



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Πρόταση για Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Οικιακό Περιβάλλον
Εκμετάλλευση του Ασύρματου Δικτύου ZigBee
Δημιουργία Κατάλληλου Υλικού & Λογισμικού**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αγαθοκλής Ι. Παπαδόπουλος

Επιβλέπων : Κιαμάλ Πεκμεστζή
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Πρόταση για Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Οικιακό Περιβάλλον
Εκμετάλλευση του Ασύρματου Δικτύου ZigBee
Δημιουργία Κατάλληλου Υλικού & Λογισμικού**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αγαθοκλής Ι. Παπαδόπουλος

Επιβλέπων : Κιαμάλ Πεκμεστζή

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ____^η _____ 2009.

.....

Κ. Πεκμεστζή
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Δ. Σούντρης
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Γ. Οικονομάκος
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2009

.....

Αγαθοκλής Ι. Παπαδόπουλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αγαθοκλής Παπαδόπουλος, 2009
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, έγινε προσπάθεια για τον σχεδιασμό ενός συστήματος αυτοματισμού κατοικίας, που εκτός της αύξησης των ανέσεων του τελικού χρήστη, να δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση ενεργειακής συνείδησης στην κατοικία, με τελικό στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας.

Η πρόταση είναι ένα πλήρες λειτουργικό σύστημα αυτοματισμού οικίας και περιλαμβάνει την κατασκευή πρότυπου οικιακού δικτύου, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες ασύρματου δικτύου όπως IEEE 802.15.4 και ZigBee. Ακόμη, ορίζονται οι κατάλληλες συσκευές που θα αποτελούν το σύστημα. Οι συσκευές αυτές, παρεμβάλλονται μεταξύ της παροχής τροφοδοσίας και των οικιακών συσκευών της κατοικίας και είναι εύκολες στην εγκατάσταση, χωρίς την ανάγκη επέμβασης από εξειδικευμένο προσωπικό. Επίσης, έχει κατασκευαστεί κατάλληλο λογισμικό για ασύρματο έλεγχο του συστήματος. Το σύστημα ολοκληρώνεται με ένα πλήρες γραφικό περιβάλλον διαχείρισης, όπου ο χρήστης μπορεί να πάρει πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας της οικίας του και να διαχειριστεί με ευκολία το όλο σύστημα.

Το προτεινόμενο σύστημα, με το πέρας του σχεδιασμού του, δοκιμάστηκε σε πραγματικές συνθήκες. Το σύστημα έχει υλοποιηθεί με την κατασκευή κατάλληλων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και μικροελεγκτών. Το δίκτυο έχει δοκιμαστεί με την βοήθεια εξειδικευμένης πλατφόρμας προτυποποίησης δικτύου ZigBee.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Έξυπνο Σπίτι, Οικιακό Δίκτυο, ZigBee, IEEE 802.15.4, Μικροελεγκτές, Ενεργειακή Συνειδητότητα, Κατανάλωση Ενέργειας, Αισθητήρες, Γραφικό Περιβάλλον, Απομακρυσμένος Έλεγχος

Abstract

In this diploma thesis, an attempt was made to design a Home Automation System. The proposed system emphasizes power awareness in addition to more comfort for the user.

The proposal is a fully functional home automation system which includes the construction of a home area network, using wireless technologies such as IEEE 802.15.4 and ZigBee. The devices that will form the system are also defined in the thesis. These devices, inserted between the power supply and household appliances, are easy to install without the need for intervention by specialized staff. Appropriate software for wireless control system is also been implemented. The system is equipped with a full graphical environment - GUI, where the user can obtain information on energy consumption of the house and manage the whole system with ease.

The whole system is tested in real conditions. The system has been implemented on microcontrollers and custom build electronic circuits. The network is tested using specialized ZigBee network evaluation platform.

KEYWORDS: *Home Automation, Power Awareness, Power Aware House, Smart House, Home Area Network, ZigBee, IEEE 802.15.4, Microcontrollers, Energy Consumption, Sensors, GUI, Remote Control*

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 :	Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 2 :	Σχετικές Εργασίες	9
2.1	Ακαδημαϊκά Ερευνητικά Προγράμματα	9
2.1i	Ηνωμένο Βασίλειο	9
2.1ii	Ιαπωνία	10
2.1iii	Ελβετία	12
2.2	Πρωτοβουλίες από Εταιρίες & Οργανισμούς	12
2.2i	Altera, Echelon, and PlanetWeb (6)	12
2.2ii	Infineon Technologies (7)	13
2.2iii	International Energy Agency (8) (9)	13
2.3	Σύνοψη	14
Κεφάλαιο 3 :	Πρόταση Συστήματος για Ενεργειακή Συνείδηση Κατοικίας	15
3.1	Γενικά Στοιχεία	15
3.2	Προτεινόμενο Σύστημα	15
Κεφάλαιο 4 :	Home Area Network – ZigBee	19
4.1	Υποψήφιες Τεχνολογίες Δικτύωσης	19
4.2	Το ZigBee ως η Κατάλληλη Επιλογή	20
4.3	ZigBee: Τοπολογία Δικτύου & Συσκευές	21
4.3i	IEEE 802.15.4	21
4.3ii	Συσκευές ZigBee	22
4.3iii	Τοπολογίες Δικτύου ZigBee	23
4.3iv	Τρόποι πρόσβασης κόμβων στο δίκτυο ZigBee	24
4.4	Jennic ZigBee Evaluation Kit - Πλατφόρμα Σχεδιασμού Δικτύου	25
Κεφάλαιο 5 :	Κατασκευή του Δικτύου	27
5.1	Γενικές Πληροφορίες	27
5.2	Χαρακτηριστικά του Δικτύου	27
5.3	Λειτουργικό Σύστημα – BOS	28
5.4	Χρήση Περιφερειακών	32
5.4i	Πακέτο Συσκευών Ελέγχου	32
5.4ii	Πακέτο Συσκευών Αισθητήρων	32
5.4iii	Κοινά Περιφερειακά	32
5.5	Διακίνηση Πληροφορίας στο Δίκτυο	33

Κεφάλαιο 6 :	Κατασκευή του Υλικού	39
6.1	Γενικά Στοιχεία	39
6.2	Κύκλωμα Ελέγχου Οικιακής Συσκευής	39
6.3	Κύκλωμα Ανίχνευσης Κίνησης.....	45
Κεφάλαιο 7 :	Γραφικό Περιβάλλον Χρήσης – GUI	47
7.1	Γενικά Στοιχεία	47
7.2	Γλώσσα Υλοποίησης GUI - Visual FoxPro	47
7.3	Η Βάση Δεδομένων του Συστήματος.....	48
7.4	Οδηγός Χρήσης Γραφικού Περιβάλλοντος – GUI.....	53
7.4i	Ουρά Εισερχόμενων Δεδομένων - Γενικές Εντολές.....	53
7.4ii	Καρτέλα Στατιστικών.....	54
7.4iii	Καρτέλα Διαχείρισης Οικιακού Δικτύου	57
7.4iv	Καρτέλα Αποκλειστικών Εντολών.....	58
Κεφάλαιο 8 :	Αποτελέσματα Δοκιμών Συστήματος.....	63
8.1	Αποτελέσματα Οικιακού Δικτύου	63
8.2	Αποτελέσματα Κυκλωμάτων Συσκευής Ελέγχου	64
8.3	Αποτελέσματα Κυκλωμάτων Ανιχνευτή Κίνησης	65
Κεφάλαιο 9 :	Επίλυση Προβλημάτων - Θέματα Σχεδιασμού Νέας Έκδοσης	67
9.1	Γενικά Στοιχεία	67
9.2	Επίλυση Προβλημάτων	67
9.3	Θέματα Επόμενης Δοκιμαστικής Έκδοσης.....	69
9.3i	Υποσύστημα Απομακρυσμένου Προγραμματισμού	69
9.3ii	Αναβάθμιση Αισθητήρων Μέτρησης Κατανάλωσης.....	70
9.3iii	Αναβάθμιση Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήσης.....	72
Κεφάλαιο 10 :	Επίλογος	73

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Στους έντονους ρυθμούς του σύγχρονου τρόπου ζωής, αυτό που όλοι σχεδόν επιθυμούμε είναι περισσότερες ανέσεις, ώστε να μπορέσουμε να απολαύσουμε όσο το δυνατόν καλύτερα τον ελεύθερο μας χρόνο. Για τον λόγο αυτό, προσπαθούμε στην οικία μας να έχουμε άνεση και τρόπους ψυχαγωγίας με την χρήση της τεχνολογίας. Η τεχνολογία είναι αενάως αναπτυσσόμενο κομμάτι του ανθρώπινου πολιτισμού, που σκοπό δεν έχει άλλο, από το να βελτιώνει συνεχώς το βιοτικό μας επίπεδο σ' όλους τους τομείς.

Την τελευταία δεκαετία και όχι μόνο, συζητείται έντονα ο όρος «έξυπνο σπίτι». Ο όρος αυτός εκφράζει τον ονειρικό χώρο διαμονής της κάθε σύγχρονης οικογένειας. Έτσι, βλέπουμε στις ταινίες του Hollywood, σπίτια που παρέχουν όλες τις δυνατές ανέσεις, ελεγχόμενα από τεχνητή νοημοσύνη και ρομπότ. Κατά πόσο όμως είναι αυτό δυνατόν, με τα μέσα που διαθέτουμε αυτή την στιγμή;

Μπορούμε να πούμε με σιγουριά, πως διαθέτουμε όλες τις επιμέρους τεχνολογίες που χρειάζονται για τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός «έξυπνου σπιτιού». Αλλά, ανατρέχοντας σε διαφημιστικά εταιριών που αναλαμβάνουν τέτοιες εγκαταστάσεις, παρατηρούμε ότι το κόστος είναι υπερβολικά ψηλό, για να μπορέσει κάθε νοικοκυριό να εγκαταστήσει ένα τέτοιο σύστημα, που θα πρόσφερε στην οικογένεια επιπλέον ανέσεις και ευκολίες. Ακόμη, η αναβάθμιση μιας κατοικίας προϋποθέτει σχεδόν πάντα αλλαγή ολόκληρης της καλωδίωσης του σπιτιού.

Ένα άλλο σημαντικό θέμα που θα συνεχίσει να απασχολεί την σύγχρονη κοινωνία είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και η προστασία του περιβάλλοντος. Είναι ευκόλως αντιληπτό, ότι αν η κατοικία μας διαθέτει συστήματα ελέγχου και επιπλέον ανέσεις, θα υπάρχει ουσιαστική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας από την οικία αυτή. Εκτός από την επιπλέον επιβάρυνση στην τσέπη του οικογενειάρχη, υπάρχει και η επιπλέον επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας προκαλεί παράλληλα αύξηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, εξάντληση του ορυκτού πλούτου και αλλοίωση του υδροφόρου ορίζοντα.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι, χρησιμοποιώντας νέες τεχνολογίες από τους τομείς των ενσωματωμένων συστημάτων, των ασυρμάτων δικτύων και των ηλεκτρονικών ισχύος, να υλοποιήσει ένα ευέλικτο και γενικό σύστημα που να παρέχει την δυνατότητα σε μια σύγχρονη κατοικία να έχει όλες τις ανέσεις του «έξυπνου σπιτιού». Παράλληλα, το προς ανάπτυξη σύστημα, θα παρέχει δυνατότητα ενεργειακής διαχείρισης των πόρων της οικίας αυτής. Δόθηκε έμφαση στην εργονομία και στην ευκολία εγκατάστασης του όλου συστήματος, ώστε η εγκατάσταση και ο προγραμματισμός να μπορεί να γίνει εύκολα από απλούς χρήστες, χωρίς να χρειάζεται αλλαγή στην υπάρχουσα καλωδίωση της οικοδομής.

Εν κατακλείδι, με το πέρας της εργασίας αυτής έχει αναπτυχθεί ένα πλήρες σύστημα αυτοματοποίησης και ενεργειακής διαχείρισης, το οποίο αν και είναι εύκολο στην εγκατάσταση και χειρισμό, παρέχει όλες τις δυνατές ευκολίες με τα υπόλοιπα συστήματα που κυκλοφορούν στην αγορά, με το μικρότερο δυνατό κόστος. Η εργασία δίνει έμφαση στην ενεργειακή συνειδητότητα (power awareness) του συστήματος, καθώς όπως θα δείξουμε στο επόμενο κεφάλαιο, το ενδιαφέρον όλων των εμπλεκόμενων φορέων στρέφεται προς αυτή.

Κεφάλαιο 2 : Σχετικές Εργασίες

2.1 Ακαδημαϊκά Ερευνητικά Προγράμματα

2.1i Ηνωμένο Βασίλειο

Οι εργασίες των Newborough, Masouri & Wood, μελέτησαν την ανθρώπινη συμπεριφορά όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τις ηλεκτρικές συσκευές που υπάρχουν σε μια τυπική κατοικία. Τα σημαντικότερα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτηθέντων σε διάφορες έρευνες, έδειξε ενδιαφέρον στο να λαμβάνει πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας στην οικία του (1). Ακόμη, είναι πρόθυμο να αλλάξει την ενεργειακή συμπεριφορά του, ώστε να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας, και κατά συνέπεια τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αυτή έχει.

Άλλη μελέτη, έδειξε ότι με την τοποθέτηση συσκευών που να παρέχει πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας στο μαγείρεμα, υπάρχει δυνατότητα για μείωση μέχρι το 20% της κατανάλωσης ενέργειας από την ηλεκτρική κουζίνα (2). Στην ίδια μελέτη, άλλες οικίες που λάμβαναν πληροφορίες για την κατανάλωση μέσω επιστολών, η μείωση ήταν κατά μέσο όρο στο 3%. Τα αποτελέσματα αυτά, άνοιξαν τον δρόμο για περαιτέρω μελέτη για κατάλληλο σχεδιασμό συσκευών που να παρέχουν real-time πληροφορίες για την ενεργειακή κατανάλωση ανά συσκευή.

Μια πρόσφατη εργασία της ομάδας αυτής, μελέτησε διάφορους τρόπους παρουσίασης των δεδομένων κατανάλωσης σε κεντρικές κονσόλες ή σε τοπικές οθόνες και την ανταπόκριση των χρηστών στις πληροφορίες αυτές (3). Στον πιο κάτω πίνακα, βλέπουμε πως τρόπος παρουσίασης είναι κατάλληλος για να ωθήσει τον χρήστη σε μεγαλύτερη εξοικονόμηση, ανάλογα με ποιο κίνητρο έχει ο χρήστης αυτός.

The motivational factors which would work on local and central displays		
Motivational factor	Local display	Central display
Other homes competition	×	×
Social reward	×	×
Monetary reward	×	✓
Self competition/comparison	✓	✓
Within the home competition	✓	✓
Consumer specific goal set by others	✓ ^a	✓ ^a
Self-set goals	✓ ^a	✓ ^a

^a Particular effectiveness of motivational factor.

Πίνακας 2-1: Κίνητρα Καταναλωτών για Εξοικονόμηση και Καταλληλότητα Οθόνης

Στην ίδια εργασία, μελετήθηκαν όλο το φάσμα παραμετροποίησης των δεδομένων που μπορεί να προσφέρει πληροφορίες για την κατανάλωση στον τελικό χρήστη, συμβάλλοντας στον επιτυχημένο σχεδιασμό ενός Power-Aware House.

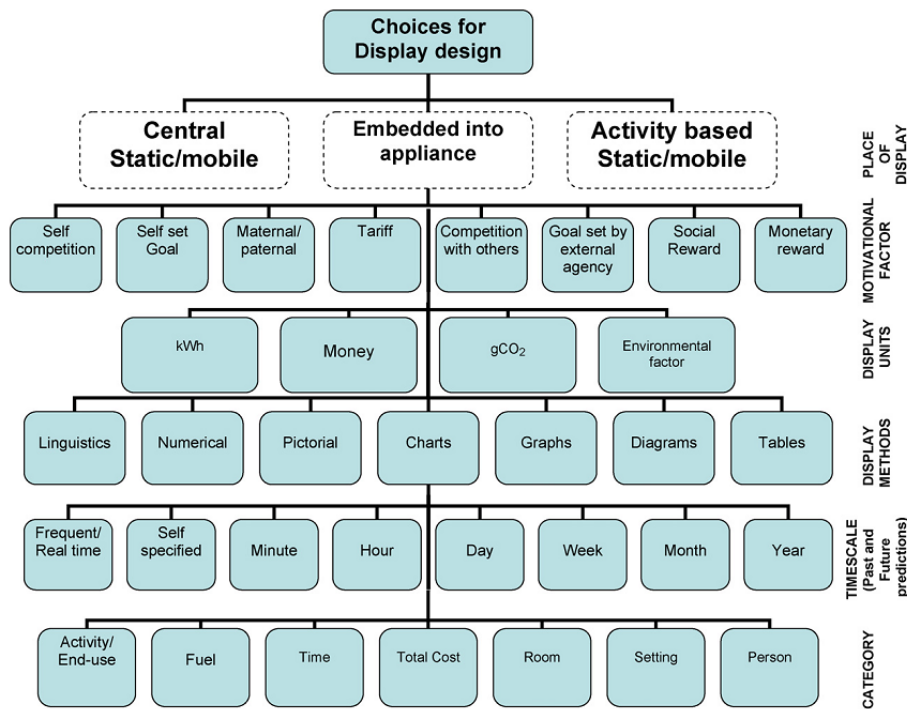


Fig. 1. Summary of the factors influencing the design of energy-information display system for use in an intelligent home.

Εικόνα 2-1: Στοιχεία μιας σωστά σχεδιασμένης εφαρμογής power-aware GUI

2.1ii Ιαπωνία

Το Πανεπιστήμιο της Οσάκα, κατασκεύασε το πειραματικό power-aware σύστημα ECOIS (Energy Consumption Information System) και πραγματοποίησε μελέτη σε πραγματικές συνθήκες (4). Για το διάστημα ενός έτους, κατέγραψαν τις καμπύλες κατανάλωσης ενέργειας οκτώ κατοικιών. Στην συνέχεια εγκατέστησαν το σύστημα ECOIS, και παρακολούθησαν τις αλλαγές στις καμπύλες για ακόμα ένα χρόνο.

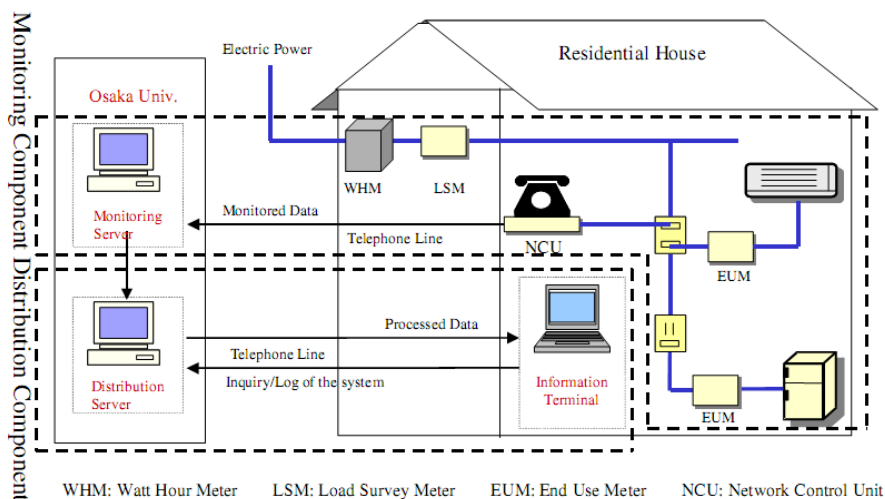


Fig. 1. Configuration of ECOIS.

Εικόνα 2-2: Διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος ECOIS

Το πείραμα έδειξε μείωση στην συνολική κατανάλωση μέχρι και 22%, αλλά ο μέσος όρος κυμάνθηκε στο 9%. Αυτό το φαινόμενο οφειλόταν στο ότι το όλο σύστημα είχε σχεδιαστεί για να παρέχει τις πληροφορίες κατανάλωσης συνολικά και ανά συσκευή, αλλά όλες οι ενέργειες που αποσκοπούσαν στην μείωση της κατανάλωσης έπρεπε να εκτελεστούν από τους χρήστες.

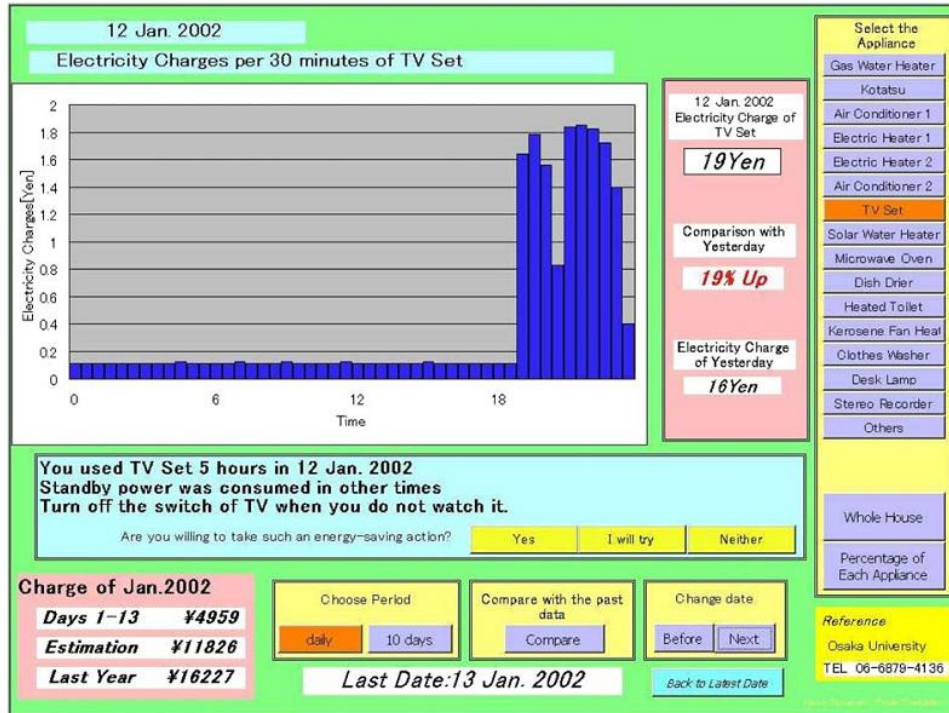


Fig. 2. Display picture on the information terminal (translated into English).

Εικόνα 2-3: Χαρακτηριστικό Στιγμιότυπο από το GUI του ECOIS

Το πρόγραμμα έδινε εισηγήσεις και βοήθεια στους χρήστες, μέσω ειδικών μηνυμάτων. Αλλά στα πλείστα σπίτια, όσο περισσότερος χρόνος περνούσε από την εγκατάσταση του συστήματος, μειωνόταν σημαντικά ο χρόνος χρήσης της κεντρικής κονσόλας.

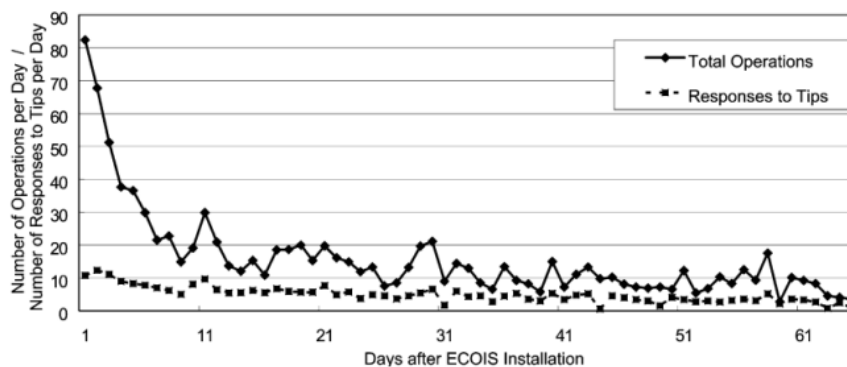


Fig. 4. Number of operations by the residents.

Εικόνα 2-4: Αριθμός Χειρισμών της κονσόλας ECOIS ανά μέρα λειτουργίας

2.1iii Ελβετία

Το πρόγραμμα “FutureLife House” του Ελβετικού Ομοσπονδιακού Ινστιτούτου Τεχνολογίας (Swiss Federal Institute of Technology), προωθεί τον έλεγχο νέων τεχνολογιών σε συστήματα οικιακού αυτοματισμού. Το πρόγραμμα αυτό, εγκαθιστά σε κατοικίες ενδιαφερόμενων οικογενειών, συστήματα έξυπνης διαχείρισης, ώστε να μελετήσει στην πράξη τις επιδράσεις των νέων συστημάτων σε κοινωνικό, ανθρωπιστικό και τεχνολογικό επίπεδο (5).

Στο συνέδριο EEDAL '03, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της ενεργειακής ανάλυσης του όλου προγράμματος. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα, η κατανάλωση ενεργειακών πόρων της αναβαθμισμένης κατοικίας του προγράμματος καταναλώνει κατά μέσο όρο 3 φορές, περισσότερη ενέργεια από ένα τυπικό σπίτι στην ίδια οικιστική ζώνη.

	FutureLife-House today	Typical house Switzerland	FutureLife-House optimised
Servers and UPS	100		5
Equipment for and due to networking	100		25
New applications	25		25
Standard equipment	100	100	100
Total	325	100	155

EEDAL '03 Conference, October 1-3 2003, Torino, Italy

Dr. Bernard Aebischer, CEPE

Πίνακας 2-2: Σύγκριση Τυπικής Οικίας – FutureLife House

Στην ίδια ανάλυση, υπολογίζεται πως χωρίς να μειωθούν οι προσφερόμενες ανέσεις, με χρήση μεθόδων ενεργειακής συνειδητότητας (power-awareness) και αναβάθμιση των τεχνολογιών διασύνδεσης, υπάρχει η δυνατότητα η κατανάλωση ενέργειας του «FutureLife House», να φτάσει κοντά στα επίπεδα μιας τυπικής κατοικίας.

2.2 Πρωτοβουλίες από Εταιρίες & Οργανισμούς

2.2i Altera, Echelon, and PlanetWeb (6)

Οι εταιρίες αυτές, προωθούν ένα νέο τύπο οικιακού δικτύου, ξεφεύγοντας από την θεώρηση ότι ένα οικιακό δίκτυο ανήκει στην κατηγορία του τοπικού δικτύου (LAN).

Το home area network (HAN), οικιακό δίκτυο περιοχής, αποκτά όλα και περισσότερες εφαρμογές, διασυνδέοντας μεταξύ τους διαφορετικά καταναλωτικά προϊόντα οικιακής χρήσεως, όπως ηλεκτρικές συσκευές, θερμοστάτες, διακόπτες φωτισμού και ηλεκτροδότες. Το HAN μπορεί να συνδεθεί με το LAN των υπολογιστών μιας κατοικίας, παρέχοντας στους καταναλωτές την δυνατότητα να παρακολουθούν την κατανάλωση ενέργειας, να προγραμματίζουν διάφορες εργασίες και να έχουν απομακρυσμένο έλεγχο στο οικιακό δίκτυο μέσω διαδικτύου.

Μια άλλη σοβαρή διαφορά από τα «παραδοσιακά» έξυπνα σπίτια, που όλες οι εργασίες γίνονται μέσω ενός κεντρικού συστήματος, είναι ότι οι νέες τάσεις σχεδιασμού που περιλαμβάνουν HAN, ενσωματώνουν λογική και έλεγχο σε κάθε διασυνδεδεμένη συσκευή. Αυτή η καινοτομική αλλαγή, μειώνει το κόστος, την πολυπλοκότητα του όλου αυτοματοποιημένου συστήματος, παρέχοντας περισσότερη ευελιξία και ευκολία χειρισμού. Οι κολοσσοί στον χώρο των ηλεκτρικών συσκευών προωθούν τον αυτοματισμό μέσω HAN, καθώς τα δίκτυα αυτά αφού συνδέονται παράλληλα με το LAN της γραμμής διαδικτύου, επιτρέπουν στους κατασκευαστές να εκτελούν απομακρυσμένο έλεγχο βλαβών και περιορίζοντας τις κατ'οίκον επισκέψεις για διάγνωση.

Τα δίκτυα HAN, κερδίζουν συνεχώς έδαφος καθώς προσφέρουν ευκολίες στον τελικό καταναλωτή αλλά και στον κατασκευαστή, αυξάνοντας παράλληλα τις προσφερόμενες ανέσεις και υπηρεσίες.

2.2ii Infineon Technologies (7)

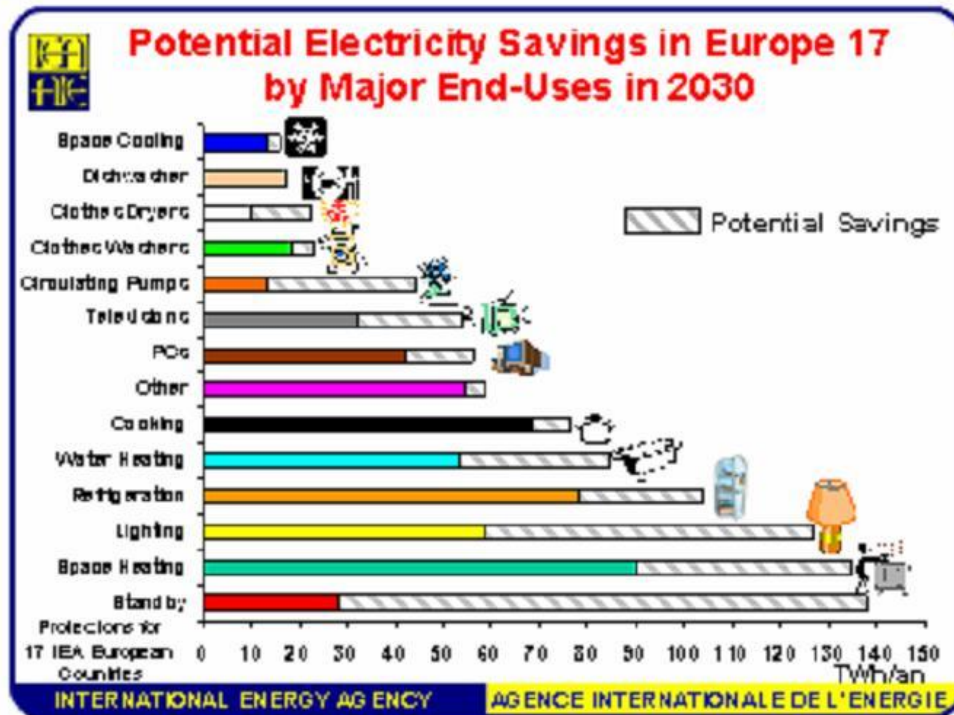
Στην μελέτη «Saving Energy Through Innovation & Technology», αναλύει τον ρυθμό αύξησης της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας και καταλήγει πως αν η ανάπτυξη συνεχίσει με τις υπάρχουσες τεχνολογίες μέχρι το 2050, ο τεχνολογικός πολιτισμός μας θα φτάσει σε αδιέξοδο.

Αναλύει τρόπους αύξησης της παραγωγής ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών και στη συνέχεια φτάνει στις οικιακές εγκαταστάσεις, όπου μέσα από ανάλυση νέων αναπτυσσόμενων τεχνολογιών, καταλήγει πως η ενσωμάτωση ενεργειακής συνείδησης στις ηλεκτρικές συσκευές, μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση ενέργειας.

2.2iii International Energy Agency (8) (9)

Η Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας στο εγχειρίδιο «Cool Appliances», αναφέρει ότι το 30% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας στις αναπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες, καταναλώνονται από τις οικιακές συσκευές. Κρούει τον κώδωνα του κινδύνου για το εγγύς μέλλον, καθώς όλο και περισσότερες ηλεκτρικές και οικιακές συσκευές, έχουν ενσωματωμένους ελεγκτές και λογισμικό, με αποτέλεσμα να έχουμε αύξηση της καταναλώσεως ενέργειας στους νεκρούς χρόνους (standby time) των συσκευών.

Προτείνει την ενσωμάτωση ενεργειακής συνείδησης στις συσκευές και την χρήση αποδοτικότερων τεχνολογιών. Στο πιο κάτω διάγραμμα, βλέπουμε την υπολογιζόμενη εξοικονόμηση ενέργειας που μπορούμε να έχουμε σε κάθε είδους οικιακή συσκευή, λαμβάνοντας πρόνοια ενεργειακής συνείδησης στον σχεδιασμό νέων μοντέλων.



Εικόνα 2-5: Κατανάλωση Ενέργειας στην Ευρώπη το 2030, Εφικτή Οικονομία ανά τύπο συσκευής

2.3 Σύνοψη

Μελετώντας τις πιο πάνω παρεμφερείς εργασίες που αφορούν power-aware houses, βλέπουμε ότι οι τελικοί καταναλωτές επιθυμούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας στις κατοικίες τους, για εξοικονόμηση χρημάτων και την προστασία του περιβάλλοντος. Αντίστοιχα, οι κατασκευαστές επιθυμούν την χρήση οικιακών δικτύων και νοημοσύνης στις κατοικίες, ώστε να έχουν την ευκολία του απομακρυσμένου τεχνικού ελέγχου.

Τα γραφικά διαδραστικά συστήματα GUI, έχουν μεγαλύτερη αποδοχή στο ευρύ κοινό και μπορούν να επηρεάσουν περισσότερο την ενεργειακή συνείδηση του τελικού καταναλωτή από αντίστοιχες πληροφορίες σε έντυπη μορφή. Όμως, ακόμα και με την αναπαράσταση της πληροφορίας σε οθόνες, αν όλες οι απαραίτητες ενέργειες μένουν να εκτελούνται από τον χρήστη, βλέπουμε ο χρήστης σε μεγάλο αριθμό περιπτώσεων, να το θεωρεί σαν επιπλέον βάρος και σιγά-σιγά να ατονεί το ενδιαφέρον του για το όλο σύστημα, με αποτέλεσμα να έχουμε πάλι αύξηση της κατανάλωσης.

Μελέτες οργανισμών όπως η Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας και η Infineon, δείχνουν ότι η παγκόσμια ζήτηση για ενέργεια μπορεί να μειωθεί με νέες λιγότερο ενεργοβόρες συσκευές, κατασκευασμένες με χρήση ηλεκτρονικών ισχύος. Μονόδρομος είναι η ενσωμάτωση ενεργειακής συνείδησης στις ηλεκτρικές συσκευές και στα οικιακά δίκτυα αυτοματισμού. Με αυτό τον τρόπο, ο χρήστης θα απολάβει οφέλη όπως την μείωση των εξόδων σε ενέργεια, με ταυτόχρονη αύξηση των ανέσεων της οικίας του. Προτείνεται τα νέα συστήματα αυτοματισμού, με τον ελάχιστο δυνατό χειρισμό από τον χρήστη, να ρυθμίζουν τις δραστηριότητες του σπιτιού, ώστε χωρίς περιορισμούς να έχουμε πλήρη ευελιξία, με την λιγότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας.

Κεφάλαιο 3 : Πρόταση Συστήματος για Ενεργειακή Συνείδηση Κατοικίας

3.1 Γενικά Στοιχεία

Μελετώντας τις σύγχρονες τάσεις και τα αποτελέσματα σχετικών με το αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας, καταλήξαμε στον σχεδιασμό και υλοποίηση ενός συστήματος που να προσφέρει Ενεργειακή Συνείδηση και Εφαρμογές Αυτοματισμού, με τα εξής χαρακτηριστικά:

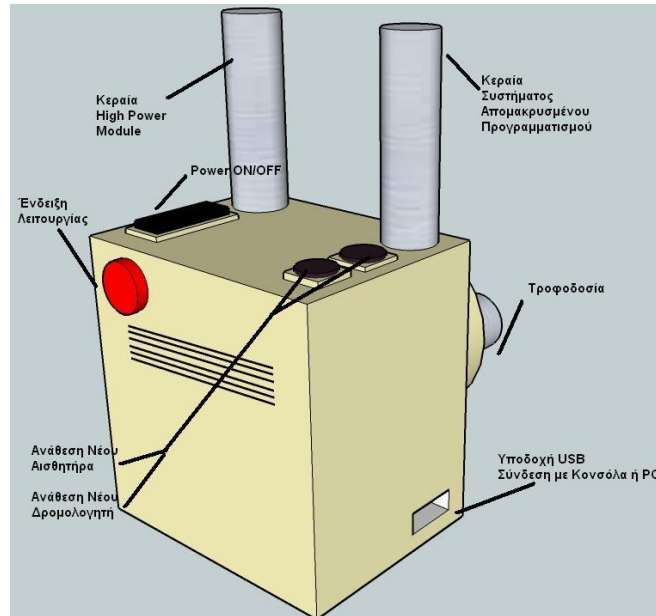
- Εργονομικό Σχεδιασμό για εύκολη εγκατάσταση, χωρίς εξειδικευμένο προσωπικό
- Ικανότητα για παρακολούθηση κατανάλωσης σε κάθε είδους οικιακής συσκευής
- Υποστήριξη επιπλέον αισθητήρων ανά συσκευή, με τις λιγότερες αλλαγές
- Μικρό κόστος αγοράς από τον τελικό καταναλωτή
- Πρόγραμμα GUI για παρακολούθηση της κατάστασης του συστήματος από κεντρική κονσόλα ή υπολογιστή
- Πλήρες Εργαλείο για Ανάλυση Στατιστικών της κατανάλωσης ενέργειας και κάθε άλλου είδους μετρήσεων από αισθητήρες
- Δυνατότητες Εύκολου Απομακρυσμένου Προγραμματισμού για αυτοματισμό επιλαμβανόμενων εργασιών στο χώρο της οικίας
- Μικρό ενεργειακό κόστος λειτουργίας του συστήματος

3.2 Προτεινόμενο Σύστημα

Το προς σχεδίαση σύστημα, θα αποτελείται από 3 είδη συσκευών. Αυτές οι συσκευές, έχουν σχεδιαστεί ώστε να πληρούν τους στόχους, που έχουν τεθεί. Κάθε σύστημα, πρέπει να έχει μια κεντρική συσκευή, η οποία θα είναι υπεύθυνη για το οικιακό δίκτυο, τον προγραμματισμό των αυτόματων εργασιών και την ενημέρωση της βάσης δεδομένων της κεντρικής κονσόλας ή του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

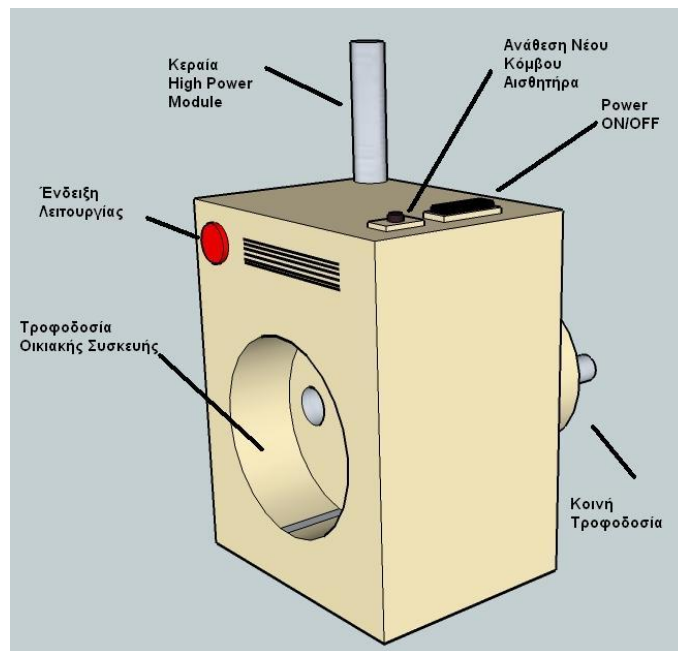
Ο αριθμός Κεντρικών Συσκευών, στο προτεινόμενο σύστημα είναι δυνατόν να είναι μεγαλύτερος από ένα. Αυτό, μένει αποκλειστικά στην απόφαση του χρήστη που θα το εγκαταστήσει στην οικία του. Οι κεντρικές συσκευές, έχουν την δυνατότητα να αλληλεπιδρούν με οθόνες αφής, ηλεκτρονικούς υπολογιστές και τοπικά tablet-pc που έχουν εγκατεστημένο το γραφικό περιβάλλον χρήσης.

Έτσι, αν ο χρήστης θέλει για παράδειγμα, 3 σημεία πρόσβασης στο σύστημα, θα πρέπει να εγκαταστήσει 3 κεντρικές συσκευές. Η πρώτη θα εκτελεί χρέη Συντονιστή Δικτύου, ενώ οι άλλες δύο θα είναι ZigBee Δρομολογητές.



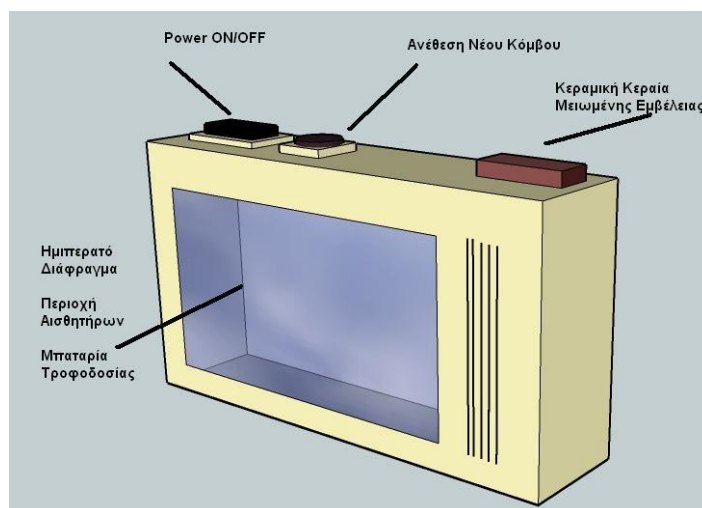
Εικόνα 3-1: Κεντρική Συσκευή Συστήματος

Το δεύτερο είδος συσκευής είναι ειδικά σχεδιασμένη για τον έλεγχο οικιακών συσκευών. Επιτρέπει τον απομακρυσμένο ή προγραμματισμένο αυτόματο έλεγχο της τροφοδοσίας της οικιακής συσκευής, ενώ ταυτόχρονα επεκτείνει την εμβέλεια της κεντρικής συσκευής. Παρακαλουθά την ηλεκτρική κατανάλωση και όπως στην κεντρική συσκευή, υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης αισθητήρων ή άλλων όμοιου τύπου συσκευών.



Εικόνα 3-2: Συσκευή Ελέγχου Οικιακής Συσκευής

Το τελευταίο είδος συσκευής του συστήματος, παρέχει την δυνατότητα τοποθέτησης αισθητήρων σε όλο το εύρος του οικιακού δικτύου. Οι αισθητήρες μας δίνουν την δυνατότητα παραμετροποίησης των αυτοματισμών του συστήματος. Για παράδειγμα, μια συσκευή υγρασίας θαμμένη στον κήπο, μπορεί να δώσει πληροφορία στο σύστημα, αν χρειάζεται ή όχι πότισμα, πάντα σε συνάρτηση με την πρόγνωση του καιρού ή αν έχουμε κόσμο στον κήπο για barbeque.



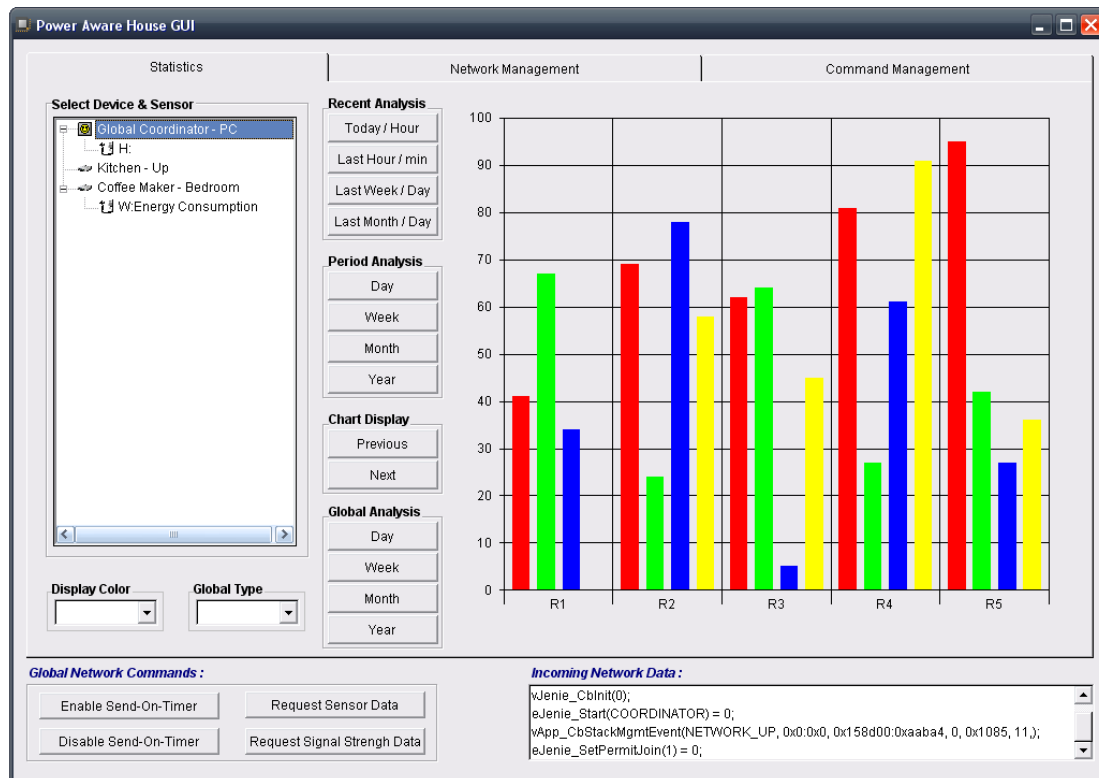
Εικόνα 3-3: Συσκευή Αισθητήρων

Όλα τα συστατικά μέρη του προτεινόμενου συστήματος, έχουν σχεδιαστεί να έχουν το μικρότερο δυνατό μέγεθος, χωρίς να περιορίσουμε τις δυνατότητες τους. Η κεντρική συσκευή και η συσκευή ελέγχου, επειδή παρακολουθούν είτε το οικιακό δίκτυο είτε την κατανάλωση μιας συγκεκριμένης συσκευής, έχουν σχεδιαστεί να παίρνουν τροφοδοσία από το ηλεκτρικό δίκτυο της κατοικίας. Αντίθετα, η συσκευή αισθητήρων, επειδή μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε (τοίχους, ταβάνι, εντός άλλης συσκευής, θαμμένη στον κήπο), έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί με μπαταρίες. Αυτό δεν περιορίζει τις δυνατότητες της, καθώς έχει την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση και μια μπαταρία, ανάλογα με την χρήση, κρατά για 4-6 μήνες.

Για να δείξουμε τις δυνατότητες του συστήματος, κατασκευάσαμε ένα δείγμα των συσκευών που το αποτελούν και το πλήρες οικιακό δίκτυο (HAN). Οι κατασκευές αυτές έχουν επιλεγεί ως αντιπροσωπευτικά δείγματα του πλήρους συστήματος.

Οι κατασκευές αυτές θα συζητηθούν σε επόμενο κεφάλαιο, αλλά εδώ θα αναφερθεί απλά ότι θα κατασκευαστεί μια κεντρική συσκευή χωρίς το σύστημα απομακρυσμένου προγραμματισμού, μια πλήρης δυνατοτήτων συσκευή ελέγχου και μια συσκευή αισθητήρων.

Αντίθετα, το σύστημα γραφικής αλληλεπίδρασης (GUI), έχει υλοποιηθεί για το πλήρες σύστημα της πρότασης μας και παρέχει πλήρη έλεγχο στο οικιακό δίκτυο, όσο και στις οικιακές συσκευές που ανήκουν σαΐτα. Μέσα από την κονσόλα ή τον υπολογιστή, μπορούμε να δούμε στατιστικά και γραφικές παραστάσεις της ηλεκτρικής κατανάλωσης για πολλές διαφορετικές περιόδους. Ακόμα, θα έχουμε την δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου συσκευών και αλλαγών στις ρυθμίσεις του οικιακού δικτύου.



Εικόνα 3-4: Το Γραφικό Περιβάλλον του Συστήματος

Κεφάλαιο 4 : Home Area Network – ZigBee

4.1 Υποψήφιες Τεχνολογίες Δικτύωσης

Για τον σχεδιασμό ενός οικιακού δικτύου (HAN), το οποίο διασυνδέει μεταξύ τους ηλεκτρικές συσκευές και ηλεκτρονικούς υπολογιστές, έχουν προταθεί πολλά μοντέλα δικτύωσης. Στον πιο κάτω πίνακα μπορούμε να δούμε περιληπτικά τις κυριότερες τεχνολογίες δικτύου, που χρησιμοποιούνται σε οικίες (10) (11).

Technology	Transmission medium	Transmission speed	Maximum distance to the device
Ethernet	Unshielded twisted pair	10 Mbit/s – 1 Gbit/s	100 m
	Optical Fiber	1 Gbit/s – 10 Gbit/s	2 km – 15 km
HomePlug	Electrical wiring	14 Mbit/s - 200 Mbit/s	200 m
Universal Powerline Association	Electrical wiring	200 Mbit/s	200 m
ITU-T G.hn	Electrical wiring/Telephone line/coaxial cable	up to 1 Gbit/s	N/A
HomePNA	Telephone line	10 Mbit/s	300 m
Wi-Fi / IEEE 802.11	Radio frequency	11 Mbit/s – 248 Mbit/s	30 m – 100 m
FireWire / IEEE 1394	Unshielded twisted pair / Optical fiber	400 Mbit/s – 3.2 Gbit/s	4.5 m – 70 m
Bluetooth	Radio frequency	1 Mbit/s – 10 Mbit/s	10 m – 100 m
IRDA	Infrared	9600 bit/s – 4 Mbit/s	2 m
C-Bus / C-Bus (protocol)	Twisted pair / Electrical wiring / Radio frequency / Infrared / Ethernet / Wi-Fi	1200 bit/s – 9600 bit/s	1000 m
LonWorks	Twisted pair / Electrical wiring / Radio frequency / Coaxial	1.70 kbit/s – 1.28 Mbit/s	1500 m – 2700 m

INSTEON	Electrical wiring + Wireless	1.2 kbit/s	1,000 m+ (Electrical wiring), 50 m+ (Wireless)
X10	Electrical wiring	50 bit/s – 60 bit/s	
European Installation Bus / KNX	Twisted pair / Electrical wiring / Radio frequency / Infrared / Ethernet	1200 bit/s – 9600 bit/s	300 m – 1000 m
EHS	Twisted pair / Electrical wiring	2.4 kbit/s – 48 kbit/s	
Batibus	Twisted pair	4800 bit/s	200 m – 1500 m
Zigbee^[3]	Radio frequency	20 kbit/s – 250 kbit/s	10 m – 75 m
Zwave	Radio frequency	9.6 kbit/s – 40 kbit/s	1 m – 75 m
USB	Twisted pair	12 Mbit/s – 480 Mbit/s	5 m

Πίνακας 4-1: Τεχνολογίες Δικτύωσης

4.2 Το ZigBee ως η Κατάλληλη Επιλογή

Μελετώντας τον πιο πάνω πίνακα, παρατηρούμε ότι οι περισσότερες ενσύρματες τεχνολογίες χρειάζονται ειδική καλωδίωση, κάτι που αν και προσφέρουν μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης και αυξημένες αποστάσεις μεταξύ των συσκευών, δεν είναι εντός του στόχου της διπλωματικής αυτής εργασίας. Οι στόχοι αναφέρουν ότι, το προς ανάπτυξη σύστημα πρέπει να μπορεί να εγκατασταθεί χωρίς αλλαγές στην υπάρχουσα καλωδίωση.

Έτσι, μας απομένουν οι ασύρματες τεχνολογίες και οι ενσύρματες που αξιοποιούν την υπάρχουσα ηλεκτρική καλωδίωση της εγκατάστασης, όπως οι X10, LonWorks, Insteon & Universal Powerline. Γνωρίζοντας, όμως ότι οι ενσύρματες τεχνολογίες, έχουν το περιορισμό ότι κάθε κόμβος πρέπει να τοποθετηθεί σε σημεία με άμεση πρόσβαση στην ηλεκτρική εγκατάσταση και ότι υπάρχουν απώλειες ενέργειας σε standby time και στα καλώδια, η επιλογή μιας ασύρματης τεχνολογίας φαίνεται πιο ελκυστική.

Καθώς ο κύριος στόχος της εργασίας είναι το σύστημα να έχει την μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και να μην χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό για την ρύθμιση και τον έλεγχο καλής λειτουργίας, επιλέχθηκε η δικτύωση με χρήση της τεχνολογίας ZigBee.

Το πρωτόκολλο ZigBee, έχει εύρος λειτουργίας από 10 μέχρι 70 μέτρα, υπεραρκετά ακόμα και για οικίες μεγαλύτερες από 150 τετραγωνικά μέτρα. Είναι πρωτόκολλο που προσφέρει υψηλού επιπέδου επικοινωνία, μέσω μικρών, χαμηλής ενέργειας ψηφιακών μεταδοτών. Βασίζεται στο IEEE 802.15.4 που έχει σχεδιαστεί ειδικά για ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN), έτσι μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως σε οικιακά δίκτυα (HAN).

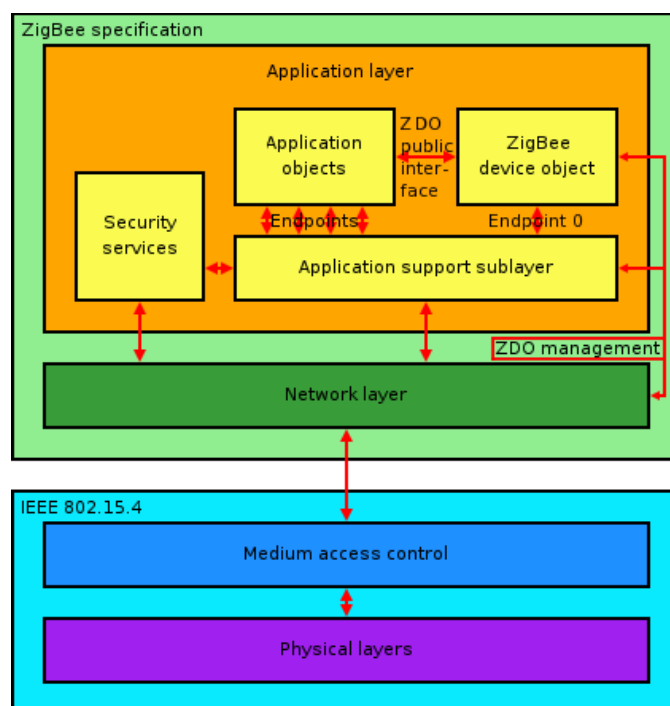
Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που το καθιστούν ιδανική επιλογή είναι ότι είναι τεχνολογία χαμηλού κόστους, χαμηλής καταναλώσεως δικτύου βρόχων (mesh network), όπου η πληροφορία αναπηδά από κόμβο σε κόμβο για να φτάσει σε ένα απομακρυσμένο από την πηγή, κόμβο. Έχει υλοποιηθεί για να καλύψει την ανάγκη της αγοράς για ένα πρωτόκολλο δικτύωσης ψηφιακών κόμβων το οποίο να οργανώνεται επιτόπου ως προς την ζήτηση πληροφορίας (ad-hoc), να είναι αυτοσυντηρούμενο (self-healing) και οι κόμβοι να οργανώνονται αυτόματα σε ένα λειτουργικό δίκτυο, χωρίς εξωτερική παρέμβαση.

Το ZigBee είναι επίσημα ένα ασύρματο πρωτόκολλο δικτύωσης, που έχει σχεδιαστεί να χρησιμοποιείται από αισθητήρες με χαμηλό ρυθμό αποστολής δεδομένων (Low-Rate Sensors). Ένας αισθητήρας σε δίκτυο ZigBee, δεν χρειάζεται να αναφέρει την κατάσταση του συνεχώς και επιτρέπει στο υλικό υποστήριξης και τον μεταδότη του να κοιμούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα, εξοικονομώντας ενέργεια. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε μικρότερες μπαταρίες.

4.3 ZigBee: Τοπολογία Δικτύου & Συσκευές

4.3i IEEE 802.15.4

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η στοιβάδα δικτύου ZigBee βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4. Επισημαίνουμε ότι το ZigBee δεν είναι το IEEE 802.15.4, ούτε το IEEE 802.15.4 είναι το ZigBee. Το ZigBee είναι ένα πρωτόκολλο δικτύωσης, που υποστηρίζεται αποκλειστικά από την ZigBee Alliance, που χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων που προδιαγράφονται στο IEEE 802.15.4. Μια σχέση αντίστοιχη με το TCP/IP σε σχέση με το IEEE 802.11g. Το πρωτόκολλο TCP/IP αξιοποιεί τις προδιαγραφές ασύρματης μεταφοράς δεδομένων, για να μεταφέρει διαγράμματα TCP κτλ ανάμεσα σε κόμβους που έχουν μεταδότες 802.11g. (11) (12)



Εικόνα 4-1: Τυπική Στοιβάδα Δικτύου ZigBee – IEEE 802.15.4

Σε μια τυπική στοιβάδα δικτύου ZigBee, το IEEE 802.15.4 διαχειρίζεται τα κατώτερα επίπεδα. Αυτά είναι το Φυσικό Επίπεδο (Physical Layer) και το Επίπεδο Συνδέσμου Μετάδοσης Δεδομένων (MAC Layer).

Το Φυσικό Επίπεδο του IEEE 802.15.4 είναι διαχειρίζεται τον μεταδότη-κεραία και την επίτευξη της ασύρματης σύνδεσης. Ανάμεσα στις υπευθυνότητες του είναι η αποστολή και λήψη πακέτων δεδομένων, έλεγχος της καθαρότητας του καναλιού μετάδοσης και μέτρηση της ποιότητας της σύνδεσης. Η επιλογή του καναλιού μετάδοσης, καθορίζεται από την συχνότητα στην οποία θα εκπέμπει η κεραία. Οι επιτρεπόμενες συχνότητες είναι :

Γεωγραφική Περιοχή	Συχνότητες Λειτουργίας	Επιτρεπόμενα Κανάλια
Ευρώπη	868-868.8 MHz	1
Νότια Αμερική	902-928 MHz	30
Υπόλοιπος Κόσμος	2400-2483.5 MHz	16

Πίνακας 4-2: Επιτρεπόμενο εύρος ζώνης ανά Γεωγραφική Περιοχή

Το Επίπεδο MAC, βρίσκεται πάνω από το Φυσικό Επίπεδο και ελέγχει την ασύρματη σύνδεση. Ο συγχρονισμός του δικτύου, η αποφυγή συγκρούσεων μετάδοσης, επαλήθευση των πακέτων δεδομένων που διακινούνται από το μαγνητικό μέσο και έλεγχος της ροή δεδομένων είναι μερικά από τα καθήκοντα που έχει το Επίπεδο MAC. Αν το δίκτυο στέλνει κρυπτογραφημένα δεδομένα, το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο και για τα μέτρα ασφαλείας.

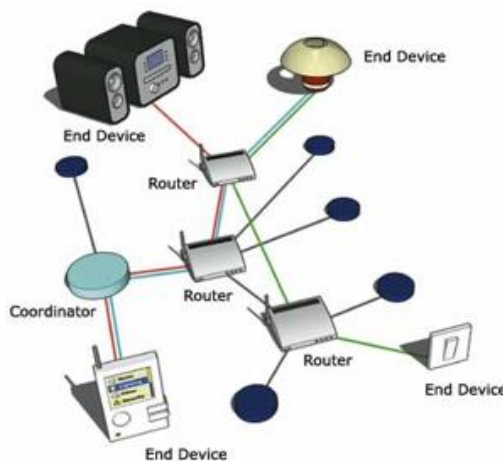
Πριν αναφερθούμε στα επίπεδα του δικτύου που αφορούν το ZigBee, να αναφέρουμε απλά τους δύο τύπους συσκευών που ορίζει η προτυποποίηση IEEE 802.15.4. Η πρώτη, είναι η πλήρης IEEE 802.15.4 συσκευή (Full Function Device – FFD) και μπορεί πραγματικά, να κάνει τα πάντα. Μια τυπική FFD, συνήθως τροφοδοτείται από ανεξάντλητη πηγή (τροφοδοτικό AC από την ηλεκτρική εγκατάσταση). Πρέπει να είναι συνεχώς ενεργοποιημένη και συνδεδεμένη στο ασύρματο δίκτυο. Ο δεύτερος τύπος συσκευών, είναι η συσκευή περιορισμένων δυνατοτήτων (Reduce Function Device – RFD). Οι εργασίες που μπορεί να εκτελέσει περιορίζονται στον έλεγχο εξωτερικών συσκευών και διακοπών και στην δειγματοληψία αισθητήρων. Συνήθως, επειδή τροφοδοτούνται μέσω μπαταριών, είναι προγραμματισμένη να κοιμάται για μεγάλο χρονικό διάστημα.

4.3ii Συσκευές ZigBee

Το πρωτόκολλο ZigBee παίρνει τους ορισμούς των συσκευών FFD και RFD του IEEE 802.15.4 και ορίζει τρεις τύπους δικών του συσκευών. Ο Συντονιστής Δικτύου (ZigBee Coordinator) είναι FFD συσκευή μοναδική ανά δίκτυο ZigBee και είναι αυτή που το δημιουργεί. Μόλις ο Συντονιστής ορίζει το δίκτυο, αναθέτει διευθύνσεις δικτύου στις συσκευές που επιτρέπεται να συνδεθούν σ' αυτό. Επίσης, διαχειρίζεται τον πίνακα δικτύωσης και δρομολογεί τα μηνύματα μεταξύ των RFD.

Στην συνέχεια, έχουμε το Τερματικό (ZigBee End Device). Η συσκευή αυτή, είναι ο κόμβος του δικτύου που είναι συνδεδεμένη με αισθητήρες ή εκτελεί εργασίες ελέγχου εξωτερικά συνδεδεμένων συσκευών. Το Τερματικό μπορεί να είναι είτε FFD είτε RFD. Αυτό καθορίζεται από την φύση των εργασιών που πρέπει να εκτελεί. Αν, για παράδειγμα, ο αισθητήρας πρέπει να δειγματοληπτείται συνεχώς, γιατί ελέγχει κάποιο κρίσιμο μέγεθος, θα επιλέγει FFD.

Το τρίτο είδος συσκευής ενός δικτύου, είναι ο Δρομολογητής (ZigBee Router) και η χρήση του είναι προαιρετική. Ο Δρομολογητής είναι μια FFD συσκευή, η οποία επιτρέπει να συνδεθούν στο δίκτυο περισσότεροι κόμβοι. Έτσι, με την χρήση Δρομολογητών είναι δυνατόν να επεκτείνουμε το μέγεθος και το εύρος του δικτύου, καθώς συσκευές που είναι εκτός εμβέλειας του Συντονιστή, μέσω Δρομολογητών μπορεί να συνδεθούν κανονικά σ' αυτό. Στο πιο κάτω διάγραμμα, βλέπουμε ένα τυπικό δίκτυο ZigBee σε οικιακό περιβάλλον.



Εικόνα 4-2: Άποψη ενός HAN με χρήση ZigBee

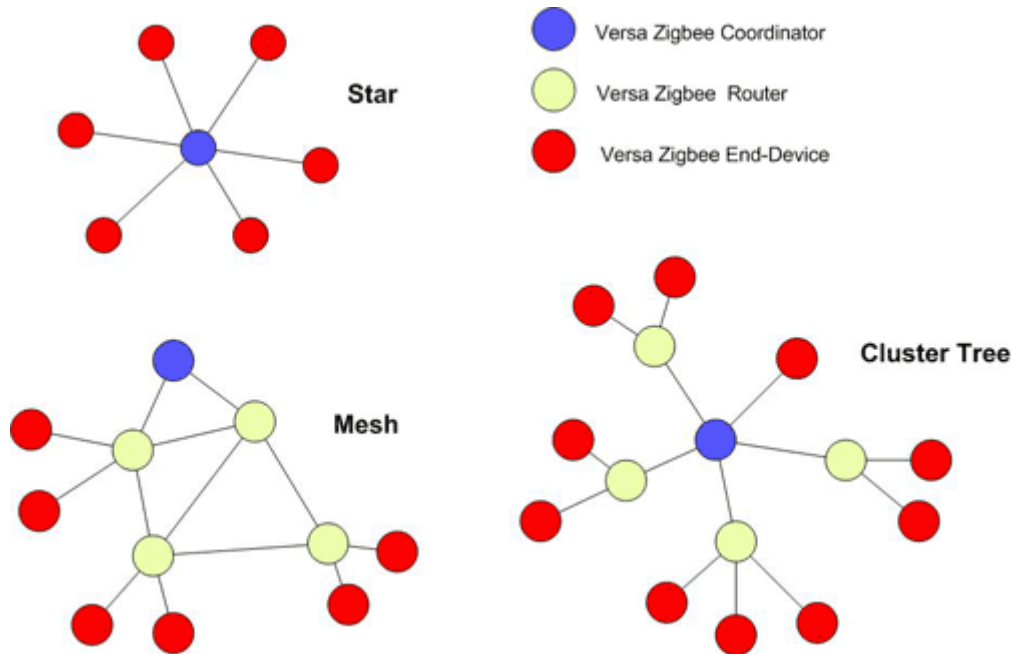
4.3iii Τοπολογίες Δικτύου ZigBee

Υπάρχουν τρεις ευρέως χρησιμοποιούμενες τοπολογίες δικτύου. Η τοπολογία Αστέρας (Star Network) αποτελείται από ένα Συντονιστή και ένα οποιοδήποτε (σε λογικά πλαίσια) αριθμό Τερματικών. Τα Τερματικά είναι φυσικά και ηλεκτρικά απομονωμένα μεταξύ τους και ο μόνος τρόπος για να ανταλλάξουν πληροφορίες είναι μέσω του Συντονιστή. Ο Αστέρας θεωρείται δίκτυο μονής αναπήδησης (single hop), καθώς υπάρχει μόνο ένα επιτρεπτό μονοπάτι ανάμεσα σε οποιοδήποτε Τερματικό και τον Συντονιστή. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της τοπολογίας αυτής, είναι ότι όλοι οι κόμβοι πρέπει να είναι εκτός εμβέλειας του Συντονιστή.

Η τοπολογία Δέντρου ή Συστάδας (Cluster – Tree Topology), επιτρέπει στα Τερματικά να ενωθούν στο δίκτυο είτε μέσω του Συντονιστή είτε μέσω κάποιου Δρομολογητή. Αυτό όπως είπαμε και πιο πάνω, επιτρέπει στο δίκτυο να μεγαλώσει την εμβέλεια του, καθώς είναι δυνατόν κόμβοι να ανήκουν σ' αυτό, χωρίς να έχουν άμεση επικοινωνία με τον Συντονιστή. Το Δέντρο είναι ουσιαστικά πολλοί Αστέρες όπου οι κεντρικοί κόμβοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Όπως, είναι εύκολα αντιληπτό, τα Τερματικά δεν έχουν άμεση επικοινωνία μεταξύ τους, αλλά όλα τα μηνύματα πρέπει να περάσουν από τουλάχιστον ένα Δρομολογητή ή τον Συντονιστή. Η τοπολογία αυτή, θεωρείται πολλαπλής αναπήδησης (multi hop), καθώς υπάρχουν πολλά μονοπάτια επικοινωνίας ενός κόμβου με τον Συντονιστή.

Η γενικότερη μορφή ενός δικτύου ZigBee, είναι η τοπολογία Πλέγματος (Mesh Topology, Peer to Peer). Αν και σ' αυτή την τοπολογία απαγορεύεται στις συσκευές RFD να έχουν

άμεση επικοινωνία μεταξύ τους, όλες οι συσκευές FFD (άσχετα από το αν είναι ο Συντονιστής, Δρομολογητές ή Τερματικά), έχουν το δικαίωμα για άμεση επικοινωνία με τις συσκευές που είναι εντός της εμβέλειας τους. Για τυχόν μηνύματα που πρέπει να μεταδοθούν εκτός εμβέλειας, η πληροφορία αναπηδά από κόμβο σε κόμβο μέχρι τον προορισμό του.



Εικόνα 4-3: Επιτρεπόμενες Τοπολογίες Δικτύου ZigBee

4.3iv Τρόποι πρόσβασης κόμβων στο δίκτυο ZigBee

Όποια και από τις τρεις τοπολογίες και να έχουμε σε χρήση, όλοι οι κόμβοι έχουν ίσα δικαιώματα και πρόσβαση στο δίκτυο. Έτσι ένα δίκτυο ZigBee, μπορεί να χαρακτηριστεί σαν πολλαπλής πρόσβασης (multi-access network). Για να μην έχουμε συγκρούσεις μηνυμάτων, ένα δίκτυο ZigBee μπορεί να λειτουργήσει με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος ονομάζεται Δίκτυο Προσπελάσιμο μέσω Σηματοδοσίας (Beacon enabled Network) και ο δεύτερος είναι το Δίκτυο χωρίς Σηματοδοσία (nonBeacon enabled Network).

Σε ένα nonBeacon Δίκτυο, επιτρέπεται σε κάθε κόμβο να εκπέμψει δεδομένα, φτάνει το κανάλι του δικτύου να είναι ελεύθερο. Αντίστοιχα, όταν έχουμε Σηματοδοσία, κάθε κόμβος επιτρέπεται να εκπέμψει, μόνο σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Σε ένα Beacon-enabled δίκτυο, ο Συντονιστής ανά τακτό χρονικά διάστημα, εκπέμπει ένα υπερπλαίσιο σηματοδοσίας (Beacon superframe signal) όπου κάθε κόμβος στο δίκτυο συγχρονίζεται μ'αυτό και του ανατίθεται ένα κβάντο χρόνου πάνω στο σήμα αυτό.

Όταν γίνει εκπομπή του πλαισίου σηματοδοσίας από τον Συντονιστή, κάθε κόμβος έχει ένα χρονικό παράθυρο που μπορεί να στείλει δεδομένα. Αν τα δεδομένα δεν είναι έτοιμα για αποστολή στο δικό του παράθυρο, τότε πρέπει να περιμένει το επόμενο σήμα σηματοδοσίας.

4.4 Jennic ZigBee Evaluation Kit - Πλατφόρμα Σχεδιασμού Δικτύου

Για την κατασκευή του οικιακού δικτύου, επιλέξαμε την πλατφόρμα υλοποίησης δικτύου «JN5139 ZigBee Evaluation Kit». Η πλατφόρμα αυτή, παρέχει ένα πλήρες περιβάλλον για γρήγορο σχεδιασμό εφαρμογών ασύρματων δικτύων με αξιοποίηση του πρωτοκόλλου δικτύου ZigBee.

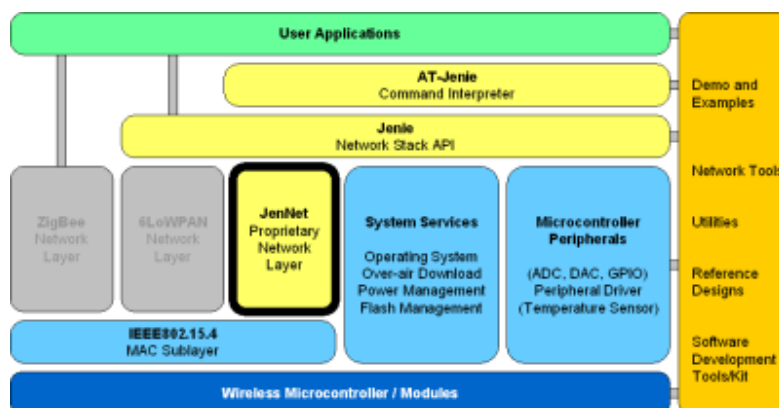


Εικόνα 4-4: Jennic ZigBee Evaluation Kit

Το υλικό που παρέχει το πακέτο είναι: 1 κεντρικός κόμβος με LCD οθόνη 128x64 pixels και 4 κόμβους αισθητήρων. Κάθε ένας από τους πέντε κόμβους, έχει ενσωματωμένο μικροελεκτή JN5139, αισθητήρες θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και επιπέδου φωτισμού. Παρέχεται η δυνατότητα για σύνδεση επιπλέον αισθητήρων, άλλων συσκευών ή υπολογιστή μέσω των θυρών επέκτασης.

Το λογισμικό περιλαμβάνει GNU-based περιβάλλον προγραμματισμού και ANSI C/C++ μεταγλωττιστή. Ακόμη, δίνεται αριθμός βιβλιοθηκών που αφορούν τον μικροελεκτή, τα περιφερειακά και το δίκτυο.

Το σύνολο του πακέτου προσφέρει ένα ιδανικό περιβάλλον για υλοποίηση εφαρμογών δικτύου με πλήρη υποστήριξη στα πρωτόκολλα IEEE 802.15.4 και ZigBee. Παρέχει ακόμα και την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί η δική της έκδοση της στοιβάδας δικτύου (JenNet Network Stack). Το JenNet αντίθετα με το αμιγές ZigBee που οι εφαρμογές καλούν μεθόδους απευθείας στο ZigBee Network Layer, επιτρέπει να αναφέρονται σε ένα ενδιάμεσο API, κάνοντας έτσι τον τελικό κώδικα εύκολα ελέγξιμο.



Εικόνα 4-5 : Χρήση του JenNet

Κεφάλαιο 5 : Κατασκευή του Δικτύου

5.1 Γενικές Πληροφορίες

Το δίκτυο που κατασκευάστηκε με την βοήθεια του JN5139 – Jennic ZigBee Evaluation Kit, έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Υποστήριξη όλων των συσκευών του προτεινόμενου συστήματος. Αυτό το πετύχαμε με την συγγραφή δύο πακέτων δικτύου. Το ένα υποστηρίζει την κεντρική συσκευή και την συσκευή ελέγχου ενώ το άλλο τις συσκευές αισθητήρων.
- Τα δυο πακέτα παρέχουν υποστήριξη όλων των τύπων κόμβων, ενός τυπικού δικτύου ZigBee. Δηλαδή, ανάλογα με το binary αρχείο που θα φορτώσουμε σε κάθε συσκευή του πραγματικού συστήματος, θα εκτελεί τον ρόλο είτε του ZigBee Coordinator, Router είτε End Device.
- Τα δύο πακέτα δικτύου μπορούν να συνυπάρξουν. Αυτό οφείλεται στον σχεδιασμό του πραγματικού συστήματος, όπου συσκευές μπορεί να παρακολουθούν οικιακές συσκευές είτε το περιβάλλον μέσω αισθητήρων.
- Κοινός εκτελέσιμος κώδικας. Όλος ο απαιτούμενος κώδικας, βρίσκεται στο ίδιο αρχείο για όλους τους τύπους συσκευών. Απλά ανάλογα με τον τύπο συσκευής ZigBee, αλλάζει το πρώτο αρχείο που καλούμε.
- Όλος ο κώδικας του δικτύου, έγινε με χρήση του ενδιάμεσου API Jennie της παραλλαγής JenNET ενός δικτύου ZigBee.

5.2 Χαρακτηριστικά του Δικτύου

Το δίκτυο έχει κατασκευαστεί για να υποστηρίζει πλήρως όλες τις λειτουργίες του συστήματος για την αυτο-διαχείριση του δικτύου, την μεταφορά δεδομένων, την εξοικονόμηση ενέργειας και την διαχείριση των ενσωματωμένων, στις πλακέτες του Jennic Evaluation Kit, περιφερειακών.

Οι λειτουργίες διαχείρισης του δικτύου περιλαμβάνουν τα εξής: Ρύθμιση και έναρξη του δικτύου και έναρξη ενός κόμβου σαν Συντονιστή, Δρομολογητή ή Τερματικό. Ακόμη, αποφασίζει αν ένας Δρομολογητής ή ο Συντονιστής, μπορεί να δεχτεί όλα παιδιά, διαχειρίζεται τις υπηρεσίες που παρέχει το δίκτυο τοπικές ή απομακρυσμένων κόμβων και τις δεσμεύει μεταξύ τους.

Η αποστολή δεδομένων γίνεται είτε σαν ανοικτή μετάδοση (broadcast) σε όλους τους δρομολογητές είτε αποκλειστικά για ένα απομακρυσμένο κόμβο. Ακόμη, υπάρχει η δυνατότητα αποστολής δεδομένων μέσω δεσμευμένης υπηρεσίας του δικτύου. Η αποστολή μέσω υπηρεσίας, κάνει δυνατή την μετάδοση δεδομένων μόνο στους προκαθορισμένους κόμβους που είναι δεσμευμένοι σ'αυτή. Κάθε κόμβος έχει και

κατάλληλο λογισμικό, που επιτρέπει την λήψη δεδομένων και την κατάλληλη αξιοποίηση αυτών.

Για την καλύτερη διαχείριση των πόρων του συστήματος, κάθε κόμβος εκτελεί ένα στιγμιότυπο ενός απλού λειτουργικού συστήματος (Basic Operating System – BOS). Το λειτουργικό σύστημα, έχει αναλάβει την διαχείριση των διαφόρων γεγονότων (events) που συμβαίνουν στο κάθε κόμβο (Λήψη δεδομένων, Τροποποίηση Δικτύου), καθώς και την ρύθμιση του ενσωματωμένου υλικού και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Δηλαδή, κάθε κόμβος έχει πλήρη έλεγχο στο υλικό που είναι φυσικά συνδεδεμένος, κεραία μετάδοσης, Analog to Digital Converters, Digital I/O και μπορεί να μπει ή να βγει σε sleep mode, ρυθμίζοντας ανάλογα την μνήμη και τις διακοπές του υλικού (hardware interrupts).

5.3 Λειτουργικό Σύστημα – BOS

Όπως αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, σε κάθε κόμβο του δικτύου εκτελείται στιγμιότυπο ενός βασικού λειτουργικού συστήματος. Το σύστημα αυτό είναι υπεύθυνο, εκτός της διαχείρισης του δικτύου, και για την επικοινωνία του λογισμικού με το υλικό και χρησιμοποιώντας το Jenie API, με την στοιβάδα του δικτύου.

Συνοπτικά, μπορούμε να χωρίζουμε τις συναρτήσεις που κατασκευάστηκαν ή χρησιμοποιούνται στο BOS, σε δυο τύπους. Τις συναρτήσεις «Application-to-Stack» και τις «Stack-to-Application». Το πρώτο σύνολο εντολών, όταν καλούνται μέσω από τον πηγαίο κώδικα του λειτουργικού, διαχειρίζονται τις παραμέτρους και τις εργασίες του δικτύου, την μεταφορά δεδομένων και την παραμετροποίηση του ίδιου του λειτουργικού. Το δεύτερο πακέτο, είναι συναρτήσεις επιστροφής κλήσης (callback) και ενεργοποιούνται από την στοιβάδα του δικτύου. Έτσι, έχουμε την ευκαιρία να εντοπίσουμε αλλαγές στο δίκτυο, είτε όταν αφορά μεταφορά δεδομένων είτε όταν αφορά την ρύθμιση αυτού και να τις διαχειριστούμε μέσω από διάφορα σημεία στον κώδικα μας.

Για να είναι απλό και ευέλικτο, το λειτουργικό μας, είναι σχεδιασμένο να λειτουργά αποκλειστικά μέσω διακοπών (interrupts), είτε λόγω του δικτύου μέσω callback function είτε μέσω hardware interrupts. Το λειτουργικό εκτελεί τις ανάλογες εργασίες για κάθε interrupt, μέσω μιας ουράς λήψης των διακοπών αυτών. Δηλαδή, όποιο γεγονός ληφθεί πρώτο, αυτό θα τύχει επεξεργασίας. Η εφαρμογή παρέχει ακόμη την δυνατότητα προσθήκης κώδικα που θα εκτελείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα μέσω ενός χρονοδρομολογητή που είναι συνδεδεμένος με το ρολόι ticker timer της πλακέτας.

Ο βασικός σκελετός του λειτουργικού, δίνεται στην επόμενη σελίδα και στην συνέχεια ακολουθεί πίνακας με την ακριβή περιγραφή κα λειτουργία κάθε συνάρτησης του λειτουργικού συστήματος. Στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με τον τρόπο που το λειτουργικό σύστημα διαχειρίζεται τα συνδεδεμένα με την πλακέτα περιφερειακά.

```

1  /*****
2  #include <jendefs.h> /* Standard Jennic type definitions */
3  #include <Jenie.h>  /* Jenie API definitions and interface */
4  #include <Printf.h> /* Basic Printf to UART0-19200-8-NP-1 {v2} */
5  #include "App.h"    /* Application definitions and interface */
6  /*****
7  /*****
8  PUBLIC void vJenie_CbConfigureNetwork(void)
9  {
10     <code...>
11 }
12 /*****
13 PUBLIC void vJenie_CbInit(bool_t bWarmStart)
14 {
15     <code...>
16 }
17 /*****
18 PUBLIC void vJenie_CbMain(void)
19 {
20     /* Call application main function */
21     vApp_CbMain();
22 }
23 /*****
24 PUBLIC void vJenie_CbStackMgmtEvent(teEventType eEventType, void *pvEventPrim)
25 {
26     /* Pass event on to application */
27     vApp_CbStackMgmtEvent(eEventType, pvEventPrim);
28 }
29 /*****
30 PUBLIC void vJenie_CbStackDataEvent(teEventType eEventType, void *pvEventPrim)
31 {
32     /* Pass event on to application */
33     vApp_CbStackDataEvent(eEventType, pvEventPrim);
34 }
35 /*****
36 PUBLIC void vJenie_CbHwEvent(uint32 u32DeviceId, uint32 u32ItemBitmap)
37 {
38     /* Pass event on to application */
39     vApp_CbHwEvent(u32DeviceId, u32ItemBitmap);
40 }
41 /*****
42

```

Κώδικας 5-1: Σκελετός του Λειτουργικού Συστήματος

Συνάρτηση : void vJenie_CbConfigureNetwork()

Ορίσματα: <Δεν υπάρχουν>

Περιγραφή: **Πρώτη Συνάρτηση που εκτελείται μετά τον Boot Loader**
Εκτελείται μόνο μια φορά και στον κώδικα της ορίζεται το δίκτυο στο οποίο μπορεί η συσκευή να ενωθεί, και όλες οι αναγκαίες ρυθμίσεις που πρέπει να γίνουν ανά τύπο συσκευής ZigBee.

Παράμετροι Δικτύου: **gJenie_Channel**
Το κανάλι που θα λειτουργεί το δίκτυο και κατά συνέπεια η συχνότητα που θα εκπέμπει η κεραία της συσκευής.

gJenie_NetworkApplicationID
Αριθμός 32-bit, η ταυτότητα του δικτύου που θα δημιουργηθεί.

gJenie_PanID
Το όνομα του δικτύου, 16-bit που χαρακτηρίζουν το δίκτυο. Αν κατά την δημιουργία του δικτύου, υπάρχει το PANid ως άλλο ξένο δίκτυο, τότε αυξάνεται μέχρι να βρει κενό αριθμό.

Ρυθμίσεις Συντονιστή Δρομολογητή: **gJenie_RoutingEnabled = TRUE;**
gJenie_RoutingTableSize = ROUTING_TABLE_SIZE;
gJenie_RoutingTableSpace = (void *) asRoutingTable;
Ορίζεται ο χώρος στην μνήμη, που θα κρατά η συσκευή όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τους κόμβους που θα ανήκουν στο δίκτυο σαν παιδιά της.

gJenie_EndDeviceChildActivityTimeout (ανά 100ms)
Χρόνος που χωρίς επικοινωνία με Τερματική Συσκευή, θεωρούμε ότι αυτή εγκατέλειψε το δίκτυο και την διαγράφουμε από το Routing Table.

Ρυθμίσεις Τερματικού: **gJenie_EndDevicePollPeriod (ανά 100ms)**
Ο χρόνος που η συσκευή αναζητά συντονιστή ή δρομολογητή του δικτύου για να ενωθεί σ' αυτό.

gJenie_EndDeviceScanSleep (ανά 1ms)
Χρόνος μεταξύ διαδοχικών σαρώσεων για εύρεση γονέα, που η συσκευή θα μπει σε sleep-mode για να εξοικονομήσει ενέργεια.

Κοινές Ρυθμίσεις: **vUART_printInit();**
Εκκίνηση Σύνδεσης με UART για σκοπούς debugging ή σύνδεσης με κονσόλα που υπάρχει εγκατεστημένο το GUI.

Συνάρτηση : void vJenie_CbInit()

Ορίσματα: **bool_t bWarmStart**
Σημεία που ενεργοποιείται στις τερματικές συσκευές, όταν ξυπνούν από το sleep mode.

Περιγραφή: **Συνάρτηση Ενεργοποίησης Περιφερειακών & Δικτύου**
Εκτελείται μετά την vJenie_CbConfigureNetwork() μόνο για μια φορά και στον κώδικα της ενεργοποιούμε όλα τα ενσωματωμένα περιφερειακά που θα θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε. Στην συνέχεια, ενεργοποιούμε την συσκευή, ανάλογα με τι τύπος συσκευής ZigBee είναι.

Συνάρτηση : void vJenie_CbMain()

Ορίσματα: <Δεν υπάρχουν>

Περιγραφή: **Συνάρτηση Χρονοδρομολόγησης**

Ο κώδικας που ανήκει στην συνάρτηση αυτή, εκτελείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα από το λειτουργικό – BOS. Μπορεί να είναι κώδικας ελέγχου περιφερειακών, δικτύου ή οτιδήποτε άλλο πρόγραμμα χρειαζόμαστε.

Συνάρτηση : void vJenie_CbStackMgmtEvent()

Ορίσματα: *teEventType eEventType*

Επιστρέφεται ο τύπος του γεγονότος που έκανε την κλήση επιστροφής
*void *pvEventPrim*

Επιστρέφεται δείκτης σε δομή δεδομένων – structure με πληροφορίες για το γεγονός

Περιγραφή: **Callback Συνάρτηση Γεγονότος Στοιβάδας Δικτύου**

Η συνάρτηση καλείται από την στοιβάδα του δικτύου ZigBee, για να πληροφορήσει την εφαρμογή, ότι έχει συμβεί ένα γεγονός διαχείρισης δικτύου. Δηλαδή, ο κώδικας που περιέχει η συνάρτηση, εκτελείται κάθε φορά που η network stack αντιλαμβάνεται διαχειριστική αλλαγή της.

Συνάρτηση : void vJenie_CbStackDataEvent ()

Ορίσματα: *teEventType eEventType*

Επιστρέφεται ο τύπος του γεγονότος που έκανε την κλήση επιστροφής
*void *pvEventPrim*

Επιστρέφεται δείκτης σε δομή δεδομένων – structure με πληροφορίες για το γεγονός

Περιγραφή: **Callback Συνάρτηση Γεγονότος Δεδομένων στο Δίκτυο**

Η συνάρτηση καλείται από την στοιβάδα του δικτύου ZigBee, για να πληροφορήσει την εφαρμογή, ότι έχει συμβεί ένα γεγονός λήψης δεδομένων. Δηλαδή, ο κώδικας που περιέχει η συνάρτηση, εκτελείται κάθε φορά που η network stack αντιλαμβάνεται εισερχόμενο μήνυμα από κάποιο άλλο κόμβο του δικτύου.

Συνάρτηση : void vJenie_CbHwEvent()

Ορίσματα: *uint32 u32DeviceId*

Επιστρέφεται το περιφερειακό που προκάλεσε την διακοπή.

uint32 u32ItemBitmap

Επιστρέφεται δομή bitmap με τον τύπο της διακοπής υλικού.

Περιγραφή: **Callback Συνάρτηση Γεγονότος Περιφερειακού Υλικού**

Η συνάρτηση καλείται από την στοιβάδα του δικτύου ZigBee, για να πληροφορήσει την εφαρμογή, ότι έχει συμβεί ένα γεγονός διακοπής από περιφερειακό. Δηλαδή, ο κώδικας που περιέχει η συνάρτηση, εκτελείται κάθε φορά που η network stack αντιλαμβάνεται hardware interrupt από μια από τις φυσικά συνδεδεμένες συσκευές.

5.4 Χρήση Περιφερειακών

5.4i Πακέτο Συσκευών Ελέγχου

- **Μετατροπέας Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό - ADC**

Ο Analog-to-Digital Converter, χρησιμοποιείται για να ψηφιοποιήσουμε τις ενδείξεις των μετρητών της πλακέτας ισχύος, ώστε να μπορούμε να τις επεξεργαστούμε είτε μέσω του ενσωματωμένου μικροελεκτή είτε μέσω υπολογιστή.

- **Ψηφιακές Είσοδοι /Εξοδοι – Digital Input/Output Pins**

Στις συσκευές ελέγχου, έχουμε σε χρήση το pin DIO0 και το pin DIO1 ως εξόδους ψηφιακού σήματος, για να μπορέσουμε να οδηγούμε το μικροελέ της πλακέτας ισχύος.

5.4ii Πακέτο Συσκευών Αισθητήρων

- **Ενσωματωμένος Αισθητήρας Θερμοκρασίας/Υγρασίας**

Ο Αισθητήρας Θερμοκρασίας/Υγρασίας, παρέχει πληροφορίες για το περιβάλλοντα χώρο της συσκευής. Αναφέρουμε, ότι ο αισθητήρας αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις συσκευές ελέγχου, καθώς θα πρέπει να παρακολουθούμε την θερμοκρασία λειτουργίας της πλακέτας ισχύος.

- **Ενσωματωμένος Αισθητήρας Επιπέδου Φωτισμού**

Ο Αισθητήρας Επιπέδου Φωτισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου η φωτεινότητα του χώρου παίζει σημαντικό ρόλο για τις αυτοματοποιημένες εργασίες του συστήματος.

- **Ψηφιακές Είσοδοι /Εξοδοι – Digital Input/Output Pins**

Στις συσκευές αισθητήρων, έχουμε συνήθως σε χρήση το pin DIO2 ως πρωτεύουσα είσοδο ψηφιακού σήματος, από εξωτερικά ψηφιακά συστήματα αισθητήρων. Σε περίπτωση ύπαρξης περισσότερων του ενός εξωτερικών αισθητήρων υπάρχουν άμεσα διαθέσιμα ακόμα 5 pins, DIO3-DIO8.

5.4iii Κοινά Περιφερειακά

- **Σειριακή Θύρα Επικοινωνίας - UART**

Η Θύρα UART μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έξοδο της ροής δεδομένων σε οποιοδήποτε είδος συσκευής, για σκοπούς debugging. Ακόμη, στην κεντρική συσκευή του συστήματος, είναι η θύρα με την οποία έχουμε σύνδεση με την κονσόλα ελέγχου ή τον υπολογιστή. Έτσι, είναι δυνατός ο έλεγχος του συστήματος από το γραφικό περιβάλλον, GUI.

- **Κομβία Ελέγχου – PROGRAM,RESET,SW1,SW2 Buttons**

Τα κομβία αυτά υπάρχουν σε όλους τους κόμβους του συστήματος και παρέχουν άμεση πρόσβαση σε βασικές λειτουργίες του συστήματος. Οι λειτουργίες αυτές είναι: Επανεκκίνηση του κόμβου, Ενεργοποίηση δυνατότητας προσθήκης νέου κόμβου (ως παιδί), άμεση αποστολή δεδομένων στην κεντρική συσκευή και έλεγχος της τροφοδοσίας της συνδεδεμένης οικιακής συσκευής.

- **Φωτεινοί Ενδείκτες - LEDs**

Οι φωτεινοί ενδείκτες, παρέχουν άμεση ενημέρωση για την κατάσταση της κάθε συσκευής. Με μια ματιά μπορούμε να αποφανθούμε αν μια συσκευή είναι σε λειτουργία, αν ανήκει σε κάποιο δίκτυο ή αν είναι σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας (sleep mode).

5.5 Διακίνηση Πληροφορίας στο Δίκτυο

Όπως εξηγήσαμε σε προηγούμενες υποενότητες όλες οι εργασίες που αφορούν το δίκτυο εκτελούνται από το λειτουργικό σύστημα, μέσω διακοπών υλικού ή κλήση συναρτήσεων επιστροφής από τις στοιβάδες του δικτύου. Σ'αυτή την ενότητα θα εξηγήσουμε πως γίνεται η διακίνηση πληροφορίας στο δίκτυο.

Κάθε τύπος συσκευής ZigBee, μπορεί να αποστείλει δεδομένα μέσω της κεραίας που διαθέτει. Η δομή των δεδομένων αυτών, είναι ανάλογη του τύπου της πληροφορίας που αποστέλλεται την δεδομένη στιγμή. Όλες οι συσκευές, μπορούν να αποστείλουν δεδομένα που αφορούν τις ενδείξεις των περιφερειακών τους. Για παράδειγμα, μια συσκευή αισθητήρων μπορεί να αποστείλει μήνυμα με τις τρέχουσες τιμές της θερμοκρασίας ή αν υπάρχει ανίχνευση κίνησης στον χώρο. Μια συσκευή ελέγχου, αποστέλλει μήνυμα που αφορά την κατανάλωση ενέργειας της οικιακής συσκευής που παρακολουθεί, καθώς και τις τιμές τυχόν αισθητήρων που έχει φυσικά συνδεδεμένους (πχ θερμοκρασία ηλεκτρονικών ισχύος).

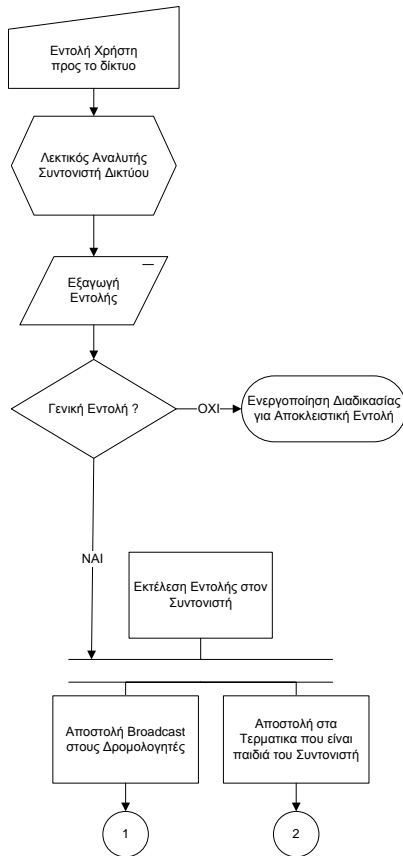
Ο Συντονιστής του Δικτύου, ο οποίος είναι κεντρική συσκευή, έχει ενσωματωμένο στο λειτουργικό του σύστημα και ένα ειδικά σχεδιασμένο κέλυφος (shell), το οποίο έχει την ικανότητα να επεξεργάζεται εντολές που δέχεται από τον χρήστη. Οι εντολές αυτές, έρχονται μέσω της σειριακής θύρας UART, από την κονσόλα ή τον υπολογιστή που υπάρχει εγκατεστημένο το γραφικό περιβάλλον διαχείρισης GUI.

Για να υπάρχει μειωμένη επιβάρυνση του ασύρματου μέσου, οι εντολές που διαχειρίζεται το κέλυφος της κεντρικής συσκευής, είναι όσο το δυνατόν μικρότερες με μήκος δεδομένων. Υπάρχουν δυο είδους εντολές, που μπορεί να εκτελέσει η κεντρική συσκευή.

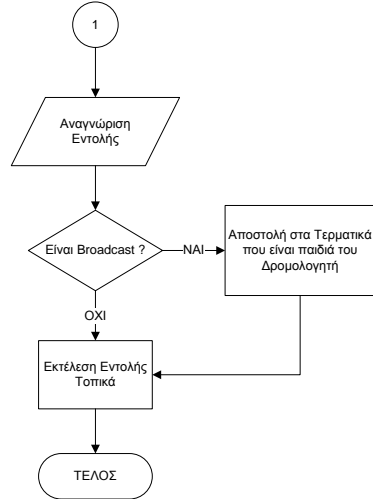
Το πρώτο είδος αφορά όλους τους κόμβους του δικτύου και έχουν μήκος 1byte. Ο Συντονιστής αναλύει την εντολή, την εκτελεί τοπικά και στην συνέχεια την αποστέλλει σε όλους του δρομολογητές του δικτύου (μέσω broadcast) και στα τερματικά που είναι παιδιά του, για να εκτελεστούν και εκεί. Οι δρομολογητές, αφού λάβουν την εντολή την εκτελούν τοπικά και στην συνέχεια ενημερώνουν τα δικά τους παιδιά-τερματικά. Έτσι, σε 2 βήματα όλα το δίκτυο έχει λάβει και εκτελέσει την εντολή. Στο πιο κάτω διάγραμμα ροής φαίνεται η

διαδικασία που ακολουθείται από την λήψη μέχρι και την εκτέλεση μιας γενικής εντολής από τον χρήστη. Στην συνέχεια, δίνονται σε πίνακα όλες οι υποστηριζόμενες εντολές που το δίκτυο μπορεί να εκτελέσει.

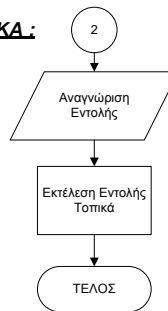
ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ :



ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΤΕΣ :



ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ :



Διάγραμμα 5-1: Διάγραμμα Ροής Εκτέλεσης Γενικής Εντολής Χρήστη

Υποστηριζόμενες Εντολές Κελύφους Χρήστη ανά ID :

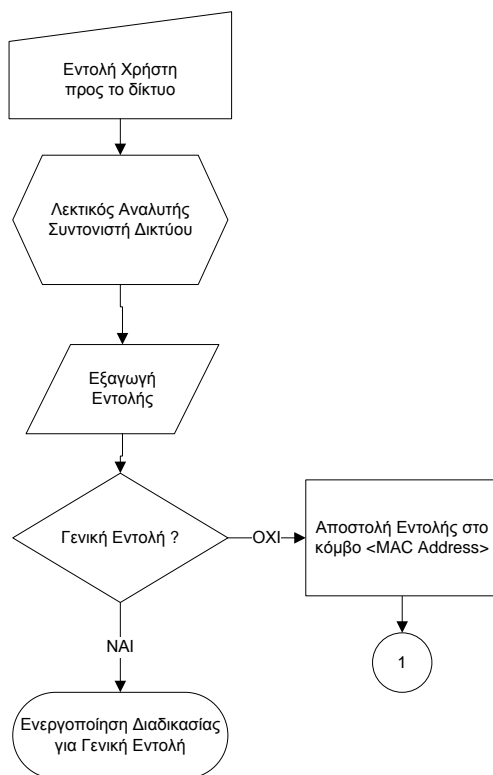
T	<i>Ενεργοποίηση Send-On-Timer</i> Το δίκτυο αναλαμβάνει την συλλογή και αποστολή δεδομένων ανά τακτό χρονικό διάστημα, χωρίς να χρειάζεται επέμβαση του χρήστη.
D	<i>Ενεργοποίηση Send-On-Demand</i> Το δίκτυο σταματά την αυτόματη αποστολή δεδομένων. Πλέον χρειάζεται εντολή από τον χρήστη.
S	<i>Συλλογή & Αποστολή Δεδομένων Περιφερειακών & Αισθητήρων</i> Με την εντολή αυτή, ότι δεδομένα υπάρχουν διαθέσιμα αποστέλλονται στην κεντρική συσκευή.
Q	<i>Αποστολή Routing Table & Δεδομένων Ποιότητας Σήματος</i> Αν ο κόμβος είναι Συντονιστής ή Δρομολογητής, αποστέλλει τις MAC Addresses των παιδιών του, καθώς και την πιο πρόσφατη τιμή του δείκτη ποιότητας σήματος LQI, μεταξύ αυτού και των παιδιών του.
Z	<i>Αύξηση Χρόνου - Sleep Mode Period</i> Αυξάνεται ο χρόνος που η συσκευή μπαίνει σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης, κατά 10 δευτερόλεπτα.
A	<i>Μείωση Χρόνου - Sleep Mode Period</i> Μειώνεται ο χρόνος της λειτουργίας χαμηλής κατανάλωσης κατά 10 δευτερόλεπτα. Ελάχιστη Τιμή : 10 δευτερόλεπτα

Υ	Αύξηση Μετρητή Αυτόματης Αποστολής Δεδομένων Αυξάνεται η περίοδος που ο κόμβος αποστέλλει δεδομένα στην κεντρική συσκευή, αν είναι ενεργοποιημένη η αυτόματη αποστολή, κατά 10ms.
Β	Μείωση Μετρητή Αυτόματης Αποστολής Δεδομένων Μειώνεται η περίοδος που ο κόμβος αποστέλλει δεδομένα στην κεντρική συσκευή, κατά 10ms. Ελάχιστη Τιμή : 10ms.
Χ	Αύξηση Χρόνου Πλήρους Λειτουργίας Τερματικού Αυξάνεται ο χρόνος που ένα τερματικό δουλεύει σε πλήρη ισχύ, πριν μεταβεί σε sleep mode ξανά, κατά 10ms.
Ζ	Μείωση Χρόνου Πλήρους Λειτουργίας Τερματικού Μειώνεται ο χρόνος που ένα τερματικό δουλεύει σε πλήρη ισχύ, κατά 10ms. Ελάχιστη Τιμή : 10ms
Ρ	Αλλαγή Κατάστασης της Τροφοδοσίας Οικιακής Συσκευής Με την εντολή αυτή, μπορούμε να ανοίξουμε ή να κλείσουμε την οικιακή συσκευή που παρακολουθεί ο κόμβος.

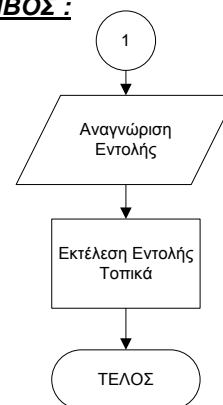
Πίνακας 5-1: Εντολές Κελύφους Χρήστη

Το δεύτερο είδος εντολών που μπορεί να δώσει ο χρήστης μέσω του γραφικού περιβάλλοντος είναι οι αποκλειστικές εντολές. Οι εντολές αυτές έχουν το ίδιο ID με τις γενικές, αλλά εκτελούνται αποκλειστικά σε ένα κόμβο. Ο Συντονιστής του δικτύου, έχει λεκτικό αναλυτή, ο οποίος μπορεί να αντιληφθεί τις αποκλειστικές εντολές και τις αποστέλλει μόνο στο κόμβο που αφορούν, αντί σε όλο το δίκτυο.

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ :



ΚΟΜΒΟΣ :



Διάγραμμα 5-2: Διάγραμμα Ροής Εκτέλεσης Αποκλειστικής Εντολής

Στο πιο κάτω πίνακα, παρουσιάζεται η γραμματική που ακολουθούν οι εντολές του κελύφους χρήστη. Έχει σχεδιαστεί για να είναι όσο το δυνατόν πιο εύκολα αναγνωρίσιμη από τον λεκτικό αναλυτή, ώστε να μην έχουμε επιβάρυνση των περιορισμένων πόρων του μικροελεκτή, που διαχειρίζεται το δίκτυο.

Εντολές Κελύφους Χρήστη :

<Command ID>	<i>Γενική Εντολή Δικτύου</i> Εκτελείται από όλους τους κόμβους που ανήκουν στο δίκτυο.
(<MAC Address>, <Command ID>)	<i>Αποκλειστική Εντολή</i> Εκτελείται μόνο στον κόμβο που έχει MAC Address, ίση με το όρισμα του χρήστη.

Πίνακας 5-2: Γραμματική Εντολών Κελύφους Χρήστη

Όπως αναφέραμε και πιο πάνω, επιλέχτηκε να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερα αναγνωριστικά των εντολών (1 byte), ώστε να έχουμε την ελάχιστη δυνατή επιβάρυνση του ασύρματου μέσου, γιατί στην τραβηγμένη περίπτωση ύπαρξης εκατοντάδων κόμβων στο οικιακό μας δίκτυο, παίζει τρομερή σημασία στην απόδοση του συστήματος, ο χρόνος που δεσμεύει κάθε κόμβος το κανάλι ασύρματης επικοινωνίας.

Αυτό δεν περιορίζει την μετέπειτα προσθήκη εντολών, σε μια πιθανή αναβάθμιση του πρότυπου συστήματος καθώς 1 byte, είναι ικανό να χαρακτηρίσει μέχρι $2^8 = 256$ εντολές. Απλά στην πρώτη αυτή έκδοση του συστήματος, θεωρήσαμε πιο εύκολα κατανοητό, οι εντολές μας αντί να έχουν αριθμούς για IDs, να δώσουμε χαρακτήρες ASCII που πάλι αντιστοιχούν σε αριθμούς 1 byte μήκους. Για παράδειγμα, η εντολή "S" αντιστοιχεί με την εντολή "83".

Όταν ένας κόμβος λαμβάνει μήνυμα μέσω του δικτύου, τότε αναλύει το μήνυμα ανάλογα με το μήκος του σε bytes και ανάλογα εκτελεί τις εντολές που πρέπει για να το επεξεργαστεί. Ακόμα, αν ο κόμβος που έστειλε το μήνυμα ζήτησε επιβεβαίωση λήψης (Data Acknowledge), απαντά με αποστολή νέου μηνύματος που δηλώνει ότι έλαβε σωστά το αρχικό μήνυμα. Όλες οι εντολές που αφορούν την επεξεργασία μηνυμάτων, βρίσκονται ενσωματωμένες στην συνάρτηση επιστροφής κλήσης vJenie_CbStackDataEvent ().

Ενδεικτικός Σκελετός vApp_CbStackDataEvent() για εισερχόμενα μηνύματα :

```

1 *****
2 PUBLIC void vApp_CbStackDataEvent(teEventType eEventType, void *pvEventPrim)
3 {
4     /* Which event occurred ? */
5     switch (eEventType)
6     {
7         /* Incoming data */
8         case E_JENIE_DATA:
9             {
10                < Get pointer to correct primitive structure >
11                switch (psData->u16Length)
12                {

```

```

13      /*Incoming Instruction Command*/
14      case 1:
15          <Instruction Analyzer>
16          <Execute Command>
17      case 2:
18          /*Incoming Broadcast Data */
19          {
20              /* It's a Broadcast? */
21              <Notify Node's Children>
22          }
23      break;
24
25      /*Incoming Sensor Data*/
26      case 4:
27          {
28              <Analyze Data>
29              <Forward Data to UART>
30          }
31      break;
32
33      /*Incoming A/D Data*/
34      case 5:
35          {
36              <Analyze Data>
37              <Forward Data to UART>
38          }
39      break;
40
41      /*Incoming LQI Data*/
42      case 9:
43          {
44              <Analyze Data>
45              <Forward Data to UART>
46          }
47      break;
48  }
49  break;
50  /* Incoming data ack */
51  case E_JENIE_DATA_ACK:
52  {
53      <Confirm Receive>
54      <Forward Data to UART>
55      /* Is this an End Device? */
56      if (bEndDevice)
57      {
58          <Enter Sleep Mode>
59      }
60  }
61  break;
62  }
63  ***** /

```

Κώδικας 5-2: Σκελετός Κώδικα για Λήψη Δεδομένων

Κεφάλαιο 6 : Κατασκευή του Υλικού

6.1 Γενικά Στοιχεία

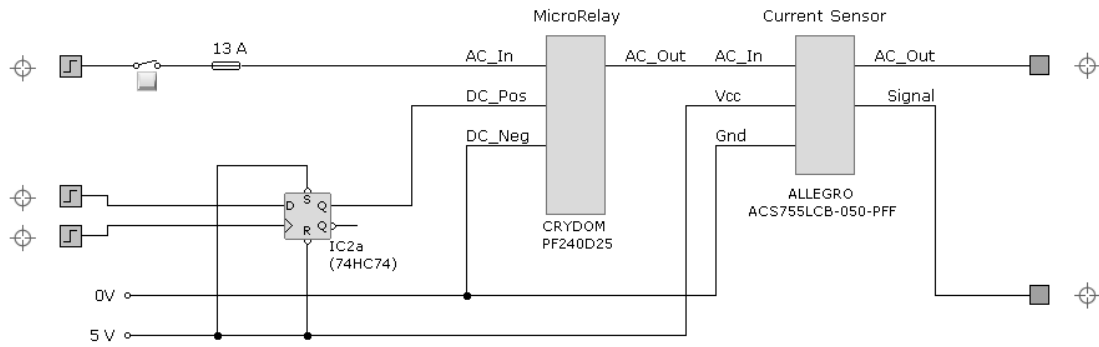
Για να δοκιμάσουμε το προτεινόμενο σύστημα, έπρεπε να κατασκευαστούν και πλακέτες με επιπλέον υλικό, για να μπορέσουμε να επιδείξουμε τις πλήρης δυνατότητες του συστήματος. Σημαντικό μέρος του επιπρόσθετου υλικού, αφορά τις συσκευές ελέγχου οικιακών συσκευών. Έτσι, έχουμε σχεδιάσει και κατασκευάσει πρότυπες πλακέτες με ηλεκτρονικά διαφόρων τύπων, ικανά να οδηγήσουν την τροφοδοσία της οικιακής συσκευής, καθώς και να μας δώσουν πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας. Οι πληροφορίες αυτές, θα μεταδίδονται στον μικροελεκτή του κόμβου για επεξεργασία μέσω A/D Converter.

Ακόμη, για να δοκιμαστεί η δυνατότητα του προτεινόμενου συστήματος για προσθήκη νέων αισθητήρων, κατασκευάστηκε κύκλωμα ανιχνεύσεως κίνησης και τοποθετήθηκε σε κόμβο του δικτύου, χρησιμοποιώντας μια από τις ψηφιακές εισόδους DIO.

6.2 Κύκλωμα Ελέγχου Οικιακής Συσκευής

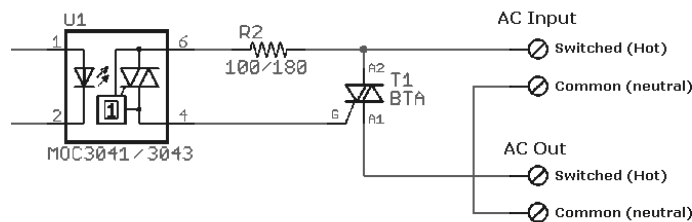
Το κύκλωμα ελέγχου της οικιακής συσκευής, αποτελείται από τρία διαφορετικά υποκυκλώματα. Το καθένα από αυτά είναι ηλεκτρικά απομονωμένο από τα άλλα δυο, καθώς υπάρχουν διαφορές στην τάση λειτουργίας των υποκυκλωμάτων αυτών. Υπάρχουν στην ίδια πλακέτα τάσεις παροχής της ΔΕΗ (AC 230V), DC 5V και ψηφιακά σήματα από και προς τον μικροελεκτή που ελέγχει την πλακέτα.

Τα δύο πρώτα υποκυκλώματα αφορούν αποκλειστικά τον έλεγχο της οικιακής συσκευής, ενώ το τρίτο είναι το τροφοδοτικό που παράγει την απαιτούμενη DC τάση. Το υποκύκλωμα AC τάσεως 230V, είναι στην πραγματικότητα το κύκλωμα τροφοδοσίας της οικιακής συσκευής, όπου παρεμβάλλονται το ρελέ στερεάς κατάστασης (Solid State Relay) και οι αισθητήρες ρεύματος που απαιτούνται για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Καθώς το ρελέ και οι αισθητήρες χρειάζονται DC τροφοδοσία και έλεγχο, υπάρχει το δεύτερο ψηφιακό υποκύκλωμα (δηλαδή DC τάση), που είναι υπεύθυνο για την τροφοδοσία των αισθητήρων και τον έλεγχο του D-Flip Flop, που οδηγεί το ρελέ. Στο πιο κάτω απλοποιημένο κυκλωματικό διάγραμμα, δίνουμε τα δυο αυτά υποκυκλώματα.



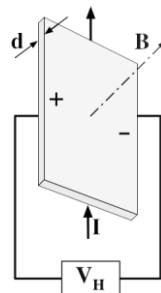
Κύκλωμα 6-1: Απλοποιημένη Παρουσίαση Κυκλώματος Ελέγχου & Μετρητών

Το ρελέ στερεάς κατάστασης, είναι στην πραγματικότητα ένα κύκλωμα ηλεκτρονικών ισχύος ειδικά κατασκευασμένο για να οδηγά AC συσκευές μέχρι 50A, με τάση ελέγχου DC πολύ μικρής τιμής. Αποτελείται από ένα ορτο-triack που παρέχει ηλεκτρική και οπτική απομόνωση μεταξύ των δύο τάσεων. Όταν έχουμε τάση στο DC κομμάτι του ρελέ, ενεργοποιείται η φωτοδιόδος και μέσω αυτής ανοίγει το ορτο-triack. Το triack, αντίθετα με τις διόδους, επιτρέπει την διέλευση του ρεύματος και από τις δυο κατευθύνσεις, μόλις παρουσιαστεί τάση στην πύλη του. Το ορτο-triack, ενεργοποιείται με την παρουσία φωτεινής ενέργειας στον αισθητήρα της πύλης.



Κύκλωμα 6-2: Απλοποιημένο Ρελέ Στερεάς Κατάστασης

Ο αισθητήρας ρεύματος που επιλέξαμε, είναι μια κατασκευή σε ενιαίο πυρίτιο που παρέχει σήμα εξόδου ανάλογο με το ρεύμα που περνά από το κομμάτι υψηλής τάσης. Το φαινόμενο που βασίζει την λειτουργία του, ονομάζεται Hall Effect. Πρακτικά, είναι η παραγωγή μιας διαφοράς τάσης, σαν αποτέλεσμα στο ρεύμα που περνά μέσα από ένα αγωγό και στην ύπαρξη, κάθετου με το ρεύμα αυτό, μαγνητικού πεδίου.

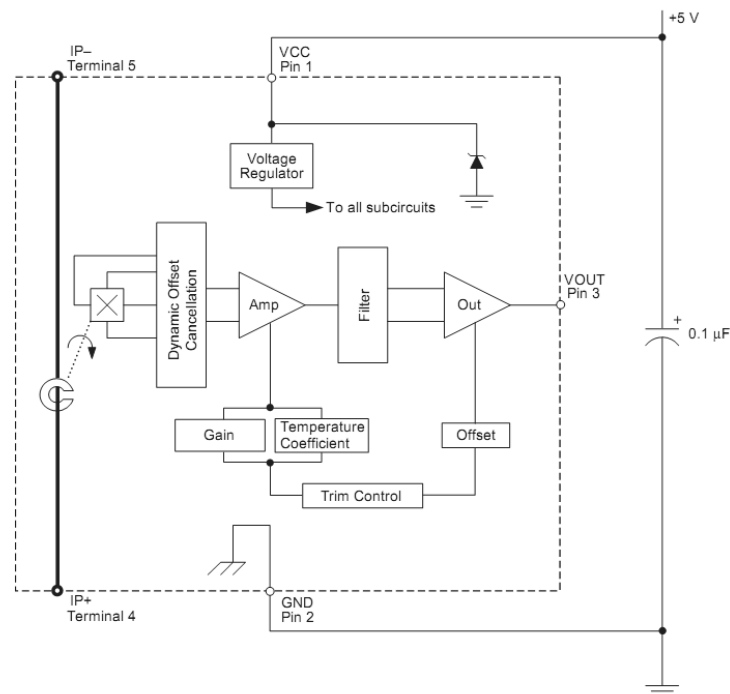


Εικόνα 6-1: Hall Effect

Το Hall Effect, αξιοποιείται ως εξής: Μέσα από ένα αγώγιμο κομμάτι του αισθητήρα περνάει το μαγνητικό πεδίο που προκαλείται από το AC ρεύμα υψηλής τάσης. Χρησιμοποιώντας την DC τροφοδοσία, δημιουργούμε ροή ρεύματος σταθερού μεγέθους στον αγωγό. Έτσι, η τιμή της τάσης Hall, είναι ανάλογη του μαγνητικού πεδίου και κατά συνέπεια ανάλογη του ρεύματος που περνά μέσα από το κομμάτι υψηλής τάσης.

Ο αισθητήρας, στην συνέχεια ενισχύει την τάση αυτή και την περνά στην έξοδο. Το σήμα εξόδου του ACS755, για ρεύμα AC υψηλή τάσης, έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

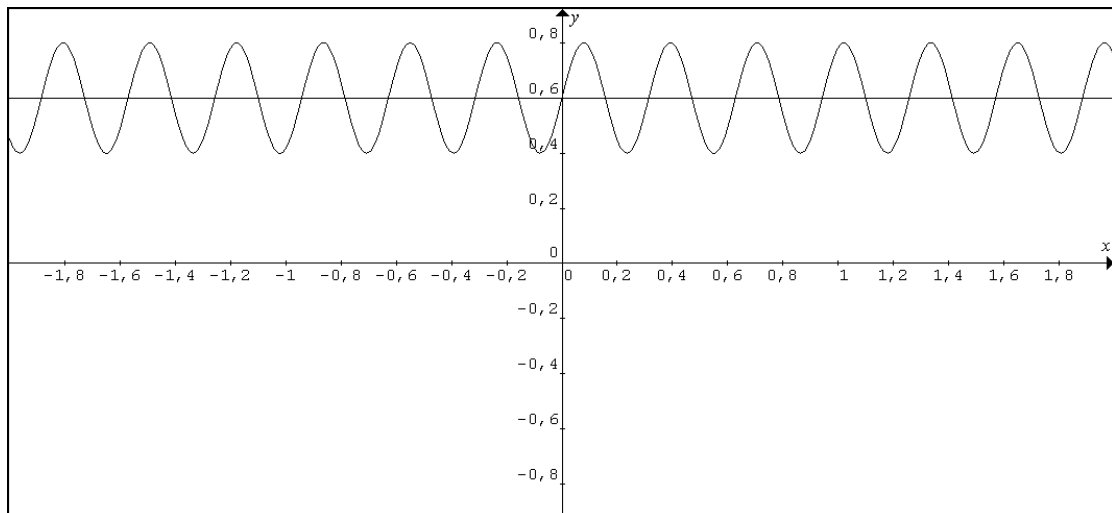
- AC σήμα χαμηλής τάσης
- Voffset = 600mV
- Vrms = 60 x Irms(υψηλής τάσης) mV



Κύκλωμα 6-3: Κύκλωμα Αισθητήρα Ρεύματος

Για να μπορέσουμε να αξιοποιήσουμε τις πληροφορίες που μας παρέχει ο αισθητήρας αυτός, πρέπει να ψηφιοποιήσουμε το σήμα εξόδου με ένα A/D Converter και να το επεξεργαστούμε ώστε να απομονώσουμε την RMS τιμή του. Μετά, με ένα απλό πολλαπλασιασμό, μπορούμε για κάθε χρονική στιγμή, να έχουμε την τιμή του ρεύματος που τραβά η οικιακή συσκευή και κατά συνέπεια την κατανάλωση του ρεύματος, μέσω του πιο κάτω τύπου:

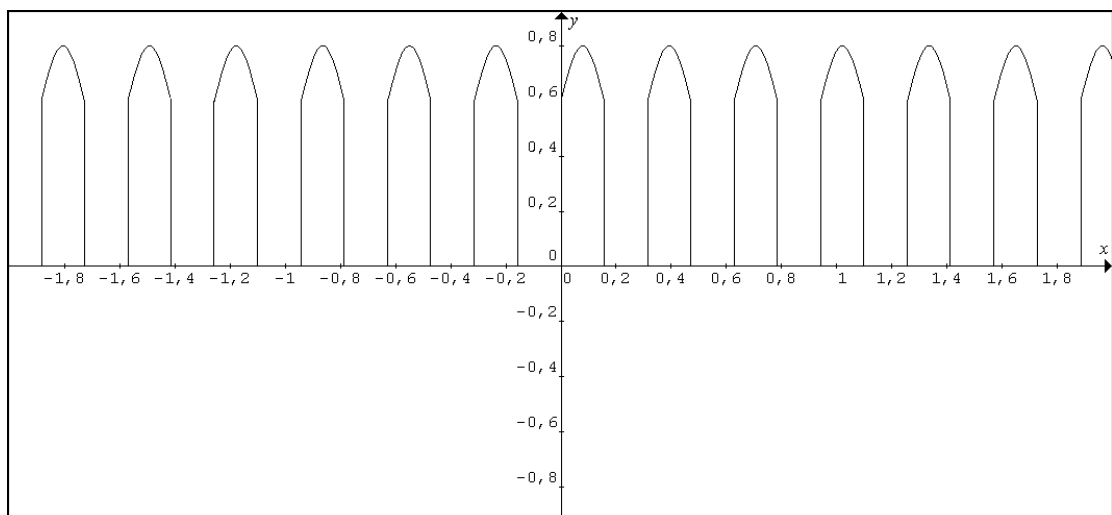
$$KWh = [Voltage_{rms} \cdot Current_{rms} \cdot PowerFactor] \cdot \Delta t(\text{in hours})$$



Γράφημα 6-1: Ιδανικό Σήμα Εξόδου Αισθητήρα

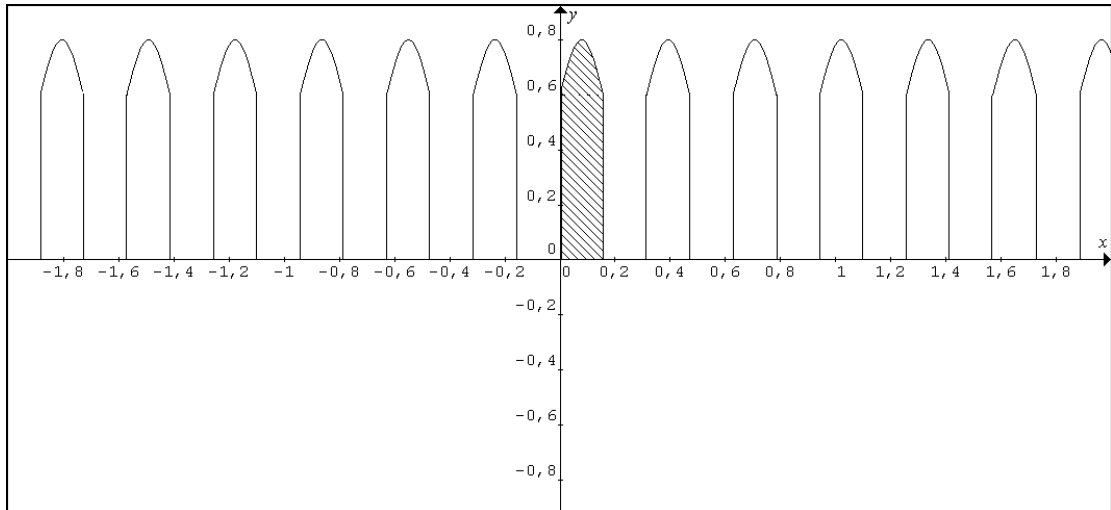
Στο πιο πάνω γράφημα, βλέπουμε μια αναπαράσταση του ιδανικού σήματος εξόδου του αισθητήρα ρεύματος. Μέσω του A/D Converter, δειγματοληπτούμε το σήμα με συχνότητα τουλάχιστον διπλάσια από την μέγιστη συχνότητα του σήματος (Θεώρημα Νiquist), ώστε να έχουμε επαρκή πληροφορία για να αναπαραστήσουμε το σήμα ψηφιακά.

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε εύκολα την rms τιμή του σήματος, επιβαρύνοντας όσο το δυνατόν λιγότερο τους πόρους του μικροελεκτή, χρησιμοποιήσαμε την εξής τεχνική: Την στιγμή της δειγματοληψίας, όσες τιμές κριθούν να είναι κάτω από το μέσο όρο (Voffset) του σήματος, απλά αγνοούνται. Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι ο μικροελεκτή βλέπει το αρχικό σήμα, με την πιο κάτω μορφή.



Γράφημα 6-2: Το αρχικό σήμα από την πλευρά του μικροελεκτή

Καθώς το αρχικό σήμα είναι ημίτονο με γνωστή συχνότητα, ίση με την συχνότητα δικτύου της ΔΕΗ – 50Hz, μέσω ολοκλήρωσης ενός τυχαίου παραθύρου με πλάτος ίσο με μια περίοδο, μπορούμε να υπολογίσουμε εύκολα το πλάτος του αρχικού σήματος και κατά συνέπεια την rms τιμή του.



Γράφημα 6-3: Ολοκλήρωμα για μια περίοδο

Στην συνέχεια, θα δείξουμε με μαθηματικό τρόπο, πως χρησιμοποιώντας δειγματοληψία του τροποποιημένου σήματος, μπορούμε να υπολογίσουμε την rms τιμή του αρχικού.

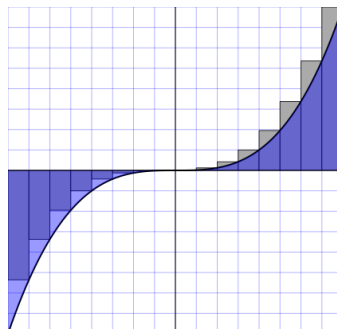
$$\int_0^T f(t) dt = \int_0^{\frac{T}{2}} [Offset + A \sin(\omega t)] dt = \left[Offset \cdot t - \frac{A \cos(\omega t)}{\omega} \right]_0^{\frac{T}{2}} =$$

$$= Offset \frac{T}{2} - \frac{A}{\omega} \left[\cos\left(\omega \frac{T}{2}\right) - \cos 0 \right] = Offset \frac{T}{2} + 2 =$$

$$= Offset \frac{T}{2} + \frac{A \cdot T}{\pi} \Rightarrow$$

$$\int_0^T f(t) dt = Offset \frac{T}{2} + \frac{A \cdot T}{\pi}$$

Χρησιμοποιώντας την ορθογώνια αριθμητική μέθοδο ολοκλήρωσης (Rectangle Method) (13) και τις τιμές που λαμβάνουμε από τον A/D Converter, έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Διάγραμμα 6-1: Ορθογώνια Μέθοδος Ολοκλήρωσης

$$\int_0^T f(t) dt \approx \sum_{n=1}^i [0,6mV \cdot h(AD) \cdot \Delta]$$

Στην πιο πάνω εξίσωση, Δ είναι ο χρόνος μεταξύ δυο διαδοχικών δειγμάτων (περίοδος δειγματοληψίας) και $h(AD)$ η ψηφιακή τιμή που επιστρέφει ο A/D Converter. Για να εκφράσουμε όμως την πραγματική τιμή του σήματος, θέλουμε να πολλαπλασιάσουμε με την ευαισθησία του Converter, η οποία στην περίπτωση μας είναι 0,6mV.

Η μεγαλύτερη συχνότητα του αρχικού σήματος είναι τα 50Hz, οπότε οποιαδήποτε συχνότητα δειγματοληψίας πάνω από 100Hz, μπορεί να μεταφέρει αναλλοίωτο το σήμα μας σε ψηφιακή μορφή. Όμως, έχουμε το εξής μειονέκτημα. Για να μας δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα η αριθμητική μέθοδος πρέπει να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερο Δ .

Μετά από δοκιμές, αποφασίσαμε να δειγματοληπτούμε το σήμα με $\Delta=0,2ms$, δηλαδή να έχουμε 100 δείγματα ανά περίοδο του σήματος, όπου η περίοδος του είναι $T=20ms$.

$$\int_0^T f(t) = Offset \frac{T}{2} + \frac{A \cdot T}{\pi} \approx \sum_{n=1}^i [0,6mV \cdot h(AD) \cdot \Delta] \Rightarrow$$

$$A = \frac{\pi}{20 \cdot 10^3} \left[0,12 \sum_{n=1}^{100} h(AD) - 10 \cdot Offset_{[\sigma \varepsilon ms]} \right]$$

Υπολογίζοντας το πλάτος A του αρχικού σήματος, ανά περίοδο, μπορούμε να βρούμε την rms τιμή του με τον εξής τρόπο :

$$V_{rms} = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

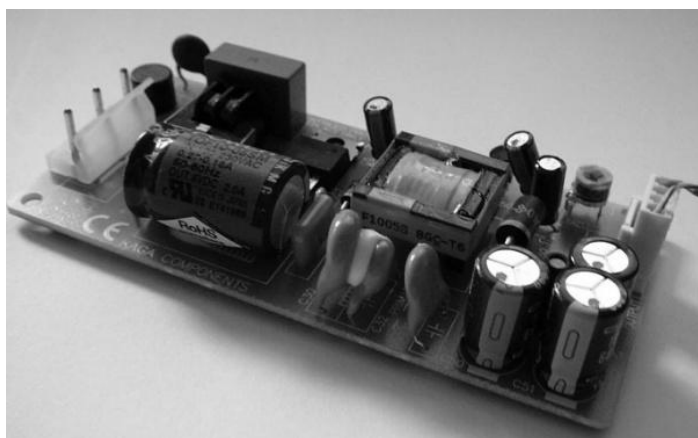
Όμως τα θεωρητικά αποτελέσματα, έχουν υπολογιστεί θεωρώντας ότι το Voffset του σήματος παραμένει σταθερό και δεν επηρεάζεται από την μεταβολή του πλάτους. Αυτό δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, καθώς από μετρήσεις που έχουν γίνει υπάρχουν μεταβολές του Voffset της τάξης των $\pm 15mV$. Αυτό επηρεάζει με μεγάλο σφάλμα την αριθμητική μας μέθοδο, γιατί όμως αναφέρθηκε πιο πάνω, αγνοούμε τις τιμές που βρίσκονται κάτω από το θεωρητικό Voffset=600mV.

Έτσι, αναβαθμίσαμε την μέθοδο χρησιμοποιώντας μεταβαλλόμενο Voffset, που υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των τιμών όλων των δειγμάτων της προηγούμενης περιόδου, χωρίς να αγνοούμε κανένα. Επειδή είναι γνωστό από τα μαθηματικά ότι ο μέσος όρος μιας ημιτονοειδούς συνάρτησης είναι το Offset.

Η τροποποιημένη μέθοδος υπολογισμού της rms τιμής είναι η εξής:

$$A = \frac{\pi}{20 \cdot 10^3} \left[0,12 \sum_{n=1}^{100} h(AD) - 10 \cdot Average_{[\sigma \varepsilon ms]} \right] , \quad V_{rms} = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

Για την τροφοδοσία των πιο πάνω υποκυκλωμάτων, χρησιμοποιήθηκε η παροχή της ΔΕΗ και μέσα από ειδικό κύκλωμα, έχουμε σταθερή τάση 5V,0V , με την λιγότερες δυνατές απώλειες. Για το κύκλωμα ανόρθωσης της τάσης, έχουμε την πιο κάτω πλακέτα :



Κύκλωμα 6-4: Κύκλωμα Ανόρθωσης Τάσης - Τροφοδοτικό

Το κύκλωμα αυτό, κυκλοφορεί έτοιμο στην αγορά. Έχει επιλεγθεί η πρόταση της εταιρίας Tracorower. Το κύκλωμα παίρνει σαν εισόδους τις L,N,Gnd από σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο AC 230V της ΔΕΗ και μας επιστρέφει έξοδο DC τάσης 5V,0V. Στην κατασκευή μας συνδέεται παράλληλα με το κύκλωμα τροφοδοσίας της οικιακής συσκευής και οι έξοδοι του είναι συνδεδεμένες με την γραμμή 5V και Gnd του ψηφιακού υποκυκλώματος.

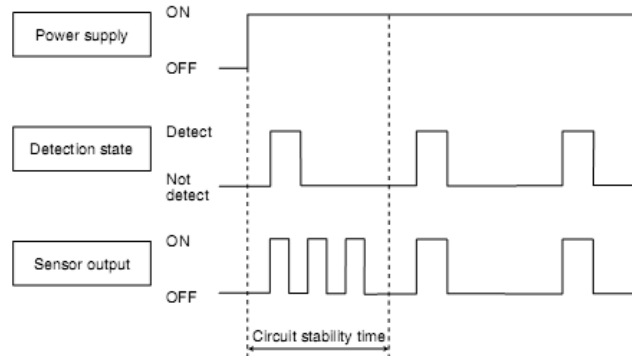
6.3 Κύκλωμα Ανίχνευσης Κίνησης

Για το κύκλωμα ανίχνευσης κίνησης, χρησιμοποιήσαμε τον αισθητήρα Panasonic AMN31111. Ο αισθητήρας αυτός, λειτουργεί παθητικά με υπέρυθρη ακτινοβολία (passive infrared type). Δηλαδή, οποιαδήποτε διαφορά στην θερμοκρασία του υπόβαθρου που βλέπει ο αισθητήρας, θεωρείται ως ανίχνευση. Ο αισθητήρας που επιλέξαμε είναι ειδικά σχεδιασμένος και μειώνει τις λάθος ανιχνεύσεις στο ελάχιστο. Ακόμη, είναι pet immune. Αυτό σημαίνει πως λαμβάνει υπόψη και το μέγεθος της θερμοκρασιακής αλλαγής. Αν υπάρχουν κατοικίδια στην οικία, αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο για τις λειτουργίες αυτοματισμού.

Έχει εύρος ανίχνευσης 5m, σε γωνίες 100° στο οριζόντιο επίπεδο και 82° στο κατακόρυφο. Η έξοδος του είναι ψηφιακό σήμα, όπου η μονάδα αντιστοιχεί σε ανίχνευση. Χρειάζεται DC τροφοδοσία 3V-5V. Στην αγορά, υπάρχουν διαθέσιμοι αισθητήρες ίδιου τύπου, με τάση τροφοδοσίας 2,2V-3V και χαμηλότερης εσωτερικής κατανάλωσης, όπου η χρήση τους θα ήταν καταλληλότερη για το προτεινόμενο σύστημα.

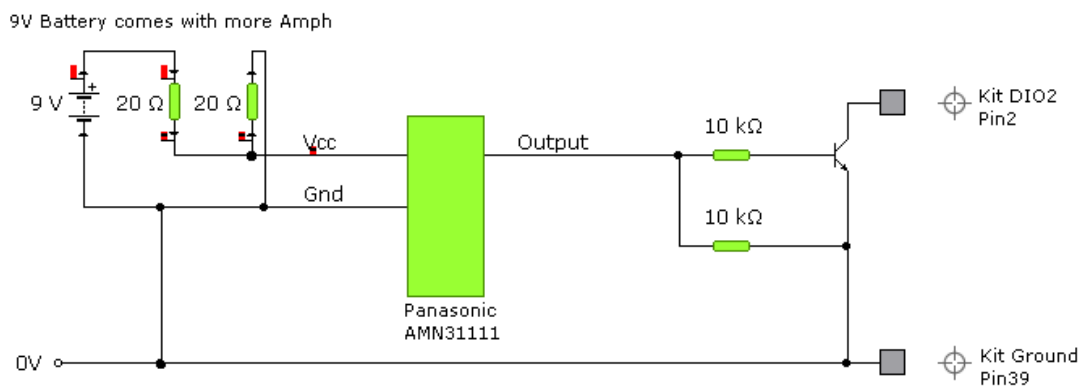
Απλά, καθώς το κύκλωμα ανίχνευσης κίνησης, κατασκευάστηκε για έλεγχο της δυνατότητας επέκτασης του συστήματος, δεν ασχοληθήκαμε με το πρόβλημα χαμηλότερης εσωτερικής κατανάλωσης, καθώς η αλλαγή του αισθητήρα παίρνει ελάχιστο χρόνο.

Από το πιο κάτω διάγραμμα της εξόδου του ανιχνευτή, παρατηρούμε ότι από την στιγμή που ο ανιχνευτής πάρει τροφοδοσία, χρειάζεται κάποιο χρόνο για να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα. Αυτό, πρέπει να το λάβουμε υπόψη στον προγραμματισμό των αυτοματισμών που αφορούν τον αισθητήρα κίνησης. Υπάρχουν δυο επιλογές : μια ο αισθητήρας να είναι πάντα υπό τάση (αλλά αυτό επιβαρύνει το χρόνο ζωής της μπαταρίας) και η άλλη είναι να αγνοούμε τις ενδείξεις για τα πρώτα 10 δευτερόλεπτα από την ενεργοποίηση μέσω λογισμικού.



Γράφημα 6-4: Λειτουργία Ανιχνευτή Κίνησης στον Χρόνο

Στην συνέχεια, δίνουμε το κύκλωμα που συνδέει τον ανιχνευτή με την ψηφιακή είσοδο DIO2 του Evaluation Kit. Για να αποφύγουμε τυχόν προβλήματα με την τιμή του ρεύματος που περνά στον μικροελεκτή, έχουμε ενεργοποιήσει το ενσωματωμένο στο Evaluation Kit, pull-up resistor.



Κύκλωμα 6-5: Απλοποιημένο Κύκλωμα Ανιχνευτή Κίνησης

Κεφάλαιο 7 : Γραφικό Περιβάλλον Χρήσης – GUI

7.1 Γενικά Στοιχεία

Το προτεινόμενο σύστημα, πρέπει να παρέχει ένα εύχρηστο πλήρες περιβάλλον, όπου ο απλός χρήστης να μπορεί να πάρει πληροφορίες για την κατανάλωση ενέργειας της οικίας, καθώς και να μπορεί να ελέγξει απομακρυσμένες συσκευές του δικτύου. Το γραφικό περιβάλλον πρέπει να έχει μικρό μέγεθος ώστε να μπορεί να τρέξει σε τοπικές οθόνες (standalone local displays), χωρίς την χρήση οικιακού υπολογιστή.

Ο πιο αποδοτικός τρόπος για διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, είναι μέσω ενός συστήματος βάσης δεδομένων (DBMS). Η βάση δεδομένων, παρέχει αυξημένες δυνατότητες για οργάνωση πληροφορίας και εύκολη εξαγωγή συμπερασμάτων, μέσω αυτοματοποιημένων ερωτημάτων (query). Το σύστημα μας, για να μπορέσει να αναλύσει εύκολα μεγάλο όγκο δεδομένων από απομακρυσμένους κόμβους, είναι φυσικό να έχει δική του βάση δεδομένων.

Για να μπορέσει το γραφικό περιβάλλον να πληρεί όλους τους πιο πάνω περιορισμούς, επιλέξαμε να υλοποιηθεί στο Microsoft Visual Studio και πιο συγκεκριμένα στην γλώσσα προγραμματισμού Visual FoxPro 6.0 .

7.2 Γλώσσα Υλοποίησης GUI - Visual FoxPro

Η Visual FoxPro είναι μια αντικειμενοστραφής και διαδικαστική γλώσσα προγραμματισμού, η οποία παρέχει αυξημένες ενσωματωμένες δυνατότητες αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων. Παρέχεται από την Microsoft σαν μέρος του Visual Studio, όπως και η Visual C++ ή η Visual Basic.

Η Visual FoxPro, γνωστή ως VFP, έρχεται ενιαία σχεδιασμένη, με την δική της μηχανή σχεσιακών βάσεων δεδομένων και υποστηρίζει, εκτός από τις δικές της ισχυρές εντολές διαχείρισης δεδομένων χαμηλού επιπέδου, εντολές SQL για υψηλού επιπέδου διαχείριση. Το σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων της VFP, είναι τόσο ισχυρό που μπορεί να εκτελέσει αναζήτηση σε εκατομμύρια εγγραφές σε κλάσματα δευτερολέπτου, με τους υπολογιστικούς πόρους ενός απλού ηλεκτρονικού υπολογιστή. (14)

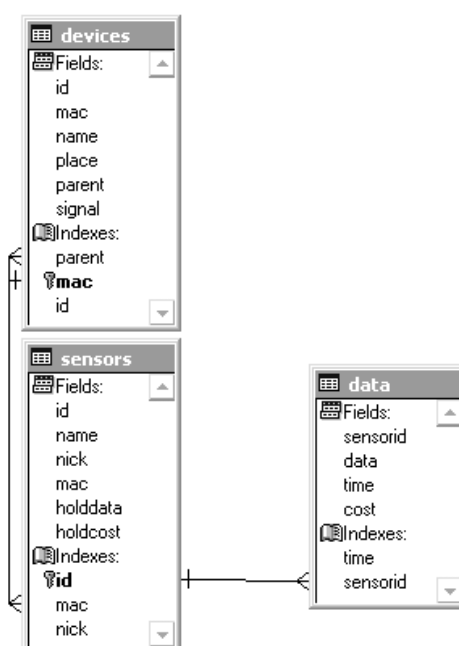
Ακόμη, αντίθετα με τα πλείστα συστήματα βάσεων δεδομένων – SQL Server, Oracle κ.α. – η VFP είναι μια πλήρης, δυναμική γλώσσα προγραμματισμού και δεν χρειάζεται η χρήση κάποιας γενικής γλώσσας – όπως Java, C++ – για την κατασκευή περιβάλλοντος χρήσης.

Με την χρήση της Visual FoxPro για την κατασκευή του γραφικού περιβάλλοντος, έχουμε όλες τις δυνατότητες του Visual Studio για γραφική αναπαράσταση πληροφορίας, καθώς και την υποστήριξη ενός ισχυρού DBMS. Όλα αυτά, χρειάζονται λιγότερο από 100MB χώρο δεδομένων, έτσι πληρούμε όλους τους περιορισμούς που θέσαμε. Δηλαδή, ολόκληρο το

σύστημα, μπορεί να τρέχει ακόμα και στους περιορισμένους πόρους ενός tablet PC, χωρίς να χάνουμε από τις δυνατότητες του.

7.3 Η Βάση Δεδομένων του Συστήματος

Στο πιο κάτω διάγραμμα έχουμε το σχεσιακό μοντέλο της βάσης δεδομένων του προτεινόμενου συστήματος. Η βάση μας έχει τρεις πίνακες και μπορεί να κρατήσει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που χρειαζόμαστε για την πλήρη λειτουργία του συστήματος.



Διάγραμμα 7-1: Σχεσιακό Μοντέλο Βάσης Δεδομένων

Πίνακας : Devices

Ιδιότητες: **Id:** Εσωτερικός Αριθμός για γρήγορη εκτέλεση ερωτημάτων, μοναδικός ανά συσκευή.

Mac (Πρωτεύον Κλειδί): Η 64-bit MAC Address της συσκευής, μοναδική ανά συσκευή.

Name: Όνομα συσκευής. Ορίζεται από τον χρήστη και χρησιμοποιείται στα γραφήματα για εύκολη αναγνώριση της συσκευής.

Place: Ο χώρος που έχει τοποθετηθεί η συσκευή. Ορίζεται από τον χρήστη και χρησιμεύει για χωρική αναπαράσταση του συστήματος.

Parent: Η MAC Address του Δρομολογητή που είναι συνδεδεμένη η συσκευή. Χρησιμεύει για την οπτική αναπαράσταση του δικτύου. Η τιμή της ιδιότητας αυτής, πρέπει να υπάρχει σαν κλειδί άλλης εγγραφής.

Signal: Η πιο πρόσφατη τιμή ποιότητας σήματος LQI, μεταξύ της συσκευής και του πάτερα της στο δίκτυο ZigBee.

Περιγραφή:

Ο πίνακας Devices, αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες που αφορούν κάθε συσκευή συνδεδεμένη στο σύστημα μας. Που είναι τοποθετημένη, σε ποιο δρομολογητή είναι συνδεδεμένη και ποιά η ποιότητα σήματος μεταξύ τους. Σαν κλειδί χρησιμοποιούμε το MAC Address, καθώς κατασκευαστικά κάθε συσκευή που υποστηρίζει IEEE802.15.4, είναι υποχρεωμένη να έχει μοναδικό 64-bit MAC Address.

Πίνακας : Sensors

Ιδιότητες:	<p>Id (Πρωτεύον Κλειδί): Εσωτερικός Αριθμός για γρήγορη εκτέλεση ερωτημάτων, μοναδικός ανά αισθητήρα.</p> <p>Mac: Η MAC Address της συσκευής που ανήκει ο αισθητήρας. Ξένο κλειδί στην ιδιότητα MAC του πίνακα Devices. Έτσι, εξασφαλίσουμε ότι κάθε αισθητήρας θα ανήκει σε μια και μόνο μια συσκευή.</p> <p>Name: Όνομα του αισθητήρα. Ορίζεται από τον χρήστη και χρησιμοποιείται στα γραφήματα για εύκολη αναγνώριση του αισθητήρα.</p> <p>Nick: Το ψευδώνυμο του αισθητήρα. Τα δεδομένα δικτύου, χρησιμοποιούν το ψευδώνυμο για εξοικονόμηση του ασύρματου μέσου. Ορίζεται από τον αρχικό προγραμματισμό της συσκευής που ανήκει ο αισθητήρας.</p> <p>HoldData: Δηλώνει αν οι τιμές του αισθητήρα, θα καταχωρούνται στην βάση δεδομένων. Μόνο οι αισθητήρες που έχουν δηλωθεί με HoldData=TRUE, μπορούν να λάβουν μέρος στα στατιστικά και στις γραφικές παραστάσεις.</p> <p>HoldCost: Δηλώνει αν ο αισθητήρας μετρά μέγεθος που αφορά ενεργειακή κατανάλωση. Αν HoldCost=TRUE, τότε στα στατιστικά εμφανίζεται και το κόστος της κατανάλωσης αυτής. Το HoldCost, παίζει ρόλο, μόνο αν το HoldData=TRUE, σε διαφορετική περίπτωση απλά η ιδιότητα αυτή αγνοείται.</p>
Περιγραφή:	<p>Ο πίνακας Sensors, κρατά στην δομή του όλες τις πληροφορίες που αφορούν τους αισθητήρες του προτεινόμενου συστήματος. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν την συσκευή που είναι φυσικά συνδεδεμένος και τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα διαχειρίζεται τις πληροφορίες, που περιοδικά θα λαμβάνει, από αυτόν.</p>

Πίνακας : Data

Ιδιότητες:	<p>SensorId: Η ταυτότητα ID του αισθητήρα, που αφορούν τα δεδομένα της εγγραφής αυτής.</p> <p>Data: Η τιμή των δεδομένων. Μεγάλο εύρος αριθμητική τιμή για να μπορεί να διαχειριστεί κάθε είδος δεδομένα.</p> <p>Cost: Αν το HoldCost=TRUE για τον αισθητήρα αυτό, τότε εδώ φυλάσσουμε το κόστος για το χρονικό παράθυρο αυτό.</p> <p>Time: Η χρονική στιγμή που τα δεδομένα εισέρχονται για επεξεργασία από το δίκτυο. Η ακρίβεια αφορά μέχρι και δευτερόλεπτο της ώρας συστήματος.</p>
Περιγραφή:	<p>Ο πίνακας Data, είναι υπεύθυνος για την συλλογή και φύλαξη των πραγματικών δεδομένων που παρουσιάζονται στα στατιστικά. Όλες οι πληροφορίες, για όλους τους αισθητήρες που έχουν δηλωμένο HoldData=TRUE, βρίσκονται εδώ αποθηκευμένες βάση της χρονικής στιγμής που τα δεδομένα έφτασαν στο υποσύστημα εισαγωγής της βάσης δεδομένων.</p>

Η βάση δεδομένων του συστήματος, περιέχει εκτός από τους πιο πάνω πίνακες και ένα μεγάλο αριθμό όψεων (views), που στην πραγματικότητα δεν είναι παρά ερωτήματα SQL (SQL queries), κατασκευασμένα ώστε τα πιο πρόσφατα αποτελέσματα τους, να είναι άμεσα προσπελάσιμα, χωρίς να χρειάζεται η επανεκτέλεση τους. Οι όψεις αυτές, είναι χρήσιμες για την δημιουργία όλων των στατιστικών και γραφικών παραστάσεων των δεδομένων της βάσης. Δηλαδή, τα στατιστικά που μπορεί να δει ο χρήστης μέσα από το γραφικό περιβάλλον, δεν είναι παρά η οπτική αναπαράσταση της πληροφορίας κάποιας επιλεγμένης όψης της βάσεως δεδομένων του συστήματος.

Ένα βασικό μέρος του συστήματος, είναι το υποπρόγραμμα που λαμβάνει τα δεδομένα από τον driver της σύνδεσης του υπολογιστή με την UART θύρα της κεντρικής συσκευής. Τα δεδομένα που στέλνει το δίκτυο έχουν την πιο κάτω μορφή:

```
eJenie_Start(COORDINATOR) = 0
vApp_CbStackMgmtEvent(NETWORK_UP, 0x0:0x0, 0x158d00:0xaaba4, 0, 0x1085, 17)
eJenie_SetPermitJoin(1) = 0
vApp_CbStackDataEvent(DATA, 0x0:0x0, 0x1, 0x3, 'L32,T22,H63')
vApp_CbStackMgmtEvent(CHILD_JOINED, 0x158d00:0x7e357)
eJenie_SetPermitJoin(0) = 0
vApp_CbStackDataEvent(DATA, 0x0:0x0, 0x1, 0x3, 'L28,T22,H62')
vApp_CbStackDataEvent(DATA, 0x158d00:0x7e357, 0x0, 0x3, 'L18,T21,H62')
vApp_CbStackDataEvent(DATA, 0x0:0x0, 0x1, 0x3, 'L32,T21,H62')
vApp_CbStackDataEvent(DATA, 0x0:0x0, 0x1, 0x3, 'L32,T22,H62')
vApp_CbStackDataEvent(DATA, 0x158d00:0x7e357, 0x0, 0x3, 'L16,T21,H62')
```

Κώδικας 7-1: Παράδειγμα εξόδου οδηγού σύνδεσης Υπολογιστή – Κεντρικής Συσκευής

Τα δεδομένα αυτά, περνούν μέσα το υποπρόγραμμα και μέσω λεκτικής ανάλυσης, αποφασίζεται η μεταφορά της πληροφορίας στον ανάλογο πίνακα της βάσης δεδομένων. Αν η τρέχουσα γραμμή κώδικα εξόδου του οδηγού σύνδεσης, δεν αντιστοιχεί σε κάποια εργασία στην βάση δεδομένων, απλά αγνοείται.

Ο λεκτικός αναλυτής, εκτελεί τις εργασίες πάνω στα δεδομένα της βάσης, με εντολές χαμηλού επιπέδου, αντί με τα γνωστά SQL-insert και SQL-update, γιατί είναι πολύ πιο γρήγορα εκτελέσιμες από το DBMS. Ο χρόνος εκτέλεσης, παίζει τρομερή σημασία γιατί όπως αναφέραμε πιο πάνω για τον πίνακα Data, ο χρονικός διαχωρισμός γίνεται βάση του χρόνου που τα δεδομένα εισέρχονται στην βάση. Άρα, αν το υποπρόγραμμα εισαγωγής καθυστερούσε σε κάθε εισερχόμενη εντολή, θα είχαμε σφάλμα στον ορισμό του χρόνου εισαγωγής σε σχέση με τον πραγματικό. Στην συνέχεια, δίνουμε ένα μέρος του αναλυτή αυτού.

```
1 <code section above>
2 *Incoming Data*
3 CASE 'vApp_CbStackDataEvent'$in_command
4   DO case
5     *Signal Quality*
6       CASE 'LQI_DATA'$in_command
7         <Database Update Code>
8         *Data Ack*
9       CASE 'DATA_ACK'$in_command
10        <Database Update Code>
11        *Sensor Data*
12        OTHERWISE
```



```

13      *Export Device MAC Address*
14      d_mac=alltrim(WORDNUM(in_command,2,''))
15      mac1=Transform(int(val(WORDNUM(d_mac,1,''))),'@0x')
16      mac2=Transform(int(val(WORDNUM(d_mac,2,''))),'@0x')
17      i_mac=strtran(mac1,'0x')+strtran(mac2,'0x')
18      *Export Sensor Data*
19      SELECT sensors
20      SET filter to mac=i_mac
21      SET order to nick
22      i=5
23      DO while i!=WORDS(in_command,'')
24          *Export Sensor NickName & Data*
25          i_nick=substr(alltrim(WORDNUM(in_command,i,'')),1,1)
26          i_data=val(strtran(substr(alltrim(WORDNUM(in_command,i,'')),2,''),','))
27          select sensors
28          set order to nick
29          SEEK i_nick
30          *Check if sensor exists*
31          IF !found()
32              set filter to
33              SET order to id
34              GO bott
35              i_id=sensors.id+1
36              set filter to mac=i_mac
37              APPE blank
38              REPLACE id with i_id, mac with i_mac, nick with i_nick
39          ELSE
40              i_id=sensors.id
41          ENDIF
42          i_hold=sensors.holddata
43          i_cost=sensors.holdcost
44          IF i_hold
45              SELECT data
46              APPE blank
47              REPLACE sensorid with i_id, data with i_data, time with datetime()
48              IF i_cost
49                  replace cost with i_data/3600*stat_kwh
50              ENDIF
51          ENDIF
52          i=i+1
53      ENDDO
54      select sensors
55      set filter to
56  ENDCASE
57  *Incoming Management Event*
58  CASE 'vApp_CbStackMgmtEvent'$in_command
59  <Code Continues...>

```

Κώδικας 7-2: Μέρος Κώδικα Υποπρογράμματος Εισαγωγής Δεδομένων

7.4 Οδηγός Χρήσης Γραφικού Περιβάλλοντος – GUI

7.4i Ουρά Εισερχόμενων Δεδομένων - Γενικές Εντολές



Εικόνα 7-1: Αρχική Οθόνη GUI

Όταν εκκινήσουμε το γραφικό περιβάλλον, θα ανοίξει μπροστά μας η αρχική οθόνη, η οποία φαίνεται στην πιο πάνω εικόνα. Η οθόνη χωρίζεται σε δύο μέρη, στο πάνω κομμάτι της οθόνης, υπάρχουν σελίδες σε μορφή καρτελών όπου η κάθε σελίδα, έχει σαν περιεχόμενα διαφορετικά σημεία του προγράμματος.

Στην υποενότητα αυτή, θα περιγράψουμε τις λειτουργίες του κάτω μέρους της οθόνης, το οποίο είναι πάντα ορατό και πάντα σε λειτουργία, ανεξάρτητα από ποιά σελίδα στις καρτέλες έχουμε ενεργοποιημένη.

Υπάρχουν τρεις λειτουργίες ενσωματωμένες στην κλάση που αποτελεί το κάτω μέρος της οθόνης. Δύο από αυτές είναι ορατές στον χρήστη, αλλά η τρίτη λειτουργία εκτελεί χωρίς να είναι προσπελάσιμες από τον χρήστη (δλδ στο background), εργασίες συντονισμού του GUI με το οικιακό δίκτυο. Ο συντονισμός χρειάζεται για να έχουμε άμεση λήψη των δεδομένων, που αναμένουν στον οδηγό της θύρας UART της Κεντρικής Συσκευής. Ταυτόχρονα, σε περίπτωση που ο χρήστης εκτελέσει κάποια εντολή, τα δεδομένα εξόδου πρέπει να σταλούν σωστά πίσω στο οικιακό δίκτυο, χωρίς να έχουμε σύγκρουση με τα δεδομένα εισόδου.

Το αριστερό κομμάτι, που έχει τον γενικό τίτλο «Global Network Command», παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα, να αποστείλει άμεσα μια Γενική Εντολή στο δίκτυο. Οι Γενικές Εντολές που είναι προσπελάσιμες από αυτό το σημείο είναι: Ενεργοποίηση/Απενεργοποίηση της Αποστολής Δεδομένων ανά Περίοδο, Μαζική Αποστολή

Δεδομένων όλων των Αισθητήρων του Δικτύου, Μαζική Αποστολή Δεδομένων που αφορούν το ίδιο το Οικιακό Δίκτυο του προτεινόμενου συστήματος.

Το δεξί κομμάτι, που έχει τίτλο «Incoming Network Data», στην πραγματικότητα είναι μια κλάση που παρέχει μια οπτική αναπαράσταση της ουράς εισόδου δεδομένων του υποπρογράμματος εισαγωγής δεδομένων στην βάση δεδομένων. Η προσθήκη της κλάσης αυτής, έγινε ώστε με μια ματιά να ξέρουμε τι γίνεται στο ασύρματο μέσο του οικιακού δικτύου, χωρίς να χρειάζεται χρήση εξωτερικού εργαλείου ή debugger. Η κλάση, προσθέτει τα νέα δεδομένα στο τέλος της λίστας και είναι ρυθμισμένη για αυτόματη κύλιση (auto scroll), για να έχουμε άμεση οπτική επαφή με το πιο πρόσφατο δεδομένο.

7.4ii Καρτέλα Στατιστικών

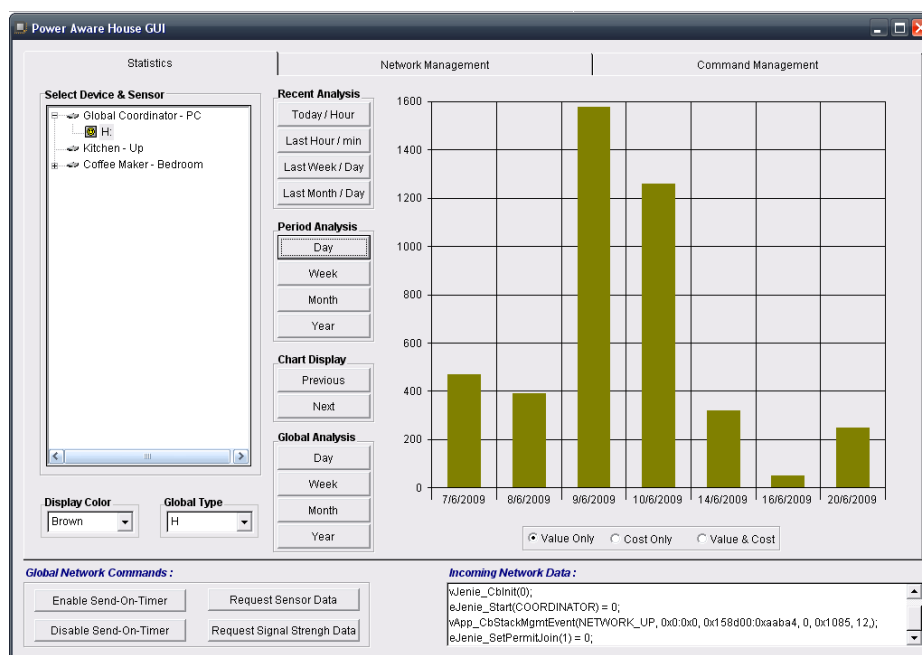
Η πρώτη καρτέλα που είναι ορατή με την εκκίνηση του γραφικού περιβάλλοντος, είναι η καρτέλα που παρέχει γραφικές παραστάσεις για τα δεδομένα της βάσης δεδομένων. Βρίσκεται πρώτη και άμεσα ορατή, γιατί όπως αναφέραμε στις σχετικές εργασίες, μελέτες έδειξαν πως οι χρήστες προτιμούν να παίρνουν πληροφορίες με άμεσα αντιληπτό τρόπο. Δηλαδή, με οπτικοποίηση της πληροφορίας και όχι ξερά νούμερα. Με την φιλοσοφία αυτή, αναπτύξαμε ένα γραφικό περιβάλλον με γραφικές παραστάσεις για ποιοτικοποίηση των δεδομένων που υπάρχουν στην βάση δεδομένων του προτεινόμενου συστήματος.

Πίσω από το σύστημα γραφικής αναπαράστασης της πληροφορίας, υπάρχουν δεκάδες SQL queries, που είναι αποθηκευμένα στην βάση ώστε να έχουμε γρήγορη εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Τα queries αυτά, είναι παραμετροποιημένα. Δηλαδή, τα αποτελέσματα τους είναι δυνατόν να διαφέρουν από εκτέλεση σε εκτέλεση, καθώς ο χρήστης έχει το ελεύθερο να τροποποιήσει το εύρος των SQL-where. Έτσι, έχουμε μεγάλο αριθμό γραφικών παραστάσεων, με πολύ λιγότερα αποθηκευμένα queries. Αυτό, έχει γίνει για να μπορεί το σύστημα να τρέχει από κονσόλα αφής ή tablet PC.

Στην καρτέλα στατιστικών, υπάρχει στα αριστερά ένα δέντρο των συσκευών που ανήκουν στο δίκτυο. Σε κάθε συσκευή, εμφανίζονται σαν παιδιά οι αισθητήρες που είναι φυσικά συνδεδεμένοι μαζί της και έχουν δηλωθεί με HoldData=TRUE, από τον χρήστη. Το δέντρο αυτό, κατασκευάζεται με την βοήθεια των πινάκων sensors και devices της βάσης δεδομένων και ανανεώνεται σε κάθε επαναφορά, της καρτέλας στατιστικών, στο προσκήνιο. Το δέντρο αν και χρειάζεται περισσότερους υπολογιστικούς πόρους για να κατασκευαστεί από μια απλή λίστα, προτιμήθηκε στην περίπτωση μας, γιατί στους στόχους του προτεινόμενου συστήματος, αναφέρεται και ευχρηστία και η διαχείριση χωρίς εκπαίδευση.

Για τους λόγους που αναφέραμε στην πιο πάνω παράγραφο, δέντρα θα χρησιμοποιούνται σε όλα τα σημεία του προγράμματος γραφικού περιβάλλοντος χρήσης, που χρειάζεται μια χωρική αναπαράσταση πληροφορίας. Τα δέντρα είναι πιο εύκολα στην χρήση και έτσι θυσιάσαμε κάποιο κλάσμα από την ταχύτητα του συστήματος, για να είμαστε σε πλήρη αρμονία με τους αρχικούς στόχους.

Δίπλα από το δέντρο επιλογής αισθητήρα, έχουμε τα κομβία παραμετροποίησης της γραφικής παράστασης που θέλουμε να μελετήσουμε για τον επιλεγμένο αισθητήρα. Αυτά χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, όπως φαίνεται και στην πιο κάτω εικόνα:



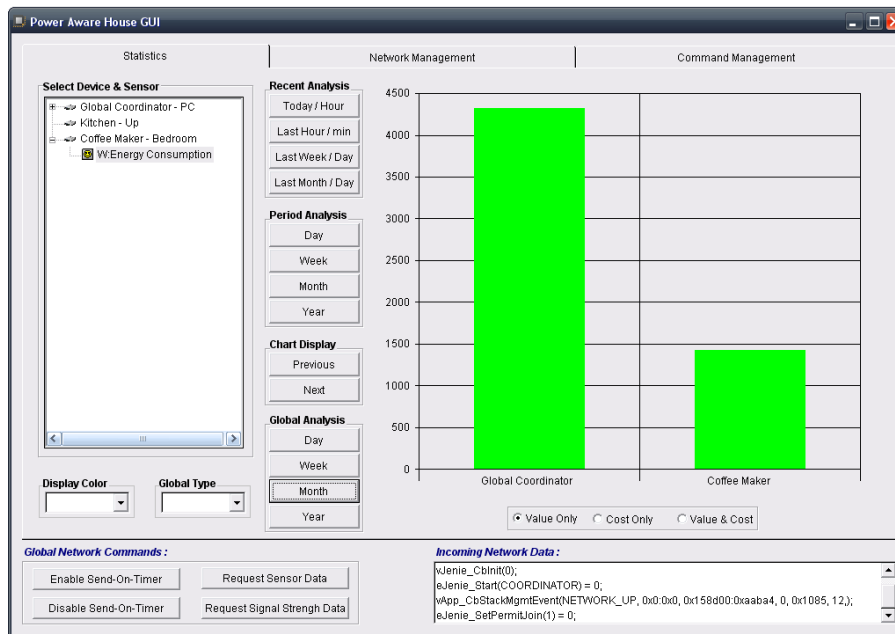
Εικόνα 7-2: Καρτέλα Στατιστικών – Αναπαράσταση Πληροφορίας ανά Περίοδο

Το πρώτο σύνολο κομβίων παραμετροποίησης αφορά τα δεδομένα της πιο πρόσφατης περιόδου. Ανάλογα με το εύρος της πρόσφατης περιόδου που θα επιλέξει ο χρήστης, αλλάζει και η κλίμακα που διαχωρίζει τα ιστογράμματα. Αν ο χρήστης επιλέξει απεικόνιση των δεδομένων της τελευταίας μέρας, η πληροφορία εμφανίζεται ανά ώρα του εικοσιτετράωρου. Αντίστοιχα, αν επιλέξει τρέχουσα ώρα, κάθε ιστόγραμμα αναπαριστά ένα λεπτό. Αν όμως επιλέξει να πάει σε πιο μεγάλο εύρος τρέχουσας περιόδου, αυξάνεται και ο όγκος δεδομένων που παρουσιάζεται ανά ιστόγραμμα. Υπάρχει η δυνατότητα, να παρακολουθήσουμε την τρέχουσα εβδομάδα, χωρισμένη ανά μέρα αλλά και τον τρέχον μήνα, χωρισμένο ανά μέρα.

Το δεύτερο σύνολο, αφορά ανάλυση ανά εύρος παραμέτρου. Αυτό σημαίνει, αν επιλεχθεί ανάλυση ανά μέρα, η γραφική παράσταση θα παρουσιάσει όλες τις πληροφορίες που έχει για τον επιλεγμένο αισθητήρα, ανά ημερομηνία. Αν επιλεχθεί ανάλυση ανά εβδομάδα, κάθε ιστόγραμμα θα έχει αποτυπωμένο το σύνολο των δεδομένων κάθε εβδομάδας του τρέχοντος έτους. Το ίδιο ισχύει για την επιλογή ανά μήνα. Αν επιλεχθεί ανάλυση ανά έτος, τα δεδομένα που θα παρουσιάσει θα είναι μαζεμένα ανά έτος, από την αρχή λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος.

Το σύνολο παραμετροποίησης με το όνομα «Chart Display», το οποίο ακολουθεί αφορά όλα τα υπόλοιπα σύνολα εκτός του συνόλου ανάλυσης ανά εύρος περιόδου. Με τα κομβία «previous» και «next», μπορούμε με εύκολο τρόπο να μετακινηθούμε σε προηγούμενη ή επόμενη περίοδο. Ανάλογα με ποιο ιστόγραμμα, έχουμε στην οθόνη επιλεγμένο, τα κομβία αυτά μετακινούν την επιλεγμένη περίοδο. Για παράδειγμα, αν έχουμε επιλεγμένο από το σύνολο «Recent Analysis» την επιλογή «Day» και πατήσουμε «previous» θα μας

παρουσιαστεί το γράφημα της προηγούμενης μέρας κοκ. Τα κομμάτια του συνόλου αυτού, μπορεί να τα πατήσουμε όσες φορές θέλουμε και να μετακινηθούμε ανάλογο αριθμό περιόδων μπροστά ή πίσω.



Εικόνα 7-3: Σύγκριση Συσκευών με το σύνολο «Global Analysis»

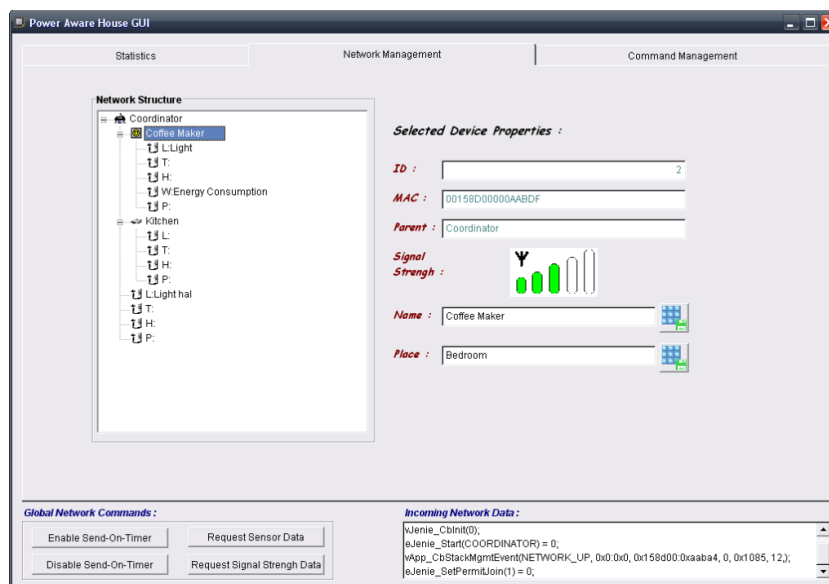
Το τελευταίο σύνολο παραμετροποίησης, που έχει τίτλο «Global Analysis», αφορά όλους τους αισθητήρες ίδιου τύπου για να έχουμε εύκολη οπτική σύγκριση ανάμεσα τους. Η λίστα επιλογής «Global Type», αφορά αυτό ακριβώς το σύνολο παραμετροποίησης. Το «Global Analysis», δεν χρησιμοποιεί το δέντρο επιλογής αισθητήρα για την παραμετροποίηση, αλλά την λίστα αυτή. Επιλέγοντας από την λίστα ένα είδος αισθητήρα (για παράδειγμα το είδος «W» που αφορά την ηλεκτρική κατανάλωση), και μετά από το σύνολο παραμετροποίησης μια περίοδο για την κατασκευή των ιστογραμμάτων, παρουσιάζονται όλες οι συσκευές με τύπο αισθητήρα «W». Αν επιλέξουμε «Week», τότε θα δούμε την κατανάλωση των συσκευών την τρέχουσα εβδομάδα. Με τις επιλογές «Previous» και «Next» του συνόλου «Chart Display», έχουμε την δυνατότητα να μετακινηθούμε στην προηγούμενη εβδομάδα ή στην επόμενη κοκ.

Η λίστα «Chart Color» χρησιμεύει για την επιλογή του χρώματος της αρεσκείας κάθε χρήστη, με σκοπό να βλέπει πιο άνετα τις γραφικές παραστάσεις. Υπάρχουν διαθέσιμα χρώματα από την κλασική παλέτα χρωμάτων των windows. Στο παράδειγμα μας, έχουμε επιλέξει «Brown» και πράγματι τα ιστογράμματα εμφανίζονται με καφετί χρώμα.

Κάτω από τον χώρο παρουσίασης των ιστογραμμάτων υπάρχει η δυνατότητα επιλογής της συνάρτησης των τιμών των αισθητήρων. Αν ο χρήστης επιθυμεί να βλέπει τις απόλυτες τιμές των δεδομένων όπως λαμβάνονται από το δίκτυο, επιλέγει το «Value Only». Αν τώρα, για κάποιο αισθητήρα που έχει ενεργοποιημένο το HoldCost, μπορεί να επιλέξει «Cost Only» και να βλέπει μόνο το υπολογισμένο κόστος (αυτό εφαρμόζεται μόνο για την ηλεκτρική κατανάλωση, για άλλο τύπο αισθητήρα δεν έχει νόημα) ή να επιλέξει «Value & Cost» και να βλέπει για κάθε ιστόγραμμα το απόλυτο μέγεθος και την κατανάλωση. Επειδή

όμως το κόστος συνήθως είναι τάξεις μεγέθους πιο χαμηλό από το απόλυτο μέγεθος, δεν συνίσταται η τελευταία επιλογή γιατί θα υπάρχει μη ορατή πληροφορία, καθώς η κλίμακα είναι κοινή για όλα τα ιστογράμματα.

7.4iii Καρτέλα Διαχείρισης Οικιακού Δικτύου



Εικόνα 7-4: Καρτέλα Διαχείρισης Δικτύου – Στοιχεία Συσκευής

Η δεύτερη καρτέλα του γραφικού περιβάλλοντος χρήσης, αφορά την διαχείριση του οικιακού δικτύου του προτεινόμενου συστήματος ενεργειακής συνείδησης κατοικίας. Ο χρήστης στην καρτέλα αυτή μπορεί, με ευκολία, να δει πως είναι οργανωμένο το δίκτυο την παρούσα χρονική στιγμή – μην ξεχνάμε ότι το δίκτυο ZigBee που κατασκευάσαμε αυτοργανώνεται συνεχώς – και να τροποποιήσει τις ιδιότητες συσκευών και αισθητήρων.

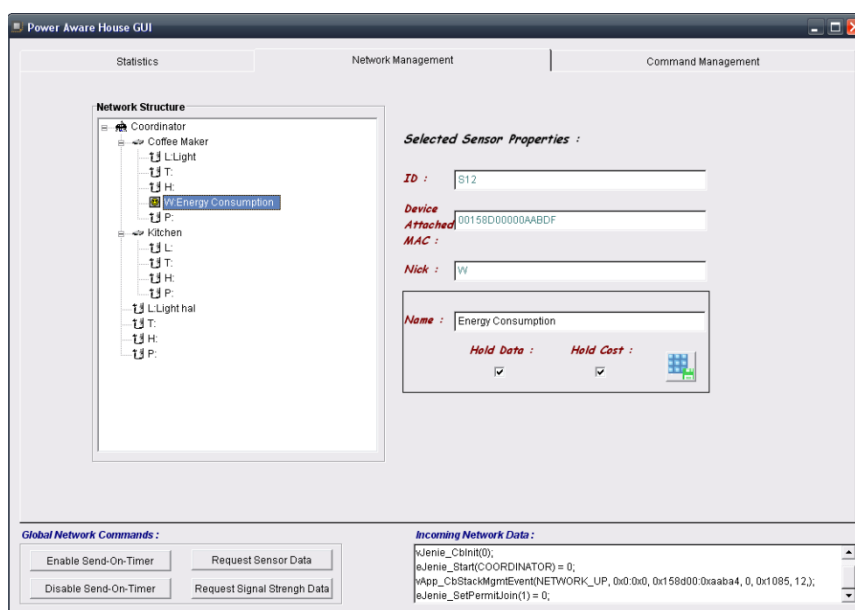
Όταν μια συσκευή εντοπιστεί για πρώτη φορά ότι ανήκει στο οικιακό δίκτυο, τότε το υποπρόγραμμα εισαγωγής δεδομένων της βάσης, εισάγει μια νέα εγγραφή στον πίνακα Devices και όσες εγγραφές απαιτούνται στον πίνακα Sensors, για να έχει αρχείο των φυσικά συνδεδεμένων με την συσκευή αισθητήρων.

Ο χρήστης, καλείται να ορίσει, όποτε το θεωρεί απαραίτητο, τις ιδιότητες των νέων αυτών εγγραφών, οι οποίες αν και δεν επηρεάζουν τις λειτουργίες του γραφικού περιβάλλοντος, βοηθούν τον ίδιο να αναγνωρίζει τις συσκευές. Οι ιδιότητες αυτές είναι το όνομα, και το που είναι εγκατεστημένες στην οικία. Το ίδιο ισχύει για τις νέες εγγραφές αισθητήρων. Για να έχουμε εύκολη αναγνώριση των αισθητήρων και το τι μέγεθος, οι μετρήσεις τους, αντιπροσωπεύουν, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ορίσει όνομα και τις παραμέτρους HoldData και HoldCost.

Όταν στο δέντρο οργάνωσης δικτύου, επιλέξουμε μια συσκευή, στα δεξιά εμφανίζονται οι ιδιότητες της και η ποιότητα σήματος με τον πατέρα της στο δέντρο. Από τις ιδιότητες αυτές κάποιες είναι μοναδικές και αναλλοίωτες για πάντα, όπως το MAC Address και ο κωδικός ID, ενώ άλλες αλλάζουν αυτόματα από το δίκτυο, όπως το όνομα του πατέρα. Πιο χαμηλά, εμφανίζονται οι ιδιότητες που μπορεί να αλλάξει ο χρήστης. Δίπλα, από κάθε

ιδιότητα, υπάρχει το κομβίον «Save», που αποθηκεύει την νέα τιμή. Όταν γίνει προσπάθει αποθήκευσης, το σύστημα ενημερώνει με μήνυμα τον χρήστη, αν είχαμε επιτυχημένη αποθήκευση ή όχι.

Αντίστοιχα, αν στο δέντρο οργάνωσης του δικτύου επιλέξουμε ένα αισθητήρα, εμφανίζονται στα δεξιά ανάλογες κλάσεις με πληροφορίες που αφορούν τον αισθητήρα. Ο χρήστης έχει το δικαίωμα να αλλάξει το όνομα του αισθητήρα και τις παραμέτρους που αφορούν την εισαγωγή δεδομένων στην βάση του συστήματος.



Εικόνα 7-5: Καρτέλα Διαχείρισης Δικτύου – Στοιχεία Αισθητήρα

Υπενθυμίζουμε ότι ενεργοποίηση του HoldData για κάποιο αισθητήρα, σημαίνει ότι πλέον το σύστημα θα κρατάει τις τιμές που αποστέλλει το δίκτυο, αποθηκευμένες στην βάση δεδομένων. Το Hold Cost, ενεργοποιείται όταν και το HoldData είναι ενεργοποιημένο. Με το HoldCost ενεργοποιημένο, λέμε στο γραφικό περιβάλλον ότι ο αισθητήρας αυτός αφορά κατανάλωση και πρέπει να υπολογίζει και το κόστος αυτής.

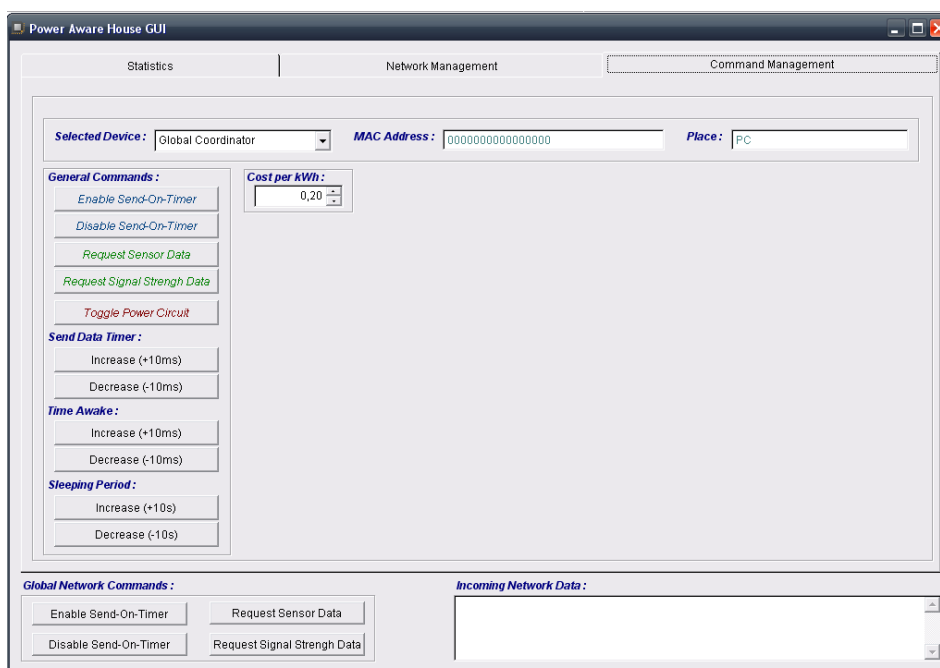
7.4iv Καρτέλα Αποκλειστικών Εντολών

Η τελευταία από τις τρεις καρτέλες του γραφικού περιβάλλοντος, αφορά τις αποκλειστικές εντολές που συζητήσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Εδώ ο χρήστης, έχει την δυνατότητα να στείλει σε κάποια συσκευή – κόμβο του δικτύου, κάποια εντολή που να αφορά μόνο αυτή και όχι όλο το δίκτυο.

Αποκλειστικές Εντολές, μπορούν να αποσταλούν σε κάθε είδους συσκευή του οικιακού δικτύου. Δηλαδή αφορά τις Κεντρικές Συσκευές, τις Συσκευές Ελέγχου και τις Συσκευές Αισθητήρων. Φυσικά, ανάλογα με τον εσωτερικό προγραμματισμό της συσκευής, μπορεί κάποια αποκλειστική εντολή να μην έχει άμεσο αντίκτυπο στον τρόπο λειτουργίας της.

Στο πάνω μέρος της καρτέλας υπάρχει μια πτυσσόμενη λίστα (Dropdown List), από την οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την συσκευή που θέλει να αποστείλει κάποια αποκλειστική εντολή δικτύου. Τα στοιχεία της επιλεγμένης συσκευής, παρουσιάζονται σε

πεδιά πληροφόρησης, για να είναι σίγουρος ο χρήστης για την σωστή επιλογή. Επιλέξαμε να παρουσιάσουμε το 64-bit MAC Address της συσκευής, καθώς και τον χώρο της οικίας που βρίσκεται τοποθετημένη η συσκευή.



Εικόνα 7-6: Καρτέλα Αποκλειστικών Εντολών

Στα αριστερά της καρτέλας, υπάρχει το σύνολο των αποκλειστικών εντολών που υποστηρίζει η επιλεγμένη συσκευή. Οι εντολές αυτές είναι χωρισμένες και χρωματισμένες, ανάλογα με ποιό τρόπο επηρεάζουν την λειτουργία της επιλεγμένης συσκευής.

Το πρώτο σύνολο αποκλειστικών εντολών κάτω από τον τίτλο «General Commands», αφορούν τις εντολές που επηρεάζουν την ροή δεδομένων ανάμεσα στην συσκευή και το οικιακό δίκτυο του προτεινόμενου συστήματος. Οι εντολές αυτές είναι :

- Ενεργοποίηση Αποστολής Δεδομένων βάση Χρονικής Περιόδου
- Απενεργοποίηση Αυτόματης Αποστολής Δεδομένων
- Άμεση Αποστολή Δεδομένων, συνδεδεμένων με την συσκευή, Αισθητήρων
- Άμεση Αποστολή Δεδομένων Δομής Οικιακού Δικτύου
- Αλλαγή Κατάστασης Τροφοδοσίας Οικιακής Συσκευής

Το δεύτερο σύνολο αφορά την ρύθμιση της περιόδου αυτόματης αποστολής δεδομένων. Ο χρήστης μπορεί να αυξήσει τον χρόνο κατά 10ms είτε να τον μειώσει κατά 10ms. Αν σε προηγούμενη εντολή, έχει απενεργοποιηθεί η Αυτόματη Αποστολή Δεδομένων, τότε η ρύθμιση του χρόνου αυτού δεν έχει σημασία για την λειτουργία της συσκευής. Αν στην συνέχεια, ενεργοποιήσουμε την Αυτόματη Αποστολή, θα ισχύει η νέα τιμή.

Το τρίτο σύνολο, αφορά τον χρόνο που μια συσκευή – ρυθμισμένη σαν ZigBee End Device – μένει πλήρως ενεργοποιημένη. Με το πέρας του χρόνου αυτού, ξεκινά η διαδικασία εισόδου σε λειτουργία περιορισμένης κατανάλωσης (sleep mode). Η αυξομείωση του χρόνου πλήρους λειτουργίας, γίνεται ανά 10ms. Οι εντολές του τρίτου συνόλου αποκλειστικών

εντολών, δεν επηρεάζουν καθόλου τις συσκευές που είναι ρυθμισμένες σαν ZigBee Router ή τον ZigBee Coordinator.

Το τελευταίο σύνολο αποκλειστικών εντολών, αφορά πάλι τις συσκευές που είναι ρυθμισμένες σαν ZigBee Τερματικά. Από το σύνολο αυτό, ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τον χρόνο που η συσκευή θα βρίσκεται σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης (sleep mode). Ο χρόνος μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί κατά 10 δευτερόλεπτα. Και οι εντολές του τελευταίου συνόλου, δεν επηρεάζουν ZigBee Συντονιστές ή Δρομολογητές.

Δίπλα από την λίστα διαθέσιμων αποκλειστικών εντολών, υπάρχει η δυνατότητα ο χρήστης να δηλώσει το κόστος της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Καθώς η ΔΕΗ, χρεώνει τον χρήστη ανά κιλοβατώρα (KWh), θεωρήσαμε σκόπιμο να κρατήσουμε τα ίδια μεγέθη. Έτσι, απλά μελετώντας το τιμολόγιο της ΔΕΗ, ο χρήστης μπορεί να συμπληρώσει την τιμή κόστους για το μέγεθος της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Στο σημείο αυτό, ας διευκρινίσουμε ότι, επειδή η KWh είναι τάξης μεγέθους πιο πάνω από τα δεδομένα κατανάλωσης που αποστέλλονται από το οικιακό δίκτυο στην βάση δεδομένων του γραφικού περιβάλλοντος, τα δεδομένα αποθηκεύονται ανά Wsec. Στις γραφικές παραστάσεις, παρουσιάζονται αυτές οι μονάδες όταν έχουμε ηλεκτρική κατανάλωση. Αλλά το κόστος υπολογίζεται ανά KWh, όπως κάνει ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας. Η σχέση που συνδέει τα δυο μεγέθη κατανάλωσης δίνεται πιο κάτω :

$$1KW \cdot h = 1000 W \cdot h = 1000W \cdot 3600secs \Rightarrow$$

$$\underline{1KW \cdot h = 3,6 \cdot 10^6 W \cdot sec}$$

Μελετώντας την σχέση αυτή και γνωρίζοντας ότι το κόστος της KWh κυμαίνεται στα δέκατα του ευρώ, έγινε η προσθήκη της παρατήρησης στην περιγραφή της καρτέλας στατιστικών που αφορά την χρήση της επιλογής «Value & Cost». Η διαφορά τάξης είναι τόσο μεγάλη που το κόστος δεν θα εμφανίζεται στην κλίμακα.

Κεφάλαιο 8 : Αποτελέσματα Δοκιμών Συστήματος

8.1 Αποτελέσματα Οικιακού Δικτύου

Δοκιμάζοντας το προτεινόμενο σύστημα σε πραγματικές συνθήκες, μπορούμε να πούμε ότι το οικιακό δίκτυο, είχε την συμπεριφορά που αναμενόταν. Στο ασύρματο μέσο είχαμε μηδενικές απώλειες πακέτων. Στις δοκιμές, η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κόμβων του δικτύου ZigBee, ήταν μέχρι 5 μέτρα με παρεμβολή διάφορων εμποδίων όπως τοίχους με τούβλα, διπλά παράθυρα αλουμινίου ή ξύλο.

Όπως προβλεπόταν από τους στόχους που θέσαμε στον σχεδιασμό του συστήματος, το δίκτυο δημιουργήθηκε με την εκκίνηση της κεντρικής συσκευής – Συντονιστή ZigBee και περίμενε νέες συνδέσεις συσκευών. Με ελάχιστο κόπο, σε χρόνο λιγότερο από λεπτό, είχαμε ένα πλήρες οικιακό δίκτυο με προσθήκη δυο δρομολογητών και δυο τερματικών.

Το δίκτυο έδειξε καλή συμπεριφορά και στα θέματα αυτο-οργάνωσης. Σε περίπτωση απώλειας σήματος μεταξύ δυο κόμβων, τα δεδομένα έφταναν μέσω άλλου κόμβου. Σε δοκιμή ακραίας περίπτωσης, όπου ένας κόμβος τέθηκε εκτός δικτύου, ο δρομολογητής αναγνώρισε την απώλεια μέσα στο προγραμματισμένο χρόνο των 20 δευτερολέπτων και αυτόματα ενεργοποίησε την δυνατότητα προσθήκης νέου παιδιού. Το ορφανό παιδί, στο ίδιο διάστημα, ξεκίνησε σκανάρισμα στο ασύρματο μέσο για να εντοπίσει διαθέσιμο δρομολογητή. Εντός 30 δευτερολέπτων, το δίκτυο είχε επανέλθει πλήρως στην αρχική του μορφή.

Σε κάθε κόμβο του δικτύου, το λειτουργικό σύστημα έτρεχε σταθερά και οι διακοπές που προκαλούσαμε εκτελούνταν κανονικά. Τα συνδεδεμένα περιφερειακά του κάθε κόμβου, δούλεψαν πλήρως και οι αισθητήρες μπόρεσαν να παράξουν μετρήσιμες τιμές σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα (της τάξης των ms), χωρίς να δεσμεύσουμε πλήρως τον μικροελεκτή. Έτσι, είχαμε σταθερή ροή δεδομένων ανάμεσα στα περιφερειακά και στο ασύρματο μέσο μετάδοσης. Μικροκαθυστερήσεις που παρατηρήθηκαν, οφείλονταν αποκλειστικά στην χρήση επιπλέον θύρας UART για σκοπούς debugging και μελέτης των πακέτων που διακινούνταν στο δίκτυο, μέσω του κόμβου.

Δοκιμάστηκαν εκτεταμένα και οι συσκευές που θεωρούνται Τερματικά ZigBee και μπορούν να εισέλθουν σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης (sleep mode). Το δίκτυο μπορεί να αναγνωρίσει αν ένα τερματικό «κοιμάται» και να μην το διαγράψει από το δίκτυο, άσχετα να έχει περάσει τα 20 δευτερόλεπτα που έχουν οριστεί. Το τερματικό, ξυπνά με το τέλος της περιόδου και επικοινωνεί με τον πατέρα του για να παραλάβει τυχόν εκκρεμή δεδομένα. Μένει πλήρως λειτουργικό για τον χρόνο που ορίσαμε μέσω του δικτύου και μετά επιστρέφει σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης.

8.2 Αποτελέσματα Κυκλωμάτων Συσκευής Ελέγχου

Αφού κατασκευάσαμε τα κυκλώματα ελέγχου της οικιακής συσκευής, τα συνδέσαμε με το οικιακό δίκτυο, μέσω ενός δρομολογητή ZigBee. Δοκιμάσαμε το κύκλωμα, συνδέοντας ένα μεγάλο εύρος οικιακών συσκευών με το κύκλωμα. Οι συσκευές αυτές ήταν:

- Τηλεόραση CRT
- Ηλεκτρική Θερμάστρα Αλογόνου 1600W
- Φορητός Υπολογιστής μέσω του φορτιστή
- Λαμπατέρ 60W
- Καφετιέρα 2200W
- Φούρνος Μικροκυμάτων 1200W
- Ethernet Network Router

Οι συσκευές αυτές, επιλέχτηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε το σύνολο τους να είναι ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα συσκευών που μπορεί το σύστημα μας να αντιμετωπίσει σε μια μέση κατοικία.

Στο σύνολο των ηλεκτρικών συσκευών, πλην της καφετιέρας, το σύστημα ελέγχου τροφοδοσίας της συσκευής, δούλεψε χωρίς προβλήματα, για διαδοχικές μεταβολές της τροφοδοσίας από ON σε OFF, και το αντίστροφο. Όλες οι συσκευές, έμειναν σε λειτουργία για τουλάχιστον μισή ώρα, για να γίνει έλεγχος υπερθέρμανσης των ηλεκτρονικών ισχύος, σε πραγματικές συνθήκες. Το υποκύκλωμα ελέγχου τροφοδοσίας έδειξε να ανταποκρίνεται πλήρως στους στόχους σχεδιασμού του. Μέσω του μικροελεκτή, μπορούσαμε να ελέγξουμε την παροχή τροφοδοσίας των οικιακών συσκευών.

Στον έλεγχο με την ηλεκτρική καφετιέρα, συναντήσαμε προβλήματα παραγωγής σπινθήρων από το μέρος του κυκλώματος, όπου υπήρχαν συγκολλημένοι οι αισθητήρες ρεύματος. Μετά από μελέτη και κάποιους χειρισμούς ακριβείας με ανεξάρτητο τροφοδοτικό, αποδείχτηκε ότι το πρόβλημα, οφειλόταν αποκλειστικά στο υλικό συγκόλλησης των αισθητήρων στο κύκλωμα. Με το που η καφετιέρα έπαιρνε τροφοδοσία, το ρεύμα που περνούσε από τις κολλήσεις έκανε απότομη άνοδο (spike) πάνω από 10A, και λόγω της προβληματικής συγκόλλησης εμφανίζονται σπινθήρες στο σημείο της κόλλησης.

Το υποκύκλωμα των αισθητήρων σε σύνδεση με ψηφιακό πολύμετρο, λειτουργεί βάση των προδιαγραφών και στο πολύμετρο είχαμε ένδειξη rms τιμής τάσης ανάλογη με την τιμή του ρεύματος στο κομμάτι τροφοδοσίας της οικιακής συσκευής. Όταν όμως, δοκιμάσαμε να συνδέσουμε το υποκύκλωμα με τον A/D Converter, και να υπολογίσουμε την rms τιμή με την ορθογώνια αριθμητική μέθοδο ολοκλήρωσης, δεν είχαμε τα αποτελέσματα που προέβλεπε η θεωρία.

Έγιναν μετρήσεις για έλεγχο του A/D Converter με ανεξάρτητα τροφοδοτικά και παλμογεννήτρια για παραγωγή κυματομορφής AC ακριβείας, και τα αποτελέσματα που περνάμε στον debugger του μικροελεκτή, ήταν κοντά στις θεωρητικές τιμές, με αποδεκτό σχετικό σφάλμα. Έτσι, το πρόβλημα, παραγωγής λάθους τιμής ρεύματος, οφείλεται αποκλειστικά στον αισθητήρα ρεύματος.

Με χρήση ψηφιακού παλμογράφου, έγιναν μελέτες της κυματομορφής που παράγει στην έξοδο του ο αισθητήρας ρεύματος. Στα παλμογραφήματα των πραγματικών δοκιμών, αν και η rms τιμή που έδινε ο ψηφιακός παλμογράφος, ήταν κοντά στην τιμή που έδινε και το πολύμετρο στις αρχικές δοκιμές, η παραγόμενη κυματομορφή, απείχε από την ιδανική ημιτονοειδή μορφή που προβλέψαμε στην θεωρία.

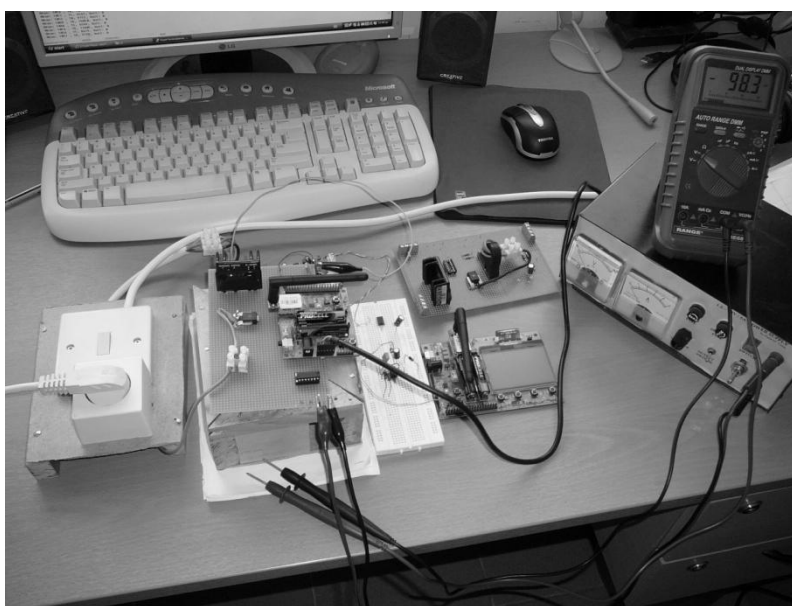
Έτσι, η αριθμητική μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε, εμφάνισε τεράστιο σφάλμα και καθόλου προβλέψιμη συμπεριφορά, καθώς η πραγματική κυματομορφή ήταν πολύ διαφορετική από την θεωρητική. Η παραμόρφωση της καμπύλης, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην παράσιτη μαγνητική ακτινοβολία από τα υπόλοιπα μέρη του κυκλώματος, με αποτέλεσμα ο ευαίσθητος σε μαγνητικό πεδίο αισθητήρας, να μην μπορεί να δώσει σωστή κυματομορφή εξόδου. Ακόμη, παραμόρφωση μπορεί να προκαλέσουν τυχόν αρμονικές που υπάρχουν στο ρεύμα που τραβά η οικιακή συσκευή.

8.3 Αποτελέσματα Κυκλωμάτων Ανιχνευτή Κίνησης

Ο ανιχνευτής κίνησης, έδωσε στο πολύμετρο, τιμές σύμφωνα με το datasheet του. Όταν τον συνδέσαμε με την ψηφιακή είσοδο του μικροελεκτή τα αποτελέσματα δεν ήταν τα αναμενόμενα. Τα προβλήματα λύθηκαν όταν κατασκευάσαμε μια βαθμίδα ενίσχυσης του σήματος εξόδου του ανιχνευτή.

Πλέον ο ανιχνευτής κίνησης δίνει σωστό σήμα εξόδου στον μικροελεκτή. Το μόνο θέμα που μένει να συζητηθεί, είναι το θέμα της ευαισθησίας. Επειδή ο ανιχνευτής δουλεύει με το θερμικό υπόβαθρο του χώρου, αν στον χώρο υπάρχουν εστίες έντονης θερμότητας, μπορεί να δίνει εσφαλμένη ανίχνευση.

Ακόμη, υπάρχει και το θέμα της τροφοδοσίας του κυκλώματος. Το κύκλωμα τροφοδοτείται με DC τάση 5V ενώ το κύκλωμα του μικροελεκτή με τάση 3V. Η διαφορά στην τροφοδοσία λύθηκε με την προσθήκη δύο διαφορετικών σετ μπαταριών, αλλά σε επόμενη φάση θα πρέπει να έχουμε κοινή τροφοδοσία στο σύνολο των κυκλωμάτων.



Εικόνα 8-1: Στιγμιότυπο από τις Δοκιμές του Συστήματος

Κεφάλαιο 9 : Επίλυση Προβλημάτων

Θέματα Σχεδιασμού Νέας Έκδοσης

9.1 Γενικά Στοιχεία

Στο παρόν κεφάλαιο, θα ασχοληθούμε πως τα προβλήματα που συναντήσαμε, στην πρώτη προσπάθεια δοκιμής του προτεινόμενου συστήματος, μπορούν να επιλυθούν. Ακόμη, στο τέλος του κεφαλαίου αυτού, θα μιλήσουμε για λεπτομέρειες της πρότασης μας που δεν δοκιμάστηκαν σε πραγματικές συνθήκες. Επιπλέον, θα θίξουμε θέματα αναβάθμισης του συστήματος ενεργειακής συνείδησης, ώστε σε επόμενη έκδοση, να αποκτήσει περισσότερες δυνατότητες.

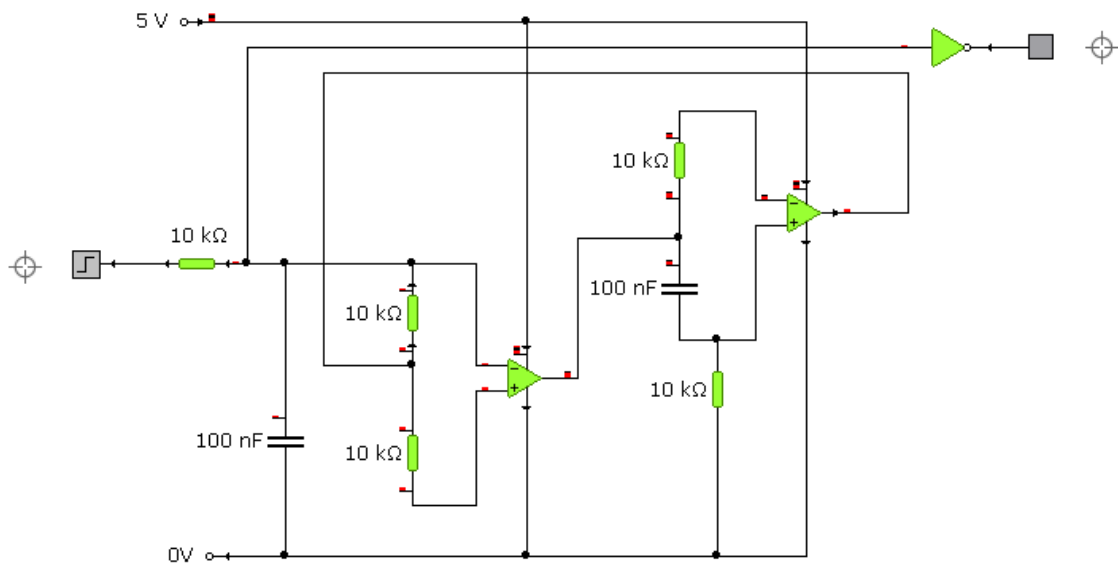
9.2 Επίλυση Προβλημάτων

Ένα από τα πιο ακανθώδη προβλήματα που συναντήσαμε στην μεταφορά των σχεδίων της πρότασης σε πραγματικές συνθήκες, ήταν το πρόβλημα με το σήμα εξόδου των αισθητήρων ρεύματος. Το πρόβλημα αυτό, μπορεί να επιλυθεί με τρεις εντελώς διαφορετικούς τρόπους.

Ο πρώτος τρόπος είναι η πλήρης μαγνητική και ηλεκτρική απομόνωση του αισθητήρα από τα υπόλοιπα μέρη του κυκλώματος με προστασία του τύπου «κλωβού Faraday». Φυσικά, για την λύση αυτή, πρέπει να προηγηθεί λεπτομερής φασματική ανάλυση των παρασιτικών συχνοτήτων, κάτι που χρειάζεται εξειδικευμένο εξοπλισμό. Εξοπλισμό που την παρούσα στιγμή, το εργαστήριο Μικροϋπολογιστών όπου έγινε η διπλωματική αυτή εργασία, δεν διαθέτει.

Ο δεύτερος τρόπος, είναι η αλλαγή της φιλοσοφίας πίσω από την οποία γίνεται ο υπολογισμός της rms τιμής του σήματος εξόδου του αισθητήρα. Δηλαδή, να εγκαταλειφτεί η ιδέα του ιδανικού ημιτονοειδούς σήματος και να γίνει αλλαγή στο μαθηματικό υπόβαθρο που υπάρχει, ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε rms τιμή παραμορφωμένων σημάτων. Αυτό είναι εφικτό, καθώς υπάρχει το παράδειγμα του ψηφιακού πολύμετρου που χρησιμοποιήσαμε. Το datasheet του αναφέρει πως η rms τιμή υπολογίζεται στατιστικά και την εκφράζει θεωρώντας ημιτονοειδές σήμα εισόδου.

Με τον τρίτο τρόπο, μπορούμε να κρατήσουμε το σύστημα ως έχει. Απλά, μεταξύ του αισθητήρα και του A/D Converter, πρέπει να τοποθετήσουμε κατάλληλο ζωνοπερατό φίλτρο στα 50Hz (συχνότητα ΔΕΗ). Φυσικά, το φίλτρο αυτό θα είναι κατασκευασμένο από ηλεκτρονικά που θα έχουν κάποια κατανάλωση.



Κύκλωμα 9-1: Ζωνοπεράτο Ενεργό Φίλτρο με Τελεστικούς Ενισχυτές

Για να επιλέξουμε την σωστή λύση, πρέπει να γίνει κάποια προεργασία. Επειδή, ο δεύτερος χρειάζεται χρονοβόρο αναπρογραμματισμό του A/D Converter και του μικροελεκτή, ενώ η λύση του τρίτου τρόπου υπάρχει έτοιμη στην αγορά και μπορεί να κατασκευαστεί με ελάχιστο κόπο. Αλλά, καθώς οι προδιαγραφές του συστήματος αναφέρουν πως το σύστημα μας πρέπει να έχει ελάχιστη κατανάλωση, πρέπει να ζυγίσουμε σωστά τις επιλογές μας.

Το δεύτερο πρόβλημα που μας έχει απομείνει από τα προβλήματα που συναντήσαμε κατά την διάρκεια των δοκιμών του προτεινόμενου συστήματος, ήταν τα θέματα που αφορούν το κύκλωμα ανίχνευσης κίνησης.

Η ύπαρξη διπλής τροφοδοσίας στο κύκλωμα ανίχνευσης κίνησης, μπορεί να λυθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι με αλλαγή του μοντέλου του αισθητήρα. Στην αγορά υπάρχει αισθητήρας κίνησης χαμηλής κατανάλωσης Panasonic AMN41111, που δουλεύει στα 3V όπως και ο μικροελεκτή. Ο δεύτερος τρόπος είναι με κοινή τροφοδοσία και διαιρέτες τάσης να παράξουμε τις δυο τάσεις που απαιτούνται, αλλά αυτός ο τρόπος θα προσθέσει στην κατανάλωση ενέργειας από το κύκλωμα. Έτσι, θα επιλέξουμε τον πρώτο τρόπο.

Για το θέμα της ευαισθησίας του αισθητήρα, μπορούμε να αλλάξουμε τον τύπο ανίχνευσης από θερμικού υποβάθρου (Passive Infrared) σε κάποιο άλλο τύπο, όπως μικροκυμάτων, που επηρεάζονται λιγότερο από παρούσες στο χώρο θερμικές πηγές. Αυτό όμως θα προσθέσει στο κόστος κατασκευής καθώς ο ήδη επιλεγμένος τύπος αισθητήρα είναι ο πιο φτηνός που υπάρχει στην αγορά.

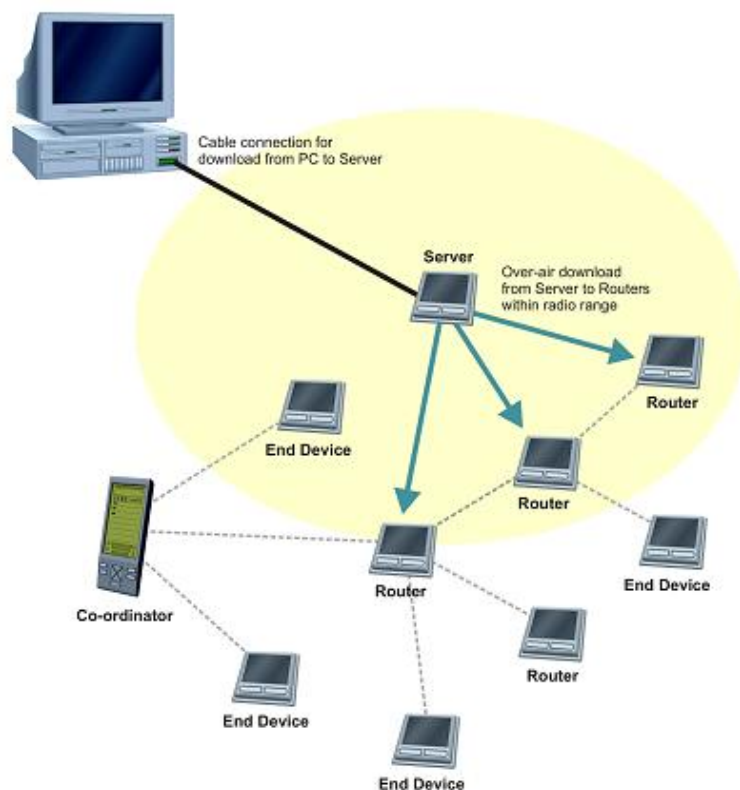
9.3 Θέματα Επόμενης Δοκιμαστικής Έκδοσης

Στην υποενότητα αυτή, θα σχολιάσουμε ιδέες και θέματα που θα μπορούσε η πρόταση μας για ένα έξυπνο σύστημα ενεργειακής συνείδησης, να ασχοληθεί σε επόμενη δοκιμαστική έκδοση.

9.3i Υποσύστημα Απομακρυσμένου Προγραμματισμού

Το σύστημα μας, ήδη από την πρώτη προσπάθεια σχεδιασμού έχει λάβει πρόνοια για απομακρυσμένο προγραμματισμό. Αυτό σημαίνει ότι αν ποτέ ο χρήστης βρεθεί στην ανάγκη να αλλάξει τον προγραμματισμό κάποιας συσκευής, είτε αφορά το δίκτυο ZigBee είτε στον προγραμματισμό του λειτουργικού, να μπορεί ο επαναπρογραμματισμός του κόμβου να γίνει από την Κεντρική Συσκευή, χωρίς να πρέπει να τερματίσουμε την χρήση της συσκευής και να την φέρουμε κοντά σε καλώδιο υπολογιστή κτλ.

Ο σχεδιασμός προβλέπει για την ύπαρξη ανεξάρτητου υποδικτύου προγραμματισμού, όπου ένας κατάλληλος μικροελεγκτής θα βρίσκεται κρυμμένος στην Κεντρική Συσκευή και μέσω της δεύτερης κεραίας, θα δημιουργεί κατάλληλο δεύτερο δίκτυο ZigBee και θα ενημερώνει τον προς αναβάθμιση κόμβο για την ύπαρξη νέου binary. Ο απομακρυσμένος κόμβος, θα αντιλαμβάνεται την προσπάθεια απομακρυσμένου προγραμματισμού, θα σταματά τα περιφερειακά του και θα μπαίνει σε κατάλληλη λειτουργία. Το νέο binary, μεταφέρεται μέσω του δεύτερου ασύρματου μέσου, ώστε να μην επηρεάζουμε την ομαλή λειτουργία του υπόλοιπου οικιακού δικτύου, και στην συνέχεια ο μικροελεγκτής του κόμβου επανεκκινά το νέο λειτουργικό σύστημα και επανασυνδέεται στο οικιακό δίκτυο.



Διάγραμμα 9-1: Παράδειγμα Προγραμματισμού από Απόσταση

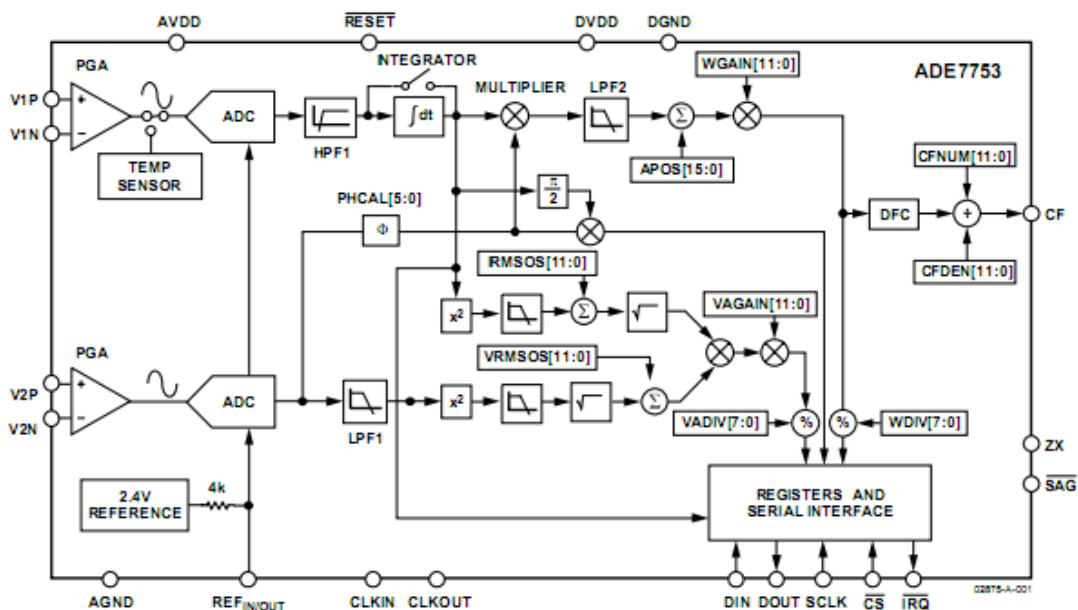
9.3ii Αναβάθμιση Αισθητήρων Μέτρησης Κατανάλωσης

Όπως ο αναγνώστης μπορεί να αντιληφτεί στην πρώτη δοκιμαστική έκδοση του συστήματος, ο υπολογισμός της ηλεκτρικής κατανάλωσης γίνεται μέσω της μέτρησης της rms τιμής του ρεύματος που τραβά η οικιακή συσκευή, θεωρώντας πως η τάση της παροχής και ο συντελεστής ισχύος είναι ιδανικώς σταθερά στα 230V και 0,9, αντίστοιχα.

Όμως στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει. Για να έχουμε την πλήρη εικόνα της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από μια οικιακή συσκευή, χρειαζόμαστε τις τιμές όλων των προαναφερθέντων ηλεκτρικών μεγεθών. Αυτό μπορεί να γίνει με προσθήκη, εκτός από του ήδη δοκιμασμένου αισθητήρα ρεύματος, κατάλληλων αισθητήρων για την AC τάση και τον συντελεστή ισχύος.

Μια άλλη καλύτερη επιλογή είναι η ριζική αλλαγή των αισθητήρων. Υπάρχουν εξελιγμένοι αισθητήρες που προσφέρουν δυνατότητα μέτρησης όλων των ηλεκτρικών μεγεθών, σε ένα ολοκληρωμένο. Μια κατάλληλη πρόταση, είναι ο Single Phase Multifunction Metering IC ADE7753 της Analog Devices, που μπορεί να μετρήσει όλα τα απαιτούμενα από το σύστημα μας ηλεκτρικά μεγέθη και να δώσει έξοδο απευθείας σε SPI Interface.

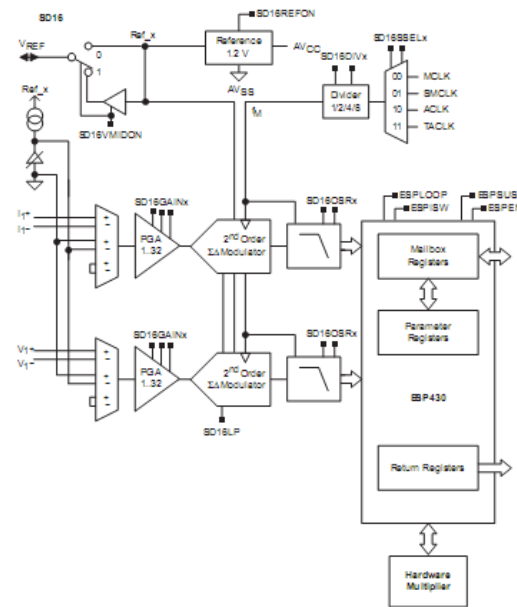
Το ολοκληρωμένο αυτό, χρειάζεται να συνδεθεί στο κύκλωμα τροφοδοσίας της οικιακής συσκευής μέσω μετασχηματιστή ρεύματος ή πηνίου Rogowski, καθώς λειτουργεί σε χαμηλότερα ρεύματα και τάση από την παροχή. Δηλαδή, λειτουργεί με τρόπο ανάλογο με τους παραδοσιακούς μετρητές της ΔΕΗ.



Διάγραμμα 9-2: Βαθμίδες του IC μετρητή ηλεκτρικών μεγεθών ADE7753

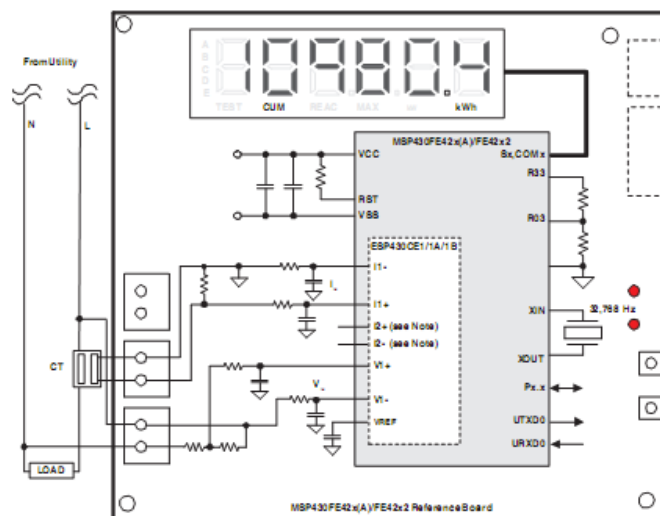
Το πρωτόκολλο διασύνδεσης SPI, είναι υποστηριζόμενο από τον επιλεγμένο μικροελεκτή Jenpic του συστήματος μας. Μέσω του SPI θα έχουμε άμεσα τα αποτελέσματα του μετρητή σε ψηφιακή μορφή, έτοιμα για επεξεργασία από το σύστημα. Δεν θα είναι απαραίτητη η χρήση A/D Converter και πολύπλοκων αριθμητικών προσεγγίσεων από μέρος μας. Αυτό θα ελαφρύνει και τον φόρτο του μικροελεκτή των Συσκευών Ελέγχου.

Μια δεύτερη επιλογή για ριζική αλλαγή, είναι τα ολοκληρωμένα της σειράς ESP430 της εταιρίας Texas Instruments. Τα ολοκληρωμένα αυτά δεν είναι παρά κυκλώματα με ενσωματωμένο μικροελεκτή, ειδικά σχεδιασμένα για εφαρμογές μονοφασικής μέτρησης ενέργειας. Στην είσοδο τους, χρειάζονται και αυτά μετασχηματιστή ρεύματος ή current shunt. Οι μετρήσεις μπορούν να ληφθούν διαβάζοντας τις τιμές των εσωτερικών καταχωρητών.



Διάγραμμα 9-3: Βαθμίδες ενός ολοκληρωμένου της σειράς ESP430

Τα ολοκληρωμένα της σειράς ESP430, μπορούν να συνδυαστούν με τον μικροελεκτή MSP430FE42x της ίδιας εταιρίας, ο οποίος είναι ειδικός στην επεξεργασία πολλαπλών σημάτων. Το θετικό της χρήσης του δεύτερου μικροελεκτή είναι πως ο δεύτερος μετατρέπει τις τιμές των καταχωρητών του πρώτου, σε SPI ή UART ροή δεδομένων. Έτσι, θα μπορούμε να συνδέσουμε απευθείας τους μικροελεκτές αυτούς με τον μικροελεκτή που διαχειρίζεται το δίκτυο ZigBee.



Διάγραμμα 9-4: Παράδειγμα Χρήσης των ESP430 & MSP4030 σε ψηφιακό μετρητή ενέργειας

9.3iii Αναβάθμιση Γραφικού Περιβάλλοντος Χρήσης

Το γραφικό περιβάλλον χρήσης, μπορεί να βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό. Είναι ευκόλως αντιληπτό, πως μια νέα έκδοση θα μπορούσε να προσφέρει μεγαλύτερη γκάμα γραφικών παραστάσεων και στατιστικών. Η νέα μηχανή παρουσίασης στατιστικών, μπορεί να πάρει ιδέες από την σχετική εργασία (3) της βιβλιογραφίας, όπου έχουν μελετηθεί όλες οι παράμετροι που πρέπει να λάβει υπόψη κάθε σύστημα απεικόνισης στατιστικών που αφορούν ενεργειακή κατανάλωση.

Μια σημαντική αναβάθμιση που πρέπει να γίνει στην επόμενη έκδοση, είναι η ενσωμάτωση στο γραφικό περιβάλλον συστήματος εύκολου προγραμματισμού των αυτοματοποιημένων εργασιών της οικίας. Μια ιδέα είναι, η δημιουργία μιας ψευδογλώσσας προγραμματισμού, όπου ο απλός χρήστης με drag & drop από αντίστοιχες εργαλειοθήκες, να μπορεί να φτιάξει απλά προγράμματα όπως: «Συσκευή A: Αν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κάτω από 30 βαθμούς και η σχετική υγρασία στον αισθητήρα X πέσει κάτω από 20%, ξεκίνησε το αυτόματο σύστημα ποτίσματος. Αν η σχετική υγρασία φτάσει στο 50%, σταμάτα.»

Στην συνέχεια, το γραφικό περιβάλλον θα μετατρέπει την ψευδογλώσσα σε C, θα την προσθέτει στην συνάρτηση χρονοπρογραμματισμού της ανάλογης συσκευής ελέγχου και θα την κάνει compile σε Jennic Binary. Το νέο binary, θα αποστέλλεται στην συσκευή, μέσω του συστήματος προγραμματισμού από απόσταση.

Μια εναλλακτική επιλογή, θα είναι η ψευδογλώσσα να αποθηκεύεται τοπικά στην βάση δεδομένων και να προστεθεί η δυνατότητα χρονοπρογραμματισμού στο γραφικό περιβάλλον. Ο κώδικας που εισήγαγε ο χρήστης, θα παρακολουθείται από το γραφικό περιβάλλον και οι ανάλογες αλλαγές στην κατάσταση της απομακρυσμένης συσκευής, να γίνεται μέσω αποστολής κάποιων αποκλειστικών εντολών στο δίκτυο. Φυσικά, αυτή η επιλογή θα προσθέσει μεγάλο όγκο δεδομένων στο ασύρματο μέσο και θα επιβαρύνει το οικιακό δίκτυο, αλλά είναι σαφώς ποιο εύκολα υλοποιήσιμη από την προηγούμενη.

Κεφάλαιο 10 : Επίλογος

Η προσπάθεια για μια πρόταση για εξοικονόμηση ενέργειας σε οικιακό περιβάλλον, οδήγησε στον σχεδιασμό ενός πλήρους αξιοποιήσιμου συστήματος Power-Aware House. Το σύστημα αυτό, προσφέρει όλες τις δυνατότητες που απαιτούν οι τάσεις της αγοράς και κάτι περισσότερο. Δίνει έμφαση σε τρόπους εξοικονόμησης ενέργειας και στην πληροφόρηση του χρήστη για την παρούσα ενεργειακή κατάσταση της οικίας του.

Σαν κοινωνία βρισκόμαστε σε κρίσιμο σημείο όσον αφορά το περιβάλλον και το μέλλον μας σ' αυτό τον πλανήτη. Πρέπει όλοι μας να προσπαθήσουμε να ανατρέψουμε την βεβαρημένη κατάσταση του πλανήτη, για να μπορέσουν οι μελλοντικές γενιές να ζήσουν σε ίδιες συνθήκες που εμείς θεωρούσαμε δεδομένες.

Είναι στην ελπίδα του συγγραφέα, πως το σύστημα που αναλύθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα μπορέσει κάποια στιγμή, να ανοίξει νέους δρόμους στην αγορά συστημάτων αυτοματισμών κατοικίας και να βοηθήσει στην προστασία του περιβάλλοντος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή ΕΜΠ κ. Πεκμεστζή Κιαμάλ, για την αμέριστη συμπαράσταση του στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του Εργαστηρίου Μικροϋπολογιστών και ιδιαίτερα τον Μεταδιδακτορικό Ερευνητή κ. Αξελό Νικόλαο, για την συμβολή τους στην επίλυση κρίσιμων θεμάτων που αντιμετώπισα.

Τελευταία, ευχαριστώ το φιλικό και οικογενειακό μου περιβάλλον για την συμπαράσταση τους σε όλους τους τομείς στα πέντε χρόνια που πέρασα σαν προπτυχιακός φοιτητής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ιδιαίτερα θερμές ευχαριστίες στους γονείς μου, για τον μόχθο και την υπομονή που επέδειξαν, ώστε να μπορέσω να είμαι Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών.

Βιβλιογραφία

1. *Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment,behaviour and design*. **G.Wood, M.Newborough**. School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-WattUniversity, Edinburgh : s.n.
2. *Energy Consumption in UK Households: Impact of Domestic Electrical Appliances* . **Iman Mansouri, Marcus Newborough & Douglas Probert**. Department of Applied Energy, Cranfield University, Bedford : s.n.
3. *Energy-use information transfer for intelligent homes: Enabling energy conservation with central and local displays*. **G.Wood, M.Newborough**. School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-WattUniversity, Edinburgh : s.n.
4. *Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data*. **Tsuyoshi Ueno, Fuminori Sano,Osamu Saeki,KiichiroTsuji**. Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan : s.n.
5. **Centre of Energy Policy and Economics - Swiss Federal Institutes of Technology (ETH, EPFL, PSI)**. *Energy Analysis of the Future House* .
6. **Paper, ALTERA-ECHELON-PLANETWEB White**. *The "Energy Aware" Appliance Platform: A New Approach to Home Energy Control*.
7. **Technologies, Infineon**. *Saving Energy Through innovaTion and Technology*.
8. **Homes, COOL APPLIANCES: Policy Strategies for Energy Efficient**. *International Energy Agency*.
9. **Agency, International Energy**. *RENEWABLES FOR HEATING AND COOLING: Untapped Potential* .
10. Home automation. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό] http://en.wikipedia.org/wiki/Home_automation.
11. **Eady, Fred**. *Hands-On ZigBee - Implementing 802.15.4 with Micorcontrollers*. s.l. : Newnes.
12. *ZigBee Alliance*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.zigbee.org/>.
13. Rectangle Method. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό] http://en.wikipedia.org/wiki/Rectangle_method.
14. **Bazian, Menachem**. *Using Visual FoxPro*. s.l. : que.
15. *A method of formulating energy load profile for domestic buildings in the UK*. **Runming Yao, Koen Steemers**. The Martin Centre for Architectural and Urban Studies, Department of Architecture,University of Cambridge : s.n.
16. **Lighting, Conference on Energy Efficient Domestic Appliances and**. *Energy Efficiency Policies – A Global Perspective* .
17. ZigBee Support. *Jennic*. [Ηλεκτρονικό] http://www.jennic.com/jennic_support/zigbee/.
18. JenNet Technology. *Jennic*. [Ηλεκτρονικό] http://www.jennic.com/jennic_support/jennet/.

Λίστα Πινάκων/Διαγραμμάτων

Πίνακας 2-1: Κίνητρα Καταναλωτών για Εξοικονόμηση και Καταλληλότητα Οθόνης	9
Πίνακας 2-2: Σύγκριση Τυπικής Οικίας – FutureLife House	12
Πίνακας 4-1: Τεχνολογίες Δικτύωσης	20
Πίνακας 4-2: Επιτρεπόμενο Εύρος Ζώνης ανά Γεωγραφική Περιοχή	22
Πίνακας 5-1: Εντολές Κελύφους Χρήστη	35
Πίνακας 5-2: Γραμματική Εντολών Κελύφους Χρήστη	36
Διάγραμμα 5-1: Διάγραμμα Ροής Εκτέλεσης Γενικής Εντολής Χρήστη	34
Διάγραμμα 5-2: Διάγραμμα Ροής Εκτέλεσης Αποκλειστικής Εντολής	35
Διάγραμμα 6-1: Ορθογώνια Μέθοδος Ολοκλήρωσης.....	43
Διάγραμμα 7-1: Σχεσιακό Μοντέλο Βάσης Δεδομένων.....	48
Διάγραμμα 9-1: Παράδειγμα Προγραμματισμού από Απόσταση	69
Διάγραμμα 9-2: Βαθμίδες του IC μετρητή ηλεκτρικών μεγεθών ADE7753.....	70
Διάγραμμα 9-3: Βαθμίδες ενός ολοκληρωμένου της σειράς ESP430	71
Διάγραμμα 9-4: Παράδειγμα ESP430 & MSP4030 σε ψηφιακό μετρητή ενέργειας.....	71
Κώδικας 5-1: Σκελετός του Λειτουργικού Συστήματος.....	29
Κώδικας 5-2: Σκελετός Κώδικα για Λήψη Δεδομένων.....	37
Κώδικας 7-1: Παράδειγμα εξόδου οδηγού σύνδεσης Υπολογιστή – Κεντρικής Συσκευής	50
Κώδικας 7-2: Μέρος Κώδικα Υποπρογράμματος Εισαγωγής Δεδομένων	51
Κύκλωμα 6-1: Απλοποιημένη Παρουσίαση Κυκλώματος Ελέγχου & Μετρητών.....	40
Κύκλωμα 6-2: Απλοποιημένο Ρελέ Στερεάς Κατάστασης.....	40
Κύκλωμα 6-3: Κύκλωμα Αισθητήρα Ρεύματος.....	41
Κύκλωμα 6-4: Κύκλωμα Ανόρθωσης Τάσης - Τροφοδοτικό	45
Κύκλωμα 6-5: Απλοποιημένο Κύκλωμα Ανιχνευτή Κίνησης	46
Κύκλωμα 9-1: Ζωνοπεράτο Ενεργό Φίλτρο με Τελεστικούς Ενισχυτές	68
Γράφημα 6-1: Ιδανικό Σήμα Εξόδου Αισθητήρα	42
Γράφημα 6-2: Το αρχικό σήμα από την πλευρά του μικροελεκτή	42
Γράφημα 6-3: Ολοκλήρωμα για μια περίοδο.....	43
Γράφημα 6-4: Λειτουργία Ανιχνευτή Κίνησης στον Χρόνο	46

Ευρετήριο

A

A/D Converter	39, 43, 44, 64, 67, 68
AC τάση.....	39
Application-to-Stack	28
autoscroll	54

B

Basic Operating System	28
Beacon enabled Network.....	24
broadcast	27, 33

C

callback	28
Cluster – Tree Topology.....	23

D

Data Acknowledge.....	36
DBMS	47
DC τάση.....	39
D-FlipFlop.....	39
driver	50
DropDown List.....	58

F

Full Function Device.....	<i>Βλέπε IEEE802.15.4</i>
---------------------------	---------------------------

G

Global Analysis	56
Global Network Command.....	53
Global Type	56

H

Hall Effect.....	40
hardware interrupts	28
HoldCost	57, 58
HoldData.....	57, 58

I

Incoming Network Data	54
-----------------------------	----

J

JenNet Network Stack.....	25
Jennic Evaluation Kit.....	27
JN5139	25

K

KWh	60
-----------	----

M

MAC Address	59
Mesh Topology	23
Microsoft Visual Studio	47
multi hop network	23
multi-access network	24

N

nonBeacon enabled Network	24
---------------------------------	----

O

opto-triack.....	40
------------------	----

P

passive infrared type.....	45
Peer to Peer	<i>Βλέπε Mesh Topology</i>
pet immune	45
pull-up resistor.....	46

Q

query	47
-------------	----

R

Rectangle Method.....	43
Reduce Function Device	<i>Βλέπε IEEE802.15.4</i>
rms τιμή.....	44

S

shell	33
single hop network.....	23
sleep mode	28
Solid State Relay.....	39
SQL queries.....	50
SQL views.....	50
SQL-insert	50
SQL-update	50
Stack-to-Application.....	28

T

tablet PC.....	48, 54
----------------	--------

V

Visual FoxPro	47
<i>vJenie_CbConfigureNetwork()</i>	30
<i>vJenie_CbHwEvent()</i>	31, 34, 36
<i>vJenie_CbInit()</i>	30
<i>vJenie_CbMain()</i>	31

<i>vJenie_CbStackDataEvent ()</i>	31
<i>vJenie_CbStackMgmtEvent()</i>	31
Voffset	42, 44

Z

ZigBee Coordinator	22
ZigBee End Device	22
ZigBee Evaluation Kit	<i>Βλέπε JN5139</i>
ZigBee Router	23

A

Αισθητήρας Επιπέδου Φωτισμού	32
Αισθητήρας Θερμοκρασίας/Υγρασίας,.....	32
ανάλυση ανά εύρος περιόδου	55
ανιχνευτής μικροκυμάτων	68
Αποκλειστικές Εντολές.....	58
Αποκλειστικές Εντολές Χρήστη	35
αποστολή μέσω υπηρεσίας	27
Αρχική Όθονη GUI	53
ασύρματο μέσο	63
Αυτόματη Αποστολή Δεδομένων,	59

Γ

Γενική Εντολή Χρήστη.....	34
Γραμματική Εντολών	36
γραφικές παραστάσεις.....	54
γραφικό περιβάλλον	53

Δ

δειγματοληψία.....	43
δέντρο επιλογής αισθητήρα	55
δέντρο οργάνωσης δικτύου.....	58

E

εισερχόμενη εντόλη	50
εντολές.....	36
εντολές SQL.....	47
επιλεγμένη περίοδος.....	55
Επίπεδο MAC	22

Z

ζωνοπεράτο φίλτρο	67
-------------------------	----

H

ηλεκτρική απομόνωση	67
---------------------------	----

Θ

θερμικό υπόβαθρο.....	68
Θεώρημα Niquist.....	42

I

IEEE 802.15.4	21
---------------------	----

K

καρτέλα	57
κέλυφος.....	<i>See shell</i>
Κεντρικές Συσκευές.....	58
κλωβός Faraday	67
Κομβία Ελέγχου	33
κομβία παραμετροποίησης.....	55
κονσόλα αφής.....	54
κόστος καταπόνησης.....	60
κύκλωμα ανίχνευσης κίνησης	45
κυματομορφή.....	65

Λ

λειτουργικό σύστημα	<i>See Basic Operating System</i>
λεκτικός αναλυτής.....	50

M

μαγνητική απομόνωση.....	67
Μετατροπέας Αναλογικού Σήματος	32

O

οικιακό δίκτυο	63
όνομα αισθητήρα	58
οπτικοποίηση πληροφορίας.....	54

Π

<i>Πίνακας ΒΔ Data</i>	49
<i>Πίνακας ΒΔ Devices</i>	48
<i>Πίνακας ΒΔ Sensors</i>	49
πραγματικές συνθήκες.....	63, 67
προδιαγραφές	68

P

ρελέ στερεάς κατάστασης <i>See Solid State Relay</i>	
--	--

Σ

Σειριακή Θύρα Επικοινωνίας	32
σήμα εξόδου.....	41, 65
συντονισμός GUI.....	53
Συσκευές ZigBee	22
Συσκευές Αισθητήρων.....	58
Συσκευές Ελέγχου	58
Σχεσιακό Μοντέλο ΒΔ	48

T

τεχνολογίες δικτύου.....	19
--------------------------	----

τοπολογία Δέντρου ή Συστάδας *Βλέπε Cluster-
Tree Topology*
τοπολογία Πλέγματος....*Βλέπε Mesh Topology*
τροφοδοσία 45, 65

Φ

Φυσικό Επίπεδο 22
φωτεινοί ενδείκτες..... 33

φωτοδίοδος..... 40

Χ

χαρακτήρες ASCII 36
χρονικός διαχωρισμός..... 50

Ψ

Ψηφιακές Εισόδου /Εξόδου 32