

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ RFID ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΤΟΝ
ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ AVR

ΒΕΡΕΜΗ ΧΡΙΣΤΙΝΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δόλλας Απόστολος

Χανιά 2014

Εξεταστική Επιτροπή

- | | |
|---------------------------|----------------|
| ▪ Δόλλας Απόστολος | Καθηγητής Π.Κ. |
| ▪ Πνευματικάτος Διονύσιος | Καθηγητής Π.Κ. |
| ▪ Καλαϊτζάκης Κων/νος | Καθηγητής Π.Κ. |

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου κ. Απόστολο Δόλλα για την υποστήριξη και την πολύτιμη συνεισφορά του στην υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Διονύσιο Πνευματικάτο και στον καθηγητή κ. Κων/νο Καλαϊτζάκη για τη συμμετοχή τους στην αξιολόγηση της διπλωματικής μου διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Μάρκο Κιμιωνή, υπεύθυνο του εργαστηρίου Μικροεπεξεργαστών και Υλικού, για την υλικοτεχνική του υποστήριξη και τον χρόνο που διέθεσε.

Ευχαριστώ τους φίλους μου για την υποστήριξή τους και τις όμορφες στιγμές που περάσαμε κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους και για τις προσωπικές τους θυσίες χωρίς τις οποίες θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση των σπουδών μου και της διπλωματικής μου εργασίας.

Κι αν πτωχική την βρεις, η Ιθάκη δεν σε γέλασε.

*Έτσι σοφός που έγινες, με τόση πείρα,
ήδη θα το κατάλαβες η Ιθάκης τι σημαίνουν.*

Κωνσταντίνος Π. Καβάφης

Περίληψη

Στις μέρες μας η χρήση των ενσωματωμένων συστημάτων αυξάνεται ραγδαία καθώς η ανάγκη για αυτοματοποίηση στην καθημερινή ζωή αναπτύσσεται συνεχώς. Η τεχνολογία Ταυτοποίησης Μέσω Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification ~ RFID) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία η οποία λόγω της βελτίωσης των διαδικασιών και της μείωσης του κόστους που προσφέρει χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές.

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπεύει στον συνδυασμό των δύο προαναφερθέντων τεχνολογιών ώστε να μελετήσει τον τρόπο υλοποίησης, το κόστος και την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος ελέγχου και απογραφής προϊόντων σε μια γραμμή παραγωγής με τη χρήση αναγνώστη RFID και μικροελεγκτή AVR. Στόχος μας είναι η δημιουργία ενός οικονομικού κυκλώματος που υποστηρίζει την απαραίτητη λειτουργικότητα που απαιτείται για μια τέτοια εφαρμογή.

Το σύστημα υλοποιείται με τη βοήθεια του αναπτυξιακού STK500 και του λογισμικού AVR Studio 6 της ATMEL. Περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης ενός τέτοιου συστήματος και παρουσιάζονται αναλυτικά τα απαραίτητα βήματα για την υλοποίησή του και την επίτευξη της επιθυμητής λειτουργικότητας.

Περιεχόμενα

| | |
|---|-----------|
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ | 3 |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ | 4 |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ | 4 |
| ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ | 5 |
| 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 9 |
| 1.1 Περιγραφή Προβλήματος..... | 9 |
| 1.2 Στόχος και επιστημονική συνεισφορά | 10 |
| 1.3 Δομή της διατριβής | 10 |
| 2 ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ | 12 |
| 2.1 Ερευνητικές Εφαρμογές Μικροελεγκτών και Τεχνολογίας RFID | 12 |
| 2.3 Εμπορικές Εφαρμογές Τεχνολογίας RFID..... | 15 |
| 3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | 18 |
| 3.1 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά | 18 |
| 3.2 Σχεδιαστικά Ζητήματα | 20 |
| 3.2.1 Συναρτήσεις Συστήματος Αρχείων FAT32..... | 20 |
| 3.2.2 Υπολογισμός Χρόνου Δειγματοληψίας Δεδομένων Εξόδου Αναγνώστη RFID..... | 22 |
| 3.2.2 Θέματα Κόστους..... | 23 |
| 4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | 26 |
| 4.1 Γενική Δομή Συστήματος..... | 26 |
| 4.2 Μικροελεγκτής AVR | 27 |
| 4.3 Περιφερειακά Συστήματος..... | 29 |
| 4.3.1 Αναγνώστης RFID | 29 |
| 4.3.2 Κάρτα Μνήμης SD..... | 35 |
| 4.3.3 Οθόνη Γραφικών LCD | 37 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.4 | Real Time Clock | 40 |
| 4.3.5 | Σειριακή Θύρα RS232..... | 43 |
| 4.3.6 | Υπόλοιπα Περιφερειακά | 44 |
| 4.4 | Επισκόπηση Τελικού Συστήματος..... | 47 |
| 5 | ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | 49 |
| 5.1 | Εκκίνηση Συστήματος | 49 |
| 5.2 | Κατάσταση Λειτουργίας Αναγνώστη RFID..... | 50 |
| 5.2.1 | Είσοδος Ετικέτας στην Εμβέλεια του Αναγνώστη RFID..... | 52 |
| 5.2.2 | Έλεγχος Εγκυρότητας Προϊόντος | 52 |
| 5.2.3 | Είσοδος Προϊόντος..... | 53 |
| 5.2.4 | Έξοδος Προϊόντος..... | 54 |
| 5.3 | Κατάσταση Λειτουργίας Διαχείρισης | 54 |
| 5.3.1 | Εμφάνιση Ημερομηνίας και Ώρας | 55 |
| 5.3.2 | Ορισμός Ημερομηνίας και Ώρας | 55 |
| 5.3.3 | Εμφάνιση Αρχείων Κάρτας Μνήμης | 56 |
| 5.3.4 | Ανάγνωση Αρχείου Κάρτας Μνήμης..... | 56 |
| 5.3.5 | Διαγραφή Αρχείου Κάρτας Μνήμης..... | 56 |
| 5.4 | Κατανομή Μνήμης..... | 58 |
| 6 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ | 60 |
| | ΑΝΑΦΟΡΕΣ | 62 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α | 65 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β | 70 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ | 76 |
| | ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ | 80 |

Κατάλογος Σχημάτων

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Μετάδοση δεδομένων από την Ετικέτα με Ταυτοποίηση Μέσω Ραδιοσυχνότητων | 18 |
| 2 | Δειγματοληψία bit ετικέτας από τον μικροελεγκτή | 23 |
| 3 | Γενική Δομή Συστήματος | 26 |
| 4 | Ακροδέκτες ATmega32A σε 40-DIP μορφή | 29 |
| 5 | Το εσωτερικό μιας παθητικής ετικέτας RFID..... | 30 |
| 6 | Επικοινωνία Ετικέτας με αναγνώστη RFID..... | 31 |
| 7 | Διεπαφή ATmega32A με αναγνώστη RFID | 34 |
| 8 | Ακροδέκτες SD Κάρτας..... | 35 |
| 9 | Διεπαφή ATmega32A με SD Card Socket | 37 |
| 10 | Διεπαφή ATmega32A με οθόνη γραφικών LCD 128x64 AGM1264F..... | 39 |
| 11 | Ακροδέκτες Real Time Clock DS1307..... | 40 |
| 12 | Διεπαφή ATmega32A με ρολόι πραγματικού χρόνου DS1307..... | 42 |
| 13 | Δομή ενός Frame της Σειριακής Θύρας RS232 | 43 |
| 14 | Συνδεσμολογία UART ακροδεκτών ATmega32A με σειριακή θύρα RS232 ... | 44 |
| 15 | Συνδεσμολογία Διακόπτη με ATmega32A..... | 45 |
| 16 | Το αναπτυξιακό STK500 της ATMEL..... | 46 |
| 17 | Επισκόπηση Τελικού Συστήματος | 47 |
| 18 | Λειτουργίες συστήματος κατά την εκκίνηση και την εναλλαγή καταστάσεων.. | 50 |
| 19 | Λειτουργίες συστήματος κατά την αναμονή και ανάγνωση ετικέτας RFID | 51 |
| 20 | Λειτουργίες Συστήματος σε κατάσταση διαχείρισης | 57 |
| 21 | Μνήμη Δεδομένων SRAM | 58 |
| 22 | Διαμόρφωση Σκληρού Δίσκου..... | 65 |
| 23 | Φυσική Δομή Συστήματος Αρχείων FAT32..... | 67 |
| 24 | Σχέση μεταξύ Directory Entry και File Allocation Table..... | 68 |
| 25 | Αρχιτεκτονική SD Κάρτας Μνήμης..... | 70 |
| 26 | Επικοινωνία Master-Slave μέσω SPI | 71 |
| 27 | Ανάγνωση ενός block δεδομένων της SD Κάρτας..... | 73 |
| 28 | Εγγραφή ενός block δεδομένων στην SD Κάρτα..... | 73 |
| 29 | Μορφή εντολών SD κάρτας..... | 73 |
| 30 | Δομή απάντησης R1 της SD Κάρτας..... | 74 |
| 31 | Δομή απάντησης R2 της SD Κάρτας..... | 74 |
| 32 | Δομή απάντησης R3 της SD Κάρτας..... | 75 |
| 33 | Δομή απάντησης Data Token της SD Κάρτας | 75 |
| 34 | Δομή Data Error Token της SD Κάρτας..... | 75 |
| 35 | Block diagram AGM1264F Series Graphic Module | 76 |
| 36 | Οργάνωση των pixels της οθόνης γραφικών LCD 128x64 | 77 |
| 37 | Διασύνδεση συσκευών στον δίαυλο TWI..... | 80 |
| 38 | Block diagram DS1307..... | 81 |
| 39 | Data Write - DS1307 Slave Receiver Mode | 82 |
| 40 | Data Read - DS1307 Slave Receiver Mode | 83 |

Κατάλογος Πινάκων

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Συνολικό Κόστος Συστήματος..... | 24 |
| 2 | Περιγραφή Ακροδεκτών Αναγνώστη RFID | 32 |
| 3 | Μορφή Δεδομένων Εξόδου Αναγνώστη RFID..... | 33 |
| 4 | Περιγραφή Ακροδεκτών Κάρτας SD σε λειτουργία SD και SPI αντίστοιχα | 36 |
| 5 | Περιγραφή Ακροδεκτών AGM1264F | 38 |
| 6 | Διευθύνσεις Καταχωρητών DS1307 | 41 |
| 7 | Δομή Master Boot Record | 66 |
| 8 | Εντολές Ελέγχου AGM1264F..... | 78 |

Κατάλογος Εικόνων

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Ο αναγνώστης RFID (125 KHz) Serial TTL της rhydoLABZ | 34 |
| 2 | Υποδοχέας SD κάρτας LC Technologies | 36 |
| 3 | Η οθόνη γραφικών LCD 128x64 AGM1264F-NLWBBW | 39 |
| 4 | Το ολοκληρωμένο DS1307 σε 8-DIP μορφή..... | 42 |
| 5 | Εμπρόσθια όψη Τελικού Συστήματος | 48 |
| 6 | Κάτοψη Τελικού Συστήματος..... | 48 |
| 7 | Οι παθητικές ετικέτες RFID EM4100 που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση | 48 |

Συντμήσεις

| | |
|--------|---|
| RFID | Radio Frequency Identification |
| MCU | Microcontroller Unit |
| USART | Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter |
| SPI | Serial Peripheral Interface |
| TWI | Two Wire Interface |
| SD | Secure Digital |
| RTC | Real Time Clock |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory |
| SRAM | Static Random Access Memory |
| TTL | Transistor-Transistor Logic |
| DIP | Dual In-Line Package |
| CSV | Comma Separated Values (file extension .csv) |

1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το πρόβλημα που πραγματεύεται αυτή η διατριβή, αναλύεται ο στόχος της καθώς και η επιστημονική της συνεισφορά, ενώ στο τέλος παρουσιάζεται και η δομή της διατριβής.

1.1 Περιγραφή Προβλήματος

Στις μέρες μας ολοένα και περισσότερα ενσωματωμένα συστήματα υλοποιούνται για την κάλυψη των διαρκώς αυξανόμενων αναγκών αυτοματοποίησης στην καθημερινότητα των ανθρώπων, των επιχειρήσεων και των οργανισμών. Ταυτόχρονα, η χρήση της τεχνολογίας Ταυτοποίησης Μέσω Ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Identification RFID) πολλαπλασιάζεται συνεχώς καθώς δίνει τη δυνατότητα αυτόματης συλλογής πληροφοριών αντικειμένων, ζώων ή και ανθρώπων σε πραγματικό χρόνο.

Ο συνδυασμός των ενσωματωμένων συστημάτων και της τεχνολογίας RFID για την υλοποίηση ενός συστήματος ελέγχου και απογραφής προϊόντων σε μια γραμμή παραγωγής, μας δίνει τη δυνατότητα μείωσης του κόστους εργασίας και ελαχιστοποίησης των λαθών και του χρόνου που απαιτείται. Εξαιτίας της αυτοματοποίησης της διαδικασίας απογραφής η ανθρώπινη παρέμβαση μειώνεται, με αποτέλεσμα την γρήγορη και αλάνθαστη μέτρηση των αποθεμάτων. Επιπλέον, η συλλογή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μας δίνει τη δυνατότητα συνεχούς ενημέρωσης και κατά συνέπεια καλύτερο έλεγχο του αποθηκευτικού κυκλώματος και περιορισμό της πιθανότητας έλλειψης αποθέματος.

Η αύξηση της ταχύτητας και της ακρίβειας κατά τη διαδικασία ελέγχου απογραφής συνιστά ένα πολύ σημαντικό στοιχείο στην βελτίωση των διαδικασιών και της αποδοτικότητας σε μια γραμμή παραγωγής. Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν ενδιαφέρουσα τη μελέτη και υλοποίηση ενός οικονομικού ενσωματωμένου συστήματος ανάγνωσης RFID βασισμένο σε μικροελεγκτή AVR το οποίο θα είναι σε θέση να μας παρέχει την λειτουργικότητα που απαιτείται για αυτόματο και αξιόπιστο έλεγχο της απογραφής προϊόντων σε έναν αποθηκευτικό χώρο.

1.2 Στόχος και επιστημονική συνεισφορά

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την υλοποίηση ενός ενσωματωμένου συστήματος παράλληλα με τη χρήση της αναπτυσσόμενης τεχνολογίας RFID και του μικροελεγκτή AVR ATmega32A. Στόχος είναι η μελέτη του τρόπου υλοποίησης, του κόστους και της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος ελέγχου απογραφής προϊόντων σε μια γραμμή παραγωγής και η υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου πακέτου λογισμικού και υλικού που θα μας παρέχει όλη την απαιτούμενη λειτουργικότητα μιας τέτοιας εφαρμογής με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Το σύστημα που μελετά η παρούσα εργασία πρέπει να μας δίνει τη δυνατότητα ταυτοποίησης και καταγραφής της ταυτότητας των προϊόντων, καθώς και της ακριβούς ημερομηνίας και ώρας κατά την οποία τα προϊόντα εισέρχονται και εξέρχονται από τον αποθηκευτικό χώρο της γραμμής παραγωγής. Επιπλέον, θα πρέπει να μας παρέχει συνεχή ενημέρωση για τον ακριβή αριθμό των προϊόντων που υπάρχουν μέσα στον αποθηκευτικό χώρο σε κάθε χρονική στιγμή, ενώ παράλληλα γίνεται προσπάθεια διατήρησης του κόστους της εφαρμογής στα μικρότερα δυνατά επίπεδα.

Για την ταυτοποίηση και τον έλεγχο των προϊόντων γίνεται χρήση της τεχνολογίας RFID και συγκεκριμένα ενός RFID αναγνώστη, ενώ και τα υπόλοιπα περιφερειακά (Οθόνη Γραφικών, Κάρτα Μνήμης, Real Time Clock) ελέγχονται από τον μικροελεγκτή AVR ATmega32A λόγω της ευκολίας που προσφέρει στον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό με εξαιρετικά χαμηλό κόστος.

Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα οικονομικό ενσωματωμένο σύστημα ανάγνωσης RFID βασισμένο σε μικροελεγκτή AVR το οποίο αυτοματοποιεί τον έλεγχο στην καταγραφή των προϊόντων σε έναν αποθηκευτικό χώρο και μας προσκομίζει όλα τα οφέλη της αυτοματοποίησης μιας τέτοιας διαδικασίας.

1.3 Δομή της διατριβής

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι σχετικές εργασίες και μελέτες που έχουν δημοσιευθεί και είναι σχετικές με το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα βασικά βήματα για τη σχεδίαση του συστήματός μας. Γίνεται γενική αναφορά στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του

συστήματος καθώς και στα βασικά ζητήματα που μας απασχόλησαν κατά τη σχεδίαση όπως το σύστημα αρχείων που χρησιμοποιήθηκε για τη διαμόρφωση της κάρτας μνήμης, ο υπολογισμός του χρόνου δειγματοληψίας των δεδομένων από τον αναγνώστη RFID καθώς και τα θέματα κόστους στην υλοποίηση της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του συστήματος. Αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την υλοποίηση, ο τρόπος διασύνδεσης των περιφερειακών συσκευών με τον μικροελεγκτή AVR ενώ παρουσιάζεται και η γενική εικόνα του τελικού συστήματος.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται αναλυτικά η λειτουργία του συστήματος. Γίνεται παρουσίαση των βασικών βημάτων της λειτουργικότητας του συστήματος και με διαγράμματα ροής, ενώ γίνεται αναφορά και στον τρόπο κατανομής της μνήμης του μικροελεγκτή όπως προέκυψε από τη σχεδιάσή μας.

Κλείνοντας με το Κεφάλαιο 6 γίνεται μια αποτίμηση της παρούσας εργασίας και προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις και βελτιώσεις για το σύστημα που υλοποιήθηκε.

2 Σχετική έρευνα

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τη σχετική έρευνα που έχει γίνει και είναι σχετική με το θέμα της διατριβής. Το κεφάλαιο χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος περιγράφονται εργασίες που αφορούν στη χρήση μικροελεγκτή και της τεχνολογίας RFID σε εργαστηριακό επίπεδο, ενώ το δεύτερο μέρος επικεντρώνεται σε εμπορικές μελέτες χρήσης της τεχνολογίας RFID από επιχειρήσεις και οργανισμούς.

2.1 Ερευνητικές Εφαρμογές Μικροελεγκτών και Τεχνολογίας RFID

Τα πλεονεκτήματα, η αυτάρκεια και το χαμηλό κόστος των μικροελεγκτών τους καθιστούν μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα επιλογή για τη μελέτη και υλοποίηση ενσωματωμένων συστημάτων σε διάφορους τομείς.

Οι Δόλλας και Kean[30] προχώρησαν στην υλοποίηση μιας αναδιατασσόμενης ενσωματωμένης συσκευής εισόδου για άτομα με κινητική αναπηρία. Η συσκευή που υλοποίησαν αποτελούνταν από επιταχυνσιόμετρα για την αίσθηση της κίνησης σε ένα χώρο, ένα μικροελεγκτή για τη δειγματοληψία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και μια ενσωματωμένη FPGA για να διακρίνουν τα είδη της κίνησης από τη λίστα των προγραμματιζόμενων κινήσεων. Ο μικροελεγκτής χρησιμοποιήθηκε για τη μετατροπή των δεδομένων εξόδου του επιταχυνσιόμετρου σε fixed point ψηφιακά δεδομένα, τη βαθμονόμησή του και για την αποστολή των δεδομένων στον υπολογιστή κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του συστήματος. Η υλοποίηση ενός συστήματος με την παρουσία του μικροελεγκτή κρίθηκε ως η καλύτερη επιλογή εξαιτίας των χρονιστών, μετρητών, της σειριακής θύρας RS232 και γενικά όλων των ενσωματωμένων πόρων που διαθέτει.

Ο Στρυδής[31] προχώρησε στην υλοποίηση ενός ενσωματωμένου συστήματος bluetooth βασισμένο σε μικροελεγκτή. Το σύστημα είναι στην ουσία μια πλατφόρμα υποδοχής για μια οποιαδήποτε συσκευή bluetooth με μια γέφυρα δεδομένων που επιτυγχάνει την ασύρματη σειριακή επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών.

Ο Αποστολάκης[32] υλοποίησε ένα ενσωματωμένο σύστημα ιχνηλάτησης σταθερών κατευθυντικών κεραιών για κινούμενα οχήματα και συγκεκριμένα για πλοία που θέλουν να αποκτήσουν πρόσβαση σε ασύρματα δίκτυα βασισμένο στη χρήση

μικροελεγκτή AVR και δέκτη GPS. Δημιούργησε εντολές ελέγχου για μια βάση περιστροφής της κεραίας του πλοίου ώστε να τη διατηρεί στο σταθμό βάσης που έχει επιλέξει να παρακολουθεί.

Στις μέρες μας η τεχνολογία RFID διεισδύει όλο και περισσότερο στην καθημερινότητα επιχειρήσεων και οργανισμών μέχρι βιβλιοθηκών, μουσείων, σχολείων και νοσοκομείων. Αυτό οφείλεται στην συνεχώς αυξανόμενη χρήση της για διάφορες εφαρμογές όπως ο έλεγχος και η καταγραφή αντικειμένων ή προσώπων, τα συστήματα ελέγχου πρόσβασης, η αναγνώριση προσώπων και ζώων, η είσπραξη διοδίων, τα ηλεκτρονικά διαβατήρια, τα συστήματα εισιτηρίων σε μέσα μαζικής μεταφοράς κτλ. Όλα τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στην υλοποίηση πολλών εφαρμογών σε επίπεδο εργαστηρίου με χρήση της τεχνολογίας RFID.

Η τεχνολογία RFID σε συνδυασμό με τη χρήση μικροελεγκτή έχει βρει πολλές εφαρμογές στον έλεγχο πρόσβασης και καταγραφής ανθρώπων ή αντικειμένων. Οι Νομικός και Τζίκας[33] προχώρησαν στην υλοποίηση ενός συστήματος ελέγχου πρόσβασης με RFID στην αίθουσα ενός εργαστηρίου ηλεκτρονικής στο ΑΠΘ. Το σύστημά τους αποτελείται από έναν αναγνώστη χαμηλής συχνότητας, παθητικές ετικέτες μόνο ανάγνωσης και ένα μικροελεγκτή AVR ο οποίος επικοινωνεί με έναν Η/Υ μέσω της σειριακής θύρας RS232. Διέθεσαν σε κάθε εξουσιοδοτημένο άτομο του εργαστηρίου μια ετικέτα RFID και με την τοποθέτηση της ετικέτας στην εμβέλεια του αναγνώστη ο μικροελεγκτής έκανε έλεγχο για την εγκυρότητά της συγκρίνοντας την τιμή της με τις τιμές που είχαν ήδη αποθηκεύσει στη μνήμη EEPROM του μικροελεγκτή με την επίδειξη της ετικέτας στον αναγνώστη. Στην περίπτωση που η ετικέτα ήταν έγκυρη το σύστημα έστελνε τα δεδομένα της στον υπολογιστή μέσω της σειριακής θύρας RS232.

Οι Simic και Radac[34] υλοποίησαν ένα σύστημα παρακολούθησης πρόσβασης βασισμένο σε μικροελεγκτή AVR. Χρησιμοποίησαν επίσης έναν αναγνώστη RFID με δυνατότητα εγγραφής ετικετών της Parallax, μια κάρτα μνήμης micro SD 2GB διαμορφωμένη με σύστημα αρχείων FAT16, ενώ το σύστημα είχε τη δυνατότητα επικοινωνίας με έναν Η/Υ μέσω θύρας USB. Στο σύστημα συμπεριέλαβαν επίσης ένα ρολόι πραγματικού χρόνου και μια οθόνη LCD 20x4 στην οποία εμφανίζεται η ημερομηνία, η ώρα και ένα μήνυμα που υποδεικνύει την έγκριση ή μη της πρόσβασης στο χώρο. Με την τοποθέτηση της ετικέτας στην εμβέλεια του αναγνώστη τα δεδομένα στέλνονται στον υπολογιστή όπου μέσω λογισμικού που υλοποίησαν γίνεται αναζήτηση σε μια βάση δεδομένων. Αν η ετικέτα ταυτοποιηθεί τα δεδομένα της μαζί με την

ημερομηνία και την ώρα καταγράφονται στην κάρτα μνήμης σε ένα CSV αρχείο, στέλνονται στον υπολογιστή και τυπώνονται στην οθόνη LCD. Οι υλοποιήσεις εφαρμογών ελέγχου πρόσβασης και καταγραφής προσώπων ή αντικειμένων με τη χρήση RFID παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον γιατί προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια, ακρίβεια και εξοικονόμηση χρόνου.

Πολλές εργαστηριακές εφαρμογές της τεχνολογίας RFID βασισμένες σε μικροελεγκτές έχουν υλοποιηθεί για τον κλάδο του λιανικού εμπορίου. Ο Zope[35] υλοποίησε ένα σύστημα με σκοπό τη μείωση του χρόνου που απαιτείται για τις συναλλαγές ενός πελάτη σε ένα κατάστημα. Το σύστημα μπορεί να διαβάσει όλες τις ετικέτες που τοποθετούνται πάνω στην κεραία του αναγνώστη σε ένα καλάθι αγορών χωρίς να χρειάζεται ξεχωριστό σάρωμα για το καθένα από αυτά. Αποτελείται από ένα μικροελεγκτή, έναν αναγνώστη RFID, μια οθόνη LCD 16x2 και ένα ρολόι πραγματικού χρόνου, ενώ με τη σύνδεση του συστήματος μέσω USB θύρας στον υπολογιστή του καταστήματος μπορεί να εκτυπωθεί κατευθείαν ο λογαριασμός του κάθε πελάτη.

Εφαρμογές για την υλοποίηση συστημάτων διαχείρισης σε βιβλιοθήκες με χρήσης της τεχνολογίας RFID αλλά και για την είσπραξη διοδίων είναι επίσης πολύ διαδεδομένες. Ο Shambharkar[36] υλοποίησε ένα σύστημα διαχείρισης βιβλίων σε μια βιβλιοθήκη με τη χρήση AVR μικροελεγκτή και μια οθόνης LCD 16x2. Με τη βοήθεια λογισμικού που κρατά αρχείο με τους λογαριασμούς των χρηστών τα βιβλία που φέρουν ετικέτες όταν εισέρχονται στην εμβέλεια του αναγνώστη καταχωρούνται την πρώτη φορά που σαρώνονται για το συγκεκριμένο χρήστη ως δανεισμένα, ενώ με την επόμενη σάρωση του βιβλίου θεωρείται ότι έχει επιστραφεί. Το σύστημα οδηγεί σε μείωση του χρόνου που απαιτείται για την καταγραφή της κατάστασης των βιβλίων και προσφέρει απλοποίηση της διαδικασίας και ακρίβεια στην καταγραφή.

Η Krishna[37] υλοποίησε ένα σύστημα συλλογής διοδίων για την είσοδο σε ένα χώρο. Ο χρήστης έχει μια κάρτα RFID που χρησιμοποιείται για να αναγνωριστεί ο λογαριασμός του. Αν η ετικέτα του χρήστη ταυτοποιηθεί με τον λογαριασμό του στο σύστημα τότε το ποσό για την είσοδό του στο χώρο αφαιρείται από το λογαριασμό του και του επιτρέπεται η είσοδος με το άνοιγμα της μπάρας εισόδου. Σε αντίθετη περίπτωση εμφανίζεται μήνυμα στην οθόνη που ειδοποιεί το χρήστη είτε ότι δεν έχει λογαριασμό στο σύστημα είτε ότι το ποσό που έχει στο λογαριασμό του δεν επαρκεί. Το σύστημα τελικά απλοποιεί τη διαδικασία είσπραξης του αντίτιμου για την είσοδο στο χώρο και μειώνει τους χρόνους εξυπηρέτησης για κάθε πελάτη.

2.3 Εμπορικές Εφαρμογές Τεχνολογίας RFID

Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας δημιουργεί νέα πεδία εφαρμογών για το RFID. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται η λίστα των πιθανών εφαρμογών αυξάνεται και η εμπορική τους επιτυχία έγκειται στο κατά πόσο μπορούν να καλύπτουν τις ανάγκες της αγοράς με το μικρότερο δυνατό κόστος. Όπως αναφέρει και η Angeles[38] η τεχνολογία RFID είναι πολλά υποσχόμενη στο να προσφέρει τόσο ελευθερία στις διαδικασίες όσο και σχεδόν τέλεια πληροφορία σε όλο το μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας σε διάφορους κλάδους. Ωστόσο, η κύρια χρήση της τεχνολογίας RFID αφορά στην αναγνώριση και ιχνηλασιμότητα των προϊόντων από κατασκευαστές, εμπόρους, προμηθευτές μέχρι και από κρατικές υπηρεσίες με την οποία επιτυγχάνουν βελτίωση των διαδικασιών και της αποδοτικότητας και μείωση του κόστους.

Μεγάλες εταιρίες έχουν αρχίσει να εντάσσουν στη λειτουργία τους την τεχνολογία RFID με εντυπωσιακά αποτελέσματα στις λειτουργίες διανομής, στην διαχείριση αποθέματος και στην ιχνηλασιμότητα των προϊόντων τους. Ενδεικτικές μελέτες περιπτώσεων επιχειρήσεων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία RFID στην Ελλάδα και παγκοσμίως σε διάφορα στάδια της λειτουργίας τους αναφέρονται παρακάτω.

Η εταιρία Orasys ID εφάρμοσε την τεχνολογία RFID για λογαριασμό της Coca-Cola 3E στη διαχείριση και ταυτοποίηση φιαλών νερού. Τα ζητούμενα της εφαρμογής ήταν ο συνολικός αριθμός πληρώσεων, ο χρόνος κυκλοφορίας της φιάλης μεταξύ δύο διαδοχικών εμφιαλώσεων, η αυτόματη απόρριψη με την υπέρβαση του επιτρεπτού αριθμού και η ιχνηλασιμότητα της φιάλης ως υλικό συσκευασίας. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής ήταν άκρως ενθαρρυντικά και δόθηκε δυνατότητα για μελλοντικές επεκτάσεις της εφαρμογής.

Η Orasys υλοποίησε επίσης πιλοτική εφαρμογή στις εγκαταστάσεις της εταιρίας BIANOX Σβώλος Α.Ε. με την οποία ανασχεδιάστηκε ένα τμήμα της λειτουργίας της που σχετίζεται με τις εισαγωγές/εξαγωγές προϊόντων στην αποθήκη. Με την τεχνολογία RFID η εταιρία κατάφερε να απλοποιήσει και να συντομεύσει τις διαδικασίες που απαιτούνται για την εξαγωγή προϊόντων και να περιορίσει την πιθανότητα λαθών κατά την αποστολή.

Μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα χρήση της τεχνολογίας RFID είναι η περίπτωση της ΣΥ.ΚΙ.ΚΗ (Κεντρική Συνεταιριστική Ένωση Σύκων & Ξηρών Καρπών). Η εταιρία

πληροφορικής Mobile Technology ανέπτυξε το έργο IPIΔΑ για λογαριασμό της ΣΥ.ΚΙ.ΚΗ με στόχο την ανάπτυξη μια ολοκληρωμένης εφαρμογής βασισμένης στην τεχνολογία RFID για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών αποθήκευσης, διανομής, διασφάλισης ποιότητας και ιχνηλασιμότητας των φρούτων. Η εφαρμογή προσφέρει μια σειρά από υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες στο χρήστη σε πραγματικό χρόνο. Το συγκεκριμένο έργο μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για κάθε επιχείρηση που δραστηριοποιείται στο χώρο της αποθήκευσης και διανομής προϊόντων καθώς επιτυγχάνει βελτίωση της διαχείρισης των προϊόντων και αυτοματοποίηση των διαδικασιών εισαγωγής, αποθήκευσης, αποστολής και ανάκλησης των προϊόντων.

Στην περίπτωση της FAMAR η Έμφασις Τηλεματική παρουσίασε για λογαριασμό της μια εφαρμογή με RFID στη διανομή φαρμάκων. Οι ανάγκες που ώθησαν τη FAMAR να στραφεί στην τεχνολογία RFID σε συνδυασμό με την τεχνολογία τηλεματικής ήταν η μείωση των λαθών κατά την αποστολή, η μείωση των κλοπών και η ακριβής ιχνηλασιμότητα κατά τη διαδρομή. Οι στόχοι επιτεύχθηκαν καθώς το σύστημα ενημερώνει όταν τα κουτιά τοποθετούνται λάθος με βάση τη γραμμή διανομής ή όταν εμφανίζονται σε λάθος πύλη φόρτωσης χρησιμοποιώντας UHF ετικέτες και αναγνώστες και υπάρχει συνεχής παρακολούθηση των ακριβών και απαγορευμένων φαρμάκων μέσα στην αποθήκη.

Η Tredit A.E. με το ερευνητικό έργο MIPTO χρησιμοποίησε τεχνολογίες RFID για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας μεταφόρτωσης εμπορευματοκιβωτίων από το σιδηρόδρομο στο σταθμό του Οργανισμού Λιμένος Θεσσαλονίκης. Κατάλληλες ετικέτες RFID τοποθετήθηκαν στα κιβώτια και αναγνώστες RFID τοποθετήθηκαν στο γερανό μεταφόρτωσης και σε ένα όχημα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Στόχος της εφαρμογής ήταν να μπορεί να εντοπιστεί αυτόματα η θέση συλλογής ή απόθεσης του εμπορευματοκιβωτίου χωρίς να απαιτείται προσπάθεια από το χρήστη. Τα αποτελέσματα ήταν η μείωση του χρόνου και επομένως του κόστους διαχείρισης των εμπορευματοκιβωτίων και η ελαχιστοποίηση των λαθών.

Ένα σημαντικό ερευνητικό πρόγραμμα το οποίο βρίσκεται ακόμα στα πρώιμα στάδια της υλοποίησης του είναι το πρόγραμμα MERIT που διεξάγεται από το Πολυτεχνείο Κρήτης σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Βιομηχανικών Συστημάτων IN.BI.Σ και τις εταιρίες ANEK LINES και HELLENIC SEAWAYS. Το πρόγραμμα έχει ως σκοπό να ελέγξει αποτελεσματικά την επιβίβαση και αποβίβαση των επιβατών και των οχημάτων και την παρακολούθηση του φορτίου με χρήση ενός αναγνώστη RFID χειρός, ενός σταθερού αναγνώστη RFID, 5 κεραιών RFID και ενός υπολογιστή.

Στόχος του προγράμματος είναι η ένταξη της τεχνολογίας RFID στις θαλάσσιες συγκοινωνίες και η παρουσίαση της αρχιτεκτονικής ενός τέτοιου συστήματος με βασικό γνώμονα τις καλύτερες επιδόσεις και την ασφάλεια που θα προσφέρει το σύστημα.

Η εταιρία Wal-Mart που αποτελεί το μεγαλύτερο λιανέμπορο παγκοσμίως χρησιμοποιεί την τεχνολογία RFID εδώ και μία περίπου δεκαετία για να αναγνωρίσει τα κιβώτια και τις παλέτες καθώς κινούνται κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η απόφαση για χρήση της τεχνολογίας RFID πάρθηκε με σκοπό να αντιμετωπιστούν προβλήματα και να ικανοποιηθούν ανάγκες. Οι ετικέτες RFID είναι εμπλουτισμένες με πληροφορία για το προϊόν και παρέχουν αυτόματη ανίχνευση των παλετών και των κιβωτίων. Η διαχείριση αποθέματος όπως ανακοινώθηκε από την εταιρία βελτιώθηκε σημαντικά και μειώθηκαν οι πλαστογραφήσεις και οι κλοπές στην αποθήκη με αποτέλεσμα η εταιρία να μειώσει τις δαπάνες της και να μειωθούν οι τιμές στα προϊόντα που φθάνουν στον καταναλωτή. Υπολογίζεται ότι όταν η Wal-Mart επιτύχει πλήρη εφαρμογή του RFID σε όλο το μήκος της εφοδιαστικής της αλυσίδας και στα καταστήματα θα είναι σε θέση να εξοικονομεί περίπου 8 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως.

Η εταιρία παραγωγής αυτοκινήτων Aston Martin χρησιμοποιεί RFID ετικέτες της εταιρίας τεχνολογίας Ubisense για να παρακολουθεί τις θέσεις των οχημάτων καθώς αυτά κινούνται στα τελευταία βήματα της παραγωγικής διαδικασίας και να ενημερώνεται για το χρόνο που δαπανάται σε κάθε στάδιο καθώς και για το που εμφανίζονται σημεία συμφόρησης. Η εταιρία αποφάνθηκε ότι εξοικονομεί χρόνο για το προσωπικό που παλαιότερα δαπανούσε πολύ χρόνο για να εντοπίσει ένα όχημα και επιπλέον τη βοηθά στις επιχειρηματικές αποφάσεις που σχετίζονται με καθυστερήσεις στη διαδικασία των οχημάτων.

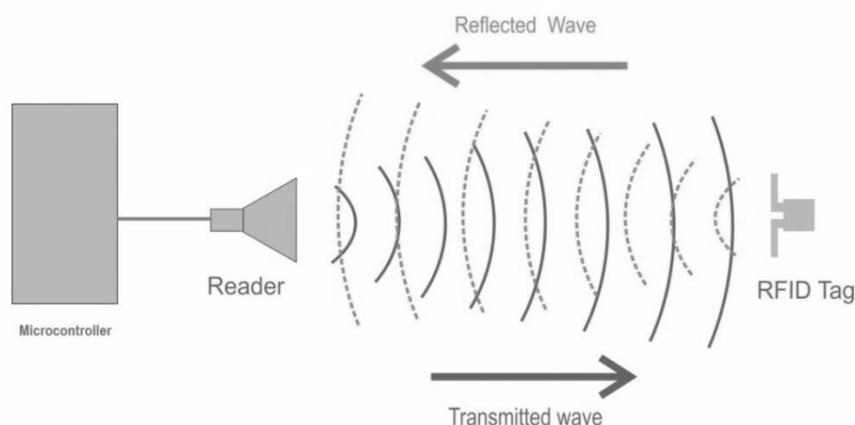
Οι προαναφερθείσες εμπορικές εφαρμογές της τεχνολογίας RFID είναι μερικά μόνο δείγματα της χρήσης της τεχνολογίας από επιχειρήσεις και οργανισμούς. Η τεχνολογία RFID αναπτύσσεται και υιοθετείται με αυξανόμενο ρυθμό εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που προσφέρει και για το λόγο αυτό είναι σε εξέλιξη πολλά πιλοτικά και ερευνητικά προγράμματα που την αφορούν. Βρίσκει συνεχώς νέα πεδία εφαρμογής και είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για πρωτοποριακές και καινοτόμες υλοποιήσεις που αφορούν στην εφοδιαστική αλυσίδα αλλά και στην υγεία, στην ασφάλεια, στις μεταφορές και στην ιχνηλάτιση προσώπων και ζώων.

3 Σχεδίαση Συστήματος

Όπως έχει αναφερθεί από τα πρώτα βήματα της σχεδίασης του συστήματος στόχος ήταν η δημιουργία ενός οικονομικού ενσωματωμένου συστήματος το οποίο αυτοματοποιεί τον έλεγχο στην απογραφή προϊόντων σε έναν αποθηκευτικό χώρο. Το σύστημα θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα ταυτοποίησης και ελέγχου των προϊόντων με χρήση της τεχνολογίας Ταυτοποίησης Μέσω Ραδιοσυχνότητας RFID και ενός μικροελεγκτή AVR.

3.1 Λειτουργικά Χαρακτηριστικά

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι προσδιορισμού της ταυτότητας αντικειμένων ή ανθρώπων, αλλά ο επικρατέστερος και πλέον συνηθισμένος στις μέρες μας είναι η αποθήκευση ενός σειριακού αριθμού που προσδιορίζει ένα αντικείμενο ή πρόσωπο σε ένα μικροτσίπ, το οποίο επισυνάπτεται στην κεραία της ετικέτας RFID (tag) και χρησιμοποιήθηκε στην υλοποίησή μας. Η κεραία επιτρέπει στο μικροτσίπ να μεταδώσει τον σειριακό αυτό αριθμό σε έναν αναγνώστη RFID (reader), ο οποίος μετατρέπει τα ραδιοκύματα που ανακλώνται από την ετικέτα σε ψηφιακές πληροφορίες που μετακλύονται στον μικροελεγκτή.



Σχήμα 1: Μετάδοση δεδομένων από την Ετικέτα με Ταυτοποίηση Μέσω Ραδιοσυχνότητας

Η λειτουργικότητα του συστήματος περιλαμβάνει δύο βασικές καταστάσεις. Στην αρχική κατάσταση το σύστημα αναμένει την ετικέτα ενός προϊόντος και εκτελεί

τις απαραίτητες λειτουργίες, εφόσον υπάρχει μετάδοση πληροφοριών προς τον αναγνώστη. Στην δεύτερη κατάσταση, το σύστημα εισέρχεται σε λειτουργία διαχείρισης κατά την οποία υπάρχει επικοινωνία με τον υπολογιστή με χρήση της σειριακής θύρας RS232. Η εναλλαγή των καταστάσεων λειτουργίας του συστήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός διακόπτη.

Στην εκκίνησή του το σύστημα ενημερώνει το χρήστη για την ανίχνευση αποθηκευτικού μέσου στο σύστημα και εισέρχεται σε κατάσταση αναμονής μιας ετικέτας προϊόντος. Από τη στιγμή που ο αναγνώστης δέχεται τις πληροφορίες μιας ετικέτας, τις μεταφέρει στον μικροελεγκτή για να ξεκινήσει μια σειρά λειτουργιών για την ταυτοποίηση και τον έλεγχο της κατάστασης του προϊόντος.

Η διασφάλιση της εισαγωγής στον αποθηκευτικό χώρο συγκεκριμένων προϊόντων γίνεται με την δημιουργία του αρχείου “VALID.csv” σε μια Κάρτα Μνήμης από τον διαχειριστή του συστήματος, το οποίο περιέχει τους σειριακούς αριθμούς όλων των προϊόντων που ανήκουν στον συγκεκριμένο χώρο. Αν το αντικείμενο ταυτοποιηθεί ως προϊόν που ανήκει στον συγκεκριμένο χώρο, οι πληροφορίες του αποθηκεύονται στην Κάρτα Μνήμης και εμφανίζονται στην Οθόνη Γραφικών μαζί με την ημερομηνία, την ώρα και την κατάστασή του.

Η κατάσταση του αντικειμένου προσδιορίζεται από την ύπαρξη ή όχι της ταυτότητας του στο αρχείο “IN.csv” στην Κάρτα Μνήμης, στο οποίο καταγράφονται οι σειριακοί αριθμοί των αντικειμένων που βρίσκονται κάθε χρονική στιγμή στον αποθηκευτικό χώρο μαζί με την ημερομηνία και την ώρα της εισαγωγής τους. Αν το προϊόν ταυτοποιηθεί και έχει ήδη καταχωρηθεί από προηγούμενη ταυτοποίηση ως υπάρχον στην αποθήκη, διαγράφεται από το αρχείο “IN.csv” και καταγράφεται ως εξερχόμενο προϊόν με τον σειριακό του αριθμό να αποθηκεύεται στο αρχείο “OUT.csv” στην Κάρτα Μνήμης και να εμφανίζεται στην Οθόνη Γραφικών, μαζί με την ημερομηνία και την ώρα της εξόδου του.

Μετά από οποιαδήποτε ταυτοποίηση αντικειμένου που εισέρχεται ή εξέρχεται από τον αποθηκευτικό χώρο ενημερώνεται ο συνολικός αριθμός των προϊόντων που βρίσκονται σε απόθεμα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η ακρίβεια της απογραφής, ενώ με την εμφάνιση του αριθμού των προϊόντων που βρίσκονται σε απόθεμα στην Οθόνη Γραφικών κατά τη διάρκεια της αναμονής νέας ετικέτας έχουμε συνεχή ενημέρωση για την κατάσταση του αποθέματος.

Κατά την εισαγωγή του συστήματος σε λειτουργία διαχείρισης, ο αναγνώστης RFID απενεργοποιείται και στο τερματικό του υπολογιστή εμφανίζεται ένα μενού μέσα

από το οποίο ο διαχειριστής του συστήματος μπορεί να προβεί σε διάφορες λειτουργίες όπως η επεξεργασία της ημερομηνίας και της ώρας, η ανάγνωση και η διαγραφή ενός αρχείου ή η εμφάνιση της λίστας των διαθέσιμων αρχείων στην Κάρτα Μνήμης.

3.2 Σχεδιαστικά Ζητήματα

Βασικός σκοπός κατά τη διάρκεια της σχεδίασης του συστήματος ήταν η αυτονομία του και το μικρότερο δυνατό κόστος.

Το σύστημα έπρεπε να είναι σε θέση να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε σημείο επιλεγθεί από τον διαχειριστή, όσο απομακρυσμένο και αν είναι, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη μόνιμης σύνδεσής του με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε ως μέσο αποθήκευσης μια Κάρτα Μνήμης SD διαμορφωμένη με σύστημα αρχείων FAT32 [Παράρτημα Α], το οποίο είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα αρχείων λόγω της συμβατότητάς του με όλα σχεδόν τα υπάρχοντα λειτουργικά συστήματα. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης της κάρτας μνήμης στο σύστημα ως αποθηκευτικό μέσο για την καταγραφή των στοιχείων των προϊόντων είναι ότι επιτρέπει την απευθείας μετακίνηση των αρχείων σε μια οποιοδήποτε συσκευή υποστηρίζει το σύστημα αρχείων FAT32. Τα στοιχεία των προϊόντων επιλέχθηκε να καταγράφονται στην κάρτα μνήμης σε αρχεία της μορφής CSV εξαιτίας της συμβατότητας των αρχείων αυτού του τύπου με το Microsoft Excel το οποίο διευκολύνει την επεξεργασία τους.

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα, με το κόστος του τελικού συστήματος να αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην ανταγωνιστικότητα μιας τέτοιας εφαρμογής.

3.2.1 Συναρτήσεις Συστήματος Αρχείων FAT32

Για την υλοποίηση του συστήματος αρχείων της κάρτας χρησιμοποιήθηκε το σύστημα αρχείων FAT32[24] εξαιτίας της συμβατότητάς του με σχεδόν όλα τα λειτουργικά συστήματα. Το σύστημα αρχείων που χρησιμοποιήθηκε μπορεί μεταξύ άλλων να μας δώσει τη λίστα των αρχείων (findFiles), να αναγνώσει (readFile), να δημιουργήσει ένα αρχείο και να εγγράψει δεδομένα(writeFile/appendFile), ή να διαγράψει ένα αρχείο(deleteFile) από την κάρτα μνήμης. Για την κάλυψη των απαιτήσεων της εφαρμογής μας όμως έπρεπε να μετατραπούν ήδη υπάρχουσες και να

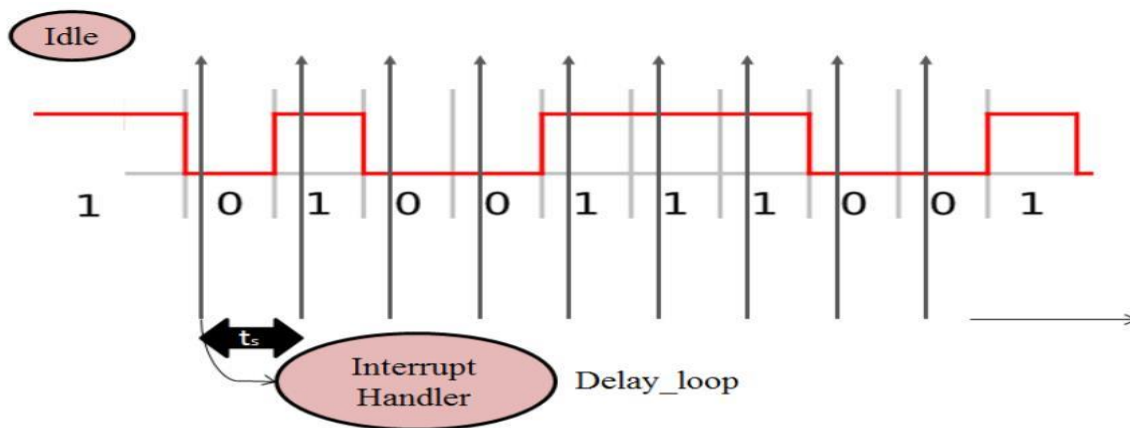
υλοποιηθούν νέες συναρτήσεις οι οποίες θα μπορούσαν να κάνουν αναζήτηση στα υπάρχοντα αρχεία της κάρτας είτε για ταυτοποίηση των αντικειμένων είτε για καταχώρησή τους ως εισερχόμενα ή εξερχόμενα του αποθηκευτικού χώρου. Επίσης η εφαρμογή απαιτεί την διαγραφή της ταυτότητας ενός αντικειμένου, από το αρχείο στο οποίο καταγράφονται τα προϊόντα που βρίσκονται σε απόθεμα, στην περίπτωση που το προϊόν ταυτοποιηθεί ως εξερχόμενο. Οι απαιτήσεις αυτές της εφαρμογής καλύφθηκαν με την μετατροπή της συνάρτησης ανάγνωσης ενός αρχείου `readFile` και με τη δημιουργία της συνάρτησης `validateTag`.

Η συνάρτηση `readFile` μετατρέπει αρχικά το όνομα του αρχείου προς ανάγνωση σε μορφή αποδεκτή από το σύστημα αρχείων. Αυτό σημαίνει ότι το όνομα του αρχείου μπορεί να έχει μήκος μέχρι 12 χαρακτήρες συνολικά, δηλαδή 8 χαρακτήρες όνομα, ένας χαρακτήρας που είναι η τελεία και 3 χαρακτήρες που είναι η επέκταση του αρχείου. Επιπλέον το σύστημα αρχείων είναι case-insensitive όσον αφορά στα ονόματα των αρχείων οπότε απαιτείται η μετατροπή των χαρακτήρων του ονόματος σε κεφαλαία. Στη συνέχεια γίνεται αναζήτηση του πρώτου συμπλέγματος του αρχείου και ξεκινά η ανάγνωση των δεδομένων που βρίσκονται αποθηκευμένα στου τομείς του κάθε συμπλέγματος μέχρι να φτάσουμε στο τέλος του αρχείου. Ο κάθε τομέας έχει μέγεθος 512 bytes τα οποία διαβάζονται ένα προς ένα. Στην περίπτωση που δεν έχει προηγηθεί ανάγνωση ετικέτας από τον αναγνώστη RFID η ανάγνωση του αρχείου γίνεται κανονικά μέχρι το τέλος του αρχείου και τα δεδομένα στέλνονται μέσω της σειριακής θύρας στον υπολογιστή. Για την κάλυψη των απαιτήσεων της εφαρμογής μας στην περίπτωση που η ετικέτα ενός αντικειμένου εισέρχεται στην εμβέλεια του αναγνώστη πρέπει να γίνεται έλεγχος για την ύπαρξη ή όχι της ταυτότητας του αντικειμένου στον αρχείο "IN.csv". Αυτό επιτυγχάνεται με την σύγκριση των bytes δεδομένων του αρχείου με τα 10 bytes της ταυτότητας του αντικειμένου. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει καταγραφή της ταυτότητας του αντικειμένου στο αρχείο μετά την ανάγνωση και του τελευταίου συμπλέγματος του αρχείου η συνάρτηση ολοκληρώνεται και το σύστημα συνεχίζει με την εγγραφή των στοιχείων του αντικειμένου στο αρχείο. Αν κατά την ανάγνωση του αρχείου υπάρξει ταύτιση του αντικειμένου με ένα ήδη υπάρχον καταγεγραμμένο στο αρχείο, σημαίνει ότι το αντικείμενο εξέρχεται της αποθήκης και πρέπει να διαγραφεί από το αρχείο "IN.csv". Η διαγραφή της ταυτότητας του αντικειμένου γίνεται με αντικατάσταση των δεδομένων στις θέσεις που βρίσκονται καταγεγραμμένα τα στοιχεία του αντικειμένου με μηδενικές τιμές και επανεγγραφή ολόκληρου του τομέα με τη βοήθεια της συνάρτησης `SD_WriteSingleBlock`.

Για να εξασφαλιστεί η είσοδος και καταγραφή στον αποθηκευτικό χώρο μόνο των έγκυρων αντικειμένων υλοποιήθηκε η συνάρτηση `validateTag`. Η συνάρτηση κάνει αναζήτηση στο αρχείο “VALID.csv” με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω. Ξεκινώντας από το πρώτο σύμπλεγμα του αρχείου, οι τομείς διαβάζονται byte προς byte και αν υπάρξει ταύτιση 10 συνεχόμενων bytes με τα 10 bytes της ετικέτας του αντικειμένου σημαίνει ότι το αντικείμενο είναι έγκυρο και μπορεί να καταγραφεί ως εισερχόμενο ή εξερχόμενο. Στην αντίθετη περίπτωση το σύστημα ενημερώνεται για την μη εγκυρότητα του αντικειμένου.

3.2.2 Υπολογισμός Χρόνου Δειγματοληψίας Δεδομένων Εξόδου Αναγνώστη RFID

Ένα επιπλέον ζήτημα που μας απασχόλησε κατά τη διάρκεια της σχεδίασης του συστήματος ήταν η σύνδεση του αναγνώστη RFID στο σύστημα. Ο αναγνώστης που επιλέχθηκε έχει σειριακή έξοδο δεδομένων σε επίπεδα TTL με ρυθμό 9600bps. Για την καλύτερη διαχείριση των πόρων του συστήματος ο αναγνώστης επιλέχθηκε να συνδεθεί σε μια θύρα του μικροελεγκτή η οποία μπορεί να δεχθεί εξωτερική διακοπή και όχι στη σειριακή θύρα RS232 του μικροελεγκτή η οποία είναι απαραίτητη για την επικοινωνία με τον H/Y, το οποίο ήταν εφικτό εξαιτίας των TTL επιπέδων της εξόδου του αναγνώστη. Για τη σωστή λήψη των δεδομένων του αναγνώστη RFID έπρεπε να υπολογίσουμε το χρόνο δειγματοληψίας του κάθε bit από το μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής επιλέχθηκε να λειτουργεί σε συχνότητα 8MHz, δηλαδή η διάρκεια ενός κύκλου κατά την εκτέλεση του προγράμματος είναι $1/8\text{MHz}=0.000125\text{ms}$. Ο αναγνώστης στέλνει τα δεδομένα του στον μικροελεγκτή με ρυθμό 9600bps, δηλαδή $1/9600=0.1\text{ms}$ είναι ο χρόνος που χρειάζεται ο αναγνώστης για να στείλει ένα bit δεδομένων. Επομένως για τη σωστή δειγματοληψία ενός bit δεδομένων από τον αναγνώστη ο μικροελεγκτής χρειάζεται μια καθυστέρηση $0.1\text{ms}/0.000125\text{ms}=800$ κύκλων ρολογιού. Για την υλοποίηση της απαιτούμενης καθυστέρησης χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `_delay_loop_2(uint16t_count)` η οποία χρησιμοποιείται για μικρές καθυστερήσεις στην εκτέλεση του προγράμματος. Η συνάρτηση υλοποιείται σαν ένας βρόγχος μέτρησης προς τα κάτω (count-down loop), σε κάθε επανάληψη εκτελούνται 4 κύκλοι CPU επομένως η συνάρτηση δέχεται σαν όρισμα $800\text{ CPU cycles}/4\text{ CPU cycles per loop}=200\text{ loop}$. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο τρόπος δειγματοληψίας των bits της ετικέτας από τον μικροελεγκτή:



$$T_s = 0.1 \text{ ms} = 800 \text{ cycles}$$

Σχήμα 2: Δειγματοληψία bit ετικέτας από τον μικροελεγκτή

3.2.3 Θέματα Κόστους

Τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε για την υλοποίηση του συστήματος επιλέχθηκαν με βασικό κριτήριο την συγκράτηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα.

Η επιλογή του μικροελεγκτή AVR της Atmel, ATmega32A, ως βασικού στοιχείου λειτουργίας του συστήματος οφείλεται στο μέγεθος της μνήμης προγράμματος και δεδομένων που περιλαμβάνει και είναι επαρκές για την υλοποίηση μας, στο πλήθος των δυνατοτήτων που τον κάνουν ιδιαίτερα ελκυστικό για τη δημιουργία ενός ενσωματωμένου συστήματος και στην ιδιαίτερα χαμηλή τιμή του.

Ο αναγνώστης RFID (125 KHz) Serial TTL της rhydoLABZ που επιλέχθηκε για την ταυτοποίηση των αντικειμένων που εισέρχονται ή εξέρχονται από τον αποθηκευτικό χώρο αποτελεί μια εξαιρετικά χαμηλού κόστους λύση, σε σχέση σε άλλους αναγνώστες του εμπορίου, για την ανάγνωση παθητικών ετικετών. Επιπλέον, οι παθητικές ετικέτες μόνο ανάγνωσης που χρησιμοποιήσαμε στο σύστημά μας έχουν εξαιρετικά χαμηλή τιμή σε σχέση με άλλου είδους ετικέτες όπως οι ενεργητικές ετικέτες. Ενώ οι τιμές για μια ενεργητική ετικέτα κυμαίνονται μεταξύ 10 και 100 €, οι τιμές για μια παθητική ετικέτα κοστολογούνται μόλις μεταξύ 0.1 και 3 €.

Η οθόνη γραφικών LCD 128x64 AGM1264F αποτελεί ένα απαραίτητο υλικό για την υλοποίηση του συστήματος, καθώς η ενημέρωση του χρήστη για τον αριθμό των προϊόντων που βρίσκονται σε απόθεμα και για τα αποτελέσματα της ταυτοποίησης των

αντικειμένων κατά την είσοδο και έξοδο τους στον αποθηκευτικό χώρο βασίζεται αποκλειστικά σε αυτή.

Η προσθήκη του ρολογιού πραγματικού χρόνου DS1307 μαζί με τον κρύσταλλο και τις αντιστάσεις που απαιτήθηκαν για τη σύνδεση του στο σύστημα αποτέλεσαν μια χαμηλού κόστους επιλογή ώστε να έχουμε τη δυνατότητα γνώσης της ακριβούς ημερομηνίας και ώρας της εισόδου/εξόδου ενός αντικειμένου στο χώρο.

Ως απαραίτητο αποθηκευτικό μέσο στο σύστημα για τα στοιχεία ελέγχου των προϊόντων επιλέχθηκε η κάρτα μνήμης SD μεγέθους 2GB, ενώ για την προσθήκη της κάρτας μνήμης SD στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε ένας υποδοχέας κάρτας της LC Technologies.

Για την υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε και ένας διακόπτης ώστε να είναι δυνατή η εναλλαγή των καταστάσεων λειτουργίας του συστήματος.

Το συνολικό κόστος για την υλοποίηση του συστήματος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

| Component | Price € |
|---|----------------|
| ATmega32A | 5 |
| RFID Reader (125 KHz) Serial TTL rhydoLABZ | 12.54 |
| Graphical LCD 128x64 AGM1264F | 20 |
| DS1307 | 1.83 |
| SD Card Socket LC Technologies | 2 |
| SD Card 2GB | 4 |
| Other components (button, resistors, 32.768 KHz crystal, capacitor) | 3 |
| Total Cost | 48.37 € |

Πίνακας 1: Συνολικό Κόστος Συστήματος

Γίνεται εμφανές ότι το συνολικό κόστος του κυκλώματος διατηρήθηκε σε χαμηλά επίπεδα. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν οι αγορές των απαραίτητων υλικών γίνονταν μαζικά οι τιμές τους θα ήταν πολύ χαμηλότερες από τις προαναφερθείσες και το κόστος υλοποίησης του τελικού συστήματος θα μειωνόταν ακόμα περισσότερο.

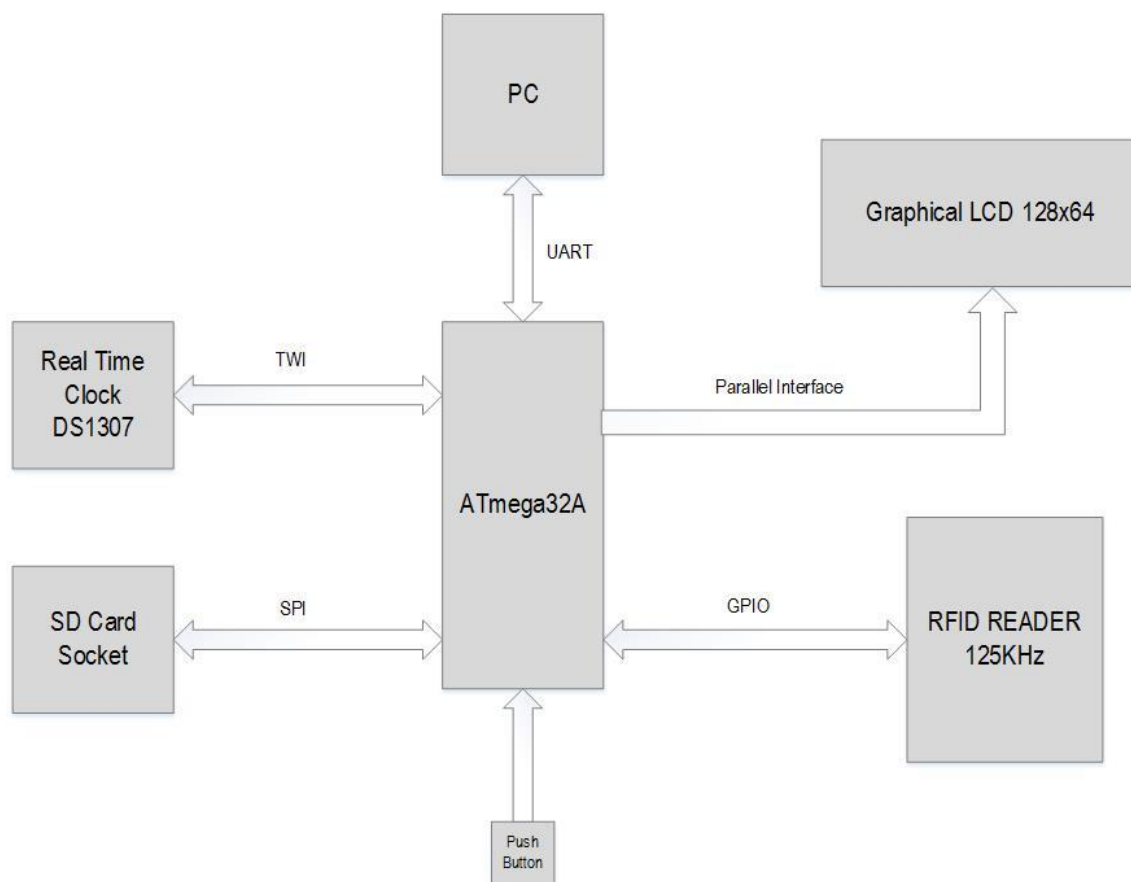
Η υλοποίηση του συστήματός μας έγινε πάνω σε breadboard και με τη βοήθεια του αναπτυξιακού STK500. Στην περίπτωση που αποφασίζαμε να τυπώσουμε το κύκλωμα μας σε μια πλακέτα PCB θα έπρεπε να υπολογίσουμε στο τελικό κόστος του συστήματος το κόστος για την τύπωση της πλακέτας και την αγορά ενός RS232 Shifter για την επικοινωνία του συστήματος με τον Η/Υ, η οποία στη δική μας υλοποίηση γίνεται μέσω του αναπτυξιακού STK500.

4 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται η γενική δομή του συστήματος, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του τελικού μας συστήματος και ο τρόπος σύνδεσής τους στο σύστημα ενώ παρουσιάζεται και η γενική εικόνα των συνδεσμολογιών του τελικού συστήματος.

4.1 Γενική Δομή Συστήματος

Ο μικροελεγκτής AVR της Atmel αποτελεί τον πυρήνα του συστήματος και ελέγχει όλες τις περιφερειακές συσκευές: τον αναγνώστη RFID, την οθόνη γραφικών LCD 128x64, το ρολόι πραγματικού χρόνου RTC και την κάρτα μνήμης SD. Στο σύστημα υπάρχει επιπλέον ένα διακόπτης για την εναλλαγή των λειτουργιών του συστήματος και σύνδεση του μικροελεγκτή με τον Η/Υ για την λειτουργία διαχείρισης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γενική δομή του τελικού μας συστήματος:



Σχήμα 3: Γενική Δομή Συστήματος

Ο μικροελεγκτής ελέγχει όλες τις περιφερειακές συσκευές. Η σύνδεση του μικροελεγκτή με τον αναγνώστη RFID γίνεται μέσω μιας θύρας του μικροελεγκτή που μπορεί να δεχθεί εξωτερική διακοπή για την καλύτερη κατανομή των πόρων του συστήματος αφού με αυτό τον τρόπο σύνδεσης η σειριακή θύρα RS232 είναι ελεύθερη προς χρήση για την επικοινωνία του μικροελεγκτή με τον Η/Υ. Η κάρτα μνήμης SD συνδέεται μέσω της διεπαφής SPI(Serial Peripheral Interface) με τον μικροελεγκτή και αποτελεί το μέσο μόνιμης αποθήκευσης για το σύστημα, ενώ το ρολόι πραγματικού χρόνου συνδέεται με τον μικροελεγκτή μέσω του διαύλου TWI(Two Wire Interface) και μας δίνει τη δυνατότητα γνώσης πραγματικής ημερομηνίας και ώρας. Η οθόνη γραφικών συνδέεται μέσω παράλληλης διεπαφής(parallel interface) 8 bit δεδομένων και των σημάτων ελέγχου της με τον μικροελεγκτή και αποτελεί ένα μέσο διεπαφής του χρήστη με το σύστημα, ενώ η σύνδεση του διακόπτη με το μικροελεγκτή επιτρέπει στο χρήστη την εναλλαγή των καταστάσεων λειτουργίας του συστήματος. Στις επόμενες ενότητες ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των επιμέρους συσκευών και των συνδεσμολογιών του συστήματος.

4.2 Μικροελεγκτής AVR

Βασικό ρόλο στην υλοποίηση του συστήματος έχει ένας μικροελεγκτής της οικογένειας AVR και συγκεκριμένα ο ATmega32A της Atmel. Ο μικροελεγκτής (ή MCU) είναι ένας μικρός υπολογιστής σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Η ενσωματωμένη μνήμη και οι δίαυλοι που περιέχει τον καθιστούν αυτόνομο και οικονομικό σε σχέση με έναν γενικής χρήσης μικροεπεξεργαστή ο οποίος δίνει έμφαση στην υπολογιστική ισχύ, αλλά χρησιμοποιεί εξωτερικά περιφερειακά για να πετύχει αυτές τις λειτουργίες με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους. Οι μικροελεγκτές AVR είναι μια διαδεδομένη και ευρεία χρησιμοποιούμενη οικογένεια μικροελεγκτών που παράγεται σε μια μεγάλη γκάμα τύπων. Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- **Μικροελεγκτές MegaAVR(ATmegaxxx):** πανίσχυροι μικροελεγκτές που υποστηρίζουν μέχρι 120 εντολές και έχουν πλήθος περιφερειακών κυκλωμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ποικιλία συστημάτων. Μερικά από τα χαρακτηριστικά τους είναι μνήμη προγράμματος από 4K έως 256K, συσκευασία από 28 έως 100 ακροδεκτών, εκτεταμένα περιφερειακά υποκυκλώματα και πλούσιο ρεπερτόριο εντολών.

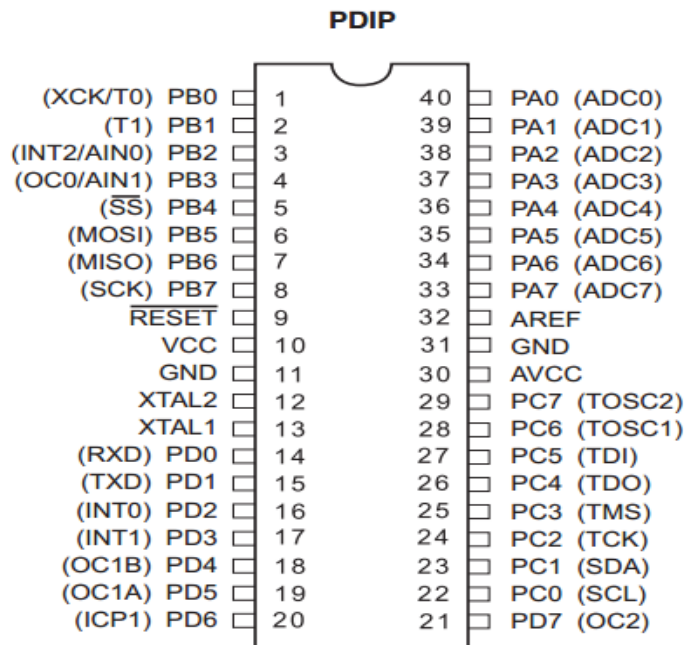
- **Μικροελεγκτές TinyAVR(ATtinyxxxx):** ιδανικοί για συστήματα μικρού κόστους και δυνατοτήτων. Έχουν μνήμη προγράμματος από 1K μέχρι 8Kbytes, συσκευασία από 8 μέχρι 28 ακροδέκτες, περιορισμένα περιφερειακά υποκυκλώματα και περιορισμένο ρεπερτόριο εντολών.
- **Μικροελεγκτές ειδικής χρήσης(special purpose) AVR:** ιδανικοί για ειδικές εφαρμογές. Μερικά χαρακτηριστικά τους είναι ο USB controller, CAN controller, LCD controller, Ethernet controller, FPGA κτλ.

Για την υλοποίησή μας χρησιμοποιήσαμε τον ATmega32A, έναν μικροελεγκτή της κατηγορίας megaAVR. Ο ATmega32A είναι ένας χαμηλής κατανάλωσης CMOS 8bit μικροελεγκτής που διαθέτει επεξεργαστή τύπου RISC, ο σχεδιασμός του οποίου βασίζεται στην αρχιτεκτονική Harvard, σύμφωνα με την οποία ο χώρος των διευθύνσεων προγράμματος είναι ανεξάρτητος από εκείνον των δεδομένων. Ο σχεδιασμός του προβλέπει ένα πλούσιο σετ εντολών συνδεδεμένο με 32 καταχωρητές γενικής χρήσης μεγέθους 8bit, για την αποθήκευση δεδομένων εντός της CPU ώστε να μειώνονται οι προσβάσεις στη μνήμη.

Τα χαρακτηριστικά που προσφέρει και τον κάνουν ιδιαίτερα ελκυστικό για την υλοποίηση του ενσωματωμένου συστήματός μας είναι τα παρακάτω:

- Υψηλή απόδοση και μικρή κατανάλωση
- 32KB αυτοπρογραμματιζόμενη μνήμη Flash, ικανοποιητικό μέγεθος μνήμης για την υλοποίηση του συστήματος αρχείων της κάρτας και όλων των απαραίτητων λειτουργιών
- 1KB EEPROM
- 2KB εσωτερική SRAM
- Πλήθος περιφερειακών
 - Two Wire Serial Interface για επικοινωνία με το Real Time Clock
 - Σειριακή θύρα με δυνατότητες σύγχρονης και ασύγχρονης λειτουργίας
 - Master/Slave SPI λειτουργία για επικοινωνία με την κάρτα μνήμης
 - Watchdog Timer, χρονόμετρο με σκοπό να προκαλέσει επανεκκίνηση στο σύστημα
- Εσωτερικές και εξωτερικές διακοπές (Interrupts)
- 32 προγραμματιζόμενες θύρες Εισόδου/Εξόδου
- Τάση λειτουργίας 2.7V – 5.5V
- Ταχύτητες έως 16MHz

Η διαμόρφωση του μικροελεγκτή ATmega32A που χρησιμοποιήσαμε στην υλοποίηση του συστήματος είναι DIP και διαθέτει συνολικά 40 ακροδέκτες(Pins).



Σχήμα 4: Ακροδέκτες ATmega32A σε 40-DIP μορφή

4.3 Περιφερειακά Συστήματος

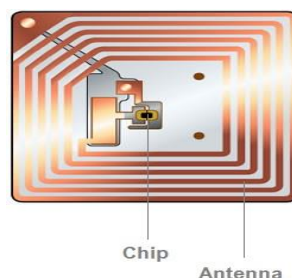
Εκτός από τον μικροελεγκτή ATmega32A που έχει τον κύριο ρόλο στη λειτουργία του συστήματος χρησιμοποιήσαμε ένα πλήθος περιφερειακών συσκευών. Τα γενικά χαρακτηριστικά του αναγνώστη RFID, της κάρτας μνήμης SD, της οθόνης γραφικών LCD 128x64 και του ρολογιού πραγματικού χρόνου RTC καθώς και ο τρόπος σύνδεσής τους στο σύστημα περιγράφονται στις επόμενες ενότητες.

4.3.1 Αναγνώστης RFID

Το RFID (ακρωνύμιο του Radio Frequency Identification) ή αλλιώς η Ταυτοποίηση Μέσω Ραδιοσυχνοτήτων είναι ένας γενικός όρος των τεχνολογιών που χρησιμοποιούν ραδιοκύματα για τον αυτόματο προσδιορισμό ανθρώπων ή αντικειμένων και μεταξύ άλλων αποτελεί την τεχνολογική εξέλιξη των ραβδωτών κωδίκων(*Barcodes*). Τα βασικά στοιχεία της τεχνολογίας RFID είναι δύο:

- οι πομποδέκτες(*transponders*) ή αλλιώς ετικέτες(*tags*)
- οι αναγνώστες ή αισθητήρες(*readers*)

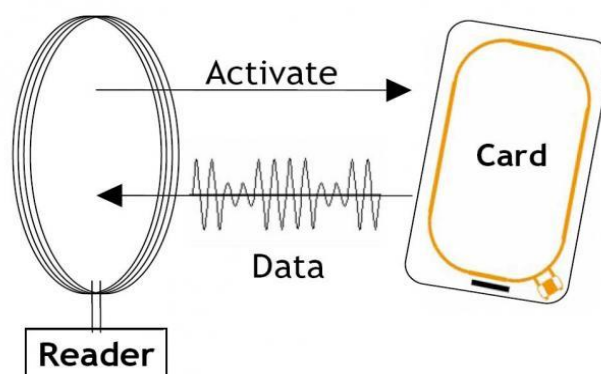
Κάθε αντικείμενο που πρόκειται να ταυτοποιηθεί μέσω ενός RFID συστήματος πρέπει να φέρει μια RFID ετικέτα τοποθετημένη στη συσκευασία ή σε οποιοδήποτε τμήμα του. Οι ετικέτες είναι μικρά τσιπ που αποτελούνται από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα στου οποίου τη μνήμη αποθηκεύονται δεδομένα και μια κεραία. Οι ετικέτες διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο επικοινωνίας τους με τους αναγνώστες: ενεργές(*active*), παθητικές(*passive*), ημιπαθητικές(*semi-passive*). Οι ενεργές και ημιπαθητικές ετικέτες τροφοδοτούν το εσωτερικό τους κύκλωμα με τη χρήση μπαταριών. Οι ενεργές ετικέτες χρησιμοποιούν τη μπαταρία για να μεταδίδουν περιοδικά τα δεδομένα τους σε μεγάλη εμβέλεια, ενώ στις ημιπαθητικές ετικέτες η μετάδοση των δεδομένων τροφοδοτείται από το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο κάθε φορά που βρίσκονται κοντά σε ένα αναγνώστη. Οι δύο αυτές κατηγορίες ετικετών έχουν υψηλό κόστος κατασκευής, μεγαλύτερο μέγεθος και μπορούν να αναγνωστούν από μεγάλη απόσταση. Οι παθητικές ετικέτες δεν έχουν μπαταρία με αποτέλεσμα να είναι μικρότερες σε μέγεθος, φθηνότερες και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Βασίζονται στην ενέργεια που τους παρέχει ο αναγνώστης μέσω ηλεκτρομαγνητικού πεδίου για την μετάδοση των δεδομένων τους, για αυτό μπορούν να αναγνωστούν σε μικρές αποστάσεις από τον αναγνώστη. Οι ετικέτες κατηγοριοποιούνται επίσης σε Read-Write που έχουν τη δυνατότητα τροποποίησης και προσθήκης πληροφοριών και παρουσιάζουν μεγάλη ευελιξία, σε Read Only στα οποία η ταυτότητα της ετικέτας κωδικοποιείται κατά την παραγωγή και δεν επανεγγράφεται και σε Write Once-Read Many ετικέτες που προγραμματίζονται από τον οργανισμό που τις χρησιμοποιεί χωρίς την δυνατότητα επανεγγραφής.



Σχήμα 5: Το εσωτερικό μιας παθητικής ετικέτας RFID

Ο αναγνώστης είναι μια συσκευή που αναλαμβάνει να επικοινωνήσει με την ετικέτα μέσω ραδιοκυμάτων. Αποτελείται από μια κεραία και μια μονάδα ελέγχου που καθορίζει τις ενέργειες που κάνει ο αναγνώστης (αποστολή/λήψη σημάτων, ανάγνωση/εγγραφή ετικετών κτλ) και αναλαμβάνει την επικοινωνία με το πληροφοριακό σύστημα. Κατηγοριοποιούνται σε σχέση με τις φυσικές τους διαστάσεις, τις τεχνικές τους ιδιότητες και την εφαρμογή τους σε: σταθερούς, ολοκληρωμένους και αναγνώστες χειρός.

Η λειτουργία του RFID βασίζεται στην αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ της ετικέτας και του αναγνώστη. Όταν οι ετικέτες βρεθούν στην εμβέλεια της κεραίας του αναγνώστη, η μονάδα ελέγχου του αναγνώστη επικοινωνεί με ραδιοκύματα με την κεραία της ετικέτας. Η ετικέτα ενεργοποιείται και διαβιβάζει τα δεδομένα της στον αναγνώστη ο οποίος μετατρέπει τα ραδιοκύματα που ανακλώνται από την ετικέτα σε ψηφιακές πληροφορίες και τις μεταβιβάζει στο εκάστοτε πληροφοριακό σύστημα.



Σχήμα 6: Επικοινωνία Ετικέτας με αναγνώστη RFID

Ακριβώς όπως πρέπει να συντονιστείτε σε διαφορετικές συχνότητες για να ακούσετε διαφορετικούς ραδιοφωνικούς σταθμούς, με τον ίδιο τρόπο οι ετικέτες RFID πρέπει να είναι συντονισμένες στην ίδια συχνότητα με τον αναγνώστη για να έχουμε αποτελεσματική επικοινωνία. Η εμβέλεια του συστήματος ποικίλει ανάλογα με τον τύπο της ετικέτας, την ισχύ του αναγνώστη, της συχνότητας στην οποία λειτουργεί το σύστημα και τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Οι περιοχές συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται είναι: η χαμηλή συχνότητα (*Low Frequency LF*) στα 120-150 KHz, η υψηλή συχνότητα (*High Frequency HF*) στα 13.56 MHz, η πολύ υψηλή συχνότητα

(*Ultra High Frequency UHF*) στα 433MHz (περιλαμβάνει και τις συχνότητες 865-868 MHz στην Ευρώπη και 902-928 MHz στην Βόρεια Αμερική) και τα μικροκύματα (*Microwaves*) στα 2450-5800 MHz. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα λειτουργίας ενός συστήματος RFID τόσο μεγαλύτερη είναι η εμβέλειά του.

Για την υλοποίηση του συστήματός μας χρησιμοποιήσαμε τον αναγνώστη RFID (125 KHz) Serial TTL της rhydoLABZ ο οποίος μπορεί να αναγνώσει παθητικές ετικέτες μόνο ανάγνωσης και χαμηλής συχνότητας 125KHz της οικογένειας EM4100 που εισέρχονται στην εμβέλεια του αναγνώστη σε απόσταση 10-15 cm από αυτόν και παράγει ως έξοδο τον μοναδικό αριθμό ταυτοποίησης της ετικέτας μέσω σειριακής θύρας στα 9600 bps. Οι ακροδέκτες του αναγνώστη RFID παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

| Pin No | Pin Name | I/O | Details |
|--------|----------|--------------|---|
| 1 | VCC | Power IN | Positive Power Supply (5V) |
| 2 | EN | Input | Enable Pin of the Module, Active High for Normal Work |
| 3 | TXD | Output | Transmit Pin |
| 4 | GND | Power Ground | Ground |
| 5 | RXD | Input | Receive Pin |

Πίνακας 2: Περιγραφή Ακροδεκτών Αναγνώστη RFID

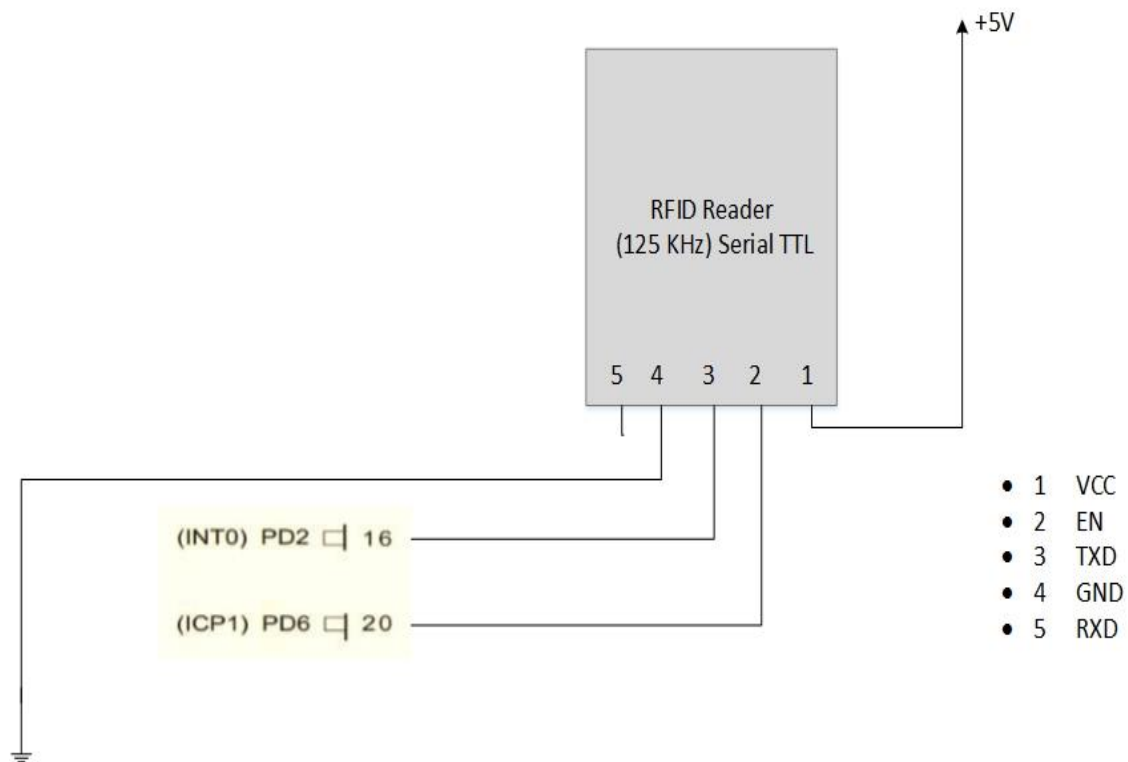
Η έξοδος του αναγνώστη είναι μια σειρά από 12 byte, εκ των οποίων ένα start, ένα stop και 10 μοναδικά byte δεδομένων. Τα start και stop byte αντιστοιχούν στους χαρακτήρες 0x0A και 0x0D αντίστοιχα και χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση ενός έγκυρου αριθμού ταυτοποίησης. Τα μεσαία 10 bytes είναι το πραγματικό αναγνωριστικό ταυτότητας της ετικέτας. Όλες οι επικοινωνίες είναι 8bit, χωρίς έλεγχο ισοτιμίας, non-inverted και με πρώτο το λιγότερο σημαντικό bit. Όταν ο αναγνώστης είναι ενεργός και μια έγκυρη ετικέτα εισέλθει στην εμβέλειά του, το μοναδικό αναγνωριστικό της ετικέτας θα μεταδοθεί σειριακά ως μια 12byte ASCII συμβολοσειρά στον μικροελεγκτή.

| Start Byte | Tag ID | Tag ID | Tag ID | Tag ID | Tag ID | Tag ID | Tag ID | Tag ID | Tag ID | Tag ID | Stop Byte |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| 0x0A | Digit 1 | Digit 2 | Digit 3 | Digit 4 | Digit 5 | Digit 6 | Digit 7 | Digit 8 | Digit 9 | Digit 10 | 0x0D |

Πίνακας 3: Μορφή Δεδομένων Εξόδου Αναγνώστη RFID

Το baud rate στα 9600bps είναι ταχύτητα που υποστηρίζεται από οποιοδήποτε μικροελεγκτή για τη σύνδεση του αναγνώστη στη σειριακή θύρα του μικροελεγκτή, ενώ τα επίπεδα TTL της εξόδου του αναγνώστη μας επιτρέπουν τη σύνδεση με οποιαδήποτε θύρα του μικροελεγκτή για μεταφορά δεδομένων, αφήνοντας μας ελεύθερη τη σειριακή θύρα του μικροελεγκτή για επικοινωνία με τον υπολογιστή. Ο αναγνώστης μας δίνει τη δυνατότητα ενεργοποίησης και απενεργοποίησής του εξωτερικά με την μια είσοδο Enable, ενώ ένα LED που αναβοσβήνει μας ενημερώνει για την παρουσία παθητικής ετικέτας στην εμβέλειά του. Ο αναγνώστης χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο EM4102 και μπορεί να αναγνώσει αλλά όχι να εγγράψει ετικέτες.

Για την καλύτερη διαχείριση των πόρων του συστήματος και δεδομένου ότι η έξοδος του αναγνώστη RFID είναι σε επίπεδα TTL, επιλέχθηκε η σύνδεση της εξόδου του αναγνώστη στη θύρα PD2 του μικροελεγκτή η οποία μπορεί να δεχθεί εξωτερική διακοπή. Με τον τρόπο αυτό η σειριακή θύρα RXD του μικροελεγκτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία του μικροελεγκτή με τον H/Y. Ο αναγνώστης ενεργοποιείται όταν το σήμα Enable που δέχεται σαν είσοδο από τη θύρα PD6 του μικροελεγκτή τεθεί σε λογικό 1, ενώ απενεργοποιείται όταν το σύστημα τεθεί σε λειτουργία διαχείρισης (πάτημα διακόπτη). Όταν μια ετικέτα ενός αντικειμένου εισέλθει στην εμβέλεια του αναγνώστη, δημιουργείται μια εξωτερική διακοπή (*external interrupt*) και ο μικροελεγκτής ξεκινά την λήψη των δεδομένων από τον αναγνώστη στη θύρα PD2. Η διεπαφή του μικροελεγκτή με τον αναγνώστη RFID παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 7: Διεπαφή ATmega32A με αναγνώστη RFID

Ο αναγνώστης RFID (125 KHz) Serial TTL της rhydoLABZ αποτελεί μια χαμηλού κόστους μέθοδο για την ανάγνωση παθητικών ετικετών EM4100 με χαμηλές απαιτήσεις ισχύος (5V ~ 120 mA) και για το λόγο αυτό αποτέλεσε μια ιδανική επιλογή για την υλοποίηση του συστήματος.

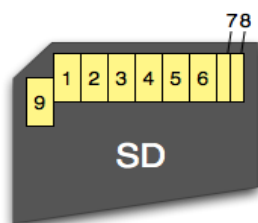


Εικόνα 1: Ο αναγνώστης RFID (125 KHz) Serial TTL της rhydoLABZ

4.3.2 Κάρτα Μνήμης SD

Το μέσο αποθήκευσης δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην υλοποίηση του συστήματος ελέγχου απογραφής προϊόντων είναι μια κάρτα μνήμης SD(Secure Digital). Οι κάρτες μνήμης SD είναι ένα κινητό μέσο αποθήκευσης ειδικά σχεδιασμένο με πρωταρχικό σκοπό το μικρό μέγεθος, την μικρή κατανάλωση ισχύος και το μικρό κόστος αγοράς. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν χρειάζονται τροφοδοσία για να διατηρήσουν τα αποθηκευμένα αρχεία και είναι πολύ ανθεκτικές. Η SD παρουσιάστηκε τον Αύγουστο του 1999 και αποτελείται από τέσσερις οικογένειες καρτών: Standard Capacity (SDSC), High Capacity(SDHC), Extended Capacity(SDXC) και SDIO η οποία συνδυάζει τις λειτουργίες εισόδου/εξόδου με την αποθήκευση δεδομένων. Υπάρχουν επίσης τρεις διαφορετικοί τύποι καρτών ανάλογα με το φυσικό τους μέγεθος: original, mini και micro. Ειδικοί προσαρμογείς επιτρέπουν τη χρήση μικρότερου φυσικού μεγέθους καρτών από μια συσκευή που έχει σχεδιαστεί για την υποδοχή καρτών μεγαλύτερου μεγέθους.

Η κάρτα χρησιμοποιεί ένα απλό εννέα εισόδων/εξόδων σειριακό interface που μας παρέχει πολλές δυνατότητες διαχείρισης. Όλα τα στοιχεία που αφορούν στην κάρτα (μέγιστη συχνότητα λειτουργίας, ταυτότητα της κάρτας κτλ) είναι αποθηκευμένα στην ίδια την κάρτα. Προσφέρει μεγάλη ευκολία στη σχεδίαση συστημάτων ανεξαρτήτως του μικροϋπολογιστή που χρησιμοποιείται και εκτός των άλλων έχει διαθέσιμα δύο πρωτόκολλα επικοινωνίας: το πρωτόκολλο SD και ένα εναλλακτικό πρωτόκολλο επικοινωνίας βασισμένο στο SPI το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του συστήματος [Παράρτημα Β].



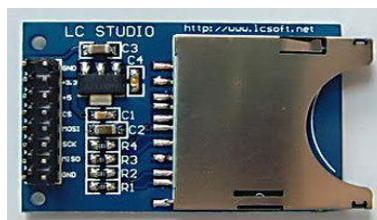
Σχήμα 8: Ακροδέκτες SD Κάρτας

| Pin No | SD | SPI |
|--------|---------|---------------------|
| 1 | CD/DAT3 | CS/ \overline{SS} |
| 2 | CMD | DI/MOSI |
| 3 | VSS1 | VSS1 |
| 4 | VDD | VDD |
| 5 | CLK | SCLK |
| 6 | VSS2 | VSS2 |
| 7 | DAT0 | D0/MISO |
| 8 | DAT1 | X |
| 9 | DAT2 | X |

Πίνακας 4: Περιγραφή Ακροδεκτών Κάρτας SD σε λειτουργία SD και SPI αντίστοιχα

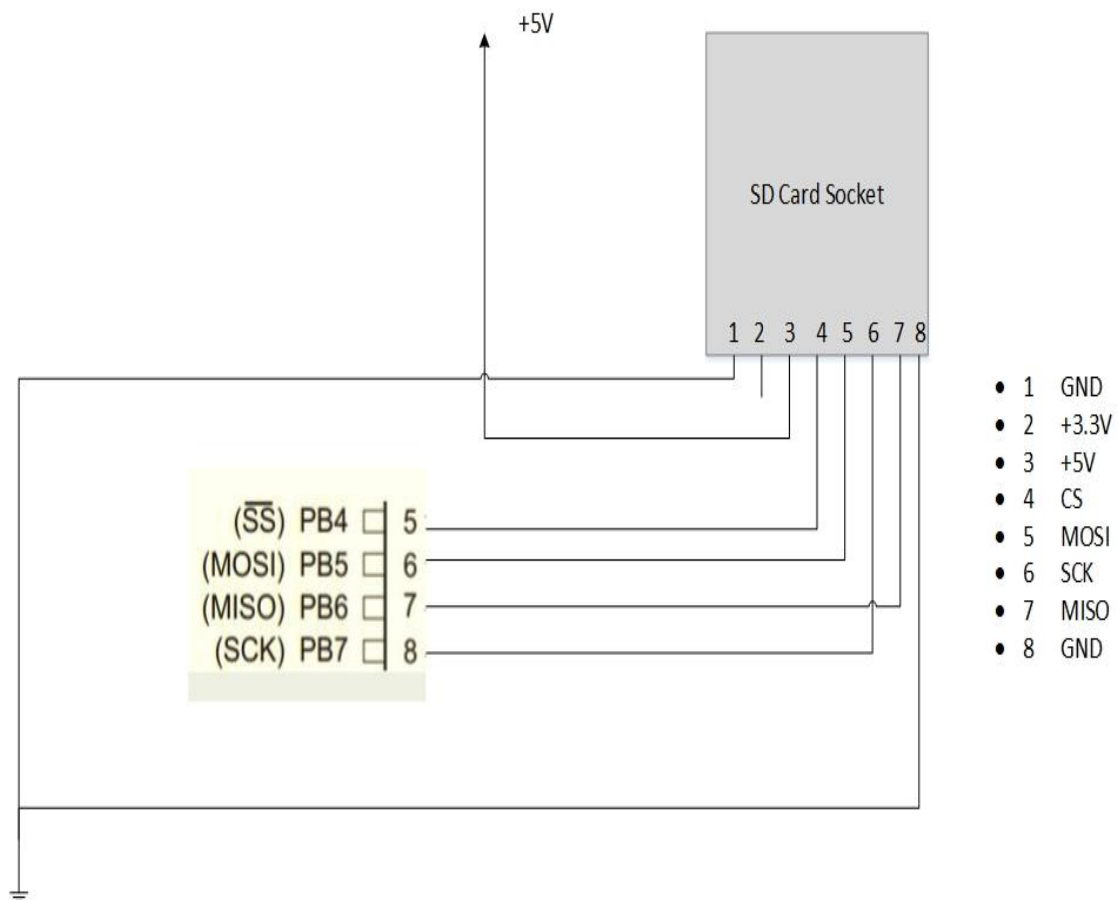
Η κάρτα μνήμης SD συνδέθηκε με τον μικροελεγκτή ATmega32A μέσω της διεπαφής SPI (Serial Peripheral Interface). Η σύνδεση απαιτεί μετατροπή της τάσης από 5V σε 3.3V για τις εισόδους της κάρτας, ενώ η γραμμή εξόδου της κάρτας MISO (3V) μπορεί να συνδεθεί απευθείας στον μικροελεγκτή καθώς ο AVR αναγνωρίζει τα επίπεδα πάνω από 2V ως υψηλά επίπεδα τάσης. Ενώ η τάση λειτουργίας της κάρτας είναι τα +3.3V, ο υποδοχέας διαθέτει ένα μετατροπέα τάσης από τα +5V στα +3.3V και τις κατάλληλες αντιστάσεις για το απαραίτητο level shifting των σημάτων της κάρτας.

Στην υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιήσαμε μια micro SD χωρητικότητας 2GB την οποία τοποθετήσαμε σε ένα προσαρμογέα και έναν υποδοχέα κάρτας LC Technologies για τη σύνδεση του προσαρμογέα ή μιας original SD κάρτας στο σύστημα. Ο υποδοχέας τη κάρτας μνήμης SD μας επιτρέπει την εξαγωγή της κάρτας όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο για την επεξεργασία των δεδομένων του συστήματος.



Εικόνα 2: Υποδοχέας SD κάρτας LC Technologies

Η διεπαφή του μικροελεγκτή με τον υποδοχέα της κάρτας μνήμης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 9: Διεπαφή ATmega32A με SD Card Socket

4.3.3 Οθόνη Γραφικών LCD

Για τη διεπαφή του χρήστη με το σύστημα χρησιμοποιήσαμε μια οθόνη γραφικών LCD 128x64 pixel και συγκεκριμένα την AGM1264F-NLWBBW της AZ Displays. Η χρήση μιας τέτοιας οθόνης μας παρέχει μια καλύτερη μέθοδο επικοινωνίας με το χρήστη με μικρή αύξηση του κόστους και των πόρων του συστήματος. Η λειτουργία της οθόνης περιγράφεται αναλυτικά στο [Παράρτημα Γ]. Όλα τα σήματα ελέγχου και οι είσοδοι/έξοδοι της οθόνης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

| Pin No | Symbol | Function | Level |
|--------|--------|---|-------|
| 1 | Vss | Ground | - |
| 2 | Vdd | +5V | - |
| 3 | Vo | LCD Contrast Adjust | - |
| 4 | D/I | H:Data Input L:Instruction Code Input | H/L |
| 5 | R/W | H:Data Read L:Data Write | H/L |
| 6 | E | Enable | H/L |
| 7 | DB0 | Data Bit 0 | H/L |
| 8 | DB1 | Data Bit 1 | H/L |
| 9 | DB2 | Data Bit 2 | H/L |
| 10 | DB3 | Data Bit 3 | H/L |
| 11 | DB4 | Data Bit 4 | H/L |
| 12 | DB5 | Data Bit 5 | H/L |
| 13 | DB6 | Data Bit 6 | H/L |
| 14 | DB7 | Data Bit 7 | H/L |
| 15 | CS1 | Chip Selection for IC1 | H |
| 16 | CS2 | Chip Selection for IC2 | H |
| 17 | RST | Reset | L |
| 18 | Vee | Power Supply for LCD driving | - |
| 19 | BL+ | Power Supply for BL+ | - |
| 20 | BL- | Power Supply for BL- | - |

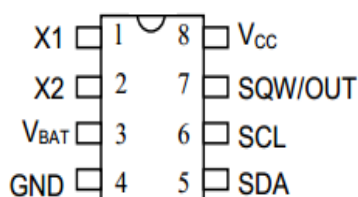
Πίνακας 5: Περιγραφή Ακροδεκτών AGM1264F

Η οθόνη γραφικών LCD 128x64 AGM1264F έχει τάση λειτουργίας +5V και ένα εσωτερικό κύκλωμα παραγωγής αρνητικής τάσης με έξοδο τον ακροδέκτη Vee. Για την λειτουργία της οθόνης ο ακροδέκτης 1 συνδέθηκε στη γείωση, ενώ οι ακροδέκτες Vcc και Vee συνδέονται μεταξύ τους με ένα ποτενσιόμετρο(10K) για τη ρύθμιση της αντίθεσης της οθόνης(Vo). Οι 8 γραμμές των bits δεδομένων της οθόνης συνδέθηκαν παράλληλα στην θύρα A του μικροελεγκτή, τα σήματα ελέγχου D/I, R/\bar{W} , En και RST συνδέθηκαν στις θύρες C2, C3, C4 και C7 αντίστοιχα, ενώ τα σήματα ελέγχου των οδηγών της οθόνης CS1 και CS2 συνδέθηκαν στις θύρες D4 και D5. Η διεπαφή της οθόνης γραφικών με τον μικροελεγκτή παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

4.3.4 Real Time Clock

Για τη σωστή λειτουργικότητα του συστήματος ήταν απαραίτητη η χρήση ενός Real Time Clock (RTC) το οποίο θα μας επέτρεπε να γνωρίζουμε τη ακριβή ημερομηνία και ώρα. Στην υλοποίηση μας χρησιμοποιήσαμε το ρολόι πραγματικού χρόνου DS1307 με χαμηλές απαιτήσεις ισχύος, δυαδική κωδικοποίηση δεκαδικών (BCD) και 56 bytes μνήμης SRAM. Οι διευθύνσεις και τα δεδομένα μεταδίδονται σειριακά μέσω ενός διαύλου αμφίδρομης κατεύθυνσης 2 γραμμών TWI [Παράρτημα Δ].

Το ρολόι/ημερολόγιο μας παρέχει δευτερόλεπτα, λεπτά, ώρες, ημέρα, ημερομηνία, μήνα και πληροφορίες για το έτος. Το τέλος του μήνα για μήνες με λιγότερες από 31 ημέρες καθώς και τα δίσεκτα έτη ρυθμίζονται αυτόματα. Το ρολόι λειτουργεί είτε σε 24ωρη είτε σε 12ωρη μορφή με AM/PM δείκτη. Το DS1307 λειτουργεί με τροφοδοσία +5V και έχει ένα ενσωματωμένο κύκλωμα το οποίο ανιχνεύει τις διακοπές ρεύματος και μεταβαίνει αυτόματα στην τροφοδοσία μπαταρίας λιθίου +3V. Όταν το ρολόι ανιχνεύει τάση τροφοδοσίας +5V είναι πλήρως προσβάσιμο και επιτρέπεται η ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων. Στην περίπτωση που η τάση τροφοδοσίας είναι μικρότερη από $1.25 \times V_{Bat}$ το ρολόι δεν είναι σε θέση να αναγνωρίσει μια είσοδο.



Σχήμα 11: Ακροδέκτες Real Time Clock DS1307

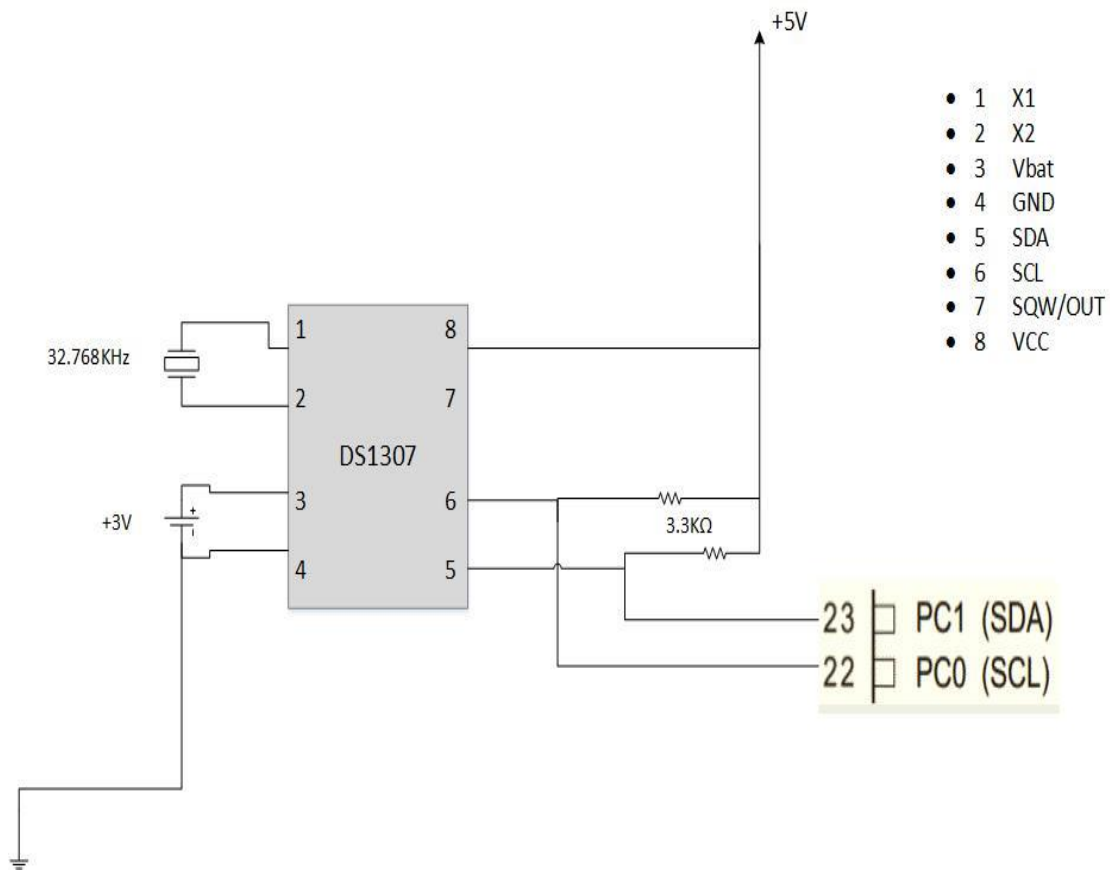
Για τη σωστή λειτουργία του ρολογιού είναι απαραίτητη η σύνδεση ενός κρυστάλλου χαλαζία 32.768 KHz στους ακροδέκτες X1 και X2. Το σήμα SCL (*Serial Clock Input*) χρησιμοποιείται για να συγχρονίσει την μετάδοση δεδομένων, ενώ το SDA (*Serial Data Input/Output*) χρησιμοποιείται για την είσοδο/έξοδο δεδομένων στον διάλο. Η έξοδος SQW/OUT (*Square Wave/Output Driver*) όταν είναι ενεργοποιημένη μπορεί να δώσει ένα τετραγωνικό παλμό ρυθμιζόμενης συχνότητας.

Οι πληροφορίες για την ημερομηνία και την ώρα αποκτώνται με την ανάγνωση των αντίστοιχων καταχωρητών. Η αρχικοποίηση του ρολογιού γίνεται με εγγραφή στους καταχωρητές της ημερομηνίας και την ώρας και τα περιεχόμενα των καταχωρητών είναι σε BCD κωδικοποίηση, δηλαδή κάθε ψηφίο παριστάνεται με τον ισοδύναμο ψηφιακό του αριθμό. Το bit 7 του καταχωρητή 00h ονομάζεται Clock Halt bit (CH) και ελέγχει τη λειτουργία του ταλαντωτή. Όταν η τιμή του είναι λογικό ένα ο ταλαντωτής απενεργοποιείται, ενώ στο λογικό μηδέν έχουμε ενεργοποίηση του ταλαντωτή και μπορεί να αρχίσει η μέτρηση του χρόνου. Οι διευθύνσεις των καταχωρητών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

| Address | Bit7 | Bit6 | Bit5 | Bit4 | Bit3 | Bit2 | Bit1 | Bit0 | Function | Range |
|---------|---------|------------|---------|----------|---------|------|------|------|-------------|-------------------------|
| 00h | CH | 10 Seconds | | | Seconds | | | | Seconds | 00-59 |
| 01h | 0 | 10 Minutes | | | Minutes | | | | Minutes | 00-59 |
| 02h | 0 | 12 | 10 Hour | 10 Hour | Hours | | | | Hours | 1-12 +AM/PM 00-23 |
| | | 24 | PM/AM | | | | | | | |
| 03h | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | DAY | | | Day | 01-07 |
| 04h | 0 | 0 | 10 Date | | Date | | | | Date | 01-31 |
| 05h | 0 | 0 | 0 | 10 Month | Month | | | | Month | 01-12 |
| 06h | 10 Year | | | | Year | | | | Year | 00-99 |
| 07h | OUT | 0 | 0 | SQWE | 0 | 0 | RS1 | RS0 | Control | - |
| 08h-3Fh | | | | | | | | | RAM 56x8 | 00h-FFh |

Πίνακας 6: Διευθύνσεις Καταχωρητών DS1307

Το ρολόι πραγματικού χρόνου DS1307 συνδέθηκε με τον μικροελεγκτή μέσω της διεπαφής TWI (Two Wire Interface). Για τη σύνδεση των γραμμών SDA και SCL μεταξύ του ρολογιού και του μικροελεγκτή χρησιμοποιήσαμε δύο pull-up αντιστάσεις της τάξης των 3.3KΩ. Η τάση λειτουργίας του ρολογιού είναι +5V, ενώ υπάρχει και εφεδρική μπαταρία (3V) για περιπτώσεις διακοπής της τροφοδοσίας. Επιπλέον, στους ακροδέκτες X1 και X2 του ρολογιού συνδέθηκε ο απαραίτητος κρύσταλλος χαλαζία 32.768KHz. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διεπαφή του DS1307 με τον μικροελεγκτή:



Σχήμα 12: Διεπαφή ATmega32A με ρολόι πραγματικού χρόνου DS1307

Το ρολόι πραγματικού χρόνου DS1307 που χρησιμοποιήσαμε στην υλοποίησή μας είναι σε DIP μορφή 8 ακροδεκτών. Με τις χαμηλές απαιτήσεις ισχύος και τη δυνατότητα σύνδεσής του μέσω της διεπαφής TWI με τον μικροελεγκτή δίνει στο σύστημά μας τη δυνατότητα γνώσης της ημερομηνίας και της ώρας εισόδου/εξόδου των προϊόντων στον αποθηκευτικό χώρο που αποτελούν χρήσιμες πληροφορίες για τον έλεγχο και την μετακίνηση των προϊόντων.

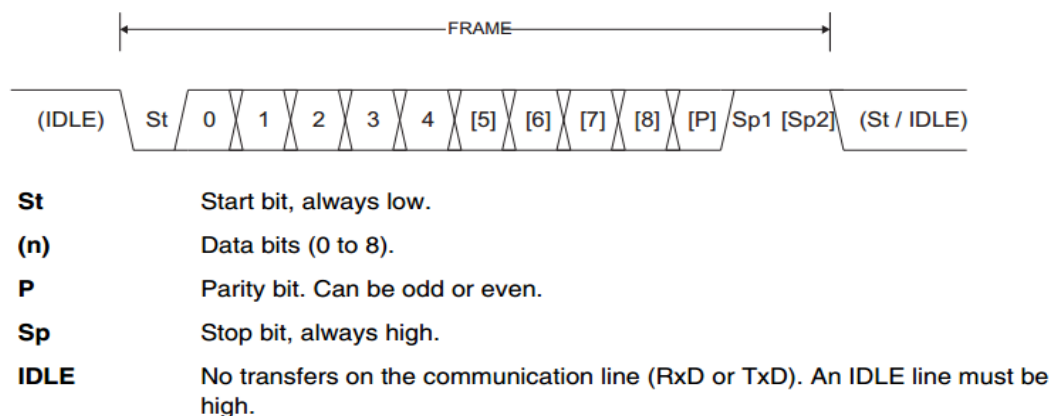


Εικόνα 4: Το ολοκληρωμένο DS1307 σε 8-DIP μορφή

4.3.5 Σειριακή Θύρα RS232

Για να είναι εφικτή η επικοινωνία του μικροελεγκτή με τον υπολογιστή για τη διαχείριση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η σειριακή θύρα RS232, ένας ασύγχρονος τρόπος σειριακής επικοινωνίας του μικροελεγκτή σε επίπεδο bit χωρίς την απαίτηση γραμμής ρολογιού για το συγχρονισμό τους. Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω του ρυθμού μετάδοσης (*baud rate*) και τη χρήση bit εκκίνησης και τερματισμού (*start/stop bits*).

Δομική μονάδα πληροφορίας για τη σειριακή θύρα αποτελεί το frame το οποίο περιλαμβάνει ένα bit εκκίνησης (*start bit*), ένα πακέτο δεδομένων από 5 έως 9 bits, ένα προαιρετικό bit ισοτιμίας (*parity bit*) και ένα ή δύο bit τερματισμού (*stop bits*). Η κατάσταση Low του bit εκκίνησης ορίζει και την έναρξη μιας νέας μεταφοράς, ενώ ενεργοποιεί την έναρξη μέτρησης του χρόνου στο δέκτη ο οποίος δειγματοληπτεί την είσοδό του στο μέσο του ρολογιού για μέγιστη ακρίβεια. Το bit εκκίνησης ακολουθείται από το LSB του πακέτου δεδομένων. Το bit ισοτιμίας το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ορθότητας των δεδομένων τοποθετείται, αν υπάρχει, αμέσως μετά το MSB του πακέτου δεδομένων.

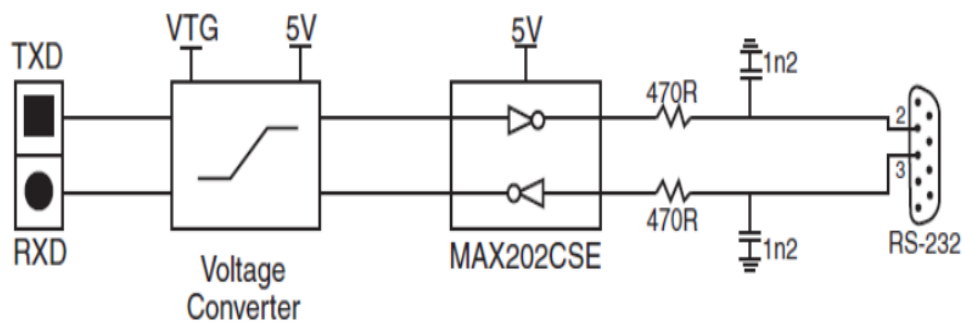


Σχήμα 13: Δομή ενός Frame της Σειριακής Θύρας RS232

Η σειριακή θύρα έχει τη δυνατότητα μετάδοσης και λήψης δεδομένων σε προκαθορισμένες ταχύτητες που ονομάζονται ρυθμός μετάδοσης (*baud rate*). Χαρακτηριστικές τιμές ρυθμού μετάδοσης είναι τα 2400, 9600, 19200 bps.

Στην υλοποίησή μας χρησιμοποιήσαμε frame με ένα start bit, 8 bit δεδομένων, ένα stop bit και το baud rate καθορίστηκε στα 19200 bps. Ενώ για τον μικροελεγκτή τα επίπεδα τάσης της σειριακής κυμαίνονται μεταξύ 0 και +5V (*TTL levels*), για έναν H/Y κυμαίνονται μεταξύ -12V και +12V (*RS232 levels*). Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η μετατροπή των σημάτων από επίπεδα RS232 σε TTL και το αντίστροφο.

Η επικοινωνία του μικροελεγκτή με τον H/Y γίνεται μέσω της σειριακής θύρας RS232 του αναπτυξιακού STK500. Οι θύρες PD0 και PD1 αντιστοιχούν στους UART ακροδέκτες RXD και TXD αντίστοιχα. Η συνδεσμολογία του αναπτυξιακού STK500 για την υλοποίηση της UART επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 14: Συνδεσμολογία UART ακροδεκτών ATmega32A με σειριακή θύρα RS232

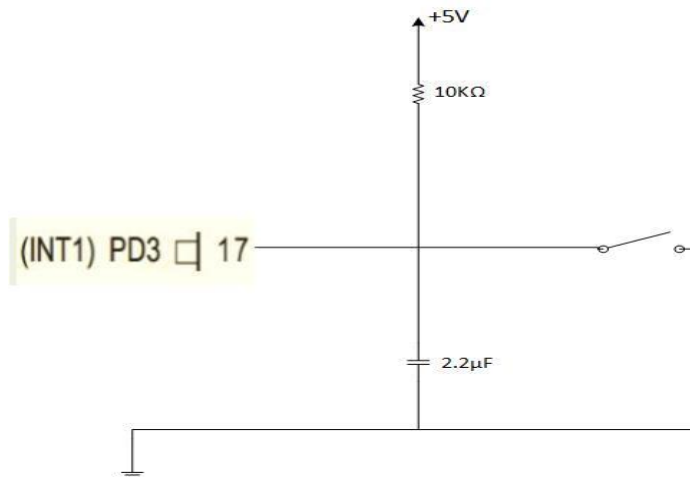
Στην περίπτωση χρήσης του μικροελεγκτή πάνω σε breadboard, χωρίς την ενσωμάτωσή του στο αναπτυξιακό STK500, θα κάναμε χρήση του ολοκληρωμένου MAX232 για τη μετατροπή των σημάτων από επίπεδα TTL σε επίπεδα RS232 και το αντίστροφο.

4.3.6 Υπόλοιπα Περιφερειακά

Τέλος, για την υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκε ένας διακόπτης για τη μετάβαση του συστήματος σε λειτουργία διαχείρισης και το αναπτυξιακό STK500 της ATMEL.

Για τη μετάβαση του συστήματος σε λειτουργία διαχείρισης μέσω εξωτερικής διακοπής ήταν απαραίτητη η σύνδεση ενός διακόπτη (push button). Ο διακόπτης που χρησιμοποιήθηκε είναι SPST (single pole single throw) και μπορεί να είναι ανοιχτός ή

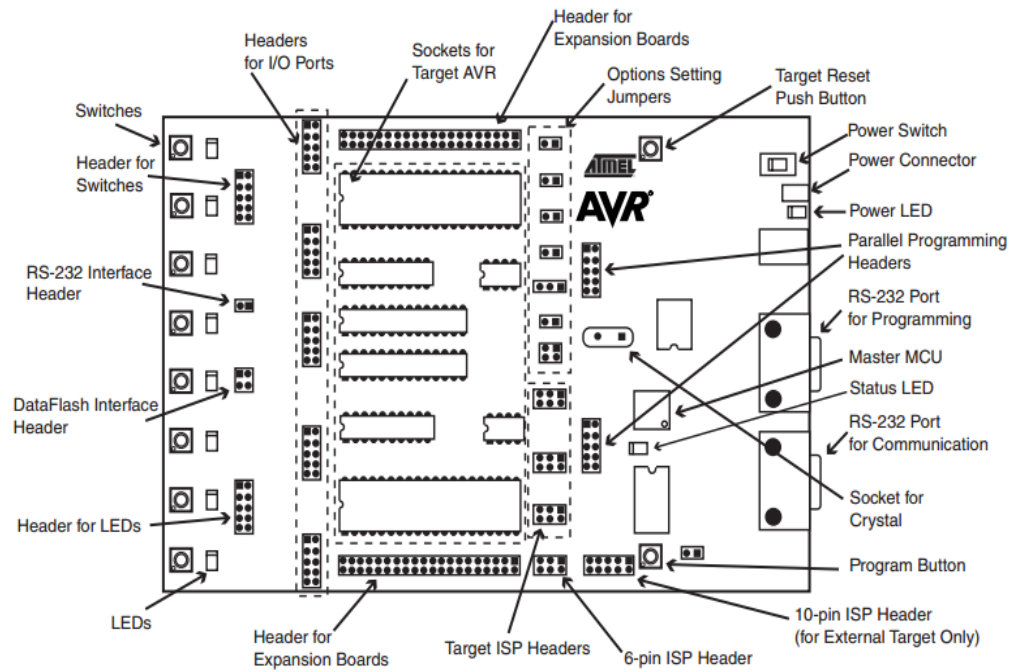
κλειστός. Είναι η πιο απλή μορφή διακόπτη και διαθέτει δύο επαφές. Η συνδεσμολογία που ακολουθήθηκε για τη σύνδεση του διακόπτη στο σύστημα παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 15: Συνδεσμολογία Διακόπτη με ATmega32A

Η προσθήκη του πυκνωτή στο κύκλωμα του διακόπτη είναι απαραίτητη καθώς με το πάτημα του διακόπτη δημιουργείται μια σειρά από Low και High σήματα τα οποία ερμηνεύονται από το κύκλωμα σαν περισσότεροι από ένας παλμός αντί για έναν καθαρό παλμό ή μια μετάβαση από μια λογική κατάσταση σε μια άλλη. Αυτή η σειρά από Low και High αιχμές ερμηνεύεται από τον μικροελεγκτή σαν πολλαπλό πάτημα του διακόπτη (bouncing button). Ο πυκνωτής εμποδίζει τις γρήγορες αλλαγές στην έξοδο με αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται η ανεπιθύμητη σειρά Low και High παλμών (debounce button).

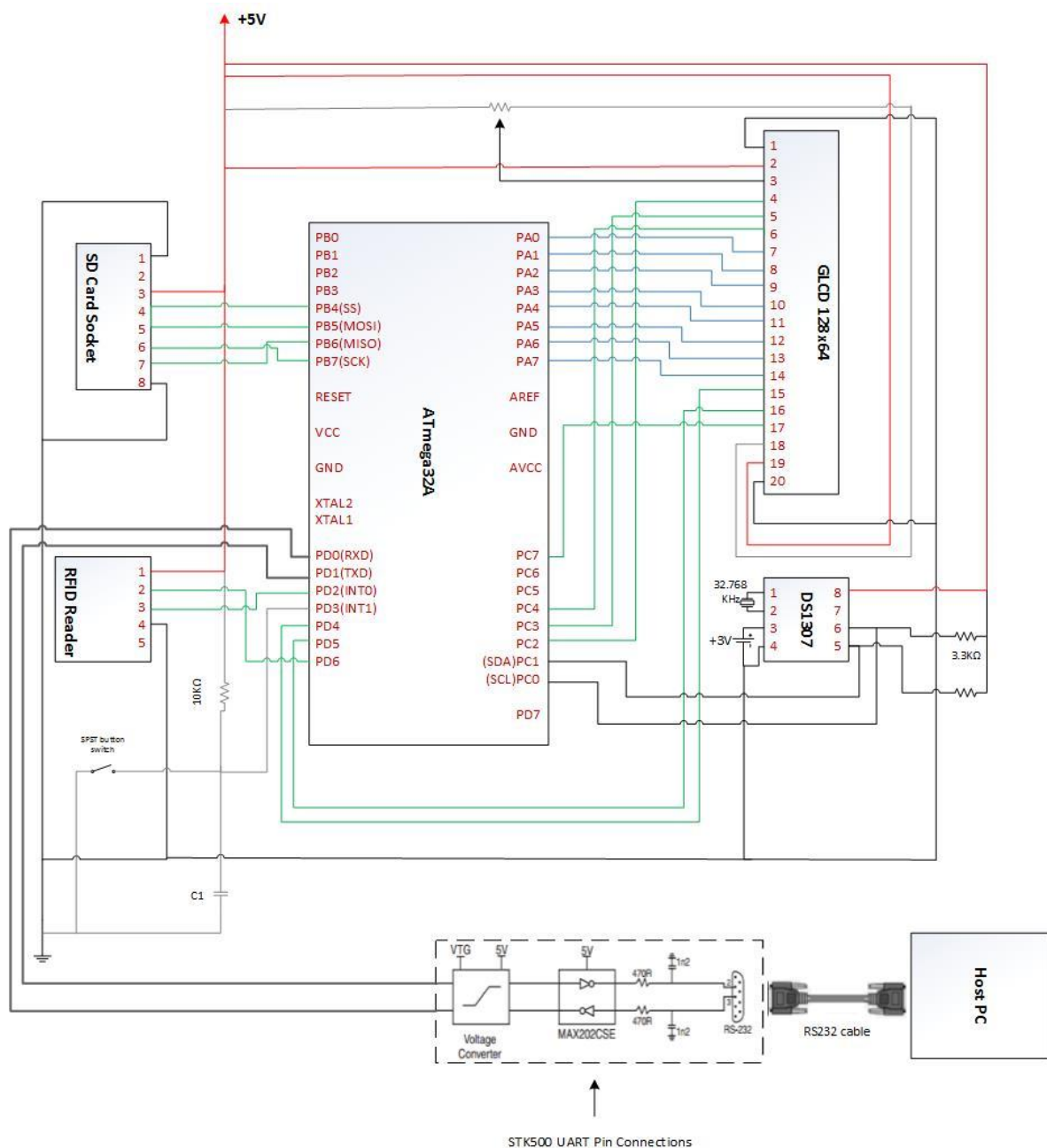
Το αναπτυξιακό STK500 της ATMEL είναι μια διάταξη με τάση λειτουργίας τα 10-15V DC η οποία μας επιτρέπει τον προγραμματισμό και τον έλεγχο του AVR. Ο προγραμματισμός του Atmega32A έγινε με τη χρήση μιας αποκλειστικής θύρας RS232 και το συμβατό πρόγραμμα AVR Studio 6. Εκτός από τη σειριακή θύρα για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, το αναπτυξιακό STK500 διαθέτει μια επιπλέον θύρα RS232 την οποία χρησιμοποιήσαμε για την επικοινωνία του μικροελεγκτή με τον Η/Υ.



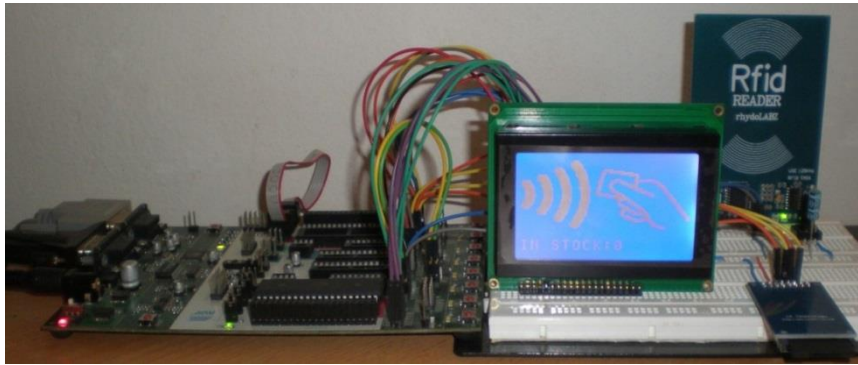
Σχήμα 16: Το αναπτυξιακό STK500 της ATMEL

4.4 Επισκόπηση Τελικού Συστήματος

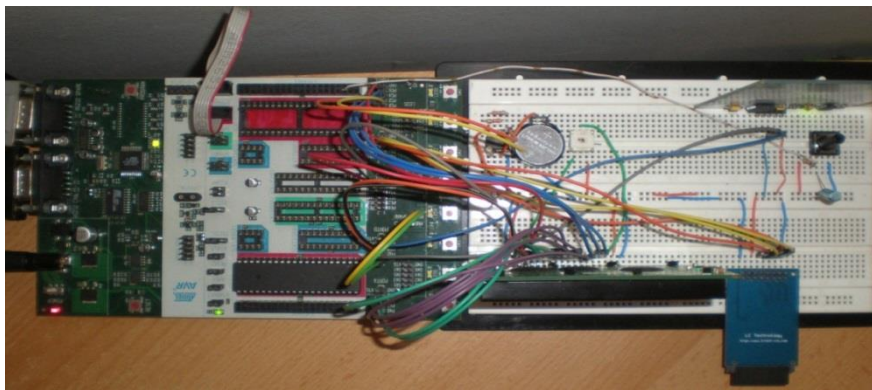
Το κύκλωμα υλοποιήθηκε πάνω σε breadboard και με τη βοήθεια του αναπτυξιακού STK500. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διαμόρφωση του τελικού μας συστήματος με όλες τις συνδέσεις των περιφερειακών συσκευών με τον μικροελεγκτή AVR, ενώ ακολουθούν εικόνες με την τελική όψη του συστήματος.



Σχήμα 17: Επισκόπηση Τελικού Συστήματος



Εικόνα 5: Εμπρόσθια όψη Τελικού Συστήματος



Εικόνα 6: Κάτοψη Τελικού Συστήματος



Εικόνα 7: Οι παθητικές ετικέτες RFID EM4100 που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση

5 Λειτουργία Συστήματος

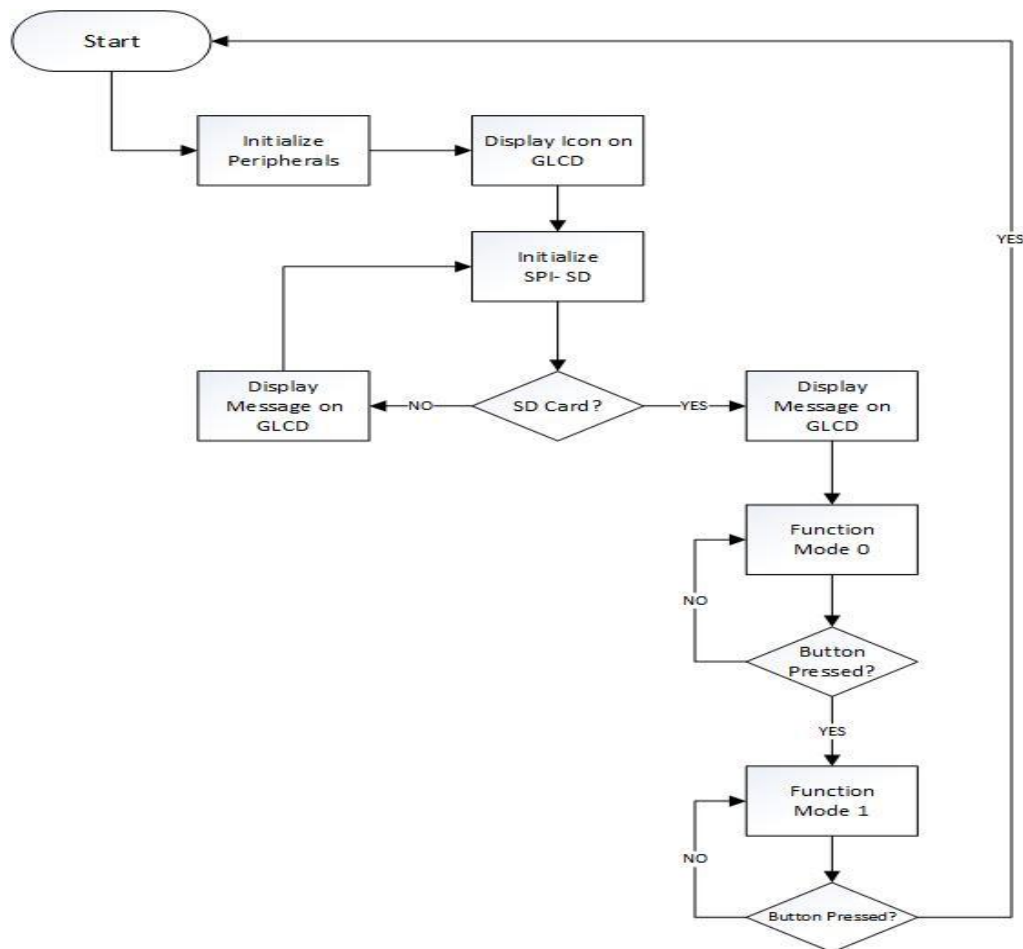
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος καθώς και η κατανομή της μνήμης του μικροελεγκτή AVR που προέκυψε από τη σχεδίαση του συστήματος.

5.1 Εκκίνηση Συστήματος

Το σύστημα έχει τάση λειτουργίας +5V και ο μικροελεγκτής ATmega32A ορίζεται να λειτουργεί με συχνότητα 8MHz. Με την εκκίνηση του συστήματος γίνεται εκκίνηση όλων των περιφερειακών:

- TWI (*TWI_Init*)
- UART (*USART_Init*)
- RFID (*RFID_Init*)
- GLCD (*GLCD_Init*)
- SPI (*SPI_MasterInit*)
- SD (*SD_Init*)

Στην οθόνη γραφικών εμφανίζεται εικονίδιο που ενημερώνει το χρήστη για την έναρξη της λειτουργίας. Αν το σύστημα δεν ανιχνεύσει μια κάρτα μνήμης ή η εκκίνηση της κάρτας δεν έγινε με το σωστό τρόπο ή η κάρτα δεν είναι διαμορφωμένη με το σύστημα αρχείων FAT32 εμφανίζεται στην οθόνη γραφικών το αντίστοιχο μήνυμα και το σύστημα επιστρέφει στη διαδικασία εκκίνησης της κάρτας μνήμης μέχρι να επιτευχθεί η σωστή λειτουργία, οπότε και εμφανίζει στην οθόνη γραφικών μήνυμα που ενημερώνει το χρήστη για την ανίχνευση και τον τύπο της κάρτας. Μόλις το σύστημα ανιχνεύσει την κάρτα μνήμης και γίνει η εκκίνησή της περνάει στην πρώτη κατάσταση λειτουργίας(*mode=0*) για την αναμονή μιας ετικέτας. Σε περίπτωση που πατηθεί ο διακόπτης το σύστημα περνάει στην κατάσταση διαχείρισης(*mode=1*) και αν ο διακόπτης πατηθεί εκ νέου το σύστημα επανεκινείται με χρήση του Watchdog Timer. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι λειτουργίες του συστήματος κατά την εκκίνηση καθώς και οι εναλλαγές των βασικών καταστάσεων λειτουργίας που προκύπτουν από το πάτημα του διακόπτη:

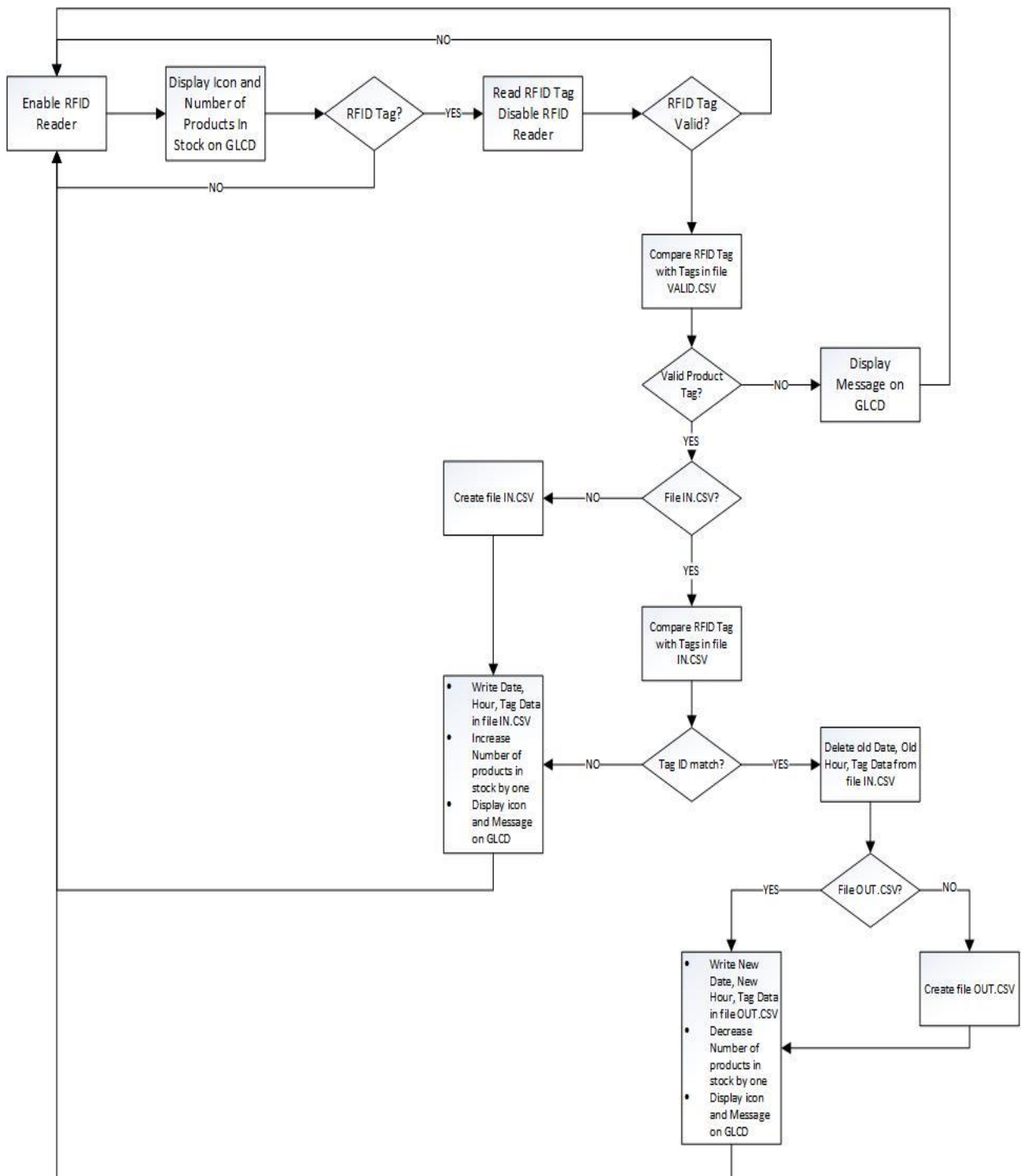


Σχήμα 18: Λειτουργίες συστήματος κατά την εκκίνηση και την εναλλαγή καταστάσεων

5.2 Κατάσταση Λειτουργίας Αναγνώστη RFID

Με την εκκίνησή του το σύστημα περνάει στη διαδικασία αναμονής μια ετικέτας ενός προϊόντος. Γίνεται ενεργοποίηση του αναγνώστη RFID θέτοντας την είσοδο EN σε λογικό 1 (pin PD6) και στην οθόνη γραφικών εμφανίζεται εικονίδιο που προτρέπει το χρήστη να δείξει την ετικέτα ενός προϊόντος στον αναγνώστη RFID (*GLCD_Print_Image*). Παράλληλα γίνεται ανάγνωση του αριθμού των προϊόντων που βρίσκονται σε απόθεμα στο χώρο, από τη μνήμη EEPROM του μικροελεγκτή στην οποία βρίσκεται αποθηκευμένη η συγκεκριμένη μεταβλητή, και εμφανίζεται μήνυμα στην οθόνη γραφικών (*GLCD_Print*) που ενημερώνει το χρήστη για το συγκεκριμένο αριθμό καθόλη τη διάρκεια της αναμονής μια ετικέτας. Αν δεν πατηθεί ο διακόπτης που το θέτει σε λειτουργία διαχείρισης (*mode=1*) το σύστημα παραμένει στη διαδικασία

αναμονής μιας ετικέτας ($mode=0$). Οι λειτουργίες του συστήματος συνολικά κατά την κατάσταση λειτουργίας του αναγνώστη RFID παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 19: Λειτουργίες συστήματος κατά την αναμονή και ανάγνωση ετικέτας RFID

5.2.1 Είσοδος Ετικέτας στην Εμβέλεια του Αναγνώστη RFID

Στην περίπτωση που μια ετικέτα εισέλθει στην εμβέλεια του αναγνώστη RFID δημιουργείται μια εξωτερική διακοπή (*external interrupt*) και ο μικροελεγκτής ξεκινά την λήψη των δεδομένων από τον αναγνώστη bit προς bit στη θύρα PD2. Ο αναγνώστης στέλνει τα δεδομένα του με ρυθμό μετάδοσης 9600 bps, επομένως απαιτείται μια καθυστέρηση 800 κύκλων σε κάθε δειγματοληψία ενός bit από τον μικροελεγκτή για τη σωστή λήψη των δεδομένων. Με την λήψη και των 12byte της ετικέτας από τον αναγνώστη (*RFID_Tag=1*) ο αναγνώστης απενεργοποιείται και γίνεται έλεγχος για την εγκυρότητα της ετικέτας. Αν το πρώτο και το τελευταίο byte έχουν τις τιμές 0x0A και 0x0D αντίστοιχα, σημαίνει ότι η ετικέτα είναι έγκυρη (*RFID_ValidTag=1*), δηλαδή δεν έχουμε κάποιο τυχαίο θόρυβο και ξεκινούν οι διαδικασίες ανάγνωσης και εγγραφής στην κάρτα μνήμης.

5.2.2 Έλεγχος Εγκυρότητας Προϊόντος

Εφόσον μια ετικέτα προϊόντος έχει ληφθεί επιτυχώς από τον μικροελεγκτή και έχει ελεγχτεί ότι δεν είναι κάποιος τυχαίος θόρυβος ο αναγνώστης απενεργοποιείται και το σύστημα ελέγχει αν το αντικείμενο προορίζεται για το συγκεκριμένο χώρο ή όχι. Αυτός ο έλεγχος υλοποιείται με τη βοήθεια ενός αρχείου “VALID.csv ” που έχει δημιουργηθεί από το διαχειριστή στην κάρτα μνήμης και περιλαμβάνει όλες τις ταυτότητες των αντικειμένων που προορίζονται για το συγκεκριμένο χώρο αποθήκευσης. Η συγκεκριμένη ενέργεια επιτυγχάνεται με μια συνάρτηση του συστήματος αρχείων FAT32(*validateTag*) με την οποία γίνεται ανάγνωση των τομέων(*sectors~512 byte*) του αρχείου με την βοήθεια της συνάρτησης *SD_ReadSingleBlock* της κάρτας μνήμης η οποία στέλνει τα δεδομένα στο μικροελεγκτή μέσω της θύρας PB6(MISO). Αν στο αρχείο βρεθεί μια σειρά από 10 συνεχόμενα bytes που να ταυτίζεται με την ταυτότητα του προϊόντος σημαίνει ότι το προϊόν είναι έγκυρο για είσοδο/έξοδο και συνεπώς καταμέτρηση στο συγκεκριμένο χώρο, διαφορετικά εμφανίζεται στην οθόνη γραφικών μήνυμα που ενημερώνει το χρήστη για τη μη-εγκυρότητα του προϊόντος και το σύστημα επιστρέφει στην κατάσταση αναμονής μιας ετικέτας.

5.2.3 Είσοδος Προϊόντος

Στην περίπτωση που το προϊόν είναι έγκυρο το σύστημα διενεργεί έλεγχο για να καταχωρήσει το προϊόν στα εισερχόμενα ή εξερχόμενα προϊόντα και να ενημερώσει κατάλληλα τον μετρητή των αντικειμένων που βρίσκονται σε απόθεμα. Αρχικά το σύστημα προσπαθεί να αναγνώσει το αρχείο "IN.csv" που περιέχει τις ταυτότητες των αντικειμένων που βρίσκονται σε απόθεμα μαζί με την ημερομηνία και την ώρα της εισόδου τους στον χώρο. Αν δεν υπάρχει το αρχείο, δηλαδή αν η ταυτότητα του προϊόντος που εισέρχεται στο χώρο είναι η πρώτη ετικέτα που δέχεται το σύστημα από την αρχή της λειτουργίας του, δημιουργείται ένα αρχείο "IN.csv" με τη συνάρτηση του συστήματος αρχείων FAT32 `writeFile`, η οποία μπορεί να δημιουργήσει ένα αρχείο ή να εισάγει δεδομένα σε ένα ήδη υπάρχον, και εγγράφεται στο αρχείο η ημερομηνία και η ώρα της εισόδου του προϊόντος στο χώρο μαζί με τα 10 bytes της ταυτότητάς του. Το σύστημα λαμβάνει στη θύρα PC1(SDA) του μικροελεγκτή την ημερομηνία από το ρολόι πραγματικού χρόνου με τη συνάρτηση `RTC_GetDate`, η οποία διαβάζει τους αντίστοιχους καταχωρητές του ρολογιού και διαμορφώνει μια συμβολοσειρά με τη μορφή "DD/MM/20YY" και την ώρα με τη συνάρτηση `RTC_GetTime`, η οποία διαβάζει τους αντίστοιχους καταχωρητές του ρολογιού και διαμορφώνει μια συμβολοσειρά με τη μορφή "HH:MM:SS". Τα δεδομένα προς εγγραφή αποστέλλονται στην κάρτα μνήμης μέσω της θύρας PB5(MOSI) του μικροελεγκτή. Στην περίπτωση που το αρχείο "IN.csv" υπάρχει ήδη στην κάρτα, το σύστημα διαβάζει το αρχείο με τη συνάρτηση `readFile` διατρέχοντας τους τομείς του αρχείου μεγέθους 512 bytes μέχρι να συναντήσει μια συμβολοσειρά 10 bytes που να ταυτίζεται με την ταυτότητα του προϊόντος. Αν η ταυτότητα του προϊόντος δεν υπάρχει στο αρχείο (*check_IN=0*) σημαίνει ότι το προϊόν εισέρχεται στον αποθηκευτικό χώρο και εγγράφονται στο αρχείο τα στοιχεία του με τον τρόπο που περιγράψαμε παραπάνω. Μετά από κάθε καταχώρηση προϊόντος ως εισερχόμενο στον αποθηκευτικό χώρο, η τιμή του καταχωρητή που περιέχει τον αριθμό των προϊόντων σε απόθεμα και βρίσκεται στην EEPROM μνήμη του μικροελεγκτή αυξάνεται κατά ένα. Επιπλέον, εμφανίζεται στην οθόνη γραφικών LCD εικονίδιο που ενημερώνει το χρήστη ότι το προϊόν εισέρχεται στον αποθηκευτικό χώρο καθώς και τα στοιχεία του προϊόντος (ταυτότητα, ημερομηνία και ώρα εισόδου).

5.2.4 Έξοδος Προϊόντος

Στην αντίθετη περίπτωση ($check_IN=1$) το προϊόν θεωρείται ότι εξέρχεται από τον αποθηκευτικό χώρο. Τα στοιχεία του προϊόντος πανωγράφονται στο αρχείο “IN.csv” με μηδενικές τιμές με τη βοήθεια της συνάρτησης `SD_WriteSingleBlock` και το προϊόν πρέπει να καταχωρηθεί ως εξερχόμενο στο αρχείο “OUT.csv”. Αν το αρχείο “OUT.csv” δεν υπάρχει, δημιουργείται και η νέα ημερομηνία και ώρα εξόδου και η ταυτότητα του προϊόντος εγγράφονται στο αρχείο με τη βοήθεια των συναρτήσεων `RTC_GetDate`, `RTC_GetTime` και `writeFile` όπως περιγράψαμε προηγουμένως. Μετά από κάθε καταχώρηση προϊόντος ως εξερχόμενο από τον αποθηκευτικό χώρο, η τιμή του καταχωρητή που περιέχει τον αριθμό των προϊόντων σε απόθεμα στην EEPROM μειώνεται κατά μία μονάδα. Επιπλέον, εμφανίζεται στην οθόνη γραφικών LCD εικονίδιο που ενημερώνει το χρήστη ότι το προϊόν εξέρχεται από τον αποθηκευτικό χώρο μαζί με τα στοιχεία του προϊόντος (ταυτότητα, ημερομηνία και ώρα εξόδου).

5.3 Κατάσταση Λειτουργίας Διαχείρισης

Μετά από κάθε καταχώρηση προϊόντος ως εισερχόμενο ή εξερχόμενο στον αποθηκευτικό χώρο το σύστημα επιστρέφει στην κατάσταση αναμονής ανάγνωσης ετικέτας. Αν πατηθεί ο διακόπτης ο μικροελεγκτής δέχεται μια εξωτερική διακοπή στη θύρα PD3 και εισέρχεται σε λειτουργία διαχείρισης ($mode=1$). Ο αναγνώστης RFID απενεργοποιείται θέτοντας το `EN(pin PD6)` σε λογικό 0 και ο μικροελεγκτής ξεκινά την επικοινωνία μέσω της σειριακής θύρας RS232 με ρυθμό μετάδοσης τα 19200bps με τον H/Y. Ο μικροελεγκτής μέσω του ακροδέκτη `RxD(PD0)` δέχεται από τον H/Y ένα χαρακτήρα που υποδηλώνει την επιλογή του διαχειριστή για την ενέργεια που θα εκτελεστεί, ενώ μέσω του ακροδέκτη `TxD(PD1)` στέλνει τους χαρακτήρες των μηνυμάτων που θα εμφανιστούν στο τερματικό του υπολογιστή. Στο τερματικό του υπολογιστή εμφανίζεται ένα μενού με τις επιτρεπόμενες λειτουργίες του συστήματος σε αυτή την κατάσταση. Οι λειτουργίες αυτές είναι οι εξής:

- Εμφάνιση της ημερομηνίας και της ώρας
- Ορισμός της ημερομηνίας
- Ορισμός της ώρας
- Εμφάνιση των αρχείων της κάρτας

- Ανάγνωση ενός αρχείου της κάρτας
- Διαγραφή ενός αρχείου της κάρτας

Καθόλη τη διάρκεια της παραμονής του συστήματος σε κατάσταση διαχείρισης εμφανίζεται στην οθόνη γραφικών LCD εικονίδιο που ενημερώνει το χρήστη ότι το σύστημα παραμένει στη συγκεκριμένη λειτουργία. Με το εκ νέου πάτημα του διακόπτη το σύστημα δέχεται νέα εξωτερική διακοπή και με τη χρήση του Watchdog Timer γίνεται επανεκκίνηση του συστήματος.

7.3.1 Εμφάνιση Ημερομηνίας και Ώρας

Αν ο διαχειριστής επιλέξει τη συγκεκριμένη ενέργεια το σύστημα λαμβάνει στη θύρα PC1(SDA) του μικροελεγκτή την ημερομηνία από το ρολόι πραγματικού χρόνου με τη συνάρτηση RTC_GetDate και την ώρα με τη συνάρτηση RTC_GetTime με τις οποίες γίνεται ανάγνωση των τιμών των καταχωρητών της ημερομηνίας και την ώρας αντίστοιχα. Ο μικροελεγκτής διαμορφώνει τις κατάλληλες συμβολοσειρές με τα δεδομένα που λαμβάνει μέσω του TWI από το ρολόι και τις αποστέλλει στον υπολογιστή μέσω της θύρας TxD για να εμφανιστούν στο τερματικό του.

7.3.2 Ορισμός Ημερομηνίας και Ώρας

Στην περίπτωση που ο διαχειριστής επιλέξει να ορίσει την ημερομηνία ή την ώρα το σύστημα ενημερώνει με ένα μήνυμα που αποστέλλεται στο τερματικό του υπολογιστή μέσω της θύρας TxD του μικροελεγκτή να εισάγει την επιθυμητή ημερομηνία και ώρα αντίστοιχα. Με τις συναρτήσεις RTC_UpdateDate και RTC_UpdateTime λαμβάνει τις νέες τιμές των καταχωρητών που εισάγει ο χρήστης από την θύρα RxD του μικροελεγκτή, ελέγχει την ορθότητά τους και τελικά μέσω της θύρας PC1(SDA) αποστέλλει τις νέες τιμές των καταχωρητών προς εγγραφή στο ρολόι με τις συναρτήσεις RTC_WriteDate και RTC_WriteTime αντίστοιχα με τις οποίες γίνεται η εγγραφή των δεδομένων μέσω του TWI.

5.3.3 Εμφάνιση Αρχείων Κάρτας Μνήμης

Αν η επιλογή του διαχειριστή είναι να εμφανιστεί στο τερματικό του υπολογιστή η λίστα των αρχείων της κάρτας καλείται η συνάρτηση `findFiles` του συστήματος αρχείων, η οποία επιστρέφει μια λίστα με το όνομα του κάθε αρχείου μαζί με τον τύπο και το μέγεθός του. Η κάρτα μνήμης αποστέλλει τα συγκεκριμένα δεδομένα που βρίσκονται στις καταχωρήσεις του `Directory Entry Structure` στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας `PB6(MISO)` και ο μικροελεγκτής αποστέλλει τα δεδομένα μέσω της θύρας `TxD` για να εμφανιστούν στο τερματικό του υπολογιστή.

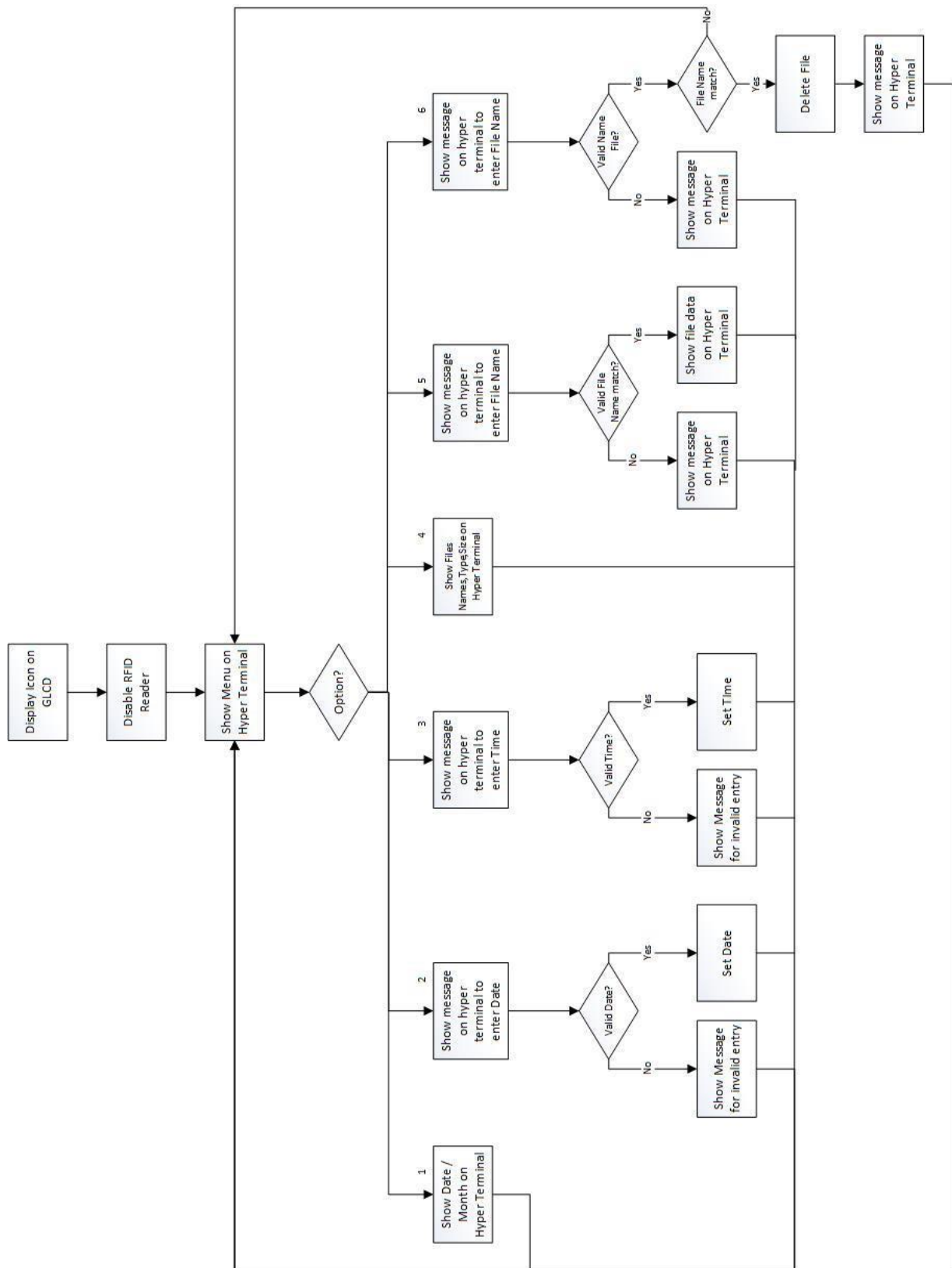
7.3.4 Ανάγνωση Αρχείου Κάρτας Μνήμης

Αν ο διαχειριστής επιλέξει την ανάγνωση ενός αρχείου το σύστημα ζητάει την εισαγωγή του ονόματος του αρχείου προς ανάγνωση. Όταν ο διαχειριστής εισάγει το όνομα του αρχείου, τα δεδομένα αποστέλλονται στη θύρα `RxD` του μικροελεγκτή και καλείται η συνάρτηση `readFile` του συστήματος αρχείων. Το όνομα του αρχείου που εισήχθη από το χρήστη μετατρέπεται σε κατάλληλη μορφή για το σύστημα αρχείων (12 bits, case-insensitive, τα δεδομένα του αρχείου διαβάζονται κατά τομέα (512 bytes) από την κάρτα μνήμης που αποστέλλει τα δεδομένα μέσω της θύρας `PB6(MISO)` στο μικροελεγκτή ο οποίος μέσω της θύρας `TxD` αποστέλλει τα δεδομένα προς εμφάνιση στο τερματικό του υπολογιστή.

5.3.5 Διαγραφή Αρχείου Κάρτας Μνήμης

Στην περίπτωση που επιλεγεί η διαγραφή ενός αρχείου το σύστημα ζητάει ομοίως την εισαγωγή του ονόματος του αρχείου προς διαγραφή. Τα δεδομένα του ονόματος του αρχείου αποστέλλονται στη θύρα `RxD` του μικροελεγκτή και καλείται η συνάρτηση `deleteFile` του συστήματος αρχείων. Το αρχείο διαγράφεται από την κάρτα μνήμης και ο διαχειριστής ενημερώνεται μέσω του τερματικού του υπολογιστή για την επιτυχημένη διαγραφή του αρχείου.

Οι λειτουργίες του συστήματος κατά την κατάσταση λειτουργίας διαχείρισης παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα:

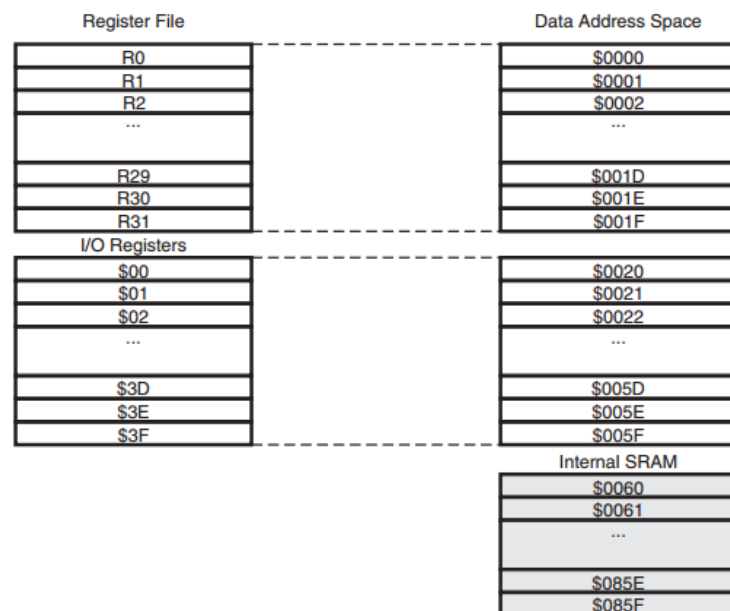


Σχήμα 20: Λειτουργίες Συστήματος σε κατάσταση διαχείρισης

5.4 Κατανομή Μνήμης

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο ο μικροελεγκτής AVR διαθέτει τρία είδη μνήμης: την μνήμη προγράμματος flash, την μνήμη EEPROM και τη στατική μνήμη δεδομένων SRAM. Ο ATmega32A που χρησιμοποιήσαμε στην υλοποίησή μας διαθέτει 32KB μνήμη προγράμματος, 2KB μνήμη δεδομένων και 1KB μνήμη EEPROM. Με βάση το πρόγραμμα AVR Studio 6 που χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή η σχεδιάσή μας καταλαμβάνει το 61.0% της μνήμης προγράμματος.

Η μνήμη δεδομένων SRAM αποτελείται από τρία μέρη: το τμήμα καταχωρητών γενικού σκοπού, το τμήμα των καταχωρητών εισόδου-εξόδου και το τμήμα της εσωτερικής μνήμης SRAM για την αποθήκευση δεδομένων. Οι καταχωρητές γενικού σκοπού και οι καταχωρητές εισόδου-εξόδου καταλαμβάνουν τις 96 χαμηλότερες θέσεις της μνήμης, ενώ οι υπόλοιπες 2046 διευθύνσεις θέσεων ανήκουν στην εσωτερική SRAM. Η σχεδιάσή μας καταλαμβάνει το 42.9% της μνήμης δεδομένων.



Σχήμα 21: Μνήμη Δεδομένων SRAM

Ο μικροελεγκτής ATmega32A διαθέτει επίσης μνήμη EEPROM μεγέθους 1024 bytes η οποία έχει αντοχή τουλάχιστον 100,000 κύκλων εγγραφής/διαγραφής. Ο χρόνος προσπέλασης της μνήμης EEPROM είναι περίπου 8.5ms και επηρεάζεται από την τιμή

της VCC. Κατά την ανάγνωση από την μνήμη ο επεξεργαστής καθυστερεί 4 κύκλους ρολογιού, ενώ κατά την εγγραφή έχουμε καθυστέρηση 2 κύκλων ρολογιού πριν την εκτέλεση της επόμενης εντολής. Για την υλοποίηση της εφαρμογής μας είναι απαραίτητο ο χρήστης να έχει συνεχή ενημέρωση για τον αριθμό των προϊόντων που βρίσκονται σε απόθεμα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μνήμη EEPROM για την αποθήκευση του αριθμού των αντικειμένων που βρίσκονται σε απόθεμα δεδομένου ότι μας επιτρέπει τη διατήρηση της τιμής μιας μεταβλητής ακόμα και σε περιπτώσεις διακοπής της τροφοδοσίας. Σε κάθε είσοδο ή έξοδο ενός αντικειμένου από τον αποθηκευτικό χώρο η τιμή της μεταβλητής ανακτάται από τη μνήμη, αυξάνεται ή μειώνεται αναλόγως και επανεγγράφεται η νέα τιμή του αποθέματος. Η σχεδίασή μας καταλαμβάνει το 0.2% της μνήμης EEPROM.

6 Συμπεράσματα και Μελλοντική εργασία

Η ραγδαία αύξηση της χρήσης των ενσωματωμένων συστημάτων τα τελευταία χρόνια καθώς και η ολοένα αυξανόμενη χρήση της νέας τεχνολογίας Ταυτοποίησης μέσω Ραδιοσυχνοτήτων RFID καθιστούν επιτακτική και εξαιρετικά ενδιαφέρουσα την μελέτη ενός συστήματος βασισμένο στις δύο προαναφερθείσες τεχνολογίες. Στην παρούσα εργασία αναπτύξαμε ένα σύστημα ανάγνωσης RFID βασισμένο σε ένα μικροελεγκτή AVR της εταιρίας ATMEL με σκοπό τον έλεγχο του αποθέματος σε ένα αποθηκευτικό χώρο. Η σχεδίαση και ο τρόπος υλοποίησης του συστήματος περιγράφηκαν αναλυτικά με έμφαση στις βασικές αρχές λειτουργίας του μικροελεγκτή και των περιφερειακών συσκευών καθώς και τον τρόπο επικοινωνίας τους.

Επιπλέον, έγινε σαφές ότι ένα σύστημα ανάγνωσης RFID βασισμένο σε μικροελεγκτή AVR μπορεί να αποτελέσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα τόσο ελέγχου όσο και παρακολούθησης αντικειμένων το οποίο μπορεί να εξοικονομήσει χρήματα και να δώσει μια απόδοση της επένδυσής του. Το σύστημα που υλοποιήθηκε έχει χαμηλό κόστος, είναι εύκολο στη χρήση του και επιπλέον δίνει τη δυνατότητα ενημέρωσης των αποθεμάτων σε πραγματικό χρόνο με μοναδικό μειονέκτημα την μικρή απόσταση που απαιτείται για την ανάγνωση των παθητικών ετικετών.

Το εύρος της παρούσης εργασίας δεν πρέπει να περιοριστεί μόνο στον έλεγχο αποθέματος σε έναν αποθηκευτικό χώρο. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τη λειτουργικότητα του συστήματος όπως είναι η αναγνώριση και καταγραφή του αριθμού των προσώπων σε ένα κτίριο, ο έλεγχος πρόσβασης σε ένα κτίριο ή μια αίθουσα, η παρακολούθηση των οχημάτων σε ένα χώρο στάθμευσης ή ακόμα και σε στρατιωτικές εφαρμογές για έλεγχο δανειζόμενου οπλισμού.

Η τεχνολογία RFID είναι ένας αναδυόμενος τομέας για τον έλεγχο πρόσβασης και τον εντοπισμό των αντικειμένων και η παρούσα εργασία δίνει το έναυσμα για μελλοντικές επεκτάσεις και βελτιώσεις στις δυνατότητες του συστήματός μας. Τέτοιες βελτιώσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν με:

- Υλοποίηση λογισμικού αυτοματοποίησης της διαδικασίας ελέγχου εισόδου έγκυρων προϊόντων που θα υποστηρίζει μεταξύ άλλων την επεξεργασία του “VALID” αρχείου

- Προσθήκη δεύτερου RFID αναγνώστη για έλεγχο ροής εισόδου-εξόδου ξεχωριστά
- Διασύνδεση με wifi-module με σκοπό την αντικατάσταση της επικοινωνίας του συστήματος μέσω σειριακής θύρας RS232 με τον υπολογιστή
- Υλοποίηση Βάσεων Δεδομένων(DBMS) στην κάρτα μνήμης SD
- Υποστήριξη διαφορετικού πρωτοκόλλου με προσθήκη NFC Sensor

Αναφορές

- [1] Dhananjay V. Gadre, “Προγραμματίζοντας τον Μικροελεγκτή AVR”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2001.
- [2] Barnett Cox and O’Cull, “Embedded C Programming and the Atmel AVR”, Thomson Delmar Learning, 2nd Edition, 2006.
- [3] John Morton, “AVR: An Introductory Course”, Newnes, 2002.
- [4] Muhammad Ali Mazidi, “AVR Microcontroller and Embedded Systems: Using Assembly and C (Pearson Custom Electronics Technology)”, Prentice Hall, 2010.
- [5] Timothy S. Margush, “Some Assembly Required: Assembly Language Programming with the AVR Microcontroller”, CRC Press, 2011.
- [6] Joe Pardue, “C Programming for Microcontrollers Featuring ATMEL’s AVR Butterfly and the free WinAVR Compiler”, Smiley Micros, 2005.
- [7] Steven F. Barrett, Daniel Pack, “Atmel AVR Microcontroller Primer: Programming and Interfacing (Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems)”, Mitchell A. Thomson, Series Editor, 2007.
- [8] Claus Kuhner, “AVR RISC Microcontroller Handbook”, Newnes, 1998.
- [9] Steven Barrett, “Embedded Systems Design with the Atmel AVR Microcontroller (Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems)”, Mitchell A. Thomson, Series Editor, 2009.
- [10] Chris Leaver, “Introduction to Atmel AVR Microcontroller Development: Using Free Software with Worked Examples”, Sylvania Books, 2010.
- [11] John Catsoulis, “Designing Embedded Hardware”, O’Reilly, 2005.
- [12] Gourab Sen Gupta, “Emdedded Microcontroller Interfacing: Designing Integrated Projects (Lecture Notes in Electrical Engineering)”, Springer, 2010.

- [13] Tom Igoe, “Getting Started with RFID”, O’Reilly Media, 2012.
- [14] Patrick J. Sweeny II, “RFID for Dummies”, Wiley, 2005.
- [15] Klaus Finkenzeller, “RFID handbook: radio-frequency identification fundamentals and applications”, Wiley, 1999.
- [16] Atmel Official Site: <http://www.atmel.com/>
- [17] AVR On-Line Help: <http://support.atmel.no/knowledgebase/avrstudiohelp/>
- [18] AVR Libc Community: <http://www.nongnu.org/avr-libc/user-manual/index.html>
- [19] AVR Freaks Community: <http://www.avrfreaks.net/>
- [20] Microsoft’s FAT32 Specification Document: <http://www.microsoft.com/>
- [21] Wikipedia File Allocation Table:
http://en.wikipedia.org/wiki/File_Allocation_Table#FAT32
- [22] SanDisk SD Manual version 2.2: <http://datasheet.elcodis.com/pdf/11/23/112362/sdsdq-1024.pdf>
- [23] SD Physical Layer Simplified Specification version 4.1: <https://www.sdcard.org/>
- [24] FAT32 File System:
<https://docs.google.com/document/d/1H1E11TbyQmhieVqbiPGrxI3pzJdJaCqLHhCVUMGMxBQ>
- [25] Rfid Reader (125 KHz) Serial TTL RhydoLABZ Datasheet:
<http://www.rhydolabz.com/wiki/?p=727>
- [26] RFID Portal: <http://www.rfidportal.gr/>
- [27] RFID Journal: <http://www.rfidjournal.com/>

- [28] Graphical LCD 128x64 AGM1264F datasheet:
<http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/LCD1030.pdf>
- [29] DS1307 Datasheet: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>
- [30] A. Dollas, K. Papademetriou, N. Aslanides, T. Kean, A Reconfigurable Embedded Input Device For Kinetically Challenged Persons.
- [31] A. Strydis, Interface and wireless embedded applications of Bluetooth based on microcontrollers, 2003.
- [32] Σ. Αποστολάκης, Ενσωματωμένο σύστημα για ιχνηλάτηση σταθερών κατευθυντικών κεραιών από κινούμενα οχήματα, 2012.
- [33] Γ. Νομικός, Δ. Τζίκας, Συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου πρόσβασης με αυτόματη αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID), 2009.
- [34] M. Simic, M. Radak, Realization of RFID Monitoring System, March 2014.
- [35] Swati R. Zope, Revolutionary No Time Billing for Malls.
- [36] Priyanka Shambharkar, Ravina Sukhdeve, Swapnil Gujjanwar³, RFID Based Library Management System, May 2014.
- [37] Patel Krishna, RFID Based Toll Tax Collection System, May 2014.
- [38] R. Angeles, RFID Technologies, Supply-Chain Application and Implementation Issues, 2005.
- [39] Daniel Milshap, Wall-Mart's use of RFID in Global Supply Management.
- [40] K. Papadimitriou, D. Pnevmatikatos, A. Dollas, C. Koulamas, S. Aggelidakis, P. Chatzidakis, L. Vasilakiotis, M. Emmanouilidou, Developing RFID-based Systems for Security in Marine Transportations.
- [41] MERIT Project: <http://www.tuc.gr/4352.html>

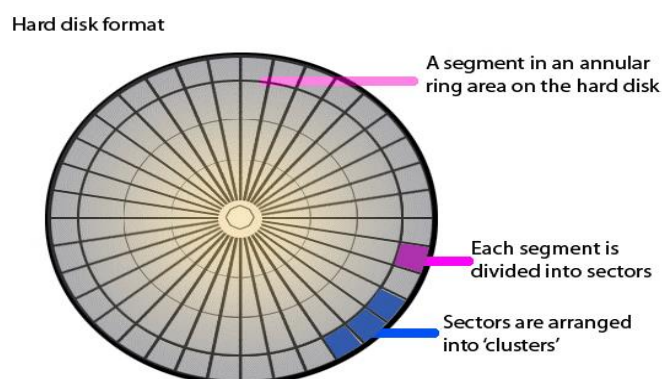
Παράρτημα Α

Σύστημα Αρχείων FAT32

Τα συστήματα αρχείων χρησιμοποιούνται σε διάφορες συσκευές αποθήκευσης δεδομένων όπως οι σκληροί δίσκοι(Hard drives), τα οπτικά μέσα(CD/DVD) ή οι κάρτες μνήμης(SD, Flash κτλ) για να παρακολουθείται η φυσική θέση των αρχείων πάνω στο μέσο. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα αρχείων καθένα με τη δική του δομή και λογική η οποία βασίζεται στις εκάστοτε απαιτήσεις για ταχύτητα, ευελιξία, ασφάλεια, μέγεθος κτλ. Ενδεικτικά συστήματα αρχείων ειδικά σχεδιασμένα για τη διαχείριση αρχείων σε δίσκους αποθήκευσης δεδομένων είναι τα FAT(FAT12, FAT16, FAT32), exFAT, NTFS, HFS κτλ.

Το σύστημα αρχείων FAT είναι το πιο διαδεδομένο και απλουστευμένο σύστημα αρχείων που υποστηρίζεται από σχεδόν όλα τα λειτουργικά συστήματα προσωπικών υπολογιστών, κινητών τηλεφώνων και ενσωματωμένων συστημάτων. Για το λόγο αυτό είναι καλά προσαρμοσμένο ως μια μορφή ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ υπολογιστών και συσκευών σχεδόν οποιουδήποτε τύπου και ηλικίας από το 1981 έως και σήμερα.

Για την διεκπεραίωση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το σύστημα αρχείων FAT32 κυρίως λόγω της ευκολίας που παρουσιάζει στη δομή του, της ευρείας διάδοσής του σε πολλές συσκευές αποθήκευσης και της συμβατότητάς του με όλα σχεδόν τα λειτουργικά συστήματα.



Σχήμα 22: Διαμόρφωση Σκληρού Δίσκου

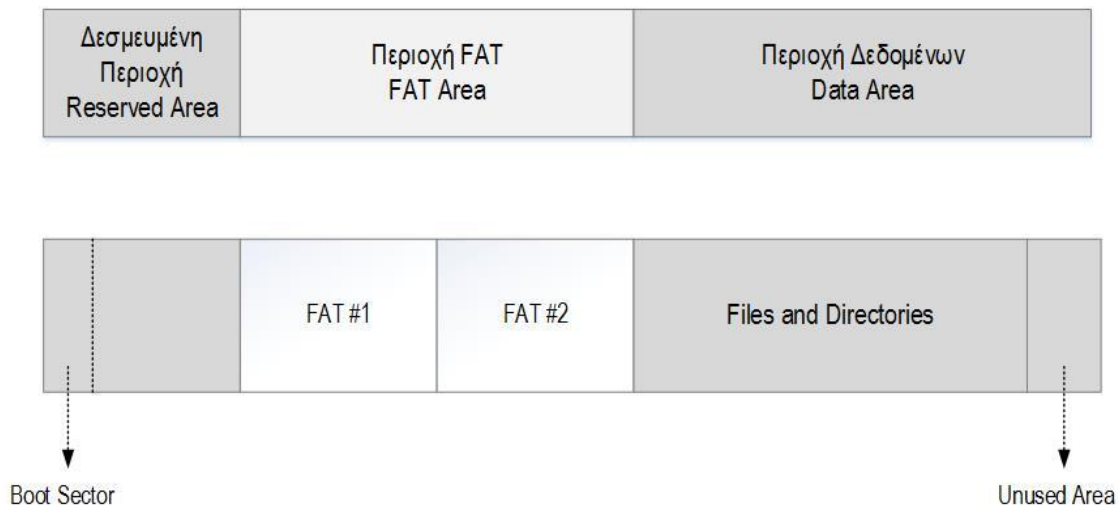
Το όνομα FAT προέρχεται από τις βασικές λογικές δομές που το σύστημα αρχείων χρησιμοποιεί: τους πίνακες κατανομής αρχείων(*File Allocation Table*). Είναι πίνακες του σκληρού δίσκου στους οποίους υπάρχει καταχωρημένη η ακριβής θέση κάθε αρχείου μέσα στο δίσκο. Η επιφάνεια κάθε σκληρού δίσκου είναι χωρισμένη σε τομείς(*sectors*) στους οποίους αποθηκεύονται τα δεδομένα. Ο κάθε τομέας έχει χωρητικότητα μισού kilobyte(*512 bytes*).Οι τομείς ομαδοποιούνται στις μονάδες εκχώρησης ή συμπλέγματα(*clusters*) οι οποίες αποτελούν ένα συνεχόμενο κομμάτι αποθηκευτικού χώρου μέσα στο δίσκο. Ενώ το μέγεθος του τομέα είναι σταθερό, το μέγεθος του συμπλέγματος ρυθμίζεται κατά τη διαμόρφωση του δίσκου και παίρνει τιμές από 512 bytes(1 sector) μέχρι 64KB(128 sectors).

Ο Master Boot Record είναι η πιο σημαντική δομή δεδομένων στο δίσκο και δημιουργείται κατά τη διαμέριση του δίσκου. Βρίσκεται πάντα στον κύλινδρο 0, στην κεφαλή 0 και στον τομέα 1 του δίσκου, έχει μέγεθος 512 bytes και αποτελεί τη συνεπή αφετηρία του λειτουργικού συστήματος για τον συγκεκριμένο δίσκο. Λόγω των σημαντικών πληροφοριών που βρίσκονται στον MBR η αλλοίωση ή καταστροφή του προξενεί μεγάλη ζημιά στο αποθηκευτικό μέσο. Ο MBR περιέχει ένα μικρό εκτελέσιμο κώδικα ο οποίος ονομάζεται Master Boot Code, ένα Πίνακα Διαμερισμάτων (*Partition Table*) που είναι μια 64 byte δομή που χρησιμοποιείται για να αναγνωρίζει τον τύπο και τη θέση των διαμερισμάτων (*partitions*) σε ένα σκληρό δίσκο και την υπογραφή εκκίνησης του δίσκου (*Boot Signature*) που είναι τα τελευταία 2 byte του MBR, έχουν μια συγκεκριμένη τιμή (0xAA55) και αποτελούν την ένδειξη ότι ο συγκεκριμένος τομέας είναι ο MBR.

| Address | | Description | | Size (bytes) |
|---------|------|---------------------|---|--------------|
| Hex | Dec | | | |
| +000h | +0 | Bootstrap Code Area | | 446 |
| +1BEh | +446 | Partition Entry #1 | Partition Table (for primary partitions) | 16 |
| +1CEh | +462 | Partition Entry #2 | | 16 |
| +1DEh | +478 | Partition Entry #3 | | 16 |
| +1EEh | +494 | Partition Entry #4 | | 16 |
| +1FEh | +510 | 55h | Boot Signature | 2 |
| +1FFh | +511 | AAh | | |

Πίνακας 7: Δομή Master Boot Record

Το FAT32 έχει μια συγκεκριμένη δομή. Υπάρχουν καθορισμένοι τομείς σε συγκεκριμένες θέσεις οι οποίοι ακολουθούνται από τα συμπλέγματα.

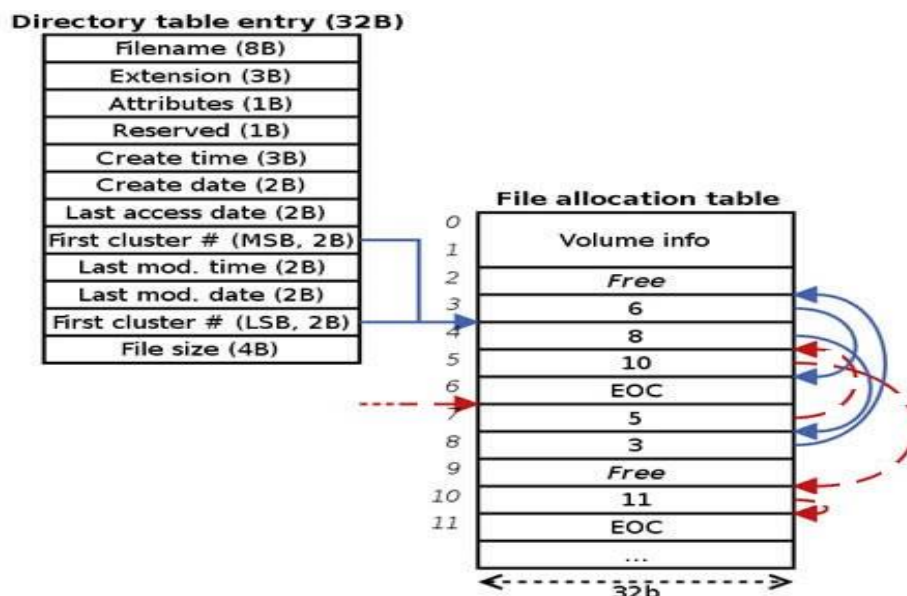


Σχήμα 23: Φυσική Δομή Συστήματος Αρχείων FAT32

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η δεσμευμένη περιοχή(*Reserved Area*) περιέχει τον Boot Sector που είναι ο πρώτος τομέας μέσα σε κάθε διαμέρισμα και περιέχει σημαντικές πληροφορίες που αφορούν στη διάταξη του δίσκου και στη δομή του συστήματος αρχείων, τον File System Information Sector που περιλαμβάνει την τελευταία γνωστή κατάσταση των συμπλεγμάτων και συγκεκριμένα τον αριθμό των ελεύθερων συμπλεγμάτων συνολικά και ένα κομμάτι αχρησιμοποίητου χώρου. Η περιοχή FAT(*FAT Area*) περιέχει ένα χάρτη για τη διάσχιση της περιοχής δεδομένων, ενώ η περιοχή δεδομένων(*Data Area*) είναι διαιρεμένη σε συμπλέγματα και περιέχει τα αρχεία και τους καταλόγους των δεδομένων(*Directory Entry*).

Το FAT32 αντιμετωπίζει το Directory Entry Structure σαν μια αλυσίδα συμπλεγμάτων που δεν έχει συγκεκριμένο μέγεθος και βρίσκεται στην περιοχή δεδομένων. Κάθε εγγραφή στον κατάλογο έχει μέγεθος 32 byte και σε κάθε τομέα των 512 byte μπορούμε να έχουμε 16 εγγραφές. Οι εγγραφές στον κατάλογο περιέχουν σημαντικές πληροφορίες όπως το όνομα, την επέκταση, τα χαρακτηριστικά, την ημερομηνία και την ώρα της δημιουργίας και της τελευταίας εγγραφής του αρχείου, την ημερομηνία της τελευταίας προσπέλασης του αρχείου και τις πλέον σημαντικές πληροφορίες, τη διεύθυνση του πρώτου συμπλέγματος του αρχείου και το μέγεθός του.

Κάθε καταχώρηση στον Πίνακα Κατανομής Αρχείων FAT έχει μέγεθος 32bit, αντιστοιχεί σε ένα σύμπλεγμα(*cluster*) και μπορεί να υποδεικνύει ότι αυτό είναι το τελευταίο σύμπλεγμα του αρχείου, ότι είναι ελεύθερο ή ενδεχομένως ακατάλληλο για χρήση ή να παραπέμπει στο επόμενο σύμπλεγμα . Η διεύθυνση του πρώτου συμπλέγματος ενός αρχείου ανακτάται από το Directory Entry Structure και αποτελεί στην ουσία ένα δείκτη στην πρώτη καταχώρηση ενός αρχείου στον πίνακα FAT. Αν στο αρχείο ανήκουν περισσότερα από ένα συμπλέγματα τότε η καταχώρηση στον πίνακα FAT θα περιέχει τη διεύθυνση του επόμενου συμπλέγματος του αρχείου. Αυτό σημαίνει ότι στην ουσία κάθε σύμπλεγμα δείχνει στο επόμενό του και οι καταχωρήσεις στον πίνακα FAT δημιουργούν μια συνδεδεμένη λίστα η οποία ονομάζεται Αλυσίδα Συμπλεγμάτων(*Cluster Chain*). Ωστόσο τα συμπλέγματα ενός αρχείου δεν βρίσκονται το ένα δίπλα στο άλλο και συχνά είναι διασκορπισμένα στην περιοχή δεδομένων. Παρόλο που το μέγεθος μια εγγραφής στον Πίνακα Κατανομής Αρχείων FAT είναι 32 bit μόνο τα 28 από αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν που σημαίνει ότι το FAT32 έχει θεωρητικά 2^{28} μέγιστο αριθμό συμπλεγμάτων. Τα υψηλότερα 4 bit είναι συνήθως μηδέν, αλλά είναι δεσμευμένα και πρέπει να παραμένουν άθικτα. Η σχέση μεταξύ του Πίνακα Κατανομής Αρχείων και του Directory Entry παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



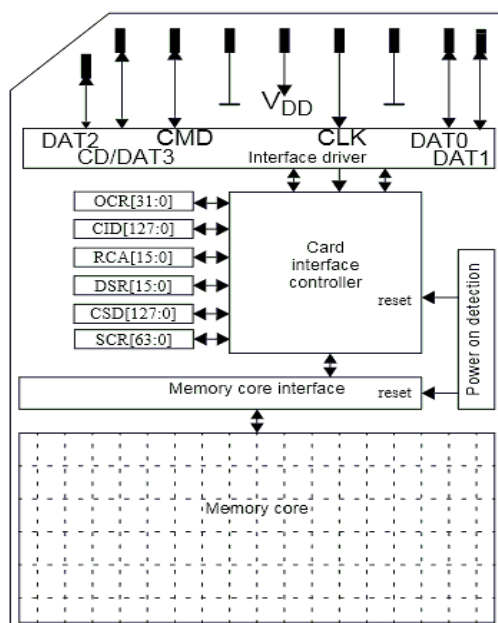
Σχήμα 24: Σχέση μεταξύ Directory Entry και File Allocation Table

Το FAT32 αξιοποιεί το χώρο πιο αποτελεσματικά λόγω των μικρότερου μεγέθους συμπλεγμάτων που χρησιμοποιεί (cluster 4KB για μονάδες δίσκου με μέγεθος έως 8GB), ενώ υποστηρίζει μονάδες δίσκου μεγέθους έως και 2TB και είναι περισσότερο αξιόπιστο και πιο ευέλικτο σε σχέση με τις προηγούμενες εκδόσεις του FAT.

Παράρτημα Β

SPI Λειτουργία Κάρτας Μνήμης SD

Η SD κάρτα αποτελείται από δύο βασικά τμήματα: την κύρια μνήμη (memory core) και τον ελεγκτή της κάρτας SD (SD Card Controller). Η κύρια μνήμη είναι η περιοχή όπου αποθηκεύονται τα πραγματικά δεδομένα των αρχείων της κάρτας και κατά συνέπεια είναι η περιοχή όπου υπάρχει το σύστημα αρχείων της κάρτας που δημιουργείται κατά τη διαμόρφωσή της. Ο ελεγκτής της κάρτας βοηθά στην επικοινωνία της κάρτας με τις εξωτερικές συσκευές όπως ο μικροελεγκτής και μπορεί να ανταποκριθεί σε ένα συγκεκριμένο σύστημα τυποποιημένων SD εντολών και να διαβάσει ή να γράψει δεδομένα από την κύρια μνήμη για την εξωτερική συσκευή. Η χωρητικότητα της κύριας μνήμης αναφέρεται ως το μέγεθος της κάρτας.

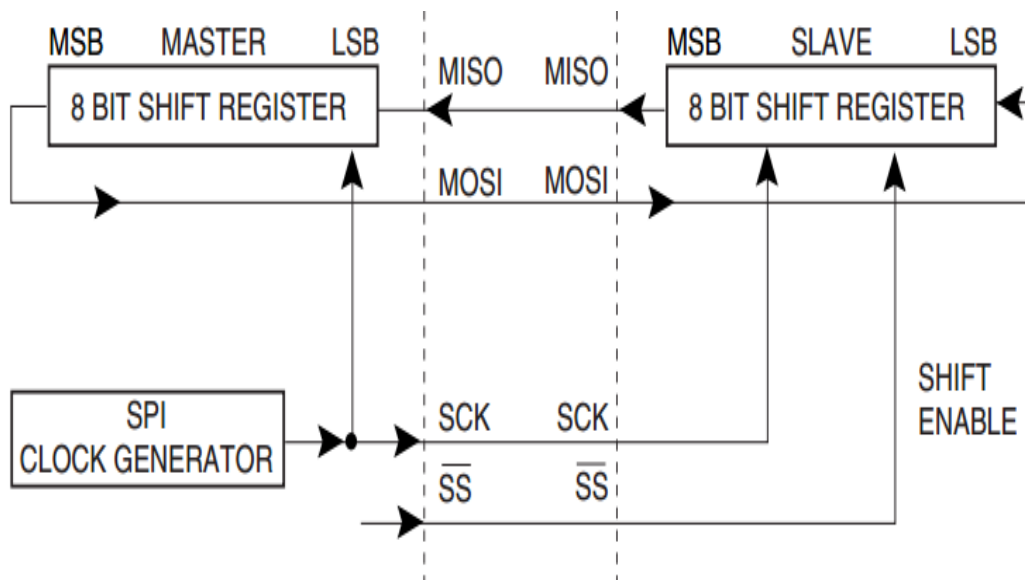


Σχήμα 25: Αρχιτεκτονική SD Κάρτας Μνήμης

Η διασύνδεση της κάρτας μνήμης με τον μικροελεγκτή γίνεται με το δεύτερο πρωτόκολλο επικοινωνίας που προσφέρει η κάρτα, το πρωτόκολλο SPI. Το SPI είναι ένα πρωτόκολλο σύγχρονης σειριακής επικοινωνίας διαθέσιμο στον AVR στο οποίο τόσο ο αποστολέας όσο και ο παραλήπτης χρησιμοποιούν το ίδιο ρολόι για να

συγχρονίσουν την μετάδοση των δεδομένων και είναι τύπου αφέντη-σκλάβου (*Master-Slave*).

Ο Master ελέγχει την ταχύτητα της επικοινωνίας και εκκινεί την επικοινωνία με τον Slave θέτοντας Low την γραμμή Slave Select \overline{SS} του αντίστοιχου Slave. Ο Master και ο Slave προετοιμάζουν τα δεδομένα προς αποστολή στους αντίστοιχους Shift Registers με τον Master να παράγει τους απαραίτητους παλμούς ρολογιού στην γραμμή SCK για την ανταλλαγή των δεδομένων. Τα δεδομένα μεταδίδονται πάντα από τον Master στον Slave στη γραμμή MOSI (*Master Out- Slave In*) και από τον Slave στον Master στη γραμμή MISO (*Master In- Slave Out*). Το παρακάτω σχήμα δείχνει πως επικοινωνούν δύο συσκευές μέσω του SPI:



Σχήμα 26: Επικοινωνία Master-Slave μέσω SPI

Ο Master παρέχει το ρολόι και 8 bits δεδομένων τα οποία εξέρχονται με τη σειρά από τη MOSI έξοδο. Καθώς αυτά παραλαμβάνονται ένα προς ένα από τον Slave, 8 bits στέλνονται με τη σειρά από τον Slave στον Master στην MISO γραμμή. Με τον τρόπο αυτό ανταλλάσσουν δεδομένα σε μια χρονική περίοδο.

Ο μικροελεγκτής είναι ο Master της επικοινωνίας, ελέγχοντας το ρολόι και όλες τις μεταφορές δεδομένων και η κάρτα έχει το ρόλο του Slave. Όλες οι μεταδόσεις είναι πολλαπλάσια του byte, είναι πάντα συγχρονισμένες με το σήμα του ρολογιού και μπορούν να είναι εντολές, απαντήσεις και data-block tokens. Το πρωτόκολλο SPI παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία βασισμένο σε τέσσερα μόνο σήματα:

- **CS Chip Select** : σήμα επιλογής από τον Master στην κάρτα
- **CLK Clock** : σήμα ρολογιού από τον Master στην κάρτα
- **DI Data In** : δεδομένα από τον Master στην κάρτα
- **DO Data Out** : δεδομένα από την κάρτα στον Master

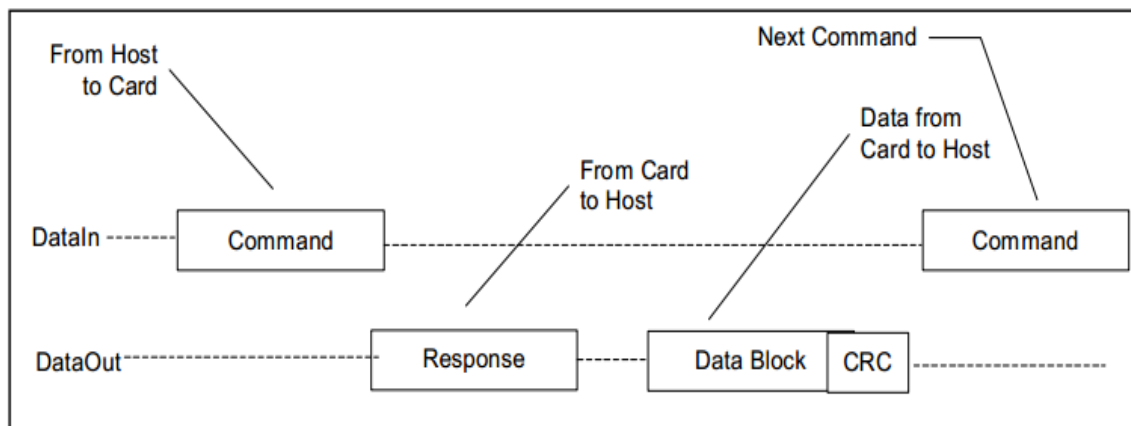
Για κάθε εντολή η κάρτα επιλέγεται θέτοντας το σήμα CS σε λογικό μηδέν. Το σήμα επιλογής της κάρτας πρέπει να είναι συνεχώς ενεργό (λογικό μηδέν) κατά τη διάρκεια της SPI επικοινωνίας, εκτός από την περίοδο προγραμματισμού της κάρτας.

Η κάρτα εισέρχεται κατά την εκκίνηση σε SD λειτουργία. Για να μπει η κάρτα σε SPI λειτουργία πρέπει το CS σήμα να είναι ενεργό (λογικό μηδέν) κατά την λήψη της εντολής επανεκκίνησης (CMD0). Ο μόνος τρόπος να επιστρέψει η κάρτα σε SD λειτουργία είναι μέσω ενός κύκλου της τροφοδοσίας.

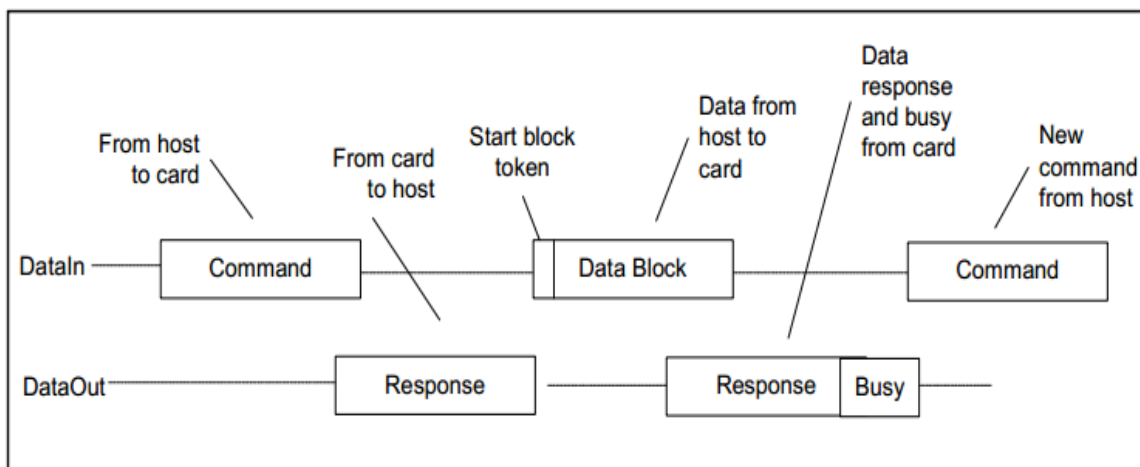
Κατά τη διαδικασία αρχικοποίησης η κάρτα εισέρχεται σε κατάσταση idle και οι μόνες έγκυρες εντολές είναι η ACMD41 (SD_SEND_OP_COND), CMD58 (READ_OCR) και CMD59 (CRC_ON_OFF). Η εντολή πρέπει να σταλεί επανηλειμμένα στην κάρτα μέχρι η κάρτα να τελειώσει με την αρχικοποίησή της και να είναι έτοιμη να δεχθεί εντολές.

Το ρολόι ελέγχεται από τον Master και η μέγιστη συχνότητά του καθορίζεται από τις δυνατότητες της κάρτας που παρέχονται από τον κατασκευαστή (125KHz). Μετά την τελευταία μετάδοση ο Master παρέχει 8 κύκλους ρολογιού στην κάρτα για να ολοκληρώσει τις εργασίες της πριν σταματήσει το ρολόι με την τιμή του σήματος CS να μην παίζει ρόλο σε αυτή την περίοδο.

Το block είναι η βασική μονάδα για ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων, το μέγεθός του είναι προκαθορισμένο στα 512 bytes και αλλάζει μόνο με ειδική εντολή. Η SPI λειτουργία υποστηρίζει ανάγνωση και εγγραφή ενός ή πολλαπλών block δεδομένων. Οι διαδικασίες ανάγνωσης και εγγραφής ενός block στην κάρτα φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Σχήμα 27: Ανάγνωση ενός block δεδομένων της SD Κάρτας



Σχήμα 28: Εγγραφή ενός block δεδομένων στην SD Κάρτα

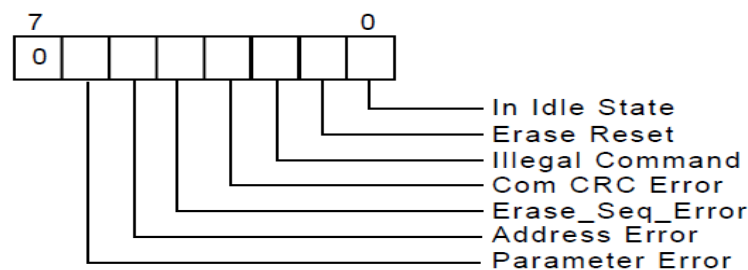
Η κάρτα SD δέχεται ένα συγκεκριμένο σύνολο τυποποιημένων εντολών με τις οποίες ο μικροελεγκτής μπορεί να έχει πρόσβαση στους καταχωρητές της κάρτας και να διαβάσει ή να γράψει στην κύρια μνήμη της. Όλες οι εντολές έχουν μήκος 6 bytes με το MSB να μεταδίδεται πρώτο (1 byte κωδικός εντολής, 4 byte όρισμα, 1 byte CRC).

| Byte 1 | | Byte 2-5 | | Byte 6 | |
|--------|---|----------|---|------------------|-----|
| 7 | 6 | 5 | 0 | 31 | 0 |
| 0 | 1 | Command | | Command Argument | CRC |

Σχήμα 29: Μορφή εντολών SD κάρτας

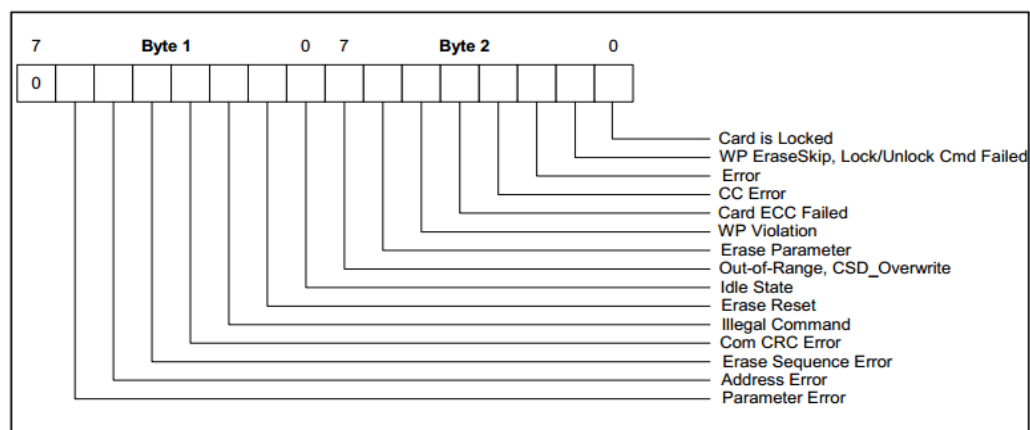
Υπάρχουν διάφορες δομές απαντήσεων της κάρτας SD στην SPI λειτουργία. Όπως και στην SD λειτουργία το MSB είναι εκείνο που μεταδίδεται πρώτο. Οι δομές των απαντήσεων της κάρτας είναι οι ακόλουθες:

- **R1:** χρησιμοποιείται από όλες τις εντολές πλην εκείνων που ελέγχουν την κατάσταση της κάρτας. Έχει μήκος 1 byte με το πρώτο bit να είναι πάντα λογικό μηδέν, ενώ όλα τα υπόλοιπα είναι ενδείξεις λάθους.



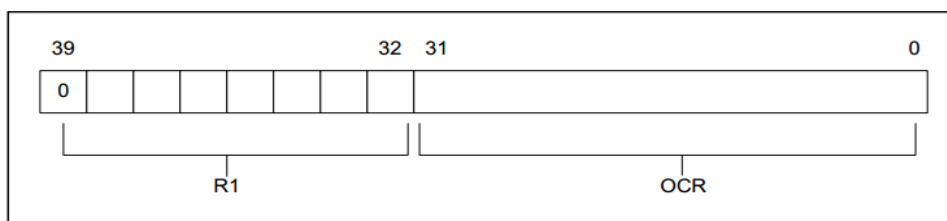
Σχήμα 30: Δομή απάντησης R1 της SD Κάρτας

- **R2:** η απάντηση με τη συγκεκριμένη δομή δίνεται από την κάρτα αν ζητηθεί η κατάστασή της και έχει μήκος 2 bytes.



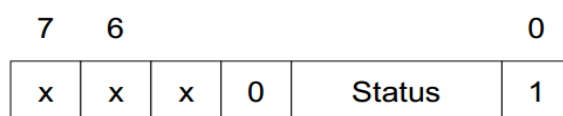
Σχήμα 31: Δομή απάντησης R2 της SD Κάρτας

- **R3:** στέλνεται από την κάρτα όταν της ζητηθεί το περιεχόμενο του OCR. Έχει μήκος 5 bytes από τα οποία το πρώτο είναι πανομοιότυπο με την απάντηση τύπου R1 και τα υπόλοιπα 4 bytes περιέχουν τον OCR.



Σχήμα 32: Δομή απάντησης R3 της SD Κάρτας

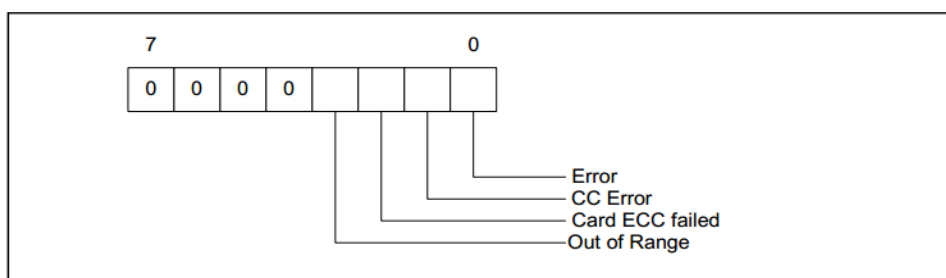
- Κάθε block δεδομένων που εγγράφεται στην κάρτα αναγνωρίζεται από ένα data response token, μήκους ενός byte με τα Status bits να παίρνουν τις τιμές 010 για την αποδοχή των δεδομένων, 101 για την απόρριψη των δεδομένων εξαιτίας λάθους CRC και 110 για απόρριψη εξαιτίας λάθους κατά την εγγραφή. Κάθε data response token έχει την ακόλουθη μορφή:



Σχήμα 33: Δομή απάντησης Data Token της SD Κάρτας

Οι εντολές εγγραφής και ανάγνωσης συνοδεύονται πάντα από μεταφορά δεδομένων από και προς την κάρτα. Οι μεταφορές αυτά γίνονται με data tokens τα οποία έχουν μήκος 4 έως 515 bytes με το πρώτο byte να είναι η αρχή του block, τα bytes από 2 έως 513 να είναι τα δεδομένα και τα τελευταία δύο bytes να είναι τα 16 bit του CRC.

Στην περίπτωση λάθους κατά τη διάρκεια ανάγνωσης η κάρτα απαντά με ένα data error token το οποίο έχει μήκος ενός byte και έχει την ακόλουθη μορφή:

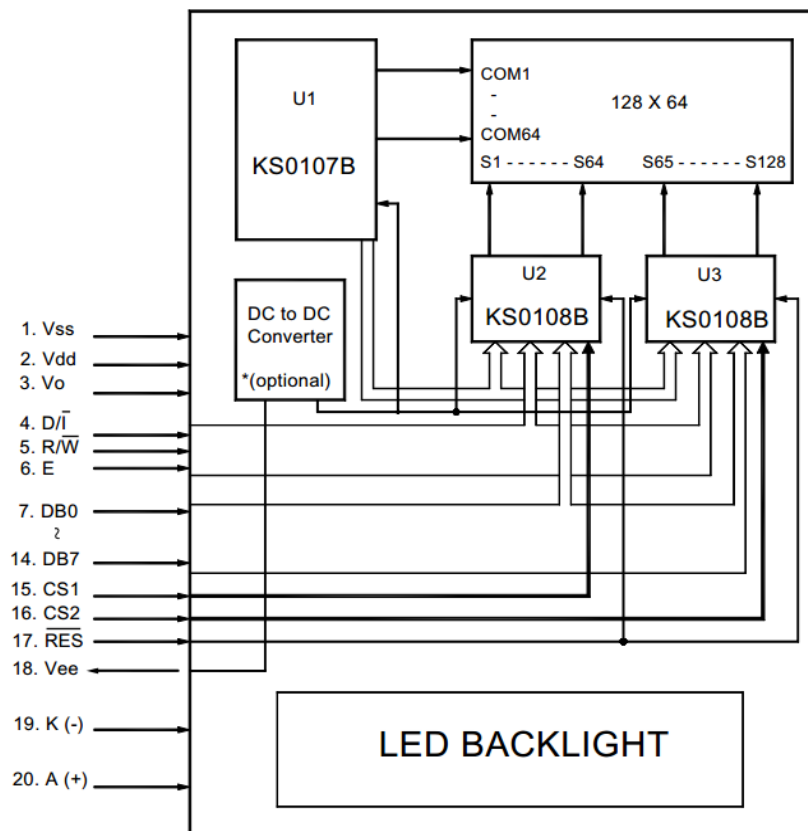


Σχήμα 34: Δομή Data Error Token της SD Κάρτας

Παράρτημα Γ

Λειτουργία Οθόνης Γραφικών LCD 128x64

Η οθόνη γραφικών LCD 128x64 pixel και συγκεκριμένα η AGM1264F-NLWBW της AZ Displays είναι βασισμένη στον KS0108 controller της Samsung ο οποίος είναι ευρέως διαδεδομένος στην κατασκευή οθονών του ίδιου τύπου, κυρίως λόγω της ευκολίας που προσφέρει στην διεπαφή και τον προγραμματισμό του. Ο KS0108 μπορεί να οδηγήσει ένα τμήμα 64 pixels, επομένως για την οδήγηση 128 pixels η οθόνη περιέχει δύο τέτοιους οδηγούς.

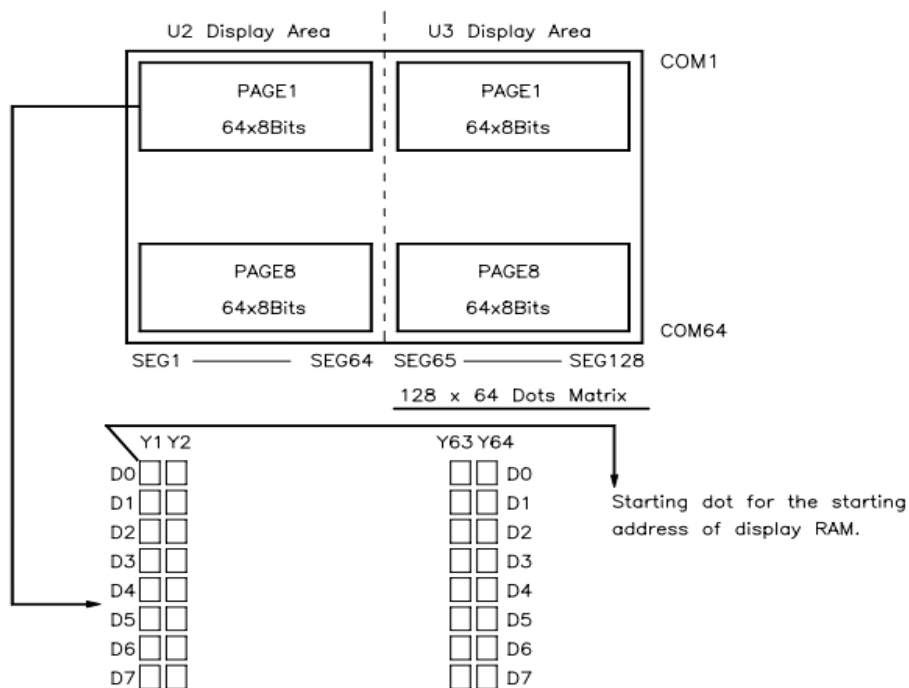


Σχήμα 35: Block diagram AGM1264F Series Graphic Module

Ειδικότερα, η οθόνη χωρίζεται στη μέση και κάθε μισό λαμβάνει δεδομένα ξεχωριστά. Τα σήματα CS1 και CS2 επιτρέπουν στον προγραμματιστή να επιλέξει σε ποιο τμήμα, δηλαδή σε ποιο οδηγό θα στείλει τα δεδομένα που βρίσκονται στον διάλο

(DB0-DB7). Όταν ο αντίστοιχος οδηγός λάβει τα δεδομένα ορίζει αναλόγως τα pixel του τμήματος της οθόνης που του αντιστοιχούν.

Η οργάνωση των pixel είναι πανομοιότυπη και για τα δύο τμήματα της οθόνης. Ένα byte δεδομένων οργανώνεται κάθετα γεμίζοντας μια στήλη. Οι στήλες του κάθε τμήματος αριθμούνται από το 0 έως το 63, ενώ οι γραμμές ομαδοποιούνται ανά 8. Ένα σύνολο 8 γραμμών αποτελεί μια σελίδα(*Page*) ή αλλιώς X-Address. Η ομαδοποίηση των 8 pixel κάθε στήλης σε μια σελίδα γίνεται εξαιτίας της αποστολής των δεδομένων με μορφή bytes(8 bits). Δεν μπορούμε να γράψουμε μόνο ένα pixel και να αγνοήσουμε τα υπόλοιπα. Οι στήλες αριθμούνται από 0 έως 63 και αναφέρονται ως Y-Address και ο αριθμός των στηλών αυξάνεται αυτόματα με την ύπαρξη ενός εσωτερικού μετρητή. Κάθε τμήμα της οθόνης έχει 8 σελίδες και κάθε σελίδα έχει 64x8 bits. Κάθε byte δεδομένων που στέλνεται στο δίαυλο γεμίζει την οθόνη κάθετα σε μία στήλη. Ενώ τα byte διαβάζονται οριζόντια από δεξιά (LSB) προς τα αριστερά(MSB), το γέμισμα της στήλης γίνεται κάθετα από το DB0 στο DB7.



Σχήμα 36: Οργάνωση των pixels της οθόνης γραφικών LCD 128x64

Η οθόνη χρησιμοποιεί έξι σήματα ελέγχου και έχει συνολικά 20 ακροδέκτες. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, τα σήματα CS1 και CS2 χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του τμήματος της οθόνης στο οποίο θα μεταδοθούν τα δεδομένα που υπάρχουν

στο διάλυο. Όταν το σήμα είναι λογικό μηδέν ο οδηγός για το αντίστοιχο τμήμα της οθόνης απενεργοποιείται. Το σήμα Enable λειτουργεί σαν ενός είδους χρονιστής για την οθόνη. Πρέπει να τεθεί σε λογικό μηδέν και μετά σε λογικό ένα για να μπορέσει μια λειτουργία να εκτελεστεί. Επιπλέον, πρέπει να υπάρχει μια καθυστέρηση τουλάχιστον 1 μs μεταξύ των λειτουργιών για να αντισταθμίσει τον απαραίτητο χρόνο κύκλου για το Enable bit. Τα σήματα ελέγχου D/I και R/W χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν το είδος της λειτουργίας που θα εκτελέσει η οθόνη.

Η οθόνη υποστηρίζει επίσης ένα σύνολο εντολών που μας διευκολύνει στην οδήγησή της. Το σύνολο των εντολών ελέγχου της οθόνης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

| Instruction | D/I | R/W | DB7 | DB6 | DB5 | DB4 | DB3 | DB2 | DB1 | DB0 | Description |
|---------------------------|-----|-----|------------|-----|---------------------------|-------|-----|------------|-----|-----|---|
| Display ON/OFF | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Controls the display on or off 0:OFF 1:ON |
| Set Address | 0 | 0 | 0 | 1 | Y address (0~63) | | | | | | Sets Y address at Y address counter |
| Set Page | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | Page (0~7) | | | Sets X address at X address register |
| Display Start Line | 0 | 0 | 1 | 1 | Display start line (0~63) | | | | | | Indicates the display data RAM displayed at the top of the screen |
| Status Read | 0 | 1 | Busy | 0 | ON/OFF | RESET | 0 | 0 | 0 | 0 | Read status: Busy 0:Ready 1:In operation ON/OFF 0:Display ON 1:Display OFF Reset 0:Normal 1:Reset |
| Write Display Data | 1 | 0 | Write Data | | | | | | | | Writes data DB0~DB7 into display data RAM. After writing instruction, Y address is increased by 1 automatically |
| Read Display Data | 1 | 1 | Read Data | | | | | | | | Reads data DB0~DB7 from display data RAM to the data bus |

Πίνακας 8: Εντολές Ελέγχου AGM1264F

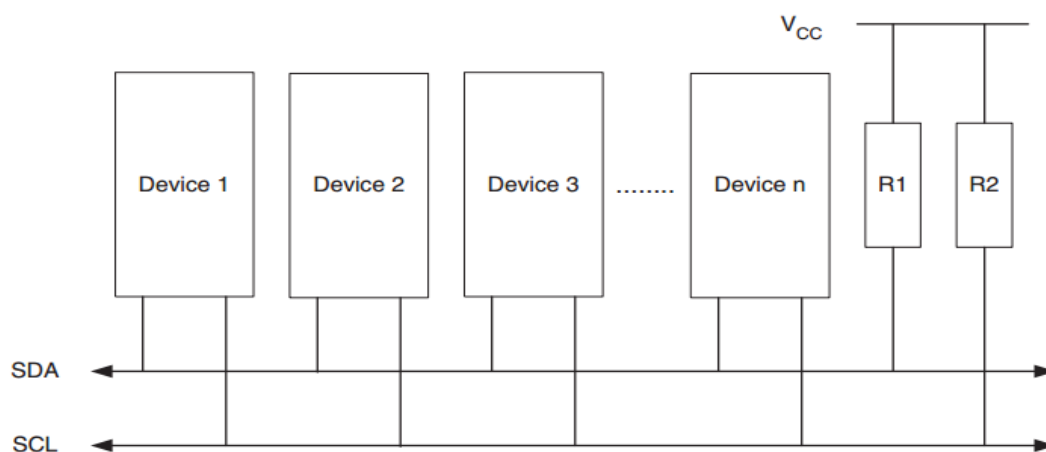
Για τη λειτουργία της οθόνης το ύψος ενός χαρακτήρα επιλέχθηκε να είναι 8 pixels, το μήκος του 5 pixels και το κενό ανάμεσα σε δύο χαρακτήρες να είναι 3 pixels με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η εκτύπωση 16 χαρακτήρων ανά γραμμή. Για την εμφάνιση μιας εικόνας στην οθόνη ήταν απαραίτητη η μετατροπή της σε monochrome bitmap εικόνα και η εξαγωγή ενός πίνακα bitmap data array με τα στοιχεία της.

Παράρτημα Δ

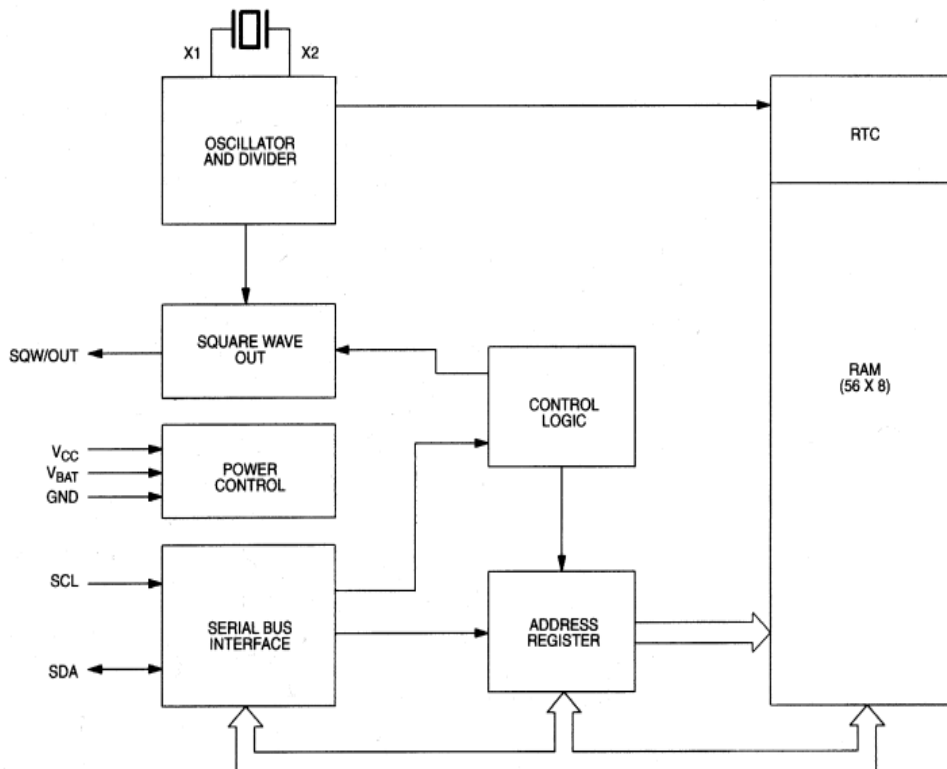
TWI Σειριακό Πρωτόκολλο Επικοινωνίας Ρολογιού Πραγματικού Χρόνου

Το DS1307 χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο αμφίδρομης επικοινωνίας 2 γραμμών. Πρόκειται για το πρωτόκολλο I²C (*Inter-Integrated Circuit*) που ανακάλυψε η Phillips η οποία όμως προστατεύει το όνομα του πρωτοκόλλου και έτσι οι υπόλοιποι κατασκευαστές έχουν υιοθετήσει διαφορετικές ονομασίες. Η Atmel ονομάζει το πρωτόκολλο Two Wire Interface (TWI).

Ο δίαυλος αποτελείται από δύο ενεργές γραμμές και μια γραμμή γείωσης. Οι ενεργές γραμμές είναι διπλής κατεύθυνσης και ονομάζονται SDA (*Serial Data Line*) και SCL (*Serial Clock*). Στην υλοποίησή μας ο μικροελεγκτής αποτελεί τη συσκευή αφέντη (*Master*) και το ρολόι τη συσκευή σκλάβο (*Slave*). Στις περισσότερες περιπτώσεις ένας μικροελεγκτής κατέχει το ρόλο του Master και οι περιφερειακές συσκευές που συνδέονται με αυτόν μέσω του TWI αποτελούν τους Slaves και χαρακτηρίζονται από μια μοναδική διεύθυνση. Ο μικροελεγκτής-αφέντης διαχειρίζεται το χρονοισμό του διαδρόμου και τα σήματα για τη μεταφορά των δεδομένων με την επιλογή των συσκευών-σκλάβων να γίνεται με τυχαίο τρόπο. Το TWI παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης στον διάδρομο μέχρι και 128 διαφορετικών συσκευών με μόνη απαίτηση υλικού τη σύνδεση μιας pull-up αντίστασης για κάθε μία από τις δύο ενεργές γραμμές του διαδρόμου.



Σχήμα 37: Διασύνδεση συσκευών στον δίαυλο TWI



Σχήμα 38: Block diagram DS1307

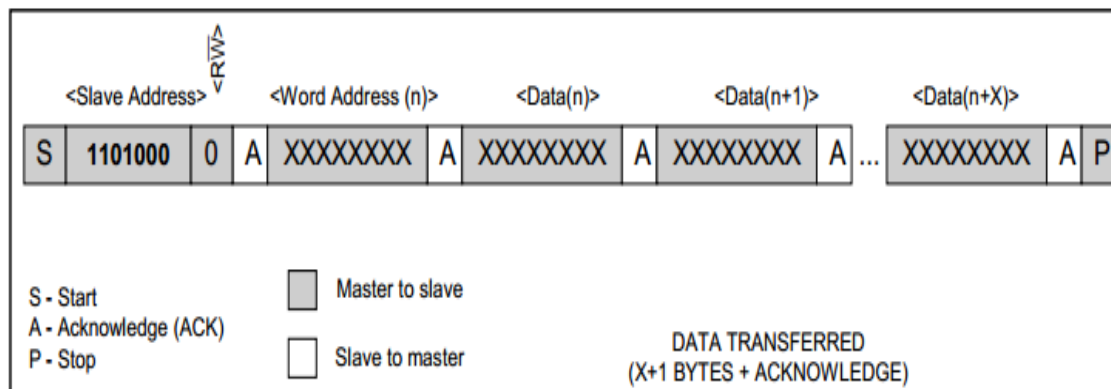
Το DS1307 λειτουργεί σαν σκλάβος στον διάυλο TWI. Ο μικροελεγκτής-αφέντης αρχίζει την επικοινωνία στέλνοντας στο διάδρομο ένα συγκεκριμένο σήμα αρχής (*START*). Το τέλος της μεταφοράς δεδομένων σηματοδοτείται αντίστοιχα από ένα σήμα τέλους (*STOP*) ή την επανάληψη του σήματος αρχής (*REPEATED_START*). Ως σήμα αρχής θεωρείται η μετάβαση της γραμμής SDA από Low σε High, ενώ ως σήμα τέλους θεωρείται η μετάβαση της γραμμής SDA από High σε Low. Η γραμμή του ρολογιού SCL παραμένει High και στις δύο περιπτώσεις. Τα δεδομένα μεταφέρονται με μορφή byte. Η εγκυρότητα των δεδομένων εξαρτάται από τη σταθερότητα της γραμμής κατά τη διάρκεια μιας High περιόδου του ρολογιού κατά τη μεταφορά τους.

Κατά τη μεταφορά δεδομένων από τον Master στον Slave το πρώτο byte αποτελεί τη διεύθυνση του Slave. Ακολουθούν τα δεδομένα με τον Slave να παράγει ένα bit επιβεβαίωσης (*acknowledgment bit*) μετά από κάθε παραλαβή byte. Τα bits τοποθετούνται διαδοχικά στη γραμμή SDA με πρώτο το MSB και με τον αριθμό των συνολικών bytes δεδομένων που μεταδίδονται να ελέγχεται από τον Master. Ο Master είναι υποχρεωμένος να παρέχει έναν επιπλέον παλμό ρολογιού για το συγκεκριμένο bit,

ενώ η γραμμή SDA πρέπει να είναι σταθερή σε κατάσταση Low κατά τη διάρκεια του High παλμού του ρολογιού που σχετίζεται με το bit επιβεβαίωσης.

Κατά τη μετάδοση δεδομένων από τον Slave στον Master το πρώτο byte μεταδίδεται από τον Master και αποτελεί τη διεύθυνση του Slave. Ο Slave επιστρέφει ένα bit επιβεβαίωσης το οποίο ακολουθείται από τα bytes δεδομένων. Ο Master στέλνει ένα bit επιβεβαίωσης μετά από κάθε byte δεδομένων που λαμβάνει. Η σηματοδότηση του τέλους της μεταφοράς των δεδομένων από τον Slave γίνεται όταν ο Master δεν στέλνει bit επιβεβαίωσης για το τελευταίο byte δεδομένων που έλαβε από τον Slave, ο οποίος με αυτό τον τρόπο διατηρεί την γραμμή SDA σε κατάσταση High ώστε να μπορέσει να λάβει τη συνθήκη τέλους (*STOP or REPEATED_START condition*).

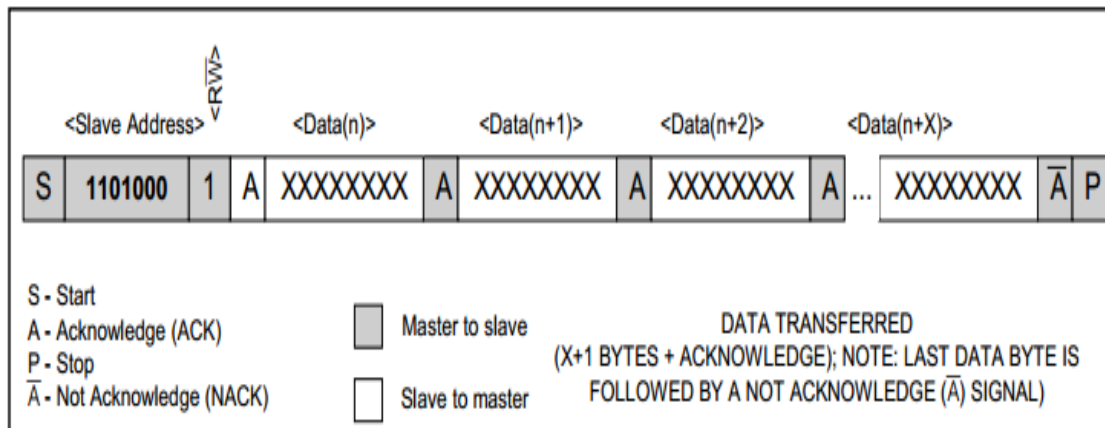
Κατά την λειτουργία εγγραφής δεδομένων στο ρολόι (*DS1307 Write Mode*) το ρολόι λαμβάνει το byte διεύθυνσης που ακολουθείται από ένα bit κατεύθυνσης (*R/W direction bit*) το οποίο για την εγγραφή είναι 0. Το ρολόι στέλνει ένα bit επιβεβαίωσης στον Master ο οποίος με τη σειρά του στέλνει στο ρολόι τη διεύθυνση του καταχωρητή στον οποίο θα γίνει η εγγραφή. Στη συνέχεια ο Master ξεκινά τη μετάδοση των bytes δεδομένων με το ρολόι να στέλνει bit επιβεβαίωσης μετά από κάθε λήψη ενός byte και τερματίζει την εγγραφή με μια συνθήκη τέλους. Η λειτουργία εγγραφής δεδομένων στο ρολόι DS1307 παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 39: Data Write - DS1307 Slave Receiver Mode

Κατά τη λειτουργία ανάγνωσης δεδομένων από το ρολόι (*DS1307 Read Mode*) το ρολόι λαμβάνει το byte διεύθυνσης που ακολουθείται από ένα bit κατεύθυνσης (*R/W direction bit*) το οποίο σε αυτή την περίπτωση είναι 1 υποδεικνύοντας ότι τα δεδομένα μεταδίδονται στη γραμμή SDA από το DS1307, ενώ η γραμμή SCL εξακολουθεί να

αποτελεί είσοδο για το σειριακό ρολόι. Το ρολόι στέλνει ένα bit επιβεβαίωσης στον Master και στη συνέχεια ξεκινά τη μετάδοση των δεδομένων με τη διεύθυνση του καταχωρητή στον οποίο βρίσκεται ο δείκτης. Η λειτουργία εγγραφής δεδομένων στο ρολόι DS1307 παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 40: Data Read - DS1307 Slave Receiver Mode