

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Των φοιτητών
Γεώργιου Βλασιάδη
Αρ.Μητρώου:514303
Νικόλαου Ματσκίδη
Αρ.Μητρώου:514084

Επιβλέπων
Ιορδάνης Κιοσκερίδη
Βαθμίδα Επίκουρος καθηγητής

Ημερομηνία 31/5/2026

Τίτλος Δ.Ε. Σχεδίαση και κατασκευή ψηφιακού επιτραπέζιου παιχνιδιού τύπου «Escape Room»
23227

Όνοματεπώνυμο φοιτητών Γεώργιος Βλασιάδης, Νικόλαος Ματσκίδης

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Ιορδάνης Κιοσκερίδης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 4/12/2025

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 31/5/2026

Βεβαιώνουμε ότι είμαστε οι συγγραφείς αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχουμε καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Βλασιάδη Γεωργίου και Ματσκίδη Νικόλαου που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, οι συγγραφείς/δημιουργοί εκχωρούν στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας των συγγραφέων/δημιουργών, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση των συγγραφέων/δημιουργών.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων των συγγραφέων, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος πτυχιακής εργασίας προέκυψε τόσο από προσωπικό ενδιαφέρον για τα παιχνίδια γρίφων όσο και από την επαγγελματική μας εμπειρία στον χώρο των escape rooms, καθώς εργαστήκαμε σε εταιρεία που ασχολείται με τον σχεδιασμό και την κατασκευή τους. Μέσα από αυτή την εμπειρία είχαμε την ευκαιρία να γνωρίσουμε από κοντά τη διαδικασία δημιουργίας ενός escape room.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σχεδίαση και υλοποίηση ενός επιτραπέζιου escape room που θα προσφέρει μια ευχάριστη και διαδραστική εμπειρία στους παίκτες. Μέσα από τη δημιουργία πρωτότυπων γρίφων και ενός ενδιαφέροντος σεναρίου, επιδιώκεται η ανάπτυξη ενός παιχνιδιού που προάγει τη συνεργασία, την παρατηρητικότητα και τη ευφάνταστη σκέψη.

Η εργασία αυτή αποτελεί μια προσπάθεια αξιοποίησης των γνώσεων και εμπειριών που αποκτήσαμε στον χώρο των escape rooms, συνδυάζοντας την τεχνική κατάρτιση και την δημιουργικότητα , με στόχο την δημιουργία μιας ολοκληρωμένης και ποιοτικής ψυχαγωγικής εμπειρίας.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη και υλοποίηση ενός διαδραστικού επιτραπέζιου παιχνιδιού απόδρασης με την ονομασία “Escape Mini”. Σκοπός της εργασίας είναι η μεταφορά της καθηλωτικής εμπειρίας ενός δωματίου απόδρασης (Escape Room) σε μία φορητή μακέτα, συνδυάζοντας την παραδοσιακή ψυχαγωγία των επιτραπέζιων παιχνιδιών με τις δυνατότητες των ενσωματωμένων συστημάτων. Στο σενάριο του παιχνιδιού, οι παίκτες καλούνται να επιλύσουν μια σειρά από γρίφους στο εργαστήριο ενός αρχαίου αλχημιστή.

Για την ανάπτυξη του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ως κεντρική μονάδα ελέγχου ο μικροελεγκτής ESP32-D0WD-V3 (σε μορφή module ESP32-WROOM), ο οποίος συντονίζει τα επιμέρους υποσυστήματα παράλληλα, επιτρέπει την ασύρματη επικοινωνία του (WiFi/Bluetooth) για την ευκολότερη απασφαλμάτωση (debugging) της συσκευής και την ευκολότερη εγκατάσταση των αισθητήρων στην μακέτα στις σωστές θέσεις. Η ανίχνευση των φυσικών αντικειμένων (Props) επιτυγχάνεται με την τεχνολογία RFID και των μαγνητικών επαφών. Λόγω του μεγάλου πλήθους των μονάδων RFID, κρίθηκε αναγκαία η πολύπλεξη των σημάτων τους με την χρήση ενός αναλογικού πολυπλέκτη (MAX14661). Αντίστοιχα, για την ανάγνωση των μαγνητικών επαφών χρησιμοποιήθηκε ένας επεκτατής θυρών (GPIO expander MCP23017) για να μπορέσουμε να προσθέσουμε έναν μεγάλο αριθμό ψηφιακών εισόδων και να μην περιοριστούμε στον περιορισμένο αριθμό IO (Inputs – Outputs) του ESP32.

Επιπλέον, προστέθηκε ένας ελεγκτής PWM (PCA9685) για την επέκταση των ψηφιακών εξόδων, ώστε να μπορούμε με ευκολία να ελέγχουμε τον φωτισμό (LED’s) και τους μικροσερβοκινητήρες. Οι οποίοι ελέγχουν τις κλειδαριές σε μικρά κιβώτια (σεντούκια), διασφαλίζοντας ότι τα φυσικά αντικείμενα των γρίφων (Props) θα αποκαλύπτονται στους παίκτες με την προκαθορισμένη γραμμική ροή που επιβάλλεται από το σενάριο, έτσι ώστε να υπάρχει μία συγκεκριμένη ροή στους γρίφους που μπορούν να λύσουν οι παίκτες. Για την ενίσχυση της οπτικοακουστικής εμπειρίας των παικτών, χρησιμοποιήθηκε οθόνη TFT LCD για την παροχή βοηθειών (hints) και κύκλωμα ήχου I2S για την αναπαραγωγή ηχητικών εφέ με την βοήθεια ενός ενισχυτή MAX98357.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα πλήρως λειτουργικό πρωτότυπο (Proof of Concept) που επιβεβαιώνει την επιτυχία στην ενσωμάτωση τεχνολογιών και αισθητήρων σε παιχνίδια φυσικής αλληλεπίδρασης. Το σύστημα διακρίνεται για την υψηλή διαδραστικότητα του, ενώ η αρθρωτή (modular) αρχιτεκτονική του αφήνει τεράστια περιθώρια μελλοντικής επεκτασιμότητας με νέους γρίφους και μηχανισμούς. Τέλος, έχει ενσωματωθεί και μία θύρα Ethernet, η οποία επιτρέπει την σύνδεση και επικοινωνία πολλαπλών παρόμοιων συστημάτων, προσφέροντας τη ευκολία κλιμάκωσης (scalability) της κατασκευής σε εγκαταστάσεις μεγαλύτερης κλίμακας, όπως ένα πλήρες διαδραστικό τραπέζι.

«Design and implementation of a digital tabletop game»

«GeorgeVlasiadis»

«Nikolaos Matskidis»

Abstract

This thesis presents the development and implementation of an interactive escape room board game named “Escape Mini”. The aim of this work is to transfer the immersive experience of an Escape Room into a portable model, combining the traditional entertainment of board games with the capabilities of embedded systems. In the game’s scenario, players are challenged to solve a series of puzzles in the laboratory of an ancient alchemist.

For the development of the system, the ESP32-D0WD-V3 microcontroller (in the form of an ESP32-WROOM module) was used as the central processing unit, which coordinates the individual subsystems. Simultaneously, its wireless communication abilities (WiFi/Bluetooth) allow for easier debugging of the device of the device and facilitate the accurate installation of the sensors on the physical model. The detection of physical objects (Props) is achieved using RFID technology and magnetic contacts. Due to the large number of RFID modules, multiplexing their signals using an analog multiplexer was deemed necessary. Accordingly, for the reading of the magnetic contacts, an IO expander (GPIO Expander MCP23017) was utilized to provide a large number of digital inputs and bypass the limitations of the available I/O (Inputs – Outputs) pins on the ESP32.

Furthermore, a PWM controller (PCA9685) was used to expand the digital outputs, enabling straightforward control over lighting (LEDs) and micro servo motors. These servos control the locks on small chests, ensuring that the physical objects of the puzzles (Props) are revealed to the players following the predetermined linear sequence dictated by the scenario, thus ensuring a specific flow for the puzzle-solving. To enhance the players audiovisual experience, a TFT LCD screen was used to provide hints, along with an I2S audio circuit for the playback of sound effects with the assistance of a MAX98357 amplifier.

The final result is a fully functional prototype (Proof of Concept) that confirms the successful integration of technologies and sensors into physical interaction games. The system is praised by its high interactivity, while its modular architecture allows vast room for future expandability with new puzzles and mechanisms. Finally, an Ethernet port has been incorporated, allowing the connection and communication of multiple similar systems, thereby offering the convenience of scaling the construction easily to larger installations, such as a fully interactive table.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Πρόλογος | 3 |
| Περίληψη..... | 4 |
| Abstract | 5 |
| Περιεχόμενα | 6 |
| Κατάλογος Σχημάτων | 9 |
| Κατάλογος Πινάκων..... | 10 |
| Κεφάλαιο 1 ^ο Εισαγωγή..... | 11 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 11 |
| 1.2 Δομή εργασίας..... | 11 |
| Κεφάλαιο 2 ^ο Escape Rooms & Board Games & Παρόμοια συστήματα..... | 13 |
| 2.1 Εισαγωγή..... | 13 |
| 2.2 Escape Rooms | 13 |
| 2.3 Board Games | 13 |
| 2.4 Παρόμοια συστήματα..... | 13 |
| 2.4.1 Επιτραπέζιο Scrabble με RFID | 14 |
| 2.4.2 Teburu Board Game | 14 |
| Κεφάλαιο 3 ^ο Σχεδιασμός Μακέτας και Ανάπτυξη Σεναρίου | 16 |
| 3.1 Εισαγωγή..... | 16 |
| 3.2 Το Σενάριο (Το Εργαστήριο του Αλχημιστή Alarion) και η Ροή των Γρίφων | 16 |
| 3.2.1 Το Αφηγηματικό Υπόβαθρο (Lore)..... | 16 |
| 3.2.2 Ο Ρόλος της Οθόνης TFT LCD (Το Ημερολόγιο του Alarion) | 17 |
| 3.2.3 Η Ροή του Παιχνιδιού (Gameplay & Stages)..... | 18 |
| 3.3 Σχεδιασμός και Κατασκευή της Μακέτας..... | 22 |
| 3.3.1 Σχεδιασμός Διπλού Πυθμένα και Ενσωμάτωση Υλικού (Hardware Integration). | 24 |
| 3.4 Αρχιτεκτονική Καταστάσεων (State Machine) και Πολυμέσα | 26 |
| 3.4.1 Λογική Μηχανής Πεπερασμένων Καταστάσεων (FSM)..... | 26 |
| 3.4.2 Ακουστικά πολυμέσα (Audio Assets)..... | 26 |
| 3.4.3 Οπτικά πολυμέσα (Visual Assets) | 28 |
| 3.5 Επίλογος κεφαλαίου 3 | 31 |
| Κεφάλαιο 4 ^ο Ανάλυση της Σχεδίασης και Υλοποίηση της Μακέτας..... | 33 |
| 4.1 Εισαγωγή..... | 33 |

| | |
|--|----|
| 4.2 ESP32-WROOM..... | 34 |
| 4.3 Τεχνολογία RFID | 34 |
| 4.3.1 Εισαγωγή..... | 34 |
| 4.3.2 Αρχή Λειτουργίας | 35 |
| 4.3.3 Passive & Active Tags | 35 |
| 4.3.4 Ζώνη Συχνοτήτων RFID | 35 |
| 4.4 Σύστημα Ταυτοποίησης Αντικειμένων RDM6300 module | 36 |
| 4.4.1 Εισαγωγή..... | 36 |
| 4.4.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του RDM6300..... | 36 |
| 4.4.2 Πρωτόκολλο Επικοινωνίας (UART)..... | 37 |
| 4.4.3 Ανάλυση Υλικού (Hardware) και Κυκλώματος Οδήγησης της κεραίας..... | 38 |
| 4.5 Μαγνητικοί Αισθητήρες..... | 42 |
| 4.5.1 Εισαγωγή..... | 42 |
| 4.5.2 Αρχή λειτουργίας και Τεχνικά Χαρακτηριστικά (Littelfuse 59170)..... | 42 |
| 4.6 Micro Servo..... | 43 |
| 4.6.1 Εισαγωγή..... | 43 |
| 4.6.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του SG90..... | 43 |
| 4.6.3 Αρχή Λειτουργίας και Έλεγχος (PWM)..... | 43 |
| 4.7 Οθόνη Απεικόνισης TFT LCD (Thin-Film Transistor)..... | 44 |
| 4.7.1 Εισαγωγή..... | 44 |
| 4.7.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά | 45 |
| 4.7.3 Πρωτόκολλο Επικοινωνίας (SPI) και Αποθήκευση Δεδομένων | 45 |
| 4.7.4 Ενσωμάτωση στο Σύστημα (Custom PCB Integration)..... | 46 |
| 4.8 Σύστημα Αναπαραγωγής Ήχου και Ηχείο | 46 |
| 4.8.1. Εισαγωγή..... | 46 |
| 4.8.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Ενίσχυση..... | 46 |
| Κεφάλαιο 5° Σχεδίαση και Υλοποίηση της Πλακέτας Τυπωμένου Κυκλώματος (Hardware) και του λογισμικού (Firmware)..... | 47 |
| 5.1 Εισαγωγή..... | 47 |
| 5.2 Hardware Block Diagram..... | 48 |
| 5.3 Σχεδιασμός Πλακέτας Τυπωμένου Κυκλώματος (Custom PCB) | 49 |
| 5.3.1 Η Φιλοσοφία της Σχεδίασης και Επιλογή Εξαρτημάτων | 49 |
| 5.3.2 Κανόνες Δρομολόγησης (Routing) και Διαχείριση Θορύβου (EMI)..... | 49 |
| 5.3.3 Βιομηχανική Παραγωγή και Συναρμολόγηση | 50 |

| | |
|--|----|
| 5.4 Ανάλυση Σχηματικού Διαγράμματος (Schematic Blocks) | 51 |
| 5.5 Υλοποίηση Λογισμικού (Firmware) | 57 |
| 5.5.1 Περιβάλλον Ανάπτυξης και Γλώσσα Προγραμματισμού | 57 |
| 5.5.2 Αρχιτεκτονική Λογισμικού: Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων (FSM) | 57 |
| 5.5.3 Στρατηγική Διπλού Λογισμικού: Λογισμικό Εγκατάστασης και Απασφαλμάτωσης (Debug Firmware) | 58 |
| 5.5.4 Διάγραμμα Ροής Λογισμικού (Software Flowchart) | 59 |
| Κεφάλαιο 6 ^ο Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις | 60 |
| 6.1 Υλοποίηση Λογισμικού (Firmware) | 60 |
| 6.2 Τεχνικά Συμπεράσματα | 60 |
| 6.3 Αξιολόγηση και Εμπειρία Παικτών (Playtesting) | 60 |
| 6.4 Μελλοντικές Επεκτάσεις | 61 |
| 6.5 Επίλογος | 61 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 62 |

Κατάλογος Σχημάτων

| | |
|--|----|
| Σχήμα 2.1 Επιτραπέζιο ταμπλό Scrabble με RFID | 14 |
| Σχήμα 2.2 Ψηφιακό Επιτραπέζιο Παιχνίδι Teburu | 15 |
| Σχήμα 3.1 Κάτοψη του δικού μας επιτραπέζιου παιχνιδιού. | 18 |
| Σχήμα 3.2 Τα τρία φίλτρα μέσα στο σεντούκι τους..... | 19 |
| Σχήμα 3.3 Οι τρεις σταγόνες που οι παίκτες βάζουν μέσα στο καζάνι..... | 19 |
| Σχήμα 3.4 Εικόνα γρίφου της Σύνθεσης (Distillery Puzzle)..... | 20 |
| Σχήμα 3.5 Το σεντούκι που περιέχει τους κρυστάλλους που απαιτούνται για την επίλυση του γρίφου. | 21 |
| Σχήμα 3.6 Η πύλη με τους κρυστάλλους τοποθετημένους στις μήτρες..... | 21 |
| Σχήμα 3.7 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα slicer της Bambu Lab όπου φαίνεται η οπή μέσα στο αντικείμενο για την τοποθέτηση του μαγνήτη. | 22 |
| Σχήμα 3.8 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα slicer της Bambu Lab όπου φαίνεται η εντολή της παύσης (Pause) στο layer height 40. για την τοποθέτηση του μαγνήτη..... | 23 |
| Σχήμα 3.9 Τα distilleries των γρίφων με τα φίλτρα τοποθετημένα στις μήτρες τους. | 24 |
| Σχήμα 3.10 Καλωδίωση..... | 24 |
| Σχήμα 3.11 Ο σερβοκινητήρας που ανοίγει το σεντούκι | 25 |
| Πίνακας 3.1 | 28 |
| Σχήμα 3.12 Η εικόνα που εμφανίζεται στην TFT LCD όταν το παιχνίδι βρίσκεται στην κατάσταση Idle | 29 |
| Σχήμα 3.13 Το καζάνι και η σειρά με την οποία οι παίκτες πρέπει να τοποθετήσουν τις σταγόνες..... | 30 |
| Σχήμα 3.14 Εικόνα που εμφανίζεται στην TFT LCD για να βοηθήσει τους παίκτες στον γρίφο της Σύνθεσης (Distillery Puzzle)..... | 30 |
| Σχήμα 3.15 Εικόνα που δείχνει η TFT LCD και φαίνεται ο ένας κρύσταλλος και οι μήτρες των άλλων τριών άδειες και τους περιμένουν. | 31 |
| Σχήμα 4.1 Το module RDM6300 RFID Reader module..... | 37 |
| Σχήμα 4.2 Σχηματικό από το RDM6300 module..... | 38 |
| Σχήμα 4.3 Το κομμάτι του σχηματικού από το RDM6300 που διαγράφει το τροφοδοτικό του. Τον LDO AMS1117-3.3..... | 38 |
| Σχήμα 4.4 Σχηματικό RDM6300, κύκλωμα οδήγησης της κεραίας και αποκωδικοποίηση του σήματος λήψης..... | 39 |
| Σχήμα 4.5 Ο κεντρικός επεξεργαστής του RDM6300 | 41 |
| Σχήμα 4.6 Μαγνητική επαφή 59170-1-U-00-D [5]..... | 42 |
| Σχήμα 4.7 Ο σερβοκινητήρας SG90 [6]..... | 43 |
| Σχήμα 4.8 Ο σερβοκινητήρας που τραβάει τον σύρτη στο εσωτερικό του σεντουκιού | 44 |
| Σχήμα 4.9 Η TFT LCD..... | 44 |
| Σχήμα 4.10 | 46 |
| Σχήμα 5.1 Η προσαρμοσμένη πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος που σχεδιάστηκε και συναρμολογήθηκε. | 47 |
| Σχήμα 5.2 Block διάγραμμα που διαγράφει την αρχιτεκτονική του ηλεκτρονικού συστήματος της Custom PCB..... | 48 |
| Σχήμα 5.3 Κοντινή φωτογραφία για την επίδειξη των κολλήσεων με την τεχνική του stencil. | 51 |

| | |
|--|----|
| Σχήμα 5.12 Φωτογραφία από την αντίσταση με το οποία ορίζεται το Gain επάνω στην προσαρμοσμένη πλακέτα. | 55 |
| Σχήμα 5.13 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του ESP32. | 56 |
| Σχήμα 5.14 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του Ethernet Phy..... | 56 |
| Σχήμα 5.15 Διάγραμμα ροής του κώδικα..... | 59 |

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 Πίνακας με όλα τα ηχητικά αρχεία που φορτώθηκαν στην κάρτα SD του συστήματος

Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η ιδέα για την εκπόνηση της παρούσας Δ.Ε. πηγάζει από την επαγγελματική τριβή των συγγραφέων μετά την εργασία τους για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μια κατασκευαστική εταιρεία που ασχολείται με τον χώρο της εσωτερικής διασκέδασης, όπως τα Escape Room, τα Minigolf και άλλα Team building games. Αξιοποιώντας λοιπόν αυτήν την τεχνογνωσία και συνδυάζοντας την ερευνητική τους κλίση, οι συγγραφείς οραματίστηκαν την πολυπλοκότητα ενός Escape Room να μεταφέρεται σε μία μικρότερης κλίμακας μακέτα, όπως αυτή ενός διαδραστικού επιτραπέζιου παιχνιδιού ή μιας διαδραστικής καμπίνας (arcade). Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα πρωτότυπο επιτραπέζιου παιχνιδιού με όνομα “Escape Mini”. Το σύστημα αξιοποιεί διάφορες τεχνολογίες αλληλεπίδρασης, ανίχνευσης ακόμη και απεικόνισης. Τοποθετώντας τους παίκτες στο εγκαταλελειμμένο εργαστήριο ενός αρχαίου αλχημιστή. Εκεί, καλούνται να επιλύσουν μια σειρά γρίφων χειριζόμενοι φυσικά αντικείμενα που ανιχνεύονται από τους αισθητήρες, με τελικό στόχο την ενεργοποίηση μιας μαγικής πύλης που σφραγίστηκε και παρέμεινε σφραγισμένη για χιλιετίες από τον αρχαίο αλχημιστή Alarion.

Για την υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής ESP32 ως η κεντρική μονάδα ελέγχου, προσφέροντας την απαραίτητη υπολογιστική ισχύ και ευελιξία, αλλά και συνδεσιμότητα εφόσον προσφέρει WiFi και Bluetooth. Το σύστημα χρησιμοποιεί πολλαπλούς αισθητήρες για την αναγνώριση των φυσικών αντικειμένων (Props), όπως RFID readers οι οποίοι συνδέονται με τον κεντρικό μικρό επεξεργαστή “εγκέφαλο” με την βοήθεια ενός πολυπλέκτη (MAX14661), και μαγνητικές επαφές για την ταυτοποίηση αλλά και αναγνώριση των αντικειμένων των γρίφων (όπως φίλτρα, σταγόνες στοιχείων και κρυστάλλους κ.ο.κ), έναν ελεγκτή PWM (PCA9685) για την διαχείριση σερβοκινητήρων που ελέγχουν κλειδαριές στα κουτιά αλλά και τον έλεγχο LED, έναν GPIO Expander (MCP23017) για την διαχείριση πολλαπλών ψηφιακών εισόδων και μια οθόνη TFT για την απεικόνιση εικόνων οι οποίες βοηθάνε τον παίκτη να λύσει τους γρίφους (Hints). Επιπλέον για την καλύτερη διάδραση του παίκτη, το σύστημα διαθέτει κύκλωμα ήχου I2S για την αναπαραγωγή μουσικής και ηχητικών εφέ, ενισχύοντας την ατμόσφαιρα. Τέλος έχει συμπεριληφθεί μια θύρα Ethernet για σταθερή επικοινωνία και απομακρυσμένο έλεγχο η παρακολούθηση της κατάστασης του παιχνιδιού.

Στόχος της εργασίας είναι η δημιουργία ενός πλήρως λειτουργικού πρωτοτύπου που συνδυάζει ένα παραδοσιακό τρόπο ενός επιτραπέζιου παιχνιδιού γρίφων με τις πλούσιες δυνατότητες των σύγχρονων ενσωματωμένων συστημάτων.

1.2 Δομή εργασίας

Η παρούσα διπλωματική οργανώνεται σε μια σειρά από κεφάλαια, το καθένα από τα οποία προσεγγίζει και αναλύει μια διαφορετική πτυχή της σχεδίασης και υλοποίησης του συστήματος «Escape Mini».

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας, περιγράφοντας συνοπτικά τον σκοπό του έργου και την τεχνολογική του προσέγγιση. Τέλος, παρουσιάζεται η συνοπτική δομή της Π.Ε. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθεται ένα θεωρητικό υπόβαθρο για την ψυχαγωγία εσωτερικών χώρων, δίνοντας έμφαση στα δωμάτια απόδρασης (Escape Rooms) και τα σύγχρονα παρόμοια επιτραπέζια παιχνίδια (Board Games). Αναλύεται η σημασία της συνεργασίας, της επίλυσης γρίφων και του τρόπου με τον οποίο η τεχνολογία μπορεί να συνδυαστεί με φυσικά

αντικείμενα όπως πόνια και αισθητήρια που τα ανιχνεύουν, για να αναβαθμίσουν την εμπειρία των παικτών. Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται παρόμοια συστήματα και εφαρμογές διαθέσιμες στην αγορά. Αναφέρονται καινοτόμα επιτραπέζια παιχνίδια που αξιοποιούν τεχνολογίες ανίχνευσης αντικειμένων (όπως το Scrabble με RFID) και έξυπνες πλατφόρμες (όπως το Teburu), αναδεικνύοντας τις τεχνολογικές τάσεις που ενέπνευσαν την ανάπτυξη του δικού μας συστήματος.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η σχεδίαση του σεναρίου (Game Design) με επίκεντρο το εργαστήριο του αλχημιστή Alarion – και παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η φυσική κατασκευή της μακέτας, καθώς και η γραμμική ροή των γρίφων (Gameplay). Το πέμπτο κεφάλαιο εμβαθύνει στα βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος, αναλύοντας τον εγκέφαλο ESP32, τις τεχνολογίες ανίχνευσης (RFID, μαγνητικές επαφές) και τα περιφερειακά συστήματα (TFT LCD, σερβοκινητήρες, ολοκληρωμένα κυκλώματα ελέγχου).

Στη συνέχεια, το πέμπτο κεφάλαιο εμβαθύνουμε στα βασικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα (Components) που επιλέχθηκαν για την υλοποίηση της κατασκευής. Αναλύεται διεξοδικά η λειτουργία του μικροελεγκτή ESP32, του συστήματος ταυτοποίησης RFID (RDM6300), των μαγνητικών επαφών (Reed Switches), των μικροσερβοκινητήρων (SG90), της οθόνης TFT LCD καθώς και του ψηφιακού ενισχυτή και συστήματος αναπαραγωγής ήχου (MAX98357 & Edifier Speaker).

Στο έκτο κεφάλαιο, το οποίο ξεκινάει να αναλύει την τεχνική υλοποίηση, παρουσιάζεται η συνεργασία όλων των υποσυστημάτων και ο τρόπος με τον οποίο συνδέθηκαν όλα μεταξύ τους. Ξεκινώντας από τα Μπλοκ Διαγράμματα, τα οποία έπαιξαν καθοριστικό ρόλο για πολλές από τις αποφάσεις που πήρανε οι συγγραφείς κατά την διάρκεια ανάπτυξης του συγκεκριμένου συστήματος, αναλύθηκε ο σχεδιασμός της προσαρμοσμένης πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος τεσσάρων στρώσεων (4 Layers Custom PCB) και την βιομηχανική τεχνική σχεδιασμού για την συναρμολόγηση της. Επιπλέον, επεξηγείται το ηλεκτρονικό σχηματικό που σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα σχεδιασμού (EDA) της Autodesk το EAGLE. Και στην συνέχεια η ανάπτυξη του λογισμικού (Firmware), με ιδιαίτερη έμφαση στην «έξυπνη» στρατηγική σχεδιασμού «Διπλού Λογισμικού» (Λογισμικό Εγκατάστασης/ Απασφαλμάτωσης έναντι Λογισμικού Κύριας Λειτουργίας), στη χρήση της Μηχανής Πεπερασμένων Καταστάσεων (FSM) και στη διαχείριση της πολυπλεξίας του διαύλου UART.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται τα τεχνικά συμπεράσματα από την υλοποίηση του πρωτότυπου. Αξιολογείται η εμπειρία του παιχνιδιού και δίνονται διάφορες ρεαλιστικές προτάσεις για μελλοντική επέκταση η και χρησιμότητα του συστήματος λόγω της αρθρωτής του σχεδίασης (modular).

Κεφάλαιο 2^ο Escape Rooms & Board Games & Παρόμοια συστήματα

2.1 Εισαγωγή

Η εσωτερική ψυχαγωγία έχει γίνει ολοένα και πιο σημαντικό στοιχείο της διασκέδασης στα σύγχρονα αστικά κέντρα αλλά και όχι μόνο, προσφέροντας στους παίκτες, ευκαιρίες να συμμετέχουν σε δραστηριότητες που διεγείρουν το μυαλό και ενισχύουν την κοινωνική αλληλεπίδραση. Μεταξύ των πιο αξιoσημείωτων μορφών αυτής της ψυχαγωγίας είναι τα escape rooms και τα team building games, τα οποία και τα δύο προσφέρουν καθηλωτικές εμπειρίες που ενθαρρύνουν την επίλυση προβλημάτων, τη συνεργασία και τη στρατηγική σκέψη. Αν και διαφέρουν σε μορφή και στιλ, το καθένα προσφέρει μια σύγχρονη και πιο «immersive» εμπειρία στον χώρο της ψυχαγωγίας.

2.2 Escape Rooms

Τα escape rooms, βιώνονται είτε σε φυσικούς χώρους είτε μέσω προσαρμογών στο σπίτι μέχρι και με φυσικά μέσα που δημιουργούν ένα περιβάλλον όπου οι παίκτες πρωταγωνιστούν μέσα στις ίδιες τις ιστορίες. Αυτές οι δραστηριότητες βασίζονται σε έναν συνδυασμό χρονικής πίεσης, θεματικής αφήγησης και περίπλοκων γρίφων που απαιτούν από τους παίκτες να αναλύουν στοιχεία, να επικοινωνούν αποτελεσματικά και να παίρνουν γρήγορες αποφάσεις. Η έλξη των escape rooms έγκειται στην ικανότητά τους να μεταμορφώνουν έναν συνηθισμένο χώρο σε ένα δυναμικό σενάριο όπου οι συμμετέχοντες πρέπει να αλληλοεπιδράσουν ενεργά με το περιβάλλον τους. Ακόμα και όταν διεξάγονται σε οικιακό περιβάλλον, τα παιχνίδια τύπου (Escape Room) αναπαράγουν με επιτυχία το αίσθημα του ενθουσιασμού και της ανακάλυψης κάτι που κορυφώνεται στις επαγγελματικές εγκαταστάσεις. Αυτός ο τύπος διασκέδασης ενισχύει τη συνεργασία και τη γνωστική συμμετοχή, προσφέροντας το αίσθημα επιτυχίας όταν οι παίκτες αποκωδικοποιούν επιτυχώς έναν γρίφο ή αποκαλύπτουν μια κρυφή σύνδεση.

2.3 Board Games

Τα επιτραπέζια παιχνίδια αντιπροσωπεύουν μια άλλη σημαντική κατηγορία ψυχαγωγίας για εσωτερικούς χώρους, διακρινόμενα από την ευρεία γκάμα ειδών, μηχανισμών και επιπέδων πολυπλοκότητας. Τα σύγχρονα επιτραπέζια παιχνίδια υπερβαίνουν κατά πολύ τα παραδοσιακά οικογενειακά κλασικά παιχνίδια, περιλαμβάνοντας στρατηγικές προσομοιώσεις, συνεργατικές εμπειρίες επίλυσης προβλημάτων, περιπέτειες καθοδηγούμενες από αφήγηση και ανταγωνιστικές τακτικές. Αυτή η ποικιλία επιτρέπει στους παίκτες να επιλέγουν παιχνίδια που ταιριάζουν στις προτιμήσεις τους, είτε αναζητούν γρήγορη αλληλεπίδραση είτε πιο στοχαστικό, μακροπρόθεσμο στρατηγικό παιχνίδι. Τα επιτραπέζια παιχνίδια χρησιμεύουν επίσης ως κοινωνικός μαγνήτης, φέρνοντας τα άτομα μαζί σε κοινό φυσικό χώρο διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό, την επικοινωνία, τη διαπραγμάτευση και τη συλλογική λήψη αποφάσεων.

2.4 Παρόμοια συστήματα

Η ανάλυση αυτή κρίθηκε απαραίτητη για την κατανόηση των τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν σε παρόμοια συστήματα, καθώς και για τον εντοπισμό των προκλήσεων που έχουν ήδη αντιμετωπιστεί από παρόμοιες υλοποιήσεις. Εστιάζουμε σε δύο παραδείγματα: μια εξειδικευμένη

ιδιοκατασκευή για το παιχνίδι Scrabble και την εμπορική πλατφόρμα Teburi, τα οποία αναδεικνύουν διαφορετικές προσεγγίσεις στη χρήση της τεχνολογίας RFID.

2.4.1 Επιτραπέζιο Scrabble με RFID

Το επιτραπέζιο ταμπλό Scrabble με RFID είναι μια τεχνολογικά βελτιωμένη έκδοση του κλασικού παιχνιδιού Scrabble, σχεδιασμένη να εντοπίζει αυτόματα τη θέση των πλακιδίων, να παρακολουθεί το παιχνίδι σε πραγματικό χρόνο και να μεταδίδει τις κινήσεις ψηφιακά. Κάθε πλακίδιο περιέχει ένα ταγκ RFID, και το ίδιο το ταμπλό περιέχει ένα κύκλωμα ανιχνευτών RFID που διαβάζουν τα ταγκ καθώς οι παίκτες τοποθετούν τα γράμματα στο ταμπλό. Αυτή η καινοτομία αναπτύχθηκε αρχικά για επαγγελματικά τουρνουά Scrabble, ειδικά για αυτά που στοχεύουν στη ζωντανή μετάδοση των παιχνιδιών σε διαδικτυακό κοινό.

Η τεχνική υλοποίηση του συστήματος βασίστηκε σε ένα πλέγμα 225 κεραίων RFID, οι οποίες είναι τοποθετημένες κάτω από κάθε τετράγωνο του ταμπλό το οποίο είναι 15x15. Κάθε γράμμα πλακίδιο έχει μέσα του ενσωματωμένο ένα μικροσκοπικό RFID Tag, το οποίο περιέχει τη μοναδική ταυτότητα του γράμματος. Η κύρια πρόκληση σε αυτή την κατασκευή ήταν η διαχείριση του τεράστιου αριθμού



Σχήμα 2.1 Επιτραπέζιο ταμπλό Scrabble με RFID

αναγνωστών και η αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των γειτονικών κεραίων. Για αυτό το σκοπό, χρησιμοποιήθηκε ένας μηχανισμός πολυπλεξίας (multiplexing), ο οποίος επιτρέπει μόνο σε μία κεραία να ενεργοποιείται κάθε φορά με αποτέλεσμα να μην έχουμε παρεμβολές από τις γειτονικές κεραίες. Η συγκεκριμένη επιλογή σχεδιασμού επηρέασε πολύ την έμπνευση για το σύστημα πολύπλεξης που χρησιμοποιήθηκε και στο «Escape Mini».

2.4.2 Teburi Board Game

Το Teburi είναι μια καινοτομία της εταιρείας Xplored, η οποία λειτουργεί ως μια «κονσόλα» για επιτραπέζια παιχνίδια. Συνδυάζει τον φυσικό κόσμο (ταμπλό, φιγούρες, ζάρια) με την ψηφιακή τεχνολογία μέσω αισθητήρων και RFID, επιτρέποντας στο παιχνίδι να «ξέρει» ανά πάσα στιγμή τι συμβαίνει πάνω στο τραπέζι. Αποτελεί μια ολοκληρωμένη εμπορική λύση που στοχεύει στον πλήρη μετασχηματισμό της εμπειρίας των επιτραπέζιων παιχνιδιών ακριβώς όπως και το «Escape Mini».

Η καινοτομία του Teburu πηγάζει από την υβριδική του φύση, καθώς συνδέει το φυσικό ταμπλό με μια ψηφιακή εφαρμογή μέσω Bluetooth. Η εφαρμογή λειτουργεί ως ένας «ψηφιακός Game Master», αναλαμβάνοντας τη διαχείριση των κανόνων σαν διαιτητής, ελέγχει ταυτόχρονα την τεχνητή νοημοσύνη των εχθρών και την αφήγηση της ιστορίας με οπτικοακουστικά εφέ. Πράγμα που έκανε την ενσωμάτωση ήχου αλλά και εικόνας στο «Escape Mini» αναγκαία. Έτσι ώστε να καθοδηγεί τον παίκτη και να ζωντανεύει το σενάριο, λειτουργώντας ως ένας αυτόνομος, ενσωματωμένος Game Master που ενισχύει την εμπύθιση στο παιχνίδι. Η επιτυχία του Teburu επιβεβαιώθηκε όταν συνεργάστηκε με τον κολοσσό Hasbro, με σκοπό της ενσωμάτωση τεχνολογίας του Teburu σε κλασικούς τίτλους όπως το Monopoly και το Dungeons & Dragons [2]. Η ανάλυση που έγινε επάνω στο Teburu έδωσε στους συγγραφείς πολύτιμα συμπεράσματα για το πως μία ψηφιακή αφήγηση του σεναρίου μπορεί να ενισχύσει τη φυσική αλληλεπίδραση, μια αρχή που εφαρμόζεται κεντρικά στο σενάριο του «Escape Mini».



Σχήμα 2.2 Ψηφιακό Επιτραπέζιο Παιχνίδι Teburu

2.5 Επίλογος

Αυτό που ενώνει τα escape rooms και τα επιτραπέζια παιχνίδια είναι η ικανότητά τους να μεταμορφώνουν εσωτερικούς χώρους σε χώρους πνευματικής και κοινωνικής σύνδεσης. Και οι δύο μορφές ψυχαγωγίας απαιτούν ενεργή συμμετοχή αντί για παθητική, προσκαλώντας τους παίκτες να εμβαθύνουν σε εναλλακτικούς κόσμους, αφηγήσεις και προκλήσεις. Σε μια εποχή που χαρακτηρίζεται από ψηφιακό κορεσμό, αυτές οι δραστηριότητες προσφέρουν μια πολύτιμη ισορροπία συνδυάζοντας το φανταστικό παιχνίδι με την διαπροσωπική αλληλεπίδραση. Δείχνουν ότι μπορούν να δημιουργηθούν ουσιαστικές και αξέχαστες εμπειρίες μέσω κοινής επίλυσης προβλημάτων, στρατηγικού σχεδιασμού και συν εργατικότητα.

Κεφάλαιο 3ο Σχεδιασμός Μακέτας και Ανάπτυξη Σεναρίου

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα αναλυθεί ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του φυσικού και αφηγηματικού μέρους του συστήματος «Escape Mini». Η επιτυχία ενός παιχνιδιού απόδρασης (Escape Room), ανεξαρτήτως της κλίμακας του, βασίζεται στην αρμονική συνύπαρξη τριών βασικών πυλώνων. Ενός πειστικού και καθηλωτικού σεναρίου (Game design), μιας προσεγμένης φυσικής μακέτας, της τεχνολογίας που κρύβεται κάτω από αυτή και μιας ξεκάθαρης λογικής ροής γρίφων (gameplay).

Πριν την περαιτέρω ανάλυση στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα (Hardware) αλλά και την ανάπτυξη του λογισμικού (Firmware) που θα γίνει παρακάτω, πρέπει να καθοριστεί το σενάριο και ο τρόπος που οι παίκτες πρέπει να αλληλοεπιδράσουν με την μακέτα στον φυσικό χώρο. Αρχικά θα παρουσιαστεί το σενάριο, το οποίο περιγράφει ένα αρχαίο εργαστήριο του αρχαίου αλχημιστή “Alarion”.

Θα εξεταστεί αναλυτικά η γραμμική ροή των γρίφων (Stages) που καλούνται να επιλύσουν οι παίκτες. Στη συνέχεια, θα αναλυθούν οι κατασκευαστικές επιλογές των συγγραφέων αλλά και οι τεχνικές υλοποίησης της μακέτας. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην αξιοποίηση της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D Printing) λόγω εμπειρίας με το αντικείμενο και των δύο συγγραφέων. Για την δημιουργία των φυσικών αντικειμένων αλλά και στην αόρατη ενσωμάτωση όλων των αισθητήρων και συστημάτων αναπαραγωγής οπτικοακουστικού υλικού. Τέλος, θα εξηγηθεί αναλυτικά η λογική με την οποία αναπτύχθηκε και οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε, να χρησιμοποιηθεί μία μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων (FSM), σε άμεση συνάρτηση με τη δημιουργία και αναπαραγωγή των οπτικοακουστικών πολυμέσων (Audio and Visual Assets). Τα οποία συνεργάζονται ώστε το σύστημα να λειτουργεί σαν ένας αυτόνομος «Ψηφιακός Game Master», ο οποίος καθοδηγεί τους παίκτες και ζωντανεύει την εμπειρία χωρίς να αλλοιώνει την ατμόσφαιρα του παιχνιδιού.

3.2 Το Σενάριο (Το Εργαστήριο του Αλχημιστή Alarion) και η Ροή των Γρίφων

3.2.1 Το Αφηγηματικό Υπόβαθρο (Lore)

Η εμπειρία του «Escape Mini» παίρνει θέση στο αρχαίο, εγκαταλελειμμένο εργαστήριο του θρυλικού αλχημιστή Alarion. Στο τέλος του εργαστηρίου βρίσκεται μία μυστηριώδης Πύλη, η οποία επί αιώνες προστάτευε το ιερό «Βασίλειο των Τριών Ουρανών». Με την πάροδο των χιλιετιών, η μαγική σφραγίδα της Πύλης έχει αποδυναμωθεί, καθώς τρεις από τους τέσσερις Κρυστάλλους των Στοιχείων που την τροφοδοτούσαν έχουν χαθεί.

Οι παίκτες αναλαμβάνουν τον ρόλο των μαθητευόμενων αλχημιστών. Κύριος στόχος τους είναι να εξερευνήσουν το χώρο, να ανακαλύψουν τα πρωτογενή στοιχεία του κάθε ουρανού από το «Βασίλειο των Τριών Ουρανών», να τα μεταστοιχειώσουν σε ισχυρά φίλτρα και τελικά, να συνθέσουν τους

χαμένους κρυστάλλους ώστε να σφραγίσουν ξανά την Πύλη, αποτρέποντας την κατάρρευση της η οποία θα χαλούσε την ισορροπία του κόσμου.

3.2.2 Ο Ρόλος της Οθόνης TFT LCD (Το Ημερολόγιο του Alarion)

Η ενσωματωμένη οθόνη TFT LCD δεν λειτουργεί απλώς ως ένα παθητικό μέσο απεικόνισης, αλλά κατέχει ενεργό ρόλο στο ξεδίπλωμα του σεναρίου, αναπαριστώντας το Ημερολόγιο του Alarion. Με την μορφή συμβολικών εικόνων, λειτουργώντας ως γέφυρα επικοινωνίας του συστήματος και των παικτών.

Αν οι παίκτες παραμείνουν στάσιμοι σε κάποιο γρίφο για περισσότερο από δύο λεπτά, το σύστημα ενεργοποιεί αυτόματα ένα hint και προβάλλει στην οθόνη μια κρυπτογραφημένη εικόνα στοιχείο απαραίτητο για την λύση του γρίφου, όπως προσχεδιασμένα σύμβολα, σκίτσα αλχημείας και εικόνες από το (Ημερολόγιο του Alarion) καθοδηγώντας τους έμμεσα προς τη σωστή επίλυση χωρίς όμως να καταστρέφει την πρόκληση του παιχνιδιού. Προσφέροντας άμεση οπτική επιβεβαίωση για κάθε επιτυχημένη ή εσφαλμένη ενέργεια.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη σχεδίαση των βοηθειών (Hints), τα οποία αποτρέπουν τα αδιέξοδα, όπου οι παίκτες αδυνατούν να προχωρήσουν λόγω υψηλής δυσκολίας ενός γρίφου. Ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί ως εξής. Μόλις το παιχνίδι εισέλθει σε ένα στάδιο γρίφου (όπως η μεταστοιχείωση ή η σύνθεση), ενεργοποιείται ένας εσωτερικός χρονοδιακόπτης των 3 λεπτών. Εκπέμπεται ένα σύντομο, διακριτικό ηχητικό σήμα (audio hint diary) μέσω του ηχείου, τραβώντας την προσοχή της ομάδας στην οθόνη TFT LCD ή αλλιώς στην πύλη του βασιλείου των τριών ουρανών. Ταυτόχρονα λοιπόν η οθόνη TFT προβάλλει μία βοήθεια, συμβολική εικόνα-στοιχείο βοηθώντας τους παίκτες όπως ένα σχέδιο που υπονοεί την διάταξη των φιαλιδίων στην αντιστοιχία των σωστών αριθμών με τα χρώματα των φιαλιδίων. Το σχέδιο αυτό θα είναι το «σαλιγκάρι» Fibonacci spiral και μέσα στα τετράγωνα του αριθμού 21 θα υπάρχει το χρώμα κόκκινο στον αριθμό 13 το χρώμα μπλέ και στον αριθμό 8 το χρώμα πράσινο.

Έτσι, η οθόνη μετατρέπεται από μία απλή LCD TFT σε ένα δυναμικό «Game Master» που καθοδηγεί, προειδοποιεί και επιβραβεύει τους παίκτες σε πραγματικό χρόνο.



Σχήμα 3.1 Κάτοψη του δικού μας επιτραπέζιου παιχνιδιού.

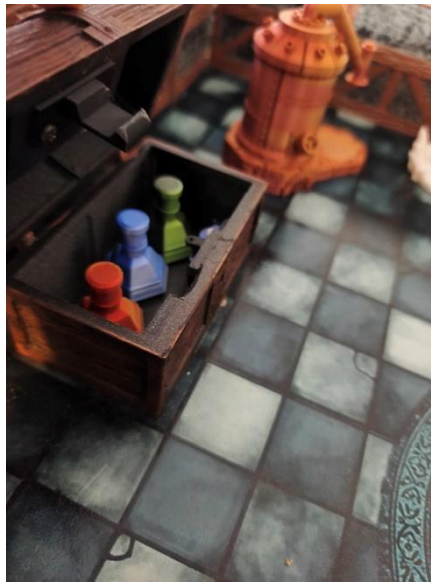
3.2.3 Η Ροή του Παιχνιδιού (Gameplay & Stages)

Η αρχιτεκτονική του παιχνιδιού ακολουθεί μία αλληλουχία οκτώ καταστάσεων (Stages), εξασφαλίζοντας ότι η αφήγηση αποκαλύπτεται σταδιακά και καθοδηγεί τον παίκτη. Κάθε επιτυχής ενέργεια ανταμείβει τους παίκτες με νέα αντικείμενα (props) από τα 3 σεντούκια τα οποία βρίσκονται διασκορπισμένα μέσα στο εργαστήριο του Αλχημιστή. Στο Stage 0:Αφύπνιση (Idle State) Το παιχνίδι βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής. Η έναρξη ενεργοποιείται (Trigger) όταν οι παίκτες τοποθετούν το ειδικό πόνι (Alchemist-Apprentice) πάνω σε ένα αρχαίο σύμβολο στο ταμπλό. Το σύστημα ανιχνεύει την τοποθέτηση μέσω μιας μαγνητικής επαφής, σταματάει το ήχο (Background idle state), ξεκινάει την αναπαραγωγή της εισαγωγικής μουσικής (Intro), ο φωτισμός LED ενεργοποιείται με ρυθμικό εφέ «αναπνοής» (breathing effect), η οθόνη TFT εμφανίζει την εισαγωγική εικόνα και η ηλεκτρονική κλειδαριά του πρώτου σεντουκιού (Chest 1) απασφαλίζει αυτόματα. Τέλος, για την βοήθεια των παικτών στην έναρξη του παιχνιδιού φτιάχτηκε ένα ηχητικό ψιθύρισμα το οποίο αναπαράγεται κάθε 2 λεπτά απραξίας των παικτών (Player Inactivity Hint).

Στην συνέχεια στο Stage 1: Συλλογή Στοιχείων (Chest 1) ανοίγοντας το πρώτο σεντούκι, οι παίκτες ανακαλύπτουν τρεις σταγόνες που περιέχουν μέσα τους σφραγισμένα τα στοιχεία των βασιλείων των τριών ουρανών. Το πρώτο βασίλειο που οι ρίζες του Κοσμοδέντρου αγκαλιάζουν τα θεμέλια του χρόνου και οι πέτρες ψιθυρίζουν τα μυστικά της δημιουργίας Γή (Earth), Το δεύτερο

βασίλειο εκεί όπου η ανάσα των πρώτων δράκων σμιλεύει ακόμα τα αέναα σύννεφα και το πνεύμα ταξιδεύει ελεύθερο Αέρας (Wind) και το τρίτο βασίλειο που η καρδιά του άστρου σφυρηλατήθηκε σε υγρό φως, και χάρισε ζωή σε φωτιά που κανείς δεν τολμά να αντικρίσει Ήλιος (Sun).

Ακολουθεί το Stage 2: Ο Γρίφος της Μεταστοιχείωσης (Cauldron Puzzle), Οι παίκτες καλούνται να χρησιμοποιήσουν το μαγικό καζάνι για να βράσουν ένα φίλτρο το οποίο μεταφέρεται στα τρία αποστακτήρια μέσα από σωλήνες που βρίσκονται κάτω από το έδαφος του εγκαταλελειμμένου αρχαίου εργαστηρίου. Για την ορθή τοποθέτηση των σταγόνων με την σωστή χρονολογική σειρά (Γη, Αέρας, Ήλιος). Το σύστημα αναπαράγει ένα ηχητικό εφέ μεταστοιχείωσης κάθε φορά που οι παίκτες



Σχήμα 3.2 Τα τρία φίλτρα μέσα στο σεντούκι τους

βάζουν ένα στοιχείο με την σωστή χρονολογική σειρά, το καζάνι φωτίζεται έντονα και δίνεται η εντολή ξεκλειδώματος για το δεύτερο σεντούκι (Chest 2). Αντιθέτως αν βάλουν ένα στοιχείο λάθος αναπαράγεται ηχητικό που προϋδεάζει τους παίκτες ότι κάνανε λάθος και τους ζητάει να ξανά προσπαθήσουν από την αρχή. Στην συνέχεια στο Stage 3:Εύρεση των Μπουκαλιών (Chest 2). Στο



Σχήμα 3.3 Οι τρεις σταγόνες που οι παίκτες βάζουν μέσα στο καζάνι

Κεφαλαίο 3

δεύτερο σεντούκι, οι παίκτες βρίσκουν τα μπουκάλια με τα οποία θα πρέπει να γεμίσουν τα παράγωγα της προηγούμενης διαδικασίας χρησιμοποιώντας τα τρία αποστακτήρια, αυτή η διαδικασία θα τους δώσει τρία φίλτρα (Waves, Leaves, Sunburst).



Σχήμα 3.4 Εικόνα γρίφου της Σύνθεσης (Distillery Puzzle)

Στο Stage 4: Ο Γρίφος της Σύνθεσης (Distillery Puzzle) σε αντίθεση λοιπόν με τον προηγούμενο γρίφο που απαιτούσε αλληλουχία, εδώ οι παίκτες πρέπει να αναγνωρίσουν την αλληλουχία Fibonacci που εμφανίζεται στην οθόνη TFT και να κάνουν την αντιστοιχία των αριθμών που βρίσκονται γραμμένοι επάνω στα αποστακτήρια (Distilleries) με το χρώμα των τριών μπουκαλιών που έχουν συλλέξει. Η επιτυχής ταύτιση ενεργοποιεί το ηχητικό εφέ του γεμίσματος των μπουκαλιών. Τέλος, οι παίκτες θα πρέπει να ξανά αδειάσουν τα φίλτρα μέσα στο καζάνι και να φτιάξουν ένα κράμα μέσα από το οποίο όταν κρυώσει θα σχηματιστούν τρεις κρύσταλλοι.

Stage 5: Η Αποκάλυψη των Κρυστάλλων (Chest 3) το τρίτο και τελευταίο σεντούκι περιέχει το τελικό ζητούμενο, τους τρεις συμπαγείς Κρυστάλλους των στοιχείων.



Σχήμα 3.5 Το σεντούκι που περιέχει τους κρυστάλλους που απαιτούνται για την επίλυση του γρίφου.



Σχήμα 3.6 Η πύλη με τους κρυστάλλους τοποθετημένους στις μήτρες.

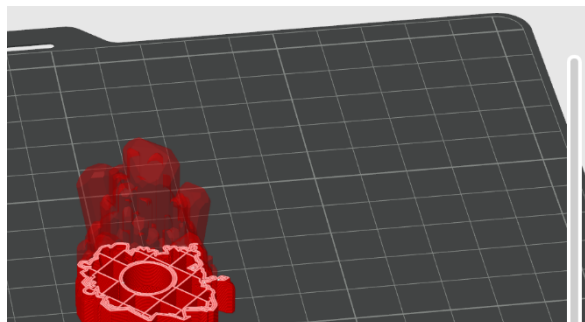
Stage 6: Η Σφραγίδα της Πύλης (Final Gate). Οι παίκτες μεταφέρουν τους κρυστάλλους στην κεντρική Πύλη. Πρέπει να τοποθετηθούν και τους τρεις στις κενές υποδοχές. Χωρίς να έχει σημασία η σειρά ή η θέση των κρυστάλλων στις κενές θέσεις, διευκολύνοντας την κορύφωση του σεναρίου και την Νίκη των παικτών. Stage 7: Νίκη και Επαναφορά (Victory & Reset) με την τοποθέτηση και του

τελευταίου κρυστάλλου, Η πύλη σφραγίζεται. Το σύστημα να αναπαράγει τον θριαμβευτικό ήχο νίκης, Τα LED εκτελούν ένα εφέ όπου αναβοσβήνουν και η οθόνη προβάλλει την εικόνα της επιτυχίας και της ισορροπίας στον κόσμο. Μετά την ολοκλήρωση το σύστημα περιμένει από τον παίκτη η από τον χειριστή να ξανά τοποθετήσει το αγαλματίδιο του μαθητευόμενου αλχημιστή ξανά επάνω στο τρίγωνο, το λογισμικό εκτελεί αυτόματη επαναφορά (reset), κλειδώνοντας ξανά τους μηχανισμούς και επιστρέφοντας στο Stage 0, έτοιμο για την επόμενη ομάδα.

3.3 Σχεδιασμός και Κατασκευή της Μακέτας

Η φυσική υπόσταση του «Escape Mini» αποτελεί το μέσο αλληλεπίδρασης των παικτών με το ψηφιακό σύστημα. Για την κατασκευή της μακέτας, βασική προτεραιότητα ήταν να προσομοιώνει πειστικά το εργαστήριο του αλχημιστή Alarion, να είναι ανθεκτική και να έχει καλή ακουστική για το ηχείο. Η μακέτα σχεδιάστηκε σε επίπεδη τετράγωνη βάση, διαστάσεων 60x60x60, κατάλληλη για ένα τυπικό επιτραπέζιο παιχνίδι. Ενισχύοντας τον επιτραπέζιο χαρακτήρα του συστήματος. Τα βασικά κομμάτια του σεναρίου τα οποία έχουν και ενσωματωμένα τα ηλεκτρονικά του συστήματος είναι τα εξής: Τα τρία σεντούκια τα οποία ξεκλειδώνουν και κλειδώνουν με την βοήθεια ενός μικρο σερβοκινητήρα, Το τσουκάλι κάτω από το οποίο βρίσκεται μια κεραία RFID με την οποία το σύστημα επιτυγχάνει την ανάγνωση τόσο των σταγόνων αλλά και των φίλτρων για την κατασκευή των κρυσταλλών όπως είδαμε πιο πάνω στο σενάριο. Γύρω από το τσουκάλι δεσπίζονται τα τρία αποστακτήρια (Distilleries) για το γέμισμα των μπουκαλιών με το κράμα των κρυστάλλων. Τέλος η τοποθεσία της Πύλης στο πίσω κεντρικό σημείο της μακέτας όπου στεγάζει και κρύβει παράλληλα το περίγραμμα της οθόνης TFT LCD δίνοντας την οφθαλμαπάτη ότι μέσα στην αψίδα βρίσκεται μια πραγματική ζωντανή πύλη. Επιπλέον γύρω από την πύλη βρίσκονται οι βάσεις των κρυστάλλων που κάποτε κρατούσαν την πύλη σφραγισμένη και ισορροπία στον κόσμο. Αυτές είναι εξοπλισμένες με μία μαγνητική επαφή η κάθε μια αναγνωρίζοντας έτσι τους κρυσταλλούς όταν τοποθετηθούν στην σωστή θέση.

Μία από τις μεγαλύτερες κατασκευαστικές προκλήσεις ήταν η απόκρυψη των ηλεκτρονικών συστημάτων στο εσωτερικό των αντικειμένων του παιχνιδιού (όπως τον Μαθητευόμενο αλχημιστή,



Σχήμα 3.7 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα slicer της Bambu Lab όπου φαίνεται η οπή μέσα στο αντικείμενο για την τοποθέτηση του μαγνήτη.

φιαλίδια, σταγόνες και κρύσταλλους), προκειμένου να μην υπάρξει αλλοίωση της ατμόσφαιρας του σεναρίου. Όλα τα φυσικά αντικείμενα (Props) έχουν ενσωματωμένο είτε έναν μαγνήτη είτε ένα αναγνωριστικό RFID IC (tag). Για να επιτευχθεί η αόρατη ενσωμάτωση τους, ανακαλύφθηκε μία τεχνική από τους συγγραφείς κατά την οποία η διαδικασία εκτύπωσης προγραμματίστηκε ώστε να πραγματοποιεί αυτόματη πάυση (pause at height) ακριβώς πριν την εκτύπωση των στρώσεων (layers) που θα κλείσουν τις ειδικά σχεδιασμένες εσωτερικές κοιλότητες όπως φαίνεται στην εικόνα. (Σχήμα 3.8)

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για τον τεμαχισμό (slicing) των μοντέλων είναι το Bambu Studio της Bambu Lab και ο εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση είναι ο Bambu Lab A1. Η επιλογή του συγκεκριμένου λογισμικού και εξοπλισμού έγινε με αφορμή της ιδιοκτησίας ενός από αυτούς τους εκτυπωτές από τον έναν από τους δύο συγγραφείς. Το Bambu Studio παράγει τον κώδικα μηχανής (G-code), δίνοντας τη δυνατότητα προσθήκης διάφορων εντολών σε διάφορα στάδια της εκτύπωσης και τον πλήρη έλεγχο όλων των κινήσεων που θα πραγματοποιήσει το μηχάνημα. Δίνοντας



Σχήμα 3.8 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα slicer της Bambu Lab όπου φαίνεται η εντολή της παύσης (Pause) στο layer height 40. για την τοποθέτηση του μαγνήτη.

στους συγγραφείς την δυνατότητα προσθήκης μιας παύσης στο ακριβές χιλιοστό ύψους εκτύπωσης όπου η κοιλότητα του αντικειμένου παραμένει ανοιχτή (Σχήμα 3.8).

Όταν ο εκτυπωτής φτάσει στο προγραμματισμένο σημείο, διακόπτει την τοποθέτηση υλικού και διώχνει την κεφαλή εκτύπωσης από το κρεβάτι εκτύπωσης (Print Bed) και την μετακινεί σε θέση αναμονής (Parking Position). Αυτό επιτρέπει την τοποθέτηση του RFID tag ή του μαγνήτη στο εσωτερικό του εξαρτήματος.

Στη συνέχεια, με την εντολή συνέχισης (resume), ο εκτυπωτής επιστρέφει με απόλυτη ακρίβεια στο σημείο που σταμάτησε να τοποθετεί υλικό και τοποθετεί το τελικό στρώμα λιωμένου πλαστικού. Η τεχνολογία εκτύπωσης FDM έχει ένα καταστροφικό μειονέκτημα, δεν μπορεί να τοποθετηθεί υλικό δηλαδή λιωμένο πλαστικό στον «αέρα», με αποτέλεσμα να χρειάζεται και η εκτύπωση στηριγμάτων για

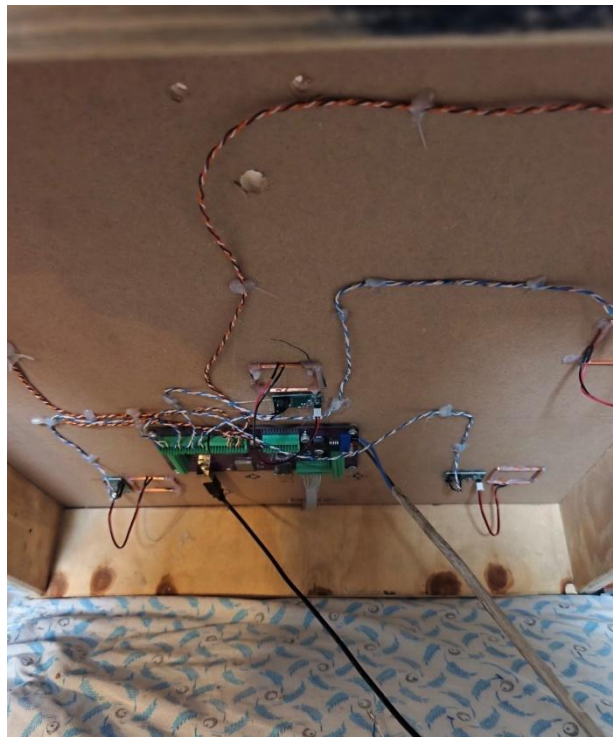


Σχήμα 3.9 Τα distilleries των γρίφων με τα φίλτρα τοποθετημένα στις μήτρες τους.

την εκτύπωση διάφορων περίπλοκων μορφολογιών στα 3D μοντέλα. Τοποθετώντας όμως το αντικείμενο αναγνώρισης (μαγνήτης, RFID tag) μέσα στην ειδικά σχεδιασμένη κοιλότητα το λιωμένο πλαστικό πατάει επάνω στο ίδιο το αντικείμενο αναγνώρισης σφραγίζοντας το έτσι μέσα στο φυσικό αντικείμενο (Prop), χωρίς να αφήνει κανένα εξωτερικό ίχνος της παρέμβασης. (Σχήμα 3.9).

3.3.1 Σχεδιασμός Διπλού Πυθμένα και Ενσωμάτωση Υλικού (Hardware Integration).

Μία από τις προδιαγραφές του σχεδιασμού και της κατασκευής ήταν η διατήρηση της ψευδαίσθησης ενός αρχαίου εργαστηρίου και ενός επιτραπέζιου παιχνιδιού. Οποιαδήποτε εμφανής καλωδίωση, ο αισθητήρας θα κατέστρεφε την καθηλωτική εμπειρία (immersion) των παικτών. Για την



Σχήμα 3.10 Καλωδίωση

επίλυση αυτού του προβλήματος, υιοθετήθηκε η αρχιτεκτονική του «διπλού πυθμένα» (false bottom) στον σχεδιασμό της κεντρικής βάσης (Σχήμα 3.10).

Η μακέτα αποτελείται από δύο ουσιαστικά επίπεδα. Το ορατό επίπεδο λειτουργεί ως χώρος διεξαγωγής του παιχνιδιού, όπου τοποθετούνται τα 3D εκτυπωμένα αντικείμενα και τα σεντούκια. Το κάτω επίπεδο με ύψος επαρκές για την εύκολη τοποθέτηση των εξαρτημάτων, φιλοξενεί τον «εγκέφαλο» και το νευρικό σύστημα της συσκευής (Σχήμα 3.10). Μέσα σε αυτό τον κρυφό πάτο έχει φιλοξενηθεί το κεντρικό τυπωμένο κύκλωμα (Custom PCB), Τα RFID module, των οποίων οι κεραίες έχουν



Σχήμα 3.11 Ο σερβοκινητήρας που ανοίγει το σεντούκι

τοποθετηθεί με θερμόκολλα επάνω στο ξύλινο πάτωμα. Το υλικό του οποίου έπρεπε να είναι στο κατάλληλο πάχος έτσι ώστε να μην αποσβένει το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και να επιτρέπει στις κεραίες να ενεργοποιήσουν τα RFID tags που τοποθετούν οι παίκτες στην επιφάνεια. Όλες οι συνδέσεις από τους αισθητήρες, τις μαγνητικές επαφές και τα LEDs καταλήγουν στο κεντρικό PCB μέσω λεπτών καλωδίων με διάμετρο πυρήνα στα 0.22mm, τα οποία τοποθετήθηκαν στρατηγικά και στερεώθηκαν επάνω στο ξύλινο πάτωμα με την βοήθεια θερμόκολλας για να μας δοθεί ένα αξιόπιστο αλλά και ευδιάκριτο αποτέλεσμα καλωδιώσεις των αισθητήρων και μηχανισμών. Η τοποθέτηση και εγκατάσταση των μικρό σερβοκινητήρων στα σεντούκια, αποδείχτηκε να είναι εξαιρετικά δύσκολη και περίπλοκη εφόσον χρειάστηκαν αρκετά πειράματα και τεστ (Trial and Error) από τους συγγραφείς για την σωστή ασφάλιση των σεντουκιών, έτσι ώστε να ασφαλίζουν στην αρχικοποίηση του παιχνιδιού και να απασφαλίζουν διαδοχικά ένα ένα τα σεντούκια όπως το σενάριο ορίζει. Όπως φαίνεται στην εικόνα (Σχήμα 3.11). Με αυτόν τον τρόπο, όταν το λογισμικό δώσει την εντολή απασφάλισης, Η γλώσσα που ασφαλίζει το καπάκι του σεντουκιού, μετακινείται στην άκρη «μαγικά», χωρίς καμία εμφανή εξωτερική καλωδίωση ή ορατή ηλεκτρομηχανική παρέμβαση.

3.4 Αρχιτεκτονική Καταστάσεων (State Machine) και Πολυμέσα

3.4.1 Λογική Μηχανής Πεπερασμένων Καταστάσεων (FSM)

Η διαχείριση της ροής του παιχνιδιού υλοποιείται μέσω μιας μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων (Finite State Machine – FSM). Το λογισμικό δεν εκτελείται γραμμικά (σε έναν απλό βρόχο), αλλά παραμένει σε μία κατάσταση (Stage) μέχρι να ενεργοποιηθούν οι κατάλληλοι αισθητήρες (Triggers) από τους μαγνητικούς αισθητήρες ή τα RFID modules. Μόλις το Trigger ενεργοποιηθεί, το σύστημα εκτελεί τις συγκεκριμένες ενέργειες (Actions) – όπως το άνοιγμα ενός σεντουκιού και μεταβαίνει στην επόμενη κατάσταση. Παράλληλα το σύστημα επικοινωνεί με τους παίκτες μέσω της οθόνης TFT LCD και του ηχείου, αναπαράγοντας συγκεκριμένα πολυμέσα (Assets).

3.4.2 Ακουστικά πολυμέσα (Audio Assets)

Για την ηχητική επιμέλεια του «Escape Mini» δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση, έτσι ώστε να μην είναι απλώς ένα διακοσμητικό στοιχείο, αλλά ένα κρίσιμο εργαλείο αφήγησης και ανατροφοδότησης (feedback) για τους παίκτες.

Τα ηχητικά αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικές ομάδες. Στην ατμοσφαιρική μουσική (Background Music - BGM) στην οποία περιλαμβάνεται το αρχείο `bg_idle.wav` το οποίο παίζει κατά την διάρκεια, που η μακέτα βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής (Idle State) και το αρχείο `bg_loop.wav` το οποίο έχει σχεδιαστεί με βασικό γνώμονα την χαμηλή ένταση και την βελτίωση της ατμόσφαιρας, ενισχύοντας έτσι την εμπύθιση των παικτών στο αρχαίο εργαστήριο χωρίς να τους αποσπά όμως παράλληλα την προσοχή από τους γρίφους. Τα ηχητικά εφέ (Sound Effects - SFX) τα οποία περιλαμβάνουν ήχους όπως το μηχανικό κλείδωμα/ξεκλείδωμα των σεντουκιών `chest_open.wav`, τον ήχο της πέτρας που σπάει, τα εφέ υγρών `drop_placed.wav`, `synthesis.wav`. Προσφέροντας στους παίκτες άμεση επιβεβαίωση ότι μία ενέργεια τους ήταν σωστή και αναγνωρίστηκε επιτυχώς από το σύστημα, παράλληλα ενημερώνει τους παίκτες όταν κάνουν κάτι λάθος. Και τέλος, τα αφηγηματικά ηχητικά και οι φωνητικές οδηγίες (Voice Over - VO). Η φωνή του «Alarion» (`intro.wav`, `distillery_hint.wav`, κ.α.) λειτουργεί ως ψηφιακός «Game Master». Οι οδηγίες του οποίου είναι σκόπιμα αινιγματικές, χρησιμοποιώντας αλληγορίες (π.χ. ότι αναπνέεις αντί για Αέρας, ότι πατάς αντί για Γη) για να διατηρήσουν ένα επίπεδο πρόκλησης.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται η πλήρης λίστα των ηχητικών στοιχείων του παιχνιδιού. Καθώς και μία σύντομη περιγραφή του ήχου

| Όνομα Αρχείου | Στάδιο | Τύπος | Περιγραφή / Voice Over |
|--------------------------|--------|-------|--|
| <code>bg_idle.wav</code> | Stage0 | BGM | Μυστηριώδης ήχος βάθους (αέρας/ψίθυροι). |

| | | | |
|---------------------|--------------|--------|--|
| awakening.wav | Stage0 | VO | “Ακούστε τον ψίθυρο του χρόνου... Ο τελευταίος μαθητής έμεινε παγιδευμένος στην πέτρα...” |
| intro.wav | Stage 0 to 1 | VO | “Η κατάρα έσπασε!... Η δημιουργία απαιτεί θυσία στο πυρακτωμένο καζάνι...” |
| chest_open.wav | Stages 1,3,6 | SFX/VO | Ήχος κλειδαριάς. “Τα μυστικά αποκαλύπτονται. Χρησιμοποιήστε τα με σύνεση.” |
| drop_placed.wav | Stage 2 | SFX/VO | Σταγόνα που πέφτει “ploink” “Η ουσία αναγνωρίστηκε. Το καζάνι δέχεται το δώρο σας”. |
| error.wav | Stage 2 | SFX/VO | Ήχος του καζανιού που κοχλάζει. “Όχι! Η ουσία αντιστέκεται. Η δύναμη της καθεμίας ξυπνά μόνο με τη σωστή ακολουθία. Δοκιμάστε ξανά.” |
| transmutation.wav | Stage 2 to 3 | SFX/VO | Υψηλής συχνότητας ήχος της μαγικής ενέργειας, ατμός και υγρό που τρέχει μέσα σε σωλήνες. "Το πυρωμένο καζάνι κοχλάζει! Οι δυνάμεις των τριών ουρανών έγιναν ένα, όμως η καθαρότητα απαιτεί διυλισμό. Το μείγμα στραγγίζει και μεταφέρεται με σωλήνες στα αποστακτήρια για να εξαγιστεί και να διαχωριστεί ξανά η ουσία από το σκοτάδι. Η ροή ξεκίνησε!"* |
| distillery_hint.wav | Stage 3 | VO | "Για την σωστή απόσταξη, παρατηρήστε τα χρώματα των φίλτρων. Το ημερολόγιό μου θα σας αποκαλύψει την ιερή ακολουθία που τα ενώνει με τους αριθμούς των αποστακτηρίων." |
| synthesis.wav | Stage 4 to 5 | SFX/VO | Υγρό ρέει και γεμίζει τα γυάλινα μπουκάλια. "Η σύνθεση ολοκληρώθηκε. Τα φίλτρα είναι έτοιμα. Τώρα, επιστρέψτε τα στην πηγή. Αδειάστε τα στο καζάνι για να γεννηθούν οι κρύσταλλοι." |
| potion_bloom.wav | Stage 5 | SFX/VO | Ένας βαθύς, ηχηρός ήχος πιτσιλίσματος “Bloom” που πέφτει σε παχύρρευστο υγρό που βράζει στο καζάνι. "Η δύναμη επιστρέφει..." |
| gate_activation.wav | Stage 6 to 7 | VO | "Οι ψυχές των στοιχείων πήραν μορφή... Οι κρύσταλλοι λάμπουν με την αρχαία δύναμη. Αναζητήστε την Πύλη των Ουρανών. Μόνο όταν τα |

| | | | |
|--------------------|------------|--------|--|
| | | | τρία κλειδιά βρουν την ιερή τους θέση, ο δρόμος για την ελευθερία θα ανοίξει ξανά." |
| crystal_placed.wav | Stage 7 | SFX/VO | Ήχος συντονισμού κρυστάλλου. "Clink" "Ένας ακόμα δεσμός αποκαταστάθηκε. Η Πύλη νιώθει τη δύναμή των κρυστάλλων." |
| victory.wav | Stage 8 | SFX/VO | Επική ορχηστρική επιβεβαίωση της νίκης, ξεκάθαρη έκρηξη ενέργειας. "Η τελετή ολοκληρώθηκε. Η ισορροπία επανήλθε. Οι Θεϊκές δυνάμεις που ξύπνησαν θα σας ευγνωμονούν για πάντα. Είστε ελεύθεροι!" |
| hint.wav | All Stages | VO | "Το Ημερολόγιο έχει κάτι να σας ψιθυρίσει. Κοιτάζτε προσεκτικά..." |

Πίνακας 3.1 Πίνακας με όλα τα ηχητικά αρχεία που φορτώθηκαν στην κάρτα SD του συστήματος

3.4.3 Οπτικά πολυμέσα (Visual Assets)

Η οθόνη TFT LCD αποτελεί άλλο ένα σημείο αλληλεπίδρασης των παικτών με την μακέτα, λειτουργώντας ως το ψηφιακό ημερολόγιο του Alarion. Διάφορα οπτικά στοιχεία σχεδιάστηκαν με απώτερο σκοπό την παροχή οδηγιών και hints με τρόπο που να μην σπάει την εμπύθιση του παιχνιδιού (immersion). Ο σχεδιασμός της διεπαφής χρήστη (UI) δεν ακολούθησε τα πρότυπα μιας τυπικής οθόνης πληροφοριών, αλλά σαν μια προσομοίωση μιας πύλης μέσα από την οποία οι παίκτες βλέπουν το «Ημερολόγιο του Alarion», ένα αρχαίο χειρόγραφο που εμφανίζεται κομμάτι κομμάτι ανάλογα με τις ενέργειες των παικτών. Οι εξής αρχές χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη των Οπτικών πολυμέσων (Visual Assets). Η καλλιτεχνική συνοχή (Theme Integration): Όλα τα γραφικά έχουν υποστεί επεξεργασία ώστε να θυμίζουν παλαιωμένο πάπυρο και να ταιριάζουν με το σενάριο που αναφέρεται στα αποκόμματα του «Ημερολογίου του Alarion». Γιαυτό το λόγο λοιπόν σχεδιάστηκαν σκίτσα με την βοήθεια του AI τα οποία μοιάζουν με σκίτσα σχεδιασμένα με μελάνι και πένα. Αυτό εξασφαλίζει ότι η τεχνολογία παραμένει «αόρατη» και δεν καταστρέφει την αίσθηση του Escape Room. Επιπλέον η αρχή της οπτικής καθοδήγησης (Visual Storytelling) ξεκαθάρισε ότι η οθόνη δεν θα πρέπει να δίνει απλές εντολές, αλλά να αφηγείται την πρόοδο. Για παράδειγμα, η μετάβαση από το ένα στάδιο στο άλλο δεν γίνεται με απότομες αλλαγές, αλλά με την εμφάνιση «σελίδων» η μαγικών συμβόλων που καθοδηγούν το βλέμμα του παίκτη στο επόμενο φυσικό σημείο ενδιαφέροντος (π.χ. από το καζάνι στα αποστακτήρια). Τέλος η αρχή της δυναμικής ανατροφοδότησης (Real-time Feedback) βοήθησε τους συγγραφείς να καταλάβουν ότι η οθόνη θα πρέπει να ανταποκρίνεται άμεσα στις σωστές αλλά και στις λάθος κινήσεις. Βοηθώντας τους παίκτες και καθοδηγώντας τους προς την ορθή λύση των γρίφων.

Παρακάτω θα αναλύσουμε όλα τα οπτικά πολυμέσα που θα αναπαράγει η οθόνη TFT LCD και το όνομα με το οποίο είναι αποθηκευμένα στην κάρτα SD του συστήματος. Το stage_idle.jpg απεικονίζει το κλειστό ημερολόγιο του Alarion. Στο κέντρο δεσπόζει το ιερό τρίγωνο, το οποίο ταυτίζεται απόλυτα με το σύμβολο της φυσικής μακέτας, προϊδεάζοντας του παίκτης πως ξεκινάει η διαδικασία της αφύπνισης. .



Σχήμα 3.12 Η εικόνα που εμφανίζεται στην TFT LCD όταν το παιχνίδι βρίσκεται στην κατάσταση Idle

Τα stage1_chest1.jpg στο οποίο προβάλλεται με το άνοιγμα του ημερολογίου, ένα αιγιματικό σχέδιο ενός καζανιού, επάνω από το οποίο βρίσκονται τρεις σκιές (Βουνό, Σύννεφο, Φλώγα) που λειτουργούν ως ο πρώτος κρυπτογραφημένος γρίφος για την σειρά με την οποία θα πρέπει να τοποθετηθούν οι σταγόνες μέσα στο καζάνι. Στα αρχεία stage2_cauldron_earth.jpg, stage2_cauldron_air.jpg, και stage2_cauldron_fire.jpg εμφανίζεται μια διαδραστική απεικόνιση των τριών συμβόλων των στοιχείων. Καθώς ο παίκτης τοποθετεί τις φυσικές σταγόνες, τα αντίστοιχα σύμβολα «φωτίζονται», επιβεβαιώνοντας τη σωστή αλληλουχία και τοποθέτηση του παίκτη. Αν ο παίκτης κάνει κάποιο λάθος και βάλει στο καζάνι ένα στοιχείο που δεν έπρεπε τότε η οθόνη ξανά γυρνάει στο stage1_chest1.jpg όπου όλα τα σύμβολα έχουν σβήσει.



Σχήμα 3.13 Το καζάνι και η σειρά με την οποία οι παίκτες πρέπει να τοποθετήσουν τις σταγόνες.

Στην συνέχεια το αρχείο stage3_chest2.jpg είναι μια εντυπωσιακή εικόνα που δείχνει την ροή της ενέργειας από το καζάνι προς τα τρία αποστακτήρια. Λειτουργεί ως μία επιβράβευση για την επίλυση του γρίφου από τους παίκτες και ως μια μικρή εισαγωγή στον επόμενο γρίφο.

Ίσως η πιο κρίσιμη εικόνα του παιχνιδιού είναι η stage4_distillery.jpg η οποία εμφανίζει τη σπείρα Fibonacci με τους αριθμούς 8,13,21 να έχουν αντικατασταθεί από ερωτηματικά. Παράλληλα το κάθε ένα τετράγωνο με τα ερωτηματικά είναι χρωματισμένο με κάθε ένα από τα χρώματα που έχουν τα μπουκάλια των φίλτρων. Βοηθώντας έτσι τους παίκτες να συνειδητοποιήσουν ότι οι τρεις αριθμοί που λείπουν είναι το 8,13,21 από την ακολουθία Fibonacci και να τα αντιστοιχίσουν με τα χρώματα των μπουκαλιών των φίλτρων. Τέλος οι αριθμοί 8,13,21 είναι επίσης γραμμένοι επάνω στα αποστακτήρια στην φυσική μακέτα. Έτσι παρατηρώντας την λεπτομέρεια με τους αριθμούς και πως ταιριάζουν στο σκίτσο από το ημερολόγιο του Alarion θα καταφέρουν να τοποθετήσουν τα φιαλίδια με τα χρώματα στα σωστά αποστακτήρια.



Σχήμα 3.14 Εικόνα που εμφανίζεται στην TFT LCD για να βοηθήσει τους παίκτες στον γρίφο της Σύνθεσης (Distillery Puzzle)

Επιπλέον το αρχείο stage5_chest3.jpg στο οποίο εμφανίζεται μια επεξηγηματική εικόνα που δείχνει τα φιαλίδια να «αδειάζουν» πίσω στο καζάνι και καθοδηγεί τους παίκτες στο να βάλουν τα τρία φίλτρα μέσα στο καζάνι. Το αρχείο stage6_gate.jpg είναι μια επιβλητική αναπαράσταση των τεσσάρων κρυστάλλων που βρίσκονται γύρω από την πύλη. Ένας από αυτούς είναι σκοτεινός και μωβ, οι άλλοι τρεις λείπουν το οποίο προϋποθέτει τους παίκτες, έτσι ώστε να τοποθετήσουν τους κρυστάλλους γύρω από την πύλη.



Σχήμα 3.15 Εικόνα που δείχνει η TFT LCD και φαίνεται ο ένας κρύσταλλος και οι μήτρες των άλλων τριών άδειες και τους περιμένουν.

Τελος, το αρχείο stage7_victory.jpg είναι η τελική εικόνα όπου η πύλη εμφανίζεται ορθάνοιχτη, λουσμένη με φως και μαγεία, όπου επιβεβαιώνει τη νίκη των παικτών και την ολοκλήρωση της αποστολής τους.

3.5 Επίλογος κεφαλαίου 3

Συνοψίζοντας, στο κεφάλαιο 3 αναλύθηκε διεξοδικά ο σχεδιασμός της φυσικής υπόστασης του «EscapeMini», καλύπτοντας όλο το φάσμα από το αφηγηματικό υπόβαθρο μέχρι την φυσική του εμφάνιση και την ψηφιακή του υπόσταση. Η δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος απαιτήσε μια πολυδιάστατη προσέγγιση, συνδυάζοντας τεχνικές κατασκευής με τεχνολογίες παραγωγής όπως η 3D εκτύπωση και η UV εκτύπωση.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην αισθητική υπόσταση της μακέτας. Παρόλο που η φάση της κατασκευής στηρίχθηκε στην τρισδιάστατη εκτύπωση, η τελική «ζωντάνια» των αντικειμένων επιτεύχθηκε μέσω της χειροποίητης επιμέλειας. Τα 3D prints βιάστηκαν με την χρήση σπρέι και ακρυλικών χρωμάτων, σε συνδυασμό με τεχνικές ζωγραφικής με πινέλα και σφουγγαράκια (όπως dry brushing), επέτρεψαν τη μεταμόρφωση των πλαστικών σε ρεαλιστικά αντικείμενα που παραπέμπουν

Κεφαλαίο 3

σε πέτρα και παλαιωμένο ξύλο, ενισχύοντας την εμφάνιση της μακέτας. Παράλληλα, για την παραγωγή των πολυμέσων (Assets) του παιχνιδιού, αξιοποιήθηκαν στο έπακρο οι δυνατότητες της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI). Οι εικόνες του ημερολογίου του Alarion και τα οπτικά hints δημιουργήθηκαν με την χρήση του AI της google, αλλά και με την χρήση του Photoshop. Επιπλέον η φωνή του Alarion αλλά και τα ηχητικά εφέ (Sound Effects – SFX) δημιουργήθηκαν με την βοήθεια του AI της εταιρείας ElevenLabs.

Συμπερασματικά, το «EscapeMini» αποτελεί μία σύγκλιση του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Με το σχεδιασμό του φυσικού και οπτικοακουστικού μέρους του συστήματος να είναι πλέον πλήρης, το επόμενο κεφάλαιο θα εστιάσει στην καρδιά της συσκευής. Την τεχνική υλοποίηση, τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν αλλά και την αρχιτεκτονική του υλικού (hardware architecture) που επέτρεψε σε όλες αυτές τις λειτουργίες να εκτελούνται απροβλημάτιστ

Κεφάλαιο 4^ο Ανάλυση της Σχεδίασης και Υλοποίηση της Μακέτας.

4.1 Εισαγωγή

Η σχεδίαση και υλοποίηση ενός συστήματος «έξυπνου» επιτραπέζιου παιχνιδιού όπως το «EscapeMini» βάσει όσων είπαμε παραπάνω. Θα πρέπει να παρέχει μια ολοκληρωμένη λύση για τη ανίχνευση αντικειμένων και την αναπαραγωγή οπτικοακουστικού υλικού. Κατά το σχεδιασμό οι συγγραφείς δείξαν μια ιδιαίτερη κλίση στην επεκτασιμότητα και στη δυνατότητα διαχείρισης πολλαπλών αισθητήρων και ψηφιακών συστημάτων, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να μην είναι απλώς μία Custom λύση για το συγκεκριμένο επιτραπέζιο και σενάριο αλλά μια εξαιρετικά ευέλικτη συσκευή ελέγχου αισθητήρων και συστημάτων με την αλλαγή μόνο του κώδικα που τρέχει στον κεντρικό επεξεργαστή του συστήματος.

Αυτή ακριβώς η ανάγκη για ευελιξία και αξιοπιστία οδήγησε και στην ιδέα της σχεδίασης ενός ειδικού, προσαρμοσμένου Τυπωμένου Κυκλώματος (Custom PCB). Το οποίο θα εκπληρώνει όλες τις ανάγκες που αναλύσαμε παραπάνω. Θα πρέπει να είναι ένα αποσπασματικό σύστημα (modular) το οποίο θα ξεχωρίζει τους αισθητήρες από την κεντρική πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (Custom PCB) και θα δίνει την δυνατότητα στον εγκαταστάτη η σχεδιαστή να έχει την επιλογή να χρησιμοποιήσει κάποιον άλλο αισθητήρα η ψηφιακό σύστημα. (Π.χ. αντί για μαγνητική επαφή στην θέση της να εγκατασταθεί ένας αισθητήρας φωτός.). Σε ένα φυσικό περιβάλλον διαδραστικού παιχνιδιού, όπου η συσκευή μετακινείται και τα εξαρτήματα (όπως σεντούκια και αισθητήρες) δέχονται φυσική καταπόνηση, καθιστά το σύστημα εξαιρετικά ευάλωτο σε αποσυνδέσεις, ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο και πτώσεις τάσης. Σκεφτήκαμε, λοιπόν, πως από τη στιγμή που το project απαιτεί πολύπλοκη δρομολόγηση – συνδέοντας οθόνες, μονάδες ήχου I2S, αναγνώστες RFID που χρησιμοποιούν UART. Η πλακέτα αυτή όχι μόνο θα έλυσε το πρόβλημα της καλωδίωσης και της ασφαλούς τροφοδοσίας, αλλά θα καθιστούσε το σύστημα “plug-and-play” και εύκολα επεκτάσιμο σε μελλοντικές εφαρμογές αλλά και προσθήκες αισθητήρων.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια αναλυτική παρουσίαση όλου αυτού του υλικού. Αρχικά, θα εξεταστεί ο «εγκέφαλος» του συστήματος, ο μικροελεγκτής ESP32, και οι λόγοι για τον οποίο επιλέχθηκε (Ενότητα 4.2). Στην συνέχεια, θα παρουσιαστεί ο μηχανισμός ταυτοποίησης αντικειμένων μέσω RFID και ο λόγος για την χρήση του πολυπλέκτη ο οποίος φάνηκε ιδιαίτερα χρήσιμος στην διαχείριση των RFID modules (Ενότητα 4.3). Έπειτα, θα αναλυθούν τα υποσυστήματα οπτικοακουστικής ανάδρασης, δηλαδή η οθόνη TFT καθώς και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιεί και το σύστημα ήχου I2S (Ενότητα 4.4). Μετέπειτα, θα γίνει μία αναφορά στους μαγνητικούς αισθητήρες, της λυχνίες LED αλλά και τους μικροσερβοκινητήρες που αλληλεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο του παιχνιδιού, καθώς και το μέσο που χρησιμοποιήθηκε για τον βέλτιστο έλεγχο τους (Ενότητα 4.5). Τέλος, το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την διαδικασία σχεδίασης της πλακέτας

τυπωμένου κυκλώματος (Custom PCB) που ενοποιεί όλα τα παραπάνω συστήματα με έναν κομψό αλλά και αξιόπιστο τρόπο. (Ενότητα 4.6).

4.2 ESP32-WROOM

Ο επεξεργαστής του συστήματος «EscapeMini» είναι ο μικροελεγκτής ESP32. Επιλέχθηκε λόγω της πλούσιας υποστήριξης πολλαπλών περιφερειακών στα GPIO (General Purpose Input Outputs) που μπορεί να προσφέρει όπως είναι οι τρεις σειριακές επικοινωνίες (UART0, UART1, UART2) τις οποίες μπορεί το συγκεκριμένο module να διαχειριστεί σε hardware επίπεδο, μία θύρα I2C, δύο 12-bit ADC (Analog to Digital Converters) με συνολικά 16 κανάλια και πολλά άλλα όπως ακίδες (Pin) για αφή αλλά και όχι μόνο. Ταυτόχρονα με την τεράστια υπολογιστική του ταχύτητα στα 240 Mhz αλλά και την αξιολύγυτη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας που προσφέρει διότι κοστίζει μόλις 2.72€ στην mouser.[1] Έχει μεγάλη υποστήριξη από την κοινότητα εφόσον είναι ένας πολύ διαδεδομένος μικροελεγκτής, ο οποίος μπορεί να προγραμματιστεί μέσα από την πλατφόρμα του Arduino αλλά και του Visual Code μέσω του plugin Platformio, το οποίο απλουστεύει την διαδικασία ανάπτυξης του λογισμικού της συσκευής, έχοντας υποστήριξη σε βιβλιοθήκες με την μορφή ανοιχτού κώδικα για περιφερειακά και αισθητήρια. Παράλληλα, η συνδεσιμότητα σε WiFi/Bluetooth δίνουν ένα πολύ δυνατό πλεονέκτημα στον σχεδιασμό συγκεκριμένα του «EscapeMini» καθώς, εκτός της εύκολης επεκτασιμότητας της μίας πλακέτας ελέγχου σε περισσότερες, επιτρέπει και την αμεγάδιαστη απασφαλμάτωση κατά την διάρκεια εγκατάστασης ή σχεδιασμού του συστήματος, όπως θα δούμε και παρακάτω στο κεφάλαιο 6 όπου θα αναλύσουμε τους κώδικες που αναπτύχθηκαν για το συγκεκριμένο ψηφιακό επιτραπέζιο παιχνίδι. Τέλος, ο Dual-core επεξεργαστής αρχιτεκτονικής Xtensa LX6 [1] που επιτρέπει αποδοτικό multitasking και ταχύτητες μέχρι και 240Mhz επιτρέπει στον επεξεργαστή να διαχειρίζεται τεράστιο μέγεθος δεδομένων καθιστώντας τον κατάλληλο για την οδήγηση οθονών TFT LCD, Touch Controllers και Συστήματα ήχου I2S.[1]

4.3 Τεχνολογία RFID

4.3.1 Εισαγωγή

Η αλληλεπίδραση των παικτών με τους βασικούς γρίφους του αλχημιστή επιτυγχάνεται μέσω τεχνολογίας RFID (Radio Frequency Identification). Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά για την αναγνώριση των στοιχείων (σταγόνες) που τοποθετούνται στο καζάνι και των φιαλιδίων που τοποθετούνται στα τρία αποστακτήρια. Στο εσωτερικό των 3D prints, όπως είπαμε και παραπάνω έχει ενσωματωθεί ένα στρόγγυλο RFID tag το οποίο είναι 25mm σε διάμετρο και 2.5mm σε ύψος, καθιστώντας το κατάλληλο για ανάγνωση από την μεγάλη απόσταση που έχει από την κεραία του RFID module, η οποία είναι πολύ κοντά στο 1.5cm και ταυτόχρονα είναι αρκετά μικρό για να μπορέσει να ενσωματωθεί εύκολα στα μικροσκοπικά αντικείμενα που χρησιμοποιεί το ψηφιακό επιτραπέζιο παιχνίδι μας. Λειτουργούν στη συχνότητα των 125khz, χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο

EM4100, ένα από τα πιο συνηθισμένα στους RFID transponders, το οποίο έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του RFID Receiver, το module RDM6300.

4.3.2 Αρχή Λειτουργίας

Η Ταυτοποίηση μέσω Ραδιοσυχνότητας (RFID) λειτουργεί μέσω της αλληλεπίδρασης τριών βασικών στοιχείων: ενός αναγνώστη, μιας ετικέτας και του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ τους. Ο αναγνώστης παράγει ένα ραδιοσήμα που εκτείνεται στο περιβάλλον του, δημιουργώντας ένα ενεργειακό πεδίο ικανό να ενεργοποιεί τις γειτονικές ετικέτες. Όταν μια ετικέτα εισέρχεται σε αυτό το πεδίο, η κεραία της αποσπά την ενέργεια και ξεκινά μια διαδικασία ανταλλαγής δεδομένων. Το μικροτσίπ μέσα στην ετικέτα κωδικοποιεί πληροφορίες, συνήθως έναν μοναδικό αναγνωριστικό και τις στέλνει πίσω στον αναγνώστη διαμορφώνοντας τα ραδιοκύματα. Ο αναγνώστης ερμηνεύει αυτό το επανερχόμενο σήμα και μεταφέρει τα δεδομένα σε ένα λογισμικό σύστημα, όπου μπορούν να αναλυθούν, να αποθηκευτούν ή να χρησιμοποιηθούν για την εκκίνηση αυτοματοποιημένων ενεργειών. Όλη αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου, επιτρέποντας στα συστήματα RFID να αναγνωρίζουν πολλαπλά αντικείμενα ταυτόχρονα χωρίς να απαιτείται άμεση οπτική ευθυγράμμιση.

4.3.3 Passive & Active Tags

Οι παθητικές ετικέτες RFID λειτουργούν χωρίς εσωτερική πηγή ισχύος. Βασίζονται εξ ολοκλήρου στην ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που εκπέμπεται από τον αναγνώστη για να ενεργοποιήσουν τα κυκλώματά τους. Δεδομένου ότι δεν περιέχουν μπαταρία, οι παθητικές ετικέτες είναι μικρές, ελαφριές και οικονομικές, καθιστώντας τις κατάλληλες για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, όπως η απογραφή λιανικής, τα συστήματα βιβλιοθηκών και ο έλεγχος πρόσβασης. Το εύρος ανάγνωσης τους είναι συνήθως μικρότερο, αλλά οι εξελίξεις στο σχεδιασμό των κεραιών και στην τεχνολογία υπερύψηλης συχνότητας έχουν επεκτείνει σημαντικά την απόδοσή τους τα τελευταία χρόνια.

Αντιθέτως, οι ενεργές ετικέτες RFID περιέχουν μια εσωτερική μπαταρία που τροφοδοτεί τόσο το μικροτσίπ όσο και τη μετάδοση σημάτων. Αυτή η εγγενής πηγή ενέργειας τους επιτρέπει να επικοινωνούν σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις και να διατηρούν ισχυρότερα, πιο σταθερά σήματα. Οι ενεργές ετικέτες χρησιμοποιούνται συχνά σε περιβάλλοντα όπου η παρακολούθηση σε μεγάλη απόσταση είναι απαραίτητη, όπως η παρακολούθηση οχημάτων, κοντέινερ αποστολής ή βιομηχανικού εξοπλισμού. Η ικανότητά τους να εκπέμπουν σήματα ανεξάρτητα επιτρέπει επίσης πιο σύνθετες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης του περιβάλλοντος και της παρακολούθησης της θέσης σε πραγματικό χρόνο.

4.3.4 Ζώνη Συχνοτήτων RFID

Low Frequency RFID (LF)

Τα RFID χαμηλής συχνότητας λειτουργούν συνήθως στα 125 kHz ή στα 134,2 kHz. Ενώ το ευρύτερο φάσμα των χαμηλών συχνοτήτων εκτείνεται περίπου από 30 kHz έως 300 kHz, τα εμπορικά συστήματα RFID χαμηλών συχνοτήτων τυποποιούνται γύρω από αυτές τις δύο τιμές, ιδίως τα 134,2 kHz σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 11784 και ISO 11785 για την αναγνώριση ζώων.

High Frequency RFID (HF)

Το RFID υψηλής συχνότητας ανήκει στην περιοχή φάσματος 3 MHz έως 30 MHz. Στην πράξη, ωστόσο, σχεδόν όλα τα συστήματα HF RFID λειτουργούν ειδικά σε [13.56 MHz](#), η οποία είναι μια

διεθνώς τυποποιημένη ζώνη συχνοτήτων. Τα συστήματα NFC, ISO 14443 και ISO 15693 χρησιμοποιούν όλα τα 13,56 MHz παγκοσμίως.

Ultra High Frequency RFID (UHF)

Η συχνότητα αυτή λειτουργεί στη ζώνη 860–960 MHz και έχει γίνει η κυρίαρχη επιλογή για ταυτοποίηση και παρακολούθηση μεγάλης κλίμακας, επειδή συνδυάζει μεγάλες εμβέλειες ανάγνωσης με γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων. Τα σήματα σε αυτή τη ζώνη μπορούν να διανύσουν αρκετά μέτρα ακόμα και με παθητικές ετικέτες, οι οποίες αντλούν όλη την ενέργειά τους από το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του αναγνώστη. Η τεχνολογία επιτρέπει την ανάγνωση εκατοντάδων ετικετών σε μία μόνο σάρωση χωρίς άμεση οπτική επαφή. Ο συνδυασμός ταχύτητας, εμβέλειας και χαμηλού κόστους ετικέτας έχει καταστήσει το UHF τη ραχοκοκαλιά της σύγχρονης αυτοματοποίησης της αλυσίδας εφοδιασμού. Υποστηρίζει την ορατότητα σε πραγματικό χρόνο, μειώνει την χειρωνακτική εργασία και επιτρέπει προηγμένη ανάλυση που βασίζεται στην ακριβή, συνεχόμενη παρακολούθηση των αντικειμένων.

4.4 Σύστημα Ταυτοποίησης Αντικειμένων RDM6300 module

4.4.1 Εισαγωγή

Εφόσον η τεχνολογία RFID αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές πτυχές του συστήματος μας και αναλαμβάνει την αλληλεπίδραση των παικτών με φυσικά αντικείμενα (props). Θεωρήθηκε αναγκαίο να αναλυθεί εις βάθος το συγκεκριμένο module ανάγνωσης που επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε, το RDM6300. Η κατανόηση της αρχιτεκτονικής του, τόσο σε επίπεδο υλικού (hardware) όσο και σε επίπεδο ψηφιακής επικοινωνίας, εξηγεί πώς εξασφαλίζεται η ταχύτερη και απρόσκοπτη ροή του παιχνιδιού, ειδικά σε ένα περιβάλλον όπου η αξιοπιστία της αναγνώρισης είναι αδιαπραγμάτευτη.

4.4.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του RDM6300

Το RDM6300 είναι ένας συμπαγής, αξιόπιστος και οικονομικός αναγνώστης ετικετών (tags) RFID, ο οποίος λειτουργεί στην συχνότητα (LF) των 125KHz. Είναι ειδικά σχεδιασμένος για να λαμβάνει και να αποκωδικοποιεί δεδομένα από διάφορες παθητικές ετικέτες συμπεριλαμβανομένου του ευρέως διαδεδομένου βιομηχανικό πρωτόκολλο EM4100. Το module λειτουργεί με τάση τροφοδοσίας 5V τα οποία όμως μετατρέπει on-board σε 3.3V κάνοντας την επικοινωνία μεταξύ του και του ESP32 στην κεντρική πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (PCB), αφού τα επίπεδα των τάσεων στα IO επικοινωνίας μεταξύ του module και του ESP32 γίνεται στα 3.3V. Για την επεξεργασία και την αποκωδικοποίηση των δεδομένων που λαμβάνει το module από την κεραία έχει χρησιμοποιηθεί στην καρδιά του module ο C8051F330 της Silabs ο οποίος είναι ένας εξαιρετικά ολοκληρωμένος μικροελεγκτής 8-bit, κατασκευασμένος γύρω από έναν πυρήνα υψηλής ταχύτητας, διαθέτει απόδοση 25 MIPS, 8 kb μνήμης Flash αλλά και ισχυρά αναλογικά περιφερειακά ενσωματωμένα, καθιστώντας το ένα ευέλικτο System-on-Chip (SoC) για ενσωματωμένες εφαρμογές.[3]



Σχήμα 4Κεφάλαιο 4ο Ανάλυση της Σχεδίασης και Υλοποίηση της Μακέτας..1 Το module RDM6300 RFID Reader module.

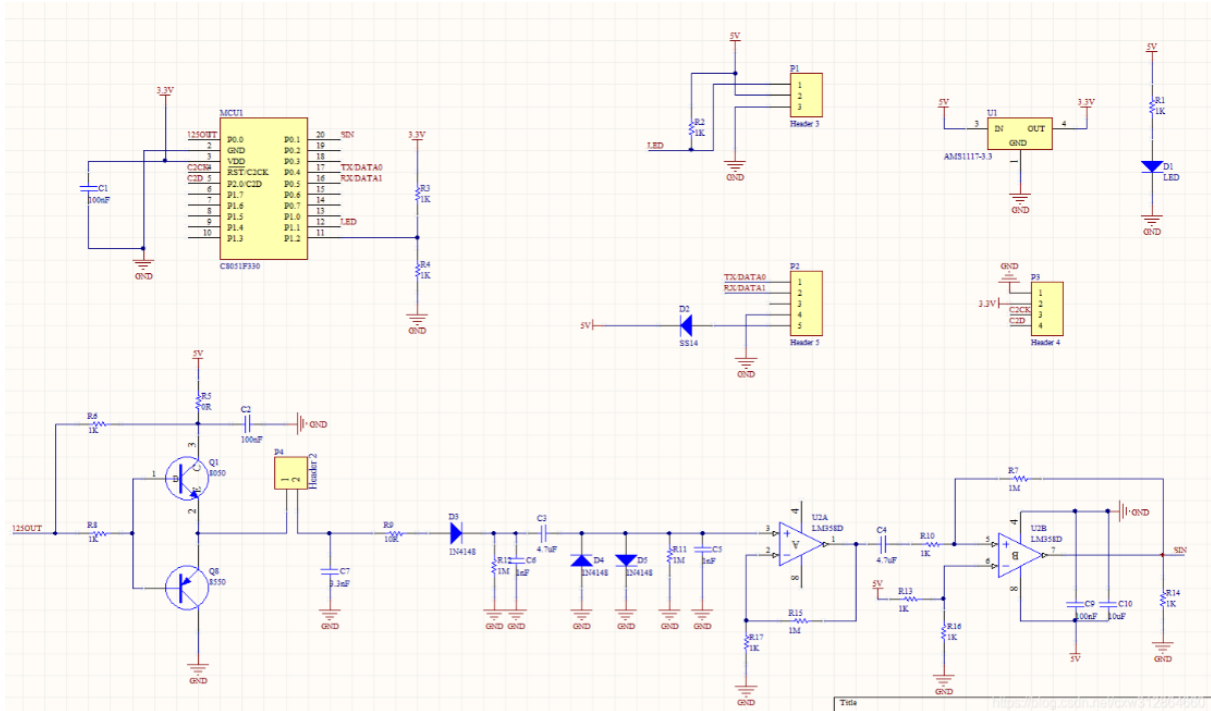
4.4.2 Πρωτόκολλο Επικοινωνίας (UART)

Η επικοινωνία μεταξύ του RDM6300 με την κεντρική μονάδα ελέγχου, τον μικροελεγκτή ESP32, υλοποιείται μέσω μίας ασύγχρονης σειριακής διεπαφής UART. Ο προεπιλεγμένος ρυθμός μετάδοσης (Baud Rate) έχει οριστεί στα 115200 bps. Επιπλέον στέλνει bit δεδομένων ένα προς ένα, από το λιγότερο σημαντικό bit (LSB) στο πιο σημαντικό bit (MSB). Και περιέχει τα ακόλουθα στοιχεία, μια γεννήτρια ρολογιού, συνήθως ένα πολλαπλάσιο του ρυθμού bit για να επιτρέπει τη δειγματοληψία στη μέση μιας περιόδου bit. Καταχωρητές μετατόπισης εισόδου και εξόδου, μαζί με τους buffer μετάδοσης/λήψης ή FIFO έλεγχος μετάδοσης/λήψης, λογική ελέγχου ανάγνωσης/εγγραφής.

Η επικοινωνία μπορεί να γίνει με τρεις λειτουργίες. Μία από αυτές είναι η simplex κατά την οποία τα δεδομένα ταξιδεύουν μόνο προς μία κατεύθυνση, χωρίς πρόβλεψη για τη συσκευή λήψης να στείλει πληροφορίες πίσω στη συσκευή μετάδοσης. Αυτή είναι και η μορφή με την οποία χρησιμοποιείται το UART στο σύστημα μας, εφόσον δεν κρίθηκε απαραίτητη η αποστολή δεδομένων από την πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (Custom PCB) προς τα RFID Module (RDM6300) . Επίσης υπάρχει το full duplex (και οι δύο συσκευές στέλνουν και λαμβάνουν ταυτόχρονα) και το half duplex (οι συσκευές εκπέμπουν και λαμβάνουν εκ περιτροπής). Για να λειτουργήσει σωστά μια επικοινωνία UART οι παρακάτω ρυθμίσεις θα πρέπει να είναι οι ίδιες και από την μεριά της εκπομπής όσο και από την μεριά της λήψης. Τα επίπεδα τάσεων της επικοινωνίας. Ο ρυθμός baud (Baudrate), Bit ισοτιμίας (Parity Bit), Μέγεθος bit δεδομένων (Data bits size) και τέλος, Μέγεθος bit διακοπής (Stop bits size). Το RDM6300 στέλνει σταθερά μία ακολουθία από 14 bytes (σε μορφή ASCII) για κάθε ανάγνωση. Αρχικά στέλνει ένα Byte έναρξης (Start Byte) το οποίο συνήθως είναι το 0x02 (STX). Στην συνέχεια ακολουθούν 10 Bytes Δεδομένων (Data) τα οποία περιέχουν τον μοναδικό κωδικό (ID) της ετικέτας RFID που διαβάστηκε. Τέλος, έχουμε 2 Bytes Αθροίσματος Ελέγχου (Checksum) τα οποία βοηθάνε στην επαλήθευση της ακεραιότητας των δεδομένων και 1 Byte Λήξης (Stop Byte) συνήθως το 0x03 (ETX).

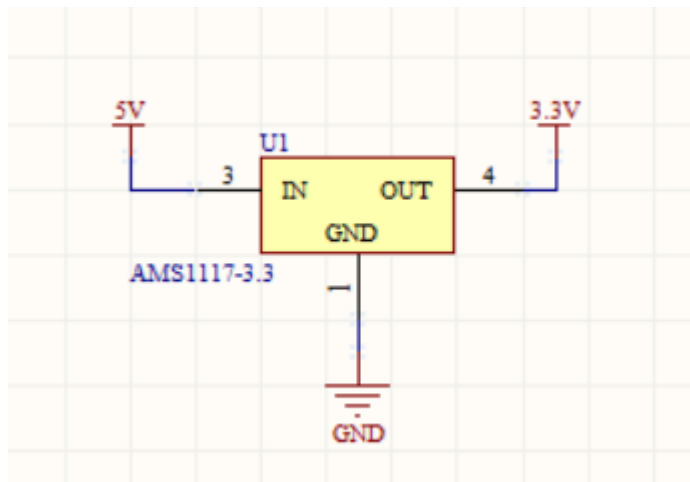
4.4.3 Ανάλυση Υλικού (Hardware) και Κυκλώματος Οδήγησης της κεραίας.

Αναλύοντας το σχηματικό που φαίνεται στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 4.2), του module RDM6300, φαίνεται ξεκάθαρα η αρχιτεκτονική του hardware που συνδυάζει ψηφιακό έλεγχο και αναλογική επεξεργασία του σήματος που λαμβάνεται από την κεραία. Το κύκλωμα μπορεί να χωριστεί σε τρία βασικά υποσυστήματα, την τροφοδοσία της πλακέτας, τον «εγκέφαλο» C8051F330 και τέλος το κύκλωμα εκπομπής/λήψης της κεραίας. [3]



Σχήμα 4.2 Σχηματικό από το RDM6300 module

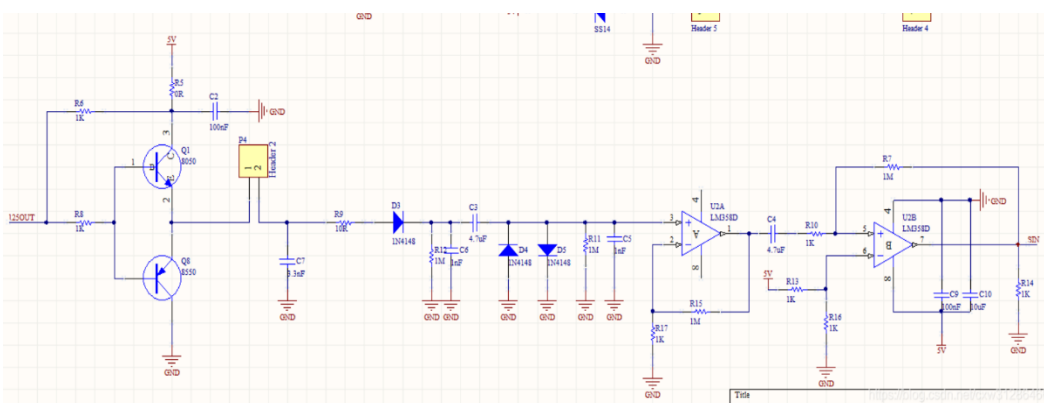
Για την τροφοδοσία της πλακέτας όπως παρατηρείται στο σχηματικό, η κύρια τροφοδοσία εισόδου του module είναι 5V και παρέχεται μέσω των ακροδεκτών σύνδεσης (Headers). Ωστόσο, ο μικροελεγκτής και το τμήμα επεξεργασίας σήματος απαιτούν 3.3V τάση λειτουργίας. Έτσι ενσωματώνεται ένας γραμμικός ρυθμιστής τάσης (LDO) συγκεκριμένα ο AMS1117-3.3 όπως φαίνεται και στην εικόνα (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3 Το κομμάτι του σχηματικού από το RDM6300 που διαγράφει το τροφοδοτικό του. Τον LDO AMS1117-3.3

Ο ρυθμιστής αυτός υποβιβάζει και σταθεροποιεί την τάση από τα 5V στα 3.3V, τροφοδοτώντας τον μικροελεγκτή με 3.3V και εξασφαλίζοντας ότι η επικοινωνία με την κεντρική πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (Custom PCB) θα πραγματοποιηθεί με αξιοπιστία στα ίσα επίπεδα λογικής των 3.3V. Επιπλέον δύο πυκνωτές θα έπρεπε να τοποθετηθούν και στην είσοδο αλλά και στην έξοδο του module. Κάτι το οποίο δεν βλέπουμε στο συγκεκριμένο module. Ο λόγος για τον οποίο οι συγγραφείς δεν σχεδίασαν το δικό τους RFID module ήτανε ο περιορισμένος χρόνος για την υλοποίηση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας αλλά και γιατί προσφέρει μια ολιστική και φτηνή λύση.

Καμία είσοδος/έξοδος (I/O) ενός μικροελεγκτή δεν είναι αρκετή για να παρέχει το απαιτούμενο ρεύμα για τη διέγερση του πηνίου της κεραίας, το σήμα 125OUT από τον μικροελεγκτή οδηγείται σε ένα αναλογικό στάδιο ενίσχυσης ρεύματος. Αυτό υλοποιείται με έναν ενισχυτή push-pull όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 4.4), ό οποίος αποτελείται από δύο ζεύγος συμπληρωματικών διπολικών τρανζίστορ BJT. Ένα NPN τύπου 8050 (Q1) και ένα PNP τύπου 8550 (Q8). Η επιλογή αυτής της αρχιτεκτονικής δεν είναι η βέλτιστη κατά τους συγγραφείς. Ένα IC τύπου MMDT4413-7-F θα ήτανε ιδανικό στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Διότι αποτελεί ένα συμπληρωματικό ζεύγος διπολικών τρανζίστορ. Επειδή και τα δύο τρανζίστορ βρίσκονται επάνω στην ίδια σιλικόνη και έχουνε κατασκευαστεί από το ίδιο Wafer πυριτίου. Η κατασκευαστική αναντιστοιχία (Parameter Spread) είναι μηδαμινή στο MMDT4413-7-F. Ταυτόχρονα, εφόσον τα εξαρτήματα βρίσκονται κάτω από το ίδιο κέλυφος δεν γίνεται αντιληπτό ούτε το φαινόμενο θερμικής σύζευξης (Thermal Tracking). Με αποτέλεσμα αν το NPN θερμανθεί περισσότερο, τα χαρακτηριστικά του θα αλλάξουν από το PNP, οδηγώντας το σύστημα σε θερμική αστάθεια.



Σχήμα 4.4 Σχηματικό RDM6300, κύκλωμα οδήγησης της κεραίας και αποκωδικοποίηση του σήματος λήψης.

Εκτός από τα τρανζίστορ για την οδήγηση της κεραίας, παράλληλα με την κεραία, υπάρχει ένας πυκνωτής 3.3nF (C7), ο οποίος μαζί με την επαγωγή της κεραίας δημιουργεί ένα παράλληλο κύκλωμα συντονισμού LC (Tank Circuit) συντονισμένο ακριβώς στη συχνότητα των 125kHz, μεγιστοποιώντας έτσι την εμβέλεια ανάγνωσης.

Με βάση τον τύπο συντονισμού Thomson:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Λύνοντας ως προς την αυτεπαγωγή L, προκύπτει:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}$$

Κεφαλαίο 4

Τα δεδομένα μας είναι η συχνότητα λειτουργίας (f): 125kHz ή 125000Hz και η χωρητικότητα του πυκνωτή (C):3.3nF.

$$L = \frac{1}{4 \cdot 3.14159^2 \cdot (125000)^2 \cdot 3,3 \cdot 10^{-9}}$$

$$L = 0.000491 \text{ H}$$

Επομένως, η αυτεπαγωγή του πηνίου της κεραίας είναι ακριβώς 491μH (micro Henrys), το οποίο είναι μία τυπική τιμή για κεραίες RFID στα 125Khz.

Κατά την τροφοδοσία της κεραίας με βάση όλα όσα είπαμε παραπάνω. Όταν μια παθητική ετικέτα RFID (tag) εισέλθει στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που εκπέμπει η κεραία, αντλεί την απαραίτητη ενέργεια για να ενεργοποιήσει το εσωτερικό της ολοκληρωμένο κύκλωμα. Στη συνέχεια, το RFID tag μεταβάλλει την εσωτερική του αντίσταση. Η διαδικασία αυτή, γνωστή και ως διαμόρφωση του φορτίου (Load Modulation), προκαλεί απειροελάχιστες διακυμάνσεις στο πλάτος της τάσης επάνω στην κεραία του αναγνώστη, δημιουργώντας ουσιαστικά μία διαμόρφωση κατά πλάτος (AM) πάνω στο φέρον κύμα των 125kHz το οποίο είναι ημίτονο λόγω του συντονισμού του LC Tank.

Για την ανάκτηση της ψηφιακής πληροφορίας, το επιστρεφόμενο σήμα διέρχεται από ένα αναλογικό δίκτυο ανίχνευσης περιβάλλουσας (Envelope Detector) [4]. Η δίοδος ταχείας μεταγωγής 1N4148 (D3) αναλαμβάνει την ανόρθωση του σήματος, ενώ το δικτύωμα RC που ακολουθεί, αποτελούμενο από τους πυκνωτές C3, C6 και την αντίσταση R12, λειτουργεί ως ένα βαθυπερατό φίλτρο (Low-Pass Filter). Το φίλτρο αυτό φιλτράρει το υψίσυχο φέρον κύμα των 125kHz και επιτρέπει μόνο τη διέλευση του ασθενούς σήματος πληροφορίας χαμηλής συχνότητας. Τέλος, το σήμα πριν οδηγηθεί στο στάδιο ενίσχυσης, τοποθετούνται δύο παράλληλες διόδους 1N4148 (D4, D5). Αυτές λοιπόν λειτουργούν ως ένα clamping κύκλωμα ψαλιδισμού, προστατεύοντας την είσοδο του σταδίου ενίσχυσης σε περίπτωση που η κεραία αναπτύξει τάσεις μεγαλύτερες από αυτές που λειτουργεί συνήθως. Το εξαγόμενο σήμα από τον ανιχνευτή περιβάλλουσας (Envelope Detector) έχει εύρος μόλις μερικών millivolt (mV) και διαθέτει μια συνεχή συνιστώσα (DC offset). Για την μετατροπή του σε ψηφιακό σήμα, ενισχύεται, γι αυτό το σκοπό, το RDM6300 χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο κύκλωμα με δύο ανεξάρτητους τελεστικούς ενισχυτές (Operation Amplifiers) σε ένα ενιαίο κέλυφος. Στο πρώτο στάδιο ενίσχυσης ο τελεστικός ενισχυτής (U2A) είναι συνδεδεμένος σαν ένας ενισχυτής εναλλασσόμενου ρεύματος (AC Amplifier). Μέσω της ανάδρασης του πολλαπλασιάζει το πλάτος του ασθενούς αναλογικού σήματος παρέχοντας υψηλό κέρδος (gain). Ταυτόχρονα, απορρίπτει τον θόρυβο της DC συνιστώσας του σήματος (DC offset), εξασφαλίζοντας ότι ενισχύεται μόνο η χρήσιμη πληροφορία της ετικέτας. Στο δεύτερο στάδιο το ενισχυμένο σήμα περνάει μέσα από έναν πυκνωτή σύζευξης (AC Coupling) C4 στο δεύτερο μισό του LM358 (U2B). Εδώ, ο τελεστικός ενισχυτής λειτουργεί σε διάταξη συγκριτή (Comparator) ανοιχτού βρόχου. Που σημαίνει ότι το προενισχυμένο σήμα από το προηγούμενο στάδιο συγκρίνεται με μία σταθερή τάση ως σημείο αναφοράς Vref. Με αποτέλεσμα την μετατροπή των αναλογικών κυματομορφών σε μία καθαρή, τετραγωνική σειρά παλμών σηματοί με τα επίπεδα λογικής των 3.3V, τα οποία θα δρομολογηθούν στον κεντρικό επεξεργαστή μέσω της ακίδας SIN όπως φαίνεται και στην εικόνα παραπάνω (Σχήμα 4.5)

του συστήματος (Custom PCB). Έτσι η σύνδεση των RFID module γίνεται ευκολότερη και πιο ευδιάκριτη σε περίπτωση που χρειαστεί να γίνει απασφαλμάτωση του συστήματος.

4.5 Μαγνητικοί Αισθητήρες

4.5.1 Εισαγωγή

Στο σύστημα μας, η ανίχνευση της θέσης συγκεκριμένων αντικειμένων, όπως η αρχική τοποθέτηση της φιγούρας του Μαθητευόμενου (Stage 0) ή η τοποθέτηση των κρυστάλλων γύρω από την Πύλη (Stage 6). Έγινε, με την χρήση μαγνητικών επαφών (Reed Switches), και ειδικότερα του μοντέλου 59170-1-U-00-D της εταιρείας Littelfuse. Διότι η χρήση RFID module σε αυτά τα σημεία κρίθηκε αχρείαστη, το οποίο εκτός από το γεγονός του ότι είναι ακριβότερο, ξοδεύει και την πολύτιμη επεξεργαστική ισχύς του συστήματος. [5]



Σχήμα 4.6 Μαγνητική επαφή 59170-1-U-00-D [5]

4.5.2 Αρχή λειτουργίας και Τεχνικά Χαρακτηριστικά (Littelfuse 59170)

Ο διακόπτης Reed είναι ένας καθαρά ηλεκτρομηχανικός διακόπτης. Αποτελείται από δύο εύκαμπτα ελάσματα τα οποία βρίσκονται κλεισμένα μέσα σε ένα σώμα εποξικής ρητίνης. Όταν ένα μαγνητικό πεδίο (όπως ο μαγνήτης που έχουνε ενσωματωμένο στο εσωτερικό τους τα φυσικά αντικείμενα (Props) του παιχνιδιού) πλησιάσουν, τα ελάσματα μαγνητίζονται με αντίθετους πόλους, έλκονται μεταξύ τους και κλείνουν το ηλεκτρικό κύκλωμα.

Το μοντέλο 59170-1-U-00-D επιλέχθηκε από τους συγγραφείς λόγω της εξοικείωσης που έχουν με το συγκεκριμένο υλικό, λόγω του παρελθόντος εργασίας τους στον χώρο της ψηφιακής εσωτερικής διασκέδασης και των Escape Room, Επίσης το συγκεκριμένο μοντέλο δεν είναι ένας γυάλινος σωλήνας (όπως είναι οι περισσότερες μαγνητικές επαφές). Αντιθέτως είναι υπερκαλουπωμένο (over-molded) σε ένα μικροσκοπικό και ανθεκτικό περίβλημα εποξικής ρητίνης. Αυτή η κατασκευή προσφέρει εξαιρετική μηχανική αντοχή. Τέλος, λειτουργεί ως επαφή Κανονικά Ανοιχτή (Normally Open – NO) και, ως παθητικό εξάρτημα, από το ένα του άκρο είναι συνδεδεμένο σε μία γείωση (GND) της πλακέτας και η άλλη άκρη του σε ένα Input από τον επεκτατή θυρών (MCP23017). Για την αποφυγή των σημάτων του επεκτατή θυρών (MCP23017) από την floating κατάσταση, ενεργοποιούνται οι εσωτερικές αντιστάσεις ανύψωσης του επεκτατή θυρών (MCP23017) που σημαίνει ότι με την απουσία του μαγνήτη διατηρείται η γραμμή σε λογικό επίπεδο '1' (HIGH). Μόλις ο παίκτης τοποθετήσει το σωστό αντικείμενο πάνω από τον αισθητήρα, η επαφή κλείνει, γειώνοντας τη γραμμή και στέλνοντας ένα καθαρό λογικό '0' (LOW)

στην πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος, οι οποία δρομολογεί τα σήματα στον επεκτατή θυρών και φτάνουν στον μικροελεγκτή όπως θα αναλύσουμε και στο κεφάλαιο 6 παρακάτω. [5]

4.6 Micro Servo

4.6.1 Εισαγωγή

Η αλληλεπίδραση του ψηφιακού συστήματος με τον φυσικό κόσμο του παιχνιδιού, και συγκεκριμένα το κλείδωμα και το ξεκλείδωμα των τριών σεντουκιών που κρύβουν μέσα τα αντικείμενα των γρίφων, υλοποιείται μέσω μικροσερβοκινητήρων. Η επιλογή του κατάλληλου μικροσερβοκινητήρα έγινε με κύριο γνώμονα το εξαιρετικά μικρό μέγεθος του για να μπορέσει να «κρυφτεί» διακριτικά μέσα στα τοιχώματα των σεντουκιών αλλά και την ευκολία οδήγησης σε συνδυασμό με την επαρκή ροπή για την κίνηση των πλαστικών μηχανισμών. Όλα τα παραπάνω λοιπόν οδήγησαν στην επιλογή του SG90 [6].



Σχήμα 4.7 Ο σερβοκινητήρας SG90 [6]

4.6.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά του SG90

Ο SG90 είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς και αξιόπιστους μικροσερβοκινητήρες στην κατηγορία των 0 γραμμαρίων. Παρά το εξαιρετικά μικρό του βάρος και τις συμπαγείς διαστάσεις του, διαθέτει ένα κιβώτιο ταχυτήτων μείωσης των στροφών το οποίο όμως πολλαπλασιάζει την ροπή, αποδίδοντας την εντυπωσιακή ροπή συγκράτησης της τάξης των 1.8kg-cm με τάση λειτουργίας στα 4,8V (εώς 5V). Η ροπή αυτή είναι υπεραρκετή για την μετατόπιση του σύρτη που κρατάει το σεντούκι κλειστό. [6]

4.6.3 Αρχή Λειτουργίας και Έλεγχος (PWM)

Στο εσωτερικό του SG90 βρίσκεται ένας μικροσκοπικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος (DC), ένα ποτενσιόμετρο που είναι συνδεδεμένο με τον άξονα εξόδου για την ανάδραση της θέσης του άξονα εξόδου, ένα κιβώτιο μείωσης με γρανάζια για μεγαλύτερη ροπή και τέλος, ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα ελέγχου κλειστού βρόχου. Ο έλεγχος της γωνίας της θέσης του άξονα εξόδου δεν γίνεται με την γραμμική μεταβολή της τάσης, αλλά ψηφιακά, μέσω ενός σήματος Διαμόρφωσης Εύρους Παλμού (Pulse Width Modulation – PWM). Συγκεκριμένα, το ενσωματωμένο κύκλωμα του SG90 απαιτεί ένα σήμα συχνότητας των 50Hz. Του οποίου το εύρος του θετικού παλμού μέσα στα 20ms της περιόδου είναι αυτό που καθορίζει την γωνία του άξονα εξόδου. (π.χ. ένας παλμός διάρκειας 1ms δίνει εντολή στον κινητήρα να στραφεί στην αρχική θέση των 0°. Για τον έλεγχο πολλαπλών τέτοιων σερβοκινητήρων αλλά και άλλων υλικών (όπως LED, mosfet που οδηγούν υψηλότερης ισχύος

LedStrips) έγινε μέσω ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (IC – Integrated Circuit) το PCA9685. Το οποίο επικοινωνεί με τον ESP32 μέσω του πρωτοκόλλου I2C και διαθέτει δικό του ανεξάρτητο ρολόι για την δημιουργία των σταθερών σημάτων PWM στα 50Hz. Έτσι, όταν ο επεξεργαστής ανιχνεύσει την επιτυχή λύση ενός γρίφου από τους παίκτες, στέλνει μία σύντομη εντολή μέσω του I2C και ο PCA9685 δημιουργεί την κατάλληλη κυματομορφή σήματος που ελέγχει το SG90 και τραβάει τον σύρτη στο εσωτερικό του σεντουκιού όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 4.8) και ξεκλειδώνει το περιεχόμενο για τους παίκτες με τρόπο αυτοματοποιημένο.



Σχήμα 4.8 Ο σερβοκινητήρας που τραβάει τον σύρτη στο εσωτερικό του σεντουκιού

4.7 Οθόνη Απεικόνισης TFT LCD (Thin-Film Transistor)

4.7.1 Εισαγωγή

Στο «Escape Mini», η οπτική ανάδραση και η έμμεση βοήθεια των παικτών για την λύση των γρίφων, αποτελούν τον πυρήνα της εμπειρίας. Διότι ενσωματώνεται οργανικά στο σενάριο. Αναλαμβάνοντας τον ρόλο του μαγικού «Ημερολογίου του Alarion». Προβάλλοντας υψηλής ανάλυσης γραφικά, κρυπτογραφημένα σύμβολα και εικόνες επιβράβευσης ή επιβεβαίωσης. Διατηρώντας το «immersion» των παικτών στο αρχαίο εργαστήριο του παιχνιδιού. [7]



Σχήμα 4.9 Η TFT LCD

Η επιλογή της συγκεκριμένης οθόνης. Έγινε με βάση την εύκολη ενσωμάτωση της στο σύστημα μας. Λόγω της ευρέως διαδεδομένης χρήσης της από την κοινότητα του Arduino, εφόσον υπάρχει μεγάλη πληθώρα αξιόπιστων βιβλιοθηκών ανοιχτού κώδικα (open-source), γεγονός που επιτάχυνε σημαντικά την ανάπτυξη και την απασφαλμάτωση του λογισμικού. Επιπρόσθετα, αποτέλεσε μια ιδανική επιλογή από άποψη αγοράς, καθώς είναι μία άμεσα διαθέσιμη οθόνη στην Ελλάδα αλλά και σε διεθνή αγορές όπως aliexpress (Κίνα), προσφέροντας ανταγωνιστική τιμή. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι, αν και ο αρχικό σχεδιασμός στόχευε σε μια οθόνη μεγαλύτερη από τις 3.2 Ίντσες, για την ευκολότερη και πιο ευδιάκριτη εμφάνιση των βοηθειών των παικτών, αλλά και την διακριτικότητα των εικόνων από περισσότερες γωνίες θέασης. Η επιλογή μας περιορίστηκε όμως στο συγκεκριμένο μέγεθος και ανάλυση. Διότι οι οθόνες μεγαλύτερων διαστάσεων η ανάλυσης απαιτούν συνήθως παράλληλα πρωτόκολλα επικοινωνίας που θα εξαντλούσαν τις διαθέσιμες ακίδες του ESP32.

4.7.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Η τεχνολογία TFT (Thin-Film Transistor) αποτελεί μία εξέλιξη των κλασικών οθονών υγρών κρυστάλλων (LCD), αφού κάθε εικονοστοιχείο (pixel) ελέγχεται από το δικό του ανεξάρτητο μικροσκοπικό τρανζίστορ. Αυτό προσφέρει δραματική βελτίωση στην αντίθεση και τα χρώματα, ακόμη και στην ταχύτητα ανανέωσης αλλά και την ευκρίνεια των χρωμάτων σε σύγκριση με παλαιότερες παθητικές οθόνες.

Για την οδήγηση του πάνελ, η οθόνη έχει στο εσωτερικό της έναν ειδικό ελεγκτή γραφικών (Display Driver IC), συγκεκριμένα το ILI9341. Ο ελεγκτής αυτός αναλαμβάνει την πολύπλοκη διεργασία της ανανέωσης των pixel και της διαχείρισης των χρωμάτων (RGB), αποφορτίζοντας τον κεντρικό επεξεργαστή του συστήματος από αυτό τον υπολογιστικό φόρτο. Η οθόνη τροφοδοτείται με 3.3V και διαθέτει ενσωματωμένο φωτισμό LED (Backlight), ο οποίος μπορεί να ελεγχθεί μέσω ενός PWM σήματος. Αποφασίστηκε από τους συγγραφείς και δημιουργούς του παιχνιδιού αυτό το σήμα να μην ελεγχθεί αλλά να συνδεθεί σταθερά στην τάση τροφοδοσίας της οθόνης, λόγω του περιορισμένου αριθμού ακίδων του ESP32. Το ίδιο ισχύει και για το κύκλωμα ανίχνευσης της αφής της οθόνης. Τέλος, η ανάλυση της οθόνης είναι 320x240, που στο μέγεθος των 3.2 Ίντσών καταφέρνει τη απεικόνιση των αποκομμάτων από το «Ημερολόγιο του Alarion» με ευκολία και με υψηλή ευκρίνεια. [7]

4.7.3 Πρωτόκολλο Επικοινωνίας (SPI) και Αποθήκευση Δεδομένων

Η απεικόνιση πολύχρωμων εικόνων απαιτεί την μεταφορά ενός τεράστιου όγκου δεδομένων. Για να επιτευχθεί αυτό χωρίς καθυστερήσεις, η επικοινωνία μεταξύ του ESP32 και της οθόνης TFT υλοποιείται μέσω του σύγχρονου σειριακού διαύλου SPI (Serial Peripheral Interface). Το πρωτόκολλο SPI υποστηρίζει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να φτάσουν και τα 40MHz. Η επικοινωνία βασίζεται σε τέσσερα κύρια σήματα. Το MOSI (Master Out Slave In) για την μεταφορά δεδομένων από τον “Master” (ESP32) στον “Slave” (Οθόνη). Το MISO (Master In Slave Out) για την ανάγνωση δεδομένων από τον “Slave” προς τον “Master” για λειτουργίες ανατροφοδότησης όπως διαγνωστικά. Το SCK (Serial Clock) που είναι το σήμα που συγχρονίζει την μετάδοση των δεδομένων. Και τέλος, το CS (Chip Select) για την επιλογή της συσκευής στον δίαυλο, αφού ο συγκεκριμένος δίαυλος μοιράζεται κάποια από αυτά τα σήματα ελέγχου και με άλλα περιφερειακά. Αυτό είναι και το βασικότερο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Αφού επιτρέπει την πολύ γρήγορη επικοινωνία “Master” “Slave” σε περισσότερες από μία συσκευή χρησιμοποιώντας τις ίδιες ακίδες από την μεριά του “Master”, με μοναδικό σήμα το CS (Chip Select), Το οποίο δεν γίνεται να μοιραστεί εφόσον αυτό είναι και το σήμα που «διαλέγει» το περιφερειακό με το οποίο επιθυμεί ο επεξεργαστής “Master” να επικοινωνήσει. Επιπλέον, εφόσον η εσωτερική μνήμη (Flash) του ESP32 δεν επαρκεί για την αποθήκευση πολλαπλών εικόνων υψηλής ανάλυσης (όπως τα αρχεία .jpg και αρχεία

.wav), Η οθόνη και το σύστημα αναπαραγωγής ήχου συνδυάζεται με μία κάρτα SD μέσω του ίδιου διαύλου SPI, τα αποκωδικοποιεί και τα μεταφέρει στην οθόνη TFT.

4.7.4 Ενσωμάτωση στο Σύστημα (Custom PCB Integration)

Για την άρτια ενσωμάτωση της οθόνης στη φυσική μακέτα, κρύφτηκε επιμελώς μέσα σε ένα 3D print, το οποίο αντικατοπτρίζει μία καμάρα από μάρμαρο κρατώντας το θεματικό του εγκαταλελειμμένου εργαστηρίου και της πύλης. Κρύβοντας ταυτόχρονα όλα τα «άσχημα» σημεία όπως οι ακίδες σύνδεσης και το περίγραμμα της οθόνης. Η απόσταση από την κεντρική πλακέτα θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν γίνεται μικρότερη για ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας όπως το SPI, το οποίο είναι εξαιρετικά επιρρεπείς σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο (EMI – Electromagnetic Interference). Αντί για πολύπλοκες και επιρρεπείς σε σφάλματα καλωδιώσεις, η κεντρική πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος διαθέτει ειδικά σχεδιασμένο interface. Όπου όλες οι γραμμές SPI, η τροφοδοσία 3.3V και οι γραμμές ελέγχου της οθόνης (DC, RESET) δρομολογούνται απευθείας από τα αντίστοιχα GPIO του ESP32 με το ελάχιστο δυνατό μήκος αγωγών (traces), αυτό σε συνδυασμό με κάποιες ακόμη τεχνικές σχεδίασης η οποίες χρησιμοποιήθηκαν στον σχεδιασμό της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος και αναφέρονται πιο αναλυτικά στο κεφάλαιο 6. Εξασφαλίζουν τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα του διαύλου και την αποφυγή εισαγωγής ηλεκτρομαγνητικού θορύβου (EMI).

4.8 Σύστημα Αναπαραγωγής Ήχου και Ηχείο

4.8.1. Εισαγωγή

Σε προηγούμενες ενότητες αναλύθηκε η ηχητική επιμέλεια του «Escape Mini», η οποία αποτελεί το πιο σημαντικό κομμάτι της αφήγησης. Για την απροβλημάτιστη αναπαραγωγή αυτών των πολυμέσων, το σύστημα απαιτεί μια λύση που να προσφέρει καθατό ήχο με επαρκή απόδοση στις χαμηλές συχνότητες. Επομένως, επιλέχθηκε το ηχείο EDF 106-9. Η συγκεκριμένη επιλογή βοήθησε την βιωσιμότητα της κατασκευής, καθώς το εξάρτημα ανακτήθηκε σε πλήρως λειτουργική κατάσταση από παλαιότερη συσκευή με κατεστραμμένο κύκλωμα ενίσχυσης. [8]



Σχήμα 4.10 Το ηχείο που επιλέχθηκε και ανακυκλώθηκε από παλιότερη συσκευή.

4.8.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Ενίσχυση

Το EDF 106-9 είναι ένα ηχείο μεσαίων-χαμηλών συχνοτήτων το οποίο το κάνει ένα ηχείο ευρέως φάσματος το οποίο όμως έχει ιδιαίτερα εξαιρετική ικανότητα, στην αναπαραγωγή των χαμηλών συχνοτήτων. Έχει διάμετρο 4 ιντσών, με βάθος εγκατάστασης 6cm, σύνθετη αντίσταση 4Ω και ονομαστική ισχύ 8W. Οι προδιαγραφές αυτές ταίριαζαν άριστα με το σύστημα μας. Συγκεκριμένα, η αντίσταση των 4Ω επιτρέπει στον ενισχυτή (MAX98357) να αποδώσει τη βέλτιστη ισχύ του. Παράλληλα, η ονομαστική ισχύς των 8W του ηχείου υπερκαλύπτει την ισχύ εξόδου του ενισχυτή. Με αποτέλεσμα να αξιοποιηθεί πλήρως η ακουστική του ικανότητα.

Κεφάλαιο 5^ο Σχεδίαση και Υλοποίηση της Πλακέτας Τυπωμένου Κυκλώματος (Hardware) και του λογισμικού (Firmware)

5.1 Εισαγωγή

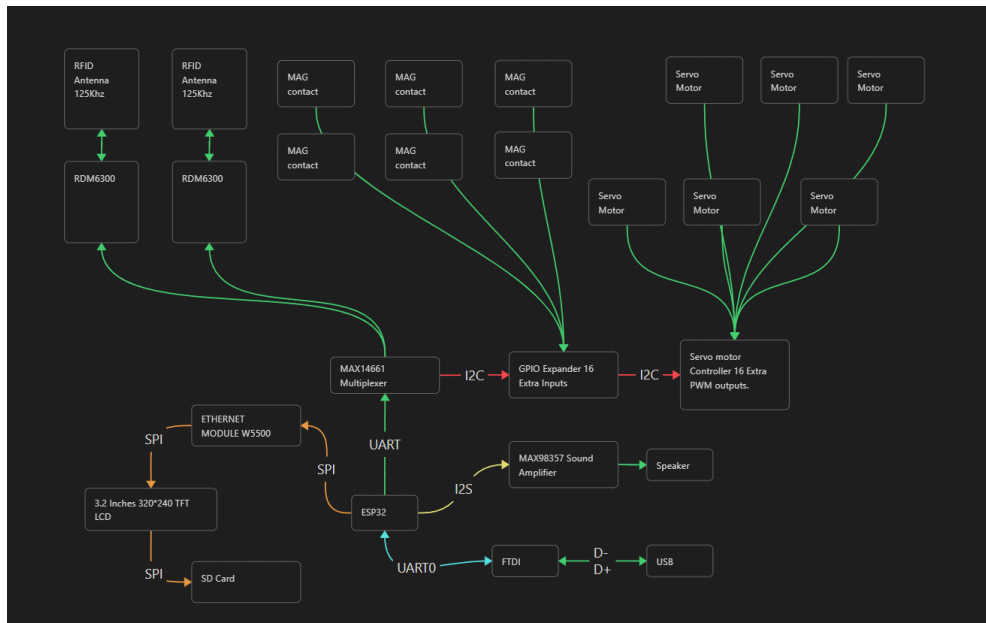
Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκε εκτενώς το θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο, καθώς και τα επιμέρους ηλεκτρονικά εξαρτήματα (αισθητήρες, οθόνες, κινητήρες, ενισχυτές) που όλα μαζί συνθέτουν το «Escape Mini». Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί τον πυρήνα της τεχνικής υλοποίησης της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (Hardware) η οποία φαίνεται ολοκληρωμένη στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 5.1)



Σχήμα 5.1 Η προσαρμοσμένη πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος που σχεδιάστηκε και συναρμολογήθηκε.

και του λογισμικού (Firmware). Η διαδικασία της υλοποίησης ξεκινάει με την παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του υλικού συστήματος (Hardware Block Diagram), η οποία αποτυπώνει την τοπολογία επικοινωνίας του μικροελεγκτή με τα περιφερειακά. Δόθηκε αρκετή βαρύτητα στο συγκεκριμένο στάδιο της σχεδίασης, αφού ήταν καθοριστικό στην επιλογή όλων των υλικών, αλλά και στην διαχείριση των διαθέσιμων ακίδων (GPIO) του κεντρικού επεξεργαστή. Στην συνέχεια αναλύεται η διαδικασία της σχεδίασης της προσαρμοσμένης πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (Custom PCB), δίνοντας έμφαση στην χρήση 4 επιπέδων (4-layer stackup), τη διαχείριση του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου (EMI) και των τεχνικών βιομηχανικής συναρμολόγησης (SMT). Ακολουθεί η εις βάθος ανάλυση του ηλεκτρονικού σχηματικού διαγράμματος, όπου εξηγούνται οι επιμέρους λειτουργικές βαθμίδες ελέγχου και ισχύος. Τέλος, το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την ανάλυση της αρχιτεκτονικής του λογισμικού, του διαγράμματος ροής του κώδικα και της μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων (Finite State Machine) που ελέγχει την ροή του σεναρίου του παιχνιδιού σε πραγματικό χρόνο.

5.2 Hardware Block Diagram



Σχήμα 5.2 Block διάγραμμα που διαγράφει την αρχιτεκτονική του ηλεκτρονικού συστήματος της Custom PCB

Η επιτυχημένη λειτουργία του συστήματος εξαρτάται από την σωστή κατανομή των ακίδων και την αποδοτική διαχείριση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Στο μπλοκ διάγραμμα υλικού που φαίνεται παραπάνω (Σχήμα 5.2), αποτυπώνεται η αρχιτεκτονική του «Escape Mini», με τον μικροελεγκτή ESP32 να βρίσκεται στο κέντρο όπου καταλήγουν όλα τα περιφερειακά, τα οποία συντονίζει με διάφορους διαύλους δεδομένων. Αυτοί, συγκεκριμένα είναι πέντε, και επιτρέπουν την ελαχιστοποίηση της χρήσης των ακίδων του κεντρικού επεξεργαστή. Ο διάλογος I2C, ο οποίος φαίνεται στο παραπάνω σχήμα με κόκκινο χρώμα, χρησιμοποιείται από τον επεκτατή θυρών MCP23017 (για την συλλογή σημάτων από τις μαγνητικές επαφές) και ο ελεγκτής PCA9685 (για την παραγωγή σημάτων PWM). Ο διάλογος SPI, που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα με το χρώμα πορτοκαλι, αποτελεί τον διάλογο υψηλής ταχύτητας του συστήματος, απολύτως απαραίτητο για τη διαχείριση των οπτικών πολυμέσων. Συνδέει παράλληλα την οθόνη TFT LCD, το ETH PHY, και την μονάδα MicroSD Card. Επίσης, ο εξειδικευμένος διάλογος I2S, που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα με κίτρινο χρώμα, οποίος χρησιμοποιείται καθαρά για την μεταφορά ψηφιακού ήχου. Συνδέει τον ESP32 με τον ψηφιακό ενισχυτή κλάσης D (MAX98357), ο οποίος με τη σειρά του οδηγεί το Subwoofer. Ο πολύ σημαντικός διάλογος UART1, που αντικατοπτρίζεται με το χρώμα πράσινο στο παραπάνω σχήμα, όπου ο οποίος μετά την πολυπλεξία χρησιμεύει στην διαχείριση πολλαπλών αναγνωστών RFID(RDM6300), ελεγχόμενος από I2C, δρομολογεί τις πολλαπλές γραμμές εκπομπής των RFID module σε μία μοναδική ακίδα λήψης (RX) του ESP32. Αποτρέποντας τις συγκρούσεις δεδομένων (data collisions). Τέλος, ακόμη ένας διάλογος UART (UART0) ο οποίος φαίνεται στο σχήμα παραπάνω με χρώμα γαλάζιο και είναι αποκλειστικά για την μετατροπή των σημάτων USB (D-/D+), προσφέροντας άμεση σύνδεση με τον υπολογιστή για την τροφοδοσία, τον προγραμματισμό και την απασφαλμάτωση κατά την ανάπτυξη του λογισμικού, με την βοήθεια εκτύπωσης μνημάτων, για τον έλεγχο σωστής λειτουργίας και ροής του λογισμικού.

5.3 Σχεδιασμός Πλακέτας Τυπωμένου Κυκλώματος (Custom PCB)

5.3.1 Η Φιλοσοφία της Σχεδίασης και Επιλογή Εξαρτημάτων

Η μετάβαση από το θεωρητικό κύκλωμα σε ένα τελικό, λειτουργικό σύστημα, απαιτούσε την σχεδίαση μια προσαρμοσμένης πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (Custom PCB). Σε ένα περιβάλλον διαδραστικού παιχνιδιού, η ανάγκη για απόκρυψη του εξοπλισμού κάτω από το διπλό πάτωμα της μακέτα μας επέβαλε αυστηρούς χωροταξικούς περιορισμούς.

Για αυτό το λόγο, δηλαδή για την επίτευξη μικρού μεγέθους, επαγγελματικών προδιαγραφών αλλά και σχεδιασμού για παραγωγή (DFM - Design for manufacture). Η χρήση εξαρτημάτων SMD ήτανε μονόδρομος, εκτός από την εξοικονόμηση χώρου, ελαχιστοποιεί τις παρασιτικές αυτεπαγωγές των ακροδεκτών (lead inductance) και βελτιώνει σημαντικά την συμπεριφορά των κυκλωμάτων στις υψηλές συχνότητες. Ωστόσο, για τις συνδέσεις με τα εξωτερικά περιφερειακά (RFID modules, μαγνητικές επαφές, σερβοκινητήρες, LED, κ.α.). Επιλέχθηκαν υποδοχές ελατηρίου (Spring-cage Push Terminals). Αυτές οι κλέμες επιτρέπουν την γρήγορη αλλά ταυτόχρονα και ασφαλή καλωδίωση των αισθητήρων με την φιλοσοφία της αρθρωτής αρχιτεκτονικής (modular).

5.3.2 Κανόνες Δρομολόγησης (Routing) και Διαχείριση Θορύβου (EMI)

Η σχεδίαση (layout) της πλακέτας υλοποιήθηκε σε ειδικό λογισμικό σχεδίασης (EDA – Electronic Design Automation) συγκεκριμένα το EAGLE της εταιρείας Autodesk, ακολουθώντας αυστηρούς βιομηχανικούς κανόνες. Δεδομένου ότι η πλακέτα αξιοποιεί τόσο ψηφιακά σήματα υψηλής ταχύτητας (ESP32, SPI, I2S, I2C, USB) όσο και ευαίσθητα αναλογικά σήματα (ενισχυτής ήχου MAX98357). Η σωστή σχεδίαση των αγωγών (traces) ήταν κρίσιμη για την αποφυγή Ηλεκτρομαγνητικών Παρεμβολών (EMI). Η πλακέτα σχεδιάστηκε σε 4 στρώσεις (Layers), με πολύγωνα γείωσης τόσο στο πάνω (Top Layer) όσο και στο κάτω (Bottom Layer) αλλά και στο πρώτο ενδιάμεσο (Inner1 Layer). Αυτό προσφέρει την ελάχιστη διαδρομή επιστροφής για τα ρεύματα υψηλής συχνότητας (Return path), μειώνοντας δραστικά τον θόρυβο που εκμπεμπουν και τις παρεμβολές από διπλανά σήματα (Crosstalk).[8] Τέλος, τα επίπεδα γείωσης δένονται μεταξύ τους με την χρήση οπών διασύνδεσης (Via stitching), για τη διατήρηση ενός ενιαίου επιπέδου γείωσης.

Έχοντας εντοπίσει πολλές κατασκευαστικές παραλείψεις στα εμπορικά modules (όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4, στην ανάλυση του RDM6300), στην Custom PCB εφαρμόστηκε πολύ αυστηρή απόξευση και φιλτράρισμα του θορύβου σε κάθε ακίδα τροφοδοσίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, με την χρήση κεραμικών πυκνωτών με τιμές 100nF, 1uF και 10uF. Αυτοί τοποθετήθηκαν όσο πιο κοντά γινόταν στις ακίδες τροφοδοσίας. Αυτό απότρεψε βυθίσεις τάσης από τις απότομες απαιτήσεις σε ρεύμα. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις γραμμές του διαύλου SPI (MOSI, MISO, SCK) προς την οθόνη TFT, την κάρτα SD αλλά και το Ethernet IC. Εφόσον είναι και τα πιο ευαίσθητα σήματα επάνω στην πλακέτα. Αποφεύχθηκαν δια ροπάλου γωνίες μεγαλύτερες από 45 μοίρες για την αποτροπή δημιουργίας ανακλάσεων του διαύλου. Επιπλέον διατηρήθηκαν στο ελάχιστο δυνατό μήκος και μακριά από θορυβώδεις σήματα όπως ο δίαυλος I2C και οι γραμμές PWM των σερβοκινητήρων και των LED. Τέλος, η κεντρική παροχή από το παλμικό τροφοδοτικό (5V@3A) αλλά και του LDO (3.3V@3A) συνδέθηκαν απευθείας με οπές διασύνδεσης (Via) με το Inner2 Layer το οποίο ήτανε αποκλειστικά για τον μοιρασμό της τροφοδοσίας σε όλα τα μέρη της πλακέτας που το χρειάστηκαν. Υπολογίστηκαν βάσει των εξισώσεων του προτύπου IPC-2221, παρόλα αυτά σχεδιάστηκαν πολύ μεγαλύτερα, ώστε να αντέχουν το μέγιστο φορτίο κατά την ταυτόχρονη εκκίνηση των σερβοκινητήρων (inrush current) χωρίς να υπερθερμαίνονται. Το μέγεθος του Inner2 Layer σε συνδυασμό με τα συμπαγή επίπεδα γείωσης (Top, Bottom, Inner1) δημιουργούν μια παρασιτική χωρητικότητα. Αυτή η παρασιτική χωρητικότητα (Planar Capacitance) λειτουργεί πρακτικά ως ένας πυκνωτής κατανεμημένος σε όλη την επιφάνεια της

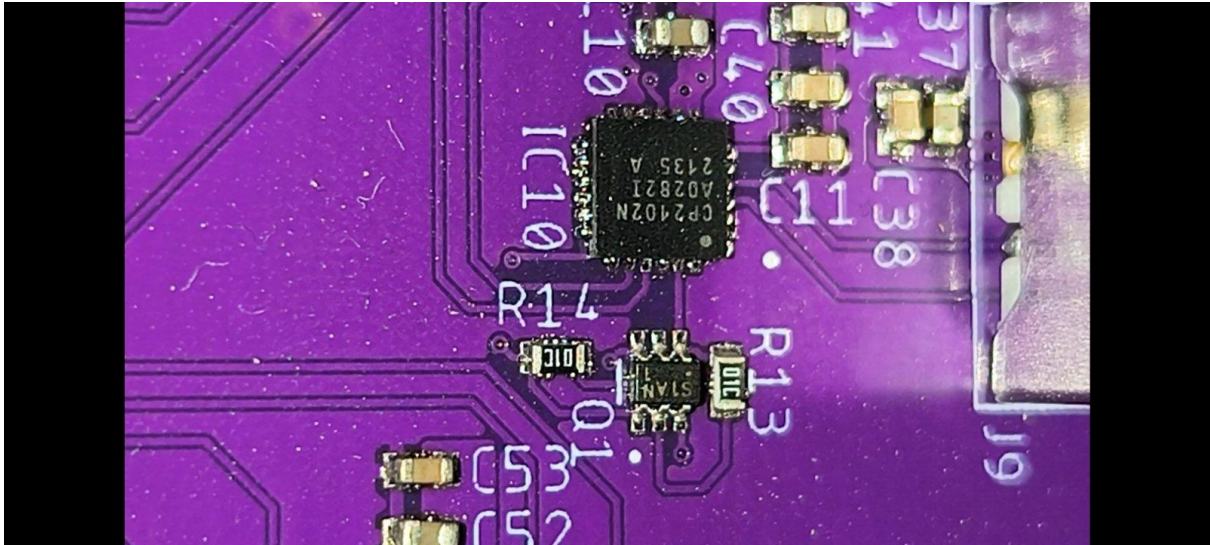
πλακέτας, με αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται ακαριαία στις υψίσυχνες απαιτήσεις ρεύματος από τα περιφερειακά, αποσβένοντας θόρυβο που μπορεί να εισάγουν. Επιπλέον, οι μεγάλες αυτές επιφάνειες μπορούν να χρησιμεύουν και σαν ψήκτρες που διαχέουν γρήγορα αλλά και ομοιόμορφα της θερμικές απώλειες του παλμικού τροφοδοτικού (LM2596) και του ρυθμιστή τάσης (LDO).

5.3.3 Βιομηχανική Παραγωγή και Συναρμολόγηση

Η επαγγελματική προσέγγιση του έργου, λόγω της επαγγελματικής εμπειρίας των συγγραφέων, δεν σταμάτησε στον ψηφιακό σχεδιασμό. Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης και των κατάλληλων ελέγχων με την χρήση σχεδιαστικών κανόνων (Design Rules Check – DRC), παράχθηκαν τα απαραίτητα αρχεία παραγωγής (Gerber Files). Η κατασκευή της πλακέτας δόθηκε σε εξειδικευμένο εργοστάσιο παραγωγής, το PCBWay, το οποίο προσφέρει βιομηχανικά πρότυπα ποιότητας (όπως Enig φινιρίσμα με επίστρωση χρυσού, υψηλής ακρίβειας Solder Mask και Silkscreen). Αυτή η διαδικασία εξασφάλισε ότι η τελική πλακέτα του «Escape Mini» δεν είναι ένα απλό ακαδημαϊκό πρωτότυπο, αλλά ένα ανθεκτικό, αξιόπιστο υλικό (Hardware), το οποίο λόγω της αρθρωτής τους αρχιτεκτονικής θα μπορούσε άνετα να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εφαρμογές πέρα από το πλαίσιο του επιτραπέζιου παιχνιδιού ή του «Escape Mini». Ικανό να λειτουργήσει αδιάλειπτα μέσα στις συνθήκες μιας εγκατάστασης επαγγελματικού δωματίου απόδρασης.

Για την μέγιστη ελαχιστοποίηση του μεγέθους της πλακέτας και την διατήρηση ενός πυκνού πληθυσμού εξαρτημάτων, τα παθητικά εξαρτήματα όπως αντιστάσεις και κεραμικοί πυκνωτές που επιλέχθηκαν ανήκουν στις μικροσκοπικές κλίμακες μεγέθους των 0603 (1.6mm x 0.8mm) και 0402 (1mm x 0.5mm). Εκτός από τα παθητικά εξαρτήματα και τα ενεργητικά εξαρτήματα (Active components – IC's) επιλέχθηκαν προσεκτικά για όσο το δυνατόν μικρότερες διαστάσεις αλλά και τεχνικές συναρμολόγησης (Design for Manufacturing – DFM), ενώ αυξάνουν τον κίνδυνο σφαλμάτων, όπως η δημιουργία βραχυκυκλωμάτων (solder bridges) μεταξύ γειτονικών ακροδεκτών ή θερμικής καταπόνησης των εξαρτημάτων, μειώνουν το κόστος παραγωγής και τον χρόνο συναρμολόγησης εφόσον τέτοιου είδους τεχνικές επιτρέπουν στην συναρμολόγηση από ρομποτικούς βραχίονες (Pick and Place – PnP). Για την υλοποίηση της συναρμολόγησης, χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες τεχνικές επιφανειακής τοποθέτησης (SMT) με την χρήση μεταλικού φύλλου (Stainless Steel Stencil), Η διαδικασία συναρμολόγησης ξεκινάει με την ακριβή τοποθέτηση και ευθυγράμμιση του στένσιλ επάνω στην πλακέτα και την ομοιόμορφη επάλειψη ειδικής πάστας κόλλησης (Solder Paste) με την χρήση μιας σπάτουλας. Η μέθοδος αυτή εξασφάλισε ότι τοποθετήθηκε σωστή ποσότητα της πάστας κόλλησης αποκλειστικά επάνω στις μεταλικές νησίδες (Pads) της πλακέτας. Στην συνέχεια, τα μικροσκοπικά αυτά εξαρτήματα τοποθετήθηκαν με απόλυτη ακρίβεια επάνω στην πάστα κόλλησης με ένα τσιμπιδάκι. Τέλος, η πλακέτα πέρασε από μία διαδικασία (Reflow Soldering) με την εφαρμογή θερμού αέρα από έναν σταθμό κόλλησης θερμού αέρα (Hot Air Soldering Station). Η πάστα έλιωσε ομοιόμορφα με την εφαρμογή της θερμότητας και δημιούργησε τις ενώσεις μεταξύ των μεταλλικών νησίδων με τις ακίδες των

εξαρτημάτων, δίνοντας ένα άψογο και επαγγελματικό οπτικά αποτέλεσμα, όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.3)

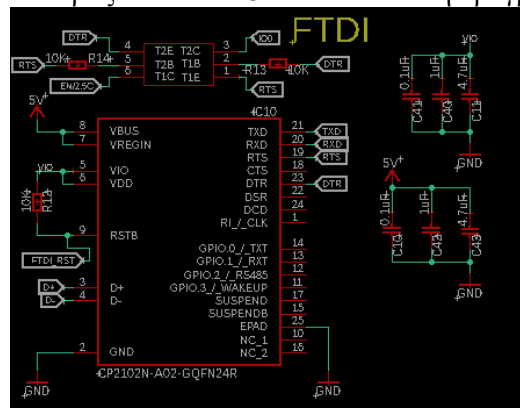


Σχήμα 5.3 Κοντινή φωτογραφία για την επίδειξη των κολλήσεων με την τεχνική του stencil.

5.4 Ανάλυση Σχηματικού Διαγράμματος (Schematic Blocks)

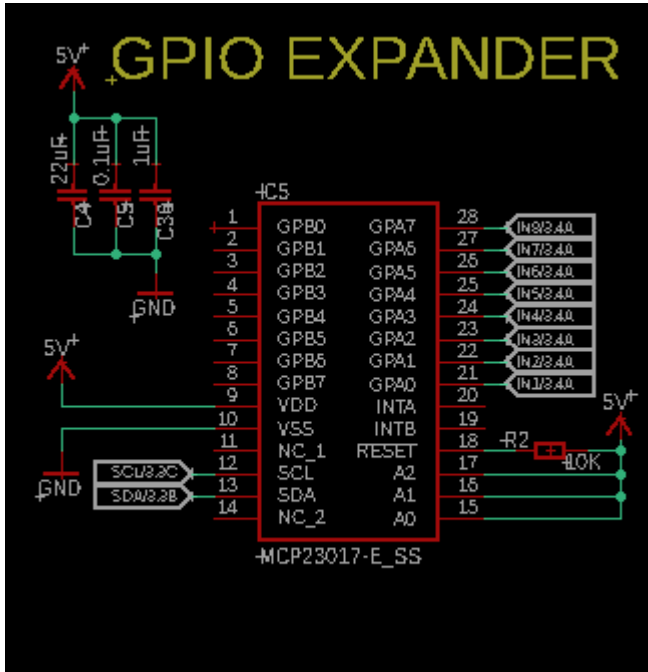
Ο σχεδιασμός της πλακέτα όπως είπαμε και παραπάνω έγινε με λογισμικό αυτοματοποίησης ηλεκτρονικής σχεδίασης (EDA) EAGLE. Για να διατηρηθεί η αναγνωσιμότητα και η οργάνωση, το σχηματικό του κυκλώματος χωρίστηκε σε λογικές λειτουργικές ομάδες, οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω καθορισμένων σημάτων (Nets ή Labels).

Για την επικοινωνία με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή αλλά ταυτόχρονα και τον προγραμματισμό του ESP32 επιλέχθηκε το ολοκληρωμένο CP2102N της Silicon Labs. Το οποίο μετατρέπει το σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας UART σε USB σήματα που μπορούν να διαβαστούν από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επιπλέον, έχει και κύκλωμα αυτόματης επαναφοράς (Auto-Reset) χρησιμοποιώντας τα σήματα DTR και RTS, τα οποία επιτρέπουν το ανέβασμα του firmware χωρίς να απαιτείται το πάτημα των φυσικών κουμπιών Reset και IO0 του ESP32. Αυτόματα με δύο τρανζίστορ όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.4) μετατρέπουμε τα σήματα DTR και RTS στα σήματα Reset και IO0, τα οποία βάζουν το ESP32 σε κατάσταση προγραμματισμού (Flashing mode).

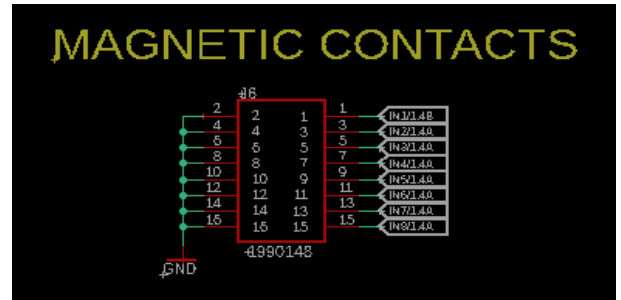


Σχήμα 5.4 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του FTDI.

Το MCP23017 είναι ένας επεκτατής θυρών (I/O Expander), ο οποίος επικοινωνεί μέσω του διαύλου I2C. Οι 16 ψηφιακές θύρες του MCP23017 δρομολογούνται στην κλέμα των Μαγνητικών Επαφών, στην οποία πηγαίνουν εναλλάξ οι συνδέσεις σε γείωση και I/O για 8 μαγνητικές επαφές, οι οποίες κουμπώνουν απευθείας, απλουστεύοντας έτσι την περιπλοκότητα της καλωδίωσης. Όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.5 & Σχήμα 5.6)

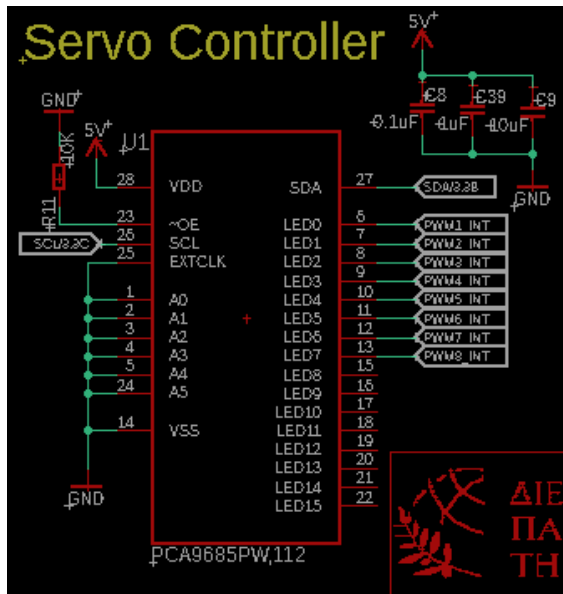


Σχήμα 5.5 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του GPIO Expander.

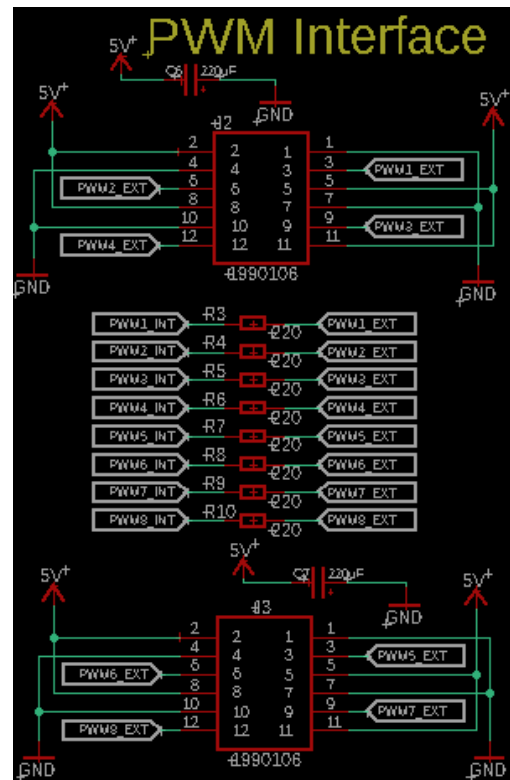


Σχήμα 5.6 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του Interface του GPIO Expander.

Με παρόμοια λογική λειτουργεί και το PCA9685. Επικοινωνεί επίσης μέσω του διαύλου I2C. Κάποιες από τις 16 ψηφιακές θύρες του οδηγούνται αυτή τη φορά στην κλέμα PWM Interface στην οποία έχουμε εναλλάξ μία 5V τροφοδοσία, ένα σήμα PWM και μία γείωση, όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.8). Αυτή η ακολουθία επιτρέπει το κούμπωμα ενός σερβοκινητήρα με πολύ απλό τρόπο και ταυτόχρονα επιτρέπει την σύνδεση και άλλων περιφερειακών έχοντας την ευλυγισία είτε να τροφοδοτηθεί το περιφερειακό με 5V και το σήμα PWM να λειτουργεί σαν γείωση (sinking current), είτε να γειωθεί το περιφερειακό με την γείωση GND και το σήμα PWM να λειτουργεί σαν τροφοδοσία του περιφερειακού (sourcing current). Επιπλέον έχουν προστεθεί και αντιστάσεις σε σειρά με τα σήματα PWM της τάξης των 220Ω, όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.7), οι οποίες περιορίζουν το ρεύμα και εξασφαλίζουν την οδήγηση μικροσερβοκινητήρων ή άλλων περιφερειακών (όπως π.χ. ένα LED) χωρίς εξωτερικά παθητικά εξαρτήματα, απλουστεύοντας την σύνδεση τους και διασφαλίζοντας ότι δεν θα «καεί» κάποια από τις ακίδες του ολοκληρωμένου με κάποια λάθος σύνδεση ή βραχυκύκλωμα.

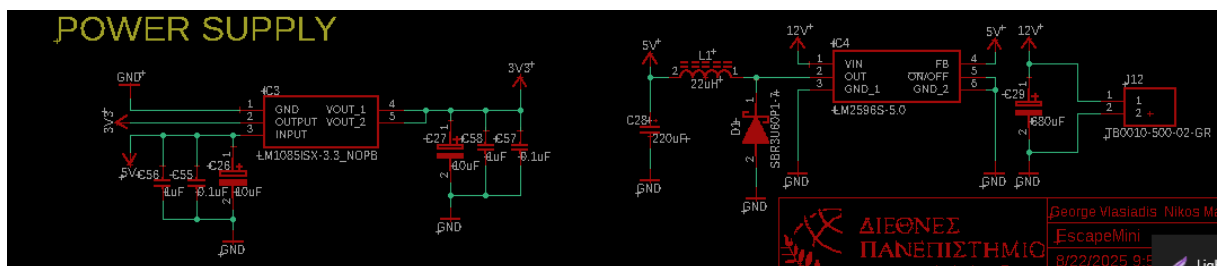


Σχήμα 5.7 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του PWM Expander.

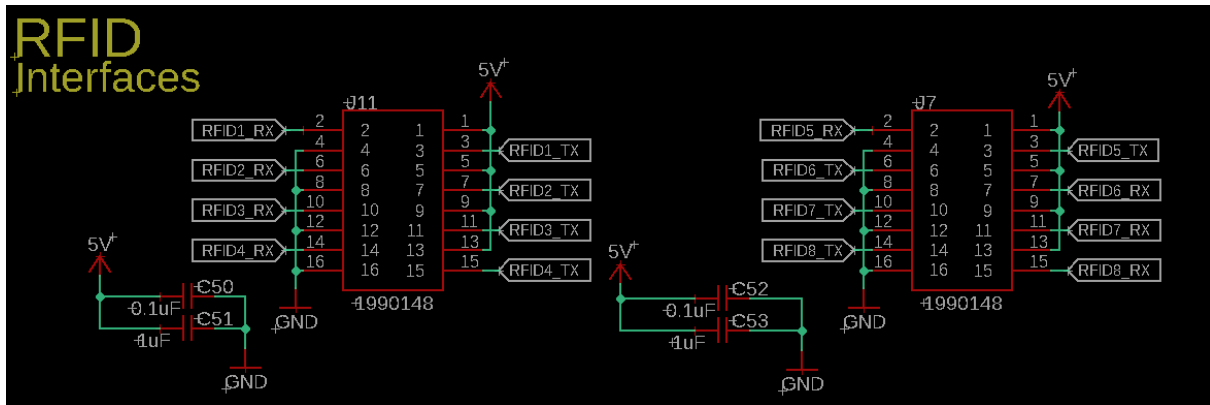


Σχήμα 5.8 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του Interface του PWM Expander.

Εν συνεχεία, το σύστημα απαιτεί μία ειδική διαχείριση της ισχύος, εφόσον το σύστημα τροφοδοτείται με μία κεντρική τάση εισόδου 12V. Η ρύθμιση της ισχύος εκτελείται σε δύο στάδια. Αρχικά, ένας μετατροπέας υποβιβασμού τάσης (Buck Converter) βασισμένος στο ολοκληρωμένο LM2596S-5.0, μειώνει αποδοτικά τα 12V στα 5V, παρέχοντας ρεύμα έως 3A για τις πιο απαιτητικές συσκευές από άποψη ενέργειας όπως οι σερβοκινητήρες, ο ενισχυτής ήχου και τα RFID. Έπειτα, ένας ισχυρός γραμμικός ρυθμιστής (LDO LM1085ISX – 3.3) μετατρέπει τα 5V σε 3.3V, εξασφαλίζοντας μία απόλυτη τροφοδοσία χωρίς κυματισμό (ripple) για τα ευαίσθητα ψηφιακά κυκλώματα όπως είναι το ESP32 και το Ethernet. Διότι, συγκεκριμένα το ESP32 μπορεί να κάνει κάποιες κορυφές ρεύματος (Peak current) ίσες με 2A όταν γίνεται χρήση του WiFi και η αποστολή μεγάλου όγκου δεδομένων μέσω αυτού. Τα δύο αυτά τροφοδοτικά φαίνονται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.9).

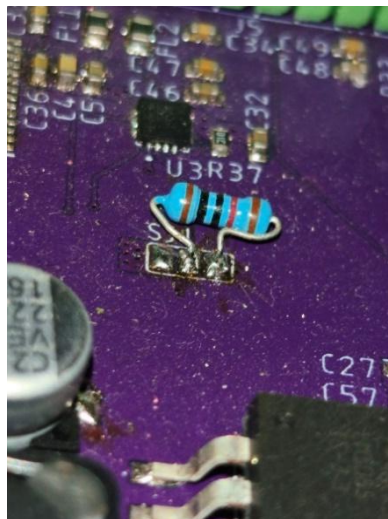


Σχήμα 5.9 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του τροφοδοτικού.



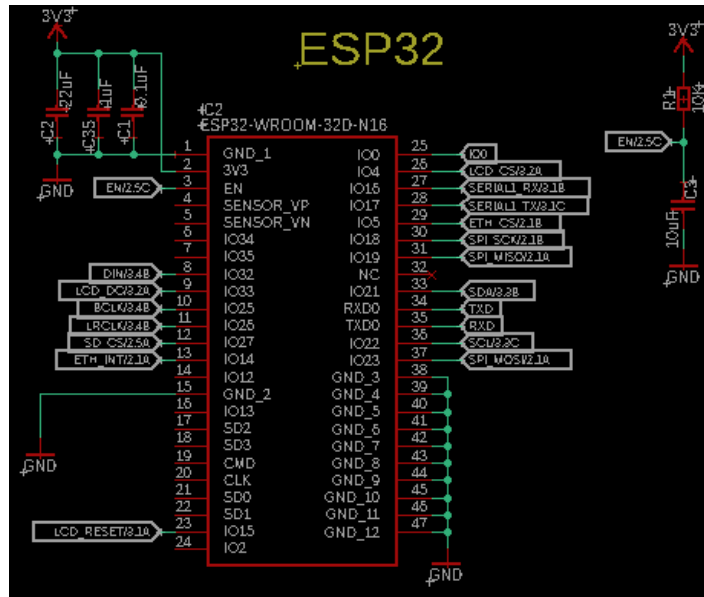
Σχήμα 5.11 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του Interface του Multiplexer.

Άλλο ένα πολύ σημαντικό ολοκληρωμένο το οποίο χρησιμοποιήθηκε, είναι ο ψηφιακός ενισχυτής ήχου (MAX98357A) της Analog Devices, το οποίο λαμβάνει ψηφιακά δεδομένα ήχου μέσω του διαύλου I2S (BCLK, DIN, LRCLK). Η έξοδος του φιλτράρεται και καταλήγει στις ακίδες σύνδεσης του Subwoofer (AMP_OUTP και AMP_OUTN). Το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε είχε ως κύριο σκοπό το φιλτράρισμα πολύ υψηλών συχνοτήτων της τάξης του 1MHz, αυτό γιατί τέτοιες συχνότητες δεν είναι ήχος, οι συχνότητες ήχου κυμαίνονται από 20Hz μέχρι 20kHz. Επιπλέον, όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.12), η ακίδα GAIN_SLOT έχει οδηγηθεί σε έναν «SMD Jumper» ο οποίος επέτρεψε στους συγγραφείς να ρυθμίσουν την τιμή του «κέρδους» (GAIN), Η οποία με την σειρά της ρυθμίζει και την ένταση με την οποία παίζουν τα ηχητικά. Με αυτόν τον τρόπο μπόρεσαν οι συγγραφείς μέσα από δοκιμές να διαλέξουν την κατάλληλη τιμή του κέρδους. Η οποία ορίστηκε στο μέγιστο. [10] Χρησιμοποιώντας μία αντίσταση 100KΩ η οποία συνδέει την ακίδα GAIN_SLOT με την γείωση του συστήματος, ορίζοντας το GAIN συγκεκριμένα στα 15dB, όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.12).



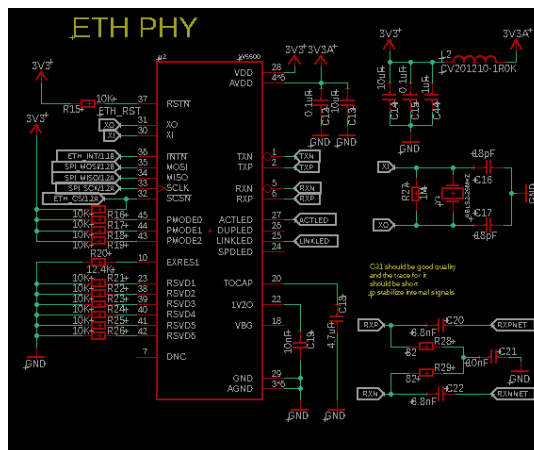
Σχήμα 5.12 Φωτογραφία από την αντίσταση με το οποία ορίζεται το Gain επάνω στην προσαρμοσμένη πλακέτα.

Όλα αυτά τα περιφερειακά που αναφέρονται στο παρόν κεφάλαιο, καταλήγουν στον κεντρικό επεξεργαστή, όπως φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.13).



Σχήμα 5.13 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του ESP32.

Τέλος, άξιο αναφοράς είναι το σύστημα επικοινωνίας Ethernet (ETH PHY). Το οποίο προστέθηκε προαιρετικά, αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε από τους συγγραφείς και δημιουργούς του συστήματος. Για την πιθανή χρήση πολλαπλών πλακετών τυπωμένου κυκλώματος (Custom PCB), αυτού του συστήματος οι οποίες θα συγκεντρώνουν απλά τα δεδομένα και θα τα στέλνουν μέσω Ethernet, με ένα πρωτόκολλο διαχείρισης μηνυμάτων τύπου MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Όπου μετέπειτα ένας κεντρικός υπολογιστής (Server), θα τα επεξεργάζεται και θα εκτελεί τις κατάλληλες ενέργειες. Προβλέποντας έτσι την μελλοντική κλιμάκωση (Scalability) της μακέτας σε μεγαλύτερη εγκατάσταση, προσφέροντας εξαιρετικά σταθερή και αξιόπιστη ενσύρματη επικοινωνία. Το κύκλωμα του συγκεκριμένου ολοκληρωμένου IC φαίνεται και στην εικόνα παρακάτω (Σχήμα 5.14).



Σχήμα 5.14 Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα σχεδίασης Eagle της Autodesk, όπου φαίνεται το κύκλωμα του Ethernet Phy.

5.5 Υλοποίηση Λογισμικού (Firmware)

5.5.1 Περιβάλλον Ανάπτυξης και Γλώσσα Προγραμματισμού

Η ανάπτυξη του λογισμικού (firmware) του μικροελεγκτή ESP32 υλοποιήθηκε στην γλώσσα προγραμματισμού C++. Η επιλογή της C++ αποτελεί το βιομηχανικό πρότυπο στον προγραμματισμό ενσωματωμένων συστημάτων (embedded systems, αλλά και η πρώτη επιλογή της κοινότητας όπου υπάρχει και η μεγαλύτερη υποστήριξη από την κοινότητα με βιβλιοθήκες και ανοιχτού κώδικα, αυτό την καθιστά λοιπόν ιδανική για το συγκεκριμένο project, αφού προσφέρει ιδανικό συνδυασμό χαμηλού επιπέδου ελέγχου (απαραίτητο για τη διαχείρισης καταχωριστών και μνήμης) και του αντικειμενοστρεφούς προγραμματισμού (OOP – Object Oriented Programming) για την οργανωμένη διαχείρισης των περιφερειακών. Ως ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) χρησιμοποιήθηκε το Visual Studio Code (VS Code) σε συνδυασμό με την επέκταση PlatformIO. Το οποίο αποτελεί ένα ισχυρό, επαγγελματικό εργαλείο που είναι κλάσεις ανώτερο από το παραδοσιακό Arduino IDE. Καθώς προσφέρει προηγμένη διαχείριση εξαρτήσεων (Dependency management) και της αυτόματης ενσωμάτωσης εξωτερικών βιβλιοθηκών, εξασφαλίζοντας ότι ο κώδικας μεταγλωττίζεται ανεξαρτήτως του υπολογιστή ανάπτυξης. Κάποιες από αυτές τις βιβλιοθήκες οι οποίες ήταν πυλώνες της ανάπτυξης του λογισμικού του ψηφιακού επιτραπέζιου παιχνιδιού, είναι η ESPAsyncWebServer, ArduinoJson, και η σημαντικότερη από όλες η TFT_eSPI.

5.5.2 Αρχιτεκτονική Λογισμικού: Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων (FSM)

Σε ένα σύστημα όπως αυτό του «Escape Mini». Το οποίο απαιτεί τη συνεχή παρακολούθηση πολλαπλών αισθητήρων (RFID, μαγνητικές επαφές) και ταυτόχρονα την αναπαραγωγή οπτικοακουστικού υλικού, Η συνηθισμένη σειριακή εκτέλεση του κώδικα και η χρήση συναρτήσεων όπως η delay() είναι κατηγορηματικά απαγορευτική. Τέτοιες πρακτικές «παγώνουν» τον επεξεργαστή, καταστρέφοντας την άμεση απόκριση του συστήματος στις ενέργειες των παικτών. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, αλλά και της σωστής επαγγελματικής γραφής κώδικα. Η κεντρική λογική του παιχνιδιού σχεδιάστηκε αποκλειστικά γύρω από την αρχιτεκτονική της Μηχανής Πεπερασμένων Καταστάσεων (Finite State Machine – FSM). Κατά την οποία και σύμφωνα με αυτήν, ο αλγόριθμος δεν εκτελείται γραμμικά. Αντιθέτως, το σύστημα βρίσκεται ανά πάσα ώρα και στιγμή σε μία και μόνο προκαθορισμένη «Κατάσταση» (State). Όπου η μετάβαση από την μία κατάσταση στην επόμενη (State Transition) πραγματοποιείται αποκλειστικά όταν ικανοποιηθούν, οι συγκεκριμένες συνθήκες ενεργοποίησης (Triggers), όπως π.χ. (η ταυτοποίηση του σωστού κωδικού (ID) από ένα RFID Tag.)

Οι καταστάσεις της μηχανής λογισμικού ταιριάζουν απόλυτα με τα στάδια του σεναρίου (Stages 0 έως 7) που αναλύθηκαν εκτεταμένα στο Κεφάλαιο 4. Πιο συγκεκριμένα, στην κατάσταση State 0 (Idle), το σύστημα βρίσκεται σε αναμονή, σαρώνει τις μαγνητικές επαφές (μέσω I2C και MCP23017) και αναπαράγει τον ατμοσφαιρικό ήχο, διαβάζοντας το αρχείο από την κάρτα SD και δρομολογώντας τα ηχητικά αυτά δεδομένα στον ψηφιακό ενισχυτή (MAX98357). Στις επόμενες καταστάσεις επίλυσης των γρίφων (State 1 έως 5), ο κώδικα ελέγχει συστηματικά τον αναλογικό πολυπλέκτη MAX14661. Σαρώνει διαδοχικά τα RDM6300, διαβάζει τα εισερχόμενα δεδομένα του σειριακού πρωτοκόλλου επικοινωνίας (UART), τα επαληθεύει και σιγουρεύεται ότι έχει λάβει το σωστό ID του RFID Tag. Εφόσον είναι σωστά, προωθεί την FSM. παράλληλα, στέλνει ασύγχρονες εντολές στο PCA9685 για την περιστροφή των σερβοκινητήρων και ανανεώνει την οθόνη TFT LCD μέσω της σειριακής παράλληλης επικοινωνίας (SPI). Τέλος, στην τελική κατάσταση State 7 (Victory), το σύστημα κλειδώνει αποτρέποντας περαιτέρω αλληλεπιδράσεις. Ενώ ταυτόχρονα αναπαράγει το ηχητικό αρχείο της νίκης μέσω του, πρωτοκόλλου επικοινωνίας I2S. Τέλος, με την επόμενη επανεκκίνηση του συστήματος, (είτε μέσω του κουμπιού reset είτε αλληλεπιδρώντας ξανά με το

τρίγωνο σύμβολο του αλχημιστή), με το οποίο και ξεκινάει το παιχνίδι. Στέλνει εντολή για την αρχικοποίηση όλων των καταστάσεων και ξανά κλειδώνει τα σεντούκια έτσι ώστε να μπορέσει να παίξει η επόμενη ομάδα η παίκτης.

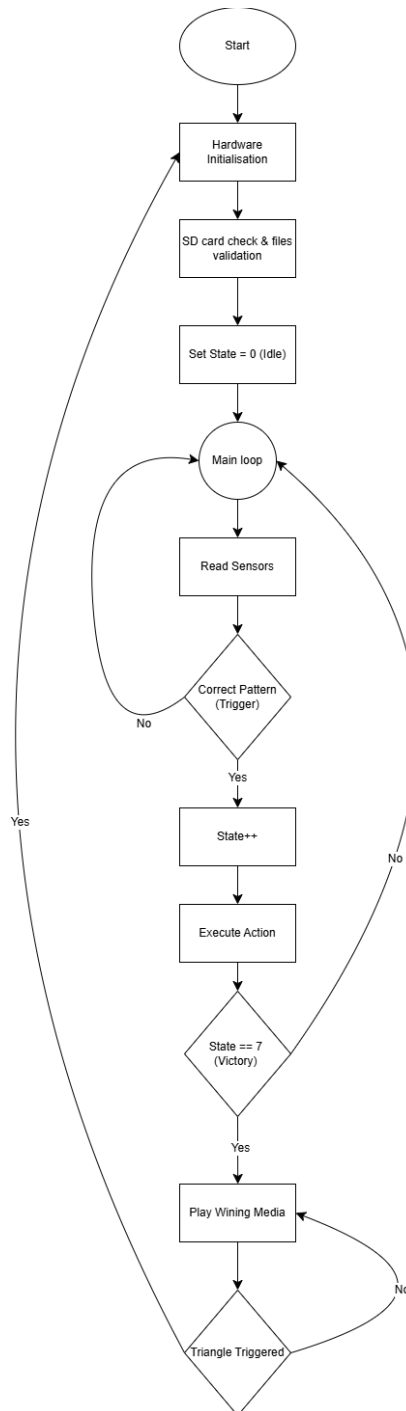
5.5.3 Στρατηγική Διπλού Λογισμικού: Λογισμικό Εγκατάστασης και Απασφαλμάτωσης (Debug Firmware).

Η ανάπτυξη και υλοποίηση ενός τόσο πολύπλοκου συστήματος όπως το «Escape Mini» που επικοινωνεί με τον φυσικό κόσμο, δυσκόλεψε αρκετά τους συγγραφείς με τεράστιες πρακτικές προκλήσεις. Η εύρεση των σωστών θέσεων των κεραιών των RFID modules που βρίσκονται κάτω από το ξύλινο πάτωμα, όπου διαβάζουν επιτυχώς και αξιόπιστα τις ετικέτες RFID Tag, καθώς και εύρεση των σωστών γωνιών σε μοίρες για τον άξονα εξόδου των μικροσερβοκινητήρων, αλλά και η ρύθμιση του φωτισμού, των εφέ, του οπτικοακουστικού υλικού. Απαιτούν συνεχή ρύθμιση, για να ξεπεραστεί αυτό το κατασκευαστικό εμπόδιο, η ανάπτυξη του κώδικα χωρίστηκε σε δύο διακριτούς κώδικες. Ο ένας από αυτούς αναπτύχθηκε, ως ένα εξειδικευμένο «Λογισμικό Εγκατάστασης και Απασφαλμάτωσης» (Debug/Diagnostic Firmware), το οποίο φορτώνεται στην πλακέτα αποκλειστικά κατά την διάρκεια της ανάπτυξης και υλοποίησης του σεναρίου στον φυσικό κόσμο. Το συγκεκριμένο λογισμικό εκμεταλλεύεται πλήρως, της δυνατότητας WiFi του ESP32 και την ικανότητα χρήσης της αρχιτεκτονικής FreeRTOS για να δημιουργήσει έναν ασύγχρονο, ενσωματωμένο διακομιστή (Web Server). Με την βοήθεια της βιβλιοθήκης ESPAsyncWebServer. Εφόσον, η πλακέτα συνδεθεί στο τοπικό δίκτυο του εργαστηρίου, ο εγκαταστάτης ή σχεδιαστής μπορεί να ανοίξει την διεύθυνση IP του συστήματος από οποιαδήποτε συσκευή με την δυνατότητα εκτέλεσης οποιουδήποτε προγράμματος περιήγησης. Ο ESP32 «σερβίρει» μια ειδικά σχεδιασμένη διεπαφή χρήστη (UI – User Interface), βασισμένη σε HTML/CSS/JS, η οποία επικοινωνεί δυναμικά με τον μικροελεγκτή μέσω RESTful API και μορφοποίησης JSON. Σε αυτή την διεπαφή δίνεται η ικανότητα απόλυτου ελέγχου από τον εγκαταστάτη ή σχεδιαστή σε πραγματικό χρόνο, κάνοντας την ρύθμιση που είπαμε παραπάνω «παιχνιδάκι». Πιο συγκεκριμένα, με την μορφή 16 τετραγώνων, γίνεται δυνατή η οπτικοποίηση των 16 θυρών του MCP23017 για τον άμεσο έλεγχο των μαγνητικών επαφών αλλά και την σωστή τοποθέτηση των φυσικών αντικειμένων (Props). Όπου παράλληλα εμφανίζονται και οι τιμές των ID's που διαβάζονται από τις κεραιές RFID μέσω του πολυπλέκτη (MAX14661). Λίγο πιο κάτω, υπάρχουν ψηφιακές διακόπτες ελέγχου (sliders), όπου ο χρήστης μπορεί να μεταβάλει τις τιμές των PWM (από 0 έως 4095) στον επεκτατή PCA9685, μέσω το οποίου ρυθμίζεται αντίστοιχα και η γωνία του άξονα εξόδου του εκάστοτε σερβοκινητήρα, αλλά και της φωτεινότητας των LED που είναι επίσης συνδεδεμένα σε αυτόν. Αυτό, επέτρεψε την ακριβής εύρεση της τιμής του PWM που χρειάζεται για το κλειδίωμα και ξεκλειδίωμα των σεντουκιών. Χωρίς όμως να χρειάζεται συνεχώς να μεταγλωττιστεί ξανά ο κώδικας. Ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα αυτής της επιλογής του διπλού λογισμικού, ήταν η ασύρματη διαχείριση των πολυμέσων. Η διεπαφή επιτρέπει την ανάγνωση αλλά και αναπαραγωγή των περιεχομένων της κάρτα MicroSD και την άμεση εκτέλεση δοκιμών. Το πιο εντυπωσιακό όμως χαρακτηριστικό, ωστόσο, είναι η δυνατότητα ασύρματης μεταφόρτωσης (upload) νέων αρχείων εικόνας και ήχου απευθείας στην κάρτα SD μέσω του Web UI. Αυτό επέτρεψε την αποφυγή για την ανάγκη της φυσικής αφαίρεσης της κάρτας από την κλειστή και συχνά δύσκολη στην πρόσβαση πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (Custom PCB), απλουστεύοντας δραματικά τη διαδικασία ανάπτυξης του παιχνιδιού.

Αφού λοιπόν ολοκληρωθεί η σχεδίαση και η υλοποίηση, καταγραφούν οι σωστές τιμές των PWM και επαληθευτεί η ανάγνωση των φυσικών αντικειμένων (props), το Λογισμικό απασφαλμάτωσης αντικαθίσταται οριστικά από το Λογισμικό της Κύριας Λειτουργίας (Gameplay Firmware).

5.5.4 Διάγραμμα Ροής Λογισμικού (Software Flowchart)

Η αλγοριθμική ροή του κύριου βρόχου (main loop) της εφαρμογής απεικονίζεται στο παρακάτω Διάγραμμα Ροής (Σχήμα 5.15). Όπως διακρίνεται λοιπόν στο διάγραμμα ροής, η αρχιτεκτονική βασίζεται σε έναν συνεχή, μη εμποδίζοντα (non-blocking) βρόχο ελέγχου. Η χρήση της συνάρτησης millis() επιτρέπει στο σύστημα να μετράει τον χρόνο των παικτών σε κάθε βήμα του σεναρίου και να υπολογίζει αν χρειάζεται να του δοθεί βοήθεια (Hint), καθώς ο μικροελεγκτής μπορεί ταυτόχρονα να μετράει τον χρόνο αδράνειας των παικτών και να ελέγχει αν έχει αλλάξει η κατάσταση των αισθητήρων, χωρίς να διακόπτεται κύρια λειτουργία του υπόλοιπου συστήματος όπως η αναπαραγωγή ήχου.



Σχήμα 5.15 Διάγραμμα ροής του κώδικα

Κεφάλαιο 6^ο Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

6.1 Υλοποίηση Λογισμικού (Firmware)

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως πρωταρχικό στόχο την σχεδίαση, ανάπτυξη και υλοποίηση ενός διαδραστικού επιτραπέζιου παιχνιδιού απόδρασης (Escape Room), με το όνομα «Escape Mini». Μέσα από την έρευνα και τις άπειρες προσπάθειες των συγγραφέων στην πράξη, επιτεύχθηκε το πάντρεμα της παραδοσιακής φυσικής ψυχαγωγίας ενός επιτραπέζιου παιχνιδιού με τις σύγχρονες τεχνολογίες των ενσωματωμένων συστημάτων (Embedded Systems). Το αποτέλεσμα στο τέλος, ήταν ένα πλήρως λειτουργικό πρωτότυπο (Proof of Concept), το οποίο αποδεικνύει ότι η πολυπλοκότητα, οι αυτοματισμοί και η θεαματικότητα ενός πλήρως μεγέθους δωματίου απόδρασης (Escape Room), μπορεί να συμπυχθεί επιτυχώς σε μίας μικρότερης κλίμακας επιτραπέζιας μακέτας, και γιατί όχι και την ενσωμάτωση άλλων παιχνιδιών, εκπαιδευτικού χαρακτήρα για μικρότερες κυρίως ηλικίες, όπου θα μαθαίνουν παίζοντας και αλληλοεπιδρώντας με έναν χώρο η ένα τραπέζι.

Από την δημιουργία του αφηγηματικού σεναρίου και τον σχεδιασμό των 3D εκτυπωμένων φυσικών αντικειμένων (Props), που φέρανε αυτό το φανταστικό κόσμο στην πραγματικότητα. Έως και την ανάπτυξη μια προσαρμοσμένης πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (Custom PCB) τεσσάρων στρώσεων και την συγγραφή πολύπλοκου ασύγχρονου λογισμικού, το έργο κάλυψε όλο το φάσμα της σύγχρονης ηλεκτρονικής μηχανικής και τον κλάδο των ενσωματωμένων ηλεκτρονικών που τόσο πολύ αγαπήθηκε και από τους δύο συγγραφείς.

6.2 Τεχνικά Συμπεράσματα

Η διαδικασία ανάπτυξης του «Escape Mini», αποκάλυψε σημαντικές τεχνικές προκλήσεις, η οποίες δεν ήταν κάτι καινούργιο για τους συγγραφείς, λόγω της πολυετής ασχολίας με το συγκεκριμένο αντικείμενο, μέσα από την εργασία τους σε μια κατασκευαστική εταιρεία που κάνει ακριβώς αυτό. Η διαδικασία λοιπόν ανάπτυξης του «Escape Mini», οδήγησε τους συγγραφείς σε πολύτιμα συμπεράσματα, όπως την χρήση της πολυπλεξίας εφόσον αποδείχθηκε στην πράξη ότι ο περιορισμός των σειριακών θυρών (UART) στους μικροελεγκτές και συγκεκριμένα στον ESP32, είναι περιορισμένη στα 3 πρωτόκολλα επικοινωνίας, το οποίο όμως δεν είναι ένα αξεπέραστο εμπόδιο, εφόσον η καινοτομία της χρήσης του αναλογικού πολυπλέκτη MAX14661 για την σάρωση πολλαπλών αναγνωστών RFID αποτέλεσε μια εξαιρετικά αποδοτική και αξιόπιστη λύση. Τέλος η χρήση τεχνικών όπως αυτή της μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων (FSM) αλλά και τεχνικές όπως αυτή του multitasking με την χρήση multithreading, χρησιμοποιώντας δηλαδή έναν πυρήνα του ESP32 για μία παράλληλη εργασία, όσο ο άλλος πυρήνας εκτελεί πολύ πιο σημαντικό κώδικα, ο οποίος δεν πρέπει να σταματήσει, για να διατηρήσει την εμπύθιση «immersion» των παικτών στο παιχνίδι. Επιπρόσθετα, η στρατηγική του «Διπλού Λογισμικού» (με τη δημιουργία ενός ξεχωριστού Debug Firmware με Web UI) επιτάχυνε δραματικά τον χρόνο απασφαλμάτωσης.

6.3 Αξιολόγηση και Εμπειρία Παικτών (Playtesting)

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών του συστήματος (playtesting), επιβεβαιώθηκε η στιβαρότητα της κατασκευής, η ταυτοποίηση των αντικειμένων, η οποία πραγματοποιήθηκε με ευκολία και ακρίβεια μέσα από το ξύλινο δάπεδο χωρίς όμως να γίνονται αντιληπτοί οι αισθητήρες από τους παίκτες, ενώ παράλληλα, η οπτικοακουστική αναπαραγωγή ξεπέρασε κατά πολύ τις προσδοκίες. Το ανακυκλωμένο ηχείο (subwoofer), εκμεταλλεύομενο τον κενό χώρο της μακέτας ως κουτί ηχείου, σε συνδυασμό με τον ενισχυτή κλάσης D (MAX98357), απέδωσε καθαρό και βαθύ ήχο, κάτι που ξάφνιασε και τους δύο συγγραφείς, εφόσον περίμεναν ότι δεν θα κυλίσει τόσο ομαλά και ότι θα καταλήξουν να αφαιρέσουν

τον ήχο εντελώς, ο οποίος στην αρχή ήταν προαιρετικός. Τέλος, η οθόνη TFT LCD ενσωματώθηκε άριστα στο σενάριο ως το «Ημερολόγιο του Alarion», καθοδηγώντας τους χρήστες έξυπνα και αποτρέποντας τα αδιέξοδα στους γρίφους, χωρίς να καταστρέφει το αίσθημα της ανακάλυψης.

6.4 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η αρθρωτή σχεδίαση του συστήματος (modular), κυρίως στο επίπεδο του υλικού, αφήνει τεράστια περιθώρια για μελλοντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις. Όπως την δικτύωση και κεντρική διαχείριση (IoT Integration). Παρόλο που το σύστημα λειτουργεί αυτόνομα, η πλακέτα διαθέτει ήδη ενσωματωμένο τον ελεγκτή Ethernet (W5500). Μια μελλοντική επέκταση θα μπορούσε να αξιοποιήσει αυτή τη θύρα για την σύνδεση πολλαπλών κόμβων (nodes), σε ένα τοπικό δίκτυο. Μέσω πρωτοκόλλων όπως το MQTT, ένας κεντρικός διακομιστής (Server) θα μπορούσε να παρακολουθεί τον χρόνο της κάθε ομάδας, να δίνει αυτόματοποιημένα hints ή να καταγράφει στατιστικά στοιχεία για την δυσκολία των γρίφων, μετρώντας τον χρόνο που ξοδεύουν οι ομάδες σε κάθε στάδιο του σεναρίου. Η ύπαρξη του τεράστιου αριθμού ακίδων με την χρήση επεκτατών και πολυπλεκτών, δίνουν στο σύστημα την εύκολη επεκτασιμότητα (Scalability), σε μία πληθώρα διάφορων αισθητηρίων όπως αισθητήρες φωτός, αισθητήρες απόστασης (ToF), δημιουργώντας νέους, ακόμα πιο περίπλοκους γρίφους. Επιπλέον, μετά την διαπίστωση της ποιότητας του RFID module από τους συγγραφείς, συμφωνήθηκε ότι θα ήταν φρόνιμο να σχεδιαστεί και να αναπτυχθεί ένα δικό τους RFID Module, το οποίο εκτός του ότι θα ταίριαζε καλύτερα και θα συνεργαζόταν καλύτερα με το σύστημα τους. Θα ήταν και πολύ πιο αξιόπιστο και εύχρηστο. Η απουσία ενός σήματος reset από το κινέζικο αυτό RFID module (RDM6300), το καθιστά άχρηστο, αν δύο κεραίες έρθουν πολύ κοντά μεταξύ τους, διότι λόγω των παρεμβολών που δημιουργούν η μία στην άλλη, μειώνεται δραματικά η εμβέλεια τους. Αν υπήρχε λοιπόν ένα σήμα reset το οποίο θα μπορούσε το σύστημα να κρατάει, όσο το διπλανό RFID module διαβάξει, θα εξάλειφε εντελώς αυτό το φαινόμενο. Τέλος, με την πλήρη αξιοποίηση του WiFi του ESP32, θα μπορούσε να επιτρέψει αναβαθμίσεις (Firmware update) Over-The-Air (OTA) ενημερώσεις. Αυτό θα επέτρεπε την διόρθωση σφαλμάτων ή την αλλαγή του σεναρίου χωρίς την ανάγκη φυσικής σύνδεσης της πλακέτας με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

6.5 Επίλογος

Με την ολοκλήρωση του «Escape Mini», διαπιστώθηκε ότι η διασταύρωση των ηλεκτρονικών και της τεχνολογίας με την ψυχαγωγία μπορεί να παράγει καινοτόμα αποτελέσματα. Το έργο δεν αποτέλεσε απλώς μια ακαδημαϊκή άσκηση εφαρμογής μικροελεγκτών και ενσωματωμένων συστημάτων, αλλά μια ολοκληρωμένη προσομοίωση της ανάπτυξης ενός βιομηχανικού προϊόντος (Product Design and Manufacturing). Από την ανάπτυξη της ιδέας, τον μηχανολογικό και ηλεκτρονικό σχεδιασμό, μέχρι τη βιομηχανική παραγωγή, τη συναρμολόγηση και τον προγραμματισμό, περίπλοκων συστημάτων και υποσυστημάτων, δημιουργώντας γερά θεμέλια για μελλοντικές και επαγγελματικές αναζητήσεις στον ραγδαία ανερχόμενο και αναπτυσσόμενο χώρο των έξυπνων παιχνιδιών και του Internet of Things (IoT).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Espressif Systems, "ESP32-WROOM-32D / ESP32-WROOM-32U Datasheet," [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32d_esp32-wroom-32u_datasheet_en.pdf
- [2] Xplored, "Teburu System - The seamless evolution of board games," [Online]. Available: <https://www.teburu.net/>
- [3] M. Milton, "RDM6300 125KHz RFID Reader Hardware Analysis," *cnblogs.com*, 2021. [Online]. Available: <https://www.cnblogs.com/milton/p/14779242.html>
- [4] Wikipedia, "Envelope detector," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Envelope_detector
- [5] Littelfuse, "59170 Series - Miniature Overmolded Reed Switch," Datasheet. [Online]. Available: <https://www.littelfuse.com/products/sensors/fluid-level-position-sensors/reed-switches/59170/59170-1-u-00-d>
- [6] TowerPro, "SG90 9 g Micro Servo," Datasheet. [Online]. Available: <http://www.towerpro.com.tw/product/sg90-7/>
- [7] Ilitek, "ILI9341 - a-Si TFT LCD Single Chip Driver," Datasheet. [Online]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf>
- [8] Sierra Circuits (ProtoExpress), "Current Return Path and Signal Integrity," [Online]. Available: <https://www.protoexpress.com/blog/current-return-path-signal-integrity>
- [9] Microchip Technology, "MCP23017 - 16-Bit I2C I/O Expander with Serial Interface," Datasheet. [Online]. Available: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001952C.pdf>
- [10] NXP Semiconductors, "PCA9685 - 16-channel, 12-bit PWM Fm+ I2C-bus LED controller," Datasheet. [Online]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCA9685.pdf>
- [11] Prom.ua, "Subwoofer Speaker EDF 106-9," [Online]. Available: <https://prom.ua/ua/p1626210599-dinamik-sabvufera-edf.html>
- [12] Analog Devices, "MAX14661: 16:2 Beyond-the-Rails Multiplexer," Datasheet. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX14661.pdf>
- [13] Analog Devices, "MAX98357A/MAX98357B: PCM Input Class D Audio Power Amplifiers," Datasheet. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max98357a-max98357b.pdf>
- [14] Silicon Labs, "CP2102N - USB to UART Bridge Datasheet," [Online]. Available: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/cp2102n-datasheet.pdf>
- [15] Texas Instruments, "LM2596 SIMPLE SWITCHER Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator," Datasheet. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>