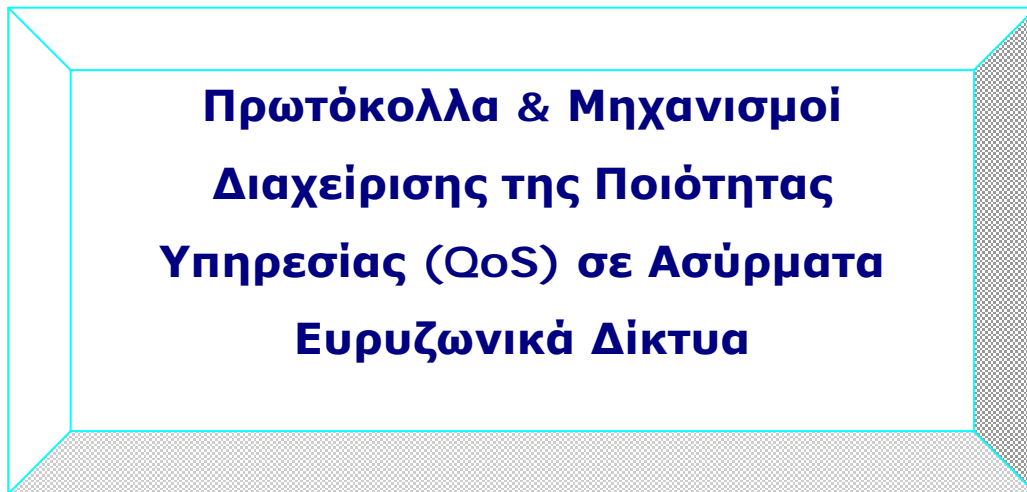


**ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**  
**ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ :



ΔΡΑΚΑΚΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ Α.Μ : 620

ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ Α.Μ : 467

*ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΛΟΥΚΑΣ ΜΑΝΔΑΛΟΣ*

ΠΑΤΡΑ-2007

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	1
2	ΠΡΟΛΟΓΟΣ..... <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>	
3	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
4	Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	8
4.1	<i>Ορισμός</i> .....	9
4.2	<i>Η Ευρυζωνικότητα Στην Ελλάδα</i> .....	12
5	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QoS) .....	16
5.1	Τί είναι Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service).....	16
5.1.1	<i>The Elusive Elephant</i> .....	16
5.2	Τι είναι Ποιότητα.....	17
5.2.1	<i>Τι είναι Υπηρεσία</i> .....	17
5.2.2	<i>Ορισμός</i> .....	17
5.3	Μετρικές Ποιότητας (Metrics of QoS).....	20
5.4	Ιστορική αναδρομή.....	21
5.5	Κλάσεις της ποιότητας υπηρεσίας (Classes of Service) .....	24
5.5.1	<i>Περίπτωση 1</i> .....	25
5.5.2	<i>Περίπτωση 2</i> .....	25
5.6	Εφαρμογές που απαιτούν διαφορετική QoS .....	26
5.6.2	<i>Interactive applications</i> .....	28
5.6.3	<i>Responsive applications</i> .....	28
5.6.4	<i>Timely applications</i> .....	29
5.6.5	<i>Network control applications</i> .....	30
6	WiFi –WiMax.....	31
6.1	Η ασύρματη επανάσταση .....	31
6.1.1	<i>Γενική σύγκριση</i> .....	31
6.2	WiFi-Πρότυπα και Ιστορία.....	32
6.2.1	<i>4.2.1 Τι είναι η IEEE 802.11;</i> .....	32

6.2.2	<i>IEEE 802.11</i>	33
6.2.3	<i>IEEE 802.11b</i>	33
6.2.4	<i>IEEE 802.11g</i>	35
6.2.5	<i>Δομή ενός δικτύου WiFi</i>	36
6.2.6	<i>Τοπολογία – Αρχιτεκτονική</i>	37
6.2.7	<i>Υπηρεσίες Ασυρμάτου Δικτύου 802.11</i>	40
6.2.8	<i>Φυσικό Στρώμα του 802.11</i>	42
6.2.9	<i>Υπόστρωμα Mac Του 802.11</i>	42
6.2.10	<i>Ασφάλεια</i>	45
6.3	<i>Τι είναι το WiMax</i>	46
6.3.1	<i>Το πρότυπο IEEE 802.16</i>	47
6.3.2	<i>Τα Υποπρότυπα του 802.16</i>	47
6.3.3	<i>Δομή ενός δικτύου WiMax</i>	50
6.3.4	<i>Τοπολογίες WiMAX</i>	52
6.3.5	<i>Διαστρωμάτωση</i>	54
6.3.6	<i>Χρήσεις WiMax</i>	58
7	<i>IEEE 802.11e</i>	59
7.1	<i>ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ IEEE 802.11</i>	59
7.2	<i>Λειτουργία DCF</i>	60
7.2.1	<i>Πρόβλημα κρυμμένου κόμβου</i>	62
7.3	<i>Λειτουργία PCF</i>	64
7.4	<i>Περιορισμένη υποστήριξη QoS του πρωτοκόλλου IEEE 802.11, σε ασύρματο δίκτυο IBSS</i>	67
7.4.1	<i>Μηχανισμοί QoS του 802.11e</i>	69
7.4.2	<i>Η λειτουργία EDCF (Enhanced Distributed Coordination Function)</i>	70
7.4.3	<i>Η λειτουργία HCF (Hybrid Coordination Function)</i>	73
7.5	<i>Σενάρια QoS</i>	75

7.5.1	Μέγιστη επιτευκτική διεκπεραιωτικότητα <i>EDCF</i> .....	76
7.5.2	Υποστήριξη <i>QoS</i> με <i>ECDF</i> .....	77
7.5.3	Υποστήριξη <i>QoS</i> με <i>ECDF</i> μαζί με <i>DCF</i> .....	79
7.5.4	Υποστήριξη <i>QoS</i> με <i>HCF</i> .....	81
7.6	Συμπεράσματα.....	85
8	<i>QoS</i> στο WiMax.....	86
8.1	Εισαγωγή.....	86
8.2	Μηχανισμοί αίτησης και δέσμευσης πόρων ( <i>Bandwidth Request–Bandwidth Allocation</i> ).....	86
8.3	Ροή Υπηρεσίας ( <i>Service Flow</i> ).....	87
8.4	<i>Scheduling Services</i> .....	88
8.4.1	<i>Unsolicited Grant Service (UGS)</i> .....	89
8.4.2	<i>Real-Time Polling Service (rtPS)</i> .....	89
8.4.3	<i>Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)</i> .....	90
8.4.4	<i>Best Effort (BE) Service</i> .....	90
	Συμπεράσματα.....	91
	Βιβλιογραφία.....	93

## 2 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως θέμα «Πρωτόκολλα και Μηχανισμοί διαχείρισης της Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) σε Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα». Το ενδιαφέρον μας εστιάζεται στο πρότυπο ασύρματης δικτύωσης 802.11 και κυρίως στο πρότυπο 802.11e που αντιμετωπίζει το θέμα της ποιότητας υπηρεσίας στα WiFi δίκτυα.. Στόχος της εργασίας, είναι να καταλάβει ο αναγνώστης τη χρησιμότητα και πόσο σημαντική είναι η QoS στα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα. Το χρονικό διάστημα εκπόνησης της εργασίας ήταν ένας χρόνος . Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Λουκά Μάνδαλο για τη καθοδήγηση του και την υπευθυνότητα του, καθώς βρισκόταν δίπλα μας όποτε τον χρειαζόμασταν.

### 3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια οι εξελίξεις τρέχουν με ραγδαίους ρυθμούς σε όλους τους τομείς που αρκετές φορές είναι δύσκολο να τις προλάβει κανείς όλες. Το θέμα της πτυχιακής είναι αρκετά επίκαιρο και όπως φαίνεται κάθε μέρα μπαίνει και πιο πολύ στη ζωή μας. Σίγουρα βέβαια όσο περνάει ο καιρός οι τεχνολογίες θα συνεχίσουν να βελτιώνονται και είναι και πολύ πιθανό να αντικατασταθούν κάποια στιγμή από κάτι τελείως διαφορετικό. Στη παρούσα φάση όμως, γίνονται συντονισμένες κινήσεις προκειμένου να υπάρχει σωστή και γρήγορη ενημέρωση των χρηστών για την ποιότητα υπηρεσίας στα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα ( τηλεόραση, αφίσες, ημερίδες , ίντερνετ κ.α ). Αλλά ας πάρουμε τα πράγματα από την αρχή.

Μετά τα ενσύρματα δίκτυα, εμφανίστηκαν τα ασύρματα και τώρα η ποιότητα υπηρεσίας πάνω σε αυτά. Έτσι λοιπόν, μετά την επίτευξη της ασύρματης επικοινωνίας αναγκαία και σχεδόν επιτακτική ήταν η ανάγκη για υψηλότερες ταχύτητες και αποδόσεις , αξιοπιστία και νέες εφαρμογές. Όλα αυτά τα προσφέρει η ευρυζωνικότητα που τώρα πια, είναι τόσο απαραίτητη στη ζωή μας, που θεωρείται ο 'ηλεκτρισμός' του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Περισσότερα αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2 αμέσως μετά την εισαγωγή, τα οποία μπορεί να μην είναι αρκετά για την ευρύτερη έννοια της ευρυζωνικότητας, αλλά τα αναφέρουμε προκειμένου να γίνει πιο κατανοητός ο όρος 'Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα'.

Στο Κεφάλαιο 3 προσδιορίζεται ο όρος της Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) στα δίκτυα υπολογιστών, οι παράμετροι και οι κλάσεις της QoS, καθώς επίσης και μια σύντομη ιστορική αναδρομή. Τέλος αναφέρονται παραδείγματα υπηρεσιών που απαιτούν διαφορετικές QoS.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών των

ασύρματων ευρυζωνικών δικτύων **WiFi**, δηλαδή τεχνολογία IEEE802.11b και IEEE802.11g , όπως επίσης και το **WiMax**, δηλαδή τεχνολογίες IEEE802.16d και IEEE802.16e. Επίσης αναφέρουμε πως ειδικά στο WiFi η απλή εφαρμογή των IEEE802.11b/g , είναι **best-effort service** με πλήθος προβλήματα. (αναφορά προβλημάτων έλλειψης υποστήριξης μηχανισμών QoS).

Στο Κεφάλαιο **5**, που είναι και το πιο σημαντικό της εργασίας, γίνεται ανάλυση του μηχανισμού που περιγράφεται στο **IEEE802.11e** πρότυπο και αντιμετωπίζει το θέμα της QoS στα WiFi δίκτυα.. Κατόπιν, γίνεται εκτενής περιγραφή των δύο μηχανισμών EDCF και HCF, όπως επίσης και γιατί είναι αναγκαίο οι συσκευές IEEE802.11b/g να υποστηρίζουν IEEE802.11e.

Στο Κεφάλαιο **6** αναλύεται ο μηχανισμός που περιγράφεται στο **WiMax** πρότυπο και αντιμετωπίζει το θέμα της QoS. Επίσης, QoS σενάρια για non real-time (nrtPS, BE) και real-time (UGS, rtPS) συνδέσεις

Στο Κεφάλαιο **7** κλείνουμε, παραθέτοντας τα συμπεράσματα μας που απορρέουν από τη πτυχιακή εργασία .

Στο Κεφάλαιο **8** παρουσιάζονται η βιβλιογραφία και οι δικτυακοί τόποι που χρησιμοποιήσαμε προκειμένου να βρούμε πληροφορίες που μας ήταν απαραίτητες για την εκπόνηση της εργασίας.

## 4 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑΣ

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο αναφέρεται ο όρος ευρυζωνικότητα. Ο όρος αυτός σχετίζεται με τις ηλεκτρονικές επικοινωνίες και είναι πολύ ευρύς, με την έννοια ότι περιλαμβάνει και αποδίδεται σε πολλές έννοιες. Συνήθως μιλάμε για ευρυζωνικές συνδέσεις αναφερόμενοι σε τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις χρηστών που χαρακτηρίζονται από υψηλή ταχύτητα, συνεχούς σύνδεσης (always-on) και αμφίδρομης κατεύθυνσης (συνήθως). Οι συνδέσεις αυτές μπορούν να υποστηρίξουν τη χρήση εφαρμογών με απαιτήσεις υψηλών ρυθμών μετάδοσης στον τομέα του ηλεκτρονικού εμπορίου, της ηλεκτρονικής διακυβέρνησης αλλά και στην εκπαίδευση, την υγεία και την διασκέδαση.

Η ευρυζωνική πρόσβαση, υπό την στενή έννοια, ταυτίζεται με την ικανότητα μεταφοράς μεγάλου όγκου πληροφορίας μεταξύ των επικοινωνούντων συστημάτων και των τελικών χρηστών με έμφαση στην δυνατότητα συνεχούς σύνδεσης με παρόχους πολυμεσικού περιεχομένου και την μετάδοση στον βρόχο πρόσβασης καλής ποιότητας διαδραστικού video. Προϋποθέτει πολιτικές και οικονομικές συνθήκες που διασφαλίζουν την επεκτασιμότητα, κλιμάκωση και βιωσιμότητα υποδομών και υπηρεσιών, με απαραίτητο όρο την ύπαρξη δικτυακών υποδομών κορμού υπέρ-υψηλών ταχυτήτων και αντίστοιχου όγκου, ενδιαφέροντος και οικονομικής αξίας διακινούμενης πληροφορίας. Παράλληλα, η ανάπτυξη και χρήση ευρυζωνικών υπηρεσιών από την Δημόσια Διοίκηση σε διάφορους τομείς (Παιδεία, Υγεία), μπορεί να αποτελέσει κύριο μοχλό ευαισθητοποίησης και διείσδυσης των υπηρεσιών αυτών στην επικράτεια, προωθώντας τη χρήση του στους πολίτες και στις επιχειρήσεις. Η πολιτεία μετακινούμενη από τον ρόλο του παθητικού «πελάτη-καταναλωτή» στην κατεύθυνση του καταλύτη αλλαγών, του ενεργού χρήστη και του παρόχου ψηφιακών δημόσιων ευρυζωνικών υπηρεσιών με στόχο την κοινή ωφέλεια,



μπορεί με τις επιλογές της να διαμορφώσει νέες δυναμικές και επίπεδα ισορροπίας, επιτυγχάνοντας την ανάπτυξη ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών με την κάλυψη των στόχων που θέτει η Ευρωπαϊκή πρωτοβουλία eEurope 2005.

#### **4.1 Ορισμός**

Στην αρχή ο όρος ευρυζωνικότητα (broadband), αναφερόταν ουσιαστικά στην ποσότητα πληροφορίας που μπορούσε να μεταφερθεί ανάμεσα σε δύο επικοινωνούντες οντότητες μέσω ενός τηλεπικοινωνιακού καναλιού. Όμως, στην προσπάθεια προσέγγισης του όρου ευρυζωνική πρόσβαση, οι διάφορες ομάδες εργασίας κατέληξαν σε ένα σύνολο διαφορετικών ορισμών, κυρίως λόγω της δυναμικής φάσης του τηλεπικοινωνιακού περιβάλλοντος, όπου οι εφαρμογές, οι υπηρεσίες αλλά και η τεχνολογία των διαφόρων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων βρίσκεται σε μια συνεχή διαμόρφωση. Προκειμένου να επισημάνουμε τη διαφορετικότητα αυτών των ορισμών είναι χρήσιμο να αναφερθούμε σε μερικούς από αυτούς. Για παράδειγμα στον ορισμό που δόθηκε στις Η.Π.Α η ευρυζωνική πρόσβαση καθορίζεται αποκλειστικά από τους ρυθμούς μετάδοσης, στον αντίστοιχο Καναδικό βασίζεται στα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας που προσφέρεται στους χρήστες, ενώ στον Ιταλικό η ευρυζωνική πρόσβαση χαρακτηρίζεται ως ένα τεχνολογικό περιβάλλον.

Εξετάζοντας καλύτερα τους παραπάνω ορισμούς διαπιστώνουμε πως η ευρυζωνικότητα φαίνεται να είναι συνδεδεμένη και με μη-τεχνολογικά ζητήματα και θέτει νέες σημαντικές απαιτήσεις στην πολιτική ανάπτυξη μιας χώρας. Με βάση λοιπόν τα παραπάνω και θέτοντας στόχο έναν ορισμό ευρείας αποδοχής, που θα διατηρεί την σημασία του στο μέλλον και θα λαμβάνει υπόψη

του τεχνολογικά, οικονομικά και ρυθμιστικά ζητήματα, έχει προταθεί ο κάτωθι ορισμός της ευρυζωνικότητας.

Ευρυζωνικότητα ορίζεται με την ευρεία έννοια, το δυναμικό πλαίσιο που είναι συνυφασμένο με ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών, υπηρεσιών και πολιτικό-οικονομικών θεμάτων. Πρόκειται με άλλα λόγια για ένα προηγμένο, εφικτό και καινοτόμο περιβάλλον αποτελούμενο από :

- Την κατάλληλη δικτυακή υποδομή που α) επιτρέπει την κατανομημένη ανάπτυξη υπαρχόντων και μελλοντικών δικτυακών εφαρμογών και υπηρεσιών, β) δίνει την δυνατότητα αδιάλειπτης σύνδεσης των χρηστών σε αυτές, γ) ικανοποιεί τις εκάστοτε ανάγκες των εφαρμογών σε εύρος ζώνης, αναδραστικότητα και διαθεσιμότητα και τέλος δ) είναι ικανή να αναβαθμίζεται συνεχώς με μικρό κόστος ώστε να εξακολουθεί να ικανοποιεί τις ανάγκες καθώς αυτές αυξάνονται και μετεξελίσσονται με ρυθμό και κόστος που επιτάσσονται από την πρόοδο της πληροφορικής και της τεχνολογίας επικοινωνιών.
- Την παροχή γρήγορων, συνεχών συνδέσεων στο Διαδίκτυο σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, με χαμηλό κόστος (ανταγωνιστικές τιμές - με τη μορφή καταναλωτικού αγαθού) δίχως εγγενείς περιορισμούς στα συστήματα μετάδοσης και στον τερματικό εξοπλισμό των επικοινωνούντων άκρων.
- Την ικανότητα του πολίτη να επιλέγει α) ανάμεσα σε εναλλακτικές προσφορές σύνδεσης που ταιριάζουν στον εξοπλισμό του, β) μεταξύ διαφόρων δικτυακών εφαρμογών, και γ) μεταξύ διαφόρων υπηρεσιών πληροφόρησης και ψυχαγωγίας και με πιθανή συμμετοχή του ίδιου πολίτη στην παροχή περιεχομένου, εφαρμογών και υπηρεσιών.
- Το κατάλληλο ρυθμιστικό πλαίσιο αποτελούμενο από πολιτικές, μέτρα,

πρωτοβουλίες, άμεσες και έμμεσες παρεμβάσεις αναγκαίες για την ενδυνάμωση της καινοτομίας, την προστασία του ανταγωνισμού και την εγγύηση σοβαρής ισορροπημένης οικονομικής ανάπτυξης ικανής να προέλθει από τη γενικευμένη συμμετοχή στην Ευρυζωνικότητα και στην Κοινωνία της Πληροφορίας.

Ευρυζωνικά δίκτυα και υπηρεσίες είναι αυτά που σε κάθε εποχή είναι σε θέση να εγγυηθούν την απροσδόκητη και διαφανή πρόσβαση όλων των πολιτών στην πληροφορία και τα συστήματα επικοινωνίας, ώστε να ικανοποιήσουν, εκπληρώσουν τις διάφορες ανάγκες τους. Όπως γνωρίζουμε το συγκεκριμένο περιβάλλον χαρακτηρίζεται από μια διαρκή δυναμική και τελεί υπό διαμόρφωση, οπότε θα απουσιάζει από τον παραπάνω ορισμό οποιαδήποτε αναφορά σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά δικτύου, συγκεκριμένη τεχνολογία μετάδοσης και επιπρόσθετα δεν προσδιορίζεται συγκεκριμένος ρυθμός μετάδοσης πάνω από τον οποίο ένα δίκτυο χαρακτηρίζεται ευρυζωνικό. Βέβαια, ο ορισμός αυτός επιτρέπει τον αποκλεισμό κάποιων τεχνολογιών, όπως στην περίπτωση του ISDN του οποίου οι δυνατότητες είναι περιορισμένες και μη επεκτάσιμες.

Οι τεχνολογίες που βασίζονται στη μετάδοση δεδομένων κάνοντας χρήση συγκεκριμένων μέσων όπως είναι ο χαλκός και ο αέρας (π.χ. ADSL, Wireless LAN) , παρά το γεγονός ότι σήμερα επιτυγχάνουν σχετικά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης έχουν αναγνωρισμένα όρια όσον αναφορά τις πιθανές μελλοντικές αναβαθμίσεις τους, λόγω της φύσης του μέσου μετάδοσης. Θα πρέπει όμως να λαμβάνονται υπόψη, δεδομένου ότι μπορούν να αξιοποιηθούν ως ενδιάμεσοι σταθμοί για την επίτευξη ευρυζωνικής πρόσβασης.

## ***4.2 Η Ευρυζωνικότητα Στην Ελλάδα***

Η ανάγκη για ευρυζωνική πρόσβαση στην Ελλάδα, είναι εξίσου δεδομένη όπως ακριβώς και στις άλλες χώρες. Τα πλεονεκτήματα από την εξάπλωση και χρήση των νέων τεχνολογιών θα αποτελέσουν ουσιαστικό εργαλείο για ανοιχτή και αποτελεσματική διακυβέρνηση καθώς και για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων. Επιπρόσθετα, θα δημιουργήσουν νέες μορφές εργασίας, νέες δεξιότητες και θα διασφαλίσουν τη συνεχή κατάρτιση και δια βίου μάθηση των πολιτών. Ταυτόχρονα, θα συμβάλουν στη βελτίωση της ποιότητας ζωής με την παροχή προηγμένων υπηρεσιών υγείας, μεταφορών και προστασίας του περιβάλλοντος. Η εξάπλωση και χρήση της Ευρυζωνικότητας αναμένεται να αυξήσει την αποδοτικότητα και την ποιότητα της παροχής υπηρεσιών στην κοινωνία, τον πολιτισμό και την οικονομία και ταυτόχρονα να εξασφαλίσει οικονομίες κλίμακας.

Η χώρα μας όμως υστερεί σημαντικά στην ύπαρξη προηγμένων τηλεπικοινωνιακών υποδομών αλλά και δικτυακών υπηρεσιών προς τους πολίτες. Μετά την απελευθέρωση της αγοράς των τηλεπικοινωνιών, αρκετές εταιρείες έχουν αρχίσει να δραστηριοποιούνται στην παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Η συντονισμένη υλοποίηση των κατάλληλων ευρυζωνικών υποδομών αναμένεται να βελτιώσει σημαντικά τις συνθήκες της αγοράς, να προωθήσει την καινοτομία στην παροχή δικτυακών υπηρεσιών και εφαρμογών και να αυξήσει την επιχειρηματικότητα κυρίως σε ότι σχετίζεται με τις νέες τεχνολογίες. Επίσης, με τις κατάλληλες υποδομές, οι οποίες θα παρέχονται σε προσιτές τιμές, αναμένεται μια σημαντική διευκόλυνση στη δραστηριοποίηση νέων μικρομεσαίων επιχειρήσεων, ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση στο νέο ψηφιακό επιχειρηματικό περιβάλλον. Οφείλουμε εδώ να επισημάνουμε, ότι στις μέρες μας εκτελούνται σημαντικά έργα

υποδομής (π.χ., δημιουργία και εκσυγχρονισμός οδών ταχείας κυκλοφορίας, εγκατάσταση υπόγειων δικτύων παροχής υπηρεσιών κτλ) τα οποία μας δίνουν μια σημαντική ευκαιρία μείωσης του κόστους εγκατάστασης των ευρυζωνικών υποδομών. Συνεπώς μπορούμε να αποφανθούμε πως η υλοποίηση ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών μπορεί να δώσει νέα πνοή στην οικονομική ανάπτυξη της χώρας, αλλά θα πρέπει να συνδυάζεται, όπου είναι εφικτό, με την εκτέλεση άλλων μεγάλων δημόσιων έργων προκειμένου να μειωθεί το κόστος αλλά και ο χρόνος υλοποίησης τους.

Ακόμη η Κοινωνία της Πληροφορίας (ΚτΠ) είναι στόχος σημαντικής προτεραιότητας για την Ελλάδα. Με στόχο την προώθηση της ΚτΠ υλοποιείται το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα για την ΚτΠ (ΕΠΚτΠ) στο πλαίσιο του τρίτου Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης ( Γ΄ ΚΠΣ ).

Η ευρυζωνική πρόσβαση θα παίζει σημαντικό και ουσιαστικό στόχο στην αποτελεσματική διαμόρφωση της ΚτΠ. Επομένως, η υλοποίηση έργων του εν λόγω Επιχειρησιακού Σχεδίου πρέπει να δώσει τη δυνατότητα για την παροχή ευρυζωνικής πρόσβασης σε όλους τους πολίτες και σε όλους τους τομείς της δημόσιας και ιδιωτικής ζωής. Για το λόγο αυτό η Ελλάδα οφείλει να κινηθεί γρήγορα και αποδοτικά για να διασφαλίσει αυτό το στόχο.

Επίσης και με δεδομένο πως στο σχέδιο δράσης eEurope 2005 η ευρυζωνική πρόσβαση θα είναι σημαντική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οδηγούμαστε στην κατεύθυνση της υλοποίησης και εφαρμογής πολιτικών και πρακτικών για την εξάπλωση και χρήση της στην Ελλάδα. Η χώρα πρέπει να είναι έτοιμη ώστε σε σύντομο χρονικό διάστημα να μπορεί να προσφέρει σε όλους τους πολίτες και τις επιχειρήσεις πρόσβαση σε προηγμένες και ευρυζωνικές Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) προκειμένου να εξασφαλισθεί η ισότιμη συμμετοχή όλων στη κοινωνία της γνώσης .

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στον τρόπο με τον οποίο πρέπει να προσεγγισθεί το θέμα της ευρυζωνικής πρόσβασης. Σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να προσεγγισθεί υπό το πρίσμα της ανάγκης αλλά με το όραμα της παροχής ίσων ευκαιριών σε όλους. Επίσης, το όλο εγχείρημα δεν πρέπει να εξαντληθεί στο αν η ζήτηση ή η προσφορά είναι ο καταλύτης για το πρόβλημα της ευρυζωνικής πρόσβασης. Στην προσπάθεια για την ανάπτυξη της χώρας και τη πρόοδο όλης της κοινωνίας πρέπει να συμμετέχουν όλοι, η κυβέρνηση, οι πολίτες αλλά και ο ιδιωτικός τομέας.

Στις μέρες μας, υπάρχει μια έντονη δραστηριοποίηση για τον εκσυγχρονισμό του δημόσιου τομέα εκτελώντας μεγάλα έργα ψηφιοποίησης δεδομένων και πληροφοριών και αυτοματοποίησης των εσωτερικών διαδικασιών και των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους πολίτες. Προκειμένου να είναι καθολικά αξιοποιήσιμο το αποτέλεσμα αυτών των προσπαθειών, θα πρέπει να αναπτυχθούν οι κατάλληλες υποδομές. Το γεγονός αυτό έχει αναγνωριστεί και πολλοί κρατικοί φορείς έχουν ήδη προγραμματίσει την υλοποίηση τέτοιων έργων μέσα από τα επιχειρησιακά τους σχέδια. Οι ευρυζωνικές υποδομές έχουν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που θα διασφαλίσουν την ποιοτική υποστήριξη των αναγκών του δημόσιου τομέα αλλά και την αξιόπιστη, γρήγορη και αποδοτική παροχή των υπηρεσιών προς τους πολίτες. Επίσης, η συγκέντρωση της ζήτησης, η διάθεση των πόρων και η ανταλλαγή των εμπειριών μεταξύ κυβέρνησης, κοινωνικών και εκπαιδευτικών οργανισμών αλλά και του ιδιωτικού τομέα θα αποτρέψει την ανάπτυξη πολλαπλών υποδομών, ενώ αναμένεται να μειώσει το σημαντικό κόστος που καταβάλλεται σήμερα για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.

Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι η ανάπτυξη ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών είναι στρατηγικής σημασίας για την Ελλάδα, αφού μπορεί να δώσει σημαντική ώθηση στις οικονομικές δραστηριότητες αλλά και να συμβάλει

σημαντικά στην βελτίωση της ποιότητας ζωής των πολιτών. Η υστέρηση στην εκτέλεση τέτοιων έργων, ειδικά την περίοδο υλοποίησης άλλων σημαντικών αλλά και συναφών δράσεων τεχνολογικής αναβάθμισης θα οδηγήσει τη χώρα σε δυσμενέστερη θέση στην παγκόσμια ανταγωνιστική οικονομία .

## 5 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ (QoS)

### *5.1 Τί είναι Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service)*

Στην προσπάθεια ορισμού του Quality of Service έχουν δοθεί πολλές διαφορετικές εκδοχές, κάτι φυσιολογικό αν σκεφτεί κανείς την ασάφεια και την αοριστία όρων όπως αυτών της ποιότητας και της υπηρεσίας. Για να μπορέσει κανείς να το κατανοήσει αυτό, χρήσιμη είναι η ιστορία του κρυμμένου ελέφαντα [Huston,2000].

#### **5.1.1 The Elusive Elephant**

Τρεις τυφλοί, σε ένα ταξίδι τους συνάντησαν έναν ελέφαντα. Ο πρώτος τυφλός ακούμπησε την προβοσκίδα του και αποφασίζει πως συνάντησαν ένα τεράστιο φίδι. Ο δεύτερος άντρας ακουμπάει ένα από τα πόδια του και σκέφτεται πως το αντικείμενο που βρέθηκε στο δρόμο τους είναι ένα δέντρο και ο τρίτος πιάνει ένα αυτί του ελέφαντα και νομίζει ότι είναι ένα πουλί.

Μπορούμε να σκεφτούμε το QoS σαν τον ελέφαντα της ιστορίας μας. Διαφορετικοί άνθρωποι το βλέπουν από τη δικιά τους σκοπιά καθώς συναντούν διαφορετικά προβλήματα. Επιπρόσθετα, τα διαφορετικά προβλήματα δημιουργούν διαφορετικές λύσεις, πιθανώς αντικρουόμενες, με αποτέλεσμα να δημιουργείται «σχίσμα» στη βιομηχανία των δικτύων όσο αφορά στο QoS. Για να εξετάσουμε λοιπόν το ασαφές της έννοιας, ας δούμε πρώτα τις εξίσου ασαφείς έννοιες της ποιότητας (quality) και της υπηρεσίας (service) που τη συνιστούν.



## ***5.2 Τι είναι Ποιότητα***

Με τον όρο ποιότητα σε ένα δίκτυο[Ferguson, Huston,1998] εννοούμε την διαδικασία της παράδοσης δεδομένων με έναν αξιόπιστο τρόπο ή με κάποιο τρόπο καλύτερο από τον κανονικό. Με βάση τον παραπάνω ορισμό quality μπορεί να θεωρηθεί η μικρή απώλεια δεδομένων (data loss), η μηδαμινή αλλά και σταθερή καθυστέρηση (delay), η παραμόρφωση (jitter) καθώς και η δυνατότητα καλής χρήσης των πόρων του δικτύου.

### **5.2.1 Τι είναι Υπηρεσία**

Ο όρος υπηρεσία περιέχει μεγάλη ασάφεια και μπορεί κανείς να τον δει από διάφορες οπτικές γωνίες. Χρησιμοποιείται για να περιγράψει κάτι που προσφέρεται σε έναν τελικό χρήστη του δικτύου, όπως για παράδειγμα end to end επικοινωνίες ή εφαρμογές client-server. Οι υπηρεσίες μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ νοητικό φάσμα που ξεκινάει από ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και μπορεί να καταλήξει μέχρι desktop video και άλλες multimedia εφαρμογές. Σε ένα άλλο νοητικό επίπεδο οι υπηρεσίες μπορεί να απλώνονται σε μια ευρεία γκάμα προσφορών, αλλά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και σύμφωνα με το πρωτόκολλο που χρησιμοποιούν.

### **5.2.2 Ορισμός**

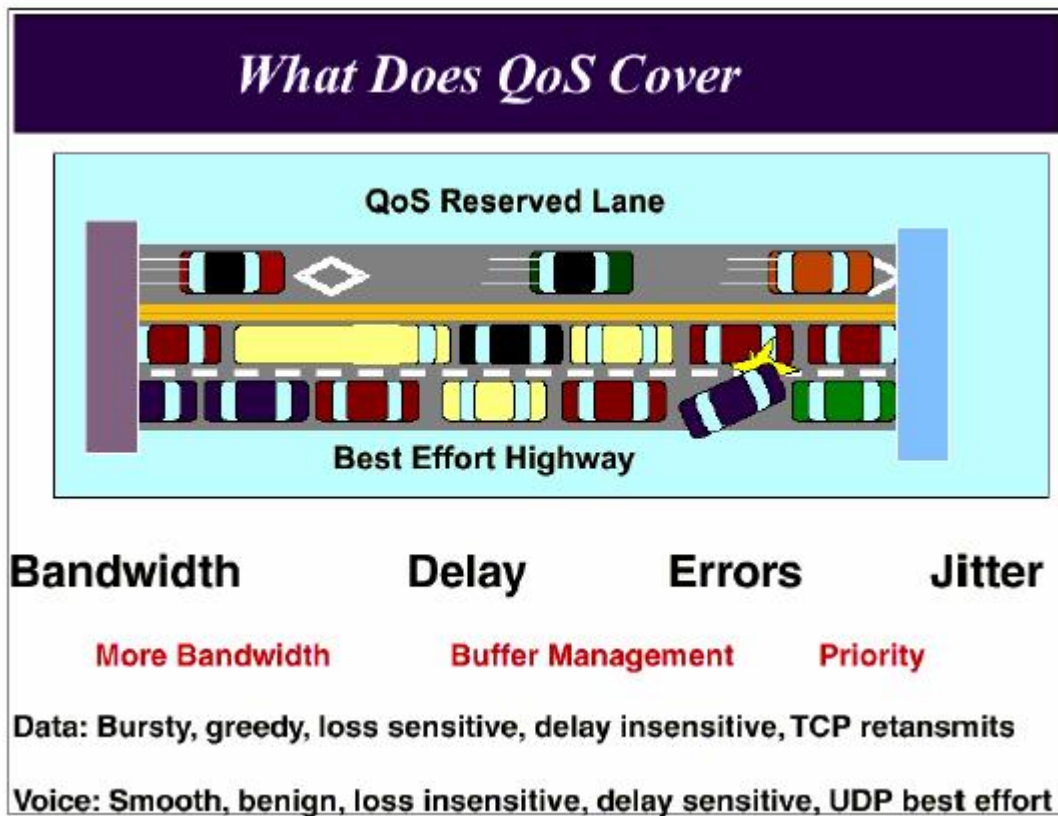
Έχοντας υπόψη τα παραπάνω μπορεί να οριστεί ευκολότερα το κατά τ' άλλα χαοτικό θέμα της ποιότητας υπηρεσίας. Πιο συγκεκριμένα, στα δίκτυα γενικότερα ονομάζουμε **Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) τη δυνατότητα που υπάρχει οι ρυθμοί μετάδοσης, οι ρυθμοί λαθών και άλλα χαρακτηριστικά να μετρηθούν, να βελτιωθούν και σε κάποιο βαθμό να εγγυηθούν εκ των**

προτέρων την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης μεταφοράς, την ελαχιστοποίηση των διακυμάνσεων της καθυστέρησης και τη δέσμευση πόρων και παροχή επαρκούς χωρητικότητας για τη συνεπή μεταφορά των δεδομένων. Δηλαδή, ουσιαστικά αναφέρεται στη δυνατότητα ενός στοιχείου του δικτύου να έχει κάποιου τύπου επιβεβαίωση ότι η κυκλοφορία και οι απαιτήσεις της υπηρεσίας που προσφέρει θα ικανοποιηθούν. Η εφαρμογή QoS απαιτεί τη συνεργασία όλων των επιπέδων του δικτύου καθώς και κάθε στοιχείου του δικτύου από άκρη σ' άκρη. Δεν μπορεί να δημιουργήσει εύρος ζώνης, αλλά διαχειρίζεται το υπάρχον εύρος ζώνης ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και τις ρυθμίσεις διαχείρισης του δικτύου.

Οι απαιτήσεις ποιότητας των διαφόρων υπηρεσιών παρουσιάζουν σημαντική ποικιλία. Κάποιες υπηρεσίες είναι ευαίσθητες στις καθυστερήσεις, άλλες είναι ευαίσθητες στις απώλειες και κάποιες στη διακύμανση της καθυστέρησης (delay variation, jitter). Για το λόγο αυτό η παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS-Quality of Service) γίνεται ένα όλο και πιο σημαντικό θέμα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Τα επίπεδα υπηρεσιών που μπορεί να προσφέρει ένα δίκτυο μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την προτεραιότητά τους:

- **Υπηρεσία καλύτερης προσπάθειας (Best-effort service):** Σημαίνει την έλλειψη των QoS και δεν παρέχει καμιά εγγύηση παρά μόνο την βασική συνδεσιμότητα.
- **Διαφοροποιημένη υπηρεσία (Differentiated service ή Soft QoS):** Κάποια κυκλοφορία μπορεί να έχει καλύτερη μεταχείριση από μια άλλη (περισσότερο bandwidth κατά μέσο όρο, λιγότερες απώλειες).
- **Εγγυημένη υπηρεσία (Guaranteed Service ή Hard QoS):** Εγγυημένη

υπηρεσία σημαίνει όχι μόνο ότι δεν υπάρχει καθόλου απώλεια δεδομένων αλλά επιπλέον ότι η απόδοση του δικτύου είναι συνεπής, συνεχής και προβλέψιμη.



σχήμα 3.1 Ποιότητα Υπηρεσίας

Στην περίπτωση των ασύρματων δικτύων η παροχή QoS είναι πιο δύσκολη από την περίπτωση των ενσύρματων δικτύων. Η αυξημένη δυσκολία οφείλεται κυρίως στην συνεχή μεταβολή της τοπολογίας των δικτύων. Επιπλέον, τα γνωστότερα πρωτόκολλα δρομολόγησης δεν παρέχουν την δυνατότητα δρομολόγησης με ποιότητα υπηρεσίας, αλλά βασίζονται σε μια best effort λογική. Η όλη κατάσταση περιπλέκεται περαιτέρω εξαιτίας της φύσης των ασύρματων δικτύων, τα οποία είναι από την φύση τους δίκτυα εκπομπής. Ιδιαίτερα δε στα ad hoc δίκτυα, οι πιθανότητα συγκρούσεων δεν επιτρέπει υποθέσεις παροχής ενός εγγυημένου εύρους ζώνης

### 5.3 Μετρικές Ποιότητας (Metrics of QoS)

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι πολλοί είναι οι παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα υπηρεσίας σε ένα δίκτυο. Ανάλογα με το είδος της μεταδιδόμενης πληροφορίας, τη σπουδαιότητά της, τον αποστολέα-παραλήπτη αλλά και άλλους παράγοντες η ποιότητα υπηρεσίας διαφέρει. Για να εξασφαλίσουμε την ποιότητα σε κάποιους παράγοντες που έχουν σημασία για μας, όπως π.χ. την ταχύτητα, πολλές φορές αναγκάζομαστε να υποχωρήσουμε στις απαιτήσεις μας σε κάποιους άλλους παράγοντες.

Ακολουθούν οι σημαντικότερες από τις μετρικές που είναι απαραίτητες για να επιτευχθούν όλα τα παραπάνω.

- **Latency** /delay (καθυστέρηση): Καθυστέρηση είναι το χρονικό διάστημα που πρέπει να περάσει από τη στιγμή που ένας κόμβος στέλνει ένα μήνυμα σε ένα άλλο κόμβο μέχρι τη στιγμή που ο άλλος κόμβος το λαμβάνει. Όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απαιτήσεις για την αποδοτική λειτουργία του πρωτοκόλλου μεταφοράς. Αποτελείται από τη καθυστέρηση μετάδοσης, την καθυστέρηση σε ένα μονοπάτι μεταφοράς (ή αλλιώς καθυστέρηση διάδοσης) και τη καθυστέρηση σε μια συσκευή εντός ενός μονοπατιού μεταφοράς, για παράδειγμα σε ένα δρομολογητή. Για αλληλεπιδραστικές εφαρμογές ήχου και κινούμενης εικόνας, η εισαγωγή καθυστερήσεων έχει ως αποτέλεσμα το σύστημα να εμφανίζεται αδρανές σε αλλαγές φόρτου.
- **Bandwidth** (Εύρος ζώνης): Είναι μέτρο της μετάδοσης των δεδομένων, που εκφράζεται συνήθως σε Kbits per second (Kbps) ή megabits per second (Mbps). Δείχνει πόσα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν σε ένα δίκτυο. Αύξηση του εύρους ζώνης σημαίνει αύξηση και του αριθμού μεταφοράς των

δεδομένων. Η τιμή του εξαρτάται από τη φυσική διαμόρφωση του μονοπατιού κίνησης όπου κινούνται τα δεδομένα και από το πόσα ακόμα μονοπάτια μοιράζονται το ίδιο link του φυσικού μέσου με το μονοπάτι αυτό.

- **Jitter** : Λόγω διαφορετικών συνθηκών στο διάστημα μιας σύνδεσης, μπορεί να γίνει διαφορετική διαχείριση των πακέτων, κάτι που θα δημιουργήσει διαφορετικούς χρόνους καθυστέρησης στα διάφορα πακέτα. Αυτή η διαφορά ονομάζεται jitter. Είναι το φαινόμενο που παρατηρείται κατά την μετάδοση κάποιων εφαρμογών video ή φωνής σε ένα δίκτυο, όπου τα πακέτα δε φτάνουν στον προορισμό τους με συνεχόμενη σειρά ή σε μια χρονική βάση, δηλαδή στην ουσία εννοούμε τη καθυστέρηση μεταξύ του  $n$  πακέτου και του  $n+1$  πακέτου.
- **Data Loss** (Απώλεια πακέτων): Ο αριθμός των πακέτων που μεταδόθηκαν από την πηγή και είτε δεν τα έλαβε καθόλου ο παραλήπτης (επειδή καταστράφηκαν ή επειδή υπήρχε συμφόρηση στο δίκτυο), είτε τα παρέλαβε με λάθη. Ο αριθμός αυτός όπως γίνεται φανερό επηρεάζει άμεσα την απόδοση του συστήματος.

#### ***5.4 Ιστορική αναδρομή***

Όταν άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα δίκτυα ο όρος 'ποιότητα υπηρεσίας' μάλλον δεν είχε νόημα. Το μόνο πράγμα που ενδιέφερε όσους ασχολούνταν με αυτά, ήταν να φτάνουν τα πακέτα στον προορισμό τους επιτυχώς. Η βασική υπηρεσία που προσφερόταν στα IP δίκτυα ήταν η best effort (καλύτερης προσπάθειας). Με βάση λοιπόν την υπηρεσία αυτή όλα τα πακέτα κινούνται και αντιμετωπίζονται από το δίκτυο ως ίσα, το οποίο προσπαθεί να τα παραδώσει στους προορισμούς τους χωρίς όμως να παρέχει εγγυήσεις και χωρίς να κάνει

διακρίσεις κατανέμοντας τους πόρους του ομοιόμορφα σε όλα τα πακέτα.

Με το καιρό εμφανίστηκαν νέες εφαρμογές που για να πραγματοποιηθούν απαιτούσαν μία ειδική μεταχείριση από το δίκτυο. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για Ποιότητα Υπηρεσίας που στην ουσία είναι ένας μηχανισμός ικανός να προσφέρει διαφορετική μεταχείριση σε διαφορετικές τάξεις κίνησης, με απώτερο στόχο να προσφέρει μεγαλύτερη χρηστικότητα και απόδοση. Να προσφέρει δηλαδή κατά κάποιο τρόπο κάποια μορφή ευφυΐας στο σύστημά μας και όχι να κάνει καλύτερη την απόδοση μιας συγκεκριμένης εφαρμογής.

Παρακάτω ακολουθεί επιγραμματικά μια σύγκριση της best effort service και της QoS για να γίνει πιο κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας τους και οι παροχές που προσφέρουν η μία σε σχέση με την άλλη.

Κατά την best effort υπηρεσία λοιπόν κάθε πακέτο που φτάνει σε ένα δρομολογητή ακολουθεί τα εξής βήματα :

- Αρχικά γίνεται έλεγχος για να βρεθεί η διεύθυνση προορισμού του πακέτου που έφτασε στο δρομολογητή.
- Έπειτα το πακέτο στέλνεται στη γραμμή εξόδου για να πάει στο επόμενο hop(τμήμα) σύμφωνα με τη δρομολόγηση του router. Εάν δε δύναται να γίνει αυτό, για οποιοδήποτε λόγο, τότε το πακέτο αποθηκεύεται προσωρινά σε μια ουρά εξόδου.
- Αν η ουρά αυτή είναι γεμάτη το πακέτο απορρίπτεται. Αν όμως περιέχει άλλα πακέτα πιο μπροστά τότε το πακέτο περιμένει «να έρθει η σειρά του» και έτσι έχουμε καθυστέρηση μετάδοσης.

Με το καιρό όμως, εμφανίστηκαν νέες εφαρμογές που για να πραγματοποιηθούν απαιτούσαν μία ειδική μεταχείριση από το δίκτυο. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για Ποιότητα Υπηρεσίας. Αρχικά λοιπόν

δημιουργήθηκαν μηχανισμοί για τον προσδιορισμό των χαμένων πακέτων ή την διακύμανση της συνδεσιμότητας μεταξύ συνδεδεμένων κόμβων στο δίκτυο. Αργότερα και συγκεκριμένα στις αρχές της δεκαετίας του 90 τα θέματα της διαχείρισης της συμφόρησης και της διαφοροποίησης των υπηρεσιών ήρθαν στο προσκήνιο. Έγινε τώρα σημαντικότερη η διατήρηση της ροής της κυκλοφορίας καθώς και των συνδέσεων και γενικότερα η σταθερότητα του συστήματος δρομολόγησης (routing). Υποστηρίζοντας ένα δίκτυο QoS, στην ουσία είναι ένα δίκτυο που υποστηρίζει υπηρεσίες " best effort " και κάποιες δομές που επιτρέπουν τη διαφορετική μεταχείριση κάποιων συγκεκριμένων υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας κάποιες ρυθμίσεις στους δρομολογητές του δικτύου με σκοπό την επίτευξη των παρακάτω:

- Σηματοδότηση των links μετάδοσης χαμηλών ταχυτήτων, έτσι ώστε να ξέρουμε ποιες υπηρεσίες «αντέχουν» να υποστηρίξουν.
- Αλλαγή του αλγορίθμου επιλογής του επόμενου hop (τμήματος) έτσι ώστε το επόμενο hop που θα επιλέγεται να μπορεί να εξυπηρετήσει τη κατάλληλη υπηρεσία.
- Αλλαγή των αλγορίθμων καθυστέρησης στην ουρά και απόρριψης πακέτων του δρομολογητή έτσι ώστε να γίνεται καλύτερη κατανομή των πόρων του δικτύου.

Τα τελευταία χρόνια, με τη ραγδαία εξάπλωση των δικτύων επικοινωνιών παρατηρείται μια αύξηση τόσο στον αριθμό των χρηστών όσο και στις απαιτήσεις τους σε ποσότητα πόρων και ποιότητα μεταφοράς. Τα σημερινά δίκτυα καλούνται να υποστηρίξουν ένα μεγάλο όγκο δεδομένων, καθώς και ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών. Καθώς υπάρχουν πολλοί και διάφοροι τύποι εφαρμογών, οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και ποιότητα υπηρεσίας (QoS- Quality of Service) ποικίλουν και προκύπτουν ως συνάρτηση του τύπου της

κάθε εφαρμογής (π.χ. εικόνα, video, τηλεδιάσκεψη, ιατρικές εφαρμογές, multicast κ.α.). Χαρακτηριστικό τέτοιων εφαρμογών είναι η παραγωγή μεγάλου όγκου δεδομένων τα οποία είναι ευαίσθητα στην καθυστέρηση.

### ***5.5 Κλάσεις της ποιότητας υπηρεσίας (Classes of Service)***

Μια συγγενής με το QoS αλλά όχι ταυτόσημη έννοια είναι αυτή της κλάσης υπηρεσίας (Class of Service) και κατ' επέκταση της διαφοροποίησης. Διαφοροποίηση ποιότητας υπηρεσίας σημαίνει την τμηματοποίηση σε κλάσεις της δικτυακής κυκλοφορίας και του είδους της υπηρεσίας κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο χρήστης να μπορεί να συμπεριφερθεί στην κάθε μία από τις κλάσεις αυτές της κυκλοφορίας διαφορετικά. Η έννοια της διαφοροποίησης λοιπόν, αφορά στη λειτουργική διάσταση

των κλάσεων υπηρεσίας. Σύμφωνα με αυτή τη διάσταση, QoS είναι κάθε μηχανισμός που παρέχει διάκριση μεταξύ των ειδών κυκλοφορίας που μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και να διαχειριστούν διαφορετικά κατά το πέρασμα της κυκλοφορίας τους από το δίκτυο. Μία σημαντική εφαρμογή των κλάσεων είναι ότι κάνουν προβλέψιμη την μεταχείριση του συγκεκριμένου είδους κίνησης σε σχέση με θέματα όπως end to end χρόνο απόκρισης, καθυστέρηση ουράς, διαθέσιμο εύρος ζώνης κ.α. Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να είναι πιο προβλέψιμα από άλλα ανάλογα με την εφαρμογή, το είδος της κίνησης, τα χαρακτηριστικά της ουράς και του buffering, των συσκευών του δικτύου και γενικότερα της αρχιτεκτονικής σχεδίασης του δικτύου.

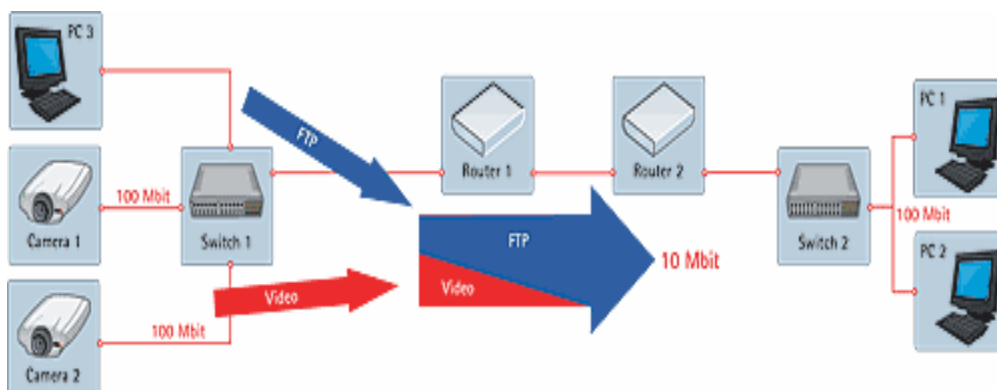
Αυτό φαίνεται και στο παράδειγμα που ακολουθεί όπου στην πρώτη περίπτωση δεν υφίσταται QoS, ενώ στην δεύτερη ο χρήστης έχει ορίσει κλάσεις



υπηρεσίας.

### 5.5.1 Περίπτωση 1

Το PC1 παρακολουθεί δύο video streams από τις κάμερες Cam1 και Cam2, με τη κάθε κάμερα να κάνει streaming στα 2.5 Mbps. Ξαφνικά, το PC2 αρχίζει τη μεταφορά ενός αρχείου από το PC3. Σ' αυτό το σενάριο, η μεταφορά του αρχείου θα προσπαθήσει να χρησιμοποιήσει τη πλήρη χωρητικότητα των 10 Mbps μεταξύ των δρομολογητών R1 και R2, ενώ τα video streams θα προσπαθήσουν να διατηρήσουν το συνολικό τους των 5 Mbps. Το σύνολο του εύρους ζώνης που δίνεται δεν μπορεί πια να εγγυηθεί και ο ρυθμός των καρέ του video πιθανώς θα μειωθεί. Στη χειρότερη περίπτωση, η κίνηση FTP θα καταναλώσει όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης.



σχήμα 3.2 Ένα κοινό δίκτυο χωρίς «συναίσθηση» της Ποιότητας Υπηρεσίας ( QoS )

### 5.5.2 Περίπτωση 2

Στο επόμενο παράδειγμα ο δρομολογητής R1 έχει παραμετροποιηθεί να αφιερώνει έως 5 Mbps από τα διαθέσιμα 10 Mbps για το streaming video. Η κίνηση FTP επιτρέπεται να χρησιμοποιεί 2 Mbps, και το HTTP και όλη η άλλη



Performance dimensions				
Application	bandwidth	Sensitivity to:		
		Delay	Loss	Jitter
VoIP	Low	High	High	Med
Video Conferencing	High	High	High	Med
Streaming Video on Demand	High	Med	Med	Med
Streaming Audio	Low	Med	Med	Med
Client/Server Transactions	Med	Med	Low	High
E-mail	Low	Low	Low	High
File transfer	Med	Low	Low	High

Πίνακας 3.1 Εφαρμογές που απαιτούν διαφορετική QoS

Οι εφαρμογές ενός δικτύου μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις προσδοκίες του τελικού χρήστη ή τις απαιτήσεις των εφαρμογών. Μερικές εφαρμογές είναι μεταξύ των χρηστών ενώ άλλες εφαρμογές είναι μεταξύ ενός χρήστη και μιας εφαρμογής της συσκευής του δικτύου π.χ., ένα PC και ένας Web Server. Τέλος, μερικές εφαρμογές είναι μεταξύ των συσκευών του δικτύου π.χ. από δρομολογητή σε δρομολογητή. Ο πίνακας 3.2 ταξινομεί τις εφαρμογές σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα έχουμε τις Interactive, Responsive, Timely, and Network εφαρμογές.

Traffic Category	Example application
Network	Critical alarms, routing, billing, Critical OAM
Interactive	VoIP, interactive gaming, video conferencing
Responsive	Streaming audio/video, client/server transactions
Timely	E-mail, file transfer

Πίνακας 3.2 Κατηγορίες εφαρμογών

### 5.6.1 Interactive applications

Μερικές interactive εφαρμογές, είναι το VoIP (τηλεφωνία μέσω διαδικτύου), on-line gaming και η τηλεδιάσκεψη. Στις interactive εφαρμογές συμμετέχουν ενεργά δύο ή περισσότεροι χρήστες και αναμένεται να ανταποκριθούν σε “πραγματικό χρόνο”(real time). Σε αυτό το πλαίσιο "πραγματικός χρόνος" σημαίνει ότι πρέπει να υπάρχει ελάχιστη καθυστέρηση (delay), απώλεια πακέτων(packet loss) και παραμόρφωση (jitter) μεταξύ του αποστολέα και του δέκτη. Για παράδειγμα, εάν ένα πακέτο φωνής χαθεί, δεν έχει νόημα ο αποστολέας να ξαναμεταδώσει το πακέτο, γιατί ήδη η συνομιλία έχει προχωρήσει.

### 5.6.2 Responsive applications

Πρόκειται για τις εφαρμογές μεταξύ του χρήστη και μιας εφαρμογής της συσκευής του δικτύου και αναφέρονται στο ‘κοντινό πραγματικό χρόνο’(‘near

real time’). Οι εφαρμογές πρέπει να έχουν σχετικά μικρή καθυστέρηση, παραμόρφωση και απώλεια δεδομένων. Παρ’ όλα αυτά οι απαιτήσεις για QoS δεν είναι τόσο υψηλές όσο στις interactive εφαρμογές. Οι τελικοί χρήστες απαιτούν οι εφαρμογές αυτές να ‘ανταποκρίνονται’(responsive), δηλαδή όταν στέλνουν ένα αίτημα προς την συσκευή του δικτύου, να παίρνουν γρήγορα απάντηση.

Στην κατηγορία αυτή ανήκει το streaming media και οι client/server διαδουκτιακές εφαρμογές. Οι streaming media εφαρμογές περιλαμβάνουν το ραδιόφωνο μέσω Internet καθώς και τις ραδιοφωνικές / τηλεοπτικές μεταδόσεις (ειδήσεις, εκπαιδευτικά προγράμματα ). Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν από το δίκτυο να είναι ‘άμεσης απόκρισης’ (responsive), έτσι ώστε ο χρήστης να μην χρειάζεται να περιμένει πάρα πολύ για να ανοίξουν. Οι client/server διαδουκτιακές εφαρμογές αφορούν στην περιήγηση του χρήστη στο Ίντερνετ. Το δίκτυο πρέπει να είναι ‘άμεσης απόκρισης’ και σε αυτές τι εφαρμογές καθώς όταν επιλεγθεί ο σύνδεσμος υπερκειμένου, η νέα σελίδα πρέπει να εμφανίζεται σε λίγα δευτερόλεπτα .Για παράδειγμα, όταν ο χρήστης πραγματοποιεί μια οικονομική συναλλαγή, πρέπει να εμφανίζεται άμεσα η απάντηση ότι η συναλλαγή ολοκληρώθηκε. Διαφορετικά, ο χρήστης μπορεί να είναι αβέβαιος αν η συναλλαγή ολοκληρώθηκε και να ξεκινήσει την διαδικασία πάλι από την αρχή ή να υποθέσει ότι ολοκληρώθηκε και στην πραγματικότητα να μην έχει. Σε κάθε περίπτωση ο χρήστης θα είναι δυσαρεστημένος με την απόδοση του δικτύου.

### **5.6.3 Timely applications**

Μερικές εφαρμογές μεταξύ ενός χρήστη και networked device’s application δεν απαιτούν απόδοση στον ‘κοντινό πραγματικό χρόνο’ (near real time’) αλλά οι πληροφορίες να παραδίνονται έγκαιρα. Τέτοια παραδείγματα περιλαμβάνουν

εφαρμογές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και μεταφορές αρχείων. Το QoS εξασφαλίζει ότι τα πακέτα θα φτάσουν στον προορισμό τους με μικρή καθυστέρηση. Το jitter έχει μηδαμινή επίδραση σε αυτούς τους τύπους εφαρμογών. Για παράδειγμα, εάν ένα e-mail παίρνει μερικά λεπτά για να φτάσει στον προορισμό του, είναι αποδεκτό, κάτι όμως που δε συμβαίνει στην περίπτωση ενός επιχειρησιακού περιβάλλοντος, αν ένα e-mail καθυστερήσει 10 λεπτά να φτάσει στον προορισμό του.

#### **5.6.4 Network control applications**

Οι εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν την λειτουργία και την διαχείριση του δικτύου. Απαιτούν σχετικά χαμηλό επίπεδο καθυστέρησης καθώς και ελαχιστοποίηση της απώλεια πακέτων. Το jitter έχει αμελητέα επίδραση. Τέτοιες εφαρμογές είναι τα πρωτόκολλα δρομολόγησης και εφαρμογές λογαριασμών billing applications.

## 6 WiFi – WiMax

### 6.1 Η ασύρματη επανάσταση

Παρότι οι λύσεις ενσύρματης δικτύωσης παρείχαν ικανές επιδόσεις, ήταν ανεπαρκείς σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμογών. Έτσι, ευκολότερη έρχονται να κάνουν τη ζωή των χρηστών τα ασύρματα δίκτυα τα οποία χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν ή να επεκτείνουν ένα κοινό ενσύρματο δίκτυο (Ethernet) και επιτρέπουν στον κινητό χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων.

Ένα ασύρματο δίκτυο δεν χρησιμοποιεί καλώδια για τις συνδέσεις των υπολογιστών. Αντί του καλωδίου χρησιμοποιείται μετάδοση μέσω ειδικά διαμορφωμένων οπτικών, υπέρυθρων ή ακόμα και ραδιοκυμάτων.

Τα ασύρματα δίκτυα που μπορεί να είναι τοπικής ή ευρείας περιοχής, τα τελευταία χρόνια γνωρίζουν μεγάλη ανάπτυξη εξαιτίας της αυξανόμενης ζήτησης. Στην αγορά υπάρχουν τεχνολογίες για την ασύρματη δικτύωση, που βασίζονται στα πρότυπα IEEE 802.11b /g ή WiFi και 802.16d/e ή WiMax στα οποία θα αναφερθούμε στο παρόν κεφάλαιο.

#### 6.1.1 Γενική σύγκριση

Κάθε τεχνολογία είναι σημαντική για διαφορετικούς λόγους. Ενώ το WiFi είναι ιδανικό για τις απομονωμένες περιοχές, το WiMax προσφέρει ασύρματη κάλυψη σε μεγάλες αποστάσεις.

Δεδομένου ότι η πληροφορική και οι επικοινωνίες συγκλίνουν σε ασύρματες ευρυζωνικές πλατφόρμες και τεχνολογίες, η ανάγκη για αληθινή κινητικότητα

θα γίνει επιτακτική. Όταν αυτό συμβεί, οι τεχνολογίες, η υποδομή, οι συσκευές και οι υπηρεσίες που θα επιτρέπουν στους χρήστες να μένουν συνδεδεμένοι ακόμη και όταν αυτοί κινούνται σε οποιονδήποτε χώρο, θα πρέπει να είναι έτοιμες να λειτουργήσουν.

Απώτερος σκοπός είναι να η «πάντα καλύτερη δυνατή σύνδεση» του χρήστη (best connected), χρησιμοποιώντας τις προαναφερθείσες συμπληρωματικές ευρυζωνικές τεχνολογίες. Στην πραγματικότητα, η κινητικότητα που επιτρέπεται από την ασύρματη τεχνολογία απαιτεί τη συμπληρωματικότητα των δικτύων και τη συνύπαρξη των τεχνολογιών, είτε αυτές είναι ενσύρματες είτε ασύρματες.

## ***6.2 WiFi-Πρότυπα και Ιστορία***

### **6.2.14.2.1 Τι είναι η IEEE 802.11;**

Η 802.11 είναι μια οικογένεια προτύπων που περιγράφουν τη λειτουργία ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN, Wireless Local Access Network). Περιγράφονται τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI, δηλαδή το φυσικό επίπεδο (PHY, Physical Layer) και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC, Medium Access Control). Έτσι επιτρέπει σε οποιαδήποτε εφαρμογή να εργάζεται πάνω σε συσκευή 802.11 όπως ακριβώς θα εργαζόταν πάνω από Ethernet. Οι συσκευές 802.11 δηλαδή μεταφέρουν διαφανώς την πληροφορία από τα πιο πάνω επίπεδα του OSI.

Τα πρωτόκολλα αυτά δημοσιεύονται από την IEEE γεγονός που είναι σημαντικό για την διαλειτουργικότητα, δηλαδή την ικανότητα συνεργασίας των συσκευών που το ακολουθούν.



### **6.2.2 IEEE 802.11**

Το 1997, μετά από επτά χρόνια μελέτης, η IEEE δημοσίευσε το πρότυπο IEEE 802.11 (καμιά φορά ονομάζεται και "802.1y" -802.11legacy-) , το πρώτο πρότυπο που αφορούσε ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless LAN-WLAN) . Πρωταρχικός στόχος της ομάδας ήταν η κατάργηση των καλωδίων ανάμεσα στους υπολογιστές σε ένα τοπικό δίκτυο.

### **6.2.3 IEEE 802.11b**

Το 802.11b είναι το πιο δημοφιλές από όλα τα πρότυπα και το πρότυπο με τη μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα, όντας ένα στιβαρό, αποτελεσματικό και δοκιμασμένο πρότυπο. Οι προσθήκες του 802.11b σε σχέση με το 802.11 αφορούν μόνο στον τρόπο μετάδοσης, ενώ ο τρόπος πρόσβασης των συσκευών και οι τρόποι λειτουργίας μένουν οι ίδιοι. Αναπτύχθηκε το 1999 και ουσιαστικά αποτελεί μια επέκταση στο αρχικό πρότυπο IEEE 802.11. Υποστηρίζει σε θεωρητικό επίπεδο μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων τα 11 Mbps, αλλά στην πράξη επιτυγχάνει ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 4 έως 6 Mbps.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το πρωτόκολλο 802.11b έχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 11Mbps αλλά όμως σημαντικό ποσοστό του εύρους ζώνης (bandwidth) χρησιμοποιείται για προετοιμασία της επικοινωνίας (communications overhead). Επομένως, ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που επιτυγχάνεται είναι 5,5Mbps. Τέλος , δραστικό ρόλο στην εξασθένηση του σήματος παίζουν το νερό, το μεγάλος πάχος τοίχων, το μέταλλο και άλλα.

Μία συσκευή που εργάζεται ακολουθώντας το 802.11b, υλοποιεί και τους

τρόπους μετάδοσης του 802.11 και έτσι είναι συμβατή με αυτό. Αυτή η ιδιότητα ονομάζεται συμβατότητα προς τα πίσω, δηλαδή ότι οι καινούργιες συσκευές θα μπορούν να συνεργαστούν και με παλιότερες, προκειμένου να μην αναγκαστεί ο καταναλωτής να αλλάξει εξ ολοκλήρου τον εξοπλισμό του.

Διάφορες επεκτάσεις έχουν γίνει στο πρωτόκολλο 802.11b για να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε 22, 33, και 44 Mbit/s με αποτέλεσμα να μετονομασθεί σε 802.11b+. Αυτό το πρότυπο υποστηρίχθηκε από εταιρίες αλλά δεν υιοθετήθηκε από την IEEE.

### **Κύρια χαρακτηριστικά**

- Κινητικότητα χρήστη
- Ευκολία, ευελιξία και απλότητα εγκατάστασης
- Κλιμάκωση, δυνατότητα επέκτασης
- Κόστος
- Ταχύτητες μετάδοσης
- Αξιοπιστία – ανεξαρτησία
- Εμβέλεια
- Συμβατότητα με το υπάρχον δίκτυο

Ακολουθεί ένα παράδειγμα για να γίνει ακόμα πιο κατανοητή η χρησιμότητα των ασύρματων WiFi δικτύων. Μπορεί ένα ξενοδοχείο να είναι ‘WiFi Enabled’, παρέχοντας δηλαδή μία επιπρόσθετη τεχνολογική υπηρεσία μεγάλης ζήτησης, ενισχύοντας έτσι την ανταγωνιστικότητα του και αυξάνοντας το περιθώριο κέρδους του, είτε ενσωματώνοντας την υπηρεσία αυτή στον τιμοκατάλογο του,

είτε χρεώνοντας την επιπρόσθετα (π.χ με χρήση προπληρωμένων καρτών). Έτσι, οι επισκέπτες του συγκεκριμένου ξενοδοχείου θα μπορούν να έχουν πρόσβαση στο Internet, προκειμένου να εκτελέσουν τις καθημερινές επαγγελματικές τους συνήθειες και υποχρεώσεις ενώ βρίσκονται στο δωμάτιο τους, ή σε κάποιο κοινόχρηστο χώρο του ξενοδοχείου, όπως είναι μία αίθουσα συνεδριάσεων, ένα business center κλπ. Η εγκατάσταση του ασύρματου δικτύου γίνεται πολύ εύκολα και άμεσα με απλό εξοπλισμό, ξεχνώντας το άγχος των καλωδίων, που στο χώρο του ξενοδοχείου στη προκειμένη περίπτωση, θα μπορούσε να χαλάσει την αισθητική του χώρου.

#### **6.2.44.2.4 IEEE 802.11g**

Το 802.11g αποτελεί επέκταση στο 802.11b ώστε να υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς. Έτσι εκτός από τους ρυθμούς μετάδοσης του 802.11b , με CCK διαμόρφωση, υποστηρίζει και ρυθμούς μέχρι 54Mbps χρησιμοποιώντας OFDM διαμόρφωση. Οι αντίστοιχες συσκευές εργάζονται στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz, διατηρώντας συμβατότητα προς τα πίσω με το 802.11b. Το 802.11g λειτουργώντας ταυτόχρονα με το 802.11b μπορεί να το αντικαταστήσει σταδιακά εξολοκλήρου.

Σημειώνεται τέλος ότι προϊόντα που βασίζονται στο 802.11g είχαν αρχίσει να κυκλοφορούν στην αγορά αρκετά πριν την ανακοίνωση του τελικού προτύπου. Βασίζονταν σε ενδιάμεσες εκδόσεις του προτύπου και οι κατασκευαστές τους υπόσχονταν πλήρη συμβατότητα με την τελική μορφή.

Πέρα των βασικών πρωτοκόλλων η οικογένεια προτύπων 802.11 περιλαμβάνει έναν αριθμό συμπληρωματικών προτύπων που προσθέτουν επιπλέον λειτουργικότητα στα ασύρματα δίκτυα, στα οποία δε θα αναφερθούμε παρά μόνο στο IEEE 802.11e (σε παρακάτω κεφάλαιο).

Επιγραμματικά λοιπόν:

- IEEE 802.11c. Λειτουργία γεφύρωσης (bridging) πλαισίων 802.11
- IEEE 802.11d. Επεκτάσεις στο πρότυπο ώστε να λειτουργεί σε επιπλέον ρυθμιστικά πλαίσια (άλλες ζώνες συχνοτήτων)
- IEEE 802.11e. Υποστήριξη QoS στο MAC επίπεδο (EDCF, Enhanced DCF και HCF, Hybrid Coordination Function)
- IEEE 802.11f. Συνιστώμενη πρακτική για το πρωτόκολλο IAPP, Inter Access Point Protocol, που αφορά την επικοινωνία μεταξύ σημείων πρόσβασης.
- IEEE 802.11h. Διαχείριση φάσματος στο 802.11a (DCS, Dynamic Channel Selection και TPC, Transmit Power Control)
- IEEE 802.11i. Επεκτάσεις στο MAC επίπεδο για ενισχυμένη ασφάλεια. Περιγραφή πρωτοκόλλων 802.1X, TKIP , και AES.

### **6.2.5 Δομή ενός δικτύου WiFi**

Τα ασύρματα δίκτυα 802.11 αποτελούνται από τις κάτωθι τέσσερις βασικές μονάδες:

- **Σημείο πρόσβασης (Access Point - AP):** Το AP είναι η μονάδα που παίζει το ρόλο γέφυρας μεταξύ του ενσύρματου και του ασύρματου δικτύου, μετατρέποντας κατάλληλα τα πλαίσια που ανταλλάσσονται μεταξύ αυτών. Επιτελεί και πολλές άλλες λειτουργίες στο ασύρματο δίκτυο που θα αναφερθούν στη συνέχεια.
- **Σύστημα διανομής (Distribution System):** Το σύστημα διανομής ενώνει τα

διάφορα AP του ίδιου δικτύου, επιτρέποντας τους να ανταλλάσσουν πλαίσια. Το 802.11 δεν προσδιορίζει τον τρόπο που θα γίνεται αυτό.

- **Ασύρματο μέσο μετάδοσης (Wireless Medium):** Έχουν οριστεί διάφορα φυσικά στρώματα που χρησιμοποιούν είτε ραδιοσυχνότητες είτε υπέρυθρες ακτίνες για τη μετάδοση των πλαισίων μεταξύ των σταθμών του ασύρματου δικτύου.
- **Σταθμούς(Stations):** Οι σταθμοί που ανταλλάσσουν πληροφορία μέσω του ασυρμάτου δικτύου συνήθως είναι φορητές συσκευές (για παράδειγμα laptops ή PDAs) χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο.

Η βασική δομική μονάδα κάθε 802.11 δικτύου αποκαλείται Basic Service Set (BSS) και αποτελείται από μία ομάδα σταθμών που επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα όρια του BSS καθορίζονται από την περιοχή ραδιοκάλυψης, που ονομάζεται Basic Service Area (BSA). Ένας σταθμός σε ένα BSS μπορεί να επικοινωνεί με οποιονδήποτε άλλο σταθμό στο ίδιο BSS.

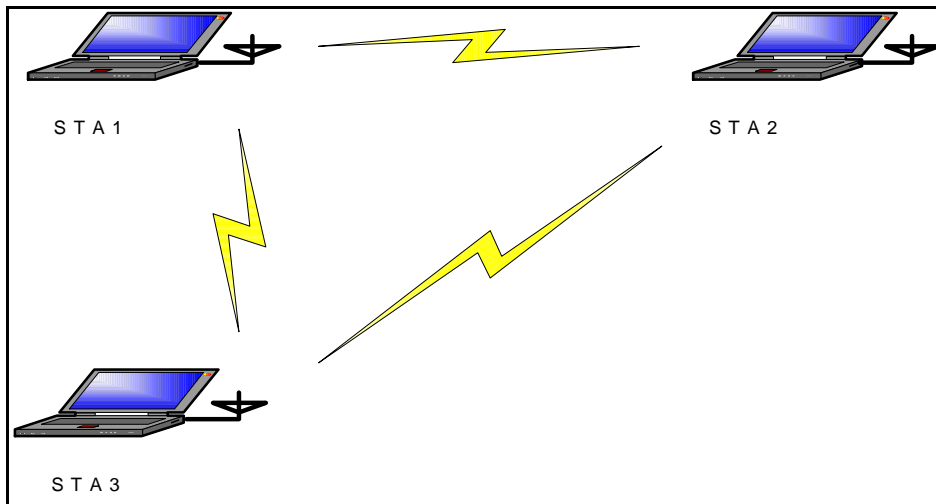
Τα πιο κοινά WLANs λειτουργούν στη μη αδειοδοτημένη περιοχή συχνοτήτων ISM (Industrial, Scientific and Medical) των 2,4 GHz και στην UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) μπάντα των 5 GHz.

#### **6.2.6 Τοπολογία – Αρχιτεκτονική**

Είναι γνωστό πως υπάρχουν δύο βασικές τοπολογίες, βάσει των οποίων ορίζονται δύο είδη ασυρμάτων δικτύων. Πρόκειται για τα ανεξάρτητα δίκτυα (independent networks) και τα δίκτυα υποδομής (infrastructure networks).

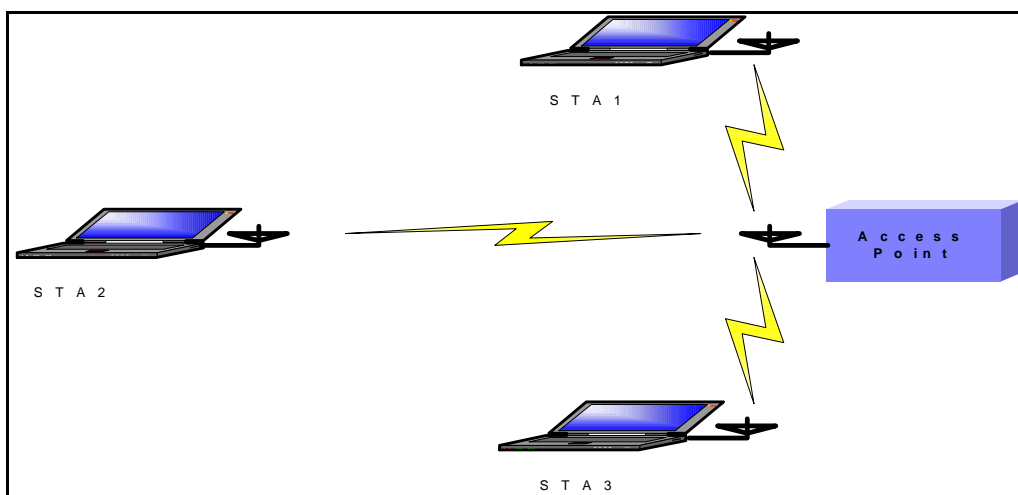
Σε ένα **independent** δίκτυο κάθε σταθμός επικοινωνεί απευθείας με όλους τους

υπόλοιπους. Το BSS σε αυτήν την περίπτωση ονομάζεται και IBSS (Independent BSS) ή ad-hoc BSS ή πιο απλά ad-hoc δίκτυο. Το IBSS αποτελείται το λιγότερο από δύο σταθμούς και συνήθως είναι προσωρινό, δηλαδή δημιουργείται για κάποιο σκοπό και μετά διαλύεται. Είναι ο απλούστερος τύπος ασύρματου δικτύου.



σχήμα 4.1 ένα independent δίκτυο

Ο άλλος τύπος δικτύου είναι το **infrastructure** δίκτυο. Πρέπει να σημειωθεί ότι και το IEEE 802.11, όταν λειτουργεί σε infrastructure mode, είναι ουσιαστικά ένα κυψελικό δίκτυο.



σχήμα 4.2 ένα infrastructure δίκτυο

Σε αυτήν την περίπτωση το BSS διακρίνεται από την παρουσία ενός AP σε αυτό. Το AP, εκτός από το ότι συνδέει το BSS με το ενσύρματο δίκτυο, είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή πλαισίων μεταξύ των σταθμών και γενικότερα για τον κεντρικό έλεγχο της λειτουργίας του BSS. Όταν ένας σταθμός θέλει να στείλει ένα πλαίσιο σε έναν άλλο σταθμό, το πλαίσιο αρχικά αποστέλλεται στο AP και αυτό με την σειρά του το στέλνει στον τελικό προορισμό του. Η BSA σε αυτήν την περίπτωση είναι η περιοχή όπου υπάρχει ραδιοκάλυψη από το AP. Έτσι σε αντίθεση με το IBSS, όπου όλοι οι σταθμοί πρέπει να βρίσκονται στην περιοχή ραδιοκάλυψης των υπολοίπων, για να επικοινωνήσουν με αυτούς, εδώ αρκεί να βρίσκονται στην περιοχή ραδιοκάλυψης του AP, άσχετα με την μεταξύ τους απόσταση. Για να συμμετέχει ένας σταθμός στο BSS πρέπει να ακολουθήσει τη διαδικασία του association (στην οποία θα αναφερθούμε παρακάτω) με το AP. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει πάντα με πρωτοβουλία του σταθμού και είναι απόφαση του AP αν ο σταθμός θα γίνει τελικά δεκτός στο BSS. Το 802.11 δεν ορίζει μέγιστο αριθμό σταθμών που μπορούν να συμμετάσχουν σε ένα BSS, αλλά τίθενται περιορισμοί στις διάφορες υλοποιήσεις AP.

Στην περίπτωση infrastructure δικτύων ένας αριθμός από BSSs μπορούν να συνδεθούν και να αποτελέσουν ένα Extended Service Set (ESS). Αυτό δημιουργείται ενώνοντας τα APs των BSSs μέσω ενός ενσύρματου δικτύου κορμού, που ονομάζεται Σύστημα Διανομής (Distribution System –DS). Με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η επικοινωνία μεταξύ σταθμών που ανήκουν σε διαφορετικά BSSs αλλά στο ίδιο ESS. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει τα APs να επικοινωνούν στο στρώμα ζεύξης δεδομένων μέσω του δικτύου κορμού, επιτελώντας τη λειτουργία της γέφυρας για τους σταθμούς διαφορετικών BSSs. Το ESS τελειώνει όταν παρεμβληθεί μεταξύ των AP's οντότητα δικτύου που

λειτουργεί σε υψηλότερο στρώμα, όπως είναι ο δρομολογητής (router).

### **6.2.7 Υπηρεσίες Ασύρματου Δικτύου 802.11**

Το ασύρματο δίκτυο 802.11 προσφέρει εννέα βασικές υπηρεσίες. Οφείλουμε να επισημάνουμε ότι τρεις από αυτές σχετίζονται με τη μεταφορά δεδομένων και οι υπόλοιπες έξι σχετίζονται με τη διαχείριση. Οι υπηρεσίες αυτές είναι οι εξής :

#### **Υπηρεσίες σταθμών**

- Authentication (Πιστοποίηση Ταυτότητας): Αν απαιτείται από το διαχειριστή του δικτύου, πρέπει κάθε χρήστης να πιστοποιεί την ταυτότητά του προκειμένου να έχει πρόσβαση στο ασύρματο δίκτυο έτσι ώστε να εμποδίζεται η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση.
- Deauthentication (Ακύρωση πιστοποίησης ταυτότητας): Τερματισμός μίας ισχύουσας κατάστασης authentication. Μετά την ακύρωση της πιστοποίησης, ο σταθμός δεν μπορεί πια να χρησιμοποιήσει το δίκτυο.
- Privacy (Προστασία Απορρήτου): Στο ασύρματο δίκτυο όλοι οι σταθμοί καθώς και άλλες συσκευές μπορούν να αφουγκραστούν τα δεδομένα που ανταλλάσσονται, και έτσι να θέσουν σημαντικά προβλήματα ασφαλείας στο δίκτυο. Το πρότυπο προσφέρει μία υπηρεσία κρυπτογράφησης των δεδομένων. Η κρυπτογράφηση γίνεται με χρήση κλειδιών. Η λειτουργία αυτή έχει σκοπό να παρέχει ένα ισοδύναμο επίπεδο προστασίας με αυτό που παρέχεται στα ενσύρματα δίκτυα, όπου η φυσική πρόσβαση είναι περιορισμένη. Για την προστασία και ασφάλεια των δεδομένων θα μιλήσουμε παρακάτω.



## Υπηρεσίες διανομής

- Association (Συσχέτιση): Απαραίτητη διαδικασία συσχετισμού ενός σταθμού με το AP, προκειμένου να είναι σε θέση να στείλει και να δεχτεί πλαίσια μέσω του ασυρμάτου δικτύου. Όταν ένας σταθμός είναι συσχετισμένος με ένα AP, δημιουργείται τότε μια λογική σχέση μεταξύ τους, ώστε το DS να γνωρίζει που και πώς να παραδώσει δεδομένα σε έναν ασύρματο σταθμό.
- Disassociation (Αποσυσχέτιση): Υπηρεσία αφαίρεσης ενός σταθμού ή του AP από το δίκτυο. Ένα AP μπορεί να την χρησιμοποιεί πριν απενεργοποιηθεί για λόγους συντήρησης. Το MAC του 802.11 μπορεί να χειριστεί και σταθμούς που εγκαταλείπουν το δίκτυο χωρίς να έχουν κάνει πρώτα χρήση της υπηρεσίας.
- Reassociation (Επανασυσχέτιση): Με τη συγκεκριμένη υπηρεσία ένας σταθμός μπορεί να αλλάξει AP. Είναι πολύ χρήσιμη για κινητούς σταθμούς που μετακινούνται από ένα BSS σε ένα άλλο.
- MSDU (MAC Service Data Unit) Delivery (Παράδοση Πλαισίων MAC): Η υπηρεσία αυτή ασχολείται με την παράδοση πλαισίων MAC στον τελικό προορισμό τους.
- Distribution (Διανομή): Η υπηρεσία αυτή προσδιορίζει πώς θα δρομολογούνται τα πλαίσια που στέλνονται στο AP. Αν ο σταθμός-παραλήπτης βρίσκεται μέσα στο BSS τότε το πλαίσιο μπορεί να σταλθεί άμεσα από το AP, διαφορετικά θα πρέπει να σταλεί στο DS και από εκεί στο AP που σχετίζεται με τον παραλήπτη.
- Integration (Ενοποίηση): Υπηρεσία που παρέχεται από το DS. Όταν ένα πλαίσιο πρέπει να σταλεί μέσω ενός δικτύου που δεν είναι της μορφής 802.11 και χρησιμοποιεί διαφορετική μέθοδο διευθυνσιοδότησης ή μορφή

πλαισίων, η υπηρεσία αυτή διαχειρίζεται τη μετατροπή από τη μορφή του 802.11 στη μορφή που απαιτείται από το δίκτυο προορισμού.

### **6.2.8 Φυσικό Στρώμα του 802.11**

Στο φυσικό στρώμα προδιαγράφονται οι κάτωθι τρεις τεχνικές διαμόρφωσης :

- Direct Sequence Spread Spectrum (Απλωμένο Φάσμα Ευθείας Ακολουθίας) στην ISM μπάντα των 2,4 GHz με ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps.
- Frequency Hopping Spread Spectrum (Απλωμένο Φάσμα και Πήδημα Συχνότητας) στην ISM μπάντα των 2,4 GHz με ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps.
- Infrared (Υπέρυθρες Ακτίνες) σε μήκη κύματος μεταξύ 850 και 950 nm με ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps. Δε χρησιμοποιείται ιδιαίτερα λόγω του χαμηλού εύρους ζώνης και του γεγονότος ότι το φως του ήλιου εξαφανίζει τα υπέρυθρα σήματα. Η ακτίνα λειτουργίας του μπορεί να φτάσει περίπου τα 20 μέτρα, σε ελεύθερο οπτικό πεδίο. Άλλη περίπτωση είναι η ανάκλαση των υπέρυθρων ακτινών από κατάλληλη επιφάνεια, για παράδειγμα τοίχος λευκού χρώματος, ώστε να επιτευχθεί κάλυψη μιας συγκεκριμένης περιοχής.
- Πρέπει να τονίσουμε ότι οι δύο πρώτες είναι τεχνικές εξάπλωσης φάσματος (Spread Spectrum). Σε αυτές αφού διαμορφώσουμε το σήμα πληροφορίας στη συνέχεια εξαπλώνουμε την ισχύ του σήματος σε μία ευρεία περιοχή συχνοτήτων.

### **6.2.9 Υπόστρωμα Mac Του 802.11**

Το υπόστρωμα MAC του 802.11 είναι ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι της

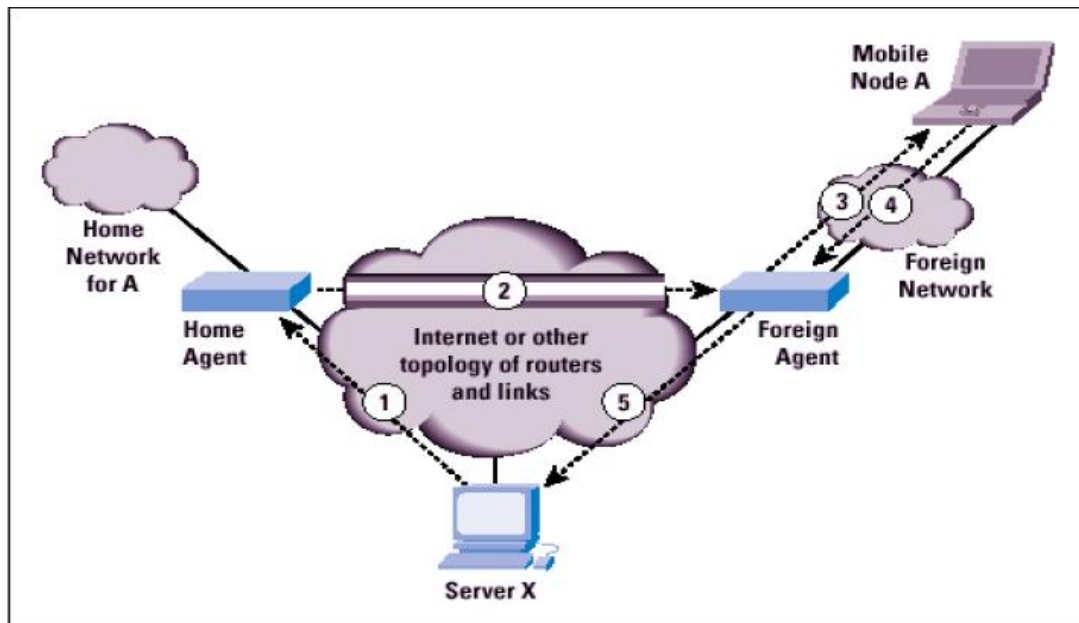
προτυποποίησης. Υποστηρίζει όλα τα φυσικά στρώματα και προσφέρει υπηρεσίες αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων και πρόσβασης στο μέσο στα ανώτερα στρώματα. Οι όποιες διαφοροποιήσεις του από το αντίστοιχο MAC ενσύρματων δικτύων οφείλονται στις ιδιαιτερότητες του ασύρματου μέσου μετάδοσης που χρησιμοποιείται στο φυσικό επίπεδο.

Ένα άλλο σημαντικό θέμα σε infrastructure δίκτυα είναι η κινητικότητα των χρηστών. Η κινητικότητα των χρηστών δημιουργεί ένα σύνολο από προβλήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν. Έτσι, το βασικό πρόβλημα που προκύπτει είναι η ανάγκη για αλλαγή του χρησιμοποιούμενου καναλιού, διαδικασία που ονομάζεται **roaming** που προκύπτει όταν ένας χρήστης μετακινείται από μία κυψέλη σε μία άλλη.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από το roaming είναι η πιθανότητα στην κυψέλη στην οποία θέλει να μεταβεί ο χρήστης να μην υπάρχουν διαθέσιμα κανάλια, με αποτέλεσμα ο χρήστης να απορριφθεί.

Με την διαδικασία του roaming η διαχείριση του χρήστη μεταφέρεται από τον ένα σταθμό βάσης σε έναν γειτονικό. Με βάση την κινητικότητα των τερματικών, μπορούμε να τους κατατάξουμε σε στάσιμους (stationary), που είναι οι υπολογιστές που δεν μετακινούνται ποτέ, σε αποδημητικούς (migratory), που είναι συνήθως φορητοί υπολογιστές, που είναι κατά βάση στάσιμοι, αλλά μετακινούνται από μια σταθερή τοποθεσία σε μια άλλη από καιρό σε καιρό και η τελευταία κατηγορία είναι οι περιπλανώμενοι (roaming) που είναι υπολογιστές που λειτουργούν εν κινήσει και θέλουν να διατηρούν τις συνδέσεις τους καθώς μετακινούνται (π.χ. PDA). Οι migratory και roaming υπολογιστές αναφέρονται συχνά και ως κινητοί υπολογιστές υπηρεσίας (mobile hosts). Για την επίλυση του παραπάνω προβλήματος αναπτύχθηκε το φορητό IP (mobile IP), το οποίο είναι ένας μηχανισμός για να υποστηρίξει ξεκάθαρη δικτυακή

συνδεσιμότητα στους κινητούς σταθμούς. Το φορητό IP επιτρέπει στον κινητό σταθμό να διευθυνσιοδοτηθεί από την διεύθυνση IP που χρησιμοποιείται στο δικό του δίκτυο (home IP address).



σχήμα 4.3 Τρόπος λειτουργίας του **mobile IP**

Το 802.11b/g στο υπόστρωμα MAC υποστηρίζει δύο ειδών λειτουργίες για τον έλεγχο της πρόσβασης στο ασύρματο κανάλι: α) Την κατανεμημένη λειτουργία που λέγεται **DCF (Distributed Coordination Function)**, και β) Την κεντρική λειτουργία (προαιρετική) που λέγεται **PCF (Point Coordination Function)**. Οι παραπάνω λειτουργίες υποστηρίζουν μόνο υπηρεσίες «Best-Effort», χωρίς δηλαδή να εγγυάται καμία ποιότητα εξυπηρέτησης. Όμως όσο ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται, η διαθεσιμότητα εύρους ζώνης μειώνεται όπως και η απόδοση του δικτύου, έτσι καθιστάτε επιτακτική ανάγκη για ποιότητα υπηρεσίας. Προς τον σκοπό αυτό έχει προταθεί νέα έκδοση του πρωτοκόλλου ως IEEE 802.11e. Για τους μηχανισμούς και τις λειτουργίες στο συγκεκριμένο

επίπεδο θα κάνουμε εκτενή αναφορά στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο.

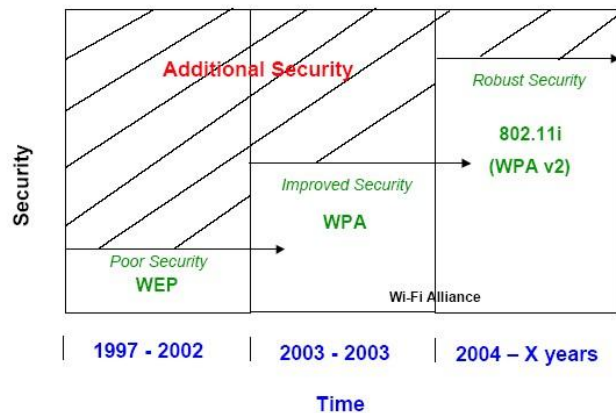
#### **6.2.10 Ασφάλεια**

Ο εξοπλισμός WiFi μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κλοπή προσωπικών πληροφοριών (κωδικών , οικονομικών δεδομένων, δεδομένων αναγνώρισης κτλ) που μεταδίδονται από χρήστες WiFi αν δεν χρησιμοποιούνται λογικές προστασίες .

Το πρώτο και πιο κοινό στάνταρ ασύρματης κρυπτογράφησης το Wired Equivalent Privacy ή WEP , έχει αποδειχθεί ότι παραβιάζεται εύκολα ακόμα και σωστά ρυθμισμένο . Τα περισσότερα ασύρματα προϊόντα στην αγορά υποστηρίζουν το WiFi Protected Access (WPA) πρωτόκολλο κρυπτογράφησης που θεωρείται πολύ πιο δυνατό αν και κάποια παλιότερα σημεία πρόσβασης πρέπει να αντικατασταθούν για να το υποστηρίξουν . Η υιοθέτηση του στάνταρ 802.11i (με εμπορικό όνομα WPA2) κάνει δυνατό ένα καλύτερο σύστημα προστασίας όταν είναι καλά ρυθμισμένο . Από τα μέσα του 2005 , τα Microsoft Windows XP και το MAC OS x υποστηρίζουν το WPA2 , αλλά μόνο στον πιο σύγχρονο εξοπλισμό.

Καθώς περιμέναμε καλύτερα στάνταρ να γίνουν διαθέσιμα , πολλές επιχειρήσεις έχουν επιλέξει να αναπτύξουν επιπλέον βαθμίδες κρυπτογράφησης για να προστατευτούν από υποκλοπές .

## Evolution of WiFi Security



Σχήμα 4. 1 : Αλγόριθμοι Κρυπτογράφησης

### 6.3 Τι είναι το WiMax

Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Το WiMax είναι μια νέα τεχνολογία, ένα βήμα μπροστά από το WiFi, που παρέχει ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση υψηλών ταχυτήτων σε μεγάλες αποστάσεις. Είναι παρόμοιο με WiFi στην έννοια, αλλά έχει ορισμένες βελτιώσεις που στοχεύουν στη βελτίωση της απόδοσης και πρέπει να επιτρέψουν τη χρήση πέρα από τις πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις.

Η τεχνολογία που βασίζεται στο πρότυπο 802.16 σχεδιάστηκε εξ' ολοκλήρου για να προσφέρει ασύρματη επικοινωνία σε μητροπολιτικά δίκτυα (MAN) και να παρέχει υπηρεσίες ανταγωνιστικές στις ήδη υπάρχουσες ενσύρματες δικτυακές τεχνολογίες (DSL, cable, T1). Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων που βασίζονται στο πρότυπο 802.16 είναι τα εξής:

- Η ικανότητα γρήγορης παροχής υπηρεσιών ακόμα και σε περιοχές πολύ απομακρυσμένες όπου η εγκατάσταση ενσύρματων δικτύων θα ήταν

εξαιρετικά δύσκολη.

- Αποφυγή μεγάλου κόστους εγκατάστασης.
- Γενικά η ικανότητα υπέρβασης των φυσικών περιορισμών που υπάρχουν στην ενσύρματη δικτύωση.

### **6.3.1 Το πρότυπο IEEE 802.16**

Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μπάντα συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 70Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν, ξεπερνούν τα 50Km σε συνθήκες οπτικής επαφής. Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50Mbps. Το WiMax σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως point to multipoint (PTM) συνδέσεις χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για point to point συνδέσεις. Η διαμόρφωση η οποία χρησιμοποιείται ονομάζεται OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Πρόκειται για μια πολύ ανθεκτική διαμόρφωση σε ότι αφορά το φαινόμενο της πολυδιόδευσης ειδικότερα στις συχνοτήτες άνω των 2 GHz όπου το πρότυπο χρησιμοποιεί.

### **6.3.2 Τα Υποπρότυπα του 802.16**

Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις. Τα πρότυπα αυτά αναπτύσσονται σταδιακά ανάλογα

με τις ανάγκες που προκύπτουν. Οι κύριες διαφορές ανάμεσα σε αυτά είναι σε ποιες συχνοτικές μπάντες δουλεύουν καθώς και ποια εργασιακή ομάδα (TG) αναπτύσσει το συγκεκριμένο πρότυπο. Ακόμα μέχρι σήμερα κάποια υποπρότυπα δεν έχουν ολοκληρωθεί ή είναι τόσο νέα που δεν έχουν δημοσιευτεί

## **802.16a**

Το 802.16a έχει θεμελιώδεις διαφορές σε σχέση με το αρχικό πρότυπο. Οι κυριότερες διαφορές είναι ότι λειτουργεί σε χαμηλότερες συχνότητες, στο φάσμα των 2-11GHz και το ότι είναι τεχνολογία NLOS. Σε αυτές τις συχνότητες, χωρίς οπτική επαφή δημιουργούνται νέα προβλήματα όπως της πολυοδικής εξασθένησης. Έτσι νέες μέθοδοι κωδικοποίησης και διαμόρφωσης θα έπρεπε να προταθούν. Το 802.16a καθορίζει τρία διαφορετικά πρότυπα ασύρματης διεπαφής, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να διαφοροποιήσουν τις υπηρεσίες τους.

Το 802.16a υπόσχεται ταχύτητες έως 75Mbps σε αποστάσεις που μπορούν να φθάσουν ακόμα και τα 50 χιλιόμετρα που όμως εξαρτάται από το ύψος στο οποίο βρίσκεται η κεραία, την ισχύ της μετάδοσης και τις κλιματολογικές συνθήκες.

## **802.16 d.**

Έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το 802.16a με τη διαφορά ότι προστέθηκαν μερικές βελτιώσεις στο πρότυπο. Οι βελτιώσεις αυτές αναφέρονται κυρίως στην αύξηση της απόδοσης στο κανάλι για αποστολή πληροφορίας (uplink).



Καθώς η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που διαδίδονται πάνω από ένα ασύρματο δίκτυο ολοένα και αυξάνει, η ποιότητα υπηρεσίας πάνω από τέτοια 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 802.16 d.

## **802.16 e**

Το 802.16e έγινε αποδεκτό στις 23 Σεπτεμβρίου του 2003. Το Mobile WiMax βασίζεται σε τεχνολογίες OFDM/OFDMA οι οποίες είναι πιο κατάλληλες για ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες δεδομένων. Επίσης, το Mobile WiMax μπορεί να ρυθμίσει δυναμικά το λόγο downlink/uplink χρησιμοποιώντας TDD με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευελιξία όσο αφορά την υποστήριξη διαφορετικών ειδών ευρυζωνικής κίνησης.

Το πρότυπο αυτό στόχευε στους κινητούς χρήστες οι οποίοι επιθυμούν να διατηρούν τη σύνδεση τους ακόμα και όταν κινούνται από 70 έως 93 μίλια την ώρα. Επίσης στόχος του ήταν και το ασύρματο internet, να δώσει δηλαδή τη δυνατότητα στους χρήστες να συνδεθούν σε ένα ασύρματο παροχέα υπηρεσιών internet (WISP) όταν αυτοί βρίσκονται έξω από τα σπίτια τους ή την εργασία τους, ακόμα και έξω από τη πόλη τους.

Η νέα αυτή λειτουργικότητα ονομάζεται *κινητή ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση ή MBWA*. Σκοπός της είναι να μπορεί το 802.16e να υποστηρίξει και κινητούς σταθμούς συνδρομητών. Δηλαδή η βασική διαφορά της MBWA από την BWA (ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση) είναι η κινητικότητα που αυτή προσφέρει και η ταχύτητα κάτω από την οποία τα συστήματα 802.16e μπορούν να

λειτουργούν. Άρα έπρεπε πρώτα να οριστούν κάποια επίπεδα κινητικότητας (mobility). Αυτά είναι:

- Σταθερή (0 km/h)
- Πεζού (πάνω από 10 km/h)
- Κανονική ταχύτητα οχήματος ( πάνω από 100 km/h)
- Πολύ μεγάλη ταχύτητα (πάνω από 500 km/h)

Από τα παραπάνω επίπεδα ταχύτητας το MBWA αναφέρεται στις δύο τελευταίες κατηγορίες (πάνω από 100, 500 km/h).

Τα MBWA συστήματα χρησιμοποιούν το νόμιμο φάσμα συχνοτήτων κάτω των 3.5GHz. Εξαιτίας της ταχύτητας που πρέπει να υποστηρίζουν, αυτά τα συστήματα χρειάζεται να είναι στιβαρά στις γρήγορες αλλαγές που θα συμβαίνουν στα κανάλια μετάδοσης κατά τη κίνηση. Η κινητικότητα αυτή σίγουρα θα επηρεάζει και θα δυσκολεύει σε επίπεδο IP αφού θα πρέπει να μεταβάλλεται δυναμικά η δρομολόγηση πακέτων κατά τη κίνηση. Αυτό όπως καταλαβαίνουμε κάνει και την εξουσιοδότηση (authentication) πιο δύσκολη για τα uplink/downlink πακέτα δεδομένων.

Για να επιτευχθεί η κινητικότητα από το πρότυπο 802.16e ενισχύθηκε το MAC και το PHY επίπεδο, μειώθηκε η κατανάλωση ενέργειας και υποστηρίχθηκε το Hand-off .

### **6.3.3 Δομή ενός δικτύου WiMax**

Τυπικά, ένα σύστημα WiMax αποτελείται από δύο μέρη: τον σταθμό βάσης (Base Station, BS) και τον σταθμό εγγεγραμμένου (Subscriber Station, SS).

Ο **σταθμός βάσης** είναι η κεντρική μονάδα του πρωτοκόλλου που διαχειρίζεται όλα τα αιτήματα των SS για αρχική πρόσβαση στο δίκτυο, για δημιουργία συνεδριάσεων (sessions), για την παροχή συγκεκριμένου τύπου υπηρεσιών όπως και το ότι 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). Αποτελείται από τις ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις και έναν πύργο WiMax. Χαρακτηριστικά, ένας σταθμός βάσης μπορεί να καλύψει ακτίνα μέχρι 10 χλμ (θεωρητικά, ένας σταθμός βάσης μπορεί να καλύψει ακτίνα μέχρι 50 χλμ, εντούτοις οι πρακτικές μελέτες το περιορίζουν σε περίπου 10 χλμ). Οποιοσδήποτε ασύρματος κόμβος μέσα στην περιοχή κάλυψης θα είναι σε θέση να έχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

Ο **σταθμός εγγεγραμμένου** είναι ουσιαστικά ο πληρεξούσιος του χρήστη ο οποίος αναλαμβάνει, επικοινωνώντας με τον BS, που αντιπροσωπεύει το δίκτυο, να μεταφράσει και να προωθήσει τα αιτήματά του. 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. ο δέκτης και η κεραία θα μπορούσαν να είναι ένα αυτόνομο κιβώτιο ή μια κάρτα PCMCIA που βρίσκεται στο lap-top ή τον υπολογιστή σας. Η πρόσβαση στο σταθμό βάσης WiMax είναι παρόμοια με στην πρόσβαση ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης σε ένα δίκτυο WiFi, αλλά η κάλυψη είναι μεγαλύτερη.

Διάφοροι σταθμοί βάσεων μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω backhaul συνδέσεων μικροκυμάτων μεγάλης ταχύτητας. Αυτό θα επέτρεπε την περιπλάνηση ενός συνδρομητή WiMax από έναν σταθμό βάσης σε μια άλλη περιοχή σταθμού βάσης, παρόμοια με την περιπλάνηση που επιτρέπεται από τις επιχειρήσεις κινητής τηλεφωνίας.

Σε γενικές γραμμές εκτιμάται ότι ο χρόνος που θα χρειάζεται ένας απλός

χρήστης για να συνδεθεί για πρώτη φορά σε ένα δίκτυο WiMax δεν θα ξεπερνά τα 3 λεπτά, δεδομένου ότι τα βήματα της σύνδεσης είναι πολύ απλά και συνοψίζονται ως εξής:

- Ο χρήστης ενεργοποιεί την ασύρματη σύνδεση WiMax στον ηλεκτρονικό υπολογιστή ή PDA του.
- Το διαθέσιμο δίκτυο εντοπίζεται και αναφέρεται ως εντός εμβέλειας.
- Ο χρήστης πληκτρολογεί ένα κλειδί εισόδου, το οποίο του έχει γνωστοποιηθεί από τον πάροχο υπηρεσιών διαδικτύου (ISP). Η σύνδεση ολοκληρώνεται με επιτυχία και ο χρήστης είναι έτοιμος να προηγηθεί στο Internet.

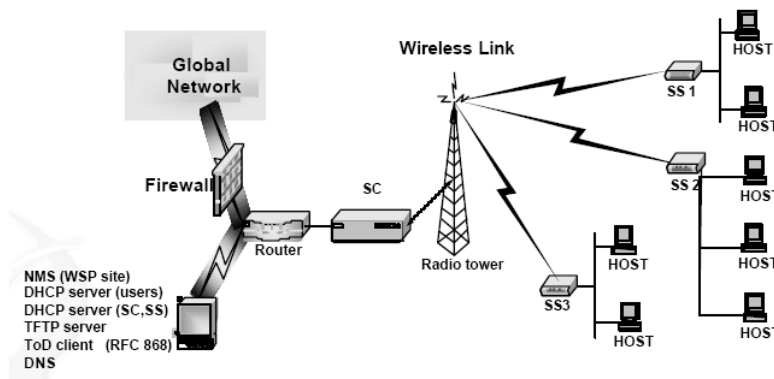
Σημειώνεται δε ότι η παραπάνω διαδικασία θα ακολουθηθεί μόνο την πρώτη φορά που θα συνδεθεί κανείς σε ένα δίκτυο WiMax. Από τη στιγμή που οι απαραίτητες ρυθμίσεις (όνομα δικτύου, κλειδί πρόσβασης) αποθηκευτούν στη συσκευή του, τις επόμενες φορές η σύνδεση θα πραγματοποιείται σε κλάσματα του δευτερολέπτου. Ουσιαστικά, ενεργοποιώντας κάποιος τον ηλεκτρονικό του υπολογιστή, μόλις ολοκληρωθεί η εκκίνηση του λειτουργικού συστήματος, θα έχει ήδη συνδεθεί στο προκαθορισμένο δίκτυο WiMax και κατ' επέκταση στο Internet.

#### **6.3.4 Τοπολογίες WiMax**

Το WiMax σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως **Point-to-Multipoint** (PTM) συνδέσεις, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για **point to point** συνδέσεις.

Οι point-to-multipoint τηλεπικοινωνίες (PT2MP) χρησιμοποιούνται περισσότερο για ασύρματο Internet και την IP τηλεφωνία μέσω

ραδιοσυχνοτήτων μεγέθους GHz. Τα PT2MP συστήματα έχουν σχεδιαστεί και ως ενιαία και αμφίδρομα συστήματα. Μια κεντρική κεραία ή μια σειρά κεραιών μεταδίδει ραδιοσήματα σε μερικές κεραιές-δέκτες και το σύστημα χρησιμοποιεί μια μορφή Time-division Multiplexing για να επιτρέψει την back-channel κυκλοφορία .



σχήμα 4.3.1 point-to-multipoint τηλεπικοινωνίες

Ο όρος point to point συνδέσεις σχετίστηκε με τις ασύρματες μεταδόσεις στοιχείων για το Διαδίκτυο ή την υπηρεσία Voice over IP μέσω ραδιοσυχνοτήτων σε εύρος πολλών GHz. Περιλαμβάνει επίσης τεχνολογίες όπως το λέιζερ για τηλεπικοινωνίες αλλά σε όλες τις περιπτώσεις αναμένει ότι το μέσο μετάδοσης είναι LOS (Line of Sight) και ότι είναι ικανό να στέλνει πολύ καλά τα σήματα από τον πομπό στο δέκτη.

Το WiMax στην πραγματικότητα μπορεί να παρέχει δύο διαφορετικού τύπου υπηρεσιών:

- Την **NLOS** υπηρεσία, όπου μια μικρή κεραία μπορεί να είναι τοποθετημένη στην κορυφή του κτιρίου του χρήστη. Στην περίπτωση αυτή, το WiMax χρησιμοποιεί χαμηλότερες συχνότητες που είναι πιο επιρρεπής σε απώλειες κι έτσι οι ρυθμοί μετάδοσης είναι μικρότεροι. Το σήμα φθάνει στο δέκτη

μέσω αντανakλάσεων και διασποράς .

- Την **LOS** υπηρεσία, στην οποία είναι τοποθετημένη σταθερή κεραία σε μεγάλο ύψος, με αποτέλεσμα τα λάθη να είναι λιγότερο συχνά και να επιτυγχάνονται υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης. Στην ουσία το σήμα ταξιδεύει σε μία άμεση και χωρίς εμπόδια διαδρομή από το πομπό στο δέκτη.

Γενικά, αν και υπάρχουν προβλήματα, η NLOS μετάδοση έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι της LOS αφού είναι πιο ευέλικτη, απαιτεί πολύ μικρότερες κεραίες. Η ύπαρξη μικρών κεραιών είναι πολύ μεγάλης σημασία σε ασύρματα δίκτυα με κυψελοειδής δομές και αυτό συμβαίνει γιατί με μικρές κεραίες 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.

### **6.3.5 Διαστρωμάτωση**

Το WiMax είναι ένα πρότυπο που αφορά τα κατώτερα επίπεδα της στοίβας του μοντέλου OSI ή της στοίβας του Internet. Πιο συγκεκριμένα, υλοποιούνται το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link) και το φυσικό επίπεδο. Επειδή, το WiMax έχει προτυποποιηθεί για να μπορέσει να συνδέσει και να εξυπηρετήσει διαφορετικά δίκτυα, όπως για παράδειγμα IP και ATM δίκτυα, έχει δημιουργηθεί επιπλέον επίπεδα στο εσωτερικό του data link. Έτσι το επίπεδο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Media Access Control, MAC) διαιρείται σε τρία υποεπίπεδα.

#### **6.3.5.1 Φυσικό Επίπεδο PHY**

Η πρώτη έκδοση του προτύπου 802.16 υποστήριζε κύρια επικοινωνία μεταξύ

σημείων τα οποία βρίσκονται σε οπτική επαφή. Η συχνότητα λειτουργίας του ορίστηκε στη ζώνη των 10-66 GHz. Στη συνέχεια το πρότυπο 802.16a υιοθέτησε μια ζώνη συχνοτήτων λειτουργίας η οποία εκτείνεται από 2 ως 11 GHz και αυτή είναι η ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιούν και τα πρώτα προϊόντα WiMax τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά σήμερα. Το κύριο πλεονέκτημα της δεύτερης ζώνης λειτουργίας είναι ότι κάνει εφικτή την επικοινωνία σημείων τα οποία δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή κάτι που στις υψηλότερες συχνότητες δεν είναι εφικτό. Στο φυσικό επίπεδο η διαμόρφωση η οποία έχει υιοθετηθεί από το πρότυπο είναι το OFDM.

Η OFDM είναι ένα σχήμα διαμόρφωσης πολλαπλών φερόντων συχνοτήτων που κωδικοποιεί δεδομένα σε ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα. Αντίθετα, από τα σχήματα διαμόρφωσης με μοναδικό φέροντα όπου μόνο ένα σήμα στο χρόνο μπορεί να χρησιμοποιεί τη συχνότητα, το OFDM στέλνει πολλαπλά σήματα παράλληλα σε συχνότητες που είναι ειδικά υπολογισμένες να είναι ορθογώνιες μεταξύ τους.

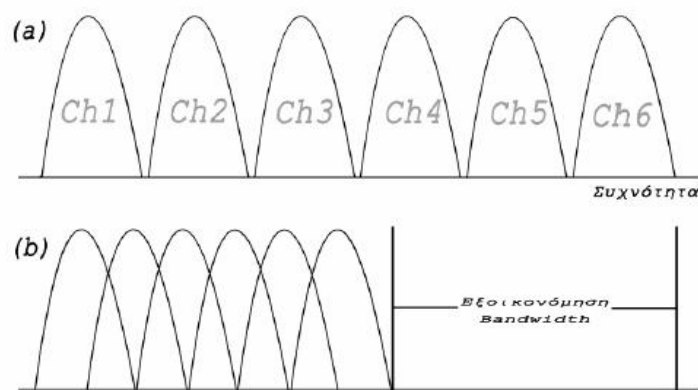
Ουσιαστικά, τα εισερχόμενα δεδομένα διαιρούνται σε πολλαπλά παράλληλα σε μικρότερες ροές δεδομένων μειωμένου ρυθμού και στη συνέχεια κάθε ροή διαμορφώνεται και μεταδίδεται ξεχωριστά ορθογώνια ως προς τις άλλες συχνότητες.

Ένας από τους κυριότερους λόγους υιοθέτησης του OFDM ως του μοντέλου διαμόρφωσης για ένα ασύρματο τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών. Το μεγάλο πλεονέκτημα του OFDM είναι το επιπλέον bandwidth που αποκομίζει.

Το κύριο μειονέκτημα του OFDM είναι η απαιτητικότητα του για μεγάλο συγχρονισμό μεταξύ πομπού και δέκτη. Οποιαδήποτε έλλειψη συγχρονισμό

μετατρέπει τις φερόμενες συχνότητες σε μη ορθογώνιες, δημιουργώντας το πρόβλημα γνωστό ως inter-carrier interference (ISI). Μια από τις περιπτώσεις έλλειψης συγχρονισμού εμφανίζεται από την μετακίνηση του πομπού ή/και του δέκτη.

Το παρακάτω σχήμα αποδεικνύει τα ανωτέρω. Φαίνεται καθαρά η διαφορά μεταξύ των συμβατικών τεχνικών με μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια και του OFDM.



σχήμα 4.3.2 (a) Συμβατική Τεχνική Πολλών Φερουσών (b) OFDM

### 6.3.5.2 MAC Επίπεδο

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων αποτελείται από τρία υποεπίπεδα. Το χαμηλότερο ασχολείται με την προστασία απορρήτου και την ασφάλεια, η οποία είναι πολύ πιο κρίσιμη για δημόσια δίκτυα εκτός κτηρίων από ότι για ιδιωτικά δίκτυα εντός κτηρίων. Χειρίζεται την κρυπτογράφηση, την αποκρυπτογράφηση και τη διαχείριση κλειδιών.

Μετά, έχουμε το κοινό τμήμα του υποεπιπέδου MAC. Το υποεπίπεδο MAC που καθορίζεται από το πρότυπο IEEE 802.16 είναι και αυτό που υποστηρίζει τις πολλαπλάσιες φυσικές προδιαγραφές στρώματος (PHY). Αυτό είναι σημαντικό



για να επιτρέπει στην τυποποιημένη προσπάθεια να εξελιχθεί και να προσαρμοστεί στους διάφορους τύπους απαιτήσεων τελικής χρήσης. Επιτρέπει επίσης στους κατασκευαστές εξοπλισμού να διαφοροποιούν τις προσφορές τους. Αυτό είναι επίσης μια σημαντική πτυχή γιατί το WiMax μπορεί να περιγραφεί ως "πλαίσιο για την εξέλιξη της ασύρματης σύνδεσης ευρείας ζώνης" παρά μια στατική εφαρμογή των ασύρματων τεχνολογιών.

Το MAC είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό στο IEEE 802.11 του WIFI (και Ethernet). Στο WIFI, το σκεπτικό χρήσης πρόσβασης του MAC είναι ότι όλοι οι σταθμοί συνδρομητών που επιθυμούν να περάσουν δεδομένα μέσω μιας πρόσβασης ανταγωνίζονται για την προσοχή του AP σε τυχαία βάση. Αυτό μπορεί να προκαλεί επανειλημμένες διακοπές στους πιο μακρινούς κόμβους από το AP από λιγότερο σημαντικούς αλλά πιο κοντινούς κόμβους, μειώνοντας πολύ το throughput των μακρινών κόμβων. Αυτό κάνει δύσκολο για τις υπηρεσίες, όπως η VoIP, που εξαρτώνται από ένα καθορισμένο επίπεδο ποιότητας (QoS) να διατηρηθούν για μεγάλους αριθμούς χρηστών. Σε αντίθεση, το 802.16 MAC είναι το MAC σχεδιασμού όπου ο σταθμός συνδρομητών πρέπει να ανταγωνιστεί μόνο μία φορά (για την αρχική είσοδο μέσα στο δίκτυο). Μετά από την είσοδο διατίθεται ένα χρονικό διάστημα από το σταθμό βάσεων. Το χρονικό διάστημα μπορεί να διευρυνθεί και να περιοριστεί, αλλά παραμένει στη διάθεση εκείνου του σταθμού συνδρομητών που εισήλθε στο δίκτυο. Άλλοι συνδρομητές δεν έχουν δικαίωμα να το χρησιμοποιήσουν αλλά πρέπει να περιμένουν τη σειρά τους. Αυτός ο αλγόριθμος σχεδιασμού είναι σταθερός κάτω από την υπερφόρτωση και το μεγάλο αριθμό εγγραφών (αντίθετα από το 802.11). Έχει επίσης πολύ περισσότερο αποδοτικό εύρος ζώνης. Ο αλγόριθμος σχεδιασμού επιτρέπει επίσης στο σταθμό βάσεων για να ελέγξει την ποιότητα της υπηρεσίας με την εξισορρόπηση των αναθέσεων μεταξύ των αναγκών των σταθμών συνδρομητών.

Το τρίτο υποεπίπεδο του επιπέδου ζεύξης δεδομένων, είναι το εξαρτώμενο από την υπηρεσία υποεπίπεδο σύγκλισης. Η δουλειά του είναι η διασύνδεση με το επίπεδο δικτύου.

### 6.3.6 Χρήσεις WiMax

Λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει και ταυτόχρονα τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να παρέχει, το πρότυπο WiMax βρίσκει πολλές εφαρμογές, λύνοντας σημαντικά προβλήματα που απασχολούσαν του τεχνικούς δικτύων σήμερα. Τρεις είναι οι βασικότερες χρήσεις του:

- **Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας.** Η εισαγωγή του προτύπου αυτού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα, για τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.
- **Broadband on Demand.** Παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 σε μεγάλες αποστάσεις δεν ήταν εφικτό.
- **Παρέχει κάλυψη σε περιοχές που είναι αδύνατο να καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας.** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό

## **7 IEEE 802.11e**

Το πρότυπο IEEE 802.11 έχει γίνει ευρέως αποδεκτό για την υλοποίηση ασυρμάτων δικτύων. Τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων 802.11 είναι η απλότητα και η σταθερότητα παρά τα σφάλματα επικοινωνίας που μπορεί να υπάρχουν λόγω της κατανεμημένης προσέγγισης. Χρησιμοποιώντας την στη συχνότητα ISM 2.4 GHz η έκδοση 802.11b παρέχει ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μέχρι και 11 Mbit/s. Η έκδοση 802.11a επιτυγχάνει ταχύτητες μέχρι 54Mbit/s χρησιμοποιώντας διαμόρφωση OFDM στη συχνότητα 5 GHz. Γενικά το 802.11 μπορεί να θεωρείται ότι είναι το αντίστοιχο του Ethernet αλλά στα ασύρματα, υποστηρίζοντας υπηρεσίες βέλτιστης-προσπάθειας (best-effort). Τουναντίον, το ενδιαφέρον για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών σε ασύρματα δίκτυα γίνεται όλο και πιο έντονο. Ως εκ τούτου, η ομάδα εργασίας του 802.11 ανέπτυξε δραστηριότητες για την επέκταση του πρωτοκόλλου MAC για να υποστηρίξει εφαρμογές που απαιτούσαν QoS (Τα θέματα που παρουσιάζονται εδώ είναι σύμφωνα με τις προσπάθειες προτυποποίησης της Philips για να βελτιώσει τη λειτουργικότητα του QoS στα ασύρματα δίκτυα) Ένα τέτοιο δίκτυο (με υποστήριξη QoS) ανοίγει το δρόμο για τη δημιουργία νέων εφαρμογών πολυμέσων για κινητά, φορητούς υπολογιστές.

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε τις βελτιώσεις του προτύπου 802.11e σε αντίθεση με το κλασσικό 802.11 πρότυπο, για να τονιστεί η διαφορά στην απόδοση.

### **7.1 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ IEEE 802.11**

Θεωρούμε ότι έχουμε δομή Basic Service Set (BSS) του IEEE 802.11 δικτύου, που αποτελείται από ένα Access Point και έναν αριθμό σταθμών που είναι

συνδεδεμένα με το AP. Το AP εξασφαλίζει την επικοινωνία των σταθμών με το διαδίκτυο.

Το βασικό πρωτόκολλο IEEE 802.11 του υποστρώματος MAC του στρώματος της Ζεύξης δεδομένων (**Data Link Layer**) υποστηρίζει δύο ειδών λειτουργίες για τον έλεγχο της πρόσβασης στο ασύρματο κανάλι: α) Την κατανομημένη λειτουργία που δεν εξασφαλίζει κανένα βαθμό ποιότητας εξυπηρέτησης και λέγεται **DCF (Distributed Coordination Function)**, και β) Την κεντρική λειτουργία (προαιρετική) που εξασφαλίζει περιορισμένο βαθμό ποιότητας εξυπηρέτησης και λέγεται **PCF (Point Coordination Function)**. Η δεύτερη έχει σαν στόχο την υποστήριξη real-time κίνησης.

## ***7.2 Λειτουργία DCF***

Με την λειτουργία DCF εφαρμόζεται η αρχή «άκου προτού μιλήσεις», βάσει του ευρύτερου πρωτοκόλλου CSMA(Carrier Sense Multiple Access) , στο οποίο ανήκει το 802.11. Οι σταθμοί μεταδίδουν διαφόρων μεγεθών πακέτα MSDUs (MAC Service Data Units-μέχρι 2304 bytes), μόλις διαπιστώσουν ότι δεν γίνεται κάποια άλλη μετάδοση στην ασύρματη ζεύξη (προς το AP).

Στην περίπτωση όπου δυο σταθμοί διαπιστώσουν ταυτόχρονα ότι το κανάλι είναι ελεύθερο και θελήσουν να μεταδώσουν, έχουμε "σύγκρουση πακέτων (collision). Το 802.11 καθορίζει ένα μηχανισμό αποφυγής συγκρούσεων (**CA-Collision Avoidance**), για να μειώσει την πιθανότητα τέτοιων συγκρούσεων . Σύμφωνα με αυτό το μηχανισμό ένας σταθμός πρέπει να διαπιστώσει ότι το κανάλι παραμένει ελεύθερο επί χρονικό διάστημα **DIFS (DCF Interframe Space)** και έπειτα να εκκινήσει μία διαδικασία **backoff**, δηλαδή να περιμένει για ένα επιπλέον τυχαίο χρονικό διάστημα προτού αρχίσει τη μετάδοση των πακέτων. Η διάρκεια της αναμονής αυτής καθορίζεται σαν πολλαπλάσιο

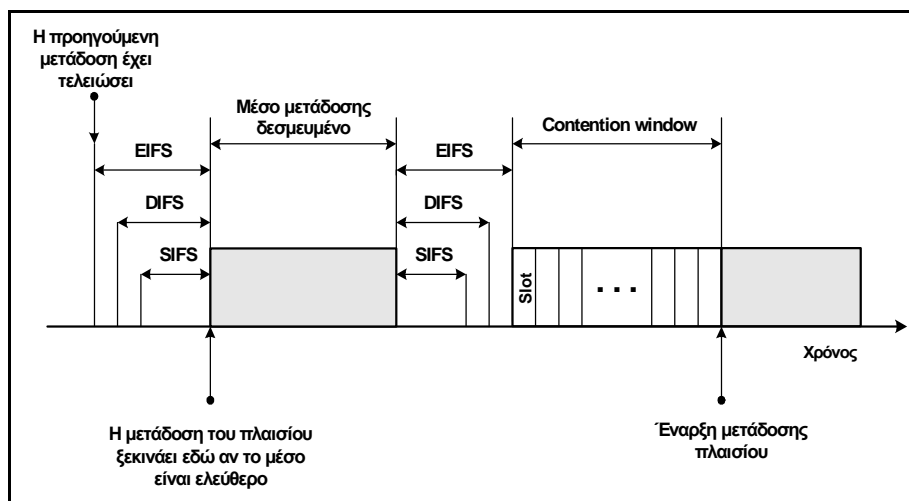
κάποιου στοιχειώδους χρόνου ( $9\mu s$  στο 802.11a) και επιλέγεται από το διάστημα  $[0, CW)$ , το οποίο λέγεται **Παράθυρο Ανταγωνισμού (Contention Window)** και διατηρείται σε κάθε σταθμό.

Κάθε σταθμός που λαμβάνει επιτυχώς ένα πλαίσιο, στέλνει άμεσα ένα πακέτο **επιβεβαίωσης (ACK)**. Το μέγεθος του CW αυξάνεται όταν αποτυγχάνει μία μετάδοση, δηλ., όταν δεν ληφθεί πακέτο ACK. Μετά από κάθε αποτυχημένη μετάδοση πακέτου, ακολουθεί μία ακόμη διαδικασία backoff με διπλάσιο μέγεθος παραθύρου CW.

Αυτό μειώνει την πιθανότητα σύγκρουσης, σε περίπτωση που πολλοί σταθμοί προσπαθήσουν να χρησιμοποιήσουν το κανάλι ταυτόχρονα. Οι σταθμοί που βλέπουν το κανάλι κατειλημμένο και δεν μπορούν να μεταδώσουν, δεν έχουν μεγαλύτερη καθυστέρηση, αλλά περιμένουν τον προκαθορισμένο χρόνο από τη στιγμή που θα δουν το κανάλι ελεύθερο. Έτσι μεταδόσεις άλλων σταθμών που διακόπηκαν γιατί ο χρόνος της backoff διαδικασίας είναι μεγαλύτερος από ότι σε άλλους σταθμούς, έχουν προτεραιότητα για να συνεχίσουν τη μετάδοσή τους. Μετά από κάθε επιτυχή μετάδοση, ο σταθμός εκτελεί ακόμη ένα backoff κι ας μην έχει άλλο πακέτο για αποστολή. Αυτό καλείται «post-backoff» γιατί γίνεται μετά τη μετάδοση και όχι πριν.

Μόνο σε μια περίπτωση ο σταθμός δεν χρειάζεται να ξεκινήσει την διαδικασία backoff πριν αρχίσει τη μετάδοση. Όταν ένα MSDU έρχεται από υψηλότερο επίπεδο (OSI), μπορεί να μεταδοθεί άμεσα χωρίς καθυστέρηση, αν το τελευταίο post-backoff έχει εκπνεύσει, δηλ. η ουρά ήταν κενή, και επιπρόσθετα αν το κανάλι ήταν κενό για χρόνο ίσο με το DIFS. Τα επόμενα MSDU πρέπει να μεταδοθούν κανονικά με τυχαία καθυστέρηση μέχρι να αδειάσει εκ νέου η ουρά. Για να περιοριστεί η πιθανότητα επανειλημμένης μετάδοσης μεγάλων πακέτων, υπάρχει η δυνατότητα κατακερματισμού των πακέτων. Με τον κατακερματισμό, ένα μεγάλο πακέτο μπορεί να χωριστεί σε πολλά μικρότερα

πακέτα, που μεταδίδονται σαν αυτόνομα πακέτα. Το πλεονέκτημα του κατακερματισμού είναι ότι σε περίπτωση σφάλματος κατά τη μετάδοση, αυτό ανιχνεύεται νωρίτερα και δεν χρειάζεται να μεταδοθεί ξανά ολόκληρο το αρχικό πακέτο. Το προφανές μειονέκτημα είναι ο μεγαλύτερος αριθμός πακέτων ελέγχου (overhead).

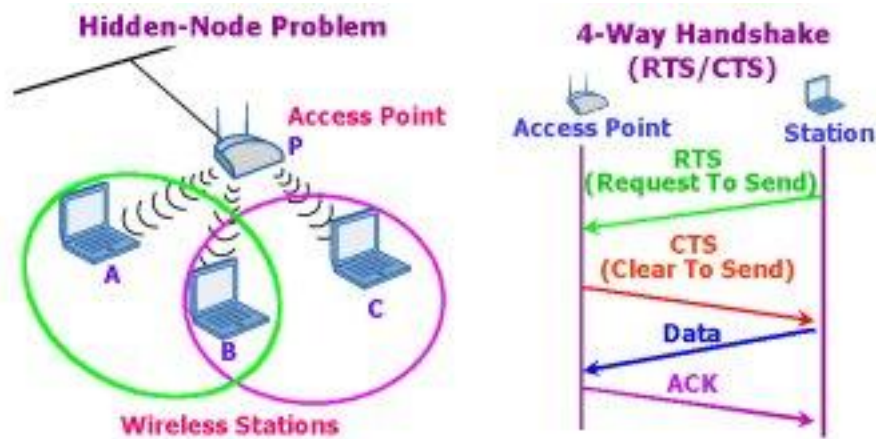


σχήμα 5.1 Διαδικασία πρόσβασης στο μέσο με χρήση του αλγορίθμου DCF

### 7.2.1 Πρόβλημα κρυμμένου κόμβου

Ένα άλλο πρόβλημα – ιδιαιτερότητα της ασύρματης επικοινωνίας με 802.11 – είναι το πρόβλημα του "κρυμμένου κόμβου". Σε αυτό, ένας ασύρματος σταθμός δεν μπορεί να "δει" κάποιον άλλον που εκπέμπει (hidden node problem), ενώ βλέπουν και οι δύο το σημείο πρόσβασης. Αυτό μπορεί να συμβαίνει λόγω απόστασης ή λόγω κάποιου εμποδίου, ή λόγω της χρήσης κατευθυντικών κεραιών από τους σταθμούς. Έτσι, στο παρακάτω σχήμα ο A δεν μπορεί να ανιχνεύσει την εκπομπή του C με αποτέλεσμα να αρχίσουν να εκπέμπουν και οι δύο μαζί, οπότε να έχουμε σύγκρουση και ο B να μην είναι δυνατό να ακούσει κανέναν. Σε μια τέτοια περίπτωση ο σταθμός μη ανιχνεύοντας την εκπομπή του

άλλου δοκιμάζει να εκπέμψει. Το αποτέλεσμα είναι να συμβεί σύγκρουση στα πακέτα, όπως αυτά λαμβάνονται από το AP.



σχήμα 5.2 (α) Κρυμμενος κόμβος (β)Μηχανισμός RTS/CTS

Για την επίλυση αυτού του προβλήματος έχει προβλεφθεί από το IEEE 802.11 ένα προαιρετικό πρωτόκολλο, το **RTS/CTS** (Request to Send/Clear to Send). Η βασική ιδέα είναι ότι ο αποστολέας στέλνει αρχικά ένα πλαίσιο RTS στον παραλήπτη, το οποίο ακολουθείται από ένα πακέτο CTS που αποστέλλει ο δέκτης. Τα πακέτα RTS/CTS περιέχουν πληροφορίες για την διάρκεια της αναμενόμενης μετάδοσης, έτσι ώστε όλοι οι κοντινοί σταθμοί και οι κρυφοί να μην κάνουν καμία μετάδοση για αυτό το χρονικό διάστημα, χρησιμοποιώντας τον μετρητή Network Allocation Vector (NAV). Οι υπόλοιποι σταθμοί βλέποντας ότι το πεδίο NAV είναι μη μηδενικό καταλαβαίνουν ότι το μέσο είναι δεσμευμένο και ξεκινάνε έναν αντίστροφο τοπικό μετρητή με αρχική τιμή ίση με NAV. Στη συνέχεια, ο αποστολέας στέλνει το πλαίσιο δεδομένων και περιμένει την επιβεβαίωση ορθής λήψης του από τον παραλήπτη. Έτσι η διαδικασία αποστολής πλαισίου απαιτεί την ανταλλαγή τεσσάρων πλαισίων για να ολοκληρωθεί σωστά.

Το RTS/CTS επί της ουσίας προστατεύει τις μεταδόσεις μεγάλων πακέτων από το πρόβλημα των κρυφών σταθμών. Με χρήση του κατακερματισμού στέλνονται πολλά πακέτα ACK, ενώ με χρήση του RTS/CTS μπορεί να μεταδοθεί ολόκληρο το πακέτο χωρίς προβλήματα.

### **7.3 Λειτουργία PCF**

Το IEEE 802.11 ορίζει την λειτουργία **Point Coordination Function (PCF)** για να επιτρέψει σε κάποιους σταθμούς να έχουν πρόσβαση κατά προτεραιότητα στην ασύρματη ζεύξη. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δεν χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα προϊόντα που κυκλοφορούν στην αγορά, ενώ οι κατασκευαστές δεν είναι υποχρεωμένοι να τον υποστηρίξουν, αφού αποτελεί προαιρετικό μέρος του προτύπου 802.11. Επιπλέον, εφόσον απαιτεί κεντρικό έλεγχο από κάποιο AP, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε infrastructure δίκτυα

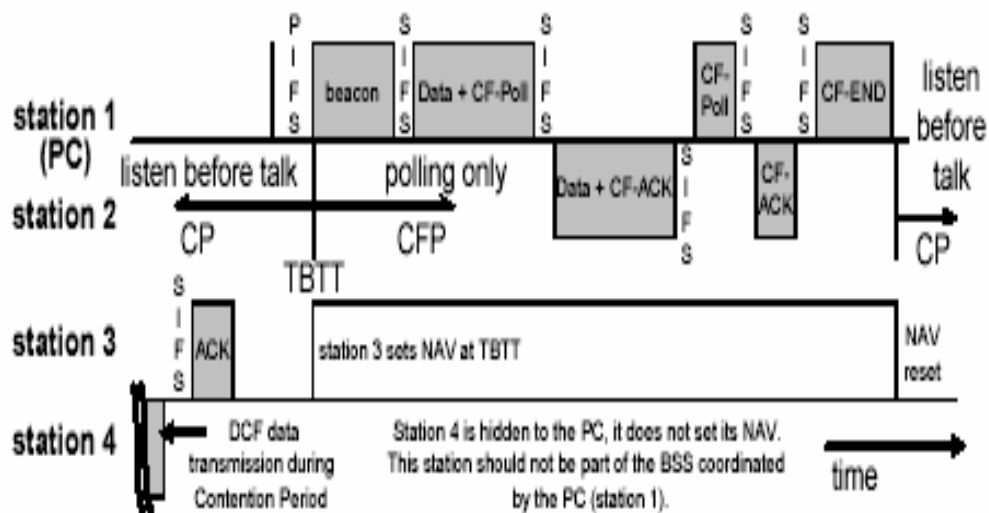
Πρόκειται για κεντρική λειτουργία, όπου ο συντονιστής λέγεται **PC (Point Coordinator)** και συνήθως δεν είναι άλλος παρά το AP. Η PCF έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα από την DCF καθώς οι μεταδόσεις των πακέτων μπορούν να αρχίσουν αφότου διαπιστωθεί ότι το ασύρματο κανάλι είναι ελεύθερο, σε μικρότερα διαστήματα από DIFS, που λέγονται **PIFS (PCF Interframe Space)** και είναι 25us στο 802.11a. Όταν χρησιμοποιείται και η PCF (εκτός από την DCF), ο χρόνος χωρίζεται σε περιόδους που λέγονται **superframes**. Κάθε superframe περιλαμβάνει 2 χρονικά διαστήματα **CFP (Contention Free Period – Περίοδος χωρίς Ανταγωνισμό)** και **CP(Contention Period – Περίοδος με Ανταγωνισμό)**. Είναι σημαντικό το CP να έχει αρκετό μήκος ώστε να μπορεί να αποσταλεί τουλάχιστον ένα MSDU χρησιμοποιώντας DCF.

Ένα superframe αρχίζει με το πακέτο beacon, άσχετα αν είναι ή όχι ενεργό το



PCF. Το πακέτο beacon είναι πακέτο διαχείρισης που εξασφαλίζει τον συντονισμό των μετρητών στους σταθμούς και μεταφέρει άλλες παραμέτρους του πρωτοκόλλου. Το PC δημιουργεί πακέτο beacon σε τακτά και συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε κάθε σταθμός να ξέρει πότε θα φτάσει το επόμενο beacon. Αυτός ο χρόνος καλείται target beacon transition time (TBTT) και περιέχεται σε κάθε beacon. Δεν υπάρχει κάποιου είδους καθυστέρηση από τους σταθμούς, αλλά επί της ουσίας οι σταθμοί ερωτώνται από το PC διαδοχικά αν έχουν κάποιο πακέτο που να περιμένει μετάδοση. Επειδή έχει και ο PC δεδομένα προς αποστολή, CF-roll πακέτο «κολλάει» στο πακέτο δεδομένων, και έτσι με ένα πακέτο αποστέλλονται και τα δύο.

Μόλις ερωτάται ο σταθμός, σε συνδυασμό με δεδομένα, επιβεβαιώνει την ορθή παραλαβή του πακέτου. Αν ο PC δεν πήρε απάντηση από κάποιον ερωτώμενο σταθμό, περιμένει για διάστημα PIFS, και ρωτά τον επόμενο, ή κλείνει το CFP. Έτσι η μέγιστη περίοδος αδράνειας είναι ίση με PIFS κατά τη διάρκεια ενός CFP. Ο PC συνεχίζει να ρωτά σταθμούς μέχρι να εκπνεύσει το CFP. Ένα ειδικό πακέτο ελέγχου, που καλείται CF-End, αποστέλλεται από τον PC για να δηλώσει το τέλος του CFP.



σχήμα 5.3 Μηχανισμός PCF

Η ανάγκη βελτιώσεων στο πρωτόκολλο προέκυψε σαν απόρροια αδυναμιών και προβλημάτων στη λειτουργία του PCF. Μεταξύ άλλων, περιλαμβάνονται απρόβλεπτες καθυστερήσεις του beacon, και άγνοια των χρόνων μετάδοσης των ερωτώμενων σταθμών. Με το TBTT, ο PC σχεδιάζει το beacon να αποσταλεί σαν επόμενο πακέτο, και αυτό μπορεί να μεταδοθεί όταν το κανάλι είναι ελεύθερο για τουλάχιστον PIFS. Ανάλογα με την κατάσταση του καναλιού αυτή τη στιγμή, μπορεί να έχουμε καθυστέρηση στην αποστολή του beacon. Ο χρόνος καθυστέρησης του beacon, καθυστερεί την αποστολή όλων των χρονικά περιορισμένων MSDU που πρέπει να παραδοθούν μέσα στο CFP. Σύμφωνα με το κλασικό πρότυπο 802.11, κάποιος σταθμός μπορεί να ξεκινήσει την αποστολή ακόμη και αν αυτή δεν προλαβαίνει να ολοκληρωθεί μέχρι το επόμενο TBTT. Αυτό μπορεί να επηρεάσει σοβαρά την παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας αφού μπορεί να έχουμε μη προβλεπόμενη καθυστέρηση σε κάθε CFP. Καθυστερήσεις της τάξης των 4,9 ms είναι πιθανές στο 802.11a στην

χειρότερη περίπτωση.

Υπάρχει ακόμη ένα πρόβλημα με το PCF, ο άγνωστος χρόνος μετάδοσης των ερωτώμενων σταθμών. Ο σταθμός που ερωτάται από τον PC μπορεί να στείλει ένα πακέτο που μπορεί να είναι κατακερματισμένο και τυχαίου μεγέθους μέχρι 2304 bytes. Ακόμη, διαφορετική διαμόρφωση περιγράφεται στο 802.11a, κι έτσι η διάρκεια την αποστολής του MSDU δεν είναι υπό τον έλεγχο του PC. Αυτό αχρηστεύει κάθε προσπάθεια για παροχή ποιότητας υπηρεσίας στους άλλους σταθμούς που ερωτώνται στο CFP.

Ένας κρυφός σταθμός που δεν έχει λάβει τα προηγούμενα beacons και δεν γνωρίζει το TBTT, δεν σταματά τη λειτουργία του βασιζόμενος στο DCF. Στην πραγματικότητα παρεμβάλλει πακέτα στη διάρκεια του CFP. Γενικά ένας σταθμός θέτει το NAV στο TBTT ανεξαρτήτως της αποδοχής ενός beacon. Παρόλα αυτά όμως δεν ορίζει το NAV να δεν έχει δεχθεί καθόλου πακέτα beacon πριν.

#### ***7.4 Περιορισμένη υποστήριξη QoS του πρωτοκόλλου IEEE 802.11, σε ασύρματο δίκτυο IBSS***

Σύμφωνα με τα παραπάνω, συμπεραίνουμε ότι η DCF που λειτουργεί σε ένα ασύρματο δίκτυο IBSS δεν παρέχει καμιά ποιότητα εξυπηρέτησης στους σταθμούς που μεταδίδουν, καθώς:

- a) Δεν παρέχει καμιά εγγύηση για το bandwidth, την καθυστέρηση πακέτων και το jitter. Έτσι υποστηρίζει μόνο best-effort υπηρεσίες.
- b) Δεν προσφέρει κανέναν μηχανισμό για διαφοροποίηση των σταθμών ή της κίνησης που προέρχεται από αυτούς. Όλοι οι σταθμοί ανταγωνίζονται για την πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης υπό τις ίδιες προϋποθέσεις. Έτσι δεν μπορεί να

δοθεί προτεραιότητα σε κάποιους από τους σταθμούς.

**c)** Όταν αυξάνεται το πλήθος των σταθμών, η πιθανότητα των συγκρούσεων γίνεται υψηλότερη και σαν συνέπεια έχουμε τις συνεχείς επαναμεταδόσεις. Έτσι μειώνεται η QoS και το συνολικό throughput.

**d)** Είναι πιθανές οι μεγάλες καθυστερήσεις. Όταν ένας σταθμός που θέλει να πραγματοποιήσει μια μετάδοση βρίσκει το μέσο κατειλημμένο, διπλασιάζει το παράθυρο ανταγωνισμού(CW), αυξάνοντας τον χρόνο αναμονής του. Έτσι δεν του παρέχεται καμιά εγγύηση όσον αφορά τον μέγιστο χρόνο αναμονής.

Σε ένα ασύρματο δίκτυο BSS εκτός από τους περιορισμούς της DCF λειτουργίας προστίθενται και οι περιορισμοί της PCF λειτουργίας.

**a)** Επειδή το beacon του PC αποστέλλεται με τη χρήση της DCF, ο PC ανταγωνίζεται για το μέσο μετάδοσης με τους υπόλοιπους σταθμούς. Πράγμα που σημαίνει ότι το beacon πιθανόν να μην έρθει την προγραμματισμένη χρονική στιγμή. Η καθυστέρηση του beacon μπορεί να προκληθεί όταν τη χρονική στιγμή TBTT το κανάλι είναι κατειλημμένο. Η καθυστέρηση αυτή προφανώς επηρεάζει την μετάδοση χρονικά κρίσιμων MSDU που πρέπει να μεταδοθούν εντός της περιόδου CFP.

**b)** Σύμφωνα με το 802.11 οι σταθμοί επιτρέπεται να αρχίσουν να μεταδίδουν ακόμη και αν τα MSDU δεν πρόκειται να τελειώσουν πριν την χρονική στιγμή TBTT. Αυτό έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα εξυπηρέτησης καθώς εισάγει απρόβλεπτες καθυστερήσεις σε κάθε περίοδο CFP. Στο 802.11a καθυστερήσεις της τάξεως των 4.9 ms είναι πιθανές.

**c)** Άγνωστες διάρκειες της μετάδοσης των σταθμών που επιλέγονται από τον PC. Ο σταθμός επιτρέπεται να στείλει ένα πλαίσιο μεγέθους μέχρι 2304 bytes (ή 2312 bytes με κρυπτογράφηση), πράγμα που σημαίνει ότι ο χρόνος αποστολής

των bytes αυτών δεν είναι υπό τον έλεγχο του PC. Επομένως δεν μπορούμε να εγγυηθούμε κανένα βαθμό ποιότητας εξυπηρέτησης στους υπολοίπους σταθμούς που βρίσκονται στο ίδιο BSS (υπό τον ίδιο PC).

**d)** Ένας κρυμμένος σταθμός που έχασε τα προηγούμενα beacon και δεν γνωρίζει τον χρόνο TBTT, δεν σταματά την λειτουργία DCF, αλλά ενδεχομένως με τις μεταδόσεις του να γίνεται παρεμβολή στα frames που μεταδίδουν οι άλλοι σταθμοί που βρίσκονται σε λειτουργία PCF.

**e)** Δεν έχει προβλεφθεί κάποιος μηχανισμός για διαπραγμάτευση των QoS απαιτήσεων των σταθμών με τον PC, στοιχείο που θα βοηθούσε σε έναν καλύτερο σχεδιασμό του rolling αλγορίθμου στον PC.

#### **7.4.1 Μηχανισμοί QoS του 802.11e**

Για την υποστήριξη του QoS, εξετάζονται διάφορα σχήματα προτεραιοτήτων. Η ομάδα εργασίας E του IEEE 802.11 ορίζει βελτιώσεις στο πρωτόκολλο 802.11 MAC που αναλύθηκε παραπάνω, οι οποίες συνοψίζονται στο 802.11e και εισάγονται οι έννοιες EDCF και HCF. Οι σταθμοί που λειτουργούν σύμφωνα με το 802.11e, ονομάζονται «ενισχυμένοι σταθμοί» (enhanced stations), και κάποιος ενισχυμένος σταθμός που μπορεί να λειτουργήσει και σαν ρυθμιστής για όλους τους άλλους σταθμούς, ονομάζεται Υβριδικός Συντονιστής (HC). Ένα QBSS είναι ένα BSS, που περιλαμβάνει έναν συμβατό με 802.11e HC και σταθμούς. Ο HC τυπικά είναι σε ένα 802.11e AP. Παρακάτω, λέγοντας σταθμούς θα εννοούμε συμβατούς με 802.11e ενισχυμένους σταθμούς.

Και στο 802.11e υπάρχουν δύο φάσεις λειτουργίας μέσα στα superframe, το CP και το CFP, και εναλλάσσονται συνεχώς. Το EDCF χρησιμοποιείται μόνο στο CP, ενώ το HCF χρησιμοποιείται και στις δύο φάσεις, πράγμα που κάνει και τον

συντονισμό υβριδικό.

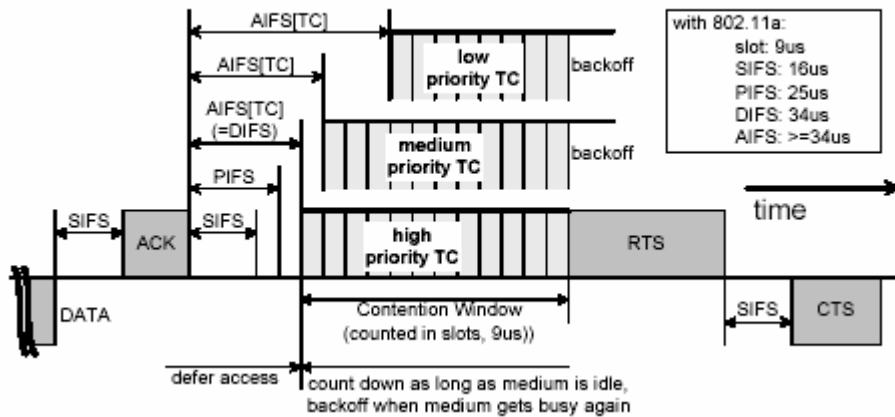
#### **7.4.2 Η λειτουργία EDCF (Enhanced Distributed Coordination Function)**

Το EDCF στο 802.11e αποτελεί τη βάση για το HCF. Η υποστήριξη QoS γίνεται αρχικά αντιληπτή με την εισαγωγή Κατηγοριών Κίνησης- Traffic Categories (TCs). Κατά την περίοδο συναγωνισμού για την απόκτηση πρόσβασης στο κανάλι, κάθε TC συναγωνίζεται με τις υπόλοιπες για τη λήψη του καναλιού και έπειτα ξεκινά τη δική της διαδικασία backoff αφού αντιληφθεί το κανάλι ανενεργό για ένα Arbitration Interframe Space (AIFS). Το διάστημα AIFS είναι τουλάχιστο ίσο με DIFS, ενώ μπορεί να είναι διαφορετικό για διαφορετικά TC. Μετά την αναμονή για διάστημα AIFS, κάθε backoff θέτει ένα μετρητή σε τυχαίο αριθμό στο διάστημα μεταξύ  $[1, CW+1]$ . Το μικρότερο παράθυρο συμφόρησης ( $CW_{min}[TC]$ ), μπορεί επίσης να είναι διαφορετικό για κάθε TC.

Όπως και στο παραδοσιακό DCF, όταν το μέσο είναι ενεργό, ο μετρητής παγώνει και η διαδικασία μείωσης του backoff συνεχίζεται όταν το μέσο βρεθεί ανενεργό για διάστημα AIFS και πάλι. Μετά από κάθε ανεπιτυχή προσπάθεια μετάδοσης υπολογίζεται ένα νέο CW από το παλιό CW και με την προσθήκη ενός σταθερού παράγοντα  $PF[TC]$  για να μειωθεί η πιθανότητα νέας σύγκρουσης. Ο χρόνος αναμονής backoff όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις επιλέγεται ομοιόμορφα στο διάστημα  $[0, CW]$ . Ενώ στο παραδοσιακό 802.11 το CW διπλασιάζεται πάντα μετά από κάθε ανεπιτυχή προσπάθεια μετάδοσης (δηλ.  $PF=2$ ), στο 802.11e μπορεί να χρησιμοποιεί διαφορετικό PF για κάθε TC:

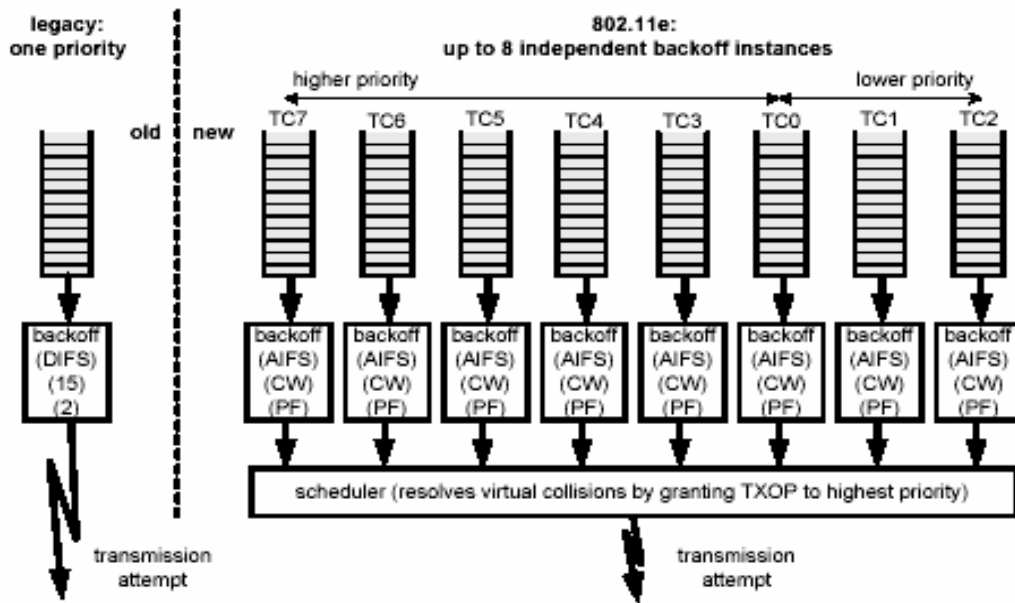
$$NewCW[TC] \geq ((oldCW[TC]+1)*PF)-1$$

Το CW δεν ξεπερνά ποτέ την τιμή  $CW_{max}[TC]$  που είναι η μέγιστη πιθανή τιμή για το CW κάθε κλάσης.



σχήμα 5.4 Μηχανισμός ECDF

Κάθε σταθμός είναι δυνατό να διατηρεί μέχρι οκτώ ουρές μετάδοσης οι οποίες θεωρούνται ως ιδεατοί (virtual) σταθμοί μέσα σε ένα σταθμό, με διαφορετικές παραμέτρους QoS οι οποίες αποδίδουν και διαφορετικές προτεραιότητες. Σε περίπτωση που οι μετρητές δύο ή περισσότερων παράλληλων TCs μέσα σε ένα σταθμό φτάσουν στο μηδέν την ίδια στιγμή, ένας scheduler εσωτερικά στο σταθμό αναλαμβάνει την αποφυγή της σύγκρουσης, δίνοντας τη δυνατότητα μετάδοσης στην TC με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Μπορεί βέβαια το frame που μεταδίδεται να συγκρουστεί με ένα frame που μεταδίδεται από κάποιο άλλο σταθμό την ίδια χρονική στιγμή.



σχήμα 5.5 Virtual backoff of eight traffic categories

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του 802.11e MAC αποτελεί η δυνατότητα μετάδοσης Transmission Opportunity (TXOP). Το TXOP ορίζεται ως ένα διάστημα στο οποίο ένας σταθμός έχει δικαίωμα να ξεκινήσει μεταδόσεις, και ορίζεται από τη χρονική στιγμή έναρξης και τη μέγιστη διάρκεια. Τα TXOPs κατανέμονται μέσω του συναγωνισμού (EDCF-TXOP) ή δίνονται στους σταθμούς μέσω του HCF (rolled-TXOP). Η πρόσβαση στο κανάλι βάσει προτεραιοτήτων γίνεται αντιληπτή με τις διαφορετικές παραμέτρους ποιότητας υπηρεσίας που ανατίθενται σε κάθε TC, και στις οποίες περιλαμβάνονται τα  $AIFS[TC]$ ,  $CW_{min}[TC]$  και  $PF[TC]$ . Η παράμετρος  $CW_{max}[TC]$  είναι προαιρετική. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να αναπροσαρμόζονται από το HC και μπορούν να ανακοινώνονται περιοδικά μέσω beacon frames.



### 7.4.3 Η λειτουργία HCF (Hybrid Coordination Function)

Το HCF αποτελεί μια επέκταση των κανόνων πρόσβασης που ορίζει το EDCF. Ο κεντρικός έλεγχος γίνεται από τον Hybrid Coordinator (HC), που βρίσκεται στον AP. Και εδώ το superframe χωρίζεται σε 2 περιόδους:

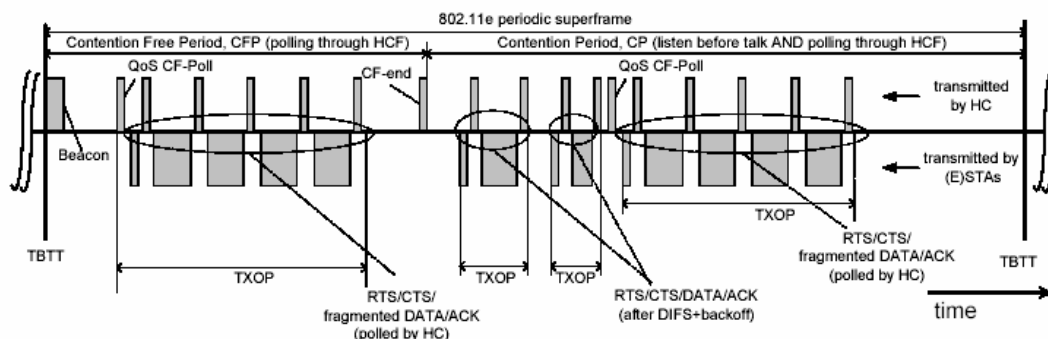
a) **CFP**, που αρχίζει με beacon, όπου ο HC ρωτάει τους σταθμούς αν θέλουν να μεταδώσουν (εκχωρεί TXOP, καθορίζοντας την χρονική στιγμή της έναρξης της μετάδοσης και την διάρκειά της). Εάν ο σταθμός δεν επιθυμεί να μεταδώσει, δηλ. δεν έχει ξεκινήσει την μετάδοση μέσα σε χρόνο SIFS, ο HC ρωτάει έναν άλλο σταθμό. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται πολύ αποδοτική χρήση του μέσου μετάδοσης.

b) **CP**, όπου ο έλεγχος περνάει πλέον στην EDCF. Παρέχεται όμως και εδώ η δυνατότητα στον HC να εκχωρήσει κατά προτεραιότητα TXOP σε κάποιον σταθμό

Το HC μπορεί να αναθέσει TXOP στον εαυτό του για να ξεκινήσει τις μεταδόσεις των MSDU όποτε θελήσει, μόνο εφόσον διαπιστώσει ότι το κανάλι είναι άδειο για χρονικό διάστημα PIFS, που είναι μικρότερο από το DIFS. Για να έχει προτεραιότητα το HC από το EDCF, το AICF πρέπει να είναι μεγαλύτερο από PIFS και ως εκ τούτου δεν μπορεί να είναι μικρότερο από DIFS.

Κατά την περίοδο CP κάθε TXOP ξεκινά είτε όταν το μέσο είναι ανενεργό σύμφωνα με τους κανόνες EDCF π.χ μετά από διάστημα AIFS συν το χρόνο για να μηδενιστεί το backoff ή όταν ο σταθμός λαμβάνει ένα ειδικό poll frame που ονομάζεται QoS CF-Poll, από το HC. Το QoS CF-Poll μπορεί να αποσταλεί από το HC μετά από ανενεργό διάστημα PIFS χωρίς κανένα backoff. Συνεπώς το HC μπορεί να διανέμει TXOPs και κατά την περίοδο ανταγωνισμού, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο προτεραιότητα στην πρόσβαση του καναλιού

από τους διάφορους σταθμούς. Κατά το CFP ο χρόνος έναρξης και η μέγιστη διάρκεια για κάθε TXOP καθορίζεται από το HC, με τη χρήση και πάλι QoS CF-Poll frames. Οι σταθμοί δεν έχουν τη δυνατότητα να διεκδικήσουν οι ίδιοι την κατάληψη του μέσου κατά τη διάρκεια της CFP, συνεπώς μόνο το HC μπορεί να εκδίδει TXOPs στέλνοντας QoS CF-Poll frames. Το CFP λήγει μετά το χρόνο ο οποίος γίνεται γνωστός σε όλους μέσω ενός beacon frame ή ενός CF-End frame από το HC. Στο Σχήμα 2.7 φαίνεται το παράδειγμα ενός 802.11e superframe.



σχήμα 5.6 A typical 802.11e superframe.

Σαν μέρος του 802.11e ορίζεται ένα ακόμη πρωτόκολλο τυχαίας πρόσβασης που δίνει μια γρήγορη λύση για τις συγκρούσεις. Το HC επιλέγει τους σταθμούς οι οποίοι θα μεταδώσουν, για το λόγο αυτό το HC απαιτεί πληροφορίες που θα πρέπει να ανανεώνονται από τους σταθμούς κατά διαστήματα. Με τις πληροφορίες αυτές γνωστοποιείται στο HC ποιοι σταθμοί θέλουν να μεταδώσουν, πόσες φορές και για πόσο χρονικό διάστημα. Ο ελεγχόμενος αυτός

τρόπος πρόσβασης επιτρέπει στους σταθμούς να αιτούνται TXOPs από το HC χωρίς να μπαίνουν σε διαδικασία ανταγωνισμού με τους άλλους (E)DCF σταθμούς. Για την εκκίνηση μιας διαδικασίας ελεγχόμενης ανάθεσης του καναλιού απαιτείται ένα frame ελέγχου το οποίο ειδοποιεί τους σταθμούς. Το frame αυτό εξαναγκάζει τους υπόλοιπους σταθμούς να θέσουν το NAV τους μέχρι το τέλος του διαστήματος ελεγχόμενου ανταγωνισμού και συνεπώς να παραμείνουν σιωπηλοί μέχρι το τέλος του διαστήματος αυτού. Το τέλος της περιόδου γνωστοποιείται εκ νέου στους σταθμούς με ένα κατάλληλο frame.

### **7.5 Σενάρια QoS**

Στα παρακάτω σενάρια χρησιμοποιήθηκε συμβαντήλατη στοχαστική προσομοίωση για την αξιολόγηση της απόδοσης του 802.11e EDCF και HCF για το επίπεδο φυσικού μέσου στα 5GHz που επιτρέπει μέχρι 54Mbit/s. Για τις καθυστερήσεις, δόθηκαν εμπειρικές συναρτήσεις Complementary Cumulative Distribution Functions (CDFs) των στοχαστικών δεδομένων, χρησιμοποιώντας διακριτό αλγόριθμο Περιορισμένου-Σχετικού-Λάθους (LRE) που μετράει και τις συσχετίσεις των στοχαστικών δεδομένων. Μετρώντας τις συσχετίσεις, η ακρίβεια των εμπειρικών αποτελεσμάτων προσομοίωσης μπορεί να υπολογιστεί. Όλα τα αποτελέσματα έχουν ένα μέγιστο περιορισμένο σχετικό λάθος 5%.

Πέντε σταθμοί αποτελούν ένα QBSS και ένας από αυτούς είναι το AP. Το AP είτε χρησιμοποιεί EDCF ή HCF, και οι άλλοι τέσσερις σταθμοί λειτουργούν σε EDCF. Σε κάποια σενάρια, δύο QBSS συνυπάρχουν και παρεμβάλλουν το ένα το άλλο. Για να μελετήσουμε την απόδοση του 802.11e σε hot spot, αλλάζουμε τον αριθμό των σταθμών στο QBSS, καθένας από τους οποίους κάνει την ίδια κίνηση, και μετράμε την απόδοση κάθε κατηγορίας κίνησης.

Η ισχύς μετάδοσης κάθε σταθμού και οι αποστάσεις μεταξύ των σταθμών επιλέγονται έτσι ώστε να μην είναι κάποιος κρυφός σε κάποιον άλλο. Αν δεν αναφέρεται κάτι διαφορετικό, όλα τα πακέτα εκτός από τα πακέτα δεδομένων στέλνονται σε 6Mbit/s σε λειτουργία PHY. Τα πακέτα δεδομένων στέλνονται με 24Mbit/s σε λειτουργία PHY. Κάθε σταθμός δημιουργεί την ίδια αναλογία από τρία σετ δεδομένων, τα οποία τα χαρακτηρίζουμε σαν υψηλής, μέτριας και χαμηλής προτεραιότητας. Στα υψηλής προτεραιότητας TC, φτάνουν MSDU 80 bytes σε τακτά χρονικά διαστήματα. Το χρονικό διάστημα εξαρτάται από την προσφερόμενη κίνηση και είναι 5ms για προσφερόμενη κίνηση των 128kbit/s. Στα μεσαίας και χαμηλής προτεραιότητας TC, ορίζονται MSDU 200 bytes με Poisson χρόνους μεταξύ των αφίξεων και 160kbit/s για το καθένα.

Αν δεν αναφέρεται κάτι διαφορετικό, κατά την διάρκεια του πειράματος δεν χρησιμοποιούνται ούτε RTS/CTS ούτε κατακερματισμός. Το όριο του κατακερματισμού είναι 256 bytes. Η διάρκεια των TXOP του EDCF επιτρέπει σε σταθμούς να στέλνουν συνεχώς πακέτα. Σε όλα τα σενάρια τα πακέτα beacon στέλνονται κάθε 102,4 ms.

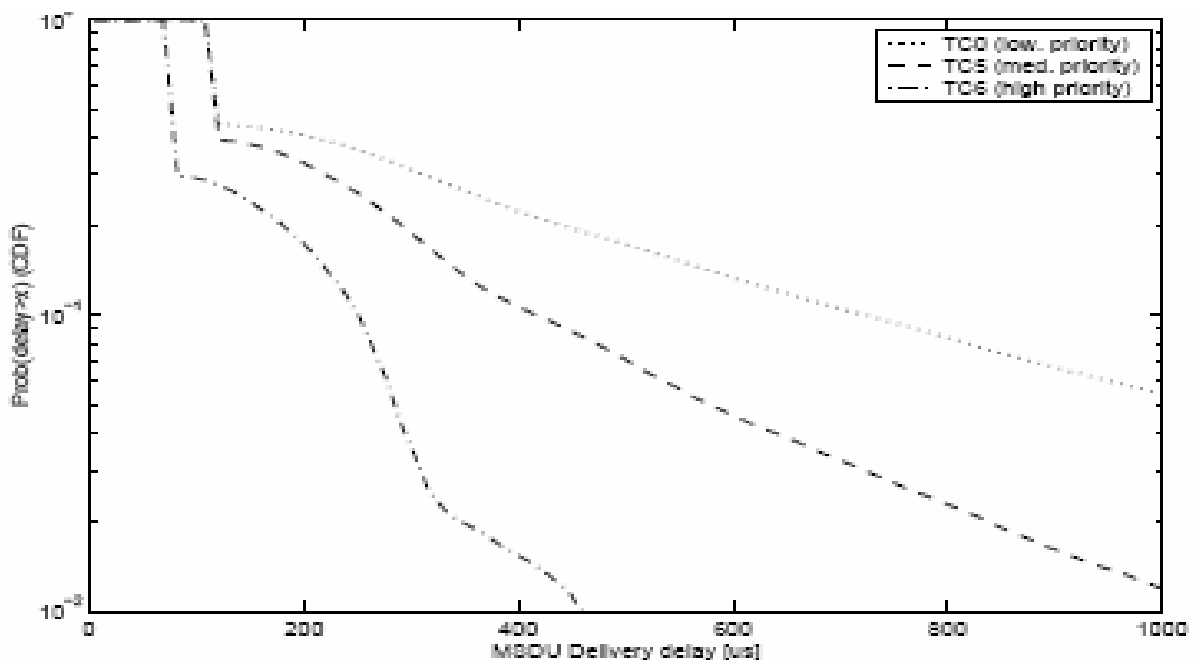
### **7.5.1 Μέγιστη επιτευκτική διεκπεραιωτικότητα EDCF**

Η μέγιστη επιτευκτική διεκπεραιωτικότητα εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων. Τα αποτελέσματα που δίδονται εδώ είναι έγκυρα για τις ρυθμίσεις MAC και PHY που έχουν γίνει στο πείραμά μας.

Όπως είναι γνωστό, η διεκπεραιωτικότητα στο 802.11 εξαρτάται πολύ από το μέγεθος των πακέτων δεδομένων. Όσο μεγαλύτερο είναι το πακέτο, τόσο μεγαλύτερη είναι και αυτή. Επίσης παρατηρούμε ότι υψηλότερης προτεραιότητας πακέτα επιτυγχάνουν μέγιστη διεκπεραιωτικότητα λόγω των χαμηλών τιμών των AIFS, CW<sub>min</sub> και CW<sub>max</sub>.

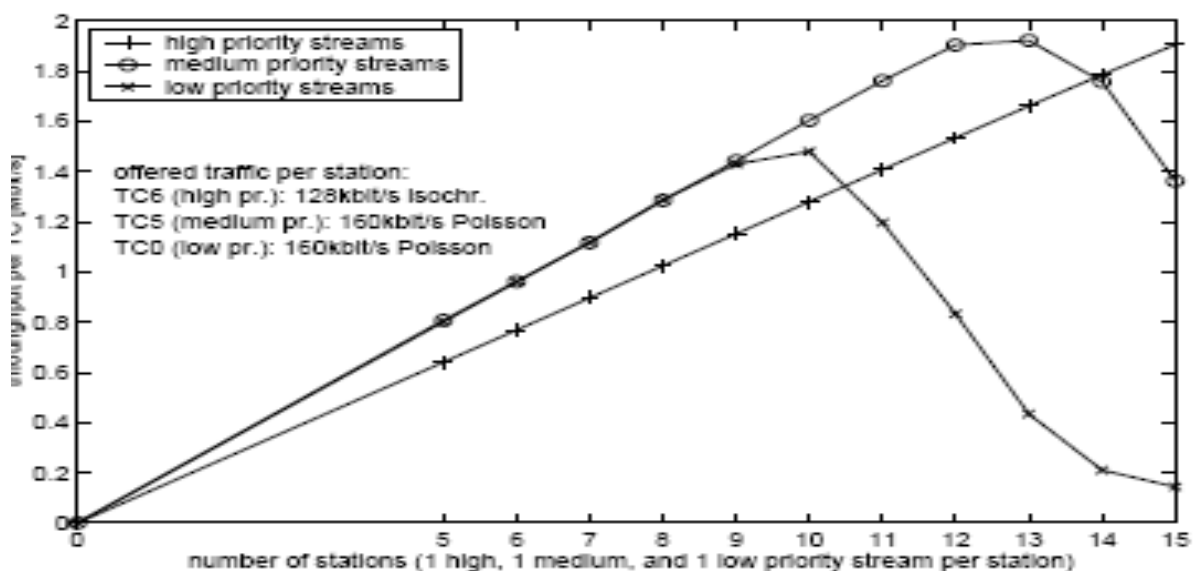
### 7.5.2 Υποστήριξη QoS με ECDF

Αφού δεν υπάρχει κεντρικός συντονισμός στο ECDF, η υποστήριξη QoS επιτυγχάνεται αλλάζοντας την πιθανότητα να κερδίσουμε ένα στιγμιότυπο TXOP. Στο EDCF, επιτυγχάνουμε QoS μειώνοντας την πιθανότητα πρόσβασης στο κανάλι για της χαμηλής προτεραιότητας TC. Ένα απομονωμένο QBSS και 5 σταθμούς και τρεις ροές δεδομένων ο καθένας, προκύπτουν καθυστερήσεις στην παράδοση των MSDU σαν αυτές που φαίνονται στο σχήμα 5.7 Η καθυστέρηση των MSDU περιλαμβάνει και τον χρόνο μετάδοσης, οπότε η ελάχιστη καθυστέρηση εξαρτάται από το μέγεθος του πακέτου. Η ελάχιστη καθυστέρηση δεν συμπεριλαμβάνει το χρονικό διάστημα AIFS, ούτε την καθυστέρηση που υπολογίζεται με το CW.



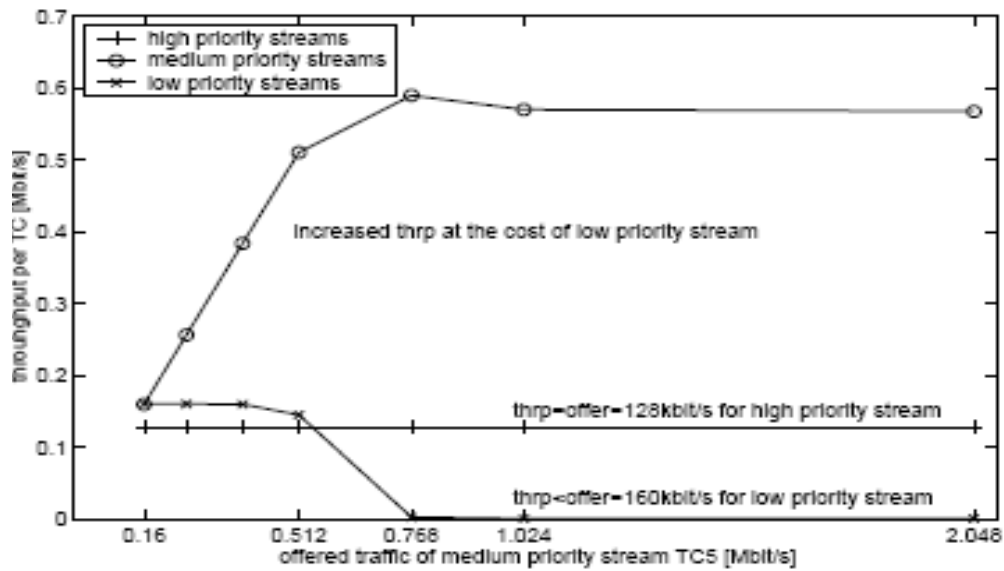
σχήμα 5.7 EDCF MSDU Delivery delays in an isolated QBSS with five stations.

Για να δείξουμε τις προτεραιότητες σε σχέση με την κίνηση, αυξάνουμε τον αριθμό των σταθμών. Το σχήμα 5.8 δείχνει τα αποτελέσματα. Οι ροές χαμηλής προτεραιότητας δεν μπορούν να διεξάγουν τις συναλλαγές τους για πάνω από 10 σταθμούς. Από την άλλη οι υψηλής προτεραιότητας ροές πάντα ολοκληρώνουν την κίνησή τους, ενώ οι μεσαίας προτεραιότητας μειώνονται για 13 ή περισσότερους σταθμούς.



σχήμα 5.8 Throughput vs. offered traffic.

Είναι δύσκολο να βρούμε τις σωστές EDCF παραμέτρους. Μια πρώτη προσέγγιση θα μπορούσε να είναι τα μη επικαλυπτόμενα CW για ροές διαφορετικής προτεραιότητας. Στο σχήμα 5.9 φαίνονται τα αποτελέσματα μιας τέτοιας επιλογής, για το μεμονωμένο QBSS με τους πέντε σταθμούς. Εδώ θέτουμε  $AIFS[High] = 2$ ,  $AIFS[Medium] = 10$  και  $AIFS[Low] = 18$ . Με  $CW_{min} = CW_{max} = 7$  για όλες τις προτεραιότητες, δεν έχουμε συγκρούσεις ανάμεσα σε διαφορετικές προτεραιότητες. Έχουμε συγκρούσεις μόνο μεταξύ πακέτων της ίδιας προτεραιότητας από διαφορετικούς σταθμούς.



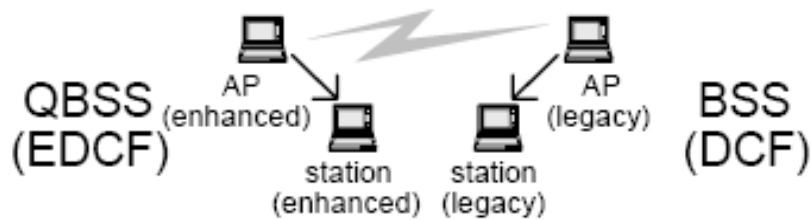
σχήμα 5.9 Throughput vs. offered traffic with non overlapping CWs.

Στο σενάριό μας, αυξάνεται ο φόρτος κίνησης, αυξάνοντας την κίνηση μεσαίας προτεραιότητας, και όχι αυξάνοντας τους σταθμούς. Εν τω μεταξύ, η κίνηση υψηλής και χαμηλής προτεραιότητας παραμένει σταθερή και γνωστή. Με μη επικαλυπτόμενα CW, παρατηρούμε πολύ μεγάλη πτώση στη ροή χαμηλής προτεραιότητας. Όταν φτάσουμε στο σημείο που πάντα υπάρχει πακέτο μεσαίας προτεραιότητας προς αποστολή, η κίνηση χαμηλής προτεραιότητας πέφτει στο μηδέν. Έτσι όταν θέτουμε τις παραμέτρους EDCF στο 802.11e, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι μη επικαλυπτόμενα CW οδηγούν σε πολύ αυστηρές προτεραιότητες.

### 7.5.3 Υποστήριξη QoS με ECDF μαζί με DCF

Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, το AIFS δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το

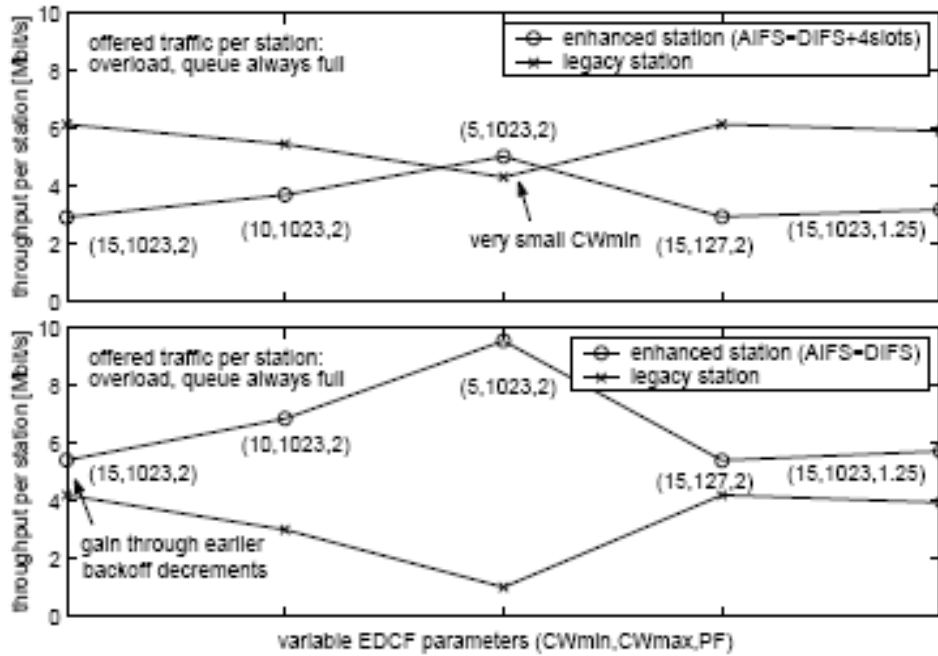
DIFS. Έτσι γεννιάται το ερώτημα αν οι EDCF σταθμοί έχουν πιθανότητα να έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα από τους κλασσικούς. Στο σενάριο του σχήματος 5.10, η κατανομή του AIFS, CW<sub>min</sub>, CW<sub>max</sub> και PF ενός μεταδίδοντος EDCF σταθμού σε σύγκριση με έναν κλασσικό σταθμό αξιολογούνται.



σχήμα 5.10 Scenario of contending DCF and EDCF stations.

Στο παραπάνω σχήμα, το AIFS τίθεται  $AIFS = DIFS + 4 \text{ slots}$ . Φαίνεται πως με πολύ μικρό CW<sub>min</sub>, ο ενισχυμένος σταθμός (EDCF) έχει προτεραιότητα. Η μείωση του CW<sub>min</sub> είναι ο κύριος τρόπος για την αύξηση της προτεραιότητας των ενισχυμένων σταθμών με τόσο μικρό αριθμό συνολικά σταθμών. Στο σχήμα 5.11 φαίνεται ότι λόγω των αλλαγών στις παραμέτρους του EDCF ακόμη και με  $AIFS = DIFS$  οι σταθμοί EDCF έχουν προτεραιότητα, με κύριο παράγοντα πάλι το CW<sub>min</sub>.

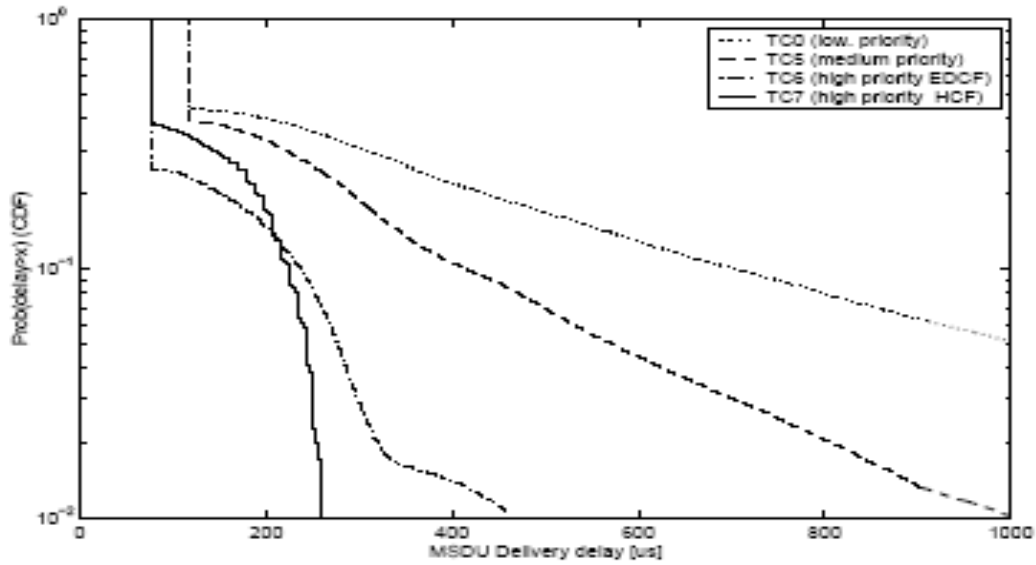




σχήμα 5.11 Throughput in contention with a legacy station.

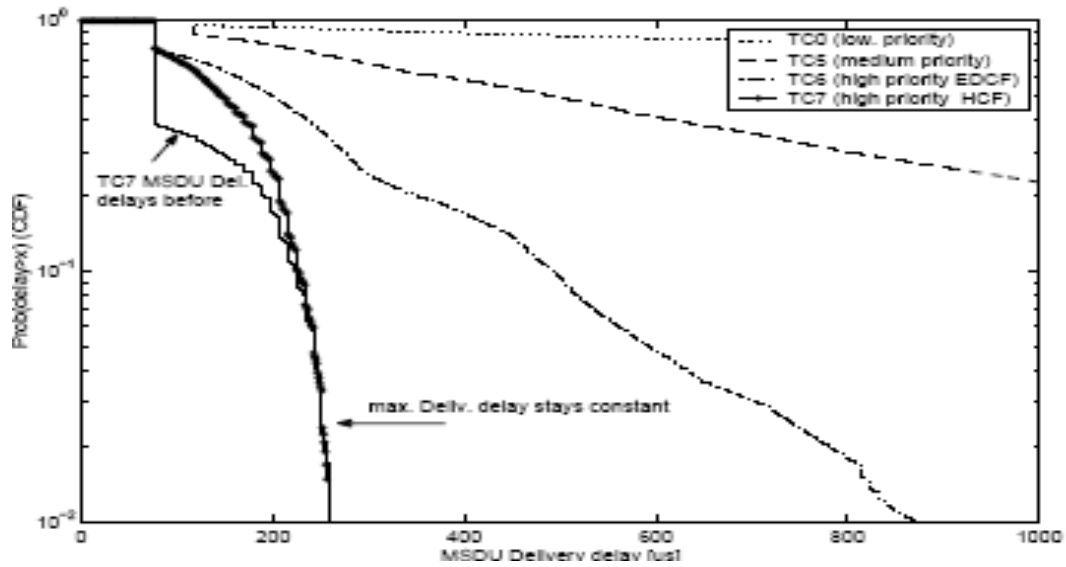
#### 7.5.4 Υποστήριξη QoS με HCF

Τώρα αξιολογούμε την HCF που επηρεάζεται από τη μέγιστη διάρκεια των TXOP του ECDF. Στο σχήμα 5.12 φαίνονται οι κατανομές των καθυστερήσεων για το μεμονωμένο QBSS που είπαμε νωρίτερα. Το AP έχει μία επιπλέον ροή δεδομένων που περνά από το HCF. Τα πακέτα δεδομένων αυτής στέλνονται άμεσα μετά το PIFS μόλις διαπιστωθεί κενό το κανάλι. Στο HCF επιτυγχάνεται αυστηρός περιορισμός των καθυστερήσεων θέτοντας μέγιστη διάρκεια σε όλα τα TXOP από τις άλλες ροές.



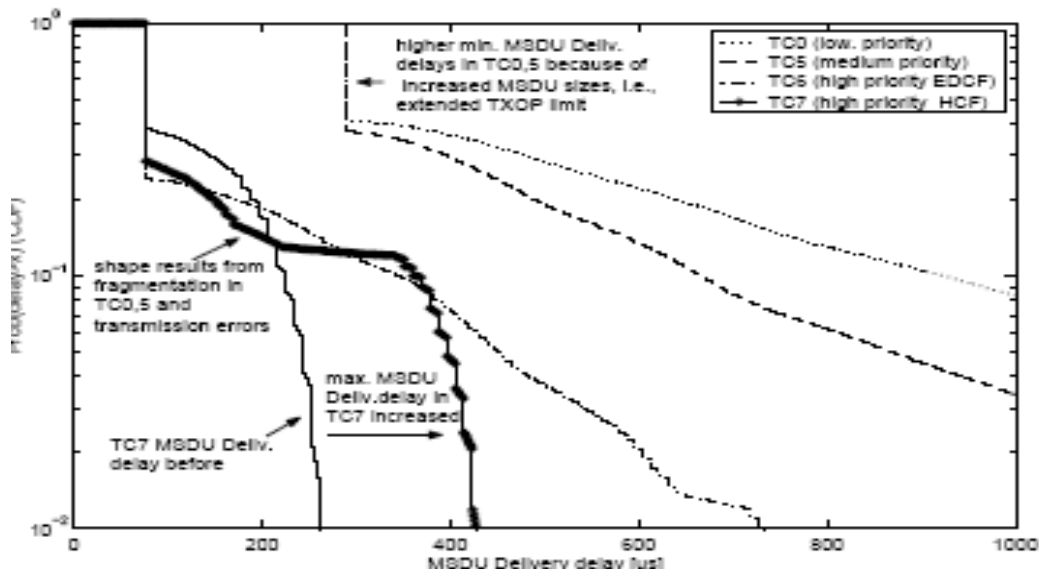
σχήμα 5.12 HCF MSDU Delivery delays in an isolated QBSS with five stations.

Στο σχήμα 5.13 φαίνονται οι καθυστερήσεις για τις ροές μεσαίας και χαμηλής προτεραιότητας. Μόνο η ροή του HCF παραμένει εντός του περιορισμού μέγιστης καθυστέρησης. Τουναντίον, αν επιτρέψουμε να μεταδοθούν μεγαλύτερα MSDU από τις χαμηλής προτεραιότητας ροές, η μέγιστη καθυστέρηση του HCF θα αυξηθεί και αυτή. Στο σχήμα 5.14 έχουμε το ίδιο πείραμα αλλά με μεγαλύτερα πακέτα δεδομένων.



σχήμα 5.13 HCF MSDU Delivery delays in an isolated QBSSs with five stations and increased offered EDCF traffic.

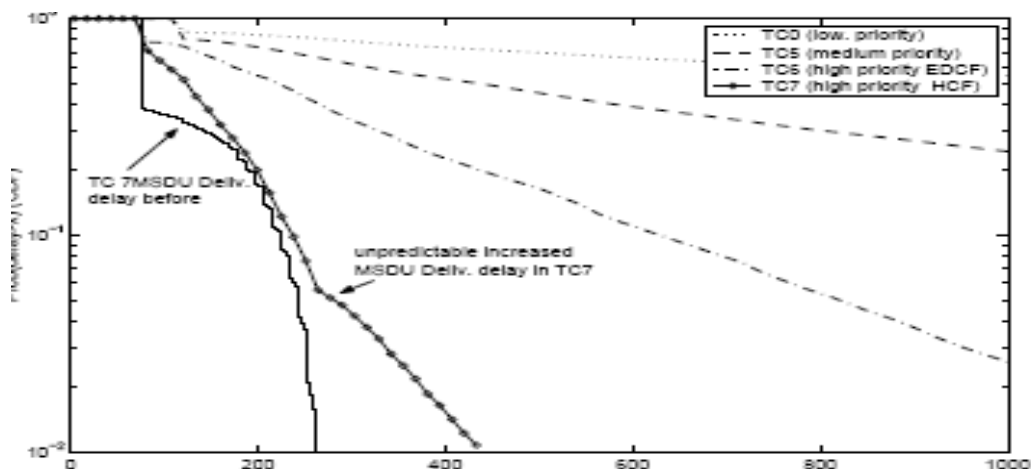
Υπάρχει άλλη μία περίπτωση που αυξάνει τις καθυστερήσεις, και δεν είναι υπό τον έλεγχο του HC, ως εκ τούτου είναι ανεπιθύμητη. Όταν περισσότερα από ένα QBSS λειτουργούν σε ένα επικαλυπτόμενο σενάριο την ίδια στιγμή, ακόμη και τα πακέτα ερωτήσεων υψίστης προτεραιότητας έχουμε μη προβλεπόμενες καθυστερήσεις, λόγω της έλλειψης συντονισμού μεταξύ των HC.



σχήμα 5.14 HCF MSDU Delivery delays in an isolated QBSS with five stations, with increased MSDU sizes of the EDCF traffic.

Στη Fig 17 για παράδειγμα, είναι τα πειραματικά αποτελέσματα από δύο επικαλυπτόμενα QBSS. Φαίνεται ότι οι καθυστερήσεις των πακέτων υψηλής προτεραιότητας ξεπερνά το όριο που είχε τεθεί από το HC.

Για το πρόβλημα των επικαλυπτόμενων QBSS, εξετάζονται λύσεις από την ομάδα προτυποποίησης. Μια θα μπορούσε να είναι η δυναμική επιλογή συχνότητας, που θα επέτρεπε στο QBSS να επιλέξει μία ελεύθερη συχνότητα. Άλλες προσεγγίσεις βασίζονται σε εφαρμογή πολιτικών.



σχήμα 5.15 HCF MSDU Delivery delays in two overlapping QBSSs with five stations per QBSSs.

## 7.6 Συμπεράσματα

Έγινε παρουσίαση μιας κατανοητής περίληψης των νέων χαρακτηριστικών για υποστήριξη ποιότητας του 802.11e σε αντίθεση με αυτά του κλασσικού 802.11. Οι νέοι μηχανισμοί QoS, EDCF και HCF αξιολογούνται. Η απόδοσή τους εξετάζεται και με πειραματικά αποτελέσματα. Το επερχόμενο πρότυπο 802.11e θα είναι απαραίτητο για την υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας σε ασύρματα δίκτυα για μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών, παρά το γεγονός ότι ακόμη υπάρχουν άλυτα προβλήματα στην εφαρμογή του, όπως τα επικαλυπτόμενα QBSS. Ακόμη και με τους κλασσικούς σταθμούς που είναι βασισμένοι σε DCF, οι νέοι σταθμοί θα μπορούν να πάρουν προτεραιότητα. Το HCF δίνει τη δυνατότητα παράδοσης χρόνο-περιορισμένων δεδομένων, αλλά επιβάλλεται όλοι οι σταθμοί γύρω από το HC να ακολουθούν το συντονισμό του.

## 8 QoS στο WiMax

### **8.1 Εισαγωγή**

Καθώς η πολυπλοκότητα των εφαρμογών που διαδίδονται πάνω από ένα ασύρματο δίκτυο ολοένα και αυξάνει, η ποιότητα υπηρεσίας γίνεται καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα της επικοινωνίας. Το πρότυπο 802.16d σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να χειριστεί εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων, όπως για παράδειγμα η μετάδοση video σε πραγματικό χρόνο που απαιτείται από το δίκτυο συνθήκες πολύ χαμηλής καθυστέρησης μετάδοσης.

Το επίπεδο MAC του προτύπου 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 το ίδιο base station κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από το ίδιο Base Station, 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. Συνεπώς, χρήστες που βρισκόταν στην κάλυψη ενός Access Point είχαν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.

### **8.2 Μηχανισμοί αίτησης και δέσμευσης πόρων (Bandwidth Request–Bandwidth Allocation)**

Για τη διασφάλιση σταθερού QoS, η μοναδική προσέγγιση του WiMax είναι η διασφάλιση σταθερού εύρους ζώνης. Το πρότυπο προσδιορίζει διάφορους μηχανισμούς για την πρόσβαση του SS στο κοινό κανάλι ανόδου και για την

αίτηση παραχώρησης πόρων (δηλαδή μέρος του διαθέσιμου εύρους ζώνης) σε αυτόν, από τον BS, ώστε να μπορεί να εκπέμψει.

Ο σταθμός βάσης παραχωρεί ή δεσμεύει πόρους εφαρμόζοντας μία από τις δύο παρακάτω μεθόδους: GPSS (Grant Per Subscriber Station) και GPC (Grant Per Connection). Στην περίπτωση του GPC ο σταθμός βάσης δεσμεύει εύρος ζώνης για κάθε ξεχωριστή σύνδεση. Στην περίπτωση του GPSS ο σταθμός βάσης δεσμεύει εύρος ζώνης για κάθε ξεχωριστό σταθμό συνδρομητή. Σε αυτήν την περίπτωση ο σταθμός συνδρομητή είναι υπεύθυνος για την κατανομή του εύρους που του έχει εκχωρηθεί σε κάθε σύνδεσή του. Ο σταθμός συνδρομητή αποφασίζει ποια δεδομένα θα μεταφερθούν πρώτα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις ανάγκες τις εκάστοτε εφαρμογής και των παραμέτρων QoS.

Ο σταθμός βάσης μπορεί να παραχωρήσει δυνατότητες εκπομπής για πολλές συνδέσεις σε έναν μεμονωμένο σταθμό συνδρομητή, με κάθε μία από αυτές να έχει διαφορετικές παραμέτρους QoS. Επίσης ο σταθμός βάσης μπορεί να αρνηθεί να παραχωρήσει πόρους σε έναν SS για διάφορους λόγους, όπως ότι το εύρος που ζητήθηκε από τον SS δεν είναι διαθέσιμο, ότι η αίτηση που έλαβε ο BS περιείχε λάθη κ.ο.κ.

### **8.3 Ροή Υπηρεσίας (Service Flow)**

Ο κύριος μηχανισμός που χρησιμοποιεί το 802.16 για την παροχή υπηρεσιών QoS είναι ο συσχετισμός του κάθε πακέτου που μεταδίδεται με μία συγκεκριμένη ροή υπηρεσίας. Για παράδειγμα, μια ζεύξη επικοινωνίας μπορεί να συσχετίζεται με αρκετές ροές υπηρεσιών, μια ροή υπηρεσίας πραγματικού χρόνου για φωνή, και μια ροή υπηρεσίας best effort για περιήγηση στο διαδίκτυο.

Κάθε δικτυακή εφαρμογή πρέπει πρώτα να εγγραφεί στο δίκτυο. Το δίκτυο θα την συσχετίσει ύστερα με μία συγκεκριμένη ροή υπηρεσίας δίνοντας της έναν μοναδικό αριθμό SFID (Service Flow ID). Κάθε πακέτο της εφαρμογής πρέπει να χαρακτηρίζεται από αυτόν τον αριθμό ώστε το δίκτυο να μπορεί να παρέχει το ζητούμενο QoS. Όταν η εφαρμογή θελήσει να στείλει πακέτα δεδομένων στο δίκτυο, απαιτείται να δημιουργήσει μία σύνδεση με το δίκτυο η οποία χαρακτηρίζεται από έναν συγκεκριμένο μοναδικό αριθμό CID (Connection ID). Από εκεί και ύστερα, κάθε πακέτο που στέλνεται περιέχει τόσο το CID όσο και το SFID. Η μονάδα που είναι υπεύθυνη για την ταξινόμηση των πακέτων (classification module) αναγνωρίζει τα πακέτα με βάση αυτές τις τιμές και τα προωθεί στις κατάλληλες ουρές.

#### ***8.4 Scheduling Services***

Το IEEE 802.16 υποστηρίζει τέσσερα επίπεδα υπηρεσιών και η έκδοση 802.16e πέντε, με στόχο να εξυπηρετήσει καλύτερα τον απαιτητικό χρήστη που αποζητά εγγυήσεις μετάδοσης των δεδομένων του. Οι υπηρεσίες αυτές παρέχονται από τον BS χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό του scheduler για τον χειρισμό των μεταδόσεων σε μία σύνδεση. Κάθε σύνδεση συσχετίζεται με έναν από αυτούς του μηχανισμούς. Έτσι, γίνεται εφικτή η παροχή των υπηρεσιών καθορίζοντας μόνο τις παραμέτρους του scheduler του BS. Το ίδιο το πρότυπο δεν καθορίζει, ούτε προτείνει την υλοποίηση του scheduler, δίνοντας έτσι την ευκαιρία στον κάθε κατασκευαστή να τον υλοποιήσει σύμφωνα με τις δικές του ανάγκες και τους δικούς του στόχους. Έτσι δίνεται η δυνατότητα για επιπλέον διαφοροποίηση των υπηρεσιών. Οι υπηρεσίες που περιγράφονται στο πρότυπο είναι οι εξής:



#### **8.4.1 Unsolicited Grant Service (UGS)**

Ο τύπος αυτός υποστηρίζει ροές υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που δημιουργούν πακέτα δεδομένων σταθερού μήκους σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Λόγω αυτού, τα μηνύματα του BS για παραχωρήσεις πόρων είναι σταθερού μήκους σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα να αποφεύγεται η επιπλέον επιβάρυνση του συστήματος από τις αιτήσεις του SS. Επίσης εγγυάται ότι τα μηνύματα παραχώρησης πόρων μπορούν να ανταπεξέλθουν στις συνεχείς ανάγκες της ροής αυτής.

Οι πιο βασικές παράμετροι που μπορούν να οριστούν είναι ο μέγιστος σταθερός ρυθμός μετάδοσης, η μέγιστη καθυστέρηση, η μέγιστη ανεκτή διακύμανση καθυστέρησης και η πολιτική αίτησης/μετάδοσης.

#### **8.4.2 Real-Time Polling Service (rtPS)**

Το rtPS είναι σχεδιασμένο για να υποστηρίζει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου που μεταφέρουν δεδομένα με πακέτα μεταβλητού μήκους όπως βίντεο συμπιεσμένο κατά MPEG. Ο BS ρωτάει τον SS για τις ανάγκες που έχει, ώστε να δεσμεύσει τους κατάλληλους πόρους. Συγκρινόμενο με το UGS έχει το μειονέκτημα ότι χρησιμοποιεί μεγαλύτερο εύρος του διαύλου λόγω της σηματοδοσίας, αλλά στα θετικά του συγκαταλέγεται το ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εφαρμογές που δεν λαμβάνουν/στέλνουν δεδομένα με σταθερό ρυθμό. Το πρότυπο διευκρινίζει ότι ο BS χρειάζεται να στέλνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα ερωτήσεις προς τους SS για τις ανάγκες τους αλλά δεν διευκρινίζεται η συχνότητα. Οι κύριες παράμετροι σε αυτόν τον τύπο είναι ελάχιστος ρυθμός μετάδοσης, ο μέγιστος σταθερός ρυθμός μετάδοσης, η μέγιστη καθυστέρηση και η πολιτική αίτησης/μετάδοσης.

### **8.4.3 Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)**

Το nrtPS είναι σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται από εφαρμογές που είναι ανεκτικές σε καθυστερήσεις με δεδομένα μεταβλητού μήκους, δίνοντας έμφαση στον ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης, όπως για παράδειγμα η μεταφορά δεδομένων με το πρωτόκολλο FTP. Βασικές παράμετροι είναι ο ελάχιστος ρυθμός διακίνησης, ο μέγιστος σταθερός ρυθμός μετάδοσης, η προτεραιότητα και η πολιτική αίτησης/μετάδοσης.

### **8.4.4 Best Effort (BE) Service**

Το BE είναι σχεδιασμένο για εφαρμογές χωρίς απαιτήσεις όσον αναφορά τον ελάχιστο ρυθμό μετάδοσης, την καθυστέρηση κ.λ.π. Παρέχει υπηρεσίες «βέλτιστης προσπάθειας» όπως υποδηλώνει και το όνομα του, κάτι που σημαίνει ότι το επίπεδο των υπηρεσιών που προσφέρονται έχουν άμεση σχέση με την κατάσταση του ασύρματου διαύλου και τα επίπεδα συμφόρησης του δικτύου την δεδομένη στιγμή.

Βασικές παράμετροι είναι ο μέγιστος σταθερός ρυθμός διακίνησης, η προτεραιότητα και η πολιτική αίτησης/μετάδοσης.

## **Συμπεράσματα**

Στην παρούσα πτυχιακή ασχοληθήκαμε με τα «Πρωτόκολλα & τους Μηχανισμούς Διαχείρισης της Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) σε Ασύρματα Ευρυζωνικά Δίκτυα», εστιάζοντας στο πρότυπο IEEE 802.11e. Ο όρος ευρυζωνικότητα υποδηλώνει την ικανότητα μεταφοράς μεγάλου όγκου πληροφορίας, με έμφαση στον υψηλό και ποιοτικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων προς το χρήστη, ώστε ο χρήστης να έχει πρόσβαση σε διαδραστικές υπηρεσίες (φωνή, εικόνα και δεδομένα).

Στην συνέχεια, παρουσιάσαμε τα βασικά χαρακτηριστικά των ασύρματων ευρυζωνικών τεχνολογιών, WiFi και WiMax.

Η τεχνολογία WiFi προσφέρει ευρυζωνική πρόσβαση σε χρήστες που μπορούν να μετακινούνται μέσα σε ένα μικρό χώρο και διαθέτουν ασύρματο τερματικό εξοπλισμό. Βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας αυτής, είναι η ευκολία υλοποίησης και το μικρό κόστος και για τον σταθμό βάσης καθώς και για τον χρήστη. Επίσης, προσφέρεται ένα σύνολο χαρακτηριστικών που εγγυώνται ασφάλεια πρόσβασης και μετάδοσης (ταυτοποίηση χρήστη, κρυπτογραφημένη μετάδοση).

Το βασικό πρωτόκολλο 802.11 υποστηρίζει δύο ειδών λειτουργίες για τον έλεγχο της πρόσβασης στο ασύρματο κανάλι: την PCF και την DCF. Οι μηχανισμοί αυτοί όμως, δεν θεωρούνται γιατί δεν προσδίδουν στις μετρικές ποιότητας (jitter, εύρος ζώνης, απώλεια πακέτων, delay) τις τιμές εκείνες που απαιτούνται για να παραχθεί απόλυτη ποιότητα υπηρεσιών. Έτσι, για την υποστήριξη παροχής διαφοροποίησης και ποιότητας υπηρεσιών το IEEE 802.11 προχώρησε στην προσθήκη βελτιώσεων και στη δημιουργία του 802.11e, όπου ορίζεται η λειτουργία των EDCF και HCF.

Τέλος, η τεχνολογία WiMax μπορεί να παρέχει ασύρματη σύνδεση σε ένα εύρος

μεγαλύτερο από 50 χιλιόμετρα χωρίς να χρειάζεται άμεση οπτική επαφή με ένα σταθμό βάσης. Στο επίπεδο MAC παρέχεται υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίας, 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 το ίδιο base station.

Οι τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης έχουν γνωρίσει σημαντική εξέλιξη τα τελευταία χρόνια και αποτελούν ίσως, κατά το κοινώς λεγόμενο, το μέλλον στην επικοινωνία μεταξύ συσκευών.

## Βιβλιογραφία

- 1.Χρήστος Μπούρας Ι., ' Δίκτυα Δημόσιας Χρήσης και Διασύνδεση Δικτύων', Πανεπιστημιακές σημειώσεις
- 2.Χρήστος Μπούρας Ι., 'Εισαγωγή στην Ποιότητα Υπηρεσίας'
- 3.Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων, ΕΕΤΤ 'Κείμενο Δημόσιας Διαβούλευσης για Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα WLAN'
- 4.Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τηλεπικοινωνιών Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου Εξέλιξη της Ευρυζωνικότητας στην Ελλάδα »
- 5.Stefan Mangold, Sunghyun Choi, Peter May, Ole Klein, Guido Hiertz, Lothar Stibor, 'IEEE 802.11e Wireless LAN for Quality of Service'
- 6.G.S. Paschos, I. Papapanagiotou, C.G. Argyropoulos and S.A. Kotsopoulos,A, 'Heuristic Strategy for IEEE 802.16 WiMax scheduler for Quality of Service'
- 7.Kitti Wongthavarawatn,y and Aura Ganzz , 'Packet scheduling for QoS support in IEEE 802.16 broadband wireless access systems'
- 8.Mark C. Wood, 'An Analysis of the Design and Implementation of QoS over IEEE 802.16'
- 9.Mohammed Hawa and David W. Petr , 'QoS Scheduling in Cable and Broadband Wireless Networks'
10. <http://www.whatis.com>
11. <http://www.athenswireless.net>
12. <http://www.ieee.org>
13. <http://conta.uom.gr>

14. <http://en.wikipedia.org>
15. <http://esc59.midphase.com/>
16. <http://www.hellascams.gr/>
17. [www.WiFi.org](http://www.WiFi.org)
18. <http://broadband.cti.gr/>
19. <http://www.wifinet.gr/>