



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Ανάπτυξη εφαρμογής αναγνώρισης συναισθηματικής  
κατάστασης ασθενή σε θεραπεία φοβιών με χρήση  
περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**του**

**ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

**Επιβλέπων :** Δημήτριος Κουτσούρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2019





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## Ανάπτυξη εφαρμογής αναγνώρισης συναισθηματικής κατάστασης του ασθενή

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

**Επιβλέπων :** Δημήτριος Κουτσούρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27<sup>η</sup> Μαρτίου 2019.

Δημήτριος Κουτσούρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Παναγιώτης Τσανάκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γιώργος Ματσόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2019

.....  
**ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αναστασίου Εμμανουήλ, 2019.  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Σε αυτή τη μελέτη προτείνουμε μια βελτίωση στα συστήματα εικονικής πραγματικότητας που χρησιμοποιούνται στη θεραπεία της έκθεσης στις φοβίες. Αυτή η βελτίωση παρέχει στον ιατρό διορατικότητα σχετικά με τη συναισθηματική κατάσταση του ασθενούς, καθώς και τη δυνατότητα να κάνει δυναμικές προσαρμογές στο εικονικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της θεραπείας. Η αναγνώριση των συναισθημάτων του ασθενούς πραγματοποιείται με τεχνικές μηχανικής μάθησης αξιοποιώντας τα φυσιολογικά δεδομένα που προέρχονται από βιοαισθητήρες. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη σημασία της ποσοτικοποίησης του φόβου σε ένα σύστημα παρακολούθησης συναισθήματος, το οποίο χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της θεραπείας φοβιών. Η έλλειψη επαρκούς βιβλιογραφίας σχετικά με τον ποσοτικό προσδιορισμό των συναισθημάτων επισημαίνει την ανάγκη μελλοντικών σχετικών μελετών. Ο στόχος τους είναι η δημιουργία ενός συνόλου δεδομένων που να συσχετίζει φυσιολογικά σήματα με επίπεδα φόβου, με βάση μια συγκεκριμένη μέθοδο εκμαίευσης συναισθημάτων. Μακροπρόθεσμα, το προτεινόμενο σύστημα οδηγεί σε ασφαλή, αποτελεσματική και εξατομικευμένη θεραπεία κατά των φοβιών.

**Λέξεις Κλειδιά:** εικονική πραγματικότητα, φοβίες, αναγνώριση συναισθήματος, ποσοτικοποίηση συναισθήματος, μηχανική μάθηση



## **Abstract**

In this study, we propose an enhancement on Virtual Reality systems used in Exposure Therapy treatment of phobias. This enhancement provides to the doctor real time insights about patient's emotional state, as well as the capability to make dynamic adjustments of the virtual environments, during the therapy. We suggest that patient's emotion identification should be implemented with machine learning techniques by leveraging physiological data derived from a selection of biosensors. Particular emphasis is placed on the importance of fear quantification on an emotion monitoring system, utilized to improve phobias treatment. The lack of sufficient literature on the field of emotion quantification highlights the need for future research studies. The goal is the creation of a dataset correlating physiological signals with fear levels, based on a specific emotion elicitation method. In the long-term, this concept leads to safe and effective phobia treatment through a personalized procedure.

**Keywords:** virtual reality, phobias, emotion recognition, emotion quantification, machine learning





## Πίνακας Ακρωνύμων

ΑΚΡΩΝΥΜΙΟ	ΕΛΛΗΝΙΚΑ	ΑΓΓΛΙΚΑ
<b>CBT</b>	Θεραπεία Γνωσιακής Συμπεριφοράς	Cognitive Behavioral Therapy
<b>ET</b>	Θεραπεία Έκθεσης	Exposure Therapy
<b>VR</b>	Εικονική Πραγματικότητα	Virtual Reality
<b>VRET</b>	Θεραπεία Έκθεσης Εικονικής Πραγματικότητας	Virtual Reality Exposure Therapy
<b>IAPS</b>	-	International Affective Picture System
<b>IADS</b>	-	International Affective Digital Sounds System
<b>EDA</b>	Ηλεκτροδερμική δραστηριότητα	Electrodermal Activity
<b>GSR</b>	Γαλβανική Αντίσταση	Galvanic Skin Response
<b>SCR</b>	Δερματική Απόκριση Δέρματος	Skin Conductance Response
<b>SCL</b>	Επίπεδο Αγωγιμότητας Δέρματος	Skin Conductance Level
<b>EEG</b>	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα	Electroencephalography
<b>FPS</b>	Καρέ ανά δευτερόλεπτο	Frames per second

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>1</b>
1.1	Ψυχική υγεία.....	1
1.2	Τεκμηρίωση αποτελεσματικότητας θεραπειών ψυχικής υγείας.....	1
1.3	Οργάνωση κειμένου.....	2
<b>2</b>	<b>Επισκόπηση χρήσης εικονικής πραγματικότητας σε τομείς της ψυχικής υγείας .....</b>	<b>3</b>
2.1	Διαταραχές άγχους.....	3
2.2	Φόβος και φοβία .....	3
2.3	Σύνοψη τρεχουσών θεραπειών φοβιών.....	4
2.3.1	<i>Θεραπεία Γνωσιακής Συμπεριφοράς.....</i>	<i>4</i>
2.3.2	<i>Εφαρμογές της θεραπείας έκθεσης.....</i>	<i>6</i>
2.4	Virtual Reality Exposure Therapy .....	7
2.4.1	<i>Πλεονεκτήματα της VRET.....</i>	<i>7</i>
2.4.2	<i>Κενά/ελλείψεις της VRET.....</i>	<i>8</i>
2.4.3	<i>Δυνητικές βελτιώσεις της VRET – Ανάγκη παρακολούθησης συναισθηματικής κατάστασης ασθενή.....</i>	<i>9</i>
<b>3</b>	<b>Συναίσθημα .....</b>	<b>11</b>
3.1	Θεωρία συναισθημάτων.....	11
3.2	Μοντελοποίηση συναισθήματος.....	12
3.2.1	<i>Διακριτά μοντέλα.....</i>	<i>12</i>
3.2.2	<i>Διανυσματικά μοντέλα.....</i>	<i>12</i>
3.3	Περιγραφή συστημάτων αναγνώρισης και ποσοτικοποίησης συναισθήματος.....	14
3.4	Τρόποι εκμείωσης συναισθήματος.....	15
3.5	Επισκόπηση μελετών στην αναγνώριση και ποσοτικοποίηση συναισθήματος.....	17
3.5.1	<i>Ποσοτικοποίηση συναισθήματος.....</i>	<i>17</i>
3.6	Επιλογή συγκεκριμένου προβλήματος κατηγοριοποίησης συναισθήματος .....	19
<b>4</b>	<b>Βιοισθητήρες και αξιοποίηση δεδομένων.....</b>	<b>20</b>
4.1	Ηλεκτροδερμική δραστηριότητα – Γαλβανική αντίσταση .....	20

4.2	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα.....	24
4.2.1	Λοβοί του εγκεφάλου.....	25
4.2.2	Εγκεφαλικά κύματα.....	27
4.3	Μηχανική μάθηση.....	28
4.3.1	Επιβλεπόμενη μάθηση.....	29
4.3.2	Μη επιβλεπόμενη μάθηση.....	30
4.3.3	Περιγραφή βημάτων μηχανικής μάθησης.....	30
<b>5</b>	<b>Τεχνική Περιγραφή Συστήματος και Υλοποίηση.....</b>	<b>36</b>
5.1	Πλατφόρμες και προγραμματιστικά εργαλεία.....	36
5.1.1	Εμβυθιστική εικονική πραγματικότητα.....	36
5.1.2	Λογισμικό και υλικό για το σύστημα εικονικής πραγματικότητας.....	43
5.1.3	Λογισμικό για 3D μοντελοποίηση.....	45
5.1.4	Λογισμικό για συλλογή και επεξεργασία δεδομένων.....	46
5.2	Προδιαγραφές συστήματος εκμείευσης συναισθήματος – εικονικό περιβάλλον.....	49
5.3	Σύστημα παρακολούθησης συναισθηματικής κατάστασης.....	49
5.4	Επεξεργασία δεδομένων και μηχανική μάθηση.....	50
5.4.1	Αποσύνθεση σήματος - <i>Signal decomposition</i> .....	51
5.4.2	Εξαγωγή χαρακτηριστικών - <i>Feature extraction</i> .....	52
5.4.3	Κατηγοριοποίηση/Παλινδρόμηση - <i>Classification/Regression</i> .....	55
5.4.4	Συλλογή πραγματικών δεδομένων ηλεκτροδερμικής δραστηριότητας.....	56
<b>6</b>	<b>Μελλοντικές επεκτάσεις.....</b>	<b>58</b>
6.1	Επιλογή μοντέλου συναισθημάτων.....	58
6.2	Επιλογή βιοαισθητήρων.....	58
6.3	Συλλογή δεδομένων.....	59
6.4	Επαυξημένη πραγματικότητα και αλληλεπίδραση στο χώρο.....	60
6.4.1	<i>Tangible interfaces</i> .....	60
6.4.2	Απτική τεχνολογία - <i>Haptics</i> .....	61
<b>7</b>	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>Παράρτημα.....</b>	<b>69</b>
<b>S</b>		

# 1

## *Εισαγωγή*

### *1.1 Ψυχική υγεία*

Η ψυχική υγεία ενός ατόμου μπορεί να οριστεί ως ένα ικανοποιητικό επίπεδο ψυχικής ευημερίας ή ως την απουσία ψυχικής ασθένειας. Είναι η ψυχολογική κατάσταση του ατόμου που λειτουργεί σε ικανοποιητικό επίπεδο συναισθηματικής και συμπεριφοριστικής προσαρμογής. Στις σύγχρονες πολύπλοκες κοινωνίες αυξάνεται συνεχώς η συχνότητα εμφάνισης ψυχικών ασθενειών και κυρίως διαταραχών άγχους. Έτσι ο βαθμός απόδοσης παροχής υπηρεσιών ψυχικής υγείας αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο για την ευημερία και τη βιωσιμότητα της σύγχρονης κοινωνίας. Με στόχο την βελτίωση του, προτείνονται τεχνολογικά εργαλεία από μηχανικούς και σε συνεργασία με τους ψυχιάτρους αναπτύσσονται νέες μέθοδοι για την αντιμετώπιση των ψυχικών ασθενειών.

### *1.2 Τεκμηρίωση αποτελεσματικότητας θεραπειών ψυχικής υγείας*

Κάθε νέα μέθοδος ή τεχνική που προτείνεται στον ιατρικό τομέα απαιτεί εκτενή επαλήθευση της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας της. Συγκεκριμένα για την ψυχική υγεία, ο τρόπος που αξιολογούνται τα ευρήματα των νέων μεθόδων είναι με ερωτηματολόγια

μετά τη συνεδρίαση. Αυτή η διαδικασία αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας δεν αποτελεί επαρκής και αξιόπιστη διαδικασία ανατροφοδότησης καθώς οι απαντήσεις που δίνονται είναι με βάση τα συναισθήματα τα οποία είναι σε μεγάλο βαθμό υποκειμενικά. Μία αξιόπιστη διαδικασία αξιολόγησης αποτελεσμάτων για να είναι αντικειμενική πρέπει να βασίζεται στη φυσιολογία ατόμου. Επομένως το βήμα που ξεκλειδώνει την έγκυρη τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας των θεραπειών ψυχικής υγείας είναι η αναγνώριση του συναισθήματος με βάση τις φυσιολογικές αντιδράσεις του ατόμου.

### **1.3 Οργάνωση κειμένου**

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μία εισαγωγή στις διαταραχές άγχους και συγκεκριμένα στις φοβίες και παρουσιάζονται οι πιο ευρέως διαδεδομένοι μέθοδοι θεραπειών που εφαρμόζονται στο πεδίο αυτό. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη θεραπεία της έκθεσης και στην εφαρμογή της με χρήση εικονικής πραγματικότητας. Τέλος αναπτύσσονται τα πλεονεκτήματα, οι ελλείψεις και οι δυνητικές βελτιώσεις της θεραπείας της έκθεσης με χρήση εικονικής πραγματικότητας.

Στο κεφάλαιο 3 εισάγεται η έννοια του συναισθήματος και περιγράφονται οι μέθοδοι μοντελοποίησης του, δίνοντας έμφαση στα διανυσματικά και στα διακριτά μοντέλα. Αναλύονται τα συστήματα αυτόματης αναγνώρισης και ποσοτικοποίησης συναισθήματος και αναφέρονται οι τρόποι εκμαίευσης συναισθήματος.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η γαλβανική αντίσταση και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα ως βιοαισθητήρες. Αναλύονται οι αρχές λειτουργίας τους και τα βασικά τους χαρακτηριστικά σε σχέση με την αναγνώριση συναισθήματος. Επιπλέον, εισάγεται η έννοια της μηχανικής μάθησης (επιβλεπόμενης και μη) και γίνεται μία αναλυτική περιγραφή των βημάτων μίας τέτοιας διαδικασίας.

Το κεφάλαιο 5 πραγματεύεται αποκλειστικά τα τεχνικά θέματα υλοποίησης της εργασίας. Αρχικά αναλύονται τα διαφορετικά είδη εργαλείων εικονικής πραγματικότητας και γίνεται μία παράθεση του λογισμικού και του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η υλοποίηση τόσο του συστήματος εικονικής πραγματικότητας όσο και της αναγνώρισης συναισθήματος και παρατίθενται σχετικά γραφήματα και κομμάτια κώδικα.

Στο κεφάλαιο 6 δίνονται κατάλληλες κατευθύνσεις με τις οποίες επόμενες μελέτες μπορούν να επανεξετάσουν την επιλογή του μοντέλου συναισθημάτων, των βιοαισθητήρων και τον τρόπο συλλογής δεδομένων. Τέλος προτείνονται συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας και αλληλεπίδρασης στο χώρο ως εναλλακτικές ή βελτιώσεις του συστήματος εκμαίευσης συναισθήματος.

# 2

## *Επισκόπηση χρήσης εικονικής πραγματικότητας σε τομείς της ψυχικής υγείας*

### *2.1 Διαταραχές άγχους*

Οι διαταραχές άγχους, συμπεριλαμβανομένου και των διαταραχών πανικού, των γενικευμένων διαταραχών άγχους, των κοινωνικών διαταραχών άγχους, τις ειδικές φοβίες και των διαταραχών άγχους χωρισμού αποτελούν τις πιο κυρίαρχες μορφές ψυχικών ασθενειών και συσχετίζονται με τεράστια κόστη στην ιατροφαρμακευτική περίθαλψη. Σύμφωνα με ένα έρευνες βασισμένες σε μεγάλο πληθυσμιακά δείγμα, έως και 33.7% του πληθυσμού έχει επηρεαστεί από ψυχική ασθένεια κατά τη διάρκεια της ζωής του.<sup>1</sup>

### *2.2 Φόβος και φοβία*

Ο φόβος είναι η βιολογική αντίδραση του ανθρώπου στην προσπάθεια του να αμυνθεί είτε από μία ενεργή και πραγματική απειλή είτε από μία φανταστική. Αποτελείται από μία εξωτερική συμπεριφορική έκφραση, ένα εσωτερικό συναίσθημα συνοδευμένο με αλλαγές στη φυσιολογία του ατόμου. Οι δύο περισσότερο προφανείς συμπεριφορικές επιδράσεις του φόβου παρουσιάζουν εντυπωσιακή αντίθεση.<sup>2</sup> Η μία επίδραση είναι η τάση να παραμείνει ακίνητος και σιωπηλός, η οποία στην ακραία της μορφή σχετίζεται ακόμα και με την

καταπολέμηση θανάτου για συγκεκριμένα ζώα. Η άλλη είναι ένα πρότυπο ξαφνιάσματος, απόσυρσης, τρεξίματος ή/και φωνοποίησης του συναισθήματος αυτού. Και οι δύο αυτές ασύμβατες συμπεριφορές ενεργοποιούνται από τον φόβο και η συμπεριφορά πιθανόν να αλλάξει ακαριαία από τη μορφή στην άλλη. Παρόλα αυτά ο φόβος είναι προφανώς ένα χρήσιμο συναίσθημα, καθώς συχνά οδηγεί σε άμεση δράση προς την καταπολέμηση της απειλής. Ο φόβος μπορεί επίσης να αποτελέσει κίνητρο την εκμάθηση και βελτίωση κοινωνικά χρήσιμων αντιδράσεων και συμπεριφορών, όπως η προσεκτική οδήγηση και η επιτυχημένη συμμετοχή σε μία εξέταση.

Η φοβία αποτελεί ένα συγκεκριμένο είδος φόβου, αλλά χαρακτηρίζεται από επίμονο, διαρκή και υπερβολικό φόβο συνδεδεμένο με ένα αντικείμενο ή μία κατάσταση η οποία αντικειμενικά δεν αποτελεί σπουδαία πηγή κινδύνου. Η φοβία συχνά χαρακτηρίζεται από την έντονη, συνεχή και – τις περισσότερες φορές – φαινομενικώς παράλογη παρουσία φόβου η οποία δεν επιτρέπει στον εγκέφαλο να αντιδράσει όπως θα έπρεπε για να αποφύγει την απειλητική κατάσταση. Ως εκ τούτου μπορεί να οριστεί ως μία συγκεκριμένη μορφή φόβου η οποία είναι δυσανάλογη των απαιτήσεων της κατάστασης, δεν μπορεί να εξηγηθεί ή να εκλογικευτεί και οδηγεί στην αποφυγή της φοβικής κατάστασης.<sup>3</sup>

## ***2.3 Σύνοψη τρεχουσών θεραπειών φοβιών***

Έχουν προταθεί αρκετές θεραπείες για την αντιμετώπιση των φοβιών τα τελευταία χρόνια. Οι πιο δημοφιλείς από αυτές είναι η φαρμακευτική αγωγή/φαρμακοθεραπεία<sup>4</sup>, η Θεραπεία Γνωσιακής Συμπεριφοράς (CBT) και η Εφαρμοσμένη Χαλάρωση.<sup>5</sup>

### ***2.3.1 Θεραπεία Γνωσιακής Συμπεριφοράς***

Η CBT είναι μία σύντομη και προβληματο-κεντρική μορφή ψυχοθεραπείας και εστιάζει στην αναγνώριση, την κατανόηση και τη μεταβολή του τρόπου σκέψης του ασθενή. Έχει αποδειχτεί ότι είναι αποτελεσματική στην θεραπεία της κατάθλιψης, των διαταραχών πανικού και στις ιδεοψυχαναγκαστικές διαταραχές. Ο κύριος στόχος της CBT είναι να αντιμετωπίσει την εκάστοτε διαταραχή με το να εκπαιδεύει τους ασθενείς με νέους τρόπους σκέψης για τον εαυτό τους και τους άλλους, με τεχνικές επίλυσης προβλημάτων και κοινωνικές δεξιότητες καθώς και να βοηθάει τους ασθενείς να ελέγχουν καλύτερα το κοινωνικό τους περιβάλλον. Η θεραπεία είναι εν μέρει διδακτική, εν μέρει συμβουλευτική, και σε μεγάλο βαθμό βιωματική. Ο θεραπευτής-ειδικός βοηθάει τον ασθενή να καταλάβει την διαταραχή, διδάσκει στον ασθενή μεθόδους για να ανταπεξέρχεται με κοινωνικά προβλήματα και ενθαρρύνει τον ασθενή να χρησιμοποιήσει τις νέες δεξιότητες αυτόνομα. Ο ασθενής

εξασκεί ενεργά ότι έμαθε στις συνεδρίες εκπληρώνοντας εργασίες που έχει προ-συμφωνηθεί από τον θεραπευτή και τον ασθενή συλλογικά. Θεωρητικά, οι ασθενείς μπορούν μόνο να βελτιωθούν όταν οι νέες δεξιότητες εφαρμοστούν και προσαρμοστούν στη ζωή τους.<sup>6</sup>

Η CBT παρόλο που δεν είναι αποδεδειγμένα η καλύτερη μορφής θεραπείας σε σχέση με τις υπόλοιπες, είναι η πιο διαδεδομένη μεταξύ των άλλων στους ειδικών. Είναι μία θεραπεία που δεν απαιτεί εξωγενή παράγοντες (όπως φάρμακα) και ως απόρροια δεν εμπλέκει παρενέργειες. Είναι αποτελεσματική όχι μόνο για φοβίες αλλά και για ένα μεγάλο εύρος διανοητικών διαταραχών. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε αποκλειστικά στις διάφορες μορφές της.

### **Μορφές CBT**

Η CBT δεν είναι απλά μία θεραπεία αλλά εκπροσωπεί πολλές μορφές θεραπείας. Η CBT είναι ένας περιεκτικός όρος, ο οποίος συμπεριλαμβάνει μία ποικιλία από θεραπευτικές παρεμβάσεις. Κάθε θεραπεία διαφέρει στο βαθμό κατά τον οποίο βασίζεται στη γνωσιακή θεραπεία και στη θεωρία μάθησης. Όλες οι μορφές τέτοιων θεραπειών μπορούν να καταταχθούν από αυστηρά συμπεριφορικές μέχρι αυστηρά γνωσιακές και συνδυασμούς αυτών.

Για παράδειγμα, η θεραπεία της έκθεσης είναι κατά μεγάλο βαθμό συμπεριφορική. Χρησιμοποιώντας την ιεροτελεστία του πλυσίματος των χεριών ως παράδειγμα, οι ασθενείς έχουν εντολή να αποφεύγουν να πλύνουν ψυχαναγκαστικά τα χέρια τους αφού ακουμπήσουν ένα αντικείμενο που πιστεύουν ότι είναι μολυσμένο. Αν και οι πεποιθήσεις σχετικές με το φόβο μόλυνσης προβλέπεται να χαθούν από αυτή την έκθεση (ο ασθενής μαθαίνει ότι δεν συμβαίνει τίποτα κακό μετά από το άγγιγμα του μολυσμένου αντικειμένου), οι πεποιθήσεις του δεν προκαλούνται ευθέως.

Από την άλλη μεριά, η γνωσιακή θεραπεία βασίζεται κυρίως στην αλλαγή των πεποιθήσεων των ασθενών για τους εαυτούς τους και τον κόσμο. Μεγάλο μέρος της θεραπείας εστιάζει στο να αποκαλύψει εσφαλμένες πεποιθήσεις και στο να μάθει στον ασθενή να τις δοκιμάζει μέσω ασκήσεων, όπως παίζοντας τον συνήγορο του διαβόλου ή παρέχοντας ένδειξη για την αρνητική γνώμη. Αν και οι βελτιωμένες κοινωνικές δεξιότητες είναι σημαντικές στη γνωσιακή θεραπεία, πιστεύεται ότι αυτές οι δεξιότητες μπορούν προκύψουν από την αλλαγή της δομής της σκέψης του ασθενή, κι έτσι η γνωσιακή ανακατασκευή είναι βασικότερη σε σχέση με το συμπεριφορική εκπαίδευση.<sup>6</sup>



### 2.3.2 Εφαρμογές της θεραπείας έκθεσης

Η Θεραπεία Έκθεσης (ET) ή η επαναλαμβανόμενη προσέγγιση του ερεθίσματος που προκαλεί φόβο έχει αποτελέσει νόρμα της CBT για διαταραχές άγχους, από το ξεκίνημα της.<sup>7</sup> Με βάση την ET ο ασθενής εκτίθεται σταδιακά στο φοβικό ερέθισμα και το αντιμετωπίζει σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον, μέχρι να μην αισθάνεται πλέον φόβο. Στόχος της είναι να εκπαιδεύσει τον ασθενή να νιώθει άνετα όταν βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με το φοβικό ερέθισμα ή την φοβική κατάσταση.<sup>6</sup>

Η έκθεση μπορεί να λάβει διάφορες μορφές, περιλαμβάνοντας σταδιακή έναντι έντονης (κατακλυσμαία θεραπεία - flooding therapy), σύντομη έναντι παρατεταμένης, με ή χωρίς διάφορες νοητικές(γνωσιακές) και σωματικές στρατηγικές αντιμετώπισης προβλημάτων.<sup>8</sup> Η θεραπεία έκθεσης έχει αποδειχθεί να είναι αποτελεσματική στρατηγική θεραπείας για φοβίες και για διαταραχές άγχους.<sup>9</sup>

Ο γιατρός (εξειδικευμένος ψυχίατρος) μπορεί να εφαρμόσει την ET με αρκετούς διαφορετικούς τρόπους. Οι πιο διαδεδομένοι είναι σε πραγματικό περιβάλλον, σε φανταστικό και σε εικονικό.

- Είναι προφανές ότι η εφαρμογή της ET σε πραγματικό περιβάλλον (in vivo) προσφέρει τη μέγιστη δυνατή διέγερση του αισθήματος του φόβου και δεν καταφεύγει σε συμβιβασμούς ως προς την ένταση του και τη ρεαλιστικότητα του φοβικού ερεθίσματος ή κατάστασης. Παρόλα αυτά μειονεκτεί καθώς είναι χρονοβόρα, ακριβή και μερικές φορές απρόβλεπτη και ανεξέλεγκτη. Για παράδειγμα, ένας θεραπευτής έχει έναν ασθενή που πάσχει από αγοραφοβία και επιλέγει να τον εκθέσει στο περιβάλλον του λεωφορείου. Αρχικά επιλέγει χρονικές περιόδους που δεν είναι σε ώρες αιχμής και επιλέγει στάσεις που δεν είναι κεντρικές ώστε να αποφύγει τον πολύ κόσμο. Στη συνέχεια καθώς προχωράει η θεραπεία, επιλέγει ώρες και τοποθεσίες με περισσότερο κόσμο έτσι ώστε να αυξήσει την ένταση της φοβικής κατάστασης. Παρόλα αυτά η ένταση του προκαλούμενου φόβου δεν είναι εύκολο να προβλεφθεί και μπορούν να συμβούν μη προβλεπόμενες αλληλεπιδράσεις τρίτων με τον ασθενή. Τέλος αν συμπεριλάβουμε και το χρονικό κόστος μεταφοράς στη στάση του λεωφορείου και πίσω, αυτή η στρατηγική υλοποίησης της ET είναι δύσκολο να υλοποιηθεί αποδοτικά.
- Σχετικά με το φανταστικό περιβάλλον υλοποίησης της ET, ο ασθενής προσπαθεί να φανταστεί ένα φοβικό ερέθισμα ή μία φοβική κατάσταση που περιγράφει ο γιατρός. Παρόλου που αυτή η εκδοχή της θεραπείας έχει το ελάχιστο δυνατό κόστος, παρουσιάζει αδυναμία στην εκμείωση του επιθυμητού συναισθήματος. Μελέτες έχουν δείξει ότι είναι λιγότερο αποτελεσματική σε σχέση με την εφαρμογή της ET σε εικονικό περιβάλλον.<sup>10</sup>
- Η μορφή της ET που χρησιμοποιεί τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας (VR) είναι γνωστή ως Θεραπεία Έκθεσης Εικονικής Πραγματικότητας (VRET). Αποτελεί την χρυσή τομή μεταξύ της εφαρμογής της ET σε πραγματικό περιβάλλον και φανταστικό περιβάλλον.

## ***2.4 Virtual Reality Exposure Therapy***

Σε αυτόν τον τύπο θεραπείας, οι ασθενείς εκτίθενται σε εικονικά περιβάλλοντα που μοιάζουν με φόβους πραγματικών καταστάσεων. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η VRET εφαρμόζεται όλο και περισσότερο στη θεραπεία ατόμων με διαταραχές άγχους. Ωστόσο, οι εξέχουσες μελέτες είναι εκείνες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία VR με ώστε τρόπο να παράγουν ένα αλληλεπιδραστικό, τρισδιάστατο και εμπυθιστικό εικονικό περιβάλλον. Με τον όρο εμπυθιστικό εννοούμε ένα VR περιβάλλον που εμφανίζεται με χρώματα και σε τρεις (3) διαστάσεις χρησιμοποιώντας μία οθόνη που τοποθετείται στο κεφάλι του ατόμου. Οι εικόνες που παράγονται από τον υπολογιστή και οι κινήσεις του χρήστη είναι συγχρονισμένες, δημιουργώντας έναν εικονικό κόσμο στον οποίο ο χρήστης μπορεί να νιώσει τα ίδια συναισθήματα όπως αυτά που θα ένιωθε στο αντίστοιχο περιβάλλον στην πραγματική ζωή.<sup>11</sup>

### ***2.4.1 Πλεονεκτήματα της VRET***

Η μείωση του κόστους και η αύξηση της ευκολίας και της δύναμης των ψηφιακών μέσων δημιουργούν μια επανάσταση στην υγειονομική περίθαλψη και οι νέες τεχνολογίες επηρεάζουν τον τρόπο παροχής και πρόσβασης στην περίθαλψη. Το VR μπορεί να επιτρέψει την αποτίμηση της γνωστικής λειτουργίας, των συναισθημάτων και της συμπεριφοράς σε ένα ρεαλιστικά έγκυρο περιβάλλον. Η ρεαλιστική εγκυρότητα της προσομοίωσης VR προέρχεται από την ακριβή παρουσίαση και τον έλεγχο των δυναμικών των αντιληπτών ερεθισμάτων. Πράγματι, τα εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να παράγουν έγκυρες αποτυπώσεις των συναισθημάτων, παρουσιάζοντας καταστάσεις που συνδυάζουν τον έλεγχο των εργαστηριακών μέτρων με την αληθοφάνεια των καθημερινών εμπειριών. Μια άλλη σημαντική προστιθέμενη αξία του VR είναι η αίσθηση της παρουσίας (η ψυχολογική αίσθηση του "να είσαι εκεί") που μπορούν να βιώσουν τα άτομα σε περιβάλλοντα εμπυθιστικού VR. Το VR επιτρέπει τον χειρισμό του περιβάλλοντος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον χειρισμό των περιβαλλοντικών εναυσμάτων που προκαλούν άγχος σε άτομα με προβλήματα ψυχικής υγείας, επιτρέποντάς τους να μάθουν πώς να διαχειρίζονται καλύτερα τα αρνητικά συναισθήματά τους.<sup>12</sup>

Ευρήματα ερευνών δείχνουν ότι η VRET μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές συμπεριφοράς σε καταστάσεις πραγματικής ζωής και έτσι υποστηρίζεται η εφαρμογή της VRET στην θεραπεία φοβιών.<sup>13</sup>

## **Σύγκριση της VRET με την ET σε πραγματικό και φανταστικό περιβάλλον**

Αρχικά, η εφαρμογή της ET σε φανταστικό περιβάλλον μπορεί να μην είναι αποτελεσματική για ασθενείς που αντιμετωπίζουν δυσκολίες στη φαντασία ή την απεικόνιση. Η VRET εξαλείφει αυτό το πιθανό εμπόδιο. Από την άλλη η έκθεση σε πραγματικές καταστάσεις, μπορεί να είναι αρκετά δαπανηρή (π.χ. μια πραγματική πτήση) ή πρακτικά αδύνατο να διεξαχθούν (π.χ. καταπολέμηση της πολεμικής ζώνης), ενώ οι προσεγγίσεις της ET με εικονικό περιβάλλον επιτρέπουν μια οικονομική προσέγγιση και τη δυνατότητα έκθεσης του ασθενή σε καταστάσεις που μπορεί να είναι δύσκολο ή αδύνατο δημιουργηθούν σε πραγματικό περιβάλλον. Οι προσεγγίσεις της VRET επιτρέπουν να παραμείνει ανέπαφη η εμπιστευτικότητα του ασθενούς, καθώς η έκθεση του ασθενή στη φοβική κατάσταση πραγματοποιείται στο γραφείο του γιατρού και όχι σε κοινωνικές καταστάσεις της πραγματικής ζωής. Επιπλέον, παρέχει την δυνατότητα ελέγχου τη έκθεσης του ασθενή στο φοβικό αντικείμενο με τρόπους που μπορεί να μην είναι δυνατοί στην πραγματική ζωή, όπως η επαναλαμβανόμενη έκθεση. Ένα παράδειγμα αυτής της διάκρισης μπορεί να είναι η επανάληψη μιας εικονικής πτήσης που προσγειώνεται πολλές φορές.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της χρήσης του VRET σε σύγκριση με την *in vivo* έκθεση (δηλαδή, που πραγματοποιείται σε πραγματικές καταστάσεις) ή την φανταστική έκθεση (δηλαδή, που πραγματοποιείται μέσω φαντασίας) έγκειται στη δυνατότητα ελέγχου της ποιότητας, της έντασης, της διάρκειας και της συχνότητας της έκθεσης.<sup>14</sup> Το VRET ενσωματώνει γραφικά υπολογιστών πραγματικού χρόνου, οπτικές απεικονίσεις σε οθόνες, συσκευές παρακολούθησης κινήσεων σώματος, και άλλες εισόδους από αισθητήρες για να βυθιστούν τα άτομα σε ένα εικονικό περιβάλλον που παράγεται από υπολογιστή. Ως αποτέλεσμα, κατασκευάζεται η αντίληψη ενός διαδραστικού, τρισδιάστατου κόσμου. Ο έλεγχος των στοιχείων έκθεσης μπορεί να είναι πιο εύχρηστος από ό, τι στην έκθεση *in vivo* ή στην φανταστική έκθεση, καθώς τα ερεθίσματα που προκαλούν για παράδειγμα άγχος μπορούν να τροποποιηθούν με περισσότερη ευκολία και δυνατότητες από τους θεραπευτές.

### **2.4.2 Κενά/ελλείψεις της VRET**

Παρ' όλα τα πλεονεκτήματα των μεθόδων θεραπείας VR, υπάρχουν μερικά ευδιάκριτα κενά στη μεθοδολογία. Μέχρι σήμερα, οι μελέτες που χρησιμοποιούν το VRET αξιολογούν τα ευρήματά τους με ερωτηματολόγια μετά την συνεδρίαση. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει επαρκής και αξιόπιστη διαδικασία ανατροφοδότησης της αποτελεσματικότητας ενός νέου προτεινόμενου συστήματος VRET και επομένως είναι δύσκολο να αποδειχθεί η αξιοπιστία και η αποτελεσματικότητά του.

Επιπλέον, η θεραπεία παραμένει ακριβώς η ίδια για κάθε ασθενή. Ωστόσο, κάθε ένας από αυτούς έχει τις δικές του αντιδράσεις σε κάθε ερέθισμα και σε κάθε περιβάλλον. Επομένως, μία σταθερή θεραπεία για όλους τους ασθενείς δεν εγγυάται μέγιστη αποτελεσματικότητα για κάθε ασθενή.

### **Ποσοστό αποχώρησης από τη θεραπεία**

Το ποσοστό αποχώρησης ορίζεται ως ποσοστό των ασθενών που διακόπτουν την θεραπεία πριν ολοκληρωθεί και πριν εξαλειφθούν τα συμπτώματα. Ένα διαφημιζόμενο πλεονέκτημα της θεραπείας έκθεσης με χρήση εικονικής πραγματικότητας για τις αγχώδεις διαταραχές είναι ότι λιγότερο πιθανό οι ασθενείς να εγκαταλείψουν πρόωρα τη θεραπεία, εάν η θεραπεία περιλαμβάνει την αντιμετώπιση του φόβου ενός ατόμου σε έναν εικονικό κόσμο και όχι στον πραγματικό κόσμο. Όμως, αυτό δεν έχει ακόμη δοκιμαστεί εμπειρικά. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες<sup>15</sup> δείχνουν ότι το ποσοστό αποχώρησης στο VRET είναι μόνο ελαφρώς χαμηλότερο σε σχέση με άλλες εκτιμήσεις του ποσοστού αυτού από την in vivo θεραπεία και από την CBT για διαταραχές άγχους. Το γεγονός ότι το VRET δείχνει παρόμοια ποσοστά αποχώρησης με την in vivo θεραπεία έκθεσης θεωρείται μειονέκτημα.

### **2.4.3 Δυνητικές βελτιώσεις της VRET – Ανάγκη παρακολούθησης**

#### ***συναισθηματικής κατάστασης ασθενή***

Σκοπός αυτής της μελέτης είναι να παρέχει μια ιδέα για παρακολούθηση της συναισθηματικής κατάστασης του ασθενή κατά τη διάρκεια του VRET, σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα θα ασχοληθούμε με τον αναγνώριση και την ποσοτικοποίηση του συναισθήματος του φόβου που νιώθει ο ασθενής κατά τη διάρκεια της θεραπείας. Η εφαρμογή της περιγραφόμενης ιδέα θα μπορούσε να προσφέρει πολλά οφέλη στον γιατρό, τον ασθενή αλλά και την ερευνητική κοινότητα.

Η παρακολούθηση της συναισθηματικής κατάστασης του ασθενή είναι το βασικό στοιχείο που θα ξεκλειδώσει την διορατικότητα του γιατρού έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα να αναπροσαρμόζει δυναμικά το εικονικό περιβάλλον και να εφαρμόζει βέλτιστα την θεραπεία στον εκάστοτε ασθενή. Με τα σημερινά δεδομένα, ο έλεγχος της ποιότητας, της έντασης, της διάρκειας και της συχνότητας έκθεσης του ασθενή στο εικονικό περιβάλλον ή στο φοβικό ερέθισμα βασίζεται αποκλειστικά στην εμπειρική αξιολόγηση του ειδικού, λόγω της έλλειψης αξιόπιστων δεδομένων για την αναγνώριση και ποσοτικοποίηση της συναισθηματικής κατάστασης του. Επιπλέον, οι πληροφορίες για τη συναισθηματική κατάσταση του ασθενή που προέρχονται από το προτεινόμενο σύστημα παρέχουν μια

αντικειμενική οπτική γωνία της πορείας της θεραπείας. Με αυτό τον τρόπο, θα μπορούσε ενδεχομένως ο ασθενής να ενθαρρυνθεί και να συνεχίσει μέχρι το τέλος της θεραπείας, μειώνοντας έτσι τα ποσοστά αποχώρησης από την θεραπεία. Τέλος, η παρακολούθηση της συναισθηματικής κατάστασης του ασθενή αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας και της αξιοπιστίας των νέων προτεινόμενων συστημάτων VRET. Μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο που θα ενισχύσει τη διαδικασία αξιολόγησης και την επικύρωση των νέων προτεινόμενων συστημάτων VRET και θα επιταχύνει την ανάπτυξή τους.

# 3

## *Συναίσθημα*

### *3.1 Θεωρία συναισθημάτων*

Το συναίσθημα είναι μια σύνθετη υποκειμενική συνειδητή εμπειρία (για παράδειγμα θυμός, απέχθεια ή φόβος) τόσο στις άμεσες κα έμμεσες εκφάνσεις του. Ωστόσο, υπάρχουν σημαντικά στοιχεία που υποδηλώνουν ότι αυτός είναι ένας πολύ συγκεκριμένος ορισμός του συναισθήματος και απαιτείται ευρύτερη σύλληψη την έννοιας<sup>16</sup>. Αντίθετα, μπορεί να προταθεί ότι ένα συναίσθημα δεν είναι μια υποκειμενική εμπειρία, καθαυτή, αλλά πιθανότατα μια κατασκευή ή συμπεράσματα βασισμένα σε διάφορες κατηγορίες αποδεικτικών στοιχείων. Αυτά τα στοιχεία μπορεί να περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, λεκτικές αναφορές για εσωτερικά συναισθήματα, καθώς και εκφραστικές συμπεριφορές και αντιδράσεις από ομότιμες ομάδες<sup>16</sup>. Ωστόσο, έρευνες δείχνουν ότι μόνο οι λεκτικές αναφορές είναι ανεπαρκείς δείκτες συναισθημάτων για την περιγραφή συναισθημάτων.<sup>17</sup>

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία<sup>18</sup> η αντίληψη ενός συναισθηματικού ερεθίσματος ενεργοποιεί δύο διαύλους πληροφόρησης που είναι ανεξάρτητες αλλά αλληλοσυνδεόμενες: μια ασυνείδητη διαδρομή που ενεργοποιεί τις επουσιώδεις αντιδράσεις και μια συνειδητή που παράγει την εμπειρία της γνωστικής συνειδητοποίησης του συναισθήματος. Για την επεξήγηση της παραπάνω έννοιας, μπορούμε να εξετάσουμε το παράδειγμα ενός δυνητικά επικίνδυνου ερεθίσματος που πιθανόν προκαλεί το συναίσθημα του φόβου στους ανθρώπους που έρχονται σε επαφή με αυτό. Όταν εξετάζεται ένα δυνητικά φοβικό ερέθισμα, η

ασυνείδητη επεξεργασία επιτρέπει την αυτόματη εφαρμογή προσαρμοστικών αντιδράσεων, προκειμένου να προετοιμαστεί η καταλληλότερη αντίδραση. Το ερέθισμα θεωρείται είτε επικίνδυνο είτε όχι, έπειτα από μια πιο λεπτομερή ανάλυση του ερεθίσματος από τη συνειδητή επεξεργασία. Αν τελικά το ερέθισμα δεν θεωρήθηκε επικίνδυνο το άτομο επιστρέφει άμεσα στην προηγούμενη συναισθηματική κατάσταση, ενώ αν θεωρήθηκε επικίνδυνο η συναισθηματική απόκριση διατηρείται.

## **3.2 Μοντελοποίηση συναισθήματος**

Η βιβλιογραφία προτείνει αρκετές διαφορετικές θεωρίες για την μοντελοποίηση των συναισθημάτων. Στόχος της παρούσας εργασίας δεν είναι να αξιολογήσει και να συγκρίνει όλα τα υπάρχοντα μοντέλα συναισθημάτων, αλλά να παρουσιάσει μία σύντομη επισκόπηση με τους επικρατέστερους τύπους αυτών. Οι πιο δημοφιλείς κατηγορίες μοντέλων είναι τα διακριτά και τα διανυσματικά.

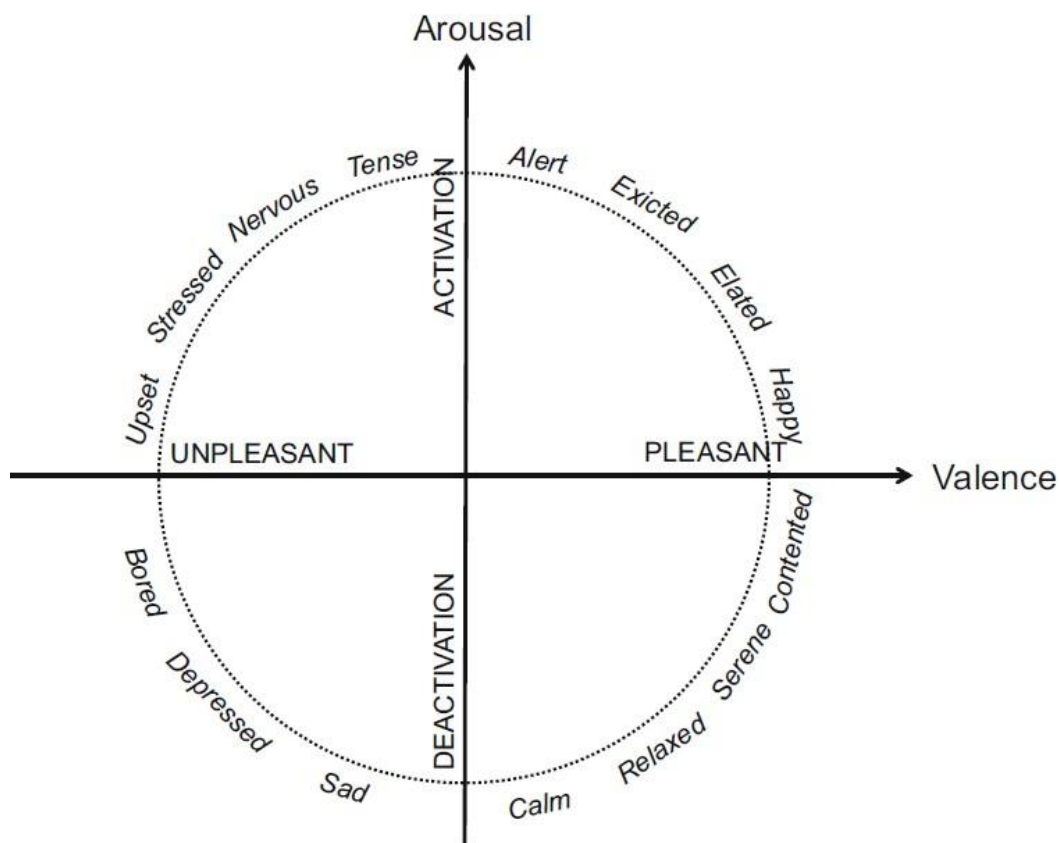
### **3.2.1 Διακριτά μοντέλα**

Σύμφωνα με τα διακριτά μοντέλα, τα συναισθήματα μπορούν να θεωρηθούν ως το αποτέλεσμα της επιλεκτικής προσαρμογής του ανθρώπου με στόχο την επιβίωση. Για παράδειγμα, μία προσαρμογή με στόχο την επιβίωσης μπορεί να αποτυπωθεί με την παρακάτω αλυσιδωτή σχέση αιτίου-αποτελέσματος: κίνδυνος > φόβος > απόδραση > επιβίωση. Το αποτέλεσμα αυτής της επιλεκτικής προσαρμογής είναι ένα μικρό σύνολο βασικών, έμφυτων και καθολικών συναισθημάτων. Σύμφωνα με τον Ekman<sup>19</sup>, ένα προτεινόμενο σύνολο έξι (6) βασικών συναισθημάτων είναι: θυμός, απέχθεια, φόβος, χαρά, λύπη και έκπληξη. Αυτά τα συναισθήματα μπορούν να αναγνωριστούν με βάση τις εκφράσεις του προσώπου. Αυτά τα έξι (6) συναισθήματα λέγονται πρωτεύοντα σε αντίθεση με τα δευτερεύοντα συναισθήματα τα οποία είναι το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού από πρωτεύοντα (π.χ. περιφρόνηση = θυμός + απέχθεια). Παρ' όλα αυτά, αυτό το μοντέλο μπορεί να είναι ανεπαρκές για να περιγράψει μικτά συναισθήματα που απαιτούν αναγκαστικά περισσότερες από μία λέξεις για να εκφραστούν.

### **3.2.2 Διανυσματικά μοντέλα**

Σε αντίθεση με τα διακριτά μοντέλα, τα διανυσματικά υποθέτουν ένα πολυδιάστατο χώρο στον οποίο κάθε διάσταση αντιπροσωπεύει μία θεμελιώδη ιδιότητα κοινή σε όλα τα συναισθήματα. Με τα χρόνια έχει προταθεί μεγάλος αριθμός διαστάσεων. Το πιο δημοφιλές

προτεινόμενο σύνολο διαστάσεων αποτελείται από 3 ανεξάρτητες και διπολικές διαστάσεις: σθένος (valence), διέγερση (arousal) και κυριαρχία (dominance)<sup>20</sup>. Η κυριαρχία αναπαριστά τον βαθμό κατά τον οποίο το άτομο μπορεί να χειριστεί/ελέγξει την κατάσταση που βρίσκεται. Οι διαστάσεις του σθένους και της διέγερσης είναι οι επικρατέστερες και περισσότερο διαδεδομένες<sup>21</sup>. Μια γραφική απεικόνιση του δισδιάστατου μοντέλου σθένος-διέγερσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 1: Μοντέλο arousal.



**Εικόνα 1: Μοντέλο valence-arousal<sup>22</sup>**

Το σθένος (valence) αντιπροσωπεύει τον βαθμό κατά τον οποίο ένα συναίσθημα γίνεται αισθητό από τον άνθρωπο με κριτήριο αν είναι θετικό ή αρνητικό. Για παράδειγμα, κάποιος που αισθάνεται χαρούμενος έχει αξιολογήσει ένα γεγονός στο περιβάλλον του ως πολύ θετικό.

Από την άλλη πλευρά, η διέγερση (arousal) υποδεικνύει πόσο συναρπαστικά είναι τα γεγονότα στο περιβάλλον του και συνεπώς πόσο ισχυρά νιώθει το συναίσθημα. Σε αυτή την περίπτωση, κάποιος που αισθάνεται βαρεμένος θα βιώσει ένα πολύ λιγότερο συναρπαστικό συναίσθημα.

Τόσο η διέγερση όσο και το σθένος είναι απαραίτητες και επαρκείς διαστάσεις για να θεωρηθούν κατάλληλο σύνολο διαστάσεων για τον προσδιορισμό των συναισθηματικών καταστάσεων και για την αναγνώριση συγκεκριμένων συναισθημάτων.



### **3.3 Περιγραφή συστημάτων αναγνώρισης και ποσοτικοποίησης συναισθήματος**

Η αυτόνομη ποσοτικοποίηση και αναγνώριση του ανθρώπινου συναισθήματος είναι σχετικά καινούργια και γρήγορα αναπτυσσόμενη ερευνητική περιοχή η οποία συνδυάζει γνώσεις από τα πεδία της φυσιολογίας, ψυχολογίας, επιστήμης υπολογιστών, βιοϊατρικής και τεχνητής νοημοσύνης. Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών ανήκουν στο λεγόμενο ερευνητικό πεδίο Affective Computing και πρακτικά παρέχουν υπολογιστικά μοντέλα και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για αυτόματη αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης σε διαφορετικές περιπτώσεις πρόκλησής της.

Γενικά, ένα σύστημα αναγνώρισης συναισθήματος είναι σχεδιασμένο ώστε να είναι αποτελεσματικό σε ένα συγκεκριμένο είδος ερεθίσματος και έχει υποθέσει ένα συγκεκριμένο μοντέλο συναισθήματος το οποίο πρέπει να περιγράφεται με βάση την επεξεργασία ενός ή περισσότερων φυσιολογικών ή συμπεριφορικών σημάτων.

Πρόσφατα, πολλές τεχνικές προσεγγίσεις μηχανικών έχουν χρησιμοποιηθεί για να εγγραφούν ότι τα αποδεκτά συστήματα αναγνώρισης συναισθήματος έχουν υψηλή ακρίβεια, ευρωστία και προσαρμοστικότητα σε πρακτικές εφαρμογές. Ένα σύστημα αναγνώρισης συναισθηματικής κατάστασης αποτελείται από δύο κύρια μέρη, την εκμαίευση συναισθήματος και την συσχέτισή της φυσιολογίας με την ταυτοποίηση συναισθήματος. Τέτοια συστήματα για να επιτύχουν αυτόματη κατηγοριοποίηση, αντιστοιχίζουν μοτίβα φυσιολογίας σε καλά ορισμένες συναισθηματικές καταστάσεις. Τα φυσιολογικά σήματα περιλαμβάνουν άμεσες και έμμεσες απόρροιας συναισθημάτων της ανθρώπινης επικοινωνίας, όπως ο λόγος, οι εκφράσεις του προσώπου, οι γκριμάτσες και οι φυσιολογικές αντιδράσεις.<sup>23</sup>

Πρόσφατα έχουν προταθεί πολλά συστήματα αυτόματης αναγνώρισης συναισθήματος τα οποία είναι σχετικά με την αλληλεπίδραση ανθρώπου ή ασθενή με ρομπότ, οδηγούς αυτοκινήτου, εκφράσεις προσώπου, προσαρμογή της δυσκολίας ηλεκτρονικού παιχνιδιού. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πιο συναφή αποτελέσματα στο πεδίο του Affective Computing με χρήση βιολογικών σημάτων από τις αντιδράσεις του αυτόνομου νευρικού συστήματος, που έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία την τελευταία δεκαετία.

### 3.4 Τρόποι εκμείευσης συναισθήματος

Ένα κρίσιμο ζήτημα το οποίο εξακολουθεί να είναι ανοικτό προς διερεύνηση, είναι ο καθορισμός των τρόπων εκμείευσης συναισθημάτων από τον άνθρωπο. Πολλοί ερευνητές έχουν στρέψει την προσοχή τους σε αισθητήρια ερεθίσματα ικανά να προκαλέσουν συναισθήματα. Η δυσκολία που σχετίζεται με την εκμείευση είναι άμεσα συσχετισμένη με μια σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ της γνωστικής λειτουργίας και των νευροφυσιολογικών αλλαγών. Για το σκοπό αυτό θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφορα μέσα και κανάλια παρουσίασης ερεθισμάτων, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ότι επηρεάζονται από διάφορους "θορυβώδεις" παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των ψυχοφυσιολογικών διαδικασιών όπως η προσοχή, η κοινωνική αλληλεπίδραση και οι συνδέσεις μεταξύ σώματος και βιοαισθητήρα.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, έχει εφαρμοστεί ένα ευρύ φάσμα μεθόδων εξαγωγής συναισθημάτων όπως η ενδοσκόπηση, οι κινήσεις/αλλαγές φώτων και χρωμάτων, ποικίλα σύνολα εικόνων, ήχων και βίντεο. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί αποσπάσματα ταινιών, ομιλιών και διαφημίσεων, παιχνίδια (serious game) σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας, περιγραφικές μέθοδοι αναπόλησης συναισθημάτων και εμπειρίες πραγματικού κόσμου μαζί με την απεικόνιση εξατομικευμένων φανταστικών ερεθισμάτων.<sup>24</sup>

Προκειμένου να εκμειεύσουμε συναισθηματικές καταστάσεις σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον, ορισμένοι συγγραφείς έχουν συγκεντρώσει σύνολα εικόνων, ήχων, οσμών και λέξεων που έχουν επιλεγεί για να προκαλέσουν μια σειρά από θετικές, ουδέτερες ή αρνητικές συναισθηματικές καταστάσεις. Σε τέτοιες μελέτες, τα άτομα έπρεπε να αξιολογήσουν εικόνες, ήχους, οσμές ή λέξεις από την άποψη της ευχαρίστησης και της διέγερσης που τους προκάλεσαν. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η κατανομή των αξιολογήσεων είναι παρόμοια σε όλους τους τύπους αισθητήριων διεγέρσεων.<sup>25</sup>

Από αυτή την άποψη, τα δύο από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα εργαλεία στον τομέα της συναισθηματικής πρόκλησης είναι το International Affective Picture System (IAPS)<sup>26</sup> και το International Affective Digital Sounds System (IADS)<sup>27</sup>. Αποτελούνται από εκατοντάδες εικόνες και ήχους με σχετικές συναισθηματικές βαθμολογίες. Μια ευρέως διαδεδομένη προσέγγιση είναι η επιλογή μίας συλλογής ερεθισμάτων, έτσι ώστε στο καθένα από αυτά η μεμονωμένη τυπική απόκλιση των συναισθηματικών αξιολογήσεων να είναι ελαφρώς διαφοροποιημένη από τα υπόλοιπα.

Στην πράξη τα περισσότερα πειράματα σε αυτό το πεδίο χρησιμοποιούν τα σύνολα εικόνων IAPS και ήχων IADS. Αυτό συμβαίνει καθώς η συναισθηματική αξιολόγηση ερεθισμάτων είναι ένα δύσκολο πρόβλημα με πολυδιάστατες απαντήσεις και με χαμηλό βαθμό συμφωνίας μεταξύ των κριτών/επιστημειωτών. Επιπλέον τα σύνολα IAPS και IADS

συνήθως αποτελούν μία κοινή βάση για τις μελέτες αναγνώρισης συναισθήματος. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να εστιάσουν στην σύγκριση της καταλληλότητας διαφορετικών μοντελοποιήσεων και στην βελτίωση της αποτελεσματικότητας αλγορίθμων κατηγοριοποίησης συναισθημάτων.

### **Εκμείευση συναισθήματος με χρήση συστημάτων εμπυθιστικής εικονικής πραγματικότητας**

Η εκμείευση συναισθημάτων με συστήματα εμπυθιστικής εικονικής πραγματικότητας είναι μία αποτελεσματική μέθοδος για να προκαλέσει με ευκολία τα επιθυμητά συναισθήματα στο άτομο. Παρόλα αυτά τέτοια συστήματα παρέχουν τουλάχιστον 3 βαθμούς ελευθερίας στους χρήστες. Συνεπώς δύο χρήστες ή ακόμα και ένας χρήστης που επαναλαμβάνει την εμπειρία μπορεί να έρθουν σε οπτική επαφή με διαφορετικά ερεθίσματα, με βάση την περιστροφή του κεφαλιού τους την εκάστοτε χρονική στιγμή. Το παραπάνω γεγονός καθιστά ανέφικτη την δημιουργία ενός συνόλου εικονικών περιβαλλόντων με συναισθηματικές αξιολογήσεις, σε αντιστοιχία με το IAPS ή το IADS.

### **3.5 Επισκόπηση μελετών στην αναγνώριση και**

#### **ποσοτικοποίηση συναισθήματος**

Ένας τρόπος για να αναγνωρίσουμε τα συναισθήματα είναι να χαρτογραφήσουμε συγκεκριμένα μοτίβα από σύνολα δεδομένων βιολογικών σημάτων. Τα βιοσήματα αυτά μετριοούνται με βάση τις φυσιολογικές αντιδράσεις που δημιουργούνται από ένα συναισθηματικό ερέθισμα. Στη σχετική βιβλιογραφία έχουν προταθεί αρκετοί άλλοι τρόποι αναγνώρισης συναισθημάτων, χωρίς τη χρήση βιοσημάτων. Μερικοί από αυτούς είναι η παρατήρηση των εκφράσεων του προσώπου, της χροιάς της φωνής και των κινήσεων του σώματος. Στην παρούσα εργασία επικεντρωθήκαμε σε μεθόδους που χρησιμοποιούν βιοσήματα.

Μπορούμε να διαχωρίσουμε την αναγνώριση των συναισθημάτων σε δύο πεδία: την ταυτοποίηση συναισθημάτων και την ποσοτικοποίηση συναισθημάτων. Είναι πολύ σημαντικό να δοθεί έμφαση στη διαφορά μεταξύ των δύο και να τα διακρίνουμε ως ξεχωριστά προβλήματα. Συγκεκριμένα, στις εφαρμογές φοβίας VRET, ο ποσοτικός προσδιορισμός φόβου είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της θεραπείας.

#### **3.5.1 Ποσοτικοποίηση συναισθήματος**

Στην πρόσφατη βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολυάριθμα συστήματα αυτόματης αναγνώρισης συναισθημάτων που περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, αλληλεπιδράσεις ανθρώπου ή ασθενούς-ρομπότ, οδηγούς αυτοκινήτων, εκφράσεις προσώπου και παιχνίδια με προσαρμοζόμενη δυσκολία.

Ωστόσο, μόνο μερικές από αυτές τις μελέτες εξειδικεύονται στην ποσοτικοποίηση του συναισθήματος σε μια συγκεκριμένη τάξη συναισθήματος. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τα αποτελέσματα σχετικά με την αναγνώριση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των συναισθημάτων, που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία τα τελευταία χρόνια. Κάθε γραμμή του Πίνακας 1 δείχνει το όνομα της μελέτης μαζί με το έτος δημοσίευσης, την τυπολογία του μοτίβου διέγερσης, τις συναισθηματικές κλάσεις τάξεις και τα αποτελέσματα από την άποψη του καλύτερου ποσοστού επιτυχούς αναγνώρισης.

Μια απλή ανασκόπηση του πίνακα δείχνει ότι τα αποτελέσματα (ακρίβεια κατηγοριοποίησης στις εκάστοτε συναισθηματικές κλάσεις) είναι αρκετά εντυπωσιακά και ελπιδοφόρα στις περισσότερες μελέτες. Ωστόσο, υπάρχουν μόνο λίγες εργασίες που συζητούν την ποσοτικοποίηση των συναισθημάτων παρά την ταυτοποίηση, γεγονός που

αμφισβητεί την εγκυρότητα οποιουδήποτε γενικού συμπεράσματος σχετικά με το πρόβλημα της ποσοτικοποίησης συναισθημάτων.

**Πίνακας 1: Ανασκόπηση μελετών ποσοτικοποίησης συναισθημάτων με βάση βιοσήματα**

<b>Όνομα μελέτης</b>	<b>Έτος</b>	<b>Μέθοδος εκμείευσης συναισθήματος</b>	<b>Συναισθηματικές κλάσεις</b>	<b>Βέλτιστα αποτελέσματα (%)</b>
<b>Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors<sup>28</sup></b>	2005	Οδήγηση	Τρία (3) επίπεδα άγχους	97
<b>Stress Detection in Computer Users Based on Digital Signal Processing of Noninvasive Physiological Variables<sup>2</sup></b>	2006	Δοκιμαστικό παιχνίδι stroop	Δύο (2) επίπεδα άγχους	90
<b>Entertainment modeling through physiology in physical play<sup>29</sup></b>	2008	Διαδραστικά παιχνίδια	Δύο (2) επίπεδα διασκέδασης/ευχαρίστησης	70
<b>Detection of Stress Levels from Biosignals Measured in Virtual Reality Environments Using a Kernel-Based Extreme Learning Machine<sup>30</sup></b>	2017	Αριθμητική πράξη της αφαίρεσης	Πέντε (5) επίπεδα άγχους	95

### ***3.6 Επιλογή συγκεκριμένου προβλήματος κατηγοριοποίησης συναισθήματος***

Είναι πολύ σημαντικό να ορίσουμε καλά το ερώτημα που πρόκειται να απαντήσουμε πριν ξεκινήσουμε τη σχεδίαση ενός συστήματος ποσοτικοποίησης ή/και αναγνώρισης συναισθήματος, καθώς με βάση τις προηγούμενες έρευνες η επιλογή των αισθητήρων και η μέθοδος επεξεργασίας των σημάτων διαφέρει σημαντικά από πρόβλημα σε πρόβλημα. Αξίζει να διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους προβλημάτων. Τα προβλήματα που στοχεύουν στην ταξινόμηση του συναισθήματος σε μία συναισθηματική κλάση από ένα σύνολο διακριτών και διαφορετικών συναισθημάτων και την ποσοτικοποίηση του συναισθήματος, δηλαδή την ταξινόμηση σε επίπεδα μέσα στην ίδια κλάση συναισθήματος. Παράδειγμα της πρώτης κατηγορίας είναι η ταξινόμηση χαράς, λύπης, θυμού και φόβου, ενώ για τη δεύτερη κατηγορία προβλημάτων ένα παράδειγμα είναι η κατηγοριοποίηση μεταξύ 3 διαφορετικών επιπέδων άγχους κατά την οδήγηση αυτοκινήτου. Είναι προφανές ότι η ποσοτικοποίηση του συναισθήματος είναι δυσκολότερο πρόβλημα σε σχέση με τον διαχωρισμό μεταξύ κάποιων πλήρως διαφορετικών συναισθημάτων. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία υπάρχει πληθώρα μελετών σχετικά με την αναγνώριση διαφορετικών συναισθημάτων αλλά ελάχιστες μελέτες σχετικά με την ποσοτικοποίηση του συναισθήματος.

# 4

## *Βιοαισθητήρες και αξιοποίηση δεδομένων*

### *4.1 Ηλεκτροδερμική δραστηριότητα – Γαλβανική αντίσταση*

Η ηλεκτροδερμική δραστηριότητα (EDA) ορίζεται ως μια αλλαγή στις ηλεκτρικές ιδιότητες του δέρματος. Η αντίσταση του δέρματος είναι συνήθως μεγάλη, από 1MΩ – 10MΩ, όμως γνωρίζουμε παρ' όλα αυτά, ότι στιγμιαίες αλλαγές της δραστηριότητας του ιδρωτοποιού αδένου προκαλούν αλλαγές στην αντίστασή του (περίπου έως και 950K).

Η ηλεκτροδερμική δραστηριότητα αντικατοπτρίζει τη δραστηριότητα του ιδρωτοποιού αδένου και τις αλλαγές στο νευρικό σύστημα και τις μεταβλητές μέτρησης. Η διέγερση του νευρικού συστήματος εξ' αιτίας ερεθισμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη δράση των ιδρωτοποιών που οδηγεί με τη σειρά του σε μεταβολή του επιπέδου της αγωγιμότητας. Μελέτες<sup>31</sup> δείχνουν ότι υπάρχει σύνδεση ανάμεσα στη συμπαθητική δραστηριότητα του αυτόνομου νευρικού συστήματος και στη συναισθηματική διέγερση, παρ' ότι υπάρχουν δυσκολίες στην αναγνώριση του εκάστοτε εκδηλωμένου συναισθήματος. Η αλλαγή της συναισθηματικής κατάστασης του υποκειμένου καταγράφεται μέσω ενός συστήματος, όπου το σήμα ουσιαστικά καταγράφει τις μεταβολές στην αγωγιμότητα του δέρματος λόγω της λειτουργίας/δράσης των ιδρωτοποιών αδένων<sup>32</sup>.

Η γαλβανική αντίσταση (GSR) θεωρείται από παλιά αξιόλογο μέσο μέτρησης του φυσιολογικού και πνευματικού άγχους. Παρότι δεν υπάρχουν απόλυτα μεγέθη/επίπεδα ενδεικτικά του υψηλού φόρτου εργασίας ή του άγχους, η μέθοδος αυτή αποτελεί μια σχετικά

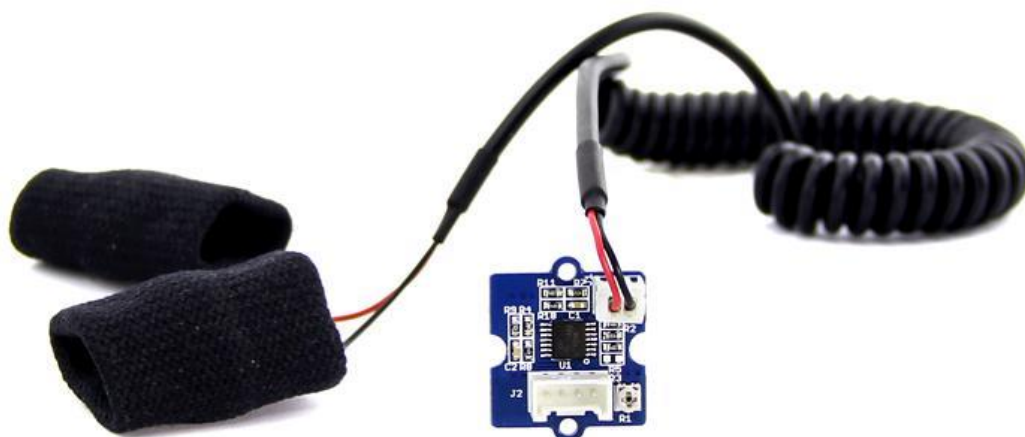
καλή ένδειξη του άγχους. Υψηλότερα επίπεδα στις μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια ορισμένων εργασιών υποδηλώνουν υψηλότερα επίπεδα άγχους. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υπάρχει σύνδεση μεταξύ συμπαθητικού νευρικού συστήματος και συναισθηματικής διέγερσης όμως ο προσδιορισμός του συναισθήματος μέσω των μετρήσεων της GSR είναι δύσκολος. Έτσι συναισθήματα όπως φόβος, θυμός, τρόμος, αποπροσανατολισμός, σεξουαλικός ερεθισμός κ.α. μπορούν ,παρότι διαφορετικά εντελώς, να προκαλέσουν παρόμοιες αποκρίσεις της GSR<sup>33</sup>.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για την μέτρηση της Ηλεκτροδερμικής Αγωγιμότητας. Οι δυο κυριότερες είναι η ενεργός και η παθητική μέτρηση. Στην ενεργό μέτρηση ένα ρεύμα διαπερνά το δέρμα και στη συνέχεια μετράτε η αντίσταση σε αυτό το πέρασμα. Στην παθητική χρησιμοποιείται κανένα εξωτερικό ρεύμα και το δέρμα από μόνο του αποτελεί την πηγή της ηλεκτρικής δραστηριότητας.

Η αγωγιμότητα του δέρματος είναι ένα μέτρο της ικανότητας του δέρματος να άγει ηλεκτρισμό. Μία ασθενής ηλεκτρική τάση εφαρμόζεται μέσω δύο ηλεκτροδίων, συνήθως στερεωμένων σε δύο δάχτυλα ενός χεριού, ούτως ώστε να δημιουργηθεί ένα ηλεκτρικό κύκλωμα όπου το ανθρώπινο σώμα μετατρέπεται σε μεταβλητό αντιστάτη και στη συνέχεια υπολογίζεται σε πραγματικό χρόνο η μεταβολή της αγωγιμότητας (το αντίστροφο της αντίστασης). Η αγωγιμότητα του δέρματος αντιπροσωπεύει τις αλλαγές στο συμπαθητικό νευρικό σύστημα. Καθώς ένα άτομο αγχώνεται περισσότερο ή λιγότερο, η αγωγιμότητα του δέρματός του αυξάνει ή μειώνεται ανάλογα. Παράδειγμα, ένα οδονηρό ερέθισμα, όπως μια κεφαλή καρφίτσας προκαλεί μια συμπαθητική ανταπόκριση από τους ιδρωτοποιούς αδένες, την αύξηση της έκκρισης. Αν και η αύξηση αυτή είναι γενικά πολύ μικρή, ο ιδρώτας περιέχει νερό και ηλεκτρολύτες που αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα, μειώνοντας έτσι την ηλεκτρική αντίσταση του δέρματος. Οι αλλαγές αυτές με τη σειρά τους επηρεάζουν την GSR. Ένα άλλο κοινό παράδειγμα είναι η αγγειοδιαστολή (διαστολή) των αιμοφόρων αγγείων στο πρόσωπο, που αναφέρεται ως το κοκκίνισμα, καθώς και η εφίδρωση είναι αυξημένη όταν κάποιος είναι σε δύσκολη θέση<sup>34</sup>.

Ο αισθητήρας δέρματος αποτελείται από δυο αγωγούς που στην κατάληξή τους έχουν ηλεκτρόδια. Αυτά εφαρμόζονται στα δάκτυλα του ενός χεριού ώστε να τυλίγουν το δάκτυλο αρκετά σφικτά όχι όμως τόσο ώστε να περιορίζουν την κυκλοφορία του αίματος καθώς αυτό μπορεί να επηρεάσει την μέτρηση της GSR. Η επιφάνεια του ηλεκτροδίου πρέπει να βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με το μαλακό τμήμα του δακτύλου ώστε να λαμβάνεται σωστά το σήμα ενώ για επιπλέον βοήθεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί κρέμα αγωγιμότητας (gel υπερήχων).<sup>34</sup>





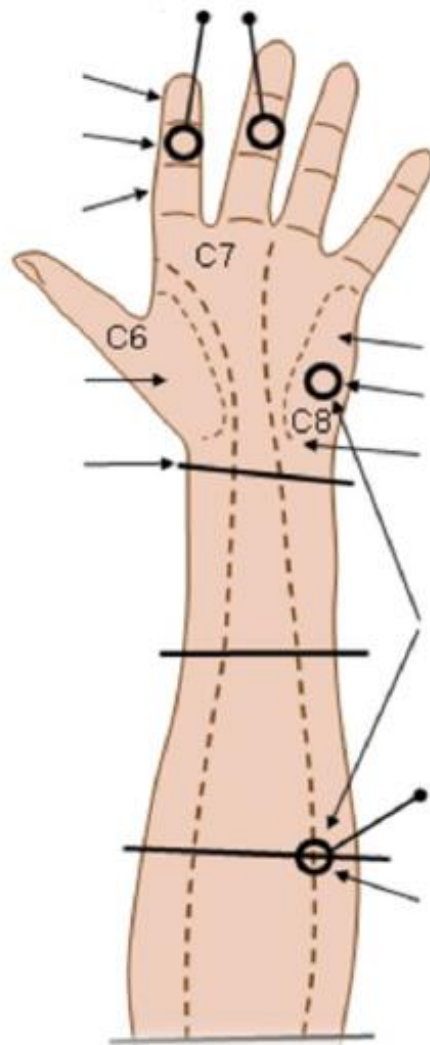
**Εικόνα 2** Αισθητήρας Γαλβανικής Αντίστασης<sup>35</sup>

Η τυπική μονάδα μέτρησης για την αγωγιμότητα είναι το Siemens. Η αγωγιμότητα του δέρματος μετριέται σε micro-Siemens (kS) ενώ κάποια συστήματα βίο-ανάδρασης εμφανίζουν την αγωγιμότητα του δέρματος σε micro-mhos (Km) (το mho είναι το αντίστροφο του ohm, μονάδα μέτρησης της αντίστασης), που είναι ισοδύναμο του kS. Φυσιολογικές ενδείξεις για την αγωγιμότητα του δέρματος σε ήρεμη κατάσταση είναι περίπου 2 kS. Λόγω της απόκρισης του δέρματος και του μυϊκού ιστού από εξωτερικά και εσωτερικά ερεθίσματα, η αγωγιμότητα μπορεί να ποικίλλει αρκετά micro Siemens. Όταν βαθμονομηθεί σωστά, η συσκευή μπορεί να μετρήσει αυτές τις λεπτές διαφορές. Αυτές οι μεταβολές στο αυτόνομο συμπαθητικό νευρικό σύστημα μεταβάλλουν τον ιδρώτα και τη ροή του αίματος, οι οποίες με τη σειρά του επηρεάζει την GSR.<sup>36</sup>

Η SCR (δερματική απόκριση αγωγιμότητας) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στα συναισθήματα σε ορισμένους ανθρώπους. Ο φόβος, ο θυμός, η λύπη, η χαρά, τα σεξουαλική συναισθήματα είναι κάποιες από τις αντιδράσεις που μπορεί να παράγουν παρόμοιες αποκρίσεις αγωγιμότητας του δέρματος. Αυτές οι αντιδράσεις χρησιμοποιούνται ως μέρος του ανιχνευτή ψεύδους. Η αγωγιμότητα του δέρματος, η γαλβανική απόκριση του δέρματος και η ηλεκτροδερμική απόκριση είναι διαφορετικοί όροι για παρόμοιες φυσιολογικές μετρήσεις.<sup>37</sup>

Ο τύπος του σήματος που καταγράφεται από ένα αισθητήρα αγωγιμότητας δέρματος δείχνει σχετικά γρήγορες αυξήσεις και πιο αργές μειώσεις.

Οι συνδυασμένες αλλαγές μεταξύ γαλβανικής αντίστασης του δέρματος και γαλβανικού δυναμικού του δέρματος συνθέτουν τη γαλβανική αντίδραση του δέρματος. Η γαλβανική δερματική αντίσταση αναφέρεται στην καταγραφή της ηλεκτρικής αντίστασης μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, όταν ένα πολύ ασθενές ρεύμα σταθερά διέρχεται μεταξύ τους. Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται συνήθως περίπου δυο εκατοστά χώρια, και η αντίσταση που καταγράφεται ποικίλλει ανάλογα με τη συναισθηματική κατάσταση του υποκειμένου. Το γαλβανικό δυναμικό του δέρματος αναφέρεται στην τάση που μετριέται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων χωρίς οποιοδήποτε εξωτερικά εφαρμοζόμενο ρεύμα. Μετριέται με τη σύνδεση των ηλεκτροδίων σε έναν ενισχυτή τάσης. Ομοίως, αυτή η τάση μεταβάλλεται με τη συναισθηματική κατάσταση του υποκειμένου.<sup>37</sup>



Εικόνα 3 Πιθανά σημεία μέτρησης ηλεκτροδερμικής δραστηριότητας<sup>22</sup>

## 4.2 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) είναι η πρότυπη διαγνωστική μέθοδος για την καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας που παράγεται από τον εγκέφαλο. Η μέτρηση γίνεται μέσω ηλεκτροδίων τοποθετημένων στην επιφάνεια του τριχωτού της κεφαλής. Για ταχύτερη εφαρμογή, τα ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα σε ελαστικά καλύμματα παρόμοια με τα καλύμματα κολύμβησης, διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν από όμοιες θέσεις του τριχωτού της κεφαλής σε όλους τους ερωτηθέντες.

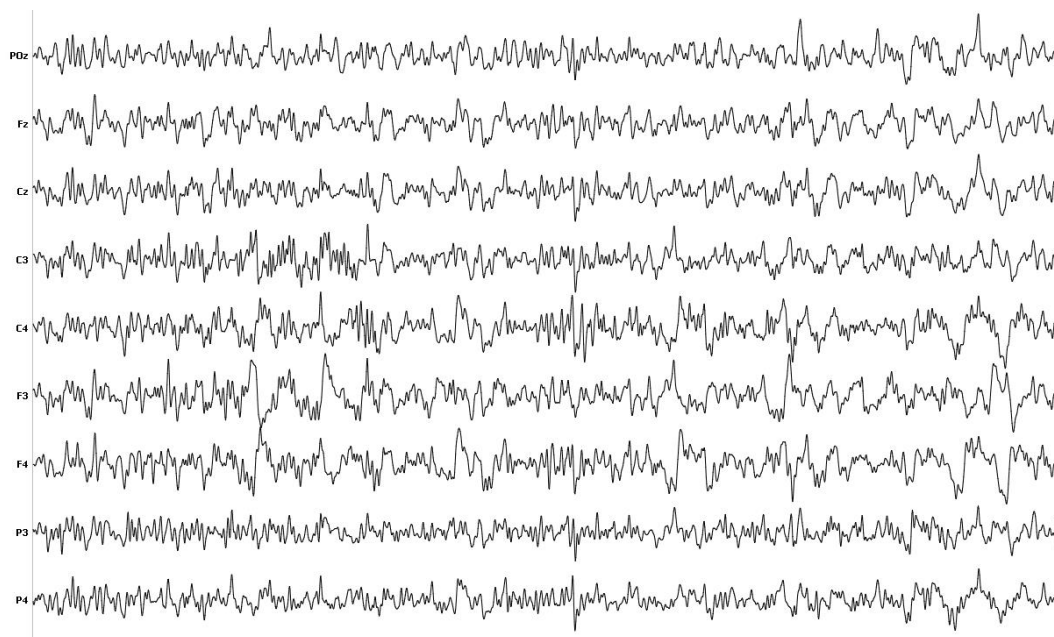


Εικόνα 4 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα με ελαστικό κάλυμμα<sup>38</sup>

Παρά το κάπως τρομακτικό του όνομα (και προφορά), η κατανόηση των βασικών στοιχείων της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας είναι εκπληκτικά απλή. Το EEG μετρά την συγχρονισμένη ηλεκτρική δραστηριότητα χιλιάδων νευρώνων (σε Volt) και παρέχει εξαιρετική χρονική ανάλυση, επιτρέποντάς την ανίχνευση δραστηριότητας εντός των φλοιωδών περιοχών - ακόμη και σε κλίμακα κλασμάτων δευτερολέπτων. Καθώς οι διακυμάνσεις τάσης που μετριοούνται στα ηλεκτρόδια είναι πολύ μικρές, τα καταγεγραμμένα δεδομένα ψηφιοποιούνται και αποστέλλονται σε έναν ενισχυτή. Τα ενισχυμένα δεδομένα μπορούν στη συνέχεια να εμφανίζονται ως ακολουθία τιμών τάσης. Οι διαφορές τιμών στα συστήματα EEG οφείλονται συνήθως στον αριθμό των ηλεκτροδίων, στην ποιότητα της ψηφιοποίησης, στην ποιότητα του ενισχυτή και στον αριθμό των στιγμιότυπων που μπορεί να πάρει η συσκευή ανά δευτερόλεπτο (αυτός είναι ο ρυθμός δειγματοληψίας σε Hz).

Το EEG είναι μία από τις αναλυτικότερες διαθέσιμες τεχνικές απεικόνισης, καθώς συχνά έχει υψηλό ρυθμό δειγματοληψίας. Πριν από εκατό χρόνια, η χρονοσειρά ενός EEG

σχεδιάστηκε σε χαρτί (Εικόνα 5). Τα υπάρχοντα συστήματα εμφανίζουν ψηφιακά τα δεδομένα ως συνεχή ροή τάσεων σε μια οθόνη.



**Εικόνα 5** Γραφική παράσταση χρονοσειρών EEG σε χαρτί<sup>38</sup>

#### **4.2.1 Λοβοί του εγκεφάλου**

Το EEG παρακολουθεί την χρονική πορεία της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου και από κάθε ηλεκτρόδιο ξεχωριστά. Επομένως μπορούμε να ερμηνεύσουμε ποιες περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού είναι υπεύθυνες για την επεξεργασία των πληροφοριών σε μια δεδομένη στιγμή. Με βάση τις λειτουργίες και την κατά τόπους εγκεφαλική δραστηριότητα, ο φλοιός του εγκεφάλου μπορεί να χωριστεί στις παρακάτω περιοχές: (Εικόνα 6)

##### **Ινιακός λοβός – Occipital cortex**

Αυτό το τμήμα του εγκεφάλου είναι κυρίως υπεύθυνο για την επεξεργασία οπτικών πληροφοριών. Τα πειράματα EEG με οπτικά ερεθίσματα (βίντεο, εικόνες) επικεντρώνονται συχνά στις επιπτώσεις στον ινιακό λοβό.<sup>39</sup>

##### **Βρεγματικός λοβός – Parietal cortex**

Ο βρεγματικός λοβός είναι κυρίως υπεύθυνος για την εκδήλωση ηθελημένων κινήσεων και είναι ενεργός κατά τη διάρκεια των αυτό-αναφορικών εργασιών. Για

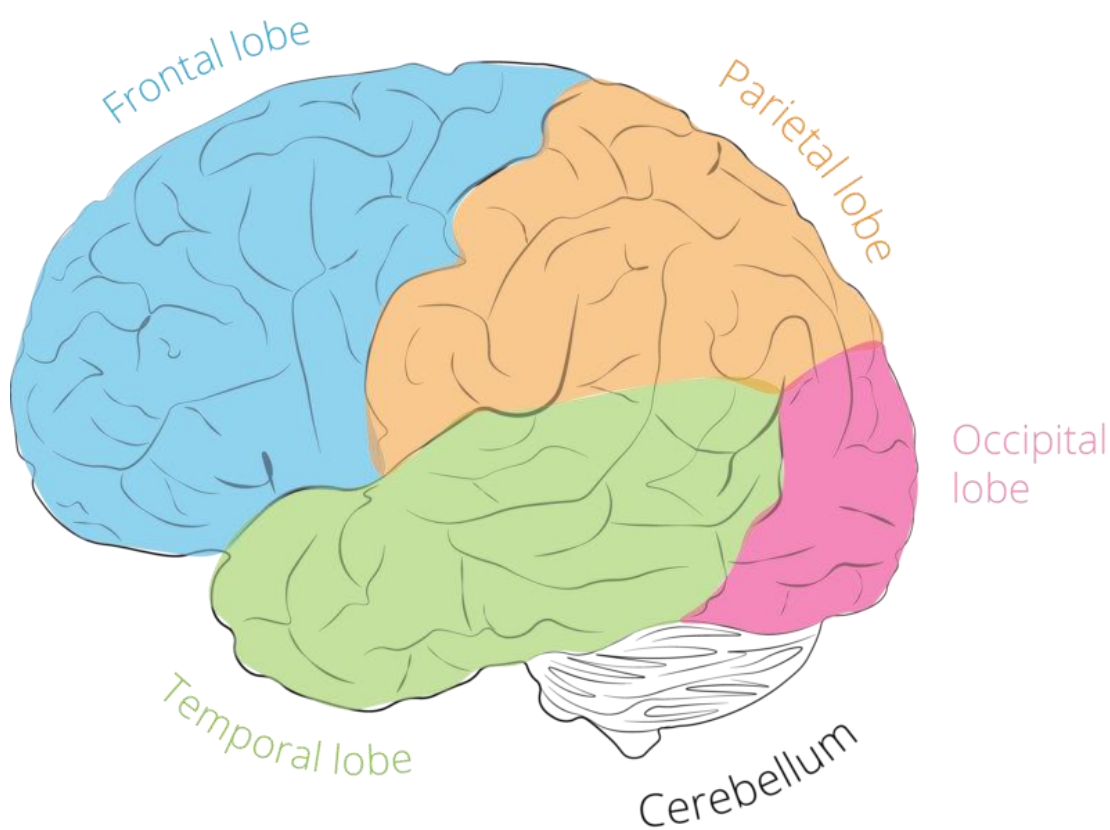
παράδειγμα, όταν διαχειριζόμαστε ή αντιμετωπίζουμε αντικείμενα ή πληροφορίες που είναι σημαντικές για εμάς.<sup>40</sup>

### **Κροταφικός λοβός - Temporal cortex**

Ο κροταφικός λοβός έχει πλευρικές πτυχές που είναι υπεύθυνες για την επεξεργασία της γλώσσας και την παραγωγή ομιλίας, ενώ οι μεσαίες (εσωτερικές) περιοχές είναι πιο ενεργές κατά τη διάρκεια της χωρικής πλοήγησης<sup>41</sup>.

### **Μετωπιαίος λοβός - Frontal cortex**

Το μετωπιαίο τμήμα του ανθρώπινου εγκεφάλου έχει διευρυμένες λειτουργίες σε σύγκριση με τα περισσότερα άλλα θηλαστικά. Συγκεκριμένα, ο μετωπιαίος λοβός ελέγχει την συνείδηση που έχουμε για τις πράξεις μας, την κρίση μας για ό,τι συμβαίνει στις καθημερινές μας δραστηριότητες, τις συναισθηματικές μας αντιδράσεις, τη γλώσσα που χρησιμοποιούμε, καθώς και τη γνώση του νοήματος των λέξεων που επιλέγουμε.<sup>42</sup> Μας βοηθά να διατηρούμε τον έλεγχο, να σχεδιάζουμε το μέλλον και να παρακολουθούμε τη συμπεριφορά μας.



**Εικόνα 6** Περιοχές του φλοιού του εγκεφάλου<sup>38</sup>

## 4.2.2 Εγκεφαλικά κύματα

Τα εγκεφαλικά κύματα είναι το αποτέλεσμα της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου. Κατά την καταγραφή της παρατηρούνται διάφορες συχνότητες οι οποίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη συ σχετιζόμενη δραστηριότητα. Έτσι έχουμε ένα δεύτερο κριτήριο κατηγοριοποίηση των εγκεφαλικών σημάτων εκτός από τα περιφερειακά χαρακτηριστικά του τόπου όπου προέρχεται κάποια ηλεκτρική δραστηριότητα.

Το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα αποκαλύπτει 5 βασικά κύματα με βάση την συχνотική περιοχή του σήματος και τις λειτουργίες του εγκεφάλου που σχετίζονται με αυτά. Τα κύματα αυτά ονομάζονται δέλτα, θήτα, άλφα, βήτα και γάμα και αναλύονται παρακάτω.

### Κύματα δ - delta (1 – 4 Hz)

Τα κύματα δέλτα, εξετάζονται σε εργαστήρια ύπνου για να εκτιμηθεί το βάθος του ύπνου. Όσο ισχυρότερος είναι ο ρυθμός δέλτα, τόσο πιο βαθύς είναι ο ύπνος. Μελέτες<sup>43</sup> δείχνουν ότι η αυξημένη ισχύς του κύματος δέλτα σχετίζεται με αυξημένη συγκέντρωση στις εσωτερικές εργασίες που απαιτούν μνήμη.

**Delta**

< 4 Hz



### Κύματα θ - theta (4 – 7 Hz)

Τα κύματα θήτα συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα της γνωστικής επεξεργασίας όπως η κωδικοποίηση μνήμης και η ανάκτηση, καθώς και ο γνωστικός φόρτος εργασίας.<sup>44</sup> Κάθε φορά που ερχόμαστε αντιμέτωποι με δύσκολες εργασίες (για παράδειγμα να μετρήσουμε αντίστροφα από το 100 σε βήματα των 7 ή να θυμηθούμε τον δρόμο επιστροφής στο σπίτι τη δουλειά), τα κύματα θήτα γίνονται πιο εμφανή. Επίσης τα αυξημένα επίπεδο κόπωσης συνδέονται με τα θήτα κύματα.<sup>45</sup>

**Theta**

4 - 7 Hz



### Κύματα α - alpha (7 – 12 Hz)

Κάθε φορά που κλείνουμε τα μάτια μας και φθάνουμε σε μια ήρεμη κατάσταση,

**Alpha**

7- 12 Hz



τότε εμφανίζονται τα κύματα άλφα στην εγκεφαλική δραστηριότητα. Τα επίπεδα των κυμάτων άλφα αυξάνονται όταν βρισκόμαστε σε κατάσταση χαλαρής αυπνίας. Στις εκπαιδεύσεις βιοανάδρασης τα κύματα άλφα χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της χαλάρωσης. Επίσης συνδέονται με την αυτοσυγκράτηση και την προσοχή.<sup>46</sup>

### **Κύματα β - beta (12 – 30 Hz)**

Τα κύματα βήτα εμφανίζονται και γίνονται ισχυρότερα όταν σχεδιάζουμε ή εκτελούμε κινήσεις σε οποιοδήποτε τμήμα του σώματος.<sup>47</sup> Παρουσιάζει ενδιαφέρον το γεγονός ότι αυτή η αύξηση της βήτα συχνότητας παρατηρείται επίσης καθώς παρατηρούμε σωματικές κινήσεις άλλων ανθρώπων.<sup>48</sup> Ο εγκέφαλός μας φαίνεται ότι μιμείται τις κινήσεις των άκρων τους, υποδεικνύοντας ότι υπάρχει ένα περίπλοκο "σύστημα καθρεφτών νευρώνων" στον εγκέφαλό μας, το οποίο ενδεχομένως συντονίζεται από τις βήτα συχνότητες.

**Beta**

12 - 30 Hz



### **Κύματα γ - gamma (>30 Hz, συνήθως 40 Hz)**

Μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι των κύματα γάμα αντανακλούν την προσεκτική συγκέντρωση και χρησιμεύουν ως φέρουσα συχνότητα για να διευκολύνουν την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των περιοχών του εγκεφάλου.<sup>49</sup> Άλλοι ερευνητές συσχετίζουν τα κύματα γάμα με ταχείες κινήσεις των ματιών, τις λεγόμενες σακάδες, που θεωρούνται αναπόσπαστα μέρη για την αισθητική επεξεργασία και την πρόσληψη πληροφοριών.<sup>50</sup>

**Gamma**

30 - 50 Hz



## **4.3 Μηχανική μάθηση**

Η μηχανική μάθηση (machine learning) είναι ένα επιστημονικό πεδίο αλγορίθμων και στατιστικών μοντέλων που εφαρμόζεται στα υπολογιστικά συστήματα. Θεωρείται υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης. Στόχος του είναι εκτελέσει αποτελεσματικά μία συγκεκριμένη εργασία βασισμένο σε μοντέλα και στατιστική συμπερασματολογία αντί για ρητές οδηγίες. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης φτιάχνουν ένα μαθηματικό μοντέλο από ένα σύνολο

δεδομένων, γνωστό ως «training data» (δεδομένα εκπαίδευσης), και έτσι κάνουν προβλέψεις ή παίρνουν αποφάσεις, χωρίς να είναι ρητά προγραμματισμένοι για το σκοπό αυτό.<sup>51</sup>

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να διαχωριστούν σε ποικίλες κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή των δεδομένων εκπαίδευσης, τον τρόπο επεξεργασίας τους και είδος του αποτελέσματος/της πρόβλεψης.

#### **4.3.1 Επιβλεπόμενη μάθηση**

Στην κατηγορία της επιβλεπόμενης μάθησης (supervised learning), οι αλγόριθμοι φτιάχνουν ένα μαθηματικό μοντέλο αξιοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης το οποίο περιέχει τόσο τις εισόδους (inputs) όσο και τις επιθυμητές εξόδους (desired outputs). Οι επιθυμητές έξοδοι συχνά λέγονται και ετικέτες (labels). Για παράδειγμα, αν θέλουμε να απαντήσουμε στην ερώτηση εάν ένα συγκεκριμένο αντικείμενο περιέχεται σε μία εικόνα, τα δεδομένα εκπαίδευσης για έναν αλγόριθμο επιβλεπόμενης μάθησης θα περιλαμβάνουν εικόνες με και χωρίς το συγκριμένο αντικείμενο (δεδομένα εισόδου) καθώς και ετικέτες για την κάθε εικόνα (δεδομένα εξόδου). Οι ετικέτες αυτές δηλώνουν αν το συγκεκριμένο αντικείμενο περιέχεται στην εκάστοτε εικόνα.

Οι αλγόριθμοι επιβλεπόμενης μάθησης μπορούν να χωριστούν σε δύο (2) κατηγορίες με βάση τη μορφή της εξόδου/απάντησης που παράγουν.

#### **Κατηγοριοποίηση**

Οι αλγόριθμοι κατηγοριοποίησης (Classification algorithms) χρησιμοποιούνται όταν η έξοδος είναι περιορισμένη σε ένα συγκεκριμένο σύνολο τιμών. Αν θεωρήσουμε για παράδειγμα ένα αλγόριθμο που φιλτράρει και κατηγοριοποιεί μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email), η είσοδος θα είναι το εισερχόμενο email και η έξοδος ο φάκελος στον οποίο ταιριάζει να τοποθετηθεί το email. Για ένα αλγόριθμο που αναγνωρίζει την ανεπιθύμητη αλληλογραφία (spam), η έξοδος θα ήταν μία πρόβλεψη μεταξύ «spam» και «όχι spam», που μπορεί να αναπαρασταθεί με Boolean τιμές true ή false. Αλγόριθμοι ταξινόμησης που επιλύουν προβλήματα με Boolean έξοδο (true or false) ονομάζονται δυαδικοί ταξινομητές (Binary Classifiers).

#### **Παλινδρόμηση**

Οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης (Regression algorithms) χρησιμοποιούνται όταν η έξοδος μπορεί να πάρει συνεχείς τιμές, δηλαδή να λάβει οποιαδήποτε τιμές μέσα σε ένα



εύρος τιμών. Παραδείγματα συνεχούς εύρους τιμών μπορεί να είναι η θερμοκρασία, η απόσταση ή η τιμή ενός αντικειμένου.

### **4.3.2 Μη επιβλεπόμενη μάθηση**

Στην κατηγορία της μη επιβλεπόμενης μάθησης (unsupervised learning), οι αλγόριθμοι φτιάχνουν ένα μαθηματικό μοντέλο αξιοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης το οποίο περιέχει τα δεδομένα εισόδου (inputs) αλλά καμία ετικέτα για τις επιθυμητές εξόδους (desired outputs). Οι αλγόριθμοι μη επιβλεπόμενης μάθησης χρησιμοποιούνται για να ανακαλύψουν δομές στα δεδομένα και να τα ομαδοποιήσουν. Το επιτυγχάνουν αυτό ανακαλύπτοντας μοτίβα στα δεδομένα εισόδου και ομαδοποιώντας τα σε κατηγορίες.

### **4.3.3 Περιγραφή βημάτων μηχανικής μάθησης**

Είναι σημαντικό να περιγράψουμε τα πλήρη βήματα μίας διαδικασίας μηχανικής μάθησης έτσι ώστε ο αναγνώστης να έχει την μεγάλη εικόνα μίας διαδικασίας μηχανικής μάθησης.<sup>52</sup> Για λόγους απλότητας θα αναφερθούμε σε ένα πρόβλημα κατηγοριοποίησης επιβλεπόμενης μάθησης.

#### **Βήμα 1: Συλλογή δεδομένων**

Σε αυτό το βήμα, παίρνουμε μετρήσεις μέσω αισθητήρων, κάμερα και άλλων μέσων και δημιουργούμε ένα σύνολο δεδομένων. Η ποιότητα και η ποσότητα των δεδομένων που θα συλλεχθούν θα καθορίσουν άμεσα την αποτελεσματικότητα των μοντέλων και την ακρίβεια των προβλέψεων τους.

#### **Βήμα 2: Προετοιμασία δεδομένων**

Σε αυτό το βήμα εκτελούμε μία σειρά από διαδικασίες έτσι ώστε τα δεδομένα που συλλέξαμε να αξιοποιηθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο από ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης.

Αρχικά συγκεντρώνουμε όλα τα δεδομένα και τοποθετούμε σε τυχαία σειρά. Δεν θέλουμε η σειρά που συλλέχθηκαν τα δεδομένα να επηρεάσει τα συμπεράσματα που θα βγάλουμε από αυτά, καθώς τις περισσότερες φορές η σειρά των μετρήσεων είναι ανεξάρτητη από την κατηγοριοποίηση των δεδομένων.

Επίσης είναι η κατάλληλη στιγμή να κάνουμε απεικονίσεις των δεδομένων για να ανακαλύψουμε πιθανές συσχετίσεις μεταξύ διαφορετικών μεταβλητών καθώς και να βρούμε πιθανές δυσαναλογίες μεταξύ των δεδομένων. Για παράδειγμα εάν έχουμε πολλά δεδομένα από μία κλάση τότε το μοντέλο θα εκπαιδευτεί με προκατάληψη προς αυτή την κλάση καθώς αν προβλέπει αυτή την κλάση τις περισσότερες φορές θα είναι σωστό. Επομένως πρέπει να έχουμε περίπου ίση ποσότητα δεδομένων από κάθε κλάση, έτσι ώστε το μοντέλο μας να παράγει όσο γίνεται πιο αμερόληπτες προβλέψεις.

Είναι απαραίτητο να χωρίσουμε το σύνολο των δεδομένων σε δύο μέρη. Το πρώτο σύνολο θα χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση του μοντέλου και θα είναι το μεγαλύτερο μέρος των συνολικών δεδομένων. Το δεύτερο σύνολο θα χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσουμε την απόδοση του μοντέλου που μόλις εκπαιδεύσαμε. Δεν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπαίδευση για να το αξιολογήσουμε, καθώς το μοντέλο θα εκπαιδευόταν να απομνημονεύσει τις «ερωτήσεις».

Τέλος, τα δεδομένα που συλλέξαμε χρειάζονται διάφορες μορφές προσαρμογής και χειρισμού. Παραδείγματα αυτών είναι: η εξάλειψη θορύβου ή άχρηστων δεδομένων, η κανονικοποίηση, η διόρθωση σφαλμάτων και η εξαγωγή χαρακτηριστικών.<sup>53</sup>

### **Βήμα 3: Επιλογή μοντέλου**

Οι ερευνητές και οι επιστήμονες έχουν δημιουργήσει μια μεγάλη ποικιλία μοντέλων. Το καθένα από αυτά είναι κατάλληλο για συγκεκριμένο τύπο δεδομένων (δεδομένα εικόνων, κείμενα, μουσική). Είναι κρίσιμο να επιλέξουμε το κατάλληλο μοντέλο ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων και τις εξαρτήσεις που έχουν μεταξύ τους.

### **Βήμα 4: Εκπαίδευση μοντέλου**

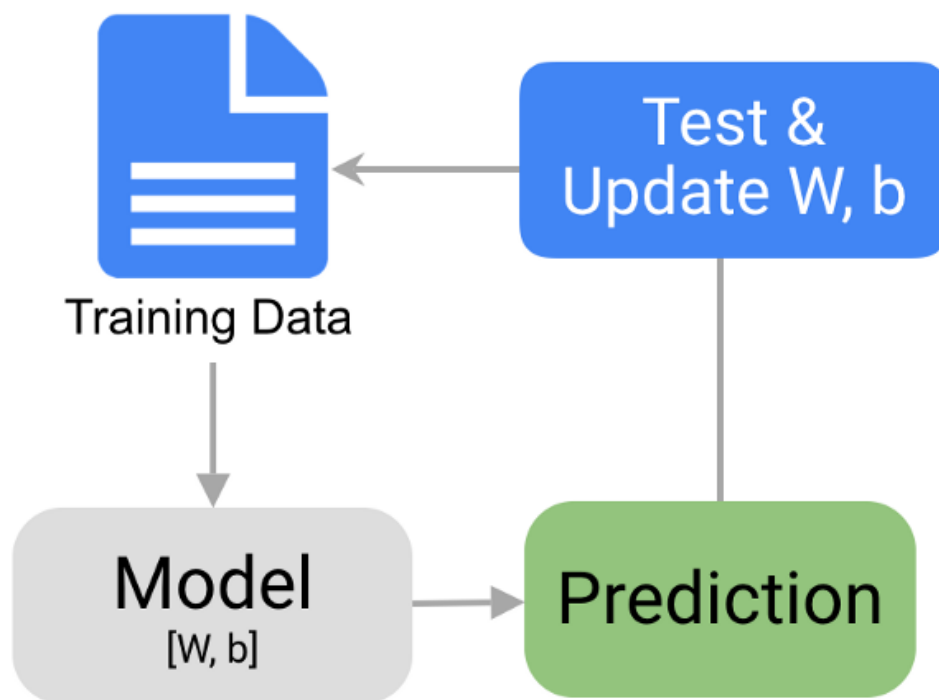
Το βήμα αυτό θεωρείται πολλές φορές το κύριο βήμα της μηχανικής μάθησης. Σε αυτό το βήμα θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα έτσι ώστε να αυξήσουμε την ικανότητα του μοντέλου να κάνει προβλέψεις. Μπορούμε να θεωρήσουμε ένα απλό παράδειγμα με ένα γραμμικό μοντέλο της μορφής  $y = m * x + b$ , όπου το  $x$  είναι η είσοδος, το  $m$  είναι η κλίση της ευθείας και το  $b$  είναι το ύψος που τέμνει η ευθεία τον άξονα  $x$ . Επειδή η είσοδος είναι ένα διάνυσμα από χαρακτηριστικά και όχι απλώς μία τιμή, η κλίση  $m$  είναι ένας πίνακας που ονομάζεται πίνακας βαρών (weights matrix). Ομοίως και το  $b$  αποτελεί έναν πίνακα που ονομάζεται biases matrix.

$$\text{WEIGHTS} = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} \\ m_{2,1} & m_{2,2} \\ m_{3,1} & m_{3,2} \end{bmatrix}$$

$$\text{BIASES} = \begin{bmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} \\ b_{2,1} & b_{2,2} \\ b_{3,1} & b_{3,2} \end{bmatrix}$$

Εικόνα 7 Πίνακες weights και biases<sup>52</sup>

Η διαδικασία της μάθησης ξεκινάει αρχικοποιώντας με τυχαίες τιμές τους πίνακες  $W$  (weights) και  $b$  (bias) και προσπαθεί να προβλέψει τις τιμές εξόδου με βάση αυτές τις τιμές. Είναι προφανές ότι προφανές ότι τα αποτελέσματα δεν θα είναι καλά. Όμως μπορούμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα του μοντέλου με την έξοδο που πρέπει να παράγει και να προσαρμόσουμε τις τιμές των  $W$  και  $b$ , έτσι ώστε να έχουμε περισσότερες σωστές προβλέψεις. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειαστεί μέχρι να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα ή να μην βελτιώνονται περαιτέρω οι προβλέψεις. Κάθε επανάληψη της διαδικασίας που ανανεώνει τα  $W$  και  $b$  ονομάζεται βήμα εκπαίδευσης (training step).



Εικόνα 8 Μοντέλο προβλέψεων<sup>52</sup>

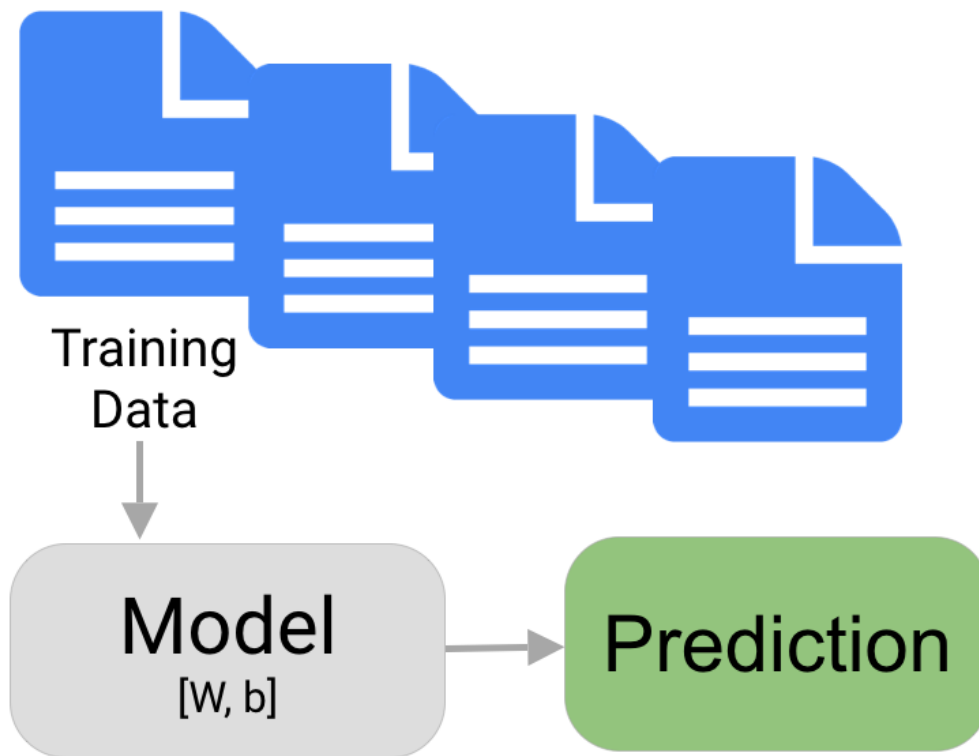
### Βήμα 5: Αξιολόγηση

Μόλις ολοκληρωθεί η εκπαίδευση, είναι η κατάλληλη στιγμή να εκτιμήσουμε πόσο καλά μπορεί να προβλέψει το μοντέλο μας. Σε αυτό το βήμα θα χρησιμοποιήσουμε το σύνολο δεδομένων που αφαιρέσαμε από το σύνολο εκπαίδευση στο βήμα 2. Έτσι δοκιμάζουμε πως συμπεριφέρεται το μοντέλο μας σε δεδομένα που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευσή του και μπορούμε να εκτιμήσουμε πως θα συμπεριφερθεί το μοντέλο σε δεδομένα που δεν έχει ξανά δει. Αυτός ο έλεγχος αντιπροσωπεύει την συμπεριφορά του μοντέλου στον πραγματικό κόσμο.

### Βήμα 6: Ρύθμιση Παραμέτρων

Μόλις έχουμε αξιολογήσει το πρώτο μοντέλο μπορούμε να προσπαθήσουμε να πετύχουμε καλύτερα ποσοστά ακρίβειας στις προβλέψεις μας, προσαρμόζοντας τις παραμέτρους της μεθόδου. Στο βήμα της εκπαίδευσης του μοντέλου κάναμε κάποιες έμμεσες υποθέσεις σχετικές με τη διαδικασία. Σε αυτό το βήμα θα δοκιμάσουμε διαφορετικές τιμές σε μερικές από αυτές.

Ένα παράδειγμα είναι ο αριθμός των φορών που επεξεργάστηκε το μοντέλο το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης. Εκθέτοντας τα δεδομένα εκπαίδευσης στο μοντέλο πολλαπλές φορές (Εικόνα 9), και όχι μόνο μία, μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη ακρίβεια προβλέψεων.



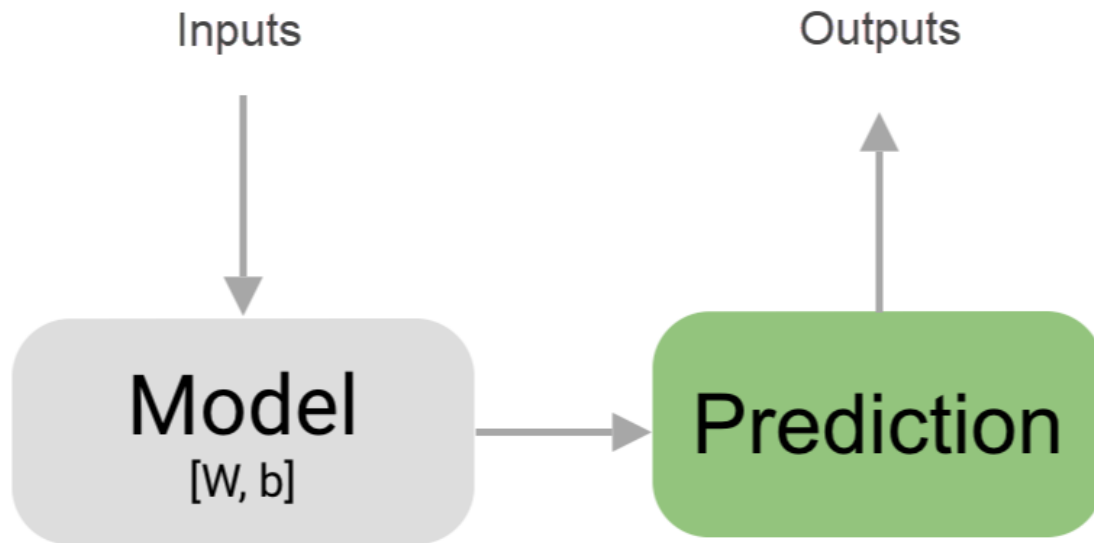
Εικόνα 9 Πολλαπλή επεξεργασία των δεδομένων εκπαίδευσης<sup>52</sup>

Μία άλλη παράμετρος είναι ο ρυθμός μάθησης (learning rate). Αυτή ορίζει πόσο μακριά μετακινούμε την ευθεία του γραμμικού μοντέλου σε κάθε βήμα, χρησιμοποιώντας πληροφορίες από το προηγούμενο βήμα εκπαίδευσης. Αυτή τιμή παίζει σημαντικό ρόλο στο πόσο ακριβές μπορεί να γίνει το μοντέλο και πόσο χρόνο απαιτεί η εκπαίδευσή του. Για πιο σύνθετα μοντέλα, ακόμα και οι συνθήκες αρχικοποίησης είναι πολύ σημαντικές για το αποτέλεσμα της εκπαίδευσης.

Αυτές οι παράμετροι συχνά αναφέρονται ως υπέρ-παράμετροι (hyper parameters). Η προσαρμογή ή η ρύθμιση των υπέρ-παραμέτρων είναι μία διαδικασία που είναι εμπειρική και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιαιτερότητες του κάθε σύνολο δεδομένων, μοντέλου και της διαδικασίας εκπαίδευσης.

### Βήμα 7: Πρόβλεψη

Η μηχανική μάθηση χρησιμοποιεί δεδομένα για να απαντήσει σε ερωτήσεις. Έτσι σε αυτό το βήμα το μοντέλο που εκπαιδεύσαμε χρησιμοποιείται για να κάνει προβλέψεις για δεδομένα εισόδου που πιθανότατα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευσή του.



Εικόνα 10 Χρήση μοντέλου προβλέψεων με άγνωστα δεδομένα<sup>52</sup>

### Συμπεράσματα

Η δύναμη της μηχανικής μάθησης έγκειται στο γεγονός ότι μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο που έχουμε εκπαιδεύσει με δεδομένα, αντί να χρησιμοποιήσουμε την ανθρώπινη κρίση και συγκεκριμένους κανόνες. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα εργασία, την αναγνώριση συναισθήματος. Δεν έχουμε ανακαλύψει συγκεκριμένους κανόνες που να κατηγοριοποιούν και να ποσοτικοποιήσουν το συναίσθημα με βάση βιοσήματα και ακόμη και η ανθρώπινη κρίση δεν μπορεί να δώσει απαντήσεις. Επομένως τα μοντέλα μηχανικής μάθησης είναι απαραίτητα για να δώσουν απαντήσεις σε αυτό το ερώτημα.

# 5

## *Τεχνική Περιγραφή Συστήματος και Υλοποίηση*

Λόγω της πολυπλοκότητας του προτεινόμενου συστήματος και των περιορισμών χρόνου και κόστους αυτής της μελέτης, δεν ήταν εφικτή η υλοποίηση την ιδέας σε πλήρη βαθμό. Βέβαια για απόδειξη της δυνατότητας υλοποίησης αυτής της ιδέας, αναπτύχθηκε με απλούστερες προδιαγραφές τόσο εφαρμογή εικονικού περιβάλλοντος αλλά και εφαρμογή αναγνώρισης συναισθημάτων μέσω βιοαισθητήρων. Εστιάζουμε την υλοποίηση του συστήματος στην αραχνοφοβία, καθώς είναι μια απλή φοβία και η πιο συνηθισμένη σε μελέτες VRET.

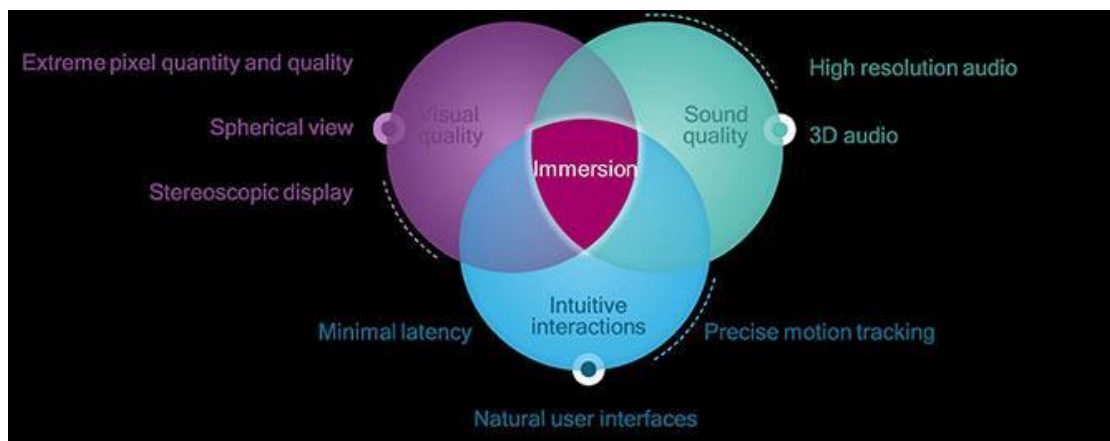
### *5.1 Πλατφόρμες και προγραμματιστικά εργαλεία*

#### *5.1.1 Εμβυθιστική εικονική πραγματικότητα*

Στην ενότητα αυτή θα αναλύσουμε την εικονική πραγματικότητα από τεχνική οπτική γωνία και θα εστιάσουμε στους παράγοντες που καθιστούν ένα τέτοιο σύστημα εμβυθιστικό. Οι 3 βασικοί πυλώνες που καθορίζουν κατά πόσο είναι εμβυθιστικό (immersive) ένα VR σύστημα είναι η οπτική ποιότητα, η ποιότητα του ήχου και διαισθητικότητα των αλληλεπιδράσεων (Βλέπε Εικόνα 11).

Το βασικότερο στοιχείο είναι η ανάλυση της εικόνας. Η εξαιρετικά καλή ποιότητα της είναι απαραίτητη για να πιστέψουμε ότι το εικονικό περιβάλλον είναι αληθινό. Πέρα από

την ανάλυση (αριθμός pixel) της οθόνης, είναι πολύ σημαντικός ο αριθμός των καρέ ανά δευτερόλεπτο (FPS). Απαιτείται ένας αρκετά υψηλός αριθμός 90~120 έτσι ώστε να έχουμε πλήρως ομαλή εικόνα ακόμα και στις γρήγορες κινήσεις του κεφαλιού του χρήστη. Επίσης ένα ακόμα αξιολογικό χαρακτηριστικό που καθορίζει την ποιότητα της εικόνας είναι το εύρος του οπτικού πεδίου (field of view) που διαθέτει. Εκτός από τις οπτικές αισθήσεις, ένα εμπυθιστικό σύστημα εικονικής πραγματικότητας θα πρέπει να εμπλέκει και το σώμα και το μυαλό του χρήστη. Για παράδειγμα, καθώς κινούμαστε στον πραγματικό κόσμο, πρέπει και το εικονικό περιβάλλον να κινείται μαζί για να δημιουργηθεί η αντίληψη ότι μετακινούμαστε στο εικονικό δωμάτιο. Τέλος, η παρουσία ήχου (για παράδειγμα βήματα, άνοιγμα παραθύρου ) και η ποιότητα του είναι κάτι που δεν πρέπει να αμεληθεί, εάν θέλουμε ο χρήσης του συστήματος εικονικής πραγματικότητας να νιώθει ότι πράγματι βρίσκεται στο εικονικό περιβάλλον.



Εικόνα 11 Παράγοντες εμπυθισμού σε ένα VR σύστημα<sup>54</sup>

Στο εμπόριο είναι διαθέσιμος μεγάλος αριθμός συστημάτων εικονικής πραγματικότητας με μεγάλο εύρος δυνατοτήτων. Οι τρεις (3) βασικές κατηγορίες που μπορούν να ομαδοποιηθούν είναι το desktop VR, mobile VR και standalone VR.

### Desktop VR

Το desktop VR αποτελείται από τα VR goggles (γυαλιά/οθόνη που τοποθετείται στο πρόσωπο το χρήστη - Εικόνα 12) και από έναν σταθερό υπολογιστή (desktop) όπου γίνεται η επεξεργασία των γραφικών. Παρέχει εξαιρετική ανάλυση στην οθόνη σε αρκετά υψηλά καρέ ανά δευτερόλεπτο (τουλάχιστον 90 FPS). Έτσι παρέχει τα καλύτερα γραφικά και την ομαλότητα στις κινήσεις. Όμως απαιτεί καλώδια για να συνδεθεί στον υπολογιστή και είναι το ακριβότερο σε σχέση με τα υπόλοιπα, κυρίως διότι απαιτεί ένα υπολογιστή με κάρτα γραφικών υψηλού επιπέδου.





**Εικόνα 12 Desktop VR<sup>55</sup>**

### **Mobile VR**

Το mobile VR αποτελείται από ένα κινητό τηλέφωνο (smartphone) και τα VR goggles - Εικόνα 13. Το smartphone είναι συνήθως υψηλού επιπέδου (high-end) έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίξει την επεξεργασία των γραφικών. Το πλεονέκτημα σε αυτή την περίπτωση είναι ότι δεν απαιτούνται καθόλου καλώδια, μιας και η επεξεργασία των γραφικών γίνεται στη συσκευή που είναι τοποθετημένη πάνω στα VR goggles. Επίσης το κόστος είναι σαφώς το χαμηλότερο δυνατό σε σχέση με όλες τις άλλες κατηγορίες. Η ποιότητα των γραφικών που μπορεί να υποστηρίξει σίγουρα είναι υποδεέστερη από κάθε άλλη κατηγορία αλλά είναι ικανοποιητική. Ο μέγιστος αριθμός των καρτέ ανά δευτερόλεπτο είναι 60, τα οποία είναι ικανά να δώσουν μία ρεαλιστική αίσθηση του εικονικού περιβάλλοντος αλλά όσο κάποιος εκτίθεται σε τέτοια συστήματα τόσο περισσότερο εξασκείται το μάτι του για να διακρίνει μία καθυστέρηση στα καρτέ. Γεγονός που καταστρέφει όλη την εμπειρία και κάποιες φορές προκαλεί ζαλάδα (motion sickness). Τέλος ένα αρνητικό του mobile VR είναι ο χρόνος χρήσης τους περιορίζεται στο χρόνο διάρκειας της μπαταρίας του κινητού τηλεφώνου.



**Εικόνα 13 Mobile VR<sup>56</sup>**

### **Standalone VR**

Το standalone VR αποτελεί την χρυσή τομή μεταξύ του desktop και mobile VR. Βέβαια δεν απαιτείται ούτε σταθερό υπολογιστή ούτε ένα κινητό τηλέφωνο. Το VR goggle (Εικόνα 14) έχει έναν ενσωματωμένο ARM επεξεργαστή στο εσωτερικό του, που αναλαμβάνει την επεξεργασία των γραφικών. Είναι δυνατότερο από το mobile καθώς ο επεξεργαστής αυτός είναι ειδικού σκοπού. Βέβαια τα γραφικά που παρέχει δεν μπορούν και πάλι να συγκριθούν με εκείνα που αποδίδει το desktop VR. Ένα διακριτό πλεονέκτημα σε σχέση με το mobile και desktop VR είναι ότι δεν απαιτεί καμία αρχική ρύθμιση (plug and play).



**Εικόνα 14 Standalone VR<sup>57</sup>**

## Εμπορικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας

Για να διαμορφωθεί μία συγκεκριμένη εικόνα όλων των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών, παρατίθεται ο Πίνακας 2, στον οποίο συγκρίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των δημοφιλών εμπορικών συστημάτων εικονικής πραγματικότητας.

Πίνακας 2 Συγκριτικός πίνακας συστημάτων εικονικής πραγματικότητας<sup>58</sup>

	Oculus Rift	HTC Vive	Google Cardboard	Google Daydream	PlayStation VR	Samsung GearVR	OSVR HDK 2
<b>Price</b>	\$599	\$799	\$20	\$79	\$399	\$99	\$399
<b>Overall cost</b>	Approx. \$1200	Approx. \$1400	Varies, works with many iOS and Android phones	Varies, works with some Android phones	\$410-\$510	\$629-\$800	Approx. \$1000
<b>Resolution</b>	2160x1200	2160x1200	Depends on smartphone used	Depends on smartphone used	1920x1080	2560x1440	2160x1260
<b>Refresh rate</b>	90 FPS	90 FPS	Depends on smartphone used	Depends on smartphone used	90/120 FPS	60 FPS	90 FPS
<b>Field of View</b>	110 degrees	110 degrees	Depends on smartphone used	Depends on smartphone used	100 degrees	110 degrees	110 degrees
<b>Pros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Comfortable and light headset</li> <li>✦ 360° head tracking</li> <li>✦ Easy to set up</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Wireless controller</li> <li>✦ Tracks your position in the room</li> <li>✦ Easy to set up</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Competitive acquisition cost</li> <li>✦ Foldable design, easy to travel with</li> <li>✦ Easy to set up</li> <li>✦ Easily replaceable on site</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Competitive acquisition cost</li> <li>✦ Wireless controller</li> <li>✦ Easy to set up</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Wireless controller</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Smartphone-based solution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✦ Open Source</li> <li>✦ Developers can customize it</li> </ul>
<b>Cons</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- High acquisition cost</li> <li>- No controller (yet)</li> <li>- Many wires, potential safety issues</li> <li>- Stationary solution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- High acquisition cost</li> <li>- Requires open space for tracking</li> <li>- Stationary solution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fragile and can break on-site easily</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (not available yet)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Only compatible with PlayStation 4</li> <li>- Only average resolution compared to other HMDs</li> <li>- Stationary</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compatible only with Samsung Galaxy S7, Galaxy S7 Edge, Galaxy Note 5, Galaxy S6 Edge+, Galaxy S6, Galaxy S6 Edge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No configuration app</li> <li>- Tricky to set up</li> </ul>

## Εντοπισμός θέσης (positional tracking)

Για να δώσουμε την αίσθηση στο χρήστη ότι μπορεί να κινείται μέσα στο εικονικό περιβάλλον πρέπει να εντοπίζουμε την πραγματική θέση του κεφαλιού του στον πραγματικό κόσμο και έτσι να μετακινούμε αντίστοιχα το εικονικό. Έτσι καθώς ο χρήστης μετακινείται στον πραγματικό κόσμο τα γραφικά που παρουσιάζονται υπολογίζονται ξανά από διαφορετική οπτική γωνία και απόσταση. Επομένως το εικονικό περιβάλλον κινείται μαζί με το χρήστη.

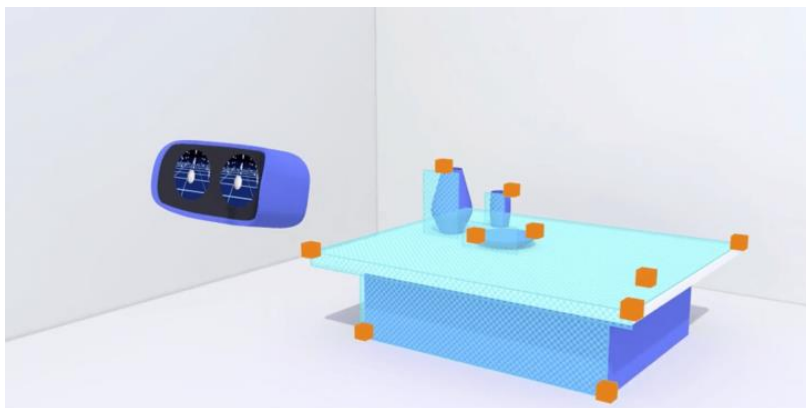
Υπάρχουν δύο (2) τρόποι για να εντοπίσουμε την θέση του χρήστη. Ονομάζονται inside-out positional tracking και outside-in positional tracking.

Κατά την outside-in μέθοδο, τοποθετούνται κάμερες στο δωμάτιο και αναγνωριστικές ετικέτες πάνω στο VR goggles (Εικόνα 15). Έτσι πραγματοποιείται με πολύ καλή ακρίβεια και ευκολία ο εντοπισμός της θέσης του κεφαλιού του χρήστη. Βέβαια αυτό απαιτεί μία αρχική εγκατάσταση (συνήθως 2 ή 3) καμερών στο χώρο που θα χρησιμοποιείται το σύστημα εικονικής πραγματικότητας.



**Εικόνα 15 Outside-in positional tracking<sup>59</sup>**

Κατά τη μέθοδο inside-out positional tracking, δεν χρησιμοποιείται καμία εξωτερική κάμερα ή συσκευή, αλλά κάμερες πάνω στο VR goggle. Ο εντοπισμός της θέσης υλοποιείται αξιοποιώντας τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και μηχανικής μάθησης. Έτσι δεν χρειάζεται καμία αρχική εγκατάσταση και ο χώρος που είναι διαθέσιμος για περπάτημα είναι απεριόριστος. Η ακρίβεια και ο χρόνος απόκρισης του εντοπισμού είναι ικανοποιητικοί αλλά είναι υποδεέστερη των outside-in συστημάτων. Η μέθοδος inside-out δίνει τη δυνατότητα στα standalone VR να υλοποιούν εντοπισμό θέση σε μία μόνο συσκευή.



**Εικόνα 16 Inside-out positional tracking<sup>60</sup>**

### **Αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον**

Η αλληλεπίδραση του χρήστη με το εικονικό περιβάλλον συχνά επιτυγχάνεται μέσω χειριστηρίων (VR controllers - Εικόνα 17). Η θέση των χειριστηρίων μπορεί να εντοπιστεί με αντίστοιχους τρόπους όπως υπολογίζεται και η θέση του κεφαλιού. Προσφέροντας έτσι μία αρκετά καλή εμπειρία αλληλεπίδραση με το εικονικό κόσμο. Είναι σταθερή, εύρωστη, με

ταχεία απόκριση αλλά δεν δίνει φυσική αίσθηση συνηθισμένης ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με τα χέρια.



**Εικόνα 17 Χειριστήρια συστήματος VR<sup>61</sup>**

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν μέθοδοι που επιτρέπουν τον εντοπισμό των χεριών και των αρθρώσεων των δακτύλων με χρήση κάμερας πάνω στο VR goggle. Δίνει πραγματικά φυσική αίσθηση αλληλεπίδρασης με τα χέρια αλλά τέτοια συστήματα δεν έχουν ωριμάσει και δεν είναι εύρωστα ακόμα.



**Εικόνα 18 Εντοπισμός των χεριών σε σύστημα VR<sup>62</sup>**

### **Καλωδίωση και συστήματα εικονικής πραγματικότητας**

Σε ένα VR σύστημα τα καλώδια είναι και το που βρίσκεται η μονάδα επεξεργασίας των γραφικών είναι ένα θέμα που εμποδίζει των συστημάτων VR. Καθώς είναι αδύνατο να



έχουμε την επεξεργαστική ισχύ μία μεγάλης κάρτα γραφικών σταθερού υπολογιστή σε μία λύση όπως το mobile ή desktop VR. Επομένως για να πετύχουμε τα καλύτερα γραφικά χωρίς να προσθέσουμε τον περιορισμό του καλωδίου πρέπει να δώσουμε μία λύση μέσω δικτύου. Μέχρι τώρα τα δικτυακά πρωτόκολλα και τεχνολογίες δεν είναι ικανά να υποστηρίξουν τόσο μεγάλη ροή δεδομένων(throughput) σε ικανοποιητική απόκριση (latency). Αναμένεται στο μέλλον να σχεδιαστούν πρωτόκολλα και αισθητήρια για να υποστηρίξουν αυτό τον απαιτητικό τύπο μεταφοράς δεδομένων.

### **5.1.2 Λογισμικό και υλικό για το σύστημα εικονικής πραγματικότητας**

#### **Υλικό εικονικής πραγματικότητας**

Για την εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας που υλοποιήθηκε χρησιμοποιήθηκαν VR goggles της κατηγορίας mobile VR. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το [Smartphone Samsung S7](#) μαζί με το headset [Samsung Gear VR Headset](#). Η επιλογή αυτή έγινε κυρίως βάση περιορισμών κόστους και διαθεσιμότητας στην ελληνική αγορά.

#### **Λογισμικό εικονικής πραγματικότητας – (Μηχανή παιχνιδιού)**

Το [Unity](#) μία cross-platform μηχανή παιχνιδιού σε πραγματικό χρόνο, το οποίο αναπτύχθηκε από τη Unity Technologies και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά τον Ιούνιο του 2005 στο παγκόσμιο συνέδριο προγραμματιστών της Apple ως μηχανή παιχνιδιών αποκλειστικά για OS X. Από το 2018 η μηχανή έχει επεκταθεί για να υποστηρίξει 27 πλατφόρμες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία τόσο τρισδιάστατων όσο και δισδιάστατων παιχνιδιών, καθώς και προσομοιώσεις για τις πολλές πλατφόρμες του.

Το [Unreal](#) είναι μία μηχανή παιχνιδιού που αναπτύχθηκε από την Epic Games, που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο παιχνίδι Unreal, που ήταν ένα παιχνίδι πρώτου προσώπου (shooter first-person) του 1998. Αν και αρχικά αναπτύχθηκε για παιχνίδια shooters πρώτου προσώπου, έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε διάφορα είδη όπως, παιχνίδια μάχης και MMORPGs. Καθώς το Unreal είναι γραμμένο σε C++ και είναι ανοικτού κώδικα, διαθέτει υψηλό βαθμό φορητότητας και αποτελεί ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται σήμερα από πολλούς προγραμματιστές παιχνιδιών. Η πιο πρόσφατη έκδοση της μηχανής είναι η Unreal Engine 4, η οποία κυκλοφόρησε το 2014.

#### **Σύγκριση Unity και Unreal**

Στην παρούσα διπλωματική υλοποιήσαμε 2 παιχνίδια, ένα με χρήση Unreal και ένα με Unity. Το Unity είναι ευκολότερο στην εκμάθηση σε σχέση με το Unreal. Το Unity έχει πολύ καλά παραδείγματα και υλικό για να μάθεις την πλατφόρμα του και απευθύνεται ακόμη και σε άτομα με μηδενική προγραμματιστική εμπειρία. Σε αντίθεση ο προγραμματισμός στο Unreal έχει λιγότερο διαθέσιμο υλικό για εκμάθηση και είναι δομημένο με πιο σύνθετες έννοιες. Τα παιχνίδια στο Unreal προγραμματίζονται σε C++, ενώ στο Unity σε C#. Η C++ παρέχει εξαιρετικές δυνατότητες αλλά είναι δυσκολότερη γλώσσα από τη C#, καθώς δεν έχει διαθέτει αυτόματη διαχείριση μνήμης. Αντίστοιχα, το Unreal έχει περισσότερες δυνατότητες γραφικών από το Unity αλλά για να ξεκλειδωθούν χρειάζεται περισσότερη προγραμματιστική εμπειρία. Ο Πίνακας 3 συνοψίζει και συγκρίνει τα χαρακτηριστικά του Unity και Unreal.

63,64,65

**Πίνακας 3 Σύγκριση Unity και Unreal**

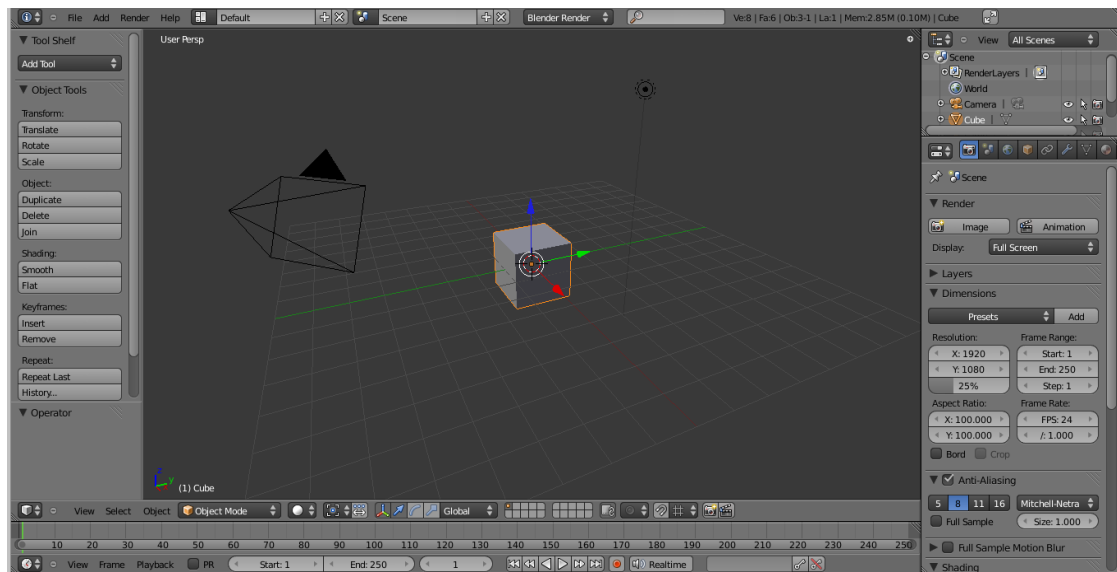
Μηχανή παιχνιδιού	Unreal	Unity	Σχόλια
Καμπύλη εκμάθησης	Απότομη	Ομαλή	
Documentation	Αρκετά καλό	Εξαιρετικό	
Γλώσσα προγραμματισμού	C++	C#	Εξαρτάται από τις γνώσεις της ομάδας. Παρόλα αυτά η C++ θεωρείται καλύτερη γλώσσα από την C#.
Πηγαίος κώδικας	Ανοικτός	Κλειστός	
Ιδανικό μέγεθος έργου	Μεγάλο	Μικρό	

Απόδοση	Εξαιρετική διαχείριση υπολογιστικών πόρων	Καλή διαχείριση υπολογιστικών πόρων	
Rendering	Περισσότερο αποδοτικό	Λιγότερο αποδοτικό	
Γραφικά	Ισοδύναμα ή καλύτερα	Ισοδύναμα	Έχουν παρόμοιες δυνατότητες.
Πλατφόρμες	Ενοποίηση με όλες τις βασικές πλατφόρμες	Ενοποίηση με όλες τις πλατφόρμες	
Μοντέλο τιμολόγησης	5% των εσόδων του παιχνιδιού, Μόνο για έσοδα > 3.000\$ ανά παιχνίδι ανά ημερολογιακό τρίμηνο.	<b>Δωρεάν για έσοδα &lt; 100.000\$ το χρόνο.</b> Διαθέσιμες επιλογές πληρωμής: <b>\$35/μήνα/ανά άτομο για έσοδα &lt;100.000\$ το χρόνο, ή \$125/μήνα/ανά άτομο χωρίς περιορισμό εσόδων.</b>	Για μικρές ομάδες, η τιμολόγηση του Unity είναι καλύτερη.

### 5.1.3 Λογισμικό για 3D μοντελοποίηση

Για την παραγωγή 3D γραφικών και αντικειμένων που χρησιμοποιήθηκαν στο εικονικό περιβάλλον για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό [Blender](#). Είναι ένα πρόγραμμα σχεδίασης 3D γραφικών ελεύθερου λογισμικού και διανέμεται από την άδεια GNU General Public License. Χρησιμοποιείται για modeling, rigging, προσομοιώσεις νερού, animation, rendering, μη γραμμική επεξεργασία και για δημιουργία αλληλεπιδραστικών 3D εφαρμογών όπως τα βιντεοπαιχνίδια. Στην Εικόνα 19 φαίνεται το περιβάλλον εργασίας για την παραγωγή 3D αντικειμένων.





Εικόνα 19 Περιβάλλον εργασίας στο Blender<sup>66</sup>

### 5.1.4 Λογισμικό για συλλογή και επεξεργασία δεδομένων

Για την υλοποίηση του συστήματος αναγνώρισης συναισθήματος εργασίας χρειάστηκε να γραφτεί κώδικας στην γλώσσα προγραμματισμού Python για την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων και την εφαρμογή των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Επίσης για τη συλλογή των πειραματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα Arduino μαζί με έναν αισθητήρα γαλβανικής αντίστασης.

### Arduino

Το [Arduino](#) είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++)

### Γλώσσα προγραμματισμού Python

Η [Python](#) είναι μια υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού η οποία δημιουργήθηκε από τον Ολλανδό Γκίντο βαν Ρόσσομ (Guido van Rossum) το 1990. Ο κύριος στόχος της είναι η αναγνωσιμότητα του κώδικά της και η ευκολία χρήσης της και το συντακτικό της επιτρέπει στους προγραμματιστές να εκφράσουν έννοιες σε λιγότερες γραμμές κώδικα από ότι θα ήταν δυνατόν σε γλώσσες όπως η C++ ή η Java. Διακρίνεται

λόγω του ότι έχει πολλές βιβλιοθήκες που διευκολύνουν ιδιαίτερα αρκετές συνηθισμένες εργασίες και για την ταχύτητα εκμάθησής της.

### **Βιβλιοθήκη SciPy**

Το [SciPy](#) είναι μια βιβλιοθήκη ελεύθερου λογισμικού που χρησιμοποιείται στην υπολογιστική επιστήμη. Περιλαμβάνει μεθόδους για πολλές σημαντικές εργασίες της επιστήμης και της μηχανικής. Ενσωματώνει τις βιβλιοθήκες NumPy, Pandas, scikit-learn, matplotlib.

### **Βιβλιοθήκη Numpy**

Η βιβλιοθήκη [NumPy](#) (Numerical Python) είναι μια βιβλιοθήκη ελεύθερου λογισμικού που δημιουργήθηκε το 2005 από τον Travis Oliphant. Παρέχει υποστήριξη για μεγάλους, πολυδιάστατους πίνακες και περιλαμβάνει μια σειρά από μαθηματικές συναρτήσεις υψηλού επιπέδου, σχεδιασμένες να αποδίδουν πάνω στους πίνακες.

### **Βιβλιοθήκη Pandas**

Το [Pandas](#) είναι μια βιβλιοθήκη ελεύθερου λογισμικού που πρωτογράφηκε σε C και Python από τον Wes McKinney το 2008 και χρησιμοποιείται ευρέως για διαχείριση και ανάλυση δεδομένων. Βασικό αντικείμενο της βιβλιοθήκης είναι το Data Frame, το οποίο θυμίζει πίνακες άλλων γνωστών λογισμικών. Η βιβλιοθήκη διευκολύνει την ανάκτηση δεδομένων από άλλες πηγές, όπως βάσεις δεδομένων και τα αποθηκεύει σε data frames. Τα data frames διευκολύνουν πάρα πολύ δραστηριότητες σχετικές με τα δεδομένα αυτά και είναι ευρέως διαδεδομένα στις μέρες μας.

### **Βιβλιοθήκη Scikit-learn**

Το [Scikit-learn](#) είναι μια open-source (διανέμεται με BSD license) βιβλιοθήκη της Python για μηχανική μάθηση βασισμένη στις βιβλιοθήκες NumPy, SciPy, και matplotlib. Παρέχει απλά και αποδοτικά εργαλεία για εξόρυξη και ανάλυση δεδομένων με πολλές υλοποιήσεις αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για προβλήματα ταξινόμησης (classification), ομαδοποίησης (clustering) και παλινδρόμησης (regression). Επίσης μέσω των μεθόδων που περιλαμβάνει μπορεί να γίνει εύκολη αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων που δοκιμάζονται αλλά και να πραγματοποιηθεί προ επεξεργασία των δεδομένων εισόδου στους αλγορίθμους προκειμένου να αυξηθεί η αποδοτικότητά τους.

### **Βιβλιοθήκη Matplotlib**

Η βιβλιοθήκη [Matplotlib](#) είναι μια βιβλιοθήκη ελεύθερου λογισμικού που δημιουργήθηκε από τον John Hunter το 2003. Πρόκειται για μια βιβλιοθήκη που παράγει υψηλής ποιότητας γραφήματα, όπως ιστογράμματα ή διαγράμματα "πίτες". Σκοπός είναι να παράγονται διαγράμματα με λίγες γραμμές κώδικα.

### **Βιβλιοθήκη Neurokit**

Το [Neurokit](#) είναι μία βιβλιοθήκη ελεύθερου λογισμικού γραμμένη σε Python η οποία παρέχει συναρτήσεις υψηλού επιπέδου για σύνθετα προβλήματα στατιστικής που είναι απαραίτητα για την επεξεργασία βιοσήματος. Για παράδειγμα προσφέρει μεθόδους επεξεργασίας δεδομένων καρδιακών παλμών, ρυθμού αναπνοής, ηλεκτροδερμικής δραστηριότητας και ηλεκτρομυογραφήματος. Δυστυχώς δεν παρέχει ακόμα μεθόδους για επεξεργασία δεδομένων από ηλεκτροεγκεφαλογράφημα αλλά είναι αυτός ένας στόχος στο πλάνο ανάπτυξης της βιβλιοθήκης.

## **5.2 Προδιαγραφές συστήματος εκμείευσης συναισθήματος – εικονικό περιβάλλον**

Αναπτύχθηκε ένα εμπυθιστικό εικονικό περιβάλλον (βλέπε Εικόνα 20) για την αραχοφοβία χρησιμοποιώντας το εργαλείο Unity ως μηχανή παιχνιδιών. Βέβαια, για να θεωρηθεί πλήρης η θεραπεία και να επιτευχθεί ικανοποιητική ποικιλομορφία και να εκτίθεται ο ασθενής σε αρκετά διαφορετικά επίπεδα φόβου, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν πολλά ακόμα περιβάλλοντα.



**Εικόνα 20:** Στιγμιότυπο από το εικονικό περιβάλλον για αραχοφοβία

## **5.3 Σύστημα παρακολούθησης συναισθηματικής κατάστασης**

Η έλλειψη πόρων για να δημιουργηθεί ένα σύνολο δεδομένων που να χαρτογραφεί τα επίπεδα φόβου σε βιολογικά σήματα, με δεδομένο ένα καλά καθορισμένο πρωτόκολλο εκμείευσης συναισθημάτων, μας οδήγησε στην εγκατάλειψη της εφαρμογής ενός συστήματος όπως το προτεινόμενο. Ωστόσο πραγματοποιήθηκε μία απλούστερη ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιώντας το σύνολο δεδομένων DEAP<sup>67</sup>, έτσι ώστε να απεικονίσει τη διαδικασία, καθώς η μεθοδολογία είναι σχεδόν ίδια.

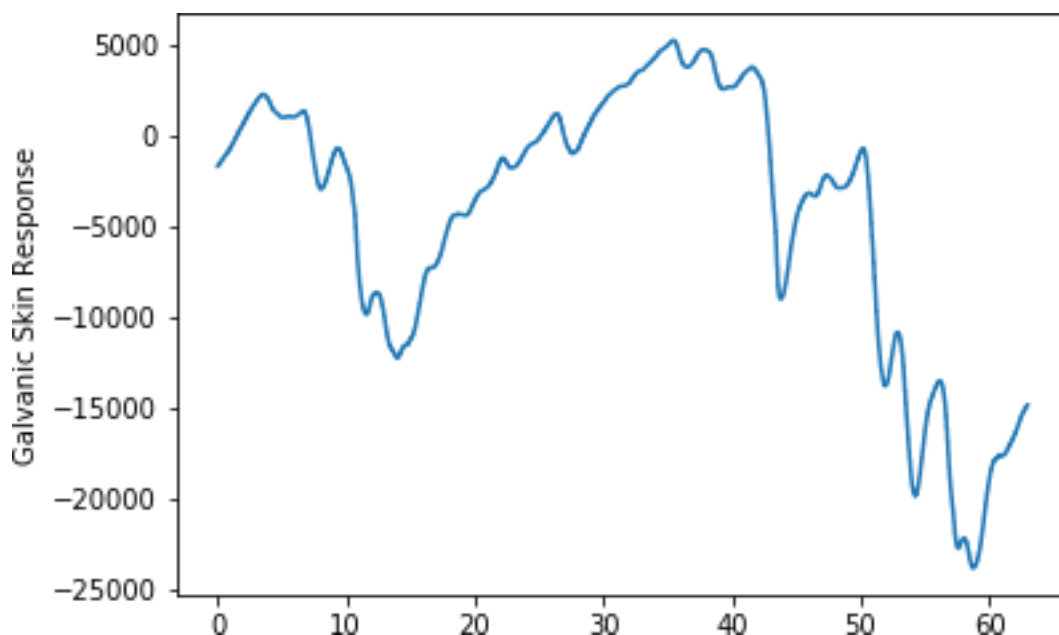
Το DEAP είναι μια βάση δεδομένων με φυσιολογικά σήματα για συναισθηματική ανάλυση. Η μέθοδος εκμείευσης που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από 120 βίντεο

διάρκειας 1 λεπτού το καθένα, τα οποία έχουν αξιολογηθεί με βάση το συναισθηματικό μοντέλο valence, arousal, dominance. Κατά τη διάρκεια της έκθεσης στο ερέθισμα, διάφοροι αισθητήρες κατέγραψαν φυσιολογικά σήματα, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, της θερμοκρασίας, της γαλβανικής απόκρισης του δέρματος, της αναπνοής και της αρτηριακής πίεσης.

Το DEAP για να δημιουργήσει τα δεδομένα χρησιμοποίησε μουσικά βίντεο ως μέθοδο εκμείωσης συναισθημάτων. Επομένως δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άλλη μέθοδο, όπως τα εμβυσθιστικά περιβάλλοντα εικονικής πραγματικότητας, ή ακόμα και να χρησιμοποιήσουμε βίντεο με διαφορετικό περιεχόμενο. Επιπλέον, το σύνολο των δεδομένων έχει επισημειωθεί υποθέτοντας τα συναισθήματα μοντελοποιούνται με βάση το διανυσματικό μοντέλο. Συνεπώς, είμαστε αναγκασμένοι να χρησιμοποιήσουμε αυτή την υπόθεση σχετικά με την μοντελοποίηση των συναισθημάτων στη μελέτη μας.

## 5.4 Επεξεργασία δεδομένων και μηχανική μάθηση

Επιλέξαμε δεδομένα GSR, από όλες τις διαθέσιμες κατηγορίες σημάτων που παρέχεται από το DEAP, για να αναλύσουμε στο πείραμά μας. Η γαλβανική αντίσταση μετρά την αγωγιμότητα του δέρματος. Είναι άμεσα συνδεδεμένη με την εφίδρωση και την διέγερση (arousal) στο διανυσματικό μοντέλο συναισθημάτων. Ένα παράδειγμα δεδομένων GSR στον χρονικό άξονα παρουσιάζεται στην Εικόνα 21.

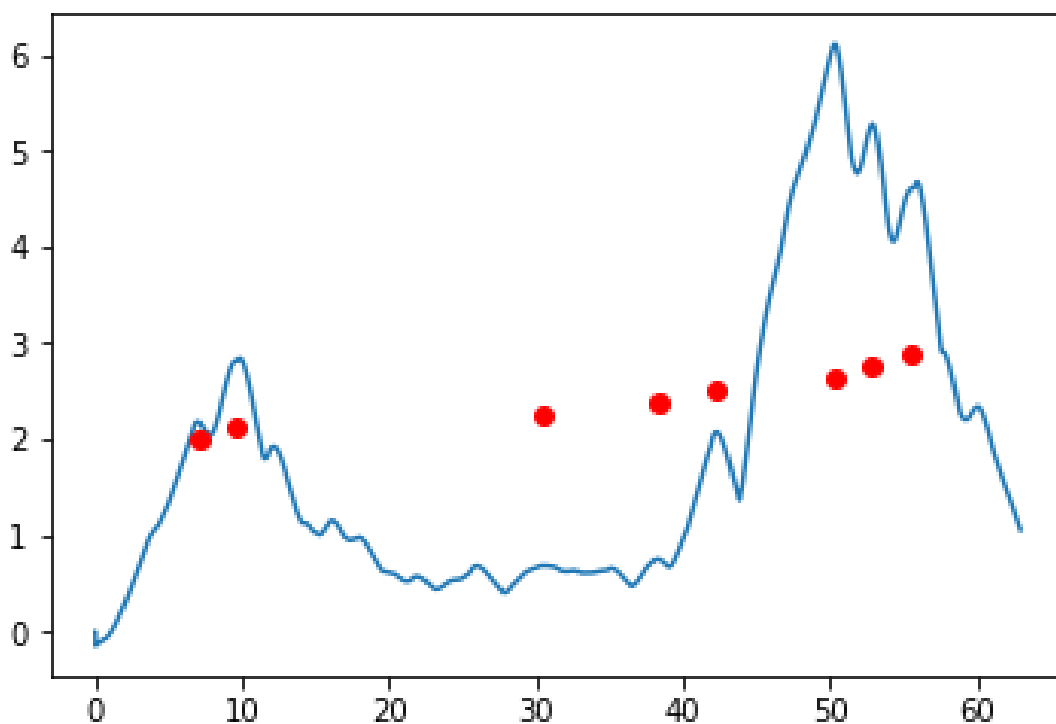


Εικόνα 21: Παράδειγμα σήματος γαλβανικής απόκρισης του δέρματος σε χρονικό παράθυρο 60 λεπτών.

### 5.4.1 Αποσύνθεση σήματος - *Signal decomposition*

Το σήμα GSR μπορεί να αποσυντεθεί σε δύο βασικές συνιστώσες που έχουν διαφορετικές χρονικές κλίμακες και συσχετίσεις με τα ερεθίσματα ενεργοποίησης: η τονική (tonic) και η φασική (phasic) συνιστώσα. Η τονική συνιστώσα δίνεται από το επίπεδο αγωγιμότητας δέρματος (SCL) το οποίο αντιπροσωπεύει το αργά μεταβαλλόμενο επίπεδο της βασικής τιμής της αγωγιμότητας του δέρματος. Θεωρείται ότι οι μεταβολές του SCL συσχετίζονται με τις αργές αλλαγές στη δυναμική του αυτόνομου νευρικού συστήματος. Η φασική συνιστώσα αναπαρίσταται από ένα συστατικό που αλλάζει με γρήγορο ρυθμό, το οποίο ονομάζεται απόκριση αγωγιμότητας δέρματος (SCR) και αντικατοπτρίζει τη βραχυχρόνια απόκριση σε ένα εξωτερικό ερέθισμα.

Το τυπικό διάγραμμα της συνιστώσας SCR σε συνάρτηση με το χρόνο αποτελείται από μια σχετικά ταχεία άνοδο (κορυφές) από το επίπεδο αγωγιμότητας ακολουθούμενη από μια πιο αργή, ασυμπτωτική εκθετική αποσύνθεση πίσω στη γραμμή βάσης/αναφοράς. Αυτές οι κορυφές υποδεικνύονται στην Εικόνα 22 με κόκκινες κουκίδες και είναι σε χρονική συσχέτιση με την ένταση του ερεθίσματος<sup>22</sup>.



Εικόνα 22: Φασική συνιστώσα – απόκριση αγωγιμότητας δέρματος

Για να εξάγουμε πληροφορίες από τα σήματα χρειάζεται να τα σπάσουμε σε παράθυρα. Έτσι η ανάλυση θα εξάγει πληροφορίες για συμπεράσματα ανά μικρές χρονικές μονάδες και όχι για ολόκληρο το μήκος του σήματος που είναι 60 λεπτά. Στην **Error! Reference source not found.** παρατίθεται ένα κομμάτι κώδικα σε Jupyter Notebook στο οποίο υλοποιείται η παραθυροποίηση των σημάτων.

## Signal segmentation

```
def segmentsignal(signal, sampling_rate, framesize, overlap, number_of_frames):
    # This declares a 2D matrix, with rows equal to the number of frames,
    # and columns equal to the framesize or the length of each DTF
    frames=np.ndarray( (number_of_frames,framesize) )

    # Hamming window option
    #window_ham = np.hamming(framesize)
    #frames_ham = np.ndarray( (number_of_frames,framesize) )

    for k in range(0,number_of_frames):
        for i in range(0,framesize):
            if((k*overlap+i)<length):
                frames[k][i] = signal[k*overlap+i]
            else:
                frames[k][i] = 0
            # frames_ham[k] = frames[k] * window_ham

    return frames

signal = eda_processed[0][0]["df"]["EDA_Phasic"] # sample signal
length=len(signal) # all the signals have the same length
overlap=int(sampling_rate*1) # overlap of 1 second
framesize=int(3*sampling_rate) # frame of 3 seconds
number_of_frames=int(length/overlap)

phasic_frames = [ [ [] for i in range(number_of_videos)] for i in range(number_of_files)]
tonic_frames = [ [ [] for i in range(number_of_videos)] for i in range(number_of_files) ]

for p_id in range(0, number_of_files):
    for video_id in range(0, number_of_videos):
        signal = eda_processed[p_id][video_id]["df"]["EDA_Phasic"]
        phasic_frames[p_id][video_id] = segmentsignal(signal, sampling_rate, framesize, overlap, number_of_frames)

        signal = eda_processed[p_id][video_id]["df"]["EDA_Tonic"]
        tonic_frames[p_id][video_id] = segmentsignal(signal, sampling_rate, framesize, overlap, number_of_frames)
```

### 5.4.2 Εξαγωγή χαρακτηριστικών - Feature extraction

Ο Πίνακας 4 περιγράφει το σύνολο των χαρακτηριστικών που επιλέξαμε να υπολογίσουμε για τη διαδικασία μηχανικής μάθησης, από τα δεδομένα της γαλβανικής αντίστασης. Τα δεδομένα των αισθητήρων από το DEAP dataset είναι ομαδοποιημένα ανά ερέθισμα (βίντεο 60 δευτερολέπτων). Μίας και το βίντεο δεν είναι ένα σταθερό ερέθισμα δεν θέλουμε σε καμία περίπτωση να εξάγουμε τα χαρακτηριστικά για τη χρονική διάρκεια του βίντεο. Χωρίζουμε τα σήματα σε χρονικά παράθυρα μερικών δευτερολέπτων και υπολογίζουμε τα χαρακτηριστικά ξεχωριστά σε κάθε παράθυρο με βάση τα δεδομένα που ανήκουν σε αυτό.

Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά που εξάγονται από τη φασική συνιστώσα υπολογίζονται σε χρονικά παράθυρα 5 δευτερολέπτων, καθώς συνήθως οι μεταβολές στη φασική συνιστώσα εμφανίζονται 3 δευτερόλεπτα μετά από την παρουσίαση του εξωτερικού ερεθίσματος. Αντίθετα, τα χαρακτηριστικά που εξάγονται από τον τονική συνιστώσα εκφράζουν τις μεταβολές στο συμπαθητικό σύστημα και υπολογίζονται μέσα σε χρονικά παράθυρα 20 δευτερολέπτων, καθώς η άνω συχνότητα αποκοπής της τονικής συνιστώσας είναι περίπου 0.05Hz<sup>22</sup>.

**Πίνακας 4: Λίστα εξαγόμενων χαρακτηριστικών από τη φασική και τονική συνιστώσα της γαλβανικής απόκρισης του δέρματος GSR**

<i>Χαρακτηριστικό</i>	<i>Περιγραφή</i>
<i>nSCR</i>	Ο αριθμός των κορυφών μέσα σε ένα χρονικό παράθυρο των 5 δευτερολέπτων.
<i>MAX-Tonix</i>	Η μέγιστη τιμή της τονικής συνιστώσας σε ένα χρονικό παράθυρο.
<i>Max-Phasic</i>	Η μέγιστη τιμή της φασικής συνιστώσας σε ένα χρονικό παράθυρο.
<i>AUC-Tonic</i>	Εμβαδόν κάτω από την καμπύλη της τονικής συνιστώσας σε όλο το σήμα.
<i>AUC-Phasic</i>	Εμβαδόν κάτω από την καμπύλη της φασικής συνιστώσας σε ένα χρονικό παράθυρο.
<i>Mean-Tonic</i>	Μέση τιμή της τονικής συνιστώσας σε όλο το σήμα.
<i>Mean-Phasic</i>	Μέση τιμή της φασικής συνιστώσας σε ένα χρονικό παράθυρο.
<i>STD-Tonic</i>	Τυπική απόκλιση της τονικής συνιστώσας σε όλο το σήμα.
<i>STD-Phasic</i>	Τυπική απόκλιση της φασικής συνιστώσας σε ένα χρονικό παράθυρο.
<i>NsSCR freq</i>	Συχνότητα των NsSCRs.
<i>Mean-NsSCR</i>	Μέση τιμή των NsSCRs.

Παρακάτω παρατίθεται η υλοποίηση και η εφαρμογή μίας συνάρτησης η οποία με είσοδο ένα το σήμα και την φασική και τονική συνιστώσα εξάγει όλα τα χαρακτηριστικά που περιγράφονται στον Πίνακας 4.



```

import scipy

def extract_features(signal, phasic, tonic):
    nSCR = [0 for i in range(number_of_frames)]

    # Max Phasic - Tonic
    max_phasic = [0 for i in range(number_of_frames)]
    max_tonic = [0 for i in range(number_of_frames)]

    # Area Under Curve
    auc_phasic = [0 for i in range(number_of_frames)]
    auc_tonic = [0 for i in range(number_of_frames)]

    # Mean
    mean_phasic = [0 for i in range(number_of_frames)]
    mean_tonic = [0 for i in range(number_of_frames)]

    # Standard Deviation STD
    std_phasic = [0 for i in range(number_of_frames)]
    std_tonic = [0 for i in range(number_of_frames)]

    total_scrs = len(signal["EDA"]["SCR_Onsets"])

    for i in range(0, number_of_frames):

        # nSCR
        nSCR[i] = 0;
        for k in range(0, total_scrs):
            if (signal["EDA"]["SCR_Onsets"][k] >= i*framesize and signal["EDA"]["SCR_Onsets"][k] <= (i+1)*framesize):
                nSCR[i] += 1

        # Max phasic - Tonic
        max_phasic[i] = max(phasic[i])
        max_tonic[i] = max(tonic[i])

        # Area Under Curve
        auc_phasic[i] = scipy.integrate.simps(phasic[i], dx=dt)
        auc_tonic[i] = scipy.integrate.simps(tonic[i], dx=dt)

        # Mean
        mean_phasic[i] = np.mean(phasic[i])
        mean_tonic[i] = np.mean(tonic[i])

        # Standard Deviation STD
        std_phasic[i] = np.std(phasic[i])
        std_tonic[i] = np.std(tonic[i])

    return (np.mean(nSCR),
            np.mean(max_phasic),
            np.mean(max_tonic),
            np.mean(auc_phasic),
            np.mean(auc_tonic),
            np.mean(mean_phasic),
            np.mean(mean_tonic),
            np.mean(std_phasic),
            np.mean(std_tonic)
            )

```

```

features_list = []
for p_id in range(0, number_of_files):
    for video_id in range(0, number_of_videos):
        signal = eda_processed[p_id][video_id]
        phasic = phasic_frames[p_id][video_id]
        tonic = tonic_frames[p_id][video_id]
        features = extract_features(signal, phasic, tonic)
        nSCR, max_phasic, max_tonic, auc_phasic, auc_tonic, mean_phasic, mean_tonic, std_phasic, std_tonic = features
        features_list.append([
            nSCR,
            max_phasic,
            max_tonic,
            auc_phasic,
            auc_tonic,
            mean_phasic,
            mean_tonic,
            std_phasic,
            std_tonic
        ])

# We should have a vector of 32*40 = 1280 data. and every data has * features.
print("Feature array of: ", np.shape(features_list))

```

### 5.4.3 Κατηγοριοποίηση/Παλινδρόμηση - Classification/Regression

Στόχος των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης είναι να δώσουν απαντήσεις σε ένα πρόβλημα που είναι καλά ορισμένο. Στη δική μας περίπτωση θέλουμε να προσδιορίσουμε επίπεδο συναισθηματικής διέγερσης (valence) του ατόμου. Μπορούμε να ορίσουμε το πρόβλημα με (2) διαφορετικούς τρόπους.

Ο πρώτος υποθέτει (2) δύο διακριτά επίπεδα διέγερσης. Το «χαμηλό» (low) για τιμές της διέγερσης από 0 έως 5 και το «υψηλό» (high) για τιμές από 5 έως 9. Έτσι ορίζεται ένα πρόβλημα δυαδικής ταξινόμησης (Binary Classification). Ως μετρική αξιολόγησης των αλγορίθμων ταξινόμησης επιλέγουμε την ακρίβεια (accuracy), δηλαδή το ποσοστό των σωστών ταξινομήσεων προς το συνολικό αριθμό των ταξινομήσεων. Εφαρμόσαμε αρκετούς ταξινομητές από το πακέτο sklearn, δοκιμάζοντας παράλληλα μία γκάμα από παραμέτρους για τον καθένα, ώστε να πετύχουμε μέγιστη ακρίβεια ταξινόμησης. Πετύχαμε το καλύτερο αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας γραμμικό ταξινομητή (Linear Classifier) με ακρίβεια 63,4%.

Ο δεύτερος τρόπος ορισμού του προβλήματος είναι να θεωρήσουμε ότι οι ετικέτες διέγερσης κυμαίνονται σε ένα συνεχές εύρος από 0.0 έως 9.0. Αυτό ορίζει ένα πρόβλημα παλινδρόμησης. Σε αυτή την περίπτωση η ακρίβεια δεν μπορεί να χρησιμοποιεί ως μέτρο αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των αλγορίθμων, καθώς δεν έχουμε κλάσεις ταξινόμησης και άρα ούτε «σωστές ταξινομήσεις». Επιλέγουμε τον στατιστικό δείκτη της τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error - RMSE) για να αξιολογήσουμε τους αλγορίθμους, καθώς είναι ένα διαδοσμένο δείκτης που αντιπροσωπεύει τις διαφορές μεταξύ των τιμών των εκτιμήσεων της παλινδρόμησης και των πραγματικών τιμών του μοντέλου. Εφαρμόστηκε πληθώρα αλγορίθμων από το sklearn, πετυχαίνοντας το καλύτερο αποτέλεσμα με τον γραμμικό παλινδρομητή (Linear Regressor) με 0.4982 RMSE.

## Χειρισμός ετικετών

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος που χειριζόμαστε τις ετικέτες όταν αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα με κατηγοριοποίηση και παλινδρόμηση. Στην παλινδρόμηση οι ετικέτες λαμβάνουν συνεχές τιμές στο εύρος 0.0 έως 9.0, ενώ στην κατηγοριοποίηση τις μετατρέπουμε έτσι ώστε να λαμβάνουν 2 μόνο τιμές, 0 και 1, οι οποίες αντιπροσωπεύουν χαμηλές και υψηλές τιμές της διέγερσης. Παρατίθεται κώδικας που υλοποιεί αυτή τη λογική.

### Handling labels

```
arousal_labels = []
arousal_labels_discrete = []
i = 0;
for p_id in range(0, number_of_files):
    for video_id in range(0, number_of_videos):

        # continuous Labels
        arousal_labels.append(files[p_id]["labels"][video_id][1])

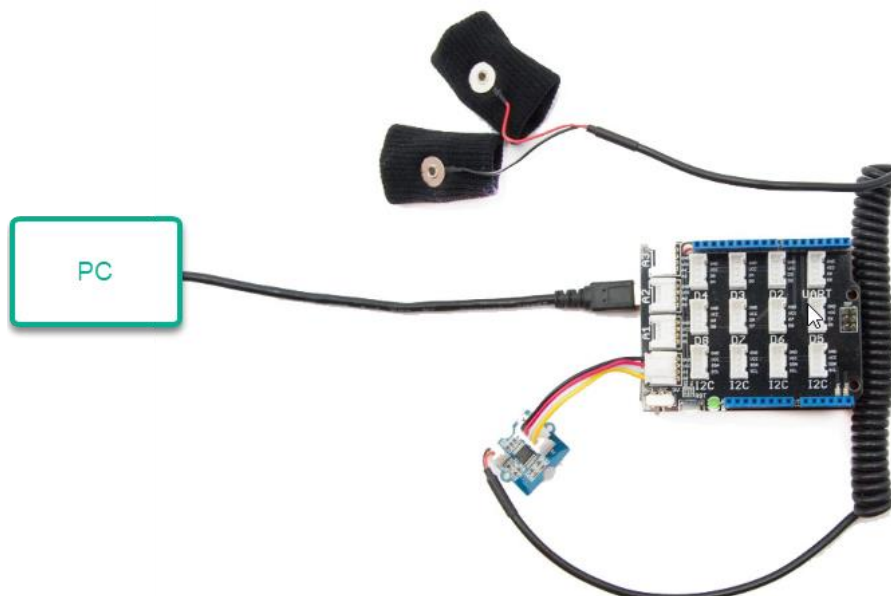
        # discrete Labels
        if (files[p_id]["labels"][video_id][1] > 5):
            arousal_labels_discrete.append(1)
            i += 1
        else:
            arousal_labels_discrete.append(0)

#print (arousal_Labels_discrete)
print ("Percentage of low arousal: ", i/len(arousal_labels_discrete))
#print(max(arousal_Labels))
print("Labels array of", np.shape(arousal_labels))
```

```
Percentage of low arousal: 0.57578125
Labels array of (1280,)
```

### 5.4.4 Συλλογή πραγματικών δεδομένων ηλεκτροδερμικής δραστηριότητας

Για τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρα γαλβανικής αντίστασης χρησιμοποιήθηκε ένα Arduino μαζί με αισθητήρα γαλβανικής αντίστασης grove.<sup>35</sup> Η συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στην Εικόνα 23.



Εικόνα 23 Συνδεσμολογία Arduino - GSR

Για τη συλλογή των δεδομένων από την γαλβανική αντίσταση στον μικροελεγκτή Arduino αλλά και την επικοινωνία του με τον υπολογιστή, υλοποιήθηκε απλό πρόγραμμα σε C και παρουσιάζεται με τον παρακάτω κώδικα.

```
1  const int GSR=A0;|
2  int sensorValue=0;
3  int gsr_average=0;
4
5  void setup(){
6    Serial.begin(9600);
7  }
8
9  void loop(){
10   long sum=0;
11   for(int i=0;i<10;i++)           //Average the 10 measurements to remove the glitch
12   {
13     sensorValue=analogRead(GSR);
14     sum += sensorValue;
15     delay(5);
16   }
17   gsr_average = sum/10;
18   Serial.println(gsr_average);
19 }
20
```

Εικόνα 24 Συλλογή δεδομένων στον μικροελεγκτή

Τέλος για την αποκωδικοποίηση των δεδομένων στον υπολογιστή και τη διαχείριση της συνεχής ροής των δεδομένων που λαμβάνονται από το Arduino υλοποιήθηκε ένα πρόγραμμα σε Python, όπως φαίνεται παρακάτω.

```
import serial
import numpy as np
import time
import matplotlib.pyplot as plt
import datetime

port = '/dev/cu.usbmodem1431'
ser = serial.Serial(port)

file = open('data_gsr.txt', 'w')
data_gsr = []
data_time = []

timestamp1 = int(time.time())
print (time.localtime(timestamp1))
timestamp2 = 0

ser.write(bytes(b'start'))

dt = 0.05
sampling_rate = 1/dt

while True:
    try:
        ser_bytes = ser.readline()
        decoded_bytes = float(ser_bytes[0:len(ser_bytes)-2].decode("utf-8"))
        data_gsr.append(decoded_bytes)

    except:
        print("Keyboard Interrupt")
        print (len(data_gsr))

        timestamp2 = int(time.time())
        print (time.localtime(timestamp2))

        file.write(str(data_gsr))
        file.close()
        break
```

Εικόνα 25 Συλλογή και αποκωδικοποίηση δεδομένων GSR στον υπολογιστή

# 6

## *Μελλοντικές επεκτάσεις*

### *6.1 Επιλογή μοντέλου συναισθημάτων*

Η επιλογή του μοντέλου συναισθημάτων σε αυτή την εργασία βασίστηκε στη διαθεσιμότητα και την ποικιλία των υφιστάμενων διαθέσιμων δημόσια συνόλων δεδομένων. Σε άλλες μελέτες, οι ερευνητές θα πρέπει να επανεξετάσουν αυτή την υπόθεση. Πιθανώς τα διακριτά μοντέλα συναισθημάτων να είναι πιο κατάλληλα για προβλήματα ποσοτικοποίησης συναισθημάτων όπως αυτό που πραγματεύεται η παρούσα μελέτη. Ο Πίνακας 1 απεικονίζει τις μελέτες ποσοτικοποίησης συναισθημάτων και υποδεικνύει πώς πρέπει να οριστεί η τάξη των συναισθημάτων σε τέτοιους τύπους εργασιών.

### *6.2 Επιλογή βιοαισθητήρων*

Θα πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά τα κριτήρια επιλογής των βιοαισθητήρων, προκειμένου να έχουμε στη διάθεσή μας όσο γίνεται περισσότερα δεδομένα σημάτων που είναι συναφή με το φόβο ενώ παράλληλα να μην συμπεριλάβουμε σήματα που δεν παρέχουν πληροφορία σχετική με το φόβο και πιθανότητα θα μειώσουν την ακρίβεια των αλγορίθμων λόγω της κατάρας της διαστατικότητας (curse of dimensionality)<sup>68</sup>. Πρέπει, επομένως, να αξιοποιήσουμε το γεγονός ότι ο στόχος μας επικεντρώνεται στην ταυτοποίηση και την

ποσοτικοποίηση του φόβου. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία<sup>69</sup>, τα συνηθέστερα σωματικά συμπτώματα του φόβου είναι η εφίδρωση, ο γρήγορος καρδιακός παλμός, η ταχυκαρδία, ο γρήγορος ρυθμός αναπνοής και αλλαγές της θερμοκρασίας του δέρματος. Η συσχέτιση αυτών των συμπτωμάτων με βιοαισθητήρες είναι προφανής. Επομένως, προκύπτει η ανάγκη να μετρήσουμε την ηλεκτροδερμική δραστηριότητα, τον καρδιακό ρυθμό, τη θερμοκρασία του δέρματος και τον ρυθμό αναπνοής.

### **Αξιοποίηση δεδομένων ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος**

Από την ενότητα 4.2 είναι φανερό ότι τα δεδομένα του συλλέγονται από το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα είναι πολυδιάστατα και σύνθετα, καθιστώντας την αποτελεσματική ανάλυση τους αρκετά δύσκολη. Η επεξεργασία σήματος, η ανίχνευση και η εξασθένηση τεχνημάτων(artifacts), η εξαγωγή χαρακτηριστικών και ο υπολογισμός των διανοητικών μετρήσεων, όπως ο φόρτος εργασίας, η εμπλοκή, η υπνηλία ή η εγρήγορση, απαιτούν ένα ορισμένο επίπεδο εμπειρογνομosύνης και εμπειρίας για τον σωστό εντοπισμό και εξαγωγή πολύτιμων πληροφοριών από τα συλλεχθέντα δεδομένα. Για τους παραπάνω λόγους θεωρήθηκε ότι η επεξεργασία δεδομένων δεν είναι εντός των πλαισίων της παρούσας διπλωματικής. Προτρέπουμε τις μελλοντικές εργασίες στο πεδίο αυτό να χρησιμοποιήσουν δεδομένα από EEG, καθώς αν και παρέχει τα πολυπλοκότερα σήματα, οι πληροφορίες που μπορούν να εξαχθούν από αυτά είναι πολύτιμες.

## **6.3 Συλλογή δεδομένων**

Η δημιουργία νέου συνόλου δεδομένων που συσχετίζει τα βιολογικά σήματα με το επίπεδο φόβου του ατόμου και όχι με τις ξεχωριστές συναισθηματικές κλάσεις είναι το πιο σημαντικό βήμα για την πλήρη εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος. Ωστόσο, είναι το πιο απαιτητικό βήμα από άποψη πόρων, καθώς απαιτεί ασθενείς, γιατρούς και ένα εύλογα μεγάλο χρονικό διάστημα για να ολοκληρωθεί η διαδικασία. Ο σχεδιασμός ενός πρωτοκόλλου για ένα πείραμα τέτοιου τύπου δεν εμπίπτει στο εμβέλεια του παρόντος εγγράφου.

## 6.4 *Επαυξημένη πραγματικότητα και αλληλεπίδραση στο χώρο*

### 6.4.1 *Tangible interfaces*

Τα tangible interfaces είναι μία διεπαφή χρήστη στην οποία ένα άτομο αλληλοεπιδρά με ψηφιακές πληροφορίες μέσω του φυσικού περιβάλλοντος (Εικόνα 26). Έτσι επαυξάνουν το πραγματικό περιβάλλον με κάποια εικονικά αντικείμενα. Αν θεωρήσουμε μία απλή περίπτωση φοβίας, αυτές οι διεπαφές μπορούν να προκαλέσουν συναισθήματα στο χρήστη και μπορούν να αντικαταστήσουν τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας. Όταν η φοβία είναι απλή και αρκεί απλώς να επαυξηθεί ο πραγματικός κόσμος για να προσομοιωθεί τότε είναι μάλιστα αυτή η μέθοδος είναι προτιμότερη καθώς επιτρέπει την φυσική αλληλεπίδραση του ασθενή με τα αντικείμενα. Είναι η χρυσή τομή μεταξύ της θεραπείας εικονικής πραγματικότητας και της θεραπείας στη πραγματική ζωή. Είναι σαφώς προτιμότερη από την θεραπεία στην πραγματική ζωή καθώς είναι ελεγχόμενη, προβλέψιμη και ασφαλής.



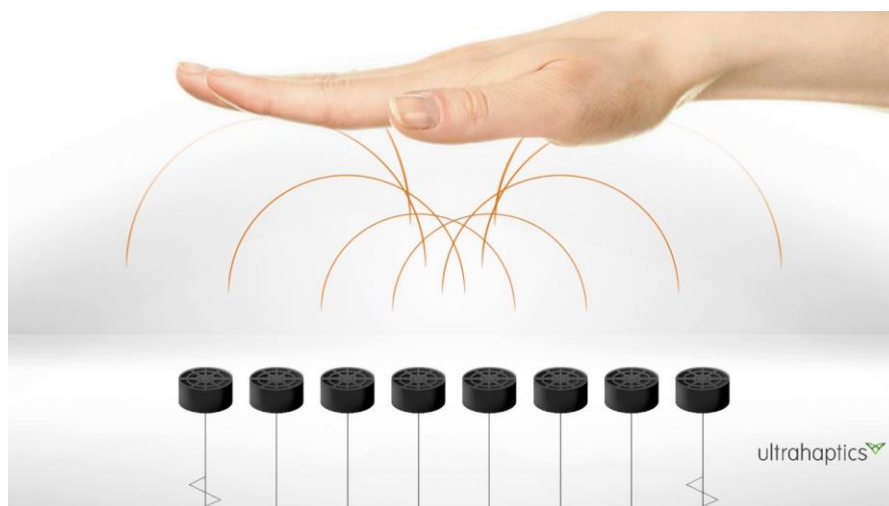
Εικόνα 26 *Tangible Interface*<sup>70</sup>

## 6.4.2 Απτική τεχνολογία - *Haptics*

Η απτική τεχνολογία αναπαριστά την αίσθηση της αφής με την εφαρμογή δυνάμεων, κραδασμών ή κινήσεων στο χρήστη. Αυτή η μηχανική διέγερση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει τη δημιουργία εικονικών αντικειμένων σε προσομοιώσεις, τον έλεγχο εικονικών αντικειμένων και για δώσει πραγματική αίσθηση αφής στο χρήστη<sup>71</sup>. Τα haptics αποκτούν ευρεία αποδοχή ως βασικό μέρος των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας, προσθέτοντας την αίσθηση της αφής σε προηγουμένως οπτικές-μόνο διεπαφές.

Η απτική τεχνολογία μη επαφής ή μεσαίου αέρα προσομοιώνει την αίσθηση της αφής χωρίς την φυσική επαφή μιας συσκευής. Αυτός ο τύπος ανατροφοδότησης περιλαμβάνει αλληλεπιδράσεις με ένα σύστημα που βρίσκεται σε ένα 3D χώρο γύρω από τον χρήστη. Έτσι, ο χρήστης είναι σε θέση να εκτελεί ενέργειες σε ένα σύστημα χωρίς την ύπαρξη μιας φυσικής συσκευής εισόδου. Οι ερευνητές του Πανεπιστημίου του Τόκιο<sup>72</sup> έχουν αναπτύξει τρισδιάστατα ολογράμματα που μπορούν να «αγγιχτούν» μέσω της απτικής ανατροφοδότησης χρησιμοποιώντας «ακουστική ακτινοβολία» για να δημιουργήσουν αίσθηση πίεσης στα χέρια του χρήστη.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εταιρία Ultrahaptics<sup>73</sup> στην οποία χρησιμοποιούν πολλαπλά ηχεία υπερήχων για να κάνουν αλλαγές στην πίεση του αέρα γύρω από ένα σημείο. Αυτό παρέχει την δυνατότητα στο χρήστη να αισθάνεται τη ροή του πεπιεσμένου αέρα περιβάλλον, παρέχοντας έτσι απτικές ενδείξεις για χειρονομίες, αόρατες διεπαφές, υφές και εικονικά αντικείμενα.



Εικόνα 27 Ηχεία υπερήχων για δημιουργία αίσθησης αφής<sup>73</sup>

Οι απτικές τεχνολογίες δίνουν δυνατότητα στις προσομοιώσεις εμπυθιστικής εικονικής πραγματικότητας να γίνουν ακόμα πιο ρεαλιστικές και να προσομοιώσουν σενάρια και καταστάσεις αλληλεπίδρασης το χρήστη με ένα αντικείμενα. Συγκεκριμένα για τις



φοβίες, μπορούν να υλοποιηθούν σενάρια για παράδειγμα αραχνοφοβίας, τα οποία μπορούν εκπαιδέσουν τον ασθενή να μάθει τις κατάλληλες κινήσεις και να αντιμετωπίζει τη φοβία του σε ρεαλιστικό αλλά ελεγχόμενο περιβάλλον.

# 7

## *Βιβλιογραφία*

1. Bandelow B, Michaelis S. Epidemiology of anxiety disorders in the 21st century. *Dialogues Clin Neurosci*. 2015;17(3):327-335. doi:10.1016/j.siny.2015.10.004
2. Zhai J, Member S, Barreto A, Setup AE. Stress Detection in Computer Users Based on Digital Signal Processing of Noninvasive Physiological Variables. 2006:1355-1358.
3. MARKS IM. Fear and Phobias. In: MARKS IM, ed. *Fears and Phobias*. Academic Press; 1969:1-12. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-473050-2.50005-X
4. Blanco C, García C, Liebowitz MR. Pharmacological treatment of social phobia. *Psychiatry*. 2004;3(5):60-64. doi:10.1383/psyt.3.5.60.33965
5. Kim H sil, Kim EJ. Effects of Relaxation Therapy on Anxiety Disorders: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arch Psychiatr Nurs*. 2018;32(2):278-284. doi:10.1016/j.apnu.2017.11.015
6. Hardy K V. Cognitive Behavioral Psychotherapy. *Encycl Neurol Sci*. 2003:735-737.
7. Garnov S V, Klimentov SM, Kononenko T V, et al. Ablation of AIN ceramics by multipulsed picosecond radiation at wavelength of 1078 and 539 nm. *Laser Phys*. 1996;6(3):600-607. doi:10.1016/j.brat.2014.04.006.Maximizing
8. Meuret AE, Wolitzky-Taylor KB, Twohig MP, Craske MG. Coping Skills and Exposure Therapy in Panic Disorder and Agoraphobia: Latest Advances and Future Directions. *Behav Ther*. 2012;43(2):271-284. doi:10.1016/j.beth.2011.08.002

9. Hofmann SG, Smits JA. Cognitive-behavioral therapy for adult anxiety disorders: a meta-analysis of randomized placebo-controlled trials. *J Clin Psychiatry*. 2008;69(4):621-632. doi:10.4088/JCP.v69n0415
10. Wiederhold BK, Jang DP, Gevirtz RG, Kim SI, Kim IY, Wiederhold MD. The treatment of fear of flying: a controlled study of imaginal and virtual reality graded exposure therapy. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*. 2002;6(3):218-223. doi:10.1109/TITB.2002.802378
11. Rizzo A “Skip,” Buckwalter JG, Forbell E, et al. Virtual Reality Applications to Address the Wounds of War. *Psychiatr Ann*. 2013;43(3):123-138. doi:10.3928/00485713-20130306-08
12. Valmaggia LR, Latif L, Kempton MJ, Rus-Calafell M. Virtual reality in the psychological treatment for mental health problems: An systematic review of recent evidence. *Psychiatry Res*. 2016;236:189-195. doi:10.1016/j.psychres.2016.01.015
13. Morina N, Ijntema H, Meyerbröcker K, Emmelkamp PMG. Can virtual reality exposure therapy gains be generalized to real-life? A meta-analysis of studies applying behavioral assessments. *Behav Res Ther*. 2015;74:18-24. doi:10.1016/j.brat.2015.08.010
14. Emmelkamp PMG. Technological Innovations in Clinical Assessment and Psychotherapy. *Psychother Psychosom*. 2005;74(6):336-343. doi:10.1159/000087780
15. Benbow AA, Anderson PL. A meta-analytic examination of attrition in virtual reality exposure therapy for anxiety disorders. *J Anxiety Disord*. 2018;(June):0-1. doi:10.1016/j.janxdis.2018.06.006
16. Plutchik R. *A Psychoevolutionary Theory of Emotions*. Vol 21. ACADEMIC PRESS, INC.; 1982. doi:10.1177/053901882021004003
17. Frijda NH, Manstead ASR, Fischer AH. *Feelings and Emotions*.; 2004. doi:10.1017/CBO9780511806582
18. LeDoux JE. *The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*. New York, NY, US: Simon & Schuster; 1996.
19. Ekamn P. Basic Emotions. In: Tim Dalgleish and M. J. Powers, ed. *Handbook of Cognition and Emotion*. Wiley; 1999:4-5. doi:10.1017/S0140525X0800349X
20. Russell JA, Mehrabian A. Evidence for a three-factor theory of emotions. *J Res Pers*. 1977;11(3):273-294. doi:10.1016/0092-6566(77)90037-X
21. Russell JA. A circumplex model of affect. *J Pers Soc Psychol*. 1980;39(6):1161-1178. doi:10.1037/h0077714
22. Greco A, Valenza G, Scilingo EP. *Advances in Electrodermal Activity Processing with*

- Applications for Mental Health.*; 2016. doi:10.1007/978-3-319-46705-4
23. Calvo RA, D’Mello S. Affect detection: An interdisciplinary review of models, methods, and their applications. *IEEE Trans Affect Comput.* 2010;1(1):18-37. doi:10.1109/T-AFFC.2010.1
  24. Rosalind W. Picard, Elias Vyzas and JHM. Toward Machine Emotional Intelligence: Analysis of Affective Physiological State. 2001;(536).
  25. Valenza G, Scilingo EP. *Autonomic Nervous System Dynamics for Mood and Emotional-State Recognition.*; 2014. doi:10.1007/978-3-319-02639-8
  26. Machajdik J, Hanbury A. *Affective Image Classification using Features inspired by Psychology and Art Theory.pdf.* *Int Conf Multimed.* 2010:83-92. doi:10.1145/1873951.1873965
  27. Bradley MM, Lang PJ. *International Affective Digitized Sounds (IADS): Stimuli, Instruction Manual and Affective Ratings.* Gainesville, FL; 1999. <http://csea.phhp.ufl.edu/Media.html>.
  28. Healey JA, Picard RW. Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors.pdf. 2005;6(2):156-166. doi:10.1109/TITS.2005.848368
  29. Yannakakis GN, Hallam J. Entertainment modeling through physiology in physical play. *Int J Hum Comput Stud.* 2008;66(10):741-755. doi:10.1016/j.ijhcs.2008.06.004
  30. Cho D, Ham J, Oh J, et al. Detection of stress levels from biosignals measured in virtual reality environments using a kernel-based extreme learning machine. *Sensors (Switzerland).* 2017;17(10). doi:10.3390/s17102435
  31. Vagennas I. Galvanic skin response ( GSR ) Guide. In: *TMSi.* Vol 3. ; 2017:7.
  32. Perala CH, Sterling BS. Galvanic skin response as a measure of soldier stress. No. ARL-TR-4114. Army research lab aberdeen proving ground MD human research and engineering directorate. 2007;(May).
  33. W. Boucsein. *Electrodermal Activity.*; 2012.
  34. Forde E, Seiffert AE. Reviews: Handbook of Clinical and Experimental Neuropsychology, High-Level Motion Processing: Computational, Neurobiological, and Psychophysical Perspectives. *Perception.* 2015;28(8):1051-1054. doi:10.1068/p2808rvw
  35. Grove - GSR Sensor - Sseed Wiki. [http://wiki.seeedstudio.com/Grove-GSR\\_Sensor/](http://wiki.seeedstudio.com/Grove-GSR_Sensor/). Accessed March 12, 2019.
  36. R. Pflanzner and W. McMullen. *Galvanic Skin Response & The Polygraph.* Vol 126.; 200AD. doi:1037//0033-2909.I26.1.78

37. J. Malmivuo and R. Plonsey. *Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*.
38. No Title. <https://imotions.com/blog/what-is-ee/>.
39. Ινιακός λοβός - Βικιπαίδεια. [https://el.wikipedia.org/wiki/Ινιακός\\_λοβός](https://el.wikipedia.org/wiki/Ινιακός_λοβός). Accessed March 16, 2019.
40. Βρεγματικός λοβός - Βικιπαίδεια. [https://el.wikipedia.org/wiki/Βρεγματικός\\_λοβός](https://el.wikipedia.org/wiki/Βρεγματικός_λοβός). Accessed March 16, 2019.
41. Κροταφικός λοβός - Βικιπαίδεια. [https://el.wikipedia.org/wiki/Κροταφικός\\_λοβός](https://el.wikipedia.org/wiki/Κροταφικός_λοβός). Accessed March 16, 2019.
42. Μετωπιαίος λοβός - Βικιπαίδεια. [https://el.wikipedia.org/wiki/Μετωπιαίος\\_λοβός](https://el.wikipedia.org/wiki/Μετωπιαίος_λοβός). Accessed March 16, 2019.
43. Harmony T. The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Front Integr Neurosci*. 2013;7:83. doi:10.3389/fnint.2013.00083
44. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a rKlimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2-3), 169–195. doi:10.1016/S016. *Brain Res Rev*. 1999;29(2-3):169-195. doi:10.1016/S0165-0173(98)00056-3
45. Craig A, Tran Y, Wijesuriya N, Nguyen H. Regional brain wave activity changes associated with fatigue. *Psychophysiology*. 2012;49(4):574-582. doi:10.1111/j.1469-8986.2011.01329.x
46. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends Cogn Sci*. 2012;16(12):606-617. doi:10.1016/j.tics.2012.10.007
47. Takahashi K, Saleh M, Penn RD, Hatsopoulos NG. Propagating Waves in Human Motor Cortex. *Front Hum Neurosci*. 2011;5(April):1-8. doi:10.3389/fnhum.2011.00040
48. Halder S, Agorastos D, Veit R, et al. Neural mechanisms of brain-computer interface control. *Neuroimage*. 2011;55(4):1779-1790. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.01.021
49. Jia X, Kohn A. Gamma Rhythms in the Brain. *PLoS Biol*. 2011;9(4):e1001045. doi:10.1371/journal.pbio.1001045
50. Deouell LY, Yuval-Greenberg S, Nelken I, Tomer O, Keren AS. Transient Induced Gamma-Band Response in EEG as a Manifestation of Miniature Saccades. *Neuron*. 2008;58(3):429-441. doi:10.1016/j.neuron.2008.03.027
51. Bishop CM. *Pattern Recognition and Machine Learning*.

52. Yufeng G. The 7 Steps of Machine Learning – Towards Data Science.  
<https://towardsdatascience.com/the-7-steps-of-machine-learning-2877d7e5548e>.  
Accessed February 12, 2019.
53. Guyon I, Elisseeff A. An Introduction to Feature Extraction. *Featur Extr.* 2006:1-25.  
doi:10.1007/978-3-540-35488-8\_1
54. Virtual reality is here. And it's amazing! | Qualcomm.  
<https://www.qualcomm.com/news/onq/2016/03/14/virtual-reality-here-and-its-amazing>. Accessed March 24, 2019.
55. Here Are Some of the Things that Virtual Reality Can Benefit Education - VR Life.  
<https://www.vrlife.news/benefits-virtual-reality-education/>. Accessed March 24, 2019.
56. Virtual Reality Headsets: What are the Options? Which is Right For You?  
<https://arvrjourney.com/virtual-reality-headsets-what-are-the-options-which-is-right-for-you-9ea008c7e318>. Accessed March 24, 2019.
57. Daydream – Standalone VR. <https://vr.google.com/daydream/standalonevr/>. Accessed March 24, 2019.
58. The Construction Professional's guide to Virtual Reality-Headsets.  
<https://medium.com/holobuilder/the-construction-professionals-guide-to-virtual-reality-headsets-d850e738da98>. Accessed March 24, 2019.
59. Yes - We work with the HTC Vive and are considered the best!  
<https://www.groovejones.com/htc-vive/>. Accessed March 24, 2019.
60. Here's How Google's Announcement About WorldSense at IO 2017 Will Impact the VR Industry - VR News, Games, And Reviews. <https://www.vrandfun.com/googles-announcements-will-impact-vr-industry/>. Accessed March 24, 2019.
61. Microsoft partnering with Oculus VR for Xbox One, Windows 10 | Fortune.  
<http://fortune.com/2015/06/11/oculus-microsoft-partnership/>. Accessed March 24, 2019.
62. Leap Motion introduces amazing Orion hand-tracking for virtual reality | VentureBeat.  
<https://venturebeat.com/2016/02/17/leap-motion-introduces-amazing-orion-hand-tracking-for-virtual-reality/>. Accessed March 24, 2019.
63. Unreal Engine 4 vs. Unity: Which Game Engine Is Best for You? | Pluralsight.  
<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/unreal-engine-4-vs-unity-game-engine-best>. Accessed March 23, 2019.
64. Unity vs. Unreal: how to Choose the Best Game Engine - N-iX. <https://www.n-ix.com/unity-vs-unreal-choose-best-game-engine/>. Accessed March 23, 2019.
65. ExtroForge – The Switch from Unity 3D to Unreal Engine.

- <http://www.extroforge.com/the-switch-from-unity-3d-to-unreal-engine/>. Accessed March 23, 2019.
66. blender.org - Home of the Blender project - Free and Open 3D Creation Software. <https://www.blender.org/>. Accessed March 24, 2019.
  67. Koelstra S, Mühl C, Soleymani M, et al. DEAP: A database for emotion analysis; Using physiological signals. *IEEE Trans Affect Comput.* 2012;3(1):18-31. doi:10.1109/T-AFFC.2011.15
  68. Theodoridis S, Koutroumbas K. Chapter 5 - Feature Selection. In: Theodoridis S, Koutroumbas K, eds. *Pattern Recognition (Fourth Edition)*. Fourth Edi. Boston: Academic Press; 2009:261-322. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-1-59749-272-0.50007-4>
  69. Adolphs R. The biology of fear. *Curr Biol.* 2013;23(2):R79-R93. doi:10.1016/j.cub.2012.11.055
  70. Ishii H. *Tangible User Interfaces*. <https://pdfs.semanticscholar.org/8d72/fa1bd1a7ac0917f701d62ef648c2911d9356.pdf>. Accessed March 25, 2019.
  71. Kapoor S, Arora P, Kapoor V, Jayachandran M, Tiwari M. Haptics - touchfeedback technology widening the horizon of medicine. *J Clin Diagn Res.* 2014;8(3):294-299. doi:10.7860/JCDR/2014/7814.4191
  72. *Touchable Hologram Becomes Reality (w/ Video)*. Physorg.com; 2009. <http://www.physorg.com/news168797748.html>. Accessed March 25, 2019.
  73. Cliffe S. Ultrahaptics. *ULTRAHAPTICS*. <http://ultrahaptics.com/about-us/>. Accessed March 25, 2019.

# 8

## *Παράρτημα*

Ο κώδικας υλοποίησης της εργασίας επισυνάπτεται σε δίσκο αποθήκευσης USB. Αποτελείται από τους φακέλους ‘unitySpiderRoom’, ‘unrealSpiderRoom’ και ‘sensors’.

Στον φάκελο ‘unitySpiderRoom’ βρίσκεται το εικονικό περιβάλλον με τη αράχνη φτιαγμένο σε περιβάλλον Unity. Για να το τρέξουμε αρκεί να ανοίξουμε το φάκελο με το Unity και να επιλέξουμε την επιλογή ‘build and run’ από το μενού.

Αντίστοιχα στον φάκελο ‘unrealSpiderRoom’ βρίσκεται ο κώδικας για το εικονικό περιβάλλον φτιαγμένο σε Unreal. Για να το τρέξουμε αρκεί να ανοίξουμε το αρχείο ‘unrealSpiderRoom.uproject’ με έναν Unreal Editor. Έπειτα επιλέγουμε από το μενού την επιλογή ‘Build’ και μετά ‘Run’.

Στον φάκελο ‘sensors’ βρίσκεται ο κώδικας που υλοποιεί την αναγνώριση συναισθήματος και την συλλογή δεδομένων από τον αισθητήρα. Για να τρέξουμε το πρόγραμμα συλλογής δεδομένων απαιτούνται 2 βήματα. Αρχικά πρέπει να περάσουμε σε ένα Arduino το αρχείο ‘gsrSensor.c’ με χρήση του προγράμματος Arduino IDE. Έπειτα ανοίγουμε με Jupyter Notebook το αρχείο ‘arduinoPort.ipynb’ έτσι ώστε να λάβουμε δεδομένα του αισθητήρα στον υπολογιστή. Για να εφαρμόσουμε τους αλγορίθμους επεξεργασίας των δεδομένων και αναγνώρισης συναισθήματος και να δούμε τα αποτελέσματα και τα γραφήματα αρκεί να ανοίξουμε με Jupyter Notebook το αρχείο ‘deardataset.ipynb’ και να τρέξουμε όλα τα κελιά του.