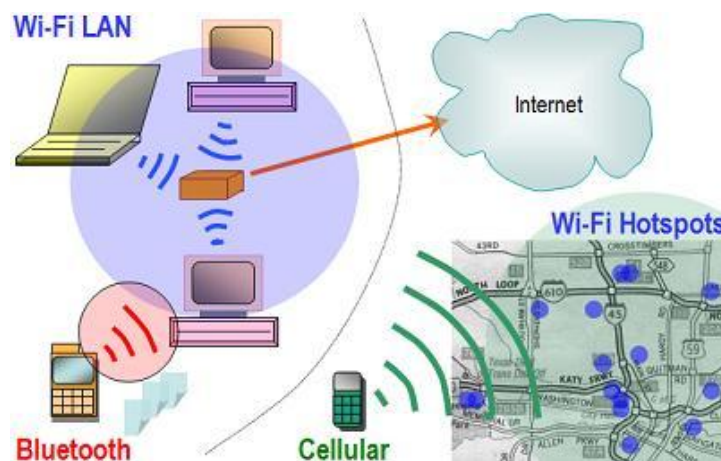


Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα
Δίκτυα Υπολογιστών
Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University of Macedonia
Master Information Systems
Computer Networks
Professor: A.A. Economides

Παρουσίαση και σύγκριση τεσσάρων τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης
(WPAN-WIFI-WiMAX-WRAN)
Presentation and comparison of four technologies of wireless networking



Λιάνος Βάιος
Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2013

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη.....	2
Εισαγωγή.....	3
1. Τοπικά ασύρματα δίκτυα	
1.1 Bluetooth.....	4
1.2 Wi-Fi.....	8
2. Μητροπολιτικά ασύρματα δίκτυα	
2.1 WiMAX.....	11
2.2 WRAN.....	14
3. Σύγκριση.....	17
4. Συμπεράσματα.....	22
Αναφορές.....	23
Εξώφυλλο.....	27
Παράρτημα.....	28

Περίληψη

Η ασύρματη δικτύωση χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο από δημόσιους και ιδιωτικούς οργανισμούς και επιχειρήσεις αλλά και από απλούς πολίτες. Υπάρχουν πολλοί οργανισμοί που προσπαθούν να δημιουργήσουν πρότυπα με σκοπό την καθολική αποδοχή τους. Το ινστιτούτο μηχανικών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών (IEEE) είναι ένα από αυτά. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η περιγραφή των χαρακτηριστικών των ασύρματων μεθόδων δικτύωσης της οικογένειας των προτύπων 802.XX του IEEE. Συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν αναλυτικά το πρότυπο 802.15a που είναι γνωστό με την ονομασία Bluetooth, το πρότυπο 802.11 (Wi-Fi), το πρότυπο 802.16 (WiMAX) και τα πρότυπα για WRAN 802.20 και 802.22 στην αρχή της εργασίας. Στη συνέχεια θα γίνει μία σύγκριση ανάμεσα σε όλα τα πρότυπα με κριτήριο τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους. Στο τέλος ακολουθούν συμπεράσματα.

Abstract

Wireless networking is increasingly used by public and private organizations and businesses, but also by ordinary citizens. There are many organizations that are trying to create standards to universal acceptance. The Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) is one of them. The purpose of this paper is to describe the characteristics of wireless networking methods of the family of standards 802.XX of IEEE. Specific details will be presented for the 802.15a standard which is known as Bluetooth, for the standard 802.11 (Wi-Fi), for the standard 802.16 (WiMAX) and the standards for WRAN 802.20 and 802.22 in the beginning of the paper. Then a comparison will take place between all the standards in terms of the main characteristics. At the end the conclusions follow.

Εισαγωγή¹

Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες ενσύρματης και ασύρματης δικτύωσης. Τα τελευταία χρόνια η ενσύρματη δικτύωση αποτελεί τον κορμό σχεδόν όλων των δικτύων. Πρόσφατα παρατηρείται έντονη αύξηση της χρήσης ασύρματων τεχνικών για να συνδεθούν διάφορες συσκευές μεταξύ τους, από κινητά τηλέφωνα μέχρι συσκευές ασύρματων αισθητήρων. Αυτό έχει οδηγήσει στην εξέλιξη της ασύρματης τεχνολογίας και την αύξηση της χρήσης ασύρματης δικτύωσης σε πολλές περιπτώσεις που παλιότερα δεν υπήρχε τέτοια δυνατότητα.

Η εργασία θα ασχοληθεί με δικτύωση που βασίζεται στα πρότυπα του ινστιτούτου μηχανικών ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών IEEE (History of IEEE, n.d.). Τα δίκτυα που θα αναλύσουμε μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την εμβέλεια, στα τοπικά και στα μητροπολιτικά. Ποιο συγκεκριμένα στα τοπικά δίκτυα (LAN) θα παρουσιαστεί το πρότυπο του ασύρματου προσωπικού δικτύου IEEE 802.15 (WPAN) και το πρότυπο του ασύρματου τοπικού δικτύου με τις διάφορες εκδόσεις του IEEE 802.11 – γνωστό ως WIFI (WLAN). Στα μητροπολιτικά δίκτυα (MAN) θα παρουσιαστεί το πρότυπο για τη παγκόσμια διαλειτουργικότητα για μικροκυματική πρόσβαση IEEE 802.16 (WiMAX) και τα δύο πρότυπα για ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής IEEE 802.20 (MBWA) και IEEE 802.22 (WRAN) (Wireless network, n.d.; IEEE 802.20, n.d.; IEEE 802.22, n.d.).

Ο σκοπός της εργασίας είναι αρχικά να παρουσιάσει συνοπτικά αυτές τις τεχνολογίες και στη συνέχεια να τις συγκρίνει. Στην παρουσίαση εκτός από την καταγραφή των χαρακτηριστικών θα αναφέρονται συσκευές που τις χρησιμοποιούν. Η σύγκριση θα έχει σαν κριτήρια την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, την εμβέλεια, την ασφάλεια και τις δυνατότητες δικτύωσης που έχει η κάθε τεχνολογία.

¹ Για την επεξήγηση των ακρωνυμίων κοιτάξτε στο παράρτημα.

Κεφάλαιο 1. Τοπικά ασύρματα δίκτυα

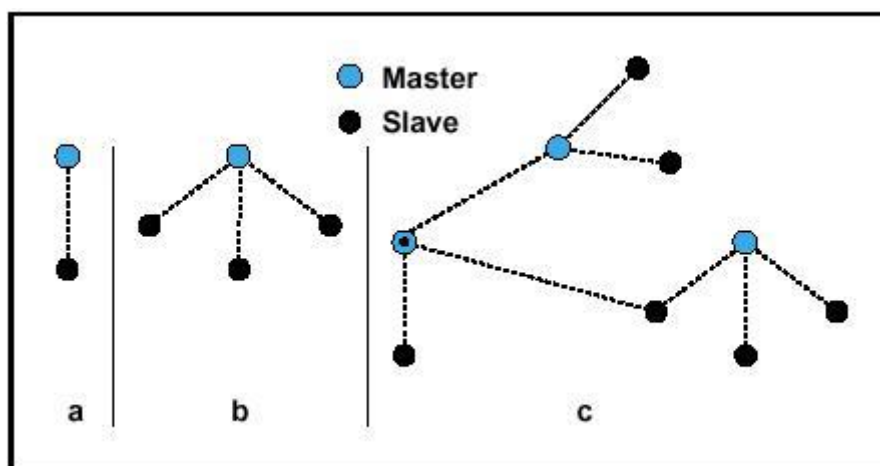
1.1 Bluetooth

Το πρότυπο ασύρματης δικτύωσης 802.15.1a είναι ευρέως γνωστό με την ονομασία Bluetooth. Δημιουργήθηκε με τη συνεργασία των Ericsson, IBM, Toshiba, Intel Nokia και Motorola και είναι συμβατή με προϊόντα περισσότερων από 1900 εταιριών. Αποτελεί de facto πρότυπο δηλαδή πρότυπο που αναπτύχθηκε από εταιρία/ες και καθιερώθηκε μόνο του στην αγορά. Η κατανάλωσή του είναι πολύ χαμηλή περίπου 0,01W γιατί χρησιμοποιεί ραδιοκύματα χαμηλής ισχύος για να μεταδώσει δεδομένα. Η χαμηλή κατανάλωση έχει βοηθήσει να γίνει ο κύριος τρόπος διασύνδεσης για συσκευές με μειωμένες ενεργειακές δυνατότητες που λειτουργούν με μπαταρία όπως υπολογιστές χειρός κινητά ή PDA. Η εξάπλωση και η καθολική χρήση του σχεδόν από όλες τις συσκευές βοηθήθηκε από το γεγονός ότι είναι πολύ μικρό το κόστος υλοποίησης από τις κατασκευάστριες εταιρίες (Diakonikolaou, Agiakatsika, & Mpouras 2007; IEEE 802.15, n.d.; Laudon, & Laudon, 2009; & Bing, 2002).

Το πρότυπο 802.15 δημιουργήθηκε από ομάδα εργασίας του IEEE για τη δημιουργία δικτύων προσωπικού χώρου (PAN). Συγκεκριμένα η ομάδα που ασχολείται με το Bluetooth ανέπτυξε το πρότυπο 802.15.1a με ταχύτητα κοντά στο 1 Mbps (721 Kbps) στα 2.4 GHz. Υπάρχουν και άλλες ομάδες εργασίας που ανέπτυξαν τα επόμενα πρότυπα: Το πρότυπο 802.15.2 συνύπαρξη δικτύων PANs, το πρότυπο 802.15.3 PAN υψηλών ταχυτήτων με ταχύτητα 55 Mbps στα 2.4 GHz, το πρότυπο 802.15.3a ευρείας μάντας PAN πολύ υψηλών ταχυτήτων με ταχύτητα 110 Mbps στα 2.4 GHz, το πρότυπο 802.15.4 μικρής ταχύτητας PAN για απομακρυσμένο έλεγχο με ασύρματους αισθητήρες (Zigbee technology) με ταχύτητα από 20 έως 250 Kbps και το πρότυπο 802.15.4a εναλλακτικό μικρής ταχύτητας PAN με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για ασύρματους αισθητήρες. (Comer, 2009).

Το Bluetooth χρησιμοποιείται για μικρά δίκτυα προσωπικού χώρου (PAN) κυρίως από ιδιώτες αλλά και από εταιρίες σε κλάδους όπου χρειάζεται να μεταφέρεις μικρό όγκο δεδομένων σε μικρές αποστάσεις. Για παράδειγμα η εταιρία Federal Express χρησιμοποιεί την τεχνολογία για να μεταβιβάζουν οι οδηγοί τις πληροφορίες για τα δέματα που παρέδωσαν από τα PDA που έχουν. (Diakonikolaou et al., 2007; Laudon et al., 2009).

Η εμβέλεια που έχουν οι συσκευές που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία είναι ιδιαίτερα περιορισμένη από δέκα εκατοστά έως 10 μέτρα. Οι ταχύτητες που μπορεί να πιάσει αγγίζουν τα 722 Kbps στα 2,4 GHz. Οι κυριότερες συσκευές που το χρησιμοποιούν είναι κινητά, τηλεειδοποιητές (pager), ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, υπολογιστές και περιφερειακά όπως εκτυπωτές, ποντίκια, πληκτρολόγια κ.α. (Diakonikolaou et al., 2007; Laudon et al., 2009). Μία σημαντική παράμετρος είναι και η ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) που διατίθενται. Μπορεί να μετρηθεί ως ένα σύνολο παραμέτρων που θα δείχνουν το επίπεδο απόδοσης που θα έχει ο αποστολέας, δηλαδή μια προδιαγραφή ροής κίνησης (traffic flow specification). Οι παράμετροι της προδιαγραφής ροής είναι ο τύπος της υπηρεσίας, ο ρυθμός token (bytes/sec), το μέγεθος κάδου token (byte), το μέγιστο εύρος ζώνης (bytes/sec), η καθυστέρηση (μs) και η μεταβολή της καθυστέρησης (μs). Για παράδειγμα το πρωτόκολλο L2CAP προσφέρει ποιότητα υπηρεσιών για το μέγιστο εύρος ζώνης, την καθυστέρηση, τη διακύμανση καθυστέρησης και άλλες παραμέτρους (Murthy, & Manoj, 2004; Stallings, 2007).



Σχήμα 1: Bluetooth piconet and scatternet scenarios (Simply Bluetooth, n.d.)

Όσον αφορά την δικτύωση η επικοινωνία ανάμεσα στις συσκευές γίνεται είτε ανάμεσα σε δύο είτε επικοινωνία πολλών συσκευών με το σημείο πρόσβασης. Στο σχήμα 1 φαίνονται οι σχέσεις μεταξύ Κυρίων και Δευτερευουσών Συσκευών σε ένα Piconet ή Scatternet. Η σύνδεση ανάμεσα σε συσκευές πάντα έχει το χαρακτήρα σύνδεσης Αφέντη (master) με Σκλάβο (slave). Οι αφέντες είναι υπεύθυνοι να καθορίζουν την συχνότητα και την ροή πληροφοριών, για να στείλει ένας σκλάβος πρέπει να πάρει την άδεια από τον αφέντη. Κάθε δίκτυο μπορεί να έχει από 2 μέχρι 8 συσκευές που επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους και εάν υπάρχουν μέχρι και 255 πρόσθετες έχουν παθητικό ρόλο. Αυτό το βασικό μοντέλο σύνδεσης σε μορφή αστέρα λέγεται Piconet (a και b στο Σχήμα 1). Πολλά δίκτυα Piconet μπορούν να συνυπάρχουν στον ίδιο χώρο και να επικοινωνούν μεταξύ τους σε διαφορετικές συχνότητες, με πρόσβαση διαίρεσης κώδικα αναπήδησης συχνότητας (FH-CDMA). Ένα δίκτυο αυτής της μορφής καλείτε Scatternet (c στο Σχήμα 1). Μία συσκευή μέσα στο Scatternet μπορεί να έχει τον ίδιο ή διττό ρόλο (master/slave) αλλά σε διαφορετικά Piconet. Μερικές φορές μπορεί να τύχει δύο αφέντες του ίδιου Scatternet να εκπέμπουν σε ίδια συχνότητα αλλά αντιμετωπίζεται εύκολα με τεχνικές αυτοδύναμης ανίχνευσης και

διόρθωσης σφαλμάτων ARQ (Stallings, 2007; Diakonikolaou et al., 2007; & Kartalopoulos, 2009).

Ένας σημαντικός παράγοντας σε οποιαδήποτε δίκτυα είναι η ασφάλεια. Το Bluetooth δεν παρέχει πολύ υψηλό επίπεδο. Η χρήση ασφάλειας τις περισσότερες φορές είναι προαιρετική γιατί η μειωμένη εμβέλεια λειτουργεί θετικά. Κάθε χρήστης συνδέεται με κάποια άλλη συσκευή με μηχανισμό πιστοποίησης, βάζοντας έναν κωδικό. Η ασφάλειά κατά την μεταφορά δεδομένων περιορίζεται σε κρυπτογράφηση επιβεβαίωσης της σύνδεσης με χρήση ενός κωδικού-κλειδιού που προέρχεται από διαδικασίες επικύρωσης. Τα επίπεδα ασφάλειας είναι τρία. Πρώτα υπάρχει ο κωδικός της συσκευής με μήκος 48 bits, στη συνέχεια η πιστοποίηση χρήστη με 128 bits και τέλος ένα κλειδί για την προστασία των δεδομένων κατά την μεταφορά. Το μήκος του τελευταίου κλειδιού ποικίλει από 8 μέχρι 128 bits. (Diakonikolaou et al., 2007; Sikora, 2003; Murthy, & Manoj, 2004).

1.2 Wi-Fi

Η ομάδα εργασίας του IEEE που ασχολείται με ασύρματα τοπικά δίκτυα (WirelessLAN) δημιούργησε και το πρότυπο IEEE 802.11 τον Ιούνιο του 1997. Αυτό το πρότυπο είναι γνωστό με το όνομα WiFi από το Wireless Fidelity και αρχικά η ταχύτητα του ήταν 2Mbps. Έχουν κυκλοφορήσει πολλές εκδόσεις από το 1997. Τον Ιούλιο του 1998 κυκλοφόρησε η έκδοση 802.11b με ταχύτητες που αγγίζουν τα 11Mbps (5-6Mbps στην πράξη) στην μη αδειοδοτημένη ζώνη των 2,4GHz. Η έκδοση 802.11a αντικατέστησε την προηγούμενη με ταχύτητες που αγγίζουν τα 54Mbps (27-30Mbps στην πράξη) στην μη αδειοδοτημένη ζώνη των 5GHz. Αυτή η έκδοση δεν είχε καλή εμπορική πορεία γιατί υπήρχαν προβλήματα ασυμβατότητας με την προηγούμενη. Η επόμενη έκδοση 802.11g δημιουργήθηκε συνδυάζοντας τα δυνατά χαρακτηριστικά των προηγούμενων με την ίδια ταχύτητα αποστολής δεδομένων στα 2.4GHz. (Doufexi, Armour, Lee, Nix & Bull, 2003). Η τελευταία έκδοση 802.11n προσφέρει πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες που αγγίζουν τα 248Mbps στα 2,4 ή 5GHz, με την χρήση της τεχνολογίας πολλαπλών κεραιών εκπομπής και λήψης (MIMO) (IEEE 802.11, n.d.; Diakonikolaou et al., 2007; Laudon et al., 2009 Murthy et al., 2004)

Πρότυπο	Ράδιο Συχνότητα	Πολυπλεξία	Μέγιστη Κάλυψη Εσωτερικού χώρου	Μέγιστη Κάλυψη Εσωτερικού χώρου	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης
802.11b	2.4GHz	DSSS	35 μέτρα	100 μέτρα	11 Mbps
802.11a	5GHz	OFDM	30 μέτρα	50 μέτρα	54 Mbps
802.11g	2.4GHz	OFDM	35 μέτρα	100 μέτρα	54 Mbps
802.11n	2.4 ή 5GHz	MIMO-OFDM	70 μέτρα	160 μέτρα	248 Mbps

Πίνακας 1: Απεικόνιση του 802.11(Diakonikolaou et al., 2007)

Το WiFi χρησιμοποιείται κυρίως για πρόσβαση στο διαδίκτυο είτε στο σπίτι ή σε επιχειρήσεις είτε σε ασύρματα hot-spot. Η εμβέλεια που έχουν οι συσκευές που συνδέονται

μεταξύ τους είναι 70 μέτρα σε εσωτερικό χώρο και 160 μέτρα σε εξωτερικό, στην έκδοση 802.11n. Οι παλιότερες εκδόσεις είχαν μικρότερη εμβέλεια 30 έως 100 μέτρα. Συγκεκριμένα οι εμβέλειες των παλαιότερων εκδόσεων είναι: 802.11a 30-50 μέτρα (εσωτερική-εξωτερική), 802.11b 35-100 και 802.11g 35-100. (Diakonikolaou et al., 2007). Έχει σχεδιαστεί και μία άλλη κατηγορία προτύπων για το 802.11. Αυτή η κατηγορία δημιουργήθηκε για να βελτιώσουν τα αρχικά πρότυπα. Κάποια από αυτά τα πρότυπα είναι τα 802.11d, e, f, h, i, j, k, p, r, s, c (Comer, 2009; Diakonikolaou et al., 2007; Murthy et al., 2004; Nicopolitidis, 2003; Sikora, 2003). Για να προσφερθεί ένα υψηλό επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών QoS για ευαίσθητα στην καθυστέρηση πακέτα δεδομένων όπως ήχου και εικόνας χρησιμοποιούνται συστήματα προτεραιοτήτων. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση του προτύπου 802.11e που δημοσιοποιήθηκε το 2005 (Murthy et al., 2004; Politi, 2011).

Οι τρόποι δικτύωσης με την χρήση του προτύπου 802.11 είναι δύο. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος είναι η λειτουργία υποδομής. Δηλαδή η σύνδεση με τουλάχιστον ένα σημείο πρόσβασης που συνδέεται ενσύρματα με άλλους σταθμούς και αρκετοί ασύρματοι σταθμοί σε κάθε σημείο πρόσβασης. Η σχεδίαση κάθε σημείου πρόσβασης με τους ασύρματους σταθμούς του λέγεται Βασικό Σύνολο Υπηρεσιών (Basic Service Set - BSS). Δύο ή περισσότερα BSS συνδεδεμένα μεταξύ τους δημιουργούν ένα Εκτεταμένο Σύνολο Υπηρεσιών (Extended Service Set - ESS). Ο δεύτερος τρόπος δικτύωσης είναι η λειτουργία Ad-hoc (λέγεται και peer-to-peer ή ανεξάρτητο βασικό σύνολο υπηρεσιών-IBSS). Χρησιμοποιείται κυρίως σε μέρη που δεν είναι δυνατή η σύνδεση με το ενσύρματο δίκτυο όπως σε συνεδριακά κέντρα και αεροδρόμια, λόγω απαγόρευσης πρόσβασης στο ενσύρματο δίκτυο (Diakonikolaou et al., 2007). Το κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι οι συσκευές συνδέονται άμεσα μεταξύ τους και έτσι εάν χαθούν κάποιες από τις συνδέσεις μπορούν να συνεχίσουν να επικοινωνούν, αρκεί κάθε μία από τις συσκευές να συνδέεται με κάποια

άλλη. Αυτό το χαρακτηριστικό κάνει τα δίκτυα Ad-hoc πιο ευέλικτα από τα υποδομής (Wu & Tseng, 2007).

Η ασφάλεια σε δίκτυα Ad-hoc είναι πιο μικρή από τα δίκτυα υποδομής. Η ασφάλειά τους είναι παρόμοια με την ασφάλεια που χρησιμοποιούν τα κυβελωτά δίκτυα κινητής τεχνολογίας. Τα δίκτυα υποδομής χρησιμοποιούν κρυπτογράφηση που ονομάζετε WiFi Protected Access (WPA) με 40-128bits στατικό κλειδί. Μετά από τις 13 Μαρτίου 2006 είναι απαραίτητο όλες οι καινούριες συσκευές να είναι συμβατές με την νέα τεχνολογία 802.11i που έγινε γνωστή ως WPA2. Υπάρχουν δύο εκδόσεις, μία για μικρά γραφεία και σπίτια και μία για μεγάλες επιχειρήσεις (Ghys, Mampaey, Smouts & Vaaraniemi, 2003; Kartalopoulos, 2009; Sikora, 2003).

Κεφάλαιο 2. Μητροπολιτικά ασύρματα δίκτυα

2.1 WiMAX

Το πρότυπο 802.16, γνωστό ως διασύνδεση αέρος για σταθερά ασύρματα συστήματα πρόσβασης ευρείας ζώνης, ξεκίνησε το 1999 από την ομάδα εργασίας του IEEE για ασύρματα ευρυζωνικά πρότυπα για να παράγουν τυποποιημένες προδιαγραφές για ασύρματα ευρυζωνικά μητροπολιτικά δίκτυα. Η πρώτη του ονομασία ήταν WirelessMAN, τώρα είναι γνωστό με την ονομασία WiMAX δηλαδή Worldwide Interoperability for Microwave Access (Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Μικροκυματική Πρόσβαση) (Diakonikolaou et al., 2007; Laudon et al., 2009). Έγιναν πολλές προσπάθειες από το 1999 για να βελτιωθεί η συγκεκριμένη τεχνολογία. Κάποιες είχαν σαν αποτέλεσμα την έγκριση διάφορων προτύπων της οικογενείας των 802.16 (IEEE 802.16, n.d.). Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι τρεις πιο σημαντικές 802.16, 802.16a και 802.16e.

Πρότυπο	802.16	802.16a	802.16e
Ολοκλήρωση	Δεκ. 2001	Ιανουάριος 2003	Δεκέμβριος 2005
Φάσμα	10 – 66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz
Απαιτήσεις	Μόνο με οπτική επαφή	Δεν χρειάζεται οπτική επαφή	Δεν χρειάζεται οπτική επαφή
Ρυθμός μεταφοράς	32 – 134 Mbps για 28MHz χωρητικότητα καναλιού	Μέχρι 75 Mbps για 20MHz χωρητικότητα καναλιού	Μέχρι 15 Mbps για 5MHz χωρητικότητα καναλιού
Διαμόρφωση	QPSK, 16QAM και 64QAM	OFDM 256 sub-carries QPSK, 16QAM 64QAM	OFDM 256 sub-carries QPSK, 16QAM 64QAM
Κινητικότητα	Fixed	Fixed, Portable	Nomadic Mobility
Χωρητικότητα καναλιών	20, 25 and 28MHz	Scalable 1,5 μέχρι 20MHz	Scalable 1,5 μέχρι 20MHz με UL sub-channels
Τυπική ακτίνα κελιού	2 μέχρι 5 km	7 μέχρι 10 km Μέγιστη 50 km	2 – 5 km

Πίνακας 2: Συνοπτική παρουσίαση των προτύπων 802.16(Diakonikolaou,

Agiakatsika, & Mpouras, 2007)

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ασύρματων δικτύων, τα σταθερά (fixes) και τα κινητά (mobile):

•Το πρώτο πρότυπο που εγκρίθηκε ήταν το 802.16 τον Δεκέμβριο του 2001 και ανήκει στη κατηγορία των σταθερών. Δημιουργήθηκε για να καλύψει ανάγκες μικρών και μεγάλων επιχειρήσεων, εκπέμπει στις συχνότητες 10 – 66 GHz(που δίνονται με άδειες) και οι χρήστες που το χρησιμοποιούν μπορούν να μοιραστούν εύρος από 32 έως 134 Mbps για να στείλουν δεδομένα. Η εμβέλειά μπορεί να φτάσει τα 50 χιλιόμετρα αλλά συνήθως το σήμα εκπέμπεται για 4 χιλιόμετρα ή και λιγότερο. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του είναι ότι απαιτείται οπτική επαφή χωρίς εμπόδια για να δουλεύει σωστά. Τον Ιανουάριο του 2003 εγκρίθηκε το 802.16a που δουλεύει στις συχνότητες 2 – 11 GHz(που δίνονται με άδειες και ελεύθερα) χωρίς να είναι απαραίτητη η οπτική επαφή. Χρησιμοποιείται κυρίως για χρήση σε σπίτια για συνδρομητικές υπηρεσίες εικόνας και φωνής. Σήμερα οι συσκευές που χρησιμοποιούν το WiMAX συνήθως ακολουθούν το πρότυπο 802.16-2004 που ενσωματώνει τις εξελίξεις των προτύπων 802.16, 802.16a, 802.16c και 802.16d.

•Τα κινητά δίκτυα χρησιμοποιούν το πρότυπο 802.16e που εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο του 2005. Δημιουργήθηκε για να καλύψει τις ανάγκες ασύρματης πρόσβασης με περιαγωγή με τη χρήση του προτύπου WiBro(που αναπτύχθηκε από την Samsung Electronics). Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι μπορείς να το χρησιμοποιείς ενώ κινείσαι σε ταχύτητες έως 60 χιλιόμετρα την ώρα. Οι χρήστες του μπορούν να μοιραστούν εύρος μέχρι 75 Mbps με 500kbps τον χρήστη, στο φάσμα των 2 - 11 GHz (που δίνονται ελεύθερα) (Balachandran & etc, 2007; Comer, 2009; Diakonikolaou et al., 2007; Laudon et al., 2009; Sweeney, 2006; Thiel, 2006).

Το WiMAX χρησιμοποιείται για να προσφέρει μια εναλλακτική του DSL για πρόσβαση στο ίντερνετ σε απλούς χρήστες στο σπίτι και για να συνδέσει απομακρυσμένα γραφεία που δεν γίνεται εύκολα τοποθέτηση καλωδίων για επιχειρήσεις. Επίσης προσπάθησε χωρίς

μεγάλη επιτυχία μέχρι στιγμής να ανταγωνιστεί το 3G με το πρότυπο 802.16e

(Diakonikolaou, Agiakatsika & Mpouras 2007; Thiel, 2006). Έχει ισχυρά χαρακτηριστικά ασφάλειας και υποστηρίζει διαφορετικές ποιότητες υπηρεσιών QoS που διασφαλίζονται για όλους τους χρήστες ταυτόχρονα (IEEE 802.16, n.d.; Murthy et al., 2004). Χρησιμοποιεί πιστοποίηση με κρυπτογραφημένο κλειδί 128 bits με χρήση της τεχνολογίας δημόσιου και ιδιωτικού κλειδιού (Kartalopoulos, 2009; Laudon et al., 2009).

2.2 WRAN

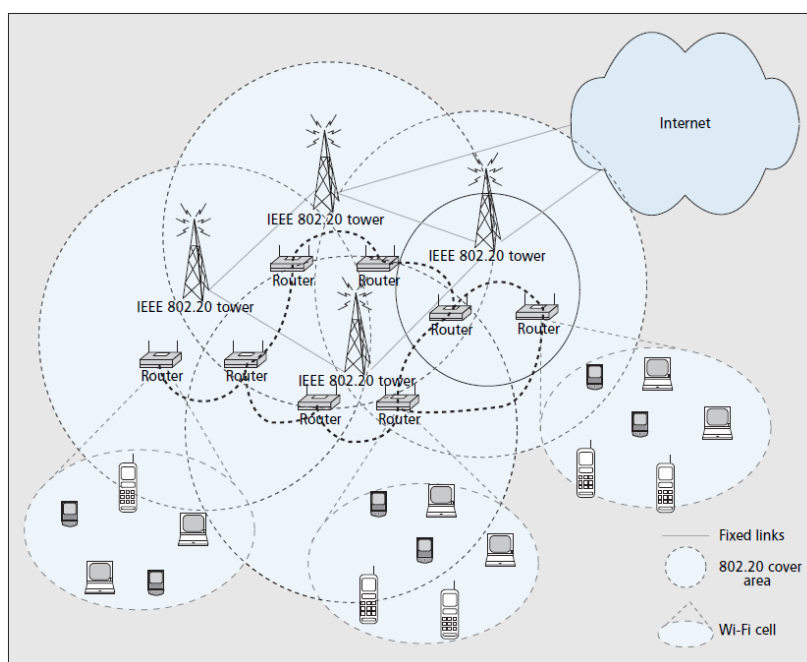
Από τα ασύρματα δίκτυα που υπάρχουν για ευρεία περιοχή στην οικογένεια των προτύπων 802.X θα αναλύσουμε το 802.20 και το 802.22. Το πρότυπο 802.20 άρχισε να υλοποιείται στις 11 Δεκεμβρίου του 2002 από ομάδα εργασιών του IEEE και εγκρίθηκε στις 12 Ιουνίου του 2008. Είναι γνωστό με την ονομασία Mobile Broadband Wireless Access (MBWA). Το κύριο πλεονέκτημά του σε σχέση με το WiMAX είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί από δέκτες οι οποίοι κινούνται μέχρι και 250 km/h, πολύ περισσότερα από τα 60 που υποστηρίζει το WiMAX (IEEE 802.20, n.d., Bolton, Xiao, & Guizani, 2007, & Thiel, 2006).

Οι ταχύτητες που υποστηρίζει ένα δίκτυο μπορούν να ποικίλουν ανάλογα με την ταχύτητα που κινείται ο δέκτης και την τεχνολογία μεταφοράς 1.25 MHz ή 5 MHz. Αναλυτικά εάν πάρουμε για παράδειγμα ένα δίκτυο όπου οι δέκτες κινούνται με 3km/h ή 120km/h. Όταν οι δέκτες ουσιαστικά μένουν ακίνητοι θα έχουμε μέσες ταχύτητες δικτύου 2.5Mb/s(1.25MHz) ή 10Mb/s(5 MHz) για κατέβασμα πληροφοριών προς τους δέκτες και 1.25(1.25MHz) ή 5(5 MHz) Mb/s για ανέβασμα πληροφοριών. Ενώ όταν θα κινούνται οι μέσες ταχύτητες δικτύου μειώνονται αισθητά: 1.25Mb/s(1.25MHz) ή 5Mb/s(5 MHz) για κατέβασμα πληροφοριών προς τους δέκτες και 0.94Mb/s(1.25MHz) ή 3.75Mb/s(5 MHz) για ανέβασμα πληροφοριών. Η συνολική ταχύτητα που υποστηρίζει το δίκτυο για να μοιραστούν οι χρήστες είναι >4Mb/s(1.25MHz) ή >16Mb/s(5 MHz) για κατέβασμα και >800kb/s(1.25MHz) ή >3.2Mb/s(5 MHz) για ανέβασμα ενώ ένας απλός χρήστης πιάνει ταχύτητες >1Mb/s(1.25MHz) ή >4Mb/s(5 MHz) για κατέβασμα και >300kb/s(1.25MHz) ή >1.2Mb/s(5 MHz) για ανέβασμα (Bolton et al., 2007).

Η εμβέλεια που έχει κάθε πύργος εκπομπής είναι 4km ή και λιγότερα. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται δεν απαιτεί άμεση και χωρίς εμπόδια επικοινωνία με την κεραία. Η

ασφάλεια του δικτύου είναι παρόμοια με του WiMAX με κρυπτογράφηση δημόσιου κλειδιού με αλγορίθμους 128-bit. Επίσης υποστηρίζει έλεγχο της παρεχόμενης υπηρεσίας (QoS).

Μπορεί εύκολα να συνδυαστεί και με άλλες τεχνολογίες πχ με το Wi-Fi για να δημιουργήσουμε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο σε μία ευρύτερη περιοχή(σχήμα 2) (Bolton et al., 2007, Greenspan, Klerer, Tomcik, Canchi, & Wilson, 2008, & Thiel, 2006).



Σχήμα 2: IEEE 802.20 mesh network architecture. (Bolton et al., 2007)

Το πρότυπο 802.22 είναι προσαρμοσμένο για δίκτυα που χρειάζονται επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Υποστηρίζονται αποστάσεις μέχρι και 100km αλλά το αξιοσημείωτο είναι ότι 50km είναι πολύ πιθανό να επιτευχθούν με ευκολία. Είναι χρήσιμο να αναφέρουμε ότι και το 802.22 όπως και το 802.20 δεν απαιτεί άμεση και χωρίς εμπόδια επικοινωνία με την κεραία. Χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες (47 to 910 MHz (Ανάλογα την χώρα)) με αυτές που χρησιμοποιούν και τα τηλεοπτικά κανάλια για να εκπέμψουν. Πρώτα απ' όλα οι δημιουργοί του προσπάθησαν να λύσουν τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν με την αλληλοεπίδραση των συχνοτήτων όταν σε μία

περιοχή εκπέμπονται και τα δύο σήματα. Η προσπάθεια τους έχει φέρει αποτελέσματα αλλά δεν έχει δοθεί ακόμα μεγάλη έμφαση σε θέματα ασφαλείας και εξασφάλισης της ποιότητας, αν και υποστηρίζει και τα δύο. Οι ταχύτητες που προσφέρει είναι 5-70 Mbps συνολικά και 1 Mbps ή περισσότερο ανά χρήστη. (IEEE 802.22. (n.d.), Stevenson et al., 2009 Thiel, J.(2006).)

Όσον αφορά την δικτύωση και τα δύο πρότυπα είναι της ίδιας μορφής. Υπάρχει μία ή περισσότερες κεραιές και πολλοί τελικοί χρήστες, οπου όλοι οι δέκτες(τελικοί χρήστες) συνδέονται απευθείας στον κοντινότερο πομπό(κεραία). Η μορφή της σύνδεσης μεταξύ των χρηστών εξαρτάται από την κάθε κεραία και τις συνδέσεις μεταξύ των κεραιών (Stevenson et al., 2009). Ο επόμενος πίνακας συνοψίζει τα κυριότερα χαρακτηριστικά και των δύο τεχνολογιών.

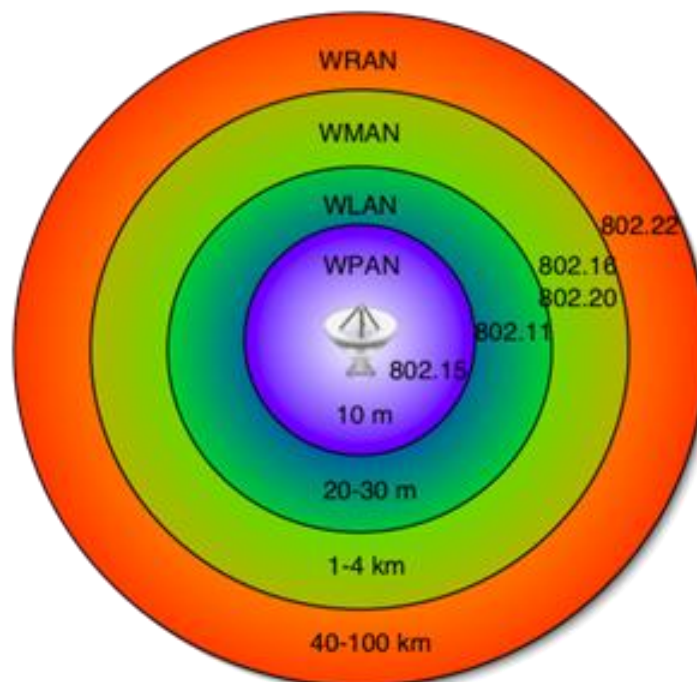
	802.20	802.22
Target Market	Consumer-Class Highly-Mobile Wireless Access	Consumer-Class Fixed Wireless Access for Rural or Remote Users.
Frequency Usage	Less than 3.5 GHz Licensed Bands. Non Line of Sight Operation.	47 to 910 MHz (Depending on Country) Shared Bands. Non Line of Sight Operation.
Maximum Data Rate	1 Mbps downstream and 300 Kbps upstream per user. Aggregate BW not yet finalized.	5 to 70 Mbps aggregate; 1 Mbps or higher per user.
Spectral Efficiency	Greater than 1.0 bps/Hz is Expected	0.5 to 5.0 bps/Hz.
Special Concerns	Handoff and Power Management.	Incumbent Detection and Avoidance. Self-Coexistence.
Maximum Range of a Single Base Station	4 km or less.	100 km maximum; 50 km or less expected.

Πίνακας 3: Table 3: Summary of Major Features of the IEEE WMAN and WRAN Standards(Partial) (Thiel, 2006)

Κεφάλαιο 3. Σύγκριση

Η σύντομη σύγκριση θα γίνει με γνώμονα πέντε χαρακτηριστικών: Την εμβέλεια, την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, την ασφάλεια, την δυνατότητα δικτύωσης και την δυνατότητα έλεγχου της παρεχόμενης ποιότητας υπηρεσιών.

3.1 Εμβέλεια



Σχήμα 3: Εμβέλεια (Thiel, 2006)

Όταν προσπαθείς να διαλέξεις την τεχνολογία δικτύωσης που θα εφαρμόσεις κατά τον σχεδιασμό ενός δικτύου μεγάλη βαρύτητα πρέπει να δώσεις στην δυνατότητα εμβέλειας που θα έχει ανάμεσα στα σημεία πρόσβασης στο δίκτυο και τους δέκτες. Στον πίνακα 4 συνοψίζουμε τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων τεχνολογιών. Είναι εύκολο να διακρίνει κανείς ότι υπάρχει σε πολλές περιπτώσεις αλληλοεπικάλυψη ανάμεσά τους κυρίως για τις κοντινές αποστάσεις. Ο κύριος λόγος που υπάρχουν είναι η ύπαρξη πολλών εκδόσεων σε κάθε τεχνολογία και η συνεχόμενη αύξηση της εμβέλειας σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις.

Όταν οι αποστάσεις που χρειάζεσαι είναι κάτω από εκατό μέτρα πρέπει να κοιτάξεις το θέμα από πολλές οπτικές γωνίες. Για κοντινή χρήση είναι προτιμότερη η χρήση του Bluetooth, όταν πρόκειται να μεταφέρεις μικρό όγκο δεδομένων μέχρι δέκα μέτρα ενώ του Wi-Fi, όταν πρόκειται για μεγάλο όγκο ή για περισσότερα από δέκα μέτρα. Σε μεγάλες αποστάσεις κύριο ρόλο παίζει ο λόγος που θες να κάνεις την ασύρματη σύνδεση και ο προϋπολογισμός που διαθέτεις γιατί η υλοποίηση του WiMAX και WRAN είναι ακριβότερη σε σχέση με τα άλλα. Επίσης οι ανάγκες που έχεις λόγω φυσικών εμποδίων όπως για παράδειγμα ένας γκρεμός ανάμεσα σε δύο κτήρια ή τεχνητών εμποδίων όπως περιορισμός του ενσύρματου δικτύου για αισθητικούς λόγους. Ανάμεσα στο WiMAX και στο WRAN θα πρέπει να επιλέξεις το δεύτερο υποχρεωτικά εάν οι αποστάσεις είναι κοντά ή μεγαλύτερες από 50 χιλιόμετρα.

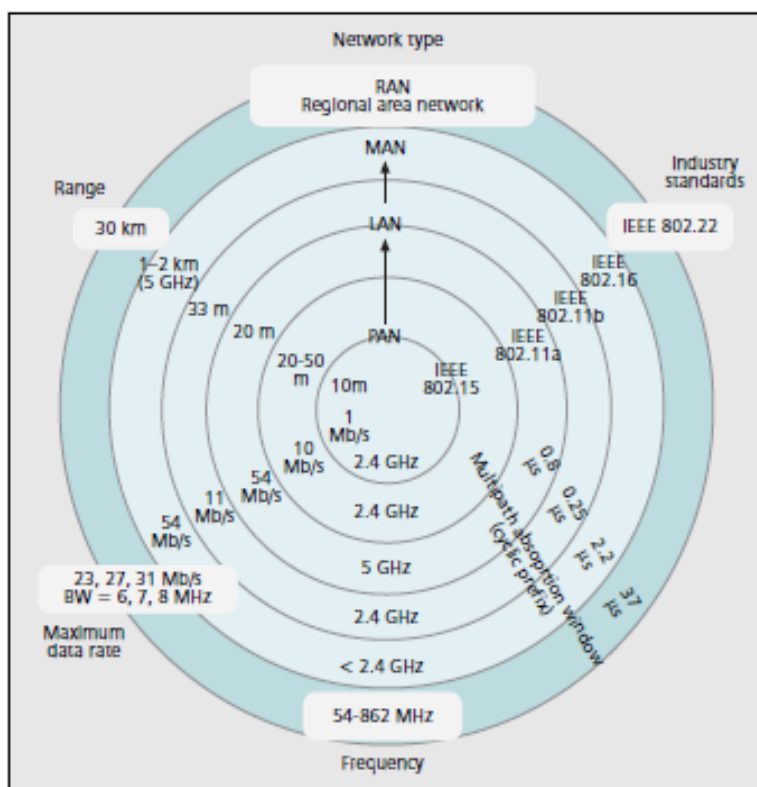
<u>Πρότυπα</u>	<u>Εμβέλεια</u>
Bluetooth	
802.15.1a	10m
Wi-Fi	
802.11a.b.g.n	50m,100m,100m,160m
WiMAX	
802.16	2 μέχρι 5 km
802.16a	7 μέχρι 10 km,Μέγιστη 50 km
802.16e	2 – 5 km
WRAN	
802.20	4 km ή λιγότερα
802.22	50 km ή λιγότερα, Μέγιστη 100 km

Πίνακας 4: Εμβέλεια ανά πρότυπο

3.2

Ρυθμός μεταφοράς Δεδομένων

Ρυθμός μεταφοράς Δεδομένων



Σχήμα 4: Ρυθμός μεταφοράς Δεδομένων (Stevenson et al., 2009)

Όπως βλέπουμε στον Πίνακα 5 οι ταχύτητες που προσφέρει η κάθε τεχνολογία είναι προσδιορισμένες για να καλύπτουν διαφορετικές ανάγκες. Το Bluetooth προσφέρει την μικρότερη και δεν είναι η καλύτερη επιλογή για ένα δίκτυο εντάσεως δεδομένων αντίθετα το Wi-Fi είναι κατάλληλο για αυτή τη χρήση σε κοντινές αποστάσεις. Σε μακρινές αποστάσεις η διαφορά του WiMAX και του WLAN δεν είναι μεγάλη. Είναι αρκετή έτσι ώστε να είναι προτιμότερη η χρήση του WLAN σε υπηρεσίες που απαιτούν αξιόπιστη και συνεχόμενη μεταφορά δεδομένων όπως ασύρματη ψηφιακή μετάδοση βίντεο. Το WiMAX χρησιμοποιείται κυρίως για σύνδεση στο internet ή σε δίκτυο υπολογιστών.

<u>Πρότυπα</u>	<u>Ταχύτητα</u>
Bluetooth	721 Kbps
Wi-Fi	11-248 Mbps
WiMAX	32 – 134 Mbps 500kbps ανά χρήστη
WRAN	5-70 Mbps συνολικά 1 Mbps ή περισσότερο ανά χρήστη

Πίνακας 5: Ταχύτητα ανά πρότυπο

3.3 Ασφάλεια

Σε όλες τις τεχνολογίες που παρουσιάζονται υπάρχουν τρόποι και μέθοδοι ασφάλειας. Την μικρότερη ασφάλεια προσφέρει το Bluetooth αλλά αντισταθμίζεται από την μικρή του εμβέλεια που κάνει δύσκολη την πρόσβαση στο δίκτυο ενός μη εξουσιοδοτημένου χρήστη, όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως στην εργασία. Οι υπόλοιπες προσφέρουν ασφάλεια με παρόμοιες τεχνικές και η ασφάλεια εξαρτάται κυρίως από άλλους παράγοντες. Ο κύριος παράγοντας που δημιουργεί προβλήματα ασφάλειας είναι ο ανθρώπινος παράγοντας. Σημαντικό είναι οι διαχειριστές να διατηρούν τα συστήματα ασφάλειας ενημερωμένα όπως για παράδειγμα στο WiFi να χρησιμοποιείται το WPA2 αντί του WPA. Επίσης οι χρήστες που έχουν πρόσβαση να μην δημοσιεύουν και να προσέχουν να μην χάνουν (ή τους κλέβουν) τα δεδομένα και τους κωδικούς που έχουν για πρόσβαση στο δίκτυο (Laudon et al., 2009).

3.4 Δυνατότητες Δικτύωσης

Οι διάφορες τεχνολογίες έχουν δημιουργηθεί για διαφορετικό σκοπό. Αν και μπορείς με όλες τις τεχνολογίες να συνδέσεις πολλούς σταθμούς μεταξύ τους μεγάλο ρόλο παίζει και ο σκοπός της σύνδεσης. Το Bluetooth χρησιμοποιείται για σύνδεση συσκευών που μας ενδιαφέρει η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και όχι η ποιότητα ή το εύρος μεταφοράς δεδομένων. Τα πιο συνηθισμένα είναι το Wi-Fi και το WiMAX που έχουν μεγάλες δυνατότητες δικτύωσης και καλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Αντίστοιχα τα πρότυπα

802.20 και κυρίως το 802.22 χρησιμοποιείται σε περιοχές που είναι αναγκαστική η χρήση του λόγω απόστασης.

3.5 Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS)

Η ποιότητα υπηρεσιών είναι σημαντική εάν χρειάζεται να μετράς και να αξιολογείς την παρεχόμενη υπηρεσία που προσφέρεται έτσι ώστε να εντοπίζεις γρηγορότερα και πιο αποτελεσματικά προβλήματα και να τα λύνεις. Σε όλα τα πρότυπα παρέχεται αυτή η δυνατότητα.

Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα

Η χρήση των ασύρματων τεχνικών δικτύωσης αυξάνεται συνεχώς τα τελευταία χρόνια κυρίως λόγω της μείωσης του κόστους δημιουργίας και κτήσης τους. Η χρήση προγραμμάτων που μπορούν να ρυθμίσουν όλες τις παραμέτρους της εκπομπής των ασύρματων δικτύων είναι μία ανερχόμενη κατηγορία προϊόντων που λόγω κόστους χρησιμοποιείται μόνο από τον στρατό και σε κάποιες ιδιαίτερες περιπτώσεις. Στο άμεσο μέλλον πρέπει να γίνει έρευνα για να βελτιωθεί κυρίως το κόστος της (Comer, 2009). Αυτή την στιγμή σχεδιάζοντας να κάνει κάποιος ένα δίκτυο η χρήση ενσύρματων τεχνικών είναι σχεδόν αναπόφευκτη. Από τις υπάρχουσες ασύρματες τεχνικές, όταν πρέπει να επιλέξεις αρχικά κοιτάς την εμβέλεια, την ταχύτητα αποστολής δεδομένων και το πλήθος των χρηστών. Στη συνέχεια εξετάζεις και όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά. Στην πράξη συνήθως χρησιμοποιείται μια υβριδική μορφή δικτύωσης όπου ο κορμός ενός δικτύου είναι υλοποιημένος με ενσύρματες υποδομές και υπάρχουν αρκετά ασύρματα σημεία πρόσβασης στο δίκτυο. Ένα τέτοιο παράδειγμα μπορεί να είναι ένα πανεπιστήμιο, με την ραχοκοκαλιά του δικτύου υλοποιημένη με οπτικές ίνες και με τα διάφορα ασύρματα σημεία πρόσβασης σε εργαστήρια, εστίες, βιβλιοθήκες και διάφορους χώρους.

Αναφορές

History of IEEE.(n.d.). Retrieved from http://www.ieee.org/about/ieee_history.html

Wireless network.(n.d.). Retrieved from

http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_network#Uses

Template:Comparison of mobile Internet standards.(n.d.) Retrieved from

http://en.wikipedia.org/wiki/Template:Comparison_of_mobile_Internet_standards

IEEE 802.11. (n.d.). Retrieved from http://el.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

IEEE 802.15. (n.d.). Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15

IEEE 802.16. (n.d.). Retrieved from http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.16

IEEE 802.20. (n.d.). Retrieved from <http://en.wikipedia.org/wiki/802.20>

IEEE 802.22. (n.d.). Retrieved from <http://en.wikipedia.org/wiki/802.22>

Balachandran, K., & etc (2007). Design and Analysis of an IEEE 802.16e-Based OFDMA Communication System. Wiley Periodicals. DOI: 10.1002/bltj.20196

Bing, B. (2002) Wireless Local Area Networks (The New Wireless Revolution). Wiley.

Bolton, W., Xiao, Y., & Guizani, M. (2007). IEEE 802.20: mobile broadband wireless access. *IEEE Wireless Communications*, 14(1), 84 –95. doi:10.1109/MWC.2007.314554

Comer, D.E. (2009). Computer Networks and Internets (fifth edition). Prentice Hall

Diakonikolaou, G., Agiakatsika, A., & Mpouras H. (2007). Επιχειρησιακή Διαδικτύωση (Β έγκδοση). Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Doufexi, A., Armour, S., Lee, B., Nix, A., & Bull, D. (2003). An Evaluation of the Performance of IEEE 802.11a and 802.11g Wireless Local Area Networks in a Corporate Office Environment. Centre for Communications Research, University of Bristol, UK. IEEE.

Ghys, F., Mampaey, M., Smouts, M., & Vaaraniemi, A. (2003). 3G Multimedia Network Services, Accounting, and user Profiles. Artech House.

Greenspan, A., Klerer, M., Tomcik, J., Canchi, R., & Wilson, J. (2008). IEEE 802.20: Mobile Broadband Wireless Access for the Twenty-First Century. *IEEE Communications Magazine*, 46(7), 56 –63. doi:10.1109/MCOM.2008.4557043

Kartalopoulos, S. V. (2009). Security of Information and Communication Networks. New Jersey, Wiley, J., & Sons.

Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2009). Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης (8^η αμερικανική έκδοση). Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Murthy, C. S. R., & Manoj, B. S. (2004). Ad Hoc Wireless Networks Architectures and Protocols. Prentice Hall.

Nicopolitidis, P. (2003). Wireless Networks. Wiley, J., & Sons, Ltd (2003).

- Politi, A. X. (2011). Παροχή Ποιότητας Υπηρεσιών σε Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα Πολυμέσων Τεχνολογίας IEEE 802.11e. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας τμήμα εφαρμοσμένης πληροφορικής.
- Sikora, A. (2003). *Wireless personal and Local area networks*. Wiley.
- Stevenson, C., Chouinard, G., Lei, Z., Hu, W., Shellhammer, S., & Caldwell, W. (2009). IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard. *IEEE Communications Magazine*, 47(1), 130 –138.
doi:10.1109/MCOM.2009.4752688
- Stallings, W. (2007). *Wireless Communications & Network*. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- Sweeney, D. (2006). *WiMAX Operator's Manual. Building 802.16 Wireless Networks (Second Edition)*. Berkeley.
- Thiel, J.(2006). *Metropolitan and Regional Wireless Networking: 802.16, 802.20 and 802.22*. Retrieved from <http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wimax.pdf>
- Wu, S., & Tseng, Y. (2007). *Wireless Ad Hoc Networking. Personal-Area, Local-Area, and the Sensory-Area Networks*. Auerback Publications.

Σχήματα

Σχήμα 1. Simply Bluetooth, (n.d.) Retrieved from

bishalbhandari.blogspot.gr/2012/03/simply-bluetooth.html

Σχήμα 2. Bolton, W., Xiao, Y., & Guizani, M. (2007). IEEE 802.20: mobile broadband wireless access. *IEEE Wireless Communications*, 14(1), 84 –95.

doi:10.1109/MWC.2007.314554

Σχήμα 3. Thiel, J.(2006). Metropolitan and Regional Wireless Networking: 802.16, 802.20 and 802.22. Retrieved from [http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-](http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wimax.pdf)

[06/ftp/wimax.pdf](http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wimax.pdf)

Σχήμα 4. Stevenson, C., Chouinard, G., Lei, Z., Hu, W., Shellhammer, S., & Caldwell, W. (2009). IEEE 802.22: The first cognitive radio wireless regional area network standard. *IEEE Communications Magazine*, 47(1), 130 –138.

doi:10.1109/MCOM.2009.4752688

Πίνακες

Πίνακας 1. Diakonikolaou, Agiakatsika, & Mpouras, 2007. Επιχειρησιακή Διαδικτύωση (B έκδοση). Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Πίνακας 2. Diakonikolaou, Agiakatsika, & Mpouras, 2007. Επιχειρησιακή Διαδικτύωση (B έκδοση). Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Πίνακας 3. Thiel, J.(2006). Metropolitan and Regional Wireless Networking: 802.16, 802.20 and 802.22. Retrieved from [http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-](http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wimax.pdf)
[06/ftp/wimax.pdf](http://www.cs.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/wimax.pdf)

Εξώφυλλο

Εικόνα 1. <http://www.halcyonnetworks.com/wireless-networking.html>

Εικόνα 2.

http://compnetworking.about.com/od/basicnetworkingconcepts/l/blbasics_nowire.htm

Παράρτημα

Ακρωνόμια:

ARQ = Automatic Repeat-reQuest

IEEE = Institute of Electrical and Electronics Engineers

L2CAP= Logical Link Control and Adaptive Protocol

LAN = Local Area Network

MAN = Metropolitan Area Network

MBWA = Mobile Broadband Wireless Access

MIMO = Multiple Input Multiple Output

PAN = Personal Area Network

PDA = Personal Digital Assistant

WIFI = Wireless Fidelity

WiMAX = Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN = Wireless Local Area Network

WPAN = Wireless Personal Area Network

WRAN = Wireless Regional Area Network