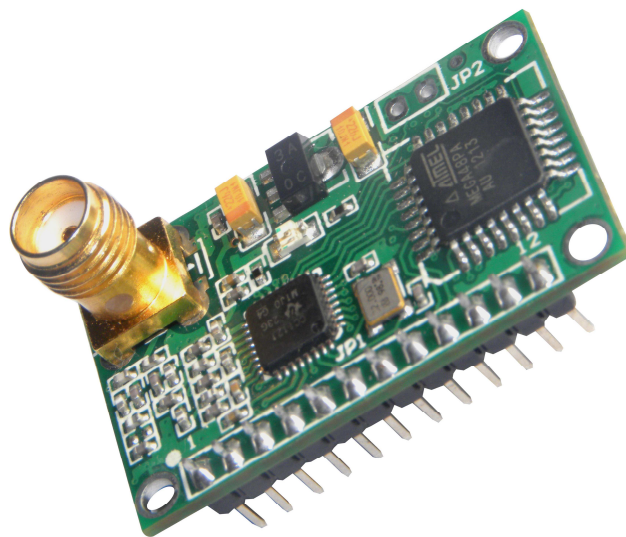




Τεχνολογικό
Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Κρήτης
Παράρτημα Χανίων
Τμήμα Ηλεκτρονικής

Ασύρματα πρωτόκολλα χαμηλής ισχύος



Πτυχιακή Εργασία

Τζεμανάκης Ευτύχιος

*Επιβλέπων: Ρηγάκης Ηρακλής
Εργαστηριακός συνεργάτης*

Χανιά 2014

Περίληψη

Στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας γίνεται μια μελέτη για τα RF modules χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος. Στο 1^ο κεφάλαιο αναλύεται η θεωρία που υπάρχει πίσω από αυτά, όπως πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας κ.α.. Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση για τα RF modules που υπάρχουν στην αγορά από διάφορες εταιρίες και τα χαρακτηριστικά τους ώστε ο σχεδιαστής να έχει μία γενική – πρώτη εικόνα της αγοράς, τι υπάρχει σ’ αυτήν και σε ποιες εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιήσει το εκάστοτε προϊόν.

Λέξεις κλειδιά: Ασύρματη επικοινωνία, RF modules, ZigBee, πρωτόκολλα επικοινωνίας, IEEE 802.15.4

Resume

This thesis is a study on low cost and low power RF modules. On first chapter is described the theory of the RF modules such as communication protocols etc. On second chapter are described the RF modules from many manufactures that there are in the market and their characteristics, so the developer has an opportunity to study on the modules and to pick the module that suits at his system needs.

Keywords: Wireless communication, RF modules, Communication protocols, ZigBee, IEEE 802.15.4

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχε κατά την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Επίσης τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ρηγάκη Ηρακλή αλλά και τους καθηγητές του τμήματος ηλεκτρονικής για τις γνώσεις που μας προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μας.

Χανιά, Οκτώβριος 2014

Τζεμανάκης Ευτύχιος

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1: Τι είναι τα RF modules	7
1.1 Εισαγωγή στα RF modules	8
1.2 Τα πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας αναλυτικά	11
1.2.1 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας IEEE 802.15.4	11
1.2.2 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee	15
Κεφάλαιο 2: Τα RF modules που υπάρχουν στην αγορά και τα χαρακτηριστικά τους	22
2.1 XBee Multipoint RF Modules Product Family (Digi)	23
2.1.1 XBee 802.15.4 (Series 1)	25
2.1.2 XBee 802.15.4 (Series 2)	26
2.1.3 XBee – PRO XSC	28
2.1.4 XBee – PRO ZB (Programmable)	30
2.1.4.1 XBee – PRO ZB (embedded surface mount RF)	30
2.2 XDM2510H (RFM)	35
2.3 Προϊόντα της εταιρίας Panasonic	42
2.3.1 PAN4555 (Panasonic)	42
2.3.2 PAN4561 (Panasonic)	46
2.4 Προϊόντα της εταιρίας Texas Instruments	51
2.4.1 CC2520	51
2.4.2 CC2530/31/33	53
2.5 Προϊόντα της εταιρίας Analog	56
2.5.1 ADF7241	56
2.5.2 ADF7242	57
Κεφάλαιο 3: Συμπεράσματα	60
3.1 Συμπεράσματα για τα RF modules	61
Παράρτημα	62
Βιβλιογραφία	64

Εισαγωγή

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει δώσει την δυνατότητα για ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση συσκευών. Μια δυνατότητα που πια έχει γίνει ανάγκη για την ευκολία της καθημερινότητας των χρηστών και της εγκατάστασης συστημάτων. Για αυτούς τους λόγους όταν σχεδιάζεται ένα ηλεκτρονικό σύστημα από έναν ηλεκτρονικό μηχανικό για να κάνει κάποια εργασία είτε απλή είτε πολύπλοκη πολλές φορές συμπεριλαμβάνεται στη σχεδίαση και κάποιο κομμάτι ασύρματης επικοινωνίας.

Για να σχεδιαστεί όμως και να υλοποιηθεί σαν ηλεκτρονικό σύστημα το κομμάτι της ασύρματης επικοινωνίας δεν είναι εύκολο. Χρειάζεται μεγάλη εξειδίκευση και εμπειρία από κάποιον για να υλοποιήσει το κομμάτι αυτό. Επίσης υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να κάνουν την σχεδίαση – υλοποίηση του κομματιού αυτού ακόμα και από έμπειρο σχεδιαστή μη αποδοτική και να μην επιφέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Άλλο ένα πρόβλημα είναι ότι σε ορισμένες εφαρμογές το τηλεπικοινωνιακό κομμάτι των ηλεκτρονικών συστημάτων επιβάλλεται να είναι διαπιστευμένο από τους ανάλογους φορείς.

Στα προβλήματα αυτά έρχονται να δώσουν λύσεις αρκετές εταιρίες ανάπτυξης ηλεκτρονικών συστημάτων. Οι εταιρίες αυτές παράγουν έτοιμες τηλεπικοινωνιακές μονάδες (modules), τις οποίες οι σχεδιαστές συστημάτων μπορούν να τις προσαρτήσουν πολύ εύκολα στα συστήματά τους και να αποφύγουν έτσι όλα τα προβλήματα που θα είχαν σε περίπτωση που σχεδίαζαν και υλοποιούσαν εξ' αρχής μια τέτοια μονάδα.

Στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας γίνεται μια ανάλυση για τα RF modules τόσο για την θεωρία τους όσο και για το τι υπάρχει στην αγορά διαθέσιμο για να χρησιμοποιηθεί από έναν σχεδιαστή.

Κεφάλαιο

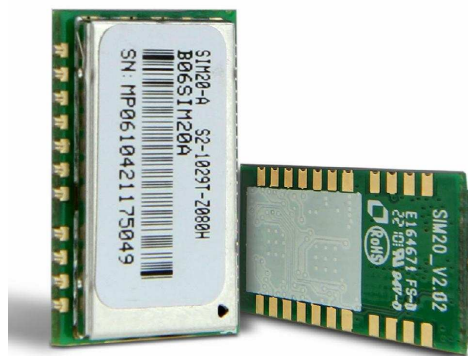
1

Τι είναι τα RF modules

1.1 Εισαγωγή στα RF modules

Ένα RF module (radio frequency module, μονάδα ραδιοσυχνοτήτων) είναι μια μικρή ηλεκτρονική μονάδα που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία δυο ηλεκτρονικών συσκευών μέσω ραδιοσυχνοτήτων. Εκτός από τις ραδιοσυχνότητες υπάρχει και ο τρόπος επικοινωνίας μέσω οπτικών σημάτων αλλά στη περίπτωση αυτή χρειάζεται να υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ των δυο συσκευών και γι' αυτό τον λόγο είναι περισσότερο διαδεδομένη η επικοινωνία μέσω ραδιοσημάτων.

Τα RF modules χρησιμοποιούνται ευρέως στις ηλεκτρονικές συσκευές επειδή παρέχουν ευκολίες κατά την σχεδίαση, στο κομμάτι της επικοινωνίας.



Εικόνα 1: Μια σύνηθες μορφή ενός RF module

Το να σχεδιαστεί ένα σύστημα επικοινωνίας (module) είναι κάτι που δεν είναι εύκολο, απαιτεί πολύ προσοχή ώστε να λειτουργεί σε συγκεκριμένες συχνότητες, να μην επηρεάζεται και να μην επηρεάζει άλλα συστήματα και να είναι πιστοποιημένο από τους αρμόδιους φορείς επικοινωνιών. Όλα αυτά κάνουν την σχεδίαση του τμήματος επικοινωνίας της ηλεκτρονικής συσκευής δύσκολη, χρονοβόρα και με αρκετό κόστος, οπότε σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να επιλέγει μια έτοιμη λύση από κάποιο RF module που υπάρχει ήδη στην αγορά και σε πολύ χαμηλή τιμή.

Ηλεκτρονικές συσκευές όπου χρησιμοποιούν τέτοιες μονάδες επικοινωνίας είναι πάρα πολλές, κάποιες από αυτές είναι: ασύρματος έλεγχος για γκαραζόπορτες, ασύρματα συστήματα ασφαλείας, ασύρματος έλεγχος διαφόρων συσκευών –

μηχανών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, δίκτυα αισθητήρων, αυτοματισμοί σπιτιών.

Στα RF modules υπάρχουν τα εξής είδη, οι πομποί (transmitter modules), οι δέκτες (receiver modules) και οι πομποδέκτες (transceiver modules), επίσης υπάρχουν και τα ολοκληρωμένα modules (system on a chip modules). Οι πομποί δέχονται τα δεδομένα εσωτερικά από τον μικροελεγκτή της συσκευής (η μονάδα που είναι υπεύθυνη για την όλη λειτουργία της συσκευής) και αφού τα διαμορφώσουν τα εκπέμπουν στην κατάλληλη συχνότητα. Οι δέκτες δέχονται τα δεδομένα, τα αποδιαμορφώνουν και τα στέλνουν εσωτερικά στον μικροελεγκτή της συσκευής. Οι πομποδέκτες έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν αλλά και να λαμβάνουν διαμορφωμένα σήματα – δεδομένα. Τέλος, τα ολοκληρωμένα modules έχουν την δυνατότητα, λόγω του ενσωματωμένου μικροελεγκτή που διαθέτουν και των ειδικών λειτουργιών που μπορεί να εκτελεί αυτός, να κάνουν και διαχείριση των δεδομένων σύμφωνα με κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνίας, έτσι ώστε ο κεντρικός μικροελεγκτής του συστήματος να μην επιβαρύνεται και με αυτή την εργασία.

Οι πιο διαδεδομένες συχνότητες λειτουργίας των RF modules είναι 433.92 MHz, 315 MHz, 868 MHz, 915 MHz και 2400 MHz. Οι συχνότητες αυτές ανήκουν στην ζώνη industrial, scientific and medical radio bands (ISM), η οποία είναι μια ζώνη συχνοτήτων ελεύθερη για επικοινωνίες όπου δεν χρειάζεται ειδική άδεια από τον αρμόδιο φορέα.

Τα RF modules συνήθως επικοινωνούν με κάποιο μικροελεγκτή ή μικροεπεξεργαστή που υπάρχει στη συσκευή. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούν για να επικοινωνήσουν με τον μικροελεγκτή – μικροεπεξεργαστή είναι αυτό της σειριακής επικοινωνίας (UART), της επικοινωνίας για X-Bee modules, της επικοινωνίας serial peripheral interface (SPI) και της universal serial bus (USB) επικοινωνίας. Τέλος υπάρχει περίπτωση το RF module να έχει το δικό του πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται για την ασύρματη επικοινωνία των RF modules μεταξύ τους, είναι το Zigbee, το Bluetooth low energy, το Wi-Fi και το IEEE 802.15.4.

Η απόδοση ενός RF module εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες. Κάποιοι από αυτούς έχουν να κάνουν με την ισχύ εκπομπής σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας και τις ενδεχόμενες παρεμβολές σε άλλα συστήματα που μπορεί να προκύψουν, όταν πρόκειται για πομπό. Όταν πρόκειται για δέκτη, αυξάνοντας την

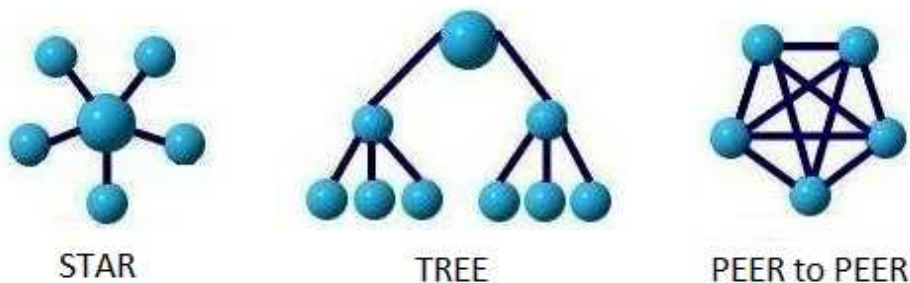
ευαισθησία του μπορεί να υπάρξει καλύτερη επικοινωνία αλλά μπορεί να προκύψουν παρεμβολές από άλλες συσκευές. Για να περιοριστούν αυτοί οι παράγοντες που δημιουργούν προβλήματα στην επικοινωνία, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές όπως είναι σύμφωνες κεραιές σε πομπό και δέκτη. Λόγω αυτών των παραγόντων, συνήθως στη πράξη, η απόδοση ενός RF module θα είναι πάντα χαμηλότερη σε σχέση με την εργοστασιακά αναφερόμενη.

Η σύνδεση ενός RF module με την κεντρική πλακέτα της συσκευής μπορεί να γίνει είτε με τεχνολογία ακροδεκτών (through hole) είτε με τεχνολογία επιφανειακής στήριξης (surface mount). Η τεχνολογία ακροδεκτών δίνει την δυνατότητα εύκολης σύνδεσης και αποσύνδεσης του RF module από την κεντρική πλακέτα αλλά συνήθως αυτά τα modules είναι μεγαλύτερα σε μέγεθος σε σχέση με τα modules επιφανειακής στήριξης, πράγμα το οποίο κάποιες φορές είναι μειονέκτημα καθώς απαιτείται η συσκευή να έχει το ελάχιστο δυνατό μέγεθος.

1.2 Τα πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας αναλυτικά

1.2.1 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας IEEE 802.15.4

Η ZigBee Alliance είναι μια ομοσπονδία εταιριών που εργάζονται μαζί για να αναπτύξουν πρότυπα (και προϊόντα) για αξιόπιστη, χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος ασύρματη δικτύωση. Η τεχνολογία ZigBee πιθανόν θα εμπεριέχεται σε ένα μεγάλο εύρος από προϊόντα και εφαρμογές σε καταναλωτικές, εμπορικές και βιομηχανικές αγορές παγκοσμίως. Το ZigBee χτίζεται πάνω στο πρότυπο IEEE 802.15.4 που καθορίζει το φυσικό και το MAC επίπεδο, επίπεδο υπεύθυνο για την παροχή διευθύνσεων και καναλιών επικοινωνίας, προσωπικών δικτύων, χαμηλού κόστους και χαμηλού ρυθμού μετάδοσης. Το ZigBee καθορίζει τις προδιαγραφές του επιπέδου δικτύου για τοπολογίες δικτύου αστέρα, δέντρου και σημείου προς σημείο (peer – to – peer - τοπολογία κατά την οποία όλοι οι κόμβοι του δικτύου έχουν ίσα δικαιώματα) και παρέχει ένα πλαίσιο για προγραμματισμό εφαρμογών στο επίπεδο εφαρμογών.



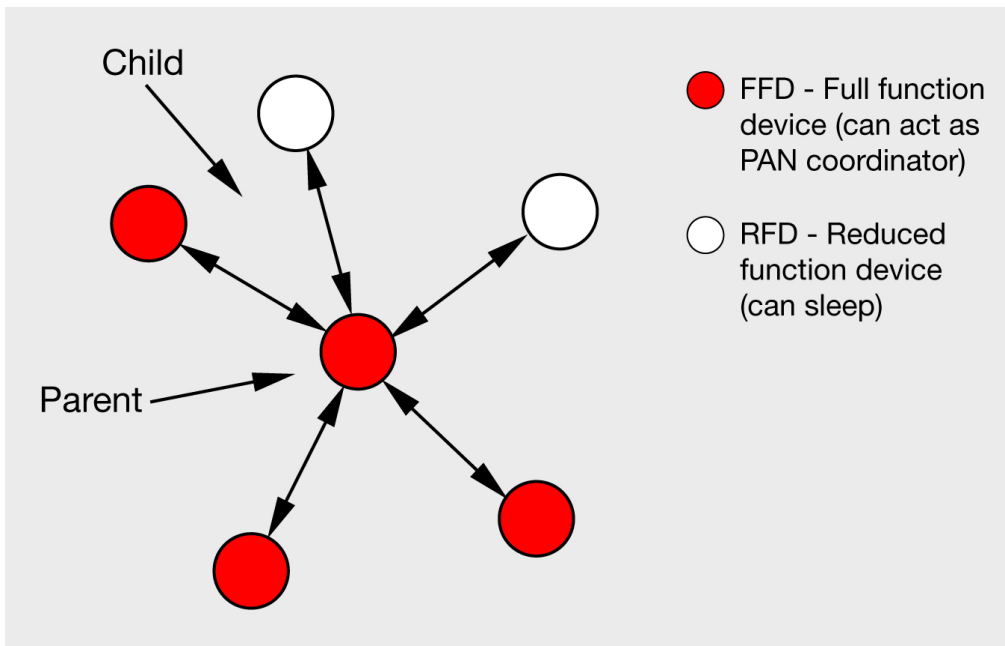
Εικόνα 2: Τοπολογίες δικτύων

Το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 καθορίζει τα χαρακτηριστικά του φυσικού και του MAC επιπέδου για Χαμηλού Ρυθμού Ασύρματα Προσωπικά Δίκτυα (LR-WPAN). Τα πλεονεκτήματα ενός LR-WPAN είναι ευκολία στην εγκατάσταση, αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, μικρής εμβέλειας λειτουργία, εξαιρετικά χαμηλό κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας, ενώ παράλληλα διατηρεί μία απλή και ευέλικτη στοίβα πρωτοκόλλων. Η έμφαση δίνεται στην χαμηλή κόστους επικοινωνία

μεταξύ κοντινών συσκευών με καμία ή ελάχιστη σχετική υποδομή, σκοπεύοντας στην εκμετάλλευση της χαμηλής κατανάλωσης ακόμη περισσότερο.

Το φυσικό επίπεδο παρέχει την υπηρεσία μετάδοσης δεδομένων όπως επίσης και τη διεπαφή για την διαχείριση του επιπέδου αυτού, η οποία παρέχει πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες διαχείρισης του και διατηρεί μία βάση δεδομένων με πληροφορίες που σχετίζονται με δίκτυα προσωπικής περιοχής. Υποστηρίζει τρεις μπάντες συχνοτήτων: μία μπάντα στα 2450 MHz (με 16 κανάλια), μία μπάντα στα 915 MHz (με 10 κανάλια) και μία μπάντα στα 868 MHz (1 κανάλι), με όλα να χρησιμοποιούν τον τρόπο εισαγωγής, Απευθείας Ακολουθίας Διασποράς Φάσματος (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS). Η μπάντα των 2450 MHz χρησιμοποιεί Offset Quadrature Phase Shift Keying (O-QPSK) για κωδικοποίηση ενώ οι 868 - 915 MHz μπάντες βασίζονται σε Binary Phase Shift Keying (BPSK). Εκτός από την λειτουργία εκπομπής ή μη εκπομπής, το φυσικό επίπεδο υποστηρίζει λειτουργίες για επιλογή καναλιών, εκτίμηση της ποιότητας της σύνδεσης, ανίχνευση μετρήσεων ενέργειας και εκτίμηση καθαρού καναλιού.

Το MAC επίπεδο ενεργοποιεί την μετάδοση των πλαισίων MAC μέσω της χρήσης ενός φυσικού καναλιού. Εκτός από την υπηρεσία δεδομένων, παρέχει μία διασύνδεση χειρισμού και το ίδιο το επίπεδο χειρίζεται την πρόσβαση στο φυσικό κανάλι. Επίσης, διαθέτει έλεγχο πλαισίων, εγγυάται φορτοθυρίδες και χειρίζεται συσχετίσεις κόμβων. Καθορίζει δύο τύπους από κόμβους: Συσκευές Μειωμένης Λειτουργίας (Reduced Function Devices – RFDs) και Συσκευές Πλήρους Λειτουργίας (Full Function Devices – FFDs). Οι FFD είναι εξοπλισμένες με ένα πλήρες σετ από λειτουργίες επιπέδου MAC, το οποίο τους δίνει την δυνατότητα να ενεργούν σαν συντονιστές δικτύου ή σαν τελικές συσκευές δικτύου. Όταν λειτουργούν σαν συντονιστές δικτύου, οι FFD στέλνουν φάρους – σήματα (beacons) που παρέχουν συγχρονισμό και υπηρεσίες επικοινωνίας και συνδέσμου των δικτύων. Οι RFD μπορούν να λειτουργούν μόνο σαν τερματικές συσκευές και είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες - ενεργοποιητές όπως μεταδότες, διακόπτες φωτός, λάμπες κτλ. Μπορούν να αλληλεπιδρούν μόνο με μία μοναδική FFD.



Εικόνα 3: Διασύνδεση συσκευών FFD και RFD

Δύο κύριοι τύποι από τοπολογίες δικτύου μπορούν να υλοποιηθούν στο IEEE 802.15.4, η τοπολογία αστέρα και η τοπολογία peer-to-peer. Ωστόσο, κάθε δίκτυο χρειάζεται τουλάχιστον έναν κόμβο FFD για να λειτουργεί ως ο συντονιστής του δικτύου. Έτσι τα δίκτυα δημιουργούνται από ομάδες συσκευών που χωρίζονται από κατάλληλες αποστάσεις. Κάθε συσκευή διαθέτει ένα μοναδικό 64-bit αναγνωριστικό και αν πληρούνται ορισμένες προδιαγραφές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αναγνωριστικό των 16-bit. Παραδείγματος χάριν, σε κάθε τομέα PAN, χρησιμοποιείται αναγνωριστικό των 16-bit. Στην τοπολογία αστέρα υιοθετείται ένα μοντέλο δικτύου αφέντη – σκλάβου (master – slave). Ένας FFD αναλαμβάνει τον ρόλο του συντονιστή και οι υπόλοιποι κόμβοι μπορούν να είναι RFDs ή FFDs και θα επικοινωνούν μόνο με τον συντονιστή. Στην τοπολογία peer-to-peer, ένας FFD μπορεί να μιλάει σε άλλους FFD μέσα στην εμβέλεια εκπομπής του και μπορεί να αναμεταδίδει μηνύματα σε άλλους FFDs εκτός της εμβέλειας εκπομπής του μέσω ενός ενδιάμεσου FFD, σχηματίζοντας ένα multihop δίκτυο (δίκτυο στο οποίο υπάρχουν ενδιάμεσοι κόμβοι για την μετάδοση της πληροφορίας). Ένας PAN συντονιστής επιλέγεται να διαχειρίζεται την λειτουργία του δικτύου. Ο PAN συντονιστής μπορεί να λειτουργεί το PAN του με ένα υπερπλαίσιο (superframe) ή χωρίς. Στην πρώτη περίπτωση το υπερπλαίσιο ξεκινάει με ένα σήμα beacon που εξυπηρετεί για λόγους συγχρονισμού, όπως επίσης και για να περιγράψει τη δομή του

υπερπλασίου και να στείλει πληροφορίες ελέγχου στο PAN. Το υπερπλαίσιο διαιρείται σε μία ενεργή και σε μία ανενεργή ποσότητα (όπου ο PAN συντονιστής μπορεί να περάσει σε κατάσταση αναμονής και να εξοικονομήσει ενέργεια).

Η ενεργή ποσότητα διαιρείται σε σταθερού μεγέθους θυρίδες και περιέχει μία Περίοδο Ανταγωνισμού Πρόσβασης (Contention Access Period – CAP), όπου οι κόμβοι συναγωνίζονται για πρόσβαση στο κανάλι χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο με χρονοθυρίδες CSMA-CA, και μια Περίοδο Ελεύθερη Ανταγωνισμού (Contention Free Period – CFP), όπου οι κόμβοι μεταδίδουν χωρίς να ανταγωνίζονται για το κανάλι στις Εγγυημένες Χρόνοθυρίδες (Guaranteed Time Slots – GTS). Η ανάθεση και η επίβλεψη γίνεται από τον PAN συντονιστή. Όταν μια τερματική συσκευή χρειάζεται να στείλει δεδομένα σε έναν συντονιστή (μη GTS) πρέπει να περιμένει το σήμα beacon να συγχρονιστεί και αργότερα να ανταγωνιστεί για πρόσβαση στο κανάλι. Από την άλλη, η επικοινωνία από έναν συντονιστή σε μια τερματική συσκευή είναι έμμεση. Ο συντονιστής αποθηκεύει το μήνυμα και ανακοινώνει την εκκρεμή παράδοση σε ένα beacon. Οι τερματικές συσκευές συνήθως βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής τον περισσότερο χρόνο και ενεργοποιούνται περιοδικά για να δουν εάν έχουν να λάβουν μηνύματα από τον συντονιστή περιμένοντας το σήμα beacon. Όταν παρατηρήσουν ότι ένα μήνυμα είναι διαθέσιμο, το απαιτούν ειδικά κατά την διάρκεια του CAP. Όταν ένας συντονιστής θέλει να μιλήσει σε άλλο συντονιστή πρέπει να συγχρονιστεί με το beacon του και να ενεργήσει σαν τερματική συσκευή. Η άλλη επιλογή για επικοινωνία στο PAN είναι χωρίς υπερπλαίσιο. Ο PAN συντονιστής δεν στέλνει ποτέ beacons και η επικοινωνία συμβαίνει σε βάση ενός CSMA-CA χωρίς θυρίδες. Ο συντονιστής είναι πάντοτε ανοιχτός και έτοιμος να λάβει δεδομένα από μια τερματική συσκευή, ενώ η μεταφορά δεδομένων στην αντίθετη περίπτωση είναι βασισμένη σε λειτουργία συνεχόμενου ελέγχου (poll – based). Η τερματική συσκευή ξυπνάει περιοδικά και σφυγμομετρεί τον συντονιστή για εκκρεμή μηνύματα. Ο συντονιστής μετά στέλνει αυτά τα μηνύματα ή σήματα ότι δεν υπάρχει διαθέσιμο μήνυμα. Η επικοινωνία από συντονιστή σε συντονιστή δεν αποτελεί πρόβλημα εφόσον και οι δύο κόμβοι είναι ανοιχτοί όλη την ώρα. Εκτός από την μεταφορά δεδομένων, το MAC επίπεδο προσφέρει σάρωση καναλιών και λειτουργικότητες συσχέτισης - αποσυσχέτισης. Η διαδικασία σάρωσης εμπλέκει σάρωση αρκετών λογικών καναλιών στέλνοντας ένα beacon μήνυμα αίτησης και ακούγοντας (ενεργή σάρωση, για FFDs) ή απλά ακούγοντας (παθητική σάρωση, για RFDs) για beacons έτσι ώστε να εντοπίσουν υπάρχοντα PANs και συντονιστές.

Υψηλότερα επίπεδα αποφασίζουν σε ποιο PAN θα συνδεθούν και αργότερα ρωτούν το MAC επίπεδο να ξεκινήσει μία διαδικασία συσχέτισης για το επιλεγμένο PAN. Αυτό εμπεριέχει το να στείλει μία αίτηση σε ένα συντονιστή και να περιμένει το αντίστοιχο μήνυμα αποδοχής. Εάν γίνει δεκτός στο PAN, ο κόμβος λαμβάνει μία 16-bit «σύντομη» διεύθυνση που μπορεί να χρησιμοποιήσει αργότερα στην θέση της 64-bit «εκτεταμένης» IEEE διεύθυνσης.

1.2.2 Το πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee.

Το ZigBee αποτελεί ένα πρωτόκολλο για μια μορφή υψηλού επιπέδου επικοινωνίας. Χρησιμοποιεί μικρούς και χαμηλής ισχύος πομπούς που βασίζονται στο πρότυπο IEEE 802 και χρησιμοποιούνται σε δίκτυα προσωπικού χώρου (Private Area Network, PAN). Η ονομασία του παραπέμπει στο χορό των μελισσών κατά την επιστροφή τους στην κυψέλη.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούν αυτόν τον τρόπο επικοινωνίας μπορούν να είναι ασύρματοι διακόπτες φωτός, ηλεκτρονικές μετρητικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό οικιών και άλλοι βιομηχανικοί εξοπλισμοί που απαιτούν ασύρματη μεταφορά δεδομένων μικρής εμβέλειας. Η τεχνολογία που ορίζεται από τις προδιαγραφές του ZigBee σχεδιάστηκε με σκοπό να είναι απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή από ότι οι τεχνολογίες άλλων ασύρματων δικτύων προσωπικού χώρου (Wide Private Area Network, WPAN), όπως η τεχνολογία Bluetooth για παράδειγμα.

Το ZigBee απευθύνεται σε εφαρμογές που χρησιμοποιούν ραδιοσυχνότητες και απαιτούν ένα χαμηλό ποσοστό ανταλλαγής δεδομένων, μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και ασφαλή δικτύωση. Έχει μια καθορισμένη ταχύτητα της τάξης των 250 kbit/s που είναι κατάλληλη για περιοδική επικοινωνία ή αποστολή ενός μοναδικού σήματος από έναν αισθητήρα ή μια συσκευή εισόδου.

Το Πρωτόκολλο ZigBee χρησιμοποιεί τα υψηλότερα επίπεδα από το πρωτόκολλο δικτύωσης υπολογιστών. Το επίπεδο δικτύου (Network Layer – NWK) είναι υπεύθυνο για να οργανώνει και να παρέχει δρομολόγηση σε ένα multihop δίκτυο, χτισμένο πάνω σε IEEE 802.15.4 λειτουργία, ενώ το Επίπεδο Εφαρμογών (Application Layer – APL) έχει σαν στόχο να παρέχει ένα πλαίσιο για διαχείριση και

επικοινωνία των συσκευών, μέσω εφαρμογών – τρόπων λειτουργίας που παρέχει ο κατασκευαστής. Το APL περιλαμβάνει το Πλαίσιο Εφαρμογών (Application Framework), τις συσκευές Zigbee (Zigbee Device Objects – ZDO) και το Υπό-επίπεδο εφαρμογών (Application Sub Layer – APS). Το Πλαίσιο Εφαρμογών μπορεί να έχει μέχρι και 240 εφαρμογές, δηλαδή εφαρμογές για επικοινωνία διαφόρων module που προσδιορίζονται από τον χρήστη και είναι μέρος ενός συστήματος Zigbee. Το ZDO παρέχει υπηρεσίες που επιτρέπουν στα APOs να ανακαλύψουν το ένα το άλλο και να οργανωθούν σε μια διαμοιρασμένη εφαρμογή. Το APS προσφέρει μια διεπαφή στα δεδομένα και τις υπηρεσίες ασφαλείας στα APOs και το ZDO.

Το Zigbee αναγνωρίζει τρεις τύπους συσκευών. Μία τερματική συσκευή Zigbee που αντιστοιχεί σε έναν IEEE RFD ή FFD και ενεργεί σαν μία απλή συσκευή. Ένα δρομολογητή Zigbee (router) που είναι ένας FFD με δυνατότητες δρομολόγησης και το συντονιστή Zigbee (ένας μοναδικός στο δίκτυο) που είναι ένας FFD που διαχειρίζεται ολόκληρο το δίκτυο.

Εκτός από την τοπολογία αστέρα (που εντάσσεται φυσικά στην αντίστοιχη τοπολογία στο IEEE 802.15.4), το επίπεδο δικτύου του Zigbee επίσης υποστηρίζει και πιο σύνθετες τοπολογίες όπως του δέντρου και του πλέγματος (peer to peer). Η εικόνα 2 δείχνει παραδείγματα από αυτές τις τοπολογίες. Ανάμεσα στις λειτουργικότητες που παρέχονται από το επίπεδο δικτύου είναι η multihop δρομολόγηση, η ανακάλυψη της διαδρομής, η συντήρηση, η ασφάλεια και η σύνδεση/αποσύνδεση ενός δικτύου με συνεχόμενες σύντομες 16-bit διευθύνσεις που ανατίθενται στις νέες συνδεδεμένες συσκευές.

Ένα multihop δίκτυο εδραιώνεται μέσω της διαδικασίας σύνδεσης. Όταν μια συσκευή επιθυμεί να συνδεθεί να σε ένα υπάρχον δίκτυο, το επίπεδο δικτύου ζητείται να ξεκινήσει μια διαδικασία αναζήτησης δικτύου. Με υποστήριξη από τη διαδικασία σάρωσης του MAC επιπέδου (επίπεδο δικτύου), μαθαίνει για γειτονικούς δρομολογητές που ανακοινώνουν τα δίκτυα τους. Αφού το ανώτερο επίπεδο έχει αποφασίσει σε ποιο δίκτυο θα συνδεθεί (αρκετά δίκτυα Zigbee μπορεί να επικαλύπτονται χωρικά, χρησιμοποιώντας διαφορετικά κανάλια συχνοτήτων επικοινωνίας), το επίπεδο δικτύου επιλέγει έναν «πατέρα» κόμβο (στο επιθυμητό δίκτυο) από την γειτονιά του και ζητά από το επίπεδο MAC να ξεκινήσει μία διαδικασία συσχέτισης. Με το που λαμβάνει μία ένδειξη της αίτησης συσχέτισης από το MAC επίπεδο, το επίπεδο δικτύου του αναθέτει μια 16-bit μικρού μήκους διεύθυνση και επιτρέπει στο MAC επίπεδο να απαντήσει επιτυχώς στην αίτηση

συσχέτισης. Ο κόμβος θα χρησιμοποιεί την μικρού μήκους διεύθυνση για όλη την περαιτέρω επικοινωνία στο δίκτυο.

Οι σχέσεις πατέρα – παιδιού που δημιουργούνται σαν αποτέλεσμα ενώσεων, διαμορφώνουν ολόκληρο το δίκτυο σε μορφή ενός δέντρου με τον συντονιστή Zigbee ως ρίζα του, τους δρομολογητές Zigbee σαν εσωτερικούς κόμβους και οι τερματικές συσκευές Zigbee σαν φύλλα του. Αυτή η δομή δέντρου βασίζεται επίσης στον διαμοιρασμένο αλγόριθμο ανάθεσης διευθύνσεων δικτύου.

Ο αλγόριθμος δρομολόγησης εξαρτάται από την τοπολογία που χρησιμοποιείται στο δίκτυο αισθητήρων. Σε μια τοπολογία δέντρου η δρομολόγηση μπορεί να γίνει μόνο ανάμεσα σε δεσμούς πατέρα – παιδιού που εγκαθίστανται σαν αποτέλεσμα ενεργειών ένωσης (αυτό λέγεται δρομολόγηση «βασισμένη σε δέντρο»). Οι δρομολογητές διατηρούν μόνο τις διευθύνσεις τους και τις πληροφορίες που σχετίζονται με τις διευθύνσεις των παιδιών τους και των πατεράδων τους. Δεδομένου του τρόπου που ανατίθενται οι διευθύνσεις, ένας δρομολογητής που χρειάζεται να προωθήσει ένα μήνυμα μπορεί εύκολα να καθορίσει εάν ο προορισμός ανήκει σε ένα δέντρο με ρίζες σε έναν από τους δρομολογητές παιδιά του ή είναι μια από τις τερματικές συσκευές παιδιά. Εάν αυτό ισχύει, δρομολογεί το πακέτο στο κατάλληλο παιδί, διαφορετικά δρομολογεί το πακέτο στον πατέρα του. Αυτού του είδους ο αλγόριθμος δρομολόγησης δεν είναι απαραίτητα ο πιο ενεργειακά οικονομικός αλλά είναι πολύ απλός στην εφαρμογή του και επιτρέπει στους δρομολογητές να λειτουργούν σε ένα δίκτυο με ενεργοποιημένη τη δυνατότητα beacon. Με άλλα λόγια, όλοι οι δρομολογητές Zigbee (και ο συντονιστής Zigbee) στέλνουν beacons, επικοινωνούν μέσω ενός πρωτοκόλλου CSMA-CA με χρονοθυρίδες και κοιμούνται στον ανενεργό χρόνο. Η κεντρική ιδέα είναι να υπάρχει μικρός ενεργός χρόνος σε σύγκριση με την περίοδο του beacon και οι γειτονικοί δρομολογητές να ξεκινούν την επικοινωνία τους κατάλληλα έτσι ώστε να είναι κατάλληλα μετατοπισμένη χρονικά του ενός σε σχέση με του άλλου ώστε να αποφεύγεται η αλληλοεπικάλυψη. Η επικοινωνία από ένα παιδί στον πατέρα συμβαίνει στο CAP (Contention Access Period) του πατέρα ενώ η επικοινωνία από ένα πατέρα στο παιδί είναι έμμεση. Σε κάθε περίπτωση ένας κόμβος πρέπει να συγχρονίζεται με το beacon του πατέρα για να ανταλλάξει δεδομένα μαζί του, ενώ οδηγεί την επικοινωνία με τα παιδιά του σύμφωνα με τη χρονοθυρίδα του.

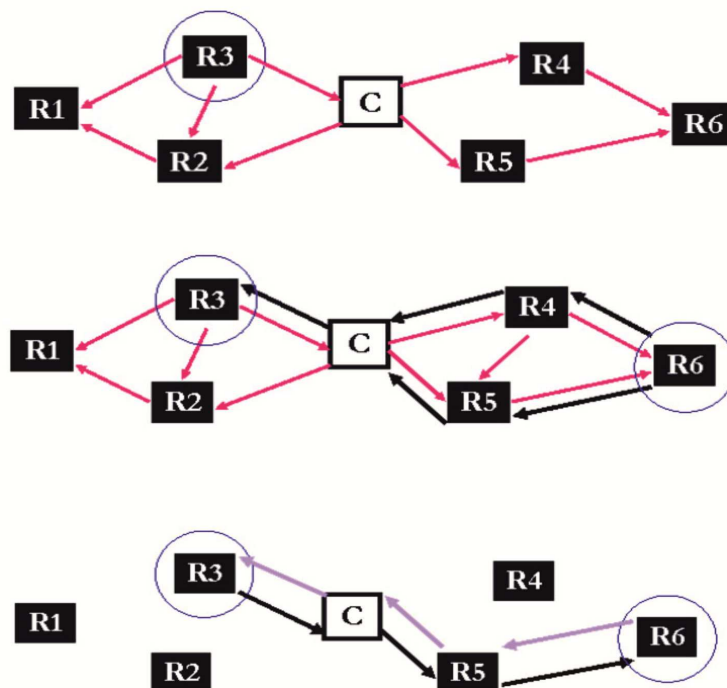
Η τοπολογία δικτύου σε πλέγμα είναι πιο πολύπλοκη στη διαχείριση και η αποστολή beacons δεν επιτρέπεται αλλά είναι πιο εύρωστη και ανθεκτική σε

σφάλματα. Οι δρομολογητές διατηρούν έναν πίνακα δρομολόγησης (Routing Table – RT) και καλούν έναν αλγόριθμο ανακάλυψης διαδρομής να κατασκευάσει / αναβαθμίσει αυτές τις κατασκευές δεδομένων στους κόμβους διαδρομής.

Η αναζήτηση διαδρομής είναι μια διαδικασία που απαιτείται για την καθιέρωση καταχωρήσεων στον πίνακα δρομολόγησης των κόμβων κατά μήκος της διαδρομής ανάμεσα σε δύο κόμβους που επιθυμούν να επικοινωνήσουν. Ένας Πίνακας Αναζήτησης Διαδρομής (Route Discovery Table – RDT) διατηρείται από δρομολογητές και τον συντονιστή για να εφαρμοστεί η αναζήτηση διαδρομής.

Η αναζήτηση διαδρομής στο Zigbee βασίζεται στο γνωστό αλγόριθμο δρομολόγησης Ad Hoc On Demand Distance Vector – AODV. Όταν ένας κόμβος χρειάζεται να δρομολογήσει προς ένα συγκεκριμένο προορισμό, μεταδίδει ένα μήνυμα αίτησης διαδρομής (Route Request Message – RREQ) που διαδίδεται σε όλο το δίκτυο μέχρι να φτάσει στον προορισμό. Όσο ταξιδεύει στο δίκτυο, ένα μήνυμα RREQ συσσωρεύει (σε ένα από τα πεδία του) μία τιμή κόστους που είναι το άθροισμα όλων των κοστών όλων των συνδέσεων που διέσχισε. Το κόστος μιας σύνδεσης μπορεί να ρυθμιστεί σε μία σταθερή τιμή ή να υπολογίζεται δυναμικά βάσει μίας εκτίμησης ποιότητας της σύνδεσης παρεχόμενη από την διεπαφή του IEEE 802.15.4. Το κάθε μήνυμα RREQ κουβαλάει μία τιμή RREQ ID την οποία αυξάνει ο εκκινητής κάθε φορά που στέλνει ένα νέο μήνυμα RREQ. Με αυτόν τον τρόπο η RREQ ID και η διεύθυνση της πηγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μοναδική αναφορά για μία διαδικασία αναζήτησης διαδρομής. Η λήψη ενός RREQ ενεργοποιεί μία έρευνα μέσα στον RDT για μία καταχώρηση που να ταιριάζει με την αναζήτηση διαδρομής. Εάν δεν βρεθεί αντιπαραβολή, δημιουργείται μία νέα καταχώρηση RDT για την διαδικασία αναζήτησης και ξεκινάει ένας χρονομετρητής αναζήτησης αίτησης (με την λήξη του χρονομετρητή η καταχώρηση του RDT θα αφαιρεθεί). Αντιστρόφως εάν βρεθεί μια καταγραφή στον RDT, ο κόμβος συγκρίνει το κόστος για το μήνυμα RREQ και την αντίστοιχη τιμή στην καταχώρηση του RDT. Εάν η πρώτη είναι μεγαλύτερη πετάει το μήνυμα RREQ, αντίθετα ανανεώνει την καταχώρηση του RDT. Τελικά, εάν ο κόμβος δεν είναι ο προορισμός της αναζήτησης διαδρομής, κατανέμει μία RT καταχώρηση για τον προορισμό, με κατάσταση Αναζήτηση, και αναμεταδίδει το RREQ αφού ανανεώσει το πεδίο του κόστους διαδρομής. Εάν ο κόμβος είναι ο τελικός προορισμός, απαντάει στον δημιουργό με ένα μήνυμα απάντησης διαδρομής (Route Reply – RREP) που ταξιδεύει ανάποδα την διαδρομή.

Το RREP μήνυμα απευθύνεται στον δημιουργό της διαδικασίας αναζήτησης διαδρομής και κουβαλάει μαζί του μία τιμή πεδίου για το υπολειπόμενο κόστος την οποία ο κάθε κόμβος αυξάνει καθώς προωθούν το μήνυμα. Κατά την λήψη ενός μηνύματος απάντησης διαδρομής (RREP), ο κόμβος ανακτά τις καταχωρήσεις RDT και RT για την συσχετισμένη αναζήτηση διαδρομής. Εάν ο κόμβος είναι ο δημιουργός του RREQ και αυτή είναι η πρώτη RREP που λαμβάνει, θέτει την καταχώρηση στον RT σε ενεργός και καταγράφει το υπολειπόμενο κόστος και το επόμενο άλμα στην καταχώρηση του RDT. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις συγκρίνει το υπολειπόμενο κόστος από το RREP με αυτό της καταχώρησης στον RDT. Εάν η πρώτη είναι μεγαλύτερη ο κόμβος απορρίπτει το μήνυμα RREP, διαφορετικά ανανεώνει την καταχώρηση του RDT (υπολειπόμενο κόστος) και την καταχώρηση στον RT (επόμενο άλμα). Ένας κόμβος που δεν είναι ο δημιουργός πρέπει επιπλέον να προωθήσει το RREP προς τον δημιουργό. Να επισημανθεί ότι οι ενδιάμεσοι κόμβοι ποτέ δεν αλλάζουν την καταχώρηση της κατάστασης του RT σε Ενεργός σαν αποτέλεσμα της λήψης ενός μηνύματος RREP. Θα αλλάξουν την κατάσταση της καταχώρησης κατά την λήψη (και δρομολόγηση) ενός μηνύματος δεδομένων για τον δεδομένο προορισμό.



Εικόνα 4: Διαδικασία εύρεσης διαδρομής για την επικοινωνία της συσκευής R3 με την συσκευή R6

Μία εφαρμογή Zigbee αποτελείται από μία σειρά από Αντικείμενα Εφαρμογών (Application Objects – APOs) διασκορπισμένα σε αρκετούς κόμβους στο δίκτυο. Ένα APO είναι ένα κομμάτι λογισμικού, υλοποιημένο από την ίδια την εταιρία, που ελέγχει μία μονάδα υλικού (αισθητήριο, διακόπτης, λάμπα) διαθέσιμη στην συσκευή. Σε κάθε APO ανατίθεται ένας μοναδικός τοπικά καταληκτικός αριθμός τον οποίο τα άλλα APO μπορούν να χρησιμοποιούν σαν μία επέκταση στην διεύθυνση συσκευής του δικτύου για να αλληλεπιδρούν μαζί του. Το Αντικείμενο Συσκευής Zigbee (Zigbee Device Object – ZDO) είναι ένα ειδικό αντικείμενο που προσφέρει υπηρεσίες στα APO: τους επιτρέπει να ανακαλύπτουν συσκευές στο δίκτυο και την υπηρεσία που εφαρμόζουν. Επίσης παρέχει επικοινωνία, και υπηρεσίες δικτύου και ασφάλειας. Το Υποεπίπεδο Εφαρμογών (Application Sublayer – APS) παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων για τα APO και το ZDO.

Μία εφαρμογή Zigbee πρέπει να συμμορφώνεται σε ένα υπάρχον (Zigbee Alliance) προφίλ εφαρμογών. Ένα προφίλ εφαρμογών καθορίζει την διάταξη των μηνυμάτων και τα πρωτόκολλα για την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα APO που συλλογικά συγκροτούν μία διαμοιρασμένη εφαρμογή. Το πλαίσιο του προφίλ εφαρμογών επιτρέπει στους διάφορους μηχανικούς – εταιρίες να σχεδιάζουν και να πουλάνε συσκευές Zigbee που μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα το ένα με το άλλο σε ένα δεδομένο προφίλ εφαρμογών. Κάθε APO ενσωματώνει μια σειρά ιδιοτήτων (οντότητες δεδομένων που αντιπροσωπεύουν την εσωτερική κατάσταση, κ.λ.π.) και παρέχει λειτουργίες - υπηρεσίες για τον καθορισμό - ανάκτηση των τιμών αυτών των ιδιοτήτων ή ειδοποίησης όταν η τιμή κάποιας ιδιότητας αλλάζει. Στο πλαίσιο ενός προφίλ, μία ομάδα σχετικών ιδιοτήτων ονομάζεται «Σύμπλεγμα» («Cluster») και αναγνωρίζεται με έναν αριθμό id. Τυπικά ένα cluster αντιπροσωπεύει ένα είδος διεπαφής (ή μέρος της) του APO στα άλλα APO.

Το προφίλ εφαρμογών πρέπει να καθορίζει έναν από τους δύο δυνατούς τύπους υπηρεσίας επικοινωνίας. Για τον τύπο υπηρεσίας Key Value Pair (KVP) το πρότυπο Zigbee έχει προκαθορίσει διατάξεις μηνυμάτων που πρέπει να συμπληρώνονται κατάλληλα από τα APO για να ζητούν μία δεδομένη λειτουργία σε ιδιότητες που βρίσκονται σε ένα απομακρυσμένο APO. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των APO περιορίζονται από τις λειτουργίες που ορίζονται από ιδιότητες. Ο τύπος υπηρεσίας Γενικού Μηνύματος (Generic Message) είναι κατάλληλος για εφαρμογές που δεν χωράνε στον τύπο υπηρεσίας του KVP και αφήνει την ευθύνη στο προφίλ εφαρμογών για να καθορίσει τους τύπους μηνύματος και τα περιεχόμενα τους.

Ένα ειδικό προφίλ εφαρμογών, που ονομάζεται Προφίλ Συσκευής (Device Profile), πρέπει να εφαρμοστεί από όλους τους κόμβους σε ένα δίκτυο Zigbee. Το υπεύθυνο αντικείμενο για αυτό το προφίλ είναι το ZDO. Το Προφίλ Συσκευής απαιτεί τα εκτελεστικά του αντικείμενα (ZDOs) να υποστηρίζουν διαδικασίες αναζήτησης συσκευής/υπηρεσίας όπου ένας κόμβος προσπαθεί να ανακαλύψει υπάρχοντες κόμβους στο δίκτυο, ενεργά τερματικά σημεία σε κάποιο κόμβο και/ή τις υπηρεσίες που εφαρμόζουν (διαθέσιμα cluster ids). Οι διαδικασίες αναζήτησης είναι κρίσιμες στην χορήγηση διευθύνσεων στα APO. Στον άμεσο τρόπο χορήγησης διευθύνσεων ένα μήνυμα απευθύνεται σε μία συγκεκριμένη διεύθυνση προορισμού (διεύθυνση προορισμού 16-bit) και σε έναν αριθμό καταληκτικού σημείου. Ο αποστολέας κόμβος είναι υπεύθυνος να ανακαλύψει και τα δύο δια μέσου των υπηρεσιών αναζήτησης του ZDO. Ο τρόπος έμμεσης χορήγησης διευθύνσεων απαιτεί μόνο τον αποστολέα να παρέχει ένα cluster id αλλά χρειάζεται υποστήριξη από ένα γειτονικό (ή τοπικό) δρομολογητή Zigbee (ή συντονιστή) να εντοπίσει τον κόμβο προορισμού για το μήνυμα. Αυτό είναι εφικτό χάρις στο APS του δρομολογητή Zigbee που διατηρεί έναν δεσμευτικό πίνακα που συσχετίζει διάφορες πληροφορίες όπως πηγαία διεύθυνση, πηγαίο καταληκτικό σημείο, cluster id, με μία λίστα από αντίστοιχες πληροφορίες όπως διεύθυνση προορισμού, καταληκτικό σημείο προορισμού και να υπάρχει ένα APS για κάθε συσκευή που πρέπει να φθάσει το μήνυμα. Ένα μήνυμα που στέλνεται από μία τερματική συσκευή με έμμεση χορήγηση διεύθυνσης φθάνει στον κόμβο πατέρα. Σε αυτή την περίπτωση το APS συμβουλευεται τον δεσμευτικό του πίνακα για να καθορίσει τους πραγματικούς προορισμούς και να τους στείλει κατάλληλα μηνύματα με άμεση χορήγηση διεύθυνσης. Η προσθήκη και η αφαίρεση μιας καταχώρησης στον δεσμευτικό πίνακα διατάσσεται από το ZDO σε απάντηση στις τοπικές - απομακρυσμένες δεσμευτικές αιτήσεις, όπως καθορίζεται από το Προφίλ Συσκευής.

Κεφάλαιο

2

**Τα RF modules που υπάρχουν
στην αγορά και τα
χαρακτηριστικά τους**

2.1 XBee Multipoint RF Modules Product Family (Digi)

Η οικογένεια XBee των προϊόντων με ενσωματωμένο RF κύκλωμα παρέχει OEMs (original equipment manufacturer) τα οποία έχουν κοινό τρόπο σύνδεσης (footprint) τον οποίο μοιράζονται πολλές διαφορετικές πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των τοπολογιών ZigBee - Mesh αλλά και των δικτύων πολλαπλών σημείων (multipoint), για υλοποιήσεις τόσο στα 2.4GHz όσο και στα 900MHz. Τα OEMs τα οποία εκμεταλλεύονται τις λύσεις Xbee μπορούν να αντικαταστήσουν ένα XBee με κάποιο άλλο, αναλόγως των απαιτήσεων που θα έχει η εκάστοτε εφαρμογή, με ελάχιστο χρηματικό ή χρονικό κόστος ανάπτυξης και μειωμένο ρίσκο.

Τα XBee RF modules χρησιμοποιούνται για υλοποίηση συνδέσεων πολλαπλών σημείων (multipoint) και είναι ιδανικά για εφαρμογές οι οποίες έχουν απαιτήσεις πολύ μικρής καθυστέρησης και προβλέψιμου χρόνου επικοινωνίας. Παρέχουν γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία σε τοπολογίες σημείου προς σημείου (point to point), μεταξύ δύο κόμβων (peer to peer) καθώς και σε τοπολογίες πολλαπλών σημείων ή αστέρα (multipoint/star), επιτρέποντας την αξιόπιστη σύνδεση μεταξύ των σημείων του συστήματος με χαρακτηριστική ευκολία. Είτε χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την αντικατάσταση των καλωδίων σε απλές σειριακές επικοινωνίες, είτε ως τμήμα ενός περισσότερο σύνθετου δικτύου αισθητήρων, τα συγκεκριμένα προϊόντα μεγιστοποιούν την ασύρματη απόδοση και την ευκολία της ανάπτυξης και εγκατάστασης του δικτύου.

Χαρακτηριστικά/Πλεονεκτήματα

- 802.15.4 / Multipoint τοπολογίες (πολλαπλών σημείων),
- Συχνότητες 2.4GHz για χρήση σε όλο τον κόσμο (ISM Band),
- Συχνότητες 900MHz για συστήματα μεγάλων αποστάσεων,
- Πλήρως συμβατά με άλλα προϊόντα δικτύωσης Drop-in της εταιρίας (Digi), συσκευών επέκτασης δικτύου κτλ.
- Κοινός τρόπος διασύνδεσης XBee για πλήθος συσκευών RF.
- Κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (sleep mode)

- Πολλαπλές λύσεις κεραιών
- Βιομηχανικό εύρος θερμοκρασιών
- Διαθέσιμες εναλλακτικές επιλογές χαμηλής κατανάλωσης και μικρών αποστάσεων

Τα προϊόντα XBee OEM RF ανήκουν στην οικογένεια προϊόντων δικτύωσης Drop-in της Digi η οποία περιλαμβάνει λύσεις δικτύωσης από άκρη σε άκρη (end-to-end). Παρέχοντας άψογη διεπαφή ή καλύτερα επικοινωνία με παρόχους δικτύου (gateways), συσκευές δικτύων και συσκευές επέκτασης δικτύων (extenders), δίνουν τη δυνατότητα πολλαπλών λύσεων συνδεσιμότητας με διαφορετικά προϊόντα.



Εικόνα 5: Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης δικτύου ZIGBEE / MESH

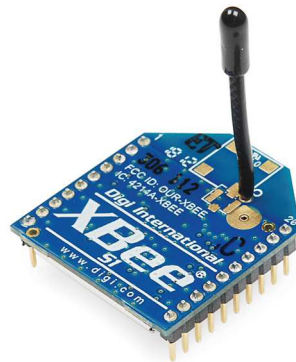
Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τριών module από τα συγκεκριμένα προϊόντα:

2.1.1 Xbee 802.15.4 (Series 1)

Platform	Xbee 802.15.4 (Series 1)
Performance	
RF Data Rate	250 kbps
Indor/Urban Range	100 ft (30 m)
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	300 ft (100 m)
Transmit Power	1mW (+0 dBm)
Receiver Sensitivity (1% PER)	(-)92 dBm
Features	
Serial Data Interface	3.3V CMOS UART
Configuration Method	API or AT Commands, local or over- the-air
Frequency Band	2.4GHz
Einterference Immunity	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum(
Serial Data Rate	1200 bps - 250 kbps
ADC Inputs	(6) 10-bit ADC Inputs
Digital I/O	8
Antenna Options	Chip. Wire Whip, U.FL, &RPSMA
Networking & Security	
Encryption	128-bit AES
Reliable Packet Delivery	Retries/Acknowledgements
IDs and Channels	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 16 Channels
Power Requirements	
Supply Voltage	2.8 - 3.4 VDC
Transmit Current	45 mA @ 3.3VDC

Receive Current	50 mA @ 3.3VDC
Power-Down Current	< 10uA @ 25 oC
Regulatory Approvals	
FCC(USA)	OUR-XBEE
IC(Canada)	4214a-XBEE
ETSI(Europe)	Yes
C-TICK Australia	Yes
Telec(Japan)	Yes

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Xbee 802.15.4 (Series 1)



Εικόνα 5: Το module Xbee 802.15.4 (Series 1)

2.1.2 Xbee 802.15.4 (Series 2)

Platform	Xbee 802.15.4 (Series 2)
Performance	
RF Data Rate	250 kbps
Indor/Urban Range	300 ft (100 m)
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	1 mi (1.6 km)
Transmit Power	60mW (+18 dBm)
Receiver Sensitivity (1%	(-)100 dBm

PER)	
Features	
Serial Data Interface	3.3V CMOS UART
Configuration Method	API or AT Commands, local or over-the-air
Frequency Band	2.4GHz
Einterference Immunity	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum(
Serial Data Rate	1200 bps - 250 kbps
ADC Inputs	(6) 10-bit ADC Inputs
Digital I/O	8
Antenna Options	Chip. Wire Whip, U.FL, &RPSMA
Networking & Security	
Encryption	128-bit AES
Reliable Packet Delivery	Retries/Acknowledgements
IDs and Channels	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 12 Channels
Power Requirements	
Supply Voltage	2.8 - 3.4 VDC
Transmit Current	215 mA @ 3.3VDC
Receive Current	55 mA @ 3.3VDC
Power-Down Current	< 10uA @ 25 oC
Regulatory Approvals	
FCC(USA)	OUR-XBEEPRO
IC(Canada)	4214a-XBEEPRO
ETSI(Europe)	Yes Max TX 10 mW
C-TICK Australia	Yes
Telec(Japan)	Yes

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Xbee 802.15.4 (Series 2)



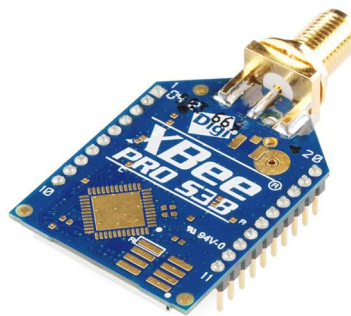
Εικόνα 6: Το module XBee 802.15.4 (Series 2)

2.1.3 Xbee-PRO XSC

Platform	Xbee-PRO XSC
Performance	
RF Data Rate	19 kbps / 9.6 kbps
Indor/Urban Range	Up to 1200 ft (370 m)
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	up to 6 mi (9.6 km)
Transmit Power	100 mW (+20 dB m)
Receiver Sensitivity (1% PER)	(-)106 dBm
Features	
Serial Data Interface	3.3V CMOS UART (5V Tolerant)
Configuration Method	AT Commands
Frequency Band	902 MHz to 928 MHz
Einterference Immunity	FHSS (Frequency Hoppind Spread Spectrum)
Serial Data Rate	1200 bps - 57.6 kbps
ADC Inputs	None
Digital I/O	None
Antenna Options	Wire Whip, U.FL, RPSMA
Networking & Security	

Encryption	No
Reliable Packet Delivery	Retries/Acknowledgements
IDs and Channels	PAN ID, 32-bit IEEE MAC, 7 Channels
Power Requirements	
Supply Voltage	3.0- 3.6 VDC
Transmit Current	265 mA typical
Receive Current	65 mA typical
Power-Down Current	45 uA pin Sleep
Regulatory Approvals	
FCC(USA)	MCQ-XBEEEXSC
IC(Canada)	1846A-XBEEEXSC
ETSI(Europe)	No
C-TICK Australia	No
Telec(Japan)	No

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά Xbee-PRO XSC



Εικόνα 7: Το module Xbee-PRO XSC

2.1.4 XBee-PRO ZB (Programmable)

Αξιοποιώντας το σύνολο των χαρακτηριστικών ZigBee PRO, αυτές οι μονάδες γίνονται διαλειτουργικές με άλλες συσκευές ZigBee, συμπεριλαμβανομένου συσκευών από άλλους κατασκευαστές, υπό κάποιες προϋποθέσεις.

Τα προϊόντα της οικογένειας XBee είναι πολύ εύκολα στη χρήση, αφού δεν απαιτούν επιπλέον ρυθμίσεις ή ανάπτυξη. Επιπλέον, οι προγραμματιζόμενες εκδόσεις XBee-PRO ZB, κάνουν απλή και εύκολη την παραμετροποίηση των εφαρμογών ZigBee, αφού προγραμματίζοντας απευθείας τη μονάδα (module) δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ξεχωριστός επεξεργαστής. Ακόμη, λόγω του ότι το πρόγραμμα/κώδικας που εξασφαλίζει την ασύρματη επικοινωνία είναι απομονωμένο, δεν υφίσταται ρίσκο για την ποιότητα ή την ασφάλεια της ασύρματης επικοινωνίας.

2.1.4.1 XBee ZB SMT (embedded surface mount RF)

Τα XBee και XBee-PRO ZB modules είναι επιφανειακής στήριξης RF modules και παρέχουν αποτελεσματική και οικονομική ασύρματη συνδεσιμότητα σε ηλεκτρονικές συσκευές. Μπορούν να λειτουργήσουν/συνεργαστούν απρόσκοπτα με συσκευές ZigBee PRO με διαφορετικό σύνολο χαρακτηριστικών, περιλαμβανομένων και συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές, όπως και τα XBee-PRO ZB.

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία επιφανειακής στήριξης (Surface Mount Technology, SMT), τα XBee και ZBee-PRO ZB modules είναι ιδανικά για εφαρμογές που σχετίζονται με τον τομέα της ενέργειας και του ελέγχου όπου η αποτελεσματικότητα μιας συγκεκριμένης υλοποίησης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα. Η σειριακή διεπαφή (Serial Peripheral Interface SPI) παρέχει μια διεπαφή υψηλών ταχυτήτων και βελτιστοποιεί την επικοινωνία με ενσωματωμένους μικροελεγκτές, μειώνοντας σημαντικά το κόστος ανάπτυξης όπως και το χρόνο διάθεσης στην αγορά (time to market).

Χαρακτηριστικά/Πλεονεκτήματα

- Λειτουργικότητα με άλλες συσκευές συμβατές με ZigBee

- Οι προγραμματιζόμενες εκδόσεις του XBee-PRO ZB επιτρέπουν την ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών
- Επιλογές παραμετροποίησης μέσω απλών AT ή API εντολών
- 15 I/O θύρες γενικού σκοπού
- Ανανεώσεις του firmware μέσω UART, SPI ή ασύρματα
- Ρεύμα κατάστασης αναμονής (sleep mode) κάτω του 1 μ A.
- Link budget 110 dB για το XBee και 119 dB για το XBee-Pro ZB

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των XBee και XBee-Pro ZB (Πίνακες 4 και 5 αντίστοιχα) για τις εκδόσεις standard και programmable:

Xbee ZB SMT

Platform	Xbee ZB SMT	
	Standard	Programmable
Performance		
RF Data Rate	RF 250 Kbps, Serial up to 1 Mbps	
Indor/Urban Range	200 ft (60 m)	
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	4000 ft (1200 m)	
Transmit Power	3.1 mW (+5dBm) / 6.3 mW (+8dBm) boost mode	
Receiver Sensitivity (1% PER)	(-)100 dBm / (-) 102 dBm boost mode	
Features		
Serial Data Interface	UART, SPI	
Configuration Method	API or AT Commands, local or over-the-air	
Frequency Band	ISM 2.4 GHz	
Einterference Immunity	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	
ADC Inputs	(4) 10 - bit ADC inputs	
Digital I/O	15	

Antenna Options	PCB (embedded), U.FL and RF pad	
Operating Temperature	(-) 40 C to +85 C	
Dimensions (L x W x H) and Weight	0.87 in x 1.33 in x 0.12 in (2.20 cm x 3.40 cm x 0.30 cm); 0.14 oz (4g)	
Programmability		
Memory	N/A	32 KB Flash / 2 KB RAM
CPU/Clock Speed	N/A	HCS08 / up to 50.33 MHz

Networking & Security

Encryption	128-bit AES	
Reliable Packet Delivery	Retries/Acknowledgements	
IDs	PAN ID and addresses, cluster IDs and endpoints (optional)	
Channels	16 Channels	
Power Requirements		
Supply Voltage	2.1- 3.6 VDC	
Transmit Current	33 mA @ 3.3 VDC / 45 mA boost mode	47 mA @ 3.3 VDC / 59 mA boost mode
Receive Current	28 mA @ 3.3 VDC / 31 mA boost mode	42 mA @ 3.3 VDC / 45 mA boost mode
Power-Down Current	<1 uA @ 25 C	1.5 uA @ 25 C
Regulatory Approvals		
FCC(USA)	YES	
ETSI(Europe)	YES	
C-TICK Australia	YES	
Telec(Japan)	YES	

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Xbee ZB SMT

Xbee-PRO ZB SMT

Platform	Xbee-PRO ZB SMT	
	Standard	Programmable
Performance		
RF Data Rate	RF 250 Kbps, Serial up to 1 Mbps	
Indor/Urban Range	300 ft (90 m)	
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	2 miles (3200 m)	
Transmit Power	63 mW (+18 dBm)	
Receiver Sensitivity (1% PER)	(-) 102 dBm	
Features		
Serial Data Interface	UART, SPI	
Configuration Method	API or AT Commands, local or over-the-air	
Frequency Band	ISM 2.4 GHz	
Einterference Immunity	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	
ADC Inputs	(4) 10 - bit ADC inputs	
Digital I/O	15	
Antenna Options	PCB (embedded), U.FL and RF pad	
Operating Temperature	(-) 40 C to +85 C	
Dimensions (L x W x H) and Weight	0.87 in x 1.33 in x 0.12 in (2.20 cm x 3.40 cm x 0.30 cm; 0.14 oz (4g)	
Programmability		
Memory	N/A	32 KB Flash / 2 KB RAM
CPU/Clock Speed	N/A	HCS08 / up to 50.33 MHz
Networking & Security		
Encryption	128-bit AES	
Reliable Packet Delivery	Retries/Acknowledgements	
IDs	PAN ID and adresses, cluster IDs and endpoints (optional)	
Channels	15 Channels	

Power Requirements		
Supply Voltage	2.7- 3.6 VDC	
Transmit Current	100 mA @ e.e VDC	114 mA @ 3.3 VDC
Receive Current	31 mA @ 3.3 VDC	45 mA @ 3.3 VDC
Power-Down Current	<1 uA @ 25 C	1.5 uA @ 25 C
Regulatory Approvals		
FCC(USA)	YES	
ETSI(Europe)	No	
C-TICK Australia	YES	
Telec (Japan)	No	

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά Xbee-PRO ZB SMT



Εικόνα 8: Το module Xbee-(PRO) ZB SMT

2.2 XDM2510H (RFM)

Βασισμένο στην τεχνολογία SmartMesh IA-510(H) της εταιρείας Dust Networks, το RFM XDM2510H module παρέχει συμβατότητα WirelessHART (τεχνολογία ασύρματου δικτύου αισθητήρων), υψηλή αξιοπιστία επικοινωνίας και μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας σε ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών βιομηχανικών αυτοματισμών. Το συγκεκριμένο module χρησιμοποιεί δυναμική βελτιστοποίησης δικτύου και έξυπνη δρομολόγηση προκειμένου να επιτευχθούν υψηλής αξιοπιστίας μετάδοση δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και ντετερμινιστική διαχείριση ενέργειας. Το XDM2510H είναι προσαρμοσμένο για χρήση σε συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία, που απαιτείται χαμηλή κατανάλωση ενέργειας ή τροφοδοτούνται από δίκτυο βρόγχου για υλοποίηση εφαρμογών που απαιτούν μεγάλη αξιοπιστία ασύρματης σύνδεσης. Οι πολυλειτουργικές διεπαφές του, το καθιστούν κατάλληλο για την υλοποίηση μιας μεγάλης ποικιλίας βιομηχανικών εφαρμογών, από τον έλεγχο της πορείας κάποιας διεργασίας και την συλλογή δεδομένων μέχρι και για διαχείριση ενέργειας. Δεν απαιτεί ενσωματωμένο προγραμματισμό, μειώνοντας έτσι το χρόνο και το κόστος σχεδιασμού και ανάπτυξης εφαρμογών που χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Είναι πιστοποιημένο για χρήση στην ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων στις ΗΠΑ, τον Καναδά και την Ευρώπη.

Βασικά χαρακτηριστικά

Συμβατότητα Wireless HART

- Διαλειτουργικότητα με συσκευές WirelessHART

Υψηλή αξιοπιστία

- Δικτυακή αξιοπιστία ακόμα και στα πιο απαιτητικά βιομηχανικά περιβάλλοντα
- Η αναπήδηση συχνότητας (frequency hopping) παρέχει απόρριψη των παρεμβολών και ελαχιστοποιεί την εξασθένηση από πολλαπλά μέσα/πολλαπλούς δίαυλους διάδοσης (multipath fading)

- Κάθε XDM2510H λειτουργεί τόσο ως τελικό σημείο (end point) όσο και ως δρομολογητής, αυξάνοντας την αξιοπιστία του δικτύου.

Ευκολίες ολοκλήρωσης (integration)

- Το XDM2510H παρέχει το σύνολο της λειτουργικότητας του module χωρίς ενσωματωμένο προγραμματισμό ή σύνθετες απαιτήσεις ρυθμίσεων.
- Οι διεπαφές του είναι καλά σχεδιασμένες και παρέχουν πολλές λειτουργίες
- Βιομηχανικές θερμοκρασίες μεταξύ -40 και +85 °C.

Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

- Η πιο σύγχρονη βιομηχανική τεχνολογία επικοινωνιών στα 2.4 GHz είναι βελτιστοποιημένη για λειτουργία με μπαταρία, με παγίδευση κατανάλωσης ενέργειας (για μέγιστη οικονομία ενέργειας) ή με τροφοδοσία από βρόγχο.
- Εξαιρετικά αποτελεσματική χρήση ενέργειας, μέσω της διαχείρισης ενέργειας SmartMesh Intelligent Network, παρέχει λειτουργία δικτύου με μόλις δύο AA μπαταρίες.
- Αυτόματη συνεργασία μεταξύ των συσκευών του δικτύου για αποτελεσματική χρήση ενέργειας.

Προ-πιστοποιημένο module

- Το συμβατό με το πρότυπο IEEE 802.15.4 module λειτουργεί στην ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων στα 2.4 GHz
- Το XDM2510H είναι προ-πιστοποιημένο για λειτουργία στις ΗΠΑ, την Ευρώπη και τον Καναδά

Εφαρμογές

- Βιομηχανικοί αυτοματισμοί
- Έλεγχος διεργασιών και συλλογής δεδομένων

- Παρακολούθηση λειτουργίας μηχανημάτων
- Παρακολούθηση δομικής ακεραιότητας
- Διαχείριση ενέργειας

Τα χαρακτηριστικά του XDM2510H περιγράφονται στους πίνακες που ακολουθούν:

XDM2510H

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Units
Supply Voltage	-0.3		5.5	V
Voltage on any Digital I/O Pin	-0.3		3.6	V
Input RF Level			10	dBm
Storage Temperature Range	-40		85	°C
Solder Reflow Profile			245	°C
VSWR of Antenna			3:01	
ESD Protection			±250	V
Antenna Port			±2	kV
All Other I/O			±200	V

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά XDM2510H (Absolute Maximum Ratings)

XDM2510H

Normal Operating Conditions

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Units
Operational Supply Voltage Range (between Vpp and Vss)	2.85	3.6	5.5	V
Voltage Supply Noise			100	mVp-p
Operating Temperature Range	-40		85	°C
Maximum Allowed Ambient Temperature Ramp Duting Operation			8	°C/min
Operating Relative Huidity	10		90	%RH

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά XDM2510H (Normal Operating Conditions)

XDM2510H

Current Consumption

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Units
Transmit		18		mA
Receive		6		mA
Sleep		8.5		μA

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά XDM2510H (Current Consumption)

XDM2510H

Digital I/O Load

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Units
Total Capacitance			0.5	μF
Total inductance			84	nH

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά XDM2510H (Digital I/O Load)

XDM2510H

Digital I/O Type 1

Digital Signal	Minimum	Typical	Maximum	Units
Vil (low-level input voltage)	(-)0.3		0.6	V
Vih (high-level input voltage)	2.7		3.6	V
Vol (low-level output voltage)			0.4	V
Voh (high-level output voltage)	2.4			V
Digital current				
Output source (single pin)		3.7		mA
Output sink (single pin)		2		mA
Input leakage current		50		nA

Πίνακας 10: Χαρακτηριστικά XDM2510H (Digital I/O Type 1)

XDM2510H

Digital I/O Type 2

Digital Signal	Minimum	Typical	Maximum	Units
Vil (low-level input voltage)	-0.3		0.6	V
Vih (high-level input voltage)	2.7		3.6	V
Vol (low-level output voltage)	0		0.6	V
Voh (high-level output voltage)	2.7		3.3	V
Digital current				
Output source (single pin, multi-function I/O configured as output)		0.4		mA
Output sink (single pin, multi-function I/O configured as output)		0.6		mA
Input leakage current		50		nA

**Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά XDM2510H
(Digital I/O Type 2 – multifunction I/O)**

XDM2510H

Digital I/O Type 2

Digital Signal	Minimum	Typical	Maximum	Units
Vil (low-level input voltage)	-0.3		0.6	V
Vih (high-level input voltage)	2		3.6	V
Vol (low-level output voltage)			0.4	V
Voh (high-level output voltage)	3.1			V
Digital current				
Output source (single pin)		100		μA
Output sink (single pin)		1.6		mA
Input leakage current		50		nA

**Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά XDM2510H
(Digital I/O Type 2 – single pin)**

XDM2510H

Radio Specifications

Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Units	
Operating frequency	2.4		2.4835	GHz	
Number of channels		15			
Channel separation		5		MHz	
Occupied channel bandwidth		2.7		MHz	
Frequency accuracy	-40		40	ppm	
Modulation					IEEE 802.15.4 DSSS
Raw data rate		250		kbps	
Receiver operating maximum input level		0		dBm	
Receiver sensitivity		-92.5		dBm	
Output power, conducted		8		dBm	

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά XDM2510H (Radio Specifications)

Χαρακτηριστικά κεραίας XDM2510H

Η κεραία θα πρέπει να έχει τα χαρακτηριστικά του Πίνακα 14. Όταν το XDM2510H είναι τοποθετημένο μέσα σε ένα περίβλημα, η κεραία θα πρέπει να είναι έτσι τοποθετημένη ώστε το τμήμα της κεραίας που δέχεται την ακτινοβολία να προεξέχει του περιβλήματος. Η κεραία συνδέεται με το module μέσω ενός ομοαξονικού καλωδίου (coaxial cable). Για βέλτιστη απόδοση, η κεραία θα πρέπει να είναι κάθετα τοποθετημένη. Το XDM2510H έχει πιστοποιηθεί κατά FCC ως ένα module το οποίο μπορεί να συνδέεται τόσο σε διπολική όσο και σε patch κεραία (κεραία επίπεδης επιφάνειας). Οποιαδήποτε διπολική ή patch κεραία λειτουργίας στα 2.4GHz με κέρδος μικρότερο ή ίσο των 12 dBi μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς τη χρήση οποιασδήποτε μορφής ελέγχου FCC. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και

διαφορετικός τύπος κεραίας ή κεραία υψηλότερου κέρδους (διπολική ή patch), με συγκεκριμένες οδηγίες εγκατάστασης.

XDM2510H

Antenna Parameter	Value
Frequency range	2.4000 - 2.4835 GHz
Impedance	50 ohms
Maximum VSWR	3:01

Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά XDM2510H (Antenna Parameter)



Εικόνα 9: Το module XDM2510H

2.3 Προϊόντα της εταιρίας Panasonic

2.3.1 PAN4555 (Panasonic)

Το συγκεκριμένο module αποτελεί έναν πομποδέκτη χαμηλών αποστάσεων, χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, λειτουργίας στα 2.4 GHz (ISM Band), ο οποίος περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο, πλήρως λειτουργικό, modem του φυσικού επιπέδου 802.15.4, σχεδιασμένο για το ασύρματο πρωτόκολλο IEEE 802.15.4. Περιέχει επίσης έναν ταλαντωτή αναφοράς, πράγμα που το καθιστά συμφέρουσα και οικονομική λύση για συνδέσεις και δίκτυα δεδομένων μικρών αποστάσεων.

Υπάρχουν διαθέσιμα διάφορα firmware, τα οποία μετατρέπουν / διαμορφώνουν κατάλληλα το PAN4555, από τη απλή του, point to point λειτουργία, έως για λειτουργία σε πολύπλοκα δίκτυα πλέγματος (Mesh)

Βασικά χαρακτηριστικά

- Πομποδέκτης μικρών αποστάσεων στην ISM ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz με μικροελεγκτή και ταλαντωτή αναφοράς
- Παρέχει όλο το hardware που χρειάζεται ένας ασύρματος κόμβος ο οποίος χρησιμοποιεί ως δομή πακέτου αυτήν που καθορίζεται από το πρότυπο IEEE 802.15.4
- Πολύ μικρό μέγεθος (12.2 mm x 16.4 mm x 2.2 mm)
- Δύο επιλογές κεραίας: Single port (50 Ω) ή κεραμική
- 16 επιλέξιμα κανάλια με ρυθμούς μετάδοσης 250 kbps στα 2.4 GHz
- Λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης για αυξημένη διάρκεια μπαταρίας
- Υψηλή ευαισθησία, -92 dBm για 1% PER
- Χαμηλή τάση τροφοδοσίας (2.0 V έως 3.4 V, 2.7 V τυπική)
- Εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας -40°C έως +85°C

- 60kB μνήμης flash και 4kB RAM
- Μετατροπέας A/D 4 καναλιών με 10 Bit για γρήγορη και εύκολη μετατροπή από αναλογικές εισόδους όπως θερμοκρασία, πίεση κτλ σε ψηφιακές τιμές

Εφαρμογές

- Συσκευές ZigBee που λειτουργούν σε τοπολογία αστέρα (star) και πλέγματος (mesh)
- Δίκτυα ασύρματων αισθητήρων και ενεργοποιητών (actuator)
- Απομακρυσμένος έλεγχος και αντικατάσταση καλωδιώσεων σε βιομηχανικά συστήματα, όπως δίκτυα ασύρματων αισθητήρων
- Οικιακοί και βιομηχανικοί αυτοματισμοί – έλεγχος κινητήρων
- Παρακολούθηση (συνθηκών περιβάλλοντος, ασθενών, κτλ)

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά του PAN4555

PAN4555

Absolute maximum ratings - AMR

Parameter	Symbol	AMR	Unit
Supply voltage	Vcc	(-)0.3 to +3.6	Vdc
Ripple on Vcc	Vcc-rip	tbd (≤200KHz)	mVpp
Digital input voltages	Vin	(-)0.3 to Vcc+0.3	Vdc
Instantaneous maximum current	Ibdb	±25	mAdc
Storage temperature range	Tstg	(-)40 to +105	°C
Operating temperature range	Top	(-)40 to +85	°C
RF input power	Pmax	10	dBm

Πίνακας 15: Χαρακτηριστικά PAN4555 (Absolute maximum ratings – AMR)

PAN4555

Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min. Value	Typical Value	Maximum Value	Unit
Supply voltage	Vcc	2	2.7	3.4	Vdc
RF Input Frequency	fin	2405		2480	MHz
Logic Input Voltage Low	Vil	0		0.3xVcc	V
Logic Input Voltage High	Vih	0.7xVcc		Vcc	V
SPI clock rate	fspi	-	8	8	MHz
Operating temperature range	Top	-40		85	°C

Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά PAN4555 (Operating Conditions)

PAN4555

AC Electrical Characteristics

RECEIVER

Parameter	Min. Value	Typical Value	Maximum Value	Unit
Sensitivity of 1% PER	-	-92	-87	dBm
Saturation	0	10	-	dBm
Adjacent Channel Interference for 1% PER	0	29	-	dB
Alternate Channel Interference for 1% PER	0	40	-	dB
Frequency Error Tolerance	-	-	200	KHz
Symbol Rate Error Tolerance	-		80	Ppm
In-band Spurious Emission	-	Tbd	-	dBm
Spurious Emissions < 1GHz	-	Tbd	-57	dBm
Spurious Emissions > 1GHz	-	Tbd	-47	dBm

Πίνακας 17: Χαρακτηριστικά PAN4555 (AC Electrical Characteristics)

PAN4555

TRANSMITTER	Min. Value	Typical Value	Maximum Value	Unit
Maximum Output Power	-3	0	-	dBm
Nominal Output Power	-	-4	-	dBm
Minimum Output Power	-	Tbd	-	dBm
Error Vector Magnitude (EVM)	-	25	35	%
Power Control Range	-	30	-	dB
Over the Air Data Rate	-	250	-	Kbps
2nd harmonic @ maximum output power	-	-50	-30	dBm
3rd harmonic @ maximum output power	-	-60	-30	dBm
Spurious Emissions < 1GHz	-	< -40	-36	dBm
Spurious Emissions > 1GHz	-	< -40	-30	dBm

Πίνακας 18: Χαρακτηριστικά PAN4555 (Transmitter)**PAN4555**

STAND BY	Min. Value	Typical Value	Maximum Value	Unit
Spurious Emissions < 1GHz	-	< -60	-57	dBm
Spurious Emissions > 1GHz	-	< -50	-47	dBm

Πίνακας 19: Χαρακτηριστικά PAN4555 (Stand by)



Εικόνα 10: Το module PAN4555

2.3.2 PAN4561 (Panasonic)

Το συγκεκριμένο module αποτελεί έναν πομποδέκτη μεγαλύτερων αποστάσεων, σε σχέση με το PAN4555, το οποίο όμως διατηρεί τα βασικά χαρακτηριστικά του 4555 και χρησιμοποιείται στις ίδιες εφαρμογές.

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά του PAN4561

PAN4561

Absolute maximum ratings - AMR			
Parameter	Symbol	AMR	Unit
Supply voltage	Vcc	(-)0.3 to +3.6	Vdc
Ripple on Vcc	Vcc-rip	tbd ($\leq 200\text{KHz}$)	mVpp
Digital input voltages	Vin	(-)0.3 to Vcc+0.3	Vdc
Instantaneous maximum current	Ibdb	± 25	mA _{dc}
Storage temperature range	Tstg	(-)40 to +105	C
Operating temperature range	Top	(-)40 to +85	C
RF input power	Pmax	10	dBm

Πίνακας 20: Χαρακτηριστικά PAN4561 (Absolute maximum ratings – AMR)**PAN4561**

Operating Conditions					
Parameter	Symbol	Min. Value	Typical Value	Maximum Value	Unit
Supply voltage	Vcc	2.7	3	3.4	Vdc
RF Input Frequency	f _{in}	2400		2480	MHz
Logic Input Voltage Low	V _{il}	0		0.3xVcc	V
Logic Input Voltage High	V _{ih}	0.7xVcc		Vcc	V
SPI clock rate	f _{spi}	-	-	8	MHz
Operating temperature range	Top	-40		85	°C

Πίνακας 21: Χαρακτηριστικά PAN4561 (Operating Conditions)

PAN4561

DC Electrical Characteristics

Parameter	Condition	Symbol	Module Type	Min. Value	Typical Value	Maximum Value	Unit
Transmit current consumption	Transmit Mode	I _{ccT}	PAN4561H@20dBm	-	200	240	mA
			PAN4561M@10dBm	-	72	80	
			PAN4561L@0dBm	-	43	50	
Receive current consumption	Receive Mode	I _{ccR}	PAN4561H	-	48	60	mA
			PAN4561M	-	47	60	
			PAN4561L	-	45	60	
Low power current consumption	Off	I _{leakage}	PAN4561H	-	0.55	-	μA
			PAN4561M	-	0.55	-	
			PAN4561L	-	0.55	-	
	Sleep	I _{CCH}	PAN4561H	-	2.2	-	μA
			PAN4561M	-	2.2	-	
			PAN4561L	-	2.2	-	
	Standby	I _{CCD}	PAN4561H	-	36.3	-	μA
			PAN4561M	-	36.3	-	
			PAN4561L	-	36.3	-	
	Idle	I _{CCI}	PAN4561H	-	1.6	-	mA
			PAN4561M	-	1.6	-	
			PAN4561L	-	1.6	-	

Πίνακας 22: Χαρακτηριστικά PAN4561 (DC Electrical Characteristics)

AC Electrical Characteristics

RECEIVER

Parameter	Model type	Min. Value	Typical Value	Maximum Value	Unit
Sensitivity of 1% PER	PAN4561H	-85	-102	-105	dBm
	PAN4561M	-85	-102	-105	
	PAN4561L	-85	-92	-	
Saturation	All	0	10	-	dBm
Adjacent Channel Interference for 1% PER	All	0	29	-	dB
Alternate Channel Interference for 1% PER	All	0	40	-	dB
Frequency Error Tolerance	All	-	-	200	KHz
Symbol Rate Error Tolerance	All	-	-	80	ppm
Spurious Emissions < 1GHz	All	-	-	-57	dBm
Spurious Emissions > 1GHz	All	-	-	-47	dBm

Πίνακας 23: Χαρακτηριστικά PAN4561
(AC Electrical Characteristics - Receiver)

PAN4561

TRANSMITTER	Model type	Min. Value	Typical Value	Maximum Value	Unit
Maximum Output Power	PAN4561H	-	20	-	dBm
	PAN4561M	-	10	-	
	PAN4561L	-	0	-	
Nominal Output Power	PAN4561H	-	-18.5	-	dBm
	PAN4561M	-	9.5	-	
	PAN4561L	-	0	-	
Error Vector Magnitude (EVM)		-	25	35	%
Power Control Range		-	30	-	dB

Over the Air Data Rate		-	250	-	Kbps
2 nd harmonic @ maximum output power		-	-45	-35	dBm
3 rd harmonic @ maximum output power		-	-45	-35	dBm
Spurious Emissions < 1GHz		-	< -40	-36	dBm
Spurious Emissions > 1GHz		-	< -40	-30	dBm

Πίνακας 24: Χαρακτηριστικά PAN4561 (Transmitter)

PAN4561

STAND BY		Min. Value	Typical Value	Maximum Value	Unit
Spurious Emissions < 1GHz		-	< -60	-57	dBm
Spurious Emissions > 1GHz		-	< -50	-47	dBm

Πίνακας 25: Χαρακτηριστικά PAN4561 (Stand by)



Εικόνα 11: Το module PAN4561

2.4 Προϊόντα της εταιρίας Texas Instruments

2.4.1 CC2520

Το CC2520 είναι ο πομποδέκτης 2^{ης} γενιάς IEEE 802.15.4 της TI ο οποίος λειτουργεί στην ελεύθερη ζώνη συχνοτήτων ISM. Το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο κύκλωμα χρησιμοποιείται στην υλοποίηση εφαρμογών βιομηχανικής κλίμακας προσφέροντας τελευταίας τεχνολογίας επιλεκτικότητα και «συνύπαρξη» με άλλα αντίστοιχα modules. Έχει εξαιρετικό link budget (ισχύς σήματος κατά την λήψη για συγκεκριμένο τρόπο διάδοσης του σήματος), λειτουργία μέχρι τους 125 °C και χρειάζεται χαμηλή τάση τροφοδοσίας. Επιπλέον, παρέχει επαρκή υποστήριξη hardware για τη διαχείριση πλαισίων, την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων, κρυπτογραφία δεδομένων, επαλήθευση αυθεντικότητας δεδομένων, εκτίμηση καθαρού / ελεύθερου καναλιού, ένδειξη ποιότητας επικοινωνίας και πληροφορίες σχετικά με τον χρονισμό των πλαισίων. Όλα αυτά τα στοιχεία, μειώνουν τις διεργασίες του κεντρικού μικροελεγκτή. Σε ένα τυπικό σύστημα, το CC2520 χρησιμοποιείται παράλληλα με ένα μικροελεγκτή και ορισμένα επιπλέον παθητικά στοιχεία.

Τα χαρακτηριστικά του CC2520 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

CC2520

Frequency Range	2.4GHz
Frequency (Min)	2394MHz
Frequency (Max)	2507MHz
Device Type	Transceiver
Data Rate (Max) (kbps)	250
Operating Voltage (Min) (V)	1.8
Operating Voltage (Max) (V)	3.8
RX Current (Lowest) (mA)	18.5

Standby Current (uA)	0.03
Standby Current (uA)	3
Wakeup Time (PD-->RX/TX) (uS)	500
Modulation Techniques	DSSS
Sensitivity (Best) (dBm)	-98
TX Power (Max) (dBm)	4
Programmable Output Power Ranging From (dBm)	-20 to +5
Antenna Connection	Differential

Πίνακας 26: Χαρακτηριστικά CC2520



Εικόνα 12: Το module CC2520

2.4.2 CC2530/31/33

Το CC2530 είναι ένα πραγματικό system-on-chip για εφαρμογές IEEE 802.15.4, ZigBee και RF4CE. Επιτρέπει την υλοποίηση ισχυρών κόμβων δικτύου με πολύ χαμηλό κόστος υλικών. Συνδυάζει την εξαιρετική απόδοση ενός τελευταίας τεχνολογίας πομποδέκτη RF με έναν μικροελεγκτή 8051, ενσωματωμένη προγραμματιζόμενη μνήμη 8-KB RAM, κ.α. Κυκλοφορεί σε τέσσερις διαφορετικές εκδόσεις, τις CC2530/32/64/128/265 με 32/64/128/256 KB μνήμης flash αντίστοιχα. Έχει πολλαπλές επιλογές λειτουργίας, καθιστώντας το, κατάλληλο για συστήματα στα οποία απαιτείται πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι χαμηλοί χρόνοι μετάβασης μεταξύ των διαφορετικών καταστάσεων (modes) λειτουργίας εξασφαλίζουν την επιθυμητή χαμηλή κατανάλωση. Υπάρχουν επίσης τα modules CC2531 και CC2533 τα οποία διαφέρουν σε κάποιες λεπτομέρειες σε σχέση με το CC2530 και τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών παρουσιάζονται παρακάτω.

Τυπικά Χαρακτηριστικά CC2530:

- 8KB RAM / μέχρι και 32-256KB flash
- Εξαιρετικό Link budget – 102dBm
- 49dB απόρριψη διπλανού καναλιού
- Τέσσερις ευέλικτες καταστάσεις ενέργειας, για μειωμένη κατανάλωση ενέργειας
- Ισχυρό 5κάναλο DMA

Βασικές εφαρμογές:

- RF τηλεχειρισμοί
- 2.4 GHz IEEE 802.15.4
- Οικιακοί και κτιριακοί αυτοματισμοί
- Βιομηχανικός έλεγχος και επίβλεψη
- Καταναλωτικά ηλεκτρονικά (χαμηλό κόστος)

- Έξυπνη διαχείριση ενέργειας.

Τα χαρακτηριστικά του CC2530/31/32 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

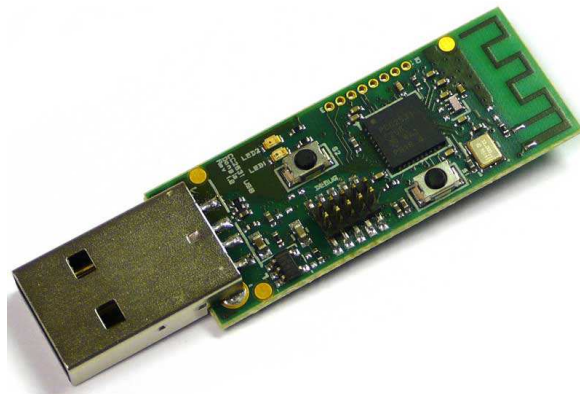
CC2530/31/32

	CC2530	CC2531	CC2533
Frequency Range	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
Frequency (Min)	2394MHz	2394MHz	2394MHz
Frequency (Max)	2507MHz	2507MHz	2507MHz
Device Type	System-on-Chip	System-on-Chip	System-on-Chip
Flash size (KB)	32,64,128,256	128,256	32,64,96
RAM size (KB)	8	8	4,4,6
Data Rate (Max) (kbps)	250	250	250
Operating Voltage (Min) (V)	2	2	2
Operating Voltage (Max) (V)	3.6	3.6	3.6
RX Current (Lowest) (mA)	20.5	20.5	21.6
Standby Current (uA)	0.4	1	0.4
Wakeup Time (PD->RX/TX) (uS)	600	600	600
Modulation Techniques	DSSS	DSSS	DSSS
Sensitivity (Best) (dBm)	-97	-97	-97
TX Power (dBm)	4.5	4.5	4.5
Antenna Connection	Differential	Differential	Differential

Πίνακας 27: Χαρακτηριστικά CC2530/31/32



Εικόνα 13: ZigBee module με το ολοκληρωμένο CC2530



Εικόνα 14: CC2531 USB module kit

2.5 Προϊόντα της εταιρίας Analog

2.5.1 ADF7241

Το ADF7241 είναι ένας, υψηλής ολοκλήρωσης, χαμηλής κατανάλωσης και υψηλής απόδοσης πομποδέκτης για λειτουργία στη ζώνη συχνοτήτων 2.4 GHz ISM. Είναι σχεδιασμένος με έμφαση στην ευελιξία, την ανθεκτικότητα, την ευκολία χρήσης και τη χαμηλή κατανάλωση ρεύματος. Υποστηρίζει τις απαιτήσεις του φυσικού επιπέδου του πρωτοκόλλου IEEE 802.15.4-2006 2.4 GHz σε λειτουργίες μετάδοσης πακέτων αλλά και δεδομένων. Έχει σταθερό ρυθμό μετάδοσης 250 kbps και διαμόρφωση DSSS-OQPSK. Το κύκλωμα εκπομπής του βασίζεται σε ένα κύκλωμα άμεσης διαμόρφωσης κλειστού βρόχου με VCO που χρησιμοποιεί ένα συνθέτη συχνοτήτων χαμηλού θορύβου. Ο αυτορρυθμιζόμενος VCO δουλεύει στη διπλάσια από τη θεμελιώδη συχνότητα, ελαττώνοντας τις παρασιτικές εκπομπές. Το εύρος συχνοτήτων του συνθέτη, ρυθμίζεται αυτόματα για εκπομπή και λήψη, ώστε να επιτυγχάνετε βέλτιστη «φάση» θορύβου και καλής ποιότητας διαμόρφωση.

Τα χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Ζώνη συχνοτήτων (ISM) 2400 MHz έως 2483.5 MHz
- IEEE 802.15.4-2006-compatible (250 kbps)
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- Υψηλή ευαισθησία
- Προγραμματιζόμενη ισχύς εξόδου
- Ενσωματωμένοι ρυθμιστές τάσης
- Εξαιρετική επιλεκτικότητα λήψης
- Ψηφιακή μέτρηση RSSI
- Γρήγορη αυτόματη ταλάντωση VCO
- Αυτόματη βελτιστοποίηση σύνθεσης εύρους ζώνης

Βασικές εφαρμογές:

- Δίκτυα ασύρματων αισθητήρων
- Αυτόματες μετρήσεις / έξυπνες μετρήσεις

- Βιομηχανικός ασύρματος έλεγχος
- Ασύρματη εικόνα / ήχος
- Καταναλωτικά ηλεκτρονικά
- Υγειονομική περίθαλψη
- Δίκτυα ZigBee

2.5.2 ADF7242

Το ADF7242 είναι η μετεξέλιξη του ADF7241 και έχει τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά με το δεύτερο. Υποστηρίζει τις απαιτήσεις του φυσικού επιπέδου του πρωτοκόλλου IEEE 802.15.4-2006 2.4 GHz, και επιπλέον διαμορφώσεις GFSK/FSK/GMSK/MSK σε λειτουργίες μετάδοσης πακέτων αλλά και δεδομένων. Έχει σταθερό ρυθμό μετάδοσης 250 kbps και διαμόρφωση DSSS-OQPSK. Με την υποστήριξη που παρέχει για τις διαμορφώσεις GFSK/FSK/GMSK/MSK μπορεί να λειτουργήσει σε ένα εύρος ρυθμών μετάδοσης από 50 kbps έως 2Mbps. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επομένως σε εφαρμογές έξυπνων μετρήσεων, βιομηχανικού ελέγχου, αυτοματισμούς σπιτιού και κτηρίων, ακόμα και σε καταναλωτικά / εμπορικά ηλεκτρονικά. Το βασικό κύκλωμα εκπομπής του είναι ίδιο με αυτό που περιγράψαμε προηγουμένως, ενώ το κύκλωμα λήψης είναι βασισμένο στην τεχνική μηδενικής ενδιάμεσης συχνότητας (zero-IF) επιτρέποντας μεγάλη επιλεκτικότητα, πράγμα που είναι βασικός παράγοντας καλής επικοινωνίας σε περιβάλλοντα επικοινωνίας που κυριαρχούνται από παρεμβολές, όπως η μπάνα των 2.4GHz. Το ADF7242 δουλεύει σε τάσεις 1.8V – 3.6V με πολύ μικρή κατανάλωση ρεύματος, πράγμα που το κάνει ιδανικό για εφαρμογές και συστήματα τροφοδοτούμενα από μπαταρίες.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ADF7242 είναι τα εξής:

- Εύρος συχνοτήτων (ζώνη ISM): 2400 MHz έως 2483.5 MHz
- Προγραμματιζόμενοι ρυθμοί δεδομένων και διαμόρφωση: IEEE 802.15.4-2006-compatible (250 kbps) και διαμορφώσεις GFSK/FSK/GMSK/MSK - Ρυθμοί μετάδοσης 50 kbps έως 2000 kbps
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
19 mA (τυπική) κατά τη λήψη
21.5 mA (τυπική) κατά τη μετάδοση
- Υψηλή ευαισθησία (IEEE 802.15.4-2006)
-95 dBm στα 250 kbps
- Υψηλή ευαισθησία (0.1% BER)
-96 dBm στα 62.5 kbps (GFSK)
-93 dBm στα 500 kbps (GFSK)
-90 dBm στα 1 Mbps (GFSK)
-87.5 dBm στα 2 Mbps (GFSK)
- Προγραμματιζόμενη ισχύς εξόδου: -20 dBm έως +4.8 dBm με βήμα 2 dB

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ADF7242 φαίνονται συνοψισμένα στον παρακάτω πίνακα, μαζί με τα χαρακτηριστικά του ADF7241 το οποίο παρουσιάστηκε προηγουμένως.

ADF7241/ADF7242

Part#	Maximum Data Rate (kbps)	Phase Noise Floor (dBc/Hz)	Modulation Mode	Tx Current for 0 dBm (mA)	Rx Current (mA)	Rx Sensitivity (dBm)	Output Power	Output Frequency Range	Min Pos Supply	Max Pos Supply

ADF7241	250Kbps	- 145dBc/Hz	DSS- OQPSK	-	19mA	-95dBm	-20dBm to +4.8dBm	2400 MHz	1.8V	3.6V
ADF7242	250Kbps	- 145dBc/Hz	DSS- OQPSK , FSK, GFSK, MSK	-	19mA	-96dBm	-20dBm to +4.8dBm	2400 MHz	1.8V	3.6V

Πίνακας 28: Χαρακτηριστικά ADF7241/ADF7242



Εικόνα 15: Το module ADF724x

Κεφάλαιο

3

Συμπεράσματα

3.1 Συμπεράσματα για τα Rf modules

Κάνοντας αυτή τη μελέτη στα Rf modules διαπιστώνεται ότι οι δυνατότητες που παρέχουν τα έτοιμα modules της αγοράς είναι αρκετές έτσι ώστε να εξυπηρετήσουν και το πιο απαιτητικό σύστημα που μπορεί να σχεδιάσει ένας ηλεκτρονικός μηχανικός. Για αυτό το λόγο αλλά και για τους λόγους που προαναφέρθηκαν σε αυτή τη μελέτη είναι προτιμότερο να αγοραστεί ένα έτοιμο module. Το μόνο που θα χρειαστεί να προσέξει κάποιος κατά την αγορά ενός module είναι τα χαρακτηριστικά του module που θα αγοράσει να είναι μελετημένα σωστά από τα τεχνικά φύλλα του κατασκευαστή και να ταιριάζουν στις απαιτήσεις του.

Παράρτημα

- LR-WPAN: Low Rate Wireless Personal Area Network (= Χαμηλού ρυθμού Ασύρματα προσωπικά δίκτυα)
- DSSS: Direct sequence Spread Spectrum (=Άμεσης Ακολουθίας Διασποράς Φάσματος)
- O-QPSK: Offset Quadrature Phase Shift Keying
- BPSK: Binary Phase Shift Keying
- RFD: Reduced Function Devices (=Συσκευές Μειωμένης Λειτουργίας)
- FFD: Full Function Devices (=Συσκευές Πλήρους Λειτουργίας)
- PAN: Personal Area Network (=Προσωπικό/Ιδιωτικο δίκτυο)
- CAP: Contention Access Period (=Περίοδος Ανταγωνισμού Πρόσβασης)
- CFP: Contention Free Period (=Περίοδος χωρίς ανταγωνισμό)
- GTS: Guaranteed Time Slots (= Εγγυημένες χρονοθυρίδες)
- APL: Application Layer (= Επίπεδο Εφαρμογών)
- ZDO: Zigbee Device Objects (= Συσκευές Zigbee)
- APS: Application Sub Layer (=Υπό-επίπεδο εφαρμογών)
- CSMA-CA: Carrier sense multiple access with collision avoidance (=Πολλαπλή Πρόσβαση με Ακρόαση Φέροντος και Αποφυγή Συγκρούσεων)
- RREQ: Route Request Message (=Μήνυμα αίτησης διαδρομής)

- RREP: Route Reply Message (= Μήνυμα απάντησης διαδρομής)
- AODV: Ad Hoc On Demand Distance Vector
- APO: Application Object (=Αντικείμενο Εφαρμογής)

Βιβλιογραφία

Θεωρητικά στοιχεία:

- RF module:
http://en.wikipedia.org/wiki/RF_module
- Zig Bee:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee>
- XBee:
<http://en.wikipedia.org/wiki/XBee>
- XBee ZigBee Route Discovery and Network Address Discovery:
<http://www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdetl?id=2192>

Datasheets:

XBee

- XBee
<http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/point-multipoint-rfmodules/xbee-series1-module#docs>
- XDM2510H
<http://www.rfm.com/products/data/xdm2510hc.pdf>

Panasonic

- PAN4555
<http://www.panasonic.com/industrial/includes/pdf/PAN4555-Application-Board.pdf>
- PAN4561
http://www.panasonic.com/industrial/includes/pdf/PIC_PAN4561_Specification_v2.pdf

Texas Instruments

- CC2520

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2520.pdf>

- CC2530/31/33

<http://www.ti.com/product/CC2530/technicaldocuments>

Analog Devices

- 7) ADF7241

<http://www.analog.com/en/rfif-components/rfif-transceivers/adf7241/products/product.html#product-documentation>

- ADF7242

<http://www.analog.com/en/rfif-components/rfif-transceivers/adf7242/products/product.html#product-documentation>