ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ανάπτυξη Ασύρματου Δικτύου Προσωπικής Εμβέλειας για Εφαρμογές Τηλεϊατρικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΓΓΕΛΙΚΗ Γ. ΚΡΙΤΣΩΤΑΚΗ

Επιβλέπων : Δ. Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2010

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ανάπτυξη Ασύρματου Δικτύου Προσωπικής Εμβέλειας για Εφαρμογες Τηλεϊατρικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΓΓΕΛΙΚΗ Γ. ΚΡΙΤΣΩΤΑΚΗ

Επιβλέπων : Δ. Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 10η Μαρτίου 2010.

.....	.....	.....
Δ. Κουτσούρης	Κ. Νικήτα	Π. Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.	Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.	Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2010

.....

ΑΓΓΕΛΙΚΗ Γ. ΚΡΙΤΣΩΤΑΚΗ

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

Copyright © Αγγελική Κριτσωτάκη, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

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

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

Περίληψη

Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών στον τομέα της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών δε θα μπορούσαν να αφήσουν ανεπηρέαστο τον ιατρικό κλάδο. Απότελεσμα, η ανάπτυξη ενός νέου τομέα, της ηλεκτρονικής υγείας, ο οποίος καλύπτει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και η τηλεϊατρική. Πιο συγκεκριμένα, η κατ' οίκον νοσηλεία είναι μια μορφή τηλεϊατρικής που αφορά τη μετάδοση σε πραγματικό χρόνο βιοσημάτων του ασθενούς, ο οποίος βρίσκεται στην οικία του, προς μια ομάδα ειδικών.

Για την ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος γίνεται χρήση της τεχνολογίας ασύρματων δικτύων μικρής εμβέλειας και ειδικότερα του ZigBee, όπου μελετάται η αξιοπιστία μετάδοσης των δεδομένων σε διάφορα περιβάλλοντα.

Πιο συγκεκριμένα, ο σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι να αναπτυχθεί μια μέθοδος αξιόπιστης ασύρματης μετάδοσης των ιατρικών δεδομένων σε μικρή εμβέλεια (εντός της οικίας), τα οποία στη συνέχεια επαναμεταδίδονται προς την ομάδα ειδικών από ένα άλλο σύστημα με πρόσβαση στο διαδίκτυο ή σε άλλο μέσο.

Λέξεις Κλειδιά: << Ηλεκτρονική Υγεία, Τηλεϊατρική, Κατ’ Οίκον Νοσηλεία, Ασύρματα Δίκτυα Προσωπικής Εμβέλειας, Αξιοπιστία Δικτύου, ZigBee >>

Abstract

During the recent decades, the rapid technological developments in the fields of information technology and telecommunications could not leave unaffected the medical profession. As a result, a new field of e-Health developed, which covers a wide range of services, one of which is telemedicine. In particular, home care is a form of telemedicine to transmit to a team of experts the real-time biosignals of the patient, who is at home.

To develop such a system we use the technology of wireless personal area networks (WPANs) and particularly of ZigBee, and we study the reliability of data transmission in different environments.

More precisely, the scope of this thesis is to develop a reliable method of medical data wireless transmission at short range (inside the house). These data are then retransmitted to the expert group by another system using Internet or any other medium.

Keywords: << e-Health, Telemedicine, Homecare, Wireless Personal Area Networks (WPAN), Network Reliability, ZigBee >>

Ευχαριστίες

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί την κατακλείδα των σπουδών μου στη Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Κατά τη διάρκεια των χρόνων αυτών είχα την τιμή και τη χαρά να γνωρίσω σημαντικούς ανθρώπους, ενώ οι εμπειρίες που αποκόμισα είναι σίγουρο ότι θα μου μείνουν αξέχαστες.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Δ. Κουτσούρη για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής και την πολύτιμη βοήθειά του, καθώς και τον διδάκτορα Κώστα Περάκη για τη συνεχή στήριξη και βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αλλά και για το υλικό που μου παραχώρησε από τη διδακτορική διατριβή του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον καθηγητή κ. Ν. Παπασπύρου, ο οποίος με το ήθος, την ευγένεια του χαρακτήρα του και την επιστημονική του κατάρτιση, αποτέλεσε και θα συνεχίσει να αποτελεί πηγή έμπνευσης για τη μετέπειτα πορεία μου.

Φυσικά δε θα μπορούσα να μην αναφέρω τους συμφοιτητές, συναδέλφους, φίλους μου, όλους εκείνους που ήταν δίπλα μου όποτε τους είχα ανάγκη και με υποστηρίξανε, για όλα τα ξενύχτια, τις αξέχαστες και ατελείωτες στιγμές που περάσαμε μαζί, τους ευχαριστώ που υπάρχουν στη ζωή μου (ακόμα και αν θεωρούνται «κακές επιρροές») και θέλω να υπογραμμίσω ότι αυτή είναι μόνο αρχή (ναι, μπορεί να θεωρηθεί απειλή).

Η οικογένεια και οι γονείς είναι αυτοί που έχουν συμβάλλει το μεγαλύτερο από όλα τα λιθαράκια και στους οποίους αξίζει αντίστοιχα το μεγαλύτερο ευχαριστώ. Λένε ότι τους φίλους τους διαλέγεις, αλλά την οικογένεια όχι. Αν, όμως, υπήρχε αυτή η δυνατότητα θα επέλεγα τα ίδια ακριβώς άτομα για να αποτελέσουν την οικογένειά μου και είμαι πολύ χαρούμενη που τους έχω κοντά μου.

Λίνα

Πίνακας περιεχομένων

Ευρετήριο Εικόνων **15**

Ευρετήριο Πινάκων **16**

1. Εισαγωγή **17**

1.1 Ηλεκτρονική Υγεία στις Μέρες μας 18

1.2 Σκοπός διπλωματικής 19

1.3 Οργάνωση κειμένου 20

2. Υπόβαθρο **21**

2.1 Εφαρμογές Τηλεματικής στην Υγεία 22

2.1.1 Ηλεκτρονική Υγεία *22*

2.1.2 Τηλεϊατρική και Κατ΄ Οίκον Νοσηλεία *25*

2.2 Τεχνολογίες Ασύρματης Μετάδοσης Μικρής Εμβέλειας 31

2.2.1 ZigBee *31*

2.2.1.1 Η στοίβα πρωτοκόλλων του ZigBee 32

2.2.1.2 Τύποι Συσκευών 33

2.2.1.3 Τοπολογίες Δικτύων 33

2.2.1.4 Φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY) 34

2.2.1.5 Επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium access control layer, MAC) 36

2.2.1.6 Επίπεδο δικτύου (Network layer, NWK) 39

2.2.1.7 Επίπεδο εφαρμογών (Application layer, APL) 40

2.2.2 Άλλες Τεχνολογίες *44*

2.2.2.1 Bluetooth 45

2.2.2.2 HomeRF 46

2.2.2.3 IrDA 46

2.2.2.4 Wibree 46

2.2.2.5 Utra-wideband 47

2.2.2.6 Wireless USB 48

3. Σχεδιασμός Συστήματος **49**

3.1 Μεθοδολογία 50

3.2 Συνδεσμολογία 51

3.2.1 Ανάπτυξη Συστήματος *54*

3.2.1.1 RCM3720 Prototyping Board 55

3.2.1.2 RCM3720 RabbitCore 55
3.2.1.3 XBee RF Module 57
3.3 Τοπολογία 59
3.4 Υλοποίηση 61
3.4.1 Υλοποίηση Πρωτοκόλλου 61
3.4.2 Υλοποίηση Εφαρμογής για Αύξηση Αξιοπιστίας Δικτύου 61
3.4.2.1 Υλοποίηση στον Αποστολέα 62
3.4.2.2 Υλοποίηση στον Παραλήπτη 63
4. Αποτελέσματα 67
4.1 Αποτελέσματα Πειραματικών Δοκιμών 68
4.1.1 Καθαρό Περιβάλλον 68
4.1.2 Ημι-καθαρό Περιβάλλον 70
4.1.3 Θορυβώδες Περιβάλλον 71
4.2 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων 73
5. Επίλογος 75
5.1 Σύνοψη και συμπεράσματα 76
5.2 Μελλοντικές επεκτάσεις 77
Παράρτημα 79
Α. Κώδικας Υλοποίησης Πρωτοκόλλου 79
Β. Κώδικας Υλοποίησης Εφαρμογής στον Αποστολέα 89

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2-1 : Η στοίβα πρωτοκόλλων του ZigBee……33

Εικόνα 2-2 : Τοπολογίες δικτύων……34

Εικόνα 2-3 : Ζώνες συχνοτήτων και διαθέσιμα κανάλια……..35

Εικόνα 2-4 : Πακέτο φυσικού επιπέδου……36

Εικόνα 2-5 : Γενική δομή πλαισίου MAC……36

Εικόνα 2-6 : Πεδίο έλεγχος πλαισίου……... 37

Εικόνα 2-7 : Γενική δομή του πλαισίου επιπέδου δικτύου……...40

Εικόνα 2-8 : Μοντέλο αναφοράς APS……..41

Εικόνα 2-9 : Πλαίσιο APS……41

Εικόνα 2-10 : Piconets (a) Απλό – slave, (b) Πολλαπλό – slave, και (c) Διασκορπισμένο…..45

Εικόνα 3-1 : Πακέτο Μετάδοσης……..50

Εικόνα 3-2 : Μοντέλα τοπολογιών ZigBee…….. 52

Εικόνα 3-3 : Μοντέλα μεταφοράς δεδομένων άμεσης μετάδοσης 802.15.4 σε α) beacon-enabled δίκτυο και β) non-beacon-enabled δίκτυο……...52

Εικόνα 3-4 : Μοντέλα μεταφοράς δεδομένων έμμεσης μετάδοσης 802.15.4 σε α) beacon-enabled δίκτυο και β) non-beacon-enabled δίκτυο……...53

Εικόνα 3-5 **:** RCM3720 Prototyping Board……..55

Εικόνα 3-6 : Υπομονάδα RCM3720 RabbitCore……. 55

Εικόνα 3-7 : Περιβάλλον προγραμματισμού Dynamic C…….56

Εικόνα 3-8 **:** Εγκατάσταση υπομονάδας RCM3720 RabbitCore στο RCM3720 Prototyping Board..57

Εικόνα 3-9 : Διασύνδεση καλωδίων στο prototyping board…….57

Εικόνα 3-10 : Διασύνδεση RF διεπαφής……...58

Εικόνα 3-11 : Περιβάλλον εφαρμογής X-CTU…… 58

Εικόνα 3-12 : Σειριακή σύνδεση της RF διεπαφής στο prototyping board……..58

Εικόνα 3-13 : Προσδιορισμός καναλιού ασύρματων δικτύων……60

Εικόνα 3-14 : Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής……63

Εικόνα 3-15 : Στιμγιότυπο λειτουργίας συστήματος……... 64

Εικόνα 3-16 : Στιγμιότυπο κλεισίματος σειριακής θύρας…… 64

Εικόνα 3-17 : Στιγμιότυπο αίτησης χρήσης της σειριακής θύρας……65

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 3-1 : Διαθέσιμα κανάλια πρωτοκόλλου ZigBee.....60

Πίνακας 4-1 : Αποτελέσματα μετρήσεων σε καθαρό περιβάλλον..... 69

Πίνακας 4-2 : Αποτελέσματα μετρήσεων σε ημι-καθαρό περιβάλλον.....71

Πίνακας 4-3 : Αποτελέσματα μετρήσεων σε θορυβώδες περιβάλλον.....72

1.

Εισαγωγή

Η εποχή μας χαρακτηρίζεται από αλματώδεις εξελίξεις στον τεχνολογικό τομέα με απώτερο στόχο τη βελτίωση των συνθηκών ζωής των ανθρώπων. Στη σύγχρονη κοινωνία, γνωστή και ως «κοινωνία της πληροφορίας», καθοριστικό ρόλο κατέχουν οι τεχνολογίες των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής. Η ηλεκτρονική υγεία (e-Health) αποτελεί ουσιαστικά εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στον ευρύτερο τομέα της ιατρικής με σκοπό την καλύτερη πρόληψη, διάγνωση, θεραπεία, παρακολούθηση και διαχείριση της υγείας και του τρόπου ζωής[1].

[1] Ηλεκτρονική Υγεία (2/2010) http://ec.europa.eu/health-eu/care_for_me/e-health/index_el.htm

1.1 Ηλεκτρονική Υγεία στις Μέρες μας

Η ηλεκτρονική υγεία περιλαμβάνει τη συνεργασία μεταξύ ασθενών και φορέων παροχής υγειονομικών υπηρεσιών, την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφόρων ιδρυμάτων και την επικοινωνία μεταξύ ασθενών ή απασχολουμένων στον τομέα της υγείας. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν διάφορα παραδείγματα δράσεων, όπως τα δίκτυα πληροφοριών υγείας, ο ηλεκτρονικός ιατρικός φάκελος, οι υπηρεσίες τηλεϊατρικής, τα προσωπικά φορετά και φορητά συστήματα ηλεκτρονικής υγείας, οι δικτυακές πύλες για την υγεία, τα συστήματα φροντίδας ηλικιωμένων και τα συστήματα τηλεφροντίδας και τηλε-υποστήριξης ευπαθών ατόμων.

Τα εργαλεία ηλεκτρονικής υγείας παρέχουν, για παράδειγμα, πρόσβαση σε πληροφορίες για την υγεία που μπορούν να σώσουν ζωές, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό λόγω της ολοένα μεγαλύτερης διασυνοριακής κυκλοφορίας πολιτών και ασθενών. Η ηλεκτρονική υγεία μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη σε ολόκληρη την κοινωνία, βελτιώνοντας την πρόσβαση στην παρεχόμενη περίθαλψη καθώς και την ποιότητά της. Επιπλέον, συμβάλλει στην ανάπτυξη συστημάτων υγείας προσανατολισμένων στον πολίτη και στην εν γένει αποτελεσματικότητα, αποδοτικότητα και βιωσιμότητα του τομέα της υγείας.

Αυτή η τεχνολογική επανάσταση στο χώρο της ιατρικής βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και αντιμετωπίζει κάποια προβλήματα, τα οποία θέτουν περιορισμούς σε σχέση με τον τρόπο παροχής των υπηρεσιών υγείας από απόσταση[2]. Ο πιο σημαντικός, ίσως, από τους περιορισμούς αυτούς αφορά στο ποσοστό αξιοπιστίας των ασύρματων δικτύων που χρησιμοποιούνται σε συστήματα απομακρυσμένης περίθαλψης και είναι υπεύθυνα για την αποστολή της πληροφορίας σε κέντρα συντονισμού όπου γίνεται αξιολόγηση της πληροφορίας.

Δεδομένου ότι οι εφαρμογές κατ' οίκον νοσηλείας συνιστούν μια ιδιαιτέρως ιδιάζουσα κατηγορία υπηρεσιών στην οποία τόσο το σύνολο της συλλεγόμενης πληροφορίας όσο και κάθε ανεξάρτητο κομμάτι αυτής είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την αξιολόγηση της κατάστασης του πολίτη, για την εξαγωγή συμπερασμάτων, τη διάγνωση και κατά συνέπεια και για τη δημιουργία του προτεινόμενου σχήματος φαρμακευτικής αγωγής, το ποσοστό της απολεσθείσης πληροφορίας πρέπει να είναι μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό. Η αναδρομή στη βιβλιογραφία αποδεικνύει ότι η αξιοποίηση ασύρματων δικτύων μικρής εμβέλειας για τη μετάδοση δεδομένων, είτε πρόκειται για το σχηματισμό ασύρματων δικτύων προσωπικής εμβέλειας για την παρακολούθηση ασθενών, είτε για πολυμεσικές είτε για βιομηχανικές εφαρμογές από μόνη της δε συνιστά πανάκεια, διότι αρκετές τεχνολογίες ασύρματης

[2] Κ. Π. Περάκης (12/2009) Μελέτη, Ανάπτυξη & Αξιολόγηση Πρωτοκόλλου Επικοινωνίας & Συστήματος Ασύρματης Δικτύωσης Προσωπικής Εμβέλειας για Εφαρμογή σε Πραγματικού Χρόνου Κατ' Οίκον Παρακολούθηση

δικτύωσης οι οποίες χρησιμοποιούνται λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, την ISM στα 2.4 GHz. Αυτό επιφέρει προβλήματα αναφορικά με την αξιοπιστία της μετάδοσης, καθώς οι παρεμβολές μεταξύ των συσκευών στην ίδια ζώνη μπορεί να είναι σημαντικές, σε βαθμό που να μην καθιστούν δυνατή τη σωστή, ασφαλή και αποσφαλματοποιημένη επικοινωνία.

Ένα από τα κυριότερα εμπόδια που συναντάμε κατά την ανάπτυξη λύσεων τηλεϊατρικής και κατ' οίκον νοσηλείας σχετίζεται με την ταυτόχρονη συνύπαρξη διαφόρων παρεμβαλλόμενων συσκευών, το ποσοστό της επιρροής των οποίων μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τον παραγόμενο όγκο δεδομένων, τη φυσική απόσταση των συσκευών αυτών από το ασύρματο δίκτυο και την ισχύ εκπομπής των συσκευών αυτών. Επίσης, δεν έχουν καθοριστεί διάφοροι παράγοντες όπως το μέγεθος των εκπεμπόμενων πακέτων, τον αριθμό των κόμβων που χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό του ασύρματου δικτύου, την ύπαρξη ή την έλλειψη της οπτικής επαφής μεταξύ των πομποδεκτών, και άλλα.

1.2 Σκοπός διπλωματικής

Σκοπός της διπλωματικής είναι η υλοποίηση λύσεων οι οποίες θα διευκολύνουν την εφαρμογή της κατ' οίκον νοσηλείας στην κλινική πράξη. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία αποσκοπεί:

- Στην υλοποίηση ενός παραμετροποιημένου πρωτοκόλλου, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει και να μορφοποιήσει δεδομένα ηλεκτροκαρδιογραφήματος καθώς και λοιπών κρίσιμων βιοσημάτων.
- Στην εύρεση μεθόδου αύξησης της αξιοπιστίας της ασύρματης τεχνολογίας δικτύωσης μικρής εμβέλειας IEEE 802.15.4 που κρίνεται ως η πλέον δόκιμη για εφαρμογή σε αρχιτεκτονικές κατ' οίκον νοσηλείας. Όπως αναλύεται και στη συνέχεια, η συγκεκριμένη τεχνολογία παρουσιάζει κάποιους σημαντικούς περιορισμούς κυρίως λόγω του γεγονότος ότι λειτουργεί στην ίδια ζώνη συχνοτήτων με άλλες τεχνολογίες με μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες πακέτων οι οποίες δεν είναι αποδεκτές για τη συγκεκριμένη υπηρεσία.

1.3 Οργάνωση κειμένου

Η παρούσα διπλωματική είναι οργανωμένη σε πέντε κεφάλαια, με το παρόν κεφάλαιο να περιλαμβάνει μια εισαγωγική αναφορά σχετικά με την ηλεκτρονική υγεία και την κατ' οίκον νοσηλεία καθώς και την παρουσίαση του σκοπού της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το γενικό θεωρητικό υπόβαθρο στους τομείς της ηλεκτρονικής υγείας και των ασύρματων δικτύων.

Το τρίτο είναι το κεφάλαιο στο οποίο περιγράφεται ο σχεδιασμός του συστήματος ελέγχου αξιοπιστίας του ασύρματου δικτύου, η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε, η συνδεσμολογία του υλικού, η τοπολογία των πειραματικών δοκιμών καθώς και μερικά θέματα σχετικά με την υλοποίηση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο περιβάλλον του συστήματος πειραματικών δοκιμών.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί τον επίλογο της εργασίας, στο οποίο συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν και δίδονται προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις.

Τέλος, στο παράρτημα παρουσιάζεται ο κώδικας της υλοποίησης του πρωτοκόλλου καθώς και της εφαρμογής για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του ασύρματου δικτύου, στην πλευρά του αποστολέα.

2.

Υπόβαθρο

Η διαρκώς αυξανόμενη τεχνολογική πρόοδος έχει οδηγήσει στην υλοποίηση διάφορων εφαρμογών στην υπηρεσία της ιατρικής φροντίδας. Απόρροια αυτής της εξέλιξης είναι η εισαγωγή νέων όρων όπως ηλεκτρονική υγεία, τηλεϊατρική, κατ' οίκον νοσηλεία, οι οποίοι σχετίζονται με τεχνολογίες αιχμής στον τομέα της πληροφορικής και των επικοινωνιών. Πιο συγκεκριμένα, θα εξετάσουμε τεχνολογίες ασύρματων δικτύων προσωπικού χώρου δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο πρότυπο IEEE 802.15.4 και στη σπουδαιότητά του για χρήση σε εφαρμογές τηλεϊατρικής.

2.1 Εφαρμογές Τηλεματικής στην Υγεία

Ο όρος τηλεματική (telematique) δημιουργήθηκε από τους Γάλλους Simon Nora και Alain Minc το 1976 και υπονοεί τη σύζευξη των τηλεπικοινωνιών (telecommunications) και της πληροφορικής (informatique). Με τον όρο τηλεματικές εφαρμογές εννοούμε όλες εκείνες τις υπηρεσίες που μας προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία μέσω των οποίων μπορούμε να αποστείλουμε και να λάβουμε κάθε φύσης πληροφορίες. Οι πληροφορίες μπορεί να είναι ακουστικές, οπτικές, εικόνας ή κειμένου και μεταδίδονται μέσω τηλεόρασης, υπολογιστή ή άλλων ειδικών συσκευών. Οι τηλεματικές εφαρμογές κερδίζουν συνεχώς έδαφος στο σύγχρονο κόσμο αλλάζοντας ριζικά τους τρόπους επικοινωνίας και μετάδοσης πληροφοριών[3].

Στην παρούσα ενότητα θα ασχοληθούμε με εφαρμογές τηλεματικής στην υγεία. Η ηλεκτρονική υγεία αποτελεί ένα γενικό και ευρύ όρο, περιλαμβάνοντας όλες τις εφαρμογές τηλεματικής στην υγεία. Η τηλεϊατρική (telemedicine) αποτελεί την παροχή υπηρεσιών υγείας κυρίως σε ασθενείς, η τηλεϋγεία (telehealth) κυρίως σε υγιείς πολίτες και η τηλεφροντίδα (telecare) σε ασθενείς με διαγνωσμένη πάθηση (χρόνια νοσήματα)[4] .

2.1.1 Ηλεκτρονική Υγεία

Η ηλεκτρονική υγεία (*e*-Υγεία) είναι ένας όρος ο οποίος καθιερώθηκε από τον Eyesenbach το 2000, και ήρθε να λειτουργήσει ως «όρος ομπρέλα» προκειμένου να καλύψει την προσφορά υπηρεσιών υγείας με την χρησιμοποίηση τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ) σε όλο το φάσμα των λειτουργιών που επηρεάζουν τον τομέα της υγείας. Η e-Υγεία μπορεί να βελτιώσει την πρόσβαση στην ιατροφαρμακευτική περίθαλψη και να δώσει ώθηση στην ποιότητα και την αποτελεσματικότητα των προσφερομένων υπηρεσιών. Στα εργαλεία ή τις λύσεις της e-Υγείας περιλαμβάνονται προϊόντα, συστήματα και υπηρεσίες, τα οποία ξεπερνούν τις απλές εφαρμογές που βασίζονται στο διαδίκτυο. Περιλαμβάνονται εργαλεία, τόσο για τις υγειονομικές αρχές όσο και για το ιατρονοσηλευτικό προσωπικό, καθώς και εξατομικευμένα συστήματα υγείας για ασθενείς και πολίτες.

Συνδυαζόμενη με οργανωτικές αλλαγές και με την ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων, η e-Υγεία μπορεί να συμβάλει στην εξασφάλιση βελτιωμένης περίθαλψης με μικρότερη δαπάνη, στο πλαίσιο συστημάτων διανομής υπηρεσιών υγείας που είναι επικεντρωμένα στους πολίτες.

---

[3] Τηλεματική (2/2010) http://egnatia.ee.auth.gr/~aalexioy/telematique.htm

[4] Εφαρμογές Τηλεματικής στην Υγεία (2/2010)
http://www.ntua.gr/temp_announce/170/parousiaseis170/files170/SYNEDRIA%20I/1408_presentation.pdf

Ανταποκρίνεται με τον τρόπο αυτό στις μείζονες προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα ο τομέας της υγείας, ο οποίος αυτή τη στιγμή απασχολεί το 9% του ευρωπαϊκού εργασιακού δυναμικού.

Τα κύρια χαρακτηριστικά της *e*-Υγείας είναι[5] :

- **Αποδοτικότητα** : Μια από τις υποσχέσεις της ηλεκτρονικής υγείας είναι να αυξήσει την αποδοτικότητα της ιατρικής περίθαλψης, μειώνοντας το κόστος. Ένας πιθανός τρόπος μείωσης του κόστους είναι η αποφυγή διπλών ή μη απαραίτητων διαγνωστικών ή θεραπευτικών διαδικασιών μέσω της επικοινωνίας ανάμεσα στους φορείς υγείας και τον πολίτη.
- **Βελτίωση της ποιότητας περίθαλψης** : Η αύξηση της αποδοτικότητας δεν μειώνει μόνο το κόστος αλλά βελτιώνει ταυτόχρονα και την ποιότητα. Η ηλεκτρονική υγεία μπορεί να βελτιώνει ταυτόχρονα και την ποιότητα της ιατρικής περίθαλψης επιτρέποντας για παράδειγμα συγκρίσεις ανάμεσα στους παρόχους υγείας.
- **Επιστημονική τεκμηρίωση** : Οι ενέργειες της ηλεκτρονικής υγείας πρέπει να τεκμηριώνονται με την έννοια ότι η αποδοτικότητά τους πρέπει να αποδεικνύεται με επιστημονικές μεθόδους.
- **Ενδυνάμωση πολιτών και ασθενών** : Οι βάσεις δεδομένων υγείας και ο προσωπικός ηλεκτρονικός ιατρικός φάκελος καθίστανται προσβάσιμα από το διαδίκτυο, ανοίγοντας νέους ορίζοντες για ανθρωποκεντρικά συστήματα υγείας και διευκολύνοντας τον ασθενή στις επιλογές του.
- **Ενίσχυση της αλληλεπίδρασης** : Ενθαρρύνεται η ανάπτυξη νέας σχέσης ανάμεσα στον ασθενή και τον επαγγελματία της υγείας, προς μια συνεργασία στην οποία οι αποφάσεις θα λαμβάνονται με κοινό τρόπο.
- **Συνεχής εκπαίδευση** : Επιτρέπεται η εκπαίδευση των γιατρών και του παραϊατρικού προσωπικού από ηλεκτρονικές πηγές (συνεχής ιατρική εκπαίδευση) αλλά και των πολιτών (για παράδειγμα ιατρικές πληροφορίες πρόληψης).
- **Διευκόλυνση της ανταλλαγής της πληροφορίας** : Αναβαθμίζονται τα μέσα διακίνησης της ιατρικής πληροφορίας και κατά συνέπεια της επικοινωνίας, με έναν προτυποποιημένο τρόπο ανάμεσα στους διάφορους φορείς υγείας. Με αυτόν τον τρόπο προάγεται και η διαλειτουργικότητα. Δίδεται η δυνατότητα προσπέλασης και ελέγχου σε δεδομένα όλων των συστημάτων με την ταυτόχρονη ύπαρξη ενός ενιαίου σημείου διαχείρισης και διοίκησης.

[5] Δ.Κουτσούρης, Κ.Νικήτα (2008) Εργαστήριο Βιοϊατρικής Τεχνολογίας

- **Επέκταση της εμβέλειας της ιατρικής περίθαλψης** : Η παροχή υπηρεσιών υγείας μεταφέρεται πέρα από τα συμβατικά όρια, τόσο με τη γεωγραφική όσο και με τη μεταφορική έννοια του όρου. Οι πολίτες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν επιγραμμικές (online) ιατρικές υπηρεσίες που παρέχονται από διεθνείς παρόχους. Αυτές οι υπηρεσίες μπορεί να είναι απλά συμβουλευτικές ή και πιο ουσιαστικές, όπως για παράδειγμα η προμήθεια φαρμακευτικών προϊόντων.
- **Ασφάλεια** : Η ηλεκτρονική υγεία περιλαμβάνει νέες μορφές αλληλεπίδρασης ασθενή – γιατρού και εμπεριέχει νέες προκλήσεις σε θέματα ασφάλειας, όπως για παράδειγμα το ιατρικό απόρρητο.
- **Ισότητα** : Η ενίσχυση της ισοτιμίας στην παροχή υπηρεσιών ιατρικής περίθαλψης είναι μια από τις υποσχέσεις της ηλεκτρονικής υγείας.

Η ηλεκτρονική υγεία είναι το σύγχρονο εργαλείο για την επίτευξη σημαντικών αυξήσεων στην παραγωγικότητα και το μελλοντικό μέσο για την αναδιάρθρωση των συστημάτων υγείας που είναι επικεντρωμένα στον πολίτη, με ταυτόχρονη διαφύλαξη της ποικιλομορφίας στην ευρωπαϊκή πολυπολιτισμική, πολυγλωσσική παράδοση παροχής υπηρεσιών υγείας. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα επιτυχών εξελίξεων αναφορικά με την ηλεκτρονική υγεία, όπου συμπεριλαμβάνονται δίκτυα πληροφοριών υγείας, ηλεκτρονικός ιατρικός φάκελος, υπηρεσίες τηλεϊατρικής, φορετά και φορητά συστήματα παρακολούθησης και δικτυακές πύλες για την υγεία. Τουλάχιστον τέσσερις στους πέντε ευρωπαίους γιατρούς είναι σήμερα συνδεδεμένοι με το διαδίκτυο, ενώ το ένα τέταρτο των ευρωπαίων πολιτών το χρησιμοποιούν για πληροφορίες σχετικά με την υγεία.

Η *e*-Υγεία αποτελεί μέρος της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ηλεκτρονική Ευρώπη (*e*-Europe). Μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη μεγαλύτερης οικονομικής μεγέθυνσης και τη δημιουργία θέσεων εργασίας για τις οποίες απαιτούνται υψηλότερα προσόντα στο πλαίσιο μιας δυναμικής οικονομίας της γνώσης. Πολλά ερευνητικά αποτελέσματα έχουν πλέον δοκιμαστεί και τεθεί σε πρακτική εφαρμογή. Το γεγονός αυτό έφερε την Ευρώπη σε ηγετική θέση στη χρήση του ηλεκτρονικού ιατρικού φακέλου στην πρωτοβάθμια περίθαλψη και στην εισαγωγή (έξυπνων) καρτών υγείας, με τη στήριξη της ανταλλαγής πληροφοριών και της τυποποίησης· την ανάπτυξη δικτύων ανταλλαγής πληροφοριών για την υγεία μεταξύ φορέων περίθαλψης, ώστε να υπάρχει συντονισμός των δράσεων σε περίπτωση κινδύνου για τη δημόσια υγεία· την παροχή υπηρεσιών υγείας σε απευθείας σύνδεση, όπως πληροφοριών για μια υγιεινή ζωή και πρόληψη των ασθενειών· και, τέλος, την ανάπτυξη συστημάτων τηλεσυμβουλευτικής (teleconsultation), ηλεκτρονικής συνταγογράφησης (ePrescribing), ηλεκτρονικής παραπομπής (eReferral) και ηλεκτρονικής επιστροφής των ιατρικών εξόδων. Οι εξελίξεις αυτές συνέβαλαν στην εμφάνιση ενός νέου «κλάδου *e*-Υγείας», ο οποίος διαθέτει το δυναμικό να καταστεί ο τρίτος μεγαλύτερος κλάδος

στον τομέα της υγείας. Για την περαιτέρω πορεία θα απαιτηθούν δράσεις σε διάφορα σημαντικά πεδία πολιτικής, που κυμαίνονται από την έρευνα, εγκατάσταση και εμπορική εκμετάλλευση ευρυζωνικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων, να ληφθούν υπόψη οι ανάγκες των πολιτών, των ασθενών και των απασχολουμένων στον τομέα της υγείας και, παράλληλα, να εξασφαλιστεί η συμμετοχή τους στην υλοποίηση των σχετικών σχεδίων και στρατηγικών, έως την ανάληψη δράσης στη δημόσια υγεία, καθώς και εργασίες των κρατών μελών που προωθούν την κινητικότητα και αξιολογούν τις επιπτώσεις της γήρανσης των ευρωπαϊκών κοινωνιών στα συστήματα ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι επίσης αξιομνημόνευτο ότι η *e*-Υγεία συμπεριλαμβάνεται στα αποτελέσματα της παγκόσμιας διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για την κοινωνία της πληροφορίας, μολονότι οι ανάγκες όσον αφορά την παροχή υπηρεσιών υγείας διαφέρουν σε κλίμακα και χαρακτήρα, στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς και ότι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας συμμετέχει πλέον σε σειρά πρωτοβουλιών ηλεκτρονικής υγείας.

2.1.2 Τηλεϊατρική και Κατ΄ Οίκον Νοσηλεία

Η τηλεϊατρική, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, ορίζεται ως η «παροχή υπηρεσιών υγείας και πρόνοιας, εκεί όπου η απόσταση είναι κρίσιμος παράγοντας, από επαγγελματίες του χώρου της υγείας με χρήση τεχνολογιών πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών για την ανταλλαγή έγκυρης πληροφορίας, για διάγνωση, θεραπεία και πρόληψη ασθενειών και ατυχημάτων, έρευνα και αξιολόγηση, και για τη συνεχιζόμενη εκπαίδευση παρόχων υπηρεσιών υγείας, και όλα αυτά με απώτερο στόχο την προώθηση της υγείας των ατόμων και των κοινοτήτων τους».

Εύκολα συνάγει κανείς ότι πρόκειται για υποβοηθούσες τεχνολογίες και δεν πρόκειται για νέα μορφή ιατρικής[6]. Ασφαλώς όμως η υιοθέτηση των τεχνολογιών αυτών έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη διαμορφώσεως νέων προτύπων οργάνωσης και παροχής των ιατρικών υπηρεσιών. Υπό την έννοια αυτή η τηλεϊατρική μπορεί να θεωρηθεί και ως καινοτόμος διαδικασία στον χώρο της ιατρικής ή της υγείας.

Η τηλεϊατρική δεν είναι κάτι νέο. Ο Καθηγητής της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών Σκεύος Ζερβός απέδειξε το 1936, ότι υπηρεσίες τηλεϊατρικής ήταν δυνατό να προσφέρονται σε κάθε σημείο της Ελλάδας, ακόμα και στα επιβατηγά πλοία που πήγαιναν στη Νέα Υόρκη. Παραδείγματα σύγχρονων υπηρεσιών τηλεϊατρικής αποτελούν η τηλεδιάγνωση και η τηλεσυμβουλευτική (τηλεακτινολογία, τηλεκαρδιολογία,

[6] Υπηρεσίες Τηλεϊατρικής (2/2010) http://mpl.med.uoa.gr/downloads/PDF/tileiatrik.pdf

τηλεπαθολογία, τηλεδερματολογία), η τηλεπαρακολούθηση, η τηλεδιαχείριση, η τηλεκπαίδευση και διάφορες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας[7].

Οι υπηρεσίες τηλεϊατρικής πρέπει να είναι προσιτές σε όλους, οποτεδήποτε και οπουδήποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο: αυτό επιτυγχάνεται καλύτερα με την κατ' οίκον παροχή φροντίδας, με την οποία διασφαλίζεται η άνεση-ευκολία του πολίτη, και μειώνεται το κόστος των οργανισμών που παρέχουν υπηρεσίες υγείας. Η κατ' οίκον φροντίδα - η οποία ορίζεται ως η συνιστώσα της ιατρικής φροντίδας όπου ασθενείς που δεν έχουν τη δυνατότητα να επισκεφτούν έναν πάροχο υπηρεσιών υγείας λαμβάνουν μια πρώτη εκτίμηση και θεραπεία στο σπίτι τους – είναι ο παράγοντας-κλειδί σε αυτό το σενάριο.

Οι κυρίαρχες τάσεις που μπορούν να αναγνωριστούν στην Ευρώπη αυτήν τη χρονική περίοδο είναι οι ακόλουθες:

- Ανάπτυξη των εφαρμογών τηλεϊατρικής που αφορούν παρακολούθηση και νοσηλεία στο σπίτι
- Αύξηση του αριθμού των κέντρων συνδιάσκεψης
- Χρήση του διαδικτύου για την επιγραμμική (online) ανταλλαγή ενός συνόλου ιατρικών πληροφοριών και την επικοινωνία μεταξύ γενικών και εξειδικευμένων ιατρών
- Ενσωμάτωση και ολοκλήρωση του ηλεκτρονικού ιατρικού φακέλου με τις σύγχρονες τεχνολογίες τηλεϊατρικής
- Διεθνής θεσμοθέτηση σχετικά με την αποζημίωση για συνεδρίες εξ' αποστάσεως

Στα επόμενα χρόνια αναμένεται **ραγδαία αύξηση στη ζήτηση των υπηρεσιών τηλεϊατρικής** για διάφορους λόγους, όπως:

- Οι αποδέκτες υπηρεσιών υγείας απαιτούν συνεχώς βελτιωμένη ποιότητα στις υπηρεσίες που λαμβάνουν. Για το λόγο αυτό οι παροχές τηλεϊατρικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους οργανισμούς υγείας ως μέσα διαφοροποίησης και αναβάθμισης των υπηρεσιών τους είτε για την προσέλκυση νέων αποδεκτών, είτε για τη διατήρηση εκείνων που τις θεωρούν πλέον απαραίτητες. Μια από τις ιδιότητες των υπηρεσιών που καθορίζουν την ποιότητά τους είναι η διαθεσιμότητά τους και η πρόσβαση σ' αυτές. Στα πλαίσια του Εθνικού Συστήματος Υγείας, η διαθεσιμότητα των υπηρεσιών και η πρόσβαση σε αυτές φαίνεται ότι μειώνεται ραγδαία με την αύξηση της απόστασης κατοικίας και εργασίας από τις μεγάλες δευτεροβάθμιες ή τριτοβάθμιες μονάδες, ενώ δυσκολεύεται συχνά από τις καιρικές συνθήκες και τις

[7] Τηλεϊατρική (2/2010) http://www.biomed.ntua.gr/Portals/1/5-telemedicine_21.ppt

δυνατότητες μεταφοράς των ασθενών. Επίσης, η διαθεσιμότητά τους είναι διαφορετική για τις διάφορες ώρες της μέρας και δυσκολεύεται ως και καθίσταται αδύνατη από μια σειρά παραγόντων όπως η πυκνότητα κυκλοφορίας, οι δύσκολες καιρικές συνθήκες, οι μαζικές μετακινήσεις σε περιόδους διακοπών πάσης φύσεως και άλλα. Σε όλες τις περιπτώσεις ο χρόνος απόκρισης σε συγκεκριμένο αίτημα, η ανταπόκριση από το ενδεδειγμένο επίπεδο του συστήματος και η εγκυρότητα της απόκρισης είναι εξαιρετικής σημασίας. Δεδομένου ότι η τηλεϊατρική δεν εξαρτάται από την απόσταση, ομάδες ειδικών μπορούν να επιληφθούν του περιστατικού ακόμα και αν βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία. Οι χρόνοι επικοινωνίας είναι εξαιρετικά μικροί και ελεγχόμενοι, ενώ οι εναλλακτικές λύσεις είναι πολυ περιορισμένες και η συνεπαγόμενη δαπάνη ίσως απαγορευτική, γεγονότα που καθιστούν τις εφαρμογές τηλεϊατρικής σημαντικό παράγοντα αύξησης της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας.

- Για πολλά χρόνια, τα υψηλόβαθμα διοικητικά στελέχη υπηρεσιών υγείας δεν υποστήριζαν ιδιαίτερα τις συσκευές τηλεϊατρικής λόγω εξόδων και περιορισμένης απόδοσης επένδυσης. Η τάση όμως αλλάζει αναγνωρίζοντας ότι η ποιότητα θα αποτελέσει σημαντική οικονομική διαφοροποίηση στα διάφορα σχήματα αποζημίωσης υπηρεσιών υγείας. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες προτάσεις από κυβερνήσεις σχετικά με την επίδραση της ποιότητας στην αλλαγή των αποζημιώσεων (για την επιβράβευση νοσοκομειακών πολιτικών οι οποίες συμμορφώνονται με συγκεκριμένα πρότυπα ποιότητας που προέρχονται από το χώρο της τεχνολογίας). Από την άλλη, ειδικές μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι παρά το υψηλό αρχικό κόστος των σχετικών επενδύσεων, οι τηλεματικές τεχνολογίες προσφέρουν τις καλύτερες δυνατές λύσεις για τον έλεγχο των διαρκώς αυξανόμενων δαπανών που προκύπτουν λόγω των δημογραφικών μεταβολών, των αυξημένων απαιτήσεων των χρηστών, της αύξησης των εν γένει δαπανών για την απασχόληση εξειδικευμένου προσωπικού και άλλων παραγόντων. Ο έλεγχος των δαπανών μπορεί να ελεγχθεί μέσω των τηλεματικών τεχνολογιών λαμβάνοντας υπόψη ότι όλες οι πληροφορίες και τα δεδομένα που παράγονται ή αξιοποιούνται για την αντιμετώπιση ενός περιστατικού καταγράφονται με ηλεκτρονικό τρόπο. Η καταγραφή επιτρέπει την ανάλυση και την αξιολόγηση και κατά συνέπεια την αντιστοίχηση με δείκτες αποτελεσματικότητας, αποδοτικότητας και δαπανών.

- Η καθημερινή πρακτική υποδεικνύει ότι δεν έχουν όλοι οι πολίτες ίση πρόσβαση σε υπηρεσίες οποιουδήποτε περιεχομένου για λόγους γεωγραφικούς, περιβαλλοντικούς, οικονομικούς, εκπαιδευτικούς, υγείας κ.α. Χάρη στις τηλεματικές τεχνολογίες οι

αποστάσεις εκμηδενίζονται και η διάθεση των υπηρεσιών μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο και αν ευρίσκεται ο πολίτης, ανεξάρτητα από την ώρα που τις επιζητεί. Πρόκειται με άλλα λόγια για εφαρμογή της ισότητας δικαιωμάτων πρόσβασης στις υπηρεσίες υγείας για όλους τους πολίτες και άρα άνοιγμα νέων δυνατοτήτων για περισσότερη δημοκρατία και δημοκρατικές διαδικασίες από οποιαδήποτε άλλη εποχή.

- Η περίοδος έντονων δημογραφικών μεταβολών που διανύουμε έχει ως άμεση συνέπεια τη μείωση των γεννήσεων και την αύξηση του χρόνου ζωής. Τα στοιχεία αυτά συνηγορούν υπέρ της άποψης ότι οι ανάγκες για την κάλυψη των αναγκών σε υπηρεσίες υγείας θα αυξάνονται με τον χρόνο. Αντίθετα, ο αριθμός των ατόμων που είναι διατεθειμένος να εργαστεί σε ένα ιδιαίτερα δύσκολο και απαιτητικό περιβάλλον όπως αυτό των υπηρεσιών υγείας, ίσως θα βαίνει μειούμενος. Παράλληλα επικρατούν πλέον και νέες αντιλήψεις σχετικά με τις πλέον κατάλληλες συνθήκες θεραπείας ασθενών, που οφείλονται μερικώς και στις δυνατότητες που προσφέρουν οι νέες τεχνολογίες και οι επιστημονικές εξελίξεις. Έτσι το σπίτι θεωρείται το πλέον κατάλληλο περιβάλλον για τον ασθενή και την αντιμετώπιση των προβλημάτων τους (κατ' οίκον νοσηλεία), ακόμα και σε περιπτώσεις που κάτι τέτοιο ήταν προηγουμένως απαγορευτικό. Αρκεί βέβαια, η παραμονή μακριά από τις ιατρικές μονάδες να συνδυαστεί με δυνατότητες διασύνδεσης, επισκεψιμότητας, αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων κ.α.

- Θα υπάρξει βελτίωση του κλινικού αποτελέσματος χάρις στην τηλεματική. Μέχρι στιγμής, το κλινικό αποτέλεσμα εξαρτάται από τις γνώσεις των επαγγελματιών υγείας και την εμπειρία που διαθέτουν, από τις σύγχρονες εξειδικευμένες συσκευές που βρίσκονται στη διάθεσή τους και φυσικά από τις δυνατότητες επικοινωνίας με άλλο εξειδικευμένο προσωπικό και τράπεζες πληροφοριών. Παλιότερα τράπεζες πληροφοριών ήταν αποκλειστικά τα βιβλία και οι βιβλιοθήκες. Σήμερα τείνουν να αντικατασταθούν από ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες αμέσου πρόσβασης από οποιοδήποτε σημείο διαθέτει στοιχειώδη τηλεματική υποδομή. Παράλληλα, κάνοντας χρήση των δυνατοτήτων που παρέχει η τηλεσυνεδρία, η αντιμετώπιση περιστατικών από ομάδες ειδικών είναι δυνατόν να αντικαταστήσουν τον ένα μόνο επαγγελματία υγείας, ο οποίος επιλαμβάνεται του περιστατικού, ειδικότερα σε περιβάλλοντα πρωτοβάθμιας φροντίδας υγείας. Τα ίδια ισχύουν και για τη κάλυψη των αναγκών σε συνεχιζόμενη επαγγελματική εκπαίδευση και εξειδίκευση. Οι δραστηριότητες αυτές μπορούν να παρέχονται σήμερα και εξ αποστάσεως, στο σημείο που βρίσκεται ο ενδιαφερόμενος.

- Υπάρχει σαφής τάση μείωσης του χρόνου παραμονής των ασθενών στα νοσοκομεία.
- Οι πιθανοί αποδέκτες υπηρεσιών υγείας αντιλαμβάνονται και επιζητούν πλέον την αναγκαιότητα της χρήσης νέων τεχνολογιών στο χώρο της υγείας.
- Οι πιθανοί πελάτες αναζητούν νέες λύσεις για να βελτιώσουν την απόδοσή τους.
- Οι ραγδαίες εξελίξεις στο χώρο των τηλεπικοινωνιών σε συνδυασμό με τον σύγχρονο τρόπο ζωής διευκολύνουν την αποδοχή της χρήσης υπηρεσιών τηλεϊατρικής.

Η τηλεϊατρική εν γένει μπορεί να συνεισφέρει:

- στην ουσιαστική εξοικονόμηση σε έξοδα εξέτασης, μετακίνησης, και διαχείρισης του συστήματος περίθαλψης.
- στη μείωση της γεωγραφικής και φυσικής απομόνωσης ασθενών (απομακρυσμένες περιοχές, ηλικιωμένοι και ανάπηροι).
- στην εξάλειψη του φαινομένου της εσωτερικής μετανάστευσης προς τα αστικά κέντρα για καλύτερη περίθαλψη.
- στον τρόπο αποφυγής ανάγκης επανάληψης επώδυνων εξετάσεων, αντιφατικών συνταγών και λαθών στην θεραπεία.
- στη δυνατότητα παροχής συμβουλών από ειδικούς στο εξωτερικό που διαφορετικά δεν θα ήταν προσιτοί.
- στο να προάγει και να βελτιώσει την καθημερινή έρευνα καθώς παρέχει γρήγορη και άμεση πρόσβαση σε νέες πληροφορίες και γνώσεις.
- στην άμεση επικοινωνία ιατρών που βρίσκονται σε απομακρυσμένες κυρίως περιοχές, για ανταλλαγή απόψεων και αντιμετώπιση έκτατων περιστατικών.
- στη δραστική μείωση του χρόνου επικοινωνίας μεταξύ Νοσοκομείων και ιατρών.
- στην αναβάθμιση των παρεχομένων υπηρεσιών υγείας σε επίπεδο τοπικής αυτοδιοίκησης.
- στην ευρεία κάλυψη ιατρικών περιστατικών.
- στον εκσυγχρονισμό του περιβάλλοντος εργασίας του ιατρικού προσωπικού με χρήση σύγχρονης τεχνολογίας και υπηρεσιών βάσει διεθνών προτύπων.
- στη διευκόλυνση και αναβάθμιση της συνεχιζόμενης εκπαίδευσης ιατρών.
- στην αφομοίωση και χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας τηλεματικής από ιατρικό προσωπικό.
- Ευρεία γεωγραφική κάλυψη.

Σε γενικές γραμμές, η ιδέα της νοσηλείας στο σπίτι παρεμποδίζεται από ρυθμιστικούς μηχανισμούς και τις πολιτικές αποζημίωσης οι οποίες δεν ανταμείβουν την καινοτομία και

την αποτελεσματικότητα. Εντούτοις, η ανάπτυξη της διαχείρισης ασθενειών θα αυξήσει τη χρήση συστημάτων τηλεφροντίδας. Η αποτελεσματικότητα της κατ' οίκον νοσηλείας είναι τόσο σημαντική που τελικά οι διάφορες ρυθμιστικές και γραφειοκρατικές δυσκολίες θα υπερπηδηθούν αργά ή γρήγορα. Οι αρχές θα αναγκαστούν να λάβουν υπόψη τις απαιτήσεις της αγοράς και της ζήτησης, έτσι ώστε η οικονομική παροχή υπηρεσιών υγείας και φροντίδας να είναι δυνατή και για την κατ' οίκον νοσηλεία.

Οι επίδοξοι πάροχοι υπηρεσιών τηλεϊατρικής, που επιζητούν την κατοχύρωσή τους στη συγκεκριμένη αγορά, πρέπει να εξασφαλίσουν συνεργασία με σημαντικούς παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών σε κάθε χώρα. Απαιτείται επίσης η σύνδεση με εταιρείες ανάπτυξης λογισμικού για την παροχή ολοκληρωμένων λύσεων και η επίβλεψη ανάπτυξης ενός δοκιμασμένου δικτύου διανομής για τον εφοδιασμό και την υποστήριξη των τελικών χρηστών. Η όποια προσέγγιση πάντως θα πρέπει να στηρίζεται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη αγορά απαιτεί κυρίως την παροχή λύσεων σε συγκεκριμένα προβλήματα και όχι την όποια προώθηση προϊόντων.

Η αγορά προώθησης εφαρμογών τηλεϊατρικής μόλις έχει συσταθεί και δεν είναι ακόμη σε βιομηχανικό επίπεδο ανάπτυξης, δεδομένου ότι οι εταιρείες δεν απευθύνονται σε μαζική αγορά. Εντούτοις, είναι αδιαμφισβήτητο το γεγονός ότι σύντομα θα εξελιχθεί σε σπουδαίο οικονομικό παράγοντα κάθε χώρας, γεγονός που θα προσελκύσει το ενδιαφέρον νέων επενδυτών και θα προάγει τις υπάρχουσες υπηρεσίες, βάσει του ανταγωνισμού που θα δημιουργηθεί.

Η δομή της αγοράς δεν έχει αναπτυχθεί ακόμη, αλλά είναι βέβαιο ότι επιτυχημένες θα είναι οι εταιρείες οι οποίες εδραιώνουν τη θέση τους με συμμαχίες, συνεργασίες ή αγορές. Τα οφέλη-κέρδη με την αγορά τέτοιου είδους είναι μεγάλα, όμως η εμπειρία, η ανάπτυξη και η παραγωγή είναι δαπανηρές. Τρία βασικά στοιχεία διαμορφώνουν την αγορά: τηλεπικοινωνίες, λογισμικό και υλικό. Επομένως η Ευρωπαϊκή αγορά θα πρέπει να αναπτυχθεί και να εδραιωθεί έτσι ώστε να μην υπερκεραστεί από τις ΗΠΑ και την Ιαπωνία.

Με την πάροδο των ετών σημειώνεται μια μεταστροφή από την εξυγίανση των αρρώστων στο να παραμένουν οι πολίτες υγιείς και να παρακολουθούνται μη επεμβατικά και με όσο το δυνατόν μικρότερη ενόχληση σε χώρους στους οποίους αισθάνονται οικεία οι ίδιοι. Παρατηρείται δηλαδή μια στροφή στην άσκηση προληπτικής ιατρικής, στην αποασυλοποίηση των ασθενών και στην παρακολούθηση στο σπίτι, με αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των κατ' οίκον επισκέψεων του νοσηλευτικού προσωπικού καθώς και των απαιτήσεων για επισκέψεις σε νοσοκομεία ασθενών με χρόνια νοσήματα.

Η νέα όμως αυτή τάση σήμανε και την ανάγκη αντιμετώπισης σημαντικών τεχνολογικών προκλήσεων οι οποίες ακόμα και τώρα δυσχεραίνουν την άσκηση της τηλεϊατρικής και της εξ αποστάσεως παρακολούθησης των ασθενών.

Μια από τις πιο σημαντικές προκλήσεις αφορά το ποσοστό αξιοπιστίας των ασύρματων δικτύων τα οποία αξιοποιούνται κατά την αρχιτεκτονική σχεδίαση συστημάτων απομακρυσμένης περίθαλψης, τα οποία είναι υπεύθυνα για την αποστολή της πληροφορίας σε κέντρα συντονισμού στα οποία γίνεται η αξιολόγηση της πληροφορίας αυτής. Δεδομένου ότι οι εφαρμογές κατ' οίκον νοσηλείας συνιστούν μια ιδιαιτέρως ιδιάζουσα κατηγορία υπηρεσιών στην οποία τόσο το σύνολο της συλλεγόμενης πληροφορίας όσο και κάθε ανεξάρτητο κομμάτι αυτής είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την αξιολόγηση της κατάστασης του πολίτη, για την εξαγωγή συμπερασμάτων, τη διάγνωση και κατά συνέπεια και για τη δημιουργία του προτεινόμενου σχήματος φαρμακευτικής αγωγής, το ποσοστό της απολεσθείσης πληροφορίας πρέπει να είναι μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό.

2.2 Τεχνολογίες Ασύρματης Μετάδοσης Μικρής Εμβέλειας

Ο όρος ασύρματα δίκτυα αφορά σε ασύρματα δίκτυα υπολογιστικών μηχανών οποιασδήποτε μορφής και είναι συνήθως στενά συσχετισμένα με τηλεπικοινωνιακά δίκτυα στα οποία οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων πραγματοποιούνται απουσία ενσύρματων μέσων δικτύωσης[8]. Μια από τις πολλές κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται με βάση τη χωρική έκταση που καταλαμβάνουν είναι τα ασύρματα δίκτυα προσωπικού χώρου (Wireless Personal Area Networks – WPANs), τα οποία έχουν προτυποποιηθεί από τη σειρά IEEE 802.15 και χρησιμοποιούνται για διασύνδεση συσκευών σε μικρές αποστάσεις δραστηριοποίησης ενός έστω ατόμου.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε κάποιες τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης μικρής εμβέλειας και χαμηλού εύρους ζώνης, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν σε εφαρμογές ηλεκτρονικής υγείας και πιο συγκεκριμένα σε εφαρμογές απομακρυσμένης κατ' οίκον παρακολούθησης μέσω της δημιουργίας ενός ασύρματου δικτύου προσωπικής εμβέλειας για την καταγραφή βιοσημάτων των ασθενών. Ιδιαίτερη έμφαση θα δώσουμε στο πρότυπο IEEE 802.15.4 (ZigBee).

2.2.1 ZigBee

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

[8] Wireless Network (2/2010) http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_network

802.15.4 ασχολήθηκε με τις προδιαγραφές των δύο χαμηλότερων επιπέδων (φυσικό και ελέγχου πρόσβασης στο μέσο), ενώ η ZigBee Alliance με τα ανώτερα επίπεδα (δικτύου και εφαρμογών). Το Μάιο του 2003 εγκρίθηκαν οι προδιαγραφές της επιτροπής IEEE 802.15.4 και το Δεκέμβριο του 2004 οι προδιαγραφές της ZigBee Alliance για την έκδοση 1.0 του ZigBee.

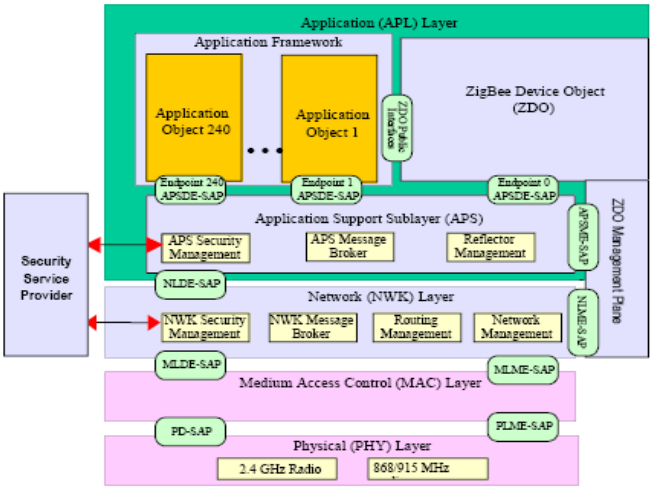
2.2.1.1 Η στοίβα πρωτοκόλλων του ZigBee

Η στοίβα πρωτοκόλλων του ZigBee αποτελείται από 4 επίπεδα. Κάθε επίπεδο εκτελεί ένα συγκεκριμένο σύνολο λειτουργιών και παρέχει τις υπηρεσίες του στο ανώτερο επίπεδο μέσω μιας διεπαφής που ονομάζεται σημείο πρόσβασης υπηρεσιών (service access point, SAP). Τα τέσσερα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων του ZigBee[9] (εικόνα 2-1) είναι τα παρακάτω:

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

[9] IEEE Standard 802.15.4. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)", IEEE, 1 October 2003

στον προσδιορισμό των υπηρεσιών που αυτές παρέχουν. Το πλαίσιο εφαρμογών είναι το περιβάλλον στο οποίο φιλοξενούνται οι εφαρμογές μέσα σε μία συσκευή ZigBee.



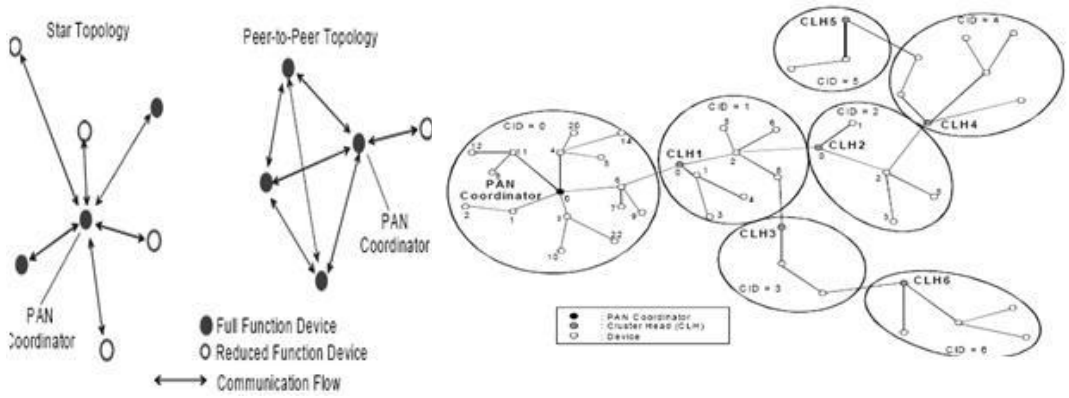
Εικόνα 2-2 : Η στοίβα πρωτοκόλλων του ZigBee

2.2.1.2 Τύποι Συσκευών

Σε ένα δίκτυο που λειτουργεί με βάση τη στοίβα πρωτοκόλλων του ZigBee, οι συσκευές μπορούν να διακριθούν σε πλήρους λειτουργίας (full-function device, FFD) και μειωμένης λειτουργίας (reduced-function device, RFD). Σε κάθε δίκτυο υπάρχει πάντοτε μία FFD που έχει το ρόλο του συντονιστή του δικτύου (PAN coordinator). Οι FFDs μπορούν να επικοινωνήσουν με όλες τις άλλες συσκευές, ενώ οι RFDs μόνο με μία FFD. Οι RFDs χρησιμοποιούνται σε πολύ απλές εφαρμογές.

2.2.1.3 Τοπολογίες Δικτύων

Ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών, το ZigBee μπορεί να υποστηρίξει δύο τοπολογίες δικτύων (εικόνα 2-3). Ανεξαρτήτως τοπολογίας, κάθε συσκευή έχει μία μοναδική διεύθυνση με μήκος 64 bits. Αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία μέσα σε ένα δίκτυο ή να χρησιμοποιηθεί από το συντονιστή για να χορηγήσει μία συντομευμένη διεύθυνση (16 bits) στη συσκευή. Για κάθε δίκτυο που δημιουργείται, ο συντονιστής επιλέγει μία ταυτότητα (16 bits) που προσδιορίζει μοναδικά το συγκεκριμένο δίκτυο. Ο συνδυασμός ταυτότητας δικτύου και διεύθυνσης συσκευής επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών. Κάθε δίκτυο μπορεί να έχει μέχρι και 255 συσκευές.



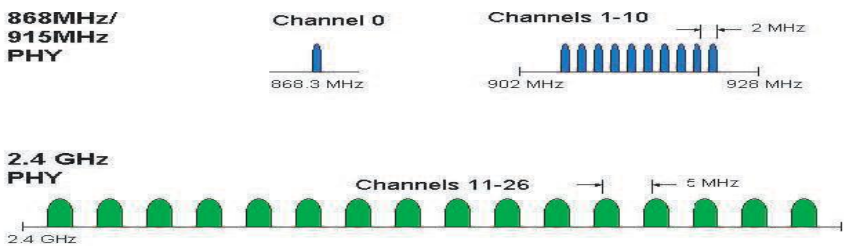
Εικόνα 2-4 : Τοπολογίες δικτύων

- Τοπολογία σε σχήμα αστεριού. Σε αυτή υπάρχει ο συντονιστής του δικτύου, ο οποίος εγκαθιστά συνδέσεις σημείου προς σημείο με άλλες συσκευές. Επίσης ο συντονιστής λειτουργεί και ως δρομολογητής για τη μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των άλλων συσκευών, αφού αυτές δεν μπορούν να επικοινωνήσουν απευθείας.
- Τοπολογία σημείου προς σημείο. Κάθε συσκευή εγκαθιστά συνδέσεις σημείου προς σημείο με άλλες συσκευές που βρίσκονται μέσα στην εμβέλειά της. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται δίκτυα που έχουν τη μορφή δένδρου ή πλέγματος. Με τη βοήθεια αλγορίθμων δρομολόγησης, όλες οι συσκευές μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Πολλά τέτοια δίκτυα μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους και να σχηματίσουν ένα μεγαλύτερο. Στο μεγαλύτερο δίκτυο υπάρχει μόνο ένας συντονιστής δικτύου, ενώ κάθε μικρότερο δίκτυο έχει από ένα δρομολογητή.

2.2.1.4 Φυσικό επίπεδο (Physical layer, PHY)

Το φυσικό επίπεδο παρέχει στο επίπεδο MAC δύο ειδών υπηρεσίες, δεδομένων και διαχείρισης. Η πρόσβαση σε αυτές επιτυγχάνεται μέσω δύο διαφορετικών σημείων πρόσβασης υπηρεσιών (SAPs), των PHY dataSAP (PD-SAP) και PLME-SAP, ενώ στο επίπεδο αυτό υπάρχει και μία βάση δεδομένων (PHY PIB) που περιέχει πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία του (κανάλι που χρησιμοποιείται, κανάλια που υποστηρίζονται, εκπεμπόμενη ισχύς, τρόπος ανίχνευσης ελεύθερου καναλιού).

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



Εικόνα 2-5 : Ζώνες συχνοτήτων και διαθέσιμα κανάλια

Οι μεταδόσεις σε κάθε κανάλι μπορούν να γίνουν με δύο τρόπους. Στον πρώτο τρόπο χρησιμοποιείται ο μηχανισμός πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος, αποφυγή συγκρούσεων και χωρίς χρονοσχισμές (unslotted CSMA-CA). Κάθε συσκευή πριν μεταδώσει ανιχνεύει το κανάλι. Αν είναι αδρανές, αρχίζει να μεταδίδει. Αν είναι κατειλημμένο, ο αποστολέας αναβάλλει τη μετάδοση μέχρι το κανάλι να γίνει αδρανές.

Στο δεύτερο τρόπο χρησιμοποιείται το υπερπλαίσιο, το οποίο οριοθετείται από τα αναγνωριστικά σήματα και χωρίζεται σε 16 χρονοσχισμές ίσης διάρκειας. Η διάρκειά του υπολογίζεται από τη σχέση $15{,}36 * 2^n \; ms \quad \mu\varepsilon \; 0 \le n \le 14$. Το αναγνωριστικό σήμα στέλνεται πάντοτε στην πρώτη χρονοσχισμή. Τα σήματα αυτά χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη δομή του υπερπλαισίου, για το συγχρονισμό των συσκευών του δικτύου και για τον προσδιορισμό του δικτύου.

Το σημείο πρόσβασης υπηρεσιών για δεδομένα (PD-SAP) υποστηρίζει τη μεταφορά των μονάδων δεδομένων πρωτοκόλλου του επιπέδου MAC (MPDUs). Η μεταφορά των MPDUs γίνεται με τα πακέτα φυσικού επιπέδου. Η γενική δομή ενός τέτοιου πακέτου φαίνεται στην εικόνα 2-6. Τα αριστερά bits όλων των πεδίων είναι τα λιγότερο σημαντικά. Το κάθε πακέτο αποτελείται από τα πεδία επικεφαλίδα συγχρονισμού (SHR, synchronization header), επικεφαλίδα φυσικού επιπέδου (PHR, PHY header) και ωφέλιμο φορτίο φυσικού επιπέδου (PHY payload). Η επικεφαλίδα συγχρονισμού (5 bytes) αποτελείται από το πρόθεμα (Preamble, 4 bytes), το οποίο χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό του δέκτη και παίρνει την τιμή 0, και από τον οριοθέτη έναρξης πλαισίου (start-of-frame delimiter, SFD, 1 byte,), ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει την έναρξη των δεδομένων και παίρνει πάντοτε την τιμή 11100101 (το αριστερό bit είναι το λιγότερο σημαντικό). Η επικεφαλίδα φυσικού επιπέδου (1 byte) αποτελείται από το μήκος του πλαισίου (7 bits), το οποίο προσδιορίζει το μήκος του ωφέλιμου φορτίου σε bytes και παίρνει τιμές από 0 ως 127, και από 1 bit, το οποίο είναι κρατημένο για μελλοντική χρήση. Τέλος το πεδίο ωφέλιμο φορτίο φυσικού επιπέδου περιέχει την MPDU.

Octets: 4	1	1		variable
Preamble	SFD	Frame length (7 bits)	Reserved (1 bit)	PSDU
SHR		PHR		PHY payload

Εικόνα 2-7 : Πακέτο φυσικού επιπέδου

2.2.1.5 Επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium access control layer, MAC)

Το επίπεδο MAC παρέχει τις υπηρεσίες του στο επίπεδο δικτύου. Η πρόσβαση στις υπηρεσίες δεδομένων γίνεται μέσω του MLDE-SAP, ενώ για τις υπηρεσίες διαχείρισης υπάρχει το MLME-SAP. Επίσης στο επίπεδο αυτό υπάρχει και μία βάση δεδομένων (MAC PIB) που περιέχει πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία του.

Ορίζονται τέσσερις διαφορετικοί τύποι πλαισίων, τα δεδομένα, οι επιβεβαιώσεις, οι εντολές και τα αναγνωριστικά σήματα. Η γενική δομή ενός πλαισίου MAC φαίνεται στην εικόνα 2-8. Αποτελείται από τα πεδία επικεφαλίδα MAC (MHR), ωφέλιμο φορτίο MAC και υποσημείωση MAC (MFR). Το MHR περιέχει τα πεδία έλεγχο πλαισίου, αριθμό ακολουθίας και διευθύνσεων. Το πεδίο ωφέλιμο φορτίο MAC περιέχει διάφορες πληροφορίες ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου. Το MFR περιέχει την ακολουθία ελέγχου του πλαισίου (FCS). Το συνολικό μήκος του πλαισίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 127 bytes (μέγιστο μήκος ωφέλιμου φορτίου του πακέτου φυσικού επιπέδου).

Octets: 2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	variable	2
Frame control	Sequence number	Destination PAN identifier	Destination address	Source PAN identifier	Source address	Frame payload	FCS
		Addressing fields					
MHR						MAC payload	MFR

Εικόνα 2-9 : Γενική δομή πλαισίου MAC

Το πεδίο ελέγχου πλαισίου έχει μήκος 2 bytes και η δομή του φαίνεται στην εικόνα 2-6. Αποτελείται από τα παρακάτω υποπεδία:

- Τύπος πλαισίου (frame type, 3 bits). Καθορίζει τον τύπο του πλαισίου (δεδομένα, επιβεβαίωση, εντολή ή αναγνωριστικό σήμα).
- Ασφάλεια (security enabled, 1 bit). Παίρνει την τιμή 0 όταν το πλαίσιο δεν είναι κρυπτογραφημένο και την τιμή 1 σε αντίθετη περίπτωση.
- Πλαίσιο που εκκρεμεί (frame pending, 1 bit). Παίρνει την τιμή 1 όταν ο αποστολέας έχει και άλλα δεδομένα να στείλει στον παραλήπτη και την τιμή 0 σε αντίθετη περίπτωση.

- Αίτημα επιβεβαίωσης (acknowledgment request, 1 bit). Παίρνει την τιμή 1 όταν ο αποστολέας θέλει να λάβει επιβεβαίωση για το πλαίσιο και την τιμή 0 σε αντίθετη περίπτωση.
- Intra-PAN (1 bit). Καθορίζει εάν το πλαίσιο θα σταλεί μέσα στο ίδιο PAN ή σε διαφορετικό.
- Τα επόμενα 3 bits είναι κρατημένα για μελλοντική χρήση.
- Μορφή διεύθυνσης προορισμού (destination addressing mode, 2 bits). Καθορίζει τον τύπο, την ύπαρξη και το μέγεθος των υποπεδίων προορισμού στα πεδία διευθύνσεων.
- Τα επόμενα 2 bits είναι κρατημένα για μελλοντική χρήση.
- Μορφή διεύθυνσης πηγής (source addressing mode, 2 bits). Καθορίζει τον τύπο, την ύπαρξη και το μέγεθος των υποπεδίων πηγής στα πεδία διευθύνσεων.

Bits: 0–2	3	4	5	6	7–9	10–11	12–13	14–15
Frame type	Security enabled	Frame pending	Ack. request	Intra-PAN	Reserved	Dest. addressing mode	Reserved	Source addressing mode

Εικόνα 2-10 : Πεδίο έλεγχος πλαισίου

Το πεδίο αριθμού ακολουθίας έχει μήκος 8 bits και παίρνει μία τυχαία τιμή. Χρησιμοποιείται για να αντιστοιχίζεται ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης με το πλαίσιο εντολής ή δεδομένων. Έτσι, όταν φθάσει μία επιβεβαίωση, ο παραλήπτης γνωρίζει ότι το πλαίσιο εντολής ή δεδομένων που έχει τον ίδιο αριθμό ακολουθίας με αυτή, έχει φθάσει στον προορισμό του. Στην περίπτωση των αναγνωριστικών σημάτων ο αριθμός ακολουθίας προσδιορίζει ένα συγκεκριμένο σήμα.

Τα πεδία διευθύνσεων εξαρτώνται και για την ύπαρξή τους και για το μήκος τους από τον τύπο του πλαισίου, για παράδειγμα στα πλαίσια επιβεβαιώσεων δεν υπάρχουν καθόλου. Αποτελούνται από τα παρακάτω υποπεδία:

- Ταυτότητα δικτύου προορισμού (destination PAN identifier, 0 ή 16 bits). Προσδιορίζει την ταυτότητα του δικτύου στο οποίο ανήκει ο παραλήπτης. Η ύπαρξή του εξαρτάται από την τιμή του υποπεδίου destination addressing mode του έλεγχου πλαισίου. Επίσης δεν υπάρχει στα πλαίσια των αναγνωριστικών σημάτων.
- Διεύθυνση προορισμού (destination address, 16 ή 32 bits). Προσδιορίζει τη διεύθυνση του παραλήπτη. Δεν υπάρχει στο πλαίσιο όταν η τιμή του υποπεδίου destination addressing mode είναι 0. Επίσης δεν υπάρχει στα πλαίσια των αναγνωριστικών σημάτων.

- Ταυτότητα δικτύου πηγής (source PAN identifier, 0 ή 16 bits). Προσδιορίζει την ταυτότητα του δικτύου στο οποίο ανήκει ο δημιουργός του πλαισίου. Η ύπαρξή του εξαρτάται από την τιμή του υποπεδίου source addressing mode του έλεγχου πλαισίου.
- Διεύθυνση πηγής (source address, 16 ή 32 bits). Προσδιορίζει τη διεύθυνση του δημιουργού του πλαισίου. Δεν υπάρχει στο πλαίσιο όταν η τιμή του υποπεδίου source addressing mode είναι 0.

Η ακολουθία ελέγχου πλαισίου (FCS) έχει μήκος 2 bytes και περιέχει κώδικα CRC για ανίχνευση λαθών, ενώ υπολογίζεται για τα πεδία επικεφαλίδα MAC (MHR) και ωφέλιμο φορτίο MAC.

Το ωφέλιμο φορτίο MAC περιέχει διάφορες πληροφορίες ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου, ενώ υποστηρίζεται η δυνατότητα κρυπτογράφησης. Σε ένα αναγνωριστικό σήμα περιέχει πληροφορίες σχετικά με τη δομή του υπερπλαισίου, σε ένα πλαίσιο δεδομένων περιέχει τα δεδομένα του ανωτέρου επιπέδου, σε μία επιβεβαίωση δεν υπάρχουν καθόλου δεδομένα και σε ένα πλαίσιο εντολών περιέχει την εντολή που μεταδίδεται.

Το επίπεδο MAC έχει τις παρακάτω λειτουργίες:

- Δημιουργία αναγνωριστικών σημάτων εάν η συσκευή είναι συντονιστής του δικτύου. Τα σήματα αυτά χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη δομή του υπερπλαισίου για τον προσδιορισμό του δικτύου και το συγχρονισμό των συσκευών του.
- Υποστήριξη στη δημιουργία και διατήρηση δικτύων. Το επίπεδο MAC έχει τη δυνατότητα να ζητήσει από το φυσικό επίπεδο να εκτελέσει ανίχνευση σε ορισμένα κανάλια και στη συνέχεια να παραδώσει τα αποτελέσματα της ανίχνευσης στο επίπεδο δικτύου. Με αυτό τον τρόπο ανιχνεύονται τα αναγνωριστικά σήματα που εκπέμπουν οι συντονιστές των δικτύων και στη συνέχεια το επίπεδο δικτύου μπορεί να ζητήσει τη σύνδεση σε κάποιο δίκτυο.
- Υποστήριξη υπηρεσιών ασφάλειας. Το επίπεδο MAC είναι σε θέση να παρέχει στα ανώτερά του επίπεδα κάποιες βασικές υπηρεσίες ασφαλείας, όταν αυτό του ζητηθεί. Τα κλειδιά και οι λίστες που απαιτούνται για αυτές, παρέχονται από τα ανώτερα επίπεδα. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες ασφαλείας είναι ο έλεγχος πρόσβασης, η κρυπτογράφηση των δεδομένων και η ακεραιότητα των πλαισίων.
- Πρόσβαση στο κανάλι. Το επίπεδο MAC είναι υπεύθυνο για το πότε θα πραγματοποιούνται οι μεταδόσεις δεδομένων στο φυσικό κανάλι. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιεί τα υπερπλαίσια και το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέροντος και αποφυγή συγκρούσεων (CSMA-CA).

- Χειρισμός και διαχείριση του μηχανισμού των εγγυημένων χρονοσχισμών. Κατά τον καθορισμό της δομής του υπερπλαισίου, ο συντονιστής μπορεί να δεσμεύσει μέχρι και 7 χρονοσχισμές για την επικοινωνία του με συγκεκριμένες συσκευές. Κατά τη διάρκεια αυτών, μία συσκευή μεταδίδει μόλις φθάσει η χρονοσχισμή που της αναλογεί χωρίς να χρησιμοποιήσει το πρωτόκολλο CSMA-CA. Η δέσμευση των χρονοσχισμών γίνεται κατόπιν αιτήσεων των συσκευών. Ο συντονιστής του δικτύου εξυπηρετεί αυτές τις αιτήσεις με τη σειρά που φθάνουν και είναι αυτός που αποφασίζει για το αν θα δοθούν νέες χρονοσχισμές σε μία συσκευή ή θα αποδεσμευθούν οι κρατημένες χρονοσχισμές.
- Παροχή μιας αξιόπιστης σύνδεσης μεταξύ δύο συσκευών. Τα πλαίσια του επιπέδου MAC περιέχουν το πεδίο MFR που περιέχει την ακολουθία ελέγχου πλαισίου (FCS). Με αυτή ο δέκτης μπορεί να ανιχνεύσει λάθη που δημιουργήθηκαν κατά τη μετάδοση του πλαισίου. Επιπλέον με το υποπεδίο αίτημα επιβεβαίωσης (acknowledgment request), ο αποστολέας μπορεί να ζητήσει επιβεβαίωση για το πλαίσιο που έστειλε. Αν μία επιβεβαίωση φθάσει, ελέγχεται η τιμή του πεδίου αριθμός ακολουθίας. Εφόσον το πλαίσιο και η επιβεβαίωση έχουν τον ίδιο αριθμό ακολουθίας, τότε η μετάδοση θεωρείται επιτυχημένη. Σε περίπτωση που δεν ληφθεί επιβεβαίωση ή δεν έχουν ίδιους αριθμούς ακολουθίας, ο αποστολέας θα μεταδώσει ξανά το πλαίσιο.

2.2.1.6 Επίπεδο δικτύου (Network layer, NWK)

Το επίπεδο δικτύου παρέχει υπηρεσίες δεδομένων και διαχείρισης στο επίπεδο εφαρμογών και επιπλέον εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του επιπέδου MAC. Οι υπηρεσίες δεδομένων παρέχονται στο επίπεδο εφαρμογών μέσω του σημείου πρόσβασης υπηρεσιών NLDE (Network Layer Data Entity), ενώ οι υπηρεσίες διαχείρισης μέσω του σημείου πρόσβασης υπηρεσιών NLME (Network Layer Management Entity). Επίσης στο επίπεδο αυτό υπάρχει και μία βάση δεδομένων (NIB) που περιέχει πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία του.

Οι υπηρεσίες δεδομένων περιλαμβάνουν την παραλαβή των δεδομένων από το ανώτερο επίπεδο, την τοποθέτησή τους σε κατάλληλα πλαίσια και την αποστολή τους στην κατάλληλη συσκευή, είτε απευθείας είτε μέσω κάποιας άλλης.

Οι υπηρεσίες διαχείρισης περιλαμβάνουν τη διαμόρφωση της λειτουργίας μίας συσκευής ανάλογα με το ρόλο της στο δίκτυο, τη δημιουργία ενός δικτύου (το ZigBee μπορεί να υποστηρίξει δύο τοπολογίες δικτύων), τη σύνδεση σε ένα δίκτυο, την αποχώρηση από αυτό, τη διευθυνσιοδότηση των συσκευών του δικτύου, τη δυνατότητα να ανακαλύπτουν γειτονικές συσκευές, τη δυνατότητα να ανακαλύπτουν και να καταγράφουν διαδρομές για την

αποτελεσματική αποστολή των μηνυμάτων στο δίκτυο και τη δυνατότητα να ελέγχουν τη λειτουργία του δέκτη.

Η γενική δομή του πλαισίου επιπέδου δικτύου φαίνεται στην εικόνα 2-7. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από τα πεδία επικεφαλίδα (NWK Header) και ωφέλιμο φορτίο (NWK Payload). Η επικεφαλίδα του πλαισίου αποτελείται από το πεδίο έλεγχος πλαισίου (Frame Control) και τα πεδία δρομολόγησης (Routing Fields). Περαιτέρω ανάλυση της δομής αυτής όπως και των υπηρεσιών δεδομένων και διαχείρισης που περιγράψαμε παραπάνω ξεφεύγει από τα όρια της μελέτης αυτής και δεν παρουσιάζεται.

Octets: 2	2	2	1	1	Variable
Frame Control	Destination Address	Source Address	Radius[a]	Sequence Number[b]	Frame Payload
	Routing Fields				
NWK Header					NWK Payload

Εικόνα 2-11 : Γενική δομή του πλαισίου επιπέδου δικτύου

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

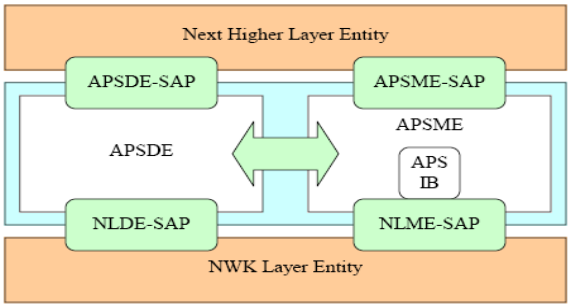
2.2.1.7 Επίπεδο εφαρμογών (Application layer, APL)

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

ZigBee, στο οποίο μπορούν να υπάρξουν μέχρι και 240 εφαρμογές, όπου η καθεμία πρέπει να έχει το δικό της σημείο τερματισμού.

Υποεπίπεδο Υποστήριξης Εφαρμογών (APS)

Το υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (APS) χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες που του παρέχονται από το επίπεδο δικτύου μέσω των σημείων πρόσβασης υπηρεσιών NLDE (Network Layer Data Entity) και NLME (Network Layer Management Entity), ενώ ταυτόχρονα παρέχει τις υπηρεσίες του στις εφαρμογές και στα ZDO. Αυτές οι υπηρεσίες παρέχονται διαμέσου των οντοτήτων δεδομένων (APSDE) και διαχείρισης (APSME) και των αντίστοιχων σημείων πρόσβασης υπηρεσιών (APSDE-SAP και APSME-SAP). Επίσης στο υποεπίπεδο αυτό υπάρχει και μία βάση δεδομένων (APSIB), που περιέχει πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία του.



Εικόνα 2-12 : Μοντέλο αναφοράς APS

Το πλαίσιο του υποεπιπέδου APS (εικόνα 2-8) αποτελείται από την επικεφαλίδα APS (APS header) και από το ωφέλιμο φορτίο APS (APS payload). Η επικεφαλίδα περιέχει το πεδίο έλεγχος πλαισίου και τα πεδία διευθύνσεων, η ανάλυση των οποίων ξεφεύγει από τα όρια της παρούσης εργασίας.

Octets: 1	0/1	0/1	0/2	0/1	Variable
Frame control	Destination end-point	Cluster Identifier	Profile Identifier	Source endpoint	Frame payload
	Addressing fields				
APS header					APS payload

Εικόνα 2-13 : Πλαίσιο APS

Μία συσκευή μπορεί να μεταδώσει ένα πλαίσιο APS μόνο αν ανήκει στο δίκτυο. Η μετάδοση μπορεί να είναι είτε άμεση είτε έμμεση. Στην άμεση, τα πλαίσια περιλαμβάνουν τα υποπεδία σημείο τερματισμού στον προορισμό και σημείο τερματισμού στην πηγή. Όλες οι συσκευές που διαθέτουν πίνακα συνδέσεων κάνουν άμεσες μεταδόσεις πλαισίων προς κάθε προορισμό.

Στην περίπτωση των έμμεσων μεταδόσεων, τα πλαίσια περιλαμβάνουν μόνο ένα από τα παραπάνω υποπεδία και έχουν την τιμή 10 στο υποπεδίο τρόπος παράδοσης. Όλες οι συσκευές που δεν διαθέτουν πίνακα συνδέσεων, όταν κάνουν μία έμμεση μετάδοση θα πρέπει να την κατευθύνουν προς τη συσκευή του συντονιστή που περιέχει τον αντίστοιχο πίνακα. Το συγκεκριμένο πλαίσιο δεν θα περιέχει το υποπεδίο σημείο τερματισμού στον προορισμό. Ο συντονιστής με τη βοήθεια του πίνακα συνδέσεων, θα βρει τη διεύθυνση προορισμού και το αντίστοιχο σημείο τερματισμού. Στη συνέχεια, θα μεταδώσει το πλαίσιο προς τον τελικό προορισμό χωρίς το υποπεδίο σημείο τερματισμού στην πηγή. Και στις δύο περιπτώσεις, έμμεση και άμεση μετάδοση, η μεταφορά του πλαισίου από την πηγή στον προορισμό επιτυγχάνεται μέσω των υπηρεσιών που παρέχουν τα κατώτερα στρώματα.

Στην πλευρά του δέκτη, το υποεπίπεδο APS παραλαμβάνει τα πλαίσια από το επίπεδο δικτύου. Όταν το πλαίσιο περιέχει και τα δύο υποπεδία, το APS το παραδίδει στην εφαρμογή που καθορίζεται από το σημείο τερματισμού στον προορισμό. Στην περίπτωση των έμμεσων μεταδόσεων, όπου το υποπεδίο τρόπος παράδοσης έχει την τιμή 10, ο τρόπος χειρισμού του πλαισίου είναι διαφορετικός. Αν ένα πλαίσιο περιέχει μόνο το υποπεδίο σημείο τερματισμού στην πηγή και φθάσει σε μία συσκευή που διαθέτει πίνακα συνδέσεων, τότε θα βρεθεί στον πίνακα η αντίστοιχη εγγραφή και το πλαίσιο θα αποσταλεί προς τον τελικό του προορισμό χωρίς το υποπεδίο σημείο τερματισμού στην πηγή. Αν η συσκευή δεν διαθέτει πίνακα ή ο πίνακας δεν περιέχει την κατάλληλη εγγραφή, το πλαίσιο θα απορριφθεί. Επίσης, το πλαίσιο θα απορριφθεί και στην περίπτωση που η συσκευή δεν διαθέτει πίνακα και δεν υπάρχει το υποπεδίο σημείο τερματισμού στον προορισμό.

Εκτός από την άμεση και έμμεση μετάδοση, υπάρχει και η εκπομπή προς όλες τις εφαρμογές που περιέχονται σε μία συσκευή. Στην περίπτωση αυτή, το υποπεδίο τρόπος παράδοσης έχει την τιμή 01 και το πλαίσιο APS έχει τα υποπεδία ταυτότητα συμπλέγματος, ταυτότητα προφίλ και σημείο τερματισμού στην πηγή (με τιμή 255). Ως διεύθυνση προορισμού στην επικεφαλίδα δικτύου χρησιμοποιείται η διεύθυνση εκπομπής στο δίκτυο.

Σε κάθε πλαίσιο APS υπάρχει το υποπεδίο αίτημα επιβεβαίωσης (Ack request). Όταν αυτό έχει την τιμή 1, ο δημιουργός του πλαισίου απαιτεί από τον παραλήπτη να του επιβεβαιώσει την ορθή λήψη. Εφόσον η επιβεβαίωση δεν έρθει μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, το πλαίσιο μεταδίδεται ξανά. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται είτε μέχρι να έρθει μία επιβεβαίωση είτε μέχρι να συμπληρωθεί ο μέγιστος αριθμός επαναμεταδόσεων (3 επαναμεταδόσεις). Στην περίπτωση των έμμεσων μεταδόσεων, η ενδιάμεση συσκευή που αναλαμβάνει να μεταδώσει το πλαίσιο στον τελικό προορισμό, έχει την υποχρέωση να στείλει μία επιβεβαίωση στο δημιουργό του πλαισίου. Στη συνέχεια στέλνει το πλαίσιο προς τον τελικό προορισμό και απαιτεί από αυτόν να της στείλει επιβεβαίωση.

Πλαίσιο Εφαρμογών (AF)

Το πλαίσιο εφαρμογών (AF) είναι το περιβάλλον μέσα στο οποίο φιλοξενούνται όλες οι εφαρμογές σε μία συσκευή ZigBee. Μέσα σε αυτό στέλνουν και λαμβάνουν δεδομένα διαμέσου του APSDE-SAP. Υπεύθυνα για τον έλεγχο και τη διαχείριση των εφαρμογών είναι τα ZigBee Device Objects (ZDO). Έως και 240 εφαρμογές μπορούν να υπάρξουν στο πλαίσιο εφαρμογών. Για το διαχωρισμό τους, καθεμία έχει το δικό της σημείο τερματισμού (αριθμημένα από 1 ως 240). Το σημείο τερματισμού 0 χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων προς τα ZDO, ενώ το 255 χρησιμοποιείται για την εκπομπή δεδομένων προς όλες τις εφαρμογές. Τα σημεία τερματισμού 241-254 είναι κρατημένα για μελλοντική χρήση.

Αντικείμενα Συσκευής ZigBee (ZDO)

Τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZigBee Device Objects, ZDO) βρίσκονται στο επίπεδο εφαρμογών. Επικοινωνούν με το υποεπίπεδο APS και το επίπεδο δικτύου μέσω των APSME-SAP και NLME-SAP αντίστοιχα. Η μεταφορά των δεδομένων σε αυτά γίνεται από το υποεπίπεδο APS μέσω του APSDE-SAP και του σημείου τερματισμού 0. Επικοινωνούν με τις άλλες εφαρμογές της συσκευής μέσω μίας κοινής διεπαφής και επιπλέον μπορούν να επικοινωνήσουν με οποιαδήποτε άλλη συσκευή ZigBee χρησιμοποιώντας το προφίλ συσκευής. Είναι υπεύθυνα για τις παρακάτω διαδικασίες :

- Αρχικοποίηση του υποεπιπέδου APS και του επιπέδου δικτύου. Με τη βοήθεια των στοιχειωδών υπηρεσιών που ορίστηκαν για τα APSME-SAP και NLME-SAP, τα ZDO μπορούν να ορίσουν συγκεκριμένες τιμές στις ιδιότητες που βρίσκονται στις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων, διαμορφώνοντας έτσι και τη λειτουργία του κάθε επιπέδου με βάση τις απαιτήσεις των εφαρμογών.
- Ανακάλυψη συσκευών. Είναι μία διαδικασία με την οποία μία συσκευή μπορεί να ανακαλύψει την ταυτότητα των άλλων συσκευών του δικτύου. Υπάρχουν τα αιτήματα για την εκτεταμένη διεύθυνση (IEEE address, 64 bits) και για τη διεύθυνση δικτύου (NWK address, 16 bits). Τα πρώτα μεταδίδονται προς ένα συγκεκριμένο προορισμό και προϋποθέτουν ότι η διεύθυνση δικτύου είναι γνωστή. Τα δεύτερα εκπέμπονται σε όλο το δίκτυο και φέρουν ως ωφέλιμο φορτίο την εκτεταμένη διεύθυνση της συσκευής που αναζητείται.
- Όταν μία συσκευή λάβει ένα αίτημα ανακάλυψης, απαντά ανάλογα με τον ρόλο της στο δίκτυο. Οι τερματικές συσκευές στέλνουν τη διεύθυνση που τους ζητείται. Οι συντονιστές και οι δρομολογητές στέλνουν μαζί με τη δική τους διεύθυνση και τις διευθύνσεις των συσκευών που είναι συνδεδεμένες μαζί τους.

- Ανακάλυψη υπηρεσιών. Με αυτή, μία συσκευή μπορεί να ανακαλύψει όλες τις εφαρμογές που είναι διαθέσιμες στα σημεία τερματισμού μίας άλλης, να ζητήσει τον περιγραφέα κόμβου ή τον περιγραφέα ισχύος μιας συγκεκριμένης συσκευής ή και τον απλό περιγραφέα ενός συγκεκριμένου σημείου τερματισμού της. Για τις παραπάνω αιτήσεις είναι απαραίτητη η διεύθυνση δικτύου της συσκευής. Τέλος υπάρχει και η περίπτωση να συμπεριλαμβάνονται σε ένα αίτημα η ταυτότητα του προφίλ και οι ταυτότητες των συμπλεγμάτων που υποστηρίζονται από τον αποστολέα. Ο παραλήπτης αυτού του αιτήματος θα απαντήσει με τη λίστα των σημείων τερματισμού του, που υποστηρίζουν το συγκεκριμένο προφίλ και τα συγκεκριμένα συμπλέγματα δεδομένων.
- Διαχείριση ασφάλειας. Τα ZDO είναι υπεύθυνα για την ενεργοποίηση ή όχι της ασφάλειας. Όταν η ασφάλεια είναι ενεργοποιημένη, πρέπει να καθορίσουν το επίπεδο στο οποίο θα εφαρμόζεται, να δημιουργήσουν τα κλειδιά που είναι απαραίτητα για την κρυπτογράφηση των δεδομένων, να φροντίσουν για τη μεταφορά αυτών στις υπόλοιπες συσκευές που συμμετέχουν στην επικοινωνία και να πιστοποιούν την ταυτότητα των συσκευών που στέλνουν τα πλαίσια.
- Διαχείριση δικτύου. Αυτή επιτυγχάνεται με τις στοιχειώδεις υπηρεσίες που υποστηρίζονται από το NLME-SAP. Τα ZDO ζητούν από το επίπεδο δικτύου να ανιχνεύσει ένα συγκεκριμένο σύνολο καναλιών, επιλέγουν το κατάλληλο κανάλι για τη δημιουργία ενός δικτύου ή για την ένταξη σε ένα δίκτυο με βάση τα αποτελέσματα των ανιχνεύσεων, ξεκινούν τη διαδικασία για αποχώρηση ή ένταξη σε ένα δίκτυο και επιτρέπουν ή απαγορεύουν σε άλλες συσκευές να συνδεθούν.
- Διαχείριση συνδέσεων μεταξύ σημείων τερματισμού. Τα ZDO διαχειρίζονται τις εγγραφές (πρόσθεση, αφαίρεση) σε έναν πίνακα συνδέσεων και εξυπηρετούν τις αιτήσεις των εφαρμογών για σύνδεση με κάποια άλλη εφαρμογή σε μία απομακρυσμένη συσκευή.
- Διαχείριση κόμβου. Με αυτή, οι συντονιστές και οι δρομολογητές μπορούν να επιτύχουν τη διαχείριση μιας απομακρυσμένης συσκευής τερματισμού.

2.2.2 Άλλες Τεχνολογίες

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε και κάποιες άλλες γνωστές τεχνολογίες στον τομέα της ασύρματης δικτύωσης μικρής εμβέλειας, όπως το Bluetooth, το HomeRF, το IrDA, το Wibree, το Utra-wideband και το Wireless USB.

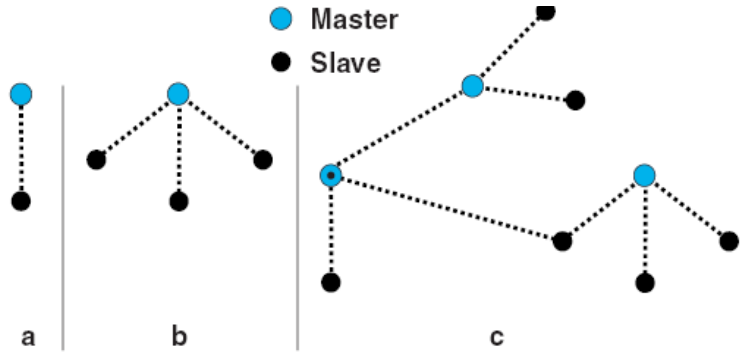
2.2.2.1 Bluetooth

Η τεχνολογία του Bluetooth δημιουργήθηκε την άνοιξη του 1994 από τις Ericsson, Intel, IBM, Nokia και Toshiba[10]. Πολλές άλλες εταιρίες και ινστιτούτα ερευνών ενώθηκαν με την αρχική ομάδα το 1998. Το Bluetooth αποτελεί ένα πρότυπο για τις ασύρματες επικοινωνίες, για μικρά, φθηνά και μικρού εύρους κάλυψης δίκτυα[11]. Η τεχνολογία Bluetooth υπόσχεται την εξαφάνιση όλων εκείνων των συστατικών που περιπλέκουν την επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών, όπως είναι τα πολλά καλώδια, οι συζευκτήρες και τα πολλά είδη επικοινωνιακών πρωτοκόλλων. Με το Bluetooth, οι ασύρματες συσκευές όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα, οι τηλε-ειδοποιητές (pagers), οι ψηφιακές κάμερες, οι ψηφιακοί βοηθοί (PDAs), κ.α. αποκτούν μια κοινή επικοινωνιακή δομή.

Το Bluetooth αποτελεί ένα εύρωστο, χαμηλών απαιτήσεων, φθηνό και ασφαλές πρότυπο, κατάλληλο για την υλοποίηση ασύρματων δικτύων υπολογιστών μικρού εύρους κάλυψης. Υποστηρίζει τη ταυτόχρονη μετάδοση φωνής και δεδομένων, την multipoint επικοινωνία και είναι εύκολο στη χρήση. Το εύρος κάλυψης που υποστηρίζει είναι περίπου 10 μέτρα, το οποίο όμως μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση ενισχυτών.

Το Bluetooth αντιπροσωπεύει μια ασύρματη τεχνολογία δικτύου με χαμηλό κόστος. Ο σκοπός της είναι η εφαρμογή σε κινητά τηλέφωνα, laptops, notebooks, headsets κτλ. Η τεχνολογία αυτή στοχεύει στη δημιουργία κάποιων ad hoc piconets, δηλαδή πολύ μικρών δικτύων με περιορισμένη κάλυψη και καθόλου ανάγκη για υποδομή. Αυτά τα δίκτυα χρειάζονται για να μπορούν να συνδεθούν διάφορες μικρές συσκευές που είναι σε κοντινές περιοχές, χωρίς την χρήση καλωδίων και την κατάλληλη υποδομή για ασύρματη σύνδεση.

Η ιδέα των ασύρματων piconets είναι πολύ χρήσιμη και μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλές περιπτώσεις, όπως σύνδεση περιφερειακών συσκευών, υποστήριξη ad hoc δικτύωσης ή γεφύρωση δικτύων.



Εικόνα 2-14 : Piconets (a) Απλό – slave, (b) Πολλαπλό – slave, και (c) Διασκορπισμένο

[10] Bluetooth (2/2010) http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth

[11] Bluetooth (2/2010) http://www.bluetooth.com

2.2.2.2 HomeRF

Η ομάδα εργασίας HomeRF (Home Radio Frequency Working Group) ιδρύθηκε το 1998 από τις εταιρίες Compaq, Ericsson, HP, IBM, Intel, Microsoft, Motorola, Philips, Proxim και Symbionics[12]. Σκοπός της ήταν να αναπτύξει ένα φθηνό ασύρματο πρότυπο το οποίο θα κάλυπτε όλες τις επικοινωνιακές ανάγκες μέσα και γύρω από ένα σπίτι. Η ομάδα παρουσίασε τις προδιαγραφές για το SWAP 1.0 (Shared Wireless Application Protocol) το Δεκέμβριο του 1998[13]. Αργότερα το πρωτόκολλο αυτό μετονομάστηκε σε HomeRF και τον Ιούνιο του 2002 δημοσιεύτηκαν οι προδιαγραφές για το HomeRF 2.01. Αυτό υποστηρίζει την ασύρματη μετάδοση δεδομένων και φωνής.

2.2.2.3 IrDA

Τον Ιούνιο του 1993 δημιουργήθηκε ο επαγγελματικός σύλλογος Infrared Data Association (IrDA) για να ορίσει τις προδιαγραφές για την ασύρματη επικοινωνία συσκευών με τη χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας[14]. Βασικοί του στόχοι ήταν η διαλειτουργικότητα μεταξύ συσκευών διαφορετικών κατασκευαστών, το χαμηλό κόστος και η ευκολία στη χρήση, αφού μέχρι εκείνη την περίοδο ο κάθε κατασκευαστής είχε τις δικές του προδιαγραφές.

2.2.2.4 Wibree

Το Wibree είναι μια τεχνολογία ραδιοσυχνότητας που έχει σχεδιαστεί για την εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, εντός μικρής εμβέλειας (10 μέτρα), με βάση τους χαμηλού κόστους πομποδέκτες σε κάθε συσκευή[15]. Το 2001, οι ερευνητές της Nokia διαπίστωσαν ότι υπήρχαν διάφορα σενάρια που οι σύγχρονες ασύρματες τεχνολογίες δεν μπορούσαν να αντιμετωπίσουν. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, το κέντρο ερευνών της Nokia ξεκίνησε την ανάπτυξη μιας ασύρματης τεχνολογίας προσαρμοσμένη στα πρότυπα του Bluetooth, που θα προσφέρει χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τις διαφορές μεταξύ του Bluetooth και της νέας αυτής τεχνολογίας. Τα

---

[12] HomeRF: Imagine a World Without Wires", XILINX

[13] HomeRF Specification Revision 2.01", HomeRF Technical Committee, 1 July 2002

[14] "The IrDA standards for High-Speed Infrared Communications", Iain Millar, Martin Beale, Bryan J. Donoghue, Kirk W. Lindstrom, Stuart Williams

[15] Wibree (2/2010) http://en.wikipedia.org/wiki/Wibree

αποτελέσματα δημοσιεύθηκαν το 2004, χρησιμοποιώντας το όνομα Low End Extension Bluetooth. Μετά την περαιτέρω ανάπτυξη με διάφορους συνεργάτες η τεχνολογία παρουσιάστηκε στο κοινό τον Οκτώβριο του 2006 με την εμπορική ονομασία Wibree. Μετά από διαπραγματεύσεις με μέλη της Bluetooth SIG, τον Ιούνιο του 2007, επιτεύχθηκε συμφωνία για να συμπεριλαμβάνεται στο μέλλον το Wibree με προδιαγραφή Bluetooth ως τεχνολογία Bluetooth εξαιρετικά χαμηλής ισχύος, γνωστή σήμερα και ως τεχνολογία Bluetooth χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

2.2.2.5 Utra-wideband

Η τεχνολογία Ultra-wideband , που είναι γνωστή και ως UWB, είναι μια ραδιοτεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επικοινωνίες πολύ χαμηλού ενεργειακού επιπέδου, μικρού βεληνεκούς και υψηλού εύρους ζώνης, χρησιμοποιώντας ένα μεγάλο μέρος του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων[16]. Αν και παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν σε συστήματα ραντάρ, τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται και σε συστήματα ιατρικής απεικόνισης.

Η ιστορία του UWB χρονολογείται πίσω στο 1960. Οι όροι που τότε χρησιμοποιούνταν για να το περιγράψουν ήταν μη ημιτονοειδείς, βασικής ζώνης, impulse radio και σήματα χωρίς φέρον. Ο όρος UWB υιοθετήθηκε πρώτη φορά το 1989. Στις αρχές του 1960 ο Ross ασχολήθηκε για πρώτη φορά με τα χρονομεταβλητά ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Στη συνέχεια, ο Harmuth ερεύνησε ακόμα περισσότερο το αντικείμενο κάνοντας μεγάλη πρόοδο με αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 το UWB να έχει βασικές εφαρμογές στα συστήματα ραντάρ, τα οποία είχαν ανάγκη υψηλότερης ανάλυσης. Αυτή η απαίτηση έκανε επιτακτική την ανάγκη για ευρύτερο φάσμα. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της έρευνας πραγματοποιήθηκε από στρατιωτικούς και το υλικό και τα αποτελέσματα δεν ήταν προσιτά για τους πολίτες. Μεγάλο κομμάτι αυτής της έρευνας διεξήχθη στην Σοβιετική Ένωση, στην Κίνα και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο Taylor δημοσίευσε κάποιο υλικό βασισμένο στην έρευνά του που έγινε στην αεροπορία των Ηνωμένων Πολιτειών εκείνη την περίοδο. Το 1978 οι Bennett και Ross έγραψαν μια περίληψη για τους ηλεκτρομαγνήτες στο πεδίο του χρόνου. Περίπου εκείνη την περίοδο ξεκίνησαν προσπάθειες για ασύρματη επικοινωνία χωρίς φέρον. Πρόσφατα κατά την τελευταία δεκαετία οι στρατιωτικοί άρχισαν να υποστηρίζουν πρωτοβουλίες για την δημιουργία εμπορικών εφαρμογών, γεγονός που μαζί με την εξαιρετικά γρήγορη εξέλιξη των ψηφιακών κυκλωμάτων οδήγησε στο ξεκίνημα της δημιουργίας hardware σε σχετικά χαμηλές τιμές. Η πιθανότητα της παραγωγής μονάδων χαμηλού κόστους

[16] Ultra-Wideband (2/2010) http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-wideband

και μια πιθανή ελεύθερη χρήση έδωσαν ακόμη μεγαλύτερη ώθηση για ενδιαφέρον και περαιτέρω έρευνα σχετικά με το UWB.

2.2.2.6 Wireless USB

Το Wireless USB είναι η φυσική εξέλιξη και επέκταση πρωτοκόλλου USB που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1994[17]. Από την παρουσίασή του και μετά το USB έχει γίνει το βασικό πρότυπο στη βιομηχανία προσωπικών υπολογιστών, με δισεκατομμύρια συσκευές να χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο. Βάση της WUSB τεχνολογίας είναι και μια άλλη τεχνολογία, το Ultra-Wideband, μια τεχνολογία χαμηλής ισχύος και με μεγάλο εύρος ζώνης που επιτρέπει την ασφαλή, υψηλής ταχύτητας ασύρματη σύνδεση συσκευών[18].

[17] "Wireless USB white paper", September 2004

[18] "Wireless Universal Serial Bus Specification", May 2005

3.

Σχεδιασμός Συστήματος

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε το σύστημα στο οποίο έγιναν οι πειραματικές δοκιμές για την επίτευξη μεγαλύτερης αξιοπιστίας του ασύρματου δικτύου. Γίνεται περιγραφή των βημάτων που ακολουθήσαμε για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, καθώς και ανάλυση της συνδεσμολογίας μεταξύ του χρησιμοποιούμενου υλικού και επεξήγηση της τοπολογίας της διάταξης σε σχέση με γειτονικά ασύρματα δίκτυα που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Στο τέλος αναφερόμαστε και σε κάποια θέματα σχετικά με την υλοποίηση.

3.1 Μεθοδολογία

Στην παρούσα ενότητα θα αναπτύξουμε τις μεθόδους που χρησιμοποιήσαμε για το σχεδιασμό του συστήματος. Θα αναφερθούμε στην υλοποίηση του παραμετροποιημένου πρωτοκόλλου, αλλά κυρίως θα εστιάσουμε στην εφαρμογή αύξησης της αξιοπιστίας του ασύρματου δικτύου μικρής εμβέλειας.

Αρχικά για την υλοποίηση του πρωτοκόλλου, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι έχουμε θεωρήσει δεδομένα ηλεκτροκαρδιογραφήματος από 3 απαγωγές καθώς και άλλα βιοσήματα όπως τον κορεσμό του οξυγόνου στο αίμα (SpO2), τον καρδιακό και αναπνευστικό ρυθμό (heart and respiratory rate), τη θερμοκρασία του σώματος (temperature) και την πίεση του αίματος, συστολική, διαστολική και μέση πίεση (systolic, diastolic and mean blood pressure). Να σημειώσουμε ότι ενθυλακώνονται 200 bytes ανά απαγωγή καρδιογραφήματος, τα οποία στην παρούσα υλοποίηση προκύπτουν από γεννήτρια τυχαίων αριθμών.

Στη συνέχεια, θα περιγράψουμε τα βήματα που ακολουθήσαμε για την εύρεση μεθόδου αύξησης της αξιοπιστίας της ασύρματης τεχνολογίας δικτύωσης μικρής εμβέλειας IEEE 802.15.4 που κρίνεται ως η πλέον δόκιμη για εφαρμογή σε αρχιτεκτονικές κατ' οίκον νοσηλείας. Η ανάπτυξη της εφαρμογής μας βασίζεται στην τεχνική ανάκτησης των δεδομένων ακόμα και αν παρατηρηθεί απώλεια πακέτων (Forward Error Correction, FEC) . Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε σύνολο δεδομένων των 10 byte, το οποίο αποστέλλεται μαζί με τα δύο προηγούμενα σύνολα των 10 byte καθώς και μια επικεφαλίδα των 5 byte (εικόνα 3-1). Το ίδιο πακέτο μεταδίδεται τρεις φορές πριν ανανεωθούν τα δεδομένα.

Total Packet
35 Bytes

Packet ID Header	Previous Data - 2	Previous Data - 1	New Data
5 bytes	10 bytes	10 bytes	10 bytes

CRC-CCITT	Data Length	Base for CRC	Checksum	Packet ID #
1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte

Εικόνα 3-1 : Πακέτο Μετάδοσης

Με τη μέθοδο αυτή αυξάνεται η πιθανότητα όχι μόνο ανάκτησης δεδομένων που δεν μεταδόθηκαν, αλλά και εντοπισμού κάποιου αλλοιωμένου πακέτου. Για τη διευκόλυνση του

ελέγχου αυτής της μεθόδου θεωρήσαμε ως δεδομένα δέκα αριθμούς, εκ των οποίων οι εννέα πρώτοι είναι ίσοι με μηδέν και ο τελευταίος διαρκώς αυξάνεται κατά μία μονάδα, με τιμή εκκίνησης το ένα. Τέλος, πριν από τη μετάδοση ενός πακέτου, μεταδίδεται ο χαρακτήρας 's' (start byte) και μετά την ολοκλήρωση της μετάδοσης του πακέτου ο χαρακτήρας 'e' (end byte).

Από την άλλη, στον παραλήπτη θα υλοποιήσουμε μια εφαρμογή η οποία θα λαμβάνει αυτά τα μορφοποιημένα πακέτα και μετά από κατάλληλη επεξεργασία θα δίνει ως αποτέλεσμα το σύνολο των αρχικών δεδομένων. Οι έλεγχοι που θα γίνουν σε κάθε πακέτο, θα αφορούν :

- Το μήκος του πακέτου (μέτρηση χαρακτήρων που μεσολαβούν από τον χαρακτήρα αρχής ('s') μέχρι τον επόμενο χαρακτήρα τέλους ('e').
- Το CRC που υπολογίζεται επί των δεδομένων (με τον ίδιο αλγόριθμο και στον αποστολέα και στον δέκτη).
- Το Checksum που υπολογίζεται επί των δεδομένων (και πάλι των 30 bytes).
- Το ID του πακέτου που δε θα πρέπει να είναι μικρότερο από το προηγούμενο, σωστά απεσταλμένο πακέτο.

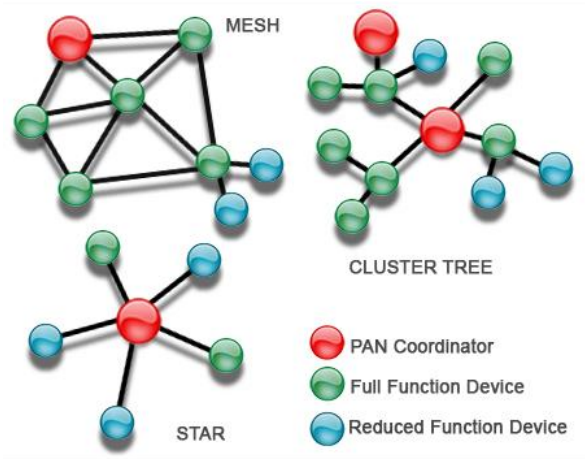
Σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι κάποιο πακέτο έχει αλλοιωθεί γίνεται έλεγχος αν τα προηγούμενα πακέτα είχαν παραδοθεί σωστά και αν ισχύει κάτι τέτοιο εξετάζεται αν με την αντικατάσταση των προηγούμενων δεδομένων το πακέτο περιέχει πλέον ορθή πληροφορία.

3.2 Συνδεσμολογία

Κατά την ανάπτυξη του συστήματος λήφθηκαν υπόψη οι ακόλουθες παράμετροι:

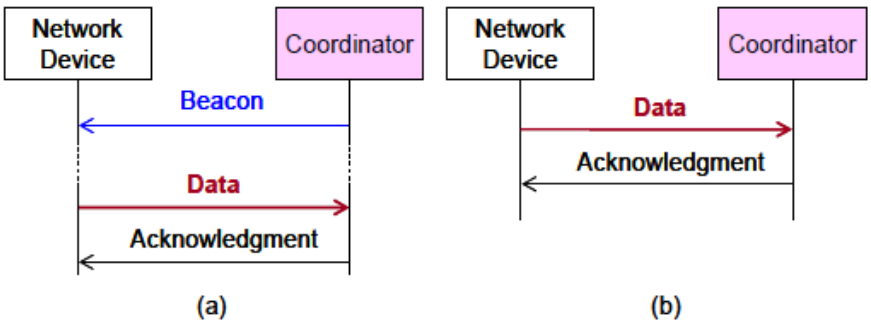
1. Στην περίπτωση της κατ΄ οίκον νοσηλείας μας ενδιαφέρει η μετάδοση δεδομένων από μια κινούμενη οντότητα (τον ασθενή) προς μια οντότητα (προσωπικός υπολογιστής ή κινητό ή PDA) η οποία να μπορεί να συλλέγει δεδομένα ασύρματα και να τα μεταδίδει εν συνεχεία προς κάποιο κέντρο συντονισμού για περαιτέρω επεξεργασία. Βάσει και της ανάλυσης του προτύπου ZigBee η οποία προηγήθηκε, ορίζονται δύο γενικές **τοπολογίες**, η τοπολογία αστέρα (star) και η τοπολογία σημείου-προς-σημείο (peer-to-peer), η οποία μπορεί με τη σειρά της να υποδιαιρεθεί στην τοπολογία δέντρου (tree) ή στην τοπολογία mesh. Η τοπολογία λοιπόν η οποία είναι πιο άμεσα εφαρμόσιμη στην περίπτωση της κατ' οίκον νοσηλείας είναι η τοπολογία αστέρα, όπου υιοθετείται η φιλοσοφία αφέντη – σκλάβων κατά την οποία μία Συσκευή Πλήρους Λειτουργικότητας (Full Function Device – FFD) αναλαμβάνει το ρόλο του συντονιστή, ενώ οι υπόλοιπες συσκευές οι οποίες μπορεί να είναι είτε FFD είτε Συσκευές Μειωμένης Λειτουργικότητας

(Reduced Function Devices – RFD) αναλαμβάνουν το ρόλο των σκλάβων και μπορούν να επικοινωνούν μόνο με το συντονιστή του δικτύου.



Εικόνα 3-2 : Μοντέλα τοπολογιών ZigBee

2. Αναφορικά με τα **μοντέλα μεταφοράς δεδομένων** στο ZigBee, την άμεση και την έμμεση μετάδοση σε beacon-enabled ή non-beacon-enabled δίκτυο. Στην περίπτωση της άμεσης μετάδοσης, μια RFD συσκευή επιθυμεί να στείλει δεδομένα στο συντονιστή του δικτύου είτε το δίκτυο είναι beacon-enabled είτε non-beacon-enabled. Στην πρώτη περίπτωση η συσκευή πρώτα ανιχνεύει το δικτυακό beacon (network beacon), οπότε συγχρονίζεται στη δομή του υπερπλαισίου, και την κατάλληλη χρονική στιγμή μεταδίδει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας slotted CSMA-CA. Στη δεύτερη περίπτωση η RFD συσκευή απλά μεταδίδει το frame δεδομένων της χρησιμοποιώντας unslotted CSMA-CA. Και στις δύο περιπτώσεις ο συντονιστής απαντάει με ένα frame επιβεβαίωσης.

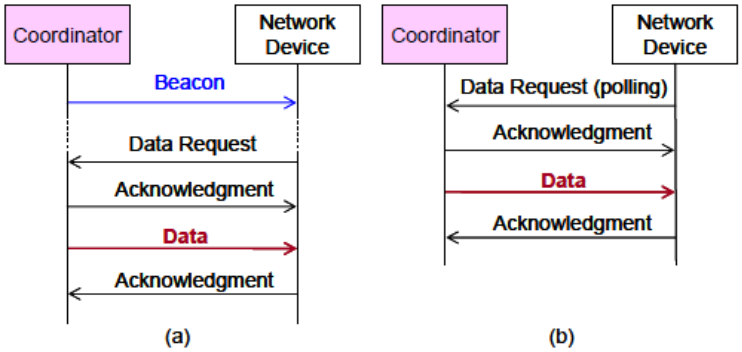


Εικόνα 3-3 : Μοντέλα μεταφοράς δεδομένων άμεσης μετάδοσης 802.15.4 σε α) beacon-enabled δίκτυο και β) non-beacon-enabled δίκτυο

Στην περίπτωση της έμμεσης μετάδοσης από την άλλη πλευρά, λαμβάνει χώρα μετάδοση δεδομένων από το συντονιστή προς τις υπόλοιπες συσκευές του δικτύου. Σε ένα beacon-enabled δίκτυο όταν ο συντονιστής επιθυμεί να στείλει δεδομένα σε

μια RFD συσκευή, επισημαίνει στο δικτυακό beacon ότι εκκρεμεί ένα μήνυμα δεδομένων. Η RFD συσκευή ακούει περιοδικά και αν αντιληφθεί την εκκρεμότητα μηνύματος αποστέλλει μια MAC εντολή ζητώντας τα δεδομένα, χρησιμοποιώντας slotted-CSMA. Ο συντονιστής του δικτύου απαντάει με ένα μήνυμα επιβεβαίωσης και με το πακέτο δεδομένων χρησιμοποιώντας slotted CSMA. Στην περίπτωση non-beacon-enabled δικτύου, ο συντονιστής αποθηκεύει τα δεδομένα και όταν η RFD συσκευή αποστείλει μια MAC εντολή ζητώντας τα δεδομένα χρησιμοποιώντας unslotted-CSMA, τότε απαντάει με ένα μήνυμα επιβεβαίωσης και με το πακέτο δεδομένων χρησιμοποιώντας unslotted CSMA (εικόνα 3-4).

Προκειμένου λοιπόν για την περίπτωση της κατ' οίκον νοσηλείας, το μοντέλο μεταφοράς δεδομένων το οποίο είναι πιο άμεσα εφαρμόσιμο είναι αυτό της άμεσης μετάδοσης, και πιο συγκεκριμένα της **άμεσης μετάδοσης σε non-beacon-enabled δίκτυο**, ώστε κάθε συσκευή να μεταδίδει δεδομένα κατά βούληση. Εν τούτοις, λόγω τοπολογίας στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε το μοντέλο της έμμεσης μετάδοσης σε non-beacon-enabled δίκτυο στο οποίο η RFD συσκευή αποστέλλει μηνύματα αναγνώρισης στο συντονιστή κάθε 100 msec. Σε κάθε περίπτωση όμως, το χρησιμοποιούμενο μοντέλο λειτουργίας είναι σημείου-προς-σημείο (peer-to-peer) non-beacon-enabled.



Εικόνα 3-4 : Μοντέλα μεταφοράς δεδομένων έμμεσης μετάδοσης 802.15.4 σε α) beacon-enabled δίκτυο και β) non-beacon-enabled δίκτυο

3. Για τη μετάδοση δεδομένων τριών κυματομορφών ηλεκτροκαρδιογραφήματος (ΗΚΓ), απαιτείται η ύπαρξη τεσσάρων ακροδεκτών οι οποίοι να μετράνε τις διαφορές δυναμικού (4 ηλεκτροδίων τα οποία συνδέονται ένα σε κάθε άκρο). Επιπλέον, για κάθε επιπρόσθετο βιοσήμα του οποίου τα δεδομένα θέλουμε να καταγράψουμε, απαιτείται η ύπαρξη ενός ακόμα κόμβου ο οποίος να μεταδίδει ασύρματα τα δεδομένα του. Στην περίπτωση λοιπόν που μας ενδιαφέρει η μετάδοση τριών κυματομορφών ΗΚΓ καθώς και αριθμητικών δεδομένων οξυμετρίας, πίεσης και θερμοκρασίας (κατά αναλογία με το πρωτόκολλο το οποίο θα υλοποιήσουμε),

απαιτείται η ύπαρξη επτά συνολικά κόμβων οι οποίοι να μεταδίδουν ταυτόχρονα δεδομένα. Δεδομένου ότι ο **μέγιστος αριθμός κόμβων** ο οποίος μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητική απόδοση δικτύου είναι μεταξύ δύο και τέσσερα (με ένα μέσο όρο ιδανικού αριθμού κόμβων το τρία), γίνεται αντιληπτό ότι η συνύπαρξη επτά κόμβων οι οποίοι να μεταδίδουν ταυτόχρονα δεδομένα προς το συντονιστή θα μειώσει κατά πολύ την αποδοτικότητα του δικτύου. Για αυτό το λόγο αποφασίστηκε το σύστημα να συλλέγει ενσύρματα τα δεδομένα όλων των κόμβων και να τα μεταδίδει ασύρματα από **ένα μόνο κεντρικό κόμβο** ZigBee ο οποίος επικοινωνεί απευθείας με το συντονιστή.

3.2.1 Ανάπτυξη Συστήματος

Προκειμένου για την ανάπτυξη του συστήματος, χρησιμοποιήθηκε το ZigBee / 802.15.4 Application Kit[19] της Rabbit Semiconductor. Το ολοκληρωμένο αυτό σετ προσφέρει τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό το οποίο απαιτείται για την ανάπτυξη εφαρμογών οι οποίες αξιοποιούν το 802.15.4 πρωτόκολλο. Το Application Kit περιέχει:

1. Το RCM3720 Prototyping Board για την ανάπτυξη του ηλεκτρονικού κυκλώματος, πάνω στο οποίο συνδέονται όλες οι υπομονάδες. Το prototyping board θα χρησιμοποιηθεί μελλοντικά για την ανάπτυξη του ηλεκτρονικού κυκλώματος του ΗΚΓ. Το prototyping board επιτρέπει τη σχεδίαση ενός αναλογικού (ή και ψηφιακού) κυκλώματος και τη σύνδεση αυτού στον ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή.

2. Την υπομονάδα η οποία ολοκληρώνει το κύκλωμα του επεξεργαστή RCM3720 RabbitCore, ο οποίος συνδέεται μέσω σειριακού καλωδίου στον υπολογιστή για τη μεταφόρτωση του λογισμικού.

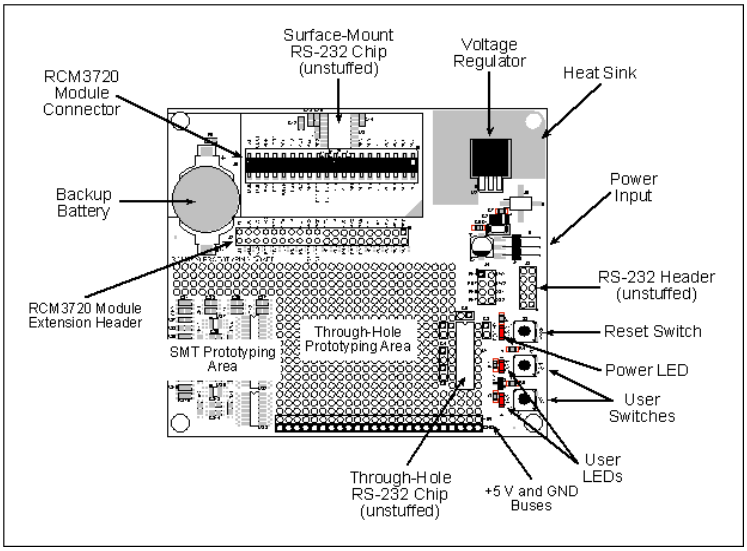
3. Την RF υπομονάδα η οποία τροφοδοτεί και ολοκληρώνει το κύκλωμα του ZigBee μόντεμ (XBee RF @ 2.4 GHz μόντεμ της εταιρίας MaxStream), η οποία μπορεί να διασυνδεθεί με το υπόλοιπο κύκλωμα είτε μέσω σειριακής είτε μέσω RS232 διεπαφής προκειμένου για τον έλεγχο της ροής των δεδομένων. Το ολοκληρωμένο σετ περιέχει τρία XBee RF μόντεμ (και τρεις RF διεπαφές για τα μόντεμ αντίστοιχα), επιτρέποντας τη χρησιμοποίηση του ενός από τα τρία ως συντονιστή και των άλλων δύο ως «θυγατρικών» του. Βάσει των προδιαγραφών, τα θυγατρικά μόντεμ μπορούν να τοποθετηθούν σε απόσταση έως 30 περίπου μέτρων από το συντονιστή του δικτύου.

[19] (2/2010) http://www.rabbit.com/documentation/docs/refs/AN413/AN413.pdf

4. Το περιβάλλον προγραμματισμού (Dynamic C) μαζί με τις απαραίτητες βιβλιοθήκες και κάποια πρότυπα προγράμματα τα οποία εκτελούν βασικές λειτουργίες.

3.2.1.1 RCM3720 Prototyping Board

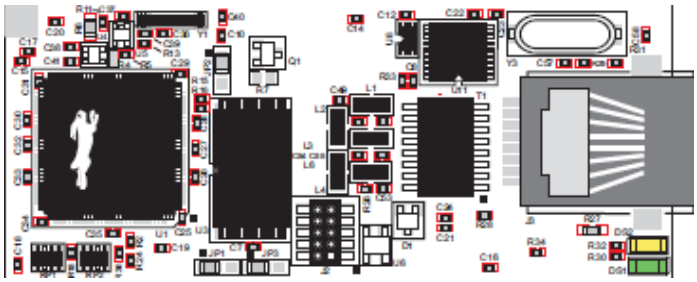
Το RCM3720 Prototyping Board[20] απεικονίζεται γραφικά σην εικόνα 3-5.



Εικόνα 3-5 : RCM3720 Prototyping Board

3.2.1.2 RCM3720 RabbitCore

Η υπομονάδα RCM3720 RabbitCore ολοκληρώνει το κύκλωμα του επεξεργαστή, ενός Rabbit 3000 και απεικονίζεται γραφικά στην εικόνα 3-6.

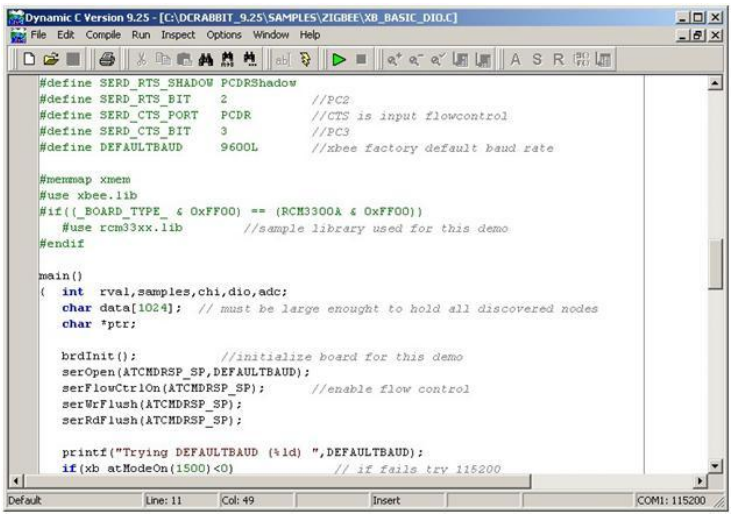


Εικόνα 3-6 : Υπομονάδα RCM3720 RabbitCore

Ο προγραμματισμός του επεξεργαστή γίνεται στη γλώσσα προγραμματισμού Dynamic C, μια παραλλαγή της C που επιτρέπει την ταυτόχρονη εισαγωγή κώδικα μηχανής στον κώδικα

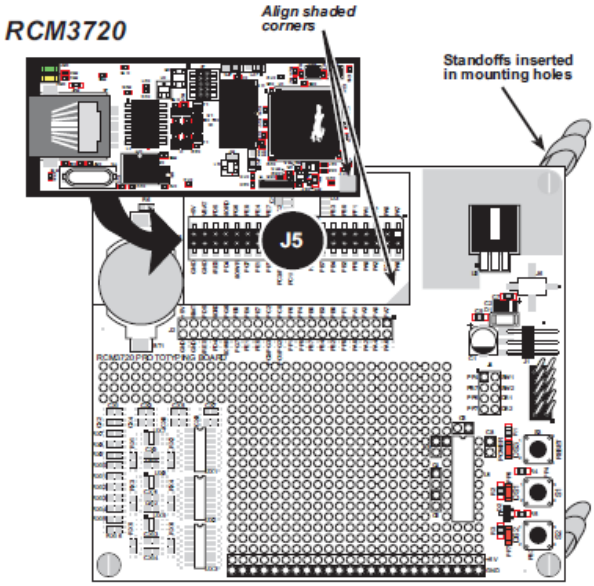
[20] (2/2010) http://www.rabbit.com/documentation/docs/manuals/RCM3750/bproto.htm

εντολών της C, που υποστηρίζονται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες, δίνοντας στον προγραμματιστή τη δυνατότητα να επέμβει σε χαμηλότερο επίπεδο στις εντολές που θα εκτελέσει ο επεξεργαστής. Το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η σύνταξη του κώδικα παρέχεται από την Rabbit και έχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για τη σύνταξη και αποσφαλμάτωση του κώδικα. Για να μπορέσει να εκτελεστεί κώδικας που έχει γραφεί στο περιβάλλον της Dynamic-C πρέπει να μεταφραστεί και στη συνέχεια να φορτωθεί στη flash μνήμη του επεξεργαστή, γεγονός που απαιτεί τη σύνδεση του επεξεργαστή με τον υπολογιστή μέσω ενός σειριακού καλωδίου. Εφόσον το πρόγραμμα μεταφερθεί στη μνήμη του επεξεργαστή, τότε μπορεί να εκτελείται χωρίς να είναι συνδεδεμένο σε κάποιον υπολογιστή. Λόγω της απουσίας υποσυστήματος οθόνης στο σετ, για την ανάγνωση τυχόν μηνυμάτων που περιέχονται στον κώδικα θα πρέπει να είναι συνδεδεμένο το σετ με τον υπολογιστή και να γίνει η εκτέλεση του προγράμματος μέσω του περιβάλλοντος της Dynamic-C, στην οποία θα εμφανίζονται στο παράθυρο εξόδου τα αποτελέσματα. Επίσης, για την αποσφαλματωση του κώδικα, απαιτείται η εκτέλεση του κώδικα μέσω του περιβάλλοντος της Dynamic-C. Το περιβάλλον προγραμματισμού απεικονίζεται στην εικόνα 3-7.

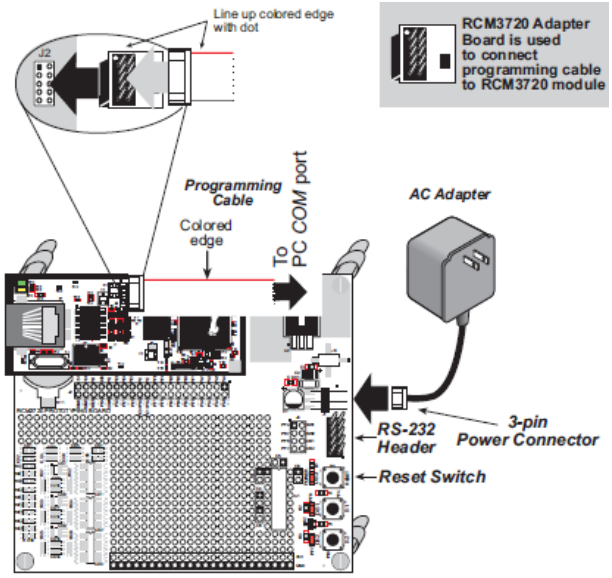


Εικόνα 3-7 : Περιβάλλον προγραμματισμού Dynamic C

Επιπλέον, στην εικόνα 3-8 απεικονίζεται η διαδικασία εγκατάστασης της υπομονάδας RCM3720 RabbitCore στο RCM3720 Prototyping Board ενώ στην εικόνα 3-9 απεικονίζεται η διασύνδεση καλωδίων στο prototyping board



Εικόνα 3-8 : Εγκατάσταση υπομονάδας RCM3720 RabbitCore στο RCM3720 Prototyping Board

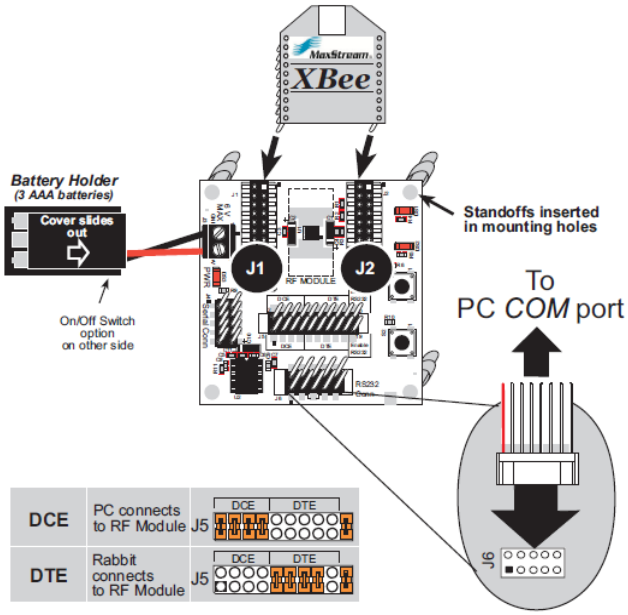


Εικόνα 3-9 : Διασύνδεση καλωδίων στο prototyping board

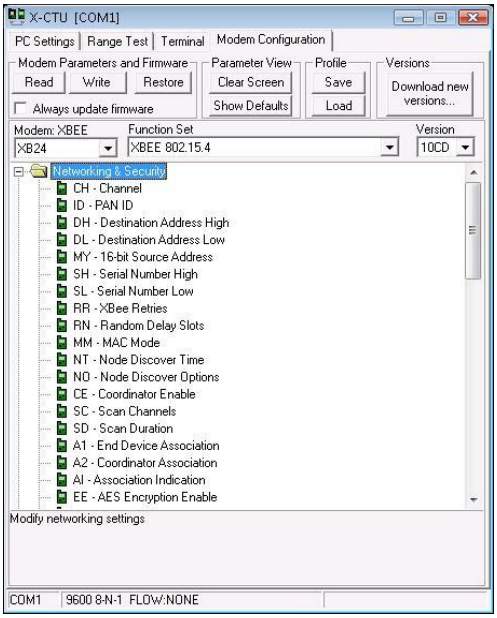
3.2.1.3 XBee RF Module

Το XBee RF Module είναι σχεδιασμένο για να λειτουργεί βάσει του πρωτοκόλλου ZigBee και να εξασφαλίζει την αξιόπιστη μετάδοση των δεδομένων (κάνοντας χρήση του ενσωματωμένου μηχανισμού αναμεταδόσεων του επιπέδου MAC) και τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το μόντεμ της MaxStream τοποθετείται στις υπομονάδες ασύρματης μετάδοσης όπως απεικονίζεται γραφικά και στην εικόνα 3-10, έχει ονομαστική εμβέλεια 30 μέτρα σε εσωτερικό και 100 σε εξωτερικό χώρο με οπτική επαφή μεταξύ των μόντεμ και ονομαστική ταχύτητα ασύρματης μετάδοσης ίση με 250Kbps.

Για την παραμετροποίηση των μόντεμ παρέχεται εφαρμογή (X-CTU) η οποία δίνει πρόσβαση στις παραμέτρους αυτού. Το περιβάλλον της απεικονίζεται γραφικά στην εικόνα 3-11. Μέσω αυτής της εφαρμογής μπορεί να καθοριστεί το κανάλι λειτουργίας του μόντεμ, παράμετροι που αφορούν την τάση των εισόδων και των εξόδων, καθώς και παράμετροι που καθορίζουν αν το μόντεμ που είναι τοποθετημένο στην υπομονάδα θα λειτουργεί ως συντονιστής ή ως τερματικός εξοπλισμός. Τα μόντεμ XBee μπορούν να λειτουργήσουν είτε σε τοπολογία δικτύου πολλών κόμβων (mesh networking), είτε σε τοπολογία σημείου-προς-σημείο (peer-to-peer).

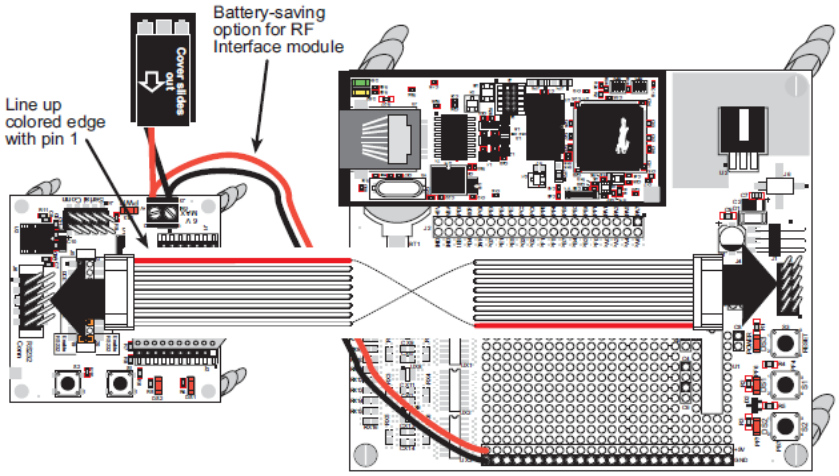


Εικόνα 3-10 : Διασύνδεση RF διεπαφής



Εικόνα 3-11 : Περιβάλλον εφαρμογής X-CTU

Τέλος, η εικόνα 3-12 δίνει τη συνολική τοπολογία του συστήματος όπου επιδεικνύεται ο τρόπος σειριακής σύνδεσης της RF διεπαφής στο prototyping board



Εικόνα 3-12 : Σειριακή σύνδεση της RF διεπαφής στο prototyping board

3.3 Τοπολογία

Η μελέτη της αξιοπιστίας του δικτύου όπως περιγράφηκε παραπάνω, θα πραγματοποιηθεί για διαφορετικά περιβάλλοντα, ώστε να έχουμε πιο σαφή εικόνα περί της αξιοπιστίας του δικτύου. Γνωρίζουμε ότι οι συσκευές ZigBee λειτουργούν σε συχνότητες και κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται ή γειτονεύουν με κανάλια από άλλα ασύρματα δίκτυα, επομένως αυτό που θα εξετάσουμε είναι τη συμπεριφορά του συστήματος όταν συνυπάρχει με άλλο δίκτυο.

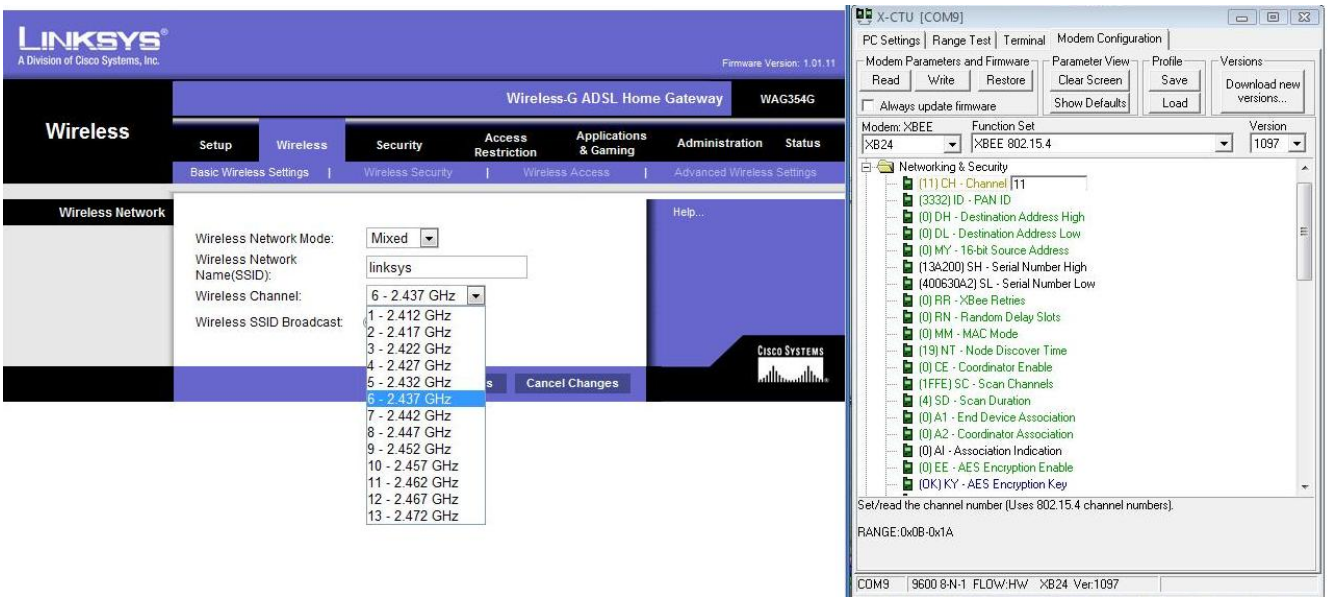
Ειδικότερα, θα πραγματοποιηθούν κάποιες μετρήσεις σε καθαρό, σε ημι-καθαρό και σε θορυβώδες περιβάλλον. Για την πρώτη περίπτωση θεωρούμε ένα χώρο χωρίς παρεμβολές, ενώ για τις δύο τελευταίες θα θεωρήσουμε ασύρματο δίκτυο IEEE 802.11 στην ίδια συχνότητα και γειτονικό κανάλι με το σύστημά μας. Στη μεν μία περίπτωση το σύστημά μας θα λειτουργεί με παρεμβολές που προέρχονται από WLAN συσκευές που παράγουν μικρή κίνηση, με την κίνηση του δικτύου σταθερά κάτω από 200 KB/s, στη δε άλλη περίπτωση οι δύο συσκευές θα παράγουν σημαντική κίνηση, με τον ασύρματο δρομολογητή να εξυπηρετεί συνεχή διακίνηση δεδομένων προκαλώντας κίνηση του δικτύου σταθερά άνω από το επίπεδο των 200 KB/s .

Για κάθε ένα από τα παραπάνω τρία σενάρια θα πραγματοποιηθούν δέκα μετρήσεις των τριών λεπτών η κάθε μία, ώστε να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα περί της αξιοπιστίας του δικτύου που θα μας παρέχει η εφαρμογή. Τέλος, να σημειώσουμε ότι στα δύο τελευταία σενάρια χρησιμοποίησης κοντινού καναλιού από δίκτυο WPAN, τα κανάλια για το ZigBee καθορίζονται όπως στον παρακάτω πίνακα [21] από τα οποία επιλέγουμε το κανάλι 17 (11 σε δεκαεξαδική μορφή) με κεντρική συχνότητα λειτουργίας τα 2435 MHz, ελάχιστη και μέγιστη συχνότητα λειτουργίας τα 2434 και 2436 αντίστοιχα. Ενώ για το WPAN επιλέγουμε στον ασύρματο δρομολογητή μας το κανάλι 6 με κεντρική συχνότητα λειτουργίας τα 2437 MHz, ελάχιστη και μέγιστη συχνότητα λειτουργίας τα 2426 και 2448 αντίστοιχα (εικόνα 3-13).

[21] Channels and Frequencies (3/2010) : http://www.daintree.net/downloads/whitepapers/zigbee_primer.pdf

Channel Logical Sequence Num	Channel Number (Decimal)	Channel Number (Hex)	Frequency MHz
2.4 GHz Band			
1	11	0B	2405
2	12	0C	2410
3	13	0D	2415
4	14	0E	2420
5	15	0F	2425
6	16	10	2430
7	17	11	2435
8	18	12	2440
9	19	13	2445
10	20	14	2450
11	21	15	2455
12	22	16	2460
13	23	17	2465
14	24	18	2470
15	25	19	2475
16	26	1A	2480

Πίνακας 3-1 : Διαθέσιμα κανάλια πρωτοκόλλου ZigBee



Εικόνα 3-13 : Προσδιορισμός καναλιού ασύρματων δικτύων

3.4 Υλοποίηση

Στην παράγραφο αυτή θα αναφερθούμε σε θέματα που σχετίζονται με την υλοποίηση των δύο ζητημάτων, σύμφωνα πάντα με τη μεθοδολογία που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα.

3.4.1 Υλοποίηση Πρωτοκόλλου

Κατά την υλοποίηση του πρωτοκόλλου δεν εμφανίστηκε κάποια ιδιάζουσα συμπεριφορά από το σύστημα. Ο σχετικός κώδικας παρατίθεται στο μέρος Α του παραρτήματος.

3.4.2 Υλοποίηση Εφαρμογής για Αύξηση Αξιοπιστίας Δικτύου

Στο στάδιο υλοποίησης της εφαρμογής για αύξηση της αξιοπιστίας του ασύρματου δικτύου μικρής εμβέλειας χρειάστηκε να λάβουμε υπόψη μας κάποια ζητήματα και να κάνουμε κάποιες παραδοχές.

- Αρχικά, γλώσσα προγραμματισμού για την υλοποίηση της εφαρμογής στον δέκτη επιλέχθηκε η γλώσσα Java πλεονεκτώντας στην υποστήριξη προγραμματισμού σειριακών θυρών μέσω κατάλληλων βιβλιοθηκών[22,23] καθώς και του αντίστοιχου εγχειρίδιου προγραμματισμού τους[24].
- Στη συνέχεια, επιλέχθηκε κατάλληλος αλγόριθμος[25] για τον υπολογισμό του CRC-CCITT ώστε να είναι υλοποιήσιμος και στην πλευρά του αποστολέα (Dynamic C) και στην πλευρά του δέκτη (Java) παρέχοντας το ίδιο αποτέλεσμα για τα ίδια δεδομένα. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι παρατηρήθηκε διαφορά στους τύπους των δύο γλωσσών. Στη μεν πρώτη[26] ο τύπος *int* αντιστοιχεί σε 16-bit προσημασμένο ακέραιο (16-bit signed integer), ενώ στη δεύτερη γλώσσα η ίδια περιγραφή αντιστοιχεί στον τύπο *short*[27].

---

[22] (12/2009) PC Serial Solution : http://llk.media.mit.edu/projects/cricket/doc/serial.shtml

[23] (12/2009) http://llk.media.mit.edu/projects/cricket/software/javaSerial.zip

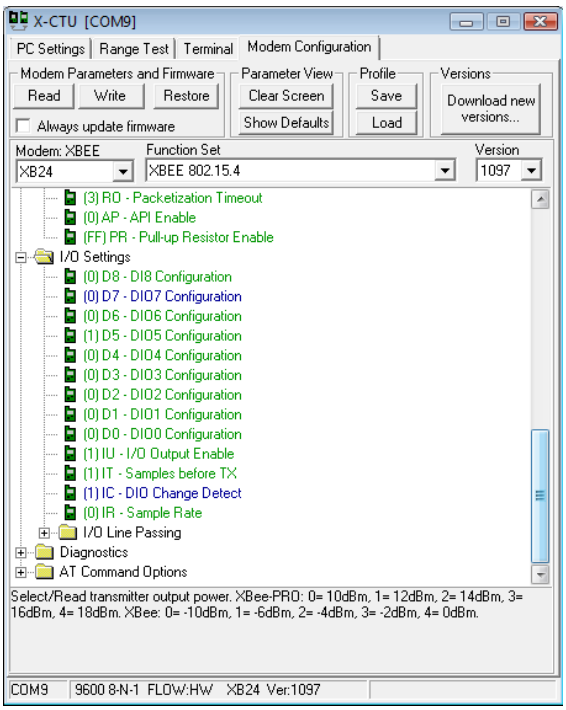
[24] (12/2009) Programming Serial and Parallel Ports : http://java.sun.com/developer/Books/javaprogramming/cookbook/11.pdf

[25] Paul Curtis (29/1/2007) : http://www.embeddedrelated.com/groups/msp430/show/29689.php

[26] (12/2009) : http://www.rabbit.com/documentation/docs/manuals/DC/DCUserManual9/DCPUM.pdf

[27] (12/2009) : http://java.sun.com/docs/books/tutorial/java/nutsandbolts/datatypes.html

- Εξ αιτίας αυτής της ασυμβατότητας των τύπων στις δύο γλώσσες, επιλέχθηκε μετάδοση του πακέτου από τον αποστολέα byte προς byte υπό τη μορφή χαρακτήρα (*char*), οπότε και γίνεται ανάγνωσή του στον παραλήπτη υπό τη μορφή του τύπου *byte* της Java.
- Τέλος, ενεργοποιήθηκε η δυνατότητα ελέγχου ροής δεδομένων (flow control) μεταξύ των Xbee RF Module και της σειριακής θύρας ώστε να αποφευχθεί τυχόν απώλεια πακέτων από την αδυναμία χειρισμού της συνεχόμενης ροής δεδομένων από τη σειρακή θύρα, ενώ θέσαμε και το επίπεδο εξωτερικής ενέργειας πομπού (PL) στα 12 dBm .

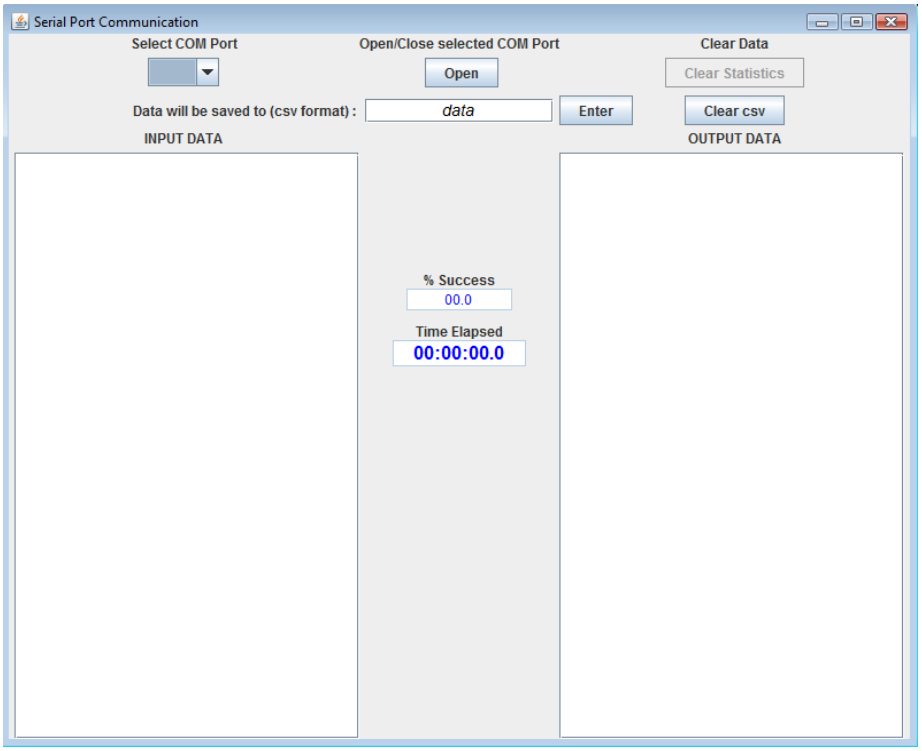


Εικόνα 3-14 : Παραμετροποίηση XBee RF Modules

3.4.2.1 Υλοποίηση στον Αποστολέα

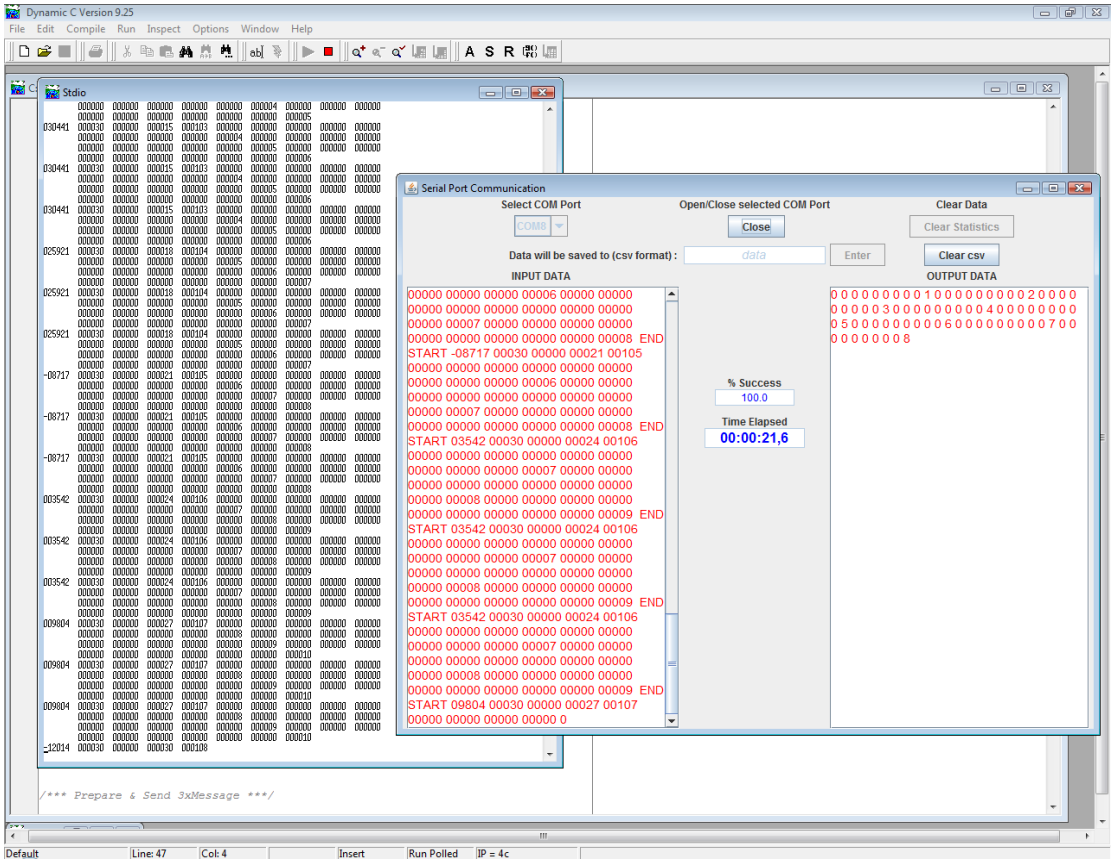
Λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιορισμούς που θέσαμε παραπάνω, καθώς και τη μεθοδολογία που περιγράψαμε σε προηγούμενη ενότητα, υλοποιήσαμε τον κώδικα του μέρους Β του παραρτήματος.

3.4.2.2 Υλοποίηση στον Παραλήπτη



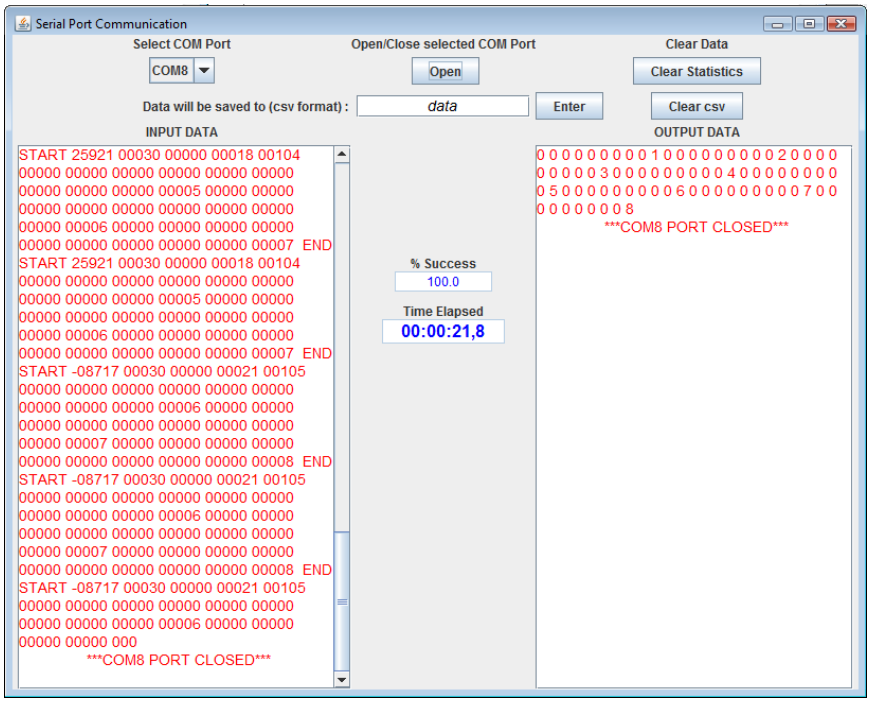
Εικόνα 3-15 : Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής

Όπως φαίνεται και από την εικόνα 3-14 στον παραλήπτη σχεδιάσαμε ένα γραφικό περιβάλλον με το οποίο εκτελούνται κάποιες στοιχειώδεις λειτουργίες, όπως επιλογή (*Select COM Port*) και άνοιγμα ή κλείσιμο (*Open/Close selected COM Port*) της σειριακής θύρας, καθορισμός αρχείου για αποθήκευση αποτελέσματος σε μορφή .csv, καθαρισμός δεδομένων στο γραφικό περιβάλλον (*Clear Statistics*) ή και στο αρχείο .csv (*Clear csv*), καθώς επίσης και δύο πεδία στα οποία παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου (*Input Data*) από τη σειριακή και τα δεδομένα που η εφαρμογή μας δίνει ως έξοδο (*Output Data*). Τέλος, παρατίθενται και για μεγαλύτερη ευκολία του χρήστη ένα πεδίο με τα στατιστικά του δικτύου (*% Success*) καθώς και ένα χρονόμετρο το οποίο καταγράφει πόση ώρα παραμένει ανοιχτή η σειριακή θύρα (*Time Elapsed*). Η εικόνα 3-15 αποτελεί ένα στιγμιότυπο λειτουργίας του συστήματος, όπου στην αριστερή πλευρά φαίνονται στο περιβάλλον της Dynamic C τα δεδομένα που στέλνει ο αποστολέας και στη δεξιά πλευρά μπορούμε να τα παρακολουθήσουμε όταν φτάνουν στον παραλήπτη πριν και μετά την επεξεργασία που υφίστανται από την εφαρμογή μας.



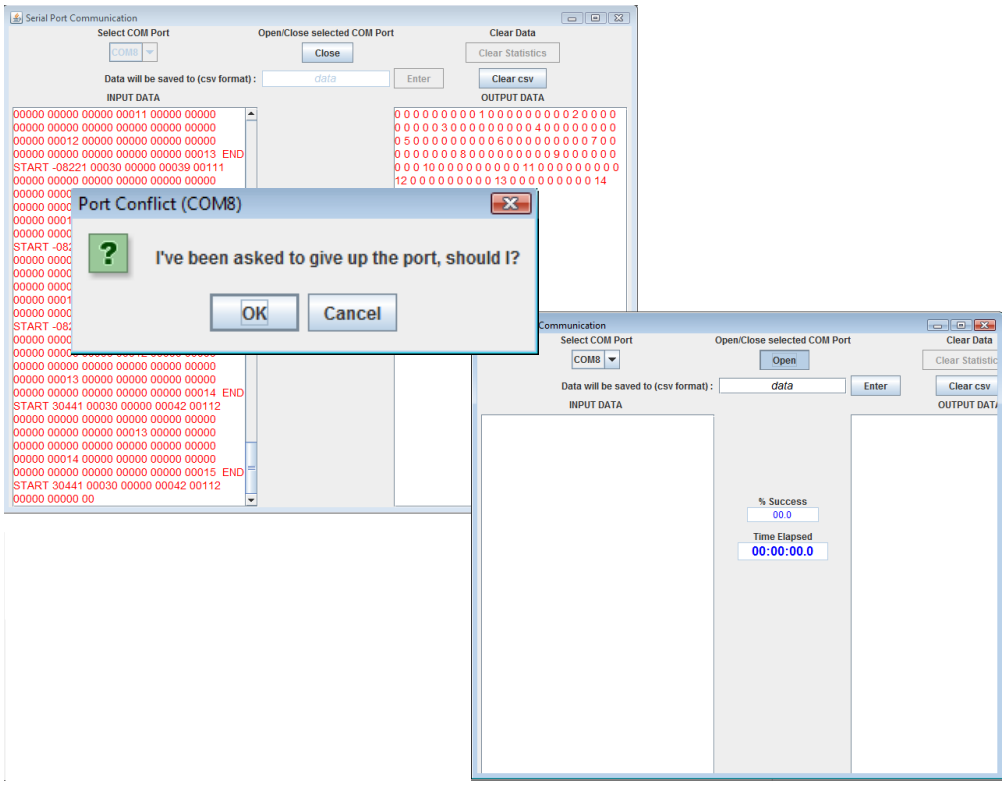
Εικόνα 3-16 : Στιγμιότυπο λειτουργίας συστήματος

Στη συνέχεια ακολουθεί ένα στιγμιότυπο από την εφαρμογή αφού κλείσουμε τη σειριακή θύρα.



Εικόνα 3-17 : Στιγμιότυπο κλεισίματος σειριακής θύρας

Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα ειδοποίησης σε περίπτωση που κάποια άλλη εφαρμογή ζητήσει να χρησιμοποιήσει τη σειριακή θύρα στο στιγμιότυπο της εφαρμογής (εικόνα 3-17).



Εικόνα 3-18 : Στιγμιότυπο αίτησης χρήσης της σειριακής θύρας

4.

Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών σύμφωνα με τον σχεδιασμό που προηγήθηκε. Συγκεκριμένα, κάθε σύνολο μετρήσεων θα εφαρμοστεί σε καθαρό, ημι-καθαρό και θορυβώδες περιβάλλον ώστε να μπορέσουμε να εστιάσουμε στην αξιοπιστία του συστήματος για την εφαρμογή της κατ' οίκον τηλεπαρακολούθησης πραγματικού χρόνου.

4.1 Αποτελέσματα Πειραματικών Δοκιμών

Στους επόμενους πίνακες ακολουθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων που λάβαμε ανάλογα με την τοπολογία του συστήματος Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, αφού πρόκειται για πακέτα που έχουν μεταδοθεί σωστά, θα έχουν εννέα μηδενικά και έναν αύξοντα αριθμό ανά δεκάδα byte, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και από τις δοκιμές. Για το λόγο αυτό, θα παρουσιάσουμε μόνο τις μη μηδενικές τιμές σε κάθε περίπτωση. Στην πρώτη στήλη κάθε πίνακα αναγράφεται ο αριθμός που θα έπρεπε να παραδοθεί και στις υπόλοιπες δέκα στήλες, τα αποτελέσματα των πειραμάτων.

4.1.1 Καθαρό Περιβάλλον

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29

30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
60	60	60		60		60	60	60	60	60
61										61

Πίνακας 4-1 : Αποτελέσματα μετρήσεων σε καθαρό περιβάλλον

4.1.2 Ημι-καθαρό Περιβάλλον

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40		40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42

43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46		46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59		59	59	59	59
60	60	60	60							60
61			61							

Πίνακας 4-2 : Αποτελέσματα μετρήσεων σε ημι-καθαρό περιβάλλον

4.1.3 Θορυβώδες Περιβάλλον

1	1	1		1	1		1		1	
2	2	2		2	2		2		2	
3	3	3		3	3		3	3	3	
4	4							4	4	
5	5	5						5	5	
6	6	6								
7	7	7						7		
8	8	8						8		
9	9	9						9		
10	10	10						10	10	
11	11	11						11	11	
12	12	12				12		12	12	12
13	13	13				13		13		13
14	14	14				14		14		14
15	15	15						15		15
16	16							16		16
17							17	17		
18		18					18	18		
19		19					19	19		19

20	20	20					20	20		20
21	21	21					21	21		21
22	22	22					22	22		22
23	23	23					23	23		23
24	24	24					24	24		
25	25	25					25	25		
26	26							26		26
27	27									27
28	28	28								28
29	29	29						29		
30	30	30					30	30		
31	31	31					31	31		
32	32	32					32	32		32
33	33	33						33		33
34	34	34	34	34			34	34		34
35	35	35	35	35			35	35		35
36	36	36	36	36			36	36		36
37	37	37	37					37		37
38	38	38	38				38	38		38
39	39	39	39	39		39	39	39		39
40		40	40	40		40	40	40		40
41		41	41	41		41	41	41		41
42		42	42	42		42	42	42		
43		43	43	43			43	43		43
44			44	44			44	44		44
45			45				45	45		45
46							46	46		46
47							47	47		47
48			48			48	48	48		48
49			49			49	49	49		49
50			50			50		50		50
51			51					51		51
52			52					52		52
53			53							53
54			54							
55			55							
56			56							56
57			57							57
58			58			58				58
59			59			59				59
60						60				

Πίνακας 4-3 : Αποτελέσματα μετρήσεων σε θορυβώδες περιβάλλον

4.2 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η κίνηση των γειτονικών καναλιών επηρεάζει το δίκτυό μας. Όσο μικρότερη είναι αυτή, τόσο μεγαλύτερες πιθανότητες έχουμε να μεταδώσουμε ορθά τα ιατρικά δεδομένα και αντιθέτως.

Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώσαμε ότι σε καθαρό περιβάλλον δεν παρατηρείται απώλεια πακέτων. Η διαφορά στο σύνολο των παραδοθέντων πακέτων οφείλεται σε διαφορετικό χρόνο αντίδρασης για τον τερματισμό της κάθε μέτρησης, γεγονός που ισχύει και για τα τρία περιβάλλοντα.

Στη συνέχεια, στο ημι-καθαρό περιβάλλον παρατηρήσαμε ότι η εφαρμογή εμφανίζει αρκετά καλή απόδοση με συνολική απώλεια πακέτων περίπου 0,34%. Φαίνεται, δηλαδή, ότι υπάρχει επιτυχής ανακατασκευή κάποιων πακέτων που μπορεί να χάθηκαν λόγω της ύπαρξης του ασύρματου δικτύου σε γειτονικό κανάλι.

Τέλος, σε περιβάλλον όπου υπάρχει ασύρματο δίκτυο 802.11 σε γειτονικό κανάλι με κίνηση σταθερά άνω των 200 KB/s, παρατηρήσαμε εμφανή απώλεια πακέτων της τάξης του 58,33%. Παρά το γεγονός ότι σε κάποια σημεία μεταδόθηκαν κάποια πακέτα, δε μας επιτρέπεται να θεωρήσουμε επιτυχή τη μετάδοση, καθώς θα προκαλούσε σημαντική αλλοίωση στα ιατρικά δεδομένα.

5.

Επίλογος

Όπως μπορεί να γίνει φανερό από τα πιο πάνω αποτελέσματα, η παροχή υπηρεσιών κατ' οίκον νοσηλείας με χρησιμοποίηση δικτύων μικρής εμβέλειας εξαρτάται από τη γενικότερη τοπολογία τόσο του δικτύου WPAN καθ' αυτού, όσο και υπόλοιπων δικτύων τα οποία λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων και μπορεί να παρεμβάλλουν στη λειτουργία του πρώτου. Για αυτό το λόγο χρειάζεται προσεκτικός σχεδιασμός λαμβάνοντας υπόψη κάποιες παραμέτρους, οι οποίες συνοψίζονται στην παρούσα παράγραφο.

5.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών για την παροχή υπηρεσιών υγείας μπορεί να συντελέσει σημαντικά στην υπερπήδηση των εμποδίων και των προκλήσεων που παρουσιάζονται τόσο σε πανευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο και παρακωλύουν την ποιοτική προσφορά τέτοιων υπηρεσιών στους πολίτες που είναι και οι τελικοί αποδέκτες. Η αξιοποίηση και ενσωμάτωση των νέων αυτών δράσεων στο σύστημα Υγείας και Κοινωνικής Φροντίδας αναμένεται να βελτιώσει την πρόσβαση στην υγειονομική και ιατροφαρμακευτική περίθαλψη και να βελτιώσει την ποιότητα και την αποτελεσματικότητα των προσφερομένων υπηρεσιών.

Η ηλεκτρονική υγεία μπορεί να συμβάλει στην εξασφάλιση βελτιωμένης περίθαλψης με μικρότερη δαπάνη στο πλαίσιο συστημάτων διανομής υπηρεσιών υγείας που είναι επικεντρωμένα στους πολίτες. Επίσης, είναι το σύγχρονο εργαλείο για την επίτευξη σημαντικών αυξήσεων στην παραγωγικότητα, και το μελλοντικό μέσο για την αναδιάρθρωση των συστημάτων υγείας που είναι επικεντρωμένα στον πολίτη, με ταυτόχρονη διαφύλαξη της ποικιλομορφίας στην ευρωπαϊκή πολυπολιτισμική, πολυγλωσσική παράδοση παροχής υπηρεσιών υγείας.

Η ηλεκτρονική υγεία αποτελεί μέρος της στρατηγικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ηλεκτρονική Ευρώπη (eEurope) και μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην επίτευξη μεγαλύτερης οικονομικής μεγέθυνσης και τη δημιουργία θέσεων εργασίας για τις οποίες απαιτούνται υψηλότερα προσόντα στο πλαίσιο μιας δυναμικής οικονομίας της γνώσης. Όπως αποδείχθηκε όμως, το νέο μοντέλο περίθαλψης το οποίο προάγει η ηλεκτρονική υγεία δεν συνιστά από μόνο του πανάκεια αλλά εισάγει κάποιους προβληματισμούς αλλά και περιορισμούς αναφορικά με τον τρόπο παροχής των υπηρεσιών αυτών.

Ένας από τους πιο σημαντικούς περιορισμούς αφορά το ποσοστό αξιοπιστίας των ασύρματων δικτύων τα οποία αξιοποιούνται κατά την αρχιτεκτονική σχεδίαση συστημάτων απομακρυσμένης περίθαλψης και είναι υπεύθυνα για την αποστολή της πληροφορίας σε κέντρα συντονισμού στα οποία γίνεται η αξιολόγηση της πληροφορίας αυτής. Δεδομένου ότι οι εφαρμογές κατ' οίκον νοσηλείας συνιστούν μια ιδιαιτέρως ιδιάζουσα κατηγορία υπηρεσιών στην οποία τόσο το σύνολο της συλλεγόμενης πληροφορίας όσο και κάθε ανεξάρτητο κομμάτι αυτής είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την αξιολόγηση της κατάστασης του πολίτη, για την εξαγωγή συμπερασμάτων, τη διάγνωση και κατά συνέπεια και για τη δημιουργία του προτεινόμενου σχήματος φαρμακευτικής αγωγής, το ποσοστό της απολεσθείσης πληροφορίας πρέπει να είναι μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό.

Έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει πληθώρα παραμέτρων οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη λειτουργία ενός ασύρματου δικτύου προσωπικής εμβέλειας όπως η αύξηση του αριθμού των κόμβων που απαρτίζουν το ασύρματο δίκτυο, η αύξηση της απόστασης μεταξύ

των πομποδεκτών, η έλλειψη της οπτικής επαφής μεταξύ των πομποδεκτών, η μείωση της απόστασης των παρεμβαλλόμενων συσκευών από το 802.15.4 δίκτυο, η μείωση της απόστασης μεταξύ των κεντρικών συχνοτήτων λειτουργίας των παρεμβαλλόμενων συσκευών και των συσκευών 802.15.4, ο τύπος των παρεμβαλλόμενων συσκευών και ο όγκος της μεταδιδόμενης πληροφορίας από τις συσκευές αυτές. Από την άλλη μεριά, η βιβλιογραφία αναφορικά με την αξιοποίηση ασύρματων δικτύων σε εφαρμογές τηλεϊατρικής αποδεικνύει ότι οι ερευνητές του χώρου δέχονται αβίαστα την αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών προκειμένου για την πρόταση αρχιτεκτονικών για την ανάπτυξη δικτύων προσωπικής εμβέλειας για την παρακολούθηση ασθενών, αμελώντας διάφορες κρίσιμες παραμέτρους. Επίσης, η παροχή υπηρεσιών κατ' οίκον νοσηλείας με χρησιμοποίηση δικτύων μικρής εμβέλειας εξαρτάται σε σημαντικό ποσοστό από τη γενικότερη τοπολογία τόσο του δικτύου WPAN καθ' αυτού, όσο και υπόλοιπων δικτύων τα οποία λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων και τα οποία μπορεί να παρεμβάλλουν στη λειτουργία του πρώτου. Επομένως, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη εύρεσης μεθόδων για αύξηση της αξιοπιστίας των ασύρματων δικτύων προσωπικής εμβέλειας.

Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκε μια εφαρμογή, η οποία στοχεύει στην ανακατασκευή χαμένων πακέτων. Από τις πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας συμπεραίνουμε την καλή συμπεριφορά της εφαρμογής σε καθαρό και ημι-καθαρό περιβάλλον. Αντίθετα, σε θορυβώδες περιβάλλον δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί ανάκτηση χαμένων πακέτων σε ικανοποιητικό βαθμό. Η ισχύς του ασύρματου δικτύου το οποίο εξυπηρετούσε διαρκώς πολύ αυξημένη κίνηση σε γειτονικό κανάλι με αυτό του δικτύου 802.15.4, δεν επέτρεψε στα ZigBee μόντεμ να μεταδώσουν επιτυχώς τα δεδομένα. Καταλήγουμε, επομένως, ότι ακόμα και με τη βοήθεια της ανακατασκευής πακέτων που δε μεταδόθηκαν, το δίκτυο 802.15.4 υπό δύσκολες συνθήκες δεν είναι αξιόπιστο για τη μετάδοση ιατρικών δεδομένων, των οποίων το ανεκτό ποσοστό της απολεσθείσης πληροφορίας πρέπει να είναι μηδενικό ή σχεδόν μηδενικό.

5.2 Μελλοντικές επεκτάσεις

Προτάσεις για μελλοντική επέκταση της διπλωματικής αφορούν την εφαρμογή που αναπτύχθηκε στον δέκτη. Πιο συγκεκριμένα, στη βελτίωση της μεθόδου υπολογισμού του ποσοστού των πακέτων που έχουν μεταδοθεί καθώς και στις μεθόδους ανοίγματος / κλεισίματος της σειριακής θύρας.

Εφόσον έχει εξασφαλισθεί η προδιαγεγραμμένη λειτουργία της εφαρμογής, προτείνεται ως μελλοντική επέκταση ο έλεγχος της αξιοπιστίας του συστήματος με τη χρήση του υλοποιηθέντος πρωτοκόλλου.

Παράρτημα

Α. Κώδικας Υλοποίησης Πρωτοκόλλου

```
#class auto

#define DINBUFSIZE  511                     //RS-232 Buffer
#define DOUTBUFSIZE 511                     //     >>

#ifndef _232BAUD
#define _232BAUD 9600                //data rate 9600 fixed
#endif

#define SERD_CTS_PORT PCDR
#define SERD_CTS_BIT 3
#define SERD_RTS_PORT PCDR
#define SERD_RTS_SHADOW PCDRShadow
#define SERD_RTS_BIT 2

unsigned int ranSeed;                       // Current Random Seed
unsigned int irand ()  {
        if (ranSeed == 0x5555) ranSeed--;
        ranSeed = (ranSeed << 1) + (((ranSeed>>15)^(ranSeed>>1)^ranSeed^1) & 1);
        return ranSeed;        }

main()  {
        int i;
        int packet[944];              //344+3*200
        int send[2];

//*** Begin of variables declaration ***
   char message[942];                 //=4+96+49+45+31+600+29+27+28+33
   char record_crc[2], record_size[4];
   char section0[94];         //=96-2
```

```
   char section1[47];         //=49-2
   char section3[43];         //=45-2
   char section128[629];      //=31+600-2
   char section129[27];       //=29-2
   char section130[25];       //=27-2
   char section131[26];       //=28-2
   char section132[31];       //=33-2
//*** End of variables declaration ***

//     Specify the values for the transmitted data below
   message[0]=record_size[0]=944;                                  //=344+600
   message[1]=message[2]=message[3]=record_size[1]=record_size[2]=record_size[3]=0;

//**** Section 0 - Pointers to Data Areas ****
   message[6]=section0[0]=0;                //section0_id_num[0]
   message[7]=section0[1]=0;                //section0_id_num[1]
   message[8]=section0[2]=96;               //section0_length[0]
   message[9]=message[10]=message[11]=section0[3]=section0[4]=section0[5]=0;
   message[12]=section0[6]=1;               //section0_sect_ver
   message[13]=section0[7]=1;               //section0_sect_protocol
   message[14]=message[15]=message[16]=message[17]=message[18]=message[19]=0;
   section0[8]=section0[9]=section0[10]=section0[11]=section0[12]=section0[13]=0;
       //--- Pointer Field Section 0 ---
   message[20]=section0[14]=0;              //psection0_id_num[0]
   message[21]=section0[15]=0;              //psection0_id_num[1]
   message[22]=section0[16]=96;             //psection0_length[0]
   message[23]=section0[17]=0;              //psection0_length[1]
   message[24]=section0[18]=0;              //psection0_length[2]
   message[25]=section0[19]=0;              //psection0_length[3]
   message[26]=section0[20]=7;              //psection0_index[0]
   message[27]=section0[21]=0;              //psection0_index[1]
   message[28]=section0[22]=0;              //psection0_index[2]
   message[29]=section0[23]=0;              //psection0_index[3]
       //--- Pointer Field Section 1 ---
   message[30]=section0[24]=1;              //psection1_id_num[0]
   message[31]=section0[25]=0;              //psection1_id_num[1]
   message[32]=section0[26]=49;             //psection1_length[0]
   message[33]=section0[27]=0;              //psection1_length[1]
   message[34]=section0[28]=0;              //psection1_length[2]
   message[35]=section0[29]=0;              //psection1_length[3]
   message[36]=section0[30]=103;            //psection1_index[0]
   message[37]=section0[31]=0;              //psection1_index[1]
```

```
message[38]=section0[32]=0;              //psection1_index[2]
message[39]=section0[33]=0;              //psection1_index[3]
    //--- Pointer Field Section 3 ---
message[40]=section0[34]=3;              //psection3_id_num[0]
message[41]=section0[35]=0;              //psection3_id_num[1]
message[42]=section0[36]=45;             //psection3_length[0]
message[43]=section0[37]=0;              //psection3_length[1]
message[44]=section0[38]=0;              //psection3_length[2]
message[45]=section0[39]=0;              //psection3_length[3]
message[46]=section0[40]=152;            //psection3_index[0]
message[47]=section0[41]=0;              //psection3_index[1]
message[48]=section0[42]=0;              //psection3_index[2]
message[49]=section0[43]=0;              //psection3_index[3]
    //--- Pointer Field Section 128 ---
message[50]=section0[44]=128;            //psection128_id_num[0]
message[51]=section0[45]=0;              //psection128_id_num[1]
message[52]=section0[46]=631;            //psection128_length[0] = 31+600
message[53]=section0[47]=0;              //psection128_length[1]
message[54]=section0[48]=0;              //psection128_length[2]
message[55]=section0[49]=0;              //psection128_length[3]
message[56]=section0[50]=197;            //psection128_index[0]
message[57]=section0[51]=0;              //psection128_index[1]
message[58]=section0[52]=0;              //psection128_index[2]
message[59]=section0[53]=0;              //psection128_index[3]
    //--- Pointer Field Section 129 ---
message[60]=section0[54]=129;            //psection129_id_num[0]
message[61]=section0[55]=0;              //psection129_id_num[1]
message[62]=section0[56]=29;             //psection129_length[0]
message[63]=section0[57]=0;              //psection129_length[1]
message[64]=section0[58]=0;              //psection129_length[2]
message[65]=section0[59]=0;              //psection129_length[3]
message[66]=section0[60]=828;            //psection129_index[0] = 228+600
message[67]=section0[61]=0;              //psection129_index[1]
message[68]=section0[62]=0;              //psection129_index[2]
message[69]=section0[63]=0;              //psection129_index[3]
    //--- Pointer Field Section 130 ---
message[70]=section0[64]=130;            //psection130_id_num[0]
message[71]=section0[65]=0;              //psection130_id_num[1]
message[72]=section0[66]=27;             //psection130_length[0]
message[73]=section0[67]=0;              //psection130_length[1]
message[74]=section0[68]=0;              //psection130_length[2]
message[75]=section0[69]=0;              //psection130_length[3]
```

```
   message[76]=section0[70]=857;             //psection130_index[0] = 257+600
   message[77]=section0[71]=0;               //psection130_index[1]
   message[78]=section0[72]=0;               //psection130_index[2]
   message[79]=section0[73]=0;               //psection130_index[3]
    //--- Pointer Field Section 131 ---
   message[80]=section0[74]=131;             //psection131_id_num[0]
   message[81]=section0[75]=0;               //psection131_id_num[1]
   message[82]=section0[76]=28;              //psection131_length[0]
   message[83]=section0[77]=0;               //psection131_length[1]
   message[84]=section0[78]=0;               //psection131_length[2]
   message[85]=section0[79]=0;               //psection131_length[3]
   message[86]=section0[80]=884;             //psection131_index[0] = 284+600
   message[87]=section0[81]=0;               //psection131_index[1]
   message[88]=section0[82]=0;               //psection131_index[2]
   message[89]=section0[83]=0;               //psection131_index[3]
       //--- Pointer Field Section 132 ---
   message[90]=section0[84]=132;             //psection132_id_num[0]
   message[91]=section0[85]=0;               //psection132_id_num[1]
   message[92]=section0[86]=33;              //psection132_length[0]
   message[93]=section0[87]=0;               //psection132_length[1]
   message[94]=section0[88]=0;               //psection132_length[2]
   message[95]=section0[89]=0;               //psection132_length[3]
   message[96]=section0[90]=912;             //psection132_index[0] = 312+600
   message[97]=section0[91]=0;               //psection132_index[1]
   message[98]=section0[92]=0;               //psection132_index[2]
   message[99]=section0[93]=0;               //psection132_index[3]
   //--- CRC-CCITT for Section0 ---
   message[4]=getcrc(section0,section0[2],0);
   message[5]=0;                      printf("section0-crc:%d\n",message[4]);

//**** Section 1 - Header Information / Patient Data ****
   message[102]=section1[0]=1;               //section1_id_num[0]
   message[103]=section1[1]=0;               //section1_id_num[1]
   message[104]=section1[2]=49;              //section1_length[0]
   message[105]=message[106]=message[107]=section1[3]=section1[4]=section1[5]=0;
   message[108]=section1[6]=1;               //section1_sect_ver
   message[109]=section1[7]=1;               //section1_sect_protocol
   message[110]=message[111]=message[112]=message[113]=message[114]=message[115]=0;
   section1[8]=section1[9]=section1[10]=section1[11]=section1[12]=section1[13]=0;

   message[116]=section1[14]=2;              //data1tag2_id
   message[117]=section1[15]=10;             //data1tag2_length[0]
```

```
   message[118]=section1[16]=0;              //data1tag2_length[1]
   message[119]=section1[17]=0;              //data1tag2_parameter[0]
   message[120]=section1[18]=0;              //data1tag2_parameter[1]
   message[121]=section1[19]=0;              //data1tag2_parameter[2]
   message[122]=section1[20]=0;              //data1tag2_parameter[3]
   message[123]=section1[21]=0;              //data1tag2_parameter[4]
   message[124]=section1[22]=0;              //data1tag2_parameter[5]
   message[125]=section1[23]=0;              //data1tag2_parameter[6]
   message[126]=section1[24]=14;             //data1tag14_id
   message[127]=section1[25]=10;             //data1tag14_length[0]
   message[128]=section1[26]=0;              //data1tag14_length[1]
   message[129]=section1[27]=0;              //data1tag14_parameter[0]
   message[130]=section1[28]=0;              //data1tag14_parameter[1]
   message[131]=section1[29]=0;              //data1tag14_parameter[2]
   message[132]=section1[30]=0;              //data1tag14_parameter[3]
   message[133]=section1[31]=0;              //data1tag14_parameter[4]
   message[134]=section1[32]=0;              //data1tag14_parameter[5]
   message[135]=section1[33]=0;              //data1tag14_parameter[6]
   message[136]=section1[34]=25;             //data1tag25_id
   message[137]=section1[35]=7;              //data1tag25_length[0]
   message[138]=section1[36]=0;              //data1tag25_length[1]
   message[139]=section1[37]=2009;           //data1tag25_year[0]
   message[140]=section1[38]=0;              //data1tag25_year[1]
   message[141]=section1[39]=11;             //data1tag25_month
   message[142]=section1[40]=17;             //data1tag25_day
   message[143]=section1[41]=26;             //data1tag26_id
   message[144]=section1[42]=6;              //data1tag26_length[0]
   message[145]=section1[43]=0;              //data1tag26_length[1]
   message[146]=section1[44]=2;              //data1tag26_hour
   message[147]=section1[45]=50;             //data1tag26_minute
   message[148]=section1[46]=45;             //data1tag26_second
 //--- CRC-CCITT for Section1 ---
    message[100]=getcrc(section1,section1[2],0);
    message[101]=0;                  printf("section1-crc:%d\n",message[100]);

//**** Section 3 - Lead Definitions ****
   message[151]=section3[0]=2;               //section3_id_num[0]
   message[152]=section3[1]=0;               //section3_id_num[1]
   message[153]=section3[2]=45;              //section3_length[0]
   message[154]=message[155]=message[156]=section3[3]=section3[4]=section3[5]=0;
   message[157]=section3[6]=1;               //section3_sect_ver
   message[158]=section3[7]=1;               //section3_sect_protocol
```

```
   message[159]=message[160]=message[161]=message[162]=message[163]=message[164]=0;
   section3[8]=section3[9]=section3[10]=section3[11]=section3[12]=section3[13]=0;

   message[165]=section3[14]=3;              //leads_nr3
   message[166]=section3[15]=1;              //flag3
   message[167]=section3[16]=1;              //lead1_id_3
   message[168]=section3[17]=228;            //lead1_start_3[0]
   message[169]=section3[18]=0;              //lead1_start_3[1]
   message[170]=section3[19]=0;              //lead1_start_3[2]
   message[171]=section3[20]=0;              //lead1_start_3[3]
   message[172]=section3[21]=427;            //lead1_stop_3[0] = (197+31)+(200-1)
   message[173]=section3[22]=0;              //lead1_stop_3[1]
   message[174]=section3[23]=0;              //lead1_stop_3[2]
   message[175]=section3[24]=0;              //lead1_stop_3[3]
   message[176]=section3[25]=2;              //lead2_id_3
   message[177]=section3[26]=428;            //lead2_start_3[0]
   message[178]=section3[27]=0;              //lead2_start_3[1]
   message[179]=section3[28]=0;              //lead2_start_3[2]
   message[180]=section3[29]=0;              //lead2_start_3[3]
   message[181]=section3[30]=627;            //lead2_stop_3[0] = 428+200-1
   message[182]=section3[31]=0;              //lead2_stop_3[1]
   message[183]=section3[32]=0;              //lead2_stop_3[2]
   message[184]=section3[33]=0;              //lead2_stop_3[3]
   message[185]=section3[34]=3;              //lead3_id_3
   message[186]=section3[35]=628;            //lead3_start_3[0]
   message[187]=section3[36]=0;              //lead3_start_3[1]
   message[188]=section3[37]=0;              //lead3_start_3[2]
   message[189]=section3[38]=0;              //lead3_start_3[3]
   message[190]=section3[39]=827;            //lead3_stop_3[0] = 628+200-1
   message[191]=section3[40]=0;              //lead3_stop_3[1]
   message[192]=section3[41]=0;              //lead3_stop_3[2]
   message[193]=section3[42]=0;              //lead3_stop_3[3]
  //--- CRC-CCITT for Section3 ---
   message[149]=getcrc(section3,section3[2],0);
   message[150]=0;                   printf("section3-crc:%d\n",message[149]);

//**** Section 128 - Rhythm Data ****
   message[196]=section128[0]=128;           //section128_id_num[0]
   message[197]=section128[1]=0;             //section128_id_num[1]
   message[198]=section128[2]=631;           //=31+600 - section128_length[0]
   message[199]=message[200]=message[201]=section128[3]=section128[4]=section128[5]=0;
   message[202]=section128[6]=1;             //section128_sect_ver
```

```
   message[203]=section128[7]=1;             //section128_sect_protocol
   message[204]=message[205]=message[206]=message[207]=message[208]=message[209]=0;
section128[8]=section128[9]=section128[10]=section128[11]=section128[12]=section128[13]=0;

   message[210]=section128[14]=1;            //packet128_type
   message[211]=section128[15]=1;            //data128_type
   message[212]=section128[16]=500;          //avm128[0]
   message[213]=section128[17]=0;            //avm128[1]
   message[214]=section128[18]=50;           //sti128[0]
   message[215]=section128[19]=0;            //sti128[1]
   message[216]=section128[20]=400;          //wave128_sampling[0]
   message[217]=section128[21]=0;            //wave128_sampling[1]
   message[218]=section128[22]=2009;         //year128[0]
   message[219]=section128[23]=0;            //year128[1]
   message[220]=section128[24]=11;           //month128
   message[221]=section128[25]=17;           //day128
   message[222]=section128[26]=2;            //hour128
   message[223]=section128[27]=50;           //minute128
   message[224]=section128[28]=45;           //second128
 for(i=0;i<200;i++)   {
       message[225+i]=section128[29+i]=irand();            //data128_lead1[i]
       printf("data1 - %d:%d\n",i,section128[29+i]);       }
 for(i=0;i<200;i++)    {
       message[425+i]=section128[129+i]=irand();           //data128_lead2[i]
       printf("data2 - %d:%d\n",i,section128[129+i]);      }
 for(i=0;i<200;i++)    {
       message[625+i]=section128[229+i]=irand();           //data128_lead3[i]
       printf("data3 - %d:%d\n",i,section128[229+i]);      }
//--- CRC-CCITT for Section128 ---
    message[194]=getcrc(section128,section128[2],0);
    message[195]=0;                  printf("section128-crc:%d\n",message[194]);

//**** Section 129 - SpO2 & HR Data ****
   message[827]=section129[0]=129;           //section129_id_num[0]
   message[828]=section129[1]=0;             //section129_id_num[1]
   message[829]=section129[2]=29;            //section129_length[0]
   message[830]=message[831]=message[832]=section129[3]=section129[4]=section129[5]=0;
   message[833]=section129[6]=1;             //section129_sect_ver
   message[834]=section129[7]=1;             //section129_sect_protocol
   message[835]=message[836]=message[837]=message[838]=message[839]=message[840]=0;
  section129[8]=section129[9]=section129[10]=section129[11]=section129[12]=section129[13]=0;
```

```
   message[841]=section129[14]=1000;         //time_interval129[0]
   message[842]=section129[15]=0;            //time_interval129[1]
   message[843]=section129[16]=2009;         //year129[0]
   message[844]=section129[17]=0;            //year129[1]
   message[845]=section129[18]=11;           //month129
   message[846]=section129[19]=17;           //day129
   message[847]=section129[20]=2;            //hour129
   message[848]=section129[21]=50;           //minute129
   message[849]=section129[22]=45;           //second129
   message[850]=section129[23]=97;           //spO2_measurement129[0]
   message[851]=section129[24]=0;            //spO2_measurement129[1]
   message[852]=section129[25]=70;           //heart_rate129[0]
   message[853]=section129[26]=0;            //heart_rate129[1]
 //--- CRC-CCITT for Section129 ---
    message[825]=getcrc(section129,section129[2],0);
    message[826]=0;                  printf("section129-crc:%d\n",message[825]);

//**** Section 130 - Respiratory Data ****
   message[856]=section130[0]=130;           //section130_id_num[0]
   message[857]=section130[1]=0;             //section130_id_num[1]
   message[858]=section130[2]=27;            //section130_length[0]
   message[859]=message[860]=message[861]=section130[3]=section130[4]=section130[5]=0;
   message[862]=section130[6]=1;             //section130_sect_ver
   message[863]=section130[7]=1;             //section130_sect_protocol
   message[864]=message[865]=message[866]=message[867]=message[868]=message[869]=0;
  section130[8]=section130[9]=section130[10]=section130[11]=section130[12]=section130[13]=0;

   message[870]=section130[14]=1000;         //time_interval130[0]
   message[871]=section130[15]=0;            //time_interval130[1]
   message[872]=section130[16]=2009;         //year130[0]
   message[873]=section130[17]=0;            //year130[1]
   message[874]=section130[18]=11;           //month130
   message[875]=section130[19]=17;           //day130
   message[876]=section130[20]=2;            //hour130
   message[877]=section130[21]=50;           //minute130
   message[878]=section130[22]=45;           //second130
   message[879]=section130[23]=15;           //data130_respiratory_rate[0]
   message[880]=section130[24]=0;            //data130_respiratory_rate[1]
//--- CRC-CCITT for Section130 ---
    message[854]=getcrc(section130,section130[2],0);
    message[855]=0;                  printf("section130-crc:%d\n",message[854]);
```

```
//**** Section 131 - Temperature Data ****
   message[883]=section131[0]=131;           //section131_id_num[0]
   message[884]=section131[1]=0;             //section131_id_num[1]
   message[885]=section131[2]=28;            //section131_length[0]
   message[886]=message[887]=message[888]=section131[3]=section131[4]=section131[5]=0;
   message[889]=section131[6]=1;             //section131_sect_ver
   message[890]=section131[7]=1;             //section131_sect_protocol
   message[891]=message[892]=message[893]=message[894]=message[895]=message[896]=0;
section131[8]=section131[9]=section131[10]=section131[11]=section131[12]=section131[13]=0;

   message[897]=section131[14]=1000;         //time_interval131[0]
   message[898]=section131[15]=0;            //time_interval131[1]
   message[899]=section131[16]=0;            //unit131
   message[900]=section131[17]=2009;         //year131[0]
   message[901]=section131[18]=0;            //year131[1]
   message[902]=section131[19]=11;           //month131
   message[903]=section131[20]=17;           //day131
   message[904]=section131[21]=2;            //hour131
   message[905]=section131[22]=50;           //minute131
   message[906]=section131[23]=45;           //second131
   message[907]=section131[24]=37;           //data131_temperature[0]
   message[908]=section131[25]=0;            //data131_temperature[1]
//--- CRC-CCITT for Section131 ---
    message[881]=getcrc(section131,section131[2],0);
    message[882]=0;                  printf("section131-crc:%d\n",message[881]);

//**** Section 132 - NIBP Data ****
   message[911]=section132[0]=132;           //section132_id_num[0]
   message[912]=section132[1]=0;             //section132_id_num[1]
   message[913]=section132[2]=33;            //section132_length[0]
   message[914]=message[915]=message[916]=section132[3]=section132[4]=section132[5]=0;
   message[917]=section132[6]=1;             //section132_sect_ver
   message[918]=section132[7]=1;             //section132_sect_protocol
   message[919]=message[920]=message[921]=message[922]=message[923]=message[924]=0;
  section132[8]=section132[9]=section132[10]=section132[11]=section132[12]=section132[13]=0;

   message[925]=section132[14]=1000;         //time_interval132[0]
   message[926]=section132[15]=0;            //time_interval132[1]
   message[927]=section132[16]=2009;         //year132[0]
   message[928]=section132[17]=0;            //year132[1]
   message[929]=section132[18]=11;           //month132
   message[930]=section132[19]=17;           //day132
```

```
   message[931]=section132[20]=2;            //hour132
   message[932]=section132[21]=50;           //minute132
   message[933]=section132[22]=45;           //second132
   message[934]=section132[23]=120;          //systolic_pressure132[0]
   message[935]=section132[24]=0;            //systolic_pressure132[1]
   message[936]=section132[25]=80;           //diastolic_pressure132[0]
   message[937]=section132[26]=0;            //diastolic_pressure132[1]
   message[938]=section132[27]=100;          //mean_pressure132[0]
   message[939]=section132[28]=0;            //mean_pressure132[1]
   message[940]=section132[29]=70;           //heart_rate132[0]
   message[941]=section132[30]=0;            //heart_rate132[1]
 //--- CRC-CCITT for Section132 ---
   message[909]=getcrc(section132,section132[2],0);
   message[910]=0;                   printf("section132-crc:%d\n",message[909]);

 //--- CRC-CCITT over the entire record ---
   record_crc[0]=getcrc(message,record_size[0],0);
   record_crc[1]=0;                  printf("record-crc:%d\n",record_crc[0]);
//*** End of variables' default values ***

       brdInit();                            //initialize board
       BitWrPortI(PEDR, &PEDRShadow, 0, 5);  //set low to enable rs232 device
       serDopen(_232BAUD);                   // Open D port
       serDflowcontrolOn();                  // Enable flow control
       serDwrFlush();                        // Empty buffer
       serDdatabits(0x00);                   // 8 bits of data to be sent

//*** Packet construction ***
       printf("Test - Ready for packet construction\n");
       packet[0]=record_crc[0];
       packet[1]=record_crc[1];

       for (i=0;i<942;i++) {
              packet[i+2]=message[i];       }
       for (i=0;i<944;i++) {
              printf("%d:%d\n",i,packet[i]);        }

       while (1) {
              for(i=0;i<944;i++) {
                 send[0]=packet[i];         printf("send : %d\n",send[0]);
                 serDwrite(send,1);  }
       }
}
```

Β. Κώδικας Υλοποίησης Εφαρμογής στον Αποστολέα

```
#class auto

#define DINBUFSIZE  511                     //RS-232 Buffer
#define DOUTBUFSIZE 511                     //     >>

#ifndef _232BAUD
#define _232BAUD 9600                //data rate 9600 fixed
#endif

#define SERD_CTS_PORT PCDR
#define SERD_CTS_BIT 3
#define SERD_RTS_PORT PCDR
#define SERD_RTS_SHADOW PCDRShadow
#define SERD_RTS_BIT 2

 int calc_crc(int *buf, int wlen){
       int crc,i,x;
       int crc_new;
        crc =   0xffff;
   for ( i=0; i<wlen ; i++) {
       crc_new = (int)(crc >> 8) | (crc << 8);
       x=buf[i];
       crc_new ^= x;
       crc_new ^= (int)(crc_new & 0xff) >> 4;
       crc_new ^= crc_new << 12;
       crc_new ^= (crc_new & 0xff) << 5;
       crc = crc_new;   }
   return crc;
 }

main()  {
int i, j, k, w, u, id, count, nextdataptr, startsendptr;
int chksum, chksum1,chksum2,chksum3;
int temp1, temp2, pros;
char * buf[1];
int section[30];
int message[35];

   id=100;
   count=0;
```

```
   chksum=0;
   chksum1=0;
   chksum2=0;
   chksum3=0;
   nextdataptr=5;
   startsendptr=5;

       for (i=nextdataptr;i<nextdataptr+9;i++) {
              message[i]=section[i-5]=0;
              chksum1+=message[i];   }
       message[i]=++count;
       section[i-5]=message[i];
       chksum1+=message[i];
       i++;

       for (;i<nextdataptr+19;i++) {
              message[i]=section[i-5]=0;
              chksum2+=message[i];   }
       message[i]=++count;
       section[i-5]=message[i];
       chksum2+=message[i];
       i++;

       for (;i<nextdataptr+29;i++) {
              message[i]=section[i-5]=0;
              chksum3+=message[i];   }
       message[i]=++count;
       section[i-5]=message[i];
       chksum3+=message[i];
       i++;

       if (i<35)      nextdataptr=i;
       else           nextdataptr=5;

   message[4]=id++;                          //id num (top level)
   message[3]=chksum1+chksum2+chksum3;       //checksum
   message[2]=0;
   message[1]=30;                            //length of the data only
   message[0]=calc_crc(section,message[1]);

/*** Prepare & Send 3xMessage ***/
       brdInit();                            //initialize board
```

```
BitWrPortI(PEDR, &PEDRShadow, 0, 5);  //set low to enable rs232 device
serDopen(_232BAUD);                   // Open D port
serDflowcontrolOn();                  // Enable flow control
serDwrFlush();                        // Empty buffer
serDdatabits(0x00);                   // 8 bits of data to be sent

for (w=0;w<3;w++) {
        serDwrite("s",1);

        for (u=0;u<35;u++) {
                if (message[u]<0) {
                         serDwrite("-",1);
                         message[u]=message[u]*(-1);  }
                else
                        serDwrite("0",1);

                temp1=(int) message[u]/10000;        printf("%d",temp1);
                itoa(temp1,buf);
                serDwrite(buf,1);

                temp2=(int) message[u]/1000;
                temp1=temp2-temp1*10;                printf("%d",temp1);
                itoa(temp1,buf);
                serDwrite(buf,1);

                temp1=(int) message[u]/100;
                temp2=temp1-temp2*10;                printf("%d",temp2);
                itoa(temp2,buf);
                serDwrite(buf,1);

                temp2=(int) message[u]/10;
                temp1=temp2-temp1*10;                printf("%d",temp1);
                itoa(temp1,buf);
                serDwrite(buf,1);

                temp2=(int) message[u]%10;           printf("%d\t",temp2);
                itoa(temp2,buf);
                serDwrite(buf,1);
        }
        serDwrite("e",1);          printf("\n");
}
//~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
```

```
while(1) {
        startsendptr+=10;
        if (startsendptr>=35)
                startsendptr=5;
        chksum=0;

         for(k=0;k<20;k++) {
                section[k]=section[k+10];     }

        for (i=nextdataptr;i<nextdataptr+9;i++) {
                message[i]=section[k++]=0;
                chksum+=message[i];    }
        message[i]=section[k]=++count;
        chksum+=message[i];

        i++;
        if (i==15) {
                nextdataptr=i;
                chksum1=chksum;        }
        else if (i==25)        {
                nextdataptr=i;
                chksum2=chksum;        }
        else if (i==35) {
                nextdataptr=5;
                chksum3=chksum;        }
   message[4]=id++;                          //id num (top level)
   message[3]=chksum1+chksum2+chksum3;       //checksum
   message[2]=0;
   message[1]=30;                            //length
   message[0]=calc_crc(section,message[1]);

/*** Prepare & Send 3xMessage ***/
        for (w=0;w<3;w++) {
                i=startsendptr;
                serDwrite("s",1);

                for (u=0;u<35;u++) {
                        if (u>=5)  {
                            k=u;       u=i;    }
                          pros=1;
```

```
                if (message[u]<0) {
                        serDwrite("-",1);
                        pros=-1;
                        printf("-");  }
                else {
                        serDwrite("0",1);
                        printf("0");   }

                temp1=(int) (pros * message[u])/10000;    printf("%d",temp1);
                itoa(temp1,buf);
                serDwrite(buf,1);

                temp2=(int) (pros * message[u])/1000;
                temp1=temp2-temp1*10;                     printf("%d",temp1);
                itoa(temp1,buf);
                serDwrite(buf,1);

                temp1=(int) (pros * message[u])/100;
                temp2=temp1-temp2*10;                     printf("%d",temp2);
                itoa(temp2,buf);
                serDwrite(buf,1);

                temp2=(int) (pros * message[u])/10;
                temp1=temp2-temp1*10;                     printf("%d",temp1);
                itoa(temp1,buf);
                serDwrite(buf,1);

                temp2=(int) (pros * message[u])%10;       printf("%d \t",temp2);
                itoa(temp2,buf);
                serDwrite(buf,1);

                if (u>=5) {
                        u=k;
                        i++;
                        if (i>=35)     i=5;
                }
        }
        serDwrite("e",1);              printf("\n");
    }
  }
}
```