



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνιών

Δίκτυο WiMAX

Δημοσθένης Βουγιούκας (dnougiou@aegean.gr)

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Τι είναι το WiMAX

- ◆ WiMAX = Worldwide Interoperability for Microwave Access
- ◆ Είναι ένα σημάδι πιστοποίησης για τα προϊόντα που περνούν τις δοκιμές συμμόρφωσης και διαλειτουργικότητας του προτύπου 802.16 το οποίο σχεδιάστηκε για ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης και τη κατασκευή ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων (WirelessMANs).

Πρότυπο WiMAX

- ◆ Η πρώτη έκδοση ολοκληρώθηκε από την IEEE τον Οκτώβρη του 2001
- ◆ Αρχικά σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων από 10 ως 66GHz και απαιτούσε οπτική επαφή (LOS).
- ◆ Η ανάγκη για NLOS συστήματα έστρεψε το ενδιαφέρον στη ζώνη συχνοτήτων από 2 έως 11GHz.
- ◆ Παρέχει ρυθμούς μετάδοσης που αγγίζουν τα 50Mbps.
- ◆ Κάλυψη που μπορεί θεωρητικά να αγγίξει τα 70Km.

Πρότυπο WiMAX

- ◆ Broadband Wireless Access
- ◆ Data rate vs Distance trade off using adaptive modulation.
- ◆ 64QAM to BPSK
- ◆ Offers non-line of site (NLOS) operation
- ◆ 1.5 to 28 MHz channels
- ◆ Hundreds of simultaneous sessions per channel
- ◆ Delivers >1 Mbps per user
- ◆ Both Licensed and license-exempt spectrum
- ◆ QoS for voice, video, and T1/E1, continuous and bursty traffic
- ◆ Support Point-to-multipoint and Mesh network models
- ◆ A vendor organization for ensuring interoperability

Πλεονεκτήματα του WiMAX

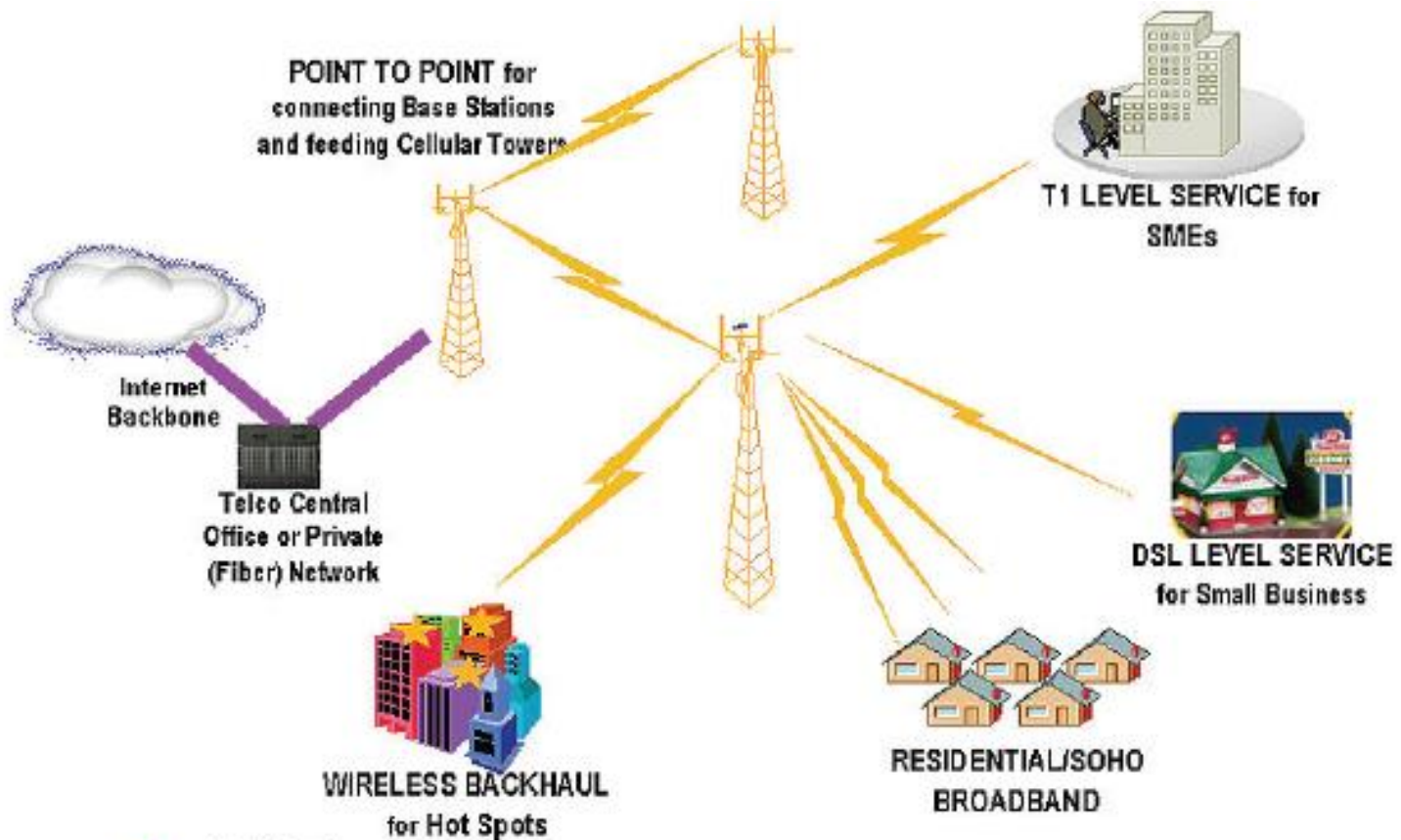
- ◆ Καλύπτει μεγάλες αποστάσεις.
- ◆ Κάνει γεγονός την αξιόπιστη ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση.
- ◆ Παρέχει επικοινωνία σημείων τα οποία δεν έχουν οπτική επαφή.
- ◆ Χρησιμοποιείται κυρίως σαν δίκτυο κορμού και λιγότερο σαν δίκτυο πρόσβασης.

Βασικές Χρήσεις του WiMAX

- ◆ Broadband on Demand.
- ◆ Δίκτυο κορμού στα συστήματα κινητής και σταθερής τηλεφωνίας.
- ◆ Συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.

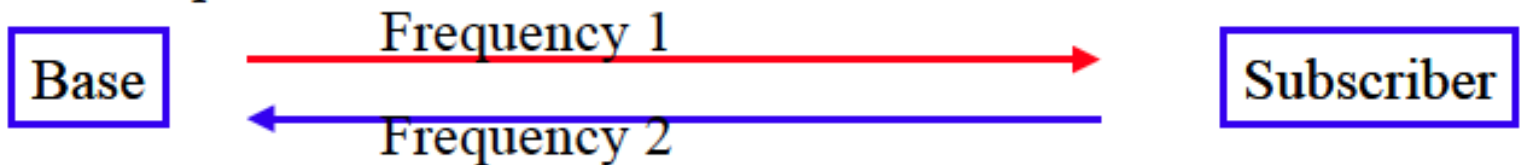
Τοπολογίες

Point to Point - Point to Multipoint



Duplexing Options

- Duplex = Bi-Directional Communication
- Full-Duplex = Both directions at the same time



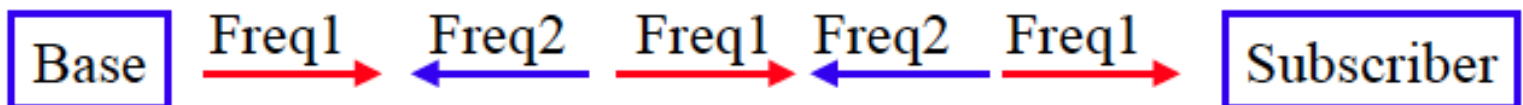
This is known as Frequency division duplexing (FDD)

- Half-duplex = One direction at a time



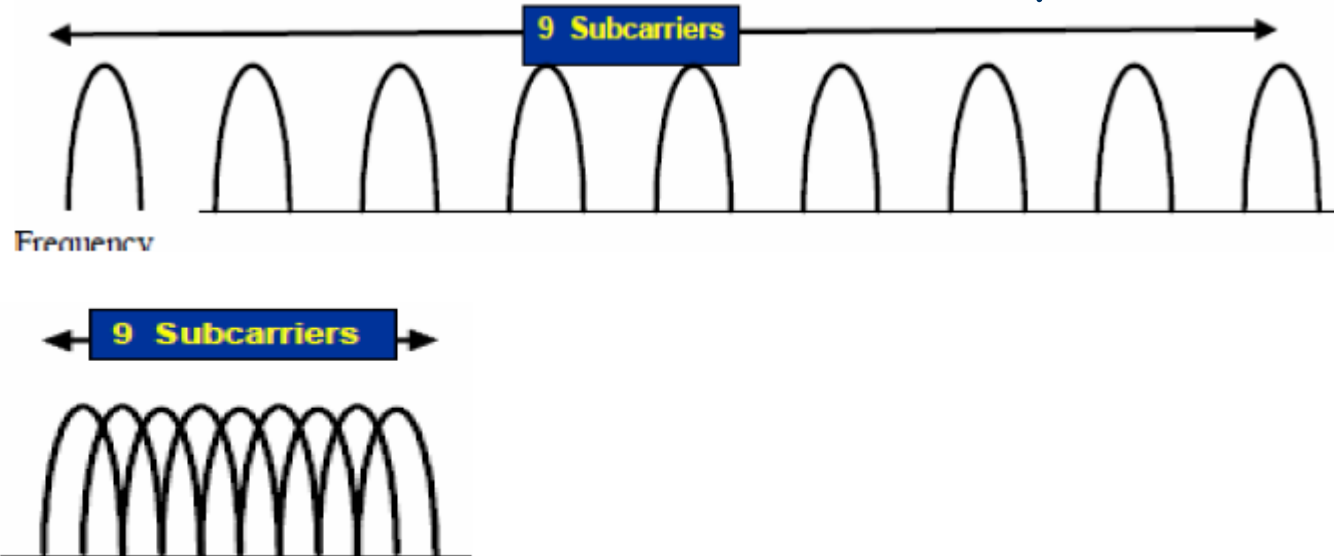
This is known as Time division duplex (TDD)

- Half-Duplex FDD (HFDD): Two frequencies. But either transmitter or receiver is on.



OFDM

- ◆ Σε ένα κλασικό σύστημα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων η συνολικά διαθέσιμη μπάνα συχνοτήτων διαιρείται σε N μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια.
- ◆ Στο OFDM τα κανάλια είναι επικαλυπτόμενα.

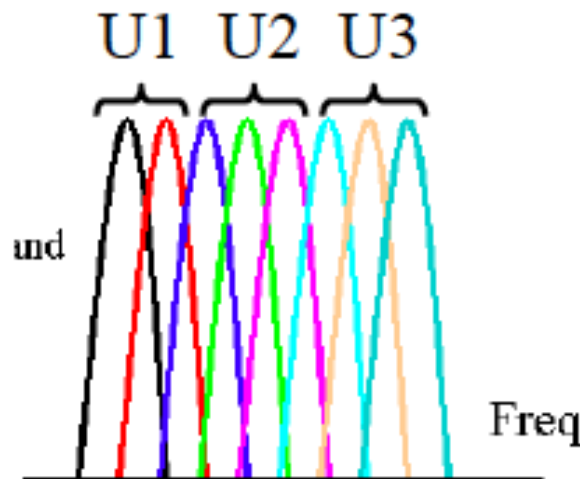


Πλεονεκτήματα OFDM

- ◆ Το OFDM αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης (multipath).
- ◆ Εξοικονόμηση εύρους ζώνης σε σχέση με τα συστήματα μονής φέρουσας.
- ◆ Υποστήριξη NLOS συνδέσεων.
- ◆ Το OFDM είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στην παρεμβολή στενού φάσματος διότι τέτοιου είδους παρεμβολή επηρεάζει μόνο ένα μικρό ποσοστό των υποφερουσών.

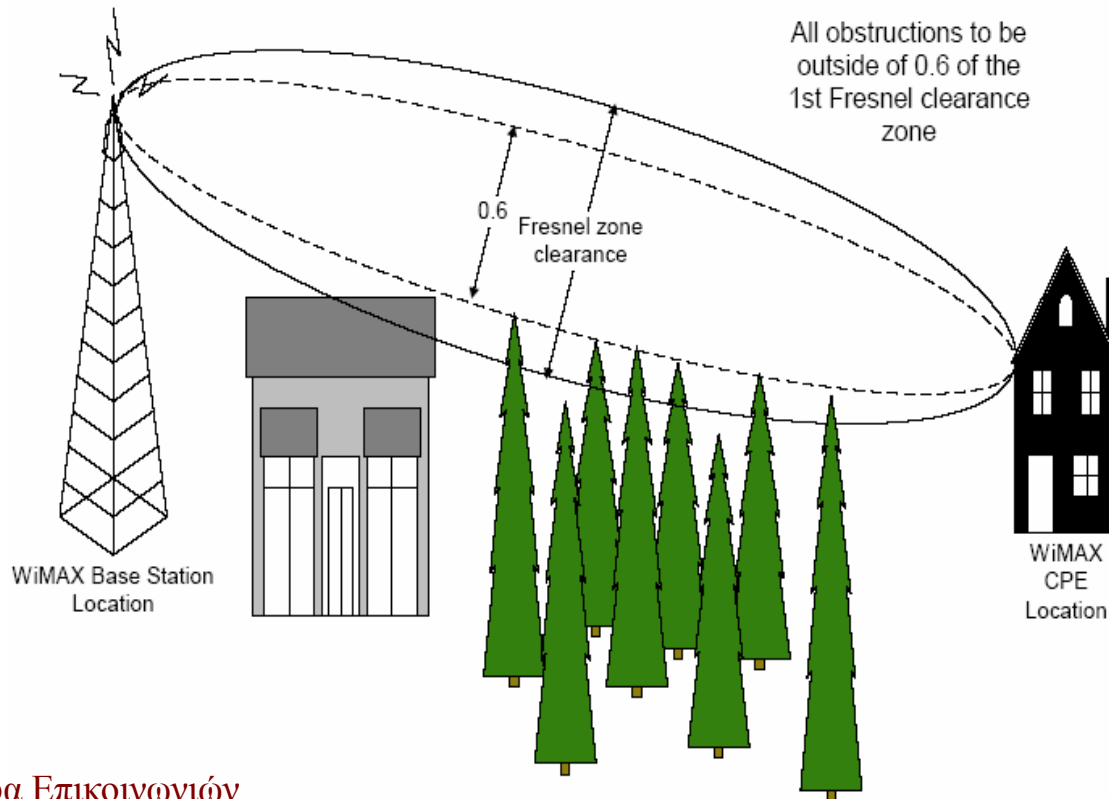
OFDMA

- ◆ Orthogonal Frequency Division Multiple Access
- ◆ A large number of subcarriers, e.g., 2048
- ◆ Each user has a subset of subcarriers
- ◆ OFDMA is a form of FDMA



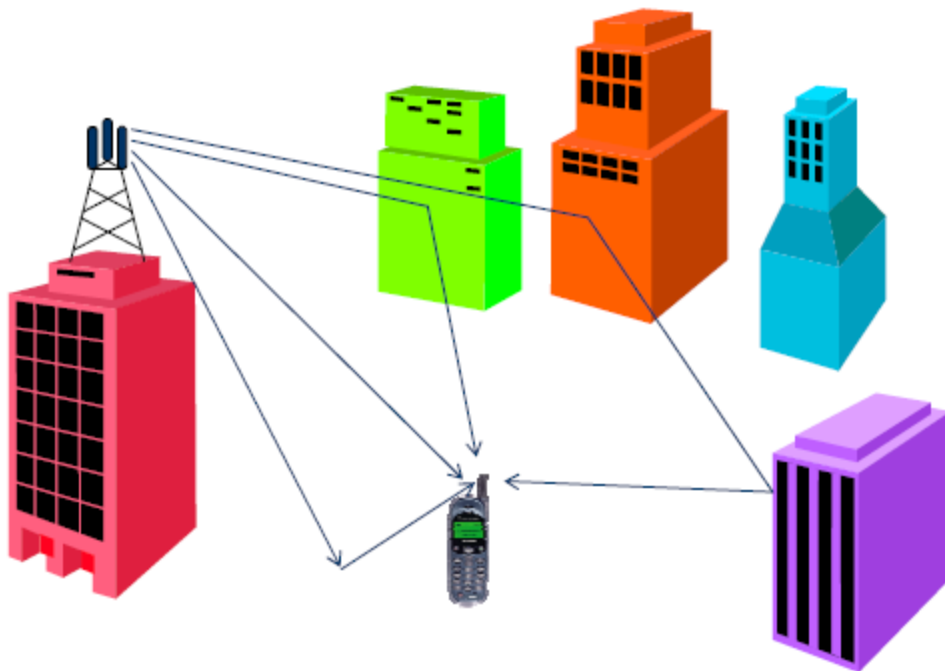
Σύνδεση LOS

- ◆ Πρέπει να μην παρεμποδίζεται το 60% της πρώτης ζώνης Fresnel.



Σύνδεση NLOS

- ◆ Έντονο φαινόμενο πολυδιαδρομικής διάδοσης.
- ◆ Χρησιμοποιείται γι' αυτό το λόγο η OFDM αναμετάδοση



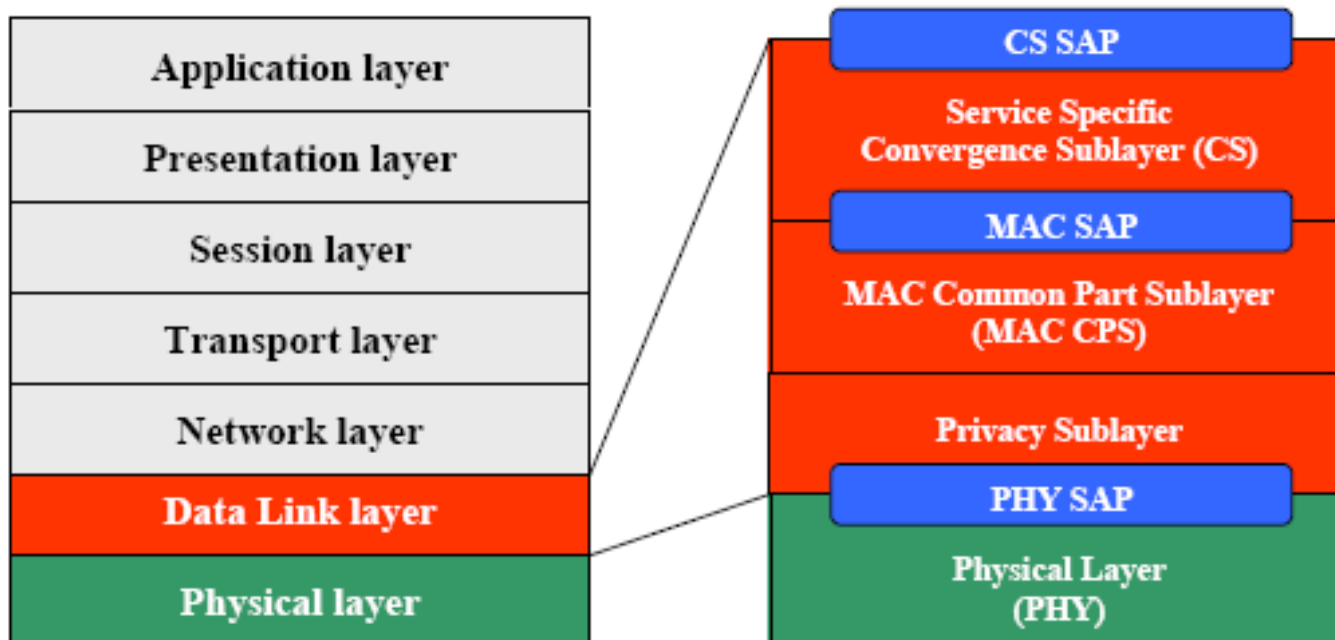
Το φαινόμενο της πολυδιαδρομικής διάδοσης (multipath).

IEEE 802.16 PHYs

	Function	LOS	Freq. Band	Carrier	Duplexing
WirelessMAN SC	Pt-to-pt	LOS	10-66 GHz	Single	TDD, FDD
WirelessMAN SCa	Pt-to-pt	LOS	2-11 GHz Licensed	Single	TDD, FDD
WirelessMAN OFDM	Pt-to-mpt	NLOS	2-11 GHz Licensed	256	TDD, FDD
WirelessMAN OFDMA (16e)	Pt-to-mpt	NLOS	2-11 GHz Licensed	2048	TDD, FDD
WirelessHUMAN (High-speed Unlicensed)	Pt-to-mpt	NLOS	2-11 GHz License Exempt	1/256/2048	TDD Dynamic Freq. Sel.

Η Αρχιτεκτονική του 802.16

- ◆ Επικεντρώνεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου διαστρωμάτωσης OSI.



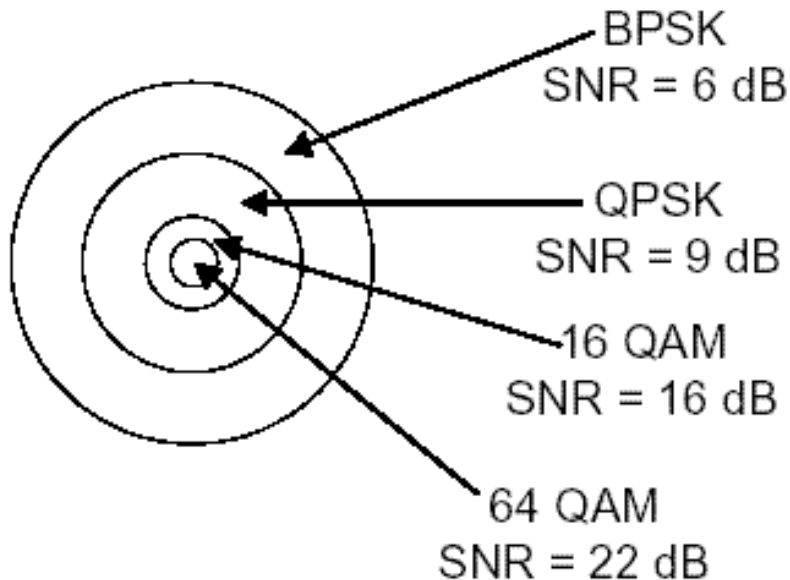
Φυσικό Στρώμα WiMAX

- ◆ Τεχνικές διαμόρφωσης σήματος:
 - Wireless MAN-SC (Single-Carrier): διαμόρφωση μονής φέρουσας.
 - Wireless MAN-OFDM (Orthogonal-Frequency-Division-Multiplexing): πολύπλεξη της συχνότητας με ορθογώνια διαίρεση με χρήση γρήγορου μετασχηματισμού Fourier (Fast Fourier Transform, FFT) 256 φερουσών.
 - Wireless MAN OFDMA (Orthogonal-Frequency-Division-Multiple-Access): πολύπλεξη της συχνότητας με ορθογώνια διαίρεση για πολλαπλή πρόσβαση με FFT 2048 φερουσών.

Προσαρμοστική Διαμόρφωση (Adaptive Modulation)

- ◆ Προσαρμόζει τη ποιότητα διαβάθμισης της ζεύξης ανάλογα με την ισχύ του σήματος.
- ◆ Προσφέρει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης για κάθε περίπτωση.
- ◆ Οι τύποι διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται είναι:
 - Δυαδική διαμόρφωση με μετατόπιση φάσματος (Binary Phase-Shift Keying, BPSK): Επιτυγχάνεται αποστολή 1 bit ανά σύμβολο.
 - Ορθογωνική διαμόρφωση με μετατόπιση φάσματος (Quadrature Phase-Shift Keying, QPSK): Επιτυγχάνεται αποστολή 2 bits ανά σύμβολο.
 - Ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους 16 σημείων (16-Quadrature Amplitude Modulation, 16-QAM): Επιτυγχάνεται αποστολή 4 bits ανά σύμβολο.
 - Ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους 64 σημείων (64-Quadrature Amplitude Modulation, 64-QAM): Επιτυγχάνεται αποστολή 6 bits ανά σύμβολο.

Προσαρμοστική Διαμόρφωση (Adaptive Modulation)



Channel Size (MHz)	Bit Rate (Mbps)	Bit Rate (Mbps)	Bit Rate (Mbps)
	QPSK	16-QAM	64-QAM
20	32	64	96
25	40	80	120
28	44.8	89.6	134.4

Τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων

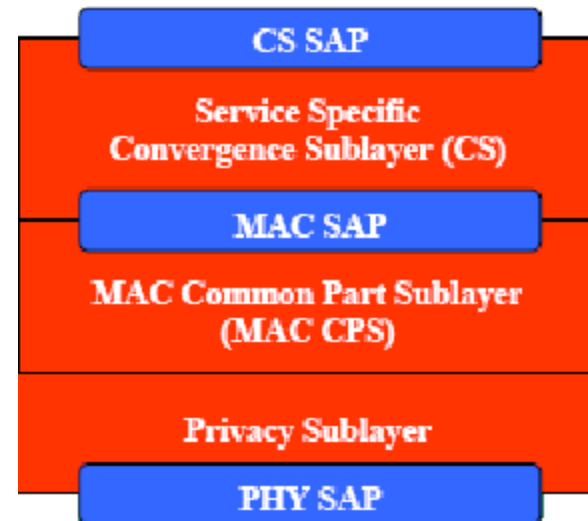
- ◆ Οι τεχνικές διόρθωσης σφαλμάτων είναι:
 - FEC (Forward Error Correction) κωδικοποίηση.
 - Συνελικτικός κώδικας (convolutional code).
- ◆ Προσδίδουν στο πρότυπο τη δυνατότητα αξιόπιστης μετάδοσης, κρατώντας σε χαμηλά επίπεδα την ισχύ εκπομπής και λήψης.

Adaptive Modulation στο 802.16d

Rate ID	Modulation rate	Coding	Information bits/symbol	Information bits/ OFDM symbol	Peak data rate in 5 MHz (Mb/s)
0	BPSK	1/2	0.5	88	1.89
1	QPSK	1/2	1	184	3.95
2	QPSK	3/4	1.5	280	6.00
3	16QAM	1/2	2	376	8.06
4	16QAM	3/4	3	568	12.18
5	64QAM	2/3	4	760	16.30
6	64QAM	3/4	4.5	856	18.36

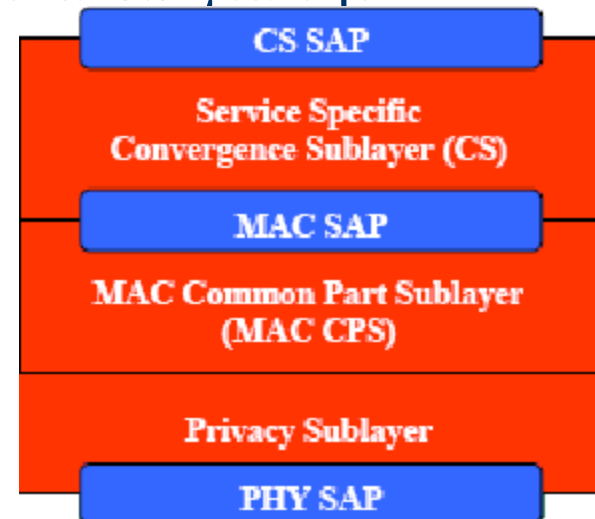
Υποστρώμα MAC

- ◆ Το IEEE 802.16 MAC χωρίζεται σε τρεις βασικές οντότητες:
 - Service-Specific Convergence Sublayer (CS)
 - Common Part Sublayer (CPS)
 - Privacy Sublayer (PS)



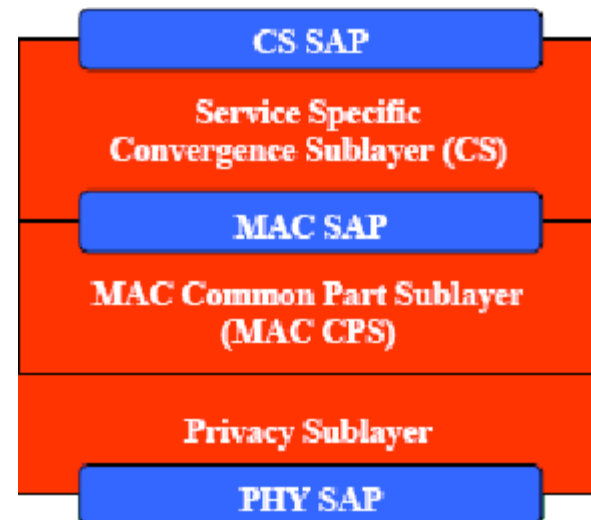
Υποστρώμα MAC

- ◆ Αντιστοιχεί υπηρεσίες από και προς τις 802.16 MAC συνδέσεις.
- ◆ Προετοιμάζει τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα σημεία πρόσβασης (service access point, SAP) του CS και του MAC για τη μεταβίβασή τους στο επόμενο επίπεδο.
- ◆ Το IEEE 802.16 καθορίζει δύο γενικά CS για την αντιστοιχία υπηρεσιών:
 - Το ATM convergence sublayer
 - Το packet convergence sublayer (IPv4, IPv6, Ethernet, VLAN)



Υποστρώμα MAC

- ◆ Το Common Part Sublayer (CPS) έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε:
 - να ακολουθεί την αρχιτεκτονική point-to-multipoint
 - να παρέχει μηχανισμούς για QoS σε εκατοντάδες χρήστες
- ◆ Το Privacy Sublayer (PS):
 - αλγόριθμος κρυπτογράφησης Triple DES



Χαρακτηριστικά του επιπέδου MAC του IEEE 802.16a

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
Χρήση TDM/TDMA	<ul style="list-style-type: none">Αποτελεσματική χρήση του εύρους ζώνης
Υποστήριξη από 1 έως εκατοντάδες χρήστες	<ul style="list-style-type: none">Ικανότητα αποτελεσματικής μη δαπανηρής ανάπτυξης και προσαρμοστικότητα στις εκάστοτε συνθήκες
Συνδεοστρεφές περιβάλλον	<ul style="list-style-type: none">QoS ανά σύνδεσηΤαχύτερη δρομολόγηση και προώθηση των πακέτων
Υποστήριξη QoS	<ul style="list-style-type: none">Μικρή καθυστέρηση υπηρεσιών, όπως TDM Voice, VoIPΒέλτιστη μετάδοση VBR κίνησης (π.χ. video)
Υποστήριξη ARQ (Automatic Retransmission request (ARQ))	<ul style="list-style-type: none">Βελτίωση των απο άκρο σε άκρο επιδόσεων και απόκρυψη των σφαλμάτων από τα ανώτερα επίπεδα
Υποστήριξη προσαρμοστικής διαμόρφωσης (adaptive modulation)	<ul style="list-style-type: none">Υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης, ανάλογα με τις συνθήκες και βελτιστοποίηση της χωρητικότητας του συστήματος
Ασφάλεια και κρυπτογράφηση (Triple DES)	<ul style="list-style-type: none">Προστασία των δεδομένων
Automatic Power control	<ul style="list-style-type: none">Δυνατότητα ανάπτυξης κυψελοειδών δομών

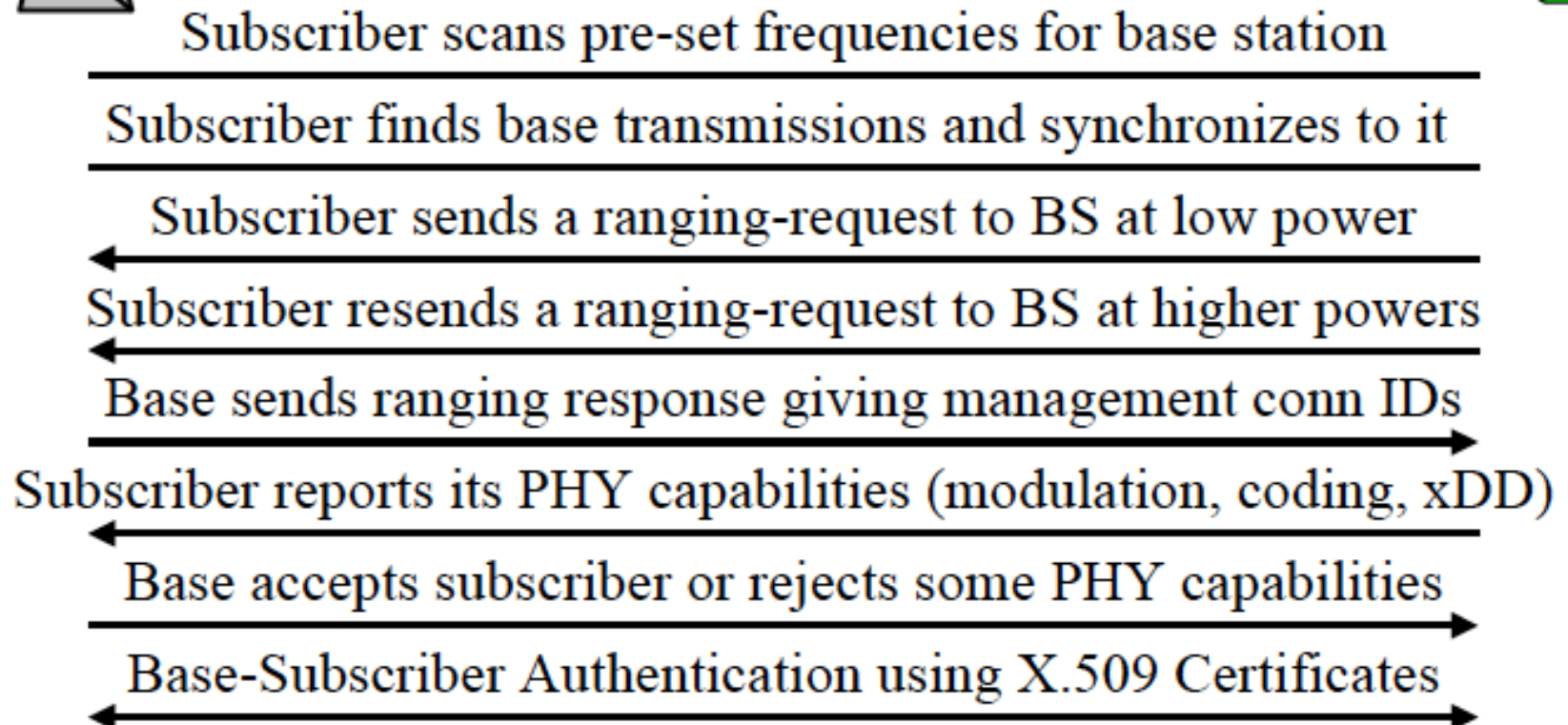
Scheduling and Link Adaptation

- ◆ Scheduling:
 - Base schedules usage of the air link among the subscribers
 - Packet schedulers at the base and subscribers give transmission opportunities to multiple connection queues
- ◆ Link Adaptation
 - Base determines the contents of the DL and UL portions of each frame
 - Base determines the appropriate burst profile (code rate, modulation level and so on) for each subscriber
 - Base determines the bandwidth requirements of the individual subscribers based on the service classes of the connections and on the status of the traffic queues at the base and subscriber.

WiMAX και παροχή υπηρεσιών

- ◆ Οι υπηρεσίες που περιγράφονται στο πρότυπο είναι οι εξής:
 - Unsolicited Grant Service (UGS): για πακέτα πραγματικού χρόνου και σταθερού μεγέθους που μεταδίδονται σε περιοδικά διαστήματα. Είναι αντίστοιχο της T1 μετάδοσης.
 - Extended Real-time Polling Service (ertPS): για ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου που δημιουργούν δεδομένα μεταβλητού μεγέθους σε περιοδική βάση. Αυτή η υπηρεσία είναι κατάλληλη για εφαρμογές μετάδοσης φωνής πάνω από IP δίκτυα (VoIP).
 - Real-time Polling Service (rtPS): αντίστοιχο με το UGS, με τη διαφορά ότι τα πακέτα δεδομένων είναι μεταβλητού μεγέθους. Είναι κατάλληλη για εφαρμογές video.
 - Non-real-time Polling Service (nrtPS): για ροές δεδομένων μεταβλητού μεγέθους που είναι ανθεκτικές στην καθυστέρηση, αλλά απαιτείται ελάχιστη ταχύτητα μετάδοσης. Είναι κατάλληλη για εφαρμογές τύπου FTP με εγγυημένη ταχύτητα μετάδοσης.
 - Best Effort (BE): για ροές δεδομένων που είναι ανθεκτικές στην καθυστέρηση και δεν απαιτούν οποιαδήποτε εγγύηση στην ταχύτητα μετάδοσης. Παράδειγμα εφαρμογής είναι το HTTP.

Subscriber Initialization



WiMAX MAC Layer – Στόχος κατά τη σχεδίαση

- ◆ Αποφυγή των βασικότερων μειονεκτημάτων του αντίστοιχου MAC Layer των WLANs
- ◆ Στα WLANs, οι σταθμοί ανταγωνίζονται μεταξύ τους για το ποιος θα έχει πρόσβαση στο μέσο για να μεταδώσει τα δεδομένα
- ◆ Ευνοούνται οι σταθμοί που βρίσκονται κοντά στο Access Point, οι οποίοι μπορεί να διακόπτουν διαρκώς τη μετάδοση των πιο απομακρυσμένων – από το Access Point – σταθμών
- ◆ Η παροχή ευαίσθητων - σε QoS - υπηρεσιών (π.χ. VoIP, IPTV) περιορίζεται από τον αριθμό των χρηστών στο WLAN ενώ από έναν αριθμό χρηστών και άνω, είναι αδύνατη η παροχή τέτοιου είδους υπηρεσιών
- ◆ Παροχή υψηλών ρυθμών δεδομένων με δεδομένο SLA (Service Level Agreement)
- ◆ Παροχή υπηρεσιών πραγματικού χρόνου, οι οποίες είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση και στη διακύμανση της καθυστέρησης (jitter)

WiMAX MAC Layer

- ◆ Το WiMAX υλοποιεί σε επίπεδο MAC έναν scheduling algorithm για τον τρόπο ανταγωνισμού μεταξύ των σταθμών μόνο μία φορά
- ◆ Δηλ. στην αρχή, για την πιθανή ταυτόχρονη εισαγωγή 2 ή περισσότερων σταθμών στο δίκτυο
- ◆ Εφόσον ο χρήστης εισαχθεί στο δίκτυο, η πρόσβαση στο μέσο γίνεται βάσει TDMA
- ◆ Γίνεται δηλ. ανάθεση μίας “μεταβλητής” χρονοθυρίδας ανά χρήστη
- ◆ Η χρονοθυρίδα μπορεί να μεγαλώσει ή να μικρύνει σε διάρκεια (virtually)
- ◆ Ουσιαστικά γίνεται ανάθεση περισσότερων της μίας “σταθερών” χρονοθυρίδων/χρήστη
- ◆ Σίγουρα όμως ο κάθε χρήστης έχει ένα minimum timeslot/frame
- ◆ Ο διαμοιρασμός των χρονοθυρίδων γίνεται από τον Σταθμό Βάσης, ο οποίος βάσει του scheduling algorithm μοιράζει χρονοθυρίδες στους χρήστες βάσει των υπερκείμενων προσφερόμενων υπηρεσιών
- ◆ Απαιτητικές σε εύρος ζώνης και QoS υπηρεσίες και περισσότερες χρονοθυρίδες

Υποπρότυπα IEEE 802.16

- ◆ **IEEE 802.16a**: Επέκταση του προτύπου στη ζώνη 2-11 GHz. Υποστήριξη συνδέσεων NLOS. Υποστηρίζεται από τα πρώτα προϊόντα WiMAX τα οποία είναι σήμερα διαθέσιμα στην αγορά.
- ◆ **IEEE 802.16c**: Καλύπτει τη λειτουργία του προτύπου στη ζώνη συχνοτήτων 10-66 GHz σε συνθήκες LOS.
- ◆ **IEEE 802.16d**: Προσανατολισμένο στην παροχή QoS.
- ◆ **IEEE 802.16-2004**: Ένωση των 802.16a, 802.16c, 802.16d.
- ◆ **IEEE 802.16e**: Mobile WiMAX

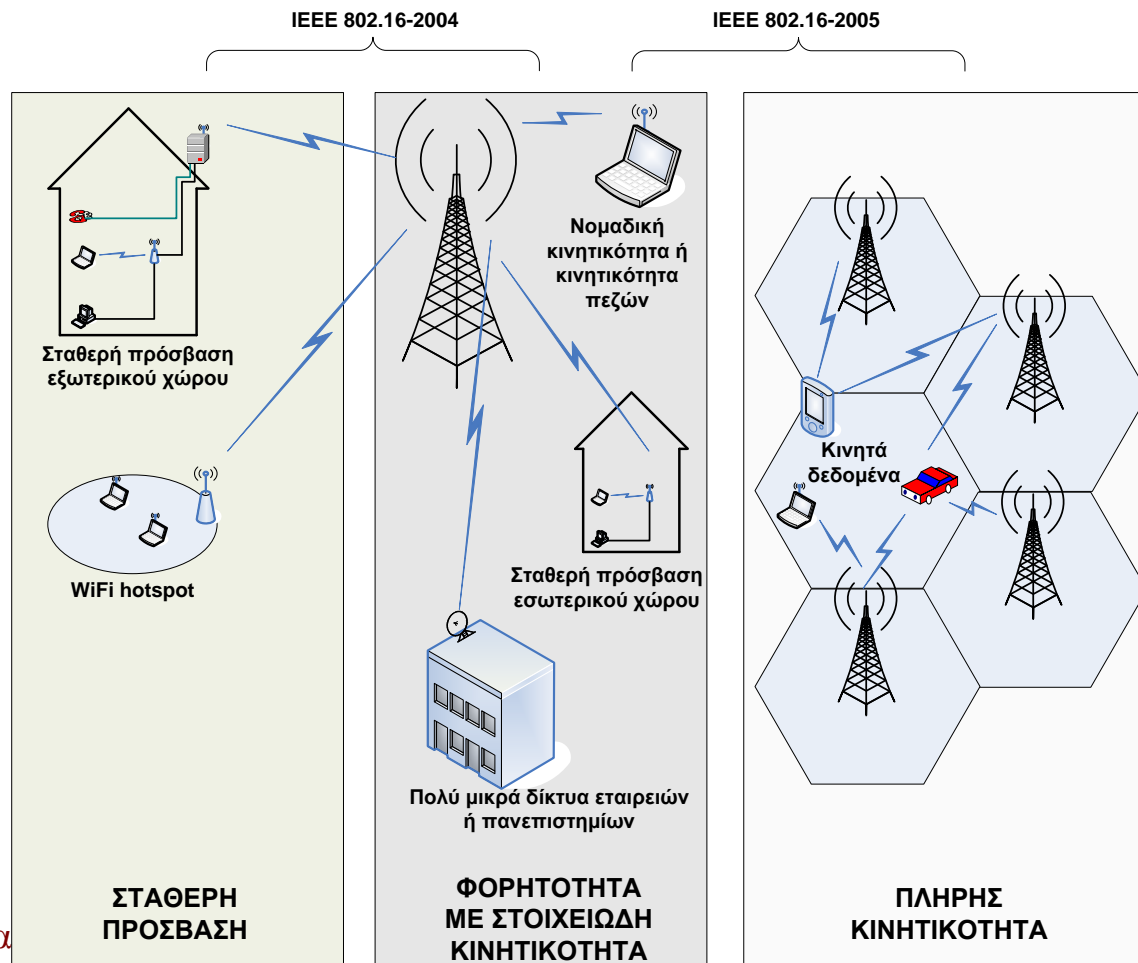
Υποπρότυπο IEEE 802.16-2004

- ◆ Η ένωση των υποπροτύπων IEEE 802.16a και IEEE 802.16d
- ◆ Δεν υποστηρίζεται κινητικότητα χρηστών (IEEE 802.16a)
- ◆ Υποστήριξη κινητικότητας εντός του Σταθμού Βάσης (IEEE 802.16d)
- ◆ Δεν υποστηρίζεται διαπομπή (handover) μεταξύ Σταθμών Βάσεων (δεδομένου ότι οι χρήστες δεν μετακινούνται)
- ◆ OFDM σε φυσικό επίπεδο
- ◆ Όλα τα υποκανάλια ανατίθενται σε έναν χρήστη

Υποπρότυπο IEEE 802.16-2005

- ◆ Η ένωση των υποπροτύπων IEEE 802.16d και IEEE 802.16e
- ◆ Υποστήριξη κινητικότητας εντός του Σταθμού Βάσης (IEEE 802.16d)
- ◆ Δεν υποστηρίζεται διαπομπή (handover) μεταξύ Σταθμών Βάσεων (δεδομένου ότι οι χρήστες δεν μετακινούνται εκτός εμβέλειας του Σταθμού Βάσης)
- ◆ Υποστηρίζεται κινητικότητα χρηστών (IEEE 802.16e)
- ◆ Υποστηρίζεται διαπομπή (handover) μεταξύ Σταθμών Βάσεων (δεδομένου ότι οι χρήστες μετακινούνται)
- ◆ OFDMA σε φυσικό επίπεδο
- ◆ Τα υποκανάλια δεν ανατίθενται όλα σε έναν χρήστη, αλλά μοιράζονται σε περισσότερους χρήστες

Πρότυπο IEEE 802.16



Χαρακτηριστικά του φυσικού επιπέδου του IEEE 802.16a

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
FFT OFDM με 256 φέρουσες	<ul style="list-style-type: none">Υποστήριξη LOS και NLOS επικοινωνίας
Προσαρμοστική διαμόρφωση (Adaptive Modulation) και χρήση κωδικοποίησης για διόρθωση σφαλμάτων	<ul style="list-style-type: none">Αποτελεσματικές ζεύξεις και βέλτιστος αριθμός bits/sec για κάθε πελάτη
TDD και FDD υποστήριξη	<ul style="list-style-type: none">Ικανοποιητική διαχείριση φάσματος παγκοσμίως
Ευέλικτο εύρος ζώνης καναλιού (π.χ 3.5MHz, 5MHz, 10MHz, κ.τ.λ.)	<ul style="list-style-type: none">Παρέχεται η απαραίτητη ευελιξία λειτουργίας σε πολλές ζώνες συχνοτήτων ανάλογα με τους κανονισμούς παγκοσμίως
Υποστήριξη έξυπνων κεραιών	<ul style="list-style-type: none">Η ικανότητα των έξυπνων κεραιών να αποσιωπούν τις παρεμβολές εξασφαλίζει υψηλό κέρδος ισχύος

Mobile WiMAX - IEEE 802.16e

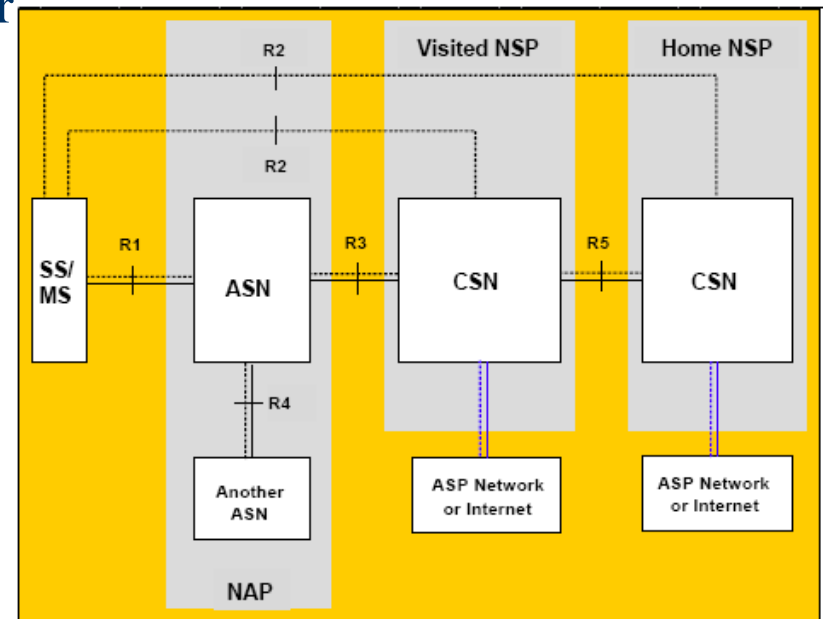
- ◆ Λειτουργεί σε συχνότητες μικρότερες των 6GHz.
- ◆ Εξυπηρέτηση του δέκτη ακόμα και σε ταχύτητες που προσεγγίζουν τα 120Km/h.
- ◆ Ρυθμοί μετάδοσης μέχρι και 5Mbps.

Mobile WiMAX - IEEE 802.16e

- ◆ Tolerance to Multipath and Self-Interference
- ◆ Scalable Channel Bandwidth
- ◆ Orthogonal Uplink Multiple Access
- ◆ Support for Spectrally-Efficient TDD
- ◆ Frequency-Selective Scheduling
- ◆ Fractional Frequency Reuse
- ◆ Fine Quality of Service (QoS)
- ◆ Advanced Antenna Technology

Reference Model

- ◆ ASN = Access Service Network
- ◆ CSN = Connectivity Service Network
- ◆ NSP = Network Service Provider
- ◆ ASP = Application Service Provider
- ◆ NAP = Network Access Provider



Physical Layer description

- ◆ The Mobile Interface adopts Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) for improved multi-path performance in non-line-of-sight environments.
- ◆ Scalable OFDMA (SOFDMA) is introduced in the IEEE 802.16e Amendment to support scalable channel bandwidths from 1.25 to 20 MHz.
- ◆ The scalability is supported by adjusting the FFT size while fixing the sub-carrier frequency spacing at 10.94 kHz.
- ◆ Since the resource unit sub-carrier bandwidth and symbol duration is fixed, the impact to higher layers is minimal when scaling the bandwidth.
- ◆ 802.16e systems offer scalability in both radio access technology and network architecture, thus providing a great deal of flexibility in network deployment options and service offerings.
- ◆ 802.16e supports TDD and Full and Half-Duplex FDD operation.

Advanced features in 802.16e

- ◆ High Data Rates: The inclusion of MIMO antenna techniques along with flexible sub-channelization schemes, Advanced Coding and Modulation all enable the 802.16e technology to support in a 10 MHz channel:
 - peak DL data rates up to 63 Mbps per sector and
 - peak UL data rates up to 28 Mbps per sector
- ◆ Adaptive modulation and coding (AMC)
- ◆ Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ)
- ◆ Fast Channel Feedback (CQICH)

SOFDMA and 802.16e specs

◆ SOFDMA

Parameters	Values			
System Channel Bandwidth (MHz)	1.25	5	10	20
Sampling Frequency (F_s in MHz)	1.4	5.6	11.2	22.4
FFT Size (N_{FFT})	128	512	1024	2048
Number of Sub-Channels	2	8	16	32
Sub-Carrier Frequency Spacing	10.94 kHz			
Useful Symbol Time ($T_b = 1/f$)	91.4 microseconds			

◆ Data Rates

Parameter	Downlink	Uplink	Downlink	Uplink	
System Bandwidth	5 MHz		10 MHz		
FFT Size	512		1024		
Null Sub-Carriers	92	104	184	184	
Pilot Sub-Carriers	60	136	120	280	
Data Sub-Carriers	360	272	720	560	
Sub-Channels	15	17	30	35	
Symbol Period, T_s	102.9 microseconds				
Frame Duration	5 milliseconds				
OFDM Symbols/Frame	48				
Data OFDM Symbols	44				
Mod.	Code Rate	5 MHz Channel		10 MHz Channel	
		Downlink Rate, Mbps	Uplink Rate, Mbps	Downlink Rate, Mbps	Uplink Rate, Mbps
QPSK	1/2 CTC, 6x	0.53	0.38	1.06	0.78
	1/2 CTC, 4x	0.79	0.57	1.58	1.18
	1/2 CTC, 2x	1.58	1.14	3.17	2.35
	1/2 CTC, 1x	3.17	2.28	6.34	4.70
	3/4 CTC	4.75	3.43	9.50	7.06
16QAM	1/2 CTC	6.34	4.57	12.67	9.41
	3/4 CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
64QAM	1/2 CTC	9.50	6.85	19.01	14.11
	2/3 CTC	12.67	9.14	25.34	18.82
	3/4 CTC	14.26	10.28	28.51	21.17
	5/6 CTC	15.84	11.42	31.68	23.52

Advanced Features of Mobile WiMAX

- ◆ Smart antenna technologies
 - OFDMA allows smart antenna operations to be performed on vector-flat sub-carriers.
 - Mobile WiMAX supports a full range of smart antenna technologies to enhance system performance.
- ◆ Beamforming
 - better coverage and capacity and reduce outage probability
- ◆ Space-Time Code (STC)
 - transmit diversity codes are used to provide spatial diversity and reduce fade margin

Advanced Features of Mobile WiMAX

- ◆ Spatial Multiplexing (SM)
 - advantage of higher peak rates
 - increases throughput
- ◆ Fractional Frequency Reuse
 - all cells/sectors operate on the same frequency channel to maximize spectral efficiency.
 - users operate on subchannels, which only occupy a small fraction of the whole channel bandwidth
 - the flexible sub-channel reuse is facilitated by sub-channel segmentation and permutation zone
- ◆ Multicast and Broadcast Service (MBS)
 - combines the best features of DVB-H, Media FLO and 3GPP, E-UTRA

802.16e System Parameters

Parameters	Value
Number of 3-Sector Cells	19
Operating Frequency	2500 MHz
Duplex	TDD
Channel Bandwidth	10 MHz
BS-to-BS Distance	2.8 kilometers
Minimum Mobile-to-BS Distance	36 meters
Antenna Pattern	70° (-3 dB) with 20 dB front-to-back ratio
BS Height	32 meters
Mobile Terminal Height	1.5 meters
BS Antenna Gain	15 dBi
MS Antenna Gain	-1 dBi
BS Maximum Power Amplifier Power	43 dBm
Mobile Terminal Maximum PA Power	23 dBm
# of BS Tx/Rx Antenna	Tx: 2 or 4; Rx: 2 or 4
# of MS Tx/Rx Antenna	Tx: 1; Rx: 2
BS Noise Figure	4 dB
MS Noise Figure	7 dB

IEEE 802.11 vs 802.16

	802.11	802.16
Application	In-Building, Enterprise	Service providers => Carrier Class
Range	Optimized for 100m	Optimized for 7-10 km Up to 50 km
Range Spread	No near-far compensation	Handles users spread out over several kms
# Users	10's of users	Thousands of users
Coverage	Optimized for indoor	Optimized for outdoor. Adaptive modulation. Advanced Antenna
Bands	License exempt	License and license exempt bands Allows Cell Planning
Channels	Fixed 20 MHz Channel	1.5 MHz to 20 MHz Channels Size chosen by operator
Spectral Efficiency	2.7 bps/Hz => 54 Mbps in 20 MHz	3.8 bps/Hz => 75 Mbps in 20 MHz 5 bps/Hz => 100 Mbps in 20 MHz
Delay Spread	Designed to handle indoor multipath Delay spread of 0.8 \ms	Designed for longer multipaths. Multipath delay spread of 10\ms.
Duplexing	TDD only - Asymmetric	TDD/FDD/HFDD - Symmetric or asymmetric
MAC	Contention based. Distributed control.	Grant based. Centralized control.
QoS	No delay or throughput guarantees	Guarantees QoS
User Differentiation	All users receive same service	Different users can have different levels of service. T1 for businesses. Best effort for residential.
Security	WEP, WPA, WPA2	128-bit 3DES and 1024-bit RSA

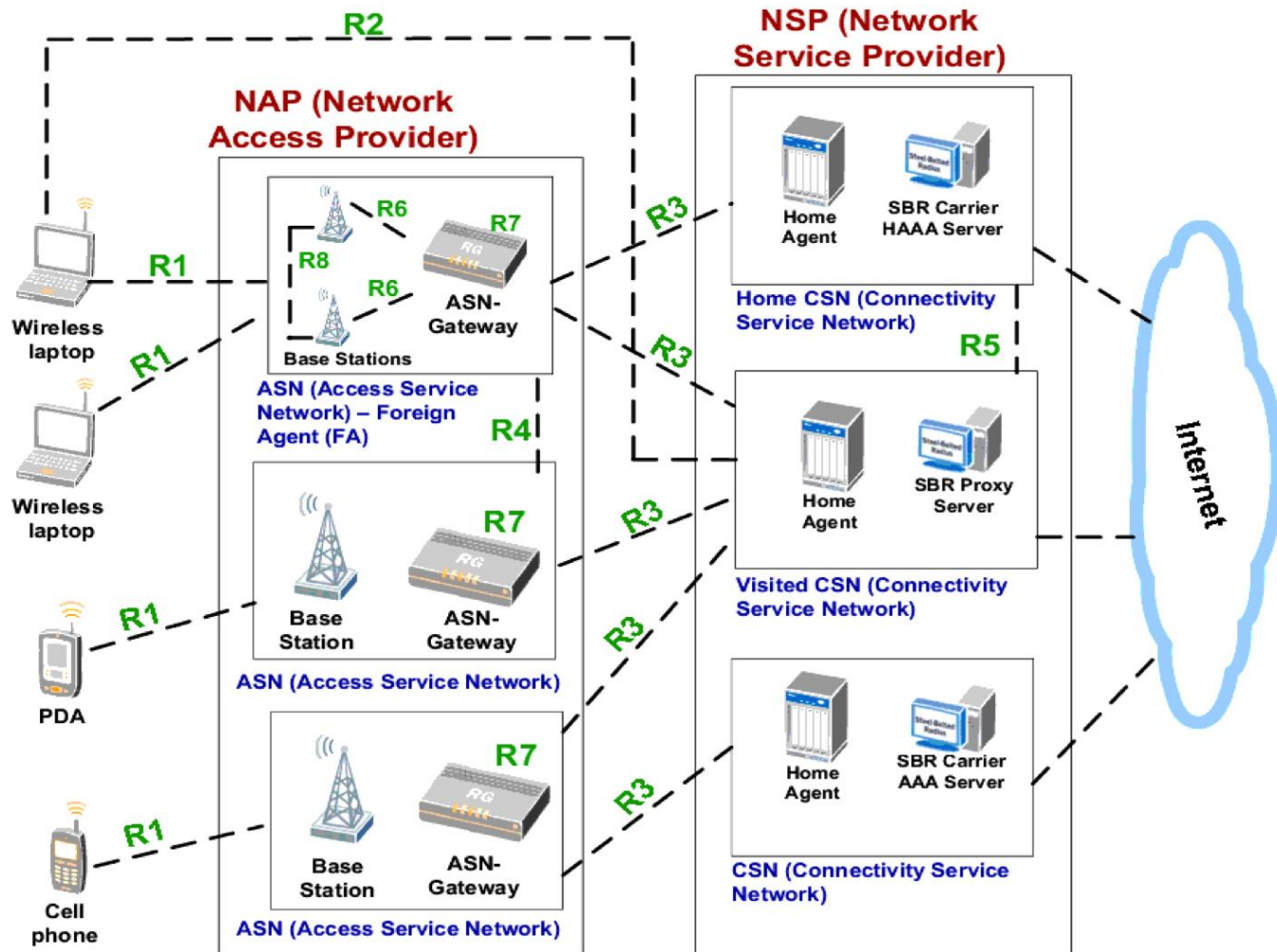
IEEE 802.16m – Στόχοι

- ◆ Η πρόταση της IEEE για 4G πρωτόκολλο: 802.16m (WiMAX II)
- ◆ Το 802.16m ικανοποιεί τις απαιτήσεις του IMT-Advanced και επιπλέον συμβατότητα με OFDMA συστήματα (WiMAX). Η εμβέλειά του προβλέπεται να είναι μέχρι 50 km.
- ◆ Το αποτέλεσμα θα είναι ένα πρωτόκολλο που υποστηρίζει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης σε εμβέλεια 3G, ακόμα και σε μεγάλη κινητικότητα!

Αρχιτεκτονική δικτύου - Ορισμοί

- ◆ Κινητοί σταθμοί: κινητές συσκευές χρηστών (pda, κινητά τηλέφωνα).
- ◆ Πάροχος πρόσβασης δικτύου (Network Access Provider): Παρέχει τις λειτουργίες ασύρματης πρόσβασης, όπως σύνδεση, διαπομπή (handover), και είναι υπεύθυνο για τις πολιτικές ποιότητας υπηρεσιών. Λειτουργεί ως μεσάζων του παρόχου υπηρεσιών δικτύου (ή και πολλών).
- ◆ Πάροχος υπηρεσιών δικτύου (Network Service Provider): Παρέχει τις υπηρεσίες συνδεσιμότητας IP, διαχείριση ασφάλειας (AAA servers) και πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Αρχιτεκτονική δικτύου

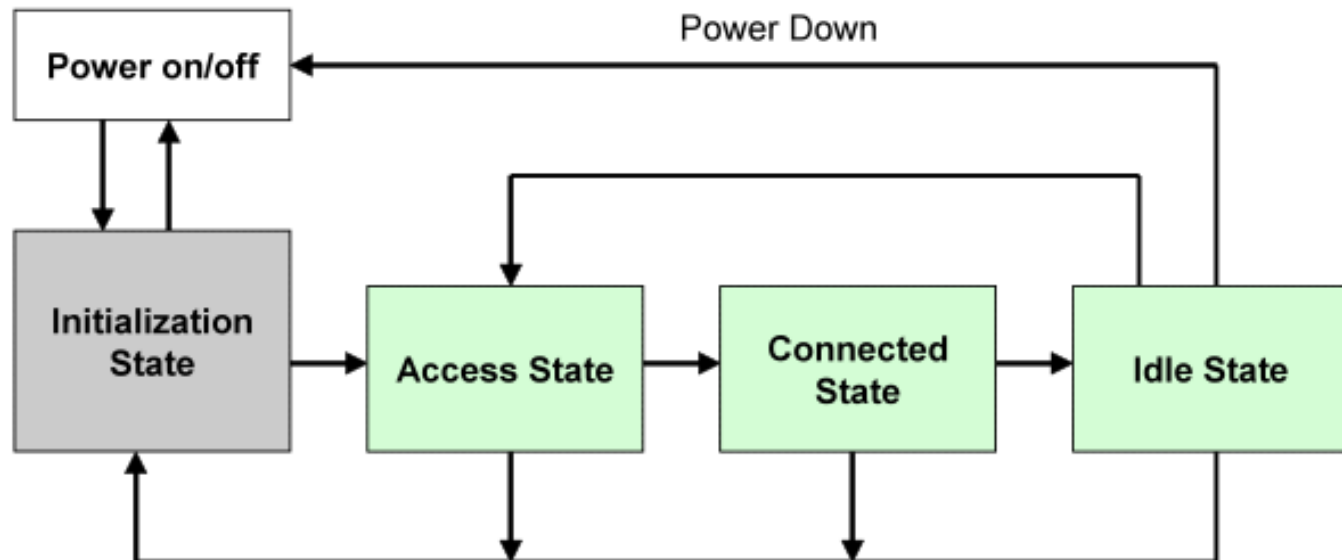


Αρχιτεκτονική δικτύου

- ◆ Είναι δυνατή η χρήση σταθμών αναμετάδοσης για διεύρυνση της εμβέλειας.
- ◆ Χρησιμοποιούνται οι ήδη υπάρχοντες σταθμοί αναμετάδοσης του IEEE 802.16e για τις συσκευές του αντίστοιχου πρωτοκόλλου.
- ◆ Οι σταθμοί αναμετάδοσης του IEEE 802.16m όμως μπορούν και αυτοί να αναμεταδώσουν σε 802.16e συσκευές. Το αντίστροφο δεν γίνεται.

Καταστάσεις κινητού σταθμού

- ◆ Ένας κινητός σταθμός είναι σε μία από τις παραπάνω καταστάσεις.
- ◆ Initialization state: σάρωση και επιλογή κελιού, συγχρονισμός DL με σταθμό βάσης
- ◆ Access state: συγχρονισμός UL, αυθεντικοποίηση



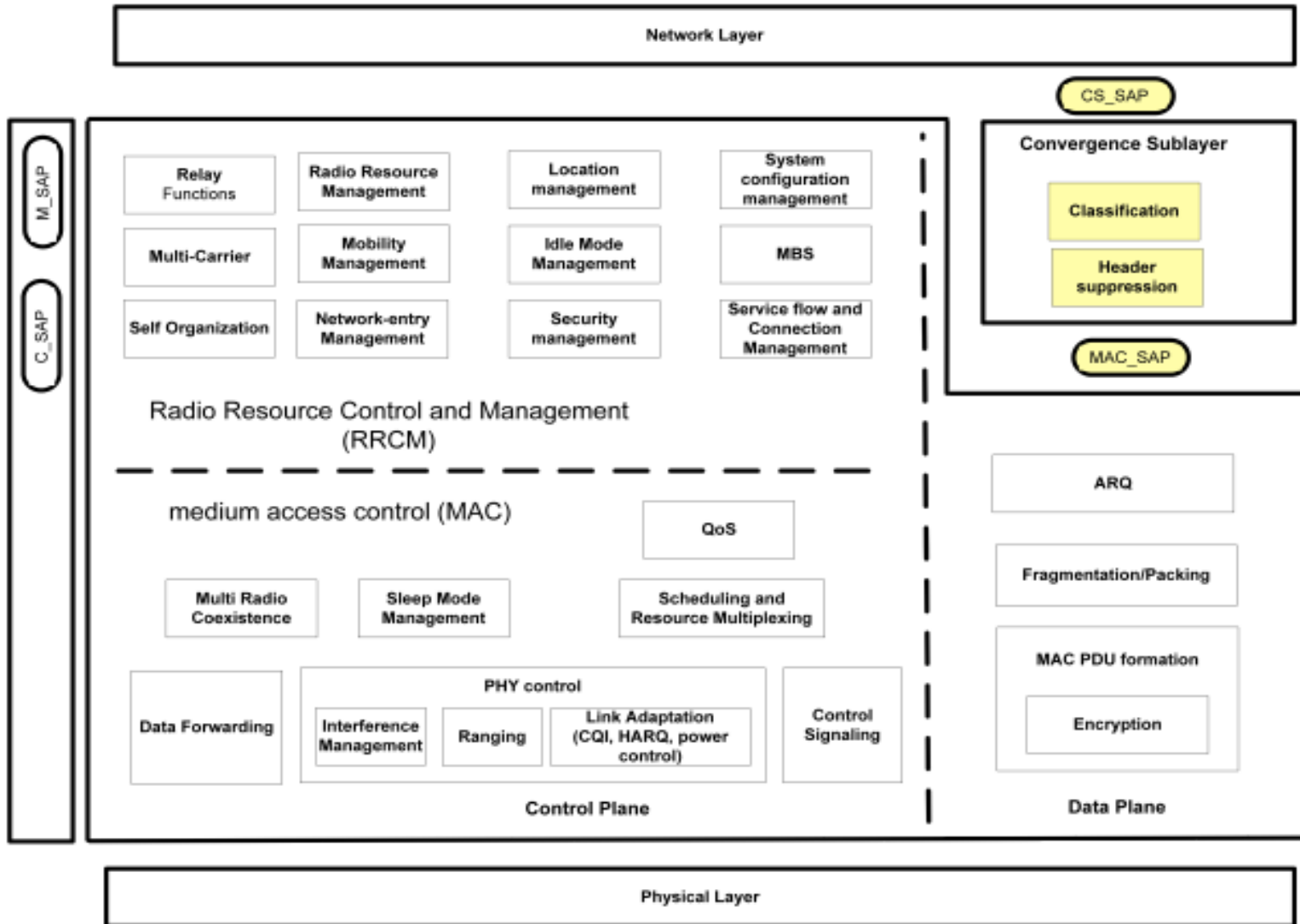
Καταστάσεις κινητού σταθμού

- ◆ Connected state: sleep mode, active mode, scanning mode
 - sleep mode: μείωση πόρων, εξοικονόμηση ενέργειας και εύρους ζώνης
 - scanning mode: εκτέλεση μετρήσεων που θέτει ο σταθμός βάσης.
- ◆ Idle state: εξοικονόμηση ενέργειας
- ◆ Οι μεταβάσεις και ενημερώσεις καταστάσεων του κινητού σταθμού γίνονται με αποστολή μηνυμάτων MAC μηνυμάτων.

Ζώνες συχνοτήτων

- ◆ Τα συστήματα IEEE 802.16m λειτουργούν σε αδειοδοτημένο φάσμα. Μέχρι στιγμής έχουν καθοριστεί οι παρακάτω συχνότητες:
 - 450-470 MHz
 - 698-960 MHz
 - 1710-2025 MHz
 - 2110-2200 MHz
 - 2300-2400 MHz
 - 2500-2690 MHz
 - 3400-3600 MHz

Δομή πρωτοκόλλου



Δομή πρωτοκόλλου

- ◆ Το στρώμα MAC χωρίζεται σε υπόστρωμα σύγκλισης και κοινού μέρους.
 - Το υπόστρωμα σύγκλισης αποτελεί την «Γέφυρα» μεταξύ του στρώματος MAC με τα ανώτερα επίπεδα.
 - Το στρώμα κοινού μέρους περιλαμβάνει 2 ομάδες λειτουργιών του στρώματος MAC
- ◆ Radio Resource Control and Management: διαχείριση πόρων και διαφόρων λειτουργιών του στρώματος.
- ◆ MAC: περιλαμβάνει λειτουργικά τμήματα που σχετίζονται με το στρώμα PHY και τον έλεγχο της σύνδεσης.

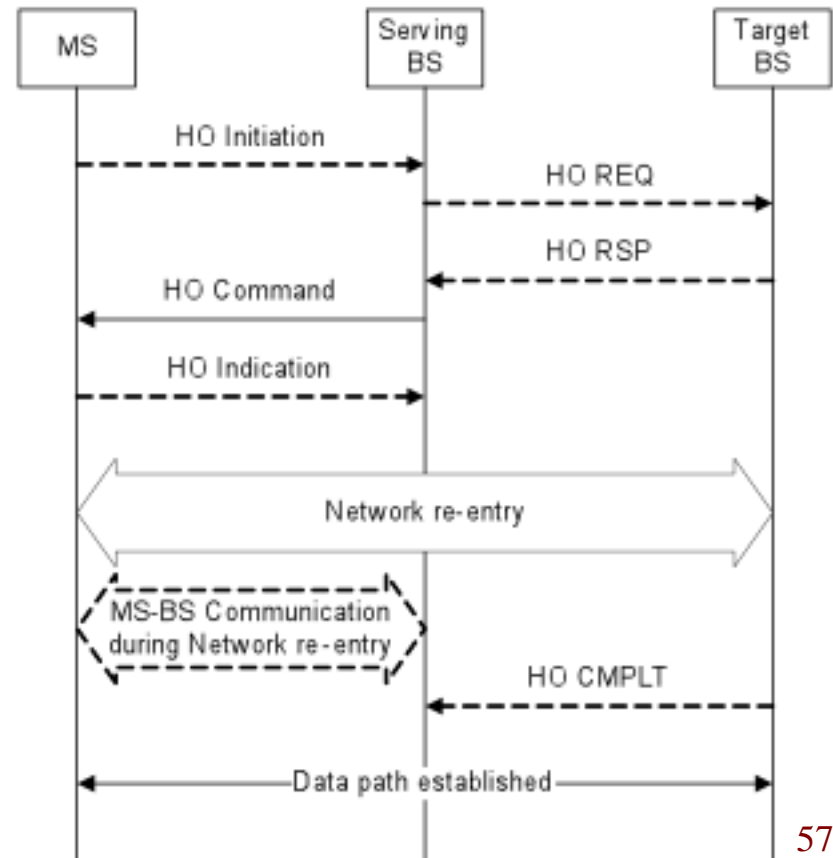
Το στρώμα MAC

- ◆ Διευθυνσιοδότηση: Κάθε σταθμός χρησιμοποιεί καθολική (Extended unique identifier) και λογική ταυτότητα (Station Identifier και Flow Identifier).
 - Ο SI καθορίζει τον κινητό σταθμό στο domain ενώ ο FI την σύνδεση.
- ◆ HARQ: Εξέλιξη του ARQ. Μέθοδος ελέγχου σφαλμάτων χωρίς την ανάγκη επαναποστολής κάποιων πακέτων, αλλά με χρήση Forward Error Correction bits που επιτρέπουν στον παραλήπτη να διορθώσει τυχόν σφάλματα μέσα σε ορισμένα πλαίσια.
 - DL: Adaptive asynchronous HARQ – Η κατανομή πόρων και η διαμόρφωση μετάδοσης για τις αναμεταδόσεις HARQ μπορούν να διαφέρουν από την αρχική μετάδοση, ενώ οι διεργασίες HARQ μεταδίδονται σε οποιαδήποτε στιγμή, και όχι σε προκαθορισμένες χρονικές στιγμές.
 - UL: Non-adaptive synchronous HARQ – Σταθερή κατανομή πόρων αναμεταδόσεων
- ◆ Εάν το HARQ αποτύχει, το τμήμα ARQ αναλαμβάνει την ανατμηματοποίηση και αναμετάδοση των blocks που απέτυχαν να σταλούν με την μέθοδο HARQ.

Το στρώμα MAC

◆ Διαπομπή: Μπορεί να γίνει μεταξύ:

- Σταθμών βάσης 802.16e
- ΣΒ 802.16m - ΣΒ 802.16e
- ΣΒ 802.16e - ΣΒ 802.16m
- ΣΒ 802.16m - ΣΒ 802.16m



Το στρώμα MAC

- ◆ Διαχείριση ενέργειας: λειτουργία ύπνου, λειτουργία αδράνειας.
 - Λειτουργία ύπνου: Διαχωρισμός σε παράθυρα ακρόασης για μηνύματα ελέγχου και παράθυρα ύπνου. Δυναμικός καθορισμός διάρκειας παραθύρων, ανάλογα με HARQ και συχνότητα μετάδοσης δεδομένων
 - Λειτουργία αδράνειας: Ο κινητός σταθμός καταναλώνει αρκετή ενέργεια για να είναι διαθέσιμος σε μηνύματα broadcast/multicast.

Το στρώμα MAC

Ασφάλεια: Ιδιωτικότητα, αυθεντικοποίηση και εμπιστευτικότητα.

Εφαρμογή κρυπτογραφικών μετατροπών στις MAC μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλων που μεταφέρονται στις συνδέσεις μεταξύ κινητού σταθμού και σταθμού βάσης

- ◆ Η αρχιτεκτονική ασφαλείας διαιρείται σε 2 λογικές οντότητες:
- Οντότητα διαχείριση ασφάλειας
 - Καθολική διαχείριση και ελέγχου ασφάλειας
 - EAP encapsulation/decapsulation για αυθεντικοποίηση
 - Έλεγχος PKM (Private Key Management), όπως δημιουργία, παραγωγή και διανομή κλειδιών, και διαχείριση κατάστασης κλειδιού
 - Έλεγχος αυθεντικοποίησης και SA (Security Association)
 - Μυστικότητα τοποθεσίας
- Οντότητα κρυπτογράφησης και ακεραιότητας
 - Διεργασία κρυπτογράφησης/αυθεντικοποίησης δεδομένων
 - Διεργασία αυθεντικοποίησης μηνυμάτων διαχείρισης
 - Διεργασία εμπιστευτικότητας μηνυμάτων διαχείρισης

Το στρώμα MAC

Είσοδος στο δίκτυο

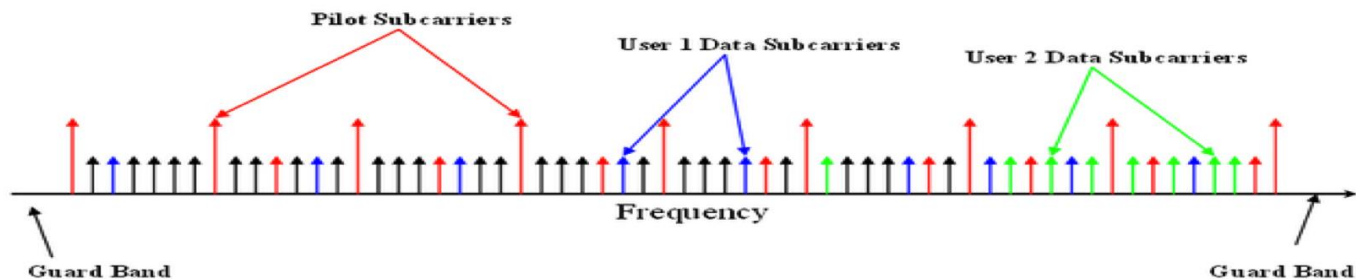
- ◆ Ο κινητός σταθμός συγχρονίζεται με τον σταθμό βάσης με προηγμένο προοίμιο.
- ◆ Ο κινητός σταθμός αποκτά αναγκαίες πληροφορίες, όπως το ID του σταθμού βάσης, το ID του NSP, για αρχική είσοδο στο δίκτυο, και εκτελεί την διαδικασία επιλογής δικτύου.
- ◆ Ο κινητός σταθμός αρχίζει την διαδικασία εύρεσης απόστασης.
- ◆ Γίνεται συμφωνία για τον τρόπο αυθεντικοποίησης.
- ◆ Αυθεντικοποίηση.
- ◆ Καθορισμός ικανότητας συναλλαγών και καταχώρηση.
- ◆ Ο κινητός σταθμός εισέρχεται στο Advanced WirelessMAN-OFDMA δίκτυο και εγκαθιστά ροές υπηρεσιών.

Το στρώμα MAC

- ◆ QoS: Το IEEE 802.16m υποστηρίζει προσαρμογή παραμέτρων QoS των ροών υπηρεσιών. Ο σταθμός βάσης αλλάζει τις παραμέτρους αυθαίρετα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας δεδομένων.
- ◆ Παρέχει μια ειδική υπηρεσία χρονοπρογραμματισμού για την υποστήριξη real time, μη περιοδικών εφαρμογών (online gaming, tele-conference, high-definition media streaming)

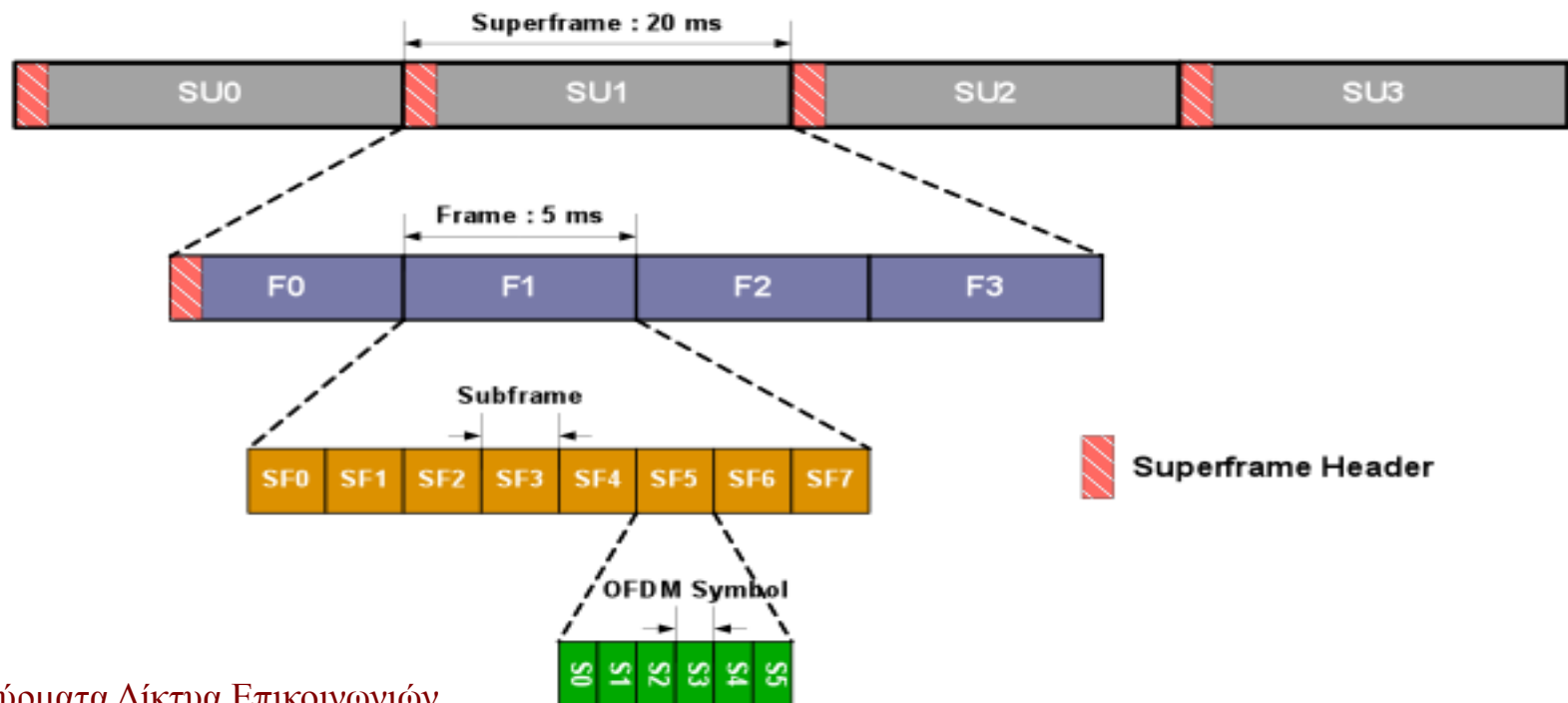
Το στρώμα PHY

- ◆ Υποστηρίζει TDD, FDD και H-FDD
- ◆ Διεπαφή Advanced OFDMA: Διαφορά με το OFDM η ικανότητα πρόσβασης πολλών χρηστών σε ένα κανάλι, που αποτελείται από ένα σύνολο υποφορέων, ίσης διαφοράς μεταξύ τους.
- ◆ Με αυτόν τον τρόπο, ένας σταθμός βάσης μπορεί να μεταδώσει σε υψηλότερη ενέργεια σε κινητούς σταθμούς με λιγότερη αναλογία σήματος/θορύβου και χαμηλότερη σε σταθμούς με μεγαλύτερη αναλογία σήματος/θορύβου.
- ◆ Επιτυγχάνεται επίσης εξοικονόμηση ενέργειας. Μπορεί ένας χρήστης να «ξοδέψει» ενέργεια μόνο σε ορισμένους υποφορείς ενός καναλιού.



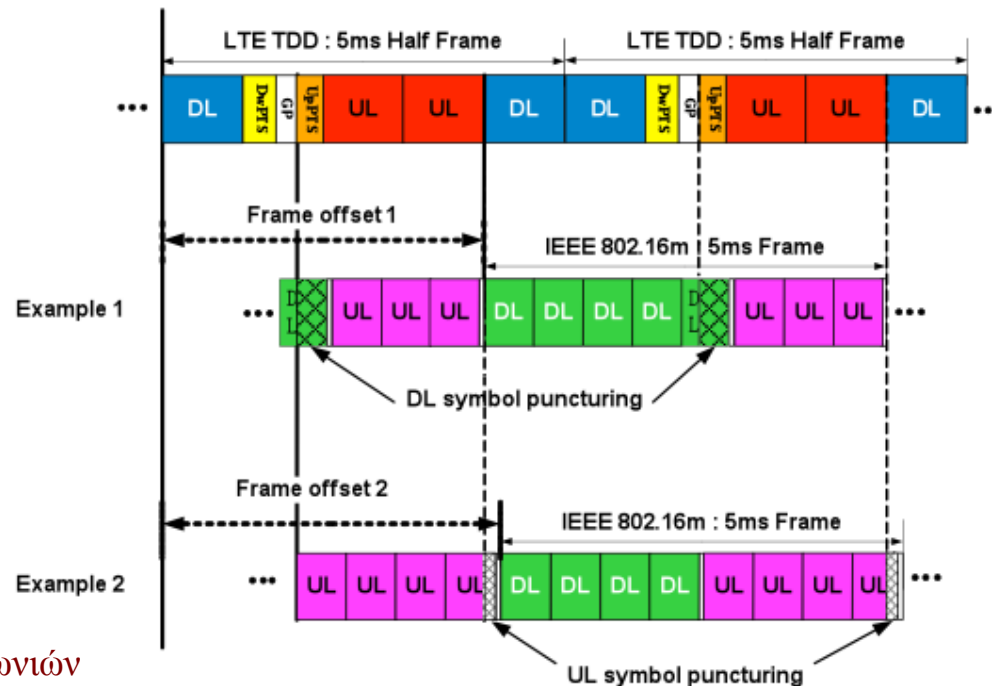
Το στρώμα PHY

Πλαίσιο: 4 τύποι υποπλαισίου: 5, 6, 7 και 8 σύμβολα OFDMA



Το στρώμα PHY

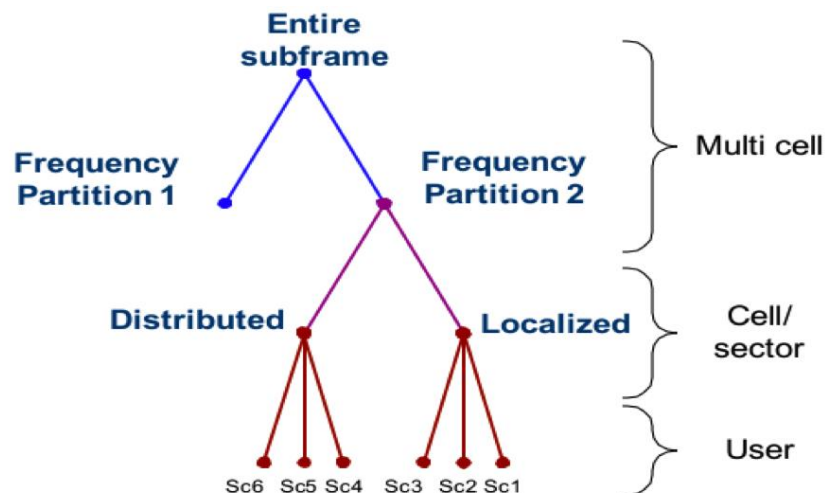
Το πλαίσιο του 802.16m μπορεί να συνυπάρξει με γειτονικό κανάλι LTE, με την εισαγωγή αδρανών συμβόλων, υποπλαισίων ή μιας καθυστέρησης έναρξης ανάμεσα στα 2 πλαίσια.



Το στρώμα PHY - DL

Φυσική δομή DL: Κάθε υποπλαίσιο DL χωρίζεται σε 4 ή λιγότερα διαμερίσματα συχνοτήτων.

Κάθε διαμέρισμα αποτελείται από ένα σύνολο μονάδων φυσικών πόρων δια μέσου του συνολικού αριθμού διαθέσιμων συμβόλων OFDMA μέσα στο υποπλαίσιο



Το στρώμα PHY - DL

Μονάδες πόρων:

Φυσική: κατανομή πόρων που περιλαμβάνει 18 διαδοχικούς υποφορείς από 5, 6, ή 7 σύμβολα.

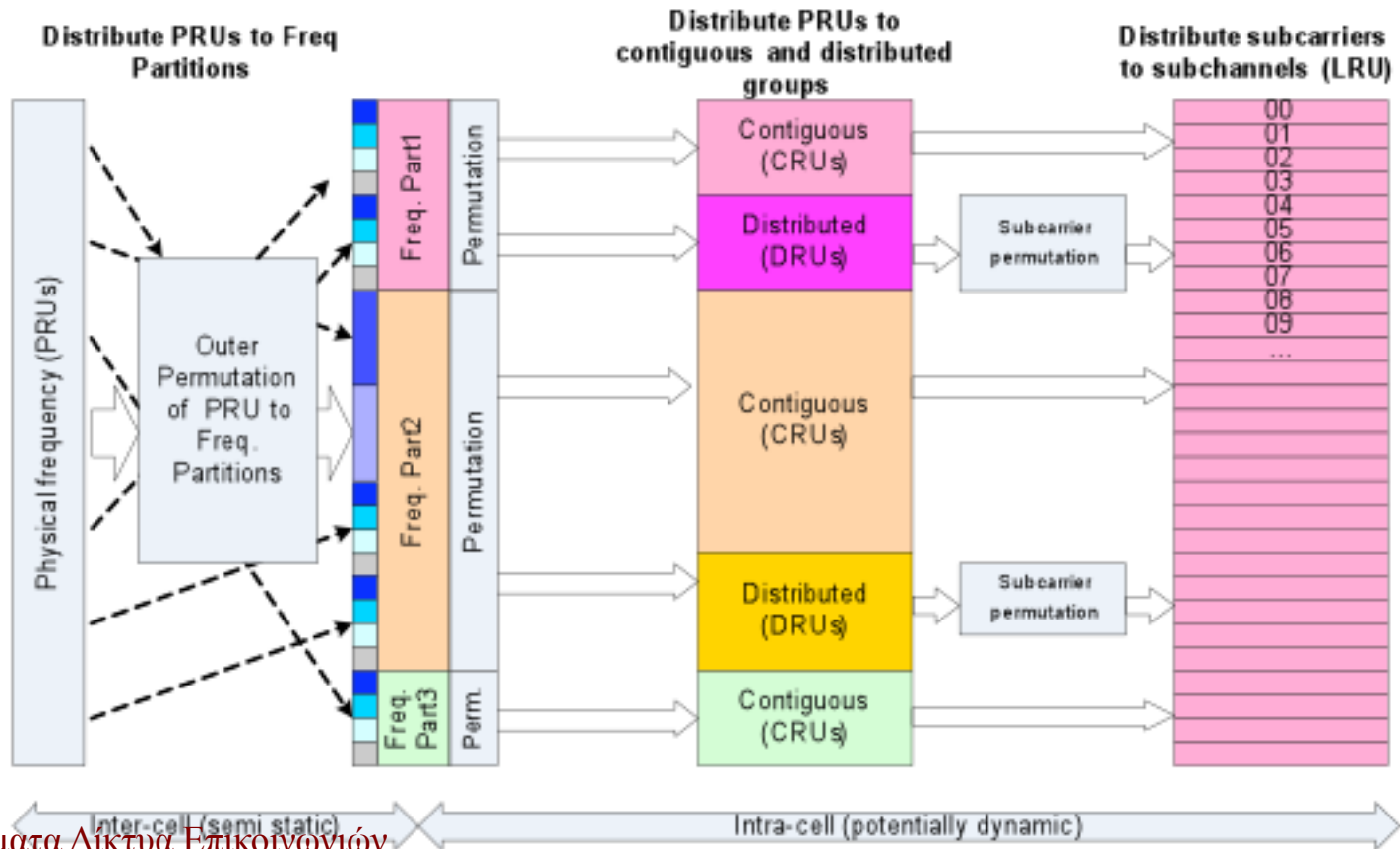
Λογική: τοπικές και διαμοιρασμένες κατανομές πόρων. Περιλαμβάνει τους πιλότους της φυσικής μονάδας

Μονάδα διαμοιρασμένων πόρων: αύξηση αναλογίας σήματος/παρεμβολής. Περιέχει υποφορείς που διασκορπίζονται σε ένα διαμέρισμα συχνοτήτων.

Μονάδα συνεχόμενων πόρων: frequency selective scheduling gain – κατανομή του καλύτερου μέρους φάσματος ανάλογα με τον χρήστη. Περιέχει συνεχόμενους υποφορείς σε ένα διαμέρισμα συχνοτήτων.

Το στρώμα PHY - DL

Χαρτογράφηση μονάδων πόρων στο DL

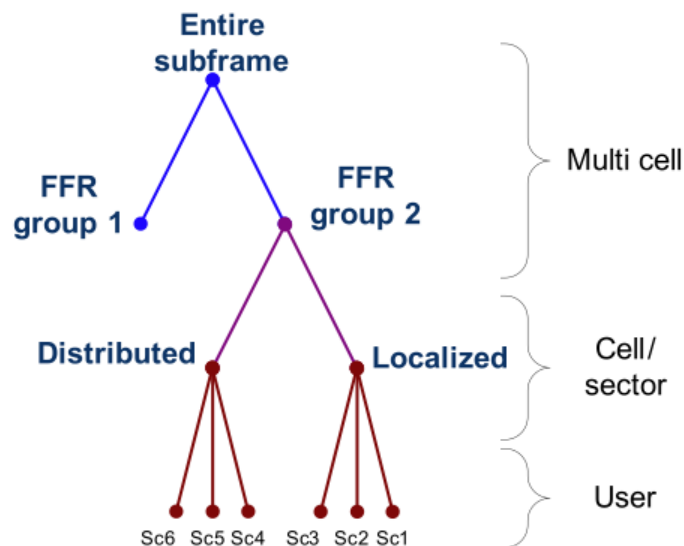


Το στρώμα PHY - DL

- ◆ Υποφορείς-πιλότοι: Απαραίτητοι για μετρήσεις ποιότητας καναλιού
- ◆ Υπάρχουν απλές και ειδικές δομές πιλότων, ώστε να υπάρχει βελτιστοποίηση της επίδοσης συστήματος σε διαφορετικά περιβάλλοντα διάδοσης και εφαρμογές.
- ◆ Οι απλοί χρησιμοποιούνται από όλους τους κινητούς σταθμούς, ενώ οι ειδικοί σε τοπικές και διαμοιρασμένες κατανομές.
- ◆ Τα πρότυπα πιλότων καθορίζονται μέσα σε μια φυσική μονάδα πόρων.

Το στρώμα PHY - DL

- ◆ Φυσική δομή UL: Κάθε υποπλαίσιο DL χωρίζεται σε 4 ή λιγότερα διαμερίσματα συχνοτήτων.
- ◆ Κάθε διαμέρισμα αποτελείται από ένα σύνολο μονάδων φυσικών πόρων δια μέσου του συνολικού αριθμού διαθέσιμων συμβόλων OFDMA μέσα στο υποπλαίσιο



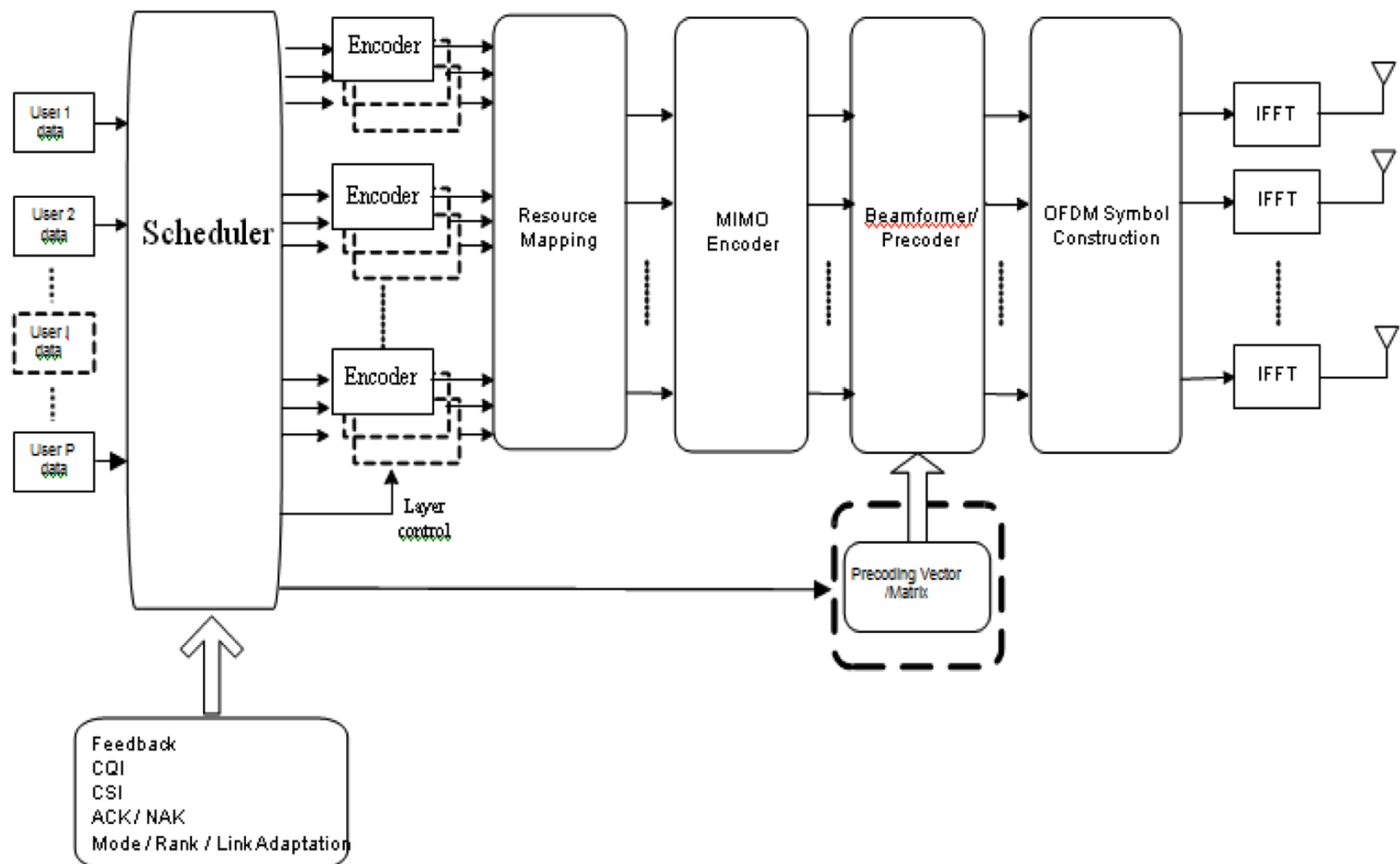
Το στρώμα PHY - DL

- ◆ Οι μονάδες πόρων είναι ίδιες με του DL
- ◆ Κατανέμονται με τον ίδιο τρόπο όπως στο DL
- ◆ Τα πρότυπα πιλότων διαφέρουν από αυτά του DL

Το στρώμα PHY - MIMO

- ◆ MIMO: ενός και πολλαπλών χρηστών
- ◆ Ο σταθμός βάσης απασχολεί τουλάχιστον 2 κεραίες και υποστηρίζονται διαθρώσεις 2, 4 και 8 κεραιών.
- ◆ Ο κινητός σταθμός απασχολεί τουλάχιστον 2 κεραίες λήψης.
- ◆ Τα δεδομένα που φτάνουν/μεταδίδονται στις κεραίες συναρμολογούνται/διασπώνται από τον αποκωδικοποιητή/κωδικοποιητή MIMO.

Το στρώμα PHY – MIMO στο DL

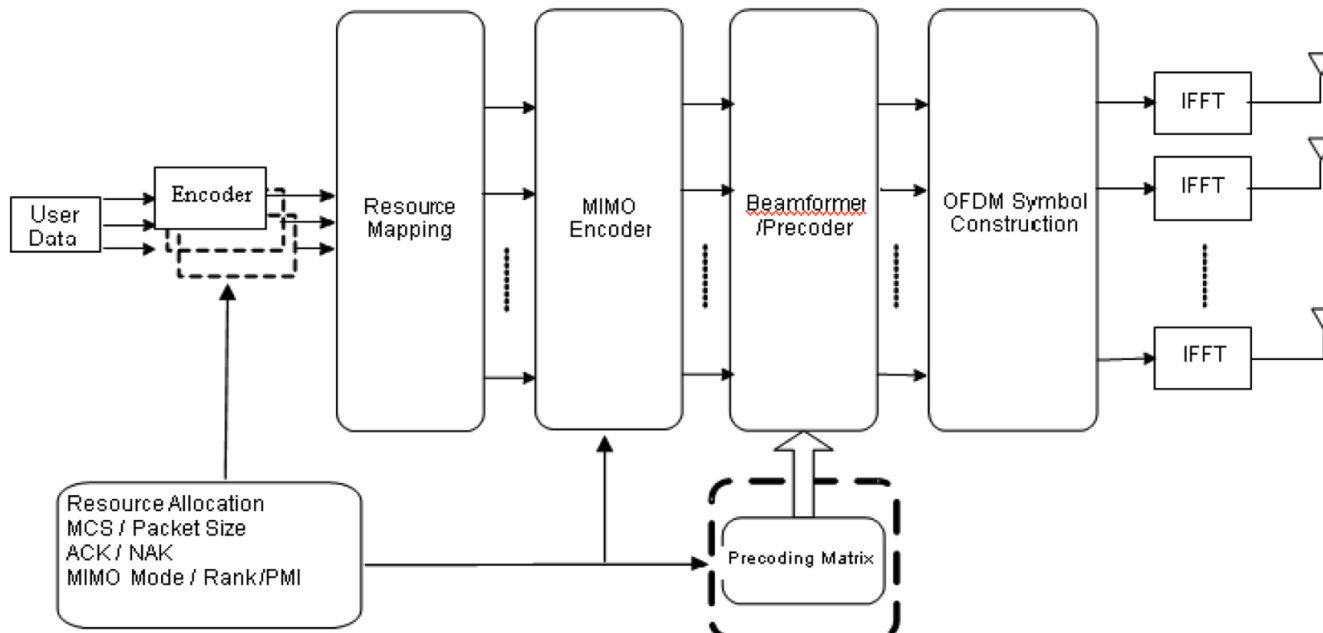


Το στρώμα PHY – MIMO στο DL

- ◆ Ο χρονοπρογραμματιστής ορίζει τον προγραμματισμό χρηστών στους πόρους, σύμφωνα με πληροφορίες ανάδρασης, και καθορίζει τις παραμέτρους MIMO.
- ◆ Ο κωδικευτής MIMO παίρνει ως είσοδο στρώματα (διαδρομές κωδίκευσης και διαμόρφωσης) και εξάγει ρεύματα στον προκωδικευτή, ο οποίος απεικονίζει τα ρεύματα στις κεραίες με την δημιουργία των ειδικών προς την κεραία συμβόλων δεδομένων, σύμφωνα με τον προεπιλεγμένο τρόπο MIMO.

Το στρώμα PHY – MIMO στο UL

Αν ο κινητός σταθμός έχει μια κεραία, οι πλοκάδες κωδικοποιητή MIMO και προκωδικευτή παραλείπονται.



Το στρώμα PHY – Έλεγχος ενέργειας

- ◆ Γίνεται και στο UL και στο DL με βάση την δομή πλαισίου, τις δομές ελέγχου κάθε ζεύξης και την επαναχρησιμοποίηση τμηματικής συχνότητας.
- ◆ DL: Ο σταθμός βάσης ελέγχει την ενέργεια μετάδοσης ανά υποπλαίσιο και ανα χρήστη. Ρυθμίζεται ανάλογα με την ανάδραση ποιότητας καναλιού ανερχόμενης ζεύξης του κινητού σταθμού.
- ◆ UL: Υποστηρίζεται έλεγχος ενέργειας για να αντισταθμίζονται οι ανωμαλίες που επηρεάζουν το κανάλι και τυχόν παρεμβολές. Στόχος η βέλτιστη απόδοση με την ελαχιστοποίηση κατανάλωσης μπαταρίας. Ο κινητός σταθμός μπορεί να ρυθμίσει την ενέργεια μόνος του (έλεγχος ανοιχτού βρόγχου) ή με την βοήθεια του σταθμού βάσης μέσω εντολών (έλεγχος κλειστού βρόγχου)

Καινοτομίες του 802.16m (Overview)

- ◆ Χρήση πολλαπλών υποφορέων για μεταφορά δεδομένων: αύξηση του εύρους ζώνης. Παλαιότεροι κινητοί σταθμοί χρησιμοποιούν έναν φορέα ανα κανάλι.
- ◆ Ευέλικτο εύρος ζώνης καναλιού, που φτάνει μέχρι τα 20 MHz (στο HSDPA είναι σταθερό στα 5 MHz).
- ◆ Ικανότητα αυτοοργάνωσης: τεχνικές αντιμετώπισης παρεμβολών και ρυθμίσεων παραμέτρων ενέργειας με χρήση μετρήσεων και μηνυμάτων ελέγχου.
- ◆ Νέα δομή πλαισίου: Χρήση υπερπλαισίου των 20ms που χωρίζεται σε πλαίσια και υποπλαίσια. Μεγαλύτερη ευελιξία στις αναμεταδόσεις HARQ, διότι μπορεί να αλλάξει η φορά μετάδοσης μέσα σε ένα πλαίσιο.
- ◆ Τεχνικές MIMO ενός και πολλαπλών χρηστών: Υποστήριξη περισσότερων χρηστών σε μια κυψέλη, ή αύξηση ρυθμού μετάδοσης (ή και τα 2...)

Παράδειγμα Εγκατάστασης

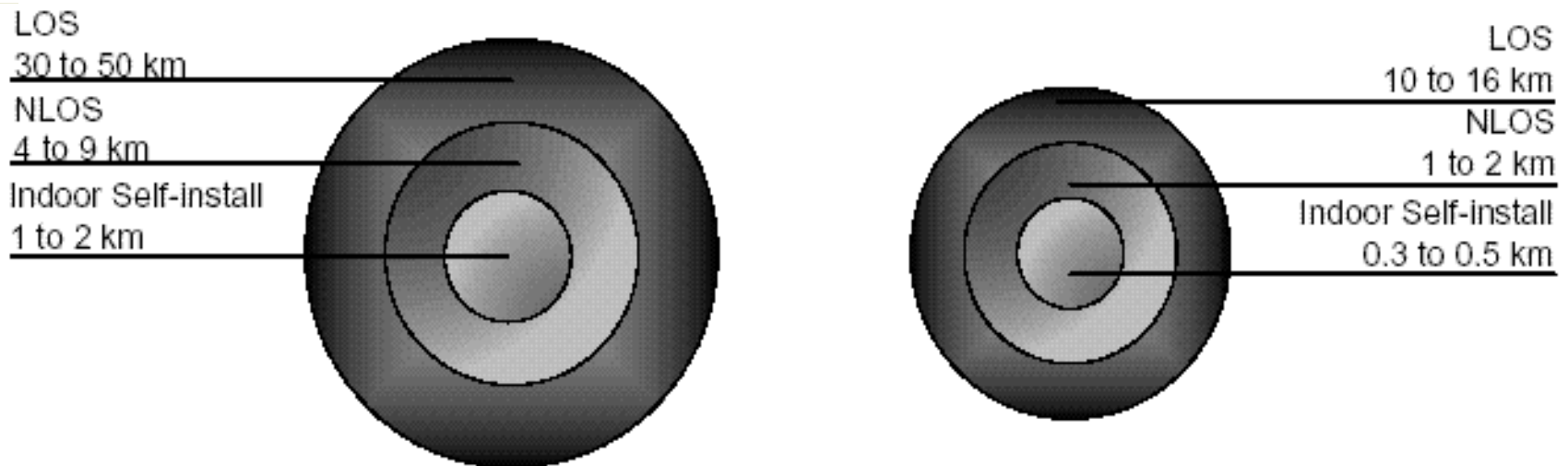
- ◆ Σταθμός Βάσης με βασικό εξοπλισμό:
 - Βασική υλοποίηση WiMAX.
 - Βασική ισχύς εξόδου RF.
- ◆ Σταθμός Βάσης με πλήρη εξοπλισμό:
 - Υψηλότερη ισχύς εξόδου RF.
 - Διαφοροποίηση σήματος σε πομπό/δέκτη.
 - Sub-channeling.
 - ARQ.

Οδηγός εγκατάστασης WiMAX

Assumptions		Full featured		Standard		
		From	To	From	To	
Cell radius (km)	Frequency: 3.5 GHz Bandwidth: 3.5 MHz Per 60 ^o sector					
	LOS	30	50	10	16	
	NLOS(Erceg-Flat)	4	9	1	2	
	Indoor self-install CPE	1	2	0.3	0.5	
Maximum throughput per sector (Mbps)		Downlink	11.3	8	11.3	8
		Uplink	11.3	8	11.3	8
Maximum throughput per CPE at cell edge (Mbps)		Downlink	11.3	2.8	11.3	2.8
		Uplink	0.7	0.175*	11.3	2.8
Maximum number of subscribers		More		Less		

Οδηγός Εγκατάστασης WiMAX

- ◆ Ακτίνες κάλυψης συστήματος με πλήρη και βασικό εξοπλισμό.



Εφαρμογές

- ◆ Ιδιωτικά δίκτυα
 - Κυψελοειδή
 - Ασύρματοι πάροχοι υπηρεσιών
 - Τραπεζικά
 - Εκπαίδευσης
 - Δημόσια ασφάλεια
 - Υπεράκτιες επικοινωνίες
 - Προσωρινές επικοινωνίες
- ◆ Δημόσια δίκτυα
 - Φορείς παροχής ασύρματων υπηρεσιών (WISP)
 - Σύνδεση αγροτικών περιοχών
 - Στρατιωτικά δίκτυα