

# Ευρυζωνικά ασύρματα δίκτυα δεδομένων WiMax

Πτυχιακή εργασία του

Ρούτη Μελετίου

AM:2488

Σπουδαστής ΤΕΙ Ηρακλείου , Παράρτημα Χανίων,  
Τμήμα Ηλεκτρονικής

Επιβλέπων

Επίκουρος καθηγητής Κόκκινος Ευάγγελος

Χανιά  
Οκτώβριος 2007

## **Wireless Broadband System For Metropolitan Area Networks - WiMax**

A wireless data network, in which users being in the network service region can connect from distance, using the appropriate hardware devices . Network's capacity is large enough to provide good service connection for thousands of users. The links between the terminal users and the core network, can be of great distance, as is 30 km with LOS transmissions. The system uses orthogonal frequency division multiple techniques to achieve better data rates with a given bandwidth. The system is using different burst profiles , in order to become more scalable and reliable in environments with great noise and interference . The users will be able to connect to the internet , easy and having guaranteed data rates and services. This network is designed for implementation in urban and sub-urban environments . The cost of building such a network with large capacity and many users is less than upgrading old wired networks .

This particular project contains the theoretical elements for the air interface of WiMax systems according to the newly made IEEE 802.16 standards. Also all the network topology and antenna systems that being used , are provided . Moreover the reader can find some of the system's utilities and techniques that used in order to increase the abilities of a wireless data network . Finally this project provides some compares between this wireless system's characteristics and the wireless systems that already are in use .

<b>Κεφ 1</b>	
1 Εισαγωγή	σελ 5
<b>Κεφ 2</b>	
2 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access)	σελ 9
2.1 Τεχνολογία Πολυπλεξίας Συχνότητας Ορθογωνικών Σημάτων	σελ 9
2.1.1 Περιγραφή στο πεδίο της συχνότητας	σελ 11
2.1.2 Περιγραφή στο πεδίο του χρόνου	σελ 11
2.2. Περιγραφή και δημιουργία OFDMA σήματος	σελ 12
2.2.1 Απεικόνιση στο πεδίο του χρόνου	σελ 12
2.2.2 Απεικόνιση στο πεδίο της συχνότητας	σελ 13
2.2.3 Βασικές παράμετροι του OFDMA συμβόλου	σελ 14
2.2.4 Δημιουργία OFDM συμβόλου και διαμόρφωση	σελ 16
2.3 Slot και περιοχή δεδομένων	σελ 21
2.4 Κατανομή των συμβόλων OFDMA σε υποκανάλια (subchannels)	σελ 22
2.5 Δόμηση του Frame εκπομπής	σελ 23
2.5.1 Point To Multypoint frame structure	σελ 23
2.5.2 DL-Frame Prefix	σελ 24
2.6 Κατανομή των subchannels για το FCH και λογική αριθμοδότηση των subchannels	σελ 28
2.7 Κατανομή εκπομπής στην άνω ζεύξη	σελ 29
<b>Κεφ 3</b>	
3. Αρχιτεκτονική Δικτύων WiMax - Γενικά περί δικτύων	σελ 31
3.1 Δίκτυα βρόχου (mesh networks)	σελ 33
3.2 Αρχιτεκτονική δικτύων WiMax_	σελ 33
3.3 Χρονισμός Του Δικτύου	σελ 39
<b>Κεφ 4</b>	
4. Συστήματα Κεραιών Σε WiMax Εφαρμογές	σελ 42
4.1 (Switched Beam Antenna Systems) SBAS – Συστήματα κεραιών εναλλαγής δέσμης εκπομπής	σελ 44
4.2 (Adaptive Antenna Systems ) ASS – Προσαρμοστικά	

	συστήματα κεραιών	σελ 44
4.3	Η χρήση έξυπνων κεραιών στο WiMax	σελ 46
4.4	AAS Μηνύματα Διαχείρισης	σελ 48

## **Κεφ 5**

5.	Εργαλεία και διαδικασίες διαχείρισης του συστήματος	σελ 49
5.1	Αναγνώριση και Καταχώριση του ΣΧ στο δίκτυο	σελ 50
5.2	Αρχικές διαπραγματεύσεις και διαρρυθμίσεις για τις δυνατότητες του ΣΧ	σελ 50
5.3	Διαδικασία αίτησης και απόδοσης φάσματος (BW Requests and Grant)	σελ 51
5.4	Εγκατάσταση σύνδεσης	σελ 53
5.5	Μηνύματα Διαχείρισης (Management Messages)	σελ 54
5.6	Έλεγχος Ραδιοζεύξης RADIO LINK CONTROL	σελ 56
5.6.1	Μήνυμα διαχείρισης RNG-REQ (Ranging Request msg)	σελ 60
5.6.2	DBPC-REQ/RSP msg (DL Burst Profil Change Message)	σελ 60
5.6.3	Κωδικοποίηση της DIUC παμέτρου για OFDMA συστήματα	σελ 61
5.7	Μηχανισμός αυτόματης επανάληψης εκπομπής (ARQ MECHANISM)	σελ 61
5.7.1	ARQ Feedback IE (information element) Format	σελ 63
5.7.2	Βασικές Παράμετροι του ARQ	σελ 64
5.7.3	Λειτουργία ARQ	σελ 65
5.7.3.1	Σύγκριση Αριθμών Ακολουθίας (Sequence Number Comparison)	σελ 65
5.7.3.2	Μηχανισμός Καταστάσεων Πομπού	σελ 65
5.7.3.3	Μηχανισμός Καταστάσεων Δέκτη	σελ 66
5.8	Μηχανισμός ελέγχου ισχύος	σελ 67

## **Κεφ 6**

6	WiMax συγκριτικά με τα ήδη υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα	σελ 70
	Βιβλιογραφία	σελ 75



## 1. Εισαγωγή

Μετά την επιτυχημένη διείσδυση της τεχνολογίας GSM και των αναβαθμίσεων αυτής στην αγορά , η ανάπτυξη και το μέλλον των δικτύων δεδομένων στρέφεται προς την κατεύθυνση παροχής ασύρματων υπηρεσιών . Η είσοδος στην αγορά του συστήματος WiFi (IEEE 802.11) για την ευρεία εφαρμογή και υλοποίηση μικρής έκτασης ασυρμάτων ευρυζωνικών δικτύων (WLAN) , επισημαίνει το δρόμο για επέκταση της χρήσης του αέρα ως φυσικό μέσο μεταφοράς δεδομένων . Πιο συγκεκριμένα , σε παγκόσμιο επίπεδο , οι χρήστες δικτύων δεδομένων δέχτηκαν σαν φυσική εξέλιξη των παραδοσιακών τοπικών δικτύων την τεχνολογία WiFi , και βίωσαν την ευκολία και άνεση που παρέχουν τα ασύρματα δίκτυα υπολογιστών . Σαν επόμενο βήμα στην εξέλιξη των δικτύων αυτών εμφανίζεται η μεγιστοποίηση των ασύρματων υπηρεσιών σε καθολικό πλέον επίπεδο με την υλοποίηση μετροπολιτικών ασύρματων δικτύων , με την τεχνολογία WiMax (IEEE 802.16) .

Εδώ και αρκετά χρόνια υφίσταται η τάση σύγκλισης και ενοποίησης σταδιακά των τεχνολογιών επικοινωνίας και υπολογιστικών συστημάτων . Αυτό απορρέει από την μια με την κατασκευή όλο και μικρότερων φορητών υπολογιστών με αναβαθμισμένες δυνατότητες και από την άλλη ο εμπλουτισμός των συσκευών κινητής τηλεφωνίας και notebooks με γενικευμένες δυνατότητες εφαρμογών . Το βασικό πλέον μέλημα για την δημιουργία δικτύων είναι η προσαρμογή όλων των παραπάνω συσκευών σε

ενιαίο δίκτυο δεδομένων , ώστε ο τελικός χρήστης να μπορεί να συνδέεται με κάθε μέσω στο παγκόσμιο δίκτυο δεδομένων . Η ανάπτυξη της τεχνολογίας WiMax γίνεται με γνώμονα την περεταίρο ενοποίηση των δικτύων δεδομένων . Από πολλούς , όσον αφορά τις τεχνολογικές καινοτομίες που εμφανίζονται , χαρακτηρίζεται ως το σύστημα τέταρτης γενιάς , σε συνέχεια των δικτύων κινητής τηλεφωνίας . Στην πραγματικότητα , όμως αποτελεί την ανάπτυξη ευρυζωνικών ασύρματων δικτύων δεδομένων (παροχής υπηρεσιών internet) με μεγάλες δυνατότητες τόσο σε ρυθμούς μετάδοσης όσο και περιοχών κάλυψης , με την δομή και μεθόδους των δικτύων κινητής τηλεφωνίας .

Η εγκατάσταση ενός δικτύου WiMax στοχεύει στην κάλυψη μιας μεγάλης αστικής ή ημιαστικής περιοχής για την παροχή μεγάλου αριθμού ασύρματων συνδέσεων στο διαδίκτυο , τόσο για προσωπική χρήση όσο και για εμπορική εκμετάλλευση . Εκ των πραγμάτων οι δυνατότητες του συστήματος WiMax όσον αφορά την ακτίνα κάλυψης φθάνουν τα 30km , για συνδέσεις με οπτική επαφή με το σταθμό βάσης . Επιπλέον η χωρητικότητα του δικτύου αναφέρεται σε χιλιάδες συνδέσεις xDSL για οικιακή-προσωπική χρήση και σε εκατοντάδες συνδέσεις T1 για χρήση από εταιρίες και οργανισμούς . Παρέχεται η δυνατότητα επιλογής από διαφορετικές κλάσεις συνδέσεων , ανάλογα με τις ανάγκες κάθε χρήστη χωριστά . Ειδικό βάρος δίνεται σε συνδέσεις με απαιτητικές εφαρμογές όπως η μεταφορά φωνής και εικόνας σε πραγματικό χρόνο . Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει εγγυημένο QoS με δεδομένο δεσμευμένο φάσμα .

Ένα δίκτυο WiMax οργανώνεται με μορφή κυψελωτού , χωρίς όμως να υιοθετεί όλες τις τεχνικές αυτών . Η δόμηση του δικτύου στηρίζεται σε έναν κεντρικό σταθμό (Σταθμός Βάσης - ΣΒ) , με ρόλο οργάνωσης και διαχείρισης τόσο σε επίπεδο ζεύξεων όσο και σε επίπεδο συνδέσεων . Η επικοινωνία από την πλευρά του τελικού χρήστη γίνεται μέσω σταθμών χρήστη (ΣΧ) που είναι υπεύθυνοι για την μεταφορά των δεδομένων των συνδέσεων που εξυπηρετούν . Έτσι λοιπόν , σε κάθε περιοχή κάλυψης υπάρχει ένας τουλάχιστο ΣΒ ο οποίος οργανώνει και εξυπηρετεί πολυάριθμες συνδέσεις μέσω των ΣΧ που βρίσκονται διάσπαρτοι στην περιοχή αυτή . Λόγω της ευρείας περιοχής κάλυψης και της μεγάλης χωρητικότητας του ΣΒ , στις περισσότερες των περιπτώσεων σε μια δεδομένη περιοχή χρησιμοποιείται

έναν μόνο ΣΒ . Οι ΣΧ από τη πλευρά του χρήστη καταλαμβάνουν (στην αρχική μορφή του συστήματος) σταθερές θέσεις στον χώρο , οι ζεύξεις με τον ΣΒ γίνεται με κατευθυντικές κεραίες διαρκώς προσανατολισμένες στον ΣΒ . Επιπλέον ο κάθε ΣΧ μπορεί να συσχετίζεται με περισσότερες από μια διαφορετικές συνδέσεις , δηλαδή πολλοί τελικοί χρήστες μπορούν να συνδέονται στο δίκτυο μέσω ενός ΣΧ .

Το δίκτυο δημιουργείται από πολλαπλές ταυτόχρονες συνδέσεις του ΣΒ με κάθε έναν από τους ΣΧ , ενώ κάθε ΣΧ επικοινωνεί αποκλειστικά μόνο με τον ΣΒ . Για την οργάνωση του δικτύου ο ΣΒ επιτελεί και λειτουργίες δρομολόγησης δεδομένων και διαχείρισης . Η κεντρική διαχείριση των λειτουργιών του συστήματος το κάνει πιο αξιόπιστο , καθώς για κάθε παράμετρο λαμβάνονται υπόψη οι καταστάσεις όλων των βαθμίδων . Ο ΣΒ αποτελεί ουσιαστικά την πύλη επικοινωνίας του κάθε χρήστη στο διαδίκτυο , δίχως ο τελικός χρήστης να αντιλαμβάνεται διαφορά σε σχέση με τα ενσύρματα ευρυχωνικά δίκτυα .

Οι συχνότητες στις οποίες εκπέμπονται τα δεδομένα είναι δεσμευμένες περί τα 3,5GHz , για μελλοντική επέκταση του συστήματος υπάρχει μέριμνα για λειτουργία και σε συχνότητες άνω των 11GHz . Το σύστημα γενικά έχει κατασκευαστεί ώστε να έχει μεγάλη ευαιλιξία και να υποστηρίζει διαφορετικής βαρύτητας συνδέσεις ταυτόχρονα , για το λόγω αυτά τα κανάλια που χρησιμοποιούνται έχουν εύρος από 1,75MHz ως και 20MHz . Η διαχείριση των πόρων του δικτύου γίνεται κεντρικά από τον ΣΒ , έτσι ώστε κάθε χρονική στιγμή το σύστημα να προσαρμόζεται κατάλληλα στη κατάσταση του φυσικού μέσου αλλά και στις ανάγκες του κάθε χρήστη χωριστά . Στο πλαίσιο της ευαιλιξίας του συστήματος έχουν αναπτυχθεί τεχνικές για την άμεση αυτόματη προσαρμογή του στις υπάρχουσες συνθήκες κάθε στιγμή . Οι τεχνικές αυτές αφορούν την ισχύ εκπομπής αλλά και τον τύπο διαμόρφωσης σε διάφορους ρυθμούς κωδικοποίησης , για να υπάρχει σταθερότητα και ομαλή ροή δεδομένων . Το σύστημα υποστηρίζει διαμορφώσεις QPSK , 16 QAM και 64 QAM σε συνδυασμό με διάφορους ρυθμούς κωδικοποίησης διόρθωσης σφαλμάτων . Ο συνδυασμός διαμόρφωσης και κωδικοποίησης επιλέγεται σε κάθε εκπομπή για κάθε χρήστη χωριστά .

Το WiMax για να πετύχει πολύ μεγάλη χωρητικότητα αλλά και αξιοπιστία στη λειτουργία του , στηρίζεται σε μια σειρά προϋγμένων τεχνολογιών για την οργάνωση και κατανομή του φάσματος , έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται στο έπακρο τους πόρους του συστήματος . Για την οργάνωση των συχνοτήτων στις οποίες φορτώνονται τα δεδομένα (φέρουσες , υποφέρουσες) χρησιμοποιείται η μέθοδος πολυπλεξίας ορθογωνικών συχνοτήτων . Η τεχνική αυτή αποδίδει τα μέγιστα στην αξιοποίηση του φάσματος καθώς οι φέρουσες συμπιέζονται σε τέτοιο βαθμό που επιτυγχάνονται υψηλός αριθμός bps/Hz φάσματος . Σημαντικό ρόλο για την απόδοση του συστήματος παίζουν τα συστήματα έξυπνων κεραιών που χρησιμοποιούνται και προσφέρουν σχετικά μεγάλη αναισθησία σε θόρυβο και παρεμβολές . Η χρήση έξυπνων συστημάτων κεραιών μαζί με ισχυρούς αλγόριθμους επεξεργασίας ψηφιακού σήματος και ενώ η διαχείριση τους γίνεται κεντρικά από ο σύστημα , αποδίδει στιβαρότητα και η συνολική απόδοση του συστήματος αυξάνεται σημαντικά .

Τα δίκτυα WiMax προσαρμόζονται απόλυτα με τη ροή υπηρεσιών internet , καθιστώντας τους χρήστες του μέρος του παγκόσμιου δικτύου δεδομένων . Η υλοποίηση του σε αρχικό στάδιο ταιριάζει απόλυτα σε περιοχές υποανάπτυκτων ενσύρματων δικτύων ή σε αραιοκατοικημένες εκτάσεις , για την ανάπτυξή τους και την προσφορά ευρυζωνικών υπηρεσιών . Το κόστος για την υλοποίηση του συστήματος σε τέτοιες συνθήκες είναι σχετικά μικρό σε σχέση με το μέγεθος των υπηρεσιών προσφέρονται εφόσον απαιτούνται ελάχιστοι ΣΒ για την εξυπηρέτηση χιλιάδων τελικών χρηστών .

Η τεχνολογία WiMax δεν ανταγωνίζεται τα ασύρματα δίκτυα που ήδη υπάρχουν , ούτε πρόκειται να τα αντικαταστήσει . Η δημιουργία της αποσκοπεί στην ολοκλήρωση των ασύρματων δικτύων , ενοποιώντας τα στο μεγαλύτερο δυνατό βαθμό .

## **Κεφάλαιο 2:**

# **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access)**

## **2 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access)**

### **2.1 Τεχνολογία Πολυπλεξίας Συχνότητας Ορθογωνικών Σημάτων**

Η τεχνολογία πολυπλεξίας συχνότητας ορθογωνικών σημάτων στηρίζεται στην τεχνική μετάδοσης πολλαπλών φερουσών συχνοτήτων και πρόσφατα αναγνωρίστηκε σαν μια τέλεια μέθοδος για εφαρμογές υψηλής ταχύτητας ασύρματης επικοινωνίας δύο κατευθύνσεων για δεδομένα . Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή από τη δεκαετία του 60 , αλλά μόλις πρόσφατα έγινε δημοφιλής λόγω των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που είναι πλέον διαθέσιμα και ικανά να εκτελέσουν αποδοτικά και με την αναγκαία ταχύτητα τις ψηφιακές λειτουργίες που απαιτούνται για την τεχνική αυτή . Η τεχνική αυτή στηρίζεται στη διαίρεση του διαθέσιμου φάσματος σε πολλαπλές φέρουσες συχνότητες και την αποδοτική συμπίεση των φερουσών αυτών μεταξύ τους

.Για να μην υπάρχουν παρεμβολές όμως μεταξύ των φερουσών , τα διαμορφωμένα σήματα είναι ορθογωνικά . Με τον τρόπο αυτό έχουμε σαν αποτέλεσμα την σημαντική μείωση του απαιτούμενου φάσματος .

Επιδή τα OFDM συστήματα προσαρμόζονται πιο εύκολα σε υπαίθριο περιβάλλον και τις παρεμβολές που αυτό εισάγει στην επικοινωνία , χρησιμοποιούνται συνήθως για metro-access εφαρμογές . Η τεχνολογία OFDM καταφέρνει να βελτιστοποιήσει τις υπο-φέρουσες , ορίζοντας το μέγεθος που θα έχουν ανάλογα με την κατάσταση (ιδιαιτερότητες χρήστη και μέσου μετάδοσης) και τις ανάγκες της ραδιοσυχνότητας .

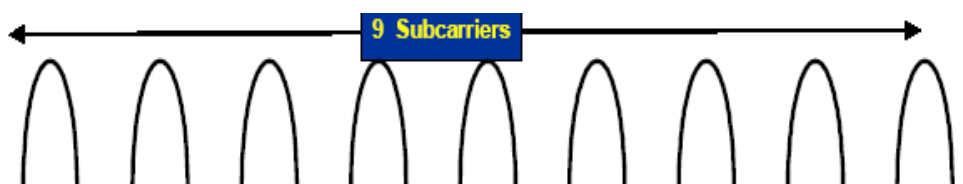
Ορθογωνικές είναι οι συχνότητες στις οποίες έχει διαιρεθεί το φέρον και είναι επιλεγμένες έτσι ώστε οι κορυφές της μιας να συμπίπτουν με τα μηδενικά της γειτονικής. Η ροή των δεδομένων μετατρέπεται από σειριακή σε παράλληλη , στη συνέχεια κάθε παράλληλη ροή δεδομένων χαρτογραφείται από ένα διάγραμμα διαμόρφωσης . Με τη σειρά τους τα διαμορφωμένα δεδομένα υφίστανται επεξεργασία από μια μονάδα αντίστροφου μετασχηματισμού Φουριέ (IFFT block). Το IFFT διάγραμμα μετατρέπει τις διακριτές διαμορφωμένες συχνότητες σε σήματα στο πεδίο του χρόνου, τα σήματα αυτά χρησιμοποιούνται για να οδηγήσουν τον ενισχυτή ραδιοσυχνοτήτων (RF amp) .

Η OFDMA χρησιμοποιεί ένα σχήμα με πολλούς «φέροντες» (multicarrier scheme) για να επιτύχει απόδοση μετάδοσης (δεδομένα/Hz) κοντά στα κλασικά σχήματα με ένα φέρον (QPSK, QAM) αλλά με μεγαλύτερη ανοχή στις διαταραχές του καναλιού . Αυτό επιτυγχάνεται συγχρονίζοντας πολλούς φορείς ταυτόχρονα, αλλά σε χαμηλότερους ρυθμούς συμβόλων συγκριτικά με σχήματα διαμόρφωσης με ένα φέρον (Single Carrier Modulation).

Το multi-carrier σχήμα είναι περισσότερο «συμπαγές» στην παρουσία παρεμβολής στο κανάλι και θορύβου, επειδή η απώλεια κάποιου carrier ή ακόμα και αρκετών δεν είναι δυνατόν να χαλάσει την συνολική μετάδοση. Τα χαμένα bits μπορούν να ανακτηθούν μέσω αλγορίθμων διόρθωσης σφαλμάτων. Επίσης , λόγω του χαμηλότερου ρυθμού συμβόλου ο θόρυβος μπορεί να επισκιάσει λιγότερα σύμβολα. Η OFDMA πολυπλεξία είναι αποτελεσματική ως προς το φάσμα λόγω της μικρής απόστασης που έχουν οι

carriers μεταξύ τους. Αν και γενικά είναι μη διαχωρίσιμοι ακόμα και από έναν υψηλής απόδοσης αναλυτή φάσματος, μπορούν να χωριστούν κατά την ψηφιακή επεξεργασία των δεδομένων (DSP), εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι μαθηματικά ορθογώνιοι (πράγμα που σημαίνει ότι δεν αλληλεπιδρούν). Η ακριβής απόσταση ανάμεσα στους carriers τους καθιστά ορθογώνιους. Η ορθογωνιότητα μειώνεται από διαταραχές στο σήμα, όπως το phase noise και λάθη στον χρονισμό των συμβόλων, οι οποίες επίσης προκαλούν και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συμβόλων (Intersymbol Interference (ISI)).

Η μέθοδος OFDMA είναι βασισμένη στην FDM που χρησιμοποιεί το διαθέσιμο φάσμα διαιρεμένο σε υπο-φέρουσες συχνότητες έτσι ώστε πολλαπλά σήματα να εκπέμπονται ταυτόχρονα με παράλληλο τρόπο . Κάθε ένα από αυτά τα σήματα έχει το δικό του εύρος συχνότητας (υπο-φέρουσα) που στη συνέχεια διαμορφώνεται με τα δεδομένα . Κάθε υπο-φέρουσα διαχωρίζεται από την επόμενη με ένα κενό διάστημα για να μην υπάρχει αλληλοκάλυψη των σημάτων . Οι υπο-φέρουσες αποδιαμορφώνονται στο δέκτη και χρησιμοποιούμε φίλτρα για να διαχωρίζουμε τις μπάντες .



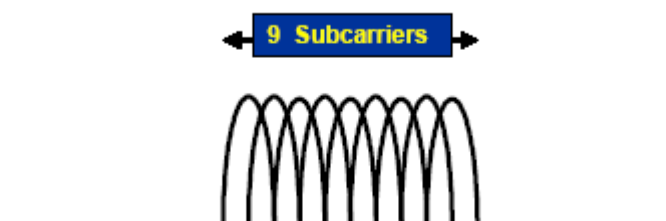
Σχήμα 1

FDM με 9 υπο-φέρουσες και κενά μεταξύ τους

Η μέθοδος OFDMA είναι παρόμοια με την FDM αλλά πολύ περισσότερο αποδοτική όσον αφορά το φάσμα , καθώς το διάστημα που υπάρχει μεταξύ των υπο-φέρουσων δεν είναι αναγκαίο (ουσιαστικά οι μπάντες των δεδομένων αλληλοκαλύπτονται) . Αυτό πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας συχνότητες ορθογωνικές , δηλαδή κάθετες μεταξύ τους από μαθηματική άποψη , επιτρέποντας έτσι στο φάσμα του κάθε υπο-καναλιού να αλληλοκαλύπτεται με αυτό του επόμενου δίχως να υφίσταται παρεμβολή μεταξύ τους . Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα το απαιτούμενο φάσμα είναι κατά μεγάλο βαθμό μειωμένο καθώς δεν υπάρχουν κενά για τον



διαχωρισμό των υπο-καναλιών και επιπλέον αυτά αλληλοκαλύπτονται . Για να γίνει η αποδιαμόρφωση των σημάτων είναι αναγκαίος μετασχηματισμός Fourier (DFT) , ολοκληρωμένα κυκλώματα για Fast Fourier Transformation (FFT) υπάρχουν διαθέσιμα στο εμπόριο , επομένως η διαδικασία της αποδιαμόρφωσης γίνεται σχετικά εύκολα .



Σχήμα 2

OFDM με 9 υπο-φέρουσες πολύ κοντά μεταξύ τους

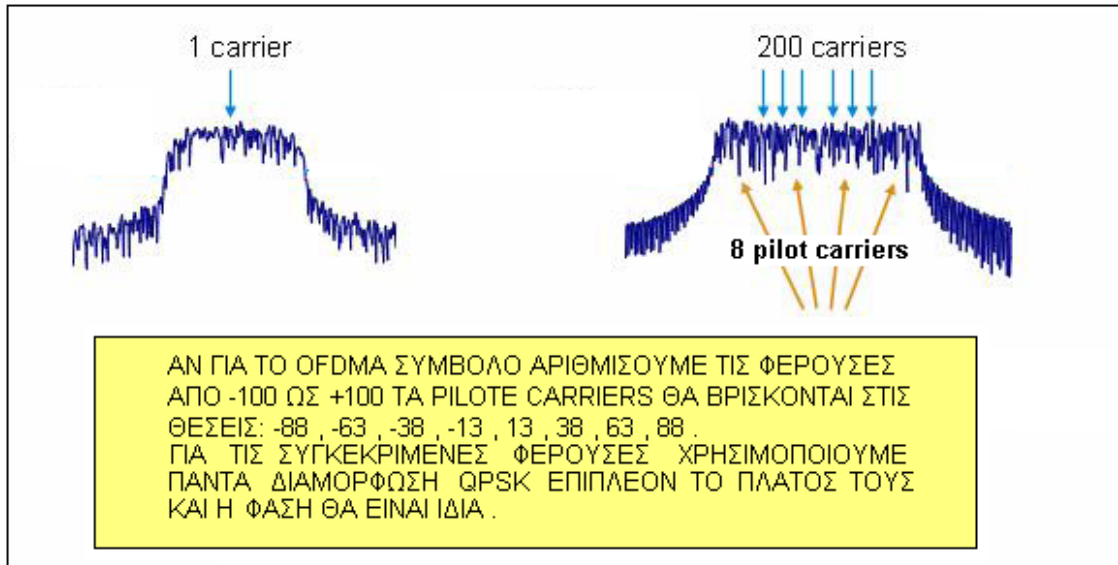
Η διαφορά μεταξύ της OFDM διαμόρφωσης σε σχέση με την παραδοσιακή διαμόρφωση ενός φέροντος σήματος (βλ. Σχήμα 3) είναι η εξής:

#### 2.1.1 Περιγραφή στο πεδίο της συχνότητας :

SCM: Ένας carrier του οποίου το εύρος ζώνης (bandwidth) καθορίζεται από τον ρυθμό του συμβόλου και την μορφή του φίλτρου βασικού σήματος. Οποιαδήποτε ενέργεια έξω από αυτό το εύρος οφείλεται σε μη γραμμική παραμόρφωση.

OFDM: 200 carriers, με ένα μηδενικό στο κέντρο. Το εύρος του σήματος είναι συνάρτηση του αριθμού των carriers επί την απόσταση στην συχνότητα μεταξύ των carriers. Η ενέργεια σε γειτονικά κανάλια δεν είναι παραμόρφωση αλλά το σύνθετο rolloff των 200 carriers.

Όπως αναφέρθηκε πριν, κάποιοι από τους carriers δεν μεταφέρουν δεδομένα αλλά είναι pilots (βλ. Εικόνα 4) . Αυτοί μεταδίδονται χρησιμοποιώντας BPSK (ανεξάρτητα από το είδος της διαμόρφωσης στους υπόλοιπους 192 carriers) . Λόγω του ότι το πλάτος και η φάση τους είναι μεγέθη γνωστά, είναι πολύ πιο εύκολο ο δέκτης να συγχρονίσει τα εισερχόμενα σήματα και να τα αποδιαμορφώσει σωστά.



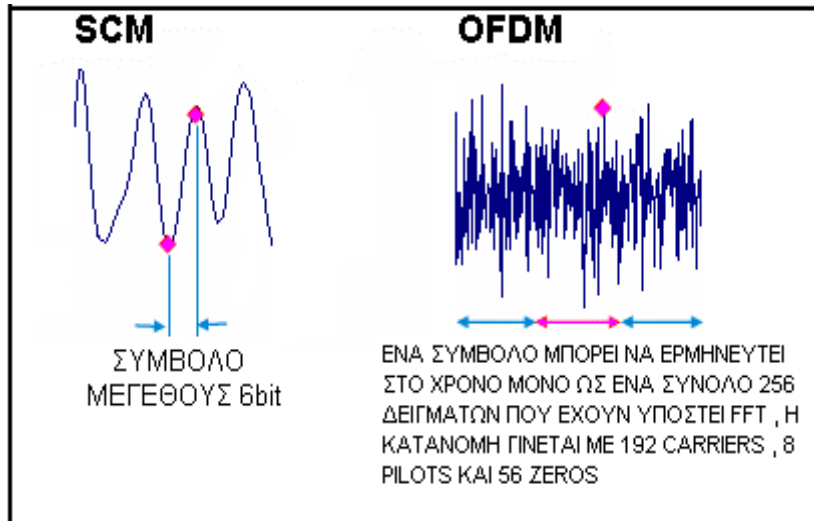
Σχήμα 3

Single carrier modulation και OFDM στο πεδίο της συχνότητας

### 2.1.2 Περιγραφή στο πεδίο του χρόνου:

*SCM:* Ένα σύμβολο αναπαριστά μια συγκεκριμένη στιγμή στο χρόνο (π. χ ένα σημείο στην μεταδιδόμενη κυματομορφή), όπου το πλάτος και η φάση αντιστοιχούν σε μια τιμή στον αστερισμό μετάδοσης. Τα σύμβολα μεταδίδονται γρήγορα για να επιτύχουμε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

*OFDM:* Ένα σύμβολο δεν είναι πια μονοδιάστατο αλλά είναι ένα block χρόνου συγκεκριμένης διάρκειας (περιγράφεται παρακάτω). Μεμονωμένα σημεία στον χρόνο δεν έχουν καμία σημασία ως προς τα δεδομένα που κουβαλούν. Μπορούν μόνο να ερμηνευθούν αν τα πάρουμε σε ομάδες των 256 και κάνουμε FFT.



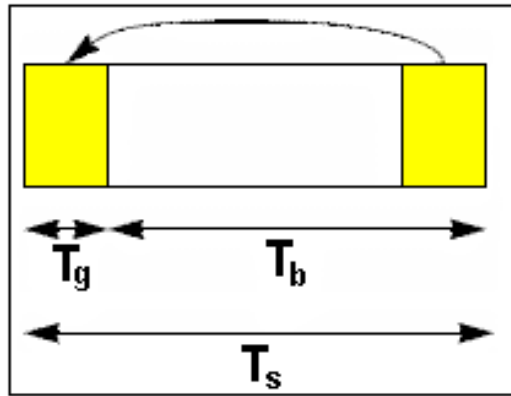
Σχήμα 4

Single carrier modulation και OFDM στο πεδίο του χρόνου

## 2.2 Περιγραφή και δημιουργία OFDM σήματος

### 2.2.1 Απεικόνιση στο πεδίο του χρόνου

Η εικόνα 5 δείχνει την δομή ενός OFDM συμβόλου στο πεδίο του χρόνου. Η κυματομορφή παράγεται από έναν αντίστροφο μετασχηματισμό Fourier (IFFT). Ο χρόνος  $T_b$  αποτελεί τον χρήσιμο χρόνο συμβόλου. Ένα αντίγραφο  $T_g$  της χρήσιμης περιόδου του συμβόλου αντιγράφεται από το τέλος του συμβόλου και τοποθετείται στην αρχή, κατά την διαδικασία αυτή η ορθογωνικότητα του κώδικα διατηρείται. Σαν χρόνο συμβόλου  $T_s$  ορίζεται πλέον το άθροισμα  $T_s = T_g + T_b$ . Το αντίγραφο αυτό ονομάζεται CP (Cyclic Prefix) και χρησιμοποιείται για να επιτύχουμε σωστή λήψη του σήματος στον δέκτη. Το σήμα κατά την πορεία του από τον πομπό προς τον δέκτη δεν ακολουθεί μια και μόνο πορεία αλλά μπορεί ταυτόχρονα να ανακλάται πάνω σε κτίρια ή αυτοκίνητα και να φτάνει στον δέκτη αλλοιωμένο (multipath). Η σημασία του τέλους της χρήσιμης περιόδου του συμβόλου έχει να κάνει με την αντιμετώπιση του παραπάνω φαινομένου.



Σχήμα 5  
Μορφή OFDM συμβόλου στο χρόνο

Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον πομπό αυξάνεται όσο μεγαλώνει το μήκος του guard time  $T_g$ , ενώ η ενέργεια του δέκτη παραμένει η ίδια καθώς η κυκλική επέκταση απορρίπτεται και μόνο το χρήσιμο μέρος του συμβόλου επεξεργάζεται περαιτέρω. Για το λόγο αυτό έχουμε μια απώλεια στο λόγο  $E_b/N_0$  η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση :

$$E_b/N_0 = \frac{10 \log(1 - T_g/T_g + T_b)}{\log(10)} \text{ (dB)}$$

Χρησιμοποιώντας την κυκλική επέκταση, τα δείγματα που απαιτούνται στον δέκτη για να πραγματοποιηθεί ο Fast Fourier Transformation μπορούν να ληφθούν από οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος του εκτεταμένου συμβόλου. Αυτό παρέχει στο σύστημα ανοσία από το multipath όπως και ανθεκτικότητα σε τυχόν σφάλματα χρονισμού του συμβόλου.

Κατά την αρχικοποίηση του ο ΣΧ θα ψάξει όλα τα πιθανά μεγέθη κυκλικής επέκτασης μέχρι να βρεί το ακριβές μέγεθος που χρησιμοποιεί ο ΣΒ. Το μέγεθος επέκτασης που υπάρχει στην κάτω ζεύξη, ο ΣΧ θα το χρησιμοποιήσει και για την άνω ζεύξη. Όταν μια συγκεκριμένη διάρκεια CP επιλεγεί από τον ΣΒ για λειτουργία στην κάτω ζεύξη, δεν θα αλλάξει στη συνέχεια η διάρκεια αυτή για κανένα λόγο. Μια αλλαγή στην κυκλική επέκταση από τον ΣΒ θα ανάγκαζε όλους τους ΣΧ που εξυπηρετούνται από αυτόν να ξανασυγχρονιστούν από την αρχή διακόπτοντας την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

### 2.2.2. Απεικόνιση στο πεδίο της συχνότητας:

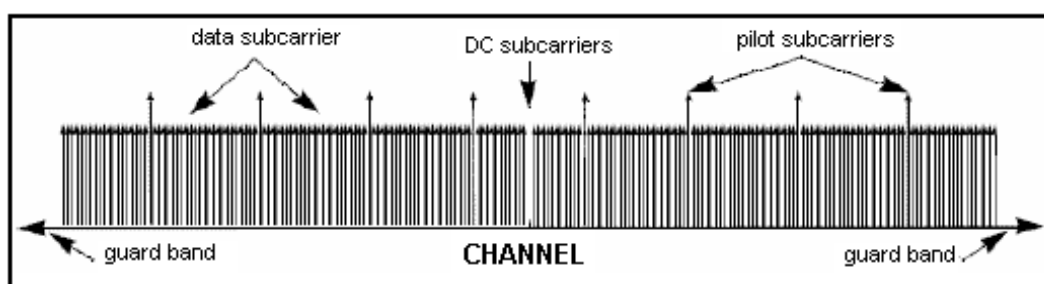
Η εικόνα 6 δείχνει τη δομή ενός OFDM συμβόλου στο πεδίο της συχνότητας. Το σύμβολο φτιάχνεται από subcarriers , ο αριθμός των οποίων προσδιορίζει το μέγεθος του FFT που χρησιμοποιείται .

Υπάρχουν 3 τύποι subcarriers:

1. Data subcarriers: Για μετάδοση δεδομένων
2. Pilot subcarriers: Για διάφορους ελέγχους , σηματοδότηση και συγχρονισμό
3. Null subcarriers: Καμία μετάδοση. Μηδενικά subcarriers και DC subcarrier , χρησιμοποιούνται και σαν guard bands και επιτελούν το ρόλο ζωνών ασφαλείας .

Ο λόγος ύπαρξης των ζωνών ασφαλείας (guard band) είναι για να υπάρχει εξασθένηση και μηδενισμός του σήματος σε συγκεκριμένα σημεία του φάσματος μεταξύ των subcarrier δεδομένων .

Όσον αφορά τα pilot subcarriers στο σύμβολο που αποτελείται από 256 subcarriers , θα βρίσκονται στις θέσεις -88 , -63 , -38 , -13 , +13 , +38 , +63 , +88 . Η δε διαμόρφωση τους θα είναι πάντα QPSK σε αντίθεση με τα data subcarrier που η διαμόρφωση μπορεί να διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση εκπομπής .



Σχήμα 6  
Περιγραφή OFDM συμβόλου στη συχνότητα

Στα OFDMA συστήματα , τα ενεργά subcarriers ομαδοποιούνται σε υποσύνολα του καναλιού τα οποία καλούνται subchannels . Αυτή η ομαδοποίηση γίνεται γιατί στην κάτω ζεύξη είναι δυνατόν ένα subchannel να

προορίζεται για διαφορετικούς δέκτες ή ομάδες δεκτών . Επίσης στην άνω ζεύξη ένας πομπός μπορεί να εκπέμπει χρησιμοποιώντας ένα ή περισσότερα subchannels , ενώ και άλλοι χρήστες να εκπέμπουν ταυτόχρονα στα ίδια subchannels . Ο σχηματισμός ενός subchannel μπορεί να γίνει από ένα ή περισσότερα γειτονικά subcarriers . Το κάθε σύμβολο κατανέμεται σε λογικά subchannels έτσι ώστε το σύστημα να είναι κλιμακωτό , να υποστηρίζεται η είσοδος από πολλαπλούς χρήστες και για να μπορεί να εκμεταλλευθεί τις δυνατότητες επεξεργασίας των προηγμένων συστημάτων κεραιών .

### 2.2.3 Βασικές παράμετροι του OFDMA συμβόλου .

Το OFDMA σύμβολο χαρακτηρίζεται από 4 βασικές παραμέτρους που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος .

1.  $BW$  : εκφράζει το κανονικό φάσμα του καναλιού.
2.  $N_{used}$  : εκφράζει τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων subcarriers , συνυπολογιζόμενων και των DC carriers
3.  $n$  : παράγοντας δειγματοληψίας . Η παράμετρος αυτή σε συνδυασμό με τις δύο προηγούμενες καθορίζει τα διαστήματα που θα απέχουν τα subcarriers μεταξύ τους και την χρήσιμη διάρκεια του συμβόλου . Η τιμή της παραμέτρου αυτής είναι ορισμένη στο  $8/7$  .
4.  $G$  : ο λόγος της διάρκειας της κυκλικής επέκτασης προς τον χρόνο του χρήσιμου συμβόλου . Οι υποστηριζόμενες τιμές για την παράμετρο αυτή είναι  $1/32$  ,  $1/16$  ,  $1/8$  και  $1/4$  .

Εκτός από τις βασικές παραμέτρους υπάρχουν κάποιες οι οποίες προέρχονται από τις τέσσερις που αναφερθήκαν .

- $N_{FFT}$ : Η μικρότερη δύναμη του 2 που είναι μεγαλύτερη από το  $N_{used}$
- $F_s$ : Η συχνότητα δειγματοληψίας
- Διαστήμα μεταξύ της κεντρικής συχνότητας των subcarriers :  
 $\Delta f = F_s / N_{FFT}$
- Διάρκεια χρήσιμου συμβόλου :  $T_b = 1 / \Delta f$

- Διάρκεια CP:  $T_g = G \cdot T_b$
- Διάρκεια OFDMA συμβόλου :  $T_s = T_b + T_g$
- Διάρκεια δείγματος :  $T_b / N_{FFT}$

Στον πίνακα 1 που ακολουθεί παραθέτονται ενδεικτικές τιμές για τις παραπάνω παραμέτρους σε συνάρτηση με τα διάφορα δυνατά μεγέθη φάσματος καναλιού που χρησιμοποιούνται . Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι σε αντίθεση με άλλα συστήματα που βασίζονται στο FDMA , το WiMax υποστηρίζει ποικίλα μεγέθη BW από 1,25MHz ως και 20MHz για NLOS λειτουργία . Όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί , θα πρέπει να τονιστεί επιπλέον , ότι η απόσταση μεταξύ των υπο-φέρουσων (subcarrier spacing) είναι ανεξάρτητη από το φάσμα που χρησιμοποιείται . Ως εκ τούτου το μέγεθος που μεταβάλλεται ανάλογα με το φάσμα είναι ο αριθμός των subcarries που χρησιμοποιούνται και κατ' επέκταση το μέγεθος του FFT .

Πίνακας * : OFDMA scalability parameters					
Παράμετροι	Τιμές				
Φάσμα καναλιού (MHz)	1.25	2.5	5	10	20
Συχνότητα δειγματοληψίας ( $F_s$ , MHz)	1.429	2.857	5.714	11.429	22.857
Διάρκεια δείγματος ( $1/F_s$ , nsec)	700	350	175	88	44
Μέγεθος FFT ( $N_{FFT}$ )	128	256	512	1024	2048
Subcarrier frequency spacing	11.16071429 kHz				
Χρήσιμη διάρκεια συμβόλου ( $T_b = 1/\Delta f$ )	89.6 $\mu$ s				
Guard time ( $T_g = T_b/8$ )	11.2 $\mu$ s				
OFDMA διάρκεια συμβόλου ( $T_s = T_b + T_g$ )	100.8 $\mu$ s				

Πίνακας 1

## 2.2.4 Δημιουργία OFDM συμβόλου και διαμόρφωση

Κατά την επεξεργασία για την προετοιμασία των δεδομένων προς την εκπομπή , αυτά περνούν από διάφορα στάδια στα οποία εμπλουτίζονται με επιπλέον πληροφορία , για την αποδοτικότερη λειτουργία του συστήματος , κωδικοποιούνται και ανακατανέμονται . Τα βασικά βήματα στα οποία γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων καθώς αυτά φθάνουν προς διαμόρφωση είναι αρχικά η προσθήκη κώδικα για διόρθωση σφαλμάτων , FEC (Forward Error Correction) με βάση τον RS-CC (Concatenated Reed-Solomon Convolutional Code) , ο ρυθμός του οποίου σχετίζεται με το είδος διαμόρφωσης που θα χρησιμοποιηθεί . Στη συνέχεια το stream των δεδομένων εισάγεται σε block interleaver (το μέγεθος του block αυτού θα είναι ίσο με τα bit ανά OFDMA σύμβολο που θα δημιουργηθεί) . Έπειτα η σειριακή εισροή των δεδομένων κατανέμεται σε πίνακα μέσω ενός mapper , και πλέον τα bits των δεδομένων αναπαρίστανται ως μιγαδικοί αριθμοί σε έναν αστερισμό που το μέγεθος του πικοίλει ανάλογα με τον τύπο διαμόρφωσης . Στον πίνακα που έχει δημιουργηθεί εκτελείται αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier (IFFT) για την παραγωγή ενός νέου πίνακα ίδιου μεγέθους διάρκειας μερικών msec . Ο νέος αυτός πίνακας μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα burst το οποίο αναπαριστά ένα OFDMA σύμβολο . Στον QPSK αστερισμό το σύμβολο θα περιέχει 384 bits . Πολλά σύμβολα ενώνονται για την δημιουργία ενός frame .

Το σύστημα δίνει την δυνατότητα επιλογής διαφόρων προφίλ διαμόρφωσης και κωδικοποίησης , ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε χρήστη και τις ιδιαιτερότητες του περιβάλλοντος στο οποίο γίνεται η εκπομπή . Κατά την προσθήκη του FEC ο ρυθμός μετάδοσης της χρήσιμης πληροφορίας ελαττώνεται , το κέρδος από την χρήση της τεχνικής αυτής είναι η αξιοπιστία και η θωράκιση των δεδομένων έτσι ώστε αυτά όταν φτάσουν στο δέκτη να έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι χρήσιμα και αναγνωρίσιμα . Στον πίνακα 2 που ακολουθεί βλέπουμε τα modes λειτουργίας που παρέχονται από το σύστημα για διαμόρφωση και κωδικοποίηση .

ΠΡΟΦΙΛ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ RS-CC RATE	ΜΕΓΕΘΟΣ BLOCK ΜΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ (bytes)	ΜΕΓΕΘΟΣ BLOCK ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ (bytes)
0	BPSK 1/2	12	24



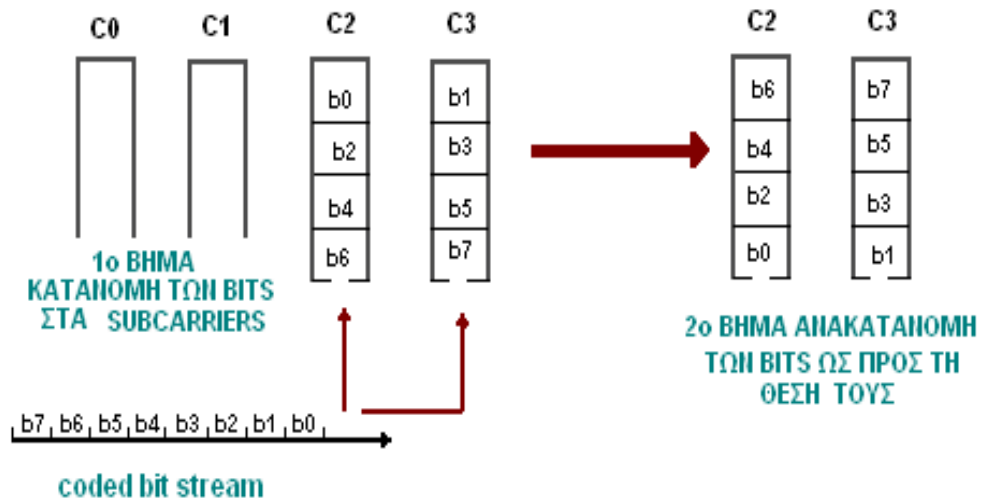
1	QPSK 1/2	24	48
2	QPSK 3/4	36	48
3	16QAM 1/2	48	96
4	16QAM 3/4	72	96
5	64QAM 2/3	96	144
6	64QAM 3/4	108	144
7-15	Reserved	Reserved	Reserved

Πίνακας 2

Στο πεδίο του πίνακα «ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ RS-CC RATE» , το κλάσμα που ακολουθεί το είδος της διαμόρφωσης υποδεικνύει την επιπρόσθετη πληροφορία διόρθωσης λαθών που προστίθεται στη ροή των bits . Ενδεικτικά, για coding rate 2/3 , θα ισχύει ότι για κάθε 3 bits που θα στέλνονται από τον πομπό μόνο τα 2 είναι ωφέλημα δεδομένα και 1 περιέχει πληροφορία για διόρθωση λαθών .

Το προφίλ λειτουργίας εκτός από την κωδικοποίηση και τη διαμόρφωση αφορά και άλλες παραμέτρους λειτουργίας που θα εξετάσουμε στο πέμπτο κεφάλαιο . Η επιλογή του προφίλ που θα χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση εξετάζεται στην αρχικοποίηση της εκάστοτε σύνδεσης , μετά τον αρχικό συγχρονισμό μεταξύ σταθμού βάσης και χρήστη η κωδικοποίηση και η διαμόρφωση δεν θα αλλάξει για κανέναν λόγο .

Μετά την κωδικοποίηση των δεδομένων , αυτά γίνονται διακριτά μεταξύ τους (interleaving) από ένα block interleaver με μέγεθος block ίσο με τον αριθμό των κωδικοποιημένων bits ανά σύμβολο OFDM , όπως αναφέρθηκε και παραπάνω . Αν  $M_{\text{bps}}$  η ποσότητα αυτή (Coded Bits per Second) , για διαμόρφωση 16-QAM θα ισχύει  $M_{\text{bps}} = 768$  που σημαίνει ότι τα δεδομένα θα γίνονται interleaved σε ομάδες των 768 bits . Ο αριθμός αυτός προκύπτει αν θεωρήσουμε FFT μεγέθους 256 , τότε έχουμε διαθέσιμα σε κάθε κανάλι 192 subcarriers για την μεταφορά δεδομένων καθώς δεσμεύονται 56 ως Null Subcarriers και άλλα 8 ως Pilot Subcarriers . Για διαμόρφωση 16-QAM κάθε subcarrier “φορτώνεται” με 4 bit , έτσι καταλήγουμε στην ποσότητα των  $768\text{bits/symbol} = 192 * 4$  .



Σχήμα 7

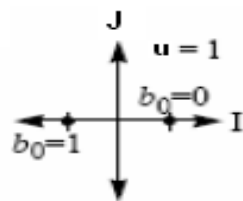
Τυπική απεικόνιση λειτουργίας interleaver

Ο interleaver χαρακτηρίζεται από έναν συνδυασμό δύο σταδίων, αρχικά τα γειτονικά κωδικοποιημένα bits απεικονίζονται σε μη γειτονικά subcarriers , για να μην υπάρχει σύγχυσή τους . Σε δεύτερο βαθμό , γειτονικά κωδικοποιημένα bits απεικονίζονται εναλλακτικά σε λιγότερο και περισσότερο σημαντικά bits του αστερισμού , ώστε να αποφεύγουμε να έχουμε πολλά αναξιόπιστα bits . Στην εικόνα 7 βλέπουμε ενδεικτικά τη λειτουργία του interleaver σε απλουστευμένη μορφή . Η γενική αρχή λειτουργίας του παραμένει η ίδια . Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το μέγεθος του block interleaver ταυτίζεται με τη ποσότητα των bits ανά σύμβολο , η ποσότητα αυτή σχετίζεται με το τύπο διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται κάθε φορά, στον πίνακα 3 που ακολουθεί εμφανίζονται για κάθε τύπο διαμόρφωσης ο αριθμός  $M_{cbps}$  ανάλογα και με τα υποκανάλια (subchannels) που χωρίζεται το κανάλι .

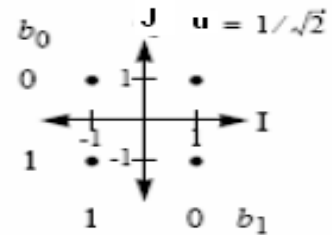
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	Default 16 υποκανάλια	8 υποκανάλια	4 υποκανάλια	2 υποκανάλια	1 υποκανάλια
	$M_{cbps}$				
BPSK	192	96	48	24	12
QPSK	384	192	96	48	24
16QAM	768	384	192	96	48
64QAM	1152	576	288	144	72

Πίνακας 3

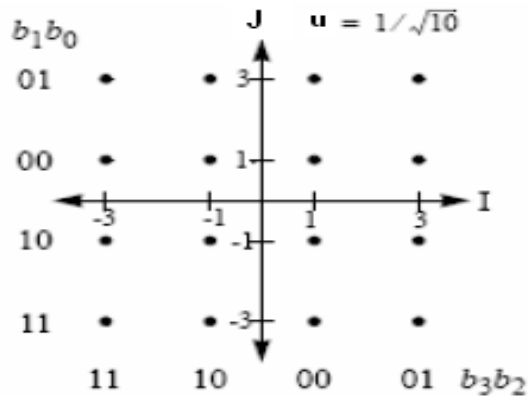
Μετά το bit interleaving , τα δεδομένα εισάγονται σειριακά στον απεικονιστή (mapper) του αστερισμού (constellation mapper) . Οι αστερισμοί κανονικοποιούνται πολλαπλασιάζοντας το σημείο του αστερισμού με έναν σταθερό (για κάθε διαμόρφωση) παράγοντα  $u$  , για την απόδοση ίσης μέσης ενέργειας . Οι αστερισμοί έχουν διαφορετικό μέγεθος για κάθε τύπο διαμόρφωσης όπως εμφανίζονται στην εικόνα 8 , απεικονίζονται λοιπόν με 2 τιμές για BPSK , 4 τιμές για QPSK , 16 τιμές για 16QAM και 64 τιμές για 64QAM . Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι ο παράγοντας  $u$  γίνεται μικρότερος όσο αυξάνεται το πλήθος των τιμών απεικόνισης στον αστερισμό . Στους αστερισμούς ισχύει τα λιγότερο σημαντικά bit να εμφανίζονται με δείκτη 0 (πχ  $b_0$ ) .



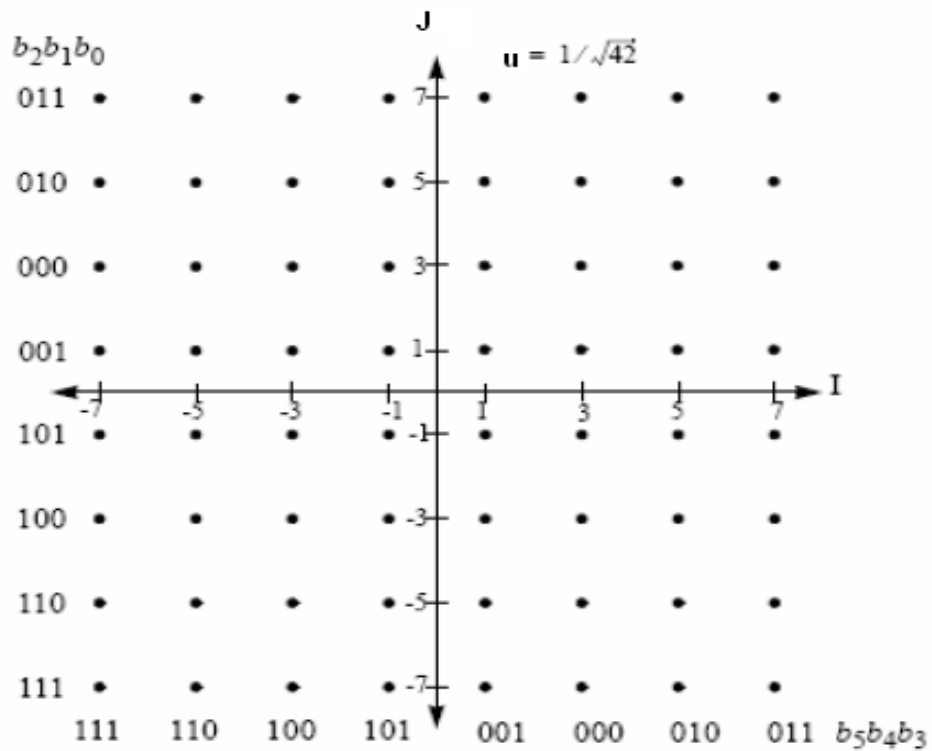
**ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
BPSK ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ**



**ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
QPSK ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ**



**ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
16 QAM ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ**



**ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
64 QAM ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ**

Σχήμα 8

Μορφή των αστερισμών για τις δυνατές διαμορφώσεις

Τα απεικονισμένα στον αστερισμό δεδομένα διαμορφώνονται σε όλα τα data subcarriers , αρχίζοντας από αυτό με μικρότερη συχνότητα . Το πρώτο δηλαδή σύμβολο που βγαίνει από τον αστερισμό διαμορφώνεται στο subcarrier με το μικρότερο δείκτη . Με την τεχνική αυτή τα OFDMA σύμβολα εμφανίζονται πλέον ως μιγαδικοί αριθμοί στα παραπάνω επίπεδα .

Εν συνεχεία , εφόσον το σύμβολο έχει παραχθεί από την πλευρά των μιγαδικών αριθμών , ένας αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier IFFT (Inverse Fast Fourier Transformation) χρησιμοποιείται για να απεικονιστούν αυτές οι μιγαδικές τιμές σαν δείγματα στο πεδίο του χρόνου . Για ρυθμό δειγματοληψίας  $T_s = 1/F_s$  , η μεταφορά στο πεδίο του χρόνου γίνεται σύμφωνα με τη σχέση 2 .

$$y(n) = \sum_{\substack{k=-N_{used}/2 \\ k \neq 0}}^{N_{used}/2} u_k \cdot e^{j2\pi\Delta f(nT_s - T_g)}$$

Σχέση 2

Για την αποφυγή του φαινομένου της επικάλυψης (aliasing) μπορεί να γίνει υπερδειγματοληψία (oversampling) . Σε αυτήν την περίπτωση, οι μιγαδικές τιμές για τις συχνότητες μεταξύ των subcarriers υπολογίζονται παίρνοντας τον μέσο όρο των τιμών των γειτονικών subcarriers .

Η συνάρτηση  $S(t)$  που φαίνεται παρακάτω , σχέση 3 , προσδιορίζει την τάση του σήματος που τελικά προωθείται στην κεραία προς εκπομπή , μεταδιδόμενο σήμα . Η συνάρτηση αυτή εκφράζεται σε σχέση με το χρόνο κατά την διάρκεια ενός OFDMA συμβόλου , για κάθε χρονική στιγμή μπορεί να προσδιοριστεί επ' ακριβώς το πλάτος του προς εκπομπή σήματος . Ο χρόνος  $t$  αντιστοιχεί στον χρόνο από την αρχή του συμβόλου με  $0 < t < T_s$  .

$$s(t) = \Re \left\{ e^{j2\pi f_u t} \sum_{\substack{k=-N_{used}/2 \\ k \neq 0}}^{N_{used}/2} u_k \cdot e^{j2\pi \Delta f (t - T_g)} \right\}$$

Σχέση 3

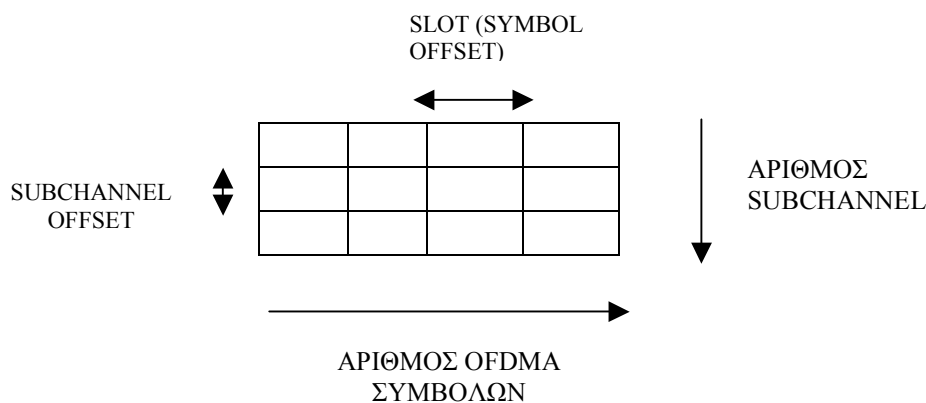
### 2.3 Slot και περιοχή δεδομένων

Ένα slot OFDMA για να οριστεί στο φυσικό επίπεδο , απαιτούνται διαστάσεις χρόνου αλλά και μετρητή που να εκφράζει τη θέση του ή των subchannel που χρησιμοποιούνται , το slot αποτελεί την ελάχιστη δυνατή μονάδα δεδομένων . Ο καθορισμός ενός OFDMA slot εξαρτάται από τη δομή του OFDMA συμβόλου , το οποίο ποικίλει για την UL και DL , όπως και για την κατανομή του συνδυασμού των subcarriers (distributed subcarrier permutation DSP) και τον γειτονικό συνδυασμό subcarriers . Για την οργάνωση και την κατανομή του διαθέσιμου φάσματος σε υπο-κανάλια (sub-channels) και το μοίρασμα των sub-carriers σε αυτά , το σύστημα χρησιμοποιεί για την κάτω ζεύξη 2 mode λειτουργίας PUSC και FUSC , (Partly Usage SubChannels και Fully Usage SubChannels) . Για την άνω ζεύξη το σύστημα οργανώνεται σε PUSC mode λειτουργίας .

- Για DL FUSC που χρησιμοποιεί DSP , ένα slot αποτελείται από ένα subchannel σε συνδυασμό από ένα OFDMA σύμβολο .
- Για DL PUSC που χρησιμοποιεί DSP , ένα slot αποτελείται από ένα subchannel σε συνδυασμό με δυο OFDMA σύμβολα .

- Για UL PUSC που χρησιμοποιεί κάποιο απ' τα DSPs , ένα slot αποτελείται από ένα subchannel σε συνδυασμό με τρία OFDMA σύμβολα .
- Για UL και DL που χρησιμοποιεί συνδυασμό γειτονικών subcarriers , ένα slot αποτελείται από ένα subchannel σε συνδυασμό με ένα OFDMA σύμβολο .

Στα OFDMA συστήματα , μια περιοχή δεδομένων (data region) , είναι μια δυ-διάστατη κατανομή που μπορεί να εκφραστεί σαν ένας πίνακας που οι στήλες του είναι συνεχιζόμενα σύμβολα και οι γραμμές του γειτονικά subcarriers . Μια περιοχή δεδομένων μπορεί να εκπεμφθεί εξ' ολοκλήρου σαν μια εκπομπή στην DL από τον ΣΒ προς έναν ή μια ομάδα ΣΧ .



Παράδειγμα μιας περιοχής δεδομένων που καθορίζει την κατανομή των συμβόλων

Πρέπει να αναφέρουμε ακόμη μια μονάδα , που αποτελεί υποδιαίρεση του συνόλου των διαθέσιμων subchannels , αναφερόμενη ως τομέας (segment) . Ένας τομέας μπορεί να περιέχει από μερικά γειτονικά subchannels έως και όλα τα διαθέσιμα . Ο τομέας είναι το σύνολο των subchannels που απαιτεί η MAC για να διατυπώσει ένα βήμα της σειράς μιας διαδικασίας της .

Το κάθε σύμβολο κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας subcarriers πιλοτικά (pilot) , μηδενικά (zero) και δεδομένων (data) , και στα δυο mode λειτουργίας . Στο PUSC mode το σύμβολο κατασκευάζεται αφού πρώτα διαιρείται σε βασικούς τομείς (clusters) και κατανεμηθούν τα zero subcarriers.

Εν συνεχεία κατανέμονται τα pilot και data subcarriers μέσα σε κάθε cluster. Στην περίπτωση του FUSC mode λειτουργίας στο σύμβολο αρχικά κατανέμονται τα κατάλληλα pilot και zero subcarriers και στη συνέχεια τα εναπομείναντα subcarriers θα χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά των δεδομένων ως data subcarriers . Σύμφωνα με την κατανομή των παραπάνω θα γίνει η διαίρεση του καναλιού σε υποκανάλια (subchannels) .

## 2.4 Κατανομή των συμβόλων OFDMA στα υποκανάλια (subchannels)

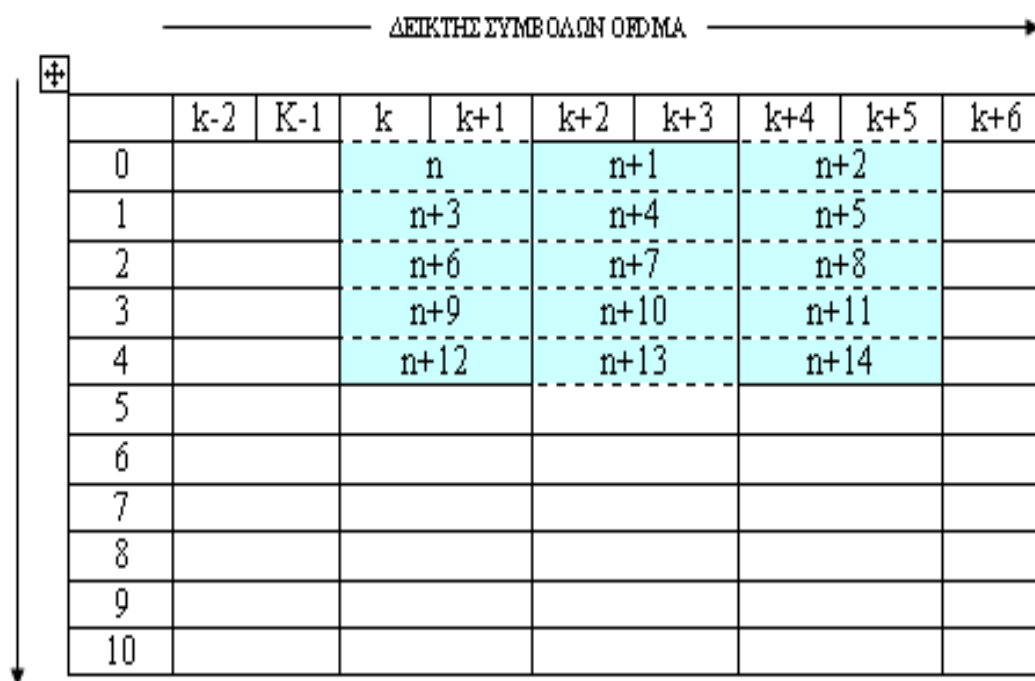
Τα δεδομένα , όπως είδαμε και παραπάνω , επεξεργάζονται , κωδικοποιούνται και δημιουργούν OFDMA σύμβολα , τα σύμβολα δεδομένων λοιπόν κατανέμονται σε μια OFDMA περιοχή δεδομένων τόσο για εκπομπή στην κάτω όσο και στην άνω ζεύξη . Η τοποθέτηση γίνεται μέσω αλγορίθμων που εκτελούνται σε τρία κύρια μέρη :

1. Δημιουργία τμήματος δεδομένων σε μπλοκ με μέγεθος που να εφαρμόζει με αυτό ενός OFDMA slot .
2. Κάθε slot θα έχει μήκος ένα subchannel στον άξονα των subchannel και δυο OFDMA σύμβολα στον αντίστοιχο των συμβόλων . Τοποθέτηση των slot με τέτοιο τρόπο ώστε το slot με τον μικρότερο δείκτη να βρίσκεται στο subchannel με το μικρότερο και το σύμβολο με το μικρότερο δείκτη .
3. Συνέχεια τοποθέτησης των slot έτσι ώστε ο δείκτης των συμβόλων να αυξάνεται , όταν φτάσει στο όριο της περιοχής δεδομένων , η τοποθέτηση συνεχίζεται από το σύμβολο με το μικρότερο δείκτη στο αμέσως επόμενο subchannel .

Ο αλγόριθμος και η μορφή που θα έχει η κατανομή των συμβόλων σε σχέση με τα υποκανάλια διαφέρει για διαφορετικό mode λειτουργίας , η φιλοσοφία όμως παραμένει η ίδια . Στην εικόνα 9 βλέπουμε την κατανομή των δεδομένων σε υποκανάλια για DL PUSC mode λειτουργίας , για την περίπτωση της άνω ζεύξης το μέγεθος του slot θα είναι μεγαλύτερο , τόσο



ώστε να περιέχει τρία σύμβολα . Το γαλάζιο τμήμα είναι η περιοχή δεδομένων και με διακεκομμένες γραμμές περιβάλλονται τα slots .



ΔΕΙΚΤΗΣ  
SUBCHANNEL

Σχήμα 9  
Κατανομή των συμβόλων σε slot δεδομένων και υποκανάλια

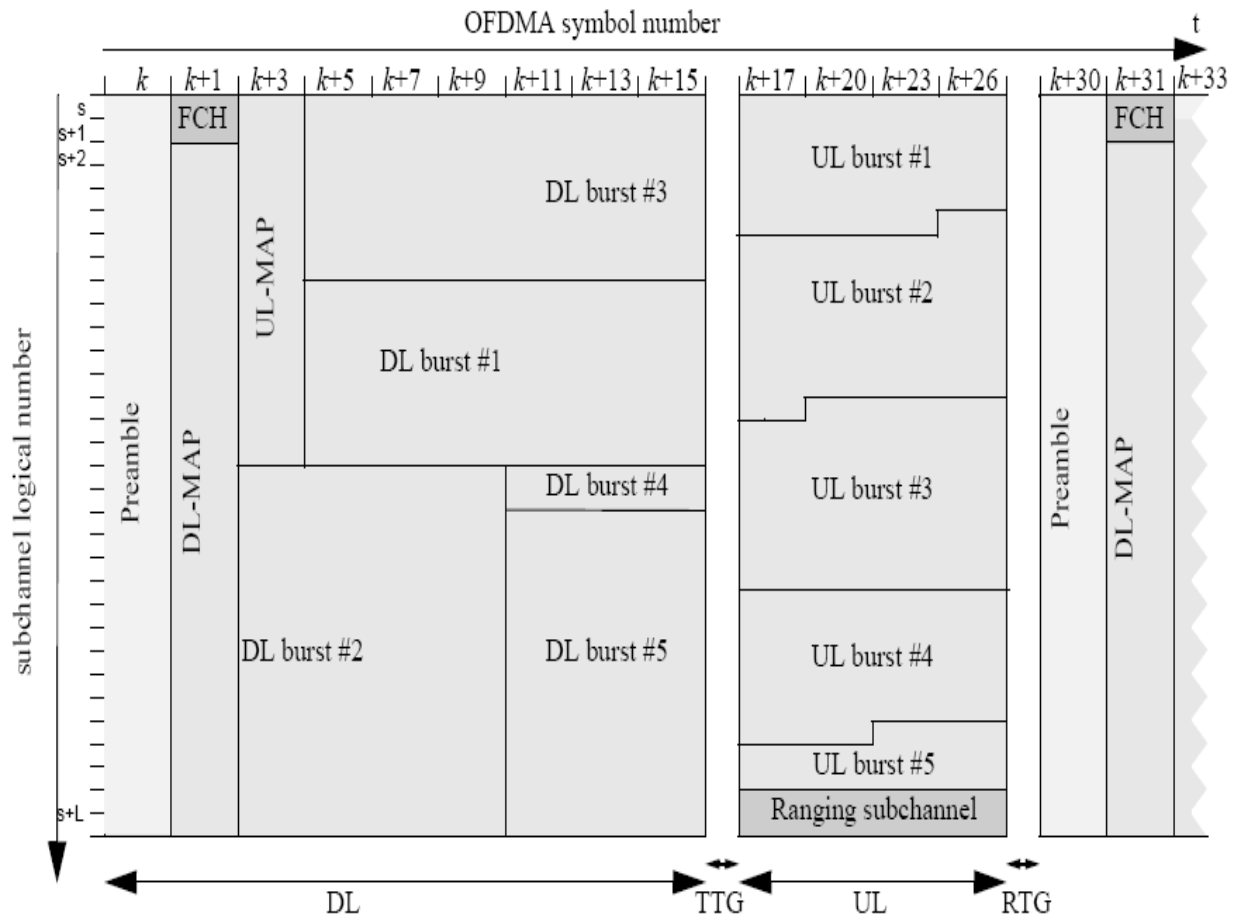
## 2.5 Δόμηση του Frame εκπομπής

### 2.5.1 Point To Multipoint frame structure

Κατά την υλοποίηση ενός TDD συστήματος , η δομή του frame δημιουργείται από τις εκπομπές του ΣΒ και του ΣΧ . Κάθε frame στην εκπομπή της κάτω ζεύξης αρχίζει με μια εισαγωγή η οποία ακολουθείτε από την περίοδο εκπομπής της κάτω ζεύξης και έπειτα από την περίοδο εκπομπής της άνω

ζεύξης . Σε κάθε frame , ανάμεσα στις περιόδους εκπομπής άνω – κάτω ζεύξης υπάρχει ένα μικρό κενό TTG (transmit transition gap) και αντίστοιχα μεταξύ των περιόδων κάτω – άνω ζεύξης ένα κενό RTG (receive transition gap). Η ύπαρξη των κενών αυτών αποσκοπεί στο να δίνεται ο χρόνος που απαιτείται στους ΣΒ και ΣΧ να μεταβούν από κατάσταση εκπομπής σε κατάσταση λήψης και αντίστροφα .

Σε TDD και half-FDD τρόπο λειτουργίας , η άδεια σε έναν ΣΧ για να εκπέμψει ή για να λάβει δεδομένα δίνεται μετά από χρόνο SSTTG και SSRTG αντίστοιχα , οι απαιτήσεις του συστήματος θέλουν τους χρόνους αυτούς να είναι μικρότεροι από 50μsec . Ο ΣΒ δεν θα εκπέμψει στην κάτω ζεύξη προς έναν ΣΧ αργότερα από (SSRTG + RTD) πριν δηλαδή την προγραμματισμένη κατανομή εκπομπής στην άνω ζεύξη , αντίστοιχα δεν θα εκπέμψει πληροφορίες σε αυτόν νορίτερα από (SSRTG + RTD) μετά το τέλος της προγραμματισμένης κατανομής εκπομπής της άνω ζεύξης . Ο όρος RTD αναφέρεται στο Round Trip Delay και αποτελεί τον χρόνο που χρειάζεται το σήμα να φθάσει από τον πομπό στον δέκτη , ο χρόνος αυτός αναφέρεται στον πιο απομακρισμένο από τον ΣΒ χρήστη . Οι παράμετροι SSTTG & SSRTG προέρχονται από τις δυνατότητες του συστήματος ΣΧ και παρέχονται στον ΣΒ κατά την διαδικασία εισόδου του ΣΧ στο δίκτυο .



Σχήμα 10  
Δομή του frame εκπομπής στο χρόνο και τη συχνότητα

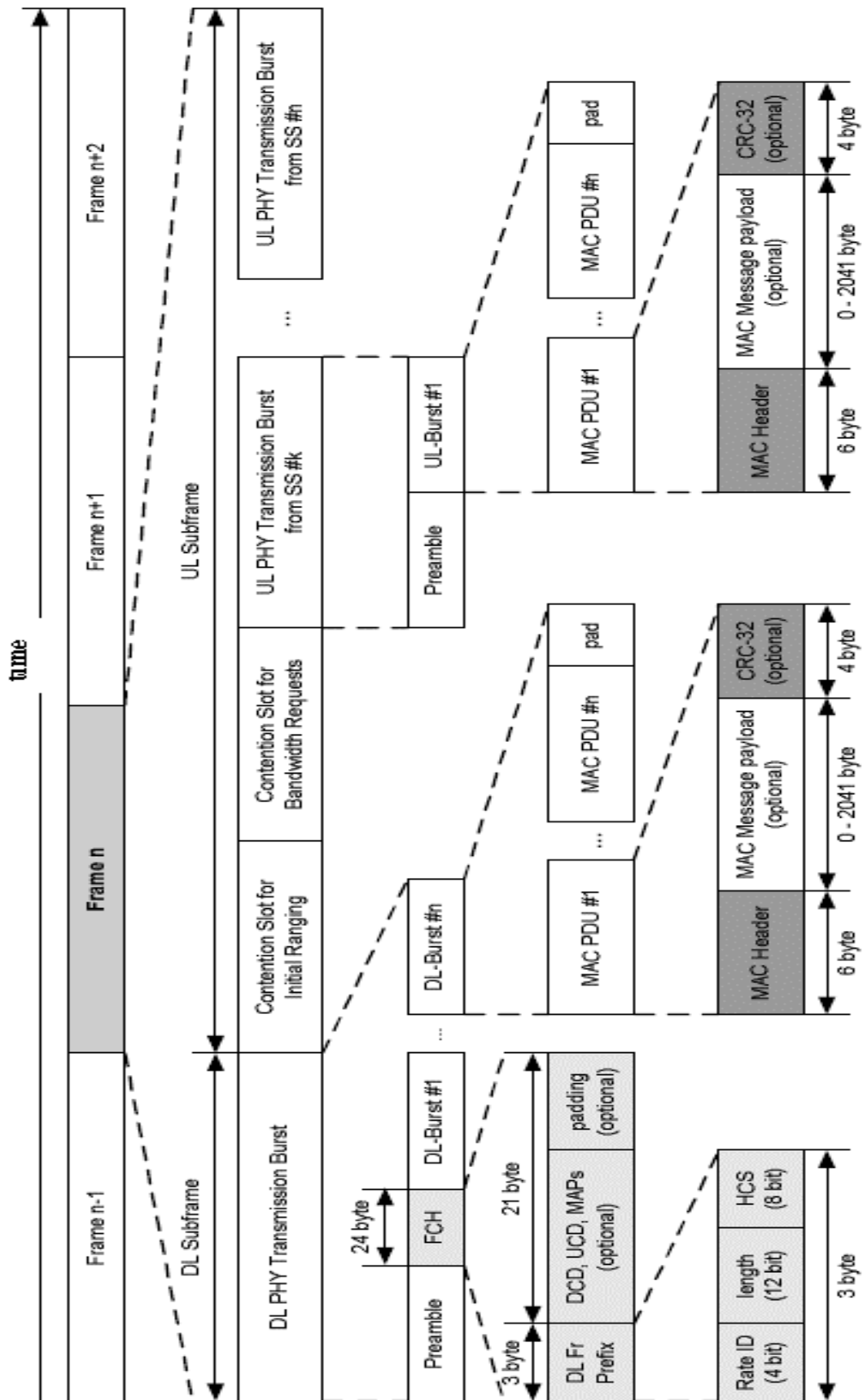
Στην εικόνα 10 έχουμε την μορφή του TDD frame στο χρόνο, πως κατανέμονται τα OFDMA σύμβολα στο χρόνο σε σχέση με τα υποκανάλια και πως οργανώνεται η άνω και κάτω ζεύξη. Η μορφή αυτή είναι η πλέον απλή καθώς περιέχονται μόνο οι υποχρεωτικές πληροφορίες και τα δεδομένα.

Τα δυο πρώτα εκπεμπόμενα subchannels στο πρώτο σύμβολο δεδομένων της κάτω ζεύξης ονομάζονται FCH (frame control header). Το FCH θα εκπεμφθεί με διαμόρφωση QPSK σε ρυθμό  $\frac{1}{2}$  με 4 επαναλήψεις χρησιμοποιώντας τα υποχρεωτικά πλάνα κωδικοποίησης στην ζώνη PUSC. Το FCH περιέχει την DL-Frame Prefix και καθορίζει το μέγεθος του DL-map μηνύματος που ακολουθεί αμέσως μετά την DL-FP και επιπλέον πληροφορεί

για την επαναληπτική κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται στο DL-map μήνυμα.

Οι αλλαγές στον τύπου διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται κάθε φορά γίνεται στα όρια του τρέχοντος OFDMA συμβόλου με το επόμενο , όσον αφορά το πεδίο του χρόνου . Αντίστοιχα στο πεδίο της συχνότητας η αλλαγή γίνεται στα όρια του subchannel μέσα στο τρέχον σύμβολο . Πρέπει να τονίσουμε ότι κατά τη διάρκεια της κάτω ζεύξης οι ΣΧ 'αφουγκράζονται' τις εκπομπές του ΣΒ τις φιλτράρει και συγκρατεί οποιεσδήποτε πληροφορίες λειτουργίας και δεδομένα που φέρουν την ταυτότητα CID των συνδέσεων που εξυπηρετεί .

Στην εικόνα 11 που ακολουθεί έχουμε μια πιο αναλυτική μορφή του TDD frame τόσο για την άνω όσο και για την κάτω ζεύξη . Εμφανίζονται τα πεδία επικεφαλίδων αλλά και αυτά των δεδομένων όπως ακριβώς κατανέμονται στο χρόνο . Όπως γίνεται φανερό ο κάθε ΣΧ μετά το κενό TTG έναρξης της άνω ζεύξης θα εκπέμπει για συγκεκριμένο χρόνο στα υποκανάλια που του έχουν αποδοθεί από τον ΣΒ . Δεν είναι απαραίτητο όλοι οι ΣΧ να εκπέμπουν σε κάθε frame , όπως επίσης η κατανομή σε υποκανάλια και χρόνο εκπομπής τους δεν παραμένει σταθερή από frame σε frame .



Σχήμα 11

Κατανομή των πεδών πληροφορίας και δεδομένων στο Frame

## 2.5.2 DL-Frame Prefix

Το DL-frame prefix είναι ένα string δεδομένων μεγέθους 8 byte (48 bit) και εκπέμπεται στην αρχή κάθε frame περιέχοντας απαραίτητες πληροφορίες που σχετίζονται με το παρόν frame . Τοποθετείται στο FCH πεδίο , επιδή όμως το πραγματικό μέγεθος της πληροφορίας που περιέχει είναι 24 bit πρην τοποθετηθεί στο FCH αντιγράφεται έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα block των 48bit , καθώς το μέγεθος αυτό είναι το ελάχιστο μέγεθος ενός FEC block .

### Διάταξη Frame Prefix :

- Χαρτογράφηση των subchannels που είναι σε χρήση στο παρόν frame.  
Μέγεθος : 6 bit  
Κάθε bit αντιστοιχεί σε μια ομάδα από subchannel στη PUSC ζώνη , όταν κάποιο bit έχει τεθεί 1 η αντίστοιχη ομάδα χρησιμοποιείται .

Bit	Ομάδα subchannel
0 <sup>ο</sup>	0-11
1 <sup>ο</sup>	12-19
2 <sup>ο</sup>	20-31
3 <sup>ο</sup>	32-39
4 <sup>ο</sup>	40-51
5 <sup>ο</sup>	52-59

- Ranging\_Change\_Indication  
Μέγεθος : 1bit  
Το flag bit αυτό δηλώνει αν στο τρέχον frame γίνεται αλλαγή στην κατανομή της περιοδικής διαρρύθμισης/BW request στην περιοχή της άνω ζεύξης σε σχέση με το προηγούμενο. Η τιμή 1 δηλώνει ότι υπάρχει αλλαγή.
- Repetition\_Coding\_Indication  
Μέγεθος: 2bit

Δηλώνει την επανάληψη κώδικα που χρησιμοποιείται στο DL-map

00	No repetition coding on DL-map
01	Repetition coding of 2 used
10	Repetition coding of 4 used
11	Repetition coding of 6 used

- Coding\_Indication

Μέγεθος : 3 bit

Στο πεδίο αυτό δηλώνεται η FEC κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται για το DL-map. Το DL-map θα εκπεμφθεί με διαμόρφωση QPSK και FEC rate  $\frac{1}{2}$ . Όμως ο ΣΒ πρέπει να εξασφαλίσει ότι το DL-map (όπως και άλλα μηνύματα της MAC που είναι αναγκαία για τη λειτουργία του SS) θα αποστέλλεται αρκετά συχνά με την δεδομένη διαμόρφωση και κωδικοποίηση, έτσι ώστε να υπάρχει αδιάκοπη και ορθή λειτουργία των ΣΧ.

000	(Confirmation code)
001	(Block Turbo code)
010	(CTC)
011	(ZTCC)

- DL-Map-Length

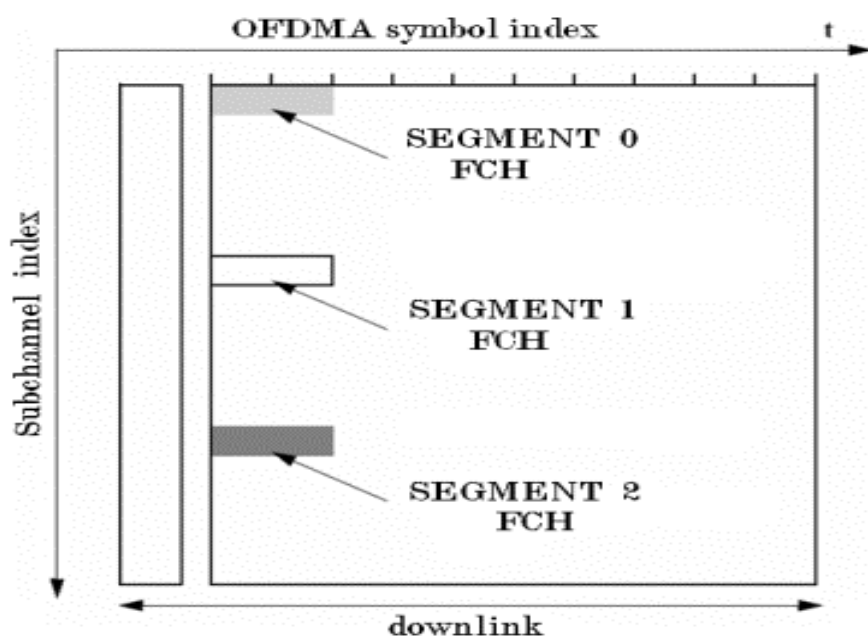
Μέγεθος : 8 bit

Εδώ καθορίζεται το μήκος σε slot του DL-map μηνύματος που ακολουθεί ακριβώς μετά το DL-Frame-Prefix.

## 2.6 Κατανομή των subchannels για το FCH και λογική αριθμοδότηση των subchannels

Στο PUSC mode, σε κάθε τομέα θα κατανεμηθούν τουλάχιστον 12 subchannels. Τα πρώτα 4 slot στο κομμάτι του DL περιέχουν το FCH. Αυτά τα slot περιέχουν 48 bit διαμορφωμένα με QPSK και rate  $\frac{1}{2}$  σε repetition

coding 4 . Η βασική κατανομή των subchannels για τους τομείς 0,1,2 είναι αντίστοιχα 0-11,20-31,40-51 . Στην εικόνα 12 βλέπουμε την κατανομή των τομέων αυτών για την κάτω ζεύξη .



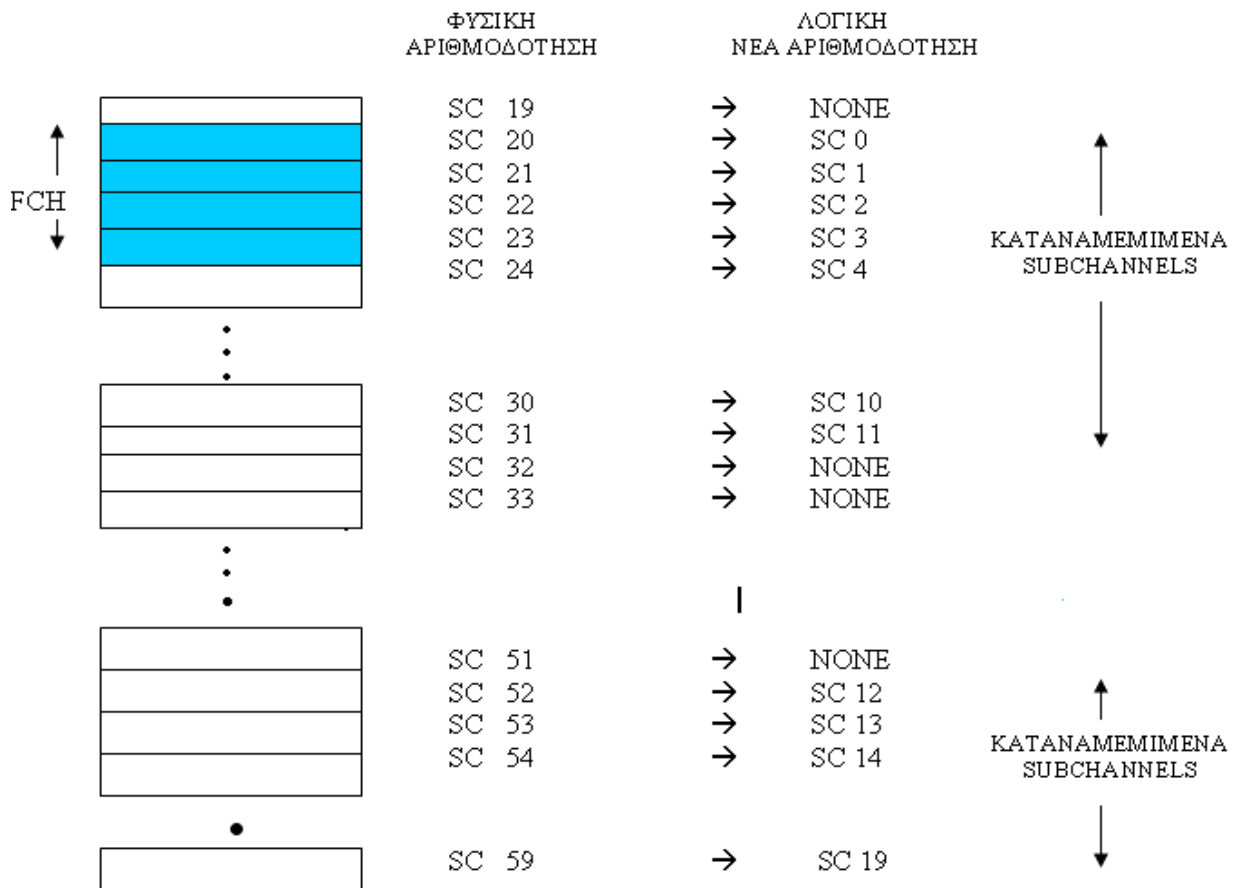
Σχήμα 12

Κατανομή των φέρουσων σε ομάδες υποκαναλιών

Μετά την αποκωδικοποίηση του DL-Frame\_Prefix μηνύματος , ο ΣΧ γνωρίζει πόσα και πια subchannels είναι κατανεμημένα στο τομέα PUSC . Για να παρατηρείται η κατανομή των subchannels στην DL σαν ένα συνεχόμενο block στον ΣΧ , τα subchannels πρέπει να ξαναριθμοδοτηθούν . Η νέα αριθμοδότηση θα αρχίσει από τα FCH subchannels με τιμές 0-11 , και θα συνεχίσει ως το τελευταίο subchannel , αφήνοντας όμως χωρίς δείκτη τα φυσικά subchannels που δεν έχουν κατανεμηθεί . Ένα παράδειγμα της λογικής αριθμοδότησης για τον τομέα 1 της κάτω ζεύξης φαίνεται στην εικόνα 13 .

Η ίδια διαδικασία επιτελείται και για την άνω ζεύξη , εδώ βέβαια δεν υπάρχει FCH επομένως το λογικό SC 0 θα αντιστοιχεί στο κατανεμημένο φυσικό subchannel και ο δείκτης θα αυξάνεται δίχως να συνυπολογίζονται τα μη κατανεμημένα φυσικά subchannels .





Σχήμα 13  
Αριθμοδότηση και κατανομή των φέρουσων

## 2.7 Κατανομή εκπομπής στην άνω ζεύξη

Η κατανομή για την εκπομπή ενός χρήστη στην άνω ζεύξη αποτελείται από έναν αριθμό subcarriers σε συνδυασμό με έναν αριθμό OFDMA συμβόλων, όπως και στην κάτω ζεύξη. Όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 1.5, ο αριθμός των συμβόλων θα ισούται με  $3 \cdot N$  (όπου  $N$  ένας θετικός ακέραιος) η βασική δομή της κατανομής είναι ένα subchannel για διάρκεια τριών συμβόλων με χρόνο  $3 \cdot T_s$ , (για  $N=1$ ). Για μεγαλύτερες κατανομές, η βασική κατανομή επαναλαμβάνεται.

Η δομή του frame για την άνω ζεύξη περιέχει μια κατανομή για εκπομπή διαρρυθμιστικών μηνυμάτων και μια κατανομή για την εκπομπή των δεδομένων από τους χρήστες. Το MAC επίπεδο είναι εκείνο που θέτει το μέγεθος του uplink framing και του uplink mapping.

## **Κεφάλαιο 3:**

# **Αρχιτεκτονική και Τοπολογία Δικτύων WiMax**

Από πλεύρα γεωγραφικής ανάπτυξης , μπορούμε να διακρίνουμε τα δίκτυα σε τρεις κατηγορίες . Σαν τοπικά (LAN – local area networks) αναφερόμαστε σε δίκτυα υπολογιστών σε περιορισμένο ιδιωτικό χώρο . Τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN – wide area networks) αφορούν δίκτυα που επεκτείνονται αστικά ή ακόμα και υπεραστικά , ξεφεύγοντας από τα περιορισμένα πλαίσια μιας συγκεκριμένης περιοχής . Αστικά ή μετροπολιτικά δίκτυα (MAN – metropolitan area networks) είναι εκείνα που επεκτείνονται στα όρια μιας αστικής ή και ημιαστικής περιοχής .

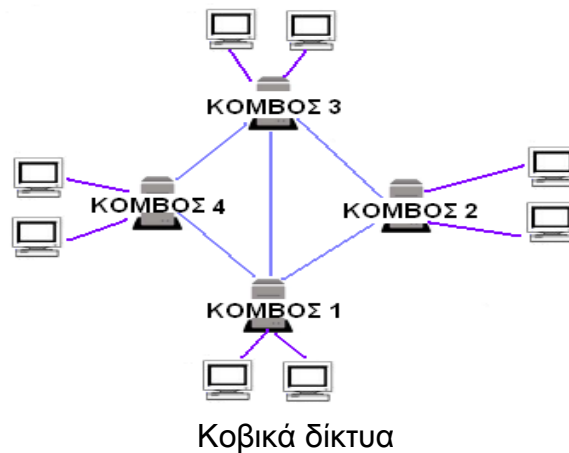
Σαν υποδιαίρεση δικτύων τα αστικά δίκτυα πρωτοεμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 90' , αποκαλούμενα και μετροπολιτικά (metropolitan). Σαν MAN λοιπόν αναφερόμαστε στα δίκτυα που δεν ξεπερνούν τα όρια μιας πόλης , τα δίκτυα αυτά αναπτύσσονται , ξεπερνώντας τους περιορισμούς σε ταχύτητα και απόσταση των τοπικών δικτύων . Τα MAN σχεδιάζονται με τρόπο τέτοιο ώστε να καλύπτονται οι μεγάλες ανάγκες επικοινωνίας μέσα στην πόλη, με γνώμονα την ευκολία επέκτασής τους , και η κυριότερη χρήση τους είναι να διασυνδέονται πολλαπλά τοπικά δίκτυα μεταξύ τους . Με την χρήση οπτικών ινών , επιτυγχάνονται ρυθμοί μετάδοσης της τάξης των εκατοντάδων Mbps, ενώ στην περίπτωση που ως φυσικό μέσο χρησιμοποιείται ο αέρας (ασύρματες διασυνδέσεις) φτάνουμε σε ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων από δεκάδες ως εκατοντάδες Mbps .

Όσον αφορά την τοπολογία των δικτύων , μπορούμε να τα διακρίνουμε σε α. Ακτινωτά :

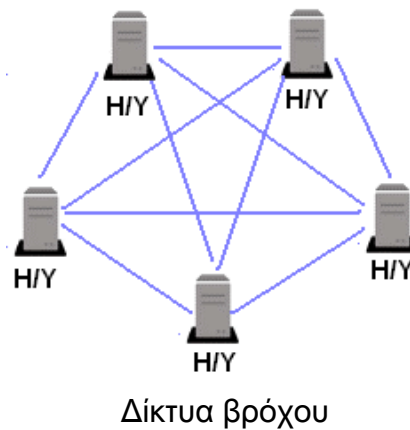


Ακτινωτά δίκτυα

β. Κοβικά δίκτυα :



γ. Δίκτυα βρόχου (mesh networks) :



### 3.1 Δίκτυα βρόχου (mesh networks) :

Τα δίκτυα βρόχου είναι εκείνα που ο κάθε σταθμός (τερματικός ή μη) είναι συνδεδεμένος με τους άλλους σταθμούς μέσω τουλάχιστον με δυο δρόμους και με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείνουν βρόχους . Η χρήση τους αφορά επί το πλείστον σύνδεση τηλεπικοινωνιακών κόμβων μεταξύ τους , στο WiMax όπως θα δούμε και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση χρηστών που δεν έχουν απευθείας οπτική επαφή (LOS – line of site) με τον σταθμό βάσης , ως εκούτου συνδέονται μέσω άλλων χρηστών που παίζουν το ρόλο του αναμεταδότη . Η τοπολογία των βροχικών δικτύων χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι εν γένει υπάρχουν περισσότεροι του ενός δρόμοι για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ δυο σημείων , με το πλεονέκτημα της δυνατότητας επιλογής εναλλακτικής δρομολόγησης των δεδομένων , σε περίπτωση διακοπής ή υπερφορτώσης μιας σύνδεσης . Είναι σαφές ότι οι

κόμβοι ενός δικτύου βρόχου πρέπει να έχουν την ικανότητα αποθήκευσης δεδομένων , δρομολόγησης και αναδρομολόγησης τους , καθώς και τη γνώση των διαδικασιών χρήσης του δικτύου .

Για την κατασκευή ενός τέτοιου δικτύου απαιτείται , στη γενική περίπτωση , μεγαλύτερο κόστος λόγω της χρήσης πολλαπλών γραμμών και της ανάγκης για ιδιαίτερα έξυπνους κόμβους . Η αύξηση του κόστους αφορά κυρίως τα κλασικά ενσύρματα δίκτυα , η εφαρμογή της τεχνικής των mesh δικτύων στο WiMax αποτελεί συμφέρουσα λύση , από τη στιγμή που για την επέκταση του δικτύου και την κάλυψη ορισμένων χρηστών παρακάμπτεται η ανάγκη εγκατάστασης επιπλέον σταθμού βάσης .

### **3.2 Αρχιτεκτονική δικτύων WiMax**

Το σύστημα WiMax αποτελεί μια ολοκληρωμένη λύση υλοποίησης ευρυζωνικού ασύρματου δικτύου δεδομένων ιδιαίτερα για ημιαστικές περιοχές , περιοχές ανοικτές και όχι πολύ πυκνοκατοικημένες , έτσι ώστε να εξασφαλίζεται το LOS . Οι δυνατότητες του συστήματος με χρήση ενός και μόνο Σταθμού Βάσης (ΣΒ) είναι ικανές να καλύψουν τις ανάγκες εκατοντάδων επιχειρήσεων με συνδέσης κλάσης T1 και χιλιάδες οικιακούς τερματικούς χρήστες με συνδέσεις xDSL . Το σύστημα εγκυάται την διατύρρηση του QoS ανά σύνδεση για απαιτητικές υπηρεσίες πραγματικού χρόνου , όπως μεταφορά εικόνας σε πραγματικό χρόνο και VoIP εφαρμογές .

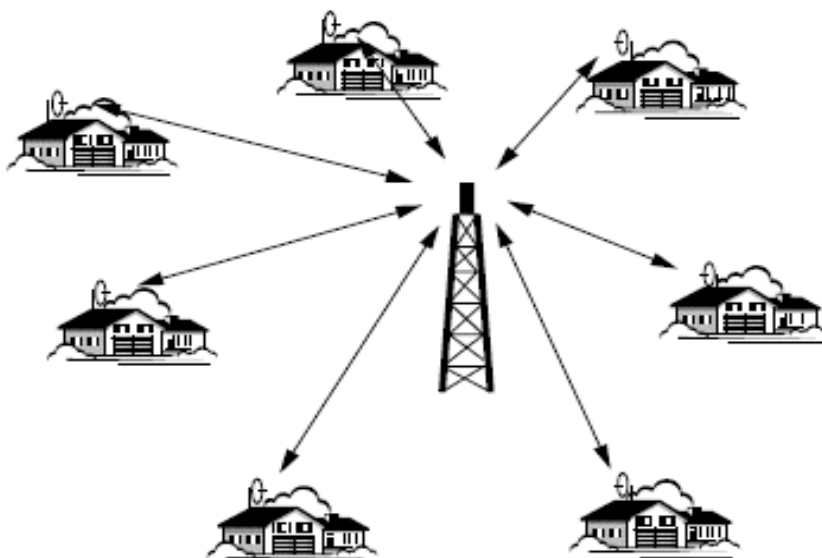
Η αρχιτεκτονική ενός WiMax δικτύου βασίζεται σε ακτινωτή δομή για εξυπηρέτηση μιας αστικής ή ημιαστικής περιοχής , καθώς ένας κύριος σταθμός βάσης συνδέεται με κάθε σταθμό χρήστη χωριστά με αμφίδρομη επικοινωνία . Η μορφή του δικτύου παραπέμπει σε μια Point to MultyPoint αρχιτεκτονική , οργανωμένη με ασύρματες ζεύξεις . Οι σταθμοί χρηστών δεν συνδέονται απ' ευθείας μεταξύ τους αλλά όλη η κυκλωφορία δεδομένων στο δίκτυο περνά από το σταθμό βάσης , ο οποίος είναι ο βασικός κόμβος διαχείρισης του δικτύου . Η μόνη περίπτωση στην οποία έχουμε σύνδεση των χρηστών μεταξύ τους είναι στην επέκταση του δικτύου με mesh δομή , τότε κάπιοι σταθμοί χρήστη επωμίζονται το ρόλο λειτουργείας ως αναμεταδότες προς άλλους χρήστες .

Η PMP αρχιτεκτονική δικτύων είναι μακράν η δημοφιλέστερη προσέγγιση για την υλοποίηση Fixed Broadband Wireless συστημάτων , όπως είναι το WiMax , με τον όρο Fixed αναφερόμαστε στο γεγονός ότι οι τερματικοί σταθμοί του δικτύου βρίσκονται σε δεδομένα σταθερά σημεία στο χώρο . Η δομή των P-MP δικτύων δεδομένων μιμείται σε μεγάλο βαθμό την επί δεκαετίες δοκιμασμένη δομή δικτύων όπως το παραδοσιακό PSTN ή ακόμα και το δίκτυο ηλεκτροδότησης και ύδρευσης .

Γενικά τα P-MP (Point to MultyPoint) δίκτυα χρησιμοποιούν μια 'hub and spoke' προσέγγιση για την υλοποίηση υπηρεσιών μεταφοράς δεδομένων όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 14 . Ο όρος hub για το παρόν σύστημα παραπέμπει στον ΣΒ , στην μορφή που είναι γνωστός από τα κυψελωτά δίκτυα . Τα μέσα που χρησιμοποιεί για τις εκπομπές και λήψεις ένας ΣΒ αποτελούνται από μια ή περισσότερες από τις λεγόμενες «έξυπνες κεραιές» , που θα εξετάσουμε στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο και είναι σχεδιασμένες να εκπέμπουν προς πολλαπλούς τερματικούς σταθμούς (ΣΧ) . Αναλογικά πάντα με το διαθέσιμο φάσμα BW και τις απαιτήσεις των ΣΧ , εκφράζεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που θα έχει ο τερματικός χρήστης που συνδέεται μέσω του παρόντος συστήματος στο δίκτυο . Για την επίτευξη ευρείας κάλυψης σε πυκνοκατοικημένη περιοχή , απαιτούνται περισσότεροι από έναν ΣΒ και τεχνικές επαναχρησιμοποίησης του φάσματος με εκτεταμένη μελέτη διαχείρισης του . Παρ'όλα αυτά το WiMax είναι σχεδιασμένο για εφαρμογή σε ημιαστικές περιοχές , ώστε να είναι εκμεταλεύσιμη η μεγάλη ευμβέλεια του συστήματος , γενικά για περιοχές που τα δίκτυα κλασικά ενσύρματα δίκτυα δεδομένων δεν έχουν πλήρως αναπτυχθεί .

Ο κάθε απομακρισμένος ΣΧ για να μπορεί να είναι συμβατός με το σύστημα και να μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο θα πρέπει να έχει κατάλληλα εγκατεστημένη κεραία πολύ μεγάλης κατευθυντικότητας . Ο προσανατολισμός της κεραίας θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε η δέσμη εκπομπής να 'βλέπει' απ'ευθείας τον ΣΒ . Όπως γίνεται αντιληπτό απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η οπτική επαφή (Line Of Site) του κάθε ΣΧ με τον ΣΒ . Ο λόγος χρή-

σης κατευθυντικών κεραιών στους ΣΧ είναι ότι από τη πλευρά του εκάστοτε



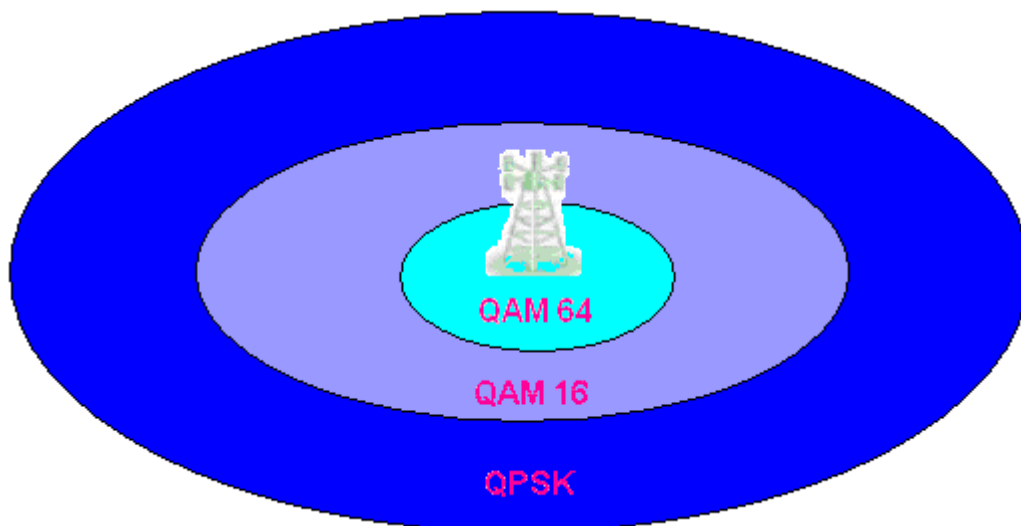
Σχήμα 14  
Point to Multipoint οργάνωση του δικτύου

ΣΧ η ζεύξη με τον ΣΒ είναι Point-To-Point , έτσι λοιπόν οι ανάγκες για την υλοποίηση της σύνδεσης μπορούν πραγματοποιηθούν με την ελάχιστη δυνατή ισχύ εκπομπής .

Το δίκτυο WiMax φέρεται να έχει τη μορφή κυψελωτών δικτύων , εφόσον ένας κεντρικός σταθμός βάσης (ΣΒ) δίνει πρόσβαση στο δίκτυο σε μεγάλο αριθμό σταθμών χρηστών (ΣΧ) που είναι διάσπαρτοι σε μια ευρεία περιοχή κάλυψης του (ΣΒ) με μορφή κυψέλης . Λόγο όμως της μεγάλης χωρητικότητας του δικτύου και το πλήθος των συνδέσεων που μπορεί να διαχρηστεί ένας ΣΒ με εμβέλεια εως και 50 km σε συνθήκες LOS , συνήθως δεν χρησιμοποιείται περισσότεροι από έναν σταθμό βάσης ανά περιοχή . Ως εκ τούτου δεν υφίσταται ανάγκη σχεδιασμού του δικτύου με τεχνικές για επαναχρησιμοποίηση συχνότητας , αλλά όλο το διαχειριζόμενο φάσμα διατίθεται στην περιοχή κάλυψης του δικτύου .

Το σύστημα παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο από προφίλ εκπομπής που αφορούν τόσο την διαμόρφωση και την κωδικοποίηση όσο και την ισχύ εκπομπής αλλά και άλλες παραμέτρους . Γίνεται σαφές λοιπόν ότι οι ΣΧ θα χωρίζονται σε ομάδες σύμφωνα με την απόσταση που απέχουν από τον ΣΒ , οι πιο απομακρισμένοι θα χρησιμοποιούν ισχυρά σχήματα εκπομπής ενώ

αυτοί που βρίσκονται πιο κοντά όχι τόσο ισχυρά . Επέισης η διαχείριση των ΣΧ γίνεται από το σύστημα με βάση τις ομάδες αυτές , η μορφολογία των ομάδων υπόκειται σε ομόκεντρους κύκλους με κέντρο τον ΣΒ στην εικόνα 15 φαίνεται η κατανομή που αφορά τον τύπο διαμόρφωσης στη περιοχή κάλυψης . Είναι πιο βολικό για την ανάπτυξη του δικτύου ο ΣΒ να βρίσκεται στο κέντρο της περιοχής κάλυψης , ή σε μεγαλύτερο υψόμετρο για την κάλυψη περισσότερων από μια περιοχών .



Σχήμα 15

Αλλαγή τύπου διαμόρφωσης ανάλογα με την απόσταση

Ένα δίκτυο WiMax επεκτείνεται σε μεγάλη ακτίνα γύρο από τον ΣΒ , με δυνατότητα να καλύψει , με τον κατάλληλο πάντα σχεδιασμό , ημιαστικές περιοχές με βλάστηση και πλούσια μορφολογία εδάφους (λόφους-βουνά) . Για το λόγο αυτό το σύστημα είναι σχεδιασμένο να έχει μεγάλες ανοχές σε φαινόμενα multipath με μεγάλες καθυστερήσεις ανακλάσεων .

Πρέπει να τονίσουμε ότι το δίκτυο είναι προσανατολισμένο ως προς την ευελιξία , για το λόγο αυτό τα προφίλ εκπομπής τόσο για τον ΣΒ όσο και για τους ΣΧ μπορούν να αλλάζουν ανά εκπομπή . Δείνεται δηλαδή η δυνατότητα αλλαγής κωδικοποίησης και διαμόρφωσης ανά πάσα στιγμή που θα κριθεί αναγκαίο από τον ΣΒ , για την διατήρηση της ποιότητας της σύνδεσης . Επιπλέον μεταβολές στον τρόπο εκπομπής μπορούν να γίνουν και για αυξηθεί ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων αλλά με αντίκτυπο στην ποιότητα της ζεύξης , κάτι τέτοιο συμβαίνει σε ευνοϊκές συνθήκες χαμηλού θορύβου και παρεμβολών



. Οι παραπάνω ενέργειες πραγματοποιούνται δυναμικά ανάλογα με την κατάσταση του φυσικού μέσου .

Οι υπηρεσίες που παρέχονται από το σύστημα απαιτούν συνδέσεις μεγάλης διάρκειας , ως εκ τούτου η εγκαθίδρυση μιας σύνδεσης γίνεται στην αρχή της εγκατάστασης του ΣΧ και τερματισμός των συνδέσεων δεν υφίσταται με εξέρεση τις περιπτώσεις που γίνεται από ή για τεχνικούς λόγους . Από τη μορφή λοιπόν του δικτύου , οι ΣΧ βρίσκονται σε συγκεκριμένα σημεία στο χώρο , δίνεται η δυνατότητα στον ΣΒ να γνωρίζει τη θέση τους ως προς αυτόν και να ενεργεί με δεδομένα προφίλ εκπομπής για τον καθένα . Επιπλέον όταν μια σύνδεση χαθεί , ο ΣΒ έχει την δυνατότητα να την αποκαταστήσει άμεσα γνωρίζοντας την ταυτότητα και της ιδιαιτερότητες του κάθε ΣΧ .

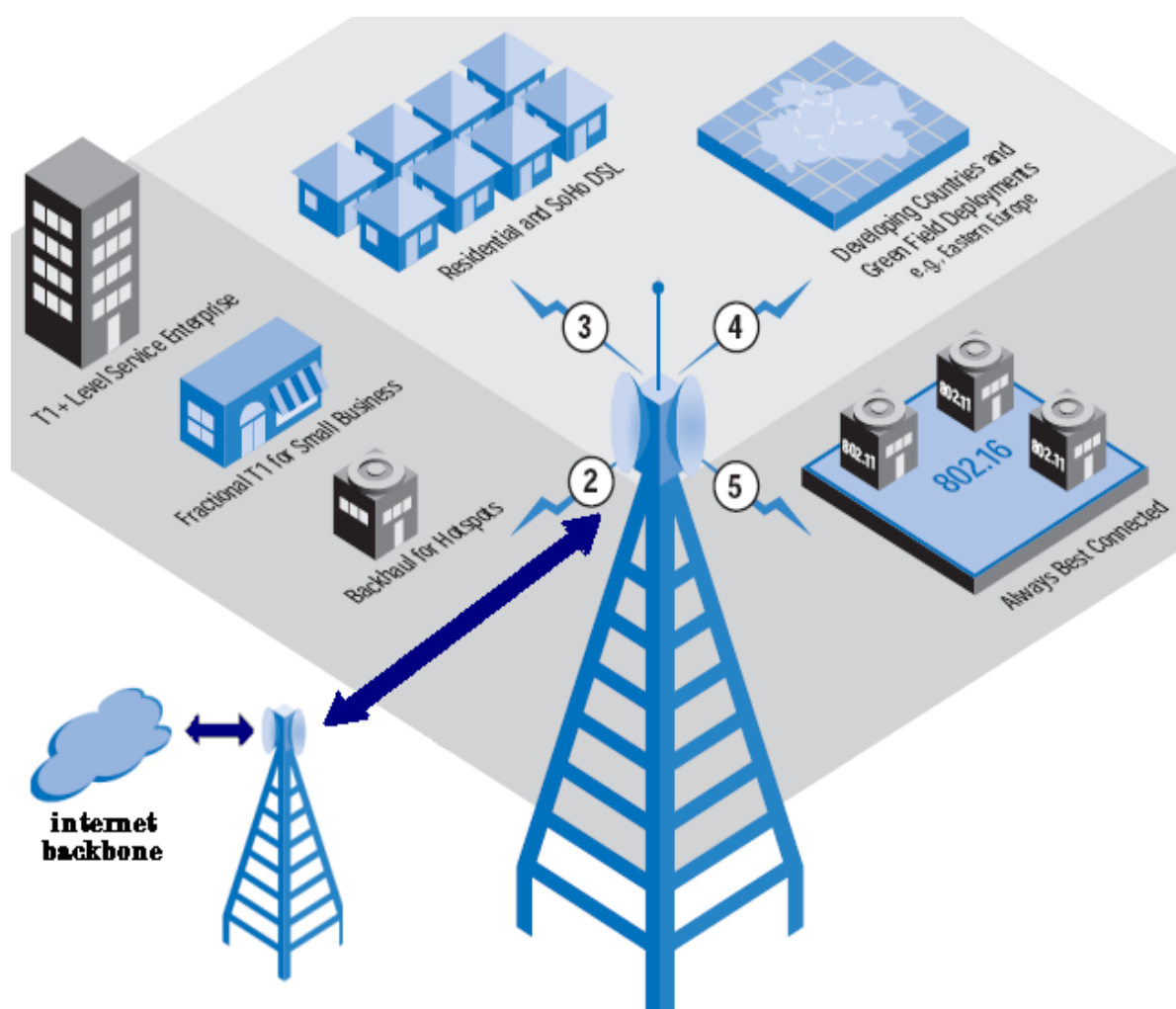
Το δίκτυο εστιάζει την λειτουργία του στις συνδέσεις και όχι στους ΣΧ , αυτό συμβαίνει καθώς ο ΣΧ είναι πιθανόν να είναι συσχετισμένος στο δίκτυο με περισσότερες από μια συνδέσεις τερματικών χρηστών . Ο κάθε χρήστης δηλαδή μπορεί να έχει πρόσβαση στο δίκτυο από διαφορετικά σημεία . Έτσι λοιπόν κατά την αρχική εγκαθίδρυση μιας σύνδεσης αποδίδεται στον ΣΧ που ανοίκει η κάθε σύνδεση ένας αριθμός μήκους 16 bit , που αποτελεί την ταυτότητα του χρήστη στο δίκτυο , CID (Connection ID) . Στον ΣΒ υπάρχει συσχετισμός του CID του κάθε χρήστη με τις υπηρεσίες οι οποίες του παρέχονται και το QoS , αλλά επιπλέον και στοιχεία για τα προφίλ τα οποία υποστηρίζονται για τον χρήστη .

Η ασύρματη λειτουργία του δικτύου WiMax περιορίζεται στις ζεύξεις μεταξύ του ΣΒ και των ΣΧ , από 'κει και πέρα είναι δυνατόν να επεκταθεί , ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών και των επιχειρήσεων σε τοπικά ιδιωτικά δίκτυα ενσύρματα ή ακόμα και ασύρματα εφαρμόζοντας τεχνικές WiFi . Η λειτουργία του WiMax δικτύου δεν επιρρεάζεται σε καμία από τις περεταίρω πιθανές επεκτάσεις του κάθε χρήστη .

Γενικά υποστηρίζεται από το σύστημα η επέκταση του ασύρματου δικτύου με μορφή mesh αν αυτό κρίνεται απαραίτητο . Η λύση αυτή τίθεται σε εφαρμογή σε περιπτώσεις που κάποιοι ΣΧ δεν έχουν direct LOS λόγω της μορφολογίας του εδάφους . Αν για παράδειγμα το δίκτυο πρέπει να επεκταθεί σε μια περιοχή η οποία βρίσκεται στην πίσω πλαγιά ενός λόφου και ο ΣΒ δεν μπορεί να την καλύψει . Στις περιπτώσεις λοιπόν αυτές κάποιοι από τους ΣΧ

που έχουν οπτική επαφή και με τον ΣΒ και με την περιοχή που δεν καλύπτεται , θα παίξουν το ρόλο του αναμεταδότη . Για να είναι εφικτή μια τέτοιου είδους επέκταση θα πρέπει οι ΣΧ που θα αναμεταδίδουν τα σήματα του ΣΒ να αναβαθμιστούν σε ASS (Advanced Subscriber Stations) . Οι διαφορές των απλών ΣΧ με τους αναβαθμισμένους αφορούν τόσο συστήματα κεραιών όσο και συσκευές διαχείρισης δικτύου (δρομολόγησης – αναδρομολόγησης) αλλά και μεγαλύτερες δυνατότητες στην οργάνωση και επεξεργασία σημάτων και δεδομένων .

Η λειτουργία των ΑΣΧ που θα εγκατασταθούν σε κάποιο δίκτυο βρίσκονται υπό την επιτήρηση και οργάνωση του ΣΒ . Όσον αφορά τις εκπομπές τους δεν θα είναι τόσο ισχυρές όσο του ΣΒ καθώς θα αναμεταδίδουν προς κάποιους συγκεκριμένους ΣΧ και όχι για να καλύψουν



Σχήμα 16

Είσοδος στο δίκτυο διαφορετικού τύπου χρηστών

μια ευρύτερη περιοχή . Στην πράξη mesh επέκταση του δικτύου δεν δημιουργεί κανένα πρόβλημα στις συνδέσεις των εμπεκόμενων ΣΧ . Για την πιο εγκυμμένη όμως λειτουργία των ΣΧ που συνδέονται στο δίκτυο με τον τρόπο αυτό , την αναμετάδοση την αναλαμβάνει μια ομάδα από ΑΣΧ , έτσι ώστε να υπάρχει πάντα εναλλακτική δυνατότητα δρομολόγησης για κάθε έναν από τους ΣΧ που δεν συνδέονται απ'ευθείας στον ΣΒ .

Στην Εικόνα 17 βλέπουμε μια τυπική περιοχή κάλυψης για ένα δίκτυο WiMax με έναν και μόνο ΣΒ που εξυπηρετεί μια ευρεία αστική περιοχή και οι ΣΧ έχουν οπτική επαφή με αυτόν . Προσφέρονται υπηρεσίες τόσο για επιχειρήσεις όσο και για οικιακή χρήση . Όσον αφορά την σύνδεση με το παγκόσμιο δίκτυο δεδομένων (internet) , ο ΣΒ αποτελεί , εκ των πραγμάτων , το Gateway του MAN που εξυπηρετεί προς το ευρύτερο δίκτυο . Η μεταφορά του μεγάλου όγκου δεδομένων από το απομακρισμένο σημείο παροχής δικτύου στον ΣΒ , μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους ανάλογα με την απόσταση και τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε περιοχής .

Ο επικρατέστερος τρόπος είναι η υλοποίηση μικροκυματικών RTP (Point To Point) ζεύξεων από τον ΣΒ εως κάποιον κενρικό κόμβου παροχής internet . Σε περιπτώσεις που η απόσταση το επιτρέπει η σύνδεση των δύο σημείων μπορεί να γίνει με οπτικές ίνες . Εναλλακτική λύση , για την υλοποίηση σε νησιά ή και ορινές περιοχές που η δημιουργία μικροκυματικών ζεύξεων παρουσιάζει προβλήματα , είναι η μεταφορά των δεδομένων με δορυφορικές ζεύξεις . Στην εικόνα 16 βλέπουμε την σύνδεση για την μεταφορά του stream των δεδομένων από την περιοχή κάλυψης του WiMax δικτύου σε συνδιασμό με τις δυνατότητες παροχής διαφόρων συνδέσεων με πικήλο QoS στο ασύρματο MAN .



Σχήμα 17  
Κάλυψη με έναν ΣΒ ευρείας αστικής περιοχής

### 3.3 Χρονισμός Του Δικτύου

Για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του κάθε ΣΧ στο χώρο του δικτύου , οι ΣΧ είναι εφοδιασμένοι με δέκτες GPS . Κατά την αρχικοποίηση του ΣΧ και εγκαθύδριση της πρώτης σύνδεσης από αυτόν , αποστέλονται στον ΣΒ τα δεδομένα που αφορούν την θέση του . Για Fixed Broadband Wireless συστήματα τα δεδομένα αυτά δεν αλλάζουν . Περιοδικά όμως αποστέλονται στον ΣΒ και μετά από τυχόν επανεκίνηση του ΣΧ .

Η χρήση του δέκτη GPS δεν περιορίζεται μόνο για τον προσδιορισμό της θέσης του στη περιοχή κάλυψης του δικτύου αλλά επιπλέον καλύπτει ανάγκες συγχρονισμού των ΣΒ και ΣΧ με το ευρύτερο δίκτυο . Πιο συγκεκριμένα οι ΣΒ παρέχουν σήματα χρονισμού στους ΣΧ που εξυπηρετούν , σε περιπτώσεις απώλειας του συγχρονισμού ο ΣΒ εξακολουθεί να λειτουργεί καθώς άμεσα καλύπτεται από το σήμα αναφοράς που παρέχει ο δέκτης GPS .

Το σήμα χρονισμού είναι 1pps (παλμός το δευτερόλεπτο) , επίσης χρησιμοποιείται και μια συχνότητα 10 MHz .

### 3.4 Κεντρική συχνότητα και ανοχές συχνότητας ρολογιού συμβόλου

Στον ΣΒ , η εκπεμπόμενη κεντρική συχνότητα και η συχνότητα χρονισμού των συμβόλων που παράγονται , προέρχονται από τον ίδιο ταλαντωτή αναφοράς . Στον ΣΒ η ακρίβεια της συχνότητας αναφοράς πρέπει να είναι καλύτερη από  $\pm 2 \cdot 10^{-6}$  , για την ορθή λειτουργία του συστήματος . Στον ΣΧ οι παραπάνω κεντρικές συχνότητες , είναι συγχρονισμένες με αυτές του ΣΒ , η μέγιστη ανοχή τους στους ΣΧ είναι 2% της απόστασης των Subcarriers ( $\Delta f = F_s / N_{FFT}$ ) .

Κατά τη διάρκεια της περιόδου συγχρονισμού , ο ΣΧ θα αποκτήσει τη συχνότητα αναφοράς με την καθορισμένη μέγιστη ανοχή , πρην επιχειρήσει οποιαδήποτε εκπομπή στην άνω ζεύξη . Σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας του συστήματος , κάθε ΣΧ θα ανιχνεύει τις αλλαγές στη συχνότητα αναφοράς και θα αναβάλλει κάθε του εκπομπή σε περίπτωση που ο συγχρονισμός του χαθεί . Από τη μεριά του ο ΣΒ κάνει περιοδικούς ελέγχους για τον συγχρονισμό των ΣΧ .

Για τις ανάγκες των ΣΧ να ανακατασκευάσουν τα σήματα χρονισμού τους , από τον ΣΒ θα αποστέλονται περιοδικά μηνύματα CLK-CMP (Clock-Comparison) προς όλους τους ΣΧ (broadcast transmissions) . Ο ΣΒ για να δημιουργήσει ένα μήνυμα CLK-CMP , θα κάνει περιοδικές μετρήσεις , έτσι ώστε να διαπιστώσει την διαφορά στα σήματα χρονισμού . Τα μηνύματα CLK-CMP έχουν τη μορφή που περιγράφεται στον πίνακα 4.

<b>CLK-CMP message format</b>	
Management msg Type = 28	8 bits
Clock Count n	8 bits
Clock ID [ i ]	8 bits
Sequence Number [ i ]	8 bits

Comparison Value [ i ] (CCV)	8 bits
------------------------------	--------

Πίνακας 4

Για τις τιμές  $i$  που εμφανίζονται ισχύει για κάθε νέο CLK-CMP που δημιουργείται ( $i=1; i \leq n; i++$ ).

Clock Count : Είναι η τιμή του αριθμού των CCVs που περιέχονται στο μήνυμα

Clock ID : Είναι η μοναδική τιμή που προσδιορίζει το κάθε σήμα χρονισμού απ'το οποίο τα CCVs παράγονται στον ΣΒ .

Sequence Number : Η τιμή αυτή αυξάνεται κατά ένα από τον ΣΒ κάθε φορά που ένα νέο CLK-CMP μήνυμα δημιουργείται . Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του packet loss .

Clock Comparison Value : Η παράμετρος αυτή εκφράζει τη διαφορά μεταξύ των δυο σημάτων χρονισμού αναφοράς . (1) 10 MHz συχνότητα αναφοράς που κληδωμένη με την συχνότητα των συμβόλων . (2) 8.192 MHz συχνότητα αναφοράς κλειδωμένη με το ρολόι του δικτύου .



## Κεφάλαιο 4:

### Συστήματα κεραιών σε WiMax εφαρμογές



#### 4. Συστήματα Κεραιών Σε WiMax Εφαρμογές

Η ανάγκη των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων για εκπομπές προς μεγάλο αριθμό δεκτών , με πιο αποδοτικό τρόπο και δίχως την αύξηση του προβλήματος των παρεμβολών οδήγησε στο επόμενο βήμα εξέλιξης των συστημάτων κεραιών . Τα συστήματα κεραιών που κατασκευάζονται πλέον μπορούν και ολοκληρώνουν με εφυσία την ταυτόχρονη λειτουργία μεγάλης πικιοιλίας στοιχείων κεραιών .

Η ιδέα της χρήσης πολλαπλών στοιχείων κεραιών μαζί με καινοτόμες μεθόδους επεξεργασίας σήματος για την σηματοδότηση περιοχών κάλυψης ασυρμάτων τηλεπικοινωνιών υπήρχε εδώ και αρκετά χρόνια . Στην πραγματικότητα , σε αμυντικά συστήματα είχαν ήδη εφαρμοστεί στο παρελθόν συστήματα «έξυπνων κεραιών» , το κόστος όμως ήταν απαγορευτικό για ευρεία εμπορική χρήση . Με την υλοποίηση ισχυρών ψηφιακών επεξεργασιών σήματος (DSPs) χαμηλού κόστους , μαζί με τον προσανατολισμό προς software-based signal-processing τεχνικές (κατάλληλους αλγόριθμους για την επεξεργασία σήματος) , τα συστήματα «έξυπνων κεραιών» έγιναν προσιτά από οικονομικής άποψης και πρακτικά για εφαρμογή σε κυψελωτά τηλεπικοινωνιακά συστήματα .

Σήμερα που οι εμπορικές ανάγκες για αποδοτικές λύσεις όσον αφορά την διαχείριση του φάσματος είναι τεράστιες , αυτά τα συστήματα κεραιών παρέχουν από τη πλευρά τους μεγαλύτερη κάλυψη σε περιοχές ενδιαφέροντος , παράλληλα με ικανοποιητικότερη απόρριψη παρεμβολών και σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά την χωρητικότητα των καναλιών εκπομπής.

Στην πραγματικότητα με τον όρο «έξυπνες κεραιές» αναφερόμαστε σε συστήματα κεραιών . Τα συστήματα κεραιών , γενικά , βρίσκονται στον ίδιο χώρο με τον ΣΒ , που καλύπτει τις ανάγκες μια ευρείας περιοχής του δικτύου . Εκεί λοιπόν τα συστήματα κεραιών συνδιάζουν ένα μπλόκ στοιχείων κεραιών με τις δυνατότητες ψηφιακών συστημάτων επεξεργασίας σήματος που παρέχονται από τον ΣΒ . Το αποτέλεσμα του συνδυασμού αυτού είναι οι κεραιές να εκπέμπουν και να λαμβάνουν με τρόπο προσαρμογής ευαίσθητο

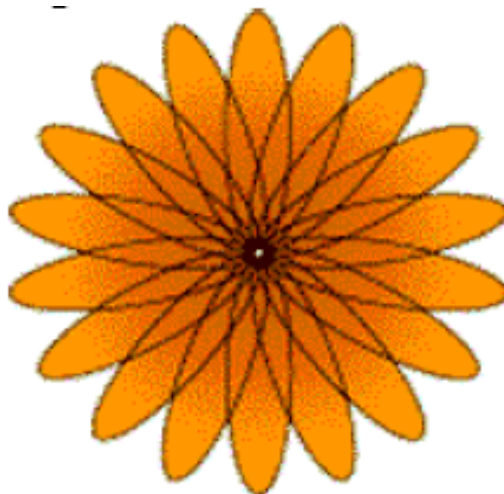
στην περιοχή κάλυψης . Πιο απλά , αυτά τα συστήματα κεραιών έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν τον προσανατολισμό της περιοχής ακτινοβολίας τους (κύριο λοβό ακτινοβολίας) σαν ανταπόκριση στα σήματα που λαμβάνουν από το περιβάλλον τους , δίχως μηχανική υποστήριξη . Η λειτουργία τους αυτή μπορεί να αυξήσει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση των χαρακτηριστικών ενός ασύρματου δικτύου .

Η ονοματολογία που σχετίζεται με τις «έξυπνες κεραιές» , εκφράζεται από πολλές σκοπιές , όπως αναφορικά 'εφυή συστήματα κεραιών , SDMA, συστήματα κεραιών επεξεργασίας φάσματος , συστήματα ψηφιακής μορφοποίησης δέσμης εκπομπής , και πολλά άλλα ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τις καινοτομίες του κάθε συστήματος' . Ανεξάρτητα από τα παραπάνω η τεχνολογία των συστημάτων κεραιών μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο κύριους τύπους , με βάση τον τρόπο εκπομπής τους.

#### **4.1.1 (Switched Beam Antenna Systems) SBAS – Συστήματα κεραιών εναλλαγής δέσμης εκπομπής**

Αυτή η κατηγορία συστημάτων κεραιών εμφανίζει (όσον αφορά τον τρόπο εκπομπής στο χώρο) έναν πεπερασμένο αριθμό σταθερών , προκαθορισμένων δεσμών εκπομπής . Γύρω από το σύστημα της κεραιάς σχηματίζονται πολλαπλοί όμοιοι λοβοί ακτινοβολίας (με σταθερό προσανατολισμό ο κάθε ένας) με αυξημένη ευαισθησία αποκλιστικά στις συγκεκριμένες κατευθύνσεις . Το σύστημα μπορεί και ελέγχει τις δέσμες εκπομπής με τέτοιο τρόπο ώστε να εμφανίζονται κατά ομάδες ή και καθεμία ξεχωριστά , για να καλύψουν με τον επιθυμητό τρόπο μια ευρύτερη περιοχή . Επιτυγχάνεται δηλαδή η κάλυψη μιας περιοχής όπως θα καλυπτόταν από μια ομοιοκατευθυντική κεραία αλλά με τα χαρακτηριστικά κεραιάς μεγάλης κατευθυντικότητας καθώς η μορφή κάθε δέσμης χωριστά ταιριάζει με το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κατευθυντικής κεραιάς μεγάλου κέρδους . Αντί λοιπόν για τον σχεδιασμό μιας κεραιάς για την κάλυψη συγκεκριμένης περιοχής , αλλάζοντας τα φυσικά μεγέθη για την επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών , τα SBAS συνδυάζουν τις εξόδους πολλαπλών στοιχείων κεραιών με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγεται η επιθυμητή κάλυψη . Λόγο της

επιλεκτικότητας ως προς τον χώρο εκπομπής τα συστήματα αυτά είναι πολύ περισσότερο αποδοτικά και αξιόπιστα από της κεραίες απλού στοιχείου .



Σχήμα 18

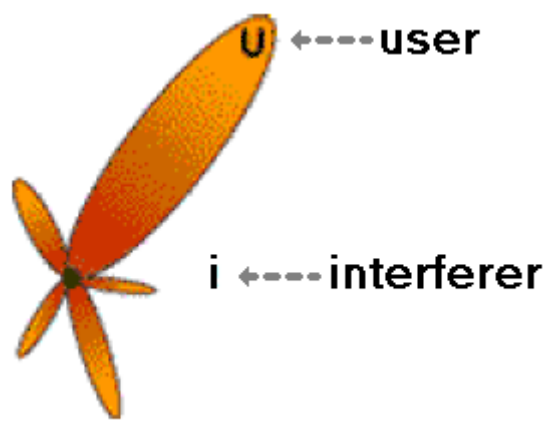
Βασικό διάγραμμα ακτινοβολίας συστήματος κεραιών εναλλαγής δέσμης

#### 4.2 Adaptive Antenna Systems (AAS) – Προσαρμοστικά συστήματα κεραιών:

Η τεχνολογία των προσαρμοστικών συστημάτων κεραιών αποτελεί την πιο εξελιγμένη μορφή έξυπνων κεραιών που είναι διαθέσιμες για ευρεία χρήση σήμερα . Τα συστήματα αυτά εμφανίζουν έναν κύριο λοβό ακτινοβολίας μεγάλης κατευθυντικότητας , με την δυνατότητα της μετακίνησης του ανάλογα με τις ανάγκες και τις συνθήκες εκπομπής . Η περιστροφή και ο προσανατολισμός του κύριου λοβού ή οποιουδήποτε άλλου σημείου του διαγράμματος εκπομπής της κεραίας , γίνεται άμεσα δίχως μηχανική υποστήριξη αλλά μόνο με αλλαγές στον τρόπο τροφοδοσίας του συστήματος . Γτο σύστημα χρησιμοποιεί διαφόρους αλγορίθμους επεξεργασίας σήματος για να εκμεταλευτεί με τον βέλτιστο τρόπο την ιδιότητα των κεραιών αυτών να εντοπίζουν αποτελεσματικά διαφόρους τύπους σημάτων και δυναμικά να ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές ενώ μεγιστοποιεί την ποιότητα λήψης του επιθυμητού σήματος .

Η αρχή λειτουργίας των AAS στηρίζεται στον διαρκή σάρωση του ορίζοντα μετρώντας και συγκρίνοντας τα σήματα που λαμβάνει , και τελικά στρέφεται το μέσο του κύριου λοβού ακτινοβολίας στο σημείο που δέχεται το επιθυμητό σήμα με μέγιστη ποιότητα , ενώ αντίστοιχα οι μηδενισμοί του

διαγράματος εκπομπής προσανατολίζονται στις κατευθύνσεις που εμφανίζονται παρεμβολές . Σημαντικό στοιχείο για την υλοποίηση μιας τέτοιας τεχνικής είναι η γνώση του επιθυμητού σήματος και η ταχύτατη επεξεργασία των σημάτων και των δεδομένων που παράγονται . Για να είναι δυνατά τα παραπάνω τα συστήματα κεραιών λειτουργούν με πλήρη συσχετισμό με το ευρύτερο τηλεπικοινωνιακό σύστημα (πχ τον ΣΒ) , από το οποίο και ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό . Στην εικόνα 19 βλέπουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας ενός τυπικού AAS .



Σχήμα 19  
Διάγραμμα ακτινοβολίας ASS

Πρέπει να τονίσουμε ότι και οι δύο τύποι συστημάτων κεραιών έχουν στόχο την αύξηση του κέρδους εκπομπής και λήψης ανάλογα με τη θέση του χρήστη , για την αποδοτικότερη διαχρήσιση του διαθέσιμου φάσματος . Παρ' όλα αυτά όμως τα AAS παρέχουν το ευνοϊκότερο κέρδος καθώς διαρκώς αναγνωρίζουν τα σήματα και εντοπίζουν την βέλτιστη προσαρμογή στο χώρο . Στον πίνακα 5 που ακολουθεί παρέχονται συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά των συστημάτων έξυπνων κεραιών και τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα .

Χαρακτηριστικά	Όφελος – Πλεονεκτήματα
<p><b>Κέρδος Σήματος:</b> Οι εισοδοί από πολλαπλές κεραιές συνδυάζονται για την βελτιστοποίηση της ισχύος που θα πρέπει να διατεθεί για την κάλυψη μιας δεδομένης περιοχής .</p>	<p><b>Καλύτερη Κάλυψη / Μεγαλύτερες Αποστάσεις Εκπομπής :</b> Εστιάζοντας την εκπεμπόμενη ενέργεια αποκλιστικά στις θέσεις των χρηστών , αυξάνεται το βελινεκές εκπομπής και η κάλυψη της περιοχής ενδοιαφέροντος . Μικρότερες απαιτήσεις ισχύος κάνουν δυνατό το σχεδιασμό μικρότερων συσκευών , ενώ αυξάνεται η διάρκεια ζωής των μπαταριών , όπου αυτές χρησιμοποιούνται .</p>
<p><b>Απόρριψη Παρεμβολών :</b> Η προσαρμογή του διαγράμματος ακτινοβολίας στο χώρο , μεγιστοποιεί την ικανότητα απόρριψης ενδοκαναλικών παρεμβολών , με άμεσο αντίκτυπο στην αύξηση του SIR των λαμβανόμενων σημάτων.</p>	<p><b>Αύξηση Χωρητικότητας :</b> Η ακριβής διαχείριση των εκπεμπόμενων σημάτων στο χώρο σε συνδυασμό με την αύξηση του SIR , παρέχει την δυνατότητα συχνότερης επαναχρησιμοποίησης των καναλιών εκπομπής ακόμα και από τον ίδιο ΣΒ .</p>
<p><b>Επεξεργασία του Χώρου Εκπομπής :</b> Η συλογή και η οργάνωση πληροφοριών από το σύστημα κεραιών , για τον τρόπο κατανομής του σήματος στο χώρο κάλυψης και η προσαρμογή του στις εκάστοτε ανάγκες βοηθά στη μείωση φαινομένων απόσβεσης του σήματος (fading) , όπως επιπλέον και άλλων ανεπιθύμητων αποτελεσμάτων του (multipath propagation)</p>	<p><b>Απόρριψη Φενομένων Multipath :</b> Ελατώνεται σε σημαντικό βαθμό η εξάπλωση καθυστερήσεων του καναλιού , επιτρέποντας την υποστήριξη μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης των δεδομένων , δίχως να είναι απαραίτητη η χρήση συσκευών ισοστάθμισης .</p>
<p><b>Αποδοτικότητα Ισχύος Εκπομπής :</b> Ο συνδυασμός των εισόδων πολλαπλών στοιχείων κεραιών κατά την εκπομπή παρέχει αύξηση του κέρδους λόγω της επεξεργασίας του σήματος και της οργάνωσης των εκπομπών στην κάτω ζεύξη .</p>	<p><b>Μείωση του Κόστους :</b> Το κόστος μειώνεται αισθητά από την χρήση μικρότερων ενισχυτών και την κατανάλωση λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας .</p>

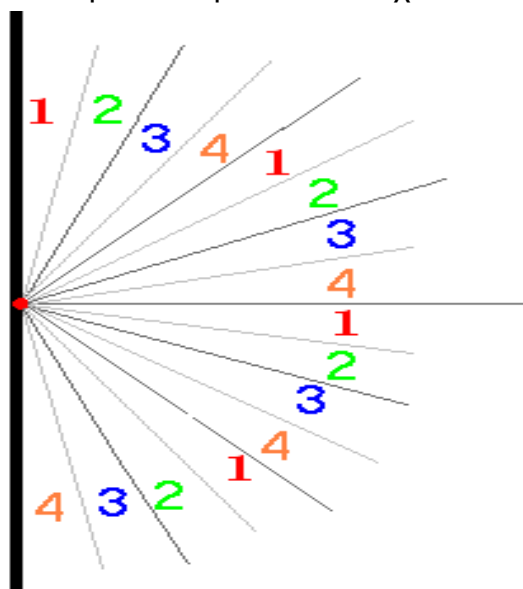
Πίνακας 5

### 4.3 Η χρήση έξυπνων κεραιών στο WiMax

Όπως είδαμε και παραπάνω , η χρήση περισσότερων από ένα στοιχείων κεραιάς μπορεί να βελτιώσει αισθητά την ακτίνα δράσης και τη χωρητικότητα του τηλεπικοινωνιακού συστήματος . Αυτό γίνεται προσαρμο-

ζοντας το διάγραμμα ακτινοβολίας στο χώρο και προσανατολίζοντας τους λοβούς ακτινοβολίας προς συγκεκριμένους ΣΧ . Η αποδοτικότητα μπορεί να αυξηθεί γραμμικά σε σχέση με τον αριθμό των στοιχείων της κεραίας που χρησιμοποιείται .

Σε υποθετικό σενάριο για την κάλυψη περιοχής που εξυπηρετείται από έναν ΣΒ και επεκτείνεται σε γωνία  $180^\circ$  από αυτόν με τους ΣΧ σε σταθερές θέσεις στο χώρο και απ'ευθείας οπτική επαφή με τον ΣΒ , μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύστημα κεραιών με 16 στοιχεία , όπως παρουσιάζεται στην εικόνα . Κάθε στοιχείο δημιουργεί και μια διαφορετική δέσμη εκπομπής με γωνία μισής ισχύος  $15^\circ$  . Οι γειτονικές δέσμες θα επικαλύπτονται μεταξύ σε σημαντικό ποσοστό , καθώς αν χωρίσουμε την περιοχή κάλυψης σε 16 τομείς (έναν για κάθε στοιχείο) με γωνία  $180^\circ/16 = 11,25^\circ$  , θα έχουμε ικανοποιητική κάλυψη της περιοχής . Το σύστημα οργανώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα στοιχεία της κεραίας να μην εκπέμπουν ταυτόχρονα όλα μαζί , αλλά ανά ομάδες . Αν στο παρόν σενάριο λειτουργεί ταυτόχρονα ομάδα τεσσάρων στοιχείων μπορεί να αποδωθεί σε κάθε εκπομπή όλο το διαθέσιμο φάσμα , δίχως να υπάρχει πρόβλημα παρεμβολής μεταξύ τομέων κάλυψης , εφόσον οι τομείς που περιέχονται στην κάθε ομάδα θα απέχουν  $45^\circ$  μεταξύ τους .

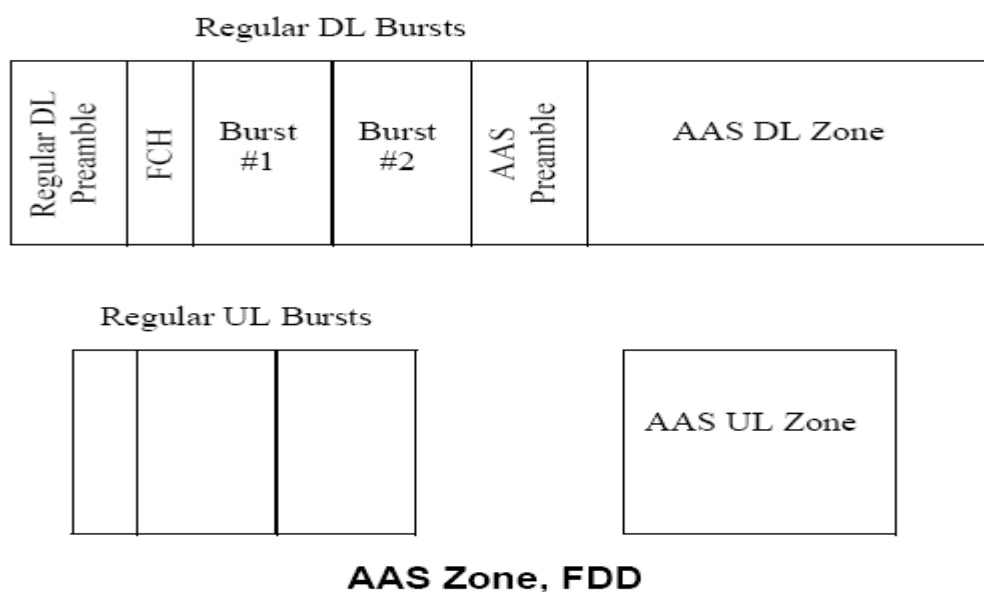


Σχήμα 20

Κατανομή δεσμών της κεραίας σε τομής για την κάλυψη περιοχής

Κάθε χρώμα προσδιορίζει τις δέσμες που περιέχονται στην κάθε ομάδα ενώ οι αριθμοί αφορούν την χρονική περίοδο που η κάθε ομάδα βρίσκεται σε λειτουργία .

Για να αξιοποιηθούν τα πλεονεκτήματα των έξυπνων κεραιών το σύστημα WiMax έχει σχεδιαστεί με τρόπο τέτοιο ώστε τα συστήματα κεραιών που υποστηρίζονται να αποτελούν βασικό μέρος της λειτουργίας του και να βρίσκονται σε απόλυτη αρμονία με τα υπόλοιπα υποσυστήματα . Ένα μεγάλο μέρος της διαχείρισης των κεραιών του συστήματος γίνεται από το MAC επίπεδο του ΣΒ . Πιο συγκεκριμένα στο DL frame υπάρχει ένα πεδίο με επωνυμία AAS preamble , στο πεδίο αυτό περιέχονται πληροφορίες προς τους ΣΧ για την οργάνωσή τους σύμφωνα με την κατάσταση που βρίσκεται το σύστημα κεραιών κάθε φορά . Στην εικόνα 21 βλέπουμε το εν λόγω πεδίο . Όπως γίνεται κατανοητό αλλαγές στον τρόπο εκπομπής μπορούν να γίνουν ανά frame , ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν και γίνονται αντιλυπτές από τον ΣΒ ή τους ΣΧ μέσω των συστημάτων κεραιών .



Σχήμα 21

Πεδίο που αφορά τη λειτουργία του συστήματος κεραιάς στη δομή του frame

#### 4.4 AAS Μηνύματα Διαχείρισης

Το σύστημα για την οργάνωση των κεραιών και των ΣΧ χρησιμοποιεί κάποια μηνύματα διαχείρισης (Management Messages) που αποστέλονται μεταξύ ΣΒ και ΣΧ αρκετά συχνά με περιοδικό τρόπο και σε τυχαίες στιγμές που θα παρατηρηθεί κάποια ανωμαλία στις ζεύξεις . Το σύστημα γενικά για την διαχείριση διαθέτει ένα μεγάλο πλήθος μηνυμάτων , συγκεκριμένα για την οργάνωση του ΣΒ και των ΣΧ σε σχέση με τα συστήματα κεραιών υπάρχουν 5 (MNG-MSGs) . Τα συγκεκριμένα μηνύματα εμφανίζονται στον πίνακα 6 που ακολουθεί .

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
44	ASS_FBCK_REQ
45	ASS_FBCK_RSP
46	ASS_Beam_Select
47	AAS_BEAM_REQ
48	ASS_BEAM_RSP

Πίνακας 6

Η ανταλλαγή των δυο πρώτων μηνυμάτων , μεταξύ ΣΧ και ΣΒ , πραγματοποιείται για λόγους εκτίμησης της κατάστασης του καναλιού με απώτερο σκοπό την ρύθμιση του προσανατολισμού της κεραιάς του ΣΒ .

Τα μηνύματα που εμφανίζονται με την επωνυμία AAS\_BEAM\_x αφορούν δηλώσεις των ΣΧ για την προσημείωσή τους για δέσμη στην οποία θέλουν να λαμβάνουν . Ο ΣΒ δεν είναι απαραίτητο να οικιοποιηθεί τις προσημείωσεις των ΣΧ , αλλά μέσω μηχανισμών εκτίμησης των καναλιών της κάτω ζεύξης και μετά από ανταλλαγές των παραπάνω μηνυμάτων με τους ΣΧ , θα αποφασίσει για τις τυχόν αλλαγές που θα γίνουν .



## Κεφάλαιο 5:

# Εργαλεία και διαδικασίες διαχείρισης του συστήματος

## 5.1 Αναγνώριση και Καταχώριση του ΣΧ στο δίκτυο

Κάθε ΣΧ περιέχει ένα ψηφιακό πιστοποιητικό , όπως και το πιστοποιητικό του κατασκευαστή , εργοστασιακά εγκατεστημένο . Τα πιστοποιητικά αυτά δημιουργούν μια αντιστοιχία μεταξύ της 48-bit MAC address και του public RSA key . Επιπλέον τα πιστοποιητικά του κατασκευαστή στέλνονται από τον ΣΧ στον ΣΒ κατά την πιστοποίηση (Authentication) . Το δίκτυο είναι σε θέση να ελέγξει την ταυτότητα του ΣΧ τσεκάροντας τα παραπάνω πιστοποιητικά και επακολούθως να ελέγξει το επίπεδο έγκρισης (authorization) που μπορεί να έχει ο ΣΧ . Αν ο ΣΧ έχει έγκριση (πληρεί τις προϋποθέσεις) να εισέλθει στο δίκτυο , ο ΣΒ θα ανταποκριθεί στην αίτηση του ΣΧ με μήνυμα το οποίο θα περιέχει ένα κλειδί έγκρισης (Authorization Key AK) κρυπτογραφημένο με το δημόσιο κλειδί του ΣΧ , το AK θα χρησιμοποιείται και για την ασφάλεια άλλων πληροφοριών .

Με την επιτυχημένη έγκριση , ο ΣΧ θα καταχωρηθεί στο δίκτυο . Αυτό θα εγκαθιδρύσει μια δευτερεύουσα διαχειριστική σύνδεση μεταξύ ΣΧ και ΣΒ , η σύνδεση αυτή θα καθορίσει τις δυνατότητες που σχετίζονται με την εγκατάσταση της κύριας σύνδεσης και τη λειτουργία της MAC . Η έκδοση του IP που χρησιμοποιείται κατά την δευτερεύουσα διαχειριστική σύνδεση έχει επίσης καθοριστεί κατά την καταχώριση στο δίκτυο .

## 5.2 Αρχικές διαπραγματεύσεις και διαρρυθμίσεις για τις δυνατότητες του ΣΧ

Ο ΣΧ αρχικά πρέπει να γνωρίσει ποιες παραμέτρους πρέπει να χρησιμοποιήσει για τις αρχικές ρυθμιστικές εκπομπές προς τον ΣΒ . Για το λόγο αυτό θα πρέπει να ψάξει για τις παραμέτρους αυτές , σαρώνοντας τα μηνύματα UL-MAP που βρίσκονται σε κάθε frame που φθάνει από τον ΣΒ . Ο ΣΧ χρησιμοποιεί έναν εκθετικό backoff αλγόριθμο με σκοπό τον προσδιορισμό του αρχικού ρυθμιστικού slot (χρονικά) που θα επιλέξει για την αποστολή του κατάλληλου μηνύματος με το οποίο θα ζητά να γίνει διαρρύθμιση από τον ΣΒ . Ο ΣΧ θα κάνει την εκπομπή αυτή με την ελάχιστη δυνατή ισχύ και θα συνεχίσει

προσπαθώντας ξανά αυξάνοντας την ισχύ , μέχρι να λάβει απάντηση για διαρρύθμιση από τον ΣΒ .

Ο ΣΒ βασιζόμενος στον χρόνο άφιξης του αρχικού διαρρυθμιστικού μηνύματος από τον ΣΧ , αλλά και την ισχύ του σήματος που μετρά , στέλνει μια διαρρυθμιστική απάντηση . Η απάντηση αυτή περιέχει παραμέτρους που αφορούν τον συγχρονισμό και την αλλαγή στην ισχύ εκπομπής του ΣΧ . Στην απάντηση αυτή του ΣΒ , επιπλέον παρέχονται στον ΣΧ τα βασικά και πρωτεύοντα CIDs διαχείρισης . Όταν ο συγχρονισμός εκπομπής του ΣΧ έχει πραγματοποιηθεί ορθά , εκτελούνται περαιτέρω ρυθμιστικές διαδικασίες , που αφορούν την τελική και πιο λεπτομερή ρύθμιση της ισχύος . Για το σκοπό αυτό γίνονται προκαθορισμένες , όσον αφορά τη δομή τους , εκπομπές από τον ΣΧ και τον ΣΒ .

Έως αυτό το σημείο όλες οι εκπομπές γίνονται με το πιο ισχυρό , αλλά λιγότερο αποδοτικό ( για τους πόρους του δικτύου ) burst profile , αυτό γίνεται για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης ανεπανόρθωτων σφαλμάτων στο περιεχόμενο των μηνυμάτων με απώτερο σκοπό την μη επανεκπομπή τους . Προς αποφυγή σπατάλης χωρητικότητας , ο ΣΧ αναφέρει στον ΣΒ τις δυνατότητες που έχει το φυσικό του επίπεδο , εμπιρεύοντας τα στοιχεία των κωδικοποιήσεων και διαμορφώσεων που υποστηρίζει . Όπως για παράδειγμα αν υποστηρίζεται από το σύστημα half ή full duplex (FDD-frequency division duplex) . Ο ΣΒ στην απάντηση του μπορεί να αρνηθεί την χρήση των δυνατοτήτων που αναφέρθηκαν από τον ΣΧ και να μην επιτρέψει την είσοδο του στο δίκτυο .

### **5.3 Διαδικασία αίτησης και απόδοσης φάσματος (BW Requests and Grant)**

Η MAC διαθέτει δυο κλάσεις για τους σταθμούς χρηστών (ΣΣ) . Οι κλάσεις αυτές διαφοροποιούνται από την ικανότητα να δεχθούν παραχώρηση φάσματος απλά για μια σύνδεση ή για τον (ΣΣ) συνολικά . Και οι δυο κλάσεις ζητούν φάσμα για κάθε σύνδεση ξεχωριστά , έτσι ώστε να μπορεί ο αλγόριθμος του σταθμού βάσης που είναι υπεύθυνος να προσφέρει φάσμα , να μελετά κατάλληλα το QoS όταν κάνει την κατανομή φάσματος . Στην κλάση του SS Grant per Connection (GPC) , το φάσμα παρέχεται αποκλειστικά σε

μια σύνδεση και ο ΣΣ χρησιμοποιεί το φάσμα αυτό μόνο για την συγκεκριμένη σύνδεση . Πρωτόκολλα διαχείρισης φάσματος όπως το RLC και άλλα χρησιμοποιούν το φάσμα , αποκλειστικά για την κατανομή του σε συνδέσεις .

Στην Grant per SS (GPSS) κλάση παραχωρείται φάσμα συνολικά για όλες τις συνδέσεις που σχετίζονται με έναν ΣΣ , από μια μόνο παραχώρηση στον ΣΣ και αυτός είναι υπεύθυνος για την κατανομή του φάσματος στις συνδέσεις . Ο ΣΣ θα πρέπει να είναι αρκετά ευφυής όσον αφορά την διαχείριση του QoS . Τυπικά θα χρησιμοποιήσει το φάσμα για τη σύνδεση για την οποία το έχει ζητήσει , αλλά αυτό δεν είναι αναγκαίο . Για παράδειγμα , αν η κατάσταση του QoS στον ΣΣ έχει αλλάξει από την τελευταία αίτηση φάσματος , ο ΣΣ έχει την επιλογή να στείλει το μέγιστο QoS δεδομένων ταυτόχρονα με την αίτηση να του επιστραφεί το φάσμα που του πάρθηκε από σύνδεση με χαμηλότερο απαιτούμενο QoS . Ο ΣΣ επίσης μπορεί να χρησιμοποιήσει το φάσμα για να αντιδράσει όσο το δυνατόν πιο γρήγορα σε τυχόν αλλαγές στις συνθήκες περιβάλλοντος στέλνοντας , για παράδειγμα ένα μήνυμα διαχείρισης DBPC-REQ .

Τα μηνύματα διαχείρισης DBPC-REQ και DBPC-RSP δεν αφορούν τόσο την κατανομή φάσματος αλλά την αλλαγή του προφίλ εκπομπής της DL που σχετίζεται με κάποιον ΣΧ . Με την αλλαγή σε πιο ισχυρό προφίλ εκπομπής αυξάνεται η ποιότητα της ζεύξης δίχως αυτό να σημαίνει ότι θα αποδοθεί επιπλέον φάσμα στις εκπομπές προς το συγκεκριμένο ΣΧ . Εν ολίγης αλλάζοντας παραμέτρους εκπομπής όπως είναι η κωδικοποίηση , η διαμόρφωση και ο ρυθμός του FEC ισχυροποιείται η σύνδεση χωρίς την επιπλέον απόδοση φάσματος .

Οι δυο αυτές κλάσεις των ΣΣ επιτρέπουν την εξισορρόπηση μεταξύ απλότητας και αποδοτικότητας της διαδικασίας Request/Grant . Η ανάγκη για αποκλειστική παροχή επιπλέον φάσματος για RLC και αιτήσεις , σε συνδυασμό με την πιθανότητα περισσότερων από μια εισόδων ανά ΣΣ κάνει το GPC λιγότερο αποδοτικό και ευέλικτο από το GPSS . Επιπλέον , η ικανότητα του GPSS SS να αντιδρά γρηγορότερα , στις εκάστοτε απαιτήσεις του φυσικού επιπέδου (PHY) και των συνδέσεων , ενδυναμώνει την απόδοση του συστήματος .

Στις δυο αυτές κλάσεις παροχής φάσματος , η MAC χρησιμοποιεί ένα πρωτόκολλο αυτοδιόρθωσης και όχι πρωτόκολλο επιβεβαίωσης . Αυτή η μέθοδος απαιτεί λιγότερο φάσμα κατά τη λειτουργία , επιπλέον τα πρωτόκολλα επιβεβαίωσης χρειάζονται περισσότερο χρόνο για τις διαβουλεύσεις του BS με τον SS , με αποτέλεσμα να εισάγουν καθυστέρηση .

Κάποιοι λόγοι για τους οποίους το φάσμα που ζητείται για μια σύνδεση του SS ίσως δεν είναι διαθέσιμο , είναι οι παρακάτω :

- Ο BS δεν “είδε” την αίτηση λόγω ανεπανόρθωτων σφαλμάτων στο μήνυμα από το PHY επίπεδο ή λόγω αντίκρουσης με ανταγωνιστικού τύπου κράτηση ( contention-based reservation)
- Ο SS δεν “είδε” την απάντηση παροχής φάσματος του BS λόγω ανεπανόρθωτης ζημιάς των δεδομένων στο PHY επίπεδο.
- Ο BS δεν έχει επαρκή φάσμα διαθέσιμο .
- Ο GPSS SS χρησιμοποίησε το φάσμα αυτό για άλλο σκοπό .

Με το self-correcting protocol όλες οι παραπάνω ανωμαλίες αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο . Δηλαδή , μετά από μικρό χρονικό διάστημα , ανάλογα με το QoS της παρούσας σύνδεσης ( ή ακαριαία στην περίπτωση που το φάσμα είχε αξιοποιηθεί από τον ΣΣ για άλλο σκοπό ) ο ΣΣ ξαναζητά επιπλέον φάσμα για τη σύνδεση . Για μεγαλύτερη αποδοτικότητα οι περισσότερες αιτήσεις για φάσμα μιας σύνδεσης είναι για να αυξηθεί το ήδη υπάρχον φάσμα . Παρόλα αυτά για να λειτουργεί σωστά ο self-correcting request/grant μηχανισμός , οι αιτήσεις απόδοσης φάσματος πρέπει περιστασιακά να είναι συνολικές , δηλαδή ο ΣΣ πληροφορεί τον BS για τις τρέχουσες ολικές ανάγκες φάσματος για τη σύνδεση . Αυτό επιτρέπει στον σταθμό βάσης να επαναπροσδιορίζει την αντίληψη που έχει για τις ανάγκες του ΣΣ χωρίς να χρησιμοποιεί κάποιο πολύπλοκο πρωτόκολλο για να αναγνωρίζει τη χρήση του φάσματος που έχει κατανήμει .

Ο ΣΣ έχει πληθώρα τρόπων να ζητήσει φάσμα , συνδυάζοντας την νομοτέλεια του unicast polling , με τις απαντήσεις ανταγωνιστικού τύπου αιτήσεων και την δραστικότητα αυτοπροαίρετης απόδοσης φάσματος . Για την

απαιτήση συνεχούς φάσματος , όπως με CBR T1/E1 , ο ΣΣ δεν χρειάζεται να κάνει αίτηση για φάσμα , καθώς ο ΣΒ το παρέχει αυτοπροαίρετα .

Για το γρήγορο κλείσιμο του κανονικού κύκλου πόλωσης , κάθε ΣΧ για οποιαδήποτε σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα roll-me bit που διατίθεται στην επικεφαλίδα της διαχείρισης Grant , έτσι ώστε ο ΣΒ να γνωρίζει ότι πρέπει να πολωθεί για ανάγκες φάσματος , σε διαφορετική σύνδεση . Ο ΣΒ έχει την δυνατότητα να επιλέξει να εξοικονομήσει φάσμα πολώνοντας ΣΧ που έχουν αυτοπροαίρετη (δεδομένη) υπηρεσία για την απόδοση φάσματος , μόνο όταν έχουν θέσει 1 το roll-me bit .

Ένας πιο συνηθισμένος τρόπος αίτησης φάσματος είναι να στείλουν ένα MAC PDU το οποίο θα αποτελείται μόνο από την επικεφαλίδα που χρησιμοποιείται για αίτηση φάσματος από τον ΣΒ , και καθόλου δεδομένα μετά από αυτήν . Ο GPSS ΣΧ μπορεί να στείλει τέτοιου είδους πακέτα σε κάθε ανακατανομή φάσματος που δέχεται . Τα τερματικά που σχετίζονται με GPC κλάσης ΣΧ μπορούν να στείλουν τα πακέτα αυτά , στο διάστημα αποδοχής δεδομένων που έχει κατανεμηθεί στη βασική τους σύνδεση . Μια σχετική μέθοδος αίτησης δεδομένων είναι να χρησιμοποιήσουν την επικεφαλίδα που υπάρχει σε ένα MAC PDU , για την διαχείριση αποδοχής για να στείλουν την αίτηση για επιπλέον φάσμα που θα αποδοθεί στην ίδια υπάρχουσα σύνδεση.

Επιπρόσθετα για την πόλωση ξεχωριστών ΣΣ , ο ΣΒ ίσως δημοσιοποιήσει ένα broadcast roll κατανέμοντας ένα διάστημα για αιτήσεις φάσματος των ΣΧ στο broadcast CID . Παρόμοια , παρέχεται ένα πρωτόκολλο για την ανάπτυξη ομάδων (γκρουπ) broadcast με σκοπό τον ευκολότερο έλεγχο σε ανταγωνιστικού τύπου πολώσεων . Λόγω της μη αιτιοκρατικής καθυστέρησης που μπορεί να προέρχεται από συγκρούσεις και επαναπροσπάθειες απόκτησης επιπλέον φάσματος , οι ανταγωνιστικού τύπου αιτήσεις επιτρέπονται μόνο σε συγκεκριμένες , χαμηλού τύπου QoS κλάσεις υπηρεσιών .

## 5.4 Εγκατάσταση σύνδεσης

Το σύστημα χρησιμοποιεί την αρχή της ροής υπηρεσίας , για να καθορίσει τη μεταφορά πακέτων δεδομένων και προς τις δυο κατευθύνσεις , στην άνω και τη κάτω ζεύξη . Η 'ροή υπηρεσίας' (service flow) χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο παραμέτρων QoS όπως η καθυστέρηση και το jitter . Για την πιο αποδοτική αξιοποίηση των πόρων του δικτύου όπως είναι το διαθέσιμο φάσμα και η μνήμη , το σύστημα υιοθετεί ένα μοντέλο ενεργοποίησης δυο φάσεων στο οποίο οι πόροι , που αναλογούν σε μια συγκεκριμένη ροή υπηρεσίας που έχει γίνει αποδεκτή , δεν είναι στην πραγματικότητα δεσμευμένοι έως ότου η υπηρεσία αυτή ενεργοποιηθεί . Κάθε ροή υπηρεσίας που έχει γίνει δεκτή ή είναι ενεργή , είναι αντιστοιχισμένη σε μια σύνδεση MAC με ένα μοναδικό CID .

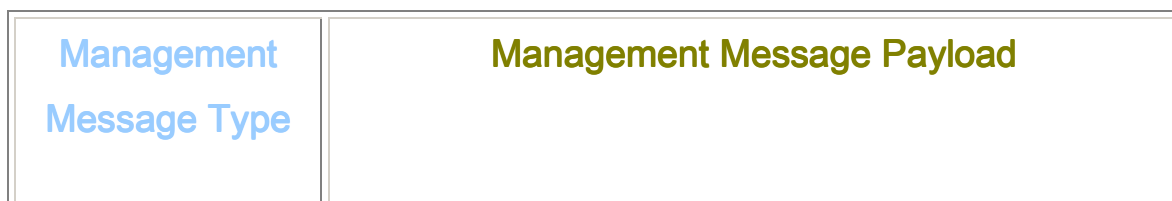
Γενικά , η ροή υπηρεσιών που αντιστοιχεί σε κάθε χρήστη , στο σύστημα είναι προ-οραματισμένη και το στήσιμό της αρχικοποιείται από τον ΣΒ κατά την διάρκεια αρχικοποίησης του ΣΧ. Κατά δεύτερο λόγο , η ροή υπηρεσίας μπορεί να εγκαθιδρυθεί δυναμικά από τον ΣΧ ή από τον ΣΒ . Ο ΣΧ τυπικά αρχίζει την ροή της υπηρεσίας , μόνο όμως όταν υπάρχει δυναμικά σηματοδοτούμενη σύνδεση , όπως μία SVC (switched virtual connection) από ένα ATM δίκτυο . Η εγκαθίδρυση της ροής υπηρεσίας εκτελείται μέσω ενός τριμερούς πρωτοκόλλου χειραψίας (handshaking) οποίο γίνεται αίτηση απ' τον ΣΧ , ο ΣΒ ανταποκρίνεται για την έναρξη της υπηρεσίας και τέλος ο ΣΧ αναγνωρίζει την απάντηση και αρχίζει την ροή υπηρεσίας .

Επιπλέον , όσον αφορά τις δυναμικά ιδρυόμενες υπηρεσίες , το σύστημα υποστηρίζει και τη δυναμική αλλαγή υπηρεσιών . Όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο οι παράμετροι της ροής της υπηρεσίας διαπραγματεύονται από την αρχή . Η διαδικασία δυναμικής αλλαγής υπηρεσίας ακολουθεί ένα παρόμοιο πρωτόκολλο με αυτό που αναφέρθηκε παραπάνω .

## 5.5 Μηνύματα Διαχείρισης (Management Messages)

Τα μηνύματα διαχείρισης γενικά αποτελούνται από ομάδες bit που στη κάθε μια κωδικοποιούνται συγκεκριμένες πληροφορίες σύμφωνα με το format κάθε μηνύματος . Σε κάθε μήνυμα τα πρώτα 8 bit αφορούν τον τύπο του μηνύματος που ακολουθεί . Τα μηνύματα διαχείρισης ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης που σχετίζονται αφορούν τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες : Initial Ranging , Primary Management , Broadcast και Basic . Τα Initial Ranging μηνύματα αφορούν διαδικασίες κατά την εγκαθίδρυση συνδέσεων , τα Primary Management σχετίζονται κυρίως με την διαχείριση των συνδέσεων , τα Broadcast αφορούν μηνύματα οργάνωσης που αποστέλλονται μόνο από τον ΣΒ προς όλους τους ΣΧ , τέλος τα Basic έχουν να κάνουν με τη διαχείριση των παραμέτρων εκπομπής τόσο σε κατανομή φάσματος όσο και των προφίλ εκπομπής . Εκτός από τα Broadcast μηνύματα όλα τα υπόλοιπα φέρουν την βασική ταυτότητα CID , όταν το μήνυμα στέλνεται από τον ΣΒ το CID αφορά τον παραλήπτη του μηνύματος , στην περίπτωση που το μήνυμα στέλνεται από κάποιον ΣΧ το CID υπάρχει για να γνωρίζει ο ΣΒ πια σύνδεση αφορά .

Τα MAC Management Messages δημιουργούνται ακολουθώντας πάντα το συγκεκριμένο format που εμφανίζεται στο σχήμα 22.



Σχήμα 22  
Δομή των μηνυμάτων διαχείρισης

TYPE	MESSAGE NAME	MESSAGE DESCRIPTION	CONNECTION
0	UCD	Uplink Channel Descriptor	Broadcast



1	DCD	Downlink Channel Descriptor	Broadcast
2	DL-MAP	Downlink Access Definition	Broadcast
3	UL-MAP	Uplink Access Definition	Broadcast
4	RNG-REQ	Ranging Request	Initial Ranging/Basic
5	RNG-RSP	Ranging Response	Initial Ranging/Basic

Συνέχεια από την προηγούμενη

TYPE	MESSAGE NAME	MESSAGE DESCRIPTION	CONNECTION
6	REG-REQ	Registration Request	Primary Management
7	REG-RSP	Registration Response	Primary Management
8		<i>Reserved</i>	
9	PKM-REQ	Privacy Key Management Request	Primary Management
10	PKM-RSP	Privacy Key Management Response	Primary Management
11	DSA-REQ	Dynamic Service Addition Request	Primary Management
12	DSA-RSP	Dynamic Service Addition Response	Primary Management
13	DSA-ACK	Dynamic Service Addition Acknowledge	Primary Management
14	DSC-REQ	Dynamic Service Change Request	Primary Management
15	DSC-RSP	Dynamic Service Change Response	Primary Management
16	DSC-ACK	Dynamic Service Change Acknowledge	Primary Management
17	DSD-REQ	Dynamic Service Deletion Request	Primary Management
18	DSD-RSP	Dynamic Service Deletion Response	Primary Management
19		<i>Reserved</i>	
20		<i>Reserved</i>	
21	MCA-REQ	Multicast Assignment Request	Primary Management
22	MCA-RSP	Multicast Assignment Response	Primary Management
23	DBPC-REQ	DL Burst Profile Change Request	Basic
24	DBPC-RSP	DL Burst Profile Change Response	Basic
25	RES-CMD	Reset Command	Basic
26	SBC-REQ	SS Basic Capability Request	Basic
27	SBC-RSP	SS Basic Capability Response	Basic
28	CLK-CMP	SS Network Clock Comparison	Broadcast
29	DREG-CMD	De/Re-register Command	Basic
30	DSX-RVD	DSx Received Message	Primary Management
31	TFTP-CPLT	Config File TFTP Complete Message	Primary Management
32	TFTP-RSP	Config File TFTP Complete Response	Primary Management
33	ARQ-Feedback	Standalone ARQ Feedback	Basic
34	ARQ-Discard	ARQ Discard Message	Basic
35	ARQ-Reset	ARQ Reset Message	Basic
36	REP-REQ	Channel Measurement Report Request	Basic

TYPE	MESSAGE NAME	MESSAGE DESCRIPTION	CONNECTION
37	REP-RSP	Channel Measurement Report Response	Basic
38	FPC	Fast Power Control	Broadcast
39	MSH-NCFG	Mesh Network Configuration	Broadcast
40	MSH-NENT	Mesh Network Entry	Basic
41	MSH-DSCH	Mesh Distributed Schedule	Broadcast
42	MSH-CSCH	Mesh Centralized Schedule	Broadcast
43	MSH-CSCF	Mesh Centralized Schedule Configuration	Broadcast
44	AAS-FBCK-REQ	ASS Feedback Request	Basic
45	AAS-FBCK-RSP	ASS Feedback Response	Basic
46	AAS_Beam_Select	ASS Beam Select Message	Basic
47	AAS-Beam-REQ	ASS Beam Request Message	Basic
48	AAS-Beam-RSP	ASS Beam Response Message	Basic
49	DREG-REQ	SS De-Registration Message	Basic
50-255		<i>Reserved</i>	

Πίνακας 7

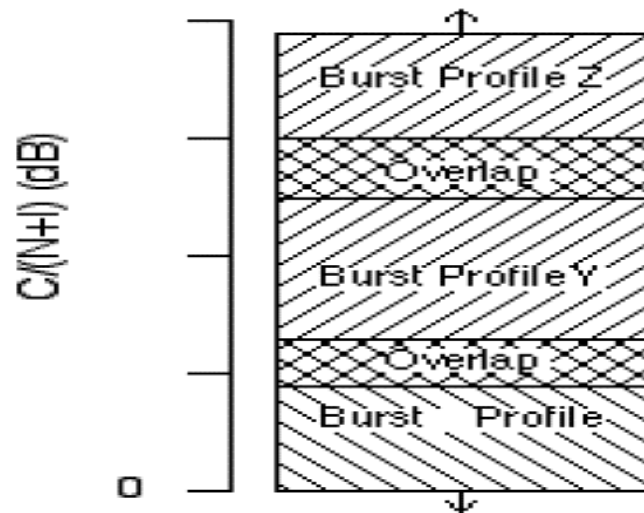
Στον πίνακα 7 υπάρχουν όλα τα μηνύματα διαχείρισης που διατίθενται από το σύστημα για την οργάνωση και την ομαλή λειτουργία μεταξύ ΣΒ και του πλήθους των ΣΧ που εξυπηρετεί . Η λειτουργία των περισσότερων από αυτά ακολουθεί φιλοσοφία διαπραγμάτευσης μεταξύ ΣΧ και ΣΒ , δηλαδή ο ΣΧ ζητά αλλαγή σε κάποια παράμετρο λειτουργίας με μηνύματα REQ και ο ΣΒ ανταποκρίνεται με μηνύματα RSP . Επιπλέον , εντολές του ΣΒ προς άμεση εκτέλεση από ομάδες ΣΧ αποστέλλονται με broadcast μηνύματα .

## 5.6 Έλεγχος Ραδιοζεύξης RADIO LINK CONTROL

Η εξελιγμένη τεχνολογία του φυσικού επιπέδου του συστήματος απαιτεί ένα ανάλογο εξελιγμένο σύστημα radio link control (RLC) . Ειδικότερα , η δυνατότητα του φυσικού επιπέδου να μεταβαίνει ανά πασα στιγμή από ένα burst profile σε ένα άλλο , πρέπει να υποστηρίζεται απόλυτα από το RLC . Έτσι το RLC εκτός από τις παραδοσιακές λειτουργίες ελέγχου της ισχύος και των διαρρυθμίσεων θα πρέπει να μπορεί να διαχειρίζεται με την ίδια ευελιξία και την παραπάνω δυνατότητα του φυσικού επιπέδου .

Το RLC αρχικά εκπέμπει σε περιοδικά ΣΒ broadcast πληροφορίες για τα burst profiles που έχουν επιλεγεί για την άνω και την κάτω ζεύξη . Το κάθε burst profile που χρησιμοποιείται σε κάθε κανάλι έχει επιλεγεί με βάση κάποιους παράγοντες , όπως ο βαθμός βροχόπτωσης στη περιοχή και οι δυνατότητες του εξοπλισμού των ΣΧ που είναι διαθέσιμοι . Το κάθε burst profiles για την κάτω ζεύξη έχει μια ετικέτα Downlink Interval Usage Code (DIUC) , κατά αντιστοιχία τα burst profiles για την άνω ζεύξη φέρουν μια ετικέτα Uplink Interval Usage Code (UIUC) .

Κατά την αρχική του είσοδο στο σύστημα , ο ΣΣ εκτελεί προσωρινή εξισορρόπηση ισχύος και διαρύθμιση για να στήσει μηνύματα αίτησης διαρρύθμισης Ranging Request (RNG-REQ) στον BS που τον εξυπηρετεί . Οι απαντήσεις από τον ΣΒ γίνονται με αντίστοιχα μηνύματα Ranging Response (RNG-RSP) , τα οποία παρέχουν πληροφορίες στον ΣΣ για τις αλλαγές που πρέπει να πραγματοποιήσει στον χρονισμό του και στην στάθμη της ισχύς που εκπέμπει . Για περετέρο διαφοροποιήσεις ο ΣΒ πληροφορεί , όποτε το κρίνει σκόπιμο , τον ΣΣ με ανάλογα μηνύματα (RNG-RSP) για τις κατάλληλες αλλαγές στις οποίες πρέπει να προβεί στην ισχύ εκπομπής του και τον χρονισμό . Κατά τις αρχικές διαρρυθμίσεις , ο ΣΣ επιπλέον ζητά να εξυπηρετηθεί στη κάτω ζεύξη μέσω συγκεκριμένου burst profile , εκπέμποντας την προτίμηση του σε DIUC στον ΣΒ . Η επιλογή αυτή δεν είναι τυχαία αλλά απορρέει από μετρήσεις της ποιότητας του σήματος που λαμβάνετε στην κάτω ζεύξη . Οι μετρήσεις αυτές γίνονται από τον ΣΣ πριν και κατά τη διάρκεια των αρχικών διαρρυθμίσεων . Ο ΣΒ στην απάντηση του δεν είναι απαραίτητο να συμφωνήσει , μπορεί να δεχθεί ή να απορρίψει την επιλογή του ΣΣ και να υποδείξει άλλο burst profile . Ο ΣΒ με παρόμοιο τρόπο αντιλαμβάνεται την ποιότητα του σήματος που δέχεται στην άνω ζεύξη . Έτσι δίνει εντολή στον ΣΣ να χρησιμοποιήσει κάποιο συγκεκριμένο uplink burst profile UIUC στα μηνύματα UL-MAP που στέλνει στον ΣΣ .



Σχήμα 23

Κατώφλια ποιότητας σήματος σαν κριτήριο για την αλλαγή προφίλ εκπομπής

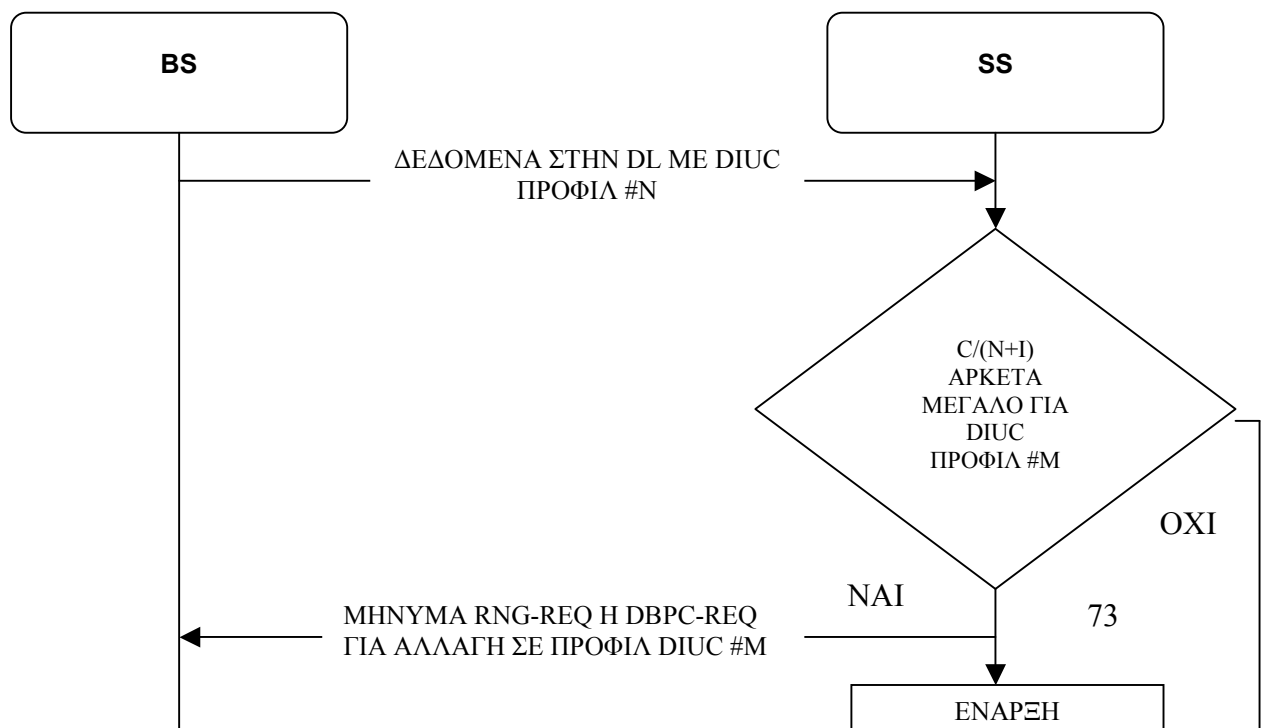
Στην Σχήμα 23 βλέπουμε τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται τα προφίλ εκπομπής ανάλογα με το λόγο του σήματος προς το άθροισμα του θορύβου και των παρεμβολών . Όταν ο λόγος αυτός βρίσκεται σε επίπεδο που επικαλύπτονται (overlap) δυο διαδοχικά προφίλ δεν υφίσταται αλλαγή . Αλλαγές προφίλ προς τα πάνω γίνονται όταν ο λόγος αυτός φτάσει στο άνω όριο της περιοχής επικάλυψης . Αντίστροφως γίνονται οι μεταβολές όταν ο λόγος  $C/(N+I)$  ελατώνεται .

Μετά τον αρχικό καθορισμό των burst profiles που θα υπάρχουν στην άνω και κάτω ζεύξη μεταξύ του ΣΒ και του ΣΣ , το RLC συνεχίζει να παρακολουθεί και να ελέγχει τα burst profiles κατά τη λειτουργία τους . Τυχόν ακραίες καιρικές συνθήκες που μπορεί να υπάρχουν στη περιοχή του δικτύου θα ωθήσουν τον ΣΣ να ζητήσει κάποιο πιο ισχυρό burst profile , έτσι ώστε να διατηρήσει την υπάρχουσα ποιότητα στην επικοινωνία που έχει με το δίκτυο . Αντίστοιχα , σε ευνοϊκές καιρικές συνθήκες , που επιτρέπουν στη ζεύξη να έχει μικρές απώλειες και χαμηλό επίπεδο θορύβου , ο ΣΣ τότε έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει προσωρινά χρησιμοποιώντας ένα πιο αποδοτικό burst profile δίχως να υπάρχει κίνδυνος για τη ποιότητα της επικοινωνίας . Το RLC συνεχίζει να προσαρμόζει το παρόν UL και DL burst profile του ΣΣ , προσπαθώντας διαρκώς να πετύχει μια ισορροπία μεταξύ αποδοτικότητας και στιβαρότητας στον τρόπο επικοινωνίας του ΣΒ με τους ΣΣ . Επειδή ο ΣΒ ελέγχει και παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο την ποιότητα του σήματος

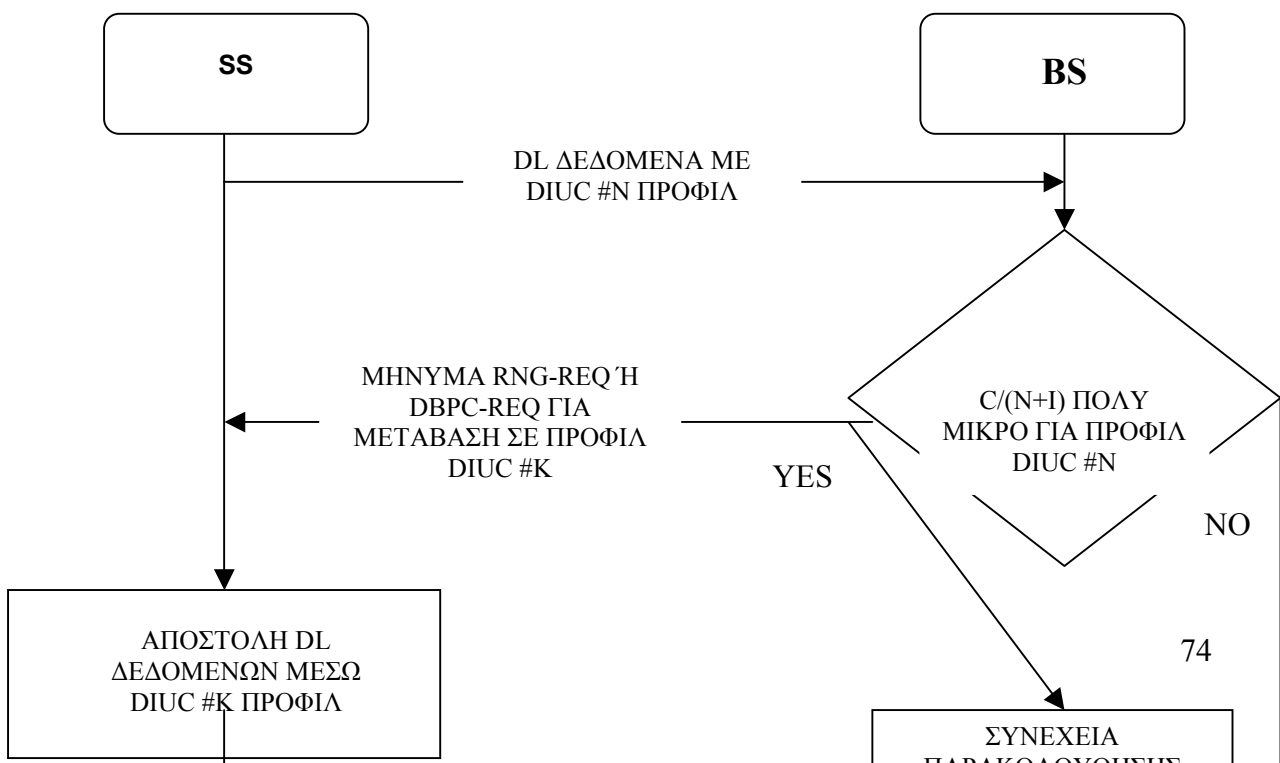
στην άνω ζεύξη , το πρωτόκολλο που είναι υπεύθυνο για τις αλλαγές των burst profile ενός ΣΣ γίνεται πολύ απλό: ο ΣΒ καθορίζει μερικά το UIUC του burst profile κάθε φορά που ανανεώνει την κατανομή του φάσματος του ΣΣ σε ένα frame . Με τον τρόπο αυτό εξαλείφεται η ανάγκη επιβεβαίωσης των αλλαγών , καθώς ο ΣΣ θα λαμβάνει πάντα το UIUC και την κατανομή (παροχή) του φάσματος ή δεν θα λαμβάνει κανένα από τα δύο . Έτσι δεν υπάρχει πιθανότητα να μην ταιριάζουν τα burst profile UL μεταξύ των ΣΣ και του ΣΒ .

Στην κάτω ζεύξη , ο ΣΣ είναι η οντότητα που παρακολουθεί την ποιότητα του σήματος λήψης , έτσι γνωρίζει πότε το burst profile της κάτω ζεύξης θα πρέπει να αλλάξει . Όμως ο ΣΒ είναι εκείνος που θα ελεγξει και θα αποφασίσει την αλλαγή των burst profile . Η μέθοδος που είναι προτιμότερη για την διεργασία αυτή είναι , να σταλεί από τον ΣΣ ένα downlink burst profile change request (DBPC-REQ) . Ο ΣΒ ανταποκρίνεται με ένα (DBPC-RSP) μήνυμα , με το οποίο αποδέχεται ή απορύπτει την αλλαγή .

Λόγω της πιθανής απώλειας των μηνυμάτων αλλαγής burst profile που ενδέχεται να συμβεί από ανεπανόρθωτα bit errors , τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την αλλαγή των burst profiles πρέπει να είναι προσεκτικά δομημένα . Η σειρά των ενεργειών που απαιτούνται να γίνουν για τις αλλαγές προφίλ , είναι διαφορετική όταν μεταβαίνουμε σε ένα πιο ρωμαλαίο προφίλ από τη σειρά που ακολουθήται για τη μετάβαση σε ένα λιγότερο ρωμαλαίο προφίλ . Στα παρακάτω σχήματα εμφανίζονται οι διαδικασίες μετάβασης και για τις δυο περιπτώσεις .



**ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΣΕ ΛΙΓΟΤΕΡΟ ROBUST PROFILE ΑΠΟ DIUC #N ΣΕ DIUC #M**  
Ο ΟΡΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ  $C/(N+1)$  ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ ΣΤΟ ΛΟΓΟ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΤΟ  
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ



### 5.6.1 Μήνυμα διαχείρισης RNG-REQ (Ranging Request msg)

Ένα RNG-REQ διαχειριστικό μήνυμα αποστέλεται από τον ΣΧ κατά την αρχικοποίηση της σύνδεσης αλλά και περιοδικά για τον προσδιορισμό των καθυστερήσεων του δικτύου ή για να αιτηθεί αλλαγές στην ισχύ και στα προφίλ εκπομπής .

Το μήνυμα αυτό αποτελείται από:

<b>Management msg type=4</b>	<b>8 bit</b>
<b>Downlink Channel ID</b>	<b>8 bit</b>
<b>TLV Encoded Information</b>	<b>variable</b>

Το πεδίο που αφορά το CID στην MAC επικεφαλίδα λαμβάνει διαφορετικές τιμές στο συγκεκριμένο μήνυμα ανάλογα με τις περιπτώσεις που αυτό χρησιμοποιείται .

- α) CID αρχικής διαρρύθμισης αν ο ΣΧ εκτελεί διεργασίες εισόδου στο δίκτυο .
- β) CID αρχικής διαρρύθμισης αν ο ΣΧ δεν έχει ακόμα καταχωρηθεί στο δίκτυο αλλά , αλλάζει κανάλια στην είτε στην άνω είτε στην κάτω ζεύξη .
- γ) Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις , χρησιμοποιείται το βασικό CID .

Η παράμετρος DL Channel ID προσδιορίζει την ταυτότητα του καναλιού της κάτω ζεύξης στο οποίο ο ΣΧ έχει λάβει το UCD που περιγράφει την άνω ζεύξη όπου το παρόν διαρρυθμιστικό μήνυμα θα αποσταλεί . Στο πεδίο TLV (Type/Length/Value) Encoded Information θα περιέχονται κωδικοποιημένες οι επιπλέον παράμετροι RDBP (Requested Downlink Burst Profil) στην οποία ο ΣΧ υποδεικνύει το προφίλ εκπομπής που θέλει να μεταβεί ο ΣΒ και η παράμετρος SS MAC Address .

### 5.6.2 DBPC-REQ/RSP msg (DL Burst Profil Change Message)

Αυτό το μήνυμα διαχείρισης χρησιμοποιείται για να στήλει ο ΣΧ προς τον ΣΒ , με το βασικό CID (γεγονός που παραπέμπει σε κανονική λειτουργία του συστήματος) , αιτήσεις αλλαγής του προφίλ εκπομπής της κάτω ζεύξης . Σημειωτέον ότι αλλαγές στο προφίλ εκπομπής μπορούν να γίνουν και με χρήση του μηνύματος διαχείρισης RNG-REQ , κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες . Το DBPC-REQ μήνυμα αποστέλεται όταν ο ΣΧ «αισθανθεί» αλοιΐωση στην ποιότητα της κάτω ζεύξης , όταν δηλαδή τα σήματα που



φθάνουν από τον ΣΒ γίνονται ασθενή και ο λόγος  $C/(N+1)$  κατέρχεται ενός συγκεκριμένου κατωφλίου για το προφίλ εκπομπής που χρησιμοποιείται . Η χρήση του μηνύματος αφορά την μετάβαση του ΣΒ σε πιο ισχυρό σχήμα κωδικοποίησης/διαμόρφωσης προς τον συγκεκριμένο ΣΧ .

Το μήνυμα αυτό αποτελείται από:

Management msg type=23	8 bit	
<i>Reserved</i>	4 bit	all set 0
DIUC	4 bit	
Configuration Change Count	8 bit	

Το πεδίο με την επωνυμία DIUC , αφορά τα προφίλ εκπομπής . Κάθε τιμή του DIUC από 0 ως 15 έρχεται σε αντιστοιχία με τα προφίλ εκπομπής που διατύθενται από το σύστημα . Το πεδίο Configuration Change Count αποτελεί έναν μετρητή από 0 ως 256 και αυξάνεται κατά ένα κάθε φορά που ένα DBPC-REQ μήνυμα δημιουργείται .

Το DBPC-RSP μήνυμα διαχείρισης , είναι το μήνυμα απάντησης του ΣΒ στον ΣΧ μετά από αίτηση του δεύτερου για αλλαγή του προφίλ εκπομπής κάτω ζεύξης . Η φόρμα του μηνύματος είναι ίδια με αυτή του DBPC-REQ , αλλά με Management msg type = 24 . Στη περίπτωση αυτή η παράμετρος DIUC αφορά το προφίλ εκπομπής που ο ΣΒ έχει αποφασίσει να χρησιμοποιήσει .

### 5.6.3 Κωδικοποίηση της DIUC παμέτρου για OFDMA συστήματα

Η παράμετρος DIUC (Downlink Interval Usage Code) εμφανίζεται σε πολλά από τα μηνύματα διαχείρισης που σχετίζονται με οργάνωση των προφίλ εκπομπής καθώς την αντιστοιχία με τα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης . Πιο συγκεκριμένα η παράμετρος αυτή αποτελείται από μια κωδική λέξη τεσσάρων bit τα οποία κατανέμονται όπως φαίνεται στον πίνακα 8 που ακολουθεί .

DIUC	ΧΡΗΣΗ
0-12	Διαφορετικά προφίλ εκπομπής

13	Gap/PAPR reduction
14	Τέλος χάρτη
15	Επέκταση DIUC

Πίνακας 8

Σε όλα τα διαχειριστικά μηνύματα όταν το  $DIUC=0$  οι παράμετροι του burst profil θα είναι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στο μήνυμα που περιέχεται το DIUC . Οι αλλαγές τόσο στα προφίλ εκπομπής όσο και σε άλλες διαδικασίες τείνουν να είναι όσο το δυνατόν πιο άμεσες . Οι τιμές από 1 εως 12 αντιστοιχούν σε αυξανόμενης στιβαρότητας προφίλ εκπομπής .

Στη περίπτωση που το DIUC λάβει τιμή 13 , ο ΣΒ δημιουργεί ζώνες ασφαλείας περιορισμένων παρεμβολών , στην περιοχή κάλυψης του . Η λειτουργία αυτή τίθεται σε εφαρμογή όταν υπάρχουν περιοχές υψηλών παρεμβολών λόγω λειτουργίας δεύτερου ΣΒ .

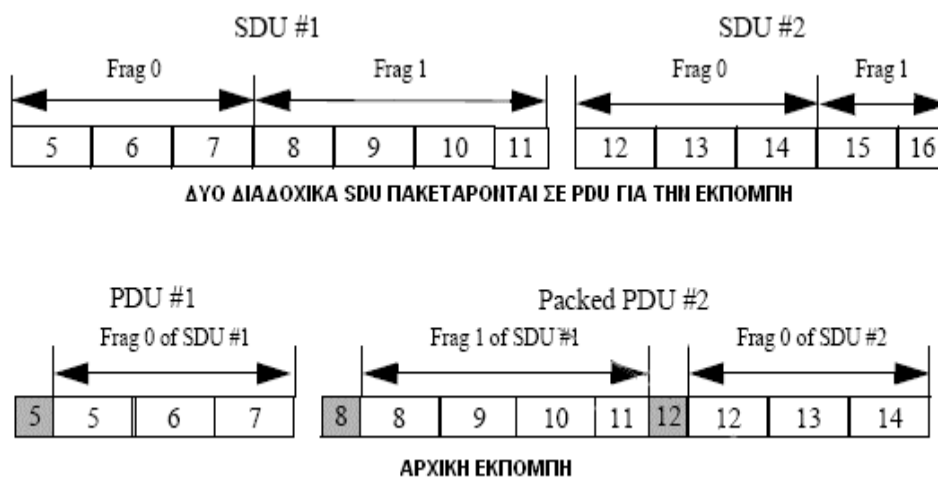
Σε αναλογία με την κάτω ζεύξη υπάρχει το αντίστοιχο UIUC , που αφορά την άνω ζεύξη . Η θέση του στα μηνύματα διαχείρισης παραμένει η ίδια όπως επίσης και το μέγεθος και κωδικοποίηση του . Αλλαγές υπάρχουν στον τρόπο χρήσης από τα μηνύματα που το περιέχουν καθώς αποστέλονται από τον ΣΒ προς τους ΣΧ και δεν υπάρχει απάντηση από αυτούς για αποδοχή της χρήσης του προφίλ που επιλέγεται . Γενικά ο ΣΒ όταν κρίνει ότι κάποιος ΣΧ πρέπει να αλλάξει το προφίλ με το οποίο εκπέμπει στέλνει το κατάλληλο μήνυμα διαχείρισης που όμως αντιστοιχεί σε εντολή προς τον ΣΧ να μεταβεί σε αυτό . Η αντίδραση του ΣΧ σε τέτοια μηνύματα είναι άμεση .

### 5.7 Μηχανισμός αυτόματης επανάληψης εκπομπής (ARQ MECHANISM)

Ο μηχανισμός ARQ (αίτησης αυτόματης επανάληψης) , αποτελεί μέρος του MAC επιπέδου του συστήματος , και αφορά την διαδικασία αίτησης του δέκτη για επανεκπομπή πακέτων PDU από τον πομπό , στις περιπτώσεις που εκείνα είναι αλλοιωμένα , κατεστραμμένα ή ακόμα αν δεν έφτασαν ποτέ στον δέκτη . Ο μηχανισμός αυτός αποτελεί ένα από τα βασικότερα στοιχεία για την αύξηση της αξιοπιστίας του όλου συστήματος . Η επιλογή της εφαρμογής του ARQ καθορίζεται στην έναρξη της σύνδεσης του χρήστη στο δίκτυο και

είναι προαιρετική . Ο μηχανισμός ARQ εφαρμόζεται και προς τις δύο κατευθύνσεις UL και DL ανάμεσα σε πομπό και δέκτη .

Κάθε SDU , κατά την διαχείριση του από το MAC επίπεδο , αποτελείται από ένα πλήθος μικρότερων μονάδων δεδομένων , τα οποία διακρίνονται ως blocks . Η επιλογή του πλήθους των blocks και το μέγεθος τους , που θα περιέχονται σε ένα SDU , γίνεται κατά την αρχικοποίηση της σύνδεσης μεταξύ BS και SS . Ο διαχωρισμός των δεδομένων σε blocks είναι λογικός και το μήκος καθορίζεται από την παράμετρο TLV (Type/Length/Value) . Από τη στιγμή που ένα SDU έχει χωριστεί σε blocks , ο τεμαχισμός αυτός θα ισχύει έως ότου όλα τα blocks του SDU παραδοθούν επιτυχώς στον δέκτη ή το SDU απορριφθεί από τον μηχανισμό ελέγχου των καταστάσεων των προς εκπομπή SDU . Σε συνδέσεις που χρησιμοποιείται ARQ , κάθε SDU θα τεμαχιστεί επιπλέον σε fragments , το μέγεθος των fragments τοποθετείται ανάμεσα σε αυτό των SDU και των blocks . Ο καταμερισμός αυτός των blocks σε fragments γίνεται , έτσι ώστε ο έλεγχος για κατεστραμμένα δεδομένα να εστιάζεται σε μικρότερη κλίμακα , όπως επίσης και η επανεκπομπή αυτών , για περιοριστεί η επιπλέον δέσμευση πόρων του συστήματος .



Σχήμα 24

Οργάνωση των δεδομένων σε μικρότερα πακέτα για δυνατότητα επανεκπομπής τους αν αυτό χρειαστεί

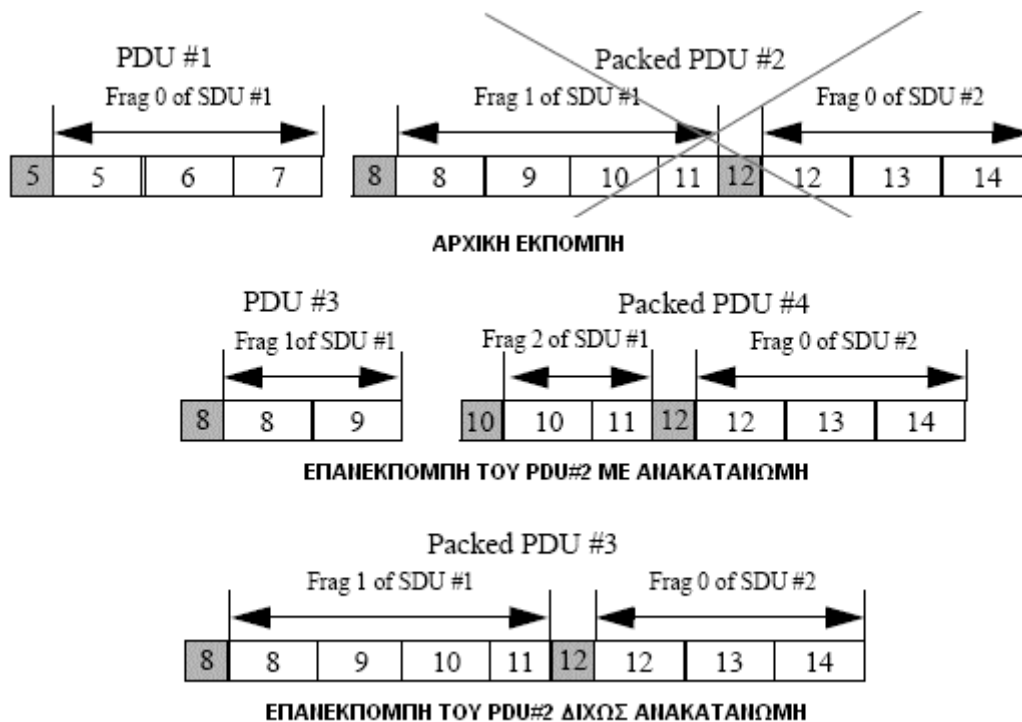
Ένα σύνολο από blocks που επιλέγεται για εκπομπή ή επανεκπομπή πακετάρεται σε μονάδα PDU . Το PDU μπορεί να περιέχει blocks που εκπέμπονται για πρώτη φορά όπως επίσης και κάποια που επανεκπέμπονται .

Όταν ένα PDU πακετάρεται για εκπομπή δεν είναι απαραίτητο να περιέχει το αντίστοιχο SDU αυτό καθαυτό , αλλά μπορεί να περιέχει κάποιο frag από προηγούμενο SDU που επανεκπέμπεται μαζί με κάποιο frag του παρόντος SDU που εκπέμπεται για πρώτη φορά . Μια τυπική κατανομή των πακέτων και ο τεμαχισμός τους φαίνεται στην εικόνα 24 . Ο περιορισμός που υπάρχει , όσον αφορά την σύνθεση των PDU σε frags είναι ότι πρέπει τα blocks που περιέχονται πρέπει να έχουν διαδοχικούς δείκτες της ακολουθίας τους BSN (Block Sequence Number) . Τα frags και τα πακέτα PDU φέρουν στις επικεφαλίδες (subheaders) με τις οποίες αρχίζουν έναν δείκτη BSN , ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί στον αριθμό θέσης του πρώτου block της ακολουθίας των block που ακολουθούν μετά από αυτό .

Σχετικά με την σύσταση των PDU πακέτων κατά την επανεκπομπή , υπάρχουν δυο δυνατότητες :

- 1) Χωρίς ανακατανομή των blocks , στην περίπτωση τούτη το PDU θα επανεκπεμφθεί έχοντας το ίδιο σύνολο blocks με την πρώτη φορά που εκπέμφθηκε .
- 2) Με ανακατανομή , θα υπάρχει διαφορετικό σύνολο blocks στο νέο PDU απ'ότι σε εκείνο που αρχικά είχε εκπεμφθεί .

Στην εικόνα 25 που ακολουθεί βλέπουμε την κατανομή κατά την επανεκπομπή και για τις δύο περιπτώσεις.



Σχήμα 25

Τρόποι επανεκπομπής των δεδομένων

### 5.7.1 ARQ Feedback IE (information element) Format

Ο δέκτης για να επιβεβαιώσει θετικά ή αρνητικά, αν το κάθε block που φθάνει σε αυτόν είναι σε καλή κατάσταση και τα δεδομένα του μπορούν να χρησιμοποιηθούν, στέλνει μηνύματα feedback IE (InformationElement) στον πομπό. Τα μηνύματα αυτά έχουν μέγεθος 64 bit και περιέχουν πληροφορίες για την λειτουργία του ARQ μηχανισμού, όπως για παράδειγμα το CID της σύνδεσης από την οποία προέρχονται, τον αριθμό BSN που αναφέρεται στα συγκεκριμένα blocks, όπως και διάφορες παραμέτρους που σχετίζονται με την λειτουργία του συστήματος. Τα FIE αποστέλλονται είτε ως μεμονωμένα πακέτα δεδομένων είτε πακετάρονται σε MAC PDU μαζί με άλλα δεδομένα που ανταλλάσσονται μεταξύ πομπού και δέκτη.

### 5.7.2 Βασικές Παράμετροι του ARQ

1. ARQ\_BSN\_MODULUS: είναι ίσο με τον αριθμό των μοναδικών (unique) BSN τιμών .
2. ARQ\_WINDOW\_SIZE: είναι ο μέγιστος αριθμός των μη επιβεβαιωμένων ARQ blocks οποιαδήποτε συγκεκριμένη στιγμή . Ένα ARQ block θεωρείται μη επιβεβαιωμένο όταν έχει εκπεμφθεί αλλά δεν έχει στον πομπό το κατάλληλο μήνυμα που δηλώνει την ορθή λήψη του block από τον δέκτη . Για την τιμή του ARQ\_WINDOW\_SIZE θα ισχύει πάντα :

$$\text{ARQ\_WINDOW\_SIZE} \leq \frac{\text{ARQ\_BSN\_MODULUS}}{2}$$

3. ARQ\_RETRY\_TIMEOUT: είναι ο ελάχιστος χρόνος που μεσολαβεί μέχρι ο πομπός να επανεκπέμψει ένα μη επιβεβαιωμένο block . Ο χρόνος αυτός αρχίζει τη στιγμή που το συγκεκριμένο ARQ block εκτέμφθηκε για τελευταία φορά .
4. ARQ\_BLOCK\_LIFETIME: είναι ο μέγιστος χρόνος που ένα ARQ block μπορεί να βρίσκεται στον ARQ μηχανισμό καταστάσεων του πομπού , από την στιγμή της αρχικής εκπομπής του block . Αν η εκπομπή ή επανεκπομπή του block δεν έχει επιβεβαιωθεί θετικά από τον δέκτη μέχρι το πέρας του χρόνου αυτού , τότε το block περνά σε κατάσταση (discard) , απορρίπτεται από τον μηχανισμό .
5. ARQ\_BLOCK\_SIZE: είναι το μήκος που χρησιμοποιείται για τον τεμαχισμό ενός SDU σε ακολουθία ARQ blocks , για την εκπομπή .

#### ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΠΟΜΠΟΥ:

- ARQ\_TX\_WINDOW\_START: η μεταβλητή αυτή δηλώνει ότι όλα τα BSN ως και το (ARQ\_TX\_WINDOW\_START - 1 ) έχουν επιβεβαιωθεί από τον δέκτη .
- ARQ\_TX\_NEXT\_BSN: έχει την τιμή BSN του ακριβώς επόμενου block που θα εκπεμφθεί . Αριθμητικά η μεταβλητή αυτή θα βρίσκεται στο διάστημα [ARQ\_TX\_WINDOW\_SIZE,ARQ\_WINDOW\_START+ARQ\_WINDOW\_SIZE].

#### ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ:

- ARQ\_RX\_WINDOW\_START: δηλώνει ότι όλα τα BSN ως και το (ARQ\_RX\_WINDOW\_START – 1) έχουν φτάσει ορθά στο δέκτη .
- ARQ\_RX\_HIGHEST\_BSN: παίρνει την τιμή του μέγιστου BSN+1 των block που έχουν ληφθεί ορθά . Η παρούσα μεταβλητή παίρνει τιμές μεταξύ των [ARQ\_RX\_WINDOW\_START,ARQ\_RX\_WINDOW\_START+ARQ\_WINDOW\_SIZE] .

### 5.7.3 Λειτουργία ARQ

#### 5.7.3.1 Σύγκριση Αριθμών Ακολουθίας (Sequence Number Comparison)

Η λειτουργία του μηχανισμού καταστάσεων σε πομπό και δέκτη βασίζεται στην σύγκριση των BSN και λαμβάνονται αποφάσεις ανάλογα με το αποτέλεσμα που εξάγεται από πράξεις larger or smaller . Επειδή δεν είναι δυνατή η διαδικασία της απ' ευθείας σύγκρισης αριθμητικά των τιμών της ακολουθίας , η σύγκριση γίνεται αφού πρώτα κανονικοποιούνται οι παραπάνω τιμές . Η κανονικοποίηση γίνεται με αναφορά την τιμή βάσης του μηχανισμού καταστάσεων και τη μέγιστη τιμή της ακολουθίας , ARQ\_BSN\_MODULUS . Η κανονικοποίηση γίνεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση . Σαν τιμές βάσης (base values) για τον δέκτη και τον πομπό αντίστοιχα έχουμε ARQ\_RX\_WINDOW\_START και ARQ\_TX\_WINDOW\_START .

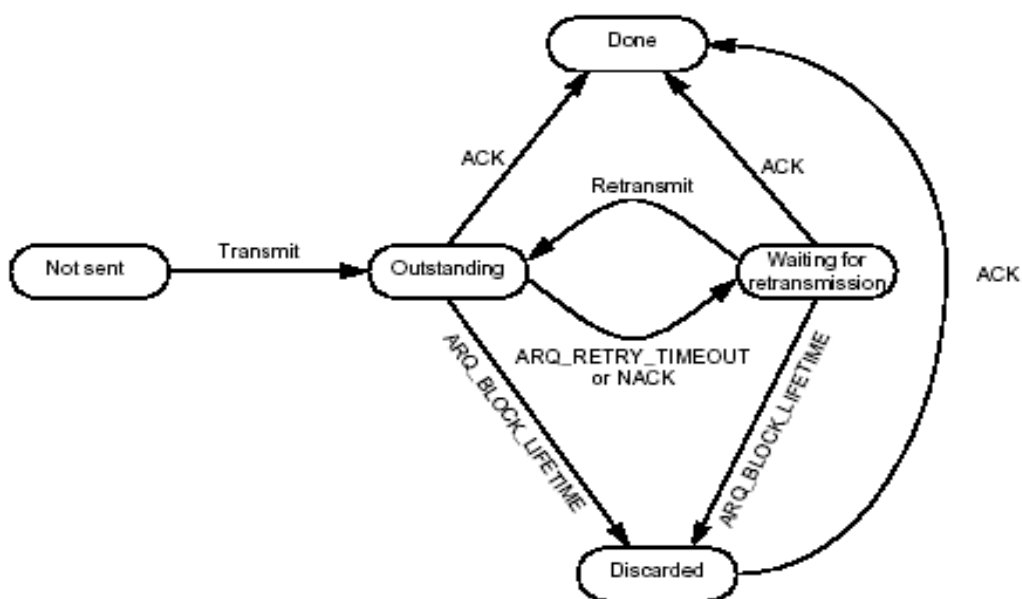
$$Bsn'=(bsn - BSN\_BASE)\text{mod}ARQ\_BSN\_MODULUS$$

#### 5.7.3.2 Μηχανισμός Καταστάσεων Πομπού

Ένα ARQ block στον μηχανισμό καταστάσεων μπορεί να βρίσκεται σε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις , μη σταλμένο (not-sent) , σε αναμονή (outstanding) , σε απόρριψη ( discarded ) , ή σε λίστα για επανεκπομπή ( waiting for retransmission ) . Κάθε ARQ block αρχικά βρίσκεται σε κατάσταση

not-sent . Μόλις εκπεμφθεί από τον πομπό περνά σε outstanding κατάσταση , ο μέγιστος χρόνος παραμονής του στην κατάσταση αυτή είναι ίσος με ARQ\_RETRY\_TIMEOUT . Από την κατάσταση «αναμονής» μπορεί να περάσει σε κατάσταση «απόρριψης» όταν ληφθεί μήνυμα θετικής επιβεβαίωσης ACK ή να εισέλθει στην «λίστα για επανεκπομπή» στην περίπτωση που ληφθεί N-ACK (Negative Acknowledgement) . Επιπλέον στην «λίστα για επανεκπομπή» εισέρχεται και όταν ξεπεραστεί ο χρόνος ARQ\_RETRY\_TIMEOUT . Από την «λίστα για επανεκπομπή» ένα block θα μεταβεί σε κατάσταση «απόρριψης» , αν στο διάστημα που μεσολαβεί μέχρι την επανεκπομπή του ληφθεί ACK μήνυμα από στον πομπό ή ξεπεραστεί ο χρόνος ARQ\_BLOCK\_LIFETIME .

Σε μια σύνδεση , οποιαδήποτε τυχαία χρονική στιγμή ο πομπός δίνει προτεραιότητα στα block που βρίσκονται στην «λίστα για επανεκπομπή» τα οποία εκπέμπονται πρώτα και μόνο όταν δεν υπάρχουν τέτοια θα αρχίσουν να στέλνονται τα block που βρίσκονται σε κατάσταση «μη σταλμένα» . Blocks που βρίσκονται σε καταστάσεις «αναμονής» και «απόρριψης» δεν θα εκπεμφθούν . Όταν γίνεται επανεκπομπή σε μια ακολουθία από blocks , πρώτα εκπέμπονται αυτά με μικρότερο BSN και ακολουθούν εκείνα με μεγαλύτερο .



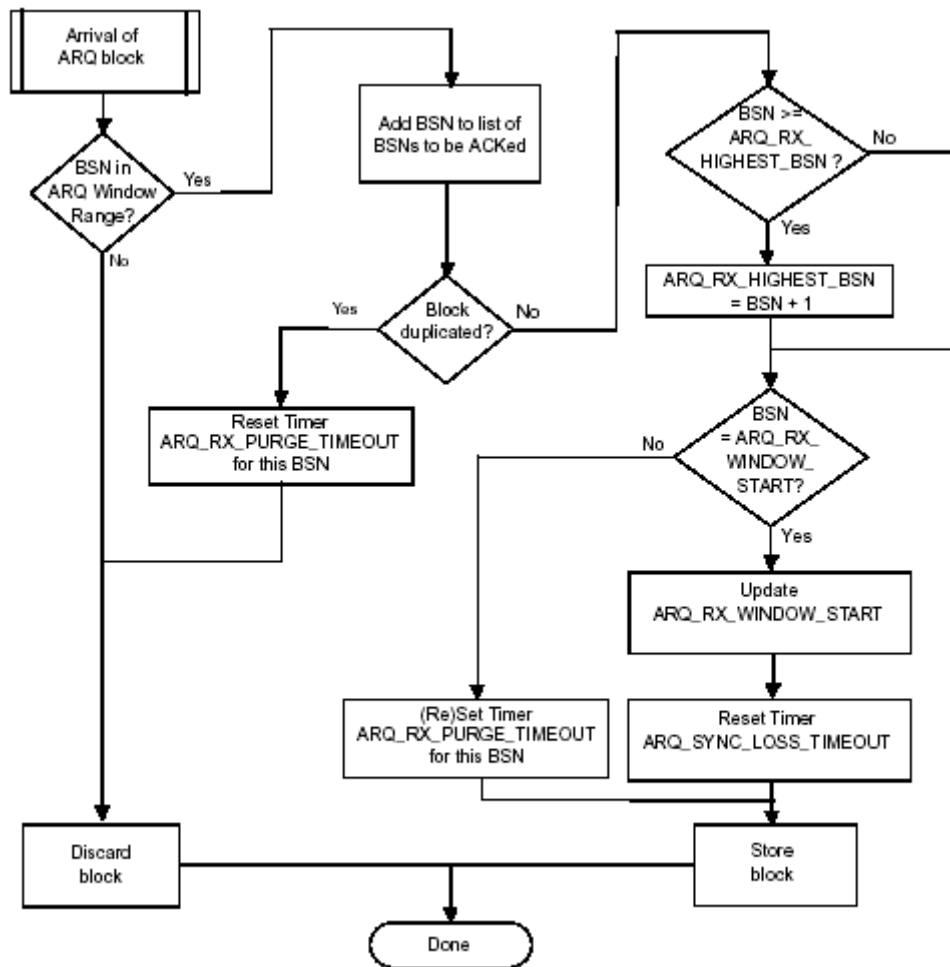
Σχήμα 26

Καταστάσεις στο μηχανισμό του πομπού



### 5.7.3.3 Μηχανισμός Καταστάσεων Δέκτη

Όταν ένα PDU λαμβάνεται από το δέκτη , ελέγχεται η ακεραιότητα του σύμφωνα με το CRC-32 checksum . Αν το PDU περάσει το checksum , ο δέκτης θα συμπεριλάβει τους BSN αριθμούς των block που περιέχει σαν ACK στο μήνυμα IE (Information Element) που στέλνει πίσω στον πομπό . Στη συνέχεια ο δέκτης θα προβεί σε διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων με την αντίστροφη σειρά από εκείνη που έγιναν πριν την εκπομπή τους , δηλαδή un-pack και de-fragment . Ο δέκτης για να κάνει ορθή διαχείριση των πακέτων δεδομένων που λαμβάνει και για να μην υπάρχει σύγχυση επειδή αυτά δεν φθάνουν με την σωστή σειρά , διατηρεί ένα ολισθόνιο παράθυρο (sliding-window) που οριοθετείται από τις τιμές των παραμέτρων ARQ\_RX\_WINDOW\_START και ARQ\_WINDOW\_SIZE . Κατά την λήψη ενός ARQ block , αυτό θα γίνει αποδεκτό από τον μηχανισμό του δέκτη μόνο αν ο αριθμός BSN που φέρει βρίσκεται μεταξύ των ορίων του παραθύρου , αν όχι τότε θα απορριφθεί . Τέλος ο δέκτης θα απορρίψει και τα block που τα οποία έχουν ήδη παραληφθεί ορθά και ενώ βρίσκονται στα όρια του παραθύρου .



Σχήμα 27

Καταστάσεις στο μηχανισμό του δέκτη

## 5.8 Μηχανισμός ελέγχου ισχύος

Ο αλγόριθμος που υπάρχει για τον έλεγχο της ισχύος υποστηρίζει για τα κανάλια της άνω ζεύξης, τις διαδικασίες αρχικής βαθμονόμησης και των περιοδικών μικρορυθμίσεων της ισχύς εκπομπής των ΣΧ, χωρίς να υπάρχει καμία απώλεια δεδομένων κατά τη διάρκεια της διάδοσης της πληροφορίας στο φυσικό μέσο. Ο ΣΒ είναι ικανός να πραγματοποιεί ακριβείς μετρήσεις ισχύος των σημάτων που λαμβάνει, για την ορθή εξαγωγή συμπερασμάτων. Η τιμές που μετρά ο δέκτης του ΣΒ συγκρίνονται με ένα επίπεδο αναφοράς που υπάρχει για την κάθε περίπτωση εκπομπής του ΣΧ, το αποτέλεσμα της εκάστοτε σύγκρισης στέλνεται σαν ανάδραση στον ΣΧ σε μήνυμα βαθμονόμησης, το μήνυμα αυτό καθορίζεται σε επίπεδο MAC. Ο αλγόριθμος

ελέγχου της ισχύος είναι σχεδιασμένος να λαμβάνει υπόψη του την εξασθένιση των σημάτων λόγω της απόστασης όπως και την διακύμανση της ισχύος με ρυθμούς ως και 30dB/sec . Το ολικό εύρος ελέγχου της ισχύος αποτελείται από ένα σταθερό μέρος και από ένα μέρος το οποίο ελέγχεται αυτόματα από την ανάδραση . Επίσης λαμβάνεται υπόψη και επίδραση που έχουν τα διαφορετικά προφίλ εκπομπής στον RF ενισχυτή ισχύος , αυτό γίνεται γιατί κατά την αλλαγή από ένα προφίλ σε κάποιο άλλο πρέπει να τειρηθούν κάποιοι περιορισμοί , αρχικά τουλάχιστο , όσον αφορά την ισχύ εκπομπής για να αποτραπεί πιθανός κορεσμός του ενισχυτή ή καταστροφή της μονάδας εκπομπής .

Ένας ΣΧ που εκπέμπει θα διατηρείσει την ίδια πυκνότητα ισχύος ανεξάρτητα με τον αριθμό των υπο-καναλιών που του έχουν ανατεθεί , με εξέρεση την περίπτωση που η ολική ισχύς εκπομπής έχει φθάσει το ανώτερο όριο . Αυτό συμβαίνει καθώς , όταν ο αριθμός των ενεργών υπο-καναλιών που έχουν κατανεμηθεί στον χρήστη μειωθεί , η συνολική ισχύς που εκπέμπεται θα μειωθεί αναλογικά από τον ΣΧ , δίχως να υπάρξει επιπλέον μήνυμα ελέγχου μεταξύ ΣΒ και ΣΧ για τον λόγο αυτό . Κατά αντίστοιχο τρόπο γίνεται η αύξηση της ολικής ισχύος εκπομπής κατά την αύξηση των υποκαναλιών . Στην περίπτωση που αλλαγές στην πυκνότητα ισχύος εκπομπής θεωρηθούν αναγκαίες , ο ΣΧ θα χρησιμοποιήσει επαναληπτικά μηνύματα ελέγχου ισχύος προς τον ΣΒ .

Για να διατηρήσει ο ΣΒ τη πυκνότητα ισχύος σύμφωνα με τον τύπο διαμόρφωσης και το FEC ρυθμό που χρησιμοποιεί ο κάθε ΣΧ , ο ΣΒ μπορεί ανά πάσα στιγμή να διατάξει τον ΣΧ να προβεί σε αλλαγές τόσο στην ισχύ εκπομπής του όσο και στον τύπο διαμόρφωσης και τον ρυθμό FEC . Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που ο ΣΧ θα αναβαθμίσει αυτόματα την ισχύ εκπομπής του , δίχως να έχει την αποκλιστική εντολή του ΣΒ . Αυτό συμβαίνει όταν ο ΣΧ εκπέμπει σε περιοχή (περιβάλλον) που χρησιμοποιούνται  $UIUC=0$  ,  $UIUC=12$  ή  $UIUC=14$  . Στις περιπτώσεις αυτές , ο ΣΧ θα χρησιμοποιήσει μια προσωρινή ισχύ εκπομπής της οποίας η τιμή υπολογίζεται κάθε στιγμή από την παρακάτω εξίσωση .

$$P_{new}=P_{last}+(C/N_{new}-C/N_{last})-(\log_{10}(R_{new})-\log_{10}(R_{last}))$$

Όπου:

$P_{new}$  : η προσωρινή ισχύς που θα χρησιμοποιηθεί στην αμέσως επόμενη εκπομπή

$P_{last}$  : η ισχύς εκπομπής που χρησιμοποιήθηκε στην αμέσως προηγούμενη εκπομπή

$C/N_{new}$  : ο κανονικοποιημένος λόγος ισχύς φέροντος προς τον θόρυβο για την διαμόρφωση/FEC που θα χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με το UIUC στην επόμενη εκπομπή

$C/N_{last}$  : ο κανονικοποιημένος λόγος ισχύς φέροντος προς τον θόρυβο για την διαμόρφωση/FEC που χρησιμοποιήθηκε στην προηγούμενη εκπομπή

$R_{new}$  : ο αριθμός των επαναλήψεων για την νέα διαμόρφωση /FEC σύμφωνα με το UIUC

$R_{last}$  : ο αριθμός των επαναλήψεων που χρησιμοποιήθηκε για την προηγούμενη διαμόρφωση/FEC

Οι προεπιλεγμένες τιμές του κανονικοποιημένου C/N για τον κάθε τύπο διαμόρφωσης που χρησιμοποιούνται , υπάρχουν στον πίνακα 9 . Οι τιμές αυτές μπορούν να παραβλεφθούν από τον ΣΒ αν χρησιμοποιήσει αποκλιστικά UCD (Uplink Channel Descriptor) μηνύματα στο αντιστοιχο πεδίο TLV (Type/Length/Value).

Modulation/FEC rate	Normilized C/N in dB
CDMA code	3
QPSK $\frac{1}{2}$	6
QPSK $\frac{3}{4}$	9
16-QAM $\frac{1}{2}$	12
16-QAM $\frac{3}{4}$	15
64-QAM $\frac{1}{2}$	18
64-QAM $\frac{2}{3}$	20

64-QAM $\frac{3}{4}$	21
64-QAM $\frac{5}{6}$	23

Πίνακας 9

Ο ΣΧ θα αναφέρει την μέγιστη διαθέσιμη ισχύ και την κανονικοποιημένη εκπεμπόμενη ισχύ στον ΣΒ . Οι παράμετροι αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον ΣΒ για να αναθέσει ευνοϊκότερο σχήμα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης όπως και αριθμό υποκαναλιών . Οι τιμές των παραμέτρων τοποθετούνται σε μηνύματα REG-RSP , η τρέχουσα εκπεμπόμενη ισχύς θα αναφερθεί σε RNG-RSP μηνύματα αν η αντίστοιχη σημαία που υπάρχει στο REP-RSP μήνυμα είναι ενεργή .

Η τρέχουσα εκπεμπόμενη ισχύς είναι εκείνη του πακέτου εκπομπής που μεταφέρει το εν λόγω μήνυμα . Η μέγιστη διαθέσιμη ισχύς αναφέρεται για QPSK , 16-QAM και 64-QAM διαμορφώσεις . Τα παραπάνω μεγέθη αναφέρονται σε μονάδες dBm. Οι παράμετροι για την αποστολή τους από τον ΣΧ στον ΣΒ κβαντίζονται με βήμα 0.5dBm και κωδικοποιούνται για το εύρος από -64dBm (με κωδική λέξη 0x00) έως και +63.5dBm (με κωδική λέξη 0xFF) . Οι τιμές που βρίσκονται έξω από το εύρος αυτό εμφανίζονται σαν οι πλησιέστερες δυνατές . Οι ΣΧ που δεν υποστηρίζουν QAM 64 θα αναφέρουν τιμή 0x00 στο πεδίο που αναλογεί στην μέγιστη δυνατή ισχύ εκπομπής QAM 64 .

## Κεφάλαιο 6:

WiMax σε σύγκριση με τα ήδη  
υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα

Η τεχνολογία WiMax όπως καθορίζεται από το 802.16 IEEE std. , αποτελεί την φυσική εξέλιξη των ασύρματων δικτύων που υπάρχουν σήμερα (WiFi , δίκτυα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης και τρίτης γενιάς) . Δεν αποτελεί την τεχνολογία που θα αντικαταστήσει τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα αλλά η εφαρμογή της στοχεύει στην ολοκλήρωση και την σύγκλιση των παραπάνω συστημάτων με σημείο αναφοράς το παγκόσμιο δίκτυο δεδομένων (internet) . Στο παρόν κεφάλαιο θα εξετάσουμε τις διαφορές αλλά και τα κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ των τεχνολογιών ασύρματων δικτύων τόσο σε επίπεδο απόδοσης όσο και τους τομείς που το καθένα απ' αυτά απευθύνεται .

Αρχικά , στον πίνακα 10 παρουσιάζονται οι συχνότητες λειτουργίας και οι αποστάσεις μέγιστης εμβέλειας των βασικότερων από τα ασύρματα δίκτυα που βρίσκονται σε εφαρμογή . Με την τοποθέτηση του WiMax περί των 3.5GHz , τείνουν να καλυφθούν οι διαθέσιμες μπάντες συχνοτήτων που εξυπηρετούν την δομή των ασύρματων δικτύων πρόσβασης πολλαπλών χρηστών .

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	STANDARD	ΧΡΗΣΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
UWB	802.15.3a	WPAN	10m	7.5GHz
Wi-Fi	802.11b	WLAN	100m	2.4GHz
Wi-Fi	802.11g	WLAN	100m	2.4GHz
Wi-Max	802.16d	WMAN	30km	3.5GHz
WCDMA/UMTS	3G	WWAN	5km	1800, 1900, 2100 MHz
CDMA2000	3G	WWAN	5km	800, 900, 1700, 1800, 1900, 2100 MHz
Edge	2.5G	WWAN	5km	1900MHz

Πίνακας 10

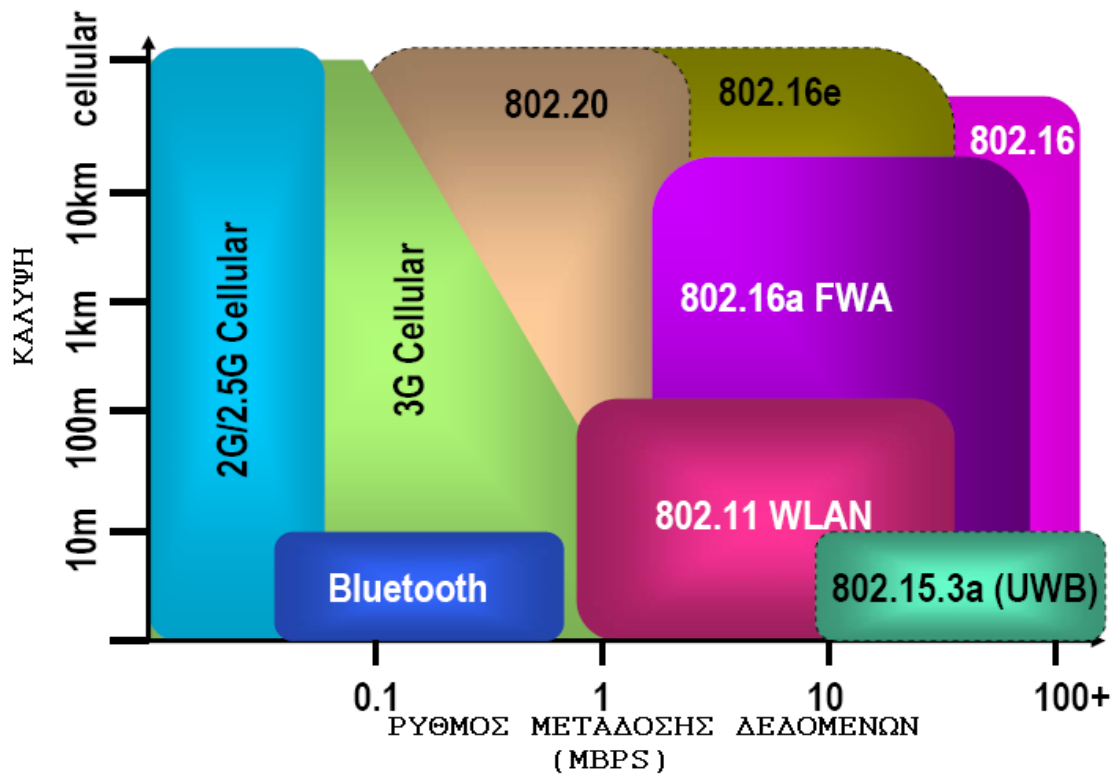
Τα δίκτυα Wi-Max , παρόλο που με την χρήση ΣΒ για την κάλυψη μιας περιοχής και εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών σε αυτήν ,

προσεγγίζουν χωροταξικά τη μορφή των κυψελωτών δικτύων τρίτης γενιάς , δεν υιοθετούν τεχνικές επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων από κυψέλη σε κυψέλη . Ο λόγος της διαφοροποίησης αυτής είναι η δυνατότητα κάλυψης μιας μεγάλης περιοχής με χιλιάδες χρήστες από έναν και μόνο ΣΒ . Δεν υπάρχει δηλαδή η ανάγκη οργάνωσης του δικτύου με γειτονικές περιοχές κάλυψης από διαφορετικούς ΣΒ , επομένως προβλήματα παρεμβολών . Ως εκ τούτου κάθε ΣΒ εξυπηρετεί εξ ολοκλήρου μια περιοχή με τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει όλο το διαθέσιμο φάσμα .

Φυσικά τα δίκτυα WiMax εκμεταλλευόμενα την προηγμένη τεχνολογία των συστημάτων κεραιών που χρησιμοποιούν , επαναχρησιμοποιούν κανάλια στην ίδια όμως περιοχή κάλυψης αυξάνοντας έτσι την χωρητικότητα τους . Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί ουσιαστικά καινοτομία στο χώρο των ασύρματων τηλεπικοινωνιών .

Στην εικόνα 28 που ακολουθεί βλέπουμε την τοποθέτηση των διαφόρων συστημάτων σε συνάρτηση με τις δυνατότητες κάλυψης και τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων που επιτυγχάνουν . Αντιλαμβανόμαστε ότι το κάθε ένα από αυτά τα συστήματα έχει το δικό του πεδίο δράσης και απευθύνεται σε συγκεκριμένες ανάγκες δικτύωσης .





Σχήμα 28

Σύγκριση των τεχνολογιών όσον αφορά ακτίνα κάλυψης και χωρητικότητα συστήματος

Οι πολύ καλές επιδόσεις των δικτύων WiMax απορρέουν κυρίως από το γεγονός ότι έχει δοθεί πολύ μεγάλη βαρύτητα κατά την υλοποίησή τους στην κατεύθυνση της διαβάθμισης της λειτουργίας, έτσι ώστε κάθε στιγμή το σύστημα να μπορεί να προσαρμοστεί στις υπάρχουσες ανάγκες. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελεί η δυνατότητα το ΣΒ να εκπέμπει προς κάθε ξεχωριστό χρήστη ταυτόχρονα όχι μόνο με διαφορετική ισχύ αλλά επιπλέον με διαφορετικά σχήματα κωδικοποίησης και διαμόρφωσης. Όπως μαρτυρά η εικόνα 28 που προηγείται, το σύστημα WiMax επιτυγχάνει έναν από τους μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, το γεγονός αυτό είναι προϊόν της δυνατότητας απόρριψης σε μεγάλο βαθμό τόσο του θορύβου όσο και των παρεμβολών. Ενώ αντίστοιχα σε όλα τα υπόλοιπα συστήματα το θέμα των παρεμβολών και φαινομένων Dopler (για τις κινητές ασύρματες επικοινωνίες) και Multy-path αποτελούσε τροχοπέδη στην επίτευξη μεγαλύτερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων, σε συνάρτηση πάντα με το διαθέσιμο κάθε φορά φάσμα.

Σε επιστημονικά άρθρα , το σύστημα WiMax χαρακτηρίζεται επιτυχώς ως WiFi με στεροειδή . Εκ των πραγμάτων τα δύο αυτά συστήματα απευθύνονται στην ίδια περιοχή εφαρμογών και μοιράζονται πολλά κοινά στοιχεία καθώς και τα δύο είναι κατασκευασμένα να εξυπηρετούν εφαρμογές που στηρίζονται πρωτόκολλα όπως FTP , TCP/IP , ATM και άλλα . Φυσικά τα δυο αυτά συστήματα δεν έχουν ανταγωνιστικούς ρόλους στην σχετική αγορά , καθώς το ένα υποστηρίζει πλήρως την παράλληλη λειτουργία του άλλου . Ενδεικτικά η εκμετάλλευση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου WiFi , από τους χρήστες του , μπορεί να μεγιστοποιηθεί αν τη θέση της παραδοσιακής ενσύρματης παροχής δικτύου πάρει μια σύνδεση δικτύου WiMax .

Σε αντίθεση με το WiFi που είναι σχεδιασμένο για εφαρμογή σε εσωτερικό χώρο (για το λόγο αυτό έχει περιορισμένη ισχύ εκπομπής και κατ' επέκταση μικρό χώρο κάλυψης) , το σύστημα WiMax καλύπτει τις αντίστοιχες ανάγκες δικτύωσης σε ανοικτούς χώρους . Ιδιαίτερα σε ημιαστικό περιβάλλον , όχι πολύ πυκνοκατοικημένο , η απόδοση του WiMax φτάνει σε πολύ υψηλά επίπεδα . Στον πίνακα 11 βλέπουμε την διαφοροποίηση των δύο συστημάτων όσον αφορά την διαχείριση του φάσματος και τις δυνατότητες τους ως προς το πλήθος συνδέσεων που υποστηρίζουν .

WiFi	WiMax
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το εύρος των καναλιών είναι στα 20MHz</li> <li>• Η MAC υποστηρίζει την ταυτόχρονη ύπαρξη στο δίκτυο μερικών δεκάδων χρηστών</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το εύρος των καναλιών ποικίλει (είναι στην ευχέρεια του διαχειριστή του συστήματος , για την οργάνωση τομέων με διαφορετικό εύρος καναλιών)</li> <li>• Το εύρος των καναλιών μπορεί να είναι από 1.5MHz έως 20MHz . Η MAC λειτουργεί κλιμακωτά ανεξάρτητα από το εύρος των καναλιών</li> <li>• Ο σχεδιασμός της MAC είναι τέτοιος ώστε να υποστηρίζει χιλιάδες χρήστες</li> </ul>

Πίνακας 11

Γενικά η δημιουργία του συστήματος WiMax έγινε με γνώμονα τη στιβαρότητα και την προσαρμογή ενός δικτύου υψηλών επιδόσεων , σε ανοικτό περιβάλλον πλούσιο σε παρεμβολές , θόρυβο και φαινόμενα multypath . Υπάρχει πάντα η δυνατότητα , σε ακραίες συνθήκες , να διατηρείται η ποιότητα των υπηρεσιών που προσφέρονται σε υψηλό επίπεδο μειώνοντας όμως τους ρυθμούς μετάδοσης αντίστοιχα . Στον πίνακα 12 που ακολουθεί παραθέτονται διάφορα σημαντικά χαρακτηριστικά του WiMax σε αντιστοιχία με το WiFi .

WiFi	WiMax
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ανταγωνιστικού χαρακτήρα MAC→ μη εγγυημένο QoS για τους χρήστες</li> <li>• Δεν είναι εγγυημένη η μη εισαγωγή καθυστερήσεων , με αντίκτυπο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Video,Voice)</li> <li>• Δεν υποστηρίζονται διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών από χρήστη σε χρήστη</li> <li>• Αποκλειστικά λειτουργία σε ασύμμετρο TDD</li> <li>• Το QoS πηγάζει από την προτεραιότητα των ανταγωνιστικού τύπου συνδέσεων</li> <li>• Δεν υπάρχει κάποιο ισχυρό σχήμα κρυπτογράφησης , για την επιβολή ασφάλειας στο δίκτυο</li> <li>• Αφορά αποκλειστικά χρήση σε εσωτερικούς χώρους (περιορισμός του προβλήματος ασφάλειας) με πολύ καλή NLOS λειτουργία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η MAC ακολουθεί μοντέλο Grant/Request για τις συνδέσεις των χρηστών</li> <li>• Σχεδιασμός για ιδιαίτερη μεταχείριση σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου , με εγγυημένη ποιότητα αυτών</li> <li>• Διατίθεται διαχωρισμός σε επίπεδα υπηρεσιών (T1 για επιχειρήσεις , best effort για οικιακούς χρήστες</li> <li>• Λειτουργία με όλα τα δυνατά σχήματα (TDD , FDD , HFDD συμμετρικά ή ασύμμετρα)</li> <li>• Το QoS επιβάλλεται κεντρικά από το σύστημα</li> <li>• Χρησιμοποιούνται μέθοδοι κρυπτογράφησης (Triple-DES 128bit) για δεδομένα , (RSA 1024bit) για ανταλλαγή κλειδών και κωδικών</li> <li>• Εφαρμογή σε εξωτερικούς χώρους με πολύ καλή διαχείριση σημάτων</li> </ul>

μεγάλης καθυστέρησης από μακρινές ανακλάσεις
--

Πίνακας 12

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε την ιδιαίτερη επεξεργασία του φάσματος , για να μπορέσει το σύστημα να αξιοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τους πόρους του . Ενδεικτικά στον πίνακα 13 βλέπουμε την αντιστοιχία των bit ανα Hz φάσματος , τόσο για το WiMax όσο και για τα άλλα συστήματα ασύρματων δικτύων .

	BW καναλιού	Μέγιστος Ρυθμός Δεδομένων	Μέγιστος Ρυθμός Bps/Hz
WiFi	20 MHz	54Mbps	~2.7bps/Hz
WiMax	10 , 20 MHz 3.5 , 7 , 14 MHz 3 , 6 MHz	63Mbps*	~4.5bps/Hz
EDGE	200KHz	384Kbps	~1.9bps/Hz
CDMA2000	1.25MHz	~2Mbps	~1.6bps/Hz

Πίνακα 13

## Βιβλιογραφία

- 1) IEEE Std 802.16 – 2004 , Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems
- 2) IEEE Communications Magazine • February 2005 - Broadband Wireless Access with WiMax/802.16: Current Performance Benchmarks and Future Potential
- 3) Siemens AG 2004 • Information and Communication Networks • Hofmannstr. 51 • D-81359 Munich, Germany
- 4) Harry R. Anderson John Wiley & Sons , *Fixed Broadband Wireless System Design* , 2003
- 5) Intel Technology Journal, Volume 8, Issue 3, 2004 .  
<http://developer.intel.com/technology/itj/index.htm>
- 6) Behzad Razavi, *RF MICROELECTRONICS*, Prentice Hall, 1998.
- 7) A.Cidronali, M.Camprini, I.Margini, E.Bertran, N.Athanasopoulos, R.Makri, G.Vannini, R. Cignani, J.Prilla, P.Cass, A.Samelis, G.Manes, *TX system-level analysis by behavioral modelling of RF building blocks: the IEEE802.11a and IEEE802.15.3a case studies, 13<sup>th</sup> GAAs Symposium , Paris , 2005 , pp 333 - 336.*
- 8) Versatile Digital QAM Modulator  
[www.altera.com](http://www.altera.com)
- 9) Aditya Agrawal Vice President, WiMAX™ Forum April 10th, 2003  
aagrwal@fma.fujitsu.com
- 10) Smart Antenna Systems Web ProForum Tutorials  
<http://www.iec.org>
- 11) Taub/Schilling : Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα , εκδόσεις Τζιώλα
- 12) Άρης Αλεξόπουλος , Γιώργος Λαγογιάννης : Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών , Έκτη Έκδοση , Αθήνα 2003