

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων

Μελέτη και Σχεδιασμός Φυσικού Στρώματος του IEEE 802.16

ΜΠΟΣΜΟΣ Δ ΦΩΤΙΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2007

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16, γνωστό και ως WiMAX (Worldwide Interoperability of Microwave Access), ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης. Το πρότυπο αυτό σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μπάνα 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. 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.

Το WiMAX έχει ένα MAC πρωτόκολλο το οποίο μπορεί να μοιράσει πολλά κανάλια επικοινωνίας σε εκατοντάδες χρήστες, παρέχοντας υψηλή ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Ξεκινώντας από πάνω προς τα κάτω το πρώτο κεφάλαιο περιγράφει το Medium Access Control επίπεδο το οποίο αποτελείται από τρία υποεπίπεδα. Το πρώτο από αυτά είναι το Service Specific Convergence Sublayer (CS) με λειτουργία τη διασύνδεση με το επίπεδο δικτύου. Το επίπεδο που ακολουθεί είναι το MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) όπου υπάρχουν τα βασικά πρωτόκολλα για τη διαχείριση του καναλιού. Στο μοντέλο αυτό ο σταθμός βάσης ελέγχει το σύστημα, δηλαδή μπορεί να χρονοπρογραμματίσει τα κατερχόμενα κανάλια (τα κανάλια δηλαδή από τη βάση προς τον συνδρομητή), ενώ παίζει ρόλο και στη διαχείριση των ανερχόμενων καναλιών (δηλαδή των καναλιών από το συνδρομητή προς τη βάση). Την τριάδα των υποεπιπέδων του MAC κλείνει το Privacy Sublayer ή «υποεπίπεδο ασφάλειας». Αυτό το επίπεδο προσφέρει αυθεντικοποίηση (authentication), ανταλλαγή κλειδιού ασφαλείας και κρυπτογράφηση.

Το χαμηλότερο επίπεδο είναι το φυσικό επίπεδο (PHY) το οποίο ασχολείται με τη μετάδοση. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τους διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης OFDM που υπάρχουν για το πρότυπο 802.16. Ιδιαίτερα, το OFDMA αναφέρεται ως «πολλαπλών χρηστών OFDM», και θεωρείται ως μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης για ασύρματα δίκτυα 4^{ης} γενιάς. Το OFDMA φυσικό επίπεδο μοιάζει στη λειτουργία με αυτό του OFDM. Διαθέτει και αυτό διαχωρισμό σε υποκανάλια (subchannelization) τόσο στην uplink όσο και στην downlink επικοινωνία. Επίσης το OFDMA φυσικό επίπεδο υποστηρίζει και TDD και FDD λειτουργίες.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετάμε την ιδέα της κλιμάκωσης η οποία εισήχθη στο OFDMA τύπο του IEEE 802.16 WirelessMAN από την Ομάδα Εργασιών e (TGe) του 802.16. Ένα κλιμακωτό φυσικό στρώμα δίνει τη δυνατότητα λύσεων βασισμένων σε πρότυπα, με σκοπό την υψηλότερη δυνατή απόδοση σε κανάλια εύρους ζώνης που κυμαίνονται από 1.25MHz μέχρι 20MHz με σταθερά φασματικά διαστήματα μεταξύ υποφερόντων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σταθερά αλλά και φορητά/κινητά μοντέλα διάδοσης. Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μια κλιμακωτή υπό-καναλοποίηση με μεταβλητά μήκη FFT ανάλογα με το εύρος ζώνης του καναλιού. Εκτός από τα μεταβλητά μήκη FFT, οι προδιαγραφές του κλιμακωτού OFDMA υποστηρίζουν κι άλλα χαρακτηριστικά όπως Δυναμική Διαμόρφωση και Κωδικοποίηση υπό-καναλιών (AMC), τεχνικές MIMO, και κανάλια ασφαλείας για βελτίωση της κάλυψης, καθώς επίσης και χαρακτηριστικά προεπιλογής με διαφορετικές εκχωρήσεις υπό-φερόντων ανάλογα με το κανάλι. Οι σταθμοί βάσης με OFDMA επιτρέπουν στους πολλαπλούς χρήστες να μεταδίδουν ταυτόχρονα πάνω σε διαφορετικά υπο-φέροντα, κατά τη διάρκεια της περιόδου του ίδιου OFDM συμβόλου.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία μέθοδος επίλυσης του προβλήματος της προσαρμοστικής εκχώρησης πόρων (υποφέροντα και ισχύς εκπομπής) με περιορισμούς αναλογικού ρυθμού μετάδοσης για όλους τους χρήστες για συστήματα OFDMA. Η ανάλυση θεωρεί ότι η εκχώρηση υποφερόντων και ισχύος σε κάθε χρήση από το σταθμό βάσης μεγιστοποιεί το σύνολο του συνολικού ρυθμού δεδομένων των χρηστών ενώ ταυτόχρονα έχουμε περιορισμούς όσον αφορά τη συνολική ισχύ, το ρυθμό σφάλματος δυαδικών ψηφίων και την αναλογικότητα στο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μεταξύ των διαφόρων χρηστών. Οι προηγούμενες μέθοδοι εκχώρησης υπήρξαν μέθοδοι που ήταν επαναληπτικές και μη-γραμμικές και όχι κατάλληλες για βελτιστοποίηση πραγματικού χρόνου. Στην περίπτωση ειδικού υψηλού υπό-καναλιού SNR μια επαναληπτική μέθοδος root – finding εμφανίζει περιπλοκότητα γραμμικού χρόνου στον αριθμό των χρηστών και $N \log(N)$ περιπλοκότητα στον αριθμό των υπό-καναλιών. Στην παρούσα εργασία μελετάμε μία μη-επαναληπτική μέθοδο που καθίσταται δυνατή μέσω της «χαλάρωσης» των αυστηρών περιορισμών που αφορούν στην αναλογικότητα του ρυθμού μετάδοσης μεταξύ των χρηστών. Η προτεινόμενη μέθοδος εμφανίζει αισθητά χαμηλότερη υπολογιστική περιπλοκότητα και σε προσομοίωση αποφέρει υψηλότερο συνολικό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων όλων των χρηστών (αύξηση της συνολικής χωρητικότητας).

Στους δασκάλους μου

ΓΑΝΕΠΙΣΤΗΜΟ ΓΕΡΑΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
LIST OF ACRONYMS	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	9
Το πρότυπο WiMAX	9
1.1 Εισαγωγή	9
1.2 Συμβατότητα «προς τα πίσω»	10
1.3 Χαμηλότερο κόστος	11
1.4 Διεπαφές αέρος για 802.16d και 802.11e	11
1.4.1 Εύρος ζώνης κλιμακούμενου συστήματος	12
1.4.2 Τεχνικές υπό-καναλοποίησης	12
1.5 Σύγκριση της επίδοσης των 802.16d και 802.16e	13
1.5.1 Χωρητικότητα	13
1.5.2 Κάλυψη	14
1.5.3 Μείωση ισχύος	15
1.5.4 Ποιότητα υπηρεσιών	15
1.5.5 Εκπομπή/Πολυεκπομπή	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	16
MAC LAYER ΓΙΑ ΤΟ 802.16	16
2.1 Αρχιτεκτονική MAC	16
2.1.1 Υπόστρωμα σύγκλισης συγκεκριμένων υπηρεσιών	17
2.1.2 Κοινό υπόστρωμα MAC	18
2.2 IEEE 802.16 Physical Layer Details	22
2.2.1 Φυσικό στρώμα IEEE 802.16 για 10-66 GHz (WirelessMAN-SC)	23
2.2.1.1 Τεχνικές αμφίπλευρης σύνδεσης	24
2.2.1.2 Λειτουργία κατερχόμενη ζεύξης (Downlink Operation)	25
2.2.1.3 Λειτουργία ανοδικής ζεύξης	28
2.2.1.4 Ταχύτητες μετάδοσης και εύρος ζώνης για συστήματα 10-66 GHz	30
2.2.2 Λεπτομέρειες φυσικού στρώματος IEEE 802.16a για 2-11 GHz	31
2.2.2.1 Φυσικό στρώμα ασύρματου MAN – SCa	32
2.2.2.1.1 Έλεγχος ισχύος ασύρματου MAN-SC και τύπος διαμόρφωσης	35
2.2.2.1.2 Μετρήσεις ποιότητας καναλιού	36
2.2.2.2 Φυσικό στρώμα WirelessMAN – OFDM	36
2.2.2.2.1 Κωδικοποίηση καναλιού	37
2.2.2.2.2 Δομή πλαισίου / Λειτουργία από σημείο σε πολυσημείο	38
2.2.2.2.3 Δομή πλαισίου / Πλεγματοειδής (Ad-Hoc) λειτουργία	40
2.2.2.2.4 Μηχανισμοί ελέγχου συστήματος	43
2.2.2.2.5 Τεχνικές εκπομπής	43
2.2.2.3 Φυσικό στρώμα WirelessMAN - OFDMA	44
2.2.2.3.1 Χρονοθυρίδα OFDMA	44
2.2.2.3.2 Δομή πλαισίου OFDMA	46
2.2.2.3.3 OFDMA φέροντα και πιλοτικές εκχωρήσεις	47
2.2.2.3.4 Περιοχές OFDMA, αιτήματα εύρους ζώνης, και κωδικοποίηση καναλιών ..	49
2.2.2.3.5 Προδιαγραφές πομπού και δέκτη OFDMA	50
2.2.2.4 WirelessHUMAN	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	53
Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16	53
3.1 Εισαγωγή	53
3.2 Multi-carrier απαιτήσεις σχεδίασης	54

3.3 Βασικά στοιχεία στη δομή OFDMA πλαισίου	57
3.4 Τύποι εκχώρησης υπο-φερόντων	59
3.4.1 Κατανεμημένες τοποθετήσεις υπο-φερόντων στο DL: – Πλήρης χρησιμοποιούμενη υπό-καναλοποίηση (FUSC)	59
3.4.2 Κατανεμημένες τοποθετήσεις υπο-φερόντων στο DL και UL: – Μερικώς χρησιμοποιούμενη υπό-καναλοποίηση (PUSC)	60
3.4.3 Προαιρετική DL κατανεμημένη τοποθέτηση υποφέροντος: πλήρης υπό- καναλοποίηση (OFUSC).....	63
3.4.4 Προαιρετικό UL με κατανεμημένη τοποθέτηση υποφέροντος: μερική υπό- καναλοποίηση (OPUSC).....	64
3.4.5 Προαιρετικό DL και UL με συνεχόμενη τοποθέτηση υποφέροντος: με προηγμένη διαμόρφωση και κωδικοποίηση (AMC)	65
3.4.6 Εναλλαγές Ζωνών (Zone Switching).....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	67
Αλγόριθμος εκχώρησης καναλιών σε συστήματα OFDMA.....	67
4.1 Εισαγωγή.....	67
4.2 Μοντέλο συστήματος.....	68
4.3 Συναφή αποτελέσματα για resource allocation.....	70
4.4 Προτεινόμενη λύση για εκχώρηση υπο-φερόντων	72
4.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

LIST OF ACRONYMS

AAS.....	Adaptive Antenna Systems
ARQ.....	Automatic Retransmission Request
ATM.....	Asynchronous Transfer Mode
BE.....	Best effort
BER.....	Bit error rate
BR.....	Bandwidth request
BS.....	Base Station
BWA.....	Broadband Wireless Access
BW.....	Bandwidth
CID.....	Connection Identifier
CRC.....	Cyclic Redundancy Check
CPS.....	Common Part Sublayer
CS.....	Convergence Sublayer
CSMA-CA.....	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
DAMA.....	Demand Assigned Multiple Access
DCD.....	Downlink Channel Descriptor
DHCP.....	Dynamic Host Configuration Protocol
DIUC.....	Downlink interval usage code
DL.....	Downlink
DL-MAP.....	Downlink Map
DSL.....	Digital Subscriber Line
DSD.....	Dynamic service deletion
DSx.....	Dynamic service addition, change, or deletion
EC.....	Encryption control
EIRP.....	Effective isotropic radiated power
FDD.....	Functional Description Document
FDD.....	Frequency Division Duplexing
FEC.....	Forward Error Correction
GPS.....	Global Positioning System
HF.....	High Frequency
IE.....	Information Element
IEEE.....	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP.....	Internet Protocol
LAN.....	Local Area Network
MAC.....	Medium Access Control
MAN.....	Metropolitan Area Network
Mbps.....	Megabits per second
NLOS.....	Non-Line of Sight
NrtPS.....	non-real-time polling service
OFDM.....	Orthogonal frequency-division multiplexing
OFDMA.....	Orthogonal frequency division multiple access
PBR.....	piggyback request
PDA.....	Personal Digital Assistant
PDU.....	Protocol Data Units
PHS.....	Payload Header Suppression
PHY.....	Physical Layer
PKM.....	Privacy Key Management
PM.....	poll-me bit
PMP.....	Point-to-Multipoint

PTP.....	Point-to-Point
PS.....	Physical slot
QAM.....	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK.....	Quadrature Phase Shift Keying
QoS.....	Quality of Service
RNG.....	Ranging
RSP.....	Response
RtPS.....	real-time polling service
REG-REQ.....	Registration Request
REG-RSP.....	Registration Response
RNG-REQ.....	Ranging Request
RNG-RSP.....	Ranging Response
SAP.....	Service Access Point
SC.....	Single carrier
SCA.....	Software Communications Architecture
SBC-REQ.....	SS Basic Capability Request
SBC-RSP.....	SS Basic Capability Response
SDU.....	Service Data Unit
SNR.....	Signal-to-noise ratio
SOHO.....	Small Office / Home Office
SS.....	Subscriber Station
TC.....	Transmission Convergence
TDMA.....	Time Division Multiple Access
TDD.....	Time Division Duplexing
TDM.....	Time Division Multiplexing
UCD.....	Uplink Channel Descriptor
UDP.....	User Datagram Protocol
UGS.....	Unsolicited Grant Uplink Scheduling Service
UHF.....	Ultra High Frequency
UL-MAP.....	Uplink Map
UMTS.....	Universal Mobile Telecommunications System
WAN.....	Wide Area Network
WiFi.....	Wireless Fidelity
WiMax.....	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN.....	Wireless Local Area Network
64QAM.....	64-state Quadrature Amplitude Modulation

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Το πρότυπο WiMAX

1.1 Εισαγωγή

Το WiMAX περιγράφεται στο πρότυπο IEEE 802.16 Wireless Metropolitan Area Network (MAN) [1]. Τα συστήματα που είναι συμβατά με το WiMAX παρέχουν σταθερή ασύρματη εναλλακτική λύση στο συμβατικό DSL και το Cable Διαδίκτυο.

Ένα σύστημα WiMAX αποτελείται από δύο μέρη:

- **Ένας σταθμός βάσης WiMAX:** Ο σταθμός βάσης αποτελείται από τις ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις και έναν πύργο WiMAX. 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.

- **Ένας δέκτης WiMAX:** ο δέκτης και η κεραία θα μπορούσαν να είναι ένα αυτόνομο μηχάνημα ή μία κάρτα PCMCIA που βρίσκεται στο lap-top ή τον υπολογιστή. Η πρόσβαση στο σταθμό βάσης WiMAX είναι παρόμοια με την πρόσβαση ενός ασύρματου σημείου πρόσβασης σε ένα δίκτυο WiFi, αλλά η κάλυψη είναι μεγαλύτερη.

Διάφοροι σταθμοί βάσης μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω backhaul μικροκυματικών συνδέσεων μεγάλης ταχύτητας. Αυτό επιτρέπει την περιπλάνηση ενός συνδρομητή WiMAX από έναν σταθμό βάσης σε μια άλλη περιοχή σταθμού βάσης, παρόμοια με την περιπλάνηση που επιτρέπεται από τις υπάρχουσες υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας.

Η εμφάνιση των μοντέλων WiMAX έχει προκαλέσει τεράστιο ενδιαφέρον από χειριστές που ψάχνουν υψηλή απόδοση και οικονομία στα ασύρματα δίκτυα ευρείας ζώνης. Ωστόσο, η διαθεσιμότητα των 801.16e και 802.16d ως δύο διαφορετικές αλλά και μη συμβατές διαφοροποιήσεις του αρχικού προτύπου WiMAX, έχει σε αρκετές περιπτώσεις προκαλέσει επιπλέον σύγχυση στις επενδύσεις χειριστών.

Η ονομασία WiMAX πρωτοεμφανίστηκε στο WiMAX forum (τόπος συζήτησης στο διαδίκτυο), από έναν συνεταιρισμό βιομηχανιών, για να προαγάγει την «οικογένεια» μοντέλων του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων Μηχανικών (IEEE) 802.16 για συστήματα ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης. Οι πρώτες προτάσεις του IEEE 802.16 εστιάζονταν σε LOS

εφαρμογές χρησιμοποιώντας ζώνες υψηλής συχνότητας μεταξύ 10-66 GHz. Πιο πρόσφατα οι προσπάθειες εστιάζονται σε κάποιες επουσιώδεις τροποποιήσεις προηγούμενων μοντέλων για την υποστήριξη εφαρμογών NLOS μεταξύ 2-11GHz. Το αρχικό πρότυπο 802.16a δημοσιεύτηκε το 2004 [1], ενώ το μοντέλο 802.16d υποστηρίζει σταθερές και νομαδικές εφαρμογές [2]. Τέλος το μοντέλο 802.16e αποτελεί μία επέκταση του 802.16d και υποστηρίζει σταθερές, νομαδικές, και κινητές επικοινωνίες [3].

Το WiMAX αναφέρεται σε ένα ορισμένο υπό σύνολο τεχνολογικών προδιαγραφών από τα μοντέλα 802.16d και 802.16e που ονομάζονται «προφίλ». Συμβαδίζοντας με τα προφίλ του WiMAX οι πωλητές μπορούν να επικυρώσουν τα προϊόντα τους με ανεξάρτητες εργαστηριακές δοκιμές και να εξασφαλίσουν τη διαλειτουργικότητα με επικυρωμένα προϊόντα άλλων πωλητών. Τα πρώτα προϊόντα που υποστηρίζουν το 802.16d κυκλοφόρησαν στο τέλος του 2005 και τα πρώτα προϊόντα του 802.16e διατίθενται από το Q2 2006. Ενώ το 802.16e συχνά αναφέρεται ως το κινητό πρότυπο, το 802.16 δεν εισάγει μόνο την κινητικότητα στις προδιαγραφές ασύρματων συστημάτων ευρείας ζώνης, αλλά επίσης παρέχει βελτιωμένη λειτουργία ακόμη και σε σταθερά και νομαδικά περιβάλλοντα [4].

1.2 Συμβατότητα «προς τα πίσω»

Οι χειριστές που ψάχνουν να κάνουν μια επένδυση WiMAX, πρέπει πρώτα να αναγνωρίσουν ότι το 802.16e δεν είναι «προς τα πίσω» συμβατό με το 802.16d [4]. Ενώ μερικοί 802.16d πωλητές προτείνουν εξοπλισμό σταθμού βάσης με επιπρόσθετη περιπλοκότητα υλικού ή «προγραμματισιμότητα» λογισμικού, προκειμένου να επιτρέψουν μετάβαση στο 802.16e, αυτό δεν θα έχει επίπτωση σε καμία συσκευή χρήστη 802.16d. Αυτές οι συσκευές τελικού χρήστη 802.16d δεν θα λειτουργούν στα πλαίσια δικτύου 802.16e και η αναγκαιότητα για χαμηλού κόστους συσκευές τελικού χρήστη καθιστά απαγορευμένη την εισαγωγή επιπρόσθετου υλικού, προκειμένου να επιχειρηθεί αναβάθμιση προς συμμόρφωση με το 802.16e. Η προσθήκη ικανότητας αναβάθμισης στο σταθμό βάσης (BS) μπορεί ακόμη να οδηγήσει σε μεγάλο κόστος.

Η ανάπτυξη του 802.16d αναμένεται σε πολλές περιπτώσεις να ακολουθεί ένα σχέδιο συχνότητας FDD, «οδηγούμενο» από τα WiMAX «προφίλ» του 802.16d. Τα προφίλ με προτεραιότητα για το 802.16e αναμένεται να ακολουθήσουν ένα σχέδιο συχνότητας TDD. Αυτό προσθέτει περιπλοκότητα σε όποιο πιθανό δυνατό «μονοπάτι» μεταφοράς, καθώς τα TDD και FDD στην ίδια φασματική εκχώρηση θα έχουν σοβαρά ζητήματα παρεμβολών. Επιπλέον, ένας χειριστής που αναπτύσσει το 802.16d και έπειτα επιχειρεί να αναπτύξει εξοπλισμό 802.16e, αργότερα θα ζημιωθεί, αφού θα υποχρεωθεί να χωρίσει το διαθέσιμο εξουσιοδοτημένο φάσμα

μεταξύ των δύο τεχνολογιών. Χωρίς πραγματική αναβάθμιση από το 802.16d στο 802.16e και την αναγκαιότητα της διατήρησης του φάσματος για την υποστήριξη της ανάπτυξης του δικτύου, το 802.16e δεν παρέχει την καλύτερη μακροπρόθεσμη προστασία των επενδύσεων WiMAX του χειριστή.

1.3 Χαμηλότερο κόστος

Καθώς η αγορά των ασυρμάτων συστημάτων ευρείας ζώνης εξακολουθεί να μεγαλώνει, η βιομηχανία θα έπρεπε να αναμένει ωφέλεια από τη μείωση κόστους. Οι κινητές αναπτύξεις (deployment) του 802.16e θα κατεβάσουν το κόστος κάτω από το επίπεδο των λύσεων που επινοήθηκαν αποκλειστικά για σταθερές εφαρμογές με τη χρήση του 802.16d [4]. Επιπλέον, σημαντικοί κατασκευαστές συνόλων chip όπως η Intel έχουν ανακοινώσει δημοσίως ότι το 802.16e θα είναι το προεξέχον πρότυπο μοντέλο για τις εφαρμογές WiMAX, επισημαίνοντας μια ουσιαστική ενσωματωμένη βάση καταναλωτικών προϊόντων με υποστήριξη 802.16e. Αυτά τα ίδια σύνολα chip που χρησιμοποιούνται σε laptops και PDAs μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή εσωτερικών και εξωτερικών συνόλων εξοπλισμού πελατών. Γίνεται γρήγορα προφανές ότι το 802.16e προσφέρει το σημαντικό πλεονέκτημα στο να επιτρέπει στον χειριστή να ακολουθήσει μια καθοδική καμπύλη κόστους.

1.4 Διεπαφές αέρος για 802.16d και 802.11e

Το 802.16d υποστηρίζει το OFDM (ορθογώνια περίπλεξη με διαίρεση συχνότητας) με 256 length FFT και το OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), πρόσβαση σε ορθογώνια περίπλεξη με διαίρεση συχνότητας με 2048 length FFT, όπου FFT είναι ο ταχύς μετασχηματισμός Fourier. Το OFDM είναι μία τεχνική ψηφιακής διαμόρφωσης, όπου ένα σήμα διαιρείται σε διάφορα στενοζωνικά υπό-κανάλια ώστε να μετριάζεται η αυτό-παρεμβολή, εξαιτίας της διάλειψης επιλεκτικής συχνότητας και είναι εξαιρετικά κατάλληλο για να υποστηρίξει μία υψηλής ταχύτητας και ευρείας ζώνης εκπομπή δεδομένων. Το WiMAX έχει επιλέξει να προσδιορίζει το OFDM με 256 μήκος FFT για το προφίλ φυσικού στρώματος 802.16d και όχι το OFDMA με 2048 μήκος FFT. Με το 802.16e, το WiMAX επιφέρει βελτιώσεις στο φυσικό στρώμα εφαρμόζοντας το κλιμακούμενο (Scalable) OFDMA (S-OFDMA). Με βάση τα παραπάνω κάνουμε όλες τις συγκρίσεις του 802.16e με τον 256 FFT OFDM τύπο του 802.16d.

1.4.1 Εύρος ζώνης κλιμακούμενου συστήματος

Μια ωφέλεια που παρέχει το OFDMA είναι ότι το εύρος ζώνης του συστήματος είναι κλιμακωτό. Υπάρχει μια σταθερή σχέση μεταξύ του εφαρμοζόμενου εύρους ζώνης και των συμβόλων OFDMA. Τα μήκη FFT 128, 512, 1024, και 2048 υποστηρίζονται από την προδιαγραφή του 802.16e, που επιτρέπει την υλοποίηση μίας διασύνδεσης με κλιμακωτό εύρος ζώνης, όπου η απόσταση συχνότητας (frequency separation) μεταξύ κάθε υπό-φέροντος και η διάρκεια του συμβόλου (symbol period) παραμένουν αναλλοίωτα, ενώ το εύρος ζώνης μετάδοσης μπορεί να αλλάζει. Η ικανότητα της κλιμάκωσης του εύρους ζώνης του συστήματος ενώ διατηρείται σταθερή η διάρκεια συμβόλου, παρέχει στον χειριστή το πλεονέκτημα να μπορεί να αναπτύσσει σήμερα και να διευρύνει το εύρος ζώνης του συστήματός του αύριο με χαμηλότερο κόστος και μειωμένη επίπτωση στο δίκτυο.

1.4.2 Τεχνικές υπό-καναλοποίησης

Επιπρόσθετα, το OFDMA 802.16e παρέχει τεχνικές υπό-καναλοποίησης ως μέσο βελτίωσης της λειτουργίας του συστήματος ώστε να μπορεί να καλύπτει συγκεκριμένες απαιτήσεις. Το φυσικό στρώμα OFDMA διαιρεί τα διαθέσιμα σύμβολα OFDM και τα υπό-φέροντα σε ξεχωριστά λογικά και φυσικά υπό-κανάλια. Οι τεχνικές υπο-καναλοποίησης OFDMA περιλαμβάνουν σχέδια μετάδοσης διαφορικής ή επιλεκτικής συχνότητας.

Μετάδοση διαφορικής συχνότητας

Τα σχέδια μετάδοσης ποικίλης συχνότητας μπορούν να ομαδοποιηθούν σε 2 τύπους: πλήρους χρήσης υπό-καναλιών (Full Usage Subchannels) και μερικής χρήσης υπό-καναλιών (Partial Usage Subchannels). Αυτοί οι τύποι υποστηρίζουν τη μετάδοση διαφορικής συχνότητας, όπου τα υπό-φέροντα που εκχωρούνται σε κάθε λογικό κανάλι κατανέμονται με ψευδό-τυχαίο τρόπο στο σύνολο των διαθέσιμων υπο-καναλιών. Η χρήση τέτοιων σχεδίων παρέχει frequency diversity, η οποία παρέχει προστασία από προβληματικές καταστάσεις καναλιού και έχει οφέλη στην κάλυψη και χωρητικότητα του δικτύου.

Μετάδοση με επιλεκτική συχνότητα

Η υποκαναλοποίηση επιλεκτικής συχνότητας υποστηρίζεται από τους τύπους της προσαρμοστικής διαμόρφωσης ζώνης και προσαρμοστικής κωδικοποίησης (AMC). Η τεχνική AMC επιτρέπει την κατασκευή υπο-καναλιών μέσω εκχωρήσεων φυσικά συνεχόμενων υπό-

φερόντων (sub-carriers). Ο προγραμματιστής του συστήματος μπορεί να κάνει χρήση τεχνικών ανατροφοδότησης καναλιού κλειστού βρόχου για να προσδιορίσει τα βέλτιστα υπο-κανάλια που θα εκχωρηθούν σε κάθε τελικό χρήστη, βασιζόμενος στη κατάσταση του καναλιού που βλέπει. Μία βελτίωση χωρητικότητας κατά 30% μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση προγραμματισμού επιλεκτικής συχνότητας – αντί του προγραμματισμού διαφορικής συχνότητας – με υπολογιστική επιβάρυνση του συστήματος. Επίσης, υπάρχει λιγότερη ευελιξία με τον προγραμματισμό σε ένα σύστημα 802.16d, όπου μόνο ένας χρήστης μπορεί να προγραμματιστεί ανά σύμβολο, σε αντίθεση με το OFDMA όπου πολλαπλοί χρήστες μπορούν να προγραμματιστούν ανά σύμβολο.

Η ικανότητα κλιμάκωσης εύρους ζώνης και των τεχνικών υπο-καναλοποίησης με το OFDMA 802.16e παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη φυσική διασύνδεση OFDM 802.16d. Οι χρήστες διαθέτουν ένα μεγαλύτερο σύνολο εργαλείων για να καθιστούν την κατάσταση του δικτύου τους να εκπληρώνει συγκεκριμένους όρους κάλυψης και χωρητικότητας καθώς επίσης και για να διευκολύνουν την επέκταση του δικτύου για την εκπλήρωση των αυξανόμενων απαιτήσεων χρήσης. Αυτές οι διαφορές θα μελετηθούν περισσότερο στα επόμενα κεφάλαια.

1.5 Σύγκριση της επίδοσης των 802.16d και 802.16e

Ενώ τα δύο πρότυπα 802.16d και 802.16e προσδιορίζουν διαφορετικές απαιτήσεις και προαιρετικές τεχνικές για να εξασφαλίσουν ένα ευρείας ζώνης και υψηλής επίδοσης ασύρματο κανάλι, το 802.16e έχει επεκτείνει αυτές τις απαιτήσεις και επιλογές ώστε να καθοδηγεί τους παωλητές στο να βελτιώνουν την χωρητικότητα, την κάλυψη, την ποιότητα υπηρεσιών και την υποστήριξη εφαρμογών IP [3].

1.5.1 Χωρητικότητα

Τα 802.16d και 802.16e υποστηρίζουν μία σειρά από τεχνικές διόρθωσης σφάλματος, ώστε να αυξάνουν την χωρητικότητα του ασύρματου συστήματος ευρείας ζώνης. Ενώ απαιτούνται βασικοί κώδικες διόρθωσης λαθών όπως απλοί Convolutional Codes (CCs) καθώς και ARQ, προσδιορίζονται επίσης επιλογές για τεχνικές κωδικοποίησης όπως Convolutional Turbo Codes (CTCs) αλλά και Hybrid ARQ. Ωστόσο, η πρώτη γενιά προϊόντων 802.16d δεν αναμένεται να κάνουν χρήση τέτοιων υψηλής απόδοσης τεχνικών διόρθωσης σφάλματος. Το 802.16e προχωρά σε πιο προηγμένες επιλογές κωδικοποίησης, για να συμπεριλάβει την LDPC και θα ενεργοποιήσει τεχνικές κωδικοποίησης υψηλής απόδοσης από τις πρώτες κιόλας αποστολές προϊόντων [4].

Το 802.16e παρέχει επίσης τεχνικές υποκαναλοποίησης ώστε να διαθέτει αποτελεσματικά το εύρος ζώνης καναλιού ανάμεσα σε πολλαπλούς τελικούς χρήστες. Η υποκαναλοποίηση χρησιμοποιείται από το σταθμό βάσης (BS) για να βελτιώνει τον χρονοπρογραμματισμό μετάδοσης (scheduling) πολλαπλών χρηστών, που βλέπουν διαφορετικά κανάλια επικοινωνίας. Τα διάφορα σχέδια υποκαναλοποίησης που προσφέρονται από το 802.16e, επιτρέπουν τον πιο αποτελεσματικό προγραμματισμό μετάδοσης για κάθε χρήστη, βασισμένο στην ποιότητα, στην προτεραιότητα, την ισχύ, και την εκχώρηση εύρους ζώνης του καναλιού.

1.5.2 Κάλυψη

Τεχνικές διαφορικής λήψης

Προαιρετικές λύσεις για την βελτίωση των δυνατοτήτων κάλυψης, υπάρχουν και στο 802.16d και στο 802.16e, μέσω τεχνικών, όπως η χρήση διαφορικής κεραίας και η κωδικοποίηση χώρου και χρόνου (Space Time Coding, STC). Αυτές οι δυνατότητες εμφανίζουν περαιτέρω εμβάθυνση στο 802.16e, με καθοδήγηση με τεχνικές επιπρόσθετης διαφορικότητας (antenna diversity) και τεχνικές προσαρμογής κεραίας (antenna beamforming). Η υποστήριξη λειτουργίας με πολλαπλές κεραίες παρέχεται για τους μεταδότες του σταθμού βάσης, συμπεριλαμβανομένων και των τύπων υποσυστήματος προηγμένης κεραίας (AAS), των STC, και των τύπων MIMO. Στο 802.16e επίσης παρέχεται η υποστήριξη ανοδικής ζεύξης με συντονισμένη πρόσβαση πολύπλεξης χωρικής διαίρεσης (SDMA).

Αντοχή σε πολυδιαδρομική λήψη

Το WiMAX καθορίζει μήκος FFT 2048 (για 20 MHz φάσμα) για το 802.16e, σε σύγκριση με μήκος FFT 256 για το 802.16d. Για ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης, το OFDM – 256 υποδηλώνει πιο σύντομο χρόνο συμβόλου OFDM. Επομένως η μέγιστη τιμή καθυστέρησης διαδρομής στο κανάλι (fading channel delay spread) που μπορεί να αντέξει το 802.16e είναι μεγαλύτερη από εκείνη του συστήματος OFDM – 256.

Επαναχρηστικότητα συχνότητας μονού κελιού

Το OFDM – 256 στο 802.16d δεν μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας σχέδια επαναχρηστικότητας ενός κελιού, ενώ το κλιμακωτό 802.16e προσφέρει αυτή την δυνατότητα. Έτσι, το OFDM – 256 είναι πιθανό να έχει χαμηλότερη φασματική αποδοτικότητα από ότι το κλιμακούμενο (scalable) OFDMA.

1.5.3 Μείωση ισχύος

Το 802.16e ορίζει μια σειρά από λειτουργίες διαχείρισης ισχύος τύπου sleeping και idle, ώστε να επιτρέπουν τη διατήρηση ισχύος και τη διατήρηση της μπαταρίας για συσκευές τελικού χρήστη. Οι βελτιώσεις κινητικότητας που παρέχονται από τον τελευταίο τύπο του μοντέλου 802.16e, βελτιώνουν περαιτέρω την λειτουργία σε ταχύτητες κίνησης αυτοκινήτου, παρέχοντας βελτιωμένη υποστήριξη για handoffs ανάμεσα στα κελιά, μέτρηση ισχύος σε γειτονικά κελιά και sleep modes για να υποστηρίξουν τη λειτουργία κινητού σταθμού χαμηλής ισχύος.

1.5.4 Ποιότητα υπηρεσιών

Το 802.16e εισάγει την Extended Real Time Polling Service (ERTPS). Η ERTPS επιτρέπει στην λύση 802.16e να διευθετεί την τιμολόγηση του ρυθμού μετάδοσης και στρατηγικές στην μετάδοση και να βελτιώνει λανθάνουσες κατάστασης μετάδοσης και παραμόρφωση σήματος. Τα πλεονεκτήματα από την ποιότητα υπηρεσιών και τις τεχνικές της είναι ιδιαίτερα σημαντικά στην υποστήριξη των εφαρμογών φωνής με χρήση IP (Voice over IP).

1.5.5 Εκπομπή/Πολυεκπομπή

Το 802.16e επίσης υποστηρίζει τις υπηρεσίες εκπομπής και πολύ-εκπομπής. Η λειτουργία Δικτύου Μονής Συχνότητας (Single Frequency Network, SFN) μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση OFDMA (για υπηρεσίες εκπομπής και πολύ-εκπομπής), εξασφαλίζοντας πολύ υψηλό ρυθμό δεδομένων στις άκρες των κελιών. Οι εφαρμογές πολυμέσων με IP, όπως το IPTV, που κάνουν χρήση συνεχούς μετάδοσης (streaming) video χρησιμοποιούν τις τεχνικές πολύ-εκπομπής για να διευθετούν καλύτερα το εύρος ζώνης και την διανομή περιεχομένου.

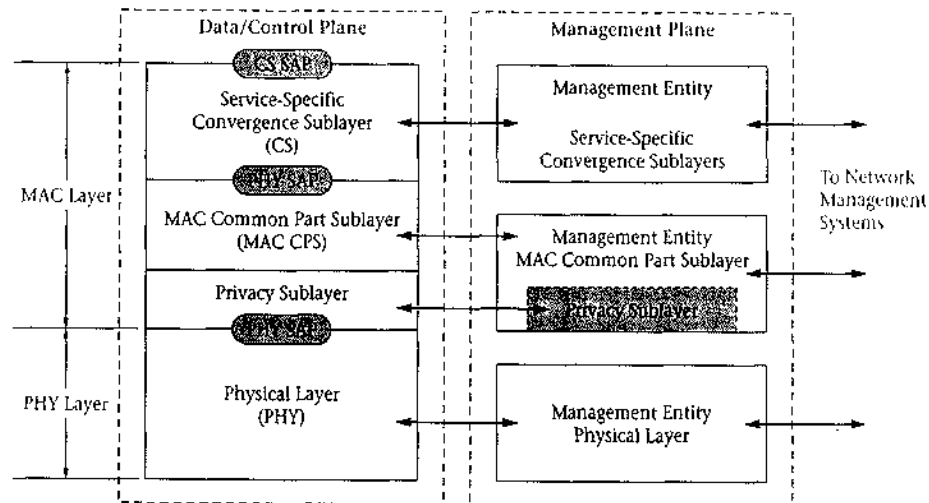
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

MAC LAYER ΓΙΑ ΤΟ 802.16

2.1 Αρχιτεκτονική MAC

Το WiMAX έχει ένα MAC πρωτόκολλο το οποίο μπορεί να μοιράσει πολλά κανάλια επικοινωνίας σε εκατοντάδες χρήστες, παρέχοντας υψηλής ποιότητας υπηρεσίες (QoS). Ο μηχανισμός πρόσβασης αυτού του προτύπου μοιάζει με τα συστήματα των ενσύρματων modems. Ο μηχανισμός του WiMAX εξαλείφει τις συγκρούσεις μεταξύ επιπέδων του πρωτοκόλλου και υποστηρίζει μεταφορά φωνής ή άλλου τύπου δεδομένων χωρίς χρονικές καθυστερήσεις.

Όπως θα δούμε αναλυτικά, το πρότυπο IEEE 802.16 καθορίζει τα δύο πρώτα επίπεδα του μοντέλου OSI, δηλαδή το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων έτσι ώστε τα προϊόντα ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης που κατασκευάζονται με βάση αυτό το πρότυπο να είναι ευέλικτα και έτσι ιδιαίτερα ανταγωνιστικά.



Σχήμα 2.1: OSI reference model for the IEEE 802.16 standard [1],[5]

Το σχήμα 2.1 δίνει λεπτομέρειες για το πρότυπο IEEE 802.16 με βάση το μοντέλο OSI. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το στρώμα MAC (έλεγχος πρόσβασης) αποτελείται από τρία υποστρώματα. Δεδομένα του εξωτερικού δικτύου λαμβάνονται (εκπέμπονται) μέσα από το υποστρώματος σύγκλισης (convergence sublayer, CS) σημείο πρόσβασης υπηρεσιών (service access point, SAP). Αυτά τα εξωτερικά δεδομένα μετασχηματίζονται ή κωδικοποιούνται σε

μονάδες πληροφοριών MAC (SDUs) μέσω του υποστρώματος σύγκλισης της εν λόγω υπηρεσίας και παραδίδονται στο κοινό τμήμα του υποστρώματος MAC (CPS) μέσω του MAC SAP. Οι λειτουργίες που παρέχονται από το υπόστρωμα σύγκλισης (CS) περιλαμβάνουν την ταξινόμηση των SDUs εξωτερικού δικτύου και τη διασύνδεσή τους με τη σωστή ροή υπηρεσιών MAC και το σωστό αναγνωριστικό σύνδεσης (CID). Υπάρχουν διάφορες άλλες προδιαγραφές του CS στα πλαίσια αυτού του υποστρώματος που παρέχουν υποστήριξη για τα πρωτόκολλα ανωτέρων επιπέδων όπως το ATM (κατάσταση ασύγχρονης μετάδοσης), το IEEE 802.3 (Ethernet), το point-to-point πρωτόκολλο (PPP) και τα διαδικτυακά πρωτόκολλα έκδοσης 4 και 6.

Το MAC CPS παρέχει την λειτουργικότητα του MAC για το ασύρματο σύστημα πρόσβασης στο Μητροπολιτικό Δίκτυο (MAN), την εγκατάσταση της σύνδεσης, τη διατήρηση σύνδεσης και την εκχώρηση εύρους ζώνης μεταξύ των συνδρομητικών μονάδων και του σταθμού βάσης. Αυτό το υπόστρωμα λαμβάνει στοιχεία που έχουν ταξινομηθεί και εκχωρηθεί σε συγκεκριμένες συνδέσεις MAC από τα CSs. Ένα υπόστρωμα (sublayer) MAC προσωπικού απορρήτου υπάρχει μεταξύ του MAC CPS και του φυσικού στρώματος (PHY) που εξοπλίζει το σύστημα με λειτουργίες πιστοποίησης, ασφαλούς ανταλλαγής κώδικα, και της επακόλουθης κρυπτογράφησης των μεταδιδόμενων πληροφοριών. Το στρώμα MAC επίσης εξασφαλίζει και μια συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) για τη σύνδεση, μέσω σωστού προγραμματισμού και μετάδοσης των πληροφοριών πάνω από το φυσικό στρώμα (PHY). Η μεταβίβαση στοιχείων, ο έλεγχος του φυσικού στρώματος και οι στατιστικές συστήματος λαμβάνουν χώρα ανάμεσα από το MAC CPS και το PHY μέσω του PHY SAP. Αυτό το ασύρματο πρότυπο MAN υποστηρίζει διάφορες υλοποιήσεις του PHY, κάθε μία από τις οποίες είναι «αφοσιωμένη» σε συγκεκριμένη ακτίνα συχνότητας και σε συγκεκριμένο περιβάλλον επικοινωνίας – διασύνδεσης. Τα ακόλουθα θα προσφέρουν κάποιες επιπρόσθετες λεπτομέρειες για αυτές τις λειτουργίες.

2.1.1 Υπόστρωμα σύγκλισης συγκεκριμένων υπηρεσιών

Το παραπάνω υπόστρωμα κάνει τις ακόλουθες εργασίες πάνω στα δεδομένα εξωτερικού δικτύου που πρόκειται να παραδοθούν μέσω της ασύρματης διασύνδεσης MAN. Λαμβάνει μονάδες στοιχείων πρωτοκόλλου (PDUs) από ανώτερα στρώματα και κάνει μια λειτουργία ταξινόμησης και οποιαδήποτε απαραίτητη επεξεργασία πριν παραδώσει τα CS PDUs στο σωστό MAC SAP. Λαμβάνει επίσης τα CS PDUs από την δική του οντότητα (peer entity) μέσω του φυσικού στρώματος. Σήμερα, το συγκεκριμένο πρότυπο παρέχει υποστήριξη της μεταφοράς των

ATM κελιών και των πακέτων πληροφοριών. Επομένως, ένα ATM CS και ένα πακέτο CS ορίζονται για το σύστημα. Άλλα CSs μπορούν να προστεθούν στο ισχύον πρότυπο μελλοντικά.

Χωρίς να επεισέλθουμε σε πολλές λεπτομέρειες σχετικά με τη λειτουργία του ATM, αυτή η σύντομη αναφορά θα προσπαθήσει να προσφέρει μια γενική εικόνα του πώς δουλεύει το CS [5]. Το CS του ATM αποδέχεται τα ATM κελιά από ένα δίκτυο ATM, κάνει την ταξινόμηση και αν προβλέπεται, την αποσιώπηση επικεφαλίδας φορτίου και έπειτα παραδίδει τις μονάδες πληροφοριών CS στο κατάλληλο MAC SAP. Ένα κελί ATM αποτελείται από μια επικεφαλίδα 5 bytes και ένα φορτίο 48 bytes. Το ATM CS PDU θα απαρτίζεται από μία ATM CS PDU επικεφαλίδα και το αρχικό ωφέλιμο φορτίο του ATM κελιού. Η αρχική επικεφαλίδα ATM αποτελείται από πληροφορίες σχετικές με τη σύνδεση ATM. Αυτές οι συνδέσεις μπορούν να αναγνωριστούν με τη χρήση μίας εικονικής διαδρομής και αναγνωριστικών καναλιού (VPI και VCI) και bits που καταδεικνύουν εάν οι συνδέσεις είναι μεταγωγικές ή μόνιμες. Η επικεφαλίδα του ATM CS PDU μπορεί να είναι είτε η αρχική επικεφαλίδα ATM ή μια μικρότερη τροποποιημένη επικεφαλίδα που διατηρεί όμως επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τη σύνδεση μεταγωγής ATM, έτσι ώστε να επιτραπεί η σωστή λειτουργία του συστήματος. Στην περίπτωση συμπίεσης της επικεφαλίδας φορτίου, για συνθήκες εικονικής διαδρομής, η τιμή του VPI απεικονίζεται σε ένα 2 byte CID, αναπαριστώντας τη MAC σύνδεση μέσω της οποίας θα μεταφερθεί, ενώ η επικεφαλίδα ATM CS PDU μικραίνει σε 3 bytes εκ των οποίων τα 2 αποτελούν την VCI τιμή. Σε κατάσταση κυκλωμάτων εικονικής μεταγωγής, ο συνδυασμός VPI / VCI απεικονίζεται σε μία τιμή CID με 16 bit και η επικεφαλίδα μειώνεται στο 1 byte. Και στις 2 περιπτώσεις, ο δέκτης αποκαθιστά την επικεφαλίδα ATM και οι τροποποιήσεις που γίνονται σύμφωνα με το πρωτόκολλο MAC καθίστανται διαφανείς στον τελικό προορισμό τους.

2.1.2 Κοινό υπόστρωμα MAC

Η χρήση ενός κοινού ασύρματου μέσου απαιτεί την χρήση διαδικασιών που επιτρέπουν τον αποτελεσματικό καταμερισμό αυτού του μέσου. Τα ασύρματα MAN με τα δίκτυα διπλής κατεύθυνσης από σημείο σε πολυσημείο και τα πλεγματοειδή (mesh) δίκτυα είναι παραδείγματα των συστημάτων που απαιτούν περίπλοκες διεργασίες ελέγχου πρόσβασης μέσω (MAC) για την επίτευξη μιας αποτελεσματικής κατάστασης λειτουργίας. Για τα ασύρματα MAN, αυτό το σύστημα και η αποτελεσματικότητά του έγκειται στο κοινό υπόστρωμα MAC. Μια σύντομη εξέταση της λειτουργίας του συστήματος IEEE 802.16 θα το καταστήσει αυτό πιο εμφανές.

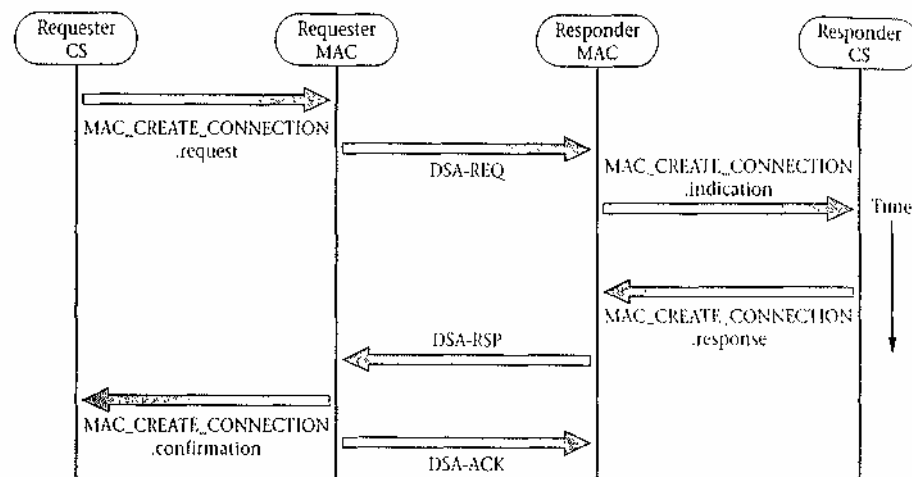
Η κατερχόμενη ζεύξη του σταθμού βάσης με τον συνδρομητή λειτουργεί πάνω σε μια αρχιτεκτονική σημείο σε πολυσημείο και συνεπώς οι μεταδόσεις δεν είναι απαραίτητο να είναι

συγχρονισμένες, καθώς όλοι οι χρήστες λαμβάνουν τις ίδιες μεταδόσεις. Ο σταθμός του συνδρομητή ελέγχει τη διεύθυνση στο λαμβανόμενο μήνυμα και κρατά μόνο τα μηνύματα εκείνα που απευθύνονται σε αυτόν. Στην ανοδική ζεύξη, οι χρήστες μοιράζονται τη σύνδεση ανάλογα με τις απαιτήσεις. Κανονικά, οι χρήστες πρέπει αρχικά να απαιτούν μια καθορισμένη ποιότητα υπηρεσίας (QOS) που παρέχει στη συνέχεια, δικαίωμα περιοδικής μετάδοσης, αλλιώς θα πρέπει να ζητήσει ώρα μετάδοσης από το σταθμό βάσης, ανάλογα με τις ανάγκες του. Οι χρήστες του συστήματος διαθέτουν πρωτόκολλα μετάδοσης που ελέγχουν ζητήματα ανταγωνισμού και επιτρέπουν μηχανισμούς προγραμματισμού ανοδικής ζεύξης που βελτιώνουν την αποδοτικότητα του συστήματος.

Για την εξασφάλιση μιας τέτοιας λειτουργικότητας, το IEEE 802.16 MAC είναι συνδεσμικό. Όταν ένας χρήστης για πρώτη φορά συνδέεται με το σύστημα, η διαδικασία αρχικοποίησης περιλαμβάνει την παροχή ροής υπηρεσιών. Εν συντομία, μετά την εγγραφή του χρήστη, οι συνδέσεις MAC συσχετίζονται με τη ροή υπηρεσιών που καθορίστηκαν από πριν. Συγκεκριμένα: κάθε χρήστης έχει μία καθολική διεύθυνση MAC των 48 bit. Αυτή η διεύθυνση αναγνωρίζει τον χρήστη και χρησιμοποιείται κατά τη διεργασία εγγραφής για να καθιερώσει τις σωστές συνδέσεις για τον χρήστη. Μία πιο προσεκτική εξέταση της διαδικασίας αρχικοποίησης του χρήστη, αποκαλύπτει ότι τρεις διαφορετικές αμφίδρομες συνδέσεις καθιερώνονται μεταξύ του συνδρομητή SS και του σταθμού βάσης BS [1]. Αυτές οι συνδέσεις MAC αναγνωρίζονται από CID των 16 bit που εκχωρούνται κατά την ανταλλαγή των μηνυμάτων για εγγραφή και σύνδεση. Αυτές οι τρεις συνδέσεις παρέχουν διαφορετικά επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών για τη «διαχείριση» κίνησης MAC μεταξύ του BS και του SS. Η βασική, η πρωτεύουσα, και η δευτερεύουσα σύνδεση χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή μηνυμάτων MAC που είναι σύντομα, πιο μεγάλα, και ανεκτικά στην καθυστέρηση, αντίστοιχα. Για την υποστήριξη της λειτουργίας του συστήματος επιπρόσθετες συνδέσεις μεταφοράς εκχωρούνται στους συνδρομητές. Αυτές οι συνδέσεις κανονικά εκχωρούνται ανά ζεύγη. Ωστόσο, είναι συνήθως από τη φύση τους «άνευ κατευθύνσεως» για να διευκολύνουν διαφορετικούς ρυθμούς μεταβίβασης πληροφοριών και να εξασφαλίζουν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσιών και στην κατερχόμενη και στην ανοδική ζεύξη.

Η ιδέα της ροής υπηρεσιών σε μία συγκεκριμένη σύνδεση μεταξύ ενός SS και BS είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του πρωτοκόλλου MAC. Η χρήση ροής υπηρεσιών παρέχει μια ενσωματωμένη μέθοδο για τη διαχείριση ποιότητας υπηρεσίας σε κατερχόμενες και ανοδικές ζεύξεις. Όταν ένας συνδρομητής ζητά ανοδικό εύρος ζώνης από μία βάση σύνδεσης, ο SS έμμεσα αναγνωρίζει την ποιότητα υπηρεσιών που απαιτείται για τη σύνδεση. Ο σταθμός βάσης (BS) θα παράσχει το εύρος ζώνης που ζητήθηκε. Κατά τη διαδικασία κατερχόμενης ζεύξης του

συστήματος, ο BS στήνει κατερχόμενες συνδέσεις βασισμένες στις πληροφορίες που παρέχονται για τις ήδη υπάρχουσες συνδέσεις μεταξύ του SS και του BS. Από τη στιγμή που καθιδρύνονται αυτές οι συνδέσεις MAC, προκύπτουν ζητήματα συντήρησης – διατήρησης σύνδεσης. Δυναμικές τροποποιήσεις σύνδεσης ίσως είναι απαραίτητες εξαιτίας του τύπου μεταφοράς – κίνησης, αλλιώς είτε ο SS είτε ο BS μπορεί να ξεκινήσει μια τροποποίηση σύνδεσης εξαιτίας αλλαγής στα αιτήματα εύρους ζώνης κίνησης. Τέλος, είναι δυνατός και ο τερματισμός σύνδεσης. Αυτό συνήθως συμβαίνει εάν ο χρήστης ακυρώσει τη συνδρομή του στην υπηρεσία ή δεν πληρώσει τον λογαριασμό. Όλες αυτές οι λειτουργίες διαχείρισης επιτυγχάνονται μέσω της χρήσης μηνυμάτων διαχείρισης MAC, που είναι σχεδιασμένα να υλοποιούν στατικές επαφές μεταξύ των SS και BS, που όταν καθιερωθούν, μπορεί να υποστούν δυναμική προσθήκη, τροποποίηση και τερματισμό.



Σχήμα 2.2: Operations occurring during the creation of a IEEE 802.16 connection [1], [5]

Για την επίτευξη όλων των απαιτούμενων λειτουργιών, το κοινό υπόστρωμα MAC παρέχει υπηρεσίες για την διεπαφή MAC SAP μεταξύ του MAC CPS και του CS. Αυτές οι υπηρεσίες (service primitives) ανήκουν σε μία από τις ακόλουθες τέσσερις ομάδες: MAC_CREATE_CONNECTION, MAC_CHANGE_CONNECTION, MAC_TERMINATE_CONNECTION, και MAC_DATA. Το πρότυπο περιγράφει τη λειτουργία, τη σημειολογία, τις συνθήκες κάτω από τις οποίες παράγονται και το αποτέλεσμα της λήψης κάθε μίας από τις αρχές αυτές. Για παράδειγμα, το σχήμα 2.2 παρουσιάζει την αλληλουχία των λογικών γεγονότων που συμβαίνει κατά τη δημιουργία της σύνδεσης που απαιτείται από το υπόστρωμα σύγκλισης.

Το πρότυπο παρέχει λεπτομερείς κανόνες για την κατασκευή ενός MAC PDU που απαρτίζεται από μία επικεφαλίδα MAC και ένα φορτίο MAC. Η επικεφαλίδα MAC μπορεί να

εμφανίσει δύο διαφορετικούς μορφότυπους: μία γενική επικεφαλίδα που περιέχει μηνύματα διαχείρισης MAC ή μία επικεφαλίδα – με CS δεδομένα και αίτησης εύρους ζώνης που χρησιμοποιείται για να ζητήσει επιπλέον εύρος ζώνης. Τρεις κατηγορίες επικεφαλίδων MAC χρησιμοποιούνται από το σύστημα: Κατάτμηση (Fragmentation), παροχή διαχείρισης (grant management), και συσκευασία (packing). Αυτές οι επικεφαλίδες διευκολύνουν τις λειτουργίες κατάτμησης ελέγχου, επιτρέπουν στον συνδρομητή να μεταβιβάσει την ανάγκη εύρους ζώνης προς τον BS, και διευκολύνει τη συσκευασία πολλαπλών SDUs σε ένα μόνο MAC PDU. Οι λειτουργίες κρυπτογράφησης πληροφοριών στην MAC PDU λαμβάνουν χώρα μόνο στο τεμάχιο φορτίου της MAC PDU [6].

Μία ομάδα μηνυμάτων διαχείρισης MAC καθορίζεται και έπειτα μεταφέρεται στο φορτίο της MAC PDU. Ο μορφότυπος του μηνύματος αποτελείται από ένα πεδίο τύπου – μηνύματος διαχείρισης και από επιπρόσθετα πεδία που χρησιμοποιούνται για να παράσχουν επιπλέον περιγραφείς μηνυμάτων. Θα είναι χρήσιμο να παρουσιάσουμε κάποια από αυτά τα μηνύματα διαχείρισης MAC καθώς θα τα αναφέρουμε αρκετά στη συνέχεια. Μηνύματα DCD περιγραφέα κατερχόμενου καναλιού και μηνύματα UCD περιγραφέα ανοδικού καναλιού, μεταδίδονται περιοδικά από το BS για να παράσχουν λεπτομέρειες για τα κατερχόμενα και ανοδικά κανάλια. Προσέξτε ότι ένα και μόνο μήνυμα UCD πρέπει να μεταδοθεί για κάθε ένα ενεργό ανοδικό κανάλι που συνδέεται με το κατερχόμενο κανάλι.

Τα μηνύματα DL – MAP και UL – MAP παράγονται από το BS. Το μήνυμα DL – MAP καθορίζει την πρόσβαση στην κατερχόμενη πληροφορία. Το μήνυμα DL – MAP περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις ακόλουθες παραμέτρους: συγχρονισμός φυσικού στρώματος, μέτρηση DCD, ID σταθμού βάσης, και τα ακόλουθα IE στοιχεία πληροφοριών. Το μήνυμα UL – MAP εκχωρεί πρόσβαση στο ανοδικό κανάλι. Το μήνυμα UL – MAP περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις ακόλουθες παραμέτρους: ID ανοδικού καναλιού, μέτρηση UCD, αριθμός στοιχείων πληροφοριών (IEs), ώρα εκκίνησης και στοιχεία απεικόνισης πληροφοριών. Η τελευταία παράμετρος απαρτίζεται από πληροφορίες για το CID, το (UIUC) κώδικας χρήσης ανοδικού διαστήματος και τη μετατόπιση. Τα στοιχεία πληροφοριών καθορίζουν τις εκχωρήσεις εύρους ζώνης ανοδικής ζεύξης, το CID απεικονίζει την απόδοση ενός στοιχείου πληροφορίας σε συγκεκριμένη διεύθυνση. Όταν χρησιμοποιείται για να σηματοδοτήσει την παροχή συγκεκριμένου εύρους ζώνης, το CID θα παρουσιάζει είτε το βασικό CID ή ένα από τα CID σύνδεσης μεταφοράς του συνδρομητή. Ένας κώδικας UIUC χρησιμοποιείται για να καθορίσει τον τύπο της πρόσβασης ανοδικής ζεύξης και το «προφίλ» ανοδικής ριπής burst που απαιτείται για την πρόσβαση.

Το μήνυμα αίτησης διαστήματος (RNG – REQ) και τα μηνύματα απόκρισης διαστήματος (RNG – RSP) χρησιμοποιούνται κατά την αρχική σύνδεση του συνδρομητή στο σύστημα. Αναφέρονται κι άλλα μηνύματα διαχείρισης MAC. Είναι τα μηνύματα διαχείρισης προσωπικού απορρήτου – προσθήκη συσχετισμού ασφαλείας – αίτημα εξουσιοδότησης απάντηση, μη ισχύον, απόρριψη – αίτημα πλήκτρου απάντηση, απόρριψη μηνύματα πιστοποίησης πληροφοριών μια σειρά από μηνύματα δυναμικής προσθήκης υπηρεσιών, αλλαγής, διαγραφής, απόδοση, σταθμοσκόπησης, μηνύματα αλλαγής προφίλ ριπής κατερχόμενης ζεύξης, κ.λ.π.

2.2 IEEE 802.16 Physical Layer Details

Το IEEE 802.16 παρουσιάζει διάφορες υλοποιήσεις στο φυσικό στρώμα [1]-[5]. Αυτές οι διαφορετικές υλοποιήσεις χρησιμοποιούν διαφορετική τυχαία κατανομή, κωδικοποίηση στοιχείων, απεικόνιση συμβόλων, τεχνικές διαμόρφωσης και μεθόδους πρόσβασης καναλιών. Σε μία προσπάθεια να παρουσιαστεί αυτό το υλικό με συνοπτικό αλλά και αντιληπτό τρόπο, οι διάφορες προδιαγραφές φυσικού στρώματος IEEE 802.16 θα είναι διαθέσιμες πρώτα για τις συχνότητες 10-66 GHz και έπειτα για τις συχνότητες 2-11 GHz. Σύμφωνα με το πρότυπο, η προδιαγραφή φυσικού στρώματος 10-66 GHz, είναι σχεδιασμένη με ελαστικότητα στην υλοποίησή της. Αυτή η ευελιξία έχει ως σκοπό να επιτρέπει στους παρέχοντες υπηρεσίες, την ικανότητα να βελτιστοποιούν το σχέδιο και την ανάπτυξη του συστήματος, θεωρητικά αυτή η «ελαστικότητα» θα έπρεπε να επιτρέπει την πιο αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ακτίνα 10-66 GHz [1].

Οι προδιαγραφές του φυσικού στρώματος για το φάσμα συχνοτήτων 2-11 GHz, αποτελούνται από τρία διαφορετικά σχέδια που όλα βελτιστοποιούνται για τη λειτουργία του NLOS [2]. Αυτές οι εναλλακτικές είναι καθορισμένες για χρήση στις εξουσιοδοτημένες ζώνες και με κάποια επιπρόσθετη τροποποίηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις «απαλλαχθείσες – αδείας» ζώνες στα 2-11 GHz. Για χρήση στις εξουσιοδοτημένες ζώνες, το φυσικό στρώμα ασυρμάτου MAN – SCa βασίζεται στη χρήση ενός μόνο φέροντος - carrier, το φυσικό στρώμα ασυρμάτου MAN – OFDM βασίζεται στη χρήση διαμορφωμένου OFDM και το φυσικό στρώμα ασυρμάτου MAN – OFDMA κάνει χρήση ενός τύπου ασύρματης πρόσβασης καναλιού χρησιμοποιώντας διαμόρφωση OFDM – (πολύπλεξη με διαίρεση συχνότητας OFDMA). Η χρήση αυτής της τεχνικής είναι προς το παρόν μοναδική για αυτό το ασύρματο πρότυπο. Για χρήση σε ζώνες απαλλαχθείσες αδείας υλοποιείται το φυσικό στρώμα WirelessHUMAN. Αυτή η

προδιαγραφή προσθέτει τη χρήση δυναμικής επιλογής συχνοτήτων (dynamic frequency selection, DFS) στα τρία φυσικά στρώματα που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η υπηρεσία φυσικού στρώματος παρέχεται στη λειτουργία MAC και στον BS και στον SS, μέσω του SAP φυσικού στρώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Οι αρχές υπηρεσίας φυσικού στρώματος σχετίζονται με τις δραστηριότητες διαχείρισης φυσικού στρώματος, μεταφορά δεδομένων και την αλληλεπίδραση από υπόστρωμα σε υπόστρωμα.

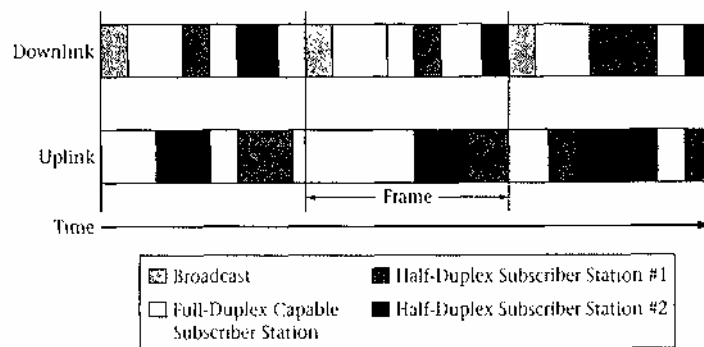
2.2.1 Φυσικό στρώμα IEEE 802.16 για 10-66 GHz (WirelessMAN-SC)

Στο πρότυπο IEEE 802.16, το φυσικό στρώμα υποστηρίζει χρήση της λειτουργίας αμφίδρομης διαίρεσης χρόνου (TDD) και της αμφίδρομης διαίρεσης συχνότητας (FDD). Και για τις δύο περιπτώσεις, μπορεί να έχουμε δυναμική αλλαγή των χαρακτηριστικών της σύνδεσης. Αυτό σημαίνει ότι οι παράμετροι μετάδοσης μπορούν να ρυθμιστούν ξεχωριστά για κάθε σταθμό συνδρομητή από μια βάση από πλαίσιο σε πλαίσιο. Η χρήση της FDD επιτρέπει στους σταθμούς συνδρομητών να έχουν την ικανότητα να λειτουργούν και σε πλήρης αμφίδρομες και σε ημι-αμφίδρομες καταστάσεις.

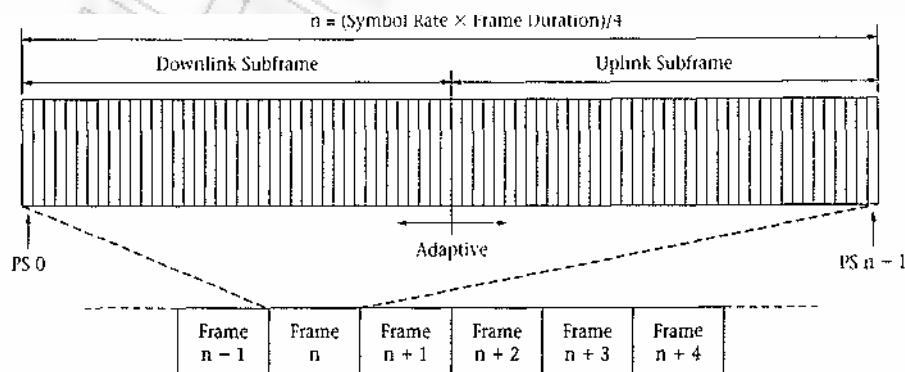
Η ανοδική μετάδοση βασίζεται και στην πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA) και στην πολλαπλή πρόσβαση με βάση τη ζήτηση. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης πολλαπλών θυρίδων χρόνου στο ανοδικό κανάλι. Το στρώμα MAC στον σταθμό βάσης (BS) ελέγχει δυναμικά τον αριθμό αυτών των θυρίδων που αποδίδονται για διάφορες λειτουργίες για την καλύτερη δυνατή απόδοση του συστήματος. Το κατερχόμενο κανάλι χρησιμοποιεί την πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM). Οι πληροφορίες για κάθε συνδρομητή (SS) πολυπλέκονται σε μία μόνο κατερχόμενη ροή στοιχείων τα οποία λαμβάνονται από όλους τους συνδρομητικούς σταθμούς που εξυπηρετούνται μέσω αυτής της σύνδεσης. Η ημι-αμφίδρομη λειτουργία συνδρομητή επίσης υποστηρίζεται από τη χρήση ενός «τεμαχίου» TDMA του κατερχόμενου πλαισίου χρόνου. Το φυσικό στρώμα κατερχόμενης ζεύξης συμπεριλαμβάνει μία λειτουργία μετάδοσης υποστρώματος σύγκλισης, η οποία θα εισαγάγει ένα byte δείκτη στην αρχή μίας μονάδας στοιχείων πρωτοκόλλου MAC (PDU). Αυτός ο δείκτης χρησιμοποιείται από τον παραλήπτη – δείκτη για να αναγνωρίσει το MAC PDU. Τα σχέδια και της ανοδικής και της κατερχόμενης μετάδοσης απαιτούν την τυχαία κατανομή των στοιχείων που πρόκειται να μεταδοθούν, την κωδικοποίηση FEC καθώς και την απεικόνιση των κωδικοποιημένων bit προς τους «αστερισμούς» QPSK, 16-QAM, ή 64-QAM, ανάλογα με τις διάφορες παραμέτρους του συστήματος, όπως την ταχύτητα μετάδοσης αλλά και τα χαρακτηριστικά των καναλιών.

2.2.1.1 Τεχνικές αμφίπλευρης σύνδεσης

Το φυσικό στρώμα IEEE 802.16 υποστηρίζει και τις δύο λειτουργίες FDD – TDD. Για την FDD τα κατερχόμενα και ανοδικά κανάλια λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες. Το γεγονός ότι η κατερχόμενη ζεύξη επιτρέπει μετάδοση burst, διευκολύνει τη χρήση διαφορετικών διαμορφώσεων καθώς και την ταυτόχρονη υποστήριξη πλήρως αμφίδρομων και ημι-αμφίδρομων συνδρομητικών σταθμών. Η πλήρης αμφίδρομη λειτουργία καθίσταται δυνατή μέσω της χρήσης δύο ξεχωριστών καναλιών – μετάδοσης και λήψης. Η ημι-αμφίδρομη λειτουργία υποστηρίζεται μέσω της χρήσης διαφορετικών χρονικών περιόδων κατά τη διάρκεια των κατερχόμενων και ανοδικών πλαισίων για την αποστολή και λήψη πληροφοριών του ημι-αμφίδρομου σταθμού. Το σχήμα 3 απεικονίζει λεπτομερώς αυτόν τον τύπο λειτουργίας. Για την αμφίδρομη λειτουργία διαίρεσης χρόνου, η κατερχόμενη και η ανοδική εκπομπή (transmission) μοιράζονται το ίδιο κανάλι συχνότητας. Ωστόσο αυτό το κάνουν σε διαφορετικούς χρόνους, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.



Σχήμα 2.3: 802.16 uplink and downlink frame structure [5]

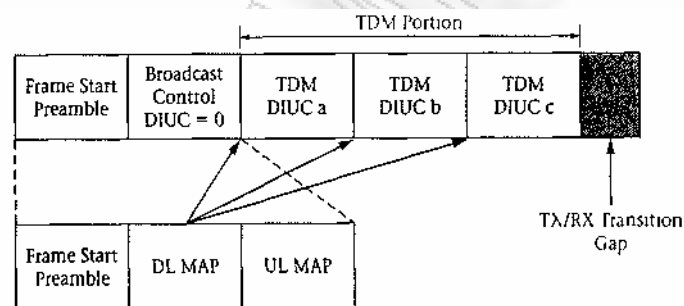


Σχήμα 2.4: IEEE 802.16 time division duplex operation [5]

Στην κατάσταση λειτουργίας TDD, κάθε πλαίσιο είναι σταθερής διάρκειας και περιέχει ένα κατερχόμενο και ένα ανοδικό υπό-πλαίσιο. Ολόκληρο το πλαίσιο αποτελείται από συγκεκριμένο αριθμό φυσικού επιπέδου χρονοθυρίδων (physical slots, PSs) ίδιου μεγέθους. Μέσα στο πλαίσιο δομής TDD, η διάρκεια και επομένως η χωρητικότητα των κατερχόμενων και ανοδικών υπό-πλαisiών μπορεί να ποικίλουν. Η λειτουργικότητα αυτού του συστήματος παρέχει την δυνατότητα να εκχωρείται το εύρος ζώνης που απαιτείται.

Και για την FDD και για την TDD λειτουργία, υπάρχουν κενά χρόνου εκπομπής λήψης ή λήψης εκπομπής, που χρησιμοποιούνται για να επιτρέπουν και στον συνδρομητή και στη βάση (SS και BS) χρόνο να προετοιμαστούν για τη λειτουργία και τον μεταγωγέα εκπομπής / λήψης (TX/RX) να αλλάξει κατάσταση. Η διάρκεια αυτών των κενών διαστημάτων χρόνου τοποθετείται πάντα σε ένα ακέραιο πολλαπλάσιο της διάρκειας του PS.

2.2.1.2 Λειτουργία κατερχόμενης ζεύξης (Downlink Operation)

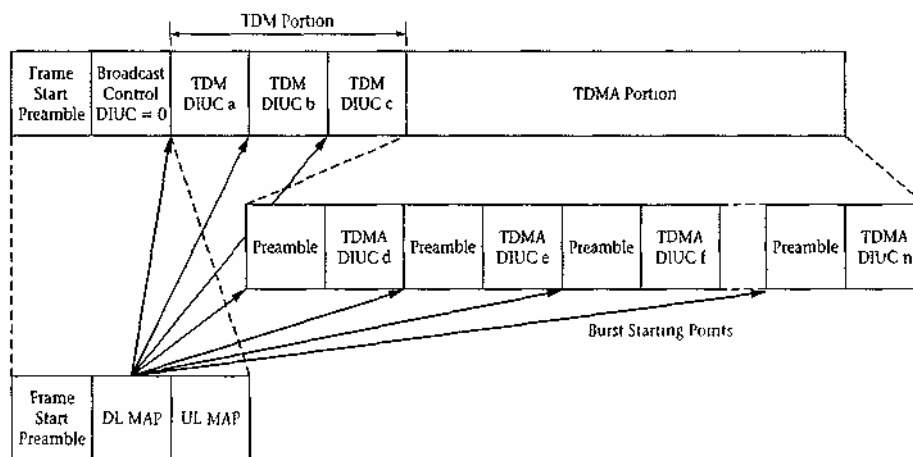


Σχήμα 2.5: TDD Downlink subframe structure [5]

Οι προδιαγραφές κατερχόμενης ζεύξης IEEE 802.16 για 10-66 GHz παρέχουν την δυνατότητα διαφορετικού εύρους ζώνης, που εξαρτάται από το διαθέσιμο εύρος ζώνης για μία φυσική θυρίδα. Ο αριθμός φυσικού επιπέδου χρονοθυρίδων (PSs) μέσα σε κάθε πλαίσιο είναι συνάρτηση του ρυθμού συμβόλων. Ο ρυθμός συμβόλων επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποδίδει έναν ακέραιο αριθμό χρονοθυρίδων μέσα σε κάθε πλαίσιο. Τα πλαίσια μπορεί να έχουν διάρκεια 0.5, 1.0 ή 2.0 ms. Για παράδειγμα, για ένα ρυθμό συμβόλου 40-Mbaud, ο αριθμός των χρονοθυρίδων για μία διάρκεια πλαισίου 2-ms είναι 20000. Το διαθέσιμο εύρος ζώνης ανοδικής ζεύξης καθορίζεται σε ανοδικές «mini» χρονοθυρίδες, όπου η διάρκεια της κάθεμιας ποικίλει, από 1 έως 128 PSs, σε δυνάμεις του 2 [1], [5].

Η δομή υπό-πλαisiού καθοδικής ζεύξης για την λειτουργία TDD φαίνεται στο σχήμα 5. Το υπό-πλαίσιο αποτελείται από μία προεισαγωγή εκκίνησης πλαισίου (preamble) που

χρησιμοποιείται από τον δέκτη για συγχρονισμό και ισοστάθμιση (equalization). Ακολούθως, υπάρχει ένα τμήμα ελέγχου πλαισίου που περιέχει κατερχόμενες και ανοδικές απεικονίσεις DL – MAP και UL – MAP που δηλώνουν τις χρονοθυρίδες φυσικού επιπέδου όπου ξεκινούν τα bursts. Το επόμενο τμήμα έχει τα δεδομένα των bursts τα οποία μπορούν να έχουν διαφορετικές διαμορφώσεις. **Τα δεδομένα εκπέμπονται με τη σειρά:** πρώτα τα στοιχεία QPSK, έπειτα τα 16-QAM και τέλος τα 64-QAM. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το κενό διάστημα χρόνου διαχωρίζει το καθοδικό υπό-πλαίσιο από το ανοδικό υπό-πλαίσιο που ακολουθεί. Στο άκρο λήψης αυτού του κατερχόμενου υπό-πλαισίου, ο κάθε συνδρομητής λαμβάνει και αποκωδικοποιεί το τμήμα ελέγχου του υπό-πλαισίου και έπειτα ψάχνει για επικεφαλίδες MAC που καταδεικνύουν στοιχεία για τους συνδρομητικούς σταθμούς ξεχωριστά, μέσα στο υπόλοιπο υπό-πλαίσιο καθοδικής ζεύξης.



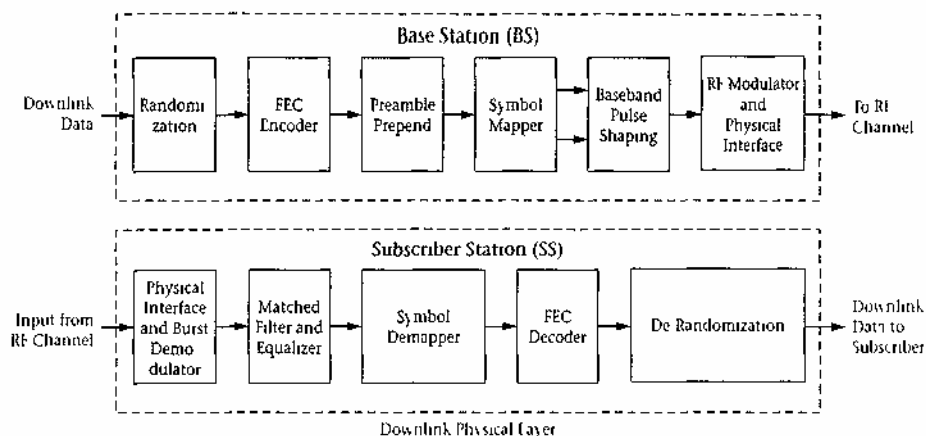
Σχήμα 2.6: FDD Downlink subframe structure [5]

Στην περίπτωση λειτουργίας FDD, το καθοδικό υπό-πλαίσιο φαίνεται στο σχήμα 2.6. Το υπό-πλαίσιο FDD είναι παρόμοιο με το TDD υπό-πλαίσιο, με εξαίρεση στο ότι περιέχει και ένα τμήμα TDM και ένα τμήμα TDMA. Ο τομέας TDM χρησιμοποιείται για την εκπομπή στοιχείων σε οποιουδήποτε αμφίδρομους συνδρομητικούς σταθμούς ή ημι-αμφίδρομους συνδρομητικούς σταθμούς που είναι προγραμματισμένοι να εκπέμπουν αργότερα στο συγκεκριμένο πλαίσιο και ημι-αμφίδρομους σταθμούς (SSs) που δεν είναι προγραμματισμένοι να εκπέμπουν στο πλαίσιο αυτό. Το τμήμα TDMA του υπό-πλαισίου χρησιμοποιείται για να μεταδίδει δεδομένα σε οποιουδήποτε ημι-αμφίδρομης SSs που είναι προγραμματισμένοι να εκπέμπουν μέσα στο πλαίσιο νωρίτερα από ότι λαμβάνουν. Χρησιμοποιώντας αυτή τη δομή, ένας SS δεν είναι ανάγκη να αποκωδικοποιεί ολόκληρο το κατερχόμενο υπό-πλαίσιο αλλά μόνο το κομμάτι που

απευθύνεται σε αυτόν. Μέσα στο τμήμα TDMA, κάθε burst ξεκινά με μία εισαγωγή κατερχόμενου TDMA που χρησιμοποιείται για επανασυγχρονισμό φάσης για ημι-αμφίδρομους σταθμούς. Όπως φαίνεται στο σχήμα το τμήμα ελέγχου πλαισίου FDD συμπεριλαμβάνει έναν «χάρτη» των TDM και TDMA bursts. Οι ριπές στοιχείων μέσα στο τμήμα TDMA δεν ζητείται να εκπέμπονται με κάποια συγκεκριμένη σειρά και για την περίπτωση όπου κανείς ημι-αμφίδρομος συνδρομητής δεν είναι προγραμματισμένος να εκπέμψει πριν οποιαδήποτε λήψη, τα υπό-πλαίσια TDD και FDD είναι πανομοιότυπα ως προς τη δομή τους.

Το τμήμα ελέγχου πλαισίου χρησιμοποιείται για να μεταδίδει πληροφορίες εκπομπής σε όλους τους σταθμούς συνδρομητών (SS) μέσα στην περιοχή υπηρεσίας. Οι πληροφορίες που μεταδίδονται σ' αυτόν τον τομέα χρησιμοποιούν έναν κώδικα χρήσης καθοδικού διαστήματος (DIVC) του 0 (μηδενός), που δείχνει ένα συγκεκριμένο προφίλ καθοδικού burst. Το τμήμα ελέγχου πλαισίου περιέχει επίσης ένα μήνυμα DL-MAP που ακολουθείται από ένα μήνυμα UL-MAP για κάθε συνδεόμενο ανοδικό κανάλι. Επιπλέον, μετά το τελευταίο μήνυμα UL-MAP, το τμήμα ελέγχου πλαισίου μπορεί να περιέχει επίσης μηνύματα περιγραφέα κατερχόμενου και ανοδικού καναλιού.

Τα καθοδικά data burts χρησιμοποιούνται για να εκπέμψουν δεδομένα και μηνύματα ελέγχου στους σταθμούς συνδρομητών (SSs). Τα στοιχεία είναι πάντα κωδικοποιημένα σε FEC και εκπέμπονται με τον σωστό τύπο διαμόρφωσης για τους δέκτες SS. Η σειρά των δεδομένων που μεταδίδονται μέσα στον τομέα TDM, καθορίζεται από τη διαμόρφωσή τους ενώ για τα δεδομένα που μεταδίδονται στον τομέα TDMA δεν απαιτείται κάποια ιδιαίτερη σειρά. Το μήνυμα DL-MAP περιέχει πληροφορίες για τον αριθμό των χρονοθυρίδων όπου παρατηρείται μια αλλαγή προφίλ πλαισίου.



Σχήμα 7: Blok diagram of the IEEE 802.16 downlink physical layer coding and modulation scheme [5]

Η κωδικοποίηση κατερχόμενου φυσικού στρώματος και το σχέδιο διαμόρφωσης για αυτό το συγκεκριμένο τμήμα του προτύπου IEEE 802.16 φαίνεται στο σχήμα 2.7. Το προφίλ κατερχόμενης ριπής (burst) των δεδομένων χρήστη μεταδίδεται στους σταθμούς συνδρομητών μέσω της χρήσης μηνυμάτων MAC κατά τη διάρκεια του τμήματος ελέγχου πλαισίου του κατερχόμενου υπό-πλαισίου. Επίσης, καθώς είναι εφικτό για τον συνδρομητή να μεταχειριστεί εναλλακτική διαμόρφωση και διαφορετικά σχέδια κωδικοποίησης FEC, αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται στο σταθμό βάσης (BS) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας εγγραφής του συνδρομητή. Η τυχαία κατανομή των στοιχείων διενεργείται για να εξασφαλισθεί η ικανότητα του συστήματος να ανακτήσει το σήμα χρονοιστή από την ροή εισερχομένων στοιχείων. Διάφορα περίπλοκα σχέδια διόρθωσης σφάλματος εφαρμόζονται από το σύστημα, με βάση το επιθυμητό επίπεδο προστασίας, τον τύπο διαμόρφωσης που θα χρησιμοποιηθεί, το μέγεθος της ομάδας δεδομένων κλπ. Reed Solomon κώδικες και turbo κώδικες μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τα διάφορα τμήματα του κατερχόμενου υπό-πλαισίου συνήθως χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους κωδικοποίησης FEC.

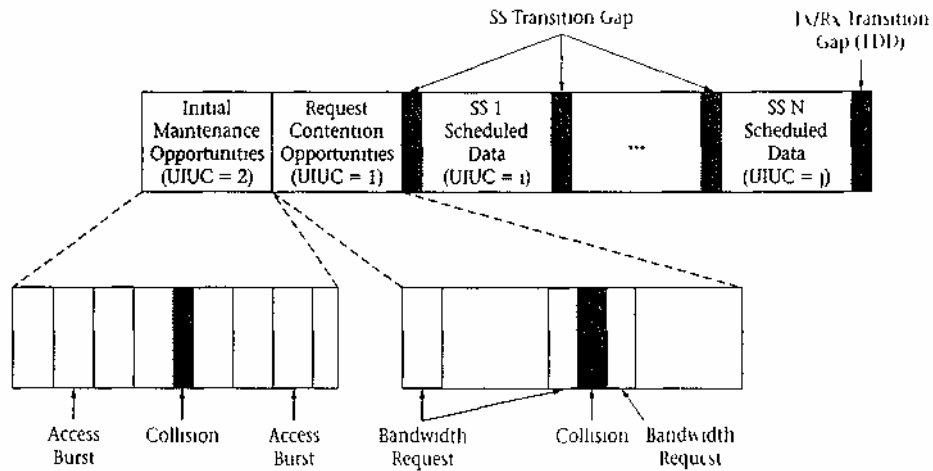
Τεχνικές διαμόρφωσης IEEE 802.16

Με σκοπό τη βελτιστοποίηση του συστήματος για μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης αξιόπιστων στοιχείων, το φυσικό στρώμα του IEEE 802.16, επιτρέπει τη χρήση πολυεπίπεδων σχεδίων διαμόρφωσης αποκλειστικού μεταφορέα. Για χρήση στο διάστημα συχνότητας των 10-66GHz, ο πρότυπος σταθμός βάσης Wi-MAX, πρέπει να δύναται να υποστηρίξει διαμόρφωση QPSK, 16-QAM και προαιρετικά 64-QAM. Σε κάθε περίπτωση, τα σήματα ζώνης βάσης I και Q πρέπει να προ-φιλτράρονται από ένα φίλτρο τετραγωνικής ρίζας συνημίτονου, πριν υποβληθούν σε διαμόρφωση RF και τροποποιηθούν σε σήμα μικροκύματος passband περάσματος ζώνης.

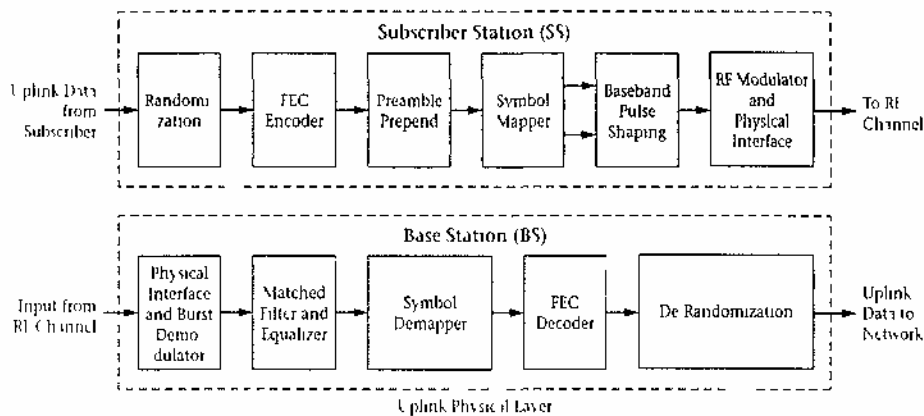
2.2.1.3 Λειτουργία ανοδικής ζεύξης

Η δομή υπό-πλαισίου ανοδικής ζεύξης φαίνεται στο σχήμα 2.8. Κατά τη διάρκεια της περιόδου υπό-πλαισίου ανοδικής ζεύξης, τρεις τύποι δεδομένων μπορεί να μεταδοθούν από το σταθμό του συνδρομητή. Είναι bursts που εκπέμπονται κατά τις περιόδους ανταγωνισμού οι οποίες είναι δεσμευμένες για αρχική συντήρηση, bursts που μεταδίδονται κατά τα διαστήματα ανταγωνισμού, αυτά που ορίζονται ως διαστήματα αίτησης και δεσμεύονται για απαντήσεις σε σταθμοσκοπήσεις εκπομπής και πολύ – εκπομπής και bursts που εκπέμπονται κατά τη διάρκεια διαστημάτων καθορισμένων από στοιχεία παροχής πληροφοριών (IBs) που έχουν εκχωρηθεί σε ξεχωριστούς σταθμούς συνδρομητών. Η ποσότητα και η σειρά των bursts μέσα στο πλαίσιο,

ορίζονται από τον χρόνο προγραμματιστή του σταθμού βάσης ανοδικής ζεύξης και καταδεικνύονται από τον UL-MAP.



Σχήμα 2.8: IEEE 802.16 uplink subframe structure indicating SS access burst activity [5]



Σχήμα 2.9: Block diagram of the IEEE 802.16 uplink physical layer coding and modulation scheme [5]

Οι συνεχόμενες – γειτονικές χρονοθυρίδες, εκχωρημένες για μεταδόσεις πληροφοριών ξεχωριστών συνδρομητών συγκεντρώνονται όλες μαζί σε ομάδες σταθμών συνδρομητών. Μέσα στις προγραμματισμένες θυρίδες, ο σταθμός συνδρομητή εκπέμπει τα στοιχεία ανοδικής ζεύξης χρησιμοποιώντας το προφίλ bursts που έχει προκαθορισθεί ή εκχωρηθεί από το σταθμό βάσης προς τον ατομικό σταθμό του συνδρομητή. Επιπλέον, τα μεταβατικά διαστήματα συνδρομητών ανοδικής ζεύξης, χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τις εκπομπές των διαφόρων συνδρομητικών σταθμών που λαμβάνουν χώρα κατά το υπό-πλαίσιο ανοδικής ζεύξης. Το

διάστημα χρόνου μετάβασης επιτρέπει στο σταθμό βάσης να προετοιμαστεί για τη λήψη μιας προ-εισαγωγής από τον επόμενο εκπέμποντα συνδρομητή (SS). Αυτή η εισαγωγή burst ανοδικής ζεύξης, παρόμοια με την προ-εισαγωγή burst κατερχόμενης ζεύξης, επιτρέπει στον σταθμό βάσης να συγχρονιστεί με τον νέο σταθμό συνδρομητού.

Το φυσικό στρώμα της ανοδικής ζεύξης που περιλαμβάνει την κωδικοποίηση υποστρώματος και τη διαμόρφωση απεικονίζονται στο σχήμα 2.9. Είναι αρκετά παρόμοιο με αυτό που δείχνει την κατερχόμενη ζεύξη στο σχήμα 2.7. Η διαδικασία τυχαίας κατανομής και τα σχέδια FEC είναι βασικά πανομοιότυπα, με ελάχιστες τροποποιήσεις FEC, που γίνονται εξαιτίας του μικρότερου μεγέθους του φορτίου μεταφοράς στην ανοδική ζεύξη. Το προ-φιλτράρισμα της ζώνης – βάσης και τα σχέδια διαμόρφωσης είναι πανομοιότυπα με αυτά που σχετίζονται με την κατερχόμενη ζεύξη.

2.2.1.4 Ταχύτητες μετάδοσης και εύρος ζώνης για συστήματα 10-66 GHz

Μέσα στο εύρος συχνοτήτων 10-66GHz υπάρχει μεγάλο εύρος φάσματος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συστήματα από σημείο – σε πολυσημείο. Δυστυχώς, υπάρχουν – παγκοσμίως – πολλές διαφορετικές ρυθμιστικές απαιτήσεις. Επομένως, το πρότυπο δεν προδιαγράφει συγκεκριμένες ζώνες συχνότητας μέσα στο διάστημα 10-66GHz. Αυτό που προσδιορίζεται από το πρότυπο είναι το μέγεθος του καναλιού και τους αντίστοιχους ρυθμούς συμβόλων και bit για τα διαφορετικά σχήματα διαμόρφωσης που εφαρμόζονται σε αυτή την περιοχή συχνότητας. Ο πίνακας 1 δείχνει αυτές τις τιμές για ένα προτεινόμενο μέγεθος πλαισίου του 1ms.

Channel Bandwidth MHz	Symbol Rate (MBaud)	Bit Rate (mbps) QPSK	Bit Rate (mbps) 16QAM	Bit Rate (mbps) 64QAM	Recommended Frame Duration (ms)	Number of PSs per Frame
20	16	32	64	96	1	4000
25	20	40	80	120	1	5000
28	22.4	44.8	89.6	134.4	1	5600

Πίνακας 2.1: IEEE 802.16 recommended transmission parameters for a 1-ms frame size [5]

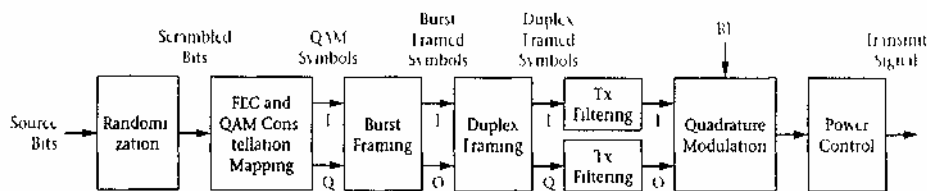
2.2.2 Λεπτομέρειες φυσικού στρώματος IEEE 802.16a για 2-11 GHz

Το πρότυπο IEEE 802.16a 2003 προσδιορίζει τα φυσικά και MAC στρώματα της διεπαφής για τα συστήματα πρόσβασης ευρείας ζώνης (και αυτά που είναι από σημείο σε πολυσημείο και αυτά που είναι από πολυσημείο σε πολυσημείο). Αυτό το νέο μοντέλο παρέχει την απαραίτητη λειτουργικότητα για ασύρματη υπηρεσία δεδομένων, βίντεο ή φωνής, με συγκεκριμένη ποιότητα υπηρεσίας. Το στρώμα MAC μπορεί να υποστηρίξει πολλαπλές υλοποιήσεις φυσικού στρώματος, από τις οποίες η κάθε μία προορίζεται για συγκεκριμένο τύπο περιβάλλοντος λειτουργίας. Κάθε τεχνολογία διασύνδεσης προβλέπει τη χρήση προσαρμοστικών συστημάτων κεραίας, ARQ, καθώς και τη λειτουργία χωροχρονικής κωδικοποίησης. Επιπλέον, αυτές οι προδιαγραφές φυσικού στρώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις εξουσιοδοτημένες ζώνες που έχουν καθοριστεί για δημόσια πρόσβαση δικτύου ή ακόμη και στις μη εξουσιοδοτημένες ζώνες (με κάποια επιπρόσθετη τροποποίηση στρώματος MAC) στο διάστημα συχνότητας μεταξύ 2-11GHz.

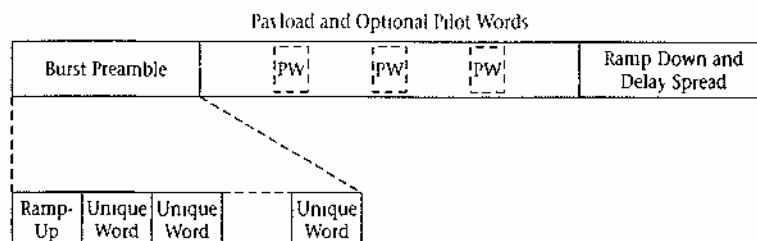
Η επέκταση του IEEE 802.16 προτύπου, προκειμένου να καλύψει τις ζώνες μικρότερης συχνότητας, απαιτεί επιπλέον λειτουργικότητα του φυσικού στρώματος. Συγκεκριμένα, αυτές οι ζώνες χαμηλότερης συχνότητας παρέχουν ένα περιβάλλον όπου περίπου – LOS ή μη – LOS λειτουργία είναι δυνατή. Την ίδια ώρα, το γεγονός αυτό εμφανίζει άλλα προβλήματα εξαιτίας της πολυδιαδομικής διάδοσης (multipath). Επομένως, η υποστήριξη τεχνικών διαχείρισης ισχύος, τα σχέδια μετρίασης των παρεμβολών, η συνύπαρξη και οι πολλαπλές τεχνολογίες κεραίας γίνονται ιδιαίτερα σημαντικά. Επιπρόσθετα η υποστήριξη μίας προαιρετικής πλεγματοειδούς τοπολογίας σημαίνει ότι το μοντέλο μπορεί τώρα να υποστηρίξει έναν τύπο διεπαφής ραδιοκυμάτων από πολυσημείο σε πολυσημείο. Αυτό απαιτεί νέα χαρακτηριστικά και βελτιώσεις και στα φυσικά στρώματα και στα στρώματα MAC. Σε αυτό το νέο πρότυπο, η πράξη ARQ έχει εισαχθεί για να υποστηρίξει τη λειτουργία του συστήματος υπό συνθήκες «πτωχής» συμπεριφοράς των καναλιών και κατά τη διάρκεια προαιρετικής πλεγματοειδούς πράξης. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση μη εξουσιοδοτημένων ζωνών εισάγει την πιθανότητα επιπρόσθετων παρεμβολών και προβλημάτων συνύπαρξης και συγχρόνως περιορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ εξόδου του συστήματος. Σε μία προσπάθεια να ανιχνεύσει και να αποτρέψει τις παρεμβολές υπό αυτές τις συνθήκες, η δυναμική επιλογή συχνότητας (DPS) έχει εισαχθεί για αυτές τις προδιαγραφές στη δημιουργία ταχύτατου, μη-εξουσιοδοτημένου MAN ή του WirelessHUMAN.

2.2.2.1 Φυσικό στρώμα ασύρματου MAN – SCa

Η επιλογή φυσικού στρώματος WirelessMAN – Single Carrier (Sca) είναι σχεδιασμένη ειδικά για καταστάσεις NLOS για συχνότητες 2-11GHz. Όταν χρησιμοποιείται σε εξουσιοδοτημένες ζώνες, το επιτρεπόμενο εύρος ζώνης καναλιού περιορίζεται στο τοπικό εύρος ζώνης, διαιρούμενο με κάποια δύναμη του 2, αλλά σε καμία περίπτωση λιγότερο από 1.25MHz. Στο θέμα αυτό θα εστιάσουμε στις διαφορές που προκύπτουν από τις νέες προδιαγραφές και θα υποβαθμίσουμε τις ομοιοτήτων μεταξύ αυτών των νέων προδιαγραφών και άλλων προηγούμενων ασυρμάτων συστημάτων.



Σχήμα 2.10: WirelessMAN-Sca standard block diagram of transmitting process for the downlink and uplink [5]

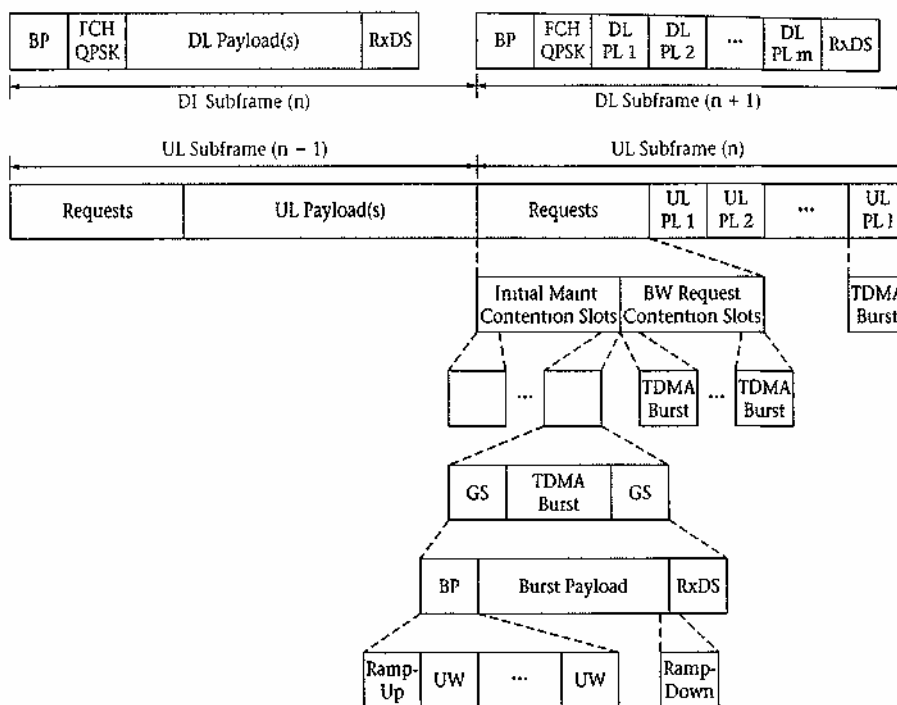


Σχήμα 2.11: WirelessMAN-Sca standard burst frame format [5]

Το σχήμα 2.10 δείχνει ένα σχηματικό διάγραμμα των διεργασιών εκπομπής και ανοδικής και κατερχόμενης ζεύξης. Η διαδικασία είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται σύμφωνα με το ασύρματο MAN – SC. Τα δεδομένα που είναι να μεταδοθούν βρίσκονται σε διάφορους τύπου περιπλοκών διεργασιών κωδικοποίησης FEC ώστε να αυξάνεται η ανθεκτικότητά τους σε σφάλματα κατά την μετάδοσή τους. Υπάρχει και η επιλογή μη – FEC, που χρησιμοποιεί ARQ για τον έλεγχο των σφαλμάτων. Τα είδη κωδικοποίησης FEC που είναι διαθέσιμα περιλαμβάνουν έναν τύπο συνεργατικού FEC, που χρησιμοποιεί REED SOLOMON και διαμόρφωση TCM με προαιρετική μετατόπιση byte, αλλά και επιλογές FEC που περιλαμβάνουν τη χρήση Turbo Codes. Τα μηνύματα εκπομπής πρέπει να χρησιμοποιούν τον συνεργατικό τύπο

του FEC, ενώ τα μη-αποστολής μηνύματα, μπορούν να χρησιμοποιούν όλους τους διαφορετικούς προαιρετικούς τύπους κωδικοποίησης FEC που υπάρχουν διαθέσιμοι μέσω του συστήματος.

Τα δεδομένα και ανοδικής και κατερχόμενης ζεύξης έπειτα μορφοποιούνται σε bursts που χρησιμοποιούν πλαίσια. Το θεμελιώδες πλαίσιο εκπομπής φαίνεται στο σχήμα 11. Αυτό το πλαίσιο απαρτίζεται από στοιχεία πλαισίου που επιτρέπουν ισοστάθμιση του καναλιού. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν μεταδίδονται δεδομένα μέσω μιας σύνδεσης NLOS που παρουσιάζει εκτεταμένη καθυστέρηση εξαιτίας πολυδιαδρομικής μετάδοσης. Το burst αποτελείται από τρία στοιχεία πλαισίου: μια προεισαγωγή ριπής και μια αλληλουχία από μοναδικές λέξεις, ένα φορτίο που μπορεί να περιλαμβάνει προαιρετικές πιλοτικές λέξεις, καθώς και μια χρονική περίοδο καθυστέρησης. Η χρήση των αρχικών και τερματικών δεδομένων πλαισίου και οι προαιρετικές πιλοτικές λέξεις μέσα στο φορτίο (payload) εξυπηρετούν στην βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος στο περιβάλλον διασύνδεσης των 2-11GHz.



Σχήμα 2.12. Wireless-SCa standard burst formats for FDD operation [6]

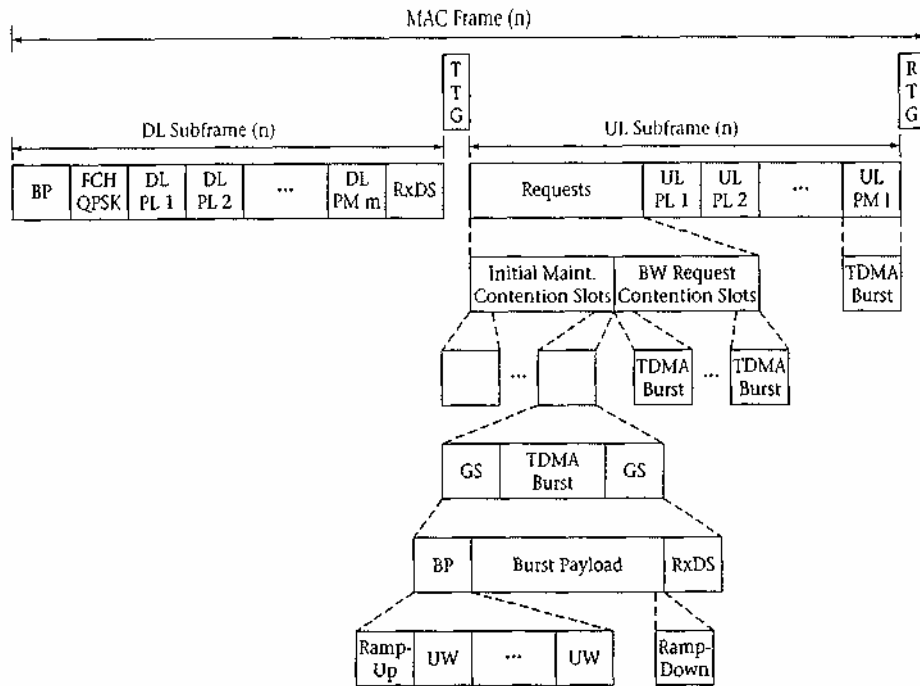
Το σχήμα 2.12 παρουσιάζει ένα παράδειγμα συστήματος FDD. Όπως φαίνεται στο σχήμα, τα πλαίσια ανοδικής και κατερχόμενης ζεύξης είναι ίσης διάρκειας και επαναλαμβάνουν τα διαστήματα που ορίζονται από το MAC. Τα ωφέλιμα φορτία κατερχόμενης ζεύξης μπορεί να

μην υπερβαίνουν το μήκος του υπό-πλαisiού κατερχόμενης ζεύξης αλλά ούτε χρειάζεται να γεμίζουν ολόκληρο το υπό-πλαίσιο. Η πρώτη ριπή σε κάθε υπό-πλαίσιο κατερχόμενης ζεύξης, είναι μια προ-εισαγωγή ριπής που ακολουθείται απευθείας από μια επικεφαλίδα ελέγχου πλαισιού (FCH). Αυτή αποτελεί μήνυμα εκπομπής που μπορεί να περιέχει DCD, UDC, και MAP πληροφορίες. Για αυτό το μορφότυπο FDD, το TDM φορτίο δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης μπορεί να ακολουθήσει το FCH. Κάθε ριπή κατερχόμενης ζεύξης αποτελείται από μια ριπή πλαισιού. Ανάλογα με το είδος των ριπών κατερχόμενης ζεύξης που είναι να μεταδοθούν, τα χρονικά διαστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάμεσα από ξεχωριστές ριπές κατερχόμενης ζεύξης για βελτιωμένη λειτουργία του συστήματος.

Το υπο-πλαίσιο ανοδικής ζεύξης είναι παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται από το μοντέλο Ασύρματο MAN – SC όπως φαίνεται στο σχήμα 12. Το UL-MAP στην κατερχόμενη ζεύξη FCH κατευθύνει τη θέση και το μέγεθος ριπής καθώς και το προφίλ αυτής, για την εκχώρηση εύρους ζώνης σε ξεχωριστούς συνδρομητικούς σταθμούς (SSs). Η επιλογή του προφίλ ριπής κανονικά βασίζεται στις επιπτώσεις της απόστασης της παρεμβολής και σε άλλους παράγοντες περιβάλλοντος που προκύπτουν κατά τις μεταδόσεις ανοδικής ζεύξης από τον συνδρομητικό σταθμό προς το σταθμό βάσης.

Η αμφίδρομη κατάσταση διαίρεσης χρόνου «πολυπλέκει» τα δεδομένα κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης στην ίδια συχνότητα φέροντος – carrier, όπως φαίνεται στο σχήμα 13. Αυτή η λειτουργία είναι επίσης παρόμοια με εκείνη που έχει ήδη περιγραφεί για την πράξη Ασυρμάτου MAN-SC. Τα υπό-πλαίσια κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης μοιράζονται ένα πλαίσιο σταθερού μήκους. Το ποσοστό του πλαισιού MAC που εκχωρείται στα υπό-πλαίσια κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης μπορεί να ποικίλει και καθορίζεται από τις πληροφορίες που δίνονται στο FCH. Ένα χρονικό διάστημα μεταξύ πομπού/δέκτη (TX/RX) - (TTG) παρέχεται μεταξύ της μετάβασης από κατερχόμενη ζεύξη σε ανοδική και ένα άλλο διάστημα μεταξύ δέκτη/πομπού (RX/TX) - (RTG) προκύπτει κατά τη μετάβαση από ανοδική σε κατερχόμενη ζεύξη.

Τα τελευταία βήματα στη διαδικασία μετάδοσης αποτελούνται από το προ-φιλτράρισμα δεδομένων της ζώνης βάσης και έπειτα από την εφαρμογή – ξεχωριστά – της ροής I και Q στον ορθογωνικό διαμορφωτή για αναβάθμιση ζώνης στη φέρουσα συχνότητα. Το είδος ή το επίπεδο διαμόρφωσης υπαγορεύεται από το συγκεκριμένο προφίλ ριπής. Η έξοδος δεδομένων RF του ορθογωνικού διαμορφωτή εφαρμόζεται σε έναν ενισχυτή με εξελιγμένο σύστημα ελέγχου ισχύος.



Σχήμα 2.13: WirelessMAN-SCa standard burst formats for TDD operation [5]

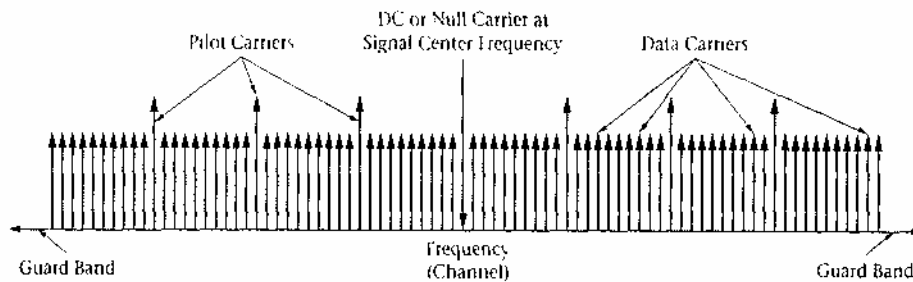
2.2.2.1.1 Έλεγχος ισχύος ασυρμάτου MAN-SC και τύπος διαμόρφωσης

Το μοντέλο WirelessMAN-SC πρέπει να υποστηρίζει τον έλεγχο ισχύος (power control) στην ανοδική ζεύξη, χρησιμοποιώντας και τον αρχικό καθορισμό και περιοδικές προσαρμογές. Ο σταθμός βάσης πρέπει να μπορεί να κάνει ακριβείς μετρήσεις ισχύος των RSSs από ένα σήμα ριπής ανοδικής ζεύξης ενός σταθμού συνδρομητή. Οι μετρήσεις μπορούν έπειτα να συγκριθούν έναντι ενός επιπέδου αναφοράς και μηνύματα MAC μπορούν να σταλούν πίσω στο σταθμό του συνδρομητή για τη διόρθωση των όποιων διαφορών. Το σύστημα ελέγχου ισχύος θα πρέπει να μπορεί να ανταποκρίνεται στις διακυμάνσεις ισχύος που δεν υπερβαίνουν το ρυθμό αλλαγής των 30dB/δευτερόλεπτο και το βάθος αλλαγής των 10dB τουλάχιστον. Αυτό το μοντέλο θα προβλέπει τους ακόλουθους τύπους διαμόρφωσης στις ανοδικές αλλά και στις κατερχόμενες συνδέσεις: BPSK (προαιρετικό σε κατερχόμενη ζεύξη), QPSK, 16-QAM, 64-QAM (προαιρετικό σε ανοδική ζεύξη) και 256-QAM (προαιρετικό). Όπως βλέπετε, δεν είναι όλοι οι τύποι διαμόρφωσης υποχρεωτικοί.

2.2.2.1.2 Μετρήσεις ποιότητας καναλιού

Για την επιτυχημένη υλοποίηση του μοντέλου φυσικής διεπαφής Wireless MAN – SCa τα δεδομένα της διασύνδεσης του συστήματος λαμβάνονται από μετρήσεις της ισχύος (Received Signal Strength Indicator, RSSI) και το λόγο σήματος προς συνολική παρεμβολή (carrier-to-interference-and-noise-ratio, CINR). Το σύστημα μπορεί να απαιτήσει να ληφθούν RSSI μετρήσεις κατερχόμενης ζεύξης από το σταθμό συνδρομητή. Αφού ανατεθεί από το σταθμό βάσης, ο συνδρομητής θα συλλέξει δεδομένα στο RSSI από τις ληφθείσες προ-εισαγωγές ριπής κατερχόμενης ζεύξης (downlink burst preambles). Από έναν επαρκή αριθμό διαδοχικών μετρήσεων RSSI, ο σταθμός συνδρομητή θα συγκεντρώσει τιμές για τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση του RSSI. Ο σταθμός βάσης μπορεί να ζητήσει αυτές τις τιμές μέσω της έκδοσης ενός μηνύματος REP – RSP προς το σταθμό συνδρομητή. Με παρόμοιο τρόπο, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση από το CINR μπορεί να μετρηθεί και να υπολογιστεί από το σταθμό συνδρομητή και να αναφερθεί στο σταθμό βάσης, όταν αυτό του ζητηθεί. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιορίσουν τα προφίλ κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης σε κάθε burst.

2.2.2.2 Φυσικό στρώμα WirelessMAN – OFDM



Σχήμα 2.14: OFDM output signal [5]

Η επιλογή φυσικού στρώματος του IEEE 802.16 WirelessMAN – OFDM βασίζεται σε έναν τύπο διαμόρφωσης ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) που σχεδιάστηκε ειδικά για λειτουργία NLOS σε ζώνες συχνότητας από 2-11GHz. Όταν χρησιμοποιείται σε εξουσιοδοτημένες ζώνες, το επιτρεπτό εύρος ζώνης καναλιού περιορίζεται στο τοπικό επιτρεπτό ρυθμιστικό εύρος ζώνης, διαιρούμενο με οποιαδήποτε δύναμη του 2 αλλά σε καμία περίπτωση λιγότερο από 1.25MHz. Η χρήση OFDM παρέχει στη μεταδιδόμενη ροή δεδομένων μία

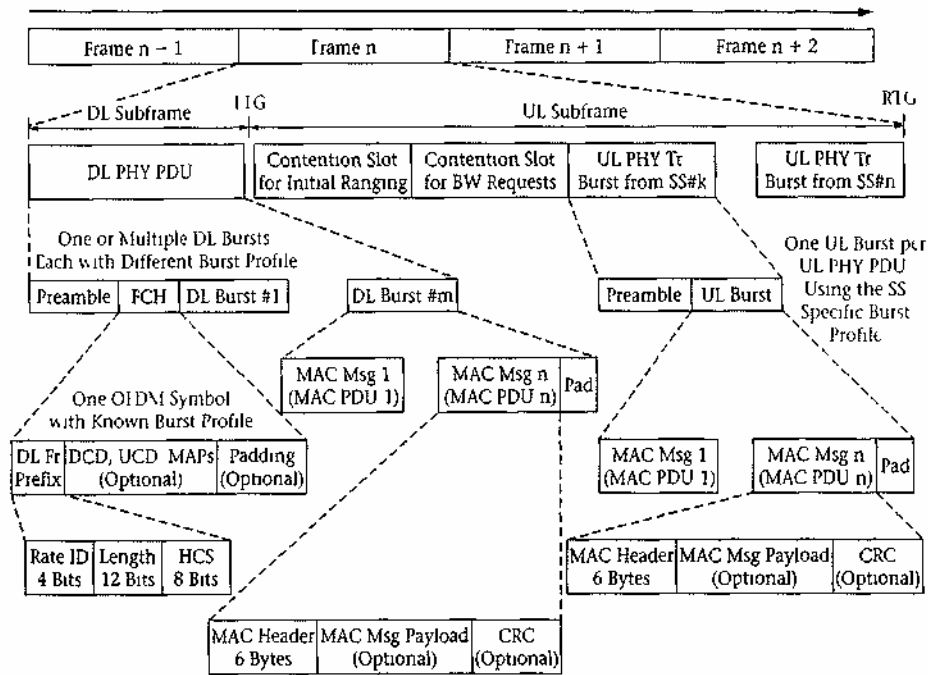
προστασία στην πολυδιαδρομική διάδοση καθώς επίσης και μια ανοχή στην παραμόρφωση σήματος λόγω αστάθειας συγχρονισμού [5]. Η λειτουργία της OFDM αποτελείται από την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών ορθογώνιων συχνοτήτων. Για αυτή τη συγκεκριμένη υλοποίηση του OFDM ο αριθμός των φερόντων κυμάτων είναι 256 από τα οποία τα 200 χρησιμοποιούνται. Από τα 200, τα 8 χρησιμοποιούνται για την εκπομπή πιλοτικών σημάτων και επομένως τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω των 192 που απομένουν. Το σχήμα 2.14 απεικονίζει το σήμα εξόδου του OFDM συστήματος. Μία περιγραφή αυτού του σήματος θα έδειχνε ότι περιέχει 3 τύπων φέροντα κύματα: τα δεδομένα, τα πιλοτικά δεδομένα και τα κενά. Τα φέροντα δεδομένων παρέχουν το μέσο μεταφοράς των δεδομένων κατά τη διασύνδεση, τα πιλοτικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος, και τα κενά δεν χρησιμοποιούνται για μεταδόσεις, αλλά δημιουργούν μία χαμηλή και μία υψηλή ζώνη προστασίας για το σήμα/σύμβολο OFDM. Υπάρχουν 28 χαμηλής συχνότητας και 27 υψηλής συχνότητας φέροντα προστασίας (guard) και ένα επιπρόσθετο κενό ή DC φέρον που δεν χρησιμοποιούνται για την εκπομπή σήματος. Τα φέροντα προσδιορίζονται από δείκτες με τιμές από -128 μέχρι +127. Τα πιλοτικά δεδομένα βρίσκονται στα φέροντα -84, -60, -36, -12, 12, 36, 60, και 84 (κάθε 24 φέροντα). Σαν ένα επιπρόσθετο γνώρισμα αυτού του σχήματος OFDM, τα 192 εναπομείναντα κύματα υποδιαιρούνται – περαιτέρω σε 4 υπο-κανάλια, με 48 φέροντα το καθένα. Η λειτουργία προεπιλογής προορίζεται για τον σταθμό συνδρομητή ώστε να χρησιμοποιεί όλα τα 192 OFDM κύματα κατά τη διάρκεια φυσιολογικής μεταφοράς δεδομένων. Ωστόσο, αν οι σταθμοί των συνδρομητών υποστηρίζουν μεταδόσεις subchannelization στην ανοδική ζεύξη, τότε δύο ή τέσσερις χρήστες μεταδίδουν ταυτόχρονα στο πλαίσιο ανοδικής ζεύξης χρησιμοποιώντας είτε δύο είτε ένα υπο-κανάλι, αντίστοιχα.

2.2.2.2.1 Κωδικοποίηση καναλιού

Η κωδικοποίηση καναλιών για τις προδιαγραφές του WirelessMAN – OFDM είναι παρόμοια με αυτή που ήδη είδαμε για τα άλλα μοντέλα IEEE 802.16. Τρία βήματα γίνονται στην ουσία και στον πομπό και στον δέκτη: τυχαία κατανομή δεδομένων, κωδικοποίηση FEC και interleaving. Η σειρά με την οποία γίνονται οι πράξεις αυτές στον δέκτη είναι ακριβώς αντίστροφη από αυτή που υπάρχει στον αποστολέα. Αφού έχει γίνει η κωδικοποίηση του καναλιού, τα data bits ομαδοποιούνται και εφαρμόζονται συγχρόνως κατά μικρότερες ομάδες σε απεικονίσεις αστερισμών που υποστηρίζουν QPSK, 16-QAM, και το προαιρετικό 64-QAM. Για τη λειτουργία OFDM, πρέπει να θυμηθεί κανείς το πως τα δεδομένα που πρόκειται να μεταδοθούν κατανέμονται στα φέροντα κύματα. Ένα σύμβολο OFDM απαρτίζεται από όλα τα

φέροντα κύματα που εκπέμπονται συγχρόνως. Ο αριθμός των bit ανά OFDM σύμβολο εξαρτάται από τον αριθμό των φερόντων κυμάτων και την τάξη της διαμόρφωσης που εφαρμόζεται. Για παράδειγμα, με 192 φέροντα και 16-QAM διαμόρφωση για κάθε φέρον, έχουμε ρυθμό δεδομένων : $4 \text{ bit/φέρον} \times 192 \text{ φέροντα} = 768 \text{ bits / OFDM σύμβολο}$.

2.2.2.2.2 Δομή πλαισίου / Λειτουργία από σημείο σε πολυσημείο



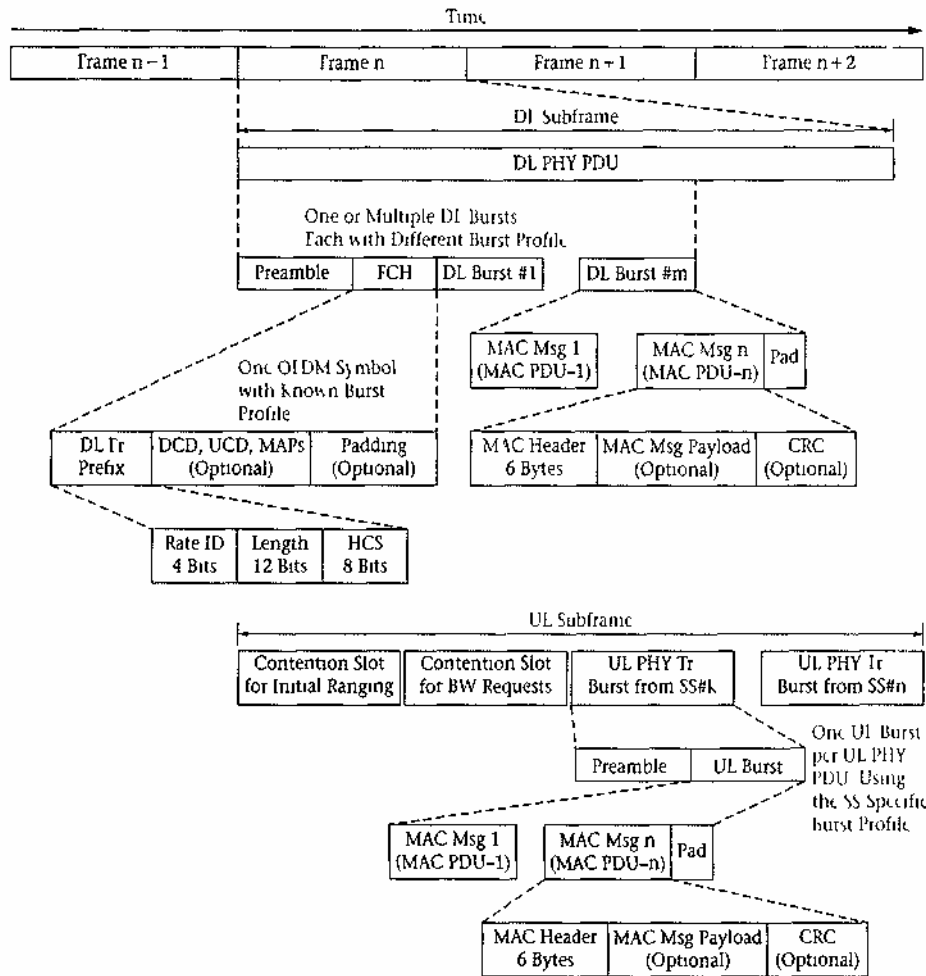
Σχήμα 2.15: OFDM frame structure for TDD operation in the unlicensed bands [5]

Για χρήση σε εξουσιοδοτημένες ζώνες, ένα σύστημα WirelessMAN – OFDM μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε FDD ή TDD. Στις μη εξουσιοδοτημένες ζώνες, πρέπει να χρησιμοποιείται TDD. Το σχήμα 2.15 δείχνει τη δομή πλαισίου OFDM για τη λειτουργία TDD. Το βασικό διάστημα πλαισίου περιέχει PDUs του φυσικού στρώματος του σταθμού βάσης και του συνδρομητή συν διαστήματα χρόνου και διαστήματα φρούρησης για να διευκολύνεται ο χρόνος επαναφοράς TX/RX και RX/TX. Για το TDD, οι σταθμοί βάσης και συνδρομητή χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα φερόντων, από όπου προκύπτει η αναγκαιότητα για ελάχιστα διαστήματα χρόνου των $5 \mu\text{sec}$ το καθένα. Παρότι το σχήμα 2.15 φαίνεται αρκετά περίπλοκο, αλλά παρουσιάζει τον συνήθη τύπο λειτουργίας του συστήματος, που ήδη περιγράψαμε σε αυτό το εδάφιο. Το φυσικό στρώμα OFDM δημιουργεί πλαίσια μετάδοσης. Ένα πλαίσιο αποτελείται από υπο-πλαίσια κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης, που δεν είναι απαραίτητα ίδιας διάρκειας. Ένα

υπο-πλαίσιο κατερχόμενης ζεύξης περιέχει μόνο ένα PDU κατερχόμενης ζεύξης ενώ το υπο-πλαίσιο ανοδικής ζεύξης αποτελείται από διάφορα διαστήματα ανταγωνισμού υπηρεσιών, συντήρησης, αιτήσεων για εύρος ζώνης και ένα ή περισσότερα PDUs ανοδικής ζεύξης, που προέρχονται από έναν ή περισσότερους σταθμούς συνδρομητών [5].

Το PDU κατερχόμενης ζεύξης με μια μακρά προεισαγωγή (long preamble) που χρησιμοποιείται από τον σταθμό συνδρομητή για συγχρονισμό. Η προεισαγωγή ακολουθείται από μια ριπή FCH που απαρτίζεται από ένα OFDM σύμβολο που εκπέμπεται με διαμόρφωση QPSK. Το FCH περιέχει ένα πρόθεμα πλαισίου κατερχόμενης ζεύξης για να προσδιορίζει το προφίλ και το μήκος της πρώτης ριπής κατερχόμενης ζεύξης και μία ακολουθία ελέγχου επικεφαλίδας (header check sequence, HCS). Το FCH μπορεί επίσης να περιλαμβάνει μηνύματα ελέγχου MAC, όπως DCD, UCD, και MAPs. Το FCH ακολουθείται από μία ή περισσότερες ριπές κατερχόμενης ζεύξης, από τις οποίες κάθε μία μπορεί να έχει ξεχωριστό προφίλ, όπως καθορίζεται από το DL – MAP. Η πρώτη ριπή κατερχόμενης ζεύξης συνήθως περιέχει μηνύματα πολυεκπομπής MAC. Για τη μετάδοση τόσο κατερχόμενης όσο και ανοδικής ζεύξης κάθε ριπή (burst) αποτελείται από ακέραιο αριθμό OFDM συμβόλων, που φέρουν μηνύματα MAC ή MAC PDUs. Για να προκύψει ακέραιος αριθμός OFDM συμβόλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η τεχνική συμπλήρωσης.

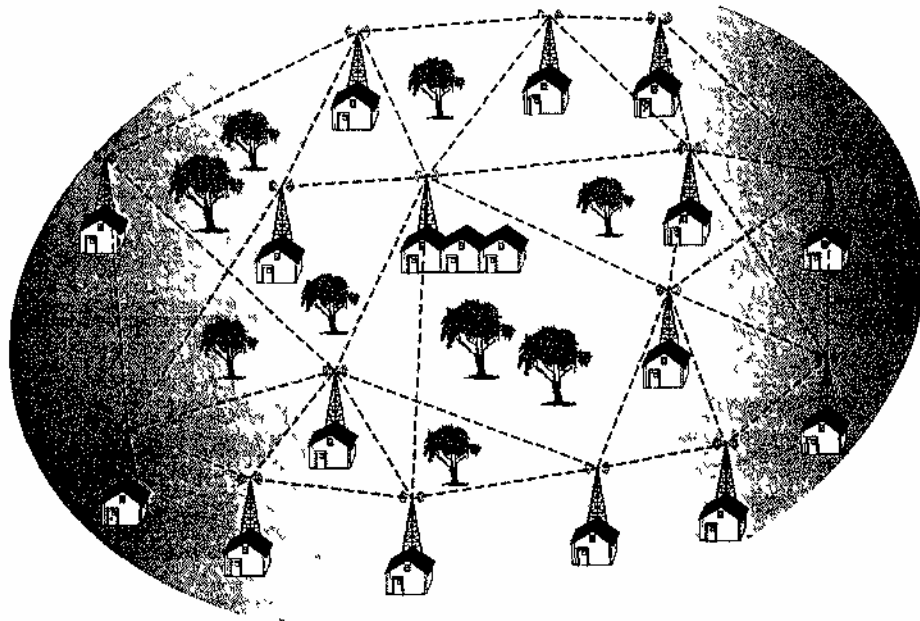
Για FDD συστήματα δεν υπάρχει η αναγκαιότητα για τα κενά διαστήματα χρόνου που χρησιμοποιούνται στη TDD λειτουργία, καθώς διαφορετικές συχνότητες φερόντων χρησιμοποιούνται για την μετάδοση πληροφοριών στις δύο κατευθύνσεις ζεύξης. Το σχήμα 2.16 δείχνει τη δομή του πλαισίου σε αυτή την περίπτωση. Όπως φαίνεται στο σχήμα, τα πλαίσια κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης είναι ίσης διάρκειας. Όσο περίπλοκο κι αν φαίνεται το σχήμα 2.16, η λειτουργία που απεικονίζεται είναι σχεδόν όμοια με ότι έχουμε ήδη παρουσιάσει.



Σχήμα 2.16: OFDM frame structure for FDD [5]

2.2.2.2.3 Δομή πλαισίου / Πλεγματοειδής (Ad-Hoc) λειτουργία

Στα πλαίσια των προδιαγραφών του WirelessMAN – OFDM έχει οριστεί μια προαιρετική δομή πλαισίου για να υποστηρίξει τη λειτουργία των πλεγματοειδών δικτύων. Τα πλεγματοειδή δίκτυα χρησιμοποιούνται για να παράσχουν λειτουργία σε NLOS περιβάλλοντα. Η βασική διαφορά μεταξύ της λειτουργίας από σημείο σε πολυσημείο (point-to-multipointPMP) και της πλεγματοειδούς λειτουργίας είναι ότι η πρώτη επιτρέπει μόνο συνδέσεις μεταξύ του σταθμού βάσης και των σταθμών συνδρομητών. Στην πλεγματοειδή κατάσταση, η κίνηση στο δίκτυο μπορεί να δρομολογηθεί μέσω άλλων σταθμών συνδρομητών και επίσης να επιτραπεί απευθείας μεταξύ των SS δημιουργώντας έτσι την απαιτούμενη συνδετικότητα για να παρακάμπτονται αρκετές σοβαρές καταστάσεις NLOS. Για ένα πλεγματοειδές δίκτυο ο σταθμός βάσης που εξυπηρετεί το πλέγμα, ορίζεται ως σταθμός βάσης πλέγματος (BS πλέγματος). Όλες οι άλλες πλεγματοειδείς καταστάσεις αποκαλούνται σταθμοί συνδρομητών πλέγματος mesh.

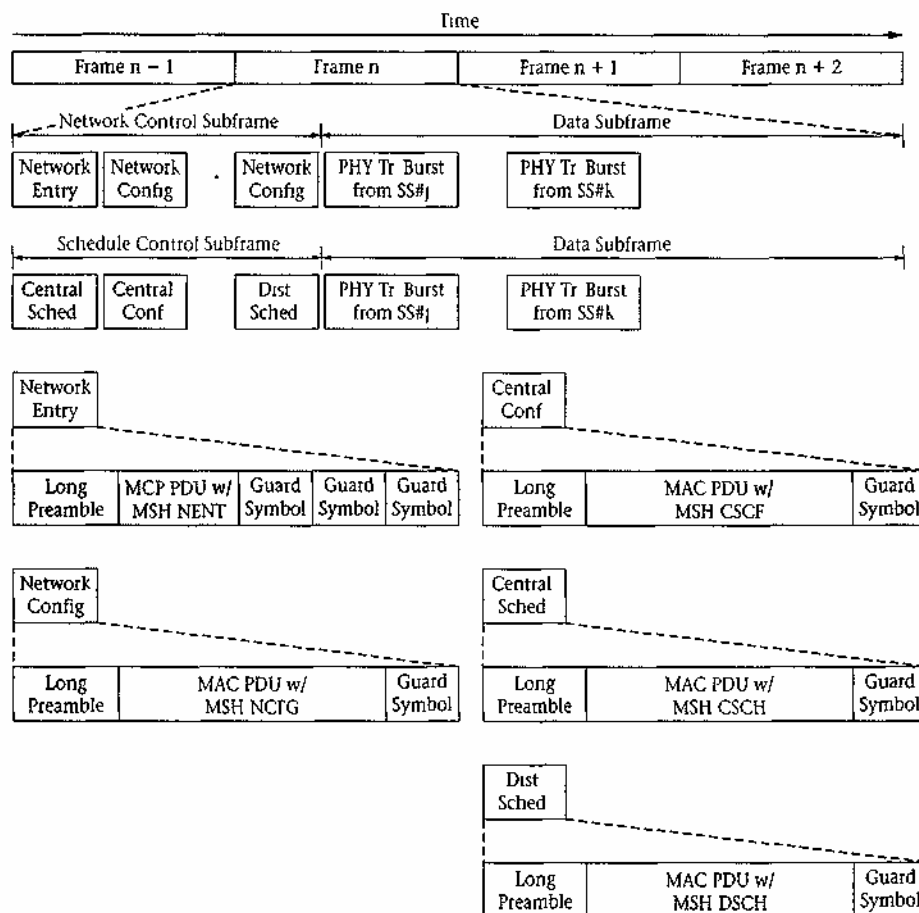


Σχήμα 2.17: A typical wireless mesh network [5]

Πολλοί νέοι όροι περιγράφουν τις λειτουργίες κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης ενός πλεγματοειδούς δικτύου. Κίνηση μακριά από τον BS πλέγματος και κίνηση προς την κατεύθυνση του BS πλέγματος, είναι εκφράσεις που χρησιμοποιούνται πλέον όταν περιγράφονται λειτουργίες μεταφοράς δεδομένων σε αρχιτεκτονική πλέγματος. Επιπλέον, υπάρχει και η έννοια των πλεγματοειδών γειτόνων. Οι σταθμοί με τους οποίους ο κόμβος έχει απευθείας σύνδεση είναι γνωστοί ως γείτονες. Μια εκτεταμένη γειτονιά αποτελείται από όλους τους γείτονες της γειτονιάς. Χρησιμοποιώντας ένα είδος καταναμημένου χρονοπρογραμματισμού, όλοι οι κόμβοι, συμπεριλαμβανομένου και του BS του πλέγματος, απαιτείται να συντονίζουν τις μεταδόσεις τους. Αυτή η διαδικασία συνεπάγεται την εκπομπή των χρονοδιαγραμμάτων τους σε όλους τους γείτονες. Σε ένα προαιρετικό σχέδιο, ο προγραμματισμός μπορεί να καθοριστεί μέσω μη συντεταγμένων αιτημάτων και εκχωρήσεων μεταξύ δυο κόμβων, εφόσον αυτό δεν προκαλεί άλλα προβλήματα συγκρούσεων και παρεμβολών μεταξύ άλλων κόμβων μέσα στη γειτονιά. Άλλος ένας τύπος χρονοπρογραμματισμού χρησιμοποιεί ένα συγκεντρωτικό (centralized) σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση, ο BS του πλέγματος συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με όλα τα αιτήματα των συνδρομητών του πλέγματος. Ο BS του πλέγματος έπειτα παρέχει πληροφορίες πίσω στον SS

του πλέγματος. Σε ένα πλεγματοειδές δίκτυο, όλες οι πλεγματοειδείς μεταδόσεις γίνονται σε ένα πλαίσιο σύνδεσης μεταξύ δύο κόμβων. Ποιότητα υπηρεσιών για τη σύνδεση παρέχεται πάνω στη βάση «από μήνυμα σε μήνυμα». Λειτουργίες όπως η κατηγοροποίηση κίνησης και ρύθμιση ροής εποπτεύονται από πρωτόκολλα ανώτερου στρώματος. Σε πλεγματοειδή δίκτυα, διάφορα συστήματα κεραίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες του κόμβου.

Για τη διευκόλυνση των λειτουργιών του πλεγματοειδούς δικτύου, το πλαίσιο πλέγματος αποτελείται από ένα υπο-πλαίσιο δεδομένων και ελέγχου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.18. Υπάρχουν δύο πιθανοί τύποι υπο-πλαισίων ελέγχου: ένα υπο-πλαίσιο ελέγχου δικτύου, που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία και τη συντήρηση της οργάνωσης μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και ένα υπό-πλαίσιο ελέγχου χρονοδιαγράμματος, που χρησιμοποιείται για να συντονίζει τον χρονοπρογραμματισμό μεταφοράς δεδομένων μεταξύ συστημάτων [5].

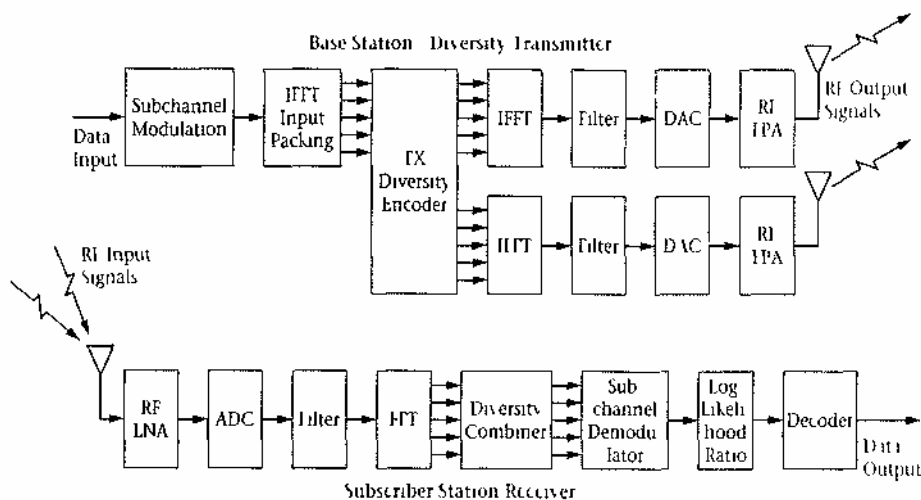


Σχήμα 2.18: Frame structure required for mesh network operation [5]

2.2.2.2.4 Μηχανισμοί ελέγχου συστήματος

Οι προδιαγραφές του WirelessMAN – OFDM απαιτούν διάφορες διεργασίες ελέγχου συστήματος, που χρησιμοποιούνται για την βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος. Ανάμεσα σε αυτές τις διεργασίες συγκαταλέγονται ο συγχρονισμός του δικτύου, η λειτουργία τέλεσης περιοχών και ο έλεγχος ισχύος. Εδώ προσφέρουμε λίγα σύντομα σχόλια σχετικά με κάθε ένα από αυτά τα θέματα. Το πρότυπο υπαγορεύει όλοι οι BS (σταθμοί βάσης) να είναι συγχρονισμένοι με ένα κοινό σήμα χρονισμού. Αυτό το κοινό σήμα χρονισμού συνήθως παρέχεται από έναν δέκτη GPS. Σε περίπτωση απώλειας του σήματος χρονισμού του δικτύου, οι σταθμοί βάσης θα συνέχιζαν την λειτουργία τους και θα επανασυγχρονίζονταν στην ώρα δικτύου, μετά την ανάκτησή του. Η σχετική αναφορά συχνότητας GPS θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί επίσης για έλεγχο συχνότητας του σταθμού βάσης. Ο καθορισμός περιοχής – διαστήματος (ranging) γίνεται κατά τη διάρκεια μιας αρχικής διαδικασίας εγγραφής ενός σταθμού συνδρομητή (SS) και έπειτα περιοδικά κατά τη διάρκεια κανονικής μετάδοσης δεδομένων. Η πρώτη τέλεση περιοχής παρέχει χονδρικό (coarse) συγχρονισμό που πρέπει να συμφωνεί με κάποιο κριτήριο αποδοχής για τους νέους συνδρομητές. Οι υπολογιζόμενες παράμετροι διαστήματος αποθηκεύονται στο σταθμό βάσης και έπειτα μεταδίδονται στο SS για χρήση κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Κατά τη διάρκεια κανονικής λειτουργίας αυτοί οι υπολογισμοί περιοδικά ενημερώνονται για να συντονίζουν με ακρίβεια το σύστημα. Εάν χαθεί ο συγχρονισμός, η τέλεση περιοχής ξαναγίνεται κατά τη διαδικασία εγγραφής. Εφαρμόζεται ένας τύπος ελέγχου ισχύος συστήματος που είναι πανομοιότυπος με τη διαδικασία που ήδη περιγράψαμε για το Ασύρματο MAN – SCA.

2.2.2.2.5 Τεχνικές εκπομπής



Σχήμα 2.19: Transmit diversity supported by the WirelessMAN-OFDM standard [5]

Παρόμοια με τη λειτουργία του WirelessMAN – SCA, μία προαιρετική μορφή διαφορικής εκπομπής (transmit diversity) υποστηρίζεται από τις προδιαγραφές του WirelessMAN – OFDM. Το σχήμα 2.19 παρουσιάζει τη θεμελιώδη ιδέα που εφαρμόζεται από αυτή την τεχνολογία. Υπάρχουν δύο κεραίες μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στο σταθμό βάσης και μία κεραία που χρησιμοποιείται από την πλευρά του σταθμού του συνδρομητή – κατά τη σύνδεση.

2.2.2.3 Φυσικό στρώμα WirelessMAN - OFDMA

Η επιλογή φυσικού στρώματος IEEE 802.16 WirelessMAN – OFDMA είναι μια τεχνική ασύρματης πρόσβασης που βασίζεται σε διαμόρφωση OFDM. Είναι σχεδιασμένη ειδικά για λειτουργία NLOS σε διάστημα συχνότητας 2-11GHz. Όταν χρησιμοποιείται σε εξουσιοδοτημένες ζώνες, το επιτρεπτό εύρος ζώνης καναλιού περιορίζεται στο προβλεπόμενο εύρος ζώνης ρυθμιστή διαιρούμενο με οποιαδήποτε δύναμη του 2, αλλά σε καμία περίπτωση λιγότερο από 1.25MHz. Όπως συνέβαινε στο WirelessMAN – OFDM, το σύμβολο του WirelessMAN – OFDMA αποτελείται από φέροντα δεδομένων, φέροντα με πιλοτικά δεδομένα και κενά φέροντα. Το σχήμα 2.20 παρουσιάζει τη δομή του OFDMA συμβόλου στην περιοχή συχνότητας. Κάθε OFDMA σύμβολο απαρτίζεται από 2048 φέροντα, από τα οποία τα 173 είναι χαμηλότερης συχνότητας και τα 172 υψηλής συχνότητας κύματα (κενά ή περιφρούρησης), ένα DC ή κενό φέρον στο κέντρο συχνότητας του καναλιού, 166 πιλοτικά φέροντα και 1536 φέροντα δεδομένων. Επιπλέον, τα 1536 φέροντα δεδομένων υποδιαιρούνται σε 32 υπο-κανάλια των 48 φερόντων δεδομένων το καθένα [3], [5].

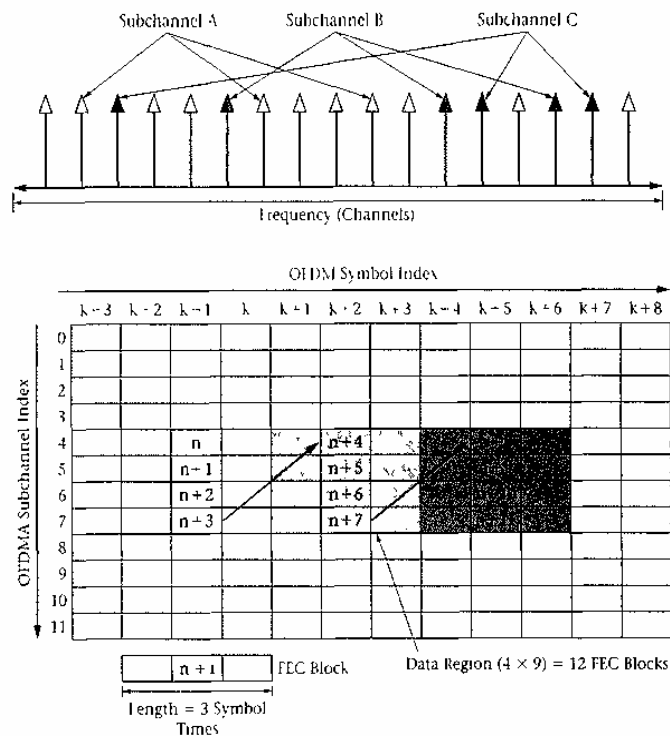
Λίγα σχόλια για αυτά τα OFDM υπο-κανάλια: στην κατερχόμενη ζεύξη ένα υπο-κανάλι μπορεί να προορίζεται για έναν συγκεκριμένο SS ή για μία ομάδα διαφορετικών SSs. Στην ανοδική ζεύξη σε έναν συνδρομητή μπορεί να εκχωρηθεί ένα υπο-κανάλι ή σε περισσότερους πολλά υπο-κανάλια. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την εκχώρηση ποικίλου εύρους ζώνης και παρέχει την ικανότητα σε διάφορους σταθμούς συνδρομητών να μεταδίδουν τα δεδομένα τους ταυτόχρονα μέσα στο ίδιο πλαίσιο ανοδικής ζεύξης. Η διαίρεση του OFDMA συμβόλου σε λογικά υπο-κανάλια, επιτρέπει την ικανότητα κλιμάκωσης του συστήματος, την πολλαπλή πρόσβαση των SS, και προηγμένες ικανότητες επεξεργασίας σήματος με προσαρμοστικές κεραίες (adaptive antenna arrays).

2.2.2.3.1 Χρονοθυρίδα OFDMA

Σε όλα τα μέχρι τώρα αναφερθέντα συστήματα IEEE 802.16, τα δεδομένα εκπέμπονται μέσα στα πλαίσια συγκεκριμένης φυσικής χρονοθυρίδας. Ωστόσο, η χρονοθυρίδα του φυσικού

στρώματος OFDMA συμβαίνει να είναι δι-διάστατη. Αυτό σημαίνει ότι, μία φυσική ριπή δεδομένων σε ένα σύστημα OFDMA εκχωρείται σε μία ομάδα συνεχόμενων υπο-καναλιών σε μία ομάδα συνεχόμενων OFDMA συμβόλων. Αυτή η ιδέα αρχικά φαίνεται δυσνόητη. Το σχήμα 2.20 παρουσιάζει τις βασικές αρχές ενός συστήματος OFDMA με μόνο 12 υπο-κανάλια για κάθε OFDM σύμβολο.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, τα δεδομένα MAC απεικονίζονται σε μία περιοχή δεδομένων OFDMA με τη χρήση συγκεκριμένων κανόνων. Τα δεδομένα διαχωρίζονται σε ομάδες που είναι συμβατές ως προς το μέγεθος των FEC blocks. Κάθε FEC block καταλαμβάνει ένα OFDMA υπο-κανάλι στην κατεύθυνση των υπο-καναλιών και τρία OFDM σύμβολα στην κατεύθυνση του χρόνου. Το πρώτο FEC block απεικονίζεται στο μικρότερο αριθμό υπο-κανάλι και στο μικρότερο αριθμό OFDM σύμβολο. Στη συνέχεια η απεικόνιση συνεχίζει στην κατεύθυνση του υπο-καναλιού μέχρι τα όρια της περιοχής δεδομένων. Έπειτα, η απεικόνιση συνεχίζεται στο χαμηλότερης αριθμησης υπο-κανάλι του επόμενου OFDM συμβόλου. Το σχήμα 2.20 δείχνει ένα παράδειγμα απεικόνισης. Στην περίπτωση αυτή, η διάσταση περιοχής δεδομένων είναι 4×9 . Με άλλα λόγια, η θυρίδα OFDMA αποτελείται από 4 υπο-κανάλια που εκπέμπονται σε 9 διαδοχικά OFDM σύμβολα. Η χρήση αυτής της τεχνικής απλώνει το σήμα και κατά χρόνο και κατά συχνότητα, βελτιώνοντας έτσι τη μεταβίβαση δεδομένων σε σύνδεση NLOS.



Σχήμα 2.20 OFDMA data region example [5]

2.2.2.3.2 Δομή πλαισίου OFDMA

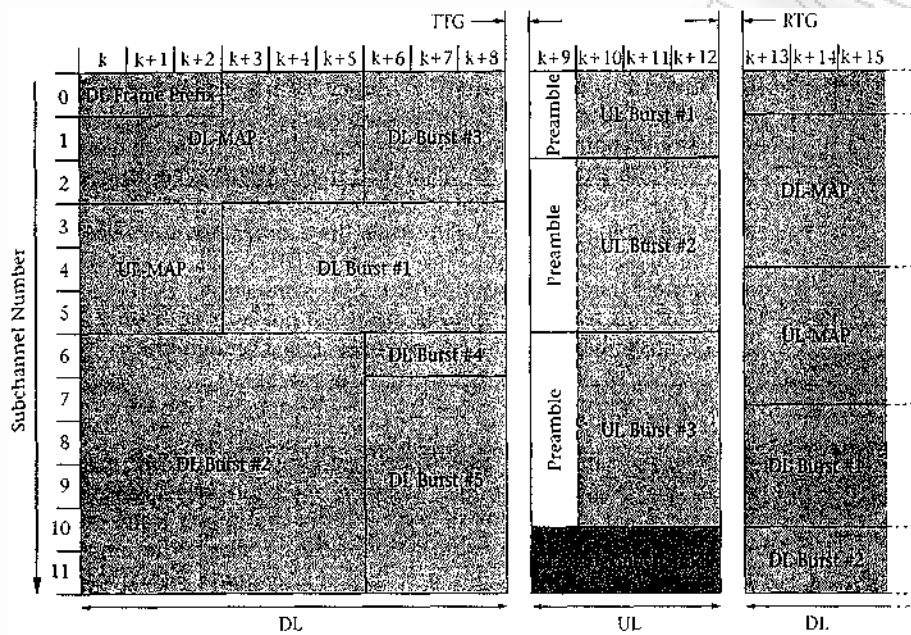
Όπως συνηθίζεται στο IEEE 802.16a, η λειτουργία OFDMA σε εξουσιοδοτημένες ζώνες υποστηρίζει τις λειτουργίες FDD και TDD και η λειτουργία σε μη-εξουσιοδοτημένες ζώνες πρέπει να χρησιμοποιεί TDD [1], [5]. Μια συνήθης δομή πλαισίου TDD από σημείο σε πολυσημείο για τη λειτουργία αυτή, φαίνεται στο σχήμα 2.21. Η όλη δομή του πλαισίου αποτελείται από μεταδόσεις σταθμού βάσης κατερχόμενης ζεύξης και από μεταδόσεις σταθμού συνδρομητή ανοδικής ζεύξης. Κάθε ριπή κατερχόμενης ζεύξης αποτελείται από ακέραια πολλαπλασια τριών OFDMA συμβόλων. Το διάστημα χρόνου TX/RX (TTG) και το διάστημα χρόνου RX/TX (RTG) μπαίνουν ανάμεσα στα υπο-πλάσια κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης και στο τέλος του ανοδικού υπο-πλαισίου, αντίστοιχα. Μετά το TTG ο σταθμός βάσης ψάχνει για τα πρώτα OFDMA σύμβολα μίας ριπής ανοδικής ζεύξης (preamble symbols). Παρόμοια, μετά από ένα RTG οι σταθμοί συνδρομητών ψάχνουν τα πρώτα σύμβολα της ριπής κατερχόμενης ζεύξης (με QPSK διαμόρφωση). Για την FDD λειτουργία δεν υπάρχει αναγκαιότητα για τα διαστήματα χρόνου TTG και RTG, καθώς τα πλαίσια κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης μεταδίδονται σε διαφορετικές συχνότητες.

Για ένα υπο-πλαίσιο κατερχόμενης ζεύξης, ένα πρόθεμα πλαισίου DL μεταδίδεται πρώτα. Το πρώτο FEC block του πλαισίου κατερχόμενης ζεύξης περιέχει πληροφορίες σχετικά με το FCH και την αρχή του μηνύματος DL-MAP, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.21. Το πρόθεμα πλαισίου DL εκπέμπεται με το πιο δυνατό προφίλ διαμόρφωσης (QPSK) και χρησιμοποιείται για να προσφέρει πληροφορίες για την κωδικοποίηση και διαμόρφωση του μηνύματος DL-MAP, τις διαστάσεις μηνύματος DL-MAP (υποκανάλια \times OFDM symbols), και ένα DL άθροισμα ελέγχου προθέματος πλαισίου.

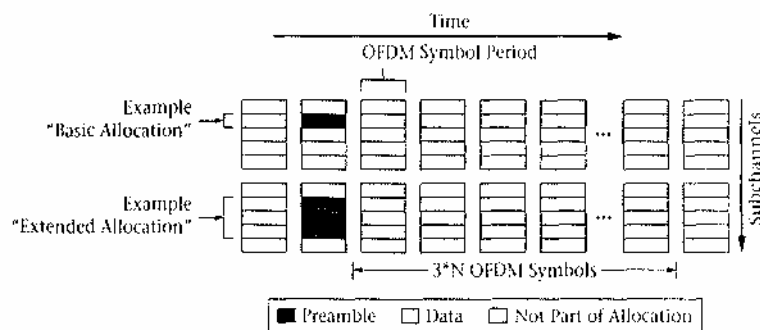
Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.22 οι ριπές κατερχόμενης ζεύξης μπορούν να είναι ποικίλου μεγέθους. Μια ριπή κατερχόμενης ζεύξης αποτελείται από συγκεκριμένο αριθμό υπο-καναλιών που χρησιμοποιούνται για ακέραιο πολλαπλάσιο των τριών OFDMA συμβόλων. Η ψηφιακή διαμόρφωση της ριπής κατερχόμενης ζεύξης, το σχέδιο κωδικοποίησής της, και οι διαστάσεις της, καθορίζονται στο μήνυμα DL-MAP. Το στρώμα MAC καθορίζει το μέγεθος πλαισίου μετάδοσης κατερχόμενης ζεύξης και το μήκος των διαφόρων τομέων μετάδοσης.

Η ριπή ανοδικής ζεύξης επίσης αποτελείται από έναν αριθμό υπο-καναλιών που εκπέμπονται σε έναν αριθμό OFDMA συμβόλων. Ο αριθμός OFDMA συμβόλων ισούται με $1+3N$ όπου N είναι θετικός ακέραιος. Το 1^ο OFDMA σύμβολο ανοδικής ζεύξης που μεταδίδεται από έναν SS περιέχει μια προ-εισαγωγή σε όλα τα εκχωρημένα υπο-κανάλια. Η μικρότερη εκχώρηση ανοδικής ζεύξης είναι 1 υπο-κανάλι και 4 OFDMA σύμβολα. Μεγαλύτερες εκχωρήσεις, γνωστές ως «εκτεταμένες», είναι δυνατές μαζί με μια εκχώρηση ελάχιστου

μεγέθους. Το στρώμα MAC θέτει επίσης το μήκος του πλαισίου ανοδικής ζεύξης και την απεικόνιση του.



Σχήμα 2.21: Typical TDD frame structure for OFDMA [5]



Σχήμα 2.22: OFDMA uplink symbol burst allocations [5]

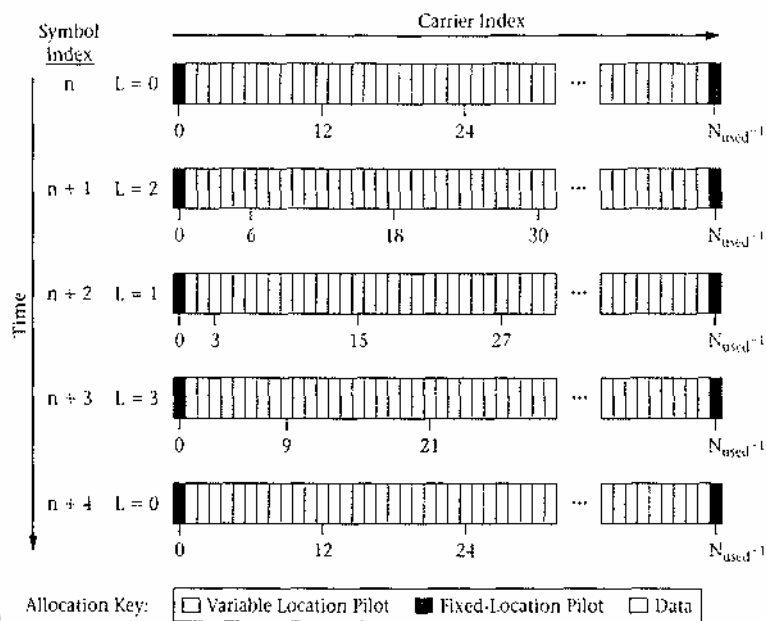
2.2.2.3.3 OFDMA φέροντα και πιλοτικές εκχωρήσεις

Η εκχώρηση κυμάτων για πιλοτικές λειτουργίες και λειτουργίες δεδομένων, γίνεται λίγο διαφορετικά για τις μεταδόσεις κατερχόμενης και ανοδικής ζεύξης. Για κατερχόμενη ζεύξη, οι πιλοτικοί τόνοι εκχωρούνται πρώτοι και τα εναπομείναντα φέροντα εκχωρούνται έπειτα για δεδομένα. Στην ανοδική ζεύξη, όλα τα διαθέσιμα φέροντα πρώτα διαιρούνται σε υπο-κανάλια και μετά τα πιλοτικά φέροντα εκχωρούνται σε κάθε υπο-κανάλι. Αυτό προσφέρει μία κοινή

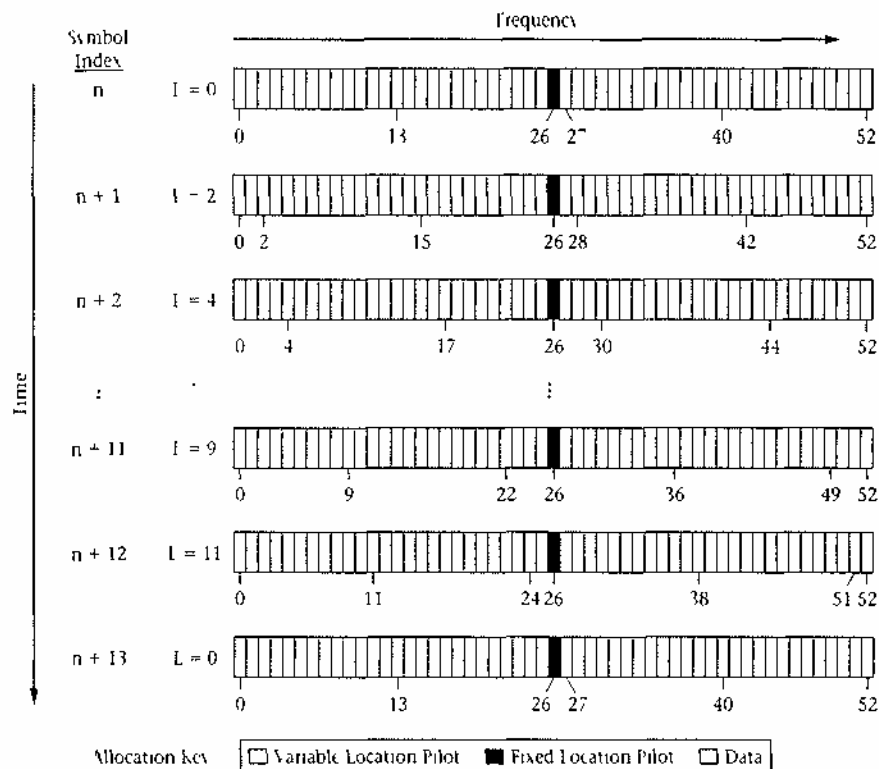
ομάδα πιλότων για κατερχόμενες εκπομπές, που πηγαίνουν από τον σταθμό βάσης σε όλους τους SSs. Στις μεταδόσεις ανοδικής ζεύξης, αφού κάθε υπό-κανάλι μπορεί να εκχωρηθεί σε διαφορετικό SS, ο κάθε σταθμός συνδρομητών έχει τους δικούς του πιλότους.

Το σχήμα 2.22 απεικονίζει την εκχώρηση των σταθερών και των μεταβλητών πιλοτικών φερόντων για την κατερχόμενη κατεύθυνση, ενώ το σχήμα 2.23 απεικονίζει τις εκχωρήσεις φερόντων για ένα συγκεκριμένο υπο-κανάλι στην ανοδική κατεύθυνση. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν μόνο τέσσερα διαφορετικά σενάρια για την τοποθεσία των «πιλότων» στα OFDMA σύμβολα κατερχόμενης ζεύξης, που επαναλαμβάνονται ανά τέσσερα σύμβολα.

Για την ανοδική ζεύξη, κάθε υπό-κανάλι αποτελείται από συνολικά 53 φέροντα εκ των οποίων 4 φέροντα κύματα είναι πιλότος μεταβλητής θέσης και 1 κύμα είναι πιλότος σταθερής θέσης. Κάθε μετάθεση θέσης πιλότου υπο-καναλιού, αφήνει 48 φέροντα για δεδομένα και επαναλαμβάνεται ανά 12 OFDMA σύμβολα.



Σχήμα 2.23: OFDM carrier and pilot channel allocations in the downlink direction [5]



Σχήμα 2.25: OFDM carrier and pilot channel allocations in the uplink direction [5]

2.2.2.3.4 Περιοχές OFDMA, αιτήματα εύρους ζώνης, και κωδικοποίηση καναλιών

Για τη λειτουργία WirelessMAN – OFDMA το MAC ορίζει ένα ranging κανάλι. Αυτό το OFDMA κανάλι αποτελείται από άρτιο αριθμό συνεχόμενων υπο-καναλιών και ο δείκτης του μικρότερου υπο-καναλιού είναι επίσης άρτιος. Λεπτομέρειες για το κανάλι περιέχονται στο μήνυμα UL-MAP. Μία αρχική ranging μετάδοση χρησιμοποιείται από έναν σταθμό συνδρομητή (SS) που επιθυμεί να συγχρονιστεί με το σύστημα για πρώτη φορά. Ο SS τυχαία επιλέγει έναν ranging κωδικό από μία λίστα ψευδο-τυχαίων δυαδικών ακολουθιών. Ο κωδικός έπειτα εκπέμπεται μέσω ενός OFDMA συμβόλου (με BPSK διαμόρφωση). Ο ίδιος κωδικός μεταδίδεται σε δύο αλληπάλγηλα OFDMA σύμβολα. Μόλις ο SS έχει συγχρονιστεί με το σύστημα, κάποιες περιοδικές ranging μεταδόσεις αποστέλλονται από τον SS. Σε αυτή την περίπτωση, ο SS εκπέμπει έναν κωδικό στο ranging κανάλι για μόνο ένα OFDMA σύμβολο.

Τα αιτήματα εύρους ζώνης ανοδικής ζεύξης των SS χρησιμοποιούν επίσης την ίδια τεχνική. Υπάρχουν 48 πιθανοί κώδικες (ψευδο-τυχαίοι) που χρησιμοποιούνται για τις 3 διαφορετικές λειτουργίες που περιγράψαμε. Αυτοί οι κωδικοί υποδιαιρούνται σε 3 ομάδες: αρχικής ranging, περιοδικής ranging, και αιτημάτων εύρους ζώνης. Μέσω της χρήσης αυτών των κωδικών ο

σταθμός βάσης ενός συστήματος OFDMA μπορεί να συγκεντρώσει πληροφορίες χρόνου (ranging) και ισχύος. Ο σταθμός βάσης αποκτά πολλές πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του καναλιού του χρήστη κατά την επεξεργασία σήματος που γίνεται στη διαδικασία ανίχνευσης του κώδικα. Οι μετρήσεις χρόνου και ισχύος επιτρέπουν στο σύστημα να προσαρμόζεται στις συνθήκες διάδοσης και στην καθυστέρηση διάδοσης που προκαλούνται από την απόσταση μεταξύ του BS και του SS.

Η κωδικοποίηση καναλιών για το σύστημα WirelessMAN – OFDMA απαρτίζεται από διεργασίες που κατανομούν τυχαία τα δεδομένα που πρόκειται να μεταδοθούν και παρέχουν κωδικοποίηση FEC, interleaving, και διαμόρφωση. Αυτές οι διαδικασίες είναι παρόμοιες με αυτές που έχουμε ήδη αναλύσει και οποιεσδήποτε διαφοροποιήσεις στην πορεία τους δεν αλλάζουν τον βασικό σκοπό ή στόχο τους να παράσχουν δηλαδή τη σωστή απεικόνιση σε σύμβολα OFDMA και να μειώσουν το επίπεδο σφαλμάτων κατά την εκπομπή δυαδικών ψηφίων. Η διαμόρφωση ψηφίων και στην ανοδική ζεύξη και στην κατερχόμενη ζεύξη περιορίζεται στο QPSK, 16-QAM, και στο προαιρετικό 64-QAM, με διαθέσιμα ποικίλα επίπεδα κωδικοποίησης και interleaving. Όπως μπορεί να περιμένει κανείς, προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση υποστηρίζεται κατά την κατερχόμενη ζεύξη, ενώ και η ανοδική ζεύξη υποστηρίζει διαφορετικά σχέδια διαμόρφωσης για κάθε σταθμό συνδρομητή (SS), βασισμένα σε μηνύματα MAC που έρχονται από το σταθμό βάσης (BS). Τα πιλοτικά φέροντα των OFDMA συμβόλων διαμορφώνονται από μια ψευδό-τυχαία δυαδική ακολουθία, που προσδιορίζεται από τη θέση τους μέσα στο OFDMA σύμβολο.

2.2.2.3.5 Προδιαγραφές πομπού και δέκτη OFDMA

Για αυτές τις προδιαγραφές του φυσικού στρώματος, ο αποστολέας (πομπός) πρέπει να υποστηρίζει έναν έλεγχο επιπέδου ισχύος των 45 dB, για εξουσιοδοτημένες ζώνες και 30dB για μη εξουσιοδοτημένες ζώνες. Ο ρυθμός σφάλματος δυαδικών ψηφίων στον δέκτη πρέπει να είναι μικρότερος από 10^{-6} για το λαμβανόμενο επίπεδο ισχύος όπου εμφανίζεται σε dBn στον πίνακα 2 και μια figure θορύβου των 7dB. Τα κλάσματα κάτω από τους τύπους διαμόρφωσης δείχνουν το ρυθμό κωδικοποίησης, που χρησιμοποιείται από το σύστημα.

Bandwidth (MHz)	QPSK		16-QAM		32-QAM	
	1/2	3/4	1/2	3/4	1/2	3/4
1.5	-91	-89	-84	-82	-78	-76
1.75	-90	-87	-83	-81	-77	-75
3	-88	-86	-81	-79	-75	-73
3.5	-87	-85	-80	-78	-74	-72
5	-86	-84	-79	-77	-72	-71
6	-85	-83	-78	-76	-72	-70
7	-84	-82	-77	-75	-71	-69
10	-83	-81	-76	-74	-69	-68
12	-82	-80	-75	-73	-69	-67
14	-81	-79	-74	-72	-68	-66
20	-80	-78	-73	-71	-66	-65

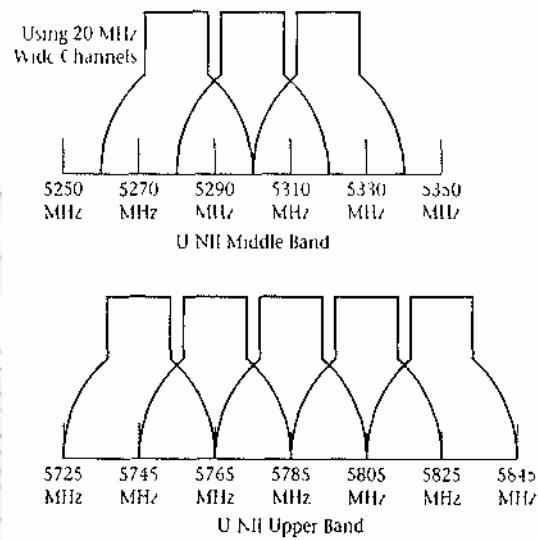
Πίνακας 2.2: IEEE 802.16 receiver specifications [5]

2.2.2.4 WirelessHUMAN

Η επιλογή του WirelessHUMAN για το IEEE 802.16a προορίζεται για τις μη εξουσιοδοτημένες ζώνες των 2-11GHz. Βασικά απαιτεί τη χρήση πρωτοκόλλων επιλογής συχνότητας που χρησιμοποιούνται για να περιορίζουν τις παρεμβολές μεταξύ άλλων ασυρμάτων συστημάτων που λειτουργούν σε αυτές τις μη εξουσιοδοτημένες ζώνες. Κάθε ένα από τα φυσικά στρώματα IEEE 802.16a μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αυτόν τον τρόπο εφόσον συμβαδίζουν και με τις προδιαγραφές δημιουργίας καναλιών, που περιγράφονται εδώ. Σε περιοχή συχνότητας 5 – 6 GHz, το κέντρο συχνότητας του καναλιού δίνεται από τον τύπο: Συχνότητα κέντρου καναλιού (MHz) $5000 + 5 \cdot (n_{ch})$, όπου $n_{ch} = 0, 1, \dots, 199$. Ο πίνακας 2.3 δείχνει το σύνολο των επιτρεπόμενων καναλιών για τις Η.Π.Α και την Ευρώπη και το σχήμα 2.26 δείχνει το σύνολο καναλιών των Η.Π.Α στον τομέα συχνότητας.

Regulatory Domain	Band (GHz)	Channelization (MHz)	
		20	10
United States	U-NII middle 5.25-5.35	56, 60, 64	55,57,59,61,63,65,67
	U-NII upper 5.725-5.825	149,153,157,161,165	148,150,152,154,156,158,160,162,164,166
Europe	CEPT band B 5.47-5.725	100,104,108,112,116,120,124,128,132,136	99,101,103,105,107,109,111,113,115,117,119,121,123,125,127,129,131,133,135,137
	CEPT band C 5.725-5.875	148,152,156,160,164,168	147,149,151,153,155,157,159,161,163,165,167,169

Πίνακας 2.3: IEEE 802.16 allowed channel sets for the United states and Europe



Σχήμα 2.26: USA IEEE 802.16 Wireless-HUMAN channel sets [5]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16

3.1 Εισαγωγή

Το μοντέλο Ασύρματου MAN του IEEE 802.16, παρέχει τις προδιαγραφές για μία διασύνδεση σταθερών, φορητών, και κινητών συστημάτων ασύρματης πρόσβασης ευρείας ζώνης. Το πρότυπο περιλαμβάνει τη λειτουργία (LOS) υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων στην περιοχή 10-66GHz, καθώς και προϋποθέσεις για κινητά, φορητά και σταθερά NLOS συστήματα, που λειτουργούν σε περιοχές συχνοτήτων κάτω από τα 11GHz είτε για εξουσιοδοτημένες είτε για μη-εξουσιοδοτημένες ζώνες [3]. Εξαιτίας της μεγαλύτερης αποδοτικότητας του σε ασύρματα κανάλια με διάλλειψη πολλαπλών διαδρομών, η σηματοδότηση OFDMA συστήνεται για τη διεπαφή φυσικού στρώματος σε εφαρμογές NLOS. Η τεχνολογία OFDMA προτείνεται επίσης και για άλλα ασύρματα μοντέλα όπως το DVB – (εκπομπή ψηφιακής εικόνας) και το WLAN – (ασύρματο τοπικό δίκτυο) και έχει υλοποιηθεί με επιτυχία.

Μικρές τροποποιήσεις στα επίπεδα PHY και MAC για εφαρμογή σε κινητά περιβάλλοντα, βρίσκονται σε εξέλιξη από την TGe της ομάδας εργασίας του 802.16. Η ευθύνη της ομάδας είναι να αναπτύξει προδιαγραφές βελτίωσης του προτύπου ώστε να υποστηρίξει τους σταθμούς συνδρομητών (SS) που κινούνται με ταχύτητα αυτοκινήτου. Στόχος είναι η ύπαρξη ενός προτύπου για σταθερή αλλά και κινητή ασύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης. Λειτουργίες που υποστηρίζουν προαιρετικές δομές PHY επειπέδου, βελτιώσεις στο MAC για κινητούς χρήστες, καθώς και χαρακτηριστικά ασφαλείας, είναι μερικές από αυτές που προδιαγράφονται. Η λειτουργία στη κινητή κατάσταση περιορίζεται σε εξουσιοδοτημένες ζώνες ανάμεσα στα 2 και 6 GHz. Σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα που βασίζονται σε OFDM, όπως το WLAN, το πρότυπο 802.16 υποστηρίζει μεταβλητά μεγέθη εύρους ζώνης μεταξύ 1.25 και 20 MHz για λειτουργίες NLOS. Αυτό το χαρακτηριστικό, μαζί με την απαίτηση για υποστήριξη συνδυαστικών σταθερών και κινητών μοντέλων, καθιστά την ανάγκη για κλιμακωτό σχεδιασμό σηματοδότησης OFDM αναπόφευκτη [6]. Πιο συγκεκριμένα, κανένα από τα δύο πρότυπα που βασίζονται στο OFDM του μοντέλου 802.16, δηλαδή το WirelessMAN OFDM και το απλό OFDMA (χωρίς μεταβλητότητα) δεν μπορεί να προσφέρει τις επιδόσεις που απαιτούνται για λειτουργία σε ταχύτητες αυτοκινήτου και σε περιβάλλοντα διάλλειψης για οποιοδήποτε εύρος ζώνης σε συγκεκριμένη περιοχή, χωρίς βελτιώσεις κλιμάκωσης που εγγυώνται σταθερό

διάστημα υποφερόντων για σήματα OFDM. Η ιδέα του κλιμακωτού OFDMA εισάγεται στο IEEE 802.16 WirelessMAN OFDMA από την 802.16 Task Group e (TGe) και είναι το αποτέλεσμα πολλών συνεισφορών στην επιτροπή προτύπων. Χαρακτηριστικά όπως τα υπό-κανάλια AMC, το αίτημα αυτόματης επανάληψης (H-ARQ), δομές υπό-καναλιών ανοδικής ζεύξης με υψηλή απόδοση, τεχνικές MIMO, βελτιωμένα συστήματα κεραίας (AAS) και κανάλια ασφαλείας για βελτίωση κάλυψης, εισήχθησαν ταυτόχρονα για να βελτιώσουν την κάλυψη και την χωρητικότητα των κινητών συστημάτων, παρέχοντας συγχρόνως τα εργαλεία για ανταλλαγή κινητικότητας με χωρητικότητα.

3.2 Multi-carrier απαιτήσεις σχεδίασης

Ένα συνηθισμένο πρώτο βήμα στο σχεδιασμό ενός συστήματος που βασίζεται σε Ορθογώνια Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας – (OFDM) είναι η μελέτη του σχεδιασμού υποφερόντων και το μέγεθος του FFT – (ταχύς μετασχηματισμός Fourier) όπου καθορίζονται: το καλύτερο δυνατό λειτουργικό σημείο για προστασία απέναντι στην πολυ-διαδρομική λήψη, η μετατόπιση Doppler και η εκτίμηση κόστους/πολυπλοκότητας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε το Wide-Sense Stationary Uncorrelated Scattering (WSSUS), μία ευρέως διαδεδομένη μέθοδο στοχαστικής διεργασίας για τη μοντελοποίηση ασύρματων καναλιών και στον τομέα του χρόνου και στον τομέα της συχνότητας. Η μέγιστη ταχύτητα που χρησιμοποιείται στην ανάλυση για την υποστήριξη κινητικότητας είναι 125Km/hr. Με εξαίρεση τα τρένα υψηλής ταχύτητας, παρέχει μια καλή κάλυψη ταχύτητας οχημάτων στις Η.Π.Α, στην Ευρώπη και στην Ασία. Η μέγιστη μετατόπιση Doppler που αντιστοιχεί στη λειτουργία στα 3.5GHz, δίδεται από την εξίσωση [6]

$$f_m = \frac{v}{\lambda} = \frac{35m/s}{0.086m} = 408Hz \quad (3.1)$$

Η χειρότερη περίπτωση αξίας μετατόπισης Doppler για τα 125 Km/hr (35m/s), θα ήταν ~700Hz για λειτουργία στο ανώτατο όριο των 6GHz που ορίζεται από το μοντέλο. Χρησιμοποιώντας ένα εύρος ζώνης υποφέροντος ίσο με 10KHz, η ισχύς Διακαναλικής Παρεμβολής (ICI) που αντιστοιχεί στην μετατόπιση Doppler που υπολογίζεται με την εξίσωση (3.1), φαίνεται ότι περιορίζεται στο ~ -27dB.

Ο χρόνος αλληλουχίας (coherence time) του καναλιού, ένα μέτρο του ρυθμού μεταβολής της διάλλειψης στο κανάλι που αντιστοιχεί στη μετατόπιση Doppler που προσδιορίστηκε πιο πάνω υπολογίζεται από τη σχέση [6]:

$$T_c = \sqrt{\frac{9}{16 \cdot \pi \cdot f_m^2}} = 1.03ms \quad (3.2)$$

Αυτό σημαίνει ότι ένας ρυθμός ενημέρωσης ~1KHz απαιτείται για την εκτίμηση και την ισοστάθμιση του καναλιού. Η μέγιστη καθυστέρηση για σταθερά ασύρματα συστήματα ευρείας ζώνης προσδιορίζεται από το μοντέλο καναλιού του Stanford University Interim (SUI). Η χειρότερη περίπτωση καθυστέρησης που αντιστοιχεί σε SUI – 6 (έδαφος τύπου A: με λόφους και μέτρια έως μεγάλη πυκνότητα δεντροφύτωσης) είναι 5.24 μsec. Το μοντέλο καναλιού Vehicular B της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU-R), παρουσιάζει τιμές καθυστέρησης έως 20 μsec, για κινητά περιβάλλοντα. Ο σχεδιασμός της απόστασης των υπο-φερόντων απαιτεί flat fading για τις χειρότερες τιμές καθυστέρησης των 20 μsec, με επιβάρυνση χρόνου περιφρούρησης όχι περισσότερο 10% για μία καθυστέρηση της τάξης των 10 μsec. Το εύρος ζώνης αλληλουχίας του καναλιού που αντιστοιχεί σε 20 μsec καθυστέρηση, που δίδεται στην εξίσωση, φαίνεται να είναι περίπου 10KHz:

$$B_c = \frac{1}{5 \cdot \sigma_\tau} = \frac{1}{5 \cdot 20\mu s} = 10KHz \quad (3.3)$$

Αυτό σημαίνει ότι για τιμές καθυστέρησης μέχρι και 20 μsec, η επίδραση της πολυδιαδρομικής λήψης μπορεί να θεωρηθεί ως flat fading για εύρος ζώνης υπο-φέροντος ίσο με 10KHz.

Το παραπάνω συμπέρασμα που βασίζεται στον χρόνο αλληλουχίας, στην μετατόπιση Doppler, και στο εύρος ζώνης αλληλουχίας του καναλιού, είναι η βάση για το σκεπτικό μιας κλιμακωτής δομής, όπου τα μεγέθη FFT διαβαθμίζονται ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης, ώστε να διατηρείται το φασματικό διάστημα υποφέροντος (subcarrier spacing) σταθερό. Αποτελέσματα προσομοίωσης που παράγονται για ένα εύρος ζώνης καναλιού στα 2.5MHz, όταν το μέγεθος FFT διατηρείται στα 2048 δείχνουν μια σημαντική υποβάθμιση της επίδοσης BER, που είναι καθαρά αναγνωρίσιμη για 64-QAM και υψηλή κινητικότητα. Χωρίς την κλιμάκωση είτε μειώνεται η επίδοση είτε αυξάνει το κόστος για χαμηλά ή μεσαία μεγέθη εύρους ζώνης καναλιού.

Parameters	Values				
System bandwidth (MHz)	1.25	2.5	5	10	20
Sampling frequency (F_s, MHz)	1.429	2.857	5.714	11.429	22.857
Sample time ($1/F_s, nsec$)	700	350	175	88	44
FFT size (N_{FFT})	128	256	512	1024	2048
Subcarrier frequency spacing	11.16071429 kHz				
Useful symbol time ($T_b=1/f$)	89.6 μs				
Guard time ($T_g=T_b/8$)	11.2 μs				
OFDMA symbol time ($T_s=T_b+T_g$)	100.8 μs				

Πίνακας 3.1: OFDMA scalability parameters [6]

Ο πίνακας 3.1 συνοψίζει τις βασικές παραμέτρους κλιμάκωσης όπως συστήνονται από το πρότυπο. Ο παράγοντας υπέρ-δειγματισμού είναι $8/7$ ($F_s = \text{floor}(8/7BW/0.008) \times 0.008$), καθώς ορίζεται παγκοσμίως στο πρότυπο για όλες τις λειτουργίες OFDMA. Ο χρόνος περιφρούρησης μπορεί να πάρει οποιαδήποτε από τις ακόλουθες τιμές $1/4$, $1/8$, $1/16$, και $1/32$. Θέτοντας την τιμή στα $1/8$ του OFDM συμβόλου, μία μέγιστη καθυστέρηση των $11.2 \mu sec$ μπορεί να είναι ανεκτή με επιβάρυνση περίπου στο 10%.

Το WirelessMAN OFDMA υποστηρίζει μία μεγάλη ποικιλία μηκών πλαισίου (βλέπε πίνακα 3.2), ώστε να εκπληρώνει με ευελιξία την ανάγκη για διάφορες εφαρμογές. Με μέγεθος FFT 2048 ο αριθμός των συμβόλων OFDM στο μικρό μέγεθος πλαισίου (π.χ. 2 msec), θα είναι πολύ μικρό για στενό εύρος ζώνης (λιγότερα από 2 OFDM σύμβολα για 1.25 MHz εύρος), κάτι που καθιστά τα μικρά μήκη πλαισίου άχρηστα (εξαιτίας του υψηλού overhead). Άλλο ένα πλεονέκτημα της κλιμάκωσης είναι το ότι εγγυάται ένα χαμηλότερο όριο για τον αριθμό OFDM συμβόλων ανά πλαίσιο.

Frame Sizes (msec)	Frame Sizes (OFDM symbols)
2	19
2.5	24
4	39
5	49
8	79
10	99
12.5	124
20	198

Πίνακας 3.2: Scalable OFDMA frame sizes [6]

Στο υπόλοιπο μέρος αυτής της ενότητας τα ακόλουθα στοιχεία χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κλιμάκωσης

1. Το φασματικό διάστημα μεταξύ φερόντων είναι ανεξάρτητο του συνολικού διαθέσιμου εύρους ζώνης.
2. Ο αριθμός των χρησιμοποιημένων υποφερόντων (μήκος FFT) θα πρέπει να διαβαθμίζεται μαζί με το εύρος ζώνης.
3. Η μικρότερη μονάδα εκχώρησης εύρους ζώνης, που προσδιορίζεται με βάση την ιδέα των υπό-καναλιών, είναι σταθερή και ανεξάρτητη του εύρους ζώνης.
4. Ο αριθμός των υπο-καναλιών διαβαθμίζεται ανάλογα με το μήκος FFT και όχι με τη χωρητικότητα των υπο-καναλιών.
5. Παρέχονται εργαλεία για ανταλλαγή της κινητικότητας με τη χωρητικότητα.

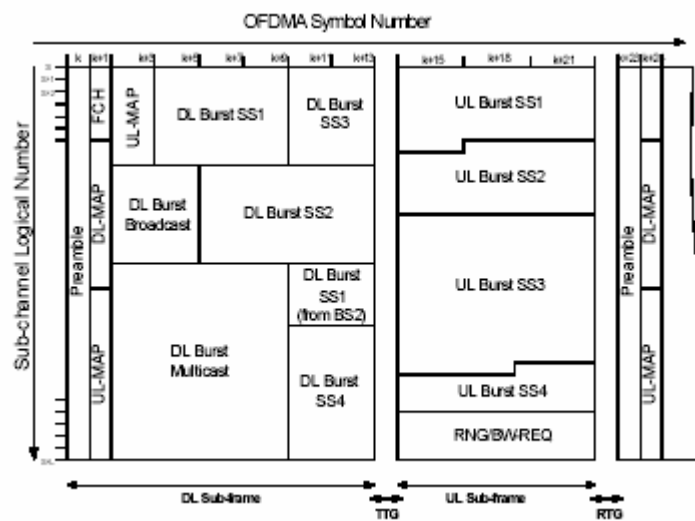
3.3 Βασικά στοιχεία στη δομή OFDMA πλαισίου

Υπάρχουν τρεις τύποι υπο-φερόντων OFDMA [6].

1. Υπο-φέροντα δεδομένων για εκπομπή δεδομένων.
2. Πιλοτικά υπο-φέροντα για διάφορους σκοπούς υπολογισμού του καναλιού αλλά και συγχρονισμού.
3. Κενά υπο-φέροντα για καμία απολύτως μετάδοση, που χρησιμοποιούνται για ζώνες φρούρησης και κύματα συνεχούς ρεύματος.

Τα ενεργά υπο-φέροντα υποδιαιρούνται σε σύνολα υπο-φερόντων που ονομάζονται υπό-κανάλια. Τα υπο-φέροντα που σχηματίζουν ένα υπο-κανάλι μπορούν να είναι ή να μην είναι παρακαίμενα. Το εύρος ζώνης και οι εκχωρήσεις MAP διενεργούνται σε υπό-κανάλια. Η πιλοτική εκχώρηση γίνεται διαφορετικά σε διαφορετικού τύπου εκχώρησης φέροντα. Για DL

Fully Used Subchannelization (FUSC) τα πιλοτικά φέροντα εκχωρούνται πρώτα και έπειτα τα εναπομείναντα υπο-φέροντα διαιρούνται σε υπο-κανάλια δεδομένων. Σε ένα DL Partially Used Subchannelization (PUSC) και σε όλους τους τύπους UL, τα υπο-φέροντα, δηλαδή data και pilot, πρώτα διαχωρίζονται σε υπο-κανάλια και στη συνέχεια τα υποφέροντα pilot εκχωρούνται μέσα στο κάθε υπο-κανάλι. Επομένως στο FUSC υπάρχει μία κοινή ομάδα από pilot subcarriers, ενώ στο PUSC κάθε υπο-κανάλι έχει την δική του ομάδα.



Σχήμα 3.1: OFDMA frame structure (TDD, PUSC) [6]

Τα υπο-φέροντα που σχηματίζουν ένα υπό-κανάλι μπορούν – χωρίς να είναι υποχρεωτικό – να είναι παρακείμενα. Το σχήμα 3.1 δείχνει τη δομή πλαισίου OFDM για τύπο TDD. Κάθε πλαίσιο διαιρείται σε υπο-πλαίσια DL και UL, χωρισμένα από κενά διαστήματα Transmit/Receive και Receive/Transmit Transition (TTQ και RTQ, αντίστοιχα). Κάθε υπο-πλαίσιο DL ξεκινά με μια προ-εισαγωγή (preamble) που ακολουθείται από το Frame Control Header (FCH), το DL-MAP και ένα UL-MAP, αντίστοιχα.

Το FCH περιέχει το DL Frame Prefix (DLFP) για να προσδιορίζει το προφίλ του burst και το μήκος του DL-MAP που ακολουθεί αμέσως μετά το FCH. Το DLFP είναι μια δομή δεδομένων που μεταδίδεται στην αρχή κάθε πλαισίου και περιέχει πληροφορίες που αφορούν στο τρέχον πλαίσιο, όπως απεικονίζεται στο FCH.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του OFDMA, ένα μήνυμα DL-MAP, εάν μεταδίδεται στο τρέχον πλαίσιο, θα είναι το πρώτο MAC PDU στην ριπή που ακολουθεί το FCH. Ένα μήνυμα UL-MAP θα ακολουθήσει αμέσως είτε το μήνυμα DL-MAP (αν υπάρχει) ή το DLFP. Εάν τα

μηνύματα Uplink Channel Descriptor (UCD) και Downlink Channel Descriptor (DCD) εκπέμπονται στο πλαίσιο, θα ακολουθούν αμέσως μετά τα μηνύματα DL-MAP και UL-MAP.

3.4 Τύποι εκχώρησης υπο-φερόντων

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι εκχώρησης υπο-φερόντων: κατανεμημένος (distributed) και συνεχόμενος (adjacent). Γενικά, οι κατανεμημένες τοποθετήσεις υπο-φερόντων αποδίδουν πολύ καλά σε κινητές εφαρμογές ενώ οι συνεχόμενες τοποθετήσεις υπο-φερόντων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σταθερά, φορητά ή χαμηλής κινητικότητας περιβάλλοντα. Αυτές οι επιλογές δίνουν την δυνατότητα στους σχεδιαστές συστημάτων να ανταλλάσσουν την κινητικότητα με την ρυθμαπόδοση. Στο ακόλουθο κεφάλαιο, διάφοροι τύποι εκχώρησης υπο-φερόντων αναλύονται.

3.4.1 Κατανεμημένες τοποθετήσεις υπο-φερόντων στο DL: – Πλήρης χρησιμοποιούμενη υπό-καναλοποίηση (FUSC)

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί όλα τα υπό-κανάλια και δημιουργεί πλήρη διαφορικότητα (diversity) κατανέμοντας τα εκχωρηθέντα υπο-φέροντα στα υπο-κανάλια με μηχανισμό μετάθεσης (permutation). Αυτός ο μηχανισμός είναι σχεδιασμένος να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα κοινής χρήσης υποφερόντων σε παρακείμενους τομείς/κελιά με το να ξαναχρησιμοποιεί υπο-φέροντα, ενώ η διαφορικότητα των συχνοτήτων ελαχιστοποιεί την υποβάθμιση της επίδοσης εξαιτίας της διάλλειψης σε κινητά περιβάλλοντα διάδοσης [6].

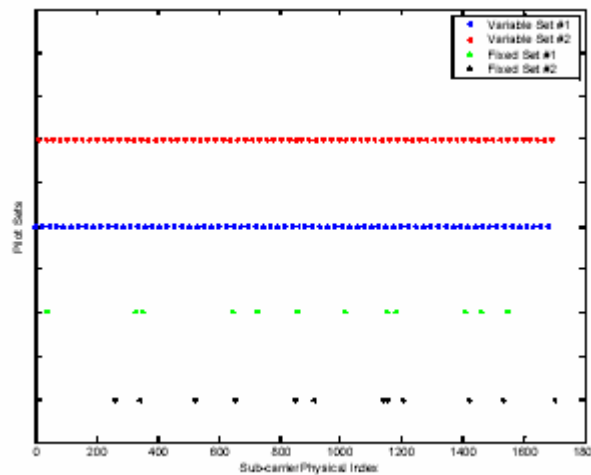
Parameters	Values				
System bandwidth (MHz)	1.25	2.5	5	10	20
FFT size (N_{FFT})	128	N/A**	512	1024	2048
Number of guard subcarriers	22	N/A	86	173	345
Number of used subcarriers	106	N/A	426	851	1703
Number of data subcarriers	96	N/A	384	768	1536
Number of pilot subcarriers (uses both variable and constant sets)	9*	N/A	42	83	166
Number of subchannels	2	N/A	8	16	32
Subcarrier Permutation	Uses Permutation Type 1 for Tone Distribution (Eq. 107 [20])				

* variable set only

** FFT size of 256 is not supported

Πίνακας 3.3: DL distributed subcarrier permutation (FUSC) [6]

Ο πίνακας 3.2 συνοψίζει τις παραμέτρους της εκχώρησης υπο-φερόντων. Στο DL FUSC, υπάρχουν μεταβλητές και σταθερές ομάδες «πilotών». Οι σταθερές ομάδες χρησιμοποιούνται σε όλα τα σύμβολα OFDM ενώ οι μεταβλητές ομάδες υποδιαιρούνται σε υποσύνολα που χρησιμοποιούνται σε μονά και ζυγά σύμβολα, εναλλακτικά. Αυτό προσφέρει μια ανταλλαγή μεταξύ εκχωρηθείσας ισχύος και frequency diversity στα pilots για τον υπολογισμό του καναλιού. Το σχήμα 3.2 δείχνει την κατανομή των μεταβλητών και σταθερών συνόλων.



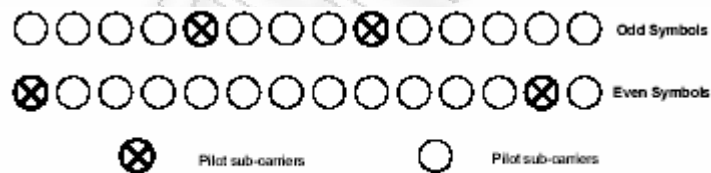
Σχήμα 3.2: Pilot distribution for FUSC [6]

3.4.2 Κατανεμημένες τοποθετήσεις υπο-φερόντων στο DL και UL: – Μερικώς χρησιμοποιούμενη υπό-καναλοποίηση (PUSC)

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του OFDMA, όλα τα υπο-πλαίσια DL και UL, θα ξεκινήσουν σε κατάσταση DL και UL PUSC, αντίστοιχα. Σε DL PUSC, τα υπο-κανάλια υποδιαιρούνται και εκχωρούνται σε τρία τμήματα που μπορούν να εκχωρηθούν σε τομείς (sectors) του ίδιου κελιού (cell). Η μέθοδος χρησιμοποιεί πλήρη διαφορικότητα (diversity) καναλιών, κατανέμοντας τα εκχωρηθέντα υπο-φέροντα σε υπο-κανάλια. Ένας μηχανισμός τυχαίας μετάθεσης (permutation) σχεδιάζεται για να ελαχιστοποιήσει την πιθανότητα να συμπέσουν υποφέροντα μεταξύ παρακείμενων κελιών.

Parameters	Values				
System bandwidth (MHz)	1.25	2.5	5	10	20
FFT size (N_{FFT})	128	N/A	512	1024	2048
Number of guard subcarriers	43	N/A	91	183	367
Number of clusters/subchannels	6/3	N/A	30/15	60/30	120/60
Number of used subcarriers	85	N/A	421	841	1681
Number of data subcarriers	72	N/A	360	720	1440
Number of pilot subcarriers	12	N/A	60	120	240
Subcarrier permutation	Uses Permutation Type 1 for Tone Distribution (Eq. 107 [20])				
Cluster renumbering	Activated				

Πίνακας 3.4: DL distributed subcarrier permutation (PUSC) [6]



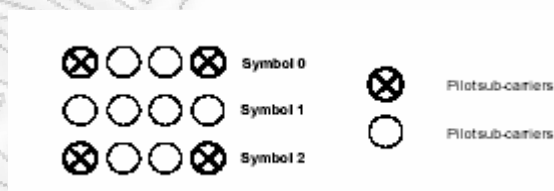
Σχήμα 3.3: DL PUSC cluster structure [6]

Ο πίνακας 3.4 συνοψίζει τις παραμέτρους εκχώρησης υπο-φερόντων DL PUSC. Το DL PUSC χρησιμοποιεί μία δομή πλέγματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3, που εκτείνεται σε 2 OFDM σύμβολα (χρονικά) των δεκατεσσάρων υπο-φερόντων, με ένα σύνολο 4 πιλοτικών υπό-κυμάτων ανά πλέγμα.

Parameters	Values				
	1.25	2.5	5	10	20
System bandwidth	1.25	2.5	5	10	20
FFT size (N_{FFT})	128	N/A	512	1024	2048
Number of guard subcarriers	31	N/A	103	183	367
Number of tiles	24	N/A	102	210	552
Number of subchannels	4	N/A	17	35	92
Number of subcarriers per tile	4	N/A	4	4	3
Number of used subcarriers	97	N/A	409	841	1681
Tile permutation	Uses Permutation Type 2 for Tile Distribution (Eq. 109 [20])				
Subcarrier permutation	Uses Permutation Type 3 for Subcarrier Distribution (Eq. 110 [20])				

Πίνακας 3.5: UL distributed subcarrier permutation (PUSC) [6]

Ο πίνακας 3.5 συνοψίζει τις παραμέτρους της εκχώρησης υποφέροντος UL PUSC. Το UL PUSC χρησιμοποιεί δομή όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4, που εκτείνεται σε 3 OFDM σύμβολα των τεσσάρων υπο-φερόντων, με σύνολο 4 πιλοτικών υπο-φερόντων το καθένα. Σημειώστε ότι εξαιτίας των DL και UL, οι δομές παράθεσης και πλέγματος (ή συστάδα), αποτελούνται από δύο και τρία OFDM σύμβολα, αντίστοιχα. Το μέγεθος υπο-πλασίου των DL και UL και η ομαδοποίηση των εκχωρήσεων DL και UL είναι επίσης δύο ή τρία σύμβολα OFDM, αντίστοιχα.



Σχήμα 3.4: UL PUSC tile structure

3.4.3 Προαιρετική DL καταναμημένη τοποθέτηση υποφέροντος: πλήρης υπό-καναλοποίηση (OFUSC)

Αυτή η μέθοδος εφαρμόζει πλήρη διαφορικότητα συχνοτήτων, κατανέμοντας τα εκχωρηθέντα υπο-φέροντα στα υπό-κάναλια, χρησιμοποιώντας μία μέθοδο μετάθεσης σχεδιασμένη να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα να συμπέσουν υποφέροντα μεταξύ παρακείμενων τομέων / κελιών αλλά και προσφέροντα frequency diversity που ελαχιστοποιεί την υποβάθμιση εξαιτίας του γρήγορου fading σε κινητά περιβάλλοντα [1].

Parameters	Values				
System bandwidth	1.25	2.5	5	10	20
FFT size (N_{FFT})	128	N/A	512	1024	2048
Number of guard subcarriers	19	N/A	79	159	319
Number of used subcarriers	109	N/A	433	865	1729
Number of data subcarriers	96	N/A	384	768	1536
Number of pilot subcarriers (N_{pilots})	12	N/A	48	96	192
Number of data subcarriers per subchannel	48	N/A	48	48	48
Number of subchannels	2	N/A	8	16	32
Subcarrier permutation	Uses Permutation Type 3 for Tone Distribution (Eq. 108 [20])				
Pilot subcarrier index	$9k+3m+1$, for $k=0,1,\dots,N_{pilots}$ and $m=[\text{symbol index}] \bmod 3$				

Πίνακας 3.6: DL distributed subcarrier permutation (optional FUSC) [6]

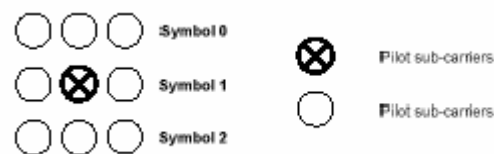
Ο πίνακας 3.6 συνοψίζει τις παραμέτρους της εκχώρησης υπο-φερόντων OFUSC. Στο OFUSC, τα πιλοτικά φέροντα απεικονίζονται όπως φαίνεται, κάτι που είναι διαφορετικό από την εκχώρηση του FUSC. Σε σύγκριση με τον τύπο FUSC, ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων υπο-φερόντων στη μέθοδο αυτή είναι σημαντικά μεγαλύτερος (1681 έναντι 1729). Συνεπώς, η συμμόρφωση της φασματικής μάσκας, χωρίς αλλαγή στον παράγοντα υπέρ-δειγματισμού, μπορεί να αποτελεί πρόκληση για τον τύπο αυτό.

3.4.4 Προαιρετικό UL με καταναμημένη τοποθέτηση υποφέροντος: μερική υπό-καναλοποίηση (OPUSC)

Και αυτή η μέθοδος εφαρμόζει πλήρη διαφορικότητα συχνοτήτων, κατανέμοντας τα εκχωρηθέντα υπο-φέροντα στα υπό-κάναλια, χρησιμοποιώντας μία μέθοδο μετάθεσης σχεδιασμένη να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα να συμπέσουν υποφέροντα μεταξύ παρακείμενων τομέων / κελιών αλλά και προσφέροντα frequency diversity που ελαχιστοποιεί την υποβάθμιση εξαιτίας του γρήγορου fading σε κινητά περιβάλλοντα [1].

Parameters	Values				
	1.25	2.5	5	10	20
System bandwidth	1.25	2.5	5	10	20
FFT size (N_{FFT})	128	N/A	512	1024	2048
Number of guard subcarriers	19	N/A	79	159	319
Number of used subcarriers	109	N/A	433	865	1729
Number of tiles	36	N/A	144	288	576
Number of tiles per subchannel	6	N/A	6	6	6
Number of data subcarriers per subchannel	48	N/A	48	48	48
Number of subchannels	6	N/A	24	48	96
Subcarrier permutation	Uses Permutation Type 4 for Tone Distribution (Eq. 111 [20])				

Πίνακας 3.7: Optional UL distributed subcarrierpermutation (OPUSC) [6]



Σχήμα 3.5: UL OPUSC tile structure

Ο πίνακας 3.7 συνοψίζει τις παραμέτρους της εκχώρησης υπο-φερόντων UL OPUSC χρησιμοποιεί μια δομή tile, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5, που εκτείνεται σε 3 σύμβολα OFDM (σε χρόνο) τριών υπο-φερόντων με ένα πιλοτικό υπο-φέρον το καθένα.

3.4.5 Προαιρετικό DL και UL με συνεχόμενη τοποθέτηση υποφέροντος: με προηγμένη διαμόρφωση και κωδικοποίηση (AMC)

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί συνεχόμενα υπο-φέροντα για το σχηματισμό υπο-καναλιών. Όταν χρησιμοποιείται με κανάλια ταχείας ανατροφοδότησης, μπορεί να εκχωρεί ταχύτητα έναν συνδυασμό διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σε κάθε υπό-κάνάλι. Τα υπό-κάνάλια AMC διευκολύνουν τη χρήση αλγόριθμων τύπου «water – routing» και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά με μία επιλογή AAS. Ο πίνακας 11 συνοψίζει τις παραμέτρους εκχώρησης υπό-κυμάτων AMC. Στο AMC τα «πilotικά» απεικονίζονται όπως φαίνεται πιο κάτω

Parameters	Values				
	1.25	2.5	5	10	20
System bandwidth	128	N/A	512	1024	2048
FFT size (N_{FFT})	19	N/A	79	159	319
Number of guard sub-carriers	109	N/A	433	865	1729
Number of used sub-carriers (N_{used})	12	N/A	48	96	192
Number of pilots (N_{pilots})	96	N/A	384	768	1536
Number of data sub-carriers	3	N/A	12	24	48
Number of bins per band	4	N/A	4	4	4
Number of subcarriers per bin (8 data +1 pilot)	9	N/A	9	9	9
Number of subchannels	2	N/A	8	16	32
Sub-carrier permutation	None				
Pilot subcarrier index	$9k+3m+1$, for $k=0,1,\dots,N_{pilots}$ and $m=[\text{symbol index}] \bmod 3$				

Πίνακας 3.8: UL/DL adjacent subcarrier permutation (optional AMC) [6]

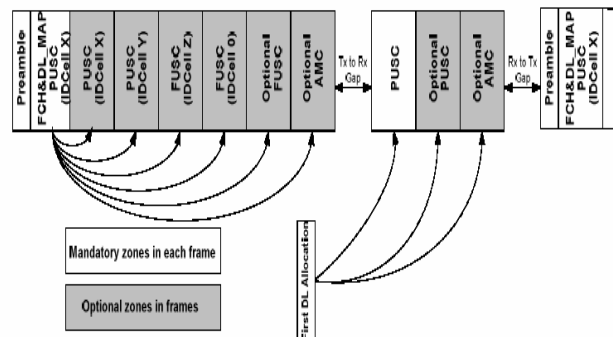
3.4.6 Εναλλαγές Ζωνών (Zone Switching)

Το φυσικό επίπεδο του OFDMA υποστηρίζει πολλαπλές ζώνες εκχώρησης υπο-φερόντων μέσα στο ίδιο πλαίσιο, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης και συνύπαρξης διαφορετικών τύπων SS (συνδρομητικών σταθμών). Το σχήμα 32 δείχνει την αλλαγή ζώνης μέσα στα υπο-πλαίσια DL και UL. Η αλλαγή διενεργείται χρησιμοποιώντας ένα στοιχείο

πληροφόρησης που περιλαμβάνεται στο DL- MAP και στο UL-MAP. Τα υπο-πλαίσια DL και UL ξεκινούν – και τα δύο – σε κατάσταση PUSC, όπου ομάδες υπο-καναλιών εκχωρούνται σε διαφορετικά κομμάτια με τη χρήση μηνυμάτων FCH. Η ζώνη εκχώρησης υπο-φερόντων PUSC μπορεί να μετατραπεί σε μία διαφορετική ζώνη εκχώρησης υπό-φερόντων μέσω μίας νέας οδηγίας από το PUSC DL –MAP.

Το σχήμα 3.6 δείχνει την αλλαγή ζώνης από την οπτική ενός τμήματος PUSC. Στο σχήμα, το PUSC FCH/DL–MAP για ένα τμήμα με $IDCell X$, ακολουθείται από μια άλλη ζώνη PUSC δεδομένων για $IDCell X$. Μια ζώνη PUSC για έναν άλλο τομέα / κελί με $IDCell Y$ εκχωρείται εν συνεχεία. Μια ζώνη FUSC για $IDCell Z$ φαίνεται στη συνέχεια στο σχήμα. Προσέξτε ότι το $IDCell Z$ μπορεί να είναι το ίδιο με το $IDCell X$, που σημαίνει ότι μια αλλαγή από PUSC σε FUSC προγραμματίζεται μέσα στο τμήμα για λειτουργίες επαναχρησιμοποίησης συχνότητας *ένα*. Μια αλλαγή στο $IDCell 0$ μπορεί να σχεδιαστεί για όλες τις λειτουργίες εκπομπής broadcast.

Οι προαιρετικές PUSC, FUSC, και AMC ζώνες στα υπο-πλαίσια DL και οι προαιρετικές ζώνες PUSC και AMC στα υπο-πλαίσια UL, μπορούν να προγραμματίζονται με παρόμοιο τρόπο. Η εκχώρηση ζωνών AMC επιτρέπει την ταυτόχρονη υποστήριξη σταθερής, φορητής και νομαδικής κινητικότητας χρηστών μαζί με τους χρήστες υψηλής κινητικότητας [6].



Σχήμα 3.6: Multiple zones in Uplink and Downlink subframes [6]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αλγόριθμος εκχώρησης καναλιών σε συστήματα OFDMA

4.1 Εισαγωγή

Το OFDMA είναι μια μέθοδος διαμόρφωσης και πολλαπλής πρόσβασης για 4ης γενιάς ασύρματα δίκτυα. Το OFDMA είναι μια επέκταση του OFDM (ορθογώνια περίπλεξη με διαίρεση συχνότητας), που αποτελεί τώρα τη διαμόρφωση επιλογής για συστήματα υψηλής ταχύτητας πρόσβασης, όπως το IEEE 802.11a/g ασύρματου LAN και το IEEE 802.16a/e σταθερό/κινητό ασύρματο σύστημα πρόσβασης ευρείας ζώνης. Τα συστήματα OFDM διαιρούν ένα κανάλι ευρείας ζώνης σε πολλά στενοζωνικά υπό-κανάλια. Κάθε υπό-κανάλι μεταφέρει ένα σήμα QAM. Τα υπό-φέροντα (sub-carriers) συνδυάζονται στον αποστολέα με έναν υπολογιστικά αποτελεσματικό τρόπο, μέσω ενός αντίστροφου γρήγορου μετασχηματισμού FOURIER (IFFT). Κάθε είσοδος του IFFT αποκτάται από μία απεικόνιση αστερισμού QAM. Οι έξοδοι του IFFT σχηματίζουν το μεταδιδόμενο OFDM σύμβολο. Πριν τη μετάδοση, ένα κυκλικό πρόθεμα μπαίνει μπροστά στο σύμβολο. Ο δέκτης διενεργεί τις λειτουργίες της αφαίρεσης του κυκλικού προθέματος του OFDM συμβόλου, του FFT για την εύρεση της πληροφορίας στο χρονικό πεδίο και τέλος της από-απεικόνισης QAM για την ανίχνευση των bits.

Στα σημερινά συστήματα OFDM, μόνο ένας χρήστης μπορεί να μεταδώσει σε όλα τα υπό-φέροντα σε οποιαδήποτε στιγμή, ενώ η πολλαπλή πρόσβαση για να υποστηρίξει τους πολλαπλούς χρήστες γίνεται με διαίρεση χρόνου ή διαίρεση συχνότητας. Το σημαντικότερο πρόβλημα σε αυτό το σχέδιο της στατικής πολλαπλής πρόσβασης είναι το γεγονός ότι οι διαφορετικοί χρήστες βλέπουν το ασύρματο κανάλι διαφορετικά. Το OFDMA, από την άλλη, επιτρέπει σε πολλαπλούς χρήστες να εκπέμπουν ταυτόχρονα στα διαφορετικά υπό-φέροντα ενός συμβόλου OFDM. Καθώς η πιθανότητα όλοι οι χρήστες να συναντήσουν βαθιά εξασθένιση σε συγκεκριμένο υπό-φέρον είναι πολύ χαμηλή, μπορεί να θεωρηθεί βέβαιο ότι τα υπό-φέροντα εκχωρούνται σε χρήστες που «βλέπουν» μεγάλο κέρδος καναλιού.

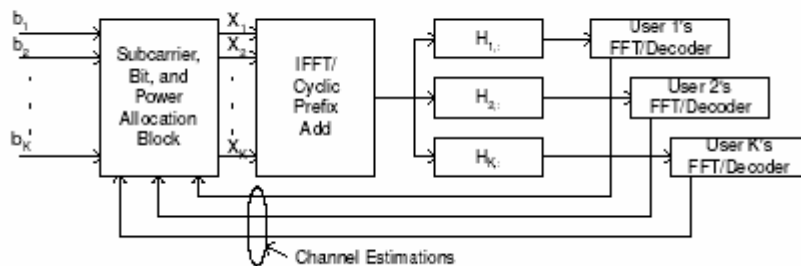
Το πρόβλημα της εκχώρησης υπό-φερόντων και ισχύος (power) σε διαφορετικούς χρήστες του συστήματος OFDMA, διερευνάται ενεργά τον τελευταίο καιρό. Διάφορες λύσεις έχουν προταθεί στην βιβλιογραφία. Για παράδειγμα στο [7] η μέθοδος του προσαρμοστικού ρυθμού (adaptive rate) διερευνήθηκε, όπου ο στόχος ήταν να μεγιστοποιηθεί ο συνολικός ρυθμός εκπομπής δεδομένων για όλους τους χρήστες που υπόκεινται σε περιορισμούς ισχύος αλλά και BER. Με στόχο τη μεγιστοποίηση της συνολικής χωρητικότητας, κάθε υπο-φέρον θα έπρεπε να

εκχωρείται στο χρήστη με το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος και η ισχύς θα έπρεπε να εκχωρείται στα υπο-φέροντα χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο συμπλήρωσης ισχύος (waterfilling). Ωστόσο, καμία “δικαιοσύνη” (fairness) δεν λήφθηκε υπόψη, όσον αφορά στους χρήστες. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε εν μέρει αρχικά εξασφαλίζοντας ότι κάθε χρήστης θα μπορεί να μεταδίδει σε ελάχιστο ρυθμό και επίσης ενσωματώνοντας την ιδέα αμεροληψίας στην εκχώρηση πόρων, μέσω της μεγιστοποίησης της ελάχιστης τιμής του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων του χρήστη. Στη συνέχεια [8], η “δικαιοσύνη” προεκτάθηκε στο να ενσωματώσει ποικίλες προτεραιότητες. Αντί να μεγιστοποιεί την ελάχιστη χωρητικότητα του χρήστη, μεγιστοποιήθηκε η συνολική χωρητικότητα, υπό τους περιορισμούς του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων του χρήστη.

Η τελευταία επέκταση είναι πολύ χρήσιμη για τη διαφοροποίηση υπηρεσιών, επειδή επιτρέπει ευέλικτους μηχανισμούς τιμολόγησης για διαφορετικές κλάσεις χρηστών. Ωστόσο, ο αλγόριθμος που προτείνεται στην [8] έχει να κάνει με μη-γραμμικές εξισώσεις, κάτι που απαιτεί υπολογιστικά ακριβές επαναληπτικές λειτουργίες, που επομένως δεν είναι κατάλληλες για υλοποίηση σε πραγματικό χρόνο. Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε ένα σχέδιο εκχώρησης υπο-φερόντων που παρουσιάζεται στο [9] και έχει γραμμική πολυπλοκότητα. Το πρόβλημα εκχώρησης ισχύος που προκύπτει μειώνεται σε μία λύση ταυτόχρονων γραμμικών εξισώσεων. Σε προσομοίωση [10], ο προτεινόμενος αλγόριθμος επιτυγχάνει μια συνολική χωρητικότητα που είναι υψηλότερη, απαιτεί σημαντικά λιγότερο υπολογισμό, ενώ επιτυγχάνει και μια αποδεκτή αναλογικότητα στο ρυθμό μετάδοσης όλων των χρηστών.

4.2 Μοντέλο συστήματος

Το σχηματικό διάγραμμα για την κατερχόμενη ζεύξη ενός τυπικού OFDMA συστήματος παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1 [9].



Σχήμα 4.1: OFDMA system block diagram for K users. Each user is allocated different set of subcarriers by the basestation.

Στον αποστολέα του σταθμού βάσης, τα δυαδικά ψηφία για κάθε έναν χρήστη k εκχωρούνται στα N υπο-φέροντα και σε κάθε υπο-φέρον n ($1 \leq n \leq N$) του χρήστη k ($1 \leq k \leq K$) εκχωρείται ισχύς $p_{k,n}$. Υποτίθεται τα υπο-φέροντα δεν μοιράζονται από διαφορετικούς χρήστες. Κάθε ένα από τα δυαδικά δεδομένα του χρήστη διαμορφώνονται σε N M-QAM σύμβολα, που στη συνέχεια συνδυάζονται, χρησιμοποιώντας IFFT, σε ένα σύμβολο OFDMA. Έπειτα, αυτό μεταδίδεται μέσω ενός καναλιού με διάλλειψη Rayleigh. Η εκχώρηση υπο-φερόντων γνωστοποιείται σε όλους τους χρήστες μέσω ενός καναλιού ελέγχου, έτσι ώστε κάθε χρήστης χρειάζεται μόνο να αποκωδικοποιήσει τα δυαδικά ψηφία στα εκχωρηθέντα υπο-φέροντα του. Υποτίθεται ότι κάθε χρήστης συναντά ανεξάρτητη διάλλειψη και το κέρδος καναλιού του χρήστη k σε ένα υπο-φέρον n δηλώνεται ως $g_{k,n}$. Επίσης θεωρούμε προσθετικό λευκό Gaussian θόρυβο (AWGN) με διακύμανση (variance) $\sigma^2 = N_0 \cdot (B/N)$, όπου N_0 είναι η πυκνότητα θορύβου φασματικής ισχύος. Ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) υποδηλώνεται ως $h_{k,n} = g_{k,n}^2 / \sigma^2$ και το λαμβανόμενο SNR του k χρήστη στο υπο-φέρον n είναι $\gamma_{k,n} = p_{k,n} h_{k,n}$. Η υπόθεση της αργής μεταβολής της διάλλειψης έχει μεγάλη σημασία, καθώς υποτίθεται ότι κάθε χρήστης μπορεί να υπολογίσει το κανάλι με ακρίβεια και οι υπολογισμοί αυτοί γνωστοποιούνται στον αποστολέα μέσω ενός καναλιού ανατροφοδότησης. Αυτοί οι υπολογισμοί καναλιού χρησιμοποιούνται έπειτα ως εισαγωγή στους αλγόριθμους εκχώρησης πόρων. Για την τήρηση των περιορισμών του BER, το SNR πρέπει να προσαρμόζεται αντίστοιχα. Η BER μίας τετραγωνικής M -level QAM με Gray κωδικοποίηση, ως συνάρτηση του λαμβανόμενου SNR $\gamma_{k,n}$ και του αριθμού των δυαδικών ψηφίων $r_{k,n}$ μπορεί να προσεγγισθεί στο 1dB για $r_{k,n} > 4$ και $BER < 10^{-3}$ [9]

$$BER_{MQAM}(\gamma_{k,n}) \approx 0.2 \exp\left[\frac{-1.6\gamma_{k,n}}{2^{\gamma_{k,n}} - 1}\right] \quad (1)$$

Λύνοντας για $r_{k,n}$ έχουμε

$$r_{k,n} = \log_2\left(1 + \frac{\gamma_{k,n}}{\Gamma}\right) = \log_2(1 + p_{k,n} H_{k,n}) \quad (2)$$

όπου

$\Gamma \triangleq -\ln(5BER)/1.6$ είναι το constant SNR gap και $H_{k,n} \triangleq h_{k,n} / \Gamma$ είναι το effective subchannel SNR.

Ο στόχος για το resource allocation εκφράζεται ως εξής [9]:

$$\max_{c_{k,n}, p_{k,n}} \frac{B}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \log_2 (1 + p_{k,n} H_{k,n}) \quad (3)$$

με τους περιορισμούς [9]

$$C1: c_{k,n} \in \{0,1\} \quad \forall k,n$$

$$C2: p_{k,n} \geq 0 \quad \forall k,n$$

$$C3: \sum_{k=1}^K c_{k,n} = 1 \quad \forall n$$

$$C4: \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} p_{k,n} \leq P_{tot}$$

$$C5: R_i : R_j = \phi_i : \phi_j \quad \forall i, j \in \{1, \dots, K\}, i \neq j$$

όπου το $c_{k,n}$ είναι η ένδειξη εκχώρησης υπο-φέροντος τέτοια ώστε $c_{k,n} = 1$ αν και εφόσον το υπο-φέρον n εκχωρείται στον χρήστη k , και το P_{tot} είναι ο περιορισμός της συνολικής ισχύος μετάδοσης. Στο C5,

$$R_k = \frac{B}{N} \sum_{n=1}^N c_{k,n} r_{k,n} \quad (4)$$

είναι ο συνολικός ρυθμός μεταφοράς δεδομένων για τον χρήστη k και $\phi_1 : \phi_2 : \dots : \phi_k$ είναι κανονικές σταθερές αναλογικότητας, με $\sum_{k=1}^K \phi_k = 1$. Οι περιορισμοί C1 και C2 στην (3) εξασφαλίζουν τις σωστές τιμές για την ένδειξη εκχώρησης υπο-φέροντος και της ισχύος, αντίστοιχα. Το C3 επιβάλλει τον περιορισμό ότι κάθε υπο-κύμα μπορεί να εκχωρηθεί μόνο σε έναν χρήστη, ενώ τα C4 και C5 είναι, αντίστοιχα, οι περιορισμοί ισχύος και ρυθμού μετάδοσης.

4.3 Συναφή αποτελέσματα για resource allocation

Επισημαίνεται ότι η (3) είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης NP-hard με μη-γραμμικούς περιορισμούς [9]. Επομένως, είναι σχεδόν απίθανο ότι οι πολυωνυμικοί χρονικοί αλγόριθμοι μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να το επιλύσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Άρα, χρειάζονται κάποιες απλοποιήσεις για να καταστεί το πρόβλημα διαχειρίσιμο. Η αρχική προσέγγιση στην [11] ήταν να διαχωριστεί η λύση σε ένα αρχικό βήμα εκχώρησης πόρων όπου προσδιορίζεται ο αριθμός των υπο-φερόντων και το μέγεθος της ισχύος για κάθε χρήστη, και σε ένα δεύτερο βήμα, όπου εκχωρούνται σε κάθε χρήστη τα υπο-φέροντά του.

Μία άλλη λύση στην [8] ήταν να καθοριστεί πρώτα η εκχώρηση υπό-φερόντων και έπειτα η εκχώρηση ισχύος. Σε αυτή τη λύση, η εκχώρηση υπο-φερόντων προσδιορίστηκε επιτρέποντας σε κάθε χρήστη με τη σειρά να επιλέξει το καλύτερο υπο-φέρον. Κάθε φορά, ο χρήστης με την

λιγότερη χωρητικότητα έχει προτεραιότητα στην επιλογή του καλύτερου υπο-φέροντος. Μετά την εκχώρηση του υπο-φέροντος, το πρόβλημα (3) απλοποιείται με μια μεγιστοποίηση συνεχών μεταβλητών $p_{k,n}$ που δίνονται από [9]

$$\max_{p_{k,n}} \frac{B}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{n \in \Omega_k} \log_2 (1 + p_{k,n} H_{k,n}) \quad (5)$$

με τους περιορισμούς [9]:

$$C1: p_{k,n} \geq 0 \quad \forall k, n$$

$$C2: \sum_{k=1}^K \sum_{n \in \Omega_k} p_{k,n} \leq P_{tot}$$

$$C3: R_i : R_j = \phi_i : \phi_j \quad \forall i, j \in \{1, \dots, K\}, i \neq j$$

όπου το Ω_k αναφέρεται στο σύνολο των υπο-φερόντων που εκχωρούνται στον χρήστη k , ενώ για τα $r_{k,n}$ ισχύει ότι δίνεται στην (2), και

$$R_k = \frac{B}{N} \sum_{n \in \Omega_k} r_{k,n} \quad (6)$$

Είναι ο συνολικός ρυθμός μεταφοράς δεδομένων του χρήστη k . Το σύνολο της ισχύος που εκχωρείται για κάθε χρήστη k - P_k $1 \leq k \leq K$ μπορεί να λυθεί με τη χρήση πολλαπλασιαστικών τεχνικών Lagrangian και έχει βρεθεί [12]:

$$\frac{1}{\phi_1} \frac{N_1}{N} \left(\log_2 \left(1 + H_{1,1} \frac{P_1 - V_1}{N_1} \right) + \log_2 W_1 \right) = \frac{1}{\phi_k} \frac{N_k}{N} \left(\log_2 \left(1 + H_{k,1} \frac{P_k - V_k}{N_k} \right) + \log_2 W_k \right) \quad (7)$$

για $k=1,2,\dots,K$, όπου

$$V_k = \sum_{n=2}^{N_k} \frac{H_{k,n} - H_{k,1}}{H_{k,n} H_{k,1}} \quad (8)$$

$$W_k = \left(\prod_{n=2}^{N_k} \frac{H_{k,n}}{H_{k,1}} \right)^{\frac{1}{N_k}} \quad (9)$$

και N_k είναι ο αριθμός των υποφερόντων που εκχωρούνται στον χρήστη k . Σημειώστε ότι τα τελικά SNRs $H_{k,n}$ υποτίθεται ότι είναι διευθετημένο σε αύξουσα σειρά. Προσθέτοντας τον συνολικό περιορισμό ισχύος:

$$\sum_{k=1}^K P_k = P_{tot} \quad (10)$$

έχουμε k-μη-γραμμικές εξισώσεις με K αγνώστους $\{P_k\}_{k=1}^K$ [9]. Αυτές οι εξισώσεις μπορούν να λυθούν αριθμητικά, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Newton – Raphson και τις παραλλαγές της, αλλά η μεγάλη υπολογιστική περιπλοκότητα αυτών των αλγορίθμων τους καθιστά μη πρακτικούς για συστήματα πραγματικού χρόνου. Η προσέγγιση που προτείνεται και η οποία απαιτεί το SNR να είναι υψηλό, μείωσε το πρόβλημα σε μία μη-γραμμική εξίσωση με μία μεταβλητή [9]. Αυτή η προσέγγιση υποθέτει ότι $V_k = 0$ και $H_{k,1}P_k/N_k \gg 1$ και η συνεπαγόμενη μη-γραμμική εξίσωση είναι

$$\sum_{k=1}^K c_k (P_1)^{d_k} - P_{total} = 0 \quad (11)$$

όπου

$$c_k = \begin{cases} 1 & \text{if } k=1 \\ \frac{N_k}{H_{k,1}W_k} \left(\frac{H_{1,1}W_1}{N_1} \right)^{\frac{N_1\phi_k}{N_k\phi_1}} & \text{if } k=2,3,\dots,K \end{cases} \quad (12)$$

και

$$d_k = \begin{cases} 1 & \text{if } k=1 \\ \frac{N_1\phi_k}{N_k\phi_1} & \text{if } k=2,3,\dots,K \end{cases} \quad (13)$$

Αυτή η μέθοδος εκχώρησης υπο-φέροντος και ισχύος ονομάζεται εύρεση ρίζας (ROOT FINDING [9]). Αν και η (11) μπορεί να λυθεί με λιγότερο υπολογιστικό φορτίο από ότι η (7), εξακολουθούμε να χρειαζόμαστε επαναληπτικές μεθόδους για την εύρεση της ρίζας. Αυτό δίνει το κίνητρο για εύρεση νέας προσέγγισης στο πρόβλημα της εκχώρησης πόρων.

4.4 Προτεινόμενη λύση για εκχώρηση υπο-φερόντων

Τα προτεινόμενα βήματα έχουν ως εξής [9]:

1. Βήμα 1^ο: Προσδιορίζουμε τον αριθμό των υπο-φερόντων N_k που εκχωρούνται αρχικά σε κάθε χρήστη.
2. Βήμα 2^ο: Εκχωρούμε τα υπο-φέροντα σε κάθε χρήστη με τρόπο τέτοιο ώστε να εξασφαλίζουμε μια πρόχειρη αναλογικότητα.

3. Βήμα 3^ο: Εκχωρούμε τη συνολική ισχύ P_k για τον χρήστη k ώστε να μεγιστοποιήσουμε την χωρητικότητα ενώ ενισχύουμε την αναλογικότητα.
4. Βήμα 4^ο: Εκχωρούμε την ισχύ $p_{k,n}$ για τα υπο-φέροντα του κάθε χρήστη που υπόκεινται στον συνολικό περιορισμό ισχύος P_k .

Η βάση του συλλογισμού πίσω από αυτά τα βήματα είναι ότι στα πρακτικά συστήματα, η πιστή τήρηση των περιορισμών αναλογικότητας δεν χρειάζεται να ισχύει αυστηρά [9]. Οι περιορισμοί αναλογικότητας χρησιμοποιούνται για να διαφοροποιούν τις διάφορες υπηρεσίες όπου ο παροχέας υπηρεσίας μπορεί να επιλέξει να ιεραρχήσει τους πελάτες του, βασιζόμενος σε διαφορετικούς χρεωστικούς μηχανισμούς. Καθώς η αναλογία των ρυθμών μεταφοράς είναι πιο πολύ προσωρινή παρά μόνιμη εγγύηση, μία πρόχειρη αναλογικότητα είναι αποδεκτή εφόσον η χωρητικότητα μεγιστοποιείται και η περιπλοκότητα αλγορίθμου παραμένει χαμηλή. Λεπτομέρειες για κάθε ένα από αυτά τα βήματα περιγράφονται παρακάτω [9]

Βήμα 1. Αριθμός υπό-κυμάτων ανά χρήστη.

Σε αυτό το αρχικό βήμα, προσδιορίζουμε το N_k ώστε να ανταποκρίνεται σε

$$N_1 : N_2 : \dots : N_K = \phi_1 : \phi_2 : \dots : \phi_K \quad (14)$$

Αυτό το αρχικό βήμα βασίζεται στην λογική υπόθεση ότι η αναλογία των υπο-φερόντων που εκχωρούνται σε κάθε χρήστη είναι περίπου η ίδια με τους επιτυγχανόμενους ρυθμούς μετά την εκχώρηση ισχύος και επομένως θα μπορούσε να ικανοποιεί τους περιορισμούς αναλογικότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με

$$N_k = [\Phi_k N] \quad (15)$$

Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε $N^* = N - \sum_{k=1}^K N_k$ ανεκχώρητα υπο-φέροντα. Το επόμενο βήμα δείχνει το πώς τα N_k υπο-φέροντα για τον χρήστη k και τα N^* υπο-φέροντα, αν υπάρχουν, εγχωρούνται [9].

Βήμα 2. Εκχώρηση υπο-φερόντων

Αυτό το βήμα εκχωρεί σε κάθε χρήστη k τα υπο-φέροντα N_k και στη συνέχεια τα N^* που απομένουν, με τρόπο που μεγιστοποιεί την συνολική χωρητικότητα, ενώ διατηρείται μια πρόχειρη αναλογικότητα. Αυτός ο αλγόριθμος περιγράφεται παρακάτω (αρχικά υποθέτουμε ότι υπάρχει ίση εκχώρηση ισχύος στα υπό-φέροντα)

(a) Initialize

$$c_{k,n} = 0, \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad \text{and} \quad \forall n \in \{1, \dots, N\}$$

$$R_k = 0, \quad \forall k \in \{1, \dots, K\}$$

$$p = P_{tot} / N$$

$$\mathcal{N} = \{1, 2, \dots, N\}$$

(b) for $k = 1$ to K

Sort $H_{k,n}$ in ascending order

$$n = \arg \max_{n \in \mathcal{N}} |H_{k,n}|$$

$$c_{k,n} = 1$$

$$N_k = N_k - 1, \quad \mathcal{N} = \mathcal{N} \setminus \{n\}$$

$$R_k = R_k + \frac{B}{N} \log_2(1 + pH_{k,n})$$

(c) while $\|\mathcal{N}\| > N^*$

$$\mathcal{K} = \{1, 2, \dots, K\}$$

$$k = \arg \min_{k \in \mathcal{K}} R_k / \Phi_k$$

$$n = \arg \max_{n \in \mathcal{N}} |H_{k,n}|$$

if $N_k > 0$

$$c_{k,n} = 1$$

$$N_k = N_k - 1, \quad \mathcal{N} = \mathcal{N} \setminus \{n\}$$

$$R_k = R_k + \frac{B}{N} \log_2(1 + pH_{k,n})$$

else

$$\mathcal{K} = \mathcal{K} \setminus \{k\}$$

(d) $\mathcal{K} = \{1, 2, \dots, K\}$

for $n = 1$ to N^*

$$k = \arg \max_{k \in \mathcal{K}} |H_{k,n}|$$

$$c_{k,n} = 1$$

$$R_k = R_k + \frac{B}{N} \log_2(1 + pH_{k,n})$$

$$\mathcal{K} = \mathcal{K} \setminus \{k\}$$

Το πρώτο βήμα του αλγόριθμου αρχικοποιεί όλες τις μεταβλητές. Το R_k παρακολουθεί τη χωρητικότητα για κάθε χρήστη και το N_k είναι το σύνολο των υποφερόντων που παραμένουν ελεύθερα.

Το δεύτερο βήμα εκχωρεί σε κάθε χρήστη το ενεκχώρητο υποφέρον που έχει το μέγιστο κέρδος για τον χρήστη. Επισημαίνεται ότι ένα πλεονέκτημα προκύπτει για τους χρήστες που

μπορούν να επιλέξουν το καλύτερο υποφέρον πριν από τους άλλους, κυρίως για την περίπτωση που δύο ή περισσότεροι χρήστες, έχουν το ίδιο υποφέρον ως το καλύτερό τους. Ωστόσο αυτή η «μεροληψία» είναι μηδαμινή στον $N \gg K$ καθώς η πιθανότητα να συμβεί αυτό είναι πολύ μικρή.

Το τρίτο βήμα προχωρά στο να εκχωρήσει υποφέροντα σε κάθε χρήση σύμφωνα με το σκεπτικό ότι ο χρήστης που χρειάζεται ένα υποφέρον περισσότερο, σε κάθε επανάληψη, μπορεί να επιλέγει το καλύτερο υποφέρον. Αφού επιβάλλεται αναλογικότητα στο ρυθμό κάθε χρήστη, η ανάγκη κάθε χρήστη καθορίζεται από εκείνον που έχει τη μικρότερη χωρητικότητα διαιρούμενη με την σταθερά αναλογικότητας. Μόλις ο χρήστης δεχθεί την εκχώρηση N_k υποφερόντων, δεν μπορεί να δεχθεί επιπλέον υποφέροντα στο βήμα αυτό.

Το τέταρτο βήμα εκχωρεί τα εναπομείναντα N^* υποφέροντα στους καλύτερους χρήστες για αυτά, ενώ κάθε χρήστης μπορεί να πάρει στην καλύτερη περίπτωση ένα ανεκχώρητο υποφέρον. Αυτό συμβαίνει για να αποτραπεί ο χρήστης με τα μεγαλύτερα κέρδη να πάρει όλα τα υπόλοιπα υποφέροντα. Αυτό το σκεπτικό συνδυάζει την επίτευξη μίας αναλογικής αμεροληψίας με την αύξηση της συνολικής χωρητικότητας. Παρατηρούμε ότι ως συνέπεια αυτού του σχεδίου εκχώρησης υποφερόντων [9],

$$N_1 : N_2 : \dots : N_K \approx \phi_1 : \phi_2 : \dots : \phi_K \quad (16)$$

με την προσέγγιση να γίνεται πιο ακριβής καθώς $N \rightarrow \infty$ και $N \gg K$. Αυτή είναι μία λογική υπόθεση αφού τα υπάρχοντα συστήματα που χρησιμοποιούν OFDMA εκπληρώνουν αυτές τις προϋποθέσεις.

Βήμα 3. Εκχώρηση ισχύος ανάμεσα στους χρήστες

Η έξοδος δεδομένων των δύο πρώτων βημάτων είναι η εκχώρηση υποφερόντων για κάθε χρήστη, η οποία μειώνει το πρόβλημα εκχώρησης πόρων σε εκείνο της βέλτιστης κτανομής ισχύος όπως στην (5). Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε την προσέγγιση στην (16) και να χαλαρώσουμε τον περιορισμό C3 στην (5) ώστε [9]:

$$R_i : R_j = N_i : N_j, \quad \forall i, j \in \{1, \dots, K\}, \quad i \neq j \quad (17)$$

Επομένως θα μπορούσαμε να αντικαταστήσουμε ϕ_k με N_k στην (7) σχηματίζοντας ταυτόχρονες γραμμικές εξισώσεις που μπορούν να γραφούν σε μορφή πίνακα [9]:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & \alpha_{2,2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & \dots & \alpha_{K,K} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{tot} \\ b_2 \\ \dots \\ b_K \end{bmatrix} \quad (18)$$

όπου

$$a_{k,k} = -\frac{N_1}{N_k} \frac{H_{k,1} W_k}{H_{1,1} W_1} \quad (19)$$

$$b_k = \frac{N_1}{H_{1,1}} \left(W_k - W_1 + \frac{H_{1,1} V_1 W_1}{N_1} - \frac{H_{k,1} V_k W_k}{N_k} \right). \quad (20)$$

Αυτό το σύνολο ταυτόχρονων γραμμικών εξισώσεων μπορεί να λυθεί εύκολα λόγω της καλά διαταγμένης συμμετρικής δομής του. Η (18) γίνεται

$$\begin{bmatrix} \alpha_{K,K} & 0 & \dots & 1 \\ 0 & \alpha_{K-1,K-1} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_K \\ P_{K-1} \\ \dots \\ P_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_K \\ b_{K-1} \\ \dots \\ P_{tot} \end{bmatrix} \quad (21)$$

και στη συνέχεια εκτελώντας LU παραγοντοποίηση έχουμε [9]

$$L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \alpha_K & \alpha_{K-1,K-1} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$U = \begin{bmatrix} \alpha_{K,K} & 0 & \dots & 1 \\ 0 & \alpha_{K-1,K-1} & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 - \sum_{k=2}^K \frac{1}{\alpha_{k,k}} \end{bmatrix}. \quad (23)$$

Τελικά η ισχύς κάθε χρήστη δίνεται ως [9]

$$P_1 = \left(P_{tot} - \sum_{k=1}^K \frac{b_k}{a_{k,k}} \right) / \left(1 - \sum_{k=2}^K \frac{1}{a_{k,k}} \right) \quad (24)$$

$$P_k = (b_k - P_1) / a_{kk}, \quad \text{for } k=2, \dots, K \quad (25)$$

Βήμα 4. Εκχώρηση ισχύος ανάμεσα στα υποφέροντα κάθε χρήστη

Το βήμα 3 δίνει τη συνολική ισχύ P_k για κάθε χρήστη k . Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται έπειτα σε αυτό το τελικό βήμα για να υποστηρίξουν waterfling στα υποφέροντα του κάθε χρήστη ως [9]

$$p_{k,n} = p_{k,1} + \frac{H_{k,n} - H_{k,1}}{H_{k,n} H_{k,1}} \quad (26)$$

$$p_{k,1} = \frac{P_k - V_k}{N_k} \quad (27)$$

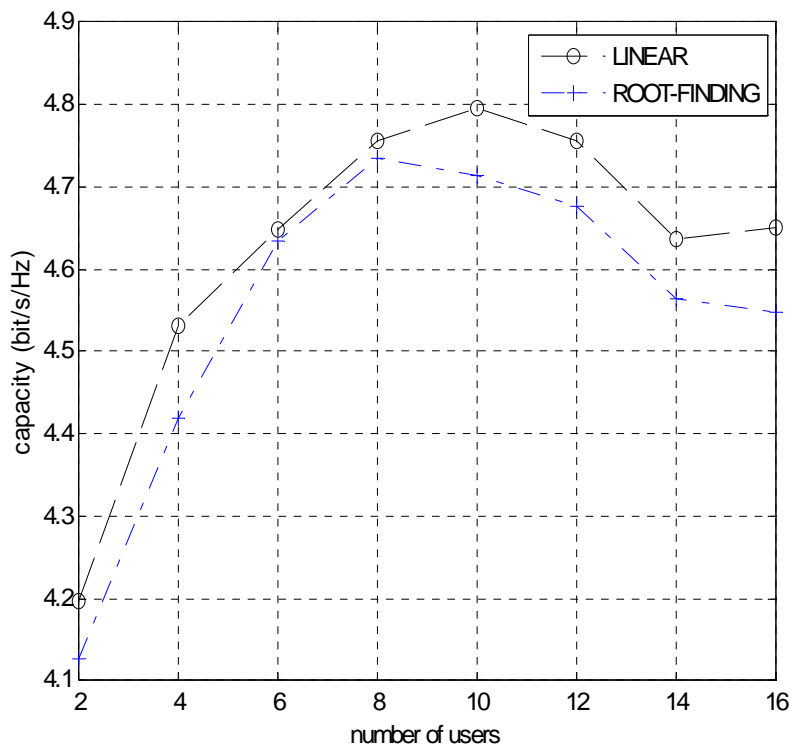
Το παραπάνω βήμα 4 λογίζεται ως LINEAR [9].

4.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Σε αυτό το εδάφιο θα δούμε τα αποτελέσματα του παραπάνου αλγορίθμου με βάση τη προσομοίωση που παρουσιάζεται στο [10]. Το κανάλι πολυδιαδρομής με διάλλειψη επιλεκτικής συχνότητας (frequency selective multipath channel) αποτελείται από 6 ανεξάρτητες Rayleigh διαδρομές, με ένα εκθετικά μειούμενο προφίλ ισχύος. Υποθέτουμε μέγιστη καθυστέρηση καναλιού ίση με 5μs και ένα μέγιστο Doppler ίσο με 30Hz. Το κανάλι δειγματοληπτείται κάθε 0.5 ms ώστε να ενημερώνεται ο αλγόριθμος εκχώρησης υποφερόντων και ισχύος. Η συνολική ισχύς εκπομπής είναι 1Watt, το συνολικό εύρος ζώνης 1MHz, ενώ ο αριθμός των υποφερόντων είναι 64. Το μέσο SNR υποκαναλιού θεωρείται 38dB και $BER < 10^{-3}$, δίνοντας ένα διάστημα SNR: $\Gamma = -\ln(5 \times 10^{-3})/1.6 = 3.3$. Αυτή η σταθερά χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του ρυθμού $r_{k,n}$ του χρήστη k στο υποφέρον n που δίνεται από την (2).

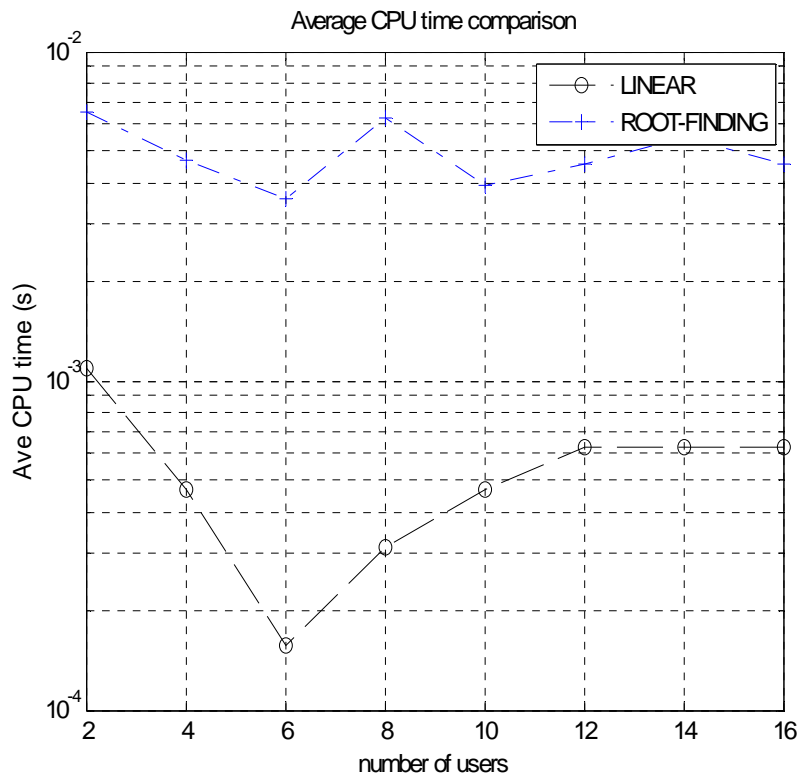
Ο αριθμός χρηστών για το σύστημα ποικίλει από 2 μέχρι 16 με προσαυξήσεις κατά 2. Ένας συνολικός αριθμός 1000 διαφορετικών υλοποιήσεων καναλιού και ένας αριθμός 100 δειγμάτων χρόνου για κάθε υλοποίηση, χρησιμοποιήθηκαν για κάθε έναν από τους χρήστες. Για κάθε υλοποίηση καναλιού, ένα σύνολο από σταθερές αναλογικότητας $\zeta_k = \varphi_k / \min \varphi_k$, εκχωρείται σε κάθε χρήστη. Υποθέτουμε ότι αυτές οι σταθερές ακολουθούν την αθροιστική κατανομή

$$P_{\zeta_k} = \begin{cases} 1 & \text{with probability 0.5} \\ 2 & \text{with probability 0.3} \\ 4 & \text{with probability 0.2} \end{cases}$$



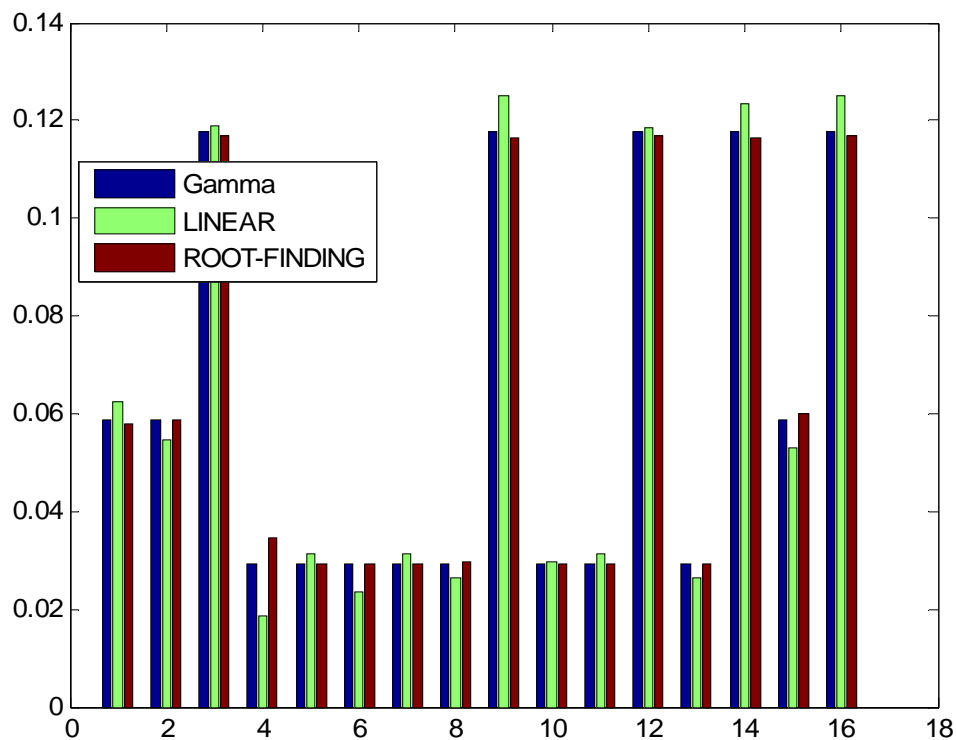
Σχήμα 4.2: Συνολική χωρητικότητα έναντι αριθμού χρηστών σε ένα σύστημα OFDMA

Παρατηρούμε ότι η συνολική χωρητικότητα με τη μέθοδο LINEAR είναι συνεχώς μεγαλύτερη από τη συνολική χωρητικότητα με τη μέθοδο ROOT-FINDING [9]. Επίσης η χωρητικότητα μεγαλώνει με τον αριθμό των χρηστών λόγω του multiuser diversity gain αλλά μόνο μέχρι ένα όριο του αριθμού χρηστών. Το βασικό βέβαια πλεονέκτημα της μεθόδου LINEAR είναι η μικρότερες υπολογιστικές απαιτήσεις που έχει. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου δίνεται ο μέσος χρόνος CPU για τις δύο μεθόδους.



Σχήμα 4.3 Μέση CPU time για τις δύο μεθόδους ROOT-FINDING και LINEAR

Τέλος εξετάζεται η αναλογικότητα του ρυθμού μετάδοσης των χρηστών που επιτυγχάνεται με τις δύο μεθόδους. Για τις παραπάνω παραμέτρους προσομοίωσης με τις απαιτούμενες αναλογίες φ_k να εμφανίζονται ως οι αριστεροί ράβδοι για κάθε χρήστη, η προτεινόμενη στη [9] LINEAR μέθοδος εμφανίζει ελάχιστη απόκλιση από τις απαιτούμενες αναλογίες, αλλά η ROOT FINDING μέθοδος ανταποκρίνεται καλύτερα, όπως άλλωστε αναμενόταν με βάση τις υποθέσεις που έγιναν παραπάνω.



Σχήμα 4.4: Κανονικοποιημένοι λόγοι χωρητικότητας ανά χρήστη

Το σχήμα 4.4 παρουσιάζει τους κανονικοποιημένους «λόγους» των χωρητικοτήτων για κάθε χρήστη, στην περίπτωση των 16 χρηστών σε 100 δείγματα καναλιών. Οι κανονικοποιημένες χωρητικότητες δίνονται από τον τύπο: $R_k / \sum_{k=1}^{16} R_k$ και παρατηρούνται και για τις δύο μεθόδους. Αυτό συγκρίνεται με τους κανονικοποιημένους περιορισμούς αναλογικότητας $\{\phi_k\}_{k=1}^{16}$. Σε αντίθεση με τη μέθοδο ROOT-FINDING η αναλογικότητα μεταξύ των χρηστών για τη γραμμική μέθοδο δεν εφαρμόζεται πλέον αυστηρά, αλλά η απόκλιση είναι τόσο μικρή ώστε δεν θεωρείται σημαντικό πρόβλημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] *IEEE Std. 802.16-2004*, standard for local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.
- [2] *IEEE Std. 802.16a-2003*, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, MAC and Additional PHY Specifications for 2-11GHz.
- [3] *IEEE Std. 802.16e*, Draft amendment to IEEE standard for local and metropolitan area networks, Part 16: air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems, amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands.
- [4] Motorola White Paper “*Wimax: E vs D The Advantages of 802.16e over 802.16d*”
- [5] G. J. Mullet, *Wireless Telecommunications Systems and Networks*. Thomson Delam Learning, 2006.
- [6] H. Yaghoobi, “Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16 WirelessMAN,” *Intel Technology Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 201-212, Aug. 2004.
- [7] J. Jang and K. B. Lee, “Transmit Power Adaptation for Multiuser OFDM Systems,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 21, pp. 171-178, Feb. 2003.
- [8] Z. Shen, J. G. Andrews, and B. L. Evans, “Optimal Power Allocation in Multiuser OFDM Systems,” in *Proc. IEEE Global Communications Conference*, San Francisco, CA, pp. 337-341, Dec. 2003.
- [9] J. C. Wong, Z. S. Brian, L. Evans and J. G. Andrews, “A Low Complexity Algorithm for Proportional Resource Allocation in OFDM Systems,” *Proc. IEEE Int. Workshop on Signal Processing Systems*, Oct. 13-15, 2004, pp. 1-6, Austin, TX USA.
- [10] <http://users.ece.utexas.edu/~bevans/projects/ofdm/> Matlab code
- [11] H. Yin and H. Liu, “An Efficient Multiuser Loading Algorithm for OFDM-based Broadband Wireless Systems,” in *Proc. IEEE Global Telecommunications Conference*, vol. 1, 2000, pp.103-107.
- [12] D. Bertsekas, *Nonlinear Programming*. Athena Scientific, 1995.