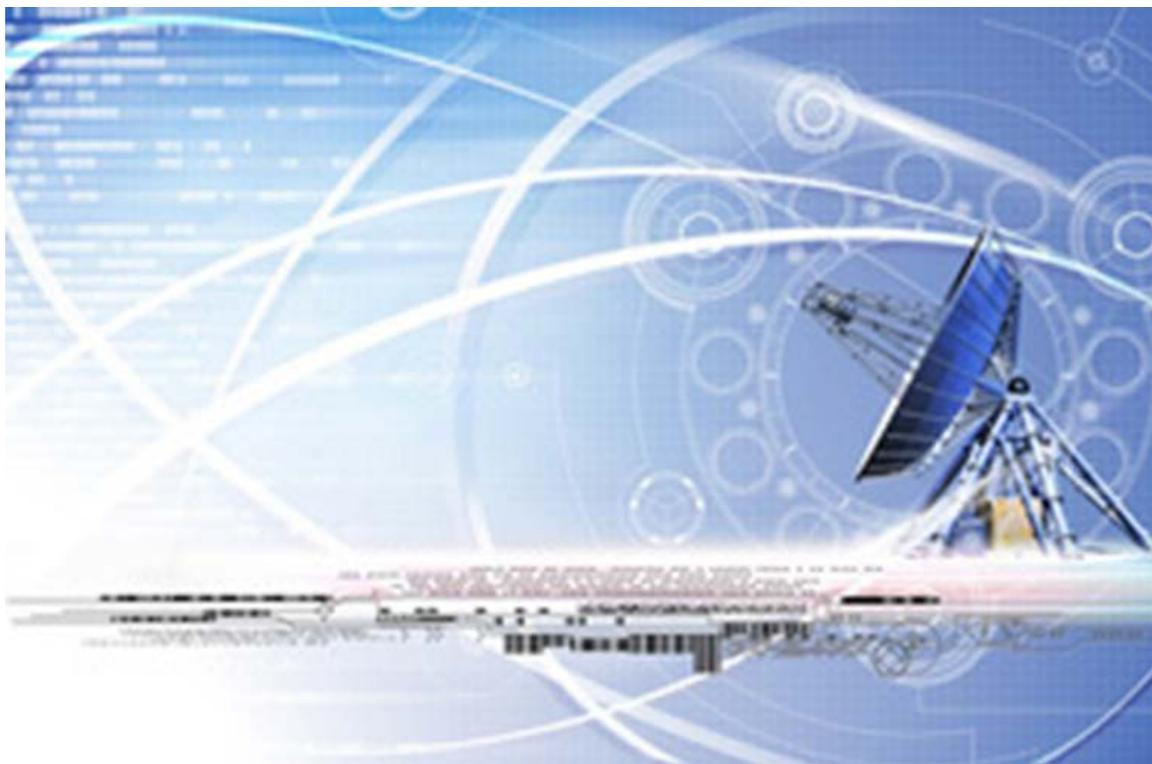


ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ- ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ Γ. ΚΑΡΑΙΣΚΑΚΗ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΚΑΡΑΜΠΙΝΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ Α.Μ: 10167
ΚΟΣΣΑΡΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ Α.Μ: 8493

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	7
Abstract	8
Κεφάλαιο 1ο	9
1.1 Εισαγωγή στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα	9
1.2 Δίκτυα Μεταγωγής (Switching Networks)	9
1.3 Δίκτυα Ευρείας Εκπομπής (Broadcasting Networks)	10
1.4 Δίκτυα και παρεχόμενες υπηρεσίες	11
Κεφάλαιο 2ο	17
2.1 Αρχιτεκτονικές και τύποι δικτύων	17
2.2 Συγκεντρωτικά δίκτυα (Centralized Networks)	17
2.3 Κατανεμημένα δίκτυα (Distributed Networks)	18
2.4 Αποκεντρωμένα δίκτυα (Decentralized Networks)	19
2.5 Δίκτυα Δεδομένων	20
2.6 Μεταγωγή Κυκλώματος έναντι Μεταγωγής Πακέτου	20
2.7 Τοπολογική Διαίρεση των Δικτύων	21
2.8 Διαίρεση των δικτύων σύμφωνα με τη γεωγραφική έκτασή τους	25
Κεφάλαιο 3ο	27
3.1 Ανοιχτά Δίκτυα	27
3.2 Το Πρότυπο OSI	28
3.3 Λειτουργίες πρωτοκόλλων	28
3.4 Ασφάλεια, Κρυπτογραφία , Επαλήθευση ταυτότητας στα δίκτυα	30
Κεφάλαιο 4ο	32
4.1 Μητροπολιτικό ασύρματο δίκτυο	32
4.2 Πρότυπα IEEE για τα μητροπολιτικά ασύρματα δίκτυα.....	33
4.3 Χαρακτηριστικά μετάδοσης	33
4.4 Αρχιτεκτονική του WiMAX	34
4.5 Τοπολογία διανομής πολλαπλών σημείων	35
4.6 Τοπολογία πολυγωνικής δικτύωσης	36
Κεφάλαιο 5ο	36
5.1 Ανάλυση των επιπέδων του 802.16	36
5.2 Υπόστρωμα Κοινού Κομματιού (MAC CP)	38

5.3 Υπόστρωμα Ασφαλείας	38
5.4 Κρυπτογράφηση (Encryption)	38
5.5 Πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιού	39
5.6 Φυσικό στρώμα	40
5.7 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση συχνότητας.....	40
5.8 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση χρόνου	41
5.8.1 Διαμόρφωση OFDM	42
5.8.2 Διαμόρφωση OFDMA	43
5.8.3 Τρόποι διάδοσης	43
5.8.4 Πλεονεκτήματα του μητροπολιτικού ασύρματου δικτύου	44
5.8.5 Προσφερόμενες Υπηρεσίες	45
5.8.6 Αναγκαιότητα ή μόδα;.....	45
Κεφάλαιο 6ο	46
6.1 Περίπτωση Μελέτης	46
6.2 Τεχνικά στοιχεία ενσύρματης διασύνδεσης	49
6.3 Προσομοίωση της ραδιοκάλυψης με το λογισμικό Radio Mobile.....	50
6.4 Μελέτη ραδιοκάλυψης	50
7.0 Συμπεράσματα	56
8.1 Βιβλιογραφία.....	57



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΗΠΕΙΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
Τηλεπικοινωνιακά Δίκτυα-
Μητροπολιτικό Δίκτυο Γ.Καραϊσκάκη

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΡΙΖΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΡΤΑ, 2014

Η σελίδα είναι σκόπιμα λευκή

Περίληψη

Στη παρούσα πτυχιακή θα γίνει λόγος για τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, ως δίκτυο τηλεπικοινωνιών μπορούμε να ορίσουμε ένα σύστημα επικοινωνίας το οποίο διαθέτει κόμβους, συσκευές τηλεφωνίας που χρησιμοποιούνται από τους συνδρομητές του δικτύου. Η ιδιότητα του τηλεπικοινωνιακού δικτύου είναι να παρέχει ικανοποιητική επικοινωνία με τους άλλους χρήστες του δικτύου.

Τέλος θα μιλήσουμε για τα μητροπολιτικά δίκτυα και θα γίνει σχεδιασμός της ραδιοκάλυψης του δικτύου με το πρόγραμμα Radio Mobile. Ως μητροπολιτικό δίκτυο ορίζεται ένα δίκτυο το οποίο καλύπτει μια πόλη.

Λέξεις κλειδιά: δίκτυα, τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, συσκευές τηλεφωνίας, ραδιοκάλυψη

Abstract

In this thesis will be discussed for telecommunication networks, telecommunication network as we can establish a communication system which inter-node sets, telephony devices used by them-assistance network. The status of the telecommunications network is to provide a sufficient-poetic communication with other network users.

Finally we will talk about the metropolitan networks and will be design-diokalypsis So the network program Radio Mobile. As metropolitan network is defined as a network that covers a city.

Keywords: networks, telecommunications networks, telecommunications equipment, radio coverage

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Εισαγωγή στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα

Δίκτυο τηλεπικοινωνιών είναι ένα σύστημα επικοινωνιών το οποίο διαθέτει: α) πολύπλοκες τηλεπικοινωνιακές συσκευές που χρησιμοποιούνται από κοινού με όλους τους συνδρομητές του δικτύου, β) τηλεπικοινωνιακούς κόμβους και γ) τα φυσικά μέσα διάδοσης της πληροφορίας (γραμμές επικοινωνίας). Επίσης περιλαμβάνει και τις διατάξεις πρόσβασης στο δίκτυο (τηλέφωνα, υπολογιστές κλπ.).

Βασική ιδιότητα του κάθε δικτύου είναι η παροχή ικανοποιητικής επικοινωνίας με τον ελάχιστο δυνατό αριθμό διασυνδέσεων των κόμβων του. Με το δίκτυο, κάθε συνδρομητής μπορεί να χρησιμοποιεί από κοινού με άλλους συνδρομητές διάφορες τηλεπικοινωνιακές συσκευές που δεν μπορεί να διαθέσει μόνος του.

Διάρθρωση των δικτύων σύμφωνα με την τεχνική προώθησης της πληροφορίας

Σε σχέση με την τεχνική προώθησης της πληροφορίας που χρησιμοποιούν, τα δίκτυα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα στα δίκτυα μεταγωγής και στα δίκτυα ευρείας εκπομπής ή ευρυεκπομπής.¹

1.2 Δίκτυα Μεταγωγής (Switching Networks)²

Τα δίκτυα μεταγωγής στηρίζονται για την προώθηση των πληροφοριών-μηνυμάτων στην ύπαρξη ενός δικτύου από τηλεπικοινωνιακούς κόμβους, οι οποίοι αναλαμβάνουν τη δρομολόγηση της πληροφορίας από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη. Ένα τέτοιο δίκτυο φαίνεται στο σχήμα. Τέτοια δίκτυα περιλαμβάνουν συνήθως και εσωτερικούς κόμβους. Οι τελευταίοι δε συνδέονται άμεσα με τερματικά, αλλά χρησιμοποιούνται από το δίκτυο για την εσωτερική δρομολόγηση των μηνυμάτων. Όπως και στα δίκτυα βρόχου, η διασύνδεση των κόμβων μεταξύ τους γίνεται με

1

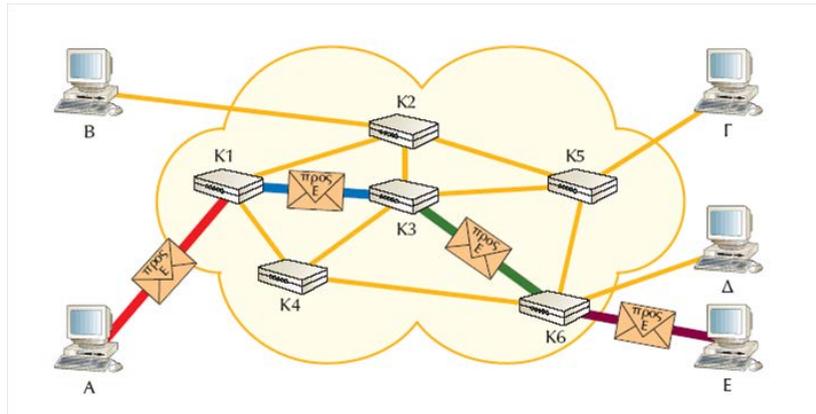
² <http://math4u.gr.185-4-135-23.linuxzone39.grserver.gr/index.php/bibliothiki/40-pliioforikis/557-thlepdikt>

2

² Δίκτυα Επικοινωνίας Δεδομένων, <http://www.e-yliko.gr/htmls/diktya/senario3/theory/files/diktymetds1kef6.pdf>

τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχουν εναλλακτικοί δρόμοι μεταξύ των τερματικών συσκευών αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία του όλου συστήματος. Συνήθως το εσωτερικό δίκτυο μεταγωγής προσφέρεται από τους επίσημους οργανισμούς τηλεπικοινωνιών (για παράδειγμα ο ΟΤΕ στην Ελλάδα). Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι αποκατάστασης σύνδεσης και δρομολόγησης των δεδομένων στα δίκτυα μεταγωγής. Οι κυριότεροι από αυτές είναι:

- ▶ Μεταγωγή Κυκλώματος
- ▶ Μεταγωγή Μηνυμάτων
- ▶ Μεταγωγή Πακέτων



Σχήμα 1: Δίκτυο Μεταγωγής

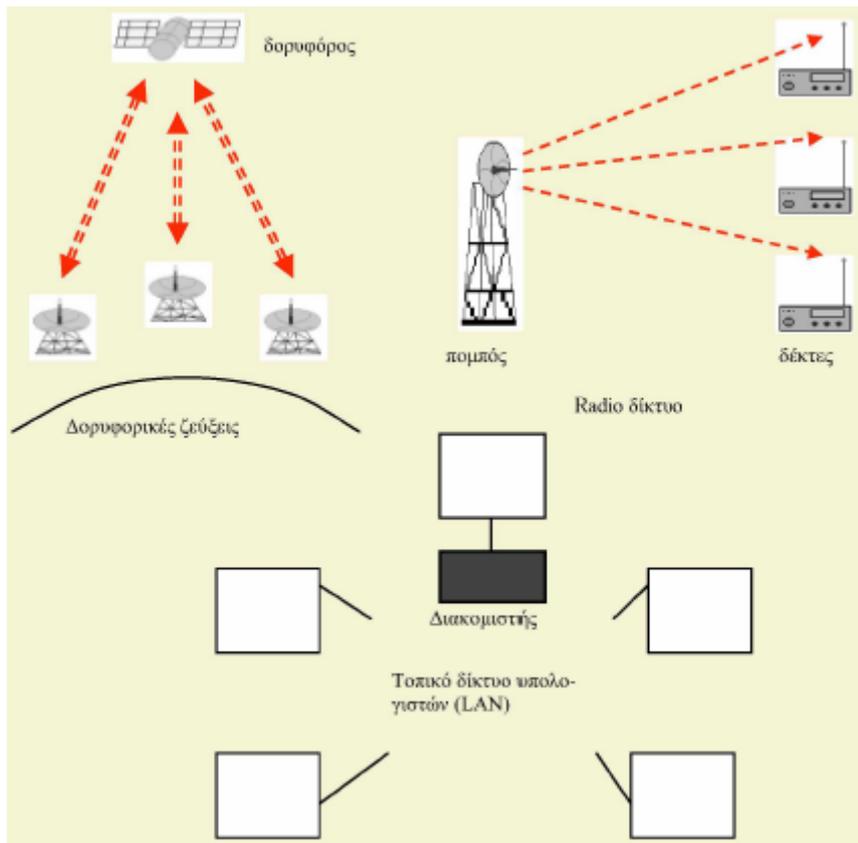
1.3 Δίκτυα Ευρείας Εκπομπής (Broadcasting Networks)³

Ένα άλλο είδος δικτύου με τελείως διαφορετική φιλοσοφία σε σχέση με τα δίκτυα μεταγωγής είναι τα δίκτυα ευρείας εκπομπής ή ακρόασης. Στα δίκτυα αυτά δεν υπάρχουν κόμβοι. Αντίθετα όλα τα τερματικά μοιράζονται το ίδιο φυσικό μέσο επικοινωνίας και τα μηνύματα που στέλνει ένας σταθμός τα λαμβάνουν συνήθως όλοι. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων δικτύων είναι τα τηλεοπτικά δίκτυα. Σε αυτά οι τηλεοράσεις που λειτουργούν ως τερματικοί σταθμοί λαμβάνουν το τηλεοπτικό σήμα που εκπέμπεται από τον τηλεοπτικό σταθμό. Άλλα χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα δορυφορικά δίκτυα καθώς και τα τοπικά δίκτυα. Στα δορυφορικά δίκτυα οι σταθμοί συνομιλούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας από κοινού το δορυφόρο, ενώ στα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιείται ένα καλώδιο ως κοινό μέσο επικοινωνίας. Στο σχήμα δίνονται μερικά παραδείγματα δικτύων ευρείας εκπομπής. Ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα σε αυτή την κατηγορία των δικτύων είναι η χρήση μεθόδων που ελέγχουν την ταυτόχρονη εκπομπή διαφορετικών τερματικών σταθμών στο κοινό κανάλι. Οι μέθοδοι αυτές ονομάζονται τεχνικές προσπέλασης του καναλιού επικοινωνίας (Access Control Techniques). Οι τεχνικές αυτές διαφοροποιούνται καταρχήν σε σχέση με το αν χρησιμοποιούνται σε συγκεντρωτικά ή σε κατανεμημένα δίκτυα. Έτσι, στα συγκεντρωτικά δίκτυα ο έλεγχος κατέχεται από ένα σταθμό, την άδεια του οποίου χρειάζεται οποιοσδήποτε άλλος σταθμός, προκειμένου να εκπέμψει στο κοινό κανάλι επικοινωνίας. Αντίθετα, στα κατανεμημένα δίκτυα χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές, προκειμένου να αποφασίζεται κάθε φορά,

3

³ Θ. Γεωργίου, Ι. Καππος, Α. Λαδίας, Α. Μικροπουλος, Α. Τζιμογιαννης, Κ. Χαλκιά, Πολυμέσα και Δίκτυα, Αθήνα

και μάλιστα με δυναμικό τρόπο, ποιοι σταθμοί και με ποια σειρά μπορούν να εκπέμπουν. Γενικά στα δίκτυα ακρόασης μπορεί να συναντήσει κανείς διάφορες τεχνικές προσπέλασης είτε σύγχρονες (για παράδειγμα η πολυπλεξία χρόνου-TDM ή συχνότητας- FDM) είτε ασύγχρονες. Οι τελευταίες προτιμώνται, μια και συνήθως στα δίκτυα ευρείας εκπομπής οι ανάγκες μετάδοσης του κάθε σταθμού είναι γενικά απρόβλεπτες και άρα η χρήση σύγχρονων τεχνικών προσπέλασης θα οδηγούσε σε σπατάλη των τηλεπικοινωνιακών πόρων του δικτύου.



Σχήμα 2: Διάφορα δίκτυα ακρόασης

1.4 Δίκτυα και παρεχόμενες υπηρεσίες

α) Το Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο (PSTN)⁴

Το Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο Μεταγωγής (Public Switched Telephone Network - PSTN), με το οποίο όλοι είμαστε εξοικειωμένοι, προσφέρει τη δυνατότητα αμφίδρομης μετάδοσης φωνής, με μικρές καθυστερήσεις, αλλά και την εγγύηση της ολοκλήρωσης μιας κλήσης όταν αυτή εγκατασταθεί. Η επίτευξη αυτής της ποιότητας υπηρεσιών επιτυγχάνεται με τη δέσμευση ενός απ' άκρου σ' άκρο φυσικού κυκλώματος ανάμεσα στην πηγή και τον προορισμό της τηλεφωνικής κλήσης, για όσο χρόνο αυτή διαρκεί. Η παραπάνω τεχνική καλείται μεταγωγή κυκλώματος. Ο καλών (caller) χρησιμοποιεί το τηλέφωνό του για να συνδεθεί με την τηλεφωνική συσκευή του ατόμου με το οποίο θέλει να συνομιλήσει (callee), μέσω ενός αριθμού ιδιωτικών και δημοσίων μεταγωγέων (switches) -. Τα σήματα φωνής μεταφέρονται με την ίδια σειρά με την οποία δημιουργούνται, έτσι ώστε να μην αλλοιώνεται η συνομιλία. Με την ολοκλήρωση της κλήσης, το φυσικό μονοπάτι που είχε προηγουμένως δημιουργηθεί, αποδεσμεύει όσους πόρους χρησιμοποίησε. Το PSTN θεωρείται «έξυπνο» δίκτυο υπό την έννοια ότι έχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε πραγματικό χρόνο, σε βάσεις δεδομένων προκειμένου να ελέγξει τη δρομολόγηση των τηλεφωνικών κλήσεων. Πολλές από τις πλέον γνωστές υπηρεσίες που προσφέρει σήμερα το PSTN βασίζονται σ' αυτήν ακριβώς τη δυνατότητα. Οι πιο γνωστές υπηρεσίες που προσφέρει το PSTN είναι οι εξής:

- **Τηλεφωνικές υπηρεσίες χωρίς χρέωση** (αριθμοί που ξεκινούν με το 800). Για τη δρομολόγηση κλήσεων που αφορούν τέτοιους αριθμούς, θα πρέπει πρώτα να εντοπιστεί η κατάλληλη βάση δεδομένων και μετά να αναζητηθεί ο τελικός τηλεφωνικός αριθμός που θα χρησιμοποιηθεί.
- **Ασύρματη περιαγωγή.** Σ' αυτή την υπηρεσία, το δίκτυο χρησιμοποιεί μία σύνθετη σειρά από μηνύματα σηματοδότησης για να καταστήσει δυνατές τις εισερχόμενες και εξερχόμενες κλήσεις. Οι βάσεις δεδομένων των

4

⁴ Καρποδίνης Πολυχρόνης 2006 , υλοποίηση ενός sip user agent στον δικτυακό Επεξεργαστή intel ixp.

συνδρομητών αναζητούνται ώστε να καθοριστούν τα δικαιώματα περιαγωγής σε νέες περιοχές.

- **Τηλεφωνικές κάρτες.** Όταν γίνεται μία κλήση με τηλεφωνική κάρτα, γίνεται προσπέλαση σε βάση δεδομένων για να προσδιοριστεί η εγκυρότητα της κάρτας, ώστε να γίνει η κατάλληλη χρέωση.

Τέτοιου είδους υπηρεσίες προσδίδουν στο PSTN το χαρακτηρισμό Intelligent Network (IN). Οι IN υπηρεσίες του PSTN αρχικοποιούνται, ελέγχονται και τερματίζονται από το πρωτόκολλο σηματοδοσίας SS7 (Signaling System 7).

β) ISDN⁵⁶

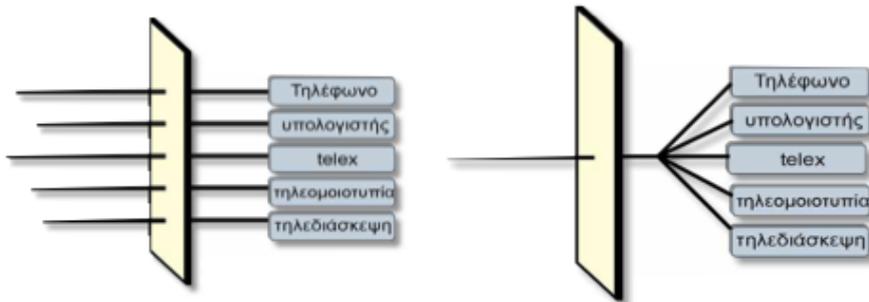
Για περισσότερο από έναν αιώνα η βασική επικοινωνιακή υποδομή ήταν το PSTN που προαναφέρθηκε, το οποίο όμως αποδείχτηκε πως σε αρκετές περιπτώσεις, είναι ανεπαρκές. Για παράδειγμα κατά την μεταφορά βίντεο, εφόσον το PSTN είναι σχεδιασμένο για μεταφορά αναλογικού σήματος φωνής. Οι ανάγκες των χρηστών για βίντεο , φαξ καθώς και οποιασδήποτε νέας μορφής υπηρεσία, οδήγησε στην αντικατάσταση ενός μέρους του PSTN με ένα νέο σύστημα σχεδιασμένο για ψηφιακές επικοινωνίες, το οποίο ονομάζεται ISDN (Integrated Services Digital Network). Το ISDN δίνει τη δυνατότητα ύπαρξης μιας και μόνο γραμμής για λειτουργία ανόμοιων υπηρεσιών (τηλεφωνία, φαξ, διαδίκτυο, κ.ο.κ).

5

□ <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C127/577/3749,16442/>

6

□ http://hermes.di.uoa.gr/exe_activities/diktia/isdn.html



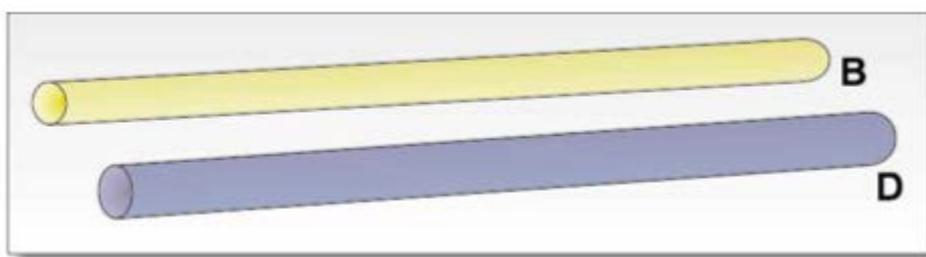
Με το κοινό τηλεφωνικό σύστημα χρειάζεστε πολλές τηλεφωνικές γραμμές για την ύπαρξη διάφορων υπηρεσιών ταυτόχρονα. Τόσες, όσες και οι υπηρεσίες.

Με το ISDN μπορούν πολλές υπηρεσίες να εξελίσσονται από μία γραμμή ταυτόχρονα.

Η τεχνολογία του ISDN επιτρέπει τη μετάδοση πληροφοριών με υψηλή και σταθερή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, σε σχέση με το PSTN , πράγμα το οποίο κάνει εφικτές υπηρεσίες όπως η τηλεδιάσκεψη.

Υπάρχουν 2 τύποι καναλιών:

- τα κανάλια επικοινωνίας που ονομάζονται τύπου B και μεταφέρουν πληροφορίες των χρηστών όπως ήχος, βίντεο, φαξ, κείμενο.
- τα κανάλια σηματοδότησης , που ονομάζονται τύπου D και μεταφέρουν πληροφορίες για τον έλεγχο μεταξύ των καναλιών επικοινωνίας. Αυτά είναι υπεύθυνα για την αποκατάσταση και τον τερματισμό της επικοινωνίας των παραπάνω καναλιών τύπου B



Υπάρχουν 2 τύποι συνδέσεων:

- Πρώτος, ενδιαφέρει χρήστες με μικρές ανάγκες και ονομάζεται βασικού ρυθμού.
- δεύτερος τύπος έχει περισσότερες δυνατότητες από τον πρώτο και ικανοποιεί ανάγκες μεγάλων εταιρειών και ονομάζεται πρωτεύοντος ρυθμού.

γ) ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)⁷

Το Asymmetric Digital Subscriber Line (Ασύμμετρη Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή) ή ADSL είναι μια μορφή DSL, δηλαδή μια τεχνολογία μετάδοσης δεδομένων που λειτουργεί πάνω σε παραδοσιακή τηλεφωνική γραμμή αλλά πετυχαίνει υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς από τα παραδοσιακά modem.

Το απλό χάλκινο καλώδιο (γνωστό και ως τοπικός βρόχος, local loop ή last mile) που συνδέει σχεδόν κάθε σπίτι με το τοπικό τηλεφωνικό κέντρο, έχει πολύ περισσότερες δυνατότητες από την υποστήριξη της απλής τηλεφωνίας. Έτσι με χρήση ανώτερου τμήματος του εύρους ζώνης του βρόχου, εκείνου το οποίο μένει αναξιοποίητο από την κλασική τηλεφωνία (PSTN ή ISDN), επιτυγχάνονται υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων. Το γεγονός αυτό προσφέρει κι ένα ακόμη πλεονέκτημα: η παραδοσιακή τηλεφωνία και η μετάδοση δεδομένων μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα και ανεξάρτητα η μία από την άλλη, εφόσον χρησιμοποιούν διαφορετικό φάσμα συχνοτήτων στην τηλεφωνική γραμμή. Ωστόσο οι συχνότητες που χρησιμοποιεί το ADSL εξασθενούν συντομότερα από αυτές της τηλεφωνίας, με αποτέλεσμα να μπορεί να λειτουργήσει σε αποστάσεις έως 5 Χλμ. από το τηλεφωνικό κέντρο. Επιπλέον, όσο μεγαλώνει η απόσταση από το τηλεφωνικό κέντρο τόσο μειώνεται η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να επιτευχθεί από το ADSL.

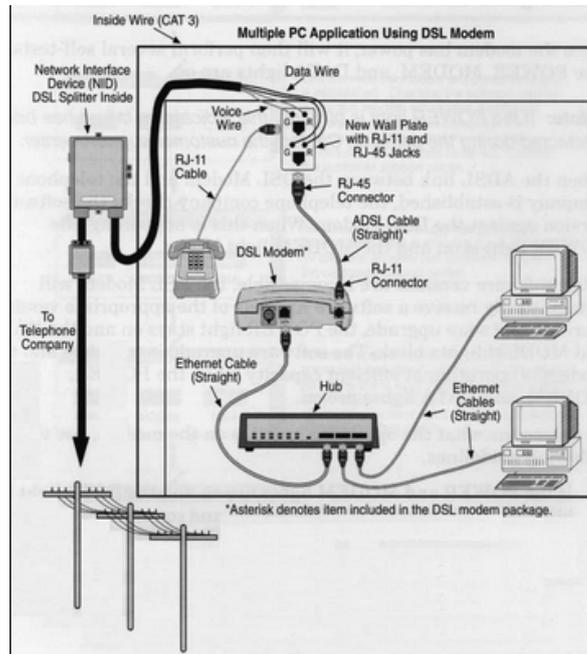
Χαρακτηριστικό του ADSL είναι το ότι οι ταχύτητες λήψης και αποστολής δεδομένων διαφέρουν - σε αυτό οφείλει και τη λέξη «ασύμμετρη» στο όνομά του. Η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να επιτύχει είναι τα 24/1 Mbps. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό είναι ότι η σύνδεση ADSL είναι μόνιμη και διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή (always-on). Δηλαδή δεν απαιτείται σύνδεση και αποσύνδεση από το δίκτυο όπως συμβαίνει με τις τηλεφωνικές κλήσεις.

Εξελιγμένες εκδόσεις του ADSL είναι το ADSL2 και το ADSL2+, οι οποίες παρέχουν μεγαλύτερες ταχύτητες αξιοποιώντας διαφορετικά το εύρος ζώνης του καλωδίου. Η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να επιτύχει το ADSL2+ είναι τα 24/1 Mbps (ή τα 24/3,5 Mbps σε περίπτωση που υλοποιεί το πρότυπο ITU G.992.5 Annex M), αλλά στην

7

⁷ http://el.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_Digital_Subscriber_Line

πράξη πολύ λίγοι χρήστες μπορούν να συνδεθούν σε αυτές τις ταχύτητες, λόγω της απόστασής τους από το τηλεφωνικό κέντρο.

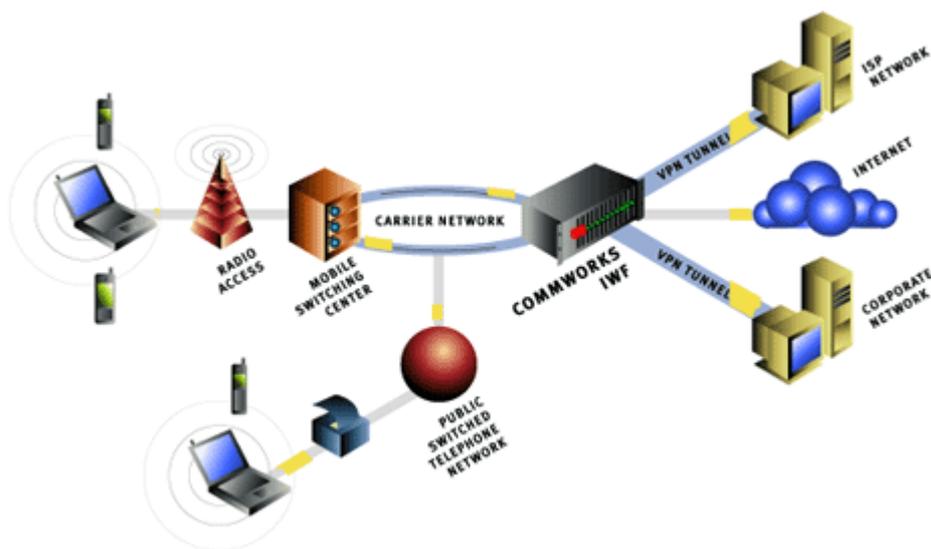


Σχήμα 3: ADSL Connection

δ) Κινητή Τηλεφωνία⁸

Επιτρέπει στο συνδρομητή να επικοινωνεί ασύρματα χρησιμοποιώντας τη φορητή του συσκευή, δηλαδή το κινητό τηλέφωνο, με άλλους συνδρομητές είτε της κινητής τηλεφωνίας, είτε του τηλεφωνικού δικτύου (σταθερό τηλέφωνο). Αυτό είναι εφικτό διότι ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας συνδέεται και με άλλα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όπως επίσης και με το τηλεφωνικό δίκτυο.

Η επικοινωνία γίνεται ψηφιακά. Τα κέντρα της κινητής τηλεφωνίας επικοινωνούν με τη συσκευή του συνδρομητή με ένα σύστημα αναμεταδοτών διεσπαρμένων κατάλληλα γεωγραφικά οι οποίοι ονομάζονται σταθμοί βάσης ή αλλιώς bts (base transmission systems). Κάθε ένας απ'αυτούς, εκπέμπουν με ένα συγκεκριμένο εύρος ακτίνας και έτσι δημιουργούνται οι κυψέλες. Οι bts's οι οποίοι βρίσκονται σε συνεχή σύνδεση με τα κινητά, εκτός από μετάδοση ομιλίας, μπορεί να ανταλλάσσουν με τα κινητά και άλλες υπηρεσίες, όπως πακέτα διαδικτύου, μέσω του πρωτοκόλλου WAP- Wireless Application Protocol.Υπάρχει τώρα πια η δυνατότητα ένα κινητό να συνδέεται απευθείας με έναν ή περισσότερους δορυφόρους (σύστημα UMTS).Ως πιο απλά συστήματα από το UMTS είναι το 2G και το 1G.Το UMTS είναι γνωστό και ως 3G ενώ τώρα βρισκόμαστε στην εξέλιξη του LTE (4G).



Σχήμα 4:Κινητή τηλεφωνία

8

http://hermes.di.uoa.gr/exe_activities/diktia/3.html

ε) IOS-EDI-EMAIL-Μεταφορά Αρχείων

Η ονομασία προέρχεται από το Inter Organization Systems. Είναι υπολογιστικά συστήματα με τα οποία τα υποκαταστήματα μιας εταιρείας ή τράπεζας είναι on line συνδεδεμένα με το κεντρικό.

EDI

Προέρχεται από τα αρχικά του Electronic Data Interchange και πρόκειται για την ηλεκτρονική ανταλλαγή εμπορικών δεδομένων- εγγραφών με προκαθορισμένους τύπους.

Με αυτόν τον τρόπο μια εταιρεία μπορεί να στείλει τα παραστατικά και κινήσεις της όπως πωλήσεις, αγορές, εισπράξεις και άλλα, σε μια άλλη με αυτόματη ενημέρωση των στοιχείων της

Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο⁹

Το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (αγγλικά e-mail, email ή mail προφέρεται "ιμέιλ" ή "μέιλ" αντίστοιχα) είναι μια Υπηρεσία του Διαδικτύου, η οποία επιτρέπει τη συγγραφή, αποστολή, λήψη και αποθήκευση μηνυμάτων με χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων τηλεπικοινωνιών. Γενικά ο όρος "ηλεκτρονικό ταχυδρομείο" αναφέρεται στο σύστημα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου του Διαδικτύου που χρησιμοποιεί το Simple Mail Transfer Protocol πρωτόκολλο, σε δικτυακά συστήματα που βασίζονται σε άλλα πρωτόκολλα μεταφοράς μηνυμάτων, αλλά και σε διάφορα συστήματα μηνυμάτων σε μικρά δίκτυα, υπερυπολογιστές, κλπ που επιτρέπουν στους χρήστες τους να στέλνουν μηνύματα μεταξύ τους για την υποστήριξη ομαδικής συνεργασίας. Τα συστήματα σε τοπικά δίκτυα ή σε δίκτυα intranet είναι πιθανόν να βασίζονται σε ιδιωτικά πρωτόκολλα, που υποστηρίζονται από το συγκεκριμένο σύστημα, ή να είναι τα ίδια πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στα δημόσια δίκτυα. Το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο χρησιμοποιείται συχνά για τη μεταφορά ανεπιθύμητων μηνυμάτων σε μεγάλο όγκο (σπαμ (spam)), αλλά υπάρχουν προγράμματα που μπορούν να «φιλτράρουν» και να σταματήσουν ή να σβήσουν αυτόματα τα περισσότερα από αυτά.

Μεταφορά αρχείων

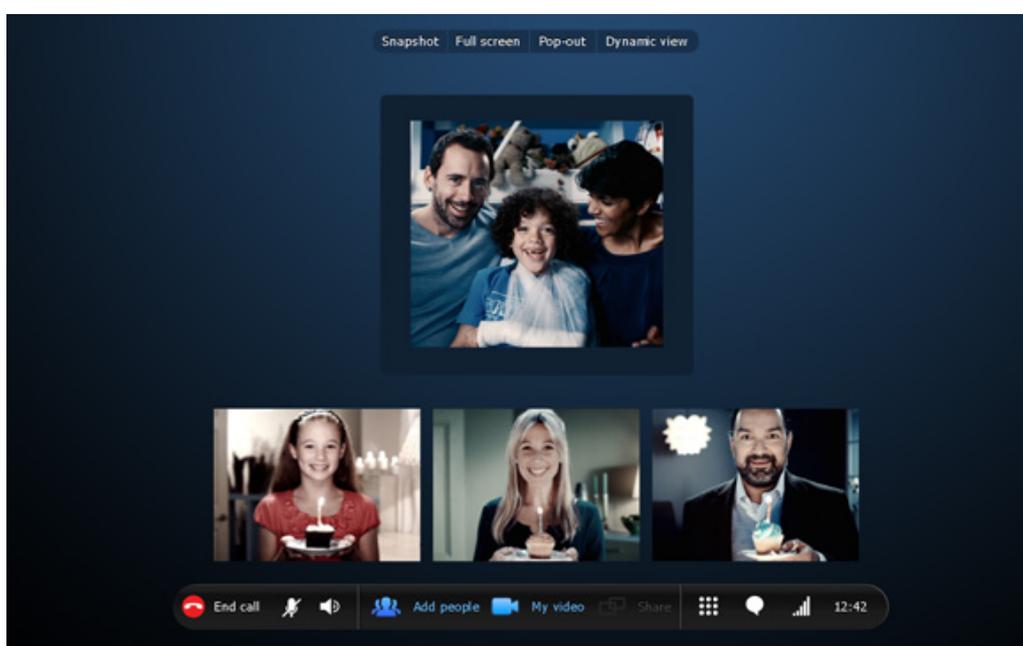
Πρόκειται για τη δυνατότητα μεταφοράς αρχείων μεταξύ δύο σημείων δικτύου. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται σχεδόν σε κάθε δίκτυο και φυσικά στο Διαδίκτυο.

9

⁹ <http://yphresiesdiadiktyoukalatzis.blogspot.gr/>

Τηλεδιάσκεψη και Συστήματα Εντοπισμού Θέσης

Τηλεδιάσκεψη: Μια από τις πλέον πιο σύγχρονες μορφές επικοινωνίας είναι η τηλεδιάσκεψη. Ουσιαστικά είναι η συνδιάσκεψη ενός αριθμού ατόμων , με μετάδοση εικόνας, ήχου και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Για να εξελίσσεται ομαλά μια τέτοια μετάδοση, απαιτείται ειδικός εξοπλισμός όπως κάμερα, μικρόφωνο, κλπ. Είναι απαραίτητη η εγκαθίδρυση σύνδεσης με υψηλή και σταθερή ταχύτητα έτσι ώστε να μεταδίδεται ικανοποιητικά και χωρίς προβλήματα η συνομιλία. Μια τέτοια σύνδεση επιτυγχάνεται είτε απευθείας με μια τηλεπικοινωνιακή σύνδεση (π.χ ISDN) είτε μέσω του Διαδικτύου.¹⁰



Σχήμα 5: Τηλεδιάσκεψη

Συστήματα Εντοπισμού Θέσης: Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης (Global Positioning System - GPS) είναι σύστημα που υπολογίζει τη θέση ενός αντικειμένου στην επιφάνεια της γης. Αυτό επιτυγχάνεται με ειδικές συσκευές, οι οποίες μπορούν να προσδιορίσουν τη γεωγραφική θέση στην οποία βρίσκονται αξιοποιώντας τα σήματα που δέχονται από ένα σύστημα δορυφόρων που βρίσκονται γύρω από τη γή για το σκοπό αυτόν. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως στην ναυσιπλοία, σε μεμονωμένα άτομα, αλλά και για στρατιωτικούς σκοπούς.



Σχήμα 6: Gps

Δίκτυα κορμού και πρόσβασης

Τα δίκτυα χωρίζονται επίσης σε δίκτυα κορμού και δίκτυα πρόσβασης. Τα δίκτυα κορμού αναφέρονται συνήθως σε εθνικό επίπεδο. Παράδειγμα τέτοιου δικτύου είναι το εθνικό δίκτυο του ΟΤΕ που ενώνει τα τηλεφωνικά κεντρα μεταξύ τους. Αντίθετα, το δίκτυο πρόσβασης ή και συνδρομητικό είναι το τοπικό δίκτυο που ενώνει τους συνδρομητές του δικτύου με τον τοπικό κόμβο του δικτύου. Ενώ τα δίκτυα κορμού αποτελούνται συνήθως από οπτικές ίνες, στα δίκτυα πρόσβασης χρησιμοποιούνται χάλκινα ζεύγη ή ασύρματες ζεύξεις (π.χ. κινητή τηλεφωνία) ή και τα δύο μαζί (μικτά δίκτυα).

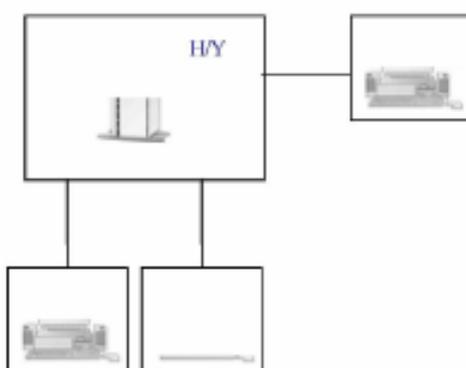
Κεφάλαιο 2°

2.1 Αρχιτεκτονικές και τύποι δικτύων

Διάρθρωση των δικτύων σύμφωνα με τη διασπορά της επεξεργαστικής τους ισχύος. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, τα δίκτυα διαχωρίζονται με βάση τη γεωγραφική κατανομή των μονάδων επεξεργασίας τους, δηλαδή των κεντρικών Η/Υ που χρησιμοποιούνται από τους διάφορους χρήστες. Έτσι, με βάση τη διασπορά της επεξεργαστικής τους ισχύος τα δίκτυα διακρίνονται σε συγκεντρωτικά, κατακεντρωμένα και αποκεντρωμένα.

2.2 Συγκεντρωτικά δίκτυα (Centralized Networks)

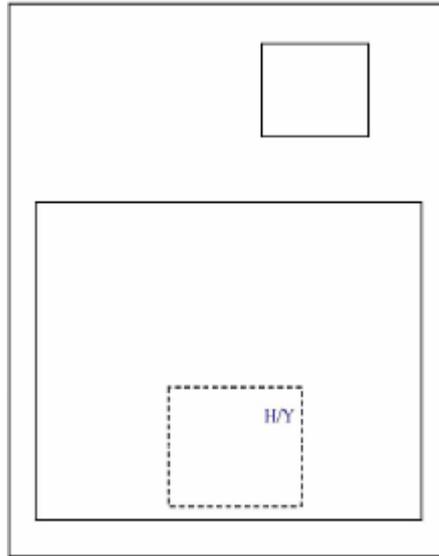
Ως συγκεντρωτικό δίκτυο ονομάζουμε το δίκτυο αυτό στο οποίο υπάρχει ένας κεντρικός Η/Υ, όπου γίνεται η ανάπτυξη όλων των εφαρμογών και είναι εγκατεστημένες όλες οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται από τους χρήστες του δικτύου. Οι τελευταίοι μοιράζονται την επεξεργαστική ισχύ του κεντρικού Η/Υ μέσω τερματικών συσκευών, οι οποίες είναι συνδεδεμένες μέσω κάποιου φυσικού μέσου με αυτόν. Πρόκειται για την ιστορικά πρώτη κατηγορία δικτύων που και σήμερα ακόμη καλύπτει τη συντριπτική πλειοψηφία των μεγάλων δικτύων. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα το σύνολο σχεδόν των δικτύων (περίπου το 99%) ανήκει σε αυτή την κατηγορία. Ένα τυπικό συγκεντρωτικό δίκτυο παρουσιάζεται στο σχήμα.



Σχήμα 7: Συγκεντρωτικό δίκτυο

2.3 Κατανεμημένα δίκτυα (Distributed Networks)

Η έννοια του κατανεμημένου δικτύου συνδέεται με την παρουσία περισσότερων από μία υπολογιστικών μονάδων στον ίδιο γεωγραφικό χώρο μαζί με το σύνολο των περιφερειακών τους συσκευών. Κάθε μία από αυτές τις υπολογιστικές μονάδες αναλαμβάνει μέρος του φόρτου εργασίας του όλου συστήματος, με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται ταχύτερη και αποδοτικότερη επεξεργασία.



Σχήμα 8: Κατανεμημένο δίκτυο

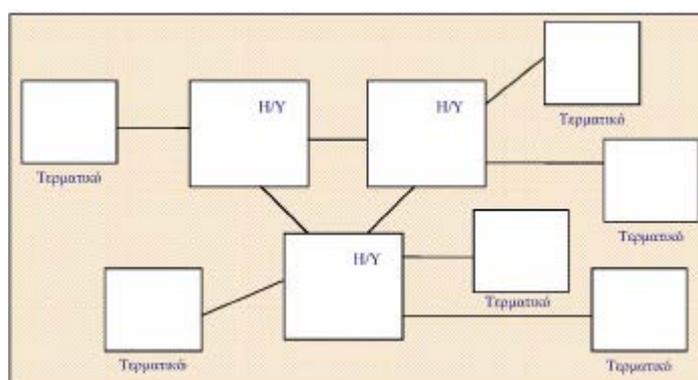
Διακρίνουμε δύο κατηγορίες κατανεμημένων δικτύων :

- Κατανεμημένα δίκτυα χαλαρής σύζευξης (loosely coupled)
- Κατανεμημένα δίκτυα στενής σύζευξης (tightly coupled)

Στην πρώτη περίπτωση ο κάθε H/Y είναι αυτόνομος και η σύνδεση μεταξύ τους γίνεται σαν να βρίσκονται σε διαφορετικούς γεωγραφικούς χώρους. Στη δεύτερη περίπτωση η σύνδεση είναι τόσο πλήρης που οι H/Y μοιράζονται πολλά στοιχεία τους (για παράδειγμα κοινή μνήμη ή κοινούς αποθηκευτικούς χώρους), ενώ οι διάφοροι επεξεργαστές εκτελούν παράλληλα τις διάφορες εργασίες. Ένα τυπικό κατανεμημένο δίκτυο παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα.

2.4 Αποκεντρωμένα δίκτυα (Decentralized Networks)

Ένα αποκεντρωμένο δίκτυο αποτελείται από υπολογιστικές μονάδες γεωγραφικά διασκορπισμένες, που συνδέονται και μεταξύ τους και με τα αντίστοιχα τερματικά. Σε ένα τέτοιο δίκτυο ο κάθε Η/Υ χρησιμοποιεί τα ίδια προγράμματα και η κάθε εργασία μπορεί να εκτελεστεί σε οποιοδήποτε τερματικό. Μάλιστα τα διάφορα τερματικά του δικτύου εξυπηρετούνται από τον κοντινότερο γεωγραφικά Η/Υ στον οποίο και είναι συνδεδεμένα. Οι βάσεις δεδομένων του δικτύου μπορεί να είναι τεμαχισμένες και διεσπαρμένες στους κατά τόπους Η/Υ. Ένα τυπικό αποκεντρωμένο δίκτυο παρουσιάζεται στο σχήμα.



Σχήμα 9: Αποκεντρωμένο δίκτυο

2.5 Δίκτυα Δεδομένων

Η φιλοσοφία που διέπει τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ συνδεδεμένων - σ' ένα ή περισσότερα δίκτυα - υπολογιστών, ονομάζεται μεταγωγή πακέτου (packet switching) και είναι διαφορετική από τη μεταγωγή κυκλώματος που ισχύει για το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο. Η διαφορά συνίσταται στο ότι δε δεσμεύεται ένα φυσικό μονοπάτι ανάμεσα στα επικοινωνούντα σημεία, αλλά η πληροφορία που μεταφέρεται, διαιρείται πρώτα σε πολλά μικρά πακέτα. Κάθε ένα απ' αυτά τα πακέτα μεταδίδεται μέσα από τη δικτυακή υποδομή στη συσκευή προορισμού, όπου και γίνεται η αναδημιουργία της αρχικής πληροφορίας, με βάση τα στοιχεία που υπάρχουν στην επικεφαλίδα κάθε πακέτου. Η πορεία των πακέτων από την πηγή στον προορισμό μπορεί να είναι διαφορετική για κάθε πακέτο, με αποτέλεσμα να είναι πιθανό τα πακέτα δεδομένων να μην φτάσουν στην άλλη άκρη με τη σειρά με την οποία στάλθηκαν. Με τη χρήση όμως, της πληροφορίας που περιέχεται στην επικεφαλίδα, τα πακέτα συναρμολογούνται με τη σωστή σειρά. Επιπλέον, μπορούν να μεταδοθούν συγχρόνως περισσότερα από ένα πακέτα μέσω της ίδιας φυσικής γραμμής, λόγω ειδικών χαρακτηριστικών που είναι ενσωματωμένα στην τεχνική της μεταγωγής πακέτου.¹¹

2.6 Μεταγωγή Κυκλώματος έναντι Μεταγωγής Πακέτου

Μια χρήσιμη αναλογία ανάμεσα στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος και μεταγωγής πακέτου, είναι το σιδηροδρομικό έναντι του οδικού δικτύου. Το σιδηροδρομικό δίκτυο μοιάζει με δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος, επειδή η διαδρομή είναι εξ' αρχής καθορισμένη και δεν απαιτείται ιδιαίτερη «εξυπνάδα» από τον οδηγό του για να φτάσει στον τελικό προορισμό. Αντίθετα, στο οδικό δίκτυο υπάρχουν αρκετές συνήθως εναλλακτικές διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει ένα αυτοκίνητο, ενώ επιπλέον απαιτείται και κάποιου είδους "εξυπνάδα" από τον οδηγό του για να φτάσει στον τελικό προορισμό του. Με βάση τον παραπάνω παραλληλισμό μπορεί κανείς να διακρίνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεταγωγής κυκλώματος και της μεταγωγής πακέτου. Τα πλεονεκτήματα των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος είναι ότι παρέχουν συγκεκριμένο εύρος ζώνης ανάμεσα στα επικοινωνούντα σημεία και

11

[□] Καρποδίνης Πολυχρονής, 2006, Υλοποίηση Ένως Sip User Agent Στον Δικτυακό Επεξεργαστή Intel Ixp 425

επομένως, μπορούν να εγγυηθούν μία σταθερή ποιότητα υπηρεσιών, όπως είναι η ποιότητα των δεδομένων, η μέγιστη καθυστέρηση κ.ά. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται η κακή χρησιμοποίηση των δικτυακών πόρων. Από την άλλη μεριά, τα δίκτυα μεταγωγής πακέτου έχουν το πλεονέκτημα της ασυγκρίτως οικονομικότερης χρήσης των πόρων. Τα μειονεκτήματα τους σχετίζονται με τις επικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο, μιας και παρέχουν μεταβλητή κι όχι εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών εξαιτίας της συμφόρησης που είναι δυνατόν να προκύψει σε δρομολογητές και διαμοιραζόμενα κυκλώματα. Επίσης, μειονέκτημα αποτελεί και η καθυστέρηση που δημιουργείται από τη συμπίεση, την αποσυμπίεση και την επεξεργασία των πληροφοριών που περιέχονται στην επικεφαλίδα των πακέτων.

2.7 Τοπολογική Διαίρεση των Δικτύων

Τοπολογία δικτύου ονομάζεται η μορφή της σύνδεσης μεταξύ των κόμβων ενός δικτύου. Οι τοπολογίες είναι είτε φυσικές είτε λογικές. Τα κυριότερα είδη τοπολογιών είναι η γραμμική, η τύπου διαύλου, δακτυλίου, αστέρα, η κατανεμημένη, η πλήρως κατανεμημένη και η τύπου δένδρου.

Η επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών και γενικότερα η κοινή χρήση των πόρων τους είναι εφικτή μόνο όταν αυτοί είναι συνδεδεμένοι. Στα περισσότερα σύγχρονα δίκτυα οι υπολογιστές είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με καλώδια.

Ωστόσο, στη διασύνδεση ενός πλήθους υπολογιστών δεν παίζουν ρόλο μόνο τα καλώδια. Οι διαφορετικοί τύποι καλωδίων, καρτών δικτύου, λειτουργικών συστημάτων καθώς και πολλών άλλων στοιχείων δικτύωσης απαιτούν και διαφορετικούς τρόπους διεύθυνσης του δικτύου, ή αλλιώς, απαιτούν διαφορετικές δικτυακές τοπολογίες.

Για τη σωστή διεύθυνση μιας τοπολογίας απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή. Και αυτό γιατί μια συγκεκριμένη τοπολογία μπορεί να προσδιορίζει τον τύπο της καλωδίωσης που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα καλώδια θα περνούν μέσα από τα ταβάνια, τοίχους και πατώματα, τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των υπολογιστών καθώς και πολλά άλλα λειτουργικά στοιχεία. Όλα αυτά θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τη διεύθυνση της τοπολογίας, γιατί προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό το επίπεδο της απόδοσης ολόκληρου του δικτύου.

Με βάση την τοπολογία των τερματικών τους, τα δίκτυα μπορούν να διακριθούν σε έξι βασικές κατηγορίες.

Πιο συγκεκριμένα τα:

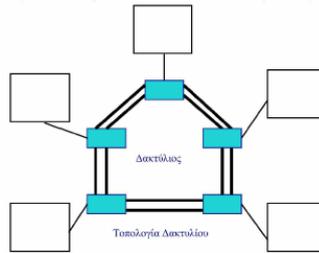
- ▶ Δίκτυα Δακτυλίου
- ▶ Δίκτυα Αρτηρίας
- ▶ Δίκτυα Δέντρου
- ▶ Δίκτυα Βρόχου
- ▶ Ακτινωτά Δίκτυα και
- ▶ Κομβικά Δίκτυα

Δίκτυα Δακτυλίου (Ring Networks)¹²

Με βάση τη τοπολογία δακτυλίου οι διάφοροι τερματικοί σταθμοί συνδέονται σε ένα κλειστό δακτύλιο μέσω κάποιου φυσικού μέσου (καλωδίου). Η σύνδεση γίνεται με ένα τέτοιο τρόπο, που όλα τα δεδομένα ταξιδεύουν σειριακά πάνω στο δακτύλιο περνώντας διαδοχικά από όλους τους σταθμούς. Σε αυτή την περίπτωση ο κάθε τερματικός σταθμός λειτουργεί ως επαναλήπτης (repeater) με τη λογική ότι δέχεται κάποια δεδομένα, τα οποία αν δεν τον αφορούν, τα επανεκπέμπει προς τον επόμενο σταθμό στη σειρά. Παράδειγμα τέτοιου δικτύου δίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο κάθε τερματικός σταθμός που θέλει να αποστείλει κάποιο μήνυμα ή κάποια πληροφορία σε κάποιον άλλο σταθμό εισάγει τα δεδομένα αυτά στο δίκτυο με τη μορφή πακέτων. Το κάθε πακέτο περιέχει εκτός από τη χρήσιμη πληροφορία τις διευθύνσεις του αποστολέα και του παραλήπτη. Ο επόμενος στη σειρά σταθμός λαμβάνει τα πακέτα αυτά και ελέγχει μέσω της διεύθυνσης του παραλήπτη (βρίσκεται συνήθως στα πρώτα bit του πακέτου), αν τον αφορούν ή όχι. Στην περίπτωση που τον αφορούν τα κρατάει αποσύροντάς τα έτσι και από το δίκτυο. Στην περίπτωση που δεν τον αφορούν τα επανεκπέμπει προς τον επόμενο σταθμό. Και αυτή η διαδικασία συνεχίζεται σε όλους τους σταθμούς του δικτύου μέχρι όλα τα πακέτα να φτάσουν στον προορισμό τους. Όσα από τα πακέτα δε βρουν τελικά τον παραλήπτη τους αποσύρονται από το σταθμό που τα εξέπεμψε αρχικά. Εξαιτίας της λειτουργίας των τερματικών σταθμών ως επαναληπτών, τα δίκτυα αυτής της κατηγορίας μπορούν να καλύψουν μεγαλύτερες αποστάσεις από ό,τι για παράδειγμα τα ακτινωτά δίκτυα που θα δούμε παρακάτω. Αυτό δε σημαίνει ότι το δίκτυο μπορεί να επεκτείνεται συνεχώς μια και όσο αυξάνει η απόσταση που καλύπτει το δίκτυο τόσο αυξάνει και η καθυστέρηση στη μεταφορά των δεδομένων.

12

¹² <http://www.scribd.com/doc/18338670/Eisagogi-stis-tilepikoinonies>



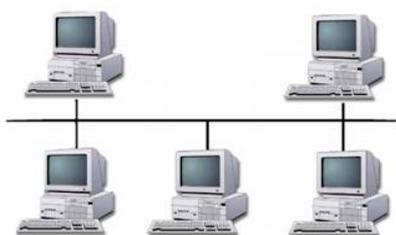
Δίκτυο Δακτυλίου. Στα δίκτυα αυτά υπάρχει πλέον σήμερα πάντα και ένας δεύτερος δακτύλιος παράλληλα με τον πρώτο. Έτσι σε περίπτωση διακοπής του πρώτου η επικοινωνία διατηρείται μέσω του δεύτερου δακτυλίου.

Δίκτυα Αρτηρίας (Bus Networks)

Στα δίκτυα που χρησιμοποιούν την τοπολογία αρτηρίας οι τερματικοί σταθμοί συνδέονται πάνω σε ένα κοινό καλώδιο. Το καλώδιο αυτό αποτελεί τη σπονδυλική στήλη του δικτύου και επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων διάδοσης των δεδομένων. Οι διάφοροι σταθμοί και συσκευές του δικτύου εκμεταλλεύονται τον κοινό αυτό δρόμο, όπου εισάγουν δεδομένα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Και εδώ τα δεδομένα εκπέμπονται με τη μορφή πακέτων που περιέχουν επίσης τη διεύθυνση του παραλήπτη. Τα πακέτα αυτά λαμβάνονται από όλους τους σταθμούς, ενώ κάθε σταθμός κρατάει μόνο αυτά που αφορούν τον ίδιο. Η τοπολογία αρτηρίας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Το μεγάλο πρόβλημα που δημιουργείται εδώ, όπως και σε όλες τις περιπτώσεις χρήσης κοινών πόρων, είναι οι κανόνες με τους οποίους ο κάθε σταθμός εκμεταλλεύεται το κοινό μέσο διάδοσης. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί ειδικές τεχνικές που καθορίζουν το ποιος εκπέμπει, πότε και με ποια σειρά. Το σύνολο των τεχνικών και των κανόνων αυτών ονομάζονται πρωτόκολλα (βλέπε επόμενη παράγραφο). Στην περίπτωση χρήσης κοινού μέσου μετάδοσης, όπως και εδώ, οι τεχνικές αυτές ονομάζονται και τεχνικές ελέγχου προσπέλασης του κοινού μέσου μετάδοσης (Medium Access Control Techniques).

Στα δίκτυα αρτηρίας χρησιμοποιούνται δύο βασικές τεχνικές μετάδοσης, η τεχνική βασικής ζώνης (Baseband technique) και η τεχνική ευρείας ζώνης (Broad band technique). Σύμφωνα με την πρώτη τεχνική η μετάδοση των πληροφοριών γίνεται με ψηφιακά σήματα μέσω απλών χάλκινων καλωδίων ή ομοαξονικών καλωδίων των 50 Ω. Η έκταση των δικτύων που χρησιμοποιούν τέτοια τεχνική δεν πρέπει να ξεπερνά τα μερικά χιλιόμετρα, μια και τα ψηφιακά σήματα εξασθενούν γρήγορα με την απόσταση. Σύμφωνα με τη τεχνική ευρείας ζώνης, οι πληροφορίες μεταδίδονται με χρήση αναλογικών σημάτων υψηλών συχνοτήτων (5-400 MHz) μέσα από ομοαξονικά

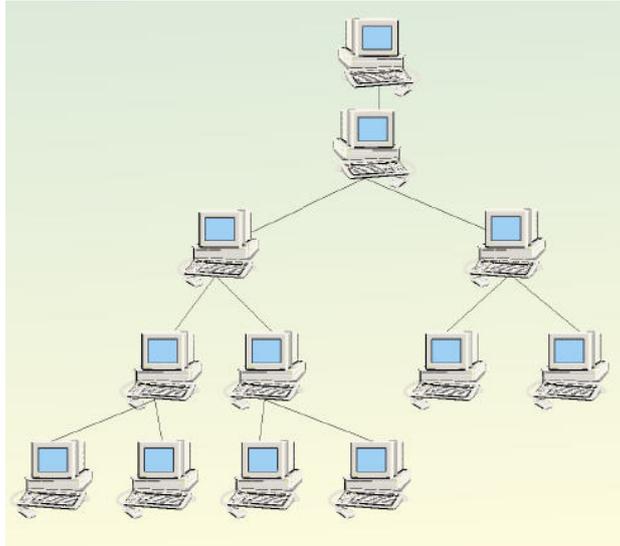
καλώδια των 75 Ω. Τέτοιου είδους τεχνικές χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη διανομή τηλεοπτικών προγραμμάτων της καλωδιακής τηλεόρασης.



Σχήμα 10: Δίκτυο τοπολογίας κοινού δρόμου ή αρτηρίας

Δίκτυα Δένδρου (Tree Networks)

Επέκταση των δικτύων αρτηρίας είναι τα δίκτυα με τοπολογία δένδρου. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, από το κοινό δρόμο διακλαδίζονται άλλοι δρόμοι (σαν τα κλαδιά ενός δένδρου), πάνω στους οποίους συνδέονται οι τερματικοί σταθμοί. Κάθε ένας από αυτούς τους δρόμους λειτουργεί σαν ένα μικρό δίκτυο αρτηρίας. Πλεονέκτημα αυτού του είδους των δικτύων είναι η μικρότερη επιβάρυνση της κεντρικής γραμμής του δικτύου, μια και αυτή χρησιμοποιείται μόνο για την επικοινωνία σταθμών που βρίσκονται σε διαφορετικά κλαδιά του δικτύου. Από την άλλη, η τοπολογία αυτή αυξάνει τη πολυπλοκότητα του δικτύου και τη δυσκολία διαχείρισης, ενώ επιπλέον τα σήματα που διακλαδίζονται στους διάφορους κόμβους του δικτύου εξασθενούν πολύ περισσότερο και έτσι φτάνουν πολύ ασθενή στους πιο απομακρυσμένους σταθμούς. Για το λόγο αυτό άλλωστε στα δένδροειδή δίκτυα δεν χρησιμοποιείται η τεχνική βασικής ζώνης μια και τα ψηφιακά σήματα θα εξασθενούσαν υπερβολικά πολύ. Έτσι η κύρια τεχνική που χρησιμοποιείται σε τέτοιες τοπολογίες είναι αυτή της ευρείας ζώνης, όπου τα σήματα που μεταφέρουν την πληροφορία είναι αναλογικά.

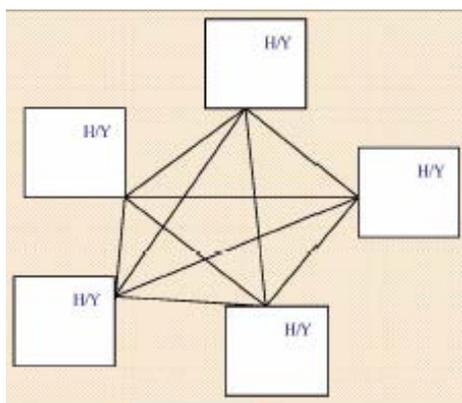


Σχήμα 11: Δίκτυο τοπολογίας δένδρου

Δίκτυα Βρόχου (Mesh Networks)¹³

Σε ένα τέτοιο δίκτυο το κάθε τερματικό είναι συνδεδεμένο με τα άλλα με δύο τουλάχιστον δρόμους και με τέτοιον τρόπο, ώστε να δημιουργούνται βρόχοι. Με άλλα λόγια η τοπολογία ενός δικτύου βρόχου χαρακτηρίζεται από την παρουσία περισσοτέρων από ένα δρόμων για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ δύο σημείων σχηματίζοντας ουσιαστικά ένα πλέγμα μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου δικτύου δίνεται στο σχήμα.

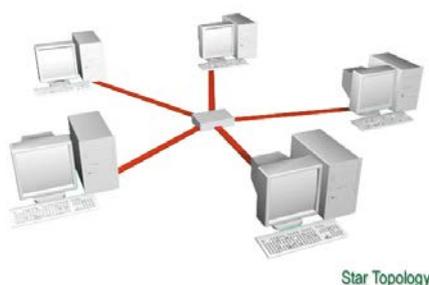
Ένα τέτοιο δίκτυο έχει γενικά μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας μια και απαιτείται η μίσθωση πολλαπλών τηλεπικοινωνιακών γραμμών καθώς και η παρουσία έξυπνων τηλεπικοινωνιακών κόμβων. Το τελευταίο σημαίνει πως οι κόμβοι του δικτύου θα πρέπει να έχουν την ικανότητα τοπικής αποθήκευσης μηνυμάτων καθώς και δυνατότητες κατάλληλης δρομολόγησής τους. Τα δίκτυα βρόχου χρησιμοποιούνται συνήθως για σύνδεση τηλεπικοινωνιακών κόμβων μεταξύ τους.



Σχήμα 12: Δίκτυο βρόχου

Δίκτυα Αστέρα (Star Networks)

Ονομάζουμε δίκτυο αστέρα ένα δίκτυο, όπου όλες οι τερματικές συσκευές του συνδέονται ακτινωτά με τον κεντρικό Η/Υ. Τέτοιου είδους συνδεσμολογίες συναντάμε κυρίως σε δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών, όπου υπάρχει ένας κεντρικός Η/Υ με πολλά τερματικά συνδεδεμένα με αυτό σε μορφή αστέρα. Γενικά δίκτυα σε μορφή αστέρα χρησιμοποιούνται σε μικρές και μεσαίες εφαρμογές. Ένα χαρακτηριστικό τέτοιο δίκτυο παρουσιάζεται στο σχήμα.¹⁴



Σχήμα 13: Δίκτυο Αστέρα

Κομβικά Δίκτυα (Nodal Networks)¹⁵

Πολλές φορές χρησιμοποιείται και ένα μικτό δίκτυο αστέρα δακτυλίου, όπου οι τερματικές συσκευές ενώνονται ακτινωτά πάνω στο βασικό δακτύλιο του δικτύου. Με άλλα λόγια οι τερματικοί σταθμοί δεν είναι πλέον μέρος του δακτυλίου, αλλά ενώνονται με αυτόν όπως γίνεται στα δίκτυα αστέρα. Με αυτή την τοπολογία αντιμετωπίζεται ευκολότερα και το βασικό πρόβλημα των δικτύων δακτυλίου που είναι η διακοπή του κυρίως δακτυλίου του δικτύου. Μία τέτοια κατηγορία δικτύων είναι τα κομβικά δίκτυα. Ένα κομβικό δίκτυο αποτελείται από πολλά ακτινωτά δίκτυα κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα τα τερματικά εδώ σχηματίζουν ανά ομάδες δίκτυα αστέρα, όπου τα κεντρικά σημεία σύνδεσης ονομάζονται κόμβοι. Οι κόμβοι αυτοί που αποτελούν ουσιαστικά τη σπονδυλική στήλη του δικτύου διασυνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο που να επιτρέπει την

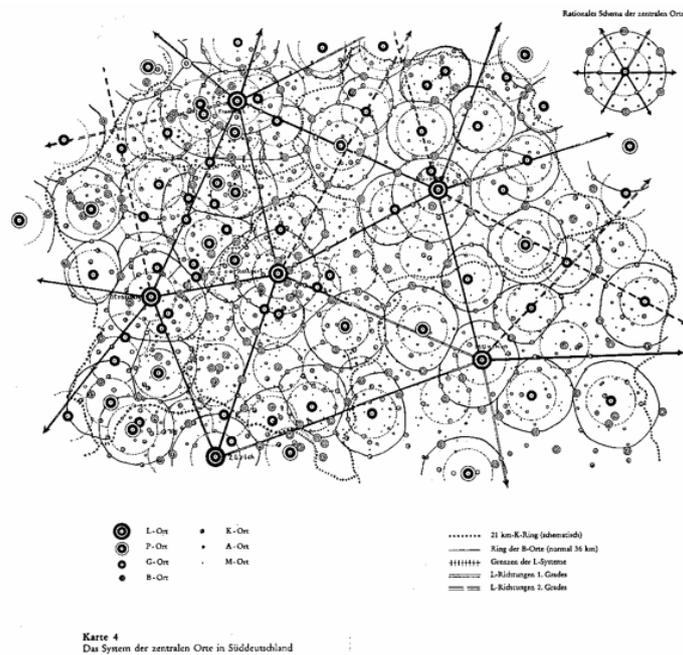
14

□ <http://www.scribd.com/doc/49652052/Eisagogi-stis-tilepikoinonies>

15

□ Σ. Ματακίας (Msc), Α. Τσιγκοπουλος (Phd), Α. Αμδίτης (Phd), 1999, Επικοινωνίες και Δίκτυα

εύκολη επικοινωνία όλων των τερματικών μεταξύ τους. Οι κόμβοι αυτοί ενσωματώνουν δυνατότητες δρομολόγησης των μηνυμάτων που ανταλλάσσουν τα διάφορα τερματικά. Έτσι μπορεί να είναι από απλοί πολυπλέκτες, απλώς συγκεντρώνοντας το φόρτο πολλών γραμμών σε μία, έως σύνθετοι υπολογιστές τηλεπικοινωνιών με ιδιαίτερες ικανότητες στη διεκπεραίωση των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται. Μία άλλη ονομασία η οποία χρησιμοποιείται για τα κομβικά δίκτυα είναι ιεραρχικά δίκτυα. Τυπικό παράδειγμα ενός κομβικού δικτύου είναι αυτό του σχήματος.



Σχήμα 14: Κομβικά Δίκτυα

2.8 Διάρθρωση των δικτύων σύμφωνα με τη γεωγραφική έκτασή τους

Αν εξετάσουμε τα δίκτυα από πλευράς γεωγραφικής διάταξης των τερματικών τους, μπορούμε να τα διαχωρίσουμε σε τρεις κύριες κατηγορίες, **τα τοπικά δίκτυα, τα αστικά δίκτυα και τα δίκτυα ευρείας περιοχής**. Τα είδη αυτά δικτύων χρησιμοποιούν τελειώς διαφορετικές τεχνικές λειτουργίας. Ανάμεσα στα άλλα, διαφοροποιήσεις παρουσιάζονται στους τρόπους προσπέλασης της πληροφορίας στα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα επικοινωνίας στις διασυνδέσεις και στις ταχύτητες μεταφοράς της επικοινωνίας στο εσωτερικό τους.¹⁶

α) Τοπικά Δίκτυα (Local Area Network-LAN)

Ονομάζουμε τοπικά εκείνα τα δίκτυα που το σύνολο των στοιχείων που τα απαρτίζουν βρίσκονται στον ίδιο χώρο (για παράδειγμα στο ίδιο κτίριο). Αυτό όμως δε σημαίνει ότι η έκταση που καταλαμβάνει ένα τοπικό δίκτυο δεν μπορεί να φτάνει και τα μερικά χιλιόμετρα. Τα δίκτυα αυτά είναι υψηλής ταχύτητας (τυπική τιμή 10 Mbit/s) και γνωρίζουν τα τελευταία χρόνια αλματώδη ανάπτυξη εξαιτίας των διευκολύνσεων που χαρίζουν σε εργασιακούς χώρους, όπως για παράδειγμα στα γραφεία μιας μεγάλης εταιρείας ή στους χώρους ενός πανεπιστημίου. Πρόσφατα έχει ξεκινήσει μια μεγάλη προσπάθεια τυποποίησης των διαφόρων χαρακτηριστικών των τοπικών δικτύων, προκειμένου να αυξηθεί η ευελιξία τους και να μειωθεί το κόστος λειτουργίας τους και συντήρησής τους.

Στα τοπικά δίκτυα κάθε σταθμός συνήθως είναι και ένας αυτόνομος υπολογιστής που διαθέτει το δικό του επεξεργαστή και τη δική του μνήμη. Ταυτόχρονα το σύνολο των υπολογιστών μοιράζεται τους κοινούς πόρους του δικτύου που είναι συνήθως ακριβές συσκευές, όπως εκτυπωτές laser, scanners κτλ. Ο τρόπος πρόσβασης σε αυτούς τους κοινούς πόρους καθορίζεται από τα αντίστοιχα πρωτόκολλα καθώς και τα ειδικά λειτουργικά συστήματα που έχουν αναπτυχθεί για τοπικά δίκτυα

Έτσι, ένα τοπικό δίκτυο απαρτίζεται από τα ακόλουθα στοιχεία:

16

[□] Παναγιώτης Α. Καλόγηρος, 2004, Εξομοίωση Τοπολογιών Ασύρματων Δικτύων με Λογισμικό NS-2

- ▶ Τους τερματικούς σταθμούς με τα κατάλληλα συστήματα διασύνδεσής τους (interfaces)
- ▶ Τα μέσα μετάδοσης
- ▶ Τις συσκευές επικοινωνίας (αν απαιτούνται)
- ▶ Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και
- ▶ Τα εξειδικευμένα λειτουργικά συστήματα

Για τη διασύνδεση των τερματικών σταθμών και των διαφόρων συσκευών στα τοπικά δίκτυα χρησιμοποιείται το σύνολο των γνωστών φυσικών μέσων. Η φθηνότερη και απλούστερη λύση είναι τα απλά δισύρματα χάλκινα καλώδια, ιδιαίτερα δημοφιλή στους τεχνικούς, μια και χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, μεταξύ άλλων και στο τηλεφωνικό δίκτυο. Μειονέκτημα οι μικρές ταχύτητες μετάδοσης, που όμως με χρήση ειδικών τεχνικών μπορούν σήμερα φθάνουν και τα 24 Mbit/s. Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο φυσικό μέσο όμως είναι το ομοαξονικό καλώδιο, που αν και είναι ακριβότερο, παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως μεγάλη αντοχή στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο και στη μηχανική παραμόρφωση καθώς και αρκετά μεγάλο εύρος ζώνης. Με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών προσπέλασης (για παράδειγμα η τεχνική ευρείας ζώνης) η ταχύτητα μετάδοσης μπορεί να φτάσει τα 100 Mbit/s. Το μέλλον όμως στα τοπικά δίκτυα, όπως και σε όλα τα δίκτυα, ανήκει στις οπτικές ίνες. Με ταχύτητες μετάδοσης που ξεπερνούν τα 2 Gbit/s και εντυπωσιακή συμπεριφορά σε θέματα θορύβου, εξασθένισης σημάτων, αλλά και ασφάλειας από ανεπιθύμητες παρεμβάσεις, είναι βέβαιο ότι οι οπτικές ίνες θα παραμερίσουν το σύνολο των προαναφερθέντων μέσων μετάδοσης. Η σταδιακή μείωση του υψηλού μέχρι τώρα κόστους τους επιβεβαιώνει την παραπάνω πρόβλεψη. Ένα άλλο ενδιαφέρον μέσο που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών στα δίκτυα είναι ο αέρας. Η χρήση ασύρματων μεθόδων για τη μετάδοση πληροφοριών έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος διεθνώς. Ασύρματα router χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό των κτιρίων για τη δημιουργία δικτύων με σαφή πλεονέκτημα την απουσία καλωδίων που διατρέχουν όλο το κτίριο και την ευκολότερη και με μικρότερο κόστος διαχείριση και συντήρηση του δικτύου. Επίσης, η χρήση τής μεθόδου αυτής διευκολύνει την εισαγωγή ή την αφαίρεση συσκευών από το δίκτυο.

Τέλος, για τη διασύνδεση διαφορετικών κτιρίων μεταξύ τους, χρησιμοποιούνται πολλές φορές μικροκυματικές ζεύξεις. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι η μειωμένη ασφάλεια στη μετάδοση πληροφοριών. Ένα από τα γνωστότερα και ευρύτερα χρησιμοποιούμενα τοπικά δίκτυα, τυποποιημένο από τους διεθνείς οργανισμούς (IEEE), είναι το Ethernet. Πρόκειται για τοπικό δίκτυο που χρησιμοποιεί τοπολογία αρτηρίας (bus) και συγκεκριμένα την τεχνική βασικής ζώνης (baseband). Το δίκτυο αυτό επιτυγχάνει ταχύτητα 24 Mbit/s για μέγιστη απόσταση 500 μέτρων και για το πολύ 100 τερματικούς σταθμούς.

β) Αστικά Δίκτυα (Metropolitan Area Network-MAN)

Πρόκειται για μια νέα κατηγορία δικτύων που εμφανίστηκε μόλις το 1990 και που αναφέρεται σε δίκτυα που δεν ξεπερνούν γεωγραφικά το μέγεθος μιας πόλης. Τα δίκτυα αυτά καλύπτουν τις συνήθως αυξημένες ανάγκες τηλεπικοινωνιών μέσα σε μία πόλη και χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές και μέσα επιτυγχάνουν την κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων από ό,τι τα τοπικά δίκτυα και μάλιστα με μεγαλύτερες ταχύτητες. Για παράδειγμα η χρήση οπτικών ινών οδηγεί στην επίτευξη ρυθμών μετάδοσης της τάξης των 100 Mbit/s.¹⁷

γ) Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wide Area Network-WAN)

Τα δίκτυα της κατηγορίας αυτής καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις ξεφεύγοντας από τα στενά όρια μιας πόλης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων δικτύων είναι τα τραπεζικά δίκτυα που επεκτείνονται σε ολόκληρη τη χώρα και πολλές φορές καλύπτουν και μεγάλο αριθμό διαφορετικών χωρών. Πρόκειται στην πράξη για την παλαιότερη μορφή δικτύων που παρουσιάστηκε ως προς αυτού του είδους το διαχωρισμό. Λόγω της πολύχρονης παρουσίας τους έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες τυποποίησής τους με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Χαρακτηριστικό τους οι χαμηλοί ρυθμοί διάδοσης (τυπική τιμή 9.600 bit/s).

Το WiMAX αποκαλείται η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης η οποία λειτουργεί με παρεμφερή τρόπο με το Wi-Fi, ωστόσο με πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια. Συγκεκριμένα,

17

¹⁷http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/_%CE%A3%CE%A5%CE%A3%CE%A4_%CE%A4%CE%97%CE%9B%CE%95%CE%A0_final.pdf

ενώ το Wi-Fi εξασφαλίζει εμβέλεια επικοινωνίας μέχρι 100 μέτρα, το WiMax φθάνει τα 35 χιλιόμετρα ή και παραπάνω.

Μέχρι σήμερα το Wi-Fi επέτρεπε την πρόσβαση στο Ιντερνέτ σε πολύ μικρή εμβέλεια γύρω από τα σημεία πρόσβασης (hotspots), όπως σε αεροδρόμια, συνεδριακούς χώρους ή ξενοδοχεία. Το WiMAX θα είναι σε θέση να κάνει το ίδιο σε εμβέλεια ολόκληρης πόλης, τα κτήρια της οποίας θα καλύπτουν με το σήμα τους οι εταιρείες παροχής Ιντερνέτ (ISP).

δ) Ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN)

Ο όρος ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Networks – WPAN) είναι σχετικά σύγχρονος όρος και αναφέρεται στις σύγχρονες τεχνολογίες οι οποίες επιτρέπουν την ασύρματη διασύνδεση και επικοινωνία σε αποστάσεις λίγων μέτρων φορητών προσωπικών συσκευών όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα, τα PDA's και οι Ultra Mobile υπολογιστές μεταξύ πολλών άλλων. Η επικοινωνία αυτή επιτρέπει στις συσκευές αυτές υπηρεσίες όπως ανταλλαγή αρχείων, διαμοίραση εφαρμογών, άμεση επικοινωνία κ.λ.π.

Κεφάλαιο 3^ο

3.1 Ανοιχτά Δίκτυα

Στα πρώτα στάδια εφαρμογής των επικοινωνιών δεδομένων, κάθε υπολογιστής είχε συνδεδεμένα πολλά τερματικά, τα οποία το μόνο που μπορούσαν να κάνουν ήταν να είναι προσαρμοσμένα για επικοινωνία μαζί του (κατανεμημένα συστήματα). Η εξέλιξη των μικροϋπολογιστών επέτρεψε την αντικατάσταση των απλών τερματικών με προσωπικούς υπολογιστές. Με αυτόν τον τρόπο φεύγουμε από την εποχή της χρήσης αποκλειστικά απλών τερματικών, ως περιφερειακών μονάδων σύνδεσης με τα κεντρικά υπολογιστικά συστήματα. Φθάσαμε λοιπόν στην εποχή της επικοινωνίας μεταξύ υπολογιστών με τη χρήση δικτύων (computer networks), όπου οι τεχνικές επικοινωνιών που είχαν αναπτυχθεί για τη σύνδεση των απλών τερματικών δεν επαρκούν πλέον. Πρέπει λοιπόν να οριστούν διαδικασίες και τεχνικές για μια επικοινωνία ανωτέρου επιπέδου, επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών ανεξάρτητα από τύπο, κατασκευαστή, μέγεθος, κλπ. Επιπλέον, το σχετικό λογισμικό υποστήριξης πρέπει να είναι εύκολα τροποποιήσιμο και επεκτάσιμο καθώς νέες, βελτιωμένες τεχνικές επικοινωνίας εμφανίζονται όλο και με μεγαλύτερη συχνότητα. Για να επιτευχθούν όλοι αυτοί οι στόχοι και να έχουμε αξιόπιστη διασύνδεση μεταξύ των υπολογιστών του δικτύου απαιτείται η θέσπιση κανόνων που να τηρούνται από όλους τους κατασκευαστές. Απαιτείται δηλαδή, ένα οργανωμένο σύνολο λειτουργιών αρκετά ευρύ και πολύπλοκο. Ο ακριβής καθορισμός και η δομή αυτού του συνόλου των λειτουργιών αποτελεί την αρχιτεκτονική του δικτύου. Η δομή αυτή του δικτύου είναι ιεραρχικά δομημένη σε επίπεδα (layers).¹⁸

3.2 Το Πρότυπο OSI

Το πιο γνωστό αρχιτεκτονικό μοντέλο για δίκτυα είναι το μοντέλο διαστρωμένης αρχιτεκτονικής OSI (Open Systems Interconnection) της ISO (International Standards Organisation). Στόχος του προτύπου είναι η δημιουργία τυποποίησης, ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών διαφορετικών κατασκευαστών. Το μοντέλο OSI έχει επτά επίπεδα και χαρακτηρίζεται ως ανοικτό (open) με την έννοια ότι όποιο υπολογιστικό σύστημα συμμορφώνεται με το πρότυπο αυτό είναι σε θέση να επικοινωνεί με οποιοδήποτε άλλο που ακολουθεί το ίδιο πρότυπο, ανεξάρτητα από τον τύπο του συστήματος και τον κατασκευαστικό οίκο. Είναι στην ουσία ένα αφηρημένο μοντέλο που παρέχει το εννοιολογικό και λειτουργικό πλαίσιο που θα επιτρέψει την ανάπτυξη των προτύπων (standard) πρωτοκόλλων. Ως πρωτόκολλο ορίζουμε το σύνολο των κανόνων και συμβάσεων (των τυποποιημένων δηλαδή διαδικασιών) που χρησιμοποιούνται κατά την επικοινωνία ενός υπολογιστή με έναν άλλο υπολογιστή.



Σχήμα 15: Συνοπτική παρουσίαση των 7 επιπέδων του OSI και των λειτουργιών τους.

Οι λειτουργίες κάθε επιπέδου είναι σαφώς καθορισμένες και κάθε επίπεδο επικοινωνεί με το αμέσως προηγούμενό του και το αμέσως επόμενο του. Κάθε επίπεδο χρησιμοποιεί υπηρεσίες από το επόμενο και προσφέρει υπηρεσίες στο προηγούμενο επίπεδο.

Η διαίρεση του OSI σε επτά επίπεδα προϋποθέτει: (α) ότι κάθε επίπεδο πραγματοποιεί μια συγκεκριμένη λειτουργία, (β) κάθε επίπεδο πραγματοποιεί τη λειτουργία αυτή απομονωμένα σε σχέση με τα άλλα επίπεδα, και (γ) ότι επικοινωνούν ιδεατά (virtually) τα ίδια ιεραρχικά επίπεδα (δηλ. το επίπεδο 4 του αρχικού χρήστη με το επίπεδο 4 του τελικού χρήστη. Η ιεραρχία των επιπέδων στο OSI απεικονίζει και την ιεραρχία των λειτουργιών. Οι λειτουργίες ενός κατώτερου επιπέδου είναι πιο βασικές και αναγκαία προϋπόθεση για τις λειτουργίες του ανώτερου επιπέδου. Η διαστρωμάτωση κατά OSI βασίστηκε στην ομαδοποίηση συναφών λειτουργιών στο ίδιο επίπεδο, ώστε να μπορούν αυτές εύκολα να σχεδιαστούν, υλοποιηθούν και ανασχεδιαστούν, εφόσον χρειαστεί, χωρίς την ανάγκη αλλαγής των υπηρεσιών ή των διασυνδέσεών τους με τα γειτονικά επίπεδα.¹⁹

3.3 Λειτουργίες πρωτοκόλλων

Ορίσαμε ως πρωτόκολλο το σύνολο των κανόνων και συμβάσεων που χρησιμοποιούνται κατά την ανταλλαγή πληροφοριών των υπολογιστών μεταξύ τους.

Οι σημαντικότερες λειτουργίες των πρωτοκόλλων επικοινωνίας είναι:

- Κατακερματισμός μηνυμάτων (Segmentation)
- Επανασυγκόλληση μηνυμάτων (Reassembly)
- Ενθυλάκωση μηνυμάτων (Encapsulation)
- Διευθυνσιοδότηση μηνυμάτων (Addressing)
- Έλεγχος σύνδεσης (Connection control)
- Έλεγχος ροής (Flow control)
- Έλεγχος σφαλμάτων (Error control)

- Ταξινόμηση σφαλμάτων (Sequencing)
- Προτεραιότητα (Priority)
- Ασφάλεια επικοινωνίας (Security)

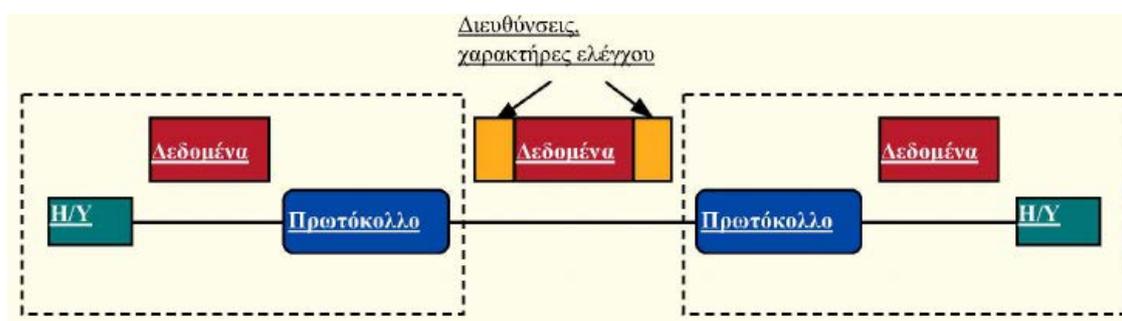
Κατακερματισμός: Τα πρωτόκολλα χαμηλότερων επιπέδων συχνά τεμαχίζουν τα προς αποστολή μηνύματα σε μπλοκ. Οι λόγοι που επιβάλλουν αυτόν τον τεμαχισμό σχετίζονται με την αδυναμία κάποιου συγκεκριμένου δικτύου να δεχθεί δεδομένα μεγαλύτερα από κάποιο μέγεθος, ή για την ευκολότερη ανίχνευση σφαλμάτων που προκύπτει σε μικρότερου μεγέθους μηνύματα.

Επανασυγκόλληση: Είναι η αντίστροφη πράξη του κατακερματισμού, όπου τα τεμαχισμένα δεδομένα πρέπει να συντεθούν όταν φτάσουν στον παραλήπτη, στο αρχικό ενιαίο μήνυμα.

Ενθυλάκωση: Είναι η πρόσθεση χαρακτήρων ελέγχου στο μήνυμα και ονομάζεται έτσι, διότι οι χαρακτήρες αυτοί περιβάλλουν το μήνυμα. Οι χαρακτήρες ελέγχου περιέχουν είτε τις διευθύνσεις αποστολέα και παραλήπτη, είτε χαρακτήρες ελέγχου σφαλμάτων και συγχρονισμού.

Έλεγχος σύνδεσης: Είναι όλες οι διαδικασίες που εκτελούνται, προκειμένου να αποκατασταθεί ή να απολυθεί μία σύνδεση.

Έλεγχος ροής: Είναι οι διαδικασίες κατά τις οποίες η ροή δεδομένων σταματά ή περιορίζεται με αίτηση του δέκτη, όταν εκείνος δεν είναι σε θέση να δεχθεί περισσότερα δεδομένα.



Σχήμα 16: Ενθυλάκωση

Έλεγχος σφαλμάτων: Είναι η προστασία των μηνυμάτων από εσφαλμένες αποστολές. Για την υλοποίησή της εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές με κατάλληλες κωδικοποιήσεις.

Ταξινόμηση: Είναι η λειτουργία όπου τα μπλοκ δεδομένων αριθμούνται, ώστε να ταξινομηθούν κατά τη λήψη τους από τον παραλήπτη.

Διευθυνσιοδότηση: Για να μπορεί να συνδεθεί ένας υπολογιστής σε ένα δίκτυο, θα πρέπει να έχει κάποια διεύθυνση, όπως ακριβώς και οι συνδρομητές του τηλεφωνικού δικτύου. Στη διεύθυνση αυτή γίνεται η δρομολόγηση των μηνυμάτων που του απευθύνονται, η χρέωσή του, κλπ.

Προτεραιότητα: Είναι η λειτουργία με τη βοήθεια της οποίας ειδοποιείται το δίκτυο να δώσει προτεραιότητα σε συγκεκριμένο μήνυμα εξουσιοδοτημένο γι' αυτήν την παραχώρηση.

Ασφάλεια: Είναι η εξασφάλιση των μηνυμάτων από υποκλοπές, παρεμβολές, αλλοιώσεις, κλπ.

3.4 Ασφάλεια, Κρυπτογραφία , Επαλήθευση ταυτότητας στα δίκτυα ²⁰

Μία από τις δυνατότητες των πρωτοκόλλων είναι η διασφάλιση των μηνυμάτων από υποκλοπές, παρεμβολές, αλλοιώσεις, κλπ. Σε κάθε ανταλλαγή πληροφορίας μέσω ενός δικτύου ελλοχεύει πάντα ο κίνδυνος της κακόβουλης παρέμβασης τρίτων, είτε για να υποκλέψουν πληροφορία, είτε για να παραποιήσουν ή να παρεμποδίσουν την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Υπάρχουν επίσης και κίνδυνοι κακοπιστίας μεταξύ των συνομιλούντων, αφού θα μπορούσαν για διάφορους λόγους να αρνηθούν την αποστολή ή την παραλαβή ή το ακριβές περιεχόμενο του μηνύματος. Προκύπτουν δηλαδή μια σειρά από θέματα ασφάλειας της διακινούμενης πληροφορίας.

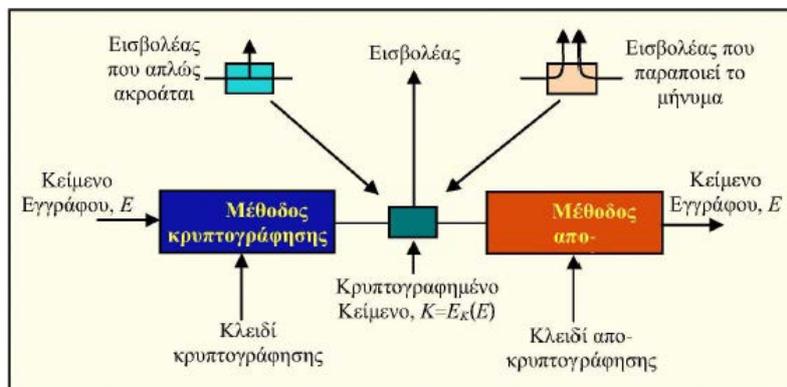
Η ασφάλεια της πληροφορίας είναι σήμερα αναγκαία όχι μόνο στο πλαίσιο ενός υπολογιστικού συστήματος αλλά σε όλο το δίκτυο επικοινωνίας ενός οργανισμού (π.χ. Τράπεζα, Νοσοκομείο, Εταιρεία, Πανεπιστήμιο, Υπηρεσία). Σε ένα περιβάλλον ανοικτών υπολογιστικών συστημάτων και δικτύων, όπου τα δεδομένα διατίθενται διαμέσου των κατανεμημένων βάσεων δεδομένων, η ασφάλεια αποτελεί θέμα υψηλής προτεραιότητας. Η ασφάλεια της πληροφορίας καλύπτει ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων και τεχνολογιών, στις οποίες εμπλέκονται θέματα διοικητικά, νομικά, δεοντολογικά και τεχνολογικά.

Διεθνείς οργανισμοί ασχολούνται με τη θέσπιση τεχνικών και διαδικασιών ασφάλειας πληροφοριακών συστημάτων, ενώ πολλά εθνικά κοινοβούλια και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν θεσπίσει κοινοτικές ρυθμίσεις που διέπουν τη χρήση ευαίσθητων προσωπικών πληροφοριών.

Τα τεχνολογικά θέματα της ασφάλειας σχετίζονται με:

- **Απόρρητο της επικοινωνίας.** Είναι η εξασφάλιση των συνομιλούντων μερών ότι η πληροφορία που διακινείται μεταξύ τους παραμένει σε κάθε περίπτωση απόρρητη.

- **Ακεραιότητα της πληροφορίας.** Είναι η διασφάλιση ότι η πληροφορία που διακινείται δεν αλλοιώνεται κατά τη μεταφορά της είτε από κακόβουλη επίδραση τρίτων είτε από σφάλματα του δικτύου επικοινωνίας.
- **Αμετάκλητο της επικοινωνίας.** Είναι η απόδειξη ότι μια επικοινωνία (συνομιλία, συναλλαγή) έλαβε πράγματι χώρα και δεν μπορεί να το αρνηθεί αυτό κανένα από τα εμπλεκόμενα μέρη.
- **Αυθεντικότητα των μερών που επικοινωνούν.** Είναι η αμοιβαία πιστοποίηση μεταξύ των δύο μερών που επικοινωνούν ότι το καθένα τους είναι αυτό που ισχυρίζεται, ώστε να αποφεύγεται η περίπτωση υποκλοπής πληροφορίας από κάποιον που προσποιείται τον παραλήπτη.



Σχήμα 17 :Βασικό θεωρητικό μοντέλο κρυπτογραφίας

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω θεμάτων έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές ασφαλούς επικοινωνίας σε ένα δίκτυο. Οι πιο απλές από τις τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν τη μέθοδο επαλήθευσης ταυτότητας, δηλ. τη χρήση κωδικών λέξεων (passwords), ή προστατευμένης επαλήθευσης ταυτότητας, δηλ. τη χρήση κωδικοποιημένων passwords, ή μηχανισμών φιλτραρίσματος της πληροφορίας απαγορεύοντας σε κάποιον εξωτερικό χρήστη την πρόσβαση σε συγκεκριμένες υπηρεσίες και πληροφορίες. Βέβαια, οι μέθοδοι αυτές είναι ατελείς καθώς δεν εγγυώνται απόλυτα κανένα από τα θέματα ασφάλειας που προαναφέρθηκαν και έχουν αναπτυχθεί τεχνικές που μπορεί κάποιος να υπερβεί τους περιορισμούς που θέτουν στη διακίνηση της πληροφορίας.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω θεμάτων έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές ασφαλούς επικοινωνίας σε ένα δίκτυο. Οι πιο απλές από τις τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν τη μέθοδο επαλήθευσης ταυτότητας, δηλ. τη χρήση κωδικών λέξεων (passwords), ή προστατευμένης επαλήθευσης ταυτότητας, δηλ. τη χρήση

κωδικοποιημένων passwords, ή μηχανισμών φιλτραρίσματος της πληροφορίας απαγορεύοντας σε κάποιον εξωτερικό χρήστη την πρόσβαση σε συγκεκριμένες υπηρεσίες και πληροφορίες. Βέβαια, οι μέθοδοι αυτές είναι ατελείς καθώς δεν εγγυώνται απόλυτα κανένα από τα θέματα ασφάλειας που προαναφέρθηκαν και έχουν αναπτυχθεί τεχνικές που μπορεί κάποιος να υπερβεί τους περιορισμούς που θέτουν στη διακίνηση της πληροφορίας. Η πλέον αξιόπιστη μέθοδος ασφάλειας δικτύων είναι η κρυπτογραφία. **Κρυπτογραφία είναι η διαδικασία μετατροπής της πληροφορίας, έτσι ώστε να μην μπορεί να την αξιοποιήσει κανείς πέρα από τον παραλήπτη για τον οποίο προορίζεται.**

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται το βασικό μοντέλο της κρυπτογραφίας. Τα μηνύματα (δηλ. η πληροφορία) που πρέπει να κρυπτογραφηθούν, μετασχηματίζονται με τη βοήθεια μιας συνάρτησης (κώδικα ή αλγόριθμο κρυπτογραφίας) την οποία ονομάζουμε κλειδί (key). Το αποτέλεσμα της κρυπτογράφησης ονομάζεται κρυπτογραφημένο κείμενο (ciphertext). Για να γίνει η αποκρυπτογράφηση του μηνύματος στο δέκτη, θα πρέπει ο παραλήπτης να διαθέτει το κλειδί με το οποίο έγινε η κρυπτογράφηση. Αν το κλειδί που χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση είναι ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται για την αποκρυπτογράφηση, τότε η κρυπτογραφία ονομάζεται συμμετρική, αλλιώς, αν χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά κλειδιά, ονομάζεται ασύμμετρη. Η συμμετρική κρυπτογραφία εμφανίζει το μειονέκτημα ότι όποιος ανακαλύψει το κοινό κλειδί μπορεί να αποκρυπτογραφήσει κάθε πληροφορία που έχει κρυπτογραφηθεί με αυτό. Επομένως, η ασφάλεια του συστήματος επαφίεται στην αξιοπιστία των ατόμων που θα τους έχουν εμπιστευθεί τη γνώση του κλειδιού (δηλ. και του αποστολέα και του παραλήπτη).

Το προηγούμενο πρόβλημα αντιμετωπίζεται, αν αντί για ένα κλειδί χρησιμοποιηθούν δύο, από τα οποία το ένα είναι δημόσιο (public key) γνωστό σε όλους, ενώ το άλλο είναι αυστηρά ιδιωτικό (private key) και το γνωρίζει μόνο ο κάτοχός του. Κάθε πληροφορία που κρυπτογραφείται με το ένα κλειδί αποκρυπτογραφείται μόνο με το άλλο κλειδί. Έτσι, αν ο αποστολέας κρυπτογραφήσει την πληροφορία που θέλει να στείλει με το δημόσιο κλειδί του παραλήπτη, τότε η πληροφορία αυτή αποκρυπτογραφείται μόνο από το ιδιωτικό κλειδί του παραλήπτη. Αν πάλι ο αποστολέας επιθυμεί να επαληθεύσει την ταυτότητά του, τότε κρυπτογραφεί ένα μήνυμα με το ιδιωτικό του κλειδί. Έτσι, ο πιθανός παραλήπτης μπορεί απλά να το ιδιωτικό του κλειδί. Έτσι, ο πιθανός παραλήπτης μπορεί απλά να δοκιμάσει να το αποκρυπτογραφήσει χρησιμοποιώντας το δημόσιο κλειδί του αποστολέα, που είναι

και το μόνο που ταιριάζει. Αν η αποκρυπτογράφηση γίνει σωστά, τότε σημαίνει πως έχει κρυπτογραφηθεί με το ιδιωτικό κλειδί του αποστολέα και άρα από τον ίδιο τον αποστολέα, αφού αποκλείεται να γνωρίζει άλλος το ιδιωτικό του κλειδί. Το ιδιωτικό κλειδί είναι κάτι που μόνο ο κάτοχός του χρειάζεται να γνωρίζει, οπότε δεν υπάρχει κίνδυνος να διαρρεύσει ούτε χρειάζεται να μεταδοθεί πουθενά. Η λύση λοιπόν της ασύμμετρης κρυπτογραφίας είναι πολύ ασφαλέστερη. Βέβαια, πρέπει να καταστεί σαφές ότι δεν είναι δυνατόν να υπάρξει απόλυτα ασφαλής μέθοδος κρυπτογραφίας. Εκείνο που έχει σημασία είναι η κρυπτογράφηση να είναι τέτοια που να κοστίζει πολύ στον ενδεχόμενο "εισβολέα" η προσπάθεια αποκρυπτογράφησης.

Καθοριστικός παράγοντας γι' αυτό είναι το μήκος σε bits του κλειδιού που χρησιμοποιείται. Η μέγιστη εξασφάλιση σήμερα επιτυγχάνεται με κλειδί μήκους 128 bits. Η συνήθης χρήση όμως είναι με κλειδιά μήκους 40 ή 56 bits. Το μήκος του κλειδιού έχει σημασία, γιατί αντανακλά στον αριθμό των συνδυασμών που πρέπει να δοκιμάσει κάποιος για να βρει το σωστό συνδυασμό που είναι το κλειδί.

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή της κρυπτογραφίας είναι η λεγόμενη ψηφιακή υπογραφή (digital signature) και η ψηφιακή πιστοποίηση (digital certificate). Είναι γνωστό από την καθημερινή εμπειρία ότι κάθε φωτοαντίγραφο, για να χρησιμοποιηθεί σε μια υπηρεσία, πρέπει να είναι θεωρημένο. Επίσης, η αυθεντικότητα πολλών εγγράφων καθορίζεται από την ύπαρξη ή όχι της χειρόγραφης υπογραφής μας. Έπρεπε λοιπόν να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της αυθεντικότητας, όταν η διακίνηση των εγγράφων γίνεται ηλεκτρονικά. Η κρυπτογραφία είναι και εδώ η λύση.

Αυτό που βασικά χρειάζεται είναι ένα σύστημα με το οποίο ο αποστολέας μπορεί να στείλει ένα «υπογεγραμμένο» μήνυμα στον παραλήπτη με τρόπο ώστε:

- ▶ Ο παραλήπτης να μπορεί να επιβεβαιώσει την ταυτότητα του αποστολέα (λ.χ. σε μια τραπεζική συναλλαγή).
- ▶ Ο αποστολέας να μην μπορεί να αρνηθεί ότι έστειλε το μήνυμα (αμετάκλητο), ώστε να αποφευχθεί η περίπτωση απάτης.

Αποδεικνύεται ότι η κρυπτογραφία δημόσιου κλειδιού επιτυγχάνει απόλυτα τους παραπάνω στόχους αν κάθε χρήστης μπορεί να δημοσιοποιήσει το δημόσιο κλειδί του και να κρατήσει απόλυτα μυστικό το ιδιωτικό κλειδί του. Όμως η ασφαλής δημοσιοποίηση ενός κλειδιού δεν είναι εύκολη. Θα μπορούσε κάποιος να το τροποποιήσει ή να παρουσιάσει ένα δικό του δημόσιο κλειδί ως δημόσιο κλειδί

κάποιου άλλου και έτσι να μπορεί να δέχεται και να αποκρυπτογραφεί πληροφορίες που προορίζονται για κάποιον άλλο. Μια λύση στο πρόβλημα παρέχει η λεγόμενη ψηφιακή πιστοποίηση. Αντί να δημοσιοποιεί κανείς το δημόσιο κλειδί του, δημοσιοποιεί το ηλεκτρονικό πιστοποιητικό του δημόσιου κλειδιού του. Αυτό είναι ένα πακέτο πληροφορίας που περιλαμβάνει την ταυτότητα του κατόχου του, το δημόσιο κλειδί του, πληροφορίες εγκυρότητας και την ηλεκτρονική υπογραφή ενός τρίτου μέρους (μιας αρχής πιστοποίησης) το οποίο βεβαιώνει την πίστη του ότι το συγκεκριμένο δημόσιο κλειδί ανήκει στον αναγραφόμενο ως κάτοχτου ηλεκτρονικού πιστοποιητικού. Βέβαια, το λεπτό σημείο είναι η αρχή πιστοποίησης η οποία πρέπει να είναι μια αναγνωρισμένη αρχή κοινής εμπιστοσύνης.

Τέλος, ας σημειωθεί ότι η κρυπτογραφία με υποδομή δημόσιου κλειδιού (Public Key Infrastructure, PKI) είναι σήμερα η μοναδική και αναντικατάστατη λύση για τις εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου και γενικά για κάθε ανταλλαγή εμπιστευτικής πληροφορίας μέσω των δικτύων επικοινωνιών. Προσφέρει το αναγκαίο κλίμα εμπιστοσύνης που είναι και το ευαίσθητο σημείο για την εξάπλωση της χρήσης παρόμοιων εφαρμογών σε ευρεία κλίμακα.

Κεφάλαιο 4^ο

4.1 Μητροπολιτικό ασύρματο δίκτυο

Το μητροπολιτικό ασύρματο δίκτυο (Metropolitan Area Network) αναμένεται να αποτελέσει τον διάδοχο του WiFi, προσφέροντας την ίδια ευχρηστία, ασφάλεια και ευελιξία, επιτρέποντας όμως μεγαλύτερη εμβέλεια (της τάξεως των δεκάδων km) και πολύ υψηλότερες ταχύτητες (που φθάνουν ή ξεπερνούν τα 100 Mbps). Η τεχνολογία του WiMAX είναι παρόμοια με αυτή του WiFi, όμως στοχεύει στην περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης της ασύρματης επικοινωνίας και στην επέκταση του τοπικού βρόγχου σε μια πιο εκτεταμένη γεωγραφική περιοχή.

Το WiMAX αναβαθμίζοντας τις σημερινές τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο είναι η λύση που θα επικρατήσει στο άμεσο μέλλον, αντικαθιστώντας ακόμη και τις οικιακές ADSL συνδέσεις. Εκτιμάται, ότι πολύ σύντομα, το WiMAX θα καλύπτει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό συνδρομητών, σε σχέση με αυτούς που συνδέονται στο διαδίκτυο μέσω ενσύρματης γραμμής ADSL, ISDN ή PSTN. Το Internet πρέπει να αποτελεί ένα μέσο ενημέρωσης και επικοινωνίας προσβάσιμο ανά πάσα στιγμή από παντού, με την ίδια λογική που σήμερα ένα κινητό τηλέφωνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν από οποιοδήποτε σημείο, χωρίς πολύπλοκες διαδικασίες.

Μέχρι σήμερα το WiFi επέτρεπε την πρόσβαση στο Internet σε πολύ μικρή εμβέλεια γύρω από hotspots, όπως σε αεροδρόμια, συνεδριακούς χώρους ή ξενοδοχεία. Το WiMAX θα είναι σε θέση να κάνει το ίδιο σε εμβέλεια ολόκληρης πόλης, τα κτήρια της οποίας θα καλύπτουν με το σήμα τους οι ISP. Το WiMAX θα χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών ευρυζωνικής πρόσβασης στο Internet σε τελικούς χρήστες, με εξοπλισμό ιδιαίτερα εύκολο στην εγκατάσταση.²¹

21

[□]Καραδήμας Χρήστος Μελέτη, σχεδίαση, υλοποίηση και αξιολόγηση μηχανισμού παροχής εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας σε δίκτυα 802.16

4.2 Πρότυπα IEEE για τα μητροπολιτικά ασύρματα δίκτυα

α)1.4.1.1 IEEE 802.16 2004

Η αρχική έκδοση του πρότυπου IEEE 802.16 για τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα λειτουργούσε στην ζώνη συχνοτήτων 10-66 GHz. Στις παραπάνω συχνότητες η επικοινωνία μεταξύ δύο σταθμών επιτυγχάνεται μόνο όταν οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται σε συνθήκες οπτικής επαφής, όπως περιγράφεται στο υποπρότυπο IEEE 802.11c. Η ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ σταθμών που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή ήταν το κίνητρο για τη δημιουργία του υποπροτύπου IEEE 802.16a. Έτσι, το 2003 το πρότυπο επεκτάθηκε ώστε να λειτουργεί και στις συχνότητες από 2 - 11 GHz όπου στις συχνότητες αυτές ήταν δυνατή η δημιουργία συνδέσεων χωρίς οπτική επαφή πομπού - δέκτη. Το υποπρότυπο το οποίο περιγράφει τη διαδικασία αυτή ονομάστηκε IEEE 802.16a. Τα πρώτα προϊόντα WiMAX τα οποία σήμερα είναι διαθέσιμα στην αγορά ακολουθούν στην μεγαλύτερή τους πλειοψηφία το υποπρότυπο αυτό. Επιπλέον η εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας στα ασύρματα δίκτυα γίνεται ένας πολύ καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της επικοινωνίας. Για παράδειγμα, η μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο απαιτεί από το δίκτυο συνθήκες πολύ χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης. Για αυτό το λόγο, προκειμένου να ικανοποιηθεί η ανάγκη για ποιότητα υπηρεσίας ορίστηκε το υποπρότυπο IEEE 802.16d. Η ένωση των υποπροτύπων IEEE 802.11 a, c, d όρισε το πρότυπο IEEE 802.16-2004 το οποίο περιγράφει τη συνολική λειτουργικότητα των επιμέρους υποπροτύπων που προαναφέρθηκαν για συχνότητες λειτουργίας 2-66 GHz. Με το πρότυπο αυτό περιγράφεται η επικοινωνία χρηστών οι οποίοι βρίσκονται μέσα σε μια κυψέλη, η οποία καλύπτεται από ένα base station δίχως να υποστηρίζεται η μετακίνηση των χρηστών μεταξύ των κυψέλων. Τέλος το πρότυπο 802.16b ήταν από τα πρώτα που δημιουργήθηκαν. Η δημιουργία του υποπροτύπου αυτού στόχευε στις εφαρμογές εκτός νόμιμης (licensed) περιοχής στις συχνότητες 5-6GHz. Το 802.16b παρέχει QoS διαβεβαιώνοντας ότι θα υπάρχει προτεραιότητα στη μετάβαση πραγματικού χρόνου εικόνας και ήχου καθώς επίσης παρέχει διαφοροποιημένα επίπεδα υπηρεσίας σε διαφορετικού τύπου μετακίνησης δεδομένων.²²

²² Δημητρά Χ. Μπουζή, 2008, Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού internet (Wi-Fi). Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

β) IEEE 802.16-2005

Το υποπρότυπο IEEE 802.16e έχει προσθέσει χαρακτηριστικά-κλειδιά για την υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών από ένα base station σε άλλο. Στο υποπρότυπο αυτό ορίζεται ότι ένας κινητός χρήστης μπορεί να συνεχίσει να εξυπηρετείται από το δίκτυο ακόμα και αν κινείται με ταχύτητες οι οποίες προσεγγίζουν τα 120 χλμ. / ώρα. Ωστόσο η παραπάνω τιμή είναι ενδεικτική - πειραματική, καθώς μέχρι τη στιγμή αυτή δεν υπάρχει κάποιο διαθέσιμο προϊόν στην αγορά συμβατό με το IEEE 802.16e υποπρότυπο που να πιστοποιεί την προαναφερθείσα τιμή. Το υποστηριζόμενο από το WiMAX Forum πρωτόκολλο έχει κληρονομήσει τη μοναδική NLOS επίδοση και την ανθεκτική σε πολλαπλή διαδρομή λειτουργία του OFDM, καθιστώντας το κατάλληλο για το κινητό περιβάλλον.

Παραλλαγές του προτύπου, που στοχεύουν στους κινητούς χρήστες (802.16e) και στην παροχή QoS (802.16b) είναι ήδη σε εξέλιξη. Διάφοροι προμηθευτές chip, συμπεριλαμβανομένης και της Intel, εργάζονται στο 802.16a ενσωματωμένο πυρίτιο, και σε χαμηλού κόστους μονάδες συνδρομητών και αναμένεται στο τέλος του 2005 να είναι ευρέως διαθέσιμα σημεία πρόσβασης (Access Points - AP). Αρκετοί προμηθευτές που έχουν ασχοληθεί με εξοπλισμό για ευρείας ζώνης ασύρματη πρόσβαση, έχουν εκδηλώσει το ενδιαφέρον τους για το WiMAX και έτσι δραστηριοποιούνται στην κατασκευή προϊόντων συμβατών με το εν λόγω πρότυπο.

Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πρότυπα	802.16c	802.16 a/d (2004)	802.16e (2005)
Φάσμα συχνοτήτων	10-66 GHz	2-11GHz	2-6 GHz
Κινητοί χρήστες	Όχι	Όχι	Ναι
Ακτίνα κάλυψης	1.6-4.8 km (LOS)	4.8-8 km (NLOS)	1.6-4.8km (NLOS)
Ταχύτητα μετάδοσης	32-134Mbps / 28 MHz κανάλι	<=75 Mbps / 20 MHz κανάλι	<=15 Mbps / 28 MHz κανάλι
Εύρος ζώνης καναλιών	20,25,28MHz	1.25-20 MHz (16 υπό-κανάλια)	1.25-20 MHz (16 υπό-κανάλια)

Είδη Διαμόρφωσης	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM356, OFDMA2048, 16/64QAM, QPSK, BPSK	OFDM356, OFDMA2048, 16/64QAM, QPSK, BPSK
-------------------------	-----------------------------------	---	---

4.3 Χαρακτηριστικά μετάδοσης

Αντίθετα με άλλα ασύρματα δίκτυα, τα οποία επιτρέπουν μεταδόσεις μόνο με ένα φάσμα συχνότητας, το WiMAX επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με πολλαπλά, ευρέα φάσματα συχνότητας. Η μεταφορά μέσω πολλαπλών φασμάτων, δίνει τη δυνατότητα μεγιστοποίησης της μετάδοσης πέρα από τις συχνότητες άλλων ασύρματων εφαρμογών αποδίδοντας πραγματικές ευρυζωνικές ταχύτητες.

Η αρχική έκδοση του προτύπου 802.16 καθορίζει ένα φυσικό επίπεδο, ικανό να υποστηρίξει συστήματα που λειτουργούν στις συχνότητες 10-66 GHz. Αυτή η συχνοτική μπάντα δημιουργεί ένα φυσικό περιβάλλον όπου εξαιτίας του μικρού μήκους κύματος η επίτευξη επικοινωνίας απαιτεί οπτική επαφή, αλλά όμως η λήψη σήματος πολλαπλών διαδρομών (multipath) είναι αμελητέα. Τα κανάλια του φυσικού περιβάλλοντος του πρότυπου είναι μεγάλα. Με ιδανικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μεγαλύτερο από 120 Mbit/s το περιβάλλον που δημιουργείται είναι κατάλληλο για point-to-multipoint.

Το πρότυπο 802.16a που ακολούθησε υποστήριζε και άλλες προδιαγραφές στο φυσικό επίπεδο. Το πιο ευρέως διαδεδομένο πρότυπο Ασύρματου Μητροπολιτικού Δικτύου, αυτή τη στιγμή είναι το 802.16a, που λειτουργεί στην μπάντα των 2-11 GHz και δεν απαιτεί την ύπαρξη οπτικής επαφής. Το υποπρότυπο αυτό λειτουργεί παράλληλα με το 802.16 για να προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στη χρησιμοποίηση των συχνοτήτων και την τοπολογία του δικτύου.

Ορισμένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας WiMAX είναι:

- ▶ **Ταχύτητα μετάδοσης**

Οι ταχύτητες μετάδοσης του προτύπου εξαρτώνται από την εκάστοτε ψηφιακή διαμόρφωση που χρησιμοποιείται. Συνήθεις διαμορφώσεις είναι η 64 QAM η οποία μπορεί να εξασφαλίσει και τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης, η 16 QAM και η QPSK η οποία μπορεί να εξασφαλίσει μεγάλη κάλυψη του συστήματος.

► **Ευρεία κάλυψη**

Το WiMAX δυναμικά υποστηρίζει πολλαπλά επίπεδα διαμόρφωσης, όπως BPSK, QPSK, 16-QAM και 64-QAM. Ιδιαίτερα αν το σύστημα είναι εξοπλισμένο με ενισχυτή υψηλής ισχύος και λειτουργεί με μια χαμηλού επιπέδου διαμόρφωση (BPSK ή QPSK, για παράδειγμα) τότε είναι ικανό να καλύψει μια αρκετά μεγάλη γεωγραφική περιοχή όταν υπάρχει οπτική επαφή.

► **Υψηλή χωρητικότητα**

Χρησιμοποιώντας υψηλότερη διαμόρφωση (64-QAM) και εύρος ζώνης καναλιού (τρέχουσα τιμή 7 MHz, με σχεδιασμένη ανάπτυξη προς το πλήρες εύρος ζώνης όπως διευκρινίζεται στα αντίστοιχα πρότυπα της IEEE και της ETSI), τα συστήματα WiMAX μπορούν να παρέχουν σημαντικό εύρος ζώνης στους τελικούς χρήστες.

► **Κλιμακοσιμότητα**

Επίσης πολύ σημαντικό για τη διάδοση του είναι η κλιμακοσιμότητα (scalability) ή καλύτερα επεκτασιμότητα. Για να μπορεί να γίνει εύκολος και επεκτάσιμος ο σχεδιασμός κυψελών (cells) επικοινωνίας σε επιτρεπόμενες και μη συχνοτικές μπάντες, το πρότυπο IEEE 802.16 υποστηρίζει ευέλικτα από την άποψη εύρους ζώνης κανάλια επικοινωνίας. Για παράδειγμα αν σε κάποιο χειριστή ανατεθεί συχνοτικό φάσμα τον 20 MHz, τότε αυτός μπορεί να χωρίσει το φάσμα σε δύο κομμάτια των 10 MHz ή ακόμα σε τέσσερα κομμάτια των 5 MHz. Συγκεντρώνοντας έτσι όλη την ενέργεια σε ένα πολύ μικρό φάσμα συχνοτήτων ο χειριστής μπορεί να αυξήσει τον αριθμό των χρηστών επιτυγχάνοντας παράλληλα μεγάλο βεληνεκές και throughput. Για να κλιμακώσει ακόμα περισσότερο την εμβέλεια του σήματος, ο χειριστής μπορεί να χωρίσει ακόμα περισσότερο το φάσμα συχνοτήτων δημιουργώντας απομόνωση μεταξύ των κεραιών των σταθμών βάσης.

► **Διεκπαιρευτική ικανότητα**

Η μεγάλη διεκπαιρευτική ικανότητα (throughput) που επιτυγχάνει, ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις αφού έχει ένα πολύ μεγάλο φάσμα εκπομπής που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό σε αντανακλάσεις του σήματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής του.

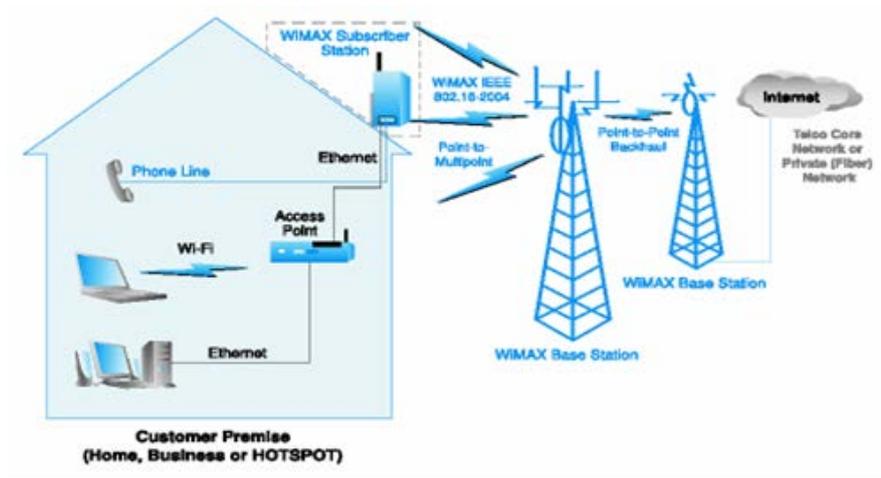
► **Υψηλή ποιότητα υπηρεσίας**

Η παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών QoS (Quality of Service) όπως είναι η μεταφορά φωνής, είναι εξαιρετικά σημαντική για την υιοθέτηση και εξάπλωση του προτύπου. Για αυτό ακριβώς το λόγο το υποπρότυπο 802.16a συμπεριλαμβάνει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που κάνουν δυνατή τη μεταφορά φωνής και βίντεο αφού για να είναι εφικτή αυτή η μεταφορά χρειάζεται ένα χαμηλού φόρτου δίκτυο. Το WiMAX μπορεί δυναμικά να ρυθμιστεί για την μείξη της κυκλοφορίας που μεταφέρεται.

4.4 Αρχιτεκτονική του WiMAX

Οι βασικές δομικές μονάδες ενός συστήματος WiMAX είναι ο σταθμός βάσης (BS ή Base Station) και ο σταθμός του συνδρομητή (SS ή Subscriber Station). Ο σταθμός βάσης διαχειρίζεται όλα τα αιτήματα των SS για πρόσβαση στο δίκτυο και είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση των δεδομένων σε άλλο BS ή στο κεντρικό δίκτυο του παροχέα (backbone), αλλά και για τον χρονοπρογραμματισμό της μετάδοσης των δεδομένων (scheduling). Ένας SS μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλούς χρήστες και με κατάλληλους μηχανισμούς να αντιστοιχίζει τα αιτήματα και τις αποκρίσεις από το BS σε κάθε χρήστη.

Η αποστολή δεδομένων από το σταθμό βάσης στο χρήστη γίνεται με μία Point-to-Multipoint (PMP) σύνδεση χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση της Point-to-Point ή ευρείας κάλυψης σύνδεση. Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο ένας σταθμός υπηρεσίας στο δίκτυο, ο σταθμός βάσης του WiMAX θα επικοινωνεί με το σταθμό υπηρεσίας με μία Point-to-Point σύνδεση. Ένας σταθμός βάσης που πραγματοποιεί Point-to-Point σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιεί κεραία στενότερης δέσμης ώστε να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις. Στην επικοινωνία σημείου προς σημείο παρέχεται κάλυψη που μπορεί να αγγίξει τα 50Km.



Σχήμα 18: Βασικές δομικές μονάδες WiMAX συστήματος

Γενικά έχει εμβέλεια έως 30 km περίπου, με μια τυπική ακτίνα κυψέλης στα 6–9km. Συνήθως ένας σταθμός βάσης επικοινωνεί με άλλους σταθμούς συνδρομητών, οι οποίοι προσφέρουν πρόσβαση σε κτίρια (γραφεία ή κατοικίες). Μέσα στην ακτίνα εμβέλειας, η χωρίς οπτική επαφή επίδοση είναι βέλτιστη. Με διαμοιραζόμενους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μέχρι 75 Mbps, ένας απλός σταθμός βάσης μπορεί να παρέχει επαρκές εύρος ζώνης για να καλύψει 60 επιχειρήσεις και εκατοντάδες σπίτια με ρυθμούς σύνδεσης εφάμιλλους με το DSL, χρησιμοποιώντας 20 MHz εύρους κανάλια.

Τα αμφίδρομα ασύρματα δίκτυα με τοπολογίες point-to-multipoint (PMP) και mesh είναι δύο τρόποι διαμοιρασμού του ασύρματου μέσου, το οποίο στην προκειμένη περίπτωση είναι το κενό μέσω του οποίου πραγματοποιείται η μετάδοση των ραδιοκυμάτων.²³

4.5 Τοπολογία διανομής πολλαπλών σημείων

Η κατερχόμενη ζεύξη από το σταθμό βάσης (BS) στο χρήστη, στηρίζεται σε μια point-to-multipoint (PMP) σύνδεση. Το πρότυπο 802.16 της ασύρματης σύνδεσης λειτουργεί με έναν κεντρικό σταθμό βάσης και ξεχωριστές κεραιές, οι οποίες μπορούν να χειριστούν πολλαπλούς ανεξάρτητους τομείς (sectors) ταυτόχρονα. Για συγκεκριμένη συχνότητα καναλιού και συγκεκριμένο τομέα κεραιάς, όλοι οι σταθμοί

λαμβάνουν την ίδια μετάδοση ή μέρος αυτής. Ο σταθμός βάσης είναι ο μοναδικός που εκπέμπει προς αυτήν την κατεύθυνση και επομένως μεταδίδει χωρίς να απαιτείται συντονισμός με τους υπόλοιπους σταθμούς, εκτός από τον συνολικό χρόνο διαίρεσης (TDD) που μοιράζει το χρόνο σε περιόδους ανερχόμενης και κατερχόμενης μετάδοσης. Ο σταθμός βάσης μεταδίδει προς όλους τους σταθμούς του τομέα (και σε συγκεκριμένη συχνότητα), οι σταθμοί ελέγχουν τη διεύθυνση που λαμβάνουν μέσω μηνυμάτων και διατηρούν τη διεύθυνση αυτή για μελλοντική επικοινωνία.

Στην ανερχόμενη ζεύξη όλοι οι σταθμοί των συνδρομητών (SS) μοιράζονται το δίαυλο επικοινωνίας με το σταθμό βάσης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Ανάλογα με την κλάση της υπηρεσίας που είναι προς μετάδοση, ο σταθμός του συνδρομητή μπορεί να έχει το δικαίωμα συνεχής μετάδοσης, ή το δικαίωμα μετάδοσης μπορεί να χορηγηθεί από τον σταθμό βάσης κατόπιν λήψεως αίτησης από τον χρήστη.

Στην ανερχόμενη ζεύξη όλοι οι SSs μοιράζονται το μέσο και ανάλογα με την κλάση υπηρεσίας που χρησιμοποιούν -χορηγημένη υπηρεσία (provisioned service), επιτρεπόμενη υπηρεσία (admitted service), ενεργή υπηρεσία (active service)-, μπορεί να έχουν δικαίωμα για συνεχή μετάδοση ή να χρειάζεται να κάνουν αίτηση στον BS για να τους δοθεί άδεια να μεταδώσουν. Το πρότυπο 802.16 είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση "best effort" σε χρήστες που καλύπτονται από τον ίδιο σταθμό βάσης κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από τον ίδιο σταθμό βάσης, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση "best effort", κάτι που με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν δυνατό. Δηλαδή χρήστες που βρισκόταν στην κάλυψη ενός Access Point είχαν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.²⁴

Τέσσερις τύπου υπηρεσίας υποστηρίζονται:

Κλάση Υπηρεσίας	Περιγραφή
-----------------	-----------

<p>Υπηρεσίες άμεσης μεταβίβασης (Unsolicited Grant Service ή UGS)</p>	<p>Το UGS σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου που αποτελούνται από πακέτα δεδομένων σταθερού μήκους που στέλνονται ανά περιοδικά διαστήματα, όπως T1/E1 και Voice over IP.</p>
<p>Υπηρεσίες εκλογής πραγματικού χρόνου (Real-Time Polling Service ή rtPS)</p>	<p>Το rtPS σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου που αποτελούνται από πακέτα δεδομένων με μεταβλητό μήκος που στέλνονται ανά περιοδικά διαστήματα, όπως MPEG video.</p>
<p>Υπηρεσίες εκλογής μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time Polling Service ή nrtPS)</p>	<p>Το nrtPS σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων που επιδέχονται καθυστέρηση και αποτελούνται από πακέτα δεδομένων μεταβλητού μεγέθους για τα οποία απαιτείται ένας ελάχιστος ρυθμός δεδομένων, όπως FTP.</p>
<p>Υπηρεσίες καλύτερης προσπάθειας (Best Effort Service BES)</p>	<p>Η BE υπηρεσία σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ροές δεδομένων για τις οποίες δεν απαιτείται κανένα ελάχιστο επίπεδο υπηρεσίας και μπορούν να εξυπηρετηθούν σε μια βάση διαθέσιμου χώρου.</p>

Σε κάθε τομέα, οι χρήστες εμμένουν σε ένα πρωτόκολλο μετάδοσης που ελέγχει τη διαμάχη μεταξύ των χρηστών για μετάδοση και επιτρέπει την προσαρμογή των υπηρεσιών στις απαιτήσεις καθυστέρησης και εύρους ζώνης κάθε εφαρμογής του χρήστη. Η χρήση της ψηφοφορίας απλοποιεί τη λειτουργία πρόσβασης και εγγυάται ότι οι εφαρμογές λαμβάνουν την υπηρεσία σε αιτιοκρατική βάση.

Για τους σκοπούς της χαρτογράφησης υπηρεσιών στους συνδρομητικούς σταθμούς και της παροχής διαφορετικών επιπέδων QoS, όλες οι μεταδόσεις δεδομένων βρίσκονται στο πλαίσιο της σύνδεσης. Η ροή υπηρεσιών μπορεί να παρέχεται μόλις ένας συνδρομητικός σταθμός εγκαθίσταται στο σύστημα. Αμέσως μετά την εγκατάσταση, οι συνδέσεις σχετίζονται με αυτές τις ροές υπηρεσιών (μία σύνδεση ανά ροή).

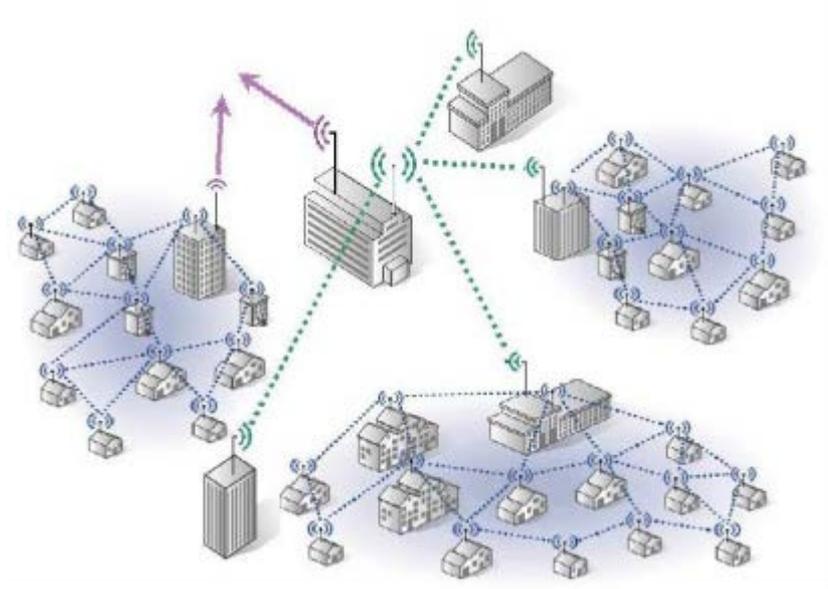
Η έννοια μιας ροής υπηρεσιών σε μια σύνδεση είναι κεντρική στη λειτουργία του πρωτοκόλλου του 802.16. Οι ροές υπηρεσιών παρέχουν έναν μηχανισμό για uplink και downlink συνδέσεων για τη διαχείριση QoS. Στην ανερχόμενη ζεύξη ένας SS ζητά το εύρος ζώνης ανά βάση σύνδεσης (σιωπηρά που προσδιορίζει τη ροή υπηρεσιών). Το εύρος ζώνης χορηγείται από τις BS είτε ως σύνολο όλων των επιχορηγήσεων για ένα SS (μέσα σε ένα διάστημα σχεδιασμού) είτε σε μια βάση σύνδεσης.

Οι συνδέσεις, μόλις καθιερωθούν, μπορούν να απαιτήσουν την ενεργό συντήρηση. Οι απαιτήσεις συντήρησης ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο υπηρεσίας που συνδέεται. Παραδείγματος χάριν, οι υπηρεσίες T1 δεν απαιτεί ουσιαστικά καμία συντήρηση σύνδεσης δεδομένου ότι έχουν ένα σταθερό εύρος ζώνης που διατίθεται για κάθε πλαίσιο. Οι διαχωρισμένες υπηρεσίες T1 απαιτούν κάποια συντήρηση λόγω του δυναμικού (αλλά σχετικά αργά μεταβαλλόμενο) εύρος ζώνης απαιτήσεις εάν συμπιέζεται, συνδεδεμένος με την απαίτηση ότι το πλήρες εύρος ζώνης είναι διαθέσιμο κατόπιν παραγγελίας. Οι υπηρεσίες IP μπορούν να απαιτήσουν ένα ουσιαστικό ποσό τρέχουσας συντήρησης λόγω της bursty φύσης τους και λόγω της υψηλής δυνατότητας του τεμαχισμού. Όπως με την καθιέρωση σύνδεσης, οι τροποποιησιμες συνδέσεις μπορούν να απαιτήσουν τη συντήρηση λόγω του ερεθίσματος από είτε το SS είτε την πλευρά δικτύων της σύνδεσης. Τέλος, οι συνδέσεις μπορούν να ολοκληρωθούν. Αυτό εμφανίζεται γενικά μόνο όταν αλλάζει η σύμβαση εξυπηρέτησης ενός πελάτη. Η λήξη μιας σύνδεσης υποκινείται από το BS ή το SS.

4.6 Τοπολογία πολυγωνικής δικτύωσης

Η κύρια διαφορά μεταξύ της τοπολογίας πολυγωνικής δικτύωσης (Mesh) και της τοπολογίας διανομής πολλαπλών σημείων, έγκειται στο ότι στην PMP, η κίνηση δεδομένων συμβαίνει μόνο ανάμεσα σε BSs και SSs ενώ στην Mesh η κίνηση μπορεί να δρομολογηθεί διαμέσου άλλων SSs και να μεταδοθεί ανάμεσα σε SSs. Κατά αυτόν τον τρόπο κάθε σταθμός μπορεί επίσης να ενεργήσει ως αποστολέας προκειμένου να αναμεταδοθεί ένα πακέτο όταν η άμεση επικοινωνία δεν είναι δυνατή ή όταν η αναμετάδοση είναι αποδοτικότερη. Ο κάθε σταθμός χρησιμοποιεί έξυπνες κεραιές που συντελούν στην αύξηση της εμβέλειας του σήματος.

Εντούτοις πρέπει να διαπιστωθεί ότι στα πρακτικά σενάρια η ανάγκη για τις BS θα υπάρξει ακόμα ειδικά για τη σύνδεση σε ένα backhaul δίκτυο. Μέσα στο Mesh δίκτυο, ένα σύστημα που έχει ευθεία σύνδεση με backhaul υπηρεσίες έξω από αυτό, ορίζεται ως ο Mesh σταθμός βάσης, ενώ όλα τα άλλα συστήματα ορίζονται ως Mesh συνδρομητικοί σταθμοί. Γενικά, όλα τα Mesh συστήματα ονομάζονται κόμβοι. Σε ένα Mesh σύστημα ούτε ο σταθμός βάσης δεν μπορεί να εκπέμψει χωρίς να συντονιστεί με τους άλλους κόμβους. Με τη χρήση κατανεμημένου προγραμματισμού, όλοι οι κόμβοι πρέπει να συντονίζουν την εκπομπή τους στην two-hop γειτονιά τους και να εκπέμπουν broadcast τα προγράμματα τους (διαθέσιμοι πόροι, αιτήσεις και παροχές) σε όλους τους γειτονικούς κόμβους.²⁵



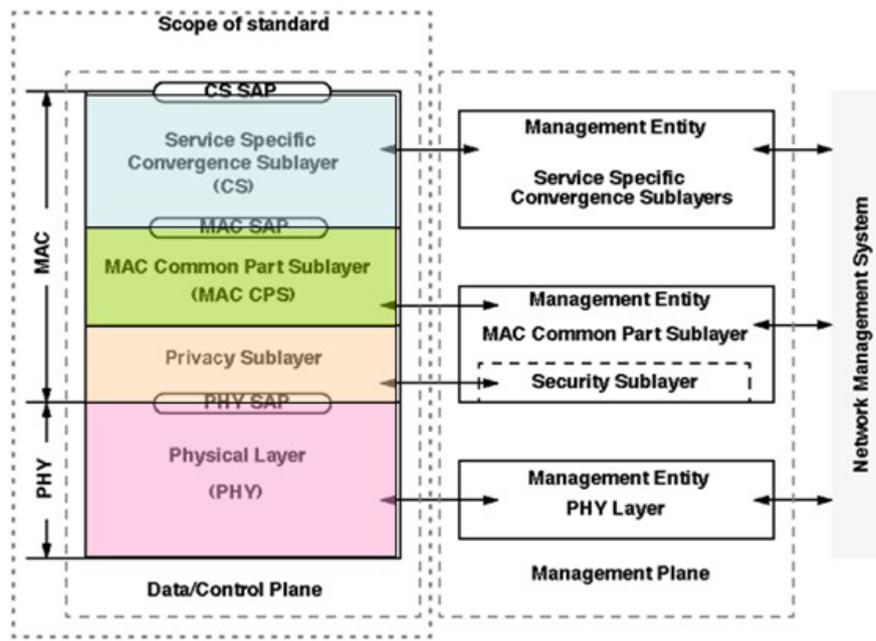
Σχήμα 19: Αρχιτεκτονική πολυγωνικής δικτύωσης

Κεφάλαιο 5^ο

5.1 Ανάλυση των επιπέδων του 802.16

α) Υπόστρωμα MAC

Το στρώμα ζεύξης δεδομένων (Data Link Layer) αποτελείται από τρία επιμέρους υποεπίπεδα. Το πρώτο από αυτά είναι το υποεπίπεδο σύγκλισης σχετικό με Υπηρεσίες (Service Specific Convergence Sublayer ή CS), ακολουθεί το κοινό μέρος του MAC (MAC Common Part Sublayer ή MAC CPS) και ολοκληρώνεται με το υποεπίπεδο Ιδιωτικότητας (Privacy Sublayer) που στο επίπεδο διαχείρισης (management plane) ονομάζεται υποεπίπεδο Ασφάλειας (Security Sublayer). Κάθε ένα από αυτά τα υποστρώματα προσφέρει διαφορετικές υπηρεσίες. Στη συνέχεια θα τα αναπτύσσουμε ξεχωριστά σε μια περιληπτική περιγραφή τους.



Σχήμα 20: Στοίβα πρωτοκόλλων 802.16

β) Υπόστρωμα Σύγκλισης Σχετικό με Υπηρεσίες

Το υπόστρωμα σύγκλισης (Service Specific Convergence Sublayer, CS) βρίσκεται πάνω από το κοινό υπόστρωμα του MAC (MAC CPS) και παρέχει μια ενιαία διεπαφή με το ανώτερο στρώμα δικτύου, ανεξάρτητα από την κλάση ποιότητας υπηρεσίας που χρησιμοποιείται από το κατώτερο υποεπίπεδο MAC. Παρέχει τον μετασχηματισμό ή την απεικόνιση των δεδομένων που λαμβάνονται από το CS SAP (Service Access Point), σε MAC SDUs οι οποίες παραδίδονται στο υποεπίπεδο MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) μέσω του MAC SAP.

Το υπόστρωμα CS είναι υπεύθυνο για τις εξής λειτουργίες:

- Παραλαμβάνει τα πακέτα PDUs (Packet Data Units) από τα ανώτερα στρώματα, μέσω του σημείου πρόσβασης υπηρεσιών (SAP).
- Ταξινομεί τα PDUs που παίρνει από τα ανώτερα στρώματα έτσι ώστε τα πακέτα να παραδίδονται στην κατάλληλη σύνδεση για μετάδοση ανάμεσα στα υποστρώματα του MAC.
- Επεξεργάζεται (αν είναι απαραίτητο) τα PDUs, βασισμένο στην ταξινόμηση που έχει προβεί.
- Παραδίδει τα επεξεργασμένα PDUs στην κατάλληλη διεπαφή MAC SAP.

- Παραλαμβάνει CS PDUs από την ομότιμη οντότητα, στο επίπεδο διαχείρισης (network manager plane).

Το υπόστρωμα σύγκλισης σχετικό με υπηρεσίες για τη μετάδοση στα ανώτερα στρώματα του πρωτοκόλλου παρέχει δύο προδιαγραφές: τον ασύγχρονο τύπο μετάδοσης CS (asynchronous transfer mode CS, ATM CS) για δίκτυα και υπηρεσίες ATM και το CS πακέτου (packet CS) για υπηρεσίες πακέτων δεδομένων όπως Ethernet, PPP, IP and VLAN.

γ) ATM CS

Το ATM CS είναι μια λογική διεπαφή που συνδέει τις διαφορετικές υπηρεσίες που παρέχονται από τα MAC CP SAP και εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

- αποδοχή των κελιών του ATM από το στρώμα του ATM,
- εκτελεί την ταξινόμηση των κελιών του ATM,
- (αν είναι απαραίτητο) επεξεργάζεται τα κελιά του ATM που εδρεύουν στην ταξινόμηση, και
- παράδοση των επεξεργασμένων κελιών του ATM, δηλ., CS PDUs στο κατάλληλο MAC CP SAP.

Η ταξινόμηση των κελιών που εισέρχονται στο υπόστρωμα ATM CS, γίνεται με βάση ένα ζευγάρι τιμών που υπάρχει σε κάθε σύνδεση ATM. Κάθε τέτοια σύνδεση προσδιορίζεται από το αναγνωριστικό εικονικού μονοπατιού (virtual path identifier, VPI) και το αναγνωριστικό εικονικού καναλιού (virtual channel identifier, VCI) ως εικονικό μονοπάτι (VP) ή εικονικό κανάλι (VC) αντίστοιχα.

δ) CS πακέτων

Το CS πακέτων βρίσκεται πάνω από το υπόστρωμα MAC CP και εκτελεί τις ακόλουθες λειτουργίες:

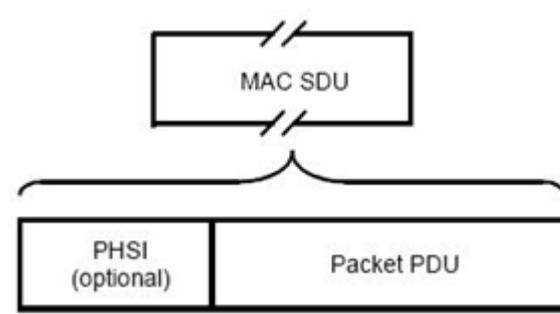
1. κατηγοριοποίηση των πρωτοκόλλων PDUs από τα ανώτερα στρώματα στην κατάλληλη σύνδεση.
2. Συμπύσσει (προαιρετικά) την επικεφαλίδα.
3. Παράδοση του προκύπτοντος CS PDU στην διεπαφή MAC SAP συσχετίζοντας τα με την υπηρεσία στην ομότιμη οντότητα.

4. Παραλαμβάνει CS PDUs από την ομότιμη οντότητα.
5. Επαναφέρει (προαιρετικά) τις συμπυκνμένες επικεφαλίδες.

Το λαμβανόμενο CS είναι αρμόδιο για την παράδοση των MAC SDU στο MAC SAP. Η MAC είναι αρμόδια για την παράδοση των MAC SDU στη MAC SAP σύμφωνα με το QoS, τεμαχισμός, αλληλουχία και άλλες λειτουργίες μεταφορών που συνδέονται με τα χαρακτηριστικά ροής υπηρεσιών μιας ιδιαίτερης σύνδεσης. Το λαμβανόμενο CS είναι αρμόδιο για την αποδοχή της MAC SDU από την όμοια MAC SAP και την παράδοση της σε ένα υψηλός-στρώμα οντότητα.

Το πακέτα CS χρησιμοποιείται για τη μετάδοση όλων των πακέτων βασισμένων σε πρωτόκολλα, όπως είναι αυτό του internet (IP), το IEEE 802.3 (Ethernet) και το IEEE 802.1Q (VLAN). Στην περίπτωση του IP πρωτοκόλλου, τα πακέτα CS επιτρέπουν τη απευθείας μετάδοση των IPv4 πακέτων μέσω του MAC IEEE 802.16.

Όταν τα PDUs κατηγοριοποιηθούν και συσχετιστούν με συγκεκριμένες συνδέσεις πακετοποιούνται μέσα σε μονάδες SDUs (Service Data Units). Ο δείκτης επικεφαλίδας συμπυκνόμενου φορτίου (payload header suppression index, PHSI), πρέπει να συμπεριλαμβάνεται όταν μια PHS έχει καθοριστεί για τη συγκεκριμένη σύνδεση. Η δομή ενός SDU δίνεται πιο κάτω:



Σχήμα 21: Δομή του MAC SDU

Η ταξινόμηση των πακέτων γίνεται με βάση μια ομάδα κριτηρίων που ζητείται από ένα πακέτο όταν εισέλθει στο δίκτυο 802.16. Αποτελείται από κάποια χαρακτηριστικά όπως είναι για παράδειγμα η διεύθυνση IP του παραλήπτη, ένας αριθμός προτεραιότητας και μια αναφορά σε μια διεύθυνση σύνδεσης (Connection ID, CID). Αν ένα πακέτο ικανοποιεί τα κριτήρια συσχέτισης τότε προωθείται στη διεπαφή SAP για παράδοση στη σύνδεση που καθορίζεται από την CID.

5.2 Υπόστρωμα Κοινού Κομματιού (MAC CP)

Το υπόστρωμα αυτό αποτελεί τον πυρήνα του στρώματος MAC και περιέχει τα πρωτόκολλα που είναι αρμόδια για την κατανομή του εύρους ζώνης, καθώς και για την καθιέρωση και διατήρηση της σύνδεσης.

- ▶ Γίνεται κατηγοριοποίηση των Service Data Units (SDUs) και συσχετισμός τους στην κατάλληλη MAC ροή και στον Connection Identifier (CID)
- ▶ Μπορεί να περιλαμβάνει και λειτουργίες όπως η σύμπτυξη της επικεφαλίδας
- ▶ Πολλές CS προδιαγραφές παρέχονται για να παρέχουν τη διεπαφή με διάφορα πρωτόκολλα
- ▶ Το εσωτερικό σχήμα του φορτίου του CS είναι μοναδικό για το CS, και το MAC CPS δεν απαιτείται να καταλαβαίνει αυτό το σχήμα ή να αναλύει κάποια πληροφορία που περικλείει αυτό
- ▶ Παρέχει τον πυρήνα της λειτουργικότητας του MAC επιπέδου, την ανάθεση του εύρους, την εγκαθίδρυση συνδέσεων και την συντήρησή τους.
- ▶ Λαμβάνει δεδομένα από τα διάφορα CSs, και κάνει την κατηγοριοποίηση σε συγκεκριμένες MAC συνδέσεις.
- ▶ Εφαρμόζεται Quality of Service (QoS) στην εκπομπή και στον προγραμματισμό των δεδομένων πάνω από το φυσικό επίπεδο

5.3 Υπόστρωμα Ασφαλείας

Η ασφάλεια στο πρότυπο IEEE 802.16 παρέχεται από το υπόστρωμα ασφαλείας (Security Sublayer) που είναι το κατώτερο στρώμα του MAC και είναι υπεύθυνο για την κρυπτογράφηση και την αποκρυπτογράφηση των δεδομένων που προέρχονται από το φυσικό στρώμα.

Το υπόστρωμα ασφαλείας εγγυάται την ασφαλή μετάδοση δεδομένων με τη χρήση προτύπου κρυπτογράφησης της πληροφορίας ανάμεσα στον σταθμό βάσης και στους συνδρομητές. Η κρυπτογράφηση της πληροφορίας παρέχει στους χρήστες την απαραίτητη ιδιωτικότητα, μυστικότητα και ασφάλεια πέρα από την ευρυζωνική

ασύρματη διεπαφή (interface). Ο σταθμός βάσης παρέχει στους χειριστές την ισχυρή προστασία ενάντια στην κλοπή της υπηρεσίας.

Το υπόστρωμα ασφάλειας χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο κρυπτογράφησης που παρέχει μέσα για τη κρυπτογράφηση δεδομένων και ένα βασικό διοικητικό πρωτόκολλο που παρέχει μέσα για τον συγχρονισμό ανάμεσα στο σταθμό βάσης και τους συνδρομητές υποσταθμό. IEEE 802.16 χρησιμοποιεί την έννοια μιας σύνδεσης ασφαλείας (security associations ή SAs) για να καθορίσει τις παραμέτρους ασφάλειας που σχετίζονται με τη σύνδεση. Ένα SA είναι ένα σύνολο παραμέτρων ασφάλειας που μοιράζονται από το BS με ένα ή περισσότερα SSs για να επιτραπεί η ασφαλή ροή επικοινωνίας μέσω του δίκτυο 802.16. Ένα SA προσδιορίζεται από την ταυτότητα σύνδεσης ασφαλείας του.

5.4 Κρυπτογράφηση (Encryption)

Το πρωτόκολλο κρυπτογράφησης καθορίζει το σύνολο των ακολουθιών και αλγορίθμων κρυπτογράφησης, και τους κανόνες για να εναποτίθενται αυτοί οι αλγόριθμοι σε ένα MAC PDU. Το Πρότυπο IEEE 802.16 υποστηρίζει δύο διαφορετικούς αλγόριθμους για την κρυπτογράφηση δεδομένων: το DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κρυπτογράφησης Δεδομένων) και το AES (Advanced Encryption Standard, Προχωρημένο Πρότυπο Κρυπτογράφησης).

Το DES έγινε ευρέως αποδεκτός από τη βιομηχανία για χρήση σε προϊόντα ασφαλείας. Ο αλγόριθμος DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και χρησιμοποιεί ένα κλειδί 64 bits από τα οποία τα 56 χρησιμοποιούνται απευθείας για την κρυπτογράφηση. Τα υπόλοιπα 8 bits χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση λαθών. Τα 8 αυτά bits κάνουν κάθε byte του κλειδιού να έχει μονή ισοτιμία. Ο αλγόριθμος τρέχει 16 φορές για να παράγει μια κρυπτογραφημένη πληροφορία. Έχει αποδειχθεί ότι ο αριθμός των τρεξιμάτων είναι εκθετικά ανάλογος με το χρόνο που χρειάζεται για να αποκρυπτογραφηθεί η πληροφορία. Κάθε νόμιμος χρήστης πρέπει να κατέχει το κλειδί για να μπορεί να αποκρυπτογραφήσει τα δεδομένα. Η επικεφαλίδα κάθε MAC PDU δεν κρυπτογραφείται. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά κατά συνέπεια αυτό το πρότυπο αυξάνει την ασφάλεια του DES, καθώς χρησιμοποιεί τρία κλειδιά κρυπτογράφησης.

Το πρωτόκολλο IEEE 802.16e υιοθέτησε τον αλγόριθμο AES για να αναπτύξει ένα δυνατό αλγόριθμο κρυπτογράφησης. Υπάρχουν τρία διαφορετικά κλειδιά των 128 bits, 192 bits και 256 bits που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος AES. Τα 128 bits είναι ικανοποιητικά για τη «μυστική» ταξινόμηση πληροφοριών ενώ τα 256 bits εφαρμόστηκαν για «άκρως απόρρητες» πληροφορίες. Κάθε κλειδί οδηγεί τον αλγόριθμο να συμπεριφέρεται διαφορετικά και κατά συνέπεια στην πολυπλοκότητα αλλά και στη δύσκολη αποκρυπτογράφηση των δεδομένων. Αυτή η μέθοδος εξασφαλίζει τον έλεγχο ακεραιότητας μηνυμάτων, και παρέχει την προστασία επανάληψης χρησιμοποιώντας τους αριθμούς πακέτων (PN).

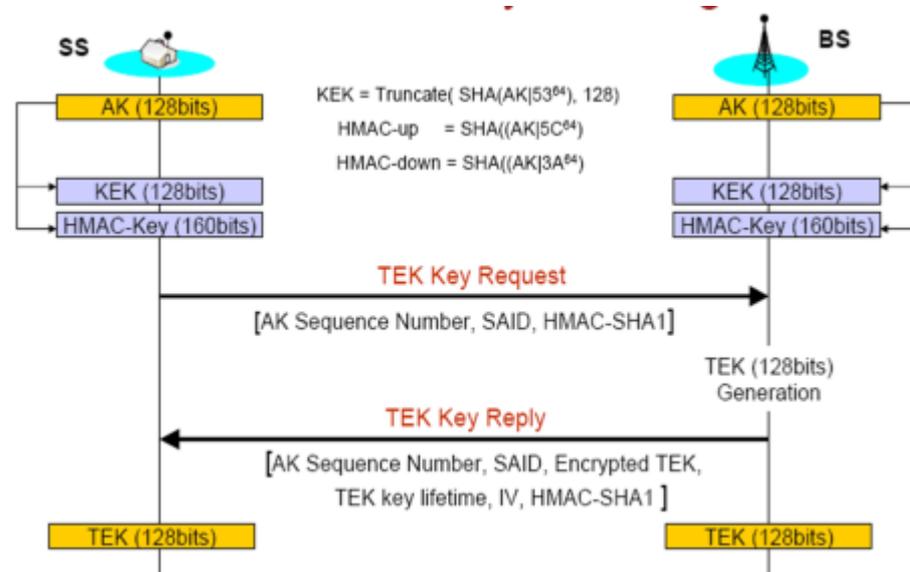
Ανάμεσα στο σταθμό βάσης και στους SSs υπάρχουν συνδέσεις ασφαλείας (Security Associations, SS) για να παρέχουν τις υπηρεσίες της επικύρωσης (authentication), αν δηλαδή ένας SS είναι εξουσιοδοτημένος για να έχει πρόσβαση στα δεδομένα. Υπάρχουν τρεις τύποι τέτοιων συνδέσεων: η αρχική (primary), η οποία δημιουργείται από έναν SSs στην φάση αρχικοποίησης του, η στατική (static) που λειτουργεί στο σταθμό βάσης και η δυναμική (dynamic) η οποία δημιουργείται και εξαλείφεται στο ασύρματο μέσο για την αρχικοποίηση και τη λήξη συγκεκριμένων υπηρεσιών. Στις συνδέσεις αυτές υπάρχει και η πληροφορία αν χρησιμοποιείται αποκρυπτογράφηση των δεδομένων, για το ποιος αλγόριθμος χρησιμοποιείται αλλά και ο τύπος επικύρωσης. Αν σε μια σύνδεση υπάρχει το αναγνωριστικό 0x01 αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιείται ο τύπος CBC και ο αλγόριθμος DES. Αντίθετα αν υπάρχει το αναγνωριστικό 0x02 τότε χρησιμοποιείται ο τύπος CCM και ο αλγόριθμος AES.

Οι αρνητικές πτυχές επισήμαναν όπου αυτή οι λειτουργίες κρυπτογράφησης και αποκρυπτογράφησης είναι διαφορετικές, η οποία οδηγούν σε ένα αυξανόμενο μέγεθος κώδικα, και ότι η λειτουργία αποκρυπτογράφησης θα ήταν περίπου δύο φορές πιο αργή από τη λειτουργία κρυπτογράφησης. εντούτοις ακόμα κι αν η λειτουργία αποκρυπτογράφησης είναι πιο αργή από τη λειτουργία κρυπτογράφησης, ο αλγόριθμος είναι πολύ ανταγωνιστικός έναντι των άλλων προτάσεων AES υποβληθεισών.

5.5 Πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιού

Το πρωτόκολλο διαχείρισης κλειδιού (Key Management Protocol ή PKM) εξασφαλίζει την ασφαλή διανομή, τον συγχρονισμό και την ανανέωση των πληροφοριών που σχετίζονται με το κλειδί ανάμεσα στον σταθμό βάσης και στον SS. Ο σταθμός βάσης επιβάλλει την επικύρωση (authenticate) και την υπό όρους έγκριση των υπηρεσιών

δικτύου. Χρησιμοποιώντας αυτό το πρωτόκολλο ο κάθε SS που συνδέεται στο δίκτυο αποκτά εξουσιοδότηση (authorization) και δεδομένα που αφορούν το κλειδί αλλά και περιοδικά ζητά επανεξουσιοδότηση (reauthorization) και ανανέωση των πληροφοριών που έχει για το κλειδί.



Σχήμα 22: TEK κρυπτογράφηση ανάμεσα στο SS και BS

Ο σταθμός του συνδρομητή στέλνει αρχικά μια "αίτηση" (Authorization Request, AR) σε ένα επιλεγμένο BS, και αφού εγκριθεί ο SS αποκτά εξουσιοδότηση (authorization). Στην αίτηση αυτή περιλαμβάνεται η ταυτότητα του SS (κάθε SS φέρνει ένα μοναδικό ψηφιακό πιστοποιητικό X.509) και οι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που ο συνδρομητικός σταθμός υποστηρίζει.

Ο σταθμός βάσης ελέγχει τα πιστοποιητικά που παρουσιάζει ο SS και καθορίζει τις κοινές ακολουθίες και τις παραμέτρους ασφάλειας. Ο σταθμός βάσης απαντά με μια αίτηση έγκρισης (Authorization Reply). Η απάντηση περιλαμβάνει ένα κλειδί εξουσιοδότησης (Authorization Key, ή AK) που κρυπτογραφείται με το δημόσιο κλειδί του SS, από το πιστοποιητικό X.509 και τις ταυτότητες (SAIDs) των συνδέσεων ασφαλείας (security associations ή SAs) για τις οποίες ο SS είναι εξουσιοδοτημένος να αποκτήσει πληροφορίες σχετικά με τα κλειδιά. Το κλειδί εξουσιοδότησης (Authorization Key, AK) περιλαμβάνει το κλειδί αποκρυπτογράφησης (Key Encryption Key, KEK) και δύο κλειδιά αυθεντικότητας (authentication) μηνύματος (HMACs), ένα για την ανερχόμενη και ένα για την κατερχόμενη ζεύξη.

Οι συνδέσεις δεδομένων ανάμεσα στον BS και στον SS κρυπτογραφούνται, οι BS και οι SS απαιτούν την κοινή πληροφορία του κλειδιού για τις συνδέσεις ασφαλείας που

σχετίζονται με εκείνες τις υπηρεσίες/ συνδέσεις. Ένας SS μπορεί να ζητήσει την πληροφορία του κλειδιού γνωστό ως κλειδί κρυπτογράφησης κυκλοφορίας (TEK) από το BS για μια συγκεκριμένη σύνδεση ασφαλείας. Για την απόκτηση του TEK από μια συγκεκριμένη σύνδεση ασφαλείας, θα πρέπει πρώτα να σταλεί ένα αίτημα για TEK από το SS, το οποίο αίτημα περιέχει την ταυτότητα (SAID) της επιθυμητής SA. Εάν ο SS εξουσιοδοτηθεί για τη ζητούμενη SA, ο BS θα δώσει απάντηση.

Η απάντηση του BS θα περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με:

- ▶ Το κρυπτογραφημένο TEK για τη ζητούμενη σύνδεση ασφαλείας (SA). Η κρυπτογράφηση του TEK πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας το KEK ή το RSA δημόσιο κλειδί της αίτησης SS.
- ▶ Ο αριθμός ακολουθίας του AK που θα χρησιμοποιηθεί για την περιοδική ανανέωση των πληροφοριών που σχετίζονται με το κλειδί AK.
- ▶ Το IV (Initialization Vector) που θα χρησιμοποιηθεί από το πρωτόκολλο κρυπτογράφησης για την κρυπτογράφηση δεδομένων.

Μετά την αρχική εξουσιοδότηση ο SS ζητά περιοδικά επανεξουσιοδότηση η οποία λαμβάνει χώρα και αυτή στη μηχανή καταστάσεων εξουσιοδότησης.

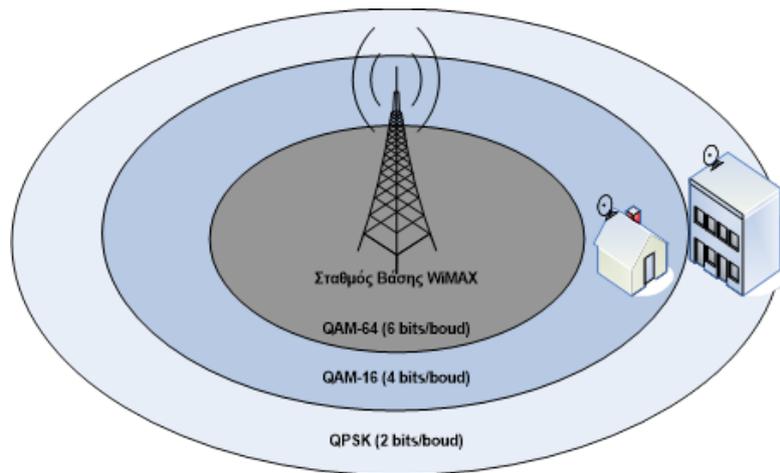
5.6 Φυσικό στρώμα

Το φυσικό στρώμα είναι αρμόδιο για την φυσική μεταφορά των δεδομένων. Συγκεκριμένα ορίζει τη ζώνη συχνοτήτων, τη διαμόρφωση, τις τεχνικές διόρθωσης λαθών, το ρυθμό μετάδοσης και το συγχρονισμό ανάμεσα σε πομπό και δέκτη. Για να είναι αποτελεσματική και συνάμα ελαστική η χρησιμοποίηση των συχνοτήτων, το φυσικό στρώμα του 802.16 υποστηρίζει και αμφιδρόμηση με διαίρεση χρόνου (Time Division Duplexing, TDD) και αμφιδρόμηση με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Duplexing, FDD). Το πρότυπο 802.16 αναφορικά με τη μετάδοση στο φυσικό μέσο έχει τρεις παραλλαγές αυτές είναι, μετάδοση μονού φέροντος (Single Carrier), μετάδοση 256 υποκαναλιών OFDM και 2048 OFDMA τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά πιο παρακάτω.

Στην ανερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός της τεχνικής πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiple Access, TDMA) και της πολλαπλής πρόσβασης αίτησης εκχώρησης (Demand Assignment Multiple Access, DAMA).

- ▶ Η TDMA είναι μια τεχνική όπου χωρίζουμε τον χρόνο σε ένα φυσικό δίαυλο σε μία σειρά από πλαίσια, όπου το κάθε ένα αποτελείται από έναν αριθμό από θυρίδες. Μία ή περισσότερες θυρίδες ανατίθενται σε ένα λογικό κανάλι.
- ▶ Η DAMA είναι μια τεχνική ανάθεσης χωρητικότητας που προσαρμόζεται στις αλλαγές ζήτησης από τους σταθμούς. Στην DAMA-TDMA η ανάθεση των χρονοθυρίδων γίνεται δυναμικά.

Το κανάλι της ανερχόμενης ζεύξης διαιρείται σε έναν αριθμό χρονοσχισμών. Το υπόστρωμα MAC στον σταθμό βάσης ελέγχει τον αριθμό των χρονοσχισμών (ο οποίος μπορεί να κυμαίνεται στο χρόνο για βέλτιστη αποδοτικότητα) που αναθέτονται για διάφορες χρήσεις όπως καταχώρηση (registration), αναμέτρηση (contention), φύλαξη (guard) ή κίνηση του χρήστη. Κάθε "έκρηξη" (burst) πληροφορίας μεταφέρει μεταβλητού μήκους MAC PDUs (Packet Data Units). Ακολουθεί κωδικοποίηση της πληροφορίας με αλγόριθμο FEC (Forward Error Correction) και διαμόρφωση QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ή 64 QAM ανάλογα με τη θέση του SS όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα:



Σχήμα 23: Κωδικοποίηση στο περιβάλλον μετάδοσης

Στο μοντέλο αυτό ο σταθμός βάσης ελέγχει το σύστημα, χρονοπρογραμματίζει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τη βάση προς τον συνδρομητή), ενώ παίζει ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από το συνδρομητή προς τη βάση).

Στην κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιείται η τεχνική πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiplexing, TDM), όπου η πληροφορία για κάθε SS (Subscriber Station) πολυπλέκεται σε μια ενιαία "ροή" δεδομένων και λαμβάνεται από όλους τους SSs που βρίσκονται στον ίδιο τομέα (sector). Για υποστήριξη των SS με FDD half-duplex στην κατερχόμενη ζεύξη, έχει προβλεφθεί ένα κομμάτι της να χρησιμοποιεί TDMA τεχνική. Στο φυσικό στρώμα, στην κατερχόμενη ζεύξη, υπάρχει το υπόστρωμα σύγκλισης της μετάδοσης (Transmission Convergence), το οποίο τοποθετεί ένα δείκτη σε byte, στην αρχή της μετάδοσης, για να βοηθήσει το δέκτη να καταλάβει την αρχή ενός MAC PDU. Τα bits των δεδομένων που έρχονται από αυτό το υπόστρωμα κωδικοποιούνται και πάλι με τον αλγόριθμο FEC και διαμορφώνονται με μια από τις τεχνικές QPSK, 16 QAM και 64 QAM.

5.7 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση συχνότητας

Η τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση συχνότητας, διαιρεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε δυο υπο-κανάλια μονού δρόμου διαχωρίζοντας με αυτό τον τρόπο την ανερχόμενη και την κατερχόμενη ζεύξη. Η ικανότητα για “εκρηκτικού” τύπου μετάδοση στην κατερχόμενη ζεύξη, διευκολύνει τη χρησιμοποίηση διαφορετικών τύπων διαμόρφωσης και επιτρέπει στο σύστημα να στηρίζει συγχρόνως full-duplex SSs (οι οποίοι μεταδίδουν και λαμβάνουν ταυτόχρονα) και half-duplex SSs. Αξίζει να σημειωθεί ότι το φέρον σήμα στην κατερχόμενη ζεύξη μπορεί να είναι συνεχές.

Το υποπλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης αρχίζει με ένα προοίμιο με πληροφορίες που αφορούν το συγχρονισμό των πλαισίων και τον έλεγχο. Ακολούθως, στο κομμάτι ελέγχου υπάρχουν τα μηνύματα UL-MAP (Up Link MAP) και DL-MAP (Down Link MAP), τα οποία περιέχουν πληροφορίες για το χρόνο που αρχίζει η ροή των δεδομένων, ανάλογα με την κατεύθυνση της πληροφορίας. Στη συνέχεια ακολουθεί ένα κομμάτι TDM οργανωμένο σε μικρότερα “εκρηκτικά” κομμάτια. Το κομμάτι TDM της κατερχόμενης ζεύξης περιέχει δεδομένα τα οποία μεταδίδονται στις εξής οντότητες:

- ▶ Full-duplex SSs.
- ▶ Half-duplex SSs οι οποίοι προγραμματίζουν να μεταδώσουν αργότερα στο πλαίσιο που λαμβάνουν.
- ▶ Half-duplex SSs οι οποίοι δεν προγραμματίζουν να μεταδώσουν σε αυτό το πλαίσιο.

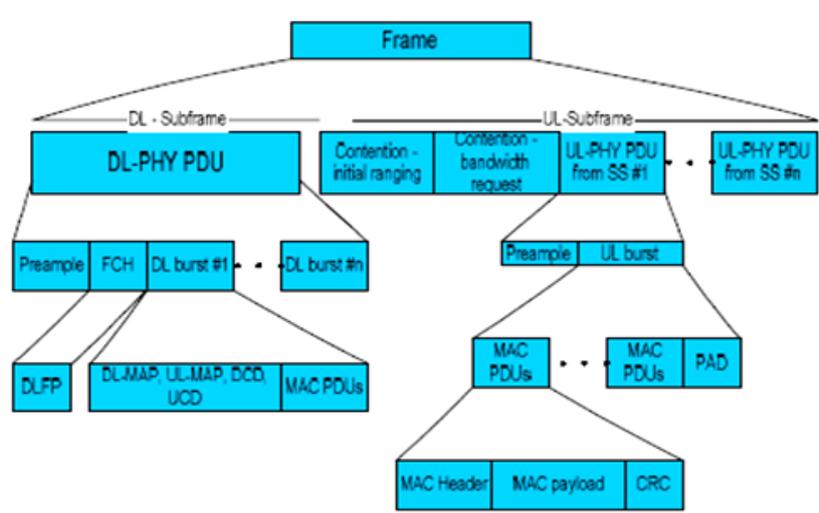
Σχήμα 24 : Δομή πλαισίου κατερχόμενης ζεύξης για ένα FDD σύστημα

Κάθε SSs πρέπει να παραλάβει όλα τα μέρη που αφορούν το πλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης ενώ οι half-duplex SSs δεν πρέπει να επιχειρήσουν να παραλάβουν κομμάτια που συμπίπτουν με τη στιγμή που αυτοί μεταδίδουν. Στη συνέχεια το πλαίσιο ακολουθείται από ένα κομμάτι TDMA το οποίο μεταφέρει πληροφορίες στους SSs, οι οποίοι σχεδιάζουν να μεταδώσουν πριν το λαμβανόμενο πλαίσιο. Αυτό επιτρέπει στους SSs να αποκωδικοποιήσουν ένα κομμάτι του υποπλαισίου και όχι ολόκληρο. Κάθε “εκρηκτικό” κομμάτι πληροφορίας στο κομμάτι

TDMA αρχίζει με ένα προοίμιο που αφορά πληροφορίες για το συγχρονισμό της φάσης.²⁶

5.8 Τεχνική αμφιδρόμησης με διαίρεση χρόνου

Στην περίπτωση της τεχνικής αμφιδρόμησης με διαίρεση χρόνου, η ανερχόμενη και η κατερχόμενη ζεύξη λειτουργούν στην ίδια συχνότητα αλλά διαχωρίζονται στο χρόνο, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί. Ένα πλαίσιο TDD έχει καθορισμένη διάρκεια και περιέχει ένα υποπλαίσιο της ανερχόμενης ζεύξης και ένα της κατερχόμενης. Η πλαιοποίηση στο TDD είναι προσαρμοσμένη στο ότι η χωρητικότητα που κατανέμεται στις δύο ζεύξεις μπορεί να ποικίλει.



Σχήμα 25: Δομή πλαισίου για ένα TDD σύστημα

Στην περίπτωση της TDD λειτουργίας το υποπλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης φτάνει πρώτα και ακολουθείται από το υποπλαίσιο της ανερχόμενης ζεύξης. Το υποπλαίσιο της κατερχόμενης ζεύξης αρχίζει με ένα προοίμιο που αφορά πληροφορίες για συγχρονισμό και αντιστάθμιση. Αυτό ακολουθείται από το κομμάτι ελέγχου του πλαισίου που περιέχει τα UL-MAP και DL-MAP. Ακολούθως υπάρχει το TDM κομμάτι.

Ανάμεσα στα υποπλαίσια της κατερχόμενης και της ανερχόμενης ζεύξης υπάρχει το κομμάτι TTG, το οποίο έχει ορισμένη διάρκεια και επιτρέπει στο σταθμό βάσης και στους SSs να αλλάξουν λειτουργία (από μετάδοση σε λήψη και αντίθετα). Κατά τη διάρκεια του TTG, ο BS και οι SSs δεν μεταδίδουν ούτε λαμβάνουν. Ένα ανάλογο κομμάτι υπάρχει και μετά από ένα υποπλαίσιο της ανερχόμενης ζεύξης ακολουθούμενο από ένα υποπλαίσιο της κατερχόμενης που ονομάζεται RTX.

5.8.1 Διαμόρφωση OFDM

Η OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) διαμόρφωση αναφέρεται σε μία μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης σύμφωνα με την οποία το σήμα διαχωρίζεται σε μικρής συχνοτικής μπάντας κανάλια, σε διαφορετικές συχνότητες. Το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει διαχωρισμό σε κανάλια κατά την uplink και downlink ζεύξη δηλαδή κατά τη μεταφορά δεδομένων από το SS προς το σταθμό βάσης και αντίστροφα. Για την Uplink συγκεκριμένα διατίθενται 16 υποκανάλια. Επίσης να πούμε ότι το OFDM φυσικό επίπεδο υποστηρίζει Time Division Duplexing (TDD) και Frequency Division Duplexing (FDD) εργασίες, τόσο για FDD όσο και για ημιαμφίδρομους (Half-Duplex) FDD.

Η OFDM διαμόρφωση είναι πολύ ανθεκτική σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης (multipath) ειδικότερα στις συχνότητες πάνω των 2 GHz όπου το πρότυπο 802.16 χρησιμοποιεί.

5.8.2 Διαμόρφωση OFDMA

Το OFDMA φυσικό επίπεδο μοιάζει στη λειτουργία με αυτό του OFDM. Διαθέτει και αυτο-διαχωρισμό σε υποκανάλια (subchannelization) τόσο στην uplink όσο και στην downlink μετάβαση. Το πρότυπο υποστηρίζει πέντε διαφορετικά σχήματα διαχωρισμού σε υπο-κανάλια. Τα συνεχή κενά της μεταφοράς οδηγούν σε ένα υψηλότερο φάσμα αποδοτικότητας σε ευρεία κανάλια, και σε μείωση του κόστους στα πιο στενά κανάλια. Είναι γνωστό επίσης σαν Scalable OFDMA (SOFDMA).

Βελτιώσεις έχουν γίνει στα φυσικά στρώματα των OFDM και OFDMA, ώστε να υποστηρίζουν συσκευές και υπηρεσίες σε ένα κινητό περιβάλλον. Αυτές οι βελτιώσεις, που περιλαμβάνουν Scaleable OFDMA, MIMO και υποστήριξη για idle/sleep mode και hand-off, θα επιτρέπουν πλήρη κινητικότητα σε ταχύτητες ως και 160 χιλιόμετρα την ώρα

- ▶ Βελτίωσε την κάλυψη χρησιμοποιώντας εξελιγμένες κεραιές, τοποθετημένες σε ποικίλους συνδυασμούς.
- ▶ Βελτίωσε την κάλυψη εισάγοντας συστήματα κεραιών πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (Multiple Input Multiple Output - MIMO).
- ▶ Βελτίωσε την ικανότητα του να διεισδύει καλύτερα σε εσωτερικούς χώρους.
- ▶ Χρησιμοποίησε νέες τεχνολογίες κωδικοποίησης όπως Turbo Coding και Low-Density Parity Check (LDPC), αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια.
- ▶ Έδωσε τη δυνατότητα στους administrators να εναλλάσσουν την κάλυψη για τη δυναμικότητα και το αντίστροφο.
- ▶ Ο νέος αλγόριθμος FFT επιτρέπει μεγαλύτερες καθυστερήσεις στη μεταφορά δεδομένων και έτσι είναι περισσότερο ανθεκτικό σε παρεμβολές πολλών διαφορετικών μονοπατιών στη μεταφορά δεδομένων.
- ▶ Αύξησε την ποιότητα, ευνοώντας έτσι τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, μετατρέποντας το έτσι στο πλέον κατάλληλο για εφαρμογές VoIP.
- ▶ Αύξησε την υποστήριξη για κινητικότητα των συνδρομητών, κάτι το οποίο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά σημεία του πρωτοκόλλου 802.16-2005 και είναι πολύ βασικό για την εξέλιξη του 'Mobile WiMax'.

Συγκεκριμένα, αυτή η διαμόρφωση έχει πλεονεκτήματα στη ρυθμοαπόδοση, στη λανθάνουσα κατάσταση, τη φασματική αποδοτικότητα και την προηγμένη υποστήριξη κεραιών κάνοντάς το ικανό να παρέχει την υψηλότερη απόδοση από τις σημερινές ευρείες ασύρματες τεχνολογίες περιοχής.

5.8.3 Τρόποι διάδοσης

Το πρότυπο IEEE 802.16 σχεδιάστηκε ώστε να υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 72 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν ξεπερνούν τα 50 km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου 802.16 σε σχέση με το 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50 Mbps.²⁷

Επίσης κάτι άλλο που χαρακτηρίζει το πρότυπο IEEE 802.16 είναι τα κανάλια ραδιοκυμάτων ασύρματης επικοινωνίας, στα οποία εκπέμπονται οι συχνότητες. Αυτά διαχωρίζονται σε LOS (Line of sight) και σε NLOS (Non line of sight).

- ▶ Σε μια σύνδεση LOS ένα σήμα ταξιδεύει σε μία άμεση και χωρίς εμπόδια διαδρομή από το πομπό στο δέκτη. Μια σύνδεση LOS, απαιτεί το περισσότερο μέρος της ζώνης Fresnel να μην παρεμποδίζεται από κάτι. Αν δεν ισχύει αυτό ο παράγοντας τότε η ισχύς του σήματος ελαττώνεται σημαντικά. Γενικά, γνωρίζουμε ότι η ζώνη Fresnel καλύπτει τη ζώνη οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Αξίζει να σημειώσουμε ότι η Fresnel zone clearance , εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος και βέβαια από την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη.
- ▶ Σε μια σύνδεση NLOS ένα σήμα φθάνει στο δέκτη μέσω αντανάκλασεων και διασποράς. Το σήμα αυτό που φτάνει στο δέκτη αποτελείται από σήμα που έφτασε άμεσα από το πομπό, σήμα που έφτασε από πολλαπλά μονοπάτια μέσω αντανάκλασης, διασπαρμένη ενέργεια και μονοπάτια όπου συνέβη περίθλαση. Αυτά τα σήματα έχουν διαφορετική καθυστέρηση διάδοσης,

27

²⁷ http://ru6.cti.gr/bouras/ergasies/foithtes/131_WiMax%20-%20IEEE%20802.16.doc

πολώσεις, και σταθερότητα σχετικά με το σήμα που φτάνει άμεσα. Το φαινόμενο αυτό του πολλαπλού μονοπατιού που περιγράφουμε μπορεί να ευθύνεται και για την αλλαγή της πολικότητας του σήματος.

Γενικά, αν και υπάρχουν προβλήματα, η NLOS μετάδοση έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της LOS αφού είναι πιο ευέλικτη, απαιτεί πολύ μικρότερες κεραιές. Η ύπαρξη μικρών κεραιών είναι πολύ μεγάλης σημασία σε ασύρματα δίκτυα με κυψελοειδής δομές και αυτό συμβαίνει γιατί με μικρές κεραιές μειώνονται οι παρεμβολές μεταξύ των γειτονικών κυψελών. Βέβαια η NLOS μετάδοση μειώνει το κόστος εγκατάσταση σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η εγκατάσταση πολλών κεραιών είναι αρκετά δύσκολη.

5.8.4 Πλεονεκτήματα του μητροπολιτικού ασύρματου δικτύου

Πέραν του υψηλού ρυθμού μετάδοσης, της βέλτιστης ποιότητας και της μεγάλης εμβέλειας κάλυψης το WiMAX προσφέρει και άλλα προτερήματα.²⁸

► **Κινητικότητα**

Ο συνδρομητής θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τη σύνδεσή του από οπουδήποτε ακόμη και εν κινήσει μέσα στην πόλη ή και ολόκληρη τη χώρα. Κάτι που δεν είναι εφικτό με τις σημερινές συνδέσεις ADSL, ούτε και με την τεχνολογία WiFi, λόγω της περιορισμένης της εμβέλειας.

► **Διαλειτουργικότητα**

Το WiMAX βασίζεται σε παγκόσμια πρότυπα και πρωτόκολλα, εκτός εταιρικών παρεμβάσεων, τα οποία διευκολύνουν τους τελικούς χρήστες να ταξιδεύουν και να χρησιμοποιούν τους σταθμούς υπηρεσίας τους σε διαφορετικές τοποθεσίες ή με διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών. Η διαλειτουργικότητα προστατεύει την πρόωρη επένδυση ενός χειριστή καθώς μπορεί να επιλέξει εξοπλισμό από διαφορετικές εταιρείες και θα συνεχίσει να μειώνει το κόστος του εξοπλισμού σαν αποτέλεσμα της μαζικής αποδοχής.

► **Εύκολη εγκατάσταση-επέκταση**

Συγκρινόμενο με την εγκατάσταση των καλωδιωμένων λύσεων, το WiMAX απαιτεί μικρή ή καθόλου κατασκευή ή αναμόρφωση ήδη υπάρχοντων εγκαταστάσεων. Με την άρση των περιορισμών των καλωδίων οι ιδιωτικές εταιρείες θα έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν ανεξάρτητα ασύρματα δίκτυα τηλεπικοινωνιών και υπηρεσιών Internet, με πολύ μεγάλη ευκολία, καθώς δεν απαιτείται η εγκατάσταση καλωδίων σε κάθε σημείο της χώρας. Έτσι θα δημιουργηθούν συνθήκες πραγματικού τηλεπικοινωνιακού ανταγωνισμού.

▶ **Γρήγορη εγκατάσταση-επέκταση**

Ένα δίκτυο WiMAX που θα καλύπτει μια μεγαλούπολη μπορεί να εγκατασταθεί σε λίγες μέρες, σε αντίθεση με ένα αντίστοιχο ενσύρματο δίκτυο που θα χρειαζόταν πολλούς μήνες ή και χρόνια. Άπαξ και η κεραία και ο αναγκαίος εξοπλισμός έχουν εγκατασταθεί, το WiMAX είναι έτοιμο να παρέχει την υπηρεσία.

▶ **Δυνατότητα εγκατάστασης σε απομακρυσμένες**

Η ικανότητα γρήγορης παροχής υπηρεσιών ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές ή περιοχές που λόγω φυσικών περιορισμών η ενσύρματη δικτύωση θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη. Ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η εγκατάσταση των συστημάτων ενσύρματης μετάδοσης είναι υπερβολικά δαπανηρή. Περιπτώσεις αυτού του είδους αποτελούν οι αγροτικές, ορεινές, απροσπέλαστες και απομακρυσμένες περιοχές από το δίκτυο κορμού.

▶ **Άμεση επανενεργοποίηση**

Μετακομίζοντας σε άλλη περιοχή, ο συνδρομητής δεν θα χρειαστεί να κάνει ενεργοποίηση ευρυζωνικής σύνδεσης στον νέο του χώρο, όπως ισχύει για τις γραμμές ADSL. Αφού θα καλύπτεται από το ασύρματο σήμα του παρόχου υπηρεσιών WiMAX, μπορεί να αρχίσει άμεσα να χρησιμοποιεί τη σύνδεσή του.

▶ **Φορητότητα**

Όπως και με τα τρέχοντα κυψελωτά συστήματα, μόλις ο σταθμός υπηρεσίας του WiMAX αρχίζει τη λειτουργία του, ταυτοποιείται, καθορίζει τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης με το σταθμό βάσης, όσο ο σταθμός υπηρεσίας είναι εγγεγραμμένος στη βάση δεδομένων του συστήματος και τότε διαπραγματεύεται τα χαρακτηριστικά εκπομπής του, αντίστοιχα.

▶ **Χαμηλό κόστος**

Αποφυγή μεγάλου κόστους εγκατάστασης. Το WiMAX είναι βασισμένο σε ένα ανοιχτό, παγκόσμιο πρωτόκολλο. Η μαζική αποδοχή του και η χρήση chipsets χαμηλού κόστους μαζικής παραγωγής θα οδηγήσει σε δραματική μείωση του κόστους και το αποτέλεσμα του ανταγωνισμού στις τιμές θα παρέχει

σημαντικές οικονομίες για τους παρόχους υπηρεσιών και τους τελικούς χρήστες.

► Ασφάλεια

Όσον αφορά την ασφάλεια, τα πιο πολλά ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν επίσης μεθόδους εξουσιοδότησης των συνδεδεμένων και κρυπτογράφησης των δεδομένων. Αρκετά πρότυπα χρησιμοποιούν την τεχνική εναλλαγής συχνότητας (frequency hopping) σύμφωνα με την οποία ο κάθε πομποδέκτης αλλάζει συχνότητα μετά την αποστολή /λήψη ενός πακέτου δεδομένων αποφεύγοντας έτσι τα παράσιτα.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω θα μπορούσαμε να πούμε ότι το WiMAX συνιστά ένα πολύ ευέλικτο και οικονομικό πρότυπο το οποίο μπορεί να καλύψει τις αδυναμίες της ενσύρματης δικτύωσης και επιπλέον να παρέχει νέες υπηρεσίες και προϊόντα.

5.8.5 Προσφερόμενες Υπηρεσίες

Προφανώς για την πληθώρα των εφαρμογών του, που όπως διαφημίζεται θα λύσουν πολλά προβλήματα (απόστασης κυρίως) και θα προσφέρουν υπηρεσίες άνευ προηγούμενου στους χρήστες.²⁹

1. Η μόνιμη και ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο επιτρέπει ακόμη και στον πιο απλό χρήστη να αξιοποιήσει ένα μεγάλο πλήθος νέων εφαρμογών, που μέχρι στιγμής δεν ήταν διαθέσιμες, είτε λόγω χαμηλού bandwidth, είτε λόγω των περιορισμών που θέτει η χρήση καλωδίων.
2. Η τηλεφωνία Voice over IP, που επιτρέπει την πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων μέσω Internet, μέχρι τώρα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο σε οικιακούς ή εταιρικούς χώρους που διέθεταν σύνδεση στο διαδίκτυο υψηλών ταχυτήτων. Με το WiMAX, το γρήγορο Internet είναι διαθέσιμο σε κάθε σημείο. Έτσι προσφέρει τηλεφωνική επικοινωνία με άτομα που βρίσκονται πολύ μακριά ακόμη και όταν ταξιδεύουμε και μάλιστα με χαμηλό ή και μηδενικό κόστος.

29

[□] <http://elmpa.blogspot.com/2008/04/wi-fi-vs-wi-max.html>

3. Οι ταχύτητες που υπόσχεται το WiMAX είναι τόσο υψηλές, που εκτός από τη μετάδοση φωνής, το πιθανότερο είναι ότι θα καταστεί εφικτή και η βιντεοτηλεφωνία μέσω διαδικτύου. Εφαρμογές όπως το Skype , το ICQ ή ο Messenger που ήδη επιτρέπουν την πραγματοποίηση συνομιλίας με ήχο ή και εικόνα, θα μπορούν άμεσα να χρησιμοποιηθούν σε φορητούς υπολογιστές και PDA εν κινήσει, καθιστώντας απλή υπόθεση την αδιάλειπτη και οικονομική επικοινωνία.
4. Η παρακολούθηση video on demand και online τηλεοπτικών ή ραδιοφωνικών μεταδόσεων προγραμμάτων θα επιτρέπει σε κάποιο φίλαθλο να παρακολουθεί online το ματς της αγαπημένης του ομάδας εν κινήσει, στον επαγγελματία να ενημερώνεται για τις τιμές των μετοχών ανά πάσα στιγμή. Η αποστολή ενός e-mail με μεγάλα συνημμένα αρχεία, ενώ βρίσκεστε καθ' οδόν, σήμερα είναι πρακτικά ανέφικτη, εκτός φυσικά αν χρησιμοποιήσετε το –όχι και τόσο οικονομικό- 3G.
5. Το WiMAX θα επιτρέψει τη δημιουργία ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων που θα καλύπτουν αξιόπιστα μεγάλες περιοχές. Χρήστες που βρίσκονται στην ίδια μεγαλούπολη, αλλά σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων μεταξύ τους, θα μπορούν να ανταλλάζουν αρχεία δημιουργώντας μεταξύ τους ένα προστατευμένο ιδιωτικό δίκτυο, στο οποίο δεν θα έχουν πρόσβαση τρίτα άτομα, παρά μόνο αν γνωρίζουν το μυστικό κλειδί κρυπτογράφησης.

5.8.6 Αναγκαιότητα ή μόδα;

Σαφώς σκεπτόμενος κανείς όλες τις παραπάνω υπηρεσίες που προσφέρει σήμερα το ασύρματο ίντερνετ θα μπορούσε να πει κανείς πως αποτελεί μόδα των σύγχρονων καιρών ή ότι τουλάχιστον δεν αποτελεί αναγκαιότητα.

Η τηλεφωνική επικοινωνία μέσω υπολογιστή ενώ βρισκόμαστε σε κίνηση, η παρακολούθηση online μεταδόσεων κ.α αποτελούν υπηρεσίες που συμβάλουν στη ψυχαγωγία και στην ενημέρωση ανά πάσα στιγμή. Από την άλλη η πληροφόριση σε πραγματικό χρόνο για θέματα που αφορούν την εργασία, ειδικότερα σε επαγγέλματα όπως ιατρός, χρηματιστής κ.α. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, ένα ασύρματο δίκτυο αποτελεί μια αποδοτική και ελκυστική εναλλακτική λύση.

Εν τούτοις, υπάρχουν και μερικά περιβάλλοντα στα οποία τα ασύρματα τοπικά δίκτυα αποτελούν αναγκαία λύση από ένα δίκτυο με καλώδιο. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν:

- ▶ Ιστορικά κτήρια όπου η εγκατάσταση καλωδίων είναι δύσκολη ή αδύνατη. Τα πολύ παλιά κτίρια, στα οποία είτε το άνοιγμα τρυπών στους τοίχους απαγορεύεται, είτε η καλωδίωση είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη. Πέρα από τα παλαιά κτίρια όμως θα μπορούσαμε να αναφερθούμε και σε απομακρυσμένες περιοχές ή περιοχές που λόγω φυσικών περιορισμών η ενσύρματη δικτύωση θα ήταν εξαιρετικά δύσκολη. Ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η εγκατάσταση των συστημάτων ενσύρματης μετάδοσης είναι υπερβολικά δαπανηρή. Περιπτώσεις αυτού του είδους αποτελούν οι αγροτικές, ορεινές, απροσπέλαστες και απομακρυσμένες περιοχές από το δίκτυο κορμού.
- ▶ Περιβάλλοντα μεγάλων εκτάσεων, όπως οι χώροι παραγωγής ενός εργοστασίου ή μιας αποθήκης. Είναι πολύ συνηθισμένο μια εργοστασιακή επιχείρηση να αποτελείται από ένα χώρο γραφείων, ο οποίος βρίσκεται ξεχωριστά από το χώρο παραγωγής, αλλά πρέπει να είναι συνδεδεμένος με αυτόν, έτσι ώστε να παρέχονται δικτυακές υπηρεσίες στο προσωπικό (π.χ. παρακολούθηση των χώρων λειτουργίας από τον επόπτη, ηλεκτρονική διαχείριση της αποθήκης κλπ). Μια τυπική λύση στην περίπτωση αυτή είναι η σύνδεση ενός ενσύρματου με ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο, με το πρώτο να βρίσκεται στο χώρο των γραφείων και το δεύτερο στο χώρο της παραγωγής. Ο τύπος αυτός της εφαρμογής των ασύρματων τοπικών δικτύων αναφέρεται ως επέκταση τοπικού δικτύου.
- ▶ Σε μικρά γραφεία ή πανεπιστημιακούς χώρους, όπου η εγκατάσταση και η συντήρηση ενός δικτύου με καλώδιο είναι αντιοικονομική. Έτσι η ασύρματη δικτύωση καλύπτει επιπλέον χώρους ή τους πιο δύσκολους χώρους που δεν είχε προβλεφθεί ή δεν είναι δυνατή μια καλωδιακή εγκατάσταση, όπως οι αίθουσες συνεδρίων, τα lobby των ξενοδοχείων, και είναι πολύ μεγάλο το κόστος για να γίνει κάτι τέτοιο. Μικρές ομάδες εργασίας με διαμοιραζόμενες πληροφορίες

Κεφάλαιο 6°

6.1 Περίπτωση Μελέτης

Εγκατάσταση σταθμού «Μητροπολιτικό ασύρματο δίκτυο Δήμου Γ. Καραϊσκάκη»

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Δήμος ή Κοινότητα: Κλειδί, δήμος Γ. Καραϊσκάκη

Ονομασία Τοποθεσίας: Κλειδί (Σχολείο)

Διεύθυνση: Κλειδί

Γεωγραφικό μήκος (WGS84): 39° 9'20.54"B

Γεωγραφικό πλάτος (WGS84): 21°12'21.37"A

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στοιχεία Οικοπέδου: Δήμος Γ. Καραϊσκάκη

Στοιχεία Κτηρίου: Ιδιοκτησία: Κλειδί (Σχολείο)

Τύπος Κτηρίου: Σχολείο

Τοποθεσία Ιστού: Σκεπή

Τύπος Ιστού: Δικτύωμα

Ύψος Ιστού: 6μ

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ

Παροχή Ρεύματος: ΔΕΗ: Υπάρχει παροχή ΔΕΗ

DC/AC: 48V/220V

Πίνακας Παροχής Ρεύματος: Υπάρχει πίνακας

Αδιάλειπτη παροχή: Ναι

Φ/Β:-

Μπαταρίες:-

Γειώσεις :Ναι

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Τύπος Σταθμού: 1 Σταθμός

Είδος Κεραίας: 2 sectoral

3dB Άνοιγμα Κεραίας (H): 90ο

Προσανατολισμός Κεραίας (deg): 0° (Βόρεια κεραία), 210ο (Νότια κεραία)

Κλίση Κεραίας (deg): 0°

Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m): 8

Τρόπος Στήριξης Κεραίας: Σε υπάρχοντα υποδέκτη

Πόλωση: Οριζόντια (Βόρεια κεραία), Κατακόρυφη (Νότια κεραία)

Δίαυλοι Εκπομπής (Κεντρικές Συχνότητες): 3446.75 MHz (Βόρεια κεραία), 3543.25 MHz (Νότια κεραία)

Εύρος Διαύλου Εκπομπής: 3.5 MHz

Τύπος Καλωδίου: IF

Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου: 20

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ

ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ

Τύπος Σταθμού: 1 Σταθμός Διασύνδεσης

3dB Άνοιγμα Κεραίας (H):15

Προσανατολισμός Κεραίας (deg):334

Κλίση Κεραίας (deg):+4.2

Ύψος Τοποθέτησης Κεραίας (m):5

Πόλωση: Κατακόρυφη

Δίαυλος Εκπομπής (Κεντρική Συχνότητα): 3553.75 MHz

Εύρος Διαύλου Εκπομπής: 3.5MHz

Τύπος Καλωδίου: IF

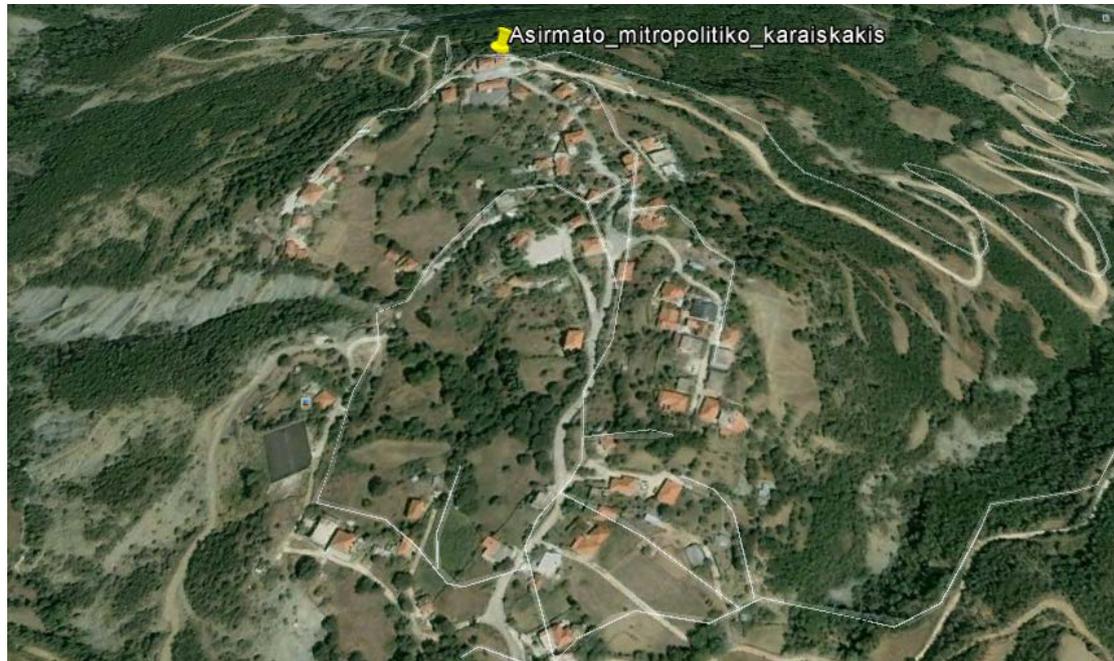
Απαιτούμενο Μήκος Καλωδίου (m): 25

Ζεύξεις με άλλον Σταθμό: Όχι

Απαίτηση Παροχής Ισχύος Σταθμού (W): 800 (Συνολικά, για πρόσβαση, διασύνδεση και router)

6.2 Τεχνικά στοιχεία ενσύρματης διασύνδεσης

Φωτογραφίες εγκατάστασης



Σχήμα 26: Γεωγραφική θέση του Μητροπολιτικού ασύρματου δικτύου Δήμου Γ. Καραισκάκη

6.3 Προσομοίωση της ραδιοκάλυψης με το λογισμικό Radio

Mobile

Το Radio Mobile είναι ένα ελεύθερο και ισχυρό εργαλείο για τη χάραξη ραδιοσυχνοτήτων και την πρόβλεψη της δημιουργίας των συστημάτων ραδιοεπικοινωνίας. Χρησιμοποιώντας τα ελεύθερα διαθέσιμα δεδομένα όπως είναι ανύψωση εδάφους μπορεί να παράγει χρώμα της κλίμακας του γκρι , x - ray και χρώματα του ουράνιου τόξου.

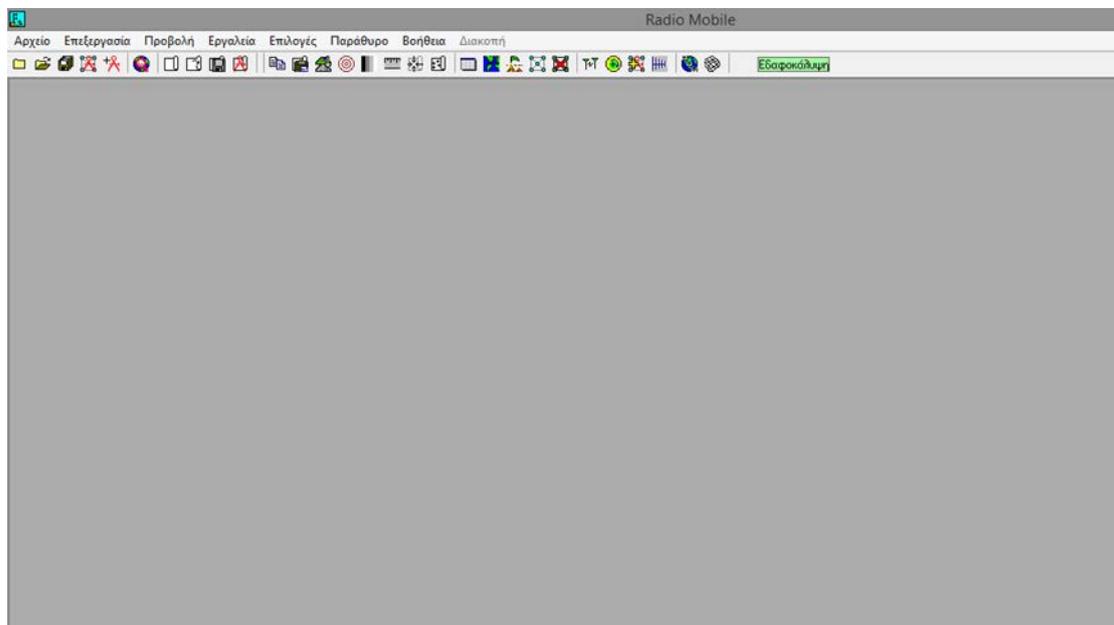
Κάποιος μπορεί επίσης να παράγει 3 - D και στερεοσκοπικές προβολές καθώς και κινούμενες εικόνες. Οι εικόνες του φόντου μπορεί να συγχωνευθεί με σάρωση χαρτών, δορυφορικές φωτογραφίες και χάρτες Marquest να παράγουν ακριβή πρόβλεψη. Μπορούμε να αποκτήσουμε το αντίγραφο του Radio Mobile από την επίσημη ιστοσελίδα.

6.4 Μελέτη ραδιοκάλυψης

Αιτιολογώντας την επιλογή των συγκεκριμένων θέσεων για την τοποθέτηση των σταθμών βάσης παρουσιάζουμε ξεχωριστά την εκτιμώμενη περιοχή ραδιοκάλυψης που προσφέρει κάθε ένας.

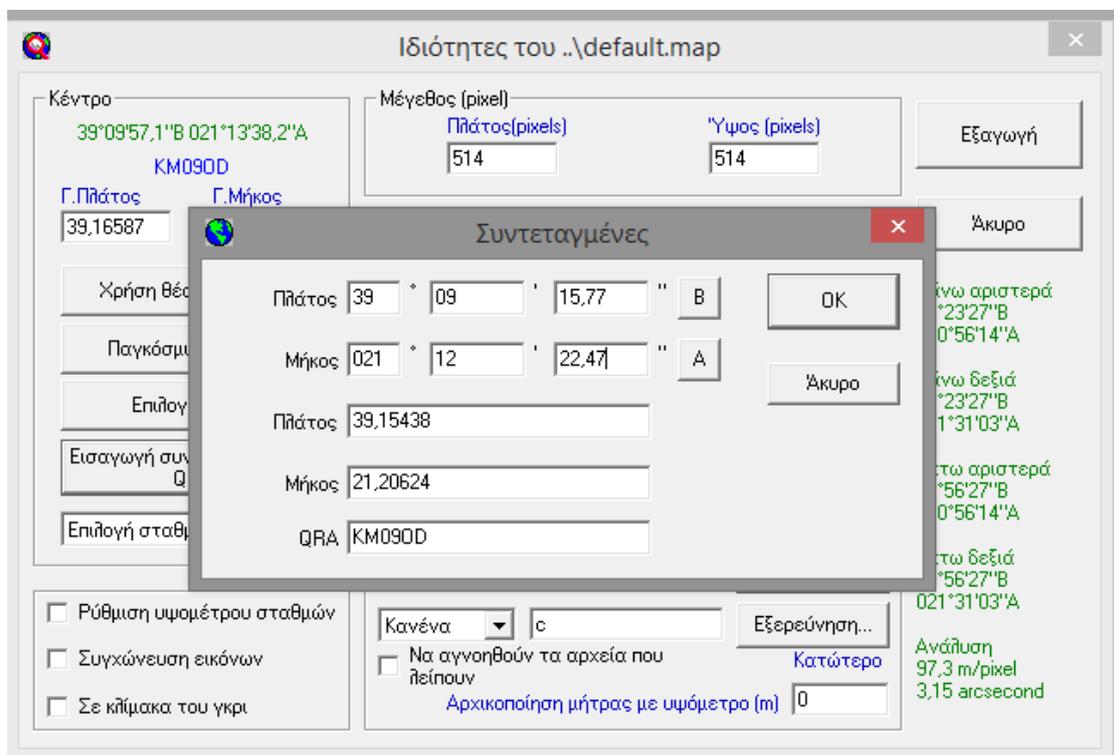
Βήμα 1

Άνοιγμα του προγράμματος Radio Mobile



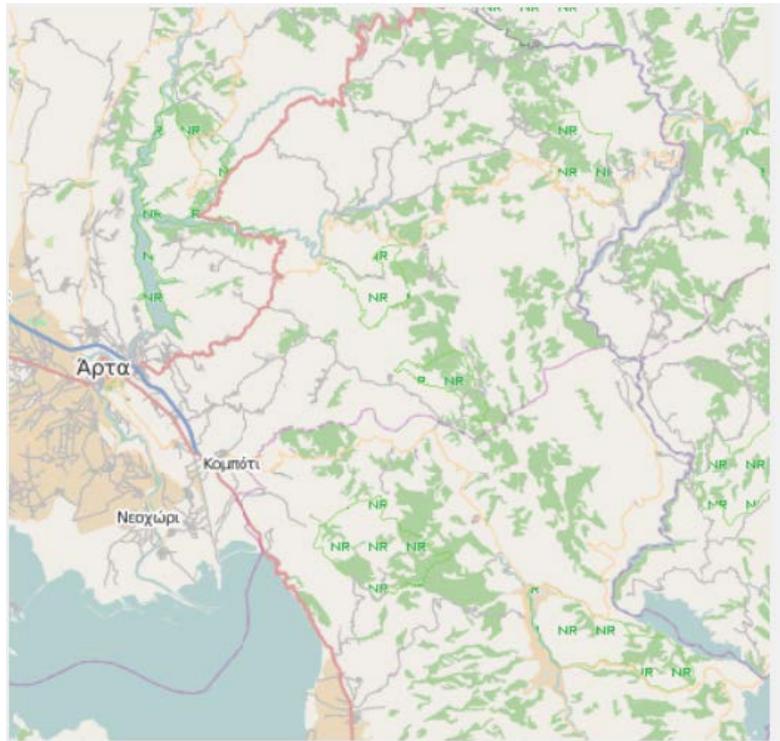
Βήμα 2

Εισαγωγή συντεταγμένων ή QRA, οι συντεταγμένες αφορούν το Μητροπολιτικό ασύρματο δίκτυο Δήμου Γ. Καραϊσκάκη



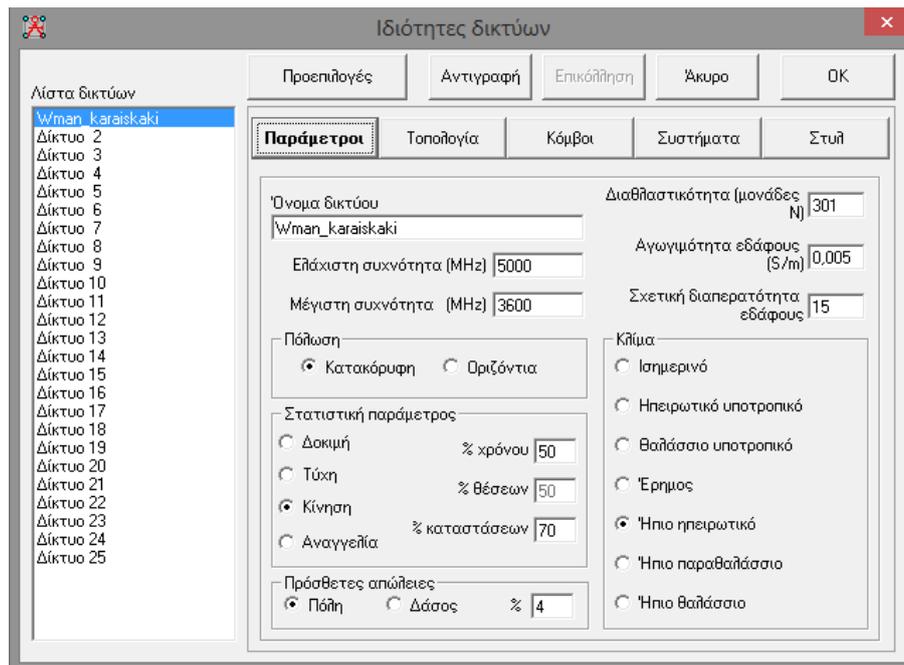
Βήμα 3

Προβολή χάρτη με βάση τις συντεταγμένες



Βήμα 4

Εισαγωγή δεδομένων στο δίκτυο με βάση τις συντεταγμένες



Βήμα 5

Εισαγωγή δεδομένων στο Σύστημα με βάση τις συντεταγμένες

Ιδιότητες δικτύων

Λίστα συστημάτων

- e-karaiskakis
- an-karaiskakis
- Σύστημα 3
- Σύστημα 4
- Σύστημα 5
- Σύστημα 6
- Σύστημα 7
- Σύστημα 8
- Σύστημα 9
- Σύστημα 10
- Σύστημα 11
- Σύστημα 12
- Σύστημα 13
- Σύστημα 14
- Σύστημα 15
- Σύστημα 16
- Σύστημα 17
- Σύστημα 18
- Σύστημα 19
- Σύστημα 20
- Σύστημα 21
- Σύστημα 22
- Σύστημα 23
- Σύστημα 24
- Σύστημα 25

Προεπιλογές Αντιγραφή Επικύλιση Άκυρο OK

Παράμετροι Τοπολογία Κόμβοι **Συστήματα** Στυλ

00 Επιλογή από VHF ... UHF ...

Όνομα συστήματος e-karaiskakis

Ισχύς εκπομπής (Watt) 500 (dBm) 57

Ευαισθησία δέκτη (μV) 1.2 (dBm) -105.4

Απώλειες γραμμής (dB) 3.5 (καλώδια+φθορές+ενώσεις)

Τύπος κεραίας corner.ant Προβολή

Κέρδος κεραίας (dBi) 4.85 (dBd) 2.7

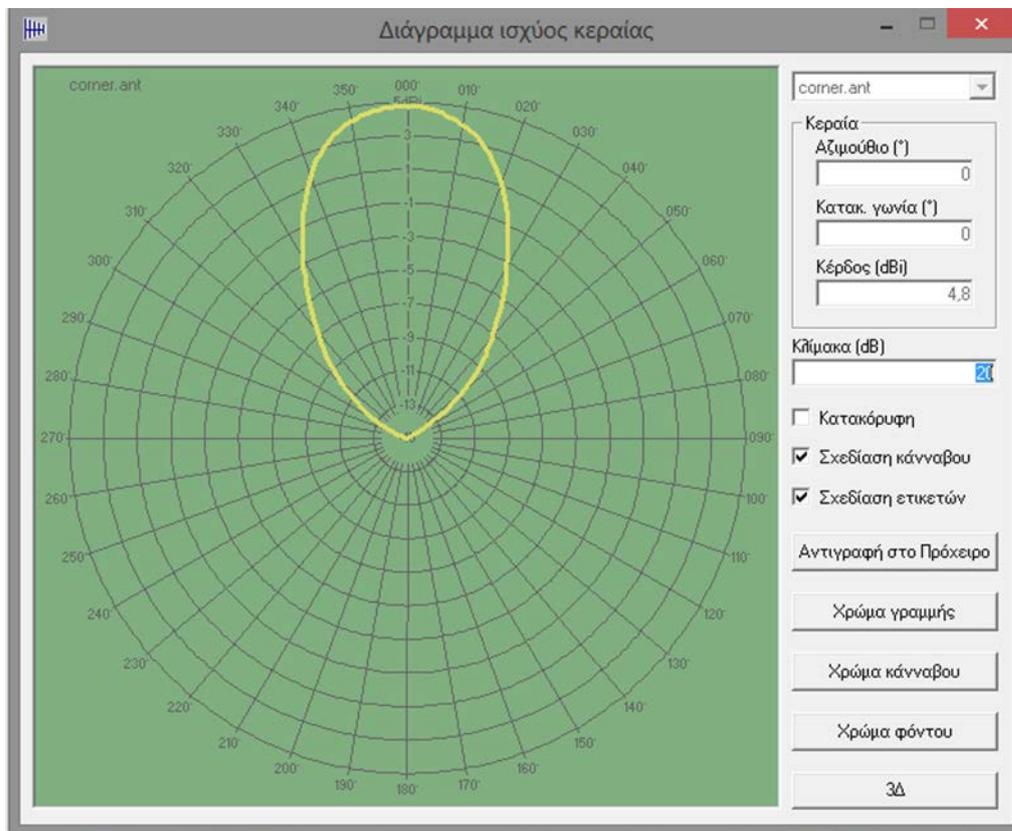
Ύψος κεραίας (m) 6 (από το έδαφος)

Πρόσθετη απώλεια γραμμής (dB/m) 1 (Αν ύψος κεραίας διαφέρει)

Προσθήκη στο Radiosys.dat Αφαίρεση από Radiosys.dat

Βήμα 6

Διάγραμμα ισχύος κεραίας που έχει προβληθεί με βάση το τύπο της κεραίας



Βήμα 7

Ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας του Σταθμού Βάσης. Εισαγωγή δεδομένων της τοποθεσίας (γεωγραφικών συντεταγμένων, υψομέτρου) και συχνότητας λειτουργίας για κάθε sector.

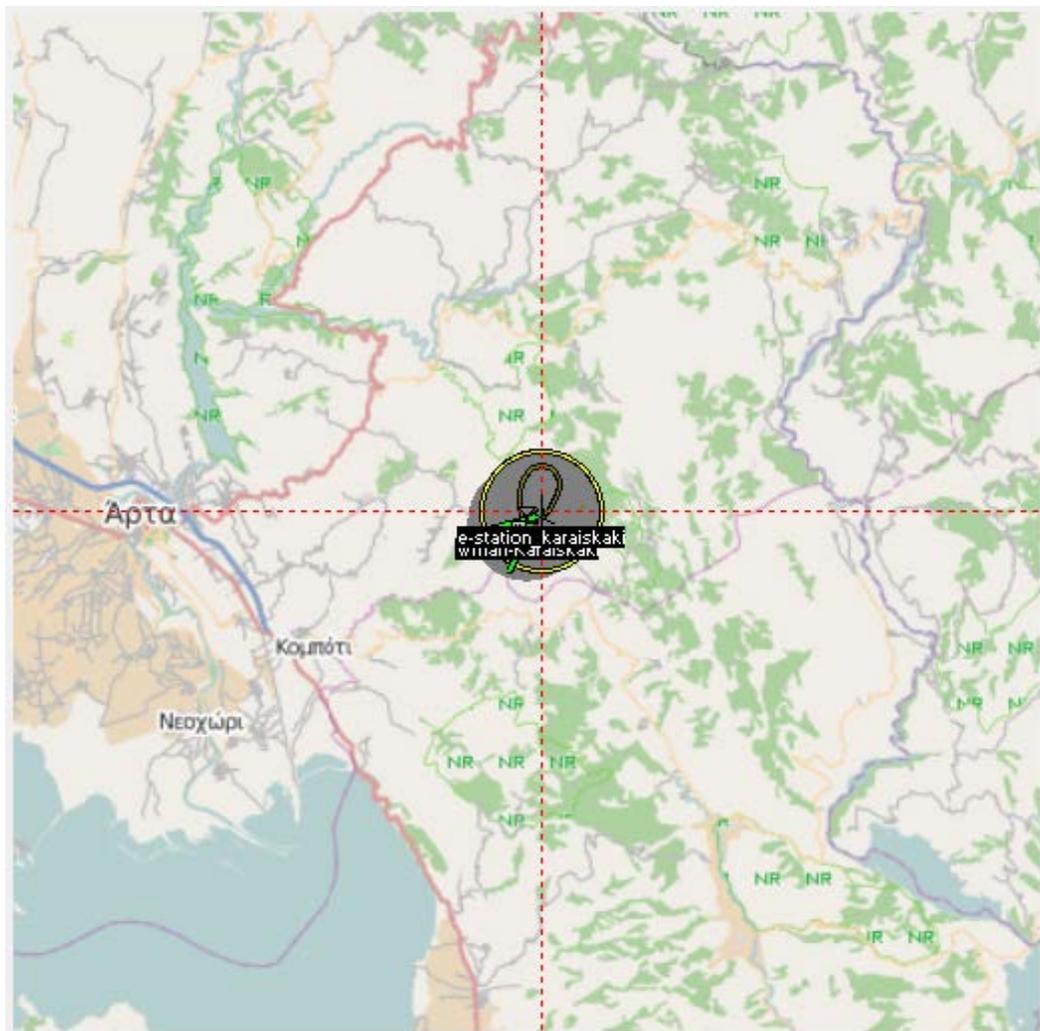
The screenshot shows the 'Ιδιότητες σταθμών' (Station Properties) dialog box. The left sidebar lists stations from 'Wman-Karaiskaki' to 'Σταθμός 32'. The main area contains the following fields and controls:

- Όνομα:** Wman-Karaiskaki
- Υψόμετρο (m):** 547,5
- Θέση:** 39°09'24,7" B 021°12'17,6" A
- Αντιγραφή:** Button
- Επικόλληση:** Button
- Κλειδωμένος:**
- Εισαγωγή συντεταγμένων ή QRA:** Button
- Τοποθέτηση σταθμού στη θέση δρομέα:** Button
- Τοποθέτηση δρομέα στη θέση σταθμού:** Button
- Στυλ - Wman-Karaiskaki:**
 - Ενεργό
 - Αριστερά
 - Κέντρο
 - Δεξιά
 - Διαφανές
 - Χωρίς ετικέτα
 - Φόντο:** Button
 - Χρώμα:** Button
 - Εικονίδιο 16x16 pixels:** Input field with left and right arrows and a '+' button.
- Εμφάνιση σταθμών μόνο από ορατά δίκτυα

On the right side, there is a vertical stack of buttons: OK, Διαγραφή, Αφαίρεση σταθμού, Μετακίνηση Πάνω, Μετακίνηση Κάτω, Εξαγωγή, Εισαγωγή, Ταξινόμηση, Εφαρμογή στυλ, and Μικρό Παράδειγμα.

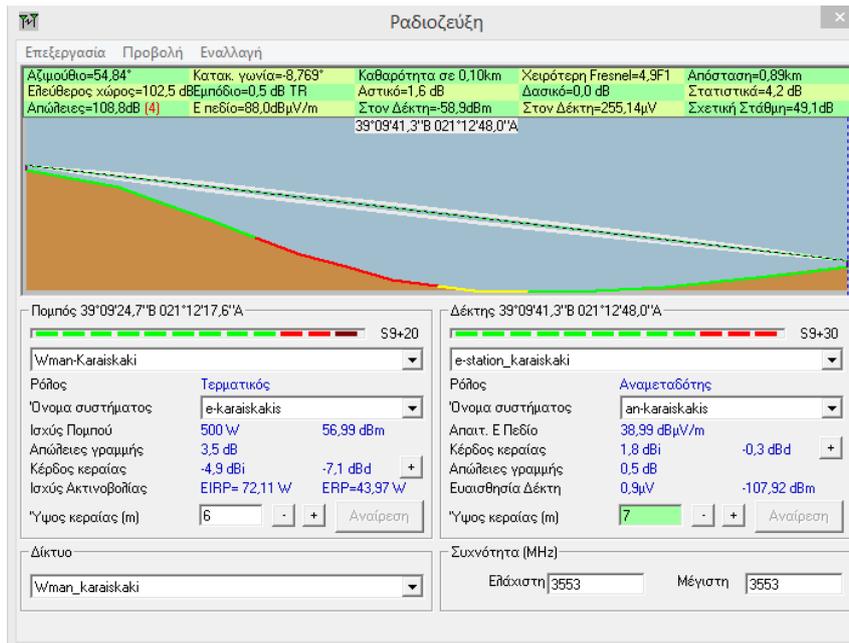
Βήμα 8

Περιοχή κάλυψης του δικτύου Wman



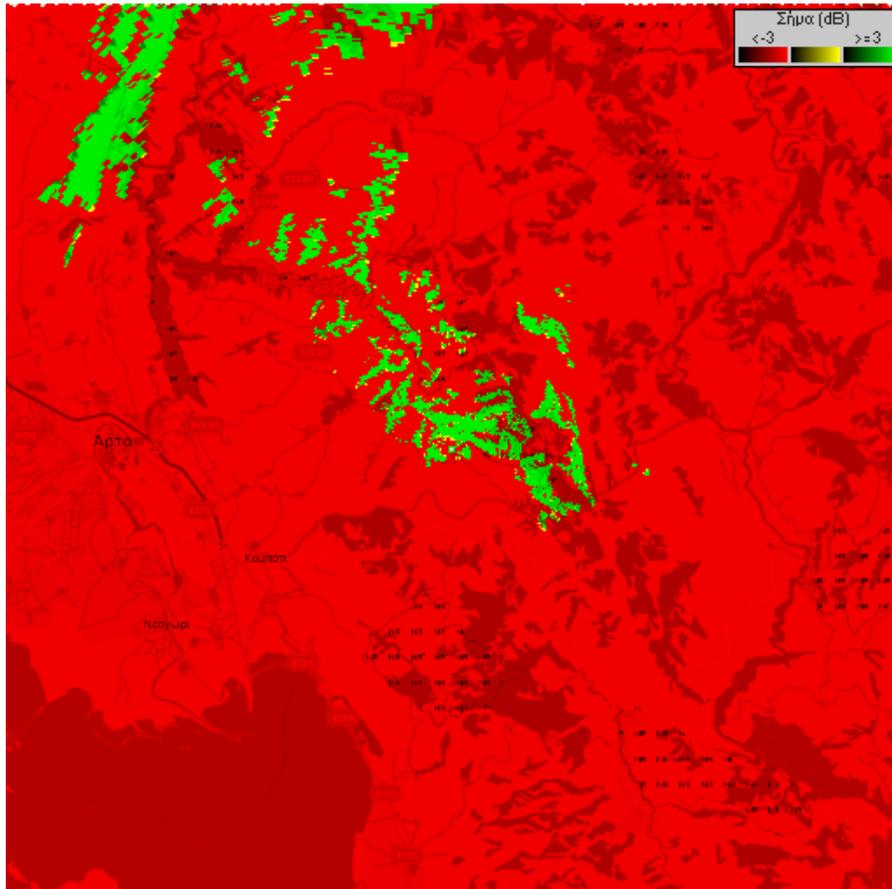
Βήμα 9

- Η απόσταση μεταξύ Wman-Karaiskaki και e-station_karaiskaki είναι 0,9 km (0,6 miles)
- Βόρειο γεωγραφικό αζιμούθιο = $54,84^\circ$, Βόρειο μαγνητικό αζιμούθιο = $51,11^\circ$, Κατακόρυφη γωνία = $-8,7694^\circ$
- Η υψομετρική διαφορά είναι 172,6 m
- Η ραδιοκυματική διάδοση γίνεται με οπτική επαφή, ελάχιστη καθαρότητα 4,9F1 σε 0,1km
- Η μέση συχνότητα είναι 3553,000 MHz
- Ελεύθερος χώρος = 102,5 dB, Εμπόδιο = 0,5 dB TR, Αστικό = 1,6 dB, Δασικό = 0,0 dB, Στατιστικά = 4,2 dB
- Οι συνολικές απώλειες διάδοσης είναι 108,8 dB
- Το κέρδος του συστήματος από Wman-Karaiskaki ως e-station_karaiskaki είναι 157,8 dB (corner.ant σε $54,8^\circ$ κέρδος = -4,9 dB)
- Το κέρδος του συστήματος από e-station_karaiskaki ως Wman-Karaiskaki είναι 154,9 dB (dipole.ant σε $234,8^\circ$ κέρδος = 1,8 dB)
- Η χειρότερη λήψη είναι 46,1 dB πάνω από την απαιτούμενη στάθμη για ικανοποίηση
- 50,000% του χρόνου, 70,000% των καταστάσεων



Βήμα 10

Η εκτιμώμενη θεωρητική ραδιοκάλυψη του Σταθμού Βάσης



7.0 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύξαμε τις ιδέες μας για τις κυριότερες τεχνολογίες των τηλεπικοινωνιακών δικτύων που χρησιμοποιούνται σήμερα. Ακόμη αναλύσαμε τα χαρακτηριστικά των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και προσπαθήσαμε να δούμε από ποιες συνθήκες επηρεάζονται τα δίκτυα

Τέλος δημιουργήσαμε μια κατασκευή ενός μοντέλου προσομοίωσης για να προσεγγίσουμε τη λειτουργία των πραγματικών δικτύων. Εργασθήκαμε σε ένα προγραμματιστικό περιβάλλον το «Radio Mobile» που αποτέλεσε απαραίτητο εργαλείο για την εξοικείωση μας με όλες τις παραμέτρους που αφορούν τη διάδοση του σήματος, και ποια τεχνολογία έχουμε χρησιμοποιήσει.

8.1 Βιβλιογραφία

1. Brocade, Application Note: Metropolitan Area Networks
2. Cisco, DWDM in metropolitan area networks.
3. Conta.uom.gr, Μητροπολιτικά Δίκτυα.
4. H. Taub, D. S., 1998. Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα. Δεύτερη επιμ. s.l.:Εκδόσεις Τζιόλα.
5. Laudon, K. C. L. a. J. P., 2001. Management Information Systems: Managing the Digital Firm. 10th ed επιμ.
6. Schneier, B., 2003. Applied Cryptography. Wiley.
7. Simon Haykin, E. M., 1995. Συστήματα Επικοινωνίας. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
8. standards.ieee, n.d. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks,
9. Systems, C., 2003. Aironet Wireless LAN Fundamentals. s.l.:Cisco Press.
10. Walrand, J., 1997. Δίκτυα Επικοινωνιών. Αθήνα: Εκδ. Παπασωτηρίου.
11. Wikipedia, n.d. Integrated Services Digital Network.
12. wikipedia, n.d. Public switched telephone network.
13. Ι.Γ. Τίγκελη, Δ. Φ., 1997. Σημειώσεις του Μαθήματος Εισαγωγή στα Συστήματα Τηλεπικοινωνιών. Αθήνα: Παν/μιο Αθηνών.
14. Φ. Κωνσταντίνου, Χ. Κ. Π. Κ., n.d. Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες. s.l.:Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
15. Χρήστος Βασιλόπουλος, Β. Σ. ,. Ι. Ν., 2000. Σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Αθήνα: Συμμετρία.
16. <http://math4u.gr.185-4-135-23.linuxzone39.grserver.gr/index.php/bibliothiki/40-pliroforikis/557-thlepdiikt>
17. Δίκτυα Επικοινωνίας Δεδομένων, <http://www.e-yliko.gr/htmls/diktya/senario3/theory/files/diktymetds1kef6.pdf>

18. Θ. Γεωργίου, Ι. Καππος, Α. Λαδίας, Α. Μικροπουλος, Α. Τζιμογιαννης, Κ. Χαλκιά , Πολυμέσα και Δίκτυα, Αθήνα
19. Καρποδίνης Πολυχρόνης 2006 , υλοποίηση ενός sip user agent στον δικτυακό Επεξεργαστή intel ixp.
20. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C127/577/3749,16442/>
21. http://hermes.di.uoa.gr/exe_activities/diktia/isdn.html
22. http://el.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_Digital_Subscriber_Line
23. http://hermes.di.uoa.gr/exe_activities/diktia/_3.html
24. <http://yphresiesdiadiktyoukalatzis.blogspot.gr/>
25. http://hermes.di.uoa.gr/exe_activities/diktia/___6.html
26. <http://www.scribd.com/doc/18338670/Eisagogi-stis-tilepikoinonies>
27. <http://www.scribd.com/doc/49652052/Eisagogi-stis-tilepikoinonies>
28. Σ. Ματακίας (Msc), Α. Τσιγκοπουλος (Phd), Α. Αμδίτης (Phd),1999, Επικοινωνίες και Δίκτυα
29. Παναγιώτης Α. Καλόγηρος,2004, Εξομοίωση Τοπολογιών Ασύρματων Δικτύων με Λογισμικό NS-2
30. http://www.eln.teilam.gr/sites/default/files/_%CE%A3%CE%A5%CE%A3%CE%A4_%CE%A4%CE%97%CE%9B%CE%95%CE%A0_final.pdf
31. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C104/423/2835,10772/>
32. <http://dide.flo.sch.gr/Plinet/Tutorials/ComputerNetworks-1-PetalaXristina.pdf>
33. nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/2644/1/TOMOSA.pdf
34. Καραδήμας Χρήστος Μελέτη, σχεδίαση, υλοποίηση και αξιολόγηση μηχανισμού παροχής εγγυημένης ποιότητας υπηρεσίας σε δίκτυα 802.16
35. Δημητρά Χ. Μπουζή,2008, Μελέτη εξυπηρέτησης εσωτερικού χώρου από ασύρματες υπηρεσίες ευρυζωνικού internet (Wi-Fi). Ανάπτυξη και σχεδιασμός με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

36. http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2008-0213/DT2008-0213.doc
37. <http://maliorkas.webs.com/wirelesstechnologywifi.htm>