Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Διπλωματική Εργασία

Χρήση machine learning σε eye-tracking δεδομένα για την ανίχνευση των συναισθημάτων του χρήστη κατά τη διάρκεια παρακολούθησης εικόνας

Λαδάς Κωνσταντίνος – Ε.
Α.Μ. 5809

Επιβλέπων
Μιχαήλ Ξένος, Καθηγητής

Συνεπιβλέπων
Ανδρέας Μαλλάς, Υποψήφιος Διδάκτωρ

Μέλη Επιτροπής Αξιολόγησης
Ιωάννης Χατζηλυγερούδης, Καθηγητής
Χρήστος Μακρής, Αναπληρωτής Καθηγητής

Πάτρα, 2020

© Copyright συγγραφής Λαδάς Κωνσταντίνος – Ε., 2020

© Copyright θέματος Ξένος Μιχαήλ

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών δεν υποδηλώνει απαραιτήτως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Μιχάλη Ξένο για τη δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω αυτή τη διπλωματική εργασία στα πλαίσια των προπτυχιακών μου σπουδών και το χρόνο που αφιέρωσε για να με βοηθήσει και να με καθοδηγήσει ανά πάσα στιγμή. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ανδρέα Μαλλά για τις υποδείξεις του και τις συμβουλές του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ακατάπαυστη και ανιδιοτελή βοήθεια και υποστήριξη που μου παρείχαν όλα τα χρόνια φοίτησής μου.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε το Ακαδημαϊκό Έτος 2019-2020 στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών και αποτελεί το μέσο για την λήψη του ενσωματωμένου μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του κ. Μιχαήλ Ξένου, καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών και συνεπιβλέποντα τον υποψήφιο διδάκτορα του κ. Ανδρέα Μαλλά.

Το θέμα αυτό είναι αρκετά πρωτότυπο και έχουν γίνει ελάχιστες παρόμοιες έρευνες που να συνδυάζουν τον τομέα της ψυχολογίας με τη μηχανική μάθηση και την οφθαλμική ιχνηλάτηση, τρεις τομείς που με ενδιέφεραν από πάντα να ασχοληθώ. Συνεπώς, το αντικείμενο της εργασίας είναι πειραματικής φύσεως και είναι αρκετά πιθανό τα αποτελέσματα να μην είναι ικανοποιητικά. Αρχικά, αποτελείται από τη λήψη μετρικών οφθαλμικής ιχνηλάτησης με χρήση eye-tracker, όπου οι χρήστες έχουν ως ερεθίσματα εικόνες που μπορούν να προκαλέσουν κάποια βασική συναισθηματική αντίδραση. Στη συνέχεια, για τα δεδομένα αυτά σκοπός ήταν, με τη χρήση αλγορίθμων επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης, να βρεθεί κάποιο μοντέλο που μπορεί με ακρίβεια να μπορεί να προβλέψει το συναίσθημα που θα νιώσει κάποιος χρήστης βλέποντας τις ίδιες εικόνες, με βάση αυτά που έχουν πει οι προηγούμενοι χρήστες.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από τη συγκέντρωση δεδομένων eye-tracking από έναν αριθμό ατόμων ενώ παρακολουθούσαν κάποια ερεθίσματα σε εργαστηριακό χώρο, έπειτα labeling των δεδομένων αυτών με τα συναισθήματα που καταγράφηκαν από τους συμμετέχοντες και στη συνέχεια εκπαίδευση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης με τα δεδομένα αυτά στο εργαλείο Weka. Η εργασία είναι πειραματικής φύσεως και χρειάστηκε πολύπλευρη έρευνα για να διεκπεραιωθεί. Εξαρχής είχε αποφασιστεί ότι θα μελετηθούν τα ανθρώπινα συναισθήματα οπότε έπρεπε να μελετηθεί το ψυχολογικό υπόβαθρο γύρω από αυτά. Πάρθηκε η απόφαση να μην γίνει μεγάλη εμβάθυνση και να βρεθεί ένα γενικευμένο, εύκολα εφαρμόσιμο μοντέλο συναισθημάτων που να καλύπτει ένα μεγάλο εύρος καθώς είναι ένας τομέας που χαρακτηρίζεται από μεγάλη υποκειμενικότητα. Η απάντηση σε αυτό ήταν τα συναισθήματα που είχε χαρακτηρίσει ο ψυχολόγος Paul Ekman ως «βασικά». Έτσι έγινε αναζήτηση οπτικών ερεθισμάτων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ένα από αυτά τα βασικά συναισθήματα. Στη συνέχεια, αφού δεν υπήρχε κάποιο έτοιμο dataset, έπρεπε να γίνει συγκέντρωση δεδομένων και μετρικών από άτομα που έχουν παρακολουθήσει τα ερεθίσματα αυτά και επομένως θα εξέφραζαν κάποιο συναίσθημα. Η συγκέντρωση αυτή έγινε με τη χρήση eye-tracker από 14 άτομα ,με διάφορα ψυχολογικά υπόβαθρα, τα οποία παρακολούθησαν 28 εικόνες επιλεγμένες από τη συλλογή εικόνων του IAPS. Επίσης πραγματοποιήθηκε ηχογράφηση των συμμετεχόντων να λένε το πιο κοντινό από τα συναισθήματα που τους δόθηκαν σαν επιλογές για κάθε εικόνα. Στο τέλος, εξήχθη ένα dataset με περίπου 320.000 δείγματα του βλέμματος των χρηστών. Το dataset αυτό, μετά από μελέτη, labeling και επεξεργασία, χρησιμοποιήθηκε για εκπαίδευση supervised αλγορίθμων machine learning με τη χρήση του εργαλείου Weka. Το πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν πρόβλημα ταξινόμησης, αφού έπρεπε να γίνει πρόβλεψη του συναισθήματος για κάθε δείγμα στο dataset με σκοπό να βρεθεί κάποια συσχέτιση μεταξύ των οπτικών μετρικών που είχαν συγκεντρωθεί και των συναισθημάτων που ζητήθηκαν. Ανάμεσα στα μοντέλα, το μεγαλύτερο ποσοστό σωστών προβλέψεων που παρατηρήθηκε ήταν 90.87%. Το ποσοστό αυτό συνιστά, ότι δεδομένων αρκετών eye-tracking δειγμάτων εκπαίδευσης του αλγορίθμου σε συγκεκριμένες εικόνες, μπορεί να γίνει πρόβλεψη του συναισθήματος που θα δηλώσει ένας χρήστης βλέποντας μία από αυτές τις εικόνες με αρκετά μεγάλη ακρίβεια.

Abstract

The present thesis consists of the collection of eye-tracking data by a number of individuals while watching visual stimuli in the laboratory, then labeling this data with the emotions recorded by the participants and training machine learning algorithms with this data in the tool Weka. This work is experimental in nature and required multifaceted research to be carried out. From the start, it was decided that human emotions would be studied so the psychological background around them had to be studied. The decision was made not be very specific bu to find a generalized, easily applicable model of emotions that covers a wide range as it is an area characterized by great subjectivity. The answer to this was the feelings that psychologist Paul Ekman had described as "basic". So a search was made for visual stimuli that could evoke one of these basic emotions. Then, since there was no out-of-the-box dataset, data and metrics had to be collected from people who had watched these stimuli and would therefore express some emotion. Data collection was done using an eye-tracker on 14 people, with various psychological backgrounds, who watched 28 images selected from the IAPS image collection. The participants were also recorded saying the closest of the emotions given to them as options for each image. In the end, a dataset with about 320,000 samples of users' gaze was exported. This dataset, after being studied, labeled and processed, was used for training supervised machine learning algorithms using the Weka tool. The problem to be addressed was a classification problem, as the emotion had to be predicted for each sample in the dataset in order to find some correlation between the visual metrics that had been collected and the emotions that had been requested. Among the models, the highest percentage of correct predictions observed was 90.87%. This percentage suggests that, given several eye-tracking algorithm training samples in specific images, it is possible to predict the emotion that a user will express by looking at one of these images with quite high accuracy.

Περιεχόμενα

1 ..... *1*

Εισαγωγή *1*

1.1 Σημασία του προβλήματος **1**

1.2 Στόχοι της Εργασίας **1**

1.3 Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας **2**

2 ..... *3*

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας & Γνωστικό Υπόβαθρο *3*

2.1 Συναισθήματα **3**

2.1.1 Εισαγωγή 3

2.1.2 Λειτουργία εγκεφάλου & λιμβικό σύστημα 4

2.1.3 Θεωρίες για την ύπαρξη των συναισθημάτων 9

2.1.4 Ανάλυση & επεξήγηση επιλεγμένων συναισθημάτων 13

2.1.4.1 Θυμός 14

2.1.4.2 Αηδία 15

2.1.4.3 Φόβος 15

2.1.4.4 Ευτυχία (χαρά) 17

2.1.4.5 Θλίψη 18

2.1.4.6 Έκπληξη 19

2.1.4.7 Ενθουσιασμός 22

2.1.5 Συναισθηματική ανάλυση στην επιστήμη των υπολογιστών 23

2.2 Eye tracking **24**

2.2.1 Εισαγωγή 24

2.2.2 Τεχνικές eye-tracking & setups 27

2.2.3 Αναπαράσταση δεδομένων 32

2.2.4 Εφαρμογές & χρήση eye-trackers για αναγνώριση συναισθημάτων 34

2.3 Machine learning 35

2.3.1 Εισαγωγή 35

2.3.2 Προσεγγίσεις Μηχανικής Μάθησης 36

2.3.3 Μοντέλα μηχανικής μάθησης 39

2.3.4 Εργαλεία Machine Learning 45

3 48

Διαδικασία Πειράματος & Αποτελέσματα 48

4 61

Συμπεράσματα & Μελλοντική εργασία 61

Παράρτημα 62

Βιβλιογραφία- Αναφορές 63

Σύντομο Βιογραφικό Συγγραφέα 71

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Δομή νευρώνα.....5

Εικόνα 2: Λιμβικό σύστημα στον ανθρώπινο εγκέφαλο.....6

Εικόνα 3: Θέση αμυγδαλής 8

Εικόνα 4: Ο τροχός των συναισθημάτων του ψυχολόγου Robert Plutchik (μαζί με το αρχικό τρισδιάστατο σχέδιο) 12

Εικόνα 5: «Τρόμος και αγωνία, αντίγραφο από φωτογραφία του Δρ. Duchenne» από το βιβλίο του Κ. Δαρβίνου «Η έκφραση των συγκινήσεων στον άνθρωπο και τα ζώα».....17

Εικόνα 6: Charles Bell, Essays on the anatomy of expression in painting, London: Longman, 1806. Page 142 - Wonder / Fear / Astonishment. 21

Εικόνα 7:Παράδειγμα οφθαλμικών μεταπηδήσεων και προσηλώσεων κατά την ανάγνωση κειμένου 25

Εικόνα 8: Έξυπνος φακός επαφής με eye-tracking interface μέσω επαυξημένης πραγματικότητας.....27

Εικόνα 9: Eye-tracking με χρήση ηλεκτροδίων.....29

Εικόνα 10: Τεχνική σκοτεινής κόρης (αριστερά) και φωτεινής κόρης (δεξιά).....30

Εικόνα 11:Tobii 4C eye-tracker.....31

Εικόνα 12:Tobii Pro Glasses 3 32

Εικόνα 13: Heat map από 13 χρήστες σε e-shop.....33

Εικόνα 14: Χάρτης εστίασης από 13 χρήστες για e-shop 34

Εικόνα 15: Παράδειγμα clustering (K-means clustering) 38

Εικόνα 16: Τεχνητό νευρωνικό δίκτυο. Κάθε κυκλικός κόμβος είναι ένας νευρώνας ενώ κάθε ακμή είναι μία σύνδεση από την έξοδο του ενός νευρώνα στην είσοδο ενός άλλου. 41

Εικόνα 17:Δέντρο αποφάσεων 42

Εικόνα 18:Παράδειγμα γραμμικού μοντέλου SVM για ταξινόμηση.....43

Εικόνα 19: Μη γραμμική διαχώριση δεδομένων σε SVM.....44

Εικόνα 20:Η διεπαφή Explorer του Weka. Στο πάνω μέρος φαίνονται τα πλαίσια με τις λειτουργίες.....47

Εικόνα 21:Eye tracker Tobii T60.....50

Εικόνα 22:Tobii T60 specifications.....50

Εικόνα 23:Αποτελέσματα για δέντρο απόφασης J48 57

Εικόνα 24:Αποτελέσματα για K-nearest neighbor 57

Εικόνα 25:Αποτελέσματα για NaiveBayes (χωρίς discretization) 58

Εικόνα 26: Αποτελέσματα για NaiveBayes (με discretization).....58

Εικόνα 27:Αποτελέσματα για RandomForest 58

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1:Μετρικές του eye-tracker που χρησιμοποιήθηκαν στο τελικό dataset 54

Συντομογραφίες

PET	Positron Emission Tomography
PAG	Periaqueductal gray
fMRI	Funcional magnetic resonance imaging
EVT	Expectation Violation Theory
AI	Artificial Intelligence
EOG	Electrooculogram
MET	Mobile eye-tracking
AOI	Area of interest
HCI	Human-Computer Interaction
ANN	Artificial Neural Networks
SVM	Support Vector Machine
CSV	Comma separated values
IAPS	International Affective Picture System
CPU	Central Processing Unit
GPU	Graphics Processing Unit

Γλωσσάρι ή Απόδοση Όρων

Positron Emission Tomography	Τομογραφίες εκπομπής ποζιτρονίων
Emotions	Συναισθήματα
Amygdala	Αμυγδαλή εγκεφάλου
Insular Cortex	Νησιωτικός φλοιός
Periaqueductal gray	Περιυδραγωγός φαιά ουσία
Cerebral cortex	Εγκεφαλικός φλοιός
Brainstem	Εγκεφαλικό στέλεχος
Cerebellum	Παρεγκεφαλίδα
Soma	Σώμα νευρώνα
Axon	Άξονας νευρώνα
Dendritres	Δενδρίτες νευρώνα
Axon terminals	Τερματικά άξονα νευρώνα
Limbic system	Μεταιχμιακό σύστημα εγκεφάλου
Hypothalamus	Υποθάλαμος
Hippocampus	Ιππόκαμπος
Fight or flight response	Απόκριση μάχη ή φυγή
Funcional magnetic resonance imaging	Λειτουργική Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού
Globus pallidus	Ωχρή σφαίρα

Orbitofrontal cortex	Κογχομετωπιαίος φλοιός
Cingulate cortex	Φλοιός του προσαγωγίου
Dataset	Σύνολο δεδομένων
Anger	Θυμός
Disgust	Αηδία
Fear	Φόβος
Happiness	Χαρά
Sadness	Θλίψη
Surprise	Έκπληξη
Excitement	Ενθουσιασμός
Expectation Violation Theory	Θεωρία Παραβίασης Προσδκοκιών
Language Expectation Theory	Θεωρία Προσδοκίας Γλώσσας
Empathy	Ενσυναίσθηση
Machine Learning	Μηχανική Μάθηση
Artificial Intelligence	Τεχνητή Νοημοσύνη
Eye-tracking	Οφθαλμική ιχνηλάτηση
Eye-tracker	Οφθαλμικός ιχνηλάτης
Fixation	Προσήλωση
Saccade	Οφθαλμική μεταπήδηση
Deep Learning	Εις βάθος μάθηση
Purkinje	Αντανάκλαση του κερατοειδούς του ματιού
Electrooculogram	Ηλεκτροκολογράφημα
Video-based eye-trackers	Οφθαλμικοί ιχνηλάτες βασισμένοι σε βίντεο

Gaming	Ενασχόληση με βιντεοπαιχνίδια
Mobile eye-tracking	Οφθαλμική ιχνηλάτηση με φορητή συσκευή
Area of interest	Περιοχή ενδιαφέροντος
Bluetooth	Ασύρματη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία μικρών αποστάσεων,
Heat map	Χάρτης θερμότητας
Focus map	Χάρτης συγκέντρωσης
Human-Computer Interaction	Αλληλεπίδραση Ανθρώπου-Υπολογιστή
Virtual reality	Εικονική πραγματικότητα
Training data	Δεδομένα εκπαίδευσης
Pattern recognition	Αναγνώριση προτύπων
Label	Ετικέρα
Supervised learning	Επιβλεπόμενη μάθηση
Unsupervised learning	Μη επιβλεπόμενη μάθηση
Semi-supervised learning	Ημι-επιβλεπόμενη μάθηση
Feature vector	Διάνυσμα χαρακτηριστικών
Cluster	Συστάδα
Clustering	Ομαδοποίηση
E-mail	Μήνυμα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου
Reinforcement learning	Ενισχυτική μάθηση
Artificial Neural Networks	Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα
Decision Tree	Δέντρο απόφασης
Support vector machine	Μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης
Hyperplane	Υπερεπίπεδο

Classifier	Ταξινομητής
Comma Separated Values	Τιμές που διαχωρίζονται με κόμμα
Overfitting	Υπερμοντελοποίηση
Central Processing Unit	Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας
Graphics Processing Unit	Μονάδα επεξεργασίας γραφικών
Linear	Γραμμικό
Kernel Trick	Κόλπο πυρήνα
Manual	Εγχειρίδιο
Affective valence	Συναισθηματικό σθένος
Arousal	Διέγερση
Instances	Δείγματα
Attributes	Χαρακτηριστικά
Preprocessing	Προεπεξεργασία
Millimeters	Χιλιοστά του μέτρου
Milliseconds	Χιλιοστά του δευτερολέπτου

1

Εισαγωγή

1.1 Σημασία του προβλήματος

Λόγω της πολύπλοκης φύσης του τομέα της ψυχολογίας, έχει κριθεί απαραίτητο να βρεθούν τρόποι που θα διευκολύνουν την δουλειά των επιστημόνων γύρω από τον τομέα αυτό και θα προσφέρουν βελτιώσεις της ποιότητάς της. Η χρησιμότητα ενός εργαλείου που μπορεί να προβλέψει το συναίσθημα που νιώθει κάποιος χωρίς να το εκφράσει είναι τεράστια και θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλους τομείς όπως στο marketing. Επίσης, μέχρι τώρα η πλειοψηφία των ερευνών που υπάρχουν δεν έχουν εξετάσει διακριτά συναισθήματα σε συνδυασμό με μηχανική μάθηση επομένως δεν υπήρχε και κάποιο διαθέσιμο dataset στο διαδίκτυο που να μπορεί να επεξεργαστεί και να χρησιμοποιηθεί είτε παράλληλα με αυτό που εξήχθη από την έρευνα είτε ανεξάρτητα. Τέλος, η πραγματοποίηση αυτού του έργου με τη χρήση eye-tracker εξασφαλίζει πλήρη ανωνυμία και καθιστά τον συμμετέχοντα να μιλήσει με μεγαλύτερη άνεση και ειλικρίνεια για αυτό που νιώθει.

1.2 Στόχοι της Εργασίας

Πρωταρχικός στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η έρευνα και η κατανόηση του τρόπου που εκφράζει κάποιος ένα συναίσθημα που νιώθει. Η τεχνητή πρόκληση συναισθημάτων σε εθελοντές σε εργαστηριακό περιβάλλον είναι αρκετά δύσκολη δουλειά διότι εξαλείφεται ο παράγοντας του αυθορμητισμού και ο συμμετέχων θα είναι ήδη βεβιασμένος. Για να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια, έπρεπε να βρεθούν τα

κατάλληλα ερεθίσματα για τους συμμετέχοντες ώστε να μπορούν με σχετική ακρίβεια να εκφράσουν αυτό που νιώθουν.

Επόμενος στόχος ήταν η εύρεση εθελοντών που θα μπορούσαν να συμμετάσχουν στο πείραμα. Η αναζήτηση θα γινόταν στον Πανεπιστημιακό χώρο για φοιτητές ή ακόμα και καθηγητές οπού θα υπήρχε άπλετος πληθυσμός για επιλογή. Δυστυχώς ο μέσος όρος της ηλικίας των συμμετασχόντων θα ήταν αρκετά χαμηλός αλλά αυτός ήταν ένας παράγοντας που δεν γινόταν να εξαλειφθεί. Για να είναι περισσότερο ελκυστική η συμμετοχή και να μην αποθαρρυνθούν οι συμμετέχοντες, η διάρκεια του πειράματος έπρεπε να έχει μικρή διάρκεια.

Τελικός στόχος, ήταν η εξαγωγή των μετρικών eye-tracking και η εύρεση μοντέλων μηχανικής μάθησης που θα μπορούν να βρουν μία συσχέτιση μεταξύ των χαρακτηριστικών. Τα δείγματα θα είχαν ως ετικέτα το συναίσθημα που θα είχαν δηλώσει οι συμμετέχοντες του πειράματος και με αυτά, θα εκπαιδευόταν το μοντέλο ώστε να μπορεί να προβλέψει την ετικέτα-συναίσθημα σε δείγματα που δεν την έχουν.

1.3 Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική είναι δομημένη ως ακολούθως: στο 2^{ο} κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που ερευνήθηκε και περιέχει τα υποκεφάλαια «Συναισθήματα», «Eye-tracking» και «Machine Learning». Στο πρώτο υποκεφάλαιο που έχει να κάνει με τα Συναισθήματα γίνεται ενδελεχής ανάλυση της εγκεφαλικής δραστηριότητας από την οποία πηγάζουν τα συναισθήματα, αναφέρονται οι θεωρίες που έχουν προταθεί και συνεισφέρει στην έννοια που γνωρίζουμε σήμερα και τέλος αναλύονται τα συναισθήματα που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα. Στο υποκεφάλαιο που έχει να κάνει με το eye-tracking αναλύονται η λειτουργία του, οι διάφορες μέθοδοι για τη λήψη οφθαλμικών μετρικών, τα είδη των eye-trackers και οι εφαρμογές τους. Στο υποκεφάλαιο που αφορά στο machine learning, αναλύεται η έννοια, οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα, τα διάφορα μοντέλα και οι εφαρμογές τους. Στο 3^{ο} κεφάλαιο αναλύεται η διαδικασία του πειράματος δηλαδή η προετοιμασία για το data collection από τους συμμετέχοντες, η επεξεργασία του dataset που εξήχθη και η χρήση του για τη μηχανική μάθηση. Τέλος, στο 4^{ο} κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα και κάποιες παρατηρήσεις για μελλοντικές εργασίες.

2

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας & Γνωστικό Υπόβαθρο

2.1 Συναισθήματα

2.1.1 Εισαγωγή

Η μελέτη και πρόκληση συναισθημάτων είναι ένα από τα αντικείμενα αυτής της διπλωματικής. Αν και δε σχετίζεται άμεσα με τον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών, είναι ένα θέμα που απασχολούσε από πάντα ολόκληρη την επιστημονική κοινότητα. Η έρευνα των συναισθημάτων έχει αναπτυχθεί κυρίως τις τελευταίες δύο δεκαετίες, με πρωταρχικά πεδία συνεισφοράς αυτά των ψυχολογίας, νευροεπιστήμης, ιατρικής, ενδοκρινολογίας και της επιστήμης των υπολογιστών. Για την ακρίβεια, η εύρεση εργαλείων για την πρόκληση διαφόρων συναισθημάτων, που όπως αναφέρθηκε είναι και η ραχοκοκαλιά αυτής της διπλωματικής, είναι ένα από τα ανερχόμενα πεδία έρευνας αυτή την εποχή. Κάποια τέτοια εργαλεία είναι οι τομογραφίες εκπομπής ποζιτρονίων (Positron Emission Tomography – PET scan) που χρησιμοποιούνται κυρίως για διάγνωση ασθενειών και στον εντοπισμό φυσιολογικών μεταβολών στο σώμα. Με μία μονάδα PET, με την ίδια διαδικασία, μπορούν να εντοπιστούν οι νευροφυσιολογικές αλλαγές στον εγκέφαλο και συνεπώς να «ελεγχθούν» τα παραγόμενα συναισθήματα [1].

Η έννοια «συναισθήματα» (emotions) και η μελέτη τους, είναι ένα τόσο περίπλοκο και ευρύ πεδίο που ακόμα δεν έχει υπάρξει ένας ακέραιος, σαφής και κοινά αποδεκτός ορισμός από την επιστημονική κοινότητα γι' αυτά. Οι Kleinginna και Kleinginna (1981) εξέτασαν 92 ορισμούς και 9 περιγραφές που παράγονται από επιστήμονες στον τομέα, που αντιπροσωπεύουν αποτελεσματικά την έλλειψη συναίνεσης όσον αφορά τα

χαρακτηριστικά που ορίζουν την έννοια του συναισθήματος και τη χρησιμότητά του στο επιστημονικό πλαίσιο [2]. Ο όρος emotion προέρχεται από τη γαλλική λέξη *émouvoir* που στα Ελληνικά μεταφράζεται ως το απαρέμφατο του ρήματος *ξεσηκώνω.* Πρωτοεμφανίστηκε το 1579 αλλά η σύγχρονη έννοια παγιώθηκε αρχές του 1800. Σύμφωνα με το Αγγλικό Λεξικό της Οξφόρδης, ο ορισμός του συναισθήματος είναι ο εξής: A strong feeling deriving from one's circumstances, mood, or relationships with others (μία ισχυρή αίσθηση που προέρχεται από τις περιστάσεις, τη διάθεση ενός ατόμου ή των σχέσεών του με άλλους) [3]. Ο Εσθονός νευροεπιστήμονας Jaak Panksepp, μαζί με τη βοήθεια του διάσημου Αμερικάνου ψυχολόγου Paul Ekman, αναφέρει πως συναίσθημα μπορεί να χαρακτηριστεί μία βιολογική κατάσταση που σχετίζεται με το νευρικό σύστημα και προκύπτει από νευροφυσιολογικές αλλαγές που μπορεί να προκαλούνται από σκέψεις και αισθήσεις [4]. Μπορεί να είναι είτε θετικά είτε αρνητικά συναισθήματα και συνδέονται άμεσα με την προσωπικότητα, τη διάθεση και ακόμα και με τη δημιουργικότητα [5].

Στα υπόλοιπα υποκεφάλαια αναφέρονται και αναλύονται οι θεωρίες που έχουν επικρατήσει, όλα τα βασικά καταγεγραμμένα συναισθήματα και η χρήση τους στην επιστήμη των υπολογιστών και στο πείραμα που διεξήχθη. Αρχικά θα πρέπει να κατανοηθεί η πηγή των συναισθημάτων δηλαδή ο εγκέφαλος και οι περιοχές του εγκεφάλου που είναι υπεύθυνες για την παραγωγή τους.

2.1.2 Λειτουργία εγκεφάλου & λιμβικό σύστημα

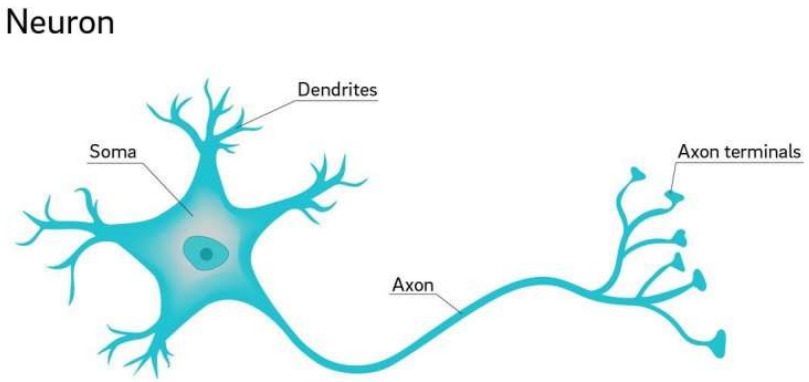
Μέχρι τώρα, οι περιοχές που υποστηρίζεται πως είναι υπεύθυνες για την παράγωγη των συναισθημάτων και την έκκριση των ουσιών που τις προκαλούν είναι οι εξής: η αμυγδαλή (amygdala), ο νησιωτικός φλοιός (insular cortex) [6] και η περιυδραγωγός φαιά ουσία (periaqueductal gray – PAG) [7]. Κάθε μία περιοχή από αυτές ευθύνεται για διαφορετικές συναισθηματικές αποκρίσεις. Ωστόσο, πρώτα θα γίνει μία πολύ γενική επισκόπηση στη λειτουργία του εγκεφάλου οδηγώντας στις περιοχές αυτές.

Είναι γνωστό πως ο εγκέφαλος χαρακτηρίζεται ως το πιο σύνθετο και πολύπλοκο όργανο σε έναν οργανισμό. Εντοπίζεται στο κεφάλι και είναι το κέντρο του νευρικού συστήματος σε όλα τα σπονδυλωτά. Ελέγχει τις περισσότερες λειτουργίες του σώματος, επεξεργάζεται τις πληροφορίες που λαμβάνει από τα ζωτικά όργανα, λαμβάνει αποφάσεις και στέλνει οδηγίες σε όλο το σώμα. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος αποτελείται από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια που περιέχουν τον εγκεφαλικό φλοιό (cerebral cortex), το εγκεφαλικό στέλεχος (brainstem) και την παρεγκεφαλίδα (cerebellum) [8]. Ο εγκεφαλικός φλοιός είναι το μεγαλύτερο κομμάτι του εγκεφάλου, χωρίζεται σε δύο ημισφαίρια και είναι υπεύθυνος για το μεγαλύτερος μέρος των λειτουργιών του εγκεφάλου όπως η λήψη οπτικοακουστικών πληροφοριών και ερεθισμάτων, η όσφρηση, η επικοινωνία, η μάθηση και η μνήμη. Το εγκεφαλικό στέλεχος εντοπίζεται στο πίσω μέρος του εγκεφάλου και συνδέει τον εγκεφαλικό φλοιό με τη σπονδυλική στήλη. Είναι υπεύθυνο για λειτουργίες όπως η αναπνευστική και η καρδιακή, ελέγχοντας τους καρδιακούς παλμούς, την κίνηση του λαιμού και του προσώπου καθώς και τον κύκλο του ύπνου. Τέλος, η παρεγκεφαλίδα είναι υπεύθυνη κυρίως για την κίνηση, ισορροπία και στάση του κορμού [8].

Ο ανθρώπινος εγκεφαλικός φλοιός περιέχει περίπου 15 δις νευρώνες (βλ. Εικόνα 1[1]) ενώ η παρεγκεφαλίδα περιέχει 55-70 δις νευρώνες [9]. Οι νευρώνες είναι ηλεκτρικά διεγειρόμενα κύτταρα του νευρικού συστήματος και συνδέονται μεταξύ τους και με άλλα κύτταρα με ειδικές διασυνδέσεις που ονομάζονται συνάψεις. Μέσω των συνάψεων γίνεται η επικοινωνία των νευρώνων με ηλεκτρικούς παλμούς.

Αν και οι νευρώνες διαφέρουν πολύ μεταξύ τους σε σχήμα, μέγεθος και συμμετρία, ένας τυπικός νευρώνας αποτελείται από:

- το σώμα (soma) του νευρώνα που περιέχει τον πυρήνα στον οποίο γίνεται η σύνθεση πρωτεϊνών
- τους δενδρίτες (dendrites), που έχουν πάρει το όνομά τους από το χαρακτηριστικό τους δενδροειδές σχήμα. Στους δενδρίτες λαμβάνεται η πλειοψηφία των σημάτων από τους υπόλοιπους νευρώνες.
- τον άξονα (axon) που έχει μορφή καλωδίου και μπορεί να είναι πολλές φορές μεγαλύτερος σε μήκος από τη διάμετρο του σώματος. Ο άξονας μεταφέρει πληροφορίες εκτός του σώματος σε άλλα κύτταρα.
- τα τερματικά του άξονα (axon terminals) που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση με άλλους νευρώνες μέσω των συνάψεων [10].



Εικόνα 1: Δομή νευρώνα

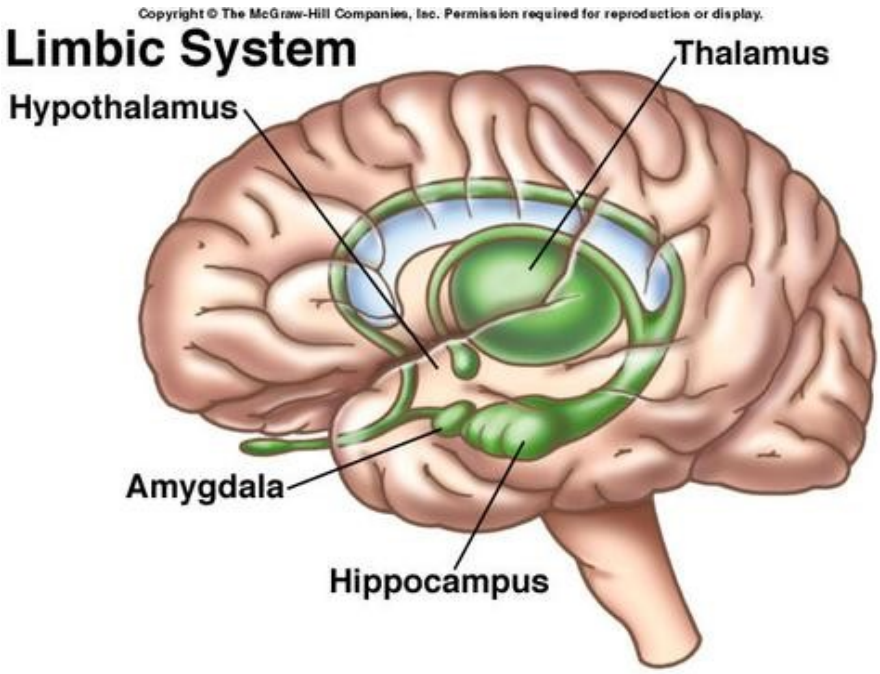
Το μέρος που αφορά στη διπλωματική, είναι το μεταιχμιακό σύστημα ή αλλιώς λιμβικό (limbic system) και ειδικά μία περιοχή του, η αμυγδαλή (βλ Εικόνα 2[2]. Ο όρος «λιμβικό» επιώθηκε το 1878 και προέρχεται από το Γάλλο ανατόμο Broca. Το λιμβικό σύστημα βρίσκεται κάτω από τον εγκεφαλικό φλοιό και υποστηρίζει τις

[1] Πηγή: https://towardsdatascience.com/deep-learning-versus-biological-neurons-floating-point-numbers-spikes-and-neurotransmitters-6eebfa3390e9 Πρόσβαση: 11/03/2020

[2] Πηγή: http://thinktankcentre.blogspot.com/2015/08/the-limbic-system.html Πρόσβαση: 11/03/2020

λειτουργίες των συναισθημάτων, της συμπεριφοράς, τη μακράς-διάρκειας μνήμης και της όσφρησης [11]. Κάποιες από τις περιοχές που αποτελούν το λιμβικό σύστημα είναι:

- ο υποθάλαμος (hypothalamus) είναι υπεύθυνος για συγκεκριμένες μεταβολικές διαδικασίες και την έκκριση ορμονών για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του σώματος, της πείνας, της δίψας μέχρι και του ύπνου.
- ο ιππόκαμπος (hippocampus) που είναι υπεύθυνος για τη συγκέντρωση πληροφοριών στη βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη μνήμη. Έχει βρεθεί επίσης ότι ο ιππόκαμπος δέχεται συναισθηματικές πληροφορίες από την αμυγδαλή. Αυτός είναι ένας λόγος που επιστρέφοντας σε ένα μέρος που έχει προκύψει κάποιο συναισθηματικό συμβάν στο παρελθόν, μπορεί να προκληθεί το ίδιο συναίσθημα [12].
- η αμυγδαλή (amygdala) που πήρε το όνομά της από το αμύγδαλο, λόγω στου σχήματός της, είναι μία ομάδα νευρώνων υπεύθυνη για την επεξεργασία των αναμνήσεων, τη λήψη αποφάσεων και τη συναισθηματική απόκριση (φόβο, άγχος, επιθετικότητα) [13]. Η αμυγδαλή εκτίνεται και στα δύο ημισφαίρια του εγκεφάλου.



Εικόνα 2: Λιμβικό σύστημα στον ανθρώπινο εγκέφαλο

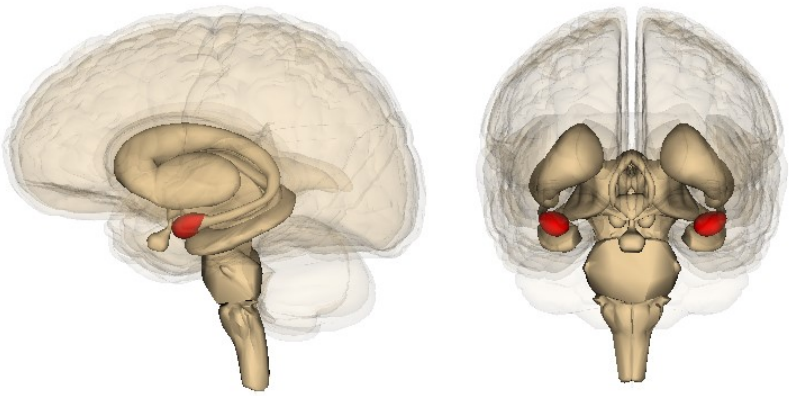
Ωστόσο, κάθε αμυγδαλή φαίνεται να έχει διαφορετικές λειτουργίες. Σε μία έρευνα, φάνηκε πως με ηλεκτρική διέγερση της αμυγδαλής του δεξιού ημισφαίριου (βλ Εικόνα 3[3]) προκαλούνταν μόνο «αρνητικά» συναισθήματα όπως φόβος και λύπη. Αντιθέτως, η ίδια διαδικασία για την αριστερή αμυγδαλή προκαλούσε και «θετικά» συναισθήματα όπως ευτυχία αλλά και αρνητικά [14]. Επίσης από διαφορετική έρευνα φάνηκε πως η αριστερή αμυγδαλή παίζει ρόλο στη λειτουργία του «συστήματος επιβράβευσης» [15] του εγκεφάλου – μία συλλογή εγκεφαλικών νευρώνων υπεύθυνων για την επιβράβευση που αισθάνεται ο άνθρωπος όταν λαμβάνουν χώρα συγκεκριμένα γεγονότα όπως η μάθηση, η εκπλήρωση ενός στόχου μέσω ενός κινήτρου, μίας επιθυμίας ή η αίσθηση ηδονής.

Επιπλέον, στον άνθρωπο αλλά και σε άλλα σπονδυλωτά, άλλη μία λειτουργία της αμυγδαλής είναι η δημιουργία και αποθήκευση αναμνήσεων που σχετίζονται με συναισθηματικά γεγονότα. Αυτό φάνηκε από μία έρευνα στην οποία μία βλάβη σε αμυγδαλή επηρέασε μία μνήμη που ενισχύεται από το συναίσθημα. Μία μελέτη εξέτασε έναν ασθενή με διμερή εκφυλισμό της αμυγδαλής. Του είπαν μια βίαιη ιστορία συνοδευόμενη από αντίστοιχες φωτογραφίες και παρατηρήθηκε με βάση το πόσο μπορούσε να θυμηθεί από την ιστορία. Ο ασθενής είχε λιγότερη ανάμνηση της ιστορίας από τους ασθενείς με λειτουργική αμυγδαλή, δείχνοντας ότι η αμυγδαλή έχει ισχυρή σχέση με τη συναισθηματική μάθηση [16]. Οι συναισθηματικές αναμνήσεις πιστεύεται ότι αποθηκεύονται σε συνάψεις σε όλο τον εγκέφαλο. Οι αναμνήσεις φόβου, για παράδειγμα, θεωρείται ότι αποθηκεύονται στις νευρωνικές συνδέσεις από τους πλευρικούς πυρήνες στον κεντρικό πυρήνα των αμυγδαλών. Φυσικά, αυτές οι συνδέσεις δεν είναι ο μοναδικός τόπος των αναμνήσεων φόβου, δεδομένου ότι οι πυρήνες της αμυγδαλής λαμβάνουν και στέλνουν πληροφορίες σε άλλες περιοχές του εγκεφάλου που είναι σημαντικές για τη μνήμη, όπως ο ιππόκαμπος [17]. Το 2006, ερευνητές παρατήρησαν έντονη δραστηριότητα στην αμυγδαλή όταν σε ασθενείς εμφανίζονταν απειλητικά πρόσωπα ή έρχονταν αντιμέτωποι με τρομακτικές καταστάσεις. Οι ασθενείς με σοβαρή κοινωνική φοβία έδειξαν συσχέτιση με αυξημένη ανταπόκριση στην αμυγδαλή [18]. Ομοίως, οι ασθενείς με κατάθλιψη εμφάνισαν υπερβολική δραστηριότητα στην αριστερή αμυγδαλή κατά την ερμηνεία των συναισθημάτων για όλα τα πρόσωπα, και ειδικά για τα φοβισμένα πρόσωπα. Αυτή η δραστηριότητα έφτασε σε κανονικούς ρυθμούς όταν χορηγήθηκε στους ασθενείς αντικαταθλιπτικό φάρμακο [19].

Τέλος, μπορεί επίσης να υπάρχει σχέση μεταξύ της αμυγδαλής και του άγχους. Συγκεκριμένα, υπάρχει υψηλότερος επιπολασμός των γυναικών που επηρεάζονται από διαταραχές άγχους. Σε ένα πείραμα, κουτάβια απομακρύνθηκαν από τη μητέρα τους αλλά αφέθηκαν να ακούσουν το κάλεσμά της. Σε απάντηση, τα αρσενικά παρήγαγαν αυξημένους υποδοχείς σεροτονίνης στην αμυγδαλή, αλλά τα θηλυκά όχι. Αυτό οδήγησε τα αρσενικά να επηρεαστούν λιγότερο από την αγχωτική κατάσταση. Η περιοχή της αμυγδαλής ενεργοποιείται όταν ένα άτομο εκφράζει συναισθήματα φόβου ή επιθετικότητας. Αυτό συμβαίνει επειδή η αμυγδαλή είναι η κύρια δομή του εγκεφάλου που είναι υπεύθυνη για την αντίδραση «μάχη ή φυγή» (fight or flight response). Άγχος και

[3] Πηγή: https://www.braininjury-explanation.com/consequences/impact-by-brain-area/amygdala Πρόσβαση: 12/03/2020

κρίσεις πανικού μπορεί να συμβούν όταν η αμυγδαλή ανιχνεύσει περιβαλλοντικό στρες που διεγείρει την αντίδραση της μάχης ή φυγής [20].



Εικόνα 3: Θέση αμυγδαλής

Όσο αφορά στη δεύτερη περιοχή του εγκεφάλου που είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη συναισθηματική απόκριση, τον νησιωτικό φλοιό (insular cortex). Ο νησιωτικός φλοιός χωρίζεται σε δύο μέρη: το μεγαλύτερο πρόσθιο τμήμα και το μικρότερο οπίσθιο τμήμα στο οποίο εντοπίστηκαν περισσότερες από δώδεκα περιοχές μελέτης. Έχει εντοπιστεί πως το πρόσθιο τμήμα διαχειρίζεται την αίσθηση της αηδίας που νιώθει ένα άτομο τόσο στις μυρωδιές [21] όσο και στην εικόνα, π.χ. ενός ακρωτηριασμού ή κάποιου είδους μόλυνσης [22] – ακόμα και όταν φαντάζεται μία τέτοια εμπειρία [23].

Όπως φαίνεται, κάθε πιθανό συναίσθημα μπορεί να πηγάζει από πολλά διαφορετικά μέρη του εγκεφάλου. Από μια ανάλυση 106 μελετών PET και fMRI [24], οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου ενεργοποιήθηκαν για φόβο (αμυγδαλή), αηδία [νησιωτικός φλοιός και ωχρή σφαίρα (globus pallidus)] και θυμό [κογχομετωπιαίος φλοιός (orbitofrontal cortex)] και ανέφεραν ενεργοποιήσεις στον φλοιό του προσαγωγίου (cingulate cortex) για το φόβο και, εν μέρει, για τη χαρά. Ο κογχομετωπιαίος φλοιός μία περιοχή του προμετωπιαίου φλοιού στους μετωπιαίους λοβούς του εγκεφάλου που εμπλέκεται στη γνωσιακή διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ο φλοιός του προσαγωγίου αποτελεί τμήμα του μεταιχμιακού συστήματος.

Τελειώνοντας με το υποκεφάλαιο ανάλυσης του εγκεφάλου, θα αναφερθεί ο ρόλος της περιυδραγωγού φαιάς ουσίας. Σε ένα πείραμα που έγινε για να εκτιμηθεί ο ρόλος της PAG στον άνθρωπο, σε μία συνεδρία fMRI, έγινε παρεμβολή δύο καταστάσεων που είναι γνωστό ότι προκαλούν έντονες συναισθηματικές αντιδράσεις – ο σωματικός πόνος και προβολή αρνητικών εικόνων. Η δραστηριότητα του PAG αυξήθηκε και στις δύο καταστάσεις. Στη συνέχεια εξετάστηκαν οκτώ ανεξάρτητα σύνολα δεδομένων (datasets), τα μισά με διέγερση πόνου και τα υπόλοιπα με προβολή αρνητικών εικόνων. Συνοπτικά, αυτά τα datasets περιελάμβαναν 198 συμμετέχοντες. Βρέθηκε αυξημένη δραστηριότητα στην PAG σε όλες τις μελέτες. Συνολικά, αυτά τα

ευρήματα δείχνουν ότι το PAG είναι ένα βασικό συστατικό των ανθρώπινων συναισθηματικών αντιδράσεων [25].

Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι κυρίαρχες θεωρίες που υπάρχουν για συναισθήματα και έπειτα θα αναλυθούν τα βασικά συναισθήματα που χρησιμοποιήθηκαν στη διπλωματική και τη χρήση τους στην επιστήμη των υπολογιστών.

2.1.3 Θεωρίες για την ύπαρξη των συναισθημάτων

Στην προ-σύγχρονη ιστορία, σε στοϊκές θεωρίες υπάρχουν αρκετές αναφορές πως τα συναισθήματα θεωρούνταν εμπόδιο στη λογική και ως εκ τούτου εμπόδιο στην αρετή. Από την άλλη, ο Αριστοτέλης πίστευε ότι τα συναισθήματα ήταν ουσιαστικό συστατικό της αρετής. Στην αριστοτελική άποψη, όλα τα συναισθήματα (που ονομάζονται πάθη) αντιστοιχούσαν σε όρεξη ή ικανότητες [26]. Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα, η άποψη του Αριστοτέλη υιοθετήθηκε και αναπτύχθηκε περαιτέρω από τον σχολαστικισμό και ειδικότερα τον Thomas Aquinas. Επίσης η θεωρία των τεσσάρων χυμών του σώματος από τον Ιπποκράτη έχει συνεισφέρει και στον τομέα της ψυχολογίας. Η θεωρία αναφέρει πως το αίμα, η μαύρη χολή, η λευκή χολή και το φλέγμα επηρεάζουν, ανάλογα με την ποικιλία τους, τα ανθρώπινα χαρακτηριστικά και τις συμπεριφορές [27]. Στην κινεζική αρχαιότητα, το υπερβολικό συναίσθημα πιστεύεται ότι προκαλεί βλάβη στο «qi» (τσι – μία ζωτική δύναμη που περιέχεται σε κάθε ζωντανό οργανισμό), το οποίο με τη σειρά του, βλάπτει τα ζωτικά όργανα [28]. Στις αρχές του 11ου αιώνα, ο λόγιος Avicenna θεωρούσε την επίδραση των συναισθημάτων στην υγεία και τις συμπεριφορές, υποδηλώνοντας την ανάγκη της σωστής διαχείρισής τους [29]. Επιπλέον υπάρχει η χριστιανική προοπτική για το συναίσθημα που υποθέτει μια θεϊκή προέλευση για την ανθρωπότητα. Ο Θεός που δημιούργησε τους ανθρώπους, τους έδωσε τη δυνατότητα να έχουν συναισθήματα και να αλληλεπιδρούν συναισθηματικά. Το βιβλικό περιεχόμενο εκφράζει ότι ο Θεός είναι ένα άτομο που αισθάνεται και εκφράζει το συναίσθημα. Αν και μια σωματική άποψη θα τοποθετούσε τον τόπο των συναισθημάτων στο φυσικό σώμα, η χριστιανική θεωρία των συναισθημάτων θα έβλεπε το σώμα περισσότερο ως πλατφόρμα για την αίσθηση και την έκφραση των συναισθημάτων. Επομένως τα ίδια τα συναισθήματα προκύπτουν από το άτομο, ή αυτό που είναι η εικόνα του Θεού στους ανθρώπους.

Τον 19ο αιώνα τα συναισθήματα θεωρήθηκαν προσαρμοστικά και μελετήθηκαν πιο πολύ από εμπειρική ψυχιατρική άποψη. Ο βιολόγος και γεωλόγος Κάρολος Δαρβίνος, γνωστός για τις προσφορές του στην επιστήμη της εξέλιξης των ειδών, αναφέρθηκε στα συναισθήματα μέσω της θεωρίας της εξέλιξης στα μέσα του 19ου αιώνα (1872) με το βιβλίο του, «Η έκφραση των συγκινήσεων στον άνθρωπο και τα ζώα». Παραδόξως, ο Δαρβίνος ισχυρίστηκε ότι τα συναισθήματα δεν εξυπηρετούσαν κάποιο εξελικτικό σκοπό για τον άνθρωπο, ούτε στην επικοινωνία, ούτε στην επιβίωση [30]. Πρωτοπόρησε σε διάφορες μεθόδους για τη μελέτη μη-λεκτικών εκφράσεων, από τις οποίες κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ορισμένες εκφράσεις είχαν διαπολιτισμική καθολικότητα. Τέλος, παρουσίασε επίσης λεπτομερείς εκφράσεις συναισθημάτων που εμφανίζονται στα ζώα.

Άλλος ένας πρωτοπόρος στον τομέα τον 19^{ο} αιώνα ήταν ο ψυχολόγος και φιλόσοφος William James που ήταν ο πρώτος που δίδαξε ψυχολογία στις Ηνωμένες Πολιτείες και θεωρείται ο «πατέρας της Αμερικανικής

ψυχολογίας» [31]. Σε ένα άρθρο του το 1884 [32] ο William James υποστήριξε ότι τα συναισθήματα και οι αισθήσεις ήταν δευτερεύοντα από τα φυσιολογικά φαινόμενα. Στη θεωρία του, ο James πρότεινε ότι η αντίληψη για αυτό που αποκαλούσε «συναρπαστικό γεγονός» οδήγησε άμεσα σε μια φυσιολογική απόκριση, γνωστή ως «συναίσθημα». Για να εξηγήσει διαφορετικούς τύπους συναισθηματικών εμπειριών, πρότεινε ότι τα ερεθίσματα προκαλούν δραστηριότητα στο αυτόνομο νευρικό σύστημα, το οποίο με τη σειρά του παράγει μια συναισθηματική εμπειρία στον εγκέφαλο. Ο Δανός ψυχολόγος Carl Lange πρότεινε επίσης μια παρόμοια θεωρία περίπου την ίδια στιγμή [33], και ως εκ τούτου αυτή η θεωρία έγινε γνωστή ως η θεωρία James-Lange. Όπως έγραψε ο Τζέιμς, «η αντίληψη των σωματικών αλλαγών, όπως συμβαίνουν, είναι το συναίσθημα.» Ο Τζέιμς ισχυρίζεται περαιτέρω ότι «αισθανόμαστε λυπημένοι γιατί κλαίμε, θυμώνουμε επειδή χτυπάμε, φοβόμαστε γιατί τρέμουμε και είτε κλαίμε, χτυπάμε ή τρέμουμε γιατί λυπούμαστε, θυμώνουμε ή φοβόμαστε, όπως ισχύει.» [32]. Ένα παράδειγμα αυτής της θεωρίας στην πράξη θα ήταν το εξής: Ένα ερέθισμα (φίδι) που προκαλεί συναισθήματα ενεργοποιεί ένα πρότυπο φυσιολογικής απόκρισης (αυξημένος καρδιακός ρυθμός, ταχύτερη αναπνοή κ.λπ.), το οποίο ερμηνεύεται ως ένα συγκεκριμένο συναίσθημα (φόβος). Αυτή η θεωρία υποστηρίζεται από πειράματα στα οποία ο χειρισμός της σωματικής κατάστασης προκαλεί μια επιθυμητή συναισθηματική κατάσταση [34]. Το πρόβλημα με τη θεωρία James – Lange είναι το ζήτημα της αιτιότητας (σωματικές καταστάσεις προκαλούν τα συναισθήματα εκ των προτέρων) και όχι των σωματικών επιδράσεων στη συναισθηματική εμπειρία, κάτι το οποίο μπορεί να υποστηριχθεί και εξακολουθεί να είναι αρκετά διαδεδομένο γεγονός σήμερα.

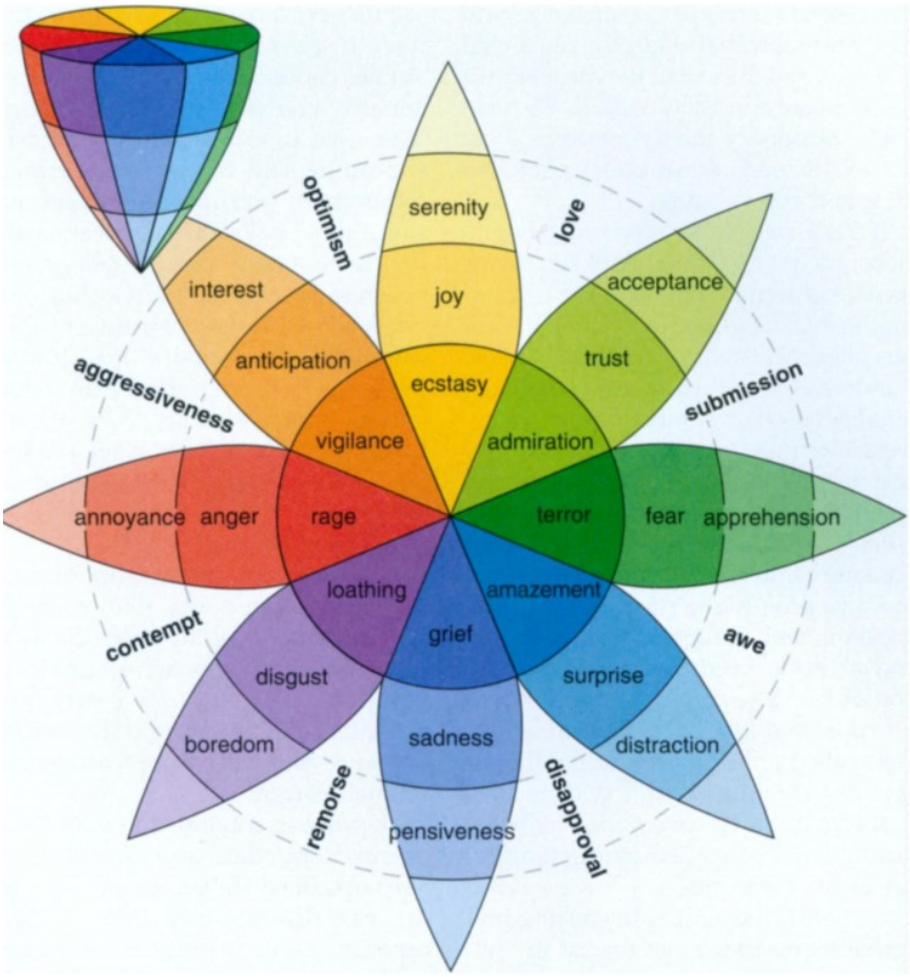
Ο φυσιολόγος Walter Bradford Cannon (πρωτομίλησε για την απόκριση «μάχη ή φυγή») ανέφερε ότι οι φυσιολογικές αποκρίσεις έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στα συναισθήματα, αλλά δεν πίστευε ότι οι φυσιολογικές αποκρίσεις από μόνες τους θα μπορούσαν να εξηγήσουν υποκειμενικές συναισθηματικές εμπειρίες. Υποστήριξε ότι οι αποκρίσεις αυτές ήταν πολύ αργές και συχνά ανεπαίσθητες και αυτό δεν μπορούσε να εξηγήσει τη σχετικά γρήγορη και έντονη υποκειμενική συνειδητοποίηση του συναισθήματος [16]. Πίστευε επίσης ότι η ποικιλία και η χρονική πορεία των συναισθηματικών εμπειριών δεν μπορούσαν να προέλθουν από φυσιολογικές αντιδράσεις, που αντανακλούσαν αρκετά αδιαφοροποίητες αντιδράσεις «μάχης ή φυγής» [35]. Ένα παράδειγμα αυτής της θεωρίας στην πράξη είναι το εξής: Ένα γεγονός που προκαλεί συναίσθημα (φίδι) ενεργοποιεί ταυτόχρονα μια φυσιολογική απόκριση και μια συνειδητή εμπειρία ενός συναισθήματος (σε αντίθεση με τη θεωρία James-Lange που υποστήριζε στο ίδιο παράδειγμα ότι το φίδι ενεργοποιεί πρώτα μια φυσιολογική αντίδραση και αυτό με τη σειρά του ερμηνεύεται ως κάποιο συναίσθημα). Αυτή ονομάστηκε θεωρία Cannon-Bard.

Ο Phillip Bard συνέβαλε στη θεωρία με το έργο του στα ζώα. Ο Bard διαπίστωσε ότι όλες οι αισθητηριακές, κινητικές και φυσιολογικές πληροφορίες έπρεπε να περάσουν από το θάλαμο του εγκεφάλου, προτού υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία. Ως εκ τούτου, ο Cannon υποστήριξε ότι δεν ήταν ανατομικά δυνατό για τα αισθητήρια γεγονότα να προκαλέσουν μια φυσιολογική απόκριση πριν από την ενεργοποίηση συνειδητής επίγνωσης και ότι τα συναισθηματικά ερεθίσματα έπρεπε να προκαλέσουν ταυτόχρονα φυσιολογικές και βιωματικές πτυχές του συναισθήματος [35].

Ο αμερικάνος ψυχολόγος Robert Plutchik πρότεινε μια προσέγγιση ταξινόμησης για γενικές συναισθηματικές αποκρίσεις. Θεώρησε ότι υπάρχουν οκτώ βασικά συναισθήματα - θυμός, φόβος, θλίψη, αηδία,

έκπληξη, αναμονή, εμπιστοσύνη και χαρά. Ο Plutchik υποστηρίζει την υπεροχή αυτών των συναισθημάτων δείχνοντας το καθένα να είναι η αιτία συμπεριφοράς με υψηλή αξία επιβίωσης, όπως ο τρόπος που ο φόβος εμπνέει την απόκριση «μάχη ή φυγή».

- Η έννοια του συναισθήματος εφαρμόζεται σε όλα τα εξελικτικά επίπεδα και ισχύει για όλα τα ζώα, συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων.
- Τα συναισθήματα έχουν μια εξελικτική ιστορία και έχουν αναπτύξει διάφορες μορφές έκφρασης σε διαφορετικά είδη.
- Τα συναισθήματα διαδραμάτισαν έναν προσαρμοστικό ρόλο βοηθώντας τους οργανισμούς να αντιμετωπίσουν βασικά ζητήματα επιβίωσης που θέτει το περιβάλλον.
- Παρά τις διαφορετικές μορφές έκφρασης συναισθημάτων σε διαφορετικά είδη, υπάρχουν ορισμένα κοινά στοιχεία, ή πρότυπα, που μπορούν να αναγνωριστούν.
- Υπάρχει ένας μικρός αριθμός βασικών, πρωτογενών ή πρωτότυπων συναισθημάτων.
- Όλα τα άλλα συναισθήματα είναι μικτές ή παράγωγες καταστάσεις. Δηλαδή, εμφανίζονται ως συνδυασμοί, μίγματα ή ενώσεις των πρωταρχικών συναισθημάτων.
- Τα πρωτογενή συναισθήματα είναι υποθετικές κατασκευές ή εξιδανικευμένες καταστάσεις των οποίων οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά μπορούν να συναχθούν μόνο από διάφορα είδη στοιχείων.
- Τα πρωτογενή συναισθήματα μπορούν να εννοηθούν ως ζεύγη πολικών αντιθέτων.
- Όλα τα συναισθήματα ποικίλλουν στον βαθμό ομοιότητας μεταξύ τους.
- Κάθε συναίσθημα μπορεί να υπάρχει σε ποικίλους βαθμούς έντασης ή επίπεδα διέγερσης [36].



Εικόνα 4: Ο τροχός των συναισθημάτων του ψυχολόγου Robert Plutchik (μαζί με το αρχικό τρισδιάστατο σχέδιο)

Ο Plutchik δημιούργησε επίσης έναν τροχό συναισθημάτων για να απεικονίσει διαφορετικά συναισθήματα. Πρότεινε για πρώτη φορά το μοντέλο σε σχήμα κώνου (3D) ή το μοντέλο τροχού (2D) (Εικόνα 4[4]) το 1980 για να περιγράψει τον τρόπο με τον οποίο τα συναισθήματα σχετίζονται. Πρότεινε 8 κύρια διπολικά συναισθήματα: χαρά έναντι θλίψης, θυμός εναντίον φόβου, εμπιστοσύνη εναντίον αηδίας και έκπληξη έναντι προσδοκίας. Επιπλέον, το κυκλικό μοντέλο του κάνει συνδέσεις μεταξύ της ιδέας ενός κύκλου συναισθημάτων και ενός χρωματικού τροχού. Όπως τα χρώματα, τα πρωτογενή συναισθήματα μπορούν να εκφραστούν σε διαφορετικές εντάσεις και μπορούν να αναμιχθούν μεταξύ τους για να σχηματίσουν διαφορετικά συναισθήματα.

Τέλος, ο ψυχολόγος Paul Ekman είναι πρωτοπόρος στη μελέτη των συναισθημάτων και της σχέσης τους με τις εκφράσεις του προσώπου. Έχει δημιουργήσει έναν «άτλαντα συναισθημάτων» με περισσότερες από δέκα χιλιάδες εκφράσεις του προσώπου και έχει διεξάγει έρευνα σχετικά με τους συγκεκριμένους βιολογικούς συσχετισμούς συγκεκριμένων συναισθημάτων, προσπαθώντας να αποδείξει την οικουμενικότητα και τη

[4] Πηγή: Plutchik, Robert. “The Nature of Emotions: Human Emotions Have Deep Evolutionary Roots, a Fact That

διακριτικότητα των συναισθημάτων με Δαρβινική προσέγγιση [37]. Ο Ekman επικεντρώθηκε αρχικά στην ανάπτυξη τεχνικών για τη μέτρηση της μη λεκτικής επικοινωνίας. Διαπίστωσε ότι οι μυϊκές κινήσεις του προσώπου που δημιούργησαν εκφράσεις θα μπορούσαν να αναγνωριστούν αξιόπιστα μέσω εμπειρικής έρευνας. Διαπίστωσε επίσης ότι τα ανθρώπινα όντα είναι σε θέση να κάνουν πάνω από 10.000 εκφράσεις προσώπου ενώ μόνο 3.000 σχετίζονται με το συναίσθημα. Μέσα από μια σειρά μελετών, ο Ekman βρήκε μια μεγάλη συμφωνία μεταξύ των μελών διαφορετικών πολιτισμών της Δυτικής και της Ανατολικής παιδείας σχετικά με την επιλογή συναισθηματικών ετικετών που ταιριάζουν στις εκφράσεις του προσώπου. Οι εκφράσεις που βρήκε ότι ήταν καθολικές περιλάμβαναν εκείνες που υποδηλώνουν οργή, αηδία, φόβο, χαρά, μοναξιά και σοκ. Τα ευρήματα για την περιφρόνηση ήταν λιγότερο σαφή, αν και υπάρχουν τουλάχιστον κάποιες προκαταρκτικές ενδείξεις ότι αυτό το συναίσθημα και η έκφρασή του αναγνωρίζονται παγκοσμίως. Σε συνεργασία με τον Wallace V. Friesen, ο Ekman απέδειξε ότι τα ευρήματα επεκτάθηκαν για να προκαταλάβουν τους φυλές Fore στην Παπούα Νέα Γουινέα, των οποίων τα μέλη δεν μπορούσαν να μάθουν το νόημα των εκφράσεων από την έκθεση σε απεικονίσεις συναισθημάτων από τα μέσα ενημέρωσης [38]. Οι Ekman και Friesen έδειξαν τότε ότι ορισμένα συναισθήματα εκτέθηκαν με πολύ συγκεκριμένους κανόνες προβολής, συγκεκριμένες συνταγές για τον πολιτισμό για το ποιος μπορεί να δείξει ποια συναισθήματα σε ποιον και πότε. Αυτοί οι κανόνες εμφάνισης θα μπορούσαν να εξηγήσουν πώς οι πολιτισμικές διαφορές μπορούν να αποκρύψουν το καθολικό αποτέλεσμα της έκφρασης. Στο επόμενο υποκεφάλαιο θα αναλυθεί η δουλειά του Ekman για τα βασικά συναισθήματα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη διπλωματική.

2.1.4 Ανάλυση & επεξήγηση επιλεγμένων συναισθημάτων

Ο Paul Ekman έχει αναφέρει ότι τα συναισθήματα διευκολύνουν τις προσαρμοστικές απαντήσεις στις περιβαλλοντικές προκλήσεις. Τα συναισθήματα έχουν περιγραφεί ως αποτέλεσμα της εξέλιξης, διότι παρείχαν καλές λύσεις σε αρχαία και επαναλαμβανόμενα προβλήματα που αντιμετώπισαν οι πρόγονοί μας [39]. Τα συναισθήματα μπορούν να λειτουργήσουν ως ένας τρόπος για να επικοινωνήσουμε τι είναι σημαντικό για εμάς, όπως αξίες και ηθική. Ωστόσο, ορισμένα συναισθήματα, όπως κάποιες μορφές άγχους, μερικές φορές θεωρούνται μέρος μιας ψυχικής ασθένειας και συνεπώς πιθανώς αρνητικής αξίας.

Για πολλά χρόνια, ο Ekman υποστηρίζει την άποψη ότι τα συναισθήματα είναι διακριτά, μετρήσιμα και ξεχωριστά από άποψη φυσιολογίας. Επιπλέον, η πιο σημαντική δουλειά του Ekman περιστράφηκε γύρω από το εύρημα ότι ορισμένα συναισθήματα φάνηκαν να αναγνωρίζονται παγκοσμίως, ακόμη και σε πολιτισμούς που δεν είχαν κάποια γραμματική και δεν μπορούσαν να μάθουν συσχετισμούς για εκφράσεις του προσώπου μέσω των μέσων. Ωστόσο, ορισμένες διαπολιτισμικές μελέτες δείχνουν ότι η κατηγοριοποίηση του συναισθήματος και η ταξινόμηση των βασικών συναισθημάτων όπως ο θυμός και η θλίψη δεν είναι καθολικά και ότι τα όρια και οι τομείς αυτών των εννοιών κατηγοριοποιούνται διαφορετικά από όλους τους πολιτισμούς [40]. Οι κοινωνικοί κανόνες για τα συναισθήματα, όπως η συχνότητα ή οι περιστάσεις στις οποίες εκφράζονται, ποικίλλουν επίσης δραστικά. Για παράδειγμα, η επίδειξη του θυμού ενθαρρύνεται από τους ανθρώπους Kaluli (αυτόχθονες της Παπούα Νέα Γουινέα), αλλά καταδικάζεται από τους ανθρώπους Utku Inuit (Εσκιμώοι του Καναδά) [41].

Μια άλλη μελέτη διαπίστωσε ότι όταν οι συμμετέχοντες παραμόρφωσαν τους μύες του προσώπου τους σε χαρακτηριστικές εκφράσεις του προσώπου (για παράδειγμα, αηδία), ανέφεραν υποκειμενικές και φυσιολογικές εμπειρίες που ταιριάζουν με τις ξεχωριστές εκφράσεις του προσώπου. Η έρευνα έκφρασης του προσώπου του Ekman εξέτασε έξι βασικά συναισθήματα, από τα οποία, πέντε είναι αυτά που χρησιμοποιήθηκαν και για το πείραμα αυτής της διπλωματικής: **θυμός (anger), αηδία (disgust), φόβος (fear), χαρά (happiness), θλίψη (sadness)** και **έκπληξη (surprise)** [42]. Στη δεκαετία του 1990, ο Ekman πρότεινε μια διευρυμένη λίστα βασικών συναισθημάτων, συμπεριλαμβανομένης μιας σειράς θετικών και αρνητικών συναισθημάτων που δεν κωδικοποιούνται όλοι στους μύες του προσώπου. Τα πρόσφατα συμπεριλαμβανόμενα συναισθήματα είναι: Ψυχαγωγία, Περιφρόνηση, Αμηχανία, Ενθουσιασμός, Ενοχή, Υπερηφάνεια στην επίτευξη, Ανακούφιση, Ικανοποίηση, Αισθητηριακή απόλαυση και Ντροπή [43]. Επομένως θα αναλυθεί και το συναίσθημα του **ενθουσιασμού (excitement)** που ανήκει στη διευρυμένη λίστα των βασικών συναισθημάτων. Ακολουθεί μία ανάλυση αυτών των συναισθημάτων:

2.1.4.1 Θυμός

Θυμός, γνωστός και ως οργή, είναι μια έντονη συναισθηματική κατάσταση που περιλαμβάνει μια ισχυρή, άβολη και εχθρική αντίδραση σε μια πρόκληση, τραυματισμό ή απειλή [44]. Ο αγγλικός όρος προέρχεται αρχικά από τον όρο *angr* της παλιάς Νορβηγικής γλώσσας. Ένα άτομο που βιώνει θυμό θα έχει συχνά σωματικές επιπτώσεις, όπως αυξημένο καρδιακό ρυθμό, αυξημένη αρτηριακή πίεση και αυξημένα επίπεδα αδρεναλίνης. Μερικοί βλέπουν τον θυμό ως ένα συναίσθημα που πυροδοτεί μέρος του μηχανισμού «μάχη ή φυγή». Ο θυμός γίνεται το κυρίαρχο συναίσθημα όταν ένα άτομο κάνει τη συνειδητή επιλογή να αναλάβει δράση για να σταματήσει την απειλητική συμπεριφορά μιας άλλης εξωτερικής δύναμης. Ο θυμός μπορεί να έχει πολλές σωματικές και διανοητικές συνέπειες. Η εξωτερική έκφραση θυμού μπορεί να φανεί στις εκφράσεις του προσώπου, στη γλώσσα του σώματος, μέχρι και σε δημόσιες επιθέσεις. Οι εκφράσεις του προσώπου μπορούν να κυμαίνονται από την εσωτερική γωνία των φρυδιών έως το πλήρες συνοφρύωμα.

Οι ψυχολόγοι επισημαίνουν ότι ένα θυμωμένο άτομο μπορεί εύκολα να κάνει λάθος επειδή ο θυμός προκαλεί απώλεια στην ικανότητα αυτοελέγχου και την αντικειμενική παρατηρησιμότητα [45]. Οι κίνδυνοι φαίνονται μικρότεροι, οι τολμηρές ενέργειες φαίνονται λιγότερο επικίνδυνες και φαίνεται να έχουν περισσότερες πιθανότητες να επιτύχουν και τα ατυχή γεγονότα φαίνονται λιγότερο πιθανά. Οι θυμωμένοι άνθρωποι είναι πιο πιθανό να λάβουν επικίνδυνες αποφάσεις και να κάνουν λιγότερο ρεαλιστικές εκτιμήσεις κινδύνου. Σε μια μελέτη, τα εξεταζόμενα άτομα που είχαν την τάση να αισθάνονται θυμωμένοι αισθάνονται λιγότερο πιθανό να υποστούν καρδιακές παθήσεις και πιθανότερο να λάβουν αύξηση μισθών, σε σύγκριση με τους φοβισμένους ανθρώπους [46]. Οι σύγχρονοι ψυχολόγοι βλέπουν τον θυμό ως ένα φυσιολογικό, φυσικό και ώριμο συναίσθημα που βιώνουν σχεδόν όλοι οι άνθρωποι κατά καιρούς, και ως κάτι που έχει λειτουργική αξία για την επιβίωση. Ο ανεξέλεγκτος θυμός μπορεί, ωστόσο, να επηρεάσει αρνητικά την προσωπική ή κοινωνική ευημερία [45] και να επηρεάσει αρνητικά τους γύρω μας. Ενώ πολλοί φιλόσοφοι και συγγραφείς έχουν προειδοποιήσει για τις αυθόρμητες και ανεξέλεγκτες ταραχές, υπήρξε διαφωνία σχετικά με την αξία του θυμού. Το θέμα της αντιμετώπισης του θυμού έχει γραφτεί από την εποχή των πρώτων φιλοσόφων, αλλά οι σύγχρονοι

ψυχολόγοι, σε αντίθεση με τους παλαιότερους συγγραφείς, έχουν επίσης επισημάνει τις πιθανές επιβλαβείς συνέπειες της καταστολής του θυμού [47].

2.1.4.2 Αηδία

Αηδία είναι μια συναισθηματική απόκριση απόρριψης σε κάτι, πιθανώς, μεταδοτικό [1] ή κάτι που θεωρείται προσβλητικό ή δυσάρεστο. Η αηδία βιώνεται πρωτίστως σε σχέση με την αίσθηση της γεύσης και δευτερευόντως σε οτιδήποτε προκαλεί παρόμοιο συναίσθημα από την αίσθηση της όσφρησης, της αφής ή της όρασης. Σε αντίθεση με τα συναισθήματα του φόβου, του θυμού και της θλίψης, η αηδία σχετίζεται με μείωση των καρδιακών παλμών [48]. Πιστεύεται ότι το συναίσθημα της αηδίας έχει εξελιχθεί ως απάντηση σε προσβλητικές τροφές που μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στον οργανισμό. Ένα κοινό παράδειγμα αυτού βρίσκεται στους ανθρώπους που παρουσιάζουν αηδιαστικές αντιδράσεις στο μουχλιασμένο γάλα ή στο μολυσμένο κρέας. Η αηδία φαίνεται να προκαλείται από αντικείμενα ή άτομα που έχουν χαρακτηριστικά που υποδηλώνουν ασθένεια [49] και το ανοσοποιητικό σύστημα προσπαθεί να τα αποφύγει πριν αυτά μπουν στον οργανισμό μας.

Ο Joshua Tybur, καθηγητής ψυχολογίας στο Πανεπιστήμιο του Amsterdam, και οι συνεργάτες του, περιγράφουν τρεις τομείς αηδίας: την παθογόνο αηδία, η οποία «παρακινεί την αποφυγή μολυσματικών μικροοργανισμών», τη σεξουαλική αηδία, «η οποία παρακινεί την αποφυγή επικίνδυνων σεξουαλικών συντρόφων και συμπεριφορών» και την ηθική αηδία, η οποία παρακινεί τους ανθρώπους να αποφύγουν την παραβίαση των κοινωνικών κανόνων. Η αηδία του παθογόνου προκύπτει από την επιθυμία για επιβίωση και, τελικά, από φόβο θανάτου. Το συγκρίνει με ένα «συμπεριφοριστικό ανοσοποιητικό σύστημα» που είναι η «πρώτη γραμμή άμυνας» ενάντια σε δυνητικά θανατηφόρους παράγοντες όπως νεκρά σώματα, σάπια τρόφιμα και εμετό. Η σεξουαλική αηδία προκύπτει από την επιθυμία να αποφευχθούν οι «βιολογικά δαπανηροί σύντροφοι» και η εξέταση των συνεπειών ορισμένων αναπαραγωγικών επιλογών. Οι δύο κύριες εκτιμήσεις είναι η εγγενής ποιότητα (π.χ. η συμμετρία του σώματος, η ελκυστικότητα του προσώπου κ.λπ.) και η γενετική συμβατότητα (π.χ. αποφυγή της αναπαραγωγής όπως το ταμπού αιμομιξίας).

Η ηθική αηδία «αφορά κοινωνικές παραβάσεις» και μπορεί να περιλαμβάνει συμπεριφορές όπως ψέματα, κλοπή, δολοφονία και βιασμό. Σε αντίθεση με τους άλλους δύο τομείς, η ηθική αηδία «παρακινεί την αποφυγή κοινωνικών σχέσεων με άτομα που παραβιάζουν νόμους» επειδή αυτές οι σχέσεις απειλούν την ομαδική συνοχή [50]. Τέλος, στην αηδία αναφέρεται και η Yoder et al. όπου τονίζει ότι η σωματική αηδία και η ηθική αηδία ήταν ξεχωριστά συναισθήματα, τα οποία το καθένα σχετίζεται με διαφορετικές εκφράσεις του προσώπου [51].

2.1.4.3 Φόβος

Ο φόβος είναι η συναισθηματική απόκριση απέναντι σε έναν αντιληπτό κίνδυνο ή απειλή, η οποία προκαλεί αντιδράσεις, όπως η φυγή, η απόκρυψη ή το πάγωμα μπροστά σε αντιληπτά τραυματικά γεγονότα. Ο φόβος για τους ανθρώπους μπορεί να προκύψει ως απόκριση σε ένα ορισμένο ερέθισμα που συμβαίνει στο παρόν, ή σε αναμονή ή προσδοκία για μια μελλοντική απειλή που θεωρείται ως κίνδυνο για τον εαυτό του. Η απόκριση του φόβου προκύπτει από την αντίληψη του κινδύνου που οδηγεί σε αντιπαράθεση ή απόδραση από μία απειλή

(απόκριση «μάχη ή φυγή»), η οποία σε ακραίες περιπτώσεις φόβου (τρόμος ή φρίκη) μπορεί να είναι μια απάντηση στο πάγωμα ή την παράλυση.

Στους ανθρώπους και τα ζώα, ο φόβος διαμορφώνεται από τη διαδικασία της γνώσης και της μάθησης. Έτσι ο φόβος κρίνεται λογικός ή κατάλληλος και παράλογος ή ακατάλληλος. Ένας παράλογος φόβος ονομάζεται φοβία. Ο φόβος σχετίζεται στενά με το άγχος, το οποίο προκύπτει ως αποτέλεσμα απειλών που θεωρείται ότι είναι ανεξέλεγκτες ή αναπόφευκτες. Ο φόβος εξυπηρετεί την επιβίωση του είδους δημιουργώντας κατάλληλες συμπεριφορές, έτσι έχει διατηρηθεί καθ 'όλη τη διάρκεια της εξέλιξης [52].

Μια έμφυτη αντίδραση για την αντιμετώπιση του κινδύνου, λειτουργεί επιταχύνοντας τον ρυθμό αναπνοής, τους καρδιακούς παλμούς, τη συστολή των περιφερικών αιμοφόρων αγγείων που οδηγούν σε κοκκίνισμα, αυξάνοντας την ένταση των μυών συμπεριλαμβανομένων των μυών που συνδέονται σε κάθε θύλακας τρίχας με αποτέλεσμα να συστέλλονται και να προκαλούν το λεγόμενο «ανατρίχιασμα» (που κάνει ένα κρύο άτομο πιο ζεστό ή ένα εκφοβισμένο ζώο να φαίνεται πιο εντυπωσιακό). Επίσης προκαλούνται εφίδρωση, αυξημένη γλυκόζη στο αίμα (υπεργλυκαιμία), αύξηση των λευκών αιμοσφαιρίων που ονομάζονται ουδετερόφιλα λευκοκύτταρα, εγρήγορση που οδηγεί σε διαταραχές του ύπνου και «πεταλούδες στο στομάχι» (δυσπεψία). Αυτός ο πρωτόγονος μηχανισμός μπορεί να βοηθήσει έναν οργανισμό να επιβιώσει είτε τρέχοντας είτε καταπολεμώντας τον κίνδυνο [53]. Έχει διαπιστωθεί ότι ορισμένοι φόβοι (π.χ. ζώα, ύψη) είναι πολύ πιο συνηθισμένοι από άλλους (π.χ. λουλούδια, σύννεφα). Αυτοί οι φόβοι είναι επίσης πιο εύκολο να προκληθούν στο εργαστήριο. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως «ετοιμότητα». Επειδή οι πρώτοι άνθρωποι που φοβόντουσαν πιο γρήγορα σε επικίνδυνες καταστάσεις είχαν περισσότερες πιθανότητες να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν, η ετοιμότητα θεωρείται ότι είναι ένα γενετικό αποτέλεσμα της φυσικής επιλογής [54].

Τα άτομα που έχουν βλάβη στις αμυγδαλές τους, η οποία μπορεί να προκληθεί από μια σπάνια γενετική ασθένεια γνωστή ως ασθένεια Urbach-Wiethe, δεν μπορούν να βιώσουν φόβο. Η ασθένεια καταστρέφει και τις δύο αμυγδαλές στην παιδική ηλικία. Από την ανακάλυψη της νόσου, έχουν καταγραφεί μόνο 400 κρούσματα. Ωστόσο, η έλλειψη φόβου μπορεί να επιτρέψει σε κάποιον να μπει σε μια επικίνδυνη κατάσταση που διαφορετικά θα είχε αποφύγει. Για παράδειγμα, όσοι δε φοβούνται θα πλησίαζαν ένα γνωστό δηλητηριώδες φίδι ενώ όσοι είχαν φόβο άθικτο, θα προσπαθούσαν συνήθως να το αποφύγουν [55].

Εικόνα 5: «Τρόμος και αγωνία, αντίγραφο από φωτογραφία του Δρ. Duchenne» από το βιβλίο του Κ. Δαρβίνου «Η έκφραση των συγκινήσεων στον άνθρωπο και τα ζώα»

2.1.4.4 Ευτυχία (χαρά)

Ο όρος ευτυχία χρησιμοποιείται στο πλαίσιο των ψυχικών ή συναισθηματικών καταστάσεων, συμπεριλαμβανομένων θετικών ή ευχάριστων συναισθημάτων που κυμαίνονται από ικανοποίηση έως έντονη χαρά. Είναι σύνθετη λέξη από τις **ευ** και **τύχη**, δηλαδή σημαίνει καλή τύχη, η οποία οδηγεί στην ευδαιμονία και στη μακαριότητα Το συναίσθημα της ευτυχίας είναι θέμα συζήτησης για τη χρήση και το νόημα, και για πιθανές διαφορές στην κατανόηση από πολιτισμό σε πολιτισμό. Έχει διφορούμενη έννοια: είτε χρησιμοποιείται για μία τρέχουσα εμπειρία μίας αίσθησης χαράς ή ευχαρίστησης είτε για να χαρακτηρίσει την καλή ποιότητα ζωής ενός ανθρώπου. Ο ψυχολόγος Daniel Kahneman αν και έχει ορίσει την ευτυχία ως «αυτό που βιώνω εδώ και τώρα» και αυτή είναι η επικρατέστερη χρήση της λέξης στα λεξικά, αναφέρει σε συνέντευξή του πως η μακροχρόνια ευτυχία μέσω μίας καλής και ικανοποιητικής ζωής είναι πιο σημαντική. Φυσικά, μπορεί να εννούνται και οι δύο έννοιες ταυτόχρονα. Η καθηγήτρια ψυχολογίας Sonja Lyubomirsky στο βιβλίο της περιέγραψε την ευτυχία ως «την εμπειρία της χαράς, της ικανοποίησης ή της ευεξίας, σε συνδυασμό με την αίσθηση ότι η ζωή κάποιου είναι καλή, σημαντική και άξια» [56].

Επιπλέον, η ευτυχία είναι μεγάλο θέμα συζήτησης και για τη φιλοσοφία. Ο αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος Επίκουρος στην «Επιστολή προς Μενοικέα,122» αναφέρει «μελετᾶν οὖν χρὴ τὰ ποιοῦντα τὴν εὐδαιμονίαν, εἴπερ παρούσης μὲν αὐτῆς πάντα ἔχομεν, ἀπούσης δὲ πάντα πράττομεν εἰς τὸ ταύτην ἔχειν.» που στα Νέα Ελληνικά μεταφράζεται ως «πρέπει να στοχαζόμαστε τα πράγματα που φέρνουν την ευτυχία, επειδή όταν την κατέχουμε, έχουμε τα πάντα, ενώ όταν αυτή λείπει, κάνουμε τα πάντα για να την αποκτήσουμε.»

Οι δυτικοί ηθικοί έχουν προβάλει επιχειρήματα για το πώς πρέπει να συμπεριφέρονται οι άνθρωποι, είτε μεμονωμένα είτε συλλογικά, με βάση την προκύπτουσα ευτυχία μιας τέτοιας συμπεριφοράς. Χρήστες, όπως οι ωφελιστές φιλόσοφοι John Stuart Mill και ο Jeremy Bentham, υποστήριξαν την «αρχή της μεγαλύτερης

ευτυχίας» ως οδηγό για ηθική συμπεριφορά [57]. Ο ωφελιμισμός είναι κανονιστική ηθική θεωρία σύμφωνα με την οποία, σκοπός των πράξεών μας πρέπει να είναι η μεγαλύτερη κατά το δυνατόν ωφέλεια για τον μεγαλύτερο κατά το δυνατόν αριθμό ατόμων. Και λέγοντας «ωφέλεια» οι περισσότεροι από αυτούς τους φιλοσόφους έχουν στο μυαλό τους την ευτυχία ή έστω την ικανοποίηση αυτών που θα καρπωθούν τα αποτελέσματα των πράξεών μας. Στην περίπτωση του πειράματός μας, αναφερόμαστε στο είδος της ευτυχίας που προκαλεί ένα οπτικό ερέθισμα στον χρήστη. Επομένως αναφερόμαστε στην πρόσκαιρη ευτυχία, τη βραχυπρόθεσμη χαρά.

2.1.4.5 Θλίψη

Η θλίψη είναι ένας συναισθηματικός πόνος που χαρακτηρίζεται από ένα ή περισσότερα συναισθήματα μειονεξίας, απώλειας, απελπισίας, αδυναμίας και απογοήτευσης. Ένα άτομο που βιώνει θλίψη μπορεί να γίνει σιωπηλό ή ληθαργικό και να αποσυρθεί από τους άλλους. Ένα παράδειγμα σοβαρής θλίψης είναι η κατάθλιψη, μια διάθεση που μπορεί να προκληθεί από μείζονα καταθλιπτική διαταραχή ή επίμονη καταθλιπτική διαταραχή. Το κλάμα, εκτός από έναν φυσικό ερεθισμό του ματιού, μπορεί να είναι ένδειξη θλίψης καθώς υπάρχει νευρωνική σύνδεση μεταξύ του δακρυϊκού αδένα και των περιοχών του ανθρώπινου εγκεφάλου που εμπλέκονται με το συναίσθημα. Οι επιστήμονες διερωτούνται για το κατά πόσον οι άνθρωποι είναι τα μόνα ζώα που εκρέουν δάκρυα ως απάντηση σε συναισθηματικές καταστάσεις [58]. Ο Κάρολος Δαρβίνος έγραψε στο βιβλίο του «Η έκφραση των συγκινήσεων στον άνθρωπο και τα ζώα» ότι ο φύλακας ινδικών ελεφάντων στο ζωολογικό κήπο του Λονδίνου του είπε ότι έχει δει δάκρυα στις μητέρες-ελέφαντες όταν τις απομακρύνουν από τα παιδιά τους.

Έχουν διεξαχθεί πολλαπλές έρευνες σχετικά με τη νευροεπιστήμη της θλίψης. Σύμφωνα με την Αμερικανική Εφημερίδα της Ψυχιατρικής, η θλίψη έχει βρεθεί ότι σχετίζεται με «αύξηση της διμερούς δραστηριότητας κοντά στον οπίσθιο κροταφικό λοβό και την παρεγκεφαλίδα» [59]. Ο καθηγητής ψυχιατρικής Jose V. Pardo οδηγεί ένα ερευνητικό πρόγραμμα στη γνωστική νευροεπιστήμη. Χρησιμοποιώντας τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET), ο Pardo και οι συνάδελφοί του κατάφεραν να προκαλέσουν θλίψη μεταξύ επτά φυσιολογικών ανδρών και γυναικών ζητώντας τους να σκεφτούν για θλιβερά πράγματα. Παρατήρησαν αυξημένη εγκεφαλική δραστηριότητα στο κογχομετωπιαίο φλοιό (orbitofrontal cortex) [60]. Σε μια μελέτη που προκάλεσε θλίψη σε άτομα με την εμφάνιση συναισθηματικών κλιπ ταινιών, το συναίσθημα συσχετίστηκε με σημαντικές αυξήσεις στην περιφερειακή εγκεφαλική δραστηριότητα, ειδικά στον προμετωπιαίο φλοιό, στην περιοχή που ονομάζεται «περιοχή Brodmann 9» και στον θάλαμο (thalamus) [61]. Σε άλλη έρευνα, οι Wang, LaBar και McCarthy (2006) διερεύνησαν την επίδραση της θλίψης στην ενεργοποίηση της αμυγδαλής με χρήση Λειτουργικής Απεικόνισης Μαγνητικού Συντονισμού – ΛΑΜΣ (Functional magnetic resonance imaging – fMRI). Στους συμμετέχοντες παρουσιάστηκαν θλιβερά ή χαρούμενα κλιπ ταινιών (διέγερση διάθεσης) και στη συνέχεια λυπημένες και ουδέτερες εικόνες ως ερεθίσματα. Διαπίστωσαν ότι τα επιπλέον λυπημένα ερεθίσματα κατά τη θλιβερή διάθεση οδηγούν σε ενισχυμένη ενεργοποίηση της αμυγδαλής.

Το μέγεθος της κόρης των ματιών μπορεί να αποτελεί ένδειξη θλίψης. Μια θλιβερή έκφραση του προσώπου με μικρές κόρες κρίνεται ότι είναι πιο έντονα λυπημένη καθώς μειώνεται το μέγεθος της κόρης [62]. Έχουν επίσης παρατηρηθεί διαφορετικές εκφράσεις θυμού, μία με χαμηλή ένταση και μία με υψηλή ένταση, υποδηλώνει ότι υπάρχουν διαφορετικοί τύποι θυμού που σχετίζονται με την απειλή και την απογοήτευση,

αντίστοιχα [63]. Τέλος, όταν κάποιος είναι λυπημένος δείχνει πολλές μη λεκτικές συμπεριφορές. Αυτό μπορεί να σχετίζεται με το σχετικά χαμηλό επίπεδο των προσπάθειας ελέγχου για αυτό το συναίσθημα και την ανάγκη επικοινωνίας αυτής της συναισθηματικής κατάστασης. Παρά το γεγονός ότι κάποιος που είναι λυπημένος δείχνει πολλές μη λεκτικές συμπεριφορές, η λεκτική συμπεριφορά είναι ελάχιστη. Η θλίψη είναι το πιο σιωπηλό συναίσθημα, μαζί με τον φόβο.

Σε μια προηγούμενη μελέτη, οι Shirai και Suzuki εξέτασαν τα χαρακτηριστικά της θλίψης βάσει έξι καταστάσεων μέσω υποκειμενικών αξιολογήσεων. Τα χαρακτηριστικά εκτιμήθηκαν χρησιμοποιώντας εκφραστικές λέξεις για τους ακόλουθους τρεις παράγοντες: «δάκρυα», «πόνος στο στήθος» και «αδυναμία». Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να φανταστούν την κατάσταση σε τέσσερα χρονικά σημεία (κατά την εμφάνιση του συμβάντος, μετά από 1 εβδομάδα, μετά από 1 μήνα και μετά από 6 μήνες), και να αξιολογήσουν τα χαρακτηριστικά σε κάθε χρονικό σημείο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θλίψη που προκαλείται από την απώλεια ενός μέλους της οικογένειας τείνει να εκφράζεται με λέξεις που σχετίζονται με «δάκρυα» και οι βαθμολογίες των τριών παραγόντων παρέμειναν υψηλές με την πάροδο του χρόνου. Αντίθετα, τα χαρακτηριστικά της θλίψης που προκαλούνται από την αποτυχία επίτευξης ενός στόχου μειώθηκαν με την πάροδο του χρόνου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι Shirai και Suzuki διαπίστωσαν ότι η θλίψη έχει τουλάχιστον δύο υποτύπους σε υποκειμενικό επίπεδο. Με βάση αυτά τα ευρήματα, εάν η θλίψη θεωρείται συναίσθημα με υποτύπους, οι φυσιολογικές αποκρίσεις που συνδέονται με αυτούς τους υποτύπους θα μπορούσαν επίσης να διαφέρουν [64].

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τη θλίψη είναι ο πολιτισμός. Σύμφωνα με τον Barr-Zisowitz (2000) η συναισθηματική θλίψη είναι γνωστή στους περισσότερους πολιτισμούς και κοινωνίες. Στις ασιατικές κοινωνίες θλίψη έχει μεγάλη αξία και σχετίζεται με ένα βήμα προς την κατεύθυνση της σωτηρίας. Ένας άλλος παράγοντας σχετικά με τις κοινωνίες που σκέφτονται τη θλίψη έχει να κάνει με το πώς αντιλαμβάνονται τη βοήθεια. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί μία μεμονωμένη κοινωνία και από μία κολεκτιβιστική κοινωνία. Στις κολεκτιβιστικές κοινωνίες οι άνθρωποι θέλουν συχνότερα να βοηθήσουν το θλιβερό άτομο από ότι στις ατομικιστικές κοινωνίες, αλλά τέτοιες κοινωνίες είναι λιγότερο συνειδητές όσο αφορά στη θλίψη επομένως δεν αναμένεται συλλογική απάντηση. Στις ατομικιστικές κοινωνίες οι άνθρωποι συχνά θέλουν τα άτομα να φροντίζουν τον εαυτό τους. Αυτοί συχνά αντιλαμβάνονται κάποιον που παίρνει βοήθεια ως άρρωστο ή διαφορετικό. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την έκφραση του θλίψης σε αυτούς τους πολιτισμούς [65].

2.1.4.6 Έκπληξη

Η έκπληξη είναι μια μικρής διάρκειας ψυχική και φυσιολογική κατάσταση, μια τρομακτική απόκριση που βιώνουν τα ζώα και οι άνθρωποι ως αποτέλεσμα ενός απροσδόκητου συμβάντος. Η έκπληξη μπορεί να έχει οποιοδήποτε σθένος. Δηλαδή, μπορεί να είναι ουδέτερη / μέτρια, ευχάριστη, δυσάρεστη, θετική ή αρνητική. Επίσης μπορεί να συμβεί σε διάφορα επίπεδα έντασης που κυμαίνονται από μεγάλη έκπληξη, η οποία μπορεί να προκαλέσει την απόκριση «μάχη ή φυγή», ή μικρή έκπληξη που προκαλεί μια λιγότερο έντονη απόκριση στα ερεθίσματα. Η έκπληξη συνδέεται στενά με την ιδέα της δράσης σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων. Όταν από τους κανόνες της πραγματικότητας δημιουργούνται γεγονότα της καθημερινής ζωής ξεχωριστά από τις προσδοκίες μας, η έκπληξη είναι το αποτέλεσμα. Η έκπληξη αντιπροσωπεύει τη διαφορά μεταξύ προσδοκιών

και πραγματικότητας, το χάσμα μεταξύ των υποθέσεων και των προσδοκιών μας για τα κοσμικά γεγονότα και τον τρόπο με τον οποίο αυτά τα γεγονότα αποδεικνύονται πραγματικά.

Έκπληξη μπορεί επίσης να συμβεί λόγω παραβίασης των προσδοκιών. Η καθηγήτρια του Πανεπιστημίου της Αριζόνα J. Burgoon αναφέρει πως στην περίπτωση της διαπροσωπικής επικοινωνίας, η Θεωρία Παραβίασης Προσδοκιών (Expecation Violation Theory - EVT) λέει ότι τρεις παράγοντες επηρεάζουν τις προσδοκίες ενός ατόμου: αλληλεπιδραστικές μεταβλητές, περιβαλλοντικές μεταβλητές και μεταβλητές που σχετίζονται με τη φύση της αλληλεπίδρασης ή τις περιβαλλοντικές μεταβλητές.

- Οι αλληλεπιδραστικές μεταβλητές περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά των ατόμων που εμπλέκονται στην επικοινωνία και σε αυτήν την περίπτωση η επικοινωνία οδηγεί σε έκπληξη, όπως: φυλή, φύλο, κοινωνικοοικονομική κατάσταση, ηλικία και εμφάνιση.
- Οι περιβαλλοντικές μεταβλητές που επηρεάζουν την επικοινωνία της έκπληξης περιλαμβάνουν: την «προξημική», τη «χρονημική» και τη φύση του περιβάλλοντος της αλληλεπίδρασης. Προξημική είναι η μελέτη της χρήσης του χώρου από τους ανθρώπους και των επιπτώσεων που έχει η πυκνότητα του πληθυσμού στη συμπεριφορά, την επικοινωνία και την κοινωνική αλληλεπίδραση. Είναι μία από τις πολλές υποκατηγορίες στη μελέτη της μη λεκτικής επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων απτικής (αφής), κινητικής (σωματική κίνηση) και φωνητικής. Χρονημική είναι η μελέτη του ρόλου παίζει ο χρόνος στην επικοινωνία. Είναι μία από τις πολλές υποκατηγορίες που προκύπτουν από τη μελέτη της μη λεκτικής επικοινωνίας. Σύμφωνα με την Εγκυκλοπαίδεια της Ειδικής Αγωγής «Η χρονημική περιλαμβάνει τον χρονικό προσανατολισμό, την κατανόηση και την οργάνωση, την αντίδραση στις χρονικές πιέσεις και την έμφυτη επίγνωση του χρόνου» [66].
- Οι μεταβλητές αλληλεπίδρασης που επηρεάζουν την έκπληξη περιλαμβάνουν: κοινωνικούς κανόνες, πολιτισμικούς κανόνες, φυσιολογικές επιδράσεις, βιολογικές επιρροές και μοναδικά ατομικά πρότυπα συμπεριφοράς. Η έκπληξη μπορεί να συμβεί λόγω παραβίασης ενός, δύο ή συνδυασμού και των τριών παραγόντων. Επιπλέον, η έκπληξη δεν έχει πάντα αρνητικό σθένος. Η EVT προτείνει ότι οι προσδοκίες θα επηρεάσουν το αποτέλεσμα της επικοινωνίας ως επιβεβαίωση αν οι συμπεριφορές βρίσκονται εντός του αναμενόμενου εύρους ή παραβίαση εάν οι συμπεριφορές βρίσκονται εκτός του αναμενόμενου εύρους. Οι θετικές παραβιάσεις θα προκαλούσαν τότε θετική έκπληξη, όπως ένα πάρτι γενεθλίων έκπληξης και οι αρνητικές παραβιάσεις θα προκαλούσαν αρνητική έκπληξη, όπως ένα εισιτήριο παράνομης στάθμευσης. Οι θετικές παραβιάσεις της έκπληξης μπορεί να ενισχύσουν την αξιοπιστία, τη δύναμη, την έλξη και την πειστικότητα, όπου ως αρνητικές παραβιάσεις της έκπληξης μπορεί να αυτά τα χαρακτηριστικά [67].

Η έκπληξη μπορεί να εκφραστεί είτε με λεκτικές είτε με μη λεκτικές αποκρίσεις. Η έκπληξη εκφράζεται στο πρόσωπο με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (βλ. Εικόνα 6[5]): τα φρύδια ανυψώνονται και γίνονται καμπύλα, σχηματίζονται οριζόντιες ρυτίδες στο μέτωπο, τα βλέφαρα ανοίγουν (το άνω βλέφαρο ανυψώνεται και το κάτω

[5] Πηγή: https://wellcomecollection.org/works/stg6p5sv. Πρόσβαση 11/6/2020.

βλέφαρο τραβιέται προς τα κάτω εκθέτοντας συχνά το άσπρο μέρος του ματιού πάνω και κάτω από την ίριδα, διαστολή ή συστολή της κόρης και πεσμένο σαγόνι έτσι ώστε τα χείλη και τα δόντια να είναι χωρισμένα χωρίς πίεση γύρω από το στόμα. Η διαστολή και η συστολή της κόρης μπορούν να καθορίσουν το σθένος της έκπληξης από τη δράση έως την αντίδραση του ατόμου. Το θετικό σθένος στην έκπληξη εμφανίζεται μέσω διαστολής της κόρης, όπου ως αρνητικό σθένος στην έκπληξη σχετίζεται με τη συστολή της κόρης. Όμως, νεότερες μελέτες δείχνουν διαστολή της κόρης για αρνητικά αλλά και θετικά ερεθίσματα, υποδεικνύοντας μια γενική αυτόνομη διέγερση που σχετίζεται με τη διαστολή της κόρης και όχι το συναισθηματικό σθένος [68].

Η αυθόρμητη, ακούσια έκπληξη εκφράζεται συχνά μόνο σε ένα κλάσμα του δευτερολέπτου. Μπορεί να ακολουθείται αμέσως από το συναίσθημα του φόβου, της χαράς ή της σύγχυσης. Η ένταση της έκπληξης σχετίζεται με το πόσο πέφτει το σαγόνι, αλλά το στόμα μπορεί να μην ανοίξει καθόλου σε ορισμένες περιπτώσεις. Η ανύψωση των φρυδιών, τουλάχιστον στιγμιαία, είναι το πιο προβλέψιμο σημάδι έκπληξης [69].

Εικόνα 6: Charles Bell, Essays on the anatomy of expression in painting, London: Longman, 1806. Page 142 - Wonder / Fear / Astonishment.

Η γλωσσολογία μπορεί να παίζει ρόλο στη διατύπωση της έκπληξης. Η θεωρία προσδοκίας γλώσσας (Language Expectation Theory - LET) δηλώνει ότι οι άνθρωποι αναπτύσσουν κανόνες και προσδοκίες σχετικά με την κατάλληλη χρήση μιας γλώσσας σε μια δεδομένη κατάσταση. Όταν παραβιάζονται οι κανόνες ή οι προσδοκίες της λεκτικής γλώσσας, μπορεί να προκύψει η έκπληξη. Το μοντέλο EVT υποστηρίζει ότι οι προσδοκίες μπορούν να παραβιαστούν προφορικά και αυτή η παραβίαση μπορεί να προκαλέσει έκπληξη στο άτομο. Οι προσδοκίες της λεκτικής γλώσσας που μπορεί να οδηγήσουν σε έκπληξη μπορεί να περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε ύβρεις, κραυγές και βαθιές ανάσες [67].

2.1.4.7 Ενθουσιασμός

Ο ενθουσιασμός ή στην περίπτωσή μας η διέγερση είναι η έντονη απόλαυση και ενδιαφέρον για μία επικείμενη ή παρούσα δραστηριότητα. Η λέξη προέρχεται από τα *έν, θεός* και *ουσία* εννοώντας «κατοχή από την ουσία του θεού» και χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να αναφέρεται σε ένα πρόσωπο που «κατέχεται» πνευματικά από έναν Θεό, ή σε κάποιον που επέδειξε έντονη ευσέβεια. Υπάρχουν αρκετές θεωρίες για το συναίσθημα αυτό. Μία είναι η θεωρία James – Lange που περιγράφει πώς το συναίσθημα προκαλείται από τις σωματικές αλλαγές που προέρχονται από την αντίληψη της συναισθηματικά διεγερτικής εμπειρίας ή του περιβάλλοντος [70]. Αυτή η θεωρία δηλώνει ότι τα γεγονότα προκαλούν το αυτόνομο νευρικό σύστημα να προκαλέσει φυσιολογική διέγερση, που χαρακτηρίζεται από μυϊκή ένταση, αύξηση του καρδιακού ρυθμού, εφίδρωση, ξηρότητα του στόματος, δάκρυα κ.λπ. [71]. Σύμφωνα με τον James και τον Lange, το συναίσθημα έρχεται ως αποτέλεσμα της φυσιολογικής διέγερσης [72]. Η σωματική αίσθηση ως αντίδραση στην κατάσταση είναι στην πραγματικότητα το ίδιο το συναίσθημα. Επιπλέον, το επίπεδο διέγερσης ενός ατόμου όταν του παρουσιάζονται ερεθίσματα μπορεί να είναι ενδεικτικό των προτιμήσεών του. Μία μελέτη διαπίστωσε ότι τα γνωστά ερεθίσματα προτιμούνται συχνά από τα άγνωστα ερεθίσματα. Τα ευρήματα έδειξαν ότι η έκθεση σε άγνωστα ερεθίσματα συσχετίστηκε με συμπεριφορές αποφυγής. Τα άγνωστα ερεθίσματα μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένη διέγερση και αυξημένες συμπεριφορές αποφυγής [73].

Ο Richard W. Husband αναφέρει στην έρευνα του πως στις ταξινομήσεις και τις περιγραφές των συναισθημάτων έχει υπάρξει σημαντικό ενδιαφέρον για τον ενθουσιασμό. Έχει χαρακτηριστεί ως «αγνό συναίσθημα» αφού, συνήθως, δεν υπάρχει συγκεκριμένος στόχος στον οποίο ανήκει. Αν κάποιος είναι θυμωμένος μπορεί να πολεμήσει, αν φοβάται μπορεί να τρέξει, αν είναι ερωτευμένος μπορεί να μιλήσει και να ενεργήσει ανάλογα. Αλλά ο ενθουσιασμός υπάρχει επειδή δεν υπάρχει συγκεκριμένη λύση στην υπάρχουσα κατάσταση. Ο Στράτον λέει, «Ο ενθουσιασμός είναι η απόκρισή μας σε μια κατάσταση που αναγνωρίζουμε ως κάλεσμα για κάτι περισσότερο από έναν εύκολο και καθημερινό χειρισμό.» Επισημαίνει ότι ένα ενθουσιασμένο άτομο τείνει να είναι ενεργό αλλά μπορεί να ισχύει και το αντίστροφο. Η δραστηριότητα, εάν υπάρχει, μπορεί να είναι τυχαία αφού το άτομο αισθάνεται ότι κάτι πρέπει να γίνει, αλλά δεν μπορεί να αποφασίσει αμέσως ποια πορεία θα ακολουθήσει. Τόσο ο Wundt όσο και ο Stratton έχουν κάνει τον ενθουσιασμό μία από τις διαστάσεις τους παρουσιάζοντας τις ταξινομήσεις των συναισθημάτων τους σε μορφή διαγράμματος. Η γνωστή διαίρεση του Wundt παρουσιάζει τα τρία ζεύγη ενθουσιασμού-ηρεμίας, έντασης-χαλάρωσης και ευχαρίστησης-δυσαρέσκειας. Ο Στράτον παρουσιάζει δύο ζεύγη: διαφοροποιημένο-αδιαφοροποίητο και ευχάριστο-δυσάρεστο. Θεωρεί τον θυμό τον πιο διαφοροποιημένο και τον ενθουσιασμό το λιγότερο. Η έξαρση και η κατάθλιψη είναι σχετικά λίγο διαφοροποιημένες, αν και περισσότερο από τον ενθουσιασμό. Μια θεμελιώδης διαφορά μεταξύ των δύο θεωριών είναι ότι ο Wundt απαριθμεί την ηρεμία αντίθετα από τον ενθουσιασμό, ενώ ο Stratton την αντιπαραθέτει με τον θυμό. Οι δύο ταξινομήσεις, ωστόσο, είναι για διαφορετικούς σκοπούς, όπου ο Wundt περιγράφει συνειδητή εμπειρία ενώ ο Stratton ταξινομεί από την άποψη της εξειδίκευσης. Επομένως, ο Husband ξεκίνησε μια μελέτη για τα συναισθήματα των αθλητών πριν από τον διαγωνισμό τους, που θα έδινε ορισμένα δεδομένα για να διευθετηθούν ορισμένα από τα προβλήματα που προκύπτουν κατά τη συζήτηση του ενθουσιασμού. Στα αποτελέσματά του αναφέρει πως ο ενθουσιασμός είναι πολύ δύσκολο να μελετηθεί από εργαστηριακή άποψη, καθώς το ερέθισμά του είναι αόριστο. Με αυτόν τον τρόπο διαφέρει από τον θυμό ή την

αηδία, που μπορεί να παραχθεί με τεχνητό τρόπο [74], κάτι που βγήκε ως συμπέρασμα και από την παρούσα διπλωματική.

2.1.5 Συναισθηματική ανάλυση στην επιστήμη των υπολογιστών

Τη δεκαετία του 2000, η έρευνα στην επιστήμη των υπολογιστών, τη μηχανική, την ψυχολογία και τη νευροεπιστήμη είχε ως στόχο την ανάπτυξη συσκευών που αναγνωρίζουν την ανθρώπινη επίδραση στην εμφάνιση και στο μοντέλο των συναισθημάτων. Στην επιστήμη των υπολογιστών, ο συναισθηματικός υπολογισμός είναι ένας κλάδος της μελέτης και ανάπτυξης της τεχνητής νοημοσύνης που ασχολείται με το σχεδιασμό συστημάτων και συσκευών που μπορούν να αναγνωρίσουν, να ερμηνεύσουν και να επεξεργαστούν ανθρώπινα συναισθήματα. Είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο που καλύπτει τις επιστήμες των υπολογιστών, την ψυχολογία και τη γνωστική επιστήμη [75]. Ενώ η προέλευση του πεδίου μπορεί να ανιχνευθεί από τις πρώτες φιλοσοφικές έρευνες για το συναίσθημα, ο πιο σύγχρονος κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών προήλθε από το έγγραφο του 1995 της Rosalind Picard σχετικά με τον συναισθηματικό υπολογισμό [76]. Ένα από τα κίνητρα για την έρευνα της είναι η ικανότητα να δοθεί συναισθηματική νοημοσύνη στις μηχανές, συμπεριλαμβανομένης της προσομοίωσης της ενσυναίσθησης (empathy). Η μηχανή πρέπει να ερμηνεύει τη συναισθηματική κατάσταση των ανθρώπων και να προσαρμόζει τη συμπεριφορά της σε αυτούς, δίνοντας την κατάλληλη απάντηση σε αυτά τα συναισθήματα.

Η ανίχνευση συναισθηματικών πληροφοριών ξεκινά με παθητικούς αισθητήρες που συλλαμβάνουν δεδομένα σχετικά με τη φυσική κατάσταση ή τη συμπεριφορά του χρήστη χωρίς να ερμηνεύει την είσοδο. Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι ανάλογα με τα στοιχεία που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι για να αντιλαμβάνονται τα συναισθήματα των άλλων. Για παράδειγμα, μια βιντεοκάμερα μπορεί να καταγράφει εκφράσεις του προσώπου, στάση σώματος και χειρονομίες, ενώ ένα μικρόφωνο μπορεί να καταγράφει ομιλία. Άλλοι αισθητήρες ανιχνεύουν συναισθηματικά στοιχεία μετρώντας άμεσα τα φυσιολογικά δεδομένα, όπως η θερμοκρασία του δέρματος και η γαλβανική αντίσταση [77]. Η αναγνώριση συναισθηματικών πληροφοριών απαιτεί την εξαγωγή προτύπων από τα δεδομένα που συλλέγονται. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης (machine learning) που επεξεργάζονται διαφορετικούς τρόπους, όπως αναγνώριση ομιλίας, επεξεργασία φυσικής γλώσσας ή ανίχνευση εκφράσεων του προσώπου. Ο στόχος των περισσότερων από αυτές τις τεχνικές είναι να παράγουν ετικέτες που θα ταιριάζουν με τις ετικέτες που θα έδινε ένας ανθρώπινος αντιληπτής στην ίδια κατάσταση: Για παράδειγμα, εάν ένα άτομο κάνει μια έκφραση του προσώπου με το φρύδι του, τότε το σύστημα όρασης του υπολογιστή μπορεί να διδαχθεί να καθιστά το πρόσωπό τους ως «μπερδεμένο» ή ως «συγκεντρωτικό» ή «ελαφρώς αρνητικό» (σε αντίθεση με το θετικό, το οποίο θα μπορούσε να πει αν χαμογελούσαν με χαρούμενο τρόπο). Αυτές οι ετικέτες μπορεί να αντιστοιχούν ή όχι σε αυτό που πραγματικά αισθάνεται το άτομο. Ένας άλλος τομέας στον συναισθηματικό υπολογισμό είναι ο σχεδιασμός υπολογιστικών συσκευών που προτείνονται να παρουσιάζουν είτε έμφυτες συναισθηματικές ικανότητες είτε ικανές να μιμούνται πειστικά τα συναισθήματα.

Η ανίχνευση και η επεξεργασία των εκφράσεων του προσώπου επιτυγχάνεται με διάφορες μεθόδους όπως οπτική ροή (optical flow), κρυφά μοντέλα Markov ή με την επεξεργασία νευρωνικών δικτύων. Μπορούν να συνδυαστούν ή να συγχωνευτούν περισσότερες από μία μέθοδοι (πολυτροπική αναγνώριση, π.χ. εκφράσεις προσώπου και προωθητική ομιλία, εκφράσεις προσώπου και χειρονομίες χεριών, ή εκφράσεις προσώπου με ομιλία και κείμενο για πολυτροπικά δεδομένα και ανάλυση μεταδεδομένων) για να παρέχουν πιο ισχυρή εκτίμηση της συναισθηματικής κατάστασης του ατόμου.

Η δημιουργία βάσεων δεδομένων είναι ένα ουσιαστικό βήμα στη δημιουργία ενός συστήματος που θα αναγνωρίζει τα ανθρώπινα συναισθήματα. Ωστόσο, η δημιουργία μιας τέτοιας βάσης δεδομένων συναισθημάτων είναι μια δύσκολη και χρονοβόρα εργασία. Οι περισσότερες από τις διαθέσιμες στο κοινό βάσεις δεδομένων συναισθημάτων περιλαμβάνουν μόνο στημένες εκφράσεις του προσώπου. Σε αυτές τις βάσεις δεδομένων έκφρασης, οι συμμετέχοντες καλούνται να εμφανίσουν διαφορετικές βασικές συναισθηματικές εκφράσεις, ενώ στις «βάσεις δεδομένων αυθόρμητης έκφρασης», οι εκφράσεις είναι φυσικές. Η αυθόρμητη διέγερση συναισθημάτων απαιτεί σημαντική προσπάθεια στην επιλογή των κατάλληλων ερεθισμάτων που μπορούν να οδηγήσουν σε μια πλούσια εμφάνιση των επιδιωκόμενων συναισθημάτων. Η διαδικασία περιλαμβάνει την επισήμανση συναισθημάτων από εκπαιδευμένα άτομα με μη αυτόματο τρόπο, γεγονός που καθιστά τις βάσεις αυτές πολύ αξιόπιστες. Δεδομένου ότι η αντίληψη των εκφράσεων και η έντασή τους είναι υποκειμενικής φύσης, ο σχολιασμός από ειδικούς είναι απαραίτητος για τον σκοπό της επικύρωσης. Οι ερευνητές δουλεύουν με τρεις τύπους βάσεων δεδομένων, όπως μια βάση δεδομένων μόνο εικόνων έκφρασης κορυφής, μια βάση δεδομένων ακολουθιών εικόνων που απεικονίζουν ένα συναίσθημα από το ουδέτερο έως το αποκορύφωμά του και βίντεο κλιπ με συναισθηματικούς σχολιασμούς. Πολλές βάσεις δεδομένων εκφράσεων προσώπου έχουν δημιουργηθεί και δημοσιοποιηθεί για σκοπούς αναγνώρισης έκφρασης. Δύο από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες βάσεις δεδομένων είναι οι CK+ και JAFFE.

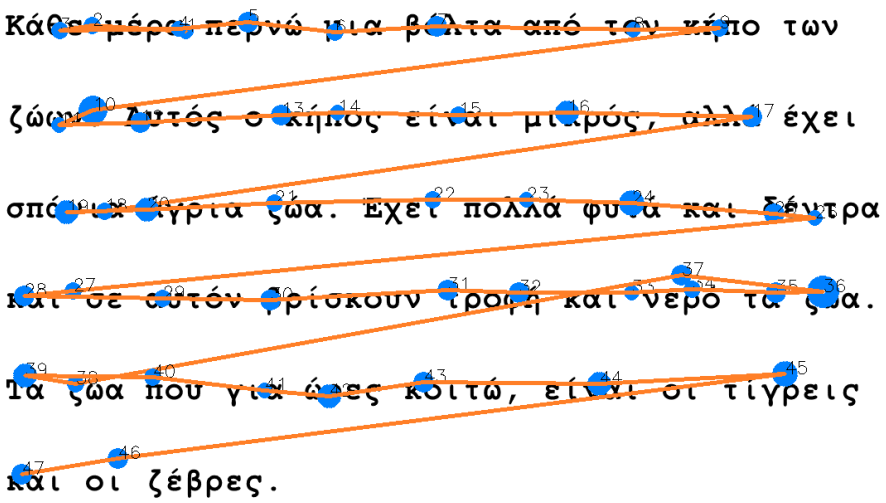
Όπως συμβαίνει με κάθε υπολογιστική πρακτική, στην ανίχνευση συναισθημάτων από την επεξεργασία προσώπων, πρέπει να ξεπεραστούν ορισμένα εμπόδια, προκειμένου να ξεκλειδωθεί πλήρως το κρυμμένο δυναμικό του συνολικού αλγορίθμου ή της μεθόδου που χρησιμοποιείται. Στις πρώτες μέρες σχεδόν κάθε είδους ανίχνευσης που βασίζεται σε AI (αναγνώριση ομιλίας, αναγνώριση προσώπου), η ακρίβεια της μοντελοποίησης και της παρακολούθησης υπήρξε πρόβλημα. Καθώς το υλικό εξελίσσεται, καθώς συλλέγονται περισσότερα δεδομένα και γίνονται νέες ανακαλύψεις και εισάγονται νέες πρακτικές, αυτή η έλλειψη ακρίβειας εξασθενεί, αφήνοντας πίσω του ζητήματα θορύβου.

2.2 Eye tracking

2.2.1 Εισαγωγή

Η οφθαλμική ιχνηλάτηση (eye-tracking) είναι η διαδικασία μέτρησης είτε του σημείου εστίασης του βλέμματος είτε της κίνησης των ματιών σε σχέση με το κεφάλι. Ο ιχνηλάτης ματιών (eye-tracker) είναι μια συσκευή για τη

μέτρηση των θέσεων των ματιών και της κίνησης των ματιών. Οι ιχνηλάτες ματιών χρησιμοποιούνται στην έρευνα για το οπτικό σύστημα, στην ψυχολογία, στην ψυχογλωσσολογία, στο marketing, ως συσκευή εισόδου για αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή και στο σχεδιασμό προϊόντων. Οι ανιχνευτές ματιών χρησιμοποιούνται επίσης όλο και περισσότερο για εφαρμογές αποκατάστασης και υποβοήθησης (που σχετίζονται για παράδειγμα με τον έλεγχο των αναπηρικών καρεκλών, των ρομποτικών βραχιόνων και των προθέσεων). Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη μέτρηση της κίνησης των ματιών. Η πιο δημοφιλής παραλλαγή χρησιμοποιεί εικόνες βίντεο από τις οποίες εξάγεται η θέση των ματιών.



Εικόνα 7:Παράδειγμα οφθαλμικών μεταπηδήσεων και προσηλώσεων κατά την ανάγνωση κειμένου

Το 1879 στο Παρίσι, ο Louis Émile Javal παρατήρησε ότι η ανάγνωση δεν περιλαμβάνει μια ομαλή σάρωση των ματιών κατά μήκος του κειμένου, όπως υποτίθεται προηγουμένως, αλλά μια σειρά από σύντομες στάσεις που ονομάζονται οφθαλμικές προσηλώσεις (fixations) και γρήγορες μεταπηδήσεις (saccades) (βλ. παράδειγμα στην Εικόνα 7[6]). Αυτή η παρατήρηση έθεσε σημαντικά ερωτήματα σχετικά με την ανάγνωση, ερωτήματα που διερευνήθηκαν κατά τη διάρκεια του 1900 όπως σε ποιες λέξεις σταματούν τα μάτια και για πόση διάρκεια. Ο ψυχολόγος Edmund Huey δημιούργησε έναν πρώιμο eye-tracker, χρησιμοποιώντας ένα είδος φακού επαφής με μια τρύπα για την κόρη του ματιού. Ο φακός ήταν συνδεδεμένος με ένα δείκτη αλουμινίου που κινούταν ως απόκριση στην κίνηση του ματιού. Ο Huey μελέτησε και ποσοτικοποίησε τις παλινδρομήσεις (μόνο ένα μικρό ποσοστό των μεταπηδήσεων είναι παλινδρομήσεις) και έδειξε ότι ορισμένες λέξεις σε μια πρόταση δεν είναι σταθερές. Στη δεκαετία του 1950, ο Ρώσος ψυχολόγος Alfred L. Yarbus έκανε σημαντική έρευνα στην οφθαλμική ιχνηλάτηση και πρωτοστάτησε στη μελέτη της μεταπήδησης σε εξερεύνηση σύνθετων

[6] Πηγή emmetrolexia.gr/en/radar-method/definitions. Πρόσβαση 3/06/2020

εικόνων, καταγράφοντας τις κινήσεις των ματιών που έγιναν από τους παρατηρητές κατά την προβολή φυσικών αντικειμένων και σκηνών. Σε αυτό το πολύ σημαντικό έργο, ο Yarbus έδειξε ότι οι διαδρομές που ακολουθούνται από το βλέμμα εξαρτώνται από το έργο που πρέπει να εκτελέσει ο παρατηρητής. Το βλέμμα τείνει να πηδά εμπρός-πίσω ανάμεσα στα ίδια μέρη της εικόνας, για παράδειγμα, τα μάτια και το στόμα στην εικόνα ενός προσώπου. Εάν ο παρατηρητής ρωτούσε συγκεκριμένες ερωτήσεις σχετικά με τις εικόνες, τα μάτια του θα επικεντρώνονταν σε περιοχές των εικόνων που σχετίζονται με τις ερωτήσεις [78]. Η δεκαετία του 1980 είδε επίσης τη γέννηση της χρήσης εντοπισμού ματιών για να απαντήσει σε ερωτήσεις που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές διερεύνησαν πώς οι χρήστες αναζητούν εντολές σε μενού υπολογιστών. Επιπλέον, οι υπολογιστές επέτρεψαν στους ερευνητές να χρησιμοποιούν αποτελέσματα παρακολούθησης ματιών σε πραγματικό χρόνο, κυρίως για να βοηθήσουν τους χρήστες με αναπηρία. Πιο πρόσφατα, σημειώθηκε αύξηση στη χρήση της οφθαλμικής ιχνηλάτησης για να μελετηθεί πώς οι χρήστες αλληλεπιδρούν με διαφορετικές διεπαφές του υπολογιστή. Οι συγκεκριμένες ερωτήσεις που θέτουν οι ερευνητές σχετίζονται με το πόσο εύκολα είναι οι διαφορετικές διεπαφές για τους χρήστες. Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να οδηγήσουν σε αλλαγές στο σχεδιασμό των διεπαφών. Ένας ακόμη πρόσφατος τομέας έρευνας επικεντρώνεται στην ανάπτυξη του Ιστού. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες αντιδρούν στα αναπτυσσόμενα μενού ή όπου εστιάζουν την προσοχή τους σε έναν ιστότοπο, ώστε ο προγραμματιστής να γνωρίζει πού να τοποθετήσει μια διαφήμιση [79].

Με την πρόοδο των φορητών ηλεκτρονικών συσκευών, οι φορητοί eye-trackers έχουν τη δυνατότητα να φορεθούν στο κεφάλι και μπορούν επί του παρόντος να επιτύχουν εξαιρετική απόδοση και χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές έρευνας και αγοράς που στοχεύουν σε καθημερινές συνθήκες ζωής [80]. Τον 21ο αιώνα, η χρήση τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence - AI) και των νευρωνικών δικτύων έχει γίνει ένας βιώσιμος τρόπος για την ολοκλήρωση και ανάλυση των εργασιών οφθαλμικής ιχνηλάτησης. Συγκεκριμένα, το συνελικτικό νευρικό δίκτυο προσφέρεται για παρακολούθηση των ματιών, καθώς έχει σχεδιαστεί για εργασίες με επίκεντρο την εικόνα. Με την τεχνητή νοημοσύνη, τα καθήκοντα οφθαλμικής ιχνηλάτησης και οι μελέτες μπορούν να αποδώσουν πρόσθετες πληροφορίες που ενδέχεται να μην έχουν ανιχνευθεί από ανθρώπινη παρατήρηση, κάτι που επίσης βασίζεται η παρούσα διπλωματική. Η πρακτική του deep learning επιτρέπει επίσης σε ένα δεδομένο νευρωνικό δίκτυο να βελτιωθεί σε μια δεδομένη εργασία όταν του δοθούν αρκετά δείγματα δεδομένων. Αυτό απαιτεί, ωστόσο, μια σχετικά μεγάλη παροχή δεδομένων κατάρτισης. Οι πιθανές περιπτώσεις χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης στην παρακολούθηση των ματιών καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα θεμάτων από ιατρικές εφαρμογές έως την ασφάλεια των οδηγών και τη θεωρία παιγνίων. Ενώ η δομή των νευρωνικών δικτύων μπορεί να ταιριάζει σχετικά καλά με το καθήκον της οφθαλμικής ιχνηλάτησης, οι ερευνητές έχουν την επιλογή να κατασκευάσουν ένα προσαρμοσμένο νευρωνικό δίκτυο που είναι φτιαγμένο για τη συγκεκριμένη εργασία που υπάρχει. Σε αυτές τις περιπτώσεις, αυτά τα προσαρμοσμένα δίκτυα μπορούν να ξεπεράσουν τα προϋπάρχοντα πρότυπα για ένα νευρωνικό δίκτυο. Υπό αυτήν την έννοια, μένει να δούμε αν υπάρχει τρόπος να προσδιοριστεί η ιδανική δομή δικτύου για μια δεδομένη εργασία [81], [82]. Αυτή ήταν μία ανασκόπηση της ιστορίας του eye-tracking, της λειτουργίας του και το που βρίσκεται τώρα από άποψη τεχνολογίας. Παρακάτω θα μελετηθούν τα είδη των eye trackers και πώς χρησιμοποιούνται με λίγη περισσότερη λεπτομέρεια.

2.2.2 Τεχνικές eye-tracking & setups

Οι eye-trackers μετρούν τις περιστροφές του ματιού με έναν από τους διάφορους τρόπους, αλλά κυρίως εμπίπτουν σε μία από τις τρεις κατηγορίες:

- Στην πρώτη κατηγορία χρησιμοποιείται ένα εξάρτημα συνδεδεμένο στο μάτι, όπως ένας ειδικός φακός επαφής με ενσωματωμένο καθρέφτη ή αισθητήρα μαγνητικού πεδίου και η κίνηση του προσαρτήματος μετράται με την υπόθεση ότι δεν γλιστράει σημαντικά καθώς περιστρέφεται το μάτι. Οι μετρήσεις με σφιχτά προσαρμοσμένους φακούς επαφής παρείχαν εξαιρετικά ευαίσθητες καταγραφές της κίνησης των ματιών και τα μαγνητικά πηνία αναζήτησης είναι η μέθοδος επιλογής για ερευνητές που μελετούν τη δυναμική και την υποκείμενη φυσιολογία της κίνησης των ματιών. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει τη μέτρηση της κίνησης των ματιών σε οριζόντιες, κατακόρυφες και στροφικές κατευθύνσεις. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 8[7] ήδη ετοιμάζονται φακοί επαφής που θα λειτουργούν αποκλειστικά με τη χρήση eye-tracking και επαυξημένης πραγματικότητας.

Εικόνα 8: Έξυπνος φακός επαφής με eye-tracking interface μέσω επαυξημένης πραγματικότητας

- Η δεύτερη ευρεία κατηγορία χρησιμοποιεί κάποια οπτική μέθοδο, χωρίς επαφή με το μάτι, για τη μέτρηση της κίνησης των ματιών. Το φως, συνήθως υπέρυθρο, αντανακλάται από το μάτι και ανιχνεύεται από μια βιντεοκάμερα ή κάποιο άλλο ειδικά σχεδιασμένο οπτικό αισθητήρα. Οι πληροφορίες στη συνέχεια αναλύονται για να εξαχθεί η περιστροφή των ματιών από αλλαγές στις

[7] Πηγή: https://www.techiitalks.com/mojo-vision-invented-smart-contact-lens-with-eye-tracking-interface/ Πρόσβαση: 20/06/2020

αντανακλάσεις. Οι ιχνηλάτες που βασίζονται σε βίντεο του ματιού χρησιμοποιούν συνήθως την αντανάκλαση του κερατοειδούς (που είναι γνωστή και ως εικόνα Purkinje) και το κέντρο της κόρης ως χαρακτηριστικά για παρακολούθηση με την πάροδο του χρόνου. Ένας πιο ευαίσθητος τύπος παρακολούθησης ματιών, ο ιχνηλάτης διπλού-Purkinje χρησιμοποιεί αντανακλάσεις από το μπροστινό μέρος του κερατοειδούς και από το πίσω μέρος του ματιού ως χαρακτηριστικά παρακολούθησης. Μια ακόμη πιο ευαίσθητη μέθοδος παρακολούθησης είναι η απεικόνιση χαρακτηριστικών από το εσωτερικό του ματιού, όπως τα αιμοφόρα αγγεία του αμφιβληστροειδούς, και η παρακολούθηση αυτών των χαρακτηριστικών καθώς περιστρέφεται το μάτι. Οι οπτικές μέθοδοι, ιδίως αυτές που βασίζονται στην εγγραφή βίντεο, χρησιμοποιούνται ευρέως για την παρακολούθηση του βλέμματος και προτιμώνται επειδή είναι μη-επεμβατικές και φθηνές [83].

- Η τρίτη κατηγορία χρησιμοποιεί ηλεκτρικά δυναμικά μετρούμενα με ηλεκτρόδια τοποθετημένα γύρω από τα μάτια (βλ. Εικόνα 9[8]). Τα μάτια είναι η προέλευση ενός σταθερού πεδίου ηλεκτρικού δυναμικού που μπορεί επίσης να ανιχνευθεί ακόμα και σε απόλυτο σκοτάδι και με τα μάτια κλειστά. Μπορεί να μοντελοποιηθεί ώστε να δημιουργείται από δίπολο με τον θετικό πόλο στον κερατοειδή και τον αρνητικό πόλο στον αμφιβληστροειδή. Το ηλεκτρικό σήμα που μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιώντας δύο ζεύγη ηλεκτροδίων επαφής τοποθετημένα στο δέρμα γύρω από ένα μάτι ονομάζεται Ηλεκτροκολογράφημα (Electrooculogram - EOG). Εάν τα μάτια κινούνται από την κεντρική θέση προς την περιφέρεια, ο αμφιβληστροειδής πλησιάζει ένα ηλεκτρόδιο ενώ ο κερατοειδής πλησιάζει το άλλο. Αυτή η αλλαγή στον προσανατολισμό του διπόλου και κατά συνέπεια το πεδίο ηλεκτρικού δυναμικού οδηγεί σε αλλαγή στο μετρούμενο σήμα EOG. Λόγω της διακριτικής ευχέρειας που δίνεται από την κοινή ρύθμιση ηλεκτροδίων, μπορούν να αναγνωριστούν δύο ξεχωριστά στοιχεία κίνησης - οριζόντια και κάθετα. Λόγω πιθανών μετατοπίσεων και μεταβλητών σχέσεων μεταξύ των εύρους σήματος EOG και των μεγεθών των μεταπηδήσεων, είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί το ηλεκτροκολογράφημα για τη μέτρηση της αργής κίνησης των ματιών και την ανίχνευση της κατεύθυνσης του βλέμματος. Το EOG, ωστόσο, είναι μια πολύ ισχυρή τεχνική για τη μέτρηση των μεταπηδήσεων των ματιών και την ανίχνευση του ανοίγματος και κλεισίματός τους. Σε αντίθεση με τους eye-trackers που λειτουργούν με βιντεοσκόπηση του ματιού, το EOG επιτρέπει την καταγραφή των κινήσεων των ματιών ακόμη και με τα μάτια κλειστά, και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην έρευνα ύπνου. Πρόκειται για μια πολύ ελαφριά προσέγγιση που, σε αντίθεση με τους video-based eye-trackers, απαιτεί μόνο πολύ χαμηλή υπολογιστική ισχύ, λειτουργεί υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού και μπορεί να εφαρμοστεί ως ενσωματωμένο, αυτόνομο φορητό σύστημα. Είναι επομένως η μέθοδος επιλογής για τη μέτρηση της κίνησης των ματιών σε καταστάσεις καθημερινής ζωής και φάσεις REM κατά τη διάρκεια του ύπνου. Το κύριο μειονέκτημα του EOG είναι η σχετικά χαμηλή ακρίβεια της κατεύθυνσης του βλέμματος σε σύγκριση με ένα πρόγραμμα παρακολούθησης βίντεο. Δηλαδή, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με

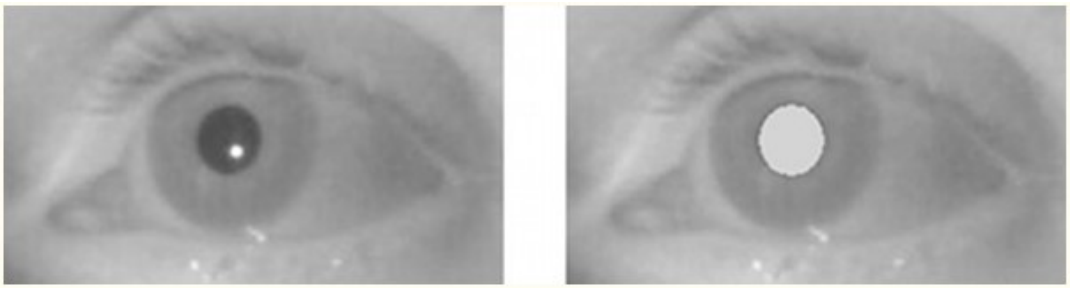
[8] Πηγή: https://metrovision.fr/mv-es-notice-us.html Πρόσβαση: 5/06/2020

καλή ακρίβεια ακριβώς πού κοιτάζει ένα άτομο, αν και μπορεί να προσδιοριστεί ο χρόνος των κινήσεων των ματιών [84].

Εικόνα 9: Eye-tracking με χρήση ηλεκτροδίων

Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενοι είναι οι video-based eye-trackers. Μια κάμερα εστιάζει σε ένα ή και στα δύο μάτια και καταγράφει την κίνηση των ματιών καθώς ο θεατής βλέπει κάποιο είδος ερεθίσματος. Οι περισσότεροι σύγχρονοι ιχνηλάτες ματιών χρησιμοποιούν το κέντρο της κόρης και το υπέρυθρο/σχεδόν υπέρυθρο υπέρ-φωτιζόμενο φως για τη δημιουργία αντανακλάσεων του κερατοειδούς. Ο φορέας μεταξύ του κέντρου της κόρης και των αντανακλάσεων του κερατοειδούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του σημείου προσοχής σε μία επιφάνεια ή την κατεύθυνση του βλέμματος. Μια απλή διαδικασία ρύθμισης του eye-tracker για κάθε άτομο συνήθως απαιτείται πριν από τη χρήση [85]. Χρησιμοποιούνται δύο τύποι υπέρυθρων/ σχεδόν υπέρυθρων τεχνικών eye-tracking: της φωτεινής-κόρης και σκοτεινής-κόρης (βλ. Εικόνα 10[9]). Η διαφορά τους βασίζεται στην τοποθεσία της πηγής φωτισμού σε σχέση με την οπτική γωνία. Εάν ο φωτισμός είναι ομοαξονικός με την οπτική διαδρομή, τότε το μάτι δρα ως αναδρομικός ανακλαστήρας καθώς το φως αντανακλά στον αμφιβληστροειδή δημιουργώντας μία φωτεινή κόρη παρόμοια με τα κόκκινα μάτια σε μία φωτογραφία. Εάν η πηγή φωτισμού είναι αντισταθμισμένη από την οπτική διαδρομή, τότε η κόρη εμφανίζεται σκοτεινή, επειδή η αντανάκλαση από τον αμφιβληστροειδή κατευθύνεται μακριά από την κάμερα. Το eye-tracking φωτεινής κόρης δημιουργεί μεγαλύτερη αντίθεση ίριδας/κόρης, επιτρέποντας πιο ισχυρή παρακολούθηση των ματιών με όλη τη χρώση της ίριδας και μειώνει σημαντικά τις παρεμβολές που προκαλούνται από τις βλεφαρίδες και άλλα σκοτεινά χαρακτηριστικά. Επιτρέπει επίσης την παρακολούθηση σε συνθήκες φωτισμού που κυμαίνονται από απόλυτο σκοτάδι έως πολύ φωτεινό. Μια άλλη, λιγότερο χρησιμοποιούμενη, μέθοδος είναι γνωστή ως παθητικό φως. Χρησιμοποιεί ορατό φως για να φωτίσει, κάτι που μπορεί να προκαλέσει περισπασμούς στους χρήστες. Μια άλλη πρόκληση με αυτή τη μέθοδο είναι ότι η αντίθεση της κόρης είναι μικρότερη από ότι στις μεθόδους ενεργού φωτισμού, επομένως, το κέντρο της ίριδας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του διανύσματος.

[9] Πηγή: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3543256/ Πρόσβαση: 12/06/2020



Εικόνα 10: Τεχνική σκοτεινής κόρης (αριστερά) και φωτεινής κόρης (δεξιά)

Οι διατάξεις και συσκευές eye-tracking ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό: μερικές είναι τοποθετημένες στο κεφάλι, μερικές απαιτούν την κεφαλή να είναι σταθερή (για παράδειγμα, με στήριξη στο πηγούνι) και ορισμένες λειτουργούν από απόσταση και παρακολουθούν αυτόματα το κεφάλι κατά την κίνηση. Οι περισσότεροι χρησιμοποιούν ρυθμό δειγματοληψίας τουλάχιστον 30 Hz. Παρόλο που τα 50/60 Hz είναι πιο συνηθισμένα, σήμερα πολλοί ιχνηλάτες βίντεο βασίζονται σε 240, 350 ή ακόμα και 1000/1250 Hz, ταχύτητες που απαιτούνται για να συλλάβουν τις σταθεροποιητικές κινήσεις των ματιών ή να μετρήσουν σωστά τη δυναμική των μεταπηδήσεων. Όπως ήδη ειπώθηκε, οι κινήσεις των ματιών χωρίζονται συνήθως σε οφθαλμικές προσηλώσεις (fixations) και μεταπηδήσεις (saccades) - όταν το βλέμμα των ματιών σταματά σε μια συγκεκριμένη θέση και όταν κινείται σε άλλη θέση, αντίστοιχα. Η προκύπτουσα σειρά προσηλώσεων και μεταπηδήσεων ονομάζεται διαδρομή σάρωσης. Η ομαλή αναζήτηση περιγράφει το μάτι που ακολουθεί ένα κινούμενο αντικείμενο. Επίσης, οι κινήσεις προσήλωσης των ματιών περιλαμβάνουν μικρομεταπηδήσεις δηλαδή μικρές, ακούσιες μεταπηδήσεις που εμφανίζονται κατά την απόπειρα στερέωσης. Οι περισσότερες πληροφορίες από το μάτι διατίθενται κατά τη διάρκεια της προσήλωσης ή της ομαλής αναζήτησης, αλλά όχι κατά τη διάρκεια μιας μεταπήδησης [86].

Οι επιτραπέζιοι eye-trackers του εμπορίου που χρησιμοποιούν συνήθως την τεχνολογία υπερύθρων ως την προσέγγιση παρακολούθησης και έχουν σχετικά χαμηλό κόστος. Ένας τέτοιος eye-tracker, που ονομάζεται Tobii 4C της εταιρείας Tobii (βλ Εικόνα 11[10]) , αποτελείται από κάμερες, προβολείς και συνοδευτικούς αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνας. Η Tobii εισήγαγε τεχνολογία οφθαλμικής ιχνηλάτησης στο gaming σε μια προσπάθεια βελτίωσης των εμπειριών και της απόδοσης των παιχνιδιών όταν οι παίκτες είναι τοποθετημένοι μπροστά από τις οθόνες του υπολογιστή τους.

[10] Πηγή: gaming.tobii.com Πρόσβαση 15/06/2020

Εικόνα 11:Tobii 4C eye-tracker

Επιπλέον, υπάρχουν και φορητοί, ασύρματοι eye-trackers. Ένας φορητός eye-tracker τοποθετείται συνήθως σε ένα ελαφρύ ζευγάρι γυαλιών και επιτρέπει στον χρήστη να κινείται ελεύθερα στο φυσικό περιβάλλον του και ταυτόχρονα αποτυπώνει τη συμπεριφορά προβολής του. Οι eye-trackers αυτοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς μάρκετινγκ και περιβάλλοντα κατασκευής, για παράδειγμα στη μέτρηση του γνωστικού φόρτου εργασίας των οδηγών περονοφόρων. Είναι εύκολο στη χρήση και τα δεδομένα συλλαμβάνονται και καταγράφονται στην εφαρμογή ενός κινητού τηλεφώνου. Ο χρήστης μπορεί να δει τα δεδομένα στο τηλέφωνό του με το συνδεδεμένο φορητό eye-tracker μέσω Bluetooth. Ένα τέτοιο προϊόν είναι το Tobii Pro Glasses 3 (βλ. Εικόνα 12[11]) είναι διαθέσιμο επί του παρόντος στην αγορά. Οι ερευνητές μπορεί να αρχίσουν να κατανοούν τη φύση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων μελετώντας πώς η οπτική δραστηριότητα σχετίζεται τελικά με τις ενέργειες των ανθρώπων σε διαφορετικές καταστάσεις. Είναι δυνατή η επεξεργασία των δεδομένων του mobile eye-tracking (MET) όσες φορές χρειάζεται χωρίς να απαιτείται η επαναλαμβανόμενη δοκιμή. Το MET μας φέρνει επίσης πολύ πιο κοντά στο μυαλό και τα συναισθήματα του καταναλωτή. Μπορούν να τραβήξουν την προσοχή των καταναλωτών και να γνωρίζουν τι αναζητούν οι πελάτες τους και τι τους ενδιαφέρει. Τα μειονεκτήματα του MET είναι ότι πρέπει να χρησιμοποιούνται σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Το MET είναι επίσης αρκετά δαπανηρό για τους τυπικούς καθημερινούς καταναλωτές που μπορεί να θέλουν να το χρησιμοποιήσουν.

[11] Πηγή https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-3/ Πρόσβαση 15/06/2020

Εικόνα 12:Tobii Pro Glasses 3

Μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί οφθαλμική ιχνηλάτηση χρησιμοποιώντας web κάμερες χαμηλού κόστους που συνήθως παρέχονται σχεδόν σε όλους τους σύγχρονους φορητούς υπολογιστές ή μπορούν να αγοραστούν ξεχωριστά για έναν επιτραπέζιο υπολογιστή. Πλέον του λογισμικού ανοιχτού κώδικα για την επεξεργασία δεδομένων που λαμβάνονται από τέτοιες κάμερες χαμηλού κόστους είναι συνήθως απλή στην εγκατάσταση και τη χρήση, αν και οι περισσότεροι έχουν ελάχιστη ή καθόλου τεχνική υποστήριξη. Επιπλέον, η οφθαλμική ιχνηλάτηση με βάση την κάμερα web είναι πολύ λιγότερο ακριβής σε σύγκριση με την παρακολούθηση υπερύθρων και είναι πολύ πιθανό, ειδικά με χαμηλού κόστους κάμερες, να μην λειτουργεί καλά ή καθόλου σε περιβάλλοντα χαμηλού φωτισμού [87].

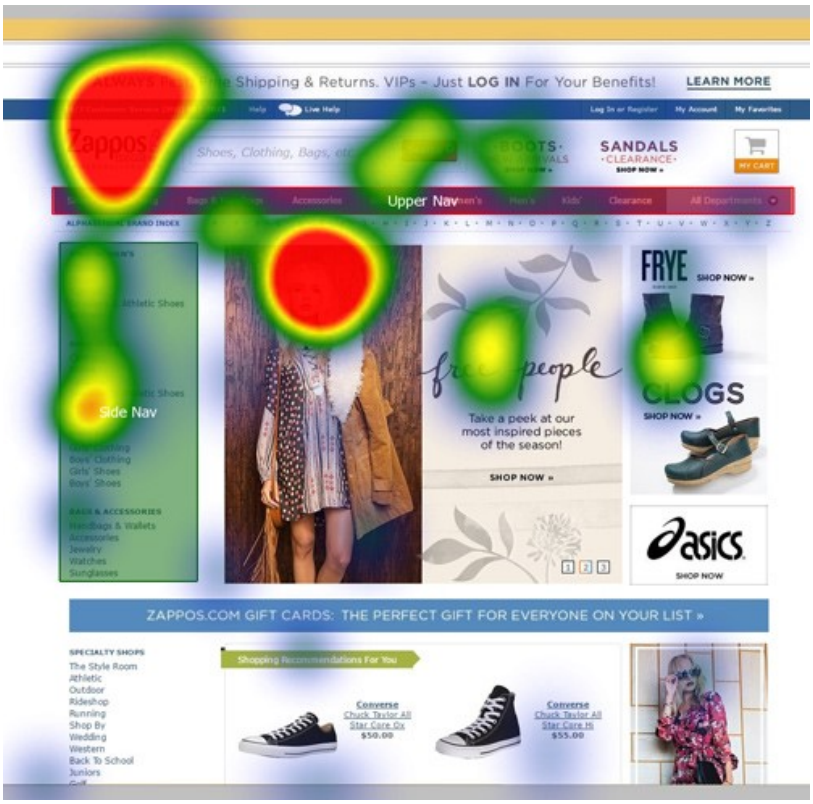
2.2.3 Αναπαράσταση δεδομένων

Η ερμηνεία των δεδομένων που καταγράφονται από τους διάφορους τύπους οφθαλμικής ιχνηλάτησης χρησιμοποιεί μια ποικιλία λογισμικού που τα αντιπροσωπεύει οπτικά, έτσι ώστε η οπτική συμπεριφορά ενός ή περισσότερων χρηστών να μπορεί να συνεχιστεί γραφικά. Ένα βίντεο γενικά κωδικοποιείται χειροκίνητα για την αναγνώριση των περιοχών ενδιαφερόντων (areas of interest – AOI) ή πρόσφατα χρησιμοποιώντας τεχνητή νοημοσύνη. Η γραφική παρουσίαση είναι σπάνια η βάση των αποτελεσμάτων μιας έρευνας, δεδομένου ότι είναι περιορισμένη ως προς το τι μπορεί να αναλυθεί - η έρευνα που βασίζεται στην οφθαλμική ιχνηλάτηση, για παράδειγμα, απαιτεί συνήθως ποσοτικά μέτρα της κίνησης των ματιών και των παραμέτρων τους. Οι πιο κοινώς χρησιμοποιούμενες απεικονίσεις είναι οι ακόλουθες:

- Κινούμενες αναπαραστάσεις ενός σημείου σε μία διεπαφή. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν η οπτική συμπεριφορά εξετάζεται ξεχωριστά, υποδεικνύοντας πού ο χρήστης εστίασε το βλέμμα του σε

κάθε στιγμή, συνοδευόμενο από ένα μικρό μονοπάτι που υποδεικνύει τις προηγούμενες κινήσεις των μεταπηδήσεων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7 με την ίδια διαδικασία για οποιοδήποτε ερέθισμα.

- Χάρτες θερμότητας (heat maps) (βλ. Εικόνα 13[12]). Μια εναλλακτική στατική αναπαράσταση, που χρησιμοποιείται κυρίως για τη συσσωματωμένη ανάλυση των patterns οπτικής εξερεύνησης σε μια ομάδα χρηστών. Σε αυτές τις αναπαραστάσεις, οι «καυτές» ζώνες ή ζώνες με υψηλότερη πυκνότητα προσδιορίζουν όπου οι χρήστες εστίασαν το βλέμμα τους (όχι την προσοχή τους) με μεγαλύτερη συχνότητα. Οι χάρτες θερμότητας είναι η πιο γνωστή τεχνική οπτικοποίησης για μελέτες οφθαλμικής ιχνηλάτησης [88].

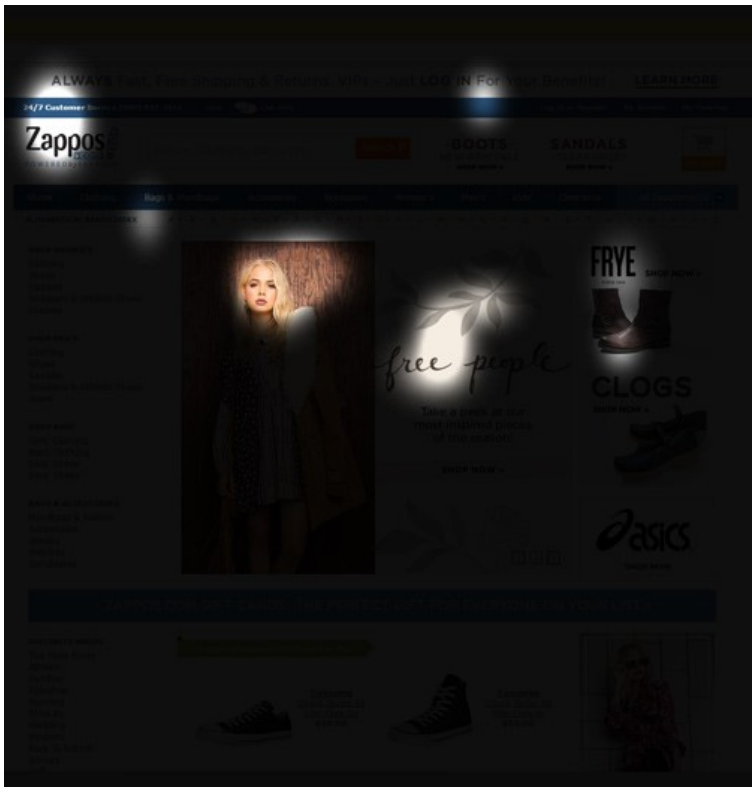


Εικόνα 13: Heat map από 13 χρήστες σε e-shop

- Χάρτες εστίασης (focus maps) (βλ Εικόνα 21[13]). Αυτή η μέθοδος είναι μια απλοποιημένη έκδοση των χαρτών θερμότητας όπου οι οπτικά λιγότερες ζώνες από τους χρήστες εμφανίζονται σαφώς, επιτρέποντας έτσι μια ευκολότερη κατανόηση των πιο σχετικών πληροφοριών, δηλαδή, έχουμε ενημερωθεί σχετικά με το ποιες ζώνες δεν είδαν οι χρήστες.

[12] Πηγή: https://measuringu.com/eye-tracking/ Πρόσβαση 25/06/2020

[13] Πηγή: https://measuringu.com/eye-tracking/ Πρόσβαση 25/06/2020



Εικόνα 14: Χάρτης εστίασης από 13 χρήστες για e-shop

2.2.4 Εφαρμογές & χρήση eye-trackers για αναγνώριση συναισθημάτων

Μια ευρεία ποικιλία επιστημονικών κλάδων χρησιμοποιούν τεχνικές οφθαλμικής ιχνηλάτησης, συμπεριλαμβανομένης της ψυχολογίας (κυρίως ψυχογλωσσολογία, το πρότυπο του οπτικού κόσμου), αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή (HCI), ανθρώπινοι παράγοντες και εργονομία, έρευνα μάρκετινγκ και ιατρική έρευνα (νευρολογική διάγνωση). Συγκεκριμένες εφαρμογές περιλαμβάνουν την παρακολούθηση της κίνησης των ματιών στην ανάγνωση γλωσσών, την ανάγνωση μουσικής, την αναγνώριση της ανθρώπινης δραστηριότητας, την αντίληψη της διαφήμισης και τον αθλητισμό. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια, η αυξημένη προσβασιμότητα των τεχνολογιών οφθαλμικής ιχνηλάτησης έχει δημιουργήσει μεγάλο ενδιαφέρον στον εμπορικό τομέα. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν ευχρηστία στο διαδίκτυο, διαφήμιση, χορηγία, σχεδιασμό πακέτων και μηχανική αυτοκινήτων. Σε γενικές γραμμές, οι εμπορικές μελέτες οφθαλμικής ιχνηλάτησης λειτουργούν παρουσιάζοντας ένα ερέθισμα στόχου σε ένα δείγμα καταναλωτών, ενώ ένας eye-tracker χρησιμοποιείται για την καταγραφή της δραστηριότητας του ματιού. Παραδείγματα διεγερτικών στόχων μπορεί να περιλαμβάνουν ιστότοπους, τηλεοπτικά προγράμματα, αθλητικές εκδηλώσεις, ταινίες, διαφημίσεις, περιοδικά, εφημερίδες, συσκευασίες, οθόνες ραφιών, καταναλωτικά συστήματα (ATM, συστήματα πληρωμής κλπ) και λογισμικό. Τα προκύπτοντα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν στατιστικά και να αποδοθούν γραφικά για να παρέχουν αποδεικτικά στοιχεία συγκεκριμένων οπτικών patterns.

Όσο αφορά στη χρήση της οφθαλμικής ιχνηλάτησης για την ανίχνευση συναισθημάτων, έχει υπάρξει αρκετή έρευνα. Σε μία έρευνα δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος για την αυτόματη καταγραφή εκφράσεων αναλύοντας μόνο ένα μερικώς καλλυμένο πρόσωπο ενώ ο χρήστης ασχολείται με μια εμπειρία εικονικής πραγματικότητας. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι οι εικόνες των χρηστών που τραβήχτηκαν από έναν eye-tracker μέσα σε ένα virtual reality headset είναι επαρκείς για να εξαχθεί ένα επιλεγμένο υποσύνολο εκφράσεων του προσώπου χωρίς τη χρήση κάποιας εξωτερικής κάμερας. Χρησιμοποιώντας αυτά τα συμπεράσματα, μπορούν να δημιουργηθούν δυναμικά είδωλα σε πραγματικό χρόνο που λειτουργούν ως εκφραστικά υποκατάστατα για τον χρήστη. Τα αποτελέσματα δείχνουν μέση ακρίβεια 74% [89].

2.3 Machine learning

2.3.1 Εισαγωγή

Η μηχανική μάθηση (machine learning) είναι ένα υποπεδίο της επιστήμης των υπολογιστών και της τεχνητής νοημοσύνης, το οποίο για να είναι χρήσιμο, βασίζεται σε μια συλλογή παραδειγμάτων κάποιου φαινομένου. Αυτά τα παραδείγματα μπορεί να προέλθουν από τη φύση, να είναι χειροποίητα από ανθρώπους ή να δημιουργηθούν από άλλον αλγόριθμο. Η μηχανική μάθηση μπορεί επίσης να οριστεί ως η διαδικασία επίλυσης ενός πρακτικού προβλήματος με συλλογή ενός συνόλου δεδομένων και η αλγοριθμική δημιουργία ενός στατιστικού μοντέλου βάσει αυτού του συνόλου δεδομένων. Αυτό το στατιστικό μοντέλο θεωρείται ότι χρησιμοποιείται για την επίλυση ενός πρακτικού προβλήματος [90]. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης δημιουργούν ένα μαθηματικό μοντέλο βασισμένο σε δείγματα δεδομένων, γνωστά ως «δεδομένα εκπαίδευσης» (training data), προκειμένου να λαμβάνουν προβλέψεις ή αποφάσεις χωρίς να έχουν προγραμματιστεί ρητά να το κάνουν. Χρησιμοποιούνται σε μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών όπου είναι δύσκολο ή ανέφικτο να αναπτυχθούν συμβατικοί αλγόριθμοι για την εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών.

Ο όρος μηχανική μάθηση επινοήθηκε το 1959 από τον Αμερικάνο Arthur Samuel, υπάλληλο της IBM και έπειτα καθηγητή στο Stanford, καθώς και πρωτοπόρο στον τομέα των ηλεκτρονικών παιχνιδιών και της τεχνητής νοημοσύνης [91]. Ένα αντιπροσωπευτικό βιβλίο της έρευνας μηχανικής μάθησης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 ήταν το βιβλίο του Nilsson για τις μηχανές εκμάθησης, που ασχολήθηκε κυρίως με τη μηχανική μάθηση για την ταξινόμηση προτύπων (pattern classification) [92]. Το 1985 δόθηκε μια αναφορά σχετικά με τη χρήση τεχνικών διδασκαλίας, ώστε ένα νευρικό δίκτυο να μάθει να αναγνωρίζει 40 χαρακτήρες (26 γράμματα, 10 ψηφία και 4 ειδικά σύμβολα) από τερματικό υπολογιστή [93]. Ο Αμερικάνος καθηγητής του Carnegie Mellon Tom M. Mitchell παρείχε έναν ευρέως αναφερόμενο, πιο επίσημο ορισμό των αλγορίθμων που μελετήθηκαν στον τομέα της μηχανικής μάθησης: «Ένα πρόγραμμα υπολογιστή λέγεται ότι μαθαίνει από την εμπειρία E σε σχέση με κάποια κλάση εργασιών T και απόδοσης μέτρου P εάν η απόδοσή του στις εργασίες T, όπως μετράται από το P, βελτιώνεται με την εμπειρία E.» Αυτός ο ορισμός των εργασιών στις οποίες αφορά η μηχανική μάθηση προσφέρει έναν ουσιαστικά λειτουργικό ορισμό αντί να ορίζει το πεδίο με γνωστικούς όρους.

Αυτό ακολουθεί την πρόταση του Alan Turing στο paper του, στο οποίο το ερώτημα «Μπορούν οι μηχανές να σκεφτούν;» αντικαθίσταται με την ερώτηση «Μπορούν οι μηχανές να κάνουν αυτό που μπορούμε (ως σκεπτόμενες οντότητες) να κάνουμε;» [94].

2.3.2 Προσεγγίσεις Μηχανικής Μάθησης

Η μηχανική μάθηση περιλαμβάνει υπολογιστές που ανακαλύπτουν πώς μπορούν να εκτελέσουν εργασίες χωρίς να έχουν προγραμματιστεί ρητά να το κάνουν. Περιλαμβάνει υπολογιστές που μαθαίνουν από δεδομένα που παρέχονται έτσι ώστε να εκτελούν συγκεκριμένες εργασίες. Για απλές εργασίες που τους έχουν ανατεθεί είναι δυνατό να προγραμματιστούν αλγόριθμοι που να λένε στον υπολογιστή πώς να εκτελέσει όλα τα βήματα που απαιτούνται για την επίλυση του προβλήματος που αντιμετωπίζεται. Από την πλευρά του υπολογιστή, δεν απαιτείται μάθηση. Για πιο προηγμένες εργασίες, μπορεί να είναι δύσκολο για έναν άνθρωπο να δημιουργήσει χειροκίνητα τους απαραίτητους αλγόριθμους. Στην πράξη, μπορεί να αποδειχθεί πιο αποτελεσματικό να βοηθήσει το μηχάνημα να αναπτύξει τον δικό του αλγόριθμο, παρά να πρέπει ο προγραμματιστής να καθορίσει κάθε απαραίτητο βήμα. Το πεδίο της μηχανικής μάθησης χρησιμοποιεί διάφορες προσεγγίσεις για να «διδάξει» τους υπολογιστές να εκτελούν εργασίες όπου δεν υπάρχει πλήρως ικανοποιητικός αλγόριθμος. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει τεράστιος αριθμός πιθανών απαντήσεων, μια προσέγγιση είναι να επισημανθούν (labeled) ορισμένες από τις σωστές απαντήσεις ως έγκυρες. Αυτό μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ως δεδομένα εκπαίδευσης για τον υπολογιστή για τη βελτίωση του αλγορίθμου που χρησιμοποιεί για τον προσδιορισμό των σωστών απαντήσεων.

Οι προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης χωρίζονται σε τρεις ευρείες κατηγορίες, ανάλογα με τη φύση της «ανατροφοδότησης» που είναι διαθέσιμη στο σύστημα μάθησης:

1. *Επιβλεπόμενη μάθηση (supervised learning).* Οι επιβλεπόμενοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης δημιουργούν ένα μαθηματικό μοντέλο ενός συνόλου δεδομένων που περιέχει τόσο τις εισόδους όσο και τις επιθυμητές εξόδους. Τα δεδομένα είναι γνωστά ως δεδομένα εκπαίδευσης (training data) και αποτελούνται από ένα σύνολο παραδειγμάτων εκπαίδευσης. Κάθε παράδειγμα εκπαίδευσης έχει μία ή περισσότερες εισόδους και την επιθυμητή έξοδο, επίσης γνωστή ως σήμα εποπτείας. Στο μαθηματικό μοντέλο, κάθε παράδειγμα εκπαίδευσης αντιπροσωπεύεται από έναν πίνακα ή ένα διάνυσμα, μερικές φορές ονομάζεται «διάνυσμα χαρακτηριστικών» (feature vector) και τα δεδομένα εκπαίδευσης αντιπροσωπεύονται από έναν πίνακα. Ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών είναι ένα διάνυσμα στο οποίο κάθε διάσταση περιέχει μια τιμή που περιγράφει με κάποιον τρόπο το παράδειγμα. Αυτή η τιμή ονομάζεται χαρακτηριστικό. Για παράδειγμα, εάν κάθε παράδειγμα στη συλλογή μας αντιπροσωπεύει ένα άτομο, τότε το πρώτο χαρακτηριστικό, θα μπορούσε να περιέχει ύψος σε cm, το δεύτερο χαρακτηριστικό, θα μπορούσε να περιέχει βάρος σε kg, το τρίτο θα μπορούσε να περιέχει φύλο και ούτω καθεξής.

   Μέσω επαναληπτικής βελτιστοποίησης, οι επιβλεπόμενοι αλγόριθμοι μάθησης μαθαίνουν μια συνάρτηση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της παραγωγής που σχετίζεται με νέες

εισόδους. Με συνεχή βελτιστοποίηση λειτουργία θα επιτρέψει στον αλγόριθμο να καθορίσει σωστά την έξοδο για εισόδους που δεν ήταν μέρος των εκπαιδευτικών δεδομένων. Ένας αλγόριθμος που βελτιώνει την ακρίβεια των εξόδων ή των προβλέψεών του με την πάροδο του χρόνου λέγεται ότι έμαθε να εκτελεί αυτήν την εργασία.

Οι τύποι επιβλεπόμενων αλγορίθμων μάθησης περιλαμβάνουν την ενεργή μάθηση, την ταξινόμηση και την παλινδρόμηση. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης χρησιμοποιούνται όταν οι έξοδοι περιορίζονται σε ένα περιορισμένο σύνολο τιμών και οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης χρησιμοποιούνται όταν οι έξοδοι μπορεί να έχουν οποιαδήποτε αριθμητική τιμή εντός ενός εύρους. Για παράδειγμα, για έναν αλγόριθμο ταξινόμησης που φιλτράρει τα e-mail, η είσοδος θα είναι ένα εισερχόμενο e-mail και η έξοδος θα είναι το όνομα του φακέλου στον οποίο θα υποβληθεί το e-mail.

Η ταξινόμηση είναι ένα πρόβλημα της αυτόματης εκχώρησης μιας ετικέτας σε ένα παράδειγμα χωρίς ετικέτα. Η ανίχνευση spam είναι ένα διάσημο παράδειγμα ταξινόμησης. Στη μηχανική μάθηση, το πρόβλημα ταξινόμησης επιλύεται από έναν αλγόριθμο μάθησης ταξινόμησης που λαμβάνει μια συλλογή από επισημασμένα παραδείγματα ως εισόδους και παράγει ένα μοντέλο που μπορεί να πάρει ένα μη επισημασμένο παράδειγμα ως είσοδο και είτε εξάγει απευθείας μια ετικέτα είτε εξάγει έναν αριθμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον αναλυτή για να συμπεράνει την ετικέτα. Ένα παράδειγμα τέτοιου αριθμού είναι μια πιθανότητα. Σε ένα πρόβλημα ταξινόμησης, μια ετικέτα είναι μέλος ενός πεπερασμένου συνόλου τάξεων. Εάν το μέγεθος του συνόλου των τάξεων είναι δύο («άρρωστος» / «υγιής», «spam» / «όχι_spam»), μιλάμε για δυαδική ταξινόμηση. Ταξινόμηση πολλαπλών κλάσεων είναι ένα πρόβλημα ταξινόμησης με τρεις ή περισσότερες κατηγορίες (με μία ετικέτα ανά παράδειγμα). Ενώ ορισμένοι αλγόριθμοι μάθησης επιτρέπουν φυσικά περισσότερες από δύο τάξεις, άλλοι είναι από τη φύση τους δυαδικοί αλγόριθμοι ταξινόμησης.

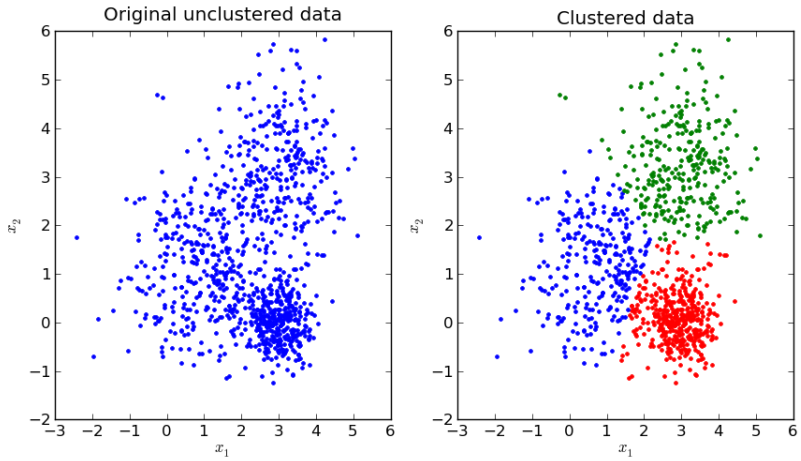
Η παλινδρόμηση είναι ένα πρόβλημα της πρόβλεψης μιας πραγματικής αξίας ετικέτας (που συχνά ονομάζεται στόχος) με δεδομένο ένα παράδειγμα χωρίς ετικέτα. Για παράδειγμα, η εκτίμηση της τιμής μίας κατοικίας βασίζεται σε χαρακτηριστικά της, όπως η περιοχή, ο αριθμός των υπνοδωματίων, η τοποθεσία και ούτω καθεξής. Το πρόβλημα παλινδρόμησης επιλύεται από έναν αλγόριθμο μάθησης παλινδρόμησης που παίρνει μια συλλογή των παραδειγμάτων με ετικέτα ως εισόδους και παράγει ένα μοντέλο που μπορεί να πάρει ένα μη επισημασμένο παράδειγμα ως εισαγωγή και έξοδος ενός στόχο [90].

2. *Μη-επιβλεπόμενη μηχανική μάθηση (unsupervised machine learning).* Οι μη-επιβλεπόμενοι αλγόριθμοι μάθησης λαμβάνουν ένα σύνολο δεδομένων που περιέχει μόνο εισόδους και βρίσκουν δομή στα δεδομένα, όπως ομαδοποίηση (clustering) (βλ Εικόνα 15[14]) σημείων δεδομένων. Οι αλγόριθμοι, επομένως, μαθαίνουν από δεδομένα που δεν έχουν επισημανθεί, ταξινομηθεί ή κατηγοριοποιηθεί. Αντί να ανταποκρίνονται στην ανατροφοδότηση, οι μη επιβλεπόμενοι μαθησιακοί αλγόριθμοι εντοπίζουν

[14] Πηγή: https://mubaris.com/posts/kmeans-clustering/ Πρόσβαση 29/06/2020

ομοιότητες στα δεδομένα και αντιδρούν με βάση την παρουσία ή την απουσία τέτοιων ομοιοτήτων σε κάθε νέο κομμάτι δεδομένων. Μια κεντρική εφαρμογή της μη-επιβλεπόμενης μάθησης είναι στον τομέα της εκτίμησης της πυκνότητας στα στατιστικά στοιχεία, όπως η εύρεση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας. Αν και η μη επιτηρούμενη μάθηση περιλαμβάνει άλλους τομείς που περιλαμβάνουν περίληψη και εξήγηση των χαρακτηριστικών των δεδομένων.

Ανάλυση συστάδων (clusters) είναι η αντιστοίχιση ενός συνόλου παρατηρήσεων σε υποσύνολα (που ονομάζονται συστάδες) έτσι ώστε οι παρατηρήσεις εντός της ίδιας συστάδας να είναι παρόμοιες σύμφωνα με ένα ή περισσότερα προκαθορισμένα κριτήρια, ενώ οι παρατηρήσεις που προέρχονται από διαφορετικές συστάδες είναι διαφορετικές. Διαφορετικές τεχνικές ομαδοποίησης κάνουν διαφορετικές παραδοχές σχετικά με τη δομή των δεδομένων, που συχνά ορίζονται από κάποια μέτρηση ομοιότητας και αξιολογούνται, για παράδειγμα, από την *εσωτερική συνοχή*, ή την ομοιότητα μεταξύ των μελών του ίδιου συμπλέγματος και τον *διαχωρισμό*, τη διαφορά μεταξύ συστάδων. Άλλες μέθοδοι βασίζονται στην εκτιμώμενη *πυκνότητα* και *συνδεσιμότητα γραφήματος*.



Εικόνα 15: Παράδειγμα clustering (K-means clustering)

3. *Ημι-επιβλεπόμενη μάθηση (semi-supervised learning).* Στην ημι-επιβλεπόμενη μάθηση, το σύνολο δεδομένων περιέχει παραδείγματα και με ετικέτα και χωρίς ετικέτα (label). Συνήθως, η ποσότητα των παραδειγμάτων χωρίς ετικέτα είναι πολύ υψηλότερη από αυτήν με ετικέτα. Ο στόχος ενός αλγόριθμου ημι-εποπτευόμενης μάθησης είναι ο ίδιος με τον στόχο του αλγορίθμου της εποπτευόμενης μάθησης. Η ελπίδα εδώ είναι ότι η χρήση πολλών παραδειγμάτων χωρίς ετικέτα μπορεί να βοηθήσει τον αλγόριθμο εκμάθησης να βρει (μπορούμε να πούμε να «υπολογίσει») ένα καλύτερο μοντέλο. Θα μπορούσε να φαίνεται παράδοξο ότι η μάθηση θα μπορούσε να ωφεληθεί από την προσθήκη ετικέτα παραδειγμάτων χωρίς ετικέτα και φαίνεται ότι προσθέτουμε περισσότερη αβεβαιότητα στο πρόβλημα. Ωστόσο, όταν προστίθενται παραδείγματα χωρίς ετικέτα, προστίθενται και περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το πρόβλημα. Ένα μεγαλύτερο δείγμα αντικατοπτρίζει καλύτερα την κατανομή της πιθανότητας από την

οποία προέρχονται τα δεδομένα από τα οποία επισημάνουμε. Θεωρητικά, ένας αλγόριθμος μάθησης θα πρέπει να μπορεί να αξιοποιεί αυτές τις πρόσθετες πληροφορίες [90].

4. *Ενισχυτική μάθηση (reinforcement learning).* Η ενισχυτική μάθηση είναι ένα υποπεδίο της μηχανικής μάθησης όπου η μηχανή «ζει» μέσα σε ένα περιβάλλον και είναι ικανή να αντιληφθεί την κατάσταση αυτού του περιβάλλοντος ως ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών. Η μηχανή μπορεί να εκτελέσει ενέργειες σε κάθε κατάσταση. Διαφορετικές δράσεις φέρνουν διαφορετικές ανταμοιβές και θα μπορούσε επίσης να μετακινήσει τη μηχανή σε άλλη κατάσταση του περιβάλλοντος. Ο στόχος ενός αλγορίθμου ενισχυτικής μάθησης είναι να μάθει μια πολιτική. Μια πολιτική είναι μια συνάρτηση (παρόμοια με το μοντέλο της επιβλεπόμενης μάθησης) που λαμβάνει το διάνυσμα χαρακτηριστικών μιας κατάστασης ως είσοδο και εξάγει μια βέλτιστη ενέργεια για εκτέλεση σε αυτήν την κατάσταση. Η ενέργεια είναι βέλτιστη αν μεγιστοποιήσει την αναμενόμενη μέση ανταμοιβή. Πολλοί αλγόριθμοι ενισχυτικής μάθησης χρησιμοποιούν δυναμικές τεχνικές προγραμματισμού [95], δεν προϋποθέτουν γνώση ενός ακριβούς μαθηματικού μοντέλου και χρησιμοποιούνται όταν τα ακριβή μοντέλα είναι ανέφικτα. Η ενισχυτική μάθηση επιλύει ένα συγκεκριμένο είδος προβλήματος, οπού η λήψη αποφάσεων είναι διαδοχική και ο στόχος είναι μακροπρόθεσμος όπως σε αυτόνομα οχήματα ή στην εκμάθηση να παίζει ο αλγόριθμος ένα παιχνίδι εναντίον ενός ανθρώπινου αντιπάλου.

Αυτές ήταν μόνο μερικές από τις πολλές προσεγγίσεις που μπορούν να ακολουθηθούν. Ακολουθεί μία μικρή ανάλυση μερικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται για να πραγματοποιηθεί η μάθηση.

2.3.3 Μοντέλα μηχανικής μάθησης

Η διαδικασία της μηχανικής μάθησης περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός μοντέλου, το οποίο εκπαιδεύεται σε ορισμένα δεδομένα εκπαίδευσης (training data) και στη συνέχεια μπορεί να επεξεργαστεί πρόσθετα δεδομένα για να κάνει προβλέψεις. Χρησιμοποιήθηκαν και ερευνήθηκαν διάφοροι τύποι μοντέλων για συστήματα μηχανικής μάθησης.

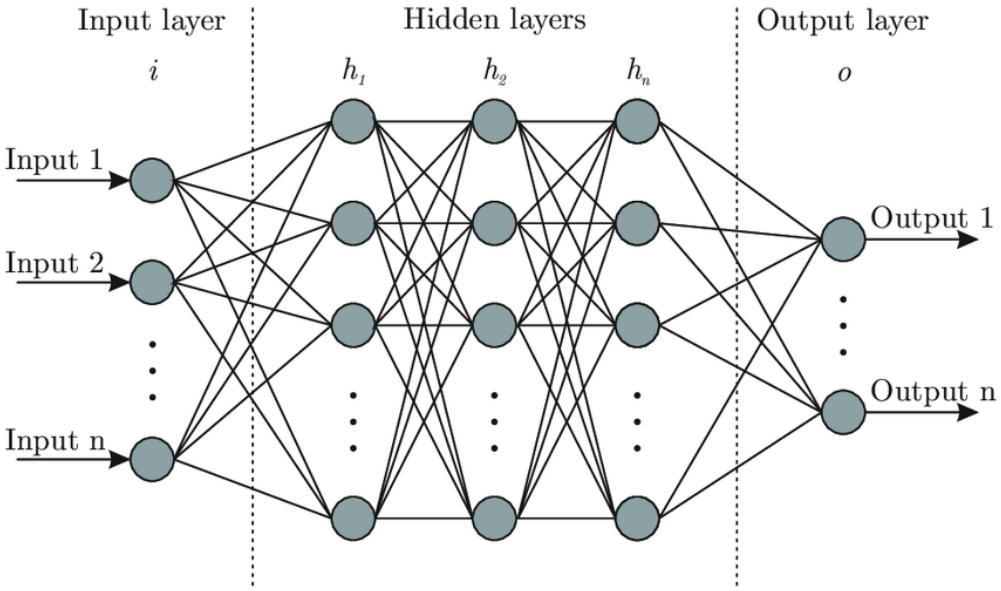
Τα **τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (artificial neural networks - ANN)** (βλ Εικόνα 16[15]), είναι υπολογιστικά συστήματα εμπνευσμένα αόριστα από τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα που αποτελούν τους ζωικούς εγκεφάλους. Τέτοια συστήματα «μαθαίνουν» να εκτελούν εργασίες λαμβάνοντας υπόψη παραδείγματα, γενικά χωρίς να προγραμματίζονται με ειδικούς κανόνες για την εργασία. Το ANN είναι ένα μοντέλο που βασίζεται σε μια συλλογή συνδεδεμένων μονάδων ή κόμβων που ονομάζονται «τεχνητοί νευρώνες», οι οποίοι μοντελοποιούν τους νευρώνες (Εικόνα 1) σε έναν βιολογικό εγκέφαλο. Κάθε σύνδεση, όπως οι συνάψεις σε έναν βιολογικό εγκέφαλο, μπορεί να μεταδώσει πληροφορίες, ένα «σήμα», από έναν τεχνητό νευρώνα στον άλλο. Ένας τεχνητός νευρώνας που λαμβάνει ένα σήμα μπορεί να το επεξεργαστεί και στη συνέχεια να σηματοδοτήσει επιπλέον τεχνητούς νευρώνες που συνδέονται με αυτόν.

[15] Πηγή https://mc.ai/my-notes-on-neural-networks-2/ Πρόσβαση 29/06/20

Σε κοινές εφαρμογές ANN, το σήμα σε μια σύνδεση μεταξύ τεχνητών νευρώνων είναι ένας πραγματικός αριθμός και η έξοδος κάθε τεχνητού νευρώνα υπολογίζεται από κάποια μη γραμμική συνάρτηση του αθροίσματος των εισόδων του. Οι συνδέσεις μεταξύ τεχνητών νευρώνων ονομάζονται «ακμές». Οι τεχνητοί νευρώνες και οι ακμές έχουν συνήθως *βάρος* που προσαρμόζεται καθώς προχωρά η μάθηση. Το βάρος αυξάνει ή μειώνει την ισχύ του σήματος σε μια σύνδεση. Οι τεχνητοί νευρώνες μπορεί να έχουν ένα κατώφλι έτσι ώστε το σήμα να αποστέλλεται μόνο εάν το συνολικό σήμα υπερβεί το όριο αυτό.

Υπάρχουν τρεις τύποι νευρώνων: οι *νευρώνες εισόδου*, οι *νευρώνες εξόδου* και οι *υπολογιστικοί ή κρυμμένοι νευρώνες*. Οι νευρώνες εισόδου δεν επιτελούν κανέναν υπολογισμό, μεσολαβούν απλώς ανάμεσα στις περιβαλλοντικές εισόδους του δικτύου και στους υπολογιστικούς νευρώνες. Συνήθως, οι τεχνητοί νευρώνες συγκεντρώνονται σε στρώματα. Διαφορετικά επίπεδα μπορεί να εκτελούν διαφορετικών ειδών μετασχηματισμών στις εισόδους τους. Τα σήματα μετακινούνται από το πρώτο στρώμα (το στρώμα εισόδου) στο τελευταίο στρώμα (το επίπεδο εξόδου), πιθανώς αφού περάσουν τα στρώματα πολλές φορές. Ο αρχικός στόχος της προσέγγισης ANN ήταν η επίλυση προβλημάτων με τον ίδιο τρόπο που θα έκανε ένας ανθρώπινος εγκέφαλος. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, η προσοχή στράφηκε στην εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών, οδηγώντας σε αποκλίσεις από τη βιολογία. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί σε μια ποικιλία εργασιών όπως η υπολογιστική όραση, η αναγνώριση ομιλίας, η αυτόματη μετάφραση, το φιλτράρισμα κοινωνικών δικτύων και η ιατρική διάγνωση.

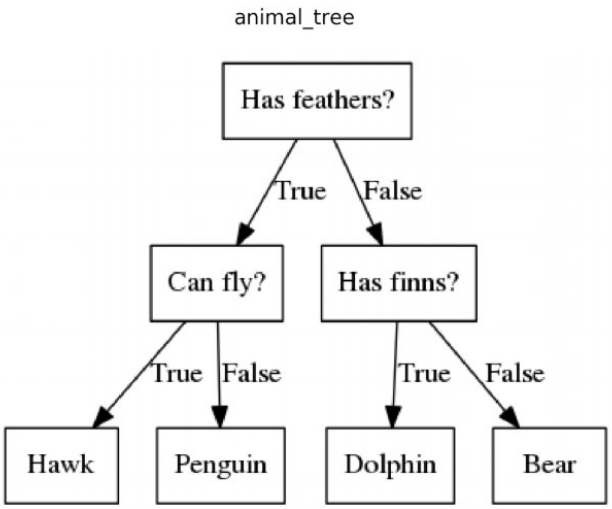
Τα μεγάλα και αποτελεσματικά νευρωνικά δίκτυα απαιτούν σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους. Ενώ ο εγκέφαλος διαθέτει υλικό προσαρμοσμένο στην εργασία επεξεργασίας σημάτων μέσω γραφήματος νευρώνων, η προσομοίωση ακόμη και ενός απλοποιημένου νευρώνα στην αρχιτεκτονική von Neumann μπορεί να καταναλώνει τεράστιες ποσότητες μνήμης και αποθήκευσης. Επιπλέον, ο σχεδιαστής συχνά χρειάζεται να μεταδίδει σήματα μέσω πολλών από αυτές τις συνδέσεις και τους σχετικούς νευρώνες - που απαιτούν τεράστια ισχύ CPU.



Εικόνα 16: Τεχνητό νευρωνικό δίκτυο. Κάθε κυκλικός κόμβος είναι ένας νευρώνας ενώ κάθε ακμή είναι μία σύνδεση από την έξοδο του ενός νευρώνα στην είσοδο ενός άλλου.

Επιπλέον υπάρχουν τα **δέντρα αποφάσεων (decision trees)** (βλ. Εικόνα 17[16]). Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί ένα δέντρο αποφάσεων ως προγνωστικό μοντέλο για να μεταβεί από παρατηρήσεις σχετικά με ένα αντικείμενο (που αντιπροσωπεύεται στα κλαδιά) σε συμπεράσματα σχετικά με την τιμή-στόχο του αντικειμένου (που απεικονίζεται στα φύλλα). Είναι μια από τις προγνωστικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης που χρησιμοποιούνται στις στατιστικές, στην εξόρυξη δεδομένων και στη μηχανική μάθηση. Δενδρικά μοντέλα όπου η μεταβλητή στόχος μπορεί να λάβει ένα ξεχωριστό σύνολο τιμών ονομάζονται δέντρα ταξινόμησης. Σε αυτές τις δομές δέντρων, τα φύλλα αντιπροσωπεύουν ετικέτες κλάσης και τα κλαδιά αντιπροσωπεύουν συνδέσμους χαρακτηριστικών που οδηγούν σε αυτές τις ετικέτες κλάσης. Δέντρα απόφασης όπου η μεταβλητή στόχος μπορεί να λάβει συνεχείς τιμές (συνήθως πραγματικοί αριθμοί) ονομάζονται δέντρα παλινδρόμησης. Στην ανάλυση αποφάσεων, ένα δέντρο αποφάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απεικονίσει οπτικά και ρητά τις αποφάσεις και τη λήψη αποφάσεων. Στην εξόρυξη δεδομένων, ένα δέντρο αποφάσεων περιγράφει δεδομένα, αλλά το δέντρο ταξινόμησης που προκύπτει μπορεί να αποτελέσει είσοδο για τη λήψη αποφάσεων.

[16]Πηγή: https://mc.ai/machine-learning-algorithms-decision-trees/ Πρόσβαση 30/06/2020

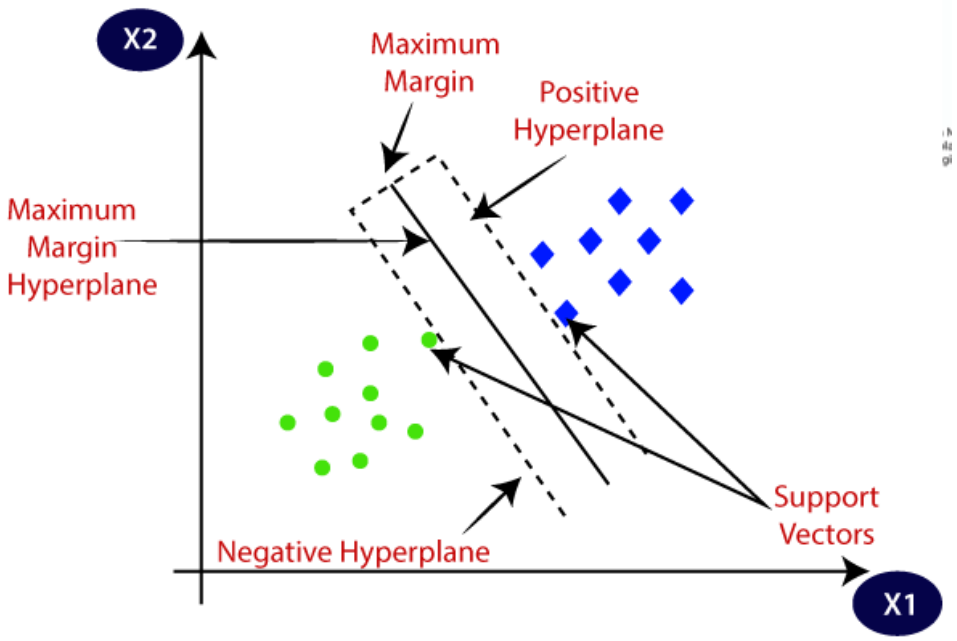


Εικόνα 17:Δέντρο αποφάσεων

Τα πλεονεκτήματα των δέντρων απόφασης είναι τα εξής: Είναι απλά στην κατανόηση, ερμηνεία και οπτικοποίηση, μπορούν να χειριστούν τόσο αριθμητικά όσο και κατηγορηματικά δεδομένα. Μπορεί επίσης να χειριστεί προβλήματα πολλαπλών εξόδων. Επίσης τα δέντρα αποφάσεων απαιτούν σχετικά μικρή προσπάθεια από τους χρήστες για την προετοιμασία δεδομένων και τέλος οι μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ παραμέτρων δεν επηρεάζουν την απόδοση του δέντρου. Ωστόσο υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα: οι αρχάριοι στον τομέα μπορούν να δημιουργήσουν πολύπλοκα δέντρα που δεν γενικεύουν καλά τα δεδομένα. Αυτό ονομάζεται υπερμοντελοποίηση (overfitting) και μπορεί να μην ταιριάζει με πρόσθετα δεδομένα ή να μην μπορεί να προβλέψει αξιόπιστες μελλοντικές παρατηρήσεις. Επιπλέον, λόγω έλλειψης εμπειρίας μπορούν να δημιουργήσουν προκατειλημμένα δέντρα εάν κυριαρχούν ορισμένες τάξεις. Συνιστάται επομένως να εξισορροπηθεί το σύνολο δεδομένων πριν από την προσαρμογή με το δέντρο αποφάσεων. Επίσης, τα δέντρα αποφάσεων μπορεί να είναι ασταθή επειδή μικρές διακυμάνσεις στα δεδομένα ενδέχεται να έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εντελώς διαφορετικού δέντρου. Αυτό ονομάζεται διακύμανση. Οι άπληστοι αλγόριθμοι δεν εγγυώνται την επιστροφή του παγκόσμιου βέλτιστου δέντρου αποφάσεων. Αυτό μπορεί να μετριαστεί με την κατάρτιση πολλαπλών δέντρων, όπου τα χαρακτηριστικά και τα δείγματα λαμβάνονται τυχαία δείγματα με αντικατάσταση.

Τέλος θα αναφερθούν οι **μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (support vector machines - SVMs)**, επίσης γνωστές ως δίκτυα διανυσμάτων υποστήριξης, που είναι ένα σύνολο επιβλεπόμενων μεθόδων μάθησης που χρησιμοποιούνται κυρίως για ταξινόμηση αλλά και για παλινδρόμηση. Ο αρχικός αλγόριθμος SVM εφευρέθηκε από τους Vladimir N. Vapnik και Alexey Ya. Chervonenkis το 1963. Το 1992, οι Bernhard Boser, Isabelle Guyon και Vladimir Vapnik πρότειναν έναν τρόπο δημιουργίας μη γραμμικών ταξινομητών εφαρμόζοντας το κόλπο του πυρήνα σε μεγάλα περιθώρια υπερεπιπέδων. Η λειτουργία τους είναι η εξής: Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο παραδειγμάτων εκπαίδευσης, το καθένα επισημαίνεται ότι ανήκει σε μία από δύο κατηγορίες. Έπειτα, ένας αλγόριθμος εκπαίδευσης SVM δημιουργεί ένα μοντέλο που προβλέπει εάν ένα νέο παράδειγμα εμπίπτει σε μία κατηγορία ή στην άλλη [96]. Ένα μοντέλο SVM είναι μια αναπαράσταση των παραδειγμάτων

ως σημεία στο διάστημα, χαρτογραφημένα έτσι ώστε τα παραδείγματα των ξεχωριστών κατηγοριών να διαιρούνται με ένα σαφές κενό που είναι όσο το δυνατόν ευρύτερο. Στη συνέχεια, νέα παραδείγματα χαρτογραφούνται στον ίδιο χώρο και προβλέπεται να ανήκουν σε μια κατηγορία με βάση την πλευρά του κενού στην οποία πέφτουν. Το SVM επιλέγει τα ακραία σημεία / διανύσματα που βοηθούν στη δημιουργία του *υπερεπιπέδου* (hyperplane). Αυτές οι ακραίες περιπτώσεις ονομάζονται διανύσματα υποστήριξης, και ως εκ τούτου ο αλγόριθμος ορίζεται ως Support Vector Machine. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 18[17]) υπάρχουν δύο διαφορετικές κατηγορίες που ταξινομούνται χρησιμοποιώντας ένα όριο απόφασης ή υπερεπίπεδο.



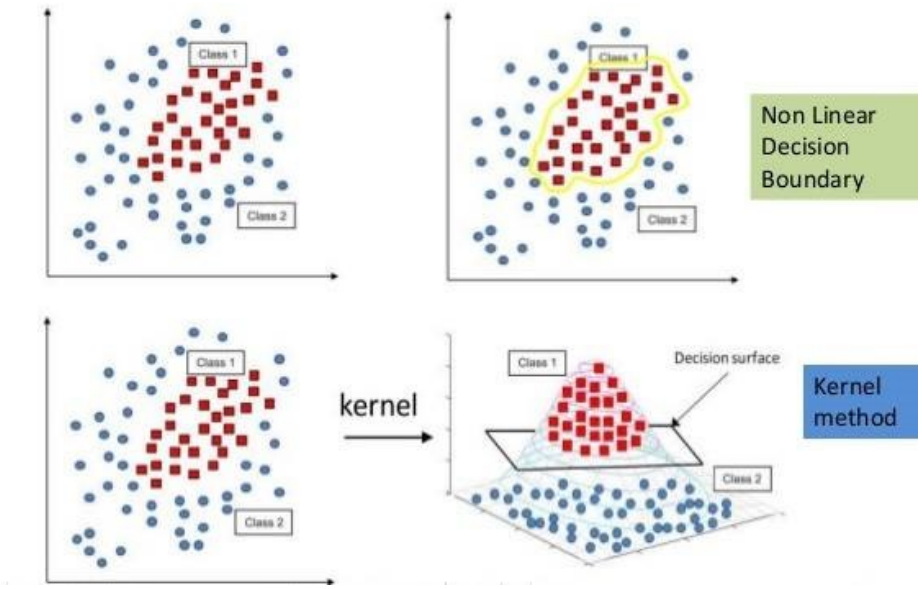
Εικόνα 18:Παράδειγμα γραμμικού μοντέλου SVM για ταξινόμηση

Το SVM μπορεί να είναι δύο τύπων:

- Γραμμικό SVM: Το γραμμικό SVM χρησιμοποιείται για γραμμικά διαχωρίσιμα δεδομένα, πράγμα που σημαίνει ότι εάν ένα σύνολο δεδομένων μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κατηγορίες χρησιμοποιώντας μία ευθεία γραμμή, τότε τέτοια δεδομένα ονομάζονται γραμμικά διαχωρίσιμα δεδομένα και ο ταξινομητής χρησιμοποιείται ονομάζεται Linear SVM classifier.
- Μη-γραμμικό SVM: Το μη γραμμικό SVM χρησιμοποιείται για μη γραμμικά διαχωρισμένα δεδομένα, πράγμα που σημαίνει ότι εάν ένα σύνολο δεδομένων δεν μπορεί να ταξινομηθεί χρησιμοποιώντας μια ευθεία γραμμή, τότε τέτοια δεδομένα ονομάζονται μη γραμμικά δεδομένα και ο ταξινομητής που χρησιμοποιείται ονομάζεται μη- γραμμικός ταξινομητής SVM.

[17] Πηγή https://www.javatpoint.com/machine-learning-support-vector-machine-algorithm Πρόσβαση 30/06/2020

Εάν τα δεδομένα είναι γραμμικά διατεταγμένα, τότε μπορούμε να τα διαχωρίσουμε χρησιμοποιώντας μια ευθεία γραμμή, αλλά για μη γραμμικά δεδομένα, δεν μπορούμε να σχεδιάσουμε μία ευθεία γραμμή. Επομένως, για να διαχωρίσουμε αυτά τα σημεία δεδομένων, πρέπει να προσθέσουμε μια ακόμη διάσταση. Για γραμμικά δεδομένα, χρησιμοποιήσαμε δύο διαστάσεις x και y, οπότε για μη γραμμικά δεδομένα, θα προσθέσουμε μια τρίτη διάσταση z. Μπορεί να υπολογιστεί ως: $z=x^2+y^2$. Πράγματι, εάν καταφέρουμε να μετατρέψουμε τον αρχικό χώρο σε χώρο υψηλότερης διάστασης, ότι τα παραδείγματα θα γίνουν γραμμικά διαχωρίσιμα σε αυτόν μεταμορφωμένο χώρο. Σε SVMs, χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση για να μετασχηματίσουμε έμμεσα τον αρχικό χώρο σε ένα χώρο υψηλότερης διάστασης κατά τη βελτιστοποίηση της συνάρτησης κόστους ονομάζεται *κόλπο πυρήνα (kernel trick)*. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην Εικόνα 19[18].



Εικόνα 19: Μη γραμμική διαχώριση δεδομένων σε SVM

Τα πιθανά μειονεκτήματα του SVM μπορούν να είναι τα ακόλουθα: απαιτείται πλήρες labeling των δεδομένων εισαγωγής, το SVM ισχύει μόνο για εργασίες δύο κατηγοριών, επομένως πρέπει να εφαρμοστούν αλγόριθμοι που μειώνουν την εργασία πολλαπλών τάξεων σε δυαδικά προβλήματα και τέλος είναι δύσκολο να ερμηνευθούν οι παράμετροι ενός λυμένου μοντέλου.

Τα SVM είναι χρήσιμα στην κατηγοριοποίηση κειμένου, καθώς η εφαρμογή τους μπορεί να μειώσει σημαντικά την ανάγκη για επισημασμένες εκπαιδευτικές παρουσίες τόσο στις τυπικές μεταγωγικές όσο και στις επαγωγικές ρυθμίσεις [97] (η μεταγωγή είναι η αιτιολόγηση από παρατηρούμενες, συγκεκριμένες περιπτώσεις εκπαίδευσης σε συγκεκριμένες περιπτώσεις δοκιμών. Αντίθετα, η επαγωγή είναι η αιτιολόγηση από τις παρατηρούμενες περιπτώσεις εκπαίδευσης σε γενικούς κανόνες, οι οποίοι στη συνέχεια εφαρμόζονται στις δοκιμαστικές περιπτώσεις. Η διάκριση είναι πιο ενδιαφέρουσα σε περιπτώσεις όπου οι προβλέψεις του

[18] Πηγή https://kgpdag.wordpress.com/2015/08/12/svm-simplified/ Πρόσβαση 30/06/2020

μεταγωγικού μοντέλου δεν είναι εφικτές από κανένα επαγωγικό μοντέλο). Επίσης χρησιμοποιώντας SVM μπορεί να γίνει ταξινόμηση εικόνων. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι τα SVM επιτυγχάνουν σημαντικά υψηλότερη ακρίβεια αναζήτησης από τα παραδοσιακά σχήματα βελτίωσης ερωτημάτων μετά από μόλις τρεις έως τέσσερις κύκλους ανατροφοδότησης σχετικά με τη συνάφεια. Αυτό ισχύει επίσης για τα συστήματα τμηματοποίησης εικόνων. Η ταξινόμηση δορυφορικών δεδομένων όπως δεδομένα SAR μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας επιβλεπόμενο SVM και χειρόγραφοι χαρακτήρες μπορούν να αναγνωριστούν χρησιμοποιώντας το SVM [98]. Τέλος, το μοντέλο SVM έχει εφαρμοστεί ευρέως στις βιολογικές επιστήμες καθώς έχουν χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση των πρωτεϊνών με έως και 90% των ενώσεων να ταξινομούνται σωστά.

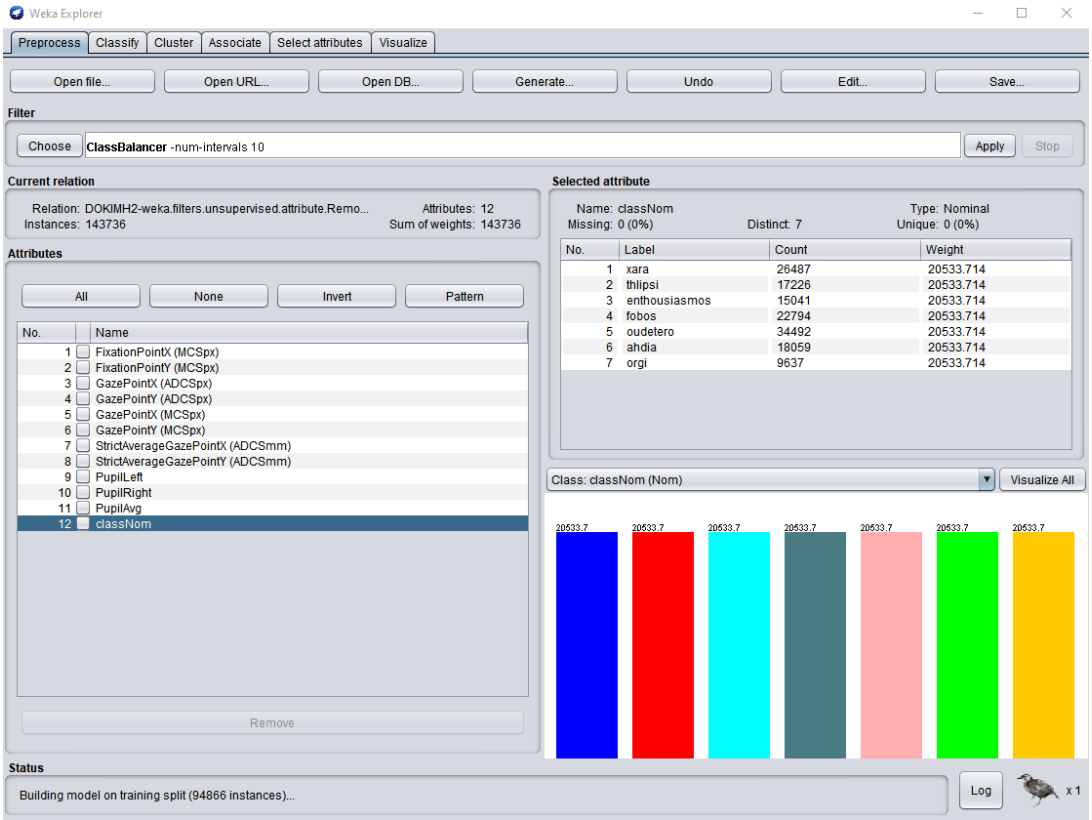
Το μοντέλο SVM έχει χρησιμοποιηθεί και σε ψυχολογικές μελέτες. Σε μία έρευνα, προτάθηκε ένα μοντέλο για την αναγνώριση τριών συναισθημάτων: διασκέδαση, θλίψη και ουδέτερο από φυσιολογικά σήματα με σκοπό την ανάπτυξη μιας αξιόπιστης μεθοδολογίας για την αναγνώριση συναισθημάτων χρησιμοποιώντας φορητές συσκευές. Τα στοχευόμενα συναισθήματα εμφανίστηκαν σε 37 εθελοντές χρησιμοποιώντας βίντεο κλιπ, ενώ καταγράφηκαν δύο βιολογικά σήματα: η φωτοπλασματογραφία, η οποία παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον καρδιακό ρυθμό και η γαλβανική απόκριση του δέρματος. Αυτά τα σήματα αναλύθηκαν σε τομείς συχνότητας και χρόνου για να ληφθεί ένα σύνολο χαρακτηριστικών. Αξιολογήθηκαν διάφορες τεχνικές επιλογής χαρακτηριστικών και ταξινομητές. Το καλύτερο μοντέλο ελήφθη με τυχαία αναδρομική εξάλειψη χαρακτηριστικών δασών, για επιλογή χαρακτηριστικών και μία μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης για ταξινόμηση. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι δυνατό να ανιχνευθεί διασκέδαση, θλίψη και ουδέτερα συναισθήματα χρησιμοποιώντας μόνο γαλβανικές λειτουργίες απόκρισης του δέρματος. Το σύστημα μπόρεσε να αναγνωρίσει τα τρία συναισθήματα στόχους με ακρίβεια έως και 100% όταν αξιολογήθηκε στο δοκιμαστικό dataset [99].

2.3.4 Εργαλεία Machine Learning

Στο διαδίκτυο υπάρχουν αρκετά εργαλεία που μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει για να ασχοληθεί με τη μηχανική μάθηση, ακόμα και χωρίς να γράψει κάποιο κώδικα. Ένα από αυτά είναι το Weka [100] που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Waikato της Νέας Ζηλανδίας και είναι ελεύθερο λογισμικό με άδεια χρήσης βάσει της άδειας GNU General Public License. Το Weka περιέχει μια συλλογή εργαλείων οπτικοποίησης και αλγορίθμων για ανάλυση δεδομένων και προγνωστική μοντελοποίηση, μαζί με γραφικές διεπαφές χρήστη για εύκολη πρόσβαση σε αυτές τις λειτουργίες. Το Weka υποστηρίζει πολλές τυπικές εργασίες εξόρυξης δεδομένων, πιο συγκεκριμένα, προεπεξεργασία δεδομένων, ομαδοποίηση, ταξινόμηση, παλινδρόμηση, οπτικοποίηση και επιλογή χαρακτηριστικών. Όλες οι τεχνικές του Weka βασίζονται στην υπόθεση ότι τα δεδομένα είναι διαθέσιμα ως ένα ενιαίο αρχείο, όπου κάθε σημείο δεδομένων περιγράφεται από έναν καθορισμένο αριθμό χαρακτηριστικών (συνήθως, αριθμητικά ή ονομαστικά χαρακτηριστικά, αλλά υποστηρίζονται και ορισμένοι άλλοι τύποι χαρακτηριστικών). Επίσης, παρέχει πρόσβαση στη βαθιά μάθηση με το Deeplearning4j καθώς και σε βάσεις δεδομένων SQL με τη δυνατότητα να μπορεί να επεξεργαστεί το αποτέλεσμα που επιστρέφεται από ένα ερώτημα βάσης δεδομένων.

Η κύρια διεπαφή χρήστη του Weka είναι ο Explorer (βλ Εικόνα 20). Υπάρχει επίσης ο Experimenter, που επιτρέπει τη συστηματική σύγκριση της προγνωστικής απόδοσης των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης της Weka σε μια συλλογή συνόλων δεδομένων. Η διεπαφή Explorer διαθέτει διάφορα πάνελ που παρέχουν πρόσβαση στα κύρια στοιχεία του πάγκου εργασίας:

- Το πλαίσιο «Preprocess» διαθέτει λειτουργίες για την εισαγωγή δεδομένων από μια βάση δεδομένων, ένα αρχείο τιμών διαχωρισμένων με κόμμα (CSV) κ.λπ. και για την προεπεξεργασία αυτών των δεδομένων χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο φιλτραρίσματος. Αυτά τα φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετασχηματίσουν τα δεδομένα (π.χ., να μετατρέψουν τα αριθμητικά χαρακτηριστικά σε διακριτά) και να καταστήσουν δυνατή τη διαγραφή παρουσιών και χαρακτηριστικών σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια.
- Το πλαίσιο «Classify» επιτρέπει την εφαρμογή αλγορίθμων ταξινόμησης και παλινδρόμησης (ονομάζονται ταξινομητές στο Weka) στο σύνολο δεδομένων που προκύπτει, για την εκτίμηση της ακρίβειας του προκύπτοντος μοντέλου πρόβλεψης και για την απεικόνιση εσφαλμένων προβλέψεων, καμπυλών χαρακτηριστικών λειτουργίας δέκτη (ROC) κ.λπ. ή το ίδιο το μοντέλο (εάν το μοντέλο είναι επιδεκτικό στην οπτικοποίηση, όπως π.χ. ένα δέντρο αποφάσεων).
- Το πλαίσιο «Associate» παρέχει πρόσβαση σε κανόνες συσχέτισης που προσπαθούν να προσδιορίσουν όλες τις σημαντικές σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών στα δεδομένα.
- Το πλαίσιο «Cluster» παρέχει πρόσβαση στις τεχνικές ομαδοποίησης στο Weka, π.χ. στον απλό αλγόριθμο k-means.
- Το πλαίσιο «Select attributes» παρέχει αλγόριθμους για τον προσδιορισμό των πιο προβλέψιμων χαρακτηριστικών σε ένα σύνολο δεδομένων.
- Ο πίνακας «Visualize δείχνει ένα μητρώο διαγράμματος διασποράς, όπου μπορούν να επιλεγούν και να μεγεθυνθούν μεμονωμένες γραφικές παραστάσεις και να αναλυθούν περαιτέρω χρησιμοποιώντας διάφορους τελεστές.



Εικόνα 20:Η διεπαφή Explorer του Weka. Στο πάνω μέρος φαίνονται τα πλαίσια με τις λειτουργίες

Ένα άλλο εργαλείο είναι το TensorFlow, μία μαθηματική βιβλιοθήκη την οποία ανέπτυξε η Google Brain, ομάδα τεχνητής νοημοσύνης της Google, αρχικά για εσωτερική χρήση. Σκοπός της δημιουργίας της ήταν η διευκόλυνση διαδικασιών όπως ο προγραμματισμός ροής δεδομένων, ενώ βρήκε χρήση και στην μηχανική μάθηση έχοντας ως παράδειγμα τα νευρωνικά δίκτυα. Η δημόσια διανομή του TensorFlow έγινε τον Νοέμβριο του 2015 κάτω από την άδεια ανοιχτού λογισμικού της Apache (Apache 2.0 Open Source License). Η ευέλικτη αρχιτεκτονική του επιτρέπει την εύκολη ανάπτυξη υπολογισμών σε μια ποικιλία πλατφορμών (CPU, GPU, TPU) και από επιτραπέζιους υπολογιστές έως ομάδες διακομιστών σε κινητές συσκευές. Οι υπολογισμοί TensorFlow εκφράζονται ως γραφικά γραφήματα ροής δεδομένων. Το όνομα TensorFlow προέρχεται από τις λειτουργίες που εκτελούν τέτοια νευρωνικά δίκτυα σε πολυδιάστατες συστοιχίες δεδομένων, οι οποίες αναφέρονται ως tensors. Μεταξύ των εφαρμογών για τις οποίες είναι θεμέλιο ο TensorFlow, είναι τα λογισμικά αυτόματου σχολιασμού εικόνας. Ο αυτόματος σχολιασμός εικόνας (επίσης γνωστός ως αυτόματη προσθήκη ετικετών εικόνας) είναι η διαδικασία με την οποία ένα σύστημα υπολογιστή εκχωρεί αυτόματα μεταδεδομένα με τη μορφή λεζάντας ή λέξεων-κλειδιών σε μια ψηφιακή εικόνα. Αυτή η εφαρμογή τεχνικών όρασης υπολογιστή χρησιμοποιείται σε συστήματα ανάκτησης εικόνων για την οργάνωση και τον εντοπισμό εικόνων που μπορεί να είναι ενδιαφέρουσες από μια βάση δεδομένων.

3

Διαδικασία Πειράματος & Αποτελέσματα

Αρχικά ξεκίνησε η εύρεση τρόπου εξαγωγής και έκφρασης συναισθημάτων από τους χρήστες. Σαν έρευνα πάρθηκε σαν οδηγός αυτή των Berkovsky et al. [101] που έκανε παρόμοια έρευνα αλλά αντί για συναισθήματα, προσπάθησαν να εντοπίσουν χαρακτηριστικά της προσωπικότητας (ειλικρίνεια, ευσυνειδησία, ναρκισσισμός κ.α) από διάφορα ψυχολογικά μοντέλα. Επομένως από αυτή και από άλλες έρευνες στον τομέα [102], αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν ως συναισθηματικά ερεθίσματα εικόνες από το International Affective Picture System (IAPS). Το IAPS είναι μια βάση δεδομένων εικόνων που έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ένα τυποποιημένο σύνολο εικόνων για τη μελέτη του συναισθήματος και της προσοχής που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην ψυχολογική έρευνα. Ο στόχος είναι να αναπτυχθεί ένα μεγάλο σύνολο τυποποιημένων, συναισθηματικά προκλητικών, διεθνώς προσβάσιμων, έγχρωμων φωτογραφιών που περιλαμβάνει περιεχόμενο σε ένα ευρύ φάσμα σημασιολογικών κατηγοριών. Το IAPS (προφέρεται eye-aps) αναπτύσσεται και διανέμεται από το Κέντρο Συναισθήματος και Προσοχής (Center for Emotion and Attention - CSEA) στο Πανεπιστήμιο της Φλόριντα. Αφού συμπληρώθηκε και στάλθηκε το κατάλληλο request form από τον επιβλέποντα καθηγητή, το Πανεπιστήμιο έστειλε λίγες μέρες μετά το φάκελο με όλες τις φωτογραφίες (περίπου 2.360) που έχουν μελετηθεί, συνοδευόμενο από ένα manual για το πώς έχουν αξιολογηθεί συναισθηματικά οι φωτογραφίες αυτές, καθώς και έρευνες που έχουν γίνει χρησιμοποιώντας αυτό το σετ φωτογραφιών. Επίσης στάλθηκε και μία σύντομη επιστολή που αναφέρει πως οι φωτογραφίες αυτές δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν για κερδοσκοπία ή να διαδοθούν στο διαδίκτυο.

Στο manual αναφέρεται ότι ο τρόπος που αξιολογήθηκαν οι φωτογραφίες ήταν με δύο κύριες διαστάσεις: το συναισθηματικό σθένος (affective valence) που κυμαίνεται από ευχαρίστηση έως δυσαρέσκεια και τη διέγερση (arousal) που κυμαίνεται από ηρεμία έως ενθουσιασμό. Μια τρίτη, λιγότερο σχετιζόμενη διάσταση ονομάστηκε «κυριαρχία» ή «έλεγχος». Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν το Self-Assesment Manikin (SAM) για

την αξιολόγηση, μία γραφική φιγούρα που απεικονίζει τις τιμές σε καθεμία από τις 3 διαστάσεις σε μια συνεχώς μεταβαλλόμενη κλίμακα που χρησιμοποιείται για να δείξει συναισθηματικές αντιδράσεις. Το SAM κυμαίνεται από μια χαμογελαστή, χαρούμενη φιγούρα έως μια συνοφρυωμένη, δυστυχισμένη φιγούρα όταν αντιπροσωπεύει τη διάσταση σθένους. Για τη διάσταση της διέγερσης, το SAM κυμαίνεται από μια ενθουσιασμένη έως μια χαλαρή, υπνηλία μορφή. Για τη διάσταση κυριαρχίας, το SAM κυμαίνεται από ένα μεγάλο σχήμα (σε έλεγχο) έως ένα μικρό σχήμα (υπό κυριαρχία). Οι συμμετέχοντες στο πείραμα μπορούσαν να επιλέξουν οποιοδήποτε από τις 5 φιγούρες που περιλαμβάνει η κάθε κλίμακα ή μεταξύ οποιωνδήποτε δύο φιγούρων, το οποίο οδηγεί σε κλίμακα βαθμολογίας 9 σημείων για κάθε διάσταση. Οι βαθμολογίες δίνονται έτσι ώστε το 9 να αντιπροσωπεύει μια υψηλή βαθμολογία σε κάθε διάσταση (δηλαδή, υψηλή απόλαυση, υψηλή διέγερση, υψηλή κυριαρχία) και το 1 αντιπροσωπεύει μια χαμηλή βαθμολογία σε κάθε διάσταση (δηλαδή, χαμηλή απόλαυση, χαμηλή διέγερση, χαμηλή κυριαρχία). Οι συναισθηματικοί κανόνες (βαθμολογίες σθένους, διέγερσης και κυριαρχίας) για τις φωτογραφίες που βρίσκονται σήμερα στο IAPS ελήφθησαν σε 18 ξεχωριστές μελέτες που περιελάμβαναν περίπου 60 φωτογραφίες η καθεμία. Κάθε μία από αυτές τις εικόνες είναι σε μορφή JPEG, επισημαίνεται με τον αριθμό καταλόγου IAPS και την επέκταση .JPG (π.χ. 1090.JPG). Ενώ οι διαστάσεις οποιασδήποτε συγκεκριμένης εικόνας ενδέχεται να διαφέρουν ελαφρώς, το μέγιστο μέγεθος είναι 1024 x 768 pixel. Οι εικόνες έχουν διορθωθεί ψηφιακά στο χρώμα και σε ορισμένες περιπτώσεις αναδιαμορφώθηκαν για προβολή στην οθόνη.

Αφού βρέθηκαν τα ερεθίσματα που θα χρησιμοποιούνταν, έπρεπε να βρεθεί ο τρόπος που θα διεξάγονταν το πείραμα, αφού υπήρχε διαθέσιμος ένας eye-tracker του εμπορίου στην διάθεση μας, ο Tobii 4C (βλ Εικόνα 11). Το μοντέλο αυτό είναι φτιαγμένο για αλληλεπίδραση με video games και το μόνο software στο οποίο είχε πρόσβαση από την Tobii δεν είχε τη δυνατότητα καταγραφής και εξαγωγής όλων των μετρικών που ενδεχομένως θα χρειάζονταν στο πείραμα, out of the box. Αυτό θα ήταν εφικτό με το software του Tobii Studio στο οποίο ο commercial αυτός eye-tracker δεν είχε πρόσβαση ούτε δικαίωμα για license. Έπρεπε να βρεθεί ένας εναλλακτικός τρόπος (έστω και μιας στοιχειώδους) καταγραφής των συντεταγμένων στις οποίες κοιτάει ο χρήστης. Ο τρόπος αυτός δόθηκε με μία μικρή εφαρμογή (widget) που υπήρχε στο GitHub και είχε φτιαχτεί από έναν φοιτητή του Harvard λίγα χρόνια πριν. Το widget αυτό ήταν γραμμένο σε C# και έδειχνε τις συντεταγμένες του βλέμματος του χρήστη στην οθόνη με βάση την ανάλυση της (μία ανάλυση 1920x1080 pixels, στην κάτω δεξιά γωνία θα πλησίαζε τις συντεταγμένες 0x0 ενώ στην πάνω αριστερή τα 1920x1080). Με λίγη τροποποίηση, προσέθεσα ένα στο interface του widget αυτού ένα button που ξεκινούσε την καταγραφή των συντεταγμένων κάθε μερικά milliseconds και ένα button που σταματούσε την καταγραφή και εξήγαγε ένα αρχείο .csv με τις συντεταγμένες που κοιτούσε ο χρήστης κατά τη διάρκεια της καταγραφής.

Ωστόσο, κατάφερε να βρεθεί ένας eye-tracker πιο κατάλληλος για το έργο που θέλαμε να γίνει. Ο eye-tracker που χρησιμοποιήθηκε στο τελικό πείραμα ήταν ο Tobii T60 (βλ. Εικόνα 21[19]) με τη χρήση του Tobii Studio. Τα specifications του eye-tracker φαίνονται στην Εικόνα 22[20].

[19] Πηγή https://imotions.com/hardware/tobii-t60-t120/ Πρόσβαση 15/06/2020

[20] Πηγή https://imotions.com/hardware/tobii-t60-t120/ Πρόσβαση 15/06/2020

Εικόνα 21:Eye tracker Tobii T60

Sample rate	60 Hz
Accuracy	0.5°
Recovery time	300 ms
Mount type	Built-in screen
Screen size	17″ TFT (1280 x 1024 pixels)
Operating distance	50 – 80 cm
Head movement	44 x 22 cm at 70 cm
Pupil size	Yes
Connection type	LAN, VGA, DVI-D, Power, User Camera and Audio
Dimensions	39.5 x 48.5 x 21.5 cm
Weight	9 kg

Εικόνα 22:Tobii T60 specifications

Έπειτα έγιναν δοκιμές για τον τρόπο που θα διεξαγόταν το πείραμα. Έγινε ένα pilot testing με τυχαίες φωτογραφίες από το IAPS και ως συμμετέχοντες τον καθηγητή και την ομάδα του. Το πρώτο στάδιο του πειράματος είχε τους συμμετέχοντες να βλέπουν ένα slideshow των φωτογραφιών στον eye-tracker, με κάθε φωτογραφία να διαρκεί 7 δευτερόλεπτα. Έπειτα από κάθε φωτογραφία, θα υπήρχε ένα λευκό πλαίσιο που θα

είχε καταγεγραμμένα τα συναισθήματα από τα οποία μπορούσε να επιλέξει ο χρήστης και διαρκούσε 10 δευτερόλεπτα. Στο pilot testing τα συναισθήματα αυτά ήταν: «Χαρά», «Θλίψη», «Έκπληξη», «Φόβος» και «Οργή», πέντε από τα έξι αρχικά, βασικά συναισθήματα που είχε καταστήσει ο Paul Ekman ως βασικά, με όλα τα υπόλοιπα να είναι παράγωγα αυτών. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και η έννοια Ουδέτερο, για περιπτώσεις που ταίριαζε κάτι από τα αναγραφόμενα στο χρήστη. Στο λευκό πλαίσιο έπειτα από κάθε φωτογραφία, οι συμμετέχοντες θα λέγανε φωναχτά ένα ή δύο από τα καταγεγραμμένα συναισθήματα που ένιωσαν βλέποντας τη φωτογραφία που πέρασε, μαζί με τον αριθμό 1 έως 5 (χωρίς αριθμό στις περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε το Ουδέτερο) όπου ήταν η ένταση του συναισθήματος από 1 τη μικρότερη ένταση και 5 τη μεγαλύτερη κι εγώ θα κατέγραφα τις απαντήσεις χειροκίνητα. Με λίγες δοκιμές, υπήρχαν λίγες αστοχίες που παρατηρήθηκαν: δεν ταίριαζαν πολύ τα επιλεγμένα συναισθήματα με τις φωτογραφίες, ήταν λίγο άβολο κάποιος να λέει φωναχτά αυτά που νιώθει και να το κάνει με ειλικρίνεια και επίσης ο χρόνος που δινόταν για να σκεφτεί κάποιος ήταν περιορισμένος.

Έτσι, έγινε μία μικρή αναδόμηση και έγιναν οι παρακάτω αλλαγές οι οποίες έμειναν στο τελικό πείραμα:

- Χρησιμοποιήθηκαν πιο στοχευμένες φωτογραφίες με βάση την αξιολόγηση που είχε γίνει από το Πανεπιστήμιο της Φλόριντα.
- Τα τελικά συναισθήματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: «Χαρά», «Ενθουσιασμός», «Θλίψη», «Οργή», «Αηδία», «Φόβος» και «Ουδέτερο».
- Το πείραμα θα διεξαγόταν μόνο με τον συμμετέχοντα στο δωμάτιο και οι απαντήσεις του θα ηχογραφούνταν με κινητό ώστε να ένιωθε πιο άνετα και κατά συνέπεια να απαντούσε με μεγαλύτερη ειλικρίνεια, κάτι που ήταν πολύ σημαντικό για να είναι ακριβή τα αποτελέσματα.
- Η κάθε φωτογραφία θα διαρκούσε 7 δευτερόλεπτα και το λευκό πλαίσιο οπού ο συμμετέχων θα έλεγε το συναίσθημα που ένιωθε θα άλλαζε με τη χρήση ενός τυχαίου κουμπιού από το πληκτρολόγιο ώστε να έχει όσο χρόνο χρειάζεται να απαντήσει.

Το πείραμα έλαβε μέρος κατά τη διάρκεια μίας εβδομάδας και οι συμμετέχοντες ήταν φοιτητές που συλλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο και ψυχολογικό υπόβαθρο. Συνολικά συμμετείχαν 8 άντρες και 5 γυναίκες, από 19 έως 27 ετών. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν υπό ελεγχόμενο, σταθερό φωτισμό. Η μεγαλύτερη ηχογράφηση διήρκησε 12 λεπτά και 40 δευτερόλεπτα ενώ η μικρότερη 5 λεπτά και 5 δευτερόλεπτα.

Έτσι λοιπόν, τα βήματα του τελικού πειράματος στο οποίο καταλήξαμε ήταν τα εξής:

1. Αρχικά, ο συμμετέχων θα συμπλήρωνε μία δήλωση συναίνεσης στο πείραμα που αναγνώριζε ότι οι εικόνες που θα δει μπορεί να ήταν άβολες, ότι μπορούσε να αποχωρήσει όποτε θελήσει από το πείραμα και ότι θα ηχογραφούνταν.
2. Στη συνέχεια αυτός που διεξήγε το πείραμα, θα εξηγούσε στο συμμετέχοντα τη διαδικασία και τι χρειαζόταν να κάνει και θα έλυνε οποιαδήποτε απορία είχε ο συμμετέχων.

3. Έπειτα, ο συμμετέχων θα έβρισκε μία βολική θέση μπροστά στον eye-tracker ώστε να μπορεί να παραμείνει σταθερός για όσο διαρκεί το πείραμα και για να γίνει το απαραίτητο calibration. Παράλληλα ο διεξάγων θα ετοίμαζε τη συσκευή ηχογράφησης.
4. Αφού όλα ήταν έτοιμα, ξεκινούσε η ηχογράφηση και το slideshow των φωτογραφιών. Ο διεξάγων, αφού σιγουρευόταν ότι ο συμμετέχων έχει κατανοήσει τι πρέπει να κάνει, βγαίνει από την αίθουσα και περιμένει το πείραμα να τελειώσει.
5. Μετά από λίγη ώρα που θα τελείωνε το πείραμα, ο συμμετέχων θα ενημέρωνε τον διεξάγοντα ο οποίος θα σταματούσε την ηχογράφηση και θα ακολουθούσε μία συζήτηση για τις σκέψεις του συμμετέχοντα για το πείραμα.

Οι εικόνες που παρουσιάστηκαν από την συλλογή ήταν οι: 2655, 2332, 2750, 3530, 5199, 5621, 5971, 2373, 1310, 1731, 6000, 6370, 5201, 7170, 8178, 8600, 9075, 9150, 9320, 9414, 1205, 1740, 1945, 5260, 2156, 2375.1, 7476 και 9490.

Ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων του eye-tracker. Χρησιμοποιήθηκαν μόνο αριθμητικές μετρικές για την εκπαίδευση και όχι οπτικές μετρικές (heat maps κλπ). Αρχικά το dataset ήταν ένα αρχείο .xlsx το οποίο μετατράπηκε εύκολα σε .csv Στο dataset αυτό υπήρχαν μετρικές όπως κάποια μεταδεδομένα (όνομα χρήστη, όνομα εικόνας που προβαλλόταν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, events ποντικιού ή πληκτρολογίου κ.α) καθώς και οι ίδιες οι μετρικές (συντεταγμένες προσηλώσεων στην οθόνη, διάρκεια προσήλωσης σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, μεταπηδήσεις, απόσταση του χρήστη από την κάμερα, μέγεθος της κόρης κάθε ματιού κ.α). Συνολικά στο μη επεξεργασμένο dataset υπήρχαν 322.235 δείγματα (instances) από 14 χρήστες και το καθένα είχε, μαζί με τα μεταδεδομένα, 38 χαρακτηριστικά (attributes). Κάθε δείγμα είναι μια γραμμή στο dataset και κάθε χαρακτηριστικό μία στήλη.

Αρχικά, αφαιρέθηκαν τα δείγματα που ο χρήστης δεν κοιτούσε σε κάποια εικόνα αλλά κοιτούσε το λευκό πλαίσιο για την επιλογή συναισθημάτων. Επειδή κάποιοι χρήστες ξόδευαν αρκετό χρόνο στο πλαίσιο αυτό, αποτελούσε περίπου το 40% όλων των δειγμάτων. Στη συνέχεια αφαιρέθηκαν τα δείγματα που κάποιος χρήστης μπορεί να κουνήθηκε ή να κοίταξε εκτός του eye-tracker και δεν καταγράφηκε κάποια μέτρηση. Το τελικό dataset αποτελούταν από 132.265 δείγματα. Στη συνέχεια ακολούθησε το labeling δηλαδή αντιστοίχηση των δειγμάτων με τα συναισθήματα που είπαν οι χρήστες. Προστέθηκε μία στήλη με όνομα class με αριθμούς από το 0 έως το 7 για όλες τις κατηγορίες που έχουμε επιλέξει. Έτσι ακούγοντας παράλληλα τις ηχογραφήσεις των συμμετεχόντων, όλα τα δείγματα σημειώθηκαν. Στο τέλος, έγινε αντικατάσταση κάθε αριθμού με το πραγματικό συναίσθημα. Τέλος αφαιρέθηκαν όλα τα μεταδεδομένα από το dataset και έμειναν μόνο οι μετρικές. Από όλες τις μετρικές, αυτές που έμειναν στο τελικό dataset είναι στον Πίνακας 1(όπως αναγράφεται στο manual του eye-tracker):

Δεδομένα	**Περιγραφή**	**Μορφή**
FixationPointX(MCSpx)	Οριζόντιες συντεταγμένες της προσήλωσης πάνω στο μέσο που προβάλλεται. Η στήλη είναι κενή εάν: • Η προσήλωση είναι εκτός του μέσου. • Το μέσο είναι καλυμμένο. • Δεν προβάλλεται κάποιο μέσο.	Pixels
FixationPointY(MCSpx)	Κάθετες συντεταγμένες της προσήλωσης πάνω στο μέσο που προβάλλεται. Η στήλη είναι κενή εάν: • Η προσήλωση είναι εκτός του μέσου. • Το μέσο είναι καλυμμένο. • Δεν προβάλλεται κάποιο μέσο.	Pixels
GazeEventDuration	Διάρκεια οπτικού συμβάντος.	Milliseconds
GazePointX(MCSpx)	Οριζόντια συντεταγμένη του μέσου δεξιού και αριστερού βλέμματος στην οθόνη. Η στήλη είναι κενή εάν: • Η προσήλωση είναι εκτός του μέσου. • Το μέσο είναι καλυμμένο. • Δεν προβάλλεται κάποιο μέσο.	Pixels
GazePointY(MCSpx)	Κάθετη συντεταγμένη του μέσου δεξιού και αριστερού	Pixels

	βλέμματος στην οθόνη. Η στήλη είναι κενή εάν: • Η προσήλωση είναι εκτός του μέσου. • Το μέσο είναι καλυμμένο. • Δεν προβάλλεται κάποιο μέσο.	
StrictAverageGazePointX (ADCSmm)	Οριζόντια συντεταγμένη του μέσου σημείου ματιάς και για τα δύο μάτια στην οθόνη. «Μέση» λειτουργία παρόμοια με αυτήν που χρησιμοποιείται για την επιλογή των ματιών.	Millimeters
StrictAverageGazePointY (ADCSmm)	Κάθετη συντεταγμένη του μέσου σημείου ματιάς και για τα δύο μάτια στην οθόνη.	Millimetes
PupilLeft	Εκτιμώμενο μέγεθος της αριστερής κόρης. Οι Tobii eye-trackers προσπαθούν να υπολογίσουν το πραγματικό μέγεθος της κόρης με τη βοήθεια αλγορίθμων που λαμβάνουν υπόψη το σφαιρικό κερατοειδή καθώς και την απόσταση από το μάτι.	Millimeters
PupilRight	Εκτιμώμενο μέγεθος της δεξιάς κόρης.	Millimeters
PupilAvg	Μέσος όρος του μεγέθους και των δύο ματιών	Millimeters

Πίνακας 1:Μετρικές του eye-tracker που χρησιμοποιήθηκαν στο τελικό dataset

Τα δεδομένα αυτά επιλέχθηκαν με τη σκέψη ότι οι αλγόριθμοι θα μπορέσουν να βρουν κάποια συσχέτιση των σημείων που εστίασαν οι χρήστες, με το χρόνο που εστίασαν, το μέγεθος της κάθε κόρης εκείνη τη στιγμή και το συναίσθημα που ένιωσαν και έτσι με δεδομένες αυτές τις μετρικές να μπορεί να γίνει πρόβλεψη.

Αφού έγινε το preprocessing, ακολούθησε η μάθηση. Το πρόβλημα είναι πρόβλημα ταξινόμησης, δηλαδή πρέπει να γίνει πρόβλεψη μίας διακριτής τάξης ετικέτας για κάθε δείγμα του dataset μας. Για τη μάθηση, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο ανοιχτού κώδικα Weka (version 3.8.4). Το dataset εισήχθη στο Weka και μετατράπηκε σε αρχείο .arff για πιο εύκολη ανάγνωση. Στο Weka έγινε προφανές ότι οι κλάσεις των συναισθημάτων δεν ήταν ισορροπημένες (με τα περισσότερα δείγματα να ανήκουν στην κατηγορία του «Ουδέτερου» και της «Χαράς» ενώ τα λιγότερα στην «Οργή») και αυτό ενδεχομένως να επηρέαζε τα αποτελέσματα. Με τη χρήση του φίλτρου ClassBalancer προστέθηκε ένα βάρος σε κάθε κλάση έτσι ώστε να ισορροπηθούν και να βγουν πιο ακριβή αποτελέσματα.

Για τη μάθηση, αφού υπήρχε μόνο ένα διαθέσιμο dataset και ήταν αρκετά μεγάλου μεγέθους, χρησιμοποιήθηκε η επιλογή «percentage split 66%» δηλαδή από το dataset, το 66% όλων των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση των μοντέλων και το 34% για το testing. Υπήρχε και η επιλογή «Cross validation» δηλαδή ένας συστηματικός τρόπος εκτέλεσης επαναλαμβανόμενων percentage splits. Το dataset χωρίζεται σε 10 μέρη και, στη συνέχεια, κρατείται κάθε κομμάτι εναλλάξ για δοκιμή και εκπαιδεύονται τα υπόλοιπα 9 μαζί. Αυτό δίνει 10 αποτελέσματα αξιολόγησης, από τα οποία υπολογίζεται ο μέσος όρος. Στο «stratified cross validation», όταν κάνουμε την αρχική διαίρεση διασφαλίζουμε ότι κάθε πτυχή περιέχει περίπου τη σωστή αναλογία των τιμών κλάσης. Έχοντας κάνει 10 φορές cross validation και υπολογιστούν τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, το Weka επικαλείται τον αλγόριθμο μάθησης για μια τελευταία (11η) φορά σε ολόκληρο το σύνολο δεδομένων για να αποκτήσει το τελικό μοντέλο. Δυστυχώς, το διαθέσιμο dataset είχε πάρα πολλές τιμές για να γίνει cross validation και το Weka ξέμενε από μνήμη οπότε και χρησιμοποιήθηκε το percentage split.

Η επιλογή των δειγμάτων για training και testing γίνεται τυχαία με βάση ένα seed και όχι σειριακά. Δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές στην ακρίβεια για τα αποτελέσματα που προέκυπταν όταν άλλαζε το seed (σε κάθε αλγόριθμο ~0,3% η μέγιστη διαφορά αλλάζοντας το seed). Το seed άλλαξε 5 φορές για κάθε αλγόριθμο ώστε να γίνουν περισσότερες δοκιμές και σημειώθηκε η χειρότερη περίπτωση στα αποτελέσματα.

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής (σε bold η ονομασία τους στο Weka):

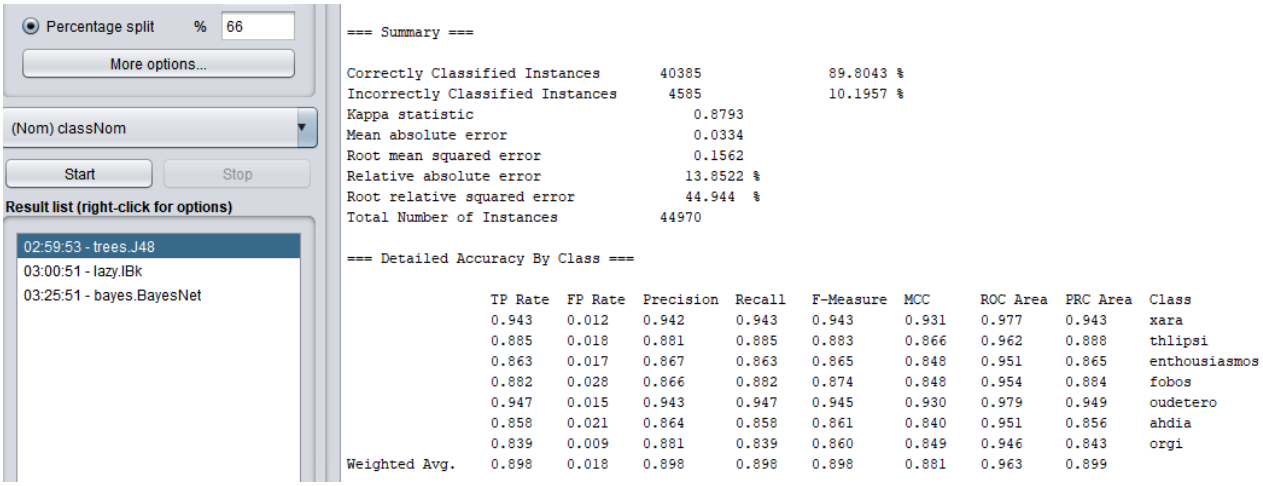
- **J48:** Το J48 είναι μια εφαρμογή ανοιχτού κώδικα Java του αλγορίθμου C4.5 στο εργαλείο εξόρυξης δεδομένων Weka. Ο C4.5 είναι ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός δέντρου αποφάσεων και αναπτύχθηκε από τον Ross Quinlan. Τα δέντρα αποφάσεων που δημιουργούνται από το C4.5 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ταξινόμηση και για αυτόν τον λόγο, το C4.5 αναφέρεται συχνά ως στατιστικός classifier.
- **IBk:** Βασίζεται στον αλγόριθμο k-πλησιέστερων γειτόνων (k-NN) είναι μια μη παραμετρική μέθοδος που προτείνεται από τον Thomas Cover που χρησιμοποιείται για ταξινόμηση και παλινδρόμηση. Και στις δύο περιπτώσεις, η είσοδος αποτελείται από τα k πιο κοντινά

παραδείγματα εκπαίδευσης στο χώρο χαρακτηριστικών. Η έξοδος εξαρτάται από το εάν το k-NN χρησιμοποιείται για ταξινόμηση ή παλινδρόμηση. Στην ταξινόμηση k-NN, η έξοδος είναι ιδιότητα μέλους κλάσης. Ένα αντικείμενο ταξινομείται με πλειοψηφία των γειτόνων του, με το αντικείμενο να αντιστοιχεί στην τάξη πιο κοινή μεταξύ των k πλησιέστερων γειτόνων του (το k είναι θετικός ακέραιος, συνήθως μικρός). Εάν k = 1, τότε το αντικείμενο απλώς αντιστοιχίζεται στην κλάση αυτού του μόνο πλησιέστερου γείτονα. Ο k-NN είναι ένας τύπος εκμάθησης που βασίζεται σε στιγμιότυπα όπου η συνάρτηση προσεγγίζεται μόνο τοπικά και όλοι οι υπολογισμοί αναβάλλονται μέχρι την αξιολόγηση της λειτουργίας. Δεδομένου ότι αυτός ο αλγόριθμος βασίζεται στην απόσταση για την ταξινόμηση, η ομαλοποίηση των δεδομένων εκπαίδευσης μπορεί να βελτιώσει δραστικά την ακρίβειά του.

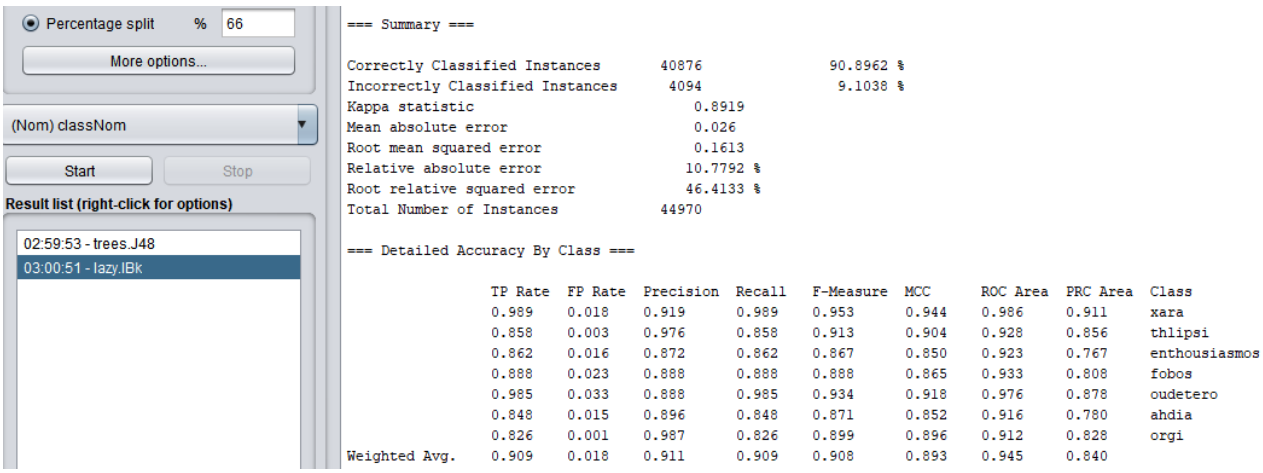
- **NaiveBayes:** Ο naive Bayes είναι μια απλή τεχνική για την κατασκευή ταξινομητών: μοντέλα που αντιστοιχούν ετικέτες τάξης σε προβληματικά δείγματα, που αντιπροσωπεύονται ως διανύσματα τιμών των χαρακτηριστικών, όπου οι ετικέτες τάξης προέρχονται από κάποιο πεπερασμένο σύνολο. Δεν υπάρχει ένας μοναδικός αλγόριθμος για την εκπαίδευση τέτοιων ταξινομητών, αλλά μια οικογένεια αλγορίθμων που βασίζονται σε μια κοινή αρχή: όλοι οι naive Bayes classifiers υποθέτουν ότι η τιμή ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού είναι ανεξάρτητη από την τιμή οποιουδήποτε άλλου χαρακτηριστικού, δεδομένης της μεταβλητής κλάσης. Για ορισμένους τύπους μοντέλων πιθανότητας, οι naive Bayes classifiers μπορούν να εκπαιδευτούν πολύ αποτελεσματικά σε ένα επιβλεπόμενο περιβάλλον μάθησης. Ένα πλεονέκτημα των αφελών Bayes είναι ότι απαιτεί μόνο έναν μικρό αριθμό εκπαιδευτικών δεδομένων για την εκτίμηση των παραμέτρων που είναι απαραίτητες για την ταξινόμηση.
- **RandomForest:** Ο RandomForest είναι ένας επιβλεπόμενος αλγόριθμος μάθησης. Το «δάσος» που χτίζει, είναι ένα σύνολο δένδρων αποφάσεων, συνήθως εκπαιδευμένο με τη μέθοδο «bagging». Η γενική ιδέα της μεθόδου bagging είναι ότι ένας συνδυασμός μοντέλων μάθησης αυξάνει το συνολικό αποτέλεσμα. Με απλά λόγια: το τυχαίο δάσος δημιουργεί πολλά δέντρα αποφάσεων και τα συγχωνεύει μαζί για να πάρει μια πιο ακριβή και σταθερή πρόβλεψη**.** Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του τυχαίου δάσους είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για προβλήματα ταξινόμησης όσο και για παλινδρόμηση, τα οποία αποτελούν την πλειονότητα των τρεχόντων συστημάτων μηχανικής μάθησης. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του τυχαίου δάσους είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για προβλήματα ταξινόμησης όσο και για παλινδρόμησης. Επίσης προσθέτει επιπλέον τυχαιότητα στο μοντέλο, ενώ καλλιεργεί τα δέντρα. Αντί να αναζητά το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό ενώ διαχωρίζει έναν κόμβο, αναζητά το καλύτερο χαρακτηριστικό σε ένα τυχαίο υποσύνολο χαρακτηριστικών. Αυτό οδηγεί σε μια μεγάλη ποικιλία που γενικά οδηγεί σε ένα καλύτερο μοντέλο. Επομένως, σε random forest, μόνο ένα τυχαίο υποσύνολο των χαρακτηριστικών λαμβάνεται υπόψη από τον αλγόριθμο για τη διάσπαση ενός κόμβου. Μπορούν τα δέντρα να γίνουν πιο τυχαία χρησιμοποιώντας επιπλέον τυχαία κατώτατα όρια για κάθε χαρακτηριστικό παρά να αναζητηθούν τα καλύτερα δυνατά όρια (όπως συμβαίνει με ένα κανονικό δέντρο αποφάσεων). Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στη μηχανική μάθηση

είναι το overfitting, αλλά τις περισσότερες φορές αυτό δεν θα συμβεί χάρη στον random forest classifier. Εάν υπάρχουν αρκετά δέντρα στο δάσος, ο classifier δεν θα κάνει overfitting στο μοντέλο. Ο κύριος περιορισμός του random forest είναι ότι ένας μεγάλος αριθμός δέντρων μπορεί να κάνει τον αλγόριθμο πολύ αργό και αναποτελεσματικό για προβλέψεις σε πραγματικό χρόνο. Γενικά, αυτοί οι αλγόριθμοι εκπαιδεύονται γρήγορα, αλλά είναι αρκετά αργοί για τη δημιουργία προβλέψεων μόλις εκπαιδευτούν.

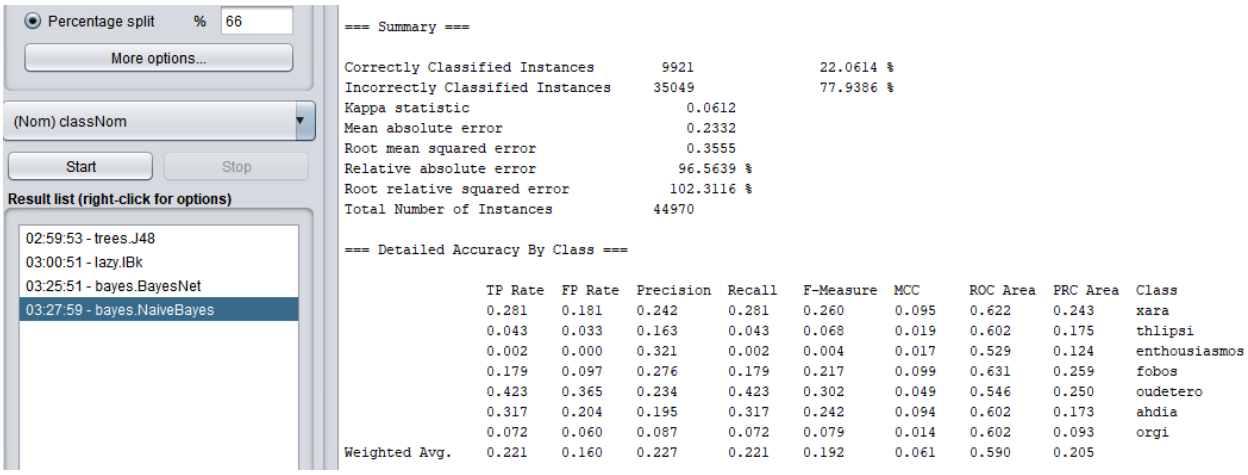
Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα με διαφορετικούς classifiers του Weka:



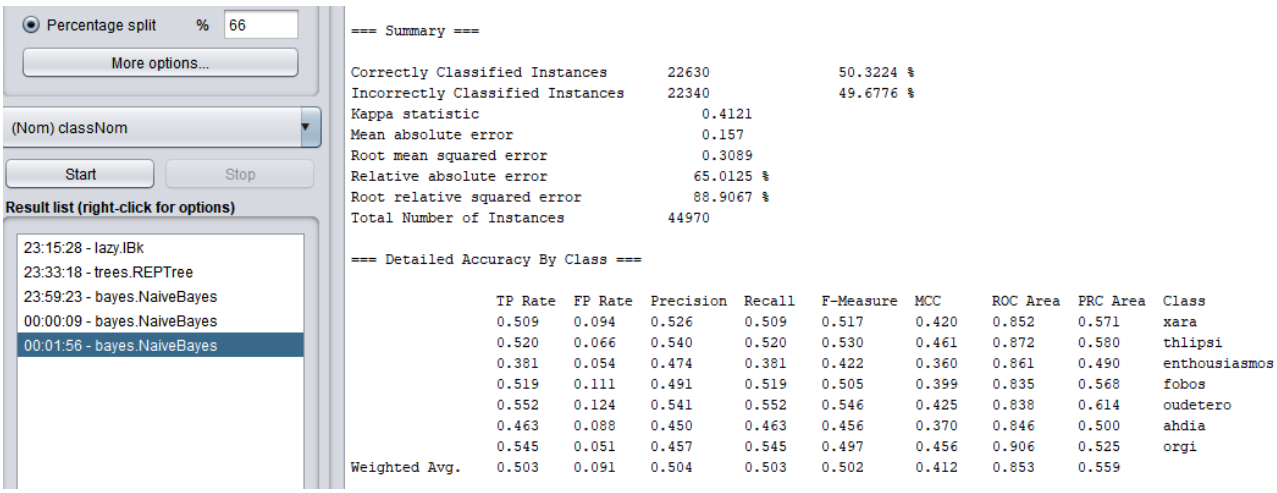
Εικόνα 23:Αποτελέσματα για δέντρο απόφασης J48



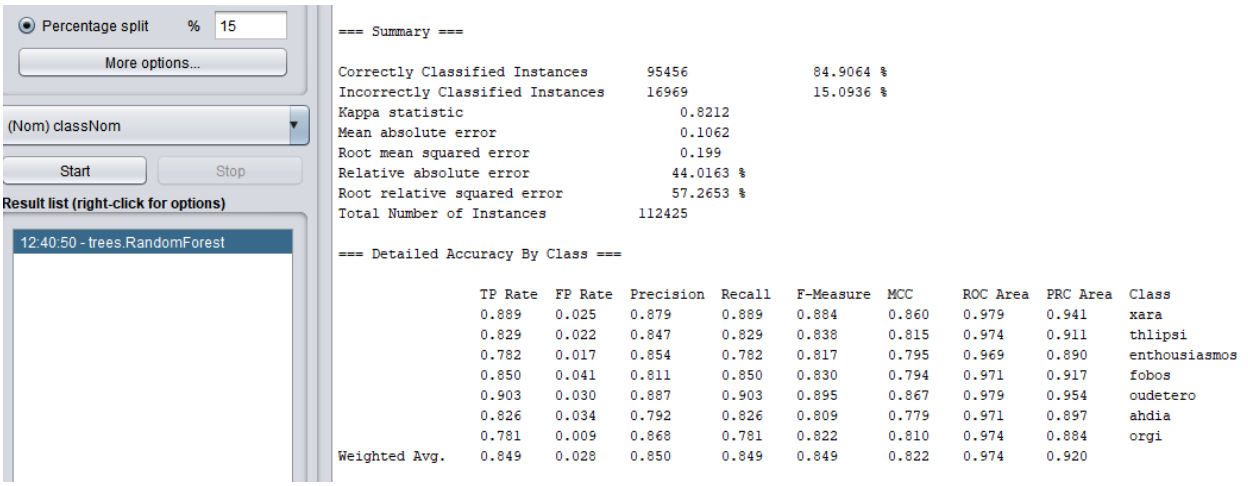
Εικόνα 24:Αποτελέσματα για K-nearest neighbor



Εικόνα 25:Αποτελέσματα για NaiveBayes (χωρίς discretization)



Εικόνα 26: Αποτελέσματα για NaiveBayes (με discretization)



Εικόνα 27:Αποτελέσματα για RandomForest

Οι μετρικές που μας ενδιαφέρουν στις παραπάνω εικόνες είναι οι εξής:

- **Correctly/Incorrectly Classified Instances:** Η μετρική είναι προφανής και είναι το ποσοστό των δειγμάτων που τοποθετήθηκαν στη σωστή τάξη και το ποσοστό που τοποθετήθηκε σε λάθος τάξη. Αν και η μετρική αυτή είναι σημαντική πρέπει να ληφθεί υπόψη και το ίδιο το μοντέλο διότι εάν υπάρχει τεράστια έλλειψη ισορροπίας στον αριθμό των δειγμάτων που ανήκουν σε κάθε τάξη (δηλαδή έαν το 90% των δειγμάτων ανήκαν στην τάξη ουδέτερο) τότε το μοντέλο θα είναι αρκετά βεβιασμένο υπέρ της τάξης με τα περισσότερα δείγματα οπότε και θα τα τοποθετήσει πιο εύκολα στην κλάση αυτή.
- **Kappa statistic:** Ο συντελεστής kappa του Cohen είναι μια στατιστική που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αξιοπιστίας μεταξύ των τιμών για ποιοτικά (κατηγορικά) στοιχεία. Θεωρείται γενικά ότι είναι ένα πιο ισχυρό μέτρο από τον απλό υπολογισμό του ποσοστού συμφωνίας, καθώς το κ λαμβάνει υπόψη την πιθανότητα να συμβεί η συμφωνία τυχαία. Συνοπτικά, όσο πιο μεγάλο είναι το κ, τόσο λιγότερο πιθανό είναι η ταξινόμηση να έγινε τυχαία (με 0 να σημαίνει πως ο classifier μπορεί να αποφάσισε και τυχαία).
- **TP Rate:** Ποσοστό πραγματικών θετικών (περιπτώσεις που ταξινομούνται σωστά σε δεδομένη τάξη).
- **FP Rate:** Ποσοστό ψευδών θετικών (περιπτώσεις που ταξινομούνται ψευδώς σε δεδομένη τάξη).
- **Precision:** Αναλογία δειγμάτων που είναι πραγματικά μιας κλάσης διαιρούμενη με τα συνολικά δείγματα που ταξινομούνται ως αυτήν την κλάση.
- **Recall:** Αναλογία δειγμάτων που ταξινομούνται ως δεδομένη κατηγορία διαιρούμενη με το πραγματικό σύνολο αυτής της κλάσης (ισοδύναμο με το TP Rate).
- **F-measure:** Μέτρο που συνδυάζει precision και recall υπολογιζόμενο ως 2 * Precision * Recall / (Precision + Recall).
- **ROC Area:** Ένας χώρος ROC ορίζεται από τους FP Rate και TP Rate ως άξονες x και y, αντίστοιχα, οι οποίοι απεικονίζουν σχετικές αντισταθμίσεις μεταξύ πραγματικών θετικών (οφέλη) και ψευδώς θετικών (κόστους). Η καλύτερη δυνατή μέθοδος πρόβλεψης θα απέδιδε ένα σημείο στην επάνω αριστερή γωνία ή συντεταγμένη (0,1) του χώρου ROC, αντιπροσωπεύοντας 100% ευαισθησία (χωρίς ψευδώς αρνητικά) και 100% ειδικότητα (χωρίς ψευδώς θετικά). Το σημείο (0,1) ονομάζεται επίσης τέλεια ταξινόμηση. Μια τυχαία εικασία θα έδινε ένα σημείο κατά μήκος μιας διαγώνιας γραμμής από το αριστερό κάτω προς την πάνω δεξιά γωνία. Ένα διαισθητικό παράδειγμα τυχαίας εικασίας είναι μια απόφαση με ανατροπή κερμάτων. Καθώς το μέγεθος του δείγματος αυξάνεται, το σημείο ROC ενός τυχαίου ταξινομητή τείνει προς τη διαγώνια γραμμή. Στην περίπτωση ενός ισορροπημένου νομίσματος, θα τείνει στο σημείο (0.5, 0.5). Συνοπτικά, εάν οι τιμές του ROC είναι στο κοντά στο 0.5 τότε κοντεύει την τυχαία ταξινόμηση ενώ από 0.8 έως 1 ο classifier πλησιάζει το βέλτιστο.

Όπως φαίνεται λήφθηκαν υψηλά ποσοστά ακρίβειας για τους αλγορίθμους **j48 (89,8%)**, **lBk (90,89%)**, **RandomForest (84.90%)** αλλά πολύ χαμηλά για τον **NaiveBayes (50,32%)**. Τα αποτελέσματα είναι άκρως εντυπωσιακά, αφού με τόσο μη-επεμβατικό τρόπο, είναι καλύτερα από αντίστοιχες έρευνες που η αναγνώριση

συναισθημάτων έγινε με κάμερα μέσω της αναγνώρισης εκφράσεων του προσώπου και είχε ακρίβεια 70,65% [103]. Σε παρόμοια έρευνα με τη δική μας [102], όπου οι κατηγορίες δεν ήταν διακριτά συναισθήματα αλλά «θετικό», «αρνητικό» και «ουδέτερο», χρησιμοποιήθηκαν νευρωνικά δίκτυα και η μέγιστη ακρίβεια πρόβλεψης για 4 χρήστες ήταν 50,1%.

Για το δέντρο απόφασης j48 (C4.5) υπήρχε η ανησυχία ότι η υψηλή ακρίβεια να είναι αποτέλεσμα overfitting (δηλαδή να εκπαιδεύεται πολύ καλά το μοντέλο αλλά μόνο για το συγκεκριμένο dataset και να μην γενικεύεται) επειδή τα decision trees τείνουν να το παθαίνουν όταν έχουν πάρα πολλά δείγματα. Έγινε η προσπάθεια να βελτιωθεί αυτό με pruning (μια τεχνική που μειώνει το μέγεθος των δέντρων αποφάσεων αφαιρώντας τμήματα του δέντρου που παρέχουν μικρή ισχύ για την ταξινόμηση των δειγμάτων και μειώνει την πολυπλοκότητα του τελικού ταξινομητή, και ως εκ τούτου βελτιώνει την προγνωστική ακρίβεια με τη μείωση του overfitting) στο δέντρο αλλά χωρίς κάποιο άλλο παρόμοιο dataset δεν μπορεί να επαληθευτεί.

Επιπλέον, το πρόβλημα του overifitting το λύνει ο RandomForest classifier με τον τρόπο λειτουργίας του κάτι που καθιστά αξιόπιστα τα αποτελέσματα του. Αναγκαστικά, χρησιμοποιήθηκε ένα πολύ μικρότερο μέρος του dataset για την εκπαίδευση του RandomForest classifier (10% για εκπαίδευση και 90% για testing) ώστε να εξαλειφθούν οι παράγοντες ελλειπούς μνήμης για τη δημιουργία του μοντέλου. Επίσης, τα αποτελέσματα του NaiveBayes αρχικά ήταν πολύ χειρότερα αλλά χρησιμοποιήθηκε discretization δηλαδή οι αριθμητικές τιμές μετατράπηκαν σε πεπερασμένες, και υπήρξε βελτίωση.

4

Συμπεράσματα & Μελλοντική εργασία

Αν και ο τομέας της ψυχολογίας είναι βαθύτατα πολύπλοκος και βασίζεται σε πολλούς παράγοντες, η απόδοση των αλγορίθμων που εξετάστηκαν μας δείχνει τη ραγδαία εξέλιξη που μπορεί να υπάρξει σε ολόκληρο τον τομέα. Χρησιμοποιώντας ένα μικρό αριθμό χρηστών και μόνο έναν eye-tracker (χωρίς εγκεφαλογραφήματα, υπολογισμό της αγωγιμότητας του δέρματος ή ακόμα και κάποιο ψυχολογικό υπόβαθρο των συμμετεχόντων) μέσα στο εργαστήριο, οι αλγόριθμοι κατάφεραν να εντοπίζουν το συναίσθημα για κάθε δείγμα του dataset με ακρίβεια πρόβλεψης μέχρι και 90,89%. Επίσης, στο labeled dataset που χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση των αλγορίθμων μας, τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων περιείχαν μόνο ένα μέρος των μετρικών που καταγράφηκαν από τον eye-tracker. Επιπλέον, μετρικές όπως ο ρυθμός μεταπηδήσεων ή ο ρυθμός ανοίγματος-κλεισίματος των ματιών, αναμφισβήτητα θα έδιναν ακόμα πιο ακριβείς προβλέψεις.

Για μελλοντικές εργασίες, θα μπορούσαν να ελεγχθούν οι ίδιοι και περισσότεροι αλγόριθμοι για διαφορετικές φωτογραφίες για να ελεγχθεί εξακριβωθεί η αξιοπιστία τους και να δημιουργηθούν πιο γενικευμένα μοντέλα. Επίσης, ένα μεγαλύτερο εύρος συναισθημάτων που θα δώσει πιο μεγάλη ελευθερία στους χρήστες, θα μπορούσε να επιφέρει καλύτερη ακρίβεια. Η μηχανική μάθηση έγινε σε υπολογιστικό σύστημα που είναι για καθημερινή χρήση επομένως, σε ένα σύστημα με πολύ περισσότερους πόρους και επεξεργαστική ισχύ, θα μπορούσαν να δοκιμαστούν αλγόριθμοι που εδώ είναι ανέφικτο να χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, ο συνδυασμός μετρικών eye-tracking από έναν υπερσύγχρονο eye-tracker με κάποια άλλη τεχνολογία ή μέτρηση, όπως οι εκφράσεις του προσώπου, έχει προοπτικές για ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης, μαζί με τα προηγούμενα, ένας μεγαλύτερος αριθμός συμμετεχόντων για το πείραμα, με έλεγχο του ψυχολογικού τους υποβάθρου ενδεχομένως να είχε πιο στοχευμένα αποτελέσματα.

Παράρτημα

Για την υλοποίηση της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε υπολογιστικό σύστημα με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **Operating System:** Microsoft Windows 10 64-bit Version 1909
- **Processor:** Intel® Core™ i5-6600 @ 3.30 GHz, 4 cores, 4 threads
- **RAM:** 8192 MB
- **GPU:** NVIDIA GTX 1060 6GB
- **Hard Drive:** Samsung SSD 500 GB

Για την εισαγωγή citations χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο ανοιχτού κώδικα Zotero. Για τη μηχανική μάθηση χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο ανοιχτού κώδικα Weka (version 3.4.8).

Βιβλιογραφία- Αναφορές

[1] J. T. Cacioppo and W. L. Gardner, "Emotion," *Annu. Rev. Psychol.*, vol. 50, no. 1, pp. 191–214, 1999, doi: 10.1146/annurev.psych.50.1.191.

[2] P. R. Kleinginna and A. M. Kleinginna, "A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition," *Motiv. Emot.*, vol. 5, no. 4, pp. 345–379, Dec. 1981, doi: 10.1007/BF00992553.

[3] *Emotion | Definition of emotion in English by Oxford Dictionaries*. .

[4] J. Panksepp, *Affective neuroscience : the foundations of human and animal emotions*, [Reprint]. Oxford [u.a.]: Oxford Univ. Press, 2005, p. 9.

[5] R. Trnka, M. Zahradnik, and M. Kuška, "Emotional Creativity and Real-Life Involvement in Different Types of Creative Leisure Activities," *Creat. Res. J.*, vol. 28, pp. 348–356, Jul. 2016, doi: 10.1080/10400419.2016.1195653.

[6] A. D. B. Craig, "How do you feel--now? The anterior insula and human awareness," *Nat. Rev. Neurosci.*, vol. 10, no. 1, pp. 59–70, 2009, doi: 10.1038/nrn2555.

[7] C. Linnman, E. A. Moulton, G. Barmettler, L. Becerra, and D. Borsook, "Neuroimaging of the Periaqueductal Gray: State of the Field," *Neuroimage*, vol. 60, no. 1, pp. 505–522, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.11.095.

[8] C. G. G. MDMD, *Textbook of Clinical Neurology*. Elsevier Health Sciences, 2007.

[9] K. Saladin, *Human anatomy*, 3rd ed. McGraw-Hill, 2011.

[10] M. Davies, "The Neuron: size comparison," *Neurosci. Journey Brain*, Apr. 2002, [Online]. Available: https://www.ualberta.ca/~neuro/OnlineIntro/NeuronExample.htm.

[11] R. Isaacson, *The Limbic System*. Springer Science & Business Media, 2013.

[12] M. Gluck, E. Mercado, and C. Myers, *Learning and Memory From Brain to Behavior Second Edition*. New York: Kevin Feyen, 2014, p. 416.

[13] K. Amunts *et al.*, "Cytoarchitectonic mapping of the human amygdala, hippocampal region and entorhinal cortex: intersubject variability and probability maps," *Anat. Embryol. (Berl.)*, vol. 210, no. 5–6, pp. 343–52, Dec. 2005, doi: 10.1007/s00429-005-0025-5.

[14] L. Lanteaume, S. Khalfa, J. Régis, P. Marquis, P. Chauvel, and F. Bartolomei, "Emotion induction after direct intracerebral stimulations of human amygdala," *Cereb. Cortex*, vol. 17, no. 6, pp. 1307–13, Jun. 2007, doi: 10.1093/cercor/bhl041.

[15] E. Murray, A. Izquierdo, and L. Malkova, "Amygdala function in positive reinforcement," in *The Human Amygdala*, Guilford Press, 2009.

[16] N. R. Carlson, *Physiology of Behavior*. Pearson, 2012, p. 364.

[17] N. R. Carlson, *Physiology of Behavior*. Pearson, 2012, p. 453.

[18] K. Phan, D. A. Fitzgerald, P. J. Nathan, and M. E. Tancer, "Association between amygdala hyperactivity to harsh faces and severity of social anxiety in generalized social phobia," *Biol. Psychiatry*, vol. 59, no. 5, pp. 424–9, Mar. 2006, doi: 10.1016/j.biopsych.2005.08.012.

[19] Y. Sheline, D. M. Barch, J. M. Donnelly, J. M. Ollinger, A. Z. Snyder, and M. A. Mintun, "Increased amygdala response to masked emotional faces in depressed subjects resolves with antidepressant treatment: an fMRI study," *Biol. Psychiatry*, vol. 50, no. 9, pp. 651–8, Nov. 2001, doi: 10.1016/S0006-3223(01)01263-X.

[20] M. Davis, "The role of the amygdala in fear and anxiety," *Annu. Rev. Neurosci.*, vol. 15, pp. 353–75, 1992, doi: 10.1146/annurev.ne.15.030192.002033.

[21] B. Wicker, C. Keysers, J. Plailly, J. P. Royet, V. Gallese, and G. Rizzolatti, "Both of us disgusted in My insula: the common neural basis of seeing and feeling disgust," *Neuron*, vol. 40, no. 3, pp. 655–64, Oct. 2003, doi: 10.1016/S0896-6273(03)00679-2.

[22] P. Wright, G. He, N. A. Shapira, W. K. Goodman, and Y. Liu, "Disgust and the insula: fMRI responses to pictures of mutilation and contamination," *NeuroReport*, vol. 15, no. 15, pp. 2347–51, Oct. 2004, doi: 10.1097/00001756-200410250-00009.

[23] M. Jabbi, J. Bastiaansen, and C. Keysers, "A common anterior insula representation of disgust observation, experience and imagination shows divergent functional connectivity pathways," *PLOS ONE*, vol. 3, no. 8, p. e2939, 2008, doi: 10.1371/journal.pone.0002939.

[24] F. C. Murphy, I. Nimmo-Smith, and A. D. Lawrence, "Functional neuroanatomy of emotions: A meta-analysis," *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, vol. 3, no. 3, pp. 207–233, Sep. 2003, doi: 10.3758/CABN.3.3.207.

[25] J. T. Buhle *et al.*, "Common representation of pain and negative emotion in the midbrain periaqueductal gray," *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, vol. 8, no. 6, pp. 609–616, Aug. 2013, doi: 10.1093/scan/nss038.

[26]"ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ: Ἠθικὰ Νικομάχεια." http://www.greek-language.gr/digitalResources/ancient_greek/library/browse.html?text_id=78&page=19 (accessed Jun. 16, 2020).

[27]P. F. Merenda, "Toward a Four-Factor Theory of Temperament and/or Personality," *J. Pers. Assess.*, vol. 51, no. 3, pp. 367–374, 1987, doi: 10.1207/s15327752jpa5103_4.

[28]Y. Suchy, *Clinical neuropsychology of emotion*. New York, NY: Guilford, 2011.

[29]A. Haque, "Psychology from Islamic Perspective: Contributions of Early Muslim Scholars and Challenges to Contemporary Muslim Psychologists," *J. Relig. Health*, vol. 43, no. 4, pp. 357–77, 2004, doi: 10.1007/s10943-004-4302-z.

[30]U. Hess and Thibault, "Darwin & Emotion Expression," *Am. Psychol.*, vol. 64, no. 2, pp. 120–8, 2009, doi: 10.1037/a0013386.

[31]D. M. E. Bradley, "William James," *PSYography*, [Online]. Available: http://faculty.frostburg.edu/mbradley/psyography/williamjames.html.

[32]W. James, "What Is an Emotion?," *Mind*, vol. 9, no. 34, pp. 188–205, 1884, doi: 10.1093/mind/os-ix.34.188.

[33]J. Schioldann, "'On periodical depressions and their pathogenesis' by Carl Lange (1886)," *Hist. Psychiatry*, vol. 22, no. 85 Pt 1, pp. 108–130, 2011, doi: 10.1177/0957154x10396807.

[34]J. D. Laird, *Feelings: The Perception of Self*. Oxford University Press, USA, 2007.

[35]W. B. Cannon, "Organization for Physiological Homeostasis," *Physiol. Rev.*, vol. 9, no. 3, pp. 399–421, 1929, doi: 10.1152/physrev.1929.9.3.399.

[36]R. Plutchik and H. Kellerman, *Theories of Emotion*. Academic Press, 2013.

[37]N. A. Indicated, "Paul Ekman," *Am. Psychol.*, vol. 47, no. 4, pp. 470–71, Apr. 1992, doi: 10.1037/0003-066x.47.4.470.

[38]P. Ekman and W. V. Friesen, "Constants across cultures in the face and emotion.," *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 17, no. 2, pp. 124–29, 1971, doi: 10.1037/h0030377.

[39]P. Ekman, "An argument for basic emotions," *Cogn. Emot.*, vol. 6, no. 3, pp. 169–200, 1992, doi: 10.1080/02699939208411068.

[40]J. Russell, "Culture and the categorization of emotions," *Psychol. Bull.*, vol. 110, no. 3, pp. 426–50, Nov. 1991, doi: 10.1037/0033-2909.110.3.426.

[41] M. Eid and E. Diener, "Norms for experiencing emotions in different cultures: Inter- and intranational differences," *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 81, no. 5, pp. 869–885, Nov. 2001, doi: 10.1037/0022-3514.81.5.869.

[42] M. N. Shiota, "Ekman's theory of basic emotions," in *The Sage encyclopedia of theory in psychology*, Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2016, pp. 248–250.

[43] P. Ekman, "Basic Emotions," in *Handbook of Cognition and Emotion*, Sussex, UK: John Wiley & Sons, 1999.

[44] N. Alia-Klein *et al.*, "The feeling of anger: From brain networks to linguistic expressions," *Neurosci. Biobehav. Rev.*, vol. 108, pp. 480–497, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.neubiorev.2019.12.002.

[45] R. W. Novaco, *Anger*, vol. Encyclopedia of Psychology. Oxford University Press, 2000.

[46] J. S. Lerner and D. Keltner, "Fear, Anger, and Risk," *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 81, no. 1, pp. 146–159, 2001, doi: 10.1037/0022-3514.81.1.146.

[47] S. Kemp and K. T. Strongman, "Anger theory and management: a historical analysis," *Am. J. Psychol.*, vol. 108, no. 3, pp. 397–417, 1995.

[48] P. Rozin, J. Haidt, and C. R. McCauley, "Disgust," in *Handbook of emotions, 3rd ed*, New York, NY, US: The Guilford Press, 2008, pp. 757–776.

[49] M. Oaten, R. J. Stevenson, and T. I. Case, "Disgust as a Disease-Avoidance Mechanism," *Psychol. Bull.*, vol. 135, no. 2, pp. 303–321, 2009, doi: 10.1037/a0014823.

[50] J. M. Tyber, D. Lieberman, and V. Griskevicius, "Microbes, mating, and morality: Individual differences in three functional domains of disgust," *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 97, no. 1, pp. 103–22, 2009, doi: 10.1037/a0015474.

[51] A. M. Yoder, S. C. Widen, and J. A. Russell, "The word disgust may refer to more than one emotion," *Emot. Wash. DC*, vol. 16, no. 3, pp. 301–308, Apr. 2016, doi: 10.1037/emo0000118.

[52] A. Olsson and E. A. Phelps, "Social learning of fear," *Nat. Neurosci.*, vol. 10, no. 9, pp. 1095–102, 2007, doi: 10.1038/nn1968.

[53] L. D. Edmundson, *The Neurobiology of Fear*. Serendip.

[54] R. Garcia, "Neurobiology of fear and specific phobias," *Learn Mem*, vol. 24, no. 9, pp. 462–471, 2017, doi: 10.1101/lm.044115.116.

[55] *World With No Fear*. 2015.

[56] S. Lyubomirsky, *The how of Happiness: A Scientific Approach to Getting the Life You Want*. Penguin Press, 2008.

[57] J. S. Mill, *Utilitarianism*. Longmans, Green, and Co., 1879.

[58] M. Langseth and W. H. Frey, "Ch. 14: Do Animals Shed Emotional Tears?," in *Crying: the mystery of tears*, Minneapolis, Minn: Winston Press, 1985, pp. 135–9.

[59] R. D. Lane, E. M. Reiman, G. L. Ahern, G. E. Schwartz, and R. J. Davidson, "Neuroanatomical Correlates of Happiness, Sadness, and Disgust," *Am. J. Psychiatry*, vol. 154, no. 7, pp. 926–33, Jul. 1997, doi: 10.1176/ajp.154.7.926.

[60] J. V. Pardo, P. J. Pardo, and M. E. Raichle, "Neural correlates of self-induced dysphoria," *Am. J. Psychiatry*, vol. 150, no. 5, pp. 713–9, May 1993, doi: 10.1176/ajp.150.5.713.

[61] M. S. George, T. A. Ketter, J. I. Parekh, B. Horwitz, P. Herscovitch, and R. M. Post, "Brain activity during transient sadness and happiness in healthy women," *Am. J. Psychiatry*, vol. 152, no. 3, pp. 341–51, Mar. 1995, doi: 10.1176/ajp.152.3.341.

[62] N. A. Harrison, T. Singer, P. Rotshtein, R. J. Dolan, and H. D. Critchley, "Pupillary contagion: central mechanisms engaged in sadness processing," *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, vol. 1, no. 1, pp. 5–17, Jun. 2006, doi: 10.1093/scan/nsl006.

[63] R. W. Frick, "The prosodic expression of anger: Differentiating threat and frustration," *Aggress. Behav.*, vol. 12, no. 2, pp. 121–128, 1986, doi: 10.1002/1098-2337(1986)12:2<121::AID-AB2480120206>3.0.CO;2-F.

[64] "Is Sadness Only One Emotion? Psychological and Physiological Responses to Sadness Induced by Two Different Situations: 'Loss of Someone' and 'Failure to Achieve a Goal.'" https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5334320/#B26 (accessed Jun. 03, 2020).

[65] M. Lewis, J. M. Haviland-Jones, and L. F. Barrett, *Handbook of Emotions*. Guilford Press, 2010.

[66] C. R. Reynolds, K. J. Vannest, and E. Fletcher-Janzen, *Encyclopedia of Special Education, Volume 3: A Reference for the Education of Children, Adolescents, and Adults Disabilities and Other Exceptional Individuals*. Wiley, 2018, p. 773.

[67] J. K. Burgoon and S. B. Jones, "Toward a Theory of Personal Space Expectations and Their Violations," *Hum. Commun. Res.*, vol. 2, no. 2, pp. 131–146, 1976, doi: 10.1111/j.1468-2958.1976.tb00706.x.

[68] T. Partala and V. Surakka, "Pupil size variation as an indication of affective processing," *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, vol. 59, no. 1, pp. 185–198, Jul. 2003, doi: 10.1016/S1071-5819(03)00017-X.

[69] P. Ekman and W. Friesen, "Unmasking the Face: A Guide to Recognizing Emotions From Facial Clues," Jan. 2003.

[70] S. Schachter and J. Singer, "Cognitive, social, and physiological determinants of emotional state," *Psychol. Rev.*, vol. 69, no. 5, pp. 379–399, Sep. 1962, doi: 10.1037/h0046234.

[71] "James-Lange Theory of Emotion," *ChangingMinds.org*, [Online]. Available: http://changingminds.org/explanations/theories/james_lange_emotion.htm.

[72] "Two-Factor Theory of Emotion," *ChangingMinds.org*, [Online]. Available: http://changingminds.org/explanations/theories/two-factor_emotion.htm.

[73] T. Z. Ramsøy, M. Friis-Olivarius, C. Jacobsen, S. B. Jensen, and M. Skov, "Effects of perceptual uncertainty on arousal and preference across different visual domains," *J. Neurosci. Psychol. Econ.*, vol. 5, no. 4, pp. 212–226, 2012, doi: 10.1037/a0030198.

[74] R. W. Husband, "A Study of the Emotion of Excitement," *Pedagog. Semin. J. Genet. Psychol.*, vol. 46, no. 2, pp. 465–470, Jun. 1935, doi: 10.1080/08856559.1935.10533174.

[75] J. Tao and T. Tan, "Affective Computing: A Review," in *Affective Computing and Intelligent Interaction; LNCS*, 2005, pp. 981–95, doi: 10.1007/11573548.

[76] R. W. Picard, *Affective Computing*. 1995.

[77] N. Garay, I. Cearreta, J. M. López, and I. Fajardo, "Assistive Technology and Affective Mediation," *Hum. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 55–83, Apr. 2006, doi: 10.17011/ht/urn.2006159.

[78] B. W. Tatler, N. J. Wade, H. Kwan, J. M. Findlay, and B. M. Velichkovsky, "Yarbus, Eye Movements, and Vision," *-Percept.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–27, 2010, doi: 10.1068/i0382.

[79] R. J. K. Jacob and K. S. Karn, "Eye Tracking in Human–Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises," in *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*, Oxford, England: Elsevier Science BV, 2003.

[80] M. Cognolato, M. Atzori, and H. Müller, "Head-mounted eye gaze tracking devices: An overview of modern devices and recent advances.," *J. Rehabil. Assist. Technol. Eng.*, vol. 5, p. 205566831877399, 2018, doi: 10.1177/2055668318773991.

[81] L. Zhao, Z. Wang, G. Zhang, Y. Qi, and X. Wang, "Eye state recognition based on deep integrated neural network and transfer learning," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 77, no. 15, pp. 19415–19438, Nov. 2017, doi: 10.1007/s11042-017-5380-8.

[82] D. Lian *et al.*, "Multiview Multitask Gaze Estimation With Deep Convolutional Neural Networks," *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.*, vol. 30, no. 10, pp. 3010–3023, Oct. 2019, doi: 10.1109/TNNLS.2018.2865525.

[83] H. D. Crane and C. M. Steele, "Generation-V dual-Purkinje-image eyetracker," *Appl. Opt.*, vol. 24, no. 4, pp. 527–537, 1985, doi: 10.1364/AO.24.000527.

[84] A. Bulling, D. Roggen, and G. Tröster, "Wearable EOG goggles: Seamless sensing and context-awareness in everyday environments," *J. Ambient Intell. Smart Environ.*, vol. 1, no. 2, pp. 157–171, 2009, doi: 10.3233/AIS-2009-0020.

[85] D. Witzner Hansen and Q. Ji, "In the Eye of the Beholder: A Survey of Models for Eyes and Gaze," *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, vol. 32, no. 3, pp. 478–500, Mar. 2010, doi: 10.1109/tpami.2009.30.

[86] D. Purves and st al, *Neuroscience, 2d ed.* Sunderland (MA): Sinauer Assocs., 2001, p. What Eye Movements Accomplish.

[87] J. Z. Lim, J. Mountstephens, and J. Teo, "Emotion Recognition Using Eye-Tracking: Taxonomy, Review and Current Challenges," *Sensors*, vol. 20, no. 8, Apr. 2020, doi: 10.3390/s20082384.

[88] J. Nielsen and K. Pernice, *Eyetracking Web Usability*. New Riders, 2010.

[89] S. Hickson, N. Dufour, A. Sud, V. Kwatra, and I. Essa, "Eyemotion: Classifying facial expressions in VR using eye-tracking cameras," Jul. 2017.

[90] A. Burkov, *The Hundred-Page Machine Learning Book*. Leanpub, 2018.

[91] A. Samuel, "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers," *IBM J. Res. Dev.*, vol. 3, no. 3, pp. 210–229, 1959, doi: 10.1147/rd.33.0210.

[92] N. J. Nilsson, *Learning machines*. McGrawHill: New York, 1965.

[93] S. Bozinovski, "A representation theorem for linear pattern classifier training," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 1985, doi: 10.1109/TSMC.1985.6313405.

[94] A. M. Turing, "I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE," *Mind*, vol. LIX, no. 236, pp. 433–460, Oct. 1950, doi: 10.1093/mind/LIX.236.433.

[95] M. van Otterlo and M. Wiering, *Reinforcement learning and markov decision processes*. 2012, pp. 3–42.

[96] C. Cortes and V. N. Vapnik, "Support-vector networks," *Mach. Learn.*, vol. 20, no. 3, pp. 273–297, 1995, doi: 10.1007/BF00994018.

[97] T. Joachims, "Text categorization with Support Vector Machines: Learning with many relevant features," *Mach. Learn. ECML-98*, vol. 1398, pp. 137–142, 1998, doi: 10.1007/BFb0026683.

[98] D. DeCoste, "Training Invariant Support Vector Machines," *Mach. Learn.*, vol. 46, pp. 161–190, 2002, doi: 10.1023/A:1012454411458.

[99] J. A. Domínguez-Jiménez, K. C. Campo-Landines, J. C. Martínez-Santos, E. J. Delahoz, and S. H. Contreras-Ortiz, "A machine learning model for emotion recognition from physiological signals," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 55, p. 101646, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.bspc.2019.101646.

[100] *Eibe Frank, Mark A. Hall, and Ian H. Witten (2016). The WEKA Workbench. Online Appendix for "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques", Morgan Kaufmann, Fourth Edition, 2016.* .

[101] S. Berkovsky *et al.*, "Detecting Personality Traits Using Eye-Tracking Data," Apr. 2019, pp. 1–12, doi: 10.1145/3290605.3300451.

[102] C. Aracena, S. Basterrech, V. Snáel, and J. Velásquez, "Neural Networks for Emotion Recognition Based on Eye Tracking Data," in *2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Oct. 2015, pp. 2632–2637, doi: 10.1109/SMC.2015.460.

[103] B. T. Nguyen, M. H. Trinh, T. V. Phan, and H. D. Nguyen, "An efficient real-time emotion detection using camera and facial landmarks," in *2017 Seventh International Conference on Information Science and Technology (ICIST)*, Apr. 2017, pp. 251–255, doi: 10.1109/ICIST.2017.7926765.

Σύντομο Βιογραφικό Συγγραφέα

Ο Κωνσταντίνος-Ε Λαδάς κατάγεται και μεγάλωσε στην Πάτρα. Αφού ολοκλήρωσε τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, εισήχθη μέσω πανελλαδικών εξετάσεων το 2013, στο Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών.