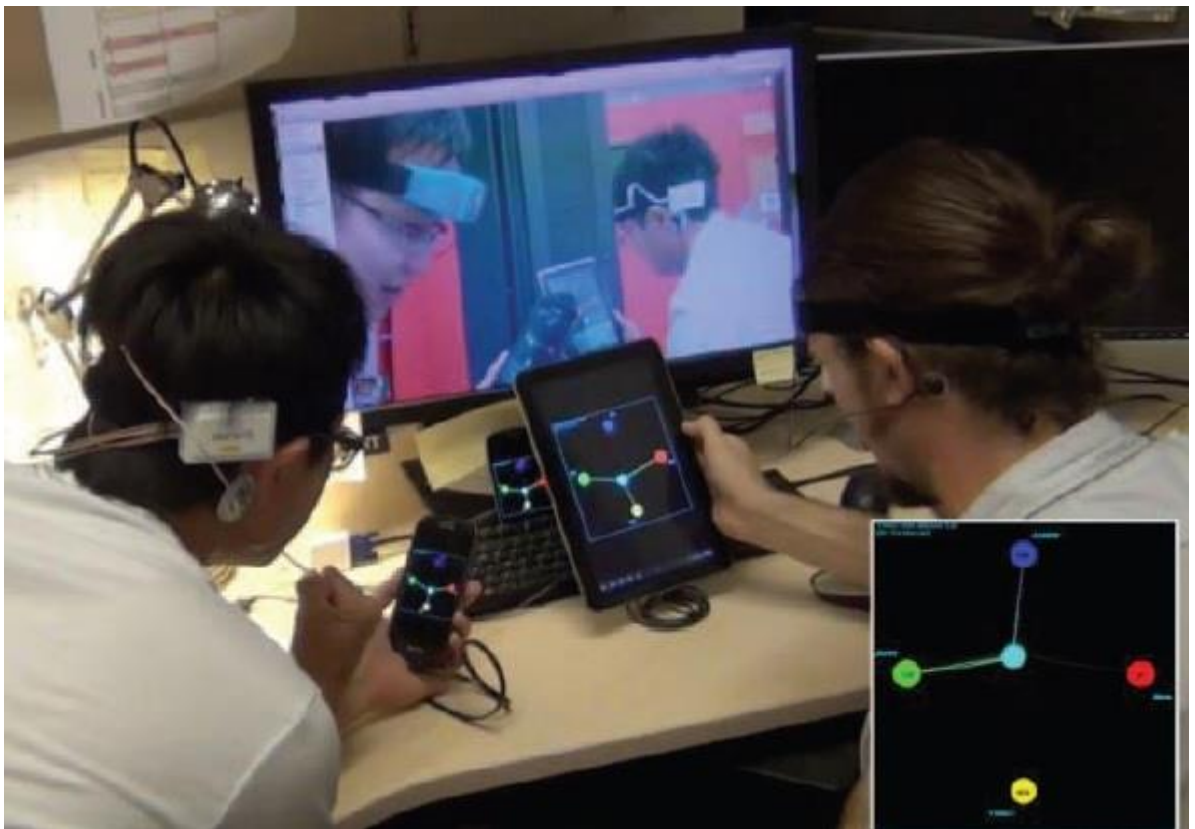


Εικόνα 6 Πειραματική διάταξη και παιχνίδι AR

Αυτό το χαρακτηριστικό επιτρέπει στους ερευνητές να ξέρουν πού κοιτάει ο χρήστης και πόσο μακριά ήταν. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι όλο και περισσότερα συστήματα θα μπορούσαν να ωφεληθούν με την συνεχή παρακολούθηση της καταστάσεως προσοχής του χρήστη όπως επίσης και από τον αποδοτικότερο συνδυασμό των συστημάτων AR και BCI. Πέρα από τα τεχνικά πλεονεκτήματα ο χρήστης επωφελείται και στον τομέα της άνεσης αφού στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιείται εμπορικός εξοπλισμός με έναν από τους κύριους γνώμονες σχεδίασης την άνεση σε αντίθεση με παραδοσιακές λύσεις αισθητήρων EEG (Nataliya, et al. 2021).

(John, και συν. 2014) στην εργασία τους εξετάζουν την προοπτική των ενισχυμένων BCI (A-BCI) βασισμένα στην υπολογιστική νέφους και των συνδεδεμένων δεδομένων. Το άρθρο αυτό παρουσιάζει τη θεμελιακή αρχιτεκτονική

αυτού του συστήματος και εισάγει της τεχνολογίες που επιτρέπουν την υλοποίηση του. Αυτές περιλαμβάνουν πρωτόκολλα μηχανής προς μηχανή όπως επίσης και δημοσίευσης/εγγραφής, πολυεπίπεδη υποδομή νέφους/σύννεφου και συνδεδεμένα δεδομένα δικτύου. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας αναπτύχθηκε ένα “πάντα παρών” σύστημα παρακολούθησης της κατάστασης του εγκεφάλου και διαμοιρασμού δεδομένων χρησιμοποιώντας ασύρματα σετ-κεφαλής EEG, έξυπνα τηλέφωνα, και χαμηλών απαιτήσεων διακομιστές (John, et al. 2014). Με την βοήθεια του πρωτοκόλλου δημοσίευσης/εγγραφής MQTT και του παραδείγματος υπολογιστικής νέφους οι ερευνητές κατάφεραν να επιτύχουν συγχρονισμένη ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ούτως ώστε να εκκινήσουν ένα διαδικτυακό παιχνίδι πολλαπλών παικτών με το όνομα EEG Tractor Beam σε πολλαπλές ιστοσελίδες στις ΗΠΑ και την Ταϊβάν.



Εικόνα 7 Παιχνίδι EEG Tractor Beam

Πιο συγκεκριμένα αναλύοντας περαιτέρω την αρχιτεκτονική αυτού του διάχυτου συστήματος A-BCI βλέπουμε ότι βασικό κομμάτι του αποτελεί ένας διαδικτυακός διακομιστής/μεσίτης γνωστός και ως διακομιστής νέφους. Αυτός ο παντού παρών υπολογιστικός κόμβος μπορεί να εγκατασταθεί στους προσωπικούς υπολογιστές των χρηστών, σε κουτιά τηλεόρασης, ή σε κονσόλες παιχνιδιών. Κάθε διακομιστής νέφους δουλεύει σαν κόμβος δεδομένων και επεξεργαστής σήματος. Συλλέγει πολυτροπικές και πολυκαναλικές ροές δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες EEG και τις δημοσιεύει στον συνδεδεμένο ιστοτόπο δεδομένων. Για να παίξουν το παιχνίδι EEG Tractor Beam ο κάθε παίκτης φοράει ένα σετ κεφαλής MINDO -4S και έχει το έξυπνο κινητό του συνδεδεμένο σε ένα τοπικό διακομιστή νέφους. Οι διακομιστές νέφους που αντιστοιχούν σε κάθε χρήστη μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους.

Το παιχνίδι τρέχει σαν μια εφαρμογή στο έξυπνο κινητό του καθενός από τους χρήστες (John, και συν. 2014). Πρωτογενείς ροές δεδομένων EEG στέλνονται στον διακομιστή νέφους μέσω των κινητών τηλεφώνων. Επεξεργασία του σήματος και πρόβλεψη γίνονται σε πραγματικό χρόνο από τους διακομιστές νέφους. Οι καταστάσεις εγκεφάλου του καθενός από τους εξεταζόμενους δημοσιεύονται από τους διακομιστές νέφους μέσω του πρωτοκόλλου MQTT και στέλνονται στην εφαρμογή του κινητού. Σκοπός του παίκτη στο παιχνίδι είναι να τραβήξει αντικείμενα προς το μέρος του σε ανταγωνισμό με τους υπόλοιπους παίκτες και για να κερδίσει πρέπει να συλλέξει όσα περισσότερα μπορεί. Ο χρήστης τραβάει τα αντικείμενα με δύναμη ανάλογη του δείκτη της καταστάσεως προσοχής του (υπολογισμένη ως ένας λόγος της πυκνότητας της μέσης φασματικής ισχύος του EEG μεταξύ των α , β και θ συχνοτήτων του χρήστη). Το μοντέλο που προτείνεται εδώ έχει πολλές δυνατότητες και η υλοποίηση του χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερος αποδοτική για την αλληλεπίδραση μέσω BCI σε εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (John, και συν. 2014).

(Lidia, Sriparna και Amit 2020) σαν κύριο στόχο της έρευνας τους έχουν την αυτοματοποιημένη αναγνώριση των συναισθηματικών καταστάσεων των παικτών της πλατφόρμας Android σε πέντε κύριες κατηγορίες: χαρά, λύπη, έκπληξη, θυμός και ουδετερότητα. Το πιο δύσκολο σημείο ενός προβλήματος ταξινόμησης είναι να υλοποιηθεί μια στρατηγική σχεδιασμού ενός κατάλληλου ταξινομητή ο οποίος θα μπορεί να κατηγοριοποιήσει τις επιθυμητές ετικέτες κατηγορίας. Για τους σκοπούς της έρευνας επιλέχθηκε ταξινομητής βασισμένος στα δίκτυα Μακράς Βραχύχρονης Μνήμης (Long Short-Term Memory - LSTM) για την έμφυτη δυνατότητα του να αναγνωρίζει πνευματικές καταστάσεις σε συνδυασμό με την δυνατότητα του να χειρίζεται δεδομένα χρονοσειρών (Lidia, Sriparna και Amit 2020).

Πιο συγκεκριμένα εδώ γίνεται χρήση μιας παραλλαγής του LSTM, με όνομα δικατευθυντικός LSTM (Bi-LSTM) ο οποίος είναι ένα πολυστρωματικό δίκτυο βαθιάς εκμάθησης με επαναλαμβανόμενη αρχιτεκτονική και θεωρείται ως το πιο αποδοτικό μοντέλο για την αναγνώριση της πνευματικής κατάστασης από τις αποκρίσεις του εγκεφάλου. Τα πρωτογενή δεδομένα EEG περνούν πρώτα από τον αλγόριθμο CSP για λόγους αυξήσεως της διαστάσεως δεδομένων και μετά αυτά τροφοδοτούνται στον ταξινομητή Bi-LSTM.

Το πείραμα σχεδιάστηκε με στόχο την δημιουργία δύο βάσεων δεδομένων με συλλογή πρωτογενών δεδομένων EEG από τους εξεταζόμενους κατά την διάρκεια ενασχόλησης με δύο δημοφιλή παιχνίδια της πλατφόρμας Android συγκεκριμένα τα Candy Crush Saga και Stickman Archers.



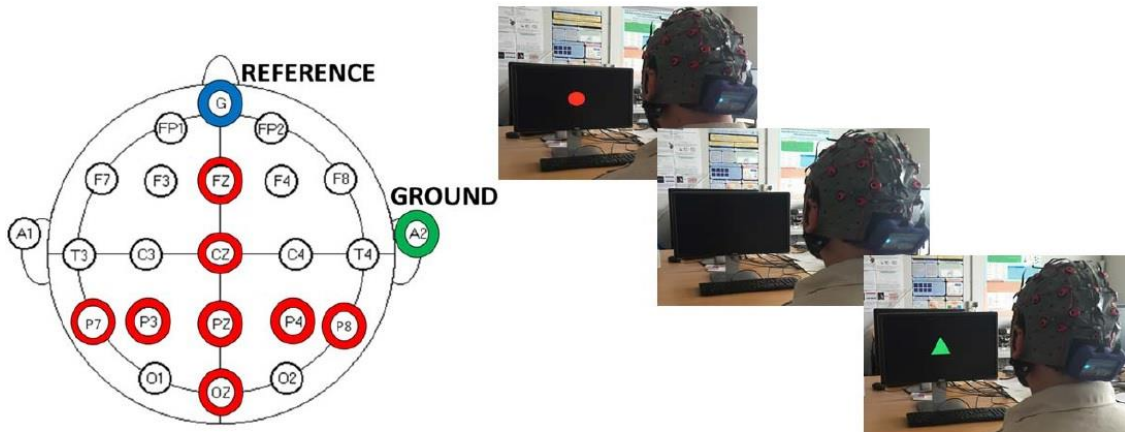
Εικόνα 8 Πειραματική διάταξη παιχνιδιού

Στα πρωτογενή δεδομένα EEG εφαρμόστηκε φίλτρο Chebyshev band pass (CBP) για την απομάκρυνση διαφόρων artifacts στο αρχικό σήμα. Ο ταξινομητής Bi-LSTM σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο εξαγωγής χαρακτηριστικών CSP στο πλαίσιο της ενίσχυσης και κατηγοριοποίησης παρουσιάζει σημαντική βελτίωση στην απόδοση συγκριτικά με άλλες γνωστές μεθόδους. Τα στατιστικά τεστ δείχνουν βελτίωση της αποδόσεως με επίπεδο βεβαιότητας 95%. Τα αποτε-

λέσματα αυτής της έρευνας μπορούν να έχουν σημαντικές εφαρμογές στην μέτρηση των ψυχολογικών αλλαγών των νέων ατόμων που περνάνε τον περισσότερο χρόνο τους παίζοντας παιχνίδια. Αν διαπιστωθεί ότι παίζοντας ένα συγκεκριμένο παιχνίδι τα αρνητικά συναισθήματα (πχ λύπη και θυμός) υπερισχύουν των θετικών (πχ χαρά και έκπληξη) τότε μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι ένα παιχνίδι έχει αρνητική επιρροή στους παίκτες. Αναλύοντας τις συναισθηματικές αλλαγές στους παίκτες το παιχνίδι μπορεί να λάβει μια ανάλογη βαθμολογία η οποία έχει την δυνατότητα να σταματήσει την διάδοση επιβλαβών παιχνιδιών (Lidia, Sriparna και Amit 2020).

(Daniela, και συν. 2016) στην μελέτη αυτή προτείνουν ένα καινοτόμο φορητό σύστημα ιατρικής φροντίδας για την απομακρυσμένη παρακολούθηση των νευρογνωστικών λειτουργιών εξασθενημένων ατόμων και την πρόταση πιθανών θεραπειών. Τέτοιες αναλύσεις συνήθως μπορούν να γίνουν μόνο από ιατρικά κέντρα με χρήση ενσύρματων και σταθερών συστημάτων παρακολούθησης EEG. Η λύση που προτείνεται εδώ λειτουργεί ασύρματα και βελτιώνει την ακρίβεια της μαθαίνοντας από την ενασχόληση του χρήστη με ένα βιντεοπαιχνίδι/τεστ. Πρόκειται για ένα νέο παράδειγμα για μη διεισδυτική, χαμηλού κόστους ανάλυση βασισμένη στον χαρακτηρισμό των προκλητών δυναμικών εγκεφάλου (Event-Related Potentials - ERPs) το οποίο δημιουργεί νέα σενάρια για την έγκαιρη διάγνωση, παρακολούθηση και αποκατάσταση ατόμων που επηρεάζονται από κάποιο νευρογνωστική βλάβη. Στα πλαίσια αυτού του στόχου το περισσότερο μελετημένο στοιχείο ERP είναι το P300, μια μεγάλη αρνητική εκτροπή σε ένα σήμα EEG με αιχμή γύρω στα 300ms έπειτα από ένα σχετικό ερέθισμα (Daniela, et al. 2016).

Έχοντας λοιπόν υπόψη τα ανωτέρω στο άρθρο αυτό παρουσιάζεται ένα P300 BCI παιχνίδι για την απομακρυσμένη διάγνωση και θεραπεία της άνοιας.



Το σύστημα αποτελείται από μία υβριδική προσέγγιση μονών δοκιμών και δοκιμών μέσου όρου του συστήματος εντοπισμού, ταξινόμησης και χωροχρονικού χαρακτηρισμού P300. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα αρχικό βήμα εκμάθησης μηχανής (Machine Learning – ML) βασισμένο στον αλγόριθμο t-RIDE με σκοπό την εξαγωγή χωρικών (πχ τοπογραφία) και χρονικών (πχ υστέρηση και αιχμή) παραμέτρων του δυναμικού P300. Το προτεινόμενο σύστημα παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Το τεστ μπορεί να διεξαχθεί απομακρυσμένα βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής και του ασθενή και των φροντιστών του. Προωθεί την εξωνοσοκομειακή νοσηλεία μειώνοντας τα σχετικά κόστη (Daniela, και συν. 2016). Το σύστημα αυτό με το όνομα m-health συνδυάζει διαγνωστικά χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά αποκατάστασης σε μια ενιαία αρχιτεκτονική και παρέχει μια διευρυμένη και συνεχή αλληλεπίδραση μεταξύ του ιατρού και του ασθενή. Ο ασθενής φοράει ένα ασύρματο σετ κεφαλής EEG και εκτελεί αυτόνομα το παιχνίδι/τεστ στο σπίτι του. Τα τελικά δεδομένα δείχνουν ότι η ακρίβεια κατηγοριοποίησης φτάνει το 86,8% με τον αλγόριθμο ML που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη έρευνα (Daniela, και συν. 2016).

(Anwar, Saeed και Majid 2016) στην εργασία τους προτείνουν μια νέα μέθοδο για την κατηγοριοποίηση του επιπέδου ενός παίκτη σε αρχάριο ή προχωρημένο, αναλύοντας τα σήματα EEG του παίκτη κατά την διάρκεια ενός παιχνιδιού. Μετά την απομάκρυνση του θορύβου, γίνεται εξαγωγή των χαρακτηριστικών από κάθε κανάλι του σετ κεφαλής. Σε αυτή την έρευνα χρησιμοποιούνται εποπτευόμενοι και στατιστικοί αλγόριθμοι εκμάθησης για την κατηγοριοποίηση του επιπέδου ενός παίκτη σε αρχάριο ή προχωρημένο. Τρεις αλγόριθμοι, ονομαστικά μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machines - SVM), μοντέλο Perceptron πολλαπλών στρωμάτων (Multilayer perceptron - MLP) και Naïve Bayes (NB) χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση του παίκτη σε αρχάριο ή προχωρημένο. Στην βάση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων επισημαίνεται ο καλύτερος αλγόριθμος (Anwar, Saeed and Majid 2016).

Κατά την πειραματική διαδικασία πρωτογενή, διακριτά δεδομένα καταγράφονται από το σετ κεφαλής EMOTIV χρησιμοποιώντας το κιτ ανάπτυξης λογισμικού EMOTIV SDK σε ευρωπαϊκή μορφή δεδομένων (EDF). Έπειτα γίνεται απομάκρυνση του θορύβου εφαρμόζοντας ένα low pass φίλτρο με χρήση παραθύρου Hanning. Στο στάδιο εξαγωγής χαρακτηριστικών εξάγονται 13 χαρακτηριστικά ονομαστικά: 1) μέγιστη τιμή, 2) δείγμα, 3) χρόνος για μέγιστη τιμή, 4) ελάχιστη τιμή, 5) χρόνος δείγματος για ελάχιστη τιμή, 6) μέγιστη απόλυτη τιμή,

7) από κορυφή σε κορυφαία τιμή, 8) καθυστέρηση στην ελάχιστη τιμή, 9) καθυστέρηση για τη μέγιστη τιμή, 10) κορυφή σε χρόνο αιχμής, 11) άθροισμα, 12) μέση τιμή, 13) ισχύ και ενέργεια. Το παιχνίδι για φορητές συσκευές που επιλέχτηκε για την συγκεκριμένη έρευνα ήταν το Temple Run, ένα παιχνίδι χωρίς τέλος όπου ο χαρακτήρας κλέβει το θησαυρό από ένα ναό και τρέχει προσπαθώντας να ξεφύγει από δαιμονικές μαϊμούδες που τον κυνηγούν (Anwar, Saeed and Majid 2016).



Εικόνα 10 Χρήστης Emotiv κατά την διάρκεια του παιχνιδιού Temple Run

Η κατηγοριοποίηση του επιπέδου αρχάριου - προχωρημένου γίνεται με χρήση των καταγεγραμμένων δεδομένων EEG. Οι τρεις αλγόριθμοι NB, SVM και MLP που αναφέρθηκαν αξιολογήθηκαν με την χρήση των στατιστικών μεθόδων kappa statistic, root mean squared error (RMSE), mean absolute error (MAE), relative absolute error (RAE) και root relative squared error (RRSE). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η απόδοση του ταξινομητή NB είναι σημαντικά καλύτερη όσον αφορά την ακρίβεια, τον δαπανώμενο χρόνο, την στατιστική κάπα και την απόδοση σφάλματος. Η απόδοση ταξινόμησης του NB είναι 9% καλύτερη από τους SVM και MLP. Τέλος ο χρόνος υπολογισμού του NB είναι 3 και

30 φορές μικρότερος από τους SVM και MLP αντίστοιχα (Anwar, Saeed and Majid 2016).

(Parsons, Timothy McMahan και Parberry 2022) επιχειρούν στην έρευνα τους να επιτύχουν την κατηγοριοποίηση της εμπειρίας των χρηστών βιντεοπαιχνιδιών με την χρήση EEG εμπορικού τύπου. Οι τεχνολογίες EEG χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την αξιολόγηση της εμπειρίας χρήστη κατά την διάρκεια ενασχόλησης με γνωστά βιντεοπαιχνίδια (πχ Pacman, Tetris). Αυτό επιτυγχάνεται με την καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας και την διασύνδεση της στις διάφορες εντολές του παιχνιδιού. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την σχεδόν σε πραγματικό χρόνο αποκωδικοποίηση της νευρογνωστικής και/ή συναισθηματικής κατάστασης του χρήστη. Η ερμηνεία αυτών των καταστάσεων απαιτεί την αναγνώριση της βέλτιστης σχέσης μεταξύ των ζωνών συχνοτήτων, που υποδεικνύουν εμπλοκή με εργασίες, και ερεθισμού. Τα BCIs βασισμένα σε EEG που χρησιμοποιούνται σε νευροπαιχνίδια μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση του χρήστη κατά την διάρκεια του παιχνιδιού οι οποίες είναι σημαντικές για την ανάπτυξη και αξιολόγηση του σχεδιασμού των βιντεοπαιχνιδιών. Η συσκευή Emotiv EPOC επιδεικνύει αυξημένη ευελιξία και φορητότητα σε σύγκριση με παραδοσιακά EEG και αποτελεί ένα χαμηλού κόστους εργαλείο το οποίο μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι προγραμματιστές παιχνιδιών για να μετρήσουν EEG. Αν και το Emotiv προορίζεται για την αγορά των βιντεοπαιχνιδιών και δεν κατατάσσεται στον ιατρικό εξοπλισμό, ερευνητές το έχουν χρησιμοποιήσει σε πλειάδα εφαρμογών. Με την χρήση του Emotiv, οι ερευνητές μπορούν να εντοπίσουν κινήσεις προσώπου, συναισθηματικές καταστάσεις και νοερή κίνηση (Parsons, Timothy McMahan and Parberry 2022).

Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας οι εξεταζόμενοι εκτελούν 2 νοητικές εργασίες ελέγχου εργαστηρίου όπου ο χρήστης στην πρώτη εργασία θα πρέπει να αναγνωρίσει διαφορές μεταξύ δύο έγχρωμων εικόνων που απεικονίζουν ένα τοπίο (εργασία απουσίας ερεθισμού) και στην δεύτερη ένα τρισδιάστατο μοντέλο ενός δηλητηριώδους κάβουρα πηδάει ξαφνικά προς την μεριά του χρήστη (εργασία με παρουσία ερεθισμού) για την συλλογή δεδομένων σχετικά με την έκπληξη ή τον φόβο. Στην συνέχεια του πειράματος οι συμμετέχοντες παίζουν ένα παιχνίδι με το όνομα Super Meat Boy όπου χειρίζονται ένα χαρακτήρα με μορφή κύβου κρέατος ο οποίος πηδάει σε κάθε επίπεδο προσπαθώντας να αποφύγει λεπίδες πριονιού προσπαθώντας να σώσει ένα κορίτσι. Τα δύο κύρια γεγονότα που μπορούν να προκαλέσουν αυξημένα συναισθηματικά

ερεθίσματα εδώ είναι ο θάνατος του παίκτη και η επιτυχής ολοκλήρωση του επιπέδου. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με την βοήθεια του λογισμικού SAS 9.1.



Εικόνα 11 Το Παιχνίδι Super Meat Boy

Οι αλγόριθμοι κατηγοριοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι SVM, NB και k-NN. Ο πιο ικανός ταξινομητής αποδείχτηκε ο NB ειδικά στις συχνότητες θήτα και βήτα με ακρίβεια ταξινόμησης 70% (Parsons, Timothy McMahan and Parberry 2022).

(Shagun, Deepak και Pratyosh 2020) στην εργασία τους μελετούν την αποτελεσματικότητα της παιχνιδοποίησης στην αποκατάσταση των νευροεκφυλιστικών διαταραχών. Παιχνιδοποίηση στην ιατρική περίθαλψη είναι μια τεχνική αλληλεπίδρασης με τον ασθενή η οποία προσφέρει ψυχαγωγία γι αυτούς. Στην πιο βασική ορολογία όταν κάποιος τομέας εφαρμόζει κανόνες παιχνιδιού σε περιβάλλον εκτός παιχνιδιού η διαδικασία χαρακτηρίζεται ως παιχνιδοποίηση. Έχει την δυνατότητα να μεταμορφώσει την συμπεριφορά των ατόμων παρέχοντας

τους την εμπειρία ενός εικονικού περιβάλλοντος. Η διαδικασία αλλάζει την διαδικασία φροντίδας μεταβάλλοντας το ρόλο του ασθενούς από παθητικό σε ενεργητικό (Shagun, Deepak and Pratyosh 2020). Μεγάλο σύνολο ανθρώπων από παιδιά μέχρι ενήλικες και γηραιότερους ενήλικες διαθέτουν αρκετό από το χρόνο τους στο διαδίκτυο, ειδικά στα διαδικτυακά παιχνίδια. Αυτά τα βιντεοπαιχνίδια είναι μια εξαιρετική επιλογή ψυχαγωγίας βοηθώντας τους ανθρώπους να ξεφορτωθούν την ανία και να απασχολήσουν το μυαλό τους και στις μέρες μας μπορούν να υλοποιηθούν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να βελτιώσουν την υγεία, και τις γνώσεις τους. Τα ενεργά βιντεοπαιχνίδια (active videogames - AVG) αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα της ανωτέρω λογικής. Τα παιχνίδια αυτά περιλαμβάνουν κίνηση των σωματικών μελών των παικτών, πηγαίνοντας τα καθιστικά παιχνίδια στο επόμενο επίπεδο. Τα AVGs απαιτούν φυσικές κινήσεις, υποστηρίζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των παικτών, μοιράζονται εμπειρίες εκμάθησης και προκαλούν τους χρήστες με κάθε επίπεδο.

Η παιχνιδοποίηση χρησιμοποιείται επιτυχώς στην αποκατάσταση ασθενών που πάσχουν από νευροεκφυλιστικές διαταραχές. Εφαρμόζεται στην διαδικασία αποκατάστασης μέσω AVGs, παιχνιδιών άσκησης και παιχνιδιών εικονικής πραγματικότητας. Τα παιχνίδια αυτά δεν είναι μόνο για ψυχαγωγία ή ευχαρίστηση, αλλά εφαρμόζονται και για την αντιμετώπιση του πόνου των ασθενών. Αυτά τα παιχνίδια επιπλέον βοηθούν τους επαγγελματίες υγείας και τους κλινικούς ιατρούς να ενισχύσουν το κίνητρο του ασθενή. Οι ασθενείς που πάσχουν από χρόνιες ασθένειες συχνά περνούν από αγωνιώδεις θεραπείες οι οποίες είναι απογοητευτικές και βαρετές. Τα AVGs και τα παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας βοηθούν στο να διατηρηθούν οι ασθενείς παρακινημένοι, ενθουσιώδεις και γεμάτοι ενέργεια. Ένα από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση των νευροεκφυλιστικών διαταραχών αποτελεί και το παιχνίδι κίνησης Microsoft Kinect Adventure το οποίο βελτιώνει την στάση του σώματος και τον μηχανικό έλεγχο των άκρων. Το σύνολο της παρούσας έρευνας δείχνει ότι η παιχνιδοποίηση υπερσχύει αρκετά έναντι των παραδοσιακών μεθόδων αποκατάστασης ασθενών με ND.

(Peiheng, Yicheng and Nuo 2022) Στην μελέτη τους παρουσιάζουν τις πιο γνωστές τεχνολογίες επεξεργασίας σημάτων EEG στον τομέα των BCI που επίσης έχουν εφαρμογή και στις συσκευές ECG όπως επίσης και ένα περίγραμμα

των εφαρμογών αυτών των τεχνολογιών μεμονωμένα ή συνδυαστικά. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται οι εξής τεχνολογίες:

Προεπεξεργασία σήματος EEG

- Ανάλυση κυρίων συνιστωσών Principle Component Analysis (PCA).
- Κοινά χωρικά μοτίβα Common Spatial Patterns (CSP)
- Ψηφιακά/Προσαρμοζόμενα φίλτρα

Εξαγωγή χαρακτηριστικών από τα σήματα EEG

- Πυκνότητα φάσματος ισχύος Power Spectrum Density (PSD).
- Ταχύς μετασχηματισμός Fourier/μετασχηματισμός Fourier σύντομου χρόνου Fast Fourier Transformation (FFT)/Short Time Fourier Transform (STFT).
- Μετασχηματισμός Wavelet(WT).

Κατηγοριοποίηση σημάτων EEG βασισμένα σε εκμάθηση μηχανής (ML)

- Αλγόριθμος Support Vector Machine(SVM)
- Αλγόριθμος K Nearest neighbor (k-NN)

Οι εφαρμογές των EEG στα HCI συνοψίζεται στις εξής λύσεις:

- **Σύστημα TTD:** Το σύστημα αυτό εκπαιδεύει τους χρήστες να ρυθμίζουν τα βραδέα δυναμικά φλοιού τους (slow cortical potentials-SCP), για να επιλέξουν γράμματα, λέξεις ή αντικείμενα εικόνας σε μια εφαρμογή προγραμματισμένη σε υπολογιστή.
- **Σύστημα P300:** Μία ευρέως γνωστή τροπικότητα EEG βασισμένη σε προκλητά δυναμικά εγκεφάλου. Το P300 έχει βρει χρήση συνήθως σε ορθογραφικά συστήματα, χρήση διαδικτύου και φυσικά τον έλεγχο εξωτερικών συσκευών.
- **Graz BCI:** Σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο κέρσορα σε υπολογιστικά συστήματα χωρίς ιδιαίτερη εκπαίδευση. Μια εφαρμογή παιχνιδιού Graz BCI μπορεί να λειτουργήσει ακόμα και μετά από 30 λεπτά εκμάθησης.

Οι εφαρμογές των ECG στα HCI συνοψίζεται στις εξής λύσεις:

- **Βιομετρική αναγνώριση:** Αναγνώριση ταυτότητας με δεδομένα ECG καρδιακών παλμών ως στοιχεία εισόδου συστήματος αναγνώρισης κωδικών.
- **Αναγνώριση Συναισθημάτων:** Εξαγωγή πληροφοριών συναισθηματικής κατάστασης από σήματα ECG.
- **Είσοδος για επαγγελματικά παιχνίδια:** Υπόθεση εφαρμογής σημάτων ECG ως σήματα εισόδου σε παιχνίδια προοπτική η οποία έχει εξεταστεί από της εταιρίες Valve και Sony.
- **HCI σχετιζόμενα με την ιατρική νοσηλευτική:** Εφαρμογή με την οποία γίνεται χρήση της τεχνολογίας για την πληρέστερη κατανόηση των αναγκών των ασθενών.

Στην εργασία αυτή περιγράφονται κάποιες από τις αντιπροσωπευτικότερες τεχνολογίες και μέθοδοι EEG και ECG που έχουν βρει την εφαρμογή τους στην καθημερινή ζωή (Peiheng, Yicheng and Nuo 2022).

(Amna και Shahzad 2022) στην έρευνα τους χρησιμοποιούν βιντεοπαιχνίδια ως ερέθισμα για την επίκληση συναισθημάτων και μελετούν την επίδραση των διαφορετικών ειδών βιντεοπαιχνιδιών στην συναισθηματική κατάσταση του χρήστη με την χρήση EEG. Ένας από τους λόγους που γίνεται χρήση βιντεοπαιχνιδιών ως ερέθισμα είναι ότι τα βιντεοπαιχνίδια παίζονται παγκοσμίως ανεξάρτητα από την ηλικία ή το φύλο έτσι δημιουργείται μια ανοιχτή πηγή πρωτογενών δεδομένων EEG. Επιπλέον, τα βιντεοπαιχνίδια κάνουν χρήση των γνωστικών στοιχείων και στοιχείων συμπεριφοράς της προσωπικότητας. Έχοντας αυτό υπόψη πιστεύεται ότι τα βιντεοπαιχνίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση της υποκείμενης ψυχολογίας του ατόμου έτσι ώστε να σχεδιαστεί μια αποδοτική διεπαφή χρήστη ή ενός περιβάλλοντος χρήσης. Τα πρωτογενή δεδομένα EEG συλλέχτηκαν με την χρήση τεσσάρων κατηγοριών παιχνιδιών για τον εντοπισμό των βασικών τύπων συναισθημάτων - χαρά, ηρεμία, ανία, άγχος. Τα παιχνίδια που επιλέχτηκαν για το πείραμα και ανήκουν στην πλατφόρμα Android ήταν τα Candy Crush Saga(πάζλ), Among Us(Στρατηγικής), Pubg(Βία) και Asphalt Nitro(Δράση/οδήγηση) (Amna και Shahzad 2022).



Candy Crush
Saga



Among Us



Pubg



Asphalt Nitro

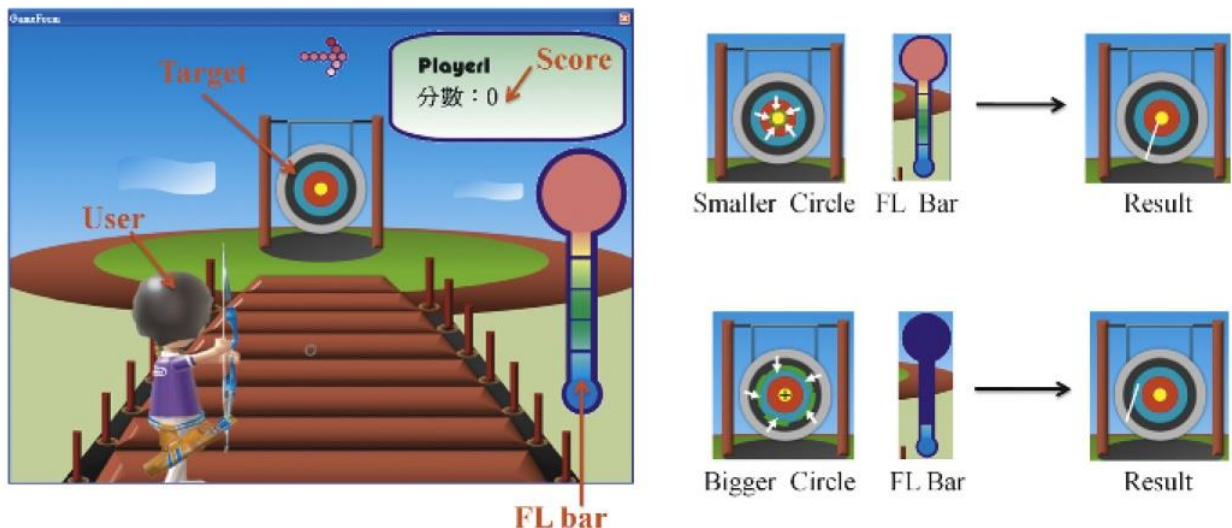
Εικόνα 12 Τα παιχνίδια Android

Κατά την διάρκεια του πειράματος έγινε χρήση του φορούμενου σετ κεφαλής Neurosky Mindwave Mobile 2. Η καταγραφή και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων EEG έγινε με το λογισμικό MATLAB. Στα δεδομένα αυτά εφαρμόστηκε το φίλτρο Savitzky-Golay εξαιτίας της απλότητας του και της ικανοποιητικής απόδοσης του στο να απομακρύνει το θόρυβο από σήματα με υψηλό περιεχόμενο θορύβου που συνήθως προέρχεται από συσκευές ενός καναλιού. Για την κατηγοριοποίηση συναισθημάτων δοκιμάστηκαν 4 ταξινομητές 1) k-NN 2) SVM 3) GBM. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο ταξινομητής GBM είναι ο αποδοτικότερος από τους 3 με ακρίβεια ταξινόμησης 82,26%. Η έρευνα αυτή αποδεικνύει ότι η χρήση βιντεοπαιχνιδιών ως ερέθισμα για την πρόκληση συναισθημάτων είναι μια υποσχόμενη μέθοδος καθώς περιλαμβάνει διάφορες γνωστικές λειτουργίες (Amna and Shahzad 2022).

(Liao, και συν. 2012) στα πλαίσια της έρευνάς τους κατασκεύασαν μια φορούμενη συσκευή BCI με EEG κάνοντας χρήση ενός νέου αισθητήρα κατασκευασμένο από ξηρό αφρό κάνοντας επίδειξη ενός παιχνιδιού με νοητικό έλεγχο. Το σύστημα αποτελείται από την ασύρματη συσκευή συλλογής EEG και ένα υπολογιστή. Η ασύρματη συσκευή συλλογής δεδομένων ενσωματώνει αισθητήρες ξηρού αφρού και μια πρόσθετη συσκευή συλλογής ασύρματων σημάτων. Οι προτεινόμενοι αισθητήρες ξηρού αφρού τοποθετήθηκαν χωρίς την εφαρμογή αγωγίμου gel ωστόσο μπόρεσαν να προσφέρουν καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα για την αποτελεσματική συλλογή των σημάτων EEG. Ο προτεινόμενος αισθητήρας EEG σχεδιάστηκε ειδικά για να έρχεται σε επαφή με το δέρμα του μετώπου με την χρήση ενός αγωγίμου πολυμερούς αφρού φτιαγμένος από υλικό ουρεθάνης με σετ συμπίεσης περίπου 5-10%. Ο αγωγίμος αφρός καλύφθηκε με

υλικό taffeta πάχους 0.2mm κατασκευασμένο από ένα ηλεκτρικά αγώγιμο ύφασμα πολυμερούς στο οποίο έγινε επικάλυψη με νικέλιο/χαλκό σε όλες της επιφάνειες του εξασφαλίζοντας ηλεκτρική αγωγιμότητα συγκρίσιμη με αυτή των αισθητήρων ασημιού (Liao, et al. 2012).

Για την επίδειξη του προτεινόμενου αισθητήρα ξηρού τύπου στο σύστημα BCI που παρουσιάζεται στο πείραμα προτάθηκε ένα παιχνίδι το οποίο χειρίζονται οι χρήστες μέσω του χαρακτηριστικού της πνευματικής συγκέντρωσης που εξάγεται από τα σήματα EEG. Πρόκειται για ένα παιχνίδι τοξοβολίας όπου οι χρήστες πρέπει να εκτελέσουν μια βολή. Τότε το παιχνίδι τους αποδίδει ένα σκορ βασισμένο στην απόσταση του βέλους από το κέντρο του στόχου. Υπάρχει μια μπάρα στα δεξιά της οθόνης. Η μπάρα δείχνει το επίπεδο προσοχής (focusing level-FL) του χρήστη κατά την διάρκεια του παιχνιδιού.



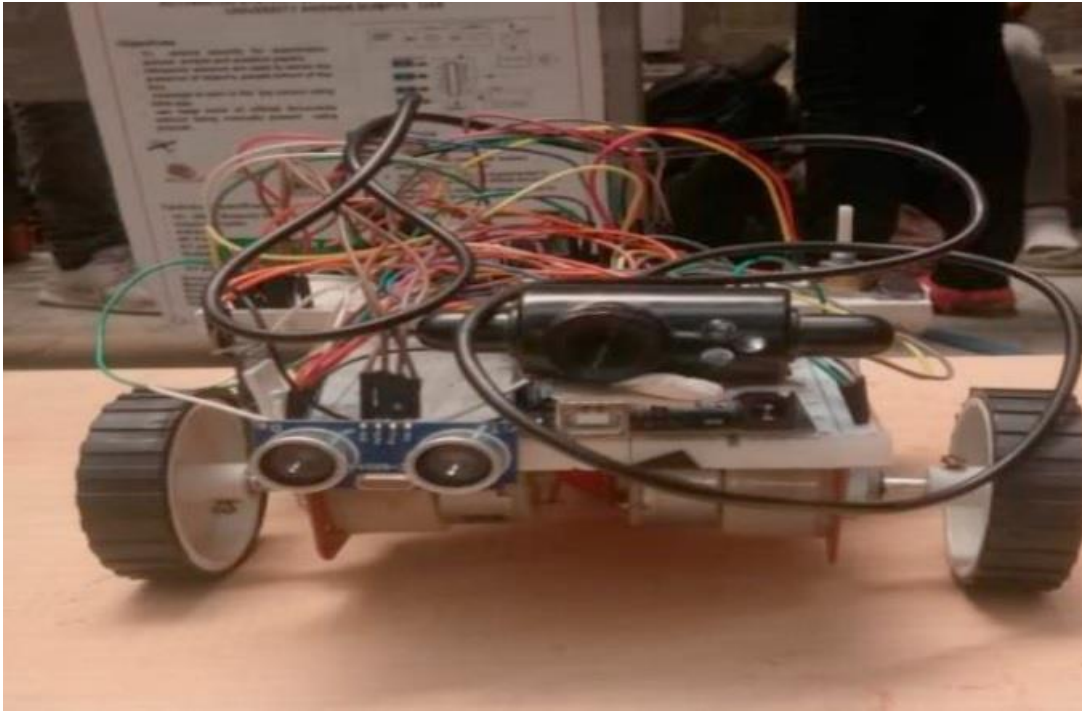
Εικόνα 13 Παιχνίδι Τοξοβολίας FL

Με άλλα λόγια η τιμή FL είναι ο κύριος τρόπος χειρισμού του παιχνιδιού. Εάν η τιμή FL είναι ψηλά, τότε η βολή είναι κοντά στο κέντρο του στόχου και επομένως το σκορ είναι υψηλό. Εάν η τιμή FL είναι χαμηλά τότε η βολή θα είναι μακριά από το κέντρο του στόχου και έτσι το σκορ θα είναι χαμηλό. Η κατάσταση προσοχής που εξάγεται από το σήμα EEG ανήκει στην περιοχή συχνοτήτων άλφα(8-12 Hz). Για την απομάκρυνση των artifacts στο σήμα χρησιμοποιήθηκε ο ταχύς μετασχηματισμός Fourier (FFT). Τα αποτελέσματα της έρευνας επιβεβαιώνουν τα οφέλη αυτού του νέου αισθητήρα που είναι: 1) η χρήση του χωρίς

να απαιτείται κάποιο αγώγιμο gel, 2) η ελαστικότητα του υποστρώματος επιτρέπει την προσαρμογή του σε ακανόνιστες επιφάνειες επιδερμίδας διατηρώντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα και 3) το χαμηλό κόστος υλικών και κατασκευής.

(Manjunath, και συν. 2020) στην εργασία τους εξετάζουν μια εφαρμογή διεπαφής εγκεφάλου - μηχανής (BMI) με την χρήση του αισθητήρα Mind wave. Το BMI δημιουργεί σύνδεση μεταξύ του εγκεφάλου και του υπολογιστή με την χρήση του πρόσθετου αισθητήρα Brainwave (BSM). Εδώ γίνεται χρήση του σετ κεφαλής EEG, το οποίο μετρά με ασφάλεια εγκεφαλικά κύματα και παρακολουθούνται τα επίπεδα προσοχής του χρήστη χρησιμοποιώντας λογισμικό όπως το MATLAB. Τα εγκεφαλικά κύματα είναι οι συγχρονισμένοι ηλεκτρικοί παλμοί που παράγονται από ομάδες νευρώνων επικοινωνώντας μεταξύ τους, αυτοί οι ηλεκτρικοί παλμοί καταγράφονται από το BSM το οποίο είναι συσκευή ενός ηλεκτροδίου και έχει την δυνατότητα να φιλτράρει ηλεκτρικές παρεμβολές και να τις μετατρέψει σε ψηφιακή ισχύ, αυτή η ισχύς χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του BMI. Το BSM δρα σαν δέκτης καθώς δέχεται το ηλεκτρικό σήμα και παράλληλα το διαβιβάζει στο συνδεδεμένο εξωτερικά HC-05 (το οποίο είναι ο δέκτης για την ελεγχόμενη μηχανή) και επομένως έχει και την λειτουργία συσκευής εκπομπής, οπότε μπορούμε να το χαρακτηρίσουμε σαν πομποδέκτη (Manjunath, et al. 2020).

Για την διεπαφή του BSM με το HC-05 γίνεται χρήση της λειτουργίας σύζευξης του BSM και έπειτα χρησιμοποιούνται οι λεγόμενες εντολές προσοχής (ATTENTION COMMANDS-AT). Αυτές οι εντολές AT εκτελούνται με την βοήθεια λογισμικών όπως τα tera term και flash magic, αυτά τα λογισμικά χρησιμοποιούνται για την απλή διεπαφή χρήστη τους και την εύκολη συνδεσιμότητα τους. Στην έρευνα αυτή έγινε κατασκευή ενός έξυπνου τροχήλατου οχήματος το οποίο έχει δυνατότητες συσκευής παρακολούθησης (Manjunath, και συν. 2020).



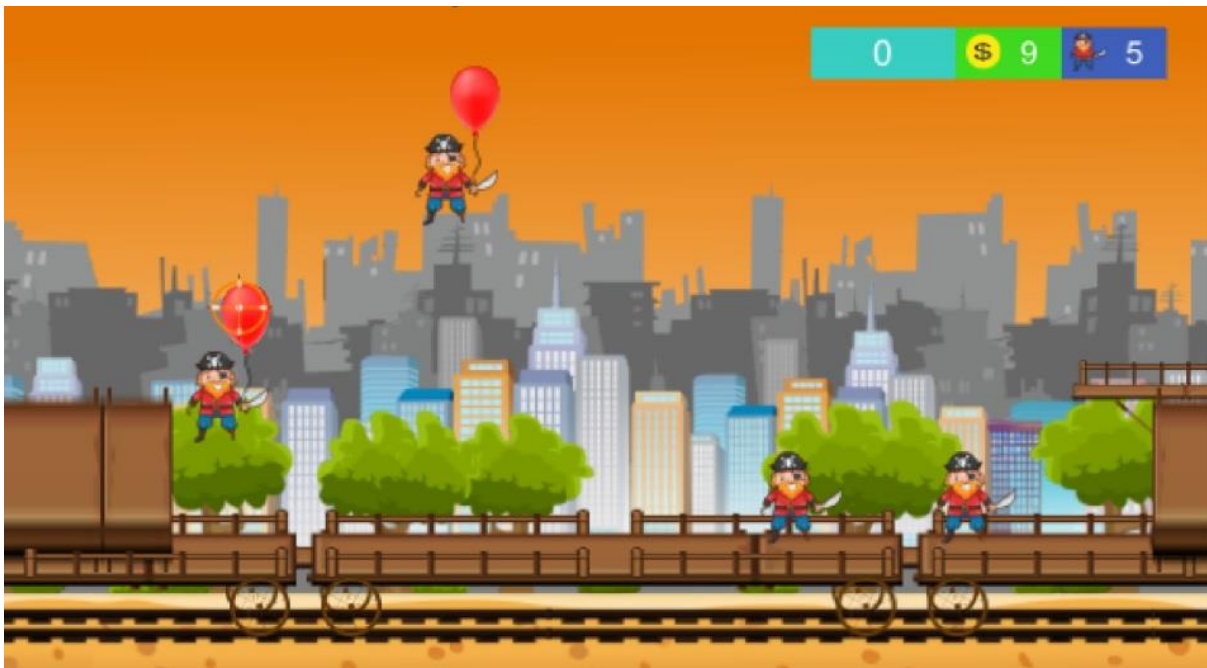
Εικόνα 14 Τροχήλατο όχημα BCI

Στην συσκευή είναι εγκατεστημένοι υπερίσθες αισθητήρες για τον εντοπισμό εμποδίων. Για καλύτερη επιτήρηση στο όχημα βρίσκεται εγκατεστημένη μια κάμερα η οποία δίνει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με το περιβάλλον. Στο μέλλον αυτή η συσκευή μπορεί να μετεξελιχθεί σε ένα έξυπνο αναπηρικό αμαξίδιο για εφαρμογές στον ιατρικό τομέα για την αντιμετώπιση παραλύσεων και ορθοπεδικών προβλημάτων. Αυτό το μοντέλο BCI μπορεί να έχει εφαρμογή σε οικιακά gadget πχ χρήση για τον έλεγχο των φώτων, άνοιγμα κλείσιμο θυρών ή ρομπότ. Ένας άλλος τομέας εφαρμογής είναι τα παιχνίδια και η διασκέδαση όπου οι τεχνολογίες BCI θα οδηγήσουν την εμπειρία χρήσης των βιντεοπαιχνιδιών στο επόμενο επίπεδο για παράδειγμα το Neuroboy ένα παιχνίδι ελεγχόμενο από εγκεφαλικά σήματα προερχόμενα από σερ κεφαλής EEG (Manjunath, και συν. 2020).

(Amin, et al. 2022) στην έρευνα τους επιχειρούν να μετατρέψουν μια πνευματική εργασία σε χρήσιμη εντολή για τον έλεγχο χειρισμού βιντεοπαιχνιδιού το οποίο είναι σχεδιασμένο για άτομα που πάσχουν από διαταραχές ελλειμματικής προσοχής εφαρμόζοντας προεπεξεργασία και κατηγοριοποίηση σε δεδομένα EEG, γυροσκοπίου και επιταχυνσιομέτρου. Για την συγκεκριμένη εργασία γίνεται χρήση μιας συσκευής EEG από την Neurosky γνωστή ως το σερ κεφαλής Neurosky. Αυτό το σερ κεφαλής EEG αποτελείται από ένα μονό ηλεκτρόδιο και

ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς. Η συσκευή είναι φορούμενη και τοποθετείται στον μετωπικό λοβό. Επιπροσθέτως χρησιμοποιείται ένα γυροσκόπιο και ένα επιταχυνσιόμετρο για τον έλεγχο του δείκτη στην οθόνη και τοποθετούνται μαζί με το σετ EEG στο κεφάλι. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας αναπτύχθηκε μια εφαρμογή για την καταγραφή των ενδείξεων EEG για την δόμηση του σετ δεδομένων. Μετέπειτα, το δημιουργημένο σετ δεδομένων χρησιμοποιείται για την εκτέλεση ενός αλγόριθμου εκμάθησης μηχανής (ML) ώστε να παραχθούν αποτελέσματα από τις πνευματικές διεργασίες. Στο τελικό στάδιο τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται ως εντολές στο παιχνίδι. Οι μέθοδοι προεπεξεργασίας που εξετάζονται εδώ και αξιολογούνται είναι 1) μετασχηματισμός Discrete Wavelet (DWT), 2) ταχύς μετασχηματισμός Fourier (FFT), 3) μετασχηματισμός Chirp z (CZT), 4) μετασχηματισμός Discrete Cosine (DCT). Οι μετασχηματισμοί αυτοί μειώνουν το μέγεθος του αρχικού σήματος κάνοντας τους υπολογιστικά ιδανικούς για εργασίες κατηγοριοποίησης (Amin, et al. 2022).

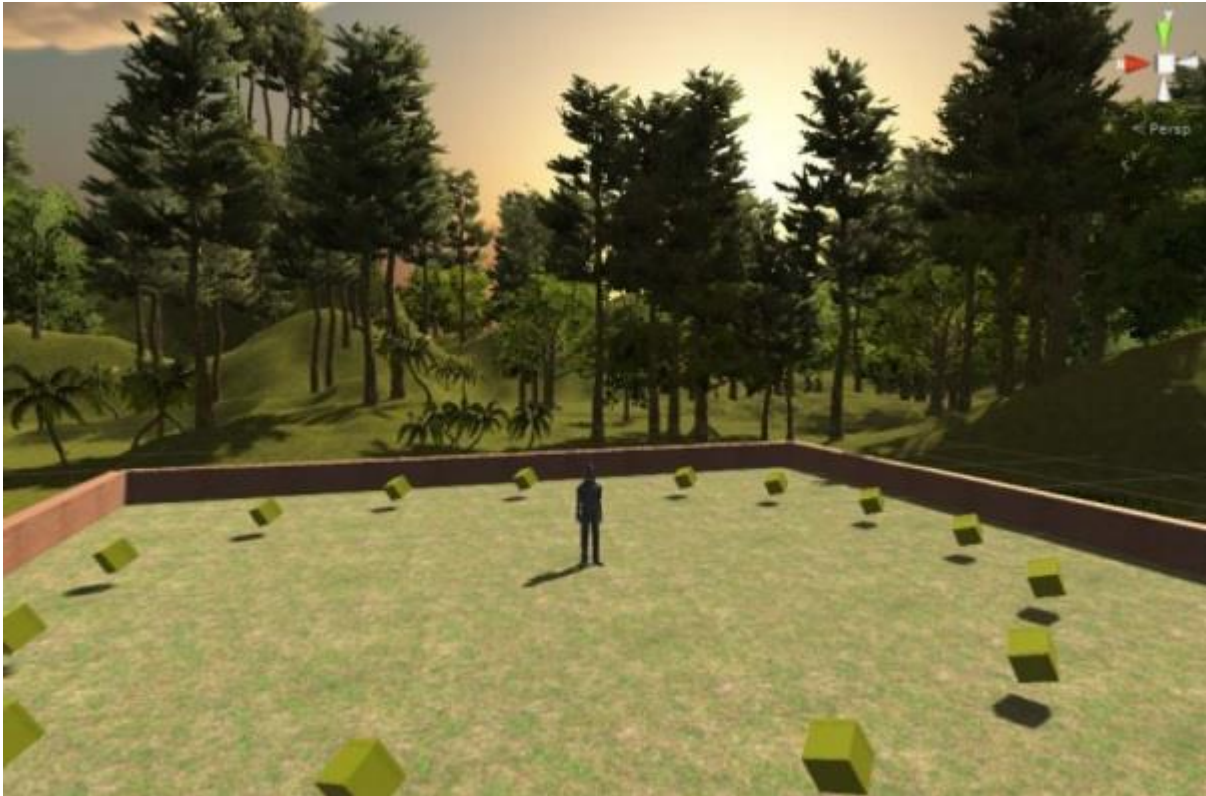
Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελείται από γυροσκόπιο το οποίο μαζί με το επιταχυνσιόμετρο είναι ενσωματωμένα σε ένα chip, την μονάδα Bluetooth HC-05 και το σετ κεφαλής EEG. Όλα τα στοιχεία αυτά συνδέονται με την μονάδα Arduino. Για τους σκοπούς του πειράματος σχεδιάστηκε το 2D παιχνίδι βολών Pirate rush στο οποίο η εντολή βολής ή μη βολής προέρχεται από το επεξεργασμένο σήμα EEG. Σκοπός του παιχνιδιού είναι οι βολές ενάντια σε πειρατές που διαφεύγουν με μπαλόνια στοχεύοντας τα μπαλόνια για την διάσωση του κλεμμένου χρυσού (Amin, et al. 2022).



Εικόνα 15 Το παιχνίδι Βολών Pirate Rush

Η στόχευση των μπαλονιών γίνεται με την κίνηση σταυρονήματος ελεγχόμενο από το επιταχυνσιόμετρο και το γυροσκόπιο και η βολή είναι αποτέλεσμα του δείκτη προσοχής του χρήστη που πρέπει να είναι συγκεντρωμένος στα μπαλόνια. Όταν ο δείκτης προσοχής ξεπεράσει κάποια ελάχιστη τιμή τότε εκτελείται από το παιχνίδι η βολή. Για την κατηγοριοποίηση των χαρακτηριστικών του σήματος χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι SVM, kNN, LSTM και εφαρμόστηκαν πάνω σε όλες τις μεθόδους προεπεξεργασίας σήματος που προαναφέρθηκαν. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συνδυασμός SVM και DWT είχαν την καλύτερη απόδοση ακρίβειας στην κατηγοριοποίηση και το σκορ F1. Η περεταίρω ανάλυση των δεδομένων βεβαιώνει ότι η προσοχή του χρήστη βελτιώνεται σημαντικά με την χρήση της περιγραφείσας μεθόδου (Amin, et al. 2022).

(Alaa, Amer και Shervin 2017) προτείνουν στην έρευνά τους ένα σοβαρό παιχνίδι βασισμένο σε EEG το οποίο παρέχει εκπαίδευση για την αύξηση της συγκέντρωσης ατόμων με διαταραχές ελλειμματικής προσοχής - υπερκινητικότητας (ADHD) και διαταραχή ελλειμματικής προσοχής (ADD). Επιπλέον το παιχνίδι υιοθετεί διάφορες τεχνικές οι οποίες μιμούνται ψηφιακά υπάρχουσες κλινικές προσεγγίσεις και προσεγγίσεις αποκατάστασης διαβεβαιώνοντας ότι το παιχνίδι θα είναι περισσότερο αποδεκτό από την ιατρική κοινότητα. Για τους σκοπούς του συγκεκριμένου πειράματος και την εξέταση του προτεινόμενου από τους ερευνητές βιντεοπαιχνιδιού θα χρησιμοποιηθεί το σετ κεφαλής EMOTIV EPOC+ EEG και ένας υπολογιστής. Για το παιχνίδι που εξετάζεται χρησιμοποιήθηκε ένα μόνο επίπεδο δυσκολίας.



Εικόνα 16 Το περιβάλλον παιχνιδιού

Ο στόχος του παίκτη σε αυτό το επίπεδο είναι να συλλέξει κίτρινους κύβους στο παιχνίδι στον μικρότερο δυνατό χρόνο μέσω εντολών που δημιουργούνται πνευματικά όπως η εντολή push και η κατάσταση Neutral. Για το συγκεκριμένο παιχνίδι επιλέχθηκε ένα φυσικό περιβάλλον το οποίο είναι ήρεμο, αυτοανακουφιστικό και γαλήνιο δεδομένου ότι το κοινό για το οποίο προορίζεται έχει προβλήματα με την προσοχή (ADHD και ADD). Το παιχνίδι σχεδιάστηκε με χρήση της πλατφόρμας Unity 3D (Alaa, Amer and Shervin 2017).

Στην κατάσταση Neutral παίκτης πρέπει να είναι αμέτοχος και χαλαρός, αντίθετα όταν εντοπιστεί πνευματική εντολή τότε δημιουργείται εντολή push που χρησιμεύει στο παιχνίδι για τις δράσεις του άβαταρ σε συνδυασμό με την κίνηση του που προέρχεται από το γυροσκόπιο του EMOTIV. Κατά την διάρκεια του πειράματος οι χρήστες εξετάζονται στον έλεγχο του χαρακτήρα με δύο τρόπους. Πρώτον με πνευματικές εντολές και τις εντολές κατεύθυνσης του EMOTIV EEG και δεύτερον με τον παραδοσιακό χειρισμό με το πληκτρολόγιο. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν μια μέση βελτίωση στην εμπλοκή της τάξης του 10% και της προσοχής κατά 8% των χρηστών που χρησιμοποίησαν την μέθοδο EEG για τον έλεγχο του παιχνιδιού σε αντίθεση με τον παραδοσιακό έλεγχο με το πληκτρολόγιο (Alaa, Amer και Shervin 2017).

(Cunbo, και συν. 2022) στην εργασία τους εξετάζουν ένα πολυτροπικό, συνεργασιακό σύστημα BCI βασισμένο στον βελτιωμένο αλγόριθμο εξαγωγής χαρακτηριστικών CSP. Οι ερευνητές προτείνουν μια μέθοδο εξαγωγής χαρακτηριστικών 4 αθροιστών (CUM4-CSP) βασισμένο στον αλγόριθμο των κοινών τοπικών μοτίβων (common spatial patterns - CSP). Πειράματα εξομοίωσης που διεξήχθησαν με την χρήση δεδομένων EEG οπτικών προκλητών δυναμικών κίνησης (motion visual evoked potentials - mVEP) επιβεβαιώνουν την ποιότητα του προτεινόμενου αλγόριθμου. Επίσης για την ελεύθερη επιλογή παραδειγμάτων, υιοθετήθηκαν τα mVEP και τα σταθερής κατάστασης οπτικά προκλητά δυναμικά (steady-state visual evoked potential - SSVEP) και σχεδιάστηκε ένα πολυτροπικό σύστημα συνεργασίας BCI βασισμένο στον αλγόριθμο CUM4-CSP (Cunbo, et al. 2022). Η βιωσιμότητα το προτεινόμενου συστήματος επιδείχθηκε με την χρήση ενός παιχνιδιού πολλαπλών παικτών το οποίο ταυτοχρόνως διευκολύνει τον συντονισμό και τον ανταγωνιστικό έλεγχο δύο χρηστών σε εξωτερικές συσκευές. Τα δεδομένα από τα αποτελέσματα των πειραμάτων ελέγχου του παιχνιδιού αναλύθηκαν στατιστικά.

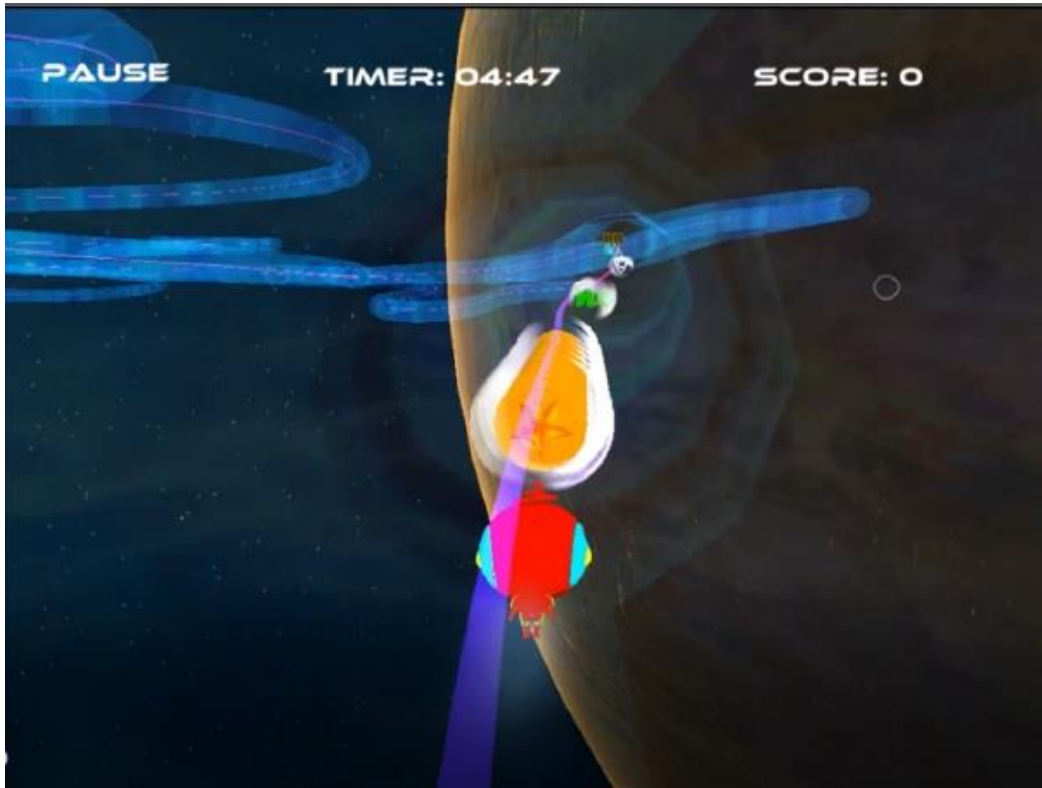


Εικόνα 17 Παιχνίδι πολλαπλών παικτών

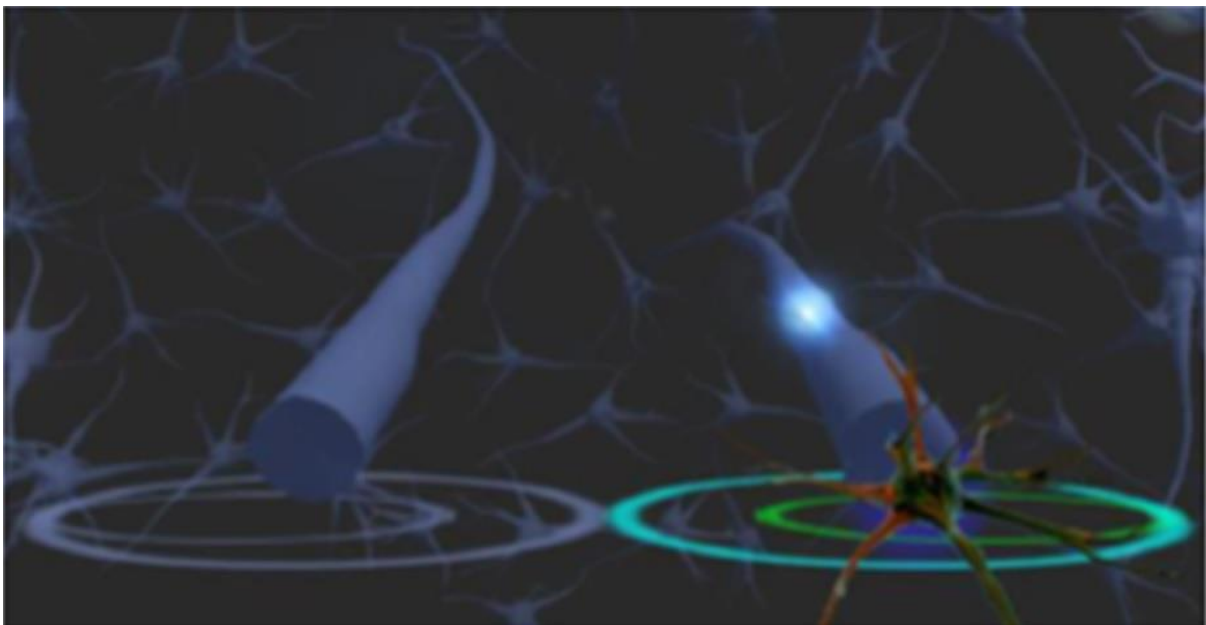
Στην έρευνα αυτή έγινε χρήση της συσκευής UEA-16FZ για την συλλογή σημάτων EEG. Τα mVEP και SSVEP χρησιμοποιήθηκαν σαν ερεθίσματα για την πρόκληση σημάτων EEG και την μετέπειτα χρήση τους ως είσοδοι συστήματος. Έγινε ανάλυση κανονικοποιημένης συσχέτισης (CCA) ως ένας ώριμος αλγόριθμος για χρήση σε συστήματα BCI βασισμένα σε SSVEP. Το παιχνίδι που σχεδιάστηκε είναι ένα παιχνίδι συνεργασίας BCI βασισμένο στον αλγόριθμο εξαγωγής χαρακτηριστικών CUM4-CSP. Οι συμμετέχοντες μπορούν να επιλέξουν ελεύθερα mVEP ή SSVEP ως ερεθίσματα με βάση τις προτιμήσεις τους. Το μοντέλο διακομιστή - πελάτη χρησιμοποιήθηκε για το συγκεκριμένο σύστημα παιχνιδιού με χρήση του πρωτοκόλλου TCP/IP για την υλοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ των δύο. Επίσης έγινε χρήση του ταξινομητή LDA για τα mVEP. Τα αποτελέσματα του πειράματος αποδεικνύουν ότι ο αλγόριθμος CUM4-CSP δείχνει καλή ανοσία θορύβου (Cunbo, και συν. 2022).

(Bois, και συν. 2021) στην εργασία τους εξετάζουν την αποτελεσματικότητα της νευροανάδρασης (Neurofeedback - NF) και της νοερής κίνησης (Motor imagery - MI) στην εκπαίδευση συστημάτων BCI με χρήση χαμηλού κόστους νευροτεχνολογίας EEG εκτός κλινικού περιβάλλοντος με σκοπό την αποκατάσταση ασθενών που πάσχουν από διαταραχή μετατραυματικού στρες (PTSD) στην Ρουάντα. Η έρευνα εξετάζει αν οι πολλαπλές συνεδρίες εκπαίδευσης NF ή εκπαίδευσης MI έχουν αντίκτυπο στην σοβαρότητα των συμπτωμάτων PTSD στον πληθυσμό μιας αναπτυσσόμενης χώρας ο οποίος έχει μικρή εμπειρία γενικά με την νευροτεχνολογία. Η έρευνα έγινε σε τρεις ομάδες την ομάδα εκπαίδευσης NF, την ομάδα εκπαίδευσης MI και μια ομάδα ελέγχου (control group) (Bois, et al. 2021). Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ήταν τα g.Nautilus Pro και g.Nautilus Ladybird. Για την εκπαίδευση NF το πείραμα σχεδιάστηκε έτσι ώστε οι συμμετέχοντες να ρυθμίζουν προς τα κάτω τον εγκεφαλικό ρυθμό άλφα τους (8-12Hz) με την χρήση της πλατφόρμας παιχνιδιών Neurosensi για την διεκπεραίωση της εργασίας. Στόχος του παιχνιδιού είναι να κρατήσει ο χρήστης έναν αστροναύτη σε σωστή πορεία συλλέγοντας ανταμοιβές και αποφεύγοντας εμπόδια. Η καταστολή του εγκεφαλικού ρυθμού άλφα κρατάει τον αστροναύτη στην σωστή πορεία αν η τιμή του άλφα είναι κάτω από κάποια συγκεκριμένη τιμή τότε αυτός απόκλίνει από τη σωστή διαδρομή (Bois, et al. 2021).

Για την εκπαίδευση MI το πείραμα απαιτεί από τους συμμετέχοντες να ενεργοποιούν συνειδητά περιοχές του φλοιού τους οι οποίες συνήθως ενεργοποιούνται υποσυνείδητα κατά τις κινήσεις προετοιμασίας ή εκτέλεσης. Αυτό γίνεται και πάλι με την βοήθεια της πλατφόρμας παιχνιδιών Neurosensi. Το δεύτερο παιχνίδι MI απεικονίζει δύο νευρικές ίνες στις πλευρές της οθόνης. Ένας χαρακτήρας νευρώνα κινείται δεξιά ή αριστερά αναλόγως τον πνευματικών εντολών κίνησης. Σκοπός του παιχνιδιού είναι ο χαρακτήρας νευρώνα να συλλέξει όσο το δυνατόν φώτα τα οποία ταξιδεύουν κατά μήκος των νευρικών ινών προς το χρήστη (Bois, et al. 2021).



Εικόνα 18 Παιγίδι NF



Εικόνα 19 Παιγίδι MI

Τα δεδομένα από πείραμα εκπαίδευσης NF αναλύθηκαν με το τεστ Shapiro-Wilk. Στα δεδομένα MI η επεξεργασία του σήματος διεξήχθη με την μέθοδο filter-bank common spatial patterns (FBCSP-MI). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η εκπαίδευση NF μείωσε σημαντικά την σοβαρότητα των συμπτωμάτων PTSD. Τέτοιο βαθμό αποτελεσματικότητας δεν επέδειξε η εκπαίδευση MI στο δεύτερη ομάδα. Συμπερασματικά τα ευρήματα δείχνουν ότι η εκπαίδευση NF παρέχει μια αποτελεσματική, κλινικά σχετική, θεραπεία για την βελτίωση των συμπτωμάτων PTSD στον πληθυσμό της Ρουάντα. Ένα από τα κύρια προβλήματα των νευροτεχνολογικών λύσεων στις αναπτυσσόμενες χώρες είναι οι παγιοποίηση αυτών των τεχνολογιών στις αναπτυσσόμενες χώρες δεδομένου ότι το κόστος αυτών των τεχνολογιών είναι αρκετά υψηλό όπως επίσης και η μικρή εξοικείωση που έχουν οι πολίτες αυτών των χωρών με τις τεχνολογίες υπολογιστών (Bois, et al. 2021).

(Nuraini, και συν. 2021) στην έρευνα τους εξετάζουν τις μη διεισδυτικές συσκευές EEG για την χρήση τους σε προσαρμοζόμενα BCI και BCI αποκατάστασης ατόμων με κινητική αναπηρία. Η εργασία αυτή αποτελεί μια συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση SLR. Στόχος αυτής της εργασίας είναι να βοηθήσει τους μελετητές και τους επενδυτές στην τεχνολογία των BCI στο να αποφασίσουν ποιες συσκευές να επιλέξουν ή ποιες έρευνες να υποστηρίξουν βασισμένοι στην έρευνα αγοράς που διεξάγουν οι ερευνητές. Η εξέταση των μη διεισδυτικών συσκευών EEG που εξετάζονται εδώ είναι βασισμένη σε δημοσιοποιημένες μελέτες των BCI σε διάφορους τομείς έρευνας. Τα επιλεγμένα άρθρα χωρίστηκαν σε τέσσερις τομείς κύριας έρευνας: εκπαίδευση, μηχανική, ψυχαγωγία και ιατρική. Επιπλέον, αναγνωρίστηκαν 28 εταιρίες οι οποίες αναπτύσσουν ενσύρματο και ασύρματο εξοπλισμό ως βοηθητικές τεχνολογίες BCI (Nuraini, et al. 2021).

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας τέθηκαν τα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

- EE1: Ποιες είναι οι ερευνητικές τάσεις βασισμένες στον εξοπλισμό EEG;
- EE2: Ποιοί είναι οι πιο κοινοί τύποι (ενσύρματοι ή ασύρματοι) μη διεισδυτικού εξοπλισμού BCI που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες του εγκεφάλου;

Από τα δεδομένα εξήχθησαν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά

1. Μάρκα και εταιρία: Οι μάρκες του εξοπλισμού EEG και τα ονόματα των εταιριών που τα κατασκευάζουν.
2. Τύπους του εξοπλισμού EEG: τα άρθρα τα οποία χρησιμοποιούν είτε ενσύρματο είτε ασύρματο εξοπλισμό. Στις μέρες μας πολλές τεχνολογικές

λύσεις προσφέρονται ασύρματα λόγω του χαμηλού κόστους και της υψηλής φορητότητας

3. Τον τομέα χρήσης του εξοπλισμού EEGQ: Ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών το οποίο χρησιμοποιεί τα BCIs σαν πηγές πληροφοριών.

Από τα 1860 άρθρα που εξετάστηκαν τα 238 τελικώς συμπεριελήφθησαν στην συστηματική επισκόπηση μετά την εφαρμογή των κριτηρίων απόρριψης. Τα αποτελέσματα της έρευνας είναι τα εξής:

Για το ερευνητικό ερώτημα 1(EE1): 81% των άρθρων πραγματεύονται την ιατρική έρευνα στα BCI. 10% αφορούν έρευνα μηχανικής. 6% των άρθρων εξετάζουν την ψυχαγωγία και 3% την εκπαίδευση (Nuraini, et al. 2021).

Για το ερευνητικό ερώτημα 2(EE2): 45 άρθρα κάνουν χρήση του ενσύρματου εξοπλισμού της εταιρίας g.tec, 29 άρθρα κάνουν χρήση εξοπλισμού από την εταιρία Compumedics Neuroscan και 18 άρθρα από την Brain Products. Για τον ασύρματο εξοπλισμό 49 άρθρα χρησιμοποιούν λύσεις από την εταιρία Emotiv, 15 άρθρα από την εταιρία g.tec και Neurosky.

Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι υπάρχει μια σαφής κατεύθυνση στην έρευνα των BCI υπέρ του ιατρικού τομέα. Αυτό οφείλεται στον εξαιρετικά ευεργετικό τρόπο με τον οποίο μέσω της αποκατάστασης οι τεχνολογίες BCI μπορούν να αυξήσουν της ανεξαρτησία των ατόμων με διαφορετικά επίπεδα αναπηρίας (Nuraini, et al. 2021).

(Mark, και συν. 2020) στην εργασία τους παρουσιάζουν το PASS, μια πολυτροπική βάση δεδομένων φυσικής δραστηριότητας και στρες (Physical Activity and StresS-PASS) με στοιχεία συλλεγμένα από 48 συμμετέχοντες. Οι εξεταζόμενοι εκτέλεσαν εργασίες διαφορετικών επιπέδων στρες και τριών διαφορετικών επιπέδων φυσικής δραστηριότητας και παρείχαν ποσοτικά δεδομένα των αντιλαμβανόμενων επιπέδων στρες και εξάντλησης από αυτούς.

Για την χειραγώγηση του στρες χρησιμοποιήθηκαν δύο βιντεοπαιχνίδια ένα παιχνίδι ήρεμης εξερεύνησης και ένα παιχνίδι επιβίωσης. Κατά την διάρκεια του πειράματος μετρήθηκε η περιφερειακή φυσική δραστηριότητα (ECG, ηλεκτροδερμική δραστηριότητα, αναπνοή και θερμοκρασία επιδερμίδας) όπως επίσης και η εγκεφαλική δραστηριότητα (EEG). Τέσσερις φορούμενες συσκευές χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την μελέτη. Το BioHarness 3 το οποίο είναι ένας ιμάντας στήθους που έρχεται σε επαφή κατευθείαν με το δέρμα και καταγράφει δεδομένα ECG, το περικάρπιο E4 το οποίο καταγράφει τον παλμικό όγκο αίματος μέσω φωτοπλυσμογραφίας όπως επίσης και την θερμοκρασία της επιδερμίδας, το Muse Headband για την καταγραφή δεδομένων EEG και τέλος δύο ηλεκτρόδια προσαρμοσμένα μέσα στο περικάρπιο για την μέτρηση της γαλβανικής αντίστασης της επιδερμίδας. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες συλλέχθηκαν με το MuSE Lab EEG server (MuLES) (Mark, et al. 2020).

Τα επίπεδα στρες στο συγκεκριμένο πείραμα ρυθμίζονταν από την εναλλαγή μεταξύ δύο βιντεοπαιχνιδιών. Ένα παιχνίδι ηρεμίας και ένα παιχνίδι που προκαλεί στρες. Το παιχνίδι ηρεμίας που επιλέχθηκε ήταν το TIMEframe, ένα παιχνίδι εξερεύνησης/πάζλ ανεπτυγμένο από την Random Seed Games. Στο παιχνίδι αυτό οι παίκτες εξερευνούν μια εγκαταλελειμμένη πόλη και εντοπίζουν κειμήλια. Από την άλλη μεριά το παιχνίδι που επιλέχθηκε για την δημιουργία στρες ήταν το Outlast, ένα εμπορικό παιχνίδι επιβίωσης του οποίου στόχος είναι η μετακίνηση μέσα από ένα τρομακτικό άσυλο όπου ο χαρακτήρας δεν μπορεί να πολεμήσει και πρέπει να ξεφύγει από τους επικίνδυνους τρόφιμους.



Εικόνα 20 Το παιχνίδι Timeframe



Εικόνα 21 Το παιχνίδι Outlast

Το παιχνίδι προκαλεί υψηλά επίπεδα στρες λόγω του των σκηνών που απεικονίζει της μουσικής του και του γενικότερου σχεδιασμού του. Για την επεξεργασία των δεδομένων EEG έγινε χρήση της μεθόδου wavelet-enhanced ICA(w-ICA). Για την επεξεργασία δεδομένων ECG έγινε χρήση του αλγόριθμου Pan-Tomkings και τέλος για την επεξεργασία των δεδομένων από τους ηλεκτροδερμικούς αισθητήρες του περιβραχιονίου εφαρμόστηκε ένα φίλτρο low-pass Chebychev. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ένα μέσο όρο ακρίβειας 95% στην αποσαφήνιση μεταξύ των συναισθηματικών και ψυχικών επιπτώσεων τους στρες για τα διαφορετικά επίπεδα φυσικών δραστηριοτήτων (Mark, et al. 2020).

(John, et al. 2016) στο άρθρο τους περιγράφουν τις λειτουργίες του PhysioVR, ένα πλαίσιο ανοιχτού κώδικα το οποίο αναπτύχθηκε ειδικά για να διευκολύνει την συμπερίληψη φυσιολογικών σημάτων και παραμέτρων σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας για φορητές συσκευές (mVR) όπως αλληλεπιδραστικές εμπειρίες και βιντεοπαιχνίδια. Το πλαίσιο PhysioVR αποτελεί ένα ανοιχτού κώδικα εργαλείο λογισμικού κατασκευασμένο να επιτρέπει την εισαγωγή φυσιολογικών παραμέτρων σε λύσεις mVR με χρήση φορούμενων συσκευών συνδεδεμένες σε ένα έξυπνο κινητό. Ο ρόλος του έξυπνου κινητού στο πλαίσιο αυτό είναι διττός: 1) σαν οθόνη για το φορούμενο σετ κεφαλής (HMD) με χρήση θηκών χωρίς οθόνη και 2) σαν προσωπικός διακομιστής για την ροή δεδομένων. Το PhysioVR αναλαμβάνει την επικοινωνία μεταξύ των διάφορων φυσιολογικών συσκευών και κάνει τα εξαγόμενα δεδομένα διαθέσιμα για τις εφαρμογές - πελάτες. Το PhysioVR έρχεται με ένα αρχικό σετ συσκευών αλλά το

πλαίσιο μπορεί πολύ εύκολα να επεκταθεί με την συμπερίληψη περαιτέρω συσκευών ή αισθητήρων. Το PhysioVR απαρτίζεται από δύο διαφορετικά επίπεδα λογισμικού το Physiosense, το οποίο συγχρονίζει τις συσκευές και αναλαμβάνει την ροή δεδομένων, και το PhysioAdapt ένα API για την λήψη και προσαρμογή των φυσιολογικών σημάτων (John, et al. 2016).

Το αρχικό σετ συσκευών το οποίο απαρτίζει το PhysioVR είναι 1) φορούμενες συσκευές καρδιακών παλμών (HR) που ανήκουν στην πλατφόρμα Android (περιβραχιόνια, έξυπνα ρολόγια, ακουστικά), 2) Τον αισθητήρα Muse BCI, 3) την συσκευή EMG Myo armband. Η λήψη των σημάτων από το συμβατό υλικό γίνεται μέσω οδηγών, SDKs και APIs παρεχόμενα από τις εταιρίες που τα κατασκευάζουν. Για την διευκόλυνση της ροής δεδομένων του PhysioVR κάνει χρήση του πρωτόκολλου UDP επιτρέποντας την αποστολή δεδομένων μέσω μιας διεύθυνσης IP και μιας προκαθορισμένης θύρας και αυτό ενισχύει σημαντικά τις δυνατότητες επικοινωνίας με οποιοδήποτε λογισμικό πελάτη υποστηρίζει προγραμματισμό socket στην γλώσσα προγραμματισμού του (John, et al. 2016). Για την εκτίμηση των δυνατοτήτων του PhysioVR δημιουργήθηκε ένα βιντεοπαιχνίδι με το όνομα EmoCat Rescue το οποίο ενθαρρύνει τους παίκτες να ρυθμίσουν τους καρδιακούς παλμούς τους με σκοπό να βρουν μια γάτα χαμένη σε ένα δάσος. Χρησιμοποιεί δεδομένα από ένα έξυπνο ρολόι (LG G Watch R), ένα χαμηλού κόστους HMD με έξυπνο τηλέφωνο(Samsung Galaxy S4), χειριστήρια και ακουστικά συνδεδεμένα με το τηλέφωνο μέσω Bluetooth.



Εικόνα 22 Το παιχνίδι EmoCat Rescue

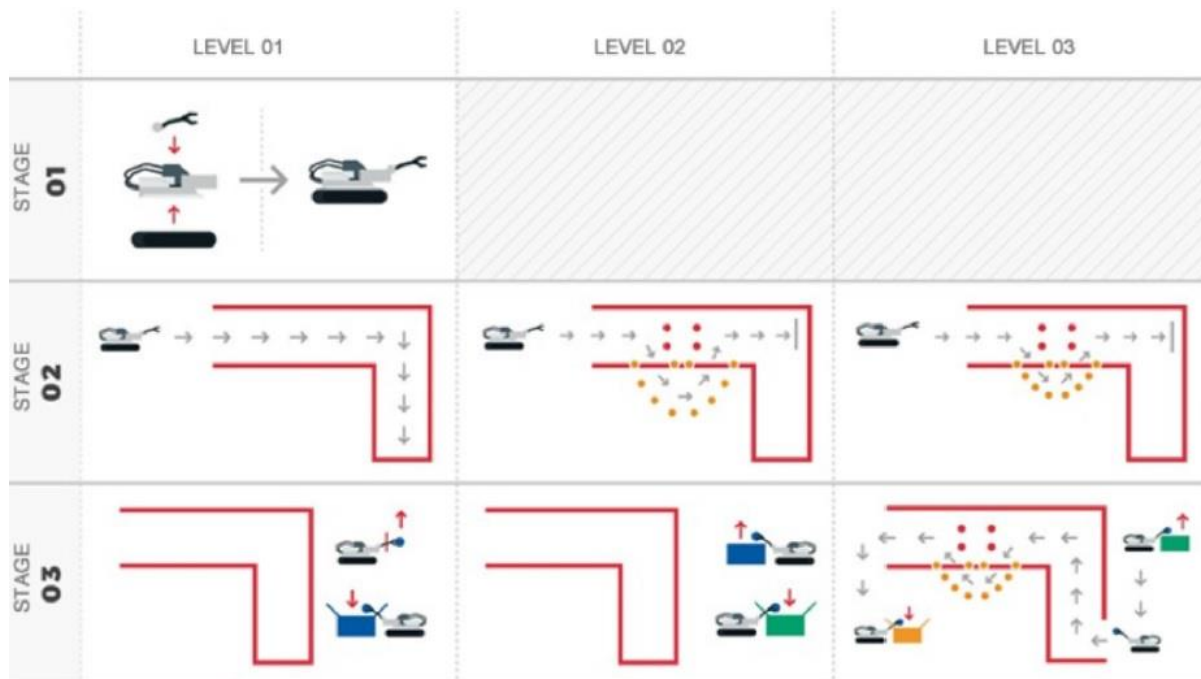
Ο παίκτης πρέπει να ρυθμίσει τους καρδιακούς παλμούς του κάτω από ένα προκαθορισμένο επίπεδο έτσι ώστε να μπορεί να ξεκινήσει να ακούει από τα ακουστικά το νιαούρισμα της γάτας με σκοπό να την βρει περιπλανώμενος στο σκηνικό του δάσους.

(Alex, και συν. 2019) στην μελέτη τους εξετάζουν την προοπτική της χρήσης παιχνιδιού ρομπότ για την θεραπεία αποκατάστασης παιδιών με εγκεφαλική παράλυση (cerebral palsy - CP). Η εύρεση εναλλακτικών μεθόδων θεραπείας για την βελτίωση των γνωστικών και κινητικών λειτουργιών σε παιδιά με εγκεφαλική παράλυση είναι θεμελιώδους σημασίας. Επομένως σε αυτή την εργασία προτείνεται η κατασκευή ενός ρομπότ για την αλληλεπίδρασή του με παιδιά με εγκεφαλική παράλυση μέσω τηλεχειρισμού. Ο στόχος είναι να επιτευχθούν υψηλότερα επίπεδα κινήτρου, ενδιαφέροντος, και αυτοπεποίθησης στα παιδιά για να διεξάγουν βοηθητικές εργασίες κατά την διάρκεια της θεραπείας τους. Η εξέλιξη των ασθενών μπορεί να αναλυθεί με όρους του επιπέδου προσοχής τους χρησιμοποιώντας βιομετρικά δεδομένα καταγεγραμμένα από συσκευές εντοπισμού εγκεφαλικών σημάτων EEG.

Οπότε οι κύριες συνεισφορές της συγκεκριμένης έρευνας είναι:

- Να παρέχει ένα ελκυστικό εργαλείο το οποίο να αφυπνίζει τα ενδιαφέροντα των παιδιών και των γονέων.
- Να ενθαρρύνει τα παιδιά να αναπτύξουν κινητικότητα στα άνω άκρα.
- Να προκαλέσει τον λογικό συλλογισμό και την λήψη αποφάσεων.
- Να επιταχύνει την διαδικασία αποκατάστασης.
- Να βελτιώσει το επίπεδο ζωής των παιδιών και των γονέων.
- Να συμπεριλάβει τα παιδιά στην κοινωνική ζωή.

Στα πλαίσια του πειράματος επιλέχθηκε μια προσέγγιση για τα παιδιά με την μορφή αποστολών όπου τα παιδιά πρώτα θα έπρεπε να συναρμολογήσουν το ρομπότ, έπειτα να το χειριστούν και να το καθοδηγήσουν σε μια προδιαγεγραμμένη πορεία και τέλος με την βοήθεια το ρομπότ να μετακινήσουν και να τοποθετήσουν σε συγκεκριμένες θέσεις πλαστικά ποτήρια.



Εικόνα 23 Απεικόνιση των δραστηριοτήτων παιχνιδιού

Το ρομπότ το οποίο χρησιμοποιήθηκε ανήκει στο σετ Lego Mindstorms EV3 και η συσκευή καταγραφής EEG ήταν το Mindwave ικανό για την καταγραφή σημάτων σε πραγματικό χρόνο. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η βοηθητική χρήση ενός τέτοιου παιχνιδιού ρομπότ βοηθάει σημαντικά την θεραπεία αποκατάστασης σε παιδιά με εγκεφαλική παράλυση (Alex, και συν. 2019).

(Arkadiusz, και συν. 2014) στην εργασία τους με γνώμονα την περαιτέρω εξάπλωση των τεχνολογιών EEG στον κόσμο εισάγουν το σαρωτή εγκεφάλου για έξυπνα τηλέφωνα (Smartphone Brain Scanner-SBS2). Το SBS2 είναι ένα έργο λογισμικού ανοιχτού κώδικα το οποίο καθιστά δυνατή την ανάπτυξη εφαρμογών απεικόνισης του εγκεφάλου για 3D απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο και για εκπαίδευση NF. Συνδυάζοντας ένα ασύρματο EEG καπέλο με ένα έξυπνο κινητό ή τάμπλετ Android το SBS2 επιτρέπει την παρουσίαση χρόνο - κλειδωμένων οπτικοακουστικών ερεθισμάτων όπως κείμενο, εικόνες ή βίντεο όπως επίσης και την συλλογή των προκαλούμενων νευροαπεικονιστικών αποκρίσεων στη φορητή συσκευή. Επομένως μετατρέπει το χαμηλού κόστους εμπορικό υλικό (έξυπνο τηλέφωνο, ταμπλετ) σε φορητό εργαστήριο εγκεφαλικής απεικόνισης. Για την αξιολόγηση του συστήματος SBS2 διεξήχθησαν 3 πειράματα σχετικά με τον

έλεγχο κίνησης BCI, την σημασιολογία ενσωματώσεων, και τις διεπαφές νευρο-ανάδρασης έτσι ώστε να δειχθεί η βιωσιμότητα της καταγεγραμμένης πνευματικής κατάστασης στα πλαίσια της λειτουργίας των φορητών συσκευών (Arkadiusz, και συν. 2014).

Για τους σκοπούς των πειραμάτων έγινε χρήση της συσκευής EEG Emotiv neuroheadset και μια τροποποιημένη εκδοχή της ίδιας συσκευής με χρήση ηλεκτροδίων Ag/AgCl. Το πρώτο πείραμα αποτελεί επανάληψη ενός κλασικού πειράματος νοερής κίνησης όπου ο εξεταζόμενος πρέπει να σκεφτεί ότι εκτελεί νοερά χτυπήματα με το δάκτυλό του (δεξί εναντίον αριστερό) πάνω στο τραπέζι. Το πείραμα διεξήχθη με τη συσκευή Emotiv να εκπέμπει ασύρματα σε ένα κινητό τηλέφωνο Nokia N900. Το δεύτερο πείραμα εξετάζει την ενεργοποίηση του εγκεφάλου με ερεθίσματα προερχόμενα από αισθητήριο - κινητικές περιοχές του εγκεφάλου που στεγάζουν την γλώσσα. Εδώ γίνεται χρήση του SBS2 για την δημιουργία ερεθισμάτων αποτελούμενα από ένα υποσύνολο ρημάτων που δηλώνουν δράση και γίνεται συσχετισμός τους με συναισθηματικές εκφράσεις του προσώπου και της κίνησης του χεριού. Στο τρίτο πείραμα έγινε ανάπτυξη δύο διεπαφών χρήστη με το SBS2 το σύστημα παρήγαγε κύβους διαφορετικών χρωμάτων και θέσεων στην οθόνη οι οποίοι άλλαζαν χρώμα και θέση βασισμένοι στην δραστηριότητα του εύρους των κυμάτων άλφα του εξεταζόμενου. Για τους σκοπούς της ανάλυσης των δεδομένων έγινε χρήση του αλγόριθμου CSP με χρήση φίλτρων bandpass και του τεστ Monte Carlo permutation για την επεξεργασία των πρωτογενών σημάτων.



Εικόνα 24 Απεικόνιση του συστήματος SBS2

Η έρευνα δείχνει ότι το σύστημα SBS2 είναι μια εξαιρετικά υποσχόμενη λύση για πολλές περιοχές έρευνας. Οι δυνατότητες του περιλαμβάνουν την καταγραφή, ανάλυση, και την οπτικοποίηση σημάτων EEG κατευθείαν σε μια φορητή συσκευή. Τα χαρακτηριστικά του συστήματος επιτρέπουν την χρήση του στους σε νευροιατρικούς τομείς μειώνοντας το κόστος και αυξάνοντας την αξιοπιστία ακρίβειας του εξοπλισμού (Arkadiusz, et al. 2014).

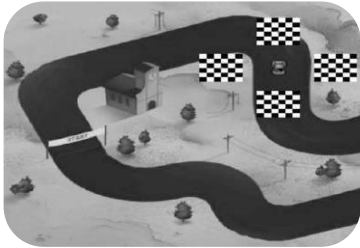
(Anton, Danny και Boris 2009) στην εργασία τους εξετάζουν τις τεχνολογίες BCI και την χρήση τους στα βιντεοπαιχνίδια για τον εμπλουτισμό της τεχνολογίας ψυχαγωγίας. Ένας σημαντικός τομέας έρευνας είναι η προσαρμογή της διεπαφής ενός βιντεοπαιχνιδιού στον ίδιο τον παίκτη με δεδομένα τα οποία συλλέγονται από τεχνολογίες BCI. Όταν εξετάζονται πιθανά παιχνίδια BCI είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί μια τεχνολογία η οποία μπορεί να διαχωρίσει και να ενεργοποιήσει δραστηριότητες σε διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου όπως επίσης και να χαρτογραφήσει αυτές τις δραστηριότητες σε εντολές με τις οποίες θα γίνει είτε ο έλεγχος είτε η προσαρμογή του παιχνιδιού. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό σχεδίασης ενός βιντεοπαιχνιδιού είναι ο τρόπος με τον οποίο αυτό θα προκαλέσει την εγκεφαλική δραστηριότητα του χρήστη εδώ έχουμε:

- 1) Τα προκλητά σήματα που παράγονται εσωτερικά με την χρήση νοερής κίνησης (MI) όπου μια σκέψη κίνησης μπορεί να προκαλέσει σήμα στον εγκέφαλο του οποίου το σύστημα BCI θα εντοπίσει και θα μετατρέψει σε εντολή υπολογιστή.
- 2) Τα προκλητά σήματα που παράγονται εξωτερικά όπως τα ERPs και τα SSVEPs τα οποία έχουν να κάνουν με οπτικά ερεθίσματα εικόνων, κίνησης ή ακοής και συνδυασμό τους για την πρόκληση εγκεφαλικών σημάτων.

Τα βιντεοπαιχνίδια που χρησιμοποιούν BCI συνοψίζονται στους εξής τύπους:

- 1) Ιατρικά παιχνίδια: όπου συνήθως απαιτείται από τους χρήστες να ρυθμίσουν την εγκεφαλική δραστηριότητα του για τον έλεγχο του παιχνιδιού ή των καταστάσεων μέσα σε αυτό. Παραδείγματα έρευνας περιλαμβάνουν παιχνίδια για τις πλατφόρμες Nintendo και Playstation.
- 2) Παιχνίδια έρευνας: Απλά και γνωστά παιχνίδια στα οποία έχουν δοθεί δυνατότητες ελέγχου BCI από τους ερευνητές. Παράδειγμα αποτελεί η συσκευή BCI Berlin για τη χρήση MI με σκοπό να γίνει έλεγχος των παιχνιδιών Pacman, Pong και Tetris.
- 3) Εμπορικά παιχνίδια: Παιχνίδια εμπορικά διαθέσιμα και ευρέως διαδεδομένα υψηλής δημοτικότητας και αποδοχής. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών

BCI μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την εμπειρία χρήσης και να εμβυθίσει τον χρήστη με δραστικό τρόπο στο περιβάλλον του παιχνιδιού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το διαδικτυακό παιχνίδι πολλαπλών παικτών World of Warcraft της εταιρίας Blizzard Entertainment.



Nintendo
Game



Pacman



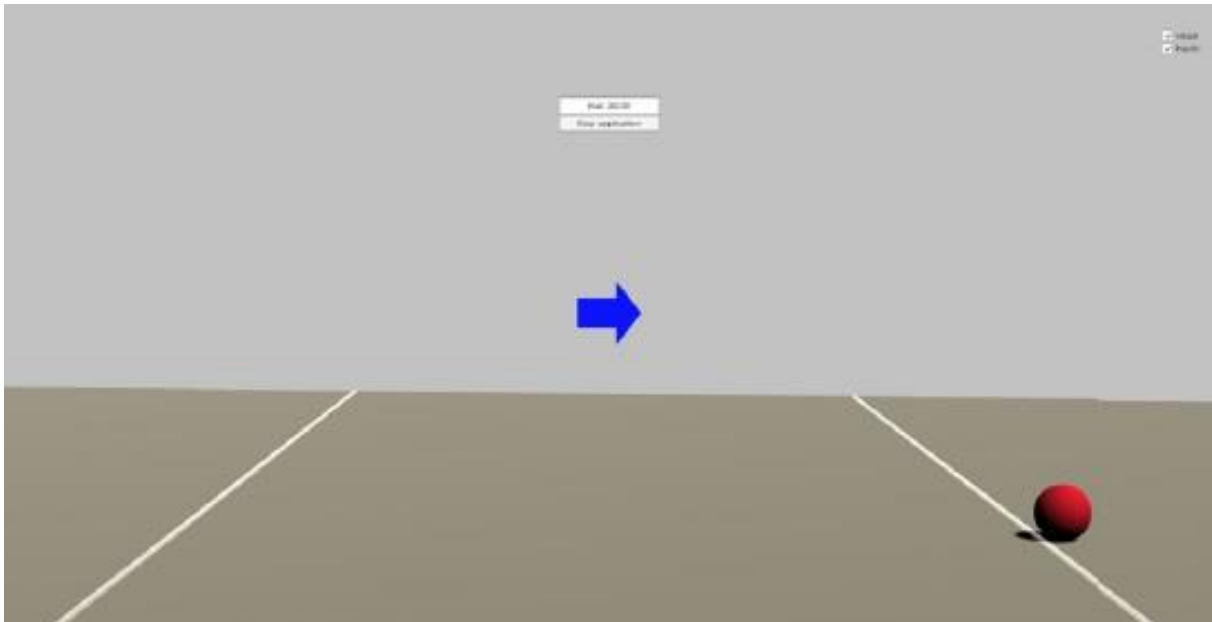
World of
Warcraft

Η έρευνα αυτή εξετάζει τις τεχνολογίες BCI στο πλαίσιο χρήσης τους από τις εφαρμογές βιντεοπαιχνιδιών. Η ενίσχυση της εμπειρίας χρήσης ενός παιχνιδιού υπολογιστή ή κονσόλας με χρήση εγκεφαλικών ή νοητικών εντολών είναι συναρπαστικό αντικείμενο. Ανοίγονται νέες δυνατότητες στον σχεδιασμό ενός παιχνιδιού ούτως ώστε αυτό να παρέχει στον χρήστη νέους τρόπους να ελέγχει το παιχνίδι και να προσαρμόζει το περιβάλλον του. Εταιρίες οι οποίες έχουν κάνει σημαντική προσπάθεια στις προοπτικές σχεδίασης παιχνιδιών που χρησιμοποιούν BCI αποτελούν η Microsoft, Emotiv, Hitachi, Sega Toys κα) (Anton, Danny and Boris 2009).

(Pasquale, et al. 2023)στην εργασία τους εξετάζουν την οπτική και απτική ανάδραση για τον εντοπισμό νοερής κίνησης (MI) με χρήση φορούμενου BCI. Συγκεκριμένα η έρευνα αυτή εξετάζει τις διάφορες νευροαναδραστικές τεχνολογίες με την υλοποίηση φορούμενου BCI βασισμένο σε MI. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα αποτελείται από δύο κύριες συσκευές: ένα εμπορικό EEG και μια απτική στολή για vibrotactile ανάδραση. Οπτική ανάδραση επιτυγχάνεται με την χρήση της οθόνης σταθερού υπολογιστή. Για την συλλογή

των δεδομένων EEG έγινε χρήση του σετ κεφαλής FlexEEG της εταιρίας Neuro-CONCISE Ltd. Τον εξοπλισμό για την απτική ανάδραση αποτελεί η vibrotactile στολή από την εταιρία bHaptics Inc.

Για τους σκοπούς του πειράματος δημιουργήθηκε ένα εικονικό σενάριο με την μηχανή παιχνιδιών Unity για την δημιουργία αναδράσεων και την υπαγόρευση του χρονισμού του πειράματος και των δοκιμών.



Εικόνα 25 Εικονικό σενάριο μηχανής παιχνιδιού

Η οπτική ανάδραση περιελάμβανε μια εικονική μπάλα με την δυνατότητα να κυλάει σε μια διάσταση στην αριστερή ή στην δεξιά πλευρά της οθόνης. Στην μπάλα εφαρμόζεται βαρύτητα για να την διατηρήσει σε επαφή με το εικονικό πάτωμα. Η κίνηση της μπάλας ελέγχεται σύμφωνα με κατηγοριοποίηση των σημάτων EEG όπου η κλάση και το σκορ που εξάγεται από τα σήματα καθορίζουν την δύναμη η οποία θα εφαρμοστεί στην μπάλα όσον αφορά την κατεύθυνση (κλάση) και την ένταση (σκορ). Εν τω μεταξύ, τα απτικά μοτίβα (στήλες δονούμενων κινητήρων) μπορούν να διαμορφωθούν και πάλι σε τιμές κατεύθυνσης και έντασης με κλάση και σκόρ (Pasquale, και συν. 2023).

Η επεξεργασία των δεδομένων EEG έγινε με αλγόριθμο Filter-bank common spatial pattern (FBCSP), μια διαδικασία τεσσάρων βημάτων τα οποία είναι:

- 1) Φιλτράρισμα αρχικών EEG σημάτων με πίνακα 17 φίλτρων bandpass Type II Chebyshev.
- 2) Τα δεδομένα από τα κανάλια φιλτράρονται χωρικά τον αλγόριθμο CSP ο οποίος μετασχηματίζει τα πρωτογενή δεδομένα EEG για να μεγιστοποιήσει την διακύμανση μιας κλάσης και ταυτόχρονα να μειώσει μιας άλλης.
- 3) Τα χαρακτηριστικά με τις περισσότερες πληροφορίες επιλέγονται με τον αλγόριθμο Mutual Information-based Best individual Features (MIBIF).
- 4) Τα χαρακτηριστικά σήματος κατηγοριοποιούνται με μια Bayesian προσέγγιση, ονομαστικά την Naïve Bayesian Parzen Window (NBPW).

Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι το σύστημα φορούμενου BCI που εξετάζεται σε αυτή την εργασία δείχνει ότι η δυνατότητα ανάδρασης βελτιώνει την κατηγοριοποίηση συγκριτικά με συστήματα όπου η δυνατότητα της ανάδρασης δεν παρέχεται (Pasquale, και συν. 2023).

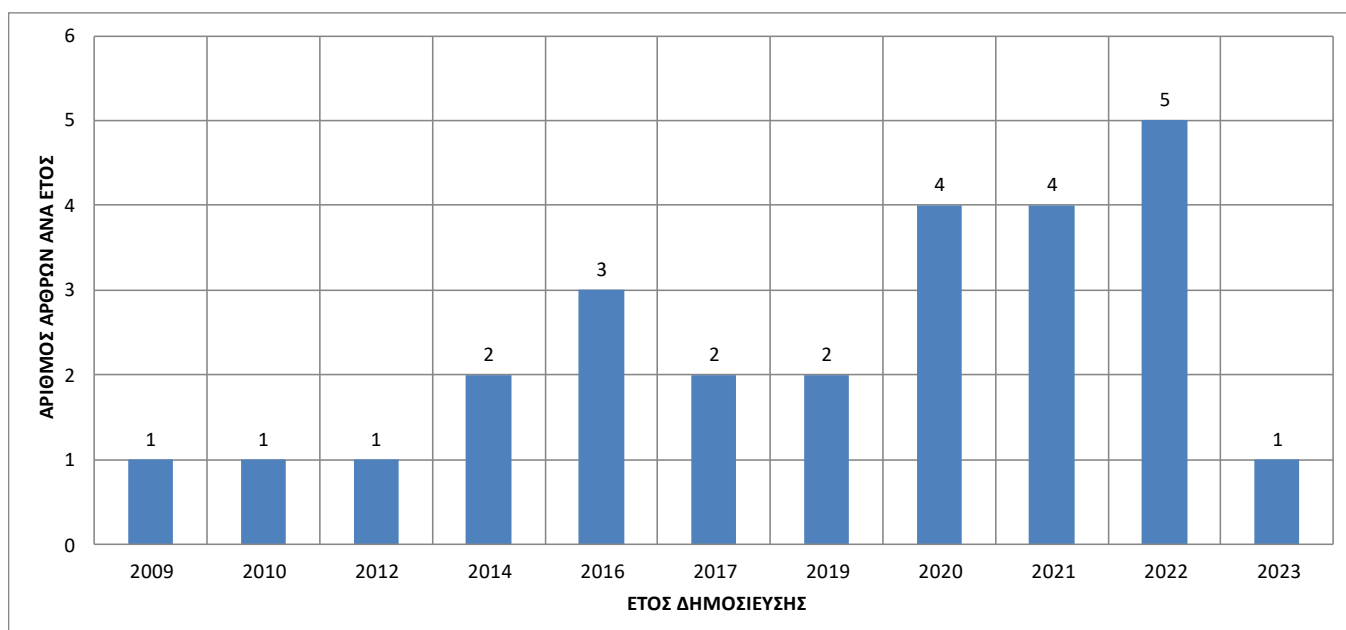
6. Αποτελέσματα

6.1 Περιγραφική ανάλυση των άρθρων

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής επισκόπησης που πραγματοποιείται η παρούσα εργασία. Η ανάλυση αφορά τα 26 άρθρα που τελικώς συμπεριελήφθησαν μετά από την διαδικασία της εφαρμογής των κριτηρίων επιλογής και φυσικά μέσα από το διάγραμμα ροής (flow diagram) σύμφωνα με το πρωτόκολλο PRISMA. Αρχικά και μέσα στα πλαίσια αυτής της βιβλιογραφικής επισκόπησης κρίνεται απαραίτητο να παρουσιαστούν κάποια γενικά περιγραφικά στοιχεία όλων των άρθρων που πλαισιώνουν την ανάλυση. Τα στοιχεία αυτά αφορούν την χρονική κατανομή της δημοσίευσης των άρθρων, την γεωγραφική κατανομή τους καθώς και τα επιστημονικά περιοδικά ή συνέδρια στα οποία αυτά δημοσιεύτηκαν ή παρουσιάστηκαν.

Τα δεδομένα τα οποία παρουσιάζουν την χρονική κατανομή των άρθρων παρουσιάζονται στο διάγραμμα (διάγραμμα 1).

Διάγραμμα 1 Χρονική κατανομή δημοσίευσης άρθρων



Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ο αριθμός των δημοσιευμένων άρθρων ανά έτος. Ξεκινώντας από το έτος 2009 έχουμε το πρώτο άρθρο που εντοπίστηκε σχετικά με τις τεχνολογίες BCI και την χρήση τους στον τομέα των παιχνιδιών. Μέχρι και το έτος 2014 δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη τάση στην δημοσίευση ερευνών που πραγματεύονται αυτή την θεματική. Από το έτος 2016 όμως αρχίζει και παρατηρείται μια αυξητική τάση στον αριθμό των δημοσιεύσεων η οποία παρουσιάζει μια ραγδαία μεταβολή προς τα πάνω κατά το έτος 2020 όπου και μέχρι το έτος 2022 έχουμε τους μεγαλύτερους ρυθμούς δημοσιεύσεων ανά έτος μέχρι και τώρα. Η έρευνα στα BCI και η εξεταζόμενη χρήση τους στα παιχνίδια ακολουθούν την εξέλιξη της τεχνολογίας εδώ αξίζει να παρατηρηθεί ότι οι τάσεις αύξησης των ερευνητικών δημοσιεύσεων συμβαδίζει έως ένα βαθμό και με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος και των δυνατοτήτων φορητότητας και συνδεσιμότητας που παρουσιάζουν τα έξυπνα τηλέφωνα και τάμπλετ που συμμετέχουν σε σημαντικό βαθμό στις έρευνες και τα πειράματα που παρουσιάζονται στα άρθρα. Ειδικά μετά το έτος 2012-13 έχουμε πια συσκευές που μπορούν να εκτελέσουν εργασίες και εφαρμογές με την ταχύτητα και την αξιοπιστία που θα περιμέναμε από μια μεμονωμένη μονάδα υπολογιστή.

Ο επόμενος πίνακας (πίνακας 1) μας δείχνει μια εικόνα της γεωγραφικής κατανομής των άρθρων που μελετήθηκαν.

Πίνακας 1 Γεωγραφική κατανομή άρθρων

Χώρες	Αριθμός δημοσιευμένων άρθρων	Συχνότητα συμμετοχής
Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής	6	23%
Ινδία	3	12%
Πακιστάν	3	12%
Κίνα	3	12%
Ιταλία	2	8%
Ιαπωνία	1	4%
Αργεντινή	1	4%
Τουρκία	1	4%
Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	1	4%
Καναδάς	1	4%
Πορτογαλία	1	4%
Βραζιλία	1	4%
Δανία	1	4%
Ολλανδία	1	4%

Η γεωγραφική κατανομή των άρθρων παρουσιάζεται σύμφωνα με την χώρα προέλευσης των ιδρυμάτων/πανεπιστημίων για τα οποία εργάζονται οι συγγραφείς τους. Από τον πίνακα συμπεραίνουμε ότι η πλειοψηφία των μελετών προέρχονται από τις ΗΠΑ, την Ινδία, το Πακιστάν και την Κίνα. Ακολουθούν διάφορες χώρες στις οποίες εντοπίστηκε ένα μόνο άρθρο. Η κατανομή προκύπτει από τα στοιχεία που δηλώνουν οι συγγραφείς σχετικά με τα ερευνητικά ιδρύματα και τα πανεπιστήμια στα οποία επιτελούν έργο.

Τα επόμενα στοιχεία της βιβλιογραφικής επισκόπησης αφορούν την προέλευση των άρθρων. Ο πίνακας που ακολουθεί (πίνακας 2) μας δείχνει τον αριθμό και τα στοιχεία των άρθρων που προέρχονται από επιστημονικά περιοδικά.

Πίνακας 2 Αριθμός άρθρων – Επιστημονικά περιοδικά

Επιστημονικό περιοδικό	Αριθμός άρθρων
Biomedical Engineering	1
Neurocomputing	1
IEEE Computer Society	1
Applied Soft Computing	1
Chaos, Solitons and Fractals	1
Computers in Biology and Medicine	1
Journal of neuroengineering and rehabilitation	1
Computers and Electrical Engineering	1
Journal of Affective Disorders	1
Mdpi	1
Frontiers in Neuroscience	1
Computers in Human Behavior	1
International Journal of Psychophysiology	1
Entertainment Computing	1
Measurement	1
Σύνολο	15

Τα στοιχεία αυτού πίνακα δείχνουν ότι ένας σημαντικός αριθμός άρθρων (8 άρθρα) προέρχονται από περιοδικά τα οποία προέρχονται από επιστήμες βιοιατρικής, νευρομηχανικής, ανθρώπινης αποκατάστασης και συμπεριφοράς.

Δευτερευόντως παρουσιάζονται άρθρα τα οποία προέρχονται κατά κύριο λόγο από περιοδικά πληροφορικής. Ο συνολικός αριθμός των άρθρων που προέρχονται από περιοδικά είναι 15.

Ο επόμενος πίνακας (πίνακας 3) απεικονίζει τα άρθρα εκείνα της βιβλιογραφίας που προέκυψαν από πρακτικά συνεδρίων.

Πίνακας 3 Άρθρα συνεδρίων

Συνέδρια	Αριθμός άρθρων
2010 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS	1
2016 International Conference on Frontiers of Information Technology	1
2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)	1
2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics	1
Third International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet'19)	1
2021 IEEE 17th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)	1
IEEE Transactions on Affective Computing 2022	1
2022 IEEE 2nd International Conference on Data Science and Computer Application	1
Virtual Reality & Intelligent Hardware 2022	1
Σύνολο	9

Από τον συνολικό αριθμό των άρθρων που εμφανίζονται σε αυτή τη βιβλιογραφική επισκόπηση εννέα από αυτά προέρχονται από πρακτικά συνεδρίων στα οποία δημοσιεύτηκαν τα άρθρα. Εδώ σημειώνεται ότι τα περισσότερα άρθρα προέρχονται από συνέδρια του οργανισμού IEEE.

Για την πληρότητα της περιγραφικής ανάλυσης των άρθρων παρακάτω ο πίνακας 4 παρουσιάζει τα άρθρα που προέρχονται από ανεξάρτητες εκθέσεις ιδρυμάτων.

Ίδρυμα	Αριθμός άρθρων
Dept. of Electrical and Information Engineering(dei) IT	1
Discover and Collaborative Virtual Environment Research Laboratory (DISCOVER)	1
Σύνολο	2

6.2 Ερευνητικές κατευθύνσεις της βιβλιογραφίας

Τα άρθρα τα οποία συμμετέχουν σε αυτή την βιβλιογραφική ανάλυση παρουσιάζουν συγκεκριμένες ερευνητικές τάσεις. Η μελέτη των άρθρων για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας και την εξαγωγή των πληροφοριών εκείνων οι οποίες θα μας βοηθήσουν στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων, τα οποία έχουν τεθεί οδήγησαν στην κατηγοριοποίηση των άρθρων σε συγκεκριμένες ερευνητικές κατευθύνσεις.

Οι ερευνητικές τάσεις οι οποίες διαφαίνονται στα εξεταζόμενα άρθρα είναι οι εξής:

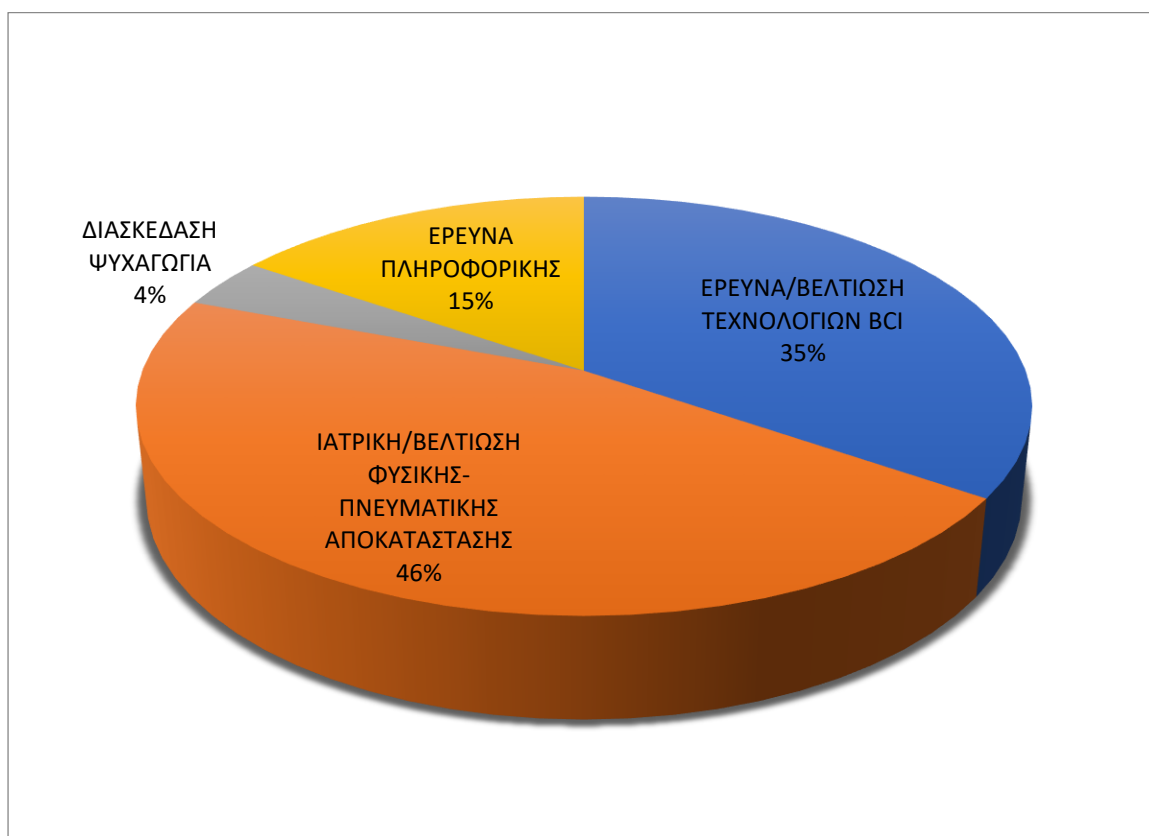
1. **Έρευνα/Βελτίωση τεχνολογιών BCI:** άρθρα στα οποία γίνονται προσπάθειες για την αναβάθμιση και την βελτίωση των τεχνολογιών BCI για παράδειγμα βελτιστοποίηση των αισθητήρων EEG ούτως ώστε αυτοί να επιτυγχάνουν την μέγιστη δυνατή ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ των επιφανειών αισθητηρίου και του δέρματος του χρήστη (Liao, και συν. 2012). Ο βέλτιστος σχεδιασμός όχι μόνο των EEG αισθητήρων αλλά και των υπόλοιπων τεχνολογιών βιοαίσθησης είναι σημαντικός για την περαιτέρω εξέλιξη των τεχνολογιών BCI όπως επίσης και την μεγιστοποίηση της ακρίβειας λειτουργίας τους.
2. **Ιατρική/Βελτίωση φυσικής - πνευματικής αποκατάστασης:** άρθρα τα οποία χρησιμοποιούν τεχνολογίες BCI για την αποκατάσταση ασθενών εντός ή εκτός ιατρικού περιβάλλοντος οι οποίοι πάσχουν από διάφορες νευροεκφυλιστικές νόσους, άνοια, φυσικούς τραυματισμούς διάφορες διαταραχές κλπ (Alex, et al. 2019). Οι έρευνες επικεντρώνονται στην βελτίωση του ασθενούς κάνοντας χρήση των τεχνολογιών BCI για την βελτίωση των πνευματικών, φυσικών και ψυχολογικών λειτουργιών του (Bois, και συν. 2021) (Shagun, Deepak και Pratyosh 2020).
3. **Διασκέδαση/Ψυχαγωγία:** άρθρα τα οποία εξετάζουν την βελτίωση των υπαρχόντων μέσω ψυχαγωγίας με την βοήθεια των τεχνολογιών BCI (Anton, Danny και Boris 2009). Οι έρευνες αυτές πραγματοποιούνται την προοπτική της ενίσχυσης της εμπειρίας ενός χρήστη με τις ηλεκτρονικές συσκευές και τα υπολογιστικά συστήματα σε ένα νέο επίπεδο. Εικονικά περιβάλλοντα και συσκευές τα οποία εμβυθίζουν τον χρήστη και αξιοποι-

ούν όλες τις πνευματικές δυνατότητες του για μια βελτιωμένη αλληλεπίδραση μεταξύ του ανθρώπου και μηχανής/υπολογιστή τα οποία στο μέλλον θα προσφέρουν την απόλυτη εμπειρία διασκέδασης στο σπίτι του.

4. **Έρευνα πληροφορικής:** άρθρα τα οποία αφορούν έρευνες στον τομέα της πληροφορικής. Έρευνες στις οποίες αναπτύσσονται και εξετάζονται αλγόριθμοι και τεχνικές ανάλυσης σημάτων που προέρχονται από τις κύριες τεχνολογίες αισθητηρίων BCI (EEG, ECG κλπ) (Cunbo, και συν. 2022). Στα πλαίσια της τεχνολογίας λογισμικού υπολογιστών μελετώνται πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ φυσικών συσκευών, παραδείγματα τοπολογίας υπολογιστικών συστημάτων και κόμβων επεξεργασίας όπως επίσης και δομών βάσεων δεδομένων πνευματικής και φυσικής δραστηριότητας από τεχνολογίες HCI (Mark, et al. 2020).

Το επόμενο διάγραμμα πίτας (διάγραμμα 2) παρουσιάζει τις ερευνητικές τάσεις που παρατηρούνται στο σύνολο της βιβλιογραφίας που παρουσιάζεται εδώ.

Διάγραμμα 2 Ερευνητικές τάσεις άρθρων



Όπως φαίνεται και από το ανωτέρω διάγραμμα ένα σημαντικό κομμάτι ερευνητικής δυναμικής αφορά μελέτες ιατρικής και φυσικοπνευματικής αποκατάστασης. Το 46% των ερευνών (12 άρθρα) εξετάζουν μεταξύ άλλων την ελάττωση συμπτωμάτων PTSD σε ασθενείς (Bois, και συν. 2021), την θεραπεία αποκατάστασης παιδιών με εγκεφαλική παράλυση (Alex, και συν. 2019), την απομακρυσμένη διάγνωση ασθενών (Daniela, και συν. 2016) και την εκπαίδευση καθώς και βελτίωση ασθενών με ADHD/ADD (Alaa, Amer and Shervin 2017) με χρήση των τεχνολογιών και μεθόδων BCI. Το υψηλό ποσοστό που κατέχει η συγκεκριμένη ερευνητική τάση δεν είναι τυχαίο. Η μελέτη των συγκεκριμένων άρθρων καταδεικνύει την αποτελεσματικότητα που έχουν οι μηχανισμοί BCI τροφοδοτούμενοι από ερεθίσματα τα οποία προέρχονται από παιχνίδια. Η χρήση των τεχνικών αυτών σε περιβάλλοντα ασθενών είναι πολλά υποσχόμενη και αυτό φαίνεται αρκετά καθαρά στον σημαντικό αριθμό ερευνών που αφιερώνονται σε αυτή την κατεύθυνση.

Η δεύτερη μεγαλύτερη ερευνητική τάση που παρατηρείται στο σύνολο των άρθρων που εξετάστηκαν αποτελούν οι μελέτες που εξετάζουν την έρευνα για την βελτίωση των τεχνολογιών BCI. Τα άρθρα που περιλαμβάνονται στην συγκεκριμένη κατηγορία και αποτελούν το 35% των ερευνών (9 άρθρα) εξετάζουν τις προοπτικές βελτίωσης των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές BCI. Μελέτες οι οποίες αφορούν βελτιωμένους αισθητήρες EEG με καλύτερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, βελτιωμένη εφαρμογή και χαμηλό κόστος όπως για παράδειγμα αισθητήρες EEG ξηρού αφρού (Liao, και συν. 2012). Η ανάγκη για ανωτέρου επιπέδου σχεδίαση των φορούμενων συσκευών EEG, EMG, EOG κλπ αποδεικνύεται ότι βελτιώνει την συνολική απόδοση ενός συστήματος BCI τόσο στην διαδικασία συλλογής πρωτογενών βιοσημάτων από το χρήστη αλλά και την καθαρότητα και την ακρίβεια μετατροπής τους σε χρήσιμα σήματα ελέγχου του υπολογιστή ή της μηχανής (Peiheng, Yicheng και Nuo 2022). Τα πειράματα που περιγράφονται στα άρθρα που ανήκουν σε αυτή την ερευνητική κατηγορία χρησιμοποιούν ως βασική μέθοδο για την πρόκληση ερεθισμών στους εξεταζόμενους βιντεοπαιχνίδια.

Η αμέσως επόμενη ερευνητική τάση που διακρίνεται στο σύνολο των άρθρων που συμπεριλαμβάνονται στην βιβλιογραφική επισκόπηση αποτελεί η έρευνα πληροφορικής. Η διαδικασία επεξεργασίας των πρωτογενών σημάτων από τους βιοαισθητήρες και η περεταίρω ανάλυση τους στα πλαίσια της εξαγωγής χαρακτηριστικών από αυτά τα σήματα απαιτεί την χρήση στατιστικών μεθόδων

και αλγόριθμων εργαλεία τα οποία προέρχονται από την επιστήμη της πληροφορικής. Το ποσοστό των άρθρων που πραγματεύονται αυτά τα θέματα ανέρχεται στο 15% (4 άρθρα). Στα άρθρα αυτά μελετούνται φίλτρα πρωτογενών σημάτων EEG (πχ Savitzky-Golay filter, low pass Butterworth filter), (Amna και Shahzad 2022) και οι προσπάθειες που γίνονται για την μείωση του θορύβου, την απομάκρυνση ανεπιθύμητων στοιχείων και γενικά οποιαδήποτε παρεμβολή μπορεί να καταστήσει ένα αρχικό σήμα βιοαισθητήρα δύσκολο στην επεξεργασία του. Ένας άλλος σημαντικός τομέας της πληροφορικής άμεσα συνδεδεμένος με τις τεχνολογίες BCI είναι οι αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος και ταξινόμησης (αλγόριθμοι ταξινομητών πχ SVM, k-NN). Καθώς οι αλγόριθμοι αυτοί και οι λοιπές τεχνικές επεξεργασίας σήματος είναι μεγάλης σημασίας για την τελική απόδοση ακρίβειας του συστήματος ή της συστοιχίας συσκευών BCI κρίνεται απαραίτητο να επεκτείνονται οι έρευνες πληροφορικής με αυτή την θεματική (Cunbo, και συν. 2022).

Η ερευνητική τάση η οποία επέδειξε τα χαμηλότερα ποσοστά στο σύνολο της βιβλιογραφίας που εξετάστηκε αποτελούν οι μελέτες πάνω στην διασκέδαση και την ψυχαγωγία. Το ποσοστό συμμετοχής της συγκεκριμένης ερευνητικής κατηγορίας διαμορφώθηκε στο 4% (1 άρθρο). Στο άρθρο αυτό περιγράφονται οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να βελτιωθεί η σχεδίαση των βιντεοπαιχνιδιών και των διάφορων πολυμεσικών τεχνολογιών ψυχαγωγίας με την ενσωμάτωση εξοπλισμού BCI στις παιχνιδομηχανές και στις σταθερές μονάδες υπολογιστή (Anton, Danny και Boris 2009). Η χρήση τεχνολογιών BCI μπορεί να ανοίξει νέους ορίζοντες στους τρόπους με τους οποίους ψυχαγωγείται ο άνθρωπος. Όσον αφορά τον τομέα των βιντεοπαιχνιδιών τα δεδομένα από τον συνολική εικόνα των άρθρων που εξετάστηκαν δείχνουν ότι τα παιχνίδια μπορούν να προσφέρουν σημαντικά στην εξέλιξη των τεχνολογιών BCI αλλά δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για το αντίθετο τουλάχιστον στα πλαίσια της παρούσας βιβλιογραφικής επισκόπησης.

6.3 Μέθοδοι Έρευνας

Τα άρθρα που εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας βιβλιογραφικής επισκόπησης παρουσιάζουν κάποια συγκεκριμένα στοιχεία όσον αφορά την χρήση των κύριων μεθόδων έρευνας που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της συγγραφής τους. Οι κύριες μέθοδοι που διακρίνονται στο σύνολο των άρθρων που συμμετείχαν στην παρούσα εργασία αποτελούν τα πειράματα, οι βιβλιογραφικές επισκοπήσεις, και η εξέταση θεωρίας. Το επόμενο διάγραμμα (διάγραμμα 3) παρουσιάζει τον αριθμό των άρθρων που χρησιμοποιεί μια συγκεκριμένη μέθοδο.

Διάγραμμα 3 Στοιχεία Ερευνητικών Μεθόδων



Το ανωτέρω διάγραμμα μας δείχνει ότι ο μεγαλύτερος αριθμός άρθρων (22 άρθρα) αφορά πειράματα. Ανεξαρτήτως της ερευνητικής κατεύθυνσης που ανήκουν τα συγκεκριμένα άρθρα η μέθοδος που ακολουθείται σε αυτά κάνει χρήση εξοπλισμού BCI σε πειράματα για την συλλογή δεδομένων από συμμετέχοντες και την μετέπειτα επεξεργασία τους για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σύμφωνα με τους στόχους που προσπαθεί να επιτύχει η εκάστοτε έρευνα. Στα πειράματα αυτά χρησιμοποιούνται βιντεοπαιχνίδια με σκοπό την ενισχυθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο η μεθοδολογία του πειράματος ώστε να αποκομισθούν τα μέγιστα δυνατά οφέλη από τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του

εξοπλισμού. Επιπλέον η εμπειρία των χρηστών κατά την διάρκεια των πειραμάτων είναι απαραίτητο να είναι η καλύτερη δυνατή τόσο από την ευκολία χρήσης και άνεσης του εξοπλισμού όσο και από την αποδοτική ενεργοποίηση των χαρακτηριστικών εκείνων του οργανισμού που θα δώσει ποικίλα και αξιόπιστα ηλεκτρικά σήματα για συλλογή και επεξεργασία από τα αισθητήρια BCI.

Δύο από τα άρθρα που συμμετέχουν στην έρευνα αφορούν βιβλιογραφικές επισκοπήσεις. Τα στοιχεία που παρουσιάζονται σε αυτές τις έρευνες αφορούν τις τεχνολογίες αισθητήρων BCI όπως επίσης και την προοπτική της χρήσης παιχνιδιών στην ερευνητική διαδικασία βελτίωσης των τεχνολογιών BCI και της βιολογικής βελτίωσης ασθενών που επηρεάζονται από διάφορες διαταραχές του εγκεφάλου ή έχουν κινητικές δυσκολίες. Η συμπερίληψη αυτών των άρθρων βοηθάει σημαντικά στον εμπλουτισμό των στοιχείων εκείνων που χρειαζόμαστε για να δώσουμε απαντήσεις σε κάποια από τα ερευνητικά ερωτήματα που πραγματεύεται η παρούσα εργασία.

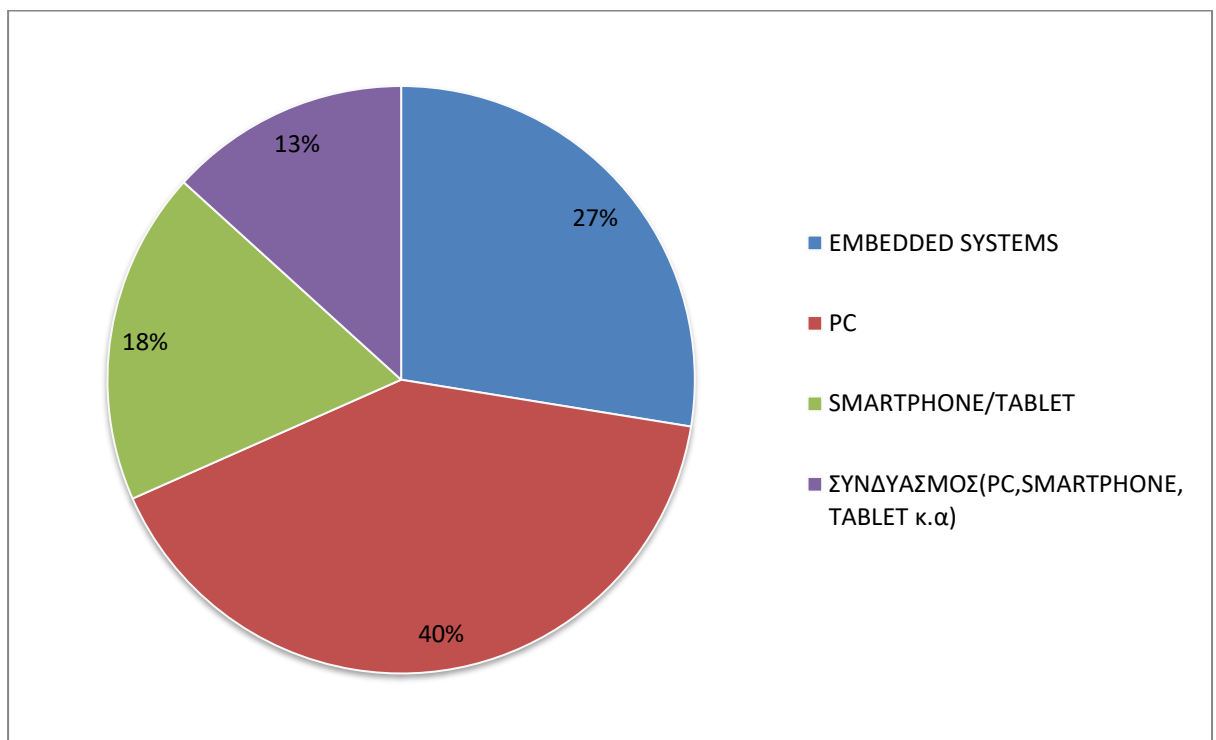
Τα δύο τελευταία άρθρα που χρησιμοποιούνται αφορούν θεωρητικές έρευνες πάνω στην χρήση των BCI για την βελτίωση του σχεδιασμού των βιντεοπαιχνιδιών όπως επίσης και έρευνες που εξετάζουν μεμονομένα τα αισθητήρια (EEG, ECG, κτ) τα οποία χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία των πειραμάτων που εξετάζουν τις τεχνολογίες BCI. Τα αισθητήρια αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο στη δομή ενός συστήματος BCI οπότε κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη ερευνών που εξετάζουν τον εξοπλισμό βιοαίσθησης.

6.4 Υπολογιστικές Συσκευές

Στα πλαίσια διεξαγωγής των ερευνών που γίνονται στα άρθρα που έχουν συμπεριληφθεί στην παρούσα βιβλιογραφική επισκόπηση γίνεται χρήση ποικίλων υπολογιστικών συσκευών ως απαραίτητες συνιστώσες ενός ολοκληρωμένου συστήματος BCI. Ένα σύστημα BCI σε οποιαδήποτε υλοποίηση του χρησιμοποιεί υπολογιστές, έξυπνα τηλέφωνα, tablet και ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems) για την εκτέλεση των υπολογιστικών διεργασιών που είναι απαραίτητες στην μελέτη και την λειτουργία των εξεταζόμενων λύσεων και μεθόδων βασισμένες σε BCI που πραγματεύονται οι έρευνες που εξετάζονται στα άρθρα της βιβλιογραφίας.

Η κατανομή χρήσης των υπολογιστικών συσκευών που παρατηρείται στο σύνολο του σώματος της εξεταζόμενης βιβλιογραφίας εξετάζεται στο επόμενο διάγραμμα (διάγραμμα 4). Εξετάζονται τα ποσοστά χρήσης των συσκευών που χρησιμοποιούνται μεμονωμένα στις έρευνες όπως υπολογιστές, έξυπνα τηλέφωνα και ενσωματωμένα συστήματα και στις εργασίες αυτές που κάνουν χρήση δύο ή περισσότερων συσκευών συνδυαστικά για την επίτευξη των δομικών λειτουργιών του πειράματος ή της έρευνας που διεξάγεται κάθε φορά.

Διάγραμμα 4 Ποσοστά χρήσης υπολογιστικών συσκευών στην εκάστοτε έρευνα



Τα στοιχεία δείχνουν πως η υπολογιστική συσκευή που παρουσιάζει την μεγαλύτερη εκπροσώπηση στο σύνολο των ερευνών που εξετάζονται είναι ο υπολογιστής (PC). Στα άρθρα που εξετάζονται (40% των ερευνών) όταν γίνεται αναφορά στην χρήση υπολογιστή εννοείται ότι χρησιμοποιείται είτε ένας σταθερός υπολογιστής ή ένα λάπτοπ. Ο κυριότερος λόγος που εξηγεί ένα τέτοιο μεγάλο ποσοστό συμμετοχής είναι η επεξεργαστική ισχύς. Παρά την μεγάλη βελτίωση και την εξέλιξη των φορητών υπολογιστικών συσκευών ένα σύστημα υπολογι-

στή παραμένει η ανώτερη επιλογή για την διεξαγωγή των απαραίτητων διεργασιών υπολογιστικής που απαιτούν οι συσκευές και τα προγράμματα BCI. Ο υπολογιστής στο πλαίσιο των ερευνών χρησιμοποιείται για την λήψη των δεδομένων από τους αισθητήρες, την επεξεργασία των σημάτων, την εκτέλεση αλγορίθμων ταξινομητών, την εκτέλεση λογισμικού στατιστικής ανάλυσης και φυσικά την εκτέλεση του βιντεοπαιχνιδιού που συμμετέχει στην εκάστοτε εργασία.

Τα ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems) συμμετέχουν με ποσοστό 27% στο σύνολο των άρθρων που εξετάζονται. Τα συστήματα αυτά συνήθως σχεδιάζονται, προσαρμόζονται και υλοποιούνται για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον χρήσης ή τομέα έρευνας παράδειγμα αποτελούν οι συσκευές Broadcom BCM2837 και UEA-16FZ. Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι η ικανοποιητική επεξεργαστική ισχύς που παρέχουν, το περιορισμένο μέγεθος τους και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η χρήση συσκευών περιορισμένου μεγέθους αρχίζει και γίνεται επιτακτική ειδικά στις έρευνες ιατρικής φύσης καθώς ο εξοπλισμός που συνοδεύει μια πειραματική διάταξη πρέπει να γίνεται όσο το δυνατό λιγότερο αντιληπτός από τον χρήστη, να τον διευκολύνει και να μην τον κουράζει στην διάρκεια της διεξαγωγής του πειράματος.

Στην τρίτη θέση με ποσοστό εκπροσώπησης 18% έρχονται τα έξυπνα τηλέφωνα και τα τάμπλετ. Η εντυπωσιακή αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των φορητών συσκευών τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη και την διασπορά ενδιαφερόντων και εθιστικών φορητών παιχνιδιών στο ευρύ κοινό. Αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό κάνει τα έξυπνα τηλέφωνα και τις συναφείς συσκευές ένα εξαιρετο μέσο για τις έρευνες BCI που βασίζονται στα βιντεοπαιχνίδια. Οι δυνατότητες συνδεσιμότητας και φορητότητας των κινητών τηλεφώνων αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για την διεξαγωγή πειραμάτων που απαιτούν την δημιουργία πολλαπλών οπτικών, πνευματικών και ψυχικών ερεθισμάτων στο χρήστη. Η ευρεία χρήση των συσκευών αυτών στις μέρες μας και η εξοικείωση του ανθρώπου με αυτές τις καθιστά ελκυστικές για τον ταχύ σχεδιασμό πειραμάτων χωρίς εκτεταμένη εκπαίδευση στα αρχικά στάδια οποιασδήποτε έρευνας. Τα παιχνίδια τα οποία αναπτύσσονται για τις πλατφόρμες φορητών συσκευών (όπως πχ android) αυξάνονται μέρα με τη μέρα μειώνοντας σημαντικά την ανάγκη για την ανάπτυξη βιντεοπαιχνιδιών από τους ίδιους τους ερευνητές. Δευτερευόντως στα πλαίσια ερευνών που εξετάζονται στην βιβλιογραφία έχει γίνει χρήση των έξυπνων τηλεφώνων ως επεξεργαστικοί κόμβοι και πλατφόρμες εικονικής πραγματικότητας με χρήση τους σε προσαρμοσμένα σετ κεφαλής.

Ο συνδυασμός των ανωτέρω υπολογιστικών τεχνολογιών εκπροσωπείται με ποσοστό 13% στο σύνολο των άρθρων που παρουσιάζονται εδώ.

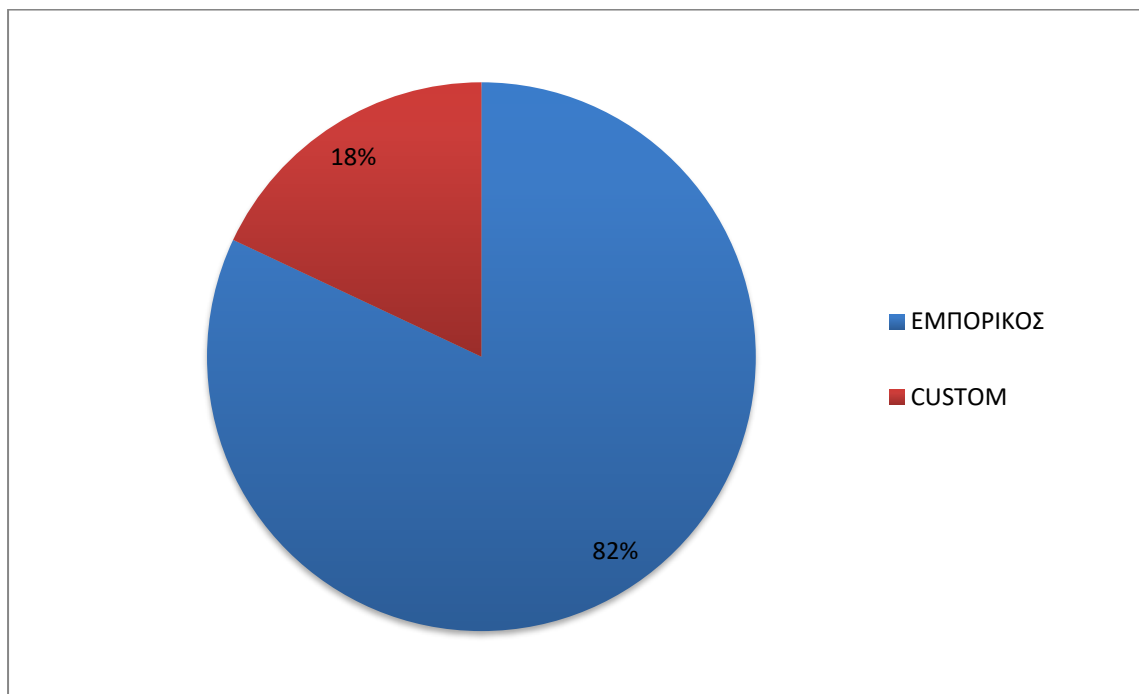
Τα άρθρα και οι έρευνες που κάνουν συνδυασμό των συσκευών υπολογιστικής γίνεται με κύριο σκοπό την κατανομή του επεξεργαστικού φόρτου κατά τα στάδια της συλλογής, της επεξεργασίας και της εκτέλεσης του λογισμικού είτε του βιντεοπαιχνιδιού είτε της διεξαγωγής των αλγόριθμων ταξινόμησης και πακέτων στατιστικής επεξεργασίας. Για παράδειγμα τα έξυπνα τηλέφωνα να αναλαμβάνουν την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων EEG συνδεδεμένα ασύρματα με τα σετ κεφαλής και τις υπόλοιπες συσκευές βιοαίσθησης, ταυτόχρονα ο υπολογιστής αναλαμβάνει την εκτέλεση του παιχνιδιού και ένα ενσωματωμένο σύστημα να εκτελεί εργασίες συγχρονισμού και αποστολής των τελικών δεδομένων σε διακομιστές και βάσεις δεδομένων. Οι έρευνες που κάνουν χρήση συνδυασμού των υπολογιστικών συσκευών παρουσιάζουν υψηλή απόδοση και ακρίβεια σε όλες τις διεργασίες που σχετίζονται με την πειραματική διαδικασία στο σύνολο των άρθρων που εξετάζονται με αυτή τη μέθοδο από την συλλογή των πρωτογενών δεδομένων μέχρι τα τελικά αποτελέσματα από τα επεξεργασμένα δεδομένα του χρήστη και της γενικότερης διαδικασίας της έρευνας. Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρει μια συνδυαστική προσέγγιση των συσκευών η χρήση πολλαπλών συσκευών στην πειραματική και ερευνητική διαδικασία σημαίνει αυξημένο κόστος και ενδεχόμενη υψηλή πολυπλοκότητα χρήσης από τον χρήστη και τους ερευνητές. Αυτά τα αρνητικά χαρακτηριστικά δικαιολογούν σε σημαντικό βαθμό την χαμηλότερη εκπροσώπηση της συγκεκριμένης μεθόδου στο σύνολο των άρθρων της βιβλιογραφίας.

6.5 Βιοαισθητήρες

Οι συσκευές βιοαίσθησης που χρησιμοποιούνται στις έρευνες και τα πειράματα της βιβλιογραφίας που εξετάζεται αποτελούν τα βασικότερα εργαλεία για την καταγραφή των πρωτογενών σημάτων που παράγονται βιολογικά από τον οργανισμό του χρήστη. Στις έρευνες αυτές που εξετάζουν την χρήση των τεχνολογιών BCI γίνεται χρήση αισθητήρων EEG, PPG, EMG, EOG. Τα κύρια πρωτογενή δεδομένα οποιουδήποτε πειράματος ή έρευνας που διεξάγεται προέρχεται από συσκευές EEG. Έπειτα ανάλογα με τους στόχους και την μεθοδολογία της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιούνται επιπλέον δευτερεύουσες συσκευές PPG, EMG, EOG σε διάφορους συνδυασμούς και διατάξεις.

Οι συσκευές EEG που χρησιμοποιούνται προέρχονται από διάφορες εταιρίες κατασκευής (εμπορικά διαθέσιμες συσκευές) υπάρχουν όμως και έρευνες που κάνουν χρήση μιας προσαρμοσμένης υλοποίησης (custom) αισθητήρων κατασκευασμένη από τους ίδιους τους ερευνητές. Το παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 5) απεικονίζει τα ποσοστά των αισθητήρων που είναι εμπορικά διαθέσιμα σε σχέση με τις custom υλοποιήσεις και λύσεις.

Διάγραμμα 5 Συμμετοχή αισθητήρων EEG στο σύνολο των άρθρων



Τα δεδομένα του διαγράμματος μας δείχνουν ότι το 82% των αισθητήρων EEG που χρησιμοποιούνται στο σύνολο των εξεταζόμενων ερευνών διατίθενται στην αγορά και είναι άμεσα προσβάσιμοι και στην επιστημονική κοινότητα και στους καταναλωτές. Αυτή ιδιότητα είναι πολύ ελκυστική για την διεξαγωγή ερευνών και πειραμάτων εντός και εκτός εργαστηριακού περιβάλλοντος. Αυτό διευκολύνει την διεξαγωγή ερευνών σε ιατρικά περιβάλλοντα και σε ασθενείς που πραγματεύεται η πλειοψηφία των ερευνών της βιβλιογραφικής επισκόπησης λόγω της βελτιωμένης εφαρμογής, φορητότητας και χρηστικότητας τις οποίες παρουσιάζει μια εμπορικώς διαθέσιμη λύση. Φυσικά αυτά τα πλεονεκτήματα γίνονται ορατά και στις άλλες ερευνητικές κατευθύνσεις που ακολουθούν τα υπόλοιπα άρθρα. Ένα ποσοστό 18% αφορά προσαρμοσμένες υλοποιήσεις αισθητήρων τις οποίες είτε χρησιμοποιούν οι ερευνητές σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις εφαρμογής των αισθητήρων (πχ σε ανώμαλες κρανιακές επιφάνειες ή ακανόνιστα επιδερμικά χαρακτηριστικά) ή σε έρευνες που πραγματεύονται εκ νέου σχεδιασμό αισθητήρων από το μηδέν για την υλοποίηση μιας νέας τεχνολογίας ηλεκτροδίων ή την δοκιμή νέων υλικών με σκοπό την βελτιωμένη ηλεκτρική συμπεριφορά των αισθητήρων.

Ο επόμενος πίνακας (πίνακας 4) απεικονίζει τις συσκευές EEG που χρησιμοποιήθηκαν στα άρθρα που εξετάζονται στην βιβλιογραφία.

Πίνακας 4 Αισθητήρες EEG από άρθρα βιβλιογραφίας

Αισθητήρες EEG	Αριθμός καναλιών (CH)	Αριθμός άρθρων
(TLV1211 Ag/AgCl)	16	1
B-Bridge, B3-Bnad	1	1
Biopac Cap-100C	14	1
Biosemi Activetwo	64	1
Microsoft Hololens 2(Custom EEG clip-on)	14	1
Mindo 4S Wireless EEG	4	1
Braintech EEG Sensor	24	1
Active EEG headset	32	1
Emotiv headset/Emotiv EPOC	14/16	4
Neurosky Mindwave	1	2
Ina2126 EEG	4	1
Hc-05 EEG	1	1
Neurosky EEG headset	1	1
Uea-16FZ	15	1
g.Nautilus Pro/g.Nautilus Ladybird	32/32	1
Muse headband	4	2
FlexEEG Headset	3	1

Τα δεδομένα του πίνακα μας δείχνουν ότι η συχνότερα χρησιμοποιούμενη συσκευή EEG είναι το σετ κεφαλής Emotiv όπως και παραλλαγές του σαν το Emotiv EPOC. Οι αμέσως επόμενες πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συσκευές που χρησιμοποιούνται αποτελούν τα Neurosky Mindwave και Muse headband. Οι συσκευές αυτές είναι εμπορικά διαθέσιμες και γνωστές. Η κατανομή στην χρήση των υπόλοιπων συσκευών EEG είναι ομοιόμορφη στο σύνολο των άρθρων που εξετάστηκαν. Η κάθε συσκευή EEG που συμμετέχει στην εκάστοτε έρευνα χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο αριθμό καναλιών. Δεν φαίνεται να υπάρχει κάποιο μοτίβο στην συχνότητα χρήσης συσκευών με υψηλό αριθμό καναλιών έναντι εκείνων που χρησιμοποιούν λιγότερα κανάλια κατά την χρήση τους.

Στον επόμενο πίνακα (πίνακας 6) απεικονίζονται ο αριθμός των άρθρων που κάνουν χρήση κάποιου δεύτερου αισθητήρα ή συνδυασμού αισθητήρων στα πλαίσια της ενίσχυσης των πειραμάτων για την συλλογή μεγαλύτερου πλήθους βιολογικών σημάτων προς ανάλυση και επεξεργασία.

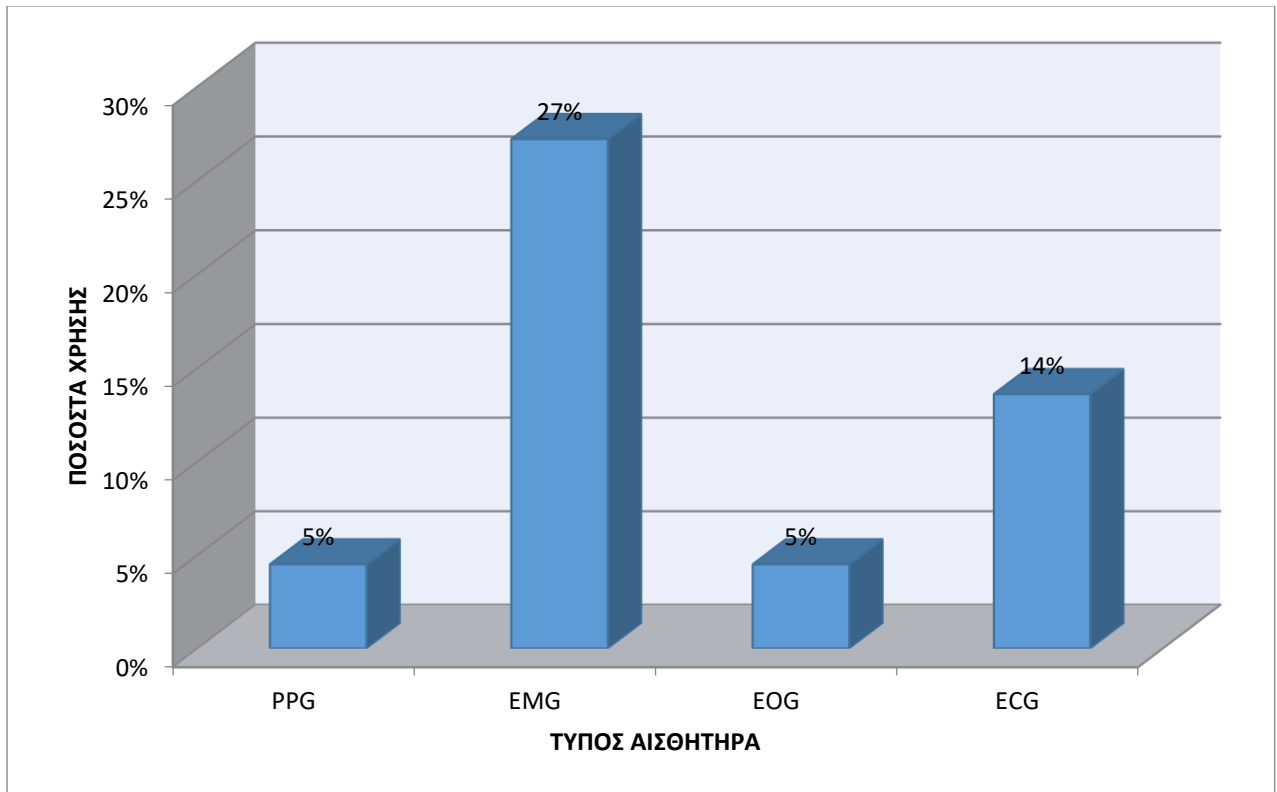
Πίνακας 5

Δευτερεύων αισθητήρας	Αριθμός άρθρων	Ποσοστά χρήσης αισθητήρα
PPG	1	5%
EMG	6	27%
EOG	1	5%
ECG	3	14%
Σύνολο	11	

Ένας σημαντικός αριθμός άρθρων (11 άρθρα) τα οποία αντιπροσωπεύουν περίπου το 42,3% του συνόλου των άρθρων της βιβλιογραφίας κάνουν χρήση αισθητήρων PPG, EMG, EOG, ECG σε συνδυασμό με μία πρωτεύουσα συσκευή EEG.

Στο επόμενο διάγραμμα (διάγραμμα 6) φαίνονται τα ποσοστά χρήσης δευτερευόντων αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια των πειραμάτων που διεξήχθησαν για τις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας που περιγράφεται στα εξεταζόμενα άρθρα. Τα στοιχεία του διαγράμματος αφορούν τις έρευνες και τα πειράματα που κάνουν χρήση ενός ή περισσότερων δευτερευόντων αισθητήρων.

Διάγραμμα 6 Ποσοστά χρήσης δευτερέοντος αισθητήρα



Τα στοιχεία του διαγράμματος δείχνουν ένα 27% των πειραμάτων κάνουν χρήση αισθητήρα EMG. Οι περιπτώσεις αυτές κάνουν συλλογή ηλεκτρομυϊκών σημάτων για την χρήση τους ως σήματα ελέγχου της εφαρμογής ή του παιχνιδιού που εξετάζεται, πολλές φορές ως σήματα αναφοράς και αντιπαραβολής τους με τα σήματα που λαμβάνει η πρωτεύουσα συσκευή EEG για την ενίσχυση της διαδικασίας κατηγοριοποίησης. Αυτοί οι αισθητήρες είναι σε μορφή βραχιολιού και φορούνται στον βραχίονα. Μπορούν να συνδεθούν ασύρματα μέσω κάποιας τεχνολογίας Bluetooth ή ενσύρματα με κάποια υπολογιστική συσκευή.

Ένα ποσοστό συμμετοχής 15% λαμβάνουν οι συσκευές ECG οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των καρδιακών παλμών κυρίως σε προσπάθειες αναγνώρισης και διαχωρισμού του συναισθηματικού φορτίου ή της εξάντλησης του χρήστη. Ένας άλλος ιδιαίτερος λόγος χρήσης ενός αισθητήρα ECG είναι η αφαίρεση ανεπιθύμητου σήματος που μπορεί να προκαλέσει η ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς σε ένα πρωτογενές σήμα EEG.

Συσκευές EOG χρησιμοποιούνται με ποσοστό 5% στις εφαρμογές εκείνες στις οποίες είναι απαραίτητο να έχουν γνώση οι ερευνητές για την οπτική προσοχή του χρήστη κάνοντας χρήση αισθητήρων που παρακολουθούν κινήσεις του οφθαλμού. Σε πολλές από τις περιπτώσεις οι αισθητήρες αυτοί δεν είναι μεμονωμένοι αλλά βρίσκονται προσαρμοσμένοι στα περισσότερα από τα σετ κεφαλής EEG που έχουν χρησιμοποιηθεί στο σύνολο των ερευνών που έχουν εξεταστεί.

Αισθητήρες PPG χρησιμοποιούνται είτε μεμονωμένα είτε ενσωματωμένοι σε φορούμενες λύσεις EMG για την παρατήρηση των μεταβολών στην ροή του αίματος στα μικροαγγεία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά με αισθητήρες ECG για την εξαγωγή περισσότερων δεδομένων καρδιακής δραστηριότητας. Το ποσοστό συμμετοχής των αισθητήρων αυτών αγγίζει το 5%.

6.6 Παιχνίδια

Τα παιχνίδια που χρησιμοποιήθηκαν στα άρθρα που εξετάζονται στην παρούσα βιβλιογραφική επισκόπηση παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα (πίνακας 6).

Πίνακας 6 Παιχνίδια βιβλιογραφικής επισκόπησης

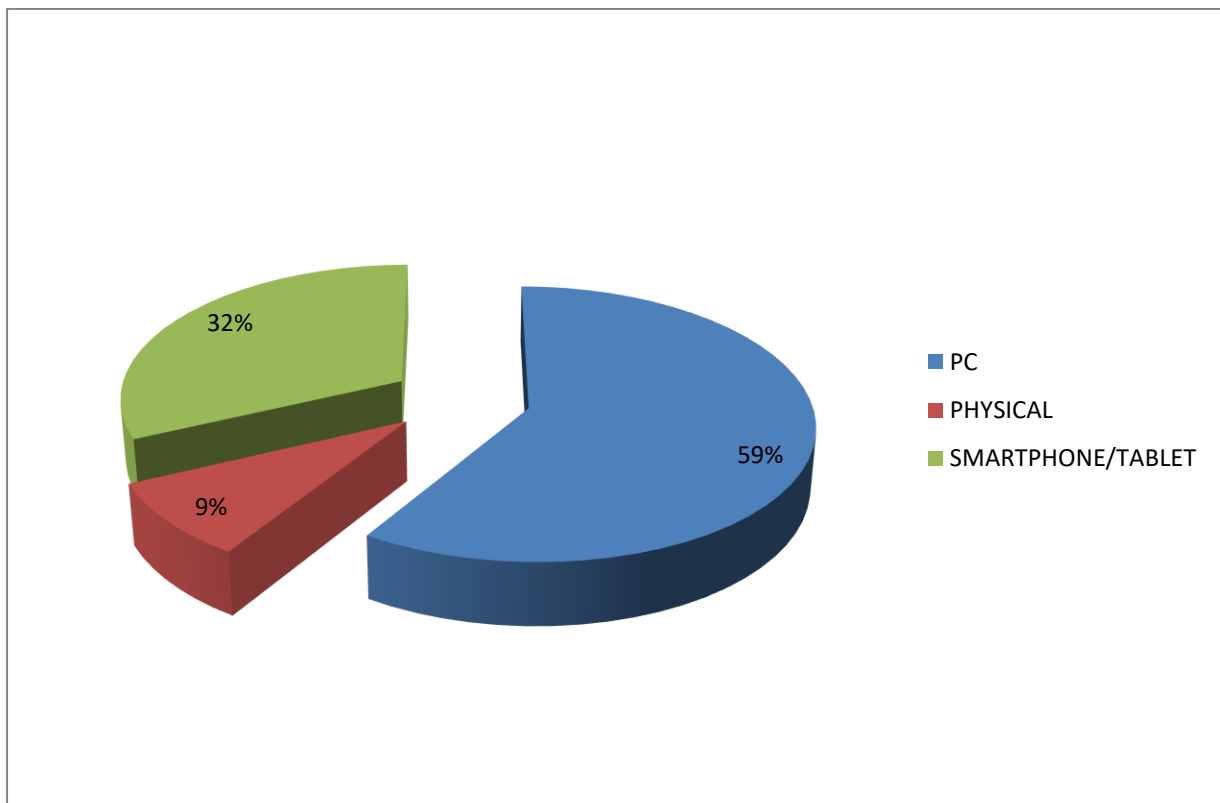
Βιντεοπαιχνίδι/Παιχνίδι	Μηχανή παιχνιδιού	Εταιρία κατασκευής
Where is waldo, rock,paper,scissors	-	-
Dragon Bross, 3dFoin	Unity	Unity Technologies
Wobble,Catch, Maze	Open Ai Gym Atari	Atari
Memory Game with Cards	-	-
Soccer Ball vs Cube	Unity3D	Unity Technologies
EEG Tractor Beam	-	-
Candy Crush Saga, Stickman Archers.	Defold Engine	King
Custom BCI cognitive Game	-	-
Temple Run	Unity(Android)	imangi Studios
Super Meat Boy	Adobe flash	-
Candy Crush, Among Us, Pubg, Asphalt Nitro	Defold Engine, Unity, unreal engine 4, V12 engine	-
Archery Game	-	-
Controlled robot	-	-
Pirate Rush(2D)	-	-
Serious Game type exploration	Unity3D	-
multiplayer collaborative game	-	-
Axon game	Neurosensi Platform	-
Timeframe, Outlast	-	Random seed games, Red Barrels Games
EmoCat Rescue	proof of concept	-
Lego Mindstorms EV3 kit	-	Lego
Pacman, World of warcraft	assembly, wow engine	Namco, Blizzard entertainment
3D ball game	unity Games engine	-

Τα δεδομένα του πίνακα μας δείχνουν ότι γίνεται χρήση ποικιλίας παιχνιδιών στις έρευνες BCI που διεξάγονται στα εξεταζόμενα άρθρα. Έχουμε συμμετοχή εμπορικών παιχνιδιών (πχ pacman, world of warcraft) και προσαρμοσμένων παιχνιδιών (custom games) που υλοποιούνται για τις εξειδικευμένες περιπτώσεις πειραμάτων έχοντας συγκεκριμένες απαιτήσεις σχεδίασης και εφαρμογής στο

λογισμικό βίντεοπαιχνιδιού. Οι ερευνητές μπορούν να κάνουν χρήση μιας μηχανής παιχνιδιού για να προσαρμόσουν την διεπαφή του στις συγκεκριμένες εντολές εισόδου από ένα σύστημα EEG (πχ Axon game). Επίσης υπάρχουν περιπτώσεις χρήσης φυσικών παιχνιδιών (για παράδειγμα ένα ρομπότ Lego το οποίο κινείται με εντολές συστήματος BCI). Η συντριπτική πλειοψηφία των παιχνιδιών που εξετάζονται είναι παιχνίδια που εκτελούνται σε μια μονάδα σταθερού υπολογιστή ή παιχνίδια που τρέχουν σε κάποια φορητή συσκευή. Τα στοιχεία επίσης δείχνουν ότι η μηχανή παιχνιδιού που χρησιμοποιείται σε αρκετά από τα παιχνίδια που συμμετέχουν στις έρευνες είναι η μηχανή Unity. Η χρήση των βίντεοπαιχνιδιών παρέχει τα απαραίτητα οπτικά πνευματικά και φυσικά ερεθίσματα για την άμεση και εύκολη δημιουργία βιοσημάτων την οποία εκμεταλλεύονται στο έπακρο όλες οι έρευνες BCI.

Το επόμενο διάγραμμα (διάγραμμα 7) δείχνει τα ποσοστά χρήσης των συσκευών που εκτελούν τα παιχνίδια που εξετάζονται στα πλαίσια των πειραματικών διαδικασιών των άρθρων.

Διάγραμμα 7 Χρήση συσκευών παιχνιδιού



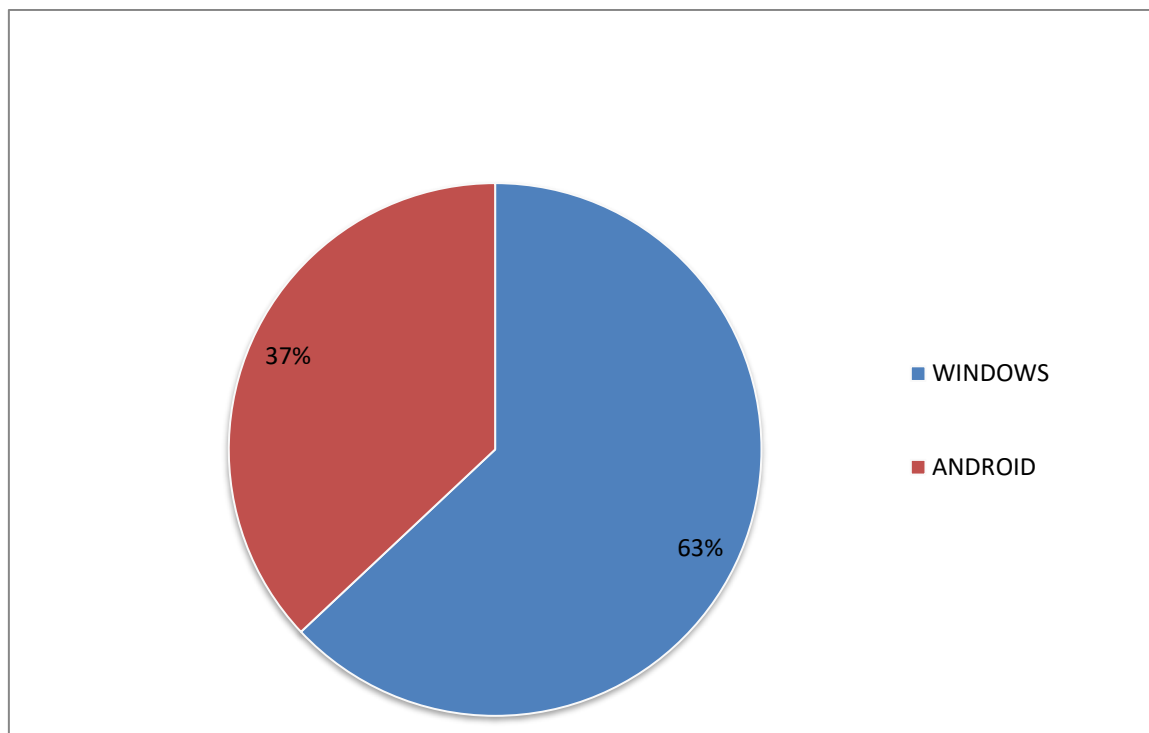
Το 57% των βιντεοπαιχνιδιών εκτελείται σε κάποιο σταθερό υπολογιστή (PC). Σημαντικό ρόλο σε αυτό το ποσοστό παίζει η αυξημένη επεξεργαστική ισχύς όπως επίσης και η πλειάδα εργαλείων που προορίζονται για την σχεδίαση και υλοποίηση βιντεοπαιχνιδιών. Οι περισσότερες μηχανές παιχνιδιών σχεδιάζονται και προγραμματίζονται στον υπολογιστή συμπεριλαμβανομένων και των παιχνιδιών για φορητές συσκευές.

Το 32% των χρησιμοποιούμενων συσκευών αποτελούν τα έξυπνα τηλέφωνα και τα τάμπλετ. Τα παιχνίδια για φορητές συσκευές γίνονται συνεχώς πιο εμπορικά και δημοφιλή οπότε η επιλογή τους στα πειράματα BCI κρίνεται ολοένα και πιο απαραίτητη.

Ένα 9% των παιχνιδιών που εξετάζονται αφορούν φυσικά παιχνίδια συνδεδεμένα με μία διάταξη BCI. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο έλεγχος τροχήλατου ρομπότ lego από συσκευή BCI με διαμεσολαβητή ένα έξυπνο τηλέφωνο.

Το επόμενο διάγραμμα (διάγραμμα 8) μας δείχνει τα ποσοστά κατανομής των παιχνιδιών σύμφωνα με την πλατφόρμα στα οποία αυτά προορίζονται.

Διάγραμμα 8 Πλατφόρμα παιχνιδιού



Τα παιχνίδια που εκτελούνται σε σταθερό υπολογιστή (PC) και καταλαμβάνουν ποσοστό 63% εκτελούνται και αναπτύσσονται για τα συστήματα Windows που τρέχουν στην πλειοψηφία των υπολογιστών στις μέρες μας. Τα προσαρμοσμένα παιχνίδια που συμμετέχουν στις έρευνες χρησιμοποιούν συχνά μεγάλες οθόνες και προτζέκτορες για την απεικόνιση της διεπαφής του παιχνιδιού στους εξεταζόμενους. Υπάρχει πλειάδα εργαλείων προγραμματισμού και σχεδίασης παιχνιδιών τα οποία μπορεί να εκμεταλλευτεί ένας ερευνητής για να σχεδιάσει μια λύση βιντεοπαιχνιδιού που θα είναι προσαρμοσμένο στις ιδιαίτερες παραμέτρους του πειράματος BCI που διεξάγεται κάθε φορά.

Το υπόλοιπο 37% των παιχνιδιών αφορούν την πλατφόρμα Android η οποία είναι από τα πιο δημοφιλή λειτουργικά συστήματα φορητών συσκευών. Η ευρεία χρήση των έξυπνων τηλεφώνων και τάμπλετ στις μέρες μας έχει οδηγήσει στην δημιουργία και διάδοση διασκεδαστικών και εθιστικών βιντεοπαιχνιδιών που δεσμεύουν την προσοχή του χρήστη. Τα παιχνίδια Android που συμπεριλαμβάνονται στο σύνολο των άρθρων που εξετάζονται επιδεικνύουν όλα τα ανωτέρω χαρακτηριστικά και επιλέγονται για την ταχύτητα και την ευκολία με την οποία δημιουργούν φυσικο - πνευματικές και ψυχολογικές αντιδράσεις από την μεριά του χρήστη. Στα πλαίσια μίας έρευνας BCI αυτό μπορεί να μεταφραστεί σε καθαρά και διακριτά πρωτογενή σήματα τα οποία συλλέγονται από τις συσκευές EEG και τις λοιπές τεχνολογίες βιοαίσθησης προσφέροντας πολύτιμη βοήθεια στον ερευνητή - αναλυτή.

6.7 Μέθοδοι ανάλυσης σήματος

Οι μέθοδοι ανάλυσης σήματος αφορούν στα εργαλεία, τις τεχνικές και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των πρωτογενών σημάτων τα οποία προέρχονται από τις συσκευές EEG καθώς και από τα υπόλοιπα αισθητήρια βιοαίσθησης που εξετάζονται στα άρθρα της βιβλιογραφίας. Ο επόμενος πίνακας (πίνακας 7) παρουσιάζει συνοπτικά τις μεθόδους ανάλυσης και επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν στο σύνολο των άρθρων της παρούσας βιβλιογραφικής επισκόπησης. Στον πίνακα αναφέρονται ονομαστικά οι μέθοδοι και ο αριθμός των άρθρων τα οποία αναφέρουν την χρήση αυτών των μεθόδων.

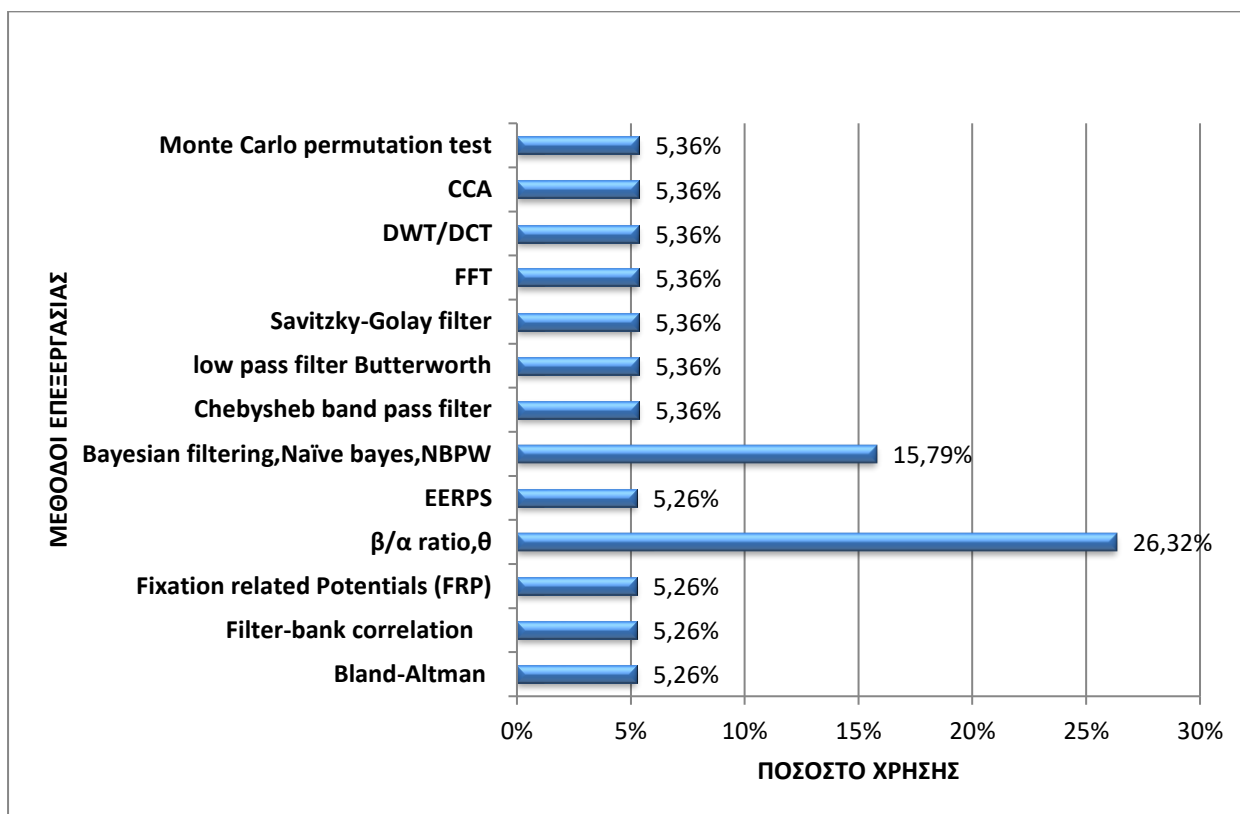
Κάποιες από τις έρευνες και τα πειράματα που διεξάγονται χρησιμοποιούν περισσότερες από μια μεθόδους για λόγους σύγκρισης και βελτιστοποίησης της πειραματικής διαδικασίας.

Πίνακας 7 Μέθοδοι ανάλυσης σήματος – Αριθμός άρθρων

Μέθοδοι ανάλυσης σήματος	Αριθμός άρθρων
Bland-Altman	1
Filter-bank correlation	1
Fixation related Potentials (FRP)	1
β/α ratio, θ	5
EERPS	1
Bayesian filtering, Naïve bayes, Naive Bayesian Parzen Window (NBPW)	3
Chebysheb band pass filter	1
low pass filter Butterworth	1
Savitzky-Golay filter	1
FFT	1
DWT/DCT	1
CCA	1
Monte Carlo permutation test	1

Αναλυτικότερα το επόμενο διάγραμμα (διάγραμμα 9) παρουσιάζει σχηματικά τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους για την ανάλυση και την επεξεργασία των σημάτων EEG, ECG κλπ.

Διάγραμμα 9 Μέθοδοι επεξεργασίας σήματος – Ποσοστό χρήσης



Τα στοιχεία του διαγράμματος δείχνουν ότι η συχνότερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την επεξεργασία σημάτων EEG αποτελεί η ανάλυση λόγου κυμάτων β/α και θ όπως και συνδυασμοί τους με ποσοστό 26,32%. Η ανάλυση αυτών των συχνοτήτων που παράγονται στον εγκέφαλο αποτελεί μια εξαιρετική επιλογή για την αναγνώριση και τον εντοπισμό της εγκεφαλικής δραστηριότητας σε συνάρτηση με την παραγωγή των ερεθισμάτων και την αναγνώριση των συναισθηματικών καταστάσεων που προκαλούνται στους εκάστοτε εξεταζόμενους χρήστες. Αμέσως μετά με ποσοστό 15,79% κατατάσσονται οι μέθοδοι που είναι βασισμένες σε κάποια παραλλαγή μεθόδων Bayes (όπως Bayesian filtering, Naïve Bayes κλπ).

Οι υπόλοιπες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται παρουσιάζουν ομοιόμορφη κατανομή και ποσοστά χρήσης στο σύνολο των άρθρων που εξετάζονται. Οι μέθοδοι επεξεργασίας αποτελούνται από φίλτρα συχνοτήτων, στατιστικές μεθόδους και χρήση διαφόρων τεχνικών πρόκλησης δυναμικών (πχ Eerps). Η χρήση αυτών των τεχνικών για την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων απομακρύνει ανεπιθύμητα στοιχεία του σήματος, ελαχιστοποιεί ή εξαλείφει τον θόρυβο, βελτιώνει τις αδυναμίες της εκάστοτε τοπολογίας των ηλεκτροδίων βιοαίσθησης και σε συνδυασμό με ένα κατάλληλα επιλεγμένο ταξινομητή μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια κατηγοριοποίησης στο πείραμα.

Οι τεχνικές αυτές επεξεργασίας σήματος μπορούν να εφαρμοστούν και στους υπόλοιπους αισθητήρες (πχ ECG) ενισχύοντας ακόμα περισσότερο τα πρώτα στάδια των πειραμάτων που αφορούν την συλλογή βιοσημάτων. Λογισμικά επεξεργασίας όπως πχ MATLAB και SLORETA χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια των πειραμάτων για την ανάλυση και περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων σήματος.

6.8 Αλγόριθμοι Ταξινόμητων

Οι αλγόριθμοι κατηγοριοποίησης χαρακτηριστικών αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι στην αλυσίδα λειτουργίας ενός συστήματος BCI. Τα άρθρα που συμπεριλαμβάνονται στην βιβλιογραφική επισκόπηση κάνουν χρήση διαφόρων ταξινομητών με απώτερο σκοπό την αύξηση της ακρίβειας κατηγοριοποίησης και επομένως της συνολικής απόδοσης του συστήματος BCI. Ο επόμενος πίνακας (πίνακας 8) παρουσιάζει τους ταξινομητές που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα και τις έρευνες που μελετήθηκαν.

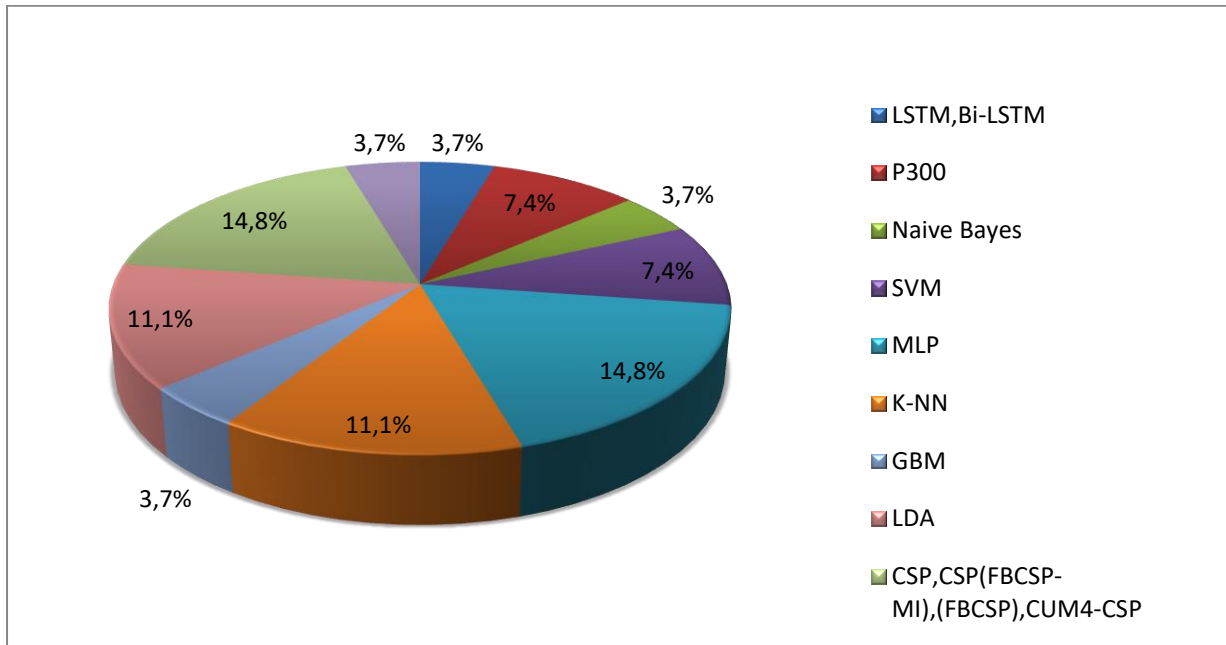
Πίνακας 8 Ταξινομητές πειραμάτων

Ταξινομητές	Αριθμός άρθρων
LSTM, Bi-LSTM (Long Short-Term Memory, Bidirectional-Long Short-Term Memory)	1
P300	2
NB (Naive Bayes)	1
SVM (Support Vector Machines)	2
MLP (Multilayer Perceptron)	4
K-NN (k Nearest Neighbor)	3
GBM (Gradient Boosting Machines)	1
LDA (Latent Dirichlet Allocation)	3
CSP (Common Spatial Patterns), CSP(FBCSP-MI), (FBCSP), CUM4-CSP	4

Τα πειράματα που εξετάζονται στα άρθρα της βιβλιογραφίας κάνουν χρήση ενός ή περισσότερων ταξινομητών για λόγους σύγκρισης και βελτίωσης των αποτελεσμάτων ειδικά όταν τα πρωτογενή δεδομένα είναι πολλά και πρέπει να συγκριθούν συνδυασμοί μεθόδων επεξεργασίας πρωτογενών σημάτων και ταξινομητών. Οι ερευνητές ψάχνουν τον ιδανικό συνδυασμό της μεθόδου αρχικής επεξεργασίας σήματος και ταξινομητή ώστε να μεγιστοποιήσουν τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από μια δεδομένη υλοποίηση BCI.

Το επόμενο διάγραμμα (διάγραμμα 10) απεικονίζει τους συχνότερα χρησιμοποιούμενους ταξινομητές στο σύνολο των ερευνών BCI που περιγράφονται και αναλύονται.

Διάγραμμα 10 Ποσοστά χρήσης ταξινομητών στα άρθρα



Τα δεδομένα δείχνουν ότι οι ταξινομητές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι οι MLP και οι διάφορες παραλλαγές και βελτιώσεις του αλγόριθμου CSP (πχ CUM4-CSP). Οι δύο τύποι ταξινομητών καταλαμβάνουν ισόποσα από ένα ποσοστό 14,8% και αντιπροσωπεύουν αλγορίθμους νευρωνικών δικτύων και εκμάθησης μηχανής (ML) αντίστοιχα. Παρατηρώντας τους ταξινομητές που ακολουθούν σε χρήση τους δύο προαναφερόμενους παρατηρείται ένα μοτίβο εκτεταμένης χρήσης αλγορίθμων βασισμένοι ML όπως οι LDA και κ-NN που καταλαμβάνουν επίσης ισόποσα ποσοστά 11,1%. Με ποσοστό 7,4% εμφανίζονται οι ταξινομητές P300 και SVM και τέλος τα χαμηλότερα ποσοστά με 3,7% καταλαμβάνουν ταξινομητές όπως Naïve Bayes, GBM και άλλοι. Πολλές από τις έρευνες κάνουν χρήση πολλαπλών ταξινομητών προς σύγκριση της απόδοσης μεταξύ τους γεγονός που εξηγεί τα ισόποσα ποσοστά χρήσης που εμφανίζονται στο διάγραμμα.

Ο επόμενος πίνακας δείχνει το εύρος αποδόσεων ακρίβειας που πέτυχαν οι ταξινομητές στα πλαίσια των πειραμάτων που διεξήχθησαν. Τα ποσοστά ελαχίστων και μεγίστων τιμών που πέτυχε ο εκάστοτε αλγόριθμος παρουσιάζονται εκτενώς στην εξεταζόμενη βιβλιογραφία και παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 9.

Πίνακας 9 Αποδόσεις ακρίβειας ταξινομητών

Ταξινομητές	Απόδοση ακριβείας(ελάχιστη – μέγιστη)
LSTM, Bi-LSTM	82%-86%
P300	81%-92%
Naive Bayes	70%-82%
SVM	59%-89%
MLP	89%-93%
K-NN	32%-65%
GBM	82%-86%
LDA	30%-75%
CSP,CSP(FBCSP-MI), (FBCSP), CUM4-CSP	52%-83%

Τα δεδομένα του πίνακα δείχνουν ότι οι καλύτερες αποδόσεις ακριβείας επετεύχθησαν με τον αλγόριθμο MLP(93%) επίσης και με τον P300(92%).Στην αντίθετη πλευρά βλέπουμε τους αλγόριθμους κ-NN και LDA να επιδεικνύουν τις χαμηλότερες τιμές ακρίβειας με 32% και 30% αντίστοιχα.

6.9 Ευθυγράμμιση των ευρημάτων της βιβλιογραφίας και ερευνητικών ερωτημάτων.

Έχοντας εξάγει κάποια περιγραφικά και αναλυτικά δεδομένα από την εξέταση των άρθρων και την μελέτη της βιβλιογραφίας που εξετάστηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι απαραίτητο να γίνει μια ευθυγράμμιση ή αντιστοίχιση των άρθρων που εξετάστηκαν με τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία τέθηκαν στα αρχικά στάδια της βιβλιογραφικής επισκόπησης. Ο επόμενος πίνακας (πίνακας 10) σχηματοποιεί την αντιστοιχία των άρθρων τα οποία επιλέχθηκαν με

τα ερευνητικά ερωτήματα με σκοπό να δοθούν απαντήσεις και να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα.

Πίνακας 10

Ερευνητικά ερωτήματα	Συσχετιζόμενα άρθρα
Ε.Ε 1. Ποιες είναι οι τεχνολογίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές HCI/ BCI; Ποιες συσκευές υλοποιούνται και είναι διαθέσιμες εμπορικά στην βιομηχανία των βιντεοπαιχνιδιών που εκμεταλλεύονται αυτή την τεχνολογία;	Aanish N. Patel et al (1), Thomas D. Parsons et al(10), Nuraini Jamil et al(20), Anton Nijholt et al(25), Pasquale Arpaia et al(26)
Ε.Ε 2. Ποιες είναι οι επιπτώσεις και τα πλεονεκτήματα στον χρήστη από την χρήση BCI παιχνιδιών; Πως επηρεάζει το παιχνίδι την συναισθηματική και ψυχολογική κατάσταση του παίκτη και πως μπορούν να συλλεχθούν χρήσιμα δεδομένα από την αλληλεπίδραση του με αυτό;	Ryota Horie et al(2), Lydia Ghosh et al(7), Daniela De Venuto et al (8), Shagun Adlaha et al (11), Muhammad Amin et al(16), Alaa Eddin Alchalabi et al (17), N. du Bois et al (19), Alex A. Lins et al(23)
Ε.Ε 3. Ποιες μέθοδοι επεξεργασίας και μετατροπής των πρωτογενών δεδομένων από συσκευές BCI χρησιμοποιούνται και ποιες από αυτές εκπροσωπούνται περισσότερο στο σύνολο των ερευνών που μελετώνται;	Peiheng Li et al (12), Amna Khan et al (13), Manjunath R Kounte et al(15), Cunbo Li et al (18), John Edison Muñoz et al(22)
Ε.Ε 4. Ποιες τεχνολογικές εξελίξεις προέρχονται από την έρευνα στα BCI και στα βιντεοπαιχνίδια και πως επηρεάζουν τις προσπάθειες για βελτιωμένη σχεδίαση φορητών συσκευών οι οποίες ενσωματώνουν τις τεχνολογίες αισθητήρων BCI σε ήδη υπάρχουσες λύσεις;	Mohit Agarwal et al(3), Ricardo Chavarriaga et al(4), Nataliya Kosmyna et al(5), John K. Zao et al(6), Syed Muhammad Anwar et al (9), Lun-De Liao et al (14), Mark Parent et al(21), Arkadiusz Stopczynski et al(24)

Ο πίνακας απεικονίζει τα τέσσερα ερευνητικά ερωτήματα που έχουν τεθεί σε αντιστοιχία με τα άρθρα εκείνα που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συνάφεια σχετικά με το περιεχόμενο του εκάστοτε ερωτήματος. Οι πληροφορίες και τα δεδομένα που περιέχονται στα άρθρα που έχουν εξεταστεί στα πλαίσια της βιβλιογραφικής επισκόπησης απαντούν σε αυτά τα ερωτήματα και συνθέτουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της βασικής θεματολογίας που πραγματεύεται η παρούσα εργασία που είναι οι τεχνολογίες BCI συνδυαζόμενες με παιχνίδια και φορούμενο εξοπλισμό βιοαίσθησης.

7. Συμπεράσματα

7.1 Γενικά στοιχεία

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε μελέτη και καταγραφή πληροφοριών από τα 26 άρθρα που επιλέχθηκαν και συμμετείχαν στην βιβλιογραφική επισκόπηση κατά το μοντέλο PRISMA που επιλέχθηκε για την δόμηση και υλοποίηση της ερευνητικής διαδικασίας. Τα δεδομένα που αναζητήθηκαν αφορούν τις τεχνολογίες BCI οι οποίες κάνουν χρήση παιχνιδιών σε βασικούς επιστημονικούς τομείς όπως η ιατρική, η πληροφορική, η οργανολογία και η ψυχαγωγία. Τα άρθρα αναφέρουν χρήση τεχνολογιών και εξοπλισμού BCI για την αποκατάσταση ασθενών με διάφορες παθήσεις, τεχνολογίες βελτίωσης και μελέτης αισθητηρίων, τεχνολογίες επεξεργασίας σημάτων, έρευνες πληροφορικής και έρευνες ψυχαγωγίας. Τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν μπορούν να απαντηθούν μέσα από τα δεδομένα και τα συμπεράσματα που εξάγονται μετά από την ανάλυση των πληροφοριών που παρέχει η κάθε έρευνα που μελετήθηκε και παρουσιάστηκε ξεχωριστά στις προηγούμενες ενότητες.

Έχοντας τα ανωτέρω υπόψη και έχοντας αναλύσει τα στοιχεία από τα αποτελέσματα των άρθρων της βιβλιογραφικής επισκόπησης μπορούμε να προχωρήσουμε στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων που τέθηκαν και να εξάγουμε τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

7.2 Τεχνολογίες αισθητήρων και έρευνα

Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα που τέθηκε παρουσιάζεται παρακάτω.

E.E 1: Ποιές είναι οι τεχνολογίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές HCI/BCI; Ποιες συσκευές υλοποιούνται και είναι διαθέσιμες εμπορικά στην βιομηχανία των βιντεοπαιχνιδιών που εκμεταλλεύονται αυτή την τεχνολογία;

Τα δεδομένα που αντλήθηκαν από τα άρθρα δείχνουν ότι οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια των ερευνών BCI αποτελούν αισθητήρια EEG και

δευτερευόντως γίνεται χρήση αισθητήρων EMG, ECG, EOG, PPG. Τα αισθητήρια EEG αφορούν ηλεκτρόδια υγρού τύπου Ag/AgCl τα οποία αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία των αισθητηρίων που χρησιμοποιείται στα πειράματα που περιγράφονται στα άρθρα. Μια εικόνα τέτοιων αισθητηρίων παρουσιάζεται στην εικόνα χ.



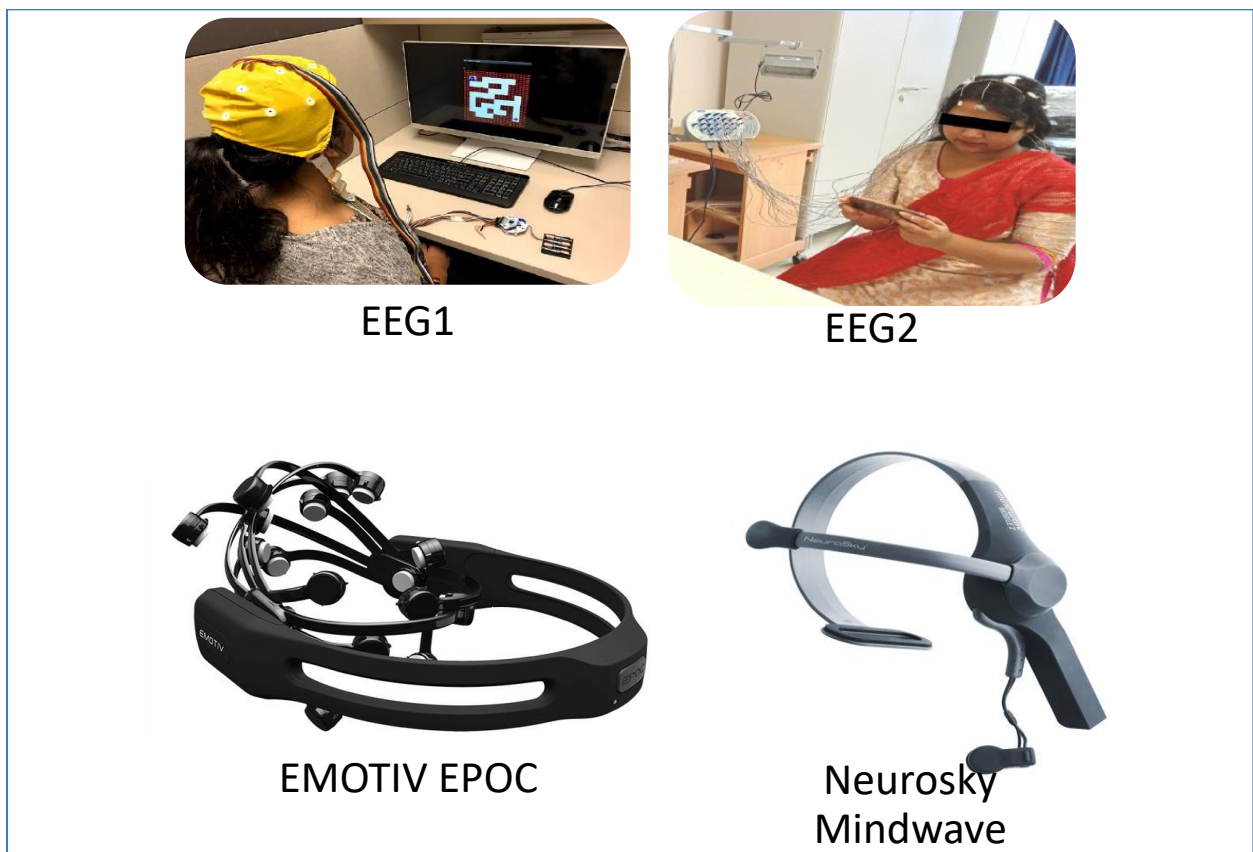
Εικόνα 26 Ηλεκτρόδια EEG

Αυτά τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε προσαρμοσμένες λύσεις φορούμενων καπέλων τα οποία χρησιμοποιούν οι ερευνητές για να συλλέξουν τα δεδομένα EEG από τον χρήστη. Τα πλεονεκτήματα αυτών των αισθητήρων είναι η εύκολη τοποθέτηση τα πολύ καλά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (πχ αγωγιμότητα), η υψηλή ταχύτητα λειτουργίας, το χαμηλό κόστος και η ασφάλεια χρήσης τους. Πέρα από τις προσαρμοσμένες λύσεις οι αισθητήρες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται και στις εμπορικές λύσεις της αγοράς.

Τα αισθητήρια EMG, ECG, EOG που χρησιμοποιούνται δευτερευόντως σε αρκετές από τις έρευνες συλλέγουν ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από τους μύες, την καρδιά και τις συσπάσεις μυών του προσώπου (κίνηση οφθαλμού) των χρηστών με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία και κατηγοριοποίηση τους σε τελικά σήματα ελέγχου. Ο τύπος και τα υλικά κατασκευής τους είναι παρόμοια με τα αισθητήρια EEG. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και των τεχνικών κατασκευής έχει οδηγήσει σε εμπορικές λύσεις EEG που ενσωματώνουν μια ή περισσότερες από τις τεχνολογίες αισθητηρίων που αναφέρθηκαν.

Στα άρθρα που εξετάστηκαν έγινε χρήση προσαρμοσμένων συσκευών EEG αλλά και εμπορικά διαθέσιμων συσκευών οι οποίες είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε πλατφόρμες παιχνιδιών και επομένως είναι διαθέσιμες στον απλό καταναλωτή. Ένας σημαντικός αριθμός συσκευών χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα προέρχεται από γνώστες εταιρίες του χώρου. Από αυτές οι συσκευές Emotiv/Emotiv EPOC και Neurosky Mindwave χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο στο σύνολο των λύσεων EEG που παρουσιάστηκαν. Οι συσκευές αυτές διαθέτουν τα ηλεκτρόδια EEG που είναι απαραίτητα στους ερευνητές για την λήψη των απαιτούμενων δεδομένων και έχουν τις απαραίτητες προδιαγραφές σχεδίασης και λειτουργίας ώστε να κυκλοφορούν στο εμπόριο και να είναι εύκολα προσβάσιμες για την άμεση σχεδίαση και υλοποίηση οποιουδήποτε πειράματος BCI.

Παρακάτω (εικόνα 27) απεικονίζονται δύο από τις προσαρμοσμένες λύσεις EEG που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα και οι δύο πιο δημοφιλείς εμπορικές που αναφέρθηκαν.



Εικόνα 27 Φορούμενα Σετ κεφαλής με την μεγαλύτερη εκπροσώπηση

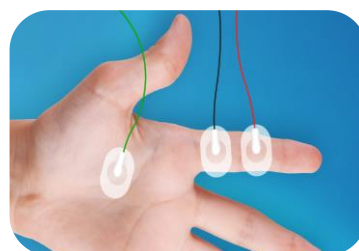
Η επόμενη εικόνα (εικόνα χ) δείχνει κάποιους από τους δευτερεύοντες αισθητήρες (πχ EMG, ECG) που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα. Μερικοί από αυτούς τους αισθητήρες είναι διαθέσιμοι εμπορικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ασύρματα συνδεδεμένοι με μια πλατφόρμα φορητής συσκευής (πχ android). Μια γνωστή εμπορική λύση που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί το myo armband.



myo armband



generic android
ecg



emg (generic)

Εικόνα 28 Δευτερεύοντες Αισθητήρες

Όπως φαίνεται από τα στοιχεία μέχρι τώρα οι τεχνολογίες αισθητηρίων BCI/ HCI φτάνουν και στον απλό καταναλωτή. Ο οποιοσδήποτε σήμερα μπορεί να έχει ένα σύστημα EEG στο σπίτι του με ότι πλεονεκτήματα σημαίνει αυτό για την εμπειρία χρήσης του σε συνδυασμό και με άλλες υπολογιστικές συσκευές του σπιτιού για τον έλεγχο ενός βιντεοπαιχνιδιού ή άλλων εφαρμογών. Οι συσκευές αυτές είναι λοιπόν διαθέσιμες προς αγορά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω της συνδεσιμότητας που παρέχουν σε βιντεοπαιχνίδια. Φυσικά τα δεδομένα δείχνουν και αυξημένη χρήση αυτών των εμπορικών λύσεων και σε εργαστηριακό περιβάλλον πράγμα που σημαίνει ότι αυτές οι υλοποιήσεις μπορούν πια να συγκριθούν επί ίσοις όροις με συσκευές οι οποίες στήνονται και κατασκευάζονται σε ένα εργαστήριο.

7.3 Επιπτώσεις και πλεονεκτήματα

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα που τέθηκε στα πλαίσια αυτής της βιβλιογραφικής επισκόπησης παρουσιάζεται παρακάτω.

Ε.Ε 2. Ποιες είναι οι επιπτώσεις και τα πλεονεκτήματα στον χρήστη από την χρήση BCI παιχνιδιών; Πως επηρεάζει το παιχνίδι την συναισθηματική και ψυχολογική κατάσταση του παίκτη και πως μπορούν να συλλεχθούν χρήσιμα δεδομένα από την αλληλεπίδραση του με αυτό;

Ένας σημαντικός αριθμός άρθρων από αυτά που εξετάστηκαν αφορούν έρευνες αποκατάστασης ασθενών με διάφορα νευρολογικά, κινητικά και πνευματικά προβλήματα. Από εκεί πηγάζουν τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα από την χρήση τεχνολογιών BCI σε συνδυασμό με κάποιο βιντεοπαιχνίδι. Η χρήση των τεχνολογιών αυτών είτε σε ιατρικά περιβάλλοντα είτε σε περιβάλλοντα αποκατάστασης και ιατρικής φροντίδας μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην πρόληψη, την αντιμετώπιση ή την εκ των υστέρων αποκατάσταση νευροπνευματικών διαταραχών.

Τα θέματα που εξετάζονται από πλήθος άρθρων της βιβλιογραφίας μελετώντας την χρήση τεχνολογιών BCI σε ιατρικό περιβάλλον και περιβάλλον ιατρικής φροντίδας συνοψίζονται σε:

1. ***Εκπαίδευση και βελτίωση ασθενών με ADHD/ADD:*** Χρησιμοποιώντας σοβαρά παιχνίδια γίνεται προσπάθεια για την βελτίωση των ασθενών με ADHD/ADD οι οποίοι παρουσιάζουν μειωμένη συγκέντρωση και προσοχή λόγω της συγκεκριμένης πάθησης. Τα δεδομένα εμφανίζουν βελτίωση στους ασθενείς κατά 10% στην συγκέντρωση και 8% στην προσοχή.
2. ***Μείωση συμπτωμάτων ατόμων με PTSD:*** Κάνοντας χρήση παιχνιδιών που παρέχουν νευροανάδραση (NF) επιχειρείται η αντιμετώπιση συμπτωμάτων PTSD σε άτομα που έχουν υποστεί εξαιρετικά τραυματικές εμπειρίες (πχ θύματα πολεμικών επιθέσεων). Η τεχνική αυτή αποδεικνύεται ότι αντιμετωπίζει σε μεγάλο βαθμό τα συμπτώματα PTSD αποτελεσματικά και με τρόπο συμβατό με τις ιατροψυχολογικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται από τους επαγγελματίες θεράποντες.
3. ***Θεραπεία αποκατάστασης παιδιών με εγκεφαλική παράλυση:*** Εδώ γίνεται προσπάθεια της βελτίωσης της προσοχής παιδιών με παράλυση κάνοντας χρήση εξοπλισμού BCI για τον έλεγχο παιχνιδιού με σκοπό την βελτίωση της προσοχής τους και την γενικότερη βελτίωση της πνευματικής

κατάστασης τους. Τα δεδομένα της έρευνας δείχνουν βελτίωση του δείκτη συγκέντρωσης των παιδιών.

4. **Απομακρυσμένος έλεγχος και παρακολούθηση ασθενών:** Χρήση τεχνολογιών BCI από επαγγελματίες φροντιστές υγείας και από γιατρούς για την εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών και της πορείας βελτίωσης τους από δεδομένα που προέρχονται από τεχνολογίες EEG όπως επίσης και από άλλους αισθητήρες. Κατά την ενασχόληση με ένα βιντεοπαιχνίδι τα δεδομένα βιοαισθητηρίων αναλύονται και στέλνονται ασύρματα μέσω του συστήματος (για παράδειγμα το σύστημα m-health). Οι υπεύθυνοι επαγγελματίες υγείας υποδέχονται θετικά την χρήση της τεχνολογίας αυτής και προτείνουν τρόπους περαιτέρω βελτίωσης της.
5. **Χρήση βιντεοπαιχνιδιών ως εκτεταμένη στρατηγική για την αντιμετώπιση νευροεκφυλιστικών διαταραχών:** Εδώ γίνεται χρήση ενεργών παιχνιδιών, παιχνιδιών εικονικής πραγματικότητας και απλών βιντεοπαιχνιδιών σε συνδυασμό με εξοπλισμό BCI για την αντιμετώπιση νευροεκφυλιστικών διαταραχών. Οι διαφορετικοί τύποι παιχνιδιών μπορούν να προσαρμοστούν στην εκάστοτε διαταραχή βελτιώνοντας τις κινητικές, πνευματικές ή ψυχολογικές λειτουργίες. Η χρήση της τεχνολογίας αποδεικνύεται ότι λειτουργεί θετικά στην συντριπτική πλειοψηφία των ερευνητικών περιπτώσεων.

Όσον αφορά τις έρευνες ιατρικής χρήσης διαφαίνονται ξεκάθαρα τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την χρήση των τεχνολογιών BCI βασισμένες στα παιχνίδια. Τα βιντεοπαιχνίδια ενεργοποιούν με πολύ ισχυρό τρόπο ψυχολογικές και πνευματικές αντιδράσεις του οργανισμού, δημιουργούν ερεθίσματα στην περίπτωση των ασθενών τα οποία θα ήταν δύσκολο να προκληθούν με χρήση κάποιας άλλης μεθόδου.

Ένα βιντεοπαιχνίδι αναπαριστά ανεξερεύνητους κόσμους, ενδιαφέρουσες ιστορίες όπως επίσης περιβάλλοντα δράσης και αντίδρασης ενώ απαιτεί από τον παίκτη να χρησιμοποιήσει όλες τις πνευματικές και φυσικές ικανότητες του ούτως ώστε να αντιμετωπίσει της προκλήσεις και τις καταστάσεις εντός του παιχνιδιού. Η ψυχολογική και συναισθηματική κατάσταση του παίκτη αναμοχλεύεται από τα πολυπληθή ερεθίσματα που προκαλεί το παιχνίδι και επομένως ο οργανισμός του ατόμου ανταποκρίνεται παράγοντας όλα εκείνα τα επιθυμητά σήματα που θα καταγραφούν και θα αναλυθούν από το σύστημα BCI. Τα σήματα αυτά ανάλογα με την πολυπλοκότητα και την επιλεγμένη συστοιχία BCI που έχει επιλεγεί ανά περίπτωση περιλαμβάνουν εγκεφαλικά σήματα (EEG), δεδομένα καρδιακών παλμών (HR), δεδομένα μυϊκής δραστηριότητας (EMG), οπτικά ερεθί-

σηματα (EOG). Ο παίκτης είναι σε δυνατότητα να χρησιμοποιήσει όλα τα αισθητήρια όργανά του για να επιφέρει αλλαγές στον κόσμο του παιχνιδιού. Η ακρίβεια με την οποία μπορεί να το επιτύχει αυτό εξαρτάται από την απόδοση ακρίβειας της μεθόδου (accuracy rating). Η αλληλεπίδραση του χρήστη με το παιχνίδι μπορεί να αναλυθεί σε πολλαπλά επίπεδα και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα και προς όφελος της βελτιστοποίησης της πειραματικής μεθόδου και φυσικά προς όφελος του ίδιου του χρήστη.

Εκτός ιατρικού περιβάλλοντος η χρήση τεχνολογιών BCI αποκομίζει σημαντικά οφέλη και προς την κατεύθυνση του απλού χρήστη. Οι χρήστες βιντεοπαιχνιδιών είτε υπολογιστή είτε φορητών συσκευών αποτελεί εξαιρετικό κοινό για την συλλογή ψυχολογικών και πνευματικών δεδομένων. Μελετώντας τις αντιδράσεις των χρηστών στα βιντεοπαιχνίδια διαφόρων κατηγοριών μπορεί να προσδιοριστεί η θετική ή αρνητική επίπτωση που έχουν τα εκάστοτε παιχνίδια στον ψυχισμό και την διάθεση τους. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει διαχωρισμός των παιχνιδιών αυτών τα οποία θα είναι επιβλαβή για τους χρήστες αναλύοντας τα δεδομένα EEG και εντοπίζοντας τους τίτλους αυτούς που ευθύνονται για την δημιουργία αρνητικών συναισθημάτων. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να βελτιωθεί η σχεδίαση των βιντεοπαιχνιδιών ώστε αυτά να έχουν κυρίως θετικές επιπτώσεις σε αυτόν που τα χρησιμοποιεί.

7.4 Μέθοδοι επεξεργασίας

Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα που τέθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται παρακάτω.

E.E 3. Ποιες μέθοδοι επεξεργασίας και μετατροπής των πρωτογενών δεδομένων από συσκευές BCI χρησιμοποιούνται και ποιες από αυτές εκπροσωπούνται περισσότερο στο σύνολο των ερευνών που μελετώνται;

Οι μέθοδοι ανάλυσης σήματος που χρησιμοποιούνται στα πειράματα που εξετάζει η βιβλιογραφία είναι καθοριστικής σημασίας στην συνολική απόδοση ενός συστήματος BCI. Τα πρωτογενή δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες EEG που είναι η κύρια πηγή σημάτων που παράγει ο ανθρώπινος εγκέφαλος πρέπει να υποστούν επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθούν σε μεταγενέστερα στάδια της λειτουργικής αλυσίδας μιας διάταξης BCI. Το ίδιο ισχύει και για τις

δευτερεύουσες συσκευές (πχ EMG, ECG) στις περιπτώσεις ερευνών που αυτές χρησιμοποιούνται στην πειραματική διαδικασία. Το αρχικό σήμα από έναν βιο αισθητήρα περιέχει θόρυβο, ανεπιθύμητα στοιχεία τα οποία πρέπει να απομακρύνουν οι ερευνητές έτσι ώστε να εξαχθούν καθαρά δεδομένα τα οποία να μπορούν να αξιοποιηθούν στα μεταγενέστερα στάδια της μεθοδολογίας εξαγωγής χαρακτηριστικών. Στα πλαίσια των άρθρων που εξετάστηκαν έγινε χρήση διάφορων τεχνικών ανάλυσης σήματος. Σε αυτές περιλαμβάνονται μέθοδοι όπως ο προσδιορισμός του λόγου κυμάτων β/α , θ και παραλλαγών τους, φίλτρα τύπου Bayes, διάφορα φίλτρα συχνοτήτων, μετασχηματισμοί Fourier κ.α.

Τα δεδομένα των αποτελεσμάτων δείχνουν ότι η μέθοδος προσδιορισμού του λόγου κυμάτων β/α , θ κλπ είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος επεξεργασίας των πρωτογενών σημάτων EEG. Ο προσδιορισμός ερεθισμού και συναισθηματικών καταστάσεων έχει αποδειχτεί ότι συνδέεται (στον τομέα της συχνότητας) με φασματικά δυναμικά σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων. Η σύνδεση αυτή του εύρους των συχνοτήτων με τις διακριτές συναισθηματικές καταστάσεις ή τα διάφορα ερεθίσματα είναι το χαρακτηριστικό εκείνο που κάνει την επεξεργασία ενός σήματος EEG με αυτή τη μέθοδο τόσο ελκυστική. Η επόμενη εικόνα (εικόνα χ) απεικονίζει τις μπάντες συχνοτήτων και την αντιστοίχιση τους με κάποια συγκεκριμένη κατάσταση.

Ο πίνακας κάνει αντιστοίχιση των συχνοτήτων που παράγονται από τις νευρικές συνάψεις του εγκεφάλου με μια συγκεκριμένη κατάσταση. Τα κύματα δέλτα με τον ύπνο, τα κύματα θήτα με την υπνηλία, τα κύματα άλφα με την χαλάρωση, τα κύματα βήτα με την εμπλοκή και τα κύματα γάμμα με το στρες. Αυτές οι διακριτές καταστάσεις από τα δεδομένα συχνοτήτων EEG αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου προσδιορισμού του λόγου των διαφόρων συχνοτήτων και δικαιολογούν την εκτεταμένη χρήση της στα άρθρα που μελετήθηκαν.

Η δεύτερη πιο σημαντική μέθοδος επεξεργασίας σήματος EEG αποτελούν τα διάφορα φίλτρα Bayes. Τα Bayesian φίλτρα αποτελούν τεχνικές απομάκρυνσης θορύβου βασισμένες σε Eprs. Κατά την διάρκεια συλλογής δεδομένων EEG υπεισέρχεται θόρυβος και σφάλματα προερχόμενα από διάφορες μη επιθυμητές αντιδράσεις του οργανισμού όπως για παράδειγμα η δραστηριότητα των βλεφάρων ή οι ανεξέλεγκτες συσπάσεις των μυών. Τα φίλτρα απομακρύνουν από το αρχικό σήμα τα ανεπιθύμητα στοιχεία και το καθιστούν έτοιμο προς περαιτέρω επεξεργασία.

Μετά την χρήση των αρχικών μεθόδων ανάλυσης του αρχικού σήματος γίνεται χρήση διαφόρων αλγορίθμων εξαγωγής χαρακτηριστικών ή ταξινομητών. Στα άρθρα της βιβλιογραφίας εξετάστηκε σημαντικός αριθμός ταξινομητών και προσδιορίστηκε η απόδοσή τους σε κάθε περίπτωση. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι ταξινόμησης που εμφανίζονται στο σύνολο των άρθρων που εξετάστηκαν αποτελούν αλγόριθμους νευρωνικών δικτύων και εκμάθησης μηχανής. Οι αλγόριθμοι που εμφανίζονται με την μεγαλύτερη συχνότητα είναι οι MLP και οι παραλλαγές του ταξινομητή CSP(FBCSP, CUM4-CSP). Πέρα από την συχνότητα εμφάνισης αξίζει να σημειωθεί ότι οι μεγαλύτερες αποδόσεις ακριβείας στα πειράματα που εξετάστηκαν επετεύχθησαν με τους αλγόριθμους MLP και P300. Η εξαγωγή χαρακτηριστικών από τους αλγόριθμους ταξινομητών είναι καθοριστικής σημασίας για την αξιολόγηση της προτεινόμενης διάταξης BCI στην κάθε έρευνα.

7.5 Τεχνολογικές Εξελίξεις

Το τελευταίο από τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται παρακάτω.

E.E 4. Ποιες τεχνολογικές εξελίξεις προέρχονται από την έρευνα στα BCI και στα βιντεοπαιχνίδια και πως επηρεάζουν τις προσπάθειες για βελτιωμένη σχεδίαση φορητών συσκευών οι οποίες ενσωματώνουν τις τεχνολογίες αισθητήρων BCI σε ήδη υπάρχουσες λύσεις;

Οι τεχνολογικές εξελίξεις που διαφαίνονται από την εξέταση των άρθρων που παρουσιάζονται στην βιβλιογραφική επισκόπηση αφορούν

1. Την εξέλιξη των αισθητηρίων BCI.
2. Τον βελτιωμένο σχεδιασμό προσαρμοσμένων και εμπορικών λύσεων EEG που χρησιμοποιούνται στην πειραματική διαδικασία.
3. Ανάπτυξη και βελτίωση των αλγορίθμων επεξεργασίας και εξαγωγής χαρακτηριστικών από τα σήματα βιοαισθητηρίων.
4. Την χρήση σύγχρονων και φορητών συσκευών μέσα στην διάταξη BCI.
5. Την σχεδίαση βιντεοπαιχνιδιών/παιχνιδιών ώστε να ενσωματώνουν αρμονικά τεχνολογίες BCI.
6. Ενίσχυση τεχνολογικών τομέων αποκατάστασης και φροντίδας.

Σημαντικός αριθμός άρθρων εξετάζει την βελτίωση των ηλεκτροδίων EEG και των υπόλοιπων αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στην έρευνα των BCI. Οι ερευνητές προσπαθούν συνέχεια να βελτιώσουν τα διάφορα χαρακτηριστικά των συσκευών συλλογής πρωτογενών σημάτων. Με χρήση διαφόρων υλικών γίνεται προσπάθεια μείωσης της ηλεκτρικής αντίστασης των αισθητήρων. Στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται χρήση ενός αγωγίμου gel για την βελτίωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του ηλεκτροδίου κατά την επαφή του με την επιδερμίδα του χρήστη. Σε μια από τις έρευνες που μελετήθηκαν επιχειρείται βελτιωμένη σχεδίαση αισθητήρων ξηρού τύπου οι οποίοι επιδεικνύουν βελτιωμένη ηλεκτρική συμπεριφορά χωρίς την χρήση αγωγίμου gel. Οι ερευνητικές κατευθύνσεις για την εξέλιξη των αισθητήρων προσανατολίζονται στην μείωση του μεγέθους του αισθητήρα, στην εύκολη εφαρμογή του, στην καλή ηλεκτρική συμπεριφορά του και τελικά στο χαμηλό κόστος του.

Στο σύνολο των άρθρων που συμμετείχαν στην βιβλιογραφία που εξετάστηκε γίνεται χρήση μη διεισδυτικών μεθόδων για την εφαρμογή των διαφόρων αισθητηρίων EEG και των δευτερευόντων συσκευών βιοαίσθησης. Η δυνατότητα χρήσης των αισθητήρων BCI χωρίς να χρειάζεται να υποβληθεί ο χρήστης σε επίπονες και χρονοβόρες επεμβάσεις είναι θεμελιώδους σημασίας για τους ερευνητές στα πλαίσια των πειραμάτων που διεξήχθησαν στις έρευνες που περιγράφονται. Γίνεται συνεχής προσπάθεια για την προσεκτική επιλογή των υλικών των προσαρμοσμένων καπέλων που χρησιμοποιούνται, το χαμηλό βάρος του συνολικού εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί πάνω στον εξεταζόμενο ούτως ώστε να διασφαλιστεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό η άνεση του χρήστη ακόμα και μετά από πολύωρες συνεδρίες πειραμάτων και συλλογής ερευνητικών δεδομένων. Ο εξοπλισμός πρέπει να είναι άνετος, να μην εμποδίζει τον χρήστη, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα και εύκολα και από τον ίδιο αλλά και από τον ερευνητή και τέλος να είναι αποδοτικός στην λειτουργία του και συμβατός με την επακόλουθη διαδικασία πρωτοβάθμιας ανάλυσης όπως επίσης και με τις υπόλοιπες συσκευές που απαρτίζουν την συστοιχία BCI που χρησιμοποιείται.

Η ύπαρξη πλέον εμπορικών λύσεων βιοαισθητηρίων όπως φαίνεται από τα δεδομένα των άρθρων λύνει τα χέρια των ερευνητών και για αυτό το λόγο γίνεται εκτεταμένη χρήση τους στο σύνολο των ερευνών με ποσοστό μέχρι και 82%. Οι εμπορικές λύσεις των σερβιερών έχουν τις περισσότερες από τις τεχνικές προδιαγραφές που απαιτούν οι ερευνητές για να διεξάγουν επιτυχώς και αποδοτικά τα πειράματά τους. Με ένα έτοιμο προϊόν εμπορικά διαθέσιμο και με το κύρος και την σοβαρότητα μεγάλων εταιριών οι οποίες θα υποστηρίξουν τα προϊόντα τους αυτά με το κατάλληλο συνοδευτικό λογισμικό διευκολύνεται σημαντικά το έργο των ερευνητών. Στις περιπτώσεις που χρειάζεται περαιτέρω τροποποίηση

οι ίδιοι οι επιστήμονες επεμβαίνουν στον εξοπλισμό των σέτ κεφαλής δημιουργώντας και προσαρμόζοντας επιπλέον ηλεκτρόδια αίσθησης (πχ με clip-on) και άλλων τεχνολογιών σε περίπτωση που αυτό κριθεί απαραίτητο. Οι εταιρίες παράγωγης αυτών των σέτ κεφαλής τότε μπορούν τότε να εξελίξουν τον σχεδιασμό τους συμπεριλαμβάνοντας τις αλλαγές και βελτιώσεις που μπορεί να προτείνουν οι επιστήμονες με στόχο ένα ολοένα και καλύτερο προϊόν το οποίο θα καλύπτει και τις εργαστηριακές απαιτήσεις αλλά και τις προσδοκίες του απλού καταναλωτή.

Οι τεχνολογίες των BCI επηρεάζουν και τις εξελίξεις στον τομέα της πληροφορικής τα άρθρα αναφέρουν την χρήση διαφόρων αλγόριθμων επεξεργασίας δεδομένων και ταξινομητών. Οι τεχνολογίες αλγορίθμων δεν μένουν στάσιμες δοκιμάζονται και μετεξελιίσσονται συνεχώς με κάθε καινούργιο πείραμα. Σε μία συγκεκριμένη μελέτη για παράδειγμα εξετάζεται μια παραλλαγή του αλγόριθμου CSP (CUM4-CSP). Οι προτεινόμενες βελτιώσεις του αλγόριθμου καθρεφτίζονται στα αποτελέσματα της έρευνας με ανάλογη αύξηση του δείκτη ακριβείας σε σχέση με την αρχική υλοποίηση. Με παρόμοιο τρόπο οι επιστήμονες πληροφορικής μπορούν να βελτιώσουν ήδη υπάρχοντες αλγόριθμους ταξινόμησης ή να δημιουργήσουν καινούργιους βασιζόμενοι στα στοιχεία που προκύπτουν από προγενέστερες έρευνες πάνω στα BCI. Η χρήση βιντεοπαιχνιδιών για τέτοιου είδους έρευνες που αναλύουν και αξιολογούν αλγόριθμους επεξεργασίας και ταξινόμησης αποτελεί πρόσφορο έδαφος για την βελτίωση αυτών των τεχνολογιών λογισμικού στο μέλλον. Στον τομέα της πληροφορικής επίσης εξετάζεται η σύνθεση μεγάλων βάσεων δεδομένων από αισθητήρες EEG και άλλους βασισμένη σε υπολογιστική νέφους για την ταχύτερη και ευρεία διάδοση δεδομένων βιοσημάτων στα οποία μπορεί να γίνει ανά πάσα στιγμή επεξεργασία σε κάποιο από τους υπολογιστικούς κόμβους του διαδικτύου με ανάλογη αύξηση στην απόδοση ακρίβειας.

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στις έρευνες BCI που παρουσιάζονται στα άρθρα αποτελούν άλλον ένα τομέα εξέλιξης στην επιστήμη της μηχανικής υπολογιστών. Τα άρθρα αναφέρουν την χρήση όλων των συσκευών τεχνολογίας (υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, ταμπλετ, ενσωματωμένα συστήματα κλπ). Η συνεχής εξέλιξη στις συσκευές υπολογιστικής σημαίνει και εξέλιξη στις τεχνολογίες BCI από τις συσκευές συλλογής δεδομένων μέχρι τους τελικούς κόμβους επεξεργασίας. Οι τεχνολογίες BCI απαιτούν ολοένα και περισσότερη επεξεργαστική ισχύ σε μικρότερο μέγεθος, την βελτίωση των ασύρματων επικοινωνιών και των πρωτοκόλλων μεταφοράς δεδομένων, την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας όπως επίσης και το μειωμένο κόστος. Σε πολλές από τις έρευνες που εξετάζονται γίνεται συνδυασμός δύο ή περισσότερων υπολογιστικών συσκευών σε

μια προσπάθεια να επιμεριστεί ο φόρτος επεξεργασίας δεδομένων που χαρακτηρίζει το κάθε στάδιο μιας ανάλυσης BCI. Για παράδειγμα υπολογιστές επιμερίζονται το φόρτο εκτέλεσης ενός βιντεοπαιχνιδιού ενώ έξυπνα κινητά ή ενσωματωμένες συσκευές αναλαμβάνουν την συλλογή και επεξεργασία των σημάτων. Στα πλαίσια των ερευνών BCI στο μέλλον και με την γενικότερη αύξηση της επεξεργαστικής θα μπορούν να συγκεντρωθούν σε μια μικροσκοπική μονάδα.

Οι ίδιες οι τεχνολογίες των βιντεοπαιχνιδιών μπορούν να βελτιωθούν ούτως ώστε να μπορούν να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες των συσκευών και των τεχνολογιών BCI. Από τα εξεταζόμενα άρθρα δεν υπάρχει κάποια ξεκάθαρη αναφορά που να δείχνει τους τρόπους με τους οποίους οι τεχνολογίες HCI έχουν επιφέρει κάποια αλλαγή στον τρόπο λειτουργίας των εμπορικών βιντεοπαιχνιδιών. Από την άλλη πλευρά τα προσαρμοσμένα παιχνίδια που υλοποιήθηκαν στα πλαίσια των ερευνών ακολουθούν στενά σχεδιαστικά κριτήρια προσαρμοσμένα στον εκάστοτε εξοπλισμό αισθητηρίων και εκτέλεσης κώδικα παιχνιδιού που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Στο μέλλον οι ίδιες οι μηχανές παιχνιδιών θα μπορούν να παρέχουν εγγενή υποστήριξη για τεχνολογίες BCI με σκοπό την άμεση ενσωμάτωσή τους στο σύνολο των τίτλων που θα χρησιμοποιούν μια δεδομένη τεχνολογία μηχανής παιχνιδιού. Τότε ίσως έχουμε περισσότερα δεδομένα σχετικά με την επιρροή των BCI στα εμπορικά παιχνίδια.

Τέλος οι εξελίξεις στους τομείς υγείας και αποκατάστασης που πραγματεύεται η πλειοψηφία των άρθρων της εξεταζόμενης βιβλιογραφίας αφορούν την απομακρυσμένη διάγνωση ασθενών, τον πνευματικό έλεγχο συσκευών από ασθενείς με κάποιου είδους παράλυση ή εγκεφαλική δυσλειτουργία, την αποκατάσταση κινητικότητας μέσω ενεργών βιντεοπαιχνιδιών και την αποκατάσταση διαφόρων παθήσεων σωματικών, πνευματικών ή ψυχικών. Ένας επαγγελματίας υγείας θα μπορεί να επιτελέσει το έργο του σε ασθενείς που θα βρίσκονται εκτός νοσοκομειακού περιβάλλοντος με ότι πλεονεκτήματα συνεπάγεται αυτό για το χρόνο των ιατρών και των ασθενών, τα μειωμένα κόστη νοσηλείας, την ελευθερία του ίδιου το ατόμου και τον αυξημένο ρυθμό αποκατάστασης του λόγω της ενασχόλησης με ένα παράγοντα ψυχαγωγίας όπως είναι τα βιντεοπαιχνίδια.

8. Περιορισμοί – Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η παρούσα εργασία αξιοποίησε την μέθοδο της συστηματικής βιβλιογραφικής επισκόπησης για την συλλογή των άρθρων. Οι πιθανοί περιορισμοί στην εργασία αυτή συνοψίζεται στα εξής:

1. Είναι σύνηθες σε μία ΣΒΕ ως καλή ερευνητική πρακτική να υπάρχει παραπάνω από ένας ερευνητής. Έτσι διευκολύνεται το έργο της αναζήτησης, της εύρεσης και της επιλογής των πληροφοριών με την όλη διαδικασία να είναι περισσότερο ακριβής και γρήγορη. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής υπάρχει μόνο ένας ερευνητής.
2. Τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν ικανοποιούνται από τις πληροφορίες που αντλήθηκαν μέσα από τα επιλεγμένα άρθρα. Τα ερωτήματα ικανοποιούνται από περιγραφικά στοιχεία που εξάγονται από την ανάλυση των δεδομένων των άρθρων και που παρουσιάζονται στα αποτελέσματα. Σημαντική πλειοψηφία όμως των άρθρων αφορούν πειράματα με πολλές φορές εκτεταμένους και λεπτομερείς πίνακες αποτελεσμάτων και στατιστικών τύπων που περιγράφουν μαθηματικά την ενδότερη λειτουργία των αλγόριθμων επεξεργασίας ανάλυσης και εξαγωγής χαρακτηριστικών για τα δεδομένα των αισθητήρων EEG και των δευτερευόντων αισθητήρων που εξετάστηκαν. Αυτά τα στοιχεία θα ήταν ιδανικότερο να παρουσιαστούν σε μια ΣΒΕ που αφορά τεχνολογίες λογισμικού στα πλαίσια έρευνας πληροφορικής.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα περιλαμβάνουν:

1. Εξέταση νέων τεχνολογιών αισθητήρων BCI: Αισθητήρια τύπου νανοτεχνολογίας για τεχνολογίες EEG, ECG, EMG κλπ και πώς αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν σε σχέση με τις υπάρχουσες μεθόδους επεξεργασίας πρωτογενών δεδομένων και αλγόριθμων εξαγωγής χαρακτηριστικών.
2. Μελέτη χρηστικότητας: Είναι έτοιμες οι τεχνολογίες BCI προς χρήση στο ευρύ κοινό ως έτοιμο εξοπλισμό για βιντεοπαιχνίδια και χειρισμό υπολογιστικών συσκευών;

9. Βιβλιογραφία

- Aashish N. Patel, Tzyy-Ping Jung, και Terrence J., Siddharth. 2019. «A Wearable Multi-modal Bio-sensing System Towards Real-world Applications.» *IEEE Xplore*, 01 04: 11.
- Alaa Eddin Alchalabi, Amer Nour Eddin, και Shervin Shirmohammadi. 2017. «More Attention, Less Deficit: Wearable EEG-Based Serious Game for Focus Improvement.» *Discover*, 01 01: 8.
- Alex A. Lins, Juliana M. de Oliveira, Joel J.P.C. Rodrigues, και Victor Hugo C. de Albuquerque. 2019. «Robot-assisted therapy for rehabilitation of children with cerebral palsy - A complementary and alternative approach.» *Computers in Human Behavior*, 01 11: 16.
- Amin, Muhammad, Abdallah Tubaishat, Feras Al-Obeidat, Babar Shah, και Muzamil Karamat. 2022. «Leveraging brain-computer interface for implementation of a bio-sensor controlled game for attention deficit people.» *Computers and Electrical Engineering*, 01 09: 15.
- Amna Khan,, και Shahzad Rasool. 2022. «Game induced emotion analysis using electroencephalography.» *Computers in Biology and Medicine*, 01 06: 11.
- Anton Nijholt, Danny Plass-Oude Bos, και Boris Reuderink. 2009. «Turning shortcomings into challenges: Brain-computer interfaces for games.» *Entertainment Computing*, 01 04: 10.
- Anwar, Syed Muhammad, Sanay Muhammad Umar Saeed, και Muhammad Majid. 2016. «Classification of Expert-Novice Level of Mobile Game Players using Electroencephalography.» *2016 International Conference on Frontiers of Information Technology*, 01 01: 4.
- Arkadiusz Stopczynski, Carsten Stahlhut,, Michael Kai Petersen,, Jakob Eg Larsen,, Camilla Falk Jensen,, Marieta Georgieva Ivanova,, Tobias S. Andersen,, και Lars Kai Hansen. 2014. «Smartphones as pocketable labs: Visions for mobile brain imaging and neurofeedback.» *International Journal of Psychophysiology*, 01 01: 13.
- Bois, N. du, A.D. Bigirimana, A. Korik, Gaju K'ethina, E. Rutembesa, J. Mutabaruka, L. Mutesa, G. Prasad, S. Jansen, και D.H. Coyle. 2021. «Neurofeedback with low-cost, wearable electroencephalography (EEG) reduces symptoms in chronic Post-Traumatic Stress Disorder.» *Journal of Affective Disorders*, 01 12: 16.
- Cunbo LI, Ning LI, Yuan QIU, Yueheng PENG, Yifeng WANG, Lili DENG, Teng MA, Fali LI, Dezhong YAO, και Peng XU. 2022. «Multimodal collaborative BCI system based on the improved CSP feature extraction algorithm.» *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 01 02: 16.
- Daniela De Venuto,, Valerio Francesco Annese,, Giovanni Mezzina,, Michele Ruta,, και Di Sciascio. 2016. «Brain-Computer Interface using P300: A Gaming Approach for Neurocognitive Impairment Diagnosis.» 01 01: 7.
- John Edison Muñoz, Teresa Paulino, Harry Vasanth, και Karolina Baras. 2016. «PhysioVR: A Novel Mobile Virtual Reality Framework for Physiological Computing.» *IEEE*, 01 01: 6.

- John K. Zao, Tchin-Tze Gan., Chun-Kai You., SergioJosé Rodríguez Méndez, Cheng-En Chung, Yu-Te Wang., Tim Mullen., και Tzyy-Ping Jung. 2014. «Augmented Brain Computer Interaction based on Fog Computing and Linked Data.» 01 01: 4.
- Liao, Lun-De, Chi-Yu Chen, I-Jan Wang, Sheng-Fu Chen, Shih-Yu Li, Bo-Wei Chen, Jyh-Yeong Chang, και Chin-Teng Lin. 2012. «Gaming control using a wearable and wireless EEG-based brain-computer interface device with novel dry foam-based sensors.» *JOURNAL OF NEUROENGINEERING AND REHABILITATION*, 01 01: 12.
- Lidia Ghosh, Sriparna Saha, και Amit Konar. 2020. «Bi-directional Long Short-Term Memory model to analyze psychological effects on gamers.» *Applied Soft computing*, 01 10: 15.
- Manjunath R Kounte, Pratyush Kumar Tripathy, Pramod Pc, και Harshit Bajpai. 2020. «Implementation of Brain Machine Interface using Mind wave Sensor.» *ScienceDirect*, 01 01: 9.
- Mark Parent, Isabela Albuquerque1., Abhishek Tiwari, Raymundo Cassani, Jean-François Gagnon2., Daniel Lafond2., Sébastien Tremblay, και Tiago H. Falk. 2020. «PASS: A Multimodal Database of Physical Activity and Stress for Mobile Passive Body/ Brain-Computer Interface Research.» 01 12: 22.
- Mohit Agarwal, Ekansh Gupta., Faramarz Fekri., και Raghupathy Sivakumar. 2021. «Accelerating Reinforcement Learning using EEG-based implicit human.» *ScienceDirect*, 14 10: 15.
- Nataliya Kosmyrna, Qiuxuan Wu, Chi-Yun Hu, Yujie Wang, Cassandra Scheirer, και Pattie Maes. 2021. «Assessing Internal and External Attention in AR using Brain Computer Interfaces: A Pilot Study.» *IEEE*, 01 01: 6.
- Nuraini Jamil, Abdelkader Nasreddine Belkacem, Sofia Ouhbi, και Abderrahmane Lakas. 2021. «Noninvasive Electroencephalography Equipment for Assistive, Adaptive, and Rehabilitative Brain–Computer Interfaces: A Systematic Literature Review.» *MDPI*, 01 07: 31.
- Parsons, Thomas D., Timothy McMahan, και Ian Parberry. 2022. «Classification of Video Game Player Experience Using Consumer-Grade Electroencephalography.» *IEEE TRANSACTIONS ON AFFECTIVE COMPUTING*,, 01 01: 13.
- Pasquale Arpaia, Damien Coyle, Francesco Donnarumma, Antonio Esposito, Angela Natalizio, και Marco Parvis. 2023. «Visual and haptic feedback in detecting motor imagery within a wearable brain–computer interface.» *Measurement*, 01 01: 9.
- Peiheng Li, Yicheng Qian, και Nuo Si. 2022. «Electroencephalogram and Electrocardiogram in Human-Computer Interaction.» *ICDSCA* , 01 01: 9.
- Ricardo Chavarriaga., Andrea Biasiucci., Killian Forster., Gerhard Troster, και Jose del R. Millan. 2010. «Adaptation of Hybrid Human-Computer Interaction Systems Using EEG Error-Related Potentials.» *IEEE EMBS*, 4 09: 4.
- Ryota Horie, Ryotaro Nawa. 2017. «A Hands-on Game by Using a Brain-Computer Interface, an Immersive Head Mounted Display, and a Wearable Gesture Interface.» *GCCE 2017*), 01 01: 5.
- Shagun Adlakha, Deepak Chhabra, και Pratyosh Shukla. 2020. «Effectiveness of gamification for the rehabilitation of neurodegenerative disorders.» *Chaos, Solitons and Fractals* , 01 11: 11.