

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

Πτυχιακή εργασία

ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΩΝ ΣΤΑ 2.4GHZ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΟΝΑΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΜΑΘΙΟΥΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Εισηγητής : Εργαστηριακός Συνεργάτης Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Mphil. Ρηγάκης Ηρακλής

Χανιά, Ιούνιος 2014



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

Final Bachelor Thesis

WIRELESS PROCESSION OF MICROPROCESSORS IN 2.4GHZ AND THEORITICAL DESIGN OF A CONTROL UNITS NETWORK

ΜΑΘΙΟΥΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Εισηγητής : Εργαστηριακός Συνεργάτης Τ.Ε.Ι. Κρήτης

Mphil. Ρηγάκης Ηρακλής

Chania, June 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΘΑ ΗΘΕΛΑ ΝΑ ΕΥΧΑΡΙΣΤΗΣΩ ΑΠΟ ΚΑΡΔΙΑΣ ΤΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΜΟΥ κ. ΡΗΓΑΚΗ ΗΡΑΚΛΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΔΙΑΚΟΠΗ ΚΑΙ ΣΥΝΕΧΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΟΥ ΠΟΥ ΧΩΡΙΣ ΤΙΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΣΕ ΝΑ ΕΙΧΕ ΟΛΟΚΛΗΡΩΘΕΙ,ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΥΠΟΛΟΙΠΟΥΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ ΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ ΜΟΥ ΠΟΥ ΜΕ ΣΤΗΡΙΞΑΝ ΣΕ ΟΛΗ ΑΥΤΗ ΤΗΝ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΣΤΗ ΦΟΙΤΗΤΙΚΗ ΜΟΥ ΠΟΡΕΙΑ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ. ΘΕΩΡΩ ΤΑ ΧΡΟΝΙΑ ΠΟΥ ΠΕΡΑΣΑ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟ Τ.Ε.Ι., ΜΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΞΕΧΑΣΤΕΣ ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΖΩΗΣ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ασύρματη επεξεργασία μικροελεγκτών στα 2.4 GHz και ο θεωρητικός σχεδιασμός ενός δικτύου μονάδων ελέγχου βασισμένων πάνω στην οικογένεια ολοκληρωμένων της TI CC2510Fx/CC2511Fx.

Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούν επικοινωνίες μικρής εμβέλειας (Short range telecom technology) στα 2.4GHz, περιλαμβάνουν μικροεπεξεργαστή τύπου 8051 και έχουν μικρές απαιτήσεις ενέργειας.

Στην εποχή μας, η μεγάλη επέκταση των ασύρματων δικτύων τόσο μικρής όσο και μεγάλης εμβέλειας μας οδηγεί στην ανάπτυξη συστημάτων επιτήρησης με την χρήση ασύρματων δικτύων.

Θα εστιάσουμε, κυρίως, στον σχεδιασμό ενός πρωτοκόλλου επικοινωνιών έτσι ώστε να μπορέσουμε να έχουμε ένα αυτόνομο δίκτυο με αυτόματη δρομολόγηση και διαδικασίες αναδρομολόγησης σε περίπτωση προβλήματος.

Οι βασικές προδιαγραφές που θέσαμε ήταν :

- Χαμηλή κατανάλωση
- Ασύρματη επικοινωνία
- Αυτοδρομολόγηση
- Χαμηλό κόστος

Ο τομέας εφαρμογής θα είναι η ανάπτυξη δικτύου αισθητήρων φωτιάς σε κτήριο πολλών ορόφων.

Από τις παραπάνω προδιαγραφές, η πρώτη δηλαδή η χαμηλή κατανάλωση δεν μας αφήνει και πολλά περιθώρια επιλογής από την επιλογή ραδιο-επικοινωνία χαμηλής ισχύος (short range wireless network). Σαν αποτέλεσμα της επιλογής αυτής κάθε μονάδα θα πρέπει να προωθεί τα δεδομένα προς την «τερματική» μονάδα κάθε μονάδας «πίσω» από αυτήν. Επιπλέον αυτών η πιθανότητα ανάπτυξης μεγάλου πλήθους μονάδων κάνει την εκ των προτέρων παραμετροποίηση των μονάδων δύσκολη, αν όχι ακατόρθωτη. Για το λόγο αυτό οι μονάδες θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα αυτο-οργάνωσης μέσα στο δίκτυο.

ABSTRACT

The purpose of this work is the wireless processing microcontrollers to 2.4 GHz and the theoretical design of a network control units based on the family integrated TI CC2510Fx/CC2511Fx.

These units use short range communications (Short range telecom technology) at 2.4GHz, include microprocessor type 8051 and have small energy requirements.

In our time, the great expansion of wireless networks, both short and long range leads us to the development of monitoring systems using wireless networks.

It will focus mainly on the design of a communications protocol so that we can have a standalone network with automatic routing and rerouting procedures in case of a problem.

The basic standards that we set were:

- Low power consumption

- Wireless communication

- Autorouting

- Low cost

The field of application is the development of sensors network fire to several floors building.

From the above specifications, the first namely the low consumption does not leave us much of a choice by selecting radio communication low power (short range wireless network). As a result of this choice every unit should forward the data to the "terminal" unit each unit "behind" it. In addition to these, the likelihood of developing a large number of units makes advance customization of units difficult, if not impossible. For this reason the units should have the ability of self-organization in the network.

Πίνακας περιεχομένων

Πίνακας περιεχομένων 1
1. Εισαγωγή 11
1.1. Επικοινωνία με ραδιοκύματα 11
1.2. Πομποδέκτες 13
1.3. Ασύρματες Επικοινωνίες 13
1.4. Wi-Fi IEEE 802.11 14
1.5. ZigBee/IEEE 802.15.4 16
1.6. Bluetooth 16
1.7. ANT 17
1.8. Δορυφορικά Δίκτυα 18
1.9. Στρατοσφαιρικά δίκτυα 20
2. Ο Πομποδέκτης CC2510Fx / CC2511Fx 20
2.1. Κύρια χαρακτηριστικά του πομποδέκτη CC2510Fx / CC2511Fx 21
2.2. Περιγραφή λειτουργίας του πομποδέκτη CC2510Fx / CC2511Fx 25
2.2.1. Επεξεργαστής και περιφερειακά. 25
2.2.2. Πηγές Συμβάντων 25
2.2.3. Περιβάλλον εύρεσης λαθών (debug). 28
2.2.4. Διαχείριση Ενέργειας 28
2.2.5. Ταλαντωτές και ρολόγια (Oscillators and Clocks) 30
2.2.6. Πομποδέκτης Ραδιοκυμάτων. 31
2.2.7. Αποδιαμόρφωση, συγχρονισμός και επιλογή δεδομένων 33
3. KIT Ανάπτυξης για τον πομποδέκτη CC2510 35
4. Εφαρμογές 39

4.1. Ασύρματοι αισθητήρες 39
4.2. Ασύρματος έλεγχος στάθμης δεξαμενής 40
4.3. Ασύρματη ζυγαριά 41
4.4. Ασύρματη πινακίδα πληροφοριών 42
4.5. Ασύρματη καταγραφή δεδομένων 43
4.6. Συστήματα Ασφαλείας 44
4.7. Έλεγχος λειτουργίας ηλιακών κυψελών 46
4.8. Παρακολούθηση Ασθενή 47
4.9. Ασύρματη επικοινωνία (πομποδέκτης ασφαλείας) 49
4.10. Ασύρματος έλεγχος συσκευών μέσω Η/Υ 50
4.11. Τηλεκοντρόλ πολλαπλών συσκευών 51
4.12. Ανίχνευση πυρκαγιάς σε δάσος 52
4.13. Γενικά για τις ασύρματες εφαρμογές 53
5. Περί ασύρματων επικοινωνιών 54
6. Γενική θεώρηση συστήματος 58
6.1. Αυτο-Οργανούμενο δίκτυο 58
6.2. Ασύρματη Επικοινωνία χαμηλής ισχύος 59
6.3. Ασύρματη επικοινωνία στα 2.4GHz 59
6.4. Ο CC2510 59
6.4.1. Η Αρχιτεκτονική 60
6.4.2. Το Pin-Out 61
6.4.3. Τα Γενικά χαρακτηριστικά 62
6.4.4. Χαρακτηριστικά «κλειδιά» 62
6.4.5. Το KIT ανάπτυξης 63
6.4.6. Το Περιβάλλον ανάπτυξης Λογισμικού 64
6.4.7. Το Πρωτόκολλο SimpliciTI 64
7. Πρωτόκολλο για αυτο-οργανούμενο δίκτυο βασισμένο σε εκπομπή (Broadcasting) 66
7.1. Σημείο πρόσβασης (Access Point - AP) 66
7.2. Τελική Μονάδα (End Device – ED) 66
7.3. Περιγραφή πρωτοκόλλου 66
7.3.1. AP <-> ED 67
7.3.2. ED <-> ED 67
7.3.3. Αυτο-Διόρθωση 69

7.4. Πιθανά προβλήματα 71
7.4.1. Bidirectonal Επικοινωνία. 71
7.4.2. Επανεκκίνηση Μονάδας 71
7.4.3. Το πρόβλημα της πολλαπλής σύνδεσης 71
8. Συμπεράσματα 72
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 73
10. Βιβλιογραφία 85

1. Εισαγωγή

1.1. Επικοινωνία με ραδιοκύματα

Η επικοινωνία εξ αποστάσεως ήταν πάντα κάτι που ο άνθρωπος προσπαθούσε να επιτύχει. Από το 1895 ο πατέρας του ραδιοφώνου Γουλιέλμος Μαρκόνι κατάφερε να μεταδώσει ηχητικά σήματα μορς μέσω ερτζιανών κυμάτων, τα οποία τα είχε ανακαλύψει το 1883 ο Χερτς, επαληθεύοντας την θεωρία του Μάξγουελ περί ηλεκτρομαγνητισμού, που είχε προτείνει το 1873. Από τότε η μεταφορά σημάτων με την χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αναπτύχθηκε σημαντικά. Η χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων εφαρμόζεται σε πάρα πολλούς τομείς με πολλές εφαρμογές.

Ραδιοκύματα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία μεταδίδονται με συχνότητα περίπου από τα 30Hz μέχρι τα 300GHz. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μεταδίδεται δια της ταλαντώσεως των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που διέρχονται στον αέρα και στο κενό. Πληροφορία όπως ο ήχος μεταφέρεται από την συστηματική αυξομείωση κάποιων ιδιοτήτων κυμάτων όπως η συχνότητα το πλάτος και η φάση. Όταν τα ραδιοκύματα προσκρούουν σε έναν ηλεκτρικό αγωγό, τα ταλαντευόμενα πεδία επάγουν ένα εναλλασσόμενο ρεύμα στον αγωγό. Οι πληροφορίες των κυμάτων μπορούν να εξαχθούν και να μετατραπούν στην αρχική τους μορφή.

Οι χρήσεις των ραδιοκυμάτων περιλαμβάνουν τις παρακάτω εφαρμογές.

- Μετάδοση ήχου
- Τηλεφωνία
- Μετάδοση εικόνας και ήχου (Βίντεο)
- Πλοήγηση – χαρτογράφηση
- Ραντάρ

- Θέρμανση

- Ασύρματος έλεγχος - Τηλεκατεύθυνση

1.2. Πομποδέκτες

Πομποδέκτης είναι μια συσκευή η οποία αποτελείται από έναν πομπό και έναν δέκτη οι οποίοι είναι συνδυασμένοι και έχουν ένα κοινό κύκλωμα ή κοινή συσκευασία. Όταν όμως δεν υπάρχει κοινό κύκλωμα ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη η συσκευή ονομάζεται πομπός-δέκτης. Γενικά οι πομποδέκτες συνδυάζουν ένα σημαντικό ποσοστό κυκλωμάτων μεταξύ του πομπού και του δέκτη.

Η χρήση ραδιοκυμάτων για την μεταφορά πληροφορίας όπως ήταν αναμενόμενο δημιούργησε την ανάγκη πομπών και δεκτών ραδιοκυμάτων. Οι πομποδέκτες ραδιοκυμάτων χρησιμοποιούνται για την μεταφορά πληροφοριών σε υψηλές ταχύτητες. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική της επικοινωνίας με ραδιοκύματα μπορούν να δουλέψουν σε ταχύτητες μέχρι και 100GHz. Ο λόγος του σχεδιασμού τέτοιων πομποδεκτών ήταν να έρθει ο ψηφιακός χώρος κοντά με τον χώρο των κεραιών. Αυτό έδωσε την δυνατότητα για την αποστολή και λήψη χρησιμοποιώντας προγραμματιζόμενα ραδιοκύματα (software defined radio). Οι προγραμματιζόμενοι μικρό-ελεγκτές που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα αυτά επιτρέπουν την μετατροπή ψηφιακών σημάτων σε αναλογικά ραδιοκύματα.

1.3. Ασύρματες Επικοινωνίες

Τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών γνωρίζουν στις μέρες μας ραγδαία ανάπτυξη. Καθώς οι απαιτήσεις των χρηστών για προηγμένες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες αυξάνονται διαρκώς, οι φυσικοί περιορισμοί των ενσύρματων δικτύων καθιστούν τα παραδοσιακά δίκτυα λιγότερο ευέλικτα και αποδοτικά. Το καλώδιο και η οπτική ίνα είναι λύσεις που προϋποθέτουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και σε περίπτωση που υπάρχει η ανάγκη επικοινωνίας σε μεγάλη απόσταση το κόστος συνήθως καθιστά τις λύσεις αυτές απαγορευτικές. Αντιθέτως, η ασύρματη διάδοση είναι ικανή να παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και υπηρεσίες πολύ ευρείας ζώνης που δεν περιορίζονται από φυσικά χαρακτηριστικά όπως το μέγιστο

μήκος καλωδίου ή η ποιότητα και ο τύπος του και το πώς θα συνδεθεί ο τελικός χρήστης στο δίκτυο. Πρωταρχικός στόχος των σύγχρονων ασύρματων δικτύων αποτελεί πλέον η σύγκλιση πολλαπλών ετερογενών ευρυζωνικών υπηρεσιών, π.χ. Internet υψηλής ταχύτητας, τηλεφωνία, τηλεόραση, Βίντεο-κατά-Απαίτηση (Video-on-Demand, VoD) και υπηρεσίες ευρείας εκπομπής, όπως ορίζει η τελευταία τάση στην τηλεπικοινωνιακή αγορά. Για τους παραπάνω λόγους έχουν αναπτυχθεί πολλοί τρόποι ασύρματης επικοινωνίας που περιγράφονται στην συνέχεια.

1.4. Wi-Fi IEEE 802.11

Η τεχνολογία Wi-Fi είναι ένας δημοφιλής τρόπος ασύρματης τεχνολογίας που παρουσιάστηκε εμπορικά το 2000 για πρώτη φορά. Σήμερα είναι ίσως ο ποιο διαδεδομένος τρόπος ασύρματης επικοινωνίας. Το Wi-Fi επιτρέπει στους χρήστες να συνδέσουν ασύρματα τους υπολογιστές τους, τα κινητά τους τηλέφωνα και γενικά συσκευές κινητές με το internet, τοπικά δίκτυα ακόμα και με δίκτυα που λειτουργούν καλωδιακά χωρίς την χρήση καλωδίων.

Το Wi-Fi χρησιμοποιεί τεχνολογίες ραδιοκυμάτων βασισμένες στο IEEE 802.11 a/b/g/n για την ασφαλή, αξιόπιστη και γρήγορη μεταφορά δεδομένων. Τα δίκτυα Wi-Fi λειτουργούν στα 2.4GHz ή στα 5GHz και μπορούν να επιτύχουν ταχύτητες 54Mbps ή και μεγαλύτερες. Σαν αποτέλεσμα η απόδοση του ασύρματου δικτύου είναι συγκρίσιμη με αυτή των βασικών 10BaseT Ethernet δικτύων. Σήμερα η τεχνολογία Wi-Fi χρησιμοποιείται στις παρακάτω εφαρμογές.

- Ιατρικές συσκευές και ασύρματη παρακολούθηση ασθενών
- Φορητές συσκευές (Tablet, e-books κ.τ.λ.) για την περιήγηση στο internet και την μεταφορά δεδομένων.
- Βιομηχανικοί και οικιακοί αυτοματισμοί για παρακολούθηση, έλεγχο και καταγραφή δεδομένων.
- Τελικά σημεία πωλήσεων. (POS)

- Τηλεδιασκέψεις.

- Ασφάλεια.

1.5. ZigBee/IEEE 802.15.4

Το ZigBee είναι μία τεχνολογία που χρησιμοποιείται για ασύρματο έλεγχο και παρακολούθηση δικτύων αισθητήρων. Η τεχνολογία αυτή δημιουργήθηκε για την ικανοποίηση ζητημάτων που είχαν οι συγκεκριμένες εφαρμογές όσον αφορά το κόστος, την χαμηλή συχνότητα μεταφοράς δεδομένων, την απαίτηση για χαμηλή κατανάλωση, την ασφάλεια μεταφοράς δεδομένων και την αξιοπιστία. Ένα μεγάλο θετικό της τεχνολογίας αυτής είναι ότι λειτουργεί με την λογική του ανεξάρτητου αυτοελεγχόμενου δικτύου όπου εάν μια διαδρομή στο δίκτυο αποτύχει μπορεί να βρει λύση για την μεταφορά δεδομένων μέσω άλλης διαδρομής.

Το ZigBee μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε εφαρμογή που απαιτεί παρακολούθηση και έλεγχο ασύρματα. Κάποιες εφαρμογές είναι οι παρακάτω.

- Βιομηχανικοί και οικιακοί αυτοματισμοί
- Εφαρμογές ενεργειακής φύσης
- Ιατρικές εφαρμογές
- Logistics
- Δίκτυα αισθητήρων και ενεργά RFID
- Ανεπτυγμένα μετρητικά συστήματα
- Αυτοματισμοί εμπορικών κτιρίων

1.6. Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth είναι η πιο διακεκριμένη τεχνολογία για ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας. Το Bluetooth έχει σαν στόχο την αντικατάσταση καλωδίων για την σύνδεση φορητών συσκευών αλλά ταυτόχρονα να επιτύχει υψηλά επίπεδα ασφάλειας, χαμηλή κατανάλωση αλλά και χαμηλό κόστος. Μια σημαντική ιδιότητα της τεχνολογίας αυτής είναι η

δυνατότητα της να διαχειρίζεται ταυτόχρονα δεδομένα και φωνή. Είναι σχεδιασμένη για να έχει εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας με την δυνατότητα να απενεργοποιεί τα ραδιοκύματα όταν δεν είναι ενεργά.

Το Bluetooth λειτουργεί μεταξύ των 2.4GHZ και των 2.485GHz. Το φάσμα αυτό χρησιμοποιείται έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα να αλλάζει συχνότητα για να μειώνονται οι παρεμβολές που πιθανόν να προέρχονται από άλλες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν το φάσμα των 2.4GHz. Για τους χρήστες του Bluetooth αυτό έχει σαν αποτέλεσμα καλύτερες επιδόσεις ακόμα και όταν είναι σε χώρο που χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα και άλλες τεχνολογίες εκτός του Bluetooth. Το Bluetooth γενικά έχει τις παρακάτω εφαρμογές.

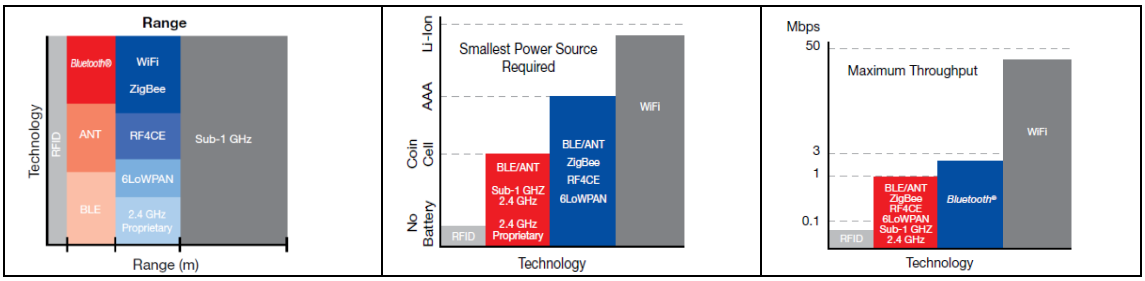
- Αντικατάσταση καλωδίων
- Ασύρματοι αισθητήρες
- Ιατρικές συσκευές
- Περιφερειακά Ηλεκτρονικών Υπολογιστών
- Βιομηχανικό έλεγχο

Το Bluetooth έχει επίσης αναπτυχθεί περαιτέρω στον τομέα της κατανάλωσης ενέργειας και πια η κατανάλωση ενέργειας είναι ακόμα χαμηλότερη από πριν.

1.7. ANT

Η τεχνολογία ANT παρέχει μια απλή, χαμηλού κόστους, και εξαιρετικά χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας λύση για την ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές που απαιτείται η αυτόματη συλλογή και παρακολούθηση δεδομένων αισθητήρων. Επιπλέον αυτών η τεχνολογία ANT συνεργάζεται εύκολα με κινητά τηλέφωνα τελευταίας γενιάς (Smartphones). Εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής είναι οι παρακάτω.

- Αθλητισμό
- Ιατρικός εξοπλισμός
- Περιφερειακά κινητών
- Ασύρματα συστήματα αισθητήρων



Όλα τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που περιγράφηκαν παραπάνω χαρακτηρίζουν την ασύρματη επικοινωνία η οποία περιορίζεται σε επίγειους πομπούς και δέκτες και γενικά ονομάζονται επίγεια. Για την επίτευξη ασύρματης επικοινωνίας υπάρχουν και άλλοι τύποι δικτύων στους οποίους θα γίνει μια μικρή αναφορά παρακάτω.

1.8. Δορυφορικά Δίκτυα

Η κατηγορία των Δορυφορικών Δικτύων παρέχει υπηρεσίες τόσο σε σταθερούς όσο και σε κινητούς χρήστες, με κυριότερο χαρακτηριστικό τη δυνατότητα κάλυψης μεγάλων γεωγραφικών περιοχών. Τα δορυφορικά συστήματα περιγράφονται κυρίως από τα πρότυπα Ψηφιακής Ευρυεκπομπής Βίντεο μέσω Δορυφόρου (Digital Video Broadcasting-Satellite, DVB-S), ενώ οι αντίστοιχοι δορυφόροι δεν έχουν πια τον απλό ρόλο του αναμεταδότη αλλά είναι ουσιαστικά τηλεπικοινωνιακοί κόμβοι με πολλαπλές δυνατότητες επεξεργασίας σήματος. Διακρίνονται σε

- Δορυφόρους Χαμηλής Τροχιάς (Low Earth Orbit satellites, LEO)

- Δορυφόρους Μέσης Τροχιάς (Medium Earth Orbit satellites, MEO)
- Γεωστατικούς Δορυφόρους (Geostationary Earth Orbit satellites, GEO).

Όσον αφορά στο επίγειο κομμάτι, τα τελευταία χρόνια τα δορυφορικά δίκτυα έχουν τερματικούς δέκτες πολύ μικρότερους σε σύγκριση με τους παλαιότερους .

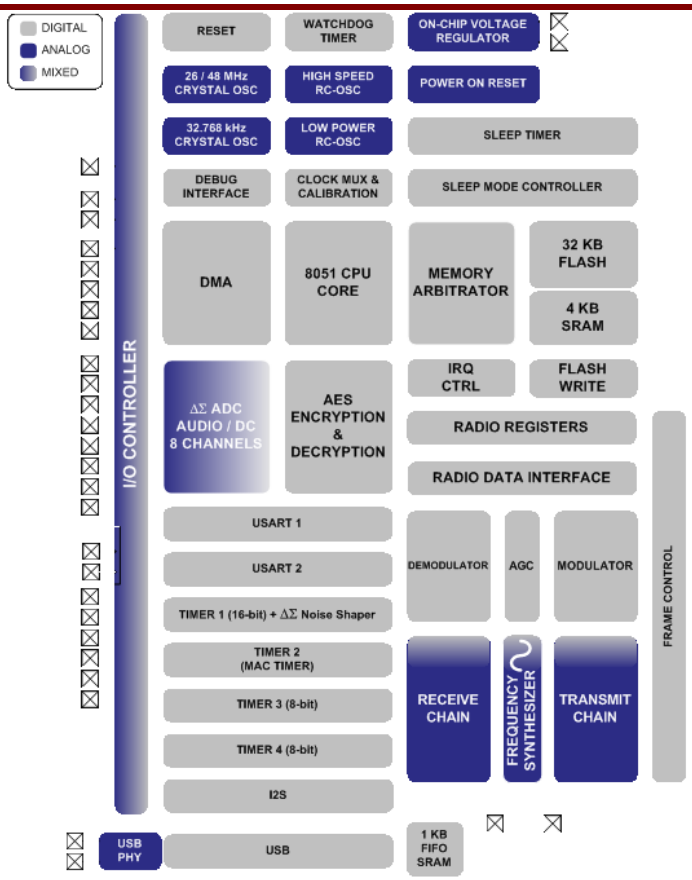
1.9. Στρατοσφαιρικά δίκτυα

Τα δίκτυα αυτά μπορούν να περιγραφούν ως υβριδικά γιατί παρέχουν ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες από Εναέριες Πλατφόρμες (High Altitude Platform Stations, HAPS), γνωστές και ως Στρατοσφαιρικές Πλατφόρμες ή Πλατφόρμες Μεγάλου Υψομέτρου, και συνδυάζουν πολλά από τα πλεονεκτήματα των επίγειων και των δορυφορικών συστημάτων. Οι πλατφόρμες λειτουργούν σε ψευδοστατική θέση, σε υψόμετρο 20-50km από την επιφάνεια της γης, και δρουν ως σταθμοί βάσης ή κόμβοι αναμετάδοσης, υλοποιώντας ζεύξεις είτε Σημείου-προς-Σημείο (Point-to-Point, PTP) είτε Σημείου-προς-Πολλαπλά σημεία (Point-to-Multipoint, PTMP).

2. Ο Πομποδέκτης CC2510Fx / CC2511Fx

Ο πομποδέκτης CC2510Fx/CC2511Fx είναι ένα χαμηλού κόστους SoC (system On chip) το οποίο είναι σχεδιασμένο για ασύρματες εφαρμογές χαμηλής ισχύος. Η σχεδίαση του επιτρέπει τον εύκολο σχεδιασμό κυκλωμάτων που έχουν περιορισμό στο μέγεθος τους λόγω του μικρού μεγέθους του (6X6 mm). Επίσης ο συγκεκριμένος πομποδέκτης έχει πάρα πολλά δυνατά χαρακτηριστικά τα οποία τον τοποθετούν υψηλά στην λίστα επιλογών για τέτοιου είδους εφαρμογές.

Γενικά ο πομποδέκτης CC2510Fx/CC2511Fx είναι πολύ χρήσιμος σε εφαρμογές που η χαμηλή κατανάλωση ισχύος επιβάλλεται. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση αρκετών ανεπτυγμένων λειτουργιών χαμηλής ισχύος. Επιπλέον ο CC2511Fx έχει και έναν ελεγκτή USB για την γρήγορη και εύκολη επικοινωνία με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η επικοινωνία με USB αποτρέπει την δημιουργία λαιμού στην ροή δεδομένων που μπορεί να δημιουργήσει η επικοινωνία με RS-232 ή τα USB χαμηλής ταχύτητας.



CC2510Fx/CC2511Fx Block Diagram

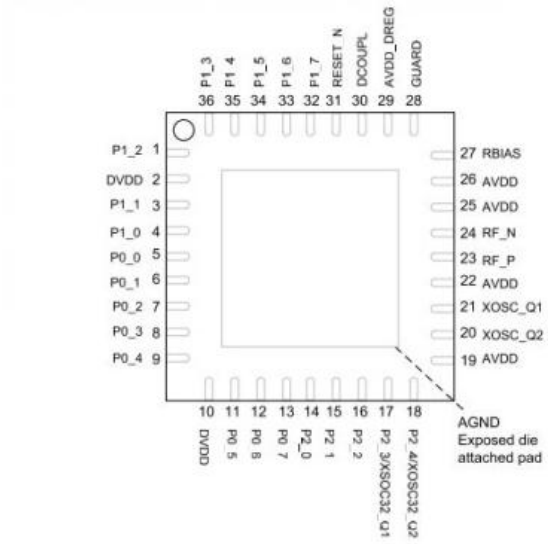
2.1. Κύρια χαρακτηριστικά του πομποδέκτη CC2510Fx / CC2511Fx

Ο πομποδέκτης CC2510Fx/ CC2511Fx έχει πολλά χαρακτηριστικά τα οποία τον κάνουν μια εξαιρετική λύση για εφαρμογές ασύρματης επικοινωνίας. Ο πομποδέκτης έχει έναν υψηλής απόδοσης αλλά χαμηλής κατανάλωσης μικροελεγκτή συμβατό με 8051. Προσφέρει μέχρι και 32kB μνήμης flash προγραμματιζόμενη με απλή two-wire επικοινωνία από τον πυρήνα του 8051. Επιπλέον μπορεί να προγραμματιστεί το κλείδωμα μερών της μνήμης για την ασφάλεια του λογισμικού. Ο ελεγκτής USB πλήρους ταχύτητας προσφέρει 12Mbps ταχύτητα μεταφοράς, έχει 1024 byte αποκλειστικής FIFO μνήμης και υποστηρίζει πακέτα δεδομένων από 8 έως 512 byte. Για την μεταφορά ηχητικών δεδομένων ο πομποδέκτης περιλαμβάνει ένα πρότυπο I^2S το οποίο υποστηρίζει και μονοφωνικό και

στερεοφωνικό ήχο με ρυθμιζόμενο ρυθμό δειγματοληψίας και μέγεθος δείγματος. Συνήθως το I^2S χρησιμοποιείται για την σύνδεση εξωτερικών μετατροπέων ψηφιακών σε αναλογικών σημάτων η αναλογικών σε ψηφιακά. Για την κωδικοποίηση ο πομποδέκτης περιλαμβάνει ένα 128 bit AES (Advanced Encryption Standard) στον συνεπεξεργαστή του. Τα περιφερειακά του περιλαμβάνουν ένα ισχυρό ελεγκτή DMA (Direct Memory Access), ένα μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα με οχτώ ξεχωριστά κανάλια εισόδου και ρυθμιζόμενης ανάλυσης. Επιπλέον τα περιφερειακά περιλαμβάνουν ένα προγραμματιζόμενο watchdog timer και 5 επιπλέον timers. Έναν γενικό 16 bit δύο γενικούς 8 bit έναν MAC timer και έναν Sleep Timer. Δύο προγραμματιζόμενα USARTs για master/slave SPI η UART λειτουργία. Ακόμα 21 ρυθμιζόμενα pins εισόδου εξόδου και μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών. Για την χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος ο πομποδέκτης περιλαμβάνει τέσσερις λειτουργίες. Το σύστημα μπορεί να επανέλθει σε λειτουργία με εξωτερικό διακόπτη όταν ο χρόνος λειτουργίας αδρανοποίησης λήξει. Ο σχεδιασμός του CMOS προβλέπει την χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Επίσης η δυνατότητα πολύ γρήγορης μετάβασης σε ενεργό λειτουργία από την λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης επιτρέπει την χαμηλή κατανάλωση σε χαμηλούς κύκλους λειτουργίας. Για την ασύρματη επικοινωνία ο πομποδέκτης έχει ένα 2.4 GHz radio με ένα baseband modem το οποίο έχει λίγα εξωτερικά εξαρτήματα, είναι ευέλικτο και υποστηρίζει συστήματα που λειτουργούν με την αποστολή πακέτων. Υποστηρίζει την χρήση DMA η RX Και TX με αποτέλεσμα την ελάχιστη ανάγκη εμπλοκής της CPU ακόμα σε υψηλές συχνότητες δεδομένων. Συμπεριλαμβάνει προγραμματιζόμενο Carrier Sense (CS) δείκτη και δείκτη ποιότητας για την προστασίας τυχαίου θορύβου. Επιπλέον περιλαμβάνει προγραμματιζόμενο φίλτρο για το κανάλι του εύρους ζώνης. Στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 1) περιγράφονται οι μέγιστες τιμές χαρακτηριστικών του πομποδέκτη οι οποίες δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να ξεπεραστούν γιατί μπορεί αν προκληθεί ζημιά στο ολοκληρωμένο. Επιπλέον πίνακες για κάποια κύρια χαρακτηριστικά του πομποδέκτη είναι διαθέσιμοι στο παράρτημα.

Πίνακας 1

Parameter	Min	Max	Units	Condition
Supply voltage (VDD)	−0.3	3.9	V	All supply pins must have the same voltage
Voltage on any digital pin	−0.3	VDD + 0.3, max 3.9	V	
Voltage on the pins RF_P, RF_N and DCOUPL	−0.3	2.0	V	
Voltage ramp-up rate		120	kV/µs	
Input RF level		10	dBm	
Storage temperature range	−50	150	°C	Device not programmed
Solder reflow temperature		260	°C	According to IPC/JEDEC J-STD-020D
ESD ***CC2510Fx***		750	V	According to JEDEC STD 22, method A114, Human Body Model (HBM)
ESD ***CC2510Fx***		500	V	According to JEDEC STD 22, C101C, Charged Device Model (CDM)
ESD ***CC2511x***		750	V	According to JEDEC STD 22, method A114, Human Body Model (HBM)
ESD ***CC2511x***		500	V	According to JEDEC STD 22, C101C, Charged Device Model (CDM)



CC2510Fx Pinout Top View

Pin	Pin Name	Pin Type	Description
-	AGND	Ground	The exposed die attach pad must be connected to a solid Ground plane
1	P1_2	D I/O	port 1.2
2	DVDD	Power (Digital)	2.0 V - 3.6 V digital power supply for digital I/O
3	P1_1	D I/O	port 1.1
4	P1_0	D I/O	port 1.0
5	P0_0	D I/O	port 0.0
6	P0_1	D I/O	port 0.1
7	P0_2	D I/O	port 0.2
8	P0_3	D I/O	port 0.3
9	P0_4	D I/O	port 0.4
10	DVDD	Power (Digital)	2.0 V - 3.6 V digital power supply for digital I/O
11	P0_5	D I/O	port 0.5
12	P0_6	D I/O	port 0.6
13	P0_7	D I/O	port 0.7
14	P2_0	D I/O	port 2.0
15	P2_1	D I/O	port 2.1
16	P2_2	D I/O	port 2.2
17	P2_3/XOSC32_Q1	D I/O	2.3/32.768 kHz crystal oscillator pin 1
18	P2_4/XOSC32_Q2	D I/O	2.4/32.768 kHz crystal oscillator pin 2
19	AVDD	Power (Analog)	2.0 V - 3.6 V analog power supply connection
20	XOSC_Q2	Analog I/O	Crystal oscillator pin 2
21	XOSC_Q1	Analog I/O	Crystal oscillator pin 1 or external clock input
22	AVDD	Power (Analog)	2.0 V - 3.6 V analog power supply connection
23	RF_P	RF I/O	Positive RF input signal to LNA in receive mode Positive RF output signal from PA in transmit mode
24	RF_N	RF I/O	Negative RF input signal to LNA in receive mode Negative RF output signal from PA in transmit mode
25	AVDD	Power (Analog)	2.0 V - 3.6 V analog power supply connection
26	AVDD	Power (Analog)	2.0 V - 3.6 V analog power supply connection
27	RBIAS	Analog I/O	External precision bias resistor for reference current
28	GUARD	Power (Digital)	supply connection for digital noise isolation
29	AVDD_DREG	Power (Digital)	2.0 V - 3.6 V digital power supply for digital core voltage regulator
30	DCOUPL Power	Power decoupling	1.8 V digital power supply decoupling
31	RESET_N	DI	Reset, active low
32	P1_7	D I/O	port 1.7
33	P1_6	D I/O	port 1.6
34	P1_5	D I/O	port 1.5
35	P1_4	D I/O	port 1.4
36	P1_3	D I/O	port 1.3

CC2510Fx Pinout Overview

2.2.Περιγραφή λειτουργίας του πομποδέκτη CC2510Fx / CC2511Fx

2.2.1. Επεξεργαστής και περιφερειακά.

Ο 8051 πυρήνας είναι ένας πυρήνας απλού κύκλου ο οποίος είναι συμβατός με τον γνήσιο 8051. Έχει τρείς διαφορετικούς τύπους διαύλου, ένα περιβάλλον για έλεγχο (Debug interface) και μπορεί να διαχειριστεί 18 πηγές συμβάντων (Interrupt sources). Ο συγκεκριμένος πυρήνας είναι ουσιαστικά ένας κλασσικός βιομηχανικός πυρήνας 8051 ο οποίος όμως έχει κάποιες βελτιώσεις έτσι ώστε να είναι λίγο πιο γρήγορος. Το σύστημα περιέχει και ένα διαχειριστή μνήμης (memory crossbar/arbitrator) ο οποίος συνδέει τον επεξεργαστή με τον ελεγκτή διευθύνσεων μνήμης (DMA Controller) με τις φυσικές μνήμες και τα περιφερειακά του συστήματος εκτός του USB.

Ο DMA Controller αποκτά πρόσβαση στην μνήμη χρησιμοποιώντας έναν ενιαίο χώρο στην μνήμη. Με αυτό τον τρόπο αποκτά πρόσβαση σε όλες τις μνήμες του συστήματος. Τα περιφερειακά όπως οι χρονιστές (Timers), ο μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (ADC), ο ελεγκτής της μνήμης flash βασίζονται στον DMA Controller για την επικοινωνία μεταξύ τους και του κεντρικού πυρήνα.

2.2.2. Πηγές Συμβάντων

Ο επεξεργαστής έχει συνολικά δεκαοχτώ (18) πηγές συμβάντων οι οποίες είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη και η κάθε μία από αυτές μπορούν να ενεργοποιηθούν η να απενεργοποιηθούν αυτόματα. Ο ορισμός της κάθε πηγής και τα χαρακτηριστικά της δίνονται στον παρακάτω πίνακα. (Πίνακας 2)

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά και Περιγραφή πηγών Συμβάντων (Interrupt sources)

Interrupt Number	Description	Interrupt Name	Interrupt Vector	CPU Interrupt Mask	CPU Interrupt Flag
0	RF TX done / RX ready	RFTXRX	0x03	IEN0.RFTXRXIE	TCON.RFTXRXIF[10]
1	ADC end of conversion	ADC	0x0B	IEN0.ADCIE	TCON.ADCIF[10]
2	USART0 RX complete	URX0	0x13	IEN0.URX0IE	TCON.URX0IF[10]
3	USART1 RX complete (*Note: I²S RX complete, see Table 40*)	URX1	0x1B	IEN0.URX1IE	TCON.URX1IF[10]
4	AES encryption/decryption complete	ENC	0x23	IEN0.ENCIE	S0CON.ENCIF
5	Sleep Timer compare	ST	0x2B	IEN0.STIE	IRCON.STIF[11]
6	Port 2 inputs (*Note: Also used for USB on CC2511Fx, see Table 40*)	P2INT	0x33	IEN2.P2IE	IRCON2.P2IF[11]
7	USART0 TX complete	UTX0	0x3B	IEN2.UTX0IE	IRCON2.UTX0IF
8	DMA transfer complete	DMA	0x43	IEN1.DMAIE	IRCON.DMAIF
9	Timer 1 (16-bit) capture/Compare/overflow	T1	0x4B	IEN1.T1IE	IRCON.T1IF[10,11]
10	Timer 2 (MAC Timer) overflow	T2	0x53	IEN1.T2IE	IRCON.T2IF[10, 11]
11	Timer 3 (8-bit) compare/overflow	T3	0x5B	IEN1.T3IE	IRCON.T3IF[10, 11]
12	Timer 4 (8-bit) compare/overflow	T4	0x63	IEN1.T4IE	IRCON.T4IF[10, 11]
13	Port 0 inputs (*Note: P0_7 interrupt used for USB Resume interrupt on CC2511Fx*)	P0INT	0x6B	IEN1.P0IE	IRCON.P0IF[11]
14	USART1 TX complete (*Note: I²S TX complete, see Table 40*)	UTX1	0x73	IEN2.UTX1IE	IRCON2.UTX1IF
15	Port 1 inputs	P1INT	0x7B	IEN2.P1IE	IRCON2.P1IF[11]
16	RF general interrupts	RF	0x83	IEN2.RFIE	S1CON.RFIF[11]
17	Watchdog overflow in timer mode	WDT	0x8B	IEN2.WDTIE	IRCON2.WDTIF

Οι πηγές συμβάντων γενικά διαχειρίζονται με την παρακάτω ακολουθία. Όταν μια πηγή ενεργοποιηθεί ο επεξεργαστής πάει και ελέγχει από ποια πηγή ήρθε το σήμα και εάν είναι ενεργοποιημένη. Εφόσον επιβεβαιώσει το ότι το συμβάν είναι ενεργό τότε μπαίνει στην ρουτίνα του συμβάντος και την εκτελεί μέχρι την παρουσία της εντολής RETI. Με την εντολή αυτή ο επεξεργαστής θα συνεχίσει από την εντολή που είχε μείνει πριν ενεργοποιηθεί το συμβάν. Σε περίπτωση που κάποιο άλλο συμβάν ενεργοποιηθεί κατά την διάρκεια ενός άλλου συμβάντος τότε ελέγχεται η προτεραιότητα του συμβάντος και εκτελείται πάντα το συμβάν που έχει την υψηλότερη προτεραιότητα. Γενικά η ταχύτητα απόκρισης σε περίπτωση συμβάντος εξαρτάται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο

επεξεργαστής. Δηλαδή είναι σε έναν κανονικό του κύκλο η έχει μπει σε κάποια ρουτίνα συμβάντος; Άμα είναι σε ρουτίνα συμβάντος ίση η υψηλότερη προτεραιότητα από το συμβάν που μόλις ενεργοποιήθηκε τότε το συμβάν μπαίνει σε αναμονή μέχρι να τελειώσουν οι δουλειές που έχουν υψηλότερη προτεραιότητα. Γενικά οι πηγές συμβάντων χωρίζονται σε έξι γκρουπ προτεραιοτήτων. Οι παρακάτω πίνακες (πινάκες 3,4,5) περιγράφουν τα γκρουπ και τις τιμές που αντιστοιχούν σε προτεραιότητες.

Πίνακας 3: Προτεραιότητα γεγονότος 1

Bit	Field Name	Reset	R/W	Description
7:6		0	R/W	Not used
5	IP1_IPG5	0	R/W	Interrupt group 5, priority control bit 1, refer to Table 41
4	IP1_IPG4	0	R/W	Interrupt group 4, priority control bit 1, refer to Table 41
3	IP1_IPG3	0	R/W	Interrupt group 3, priority control bit 1, refer to Table 41
2	IP1_IPG2	0	R/W	Interrupt group 2, priority control bit 1, refer to Table 41
1	IP1_IPG1	0	R/W	Interrupt group 1, priority control bit 1, refer to Table 41
0	IP1_IPG0	0	R/W	Interrupt group 0, priority control bit 1, refer to Table 41

Πίνακας 4: Προτεραιότητα γεγονότος 2

Bit	Field Name	Reset	R/W	Description
7:6		0	R/W	Not used
5	IP0_IPG5	0	R/W	Interrupt group 5, priority control bit 0, refer to Table 41
4	IP0_IPG4	0	R/W	Interrupt group 4, priority control bit 0, refer to Table 41
3	IP0_IPG3	0	R/W	Interrupt group 3, priority control bit 0, refer to Table 41
2	IP0_IPG2	0	R/W	Interrupt group 2, priority control bit 0, refer to Table 41
1	IP0_IPG1	0	R/W	Interrupt group 1, priority control bit 0, refer to Table 41
0	IP0_IPG0	0	R/W	Interrupt group 0, priority control bit 0, refer to Table 41

Πίνακας 5: Ρύθμιση προτεραιότητας

IP1_x	IP0_x	Priority Level
0	0	0 (lowest)
0	1	1
1	0	2
1	1	3 (highest)

2.2.3. Περιβάλλον εύρεσης λαθών (debug).

Ο Πομποδέκτης περιλαμβάνει ένα κομμάτι το οποίο χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο two-wire για τον προγραμματισμό και την πρόσβαση σε όλες τις μνήμες του πομποδέκτη και τα περιφερειακά. Χρησιμοποιώντας το κομμάτι αυτό ο χρήστης του πομποδέκτη μπορεί να αναζητήσει και να διορθώσει προβλήματα που παρουσιάζονται. Για να ενεργοποιηθεί η λειτουργία του debug πρέπει το pin P2_2 του πομποδέκτη να ενεργοποιηθεί κατά την διάρκεια που η είσοδος RESET_N κρατιέται στην γείωση.

2.2.4. Διαχείριση Ενέργειας.

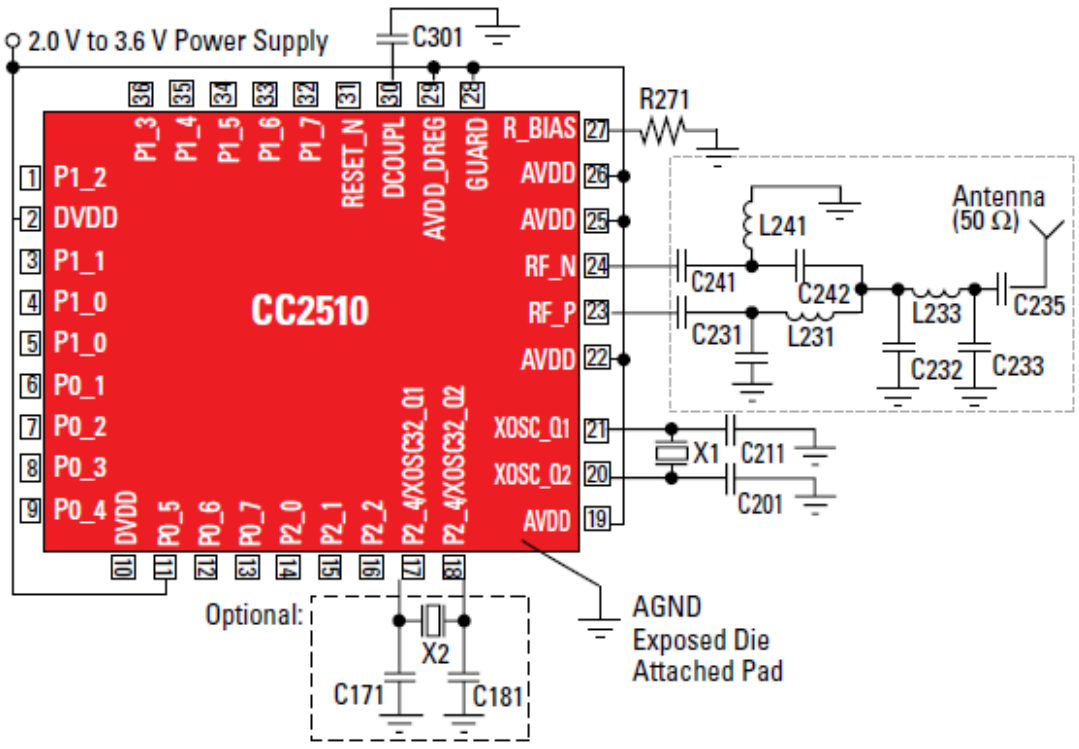
Ο Πομποδέκτης χρησιμοποιεί διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας οι οποίοι του επιτρέπουν να χαμηλώνει την κατανάλωση του κατά πολύ. Γενικά ο πομποδέκτης έχει πέντε λειτουργίες όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Υπάρχει ένας τρόπος λειτουργίας που ονομάζεται ενεργός (Active) και άλλοι τέσσερις οι οποίοι ονομάζονται PM0, PM1, PM2, PM3. Ανάλογα λοιπόν με το τι είναι απαραίτητο για την λειτουργία δίνεται η δυνατότητα επιλογής τρόπου λειτουργίας ώστε να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή κατανάλωση.

Στον πρώτο τρόπο λειτουργίας (Active) ο πομποδέκτης είναι σε πλήρη λειτουργία όπου ο επεξεργαστής με όλα τα περιφερειακά είναι σε πλήρη λειτουργία. Στην λειτουργία PM0 όλα τα περιφερειακά του πομποδέκτη λειτουργούν αλλά ο κεντρικός επεξεργαστής είναι σε αδράνεια μέχρι να παρουσιαστεί κάποια διακοπή λόγω κάποιου γεγονότος (Interrupt). Στην λειτουργία PM1 όλα τα περιφερειακά βρίσκονται σε αδράνεια αλλά οι timers είναι ενεργοί μαζί με τις εισόδους και τις εξόδους του πομποδέκτη. Γενικά αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται μέχρι να σταλεί ένα σήμα αφύπνισης (wakeup event) και ουσιαστικά είναι μια γρήγορη λειτουργία για απενεργοποίηση του πομποδέκτη. Η λειτουργία PM2 είναι μια λειτουργία αδρανοποίησης κατά την οποία τα περιεχόμενα της RAM και των περισσότερων

καταχωρητών (registers) διατηρούνται. Η λειτουργία PM3 χρησιμοποιείται σαν την λειτουργία κατά την οποία ο πομποδέκτης λειτουργεί αλλά καταναλώνει την λιγότερη δυνατή ενέργεια. Γενικά κατά την λειτουργία αυτή ο πομποδέκτης είναι σε μία κατάσταση αναμονής για κάποιο γεγονός (interrupt).

2.2.5. Ταλαντωτές και ρολόγια (Oscillators and Clocks)

Ο πομποδέκτης περιλαμβάνει ένα εσωτερικό ρολόι το οποίο έχει σαν πηγή έναν ταλαντωτή τύπου πυκνωτή-αντίστασης υψηλής ταχύτητας ή έναν ταλαντωτή πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου. Η επιλογή μεταξύ των δύο έχει να κάνει καθαρά με τις απαιτήσεις του χρήστη. Δηλαδή εάν χρειάζεται ακρίβεια θα χρησιμοποιηθεί ο ταλαντωτής με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο ή εάν δεν χρειάζεται ακρίβεια αλλά χαμηλή κατανάλωση θα χρησιμοποιηθεί ο κλασσικός ταλαντωτής τύπου πυκνωτή-αντίστασης. Για την χρήση του κυκλώματος RF χρησιμοποιείται ο πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος. Γενικά όμως για την χρήση του κρυστάλλου πρέπει να επιβεβαιωθεί πρώτα η σταθερότητα του κρυστάλλου. Στην περίπτωση του εσωτερικού ρολογιού μέχρι να σταθεροποιηθεί ο πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος το σύστημα ξεκινάει με την χρήση του κλασσικού ταλαντωτή τύπου πυκνωτή-αντίστασης. Ο πομποδέκτης συμπεριλαμβάνει επίσης δύο ταλαντωτές χαμηλής ταχύτητας για συστήματα που απαιτούν ακρίβεια στον χρόνο.

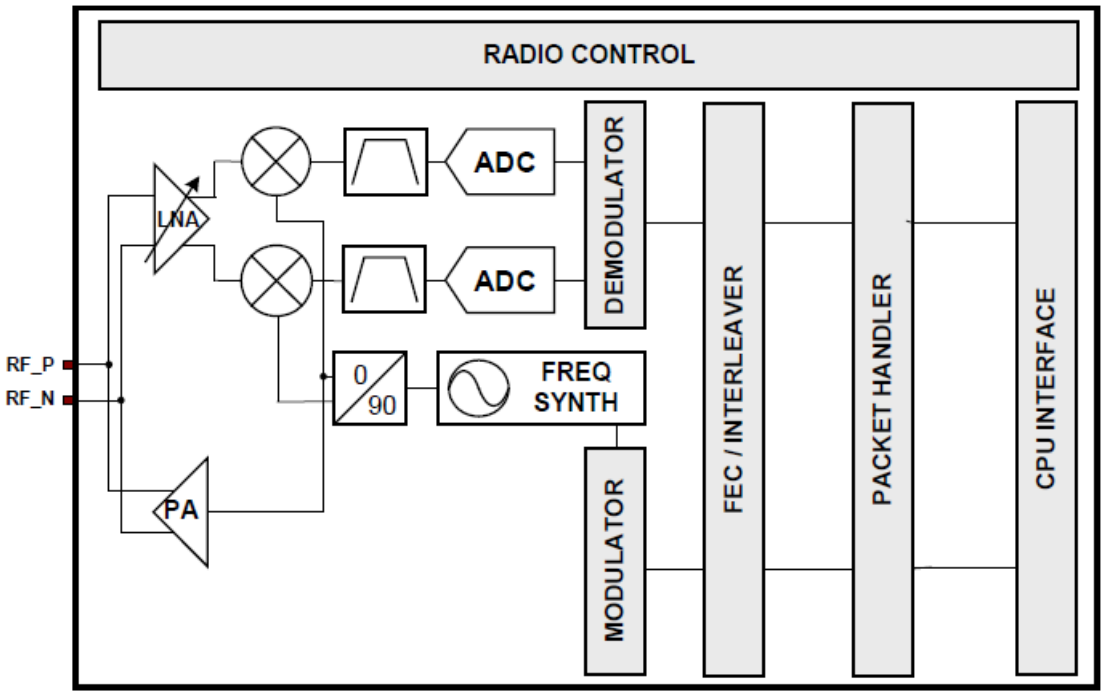


2.2.6. Πομποδέκτης Ραδιοκυμάτων.

Ο πομποδέκτης έχει ένα δέκτη χαμηλών συχνοτήτων . Το σήμα RF που λαμβάνεται ενισχύεται από έναν ενισχυτή χαμηλού θορύβου (LNA Low Noise Amplifier) περνάει από έναν μετατροπέα σήματος. Το σήμα που προκύπτει ψηφιοποιείται από έναν μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακού σήματος (ADC). Επιπλέον αυτών ο συγχρονισμός, το φιλτράρισμα του σήματος και ο αυτόματος έλεγχος έντασης εκτελούνται ψηφιακά.

Ο πομπός βασίζεται στην άμεση σύνθεση ραδιοσυχνότητας. Το μέρος του πομπού που αναλαμβάνει την δημιουργία της συχνότητας περιλαμβάνεται εντός του κυκλώματος και αναλαμβάνει τον μετατροπέα φάσης για την δημιουργία των σημάτων I και Q για την μετατροπή κατά την λήψη του σήματος. Ο ταλαντωτής κρυστάλλου του κυκλώματος δημιουργεί την συχνότητα αναφοράς για την σύνθεση του σήματος και τα ρολόγια για τον ADC και το ψηφιακό μέρος. Ένα SFR interface χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων μέχρι ο κεντρικός επεξεργαστής να τα προσπελάσει.

Ο επεξεργαστής χρησιμοποιεί περιοδικές εντολές για να ελέγξει τον πομπό και τον δέκτη. Οι εντολές αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν ως ένα απλό byte οδηγιών το οποίο θα ξεκινάει σε κάθε εσωτερικό κύκλο του πομποδέκτη. Αυτές οι εντολές χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση τα γεννήτριας συχνοτήτων, την ενεργοποίηση του δέκτη, την ενεργοποίηση του πομπού κ.τ.λ. Η παρακάτω εικόνα είναι το σχηματικό του μέρους που ολοκληρωμένου που βρίσκεται ο πομπός και ο δέκτης.



Η χρήση του πομποδέκτη ρυθμίζεται από έναν σετ καταχωρητών που βρίσκονται στην μνήμη XDATA. Οι πηγές γεγονότων για τον πομποδέκτη είναι δύο ειδών. Η πρώτη είναι η RFTXRX και η άλλη είναι η RF. Η πρώτη αναφέρει το εάν τα RX δεδομένα είναι έτοιμα ή τα TX έχουν ολοκληρωθεί. Η πηγή RFTXRX ενεργοποιείται όταν υπάρχουν δεδομένα έτοιμα για ανάγνωση (RX) και όταν ένα νέο byte είναι έτοιμο για εγγραφή (TX). Το σήμα αυτό δεν ενεργοποιείται όμως εάν δεν έχει δοθεί συγκεκριμένη εντολή από τον επεξεργαστή. Τα γεγονότα που ενεργοποιούν την πηγή RF είναι τα παρακάτω.

- TX underflow
- RX overflow
- RX timeout
- Σήμανση λήψης η ολοκλήρωσης αποστολής πακέτου
- CS

- PQT reached
- CCA
- SFD

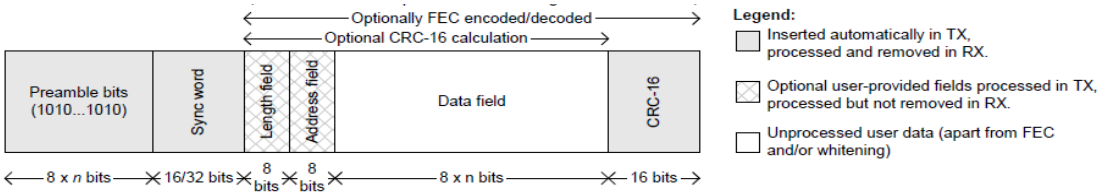
Η διαχείριση δεδομένων γίνεται ως εξής. Τα δεδομένα προς αποστολή καταγράφονται στον καταχωρητή RFD. Τα δεδομένα που λαμβάνονται επίσης διαχειρίζονται από το τον ίδιο καταχωρητή. Ο καταχωρητής RFD ουσιαστικά είναι μια λίστα με bytes τύπου FIFO. Αυτό σημαίνει ότι όταν ένα byte καταχωρείται στον καταχωρητή RFD και δεν γίνεται ανάγνωση πριν το επόμενο byte ληφθεί τότε ενεργοποιείται το συμβάν RX_OVERFLOW. Ταυτόχρονα στο TX μέρος θα ενεργοποιηθεί το TX_UNDERFLOW εάν το bytes που είναι εγγεγραμμένα στον καταχωρητή είναι λιγότερα από αυτά που περιμένει ο πομποδέκτης. Επιπλέον αυτών ο πομποδέκτης μπορεί να χρησιμοποιήσει 5 προγραμματιζόμενα φίλτρα για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις πλάτους.

2.2.7. Αποδιαμόρφωση, συγχρονισμός και επιλογή δεδομένων

Ο πομποδέκτης περιλαμβάνει έναν ανεπτυγμένο και εξαιρετικά ευέλικτο αποδιαμορφωτή. Τα φίλτρα των καναλιών και η αντιστάθμιση σφαλμάτων γίνονται ψηφιακά. Όταν χρησιμοποιείται διαμόρφωση τύπου 2-FSK, GFSK ή MSK ο αποδιαμορφωτής του πομποδέκτη για εκτελέσει τις κατάλληλες ενέργειες για αντιστάθμιση της διαφοράς συχνοτήτων μεταξύ πομπού και δέκτη. Η αντιστάθμιση μπορεί να γίνει σε επίπεδο bit αλλά μπορεί να γίνει και σε επίπεδο byte.

Πρόσθετα σε αυτά ο πομποδέκτης μπορεί να ρυθμιστεί και για ασύρματα δίκτυα που λειτουργούν με πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν πακέτα δεδομένων για την λειτουργία τους. Κατά την διάρκεια της αποστολής δεδομένων μπορούν να προστεθούν τα παρακάτω στοιχεία στο πακέτο. Ένας συγκεκριμένος αριθμός εισαγωγικών byte, δύο byte

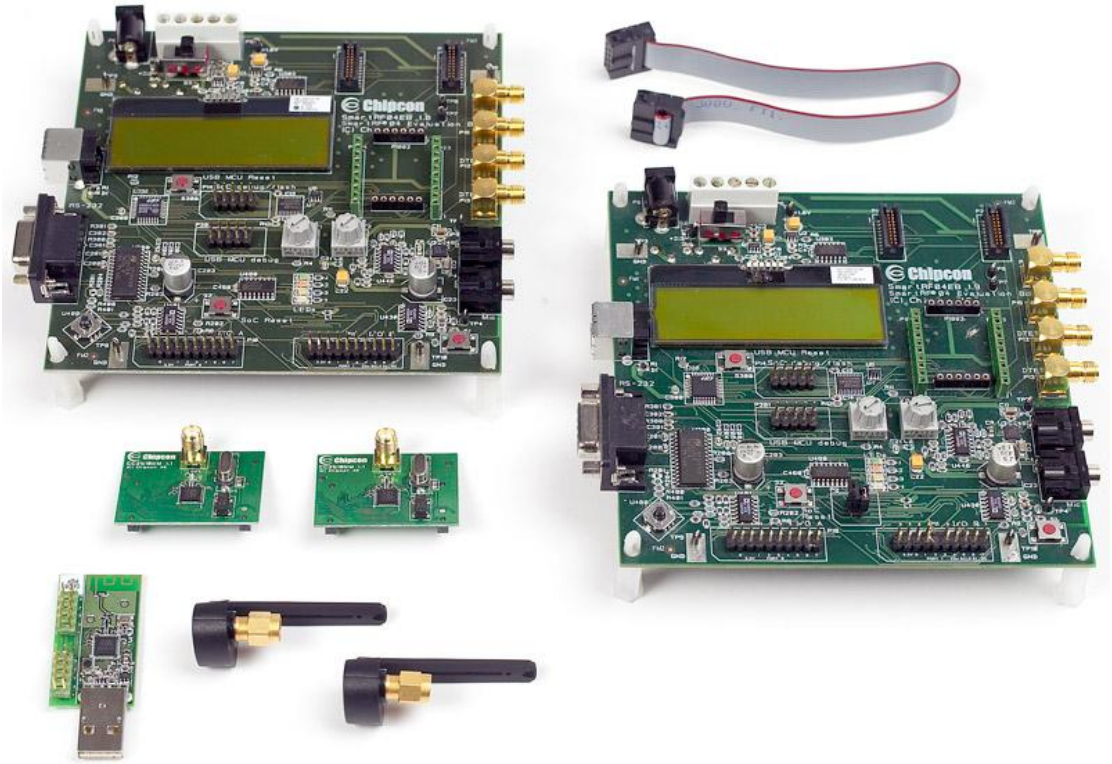
συγχρονισμού και ένα CRC checksum το οποίο υπολογίζεται στο πεδίο των δεδομένων. Κατά την διάρκεια της λήψης πακέτων ο πομποδέκτης μπορεί να αναγνωρίσει τα παραπάνω και επιπλέον μπορεί αν αναγνωρίζει ένα byte το οποίο χρησιμοποιείται για αναγνώριση διεύθυνσης ή ένα byte ελέγχου μεγέθους του πακέτου. Γενικά η μορφή των δεδομένων όταν διακινούνται σε πακέτα περιγράφεται στην παρακάτω εικόνα.



Η δομή των πακέτων δεδομένων έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά. Τα εισαγωγικά bits, το byte η word συγχρονισμού, το byte δήλωσης μήκους, ένα προαιρετικό byte διεύθυνσης, τα δεδομένα προς μεταφορά, και 16 bit ελέγχου ακεραιότητας του πακέτου. Με την έναρξη της διαδικασίας αποστολής δεδομένων ο διαμορφωτής ξεκινά να στέλνει τα εισαγωγικά bit τα οποία είναι της μορφής 0101010101… μόλις ολοκληρωθεί η αποστολή των εισαγωγικών bit ο διαμορφωτής θα στείλει το byte η word συγχρονισμού και μετά τα δεδομένα που θα βρει στον καταχωρητή RFD. Εάν ο καταχωρητής δεν έχει δεδομένα προς αποστολή τότε ο διαμορφωτής θα συνεχίσει να στέλνει τα εισαγωγικά bit μέχρι το πρώτο byte να εγγραφτεί στον καταχωρητή. Για την λήψη δεδομένων ο αποδιαμορφωτής αναγνωρίζει τα εισαγωγικά bit και τα 2 byte συγχρονισμού. Με το που εντοπίσει αυτά τα δύο ξεκινάει την λήψη δεδομένων.

3. KIT Ανάπτυξης για τον πομποδέκτη CC2510

Για την ευκολότερη ανάπτυξη και δοκιμή του πομποδέκτη υπάρχει ένα KIT το οποίο έχει κατασκευαστεί ώστε όλες οι δυνατότητες που πιθανόν να χρειαστεί ο προγραμματιστής να χρησιμοποιήσει σε μία εφαρμογή να μπορούν να ελεγχθούν και να δοκιμαστούν πριν κατασκευαστεί το τελικό προϊόν.

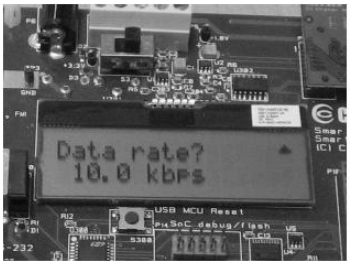


CC2510-CC2511DK Development Kit

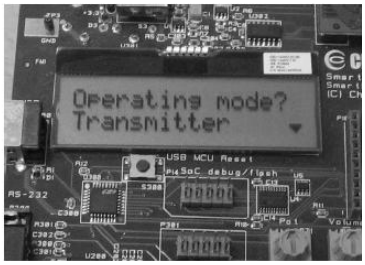
Με την χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου δίνεται η δυνατότητα της άμεσης τοποθέτησης του πομποδέκτη σε ένα σύστημα το οποίο θα λειτουργήσει ανάλογα με το πρόγραμμα το οποίο θα εκτελέσει ο πομποδέκτης. Το KIT περιέχει δύο SmartRF04EB boards, δύο CC2511EM, ένα CC2511 USB dongle, δύο κεραίες 2,4GHz, δύο καλώδια USB και μία επέκταση για τα καλώδια

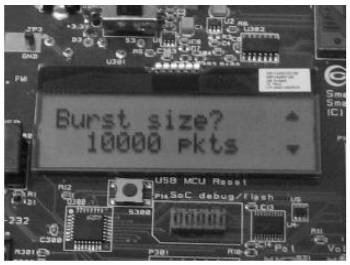
Επιπλέον το KIT περιλαμβάνει μία οθόνη LCD η οποία ενημερώνει τον χρήστη και του δίνει τις επιλογές που μπορεί να έχει για την χρήση του KIT. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την ταχύτητα αποστολής δεδομένων, την συχνότητα λειτουργίας, να δηλώσει αν θα λάβει η θα αποστείλει δεδομένα, πόσα δεδομένα θα

στείλει και τον ενημερώνει για λάθη στην μετάδοση δεδομένων. Οι παρακάτω εικόνες δείχνουν τις επιλογές που μπορεί να κάνει ένας χρήστης στο KIT.

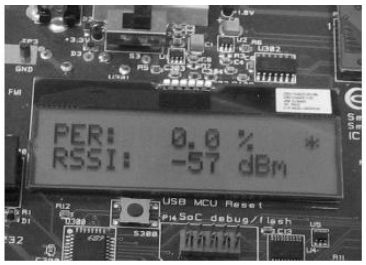




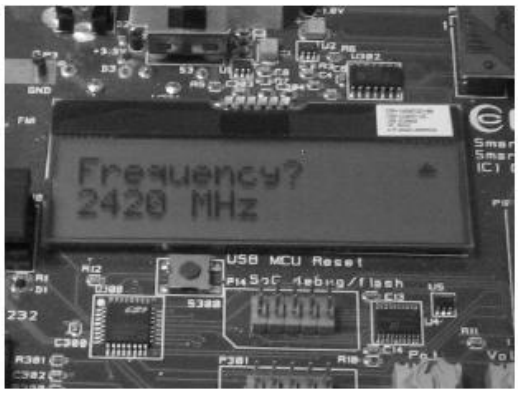




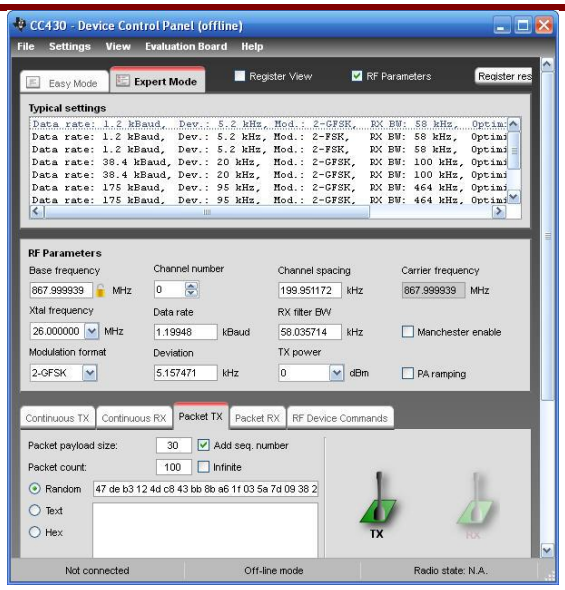








Επιπλέον αυτών το KIT μπορεί να συνεργαστεί και με ένα software το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ρύθμιση του πομποδέκτη, των καταχωρητών του και οι δοκιμές να φαίνονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του χρήστη.



Παρακάτω ακολουθεί ένα μέρος κώδικα το οποίο ρυθμίζει τον πομποδέκτη για την αποστολή και την λήψη δεδομένων. Το πρώτο μέρος είναι για την δοκιμή ασύγχρονης σειριακής λειτουργίας. Στο παράδειγμα ο κώδικας δείχνει πως ένα απλό 10101010… μπορεί να μεταδοθεί σε async λειτουργία. Όλα αυτά με την προϋπόθεση ότι ο πομποδέκτης είναι ρυθμισμένος ήδη σε προηγούμενο μέρος του κώδικα. Για την αποστολή δεδομένων έχουμε τα παρακάτω:

```
P1DIR.DIR1_[5] = 1;

P0SEL.SELP0_[7] = 1;

RFST = 0x03;

while (MARCSTATE != 0x13);

While (1) {

P1_5 = 0;

delay(x);

P1_5 = 1;

delay(x);

}
```

Για την λήψη έχουμε τα παρακάτω

```
IOCFG1 = 0x0D;

RFST =0x02;

while (MARCSTATE != 0x0D);

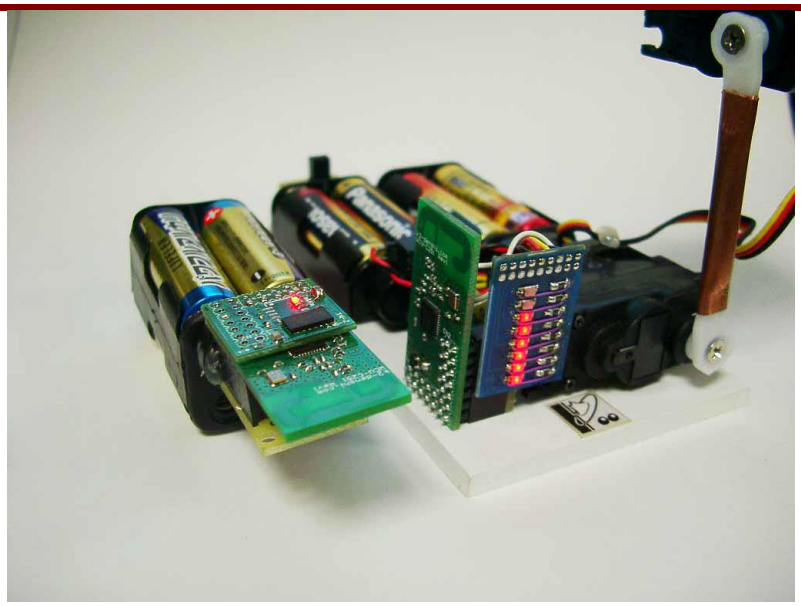
While (1) {}
```

4. Εφαρμογές

Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν ασύρματα συστήματα επικοινωνίας όλο και αυξάνονται. Η ασύρματη επικοινωνία έχει ξεφύγει από τα όρια της απλής μεταφοράς δεδομένων από ένα σημείο σε ένα άλλο και έχει φτάσει στο σημείο που γίνεται ασύρματος έλεγχος αυτοματισμών και όχι μόνο. Οι εφαρμογές είναι σήμερα πάρα πολλές και κάποιες από αυτές περιγράφονται παρακάτω.

4.1. Ασύρματοι αισθητήρες

Οποιαδήποτε μέτρηση φυσικού μεγέθους με ηλεκτρονικά μέσα από την αρχή τέτοιου είδους μετρήσεων πάντα είχε την εμπλοκή αισθητήρων. Οι αισθητήρες συνήθων συνδέονταν σε κάποια κεντρική μονάδα επεξεργασίας με καλώδια για την μετάδοση των πληροφοριών που συλλέγανε. Οι αισθητήρες όσο πέρναγε ο καιρός γινόντουσαν όλο και πιο πολύπλοκοι και τα μεγέθη που μπορούσαν πια να μετρηθούν με αισθητήρες όλο και αυξάνονταν. Σήμερα σχεδόν όλα τα φυσικά μεγέθη μπορούν να μετρηθούν και ψηφιακά με την χρήση αισθητήρων. Όμως όσο οι ταχύτητες, η ποσότητα δεδομένων και η πολυπλοκότητα αυξάνονταν πολλά καλώδια έπρεπε να χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των πληροφοριών. Τα καλώδια προκαλούσαν όμως προβλήματα στην μεταφορά δεδομένων και επίσης σε κινούμενα μέρη πάντα υπήρχε η πιθανότητα βλάβης.



Η ασύρματη τεχνολογία έλυσε πολλά από αυτά τα προβλήματα και τώρα σχεδόν όλοι οι αισθητήρες μπορούν να επικοινωνήσουν ασύρματα με τις κεντρικές μονάδες επεξεργασίας δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση, χρήση και επεξεργασία δεδομένων από αισθητήρες.

4.2. Ασύρματος έλεγχος στάθμης δεξαμενής.

Σε αρκετές περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται δεξαμενές υπάρχουν μετρητές και ενδείξεις για τον έλεγχο των δεξαμενών. Αυτό συνήθως γίνεται είτε με άμεσο έλεγχο της στάθμης των δεξαμενών με οπτικά μέσα η υπάρχουν αισθητήρες οι οποίοι ελέγχουν την στάθμη και ενεργοποιούν κάποιες σημάνσεις που ειδοποιούν τους ενδιαφερόμενους. Αυτές οι εγκαταστάσεις οι οποίες χρησιμοποιούνταν συνήθως χρησιμοποιούσαν καλώδια για την μεταφορά δεδομένων στον χώρο στον οποίο γινόταν ο έλεγχος. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα αρκετές φορές ειδικά σε μεγάλες εγκαταστάσεις άμα δημιουργούνταν πρόβλημα σε κάποιο καλώδιο η διαδικασία αντικατάστασης να είναι υψηλού κόστους και επίπονη. Επιπλέον αυτού οι βλάβες ήταν συχνές λόγω της έκθεσης καλωδίων σε εχθρικό περιβάλλον.




Τώρα με συστήματα που χρησιμοποιούν ασύρματες επικοινωνίες τέτοιου είδους προβλήματα μπορούν να λυθούν. Σε κάθε σημείο μέτρησης τοποθετούνται οι αισθητήρες ελέγχου στάθμης της δεξαμενής. Στο σημείο αυτό τα σήματα των αισθητήρων τα λαμβάνει έναν πομποδέκτης ο οποίος τα στέλνει ασύρματα πλέον στο δίκτυο ή απευθείας στο κέντρο ελέγχου των δεξαμενών και ο επόπτης έχει real-time ένδειξη για την στάθμη των δεξαμενών του χωρίς τα προβλήματα που υπήρχαν με την χρήση των καλωδίων.

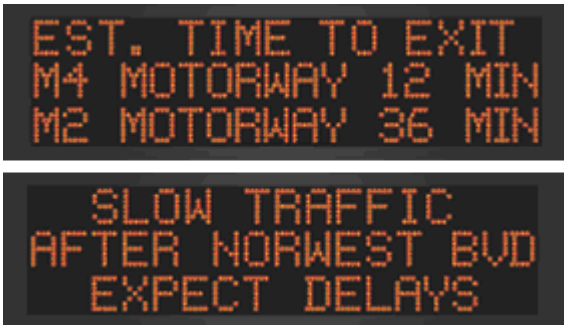
4.3. Ασύρματη ζυγαριά.

Γραμμές παραγωγής που χρησιμοποιούν ζυγαριές για να ζυγίζουν ημιπροϊόντα ή τελικά προϊόντα πριν την ασύρματη τεχνολογία χρησιμοποιούσαν αναλογικές ή αργότερα ψηφιακές ζυγαριές για την μέτρηση του βάρους. Η καταγραφή όμως γινόταν συνήθως από κάποιος υπάλληλο σε κάποιο χαρτί το οποίο ελεγχότανε αργότερα από κάποιον υπεύθυνο και εάν παρατηρούσε κάποιο πρόβλημα έλεγχε την γραμμή. Η εναλλακτικά τα βάρη τα κατέγραφε κάποιος που μπορούσε να ελέγξει την παραγωγή στο σημείο αυτό για να αποφευχθούν μεγάλες καθυστερήσεις. Όμως τα σφάλματα στις μετρήσεις αλλά και οι καθυστερήσεις στην λήψη αποφάσεων ήταν κάτι που παρέμενε. Επίσης εάν η γραμμή παραγωγής είχε πολλές ζυγαριές σε διάφορα σημεία τότε η λήψη μιας συνολικής εικόνας καθυστερούσε ακόμα περισσότερο.

Με την χρήση ασύρματης τεχνολογίας οι ενδείξεις τώρα μπορούν να σταλούν όλες μαζί ομαδοποιημένες σε ένα κεντρικό σημείο για επεξεργασία. Αυτό γίνεται ως εξής. Οι ζυγαριές περιέχουν και ένα μέρος στο οποίο βρίσκεται ένας πομποδέκτης ο οποίος συλλέγει τις πληροφορίες για τα βάρη από την ζυγαριά και τις αποστέλλει σε ένα κεντρικό σημείο όπου οι πληροφορίες συγκεντρώνονται και μπορούν πιο εύκολα να επεξεργαστούν.

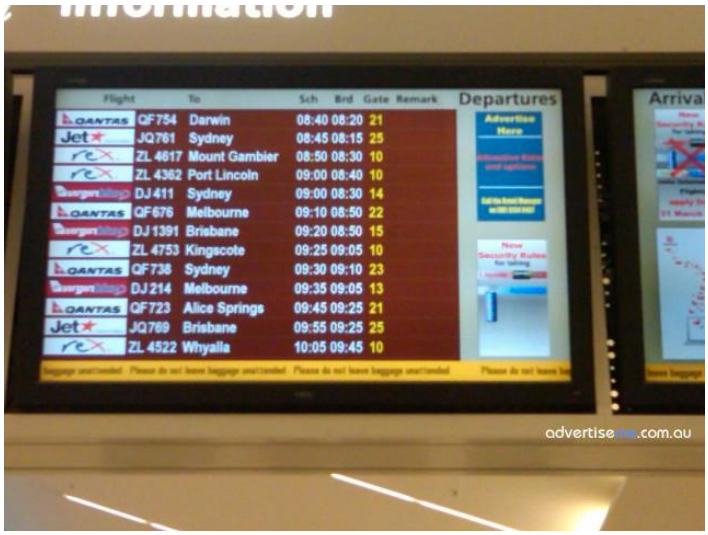
4.4. Ασύρματη πινακίδα πληροφοριών

Ενημερωτικές πινακίδες που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση πληροφοριών στο κοινό χρησιμοποιούνται παντού. Στο δρόμο στα αεροδρόμια στα εμπορικά κέντρα και γενικά όπου χρειάζεται ενημέρωση κοινού. Η διαχείριση των πληροφοριών και των πινακίδων γινότανε αυτόνομα για κάθε πινακίδα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα κάθε πινακίδα να χρειάζεται να αλλάζει ξεχωριστά ανάλογα με τις πληροφορίες που έπρεπε να εμφανιστούν. Η όλες οι πληροφορίες εμφανιζόντουσαν σε ένα σημείο με αποτέλεσμα την δύσκολη ενημέρωση του κοινού και την συμφόρηση.



Χρησιμοποιώντας ασύρματη επικοινωνία είναι εφικτό να υπάρχουν πολλά σημεία ενημέρωσης κοινού τα οποία να ενημερώνουν το κοινό και ακόμα να είναι και διαδραστικά. Δηλαδή ο κάθε χρήστης να μπορεί αν επιλέξει ποια πληροφορία επιθυμεί να δει και να την βρίσκει. Αυτό μπορεί να γίνει τοποθετώντας πομποδέκτες οι οποίοι διαχειρίζονται τα δεδομένα που κάθε σημείο πληροφόρησης πρέπει να παρουσιάσει. Η πληροφορία διαχειρίζεται σε κάποιο κεντρικό σημείο απ’ όπου διανέμεται στα αντίστοιχα

σημεία. Με αυτό τον τρόπο η πληροφόρηση στο κοινό είναι δυναμική και δεν χρειάζεται να είναι σε ένα μόνο σημείο.

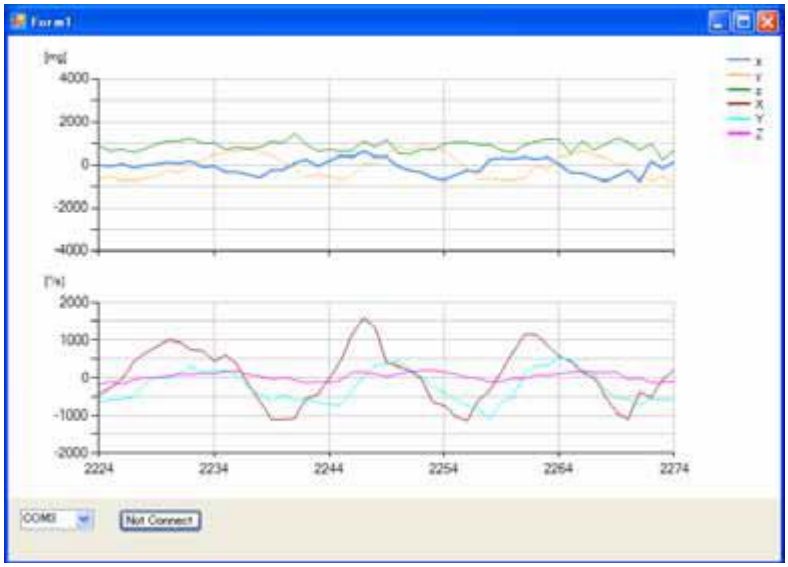


Ένα παράδειγμα τέτοιου είδους ενημέρωσης είναι οι πίνακες άφιξης και αναχώρησης πτήσεων όπου παλαιότερα ήταν όλοι μαζεμένοι σε έναν πίνακα σε κάθε αεροδρόμιο και η διαχείριση ναι μεν γινότανε κεντρικά αλλά όλοι οι επιβάτες έπρεπε να βρίσκονται στο σημείο που βρισκόταν ο κεντρικός πίνακας για να ενημερωθούν. Τώρα με την ασύρματη τεχνολογία υπάρχουν οθόνες σε πολλά σημεία συνδεδεμένες ασύρματα μεταξύ τους σε ένα δίκτυο το οποίο διαχειρίζεται κεντρικά με αποτέλεσμα η πληροφορία αφίξεων και αναχωρήσεων να μπορεί να αποκτηθεί σε πολλά παραπάνω σημεία.

4.5. Ασύρματη καταγραφή δεδομένων

Σε πολλούς χώρους εργασίας απαιτείται η συνεχής καταγραφή δεδομένων και στοιχείων παραγωγής. Η διαδικασία αυτή απαιτεί χρόνο και ανθρώπινο δυναμικό όχι μόνο για την συλλογή πληροφοριών αλλά και για την επεξεργασία τους. Αν παραδείγματος χάρη κάποιος υπάλληλος έχει να καταγράψει κάποιες συγκεκριμένες θερμοκρασίες από διάφορα μέρη της παραγωγής η διαδικασία θα είναι ως εξής. Ο υπάλληλος θα πάρει κάποια κατάσταση με τις θέσεις που πρέπει να ελέγξει και να περάσει από αυτές και να συμπληρώσει τις μετρήσεις του σε κάθε σημείο από το οποίο πέρασε.

Στην συνέχεια όλες αυτές τις πληροφορίες θα τις πάει σε κάποιο κεντρικό γραφείο για να τις ελέγξει κάποιος υπεύθυνος να τις επεξεργαστεί και να δώσει εντολές για την αντιμετώπιση προβλημάτων που πιθανών να υπάρχουν ή να αρχειοθετήσει τις μετρήσεις αυτές. Τις οποίες συνήθως παραλαμβάνει χειρόγραφες και τις αντιγράφει σε κάποιο σύστημα για την επεξεργασία των πληροφοριών.



Αυτή η διαδικασία μπορεί να απλοποιηθεί κατά πολύ με την χρήση ασύρματων δικτύων και μικρών φορητών συσκευών. Ο ελεγκτής μπορεί να περνάει από κάθε σημείο ελέγχου και να αποστέλλει τα δεδομένα επί τόπου σε μία κεντρική βάση δεδομένων η οποία θα καταγράφει τις μετρήσεις του και ο υπεύθυνος θα μπορεί πολύ πιο εύκολα και γρήγορα να έχει μια εικόνα του μεγέθους που θέλει. Επίσης ο μετρητής θα μπορεί να κάνει συνεχείς κύκλους με αποτέλεσμα να μην χάνεται χρόνος στην μεταφορά δεδομένων και επίσης τα δεδομένα με τα οποία θα έχει να δουλέψει κάθε ελεγκτής να είναι σαφώς περισσότερα άρα να δίνουν καλύτερη εικόνα της κατάστασης κ να έχει καλύτερα και πιο αποδοτικά αποτελέσματα ο έλεγχος αυτών.

4.6. Συστήματα Ασφαλείας

Τα συστήματα ασφαλείας τα τελευταία χρόνια γίνονται όλο και μεγαλύτερα και όλο και πιο πολύπλοκα. Οι αισθητήρες αυξάνονται μαζί με τα σημεία ελέγχου. Όσο αυξάνονται τα σημεία ελέγχου και οι αισθητήρες τα

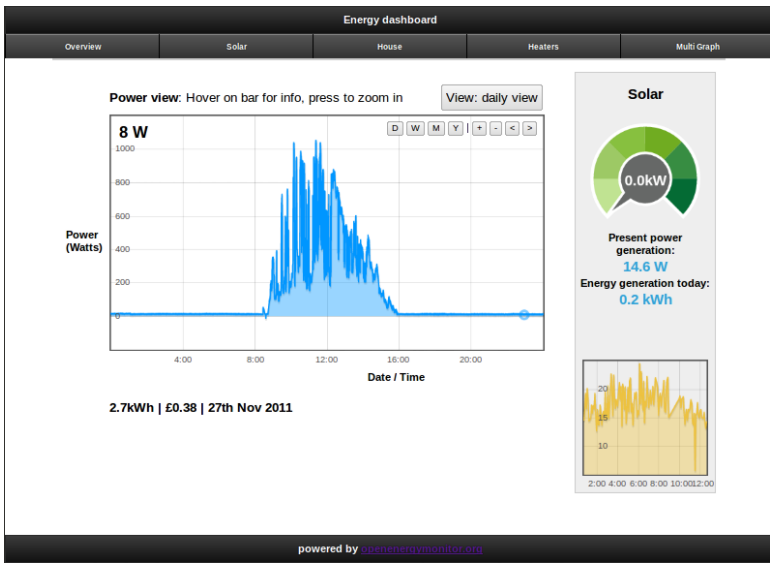
καλώδια που χρησιμοποιούνται και τα σημεία ελέγχου τα τοπικά αυξάνονται υπερβολικά πολύ με αποτέλεσμα ο έλεγχος και η δυνατότητα εύρεσης λαθών στα συστήματα να είναι πάρα πολύ δύσκολος. Επιπρόσθετο σε όλα αυτά είναι ότι εκτός από τον έλεγχο του στησίματος ενός συστήματος ασφαλείας όσον αφορά την τοποθέτηση αισθητήρων κέντρων ελέγχου εμπλέκεται και η διαχείριση των καλωδίων που χρησιμοποιούνται στο σύστημα. Μια διαδικασία η οποία είναι χρονοβόρα, δύσκολη και επίπονη.



Με την χρήση ασύρματης τεχνολογίας τέτοιου είδους προβλήματα λύνονται εύκολα και μειώνουν το φόρτο και το κόστος της εργασίας μιας και το κόστος των καλωδίων σχεδόν εξαλείφεται. Κάθε αισθητήρας και κάθε σημείο ελέγχου μπορεί να έχει ενσωματωμένο έναν πομποδέκτη ο οποίος θα αποστέλλει σε κάποιο κεντρικό σημείο την κατάσταση του σημείου ελέγχουν για την επίβλεψη του συστήματος ασφαλείας. Η ασύρματη επικοινωνία διακόπτεται πολύ πιο δύσκολα από την ενσύρματη και με τις δυνατότητες κωδικοποίησης που υπάρχουν πια μπορούν δεδομένα τα οποία είναι ευαίσθητα, όπως κωδικοί πρόσβασης, να μεταφέρονται κωδικοποιημένα για την επεξεργασία τους.

4.7. Έλεγχος λειτουργίας ηλιακών κυψελών

Με την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όλο και περισσότερα ηλιακά πάρκα δημιουργούνται. Η έκταση τους όλο και μεγαλώνει και η παρεχόμενη ισχύς όλο και αυξάνεται. Τα ηλιακά πάρκα όμως έχουν κάποια μειονεκτήματα. Πέρα από το αρχικό κόστος της επένδυσης το οποίο είναι υψηλό τα πάρκα αυτά έχουν και το πρόβλημα ότι είναι εκτεθειμένα στα στοιχεία της φύσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζονται βλάβες οι οποίες όμως δεν είναι πάντα εύκολο να ελεγχθούν γιατί τα πάρκα σπανίως είναι άμεσα προσβάσιμα. Έτσι εάν παραδείγματος χάριν ένα ποντίκι πάει και μασήσει κάποια καλώδια ή εάν υπάρξει χαλαζόπτωση η οποία προξενήσει βλάβη στα ηλιακά πάνελ να μην είναι εύκολο να ελεγχθούν. Ιδιαίτερα εάν η εγκατάσταση είναι μεγάλη. Επίσης υπάρχει και η περίπτωση απλής αστοχίας ενός πάνελ η οποία δεν έχει εμφανή οπτική βλάβη και να μην μπορεί να εντοπιστεί. Άρα η επένδυση αυτή εκτός από το κόστος ανάπτυξης της έχει και ένα σχετικά υψηλό κόστος συντήρησης γιατί μπορεί μέχρι και να χρειαστεί να υπάρχει φύλαξη των εγκαταστάσεων ενός ηλιακού πάρκου το οποίο θα έχει επιπλέον κόστος.

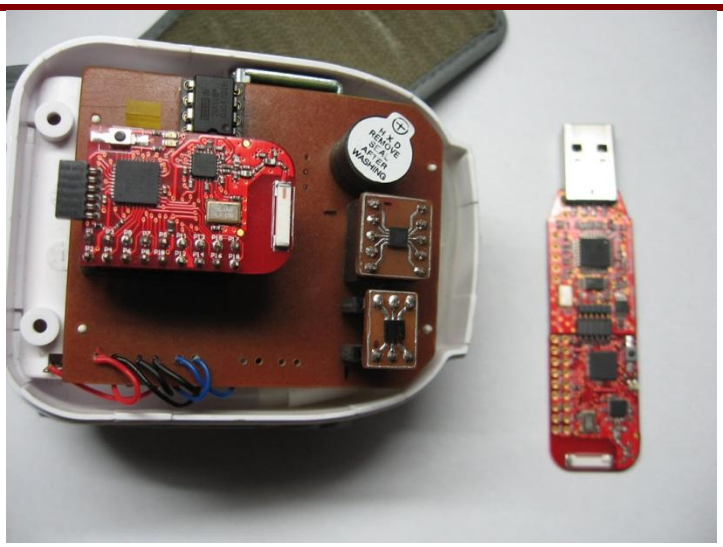


Η ασύρματη τεχνολογία μπορεί να δημιουργήσει ένα δίκτυο μέσα σε ένα τέτοιο πάρκο και με αισθητήρες που θα τοποθετηθούν σε κάθε πάνελ να ελέγχεται σε πραγματικό χρόνο η απόδοση τους. Αυτό θα βοηθήσει τον

έλεγχο γιατί από την στιγμή που θα υπάρχουν αισθητήρες που θα στέλνουν πληροφορίες σε ένα δίκτυο θα μπορεί να υπάρχει απομακρυσμένος έλεγχος της εγκατάστασης. Εφόσον λοιπόν υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς της πληροφορίας ασύρματα η πληροφορία μπορεί όχι μόνο να παρουσιαστεί στον χρήστη αλλά και να επεξεργαστεί έτσι ώστε να ενημερώνεται ο ενδιαφερόμενος για την κατάσταση κάθε πάνελ ξεχωριστά και σε περίπτωση προβλήματος να ενημερώνεται άμεσα. Επιπλέον η ποσότητα καλωδίων μειώνεται με αποτέλεσμα σφάλματα τα οποία θα μπορούσαν να προέλθουν από κομμένα ή ελαττωματικά καλώδια εξαλείφονται.

4.8. Παρακολούθηση Ασθενή

Στον τομέα της υγείας οι πληροφορίες που χρειάζονται διαχείριση είναι πάρα πολλές και η διαδικασία επιβαρύνει κυρίως τις νοσοκόμες που εργάζονται σε νοσοκομεία και κλινικές. Κάθε ασθενής έχει τοποθετημένους πάνω του αισθητήρες για την παρακολούθηση των βιοτικών του στοιχείων. Η κατάσταση μέχρι πρότινος είχε την ακόλουθη διαδικασία. Ο κάθε ασθενής είχε δίπλα στο κρεβάτι του όλα τα όργανα τα οποία ήταν απαραίτητα για την παρακολούθηση του και οι νοσοκόμες περνάγανε ανά τακτά χρονικά διαστήματα και παρακολουθούσαν τα όργανα σημείωναν τις μετρήσεις και σε περίπτωση προβλήματος τα όργανα ενεργοποιούσαν συνήθως κάποια ηχητικά σήματα για να τα ακούσουν οι νοσοκόμες και να επισκεφτούν το δωμάτιο από όπου ερχόταν το σήμα για να αντιμετωπίσουν την κατάσταση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα κάθε ασθενής να έχει αφιερωμένα πάνω του όργανα από τα οποία φεύγανε πολλά καλώδια για τα σημεία ελέγχου τα οποία περιορίζανε κατά πολύ τις κινήσεις κάθε ασθενή με τον κίνδυνο σε πολλές περιπτώσεις οι κινήσεις του ασθενή να διακόπτουν την επικοινωνία των αισθητήρων με τα όργανα με αποτέλεσμα την σήμανση ενός λανθασμένου συναγερμού. Τα προβλήματα γενικά που δημιουργούνταν ήταν αρκετά και συνήθως η πρόκληση τους ήταν ένα ανθρώπινο λάθος το οποίο στις περιπτώσεις αυτές είναι κάτι απόλυτα λογικό. Επίσης η καταγραφή των στοιχείων των οργάνων από μια νοσοκόμα μπορούσε να διακοπή κατά ένα συμβάν συναγερμού με αποτέλεσμα την ελλειπή καταγραφή πληροφορίας.



Με την χρήση ασύρματης επικοινωνίας αυτά τα προβλήματα επιλύονται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Η ασύρματη τεχνολογία μπορεί να λειτουργήσει σε συχνότητες που είναι εγκεκριμένες για ιατρική χρήση. Οι μετρήσεις για τα βιοτικά σημεία των ασθενών μπορούν να λαμβάνονται με αισθητήρες χωρίς καλώδια που στέλνουν σήματα ασύρματα σε κάποιο κεντρικό σημείο. Ταυτόχρονα αφού οι μετρήσεις γίνονται σε πραγματικό χρόνο μπορούν να καταγράφονται αυτόματα και να δίνεται μια πιο πλήρη εικόνα του ασθενούς. Επίσης σε περίπτωση συμβάντος συναγερμού η νοσοκόμα μπορεί να ενημερώνεται άμεσα και με μεγαλύτερη ακρίβεια ποιος ασθενής παρουσιάζει πρόβλημα και δεν χρειάζεται να ψάχνει να βρει από πού ακούγεται το σήμα του συναγερμού. Η παραπάνω εφαρμογή είναι ένα από τα πιο αξιοσημείωτα παραδείγματα όπου η ασύρματη τεχνολογία έχει εξελίξει και έχει βελτιώσει κατά πολύ τις επιδόσεις ενός συγκεκριμένου κλάδου.

Επιπλέων των ζωτικών σημείων και μετρήσεων ακόμα και τα σήματα κλήσης των ασθενών στις νοσοκόμες πια μπορούν να είναι ασύρματα με αποτέλεσμα οι βλάβες που μπορεί να οφείλονταν σε χαλασμένα καλώδια να μην εμποδίζουν πια την συγκεκριμένη λειτουργία. Δεδομένου ότι το να αντικατασταθεί ένα καλώδιο το οποίο πιθανότατα ήταν εντός των δομικών στοιχείων του κτιρίου είναι δύσκολο να αντικατασταθεί ενώ υπάρχουν ασθενείς στον χώρο.

4.9. Ασύρματη επικοινωνία (πομποδέκτης ασφαλείας)

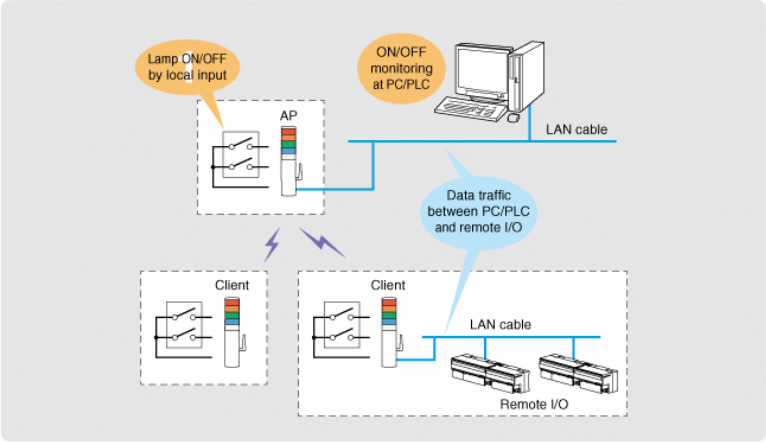
Σε διάφορες καταστάσεις η επικοινωνία μεταξύ δύο θέσεων επιβάλλεται να είναι ασφαλής και να μην είναι κατανοητή από τρίτους. Τρόποι ασφαλούς μετάδοσης πληροφορίας υπάρχουν πάρα πολλοί γιατί οι ανάγκες αυτές υπάρχουν εδώ και πάρα πολλά χρόνια.



Με την χρήση ασύρματης τεχνολογίας παρουσιάζεται ένας νέος τρόπος επικοινωνίας όπου οι πομποδέκτες μπορούν να επικοινωνούν με συγκεκριμένους πομποδέκτες και η μετάδοση της πληροφορίας είναι και κωδικοποιημένη. Τα επίπεδα ασφαλείας σε τέτοιου είδους μεταδόσεις ποικίλουν και ανάλογα τα επίπεδα ασφάλειας που απαιτούνται οι πομποδέκτες μπορούν να προγραμματιστούν για να την επιτύχουν. Επιπλέον αυτών επειδή πομποδέκτες σαν τον πομποδέκτη που έχει ήδη περιγραφεί έχουν την δυνατότητα άμεσης μετάδοσης φωνής είναι εφικτή η μετάδοση πληροφοριών η οποία δεν απαιτεί προηγούμενη κωδικοποίηση μιας και η μεταφορά των δεδομένων είναι ασφαλής. Με αυτό τον τρόπο μπορεί ο χρήσης απλά λέγοντας την πληροφορία που θέλει να μεταδώσει ο παραλήπτης να ακούει τον συνομιλητή του να του μιλάει χωρίς πρόβλημα και η μετάδοση των δεδομένων είναι κωδικοποιημένη.

4.10. Ασύρματος έλεγχος συσκευών μέσω Η/Υ

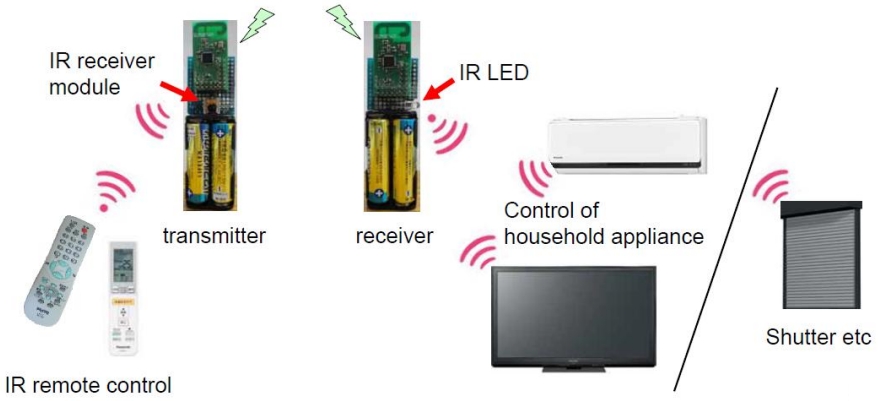
Πολλές φορές οι ενδείξεις κάποιων αισθητήρων πρέπει να ενεργοποιήσουν κάποιες διορθωτικές ενέργειες. Ιδιαίτερα σε επίπεδα αυτοματισμών αυτό είναι κάτι που απαιτείται συνήθως. Δηλαδή μια ένδειξη από κάποιο αισθητήρα πρέπει να προκαλέσει κάποια αντίδρασή από το σύστημα. Αυτό με κάποιες χρησιμοποιούμενες μεθόδους γινότανε χειροκίνητα. Δηλαδή ο χρήστης ή ο ελεγκτής κατέγραφε τις ενδείξεις του συστήματος και κάποιος υπεύθυνος έκανε τις απαραίτητες παρεμβάσεις ώστε το σύστημα να λειτουργήσει κανονικά. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι εργασίες που απαιτούσαν τέτοιου είδους παρεμβάσεις να καθυστερούν σημαντικά. Για την λύση του προβλήματος αυτού οι αυτοματισμοί απέκτησαν σημεία ελέγχου και σημεία δράσης. Τα οποία συνήθως επικοινωνούσαν με κάποιον κεντρικό υπολογιστή ο οποίος λάμβανε τις αποφάσεις και έδινε εντολές στο μέρος δράσης του αυτοματισμού. Αυτή η επικοινωνία γινότανε με την χρήση καλωδίων και θυρών επικοινωνίας που έχουν οι Η/Υ. Αυτή η κατάσταση όμως είχε κάποιους περιορισμούς οι οποίοι εμποδίζανε την χρήση αυτοματισμών και την εγκατάσταση τους. Οι Η/Υ δεν αντέχανε στις συνθήκες εργασίες της παραγωγής ή τα πρωτόκολλα επικοινωνίας περιορίζανε το μήκος των καλωδίων. Εκτός αυτών στις περιπτώσεις που ο αυτοματισμός ήταν εφικτό να λειτουργήσει συνήθως δημιουργούνταν προβλήματα με τα καλώδια γιατί πάνω σε κάποια εργασία κάποιος υπάλληλος τα αφαιρούσε από τους αυτοματισμούς η κοβόντουσαν και γενικά δεν υπήρχε πάντα αξιοπιστία.



Τα προβλήματα αυτά επιλύθηκαν με την χρήση ασύρματης τεχνολογίας. Οι αυτοματισμοί μπορούν να επικοινωνούν ασύρματα με τους κεντρικούς Η/Υ που διαχειρίζονται τις πληροφορίες και μπορούν οι διορθωτικές ενέργειες να αποστέλλονται ασύρματα επίσης. Με αυτό τον τρόπο και οι αποστάσεις στις οποίες μπορούν να ελεγχθούν οι αυτοματισμοί έχουν αυξηθεί και προβλήματα επικοινωνίας λόγω ελαττωματικών καλωδιώσεων έχουν εξαλειφτεί. Επιπλέον αυτών η ταχύτητες επικοινωνίας έχουν αυξηθεί και η μετάδοση δεδομένων είναι αξιόπιστη.

4.11. Τηλεκοντρόλ πολλαπλών συσκευών

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα είναι επί των πλείστων ελεγχόμενες με τηλεκοντρόλ. Ένας μέσος αριθμός τέτοιων συσκευών σε κάθε σπίτι είναι τουλάχιστον τέσσερις (4). Άρα ο κάθε χρήστης πρέπει για τον χειρισμό των ηλεκτρικών του συσκευών να έχει πρόσβαση πάντα σε τουλάχιστον τέσσερα τηλεκοντρόλ.

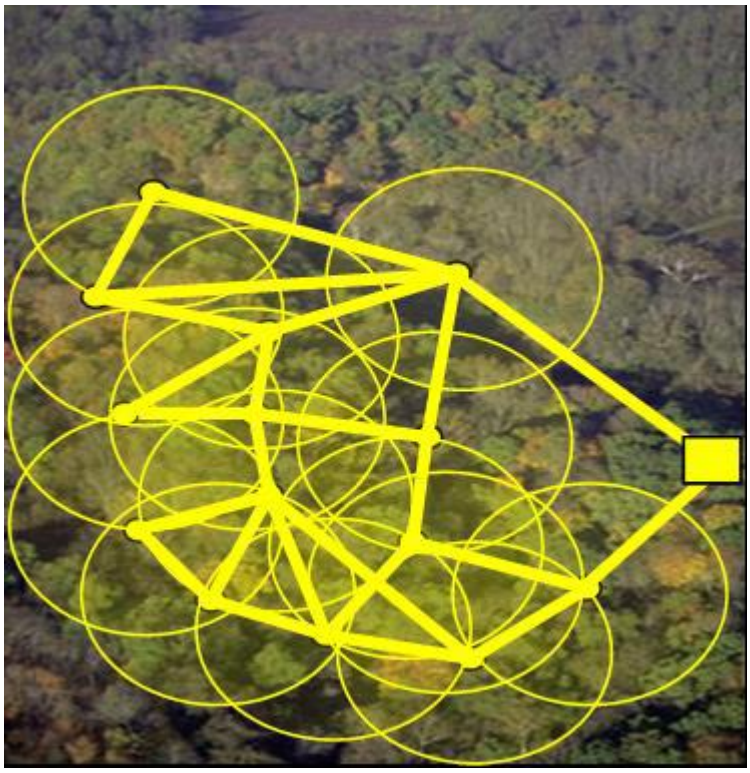


Με την χρήση συνδυασμού ασύρματων τεχνολογιών είναι πια εφικτό να δημιουργηθεί ένα τηλεκοντρόλ το οποίο θα μπορεί να χειριστεί όλες τις συσκευές που χρειάζονται τηλεχειρισμό. Ο τρόπος που λειτουργούν τα τηλεκοντρόλ αυτά είναι ο εξής. Περιέχουν έναν δέκτη σήματος ο οποίος λαμβάνει τα σήματα από το τηλεκοντρόλ μίας συσκευής και αποθηκεύει τα χαρακτηριστικά τους. Έτσι ο χρήστης καταχωρώντας κάθε σήμα στο τηλεκοντρόλ μπορεί με μια συσκευή να ελέγξει περισσότερες από μία συσκευές επιλέγοντας κάθε φορά ποια συσκευή θέλει να χρησιμοποιήσει.

Έτσι η συσκευή θα χρησιμοποιήσει τον πομπό με τα χαρακτηριστικά του τηλεκοντρόλ της συσκευής. Οι πομποδέκτες που υπάρχουν πια μπορούν να ρυθμιστούν από τον κεντρικό τους επεξεργαστή για να ξεκινήσουν την μετάδοση δεδομένων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

4.12. Ανίχνευση πυρκαγιάς σε δάσος

Για τον έλεγχο και την προστασία των δασικών περιοχών η διαδικασία που γενικά ακολουθείται είναι ο έλεγχος των δασών με περιπολίες δασοφυλάκων. Αυτή η διαδικασία σημαίνει ότι ο δασοφύλακας θα περιπολεί και θα ελέγχει έναν αρκετά μεγάλο και πολλές φορές δύσβατο χώρο για την προστασία του. Τα λάθη, οι παραλείψεις και τα προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν σε αυτή την κατάσταση είναι πολλά. Με κύριο πρόβλημα να είναι το γεγονός ότι μια πυρκαγιά μπορεί να ξεκινήσει λεπτά μετά τον έλεγχο μιας περιοχής και να εξαπλωθεί πριν προλάβει ο φύλακας να αντιδράσει.



Με την χρήση της ασύρματης επικοινωνίας και ιδιαίτερα με την ικανότητα δημιουργίας δικτύων αισθητήρων υπάρχει η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου και προστασίας μιας δασικής περιοχής. Οι αισθητήρες οι οποίοι είναι

συνδεδεμένοι με πομποδέκτες και που μπορούν να δημιουργήσουν δίκτυο μεταξύ τους διασκορπίζονται σε ένα δάσος και συνεργαζόμενοι ο ένας με τον άλλον μπορούν να δημιουργήσουν έναν χάρτη θερμοκρασίας της περιοχής. Επίσης οι πομποί μπορούν να αποφανθούν για την θέση τους σε σχέση με τους γειτονικούς κόμβους η σε απόλυτες συντεταγμένες με αποτέλεσμα σε περίπτωση πυρκαγιάς να υπάρχει η δυνατότητα εντοπισμού της θέσης έναρξης της πυρκαγιάς για άμεση αντιμετώπιση του προβλήματος.

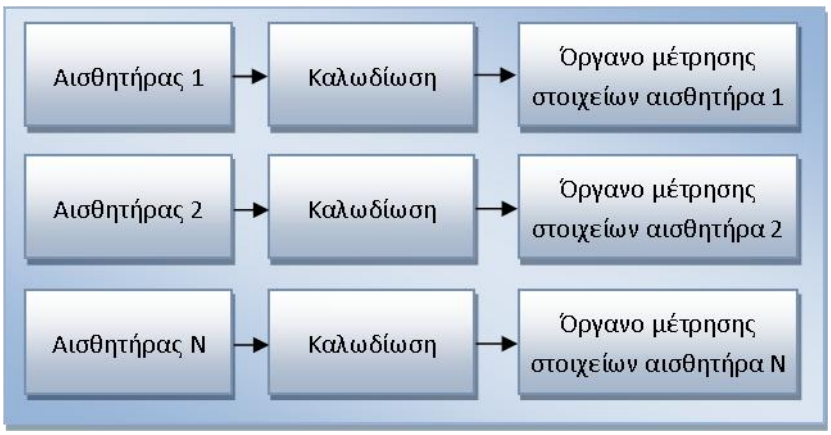
4.13. Γενικά για τις ασύρματες εφαρμογές

Οι ασύρματες εφαρμογές που περιγράφτηκαν παραπάνω έχουν κάποια κοινά σημεία τα οποία θεωρείται απαραίτητο να αναφερθούν. Για την μετατροπή μιας εφαρμογής από εφαρμογή με καλώδια σε ασύρματη πρέπει να ικανοποιηθούν τα παρακάτω.

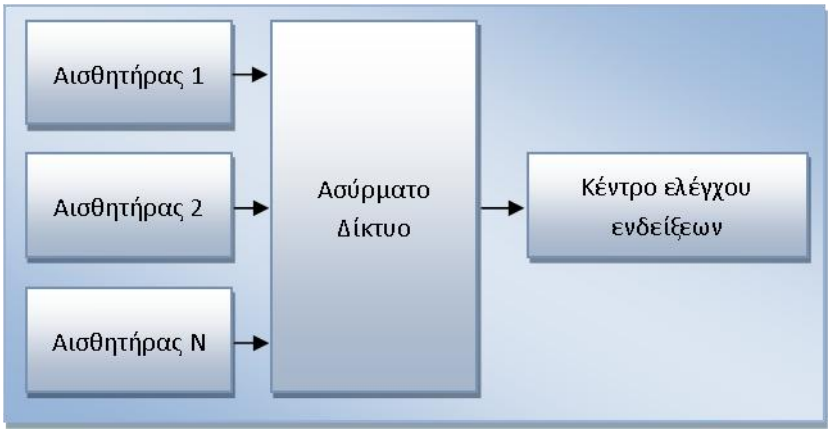
- Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται πρέπει να συνδεθούν σε κάποιον πομποδέκτη.
- Πρέπει να υπάρχει κάποιο κεντρικό σημείο για την λήψη δεδομένων από τους πομποδέκτες των αισθητήρων.

Παρατηρείται λοιπόν ότι η μετατροπή ενός συστήματος από καλωδιακό σε ασύρματο ουσιαστικά μετατρέπει κάθε σύστημα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Οργάνωση πρό ασύρματης επικοινωνίας.



Οργάνωση με ασύρματη επικοινωνία.



Γίνεται εμφανές ότι με την ασύρματη τεχνολογία ο έλεγχος θέσεων εργασίας για την λήψη μετρήσεων δεν είναι απαραίτητος πια γιατί όλα τα σημεία μπορούν να ελέγχονται κεντρικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι κοινά για όλους τους τύπους εφαρμογών ασύρματων επικοινωνιών που περιγράφηκαν νωρίτερα.

5. Περί ασύρματων επικοινωνιών

Στην εποχή που διανύουμε τα ασύρματα δίκτυα αποτελούν ένα μεγάλο μέρος της ζωής μας. Οι ασύρματες επικοινωνίες περιλαμβάνουν από το απλό τηλεχειριστήριο της τηλεόρασης που χρησιμοποιεί ο κάθε άνθρωπος μέχρι και τον ασύρματο τρόπο επικοινωνίας μιας διαστημικής βάσης στη Γή με δορυφόρους που βρίσκονται στο διάστημα χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά.

Επιπλέον αυτών οι ασύρματες επικοινωνίες πια χρησιμοποιούνται για την πρόσβαση στο Internet από όλους και παντού σε οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκονται από οποιαδήποτε συσκευή. Δεν είναι απαραίτητο πια ο χρήστης να είναι μπροστά από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή για να έχει πρόσβαση στο Internet. Προφανώς για να φτάσει η ασύρματη τεχνολογία στα χέρια των

καθημερινών χρηστών σημαίνει ότι η χρήση της στην βιομηχανία και τις εφαρμογές της είναι κάτι όπου σε πολλές καταστάσεις η βιομηχανίες το επιδιώκουν. Τα εργαλεία και τα όργανα τα οποία έχουν δυνατότητες επικοινωνίας με ασύρματα δίκτυα γίνονται όλο και περισσότερα και φαίνεται ότι υπάρχει μια τάση ώστε τα καλώδια να ελαχιστοποιηθούν αν όχι να εξαφανιστούν πλήρως.

Γιατί όμως αυτή η τάση για την εξάλειψη των καλωδίων; Τα θετικά της ασύρματης τεχνολογίας είναι τόσο πολλά; Με μια προσεκτική αξιολόγηση των καλωδιακών επικοινωνιών και των ασύρματων φαίνεται ότι δεν είναι όλα θετικά ως προς τα ασύρματα δίκτυα. Με μία σύγκριση μεταξύ των δυο φαίνεται ότι κάθε τρόπος επικοινωνίας έχει κάποια θετικά και κάποια αρνητικά.



Από πλευράς αποδοτικότητας οι δύο τρόποι έχουν ο καθένας τις δυνάμεις του. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων των καλωδίων είναι μεγαλύτερη από αυτή που είναι δυνατή στα ασύρματα δίκτυα. Οι απαιτήσεις μεταφοράς δεδομένων οδηγούν στην γρηγορότερη μεταφορά δεδομένων με την πάροδο των ετών όμως η αποδοτικότητα δεν μετριέται μόνο με γνώμονα την ταχύτητα. Μπορεί με την χρήση καλωδίων η ταχύτητα μεταφοράς να είναι μεγαλύτερη αλλά η απόσταση στην οποία μπορούν να μεταφερθούν δεδομένα είναι περιορισμένη. Στην σημερινή εποχή πολλές επιχειρήσεις χρειάζεται να επικοινωνούν με υπαλλήλους και πελάτες σε μεγάλες αποστάσεις οι οποίες ούτε είναι πρακτικό να έχουν καλωδιακή σύνδεση και σε πολλές περιπτώσεις

δεν είναι καν εφικτό. Εάν ένας υπάλληλος μιας εταιρείας είναι σε έναν πελάτη και θέλει να ελέγξει την αποθήκη της εταιρίας για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του πελάτη πρέπει να μπορεί να αποκτήσει την πληροφορία αυτή ασύρματα. Άρα από πλευράς αποδοτικότητας η ασύρματη επικοινωνία κερδίζει στον τομέα της απόστασης αλλά υστερεί στον τομέα της ταχύτητας. Το θέμα είναι ότι η διαφορά της ταχύτητας δεν είναι τόσο μεγάλη στα μέτρα της μετάδοσης πληροφοριών τέτοιου επιπέδου. Άρα η αποδοτικότητα των ασυρμάτων δικτύων στις ανάγκες μεγάλου εύρους είναι μεγαλύτερη από αυτή των καλωδιακών συνδέσεων.

Από πλευράς κάλυψης η ασύρματη επικοινωνία έχει το υπέρ ότι ο χρήστης δεν είναι περιορισμένος σε ένα συγκεκριμένο σημείο για την εκτέλεση μιας εργασίας. Με την ασύρματη επικοινωνία ο χρήστης μπορεί να εκτελεί εργασίες εν κινήσει και να βελτιώνει την παραγωγικότητα του. Επίσης ο όρος εν κινήσει δεν περιορίζει την κίνηση του χρήστη καν στους φυσικούς χώρους της εταιρείας που εργάζεται. Μπορεί να εργαστεί από οπουδήποτε έχει πρόσβαση σε κάποιο ασύρματο δίκτυο.

Από πλευράς κόστους οι ασύρματες επικοινωνίες επιβάλλονται κατά κράτος στις ενσύρματες. Το γεγονός ότι τα καλώδια σαν υλικά μπορεί να θεωρηθούν χαμηλού κόστους δεν τους δίνει προβάδισμα. Ο λόγος είναι ότι σημασία έχει ο τρόπος που μετριέται το κόστος. Από την στιγμή που ο λόγος που εξετάζουμε είναι η σύνδεση χρηστών με ένα δίκτυο σε κάποια απόσταση θα πρέπει να υπολογίσουμε το κόστος ανάλογα. Το κόστος λοιπόν ανά μέτρο σύνδεσης με ασύρματο τρόπο είναι σαφώς μικρότερο και πολύ πιο ευέλικτο. Σε ένα χώρο με πολλές θέσεις εργασίας ο όγκος καλωδίων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν είναι σαφώς περισσότερος και με μεγαλύτερο κόστος από αυτό ενός ασύρματου δικτύου. Επίσης η εγκατάσταση είναι πολύ πιο εύκολη με την χρήση ασύρματου δικτύου.

Η ασφάλεια είναι ένας τομέας που οι ασύρματες επικοινωνίες αποκτούν ένα σοβαρό μείον. Η δυνατότητα παρεμβολής και υποκλοπής ενός ασύρματου σήματος είναι αρκετά μεγαλύτερα από αυτή μιας καλωδιακής επικοινωνίας.



Παρόλα αυτά υπάρχει τρόπος ενίσχυσης της ασφάλειας μιας ασύρματης επικοινωνίας αλλά απαιτούνται επιπλέον ενέργειες και κόστη από τον χρήστη του ασύρματου δικτύου για να την αποκτήσει.

Προβλήματα κάλυψης και λειτουργίας μπορούν να παρουσιαστούν και στις δύο τεχνολογίες. Η κάθε μια έχει τα δικά της προβλήματα. Τα καλώδια φθείρονται με τον χρόνο και είναι ευαίσθητα στα φυσικά φαινόμενα υγρασία κ.λ.π. και επίσης συνήθως τρωκτικά που κινούνται εντός των δομικών στοιχείων κτιρίων απ' όπου περνάνε καλώδια τα τρώνε με αποτέλεσμα να διακόπτονται οι επικοινωνίες. Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα με τις παρεμβολές από άλλα δίκτυα που μπορούν να υπάρχουν στο ίδιο κτίριο ή κοντινά κτήρια. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να προκαλέσουν ελαττωματική επικοινωνία, απώλεια δεδομένων η πλήρη διακοπή επικοινωνιών. Επίσης η ασύρματη επικοινωνία επηρεάζεται από τα δομικά στοιχεία των κτιρίων αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία «τυφλών» σημείων στο δίκτυο όπου δεν είναι δυνατών να φτάσει ένα ασύρματο σήμα και να ολοκληρωθεί η επικοινωνία.

Η ασύρματη επικοινωνία κερδίζει έδαφος μέρα με την μέρα και οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν ασύρματη επικοινωνία όλο και αυξάνονται. Η ευκολία με την οποία μπορεί κάποιος να αποκτήσει τις πληροφορίες που θέλει οδηγεί την εξέλιξη προς τα εκεί. Δηλαδή την δυνατότητα λήψης οποιασδήποτε πληροφορίας σε οποιοδήποτε σημείο. Σε επαγγελματικό επίπεδο η ανάπτυξη της ασύρματης επικοινωνίας έχει δημιουργήσει νέου τύπου υπηρεσίες και έχει βελτιώσει την παραγωγικότητα σε πολλές άλλες.

Επιπλέον αυτών οι πομποδέκτες που χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές έχουν ενσωματωμένους μικροελεγκτές. Για τον λόγο αυτό η

επεξεργασία των δεδομένων μπορεί να γίνεται επί τόπου στα σημεία που γίνονται οι μετρήσεις ή λαμβάνονται τα δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό η εργασίες κατανέμονται σε πολλά σημεία με αποτέλεσμα να μην είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιας «υπερμονάδας» επεξεργασίας η οποία θα διαχειρίζεται από το μηδέν όλα τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται από ένα δίκτυο. Η δουλεία της επεξεργασίας επιμερίζεται κ τα κεντρικά σημεία συνήθως λαμβάνουν επεξεργασμένα δεδομένα τα οποία είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμα. Επιπλέον αυτών υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής παραμέτρων των μικροελεγκών που βρίσκονται σε απομακρυσμένα σημεία για την βελτίωση της απόδοσης τους και την πληρέστερη λήψη δεδομένων. Η ασύρματη επικοινωνία έχει ξεπεράσει λοιπόν τα όρια της κοινής μεταφοράς δεδομένων αλλά πια μιλάμε και για απομακρυσμένο έλεγχο ο οποίος αναπτύσσεται συνεχώς.

Ο μελλοντικός στόχος της ασύρματης τεχνολογίας είναι η πλήρης ενοποίηση όλων των τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας. Επίσης ένας άλλος στόχος είναι η ατομική πρόσβαση όλων των χρηστών σε ασύρματα δίκτυα σε οποιαδήποτε κατάσταση ή τοποθεσία και αν βρίσκονται. Οι συσκευές που θα κυκλοφορούν στο εμπόριο για το ευρύ κοινό θα γίνονται όλο και ποιο «έξυπνες» και προσαρμοζόμενες στον χρήστη τους. Τα δίκτυα αισθητήρων θα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο και η διαχείριση πληροφοριών θα είναι όσο πιο εύκολη γίνεται.

6. Γενική θεώρηση συστήματος

6.1. Αυτο-Οργανούμενο δίκτυο

Η αυτο-οργάνωση ενός δικτύου (Self-organized Network - SON) είναι μια τεχνολογία αυτοματισμού η οποία έχει μελετηθεί για να κάνει το σχεδιασμό, τη διαμόρφωση, τη διαχείριση, τη βελτιστοποίηση και την επούλωση των κινητών δικτύων ασύρματης πρόσβασης απλούστερη και ταχύτερη. Η λειτουργικότητα και η συμπεριφορά των δικτύων SON ορίζονται και εξειδικεύονται με γενικά αποδεκτές συστάσεις κλάδου κινητής τηλεφωνίας που παράγονται από οργανισμούς όπως 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και την NGMN (Next Generation Mobile Networks).

Νέο-προστιθέμενοι σταθμοί θα πρέπει να μπορούν να αυτο-ρυθμιστεί σύμφωνα με μια «plug-and-play" οδηγία, ενώ το σύνολο των λειτουργικών σταθμών θα μεταβάλουν τακτικά τις παραμέτρους αυτο-βελτιστοποίησης και αλγοριθμικής συμπεριφορά τους σε άμεση συνάρτηση με τις παρατηρηθείσες επιδόσεις και συνθήκες του δικτύου και εκπομπής. Επιπλέον, μηχανισμοί αυτο-ίασης (self-healing) μπορούν να ενεργοποιηθούν για να καλύψουν προσωρινά την απώλεια εξοπλισμού, σε αναμονή μια πιο μόνιμης λύσης.

6.2.Ασύρματη Επικοινωνία χαμηλής ισχύος

Ταυτόχρονα με την ανάπτυξη των ψηφιακών τηλεπικοινωνιών και την ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών, τέθηκαν τα προαπαιτούμενα για τηλεπικοινωνίες μικρών αποστάσεων (short range telecommunications). Οι βασικές διαφορές εντοπίζονται στα παρακάτω :

a. Η ισχύς εκπομπής είναι χαμηλή (1mW – 100mW)

b. Η απόσταση κυμαίνεται μεταξύ μερικών εκατοστών μέχρι μερικών δεκάδων μέτρων

c. Η κύρια χρήση τους είναι σε εσωτερικούς χώρους

d. Γίνεται χρήση παντοκατευθυντικής καιραίας η κεραίας ενσωματωμένης στην πλακέτα.

e. Ελεύθερη χρήση συχνοτήτων

f. Υψηλή συχνότητα εκπομπής

g. Ο πομπός και ο Δέκτης δουλεύουν με μικρές απαιτήσεις ισχύος (τροφοδοσία από μπαταρία)

6.3.Ασύρματη επικοινωνία στα 2.4GHz

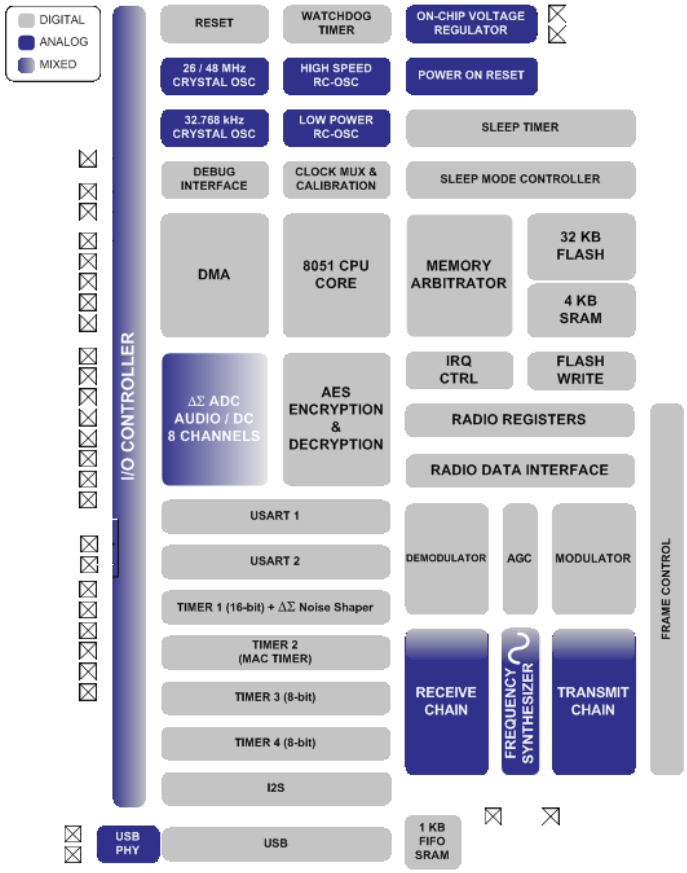
Το ελεύθερο εύρος των 2.4GHz – 2.5GHz χρησιμοποιείται από δημοφιλείς τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας όπως το WiFi (IEEE 802.11.a/b/g), το Bluetooth (IEEE 802.15.1) ή το ZigBee (IEEE 802.15.4).

6.4.Ο CC2510

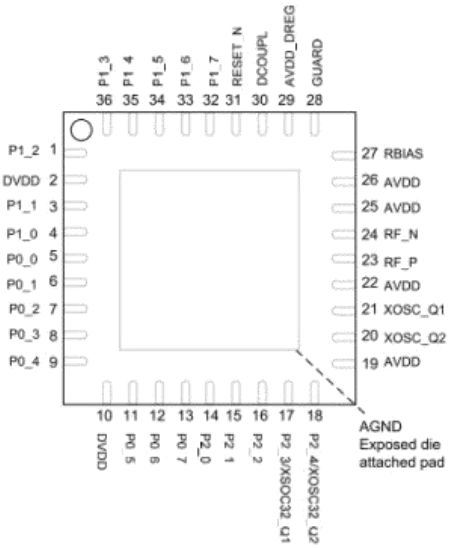
Η οικογένεια CC2510Fx/CC2511Fx είναι ένα χαμηλού κόστους ασύρματο σύστημα σε ένα ολοκληρωμένο (System on Chip - SOC) το οποίο έχει σχεδιαστεί για ασύρματη επικοινωνία με χαμηλές απαιτήσεις ισχύος.

Τα CC2510Fx/CC2511Fx περιλαμβάνουν μια «ενισχυμένη» έκδοση του μικροπεξεργαστή 8051 και τον ασύρματο πομποδέκτη CC2500 με εξαιρετικές επιδόσεις. Το ασύρματο λειτουργεί στο ISM και SRD φάσμα των 2.4GHz έτσι η συχνότητα λειτουργίας μπορεί να είναι μεταξύ 2400-2483.5MHz.

6.4.1. Η Αρχιτεκτονική



6.4.2. To Pin-Out



Pin	Pin Name	Pin Type	Description
-	AGND	Ground	The exposed die attach pad must be connected to a solid Ground plane
1	P1_2	D I/O	port 1.2
2	DVDD	Power (Digital)	2.0 V - 3.6 V digital power supply for digital I/O
3	P1_1	D I/O	port 1.1
4	P1_0	D I/O	port 1.0
5	P0_0	D I/O	port 0.0
6	P0_1	D I/O	port 0.1
7	P0_2	D I/O	port 0.2
8	P0_3	D I/O	port 0.3
9	P0_4	D I/O	port 0.4
10	DVDD	Power (Digital)	2.0 V - 3.6 V digital power supply for digital I/O
11	P0_5	D I/O	port 0.5
12	P0_6	D I/O	port 0.6
13	P0_7	D I/O	port 0.7
14	P2_0	D I/O	port 2.0
15	P2_1	D I/O	port 2.1
16	P2_2	D I/O	port 2.2
17	P2_3/XOSC32_Q1	D I/O	2.3/32.768 kHz crystal oscillator pin 1
18	P2_4/XOSC32_Q2	D I/O	2.4/32.768 kHz crystal oscillator pin 2
19	AVDD	Power (Analog)	2.0 V - 3.6 V analog power supply connection
20	XOSC_Q2	Analog I/O	Crystal oscillator pin 2
21	XOSC_Q1	Analog I/O	Crystal oscillator pin 1 or external clock input
22	AVDD	Power (Analog)	2.0 V - 3.6 V analog power supply connection
23	RF_P	RF I/O	Positive RF input signal to LNA in receive mode Positive RF output signal from PA in transmit mode
24	RF_N	RF I/O	Negative RF input signal to LNA in receive mode Negative RF output signal from PA in transmit mode
25	AVDD	Power (Analog)	2.0 V - 3.6 V analog power supply connection
26	AVDD	Power (Analog)	2.0 V - 3.6 V analog power supply connection
27	RBIAS	Analog I/O	External precision bias resistor for reference current
28	GUARD	Power (Digital)	supply connection for digital noise isolation
29	AVDD_DREG	Power (Digital)	2.0 V - 3.6 V digital power supply for digital core voltage regulator
30	DCOUPL Power	Power decoupling	1.8 V digital power supply decoupling
31	RESET_N	DI	Reset, active low
32	P1_7	D I/O	port 1.7
33	P1_6	D I/O	port 1.6
34	P1_5	D I/O	port 1.5
35	P1_4	D I/O	port 1.4
36	P1_3	D I/O	port 1.3

6.4.3. Τα Γενικά χαρακτηριστικά

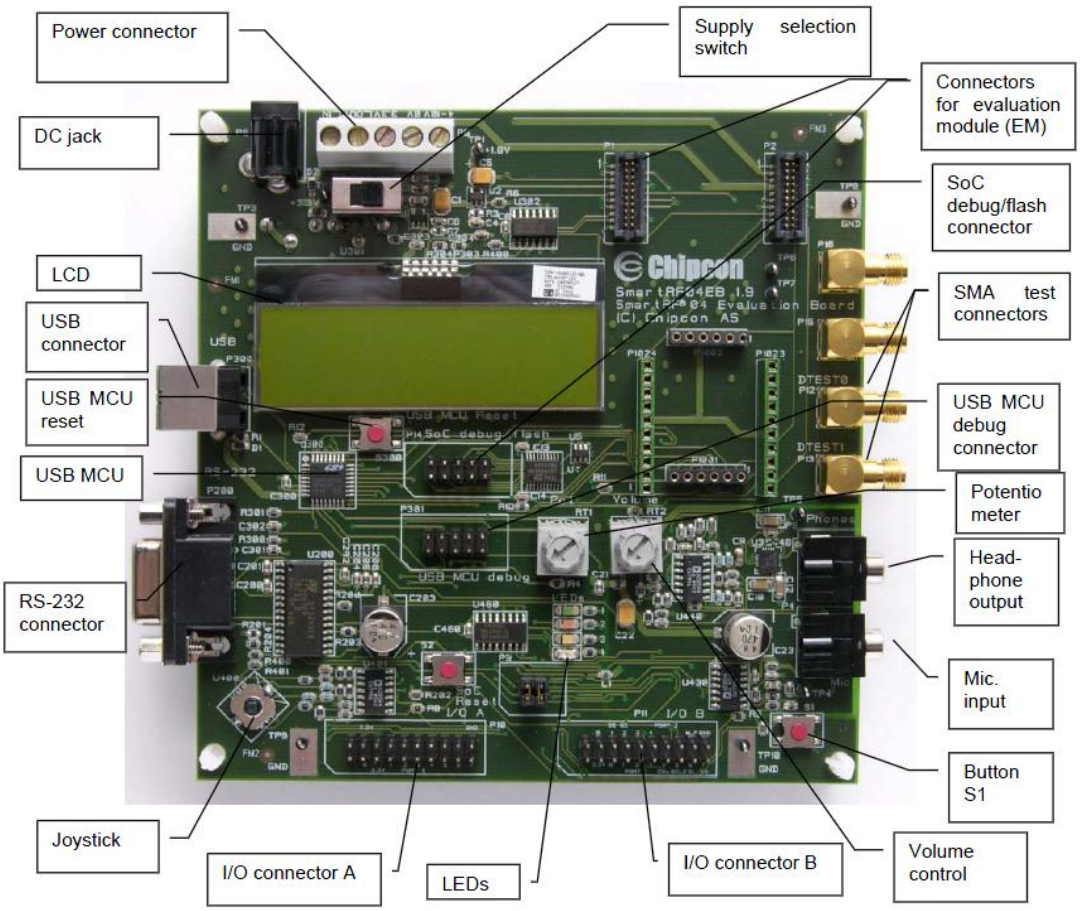
T_A = 25°C, VDD = 3.0 V if nothing else stated

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Condition/Note
Radio part					
Frequency range	2400		2483.5	MHz	There will be spurious signals at n/2·crystal oscillator frequency (n is an integer number). RF frequencies at n/2·crystal oscillator frequency should therefore be avoided (e.g. 2405, 2418, 2431, 2444, 2457, 2470 and 2483 MHz when using a 26 MHz crystal).
Data rate	1.2 1.2 26		500 250 500	kBaud kBaud kBaud	2-FSK GFSK (Shaped) MSK (also known as differential offset QPSK) Optional Manchester encoding (the data rate in kbps will be half the baud rate)
Wake-Up Timing					
PM1 → Active Mode		4		µs	Digital regulator on. HS RCOSC and high speed crystal oscillator off. 32.768 kHz XOSC or low power RCOSC running. SLEEP.OSC_PD=1 and CLKCON.OSC=1
PM2/3→ Active Mode		100		µs	Digital regulator off. HS RCOSC and high speed crystal oscillator off. 32.768 kHz XOSC or low power RCOSC running (PM2). No crystal oscillators or RC oscillators are running in PM3. SLEEP.OSC_PD=1 and CLKCON.OSC=1

6.4.4. Χαρακτηριστικά «κλειδιά»

- Υψηλών επιδόσεων μικροεπεξεργαστής 8051
- Πομποδέκτης 2.4GHz CC2500
- Υψηλής ευαισθησίας και αντοχής σε παρεμβολές
- Χαμηλό ρεύμα σε κατάστασης νάρκης (0.5μA) και αναμονής (0.3μA) και δυνατότητα επαν-εκκίνησης από εξωτερικό ή χρονικό αίτιο.
- Προγραμματιζόμενη ταχύτητα μετάδοσης μέχρι τα 500Kbps
- Υποστήριξη σε επίπεδο υλικού CSMA/CA
- Τάση λειτουργίας 2.0-3.6V
- Ψηφιακή υποστήριξη RSSI/LQI και DMA
- Παρακολούθηση μπαταρίας και αισθητήρας θερμοκρασίας ενσωματωμένος
- 8-14bit ADC
- Λίγα εξωτερικά υλικά.

6.4.5. Το KIT ανάπτυξης



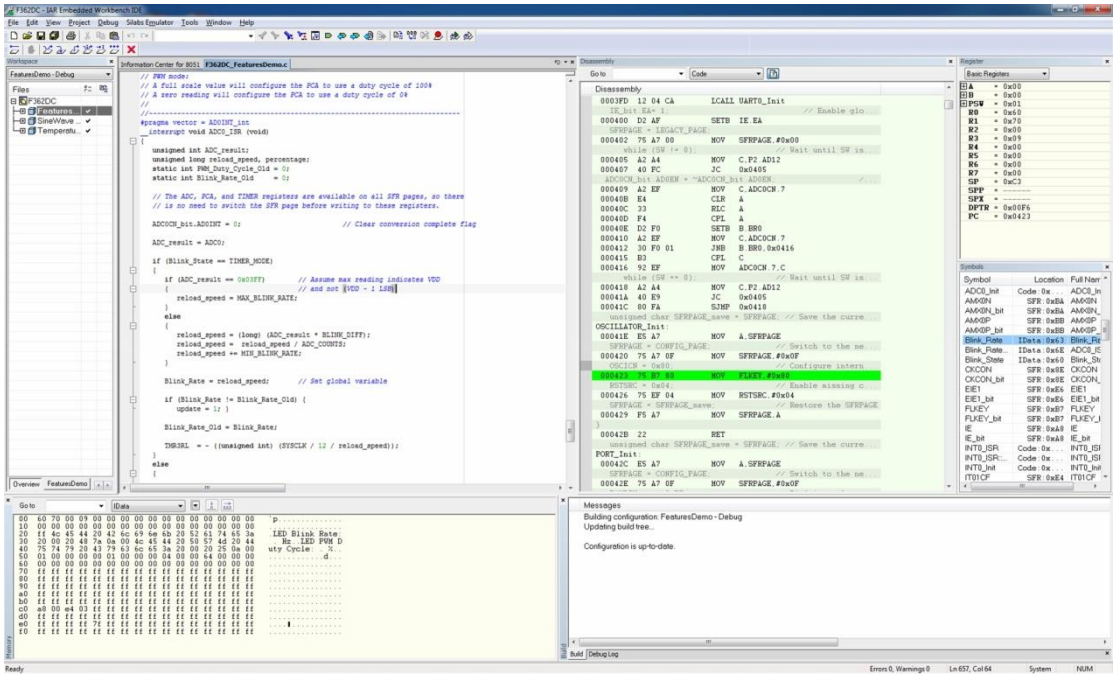
Main Board Smart RF 04 EB



Evaluation board CC2510EM

6.4.6. Το Περιβάλλον ανάπτυξης Λογισμικού

Το περιβάλλον IAR Embedded Workbench® for 8051 (www.iar.com), είναι ένα αξιόπιστο περιβάλλον ανάπτυξης για τον ενσωματωμένο μικροπεξεργαστή.



6.4.7. Το Πρωτόκολλο SimpliciTI

SimpliciTI ™ είναι ένα πρωτόκολλο εκπομπής χαμηλής ισχύος με στόχο τα απλά και μικρά δίκτυα RF. Αυτό το λογισμικό ανοιχτού κώδικα είναι ένα εξαιρετικό ξεκίνημα για τη δημιουργία ενός δικτύου με συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία, χρησιμοποιώντας έναν από System-on-Chips χαμηλής ισχύος RF της TI (SoC) ή το εξαιρετικά χαμηλής ισχύος MSP430 MCU και έναν πομποδέκτη RF TI. Το SimpliciTI έχει σχεδιαστεί για εύκολη εφαρμογή και την ανάπτυξη out-of-the-box σε διάφορες πλατφόρμες RF της TI όπως το MSP430 MCUs και των πομποδεκτών CC1XXX/CC25XX και EO. Τα δείγματα εφαρμογών τρέχουν out-of-the-box στα συστήματα SmartRF με CC2430EM και CC2520EM, καθώς και το MSP430FG4618/F2013 πειραματισμών με τα CC1100EM, CC1101EM ή CC2500EM.

Η τελευταία έκδοση του SimpliciTI υποστηρίζει και τα νέα CC2530 και CC430 από την TI.

Packet Format

PREAMBLE	SYNC	LENGTH	MISC	DSTADDR	SRCADDR	PORT	DEVICE INFO	TRACTID	App Payload	FCS
RD*	RD*	1	RD*	4	4	1	1	1	*n*	RD*

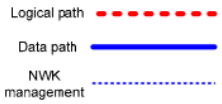
Network header | App payload
MRFI header | MRFI payload
MRFI frame
SimpliciTI frame

*RD: Radio-dependent populated by MRFI or handled by the radio itself

- preamble: hw sync
- sync: hw sync
- length: bytes non-phy
- dstaddr
- srcaddr
- port: app port number
- dev info: capabilities
- tractid: transaction nonce or seq num
- app pyld: 0 <= n <= 52 byte/113 byte (radio dependent)
- crc: must be valid

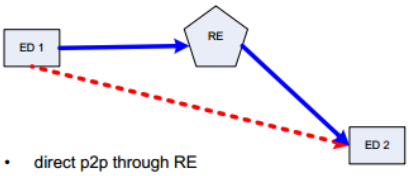
Addressing and Communication

- net address = hw addr (4 byte) + app port
  - statically assigned hw addr
  - no address resolution mechanism
- byte 1: 0x00, 0xFF – reserved for broadcast
- communication topologies:

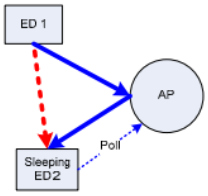




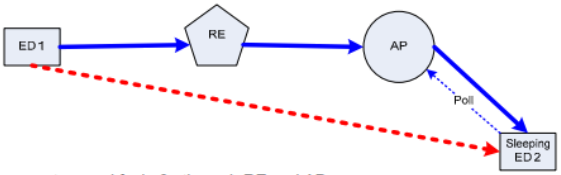
- direct peer-2-peer



- direct p2p through RE



- store and fwd p2p through AP



- store and fwd p2p through RE and AP

7. Πρωτόκολλο για αυτο-οργανούμενο δίκτυο βασισμένο σε εκπομπή (Broadcasting)

Το πρωτόκολλο που προτείνει το SimpliciTI υποστηρίζει μόνο δύο τοπολογίες :

- ✓ Αυστηρά per to per
- ✓ Αστέρα

και τα δύο δεν είναι αυτο-οργανούμενα, αλλά το περιβάλλον ανάπτυξης που προσφέρει είναι πολύ καλό και «βοηθητικό».

Για την λύση που μελετάμε, δίκτυο αισθητήρων για παρακολούθηση θερμοκρασίας, το μόνο που χρειαζόμαστε είναι δύο τύποι συσκευών. Η μία ομάδα είναι το (τα) σημεία πρόσβασης (Access Point – AP) και τελικές μονάδες (End Device – ED).

7.1. Σημείο πρόσβασης (Access Point - AP)

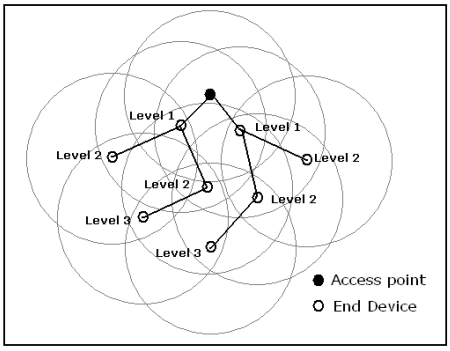
Το σημείο πρόσβασης είναι ο «συλλέκτης δεδομένων» (Data Collector). Μόνο μία μονάδα AP μπορεί να χρησιμοποιηθεί η οποία και θα είναι το «κέντρο» όλου του δικτύου. Όλες οι τελικές μονάδες θα συνδεθούν με την μονάδα AP και θα τις μεταφέρουν τα δεδομένα τους.

7.2.Τελική Μονάδα (End Device – ED)

Η τελική μονάδα θα ενσωματώνει τον αισθητήρα, θα παίρνει τις μετρήσεις και θα τις μεταφέρει στην μονάδα AP. Όλες οι μονάδες ED έχουν την ίδια ισχύ στην ιεραρχία του δικτύου.

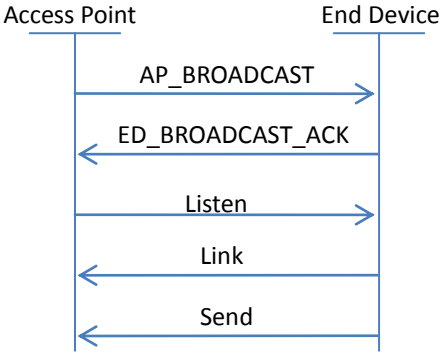
7.3.Περιγραφή πρωτοκόλλου

Το συνολικό σύστημα θα έχει μία ιεραρχία αποκλειστικά και μόνο με βάση τη «απόσταση» της από την μονάδα πρόσβασης (AP). Έτσι μια τελική μονάδα επιπέδου 1 σημαίνει ότι έχει απ' ευθείας σύνδεση με την AP ενώ μια μονάδα επιπέδου *v* σημαίνει ότι περνά από *v-1* ED πριν «καταλήξει» στην AP.



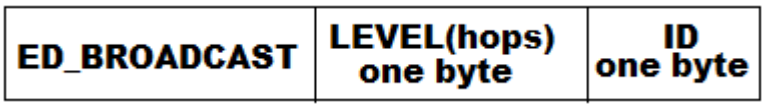
7.3.1. AP <-> ED

Με την ενεργοποίησή της η μονάδα AP θα εκπέμπει σε τακτικά χρονικά διαστήματα πχ κάθε έξι δευτερόλεπτα ένα πακέτο παρουσίας της (AP_BROADCAST). Μόλις μία μη συνδεδεμένη μονάδα ED λάβει το πακέτο AP_BROADCAST, θα παραμείνει σιωπηλή για τυχαίο χρονικό διάστημα παρακολουθώντας εάν κάποια μονάδα εκπέμψει πακέτο αναγνώρισης ED_BROADCAST_ACK προς την AP. Εάν «ακούσει» πακέτο ED_BROADCAST_ACK τότε θα παραμείνει σιωπηλή και θα περιμένει το επόμενο πακέτο AP_BROADCAST, σε αντίθετη περίπτωση εκπέμπει πακέτο ED_BROADCAST_ACK και προσπαθεί να συνδεθεί με την AP. Ταυτόχρονα η AP μόλις λάβει πακέτο ED_BROACAST_ACK μπαίνει σε κατάσταση αναμονής για σύνδεση με την ED που έστειλε το πακέτο ED_BROADCAST_ACK.



7.3.2. ED <-> ED

Κάθε φορά που μια ED συνδεθεί με την μονάδα AP ή μία άλλη ED, εκπέμπει ένα σήμα ED_BROADCAST με δομή :

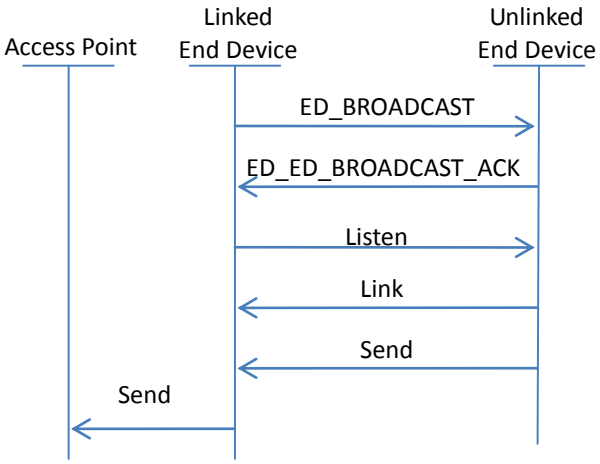


Το πακέτο συμπεριλαμβάνει τόσο το επίπεδό του (πόσα hops μακριά είναι από το AP) όσο και το ID του. Μόλις ένα ED που δεν έχει συνδεθεί ή είναι συνδεδεμένο με ED με υψηλότερο επίπεδο συν ένα από αυτό που έλαβε, θα

μείνει σιωπηλό για τυχαίο χρονικό διάστημα «ακούγοντας» για πιθανό σήμα ED_ED_BROADCAST_ACK και εκπέμπει σήμα ED_ED_BROADCAST_ACK.

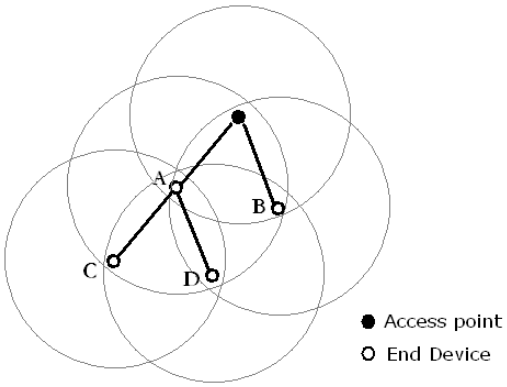
ED_ED_BROADCAST_ACK one byte	Target ID one byte

Το πακέτο περιλαμβάνει το ID της μονάδας με την οποία θέλει να συνδεθεί. Μόλις η μονάδα με το παραπάνω ID λάβει το πακέτο περιμένει σύνδεση με την μονάδα. Με τον τρόπο αυτό κάθε συνδεδεμένη συσκευή γνωρίζει την μονάδα για το επόμενο hop προς την μονάδα AP και αποστέλλει τα δεδομένα στην συσκευή αυτή και αυτή με την σειρά της τα προωθεί στην επόμενή της μέχρι τελικά τα δεδομένα να καταλήξουν στην μονάδα AP.



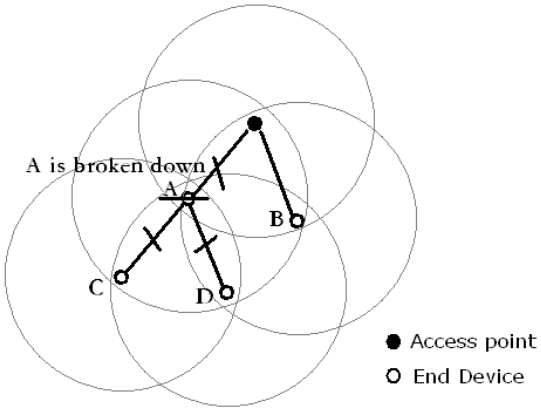
7.3.3. Αυτο-Διόρθωση

Μόλις μια μονάδα ED συνδεθεί στο δίκτυο, θα προσπαθεί να «ακούει» για πακέτα εκπομπής σύνδεσης από το επόμενο από αυτό hop. Εάν μια ED «χάσει» τρία (3) BROADCAST από το επόμενό του ED τότε θεωρεί ότι αυτή χάλασε ή μεταφέρθηκε σε άλλο σημείο και προσπαθεί να συνδέσει κάποια άλλη μονάδα ED. Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει ένα ολοκληρωμένο δίκτυο μονάδων.

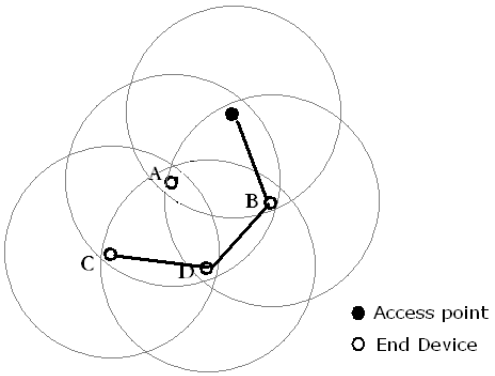


Όλες οι μονάδες είναι συνδεδεμένες με την μονάδα AP. Οι μονάδες A και B είναι απευθείας συνδεδεμένες με την AP και η μονάδες C και D είναι συνδεδεμένη με την μονάδα A η οποία και έχει την ευθύνη να προωθεί τα δεδομένα τους στην AP.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι η μονάδα A «χάνει» την τροφοδοσία της. Προς στιγμήν και επειδή δεν έχουμε ACK κατά την αποστολή δεδομένων οι μονάδες C και D δεν γνωρίζουν ότι η μονάδα A είναι εκτός λειτουργίας και εξακολουθούν να στέλνουν δεδομένα δια μέσου αυτής. Στην συνέχεια όμως και χάνοντας τρία (3) πακέτα σύνδεσης της A αναγνωρίζουν ότι η μονάδα «χάθηκε» και ξεκινά η διαδικασία επανασύνδεσης στο δίκτυο.



Με την νέα διαδικασία σύνδεσης η μονάδα D συνδέεται με την μονάδα B και η μονάδα C συνδέεται με την D αποκαθιστώντας πλήρως την διαδρομή δεδομένων προς την μονάδα AP.



7.4.Πιθανά προβλήματα

Σχεδιάζοντας το «πρωτόκολλο» στο χαρτί όλα πάνε «μια χαρά». Παρ' όλα αυτά κάποια «θέματα» προκύπτουν και τα οποία θα πρέπει να εξεταστούν. Πρώτα απ' όλα όμως θα πρέπει να γίνουν παρατηρήσεις και μετρήσεις αφού υλοποιηθεί ένα «πρότυπο» δίκτυο.

7.4.1. Bidirectonal Επικοινωνία.

Όπως έγινε φανερό από την διαδικασία της αυτο-διόρθωσης η έλλειψη του ACK δημιουργεί, στιγμιαία, πρόβλημα. Επιπλέον αυτών η ανάπτυξη ενός δικτύου με χιλιάδες μονάδες η αποθήκευση των απαιτούμενων διαδρομών (hops) σε κάθε μονάδα μπορεί να χρειαστεί αρκετή μνήμη.

7.4.2. Επανεκκίνηση Μονάδας

Εάν μία μονάδα (AP ή ED) επανεκκινήσει τότε όλες οι μονάδες από το σημείο αυτό και κάτω στην ουσία έχουν αποκοπεί από δίκτυο ενώ τα συνεχόμενα ED_BROADCAST πακέτα «κρύβουν» την απώλεια αυτή. Φυσικά μετά από κάποιο χρονικό διάστημα όλα θα έχουν αποκατασταθεί (μπορεί και όχι). Μόνο η φυσική εφαρμογή μπορεί να μας δείξει την λύση του πιθανού προβλήματος.

7.4.3. Το πρόβλημα της πολλαπλής σύνδεσης

Το πρόβλημα αυτό προκύπτει εάν η μονάδα AP η μια μονάδα ED βρεθεί στην κατάσταση να συνδέσει δύο ή περισσότερες μονάδες ταυτόχρονα. Φυσικά ο όρος που θέσαμε από την αρχή για τυχαίο χρόνο αναμονής πριν την προσπάθεια σύνδεσης μας καλύπτει αρκετά αλλά όπως είναι γνωστό γεννήτρια «απόλυτων» τυχαίων αριθμών «δεν υπάρχει» και το θέμα αυτό είναι πιθανό να προκύψει. Τότε οι διαδικασίες FIFO και τα timeout μπορούν να μας λύσουν το θέμα. Μια άλλη λύση είναι η μονάδα σύνδεσης να αποστείλει ένα ειδικό πακέτο σύνδεσης που θα περιλαμβάνει το ID της μονάδας που έχει επιλεγεί για σύνδεση και μετά να προχωρά σε αναμονή σύνδεσης. Και πάλι η φυσική εφαρμογή θα μπορέσει να μας δώσει την βέλτιστη λύση.

8. Συμπεράσματα

Οι ασύρματες επικοινωνίες από την στιγμή που ανακαλύφθηκαν και έπειτα αναπτύχθηκαν ιδιαίτερα πολύ λόγω των λύσεων που έδωσαν σε πάρα πολλά προβλήματα. Οι τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας είναι πολλά και κάθε πρωτόκολλο έχει τα δικά του θετικά και αρνητικά. Παρόλα αυτά κάθε πρωτόκολλο είναι σχεδιασμένο για την παροχή λύσης σε συγκεκριμένους τομείς.

Οι επικοινωνίες γρήγορα εξελίχθηκαν από την απλή κάλυψη της ανάγκης μεταφοράς πληροφορίας σε ένα απομακρυσμένο σημείο σε τρόπο ελέγχου απομακρυσμένων συσκευών. Αισθητήρες που μπορούσαν να λειτουργήσουν ασύρματα και να στέλνουν δεδομένα ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές. Εν συνεχεία συστήματα αυτομάτου ελέγχου τα οποία δεχόντουσαν πληροφορίες ασύρματα αναπτύχθηκαν και εν τέλει η διαχείριση ο προγραμματισμός και ο έλεγχος μικροελεγκτών με ασύρματο τρόπο ήταν εφικτή.

Η δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας και ελέγχου μικροελεγκτών έλυσε πολλά προβλήματα επικοινωνίας που παρουσιάζονταν με την χρήση καλωδίων όπως ο περιορισμός στην απόσταση επικοινωνίας. Οι εφαρμογές γίνανε όλο και περισσότερες και η ασύρματη επικοινωνία μπήκε σε τομείς όπως.

- Ιατρικές συσκευές και ασύρματη παρακολούθηση ασθενών
- Φορητές συσκευές (Tablet, e-books κ.τ.λ.) για την περιήγηση στο internet και την μεταφορά δεδομένων.
- Βιομηχανικοί και οικιακοί αυτοματισμοί για παρακολούθηση, έλεγχο και καταγραφή δεδομένων.
- Τελικά σημεία πωλήσεων. (POS)
- Τηλεδιασκέψεις.
- Ασφάλεια.
    - Logistics

- Δίκτυα αισθητήρων και ενεργά RFID
- Ανεπτυγμένα μετρητικά συστήματα
- Αυτοματισμοί εμπορικών κτιρίων

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Συνθήκες λειτουργίας CC2510Fx

Parameter	Min	Max	Unit	Condition
Operating ambient temperature, T_A	–40	85	°C	
Operating supply voltage (VDD)	2.0	3.6	V	All supply pins must have the same voltage

Συνθήκες λειτουργίας CC2511Fx

Parameter	Min	Max	Unit	Condition
Operating ambient temperature, T_A	0	85	°C	
Operating supply voltage (VDD)	3.0	3.6	V	All supply pins must have the same voltage

Γενικά Χαρακτηριστικά

T_A = 25°C, VDD = 3.0 V if nothing else stated

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Condition/Note
Radio part					
Frequency range	2400		2483.5	MHz	There will be spurious signals at n/2·crystal oscillator frequency (n is an integer number). RF frequencies at n/2·crystal oscillator frequency should therefore be avoided (e.g. 2405, 2418, 2431, 2444, 2457, 2470 and 2483 MHz when using a 26 MHz crystal).
Data rate	1.2 1.2 26		500 250 500	kBaud kBaud kBaud	2-FSK GFSK (Shaped) MSK (also known as differential offset QPSK) Optional Manchester encoding (the data rate in kbps will be half the baud rate)
Wake-Up Timing					
PM1 → Active Mode		4		µs	Digital regulator on. HS RCOSC and high speed crystal oscillator off. 32.768 kHz XOSC or low power RCOSC running. `SLEEP.OSC_PD=1` and `CLKCON.OSC=1`
PM2/3→ Active Mode		100		µs	Digital regulator off. HS RCOSC and high speed crystal oscillator off. 32.768 kHz XOSC or low power RCOSC running (PM2). No crystal oscillators or RC oscillators are running in PM3. `SLEEP.OSC_PD=1` and `CLKCON.OSC=1`

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

T_A = 25°C, VDD = 3.0 V if nothing else stated. All measurement results are obtained using the CC2510EM reference design ([1]).

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Condition
Active mode, full speed (high speed crystal oscillator)[1]. Low CPU activity.		4.8		mA	System clock running at 26 MHz.
		4.6		mA	System clock running at 24 MHz.
					Digital regulator on. High speed crystal oscillator and low power RCOSC running. No peripherals running. Low CPU activity: No flash access (i.e. only cache hit), no RAM access
Active mode, full speed (HS RCOSC)[1]. Low CPU activity.		2.5		mA	System clock running at 13 MHz. Digital regulator on. HS RCOSC and low power RCOSC running. No peripherals running. Low CPU activity: No flash access (i.e. only cache hit), no RAM access
Active mode with radio in RX					Digital regulator on. High speed crystal oscillator and low power RCOSC running. Radio in RX mode (sensitivity optimized MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=0)
		19.8		mA	2.4 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.
		20.6		mA	2.4 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 24 MHz.
		17.1		mA	2.4 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 203 kHz.
		19.8		mA	2.4 kBaud, input well above sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.
		21.5		mA	10 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.
		22.1		mA	10 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 24 MHz.
		18.8		mA	10 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 203 kHz.
		19.0		mA	10 kBaud, input well above sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.
		22.9		mA	250 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.
		22.7		mA	250 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 24 MHz.
		20.5		mA	250 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 1.625 MHz.
		19.6		mA	250 kBaud, input well above sensitivity limit, system clock running at 26 MHz. See Figure 2 for typical variation over operating conditions
		19.7		mA	500 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.
		20.8		mA	500 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 24 MHz.
		17.5		mA	500 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 3.25 MHz.
		16.7		mA	500 kBaud, input well above sensitivity limit
					Digital regulator on. High speed crystal oscillator and low power RCOSC running. Radio in RX mode (current optimized MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=1)
		17.4		mA	2.4 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.
		14.7		mA	2.4 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 203 kHz.
		17.4		mA	2.4 kBaud, input well above sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Condition
		19.4		mA	10 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.
		15.7		mA	10 kBaud, input at sensitivity limit, system clock running at 203 kHz.
		16.9		mA	10 kBaud, input well above sensitivity limit, system clock running at 26 MHz.
Active mode with radio in TX					System clock running at 26 MHz. Digital regulator on. High speed crystal oscillator and low power RCOSC running. Radio in TX mode
		26		mA	0 dBm output power (PA_TABLE0=0xFE). See Table 7 for typical variation over operating conditions
		18.5		mA	−6 dBm output power (PA_TABLE0=0x7F)
		15.5		mA	−12 dBm output power (PA_TABLE0=0x95)
		26		mA	System clock running at 24 MHz. Digital regulator on. High speed crystal oscillator and low power RCOSC running. Radio in TX mode "/0 dBm output power (PA_TABLE0=0xFE)
PM0		4.3		mA	Same as active mode, but the CPU is not running (see 12.1.2.2 for details). System clock running at 26 MHz
PM1		220		µA	Digital regulator on. HS RCOSC and high speed crystal oscillator off. 32.768 kHz XOSC or low power RCOSC running (see 12.1.2.3 for details)
PM2		0.5	1	µA	Digital regulator off. HS RCOSC and high speed crystal oscillator off. Low power RCOSC running (see 12.1.2.4 for details)
PM3		0.3	1	µA	Digital regulator off. No crystal oscillators or RC oscillators are running (see 12.1.2.5 for details)
Peripheral Current Consumption					Add to the figures above if the peripheral unit is activated
Timer 1		2.7		µA/MHz	When running
Timer 2		1.3		µA/MHz	When running
Timer 3		1.6		µA/MHz	When running
Timer 4		2		µA/MHz	When running
ADC		1.2		mA	During conversion

Δέκτης Ραδιοσημάτων

T_A = 25°C, VDD = 3.0 V if nothing else stated. All measurement results are obtained using the CC2510EM reference design ([1]).

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Condition/Note
Digital channel filter bandwidth	58		812	kHz	User programmable (see Section 13.6). The bandwidth limits are proportional to crystal frequency (given values assume a 26.0 MHz crystal).
2.4 kBaud data rate, sensitivity optimized, MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=0 (2-FSK, 1% packet error rate, 20 bytes packet length, 203 kHz digital channel filter bandwidth)					
Receiver sensitivity		−103		dBm	The RX current consumption can be reduced by approximately 2.4 mA by setting MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=1. The typical sensitivity is then −101 dBm. The sensitivity can be improved to typically −105 dBm with MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=0 by changing registers TEST2 and TEST1 (see Page 222). The temperature range is then from 0°C to 85°C.
Saturation		−10		dBm	
Adjacent channel rejection		23		dB	Desired channel 3 dB above the sensitivity limit. 250 kHz channel spacing
Alternate channel rejection		32		dB	Desired channel 3 dB above the sensitivity limit. 250 kHz channel spacing
					See Figure 55 for plot of selectivity versus frequency offset
Blocking ±10 MHz offset ±20 MHz offset ±50 MHz offset		 64 70 71		 dB dB dB	 Wanted signal 3 dB above sensitivity level. Compliant with ETSI EN 300 440 class 2 receiver requirements.
10 kBaud data rate, sensitivity optimized, MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=0 (2-FSK, 1% packet error rate, 20 bytes packet length, 232 kHz digital channel filter bandwidth)					
Receiver sensitivity		−98		dBm	The RX current consumption can be reduced by approximately 2.2 mA by setting MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=1. The typical sensitivity is then −97 dBm. The sensitivity can be improved to typically −100 dBm with MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=0 by changing registers TEST2 and TEST1 (see Page 222). The temperature range is then from 0°C to 85°C.
Saturation		−9		dBm	
Adjacent channel rejection		19		dB	Desired channel 3 dB above the sensitivity limit. 250 kHz channel spacing
Alternate channel rejection		25		dB	Desired channel 3 dB above the sensitivity limit. 250 kHz channel spacing
					See Figure 56 for plot of selectivity versus frequency offset
Blocking ±10 MHz offset ±20 MHz offset ±50 MHz offset		 59 65 66		 dB dB dB	 Wanted signal 3 dB above sensitivity level. Compliant with ETSI EN 300 440 class 2 receiver requirements.

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Condition/Note
250 kBaud data rate, sensitivity optimized, MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=0 (MSK, 1% packet error rate, 20 bytes packet length, 540 kHz digital channel filter bandwidth)					
Receiver sensitivity		−90		dBm	See Table 9 for typical variation over operating conditions
Saturation		−11		dBm	
Adjacent channel rejection		21		dB	Desired channel 3 dB above the sensitivity limit. 750 kHz channel spacing
Alternate channel rejection		30		dB	Desired channel 3 dB above the sensitivity limit. 750 kHz channel spacing
					See Figure 57 for plot of selectivity versus frequency offset
Blocking ±10 MHz offset ±20 MHz offset ±50 MHz offset		 46 53 55		 dB dB dB	 Wanted signal 3 dB above sensitivity level. Compliant with ETSI EN 300 440 class 2 receiver requirements.
500 kBaud data rate, sensitivity optimized, MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=0 (MDMCFG2.DEM_DCFILT_OFF=1 cannot be used for data rates >100 kBaud) (MSK, 1% packet error rate, 20 bytes packet length, 812 kHz digital channel filter bandwidth)					
Receiver sensitivity		−82		dBm	
Saturation		−15		dBm	
Adjacent channel rejection		12		dB	Desired channel 3 dB above the sensitivity limit. 1 MHz channel spacing
Alternate channel rejection		23		dB	Desired channel 3 dB above the sensitivity limit. 1 MHz channel spacing
					See Figure 59 for plot of selectivity versus frequency offset
General					
Spurious emissions 25 MHz - 1 GHz Above 1 GHz			 −57 −47	 dBm dBm	Conducted measurement in a 50 Ω single ended load. Complies with EN 300 328, EN 300 440 class 2, FCC CFR47, Part 15 and ARIB STD-T-66.

Πομπός ραδιοσημάτων

T_A = 25°C, VDD = 3.0 V if nothing else stated. All measurement results are obtained using the CC2510EM reference designs ([1]).

Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Condition/Note
Differential load impedance		80 + j74		Ω	Differential impedance as seen from the RF-port (RF_P and RF_N) towards the antenna. Follow the CC2510EM reference design [1] available from TI's website.
Output power, highest setting		1		dBm	Output power is programmable and is available across the entire frequency band. See Figure 3 typical variation over operating conditions (output power is 0 dBm) Delivered to a 50 Ω single-ended load via the CC2510EM reference design [1] RF matching network.
Output power, lowest setting		−30		dBm	Output power is programmable and is available across the entire frequency band Delivered to a 50 Ω single-ended load via the CC2510EM reference design [1] RF matching network.
Occupied bandwidth (99%)		−28 −27 −22 −21		dBc dBc dBc dBc	2.4 kBaud, 38.2 kHz deviation, 2-FSK, 250 kHz channel spacing 10 kBaud, 38.2 kHz deviation, 2-FSK, 250 kHz channel spacing 250 kBaud, MSK, 750 kHz channel spacing 500 kBaud, MSK, 1 MHz channel spacing
Spurious emissions 25 MHz - 1 GHz 47 - 74, 87.5 - 118, 174 - 230, and 470 - 862 MHz 1800 - 1900 MHz At 2·RF and 3·RF Otherwise above 1 GHz			 −36 −54 −47 −41 −30	 dBm dBm dBm dBm dBm	0 dBm output power. Restricted band in Europe Restricted bands in USA

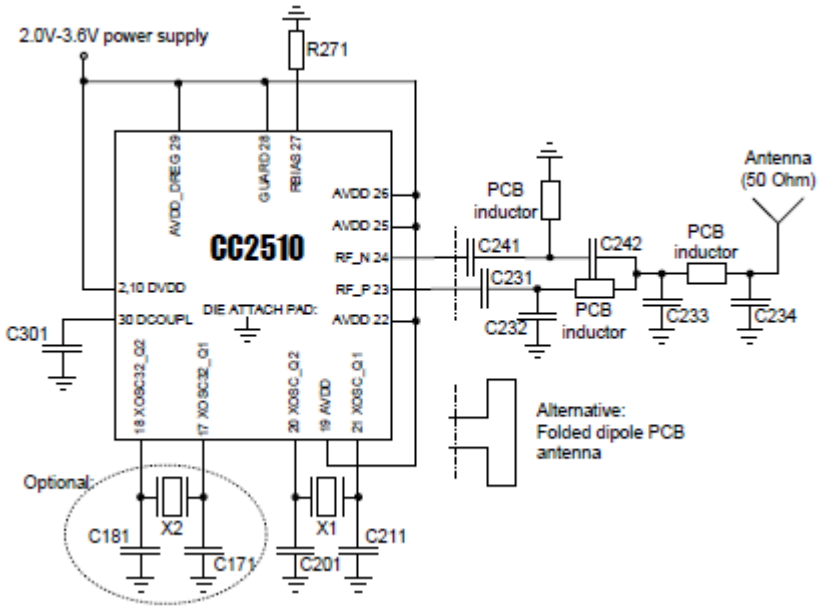
Χαρακτηριστικά Συνθέτη Συχνοτήτων

T_A = 25°C, VDD = 3.0 V if nothing else stated. All measurement results are obtained using the CC2510EM reference designs ([1]).

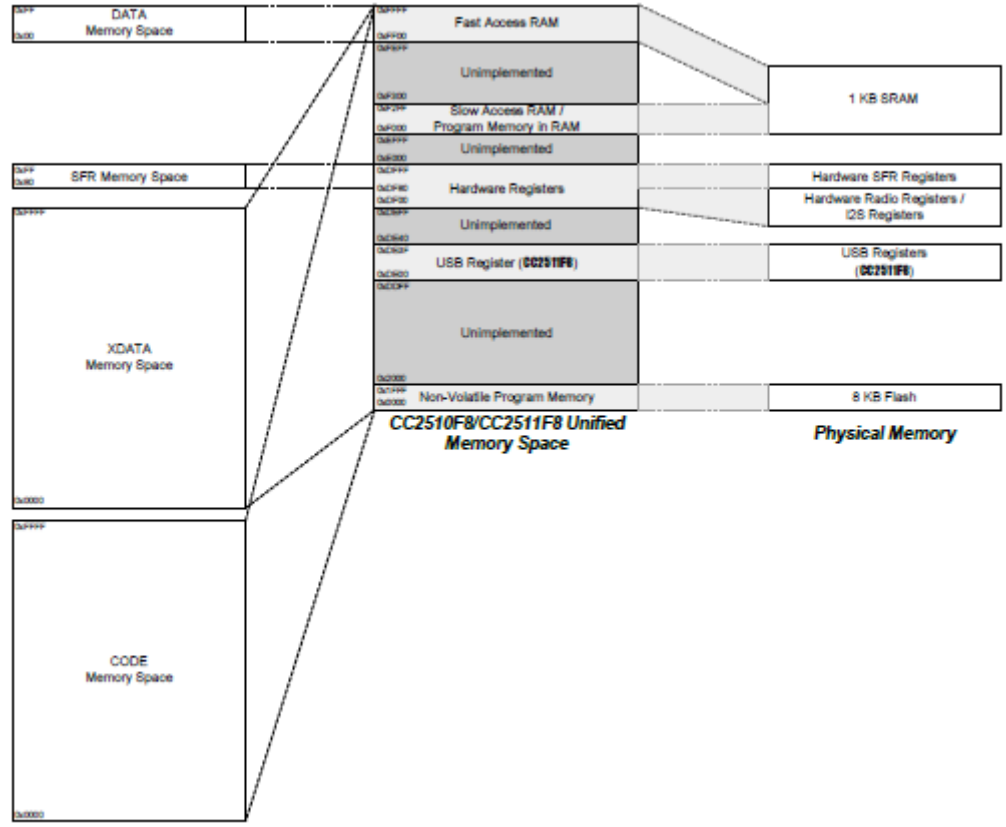
Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Condition/Note
Programmed frequency resolution[3]	366 366	397 366	412 366	Hz	CC2510Fx CC2511Fx Frequency resolution = f_{XOSC} / 2^{16}
Synthesizer frequency tolerance		±40		ppm	Given by crystal used. Required accuracy (including temperature and aging) depends on frequency band and channel bandwidth / spacing.
RF carrier phase noise		−77		dBc/Hz	@ 50 kHz offset from carrier
RF carrier phase noise		−77		dBc/Hz	@ 100 kHz offset from carrier
RF carrier phase noise		−78		dBc/Hz	@ 200 kHz offset from carrier
RF carrier phase noise		−88		dBc/Hz	@ 500 kHz offset from carrier
RF carrier phase noise		−98		dBc/Hz	@ 1 MHz offset from carrier
RF carrier phase noise		−107		dBc/Hz	@ 2 MHz offset from carrier
RF carrier phase noise		−116		dBc/Hz	@ 5 MHz offset from carrier
RF carrier phase noise		−25		dBc/Hz	@ 10 MHz offset from carrier

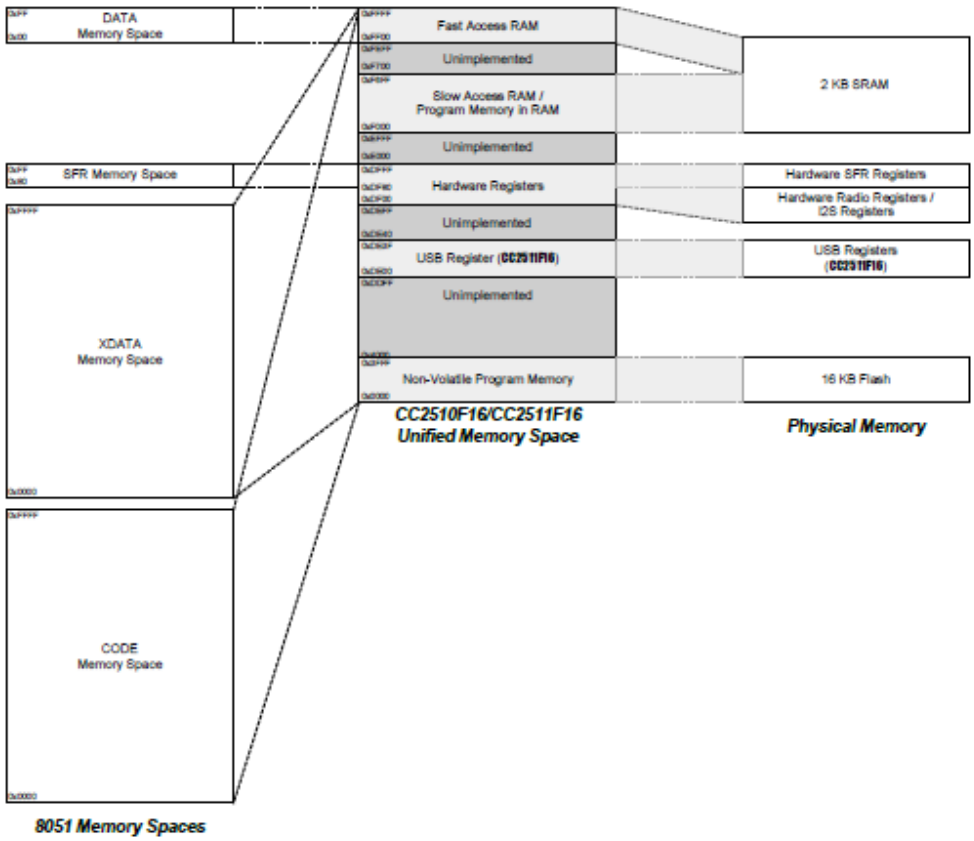
Parameter	Min	Typ	Max	Unit	Condition/Note
PLL turn-on / hop time[4]	72.4 81.4	75.2 81.4	81.4 81.4	µs	***CC2510Fx*** ***CC2511Fx*** Time from leaving the IDLE state until arriving in the RX, FSTXON, or TX state, when not performing calibration. Crystal oscillator running.
RX to TX switch[4]	29.0 32.6	30.1 32.6	32.6 32.6	µs	***CC2510Fx*** ***CC2511Fx*** Settling time for the 1-IF frequency step from RX to TX
TX to RX switch[4]	30.0 33.6	31.1 33.6	33.6 33.6	µs	***CC2510Fx*** ***CC2511Fx*** Settling time for the 1-IF frequency step from TX to RX
PLL calibration time[4]	707 796	735 796	796 796	µs	***CC2510Fx*** ***CC2511Fx*** Calibration can be initiated manually or automatically before entering or after leaving RX/TX. *Note: This is the PLL calibration time given that* `TEST0=0x0B` *and* `FSCAL3.CHP_CURR_CAL_EN=10` *(max calibration time). Please see DN110 [11] for more details*

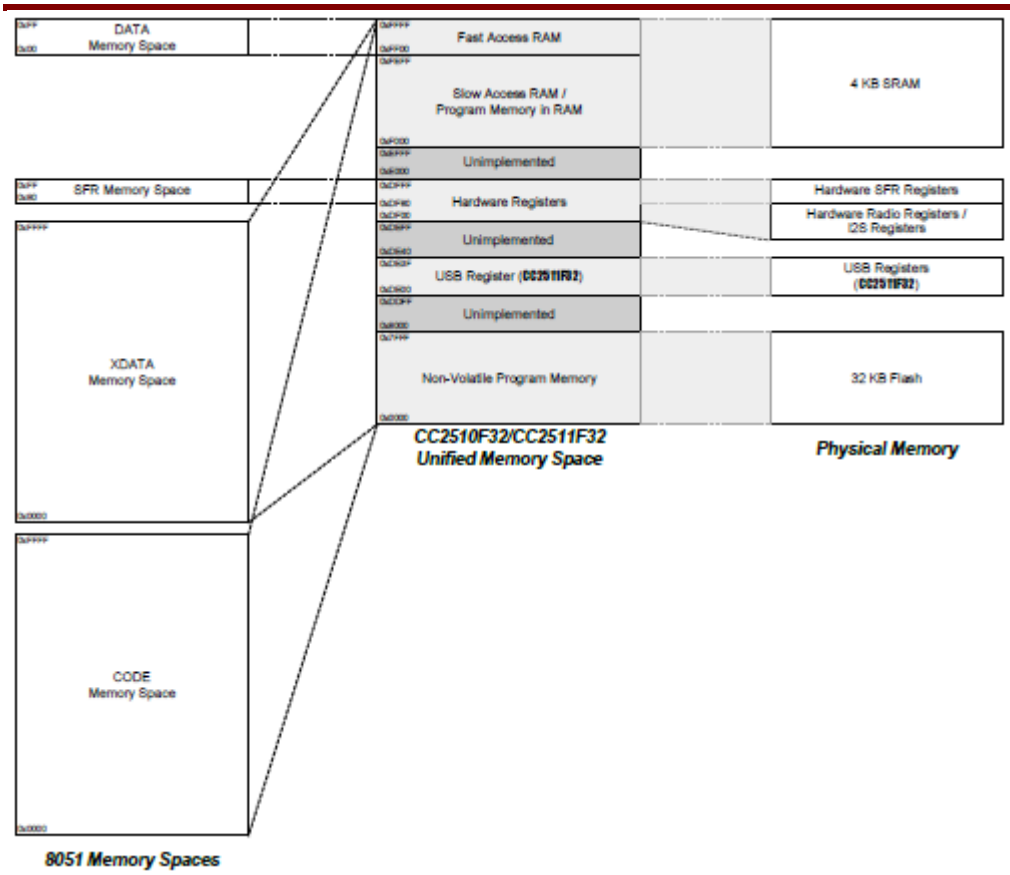
Ενδεικτικό κύκλωμα εφαρμογής για τον CC2510FX



Χαρτογράφηση της μνήμης


DATA Memory Space
SFR Memory Space
XDATA Memory Space
CODE Memory Space
Fast Access RAM
Unimplemented
Slow Access RAM / Program Memory in RAM
Unimplemented
Hardware Registers
Unimplemented
USB Register (CC2511F8)
Unimplemented
Non-Volatile Program Memory
1 KB SRAM
Hardware SFR Registers
Hardware Radio Registers / I2S Registers
USB Registers (CC2511F8)
8 KB Flash
CC2510F8/CC2511F8 Unified Memory Space
Physical Memory
8051 Memory Spaces


DATA Memory Space
SFR Memory Space
XDATA Memory Space
CODE Memory Space
Fast Access RAM
Unimplemented
Slow Access RAM / Program Memory in RAM
Unimplemented
Hardware Registers
Unimplemented
USB Register (CC2511F16)
Unimplemented
Non-Volatile Program Memory
2 KB SRAM
Hardware SFR Registers
Hardware Radio Registers / I2S Registers
USB Registers (CC2511F16)
16 KB Flash
CC2510F16/CC2511F16 Unified Memory Space
Physical Memory
8051 Memory Spaces


DATA
Memory Space
SFR Memory Space
XDATA
Memory Space
CODE
Memory Space
8051 Memory Spaces
Fast Access RAM
Slow Access RAM /
Program Memory in RAM
Unimplemented
Hardware Registers
Unimplemented
USB Register (CC2511F32)
Unimplemented
Non-Volatile Program Memory
CC2510F32/CC2511F32
Unified Memory Space
4 KB SRAM
Hardware SFR Registers
Hardware Radio Registers /
I2S Registers
USB Registers
(CC2511F32)
32 KB Flash
Physical Memory

Καταχωρητές

Register Name	SFR Address	Module	Description	Retention[6]
ADCCON1	0xB4	ADC	ADC Control 1	Y
ADCCON2	0xB5	ADC	ADC Control 2	Y
ADCCON3	0xB6	ADC	ADC Control 3	Y
ADCL	0xBA	ADC	ADC Data Low	Y
ADCH	0xBB	ADC	ADC Data High	Y
RNDL	0xBC	ADC	Random Number Generator Data Low	Y
RNDH	0xBD	ADC	Random Number Generator Data High	Y
ENCDI	0xB1	AES	Encryption/Decryption Input Data	N
ENCDO	0xB2	AES	Encryption/Decryption Output Data	N
ENCCS	0xB3	AES	Encryption/Decryption Control and Status	N
DMAIRQ	0xD1	DMA	DMA Interrupt Flag	Y
DMA1CFGL	0xD2	DMA	DMA Channel 1 - 4 Configuration Address Low	Y
DMA1CFGH	0xD3	DMA	DMA Channel 1 - 4 Configuration Address High	Y
DMA0CFGL	0xD4	DMA	DMA Channel 0 Configuration Address Low	Y
DMA0CFGH	0xD5	DMA	DMA Channel 0 Configuration Address High	Y
DMAARM	0xD6	DMA	DMA Channel Arm	Y
DMAREQ	0xD7	DMA	DMA Channel Start Request and Status	Y
FWT	0xAB	FLASH	Flash Write Timing	Y
FADDRL	0xAC	FLASH	Flash Address Low	Y
FADDRH	0xAD	FLASH	Flash Address High	Y
FCTL	0xAE	FLASH	Flash Control	[7:1]Y, [1:0]N
FWDATA	0xAF	FLASH	Flash Write Data	Y
P0IFG	0x89	IOC	Port 0 Interrupt Status Flag	Y
P1IFG	0x8A	IOC	Port 1 Interrupt Status Flag	Y
P2IFG	0x8B	IOC	Port 2 Interrupt Status Flag	Y
PICTL	0x8C	IOC	Port Pins Interrupt Mask and Edge	Y
P1IEN	0x8D	IOC	Port 1 Interrupt Mask	Y
P0INP	0x8F	IOC	Port 0 Input Mode	Y
PERCFG	0xF1	IOC	Peripheral I/O Control	Y
ADCCFG	0xF2	IOC	ADC Input Configuration	Y
P0SEL	0xF3	IOC	Port 0 Function Select	Y
P1SEL	0xF4	IOC	Port 1 Function Select	Y
P2SEL	0xF5	IOC	Port 2 Function Select	Y
P1INP	0xF6	IOC	Port 1 Input Mode	Y
P2INP	0xF7	IOC	Port 2 Input Mode	Y
P0DIR	0xFD	IOC	Port 0 Direction	Y
P1DIR	0xFE	IOC	Port 1 Direction	Y
P2DIR	0xFF	IOC	Port 2 Direction	Y
MEMCTR	0xC7	MEMORY	Memory System Control	Y
SLEEP	0xBE	PMC	Sleep Mode Control	[6:2]Y, [7,1:0]N

Register Name	SFR Address	Module	Description	Retention[6]
CLKCON	0xC6	PMC	Clock Control	Y
RFIM	0x91	RF	RF Interrupt Mask	Y
RFD	0xD9	RF	RF Data	N
RFIF	0xE9	RF	RF Interrupt flags	Y
RFST	0xE1	RF	RF Strobe Commands	NA
WORIRQ	0xA1	Sleep Timer	Sleep Timer Interrupts	Y
WORCTRL	0xA2	Sleep Timer	Sleep Timer Control	Y
WOREVT0	0xA3	Sleep Timer	Sleep Timer Event 0 Timeout Low Byte	Y
WOREVT1	0xA5	Sleep Timer	Sleep Timer Event 0 Timeout High Byte	Y
WORTIME0	0xA4	Sleep Timer	Sleep Timer Low Byte	Y
WORTIME1	0xA6	Sleep Timer	Sleep Timer High Byte	Y
T1CC0L	0xDA	Timer1	Timer 1 Channel 0 Capture/Compare Value Low	Y
T1CC0H	0xDB	Timer1	Timer 1 Channel 0 Capture/Compare Value High	Y
T1CC1L	0xDC	Timer1	Timer 1 Channel 1 Capture/Compare Value Low	Y
T1CC1H	0xDD	Timer1	Timer 1 Channel 1 Capture/Compare Value High	Y
T1CC2L	0xDE	Timer1	Timer 1 Channel 2 Capture/Compare Value Low	Y
T1CC2H	0xDF	Timer1	Timer 1 Channel 2 Capture/Compare Value High	Y
T1CNTL	0xE2	Timer1	Timer 1 Counter Low	Y
T1CNTH	0xE3	Timer1	Timer 1 Counter High	Y
T1CTL	0xE4	Timer1	Timer 1 Control and Status	Y
T1CCTL0	0xE5	Timer1	Timer 1 Channel 0 Capture/Compare Control	Y
T1CCTL1	0xE6	Timer1	Timer 1 Channel 1 Capture/Compare Control	Y
T1CCTL2	0xE7	Timer1	Timer 1 Channel 2 Capture/Compare Control	Y
T2CT	0x9C	Timer2	Timer 2 Timer Count	N
T2PR	0x9D	Timer2	Timer 2 Prescaler	N
T2CTL	0x9E	Timer2	Timer 2 Control	N
T3CNT	0xCA	Timer3	Timer 3 Counter	Y
T3CTL	0xCB	Timer3	Timer 3 Control	Y,[2]N
T3CCTL0	0xCC	Timer3	Timer 3 Channel 0 Capture/Compare Control	Y
T3CC0	0xCD	Timer3	Timer 3 Channel 0 Capture/Compare Value	Y
T3CCTL1	0xCE	Timer3	Timer 3 Channel 1 Capture/Compare Control	Y
T3CC1	0xCF	Timer3	Timer 3 Channel 1 Capture/Compare Value	Y
T4CNT	0xEA	Timer4	Timer 4 Counter	Y
T4CTL	0xEB	Timer4	Timer 4 Control	Y,[2]N
T4CCTL0	0xEC	Timer4	Timer 4 Channel 0 Capture/Compare Control	Y
T4CC0	0xED	Timer4	Timer 4 Channel 0 Capture/Compare Value	Y
T4CCTL1	0xEE	Timer4	Timer 4 Channel 1 Capture/Compare Control	Y
T4CC1	0xEF	Timer4	Timer 4 Channel 1 Capture/Compare Value	Y
TIMIF	0xD8	TMINT	Timers 1/3/4 Joint Interrupt Mask/Flags	Y
U0CSR	0x86	USART0	USART 0 Control and Status	Y
U0DBUF	0xC1	USART0	USART 0 Receive/Transmit Data Buffer	Y
U0BAUD	0xC2	USART0	USART 0 Baud Rate Control	Y
U0UCR	0xC4	USART0	USART 0 UART Control	Y,[7]N

Register Name	SFR Address	Module	Description	Retention[6]
U0GCR	0xC5	USART0	USART 0 Generic Control	Y
U1CSR	0xF8	USART1	USART 1 Control and Status	Y
U1DBUF	0xF9	USART1	USART 1 Receive/Transmit Data Buffer	Y
U1BAUD	0xFA	USART1	USART 1 Baud Rate Control	Y
U1UCR	0xFB	USART1	USART 1 UART Control	Y,[7]N
U1GCR	0xFC	USART1	USART 1 Generic Control	Y
ENDIAN	0x95	MEMORY	USB Endianess Control (*CC2511F*)	Y
WDCTL	0xC9	WDT	Watchdog Timer Control	Y

10. Βιβλιογραφία

Texas Instruments. (n.d.). *CC1110DKCC2510DK Development Kit User Manual*.

Texas Instruments. (n.d.). *C2510-CC2511DK Quick Start*.

Texas Instruments. (n.d.). *CC2511DK Datasheet*.

Texas Instruments. (n.d.). *CC2510Fx/CC2511Fx Datasheet*.

Texas Instruments. (n.d.). *SimpliciTI API*.

Texas Instruments. (n.d.). *SimpliciTI Developers Notes*.