



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

Ανάπτυξη Δυναμικά Προσαρμοζόμενου στο
Συναίσθημα του Χρήστη Παιχνιδιού, με χρήση
Βαθιάς Μάθησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΒΡΕΤΤΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

Επιβλέπων: Ξένος Μιχαήλ
Καθηγητής
Συνεπιβλέπων: Μαλλάς Ανδρέας
Υποψήφιος Διδάκτορας
Επιτροπή : Σιούτας Σπύρος
Καθηγητής
Μακρής Χρήστος
Αναπληρωτής Καθηγητής

Πάτρα, Ιούλιος 2022



Πανεπιστήμιο Πατρών
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής

Copyright ©–All rights reserved Βρέττης Παναγιώτης, 2022.

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας, και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η διπλωματική εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών.

(Υπογραφή)

.....

Βρέττης Παναγιώτης

Περίληψη

Ζούμε σε μία εποχή, όπου η τεχνολογία βρίσκεται στο επίκεντρο της καθημερινότητας μας. Κάθε άνθρωπος είναι και χρήστης της τεχνολογίας σε διάφορες πτυχές της ζωής του, είτε στην δουλεία του (εξειδικευμένα υλισμικά - λογισμικά), στην προσωπική του υγιεινή (fitness trackers, heartbeat monitors), είτε στην ενημέρωσή του (ιστοσελίδες ειδήσεων, μέσα κοινωνικής δικτύωσης). Είναι αναπόφευκτη, λοιπόν, η είσοδος της τεχνολογίας στην ψυχαγωγία. Το κύριο μέτωπο στην έφοδο αυτή, είναι τα βιντεοπαιχνίδια, μέσα από τα οποία ο χρήστης (μετασχηματισμένος πια σε παίκτη) μπορεί να βιώσει εμπειρίες που κανένα άλλο μέσο (medium) ψυχαγωγίας δεν μπορεί να προσφέρει. Συνδυάζοντας όλες τις υπόλοιπες μορφές τέχνης όπως μουσική, κινηματογραφία, animation, και διήγηση ιστοριών (storytelling - narrative), καταλήγουμε σε ένα χαρμάνι ερεθισμάτων σε έναν χρήστη όχι πια παρατηρητή, αλλά σε έναν παίκτη που είναι αναπόσπαστο μέρος αυτού του μείγματος. Ο χρήστης, δηλαδή, καλείται να αντιδράσει σε αυτά τα ερεθίσματα και να δημιουργήσει καινούργια, βασισμένα στις δικές του επιλογές και εισόδους (inputs). Σε κάποια άλλη πλευρά της τεχνολογίας, παρατηρούμε την ραγδαία αύξηση -τόσο σε επιδόσεις όσο και σε ζήτηση- της Μηχανικής Μάθησης και των Νευρωνικών Δικτύων στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης. Με γρήγορο ρυθμό η επικράτηση τους στην καθημερινή μας χρήση διαφόρων τεχνολογικών μέσων (κάμερες κινητών, Recommender Systems, Upscaling Γραφικών Υπολογιστή, κτλ) μας οδηγεί στη θέληση να τα εντάξουμε σε κάθε τομέα. Έχοντας αναφέρει προηγουμένως τα βιντεοπαιχνίδια, μπορεί να σκεφτεί κανείς πολλά πιθανά αποτελέσματα από την ενοποίηση τους με την Τεχνητή Νοημοσύνη, όπως διαδικαστικές γεννήτριες (procedural generation), animation υποβοηθούμενο από Τεχνητή Νοημοσύνη (AI Augmented Animations), και πολλά άλλα. Εμείς, αποφασίσαμε να προσεγγίσουμε την σύζευξη αυτή από την πλευρά του χρήστη (παίκτη).

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι καταρχάς η ανάπτυξη ενός συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων μέσω βαθιάς μάθησης, και δεύτερον η ανάπτυξη ενός βιντεοπαιχνιδιού που θα κάνει χρήση των εξόδων του συστήματος αυτού. Ουσιαστικά, η προσθήκη μιας νέας μορφής εισόδου, και -κατ' επέκταση- ενός νέου τρόπου αλληλεπίδρασης του χρήστη με τα βιντεοπαιχνίδια, και πιο γενικά, τον υπολογιστή.

Abstract

We live in an era, where technology is at the core of our everyday life. Everyone is a user of technology in various aspects of their lives, whether in their workplace (specialized hardware - software), in their personal hygiene (fitness trackers, heartbeat monitors), or to stay up-to-date (news websites, social media). Thus, the use of technology in entertainment is inevitable. Leading this raid are video games, in which the user (now transformed into a player) can live an experience no other entertainment medium can provide. By combining all other art forms such as music, film, animation, and storytelling in general, we end up with a blend of stimuli for a user who's no longer a passive spectator, but an integral part of the aforementioned blend. The user, that is, is called upon to respond to said stimuli and to create new ones, based on his personal choices and inputs. In another side of technology, a rapid escalation -both in its performance and in its demand- in Machine Learning and Neural Networks is highly observable in the field of Artificial Intelligence. At a swift pace their prevalence in our daily use of various technological means (smartphone cameras, Recommender Systems, Computer Graphics Upscaling, etc) leads to a continuous effort to integrate them in every possible sector. Having previously mentioned video games, one can envision numerous possible outcomes from their unification with Artificial Intelligence, such as procedural generation, AI Augmented Animations, and many more. We chose to approach this conjugation from the user's (player's) point of view.

The intention and goal of this thesis is to first develop an emotion recognition system using deep learning, and second, to develop a video game that employs the output of said system. Basically, the addition of a new kind of input, and -by extension- a new form of interaction between the user and video games, and in a broader sense, computers.

στους γονείς μου και στη γιαγιά μου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχάς να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Ξένο για την επίβλεψη αυτής της διπλωματικής εργασίας και για την μοναδική ευκαιρία που μου έδωσε να συνδυάσω δύο θέματα για τα οποία έχω μεγάλο προσωπικό ενδιαφέρον. Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Μαλλά για την καθοδήγησή του και την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε, είτε σε ανταλλαγή ιδεών, είτε σε εποικοδομητική κριτική και σχολιασμό σε κάθε βήμα, και που ήταν εκεί κάθε φορά που τον χρειαζόμουν.

Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Abstract	iii
Ευχαριστίες	vii
Κατάλογος Σχημάτων	xiii
Κατάλογος Πινάκων	xv
1 Εισαγωγή	1
1.1 Σημασία του Προβλήματος	2
1.2 Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας	3
1.3 Μεθοδολογία Προσέγγισης	3
1.4 Συνεισφορά	4
1.5 Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας	4
2 Βιβλιογραφία	5
2.1 Αναγνώριση Συναισθημάτων	5
2.1.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα	7
2.1.2 Ηλεκτροκαρδιογράφημα	7
2.1.3 Ηλεκτροδερματική Δραστηριότητα	8
2.1.4 Μεταβλητότητα Καρδιακού Ρυθμού	10
2.1.5 Μέτρηση Θερμοκρασίας Δέρματος	12
2.1.6 Ηλεκτρομυογράφημα	14
2.1.7 Ηλεκτροοφθαλμογραφία	16
2.1.8 Εκφράσεις Προσώπου	17
2.2 Affective Computing	22
2.3 Προσαρμοζόμενα Παιχνίδια	24
2.4 Παιχνίδια στον Ρόλο Μηχανών Ενσυναίσθησης	25
3 Σύστημα Αναγνώρισης Συναισθημάτων	27
3.1 Πληροφορίες Εργαλείων	27

4	Πληροφορίες Dataset	29
4.1	Παρόντα Συναισθήματα	29
4.2	Κατανομή Συναισθημάτων στο Dataset	29
4.3	Πληροφορίες Δειγμάτων & Χαρακτηριστικά	30
4.3.1	Παραδείγματα Εικόνων του Dataset	30
4.4	Βελτίωση του Dataset με χρήση Upscaling	31
4.5	Πηγή του Dataset	31
5	Περιγραφή Μοντέλου	33
5.1	Πειραματισμός με Ποικίλων Τύπων Τεχνητής Νοημοσύνης, πριν το Τελικό Αποτέλεσμα	33
5.1.1	Αλγόριθμος K - Πλησιέστερων Γειτόνων	33
5.1.2	Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης	34
5.1.3	Πολυεπίπεδο Perceptron	34
5.2	Επιλογή της Κάμερας ως Αισθητήρα	35
5.3	Προετοιμασία Εισόδων στην Εκπαίδευση	35
5.4	Αρχιτεκτονική - Δομή Μοντέλου	36
5.5	Σύνοψη Μοντέλου	38
5.6	Αποτελέσματα του Μοντέλου	38
5.7	Προτεινόμενη Λύση στο Πρόβλημα του Πραγματικού Κόσμου	39
6	Υλοποίηση Συστήματος Κάμερας Αναγνώρισης Συναισθημάτων	41
6.1	Λεπτομέρειες υλοποίησης	41
6.1.1	Διάβασμα από την Ροή της Κάμερας	42
6.1.2	Εντοπισμός Προσώπου	42
6.1.3	Εξαγωγή Συντεταγμένων Προσώπου	43
6.1.4	Κόψιμο της Εικόνας	43
6.1.5	Μείωση του Μεγέθους της Εικόνας	43
6.1.6	Μετατροπή σε Grayscale	43
6.1.7	Μετατροπή Δεδομένων στο Κατάλληλο Σχήμα	43
6.1.8	Τροφοδοσία στο Μοντέλο	44
6.1.9	Εγγραφή Αποτελέσματος σε Αρχείο JSON	44
6.2	Παράδειγμα Εκτέλεσης του Συστήματος	44
7	Περιγραφή Παιχνιδιού	47
7.1	Σχεδίαση Παιχνιδιού	47
7.1.1	Λαμβάνοντας Υπόψη τον Ρόλο των Μηχανών Ενσυναίσθησης στη Σχεδίαση	48
7.2	Εργαλεία Ανάπτυξης Παιχνιδιού	50
7.3	Λεπτομερής Περιήγηση στα Στοιχεία του Παιχνιδιού	50
7.4	Βασικοί Μηχανισμοί του Παιχνιδιού	58
7.4.1	Μηχανισμός Επίδρασης με το Περιβάλλον	58

7.4.2	Μηχανισμός Inventory	58
7.4.3	Μηχανισμός Journal	59
7.4.4	Δυναμική Μουσική	59
7.5	Επίδραση του Συναισθήματος στο Παιχνίδι	60
7.5.1	Αλλαγή στη μουσική	60
7.5.2	Μετασχηματισμός των υλικών του χώρου	60
7.5.3	Διαφορετική «χροιά» στις καταχωρήσεις του ημερολογίου	61
7.5.4	«Επίπεδο» διαμορφωμένο από το συναίσθημα του παίκτη	63
7.5.5	Τέλος βασισμένο στο πιο εμφανιζόμενο συναίσθημα	63
7.5.6	Ενδυνάμωση του Συναισθήματος του Χρήστη	64
8	Αξιολόγηση Παιχνιδιού με Συμμετοχή Χρηστών	65
8.1	Μέθοδος Πειράματος	65
8.1.1	Μορφή Ερωτηματολογίου	67
8.1.2	Αξιολόγηση του Παιχνιδιού	67
8.1.3	Αξιολόγηση της Χρήσης του Συναισθήματος στο Παιχνίδι	78
8.1.4	Μεταμόρφωση Παραγόμενων Αρχείων Μετρικών	78
8.2	Συμπεράσματα Πειράματος	78
8.2.1	Κατανομή Χρηστών	79
9	Επίλογος	93
9.1	Συμπεράσματα	93
9.2	Μελλοντικές Επεκτάσεις	95
A'	Γραφήματα Πειράματος	97
A'.1	Usability/Playability	97
A'.2	Play Engrossment	103
A'.3	Enjoyment	107
A'.4	Audio Aesthetics	110
A'.5	Personal Gratification	112
A'.6	Visual Aesthetics	115
A'.7	Emotion Recognition	117

Κατάλογος Σχημάτων

2.1	Μοντέλο CNN με πολλαπλά επίπεδα συνέλιξης [101].	21
4.1	Γράφημα κατανομής του dataset.	30
4.2	Εικόνες από το dataset.	31
5.1	Αρχιτεκτονική μοντέλου.	37
6.1	Σχήμα εκτέλεσης του Συστήματος Αναγνώρισης Συναισθημάτων.	42
6.2	Input Frame.	45
6.3	Cropped Frame.	45
6.4	Downscaled Frame.	45
6.5	Grayscale Frame.	46
7.1	Εικόνα από το πρώτο επίπεδο του παιχνιδιού.	52
7.2	Εικόνα από το δεύτερο επίπεδο του παιχνιδιού.	53
7.3	Εικόνες από τα περιστρεφόμενα δωμάτια.	54
7.4	Εικόνα από το τρίτο επίπεδο του παιχνιδιού.	55
7.5	Εικόνα από το τέταρτο επίπεδο του παιχνιδιού.	56
7.6	Εικόνα από το πέμπτο επίπεδο του παιχνιδιού.	57
7.7	Εικόνα από το τελευταίο επίπεδο του παιχνιδιού.	58
7.8	Δυναμικό υλικό για το συναίσθημα χαράς.	61
7.9	Δυναμικό υλικό για το συναίσθημα λύπης.	61
7.10	Δυναμικό υλικό για το συναίσθημα θυμού.	62
8.1	Κατανομή φύλου χρηστών.	79
8.2	Κατανομή ηλικίας χρηστών.	79
8.3	Κατανομή εμπειρίας χρηστών στα παιχνίδια.	80
8.4	Ποσοστό χρηστών που ολοκλήρωσαν το παιχνίδι.	81
8.5	Ποσοστό χρηστών που έκαναν χρήση των λύσεων του παιχνιδιού.	82

Κατάλογος Πινάκων

3.1	Πίνακας εργαλείων ανάπτυξης συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων. . . .	28
5.1	Πίνακας σύνοψης παραμέτρων μοντέλου.	38
5.2	Πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλου.	39
5.3	Πίνακας πρόβλεψης ανά συναίσθημα.	39
7.1	Πίνακας εργαλείων ανάπτυξης παιχνιδιού.	50
8.1	Πίνακας ερωτήσεων Usability/Playability με τη μορφή που δόθηκαν.	83
8.2	Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Usability/Playability.	84
8.3	Πίνακας ερωτήσεων Play Engrossment με τη μορφή που δόθηκαν.	85
8.4	Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Play Engrossment.	86
8.5	Πίνακας ερωτήσεων Enjoyment με τη μορφή που δόθηκαν.	86
8.6	Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Enjoyment.	87
8.7	Πίνακας ερωτήσεων Audio Aesthetics με τη μορφή που δόθηκαν.	87
8.8	Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Audio Aesthetics.	88
8.9	Πίνακας ερωτήσεων Personal Gratification με τη μορφή που δόθηκαν.	88
8.10	Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Personal Gratification.	89
8.11	Πίνακας ερωτήσεων Visual Aesthetics με τη μορφή που δόθηκαν.	89
8.12	Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Visual Aesthetics.	90
8.13	Πίνακας ερωτήσεων Emotion Recognition με τη μορφή που δόθηκαν.	90
8.14	Πρώτος Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Emotion Recognition.	91
8.15	Δεύτερος Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Emotion Recognition.	91

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Από τη σύλληψη της μέχρι και σήμερα, η έννοια του προσωπικού υπολογιστή (Personal Computer) συνδέεται στενά με την έννοια της αλληλεπίδρασης. Λίγο νόημα έχει να μιλάμε για προσωπικό υπολογιστή χωρίς να συμπεριλάβουμε τον άνθρωπο που τον χρησιμοποιεί. Επομένως, γρήγορα γεννήθηκε το ερευνητικό πεδίο της «Αλληλεπίδραση ανθρώπου - υπολογιστή» ή Human Computer Interaction (HCI). Το πεδίο αυτό, όπως μαρτυρά και ο τίτλος, αναφέρεται στους τρόπους με τους οποίους ο χρήστης «συνεργάζεται» με τον υπολογιστή, και εκτείνεται από απλές μεθόδους αλληλεπίδρασης (πληκτρολόγηση, χρήση ποντικιού, οπτικά ερεθίσματα με Γραφικά Περιβάλλοντα) μέχρι και τις πιο πολύπλοκες, όπως αναγνώριση φωνής, αναγνώριση κίνησης - χειρονομιών (gestures) και το λεγόμενο embodied agent όπου ο χρήστης αλληλεπιδρά με ένα ανθρωπόμορφο χαρακτήρα για να επιτύχει τον στόχο του. Μια επέκταση του ερευνητικού πεδίου αυτού, είναι το Affective Computing.

Το Affective Computing είναι η έρευνα και δημιουργία συστημάτων που αναγνωρίζουν, διερμηνεύουν, επεξεργάζονται, και προσομοιώνουν ανθρώπινα συναισθήματα [129]. Τα συστήματα αυτά έχουν ως τελικό σκοπό να αποκτήσουν ενός είδους *ενσυναίσθηση*, έχοντας αναπτύξει τεχνητή συναισθηματική νοημοσύνη.

Οι μέθοδοι που εμφανίζονται στο Affective Computing ποικίλλουν. Η πλέον σημαντικές είναι αυτές που κάνουν χρήση Μηχανικής Μάθησης. Κάθε σύστημα Μηχανικής Μάθησης επεξεργάζεται ένα είδος Modality¹, όπως φωνή (σύστημα Speech Recognition), κειμένου (σύστημα Natural Language Processing), και εκφράσεων προσώπου (σύστημα Facial Expression Detection).

Τα use-cases τέτοιων συστημάτων είναι πολλά, με εφαρμογές τους να εμφανίζονται σε τομείς όπως:

- Συστήματα Υγείας
- Συστήματα Ασφαλείας
- Διαπαιδαγώγηση

¹κατηγοριοποίηση ενός ανεξάρτητου καναλιού «αισθητήριας» εισόδου/εξόδου ανάμεσα σε άνθρωπο και μηχανή

- Ηλεκτρονικά Παιχνίδια και γενικότερα τομέας Ψυχαγωγίας

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής μας ενδιαφέρει ο τελευταίος τομέας. Μιας και τα ηλεκτρονικά παιχνίδια απ' όταν πρωτοεμφανίστηκαν το 1950 με 1960, ήταν η απόλυτη διερμηνεία της αλληλεπίδρασης ανθρώπου - υπολογιστή, είναι σκόπιμη η έρευνα νέων μεθόδων που με τη χρήση τους θα ενισχύσουν τη σχέση του χρήστη με το παιχνίδι που παίζει, και θα επαυξήσει τον βαθμό βύθισης του σε αυτό.

1.1 Σημασία του Προβλήματος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η έρευνα του HCI έχει ολοένα και περισσότερο ενδιαφέρον. Χρόνο παρά χρόνο, η αύξηση του ποσοστού των ανθρώπων που καλούνται να χειριστούν ένα σύστημα υπολογιστή ως μέρος της εργασίας τους (π.χ. σταθερός υπολογιστής, σύστημα ταμειακής μηχανής) είναι σημαντική. Αναπόφευκτο και αρνητικό αποτέλεσμα, είναι η δυσκολία που αντιμετωπίζει ένα σημαντικό ποσοστό των ατόμων στον χειρισμό αυτόν. Ο σοβαρότερος παράγοντας σε αυτή τη δυσκολία, είναι η γραφική διεπαφή χρήστη (GUI), και κατά συνέπεια η σχεδίαση της. Όσο πιο πολύπλοκη είναι η μορφή της διεπαφής αυτής, τόσο πιο επίπονη είναι η εκπαίδευση σε αυτή, και τόσο πιο δύσχρηστη γίνεται. Επομένως, γεννάται το ερώτημα πως σχεδιάζεται μια καλή διεπαφή.

Θα αναφερθούμε στην επίδραση του Affective Computing στη σχεδίαση. Έχει γίνει κατανοητό μέχρι τώρα, πως τα συστήματα που εντάσσονται στο Affective Computing χαρακτηρίζονται από μεθόδους ελέγχου συστημάτων οι οποίες είναι γνώριμες και φιλικές προς τον χρήστη, είτε αυτές είναι φωνητικές εντολές είτε χειρονομίες. Αμέσως γίνεται αντιληπτή η μείωση της δυσκολίας στον χειρισμό ενός συστήματος με χρήση των προηγούμενων μεθόδων. Ο χρήστης είχε πρωτίτερα ένα γραφικό περιβάλλον γεμάτο κουμπιά και λίστες εντολών, και χρήση ενός ποντικιού και πληκτρολογίου για να επιτύχει τον στόχο του. Τώρα το μόνο που έχει να κάνει είναι να δώσει την απαραίτητη φωνητική εντολή και το σύστημα εκτελεί την πράξη αυτόματα. Βέβαια, το «αυτόματα» είναι σχετικό, και τα προβλήματα που εξαλείφει η χρήση μεθόδων Affective Computing, μπορεί να αντικατασταθούν με άλλα χωρίς την προσεκτική σχεδίαση. Όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, η χρήση τέτοιων μεθόδων έχει τη δυνατότητα να επιτρέψει σε χρήστες με αναπηρίες να χειριστούν συστήματα χωρίς να απαιτείται χρήση τυπικών συσκευών εισόδου.

Ερχόμαστε, λοιπόν, στη σημασία που έχει η έρευνα νέων μορφών αλληλεπίδρασης ανθρώπου - υπολογιστή στο τομέα της ψυχαγωγίας. Καταρχάς, από τη γέννηση της «ψηφιακής ψυχαγωγίας» οι προσπάθειες για καινοτόμες μορφές αλληλεπίδρασης είναι ατέλειωτες. Από τα κράνη εικονικής πραγματικότητας, τα δωμάτια επαυξημένης πραγματικότητας, έξυπνα «γάντια» που επιτρέπουν τον έλεγχο με τις φυσικές κινήσεις του χεριού, μέχρι και τα συστήματα απτικής ανάδρασης (Haptic Feedback) που μπορούν να προσομοιώσουν ένα χτύπημα ή πίεση από τον εικονικό κόσμο στον πραγματικό, η δοκιμές για μεγαλύτερη εχθρότητα του χρήστη στο ψηφιακό περιβάλλον είναι αξιοσημείωτες. Το πρόβλημα που προκύπτει με όλα τα προηγούμενα συστήματα, είναι το κόστος και η πολυπλοκότητα τους, με αποτέλεσμα ο αριθμός των χρηστών να είναι μη βιώσιμος, καθώς και τα ίδια τα συστήματα να παρουσιάζουν μέτρια έως κακή

σχεδίαση. Επομένως, το πλεονέκτημα που έχει η χρήση ενός συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων είναι η απλότητα που παρουσιάζεται από την πλευρά του χρήστη. Το σχετικά μικρό υπολογιστικό κόστος πρόβλεψης, καθώς και η μοναδική απαίτηση μιας απλής κάμερας, κάνουν ένα σύστημα του τύπου προσβάσιμο από όλους. Ταυτόχρονα, πέρα από την προσιτότητα που προσφέρει, το συναίσθημα ενός ανθρώπου και η ασάφεια που συνοδεύει τη μετάφραση του, το κάνουν έναν ενδιαφέρον υποψήφιο για είσοδο σε ένα σύστημα ψυχαγωγίας.

1.2 Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας

Στόχος της διπλωματικής είναι η έρευνα πάνω στην αλληλεπίδραση του χρήστη με ένα παιχνίδι, όταν προστίθεται ως είσοδος το συναίσθημα του. Σκοπός είναι η υλοποίηση των κατάλληλων συστημάτων που απαιτεί η έρευνα (σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων, παιχνίδι), να εξεταστούν διάφορες σχεδιαστικές προσεγγίσεις για τη χρήση της εισόδου αυτής στο παιχνίδι, να ερευνηθεί η επιρροή μιας τέτοιας εισόδου στην εμπειρία του χρήστη που παίζει το παιχνίδι, και να αποτελέσει το αποτέλεσμα πηγή έμπνευσης για μελλοντικές δουλειές που θα επεκτείνουν την ιδέα αυτή.

1.3 Μεθοδολογία Προσέγγισης

Η προσέγγιση στα πλαίσια της διπλωματικής βασίζεται στη σχεδίαση και υλοποίηση των συστημάτων που περιγράφονται, και η αξιολόγηση τους με τη συμμετοχή χρηστών. Για να το πετύχουμε αυτό, εκτελέσαμε τέσσερις βασικές εργασίες - υλοποιήσεις:

- Εκπαίδευση Μοντέλου Βαθιάς Μάθησης για την Αναγνώριση Συναισθημάτων
- Ανάπτυξη Συστήματος Αναγνώρισης Συναισθημάτων, με το μοντέλο που εκπαιδεύτηκε
- Σχεδίαση και Ανάπτυξη Παιχνιδιού που κάνει χρήση του Συστήματος Αναγνώρισης Συναισθημάτων
- Εργαστηριακό Πείραμα για την αξιολόγηση του παιχνιδιού

Η εκπαίδευση του μοντέλου αναγνώρισης συναισθημάτων έπεται πειραματισμό με διάφορες πηγές δεδομένων (dataset), και εκπαίδευση πολλών διαφορετικών ειδών μοντέλων μηχανικής μάθησης και τέλος αρχιτεκτονικών νευρωνικών δικτύων. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη τη διεξαγωγή του πειράματος με χρήστες, το παιχνίδι και οι οδηγίες που έχει στη διάθεση του ο συμμετέχον στο πείραμα έχουν σχεδιαστεί ώστε να είναι όσο πιο απλά και κατανοητά γίνεται. Περισσότερη λεπτομέρεια δίνεται στα κεφάλαια που ακολουθούν.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως το πείραμα πραγματοποιήθηκε κυρίως εκτός εργαστηρίου (ανοικτό πείραμα), με τη μορφή δημοσίευσης στο διαδίκτυο και στέλνοντας το σε ένα πλήθος ατόμων, μαζί με τις κατάλληλες οδηγίες και ένα ερωτηματολόγιο. Η έκταση της συμμετοχής στο πείραμα δεν ήταν ιδιαίτερα μεγάλη, χωρίς όμως αυτό να απαγορεύει την εξαγωγή σημαντικών στατιστικών δεδομένων.

1.4 Συνεισφορά

Πέρα από ένα καλό παράδειγμα υλοποίησης ενός παιχνιδιού που ανταποκρίνεται στα συναισθήματα του χρήστη, η διπλωματική στοχεύει μέσω του πειράματος να δώσει μια αξιολόγηση της ιδέας αυτής, και να καθοδηγήσει νέα εγχειρήματα στον τομέα.

1.5 Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας

Η εργασία αυτή είναι οργανωμένη σε οκτώ κεφάλαια: Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται βιβλιογραφικές αναφορές πάνω στο θέμα της διπλωματικής, τόσο στο κομμάτι της αναγνώρισης συναισθημάτων, όσο και εκείνο των ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Στο Κεφάλαιο 3, δίνεται τα εργαλεία με τα οποία αναπτύχθηκε το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων της διπλωματικής. Στο Κεφάλαιο 4, περιγράφεται το σύνολο δεδομένων (Dataset) με το οποίο εκπαιδεύτηκε το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την αναγνώριση συναισθημάτων. Στο Κεφάλαιο 5, δίνεται η αρχιτεκτονική του μοντέλου, η διαδικασία εκπαίδευσης του, καθώς και τα αποτελέσματα του μαζί με σχολιασμό. Στο Κεφάλαιο 6, περιγράφεται αναλυτικά η σχεδίαση και η λειτουργία του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση κάμερας, τη φόρτωση του μοντέλου που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, καθώς και τη μορφή της εξόδου του συστήματος. Στο Κεφάλαιο 7, παρουσιάζεται η σχεδίαση και η υλοποίηση του παιχνιδιού, καθώς και οι αλλαγές που προκαλούνται από το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων. Στο Κεφάλαιο 8, περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο έλαβε χώρα η αξιολόγηση του παιχνιδιού, και δίνονται τα στατιστικά αποτελέσματα της έρευνας μαζί με συγκρίσεις άλλων εργασιών. Τέλος, το Κεφάλαιο 9 είναι ο επίλογος, όπου συμπεριλαμβάνουμε τα συμπεράσματα μας, καθώς και συζητάμε μελλοντικές επεκτάσεις πάνω στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφία

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναφερθούμε σε διάφορες δουλειές που βρίσκονται στην παγκόσμια βιβλιογραφία. Προκειμένου να καλύψουμε όλα τα σημεία του θέματος της διπλωματικής αυτής, χωρίζουμε αυτό το κεφάλαιο σε κάθε διακριτό «υπόθεμα». Θα ξεκινήσουμε κάνοντας αναφορά στα συστήματα αναγνώρισης συναισθημάτων και τις διάφορες μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν. Έπειτα, θα προχωρήσουμε κάνοντας λόγο για το Affective Computing και τη συνεισφορά του στα υπολογιστικά συστήματα της καθημερινότητας μας. Στη συνέχεια, θα παραθέσουμε προσεγγίσεις που υπάρχουν στη βιβλιογραφία για προσαρμοζόμενα ηλεκτρονικά παιχνίδια (Adaptive Video Games), και θα τα συγκρίνουμε με τη δική μας. Αυτές οι προσεγγίσεις, όπως θα δούμε, εκτείνονται πέρα από τα συναισθήματα του χρήστη, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα εισόδων και Modalities. Τέλος, επεκτείνουμε την αναφορά μας στα προσαρμοζόμενα παιχνίδια, εντάσσοντας βιβλιογραφία πάνω στον ρόλο των παιχνιδιών ως μηχανές ενσυναίσθησης (Empathy Machines). Στο τελευταίο θέμα θα δοθεί αρκετή έμφαση, μιας και η έννοια της ενσυναίσθησης -όπως θα εξηγηθεί στο κεφάλαιο της σχεδίασης του παιχνιδιού- είναι ένας από τους στόχους που έχει η διπλωματική.

Προφανώς, για κάθε αναφορά στη βιβλιογραφία δίνεται αντίστοιχη παραπομπή στο έργο και τον συγγραφέα. Η πλήρης λίστα των παραπομπών βρίσκεται στο τέλος της διπλωματικής, με δείκτες που αντιστοιχούν στα σημεία που αυτές αναφέρονται.

2.1 Αναγνώριση Συναισθημάτων

Στην πρώτη υποενότητα αυτή, θα κάνουμε λόγο για την αναγνώριση συναισθημάτων. Θα επεκταθούμε από τις διάφορες μεθόδους που αποπειρώνται να «μαντέψουν» με ακρίβεια το ανθρώπινο συναίσθημα, μέχρι και το «πάντρεμα» της αναγνώρισης συναισθημάτων και τεχνητής νοημοσύνης. Μέσα σε αυτή θα συμπεριληφθεί και το σύνολο των μεθόδων που δοκιμάστηκαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας της παρούσας διπλωματικής, καθώς και παρόμοιες εργασίες που έκαναν χρήση της ίδιας συλλογής δεδομένων εκπαίδευσης (dataset) με εμάς. Βεβαίως, θα αναφερθούμε και στο ταίριασμα της αναγνώρισης συναισθημάτων με την επιστήμη της αλληλεπίδρασης ανθρώπου - υπολογιστή (HCI).

Αρχικά, προτού παραθέσουμε τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους αναγνώρισης

συναισθημάτων, έχει αξία να κάνουμε μια μικρή αναφορά στην αναπαράσταση του ανθρώπινου συναίσθηματος. Είναι φυσική προϋπόθεση του θέματος, ο καλός ορισμός των συναισθημάτων. Η ικανοποιητική περιγραφή τους, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζονται αποτελούν βασική δυσκολία των ερευνών πάνω στο θέμα. Ακόμα και σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα βασίζονται σε άμεση πληροφωρία από τα ίδια τα άτομα (ο καθένας αναφέρει το συναίσθημα που ένιωσε) η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μπορεί να ποικίλει [55]. Με τα χρόνια έχουν δοθεί διαφορετικές απόψεις για την ερμηνεία των συναισθημάτων, συχνά από τελείως διαφορετικές όψεις. Συναίσθημα όπως η λύπη και η χαρά έχουν συσχετιστεί με συγκεκριμένο τρόπο ψυχολογικά και νευρολογικά, αποκαλούμενα ως συναίσθημα «φυσικού είδους» (natural kind) [25]. Άλλες απόψεις κάνουν λόγο για «σχήματα συναισθημάτων» (emotion schemes), τα οποία δεν εντάσσονται στη περιγραφή των «φυσικών συναισθημάτων». Αυτά συνήθως διαφοροποιούνται από κουλτούρα σε κουλτούρα και από άτομο σε άτομο, καθιστώντας τα μη «φυσικά» [56]. Οι πιο σύγχρονες θεωρίες όμως, διαφέρουν από αυτές που των «φυσικών συναισθημάτων» και των «σχημάτων». Τα διακριτά συναίσθημα που αναφέραμε πριν, μετασχηματίζονται σε περισσότερο πολύπλοκες θεωρίες που, με τη σειρά τους, επιδιώκουν τον χαρακτηρισμό του συναίσθηματος με βάση τη νόηση και τις συνθήκες κάθε περίπτωσης. Εντάσσοντας αυτές τις παραμέτρους, οι αποκαλούμενες «θεωρίες αξιολόγησης» (appraisal theories) ορίζουν τα συναίσθημα ως «πρότυπα αντίληψης και ερμηνείας, και οι συσχετίσεις τους στο περιφερικό και το νευρικό σύστημα» (patterns of perception, and interpretation, and their correlates in the peripheral and nervous system.) [87]. Ο ορισμός αυτός είναι και αυτός που καθιστά τα συναίσθημα μη απαραίτητα προβλέψιμα ή καθιερωμένα [88], κάτι που ίσως προξενήσει δυσκολίες στον ισχυρό εντοπισμό τους.

Γενικά, έχουν γίνει πολλές προσπάθειες με τα χρόνια να κατασκευαστεί ένα ολοκληρωμένο από κάθε άποψη σύστημα αναγνώρισης ανθρώπινων συναισθημάτων. Ένα τέτοιο σύστημα «αυτοματοποιεί» τη διαδικασία αναγνώρισης, με αποτέλεσμα να αποκαλούμε τη λειτουργία τέτοιου είδους συστημάτων *Automated emotion evaluation* (AEE). Αυτά λειτουργούν κάνοντας χρήση όλων των ειδών αισθητήρων [35], όπως βιοαισθητήρες (bio-sensors), ανάλυση γραπτού κειμένου, ανάλυση ήχου, και κάμερας. Ξεκινώντας από τους βιοαισθητήρες, έχουμε ένα πολύ μεγάλο πλήθος τεχνικών που έχουν δοκιμαστεί και εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς με τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το πλεονέκτημα της χρήσης αυτών των αισθητήρων είναι η «διακριτική» προς τον χρήστη (του οποίου το συναίσθημα προβλέπεται) μορφή τους (unobtrusive), καθώς και η αντοχή τους ενάντια σε εξωτερικούς παράγοντες (π.χ. περιβαλλοντικούς) σε σχέση με άλλες μεθόδους. Τα μειονεκτήματά τους είναι όμως αρκετά, με προβλήματα όπως η ασφάλεια προσωπικών δεδομένων, η έλλειψη εμπιστοσύνης, καθώς και η προκλήσεις που συναντώνται στην επεκτασιμότητα τέτοιων συστημάτων, ιδιαίτερα σε «ενσωματωμένη» μορφή (embedded systems) [94]. Έργα όπως των Haag, A., Goronzy, S., Schaich, P., και Williams, J., έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα πως έχει σημαντική αξία η χρησιμοποίηση βιοαισθητήρων στην επίλυση της πρόκλησης δημιουργίας ενός *robust* συστήματος αναγνώρισης ανθρώπινων συναισθημάτων, και πως έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η συνύπαρξή τους με άλλα είδη αισθητήρων (π.χ. κάμερας), σε ένα «υβριδικό» σύστημα [47]. Είναι επιθυμητό να συνεχιστούν οι έρευνες πάνω σε αυτή τη μέθοδο, και να επικεντρωθούν στο να δώσουν λύσεις

στις κύριες δυσκολίες που αναφέραμε, και άλλες. Ακόμα και οι μέθοδοι που δε χρησιμοποιούν βιοαισθητήρες παρουσιάζουν διαφόρων ειδών προκλήσεις, και γι' αυτό η συνεργασία ανάμεσα στα δύο είδη αισθητήρων έχει νόημα στα πλαίσια μελλοντικών ερευνητικών έργων.

Οι ενδεχόμενες χρήσεις συστημάτων ΑΕΕ ποικίλουν [35], και θα αναφέρουμε αρκετές από αυτές στη συνέχεια, σε συνδυασμό με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται.

2.1.1 Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

Περνώντας σε συγκεκριμένες χρήσεις των βιοαισθητήρων, γρήγορα γίνεται αντιληπτό πως σκοπός των μεθόδων αυτών είναι η ανάλυση παραμέτρων που προέρχονται από αισθητήρες πάνω στο ανθρώπινο σώμα. Τέτοιοι αισθητήρες τοποθετούνται σε διάφορα μέρη πάνω στο σώμα, και χρησιμοποιούν ποικίλες τεχνικές που μετρούν διαφορετικά *σήματα* από το σώμα [79], όπως κίνηση σώματος [23], και αγωγιμότητα του δέρματος (skin conductance) [71]. Μία πρώτη βασική τεχνική είναι η μέθοδος ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος (EEG), η οποία επιτρέπει τη μέτρηση ηλεκτρικών σημάτων του δέρματος του κεφαλιού, που με τη σειρά τους αναπαριστούν την εγκεφαλική δραστηριότητα του ατόμου, με μη επεμβατικό τρόπο (noninvasive) [18, 21]. Για τη μέτρηση απαιτείται ένας αριθμός ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο κεφάλι. Μετρώντας τις συχνότητες της διακύμανσης του δυναμικού (voltage fluctuation over time) ανάμεσα σε ζευγάρια ηλεκτροδίων κατά τη διάρκεια ερεθισμάτων, εντοπίζεται η συναισθηματική κατάσταση του ατόμου [54]. Η τεχνική του EEG έχει δοκιμαστεί σε αρκετές εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως η απεικόνιση συναισθημάτων που έχουν εντοπιστεί με την τεχνική [75], θεραπευτική χρήση μουσικής (music therapy) με βάση το συναισθηματικό του ατόμου [76, 126], σύστημα αναπαραγωγής μουσικής (music player) βασισμένο στο συναισθηματικό του ατόμου που ακούει [76], καθώς και εντοπισμό κούρασης στον οδηγό ενός αυτοκινήτου κατά τη διάρκεια της οδήγησης [140].

2.1.2 Ηλεκτροκαρδιογράφημα

Συνεχίζοντας με άλλη μία μέθοδο βασισμένη σε ηλεκτρόδια, περνάμε στο ηλεκτροκαρδιογράφημα (ECG). Μετά τον εγκέφαλο, η καρδιά είναι ίσως το βασικότερο (και κρίσιμότερο) όργανο του ανθρώπινου οργανισμού. Η μη επεμβατική ιατρική διαδικασία του ηλεκτροκαρδιογραφήματος, είναι πια από της περισσότερο διαδεδομένες (και ασφαλείς) στον μοντέρνο κόσμο, προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για την κατάσταση της καρδιακής υγείας του ασθενούς. Στην πιο βασική μορφή του, το λεγόμενο ηλεκτροκαρδιογράφημα «12 άκρων» (12-lead) κάνει χρήση δέκα ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στο στήθος και στα άκρα (χέρια και πόδια) του ασθενούς. Η τοπολογία αυτή δημιουργεί ένα «τρίγωνο του Einthoven» (Einthoven's triangle), με γωνίες στα άκρα του ασθενούς [58]. Για να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση της καρδιακής λειτουργίας, το μέγεθος του ηλεκτρικού δυναμικού (electrical potential) της καρδιάς μετρείται σε μια περίοδο χρόνου (συνήθως δέκα δευτερόλεπτα). Αυτή η μέτρηση διεξάγεται από δώδεκα διαφορετικά σημεία με τη χρήση των δώδεκα καλωδιακών άκρων που περιγράφουν και τη διαδικασία. Οι βασικές παράμετροι που συμμετάσχουν στην αξιολόγηση είναι πέντε: το **P Wave** που προέρχεται από τη συστολή των κόλπων της καρδιάς, το **PR Interval** που

αναπαριστά τη χρονική διάρκεια από την αρχή του P wave μέχρι την αρχή του Q wave (διάρκεια συστολής κόλπων καρδιάς), το **QRS Complex** που μετράει τον χρόνο από την αρχή του Q Wave μέχρι το τέλος του S wave (διάρκεια συστολής κοιλίας καρδιάς), το **QT/QTc** που μετράται από την αρχή του Q wave μέχρι το τέλος του T wave (διάρκεια συστολής και χαλάρωσης των καρδιακών κοιλιών), και τέλος το **ST Segment** που αναπαριστά τη χρονική διάρκεια από το τέλος του S wave μέχρι την αρχή του T wave (σημαντική παράμετρος για σοβαρές καρδιακές παθήσεις) [2]. Η ύπαρξη του μεγάλου αυτού αριθμού παραμέτρων, οδηγεί και στο βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής, που είναι ο ευμεγέθης όγκος δεδομένων που παρέχει. Για να υπάρξει μια τρισδιάστατη αναπαράσταση της καρδιάς (καθαρότερη εικόνα διάγνωσης), το ηλεκτροκαρδιογράφημα «12 άκρων» είναι απαραίτητο, και σε μία περίπτωση χρήσης πολλών ωρών (όπως π.χ. για την αναγνώριση συναισθημάτων), τα δεδομένα πρέπει να υποβληθούν σε κατάλληλη επεξεργασία ώστε να είναι δυνατή η αποθήκευσή τους και η εξαγωγή συμπερασμάτων από αυτά. Έτσι, έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι για να συμπιεστούν τα δεδομένα -κυρίως βασισζόμενες σε τεχνικές DPCM- με διάφορα αποτελέσματα [57]. Από την άλλη πλευρά βέβαια, η ποικίλη μορφή που έχουν τα δεδομένα συνεπάγεται μεγάλη ελευθερία στην επιλογή στρατηγικής για τη χρήση τους. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει (αναγνώριση συναισθημάτων) έχουν γίνει έρευνες που αφοσιώνονται στη χρήση τελείως διαφορετικών συνόλων δεδομένων που προσφέρει το ECG. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση της τεχνικής Empirical mode decomposition (EMD) του μετασχηματισμού Hilbert–Huang, παίρνοντας έτσι features βασισμένα στη στιγμιαία συχνότητα (instantaneous frequency), ή εναλλακτικά βασισμένα στη μέτρηση της κλίμακας χρόνου της ταλάντωσης (oscillation time scale), με σκοπό να προβλεφθεί η συναισθηματική διέγερση ενός ατόμου [3]. Άλλη μέθοδος είναι η ένταξη του αλγορίθμου Tabu search [42] για την εξαγωγή features, και ενός μοντέλου KNN (k - nearest neighbors) σε συνδυασμό με τη στατιστική μέθοδο του Fisher [89] για την πρόβλεψη χαράς ή λύπης [59]. Σε μία πιο συγκεκριμένη περίπτωση, για την αναγνώριση συναισθημάτων προκαλούμενων από τη μουσική, κάνοντας χρήση μεθόδων kernel-based class separability (KBCS) [141] και sequential forward floating selection (SFFS) [124] για την επιλογή features, και χρησιμοποιώντας μοντέλα Support Vector Machine τύπου ελαχίστων τετραγώνων (LS-SVM) για την πρόβλεψη χαράς, λύπης, έντασης, και γαλήνης [52]. Σαν τελευταίο παράδειγμα έρευνας, αναφέρουμε την υλοποίηση των Pritam Sarkar και Ali Etemad ενός self-supervised δικτύου βαθιάς μάθησης, το οποίο εκπαιδεύεται πρώτα πάνω στην αναπαράσταση των σημάτων ηλεκτροκαρδιογραφημάτων, και έπειτα στην αναγνώριση (classification) συναισθημάτων [109]. Νέες τεχνικές προκύπτουν και δοκιμάζονται από σε ερευνητικό επίπεδο συνεχώς, υποβοηθούμενες από τη μηχανική μάθηση για την εξαγωγή νέων σχέσεων ανάμεσα σε καρδιακές παραμέτρους και ανθρώπινο συναισθήμα του ατόμου.

2.1.3 Ηλεκτροδερματική Δραστηριότητα

Μία άλλη μέθοδος που έχει παρουσιάσει μεγάλες δυνατότητες και προοπτικές στον τομέα, είναι η ονομαζόμενη *γαλβανική απόκριση του δέρματος*. Ουσιαστικά, είναι μια μέθοδος που βασίζεται στην ιδιότητα του ανθρώπινου σώματος να μεταβάλλει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

του δέρματος του. Η μεταβολή αυτή ονομάζεται επισήμως «ηλεκτροδερματική δραστηριότητα» (electrodermal activity ή EDA) [19]. Το ανθρώπινο σώμα είναι γεμάτο από αδένες διάφορων ειδών. Ένα από αυτά τα είδη, είναι οι ιδρωτοποιοί αδένες (sweat glands), οι οποίοι είναι ένα πλήθος από απλούς, περιελιγμένους, σωληνοειδείς αδένες οι οποίοι βρίσκονται σε σχεδόν όλες τις επιφάνειες του σώματος. Οι δομές αυτές (όπως μαρτυρά και το όνομα) είναι υπεύθυνες για την παραγωγή ιδρώτα. Χωρίζονται σε δύο είδη: στους μεροκρινείς (βασική πηγή ψύξης του ανθρώπινου σώματος, όπως του κεφαλιού και της παλάμης), και στους αποκρινείς (λίγη χρήση στους ανθρώπους, όπως της μασχάλης και του περινέου) [69]. Η σωματική λειτουργία της εφίδρωσης ελέγχεται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα και -πιο συγκεκριμένα- από το συμπαθητικό νευρικό σύστημα, σκοπός του οποίου είναι να διατηρήσει την ομοιόσταση στο σώμα [22]. Η «αυτόνομη» αυτή φύση των ιδρωτοποιών αδένων, είναι και ο αχρογωνιαίος λίθος της θεωρίας της ηλεκτροδερματικής δραστηριότητας. Δηλαδή, βασίζεται στη μεταβλητότητα της ηλεκτρικής αντίστασης του δέρματος, η οποία προκαλείται από την κατάσταση των ιδρωτοποιών αδένων. Μιας και η αυξημένη διέγερση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος συνεπάγεται αυξημένη εφίδρωση, η αγωγιμότητα του δέρματος αυξάνεται όταν ένα άτομο υφίσταται συναισθηματική διέγερση. Καταλήγουμε, επομένως, πως είναι εφικτό να λάβουμε πληροφορία όσον αφορά τη συναισθηματική κατάσταση ενός ατόμου, μελετώντας και μετρώντας τη γαλβανική απόκριση του δέρματος του [24]. Η αιτία της συσχέτισης ανάμεσα στην εφίδρωση και στην αγωγιμότητα του δέρματος είναι η μεταβολή του αλατιού στο δέρμα. Όταν ένα άτομο διεγείρεται συναισθηματικά, το συμπαθητικό νευρικό σύστημα ενεργοποιεί τους ιδρωτοποιούς αδένες, το σώμα ιδρώνει, και η ποσότητα αλατιού αυξάνεται, με αποτέλεσμα η αγωγιμότητα να μεγαλώνει [9]. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση ηλεκτροδίων, και πιο συγκεκριμένα εκείνων που είναι φτιαγμένα με χρήση πυροσυσσωματωμένου αργύρου – χλωριούχου αργύρου (Ag/AgCl). Ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης (potential recording without applied current, exosomatic recording with direct current ή exosomatic recording with alternating current) ο τύπος των ηλεκτροδίων μπορεί να αλλάζει. Οι ηλεκτρολύτες επαφής με το δέρμα περιέχουν συνήθως NaCl ή KCl με τη μορφή υγρού gel ή πάστας. Για την καταγραφή ΕΔΑ, το gel ή η πάστα ηλεκτροδίων πρέπει να περιέχει χλωριούχο άλας, με το Na⁺ να χρησιμοποιείται στις περισσότερες περιπτώσεις. Για σωστά αποτελέσματα μετρήσεων, οι αισθητήρες αυτοί πρέπει να τοποθετηθούν σε λείο δέρμα, δηλαδή μία «απαλή» περιοχή χωρίς τρίχωμα. Έτσι, συνηθέστερα επιλέγονται οι περιοχές των παλαμών (χέρια) και των πελμάτων (πόδια). Εναλλακτικές περιοχές μπορούν να επιλεγούν ανάλογα με τις συνθήκες του πειράματος κατά τη μέτρηση, αλλά είναι απαραίτητη η προσεκτική επιλογή, μιας και πολλές υποψήφιες περιοχές παρουσιάζουν -κυρίως- θερμορρυθμιστικό χαρακτήρα αντί του ψυχοφυσιολογικού που επιθυμούμε [38]. Τα σήματα που παρέχει η μέτρηση της ηλεκτροδερματικής δραστηριότητας, χωρίζονται σε τονωτικά (tonic) και φασικά (phasic). Το επίπεδο αγωγιμότητας της τονωτικής δραστηριότητας αλλάζει συνεχώς σε κάθε άτομο, και εξαρτάται από την ενυδάτωση, την ξηρότητα του δέρματος και την αυτόνομη ρύθμιση του σώματος ως απόκριση σε περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ. θερμοκρασία). Η φασική απόκριση με τη σειρά της είναι βραχυπρόθεσμες κορυφές (peaks) στο σήμα, που αντανακλούν τις αντιδράσεις του συμπαθητικού νευρικού συστήματος σε συναισθηματικά διεγερτικά γεγονότα, κυρίως ανεξάρτητα από το τονικό επίπεδο. Αυτές οι

αντιδράσεις παρατηρούνται πιο εύκολα σε περιοχές με μεροκρινείς ιδρωτοποιούς αδένες [72]. Τα βασικά πλεονεκτήματα της EDA σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους που αναφέραμε, είναι ο πολύ φτηνότερος -και απλούστερος- εξοπλισμός απαραίτητος για τις μετρήσεις, η μεγαλύτερη ελευθερία όσον αφορά τις συνθήκες του πειράματος λόγω των ελάχιστων ηλεκτροδίων που απαιτούνται, και πιο απλή μορφή δεδομένων (raw data) που οδηγούν στην ευκολότερη ανάλυση τους [35]. Από την άλλη, η μέθοδος αυτή τείνει να μην είναι αρκετή για την αναγνώριση συναισθημάτων όταν χρησιμοποιείται μόνη της. Συνήθως, γίνονται έρευνες με EDA σε συνδυασμό με ECG, παρακολούθησης ματιών (eye tracking) και καρδιακών παλμών. Στον τομέα της αναγνώρισης συναισθημάτων, έχουν λάβει χώρα αρκετές έρευνες με EDA. Μία, κάνει επιτυχημένη χρήση του αλγορίθμου Matching Pursuit, με συνδυασμό αισθητήρων ECG και EDA, σε περιβάλλον όπου οι συμμετέχοντες άκουγαν μουσικά κομμάτια συναισθηματικού χαρακτήρα [44]. Σε μία περισσότερο πραγματικού κόσμου εφαρμογή, η συνεργασία EDA και φωτοπληθυσμογραφήματος (photoplethysmogram ή PPG) features, και τροφοδοτώντας αυτά σε SVM και KNN ταξινομητές, προέκυψε μία φορετή συσκευή τύπου ρολογιού καρπού που μπορούσε να προβλέψει -με επαρκή ακρίβεια- το επίπεδο συναισθηματικής διεγερσης (arousal) και σθένους (valence) του ατόμου [133]. Τέλος, αναφέρουμε την έρευνα των Paweł Tarnowski, Marcin Kołodziej, Andrzej Majkowski, και Remigiusz Jan Rak πάνω σε AEE με χρήση EDA και ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EEG), όπου είκοσι επτά (27) εθελοντές παρακολούθησαν ένα σύνολο από συναισθηματικά φορτισμένες ταινίες. Το σήμα προερχόμενο από τη γαλβανική απόκριση του δέρματος ανέδειξε τις περισσότερες «ερεθιστικές» ταινίες, και τα δεδομένα από το EEG χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή features ώστε να ταξινομηθούν τα συναισθήματα. Και εδώ για την αναγνώριση συναισθημάτων (επίπεδο συναισθηματικής διεγερσης και σθένους), έγινε χρήση μοντέλων μηχανικής μάθησης τύπου SVM και KNN, με πολύ καλά αποτελέσματα [130].

2.1.4 Μεταβλητότητα Καρδιακού Ρυθμού

Πέρα του ηλεκτροκαρδιογραφήματος που απαιτεί αρκετή προετοιμασία για τη χρήση του, και δεν εγγυάται την άνεση του ατόμου που υποβάλλεται σε αυτή τη διαδικασία, η καρδιά μπορεί να μας παρέχει σημαντική πληροφορία και με μία πιο απλή και φιλική προς τον χρήστη μέθοδο. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού, και πιο συγκεκριμένα της μεταβλητότητας αυτού (Heart Rate Variability ή HRV). Ουσιαστικά, η καρδιά «χτυπάει» με ένα ρυθμό που δεν είναι σταθερός, δηλαδή το χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο καρδιακούς παλμούς αλλάζει. Το φαινόμενο αυτό είναι φυσιολογικό, και εξαρτάται από παράγοντες όπως οι ορμόνες, η θερμορύθμιση, το πρόγραμμα ύπνου (sleep-wake cycle), τη διατροφή, τη φυσική δραστηριότητα, και το στρες. Επομένως, ήδη από αυτή την περιγραφή μπορεί κάποιος να κατανοήσει πως το φαινόμενο αυτό εναπόκειται στην ψυχολογία του ατόμου [61]. Η μεταβολή αυτή του ρυθμού προκαλείται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα, και πιο συγκεκριμένα ελέγχεται από το συμπαθητικό και το παρασυμπαθητικό σύστημα. Η μέτρηση του φαινομένου μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους. Ένας τρόπος είναι η καταγραφή των βαλλιστικών δυνάμεων που δημιουργεί η καρδιά μέσω του βαλλιστοκαρδιογραφήματος (ballistocardiography), που

μπορεί να γίνει πια με χρήση κάμερας που παρακολουθεί συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του προσώπου, χωρίς κάποια επιπλέον διαδικασία ή εξοπλισμού [114]. Άλλη μία μη επεμβατική μέθοδο αποτελεί η απλή μέτρηση της πίεσης του αίματος, παρέχοντας όμως περιορισμένη ακρίβεια. Από τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες και ακριβείς είναι το γνωστό πλέον ηλεκτροκαρδιογράφημα, το οποίο θεωρείται και ο χρυσός κανόνας της μέτρησης της HRV [112]. Για να μετρήσουμε την μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού με χρήση των σημάτων του ECG, παρακολουθούμε την απόσταση ανάμεσα σε κορυφές των QRS σημάτων, πράγμα που σημαίνει πως δεν χρειάζεται κάποια παραλλαγή στη διαδικασία του ηλεκτροκαρδιογραφήματος «12 άκρων» (12-lead). Επειδή έχουμε ήδη αναφερθεί στο ECG ως ξεχωριστή μέθοδο, θα αναφερθούμε περισσότερο σε μία ακόμη αποδεδειγμένη τεχνική, που ονομάζεται φωτοπληθυσμογράφημα (Photoplethysmogram ή PPG). Η τεχνική αυτή έχει σχεδιαστεί ώστε να μετράει της μεταβολές του όγκου του αίματος (blood volume) στη μικροαγγειακή κλίνη ιστού, κάνοντας χρήση ενός απλού παλμικού οξυμέτρου. Το οξύμετρο αυτό λειτουργεί φωτίζοντας το δέρμα, και υπολογίζοντας της αλλαγές πάνω στην απορρόφηση του φωτός [116]. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πως το PPG είναι μία ιδιαίτερα δελεαστική τεχνική λόγω της μεγάλης απλότητας και του μικρού κόστους που τη χαρακτηρίζουν. Ένα οξύμετρο μπορεί εύκολα να τοποθετηθεί σε ένα άτομο, χωρίς να του προκαλέσει δυσφορία κατά τη διάρκεια κάποιου πειράματος. Ταυτόχρονα, το συνολικό κόστος διεξαγωγής της διαδικασίας παραμένει ιδιαίτερα χαμηλό. Όπως προαναφέραμε, η HRV έχει ξεχωριστό ενδιαφέρον στην αξιολόγηση της συναισθηματικής κατάστασης ενός ατόμου. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως η μεταβολή αυτή είναι -όπως εξηγήσαμε- αυτόνομη, και ο εντοπισμός συναισθηματικής διέγερσης και έντασης είναι μια απλούστατη διαδικασία. Έχει παρατηρηθεί πως η HRV είναι ένας αξιόπιστος δείκτης για τη χρονική ή και τη συναισθηματική πίεση και καταπόνηση [93]. Ο ανθρώπινος οργανισμός, προκειμένου να αυξήσει την προσοχή και να αναστέλλει κινητικές λειτουργίες, μειώνει τις υψηλές συχνότητες (0.15 με 0.40 Hz) στο φάσμα των καρδιακών παλμών όταν το άτομο βρίσκεται σε κατάσταση άγχους. Σε άτομα που πάσχουν από διαταραχή μετατραυματικού στρες, έχει παρατηρηθεί αύξηση των χαμηλών συχνοτήτων (0.04 με 0.15 Hz), και μείωση των υψηλών μαζί και με τη συνολική μεταβλητότητα των καρδιακών παλμών [27]. Επιπλέον, η HRV αποδεικνύει μια απευθείας σχέση ανάμεσα στο αυτόνομο νευρικό σύστημα και την κοινωνική νόηση (social cognition) [103]. Μία ενδιαφέρουσα επέκταση του φωτοπληθυσμογραφήματος, είναι το λεγόμενο «απομακρυσμένο φωτοπληθυσμογράφημα» (remote PPG). Η διαφορά του τελευταίου από το κλασικό, είναι πως δεν απαιτεί την επαφή με μέρος του δέρματος. Αντιθέτως, χρησιμοποιεί κάμερες, των οποίων τα δεδομένα αναλύονται ώστε να παρατηρηθεί η διαφορά στο χρώμα του δέρματος (π.χ. του προσώπου). Τέτοιες χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση του καρδιακού παλμού, και -περισσότερο στο θέμα μας- αναλύονται από νευρωνικά δίκτυα βαθιάς μάθησης για να αποφανθούν για την ύπαρξη στρες σε ένα άτομο. Σημαντικό πλεονέκτημα, αποτελεί το γεγονός πως η διαδικασία δεν απαιτεί ειδική κάμερα (ή εξοπλισμό), με έρευνες να υποστηρίζουν πως η μπροστινή κάμερα ενός έξυπνου τηλεφώνου (selfie camera) είναι αποδοτική [6]. Παράλληλα, άλλες δουλειές έχουν δείξει πως τα δεδομένα ενός αισθητήρα που τοποθετείται σε επαφή με το δέρμα (όπως ο οξύμετρο παλμών), και τα δεδομένα ενός «απομακρυσμένου» αισθητήρα (σε αυτή την περίπτωση μία υψηλής ποιότητας κάμερα),

κατέληγαν στο ίδιο αποτέλεσμα για την συναισθηματική κατάσταση ατόμων [13]. Με χρήση Support Vectors Machines κατηγοριοποιήθηκαν πέντε συναισθήματα (λύπη, θυμός, φόβος, χαρά, ηρεμία), σε έρευνα όπου οι συμμετέχοντες παρακολούθησαν αποσπάσματα ταινιών, με ακρίβεια 71.4%, φορώντας μία μπλούζα με αισθητήρα επαφής HRV [46]. Άλλη μία έρευνα που έκανε χρήση παρόμοιων μοντέλων (SVM) και αισθητήρων επαφής (οξυμέτρου), από το TCS Research & Innovation της Ινδίας, πέτυχαν ακρίβεια 83.8%, με λιγότερο όμως συναισθήματα (τρία), επιλέγοντας κατάλληλα features [104]. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε πως και σε αυτή την μεθοδολογία συναντάται συχνά η συνεργασία με άλλες, όπως ECG, θερμοκρασία δέρματος, και συστήματα μέτρησης αναπνευστικής προσπάθειας (respiratory effort sensor) για την αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης του ατόμου [134].

2.1.5 Μέτρηση Θερμοκρασίας Δέρματος

Περνάμε σε μία εξίσου με τις προηγούμενες σημαντική μέθοδο ιατρικής διάγνωσης, που είναι η γνώριμη σε όλους θερμοκρασία του δέρματος (Skin Temperature Measurement ή SKT). Η μετρήσεις διαφέρουν από μέρος σε μέρος του σώματος, και διακυμαίνονται από 33.5 °C και 36.9 °C. Σε σημεία όπου υπάρχουν επιφανειακές φλέβες, οστά και τένοντες, όργανα σε κατάσταση ηρεμίας, ή σε προεξέχοντα και έντονα κυρτά μέρη του σώματος (αυτιά, δάκτυλά, μύτη) παρατηρούνται θερμοκρασίες στο χαμηλό άκρο του φάσματος. Αντιθέτως, σε μέρη όπου βρίσκονται μύες, όργανα σε ενεργή κατάσταση, ή επιφανειακές αρτηρίες οι μετρήσεις δίνουν υψηλότερες τιμές. Σημειώνουμε εδώ πως σημαντικό ρόλο στη θερμοκρασία του δέρματος παίζουν και εξωτερικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία στον αέρα [15]. Η μέτρηση της θερμοκρασίας του δέρματος έχει κυρίαρχο σκοπό στην ιατρική τον υπολογισμό της εσωτερικής θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος. Αυτός είναι και ο λόγος που για τη μέτρηση επιλέγονται σημεία του σώματος όπως η μασχάλη και το στόμα, όπου η προσέγγιση της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι ικανοποιητική [12]. Πέρα από τους εξωτερικούς παράγοντες, το ίδιο το δέρμα -ως το μεγαλύτερο όργανο του ανθρώπινου σώματος- επεμβαίνει στη θερμορύθμιση του οργανισμού. Αισθητήρια όργανα που μετρούν τη θερμοκρασία μεταδίδουν σήματα στο αυτόνομο νευρικό σύστημα, όπου ο υποθάλαμος του εγκεφάλου συντονίζει τις ενέργειες που πρέπει να παρθούν ώστε να ρυθμιστεί η θερμοκρασία ανάλογα. Το δέρμα έχει μια εργαλειοθήκη από μηχανισμούς για να επιτύχει την θερμορυθμιστική του ιδιότητα. Τέτοιοι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί είναι ο υποδόριος λιπώδης ιστός που προσφέρει μόνωση, οι ιδρωτοποιοί αδένες που διεγείρονται ώστε να παράξουν ιδρώτα σε περίπτωση υψηλών θερμοκρασιών (πάνω από 37 °C) και να ψυχθεί το σώμα, και ο έλεγχος της ροής του αίματος, με τη ροή να αυξάνεται όταν χρειάζεται ψύξη (υψηλές θερμοκρασίες), και να μειώνεται όταν χρειάζεται ζέσταμα (χαμηλές θερμοκρασίες) [85]. Βλέπουμε ήδη λοιπόν, πως ιδιότητες που -όπως έχουμε αναφέρει σε άλλες μεθόδους- επηρεάζονται από την ψυχολογική κατάσταση του ατόμου (ροή αίματος, εφίδρωση) αποτελούν παράγοντες και της θερμοκρασίας του δέρματος. Αυτό είναι και ένα βασικό πλεονέκτημα της μέτρησης της θερμοκρασίας του δέρματος ως μέθοδο αναγνώρισης ανθρώπινων συναισθημάτων, δηλαδή πως οι αλλαγές στη θερμοκρασία ελέγχονται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα, χωρίς να μπορεί ένα άτομο να της επηρεάσει συνειδητά. Σε αυτή την

περίπτωση χρήσης, έχει βρεθεί ερευνητικά πως συναισθηματικά ερεθίσματα συσχετίζονται με το μέγεθος και την καθυστέρηση θερμικών αλλαγών σε περιοχές του προσώπου γύρω από τη μύτη, αποτελέσματα που εξακριβώθηκαν και με τη μέθοδο της μέτρησης ηλεκτροδερματικής δραστηριότητας [66]. Επίσης, έχει παρατηρηθεί πως συναισθήματα αρνητικού χαρακτήρα όπως άγχος, φόβος, θυμός, και ντροπή - αμηχανία οδηγούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες δέρματος σε σχέση με θετικού χαρακτήρα συναισθήματα όπως η χαρά [139]. Η χρήση αισθητήρων επαφής συναντάται βέβαια αρκετά στη βιβλιογραφία, πιθανόν λόγω του μικρού κόστους της σε σχέση με άλλους αισθητήρες [53, 131, 78]. Το πρόβλημα που παρουσιάζεται σε αυτούς τους αισθητήρες είναι η έλλειψη άνεσης στους χρήστες. Η βιβλιογραφία που αναφέραμε προτείνει κάποιες μεθοδολογίες ώστε να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα. Το βασικό πλεονέκτημα που έχει η μέθοδος αυτή είναι η ελευθερία να χρησιμοποιηθεί τύπος αισθητήρα μέτρησης χωρίς επαφή. Αυτό σημαίνει πως αντί ενός θερμομέτρου, γίνεται χρήση μιας κάμερας ικανής να λάβει εικόνα βασισμένη στην υπέρυθη ακτινοβολία (infrared). Τέτοιοι αισθητήρες ονομάζονται Forward-looking infrared (FLIR), και εντοπίζουν ακτινοβολία μήκους κύματος από 9000 έως 14000 νανόμετρα. Αντικείμενα με υψηλότερη θερμοκρασία εκπέμπουν μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα θερμόγραμμα (thermogram) που απεικονίζει τη διασπορά της υπέρυθρης ακτινοβολίας χωρίς να απαιτείται κάποια πηγή φωτός (black body radiation law). Το ελάττωμα των αισθητήρων FLIR είναι το ενδεχομένως υψηλό κόστος σε σχέση με άλλους πιο συμβατικούς αισθητήρες (θερμόμετρα). Ιδιαίτερος σε μια περίπτωση χρήσης όπως η ΑΕΕ μια κάμερα ικανή να διακρίνει μικρές αλλαγές στη θερμότητα είναι απαραίτητη, και το προτέρημα αυτό αυξάνει συχνά το κόστος. Έχοντας αναφέρει αυτά, ερχόμαστε στο κυρίαρχο μειονέκτημα της μεθόδου, που είναι η μεγάλης διάρκειας καθυστέρηση στον εντοπισμό. Αυτό σημαίνει από το ερέθισμα μέχρι την αλλαγή στη θερμοκρασία -που παρατηρείται για την αναγνώριση του συναισθήματος- ο χρόνος που περνάει είναι μακρύς, κάτι που περιορίζει τις περιπτώσεις χρήσεις σημαντικά. Ουσιαστικά, βραχυπρόθεσμες αλλαγές στο συναισθήμα του ατόμου δεν εντοπίζονται, ενώ μακροπρόθεσμες τελικά αναγνωρίζονται, με αποτέλεσμα να χρειάζονται ερεθίσματα τύπου μουσικών κομματιών ή αποσπάσματος ταινίας για ακριβή αποτελέσματα. Για να λυθεί αυτή η δυσκολία, στρεφόμαστε πάλι στη -κλασική- πια τεχνική της συνεργασίας, όπου συνδυάζουμε την SKT με άλλες μεθόδους και αισθητήρες. Πιο συχνές είναι η μέτρηση της ηλεκτροδερματικής δραστηριότητας, και του ηλεκτροκαρδιογραφήματος, με το πρώτο να είναι το πιο εύκολο στη χρήση. Μία ενδιαφέρουσα χρήση είναι περιπτώσεις όπου η έκφραση του συναισθήματος δεν είναι δυνατή. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας θερμογραφία, οι θερμοκρασίες του δέρματος της μύτης, του μετώπου και του μάγουλου βρεφών ηλικίας 2-3 μηνών, 4-6 μηνών και 8-10 μηνών, αξιολογήθηκαν με σκοπό να εντοπίζεται η χαρά. Πράγματι, όταν γελούσαν η θερμοκρασία στην περιοχή του προσώπου έπεφτε μέχρι και ως 2 °C μέσα σε μόλις δύο λεπτά [92]. Σε μία άλλη έρευνα, οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν στο άκουσμα μουσικών κομματιών, κάποια από τα οποία προκαλούσαν αρνητικής φύσης συναισθήματα, και άλλα θετικής φύσης (όπως αυτά εκτιμήθηκαν από τους συμμετέχοντες), και μετρήθηκε η θερμοκρασία του δέρματος με έναν αισθητήρα τύπου θερμομέτρου (Cyborg Thermal Probe) τοποθετημένου στην επιφάνεια της πιο απομακρυσμένης φάλαγγας του μεσαίου δακτύλου του αριστερού χεριού. Η μουσική αρχικά επηρέασε τη θερμοκρασία, αλλά στη

συνέχεια (δεύτερο άκουσμα) η θερμοκρασία αυξήθηκε ανεξάρτητα από τη φύση των μουσικών κομματιών [84]. Σε μία έρευνα όπου έγινε χρήση συνδυασμού SKT και φωτοπληθυσμογραφήματος, έγινε εκπαίδευση μοντέλου SVM ώστε να κατηγοριοποιηθούν συναισθήματα τύπου χαράς και τύπου λύπης. Και οι δύο αισθητήρες τοποθετήθηκαν σε δάκτυλα του ίδιου χεριού, και τα features του μοντέλου πάρθηκαν ως τα «πλάτη» των σημάτων των αισθητήρων, και το αποτέλεσμα ήταν ακρίβεια 89.29% για το SKT και 63.67% για το PPG, με τη συνεργασία τους να καταλήγει σε ακρίβεια 92.41% (2D Vector) [95]. Τέλος, αναφέρουμε την υλοποίηση ενός συστήματος ανίχνευσης του στρες σε χρήστες υπολογιστών σε πραγματικό χρόνο, κάνοντας χρήση μιας κάμερας FLIR, και εντοπίζοντας την πιθανή μείωση θερμοκρασίας (όταν το άτομο νιώθει στρεσαρισμένο) σε μια περιοχή ενδιαφέροντος του προσώπου [102]. Έχουν γίνει πολλές δοκιμές πάνω στη χρησιμότητα της μέτρησης της θερμοκρασίας του δέρματος στην αναγνώριση συναισθημάτων, με πολλές από αυτές να αναδεικνύουν ένα πιθανόν λαμπρό μέλλον για τη μέθοδο -και τον συνδυασμό της με άλλες- σε διάφορους τομείς [26].

2.1.6 Ηλεκτρομυογράφημα

Ένας άλλος τρόπος προσέγγισης της ΑΕΕ προκύπτει από έρευνες της επιστήμης της κινησιολογίας. Όπως μαρτυρά και ο τίτλος, σκοπός της επιστήμης αυτής είναι η μελέτη της ιδιότητας της κίνησης στο ανθρώπινο σώμα, και ασχολείται με τις φυσιολογικές, ανατομικές, εμβιομηχανικές και νευροψυχολογικές αρχές, και τους μηχανισμούς κίνησης. Εφαρμογές της κινησιολογίας εκτείνονται από την ορθοπεδική και την αποκατάσταση, μέχρι και τα αθλήματα. Το εργαλείο της επιστήμης αυτής που μας ενδιαφέρει είναι το ηλεκτρομυογράφημα (electromyography ή EMG). Το ηλεκτρομυογράφημα παράγει ένα σήμα που ονομάζεται ηλεκτρομυόγραμμα, το οποίο αναπαριστά το ηλεκτρικό δυναμικό (electric potential) που δημιουργείται από τα μυϊκά κύτταρα. Το ηλεκτρικό δυναμικό παρατηρείται όταν τα κύτταρα αυτά ενεργοποιούνται νευρολογικά (π.χ. συνειδητά) ή από κάποια εξωτερική ηλεκτρική διέγερση. Υπάρχουν δύο μορφές EMG: η πιο επεμβατική με τη χρήση βελόνας, και η λιγότερο επεμβατική με τη χρήση αισθητήρων πάνω στην επιφάνεια του δέρματος. Η τελευταία συναντάται σε μη ιατρικές εφαρμογές, όπως τον έλεγχο χρήσης μυϊκών ομάδων σε αθλητές. Η EMG με βελόνα συναντάται σε εξετάσεις γύρω από την ηλεκτροδιαγνωστική ιατρική, με την εισαγωγή βελόνας στο «κέντρο» του μυός που εξετάζεται. Είναι προφανές πως η επεμβατική φύση του ενδομυϊκού ηλεκτρομυογραφήματος το καθιστά μη επιθυμητό για την περίπτωση χρήσης μας. Επομένως, θα επικεντρωθούμε στο «επιφανειακό» EMG. Γενικά, η ΑΕΕ με τη μέθοδο αυτή βασίζεται στη θεωρία πως υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα σε συναίσθημα και σωματικές αντιδράσεις, με έρευνες να δείχνουν πως η εκμετάλλευση της συσχέτισης αυτής παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από πιο παραδοσιακές μεθόδους (Hilbert-Huang transform καλύτερη σε σχέση με στατιστικές μεθόδους) [146]. Συγκεκριμένα, μυϊκές ομάδες της περιοχής του προσώπου έχουν ανάλογες αντιδράσεις με το συναίσθημα, δημιουργώντας έτσι ένα σύνολο εκφράσεων που αντιστοιχούν σε ορισμένες αντιδράσεις των ματιών, των χειλιών, του στόματος (μαζί με τους γύρω μύες), των φρυδιών, και της μύτης [32, 132]. Η EMG αποσκοπεί στην αξιολόγηση αυτών των εκφράσεων, παρακολουθώντας τις μετρήσεις των τάσεων ανάμεσα σε

ηλεκτρόδια. Παρόμοια με τη μέθοδο της μέτρησης ηλεκτροδερματικής δραστηριότητας, τα ηλεκτρόδια έχουν συνήθως μία ηλεκτρολυτική ουσία σε μορφή ζελέ (συχνότερα βασισμένη σε Ag/AgCl), ώστε το ηλεκτρικό ρεύμα να φτάσει από τον μυ στον αισθητήρα. Σημειώνουμε επίσης πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ηλεκτρόδια χωρίς ηλεκτρολυτική ουσία (dry), και πως ένα ακόμα μεγάλο πλεονέκτημα των επιφανειακών αισθητήρων είναι πως μπορούν οι ίδιοι ακριβώς αισθητήρες να χρησιμοποιηθούν και για EEG, και ECG. Τα σημεία που μπορούν να τοποθετηθούν τα καλώδια για τις μετρήσεις ποικίλουν. Μια συνηθισμένη τοπολογία είναι ένα βασικό ηλεκτρόδιο στο μέτωπο κάτω από εκεί που αρχίζουν τα μαλλιά (common reference electrode), τέσσερα στο μέτωπο (δύο ανά πλευρά), τέσσερα στα φρύδια πάνω από την μύτη, τέσσερα κάτω από τα μάτια (δύο ανά μάτι), τέσσερα δίπλα στην μύτη (δύο ανά πλευρά), δύο σε κάθε μάγουλο, τέσσερα κάτω από το κάτω χείλος του στόματος, και οκτώ στο πηγούνι [135]. Προφανώς, για να παρθούν σωστά αποτελέσματα (καλό signal to noise ration), πρέπει να πραγματοποιηθεί κατάλληλη προετοιμασία του δέρματος, όπως ξύρισμα των περιοχών και καθάρισμα τους από λίπη του δέρματος. Στη συνέχεια, ορίζεται ένα επίπεδο τάσης κατά το οποίο το άτομο βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, το οποίο ενδέχεται να είναι διαφορετικό από άνθρωπο σε άνθρωπο. Στη φάση της αξιολόγησης του συναισθήματος, υπολογίζεται ο λόγος μεταξύ της αρχικής τάσης (κατάσταση ηρεμίας) και της νέας τάσης που θεωρούμε ως αντίδραση σε κάποιο (συναισθηματικής φύσης) ερέθισμα. Είναι αξιοσημείωτη η παρατήρηση πως οι εκφράσεις χαράς συνεπάγονται αυξημένη χρήση του *Zygomaticus major muscle* μυ (από το ζυγωματικό μέχρι το στόμα), και λιγότερη του *Corrugator supercilii* μυ (χοντά στο μάτι), σε σχέση με τις εκφράσεις θυμού [143]. Ένα επιπλέον προτέρημα του EMG σε σχέση με άλλες τεχνικές που κάνουν χρήση ηλεκτροδίων, αποτελεί η εύκολη επεξεργασία -και ανάλυση- των δεδομένων. Όπως και με τις προηγούμενες τεχνικές, είναι πολύ συχνό φαινόμενο να συνδυάζεται το ηλεκτρομυογράφημα με άλλες, ώστε να επιτευχθεί με υψηλότερη ακρίβεια η αναγνώριση της συναισθηματικής κατάστασης. Ένα τέτοιο παράδειγμα, είναι η χρήση τέτοιων *physiological* σημάτων (EMG, SKT, EDA, respiratory volume, blood volume pulse, και καρδιακού παλμού) για την κατηγοριοποίηση των συναισθημάτων χαρά, λύπη, φόβος, αηδία, ουδετερότητα και διασκέδαση (joy, sadness, fear, disgust, neutrality, amusement) χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο support vector machine με την αποτελεσματική ακρίβεια 85% [45]. Εναλλακτικά, εκπαιδεύοντας ένα απλό νευρωνικό δίκτυο οπισθοδιάδοσης (backpropagation neural network) με μοναδική είσοδο σήματα ηλεκτρομυογραφήματος, και κάνοντας χρήση wavelet transform [86], δημιουργώντας έτσι δύο κατηγοριοποιητές των συναισθημάτων χαρά, θυμός, λύπη, και ευχαρίστηση, με 83.33% (πιθανή) ακρίβεια [144]. Σε μία επίσης ενδιαφέρουσα έρευνα, υλοποιήθηκε σύστημα που να αναγνωρίζει το στρες κατά τη διάρκεια ενός παιχνιδιού Tetris, ρυθμίζοντας την δυσκολία ώστε να προκληθεί υψηλό ή χαμηλό επίπεδο στρες στον παίκτη. Συγκρίθηκαν δύο σήματα μέσω ενός κατηγοριοποιητή Fisher: το EMG και respiratory volume, με το πρώτο να παρουσιάζει καλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό του επιπέδου του στρες (97.8% έναντι 86.7%), και με καλύτερα αποτελέσματα να επιτυγχάνονται θεωρητικά με τη συνεργασία τους [142]. Τέλος, αναφέρουμε το έργο των Arturo Martínez-Rodrigo, Roberto Zangróniz, José Manuel Pastor, José Miguel Latorre, και Antonio Fernández-Caballero πάνω στον εντοπισμό της συναισθηματικής κατάστασης ηλικιωμένων ατόμων, με τη χρήση

physiological σημάτων. Χρησιμοποιώντας σήματα EDA, EMG, ECG, και SKT από φορετούς (wearable) αισθητήρες, τροφοδοτώντας τα σε ένα ενσωματωμένο σύστημα (embedded system) που επεξεργάζεται τα σήματα κατάλληλα, και τελικά περνώντας τα σε έναν κατηγοριοποιητή λογιστικής παλινδρόμησης (logistic regression), το σύστημα είναι ικανό να εντοπίσει δύο βασικές συναισθηματικές καταστάσεις: υψηλής συναισθηματικής διέγερσης, και χαμηλής συναισθηματικής διέγερσης [81]. Αναφέρουμε εν συντομία πως υπάρχουν και εφαρμογές του EMG στην αλληλεπίδραση ανθρώπου - ρομπότ, όπου χρησιμοποιήθηκε κατηγοριοποίηση τριών μηνυμάτων επικοινωνίας βασισμένα στις χειρονομίες ("thumbs up", "thumbs down", and "relax") με χρήση transfer learning [64].

2.1.7 Ηλεκτροοφθαλμογραφία

Εάν θέλουμε να επικεντρωθούμε σε μια πιο συγκεκριμένη περιοχή του προσώπου, μπορούμε να απευθυνθούμε σε μια τεχνική που εκμεταλλεύεται τη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού (electrical potential) ανάμεσα πρόσθιο και οπίσθιο μέρος του βολβού του ανθρώπινου ματιού, που ονομάζεται ηλεκτροοφθαλμογραφία (electrooculography ή EOG). Η διαφορά αυτή αποκαλείται «δυναμικό ορθοστάσις του κερατοειδούς» (corneo-retinal standing potential), και μετρά -με έμμεσο τρόπο- το διεπιθηλιακό δυναμικό (transepithelial potential ή TEP) του επιθηλίου μεχρωστικής του αμφιβληστροειδούς (retinal pigment epithelium ή RPE) [122]. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέτρηση είναι δυνατή η οφθαλμολογική διάγνωση της λειτουργίας του μελάγχρου επιθηλίου, της οποίας βασικός ρόλος είναι η απορρόφηση του φωτός [127]. Για τη διάγνωση παραχολοιείται το επίπεδο δυναμικού καθώς ο ασθενής υποβάλλεται σε διαφορετικές συνθήκες επιπέδων φωτισμού. Αρχικά, σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού (κλειστά φώτα), το δυναμικό μειώνεται ελάχιστα μέχρι να σταθεροποιηθεί μετά από κάποια λεπτά (ονομάζεται dark trough) όσο το μάτι προσαρμόζεται στο σκοτάδι. Όταν οι συνθήκες αλλάξουν σε υψηλού φωτισμού (ανοικτά φώτα), το δυναμικό αυξάνεται με ταχύ ρυθμό έως ότου φτάσει ένα μέγιστο (αποκαλείται light peak), και έπειτα πέφτει μέχρι να σταθεροποιηθεί όσο ο αμφιβληστροειδής χιτώνας του ματιού προσαρμόζεται στον νέο φωτισμό. Ο λόγος του light peak και του dark trough είναι η μέτρηση που μας ενδιαφέρει για τη διάγνωση και λέγεται λόγος του Arden, και είναι συχνά μια δύσκολη διαδικασία [111]. Αυτή η διεργασία υπολογίζει και την κίνηση των ματιών, με τη χρήση ηλεκτροδίων. Η βασική τοπολογία των αισθητήρων έχει ως εξής: δύο «κάθετα» (θετικό άκρο πάνω, και αρνητικό άκρο κάτω από οποιοδήποτε μάτι), δύο «οριζόντια» (θετικό άκρο δεξιά του δεξιού ματιού, και αρνητικό άκρο αριστερά του αριστερού ματιού), και ένα στην περιοχή του μετώπου ως γείωση [105]. Η κίνηση των ματιών προς ένα από τα ηλεκτρόδια συνεπάγεται δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού ανάμεσα στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια [83]. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του EOG είναι η ευκολία στη χρήση, το σχετικά μικρό κόστος, καλή αξιοπιστία, καθώς και το χαμηλό επίπεδο «ενόχλησης» που προκαλεί η χρήση του, ειδικά σε σύγκριση με τη χρήση κάμερας κεφαλής [119]. Σημειώνουμε εδώ, πως τα ηλεκτρόδια που απαιτούνται για την τεχνική αυτή είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά που αναφέραμε και για τις άλλες τεχνικές (κυρίως με ηλεκτρολυτική ουσία $\text{tAg}/\text{Ag}^+\lambda$). Βέβαια, υπάρχει και η εναλλακτική της δίχως επαφής EOG με χρήση εξειδικευμένων συστημάτων κάμερας όπως

video camera videooculographysystems (VOG) και infrared camera infrared oculography (IROG). Η πιο συχνή περίπτωση χρήσης της EOG για το πρόβλημα της αναγνώρισης συναισθημάτων είναι ο εντοπισμός θετικής ή αρνητικής φύσης συναισθημάτων (π.χ. έκπληξη και στρες), συνήθως βασιζόμενη στην παρακολούθηση του βλεφαρίσματος (blinking) των ματιών. Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους, εστιάζουμε σε μία -εν μέρη- μη συνειδητή ενέργεια του ανθρώπου, που επηρεάζεται από τη συναισθηματική του κατάσταση [100]. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας ως μετρικές τη μεταβλητότητα της διάρκειας βλεφαρίσματος (blinking duration variability) και τη μεταβλητότητα του ρυθμού βλεφαρίσματος (blinking rate variability), μπορούμε να διακρίνουμε ανάμεσα σε ουδέτερη, θετική (χαρά), και αρνητική (λύπη και φόβος) συναισθηματική κατάσταση, με παρόμοιο τρόπο με την περίπτωση της μεθόδου μεταβλητότητας καρδιακού ρυθμού [110]. Το βασικό πρόβλημα και μειονέκτημα της ηλεκτροοφθαλμογραφίας ταυτίζεται και με το κυρίαρχο πρόβλημα του eye tracking, που είναι πως πολύ εξωτερικοί παράγοντες επηρεάζουν την κίνηση των ματιών σε οποιοδήποτε περιβάλλον χρήσης. Παρ' όλα αυτά, έχουν γίνει αρκετά επιτυχημένα έργα που δείχνουν τις δυνατότητες της EOG. Ένα παράδειγμα, είναι η συνεργασία παραμέτρων Hjorth και Discrete Wavelet Transform για εξαγωγή features, και SVM μαζί με Naïve Bayes για κατηγοριοποίηση συναισθημάτων ουδέτερου, θετικού και αρνητικού χαρακτήρα, με σήματα EOG που αναπαριστούν τις κινήσεις των ματιών, και με ακρίβεια έως και 81% [96]. Επίσης, μία προσπάθεια πανεπιστημίων της Πορτογαλίας να υλοποιήσουν ένα σύστημα που αναγνωρίζει τη συναισθηματική και ψυχική κατάσταση του χρήστη, ανιχνεύοντας έξι διαφορετικές κινήσεις των ματιών, όπως πάνω, κάτω, δεξιά και αριστερά με έναν κατηγοριοποιητή Linear Discriminant Analysis (LDA) ώστε να συμβάλλει στην αλληλεπίδραση ανθρώπου - ρομπότ, με ακρίβεια που έφτανε έως και 92% [30]. Τέλος, αναφέρουμε την έρευνα των R.S. Soundariya και R. Renuga πάνω σε ένα σύστημα AEE με ηλεκτροοφθαλμογράφημα (κίνηση ματιών), όπου ένα μοντέλο SVM διέκρινε επιτυχώς ανάμεσα σε πέντε συναισθήματα (χαρά, λύπη, θυμός, φόβος, και ευχαρίστηση) με σκοπό να χρησιμοποιηθεί σε ένα σύστημα «προσωπικής υποβοήθησης» (personal assistance) [125].

2.1.8 Εκφράσεις Προσώπου

Έχοντας αναφέρει μερικές από τις βασικές μεθόδους αναγνώρισης συναισθημάτων που συναντά κανείς στην πράξη, ερχόμαστε τώρα σε αυτήν τη βασική μέθοδο που αφορά και τη διπλωματική αυτή. Η παρούσα τεχνική βασίζεται στις εκφράσεις του ανθρωπίνου προσώπου και τον τρόπο με τον οποίον αυτές σχετίζονται με κάποιο αντίστοιχο συναίσθημα. Είναι αμέσως προφανές, πως από τη φύση της τεχνικής αυτής η διαδικασία της αναγνώρισης συναισθημάτων λαμβάνει χώρα χωρίς να εμποδίζει με κάποιον τρόπο τον χρήστη. Συνήθως, η διαδικασία γίνεται με χρήση ενός αισθητήρα τύπου κάμερας, και με (συχνά) μόνη προϋπόθεση ένα περιβάλλον που παρέχει επαρκεί φωτισμό στην περιοχή του προσώπου, ώστε να επιτρέπεται η λήψη δεδομένων με την κατάλληλη ευκρίνεια. Επιπλέον, το κόστος μειώνεται σημαντικά λόγω της απλότητας των αισθητήρων που απαιτούνται, και τη γενικά τη φύση όλου του συστήματος. Σε πολλές εφαρμογές -όπως θα δούμε παρακάτω- δεν απαιτείται κάποια επεξεργασία στο σήμα (π.χ. εικόνα) που λαμβάνεται από τους αισθητήρες, και η μικρή υπολογιστική πολυπλοκότητα

(στις περισσότερες εφαρμογές) επιτρέπει τη χρήση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο, ακόμα και σε έναν πολύ απλό προσωπικό υπολογιστή μέσης υπολογιστικής ισχύς ή σε μία *low-end* συσκευή έξυπνου τηλεφώνου (smartphone). Η σχέση ανάμεσα στις εκφράσεις που παίρνει το πρόσωπο και στα συναισθήματα αποτελεί αντικείμενο μεγάλου ερευνητικού ενδιαφέροντος εδώ και πολλά χρόνια. Το 1978, ο Αμερικάνος ψυχολόγος και καθηγητής Paul Ekman σε συνεργασία με τον Wallace V. Friesen υιοθέτησαν ένα προϋπάρχον σύστημα του Σουηδού ανατόμου¹ Carl-Herman Hjortsjö [51], και δημιούργησαν ένα σύστημα ταξινόμησης των κινήσεων των μυών του ανθρώπινου προσώπου βασιζόμενο στην εμφάνιση τους πάνω στο πρόσωπο (εκφράσεις). Το σύστημα αυτό αποκαλείται «Σύστημα κωδικοποίησης ενεργειών προσώπου» Facial Action Coding System [37], και λειτουργεί κωδικοποιώντας τις ενέργειες που λαμβάνουν οι μεμονωμένοι μύες με τις αλλαγές (ακόμα και μικρές) στην εμφάνιση του προσώπου. Το σύστημα χρησιμοποιείται ευρέως στο πεδίο της ψυχολογίας, όπου γίνονται έρευνες για την κατηγοριοποίηση εκφράσεων που αντιστοιχούν π.χ. στην κατάθλιψη [106, 73], αλλά αποτελεί και σημαντικό εργαλείο για animators που επιθυμούν να αποτυπώσουν το ακατέργαστο ανθρώπινο συναισθήμα με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Το μεγάλο πλεονέκτημα του Facial Action Coding System, είναι πως μπορεί να κωδικοποιήσει -και κατ' επέκταση να περιγράψει- ένα σύνολο πέρα των βασικών καθιερωμένων συναισθημάτων (π.χ. χαρά, λύπη), τα οποία παρουσιάζονται με εκφράσεις διφορούμενης και «λεπτές» φύσης. Αποτέλεσμα του μεγάλου ανανεωμένου ενδιαφέροντος στην αναγνώριση συναισθημάτων και τις ραγδαίες εξελίξεις στην αποδοτικότητα της υπολογιστικής όρασης (computer vision), είναι η υλοποίηση μιας αυτοματοποιημένης έκδοσης του Facial Action Coding System, η οποία αποσκοπεί να ξεπεράσει τους περιορισμούς του βασικού συστήματος, όπως την απαίτηση εκτεταμένης εκπαίδευσης, τη χρονοβόρα φύση της διαδικασίας, και μη μεροληπτική ιδιότητα της (υποκειμενική φύση) [48]. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι ικανό να εξάγει γεωμετρικά δεδομένα από ένα εντοπισμένο πρόσωπο, και να παράγει ως έξοδο χρονικά προφίλ για κάθε κίνηση των μυών του προσώπου. Πέρα των κωδικοποιήσεων που -όπως αναφέραμε- έχουν γενική μορφή και λαμβάνουν υπόψη όλων των ειδών κινήσεων των μυών του προσώπου, υπάρχουν και συστήματα που αποβλέπουν στην κωδικοποίηση των μυικών ενεργειών που αντιστοιχούν αποκλειστικά σε έκφραση συναισθημάτων. Τέτοιες είναι η Facial Action Coding System Affect Interpretation Dictionary (ή (FACSAID)) [36] και η Emotional Facial Action Coding System (ή EMFACS), η πρώτη εκ των οποίων σχεδιάστηκε από τον ίδιο τον Paul Ekman. Η τελευταία βρίσκει ακόμα και στη σύγχρονη εποχή χρησιμότητα, με εφαρμογές της σε συστήματα αναγνώρισης συναισθημάτων [31] και αξιολόγησης συναισθηματικής αντίδρασης πάνω σε κάποιο περιεχόμενο ψυχαγωγίας [67].

Όπως ήταν φυσικό, η μοντέρνα εποχή έφερε μεγάλες επενδύσεις και ανάπτυξη στον τομέα του ΑΕΕ με χρήση δεδομένων του προσώπου. Πέρα από την εξέλιξη στην υπολογιστική όραση (computer vision) που αναφέραμε και σε προηγούμενη παράγραφο, η ραγδαία πρόοδος στην αποδοτικότητα των μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης -και το ανανεωμένο ενδιαφέρον σε αυτήν- έφερε ταχέως πολυάριθμες υλοποιήσεις, τόσο στο εργαστήριο (ερευνητικό ενδιαφέρον) όσο και στο εμπόριο. Αρχικά, ήταν προφανές πως με τον ήδη πελώριο αριθμό καμερών ασφαλε-

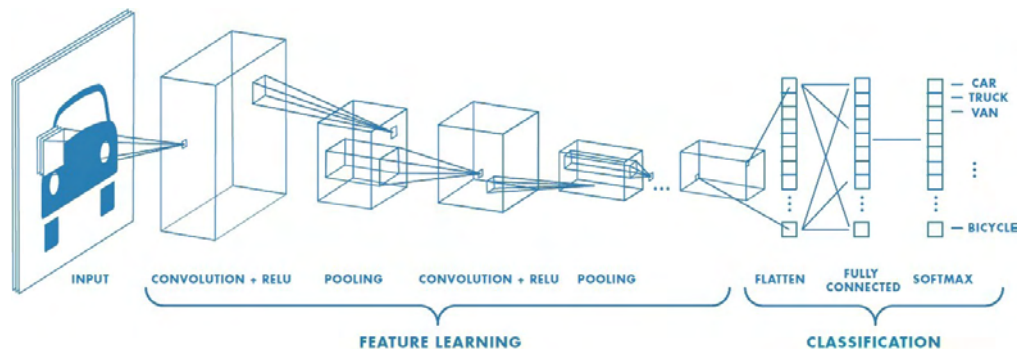
¹ ειδικού στην ανατομία

ίας κλειστού κυκλώματος τηλεόρασης (CCTV) σε μεγαλουπόλεις (και μη) να αυξάνεται, ένα σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων που κάνοντας αποκλειστικά χρήση της εικόνας που προσφέρουν, αναγνωρίζει και «μαρκάρει» πιθανές εγκληματικές ή γενικά βίαιες καταστάσεις *a priori* πιθανότατα να βελτίωνε σημαντικά την αποτελεσματικότητα των CCTV. Μάλιστα, έχουν ήδη δημιουργηθεί αρκετά έργα στη βιβλιογραφία που αξιολογούν τη χρήση αναγνώρισης συναισθημάτων (όχι απαραίτητα αυτόματης) στον εντοπισμό κρυφής οπλοφορίας [16, 17]. Σε μία τελείως διαφορετική περίπτωση χρήσης, οι Sheona Sinha, Shubham Kr. Mishra, και Saurabh Bilgaiyan με την εκπαίδευση ενός μοντέλου τεχνητής νοημοσύνης Convolutional Neural Network, υλοποίησαν ένα σύστημα AEE ικανό να εντοπίσει στρες, άγχος, και κατάθλιψη σε μαθητές και φοιτητές, βασισμένοι στα προϋπάρχοντα συστήματα ασφαλείας CCTV σχολείων και πανεπιστημίων στην Ινδία, με τελικό σκοπό να παρέχει σε αυτά τα άτομα την κατάλληλη ψυχολογική υποστήριξη μέσω ενός επαγγελματία συμβούλου [121]. Ίσως, αξίζει εδώ να αναφερθούμε επιγραμματικά στο γεγονός πως η χρήση αυτή των καμερών ασφαλείας σε δημόσιους χώρους έχει φέρει ως αποτέλεσμα μια αντίσταση που βασίζεται στο επιχείρημα της καταπάτησης των δικαιωμάτων ιδιωτικότητας του ανθρώπου. Έχουν μάλιστα υλοποιηθεί αρκετές μέθοδοι που έχουν ως σκοπό την καταπολέμηση των συστημάτων αναγνώρισης προσώπων, και κατ' επέκταση να αποτρέψουν την αναγνώριση συναισθημάτων. Οι περισσότερες είναι απλές, με πληροφορίες να δείχνουν πως ακόμα και η χρήση προστατευτικής μάσκας μειώνει δραστικά την απόδοση τους [137], με επακόλουθο την εκπαίδευση νέων νευρωνικών δικτύων που λαμβάνουν υπόψη τους πρόσωπα που φορούν προστατευτική μάσκα [90]. Άλλες είναι λιγότερο παθητικές και περισσότερο επιθετικές, και αποβλέπουν στον υποβιβασμό (degradation) της ακρίβειας των αλγορίθμων (ή μοντέλων) αναγνώρισης προσώπου, εκμεταλλευόμενες την ομοιογενής αναπαράσταση της γνώσης που παρουσιάζουν τα συστήματα, με αποτέλεσμα μια τροποποίηση μικρού σκέλους να έχει καταστροφικές συνέπειες για την ακρίβεια του συστήματος [115]. Με την πάροδο του χρόνου, εταιρίες του εμπορίου που προμήθευαν συστήματα (λογισμικό και υλισμικό) αναγνώρισης προσώπου άρχισαν να προσφέρουν την ενσωμάτωση λειτουργίας αναγνώρισης συναισθημάτων στα προϋπάρχοντα αυτά συστήματα. Αποτέλεσμα ήταν η ανάπτυξη τέτοιων αυτόματων συστημάτων από πολυάριθμες (σχεδόν όλες) εταιρίες λογισμικού, υλικού, ακόμα και πλατφόρμες μέσων κοινωνικής δικτύωσης [8]. Έτσι, ο σκοπός της αναγνώρισης συναισθημάτων του χρήστη ξεφεύγει από την ασφάλεια, και «επεκτείνεται» σε περιπτώσεις χρήσεις από την ενίσχυση της εμπειρίας του χρήστη (user experience ή UX), μέχρι και την εξατομίκευση περιεχομένου (π.χ. διαφημίσεων, παραμετροποίηση recommender system). Ένα παράδειγμα χρήσης που εντάσσεται στην τελευταία κατηγορία είναι η σύσταση μουσικής με βάση τη συναισθηματική κατάσταση (mood) του χρήστη, κάνοντας χρήση facial emotion recognition [138, 108]. Επιπλέον, αξίζει να αναφέρουμε και το εργαλείο FaceFetch [80], που είναι ικανό να εξατομικεύσει recommendations στον χρήστη για μία πληθώρα περιεχομένου πολυμέσων (ταινίες, βίντεο, μουσική). Άλλη μια περίπτωση χρήσης που έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η ένταξη της FER (facial emotion recognition) στον τομέα της υγείας. Μία ενδιαφέρουσα έρευνα αφορά την αξιολόγηση ενός ασθενούς με βάση το συναίσθημα του, κάνοντας χρήση Weber Local Descriptor [43] Fisher discrimination ratio, και ενός μοντέλου SVM, σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα υγείας (e-healthcare) [7].

Έχοντας γράψει τα παραπάνω, είναι σκόπιμο να κάνουμε μια περιεκτική αναφορά στη συνεργασία FER και τεχνητής νοημοσύνης, αναφέροντας της πιο βασικές μεθόδους που συναντά κανείς στη βιβλιογραφία. Αρχικά, έχει αξία να σημειώσουμε πως ένα μεγάλο πλεονέκτημα της αναγνώρισης συναισθημάτων με βάση το πρόσωπο είναι το γεγονός πως προσφέρει μεγάλη ακρίβεια πρόβλεψης, χωρίς να χρειάζεται να συνδυαστεί με κάποια άλλη μέθοδο (όπως συναντήσαμε συχνά στις παραπάνω υποενότητες), κάτι που θα εξάλειφε τα βασικά πλεονεκτήματα που αναφέραμε στις προηγούμενες παραγράφους. Καταρχάς, υπάρχουν οι πιο «συμβατικές» μέθοδοι, που βασίζονται σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά του προσώπου και την αντιστοίχιση των θέσεων τους σε εκφράσεις - συναισθήματα. Εδώ, πέρα του συστήματος κωδικοποίησης FACS, συναντάμε και μεθόδους που λαμβάνουν ως χαρακτηριστικά (features) έναν αριθμό από σημεία του προσώπου (facial landmarks), και θέτοντας τα ως εισόδους σε μοντέλα Multi-class AdaBoost [50] ή κλασσικά SVM, εντοπίζοντας συναισθήματα με μέγιστη ακρίβεια 95.17% και 97.35% αντίστοιχα [41]. Οι S L Happy, Anjith George, και Aurobinda Routray [49] υλοποίησαν ένα σύστημα που κάνει χρήση της τεχνικής Local Binary Patterns [5] ιστογράμματος κομματιών εικόνων προσώπων για την εξαγωγή χαρακτηριστικών, και Principal Component Analysis [34] για την κατηγοριοποίηση των εκφράσεων προσώπου και αναγνώρισης των συναισθημάτων χαράς, λύπης, αηδία, φόβου, έκπληξης, και θυμού. Τεχνικές σαν την προηγούμενη εδράζεται στην «εμφάνιση» του προσώπου αντί στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Επιπλέον, είναι εφικτή η χρήση Βηματικής Γραμμικής Διακριτικής Ανάλυσης (Stepwise Linear Discriminant Analysis) για την επιλογή καλών χαρακτηριστικών των εκφράσεων [118], και Hidden Conditional Random Fields ώστε να χωριστεί (και να αναγνωριστεί) το σύνολο των εκφράσεων σε κατηγορίες. Η επιλογή features με την τεχνική Local Binary Patterns είναι ικανή να λύσει πρόβλημα χαμηλής ανάλυσης σε εικόνες [63], εξάγοντας χαρακτηριστικά μόνο από τις εμφανείς περιοχές του προσώπου στην εικόνα. Τέλος, είναι δυνατή και η συνεργασία των δύο τεχνικών, δημιουργώντας έτσι μια «υβριδική» προσέγγιση που κάνει εκμεταλλεύεται και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του προσώπου και της «εμφάνισης» του. Η προσέγγιση αυτή συναντάται πολύ όταν έχουμε ως είσοδο μια ακολουθία εικόνων (βίντεο), όπου τα facial landmarks του προσώπου εξάγονται με χρήση ενός Active shape model [29], και συνδυάζονται με «δυναμικά features» που υπολογίζονται από τη μετατόπιση μεταξύ ουδέτερων χαρακτηριστικών και χαρακτηριστικών έκφρασης (π.χ. ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εικόνες της ακολουθίας) [128].

Ολοκληρώνουμε την υποενότητα αυτή, κάνοντας λόγο για την ένταξη των δικτύων βαθιάς μάθησης στο πρόβλημα του FER. Με τα μεγάλα τεχνολογικά *breakthroughs* στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης που ονομάζεται βαθιά μάθηση, η εξαγωγή χαρακτηριστικών, η κατηγοριοποίηση, και αναγνώριση συναισθημάτων είναι πια δυνατή σε μορφή «από άκρο σε άκρο» (end-to-end). Αυτό σημαίνει πως όλη η εκπαίδευση συμβαίνει απευθείας από την είσοδο του δικτύου (εικόνες), χωρίς να είναι απαραίτητη η εκτενής προεπεξεργασία της εισόδου (π.χ. εντοπίζοντας landmarks). Λύνεται δηλαδή το πρόβλημα της επιλογής χαρακτηριστικών, αφού την επιλογή αυτή την αναλαμβάνει το μοντέλο κατά την εκπαίδευση του. Τα πιο συνηθισμένα στην πράξη είναι τα συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα (Convolutional Neural Networks ή CNN), τα οποία αποτελούνται από τρία βασικά είδη επιπέδων (layers):

- Επίπεδο Συνέλιξης: Περνώντας από αυτό το επίπεδο, η είσοδος (τανυστής) «χαρτογραφείται» σε ένα χάρτη χαρακτηριστικών που ονομάζεται activation map, υπολογίζοντας τη συνέλιξη της εισόδου με διάφορα φίλτρα, προσομοιώνοντας έτσι την απόκριση ενός νευρώνα στον οπτικό φλοιό σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα. Η έξοδος αυτή αντιστοιχεί σε μία «χωρική αναπαράσταση» της εισόδου.
- Επίπεδο Max Pooling: Σκοπός τους είναι να μειώσουν την ευκρίνεια (μέγεθος ή resolution) της «χωρικής αναπαράστασης». Για να το επιτύχουν αυτό, συνδυάζουν τις εξόδους των νευρώνων (neuron clusters) ενός επιπέδου σε έναν μόνο νευρώνα στο επόμενο επίπεδο του δικτύου. Το αποτέλεσμα είναι μικρότερο μέγεθος δεδομένων, και το δίκτυο να «αγνοεί» μεταβολές σε μικρές μετατοπίσεις και γεωμετρικές παραμορφώσεις [65].
- Πλήρως Συνδεδεμένο Επίπεδο: Συνδέουν όλους τους νευρώνες ενός επιπέδου, με όλους εκείνους ενός άλλου επιπέδου. Όπως και σε άλλα νευρωνικά δίκτυα, τα τελευταία επίπεδα αυτού του τύπου υπολογίζουν την κατηγοριοποίηση της εισόδου για την έξοδο.



Σχήμα 2.1: Μοντέλο CNN με πολλαπλά επίπεδα συνέλιξης [101].

Τα έργα πάνω στην αναγνώριση συναισθημάτων κάνοντας χρήση CNN δικτύων είναι πολυάριθμα, και αυξάνονται ταχέως. Ένα παράδειγμα είναι η ανάλυση της σχέσης μεταξύ των χαρακτηριστικών (features) ενός δικτύου CNN (FACS, Action Units), ώστε να κατανοηθεί περαιτέρω η προέλευση των εκφράσεων του προσώπου που συνδέονται με το συναίσθημα [20]. Οι Heechul Jung, Sihaeng Lee, Junho Yim, Sunjeong Park και Junmo Kim πειραματίστηκαν με τη χρήση δύο μοντέλων CNN για την αναγνώριση συναισθημάτων σε ακολουθίες εικόνων, όπου το πρώτο αναλαμβάνει την εξαγωγή χρονικά χαρακτηριστικά εμφάνισης temporal appearance features, και το δεύτερο CNN εξάγει χρονικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά (temporal geometry features) βασισμένο σε landmarks του προσώπου [60]. Επομένως, εντάσσεται -όπως εξηγήσαμε παραπάνω- σε μία υβριδική προσέγγιση, που έχει ως αποτέλεσμα πολύ ανώτερα αποτελέσματα από άλλες προσεγγίσεις, κάτι που αποδεικνύει την επιτυχής συνεργασία των δύο δικτύων. Με στόχο να απλοποιηθεί η σχεδίαση αρχιτεκτονικών CNN που επιτρέπουν τη γρήγορη εκπαίδευση, την εύκολη υλοποίησή τους, και την υψηλή ακρίβεια πρόβλεψης, οι A. Agrawal και N. Mittal ερευνούν το αντίκτυπο των παραμέτρων *kernel size* και *αριθμό*

φίλτρων [4]. Αποτέλεσμα της έρευνας ήταν πως οι δύο παράμετροι συνέβαλαν στην ακρίβεια, και πρότειναν κάποια ζεύγη τιμών για τις παραμέτρους ώστε να μεγιστοποιηθεί η απόδοση των δικτύων. Κλείνουμε την αναφορά στα Convolutional Neural Networks, κάνοντας λόγο για το ενδεχόμενο υβριδικού συστήματος, που κάνει χρήση CNN δικτύου και μετασχηματισμού Scale-invariant feature transform (SIFT) [77]. Ουσιαστικά, ένα μοντέλο «συγκεντρωτής» (Aggregator) εκμεταλλεύεται την ιδιότητα του SIFT [28] να μην απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων για την εξαγωγή χρήσιμων χαρακτηριστικών, αυξάνοντας έτσι την απόδοση με μικρό αριθμό διαθέσιμων δεδομένων εκπαίδευσης. Μάλιστα, η παραλλαγή Dense SIFT σε συνεργασία με τα χαρακτηριστικά εξαγόμενα από το CNN παρουσίασε αξιοσημείωτη αύξηση στην ακρίβεια πρόβλεψης, δίνοντας έτσι μια λύση στο πρόβλημα που προκύπτει όταν τα δεδομένα για την εκπαίδευση είναι περιορισμένα σε όγκο.

2.2 Affective Computing

Ο όρος Affective Computing συναντάται όλο και περισσότερο στον τομέα της αλληλεπίδρασης ανθρώπου - υπολογιστή. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της εισαγωγής, ο όρος σχετίζεται με την εισαγωγή συναισθηματικών παραμέτρων στην αλληλεπίδραση αυτή, με κύριο σκοπό να επαυξάνει την ποιότητα της. Ο όρος εμφανίστηκε στη βιβλιογραφία το 1995 με το έργο της R. W. Picard "Affective Computing" [99]. Στο έργο αυτό -και σε βιβλία που ακολουθούν στο κοντινό μέλλον [98]- η R. W. Picard κάνει λόγο για τη σημασία του συναισθήματος στην ανθρώπινη νόηση και αντίληψη, και επισημάνει την αξία που έχει η έρευνα πάνω σε αυτόν τον νέο τομέα μιας και είναι αναπόφευκτο το μέλλον που οι υπολογιστές έχουν συναισθηματική νοημοσύνη. Επίσης, κάνει αναφορά στο γεγονός πως δεδομένα που ενδέχεται να προκύψουν από εφαρμογές του affective computing μπορούν να βοηθήσουν σε έρευνες πάνω στο συναίσθημα και γενικά πάνω στη νόηση του ανθρώπου. Η βασική λειτουργία του affective computing βασίζεται στην επεξεργασία εισόδων διαφόρων ειδών που ονομάζονται στο HCI modalities. Τα συνηθέστερα modalities επικοινωνίας ανθρώπου με υπολογιστή μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Φωνητικά (Speech): Αναφέρονται σε ηχητικές μορφές εισόδου, όπως η φωνή. Κάνοντας χρήση συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (Automatic Speech Recognition ή ASR), είναι εφικτή η ανάλυση του συναισθηματικού περιεχομένου της ομιλίας. Επιπλέον, πέρα από το νοηματικό περιεχόμενο της ομιλίας, είναι δυνατή και η εξαγωγή του συναισθηματικού χαρακτήρα (Vocal Affect) του φωνητικού ντοκουμέντου. Αυτό επιτυγχάνεται εντοπίζοντας τη χρήση παραγλωσσικών μηχανισμών που αποδίδουν κάποιο συναισθηματικό χαρακτηριστικό (π.χ. τονισμό) στην ομιλία (όπως σαρκασμός, κάποιο συναίσθημα, κτλ), συνήθως με κάποιο αυτόματο σύστημα.
- Οπτικά (Visual): Εδώ εντάσσονται όλες οι μορφές εισόδου που παρατηρούνται με χρήση τεχνικών υπολογιστικής όρασης. Τέτοιες είναι και η πλειοψηφία των μεθόδων αυτόματης αναγνώρισης συναισθημάτων της προηγούμενης ενότητας, καθώς και εκείνες της

ανίχνευσης κίνησης του κεφαλιού (head tracking) και αναγνώρισης χειρονομιών (body gesture recognition).

Το δεύτερο μέρος του affective computing είναι ο τρόπος που επικοινωνεί ο υπολογιστής με τον άνθρωπο. Θα μπορούσαμε να πούμε πως υπάρχουν δύο κατηγορίες εισόδων ανάλογα με το πόσο συνηθίζονται στη χρήση. Ξεκινώντας από τα πιο «παράξενα» και λιγότερο συνηθισμένα, ένα από τα περισσότερα υποσχόμενα είναι η ένταξη της γεύσης στην αλληλεπίδραση ανθρώπου - υπολογιστή. Ουσιαστικά, ο υπολογιστής μέσω μιας ειδικά σχεδιασμένης συσκευής προσφέρει στον χρήστη δυναμικά μεταβαλλόμενες γεύσεις με σκοπό να βελτιωθεί η εμπειρία του. Είναι προφανές, πως οι περισσότερες εφαρμογές ενός τέτοιου συστήματος βρίσκονται στον τομέα της ψυχαγωγίας, όπως τα παιχνίδια. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει το παράδειγμα της συσκευής LOLLio [91], που είναι ένα γλειφιτζούρι που λειτουργεί ως απτική (haptic) συσκευή εισόδου, και έχει αλλάζει τη γεύση του. Οι γεύσεις που χρησιμοποιούνται είναι η γλυκιά και η ξινή, και σχεδιάστηκαν ώστε να σχετίζονται με θετικά και αρνητικά ερεθίσματα από το παίξιμο ενός παιχνιδιού αντίστοιχα. Σκοπός περαιτέρω έρευνας είναι η άρση των περιορισμών που εμφανίζουν τέτοιες συσκευές, όπως η πλήρης «ψηφιοποίηση» της γεύσης, και η διαθεσιμότητα χρήσης όλων των βασικών γεύσεων (γλυκιά, πικρή, αλμυρή, ξινή) και ο συνδυασμός τους. Εργαστηριακές έρευνες έχουν δείξει πως η συναισθηματική συσχέτιση με της βασικές γεύσεις είναι ισχυρή, και γι' αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση ψηφιακών - εικονικών εμπειριών [40].

Η δεύτερη ενδιαφέρουσα μέθοδος επικοινωνίας είναι η όσφρηση. Πολυπληθείς έρευνες έχουν δείξει την ιδιαίτερη σημασία της όσφρησης ως παράγοντα και γεννήτρια αναμνήσεων, με τη συναισθηματική κατάσταση του ανθρώπου να επηρεάζεται από τις μυρωδιές του περιβάλλοντος γύρω του [68]. Επομένως, εύκολα κανείς αναγνωρίζει την αξία της όσφρησης σε πιθανή ένταξη της σε ψηφιακές εμπειρίες. Το πρόβλημα που προκύπτει όμως, είναι πως η αίσθηση αυτή είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη [62]. Χωρίς να μπορούμε σε λεπτομέρειες -μιας και είναι πέρα από τον στόχο αυτής της διπλωματικής- τόσο η χημεία όσο και η φυσιολογία της όσφρησης παρουσιάζουν μια πολύ μεγαλύτερη συνθετότητα σε σχέση με άλλες αισθήσεις όπως η όραση. Ταυτόχρονα, η αντίληψη διαφόρων μυρωδιών ποικίλει από άνθρωπο σε άνθρωπο, και το διάστημα προσαρμογής ενός ατόμου σε μία οσμή να είναι πολύ μικρή [70]. Δυστυχώς, προβλήματα εμφανίζονται και στην παραγωγή οσμών, όπου τα συστήματα περιορίζονται σε βασικές μυρωδιές και στην ανάμειξη τους. Το μόνο σημείο που δεν αποτελεί πρόβλημα είναι η απελευθέρωση των οσμών στον αέρα, με πολλές μεθόδους να έχουν προταθεί κυρίως βασισμένα σε ένα σύστημα σπρέι. Αυτό που προκαλεί έκπληξη είναι η παραδόξως εκτενής ιστορία της χρήσης της όσφρησης σε εμπειρίες ψυχαγωγίας, ξεπερνώντας το πρόβλημα της δύσκολης παροχής τέτοιων συστημάτων (ειδικά τα πρώτα χρόνια). Συσκευές όπως εκείνη με το χαρακτηριστικό όνομα Smell-O-Vision, έχουν προσπαθήσει να κάνουν την όσφρηση μέρος της καθημερινής ψυχαγωγίας χωρίς ιδιαίτερα αποτελέσματα, κυρίως λόγω των δυσκολιών που αναφέραμε παραπάνω.

Επιπλέον, υπάρχουν και οι περιπτώσεις που χρησιμοποιούν τη θερμότητα (θερμαίνουν μια επιφάνεια), καθώς και πολλές άλλες που εξετάζονται για μελλοντικό ενδιαφέρον, όπως η

αίσθηση του πόνου (όπως γιλέκα haptic feedback).

Περνώντας στα περισσότερα χρησιμοποιούμενα modalities, εντάσσουμε εδώ τα πιο προφανή, όπως την όραση (χρήση οθόνης για την παρουσίαση πληροφορίας στον χρήστη μέσω γραφικών στοιχείων διαφόρων ειδών), τον ήχο (ηχητικά σήματα που παράγονται - ελέγχονται από τον υπολογιστή), και απτικά σήματα όπως δονήσεις και κινήσεις. Εδώ έχουμε λιγότερα περιθώρια για χρήση affective computing, πέρα της ένταξης άμεσα συναισθηματικού περιεχομένου στις προηγούμενες μεθόδους.

2.3 Προσαρμοζόμενα Παιχνίδια

Όταν αναφερόμαστε σε προσαρμοζόμενα παιχνίδια (adaptive games), κάνουμε λόγο για περιπτώσεις όπου η σχεδίαση του παιχνιδιού του επιτρέπει να «προσαρμοστεί» με βάση ένα modality ή περισσότερα modalities. Όταν μιλάμε για «προσαρμογή» εννοούμε τη μεταβολή ενός πλήθους παραμέτρων του παιχνιδιού, η οποία έχει ως αποτέλεσμα το παιχνίδι να αποκτήσει μια διαφορετική μορφή που πιθανόν να επιτυγχάνει κάποιον σκοπό. Το βασικότερο παράδειγμα είναι η μεταβολή της δυσκολίας του παιχνιδιού με δυναμικό τρόπο, και ονομάζεται dynamic difficulty adjustment (DDA). Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα modalities για να αποφασίσει το παιχνίδι να ανεβάσει ή να χαμηλώσει τη δυσκολία. Σκοπός εδώ μπορεί να είναι η διατήρηση του «τέλειου» επιπέδου δυσκολίας του παιχνιδιού, ώστε ο παίκτης να μη βαρεθεί (πολύ εύκολο παιχνίδι για τον χρήστη) και ταυτόχρονα να μην εκνευριστεί (πολύ δύσκολο παιχνίδι για τον χρήστη) [145]. Ένα παιχνίδι αυτού του είδους ενδέχεται να παρουσιάζει σημαντική διαφορά στη σχεδίαση του σε σχέση με ένα παιχνίδι που έχει σταθερό επίπεδο δυσκολίας (ή συγκεκριμένα επίπεδα από τα οποία επιλέγει ο χρήστης). Για παράδειγμα, όλη η σχεδίαση των επιπέδων του παιχνιδιού πρέπει να αλλάξει ώστε να συμβιβαστεί με τη λογική πως η δυσκολία μπορεί να αλλάξει ανά πάσα στιγμή. Ένα από τα modalities που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι το επίπεδο του άγχους του παίκτη όσο παίζει. Παρακολουθώντας το άγχος με κάποια μέθοδο που δεν επηρεάζει την απόδοση του στο παιχνίδι (π.χ. αισθητήρες βιοανάδρασης) ή την άνεση του, είναι δυνατόν να προκαλέσουμε μεταβολές στη δυσκολία (αυτόματα) με στόχο να ελαχιστοποιηθεί το άγχος του παίκτη (που προκαλείται κυρίως από το παιχνίδι) [74]. Αυτό είναι ένα παράδειγμα συνεργασίας των adaptive games με affective computing, όπου η ψυχολογική κατάσταση του παίκτη λαμβάνεται υπόψη για να βελτιώσει την εμπειρία του σε ένα παιχνίδι. Μια άλλη ενδιαφέρουσα εφαρμογή των προσαρμοζόμενων παιχνιδιών είναι σε περιπτώσεις εκπαιδευτικών παιχνιδιών (educational games, όπου ο απώτερος σκοπός είναι η απορρόφηση γνώσης από τον παίκτη. Ερευνητές του La Trobe University αξιολόγησαν την αποδοτικότητα ενός παιχνιδιού εκπαιδευτικής φύσης με DDA [107], και μετά από σύγκριση με δύο μην προσαρμοζόμενες περιπτώσεις κατέληξαν πως, παρόλο που τα επίπεδα του κινήτρου μάθησης (motivation) παραμένουν ίδια, τα ουσιαστικά μαθησιακά αποτελέσματα ήταν σημαντικά καλύτερα στην περίπτωση του adaptive game.

Η δυσκολία δεν είναι το μοναδικό στοιχείο του παιχνιδιού που εντοπίζεται στη βιβλιογραφία για προσαρμογή. Είναι φυσικό με την πολυπλοκότητα των μηχανισμών που συνεργάζονται και απαρτίζουν ένα παιχνίδι, να συζητάμε για διαμόρφωση της διεπαφής χρήστη (user interface),

περιεχομένου, ακόμα και ολόκληρων μηχανισμών ώστε να «έρθουν στα μέτρα» του κάθε παίκτη. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος της προσαρμογής, έχουν πραγματοποιηθεί δοκιμές με πολλές διαφορετικές τεχνικές όπως μηχανική μάθηση, δέντρα αποφάσεων (decision trees), και νευρωνικά δίκτυα. Αυτές χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστούν μοντέλα παικτών, με βάση τα οποία γίνεται και η προσαρμογή. Ένα παράδειγμα είναι το έργο των Anders Drachen, Alessandro Canossa, και Georgios N. Yannakakis [33], όπου εκπαιδεύοντας μοντέλα μηχανικής μάθησης Self-organizing map πάνω στη συμπεριφορά παικτών κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, μπορούν να αξιολογήσουν αν τυχόν ταιριάζει η συμπεριφορά αυτή με εκείνη που περιμένουν οι δημιουργοί του παιχνιδιού με βάση τη σχεδίαση. Σε μία αρκετά διαφορετική έρευνα, υλοποιήθηκε παιχνίδι εικονικής πραγματικότητας (VR), του οποίου σκοπός είναι η επιδιόρθωση νευρομυϊκών προβλημάτων καθοδηγώντας τον ασθενή σε διάφορες εξειδικευμένες σωματικές ασκήσεις [10]. Το παιχνίδι ήταν προσαρμοζόμενο στην περίπτωση κάθε χρήστη μέσω ενός νευρωνικού δικτύου που εκπαιδευόταν στα χαρακτηριστικά του, και έφερε θετικά αποτελέσματα, με βελτίωση έως και 33% σε ορισμένες ασκήσεις.

Είναι φυσικό μετά από όσα έχουμε αναφέρει να καταλήξουμε πως στα προσαρμοζόμενα παιχνίδια δημιουργείται, επομένως, ένα επιπλέον στρώμα αβεβαιότητας, μιας και ο παίκτης επηρεάζει το παιχνίδι, κάτι που πιθανόν να οδηγήσει σε καταστάσεις που δεν έχουν προβλεφθεί κατά τη σχεδίαση. Αυτό είναι και ένα από τα προβλήματα που καλούνται να λάβουν υπόψη και στη συνέχεια να λύσουν μελλοντικές έρευνες, ώστε ο σχεδιασμός των παιχνιδιών να έχει ως κέντρο του τον παίκτη (Player-Centered Game Design), και να του προσφέρει τη μέγιστη σε ποιότητα εμπειρία με βάση τα χαρακτηριστικά του.

2.4 Παιχνίδια στον Ρόλο Μηχανών Ενσυναίσθησης

Στην ενότητα αυτή, θα κάνουμε μια μικρή αναφορά στη σχέση παιχνιδιού και ενσυναίσθησης, που μπορεί να βρει κανείς στη βιβλιογραφία. Τα παιχνίδια στη σύγχρονη εποχή έχουν χαρακτηριστεί από πολλούς «μηχανές ενσυναίσθησης» (empathy machines). Αυτό σημαίνει πως με το περιεχόμενο που προσφέρουν είναι πιθανό αποτέλεσμα η ενίσχυση της ικανότητας του παίκτη να «συμπάσχει». Ο διαδραστικός χαρακτήρας των παιχνιδιών είναι αυτός που ευθύνεται γι' αυτό το φαινόμενο, με την αλληλεπίδραση ανθρώπου - ψηφιακού περιεχομένου να είναι ισχυρότερη από οποιοδήποτε άλλη περίπτωση. Το σημαντικότερο ερευνητικά είδος παιχνιδιών είναι εκείνα που κάνουν χρήση τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας (VR). Η ψηφιακές εμπειρίες VR τείνουν να προκαλούν έντονες συναισθηματικές αντιδράσεις [11], κάτι που κάποιες έρευνες χρησιμοποιούν ως απόδειξη πως η γνωστική ενσυναίσθηση (cognitive empathy)² ενός ατόμου μπορεί να επηρεαστεί θετικά από αυτές. Υπάρχουν βέβαια και έρευνες που δε βρίσκουν τη συσχέτιση αυτή [136], με κάποιες να παρατηρούν μόνο κάποια βελτίωση στην αποκλειστικά συναισθηματική ενσυναίσθηση (emotional empathy)³. Συγκεκριμένα, οι

²Η ικανότητα να βλέπουμε μια κατάσταση από την πλευρά ενός άλλου ατόμου, κατανοώντας τα συναισθήματά του.

³Η ικανότητα να αναγνωρίζουμε τα συναισθήματα ενός άλλου ατόμου, χωρίς απαραίτητα να κατανοούμε την αιτία τους.

Alison Jane Martingano, Fernanda Hererra, και Sara Konrath σε μία ανασκόπηση πάνω στο θέμα αυτό [82], έδειξαν πως παρόλο που η συναισθηματική είναι σχετικά εύκολη να επιτευχθεί (ανεξαρτήτως της «βύθισης που προσφέρει η εμπειρία»), η γνωστική ενσυναίσθηση ίσως χρειάζεται πολύ περισσότερη προσπάθεια στη σχεδίαση του περιεχομένου.

Είδαμε λοιπόν, πως στη βιβλιογραφία υπάρχει αντιπαράθεση για την ύπαρξη ουσιαστικής αποτελεσματικότητας των μηχανών ενσυναίσθησης, κάτι που δε θα λυθεί χωρίς περαιτέρω έρευνα. Αυτό όμως δε σημαίνει πως δεν έχει αξία να αναφέρουμε κάποιες χρήσεις τους. Αρχικά αναφέραμε πως η προσπάθεια που γίνεται είναι η αύξηση της -όλων των ειδών- ενσυναίσθησης, κάτι που είναι πιθανό να οδηγήσει σε βελτίωση της καθημερινότητας μας, ακόμα και μείωση της εγκληματικότητας. Έχει μάλιστα εντοπιστεί άμεση σχέση έλλειψης γνωστικής ενσυναίσθησης και επιθετικής συμπεριφοράς [39]. Παρουσιάζοντας στον παίκτη φορτισμένες συναισθηματικά καταστάσεις και περιβάλλοντα, είναι δυνατό να πάρουμε παρόμοια αποτελέσματα. Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα όπου η τεχνολογία VR προσφέρει μοναδικές ευκαιρίες πάνω στο θέμα, είναι το project με τίτλο "The Machine To Be Another" [1] και εκμεταλλεύεται το νευροεπιστημονικό φαινόμενο Body transfer illusion. Το φαινόμενο αυτό, αναφέρεται στην ψευδαίσθηση πως μας ανήκει ένα σώμα (ή μέρος του) που δεν είναι δικό μας, και προκαλείται συνήθως με τη χρήση κατάλληλα σχεδιασμένων μεθόδων που βασίζονται στην προοπτική (visual perspective). Η φύση της ψευδαίσθησης την καθιστά κατάλληλη για χρήση σε ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας [123]. Σκοπός του project είναι να δώσει μια διαφορετική προοπτική στον χρήστη μέσα από τα ίδια του τα μάτια και τις αισθήσεις του, βάζοντας τον στη θέση ενός άλλου διαφορετικού ατόμου (διαφορετικό φύλο, διαφορετική ηλικία, άλλη φυλή) σε ένα διαδραστικό περιβάλλον. Έχει ήδη χρησιμοποιηθεί για πλήθος σκοπών, ένας από τους οποίους είναι και η βελτίωση της ενσυναίσθησης, ακόμα και της γνωστικής. Πέρα του έργου αυτού, υπάρχουν και πολλά άλλα [113, 14, 117] τα οποία αυξάνουν την αποτελεσματικότητα των μηχανών αυτών ενσυναίσθησης.

Κεφάλαιο 3

Σύστημα Αναγνώρισης Συναισθημάτων

Στο κεφάλαιο αυτό, αναφέρονται τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία σχεδίασης, εκπαίδευσης, και πειραματισμού του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων.

3.1 Πληροφορίες Εργαλείων

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακα 3.1) απαριθμούμε τα εργαλεία, APIs, γλώσσες προγραμματισμού, τις βιβλιοθήκες, καθώς και το βασικό υλικό (hardware) που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των αποτελεσμάτων.

Για την ανάπτυξη όλου του μέρους της αναγνώρισης συναισθημάτων, επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python (συγκεκριμένα η έκδοση που αναφέρετε στον πίνακα). Ο λόγος της επιλογής αυτής είναι η ευρεία χρήση της στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, με βιβλιοθήκες που επιτρέπουν ταχύ πειραματισμό με πληθώρα μοντέλων και παραμέτρων. Πέρα από την τεχνητή νοημοσύνη, παρέχει βιβλιοθήκες για αναγνώριση προσώπου και επεξεργασία εικόνας, που είναι απαραίτητα για την usecase μας.

Βασικό εργαλείο αποτέλεσε η βιβλιοθήκη Tensorflow, με την οποία υλοποιήθηκε το μοντέλο, τόσο στην σχεδίαση (αρχιτεκτονική) και εκπαίδευση του, όσο και στην πειραματική εκτίμηση του. Πέρα αυτής, χρησιμοποιήθηκαν και οι άλλες βιβλιοθήκες που αναφέρονται, σε πειραματικές δοκιμές που έκαναν χρήση διάφορων τεχνικών μηχανικής μάθησης που θα αναφερθούν παρακάτω πιο αναλυτικά.

Τα εργαλεία που αναφέρονται για την είσοδο της κάμερας, την επεξεργασία εικόνας και αναγνώρισης προσώπου θα αναλυθούν στην συνέχεια στο κατάλληλο κεφάλαιο.

Πίνακας 3.1: Πίνακας εργαλείων ανάπτυξης συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων.

Use	Tool
Language	Python 3.7
IDE	JetBrains PyCharm Professional 2020.2.3
Version Control	GitHub
CSV Editing	Pandas 1.2.3 ¹
ML API	Scikit-Learn 0.23.2 ²
DL APIs	Tensorflow 2.5.0 ³ & Keras 2.6.0 ⁴
Numerical Representation	NumPy 1.19.4 ⁵
Image Processing	Pillow 8.0.1 ⁶
Camera Capturing	OpenCV 4.4.0.46 ⁷
Face Detection	Dlib 19.21.0 ⁸
Face Position Extractor	imutils 0.5.3 ⁹
Graphics Processing Unit for Training	NVIDIA GeForce RTX 2070 SUPER
CUDA Toolkit Version	11.2.2
CuDNN Version	8.1.1
Executable Build	PyInstaller 4.5.1 ¹⁰

¹ <https://pandas.pydata.org/>² <https://scikit-learn.org/stable/>³ <https://www.tensorflow.org/>⁴ <https://keras.io/>⁵ <https://numpy.org/>⁶ <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/>⁷ <https://opencv.org/>⁸ <http://dlib.net/>⁹ <https://pypi.org/project/imutils/>¹⁰ <https://pyinstaller.readthedocs.io/en/stable/>

Κεφάλαιο 4

Πληροφορίες Dataset

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων (dataset) που χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του μοντέλου. Περιλαμβάνονται τα συναισθήματα που περιέχει, τα δείγματα (samples) ανά συναίσθημα, και την κατανομή τους στο σύνολο δεδομένων (dataset). Τέλος, παρουσιάζουμε τον τύπο εικόνας των δειγμάτων, και τα χαρακτηριστικά (features) που εξάγονται από αυτές. Για λόγους σαφήνειας, τα συναισθήματα θα αναφέρονται στην αγγλική γλώσσα από εδώ και πέρα.

4.1 Παρόντα Συναισθήματα

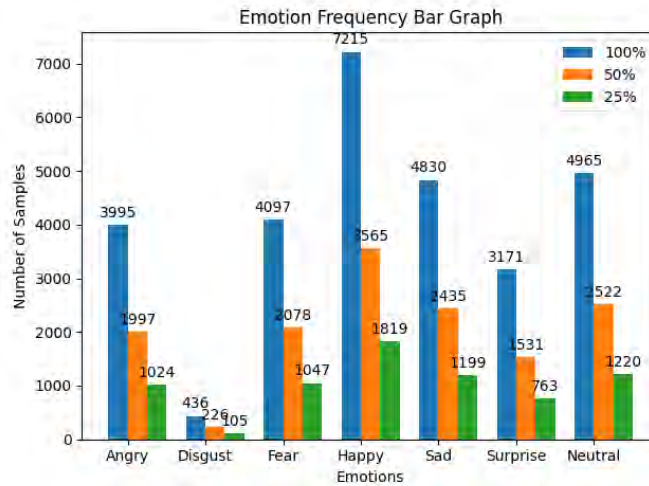
Τα συναισθήματα που περιέχονται σε αυτό το dataset είναι:

- Anger
- Disgust
- Fear
- Happiness
- Sadness
- Surprise
- Neutrality¹

4.2 Κατανομή Συναισθημάτων στο Dataset

Το γράφημα που ακολουθεί δείχνει την κατανομή των δειγμάτων για κάθε συναίσθημα που αναπαριστούν. Χωρίζουμε την ανάλυση σε τρεις περιπτώσεις, όπου περιλαμβάνουμε το 100%, το 50%, και το 25% του dataset.

¹Neutrality (ουδετερότητα) είναι ένα δύσκολο στον ορισμό συναίσθημα, κάτι που -όπως εξηγείται αργότερα στην εργασία αυτή- έχει ως αποτέλεσμα μικρή ακρίβεια στον εντοπισμό του.



Σχήμα 4.1: Γράφημα κατανομής του dataset.

Από το γράφημα γίνεται προφανές πως τα δείγματα **Disgust** είναι πολύ σπάνια. Γι' αυτόν τον λόγο, και την έλλειψη χρησιμότητας του στην περίπτωση χρήσης μας, δεν περιλαμβάνουμε αυτό το συναίσθημα στο μοντέλο μας. Κατά τ' άλλα, παρατηρούμε μια αρκετά ομοιόμορφη κατανομή των υπόλοιπων δειγμάτων.

4.3 Πληροφορίες Δειγμάτων & Χαρακτηριστικά

Το dataset παρέχεται στην μορφή ενός αρχείου .csv, το οποίο, για κάθε δείγμα, περιλαμβάνει τον αντίστοιχο δείκτη συναισθήματος (zero-based από 0 έως 6), και 2304 αμέριστε τιμές. Οι αμέριστε αυτές τιμές αντιπροσωπεύουν την 8-bit Grayscale τιμή κάθε pixel. Τα δείγματα στην περίπτωση μας είναι εικόνες ανάλυσης 48 * 48 pixel.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, έχουμε:

- **28709** samples
- **2304** features
- **7** max labels/classes

4.3.1 Παραδείγματα Εικόνων του Dataset

Ακολουθούν μερικές εικόνες που υπάρχουν μέσα στο dataset, προκειμένου να δοθεί μια ιδέα για το περιεχόμενό του.



Σχήμα 4.2: Εικόνες από το dataset.

4.4 Βελτίωση του Dataset με χρήση Upscaling

Για να βελτιωθεί η απόδοση του μοντέλου μας -τόσο στην εκπαίδευση όσο και στην πρόβλεψη- επεκτείνουμε τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων, μετατρέποντας την πληροφορία κάθε δείγματος σε ταυστή. Ο κάθε ταυστής είναι διαστάσεων $(150, 150, 3)$, που αντιστοιχεί σε εικόνες RGB (Red, Green, Blue) με ανάλυση 150×150 pixel. Η αλλαγή αυτή γίνεται με χρήση τεχνικών upscaling της βιβλιοθήκης Tensorflow, με την μετατροπή σε RGB από Grayscale να αντιστοιχεί στην αντιγραφή της Grayscale αμέραιας τιμής στις τρεις θέσεις RGB. Στην περίπτωση μας, η μέθοδος αυτή δεν προκαλεί κάποιο χάσιμο πληροφορίας, μιας και είναι πολύ χρησιμοποιούμενη τεχνική.

Ο λόγος που ακολουθούμε αυτή την διαδικασία, είναι η χρήση καλύτερων προπαιδευμένων βαρών (pre-trained weights) στην χρήση μεταφοράς μάθησης (Transfer Learning), και για παροχή μεγαλύτερου όγκου πληροφορίας στον σύστημα κατά την διάρκεια πρόβλεψης. Όσο μεγαλύτερη είναι η είσοδος στο μοντέλο, τόσο λιγότερη επεξεργασία χρειάζεται να κάνουμε στις εικόνες που λαμβάνουμε από την κάμερα. Το μέγεθος διαλέχτηκε προσεκτικά ώστε να πετύχουμε βελτίωση στην απόδοση, χωρίς να φτάσουμε ένα απαγορευτικά μεγάλο πλήθος παραμέτρων στο νευρωνικό δίκτυο.

Η τακτική μεταφοράς μάθησης θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

4.5 Πηγή του Dataset

Το dataset που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή, προέρχεται από την ιστοσελίδα Kaggle, από τον συγγραφέα Rohit Verma². Παρέχεται ως συμπιεσμένο αρχείο, με μέγεθος 287.13 MB.

²<https://www.kaggle.com/deadskull17>

Κεφάλαιο 5

Περιγραφή Μοντέλου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο τύπος του νευρωνικού μοντέλου, η αρχιτεκτονική του, καθώς και τα αποτελέσματα του. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως έγιναν δοκιμές με πολλούς τύπους μοντέλων, όπως SVMs, KNN, καθώς και MLPCs¹, προτού καταλήξουμε στο τελικό. Παρ' όλ' αυτά, στην εργασία αυτή κάνουμε λόγο αναλυτικά μόνο για το τελικό αποτέλεσμα.

5.1 Πειραματισμός με Ποικίλων Τύπων Τεχνητής Νοημοσύνης, πριν το Τελικό Αποτέλεσμα

Στην ενότητα αυτή, κάνουμε μια μικρή μη λεπτομερή αναφορά στους τύπους μηχανικής μάθησης και (βαθιάς μάθησης) που με τους οποίους πειραματιστήκαμε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής. Για να καταλήξουμε σε μεθόδους και αρχιτεκτονικές βαθιάς μάθησης, ξεκινήσαμε από βασικές μορφές μηχανικής μάθησης. Για κάθε μία από τις τεχνικές αυτές, εκτελέσαμε τη διαδικασία εκπαίδευσης στο ίδιο dataset, και με πολλές διαφορετικές παραμέτρους. Στη συνέχεια δίνονται ανά μέθοδο τα αποτελέσματα και παρατηρήσεις που ίσως έχουν ενδιαφέρον στα πλαίσια της επεξήγησης του μοντέλου του τελικού αποτελέσματος.

5.1.1 Αλγόριθμος K - Πλησιέστερων Γειτόνων

Ο αλγόριθμος KNN είναι η πρώτη μέθοδος που δοκιμάσαμε στο πείραμα μας. Η φύση του είναι μην παραμετρική (νον-παραμετρικς), και επιβλεπόμενης μάθησης (supervised learning). Για την εκπαίδευση και την αξιολόγηση του χρησιμοποιήθηκε η δομή **KNeighborsClassifier()** της βιβλιοθήκης Scikit-Learn. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήσαμε ήταν:

- Τέσσερις Γείτονες (**n_neighbors=4**)
- Βάρη Απόστασης (**weights='distance'**)
- Αριθμός *Jobs* υπολογισμού ίσος με όλους τους διαθέσιμους πυρήνες επεξεργασίας (**n_jobs=-1**)

¹Multilayer Perceptron

Τα αποτελέσματα δεν ήταν καλά, όπως και θα περίμενε κανείς από μία τόσο απλή λύση για ένα τόσο πολύπλοκο πρόβλημα. Έτσι, η μέθοδος KNN γρήγορα απορρίφθηκε.

5.1.2 Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης

Το δεύτερο μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε ήταν πάλι επιβλεπόμενης μάθησης, τα λεγόμενα Support-Vector Machines. Το συγκεκριμένο μοντέλο παρόλο που είναι σχετικά απλό, είναι σίγουρα πιο ικανό για την εργασία που του αναθέτουμε. Για άλλη μια φορά, έγινε χρήση της βιβλιοθήκης Scikit-Learn, με τη δομή `svm.SVC()`. Η συγκεκριμένη δομή βασίζεται στο μοντέλο C-Support Vector Classification, όπου 'C' η παράμετρος που ελέγχει τον βαθμό Regularization του μοντέλου. Συγκεκριμένα, η παράμετρος 'C' είναι πάντα θετική, και αντιστρόφως ανάλογο του Regularization. Οι παράμετροι της εκπαίδευσης ήταν:

- Βαθμός Regularization ίσως με τη μονάδα (**C=1.0**)
- Πυρήνας (Kernel) του αλγορίθμου ο πυρήνας πολυωνύμου (**kernel='poly'**)

Η βελτίωση των αποτελεσμάτων από εκείνα παραγόμενα από το KNN ήταν μηδαμινή.

5.1.3 Πολυεπίπεδο Perceptron

Το τελευταίο μοντέλο προτού προχωρήσουμε στη βαθιά μάθηση και στα CNN, είναι το λεγόμενο Multilayer Perceptron Classifier. Έχουμε πια ξεφύγει από τα μοντέλα επιβλεπόμενης μάθησης, και ερχόμαστε στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN), και συγκεκριμένα σε δίκτυα τύπου feedforward. Πειραματιστήκαμε με δύο διαφορετικές υλοποιήσεις του μοντέλου, κάνοντας χρήση της βιβλιοθήκης Scikit-Learn με τη δομή `MLPClassifier()`, και της βιβλιοθήκης Tensorflow με τη δομή `Sequential()`.

Για την πρώτη υλοποίηση έχουμε τις εξής παραμέτρους:

- Πλήθος νευρώνων στο κρυφό επίπεδο (hidden layer) ίσο με εκατό (**hidden_layer_sizes=100**)
- Ο Adam ως Solver για τη βελτιστοποίηση των βαρών
- Μέγιστο πλήθος επαναλήψεων (για σύγκλιση) ίσο με διακόσια (**max_iter=200**)
- Συνάρτηση Ενεργοποίησης (Activation Function) η συνάρτηση Rectifier γνωστή και ως Rectified Linear Unit (**activation='relu'**).

Τα αποτελέσματα ήταν σαφώς καλύτερα από τα προηγούμενα μοντέλα, αλλά το ποσοστό ακρίβεια έμενε κοντά στο 48% με 50%, κάτι που δεν ήταν προφανώς επαρκές.

Για την υλοποίηση με χρήση της βιβλιοθήκης Tensorflow, το δίκτυο κατασκευάστηκε εξ αρχής με τη δική μας *custom* αρχιτεκτονική. Πιο αναλυτικά, έχουμε τα εξής επίπεδα και παραμέτρους:

- Ξεκινάμε με ένα Dense Layer μεγέθους 1024, με συνάρτηση ενεργοποίησης τη Rectifier

- Το επόμενο επίπεδο έχει την ίδια συνάρτηση ενεργοποίησης, και είναι Dense Layer μεγέθους 512
- Το τελικό επίπεδο έχει προφανώς μέγεθος 7 (επτά συναισθήματα στο dataset), και είναι πάλι Dense Layer
- Στη διαδικασία compile του μοντέλου, χρησιμοποιούμε την τεχνική Sparse Categorical Crossentropy για loss
- Ως τεχνική βελτιστοποίησης, χρησιμοποιείται η Stochastic Gradient Descent (SGD), με ρυθμό μάθησης (learning rate) ίσο με 0.001
- Το batch size ήταν 64
- Χρησιμοποιήθηκαν 15 εποχές (epochs) εκπαίδευσης

Δυστυχώς, η ακρίβεια του μοντέλου δε βελτιώθηκε επαρκώς, με μέγιστη τιμή 55%.

Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με υπάρχουσα βιβλιογραφία και παρόμοια δουλειά, μας οδήγησαν στη χρήση των μοντέλων Convolutional Neural Networks (CNN), και τελικά στη συνένωση τους με την τεχνική Transfer Learning.

5.2 Επιλογή της Κάμερας ως Αισθητήρα

Ο λόγος που κάναμε την επιλογή της κάμερας ως αισθητήρα ΑΕΕ, είναι πως, πέρα από το γεγονός πως διευκολύνει τη διαδικασία του πειράματος αφού ο συμμετέχοντας χρήστης δε χρειάζεται κάποια εξειδικευμένη συσκευή, εξασφαλίζεται η άνεση του χρήστη από αισθητήρες που απαιτούν κάποιου είδους επαφή, και αναπόφευκτα μειώνουν το επίπεδο άνεσης του και κατ' επέκταση την ποιότητα της εμπειρίας. Ταυτόχρονα, έχει ενδιαφέρον το πεδίο της ΑΕΕ με χρήση κάμερας, και είναι κάτι που -σύμφωνα με τη γνώση του συγγραφέα- δεν έχει χρησιμοποιηθεί ξανά σε αυτή την περίπτωση χρήσης. Τέλος, έχει ίσως αξία να αναφέρουμε πόσο εύκολο είναι να εγκαταστήσει κάποιος στον δικό του χώρο του σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων που υλοποιήθηκε, αφού έχει αρκετές εναλλακτικές για συσκευή κάμερας (π.χ. χρήση κάμερας «έξυπνου» κινητού τηλεφώνου μέσω ειδικού δωρεάν λογισμικού), απλή εγκατάσταση, και πολύ μικρό υπολογιστικό κόστος.

5.3 Προετοιμασία Εισόδων στην Εκπαίδευση

Προτού τροφοδοτήσουμε τις εισόδους στο μοντέλο, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

1. Αρχικά, μετατρέπουμε την είσοδο στην μορφή που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, καταλήγοντας στην δομή ταχυστή διαστάσεων (48, 48, 3).
2. Επεκτείνουμε τις εισόδους σε ταχυστές διαστάσεων (150, 150, 3), κάνοντας χρήση της συνάρτησης `tf.image.resize` της Tensorflow.

3. Στην συνέχεια, χρησιμοποιούμε τεχνικές Augmentation πάνω στα δεδομένα, εφαρμόζοντας μικρές αλλαγές σε μερικές εικόνες εισόδου, ώστε να αυξήσουμε τις διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στις εικόνες. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζουμε οριζόντιο καθρέφτισμα, και περιστροφή 0.1 μοιρών σε τυχαίες εικόνες. Οι αλλαγές αυτές γίνονται σε ένα επίπεδο του μοντέλου.
4. Τέλος, τις κανονικοποιούμε χρησιμοποιώντας ένα επίπεδο κανονικοποίησης (Normalization Layer) στο μοντέλο.

Σημειώνουμε πως όλες οι δομές που περιγράφονται παραπάνω υλοποιούνται με την χρήση της βιβλιοθήκης NumPy της Python. Για παράδειγμα ο τανυστής διαστάσεων (150, 150, 3) είναι μια δομή array σχήματος (150, 150, 3).

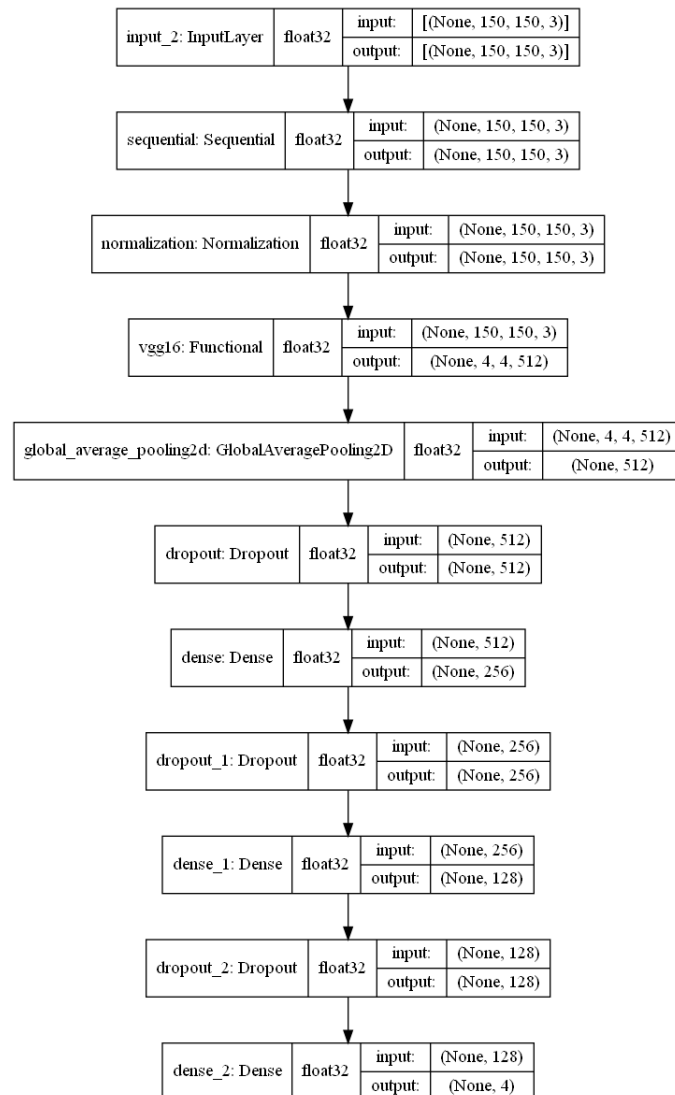
5.4 Αρχιτεκτονική - Δομή Μοντέλου

Μετά από πειράματα, καταλήξαμε σε νευρωνικό δίκτυο τύπου CNN². Δίκτυα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στην εποχή μας σε συστήματα που έχουν ως είσοδο εικόνες, και έχουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για καλύτερη απόδοση, δανειζόμαστε προεκπαιδευμένα βάρη από το μοντέλο VGG16 [120].

Πιο συγκεκριμένα, τοποθετούμε ως υψηλότερο επίπεδο στην αρχιτεκτονική μας τα βάρη imagenet του VGG16 που έχουν μέγεθος εισόδου (150, 150, 3). Αυτό είναι και το λεγόμενο επίπεδο εισόδου του νευρωνικού μας δικτύου.

Σε αυτό το σημείο παρουσιάζουμε την σχηματική αναπαράσταση του τελικού μοντέλου:

²Convolutional Neural Network



Σχήμα 5.1: Αρχιτεκτονική μοντέλου.

5.5 Σύνοψη Μοντέλου

Ακολουθεί η εκτύπωση της σύνοψης του μοντέλου (πίνακας 5.1), όπου φαίνονται όλοι οι παράμετροι του:

Πίνακας 5.1: Πίνακας σύνοψης παραμέτρων μοντέλου.

Layer (type)	Output Shape	Param #
input_2 (InputLayer)	[(None, 150, 150, 3)]	0
sequential (Sequential)	(None, 150, 150, 3)	0
normalization	(Normalization (None, 150, 150, 3))	7
vgg16 (Functional)	(None, 4, 4, 512)	14714688
global_average_pooling2d	(GI (None, 512))	0
dropout (Dropout)	(None, 512)	0
dense (Dense)	(None, 256)	131328
dropout_1 (Dropout)	(None, 256)	0
dense_1 (Dense)	(None, 128)	32896
dropout_2 (Dropout)	(None, 128)	0
dense_2 (Dense)	(None, 4)	516
Total params: 14,879,435		
Trainable params: 14,879,428		
Non-trainable params: 7		

5.6 Αποτελέσματα του Μοντέλου

Έχοντας παρουσιάσει την αρχιτεκτονική του μοντέλου, προχωράμε σε μια σύντομη ανασκόπηση των αποτελεσμάτων του (πίνακας 5.2).

Καταλήξαμε σε ένα μοντέλο με τρεις κλάσεις, που παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα μαζί με τον δείκτη τους (index) και την ονομασία τους στην αγγλική γλώσσα, μιας και το σύστημα χρησιμοποιεί αγγλικούς όρους:

Πίνακας 5.2: Πίνακας αποτελεσμάτων μοντέλου.

Δείκτης Κλάσης	Συναίσθημα	Αγγλική Ονομασία
0	Θυμωμένος	Angry
1	Στεναχωρημένος	Sad
2	Έκπληκτος	Surprised
3	Χαρούμενος	Happy

Στη συνέχεια αποτυπώνουμε την ακρίβεια του μοντέλου ανά συναίσθημα (πίνακας 5.3). Αυτό μας βοηθάει να αποφασίσουμε ποια συναισθήματα είναι προτιμότερο να χρησιμοποιήσουμε στο παιχνίδι μας.

Πίνακας 5.3: Πίνακας πρόβλεψης ανά συναίσθημα.

Μετρική	Τιμή	Ποσοστό
Ακρίβεια κατά την Εκπαίδευση	–	81.86%
Ακρίβεια κατά τον Εξωτερικό Έλεγχο	–	85.409401%
Ακρίβεια Happy	6697 από 7215 σωστά	92.820512%
Ακρίβεια Sad	4210 από 4830 σωστά	87.163561%
Ακρίβεια Angry	2728 από 3995 σωστά	68.285356%
Ακρίβεια Surprised	2773 από 3171 σωστά	87.448754%

Βλέπουμε πως τα καλύτερα αποτελέσματα σχετίζονται με τα συναισθήματα Happy, Surprised, και Sad. Όμως οι εικόνες στις οποίες εκπαιδεύτηκε το μοντέλο παρουσιάζουν μια ακραία έκφραση των συναισθημάτων Surprised και Angry, κάτι που στην δική μας περίπτωση δεν θα ισχύει απαραίτητα. Όπως θα δούμε παρακάτω, η διακριτική φύση (subtlety) των εκφράσεων του χρήστη καθώς παίζει το παιχνίδι μειώνει την ακρίβεια των προβλέψεων στα αυτά τα δύο συναισθήματα.

5.7 Προτεινόμενη Λύση στο Πρόβλημα του Πραγματικού Κόσμου

Για να λυθεί το πρόβλημα που αναφέρθηκε παραπάνω, χρειαζόμαστε ένα μοντέλο εκπαιδευμένο σε δεδομένα όσο πιο κοντά γίνεται στα πραγματικά. Δηλαδή, θέλουμε ένα dataset,

το οποίο να περιέχει εκφράσεις διακριτικού τύπου, όπως θα περίμενε κανείς από κάποιον που χειρίζεται έναν υπολογιστή.

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής, η δημιουργία ένα τέτοιου dataset δεν ήταν δυνατή λόγω φόρτου εργασίας, και δεν βρέθηκε κάποιο ανάλογο που να ήταν δωρεάν.

Κεφάλαιο 6

Υλοποίηση Συστήματος Κάμερας Αναγνώρισης Συναισθημάτων

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η υλοποίηση του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων, που με την χρήση κάμερας προβλέπει το συναίσθημα του χρήστη με το μοντέλο που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, και ετοιμάζει το αποτέλεσμα για χρήση στο παιχνίδι. Θα εξηγηθεί λεπτομερώς η διαδικασία (pipeline) που ακολουθεί το σύστημα βήμα προς βήμα, και στο τέλος θα δοθεί ένα παράδειγμα εκτέλεσης μαζί με εικόνες - αποτελέσματα σε κάθε βήμα.

6.1 Λεπτομέρειες υλοποίησης

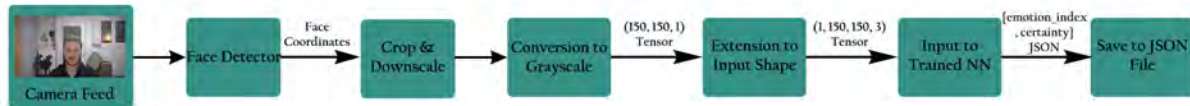
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα βήματα που εκτελεί το σύστημα. Καθένα από αυτά περιγράφεται με λεπτομέρεια στην αντίστοιχη υποενότητα. Τα βήματα είναι τα εξής:

1. Φόρτωση εκπαιδευμένου μοντέλου.
2. Διάβασμα εικόνας από την κάμερα.
3. Εντοπισμός προσώπου.
4. Εξαγωγή συντεταγμένων θέσεις προσώπου.
5. Κόψιμο της εικόνας γύρω από το πρόσωπο.
6. Μείωση του μεγέθους της εικόνας σε ανάλυση 150 * 150 pixel.
7. Μετατροπή από RGB σε Grayscale.
8. Μετατροπή δεδομένων σε δομή σχήματος (1, 150, 150, 3).¹
9. Εισαγωγή στο μοντέλο, και πρόβλεψη συναισθήματος μαζί με ποσοστό σιγουριάς (Certainty).

¹Το 1 στην αρχή χρειάζεται επειδή το μοντέλο παίρνει ως είσοδο **λίστα** δεδομένων τύπου (150, 150, 3)

10. Εγγραφή των παραπάνω σε ένα JSON² αρχείο.

Η παραπάνω διαδικασία φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί ως pipeline:



Σχήμα 6.1: Σχήμα εκτέλεσης του Συστήματος Αναγνώρισης Συναισθημάτων.

6.1.1 Διάβασμα από την Ροή της Κάμερας

Το διάβασμα από την κάμερα πραγματοποιείται στην μέγιστη δυνατή ανάλυση (π.χ. 1920*1080) και σε μορφή RGB, με τη χρήση της βιβλιοθήκης OpenCV. Τα δεδομένα εικόνas αποθηκεύονται σε μια μεταβλητή *frame*. Αυτό γίνεται κάθε οκτώ (8) δευτερόλεπτα για λόγους απόδοσης.

6.1.2 Εντοπισμός Προσώπου

Για τον εντοπισμό προσώπου χρησιμοποιούμε το εργαλείο *frontal_face_detector* της βιβλιοθήκης Dlib, με είσοδο τη μεταβλητή *frame*.

Για καλύτερη απόδοση, επιλέγουμε να μην τρέχουμε την διαδικασία εντοπισμού σε κάθε εικόνα προς επεξεργασία. Οπότε, την πρώτη φορά που τρέξει το πρόγραμμα κάνουμε χρήση του εντοπισμού προσώπου, καθώς και μετά από 5 διαδοχικές προβλέψεις.

Σε περίπτωση που το σύστημα αποτύχει στον εντοπισμό προσώπου η πληροφορία αυτή θα περαστεί στο αρχείο JSON μαζί με κατάλληλα μην έγκυρα αποτελέσματα πρόβλεψης, και θα συνεχίζει επαναληπτικά να βρει εντοπίσει πρόσωπο. Αντίστοιχα, σε περίπτωση επιτυχημένου εντοπισμού προσώπου, η πληροφορία αυτή θα περαστεί στο αρχείο, μαζί με έγκυρα αποτελέσματα πρόβλεψης. Αυτή η διαδικασία θα εξηγηθεί καλύτερα στην υποενότητα που αφορά το τελικό αρχείο.

²JavaScript Object Notation

6.1.3 Εξαγωγή Συντεταγμένων Προσώπου

Έχοντας εντοπίσει πρόσωπο, θέλουμε να εξάγουμε τις συντεταγμένες όπου αυτό βρίσκεται στην εικόνα. Χρησιμοποιούμε την συνάρτηση `face_utils.rect_to_bb()` της βιβλιοθήκης `imutils`. Το αποτέλεσμα είναι μια ένα σύνολο μεταβλητών (x, y, w, h) με της δύο πρώτες να αποτελούν τις συντεταγμένες του κεντροειδούς ενός ορθογωνίου ύψους h και μήκους w . Το ορθογώνιο αυτό περιλαμβάνει όσο πιο τέλεια γίνεται το πρόσωπο.

6.1.4 Κόψιμο της Εικόνας

Για να κρατήσουμε όσο το δυνατόν λιγότερα δεδομένα χωρίς να χάσουμε καθόλου πληροφορία, κόβουμε (`crop`) την εικόνα γύρω από το ορθογώνιο που περιγράφει η προηγούμενη υποενότητα. Τα δεδομένα που κρατάμε αποθηκεύονται σε μια μεταβλητή `cropped_frame`, και υπολογίζονται κρατώντας συγκεκριμένο κομμάτι της μεταβλητής `frame` ως εξής: `frame[(y - floor(w / 2)):(y + w), x:(x + h)]`.

6.1.5 Μείωση του Μεγέθους της Εικόνας

Έχοντας μικρύνει την εικόνα όσο περισσότερο γίνεται και έχοντας ταυτόχρονα εστιάσει στο πρόσωπο, που είναι και η πληροφορία που μας ενδιαφέρει να περάσουμε στο μοντέλο, πρέπει να μετασχηματίσουμε την ανάλυση της εικόνας σε αυτή που περιμένει να λάβει το μοντέλο. Επομένως, την μετατρέπουμε σε ανάλυση $150 * 150$ pixel, κάνοντας χρήση της συνάρτησης `resize()` της βιβλιοθήκης `OpenCV`, με παρεμβολή τύπου `INTER_AREA` της ίδιας βιβλιοθήκης. Αναλυτικότερα, η εντολή είναι: `cv2.resize(cropped_frame, (150, 150), interpolation=cv2.INTER_AREA)`.

6.1.6 Μετατροπή σε Grayscale

Όπως επεξηγήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, θέλουμε το μοντέλο μας να λάβει δεδομένα όπου κάθε pixel έχει μία τιμή (ή τρεις ίδιες). Επομένως, θέλουμε να μετατρέψουμε τη -μέχρι στιγμής- RGB εικόνα σε Grayscale. Με τη βοήθεια της συνάρτησης `cvtColor()` της `OpenCV` πετυχαίνουμε ακριβώς αυτό: `final_frame = cv2.cvtColor(final_frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)`. Η μεταβλητή `final_frame` περιέχει πια επακριβώς τα δεδομένα που χρειαζόμαστε.

6.1.7 Μετατροπή Δεδομένων στο Κατάλληλο Σχήμα

Παρόλο που έχουμε στη διάθεση μας τα ζητούμενα δεδομένα, η είσοδος του μοντέλου απαιτείται να ακολουθεί συγκεκριμένη μορφή. Για αυτόν τον λόγο, μετατρέπουμε τη μεταβλητή `final_frame` σε σχήμα $(1, 150, 150, 3)$. Πρώτα, χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση `reshape()` της βιβλιοθήκης `NumPy` για να μετατρέψουμε τα δεδομένα σε δομή $150 * 150$. Έπειτα, χρησιμοποιούμε τη δική μας συνάρτηση `reformatData()`, η οποία αντιγράφει την Grayscale τιμή κάθε pixel σε τρεις συνολικά θέσεις. Θυμίζουμε πως θέλουμε μορφή 3 τιμών ανά pixel.

Τέλος, μετατρέπουμε τα δεδομένα στην τελική μορφή τανυστή σχήματος (1, 150, 150, 3) με την συνάρτηση `reshape`: `final_frame = final_frame.reshape(1, 150, 150, 3)`.

6.1.8 Τροφοδοσία στο Μοντέλο

Θέτουμε ως είσοδο τη μεταβλητή **φιναλ_φραμε** στο μοντέλο, και παίρνουμε ως έξοδο την τιμή δείκτη του συναισθήματος που προβλέφτηκε, καθώς και το ποσοστό σιγουριάς. Μετατρέπουμε -για καλύτερη αναγνωσιμότητα- την τιμή δείκτη στο αντίστοιχο όνομα του συναισθήματος και τα αποθηκεύουμε σε ένα αρχείο κειμένου μαζί με ένα timestamp. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της δική μας συνάρτησης `calcEmotion()`.

Συνάρτηση `calcEmotion()`

Η συνάρτηση αυτή μετατρέπει τα δεδομένα σε κατάλληλη μορφή (format) για την αποθήκευση σε αρχείο κειμένου, και περιέχει λειτουργικότητα για επεξεργασία πολλαπλών προβλέψεων ταυτόχρονα (δε χρησιμοποιείται στην περίπτωση μας). Τέλος, καλεί και τη συνάρτηση `buildJSON()` που αναφέρεται στην υποενότητα που ακολουθεί.

6.1.9 Εγγραφή Αποτελέσματος σε Αρχείο JSON

Για την αποθήκευση με σκοπό τη χρήση του αποτελέσματος, επιλέγουμε ένα αρχείο JSON της μορφής `"Emotion": [{"emotion": "Happy", "certainty": "0.0", "face_detected": 0}]`, όπου η παράμετρος `face_detected` παίρνει τιμή μονάδας (1) όταν ο εντοπισμός προσώπου ήταν επιτυχής, και μηδενικού (0) αλλιώς. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση της δική μας συνάρτησης `buildJSON()`.

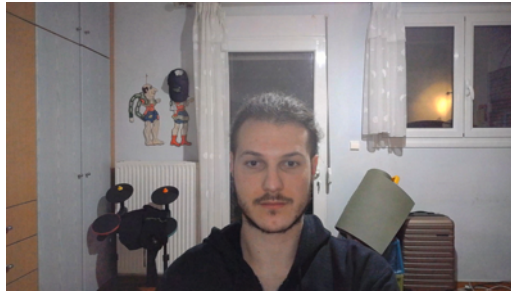
Συνάρτηση `buildJSON()`

Έχει παραμέτρους `pred_emotion` που είναι ο δείκτης του συναισθήματος που προβλέφτηκε, `certainty` που είναι το ποσοστό σιγουριάς της πρόβλεψης, και `f_detected`, που αναπαριστά το αν εντοπίστηκε πρόσωπο όπως αναφέρεται παραπάνω. Σε περίπτωση που δεν έχουμε εντοπισμό προσώπου, το `"Emotion"` παίρνει την τιμή `"Invalid"`, και το `"Certainty"` την τιμή `"0.0"`. Η συνάρτηση μορφοποιεί τα δεδομένα στο σχήμα ενός JSON Object μορφής `"Emotion": [{"emotion": "Happy", "certainty": "0.0", "face_detected": 0}]`, και εκτελεί εγγραφή σε ένα αρχείο με όνομα `json_results.json`. Αυτό είναι και το αρχείο που διαβάζει το παιχνίδι για να μάθει το παρόν συναίσθημα.

6.2 Παράδειγμα Εκτέλεσης του Συστήματος

Ακολουθεί ένα παράδειγμα εκτέλεσης βήμα προς βήμα με εικόνες - αποτελέσματα.

- Αρχική εικόνα:
- Κομμένη Εικόνα γύρω από το Πρόσωπο:

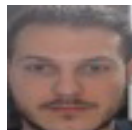


Σχήμα 6.2: Input Frame.



Σχήμα 6.3: Cropped Frame.

- Εικόνα στη Ζητούμενη Ανάλυση:



Σχήμα 6.4: Downscaled Frame.

- Grayscale Εικόνα που τροφοδοτείται στο Μοντέλο:



Σχήμα 6.5: Grayscale Frame.

Κεφάλαιο 7

Περιγραφή Παιχνιδιού

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή του παιχνιδιού που υλοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής. Το παιχνίδι σχεδιάστηκε ώστε να κάνει πλήρη χρήση της νέας εισόδου που προσφέρει η αναγνώριση συναισθήματος, όπως αυτή περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Ακολουθεί περιγραφή της ιδέας πίσω από τη σχεδίαση, παρουσίαση των βασικών μηχανισμών που συναντάει ο παίκτης στο παιχνίδι, καθώς και ανάλυση των τρόπων με τους οποίους το παιχνίδι επηρεάζεται από το συναίσθημα. Έχει αξία να σημειώσουμε εδώ, πως παρόλο που συμπεριλαμβάνονται όλα τα φύλα στην έννοια *player*, για ευκολία και μόνο γίνεται χρήση του όρου *παίκτης*.

7.1 Σχεδίαση Παιχνιδιού

Όπως έχουμε επανειλημμένα αναφέρει, ο σκοπός του παιχνιδιού είναι να αναδείξει την χρησιμότητα της νέας εισόδου που περιγράψαμε. Αυτός είναι και ο λόγος που η σχεδίαση του, από την αρχή μέχρι το τέλος, έχει βασιστεί στην εύρεση -και υλοποίηση- όσο το δυνατό περισσότερων διαφορετικών μεθόδων για τη χρησιμοποίηση της.

Για να πετύχουμε αυτή την ποικιλία μεθόδων, έπρεπε πρώτα να κατευθυνθούμε σε ένα είδος παιχνιδιού που θα μας προσέφερε τη μέγιστη ελευθερία στη σχεδίαση. Το είδος που προκρίναμε δανείζεται από την ιδέα του δωματίου διαφυγής (*escape room*), και είναι μία ανάμειξη εξερεύνησης χώρου, διήγησης ιστορίας, και λύσης γρίφων σε τρισδιάστατο χώρο και προοπτικής πρώτου προσώπου¹. Με την επιλογή αυτή, ο παίκτης «βυθίζεται» στο παιχνίδι ώστε να βρει τις πληροφορίες που θα τον βοηθήσουν να λύσει τους γρίφους που συναντάει, και έτσι να προχωρήσει στον επόμενο χώρο. Ταυτόχρονα, ο παίκτης νιώθει μια μοναδική ικανοποίηση που προσφέρει η επίλυση ενός μυστηρίου. Από την άλλη, οι νέες ιστορίες που δίνονται στον παίκτη σε διάφορες μορφές, αποτελούν ένα ακόμα ερέθισμα που μπορεί με τη σειρά του να προκαλέσει διαφορετικές αντιδράσεις ανά παίκτη.

Όλα όσα αναφέρθηκαν έχουν απώτερο σκοπό να φέρουν στην επιφάνεια το συναίσθημα του χρήστη, ώστε το παιχνίδι εκτός από «παρατηρητής» της συναισθηματικής κατάστασης του παίκτη, να γίνει και πηγή επιρροής της.

¹Ο παίκτης βλέπει από τα μάτια του χαρακτήρα.

7.1.1 Λαμβάνοντας Υπόψη τον Ρόλο των Μηχανών Ενσυναίσθησης στη Σχεδίαση

Προτού συνεχίσουμε με την ανάλυση της σχεδίασης και της υλοποίησης του παιχνιδιού μας, έχει αξία να σταθούμε για λίγο στο κομμάτι που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της βιβλιογραφία ως «Ψηφιακές Μηχανές Ενσυναίσθησης». Συγκεκριμένα, αξίζει να αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο η έννοια αυτή επηρέασε τη διαδικασία της ανάπτυξης του παιχνιδιού από τα πολύ αρχικά στάδια του «καταιγισμού ιδεών», μέχρι και το τελικό αποτέλεσμα. Υπενθυμίζουμε πως όταν μιλάμε για «Μηχανές Ενσυναίσθηση», εννοούμε τύπους οντοτήτων ικανές να προσφέρουν εμπειρίες με χαρακτηριστικά που έχουν ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της ικανότητας ενός χρήστη να συμπάσχει.

Από την αρχή της σύλληψης του θέματος της διπλωματικής, μοιράστηκαν πολλές ιδέες για τον τρόπο που το παιχνίδι θα μπορούσε να αντιδρά σε κάθε συναίσθημα. Οι πιο βασικές μέθοδοι αφορούσαν τον εντοπισμό του συναισθήματος του θυμού, και την επίδραση του σε παραμέτρους των μηχανισμών του παιχνιδιού. Ένα προφανές παράδειγμα είναι η τροποποίηση της δυσκολίας του παιχνιδιού. Ο παίκτης, στην περίπτωση που δεν έχει την επιτυχία που αναμένει στο παιχνίδι (επαναλαμβανόμενη αποτυχία σε κάποιο «επίπεδο», «εξάλειψη» του χαρακτήρα από εχθρούς), θυμώνει (εντοπισμός θυμού από το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων), με αποτέλεσμα το παιχνίδι να μειώνει -σε κάποιον βαθμό- τη δυσκολία του. Εδώ, ο σκοπός της σχεδίασης είναι η παραμετροποίηση του παιχνιδιού στα «μέτρα» του κάθε παίκτη, ώστε να μεγιστοποιηθεί (θεωρητικά τουλάχιστον) η ικανοποίηση και η διασκέδαση. Τονίζουμε, πως για να επιτευχθεί αυτό, γίνεται προσπάθεια εξάλειψης του συναισθήματος του θυμού που μπορεί να παρουσιάσει ο παίκτης κατά τη διάρκεια του *playthrough*. Δηλαδή, το συναίσθημα που εντοπίζουμε είναι και αυτό που θέλουμε να μην έχει ο παίκτης. Με λίγα λόγια, αντί να ταυτίζουμε ένα μέρος του παιχνιδιού με τη συναισθηματική κατάσταση του παίκτη, το παιχνίδι αποσκοπεί να αλλάξει την κατάσταση αυτή του παίκτη. Άλλα προβλήματα αυτής της σχεδίασης είναι το γεγονός πως δε γίνεται χρήση πολλαπλών συναισθημάτων, παρά μόνο του θυμού, και πως ταιριάζει μόνο στην περίπτωση ενός παιχνιδιού που έχει σχεδιαστεί γύρω από την ύπαρξη ενός είδους πρόκλησης (*challenge based design*). Προφανώς, δε γίνεται με κανέναν τρόπο χρήση της έννοιας της ενσυναίσθησης.

Μία τελείως διαφορετική ιδέα από την προηγούμενη, είναι η ανάπτυξη ενός παιχνιδιού τρόμου. Πράγματι, το συναίσθημα του φόβου είναι από τα πιο βασικά ανθρώπινα συναισθήματα, και σχετίζεται άμεσα με μηχανισμούς επιβίωσης (*fight-or-flight response*), γεγονός που το κάνει ενδιαφέρον υποψήφιο για χρήση σε *adaptive* παιχνίδι. Σε ένα παιχνίδι του είδους, σκοπός (πρωτεύων ή δευτερεύων) της σχεδίασης είναι να προκαλέσει φόβο στον παίκτη με μια σειρά από «εργαλεία», όπως ανατριχιαστική ατμόσφαιρα (μουσική, χαμηλός φωτισμός), τρομαχτικές εικόνες (στοιχεία ταινίας τρόμου), και -εκεί που πρωτοτυπούν τα παιχνίδια σε σχέση με άλλες μορφές τρόμου- με κυνηγητό του παίκτη (*chase sequences*). Είναι πασιφανές, πως το συναίσθημα που στοχεύουμε να εντοπίσουμε με το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων είναι ο φόβος. Εδώ είναι και το σημείο που η ιδέα χάνει την αξία της, με το ερώτημα: «ποιος ο σκοπός της αναγνώρισης του φόβου, σε ένα παιχνίδι τρόμου;». Όταν ο σκοπός του

παιχνιδιού είναι να τρομάζει τον παίκτη, τι αξία έχει ο εντοπισμός του; Αν επιλεγεί σχεδίαση που να μειώνει τα επίπεδα τρόμου σε περίπτωση που εντοπιστεί φόβος, υποβιβάζεται το νόημα του παιχνιδιού. Από την άλλη, σε περίπτωση που δεν εντοπιστεί φόβος, έχει ίσως σημασία να αυξηθούν τα επίπεδα τρόμου του παιχνιδιού, έως ότου αυτός εντοπιστεί, κάτι που για την έρευνα που έχουμε επιλέξει να διεξάγουμε δεν είναι όμως αρκετό. Φυσικά, θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς, πως ο εντοπισμός του φόβου αποτελεί έναν πρωτότυπο τρόπο να αξιολογηθεί η ποιότητα -και εντέλει η αποτελεσματικότητά- του τρόμου του παιχνιδιού. Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής, δεν είναι αυτός ο σκοπός μας, μιας και -όπως και προηγουμένως- η σχεδίαση αυτή περιορίζει την έρευνα σε ένα μόνο συναίσθημα. Βεβαίως, πάλι δεν λαμβάνει χώρα η έννοια της ενσυναίσθησης στο παιχνίδι.

Και στις δύο περιπτώσεις που έχουμε μέχρι τώρα αναφέρει, έχουμε εξ ορισμού περιορισμό σε ένα μόνο συναίσθημα και λειτουργία που, μόλις αυτό το συναίσθημα εντοπιστεί (ή αν δεν εντοπιστεί ποτέ), ο χαρακτήρας του *adaptivity* χάνεται. Συνεχίζουμε λοιπόν, κάνοντας λόγο για μια ιδέα σχεδίασης που χρησιμοποιεί πολλαπλά συναισθήματα, και διατηρεί τον *adaptive* χαρακτήρα του παιχνιδιού καθ' όλη τη διάρκεια του *playthrough*. Για να πετύχουμε τη χρήση πολλών συναισθημάτων μια καλή προσέγγιση είναι η συσχέτιση κάθε συναισθήματος με ένα σύνολο τιμών των παραμέτρων μιας λειτουργίας - μηχανισμού του παιχνιδιού. Ένα παράδειγμα, αποτελεί η απόδοση «δυνάμεων» στον χαρακτήρα του παίκτη ανάλογα με το συναίσθημα που εντοπίζεται εκείνη τη στιγμή. Προφανώς, δεν είναι αναγκαίο η απόδοση αυτή να γίνεται σε πραγματικό χρόνο, μιας και η πιθανότητα συνεχόμενων αλλαγών δεν είναι επιθυμητή. Όταν αναφερόμαστε σε «δυνάμεις», εννοούμε υπερφυσικές ικανότητες που έχει στη διάθεση του ο χαρακτήρας, γεγονός που μπορεί να ταιριάζει (δεν είναι απαραίτητη η δικαιολόγησή τους) με την ιστορία του παιχνιδιού. Σε περίπτωση που ο παίκτης είναι θυμωμένος (εντοπισμός θυμού από το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων), ο χαρακτήρας που αυτός ελέγχει αποκτά την ικανότητα να πετάει βλήματα φωτιάς, ενώ σε περίπτωση που είναι λυπημένος (το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων προβλέπει λύπη), ο χαρακτήρας του μπορεί να εκτοξεύσει από τα χέρια του θραύσματα πάγου. Η χρήση των ικανοτήτων αυτών δεν είναι απαραίτητα να είναι βίαιου χαρακτήρα, π.χ. εξαπολύοντας επιθέσεις σε εχθρικές προς τον παίκτη οντότητες του παιχνιδιού. Μάλιστα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για το άνοιγμα μιας πόρτας που έχει φραχτεί από πάγο, εκτοξεύοντας σε αυτόν φωτιά για να λιώσει. Εκεί βέβαια, θέλει ιδιαίτερη προσοχή στη σχεδίαση και την υλοποίηση του παιχνιδιού, ώστε να μην εμποδίζεται η πορεία του παίκτη από το συναίσθημα που έχει εκείνη τη χρονική στιγμή. Δηλαδή, απαγορεύεται να απαιτούμε κάποιο συγκεκριμένο συναίσθημα από τον παίκτη για να προχωρήσει, πράγμα που σημαίνει πως θα πρέπει να έχει στη διάθεση του μεθόδους διαφυγής που του επιτρέπουν να συνεχίσει χρησιμοποιώντας κατάλληλα τη «δύναμη» που του έχει αποδοθεί για το συναίσθημα του. Στο παράδειγμα που δόθηκε προηγουμένως, θα μπορούσε πέρα της πόρτας με τον πάγο, να υπάρχει ένας μηχανισμός τύπου τροχαλίας, που με το μπλοκάρισμα της να ανοίγει η πόρτα ενός ανελκυστήρα, κάτι που μπορεί να κατορθώσει ο παίκτης με χρήση των θραυσμάτων πάγου. Όσον αφορά τα υπόλοιπα πιθανά συναισθήματα (π.χ. χαρά, έκπληξη, φόβος), μπορούν χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία να τους αποδοθούν παρόμοιες «δυνάμεις».

Ένας μηχανισμός που βασιζόταν στην τελευταία αυτή σχεδίαση σκοπεύαμε να μπει στην

τελική έκδοση του παιχνιδιού μας, κυρίως με τη χρήση που περιγράφηκε στο τέλος για την επίλυση γρίφων και τη μετακίνηση του παίκτη από ένα δωμάτιο σε άλλο, αλλά λόγω διαφορετικών προτεραιοτήτων και κυρίως περιορισμό από τον χρόνο ολοκλήρωσης μιας διπλωματικής εργασίας, τελικά απορρίφθηκε. Για να εντάξουμε λοιπόν την έννοια της ενσυναίσθησης, η σχεδίαση έγινε ώστε το παιχνίδι να αναπαριστά τη συναισθηματική κατάσταση του παίκτη. Με λίγα λόγια, ο παίκτης και ο χαρακτήρας του έχουν μια συμβιωτική σχέση με τον εικονικό κόσμο στο οποίο λαμβάνει χώρα το παιχνίδι, και αλληλεπιδρούν όχι μόνο διαδραστικά, αλλά και συναισθηματικά.

7.2 Εργαλεία Ανάπτυξης Παιχνιδιού

Στην ενότητα αυτή, απαριθμούνται τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του παιχνιδιού, καθώς και ο τομέας στον οποίο ανήκουν.

Πίνακας 7.1: Πίνακας εργαλείων ανάπτυξης παιχνιδιού.

Use	Tool
Language	C#
IDE	Visual Studio 2019 Enterprise
Version Control	GitHub
3D Modelling	Blender 2.93.0
Texture Editing	Materialize
Game Engine	Unity3D 2020.3.0f1
Sound Engine	Wwise 2021.1.4.7707

7.3 Λεπτομερής Περιήγηση στα Στοιχεία του Παιχνιδιού

Προκειμένου να γίνει καλύτερα κατανοητή η εμπειρία που -όπως έχει σχεδιαστεί- βιώνει ένας παίκτης κατά τη διάρκεια ενός *playthrough*, θα αφιερώσουμε την ενότητα αυτή στην αναλυτική επεξήγηση όλων των στοιχείων που συναντά ο παίκτης, των «επιπέδων» στα οποία θα βρεθεί, καθώς και τους γρίφους που καλείται να λύσει ώστε να προχωρήσει και να επιτύχει τελικά στο παιχνίδι. Οι μηχανισμοί που έχει στη διάθεση του ο παίκτης, παρόλο που θα αναφερθούν ονομαστικά εδώ σε κατάλληλα σημεία, επεξηγούνται λεπτομερώς στην επόμενη ενότητα. Σημειώνουμε, πως όταν -στη συνέχεια- αναφερόμαστε σε δωμάτια, αυτά δεν αντιστοιχούν πάντα σε ξεχωριστά «επίπεδα» του παιχνιδιού. Όταν αυτό ισχύει, θα γίνεται αυτό ξεκάθαρο από την περιγραφή του.

Ξεκινάμε από την αρχή του παιχνιδιού, αμέσως δηλαδή μετά την έναρξη του προγράμματος που δίνεται στον παίκτη. Ένα μικρού μήκους (δεκαοκτώ δευτερόλεπτα) βίντεο δίνει τον τίτλο

του παιχνιδιού, προτού ενεργοποιηθεί η κάμερα του παιχνιδιού. Επισημαίνουμε σε αυτό το σημείο, πως δεν έχει αρχίσει ακόμα η χρήση των προβλέψεων του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων. Πριν δοθεί στον παίκτη η δυνατότητα να κινηθεί μέσα στο χώρο, καλείται να επιβεβαιώσει την αποδοχή του στους όρους που έχουμε θέσει για τη συμμετοχή του στην πειραματική διαδικασία της έρευνας μας (εξηγείται αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο). Σε περίπτωση που δε δεχθεί, το παιχνίδι κλείνει. Το πρώτο πράγμα που αντικρίζει ο παίκτης είναι ένα δωμάτιο που, με μια ματιά γύρω του, γρήγορα αντιλαμβάνεται πως είναι ένα δημόσιο μπάνιο. Ο χώρος αυτός είναι το πρώτο «επίπεδο» του παιχνιδιού, και έχει καθαρά εκπαιδευτικό χαρακτήρα. Όσο ο παίκτης κινείται στο χώρο, εμφανίζονται μηνύματα (tutorials) που τον ενημερώνουν για τη γενική ιδέα του παιχνιδιού και τον προετοιμάζουν για τους μηχανισμούς που θα πρέπει να χρησιμοποιήσει κατά τη διάρκεια όλου του παιχνιδιού. Οι πόρτες των τουαλετών είναι αλληλεπιδράσιμες, και ο παίκτης μπορεί να τις ανοίξει και να μπει μέσα σε περίπτωση που επιθυμεί να εξερευνήσει περαιτέρω τον χώρο ψάχνοντας στοιχεία ή καθαρά από προσωπική του περιέργεια. Επίσης, είναι πιθανό ο παίκτης να προσέξει ένα μήνυμα γραμμένο ψηλά σε έναν από τους τοίχους του δωματίου, που γράφει "*Only way out is up*", παροτρύνοντας τον να αναζητήσει διέξοδο σε ένα επίπεδο πάνω από το τρέχων. Το να μη δει ο παίκτης το μήνυμα, δεν επηρεάζει το παιχνίδι, μιας και η πορεία του οδηγεί προς τη σωστή κατεύθυνση ούτως ή άλλως. Αργά ή γρήγορα, παίκτης θα προσέξει μια πόρτα στη μία άκρη του δωματίου, και προσπαθώντας να την ανοίξει ειδοποιείται πως είναι κλειδωμένη. Τότε, ένα μήνυμα του εξηγεί πως θα χρειαστεί κλειδί για να προχωρήσει, και ένα κλειδί -τονιζόμενο με έντονο γραφικό εφέ για λόγους εκπαίδευσης- εμφανίζεται επάνω στον πάγκο των νιπτήρων. Ο παίκτης μαθαίνει πως να χρησιμοποιήσει τον μηχανισμό *Inventory* για να διαχειριστεί τα αντικείμενα που έχει στη διάθεση του, και πως να χρησιμοποιήσει κλειδιά για να ανοίξει πόρτες. Επισημαίνουμε, προτού προχωρήσουμε με την υπόλοιπη περιγραφή, πως τα αντικείμενα που μπορεί να μαζέψει ο παίκτης (interact-able), δεν έχουν πια το έντονο χρώμα που είχε το κλειδί της εκπαίδευσης. Αντί αυτού, τέτοιας φύσεως αντικείμενα θα έχουν ένα φωτεινό εφέ γραφικών σωματιδίων (particle effect) που παρομοιάζει μικρές φλόγες που φεύγουν κατά πάνω από το αντικείμενο, προτού εξατμιστούν. Τελικά, ξεκλειδώνοντας την πόρτα με το κλειδί, βγαίνει από το πρώτο επίπεδο.

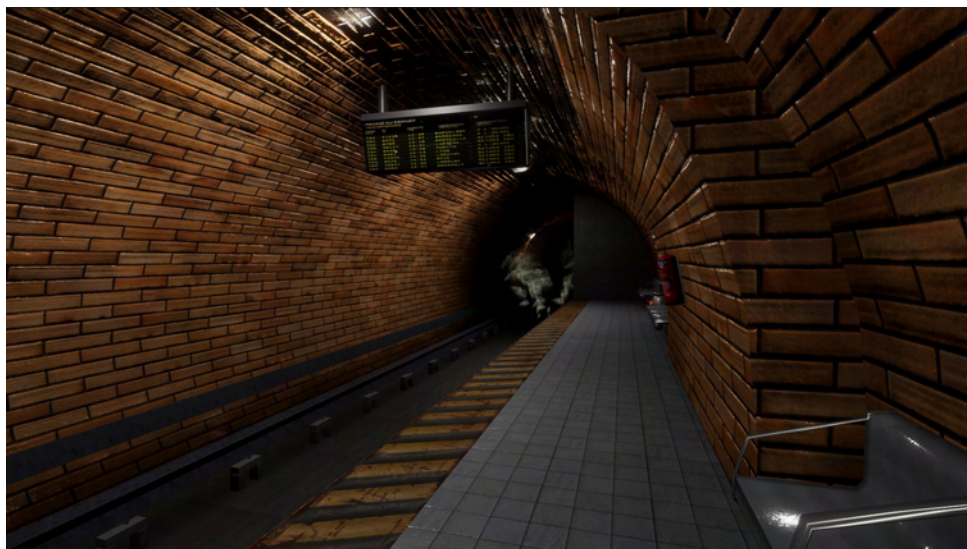
Αμέσως βγαίνοντας από το πρώτο δωμάτιο, ο παίκτης βρίσκεται σε ένα διάδρομο που εκτείνεται μερικά μέτρα αριστερά του. Εδώ δίνεται στον παίκτη το τελευταίο «βασικό» μήνυμα εκπαίδευσης, το οποίο τον συστήνει στον μηχανισμό «σημειωματάριου» *Journal* του παιχνιδιού, όπου θα αποθηκεύονται αυτόματα όλες οι πληροφορίες που έχει για τον χώρο γύρω του, καθώς και οι σχέψεις του χαρακτήρα. Στο τέλος του, ο διάδρομος ανοίγει σε ένα μεγάλο χώρο που συνιστά έναν υπόγειο σιδηροδρομικό σταθμό (μοντελοποιημένο με βάση τους σταθμούς του λονδρέζικου Underground). Σημειώνουμε εδώ, πως με την είσοδο του παίκτη στο χώρο, εκκινεί και η χρησιμοποίηση των προβλέψεων του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων. Ο χαρακτήρας είναι ο μόνος επιβάτης στον σταθμό, και γρήγορα παρατηρεί πως η μόνη άλλη διέξοδος είναι ένας διαφορετικός διάδρομος σε σχήμα «Γ». Επίσης, σε ένα από τα σύνολα καθισμάτων επιβατών, υπάρχει μία σελίδα σημειωματάριου η οποία, στην περίπτωση που τη βρει και τη μαζέψει ο παίκτης, του δίνει κάποιες πληροφορίες για την ιστορία του παιχνιδιού.



Σχήμα 7.1: Εικόνα από το πρώτο επίπεδο του παιχνιδιού.

Γενικά, κάνουμε χρήση αυτών των σημειώσεων μαζί με εγγραφές απομνημονευμάτων σε κασέτες, για να δώσουμε στον παίκτη που επιθυμεί να εξερευνήσει λίγο παραπάνω από αυτό που απαιτείται για να λυθούν οι γρίφοι αφηγήματα της ιστορίας. Από όλα αυτά τα στοιχεία, μόνο μία κασέτα είναι σίγουρο πως θα ακούσει κάθε παίκτης, μιας και είναι βασικό κομμάτι ενός γρίφου (επεξήγηση ακολουθεί παρακάτω). Επομένως, δεν είναι απαραίτητο να βρει ο παίκτης όλες τις σελίδες και να ακούσει όλες τις κασέτες για να επιτύχει στο παιχνίδι. Προχωρώντας λοιπόν στο βάθος του νέου διαδρόμου, διακοσμημένου με αφίσες και ανακοινώσεις παντός τύπου, ο παίκτης ανεβαίνει μία σειρά από ακινητοποιημένες κυλιόμενες σκάλες, που οδηγούν στον διάδρομο του επόμενου ορόφου. Εδώ αρχίζει, ουσιαστικά πια, το νέο «επίπεδο» του παιχνιδιού. Ο διάδρομος ανοίγει σε δύο πιθανές κατευθύνσεις. Ο χαρακτήρας μπορεί να οδεύσει προς τα δεξιά (στη μέση του μήκους του διαδρόμου), όπου βρίσκει μία κατεβασμένη γκαραζόπορτα (σε μορφή ρολών) κλειδωμένη, και δίπλα της ένα πληκτρολόγιο κωδικού (keypad). Ο χαρακτήρας γράφει στο *Journal* για αυτό που βρήκε και πως κάπου πρέπει να υπάρχει ο κωδικός, από όπου γίνεται ξεκάθαρο πια στον παίκτη πως πρέπει να ψάξει να βρει τον κωδικό που χρειάζεται για να ανοίξει η πόρτα. Στο τέλος λοιπόν του διαδρόμου, απέναντι από τις κυλιόμενες σκάλες, ο διάδρομος στρίβει αριστερά, και εδώ είναι ο χώρος όπου βρίσκονται τα στοιχεία του γρίφου που απαιτούνται για το άνοιγμα της πόρτας.

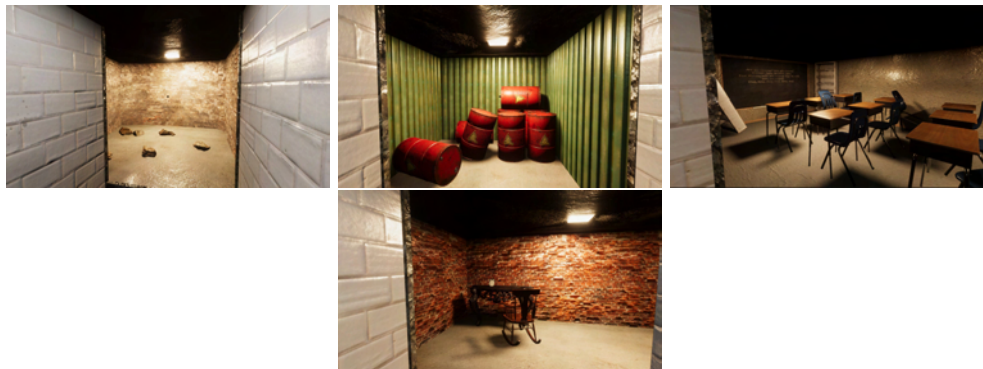
Τα πρώτα στοιχεία που βλέπει ο παίκτης είναι δύο μηνύματα γραμμένα με μαύρη μπογιά στον τοίχο. Το πρώτο είναι απλό, και γράφει "*Use the Numbers*", παροτρύνοντας τον παίκτη να ψάξει για αντικείμενα που αναπαριστούν αριθμούς. Το δεύτερο, είναι μεγαλύτερο, και είναι ο βασικός «λεκτικός» γρίφος του όλου γρίφου. Λύνοντας τον γρίφο, ο παίκτης θα γνωρίζει πια τη σειρά με την οποία πρέπει εισάγει τους αριθμούς στο πληκτρολόγιο κωδικού. Αυτός γράφει: "*Remember, The Container room is last. The Castle Walls are somewhere before the Classroom, and between them is the Cave.*". Τα δωμάτια αυτά αναφέρονται σε εκείνα



Σχήμα 7.2: Εικόνα από το δεύτερο επίπεδο του παιχνιδιού.

στα οποία ο παίκτης βρήκε τον κάθε αριθμό του συνδυασμού. Η σωστή σειρά είναι: Castle Walls, Cave, Classroom, Container Room. Συνεχίζοντας στο διάδρομο, ο παίκτης αντικρίζει ένα κατασκεύασμα τύπου ρόδας που περιστρέφεται, με τέσσερα δωμάτια στην περιφέρειά του, τοποθετημένα ώστε να απέχουν 90 μοίρες μεταξύ τους. Μόλις ο κύκλος σταματήσει να περιστρέφεται, η θέση του ευθυγραμμίζει το τέλος του διαδρόμου με την είσοδο ενός από τα δωμάτια, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στο παίκτη να εισέλθει. Ο κύκλος δεν περιστρέφεται ποτέ όσο ο παίκτης είναι μέσα σε αυτόν. Όταν ο παίκτης βγει από ένα δωμάτιο, μετά από μια μικρή καθυστέρηση η περιστροφή συνεχίζεται μέχρι να έρθει το επόμενο δωμάτιο στην κατάλληλη θέση ευθυγράμμισης. Το πρώτο δωμάτιο (δεν έχουν συγκεκριμένη σειρά, αλλά τα απαριθμούμε για μεγαλύτερη ευκολία στην κατανόηση), περιφράσσεται από τοίχους κάστρου, ενώ αποτελείται από ένα τραπέζι με ένα επιτραπέζιο ρολόι τοποθετημένο στην επιφάνειά του, και μία καρέκλα. Εξετάζοντας το ρολόι, παρατηρείται εύκολα πως δείχνει ώρα εννέα ακριβώς, και ο χαρακτήρας προσθέτει καταχώρηση στο *Journal* με τον αριθμό εννέα. Το δεύτερο δωμάτιο, είναι το εσωτερικό ενός κοντέινερ, που εμπεριέχει οκτώ βαρέλια. Ο χαρακτήρας σημειώνει τον αριθμό οκτώ, μιας και τόσα είναι τα βαρέλια. Υπενθυμίζουμε εδώ, πως για να γίνει σε μικρό βαθμό πιο εύκολο το παιχνίδι, δίνουμε στον χαρακτήρα του παιχνιδιού λίγο παραπάνω γνώση από αυτή που μπορεί να έχει ο παίκτης. Εδώ δηλαδή, ίσως ο παίκτης δεν αναγνωρίσει αμέσως την πηγή του αριθμού χωρίς να διαβάσει το *Journal*. Το τρίτο δωμάτιο της περιστρεφόμενης κατασκευής είναι μια σπηλιά, στον τοίχο απέναντι από την είσοδο της οποίας υπάρχει ένα μήνυμα που γράφει *It hides underneath*, και περιέχει στο έδαφος της έξι μεσαίου μεγέθους πέτρες. Ο παίκτης μπορεί να εξετάσει όλες αυτές τις πέτρες περιστρέφοντας τις, βρίσκοντας τελικά ένα χαρτί με τον αριθμό έξι γραμμένο επάνω του, κάτω από μία από αυτές. Τέλος, το τέταρτο και τελευταίο δωμάτιο είναι μία σχολική τάξη, με θρανία, καρέκλες, βιβλιοθήκες, και έναν μαυροπίνακα. Γραμμένο με κιμωλία στον πίνακα είναι μια σειρά στοίχων

ενός παιδικού τραγουδιού, που αναφέρει συνεχώς τον αριθμό τέσσερα. Ο χαρακτήρας προσθέτει κατάλληλη εισαγωγή στο *Journal* με τον αριθμό αυτόν, και το μόνο που μένει είναι η σωστή εισαγωγή του συνδυασμού στο πληκτρολόγιο κωδικού (τη σειρά τη γνωρίζει ο παίκτης από τον «λεκτικό γρίφο» που αναφέραμε στην αρχή της παραγράφου). Εισάγοντας τον σωστό κωδικό, κάνοντας κλικ στα πλήκτρα με τη χρήση του ποντικιού, και πατώντας δίσση, η κατεβασμένη γκαραζόπορτα ανοίγει.



Σχήμα 7.3: Εικόνες από τα περιστρεφόμενα δωμάτια.

Η πόρτα οδηγεί σε ένα δωμάτιο τύπου αποθήκης, γεμάτο χαρτόκουτα, εργαλεία και εργαλειοθήκες, τούβλα, και γενικά αντικείμενα που θα περίμενε κανείς να βρει σε μία αποθήκη επιστάτη. Στο δωμάτιο αυτό λαμβάνει χώρα το τρίτο «επίπεδο» του παιχνιδιού. Στον ένα τοίχο της αποθήκης, ο παίκτης βρίσκει μία ξύλινη κατασκευή, η οποία έχει πέντε υποδοχές στρογγυλού σχήματος, μαζί με ένα βέλος δεξιάς κατεύθυνσης και με την επιγραφή "*TIME*". Αυτό υποδηλώνει μία αύξουσα χρονική ακολουθία, κατά την οποία τοποθετούνται αντικείμενα στις υποδοχές της κατασκευής. Στο σημείο αυτό, εμφανίζεται το τελευταίο μήνυμα εκπαίδευσης του παιχνιδιού, που εξηγεί τη χρήση των υποδοχών, μέσω του μηχανισμού *Inventory*. Στη συνέχεια, ο παίκτης καλείται να εξερευνήσει το δωμάτιο, προσπαθώντας να βρει αντικείμενα που ταιριάζουν. Γρήγορα ανακαλύπτει πως στο χώρο εντοπίζεται ένα πλήθος νομισμάτων (πέντε). Τα νομίσματα είναι από διάφορες αρχαίες μορφές οικονομίας από όλο το κόσμο, και συνοδεύονται από «αντικείμενα γνώσης». Τα αντικείμενα αυτά (πέντε), είναι βιβλία, σημειώσεις, πάπυροι, που παρέχουν πληροφορίες στον χαρακτήρα για την εποχή του κάθε νομίσματος. Συνδυάζοντας αυτές τις πηγές γνώσης, και κάνοντας χρήση των μηχανισμών *Journal* και *Inventory*, ο παίκτης καλείται να τοποθετήσει τα νομίσματα αυτά στις υποδοχές της ξύλινης κατασκευής με τη σωστή σειρά (αύξουσα χρονολογική). Τα νομίσματα είναι: ένα *Ancient Greek Coin*, ένα *Ancient Chinese Coin*, ένα *Roman Coin*, ένα *Byzantine Coin*, και τέλος ένα *Ancient Athenian Coin*. Τα νομίσματα βρίσκονται σε διάφορα συρτάρια και ντουλάπες, με τα οποία μπορεί να αλληλεπιδράσει ο παίκτης, με το ένα μάλιστα να βρίσκεται σε ένα κουτί κλειδωμένο, για το οποίο ο παίκτης πρέπει να βρει αντίστοιχο κλειδί. Εκτός των αντικειμένων που αφορούν τον γρίφο με τα νομίσματα, σε ένα από τα συρτάρια υπάρχει μία ακόμη σελίδα σημειωματάριου που δίνει πρόσθετη πληροφορία για την ιστορία (προφανώς, δεν είναι απαραίτητη για τη λύση του γρίφου). Ο παίκτης μπορεί να εξετάσει λεπτομερώς τα νομίσματα, και με τη

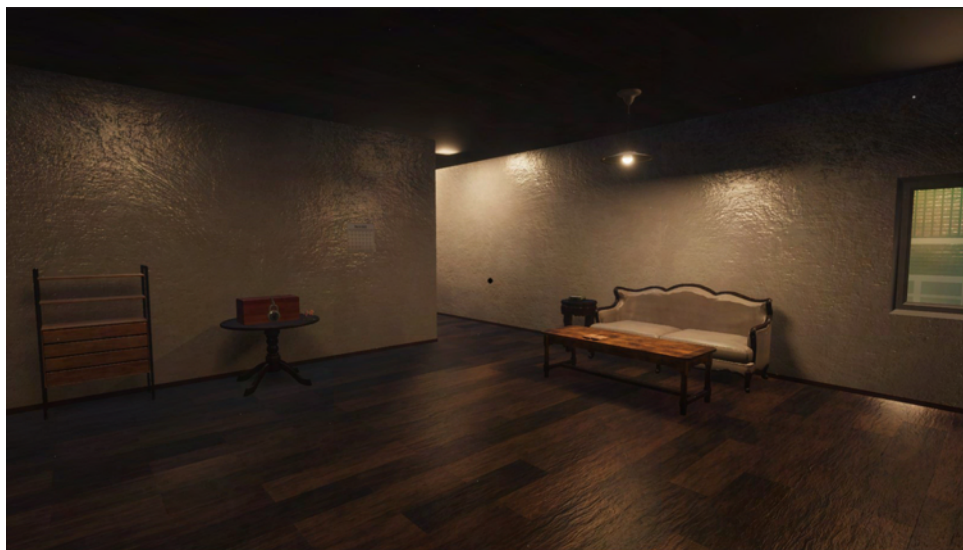
δική του γνώση να λύσει τον γρίφο, χωρίς να χρησιμοποιήσει απαραίτητα τη γνώση που του μεταδίδουν τα αντικείμενα που αναφέραμε προηγουμένως. Πιστεύουμε πως έχει ενδιαφέρον να υπάρχει διαφορετική προσέγγιση στη λύση του γρίφου ανά παίκτη. Με τη σωστή τοποθέτηση λοιπόν, μία «πύλη» ενεργοποιείται στα αριστερά της ξύλινης κατασκευής. Καθ' όλη τη διάρκεια της επίλυσης του γρίφου, ο χαρακτήρας σημειώνει τα πάντα στο σημειωματάριο (*Journal*). Για να προχωρήσει με το παιχνίδι, ο παίκτης μπαίνει στην «πύλη», με αποτέλεσμα να εξαφανιστεί από την αποθήκη στην οποία βρισκόταν, και να εμφανιστεί σε έναν τελείως διαφορετικό χώρο. Έτσι, περνάει στο επόμενο «επίπεδο» του παιχνιδιού.



Σχήμα 7.4: Εικόνα από το τρίτο επίπεδο του παιχνιδιού.

Ο παίκτης εμφανίζεται μέσα από μία «πύλη» στο νέο χώρο. Όπως θα εξηγηθεί σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου, ο χώρος αυτού του σημείου του παιχνιδιού διαμορφώνεται ανάλογα με το συναίσθημα που είχε ο παίκτης προτού εισέλθει σε αυτό (το τελευταίο συναίσθημα που προέβλεψε με επαρκή ακρίβεια το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων). Επιπλέον, η μουσική είναι διαφορετική με αυτή που έχει συναντήσει έως τώρα ο παίκτης στο παιχνίδι. Το τέταρτο αυτό «επίπεδο» του παιχνιδιού λαμβάνει χώρα σε ένα είδος σπιτιού, αποτελούμενο από τρία βασικά δωμάτια (ένα μεγάλο τύπου καθιστικού, και δύο μικρά), και δύο διαδρόμους. Κοιτώντας γύρω του, αναγνωρίζει το δωμάτιο αυτό ως ένα καθιστικό με ένα παράθυρο, καναπέ με τραπέζι, και δύο βιβλιοθήκες. Ενδιαφέρον έχει πως στο βάθος, αριστερά ενός διαδρόμου που οδηγεί σε άλλα δωμάτια, βρίσκεται πάνω σε ένα τραπέζι ένα κουτί, κλειδωμένο με ένα λουκέτο, και στον τοίχο δίπλα του υπάρχει κρεμασμένο ένα ημερολόγιο ενός μηνός. Το λουκέτο είναι τύπου συνδυασμού (rotation - combination lock), και χρειάζεται κάποιον κωδικό για να ξεκλειδώσει, με διαθέσιμους αριθμούς από το μηδέν (0) έως το τριάντα εννέα (39). Πέρα από το ασφαλισμένο κουτί, πάνω στο τραπέζι βρίσκεται μία κασέτα, η οποία περιέχει (προαιρετική, αλλά ίσως σημαντική) πληροφορία για την επίλυση του γρίφου (άνοιγμα του κουτιού). Για να ακουστεί αυτή, χρειάζεται να τοποθετηθεί σε ένα κασετόφωνο που βρίσκεται

στο ίδιο δωμάτιο. Ο παίκτης είναι ελεύθερος να εξερευνήσει τον χώρο για να αναζητήσει στοιχεία που θα τον οδηγήσουν στον σωστό συνδυασμό. Το πρώτο από τα άλλα δωμάτια (μικρά) είναι ένα μπάνιο δεν περιέχει τίποτα σημαντικό. Το δεύτερο, περιέχει μια συρταριέρα με ένα φυτό πάνω, ένα παράθυρο, και ένα ηλεκτρολογικό κουτί (με ασφάλειες κτλ), το οποίο είναι κλειδωμένο. Το ένα στοιχείο βρίσκεται πάνω στη γλάστρα του φυτού, και είναι μια φράση που αναφέρεται σε ένα γεγονός. Η συρταριέρα περιέχει άλλη μία σελίδα σημειωματάριου, που προσφέρει ένα νέο κομμάτι στην ιστορία του παιχνιδιού (επαναλαμβάνουμε πως δεν σχετίζεται με τον γρίφο). Το δεύτερο στοιχείο βρίσκεται στο εξωτερικό ενός από τα δύο παράθυρα πάνω στο τοίχο ενός απέναντι κτιρίου (σε ποιο εξαρτάται από το συναίσθημα κατά το οποίο διαμορφώθηκε ο χώρος). Το τελευταίο είναι γραμμένο στη σελίδα ενός ανοικτού βιβλίου που βρίσκεται επάνω στο τραπέζι του καθιστικού. Επισημαίνεται πως όλα τα στοιχεία που ανακαλύπτει ο παίκτης, τα γράφει ο χαρακτήρας στο *Journal*, ώστε να υπάρχει όλη η πληροφορία σε ένα σημείο, και να μη χρειάζεται η περιήγηση όλου του κτιρίου συνεχώς για να λυθεί ο γρίφος. Έχοντας τα τρία στοιχεία για ένα γεγονός, ο παίκτης καλείται να βρει της ημέρες πάνω στο ημερολόγιο που αντιστοιχούν στα τρία στάδια του γεγονότος. Ένα παράδειγμα για το συναίσθημα της χαράς, είναι η εξής τριάδα: το "*On the 3rd Monday of March the Party Starts.*", το "*On the coming week, the Music Blasts, on the weekday before the Dance.*", και το "*On the Great Day of God, the Dance Starts.*". Έτσι, οι ημέρες τις εβδομάδας είναι ο συνδυασμός του λουκέτου, και ο παίκτης ξεκλειδώνει το κουτί. Μέσα του βρίσκει ένα κλειδί, το οποίο εξετάζοντας το, ανακαλύπτει πως προσδιορίζεται για το ηλεκτρικό κουτί του μικρού δωματίου. Ξεκλειδώνοντας το ηλεκτρικό κουτί, και «ανοίγοντας» το ρεύμα, εμφανίζεται πίσω στο καθιστικό μία νέα «πύλη», που τον οδηγεί σε άλλο δωμάτιο.



Σχήμα 7.5: Εικόνα από το τέταρτο επίπεδο του παιχνιδιού.

Το νέο δωμάτιο είναι απλά ένας διάδρομος, φωτισμένος μόνο με κεριά στους τοίχους. Μία πόρτα βρίσκεται δίπλα στη θέση που εμφανίζεται ο παίκτης, αλλά δεν ανοίγει. Περιπατώντας

βαθύτερα στο διάδρομο, σύντομα ο παίκτης αντιλαμβάνεται πως είναι ατέλειωτος. Πράγματι, ο διάδρομος έχει υλοποιηθεί ώστε να μην έχει τέλος. Μία προσθήκη στο *Journal* από τον χαρακτήρα, οδηγεί τον παίκτη στο συμπέρασμα πως πρέπει μάλλον να γυρίσει πίσω. Κάνοντας το αυτό, και μετά από λίγο περπάτημα, ο παίκτης «περικυκλώνεται» από δύο νέους τοίχους, που σχηματίζουν έτσι ένα νέο δωμάτιο. Αυτό είναι το επόμενο «επίπεδο» του παιχνιδιού. Πάνω από το δωμάτιο, βρίσκεται ένας φανός που το φωτίζει. Στον ένα τοίχο υπάρχουν βαρέλια και τούβλα που έχουν τοποθετηθεί για διακόσμηση. Στον απέναντι τοίχο, βρίσκεται ένα μεγάλο τραπέζι, που μεταξύ άλλων, περιέχει μία κασέτα και ένα κασετόφωνο. Άλλα αντικείμενα όπως εικόνες, και βιβλία μπορούν να εξεταστούν από τον παίκτη, αλλά στην πραγματικότητα έχουν μονάχα διακοσμητικό ρόλο. Παίζοντας την κασέτα αυτή, ο παίκτης λαμβάνει πληροφορία που αναφέρει έναν καθρέπτη και ένα άτομο (μέρος της ιστορίας) που κοιτάζει επίμονα σε αυτόν. Πράγματι, αριστερά του τραπεζιού στηρίζεται ένας καθρέπτης. Αν τον κοιτάξει ο παίκτης για πάνω από τρία δευτερόλεπτα, ο καθρέπτης θα αλλάξει, και η αντανάκλαση του θα γυρίσει σε ένα είδος «πύλης». Αυτός είναι και ο τελικός γρίφος του παιχνιδιού. Αγγίζοντας τη, ο παίκτης μεταφέρεται στο επόμενο -και τελευταίο- δωμάτιο του παιχνιδιού.



Σχήμα 7.6: Εικόνα από το πέμπτο επίπεδο του παιχνιδιού.

Φτάνουμε στο τέλος του παιχνιδιού. Εδώ δε βρίσκεται κάποιος γρίφος, αλλά μόνο ένας τρόπος αποχαιρετισμού του παίκτη. Βρισκόμαστε σε μία σπηλιά, με ένα μικρό άνοιγμα στην οροφή, μόλις αρκετό για να φανεί το φεγγάρι στον ουρανό. Η μουσική εδώ είναι διαφορετική, και βασίζεται (όπως θα εξηγηθεί σε επόμενη ενότητα του κεφαλαίου αυτού) στο συναίσθημα που εντοπίστηκε περισσότερες φορές κατά τη διάρκεια του *playthrough*. Ο παίκτης παρατηρεί μπροστά του ένα ζευγάρι μαρμάρινα αγάλματα λιονταριών, και ένα σύνολο έξι χιόνων (περισσότερη πληροφορία σε επόμενη ενότητα), που πλαισιώνουν και από τις δύο πλευρές ένα κτίσμα, παρόμοιο με ενός είδους ναό. Μπαίνοντας στο ναό, ο παίκτης βλέπει ένα βάθρο, ελάχιστα υπερυψωμένο από το πάτωμα του ναού, στο βάθος του. Ένα σύνολο σκαλιών οδηγούν σε αυτό, και στην κορυφή βρίσκεται ένας πάπυρος. Κάνοντας κλικ στον πάπυρο αυτόν, το παιχνίδι

τελειώνει, ευχαριστώντας τον παίκτη για τον χρόνο του, και ρίχνοντας τίτλους τέλους. Σημειώνουμε πως οι τίτλοι τέλους έχουν ένα χιουμοριστικό χαρακτήρα. Περισσότερη αναφορά στο τελικό αυτό «επίπεδο» του παιχνιδιού, θα δοθεί σε επόμενη ενότητα, όπου εισάγουμε και τη συνεισφορά των προβλέψεων του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων.



Σχήμα 7.7: Εικόνα από το τελευταίο επίπεδο του παιχνιδιού.

7.4 Βασικοί Μηχανισμοί του Παιχνιδιού

Έχοντας τώρα αναφέρει τη βασική ιδέα του παιχνιδιού, είναι απαραίτητο προτού προχωρήσουμε να κάνουμε λόγο για τους μηχανισμούς που περιέχει το παιχνίδι ώστε να δώσουμε μια καλύτερη ιδέα του τι συναντάει ο παίκτης όταν παίζει. Επιπλέον, η περιγραφή που θα δώσουμε, έχει μεγάλη αξία στο να γίνει κατανοητό το περιεχόμενο του επόμενου κεφαλαίου, όπου θα κάνουμε αναφορά στις αλλαγές που προκαλεί το συναίσθημα.

7.4.1 Μηχανισμός Επίδρασης με το Περιβάλλον

Ο παίκτης μπορεί να εξερευνήσει τον τρισδιάστατο χώρο σαν να ήταν μέσα σε αυτόν. Αυτό σημαίνει πως μπορεί να αλληλεπιδράσει με πόρτες, συρτάρια, ντουλάπες, κουτιά, και στατικά αντικείμενα (π.χ. να εξετάσει κάποιο βάζο για στοιχεία), όπως στην πραγματική ζωή, μέσω του ποντικιού. Αυτό έχει ως σκοπό τη μεγαλύτερη «βύθιση» (immersion) του παίκτη στο παιχνίδι, καθώς και την ευκολότερη εξερεύνηση στον χώρο.

7.4.2 Μηχανισμός Inventory

Μιας και όπως αναφέραμε ο παίκτης καλείται να λύσει γρίφους για να προχωρήσει, είναι απαραίτητο να έχει στη διάθεση του μια γραφική διεπαφή που θα αναπαριστά τα αντικείμενα που έχει μαζέψει (θα αναφέρεται από εδώ και πέρα ως inventory). Εκεί μπορεί να δει τα

αντικείμενα που έχει μαζέψει, τα οποία μπορεί να τα εξετάσει για στοιχεία, καθώς και να διαβάσει μια περιγραφή του αντικειμένου που έχει επιλέξει. Αυτή η περιγραφή αλλάζει ανάλογα με τη γνώση που έχει ο παίκτης - χαρακτήρας για το αντικείμενο. Η γνώση αυτή αυξάνεται με δύο τρόπους: α.) εξέταση του ίδιου αντικειμένου, β.) συλλογή αντικειμένων που έχουν πληροφορίες για αυτό το αντικείμενο. Τέλος, ο παίκτης μπορεί να *χρησιμοποιήσει* κάποιο αντικείμενο, τοποθετώντας το π.χ. σε μια σχισμή.

7.4.3 Μηχανισμός Journal

Είναι φυσικό, λόγω του είδους του παιχνιδιού, ο παίκτης να καλείται να διαχειρίζεται αρκετά μεγάλο αριθμό πληροφοριών. Προκειμένου ο παίκτης να έχει όλες τις πληροφορίες που γνωρίζει ο χαρακτήρας του παιχνιδιού -και κατ' επέκταση ο ίδιος ο παίκτης- προσφέρεται ο μηχανισμός **Journal**. Ο μηχανισμός αυτός προσομοιώνει ένα ημερολόγιο - σημειωματάριο, όπου ο χαρακτήρας αποτυπώνει τις σκέψεις του ενόσω περιηγείται στο περιβάλλον του παιχνιδιού, καθώς και πληροφορίες - στοιχεία που έχει ήδη βρει για τους γρίφους. Όλα αυτά βοηθούν το παίκτη να λύσει τους γρίφους του παιχνιδιού δίχως να μετακινείται μπρος πίσω σε κάθε στοιχείο που υπάρχει στο περιβάλλον ή να θυμάται κάθε πληροφορία που του έχει δοθεί απ' έξω. Επομένως, ο μηχανισμός αυτός έχει σκοπό να βοηθήσει τον παίκτη προσφέροντας του όλη τη γνώση σε ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον. Τέλος, είναι σκόπιμο να αναφέρουμε πως η σχεδίαση του ημερολογίου έχει γίνει με τρόπο που συχνά αποτυπώνεται ελάχιστη πληροφορία παραπάνω από αυτή που μπορεί να έχει κατανοήσει ο παίκτης, με αποτέλεσμα ο χαρακτήρας να έχει μεγαλύτερο βαθμό γνώσης από τον παίκτη, πράγμα που μπορεί να κάνει το παιχνίδι πιο εύκολο.

7.4.4 Δυναμική Μουσική

Μια εμπειρία εξερεύνησης δεν μπορεί ποτέ να παραλείπει το κομμάτι της ατμόσφαιρας. Γι' αυτόν τον λόγο, στο παιχνίδι έχει προστεθεί **δυναμική** μουσική, με την έννοια πως αλλάζει ανάλογα με το συναίσθημα του παίκτη και το κομμάτι του παιχνιδιού στο οποίο βρίσκεται. Η μουσική έχει δημιουργηθεί ώστε να προσφέρει ένα ατμοσφαιρικό φόντο, με χαμηλή ένταση, λίγη μελωδία, και μεγάλη επαναληπτικότητα. Συνολικά έχουμε τρία σύνολα μουσικών κομματιών και ένα απλό *backing* κομμάτι που συνοδεύει όλα τα άλλα. Κάθε σύνολο περιέχει τρία μουσικά κομμάτια, ένα για κάθε συναίσθημα (Happy, Sad, Angry). Τα κομμάτια που αντιστοιχούν στο *Happy* είναι απαλά με μια αίσθηση γαλήνης. Τα κομμάτια που αντιστοιχούν στο *Sad* είναι λυπηρά, και πιο χαμηλά στην ένταση. Τέλος, τα κομμάτια που αντιστοιχούν στο *Angry* αντιπροσωπεύουν την αίσθηση αγωνίας - suspense, και χαρακτηρίζονται από την επικράτηση χαμηλών συχνοτήτων, και γρήγορων ρυθμών στα κρουστά. Ο τρόπος που αλλάζει η μουσική θα συζητηθεί στην παρακάτω ενότητα.

7.5 Επίδραση του Συναισθήματος στο Παιχνίδι

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζουμε αναλυτικά τους μηχανισμούς με τους οποίους το παιχνίδι επηρεάζεται από τη νέα είσοδο. Κάποιες αλλαγές λαμβάνουν χώρα μία φορά, ενώ άλλες συμβαίνουν σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια του *playthrough*. Αρχικά απαριθμούνται όλοι οι μηχανισμοί, και έπειτα εξηγούνται αναλυτικά.

- Αλλαγή στη μουσική
- Μετασχηματισμός των υλικών του χώρου
- Διαφορετική «χροιά» στις καταχωρήσεις του ημερολογίου
- «Επίπεδο» διαμορφωμένο από το συναίσθημα του παίκτη
- Τέλος βασισμένο στο πιο εμφανιζόμενο συναίσθημα

Παρακάτω επεξηγούνται οι παραπάνω μέθοδοι.

7.5.1 Αλλαγή στη μουσική

Έχοντας ήδη εξηγήσει τη δυναμική μουσική στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι εύκολο να φανταστεί κανείς πως πραγματοποιείται η αλλαγή με βάση το συναίσθημα. Ουσιαστικά, έχουμε ένα κάτω όριο σιγουριάς (*certainty*) πρόβλεψης, και αν σε κάποιο κύκλο ελέγχου έχει αλλάξει το συναίσθημα που προβλέφθηκε με σιγουριά μεγαλύτερη του ορίου που έχουμε θέσει, αλλάζει η μουσική στο κομμάτι εκείνο που αντιστοιχεί στο συναίσθημα που προέβλεψε το σύστημα. Ο λόγος που χρησιμοποιούμε κύκλους ελέγχου με περίοδο 10 δευτερολέπτων, είναι για να αποτραπεί η συνεχώς απότομη αλλαγή της μουσικής.

7.5.2 Μετασχηματισμός των υλικών του χώρου

Αρχικά, όταν μιλάμε για υλικά του χώρου αναφερόμαστε στα «εικονικά» υλικά από τα οποία αποτελείται ο τρισδιάστατος χώρος (π.χ. η πέτρα των τοίχων, και το μάρμαρο του πατώματος). Η αλλαγή αυτή γίνεται αν σε κάποιο κύκλο ελέγχου αλλάξει το συναίσθημα με σιγουριά πρόβλεψης που ξεπερνά κάποιο όριο. Η αλλαγή είναι σταδιακή, και ο ρυθμός της εξαρτάται από το υλικό και το αντικείμενο στο οποίο αυτό αντιστοιχεί. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε δύο είδος τέτοιων αλλαγών: α.) δυναμική αλλαγή του υλικού όσο ο παίκτης βρίσκεται στον χώρο, β.) μια μοναδική αλλαγή που λαμβάνει χώρα αποκλειστικά όταν ο παίκτης βρεθεί στο συγκεκριμένο επίπεδο, χωρίς δηλαδή περιοδικού ελέγχου στο συναίσθημα. Το τελευταίο είδος που αναφέρθηκε, έχει μικρότερη ταχύτητα αλλαγής και θα εξηγηθεί καλύτερα στην υποενότητα του «επίπεδου διαμορφωμένο στο συναίσθημα του χρήστη». Τα υλικά που είναι διαθέσιμα για κάθε αντικείμενο με την λειτουργία αυτή είναι τρία, ένα δηλαδή για κάθε συναίσθημα. Τα αρχικά υλικά είναι αυτά που αντιστοιχούν στο *Happy* (Σχήμα 7.8). Τα υλικά που αντιστοιχούν στο *Sad* (Σχήμα 7.9) χαρακτηρίζονται από ραγισμένους τοίχους και βρόμικα πατώματα. Τέλος, τα υλικά που αντιστοιχούν στο *Angry* (Σχήμα 7.10) αντιπροσωπεύουν τον

θυμό, και χαρακτηρίζονται από τραυματισμένους τοίχους και πατώματα. Για τις ανάγκες αυτού του συστήματος χρειάστηκε συγγραφή custom shader ώστε να μπορεί να γίνει η εναλλαγή που περιγράφηκε.



Σχήμα 7.8: Δυναμικό υλικό για το συναίσθημα χαράς.



Σχήμα 7.9: Δυναμικό υλικό για το συναίσθημα λύπης.

7.5.3 Διαφορετική «χροιιά» στις καταχωρήσεις του ημερολογίου

Προκειμένου να γίνει με κάποιον τρόπο η ανταπόδοση του συναισθήματος του χρήστη στον χαρακτήρα του παιχνιδιού, οι καταχωρήσεις του ημερολογίου αλλάζουν ανάλογα με το αν την στιγμή νέας καταχώρησης έχει προβλεφθεί συναίσθημα *Happy* ή οποιοδήποτε άλλο.



Σχήμα 7.10: Δυναμικό υλικό για το συναίσθημα θυμού.

Έχουμε, δηλαδή, δύο διαφορετικές περιπτώσεις ανά καταχώρηση. Εξαίρεση αποτελούν οι καταχωρήσεις που αφορούν πληροφορία - στοιχείο γρίφου που, για μέγιστη κατανόηση από τον παίκτη, έχουν μία μορφή. Οι καταχωρήσεις *Happy* αντιστοιχούν σε «χρoιά» ενός ήρεμου ανθρώπου που σημειώνει στοιχεία για το περιβάλλον που βρίσκεται γύρω του. Αντίθετα, οι καταχωρήσεις άλλων συναισθημάτων, χαρακτηρίζονται από μια ένδειξη πανικού, με τον χαρακτήρα να προσπαθεί να καταλάβει τον λόγο που βρέθηκε στο περιβάλλον που βρίσκεται, καθώς και να βρει κατά που πρέπει να κατευθυνθεί.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα των δύο μορφών μιας καταχώρησης:

- Happy Καταχώρηση: "Turns out the hallway wasn't the way out. I'm now in a peculiar room with a table. I wonder whether the tape has any information on getting out."
- Εναλλακτική Καταχώρηση: "I turned around and before I knew it I'm being blocked by walls that I swear weren't there before. I need to get out! I should look around."

7.5.4 «Επίπεδο» διαμορφωμένο από το συναίσθημα του παίκτη

Ένα από τα «επίπεδα» του παιχνιδιού είναι ένα κτίριο που διαμορφώνεται ανάλογα με το συναίσθημα που είχε ο παίκτης όταν μετακινήθηκε εκεί. Η διαμόρφωση επηρεάζει τρία πράγματα:

1. Τα υλικά του χώρου, με την αλλαγή να γίνεται αργά. Μόλις ολοκληρωθεί, δεν πραγματοποιούνται άλλες αλλαγές ανεξάρτητα του αν εντοπιστεί άλλο συναίσθημα.
2. Το μουσικό κομμάτι επιλέγεται ανάλογα με το συναίσθημα. Αλλαγή στο συναίσθημα δεν προκαλεί αλλαγή στο μουσικό κομμάτι. Επίσης, το σύνολο από το οποίο επιλέγεται το μουσικό κομμάτι είναι διαφορετικό από το σύνολο που χρησιμοποιούταν για τη δυναμική μουσική των προηγούμενων «επιπέδων».
3. Ο γρίφος του παιχνιδιού αλλάζει ανάλογα με το συναίσθημα. Πιο συγκεκριμένα, ο γρίφος αναφέρεται σε ένα γεγονός που συνέβη και ο παίκτης πρέπει μέσω του γρίφου να βρει τις ημερομηνίες που αντιστοιχούν στο γεγονός αυτό. Τα σημεία στα οποία κομμάτια του γρίφου δίνονται, επίσης αλλάζουν. Το γεγονός στο οποίο αναφέρεται ο γρίφος αντιστοιχεί σε ένα συναίσθημα, π.χ. πάρτι - *Happy*, ή απώλεια ενός στρατιώτη - *Sad*. Προφανώς, όπως και στις υπόλοιπες διαμορφώσεις, ο γρίφος μένει σταθερός.

7.5.5 Τέλος βασισμένο στο πιο εμφανιζόμενο συναίσθημα

Το τελευταίο «επίπεδο» του παιχνιδιού δεν περιέχει γρίφο. Αντιθέτως, αποτελείται από έναν ανοικτό χώρο που διαμορφώνεται ανάλογα με το συμπέρασμα που επικράτησε κατά τη διάρκεια του *playthrough*. Η μουσική που ακούει ο παίκτης επιλέγεται από το τελευταίο σύνολο κομματιών, και είναι χαρακτηριστικά πιο έντονη και μελωδική, αντί να έχει στοιχεία φόντου. Ο παίκτης οδηγείται σε ένα ναό, όπου καλείται να κάνει κλικ επάνω σε έναν πάπυρο. Το παιχνίδι τελειώνει και εμφανίζεται στον παίκτη μια φράση που αντιπροσωπεύει το συναίσθημα του παίκτη που επικράτησε. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε πιθανό συναίσθημα υπάρχουν τρεις φράσεις, από τις οποίες επιλέγουμε μία τυχαία. Ένα παράδειγμα για το συναίσθημα *Happy* είναι: "When it rains, look for rainbows. When it's dark, look for stars."

Ο παίκτης ευχαριστείται, και πέφτουν οι τίτλοι τέλους.

7.5.6 Ενδυνάμωση του Συναισθήματος του Χρήστη

Επαναλαμβάνουμε πως ένας σημαντικός σκοπός του παιχνιδιού είναι να ενδυναμώσει το συναίσθημα του χρήστη. Αυτό συμβαίνει λαμβάνοντας το συναίσθημα του παίκτη, και παραμετροποιώντας το παιχνίδι σε αυτό. Δηλαδή, δεν προσπαθούμε κάπως να ακυρώσουμε ή να αλλάξουμε τη συναισθηματική κατάσταση του παίκτη, αλλά να του προσφέρουμε μία εμπειρία ανάλογη με την κατάσταση αυτή.

Κεφάλαιο 8

Αξιολόγηση Παιχνιδιού με Συμμετοχή Χρηστών

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται η σχεδίαση του πειραματικού σταδίου της διπλωματικής, ο τρόπος που αυτό έλαβε χώρα, καθώς και τα στατιστικά αποτελέσματα του. Μαζί με τα στατιστικά αποτελέσματα, θα εξηγήσουμε και τη μέθοδο σύγκρισης της παρούσας διπλωματικής με άλλες παρόμοιες δουλειές.

8.1 Μέθοδος Πειράματος

Ο τρόπος που επιλέχθηκε για την αξιολόγηση της δουλειάς είναι ένα πείραμα όπου οι χρήστες είχαν τη δυνατότητα να συμμετέχουν είτε μέσω ενός υπολογιστή στο εργαστήριο Ποιότητας Λογισμικού του τμήματος Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής, είτε στο δικό τους σύστημα σε δικό τους χώρο (με τη μεγάλη πλειοψηφία να συμμετέχει με δικό τους μηχάνημα). Το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων και το παιχνίδι, συνοδευόμενα από αναλυτικές οδηγίες, δόθηκαν σε ένα πλήθος ατόμων που δεν είχαν σχέση με την υλοποίηση της διπλωματικής με οποιονδήποτε τρόπο (αμερόληπτα).

Οι προϋποθέσεις που έπρεπε οι «απομακρυσμένοι» χρήστες να πληρούν είναι να έχουν μια κάμερα υπολογιστή (δόθηκε η δυνατότητα χρήσης κινητού ως κάμερα, με κατάλληλες εφαρμογές), και ένα μέτριο έως καλό σε υπολογιστική ισχύ υπολογιστή. Εκείνοι που έλαβαν μέρος μέσω του εργαστηρίου κάθισαν σε έναν έτοιμο υπολογιστή, με μόνο προαιρετικό εξοπλισμό από μέρος τους ένα ζευγάρι ακουστικά ώστε να τηρούνται τα απαραίτητα πρωτόκολλα υγιεινής. Όλοι οι συμμετέχοντες είχαν την εξής γνώση:

1. Καλούνται να παίξουν ένα παιχνίδι επίλυσης γρίφου, και προοπτικής πρώτου προσώπου.
2. Όσο παίζουν, θα πρέπει να έχουν ανοικτό μια εφαρμογή αναγνώρισης συναισθημάτων μέσω κάμερας.
3. Γνωρίζουν πως το σύστημα στέλνει δεδομένα στο παιχνίδι, χωρίς όμως να γνωρίζουν πως αυτά χρησιμοποιούνται από το παιχνίδι.

4. Το παιχνίδι αποθηκεύει κάποια δεδομένα που μπορεί μετά -προαιρετικά- ο παίκτης να μοιραστεί μαζί μας (ανώνυμα).
5. Το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων αποθηκεύει ένα σύνολο από δεδομένα για τα συναισθήματα που προέβλεψε, χωρίς αυτή η πληροφορία να περιέχει στοιχεία ταυτοποίησης του παίκτη (δεν έχουν τη μορφή εικόνας).
6. Όλη η διαδικασία είναι ανώνυμη.

Στους «απομακρυσμένους» χρήστες που δήλωσαν ενδιαφέρον συμμετοχής στη διαδικασία, στάλθηκε ένα συμπιεσμένο αρχείο (.zip) το οποίο περιείχε το παιχνίδι, το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων, δύο αρχεία κειμένου οδηγιών (.pdf), ένα στα ελληνικά και ένα στα αγγλικά, και ένα αρχείο κειμένου με λύσεις στους γρίφους του παιχνιδιού. Οι οδηγίες είχαν διαρθρωθεί έτσι ώστε εξηγούν αναλυτικά την διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσουν οι χρήστες, ανεξαρτήτως της εμπειρίας χειρισμού του υπολογιστή που διαθέτουν (π.χ. πλοήγηση στο σύστημα αρχείων των Windows, ή μεταμόρφωση αρχείων στο ερωτηματολόγιο). Για να επιτευχθεί αυτό, χωρίζονται σε επτά ενότητες, με την κάθε μία να αφορά διαφορετικό κομμάτι της διαδικασίας. Πιο αναλυτικά, οι ενότητες έχουν διαρθρωθεί ως εξής:

1. Εισαγωγή: Περιέχει μια πολύ σύντομη περιγραφή του τι εμπεριέχεται στις ενότητες που ακολουθούν, και εξηγεί τις έννοιες που αναφέρονται σε αυτές.
2. Terms – Conditions: Οι βασικοί όροι του πειράματος, με τους οποίους ο παίκτης πρέπει να συμφωνήσει για να ληφθεί υπόψη η συμμετοχή του. Ο παίκτης συμφωνεί στους όρους αυτούς κάνοντας κλικ σε ένα κουμπί που το δηλώνει αυτό στην εκκίνηση του παιχνιδιού, καθώς και μέσα σε υποχρεωτική ερώτηση στο ερωτηματολόγιο. Εδώ αναφέρονται και οι -επαναλαμβανόμενες παντού- συμφωνίες ανωνυμίας του παίκτη.
3. Περιεχόμενα Φακέλων: Η δομή και τα περιεχόμενα των φακέλων που έχει ο παίκτης στη διάθεση του, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό από εικόνες και περιγραφές. Σκοπός της ενότητας είναι να απαλείψει οποιαδήποτε δυσκολία μπορεί να συναντηθεί σε αναφορά συγκεκριμένου φακέλου ή αρχείων στη συνέχεια.
4. Χρήση Συστήματος Κάμερας: Περιγράφει βήμα προς βήμα τη χρήση της εφαρμογής του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων. Πάλι, γίνεται η χρήση εικόνων μαζί με κείμενο.
5. Χρήση Παιχνιδιού: Βασικές πληροφορίες για τη χρήση του παιχνιδιού. Αρκετά σύντομη ενότητα, μιας και οι βασικοί μηχανισμοί εξηγούνται μέσα στο παιχνίδι.
6. Ερωτηματολόγιο: Μια εισαγωγή στο ερωτηματολόγιο, καθώς και ο υπερσύνδεσμος που καταλήγει σε αυτό.
7. Analytics Upload: Εικόνες και βήματα για τη μεταμόρφωση των αρχείων μετρικών στο τέλος του ερωτηματολογίου. Οι βασικές οδηγίες επαναλαμβάνονται και εντός του ερωτηματολογίου στην αντίστοιχη ενότητα.

8.1.1 Μορφή Ερωτηματολογίου

Ο παίκτης έχοντας τελειώσει το παιχνίδι, καλείται να απαντήσει σε ένα ερωτηματολόγιο που, πέρα από συμπλήρωση δημογραφικών στοιχείων, περιέχει ερωτήματα αξιολόγησης του παιχνιδιού. Τα ερωτήματα αυτά είναι στην πλειοψηφία τους τύπου κλίμακας, όπου ο παίκτης αξιολογεί πόσο αληθής είναι μια πρόταση. Εκτός αυτών των ερωτήσεων, υπάρχουν ελάχιστες ανοικτού τύπου, και επιλογής «ναι ή όχι». Τέλος, ο παίκτης μπορεί προαιρετικά να «μεταμορφώσει» αρχεία δεδομένων που παράγει το παιχνίδι και το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων.

Στα αρχεία που κατεβάζει ο παίκτης για τη συμμετοχή του στο πείραμα, βρίσκονται δύο αρχεία οδηγιών, ένα στα ελληνικά και ένα στα αγγλικά. Το ερωτηματολόγιο διατίθεται μέσω της υπηρεσίας Google Docs σε ελληνικά και αγγλικά (η ελληνική έκδοση έχει ελληνικές περιγραφές ενοτήτων, με όλες τις ερωτήσεις να είναι στην αγγλική γλώσσα) μέσω υπερσυνδέσμου που βρίσκεται στο αρχείο οδηγιών της αντίστοιχης γλώσσας, και αποτελείται από τις εξής έντεκα ενότητες (κάθε ενότητα αντιστοιχεί σε μία σελίδα):

1. Δημογραφικά Στοιχεία
2. Usability / Playability
3. Play Engrossment
4. Enjoyment
5. Audio Aesthetics
6. Personal Gratification
7. Visual Aesthetics
8. Emotion Recognition (πρώτη σειρά ερωτήσεων)
9. Emotion Recognition (δεύτερη σειρά ερωτήσεων)
10. Αποδοχή Terms / Conditions
11. Analytics Upload

Το περιεχόμενο των ενοτήτων επεξηγείται στις ακόλουθες υποενότητες.

8.1.2 Αξιολόγηση του Παιχνιδιού

Προκειμένου να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερα η αξιολόγηση, επιλέχθηκαν ερωτήσεις από τη δοκιμασμένη κλίμακα αξιολόγησης **GUESS** [97]. Το ακρώνυμο **GUESS** σημαίνει **Game User Experience Satisfaction Scale**, δηλαδή αποτελεί μια μετρική για την ικανοποίηση του από ένα παιχνίδι. Αποτελείται από εννέα υποκλίμακες, με κάθε μία να αξιολογεί το παιχνίδι στοχεύοντας σε διαφορετικό παράγοντα. Μιας και ορισμένες από τις εννέα στοχεύουν

σε παιχνίδι με ορισμένα χαρακτηριστικά (π.χ. δυνατότητα πολλών παικτών), και παράλληλα θέλοντας να μειώσουμε το μέγεθος του ερωτηματολογίου στο πιο αποδοτικό (μικρό και περιεκτικό για όλα όσα μας αφορούν), επιλέξαμε έξι από τις εννέα. Πιο συγκεκριμένα:

- Usability / Playability: σειρά ερωτήσεων που αφορούν την ευχρηστία των μηχανισμών του παιχνιδιού.
- Play Engrossment: ερωτήσεις πάνω στην εκβάθυνση (immersion) του παίκτη στο παιχνίδι, καθώς και στην αφοσίωση τού κατά τη διάρκεια του χρόνου παιχνιδιού.
- Enjoyment: ερωτήσεις που αφορούν πόσο διασκεδαστικό είναι το παιχνίδι.
- Audio Aesthetics: ερωτήσεις πάνω στην ηχητική σχεδίαση του παιχνιδιού και την επίδραση αυτής στην εμπειρία.
- Personal Gratification: ερωτήσεις πάνω στην ικανοποίηση που προσφέρει στον παίκτη το παιχνίδι (π.χ. κατά την επίτευξη στόχων).
- Visual Aesthetics: ερωτήσεις που αφορούν την οπτική αισθητική του παιχνιδιού (π.χ. γραφικά, χρώματα, φωτισμός).

Όλες οι ερωτήσεις αυτές είναι στη μορφή κλίμακας από 1 (Strongly Disagree) έως 7 (Strongly Agree), και έχουν παρθεί αυτούσιες από τη **GUESS**. Προφανώς, αφού αφαιρέσαμε μερικές υποκλίμακες, η σύγκριση έγινε ανά υποκλίμακα, και κατά συνέπεια, ανά παράγοντα, και όχι εξ ολοκλήρου με τη βασική κλίμακα **GUESS**.

Στη συνέχεια, παραθέτουμε λεπτομερώς τη μορφή και τον σκοπό των υποκλιμάκων που επιλέξαμε για την αξιολόγηση. Αξίζει εδώ να σημειωθεί, πως παρόλο που οι «προτάσεις» των υποκλιμάκων δεν είναι -με την κυριολεκτική σημασία της λέξης- ερωτήσεις, θα αναφερόμαστε σε αυτά ως ερωτήσεις και ερωτήματα. Αυτό αποσκοπεί στην απλότητα της κατανόησης, χωρίς να επηρεάζεται το νόημα.

Λεπτομέρειες Usability / Playability

Όταν μιλάμε για το Usability ενός λογισμικού, αξιολογούμε τον βαθμό ευχρηστίας των μηχανισμών του λογισμικού αυτού. Πιο συγκεκριμένα στη δική μας περίπτωση, αναφερόμαστε στο μέτρο της ευκολίας με την οποία μπορεί να παιχτεί το παιχνίδι, έχοντας ξεκάθαρους στον παίκτη στόχους και με το ελάχιστο δυνατό πλήθος γνωστικών παρεμβολών ή εμποδίων από τη διεπαφή χρήστη και τα στοιχεία ελέγχου. Ο αριθμός των ερωτήσεων που αναφέρονται σε αυτό το κομμάτι είναι έντεκα. Για να υπολογιστεί αυτό το μέτρο, οι ερωτήσεις της υποκλίμακας μπορούν να χωριστούν σε δύο μέρη, ανάλογα με το κομμάτι του (βασικού) ερωτήματος στο οποίο σκοπεύουν να δώσουν απάντηση.

Αρχικά, ερωτήσεις όπως *"I think it is easy to learn how to play the game"*, *"I always know how to achieve my goals/objectives in the game"*, *"I feel very confident while playing the game"*, στοχεύουν να αξιολογήσουν την ευκολία που χαρακτηρίζει το παιχνίδι ανά παίκτη, καθώς και το αν ο παίκτης γνωρίζει που να κατευθυνθεί για να επιτύχει τον σκοπό του, χωρίς

να συμβουλευτεί κάποιον οδηγό. Η χρήση των ερωτήσεων αυτών (και άλλων που καθορίζει η κλίμακα **GUESS**) μας μαρτυρούν τον *πραγματικό βαθμό δυσκολίας* που έχει το παιχνίδι, και την άνεση που έχει κάποιος κατά τη διάρκεια του *playthrough*. Σημειώνουμε πως όταν μιλάμε για *πραγματικό βαθμό δυσκολίας*, αυτό σημαίνει πως είναι πιθανό ο βαθμός δυσκολίας που είχαμε κατά νου σχεδιάζοντας και υλοποιώντας το παιχνίδι, να μην ταυτίζεται με την πραγματική δυσκολία που αντιμετωπίζει ένας παίκτης σε πραγματικές συνθήκες πειράματος. Μπορεί δηλαδή ένα πλήθος γρίφων του παιχνιδιού να μη λύνονται από την πλειοψηφία των παικτών, στατιστικό δεδομένο που οδηγεί με τη σειρά του στο συμπέρασμα πως ίσως ο γρίφος είναι πολύ δυσνόητος, τα στοιχεία που έχει ο παίκτης για την επίλυση του έχουν αδιευκρίνιστο νόημα, ή τα στοιχεία είναι σε πολύ καλά κρυμμένα σημεία του τρισδιάστατου περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να μην τα βρίσκει ποτέ ο παίκτης. Υπάρχει βέβαια και το ενδεχόμενο το παιχνίδι να είναι πιο εύκολο απ' όσο υπολογίστηκε (*πραγματικό βαθμό δυσκολίας* μικρότερος από *βαθμός δυσκολίας στη φάση σχεδίασης*), αλλά αυτό το στατιστικό συμπέρασμα δεν είναι απαραίτητα αρνητικής φύσεως και δε μας παραπέμπει σε πιθανή επανασχεδίαση (εκτός βέβαια αν ο υψηλός βαθμός δυσκολίας αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της σχεδίασης και του σκοπού του παιχνιδιού, κάτι που δεν ισχύει στη δική μας περίπτωση).

Το δεύτερο κομμάτι των ερωτήσεων αποσκοπεί στην αξιολόγηση των χειρισμών του παιχνιδιού, και της σχεδίασης της διεπαφής χρήστη. Οι ερωτήσεις έχουν τη μορφή *"I find the controls of the game to be straightforward"*, *"I find the game's interface to be easy to navigate"*, *"I feel the game trains me well in all of the controls"*. Είναι απαραίτητο σε ένα παιχνίδι η σχεδίαση του να παρέχει στον παίκτη επαρκή «εκπαίδευση» τόσο στις μεθόδους χειρισμού του χαρακτήρα μέσα στο τρισδιάστατο περιβάλλον (keybinds, χειρισμός κάμερας, κτλ), όσο και στη χρήση των μηχανισμών του. Στην περίπτωση μας, μετράμε την απόδοση των «οδηγιών» (tutorials) που -όπως περιγράψαμε στο κεφάλαιο της σχεδίασης του παιχνιδιού- δίνονται στα αρχικά στάδια του *playthrough* κομμάτι προς κομμάτι, εξηγώντας έτσι τους μηχανισμούς με παραδείγματα που καλείται να εκτελέσει ο παίκτης. Επίσης, σημασία έχει και η αξιολόγηση της σχεδίασης του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής χρήστη (GUI), το οποίο στην περίπτωση μας περιλαμβάνει -πέρα από το μενού παύσης (pause menu)- τη διεπαφή *Journal* (Ημερολογίου), και τη διεπαφή *Inventory*. Κακή σχεδίαση σε οποιαδήποτε από της δύο αυτές διεπαφές, θα καταλήξει αναπόφευκτα σε κακή εμπειρία παίκτη, μιας και η επίλυση των γρίφων σε αυτή την περίπτωση θα ήταν πολύ δύσκολη, αν όχι αδύνατη. Είναι άλλωστε κανόνας της τεχνολογίας λογισμικού, πως κακή σχεδίαση διεπαφής χρήστη συνεπάγεται κακή εμπειρία χρήστη (*Bad UI, Bad UX*¹).

Λεπτομέρειες Play Engrossment

Έχουμε πια επιλυμένα αναφέρει τη «βύθιση» σε έναν άλλο κόσμο ως βασικό στόχο ενός παιχνιδιού. Η μέτρηση της ικανότητα ενός παιχνιδιού να «απορροφήσει» την προσοχή του παίκτη είναι το θέμα που πραγματεύονται οι ερωτήσεις Play Engrossment. Συγκεκριμένα στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής, αναφερόμαστε στο ερώτημα σε πιο βαθμό το παιχνίδι μπορεί

¹UI: User Interface, UX: User Experience

να κρατήσει την προσοχή, αλλά και το ενδιαφέρον του παίκτη, κατά τη διάρκεια ενός «πλαψτηρουγής». Για να εξηγηθεί καλύτερα η χρήση των οκτώ αυτών ερωτήσεων, θα τις χωρίσουμε σε δύο μέρη βασισμένοι στο πόση σημασία έχουν στα πλαίσια του δικού μας παιχνιδιού.

Πρώτα, δίνουμε έμφαση στο τμήμα των ερωτήσεων της υποκλίμακας που έχει τη μεγαλύτερη σημασία για εμάς. Το τμήμα αυτό, περιλαμβάνει ερωτήσεις που αφορούν κυρίως το πόσο ξεκούραστο - χαλαρωτικό είναι το παιχνίδι, και τη «βύθιση» του παίκτη σε αυτό. Ερωτήσεις όπως *"I cannot tell that I am getting tired while playing the game"*, *"I temporarily forget about my everyday worries while playing the game"* μας βοηθούν να αξιολογήσουμε το πόσο ένας παίκτης χαλαρώνει καθώς παίζει, αφήνοντας έτσι πίσω του έννοιες που μπορεί να έχει στην καθημερινότητα του. Προφανώς, οποιαδήποτε δραστηριότητα πετυχαίνει κάτι τέτοιο έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ψυχική υγεία του χρήστη, και κατ' επέκταση στη ζωή του. Ένα παιχνίδι δηλαδή που μπορεί να απορροφήσει την προσοχή του παίκτη, και να τη στρέψει μακριά από προβλήματα και ψυχικά αγχωτικές σκέψεις, έχει τη δυνατότητα να προσφέρει ένα ψυχολογικό *boost* με έναν δημιουργικό τρόπο. Ταυτόχρονα, αξιολογούμε και το πόσο κουραστικό είναι το παιχνίδι. Στην περίπτωση μας που έχουμε πολλούς γρίφους, πολλών ειδών στοιχεία ποικίλων μορφών, έχει ενδιαφέρον να μετρήσουμε πόσο κουραστικά είναι αυτά για τον παίκτη. Κάτι τέτοιο είναι δύσκολο να προβλεφθεί κατά τη φάση της σχεδίασης, και ο βαθμός δυσκολίας του παιχνιδιού συναρτήσει της καλής ή κακής σχεδίασης του, μπορεί να αποφέρει διαφορετικά αποτελέσματα από παίκτη σε παίκτη. Η ποιότητα δηλαδή της συγγραφής των γρίφων μας, έχει άμεσο αντίκτυπο στη «βύθιση» του παίκτη, και στον βαθμό κατά τον οποίον κουράζεται. Επίσης, σημασία έχει και το πόσο επικεντρωμένος είναι ο παίκτης όταν παίζει. Αυτό έχει μεγάλο νόημα για εμάς, μιας και ο χρόνος ολοκλήρωσης του παιχνιδιού είναι αρκούντως μικρός (υπενθυμίζουμε πως ο χρόνος είναι γύρω στα τριάντα λεπτά), και η χρήση του συναισθήματος στο παιχνίδι έχει λίγη σημασία αν υπάρχουν πολλές παύσεις κατά τη διάρκεια του *playthrough*. Επομένως, κάνοντας χρήση ερωτήσεων όπως *"I can block out most other distractions when playing the game"*, αξιολογούμε την ικανότητα του παιχνιδιού να τραβήξει την προσοχή του παίκτη, ώστε να εμποδίσει αυτός παράγοντες που μπορεί να του αποσπάσουν την προσοχή (π.χ. παύση παιχνιδιού για να ελέγξει μία ασήμαντης φύσης ενημέρωση στο κινητό του). Περισσότερα θα δούμε όταν μιλήσουμε για την υποκλίμακα του Personal Gratification, παρακάτω.

Στο δεύτερο τμήμα των ερωτήσεων, κάνουμε λόγω για εκείνες που δεν ενδιαφέρουν σε μεγάλο βαθμό την περίπτωση μας. Παράδειγμα αποτελούν οι ερωτήσεις *"Whenever I stopped playing the game I cannot wait to start playing it again"* και *"I tend to spend more time playing the game than I have planned"*, οι οποίες παρόλο που εντάσσονται στη μέτρηση του Play Engrossment, δεν αντιστοιχούν σε αξιολόγηση ενός παιχνιδιού που έχει σχεδιαστεί για να παιχτεί αποκλειστικά μια φορά. Πράγματι, από το πρώτο παράδειγμα ερώτησης φαίνεται πως αναφέρονται σε παιχνίδια με επαναληπτικό χαρακτήρα, που προσφέρουν δηλαδή εμπειρίες τις οποίες ο παίκτης μπορεί να «βιώσει» πολλαπλές φορές. Πρότυπα παιχνιδιών για την αξιολόγηση των οποίων θα είχε ενδιαφέρον αυτό το τμήμα ερωτήσεων, είναι τα μεγαλύτερα σε τρόπους παιξίματος παιχνίδια, τα διαδικτυακά παιχνίδια, καθώς και εκείνα που αποσκοπούν σε πιο συγκεκριμένα είδη εμπειρίας (π.χ. εκπαιδευτικά, ή roguelike). Ο λόγος που αυτές οι

ερωτήσεις προστέθηκαν στο ερωτηματολόγιο που καλείται να απαντήσει ο παίκτης, είναι πως δίνουν μια μικρή πληροφορία ακόμα και στην περίπτωση μας, αλλά και πως δεν έχει νόημα η σύγκριση -στα πλαίσια της υποκλίμακας αυτής- με άλλα παιχνίδια, αν αφαιρούσαμε (ή θέταμε ως μην υποχρεωτικές) κάποιες ερωτήσεις.

Λεπτομέρειες Enjoyment

Ερχόμαστε στο πιο ξεκάθαρο και ίσως πιο σημαντικό μέρος της αξιολόγησης. Λίγες ερωτήσεις μας δίνουν περισσότερη πληροφορία για μια εμπειρία που έζησε κάποιος όσο το «πέρασε καλά». Αυτόν τον σκοπό έχει η υποκλίμακα Enjoyment. Πιο αναλυτικά, αποτελείται από πέντε ερωτήσεις που αποσκοπούν στη μέτρηση της ποσότητας ευχαρίστησης και απόλαυσης που έγινε αντιληπτή από τον παίκτη, και εκδηλώθηκε ως αποτέλεσμα του παιχνιδιού. Οι ερωτήσεις αυτές αναφέρονται απευθείας στη διασκέδαση που προσφέρει το παιχνίδι, καθώς και πράξεις του παίκτη που συνδέονται με την ύπαρξη αυτής.

Καταρχάς, θα ήταν απερισκεψία να μην ξεκινήσουμε την περιγραφή (αλλά και την αντίστοιχη ενότητα του ερωτηματολογίου) με το λιτό αλλά κατατοπιστικό ερώτημα *"I think the game is fun"*, συνοδευόμενο από το *"I enjoy playing the game"*. Σημειώνουμε, πως ένα από τα ερωτήματα είναι αντίστροφης φύσεως (*"I feel bored while playing the game"*), το οποίο παρόλο που δε μας προσφέρει περαιτέρω πληροφορίες από τα προηγούμενα, μας επιτρέπει να εντοπίσουμε outlier² απαντήσεις (π.χ. στην περίπτωση που κάποιος απαντήσει πως πέρασε καλά, αλλά βαρέθηκε τελείως). Απατώντας σ' αυτά τα τρία ερωτήματα, ο παίκτης μας λέει αμέσως την ποιότητα της εμπειρίας που μόλις «βίωσε». Κατ' επέκταση, σε επίπεδο πειράματος, λαμβάνουμε τα πιο πολύτιμα και διαφωτιστικά στοιχεία για το αν το παιχνίδι που σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε πέτυχε τον θεμελιώδη σκοπό του: να περάσει καλά ο παίκτης. Προφανέστατα, ο πρωταρχικός στόχος του οποιουδήποτε είδους ψυχαγωγίας ή διασκέδασης δεν είναι κανένας άλλος από το να προσφέρει στον χρήστη ένα σύνολο από «θετικού προσήμου» συναισθήματα, παρακαείμενα της χαράς. Το δικό μας παιχνίδι αποσκοπεί όχι μόνο στην απόλυτη επίτευξη αυτού του στόχου, αλλά και στη χρήση των συναισθημάτων που άμεσα σχετίζονται με αυτόν (ή μάλλον προκαλούνται από αυτόν) στο ίδιο το παιχνίδι. Θα μπορούσε να πει κανείς δηλαδή, πως εάν κατά τη διάρκεια ενός πειράματος με χρήστες, το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων που υλοποιήσαμε εντοπίζει κατά κύριο λόγο το συναίσθημα που αυτό γνωρίζει ως χαρά (αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια ως Happy), έχει βάση ο ισχυρισμός ότι ένας παράγοντας αυτού του αποτελέσματος είναι το ίδιο το παιχνίδι. Γίνεται λοιπόν προφανές γιατί οι ερωτήσεις της παρούσας υποκλίμακας συγκρίνονται και με εκείνες που αναφέρονται στην αξιολόγηση της αναγνώρισης συναισθημάτων (τις παρουσιάζουμε παρακάτω), καθώς και τα δεδομένα που παράγει το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων για κάθε παίκτη, σε περίπτωση που τα έχει μοιραστεί μαζί μας. Βέβαια, όπως εξηγήσαμε σε πολλά σημεία, από την εισαγωγή μέχρι και τη σχεδίαση του παιχνιδιού, η έννοια της απόλαυσης δεν ταυτίζεται απαραίτητα με τη χαρά. Πράγματι, μένοντας στα παιχνίδια, ένας από τους λόγους που το δικό μας παιχνίδι δέχεται και αντιδρά σε πλήθος συναισθημάτων είναι πως -περισσότερο από συχνά- σκοπός των παιχνιδιών

² Δεδομένα που δε σχετίζονται με τα υπόλοιπα, λόγω της ακραίας φύσης τους σε σχέση με αυτά

είναι η ενσυναίσθηση. Στην περίπτωση μας, λίγο νόημα θα είχε να είχαμε είσοδο συναισθημάτων, εάν το μόνο πιθανό συναίσθημα ήταν η χαρά. Έχει σημασία λοιπόν να υπογραμμιστεί εδώ αυτό το γεγονός, ώστε να γίνει κατανοητό αυτό που θέλουμε να απαντήσουμε με τις παραπάνω ερωτήσεις: όχι το *αν χάρηκες*, αλλά το *αν πέρασες καλά*.

Στην αρχή της περιγραφής αυτής, κάναμε λόγο για πράξεις του παίκτη που συνδέονται με τη διασκέδαση την οποία αποσκοπεί να του προσφέρει το παιχνίδι. Αναφερόμαστε ουσιαστικά, στις ενέργειες που εκτελούνται ως αντιδράσεις στην ποιότητα του παιχνιδιού. Οι ερωτήσεις που αντιστοιχούν σε αυτές είναι: *"I am likely to recommend this game to others"* και *"If given the chance, I want to play this game again"*. Η πρώτη έχει έναν κοινωνικό χαρακτήρα, και ζητά την πιθανότητα ο παίκτης να διαδώσει και να προτείνει το παιχνίδι που έπαιξε σε άλλους. Η συγκεκριμένη ερώτηση γενικεύεται και συναντάται σε κάθε τομέα λογισμικού (και κατ' επέκταση προϊόντων), και η απάντηση της παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία ενός λογισμικού. Το να αρέσει ένα παιχνίδι σε κάποιον είναι ένα πράγμα. Το να το προτείνει σε άλλους, είναι πολύ ανωτέρας σημασίας. Η δεύτερη ερώτηση, αναφέρεται στη διάθεση ενός παίκτη να ξαναπαιξει το παιχνίδι. Αυτό το αναφέρουμε ως *replayability* του παιχνιδιού, και καθορίζεται -όπως εξηγήσαμε παραπάνω- κυρίως από το είδος του παιχνιδιού.

Λεπτομέρειες Audio Aesthetics

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της σχεδίασης και υλοποίησης, μια μορφή ψυχαγωγίας -πόσο μάλλον ένα παιχνίδι- είναι ελλιπής σε περίπτωση που δε χρησιμοποιήσει ερεθίσματα που εκμεταλλεύονται μία από τις πιο βασικές ανθρώπινες αισθήσεις: την ακοή. Η υποκλίμακα με όνομα Audio Aesthetics, όπως μαρτυρά και το όνομα, ασχολείται αποκλειστικά με την αίσθηση αυτή. Συγκεκριμένα, οι τέσσερις ερωτήσεις αποσκοπούν στην αξιολόγηση της χρήσης των διαφορετικών ακουστικών πτυχών του παιχνιδιού (π.χ. ηχητικά εφέ, μουσική, ηχητικά ντοκουμέντα) και του πόσο αυτές εμπλουτίζουν την εμπειρία του παίκτη στο παιχνίδι. Για να πετύχουμε καλύτερη επεξήγηση, χωρίζουμε εδώ τις ερωτήσεις σε γενικής φύσεως, και σε αυτές που αναφέρονται στον εμπλουτισμό που αναφέραμε.

Αρχικά, κάνουμε λόγο για τα ερωτήματα γενικής φύσεως. Τα ερωτήματα αυτά αφορούν την αξιολόγηση της ποιότητας των ηχητικών στοιχείων του παιχνιδιού, και όχι απαραίτητα τη χρήση τους στο παιχνίδι. Τέτοιες ερωτήσεις είναι οι *"I enjoy the sound effects in the game"* και *"I enjoy the music in the game"*. Η πρώτη ερώτηση, αναφέρεται στα ηχητικά εφέ του παιχνιδιού και η δεύτερη στη μουσική του παιχνιδιού. Τα ηχητικά εφέ μπορεί να είναι ηχητικά στοιχεία με την κυριολεκτική έννοια των εφέ, όπως ο θόρυβος του ανέμου, η αγνώστου περιεχομένου μακρινή συζήτηση ενός πλήθους, το «στρίγκλισμα» των ελαστικών ενός αυτοκινήτου, ή ένας πυροβολισμός, αλλά μπορεί να είναι και στοιχεία που έχουν της μορφής ηχητικών ντοκουμέντων, διαλόγου μεταξύ προσώπων, ή και μονολόγου του χαρακτήρα του παίκτη. Στη δική μας περίπτωση, ο παίκτης συναντάει ένα μεγάλο πλήθος ηχητικών εφέ (με την κυριολεκτική σημασία) από την αρχή μέχρι το τέλος του *playthrough*, πολλά από τα οποία τον συνοδεύουν σε όλο το παιχνίδι (π.χ. ήχος βημάτων ή τρεξίματος, άνοιγμα *Journal*). Η καλή ποιότητα των ηχητικών εφέ είναι σημαντικό κομμάτι του παιχνιδιού, μιας και σκοπός

τους είναι να προσομοιάσουν τους ήχους που θα περίμενε ο παίκτης κάνοντας τις πράξεις του παιχνιδιού στον πραγματικό κόσμο. Επομένως, η μέτρηση της ποιότητας των ηχητικών εφέ, μας δίνει κατ' επέκταση μια ιδέα για τον βαθμό «βύθισης» του παίκτη στο παιχνίδι (εξηγείται στην επόμενη παράγραφο), και ενδέχεται να μας προσφέρει σημαντικά δεδομένα για το πόσο αυτά ταιριάζουν στο μέρος που χρησιμοποιούνται, πόσο καλή είναι η μίξη³ τους, καθώς και η ποιότητα ηχογράφησης τους. Ερχόμενοι στη μουσική του παιχνιδιού, και στο ερώτημα που την αξιολογεί, παρατηρούμε μια διαφορά ανάμεσα σε αυτή και τα ηχητικά εφέ. Η διαφορά αυτή βρίσκεται -όπως εξηγήσαμε και στο κεφάλαιο της σχεδίασης και υλοποίησης του παιχνιδιού- στον σκοπό που έχει η μουσική, και τους ρόλους που παίζει μέσα στο παιχνίδι. Ενώ τα ηχητικά εφέ συνήθως αποσκοπούν στην προσομοίωση του πραγματικού κόσμου, η μουσική δε χρησιμεύει εκεί (αναλυτικότερα στην επόμενη παράγραφο). Η αξιολόγηση λοιπόν της μουσικής σε γενικό βαθμό, είναι ικανή να μας δώσει πληροφορίες για την ποιότητα της ηχογράφησης της, της μίξης της, της ποικιλίας της (επαναλαμβανόμενη μεν, αλλά έχοντας εναλλαγές ώστε να μη γίνει μονότονη και βαρετή στον παίκτη), καθώς και την ποιότητα του ίδιου του μουσικού περιεχομένου. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτά τα δεδομένα μπορούν να παρθούν χωρίς ο παίκτης να πρέπει να γνωρίζει της λεπτομέρειες της αξιολόγησης που κάνει, μιας και οι ερωτήσεις είναι απλής φύσεως.

Έχοντας αναφερθεί αναλυτικά στην αξιολόγηση γενικής φύσεως, φτάνουμε στις δύο ερωτήσεις που έχουν σκοπό την αξιοποίηση των ηχητικών στοιχείων μέσα στο πλαίσιο του παιχνιδιού. Οι ερωτήσεις αυτές είναι *"I feel the game's audio (e.g., sound effects, music) enhances my gaming experience"* και *"I think the game's audio fits the mood or style of the game"*. Όπως είδαμε, τα ηχητικά εφέ έχουν διαφορετικό χαρακτήρα από τη μουσική. Στην περίπτωση του παιχνιδιού μας, τα ηχητικά εφέ αποσκοπούν στο να εμπλουτίσουν την εμπειρία του παίκτη, προσθέτοντας μια μορφή ηχητικής ανταπόδοσης - απόκρισης στις ενέργειες του. Αξιολογούμε λοιπόν, κατά πόσο τα εφέ αυτά ταιριάζουν στο «στυλ» του παιχνιδιού, και κατά πόσο συνεισφέρουν στη «βύθιση» του παίκτη στο περιβάλλον του παιχνιδιού. Η μουσική από την πλευρά της, έχει γενικά τον ρόλο της δημιουργίας ατμόσφαιρας, η οποία ενισχύει την εμπειρία του παίκτη βάζοντας τον σε μια συγκεκριμένη πνευματική κατάσταση. Στη δική μας περίπτωση όμως, η μουσική αντιδρά στο συναίσθημα του παίκτη, πράγμα που σημαίνει πως η ατμόσφαιρα δημιουργείται από τον ίδιο τον παίκτη, και αποσκοπεί στην αντιπροσώπευση της συναισθηματικής του κατάστασης στο περιβάλλον του παιχνιδιού. Επομένως, ο παίκτης αξιολογεί ουσιαστικά, κατά πόσο η μουσική «αγκαλιάζει» και «ενθαρρύνει» την ψυχολογική του κατάσταση. Οι απαντήσεις του παίκτη σε αυτά τα ερωτήματα έχει νόημα να συγκριθούν με εκείνες της ενότητας της αναγνώρισης συναισθημάτων στο ερωτηματολόγιο, καθώς και με τα δεδομένα που παράγονται από το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων, σε περίπτωση που τα έχει μοιραστεί μαζί μας ο παίκτης.

³Καθορισμός της έντασης, ώστε να ακούγονται όπως προβλέπεται, χωρίς να επικαλύπτονται

Λεπτομέρειες Personal Gratification

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, σχεδιάζουμε ένα σύστημα ψυχαγωγίας, το οποίο χαρακτηρίζεται από την ενεργητική του φύση. Αυτό σημαίνει πως αντί ο χρήστης να έχει παθητικό ρόλο στη μορφή ψυχαγωγίας, υπάρχει ένα σύνολο μεθόδων αλληλεπίδρασης ανάμεσα στις δύο οντότητες. Η υποκλίμακα Personal Gratification έχει ως στόχο της να αποτιμήσει την επίδραση της αλληλεπίδρασης αυτής στον παίκτη. Αναλυτικότερα, τα ερωτήματα που της αντιστοιχούν αξιολογούν παρακινητικές πτυχές του παιχνιδιού (π.χ. πρόκληση, επίλυση γρίφων, εξερεύνηση χώρου) που προωθούν την αίσθηση της ολοκλήρωσης (sense of accomplishment) του παίκτη, και τη γενική επιθυμία που έχει ο παίκτης να επιτύχει και να συνεχίσει να παίζει το παιχνίδι. Χωρίζουμε αυτές τις έξι ερωτήσεις σε δύο τμήματα, όπου το πρώτο ασχολείται με την αίσθηση της επιτυχίας του παίκτη, και το δεύτερο ασχολείται με την ενίσχυση της επιθυμίας του παίκτη να συνεχίσει το παιχνίδι.

Πρώτον, έχουμε ήδη κάνει λόγο για την τεράστια σημασία της ικανοποίησης που μπορεί να προκαλέσει η επίτευξη στόχων στον παίκτη κατά τη διάρκεια ενός *playthrough*. Η συντριπτική πλειοψηφία των ηλεκτρονικών παιχνιδιών βασίζονται στον πυρήνα τους σε αυτή την έννοια. Ένα παιχνίδι που προσφέρει ευχαρίστηση στον παίκτη καθώς αυτός μαθαίνει το παιχνίδι και τους μηχανισμούς του, εκπληρώνει τους στόχους που αυτό του θέτει ή θέτει ο ίδιος στον εαυτό του, ή -στην περίπτωση κυρίως των παιχνιδιών πολλών παικτών- έχοντας καλύτερη επίδοση από κάποιον άλλον. Οι ερωτήσεις που χρησιμοποιούνται από την κλίμακα **GUESS** για την αξιολόγηση όλων αυτών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, έχουν τη μορφή "*I feel successful when I overcome the obstacles in the game*" και "*I find my skills gradually improve through the course of overcoming the challenges in the game*". Τα παραπάνω έχουν καθοριστική σημασία στην αξιολόγηση του δικού μας παιχνιδιού, τόσο στην υλοποίηση, όσο και στην σχεδίαση. Η φύση του παιχνιδιού ως ένα ψηφιακό *escape room* που ζητάει από τον παίκτη να εξερευνήσει τον χώρο γύρω του, να μαζέψει στοιχεία, και να συνδυάσει τη γνώση του με εκείνη που του προσφέρει το παιχνίδι για να λύσει ένα πλήθος από γρίφους, αποσκοπεί άμεσα στην πρόκληση της αίσθησης ολοκλήρωσης (sense of accomplishment) στον παίκτη. Αυτό συνεπάγεται πως ο παίκτης -απατώντας σε αυτά τα ερωτήματα αφού παίζει το παιχνίδι- παρέχει δεδομένα για την καλή σχεδίαση των γρίφων, τη δυσκολία αυτών, καθώς και τη σχεδίαση της «εκπαίδευσης» του παίκτη στους μηχανισμούς του παιχνιδιού όσο προχωράει το *playthrough*. Το τελευταίο μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα, μιας και λόγω της γενικής αρχιτεκτονικής του παιχνιδιού μας, σε συνδυασμό με τη σύντομη διάρκεια παιξίματος, οι μηχανισμοί εκπαίδευσης (tutorials) μαζί με την προοδευτική δυσκολία (progressive difficulty) του παιχνιδιού πρέπει να αποτελούν μια καταλλήλως ομαλή καμπύλη εκμάθησης *Learning Curve*, με αποτέλεσμα ο παίκτης να νιώθει πως έχει όλη τη γνώση που χρειάζεται για να επιτύχει τους στόχους του σε κάθε στάδιο του παιχνιδιού, μαθαίνοντας παράλληλα πληροφορίες που θα του φανούν χρήσιμες στη συνέχεια, οδηγώντας τελικά στην ικανοποίηση του παίκτη από την επίλυση γρίφων και την υπέρβαση των προκλήσεων που θέτει το παιχνίδι. Κακή σχεδίαση σε αυτόν τον τομέα, συνεπάγεται την απότομη δυσκολία, τα προβλήματα του παίκτη στη σωστή χρήση των μηχανισμών του παιχνιδιού, και τελικά στην έλλειψη διασκέδασης και ευχαρίστησης από

την επίτευξη στόχων.

Τώρα, απαιτείται να αναφερθούμε και στην ενίσχυση του παίκτη να συνεχίσει να παίζει. Όπως ένα βιβλίο ή μια κινηματογραφική ταινία πρέπει να κρατάει την προσοχή κάποιου εστιασμένη σε κάθε στάδιο, ένα παιχνίδι αποσκοπεί στο να «εμπνεύσει» τον παίκτη ώστε να αναμένει το επόμενο μέρος. Θέλουμε, προφανώς, ο παίκτης να ανυπομονεί να δει τι συνέχεια, χωρίς αυτό βέβαια να μειώνει την προσοχή που δίνει στο στάδιο του παιχνιδιού στο οποίο βρίσκεται. Η υποκλίμακα αυτή μετράει την «έμπνευση» αυτή με ερωτήσεις όπως *"I am in suspense about whether I will succeed in the game"* και *"feel the game constantly motivates me to proceed further to the next stage or level"*. Στη δική μας περίπτωση, το παιχνίδι αποσκοπεί σε αυτό παρουσιάζοντας στο παίκτη -σε κάθε στάδιο- ένα ενδιαφέρον περιβάλλον τελείως διαφορετικό από τα προηγούμενα, και με ιδιότητες που στοχεύουν στη δημιουργία της αίσθησης ενός μυστηρίου και παραφυσικού χαρακτήρα στον χώρο αυτόν. Επομένως, αξιολογώντας κατά πόσο ο παίκτης θέλει να συνεχίσει να παίζει, μετράμε την ποιότητα της σχεδίασης των «επιπέδων» του παιχνιδιού (Level Design), και τον βαθμό «βύθισης» του στο περιβάλλον. Εάν δεν πετύχουμε σε αυτόν τον τομέα, είναι απίθανη η ικανοποίηση του παίκτη από το παιχνίδι.

Λεπτομέρειες Visual Aesthetics

Όταν αναφερόμαστε σε ένα είδος ψυχαγωγίας που κάνει χρήση οπτικών ερεθισμάτων, έχει αξία η μέτρηση της ποιότητας τους. Σε ένα παιχνίδι, η θεμελιώδης μορφή ερεθισμάτων που δέχεται ο παίκτης είναι οπτική μέσω της οθόνης, είτε ενός υπολογιστή / τηλεόρασης (Monitor / TV Screen), είτε ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality). Η αξιολόγηση των οπτικών ερεθισμάτων είναι ο λόγος ύπαρξης της υποκλίμακας Visual Aesthetics. Δηλαδή, οι τρεις ερωτήσεις της κρίνουν το επίπεδο των γραφικών του παιχνιδιού, και πόσο ελκυστικά φάνηκαν αυτά στον παίκτη. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε αναλυτικά στην αρέσκεια των γραφικών στοιχείων του παιχνιδιού, καθώς και τον βαθμό κατά των οποίων αυτά ταιριάζουν στο είδος και στο «στυλ» του παιχνιδιού.

Καταρχάς, μας απασχολεί το ζήτημα των γραφικών στοιχείων, και στην αισθητική που αυτά προσφέρουν. Όταν μιλάμε για γραφικά στοιχεία, αναφερόμαστε γενικά στα χρώματα του παιχνιδιού, στα στοιχεία τέχνης που αυτό περιλαμβάνει, καθώς και συγκεκριμένα στα τρισδιάστατα (ή δισδιάστατα) αντικείμενα και τα υλικά τους, τα οποία απαρτίζουν τον ψηφιακό χώρο όπου διαδραματίζεται το παιχνίδι. Τα δύο ερωτήματα της υποκλίμακας που μας ενδιαφέρουν εδώ είναι τα *"I enjoy the game's graphics"* και *"I think the game is visually appealing"*. Είναι αξιόλογο να σημειωθεί εδώ, πως μιλώντας για «ποιοτικά γραφικά», δεν κάνουμε λόγο αποκλειστικά για «ρεαλιστικά γραφικά», όπου δηλαδή έχουμε έναν εικονικό χώρο που προσομοιώνει άψογα τον πραγματικό κόσμο. Υπάρχουν δηλαδή πολυάριθμες περιπτώσεις όπου τα «καλά γραφικά» σχετίζονται με την αισθητική που προσφέρουν. Εκεί μιλάμε για «καλλιτεχνική» σχεδίαση στα γραφικά του παιχνιδιού, τα οποία μέσω του καλλιτεχνικού στυλ που ακολουθούν βάζουν τον παίκτη σε μια συγκεκριμένη συναισθηματική κατάσταση. Μάλιστα, η σχεδίαση και το είδος των γραφικών ενός παιχνιδιού (μαζί ίσως και με τη μουσική) είναι το πρώτο ερέθισμα που δέχεται ο παίκτης από αυτό, δημιουργώντας έτσι γρήγορα πρώτες

εντυώσεις. Έχει λοιπόν πολύ μεγάλη σημασία η καλή αξιολόγηση τους. Στην περίπτωση του δικού μας παιχνιδιού, στοχεύουμε σε μία αρκούντως ρεαλιστική προσέγγιση στο κομμάτι των γραφικών, πράγμα που σημαίνει πως αποσκοπούμε στη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων (3D Meshes) που έχουν αληθοφανή μορφή σε σχέση με αυτά της πραγματικότητας, και σε εικονικά υλικά ρεαλιστικής όψης και που ταιριάζουν με το καθένα από τα αντικείμενα αυτά. Όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο της σχεδίασης και υλοποίησης του παιχνιδιού, πολλά από τα υλικά που έχουν ανατεθεί σε αντικείμενα όπως τοίχους και πατώματα, αλλάζουν ανάλογα με το συναίσθημα του παίκτη. Επομένως, έχουν ακόμα μεγαλύτερη σημασία για εμάς τα στατιστικά δεδομένα που προκύπτουν από τις απαντήσεις αυτών των ερωτημάτων. Ταυτόχρονα, ένα παιχνίδι με όμορφη γραφική σχεδίαση απορροφά τον παίκτη περισσότερο, με αποτέλεσμα ο παίκτης να εξερευνά τον διαθέσιμο εικονικό χώρο παραπάνω, να έχει μια καλύτερη εμπειρία από το παίξιμο του παιχνιδιού, καθώς και να «βυθίζεται» (immersed) περισσότερο μέσα στο παιχνίδι. Σε περίπτωση που τα γραφικά δεν είναι καλά, υπάρχει το ενδεχόμενο να περιφρονηθεί το κομμάτι της εξερεύνησης (τουλάχιστον) από τους παίκτες, και η καλή εμπειρία να αντικατασταθεί από ένα παιχνίδι που τείνει σε αγγαρεία.

Περνώντας στο κομμάτι της συσχέτισης του στυλ του παιχνιδιού και των γραφικών, έχει σημασία να κατανοηθεί ποια είναι η σχέση τους. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το καλλιτεχνικό είδος στο οποίο εντάσσεται ένα παιχνίδι καθορίζει και το είδος των γραφικών από τα οποία αποτελείται. Το στυλ του παιχνιδιού τείνει να ταυτίζεται με το καλλιτεχνικό είδος του. Με αυτό εννοούμε πως όταν θέλουμε -όπως στην περίπτωση μας- ένα παιχνίδι που προσομοιώνει τον πραγματικό κόσμο (ρεαλιστική τέχνη) το στυλ των γραφικών είναι ρεαλιστικό. Η ερώτηση που στοχεύει στην αξιολόγηση αυτής της σχέσης μέσα στο παιχνίδι είναι η *"I think the graphics of the game fit the mood or style of the game"*. Όταν κάνουμε λόγο για *mood* του παιχνιδιού, αναφερόμαστε στην ψυχική διάθεση που ταιριάζει στο παιχνίδι. Για την περίπτωση μας, θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε πως η ψυχική διάθεση του παιχνιδιού ταυτίζεται με εκείνη του παίκτη, μέσω του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων και των μηχανισμών που προκαλούν την προσαρμογή του παιχνιδιού σε αυτά. Όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ένας βασικός μηχανισμός προσαρμογής του παιχνιδιού στο συναίσθημα είναι η αλλαγή των υλικών του εικονικού τρισδιάστατου χώρου. Αυτό σημαίνει τελικά, πως η ψυχική διάθεση -μαζί με το στυλ- του παιχνιδιού αλλάζει όταν αλλάζουμε τα γραφικά, δένοντας έτσι τη σχέση των δύο. Αξιολογώντας δηλαδή αυτό το κομμάτι που συζητάμε, αξιολογούμε και την απόδοση του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων, καθώς και του μηχανισμού προσαρμογής σε αυτό, βλέποντας έτσι πόσο ο ψηφιακός κόσμος αντανακλά τη συναισθηματική κατάσταση του παίκτη.

Αναφορά στις Υποκλίμακες που Αφαιρέθηκαν

Στο σημείο αυτό, μετά τη λεπτομερή περιγραφή των επιλεγμένων υποκλιμάκων, στρεφόμαστε σε αυτές που «παράλείψαμε».

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η χρήση που έγινε της κλίμακας **GUESS** περιορίστηκε στις έξι από τις εννέα υποκλίμακες. Είναι σκόπιμο λοιπόν, να κάνουμε λόγο και για εκείνες

που αφαιρέθηκαν, καθώς και τους λόγους που μας οδήγησαν στις επιλογές αυτές. Αρχικά, έπρεπε να σιγουρευτούμε πως οι ερωτήσεις που περιείχε το ερωτηματολόγιο είχαν νόημα στο πλαίσιο του παιχνιδιού και της σχεδίασης του, πράγμα που σημαίνει πως δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ερωτήσεις που αφορούσαν ευρέως διαφορετικό είδος παιχνιδιού. Αυτό βέβαια ισχύει και για τον «δανεισμό» χαρακτηριστικών και μηχανισμών άλλων ειδών παιχνιδιού, που χρησιμοποιήθηκαν μεν στο παιχνίδι σε κάποιο βαθμό, αλλά δεν αποτέλεσαν βασικό μέρος της σχεδίασης και κατ' επέκτασης της εμπειρίας που προσφέρει αυτό στο παίκτη όταν το παίζει. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το γεγονός πως παρόλο που είχαμε στοιχεία ιστορίας στο παιχνίδι μας, δε συνεπάγεται αυτό απαραίτητα πως ερωτήσεις πάνω στον *storytelling* και *narrative* τομέα έχουν ιδιαίτερο νόημα. Κάτι τέτοιο θα είχε σημασία, αν ένα μεγάλο μέρος της εμπειρίας του παίκτη σχετιζόταν με τη βίωση μιας ιστορίας από την αρχή μέχρι το τέλος, καθώς και με τη δυνατότητα επιρροής που έχει ο παίκτης πάνω στον κόσμο στον οποίον αυτή λαμβάνει χώρα. Αυτοί είναι και οι λόγοι που αφαιρέθηκε η υποκλίμακα με τον τίτλο **Narratives**. Αυτή αφορά κυρίως γεγονότα και χαρακτήρες που συναντά (ή μπορεί να συναντήσει) ο παίκτης κατά τη διάρκεια του *playthrough*, καθώς και την ικανότητα αυτών να τραβήξουν την προσοχή και το ενδιαφέρον του, και να διαμορφώσουν τα συναισθήματα του (ενσυναίσθηση). Στην περίπτωση μας, δανειζόμαστε χαρακτηριστικά ιστορίας κυρίως για την απόδοση στοιχείων των γρίφων, και -σε πολύ μικρό βαθμό- δίνονται κομμάτια ιστορίας με τη μορφή σελίδων (*notes*), τις οποίες ο παίκτης μπορεί προαιρετικά να μαζέψει και να διαβάσει.

Η δεύτερη υποκλίμακα που αφαιρέθηκε από το δικό μας ερωτηματολόγιο, έχει τον τίτλο **Creative Freedom**, και -όπως μαρτυρά το όνομα- σχετίζεται με την ελευθερία που παρέχει το παιχνίδι στον παίκτη. Πιο αναλυτικά, μετράει τον βαθμό στον οποίο το παιχνίδι μπορεί να ενισχύσει τη δημιουργικότητα και την περιέργεια του παίκτη στο περιβάλλον στο οποίο λαμβάνει χώρα το παιχνίδι, και το πόσο επιτρέπει στον παίκτη να εκφράσει ελεύθερα την ατομικότητα και τον χαρακτήρα του παίζοντας το παιχνίδι. Στην παρούσα υλοποίηση, η πορεία που ακολουθεί ο παίκτης είναι σχεδόν γραμμική. Δηλαδή όπως είδαμε και στο κεφάλαιο της σχεδίασης του παιχνιδιού, παρόλο που τα συναισθήματα του παίκτη αλλάζουν συγκεκριμένα «επίπεδα» του παιχνιδιού και τροποποιούν έναν γρίφο, με αποτέλεσμα η εμπειρία παίκτη προς παίκτη να ενδέχεται να είναι αρκετά διαφορετική, τα δωμάτια και οι γρίφοι στον πυρήνα τους μένουν ίδιοι για όλους τους παίκτες. Από αυτό, μπορεί κανείς να αναρωτηθεί αν έχει πράγματι νόημα η αφαίρεση της υποκλίμακας αυτής, μιας και είναι σαφές επιχείρημα ότι η επιρροή που έχει το συναισθήμα στο παιχνίδι είναι μια μορφή έκφρασης του παίκτη, και έμμεσα του χαρακτήρα του και της «ψυχοσύνθεσης» του. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το γεγονός, στραφήκαμε στο περιεχόμενο των ερωτήσεων πάνω στο **Creative Freedom**, για να παρθεί η τελική απόφαση. Οι ερωτήσεις, λοιπόν, εστίαζαν στην κυριολεκτικής σημασίας ελευθερία που δίνει το παιχνίδι, και ήταν για παράδειγμα *"I feel the game allows me to be imaginative"*, *"I feel creative while playing the game"*. Τελικά, αποφασίστηκε η αφαίρεση της υποκλίμακας, επειδή δεν κρίθηκαν οι ερωτήσεις απαραίτητες για την αξιολόγηση του, με βάση την εμπειρία που στοχεύει -και τελικά προσφέρει- το παιχνίδι.

Η τελική υποκλίμακα που δε συμπεριλήφθηκε στη διαδικασία της αξιολόγησης, αφορά την κοινωνική πλευρά του παιχνιδιού και έχει τίτλο **Social Connectivity**. Έχοντας εξηγήσει

αναλυτικά τη σχεδίαση του παιχνιδιού και τον σκοπό του, είναι προφανές πως σε κανέναν βαθμό δε στοχεύουμε στην κοινωνική πλευρά που μπορεί να έχει ένα ηλεκτρονικό παιχνίδι. Σύμφωνα με την κλίμακα **GUESS**, σκοπός της υποκλίμακας αυτής είναι να μετρήσει τον βαθμό στον οποίο το παιχνίδι διευκολύνει την κοινωνική σύνδεση μεταξύ των παικτών, μέσω των εργαλείων και των δυνατοτήτων του. Οι ερωτήσεις είναι του τύπου *"I find the game supports social interaction (e.g. chat) between players"*, *"I like to play this game with other players"*, πράγμα που καταδεικνύει την έμφαση τους σε παιχνίδια πολλαπλών παικτών. Φυσικά, το παιχνίδι μας είναι σχεδιασμένο για έναν παίκτη, και κανένα στοιχείο ή μηχανισμός, δε θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ουσιαστικά «κοινωνικό». Επομένως, εύκολα αποφασίστηκε να μη χρησιμοποιηθεί η υποκλίμακα αυτή στο ερωτηματολόγιο μας.

8.1.3 Αξιολόγηση της Χρήσης του Συναισθήματος στο Παιχνίδι

Έχοντας τώρα αξιολογήσει γενικά το παιχνίδι, ερχόμαστε στον πυρήνα της διπλωματικής που είναι η ένταξη του συναισθήματος. Αυτό γίνεται με ερωτήσεις ίδιου τύπου με τις παραπάνω, δύο πολλαπλής επιλογής, και δύο ανοικτού τύπου. Η δομή των ερωτήσεων είναι τέτοια ώστε αρχικά ο παίκτης να απαντήσει τι αλλαγές του έγιναν αντιληπτές (ανοικτού τύπου), ποιο συναίσθημα χαρακτηρίζει τη συναισθηματική κατάσταση του όσο έπαιζε (πολλαπλής επιλογής), και αν προσπάθησε να επηρεάσει το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων συνειδητά με οποιονδήποτε τρόπο (πολλαπλής επιλογής). Σε επόμενη σελίδα, του δίνονται ανά ερώτηση όλες οι δυνατές αλλαγές που μπορεί να προκαλέσει το συναίσθημα, και καλείται με την ίδια μορφή κλίμακας με από πάνω, να αποκριθεί για το πόσο πρόσεξε κάθε μία. Τέλος, του δίνεται μια ερώτηση προαιρετική (η μόνη στο ερωτηματολόγιο) και ανοικτού τύπου, όπου μπορεί να συμπληρώσει τι αλλαγές θα ήθελε να δει να προκαλεί το συναίσθημα.

8.1.4 Μεταμόρφωση Παραγόμενων Αρχείων Μετρικών

Στο τέλος του ερωτηματολογίου, ο παίκτης μπορεί προαιρετικά να μεταμορφώσει πέντε αρχεία που παράγονται από το παιχνίδι και το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων. Το αρχείο που παράγει το τελευταίο, εμπεριέχει όλα τα αποτελέσματα πρόβλεψης μαζί με τα τελικά ποσοστά σιγουριάς ανά συναίσθημα, μαζί με «χρονοσήμανση» (Timestamp). Από την άλλη, τα τέσσερα αρχεία του παιχνιδιού περιέχουν πληροφορίες για τη χρήση αντικειμένων μέσα στο παιχνίδι, χρόνος ολοκλήρωσης ανά γρίφο, χρόνος παραμονής ανά δωμάτιο - επίπεδο, καθώς και καταγραφή των συναισθημάτων που χρησιμοποιήθηκαν, από ποιο μηχανισμό χρησιμοποιήθηκαν, και πότε. Αυτά τα δεδομένα δεν αποτελούν κομμάτι της βασικής αξιολόγησης του παιχνιδιού, αλλά κρίθηκαν σημαντικές πληροφορίες με αξιολογα συμπεράσματα.

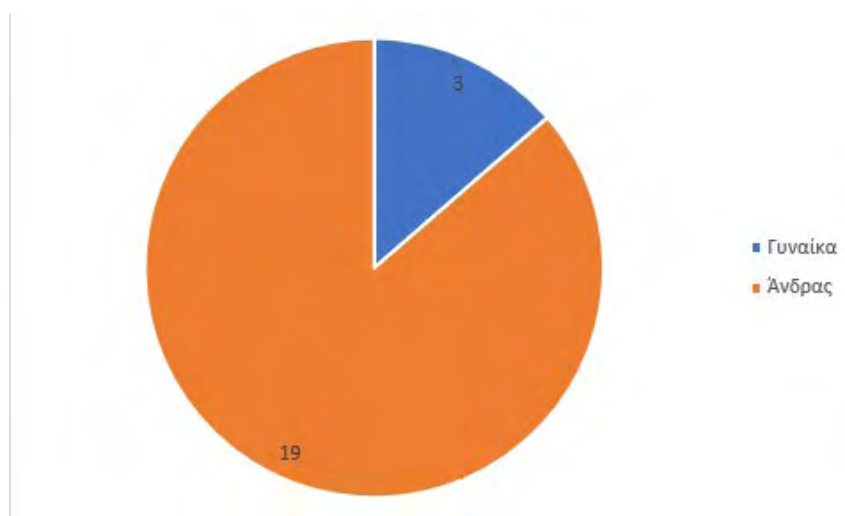
8.2 Συμπεράσματα Πειράματος

Η συμμετοχή χρηστών στο πείραμα ήταν περιορισμένη, με τελικό σύνολο συμμετεχόντων να φτάνει μόλις το 22. Ωστόσο, σημαντικές πληροφορίες αντλήθηκαν από το πείραμα, κυρίως λόγω της μεγάλης ποικιλίας ατόμων που έλαβαν μέρος. Σε όλη αυτή την ενότητα θα

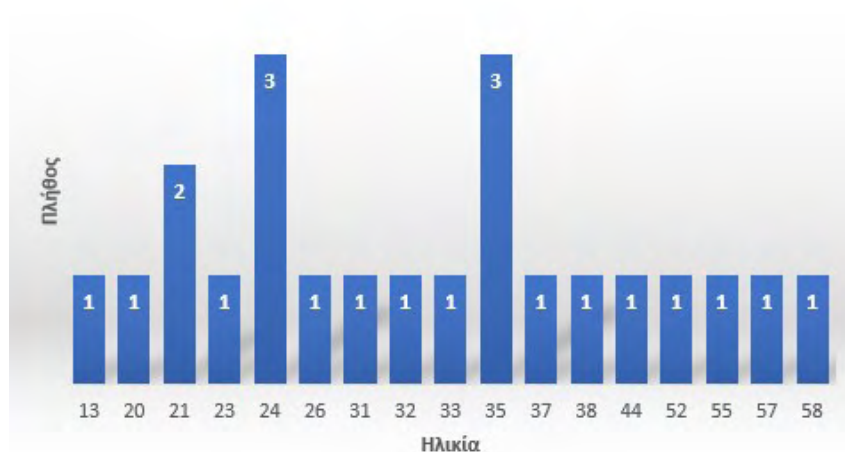
αναφερθούμε στα αποτελέσματα, καθώς και στα συμπεράσματα που θεωρούμε πως μπορούν να βγουν από αυτά. Πέρα από τα βασικότερα γραφήματα που δίνονται παρακάτω, υπάρχουν όλα εκείνα που αντιστοιχούν σε όλες τις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου στο Παράρτημα Α'. Υπενθυμίζεται, πως όλα τα ερωτήματα τύπου κλίμακας ήταν από το 1 έως το 7.

8.2.1 Κατανομή Χρηστών

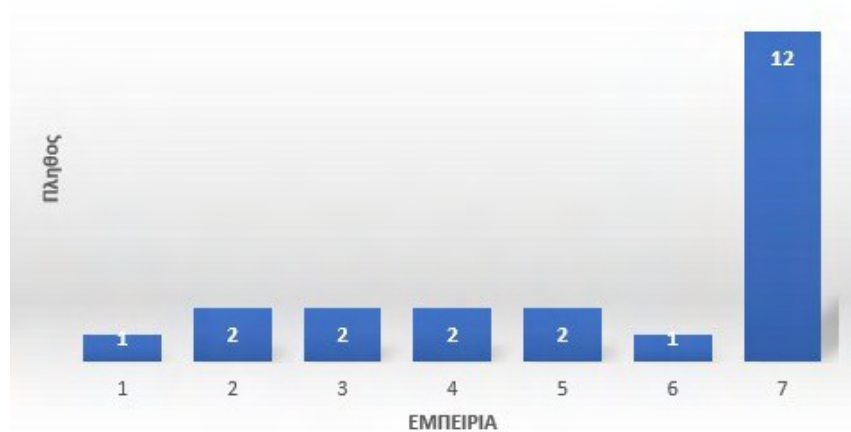
Στα γραφήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία των συμμετεχόντων χρηστών, όπως η ηλικία και το φύλο τους, καθώς και η εμπειρία τους σε βιντεοπαιχνίδια (πέρα από "mobile games").



Σχήμα 8.1: Κατανομή φύλου χρηστών.



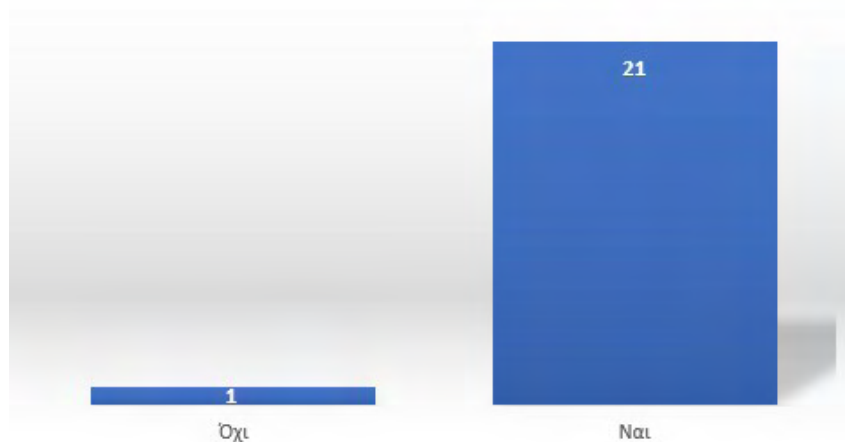
Σχήμα 8.2: Κατανομή ηλικίας χρηστών.



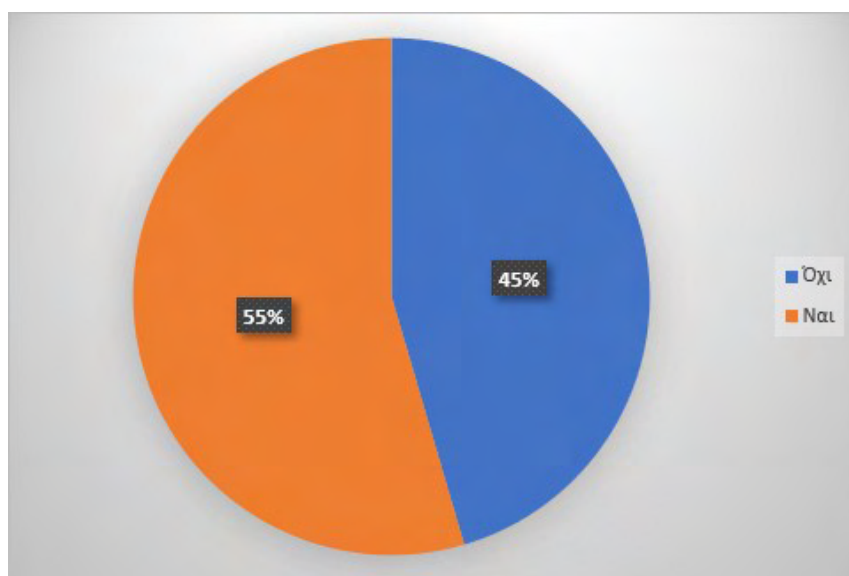
Σχήμα 8.3: Κατανομή εμπειρίας χρηστών στα παιχνίδια.

Χρησιμοποιώντας τα τρία παραπάνω γραφήματα γίνεται εύκολα αντιληπτό πως οι περισσότεροι χρήστες ήταν άνδρες, με μία ευρεία κατανομή στην ηλικία, όπου ο νεότερος χρήστης ήταν 13, και ο γηραιότερος 58. Όσον αφορά στην προηγούμενη εμπειρία των συμμετεχόντων σε παιχνίδια (εκτός από αυτά που παίζονται αποκλειστικά σε συσκευή έξυπνου τηλεφώνου), σε κλίμακα από το 1 έως το 7 η πλειοψηφία αποχαρακτηρίστηκε ως πολύ έμπειροι παίκτες (7 στην κλίμακα), με μόνο ένα άτομο να μην έχει ξαναπαίξει βιντεοπαιχνίδι. Η ποικιλία αυτή στην «πείρα» των χρηστών, πιθανόν να οδηγήσει σε καλύτερη αξιολόγηση της σχεδίασης και των μηχανισμών του παιχνιδιού μας. Αξίζει να σημειωθεί πως οι χρόνοι ολοκλήρωσης (μη συμπεριλαμβανομένης της ανάγνωσης των οδηγιών και της έναρξης του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων) διακυμαίνονταν από 30 λεπτά (χρήστες με μεγαλύτερη εμπειρία), έως και 75 λεπτά (χρήστες με ελάχιστη έως μηδενική εμπειρία). Χρήστες με μεγάλη εμπειρία που δεν έκαναν χρήση του κειμένου των λύσεων ολοκλήρωσαν το παιχνίδι σε χρόνους που κυμαίνονται από 26 (ρεκόρ) έως 60 λεπτά.

Τα επόμενα δύο γραφήματα αναφέρονται στο ποσοστό των χρηστών που ολοκλήρωσαν το παιχνίδι, και το μέρος αυτών που έκανε χρήση του κειμένου «λύσεων και στοιχείων» τουλάχιστον μία φορά κατά τη διάρκεια του playthrough.



Σχήμα 8.4: Ποσοστό χρηστών που ολοκλήρωσαν το παιχνίδι.



Σχήμα 8.5: Ποσοστό χρηστών που έκαναν χρήση των λύσεων του παιχνιδιού.

Μόνο ένα άτομο δεν ολοκλήρωσε το παιχνίδι (έφτασε στο τέλος, και λόγω προσωπικού κολλήματος δεν το ολοκλήρωσε), κάτι που μας δείχνει πως το παιχνίδι είναι ολοκληρώσιμο είτε χρησιμοποιηθούν οι λύσεις είτε όχι. Η πλειοψηφία έκανε χρήση των λύσεων τουλάχιστον μία φορά (12 έναντι 10), κυρίως προς το τέλος του παιχνιδιού όπου βρίσκεται ο πιο δύσκολος γρίφος. Αυτό μεταφράζεται πως πιθανόν να έχει αξία η προσάρτηση επιπλέον στοιχείων για την επίλυση του προτελευταίου γρίφου («επίπεδο» διαμορφωμένο από το συναίσθημα του παίκτη).

Usability/Playability

Πίνακας 8.1: Πίνακας ερωτήσεων Usability/Playability με τη μορφή που δόθηκαν.

A/A Ερώτησης	Ερώτηση
1	I think it is easy to learn how to play the game.
2	I find the controls of the game to be straightforward.
3	I always know how to achieve my goals/objectives in the game.
4	I find the game's interface to be easy to navigate.
5	I do not need to go through a lengthy tutorial or read a manual to play the game.
6	I find the game's menus to be user-friendly.
7	I feel the game trains me well in all the controls.
8	I always know my next goal when I finish an event in the game.
9	I feel the game provides me the necessary information to accomplish a goal within the game.
10	I think the information provided in the game (e.g., onscreen messages, help) is clear.
11	I feel very confident while playing the game.

Από τα δεδομένα χρηστών στο θέμα της ευχρηστίας του παιχνιδιού, παρατηρούμε πως το παιχνίδι έχει σχεδιαστεί με τρόπο που βοηθάει τον παίκτη να μάθει τους μηχανισμούς του και να προχωρήσει χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες.

Πίνακας 8.2: Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Usability/Playability.

A/A Ερώτησης	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
1	5.81	1.07
2	5.77	1.27
3	5.5	1.23
4	5.86	1.05
5	5.81	1.22
6	5.72	1.48
7	5.81	0.98
8	5.36	1.10
9	5.90	0.94
10	6	0.95
11	5.86	1.05

Play Engrossment

Πίνακας 8.3: Πίνακας ερωτήσεων Play Engrossment με τη μορφή που δόθηκαν.

A/A Ερώτησης	Ερώτηση
1	I feel detached from the outside world while playing the game.
2	I do not care to check events that are happening in the real world during the game.
3	I cannot tell that I am getting tired while playing the game.
4	Sometimes I lose track of time while playing the game.
5	I temporarily forget about my everyday worries while playing the game.
6	I tend to spend more time playing the game than I have planned.
7	I can block out most other distractions when playing the game.
8	Whenever I stopped playing the game, I cannot wait to start playing it again.

Πίνακας 8.4: Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Play Engrossment.

A/A Ερώτησης	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
1	4.90	1.83
2	4.36	2.01
3	5	1.93
4	4.81	1.77
5	4.54	1.69
6	5.22	1.53
7	4.59	1.72
8	4.5	1.85

Από τα ερωτήματα επάνω στην απορρόφηση της προσοχής του παίκτη από το παιχνίδι (βύθιση), έχουμε δεδομένα που δείχνουν διαφορετικές απόψεις. Κάποιοι παίκτες απαντούν πως το παιχνίδι διατηρεί την προσοχή τους κατά τη διάρκεια του playthrough, με αποτέλεσμα να ξεχνάνε σε κάποιο βαθμό της ανησυχίας της καθημερινότητας. Άλλοι παίκτες ένιωσαν πως κουράστηκαν σε κάποιο βαθμό όσο έπαιζαν το παιχνίδι.

Enjoyment

Πίνακας 8.5: Πίνακας ερωτήσεων Enjoyment με τη μορφή που δόθηκαν.

A/A Ερώτησης	Ερώτηση
1	I think the game is fun.
2	I enjoy playing the game.
3	I feel bored while playing the game.
4	I am likely to recommend this game to others.
5	If given the chance, I want to play this game again.

Πίνακας 8.6: Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Enjoyment.

A/A Ερώτησης	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
1	6.09	0.99
2	6.09	1.08
3	2.22	1.41
4	5.86	1.21
5	5.40	1.66

Όσον αφορά στην απόλαυση που προσφέρει το παιχνίδι στον παίκτη, η μεγάλη πλειοψηφία των χρηστών βρήκαν το παιχνίδι διασκεδαστικό σε υψηλό βαθμό και χωρίς να νιώσουν συναισθήματα ανίας. Επίσης, οι περισσότερη παίκτες απάντησαν πως θα πρότειναν σε μεγάλο βαθμό το παιχνίδι σε κάποιον γνωστό, με αρκετούς να αποκρίνονται πως θα έπαιζαν ξανά εάν τους δινόταν η ευκαιρία στο μέλλον.

Audio Aesthetics

Πίνακας 8.7: Πίνακας ερωτήσεων Audio Aesthetics με τη μορφή που δόθηκαν.

A/A Ερώτησης	Ερώτηση
1	I enjoy the sound effects in the game.
2	I enjoy the music in the game.
3	I feel the game's audio (e.g., sound effects, music) enhances my gaming experience.
4	I think the game's audio fits the mood or style of the game.

Πίνακας 8.8: Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Audio Aesthetics.

A/A Ερώτησης	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
1	6.04	1.02
2	6.04	1.06
3	6.13	1.09
4	6.27	0.86

Το ηχητικό περιεχόμενο του παιχνιδιού (ηχητικά εφέ και μουσική) άρεσαν ιδιαίτερα στους συμμετέχοντες, με την πλειοψηφία να πιστεύει πως τα ηχητικά ταιριάζουν με τα υπόλοιπα στοιχεία του παιχνιδιού, και πως η εμπειρία του παίκτη ενισχύεται από αυτά.

Personal Gratification

Πίνακας 8.9: Πίνακας ερωτήσεων Personal Gratification με τη μορφή που δόθηκαν.

A/A Ερώτησης	Ερώτηση
1	I am in suspense about whether I will succeed in the game.
2	I feel successful when I overcome the obstacles in the game.
3	I want to do as well as possible during the game.
4	I am very focused on my own performance while playing the game.
5	I feel the game constantly motivates me to proceed further to the next stage or level.
6	I find my skills gradually improve through the course of overcoming the challenges in the game.

Από τα βασικότερα σημεία της αξιολόγησης είναι η ευχαρίστηση που προκαλείται από το παιχνίδι. Ειδικότερα, μας ενδιαφέρει ο παίκτης να νιώθει ικανοποίηση από την επίλυση των γρίφων του παιχνιδιού. Από τα δεδομένα του ερωτηματολογίου, παρατηρούμε πως οι χρήστες

Πίνακας 8.10: Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Personal Gratification.

A/A Ερώτησης	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
1	5.18	1.26
2	5.95	0.97
3	6.27	0.74
4	6.04	1.02
5	5.68	1.36
6	5.54	1.37

αναφέρουν υψηλά επίπεδα θετικών συναισθημάτων καθώς ξεπερνούν «εμπόδια» του παιχνιδιού, με την πλειονότητα να νιώθει πως το παιχνίδι τους δίνει κίνητρο να συνεχίσουν, και πως οι ικανότητες τους στο παιχνίδι βελτιώνονται σταδιακά όσο παίζουν. Τέλος, έχουμε πολλούς παίκτες που δηλώνουν πως ήταν ιδιαίτερα αφοσιωμένοι στην απόδοση τους κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Απ' όλα αυτά βγάζουμε το συμπέρασμα πως οι γρίφοι του παιχνιδιού, και ειδικότερα η σχεδίαση του, είναι υψηλού επιπέδου ποιότητας, με τους παίκτες να γίνονται καλύτεροι σε αυτό όσο παίζουν, και με την επιτυχία να παραμένει σημαντικός στόχος καθ' όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού.

Visual Aesthetics

Πίνακας 8.11: Πίνακας ερωτήσεων Visual Aesthetics με τη μορφή που δόθηκαν.

A/A Ερώτησης	Ερώτηση
1	I enjoy the game's graphics.
2	I think the graphics of the game fit the mood or style of the game.
3	I think the game is visually appealing.

Πίνακας 8.12: Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Visual Aesthetics.

A/A Ερώτησης	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
1	6.27	0.80
2	6.31	0.69
3	6.22	0.66

Τα γραφικά στοιχεία του παιχνιδιού έλαβαν πολύ υψηλή «βαθμολογία» από τους συμμετέχοντες, με όλους να δηλώνουν πως η γραφική σχεδίαση του παιχνιδιού ταίριαζε με το στυλ του, και πως τους άρεσαν ιδιαίτερα τα γραφικά του.

Emotion Recognition

Πίνακας 8.13: Πίνακας ερωτήσεων Emotion Recognition με τη μορφή που δόθηκαν.

A/A Ερώτησης	Ερώτηση
1	I tried to influence the emotion recognition, actively and on purpose.
2	Which of the following describes the emotion you were feeling during gameplay? (Angry, Happy, Other, Sad)
3	I noticed a change in the music.
4	I noticed a visual change in the material of the walls and floor.
5	I noticed a change of tone in the journal entries.
6	I noticed a room with emotionally themed hints and presentation.
7	I noticed that the ending quote was associated with an emotion.

Πίνακας 8.14: Πρώτος Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Emotion Recognition.

A/A Ερώτησης	Συχνότερη Τιμή
1	No
2	Other

Πίνακας 8.15: Δεύτερος Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων Emotion Recognition.

A/A Ερώτησης	Μέσος Όρος	Τυπική Απόκλιση
3	4.54	1.80
4	4.18	2.18
5	3.63	1.94
6	3.72	1.76
7	3.72	2.04

Περνώντας στα δεδομένα που αφορούν την αναγνώριση συναισθημάτων και τον τρόπο που επηρεάζει αυτή το παιχνίδι, βλέπουμε πως το συχνότερο συναίσθημα που αναφέρουν οι χρήστες (self-reported) κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού δεν είναι κανένα από αυτά που αναγνωρίζει το σύστημα AEE. Μάλιστα, το ποσό αυτό αγγίζει το 41%, ενώ το αμέσως επόμενο επικρατών συναίσθημα είναι εκείνο της χαράς, με ποσό 36%. Επίσης, η πλειονότητα των χρηστών επιλέγει πως δεν προσπάθησε να επηρεάσει το σύστημα AEE, με μόνο το 18% να το δοκίμασε.

Στη συνέχεια, έχουμε τα αποτελέσματα των ερωτήσεων που αφορούσαν τις αλλαγές που επέφερε το συναίσθημα του χρήστη στο παιχνίδι. Καταρχάς, ζητήσαμε από τους χρήστες να απαριθμήσουν γραπτώς τις αλλαγές που εκείνοι πρόσεξαν κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Οι 12 παίκτες από τους 22 έγραψαν πως δεν πρόσεξαν καμία αλλαγή (σημαντική πληροφορία για τις επόμενες ερωτήσεις). Από τους υπόλοιπους 10, οι 8 παρατήρησαν αλλαγές που πράγματι πραγματοποιούνται ανάλογα με τη συναισθηματική τους κατάσταση, με τους περισσότερους να αναγνωρίζουν πάνω από μία αλλαγές (οι υπόλοιποι 2 δεν απάντησαν την ερώτηση με ουσιαστικό τρόπο). Οι 4 από αυτούς αναγνώρισαν την αλλαγή της μουσικής, 4 αναγνώρισαν αλλαγές τύπου γραφικών (υλικά, χρώματα, κτλ), και 2 άτομα παρατήρησαν πως ο μήνας στο ημερολόγιο του «επιπέδου διαμορφωμένου από το συναίσθημα του χρήστη» και το γεγονός πως το τέλος (ο χώρος και η φράση που βλέπει ο παίκτης) βασίζεται στο συναίσθημα. Τέλος, η μεγαλύτερη ίσως έκπληξη είναι πως ένας χρήστης παρατήρησε την αλλαγή που υπάρχει σε κάποιες καταχωρήσεις του ημερολογίου - σημειωματάριου, η οποία είναι με διαφορά η λιγότερο εμφανής αλλαγή.

Έχοντας απαντήσει στην ερώτηση συμπλήρωσης κειμένου, οι χρήστες καλούνται να απαντήσουν πόσο πρόσεξαν κάθε ξεχωριστή αλλαγή μέσα στο παιχνίδι. Υπενθυμίζεται πως

εδώ τους δίνονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν, και εκείνοι επιλέγουν σε κλίμακα πόσο (και αν) παρατήρησαν κάθε μία. Από τους 12 (συνολικά) συμμετέχοντες που δεν ανέφεραν πως πρόσεξαν κάποια σωστή αλλαγή, μόνο οι 2 επέλεξαν πως δεν παρατήρησαν καμία από τις αλλαγές. Για έναν από αυτούς τους 2, το σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων δεν παρατήρησε αλλαγή στο συναίσθημα, κάτι που σίγουρα εμπόδισε τον χρήστη από το να παρατηρήσει κάποιες από τις αλλαγές (μουσική και αλλαγές στα γραφικά στοιχεία). Στον άλλο χρήστη το σύστημα εντόπισε αλλαγές στο συναίσθημα, και πραγματοποιήθηκαν αλλαγές στο παιχνίδι, χωρίς όμως αυτές να γίνουν αντιληπτές από τον χρήστη. Οι υπόλοιποι, όπως φαίνεται και στα αντίστοιχα γραφήματα, αναφέρουν πως σε κάποιο βαθμό παρατήρησαν την πλειοψηφία των αλλαγών. Αυτό σε συνδυασμό με τα προηγούμενα δεδομένα (προηγούμενη παράγραφος) μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως η πλειονότητα των παικτών παρατήρησαν πράγματι τις αλλαγές (τουλάχιστον τις περισσότερες), χωρίς όμως να πιστεύουν πως προκλήθηκαν αυτές από το συναίσθημα τους. Από τα γραφήματα, παρατηρούμε πως πράγματι η λιγότερο αντιληπτή αλλαγή (όπως και περιμέναμε) ήταν εκείνη του ημερολογίου - σημειωματάριου, με 5 άτομα να μην την παρατηρούν καθόλου. Η πιο παρατηρούμενη αλλαγή ήταν εκείνη της μουσικής, με μόνο τρία άτομα⁴ να μην την παρατηρούν καθόλου. Οι υπόλοιπες εντοπίστηκαν ισάξια αλλά σε διαφορετικό βαθμό, όπως φαίνεται και στα γραφήματα.

⁴Οι δύο που δεν παρατήρησαν καμία αλλαγή, μαζί με άλλον ένα

Κεφάλαιο 9

Επίλογος

Έχοντας περιγράψει πλήρως την εκπαίδευση του μοντέλου βαθιάς μάθησης, την υλοποίηση του συστήματος αναγνώρισης συναισθημάτων, και τη σχεδίαση του παιχνιδιού, και έχοντας αναφερθεί στα αποτελέσματα του πειράματος αξιολόγησης με τη συμμετοχή χρηστών, φτάνουμε στον επίλογο του κειμένου όπου συζητούνται τα συμπεράσματα που βγάλαμε από ολόκληρη την υλοποίηση της διπλωματικής και μελλοντικές βελτιώσεις που προτείνουμε.

9.1 Συμπεράσματα

Όπως γίνεται αντιληπτό από την ανάλυση που έλαβε χώρα στο τέλος του προηγούμενου κεφαλαίου, συμπεραίνουμε πως η υλοποίηση ενός παιχνιδιού που προσαρμόζεται στο συναίσθημα του παίκτη έγινε με επιτυχία. Ξεκινώντας από το μοντέλο βαθιάς μάθησης, εκπαιδεύσαμε ένα νευρωνικό δίκτυο τύπου CNN με ένα ανοικτού τύπου dataset. Αποτέλεσμα ήταν ένα μοντέλο αυτόματης αναγνώρισης των συναισθημάτων χαράς, λύπης, θυμού και έκπληξης, με ακρίβεια 85.4%. Η ακρίβεια αυτή, παρόλο που αποκλίνει από την τελειότητα, είναι αρκετή για την περίπτωση χρήσης αυτής της διπλωματικής. Έχοντας αυτό το μοντέλο, αναπτύξαμε σύστημα (λογισμικό) που λαμβάνει εικόνες από την κάμερα του υπολογιστή του χρήστη, εντοπίζει το πρόσωπο του, και «κόβει» - προετοιμάζει την εικόνα για να περαστεί ως είσοδος στο μοντέλο. Το λογισμικό αυτό είναι υπερβολικά απλό στη χρήση του (υπενθυμίζουμε πως τρέχει στη γραμμή εντολών των Windows), και η τελευταία έκδοση του μπορεί να εκτελεστεί επιτυχώς σε πολλά συστήματα υπολογιστή, ανεξάρτητα υπολογιστικής ισχύς, ποιότητας κάμερας και επίπεδο εμπειρίας του χρήστη (χάρης και στις οδηγίες). Μάλιστα, συνέπεια της συμμετοχής αρκετών χρηστών στο πείραμα ήταν η αξιολόγηση του λογισμικού σε μεγάλη ποικιλία υπολογιστικών συστημάτων (όλων βέβαια με λειτουργικό σύστημα Windows).

Περνώντας στο παιχνίδι, σχεδιάσαμε και αναπτύξαμε ένα βιντεοπαιχνίδι προοπτικής πρώτου προσώπου, όπου ο παίκτης περιηγείται σε μια σειρά από δωμάτια, λύνοντας γρίφους διαφόρων ειδών. Η σχεδίαση του παιχνιδιού έγινε ώστε να χρησιμοποιηθεί το συναίσθημα του παίκτη με όσους περισσότερους τρόπους γίνεται. Πιο συγκεκριμένα, το παιχνίδι αλλάζει δυναμικά με πέντε διαφορετικούς μοναδικούς τρόπους, με κάποιους να είναι σχεδιασμένοι ως πιο φανεροί και άλλους πιο διακριτικοί. Επίσης, μερικοί από αυτούς αλλάζουν την εμπειρία του παίκτη

ολοκληρωτικά από playthrough σε playthrough, ενώ άλλοι επηρεάζουν μόνο «αισθητικά» το παιχνίδι. Τα συναισθήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραμετροποίηση αυτή ήταν αυτά της χαράς, της λύπης και του θυμού, με την έκπληξη να μένει απέξω μιας και δε βρέθηκε κάποια συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης της.

Όλο το έργο της διπλωματικής αξιολογήθηκε μέσω του πειράματος συμμετοχής χρηστών. Μάλιστα είχαμε ένα μεγάλο εύρος ηλικιών που δοκίμασαν το παιχνίδι και απάντησαν στο ερωτηματολόγιο μας, με αρκετούς να στέλνουν τα προαιρετικά αρχεία των δεδομένων που παράγει το παιχνίδι και το σύστημα AEE, με λιγότερη συμμετοχή γυναικών σε σχέση με εκείνη των αντρών (δυστυχώς). Στο κεφάλαιο 8, επεξηγήσαμε αναλυτικά τον τρόπο με τον οποίον το παιχνίδι αξιολογείται μέσω της δοκιμασμένης κλίμακας αξιολόγησης **GUESS** η οποία εντάχθηκε μέσα στο ερωτηματολόγιο. Είναι σκόπιμο να αναφερθούμε στα αποτελέσματα των ερωτήσεων κάθε ενότητας της κλίμακας ξεχωριστά.

Αρχικά, στην ενότητα Usability/Playability, έχουμε πολύ υψηλά σκορ σε όλες τις ερωτήσεις, και συμπεραίνουμε πως η ευχρηστία του παιχνιδιού είναι υψηλής ποιότητας. Η ενότητα Play Engrossment έχει τα χαμηλότερα σκορ, ξεπερνώντας όμως το μέσο (4 σε αυτή την περίπτωση) σε όλες τις ερωτήσεις, πράγμα που σημαίνει πως οι παίκτες δε «βυθίστηκαν» σε πολύ μεγάλο βαθμό στο παιχνίδι, κάτι που ίσως αναμένεται σε ένα παιχνίδι χωρίς μεγάλη έμφαση στην αφήγηση μιας ιστορίας, ή στον ανταγωνισμό. Οι χρήστες χαρακτήρισαν το παιχνίδι ως πολύ διασκεδαστικό (ενότητα Enjoyment), χωρίς να βαριούνται παρά τη σχετικά μεγάλη διάρκεια του παιχνιδιού. Επιπλέον, οι γρίφοι χαρακτηρίστηκαν ως υψηλής ποιότητας, με τους παίκτες να αναφέρουν ένα δυνατό αίσθημα ικανοποίησης με την επίλυση τους (Personal Gratification). Υψηλότερα από όλα τα σκορ έλαβαν τα γραφικά του παιχνιδιού (Visual Aesthetics) και το ηχητικό περιεχόμενο (Audio Aesthetics), με τους συμμετέχοντες να αναφέρουν πως αυτά επαυξάνουν την εμπειρία κατά τη διάρκεια του playthrough.

Τέλος, πραγματοποιήσαμε μια ανάλυση στις ερωτήσεις που αφορούν ποιες αλλαγές που προκαλεί το συναίσθημα του παίκτη παρατήρησαν περισσότερο οι χρήστες. Είδαμε πως κάποιες αλλαγές είναι πολύ πιο εύκολες στην παρατήρηση από άλλες (όπως και σχεδιάστηκε), με τις περισσότερες να γίνονται αντιληπτές -τουλάχιστον σε κάποιο βαθμό- από σχεδόν όλους τους χρήστες. Μόνο δύο χρήστες δεν πρόσεξαν καμία αλλαγή. Το άλλο αξιοσημείωτο εύρημα, είναι πως για αρκετούς συμμετέχοντες κάποιες αλλαγές έγιναν αντιληπτές, χωρίς όμως να τις αποδίδουν στο συναίσθημα τους. Αυτό δεν είναι αρνητικό (είτε θετικό) αποτέλεσμα, μιας και δεν ήταν στόχος της σχεδίασης να καταλάβει απαραίτητα ο παίκτης τι ακριβώς αλλάζει με τη μεταβολή του συναισθήματος του. Πιο συγκεκριμένα, το 90.9% εντόπισε τέτοιες αλλαγές στο παιχνίδι. Για τις αλλαγές που δεν εντοπίστηκαν από κάποιους χρήστες, είναι πιθανό αυτές οι αλλαγές να μη συνέβησαν ποτέ, λόγω εντοπισμού σταθερού συναισθήματος, όπως έγινε και με έναν από τους παίκτες.

Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως η υλοποίηση του παιχνιδιού έγινε με επιτυχία, και εκπλήρωσε τον σκοπό του σε πολύ μεγάλο βαθμό.

9.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Ολοκληρώνουμε το κείμενο της διπλωματικής με μια σύντομη -αλλά απαραίτητη- ενότητα, όπου προτείνουμε βελτιώσεις για την υλοποίηση κάποιων τμημάτων και μελλοντικές επεκτάσεις, που μπορούν να εκμεταλλευτούν τα συμπεράσματα αυτού του κειμένου ώστε να δημιουργήσουν ένα ακόμα πιο δημιουργικό και χρήσιμο παιχνίδι.

Οι βελτιώσεις που προτείνουμε είναι καθαρά στο κομμάτι του μοντέλου βαθιάς μάθησης. Όπως συζητήσαμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο, κύριο περιορισμό της διπλωματικής αυτής αποτέλεσε το σύνολο δεδομένων (dataset) που χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του μοντέλου FER. Παρόλο που το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν ικανοποιητικό και επαρκές για την περίπτωση χρήσης μας, είναι επιθυμητό να εκπαιδευτεί ένα μοντέλο που μπορεί να εντοπίσει περισσότερα συναισθήματα με υψηλότερα επίπεδα ακρίβειας. Η εκπαίδευση ενός τέτοιου μοντέλου δεν ήταν δυνατή με το dataset που χρησιμοποιήσαμε, και με ένα καλύτερο σύνολο ίσως να είχαμε περιορισμούς από το διαθέσιμο υλικό, μιας και δεδομένα με υψηλή ανάλυση συνεπάγονται σημαντικά υψηλότερες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ για σωστή εκπαίδευση. Το CK+ που αναφέραμε και στο κεφάλαιο της βιβλιογραφίας είναι ένα πολύ καλό παράδειγμα δεδομένων, που με μεγάλη σιγουριά θα παρείχε σημαντική βελτίωση και νέες δυνατότητες στο σύστημα αναγνώρισης συναισθημάτων.

Για το ίδιο το παιχνίδι δεν έχουμε να προτείνουμε κάποιες βελτιώσεις, μιας και φτιάχτηκε ώστε να είναι ένα ολοκληρωμένο έργο. Αυτό δε σημαίνει πως όλες οι δυνατότητες του θέματος έχουν εξερευνηθεί εδώ. Μάλιστα, στο τέλος του ερωτηματολογίου του πειράματος, ζητήσαμε από τους χρήστες να μας δώσουν τις δικές τους ιδέες για το πως θα ήθελαν να δουν να χρησιμοποιείται το συναίσθημα στα πλαίσια ενός παιχνιδιού. 11 από τους 22 συμμετέχοντες του πειράματος μας έδωσαν τέτοιες ιδέες. Η περισσότερο προτεινόμενη ιδέα αντιστοιχούσε και στην περίπτωση του δικού μας παιχνιδιού (χρήση γρίφων), και ήταν να δίνει στον παίκτη το παιχνίδι υποδείξεις (hints) όταν ο παίκτης «κολλάει» σε έναν μέρος του παιχνιδιού για αρκετή ώρα και εντοπίζεται το συναίσθημα του θυμού. Σε αυτή την ιδέα, προσθέτουμε και τη βελτίωση που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, ώστε να μπορούμε να αναγνωρίσουμε το συναίσθημα του εκνευρισμού ή της σύγχυσης. Δύο άτομα θα ήθελαν να επηρεάζει το τέλος του παιχνιδιού το συναίσθημα. Σε πολλές περιπτώσεις παιχνιδιών με μεγάλη διάρκεια και μη γραμμικό χαρακτήρα, το συναίσθημα του παίκτη σε συγκεκριμένα (και μη) συμβάντα του παιχνιδιού θα μπορούσε να φέρει την ιστορία σε ένα άλλο δρόμο, με τη σχέση του χαρακτήρα με άλλους χαρακτήρες να αλλάζει. Επίσης, υπήρξαν ιδέες για σημαντικότερες μεταβολές στα γραφικά στοιχεία του παιχνιδιού, καθώς και να αλλάζουν τα δωμάτια (ή επίπεδα) στα οποία εισέρχεται ο παίκτης ανάλογα με τη συναισθηματική κατάσταση του. Τέλος, αναφέρθηκε η ιδέα να αλλάζει ο «χαρακτήρας» χαρακτήρων που δεν ελέγχονται από τον παίκτη (non-player characters) ανάλογα με την αλληλεπίδραση που έχει ο χαρακτήρας του παίκτη με αυτούς και το συναίσθημα του κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης αυτής. Όλες αυτές οι ιδέες μπορούν να αποτελέσουν μία αρχή για την παραγωγή νέων σχεδιάσεων.

Ελπίζουμε όλη η δουλειά που πραγματοποιήθηκε σε αυτή τη διπλωματική να φέρει αποτελέσματα ακόμα και πέρα του ακαδημαϊκού επιπέδου, και η δημιουργικότητα του ανθρώπου να

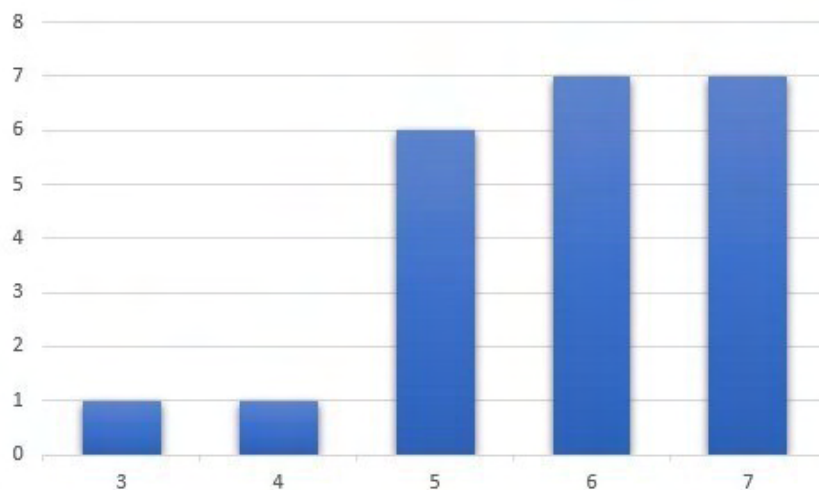
δώσει πνοή σε νέα είδη ψηφιακής ψυχαγωγίας που δεν έχει ξαναδεί ο κόσμος.

Παράρτημα Α΄

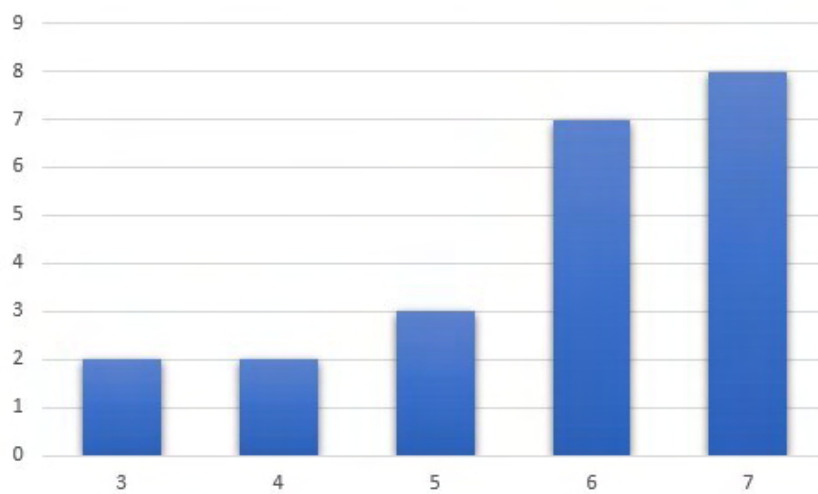
Γραφήματα Πειράματος

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται μαζεμένα όλα τα γραφήματα που αντιστοιχούν στις απαντήσεις σε κάθε ερώτημα του ερωτηματολογίου. Κάθε ενότητα που ακολουθεί αναφέρεται σε κάθε ενότητα του ερωτηματολογίου, όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 8.

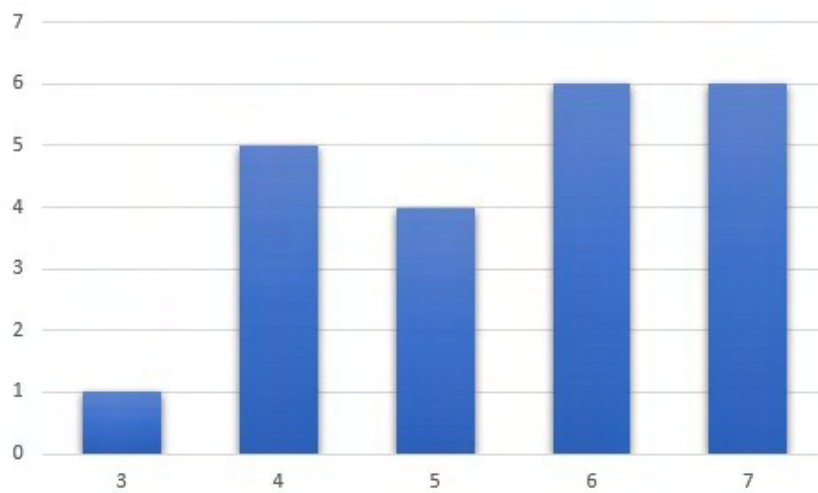
Α΄.1 Usability/Playability



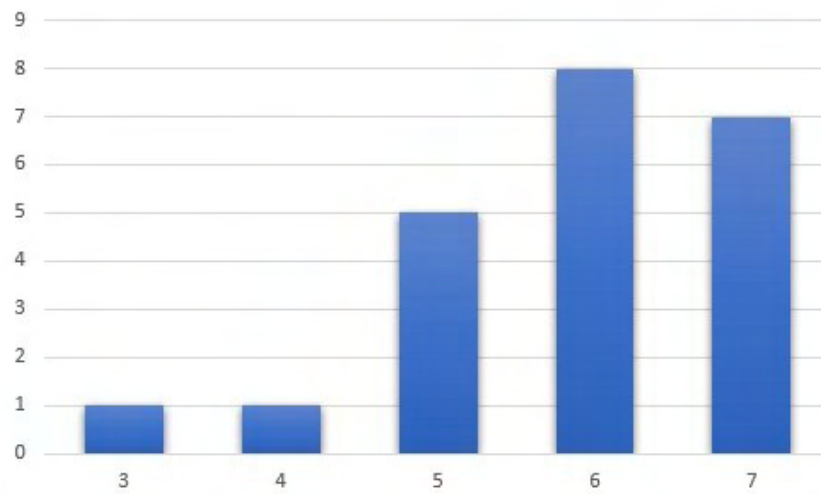
Σχήμα Α΄.1: I think it is easy to learn how to play the game.



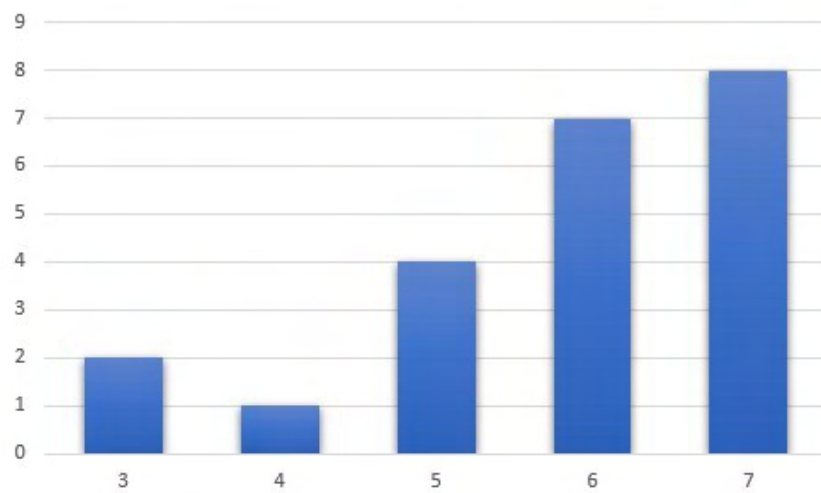
Σχήμα Α'.2: I find the controls of the game to be straightforward.



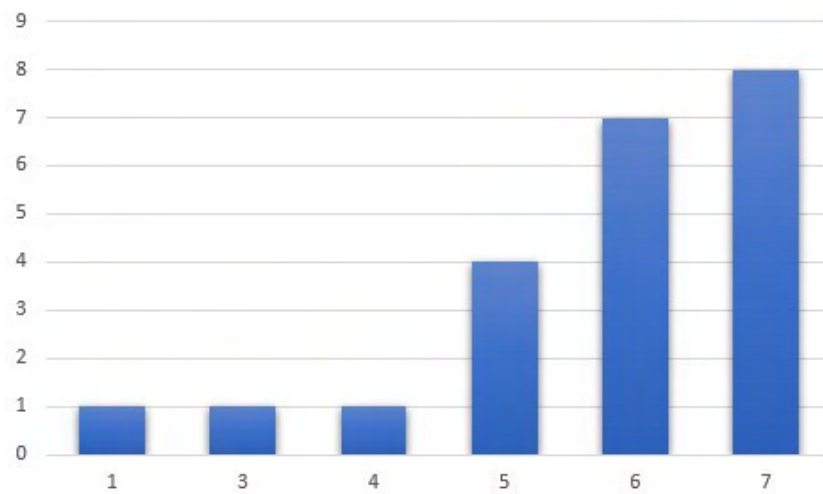
Σχήμα Α'.3: I always know how to achieve my goals/objectives in the game.



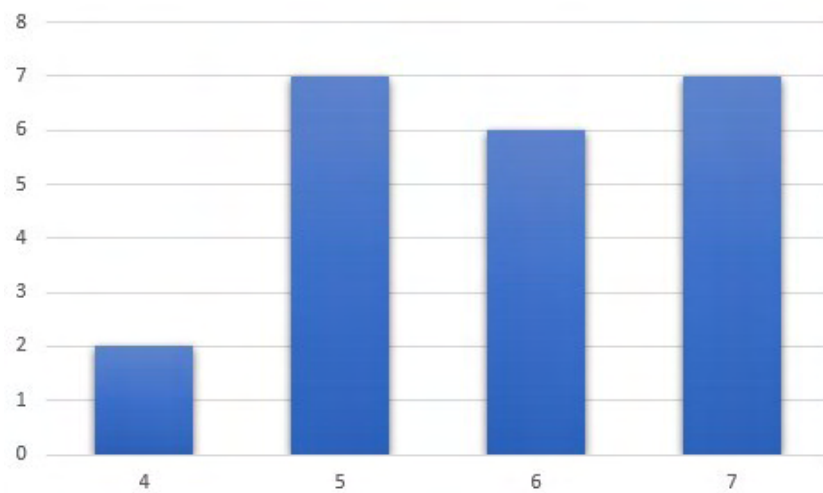
Σχήμα Α'.4: I find the game's interface to be easy to navigate.



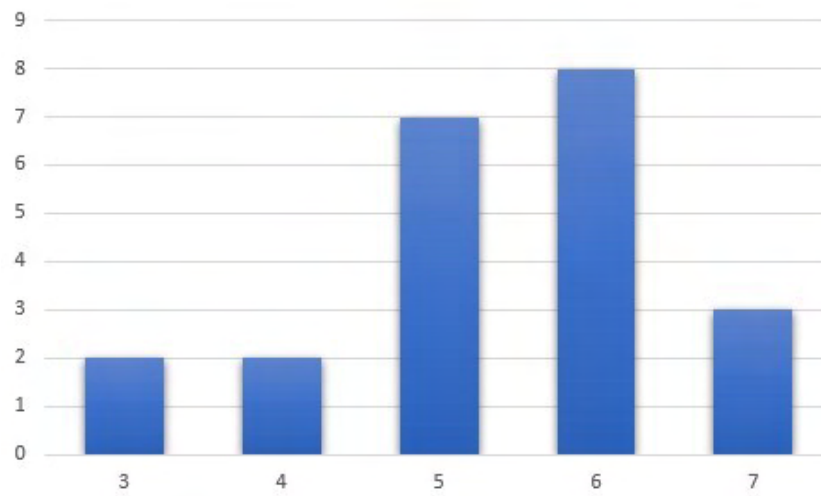
Σχήμα Α'.5: I do not need to go through a lengthy tutorial or read a manual to play the game.



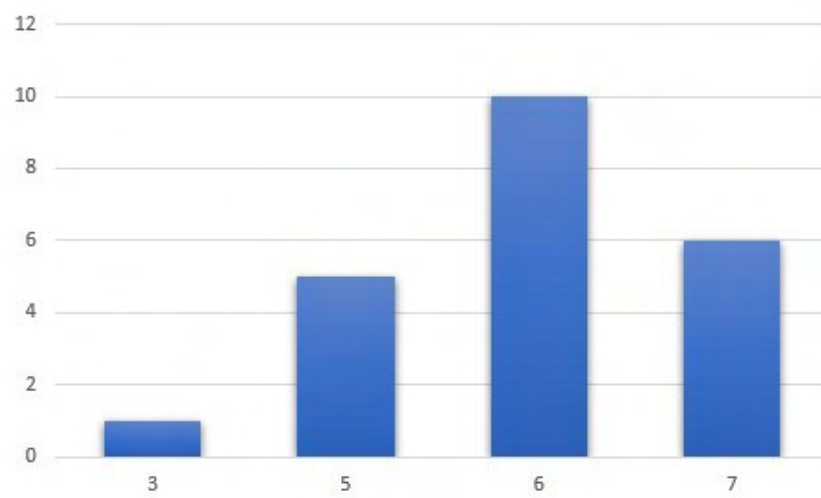
Σχήμα Α'.6: I find the game's menus to be user-friendly.



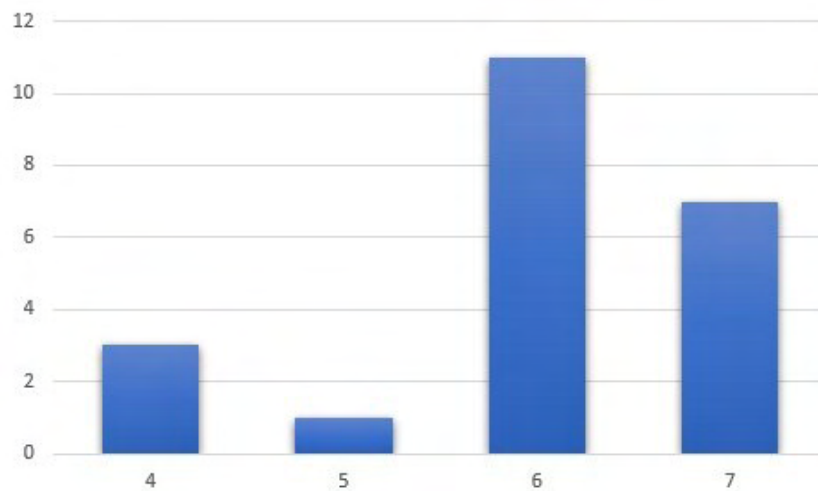
Σχήμα Α'.7: I feel the game trains me well in all the controls.



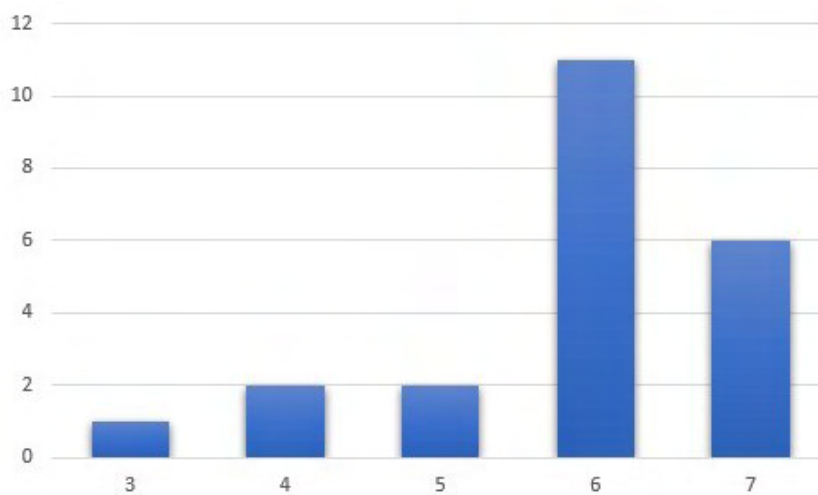
Σχήμα Α'.8: I always know my next goal when I finish an event in the game.



Σχήμα Α'.9: I feel the game provides me the necessary information to accomplish a goal within the game.

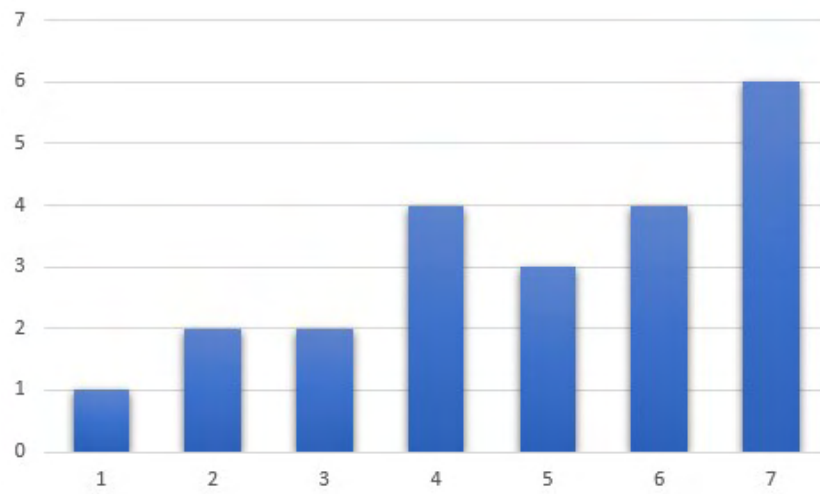


Σχήμα Α'.10: I think the information provided in the game (e.g., onscreen messages, help) is clear.

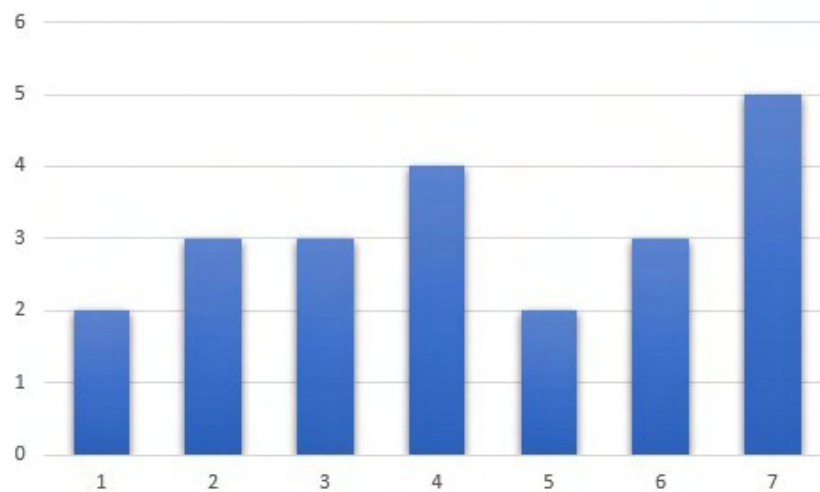


Σχήμα Α'.11: I feel very confident while playing the game.

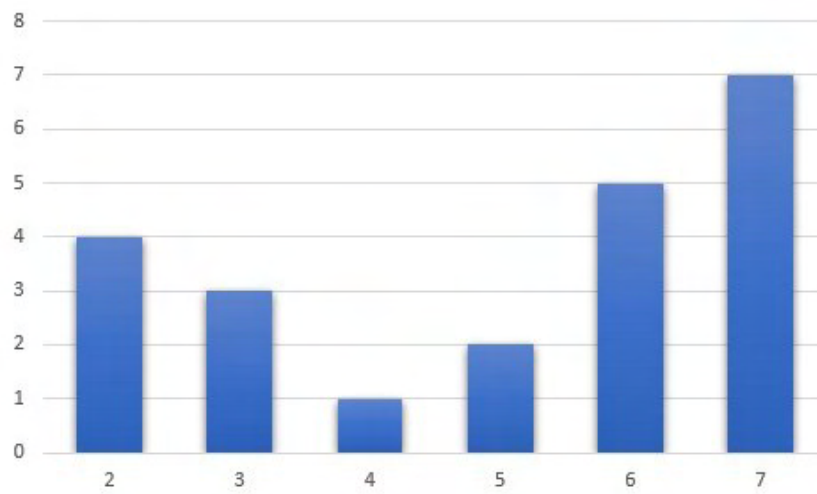
A'.2 Play Engrossment



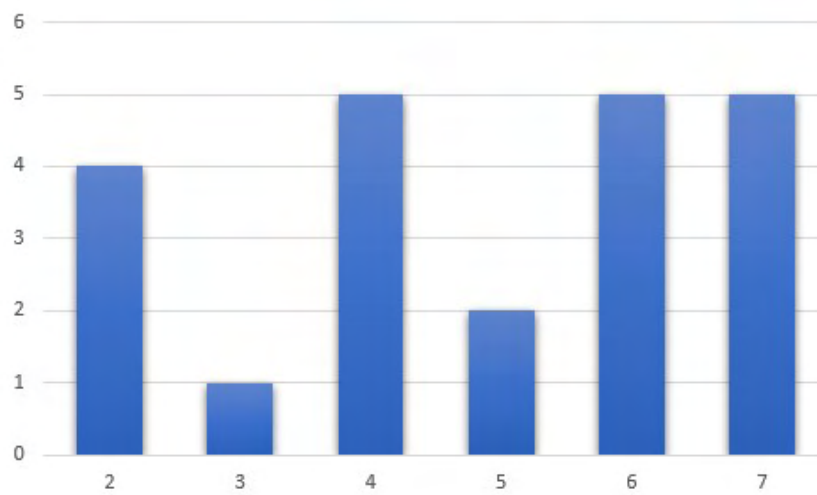
Σχήμα A'.12: I feel detached from the outside world while playing the game.



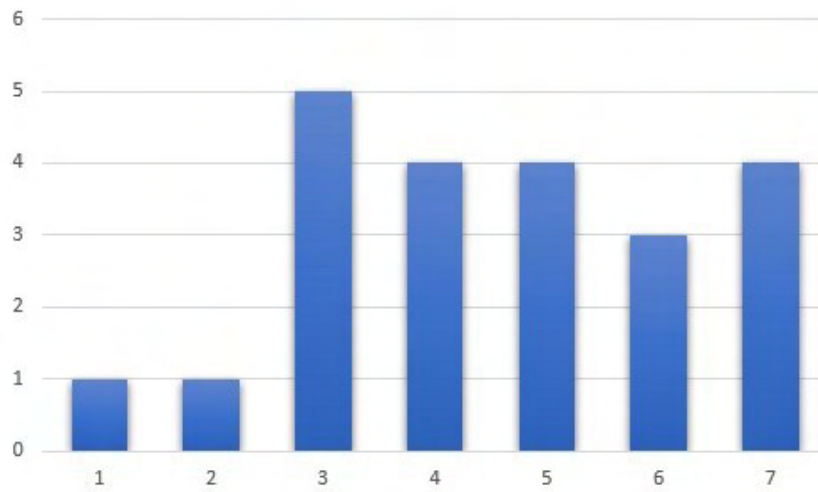
Σχήμα A'.13: I do not care to check events that are happening in the real world during the game.



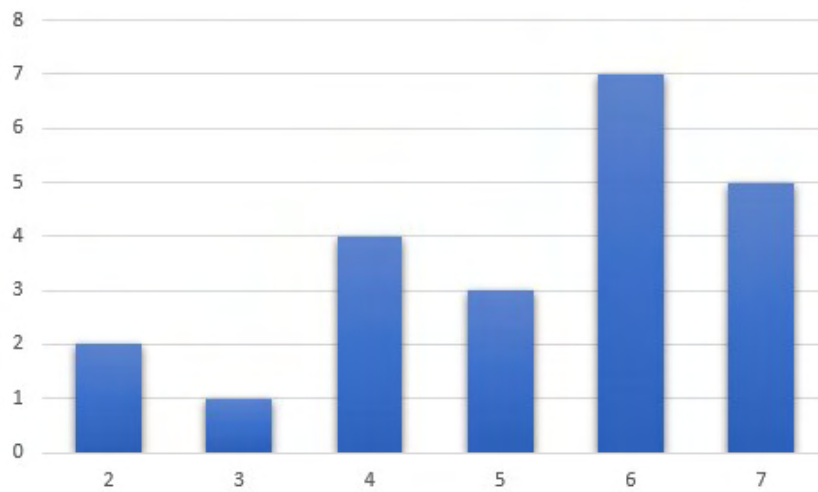
Σχήμα Α'.14: I cannot tell that I am getting tired while playing the game.



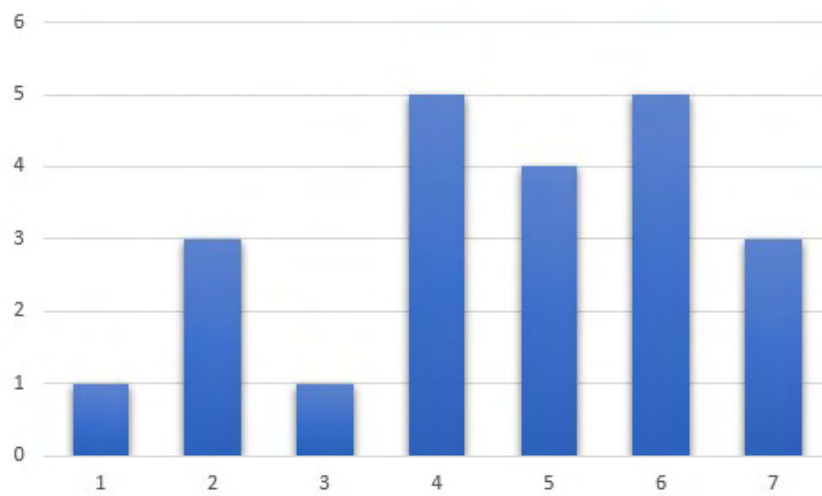
Σχήμα Α'.15: Sometimes I lose track of time while playing the game.



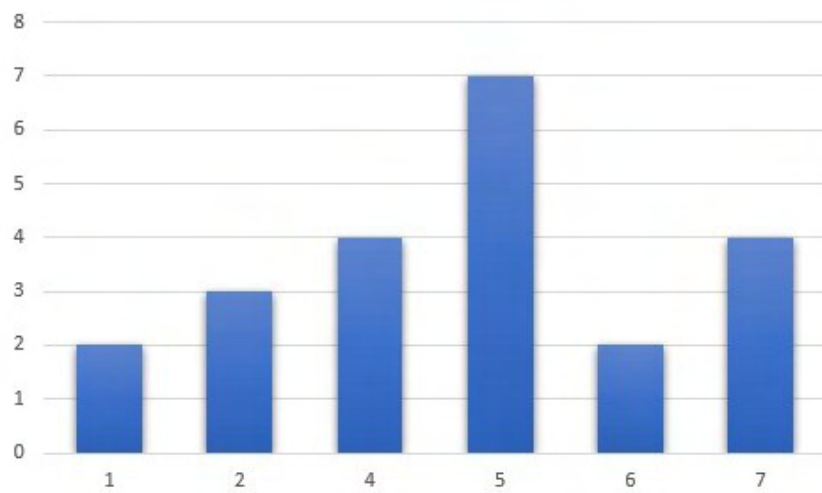
Σχήμα Α.16: I temporarily forget about my everyday worries while playing the game.



Σχήμα Α.17: I tend to spend more time playing the game than I have planned.

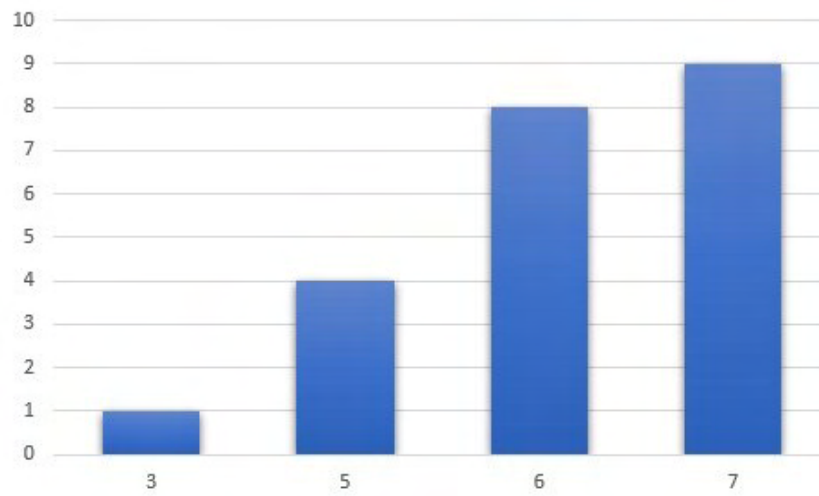


Σχήμα Α'.18: I can block out most other distractions when playing the game.

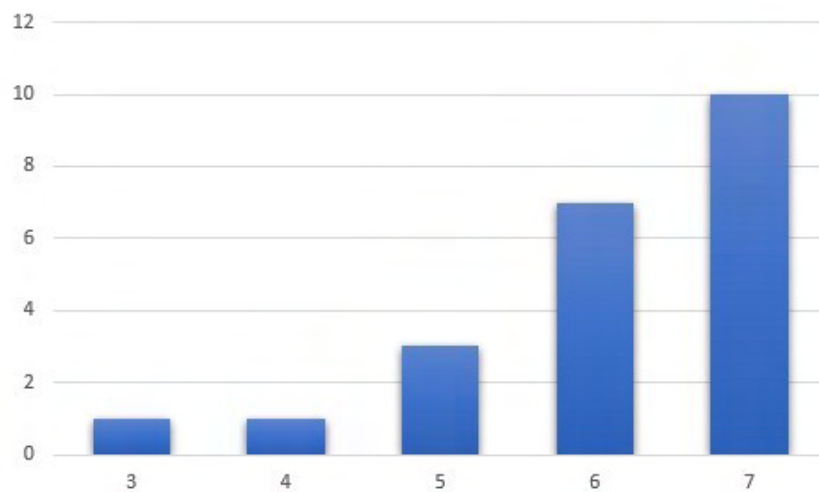


Σχήμα Α'.19: Whenever I stopped playing the game, I cannot wait to start playing it again.

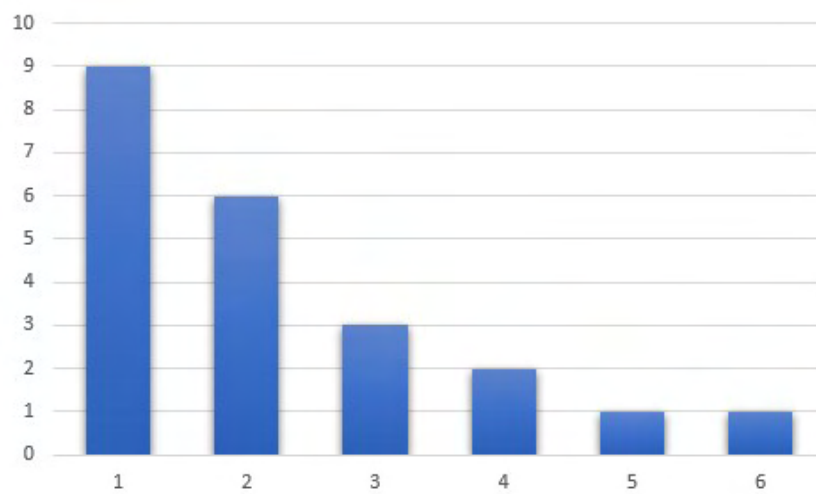
A'.3 Enjoyment



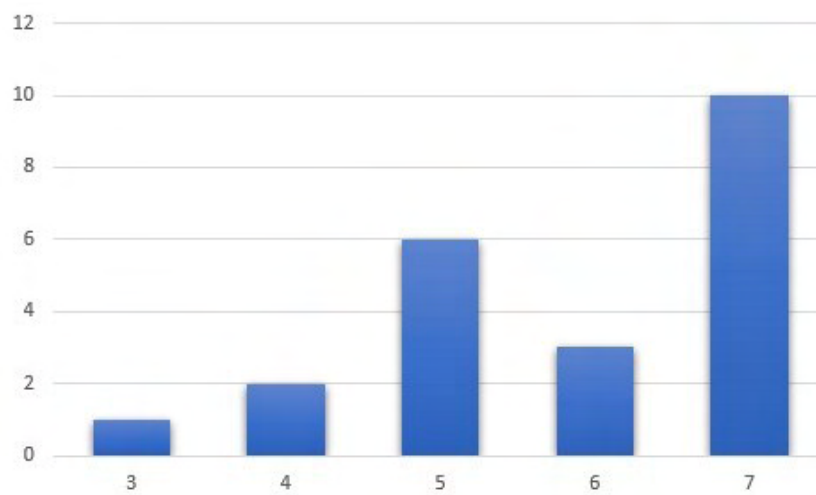
Σχήμα A'.20: I think the game is fun.



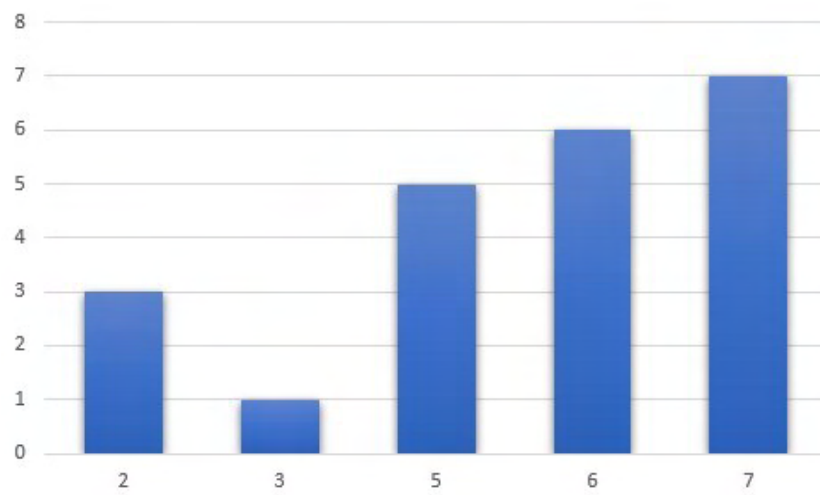
Σχήμα A'.21: I enjoy playing the game.



Σχήμα Α'.22: I feel bored while playing the game.

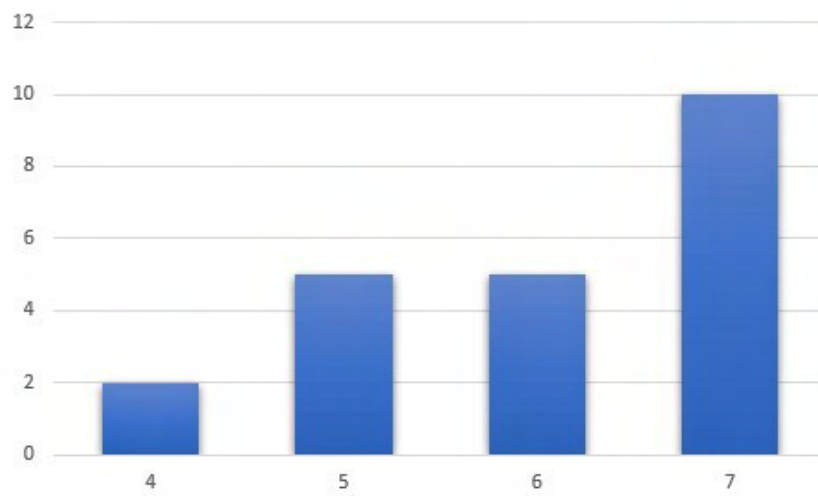


Σχήμα Α'.23: I am likely to recommend this game to others.

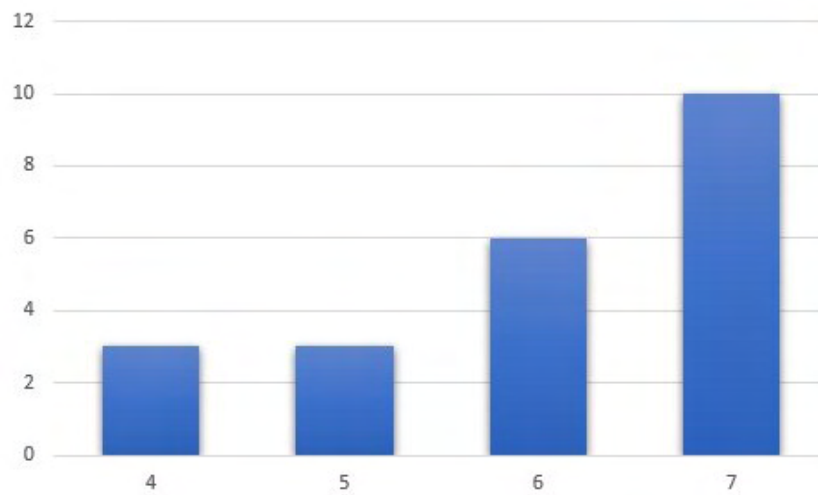


Σχήμα Α'.24: If given the chance, I want to play this game again.

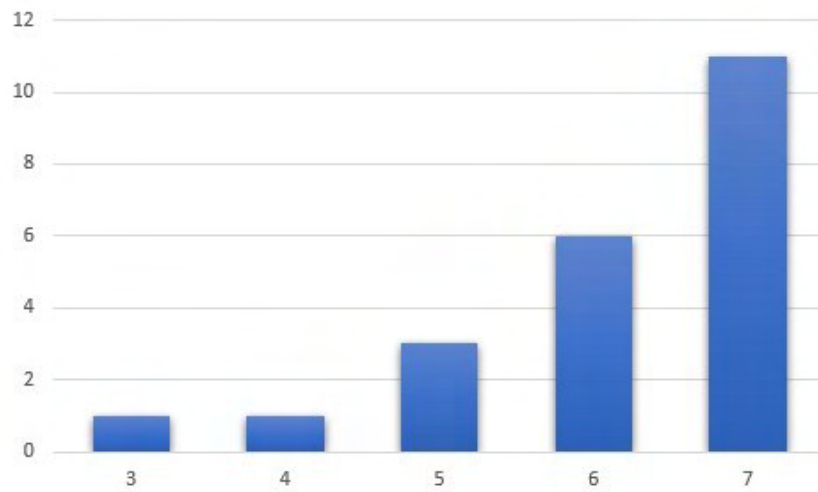
Α'.4 Audio Aesthetics



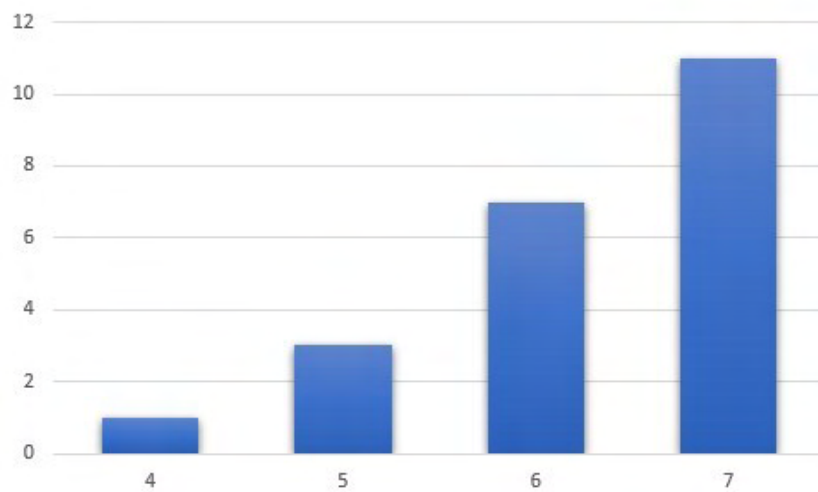
Σχήμα Α'.25: I enjoy the sound effects in the game.



Σχήμα Α'.26: I enjoy the music in the game.

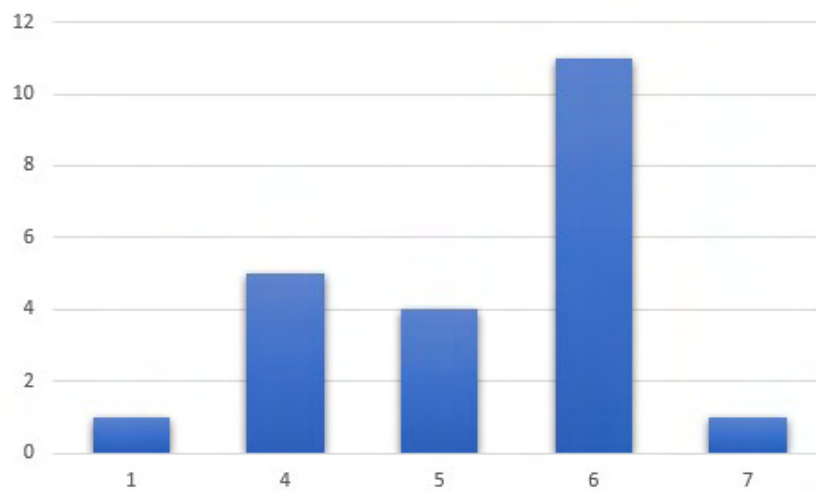


Σχήμα A'.27: I feel the game's audio (e.g., sound effects, music) enhances my gaming experience.

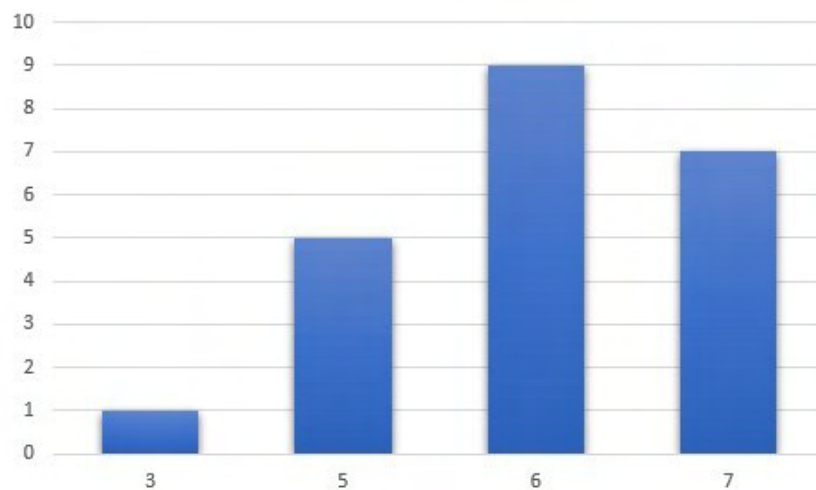


Σχήμα A'.28: I think the game's audio fits the mood or style of the game.

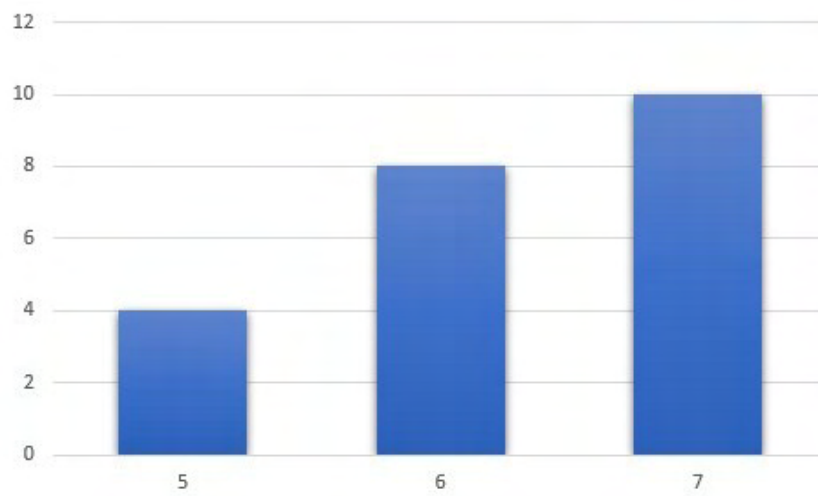
Α'.5 Personal Gratification



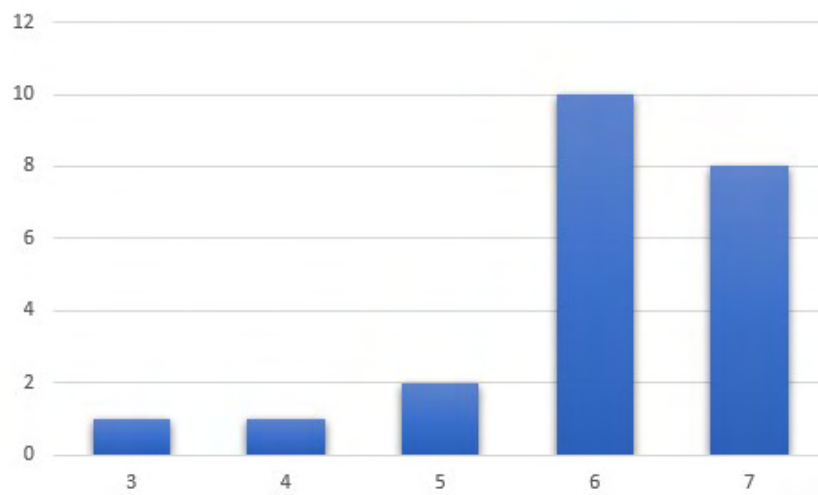
Σχήμα Α'.29: I am in suspense about whether I will succeed in the game.



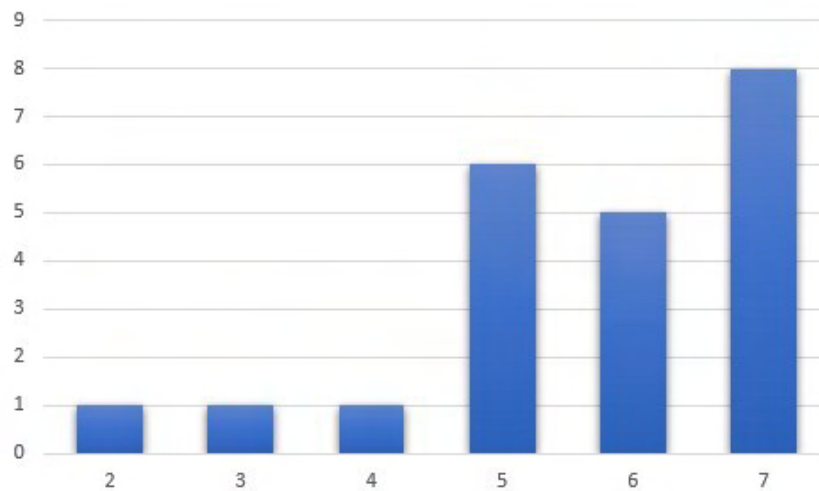
Σχήμα Α'.30: I feel successful when I overcome the obstacles in the game.



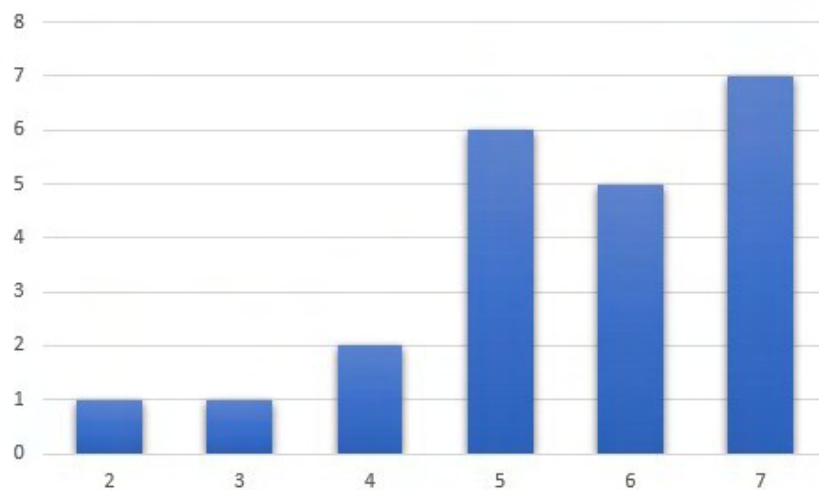
Σχήμα Α'.31: I want to do as well as possible during the game.



Σχήμα Α'.32: I am very focused on my own performance while playing the game.

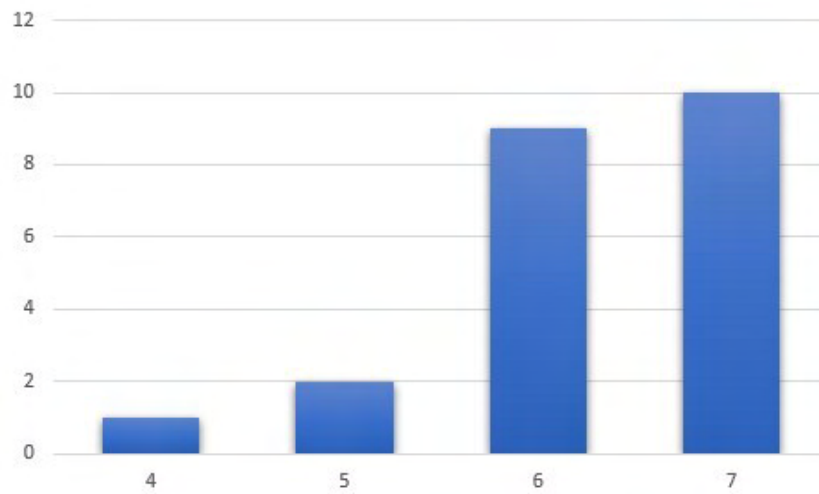


Σχήμα Α'.33: I feel the game constantly motivates me to proceed further to the next stage or level.

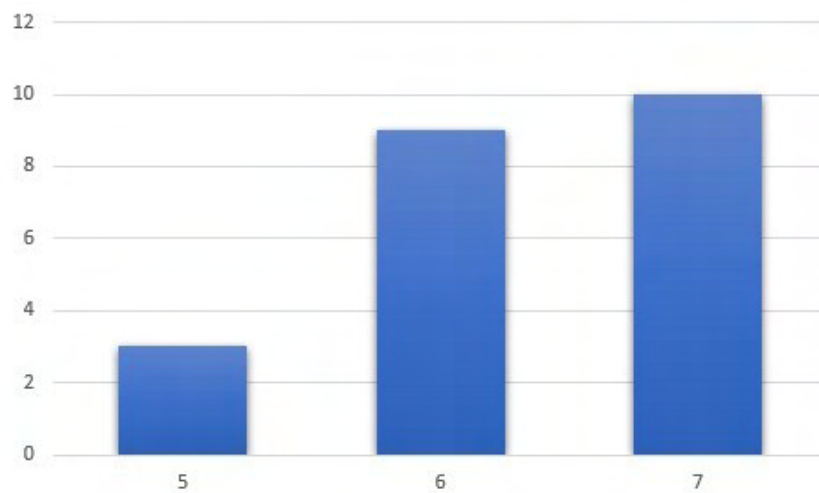


Σχήμα Α'.34: I find my skills gradually improve through the course of overcoming the challenges in the game.

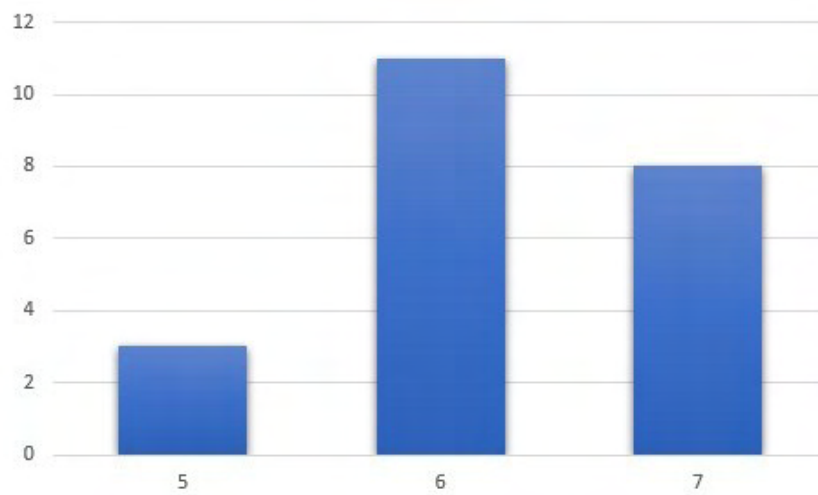
A'.6 Visual Aesthetics



Σχήμα A'.35: I enjoy the game's graphics.

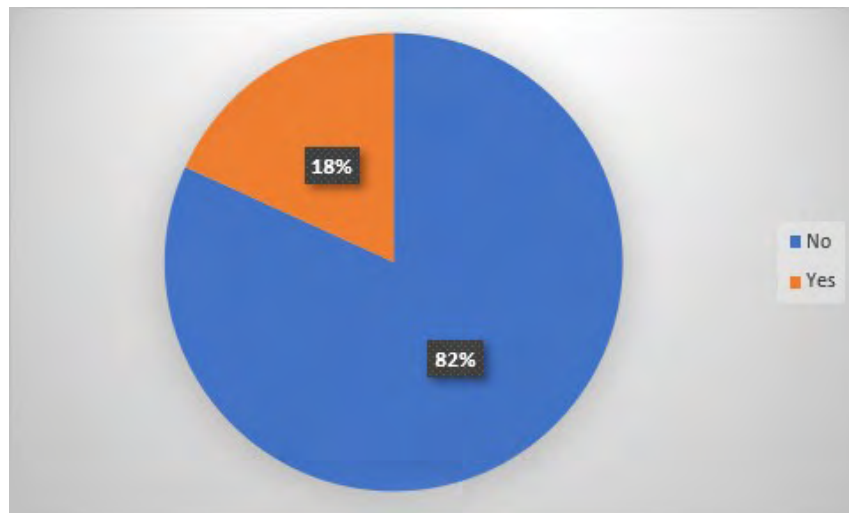


Σχήμα A'.36: I think the graphics of the game fit the mood or style of the game.

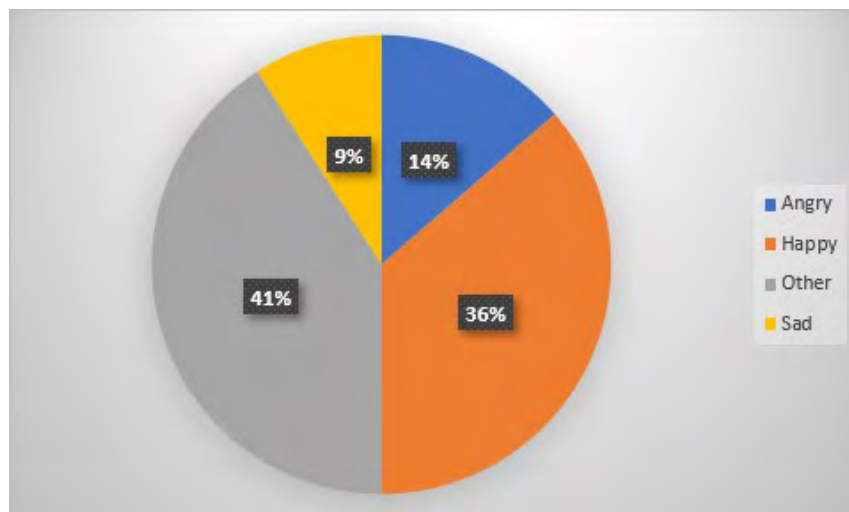


Σχήμα Α'.37: I think the game is visually appealing.

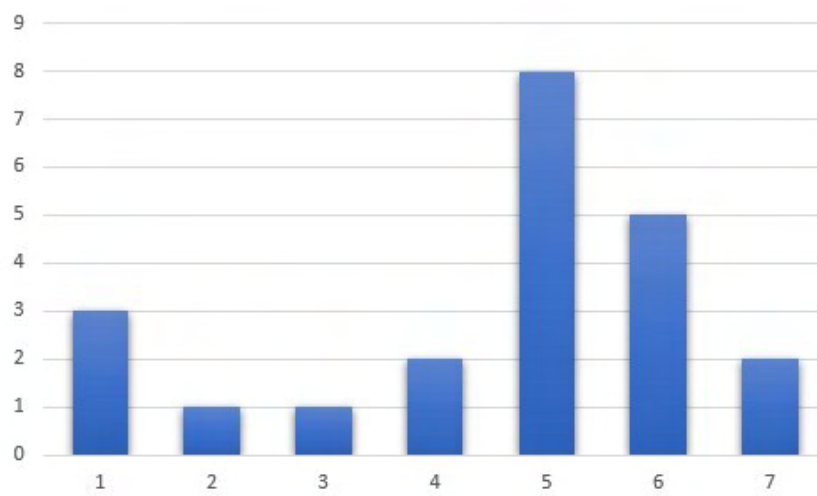
A'.7 Emotion Recognition



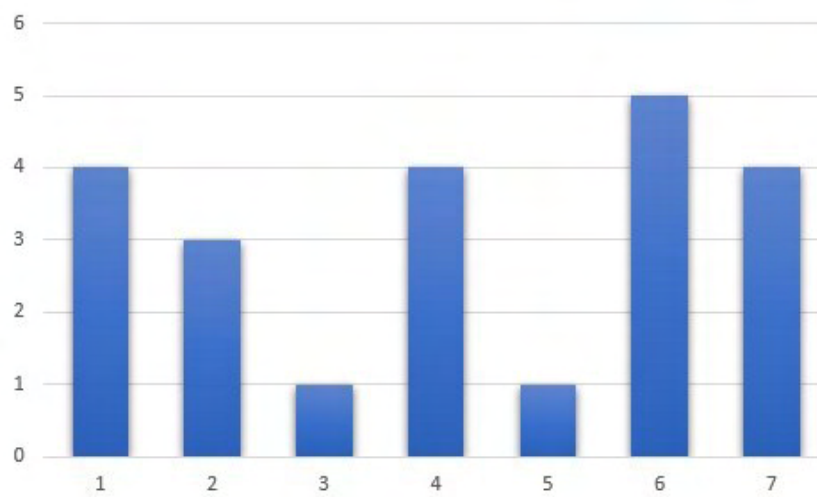
Σχήμα A'.38: I tried to influence the emotion recognition, actively and on purpose.



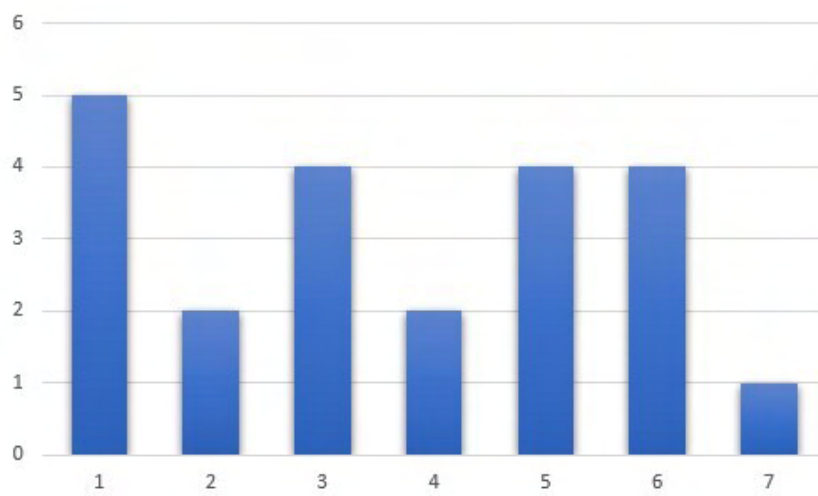
Σχήμα A'.39: Which of the following describes the emotion you were feeling during game-play?



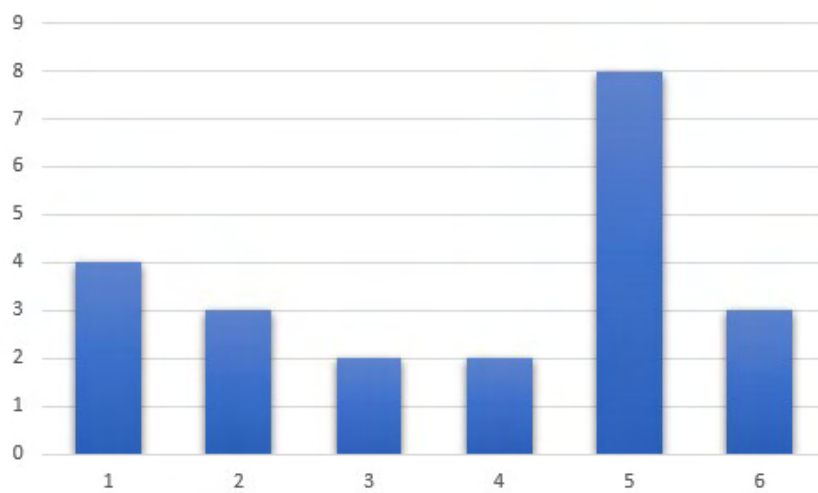
Σχήμα Α'.40: I noticed a change in the music.



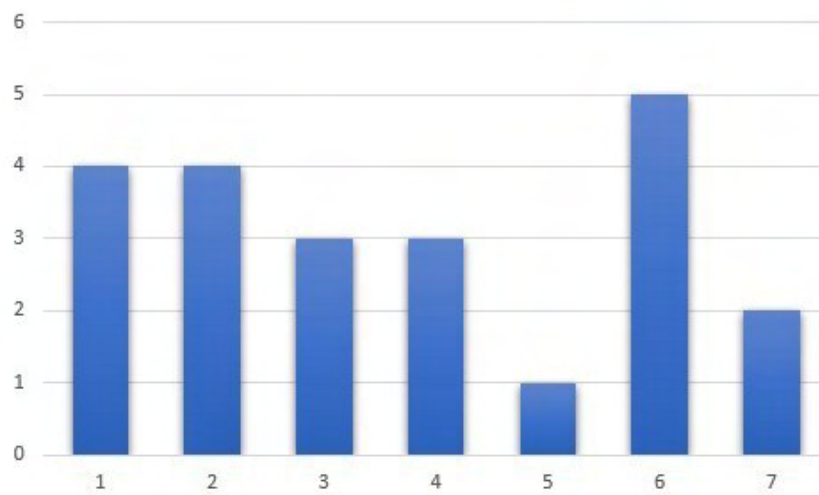
Σχήμα Α'.41: I noticed a visual change in the material of the walls and floor.



Σχήμα Α'.42: I noticed a change of tone in the journal entries.



Σχήμα Α'.43: I noticed a room with emotionally themed hints and presentation.



Σχήμα Α'.44: I noticed that the ending quote was associated with an emotion.

Βιβλιογραφία

- [1] The machine to be another, 2012. URL <http://beanotherlab.org/home/work/tmtba/>.
- [2] MM Abdul Jamil, Chin Fhung Soon, A Achilleos, Mansour Youseffi και Farideh Javid. Electrocardiograph (ecg) circuit design and software-based processing using labview. 2017.
- [3] Foteini Agrafioti, Dimitris Hatzinakos και Adam K Anderson. Ecg pattern analysis for emotion detection. *IEEE Transactions on affective computing*, 3(1):102–115, 2011.
- [4] Abhinav Agrawal και Namita Mittal. Using cnn for facial expression recognition: a study of the effects of kernel size and number of filters on accuracy. *The Visual Computer*, 36(2):405–412, 2020.
- [5] Timo Ahonen, Abdenour Hadid και Matti Pietikäinen. Face recognition with local binary patterns. Στο *European conference on computer vision*, σελίδες 469–481. Springer, 2004.
- [6] Abdulrhman H. Al-Jebrni, Brendan Chwyl, Xiao Yu Wang, Alexander Wong και Bechara J. Saab. Ai-enabled remote and objective quantification of stress at scale. *Biomedical Signal Processing and Control*, 59:101929, 2020.
- [7] Musaed Alhussein. Automatic facial emotion recognition using weber local descriptor for e-healthcare system. *Cluster Computing*, 19(1):99–108, 2016.
- [8] Nazanin Andalibi και Justin Buss. The human in emotion recognition on social media: Attitudes, outcomes, risks. Στο *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, σελίδες 1–16, 2020.
- [9] Deger Ayata, Yusuf Yaslan και Mustafa Kamaşak. Emotion recognition via galvanic skin response: Comparison of machine learning algorithms and feature extraction methods. *IU-Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 17(1):3147–3156, 2017.
- [10] Ouriel Barzilay και Alon Wolf. Adaptive rehabilitation games. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1):182–189, 2013.

- [11] Stuart M Bender και Billy Sung. Fright, attention, and joy while killing zombies in virtual reality: A psychophysiological analysis of vr user experience. *Psychology & Marketing*, 38(6):937–947, 2021.
- [12] Francis Gano Benedict, Walter Richard Miles και Alice Johnson. The temperature of the human skin. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 5(6):218, 1919.
- [13] Yannick Benezeth, Peixi Li, Richard Macwan, Keisuke Nakamura, Randy Gomez και Fan Yang. Remote heart rate variability for emotional state monitoring. Στο *2018 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI)*, σελίδες 153–156. IEEE, 2018.
- [14] Philippe Bertrand, Jérôme Guegan, Léonore Robieux, Cade Andrew McCall και Frank Zenasni. Learning empathy through virtual reality: multiple strategies for training empathy-related abilities using body ownership illusions in embodied virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, σελίδα 26, 2018.
- [15] William Bierman. The temperature of the skin surface. *Journal of the American Medical Association*, 106(14):1158–1162, 1936.
- [16] Anastassia Blechko, Iain Darker και Alastair Gale. Skills in detecting gun carrying from cctv. Στο *2008 42nd Annual IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*, σελίδες 265–271. IEEE, 2008.
- [17] Anastassia Blechko, Iain T Darker και Alastair G Gale. The role of emotion recognition from non-verbal behaviour in detection of concealed firearm carrying. Στο *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, τόμος 53, σελίδες 1363–1367. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2009.
- [18] Katarzyna Blinowska και Piotr Durka. Electroencephalography (eeg). *Wiley encyclopedia of biomedical engineering*, 2006.
- [19] Wolfram Boucsein. *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [20] Ran Breuer και Ron Kimmel. A deep learning perspective on the origin of facial expressions. *CoRR*, αβς/1705.01842, 2017.
- [21] Jeffrey W Britton, Lauren C Frey, Jennifer L Hopp, Pearce Korb, Mohamad Z Koubeissi, William E Lievens, Elia M Pestana-Knight και EK St Louis. Electroencephalography (eeg): an introductory text and atlas of normal and abnormal findings in adults, children, and infants. 2016.
- [22] Per Brodal. *The central nervous system: structure and function*. oxford university Press, 2004.

- [23] Antonio Camurri, Ingrid Lagerlöf και Gualtiero Volpe. Recognizing emotion from dance movement: comparison of spectator recognition and automated techniques. *International journal of human-computer studies*, 59(1-2):213–225, 2003.
- [24] Neil R Carlson και Neil R Carlson. *Physiology of behavior*. Pearson Boston, 2007.
- [25] Louis C Charland. Emotion as a natural kind: Towards a computational foundation for emotion theory. *Philosophical psychology*, 8(1):59–84, 1995.
- [26] Jong Suk Choi, Jae Won Bang, Hwan Heo και Kang Ryoung Park. Evaluation of fear using nonintrusive measurement of multimodal sensors. *Sensors*, 15(7):17507–17533, 2015.
- [27] Hagit Cohen, Moshe Kotler, Mike A Matar, Zeev Kaplan, Uri Loewenthal, Hanoch Miodownik και Yair Cassuto. Analysis of heart rate variability in posttraumatic stress disorder patients in response to a trauma-related reminder. *Biological psychiatry*, 44(10):1054–1059, 1998.
- [28] Tee Connie, Mundher Al-Shabi, Wooi Ping Cheah και Michael Goh. Facial expression recognition using a hybrid cnn–sift aggregator. Στο *International Workshop on Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence*, σελίδες 139–149. Springer, 2017.
- [29] Timothy F Cootes, Christopher J Taylor, David H Cooper και Jim Graham. Active shape models-their training and application. *Computer vision and image understanding*, 61(1):38–59, 1995.
- [30] Aniana Cruz, Diogo Garcia, Gabriel Pires και Urbano Nunes. Facial expression recognition based on eeg toward emotion detection for human-robot interaction. Στο *BIOSIGNALS*, σελίδες 31–37, 2015.
- [31] Ana Carolina Nicolosida Rocha Gracioso, Claudia Cristina Botero Suárez, Clécio Bachini και Francisco Javier Ramírez Fernández. Emotion recognition system using open web platform. Στο *2013 47th International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)*, σελίδες 1–5. IEEE, 2013.
- [32] Charles Darwin. The expression of the emotions in man and animals. Στο *The expression of the emotions in man and animals*. University of Chicago press, 2015.
- [33] Anders Drachen, Alessandro Canossa και Georgios N Yannakakis. Player modeling using self-organization in tomb raider: Underworld. Στο *2009 IEEE symposium on computational intelligence and games*, σελίδες 1–8. IEEE, 2009.
- [34] Bruce A Draper, Kyungim Baek, Marian Stewart Bartlett και J Ross Beveridge. Recognizing faces with pca and ica. *Computer vision and image understanding*, 91(1-2):115–137, 2003.

- [35] Andrius Dzedzickis, Artūras Kaklauskas και Vytautas Bucinskas. Human emotion recognition: Review of sensors and methods. *Sensors*, 20(3), 2020.
- [36] P Ekman, E Rosenberg και J Hager. Facial action coding system affect interpretation dictionary (facsaid). *In.*, 1998.
- [37] Paul Ekman και Wallace V Friesen. Facial action coding system. *Environmental Psychology & Nonverbal Behavior*, 1978.
- [38] Societyfor Psychophysiological Research Ad Hoc Committee on Electrodermal Measures. Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 49(8):1017–1034, 2012.
- [39] Carlos Gantiva, Rocío Cendales, Maite Díaz και Yesenia González. Is there really a relationship between empathy and aggression? evidence from physiological and self-report measures. *Journal of interpersonal violence*, 36(7-8):3438–3458, 2021.
- [40] Tom Gayler, Corina Sas και Vaiva Kalnikaite. Taste your emotions: An exploration of the relationship between taste and emotional experience for hci. Στο *Proceedings of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference*, DIS '19, σελίδες 1279–1291, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [41] Deepak Ghimire και Joonwhoan Lee. Geometric feature-based facial expression recognition in image sequences using multi-class adaboost and support vector machines. *Sensors*, 13(6):7714–7734, 2013.
- [42] Fred Glover. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & Operations Research*, 13(5):533–549, 1986.
- [43] Dayi Gong, Shutao Li και Yin Xiang. Face recognition using the weber local descriptor. Στο *The First Asian Conference on Pattern Recognition*, σελίδες 589–592, 2011.
- [44] Atefeh Goshvarpour, Ataollah Abbasi και Ateke Goshvarpour. An accurate emotion recognition system using ecg and gsr signals and matching pursuit method. *Biomedical Journal*, 40(6):355–368, 2017.
- [45] K. GOUIZI, F. BEREKSI REGUIG και C. MAAOUI. Emotion recognition from physiological signals. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 35(6-7):300–307, 2011.
- [46] Han Wen Guo, Yu Shun Huang, Chien Hung Lin, Jen Chien Chien, Koichi Haraikawa και Jiann Shing Shieh. Heart rate variability signal features for emotion recognition by using principal component analysis and support vectors machine. Στο *2016 IEEE 16th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, σελίδες 274–277, 2016.

- [47] Andreas Haag, Silke Goronzy, Peter Schaich και Jason Williams. Emotion recognition using bio-sensors: First steps towards an automatic system. Στο *Affective Dialogue Systems* Elisabeth André, Laila Dybkjær, Wolfgang Minker και Paul Heisterkamp, επιμελητές, σελίδες 36–48, Berlin, Heidelberg, 2004. Springer Berlin Heidelberg.
- [48] Jihun Hamm, Christian G Kohler, Ruben C Gur και Ragini Verma. Automated facial action coding system for dynamic analysis of facial expressions in neuropsychiatric disorders. *Journal of neuroscience methods*, 200(2):237–256, 2011.
- [49] SL Happy, Anjith George και Aurobinda Routray. A real time facial expression classification system using local binary patterns. Στο *2012 4th International conference on intelligent human computer interaction (IHCI)*, σελίδες 1–5. IEEE, 2012.
- [50] Trevor Hastie, Saharon Rosset, Ji Zhu και Hui Zou. Multi-class adaboost. *Statistics and its Interface*, 2(3):349–360, 2009.
- [51] Carl Herman Hjortsjö. *Man's face and mimic language*. Studentlitteratur, 1969.
- [52] Yu Liang Hsu, Jeen Shing Wang, Wei Chun Chiang και Chien Han Hung. Automatic ecg-based emotion recognition in music listening. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 11(1):85–99, 2020.
- [53] Terence KL Hui και R Simon Sherratt. Coverage of emotion recognition for common wearable biosensors. *Biosensors*, 8(2):30, 2018.
- [54] WOAS Wan Ismail, M Hanif, SB Mohamed, Noraini Hamzah και Zairi Ismael Rizman. Human emotion detection via brain waves study by using electroencephalogram (eeg). *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 6(6):1005–1011, 2016.
- [55] Minna Isomursu, Marika Tähti, Soili Väinämö και Kari Kuutti. Experimental evaluation of five methods for collecting emotions in field settings with mobile applications. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65(4):404–418, 2007.
- [56] Carroll E Izard. Basic emotions, natural kinds, emotion schemas, and a new paradigm. *Perspectives on psychological science*, 2(3):260–280, 2007.
- [57] Sateh MS Jalaliddine, Chriswell G Hutchens, Robert D Strattan και William A Coberly. Ecg data compression techniques-a unified approach. *IEEE transactions on Biomedical Engineering*, 37(4):329–343, 1990.
- [58] Benjamin E Jin, Heike Wulff, Jonathan H Widdicombe, Jie Zheng, Donald M Bers και Jose L Puglisi. A simple device to illustrate the einthoven triangle. *Adv. Physiol. Educ.*, 36(4):319–324, 2012.

- [59] Cai Jing, Guangyuan Liu και Min Hao. The research on emotion recognition from ecg signal. Στο *2009 International Conference on Information Technology and Computer Science*, τόμος 1, σελίδες 497–500, 2009.
- [60] Heechul Jung, Sihaeng Lee, Junho Yim, Sunjeong Park και Junmo Kim. Joint fine-tuning in deep neural networks for facial expression recognition. Στο *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, σελίδες 2983–2991, 2015.
- [61] Peter Jönsson. Respiratory sinus arrhythmia as a function of state anxiety in healthy individuals. *International Journal of Psychophysiology*, 63(1):48–54, 2007.
- [62] Joseph "Jofish" Kaye. Making scents: aromatic output for hci. *interactions*, 11(1):48–61, 2004.
- [63] Rizwan Ahmed Khan, Alexandre Meyer, Hubert Konik και Saida Bouakaz. Framework for reliable, real-time facial expression recognition for low resolution images. *Pattern Recognition Letters*, 34(10):1159–1168, 2013.
- [64] Jhonatan Kobylarz, Jordan J Bird, Diego R Faria, Eduardo Parente Ribeiro και Anikó Ekárt. Thumbs up, thumbs down: Non-verbal human-robot interaction through real-time emg classification via inductive and supervised transductive transfer learning. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 11(12):6021–6031, 2020.
- [65] Byoung Chul Ko. A brief review of facial emotion recognition based on visual information. *Sensors*, 18(2), 2018.
- [66] Vladimir Kosonogov, Lucas De Zorzi, Jacques Honore, Eduardo S Martínez-Velázquez, Jean Louis Nandrino, José M Martinez-Selva και Henrique Sequeira. Facial thermal variations: A new marker of emotional arousal. *PloS one*, 12(9):ε0183592, 2017.
- [67] Uwe Kowalik, Terumasa Aoki και Hiroshi Yasuda. A tv rating system using facial expressions. *FIT2004, Kyoto*, 2004.
- [68] Elizabeth A Krusemark, Lucas R Novak, Darren R Gitelman και Wen Li. When the sense of smell meets emotion: anxiety-state-dependent olfactory processing and neural circuitry adaptation. *Journal of Neuroscience*, 33(39):15324–15332, 2013.
- [69] Kazumasa Kurosumi, Susumu Shibasaki και Toshio Ito. Cytology of the secretion in mammalian sweat glands. τόμος 87 στο *International Review of Cytology*, σελίδες 253–329. Academic Press, 1984.
- [70] HT Lawless, GK Beauchamp και L Bartoshuk. Tasting and smelling: Handbook of perception and cognition. 1997.
- [71] Alexandros Liapis, Christos Katsanos, Dimitris Sotiropoulos, Michalis Xenos και Nikos Karousos. Recognizing emotions in human computer interaction: studying stress

- using skin conductance. Στο *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, σελίδες 255–262. Springer, 2015.
- [72] Acuity ETS Limited. Neuro-tools : Gsr, 2016. URL <https://acuityets.wordpress.com/2016/10/24/series-neuro-tools-gsr/>.
- [73] Amanda C Lints-Martindale, Thomas Hadjistavropoulos, Bruce Barber και Stephen J Gibson. A psychophysical investigation of the facial action coding system as an index of pain variability among older adults with and without alzheimer’s disease. *Pain Medicine*, 8(8):678–689, 2007.
- [74] Changchun Liu, Pramila Agrawal, Nilanjan Sarkar και Shuo Chen. Dynamic difficulty adjustment in computer games through real-time anxiety-based affective feedback. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 25(6):506–529, 2009.
- [75] Yisi Liu, Olga Sourina και Minh Khoa Nguyen. Real-time eeg-based human emotion recognition and visualization. Στο *2010 international conference on cyberworlds*, σελίδες 262–269. IEEE, 2010.
- [76] Yisi Liu, Olga Sourina και Minh Khoa Nguyen. Real-time eeg-based emotion recognition and its applications. Στο *Transactions on computational science XII*, σελίδες 256–277. Springer, 2011.
- [77] David G Lowe. Object recognition from local scale-invariant features. Στο *Proceedings of the seventh IEEE international conference on computer vision*, τόμος 2, σελίδες 1150–1157. Ieee, 1999.
- [78] Yuyao Lu, Yusuke Fujita, Satoko Honda, Shin Hsin Yang, Yan Xuan, Kaichen Xu, Takayuki Arie, Seiji Akita και Kuniharu Takei. Wireless and flexible skin moisture and temperature sensor sheets toward the study of thermoregulator center. *Advanced Healthcare Materials*, 10(17):2100103, 2021.
- [79] Sascha Mahlke, Michael Minge και Manfred Thüring. Measuring multiple components of emotions in interactive contexts. Στο *CHI’06 extended abstracts on Human factors in computing systems*, σελίδες 1061–1066, 2006.
- [80] Mahesh Babu Mariappan, Myunghoon Suk και Balakrishnan Prabhakaran. Facefetch: A user emotion driven multimedia content recommendation system based on facial expression recognition. Στο *2012 IEEE International Symposium on Multimedia*, σελίδες 84–87. IEEE, 2012.
- [81] Arturo Martínez-Rodrigo, Roberto Zangróniz, José Manuel Pastor, José Miguel Latorre και Antonio Fernández-Caballero. Emotion detection in ageing adults from physiological sensors. Στο *Ambient Intelligence-Software and Applications*, σελίδες 253–261. Springer, 2015.

- [82] Alison Jane Martingano, Fernanda Hererra και Sara Konrath. Virtual reality improves emotional but not cognitive empathy: a meta-analysis. 2021.
- [83] P Lord Mary και W D Wright. The investigation of eye movements. *Reports on Progress in Physics*, 13(1):1–23, 1950.
- [84] Richard A McFarland. Relationship of skin temperature changes to the emotions accompanying music. *Biofeedback and Self-regulation*, 10(3):255–267, 1985.
- [85] Ella McLafferty, Charles Hendry και Alistair Farley. The integumentary system: anatomy, physiology and function of skin. *Nursing Standard (through 2013)*, 27(3):35, 2012.
- [86] Yves Meyer. *Wavelets and Operators: Volume 1*. Αριθμός 37. Cambridge university press, 1992.
- [87] Agnes Moors, Phoebe C Ellsworth, Klaus R Scherer και Nico H Frijda. Appraisal theories of emotion: State of the art and future development. *Emotion Review*, 5(2):119–124, 2013.
- [88] Kristen P. Morie, Michael J. Crowley, Linda C. Mayes και Marc N. Potenza. The process of emotion identification: Considerations for psychiatric disorders. *Journal of Psychiatric Research*, 148:264–274, 2022.
- [89] Frederick Mosteller και R. A. Fisher. Questions and answers. *The American Statistician*, 2(5):30–31, 1948.
- [90] Imran Qayyum Mundial, M Sohaib Ul Hassan, M Islam Tiwana, Waqar Shahid Qureshi και Eisa Alanazi. Towards facial recognition problem in covid-19 pandemic. Στο *2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, σελίδες 210–214. IEEE, 2020.
- [91] Martin Murer, Ilhan Aslan και Manfred Tscheligi. Lollipops - exploring taste as playful modality. σελίδες 299–302, 2013.
- [92] Rie Nakanishi και Kyoko Imai-Matsumura. Facial skin temperature decreases in infants with joyful expression. *Infant Behavior and Development*, 31(1):137–144, 2008.
- [93] Peter Nickel και Friedhelm Nachreiner. Sensitivity and diagnosticity of the 0.1-hz component of heart rate variability as an indicator of mental workload. *Human factors*, 45(4):575–590, 2003.
- [94] Shantanu Pal, Subhas Mukhopadhyay και Nagender Suryadevara. Development and progress in sensors and technologies for human emotion recognition. *Sensors*, 21(16), 2021.

- [95] Min Woo Park, Chi Jung Kim, Mincheol Hwang και Eui Chul Lee. Individual emotion classification between happiness and sadness by analyzing photoplethysmography and skin temperature. Στο *2013 Fourth World Congress on Software Engineering*, σελίδες 190–194. IEEE, 2013.
- [96] Sananda Paul, Anwesha Banerjee και DN Tibarewala. Emotional eye movement analysis using electrooculography signal. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 23(1):59–70, 2017.
- [97] Mikki Phan, Joseph Keebler και Barbara Chaparro. The development and validation of the game user experience satisfaction scale (guess). *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 58, 2016.
- [98] Rosalind W Picard. *Affective computing*. MIT press, 2000.
- [99] RW Picard. *Affective computing*. 321, 1995.
- [100] Eric Ponder και W. P. Kennedy. On the act of blinking. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 18(2):89–110, 1927.
- [101] Prabhu. Understanding of convolutional neural network (cnn) — deep learning, 2018. URL <https://medium.com/@RaghavPrabhu/understanding-of-convolutional-neural-network-cnn-deep-learning-99760835f148>.
- [102] Colin Puri, Leslie Olson, Ioannis Pavlidis, James Levine και Justin Starren. Strescam: Non-contact measurement of users’ emotional states through thermal imaging. Στο *CHI ’05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, CHI E-A ’05, σελίδα 1725–1728, New York, NY, USA, 2005. Association for Computing Machinery.
- [103] Daniel S. Quintana, Adam J. Guastella, Tim Outhred, Ian B. Hickie και Andrew H. Kemp. Heart rate variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between the autonomic nervous system and social cognition. *International Journal of Psychophysiology*, 86(2):168–172, 2012.
- [104] Raj Rakshit, V Ramu Reddy και Parijat Deshpande. Emotion detection and recognition using hrv features derived from photoplethysmogram signals. Στο *Proceedings of the 2nd Workshop on Emotion Representations and Modelling for Companion Systems*, ERM4CT ’16, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [105] S Ramkumar, K Sathesh Kumar, T Dhiliphan Rajkumar, M Ilayaraja και K Shan- kar. A review-classification of electrooculogram based human computer interfaces. *Biomedical Research*, 29(6):1078–1084, 2018.

- [106] Lawrence Ian Reed, Michael A Sayette και Jeffrey F Cohn. Impact of depression on response to comedy: a dynamic facial coding analysis. *Journal of abnormal psychology*, 116(4):804, 2007.
- [107] Sandra Sampayo-Vargas, Chris J. Cope, Zhen He και Graeme J. Byrne. The effectiveness of adaptive difficulty adjustments on students' motivation and learning in an educational computer game. *Computers & Education*, 69:452–462, 2013.
- [108] Deny John Samuvel, B Perumal και Muthukumaran Elangovan. Music recommendation system based on facial emotion recognition. *Publicado en 3C Tecnología. Special Issue*, 2020.
- [109] Pritam Sarkar και Ali Etemad. Self-supervised ecg representation learning for emotion recognition. *IEEE Transactions on Affective Computing*, σελίδες 1–1, 2020.
- [110] Parthana Sarma και Shovan Barma. Usefulness of blinking duration variability (bdv) in discriminating emotional states. *Biomedical Signal Processing and Control*, 69:102883, 2021.
- [111] Marc G Sarossy, Matthew HA Lee και Michael Bach. A fast automated method for calculating the eog arden ratio. *Documenta Ophthalmologica*, 128(3):169–178, 2014.
- [112] Axel Schäfer και Jan Vagedes. How accurate is pulse rate variability as an estimate of heart rate variability?: A review on studies comparing photoplethysmographic technology with an electrocardiogram. *International journal of cardiology*, 166(1):15–29, 2013.
- [113] Nicola S Schutte και Emma J Stilinović. Facilitating empathy through virtual reality. *Motivation and emotion*, 41(6):708–712, 2017.
- [114] Dangdang Shao, Francis Tsow, Chenbin Liu, Yuting Yang και Nongjian Tao. Simultaneous monitoring of ballistocardiogram and photoplethysmogram using a camera. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64(5):1003–1010, 2016.
- [115] Harisu Abdullahi Shehu, Will Browne και Hedwig Eisenbarth. An adversarial attacks resistance-based approach to emotion recognition from images using facial landmarks. Στο *2020 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, σελίδες 1307–1314. IEEE, 2020.
- [116] Kirk Shelley, Stacey Shelley και Carol Lake. Pulse oximeter waveform: photoelectric plethysmography. *Clinical monitoring*, 2, 2001.
- [117] Donghee Shin. Empathy and embodied experience in virtual environment: To what extent can virtual reality stimulate empathy and embodied experience? *Computers in human behavior*, 78:64–73, 2018.

- [118] Muhammad Hameed Siddiqi, Rahman Ali, Adil Mehmood Khan, Young Tack Park και Sungyoung Lee. Human facial expression recognition using stepwise linear discriminant analysis and hidden conditional random fields. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(4):1386–1398, 2015.
- [119] Uzma Siddiqui. An overview of "electrooculography". 2013.
- [120] Karen Simonyan και Andrew Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition, 2014. URL <https://arxiv.org/abs/1409.1556>.
- [121] Sheona Sinha, Shubham Kr Mishra και Saurabh Bilgaiyan. Emotion analysis to provide counseling to students fighting from depression and anxiety by using cctv surveillance. Στο *Machine Learning and Information Processing*, σελίδες 81–94. Springer, 2020.
- [122] Wolfgang Skrandies και Monika Baier. The standing potential of the human eye reflects differences between upper and lower retinal areas. *Vision research*, 26(4):577–581, 1986.
- [123] Mel Slater, Bernhard Spanlang, Maria V Sanchez-Vives και Olaf Blanke. First person experience of body transfer in virtual reality. *PloS one*, 5(5):ε10564, 2010.
- [124] Petr Somol, Jana Novovicova και Pavel Pudil. *Efficient Feature Subset Selection and Subset Size Optimization*, τόμος 56. 2010.
- [125] R.S. Soundariya και R. Renuga. Eye movement based emotion recognition using electrooculography. Στο *2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*, σελίδες 1–5, 2017.
- [126] Olga Sourina, Yisi Liu και Minh Khoa Nguyen. Real-time eeg-based emotion recognition for music therapy. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 5(1):27–35, 2012.
- [127] Olaf Strauss. The retinal pigment epithelium in visual function. *Physiological reviews*, 85(3):845–881, 2005.
- [128] Myunghoon Suk και Balakrishnan Prabhakaran. Real-time mobile facial expression recognition system-a case study. Στο *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops*, σελίδες 132–137, 2014.
- [129] Jianhua; Tieniu Tan Tao. Affective computing: A review". affective computing and intelligent interaction. *First International Conference, ACII 2005, Beijing, China*, LNCS 3784:981—995, 2005.
- [130] Paweł Tarnowski, Marcin Kołodziej, Andrzej Majkowski και Remigiusz Jan Rak. Combined analysis of gsr and eeg signals for emotion recognition. Στο *2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPhDW)*, σελίδες 137–141. IEEE, 2018.

- [131] Tran Quang Trung, Thi My Linh Dang, Subramaniyan Ramasundaram, Phan Tan Toi, Sang Yoon Park και Nae Eung Lee. A stretchable strain-insensitive temperature sensor based on free-standing elastomeric composite fibers for on-body monitoring of skin temperature. *ACS applied materials & interfaces*, 11(2):2317–2327, 2018.
- [132] Saeed Turabzadeh, Hongying Meng, Rafiq M Swash, Matus Pleva και Jozef Juhar. Facial expression emotion detection for real-time embedded systems. *Technologies*, 6(1):17, 2018.
- [133] Goran Udovičić, Jurica Đerek, Mladen Russo και Marjan Sikora. Wearable emotion recognition system based on gsr and ppg signals. Στο *Proceedings of the 2nd International Workshop on Multimedia for Personal Health and Health Care*, MMHealth '17, σελίδα 53–59, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [134] María Teresa Valderas, Juan Bolea, Pablo Laguna, Montserrat Vallverdú και Raquel Bailón. Human emotion recognition using heart rate variability analysis with spectral bands based on respiration. Στο *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, σελίδες 6134–6137, 2015.
- [135] Anton Van Boxtel. Facial emg as a tool for inferring affective states. Στο *Proceedings of measuring behavior*, τόμος 7, σελίδες 104–108, 2010.
- [136] Sara Ventura, Laura Badenes-Ribera, Rocio Herrero, Ausias Cebolla, Laura Galiana και Rosa Baños. Virtual reality as a medium to elicit empathy: a meta-analysis. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 23(10):667–676, 2020.
- [137] James Vincent. Face masks are breaking facial recognition algorithms, says new government study, 2020. URL <https://www.theverge.com/2020/7/28/21344751/facial-recognition-face-masks-accuracy-nist-study>.
- [138] S Visnu Dharsini, B Balaji, KS Kirubha Hari και others. Music recommendation system based on facial emotion recognition. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 17(4):1662–1665, 2020.
- [139] Pieter Vos, Paul De Cock, Vera Munde, Katja Petry, Wim Van Den Noortgate και Bea Maes. The tell-tale: What do heart rate; skin temperature and skin conductance reveal about emotions of people with severe and profound intellectual disabilities? *Research in developmental disabilities*, 33(4):1117–1127, 2012.
- [140] Hong Wang, Chi Zhang, Tianwei Shi, Fuwang Wang και Shujun Ma. Real-time eeg-based detection of fatigue driving danger for accident prediction. *International journal of neural systems*, 25(02):1550002, 2015.
- [141] Lei Wang και Kap Chan. Learning kernel parameters by using class separability measure. 2002.

- [142] Chang Zhi Wei. Stress emotion recognition based on rsp and emg signals. Στο *Advanced Materials Research*, τόμος 709, σελίδες 827–831. Trans Tech Publ, 2013.
- [143] Peter Weyers, Andreas Mühlberger, Carolin Hefele και Paul Pauli. Electromyographic responses to static and dynamic avatar emotional facial expressions. *Psychophysiology*, 43(5):450–453, 2006.
- [144] Xizhi Zhu. Emotion recognition of emg based on bp neural network. Στο *Proc Int Symposium Network. Network Security*, σελίδες 227–229. Citeseer, 2010.
- [145] Mohammad Zohaib. Dynamic difficulty adjustment (dda) in computer games: A review. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2018, 2018.
- [146] Cong Zong και Mohamed Chetouani. Hilbert-huang transform based physiological signals analysis for emotion recognition. Στο *2009 IEEE international symposium on signal processing and information technology (ISSPIT)*, σελίδες 334–339. IEEE, 2009.

Συντομογραφίες - Αρκτικόλεξα - - Ακρωνύμια

βλπ	βλέπε
κ.λπ.	και λοιπά
κτλ	και τα λοιπά
MO	Μέσος Όρος
TA	Τυπική Απόκλιση
π.χ.	παραδείγματος χάριν
etc	et cetera
HCI	Human Computer Interaction
AEE	Automated emotion evaluation
EEG	Electroencephalogram
ECG	Electrocardiogram
KNN	k - nearest neighbors
KBCS	kernel-based class separability
SFFS	sequential forward floating selection
SVM	Support Vector Machine
EDA	electrodermal activity
PPG	Photoplethysmogram
HRV	Heart Rate Variability
SKT	Skin Temperature Measurement
FLIR	Forward-looking infrared
EMG	Electromyography
EOG	Electrooculography
TEP	transepithelial potential
RPE	retinal pigment epithelium
VOG	video camera videooculographysystems
IROG	infrared camera infrared oculography
LDA	Linear Discriminant Analysis
FACS	Facial Action Coding System
FACSAID	Facial Action Coding System Affect Interpretation Dictionary
EMFACS	Emotional Facial Action Coding System

CNN	Convolutional Neural Network
FER	facial emotion recognition
SIFT	Scale-invariant feature transform
DDA	dynamic difficulty adjustment
VR	Virtual Reality

