ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ, ΤΕ

Τίτλος:
Υλοποίηση ασύρματου δικτύου αισθητήρων με μικροελεγκτή

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παππά Βασιλική
Α.Ε.Μ 3146

Επιβλέπων: Ιωάννης Καλόμοιρος, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΣΕΡΡΕΣ 2015

<u>Υπεύθυνη Δήλωση</u> *: Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής & Επικοινωνιών του Τ.Ε.Ι. Σερρών.*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρέχουν μεγάλη ευελιξία σε εφαρμογές ευφυών συστημάτων μετρήσεων και ελέγχου. Αναπτύσσονται κυρίως στο εσωτερικό χώρο κτιρίων ή σε περιορισμένους εξωτερικούς χώρους και έχουν εμβέλεια μερικών δεκάδων μέτρων. Στηρίζονται σε μικροελεγκτές ή/και προσωπικούς υπολογιστές. Πολλές φορές ενσωματώνουν περιφερειακά GSM για τη διασύνδεση με το ασύρματο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία υλοποιείται και σχεδιάζεται ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για μια εφαρμογή αυτοματοποίησης σπιτιού (Intelligent Smart Home System). Χρησιμοποιείται ένα σύνολο κατάλληλων αισθητήρων, όπως ανιχνευτής κίνησης, καπνού και θερμοκρασίας, οι οποίοι διασυνδέθηκαν με έναν μικροελεγκτή, ο οποίος με τη σειρά του μεταφέρει τα δεδομένα μέσω της ασύρματης διασύνδεσης, σε έναν προσωπικό υπολογιστή. Ο υπολογιστής εκτελεί μία εφαρμογή ξενιστή, όπου προβάλλει τα δεδομένα μέσω του δικτύου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή στους Μικροελεγκτές
1.2 Σε τι διαφέρει ένας μικροελεγκτής από ένα μικροεπεξεργαστή
1.3 Δομή και αρχιτεκτονική μικροελεγκτή PIC16F877
    1.3.1 Εισαγωγή
    1.3.2 Χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή PIC16F877
    1.3.3 Αναλυτική παρουσίαση και ανάλυση ακροδεκτών (Pins) του μικροελεγκτή PIC16F877
1.4 Μνήμη μικροελεγκτή PIC
    1.4.1 Μνήμη προγράμματος
    1.4.2 Μνήμη καταχωρητών και δεδομένων
    1.4.3 Λειτουργίες διακοπών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Παράλληλη Επικοινωνία
2.2 Σειριακή Επικοινωνία
    2.2.1 Θύρες Σειριακής Επικοινωνίας
2.3 Ασύγχρονη Σειριακή Επικοινωνία
2.4 Σύγχρονη Σειριακή Επικοινωνία
2.5 Διασύνδεση της Σειριακής θύρας με Εξωτερικά Κυκλώματα
    2.5.1 Εισαγωγή
2.6 Το Πρωτόκολλο RS-232C
2.7 Ακροδέκτες σειριακής θύρας και λειτουργίες τους
2.8 Το Πρωτόκολλο I2C
    2.8.1 Εισαγωγή
    2.8.2 Περιγραφή Χαρακτηριστικών του I2C Bus
    2.8.3 I2C Bus Επικοινωνία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Συλλογή και Επεξεργασία των Μετρήσεων
    3.1.1 Εισαγωγή
3.2 Ψηφιακές διατάξεις μετρήσεων
3.3 Κατηγορίες Σημάτων

3.3.1 Αναλογικά Σήματα
3.3.2 Διακριτά Σήματα
3.3.3 Ψηφιακά Σήματα
3.4 Μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά
3.5 Συστήματα μετρήσεων βασισμένα σε υπολογιστή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Zigbee
4.1.1 Εισαγωγή
4.1.2 Σκοπός, χρησιμότητα, σχέση με την προϋπάρχουσα τεχνολογία
4.2 Τα πλεονεκτήματα του Zigbee
4.3 Η στοίβα πρωτοκόλλων του Zigbee
4.3.1 Φυσικό Επίπεδο (Physical layer, PHY)
4.3.2 Το Επίπεδο Ελέγχου Πρόσβασης στο Μέσο (Medium access control layer, MAC)
4.3.3 Το Επίπεδο Δικτύου (Network layer, NWK)
4.3.4 Το Επίπεδο Εφαρμογών (Application layer, APL)
4.4 Τοπολογίες Δικτύου
4.5 Τύποι Συσκευών
4.6 Δημιουργία ενός δικτύου
4.7 Πίνακες γειτόνων
4.8 Σύνδεση σε ένα δίκτυο και αποχώρηση από αυτό
4.9 Το προφίλ του Zigbee
4.10 Σύγκριση τεχνολογιών
4.10.1 Συχνότητες λειτουργίας
4.10.2 Ισχύς εκπομπής και ακτίνα δράσης
4.10.3 Δυνατότητες δικτύων
4.10.4 Εφαρμογές της τεχνολογίας Zigbee
4.11 Zigbee Πομποδέκτης
4.12 Xbee Zigbee Modulo

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Περιγραφή της εφαρμογής
5.2 Συνδεσμολογία κυκλώματος
5.3 Περιγραφή του κυκλώματος
5.4 Βαθμίδα αισθητηρίων
5.5 Τα προγράμματα που χρησιμοποιήσαμε
5.5.1 Το πρόγραμμα labVIEW
5.5.2 Το πρόγραμμα X – CTU

5.5.3 CCS C Compiler
5.6 Αναλυτική λειτουργία του κώδικα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Συμπεράσματα
6.2 Εφαρμογή
6.2.1 Προτάσεις για εφαρμογές

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Α) Παραρτήματα προγραμμάτων σε γλώσσα C
Α1) Κώδικας σειριακής Επικοινωνίας
Α2) Ο κώδικας της εφαρμογής

Β) Παραρτήματα απεικόνισης δεδομένων στο labVIEW
Β1) Εφαρμογή σειριακής επικοινωνίας
Β2) Η κύρια εφαρμογή του κυκλώματος

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Σχήμα 1.1 Διαφορές ανάμεσα σε σύστημα μικροεπεξεργαστή (MPU) και μικροελεγκτή (MCU).
Σχήμα 1.2 Ο μικροελεγκτής PIC16F877 και οι ακροδέκτες του.
Σχήμα 1.3 Παρουσίαση των δυο τύπων αρχιτεκτονικής.
Σχήμα 1.4 Χάρτης μνήμης μικροελεγκτή PIC16F877.
Πίνακας 1.1 Ο καταχωρητής STATUS και τα bits που τον αποτελούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σχήμα 2.1 Σειριακή μετάδοση δεδομένων.
Πίνακας 2.1 Διευθύνσεις των σειριακών θυρών ενός Η/Υ.
Σχήμα 2.2 Τοπολογία ενός δικτύου I2C.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σχήμα 3.1 Γραφική παράσταση αναλογικού σήματος.
Σχήμα 3.2 Γραφική παράσταση σήματος διακριτού χρόνου.
Σχήμα 3.3 Γραφική παράσταση ψηφιακού σήματος.
Σχήμα 3.4 Δειγματοληψία και στάθμες κβάντισης ψηφιακού σήματος.
Σχήμα 3.5 Τυπική διάταξη συλλογής δεδομένων μετρήσεων βασισμένη σε Η/Υ .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλων δικτύου.
Σχήμα 4.1 Συχνότητες καναλιών.
Σχήμα 4.2 Προδιαγραφές Zigbee.
Σχήμα 4.3 Παράδειγμα υπερπλαισίου.
Σχήμα 4.4 Τοπολογίες δικτύου.
Σχήμα 4.5 Zigbee Network.
Σχήμα 4.6 Zigbee πομποδέκτης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σχήμα 5.1 Το κύκλωμα σε φωτογραφία.
Σχήμα 5.2 Καθορισμός παραμέτρων Zigbee Xbee Modulo.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Εικόνα 1.1 Κυρίως πρόγραμμα εφαρμογής.
Εικόνα 1.2 Μπροστινό μέρος εφαρμογής.

Εικόνα 2.1 Αρχικοποίηση σειριακής θύρας.
Εικόνα 2.2 Έλεγχος για τον αριθμό 32.
Εικόνα 2.3 Έλεγχος για τον αριθμό 64.
Εικόνα 2.4 Ο κώδικας για τον αισθητήρα καπνού.
Εικόνα 2.5 Ο κώδικας για τον αισθητήρα κίνησης.
Εικόνα 2.6 Ο κώδικας για τον αισθητήρα θερμοκρασίας.
Εικόνα 2.7 Κλείσιμο σειριακής επικοινωνίας.
Εικόνα 2.8 Μπροστινό μέρος εφαρμογής.
Εικόνα 2.9 Το μπροστινό μέρος της εφαρμογής ενεργό

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, υλοποιείται και σχεδιάζεται ένα σύστημα ασύρματου δικτύου αισθητήρων βασισμένο στον μικροελεγκτή PIC16F877. Βασικός σκοπός είναι η δημιουργία ενός ασύρματου δικτύου και ενεργοποιητών για την επίτευξη μιας εφαρμογής αυτοματοποίησης σπιτιού (Intelligent Smart Home System). Αναλυτικά, χρησιμοποιούμε τρεις αισθητήρες, έναν ανίχνευσης κίνησης, έναν ανίχνευσης καπνού και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, οι οποίοι συνδέονται με τον μικροελεγκτή, όπου είναι προγραμματισμένος να λαμβάνει τα δεδομένα και να τα στέλνει ασύρματα στον Η/Υ, μέσω του Zigbee. Στόχος μας είναι, μόλις ανιχνευθεί μέσα στον χώρο του σπιτιού μας κίνηση, ή καπνός να μας ειδοποιεί. Επιπλέον, θα έχουμε την δυνατότητα να διαχειριζόμαστε και την θερμοκρασία του δωματίου.
Στο σύστημα αυτό, το αναλογικό σήμα που προέρχεται από τον αισθητήρα καπνού, εφαρμόζεται στην είσοδο ενός μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC), το οποίο είναι ενσωματωμένο στον μικροελεγκτή, με σκοπό την ψηφιοποίηση του. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας, όπου λειτουργεί με βάση το πρωτόκολλο I2C και ο αισθητήρας κίνησης λειτουργεί με καταστάσεις HIGH/LOW. Τα δεδομένα μεταφέρονται ασύρματα στον υπολογιστή μέσω του Zigbee, το οποίο ακολουθεί το πρωτόκολλο της ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας (πρωτόκολλο RS-232). Με τη βοήθεια του λογισμικού LabVIEW, οι μετρήσεις αποθηκεύονται σε αρχεία και απεικονίζονται σε γραφήματα.

Η εφαρμογή χωρίζεται στα παρακάτω δύο σημαντικά κομμάτια:

1. Στο Hardware, στο οποίο περιλαμβάνονται όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά κυκλώματα για την διαχείριση των συσκευών και την επικοινωνία με τον Η/Υ. Καθώς επίσης, ο μικροελεγκτής PIC16F877, τον οποίο έχουμε προγραμματίσει σε γλώσσα C, χρησιμοποιώντας τον CCS Compiler.
2. Στο Software, που περιλαμβάνει τα ακόλουθα προγράμματα:
    a. Το X-CTU, το οποίο χρησιμοποιήσαμε για τον προγραμματισμό των Zigbee
    b. Ο CCS Compiler, όπου τον ενσωματώσαμε στο MPLAB, για την συγγραφή του κώδικα σε C
    c. Το LabVIEW, που το χρησιμοποιήσαμε για την απεικόνιση των δεδομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή στους Μικροελεγκτές

Ο μικροελεγκτής είναι ένα μικρό υπολογιστικό κύκλωμα, σχεδιασμένο σε ένα και μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα υψηλής κλίμακας ολοκλήρωσης. Κάθε υπολογιστικό κύκλωμα, έτσι και ο μικροελεγκτής, περιέχει κεντρική μονάδα επεξεργασίας, έναν αριθμό καταχωρητών, κυκλώματα μνήμης και κυκλώματα ελέγχου περιφερειακών συσκευών. Είναι σε θέση να ανταλλάξει σήματα με το εξωτερικό περιβάλλον, να εκτελέσει πράξεις ανάμεσα σε μεταβλητές και να καταχωρήσει κάποιες τιμές στη μνήμη RAM που διαθέτει.

Κάθε μικροελεγκτής περιέχει μέσα σε ένα και μοναδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα τα εξής: έναν αριθμό από καταχωρητές ειδικού σκοπού (συσσωρευτή, καταχωρητή κατάστασης, μετρητή προγράμματος, καταχωρητή εντολών, καταχωρητή δείκτη), εσωτερικούς χρονιστές – απαριθμητές, αριθμητική - λογική μονάδα (ALU) και μονάδα αποκωδικοποίησης εντολών. Επίσης, βασικά του στοιχεία αποτελούν, η μνήμη προγράμματος (ROM ή EPROM) και η μνήμη καταχωρητών / μεταβλητών (RAM). Στους μικροελεγκτές διακρίνουμε ακόμη, τα κυκλώματα χρονισμού και ελέγχου. Τέλος, βασικά μέρη ενός μικροελεγκτή είναι οι παράλληλες θύρες εισόδου/εξόδου και άλλα περιφερειακά κυκλώματα (UART, A/D μετατροπείς κλπ.).

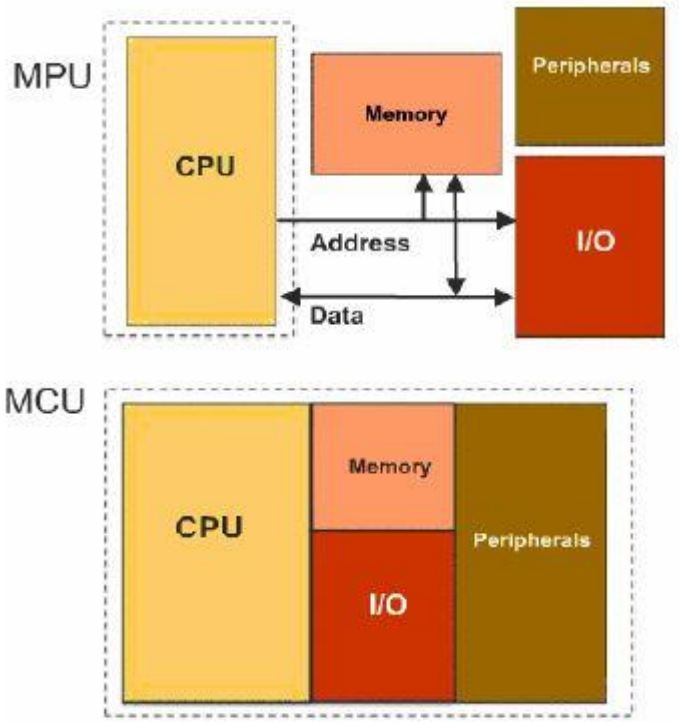
Μέσα από τις θύρες I/O ένας μικροελεγκτής μπορεί να δέχεται σήματα εισόδου με τη μορφή λογικών ψηφιακών καταστάσεων, χαρακτήρες ή bytes δεδομένων με την τεχνική της ασύγχρονης ή της σύγχρονης σειριακής επικοινωνίας, σήματα διακοπών, ή σε ορισμένες περιπτώσεις και αναλογικά σήματα, τα οποία στη συνέχεια μετατρέπονται σε ψηφιακά. Επίσης μπορεί να αποστέλλει σήματα σε άλλες συσκευές μέσα από θύρες εξόδου, να οδηγεί ηλεκτρονόμους, διόδους LED και άλλα κατάλληλα κυκλώματα, που συνήθως περιλαμβάνονται σε κάθε μορφής αυτοματισμό.

Οι μικροελεγκτές γενικά χαρακτηρίζονται από ένα περιορισμένο ρεπερτόριο εντολών, οι οποίες μπορούν να γραφούν σε συμβολική μορφή (assembly). Στους μικροελεγκτές PIC μεσαίας τάξης (midrange), το μήκος της εντολής σε γλώσσα μηχανής είναι 14 bits, τα οποία καταχωρούνται στη μνήμη προγράμματος, τύπου EEPROM.

1.2 Σε τι διαφέρει ένας μικροελεγκτής από ένα μικροεπεξεργαστή

Ο μικροελεγκτής, όπως αναφέραμε πιο πάνω, είναι ένα μικρό αυτόνομο υπολογιστικό σύστημα, προγραμματισμένο να εκτελεί μια συγκεκριμένη λογική ακολουθία εντολών, οι οποίες έχουν καταχωρηθεί στην προγραμματιζόμενη μόνιμη μνήμη του. Κάθε φορά που θα επανεκκινείται, θα εκτελεί την ίδια λογική. Δηλαδή, θα ανακαλεί τα δεδομένα, θα τα επεξεργάζεται και με βάση τα αποτελέσματα της επεξεργασίας, θα ελέγχει το περιβάλλον του. Πρόκειται λοιπόν, για σύστημα ειδικού σκοπού, αφιερωμένο στον έλεγχο και την εξυπηρέτηση ενός συγκεκριμένου αυτοματισμού.

Σε αντίθεση, ένας μικροεπεξεργαστής μετά την εκκίνηση του δεν είναι από μόνος του σε θέση να εκτελέσει μια λογική ακολουθία. Αν και μπορεί να συνδεθεί με μνήμες RAM και ROM, αυτές αποτελούν ξεχωριστές μονάδες, που συνήθως δεν ολοκληρώνονται μέσα στον ίδιο τον μικροεπεξεργαστή. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο μικροελεγκτής είναι ένας υπολογιστής, περιορισμένων δυνατοτήτων (Computer on a programmable chip).



Σχήμα 1.1 Διαφορές ανάμεσα σε σύστημα μικροεπεξεργαστή (MPU) και μικροελεγκτή (MCU).

1.3 Δομή και αρχιτεκτονική του μικροελεγκτή PIC16F877

1.3.1 Εισαγωγή

Οι επεξεργαστές και οι μικροελεγκτές κατατάσσονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: τους επεξεργαστές με αρχιτεκτονική CISC (Complex Instruction Set Computer) και τους επεξεργαστές με αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instruction Set Computer). Οι μεγάλοι κεντρικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές βασίζονται σε μικροεπεξεργαστές αρχιτεκτονικής RISC, ενώ ο προσωπικός μας ηλεκτρονικός υπολογιστής βασίζεται σε μικροεπεξεργαστή αρχιτεκτονικής CISC. Οι μικροεπεξεργαστές και μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής RISC χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι διαθέτουν μικρό αριθμό απλών εντολών, μπορούν όμως να ικανοποιήσουν όλες τις πιθανές απαιτήσεις προγραμματισμού. Οι μικροελεγκτές PIC ακολουθούν την αρχιτεκτονική RISC και έχουν συνολικά 35 εντολές μήκους μιας λέξης 14 bits. Έτσι απεναντίας με τους μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής CISC, ο PIC εκτελεί την κάθε εντολή σε ένα κύκλο μηχανής, έχοντας ως αποτέλεσμα την σημαντική βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας. Ας επισημάνουμε όμως, ότι μοναδική εξαίρεση αποτελούν οι εντολές διακλάδωσης, οι οποίες εκτελούνται σε δύο κύκλους μηχανής.
Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία είναι ο PIC16F877 της εταιρίας Microchip και είναι αρχιτεκτονικής RISC. Η δομή του PIC μπορεί να χωριστεί σε δυο μέρη, τον πυρήνα (core) και τις περιφερειακές μονάδες του (peripheral units). Ο πυρήνας του μικροελεγκτή αποτελείται από τα στοιχεία εκείνα, τα οποία είναι απολύτως απαραίτητα για τη λειτουργία του. Οι περιφερειακές μονάδες είναι ενσωματωμένες στο μικροελεγκτή και είναι αυτές που τον κάνουν να διαφέρει από έναν μικροεπεξεργαστή.
Στον πυρήνα του PIC16F877 ανήκουν: η κεντρική μονάδα επεξεργασίας, η μνήμη, οι εντολές και οι λειτουργίες διακοπών.
Στις περιφερειακές μονάδες ανήκουν: οι θύρες εισόδου/εξόδου γενικής χρήσης, οι μετρητές χρόνου (τρεις μονάδες), η μονάδα διαμόρφωσης πλάτους, οι θύρες σειριακής επικοινωνίας (τρεις), η θύρα παράλληλης επικοινωνίας, οι συγκριτές, η μονάδα παραγωγής τάσης αναφοράς και ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.

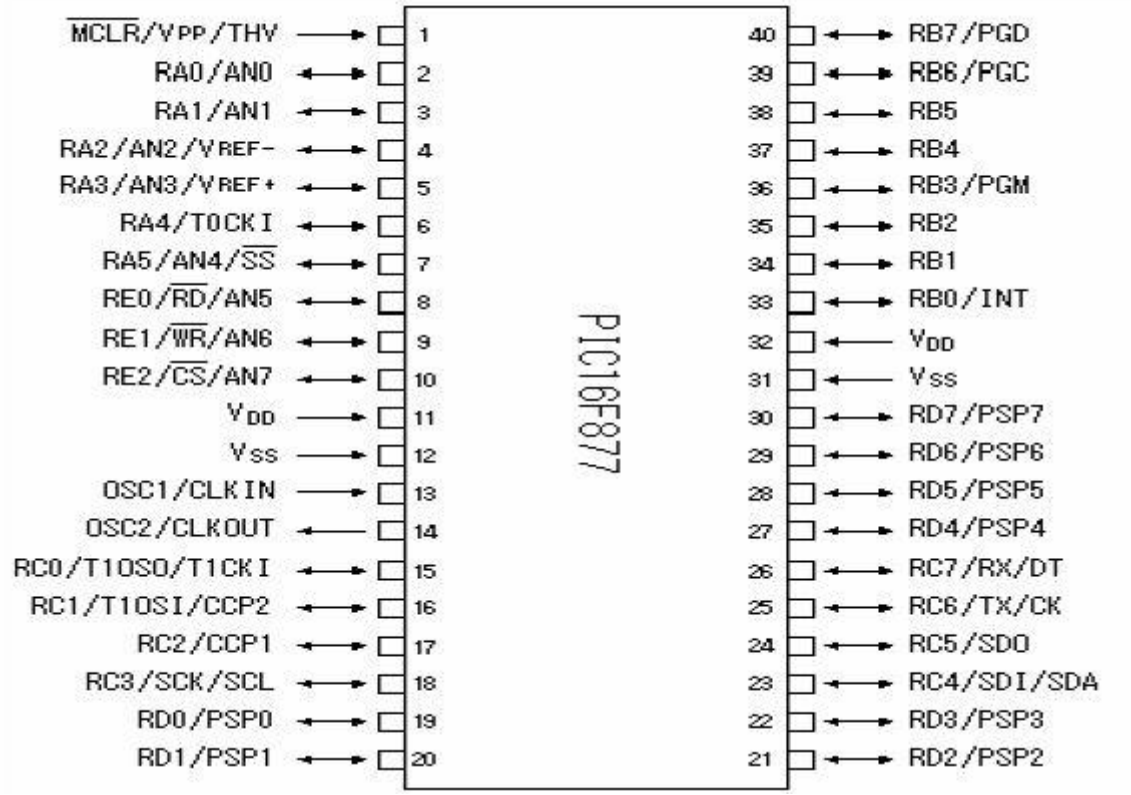
1.3.2 Χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή PIC16F877

Ο PIC16F877 είναι ένας ισχυρός και εύκολος στον προγραμματισμό μικροελεγκτής τεχνολογίας CMOS της εταιρίας Microchip. Με τον όρο CMOS εννοούμε μια τεχνολογία που στηρίζεται σε συμπληρωματικά τρανζίστορ MOSFET. Είναι τεχνολογία χαμηλής ισχύος και υψηλής ταχύτητας. Ο PIC16F877 βασίζεται στην

αρχιτεκτονική RISC και αποτελεί ένα πακέτο 40-ακροδεκτών. Είναι συμβατός με προγενέστερους μικροελεγκτές της ίδιας οικογενείας. Το πρόθεμα PIC προέρχεται από το ακρωνύμιο των λέξεων Peripheral Interface Controler – Ελεγκτής Περιφερειακής Διεπαφής. Διαθέτει μνήμη δεδομένων EEPROM των 256 bytes. Επίσης, διαθέτει ενσωματωμένο χρονιστή επιτήρησης (watch-dog timer) και μία σύγχρονη σειριακή θύρα. Παράγει έξοδο παλμοσειράς με 16 ρυθμιζόμενο εύρος (PWM), όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση διαφόρων βιομηχανικών εφαρμογών (π.χ βαλβίδες ή σερβοκινητήρες). Έχει πέντε θύρες εισόδου/εξόδου (θύρες A, B, C, D, E), των οχτώ δυαδικών ψηφίων (bits) με ατομικό έλεγχο διεύθυνσης. Αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σαν απλές θύρες, είτε σαν θύρες των υπόλοιπων περιφερειακών που διαθέτει. Η θύρα D μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράλληλη επικοινωνία. Ακόμη, διαθέτει τρεις μετρητές χρόνου που του δίνουν μεγάλες δυνατότητες σε εφαρμογές, όπου οι πολλαπλές μετρήσεις χρόνου είναι απαραίτητες. Συγχρόνως, είναι εφικτή η παραγωγή παλμών ελεγχόμενης διάρκειας, κάτι που είναι πολύ χρήσιμο για την παραγωγή ρυθμιζόμενης συνεχούς τάσης. Διαθέτει δύο 8-μπιτους χρονιστές/μετρητές (timer/counter) [TMR0,2] και έναν 16-μπιτο [TMR1]. Περιέχει επίσης έναν 10-μπιτο μετατροπέα Αναλογικού σήματος σε Ψηφιακό (Analog to Digital converter), με οκτώ αναλογικά κανάλια εισόδου. Μια ακόμη δυνατότητα του μικροελεγκτή, είναι η σειριακή επικοινωνία. Μάλιστα διαθέτει δύο περιφερειακά, ένα για ασύγχρονη ή σύγχρονη επικοινωνία του τύπου USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), με 9-bit ανίχνευση διευθύνσεων και ένα για σύγχρονη μόνο επικοινωνία, το οποίο ονομάζεται SSP, (Synchronous Serial Port), Σύγχρονη Σειριακή πόρτα. Η Σύγχρονη Σειριακή πόρτα (SSP) μπορεί να διαμορφωθεί είτε ως μία 3-καλωδίων Σειριακή Περιφερειακή Διεπαφή (SPI), είτε ως ολοκληρωμένος κυκλωματικός δίαυλος (Inter-Integrated Circuit bus) (I^2C) δύο καλωδίων, είτε ως μια καθολική Σύγχρονη-Ασύγχρονη Αποστολή-Λήψη (USART). Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα τον καθιστούν ιδανικό για υψηλού επιπέδου εφαρμογές σε βιομηχανίες, συσκευές και καταναλωτικές εφαρμογές.

1.3.3 Αναλυτική παρουσίαση και ανάλυση των Ακροδεκτών (Pins) του μικροελεγκτή PIC16F877

Ο μικροελεγκτής PIC16F877 αποτελείται συνολικά από 40 pins (είκοσι σε κάθε μεριά). Παρακάτω γίνεται μια εκτενέστερη παρουσίαση και ανάλυση των pins αυτών όσο αφορά την λειτουργία τους.



Σχήμα 1.2 Ο μικροελεγκτής PIC16F877 και οι ακροδέκτες του

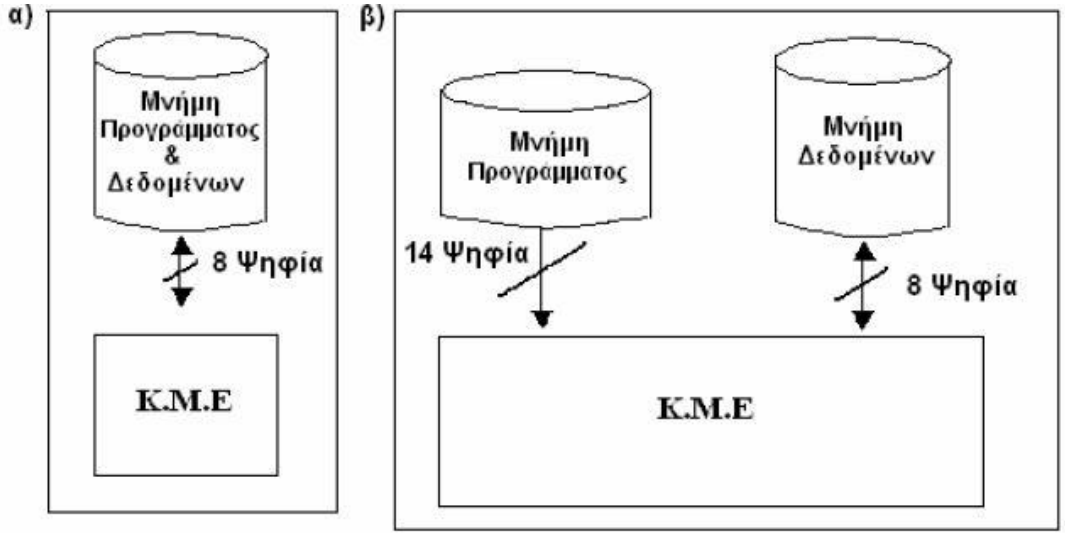
Ανάλυση των ακροδεκτών:

RA0-RA5 : Ακροδέκτες πόρτας A (λειτουργούν ως Είσοδοι / Έξοδοι)
RB0-RB7 : Ακροδέκτες πόρτας B (λειτουργούν ως Είσοδοι / Έξοδοι)
RC0-RC7 : Ακροδέκτες πόρτας C (λειτουργούν ως Είσοδοι / Έξοδοι)
RD0-RD7 : Ακροδέκτες πόρτας D (λειτουργούν ως Είσοδοι / Έξοδοι)
RE0-RE2 : Ακροδέκτες πόρτας E (λειτουργούν ως Είσοδοι /Έξοδοι)
AN0-7 : Ακροδέκτες Αναλογικής Εισόδου
RX : Ασύγχρονη Λήψη μέσω της USART
TX : Ασύγχρονη Αποστολή μέσω της USART
SCK : Σύγχρονη Σειριακή Είσοδος Ρολογιού (Synchronous serial clock input)
SCL : Έξοδος και για τις δύο μεθόδους SPI και I2C (Output for both SPI and I2C modes)
DT : Σύγχρονα Δεδομένα (Synchronous Data)
CK : Χρονισμός Σύγχρονης Επικοινωνίας (Synchronous Clock)
SDO : Δεδομένα Εξόδου SPI [SPI Data Out (SPI mode)]
SDI : Δεδομένα Εισόδου SPI [SPI Data In (SPI mode)]
SDA : Δεδομένα Εισόδου / Εξόδου (I2C μεθόδου) [Data I/O (I2C mode)]
CCP1,2 : Σύλληψη εισόδου/ Σύγκριση εξόδου/ PWM έξοδος (Capture In/Compare Out/PWM Out)
OSC1/CLKIN : Είσοδος εξωτερικού χρονισμού

OSC2/CLKOUT : Έξοδος χρονισμού (για σύνδεση κρυστάλλου)
MCLR : Είσοδος εξωτερικού μηδενισμού (Master Clear - Reset). Για εξωτερικό μηδενισμό πρέπει το ποδαράκι αυτό να πάρει παλμό λογικού 0.
Vpp : Είσοδος Τάσης Προγραμματισμού
THV : Έλεγχος λειτουργίας μέσω Υψηλής τάσης (High voltage test mode control)
VREF+/- : Τάση Αναφοράς
SS : Δευτερεύουσα επιλογή για τη Σύγχρονη Σειριακή πόρτα (Slave select for the synchronous serial port)
T0CKI : Είσοδος παλμών χρονισμού για τον χρονομετρητή Timer0
T1OSO : Έξοδος ταλαντωτή Timer1
T1OSI : Είσοδος ταλαντωτή Timer1
T1CKI : Έξοδος παλμών χρονισμού για των χρονομετρητή Timer1
PGD : Σειριακός προγραμματισμός δεδομένων (Serial programming data)
PGC : Σειριακός προγραμματισμός χρονισμού (Serial programming clock)
PGM : Είσοδος χαμηλής τάσης προγραμματισμού (Low voltage programinng input)
INT : Εξωτερική διακοπή (External interrupt)
RD : Ανάγνωση ελέγχου για παράλληλη δευτερεύουσα πόρτα (Read control for the parallel slave port)
WR : Εγγραφή ελέγχου για παράλληλη δευτερεύουσα πόρτα (Write control for the parallel slave port)
CS : Επιλογή ελέγχου για την δευτερεύουσα παράλληλη (Select control for the parallel slave)
PSP0- PSP7 : Δευτερεύουσα παράλληλη πόρτα (Parallel slave port)
VDD : Θετική τάση τροφοδοσίας
Vss : 0 Volt – Γείωση

1.4 Μνήμη μικροελεγκτή PIC

Για την σχεδίαση μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών ορίζοναται δύο αρχιτεκτονικές. Στη πρώτη αρχιτεκτονική, που χρησιμοποιείται στους κοινούς επεξεργαστές, υπάρχει μία μνήμη τόσο για την αποθήκευση του προγράμματος, όσο και για την αποθήκευση των δεδομένων. Στη δεύτερη, η οποία είναι πιο συνηθισμένη στους μικροελεγκτές και την οποία χρησιμοποιεί και ο μικροελεγκτής PIC16F877, χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστές μνήμες. Η μία μνήμη χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος και λέγεται μνήμη προγράμματος, ενώ η άλλη χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των δεδομένων και λέγεται μνήμη δεδομένων.



Σχήμα 1.3 Παρουσίαση των δυο τύπων αρχιτεκτονικής
α) Ενιαία μνήμη προγράμματος και δεδομένων (αρχιτεκτονική Von-Neumann)
β) Ξεχωριστή μνήμη προγράμματος και δεδομένων (αρχιτεκτονική Harvard)

Στην αρχιτεκτονική Harvard, οι εντολές και τα δεδομένα κινούνται σε ξεχωριστούς διαδρόμους (διαύλους), με αποτέλεσμα αυτό να μπορεί να γίνει με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα και την ίδια χρονική στιγμή. Αντίθετα, στην αρχιτεκτονική Von-Neumann, οι εντολές και τα δεδομένα μοιράζονται τον ίδιο διάδρομο με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η ταχύτητα μεταφοράς τους. Ένα πλεονέκτημα της δεύτερης αρχιτεκτονικής που χρησιμοποιεί ξεχωριστούς χώρους μνήμης για την αποθήκευση των δεδομένων και του προγράμματος είναι ότι, δίνει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης μνήμης με διαφορετικό μήκος λέξης. Έτσι στην περίπτωση του PIC, η μνήμη προγράμματος έχει μήκος λέξης δεκατεσσάρων δυαδικών ψηφίων (bits), αντί των οκτώ της μνήμης των δεδομένων, με σκοπό όλες οι εντολές να κωδικοποιούνται σε μία λέξη. Ας τονίσουμε, ότι γενικά οι εντολές των μικροεπεξεργαστών και των μικροελεγκτών μπορεί να έχουν μήκος μίας, δύο ή ακόμη και περισσότερων λέξεων με αντίστοιχη βέβαια, αύξηση του χρόνου εκτέλεσής τους.

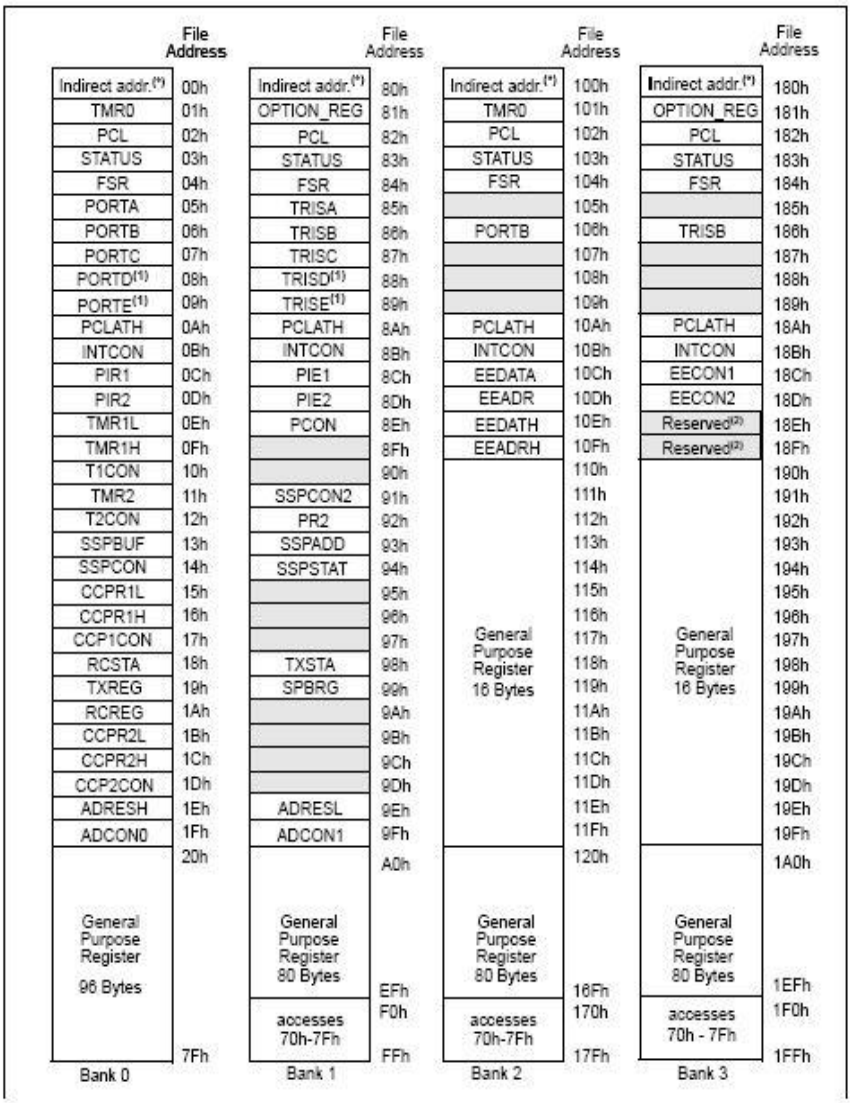
1.4.1 Μνήμη προγράμματος

Το μέγεθος της μνήμης προγράμματος κυμαίνεται από 2 έως 8 Kbytes και συνήθως είναι τύπου Flash. Η τεχνολογία αυτή, επιτρέπει εκτός από την εγγραφή και το σβήσιμο της μνήμης με ηλεκτρικό τρόπο, Flash EEPROM, (η λέξη Flash σημαίνει ότι η μνήμη λειτουργεί με υψηλή ταχύτητα). Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή γίνεται εύκολα, ακόμη κι όταν αυτός βρίσκεται συνδεδεμένος στο κύκλωμα της εκάστοτε εφαρμογής. Έχει την δυνατότητα να προγραμματίζεται μέσα από απλούς προγραμματιστές, δηλαδή κυκλώματα που από την μία μεριά συνδέονται στη σειριακή ή παράλληλη θύρα ενός προσωπικού υπολογιστή και από την άλλη συνδέονται σε ορισμένους από τους ακροδέκτες (pins) του μικροελεγκτή.

1.4.2 Μνήμη καταχωρητών και δεδομένων

Το μέγεθος της μνήμης δεδομένων, αποτελείται από τέσσερα τμήματα (banks) με μέγεθος 128 Bytes το κάθε ένα, συνολικά 512 Bytes. Το κάθε τμήμα αποτελείται από καταχωρητές γενικού και ειδικού σκοπού. Μερικοί από τους καταχωρητές ειδικού σκοπού, χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του πυρήνα του PIC, ενώ άλλοι για τον έλεγχο των περιφερειακών του.
Οι καταχωρητές είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία της αρχιτεκτονικής ενός μικροελεγκτή. Η ευκολία και οι δυνατότητες προγραμματισμού του μικροελεγκτή έχουν άμεση σχέση με το πλήθος, το είδος και τις δυνατότητες των καταχωρητών του. Κάθε εντολή ενός προγράμματος χρησιμοποιεί έναν τουλάχιστον καταχωρητή.
Υπάρχουν δύο ομάδες καταχωρητών. Η πρώτη ομάδα, που βρίσκεται στις χαμηλότερες διευθύνσεις, περιέχει καταχωρητές ειδικών λειτουργιών (special function registers), όπως αυτών του ελέγχου των περιφερειακών που βρίσκονται ενσωματωμένα στον μικροελεγκτή. Η δεύτερη ομάδα περιέχει καταχωρητές γενικής χρήσης και αναφέρεται ως αρχείο καταχωρητών γενικού σκοπού (general purpose register file – 368 προσπελάσιμοι καταχωρητές). Κατά την εκκίνηση, ο μικροελεγκτής βλέπει εξ' ορισμού την σελίδα μνήμης μηδέν. Εάν χρειαστεί να προσπελάσουμε τους καταχωρητές που βρίσκονται στη σελίδα μνήμης ένα θα πρέπει να το ορίσουμε με την ακόλουθη εντολή, bsf STATUS RP0, η οποία θέτει σε λογικό '1' το bit RP0 του καταχωρητή STATUS. Για να προσπελάσουμε έπειτα τους καταχωρητές της σελίδας μνήμης μηδέν, χρησιμοποιούμε την εντολή bcf STATUS RP0. Εκτός όμως από τους καταχωρητές που αναφέρονται παραπάνω, ο μικροελεγκτής διαθέτει και τους καταχωρητές W και PC. Ο καταχωρητής W λέγεται και καταχωρητής εργασίας. Είναι ανεξάρτητος από τους υπόλοιπους και βρίσκεται άμεσα συνδεδεμένος με την αριθμητική και λογική μονάδα του PIC. Αυτό του δίνει κάποια μοναδικά πλεονεκτήματα, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητος για την εκτέλεση κάποιων εντολών. Για παράδειγμα μπορούμε να δώσουμε εντολή

πρόσθεσης δύο καταχωρητών μόνο εάν ο ένας από τους δύο είναι ο W. Ο μετρητής προγράμματος PC, είναι κοινό στοιχείο της αρχιτεκτονικής όλων των μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών. Στην ουσία, είναι ο μόνος τρόπος με τον οποίο η Κ.Μ.Ε μπορεί να βρει στη μνήμη την επόμενη εντολή που πρέπει να εκτελέσει. Οι εντολές ενός προγράμματος, συνήθως εκτελούνται με την σειρά που βρίσκονται αποθηκευμένες στη μνήμη. Ο PC, σε κάθε εντολή που πρόκειται να εκτελεστεί, αυξάνεται κατά ένα, έτσι ώστε να έχει τη διεύθυνση της επόμενης εντολής. Βέβαια αυτό, δεν συμβαίνει πάντα. Πολλές φορές είναι αναγκαίο να εκτελεστεί μια εντολή που βρίσκεται αποθηκευμένη αρκετές θέσεις μνήμης μακριά από την τελευταία εντολή που εκτελέστηκε. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκτέλεση μιας εντολής άλματος, η οποία αλλάζει τη ροή εκτέλεσης του προγράμματος. Τότε, στον PC καταχωρείται η διεύθυνση της εντολής που πρέπει να εκτελεστεί. Ο μετρητής προγράμματος του PIC έχει μήκος 13 bit. Άρα μπορούν να αναπαρασταθούν 213 αριθμοί, δηλαδή από 0 έως 8191. Αυτοί οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τις αντίστοιχες διευθύνσεις στη μνήμη προγράμματος. Επομένως, ένας PIC μπορεί να έχει μέχρι 8 KB μνήμης προγράμματος.



Σχήμα 1.4
Χάρτης μνήμης μικροελεγκτή PIC16F877

Ένας πολύ σημαντικός καταχωρητής είναι και ο STATUS, ο οποίος ανήκει στην κατηγορία καταχωρητών ειδικών λειτουργιών.

7	6	5	4	3	2	1	0
0	RP1	RP0	-	-	Z	DC	C

<u>Πίνακας 1.1</u> Ο καταχωρητής STATUS και τα bits που τον αποτελούν

Παρακάτω παρατίθεται η σημασία τους.
<u>RP1 –RP0:</u> Bits επιλογής τμήματος (128 Bytes) μνήμης δεδομένων.
00= Τμήμα 0 (0 - 7Fh)
01= Τμήμα 1 (80h - FFh)
10= Τμήμα 2 (100h - 17Fh)
11= Τμήμα 3 (180h- 1FFh)

<u>Z:</u> Bit ένδειξης μηδενισμού αποτελέσματος.
1= Το αποτέλεσμα μιας αριθμητικής ή λογικής πράξης είναι 0.
0= Το αποτέλεσμα μιας αριθμητικής ή λογικής πράξης δεν είναι 0.

<u>DC:</u> Bit ένδειξης ενδιάμεσου κρατουμένου για τις αριθμητικές πράξεις πρόσθεσης και αφαίρεσης.
1= Ύπαρξη κρατουμένου που παράγεται από το 4ο χαμηλότερο bit του αποτελέσματος.
0= Μη ύπαρξη κρατουμένου που παράγεται από το 4ο χαμηλότερο bit του αποτελέσματος.

<u>C:</u> Bit ένδειξης κρατουμένου για τις αριθμητικές πράξεις πρόσθεσης και αφαίρεσης.
1= Ύπαρξη κρατουμένου που παράγεται από το σημαντικότερο bit του αποτελέσματος.
0= Μη ύπαρξη κρατουμένου που παράγεται από το σημαντικότερο bit του Αποτελέσματος.

Τα τρία τελευταία bit μας δηλώνουν μια κατάσταση, για αυτό το λόγο τα ονομάζουμε και σημαίες (flags). Για παράδειγμα, το bit C λέγεται και σημαία κρατουμένου. Πολλές εντολές, όταν εκτελεστούν μαζί με την λειτουργία που εκτελούν επηρεάζουν και τις σημαίες αυτές.

1.4.3 Λειτουργίες διακοπών

Ενώ ο μικροελεγκτής PIC εκτελεί κανονικά μια διεργασία που του έχει ανατεθεί, είναι δυνατόν να συμβούν κάποια γεγονότα στο περιβάλλον που ο ίδιος ελέγχει. Και αναλόγος με την σημασία του συμβάντος, διακόπτει αν χρειαστεί την εκτέλεση της διεργασίας και ασχολείται με το συμβάν. Ο PIC για να αντιληφθεί την ύπαρξη των γεγονότων αυτών έχει αναθέσει σε κάποιες από τις περιφερειακές μονάδες του να διεξάγουν διάφορους ελέγχους. Αυτό μπορεί να γίνεται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες λειτουργίες του μικροελεγκτή. Όταν μία από τις μονάδες εντοπίσει το γεγονός, τότε, στέλνει ένα σήμα στην Κ.Μ.Ε του μικροελεγκτή να διακόψει την εκτέλεση του προγράμματος που εκτελεί. Το σήμα λέγεται διακοπή και προκαλεί άμεση εκτέλεση ενός τμήμα κώδικα, το οποίο λέγεται ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής.

Ως παράδειγμα αναφέρεται η χρήση ενός μικρουπολογιστικού συστήματος βασισμένου στον PIC, που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο μιας κατεργασίας μετάλλου σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον. Εκεί, ανάμεσα στις άλλες ασχολίες του, ο PIC, πρέπει να ρυθμίζει τη θερμοκρασία σε κάποιο κλίβανο. Επίσης, για λόγους ασφάλειας, μετρά τη θερμοκρασία σε διάφορα σημεία της κατεργασίας. Την ώρα λοιπόν, που εκτελεί μία συνηθισμένη διαδικασία, π.χ την αποστολή κάποιων δεδομένων από τη μνήμη του σε έναν κεντρικό Η/Υ, διαπιστώνεται επικίνδυνη αύξηση της θερμοκρασίας σε κάποιο σημείο της κατεργασίας. Τότε, το περιφερειακό που την εντόπισε, προκαλεί μία διακοπή στην Κ.Μ.Ε . Η αποστολή σταματά και η Κ.Μ.Ε καλείται να εκτελέσει την ρουτίνα που συνοδεύει την διακοπή. Η ρουτίνα περιέχει εντολές που σβήνουν τον κλίβανο, ανοίγουν κάποιους ανεμιστήρες και ενεργοποιούν την σειρήνα κινδύνου.

Το παραπάνω παράδειγμα, δείχνει χαρακτηριστικά την λειτουργία των διακοπών. Ωστόσο, το γεγονός ότι αναφέρεται σε μία κατάσταση κινδύνου δε σημαίνει ότι μόνο τότε προκαλείται μία διακοπή. Διακοπές προκαλούνται και σε διάφορες άλλες απλές περιπτώσεις. Σε μία άλλη περίπτωση, παραδείγματος χάρη, η μονάδα που προκάλεσε την διακοπή, μπορεί να είναι ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Τότε με το σήμα που στέλνει στην Κ.Μ.Ε, ο μετατροπέας δηλώνει ότι έχει τελειώσει την μετατροπή και το αποτέλεσμα είναι έτοιμο. Στην περίπτωση αυτή, η Κ.Μ.Ε διακόπτει την εκτέλεση των διεργασιών που έκανε μέχρι εκείνη την στιγμή, για να παραλάβει το αποτέλεσμα και πιθανό, να το επεξεργαστεί και να το αποθηκεύσει. Ο PIC δέχεται ένα πλήθος διακοπών, οι οποίες κατά κύριο λόγο, προέρχονται από τις περιφερειακές του μονάδες. Συνήθως, μία περιφερειακή μονάδα μπορεί να δώσει ένα σήμα διακοπής. Υπάρχουν όμως, μονάδες που δίνουν περισσότερες διακοπές, όπως για παράδειγμα, το περιφερειακό σειριακής επικοινωνίας. Επισημαίνεται ότι, υπάρχει η δυνατότητα να απενεργοποιούνται κάποιες από τις διακοπές, ή και όλες μαζί, όταν η εκτέλεση κάποιας διεργασίας δεν πρέπει να διακοπεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Παράλληλη Επικοινωνία

Ο πιο άμεσος τρόπος για τη μετάδοση δεδομένων είναι η παράλληλη επικοινωνία. Στην επικοινωνία αυτή η διαδικασία είναι ως εξής: όλα τα bits μιας λέξης δεδομένων μεταδίδονται ταυτόχρονα προς τον αποδέκτη, το υπολογιστικό σύστημα φορτώνει το προς μετάδοση δεδομένο σε έναν καταχωρητή, που ενέχει θέση μνήμης με συγκεκριμένη διεύθυνση στον χάρτη της μνήμης του συστήματος και τα κυκλώματα εξόδου μεταβιβάζουν το περιεχόμενο του καταχωρητή μέσω ενός καλωδίου πολλαπλών συρμάτων στο κύκλωμα λήψης.
Η παράλληλη μεταφορά δεδομένων έχει αρκετά πλεονεκτήματα, αλλά το βασικότερο είναι στην ταχύτητα μετάδοσης. Η μετάδοση γίνεται πολύ γρήγορα, αφού όλα τα bits μιας ψηφιολέξης μεταφέρονται ταυτόχρονα από τον πομπό στον αποδέκτη. Ουσιαστικά, ο ρυθμός μετάδοσης περιορίζεται από την ταχύτητα με την οποία λειτουργούν τα κυκλώματα εισόδου/εξόδου του πομπού και του δέκτη.
Υπάρχουν βέβαια και τα μειονεκτήματα, όπως είναι το κόστος και η δυσκολία της εγκατάστασης των καλωδίων, επειδή απαιτείται σημαντικός αριθμός καλωδίων σε κάθε επικοινωνιακή ζεύξη. Συχνά παρατηρείται αλληλεπίδραση των σημάτων που μεταδίδονται στις παράλληλες γραμμές ενός πολλαπλού καλωδίου, γιατί σε μεγάλες αποστάσεις το σήμα εξασθενεί.
Η βασική χρήση της παράλληλης επικοινωνίας βρίσκεται κυρίως στη διασύνδεση συσκευών σε μικρές αποστάσεις, εκεί όπου υπάρχει ανάγκη για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης της πληροφορίας. Για παράδειγμα, συσκευές όπως είναι οι εκτυπωτές και οι οπτικοί σαρωτές, που απαιτούν ταχεία μεταφορά σημαντικής ποσότητας πληροφορίας, διασυνδέονται μέσω αυτής της επικοινωνίας με τον Η/Υ.
Στις μέρες μας οι περισσότεροι υπολογιστές διαθέτουν διάδρομο δεδομένων (data bus) εύρους 32 bits. Παρόλα αυτά, η παράλληλη μεταφορά των δεδομένων προς εξωτερικές συσκευές γίνεται με ταυτόχρονη μετάδοση μόνον οκτώ bits κάθε φορά.
Από τα πιο γνωστά πρωτόκολλα της παράλληλης επικοινωνίας είναι το CENTRONICS, για την τυπική παράλληλη θύρα ενός υπολογιστή PC και το πρωτόκολλο IEEE 488 ή GPIB, το οποίο χρησιμοποιείται σε πολλά επιστημονικά όργανα για τη δημιουργία αυτοματοποιημένων συστημάτων μετρήσεων.

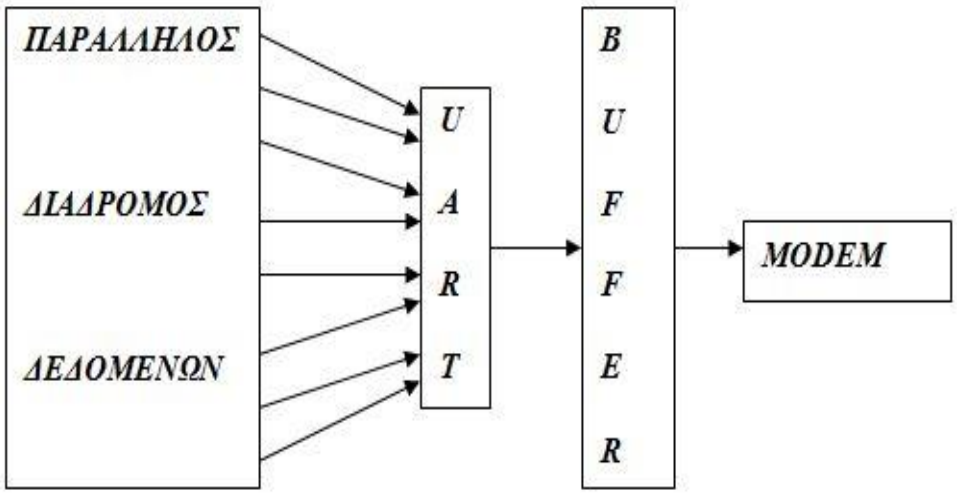
2.2 Σειριακή Επικοινωνία

Ένας ευρέως διαδεδομένος τρόπος μετάδοσης της πληροφορίας κυρίως σε μεγάλες αποστάσεις, είναι η σειριακή επικοινωνία. Σε αυτήν την επικοινωνία, τα bits της πληροφορίας μεταδίδονται ένα κάθε φορά, στη σειρά, μέσα από έναν αγωγό

μεταφοράς των δεδομένων. Στην πιο απλή περίπτωση μιας τέτοιας επικοινωνίας, ο συνολικός αριθμός αγωγών που χρειαζόμαστε είναι τρείς, έναν για την αποστολή δεδομένων, έναν για την λήψη και έναν που θα βρίσκεται στο δυναμικό αναφοράς των μεταδιδόμενων σημάτων.

Για την αποστολή δεδομένων σειριακά μέσω μιας θύρας επικοινωνίας ενός Η/Υ, πρέπει αρχικά να μετατραπούν από τη παράλληλη μορφή, με την οποία εμφανίζονται στο διάδρομο δεδομένων, σε σειριακή μορφή. Τη συγκεκριμένη λειτουργία την αναλαμβάνει ένα κύκλωμα που ονομάζεται UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) , το οποίο υπάρχει σε ολοκληρωμένη μορφή επάνω στη μητρική πλακέτα ή στις μονάδες ελέγχου των περιφερειακών συσκευών ενός υπολογιστή. Η λειτουργία αυτού του κυκλώματος, βασίζεται στη λειτουργία του καταχωρητή ολίσθησης, ο οποίος αφού λάβει κάποια δεδομένα και τα καταχωρήσει στα flip-flops που διαθέτει, ολισθαίνει τα bits της ψηφιολέξης που έχει καταχωρήσει ένα-ένα προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που διαθέτει η σειριακή επικοινωνία είναι, ο μικρότερος αριθμός καλωδίων διασύνδεσης που απαιτείται, σε σχέση με την παράλληλη επικοινωνία. Επιπλέον, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στη σειριακή μετάδοση επιτρέπουν μεγάλες στάθμες σημάτων, ως αποτέλεσμα οι απώλειες του σήματος να δημιουργούν μικρότερο πρόβλημα και η μετάδοση σε μεγάλη απόσταση να είναι εφικτή. Εξάλλου, με την σειριακή επικοινωνία είναι πολύ ευκολότερη η ασύρματη μετάδοση, ειδικά μέσω διατάξεων υπέρυθρης ακτινοβολίας, που είναι πολύ διαδεδομένες. Τέλος, η σειριακή μετάδοση καθίσταται κατάλληλη για χρήση με μικροελεγκτές, καθώς έχουν ενσωματωμένες θύρες σειριακής διασύνδεσης με το εξωτερικό περιβάλλον, κάτι που καθιστά απλή τη σειριακή διασύνδεσή τους με περιφερειακές συσκευές.



Σχήμα 2.1 Σειριακή μετάδοση δεδομένων

2.2.1 Θύρες σειριακής επικοινωνίας

Οι θύρες της σειριακής επικοινωνίας ενός Η/Υ αναφέρονται ως COM Ports (Communications Ports) και χαρακτηρίζονται με τη σειρά ως COM1, COM2, COM3 και COM4. Οι θύρες αυτές κάνουν τον υπολογιστή να συμπεριφέρεται σαν συσκευή DTE (τερματική διάταξη συνδρομητή) και παράλληλα να υπακούει στα χαρακτηριστικά της τυποποιημένης διασύνδεσης RS-232.
Πολλοί Η/Υ χρησιμοποιούν τον τυποποιημένο συνδετήρα (connector) D (αρσενικό ή θηλυκό 25 ακροδεκτών), αν και συχνά απαντάται και ο μικρότερος συνδετήρας 9 ακροδεκτών (D9). Η προσπέλαση στους διάφορους καταχωρητές του κυκλώματος UART γίνεται μέσω διευθύνσεων, οι οποίες τους εκχωρούνται από το χώρο διευθύνσεων εισόδου/εξόδου (I/O address space) του συστήματος. Οι βασικές διευθύνσεις των θυρών COM καθορίζονται από το BIOS (Basic Input Output System) του υπολογιστή. Στους περισσότερους υπολογιστές η αντιστοιχία των βασικών διευθύνσεων με τις σειριακές θύρες γίνεται σύμφωνα με τον παρακάνω πίνακα.

Όνομα θύρας	Βασική διεύθυνση	Ωφέλιμες διευθύνσεις
COM1	3F8	3F8 έως 3FF
COM2	2F8	2F8 έως 2FF
COM3	3E8	3E8 έως 3EF
COM4	2E8	2E8 έως 2EF

Πίνακας 2.1 Διευθύνσεις των σειριακών θυρών ενός Η/Υ

Υπάρχει περίπτωση σε κάποιους Η/Υ οι βασικές διευθύνσεις των σειριακών θυρών να είναι διαφορετικές από τις παραπάνω. Οι δύο πρώτες θύρες αναφέρονται στις δύο θύρες που υπάρχουν σε κάθε Η/Υ, ενώ οι άλλες δύο αναφέρονται σε θύρες επέκτασης οι οποίες μπορούν να προστεθούν από το χρήστη.

2.3 Ασύγχρονη Σειριακή Επικοινωνία

Η ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία χρησιμοποιείται στο να μεταδίδονται χαρακτήρες που εκπέμπονται από κάποιο πομπό χωρίς συγχρονισμό, όπως γίνεται για παράδειγμα με τους αλφαριθμητικούς χαρακτήρες που δημιουργούνται όταν πιέζουμε τα πλήκτρα ενός πληκτρολογίου.
Κάθε ένας από αυτούς τους χαρακτήρας ψηφιοποιείται με βάση τον κώδικα ASCII και η ακολουθία bits που αντιστοιχεί σε αυτόν εμφανίζεται στη γραμμή μετάδοσης. Ο δέκτης θα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει ότι έφτασε ένας χαρακτήρας και η λήψη των bits του χαρακτήρα γίνεται με σωστή σειρά και χωρίς απώλειες. Για να επιτευχθεί το παραπάνω, τα bits της ασύγχρονης σειριακής μετάδοσης

οργανώνονται σε ομάδες των εννέα έως δώδεκα bits συνολικά, όπου εμπεριέχονται και κάποιοι χαρακτήρες έναρξης και λήξης. Το πρώτο bit κάθε πλαισίου είναι το λεγόμενο START BIT και αντιστοιχεί σε λογικό μηδέν. Έπειτα, ακολουθεί η σειρά των ψηφίων του χαρακτήρα που αποστέλλεται. Μετά από τα bits του χαρακτήρα ακολουθεί ένα bit άρτιας ή περιττής ισοτιμίας (parity), το οποίο εκτελεί ενέργειες ελέγχου σφαλμάτων, για την ανιχνεύσει τυχόν λάθη που συνέβησαν κατά τη μετάδοση. Το τέλος της αποστολής χαρακτήρα υποδηλώνεται με ένα ή δύο STOP BITS, που υποδηλώνει επίσης και την κατάσταση αναμονής για τον επόμενο. Τέλος, η λογική κατάσταση των ψηφίων λήξης (STOP BITS) είναι το λογικό ένα.
Στην περίπτωση που δεν μεταδίδεται κάποιος χαρακτήρας, λέμε ότι η σύνδεση είναι ανενεργή, άρα η γραμμή βρίσκεται σε λογικό ένα. Η κατάσταση αυτή ονομάζετε ¨συνθήκη MARK¨. Μόλις ξεκινήσει η μετάδοση και μεταδοθεί το bit έναρξης (START BIT) και φθάσει στο δέκτη, ο δέκτης καταλαβαίνει ότι θα ακολουθήσουν τα bits του χαρακτήρα που στέλνεται και έτσι ενεργοποιεί το σύστημα χρονισμού του και διαβάζει με τη σειρά τα επόμενα bits μέχρι τα bits λήξης (STOP BITS). Μετά, μπαίνει και πάλι στην κατάσταση αναμονής.
Στην ασύγχρονη σειριακή μετάδοση θα πρέπει το κάθε bit που εκπέμπεται να έχει αυστηρά την ίδια διάρκεια, για να μπορεί ο δέκτης, βασισμένος σε κάποιο σύστημα χρονισμού, να ξεχωρίζει τα bits μεταξύ τους. Επίσης, ως προς την ταχύτητα της μετάδοσης θα πρέπει ο πομπός και ο δέκτης να συμφωνούν. Η ταχύτητα αυτή ορίζει τον λεγόμενο ¨ρυθμό μετάδοσης¨ (baud rate), το οποίο μετριέται σε bits ανά δευτερόλεπτο (bit/sec ή bps). Οι συνηθέστεροι ρυθμοί στις ασύγχρονες επικοινωνίες είναι 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800 και 33600 bits/sec. Η μέγιστη ταχύτητα που υποστηρίζει μια θύρα UART κατά την αποστολή χαρακτήρων από έναν υπολογιστή προς μία συσκευή επικοινωνίας είναι 115.2 kbps. Όμως ως βασικό μειονέκτημα της ασύγχρονης σειριακής μετάδοσης είναι η ανάγκη που προκύπτει για START και STOP bits στην αρχή και στο τέλος κάθε χαρακτήρα, γιατί έτσι επιβαρύνεται η διαδικασία της μετάδοσης με επιπλέον bits που δεν αντιπροσωπεύουν χρήσιμη πληροφορία.

2.4 Σύγχρονη Σειριακή Επικοινωνία

Στη σύγχρονη σειριακή μετάδοση μπορούμε να εκμεταλλευτούμε καλύτερα το εύρους του καναλιού επικοινωνίας, διότι τα δεδομένα ομαδοποιούνται σε μεγάλα πακέτα δεδομένων, χωρίς να υπάρχουν START και STOP bits στην αρχή και στο τέλος κάθε χαρακτήρα. Έτσι γίνεται αποδοτικότερη η χρήση των κυκλωμάτων μετάδοσης, επειδή αυξάνεται σημαντικά ο ρυθμός μετάδοσης.
Για να διακρίνει ο δέκτης χωρίς να υπάρξουν απώλειες, τα bits των δεδομένων μεγάλου μήκους (εκατοντάδων ή χιλιάδων χαρακτήρων), απαραίτητος είναι ο συγχρονισμός ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη και για να επιτευχτεί αυτό

τοποθετούνται κάποια bytes συγχρονισμού στην αρχή και στο τέλος της κάθε ομάδας, τα οποία περιέχουν ακολουθίες bits συγχρονισμού που δημιουργεί ο πομπός με τη χρήση ειδικού ωρολογιακού σήματος. Το τέλος σηματοδοτείται από ένα ¨κωδικό τέλους¨ και από έναν ή περισσότερους χαρακτήρες σφαλμάτων.
Εναλλακτικά, υπάρχει ένας άλλος τρόπος συγχρονισμού, η ταυτόχρονη αποστολή σήματος συγχρονισμού, το οποίο παράγεται από το ρολόι (CLK) του πομπού και το οποίο οδηγεί το ρολόι του δέκτη.
Πλεονέκτημα της ασύγχρονης επικοινωνίας, πέρα από τους μεγαλύτερους ρυθμούς αποστολής είναι και η ανοχή της στο θόρυβο. Παρόλα αυτά είναι πιο περίπλοκη από την ασύγχρονη και έχει μεγαλύτερο κόστος υλοποίησης.
Ας σημειώσουμε στο σημείο αυτό, ότι υπάρχουν αρκετοί τρόποι αποστολής σύγχρονων σειριακών δεδομένων, όπου ο καθένας από αυτούς συνιστά ένα ιδιαίτερο πρωτόκολλο, δηλαδή ένα ιδιαίτερο σύνολο συμβάσεων και λειτουργικών κανόνων. Ένα τέτοιο πρωτόκολλο, που εφαρμόζεται σε πολλές κατασκευές είναι το λεγόμενο I^2C.

2.5 Διασύνδεση της Σειριακής Θύρας με Εξωτερικά Κυκλώματα

2.5.1 Εισαγωγή

Η σειριακή διασύνδεση με τον υπολογιστή ή ανάμεσα σε “έξυπνες” συσκευές παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με την παράλληλη σύνδεση. Παρόλα αυτά δεν παύει να εμφανίζει και δυσκολίες, τόσο από την πλευρά των κυκλωμάτων που απαιτούνται, όσο και από την πλευρά των εντολών που χρειάζονται για τον προγραμματισμό της. Πολλές φορές εμφανίζεται η ανάγκη τα σειριακά δεδομένα να μετατραπούν σε παράλληλα, ώστε να μπορούν να οδηγήσουν αλλά κυκλώματα.
Η σειριακή θύρα συνδέεται με εξωτερικές συσκευές μέσο ενός συνδετήρα D-25 ή D-9. Οι τάσεις και γενικώς τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της σειριακής θύρας περιέχονται στο σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας RS-232C της ένωσης EIA (Electronics Industry Association). Το πρωτόκολλο αυτό ονομάζεται επίσης V/24/V. 28, σύμφωνα με τη διεθνή ένωση πρότυπων CCITT.

2.6 Το Πρωτόκολλο RS-232C

Η σειριακή θύρα όπως έχουμε αναφέρει συνδέεται με εξωτερικές συσκευές μέσω ενός συνδετήρα D-9 ή D-25. Όλα τα χαρακτηριστικά της σειριακής θύρας περιέχονται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας RS-232C της Ένωσης EIA (Electronic Industry Association). Το πρωτόκολλο RS-232C είναι αυτό το οποίο επιτρέπει την ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία ανάμεσα σε δύο συσκευές. Χρησιμοποιεί

αρνητική ψηφιακή λογική και μεγάλες στάθμες, για να επιτύχει τη διάδοση του σήματος σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς απώλειες. Αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα οι τάσεις του πρωτοκόλλου RS-232C να μην είναι συμβατές με τις στάθμες TTL.

Τα επίπεδα τάσεων του πρωτοκόλλου RS-232C, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που θέσπισε η Ένωση EIA, είναι τα εξής :

1. Το λογικό '0', που λέγεται και SPACE, βρίσκεται μεταξύ +3 και +25 V (στην πράξη λαμβάνονται και εκπέμπονται από +5 έως +15 V). Όταν ισχύει η συνθήκη αυτή η γραμμή είναι ενεργή.
2. Το λογικό '1', που λέγεται και MARK**,** βρίσκεται μεταξύ -3 και -25 (πρακτικά -5 έως -15 V). Όταν ισχύει η συνθήκη αυτή η γραμμή είναι ανενεργή.
3. Η περιοχή από -3 έως +3, δεν αντιπροσωπεύει καθορισμένη λογική στάθμη.
4. Κανένας από τους ακροδέκτες της σειριακής θύρας δεν μπορεί να λάβει δυναμικό μεγαλύτερο από +25V σε σχέση με τη γη.
5. Το μέγιστο ρεύμα δεν μπορεί να ξεπερνά τα 500mA.

2.7 Ακροδέκτες σειριακής θύρας και λειτουργίες τους

Το πρωτόκολλο RS-232 επιτρέπει την επικοινωνία ανάμεσα σε μια DTE (Τερματική Συσκευή Δεδομένων, Data Terminal Equipment) και σε μια DCE (Συσκευή Επικοινωνίας Δεδομένων, Data Communications Equipment) συσκευή επικοινωνίας. Το κύκλωμα του υπολογιστή που είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση μιας συσκευής DCE και μιας συσκευής DTE και το οποίο οδηγεί τους ακροδέκτες της σειριακής θύρας του υπολογιστή ονομάζεται UART.
Ανάμεσα στους ακροδέκτες της σειριακής θύρας διακρίνουμε τις γραμμές δεδομένων (data lines) και τις γραμμές ελέγχου (control lines). Οι πιο σημαντικοί ακροδέκτες είναι αυτοί που μεταφέρουν δεδομένα εκπομπής και λήψης, δηλαδή την πληροφορία προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Όλοι οι υπόλοιποι ακροδέκτες είναι βοηθητικοί αλλά απαραίτητοι για την επικοινωνία ενός DCE με ένα DTE. Οι γραμμές δεδομένων ονομάζονται TXD, RXD, SGND και αντιστοιχούν στους ακροδέκτες 3, 2 και 5. Η γραμμή TXD προορίζεται για την εκπομπή των σειριακών δεδομένων, η γραμμή RXD για τη λήψη των δεδομένων αυτών και η γραμμή SGND είναι ο αγωγός αναφοράς των τάσεων που διαδίδονται στις πρώτες δύο γραμμές.

2.8 Το Πρωτόκολλο I^2C

2.8.1 Εισαγωγή

Το I2C Bus αποτελεί ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται για την διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών ολοκληρωμένων, όπως των μικροελεγκτών και των υπόλοιπων ολοκληρωμένων περιφερειακών, όπως EEPROMs, A/D μετατροπείς, LCD drivers, αισθητήρες πίεσης αλλά και με άλλους μικροελεγκτές. Στο πρωτόκολλο αυτό τα δεδομένα μεταδίδονται σειριακά και είναι μια από τις λειτουργίες της μονάδας του PICmicro που ονομάζεται σύγχρονη σειριακή θύρα (SSP). Ένας άλλος τρόπος λειτουργίας του είναι ως Σειριακό Περιφερειακό Interface (SPI). Με το I2C αποφεύγεται η χρησιμοποίηση ενός παράλληλου διαύλου δεδομένων που εισάγει μεγάλη πολυπλοκότητα στη σχεδίαση αλλά και μεγαλύτερο κόστος. Το πρωτόκολλο αυτό εφαρμόζεται στα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα όπως, σε συσκευές εικόνας και ήχου, σε τηλεφωνικές συσκευές, modems, dip switches, embedded microprocessor boards αλλά και στην επικοινωνία αισθητήρων θερμοκρασίας με τις οθόνες όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Οι ταχύτητες τις οποίες επιτυγχάνει μπορούν να φτάσουν μέχρι και 3.4 Mbps, όπου είναι ταχύτητες ικανές για την ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα στους κόμβους. Το μήκος του καλωδίου είναι μερικές δεκάδες μέτρα, μήκος αρκετά ικανό αν θεωρήσουμε ότι οι αποστάσεις συνήθως δεν ξεπερνάνε τα μερικά μέτρα.

2.8.2 Περιγραφή Χαρακτηριστικών του I^2C Bus

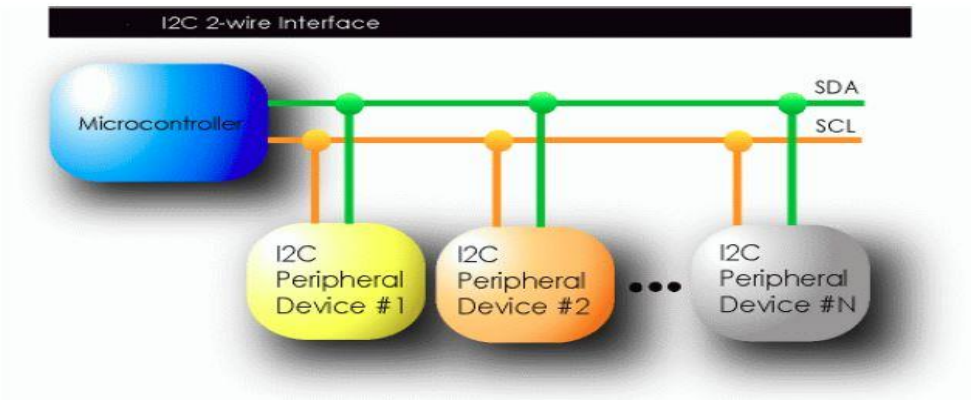
<u>Χαρακτηριστικά Μονάδας</u>

Ορισμένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της μονάδας αυτής είναι, η επιλογή χρησιμοποίησης του ως master ή slave και η υποστήριξη multi-master λειτουργίας, χωρίς να χάνονται μηνύματα κατά την διάρκεια της ανάκτησης ελέγχου από οποιονδήποτε master (arbitration). Επίσης, η αυτόματη επαναποστολή αποτυχημένων μηνυμάτων, η δυνατότητα διευθυνσιοδότησης των 7-bits και των 10-bits. Ακόμη, κάθε συσκευή που συνδέεται πάνω στο bus έχει τη δικιά της μοναδική διεύθυνση, ο slave μπορεί να είναι είτε συσκευή λήψης μόνο, είτε συσκευή μετάδοσης με δυνατότητα να λαμβάνει και να στέλνει δεδομένα. Άλλο χαρακτηριστικό είναι, η υποστήριξη γενικής κλήσης (general call addresses) από τον master, η υποστήριξη επιλογής ταχύτητας μετάδοσης των 8-bit πακέτων μεταξύ του standard clock (SCL) mode που είναι 100Kbps, του fast mode που είναι 400Kbps και του High Speed mode που είναι 3.4Mbps. Η μονάδα του I2C Bus δεν επηρεάζεται από απότομες μεταβολές της τάσης αλλά και τον θόρυβο. Και τέλος, επιτρέπει να

συνδεθούν 112 συσκευές σε 7-bit διευθυνσιοδότηση και 1024 σε 10-bit διευθυνσιοδότηση.

Χαρακτηριστικά του I2C Bus

Το I2C υλοποιείται με την χρήση δύο καλωδίων διπλής κατεύθυνσης, το κάλωδιο SDA (Serial Data), που χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων και το καλώδιο SCL (Serial Clock), για το ρολόι. Τα καλώδια είναι συνδεδεμένα πάντα σε θετική τροφοδοσία μέσω pull-up αντιστάσεων. Κάθε συσκευή πάνω στο bus έχει τη δικιά της μοναδική διεύθυνση, καθώς επίσης και το δικαίωμα αποστολής και λήψης δεδομένων από το δίαυλο. Το μήκος του καλωδίου (bus) μπορεί να φτάσει τα 3 με 4 μέτρα, αλλά μπορεί και να αυξηθεί με τους λεγόμενους bus extenders έως και τα 100m. Επίσης, κάθε συσκευή πάνω στο bus μπορεί να λειτουργεί είτε ως master, άρα αποφασίζει για τις λειτουργίες που επιτελούνται πάνω στο bus, είτε ως slave, οπότε ανταποκρίνεται στις αιτήσεις του master. Μια γενική τοπολογία ενός δικτύου I2C με master έναν μικροελεγκτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.2 Τοπολογία ενός δικτύου I2C

Εξαιτίας της αμφίδρομης φύσης των καλωδίων, SDA και SCL, τα στάδια εξόδου των ολοκληρωμένων για να μπορούν να αντεπεξέρχονται σε τυχόν συγκρούσεις (collision), χωρίς να καταστρέφονται, έχουν στάδια εξόδου ανοικτού συλλέκτη (open collector/drain) έτσι ώστε να διεκπεραιώνουν την καλωδιωμένη AND (wired-AND) λογική του καλωδίου. Το στάδιο εξόδου του ανοικτού συλλέκτη, δεν έχει pull-up αντίσταση συνεπώς δεν μπορεί να οδηγήσει την γραμμή σε υψηλή στάθμη.
Οι εξωτερικές pull-up αντιστάσεις οδηγούν τις γραμμές SDA, SCL οποτεδήποτε οι γραμμές αυτές δεν οδηγούνται από το τρανζίστορ εξόδου σε υψηλή στάθμη. Όταν το bus βρίσκεται σε αδρανή κατάσταση οι δυο αυτές γραμμές, είναι σε υψηλή στάθμη. Το κύκλωμα οδήγησης των διαφόρων συσκευών μπορεί μόνο να θέσει σε μηδενική στάθμη τις γραμμές SDA, SCL ενώ η υψηλή στάθμη δίνεται από τις

εξωτερικές pull-up αντιστάσεις. Η ακριβής τιμή των αντιστάσεων δεν παίζει καθοριστικό ρόλο στην λειτουργία ενός συστήματος επικοινωνίας μέσω του πρωτοκόλλου I2C. Οι τιμές των αντιστάσεων μπορούν να κυμαίνονται από 1.8k (1800 ohms) έως 47k (47000 ohms). Οι τιμές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι 1.8k, 4.7k και 10k. Αν δεν υπάρχουν αυτές οι αντιστάσεις θα έχουμε ως αποτέλεσμα οι γραμμές των SCL και SDA να κρατιούνται πάντα σε χαμηλό επίπεδο, κοντά στα 0 volts και να μην λειτουργεί το I2C. Η τιμή των pull-up αντιστάσεων μαζί με την χωρητικότητα των γραμμών και των εισόδων των συσκευών καθορίζουν την καθυστέρηση στην άνοδο του παλμού και για αυτό θα πρέπει το γινόμενο τους να είναι αρκετά μικρό ώστε να είναι ευδιάκριτο το μέτωπο του παλμού. Γι' αυτό η τιμή των pull-up αντιστάσεων θα πρέπει να είναι αρκετά μικρή. Παράλληλα όμως κάθε συσκευή που προσπαθεί να οδηγήσει μια γραμμή στο μηδέν θα πρέπει να απορροφά ρεύμα λίγο μεγαλύτερο από VDD/RP. Έτσι είναι κατανοητό ότι η τιμή της αντίστασης RP δεν μπορεί να είναι όσο μικρή επιθυμούμε. Τέλος, οποτεδήποτε δυο συσκευές προσπαθούν ταυτόχρονα να γράψουν σε μια γραμμή, θα υπερισχύει πάντα αυτή που θέτει την γραμμή σε χαμηλή στάθμη. Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται για την διαιτησία του διαδρόμου (arbitration) σε περίπτωση πολλών master συσκευών. Επίσης ο master και ο slave πρέπει να είναι πάντα σε αντίθετες καταστάσεις (transmitter/receiver) κατά την διάρκεια μιας μετάδοσης δεδομένων.

Πάνω στο I2C bus μπορούμε να έχουμε τις εξής καταστάσεις:

• Master-πομπό (Transmitter) και Slave-δέκτη (receiver)
• Master- δέκτη (receiver) και Slave- πομπό (Transmitter)
• Multi-master περιβάλλον

2.8.3 I²C Bus Επικοινωνία

Σύμφωνα λοιπόν με όσα έχουμε αναφέρει για να επιτευχθεί η μετάδοση των επιθυμητών δεδομένων είναι απαραίτητη η παρουσία ενός τουλάχιστον master. Ο master δίνει τις εντολές στα υπόλοιπα, ελέγχει την γραμμή του ρολογιού (SCL) και κηρύσσει την έναρξη των επιθυμητών διαδικασιών, ενώ κάθε άλλο ολοκληρωμένο θεωρείται ως slave. Στο κομμάτι αυτό, καλό θα είναι να γίνει μια αναφορά στην ορολογία του I2C Bus έτσι ώστε να είναι δυνατή η καλύτερη επεξήγηση και κατανόηση του πρωτοκόλλου.

<u>I2C Bus Ορολογία:</u>

- <u>Transmitter (πομπός)</u> - Το ολοκληρωμένο που στέλνει δεδομένα στο καλώδιο. Ο πομπός μπορεί να είναι το ολοκληρωμένο που στέλνει δεδομένα στο bus για λογαριασμό του (Master-Transmitter) ή κατά απαίτηση άλλων ολοκληρωμένων (Slave-Transmitter).

- Receiver (Δέκτης) - Το ολοκληρωμένο που λαμβάνει δεδομένα από το καλώδιο.
- Master - Το ολοκληρωμένο που αρχικοποιεί την μεταφορά, παράγει τους παλμούς του ρολογιού και τερματίζει την μεταφορά. Ο master μπορεί να είναι είτε πομπός είτε δέκτης.
- Slave - Η συσκευή που διευθυνσιοδοτείται από τον master. Ο slave μπορεί να είναι είτε πομπός είτε δέκτης.
- Multi-master – Η ικανότητα να συνυπάρχουν στο καλώδιο πάνω από ένας master ταυτόχρονα χωρίς συγκρούσεις ή απώλειες δεδομένων.
- Arbitration (διαιτησία) – Η διαδικασία που εξουσιοδοτεί ποιος master θα ελέγχει το καλώδιο κάθε χρονική στιγμή.
- Synchronization – Η προκαθορισμένη διαδικασία που συγχρονίζει τους παλμούς του ρολογιού που παρέχονται από δύο ή περισσότερους masters.
- SDA (Serial Data) – Η γραμμή μέσω της οποίας μεταφέρονται τα δεδομένα.
- SCL (Serial Clock) - Η γραμμή μέσω της οποίας μεταφέρονται οι παλμοί του ρολογιού.

Οι πιθανές καταστάσεις που μπορούν να συμβαίνουν πάνω στο bus και δηλώνουν το σύνολο των σημείων που ανταλλάσσουν οι συσκευές μεταξύ τους ώστε να μεταφερθούν τα δεδομένα είναι οι εξής:

- START Data Transfer (S)
- Acknowledged (Επιβεβαίωση) (ACK)
- Μη-Επιβεβαίωση(NOT-ACK) (NACK)
- Ανάγνωση / Εγγραφή Δεδομένων (READ/WRITE)
- RESTART (R)
- REPEATED START (Rs)
- STOP Data Transfer (P)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Συλλογή και Επεξεργασία των Μετρήσεων

3.1.1 Εισαγωγή

Η συλλογή πληροφοριών και μετρήσεων τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε ιδιαίτερα, έπειτα από την ευρύτατη διάδοση των προσωπικών υπολογιστών στο χώρο της έρευνας και της βιομηχανίας. Η μεγάλη ανάπτυξη των ψηφιακών συστημάτων, η αξιοπιστία τους, η μεγάλη ταχύτητα, η εύκολη αυτοματοποίηση και το σχετικά χαμηλό κόστος έχουν σαν αποτέλεσμα την αλλαγή της φιλοσοφίας των συστημάτων συλλογής μετρήσεων και κάθε είδους δεδομένων και πληροφοριών.
Στο παρελθόν χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι μετρήσεων που στηρίζονταν στις αρχές της μηχανικής, της οπτικής ή της θερμοδυναμικής. Στις μέρες μας όμως έχουν επικρατήσει τα ηλεκτρικά και κυρίως τα ηλεκτρονικά συστήματα μετρήσεων όπου στηρίζονται στις αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού και της ηλεκτρονικής φυσικής.
Τα ηλεκτρονικά συστήματα μετρήσεων παρουσιάζουν πλήθος από πλεονεκτήματα. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα, είναι η ευαισθησία του ηλεκτρικού σήματος στη διακύμανση του μετρούμενου μεγέθους και η πολύ μικρή κατανάλωση ισχύος των ενισχυτικών διατάξεων. Το βασικότερο, όμως πλεονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί η μεγάλη ταχύτητα των σύγχρονων ηλεκτρικών συσκευών. Αυτή είναι απαραίτητη για αυτοματοποιημένες μετρήσεις και κάνει τα ηλεκτρικά όργανα κατάλληλα για μετρήσεις τόσο της σταθερής κατάστασης λειτουργίας, όσο και των μεταβατικών φαινομένων. Ακόμη, οι ηλεκτρονικές μέθοδοι παρέχουν στις περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές μέσα κατάλληλης μετάδοσης από απόσταση. Τέλος στην κυριαρχία των ηλεκτρονικών μεθόδων στο χώρο μέτρησης συμβάλουν η μεγάλη αξιοπιστία και η μεγάλη ποικιλία μεθόδων προσέγγισης ενός προβλήματος μέτρησης.
Σε πολλές περιπτώσεις, οι ηλεκτρονικές συσκευές χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και τον έλεγχο, τη καθοδήγηση δηλαδή, φυσικών, χημικών, μηχανικών και γενικότερα τεχνολογικών διαδικασιών από το αυτόματο άναμμα ενός λαμπτήρα όταν νυχτώνει μέχρι την αυτόματη ανάμειξη και επεξεργασία χημικών ουσιών σε ένα εργοστάσιο. Αυτό είναι και η ουσία της έννοιας του αυτοματισμού, η καθοδήγηση συστημάτων από ηλεκτρονικά συστήματα χωρίς την απαίτηση της ανθρώπινης παρέμβασης.

3.2 Ψηφιακές διατάξεις μετρήσεων

Όταν λέμε μέτρηση του φυσικού μεγέθους, εννοούμε τη σύγκριση του μεγέθους αυτού με ένα άλλο ίδιου είδους, το οποίο λαμβάνουμε ως μονάδα. Σκοπός των μετρήσεων είναι η ακριβής γνώση των μεγεθών που σχετίζονται με ένα φυσικό μέγεθος και σε κάποιες περιπτώσεις η εξέλιξη των φυσικών μεγεθών σε σχέση με τον χρόνο. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με ειδικές μετρητικές διατάξεις, τα αισθητήρια, τα οποία συνδεδεμένα με κατάλληλες βαθμίδες ρύθμισης, μετατροπής και επεξεργασίας των δεδομένων εκτελούν τις επιθυμητές μετρήσεις. Ένας άλλος σκοπός είναι η επεξεργασία των μετρήσεων που συλλέξαμε, καθώς και η αποθήκευση τους.

Παρουσίαση των επιμέρους βαθμίδων.

- Βαθμίδα αισθητηρίων

Σε αυτή τη βαθμίδα συναντάμε το αισθητήριο, το οποίο είναι το βασικότερο στοιχείο σε μια μετρητική αλυσίδα και το οποίο μετατρέπει πραγματικές φυσικές παραμέτρους, όπως θερμοκρασία, πίεση, φωτεινή ένταση, δύναμη, επιτάχυνση σε ισοδύναμα ηλεκτρικά σήματα. Τυπικά αισθητήρια θερμοκρασίας είναι τα θερμοζεύγη και τα θερμίστορς ή ολοκληρωμένα αισθητήρια. Τυπικά αισθητήρια πίεσης είναι τα επαγωγικά, τα χωρητικά, οι αισθητήρες πιεζοαντίστασης και πιεζοηλεκτρικής αντίστασης. Τυπικά αισθητήρια φωτός είναι οι φωτοδίοδοι και οι φωτοαντιστάτες.

Τα αισθητήρια είναι διατάξεις που διαθέτουν κάποια κατάλληλη ιδιότητα, η οποία μεταβάλλεται ως συνάρτηση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Έτσι η μέτρηση της ιδιότητας του αισθητήρα επιτρέπει τον άμεσο ποσοτικό υπολογισμό της τιμής του μεγέθους. Κάποια είδη αισθητήρων είναι: αισθητήρες πίεσης, θερμοκρασίας, βάρους, όγκου κ.α.

Οι αισθητήρες που απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία για να λειτουργήσουν ονομάζονται ενεργοί, ενώ οι αισθητήρες που δημιουργούν από μόνοι τους μια τάση και δεν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ονομάζονται παθητικοί.

- Βαθμίδα ρύθμισης σήματος

Ορισμένες φορές οι αισθητήρες δεν δίνουν στην έξοδο τους κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται η χρήση ενός επιπρόσθετου ηλεκτρονικού κυκλώματος, το οποίο να λαμβάνει την έξοδο του αισθητήρα και να την μετατρέπει σε κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των επόμενων βαθμίδων. Το κύκλωμα αυτό ονομάζεται κύκλωμα ρύθμισης σήματος, κύκλωμα ελέγχου ή εξωτερική μονάδα. Το Σύστημα Ρύθμισης (Conditioning System) αναλαμβάνει λειτουργίες όπως ενίσχυση, εξασθένηση, φιλτράρισμα και προσαρμογή των σημάτων. Συνήθως η βαθμίδα ρύθμισης λαμβάνει την έξοδο του

αισθητηρίου την ενισχύει ή την φιλτράρει και γενικά την μετατρέπει σε μορφή κατάλληλη προς επεξεργασία.

- Βαθμίδα μετατροπής A/D

Η μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D conversion) είναι η πλέον σημαντική διεργασία σε ένα ψηφιακό σύστημα που διασυνδέεται με τον πραγματικό κόσμο. Τα διάφορα φυσικά μεγέθη (πίεση, θερμοκρασία, τάση, απόσταση κλπ) μεταβάλλονται με αναλογικό τρόπο. Κατά συνέπεια η μετατροπή τους σε τάση μέσω κάποιου αισθητηρίου δημιουργεί ένα αναλογικό σήμα τάσης, το οποίο για να εισαχθεί σε κάποιο ψηφιακό σύστημα επεξεργασίας πρέπει να κωδικοποιηθεί κατάλληλα. Το κύκλωμα που χρησιμοποιούμε γι' αυτήν την κωδικοποίηση το αποκαλούμε μετατροπέα A/D (A/D converter).

- Βαθμίδα επεξεργασίας

Σε αυτή την βαθμίδα το σήμα υφίσταται την απαραίτητη μαθηματική επεξεργασία.

- Βαθμίδα παρουσίασης της μέτρησης και διανομής δεδομένων

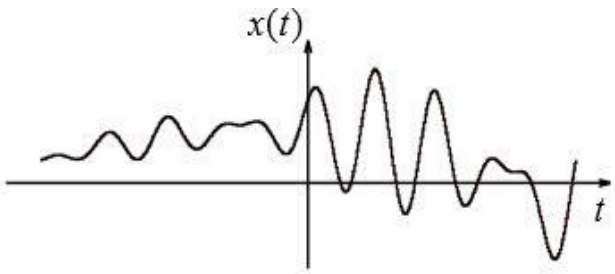
Η βαθμίδα αυτή απεικονίζει την μετρούμενη τιμή σε μορφή αναγνωρίσιμη από τον παρατηρητή. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω παρουσίασης σε οθόνη Η/Υ, σε οθόνες LCD display ή συστοιχία από απεικονίσεις οθόνης 7 τομέων.

3.3 Κατηγορίες Σημάτων

Σήμα είναι μια ποσοτική περιγραφή ενός φαινομένου, η οποία φέρει πληροφορία.
Το σήμα εξόδου από ένα σύστημα μετρήσεων αποτελεί μορφή τάσης που μεταβάλλεται με το χρόνο (μεταβαλλόμενη τάση) και εξαρτάται από τις διάφορες συνιστώσες του συστήματος. Τα είδη σημάτων διακρίνονται στα εξής :

3.3.1 Αναλογικά Σήματα

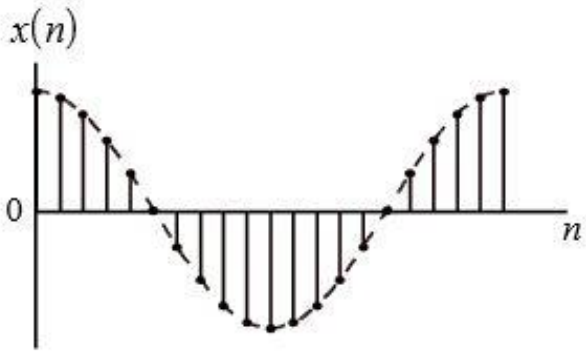
Τα σήματα που είναι συνεχή ως προς το χρόνο και ως προς το πλάτος τους, ονομάζονται αναλογικά. Όλες οι φυσικές ποσότητες (θερμοκρασία, πίεση, ένταση ήχου κ.λπ.) μεταβάλλονται με αναλογικό τρόπο.
Τα κυκλώματα που επεξεργάζονται τέτοια μικρά σήματα και παράγουν μια τάση στην έξοδο ανάλογη της διέγερσης στην είσοδο (έχουν με άλλα λόγια γραμμική λειτουργία), λέγονται αναλογικά κυκλώματα. Τυπικό αναλογικό κύκλωμα είναι ο τελεστικός ενισχυτής (Op Amp).



Σχήμα 3.1 Γραφική παράσταση αναλογικού σήματος

3.3.2 Διακριτά Σήματα

Σήματα διακριτού χρόνου είναι τα σήματα των οποίων το πεδίο ορισμού είναι κάποιο διακριτό σύνολο, (είναι διακριτά στο χρόνο και στο πλάτος τους, π.χ. το σύνολο των ακεραίων αριθμών), ενώ η εξαρτημένη μεταβλητή είναι δυνατόν να λαμβάνει οποιαδήποτε τιμή. Αυτά προκύπτουν με δειγματοληψία του αναλογικού σήματος. Το σήμα στο παρακάτω σχήμα είναι ένα σήμα διακριτού χρόνου.

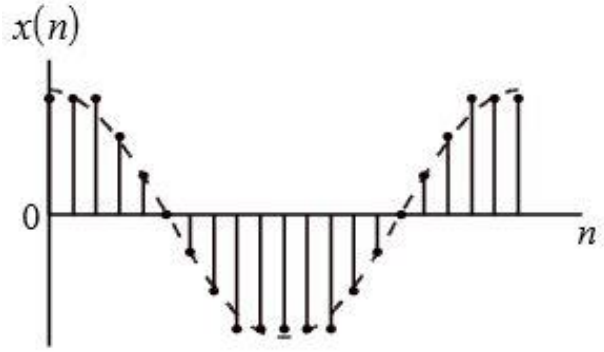


Σχήμα 3.2 Γραφική παράσταση σήματος διακριτού χρόνου

3.3.3 Ψηφιακά Σήματα

Ψηφιακά ονομάζονται τα σήματα που είναι διακριτά στο χρόνο, σύμφωνα με τη δειγματοληψία που έχουν υποστεί. Τα σήματα αυτά έχουν πλάτος που παίρνει τιμές, σύμφωνα με διακριτές κβαντικές στάθμες και έχουν κωδικοποιηθεί στο δυαδικό αριθμητικό σύστημα με τη βοήθεια δύο λογικών καταστάσεων (0 και 1).
Ένα σύστημα που μπορεί να παράγει και να κωδικοποιήσει κατάλληλα έναν πεπερασμένο αριθμό από διακριτές στάθμες, ανάμεσα σε δύο δεδομένα όρια, ονομάζεται ψηφιακό σύστημα. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα πέντε

ψηφίων (5 bits), αναπαριστούμε 2^5 = 32 στάθμες, ανάμεσα στο 00000 και στο 11111 (=31) και τις κωδικοποιούμε με τη βοήθεια του δυαδικού συστήματος. Τα ψηφιακά συστήματα μπορούν γενικά να επεξεργαστούν μεγάλα σήματα και η λειτουργία τους χαρακτηρίζεται ως μη γραμμική. Στηρίζονται στη λογική των διακοπτών και η έξοδός τους παρομοιάζεται με μια σειρά από καταστάσεις ON-OFF.

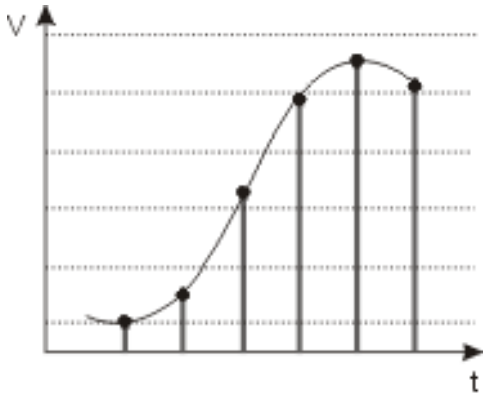


Σχήμα 3.3 Γραφική παράσταση ψηφιακού σήματος

3.4 Μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά

Από ένα αναλογικό σήμα, για να παράγουμε ψηφιακό, θα πρέπει να υποβάλλουμε σε επεξεργασία το πρώτο. Αρχικά, για την επεξεργασία απαιτείται η δειγματοληψία (sampling). Το συνεχές αναλογικό σήμα μετατρέπεται σε ένα πλήθος διακριτών τιμών, ανάμεσα στα δεδομένα όρια της συνολικής μεταβολής.

Παράδειγμα δειγματοληψίας ψηφιακού σήματος απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα. Το σήμα αυτό δειγματοληπτείται ανά χρονικό διάστημα Τ, όπου αυτό το διάστημα ονομάζεται περίοδος δειγματοληψίας και σημειώνεται η εκάστοτε τιμή του, που αντιπροσωπεύεται με τις μαύρες τελείες.



Σχήμα 3.4 Δειγματοληψία και στάθμες κβάντισης ψηφιακού σήματος

Για να κατανοήσουμε όμως, πως ολοκληρώνεται η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, θα επεκταθούμε λίγο σε δύο κεντρικές έννοιες:

α) Στάθμες κβάντισης

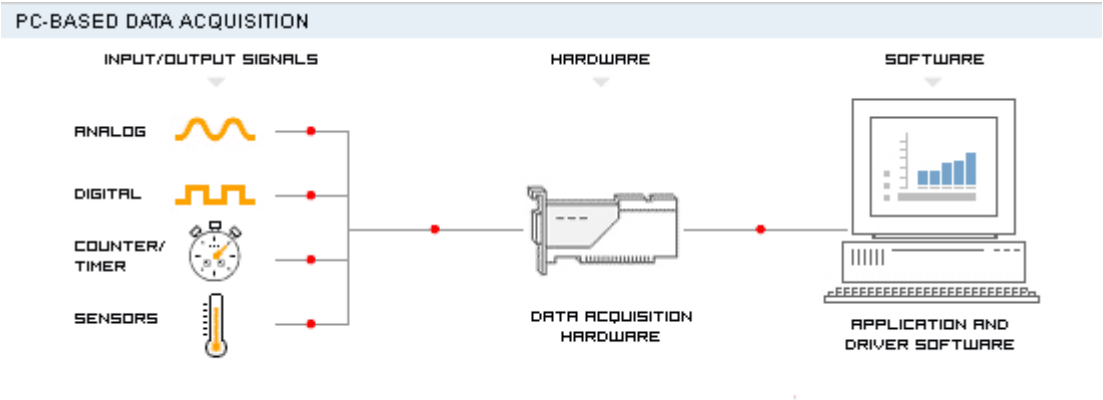
Στα ψηφιακά συστήματα υπάρχει ένα μέγιστο πλήθος από στάθμες ανάμεσα στα δεδομένα όρια, τις οποίες μπορεί να διακρίνει το σύστημα. Το μέγιστο αυτό πλήθος προκύπτει πάντα από την ύψωση του αριθμού 2 σε κάποια δύναμη, ανάλογα με την πολυπλοκότητα του συστήματος.
Για παράδειγμα, έστω ότι μία τάση μπορεί να μεταβάλλεται ανάμεσα στα 0 Volts και στα 10 Volts. Για να προσδιορίσουμε τον αριθμό των διακριτών καταστάσεων που θα χρησιμοποιούμε για να περιγράψουμε αυτήν την τάση, πρέπει να υψώσουμε τον αριθμό 2 σε κάποια δύναμη. Έστω ότι η δύναμη αυτή είναι το 4. Προκύπτουν τότε, 2^4 δυνατές καταστάσεις, δηλαδή 16 δυνατές καταστάσεις ανάμεσα στα όρια. Άρα το ψηφιακό σήμα θα μπορεί κάθε φορά να παίρνει σαν τιμή του μία από αυτές τις 16 στάθμες μεταξύ των 0 και 10 Volts, που θα απέχουν μεταξύ τους 0.625 V (= 10V÷16). Ανάμεσα σε αυτές τις στάθμες δεν υπάρχει επιτρεπτή τιμή. Οι διακριτές αυτές καταστάσεις ονομάζονται στάθμες κβάντισης (quantization levels).
Κάθε τιμή της αναλογικής τάσης που έχει προκύψει από τη δειγματοληψία του αρχικού αναλογικού σήματος αντιστοιχίζεται στην πλησιέστερη στάθμη κβάντισης.

β) Δύο δυνατές καταστάσεις τάσης – Δυαδική κωδικοποίηση

Κάθε τιμή αναλογικής τάσης που προκύπτει από τη δειγματοληψία του αρχικού σήματος, αφού κβαντιστεί ώστε να αντιστοιχεί σε μία από τις διακριτές στάθμες του συστήματος, κωδικοποιείται κατάλληλα στο δυαδικό σύστημα και μετατρέπεται σε μία ακολουθία από τάσεις που αντιστοιχούν στο λογικό 0 ή στο λογικό 1. Η κωδικοποίηση της στάθμης κβάντισης στο δυαδικό σύστημα και η μετατροπή της σε αντίστοιχες καταστάσεις τάσης αποτελεί το τελευταίο βήμα στη μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.
Οι τάσεις μηδέν και πέντε Volts ισχύουν επακριβώς μόνον σε ένα ιδανικό ψηφιακό κύκλωμα. Σε όλες τις πραγματικές περιπτώσεις, οι τιμές της τάσης στις εισόδους και τις εξόδους των ψηφιακών κυκλωμάτων εξαρτώνται από την ικανότητα των κυκλωμάτων να παρέχουν ή να απάγουν ρεύμα και μπορούν να κυμαίνονται μέσα σε κάποια αποδεκτά όρια.

3.5 Συστήματα μετρήσεων βασισμένα σε υπολογιστή

Τα συστήματα ψηφιακών μετρήσεων σήμερα, βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην παρουσία ενός υπολογιστή, συνήθως PC, ο οποίος αναλαμβάνει την επεξεργασία δεδομένων, την αποθήκευση και την απεικόνιση αυτών. Τα συστήματα αυτά έχουν δημιουργήσει νέα πρότυπα στον χώρο των μετρήσεων και το υλικό τους συνεχώς εξελίσσεται.



Σχήμα 3.5 Τυπική διάταξη συλλογής δεδομένων μετρήσεων βασισμένη σε Η/Υ

Κεντρικό ρόλο σε αυτή την διάταξη μετρήσεων, παίζει το υλικό που εμφανίζεται στο κέντρο, το οποίο είναι μια κάρτα DAQ (Data Acquisition). Η κάρτα αυτή συνδέεται σε έναν από τους διαύλους του υπολογιστή, συνήθως στον δίαυλο PCI και αναλαμβάνει τη ρύθμιση και την μετατροπή του σήματος που προέρχεται από τον αισθητήρα. Βασικός του ρόλος είναι, η μετατροπή των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά, μέσω αναλογικών καναλιών εισόδου. Επίσης, παρέχει συχνά τη δυνατότητα για έξοδο αναλογικών σημάτων μέσω μετατροπέων ψηφιακών σημάτων σε αναλογικά. Ακόμη παρέχει, εισόδους και εξόδους ψηφιακών σημάτων, καθώς και εισόδους και εξόδους παλμών χρονισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ZigBee

Το ZigBee είναι μία από τις νεότερες τεχνολογίες στο χώρο των ασύρματων δικτύων προσωπικού χώρου (WPANs). Προήλθε από τη συνεργασία της εταιρίας ZigBee Alliance με την επιτροπή IEEE 802.15.4 και παρέχει τη δυνατότητα για συνδέσεις συσκευών με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης, χαμηλό κόστος και χαμηλή κατανάλωση ισχύος.

4.1.1 Εισαγωγή

Το ZigBee είναι μια ασύρματη τεχνολογία που αναπτύσσεται ως ανοικτά σφαιρικά πρότυπα για να καλύψει τις μοναδικές ανάγκες των χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος, ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Συγκεκριμένα το ZigBee είναι το όνομα μιας προδιαγραφής για μια ακολουθία υψηλού επιπέδου πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούν οι μικροί, χαμηλής ισχύος ψηφιακοί δεκτές βασισμένοι στο 802.15.4 πρότυπο της IEEE για τα ασύρματα προσωπικά τοπικά δίκτυα (WPAN), όπως για παράδειγμα τα ασύρματα ακουστικά που συνδέονται με τα κινητά τηλέφωνα. Η τεχνολογία προορίζεται να είναι απλούστερη και φτηνότερη από άλλα ασύρματα προσωπικά τοπικά δίκτυα (WPAN), όπως το Bluetooth. Το ZigBee στοχεύει στις εφαρμογές ραδιοσυχνότητας (RF) που απαιτούν ένα χαμηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων, μεγάλη ζωή μπαταριών και εξασφαλισμένη δικτύωση. Τα πρότυπα εκμεταλλεύονται πλήρως το 802.15.4 πρότυπο της IEEE και λειτουργούν στις χωρίς άδεια ζώνες παγκοσμίως στις ακόλουθες συχνότητες: 2.400-2.484 GHZ, 902-928 MHZ και 868.0-868.6 MHZ.

4.1.2 Σκοπός, χρησιμότητα, σχέση με την προϋπάρχουσα τεχνολογία.

Το ZigBee είναι χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος, ασύρματο πρότυπο δικτύωσης πλέγματος. Το χαμηλότερο κόστος επιτρέπει στην τεχνολογία για να επεκταθεί ευρέως στις ασύρματες εφαρμογές ελέγχου και παρακολούθησης, η χαμηλή κατανάλωση ισχύος επιτρέπει τη μακρύτερη ζωή με μικρότερες μπαταρίες και η δικτύωση πλέγματος παρέχει υψηλή αξιοπιστία και μεγαλύτερη ακτίνα λειτουργίας.

4.2 Τα πλεονεκτήματα του ZigBee

Χαρακτηριστικά γνωρίσματα του πρωτοκόλλου ZigBee είναι ο χαμηλός κύκλος καθηκόντων, όπου παρέχει μακριά ζωή μπαταριών και η χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση. Επίσης, υποστηρίζει πολλές τοπολογίες δικτύων: στατική, δυναμική, αστέρι και πλέγμα (static, dynamic, star and mesh) και έχει άμεσο απλωμένο φάσμα ακολουθίας (DSSS) Direct Sequence Spread Spectrum. Επιτρέπει να υπάρχουν μέχρι 65.000 κόμβοι σε ένα δίκτυο. Ακόμη, υποστηρίζει 128-bit AES encryption κρυπτογράφηση και παρέχει ασφαλείς συνδέσεις μεταξύ των συσκευών. Είναι επίσης κατάλληλο για την αποφυγή συγκρούσεων και τέλος, παρέχει ποιοτική ένδειξη συνδέσεων και σαφής αξιολόγηση των καναλιών.

Market Name Standard	ZigBee™ 802.15.4	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	Wi-Fi™ 802.11b	Bluetooth™ 802.15.1
Application Focus	Monitoring & Control	Wide Area Voice & Data	Web, Email, Video	Cable Replacement
System Resources	4KB - 32KB	16MB+	1MB+	250KB+
Battery Life (days)	100 - 1,000+	1-7	.5 - 5	1 - 7
Network Size	Unlimited (2^{64})	1	32	7
Bandwidth (K_b/s)	20 - 250	64 - 128+	11,000+	720
Transmission Range (meters)	1 - 100+	1,000+	1 - 100	1 - 10+
Success Metrics	Reliability, Power, Cost	Reach, Quality	Speed, Flexibility	Cost, Convenience

Πίνακας 4.1 Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλων δικτύου.

4.3 Η στοίβα πρωτοκόλλων του ZigBee

Η στοίβα πρωτοκόλλων του ZigBee αποτελείται από 4 επίπεδα. Κάθε επίπεδο εκτελεί ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργιών και παρέχει τις υπηρεσίες του στο ανώτερο επίπεδο μέσω μιας διεπαφής που ονομάζεται σημείο πρόσβασης υπηρεσιών, service access point, (SAP). Τα 4 επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων του ZigBee είναι τα παρακάτω:

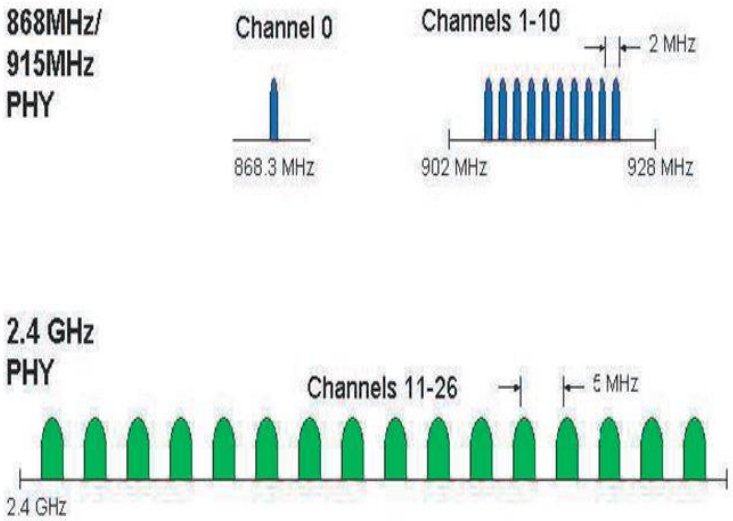
1. Το φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY). Είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του πομποδέκτη, την μετάδοση και λήψη δεδομένων, την ανίχνευση ενέργειας στο κανάλι, την εκτίμηση της κατάστασης των καναλιών για την πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέροντος και με αποφυγή συγκρούσεων (CSMA-CA) και τη μέτρηση της ποιότητας των λαμβανομένων πακέτων.
2. Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium access control layer, MAC). Παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων και διαχείρισης. Είναι υπεύθυνο για την πρόσβαση στο κανάλι, για τη διαχείριση των χρονοσχισμών και για την παροχή μιας αξιόπιστης σύνδεσης μεταξύ δύο επιπέδων MAC. Επιπρόσθετα παρέχει τα μέσα για την εφαρμογή διαφόρων μηχανισμών ασφάλειας.
3. Το επίπεδο δικτύου (Network layer, NWK). Είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία του δικτύου, για την είσοδο και την έξοδο μιας συσκευής από ένα δίκτυο, για την ασφάλεια και για τη δρομολόγηση των μεταδιδόμενων πακέτων.
4. Το επίπεδο εφαρμογών (Application layer, APL). Περιλαμβάνει το υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application support sublayer, APS), το πλαίσιο εφαρμογών (Application framework, AF), τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZigBee Device Objects, ZDO) και τις καθορισμένες από τον κατασκευαστή εφαρμογές. Το υποεπίπεδο APS είναι υπεύθυνο για τη σύνδεση δύο συσκευών βάση των αναγκών και των υπηρεσιών τους και για την αποστολή δεδομένων μεταξύ τους. Τα ZDO είναι αυτά που καθορίζουν το ρόλο της κάθε συσκευής στο δίκτυο και το επίπεδο ασφάλειας. Επίσης συμβάλλουν στην ανίχνευση των συσκευών σε ένα δίκτυο και στον προσδιορισμό των υπηρεσιών που αυτές παρέχουν. Το πλαίσιο εφαρμογών είναι το περιβάλλον στο οποίο φιλοξενούνται οι εφαρμογές μέσα σε μία συσκευή ZigBee.

4.3.1 Φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY)

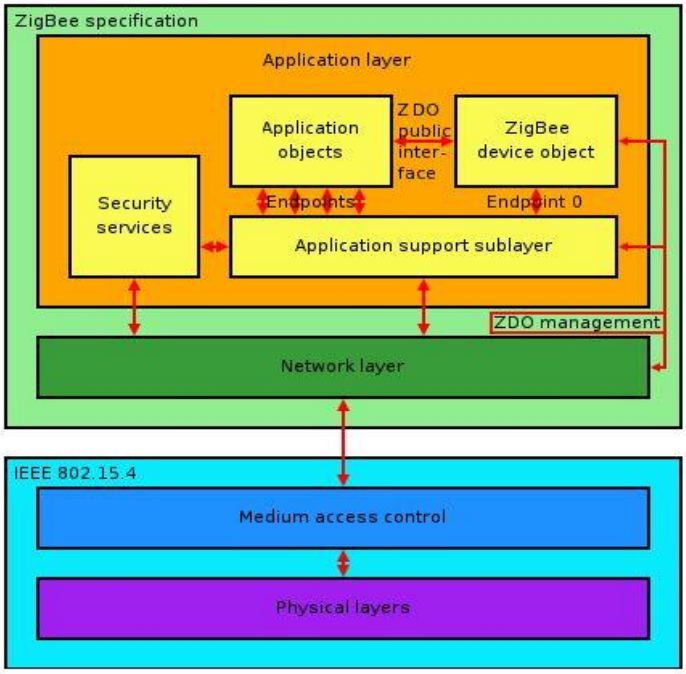
Το φυσικό επίπεδο παρέχει δύο ειδών υπηρεσίες, δεδομένων και διαχείρισης, στο επίπεδο MAC. Επίσης στο επίπεδο αυτό υπάρχει και μία βάση δεδομένων που περιέχει πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία του (το κανάλι που χρησιμοποιείται, τα κανάλια που υποστηρίζονται, η εκπεμπόμενη ισχύς, ο τρόπος ανίχνευσης ελεύθερου καναλιού).

Χαρακτηριστικά καναλιών και διαμόρφωσης:

Ένα σύνολο 27 καναλιών, αριθμημένα από 0 ως 26, είναι διαθέσιμα σε 3 ζώνες συχνοτήτων. Ένα κανάλι υπάρχει μεταξύ 868 και 868,6 MHz, 10 κανάλια μεταξύ 902 και 928 MHz και 16 κανάλια μεταξύ 2,4 και 2,4835 GHz. Κάθε συσκευή θα πρέπει να υποστηρίζει όλα τα κανάλια, εκτός και αν κάποια από αυτά δεν είναι ελεύθερα στην περιοχή που λειτουργεί.



Σχήμα 4.1 Συχνότητες καναλιών



Σχήμα 4.2 Προδιαγραφές Zigbee

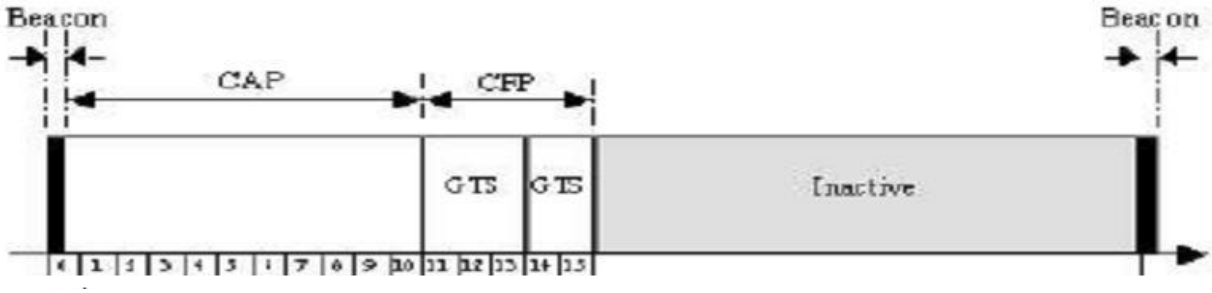
Στη ζώνη μεταξύ 2,4 και 2,4835 GHz κάθε 4 bits πληροφορίας σχηματίζουν ένα σύμβολο. Στη συνέχεια εφαρμόζεται η εξάπλωση φάσματος άμεσης ακολουθίας (DSSS). Με αυτή κάθε σύμβολο μετατρέπετε σε μία ακολουθία των 32 chips. Η ακολουθία αυτή διαμορφώνεται με τη χρήση της αντισταθμισμένης QPSK και με το μορφοποιητικό παλμό μισού ημιτόνου. Τα άρτια chips χρησιμοποιούν την κανονική μορφή του φέροντος, ενώ τα περιττά την ορθογώνια μορφή του. Οι μορφοποιητικοί παλμοί των περιττών καθυστερούν σε σχέση με αυτούς των άρτιων κατά το μισό της διάρκειας του chip. Η μετάδοση στον αέρα ξεκινά με το λιγότερο σημαντικό chip. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνετε ρυθμός μετάδοσης ίσος με 250 kbps (ο ρυθμός μετάδοσης των chip είναι 2 Mchips/s). Στις άλλες δύο ζώνες τα bits πληροφορίας διέρχονται αρχικά από έναν διαφορικό κωδικοποιητή. Στην συνέχεια κάθε bit μετατρέπετε σε μία ακολουθία των 15 chips. Η ακολουθία αυτή διαμορφώνεται με BPSK και μορφοποιητικό παλμό ανυψωμένου συνημιτόνου. Σε αυτή, η φάση του φέροντος εναλλάσσεται μεταξύ δύο τιμών που απέχουν κατά 180ο σε αντιστοίχηση με την τιμή του chip που μεταδίδεται. Η μετάδοση στον αέρα ξεκινά με το λιγότερο σημαντικό chip. Με αυτό τον τρόπο πετυχαίνετε ρυθμός μετάδοσης ίσος με 40 kbps στη ζώνη μεταξύ 902 και 928 MHz (ο ρυθμός μετάδοσης των chip σε αυτή είναι 600 Kchips/s) και 20 kbps στη ζώνη μεταξύ 868 και 868,6 MHz (ο ρυθμός μετάδοσης των chip σε αυτή είναι 300 Kchips/s). Ο πομπός, και στις 3 ζώνες συχνοτήτων, έχει ελάχιστη ισχύ εκπομπής ίση με -3 dBm, ενώ η μέγιστη περιορίζεται από τη νομοθεσία κάθε περιοχής. Ο κάθε πομπός έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζει την ισχύ εκπομπής του, έτσι ώστε να εκπέμπει πάντοτε με την ελάχιστη απαιτούμενη. Η ευαισθησία του δέκτη είναι -85 dBm ή καλύτερη στη ζώνη μεταξύ 2,4-2,4835 GHz και -92 dBm ή καλύτερη στις άλλες δύο. Η ευαισθησία ορίζεται ως η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς για να έχουμε ποσοστό λανθασμένων πλαισίων μικρότερο του 1% για πλαίσια με 20 bytes ωφέλιμο φορτίο.

Πρόσβαση στο κανάλι.

Οι μεταδόσεις σε κάθε κανάλι μπορούν να γίνουν με δύο τρόπους. Στον πρώτο τρόπο χρησιμοποιείται ο μηχανισμός πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος, αποφυγή συγκρούσεων και χωρίς χρονοσχισμές (unslotted CSMA-CA). Κάθε συσκευή πριν μεταδώσει, ανιχνεύει το κανάλι. Αν είναι αδρανές, αρχίζει να μεταδίδει. Αν είναι κατειλημμένο, ο αποστολέας αναβάλλει τη μετάδοση μέχρι το κανάλι να γίνει αδρανές. Στο δεύτερο τρόπο χρησιμοποιείται το υπερπλαίσιο, το οποίο οριοθετείται από τα αναγνωριστικά σήματα και χωρίζεται σε 16 χρονοσχισμές ίσης διάρκειας. Το αναγνωριστικό σήμα στέλνεται πάντοτε στην πρώτη χρονοσχισμή. Τα σήματα αυτά χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη δομή του υπερπλαισίου, για το συγχρονισμό των συσκευών του δικτύου και για τον προσδιορισμό του δικτύου. Το υπερπλαίσιο μπορεί να έχει ένα ενεργό και ένα μη

ενεργό μέρος. Η δομή και η διάρκειά του καθορίζονται από το συντονιστή του δικτύου. Κατά τη διάρκεια του μη ενεργού μέρους, ο συντονιστής δεν αλληλεπιδρά με το δίκτυο του και λειτουργεί με χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Το ενεργό μέρος αποτελείται από την περίοδο πρόσβασης με ανταγωνισμό (CAP) και από την περίοδο χωρίς ανταγωνισμό (CFP). Στην CAP κάθε συσκευή που μεταδίδει χρησιμοποιεί το μηχανισμό πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος, αποφυγή συγκρούσεων και χρονοσχισμές (slotted CSMA-CA). Αυτό είναι το ίδιο με το unslotted CSMA-CA, με τη διαφορά ότι οι μεταδόσεις ξεκινούν πάντοτε στην αρχή κάποιας χρονοσχισμής και σε περίπτωση κατειλημμένου καναλιού, ο αποστολέας αναβάλλει τη μετάδοση για τυχαίο αριθμό χρονοσχισμών. Όταν ένα κανάλι είναι αδρανές, η μετάδοση πραγματοποιείται μόνο αν υπάρχει αρκετός χρόνος για να ολοκληρωθεί πριν τη λήξη της CAP.

Σχήμα 4.3 Παράδειγμα υπερπλαισίου:



Η CFP περιέχει κρατημένες χρονοσχισμές και βρίσκεται ακριβώς πριν το μη ενεργό μέρος. Οι χρονοσχισμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξυπηρέτηση εφαρμογών που απαιτούν συγκεκριμένο εύρος ζώνης.

4.3.2 Το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium access control layer, MAC)

Λειτουργίες επιπέδου MAC:

- Δημιουργία αναγνωριστικών σημάτων εάν η συσκευή είναι συντονιστής του δικτύου. Τα σήματα αυτά χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη δομή του υπερπλαισίου, για το συγχρονισμό των συσκευών του δικτύου και για τον προσδιορισμό του δικτύου.
- Υποστήριξη στη δημιουργία και διατήρηση δικτύων. Το επίπεδο MAC έχει τη δυνατότητα να ζητήσει από το φυσικό επίπεδο να εκτελέσει ανίχνευση σε ορισμένα κανάλια και στη συνέχεια να παραδώσει τα αποτελέσματα της ανίχνευσης στο επίπεδο δικτύου. Με αυτό τον τρόπο ανιχνεύονται τα αναγνωριστικά σήματα που εκπέμπουν οι συντονιστές των δικτύων. Στη συνέχεια το επίπεδο δικτύου μπορεί να ζητήσει τη σύνδεση σε κάποιο

δίκτυο. Επιπλέον το επίπεδο MAC μπορεί να ζητήσει από το φυσικό επίπεδο να μετρήσει την ενέργεια σε ένα σύνολο καναλιών. Οι μετρήσεις αυτές παραδίδονται στο επίπεδο δικτύου για να επιλέξει το κατάλληλο κανάλι για τη δημιουργία ενός δικτύου.

Το επίπεδο MAC είναι σε θέση να παρέχει στα ανώτερα του επίπεδα κάποιες βασικές υπηρεσίες ασφαλείας, όταν αυτό του ζητηθεί. Τα κλειδιά και οι λίστες που απαιτούνται για αυτές, του τα παρέχουν τα ανώτερα επίπεδα. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες ασφαλείας είναι ο έλεγχος πρόσβασης, η κρυπτογράφηση των δεδομένων και η ακεραιότητα των πλαισίων. Στον έλεγχο πρόσβασης, κάθε συσκευή διατηρεί μία λίστα με συσκευές και μόνο από αυτές μπορεί να δεχθεί πλαίσια. Η κρυπτογράφηση των δεδομένων γίνεται με τη βοήθεια ενός κλειδιού το οποίο είναι γνωστό σε μία ομάδα συσκευών. Σκοπός της είναι να μη διαβαστούν τα δεδομένα από συσκευές που δεν διαθέτουν το κλειδί και εφαρμόζεται μόνο στο ωφέλιμο φορτίο των πλαισίων. Στην ακεραιότητα των πλαισίων χρησιμοποιείται ένας κωδικός ακεραιότητας μηνυμάτων για να μην τροποποιηθούν τα δεδομένα από συσκευές που δε διαθέτουν το κλειδί κρυπτογράφησης. Επιπλέον αυτός ο κωδικός παρέχει τη διαβεβαίωση ότι τα δεδομένα στάλθηκαν από μία συσκευή που γνωρίζει το κλειδί. Το επίπεδο MAC, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας της συσκευής, μπορεί να προσφέρει διαφορετικές υπηρεσίες ασφαλείας. Έτσι σε μία συσκευή που λειτουργεί με μη ασφαλή τρόπο, δεν παρέχει καμία ασφάλεια. Σε μία συσκευή που λειτουργεί με λίστα έλεγχου πρόσβασης, δέχεται πλαίσια μόνο από τις συσκευές που περιέχονται στην λίστα. Τέλος, σε μία συσκευή που λειτουργεί με ασφαλή τρόπο, παρέχει όλες τις παρακάτω υπηρεσίες.

- **Πρόσβαση στο κανάλι.** Το επίπεδο MAC είναι υπεύθυνο για το πότε θα πραγματοποιούνται οι μεταδόσεις δεδομένων στο φυσικό κανάλι. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιεί τα υπερπλασία και το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων (CSMA-CA).
- **Χειρισμός και διαχείριση του μηχανισμού των εγγυημένων χρονοσχισμών**. Κατά τον καθορισμό της δομής του υπερπλαισίου, ο συντονιστής μπορεί να δεσμεύσει μέχρι και 7 χρονοσχισμές για την επικοινωνία του με συγκεκριμένες συσκευές. Κατά τη διάρκεια αυτών, μία συσκευή μεταδίδει μόλις φθάσει η χρονοσχισμή που της αναλογεί χωρίς να χρησιμοποιήσει το πρωτόκολλο CSMA-CA. Η δέσμευση των χρονοσχισμών γίνεται κατόπιν αιτήσεων των συσκευών. Ο συντονιστής του δικτύου εξυπηρετεί αυτές τις αιτήσεις με τη σειρά που φθάνουν και είναι αυτός που αποφασίζει για το αν θα δοθούν νέες χρονοσχισμές σε μία συσκευή ή θα αποδεσμευθούν οι κρατημένες χρονοσχισμές.
- **Παροχή μιας αξιόπιστης σύνδεσης μεταξύ δύο συσκευών**. Τα πλαίσια του επιπέδου MAC περιέχουν το πεδίο MFR που περιέχει την ακολουθία ελέγχου

πλαισίου (FCS). Με αυτή ο δέκτης μπορεί να ανιχνεύσει λάθη που δημιουργήθηκαν κατά τη μετάδοση του πλαισίου. Επιπλέον με το υποπεδίο αίτημα επιβεβαίωσης (acknowledgment request), ο αποστολέας μπορεί να ζητήσει επιβεβαίωση για το πλαίσιο που έστειλε. Αν μία επιβεβαίωση φθάσει, ελέγχεται η τιμή του πεδίου αριθμός ακολουθίας. Εφόσον το πλαίσιο και η επιβεβαίωση έχουν τον ίδιο αριθμό ακολουθίας, τότε η μετάδοση θεωρείται επιτυχημένη. Σε περίπτωση που δεν ληφθεί επιβεβαίωση ή δεν έχουν ίδιους αριθμούς ακολουθίας, ο αποστολέας θα μεταδώσει ξανά το πλαίσιο.

4.3.3 Το επίπεδο δικτύου (Network layer, NWK)

Το επίπεδο δικτύου παρέχει τις υπηρεσίες, δεδομένων και διαχείρισης, στο επίπεδο εφαρμογών και επιπλέον εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του επιπέδου MAC. Οι υπηρεσίες δεδομένων παρέχονται στο επίπεδο εφαρμογών μέσω του σημείου πρόσβασης υπηρεσιών NLDE (Network Layer Data Entity), ενώ οι υπηρεσίες διαχείρισης μέσω του σημείου πρόσβασης υπηρεσιών NLME (Network Layer Management Entity). Επίσης στο επίπεδο αυτό υπάρχει και μία βάση δεδομένων (NIB) που περιέχει πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία του. Οι υπηρεσίες δεδομένων περιλαμβάνουν την παραλαβή των δεδομένων από το ανώτερο επίπεδο, την τοποθέτησή τους σε κατάλληλα πλαίσια και την αποστολή τους στην κατάλληλη συσκευή, είτε απευθείας είτε μέσω κάποιας άλλης. Οι υπηρεσίες διαχείρισης περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση της λειτουργίας μίας συσκευής ανάλογα με το ρόλο της στο δίκτυο, τη δημιουργία ενός δικτύου (το ZigBee μπορεί να υποστηρίξει δύο τοπολογίες δικτύων), τη σύνδεση σε ένα δίκτυο, την αποχώρηση από αυτό, τη διευθυνσιοδότηση των συσκευών του δικτύου, τη δυνατότητα να ανακαλύπτουν γειτονικές συσκευές, τη δυνατότητα να ανακαλύπτουν και να καταγράφουν διαδρομές για την αποτελεσματική αποστολή των μηνυμάτων στο δίκτυο και τη δυνατότητα να ελέγχουν τη λειτουργία του δέκτη.

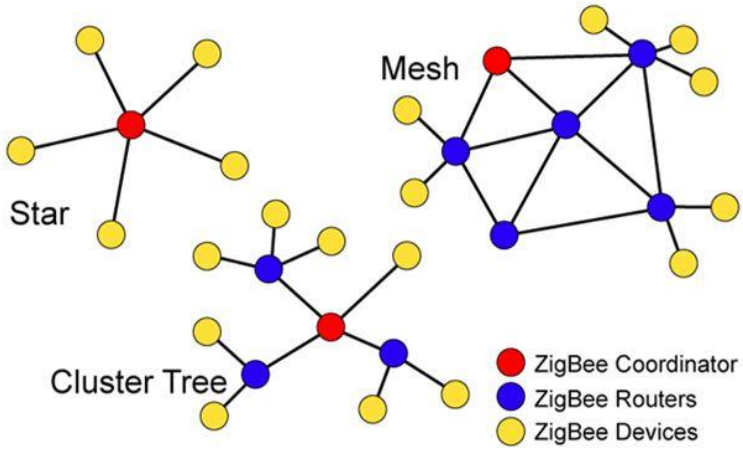
4.3.4 Το Επίπεδο εφαρμογών (Application layer, APL)

Το επίπεδο εφαρμογών αποτελείται από το υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application support sublayer, APS), το πλαίσιο εφαρμογών (Application framework, AF), τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZigBee Device Objects, ZDO) και από τις καθορισμένες από τον κατασκευαστή εφαρμογές. Το υποεπίπεδο APS είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά των δεδομένων των εφαρμογών σε άλλες συσκευές του δικτύου. Επίσης υποστηρίζει την ανακάλυψη συσκευών και την εγκατάσταση συνδέσεων με αυτές. Τα ZDO είναι αυτά που καθορίζουν το ρόλο της κάθε συσκευής στο δίκτυο, τον τρόπο λειτουργίας της και παρέχουν τη δυνατότητα για ανακάλυψη υπηρεσιών και συσκευών στις εφαρμογές. Επίσης διαχειρίζονται όλους τους μηχανισμούς που έχουν σχέση με την ασφάλεια. Το πλαίσιο εφαρμογών είναι

το περιβάλλον στο οποίο φιλοξενούνται οι εφαρμογές μέσα σε μία συσκευή ZigBee. Σε αυτό μπορούν να υπάρξουν μέχρι και 240 εφαρμογές. Για το διαχωρισμό τους, καθεμία έχει το δικό της σημείο τερματισμού.

4.4 Τοπολογίες Δίκτυου

Ένα από τα πιο ισχυρά χαρακτηριστικά του ZigBee είναι η ικανότητα να προσλαμβάνει διαφορετικές τοπολογίες δικτύου.



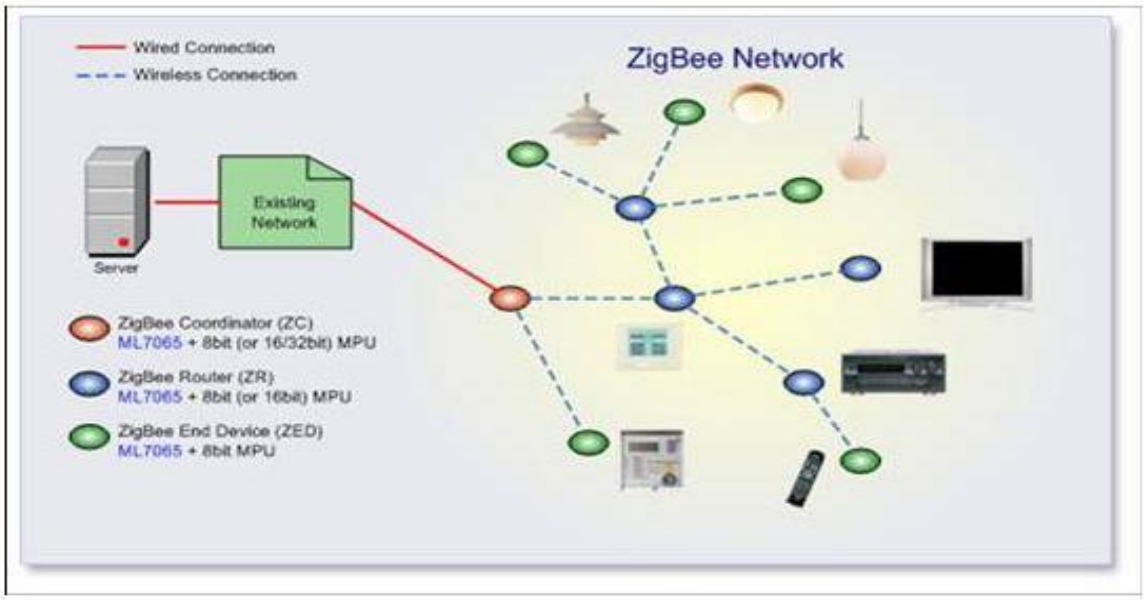
Σχήμα 4.4 Τοπολογίες δικτύου

Η απλούστερη τοπολογία είναι η τοπολογία αστεριού, όπου αποτελείται από ένα ενιαίο συντονιστή συνδεδεμένο με μια σειρά από συσκευές. Ο συντονιστής έχει την αρμοδιότητα να ελέγχει και να συντονίζει το δίκτυο. Οι άλλες συσκευές είναι απευθείας συνδεδεμένες με το συντονιστή και επικοινωνούν μόνο μέσω αυτού με άλλες συσκευές. Ένα παράδειγμα ενός αστέρα δικτύου είναι ένα οικιακό σύστημα ασφαλείας. Το πάνελ ασφαλείας θα ενεργεί ως συντονιστής του δικτύου παρακολούθησης, π.χ με αισθητήρες κίνησης και διακόπτες θα ελέγχει πόρτες και παράθυρα. Οι τοπολογίες αστεριού είναι κοινές και παρέχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των μπαταριών.

Έπειτα, η τοπολογία σημείο προς σημείο. Κάθε συσκευή εγκαθιστά συνδέσεις σημείου προς σημείο με άλλες συσκευές που βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια της. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται δίκτυα που έχουν τη μορφή δένδρου ή πλέγματος. Με τη βοήθεια αλγορίθμων δρομολόγησης, όλες οι συσκευές μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Πολλά τέτοια δίκτυα μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους και να σχηματίσουν ένα μεγαλύτερο. Στο μεγαλύτερο δίκτυο υπάρχει μόνο ένας συντονιστής δικτύου, ενώ κάθε μικρότερο δίκτυο έχει από ένα δρομολογητή. Οι τοπολογίες αυτές παρέχουν μεγαλύτερα επίπεδα αξιοπιστίας και επεκτασιμότητας.

Ο συνδυασμός των δύο αυτών τοπολογιών είναι εφικτός σχηματίζοντας ένα λεγόμενο δίκτυο δέντρου, συνδυάζοντας τα οφέλη και από τις δυο τοπολογίες,

δηλαδή τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των μπαταριών και τα μεγαλύτερα επίπεδα αξιοπιστίας και επεκτασιμότητας. Στα μεγαλύτερα αυτά δίκτυα υπάρχει μόνο ένας συντονιστής δικτύου ενώ στα μικρότερα δίκτυα υπάρχει μόνο ένας δρομολογητής.



Σχήμα 4.5 Zigbee Network

4.5 Τύποι Συσκευών

Σε ένα δίκτυο που λειτουργεί με βάση τη στοίβα πρωτοκόλλων του ZigBee, οι συσκευές μπορούν να διακριθούν σε πλήρους λειτουργίας (full-function device , FFD) και μειωμένης λειτουργίας (reduced-function device, RFD). Σε κάθε δίκτυο υπάρχει πάντοτε μία FFD που έχει το ρόλο του συντονιστή του δικτύου (PAN coordinator). Οι FFDs μπορούν να επικοινωνήσουν με όλες τις άλλες συσκευές, ενώ οι RFDs μόνο με μία FFD. Οι RFDs χρησιμοποιούνται σε πολύ απλές εφαρμογές. Ένα RFD υλοποιείται με τους ελάχιστους πόρους RAM και ROM και είναι σχεδιασμένο για να είναι ένας απλός στείλε ή/και λάβε κόμβος σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο. Με ένα μειωμένο μέγεθος σωρών δεδομένων, απαιτείται λιγότερη μνήμη, κατά συνέπεια ένα λιγότερο ακριβό ολοκληρωμένο κύκλωμα. Τα ZigBee RFDs λειτουργούν γενικά με μπαταρίες. Τα RFDs μπορούν να ψάξουν για τα διαθέσιμα δίκτυα, να μεταφέρουν τα στοιχεία από την αίτησή τους ανάλογα με τις ανάγκες, να καθορίσουν εάν το στοιχείο αιτήματος είναι εκκρεμές, να αιτηθούν δεδομένα από το συντονιστή δικτύων και να μπουν σε λειτουργία ύπνου για εκτεταμένες χρονικές περιόδους, για να μειώσουν την κατανάλωση μπαταριών. Το RFD μπορεί μόνο να μιλήσει σε ένα FFD, μια συσκευή με τους ικανοποιητικούς πόρους συστημάτων για τη δρομολόγηση δικτύων. Το FFD μπορεί να χρησιμεύσει ως συντονιστής δικτύων,

ένας συντονιστής συνδέσεων ή ως ακριβώς μια άλλη συσκευή επικοινωνιών. Οποιοδήποτε FFD μπορεί να μιλήσει σε άλλα FFD και RFD. Το FFD ανακαλύπτει άλλα FFD και RFD για να καθιερώσει τις επικοινωνίες, και τροφοδοτείται συνήθως από καλώδιο τροφοδοσίας.

4.6 Δημιουργία ενός δικτύου

Μόνο συσκευές ZigBee που έχουν τη δυνατότητα να γίνουν συντονιστές δικτύων μπορούν να ξεκινήσουν αυτή τη διαδικασία. Αρχικά, το επίπεδο εφαρμογών ζητά από το επίπεδο δικτύου να δημιουργήσει ένα καινούριο δίκτυο με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Η διαδικασία συνεχίζεται με την εκτέλεση ανίχνευσης ενέργειας σε ένα σύνολο καναλιών. Η ανίχνευση αυτή πραγματοποιείται από το επίπεδο δικτύου, με τη βοήθεια των κατώτερων επιπέδων. Με τη λήψη των αποτελεσμάτων, το επίπεδο δικτύου κατατάσσει τα κανάλια σε μία σειρά, ξεκινώντας από το κανάλι στο οποίο μετρήθηκε η χαμηλότερη ενέργεια. Επίσης απορρίπτει τα κανάλια στα οποία η ενέργεια ξεπερνά ένα αποδεκτό επίπεδο, το οποίο καθορίζεται από την εφαρμογή για την αποφυγή παρεμβολών. Στη συνέχεια το επίπεδο δικτύου, με τη βοήθεια των κατώτερων, εκτελεί ενεργή ανίχνευση των αποδεκτών καναλιών, ψάχνοντας για συσκευές. Τα αποτελέσματα της ανίχνευσης παραδίδονται στο επίπεδο δικτύου, το οποίο προσδιορίζει τον αριθμό και τις ταυτότητες των δικτύων που λειτουργούν σε κάθε κανάλι. Ως κανάλι λειτουργίας του δικτύου επιλέγεται εκείνο με το μικρότερο αριθμό δικτύων. Έπειτα επιλέγεται η ταυτότητα του δικτύου. Αυτή έχει μήκος 16 bits, δεν πρέπει να είναι μία από τις κρατημένες για ειδικούς σκοπούς (π.χ εκπομπή σε όλα τα δίκτυα) και πρέπει να προσδιορίζει μοναδικά το δίκτυο στη συγκεκριμένη περιοχή. Η αδυναμία εύρεσης κατάλληλου καναλιού ή μοναδικής ταυτότητας, οδηγεί τη διαδικασία σε τερματισμό. Αφού επιλεγεί η ταυτότητα, το επίπεδο δικτύου του συντονιστή πρέπει να προσδιορίσει τη διεύθυνση του μέσα στο δίκτυο. Αυτή έχει μήκος 16 bits και την τιμή 0. Έπειτα μέσω του σημείου πρόσβασης υπηρεσιών διαχείρισης του επιπέδου MAC (MLME-SAP), το επίπεδο δικτύου διαμορφώνει τη λειτουργία του MAC, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Τελικά, το επίπεδο εφαρμογών ενημερώνεται για την επιτυχία της αίτησης και ο συντονιστής είναι πλέον έτοιμος να δεχθεί νέες συσκευές στο δίκτυο.

4.7 Πίνακες γειτόνων

Κάθε συσκευή διατηρεί στη βάση δεδομένων της έναν πίνακα με πληροφορίες για τις συσκευές που βρίσκονται μέσα στην ακτίνα δράσης της. Στον πίνακα αυτό, για κάθε γειτονική συσκευή υπάρχει μία εγγραφή που περιέχει την ταυτότητα του δικτύου της, τον τύπο της, τη διεύθυνση της μέσα στο δίκτυο που ανήκει (16 bits), τη σχέση που υπάρχει μεταξύ των δύο συσκευών και την εκτεταμένη της διεύθυνση (64 bits) εφόσον οι δύο συσκευές είναι συνδεμένες. Στον πίνακα αυτό μπορεί να υπάρχουν και διάφορες άλλες προαιρετικές πληροφορίες, όπως το πόσο συχνά εκπέμπει αναγνωριστικά σήματα, αν αποδέχεται τις αιτήσεις για σύνδεση, μία εκτίμηση της ποιότητας της ζεύξης, το λογικό κανάλι στο οποίο λειτουργεί και το πόσα βήματα απέχει από το συντονιστή του δικτύου της.

4.8 Σύνδεση σε ένα δίκτυο και αποχώρηση από αυτό

Κάθε συσκευή ZigBee έχει τη δυνατότητα να συνδέεται σε ένα δίκτυο και να αποχωρεί από αυτό. Μία σχέση γονέα-παιδιού αναπτύσσεται κάθε φορά που μία συσκευή ενός δικτύου επιτρέπει σε μία άλλη να γίνει μέλος του δικτύου. Η νέα συσκευή είναι το παιδί, ενώ η πρώτη είναι ο γονέας. Ένα παιδί μπορεί να προστεθεί σε ένα δίκτυο με 2 τρόπους. Στον πρώτο τρόπο, η διαδικασία ξεκινά από τη νέα συσκευή (παιδί). Μία εφαρμογή της ζητά αρχικά να γίνει ανίχνευση κάποιων καναλιών. Η αίτηση αυτή μεταβιβάζεται από το ανώτερο προς τα κατώτερα επίπεδα. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα της ανίχνευσης, διαθέσιμα δίκτυα και τα χαρακτηριστικά τους, ακολουθώντας την αντίθετη πορεία παραδίδονται στο επίπεδο εφαρμογών, το οποίο και αποφασίζει σε ποιό από τα διαθέσιμα δίκτυα θέλει να συνδεθεί. Στέλνει μία αίτηση στο επίπεδο δικτύου για σύνδεση με το συγκεκριμένο δίκτυο. Το επίπεδο δικτύου ψάχνει στον πίνακα γειτόνων για μία συσκευή που να ανήκει σε αυτό το δίκτυο (συγκρίνει την ταυτότητα του δικτύου των γειτόνων με αυτή που του έστειλε το ανώτερο επίπεδο). Επιπλέον θα πρέπει αυτή η συσκευή να αποδέχεται τις αιτήσεις για σύνδεση. Αν δεν βρει κάποια κατάλληλη, απαντά ότι η σύνδεση με το συγκεκριμένο δίκτυο δεν επιτρέπεται. Σε διαφορετική περίπτωση, χρησιμοποιεί τη διεύθυνση της συσκευής που βρίσκεται στον πίνακα, στέλνει μία αίτηση για σύνδεση και περιμένει για την απάντηση. Για την αποστολή της αίτησης, το επίπεδο δικτύου χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες που του παρέχονται από τα κατώτερα επίπεδα. Αν η απάντηση είναι αρνητική, το επίπεδο δικτύου ψάχνει για μία δεύτερη κατάλληλη συσκευή και επαναλαμβάνει την αίτηση για σύνδεση. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να έρθει κάποια θετική απάντηση ή μέχρι να μη βρίσκει κάποια άλλη κατάλληλη συσκευή, οπότε και το ανώτερο επίπεδο ενημερώνεται για την αδυναμία σύνδεσης στο συγκεκριμένο δίκτυο. Σε περίπτωση θετικής απάντησης, στη νέα συσκευή δίνεται μία διεύθυνση (16 bits),

την οποία θα πρέπει να χρησιμοποιεί για τις μεταδόσεις της στο δίκτυο. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να ξεκινήσει μόνο από μία συσκευή που δεν ανήκει σε κάποιο δίκτυο. Στην πλευρά του γονέα τώρα, ακολουθείται η εξής διαδικασία. Η αίτηση για σύνδεση παραδίδεται ιεραρχικά στο επίπεδο δικτύου. Εκεί απορρίπτεται σε περίπτωση που ο πιθανός γονέας δεν είναι συντονιστής του δικτύου ή δρομολογητής (μόνο αυτοί έχουν δικαίωμα να επιτρέπουν σε συσκευές να συνδέονται στο δίκτυο). Επίσης μπορεί να απορριφθεί σε περίπτωση που δεν υπάρχει διαθέσιμη διεύθυνση για να δοθεί στη νέα συσκευή. Εφόσον δεν συντρέχει λόγος απόρριψης, ο πιθανός γονέας ελέγχει μήπως η συσκευή που έστειλε την αίτηση ανήκει ήδη στο δίκτυο. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με σύγκριση της εκτεταμένης διεύθυνσης της συσκευής, που περιέχεται στην αίτηση, με τις διευθύνσεις που υπάρχουν στον πίνακα γειτόνων του. Αν βρεθεί μία εγγραφή, ο γονέας απαντά θετικά στην αίτηση με την διεύθυνση (16 bits) που βρίσκεται στον πίνακα. Σε διαφορετική περίπτωση, διαθέτει μία νέα διεύθυνση με μήκος 16 bits, η οποία είναι μοναδική στο δίκτυο, και στη συνέχεια απαντά και πάλι θετικά. Στο δεύτερο τρόπο, η διαδικασία ξεκινά από τον πιθανό γονέα, ο οποίος θα πρέπει να είναι συντονιστής του δικτύου ή δρομολογητής και να γνωρίζει την εκτεταμένη διεύθυνση (64 bits) της συσκευής, την οποία επιθυμεί να εντάξει στο δίκτυο. Αρχικά το επίπεδο εφαρμογών ζητά από το επίπεδο δικτύου να συνδεθεί με τη συγκεκριμένη συσκευή. Το επίπεδο δικτύου συγκρίνει την εκτεταμένη διεύθυνση που του στάλθηκε με αυτές που υπάρχουν στον πίνακα γειτόνων. Αν βρεθεί στον πίνακα, ενημερώνει το επίπεδο εφαρμογών ότι η συγκεκριμένη συσκευή ανήκει ήδη στο δίκτυο. Διαφορετικά, διαθέτει μία νέα διεύθυνση των 16 bits για τη συσκευή και ενημερώνει το επίπεδο εφαρμογών ότι η συσκευή προστέθηκε στο δίκτυο. Στην πλευρά του παιδιού ακολουθείται η εξής διαδικασία. Το επίπεδο εφαρμογών ζητά από το επίπεδο δικτύου να κάνει εκπομπές μηνυμάτων προς όλα τα δίκτυα που λειτουργούν στην γύρω περιοχή. Τα μηνύματα αυτά περιέχουν την εκτεταμένη διεύθυνση της συσκευής (64 bits), ενώ ως διεύθυνση προορισμού έχουν τη διεύθυνση εκπομπής. Μόλις ένα τέτοιο μήνυμα φθάσει στη συσκευή του πιθανού γονέα, το επίπεδο δικτύου θα καταλάβει ότι πρόκειται για μία συσκευή που ανήκει στο δίκτυο και θα τις στείλει τη διεύθυνση των 16 bits, την οποία θα πρέπει να χρησιμοποιεί για τις μεταδόσεις της στο δίκτυο. Η αποχώρηση μίας συσκευής από ένα δίκτυο μπορεί και αυτή να γίνει με δύο τρόπους. Στον πρώτο τρόπο, το ίδιο το παιδί ζητά από το γονέα να αποχωρήσει. Ο γονέας εγκρίνει και η σύνδεση διακόπτεται. Στην περίπτωση όμως που το παιδί έχει και αυτό άλλα παιδιά, πρέπει πρώτα να ζητήσει από αυτά να φύγουν και στη συνέχεια να διακόψει τη σύνδεση. Στο δεύτερο τρόπο, ο γονέας ζητά από το παιδί να φύγει από το δίκτυο. Μόλις ένα παιδί λάβει αυτή την εντολή, ενεργεί όπως στον πρώτο τρόπο.

4.9 Τα προφίλ του ZigBee

Κάθε συσκευή ZigBee μπορεί να υποστηρίζει ένα ή και περισσότερα προφίλ. Δύο συσκευές μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο αν υποστηρίζουν ένα συγκεκριμένο προφίλ. Το κάθε προφίλ έχει τη δική του ταυτότητα (profile identifier, 2 bytes), η οποία είναι μοναδική. Τα προφίλ καθορίζουν τη φύση των εφαρμογών, τα χαρακτηριστικά των συσκευών και τα συμπλέγματα δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία. Τα συμπλέγματα δεδομένων έχουν και αυτά τη δική τους ταυτότητα (cluster identifier, 1 byte), η οποία είναι μοναδική μέσα σε ένα συγκεκριμένο προφίλ. Καθορίζουν τις δομές των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία μεταξύ των σημείων τερματισμού. Κάθε σύμπλεγμα αποτελείται από ιδιότητες. Κάθε ιδιότητα έχει μία μοναδική ταυτότητα (attribute identifier, 2 bytes) μέσα σε ένα συγκεκριμένο σύμπλεγμα. Τα χαρακτηριστικά των συσκευών ZigBee καθορίζονται με τους παρακάτω περιγραφείς.

• Περιγραφέας κόμβου. Περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις συσκευές που υπάρχουν σε αυτόν, τις ζώνες συχνοτήτων που λειτουργεί, τον κωδικό του κατασκευαστή και το μέγιστο μέγεθος των δεδομένων που παραδίδονται στο υποεπίπεδο APS ή παραλαμβάνονται από αυτό. Ένας κόμβος μπορεί να αποτελείται από περισσότερες από μία συσκευές που μοιράζονται όμως τον ίδιο πομποδέκτη.

• Περιγραφέας ισχύος κόμβου. Περιέχει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας του δέκτη, τις διαθέσιμες πηγές ενέργειας, την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται και το επίπεδο φόρτισης.

• Απλός περιγραφέας. Αντιστοιχεί ένας σε κάθε σημείο τερματισμού. Περιέχει τον αριθμό του σημείου, την ταυτότητα του προφίλ που υποστηρίζει το συγκεκριμένο σημείο, την ταυτότητα των συσκευών που υποστηρίζονται, τον αριθμό και τη λίστα των εισερχόμενων και εξερχόμενων συμπλεγμάτων δεδομένων που υποστηρίζονται.

• Σύνθετος περιγραφέας. Είναι προαιρετικός. Περιέχει πληροφορίες για τη συσκευή, όπως το όνομα του κατασκευαστή, τον αριθμό της και το URL στο οποίο βρίσκονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με αυτή. Αν ο κόμβος αποτελείται από περισσότερες από μία συσκευές, τότε υπάρχει ένας σύνθετος περιγραφέας για κάθε συσκευή.

• Περιγραφέας χρήστη. Είναι προαιρετικός και περιέχει το όνομα που δίνει ο χρήστης στη συσκευή. Αν ο κόμβος αποτελείται από περισσότερες από μία συσκευές, τότε υπάρχει ένας περιγραφέας χρήστη για κάθε συσκευή.

Στις προδιαγραφές του ZigBee ορίζονται τα παρακάτω προφίλ.

• Προφίλ συσκευής ZigBee. Είναι ένα γενικό προφίλ το οποίο υποστηρίζουν όλες οι συσκευές ZigBee. Με αυτό επιτυγχάνεται η ανακάλυψη των συσκευών και των υπηρεσιών που αυτές παρέχουν, η διαχείριση ενός δικτύου και η εγκαθίδρυση συνδέσεων μεταξύ σημείων τερματισμού.

• Αυτοματισμοί σπιτιών.

• Αυτοματισμοί κτιρίων.

• Έλεγχος εγκαταστάσεων. Ο κάθε κατασκευαστής, με βάση τις προδιαγραφές, μπορεί να ορίσει το δικό του προφίλ και στη συνέχεια να απευθυνθεί στην εταιρία ZigBee Alliance για να του χορηγηθεί μία ταυτότητα. Ο σχεδιαστής του προφίλ είναι υπεύθυνος για να καθορίσει τη φύση των εφαρμογών, τα χαρακτηριστικά των συσκευών και τα συμπλέγματα δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην επικοινωνία.

4.10 Σύγκριση τεχνολογιών

4.10.1 Συχνότητες λειτουργίας

Οι συσκευές Bluetooth και ZigBee λειτουργούν στην παγκοσμίως ελεύθερη βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική ζώνη (ISM band) που βρίσκεται στα 2,4 GHz (2,4-2,4835 GHz). Επιπλέον οι συσκευές ZigBee έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν και σε άλλες δύο ζώνες συχνοτήτων, 868-868,6 MHz και 902-928 MHz, με χαμηλότερους όμως ρυθμούς μετάδοσης. Για τη λειτουργία σε αυτές τις ζώνες δεν απαιτείται κάποια άδεια. Το γεγονός αυτό είναι θετικό γιατί συντελεί στο μηδενικό κόστος λειτουργίας των παραπάνω δικτύων. Δημιουργεί όμως προβλήματα παρεμβολών, αφού σε μία περιοχή μπορούν να λειτουργούν ελεύθερα πολλά τέτοια δίκτυα. Ένας κοινός τρόπος αντιμετώπισης των παρεμβολών από άλλες συσκευές είναι η μειωμένη ισχύς εκπομπής. Επιπρόσθετα, κάθε μία από τις παραπάνω τεχνολογίες έχει λάβει και τα δικά της μέτρα για την αντιμετώπισή τους. Οι συσκευές ZigBee χρησιμοποιούν την εξάπλωση φάσματος άμεσης ακολουθίας (DSSS) για την αντιμετώπιση των παρεμβολών. Σε αυτή κάθε bit πληροφορίας μετατρέπεται σε μία ακολουθία από chips. Η διάρκεια του κάθε chip είναι πολύ μικρότερη από τη διάρκεια του bit. Με αυτό τον τρόπο το σήμα πληροφορίας μεταδίδεται χρησιμοποιώντας ένα πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης από το απαιτούμενο. Αυτό είναι και ο λόγος που στο ZigBee υπάρχουν μόνο 16 κανάλια στη ζώνη συχνοτήτων 2,4-2,4835 GHz. Στην πλευρά του δέκτη οι ακολουθίες των chips

μετατρέπονται στα bits πληροφορίας και το επιθυμητό σήμα επανασυμπιέζεται. Οι παρεμβολές παραμένουν απλωμένες και ελάχιστα επηρεάζουν το σήμα πληροφορίας. Οι παρεμβολές από σήματα στενής ζώνης μπορούν να απομακρυνθούν με φιλτράρισμα πριν την επανασυμπίεση, χωρίς να έχουμε μεγάλη απώλεια πληροφορίας. Η DSSS επιτρέπει σε περισσότερους χρήστες να χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι.

4.10.2 Ισχύς εκπομπής και ακτίνα δράσης

Η ισχύς εκπομπής των συσκευών Bluetooth εξαρτάται από την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Για την κατηγορία 1 κυμαίνεται από 0 dBm ως 20 dBm, για την κατηγορία 2 από -6 dBm ως 4 dBm και η κατηγορία 3 έχει μέγιστη ισχύ εκπομπής ίση με 0 dBm. Η ακτίνα δράσης είναι 10m στην κατηγορία 3 και μπορεί να φθάσει τα 100m στην κατηγορία 1. Οι συσκευές Bluetooth έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν την εκπεμπόμενη ισχύ τους στην ελάχιστη απαιτούμενη για κάθε σύνδεση. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας κυμαίνεται από 1 ως 7 ημέρες. Οι συσκευές ZigBee έχουν ελάχιστη ισχύ εκπομπής ίση με -3 dBm, ενώ η μέγιστη περιορίζεται από τη νομοθεσία κάθε περιοχής. Η ακτίνα δράσης μπορεί να φθάσει τα 75m, ενώ η διάρκεια ζωής της μπαταρίας κυμαίνεται από 100 ως 1000 ημέρες. Για τις συσκευές IrDA η ελάχιστη και η μέγιστη εκπεμπόμενη πυκνότητα ισχύος είναι 40 και 500 mW/Sr αντίστοιχα. Η ακτίνα δράσης μπορεί να φθάσει το 1m. Για τις φορητές συσκευές, όπου η κατανάλωση ισχύος είναι χαμηλή, η ακτίνα δράσης δεν ξεπερνά τα 20 με 30cm. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας κυμαίνεται από 1 ως 7 ημέρες.

4.10.3 Δυνατότητες δικτύων

Σε ένα δίκτυο Bluetooth μπορούν να υπάρχουν μέχρι και 8 ενεργές συσκευές ταυτόχρονα, ένας master και 7 slaves. Όλες οι μεταδόσεις γίνονται από το master προς κάποιο slave και αντίστροφα. Οι slaves δεν μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Τα μεταδιδόμενα πλαίσια μπορούν να έχουν ωφέλιμο φορτίο μέχρι και 1021 bytes. Τα περισσότερα από αυτά περιέχουν κώδικα ανίχνευσης λαθών και κώδικα διόρθωσης λαθών, για την παροχή αξιόπιστων συνδέσεων. Επιπλέον υποστηρίζονται και οι επαναμεταδόσεις λανθασμένων πλαισίων. Το BER είναι 0,1% στην περίπτωση του βασικού ρυθμού μετάδοσης και 0,01% στην περίπτωση του επαυξημένου ρυθμού. Οι συσκευές Bluetooth παρέχουν υπηρεσίες προσανατολισμένες σε σύνδεση και υπηρεσίες χωρίς σύνδεση. Τα μεταφερόμενα δεδομένα μπορεί να είναι είτε ασύγχρονα είτε ισόχρονα. Για τα ισόχρονα δεδομένα γίνεται δέσμευση χρονοσχισμών από το master και παρέχονται μέχρι και 3 πλήρως

αμφίδρομα κανάλια. Οι συσκευές ZigBee επιτρέπουν τη δημιουργία μεγαλύτερων και πιο πολύπλοκων δικτύων. Κάθε δίκτυο μπορεί να έχει μέχρι και 65536 συσκευές, μία από αυτές θα είναι ο συντονιστής του δικτύου. Δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται όλες οι συσκευές μέσα στην ακτίνα δράσης του συντονιστή. Οι συσκευές του δικτύου διακρίνονται σε πλήρους και μειωμένης λειτουργίας. Οι πρώτες μπορεί να είναι συνδεδεμένες με αρκετές συσκευές του δικτύου, ενώ οι δεύτερες μόνο με το γονέα τους. Ορίζονται αλγόριθμοι για την ανάθεση διευθύνσεων (16 bits) στις συσκευές του δικτύου και για τη δρομολόγηση των πλαισίων. Κάθε συσκευή μπορεί να επικοινωνήσει με όλες τις άλλες συσκευές του δικτύου. Τα μεταδιδόμενα πλαίσια έχουν ωφέλιμο φορτίο μέχρι 127 bytes, περιέχουν κώδικα ανίχνευσης λαθών και επαναμεταδίδονται σε περίπτωση που κάποιο λάθος ανιχνευθεί. Το ποσοστό των λανθασμένων πλαισίων είναι μικρότερο του 1% για πλαίσια με 20 bytes ωφέλιμο φορτίο. Δεν υποστηρίζεται η μετάδοση φωνής. Σε κάθε υπερπλαίσιο μπορούν να δεσμευθούν μέχρι και 7 χρονοσχισμές για την εξυπηρέτηση υπηρεσιών που απαιτούν συγκεκριμένο εύρος ζώνης.

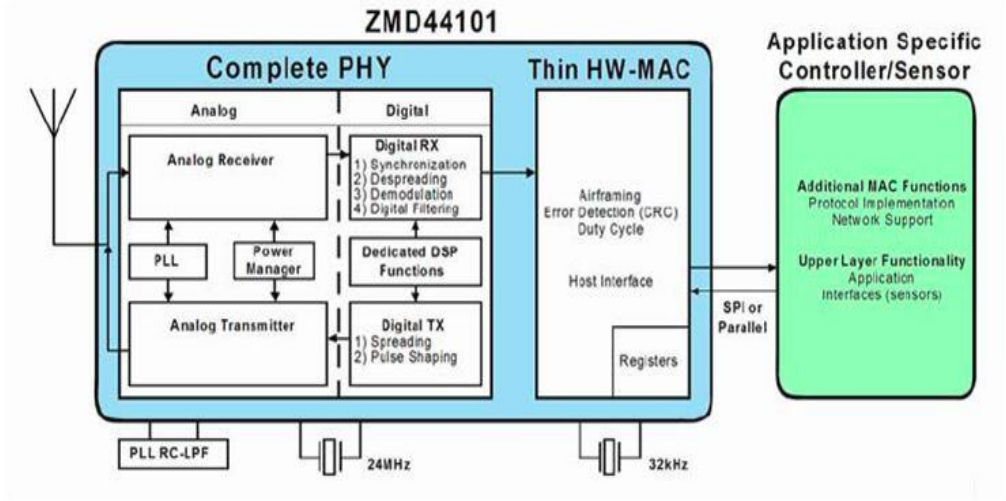
4.10.4 Εφαρμογές της τεχνολογίας ZigBee

Η τεχνολογία ZigBee χρησιμοποιείται κυρίως σε δίκτυα που απαιτούν πολύπλοκες τοπολογίες, χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης, χαμηλό κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών. Τέτοια δίκτυα είναι αυτά που αποτελούνται από αισθητήρες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτοματισμούς και ασφάλεια κτιρίων, για παρακολούθηση της λειτουργίας βιομηχανικών εγκαταστάσεων, για παρακολούθηση ασθενών κ.α.

4.11 ZigBee Πομποδέκτης

Ένας αντιπροσωπευτικός πομποδέκτης 1 Ghz παρουσιάζεται στο σχήμα. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα περιέχει ένα φυσικό στρώμα 900 MHZ (PHY) και τη μερίδα hardware του ελεγκτή πρόσβασης (υλικό-MAC). Οι υπόλοιπες λειτουργίες της MAC (λογισμικό-MAC) και το στρώμα εφαρμογής εκτελούνται σε έναν εξωτερικό μικροελεγκτή. Όλες οι λειτουργίες PHY είναι ενσωματωμένες στο τσιπ με τα ελάχιστα εξωτερικά συστατικά που απαιτούνται για ένα πλήρες πομποδέκτη. Ένα χαμηλού κόστους κρύσταλλο χρησιμοποιείται ως αναφορά για το PLL και για να χρονομετρήσει τα ψηφιακά στοιχεία κυκλώματος. Για να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας στον τρόπο ύπνου αλλά κρατώντας μια ακριβή χρονική βάση, ένα ρολόι πραγματικού χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αναφορά. Η αναλογική μερίδα του δέκτη μετατρέπει το επιθυμητό σήμα από το RF στην ψηφιακή βασική ζώνη. Ο συγχρονισμός, και η αποδιαμόρφωση γίνονται στην

ψηφιακή μερίδα του δέκτη. Το ψηφιακό μέρος της συσκευής αποστολής σημάτων κάνει τη διάδοση και το φιλτράρισμα βασικών ζωνών, ενώ το αναλογικό μέρος της συσκευής αποστολής σημάτων κάνει τη διαμόρφωση και τη μετατροπή στο RF.



Σχήμα 4.6 Zigbee πομποδέκτης

4.12 XBee ZigBee Module

Τα ασύρματα modules έχουν σκοπό να εκτελούν όλες τις διεργασίες για να επικοινωνούν μεταξύ τους οι κόμβοι ασύρματα. Βασικός παράγοντας στην επιλογή τους ήταν η ασφάλεια στην επικοινωνία, η ευκολία στην χρήση, η εμβέλειά τους, η απροβλημάτιστη λειτουργία τους και τέλος το κόστος τους.

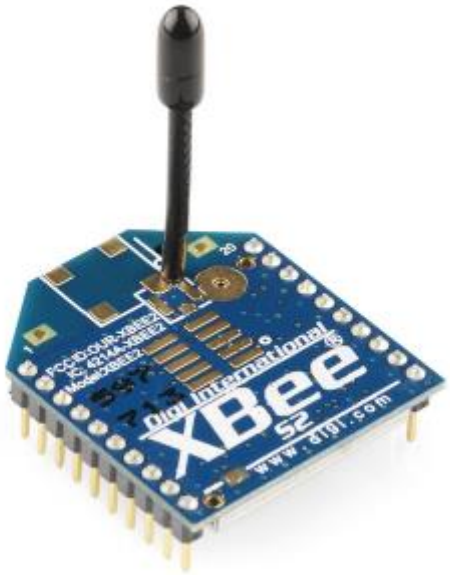
Μετά από επισταμένη έρευνα λοιπόν, έγινε η επιλογή του XBee Series 2, το οποίο είναι συμβατό με το πρωτόκολλο 802.15.4, το γνωστό ως ZigBee. Η εμβέλεια του φτάνει στα 120 μέτρα και η ισχύς εκπομπής είναι μέχρι 2mV. Υπάρχει ακόμα και η σειρά PRO στην οποία η εμβέλεια φτάνει στα 1600 μέτρα και η ισχύς εκπομπής 50mV.

Ο μέγιστος αριθμός μετάδοσης δεδομένων φτάνει τα 250 kbps και το module περιέχει 6 αναλογικές εισόδους και 8 ψηφιακές εισόδους. Αυτές χρησιμεύουν αν θέλουμε να συνδέσουμε διάφορα αισθητήρια πάνω σε ένα module και αυτό να εκπέμπει διαδοχικά τις τιμές όλων. Υποστηρίζονται οι κλασικές εντολές AT έτσι ώστε να μπορούμε να παραμετροποιούμε το κάθε module γρήγορα, όπως κάνουμε με τα κλασσικά modem του υπολογιστή. Ακόμα, υπάρχει και η επιλογή αγοράς του module χωρίς καμία κεραία αλλά με υποδοχή, για να μπορούμε να συνδέσουμε καλώδια και κεραία της επιλογής μας, είτε κατευθυντική (sectror), είτε ομοιοκατευθυντική (omni).

Τα XBee μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με διάφορους τρόπους. Η νεότερη σειρά, XBee Series 2.5, υποστηρίζει μεταξύ των άλλων και συνδέσεις πλέγματος, mesh, οι οποίες έχουν πολλά προτερήματα και μπορούν να λειτουργούν και ως

repeaters για να υπάρχει καλύτερη κάλυψη του χώρου και μεγαλύτερη εμβέλεια. Όταν υπάρχει κάποιο πρόβλημα σε ένα modulo τότε η δρομολόγηση των πακέτων γίνεται απευθείας μέσω εναλλακτικής διαδρομής. Βέβαια, αποφεύχθηκε η χρήση του στην εφαρμογή διότι υπάρχουν μερικά προβλήματα και δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα, μέχρι να βγει κάποια αναβάθμιση στο firmware τους τουλάχιστον.
Η τιμή του κάθε module δεν ξεπερνά τα 25 €, πράγμα που καθιστά την χρυσή τομή μεταξύ κόστους και απόδοσης για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Η σειρά PRO κοστίζει 40 €.

XBee Series 2



Αυτό είναι το XBee XB24-Z7WIT-004 από την Digi. Η δεύτερη έκδοση της σειράς βελτιώνει την ισχύ και τα πρωτόκολλα δεδομένων. Οι μονάδες της δεύτερης έκδοσης μας επιτρέπουν να δημιουργήσουμε πολύπλοκα δίκτυα "mesh" βασισμένα στο KH XBee ZigBee mesh firmware. Οι μονάδες αυτές επιτρέπουν μια πολύ αξιόπιστη και απλή επικοινωνία μεταξύ μικροελεγκτών, υπολογιστών, συστημάτων και γενικά οτιδήποτε με σειριακή θύρα. Υποστηρίζονται δίκτυα point to point και multi-point. Η Series 2 είναι ουσιαστικά το ίδιο hardware με το μεγαλύτερο Series 2.5, αλλά έχουν ενημερωμένο firmware. Συνεργάζεται με μονάδες Series 2.5 εάν ενημερώσετε το firmware μέσω του X-CTU.
Σημείωση: Η Series 1 και Series 2 μονάδων XBee έχουν το ίδιο pin-out. Ωστόσο, η μονάδες Series 1 δεν μπορούν να επικοινωνήσουν με μονάδες Series 2.

Χαρακτηριστικά:

- 3.3V @ 40mA
- 250kbps Max data rate
- 2mW output (+3dBm)
- 400ft (120m) range
- Built-in antenna
- Fully FCC certified
- 6 10-bit ADC input pins
- 8 digital IO pins
- 128-bit encryption
- Local or over-air configuration
- AT or API command set

Σύνδεση του XBee με τον υπολογιστή

Για να γίνεται ευκολότερα η ανεύρεση των λαθών στην εφαρμογή υπάρχει εγκατεστημένο και ένα ασύρματο module στον υπολογιστή το οποίο είναι συνδεδεμένο στην θύρα USB μέσω ενός Xbee Explorer USB. Το κόστος του ανέρχεται στα 26.50 €, το οποίο φαίνεται λίγο αυξημένο, αλλά είναι λογικό μόλις παρατηρήσουμε ότι περιλαμβάνει έναν μετατροπέα, που μετατρέπει την σειριακή επικοινωνία σε USB, έτσι ώστε να μπορεί ο υπολογιστής μέσα από μία εφαρμογή τερματικού να λαμβάνει όλα τα πακέτα που εκπέμπουν τα υπόλοιπα module στο χώρο. Το κύκλωμα περιλαμβάνει επίσης, και έναν σταθεροποιητή τάσης από τα 5V στα 3.3V. Τέλος, υπάρχουν και μερικά led, τα οποία μας δείχνουν αν το module έχει συνδεθεί με το δίκτυο των υπολοίπων, αν λαμβάνει ή αποστέλλει πακέτα και αν βρίσκεται σε λειτουργία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Περιγραφή εφαρμογής και προδιαγραφές

Οι προδιαγραφές που ορίσαμε κατά την έναρξη του σχεδιασμού της εφαρμογής μας, ήταν η δημιουργία ενός συστήματος συλλογής δεδομένων τριών εισόδων και η ασύρματη επικοινωνία με τον Η/Υ, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ασύρματου δικτύου Zigbee, το οποίο επικοινωνεί μέσω της σειριακής θύρας. Οι είσοδοί μας είναι, η θερμοκρασία, ο καπνός και η κίνηση. Η εφαρμογή χωρίζεται σε δύο τμήματα, στο τμήμα της αυτόνομης λειτουργίας και σε αυτό της λειτουργίας με τον Η/Υ. Στο κομμάτι της αυτόνομης λειτουργίας, για κάθε είσοδο τίθενται τιμές κατωφλίων, ώστε όταν η τιμή της εισόδου ξεπεράσει το αντίστοιχο κατώφλι θα τίθενται σε κατάσταση λειτουργίας (ON) το αντίστοιχο led για κάθε αισθητήρα και όταν η τιμή πέσει κάτω από το κατώφλι θα απενεργοποιείται (OFF). Στην περίπτωση της λειτουργίας σε σύνδεση με τον Η/Υ, ισχύουν τα ίδια με την αυτόνομη λειτουργία με την διαφορά ότι υπάρχει και η ασύρματη επικοινωνία με τον Η/Υ. Στον Η/Υ θα γίνεται απεικόνιση της μεταβολής των εισόδων σε γραφήματα, σε ένα περιβάλλον εφαρμογής λογισμικού.

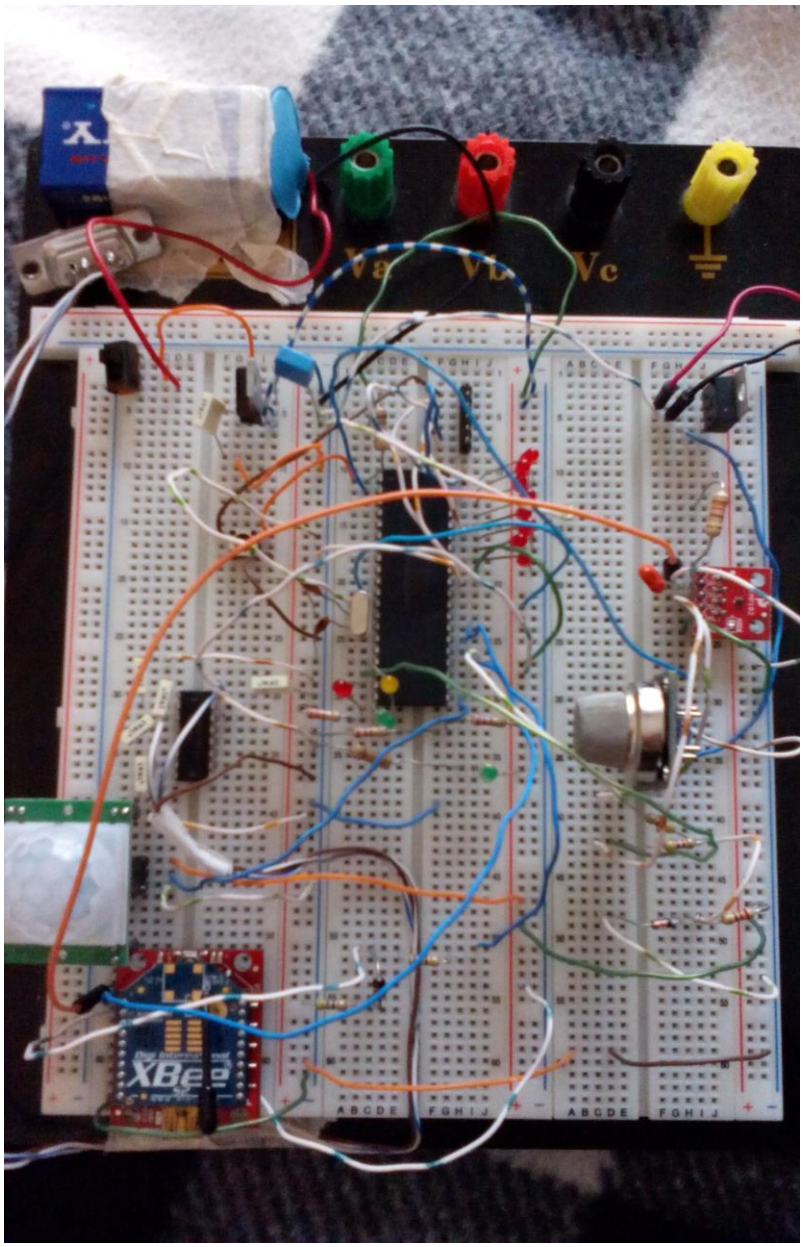
Πιο αναλυτικά, η εφαρμογή αυτή έχει την ικανότητα να δέχεται δεδομένα από τα αισθητήρια θερμοκρασίας (TMP102), κίνησης (PIR sensor) και καπνού (MQ2). Τα δεδομένα αυτά εισέρχονται στον μικροελεγκτή PIC16F877, ο οποίος μέσω του ενσωματωμένου A/D μετατροπέα, μετατρέπει τα αναλογικά σήματα, (που δέχεται από τον αισθητήρα καπνού), σε ψηφιακά και έπειτα τα αποστέλλει , στον Η/Υ μέσω του Zigbee και της σειριακής θύρας, σύμφωνα με το πρωτόκολλο RS-232. Στη συνέχεια, με τη χρήση του λογισμικού LabVIEW γίνεται απεικόνιση των τιμών θερμοκρασίας, καπνού και κίνησης, στις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις. Όπως είπαμε, για κάθε είσοδο τίθενται τιμές κατωφλίων, έτσι ώστε όταν η τιμή της κάθε εισόδου ξεπεράσει το αντίστοιχο κατώφλι της, θα τίθεται σε κατάσταση λειτουργίας (ON) ένα led, ενώ όταν η τιμή αυτή πέσει κάτω από το κατώφλι θα απενεργοποιείται (OFF). Για τον αισθητήρα θερμοκρασίας έχουμε ορίσει ως τιμή κατωφλίου τους 30°C και για τον αισθητήρα καπνού έχουμε ορίσει ως τιμή κατωφλίου τον αριθμό 64 (110100). Το led του αισθητήρα κίνησης ενεργοποιείται μόλις ανιχνεύσει κάποια κίνηση, δηλαδή μόλις πάρει την τιμή 1.

5.2 Συνδεσμολογία κυκλώματος

Ο PIC δέχεται τα εξής σήματα και τάσεις τα οποία είναι απαραίτητα για την λειτουργία του:

Στους ακροδέκτες 13 και 14 συνδέεται ο κρύσταλλος, ο οποίος παίζει μεγάλο ρόλο στην ταχύτητα του μικροελεγκτή (στην μετάδοση, στη λήψη δεδομένων και στην

εκτέλεση εντολών). Ο κρύσταλλος επιλέχθηκε στην συχνότητα των 20 Mhz, άρα ο χρόνος εκτέλεσης μιας εντολής ενός κύκλου είναι 1,25*10-8 sec . Στον ακροδέκτη 1 είναι η τάση Vpp που τον καθιστά ενεργό (enable). Τα οκτώ leds στην Port B (ακροδέκτες 33 - 40) είναι για να βλέπουμε την μετατροπή του αναλογικού σήματος, σε ψηφιακό (MSB – LSB ψηφία). Στους ακροδέκτες 25, 26 συνδέονται αντίστοιχα το OUT (TX) και το IN (RX) της UART προς το Zigbee Xbee. Στον ακροδέκτη C2 είναι συνδεδεμένο το κίτρινο led, το οποίο είναι για τον gas sensor και ανάβει μόλις ανιχνευθεί καπνός, στον ακροδέκτη D1 είναι συνδεδεμένο το πράσινο led, το οποίο είναι για τον PIR sensor και ανάβει μόλις ανιχνευθεί κίνηση και στον ακροδέκτη D0 είναι συνδεδεμένο το κόκκινο led, το οποίο είναι για τον temperature sensor και ανάβει μόλις η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 30 βαθμούς Κελσίου.



Σχήμα 5.1 Το κύκλωμα σε φωτογραφία

5.3 Περιγραφή του κυκλώματος

Το κύκλωμα έχει υλοποιηθεί πάνω σε ράστερ και προς επίτευξη αυτού χρησιμοποιήθηκαν τα εξής ολοκληρωμένα: ο μικροελεγκτής PIC16F877 (ο οποίος είναι προγραμματισμένος σε γλώσσα C), δύο ηλεκτρονικοί σταθεροποιητές τάσης LM7805, ένας αισθητήρας θερμοκρασίας TMP102, ένας αισθητήρας καπνού MQ2, ένας αισθητήρας κίνησης PIR sensor και το Zigbee Xbee Modulo για την υλοποίηση ασύρματου δικτύου. Το πρώτο LM7805 δέχεται τροφοδοσία από μία μπαταρία 9V και παράγει στην έξοδο του τάση 5V από την οποία τροφοδοτείται ο μικροελεγκτής, ο αισθητήρας κίνησης και το Xbee Modulo. Το Xbee είναι τοποθετημένο πάνω σε έναν USB Explorer, το οποίο έχει ενσωματωμένο έναν σταθεροποιητή τάσης από τα 5V στα 3.3V, όπου είναι η επιθυμητή τάση για να λειτουργήσει. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας επειδή λειτουργεί με τάση από 1.4 μέχει 3.6 V, τροφοδοτείται από το Zigbee Xbee στα 3.3 V. Το δεύτερο LM7805 δέχεται τροφοδοσία από τροφοδοτικό πρίζας, παράγει τάση 5V και δίνει τάση στον αισθητήρα καπνού, ο οποίος τραβάει αρκετή τάση και γι' αυτό τον λόγο το τροφοδοτούμε χωριστά.
Ο αισθητήρας κίνησης έχει τρία pins, το VCC που συνδέεται στην τροφοδοσία, το OUT που το έχουμε συνδέσει στο pin 23 (RD2) του PIC και το GND που πηγαίνει στη γείωση. Ο αισθητήρας καπνού έχει τα εξής pins, το GND που πηγαίνει στη γείωση, το AOUT που το έχουμε συνδέσει στο pin 2 (RA0) του PIC και το VCC, όπως είπαμε και πιο πάνω, το pin αυτό πηγαίνει στο δεύτερο LM7805 για να τροφοδοτηθεί. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας έχει το VCC που του δίνουμε τροφοδοσία από το Xbee, το έχουμε συνδέσει δηλαδή στο pin 1 (3.3 V) του Xbee Modulo, χρειάζεται να συνδέσουμε και έναν πυκνωτή στα 0.01μF. Το GND που πηγαίνει στη γείωση, το SDA που συνδέεται με το pin 23 του PIC και το SCL που συνδέεται με το pin 18 του PIC. Βέβαια, αυτές οι δύο γραμμές απαιτούν και δύο pull – up resistors, εμείς βάλαμε δύο των 4.7 kΩ και ισορροπούμε την τάση τους στα 3.3V με μία Zener, για να μην υπάρχει πρόβλημα στα δεδομένα που στέλνονται μεταξύ του PIC και του αισθητήτα, γιατί ο PIC έχει τάση στα 5V και ο TMP102 στα 3.3V. Τέλος, το Zigbee Xbee, όπου έχουμε συνδέσει μόνο τα pins που μας χρειάζονται και αυτά είναι τα εξής: το GND (pin 10) που πηγαίνει στη γείωση, το VCC (pin 11) που πηγαίνει στην τάση στα 5V, το DOUT (pin 2) που πηγαίνει στο pin 26 (RX) του PIC και το DIN (pin 3) που πηγαίνει στο pin 25 (TX) του PIC. Επίσης, για να μην υπάρχει πρόβλημα στα δεδομένα που στέλνει ο PIC στο Xbee, λόγω τις διαφοράς της τάσης τους, χρησιμοποιούμε ακόμα μία Zener στα 3.3V για το pin DIN, για να την ισορροπήσουμε.

5.4 Βαθμίδα αισθητηρίων

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήσαμε στο κύκλωμα είναι:

- Αισθητήρας θερμοκρασίας (TMP102)

Είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας (I2C), όπου έχει ένα ψήφισμα των 0,0625 ° C και είναι ακριβής μέχρι 0,5 °C. Απαιτεί πολύ χαμηλό ρεύμα. Η επικοινωνία με τον TMP102 επιτυγχάνεται μέσω μιας σειριακής διεπαφής δύο καλωδίων. Η τάση του πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 1.4 έως 3.6 VDC.

- Αισθητήρας καπνού (MQ2)

Οι αισθητήρες MQ2 χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση διαρροής αερίου, οικιακά αλλά και βιομηχανικά. Είναι κατάλληλοι για ανίχνευση LPG, ισο-βουτάνιου, προπανίου, μεθανίου, αλκοόλ, υδρογόνου και καπνού.

- Αισθητήρας κίνησης (PIR)

Οι αισθητήρες PIR χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση κίνησης. Ο αισθητήρας αυτός ανιχνεύει κίνηση μέχρι και 6 μέτρα μακριά, χρησιμοποιώντας φακό Fresnel. Δίνει ψηφιακό σήμα εξόδου (high/low) και ενεργοποιείται με interrupt.

5.5 Τα προγράμματα που χρησιμοποιήσαμε

5.5.1 Το πρόγραμμα labVIEW

Το όνομα LabVIEW προέρχεται από το Laboratotry Virtual Instrument (Σχεδιαστήριο για την Κατασκευή Εργαστηριακών Εικονικών Οργάνων) και αναπτύχθηκε κατά το τέλος της δεκαετίας του ΄80 από την εταιρία National Instruments. Η εταιρία αυτή ειδικεύεται σε συστήματα συλλογής δεδομένων, σε αισθητήρες, αυτοματισμούς και σε λογισμικό μετρήσεων και ελέγχου.

Το LabVIEW είναι μία δυνατή γλώσσα προγραμματισμού για τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων, την προσομοίωση και τον έλεγχο οργάνων και μετρήσεων μέσω υπολογιστή. Το πρόγραμμα στηρίζεται στο γραφικό προγραμματισμό μέσω αντικειμένων. Στο γραφικό του περιβάλλον, ο προγραμματιστής δεν χειρίζεται κώδικα εντολών, αλλά γραφικά αντικείμενα, όπως κουμπιά, ενδείκτες, οθόνες ή τετραγωνίδια, που παριστάνουν συναρτήσεις ή εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες με τη μορφή υπορουτινών. Αυτά τα εικονίδια έχουν εισόδους και εξόδους και επιδέχονται προγραμματισμό των ιδιοτήτων τους. Η γραφική γλώσσα που χρησιμοποιεί το LabVIEW για τον προγραμματισμό και τη δημιουργία εικονικών οργάνων ονομάζεται γλώσσα G. Ένα εικονικό όργανο μπορεί να συνδέεται με τις θύρες εισόδου/εξόδου του υπολογιστή ή με επιπρόσθετες κάρτες επέκτασης, προκειμένου να κάνει πραγματική εισαγωγή ή εξαγωγή δεδομένων.

Ακόμη, διαθέτει έναν αριθμό από έτοιμα VIs και ορισμένα εικονίδια συναρτήσεων που επιτρέπουν την επικοινωνία με όλα τα γνωστά πρωτόκολλα μετάδοσης δεδομένων. Υπάρχουν έτοιμες λειτουργίες που επιτρέπουν τη συλλογή και μετάδοση δεδομένων μέσω της σειριακής θύρας του υπολογιστή, καθώς και μέσω της παράλληλης θύρας. Έτσι, μέσω των πρωτοκόλλων επικοινωνίας η πληροφορία που δημιουργείται στην οθόνη του υπολογιστή συνδέεται με πραγματικά όργανα, μέσω του λογισμικού. Δηλαδή, όταν πατήσουμε ένα εικονικό κουμπί στην οθόνη, ενεργοποιείται ένας πραγματικός διακόπτης σε ένα εργαστηριακό όργανο. Σ’ αυτήν τη δυνατότητα που παρέχει επέκταση της απλής προσομοίωσης ώστε να γίνεται εφικτός ο έλεγχος αληθινών οργάνων, βρίσκεται και η δύναμη του LabVIEW ως λογισμικού μετρήσεων και ελέγχου.

Το LabVIEW περιλαμβάνει τα εξής τρία βασικά μέρη: το εμπρόσθιο πλαίσιο, το δομικό διάγραμμα και τις παλέτες εργαλείων, ελέγχου και λειτουργιών.

Το εμπρόσθιο πλαίσιο (front panel) μοιάζει με το μπροστινό μέρος ενός οργάνου. Μπορεί να περιέχει κουμπιά, διακόπτες, οθόνες γραφικών και άλλα. Τα στοιχεία του εμπρόσθιου πλαισίου παίρνουν τιμές με τη βοήθεια του ποντικιού ή του πληκτρολογίου και συνοδεύεται από παλέτα εργαλείων και ελέγχου. Περιέχει εργαλεία για τη μετακίνηση και την αλλαγή μεγέθους αντικειμένων, εργαλείο λειτουργίας για την εισαγωγή δεδομένων, εργαλείο για εισαγωγή κειμένου και εργαλείο για τη σύνδεση των στοιχείων του δομικού διαγράμματος. Το δομικό

διάγραμμα υπάρχει πάντα μαζί με το εμπρόσθιο μέρος και ισοδυναμεί με τον κώδικα προγράμματος στη γραφική γλώσσα G. Κάθε στοιχείο του δομικού διαγράμματος παριστάνεται από ένα εικονίδιο. Ένα κουμπί μπορεί να είναι μία μεταβλητή που να παίρνει τιμές True/False ή μια μεταβλητή διπλής ακρίβειας για εισαγωγή δεδομένων.
Όταν μεταβαίνουμε από το παράθυρο του εμπρόσθιου πλαισίου στο παράθυρο του δομικού διαγράμματος, η παλέτα ελέγχου μετατρέπεται αυτόματα στην παλέτα λειτουργιών. Εκεί μπορούμε να βρούμε εικονίδια για απλές αριθμητικές λειτουργίες, εικονίδια μεταβλητών, πινάκων, μετατροπών, εικονίδια για χρήση δομών, for loop, while loop, sequence κλπ. Και τέλος, υπάρχουν εικονίδια για χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας ή συγκεκριμένων έτοιμων οργάνων.

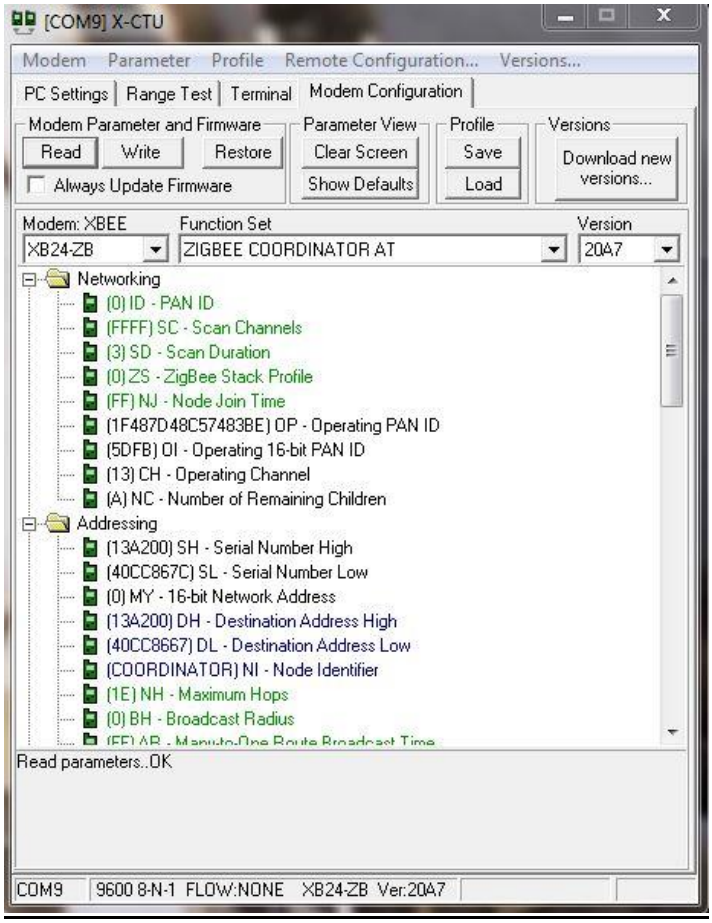
5.5.2 Το πρόγραμμα X – CTU

Για την παραμετροποίηση των μόντεμ, η MaxStream παρέχει μια εφαρμογή που δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους του μόντεμ. Το X-CTU είναι μία εφαρμογή, όπου έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει στους προγραμματιστές να αλληλεπιδρούν με τις ενότητες Digi RF, με την χρήση ενός απλού γραφικού περιβάλλοντος. Περιλαμβάνει νέα εργαλεία που καθιστούν εύκολο το set – up, ώστε να ρυθμιστεί και να δοκιμαστεί το XBee RF modulo. Μοναδικά χαρακτηριστικά του, είναι η γραφική προβολή του δικτύου, που αναπαριστά το Xbee δίκτυο μαζί με την ισχύ του σήματος της κάθε σύνδεσης. Επίσης, τα API frames που χρησιμοποιούνται σε API mode (Application Programming Interface), διαισθητικά βοηθούν για να χτίσει και να ερμηνεύσει το κάθε frame του Xbee και κάνουν έτσι την πλατφόρμα πιο εύκολη.
Με τη χρήση του X-CTU μπορεί ο τελικός χρήστης να αλλάξει το firmware του κάθε μόντεμ ούτος ώστε να εκτελεί τη λειτουργία που επιθυμεί. Μέσω αυτής της εφαρμογής καθορίζεται το κανάλι λειτουργίας του Zigbee, παράμετροι που αφορούν την τάση των εισόδων και των εξόδων, καθώς και παράμετροι που καθορίζουν αν το μόντεμ που είναι τοποθετημένο στην υπομονάδα θα λειτουργεί ως συντονιστής ή ως τερματικός εξοπλισμός.
Στην εικόνα 5.2 παρατίθεται η καρτέλα του προγράμματος X-CTU, όπου μπορεί να γίνει ο καθορισμός αυτών των παραμέτρων.

Επιπλέον, σημαντικά χαρακτηριστικά του X-CTU είναι και τα ακόλουθα:

- Μπορούμε να διαχειριζόμαστε και να διαμορφώνουμε πολλαπλές συσκευές RF, ακόμη και συνδεδεμένες συσκευές εξ αποστάσεως.
- Η διαδικασία ενημέρωσης του υλικολογισμικού επαναφέρει ομαλά τις ρυθμίσεις της μονάδας, τον αυτόματο χειρισμό λειτουργίας του και την αλλαγή στο baud rate.

- Έχει API και AT κονσόλες, που έχουν σχεδιαστεί από το μηδέν για να επικοινωνούν με τις συσκευές ραδιοεκπομπών μας.
- Μπορούμε να αποθηκεύουμε το σενάριο της κονσόλας μας και να το φορτώσουμε σε έναν άλλο Η/Υ, που τρέχει το X – CTU.
- Περιλαμβάνει ένα σύνολο ενσωματωμένων εργαλείων που μπορούν να εκτελεστούν χωρίς κανένα στοιχείο RF συνδεδεμένο. Αυτά τα εργαλεία είναι, πλαίσια γεννήτριας, πλαίσια διερμηνέα, ανάκτηση, φόρτωση του σεναρίου της κονσόλας, σειρά από δοκιμές και το firmware explorer.
- Μια διαδικασία ενημέρωσης μας επιτρέπει να ενημερώνουμε αυτόματα την ίδια την εφαρμογή και τη βιβλιοθήκη ραδιοφώνου firmware χωρίς να χρειάζεται να κατεβάσουμε κανένα επιπλέον αρχείο.
- Το X – CTU περιέχει πλήρη και ολοκληρωμένη τεκμηρίωση στην οποία μπορούμε να έχουμε πρόσβαση ανά πάσα στιγμή.



Σχήμα 5.2 Καθορισμός παραμέτρων Zigbee Xbee Modulo

Είναι δωρεάν λογισμικό, το οποίο μπορούμε να το βρούμε στο: http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/xctu

5.5.3 Ο CCS C Compiler

Η CCS (Custom Computer Services) ανέπτυξε το πρώτο C Compiler για μικροελεγκτές Microchip πριν από 20 χρόνια και συνεχίζει να παρέχει λύσεις λογισμικού για την ανάπτυξη των ενσωματωμένων εφαρμογών που χρησιμοποιούν PIC MCU και συσκευές DSC PIC24 / dsPIC. Οι CCS Compilers είναι εύκολοι στη χρήση και γρήγοροι στην εκμάθηση. Περιλαμβάνουν βελτιστοποίηση επιπέδου, μεγάλο αριθμό βιβλιοθηκών με έτοιμες συναρτήσεις, ισχυρό PIC MCU με συγκεκριμένες εντολές προ – επεξεργαστή και έτοιμα προς λειτουργία παραδείγματα για γρήγορη έναρξη κάθε έργου. Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι ότι μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε για όλους τους μικροελεγκτές PIC, ο κώδικας τους είναι πολύ απλοποιημένος, αλλά ωστόσο δυνατός, πολλές διαδικασίες αρχικοποίησης γίνονται αυτόματα και έτσι δεν γεμίζει το πρόγραμμα με περιττές εντολές. Ελαχιστοποιούν τον χρόνο ανάπτυξης με περιφερειακούς οδηγούς και στάνταρ C κατασκευές. Ακόμη, έχουν C++ ρεύματα εισόδου / εξόδου με πλήρη στοιχεία μορφοποίησης σε οποιαδήποτε συσκευή ή για συμβολοσειρές, διαθέτει πολλές βιβλιοθήκες για διάφορες λειτουργίες όσο και για οδήγηση άλλων ολοκληρωμένων, καθώς και πολλά παραδείγματα που αποδεικνύονται πολύ χρήσιμα. Έχουν συναρτήσεις όπως #bit, #byte και #word, όπου επιτρέπουν μεταβλητές στη C να τοποθετούνται σε απόλυτες διευθύνσεις. Ο ολοκληρωτικός τύπος του ενός bit (Short Int) επιτρέπει στον compiler να δημιουργήσει πολύ αποδοτικό Bit - oriented κώδικα. Ακόμη, περιέχουν εκατοντάδες ενσωματωμένες λειτουργίες που απλοποιούν την πρόσβαση στο υλικό, ενώ ταυτόχρονα παράγουν αποτελεσματικό και άκρως βελτιστοποιημένο κώδικα. Επίσης, μπορούμε εύκολα να καθορίσουμε και να διαχειριστούμε τις διακοπές (interrupts). Και τέλος, περιλαμβάνεται ενσωματωμένη υποστήριξη για DSP, ενισχυμένη αναλογική/ψηφιακή μετατροπή, 16 - bit και 32 - bit timers, ανεξάρτητες I2C και SPI, UART επικοινωνία, σύγκριση εισόδου / εξόδου και μηχανή ελέγχου για ενότητες PWM.

Εμείς τον ενσωματώσαμε μέσα στο MPLAB, για την μεταφορά του προγράμματος στον PIC, μέσω του προγραμματιστή PICkit 3. Πληροφορίες για τον Compiler μπορούμε να βρούμε στο www.ccsinfo.com/ .

5.6 Αναλυτική λειτουργία του κώδικα

Ο κώδικας του PIC είναι γραμμένος σε γλώσσα C, χρησιμοποιώντας τον CCS C Compiler όπου τον έχουμε ενσωματώσει μέσα στο περιβάλλον του MPLAB. Στο πρώτο τμήμα γίνεται η αρχικοποίηση των θυρών του μικροελεγκτή, δηλαδή ποιες από αυτές θα είναι θύρες εισόδου και ποιες εξόδου. Το βασικό όμως κομμάτι του κώδικα και για τους τρεις αισθητήρες, βρίσκεται μέσα στη συνθήκη while. Στο κομμάτι αυτό, ο μικροελεγκτής λαμβάνει τις εισόδους από τους αισθητήρες και τις στέλνει μέσω του Zigbee στον υπολογιστή.

Αναλυτικότερα, στην αρχή του κώδικα έχουμε τις δηλώσεις, του μικροελεγκτή, #include <16F877A.h> , των fuses, #fuses NOPUT,NOWDT,PUT,HS,NOPROTECT, NODEBUG,NOBROWNOUT, NOLVP, NOCPD, του μετατροπέα αναλογικού/ψηφιακού σήματος στα 8 bits, #device ADC=8 και την δήλωση κρυστάλλου στα 20MHz, #use delay(clock=20000000).

Στη συνέχεια έχουμε τις αρχικοποιήσεις για την σειριακή επικοινωνία, #use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8, stream=UART) και για το πρωτόκολλο I2C, #use i2c(Master, sda=PIN_C4, scl=PIN_C3).

Μέσα στην κύρια συνάρτηση main, έχουμε δηλώσει τις μεταβλητές μας ως ακέραιους αριθμούς, int8 msb; , unsigned int8 gas;, int8 ch1=0x20,ch2=0x40; Όπου στη μεταβλητή ch1 δίνουμε την τιμή 32 και στην μεταβλητή ch2 δίνουμε την τιμή 64.

Ακολουθεί, ο καθορισμός των pins που είναι συνδεδεμένος ο PIR sensor, #define PIR_SENSOR PIN_D2 και το led που έχουμε ορίσει για αυτόν, #define LED1 PIN_D1.

Στη συνέχεια, κάνουμε την μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα με τις ακόλουθες συναρτήσεις: setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); ,ενσωματωμένη λειτουργία ρύθμισης A/D, setup_adc_ports(AN0); , set_adc_channel(0);

Έπειτα, ορίζουμε ποιες θύρες θα είναι σαν είσοδοι και ποιες σαν έξοδοι, set_tris_b(0); , η θύρα B, θα είναι όλη έξοδος και θα εμφανίζονται τα δεδομένα output_b(0); , η θύρα A θα είναι όλη σαν είσοδος, set_tris_a(0xff); , από την θύρα D, μόνο τα pins D0 και D1 είναι έξοδοι, set_tris_d(0xfc); , η θύρα C είναι όλη έξοδος, set_tris_c(0x00); .

Μέσα στην συνθήκη while, στέλνουμε πρώτα την τη τιμή που έχει η μεταβλητή ch1, putc(ch1); , αμέσως μετά στέλνουμε τη τιμή που έχει η μεταβλητή ch2, putc(ch2); και ακολουθεί μία καθυστέρηση 100 ms, delay_ms(100);.

Έπειτα δίνει το byte εισόδου (για την μετατροπή αναλογικού/ψηφιακού), με την συνάρτηση, gas = read_adc(); και το βγάζει στην portb , output_b(gas); .

Μετά στέλνει τις τιμές που λαμβάνει από τον αισθητήρα καπνού, putc(gas); . Αν η τιμή ξεπεράσει το 64, if (gas > 64) , τότε ανάβει το led, output_high(PIN_C2); , αλλιώς, else, το led παραμένει σβηστό, output_low(PIN_C2); . Για τον αισθητήρα κίνησης, όταν ανιχνεύσει κάποια κίνηση, if(input(PIR_SENSOR)), ανάβει το led, output_high(LED1); , έχουμε μία καθυστέρηση 10 ms, delay_ms(10); και θα στείλει

την τιμή 1, putc(0x1); , σε κάθε άλλη περίπτωση, else, το led παραμένει σβηστό output_low(LED1);, έχουμε μία καθυστέρηση 10 ms, delay_ms(10); και στέλνει την τιμή 0, putc(0x0); .

Στην πορεία ακολουθεί ο κώδικας για τον αισθητήρα θερμοκρασίας, όπου έχουμε την έναρξη της I2C επικοινωνίας, i2c_start(); . Μετά γράφει στη θέση μνήμης 90 (10010000) του αισθητήρα, i2c_write(0x90); , γράφει στον pointer register, i2c_write(0x00); . Έχουμε ξανά έναρξη, i2c_start(); , διαβάζει από την θέση μνήμης 91 (10010001) του αισθητήρα, i2c_write(0x91); και παίρνει το περισσότερο σημαντικό ψηφίο MSB, msb = i2c_read(); , όπου μας δίνει τις τιμές της θερμοκρασίας.

Ακολουθεί λήξη της I2C επικοινωνίας, i2c_stop(); και στέλνει την τιμή που λαμβάνει, putc(msb); . Αν η τιμή της θερμοκρασίας έχει ξεπεράσει τους 30°C, if(msb > 0x1E) , τότε ανάβει το led, output_high(PIN_D0); ,αλλιώς, else ,το led παραμένει σβηστό, output_low(PIN_D0); .

Στο τέλος, έχουμε και μία καθυστέρηση 500 ms, delay_ms(500); .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Συμπεράσματα

Έχοντας αναπτύξει το σύστημα μας γύρω από τον μικροελεγκτή PIC16F877 της εταιρίας Microchip, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι αποτελεί ένα σύστημα αρκετά εύχρηστο, κατανοητό, απλό και με πολλές δυνατότητες.

Το σύστημα μας είναι ικανό να δέχεται τα δεδομένα, τις τιμές, από τα αισθητήρια που χρησιμοποιήσαμε (αισθητήρας καπνού, κίνησης και θερμοκρασίας) και μέσω του ενσωματωμένου στον μικροελεγκτή A/D μετατροπέα, μετατρέπει τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακά. Ο ενιαίος 10bit A/D μετατροπέας, μπορεί να έχει μέχρι 8 εισόδους για μία συσκευή, η θύρα A είναι αποκλειστικά για αυτή τη λειτουργία. Ο ADC μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε κατάσταση sleep, αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τη λειτουργία ρολογιού RC. Ένα πλεονέκτημα αυτού είναι ότι δεν θα υπάρξει κάποιος θόρυβος στη ψηφιακή μεταγωγή, έτσι θα έχουμε μετατροπή με καλύτερη ακρίβεια. Στη συνέχεια, το σύστημα στέλνει τα δεδομένα ασύρματα στον Η/Υ, όπου εκεί απεικονίζονται οι τιμές των αισθητηρίων στις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις.

Ο μικροελεγκτής PIC16F877 αναδεικνύεται μια αποτελεσματική μονάδα για τον έλεγχο και την επεξεργασία σε φθηνές βιομηχανικές εφαρμογές. Μεγάλο μέρος της ευελιξίας του, βρίσκεται στα περιφερειακά που διαθέτει, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς, καθώς και στο μεγάλο πλήθος ακροδεκτών για είσοδο και έξοδο δεδομένων. Επίσης, η 8kb flash μνήμη που διαθέτει, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαγράψει και να ξαναγράψει τα προγράμματα για τον μικροελεγκτή. Ακόμη η UART που ενσωματώνεται στον μικροελεγκτή τον καθιστά ιδιαίτερα δυνατό σε εφαρμογές επικοινωνίας ανάμεσα σε συσκευές. Και τέλος, είναι εύκολο να προγραμματιστεί με μία ενσωματωμένη γλώσσα C ή σε γλώσσα Assembly.

Το γεγονός ότι το σύστημα μας για την μεταφορά των δεδομένων χρησιμοποιεί ασύρματο δίκτυο (Zigbee) και η επικοινωνία πραγματοποιήθηκε πολύ εύκολα με φορητό υπολογιστή, κάνει την μεταφερσιμότητα πιο εύκολη. Το πρότυπο Zigbee συμβάλλει στη μείωση του κόστους εγκατάστασης, με την απλοποίηση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και με τη μείωση του ρυθμού δεδομένων, έχει και μεγάλη διάρκεια ζωής. Αυτά το καθιστούν ως μια από τις καταλληλότερες επιλογές για ανάπτυξη εφαρμογών οικιακού και κτιριακού αυτοματισμού. Συνέθεσε ένα εντελώς λειτουργικό και αξιόπιστο δίκτυο αισθητήρων. Συνεπώς, η επιλογή του πρωτοκόλλου Zigbee 802.15.4 για εφαρμογές τέτοιου τύπου φαίνεται να είναι ιδανική.

Τέλος, πρέπει να τονιστεί πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε έναν χώρο, διότι σε ελάχιστο χρονικό διάστημα παρακολουθούνται

πάρα πολλά φυσικά μεγέθη, χώροι κτλ και μόλις παρατηρηθεί ανωμαλία σε κάποιο από αυτά, γίνεται ενημέρωση όλων των κόμβων μέσα σε ελάχιστα δευτερόλεπτα και τότε όλοι μαζί οι κόμβοι μπορούν να δράσουν ή/και να ειδοποιήσουν τον διαχειριστή του συστήματος για το ενδεχόμενο πρόβλημα.

6.2 Εφαρμογή

Η τρέχουσα εργασία μπορεί να βρει εφαρμογή σε πολλούς τομείς είτε της βιομηχανίας, είτε μέσα σε οικίες.
Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την ασφάλεια σε σπίτι ή σε επαγγελματικό χώρο. Με ένα σχετικά μικρό αριθμών κόμβων μέσα στον χώρο ή και στα δωμάτια, θα μπορεί να γίνεται αποτελεσματική η επόπτευση του, για φωτιά και για κίνηση, με μικρότερο κόστος σε σχέση με την ύπαρξη ενός φύλακα για την φύλαξη και επίβλεψη, ελέγχοντας και καταγράφοντας φυσικά μεγέθη, όπως την θερμοκρασία.
Την στιγμή που ένας κόμβος μεταβεί σε κατάσταση συναγερμού, τότε όλοι οι κόμβοι θα κινηθούν με σκοπό την περαιτέρω ενημέρωση του διαχειριστή του συστήματος.

6.2.1 Προτάσεις για εφαρμογές

Παρόλο που το σύστημα υλοποιήθηκε ως εφαρμογή οικιακού αυτοματισμού, θα ήταν εφικτή η εφαρμογή του σε οποιεσδήποτε κτιριακές και επαγγελματικές εγκαταστάσεις. Βασικοί τομείς εφαρμογής θα μπορούσαν να είναι ο βιομηχανικός έλεγχος και ο τομέας της υγείας, όπως για παράδειγμα η τηλεϊατρική. Μπορεί να υλοποιηθεί για συστήματα ασφαλείας και ακόμη ένα πιθανό πεδίο εφαρμογής θα μπορούσε να είναι ένα θερμοκήπιο ή οποιαδήποτε άλλη γεωργική ή κτηνοτροφική εγκατάσταση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ι. Καλόμοιρου, Σέρρες (2005), *Συστήματα Συλλογής Πληροφοριών και Μετρήσεων*, Σημειώσεις ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας.

2. Ι. Καλόμοιρου (2002), *Έλεγχος Κυκλωμάτων και Μετρήσεων με Η/Υ*, εκδόσεις Τζιόλα.

3. Myke Predko (1999), *Προγραμματίζοντας τον μικροελεγκτή PIC*, Εκδόσεις Τζιόλα.

4. Robert Faludi (December 2010: First Edition), *Building Wireless Sensor Networks*, Published by O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472.

5. M.Shanmugasundaram, India (2 Apr-May 2013), *Implementation of PIC16F877A Based Intelligent Home System*, Tamilnadu.

6. Lu Mai and Min Zaw Oo, Mandalay (1 April 2014), *Design and Construction of Microcontroller Based Wireless Remote Controlled Industrial Electrical Appliances Using ZigBee Technology*.

7. Meng-Shiuan Pan and Yu-Chee Tseng, Taiwan, *ZigBee Wireless Sensor Networks and Their Applications*, National Chiao Tung University.

8. Shahin Farahani, USA (2008), *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*.

9. Fred Eady, USA (2007), *Hands-on ZigBee: Implementing 802.15.4 with Microcontrollers*.

10. Milan Verle, 1st edition (2008), *PIC Microcontrollers*, Published by mikroElektronika.

11. Martin Bates, USA (2011), *PIC Microcontrollers An Introduction to Microelectronics*, 3rd Edition.

12. ZigBee (2014), http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=zigbee:zigbee,

13. RF Modules, **http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded solutions/zigbee-rf-modules/xctu**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Α) Παραρτήματα προγραμμάτων σε γλώσσα C

Α1) Κώδικας σειριακής επικοινωνίας

```
#include <16F877.h>
#fuses XT, NOPUT, NOWDT, PUT, HS, NOPROTECT, NODEBUG,
NOBROWNOUT, NOLVP, NOCPD
#device ADC=8
#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

void main()
{

  set_tris_b(0);
  output_high(pin_b5);
  output_high(pin_b3);
  output_high(pin_b1);
  output_low(pin_b0);
  output_low(pin_b2);
  output_low(pin_b4);

   char ch;



   while (true)
  {
   /* read a character */
    ch=getc();

  /* echo back the received character */
    putc(ch);
   }
 }
```

A2) Ο κώδικας της εφαρμογής

```
#include <16F877.h>
#fuses NOPUT, NOWDT, PUT, HS, NOPROTECT, NODEBUG, NOBROWNOUT,
NOLVP, NOCPD
#device ADC=8
#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8,
stream=UART)
#use i2c(Master, sda=PIN_C4, scl=PIN_C3)


#define PIR_SENSOR PIN_D2
#define LED1   PIN_D1


void main()
{
   int8 msb;

  int8 ch1=0x20,ch2=0x40;    //ch1=32, ch2=64

  unsigned int8 gas;                          // Input variable

  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);   // Built-in A/D setup function
  setup_adc_ports(AN0);
  set_adc_channel(0);                     // Built-in A/D setup function

  setup_psp(PSP_DISABLED);        // alternte function on same pins is disabling
  setup_spi(FALSE);//spi disabled
  setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);    // Timer0 clock setup and
                                                          // timer 0 enabled
  setup_timer_1(T1_DISABLED);           //timer 1 disabled
  setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);     //timer2 diabled

  set_tris_b(0);
  output_b(0);         //portB pins are output
```

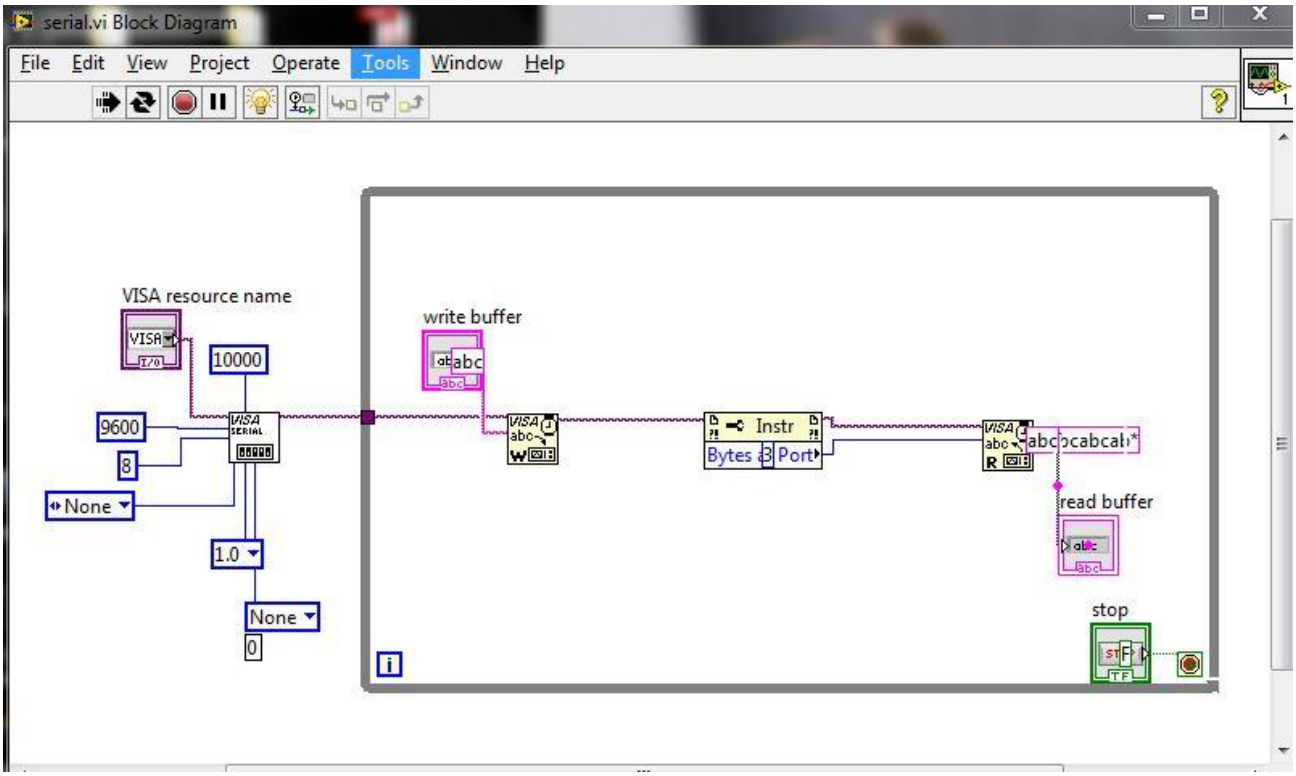
```
set_tris_a(0xff);       //here portA pins are assigning as a input
set_tris_d(0xfc);      //portD pins D0,D1 are output
set_tris_c(0x00);     //portC pins are output


 while (true)
{
   putc(ch1);       //Send via Zigbee ch1
   putc(ch2);      //Send to Zigbee ch2

  delay_ms(100);

   gas = read_adc();       //Get input byte
   output_b(gas);

   putc(gas);                    //Send to Zigbee

   if (gas > 64)
  {
        output_high(PIN_C2);   // led on or High
  }
  else
        {
         output_low(PIN_C2);   // led is off or low
  }


   If (input(PIR_SENSOR))
   {
       output_high(LED1);      // led on or High
        delay_ms(10);
         putc(0x1);            //Send to Zigbee value 01
   }
  else
  {
    output_low(LED1);    // led is off or low
    delay_ms(10);
    putc(0x0);              //Send to Zigbee value 00
```

```
    }

    i2c_start();              //start i2c communication
    i2c_write(0x90);       //Write to temperature sensor
    i2c_write(0x00);     //Write to the pointer register
    i2c_start();
    i2c_write(0x91);

    msb = i2c_read();   //Read the MSB data

    i2c_stop();

    putc(msb);          //Send to Zigbee
     if (msb > 0x1E)        //temperature > 30 Celsius
   {
     output_high(PIN_D0);
   }
    else
    {
      output_low(PIN_D0);
     }

     delay_ms(500);

   }
}
```

Β) Παραρτήματα απεικόνισης δεδομένων στο labVIEW

Β1) Εφαρμογή σειριακής επικοινωνίας

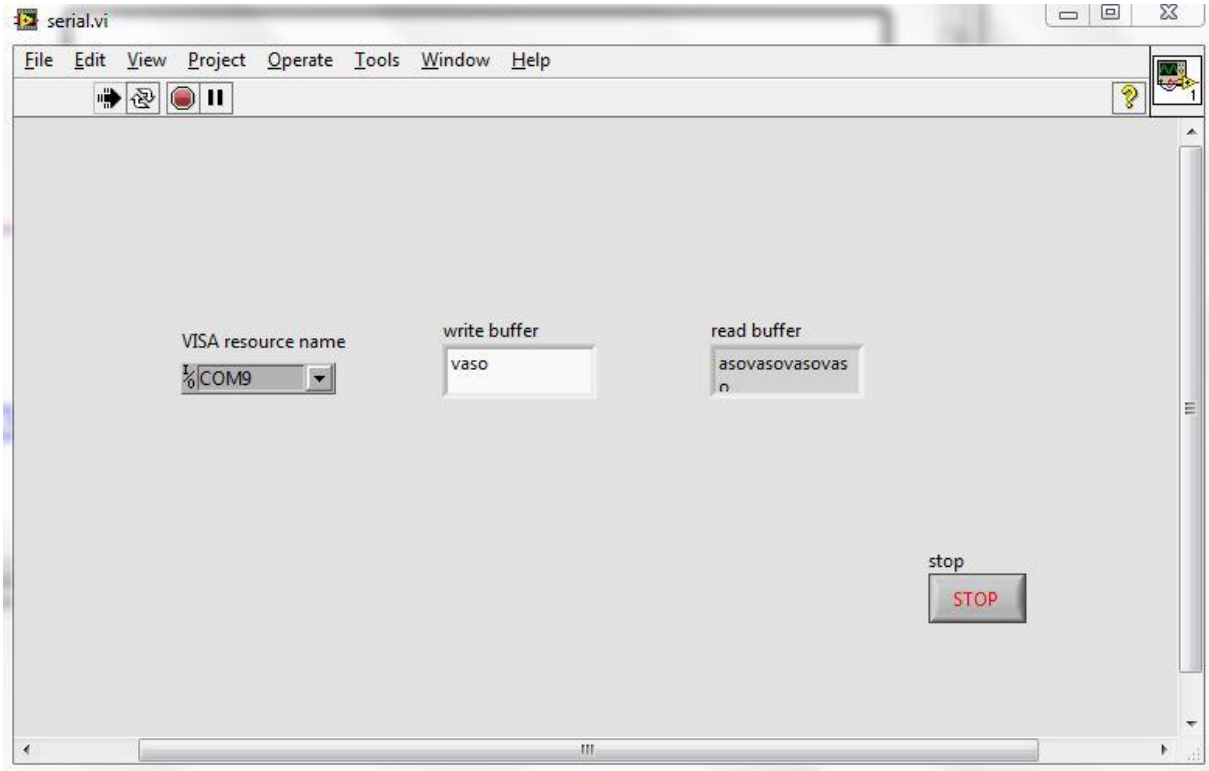
<u>Το Block Diagram:</u>



<u>Εικόνα 1.1</u> Κυρίως πρόγραμμα εφαρμογής

Οι βασικές λειτουργίες στον κώδικα μας, είναι η αρχικοποίηση της θύρας για σειριακή επικοινωνία (VISA Serial), με την οποία ρυθμίζουμε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά της, το όνομα της θύρας (COM9), το ρυθμό μετάδοσης (baud rate=9600), τα bits κάθε χαρακτήρα (data bits (8)), τα stop bits (1.0), το bit ισοτιμίας (error in (none)), timeout (10 sec) και flow control (none). Στη συνέχεια δημιουργούμε έναν βρόγχο while, όπου μέσα σε αυτόν έχουμε εγγραφή χαρακτήρα στη σειριακή θύρα προς αποστολή (Visa Write) και ανάγνωση χαρακτήρα (Visa Read).
Οι συναρτήσεις αυτές βρίσκονται στην παλέτα συναρτήσεων (Functions Palette), κάτω από το γενικό όνομα Instrument I/O-Serial.

Το Front Panel:



Εικόνα 1.2 Μπροστινό μέρος εφαρμογής

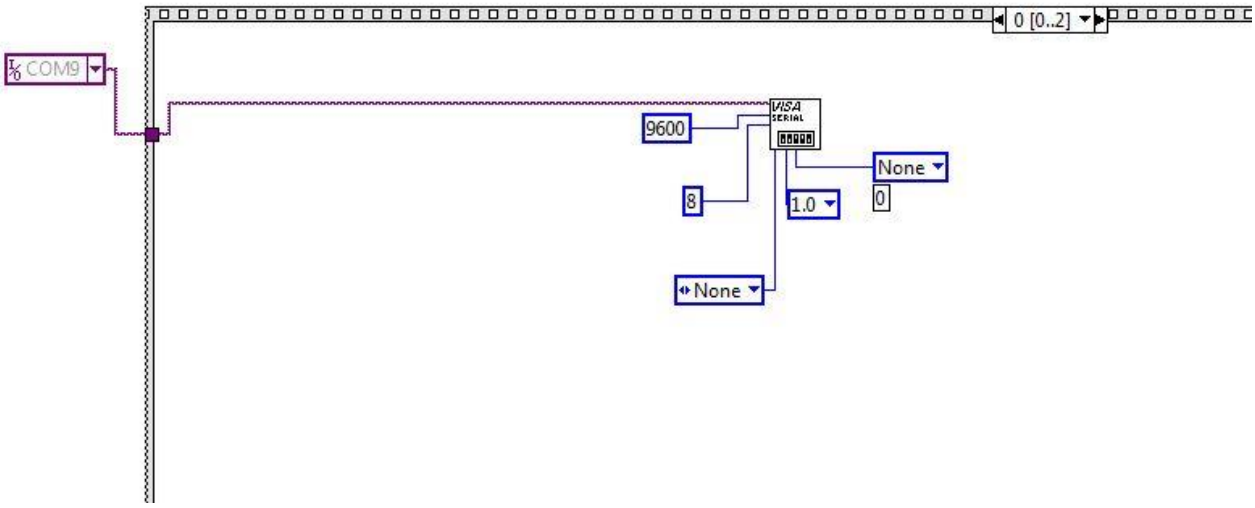
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, όπως μπορούμε να δούμε έχουμε στείλει την λέξη vaso και αφού την έχει λάβει και την έχει διαβάσει μας τη στέλνει πίσω. Βέβαια, βλέπουμε πως την λέξη την λαμβάνουμε συνέχεια, δηλαδή ο βρόγχος τρέχει ατέρμονα και αυτό οφείλεται φυσικά στη συνθήκη while που έχουμε βάλει.

Β2) Η κύρια εφαρμογή του κυκλώματος

Η εφαρμογή αποτελείται από μία κεντρική δομή ακολουθίας με τρία πλαίσια, όπου μέσα σε αυτή περιέχεται άλλη μία δομή ακολουθίας με τέσσερα πλαίσια, τα οποία καλούνται διαδοχικά το ένα μετά το άλλο και κάθε ένα εκτελεί διαφορετικές λειτουργίες.

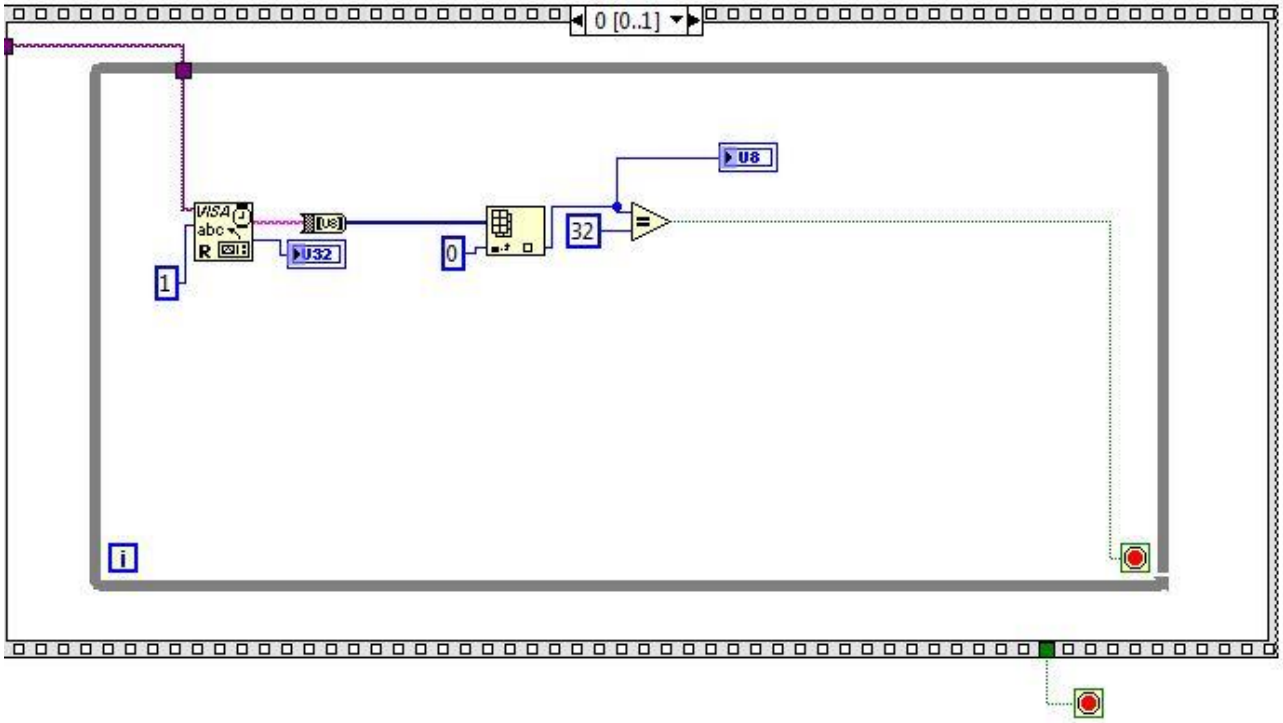
Το Block Diagram:

Η εφαρμογή είναι δομημένη όπως είπαμε με τη βοήθεια δομών ακολουθίας (sequence). Στο πρώτο πλαίσιο της κύριας ακολουθίας γίνεται η αρχικοποίηση της σειριακής θύρας (VISA Serial), όπου έχουμε ρυθμίσει ακόλουθα χαρακτηριστικά της, το ρυθμό μετάδοσης (baud rate=9600), τα bits κάθε χαρακτήρα (data bits (8)), τα stop bits (1.0), τα bits ισοτιμίας (error in (none)) και το flow control (none).
Η συνάρτηση αυτή βρίσκεται στην παλέτα συναρτήσεων (Functions Palette), κάτω από το γενικό όνομα Instrument I/O-VISA/Advanced/Bus Specific/Serial/Configure Port.



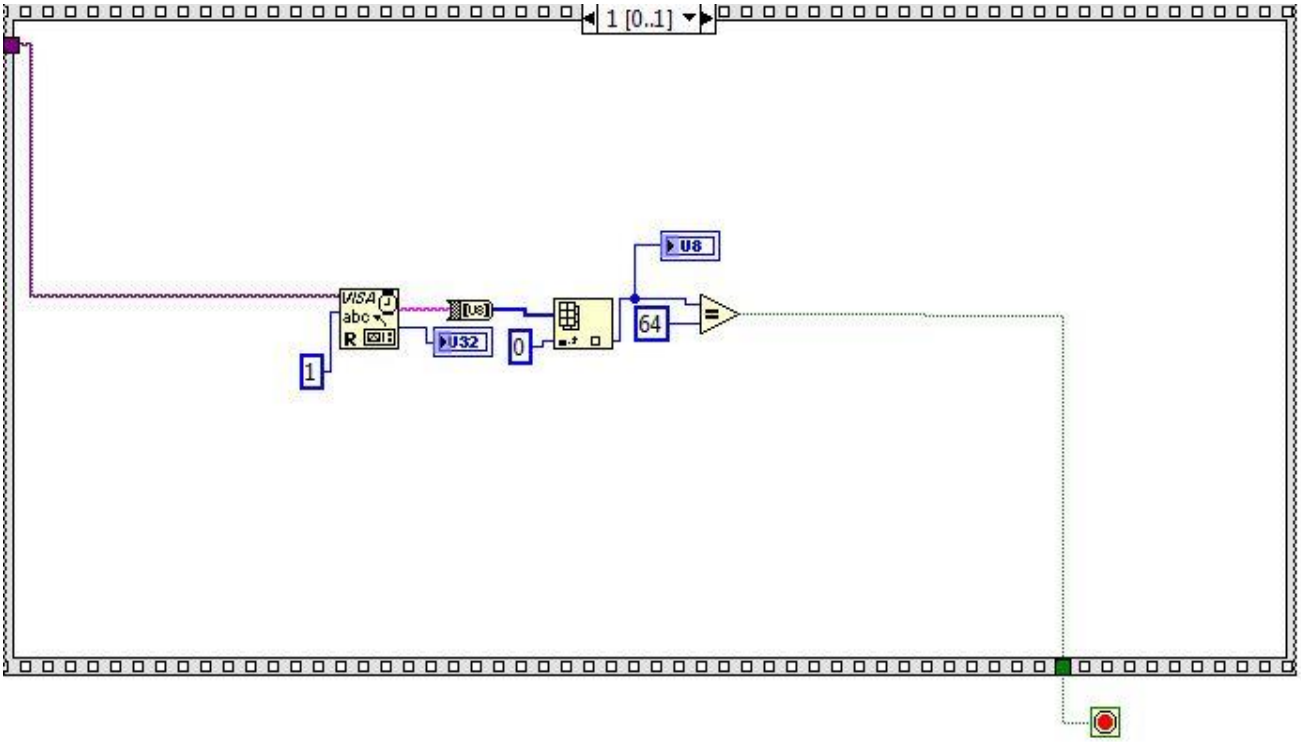
Εικόνα 2.1 Αρχικοποίηση σειριακής θύρας

Ένα θέμα που έπρεπε να αντιμετωπίσουμε είναι η σειρά με την οποία θέλαμε να εμφανίζονται τα δεδομένα κάθε φορά που στέλνονται από το σύστημα στην εφαρμογή. Εμείς θέλουμε πάντα τα δεδομένα να στέλνονται με την ίδια σειρά, για το λόγο αυτό δημιουργήσαμε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ του συστήματος και της εφαρμογής. Το πρωτόκολλο λειτουργεί ως εξής: έχουμε ορίσει δύο αριθμούς, το 32 και το 64 και έχουμε προγραμματίσει τον μικροελεγκτή να τους στέλνει στην εφαρμογή, πριν στείλει τις τιμές που λαμβάνει από τους αισθητήρες. Η εφαρμογή ελέγχει αν όντως έχουν σταλθεί αυτοί οι δύο αριθμοί και αφού τους λάβει ξεκινάει η αποστολή δεδομένων με την σειρά που έχουμε προγραμματίσει και έπειτα γίνεται η απεικόνιση τους.
Στο δεύτερο πλαίσιο της κύριας δομής έχουμε την δεύτερη δομή που περιέχει δύο πλαίσια, όπως προείπαμε. Παρακάτω τα αναλύουμε ένα – ένα.



Εικόνα 2.2 Έλεγχος για τον αριθμό 32

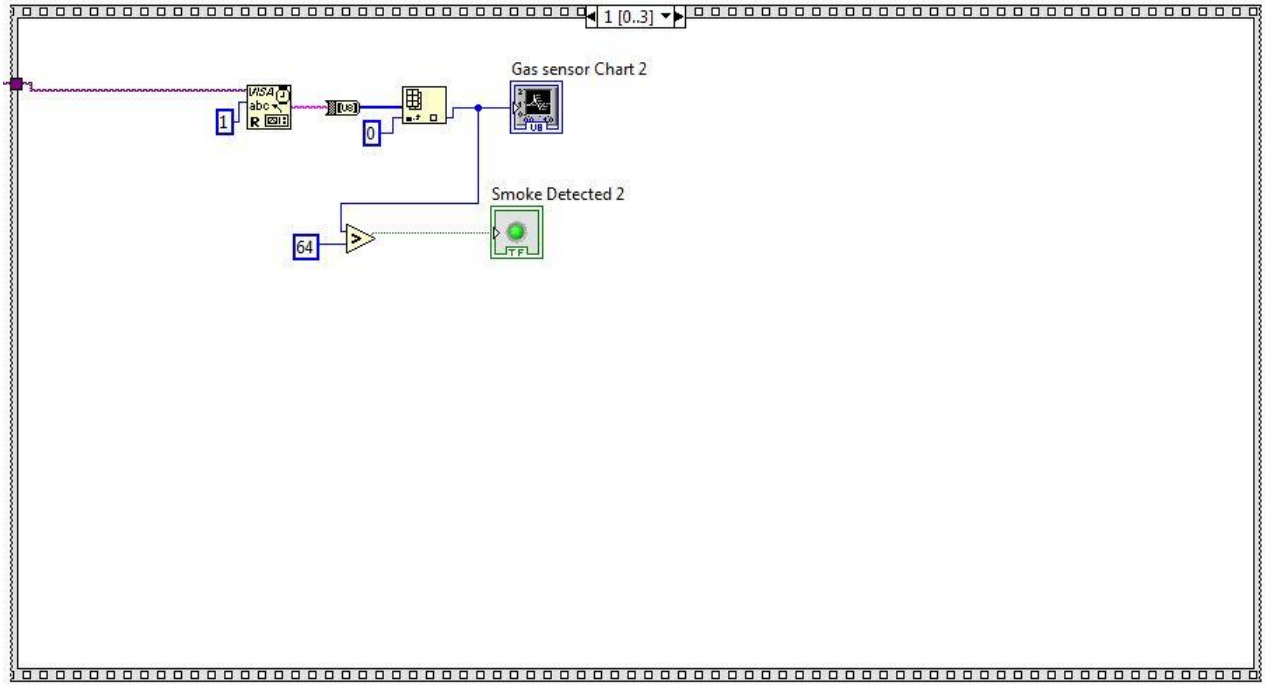
Περιγραφή κώδικα: Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνεται στην δομή που βρίσκεται στο δεύτερο πλαίσιο της κύριας δομής. Έχουμε βάλει μέσα σε μία συνθήκη while να διαβάζει ένα byte (Visa Read), να το μετατρέπει σε ASCII χαρακτήρα, να το αποθηκεύει σε έναν μονοδιάστατο πίνακα, μετά να συγκρίνει άμα η τιμή αυτή ισούται με το 32 και τερματίζει.
Οι συναρτήσεις αυτές βρίσκονται στην παλέτα συναρτήσεων (Functions Palette), κάτω από το γενικό όνομα Instrument I/O-Serial, Programming-Array, Programming-Comparing.



Εικόνα 2.3 Έλεγχος για τον αριθμό 64

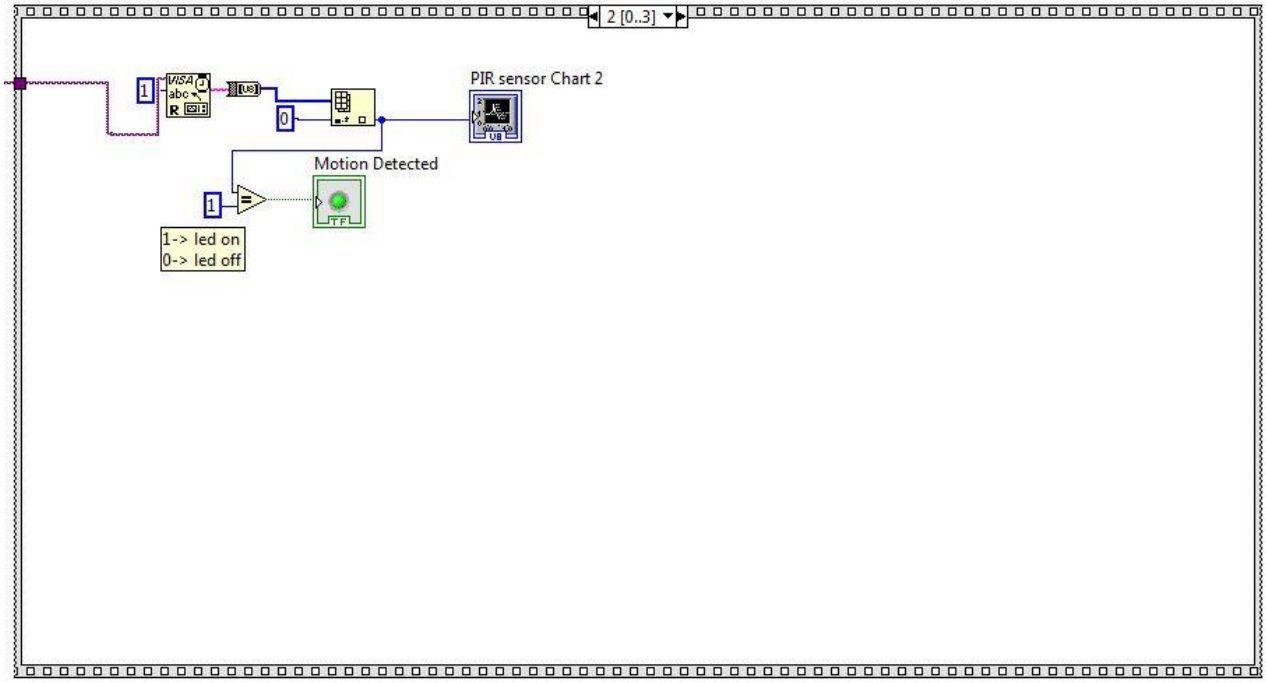
Περιγραφή κώδικα: Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνεται στο δεύτερο πλαίσιο στην δομή που βρίσκεται στο δεύτερο πλαίσιο της κύριας δομής. Έχουμε βάλει μέσα σε μία συνθήκη while να διαβάζει ένα byte (Visa Read), να το μετατρέπει σε ASCII χαρακτήρα, να το αποθηκεύει σε έναν μονοδιάστατο πίνακα, μετά να συγκρίνει άμα η τιμή αυτή ισούται με το 64 και τερματίζει.
Οι συναρτήσεις αυτές βρίσκονται στην παλέτα συναρτήσεων (Functions Palette), κάτω από το γενικό όνομα Instrument I/O-Serial, Programming-Array, Programming-Comparing.

Εφόσον έχουν δοθεί και οι δύο αυτοί αριθμοί, ο μικροελεγκτής στέλνει τα δεδομένα που έλαβε από τους αισθητήρες. Έτσι, ακολουθούν τα πλαίσια που περιέχουν τον κώδικα για τον κάθε αισθητήρα ξεχωριστά.



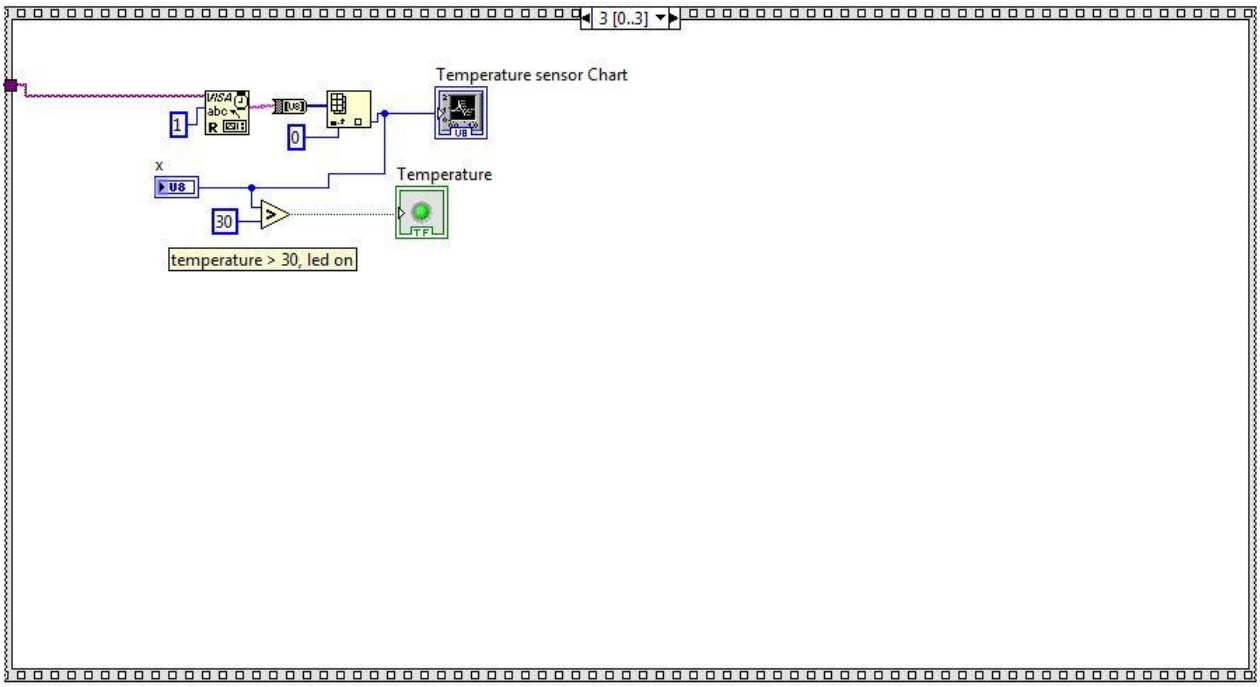
<u>Εικόνα 2.4</u> Ο κώδικας για τον αισθητήρα καπνού

Περιγραφή κώδικα: : Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνεται στο δεύτερο πλαίσιο που βρίσκεται στη δεύτερη δομή. Διαβάζει κάθε φορά ένα byte (Visa Read), το μετατρέπει σε ASCII χαρακτήρα, το αποθηκεύει σε έναν μονοδιάστατο πίνακα και το εμφανίζει στο διάγραμμα. Παράλληλα, συγκρίνει άμα η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από το 64, την τιμή δηλαδή που έχουμε ορίσει εμείς ως τιμή κατωφλίου, άμα την έχει ξεπεράσει ανάβει το led, ειδάλλως παραμένει σβηστό.
Οι συναρτήσεις αυτές βρίσκονται στην παλέτα συναρτήσεων (Functions Palette), κάτω από το γενικό όνομα Instrument I/O-Serial, Programming-Array, Programming-Comparing.



Εικόνα 2.5 Ο κώδικας για τον αισθητήρα κίνησης

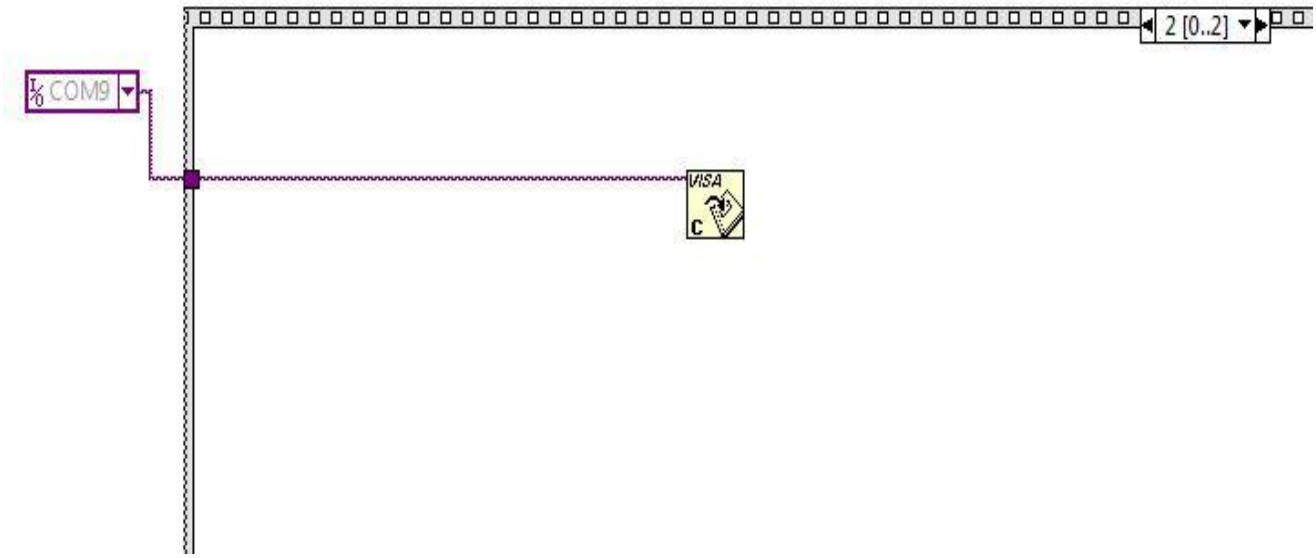
Περιγραφή κώδικα: Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνεται στο τρίτο πλαίσιο που βρίσκεται στη δεύτερη δομή. Διαβάζει κάθε φορά ένα byte (Visa Read), το μετατρέπει σε ASCII χαρακτήρα, το αποθηκεύει σε έναν μονοδιάστατο πίνακα και το εμφανίζει στο διάγραμμα. Παράλληλα, ελέγχει άμα η τιμή αυτή είναι το 0 ή το 1. Όταν λάβει την τιμή 1 ανάβει το led, ενώ όταν λάβει την τιμή 0 το led σβήνει.
Οι συναρτήσεις αυτές βρίσκονται στην παλέτα συναρτήσεων (Functions Palette), κάτω από το γενικό όνομα Instrument I/O-Serial, Programming-Array, Programming-Comparing.



Εικόνα 2.6 Ο κώδικας για τον αισθητήρα θερμοκρασίας

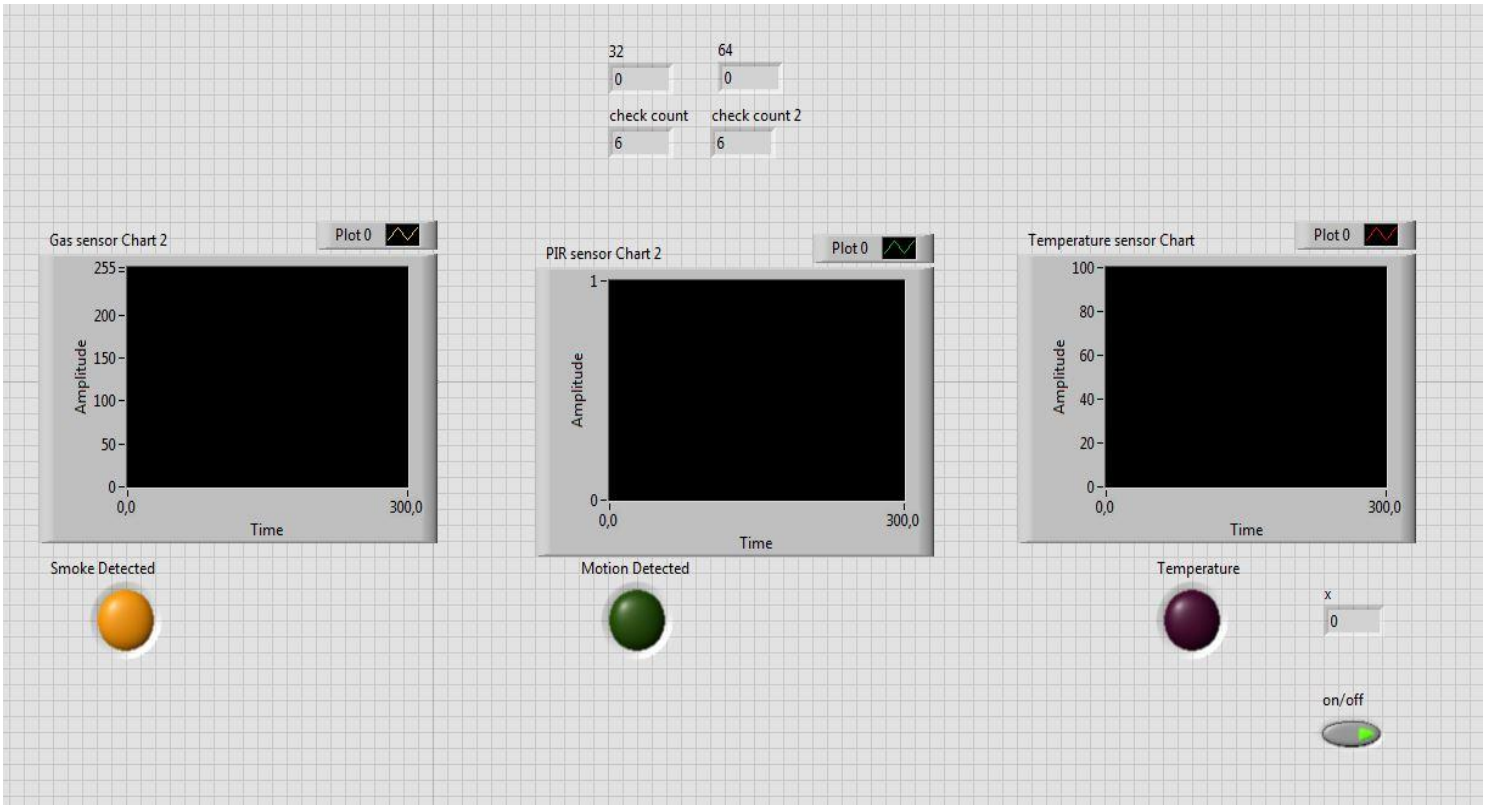
Περιγραφή κώδικα: Ο κώδικας αυτός περιλαμβάνεται στο τέταρτο πλαίσιο που βρίσκεται στη δεύτερη δομή. Διαβάζει κάθε φορά ένα byte (Visa Read), το μετατρέπει σε ASCII χαρακτήρα, το αποθηκεύει σε έναν μονοδιάστατο πίνακα και το εμφανίζει στο διάγραμμα. Παράλληλα, συγκρίνει άμα η τιμή της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη από το 30, την τιμή δηλαδή που έχουμε ορίσει εμείς ως τιμή κατωφλίου και άμα την έχει ξεπεράσει ανάβει το led, αλλιώς παραμένει σβηστό.
Οι συναρτήσεις αυτές βρίσκονται στην παλέτα συναρτήσεων (Functions Palette), κάτω από το γενικό όνομα Instrument I/O-Serial, Programming-Array, Programming-Comparing.

Τέλος, έχουμε το τρίτο πλαίσιο της κύριας δομής, που περιλαμβάνει το κλείσιμο της σειριακής επικοινωνίας, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.
Η συνάρτηση αυτή βρίσκεται στην παλέτα συναρτήσεων (Functions Palette), κάτω από το γενικό όνομα Instrument I/O-Serial.



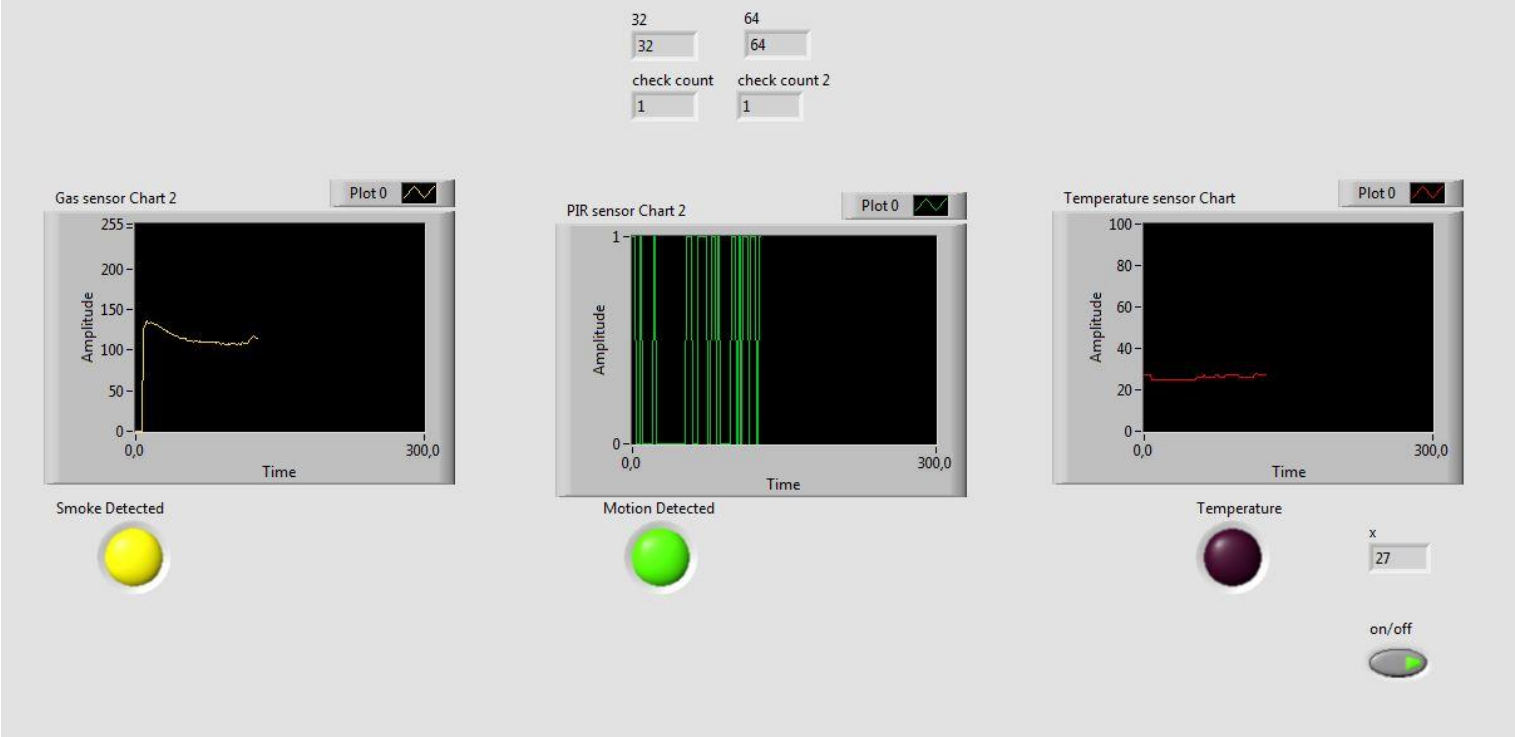
Εικόνα 2.7 Κλείσιμο σειριακής επικοινωνίας

Το Front Panel:



Εικόνα 2.8 Μπροστινό μέρος εφαρμογής

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε το μπροστινό μέρος της εφαρμογής, το οποίο αποτελείται από τρία διαγράμματα (Chart), ένα διάγραμμα για την απεικόνιση των τιμών που λαμβάνουμε από τον αισθητήρα καπνού, ένα για τις τιμές που λαμβάνουμε για τον αισθητήρα κίνησης και ένα για τις τιμές που λαμβάνουμε από τον αισθητήρα θερμοκρασίας. Υπάρχουν επίσης, τρία leds τα οποία ανάβουν μόλις ξεπεραστεί η τιμή κατωφλίου που έχουμε ορίσει για το καθένα. Ακόμη, έχουμε βάλει δύο πλαίσια για μας εμφανίζει κάθε φορά τους αριθμούς 32 και 64, οι οποίοι είναι για το πρωτόκολλο επικοινωνίας που έχουμε δημιουργήσει, με τον τρόπο αυτό ελέγχουμε αν όντως τους έχει λάβει. Έπειτα, έχουμε ένα πλαίσιο κάτω από το διάγραμμα τις θερμοκρασίας για να βλέπουμε την τρέχουσα τιμή της και ένα κουμπί (button) το οποίο το έχουμε βάλει για την ενεργοποίηση εκκίνησης της εφαρμογής.



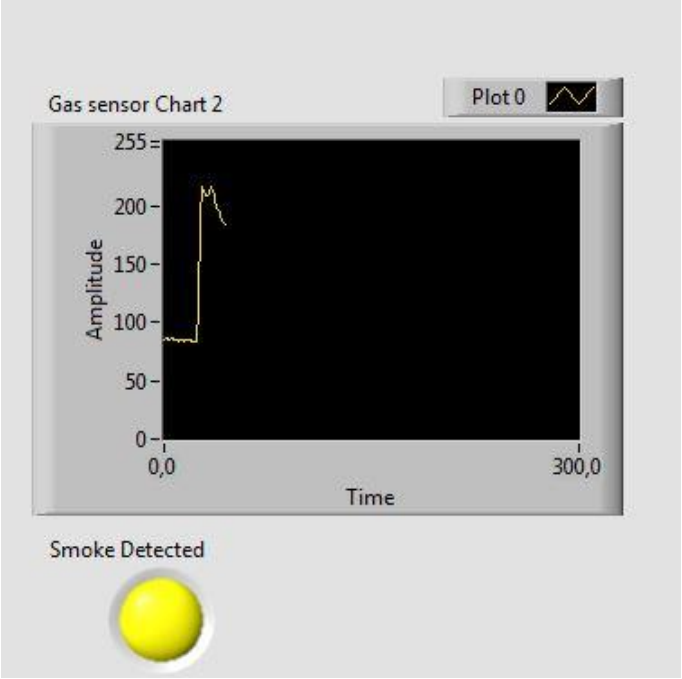
<u>Εικόνα 2.9</u> Το μπροστινό μέρος της εφαρμογής ενεργό

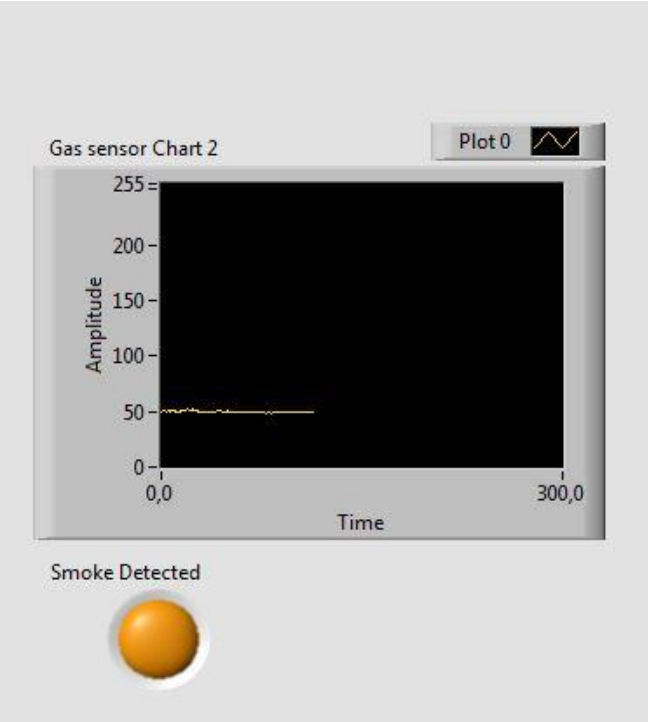
Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ξανά το μπροστινό μέρος της εφαρμογής, αυτή τη φορά σε λειτουργία. Η εφαρμογή αφού έλαβε τις τιμές 32 και 64, τις οποίες προβάλει, αρχίζει να δέχεται τις τιμές από τους αισθητήρες και να τις απεικονίζει

στα διαγράμματα. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από τα διαγράμματα, για τον αισθητήρα καπνού η τιμή την συγκεκριμένη στιγμή έχει ξεπεράσει το 64 και γι αυτό τον λόγο το led είναι αναμμένο, η τιμή του αισθητήρα κίνησης είναι 1, οπότε το led είναι και αυτό αναμμένο και η θερμοκρασία είναι στους 27°C, έτσι το led είναι σβηστό γιατί δεν έχει ξεπεράσει τους 30 ^{o}C που όπως προείπαμε είναι η τιμή κατωφλίου που έχουμε ορίσει.
Οι συναρτήσεις για τα διαγράμματα και τα leds βρίσκονται στην παλέτα Express-LEDs, Express-Graph Indicators.

Παρακάτω παρατίθενται ένα - ένα τα διαγράμματα, όταν λαμβάνουμε τις τιμές από τους αισθητήρες.

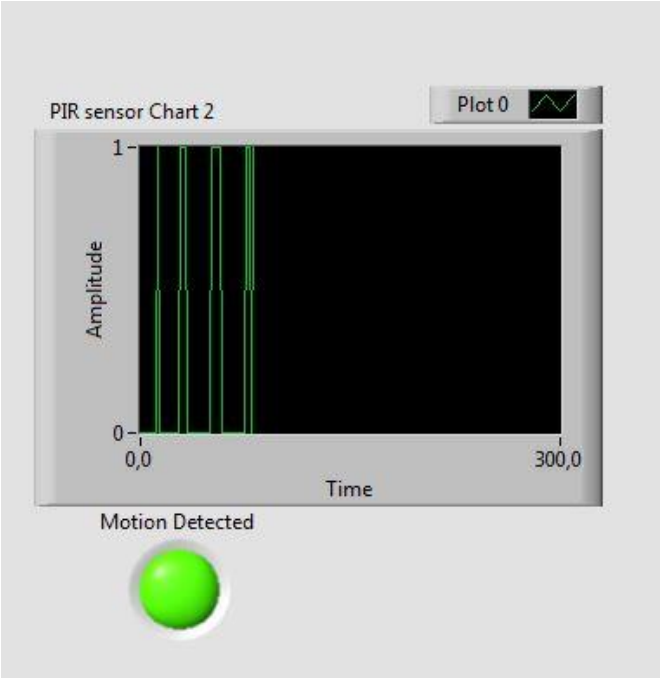
1. Διάγραμμα αισθητήρα καπνού

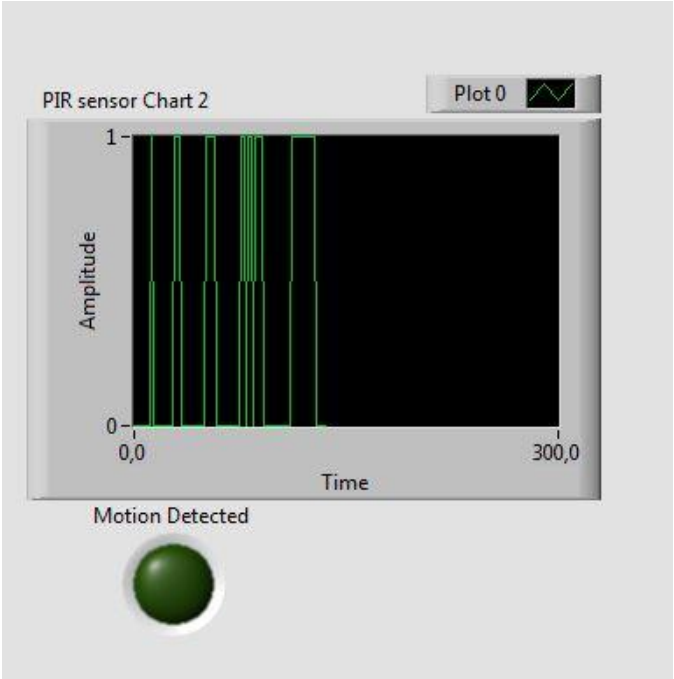




Στο διάγραμμα βλέπουμε τις τιμές που έχει κάθε χρονική στιγμή ο αισθητήρας καπνού. Στο διάγραμμα αριστερά όπως μπορούμε να διακρίνουμε, η τιμή είναι πάνω από 200, οπότε υπάρχει καπνός, ένδειξη φωτιάς και το led ανάβει. Στο διάγραμμα δεξιά η τιμή έχει πέσει κάτω από το 64, την τιμή που έχουμε ορίσει ως κατώφλι, άρα δεν υπάρχει καπνός και το led σβήνει.
Οι συναρτήσεις για τα διαγράμματα και τα leds βρίσκονται στην παλέτα Express-LEDs, Express-Graph Indicators.

2. Διάγραμμα αισθητήρα κίνησης

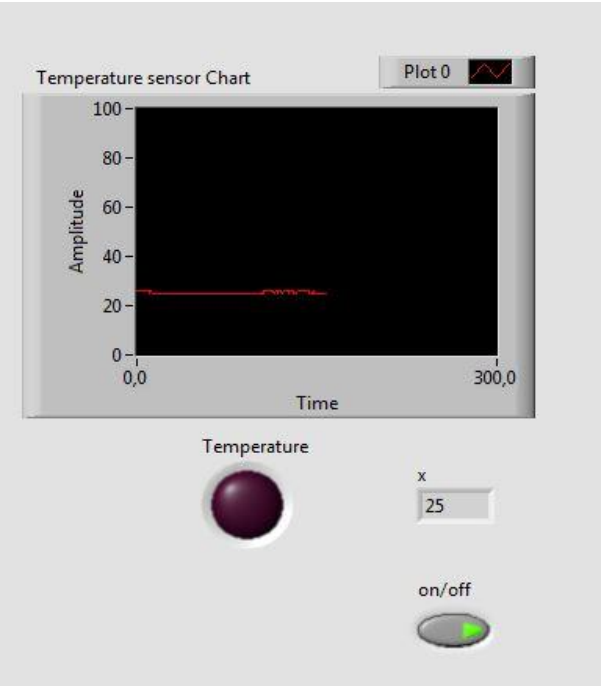


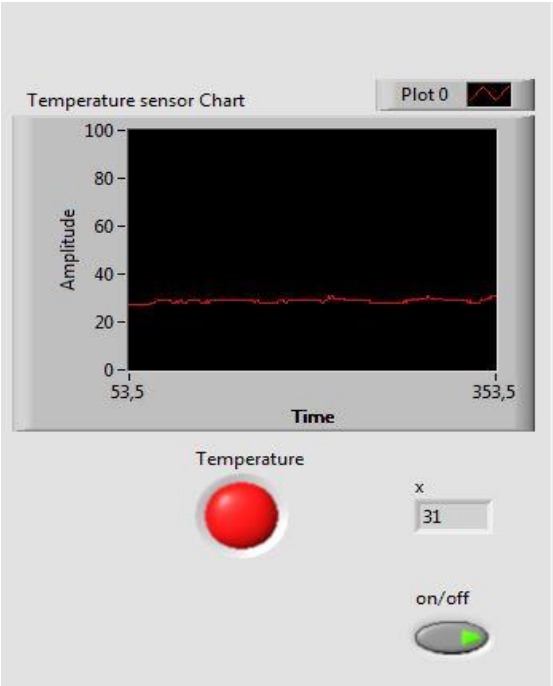


Στο διάγραμμα βλέπουμε την τιμή να εναλλάσσεται από το μηδέν στο ένα. Στο διάγραμμα αριστερά είναι την στιγμή που ανιχνεύθηκε κάποια κίνηση στον χώρο, οπότε μας στέλνει την τιμή 1 και ανάβει το led ως ένδειξη, ενώ στην εικόνα δεξιά μας στέλνει την τιμή 0, δηλαδή δεν υπάρχει κίνηση μέσα στον χώρο και το led σβήνει.

Οι συναρτήσεις για τα διαγράμματα και τα leds βρίσκονται στην παλέτα Express-LEDs, Express-Graph Indicators.

3. Διάγραμμα αισθητήρα θερμοκρασίας





Στο διάγραμμα αυτό μπορούμε να δούμε την τιμή και την μεταβολή της θερμοκρασίας που υπάρχει κάθε φορά στον χώρο. Στο διάγραμμα αριστερά βλέπουμε την τιμή να είναι σταθερή στους 25°C και το led να παραμένει σβηστό, ενώ στο διάγραμμα δεξιά βλέπουμε την θερμοκρασία να ανεβαίνει και να φτάνει στους 31 ^{o}C, ξεπερνά το όριο που έχουμε βάλει και ανάβει το led ως ένδειξη.
Οι συναρτήσεις για τα διαγράμματα και τα leds βρίσκονται στην παλέτα Express-LEDs, Express-Graph Indicators.