



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ WiMAX (ΠΡΟΤΥΠΟ
802.16e) ΠΟΜΠΟΥ ΚΑΙ ΔΕΚΤΗ ΓΙΑ ΚΙΝΗΤΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ**

ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΓΑΡΟΥΦΑΛΗΣ

Επιβλέπων: Αγγέλης Κωνσταντίνος

Καθηγητής

Άρτα, Ιανουάριος, 2025

**STUDY AND SIMULATION OF A WiMAX SYSTEM (802.16e STANDARD)
TRANSMITTER AND RECEIVER FOR MOBILE ACCESS**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

ΑΡΤΑ 14/02/2025

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Αγγέλης Κωνσταντίνος

2. Μέλος επιτροπής

Βασίλειος Χαριλόγης

3. Μέλος επιτροπής

Ανδρέας Τσορμπατζόγλου

© Γαρουφαλής Απόστολος, 2025.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Γαρουφαλής Απόστολος

Υπογραφή

Περίληψη

Η αυξανόμενη ζήτηση για κινητό διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας οδήγησε στην ανάπτυξη προηγμένων ευρυζωνικών ασύρματων τεχνολογιών. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η μελέτη και η προσομοίωση του συστήματος πομπού και δέκτη WiMAX (IEEE 802.16e), με τη χρήση του προγράμματος AWR Design Environment (AWRDE), για την αξιολόγηση της απόδοσής του για εφαρμογές κινητής πρόσβασης. Το WiMAX, γνωστό για την ικανότητά του να παρέχει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, ισχυρή ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και εκτεταμένη κάλυψη, βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.16. Η εργασία ξεκινά με εξέταση της ανάπτυξης του συστήματος WiMAX μέχρι σήμερα, τον τρόπο λειτουργίας και τον εξοπλισμό ενός δικτύου WiMax και τα πλεονεκτήματα της χρήσης του. Ακολουθεί μετά μια περαιτέρω ανάλυση των χαρακτηριστικών και τρόπου λειτουργίας του WiMAX - Mobile WiMAX και στο τέλος η παρουσίαση ενός κυκλώματος mobile WiMAX και μια προσομοίωση για να παρατηρήσουμε και να δούμε τι αποτελέσματα θα μας έδινε σε πραγματικές συνθήκες με την χρήση του προγράμματος AWRDE.

Η προσομοίωση χρησιμοποιεί το AWRDE για τη μοντελοποίηση της αλυσίδας πομπού και δέκτη WiMAX. Βασικές μετρήσεις, όπως των OFDM, ACPR, CCDF και EVM υπό διαφορετικές συνθήκες, για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας του συστήματος. Οι προσομοιώσεις παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του συστήματος WiMAX, αποδεικνύοντας την ικανότητά του να παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας και να διατηρεί ισχυρή απόδοση σε διάφορα περιβάλλοντα.

Η παρούσα πτυχιακή προσφέρει μια κατανόηση των συστημάτων WiMAX- Mobile WiMAX και των δυνατοτήτων τους να ενισχύσουν τις κινητές ευρυζωνικές τεχνολογίες. Τα ευρήματα από τις προσομοιώσεις AWRDE αναδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του Mobile WiMAX στην κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης για υπηρεσίες κινητού διαδικτύου.

Abstract

The increasing demand for high-speed mobile internet has led to the development of advanced broadband wireless technologies. In this thesis, the study and simulation of the WiMAX transmitter and receiver system (IEEE 802.16e) are presented, using the AWR Design Environment (AWRDE) program, to evaluate its performance for mobile access applications. WiMAX, known for its ability to provide high data rates, strong quality of service (QoS), and extensive coverage, is based on the IEEE 802.16 standard. The paper begins with an examination of the development of the WiMAX system up to the present day, the way it operates, the equipment of a WiMAX network, and the advantages of using it. Next follows a further analysis of the characteristics and operation of WiMAX - Mobile WiMAX, and at the end, the presentation of a mobile WiMAX circuit and a simulation to observe and see what results it would show us under real conditions using the AWRDE program.

The simulation uses AWRDE for modeling the WiMAX transmitter and receiver chain. Key measurements, such as OFDM, ACPR, CCDF, and EVM under different conditions, for evaluating the efficiency and reliability of the system. The simulations provide information regarding the performance of the WiMAX system, demonstrating its ability to deliver high-speed internet access and maintain strong performance in various environments.

This thesis provides an understanding of WiMAX- MobileWiMAX systems and their capabilities to enhance mobile broadband technologies. The findings from the AWRDE simulations highlight the effectiveness of Mobile WiMAX in meeting the increasing demand for mobile internet services.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	13
1.1 ΠΡΩΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ (1998-2003)	13
1.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ (2007-2013)	15
1.2.1 Πρόσφατες εξελίξεις (2013-σήμερα)	15
1.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ WiMAX	17
1.4 WiMAX ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	17
1.4.1 Δομικά στοιχεία του WiMAX	17
1.4.2 Σταθμός Βάσης WiMAX	18
1.4.3 Δεκτής WiMAX	18
1.4.4 Backhaul	19
1.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ WiMAX ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	19
1.6 ΤΡΟΠΟΙ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ WiMAX	22
1.6.1 Ιδιωτικά Δίκτυα	22
1.6.2 Κινητή βοήθεια	22
1.6.3 Backhaul για παρόχους ασύρματων υπηρεσιών	22
1.6.4 Τραπεζικά Δίκτυα	23
1.6.5 Δίκτυα στην Εκπαίδευση	23
1.6.6 Δημόσια προστασία	25
1.6.7 Υπεράκτιες Επικοινωνίες	26
1.6.8 Δίκτυα σε Πανεπιστημιοπόλεις	26
1.6.9 Επικοινωνίες για Προσωρινή Κατασκευή	27
1.6.10 Πάρκα Αναψυχής	27
1.6.11 Δημόσια Δίκτυα	28
1.6.12 Πρόσβαση στο Δίκτυο για παρόχους ασύρματων υπηρεσιών	28
1.6.13 Η συνδεσιμότητα των αγροτικών περιοχών	29
1.6.14 Πιθανοί Τελικοί Χρήστες	29
1.6.15 Χρήστες WiMAX σταθερής θέσης	29
1.6.16 Επιχειρήσεις	30
1.6.17 Χρήστες Mobile WiMAX	30

1.7	ΠΑΡΑΛΛΗΛΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕ ΤΟ WiMAX	31
1.7.1	WiMAX - DSL	31
1.7.2	WiMAX WiFi.....	32
1.7.3	WiMAX 3G.....	34
1.7.4	WiMAX LTE.....	36
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	38
2.1	IEEE 802.16e ΠΡΟΤΥΠΟ.....	38
2.2	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ IEEE 802.16e	38
2.2.1	Βασικά χαρακτηριστικά	38
	SOFDMA, ή κλιμακωτό OFDMA.....	38
	Σύγχρονες Μέθοδοι για Κεραίες.....	39
	Beamforming.....	39
	Καλύτερη Κωδικοποίηση και Ρύθμιση.....	40
	Διαχείριση Κινητικότητας.....	40
	Ποιότητα υπηρεσίας QoS.....	42
2.2.2	Βελτιώσεις ασφάλειας.....	44
2.2.3	Βελτιώσεις που εισήχθησαν στο IEEE 802.16e για κινητή πρόσβαση	46
2.2.4	Διαχείριση ενέργειας και κατάσταση αδράνειας	49
2.2.5	Βελτιστοποιημένη αρχιτεκτονική δικτύου	51
2.2.6	Προηγμένο πλαίσιο QoS	54
2.2.7	Ενσωμάτωση με δίκτυα IP	56
2.2.8	Επαναχρησιμοποίηση Συχνοτήτων και Διαχείριση Παρεμβολών.....	58
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	61
3.1	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΜΠΟΥ ΚΑΙ ΔΕΚΤΗ: WiMAX	61
3.1.1	Δημιουργία:	61
3.1.2	Ενίσχυση ισχύος:	61
3.1.3	Φιλτράρισμα:	61
3.1.4	Συστήματα κεραίων:.....	62
3.2	ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΕΚΤΗ.....	62
3.2.1	Ενίσχυση χαμηλού θορύβου.....	62
3.2.2	Διενέργεια ελέγχου.....	62
3.2.3	Αντίστροφη μετατροπή.....	62
3.2.4	Αποδιαμόρφωση	63
3.3	ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ WiMAX:	63

4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	73
4.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ WiMAX_MOBILE_802_16E_TX	73
4.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ WiMAX_MOBILE_802_16E_TX.....	73
4.1.1	<i>Τμηματική περιγραφή κυκλώματος.....</i>	<i>74</i>
4.1.2	<i>Mobile WiMAX System Parameters</i>	<i>80</i>
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	81
5.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ	81
5.1.1	<i>OFDM.....</i>	<i>81</i>
5.1.2	<i>CCDF.....</i>	<i>85</i>
5.1.3	<i>ACPR.....</i>	<i>87</i>
5.1.4	<i>EVM.....</i>	<i>90</i>
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	94
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	95

Εισαγωγή

Η ζήτηση για ευρυζωνικές ασύρματες υπηρεσίες αυξάνεται ραγδαία, αναδεικνύοντας τους περιορισμούς των υφιστάμενων ενσύρματων τεχνολογιών, όπως η ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (DSL) και τα καλωδιακά δίκτυα. Το DSL, που περιορίζεται σε ακτίνα πέντε χιλιομέτρων, αντιμετωπίζει πρακτικές δυσκολίες σε πολλές αστικές και προαστιακές περιοχές, ενώ τα καλωδιακά δίκτυα δεν διαθέτουν κανάλι επιστροφής, εμποδίζοντας την πρόσβαση στο διαδίκτυο. Οι συμβατικές λύσεις γρήγορου διαδικτύου είναι ιδιαίτερα δύσκολες σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές και δεν υποστηρίζουν αποτελεσματικά την κινητικότητα των τερματικών. Για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, η κινητή ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (BWA) έχει εισαχθεί ως ευέλικτη και οικονομικά αποδοτική λύση, προσφέροντας υψηλή ταχύτητα, μεγαλύτερη ευελιξία και επεκτασιμότητα. Αυτή η τεχνολογία, που ενσωματώνεται στο πρότυπο IEEE 802.16 και προωθείται από το WiMAX Forum, παρέχει υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, όπως φωνή, δεδομένα και πολυμέσα, ακόμη και σε περιοχές που δεν εξυπηρετούνται επαρκώς από την παραδοσιακή ευρυζωνικότητα.

Το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), που βασίζεται στα πρότυπα IEEE 802.16-2004 και IEEE 802.16-2005, αποτελεί σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης. Ως τεχνολογία 4G (τέταρτης γενιάς), υποστηρίζει τόσο σταθερά όσο και κινητά τερματικά και προσφέρει μια ισχυρή εναλλακτική λύση σε σχέση με το Wi-Fi και το UMTS/HSDPA. Το πρότυπο IEEE 802.16, το οποίο παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 2001, αρχικά υποστήριζε συχνότητες 10-66 GHz και μετάδοση με οπτική επαφή (LOS), αλλά οι μεταγενέστερες τροποποιήσεις, όπως το 802.16a, επέκτειναν την υποστήριξη σε μετάδοση χωρίς οπτική επαφή και στην περιοχή 2-11 GHz, ενισχύοντας την εφαρμογή του σε αστικές περιοχές.

Το WiMAX αξιοποιεί την ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) και την ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (OFDMA) για να παρέχει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και επεκτασιμότητα. Υποστηρίζει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων έως και 75 Mbps, αν και οι πρακτικές ταχύτητες είναι συνήθως 1-10 Mbps. Η ικανότητα της τεχνολογίας να παρέχει ευρυζωνικές υπηρεσίες χωρίς την ανάγκη εκτεταμένης υποδομής την καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλη για περιοχές ευρείας κάλυψης,

συμπεριλαμβανομένων ολόκληρων πόλεων ή περιοχών. Η συνεχής ανάπτυξη και η εξάπλωση του WiMAX, που υποστηρίζεται από αυστηρά πρότυπα και διαδικασίες πιστοποίησης, διασφαλίζουν το ρόλο του ως ακρογωνιαίου λίθου των σύγχρονων ευρυζωνικών ασύρματων επικοινωνιών.

1. Κεφάλαιο 1

Το WiMAX, που σημαίνει Worldwide Interoperability for Microwave Access (Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για μικροκυματική πρόσβαση), είναι μια τεχνολογία που έχει σχεδιαστεί για την παροχή ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης σε μεγάλες αποστάσεις. Με βάση το πρότυπο IEEE 802.16, το WiMAX έχει υποστεί σημαντική εξέλιξη από την έναρξή του στα τέλη της δεκαετίας του 1990, η οποία χαρακτηρίζεται από διάφορα βασικά ορόσημα που διαμόρφωσαν την ανάπτυξη και την υιοθέτησή του.

1.1 Πρώιμη ανάπτυξη (1998-2003)

1998: Η ομάδα εργασίας IEEE 802.16 συγκροτήθηκε για την ανάπτυξη προτύπων για ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN). Στόχος της ομάδας ήταν η δημιουργία μιας ασύρματης τεχνολογίας ικανής να παρέχει δεδομένα υψηλής ταχύτητας σε μεγάλες αποστάσεις.

2001: Δημοσιεύεται η πρώτη έκδοση του προτύπου IEEE 802.16, που καλύπτει την περιοχή συχνοτήτων 10-66 GHz. Αυτή η έκδοση στόχευε κυρίως στην επικοινωνία με οπτική επαφή (LOS), περιορίζοντας την ανάπτυξή της σε περιοχές με σαφή ορατότητα μεταξύ πομπού και δέκτη.

2003: Επικυρώθηκε η τροποποίηση IEEE 802.16a, η οποία επέκτεινε το πρότυπο στην περιοχή συχνοτήτων 2-11 GHz. Η τροποποίηση αυτή εισήγαγε υποστήριξη για επικοινωνία μη οπτικής επαφής (NLOS), επεκτείνοντας σημαντικά τα πιθανά σενάρια ανάπτυξης του WiMAX. Υιοθέτησε επίσης την ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) στο φυσικό επίπεδο για τη βελτίωση των επιδόσεων σε περιβάλλοντα πολλαπλών διαδρομών, με μετασχηματισμό 256 σημείων, επίσης OFDMA με μετασχηματισμό 2048 σημείων, και προέβλεπε ρυθμούς έως 70 Mbps σε κανάλι 14 MHz και σε απόσταση μέχρι 50 χμ.

Μέσο στάδιο ανάπτυξης (2004-2008)

2004: 802.16-2004, επίσης γνωστό ως Fixed WiMAX, δημοσιεύθηκε. Η έκδοση αυτή ενοποίησε τις προηγούμενες τροποποιήσεις και παρείχε ένα πιο ισχυρό πλαίσιο για τη σταθερή ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Κατά την περίοδο αυτή το WiMAX κέρδισε δημοτικότητα

ιδιαίτερα σε αναπτυσσόμενες χώρες και σε απομακρυσμένες περιοχές όπου έλειπε η παραδοσιακή ευρυζωνική υποδομή.

2005: Επικυρώθηκε η τροποποίηση IEEE 802.16e, γνωστή ως Mobile WiMAX. Αυτή η σημαντική ενημέρωση εισήγαγε την υποστήριξη της κινητικότητας, επιτρέποντας στους χρήστες να διατηρούν ευρυζωνική συνδεσιμότητα ενώ βρίσκονται εν κινήσει. Αυτό έκανε το WiMAX άμεσο ανταγωνιστή των αναδυόμενων τεχνολογιών 3G. Το πρότυπο 802.16e επίσης περιελάμβανε βελτιώσεις όπως η κλιμακούμενη OFDMA (SOFDMA), η οποία επέτρεπε την ευέλικτη κατανομή εύρους ζώνης, και υποστηρίζει κλιμακούμενα εύρη καναλιών από 1.25 έως 20MHz, καθώς και την τεχνολογία πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων (MIMO) για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας των δεδομένων.

2006: Το WiMAX Forum μια MKO που δημιουργήθηκε από κατασκευαστές συστημάτων WiMAX και παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, ένας οργανισμός στην ουσία υπό την ηγεσία του κλάδου, άρχισε να πιστοποιεί εξοπλισμό που συμμορφωνόταν με το πρότυπο 802.16e και προσέφεραν ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση. Η πιστοποίηση αυτή εξασφάλιζε τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των προϊόντων διαφορετικών προμηθευτών, διευκολύνοντας την ευρύτερη υιοθέτηση της τεχνολογίας.

Το WiMAX Forum έχει ως στόχο την επιτάχυνση της εισαγωγής στην αγορά των μητροπολιτικών ευρυζωνικών εφαρμογών για σταθερά, φορητά και κινητά συστήματα. Για να μπορέσει να επιτευχθεί αυτό πρέπει να γίνουν έλεγχοι από ανεξάρτητα εργαστήρια και το Forum να πιστοποιεί ότι τα συστήματα αυτά λειτουργούν με βάση τα πρότυπα και να εγγυάται την διαλειτουργικότητα μεταξύ τους.

Τα πρώτα προϊόντα που βασίζονταν στο πρότυπο IEEE 802.16-2004 για σταθερά συστήματα WiMAX ανακοινώθηκαν τον Ιανουάριο του 2006 και τα πρώτα προϊόντα κινητών συστημάτων WiMAX (πρότυπο IEEE 802.16e) το 2007 . [1]

1.2 Ανάπτυξη και παγκόσμια υιοθέτηση (2007-2013)

2007-2008: Η τεχνολογία WiMAX αναπτύχθηκε εμπορικά σε διάφορες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών, της Ευρώπης και της Ασίας. Μεγάλες εταιρείες τηλεπικοινωνιών άρχισαν να προσφέρουν υπηρεσίες με βάση το WiMAX, παρέχοντας μια εναλλακτική λύση στην παραδοσιακή ενσύρματη ευρυζωνικότητα. Περίπου αυτή την περίοδο, είναι που αναπτύχθηκε και το Long-Term Evolution (LTE) επίσης ως πρότυπο 4G. Αν και το WiMAX είχε πρωτοποριακό ξεκίνημα, το LTE κέρδισε γρήγορα δυναμική λόγω της ευρύτερης υποστήριξης του κλάδου από παρόχους κινητής τηλεφωνίας και κατασκευαστές εξοπλισμού.

2009: Εγκρίθηκε η τροποποίηση IEEE 802.16j, γνωστή ως WiMAX Relay. Αυτή η ενημέρωση εισήγαγε την υποστήριξη σταθμών αναμετάδοσης, οι οποίοι επέκτειναν την κάλυψη και βελτίωσαν την υπηρεσία σε περιοχές με δύσκολο έδαφος ή αραιή υποδομή.

2011: Επικυρώθηκε η τροποποίηση IEEE 802.16m, γνωστή και ως WiMAX 2.0. Αυτό το πρότυπο επόμενης γενιάς είχε ως στόχο να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για τις διεθνείς κινητές τηλεπικοινωνίες-προηγμένες (IMT-Advanced), όπως αυτές ορίζονται από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) για δίκτυα 4G. Το WiMAX 2.0 υποσχόταν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, βελτιωμένη φασματική απόδοση και ενισχυμένη υποστήριξη εφαρμογών πολυμέσων.

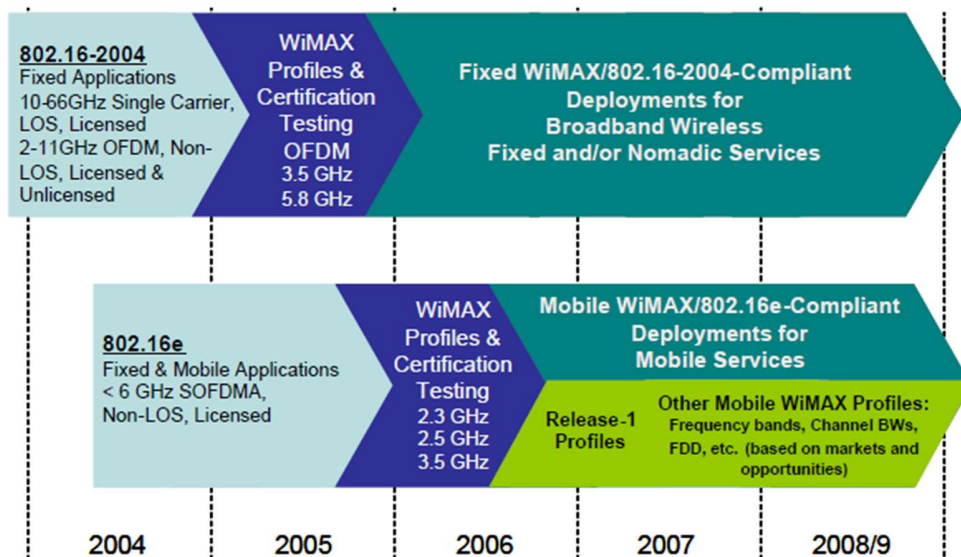
1.2.1 Πρόσφατες εξελίξεις (2013-σήμερα)

2013 και μετά: Παρά τις εξελίξεις και την αρχική υιοθέτηση, το WiMAX αντιμετώπισε αυξανόμενο ανταγωνισμό από την τεχνολογία Long-Term Evolution (LTE), η οποία απέκτησε ευρύτερη υποστήριξη από τον κλάδο. Πολλοί φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών άρχισαν να μεταβαίνουν από το WiMAX στο LTE λόγω του ευρύτερου οικοσυστήματος και της συμβατότητάς του με τα υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

	802.16a	802.16d-2004	802.16e-2005
Status	Completed December 2001	Completed June 2004	Completed December 2005
Application	Fixed LOS	Fixed NLOS	Fixed and mobile NLOS
Frequency band	10GHz-66 GHz	2GHz-11GHz	2GHz-11GHz for fixed and 2GHz to 6 GHz for Mobile
Modulation	QPSK, 16QAM, 64 QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
Gross data rate	32 Mbps-134.4 Mbps	1 Mbps-75 Mbps	1 Mbps-75 Mbps
Multiplexing	Burst TDM/ TDMA	Burst TDM/ TDMA/ OFDMA	Burst TDM/ TDMA/ OFDMA
Duplexing	TDD and FDD	TDD and FDD	TDD and FDD
WiMAX implementation	None	256-OFDM	Scalable OFDM
Transmission scheme	Single carrier only	Single carrier only, 256 OFDM, 2048 OFDMA	Single carrier only, 256 OFDM, SODFM with 128,512,1024,2048 multicarrier
Channel bandwidth	20MHz, 25MHz, 28 MHz	1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8.75 MHz	1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz, 14 MHz, 1.25 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 8.75 Hz

Εικόνα 1.1 WiMAX Πρότυπα

2020s: Ενώ οι αναπτύξεις WiMAX έχουν μειωθεί, η τεχνολογία συνεχίζει να χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένα σενάρια, όπως η αγροτική ευρυζωνική πρόσβαση, εξειδικευμένες βιομηχανικές εφαρμογές, δίκτυα δημόσιας ασφάλειας και ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες όπου η υποδομή LTE δεν είναι ακόμη διαθέσιμη. Η κληρονομιά του WiMAX ζει επίσης στη συμβολή του στην ανάπτυξη άλλων ασύρματων τεχνολογιών, ιδίως στους τομείς OFDM και MIMO.



Εικόνα 1.2 Διάγραμμα εξέλιξης WiMAX

1.3 Τρόπος λειτουργίας WiMAX

Ο σταθμός βάσης και ο δέκτης είναι τα δύο θεμελιώδη στοιχεία ενός δικτύου WiMAX. Παρόμοια με άλλες μεθόδους κυψελοειδούς επικοινωνίας, ο σταθμός βάσης είναι ένας πύργος. Η μέγιστη ακτίνα στην οποία μπορεί να φτάσει ένας σταθμός βάσης WiMAX είναι 48,28 χιλιόμετρα, ανάλογα βέβαια με τη θέση του, το ύψος, το κέρδος της κεραίας και άλλες τεχνικές παραμέτρους. Το μέγεθος των κυψελών που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως μεταξύ δύο και έξι χιλιομέτρων. Ένας αριθμός σταθμών συνδρομητών ή δεκτών εξοπλισμού πελάτη (CPE) συνδέεται με τον κύριο σταθμό βάσης. Ο δέκτης WiMAX μπορεί να ενσωματωθεί στον προσωπικό υπολογιστή του χρήστη ως κάρτα μνήμης ή ως ένα μικροσκοπικό κουτί που τοποθετείται έξω από την ιδιοκτησία του συνδρομητή ή σαν τσιπ όπως χρησιμοποιούμε αντίστοιχα το WiFi.

Η διαδικασία ξεκινά με τον συνδρομητή να στέλνει ένα αίτημα ασύρματης πρόσβασης από μια κεραία που βρίσκεται στην κορυφή του κτιρίου όπου βρίσκεται ο χρήστης, ή εναλλακτικά, μέσω ενός εσωτερικού εξοπλισμού χώρου πελάτη (CPE). Ο σταθμός βάσης επεξεργάζεται αυτό το αίτημα και μεταδίδει τα δεδομένα στο κέντρο μεταγωγής είτε μέσω συνδέσεων μη οπτικής επαφής (NLOS) είτε μέσω συνδέσεων οπτικής επαφής (LOS), χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο 802.164. Στη συνέχεια, το κέντρο μεταγωγής προωθεί τα δεδομένα στον πάροχο υπηρεσιών διαδικτύου (ISP) ή στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN).

Στο πλαίσιο του κινητού WiMAX, το τερματικό -είτε πρόκειται για φορητό υπολογιστή, προσωπικό ψηφιακό βοηθό (PDA), τηλέφωνο με δυνατότητα WiMAX ή άλλη κινητή συσκευή- λαμβάνει το σήμα απευθείας από τον πλησιέστερο πύργο, επιτρέποντας έτσι στον χρήστη να συνδεθεί ασύρματα και να πλοηγηθεί σε μια εμβέλεια έως και 30 μιλίων.

1.4 WiMAX Εξοπλισμός

1.4.1 Δομικά στοιχεία του WiMAX

Ένα σύστημα WiMAX αποτελείται κυρίως από δύο στοιχεία: το σταθμό βάσης WiMAX και το δέκτη WiMAX, ο οποίος αναφέρεται επίσης ως σταθμός εξυπηρέτησης ή εξοπλισμός χώρου πελάτη (CPE). Επιπλέον, η ραχοκοκαλιά ενός δικτύου WiMAX περιλαμβάνει τον εξοπλισμό backhaul που συνδέει το υπόλοιπο δίκτυο με την υποδομή πυρήνα. [3]

1.4.2 Σταθμός Βάσης WiMAX

Ο πύργος και τα εσωτερικά ηλεκτρονικά του εξαρτήματα αποτελούν το σταθμό βάσης WiMAX. Η μέγιστη ακτίνα που μπορεί να καλύψει ένας σταθμός βάσης είναι 50 χιλιόμετρα (αλλά στην πράξη, οι σταθμοί βάσης WiMAX μπορούν να επεκταθούν έως και 6 χιλιόμετρα λόγω πρακτικών περιορισμών). Όλες οι υπηρεσίες WiMAX είναι διαθέσιμες σε κάθε ασύρματη συσκευή που βρίσκεται εντός της περιοχής κάλυψης του σταθμού βάσης. Ο σταθμός βάσης WiMAX χρησιμοποιεί το επίπεδο MAC του προτύπου για να κατανέμει το εύρος ζώνης ανοδικής και καθοδικής ζεύξης στους χρήστες σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τις υπηρεσίες τους.

Κάθε σταθμός προσφέρει ασύρματη δικτύωση μέσα σε αυτό που αναφέρεται ως κυψέλη. Κατ' αρχήν, μια κυψέλη μπορεί να έχει μέγιστη ακτίνα περίπου 50 km. Ωστόσο, η ακτίνα μιας κυψέλης σε μια τυπική ανάπτυξη δικτύου WiMAX είναι μεταξύ τριών και δέκα χιλιομέτρων.

Παρόμοια με τα σημερινά κυψελοειδή δίκτυα, οι κεραίες των σταθμών βάσης μπορεί να είναι μη κατευθυντικές, δίνοντας στις κυψέλες κυκλικό σχήμα, ή κατευθυντικές, δίνοντας στις κυψέλες γραμμικό σχήμα.

1.4.3 Δέκτης WiMAX

Ο δέκτης WiMAX μπορεί να είναι ένα ενιαίο «κουτί» ή μια κάρτα PCMCIA στο εσωτερικό της ασύρματης συσκευής ή μπορεί να έχει ξεχωριστή κεραία (για παράδειγμα, τα ηλεκτρικά στοιχεία της λήψης και η κεραία μπορεί να είναι ξεχωριστές οντότητες). Ο σταθμός βάσης WiMAX μπορεί να προσπελαστεί και να συνδεθεί με ένα σημείο πρόσβασης σε ένα δίκτυο Wi-Fi με τρόπο παρόμοιο με αυτόν ενός σημείου πρόσβασης- η κύρια διαφορά είναι ότι ο σταθμός βάσης WiMAX έχει πολύ ευρύτερη περιοχή κάλυψης από ένα αντίστοιχο σημείο πρόσβασης δικτύου Wi-Fi.

Το κόστος του CPE ήταν ένα από τα κύρια εμπόδια στην ανάπτυξη του BWA μέχρι σήμερα. Χρησιμοποιούμε τον όρο «κόστος» για να συμπεριλάβουμε τόσο την αγορά του CPE από τον χρήστη όσο και τα έξοδα εγκατάστασής του. Επιπλέον, οι πάροχοι υπέστησαν πρόσθετα έξοδα λόγω της ανάγκης να πληρώσουν εργατικό προσωπικό για την εγκατάσταση του CPE και την εγκατάσταση των συσκευών των καταναλωτών. Όλα τα προαναφερθέντα ζητήματα έχουν

επιλυθεί από το WiMAX, καθώς οι δέκτες είναι φθινοί και απλοί στην εγκατάσταση, ακόμη και για τους μέσους χρήστες.

1.4.4 Backhaul

Το backhaul περιγράφει τη σύνδεση μεταξύ του παρόχου και του κεντρικού δικτύου, καθώς και τη σύνδεση μεταξύ του σημείου πρόσβασης και του παρόχου. Οποιαδήποτε τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση ενός συστήματος backhaul, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για τη σύνδεση ενός συστήματος με την κύρια υποδομή κορμού. Οι γρήγορες μικροκυματικές συνδέσεις backhaul μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση των σταθμών βάσης μεταξύ τους στην πλειονότητα των καταστάσεων χρήσης του WiMAX. Ένας συνδρομητής WiMAX μπορεί να περιπλανηθεί μεταξύ σταθμών βάσης χρησιμοποιώντας αυτή τη σύνδεση.

1.5 Πλεονεκτήματα της WiMAX τεχνολογίας

- Ευέλικτη αρχιτεκτονική: Η τεχνολογία WiMAX υποστηρίζει όλες τις τοπολογίες συστημάτων σημείο-προς-σημείο, σημείο-προς-πολλαπλά σημεία και ευρείας κάλυψης. Το επίπεδο MAC (Media Access Control) του WiMAX προγραμματίζει μια χρονοθυρίδα για κάθε συνδρομητικό σταθμό (SS), προκειμένου να διευκολύνει τις υπηρεσίες ευρείας κάλυψης και τις υπηρεσίες σημείου προς πολλαπλά σημεία. Ο σταθμός βάσης WiMAX (BS) θα επικοινωνεί από σημείο σε σημείο με το σταθμό εξυπηρέτησης (SS) εάν υπάρχει μόνο ένας SS στο δίκτυο. Για να καλύψει μεγαλύτερες αποστάσεις, ένας σταθμός βάσης σε μια αρχιτεκτονική σημείο-προς-σημείο θα μπορούσε να έχει μια στενότερη κεραία δέσμης.
- Υψηλή ασφάλεια: AES (Advanced Encryption Standard) και 3DES (Triple DES, όπου DES είναι το Data Encryption Standard) υποστηρίζονται από την τεχνολογία WiMAX. Το WiMAX προσφέρει στους πελάτες ασφάλεια στο μέσο ασύρματης ευρυζωνικής αλληλεπίδρασης (διεπαφή) και ιδιωτικότητα και ασφάλεια (έναντι υποκλοπών) με την κρυπτογράφηση των επικοινωνιών μεταξύ του σταθμού βάσης (BS) και του σταθμού εξυπηρέτησης (SS). Οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών είναι επίσης καλά προστατευμένες από την κλοπή υπηρεσιών μέσω της ασφάλειας. Επιπλέον, το WiMAX διαθέτει

ενσωματωμένη δυνατότητα VLAN, η οποία διασφαλίζει τα δεδομένα που μεταφέρονται από διάφορους χρήστες στον ίδιο σταθμό βάσης.

- WiMAX QoS: Λόγω της ποικιλίας των πληροφοριών που αποστέλλονται από το πρότυπο, το WiMAX μπορεί να προσαρμοστεί δυναμικά.
- Γρήγορη εφαρμογή: Σε αντίθεση με την ανάπτυξη ενσύρματων λύσεων, το WiMAX απαιτεί ελάχιστες έως καθόλου νέες κατασκευές ή αναδιαρρύθμιση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων. Για παράδειγμα, η υποστήριξη των σημερινών καλωδίων δεν απαιτεί εκσκαφές. Είτε σχεδιάζουν να χρησιμοποιήσουν μια μη αδειοδοτημένη ζώνη είτε έχουν άδειες για τη χρήση αδειοδοτημένων ζωνών, οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών απαλλάσσονται από την υποχρέωση να υποβάλλουν τακτικά εκθέσεις στην κυβέρνηση. Όταν εγκατασταθεί η κεραία και το λοιπό απαιτούμενο υλικό, το WiMAX μπορεί να αρχίσει να προσφέρει υπηρεσίες. Σε σύγκριση με τους μήνες που απαιτούνται για τα συμβατικά συστήματα, το σύστημα WiMAX μπορεί συνήθως να εγκατασταθεί σε λίγες ώρες.
- Υπηρεσία πολλαπλών επιπέδων: η συμφωνία επιπέδου υπηρεσιών (SLA) μεταξύ του παρόχου υπηρεσιών και του τελικού χρήστη συχνά καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο μεταφέρεται η QoS. Επιπλέον, διαφορετικοί εγγεγραμμένοι χρήστες ή ακόμη και χρήστες στον ίδιο σταθμό υπηρεσιών μπορεί να λαμβάνουν διαφορετικές SLA από έναν πάροχο υπηρεσιών.
- Διαλειτουργικότητα: Οι τελικοί πελάτες μπορούν να ταξιδεύουν και να χρησιμοποιούν τους σταθμούς εξυπηρέτησης σε διαφορετικές περιοχές ή με διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών πιο εύκολα, λόγω των παγκόσμιων προτύπων και πρωτοκόλλων του WiMAX, τα οποία είναι ανεξάρτητα από εταιρικές παρεμβάσεις. Επειδή οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να επιλέξουν εξοπλισμό από διάφορους κατασκευαστές και να συνεχίσουν να μειώνουν το κόστος του εξοπλισμού ως συνέπεια της ευρείας υιοθέτησης, η διαλειτουργικότητα διασφαλίζει την αρχική τους επένδυση.
- Φορητότητα: Ο σταθμός υπηρεσίας WiMAX, όπως και τα υπάρχοντα κυψελοειδή συστήματα, αναγνωρίζει τον εαυτό του, καθορίζει τις παραμέτρους σύνδεσής του με το σταθμό βάσης ενώ είναι εγγεγραμμένος στη βάση δεδομένων του συστήματος και στη συνέχεια διαπραγματεύεται τις παραμέτρους μετάδοσης μετά την εκκίνηση.

- **Κινητικότητα:** Η τροποποίηση του IEEE 802.16e έχει συμπεριλάβει αρκετά σημαντικά χαρακτηριστικά για να διευκολύνει την κινητικότητα του πρωτοκόλλου. Τα φυσικά στρώματα OFDM και OFDMA έχουν βελτιωθεί ώστε να εξυπηρετούν συσκευές και υπηρεσίες σε κινητό πλαίσιο. Όλες αυτές οι βελτιώσεις - κλιμακούμενο OFDMA, MIMO, υποστήριξη για κατάσταση αδράνειας/αναστολής λειτουργίας και hand-off - θα επιτρέψουν πλήρη κινητικότητα σε ταχύτητα έως 160 km/h. Το πρωτόκολλο, που υποστηρίζεται από το WiMAX Forum, είναι κατάλληλο για το κινητό περιβάλλον, καθώς κληρονομεί την ειδική απόδοση NLOS και την ανθεκτική σε πολλαπλές διαδρομές λειτουργία του OFDM.
- **Κόστη :** WiMAX λειτουργεί με βάση ένα ανοικτό, παγκόσμιο πρωτόκολλο. Τόσο οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς όσο και οι τελικοί χρήστες θα βιώσουν σημαντικά οικονομικά οφέλη από την ευρεία υιοθέτησή του και τη χρήση φθηνών, μαζικά παραγόμενων chipsets, που θα οδηγήσουν σε τεράστια μείωση του κόστους και ανταγωνισμό τιμών.
- **Μεγαλύτερη κάλυψη:** BPSK, QPSK, 16-QAM και 64-QAM είναι μερικοί μόνο από τους τρόπους διαμόρφωσης που υποστηρίζει δυναμικά το WiMAX. Όταν χρησιμοποιείται διαμόρφωση χαμηλού επιπέδου (BPSK ή QPSK, για παράδειγμα) με ενισχυτή υψηλής ισχύος, τα συστήματα WiMAX μπορούν να καλύψουν μια σημαντική γεωγραφική περιοχή, εφόσον δεν υπάρχουν εμποδία μεταξύ του σταθμού βάσης και του σταθμού εξυπηρέτησης.
- **Λειτουργία χωρίς οπτική επαφή:** Μια ραδιοδιαδρομή με την πρώτη ζώνη Fresnel εντελώς αποκλεισμένη αναφέρεται ως NLOS. Η τεχνολογία OFDM, το θεμέλιο του WiMAX, μπορεί να λειτουργήσει σε καταστάσεις NLOS. Τα προϊόντα WiMAX είναι σε θέση να μεταφέρουν πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε περιβάλλον NLOS από ό,τι οι συμβατικές ασύρματες λύσεις λόγω αυτής της ικανότητας.
- **Υψηλή χωρητικότητα:** Τα συστήματα WiMAX μπορούν να προσφέρουν σημαντικό εύρος ζώνης στους τελικούς χρήστες με τη χρήση ισχυρότερης διαμόρφωσης (64-QAM) και εύρους ζώνης καναλιού (επί του παρόντος 7 MHz, με προβλεπόμενη επέκταση προς το πλήρες εύρος ζώνης, όπως αναφέρεται στις αντίστοιχες προδιαγραφές IEEE και ETSI). [2]

1.6 Τρόποι χρήσης του συστήματος WiMAX

1.6.1 Ιδιωτικά Δίκτυα

Μέσα σε έναν οργανισμό, ίδρυμα ή επιχείρηση, τα ιδιωτικά δίκτυα χρησιμεύουν ως σύνδεσμοι επικοινωνίας. Η ασφαλής, αξιόπιστη και γρήγορη μετάδοση τηλεφώνου, δεδομένων και βίντεο είναι οι κύριοι στόχοι αυτού του είδους δικτύου. Η εγκατάσταση πρέπει να είναι γρήγορη και απλή και για τη διαμόρφωση χρησιμοποιούνται συνήθως συνδέσεις σημείο-προς-σημείο και σημείο-προς-πολλαπλά σημεία.

1.6.2 Κινητή βοήθεια

Υπάρχει αυξανόμενος ανταγωνισμός στον τομέα της κινητής τηλεφωνίας και των ασύρματων επικοινωνιών. Οι εταιρείες ασύρματων επικοινωνιών αναζητούν πάντα μεθόδους για να μειώσουν τα λειτουργικά έξοδα προκειμένου να γίνουν πιο ανταγωνιστικές. Ένα μεγάλο μέρος αυτών των εξόδων πηγαίνει προς τους επαναλήπτες και τις τοποθεσίες εκπομπής. Το WiMAX μπορεί να προσφέρει συνδέσεις από σημείο σε σημείο με ταχύτητες που υποστηρίζουν συνδέσεις E1 και T1 σε ακτίνα μεγαλύτερη των 50 χιλιομέτρων. Επιπλέον, το QoS του 802.16 είναι ιδανικό για την αξιόπιστη μεταφορά πολλών ειδών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων ήχου και βίντεο. Το WiMAX θεωρείται η καλύτερη επιλογή για την επικοινωνία μεταξύ σταθμών βάσης και κέντρων δρομολόγησης λόγω αυτών των παραγόντων, καθώς και της σχηματικής αναπαράστασης που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Φυσικά, η προαναφερθείσα χρήση εξαρτάται επίσης από το φάσμα που είναι προσβάσιμο στο έθνος ή στην περιοχή όπου χρησιμοποιείται η τεχνολογία WiMAX.

1.6.3 Backhaul για παρόχους ασύρματων υπηρεσιών

Οι πληροφορίες μπορούν να μεταφέρονται από τους σταθμούς βάσης (SS) των παρόχων ασύρματων υπηρεσιών (WSP) στα δίκτυα πρόσβασης (BS) τους μέσω WiMAX. Τα δίκτυα πρόσβασης μπορούν να κατασκευαστούν με τη χρήση οποιουδήποτε είδους ασύρματης τεχνολογίας επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων των WiMAX και WiFi. Όταν ο εξοπλισμός Wi-Fi χρησιμοποιείται από το δίκτυο πρόσβασης, ολόκληρο το δίκτυο ονομάζεται «Hot Zone». Δεδομένου ότι οι WSPs (Wireless Service Providers) προσφέρουν συχνά υπηρεσίες δεδομένων, φωνής και βίντεο, το 802.16 QoS θα βοηθήσει στη βελτίωση και την ιεράρχηση της κίνησης που μεταδίδεται. Η ταχεία ανάπτυξη του εξοπλισμού WiMAX διευκολύνει τη δημιουργία ενός

δικτύου παρόχων ασύρματης πρόσβασης. Ακόμα κι αν η τεχνολογία οπτικών ινών, DSL και καλωδίων δεν αξίζει τα έξοδα, η μίσθωση γραμμών μετάδοσης από την τοπική τηλεφωνική εταιρεία θα αυξήσει τα λειτουργικά έξοδα και η δημιουργία ενός δικτύου οπτικών ινών μπορεί να είναι δαπανηρή και χρονοβόρα.

1.6.4 Τραπεζικά Δίκτυα

Οι μεγάλες τράπεζες μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα ιδιωτικό ασύρματο δίκτυο WiMAX που μπορεί να μεταδώσει ήχο, δεδομένα και βίντεο για να συνδέσει τα ATM και τα υποκαταστήματά τους με τα κεντρικά κτίρια της τράπεζας. Τα υποκαταστήματα κάθε τράπεζας μπορεί να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και αυτά τα δίκτυα πρέπει να διαθέτουν τόσο εύρος ζώνης όσο και ασφάλεια. Παρόλο που η κρυπτογράφηση δεδομένων του WiMAX παρέχει μεγάλη ασφάλεια, οι τράπεζες πιθανόν να θέλουν ασφάλεια από άκρο σε άκρο, όπως αυτή του SSL, για να προστατευθούν από πιθανή μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε ιδιωτικές οικονομικές πληροφορίες. Τα υψηλά ποσά κίνησης που απαιτούνται για τη διευκόλυνση των επικοινωνιών μεταξύ των κεντρικών γραφείων και των κτιρίων των υποκαταστημάτων μπορούν να συνυπάρχουν με την κίνηση δεδομένων χαμηλού ρυθμού μεταξύ των ATM και των κεντρικών γραφείων λόγω του υψηλού βαθμού κλιμάκωσης του WiMAX. Η δυνατότητα ιεράρχησης της κίνησης φωνής (επικοινωνία μεταξύ των υποκαταστημάτων), δεδομένων (οικονομικές συναλλαγές, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, Διαδίκτυο και intranet) και βίντεο (επιτήρηση, CCTV) καθίσταται δυνατή χάρη στο QoS του WiMAX. Η ύπαρξη δικού της δικτύου είναι προτιμότερη από οικονομικής άποψης, καθώς εξοικονομούνται χρήματα από τη μη πληρωμή τηλεφωνικών φορέων για υπηρεσίες. Ωστόσο, σε περίπτωση που ένα υποκατάστημα ή ένα ATM μετακινηθεί, θα είναι σε θέση να αναδιατάξει γρήγορα και άμεσα το δίκτυό της.

1.6.5 Δίκτυα στην Εκπαίδευση

Με τη δυνατότητα δημιουργίας ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ των κτιρίων του Υπουργείου Παιδείας ή της Κεντρικής Διοίκησης Εκπαίδευσης και των σχολείων, ή ακόμη και σύνδεσης των σχολείων μεταξύ τους, το WiMAX έχει πολυάριθμες χρήσεις και στην οργάνωση της εκπαίδευσης. Τα χαρακτηριστικά που παρέχει ένα δίκτυο WiMAX ικανοποιούν τις ακόλουθες βασικές ανάγκες για ένα σχολικό δίκτυο: NLOS, υψηλό εύρος ζώνης (>15 Mbps), ευρεία κάλυψη, συνδεσιμότητα σημείο-προς-σημείο και σημείο-προς-πολλαπλά σημεία και όλες

αυτές τις δυνατότητες. Τα εκπαιδευτικά δίκτυα που βασίζονται στο WiMAX είναι σε θέση να μεταφέρουν μια πλήρη σειρά υπηρεσιών και δεδομένων, όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, τηλεφωνία, επιχειρησιακά δεδομένα (όπως αρχεία μαθητών) και εφαρμογές απομακρυσμένης μάθησης (βίντεο), λόγω της ποιότητας υπηρεσίας ποιότητας του προτύπου. Από οικονομική άποψη, το WiMAX είναι η καλύτερη επιλογή, καθώς προσφέρει ευρεία κάλυψη σε λογική τιμή. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για απομακρυσμένα σχολεία, τα οποία είναι διασκορπισμένα σε μεγάλη έκταση και δεν διαθέτουν καθόλου ή ελάχιστες προεγκατεστημένες υποδομές επικοινωνιών. Τα σχολεία θα είναι σε θέση να ανταποκριθούν γρήγορα και εύκολα σε οποιεσδήποτε αλλαγές στην τοποθεσία ή στην ποσότητα των εφαρμογών που διαθέτουν, εάν είναι ιδιοκτήτες και λειτουργούν τα δικά τους δίκτυα. Ως αποτέλεσμα, οι μελλοντικές μισθωμένες γραμμές στο τηλεφωνικό δίκτυο θα κοστίζουν πολύ λιγότερο. Τελικά, βλέπουμε ότι οι ενσύρματες λύσεις δεν είναι σε θέση να παρέχουν μια γρήγορη και προσιτή λύση, ενώ η πλειονότητα των εκδόσεων DSL δεν διαθέτει τις ταχύτητες μετάδοσης που απαιτούνται για αυτού του είδους τα δίκτυα.

Η Νότια Αφρική είναι μία από τις περιοχές με τα χαμηλότερα ποσοστά ασύρματης ευρυζωνικής συνδεσιμότητας (συνήθως λιγότερο από 5%) και τις λιγότερες ευκαιρίες για πρόσθετη ανάπτυξη καλωδιακής υποδομής. Στις πόλεις της Νότιας Αφρικής, όπου το κόστος της επένδυσης σε καλωδιακές υποδομές είναι ακριβό σε σχέση με το πιθανό κέρδος, η ασύρματη επικοινωνία μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη. Όταν πρόκειται να δοθεί στα σχολεία πρόσβαση στο Διαδίκτυο και συνδεσιμότητα, το WiMAX μπορεί να θέσει το πρότυπο. μια πραγματικότητα, είναι επί του παρόντος ένα πιλοτικό πρόγραμμα στα σχολεία της Γκράχαματουν, όπου το Απαρτχάιντ τους είχε αρνηθεί την πρόσβαση ακόμη και στις πιο βασικές εγκαταστάσεις, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα και οι τηλεφωνικές συνδέσεις. Δεδομένου ότι αυτά τα σχολεία δεν διαθέτουν βιβλιοθήκες, η παροχή σύνδεσης WiMAX στο Διαδίκτυο θα τους επέτρεπε να διαβάζουν γραπτό υλικό (εφημερίδες, ηλεκτρονικές εγκυκλοπαίδειες), καθώς και να συνομιλούν μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου με άλλους σε όλο τον κόσμο, διευρύνοντας έτσι τους ορίζοντες των παιδιών όσον αφορά τη γνώση. Εκτός από τα σχολεία, το WiMAX απαιτείται να προσφέρει δίκτυο πρόσβασης σε πληροφορίες σε τοπικές εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης, νεοσύστατες εταιρείες και άλλους οργανισμούς. Δεδομένου ότι το ένα τρίτο των σχολείων βρίσκεται εκτός της κάλυψης DSL και δεν έχει την οικονομική δυνατότητα να εγκαταστήσει μια γραμμή για σύνδεση στο Διαδίκτυο,

το WiMAX θα συμβάλει στην εξάλειψη του ψηφιακού χάσματος και στη δημιουργία θέσεων εργασίας, δίνοντας στους μαθητές της Νότιας Αφρικής ευκαιρίες που διαφορετικά δεν θα είχαν. Το WiMAX θεωρείται ότι είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για την επίλυση αυτών των ζητημάτων επειδή χρησιμοποιεί τεχνολογία μη οπτικής επαφής για να λειτουργεί σε μεγάλες αποστάσεις χιλιομέτρων, παρέχοντας πολύ καλές ταχύτητες δεδομένων, ισχυρή αντοχή στις παρεμβολές και γρήγορη πρόσβαση για σχολεία χωρίς οπτική επαφή. Τα σχολεία της Νότιας Αφρικής θα έχουν πρόσβαση στην Κοινωνία της Πληροφορίας χάρη στη συμβολή του WiMAX - κάτι που τόσο το χρειάζονται όσο και το αξίζουν.

1.6.6 Δημόσια προστασία

Τα δίκτυα WiMAX μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κυβερνητικούς οργανισμούς δημόσιας ασφάλειας, όπως η αστυνομία, η πυροσβεστική, οι υπηρεσίες διάσωσης κ.λπ., για την υποστήριξη εξαιρετικά δύσκολων συνθηκών δημόσιας ασφάλειας. Τα δίκτυα αυτά επιτρέπουν τη φωνητική επικοινωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις μεταξύ του προσωπικού διάσωσης στον τόπο του συμβάντος και του κέντρου ελέγχου. Επιπλέον, το δίκτυο στέλνει δεδομένα και βίντεο από τον τόπο του ατυχήματος στο κέντρο ελέγχου, όπου οι επαγγελματίες μπορούν να τα αναλύσουν σε πραγματικό χρόνο, όπως ακριβώς θα έκαναν αν ήταν εκεί. Η ποιότητα υπηρεσίας WiMAX επιτρέπει στο δίκτυο να διαχειρίζεται διάφορα σενάρια κίνησης. Η γρήγορη εγκατάσταση ενός προσωρινού ασύρματου δικτύου στον τόπο ενός συμβάντος γίνεται εφικτή με την απλή εγκατάσταση του WiMAX και αυτό είναι ζωτικής σημασίας για την επικοινωνία με το κέντρο επιχειρήσεων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν ένα ήδη υπάρχον δίκτυο WiMAX για να μεταφέρουν την κίνηση από αυτό το δίκτυο στο κέντρο ελέγχου. Λόγω της πιθανότητας απρόβλεπτων συμβάντων, οι ενσύρματες λύσεις δεν είναι πρακτικές σε αυτήν την κατάσταση, όπου η κινητικότητα είναι ιδιαίτερα απαραίτητη. Για παράδειγμα, ένας πυροσβέστης μπορεί να απαιτεί την αρχιτεκτονική του κτιρίου ή την καλύτερη διαδρομή για να φτάσει στο σημείο της πυρκαγιάς ή ένας αστυνομικός θα ήθελε να συμβουλευτεί μια βάση δεδομένων ενώ οδηγεί. Πριν φτάσει το ασθενοφόρο στο νοσοκομείο, μια βιντεοκάμερα μέσα στο όχημα μπορεί να παρέχει προηγμένες πληροφορίες για την κατάσταση του ασθενούς. Το WiMAX προσφέρει μεγάλη εμβέλεια και κινητικότητα σε καθένα από αυτά τα σενάρια.

1.6.7 Υπεράκτιες Επικοινωνίες

Η τεχνολογία WiMAX επιτρέπει στις εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου να επικοινωνούν ασύρματα από χερσαίους σταθμούς βάσης σε υπεράκτιες πλατφόρμες, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να διεξάγουν μια σειρά απομακρυσμένων δραστηριοτήτων. Αυτές οι εργασίες θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν την επίλυση περίπλοκων ζητημάτων εξοπλισμού, την απομακρυσμένη πρόσβαση στη βάση δεδομένων υπεράκτιων εγκαταστάσεων και την απομακρυσμένη παρακολούθηση των καμερών στις τοποθεσίες. Βίντεο ελαττωματικών εγκαταστάσεων ή τμημάτων, για παράδειγμα, μπορούν να σταλούν στην ξηρά και να εξεταστούν από την κατάλληλη ομάδα ειδικών. Επιπλέον, η παρακολούθηση που θα μεταδοθεί στην ακτογραμμή μπορεί να περιλαμβάνει συστήματα κάμερας και συναγερμού. Για να εφαρμοστεί ένα τέτοιο σύστημα, απαιτείται τηλέφωνο, δεδομένα και φωνή βίντεο. Επειδή τα δίκτυα WiMAX πληρούν τις απαιτήσεις για γρήγορη εγκατάσταση και αφαίρεση εκτός από την υποστήριξη όλων των προαναφερθεισών απαιτήσεων, θεωρούνται τέλεια. Αυτή η τεχνογνωσία είναι ιδιαίτερα σημαντική για πολλές υπεράκτιες επιχειρήσεις, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που ασχολούνται με εξόρυξη πετρελαίου. Ωστόσο, τα τερματικά WiMAX που λειτουργούν με μπαταρίες χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της συνδεσιμότητας για την παρακολούθηση της περιοχής σε περίπτωση που μια εγκατάσταση πρέπει να εγκαταλειφθεί προσωρινά.

1.6.8 Δίκτυα σε Πανεπιστημιούπολεις

Τα δίκτυα WiMAX μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διάφορους δημόσιους οργανισμούς, εταιρείες, βιομηχανικούς χώρους, εγκαταστάσεις διέλευσης, πανεπιστήμια και σχολεία για ασύρματη σύνδεση διαφόρων σημείων στην περιοχή λειτουργίας τους (π.χ. πανεπιστημιούπολη). Τα συστήματα επικοινωνίας πανεπιστημιούπολης χρειάζονται ευρεία περιοχή κάλυψης, καλή ασφάλεια και υψηλές ταχύτητες δεδομένων, πράγμα που σημαίνει χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Παρόμοια με τις προαναφερθείσες περιπτώσεις χρήσης, το QoS του WiMAX βοηθά στην ιεράρχηση και βελτιστοποίηση της κίνησης τηλεφώνου, δεδομένων και βίντεο που μεταφέρονται στα δίκτυα. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι, στο τυπικό σενάριο όταν μια πανεπιστημιούπολη ή άλλο μέρος είναι ήδη ενσύρματη, τα δίκτυα WiMAX είναι λιγότερο δαπανηρά για τη δημιουργία και τη συντήρηση και χρειάζονται λιγότερο χρόνο για να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν.

1.6.9 Επικοινωνίες για Προσωρινή Κατασκευή

Τα δίκτυα WiMAX μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κατασκευαστικές επιχειρήσεις για τη δημιουργία καναλιών επικοινωνίας μεταξύ του εταιρικού τους γραφείου, του εργοταξίου και άλλων μελών του προσωπικού και μηχανικών που εργάζονται στο έργο. Σε αυτήν την περίπτωση, η ταχεία ανάπτυξη του WiMAX είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς επιτρέπει τη γρήγορη επικοινωνία φωνής (τηλεφωνία) και δεδομένων (email, μηχανικά σχέδια και πρόσβαση στο διαδίκτυο) στο εργοτάξιο. Επιπλέον, η μετάδοση βίντεο από τοποθεσίες του έργου που είναι δύσκολο να προσπελαστούν με συμβατικά μέσα θα είναι δυνατή με ένα δίκτυο WiMAX. Οι εγκαταστάσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου, τα κτίρια γραφείων και οι οικιστικές κατασκευές είναι μερικά μόνο παραδείγματα εργοταξίων. Οι ενσύρματες λύσεις είναι ακατάλληλες σε αυτά τα μέρη επειδή η κατασκευή είναι μόνο προσωρινή. Εφόσον ο εξοπλισμός WiMAX είναι φορητός, μπορεί να συναρμολογηθεί και να χρησιμοποιηθεί ξανά.

1.6.10 Πάρκα Αναψυχής

Τα πάρκα αναψυχής μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν WiMAX για να παρέχουν μια ποικιλία υπηρεσιών επικοινωνίας. Πολλοί άλλοι τύποι κίνησης επικοινωνίας μπορούν να υποστηριχθούν από ένα δίκτυο WiMAX, συμπεριλαμβανομένης της τηλεφωνίας φωνής και βίντεο, παρακολούθησης βίντεο, συντήρησης δεδομένων, πρόσβασης και ανανέωσης βάσης δεδομένων, παρακολούθησης στάθμευσης και αμφίδρομης επικοινωνίας από και προς το κέντρο ελέγχου. Υποστήριξη τόσο για σταθερές όσο και για κινητές λειτουργίες, υψηλή ασφάλεια, επεκτάσιμος σχεδιασμός και χαμηλή καθυστέρηση είναι μερικές από τις βασικές προδιαγραφές για ένα τέτοιο σύστημα. Λόγω της ευρείας κάλυψης του WiMAX, ένα πάρκο μπορεί να καλυφθεί από μόλις 11 σταθμούς βάσης, με τον αριθμό των σταθμών βάσης να αυξάνεται καθώς αυξάνονται οι απαιτήσεις χωρητικότητας. Το qos του WiMAX βελτιστοποιεί και δίνει προτεραιότητα στην κυκλοφορία με βάση τις προτιμήσεις του διαχειριστή συστήματος. Επιπλέον, χρειάζονται μόνο λίγα λεπτά για να επαναφέρετε το σύστημα, επιτρέποντας τη χρήση εφαρμογών όπως η ροή βίντεο σε πραγματικό χρόνο σε τουριστικά λεωφορεία για την ενημέρωση των επιβατών σχετικά με εκδηλώσεις, τον καιρό και τις περιηγήσεις στα αξιοθέατα.

1.6.11 Δημόσια Δίκτυα

Ένα ευρύ φάσμα χρηστών, συμπεριλαμβανομένων ατόμων και εταιρειών καθώς και οργανισμών, μπορεί να έχει πρόσβαση σε δημόσια δίκτυα. Λόγω της αστάθειας της τοποθεσίας των χρηστών, αυτά τα δίκτυα χρειάζονται συνήθως φθηνούς πόρους για να καλύψουν μια ευρεία περιοχή. Ενώ η επικοινωνία μέσω βίντεο αυξάνεται σε δημοτικότητα, η τηλεφωνία και οι επικοινωνίες δεδομένων παραμένουν οι κύριες χρήσεις των δημόσιων δικτύων. Δεδομένου ότι μεγάλος αριθμός χρηστών μοιράζεται το δίκτυο, η κρυπτογράφηση δεδομένων και η ενσωματωμένη υποστήριξη VLAN χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της ασφάλειας δικτύου, η οποία κρίνεται απαραίτητη.

1.6.12 Πρόσβαση στο Δίκτυο για παρόχους ασύρματων υπηρεσιών

Η τεχνολογία WiMAX είναι ένα εργαλείο που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι πάροχοι ασύρματων υπηρεσιών (WSP) για να συνδέσουν τους πελάτες τους. Τα δίκτυα WiMAX τους επιτρέπουν να προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών σε διάφορους χρήστες. Επιπλέον, οι μικρές επιχειρήσεις γνωστές ως CLEC Competitive small Exchange Carriers—εταιρείες που ξεκινούν τη λειτουργία τους με ελάχιστη έως καθόλου υποδομή—μπορούν επίσης να προσφέρουν ασύρματες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Η ανάπτυξη WiMAX διευκολύνει τις επιχειρήσεις να επεκταθούν και να ανταγωνιστούν με ήδη εγκατεστημένες επιχειρήσεις. Ο ενσωματωμένος μηχανισμός QoS στο WiMAX είναι ιδανικός για την ποικιλία της κίνησης που διαχειρίζονται οι εταιρείες CLEC. Επιπλέον, το QoS MAC παρέχει πολυεπίπεδη υπηρεσία για να καλύψει διάφορες ανάγκες των πελατών. Οι τελικοί καταναλωτές βρίσκουν μια τυπική πλατφόρμα δικτύου με φωνή, δεδομένα και βίντεο πολύ ελκυστική επειδή είναι βολική και απαιτεί μόνο ένα μηνιαίο κόστος. Υποστηρίζονται πολλά είδη υπηρεσιών, γεγονός που αυξάνει τα μέσα έσοδα ανά χρήστη (ARPU) επιτρέποντας διάφορες ροές εσόδων και μειώνοντας το κόστος απόκτησης πελατών. Οι προμηθευτές απαιτούν απλώς μια ενιαία βάση δεδομένων πελατών και ένα σύστημα πληρωμών. Οι εφαρμογές WiMAX ενδιαφέρουν επίσης τους τρέχοντες παρόχους υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας. Αν και πολλές από αυτές τις επιχειρήσεις διαθέτουν επί του παρόντος σταθμούς βάσης, υπηρεσίες πληρωμών και βάσεις δεδομένων πελατών, η εφαρμογή ενός συστήματος WiMAX θα αυξήσει το μερίδιο αγοράς τους και θα το καταστήσει μία από τις κύριες επιλογές τους σε αναδυόμενες χώρες χωρίς αρκετή υποδομή.

1.6.13 Η συνδεσιμότητα των αγροτικών περιοχών

Τα δίκτυα WiMAX μπορούν να χρησιμοποιηθούν από παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών για την παροχή υπηρεσιών σε μικρότερες αγορές, όπως λιγότερο πυκνοκατοικημένα χωριά, αγροτικές περιοχές και μικρές πόλεις. Είναι κρίσιμο για τις αναπτυσσόμενες καθώς και για τις ανεπτυγμένες χώρες να μπορούν να δημιουργούν ασύρματες συνδέσεις σε απομονωμένες και αραιοκατοικημένες περιοχές. Το γεγονός ότι υπάρχει λίγη έως καθόλου υποδομή σε αυτά τα μέρη είναι ένα από τα χαρακτηριστικά τους. Οι υπηρεσίες φωνής και διαδικτύου θα μεταδίδονται μέσω της ασύρματης σύνδεσης. Το WiMAX είναι πολύ πιο οικονομικό και αποδοτικό από τις εναλλακτικές ενσύρματες λύσεις που χρησιμοποιούνται σε περιοχές με μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα, καθώς προσφέρει εκτενή κάλυψη. Οι λύσεις WiMAX μπορούν να αναπτυχθούν γρήγορα, δημιουργώντας επικοινωνιακές συνδέσεις σε αυτές τις απομακρυσμένες περιοχές, προάγοντας μια ασφαλέστερη ατμόσφαιρα και ενισχύοντας την τοπική οικονομία.

1.6.14 Πιθανοί Τελικοί Χρήστες

Τα συνολικά ευρήματα από το WiMAX Forum υποδεικνύουν ότι καθώς το WiMAX προσφέρει σημαντικά οφέλη για τη διεθνή επικοινωνία και υποστηρίζει τόσο τη σταθερή όσο και τη κινητή συνδεσιμότητα, διαθέτει μια ευρεία αγορά στόχο. Μπορούν να προσδιοριστούν τρεις κύριες ομάδες δυνητικών καταναλωτών: οι χρήστες κινητού WiMAX, διάφορες εταιρείες και οι σταθεροί χρήστες WiMAX.

1.6.15 Χρήστες WiMAX σταθερής θέσης

Φυσικά, το κοινό-στόχος της εφαρμογής σταθερού WiMAX είναι οι χρήστες της. Η σταθερή λύση του WiMAX έχει την ικανότητα να αντικαταστήσει το DSL και άλλες ενσύρματες λύσεις. Σε αντίθεση με όλα τα ενσύρματα συστήματα, μπορεί επίσης να αντιμετωπίσει εύκολα το πρόβλημα του τελευταίου μιλίου. Οι βασικές υπηρεσίες φωνής, καθώς και οι οικονομικές τοπικές και διεθνείς κλήσεις, μπορούν να αποκτηθούν με το Fixed WiMAX. Διαθέσιμες είναι επίσης υπηρεσίες δεδομένων και φωνής. Σε σύγκριση με τις συμβατικές ενσύρματες επιλογές, η σύνδεση WiMAX έχει ταχύτητα 1Mbps πιο γρήγορη.

1.6.16 Επιχειρήσεις

Οι μέθοδοι QoS εισάγονται από την τεχνολογία WiMAX για να ικανοποιήσουν τις υψηλές επιχειρησιακές απαιτήσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εφαρμογή μετάδοσης μέσω δικτύων 2G ή 3G μεταξύ των βάσεων σταθμών. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως υπηρεσία πρόσβασης ενδιάμεσα για ιδιωτικά δίκτυα CPN (Δίκτυα Πελάτη). Οι επιχειρήσεις, οι πανεπιστημιακοί χώροι, οι μονοκατοικίες και άλλοι χρήστες περιλαμβάνονται κυρίως στην εστίαση στις επιχειρήσεις. Οι μεγάλης κλίμακας επιχειρηματικοί πελάτες μπορεί να προσελκυστούν από τη σύνδεση WiMAX που συνδέει τα δίκτυα CPN και τα Μετροπολιτικά Δίκτυα, τα οποία διευκολύνουν επίσης την ενοικίαση υπηρεσιών αφιερωμένων γραμμών για τους χρήστες δικτύου. Για να διασφαλιστεί η επικοινωνία μεταξύ των εταιρειών, μπορεί να κατασκευάσει μια ασύρματη γέφυρα δικτύου. Αυτή η τεχνική αποφεύγει τις προκλήσεις και τα κόστη που σχετίζονται με τη δημιουργία και την εγκατάσταση στο έδαφος. Τοπικά, μπορεί να προσφέρει οικονομικές υπηρεσίες τηλεφωνίας, προηγμένες υπηρεσίες δεδομένων σε μεγάλες και μεσαίες οργανώσεις, καθώς και συνδεσιμότητα δεδομένων για μικρές επιχειρήσεις.

1.6.17 Χρήστες Mobile WiMAX

Με την έλευση του κινητού WiMAX, οι χρήστες μπορούν πλέον να απολαμβάνουν ευέλικτη συνδεσιμότητα και πρόσβαση στο διαδίκτυο οποιαδήποτε στιγμή και από οποιοδήποτε μέρος. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο με πολύ υψηλές ταχύτητες και σε ευρυζωνική χωρητικότητα με τη λύση κινητού WiMAX. Μπορεί να προσφέρει συνδεσιμότητα δεδομένων για εσωτερικούς επισκέπτες και κινητές δυνάμεις εργασίας σε αστικά δίκτυα. Σε σύγκριση με τις τεχνολογίες 3G, η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων είναι υψηλότερη, και σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες, δεν υπάρχει περιορισμός στο φάσμα συχνοτήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Οι προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (PDAs) και μια ευρεία γκάμα άλλων κινητών συσκευών μπορούν να εξοπλιστούν με τα τσιπ που χρησιμοποιούνται για τις συσκευές κινητής τηλεφωνίας WiMAX. Αυτή τη στιγμή, η Intel είναι η εταιρεία που έχει δεσμευτεί και έχει επενδύσει στην ανάπτυξη τσιπ WiMAX. Μέσω των τσιπ WiMAX της Intel, οι χρήστες κινητού WiMAX θα μπορούν να έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο χωρίς καμία δυσκολία, όπως κάνουν αυτή τη στιγμή με το Wi-Fi ή τα κινητά τους τηλέφωνα.

1.7 Παράλληλες τεχνολογίες με το WiMAX

1.7.1 WiMAX - DSL

Η αναδυόμενη τεχνολογία WiMAX έχει αρχίσει να αμφισβητεί σοβαρά την τεχνολογία DSL σε περιοχές με αξιόπιστη ευρυζωνική πρόσβαση. Θεωρείται ως μια μορφή DSL που είναι ασύρματη. Είναι μια ασύρματη σύνδεση, μια ασύρματη λύση πρόσβασης που όχι μόνο επαναστατεί στον τρόπο που επιλύεται το πρόβλημα της , αλλά προσφέρει επίσης εξαιρετική απόδοση σε χαμηλό κόστος για τους παρόχους και, κατά συνέπεια, για τους τελικούς χρήστες.

Η DSL είναι διαθέσιμη σε δύο κύριες κατηγορίες: ADSL και SDSL, και έρχεται σε όλες τις μορφές ψηφιακών γραμμών. Χρησιμοποιώντας τις υπάρχουσες χάλκινες τηλεφωνικές γραμμές που βρίσκονται σε εκατομμύρια σπίτια, εταιρείες, γραφεία και άλλες δομές, η DSL προσφέρει γρήγορη σύνδεση στο διαδίκτυο. Όταν συγκρίνουμε τις τεχνολογίες DSL και WiMAX, η κάθε μία έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Όσον αφορά την πρόσβαση, το WiMAX χρησιμοποιείται για ασύρματη πρόσβαση, ενώ το DSL χρησιμοποιείται πιο συχνά για ενσύρματη πρόσβαση. Η δυνατότητα του WiMAX να είναι αποσυνδεδεμένο από καλώδια είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τη συντήρηση του δικτύου και την ευκολία. Η περίπλοκη δομή ενός δικτύου DSL καθιστά τις αναβαθμίσεις του τόσο δαπανηρές όσο και κάπως δύσκολες.

Εξαιτίας αυτού, είναι πολύ πιθανό ότι σε περιοχές χωρίς υπάρχουσες τηλεφωνικές γραμμές, οι πάροχοι θα προτιμήσουν την τεχνολογία WiMAX. Επιπλέον, το WiMAX έχει το πλεονέκτημα όσον αφορά την κάλυψη. Το WiMAX μπορεί να προσφέρει συνδεσιμότητα έως 9,66 χιλιόμετρα, με όλους τους χρήστες να μοιράζονται την ίδια ταχύτητα, σε αντίθεση με τα δίκτυα DSL, τα οποία έχουν εμβέλεια μόλις 3,70 χιλιόμετρα. Επιπλέον, επειδή το WiMAX χρειάζεται μόνο μερικούς σταθμούς βάσης και κάποια CPE για να προσφέρει κάλυψη στις γύρω περιοχές, είναι μια κατάλληλη τεχνολογία για ημι-αστικές ή ακόμη και απομονωμένες περιοχές.

Πρέπει να εξετάσουμε πώς κάθε ένα από αυτά τα συστήματα διαχειρίζεται το ζήτημα της τελευταίας μίλιας προκειμένου να έχουμε μια πλήρη σύγκριση των δύο, τόσο σε όρους κόστους όσο και απόδοσης. (The last-mile issue). Ας υποθέσουμε προς το παρόν ότι ερευνούμε την υπηρεσία ADSL, η οποία μπορεί να παρέχεται μέσω του υπάρχοντος τηλεφωνικού δικτύου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί η σημασία αυτού του γεγονότος αυτή τη στιγμή, καθώς το τηλεφωνικό δίκτυο είναι ιδιαίτερα συνηθισμένο σε μέρη με σύγχρονη τεχνολογία. Φυσικά, σε

ορισμένες από αυτές, οι συνδέσεις ADSL δεν μπορούν να υποστηριχθούν λόγω προβλημάτων ποιότητας δικτύου. Η ανάπτυξη των ινών σε αυτή την περιοχή, σύμφωνα με τον χρήστη, είναι η κύρια δαπάνη σε αυτό το σενάριο.

Οι ίνες αυτές καθαυτές, καθώς και τα έξοδα που σχετίζονται με την εγκατάσταση και τη μετέπειτα συντήρηση, αποτελούν το συνολικό κόστος.

Δεδομένου ότι το WiMAX εξασφαλίζει ευρύτερη κάλυψη και επιτρέπει ασύρματη πρόσβαση στους χρήστες με ταχύτητες τουλάχιστον ίσες με αυτές του DSL, η παραπάνω σύγκριση δείχνει σαφώς τα πλεονεκτήματα του WiMAX σε σχέση με το DSL. Ωστόσο, το DSL είναι μια τεχνολογία που βασίζεται και αξιοποιεί την υπάρχουσα υποδομή τηλεφώνου. Ενώ η ασύρματη μεταφορά δεδομένων επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του σήματος στο κανάλι μετάδοσης, η ενσύρματη τεχνολογία μπορεί αναμφίβολα να προσφέρει υψηλό βαθμό ασφάλειας στη μετάδοση δεδομένων. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι το WiMAX είναι μια νέα τεχνολογία που θα χρειαστεί χρόνο για να εδραιωθεί και θα απαιτήσει τη συμμετοχή πολλών διαφορετικών φορέων για να βοηθήσουν στην επίλυση τυχόν προβλημάτων.

1.7.2 WiMAX WiFi

Το Wi-Fi, το οποίο ονομάστηκε από το πρότυπο IEEE 802.11, είναι στην πραγματικότητα ένα ακρωνύμιο για την "ασύρματη πιστότητα". Υπάρχουν πολλές εκδόσεις της τεχνολογίας Wi-Fi, αλλά οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες είναι οι 802.11b και 802.11g. Το 802.11b λειτουργεί στη συχνότητα 2,4 GHz ISM, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στη πλειονότητα των χωρών του κόσμου. Αυτό οδήγησε στην ταχεία υιοθέτηση της τεχνολογίας; μπορεί επίσης να παρέχει ταχύτητες υψηλότερες από 11Mbps. Στα 2.4 GHz, υπάρχουν 14 διαθέσιμα κανάλια, ωστόσο μόνο τρία είναι μη επικαλυπτόμενα. Η μεγαλύτερη κάλυψη αυτού του μοντέλου εκτείνεται περίπου σε 100 μέτρα σε εξωτερικό χώρο και 30 μέτρα σε εσωτερικό. Το Wi-Fi χρησιμοποιεί τεχνολογίες παρόμοιες με αυτές του Ethernet για να προσφέρει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων και ευρεία κάλυψη δικτύου. Ο κύριος στόχος του σχεδιασμού του 802.11g ήταν να διασφαλίσει τη συμβατότητα με το 802.11b, ενώ ταυτόχρονα να ενσωματώσει πολλές βελτιώσεις στην ασφάλεια. Για ταχύτητες μεγαλύτερες από 54 Mbps, το πρότυπο έχει υιοθετήσει τη μετατροπή OFDM.

Ο συνασπισμός WEC (Wireless Ethernet Compatibility), ο οποίος αργότερα άλλαξε το όνομά του σε Wi-Fi συμμαχία το 2003 και αποτελείται από αρκετές εταιρείες λογισμικού για τηλεπικοινωνίες, συμπεριλαμβανομένων των 3COM, Nokia και άλλων, πιστοποίησε το πρότυπο. (Ling Bail). Η κύρια κινητήρια δύναμη για την ίδρυση της Wi-Fi Alliance ήταν η αντιμετώπιση προβλημάτων τυποποιημένης συνδεσιμότητας και η διαχείριση δικτύων Wi-Fi. Επιπλέον, η συγκεκριμένη διάταξη καθίσταται δυνατή χάρη σε αυτή τη συμμαχία. ένα λογότυπο που μπορεί να φαίνεται μόνο σε συμβατές συσκευές. Το έμβλημα Wi-Fi έχει πιστοποιηθεί σε πάνω από 3.300 προϊόντα από την αρχή του προϊόντος τον Μάρτιο του 2000.

Το WiMAX και το Wi-Fi μοιράζονται πολλές ομοιότητες, ξεκινώντας από το γεγονός ότι και οι δύο είναι ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνίας. Ο κύριος στόχος των δύο μοντέλων που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι η μετάδοση δεδομένων μέσω δικτύων IP. Ο IEEE ανέπτυξε και δημιούργησε και τα δύο πρότυπα. Και οι δύο προαναφερόμενες προσεγγίσεις προάγουν την διαλειτουργικότητα, έχουν δοκιμαστεί από εκατοντάδες μέλη συμμαχιών και έχουν υποστηριχθεί και προωθηθεί με παρόμοιο τρόπο από διάφορες συμμαχίες παρόχων και προμηθευτών. Αυτή τη στιγμή, αρκετά μέλη της συμμαχίας WLAN λειτουργούν ως βασικά μέλη του φόρουμ WiMAX. (Forum WiMAX).

Ωστόσο, υπάρχουν επίσης πολλές διακρίσεις μεταξύ αυτών των δύο μοντέλων. Το WiMAX μπορεί να επιτρέψει την επικοινωνία μεταξύ μεγάλων μητροπολιτικών δικτύων εκτός από τα μικρότερα, ενώ το Wi-Fi μπορεί να παρέχει μόνο συνδεσιμότητα μεταξύ τοπικών δικτύων. Όταν υπάρχει μία μόνο βάση σταθμού και η προβλεπόμενη ταχύτητα μετάδοσης είναι 75 Mbps, το 802.164 μπορεί να προσφέρει ασύρματη επικοινωνία σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 30 μίλια. Αντίθετα, το Wi-Fi μπορεί να συνδέσει μια συσκευή σε απόσταση έως 300 πόδια και με μέγιστη ταχύτητα 54 Mbps. Οι ζώνες Wi-Fi μπορούν να λειτουργούν αδιάλειπτα έως και 300 μέτρα έξω και μόλις 100 μέτρα μέσα. Η κύρια αιτία των αξιοσημείωτων διαφορών εμβέλειας των δύο συστημάτων είναι οι διαφορές στις αρχιτεκτονικές των MAC και του Φυσικού Επιπέδου. (Level of Medium Access Control). Η χωρητικότητα που παρέχουν οι δύο τεχνολογίες είναι η επόμενη περιοχή στην οποία αποκλίνουν.

Το WiMAX εκμεταλλεύεται πολλά περισσότερα επικοινωνιακά κανάλια και μια πολύ ευρύτερη συχνότητα. Ο αριθμός των χρηστών που προορίζεται να υποστηρίξει το κάθε ένα από τα δύο

μοντέλα είναι μια άλλη σημαντική διάκριση. Το πρωτόκολλο MAC του Wi-MAX, από την άλλη πλευρά, έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει εκατοντάδες χρήστες ταυτόχρονα, ενώ το Wi-Fi μπορεί να υποστηρίξει μόνο μερικές δεκάδες. Οι υπηρεσίες που παρέχει το WiMAX είναι μια άλλη σημαντική διάκριση. Ας υποθέσουμε για μια στιγμή ότι το Wi-Fi είναι ανίκανο να διαχειριστεί την ομίχλη. Τελικά, το WiMAX χρησιμοποιεί 256 ή 2048 σημεία στο EFT, ενώ το 802.11 χρησιμοποιεί μόνο 64, καθιστώντας το πιο ανθεκτικό στην πολλαπλή εξασθένιση. Το γεγονός ότι το WiMAX και το Wi-Fi προορίζονται για διάφορους σκοπούς είναι η κύρια διαφορά τους. Το Wi-Fi, σε αντίθεση με το WiMAX, επικεντρώνεται στην ασύρματη επικοινωνία σε πολύ μικρότερες περιοχές. Επιπλέον, σε αντίθεση με το Wi-Fi, το οποίο προσφέρει μόνο σταθερή ασύρματη σύνδεση, το WiMAX χρησιμοποιείται για επικοινωνία τόσο σε κινητές όσο και σε σταθερές καταστάσεις. Καθίσταται σαφές ότι το WiMAX υπερτερεί του Wi-Fi σε αρκετούς τομείς. Είναι κρίσιμο να θυμόμαστε ότι το Wi-Fi ήταν μια προϋπάρχουσα τεχνολογία όταν εμφανίστηκε το WiMAX, γι' αυτό και πολλοί προμηθευτές επένδυσαν σε αυτήν αντί να θελήσουν να μεταβούν στο WiMAX, το οποίο θα ήταν πολύ ακριβό για αυτούς οικονομικά. Οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις, ωστόσο, κυρίως δείχνουν τη συνύπαρξη και των δύο τεχνολογιών, καλύπτοντας τις αδυναμίες η μία της άλλης. Το Wi-Fi σε μικρότερα δίκτυα LAN θα προσφέρει μια λύση για όλους τους τύπους δικτύων, ενώ το WiMAX θα είναι η απάντηση για τα δίκτυα MAN.

1.7.3 WiMAX 3G

Τα παγκόσμια ψηφιακά δίκτυα που είναι γνωστά ως δίκτυα 3G συνδυάζουν αρκετά χαρακτηριστικά σε ασύρματα συστήματα επικοινωνίας για να προσφέρουν μια εκτενή γκάμα υπηρεσιών. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα και υπηρεσίες φωνής μέσω δικτύων 3G. Ωστόσο, είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι το WiMAX επιδιώκει να παρέχει γρήγορη μεταφορά δεδομένων σε Μητροπολιτικές Περιοχές, σε αντίθεση με τα δίκτυα 3G. Υποστηρίζεται από αυτό πολλές τερματικές συσκευές, συμπεριλαμβανομένων φορητών υπολογιστών, PDA και κινητών τηλεφώνων με ενσωματωμένα τσιπ WiMAX. Είναι η τεχνολογία που γεφυρώνει τα κενά μεταξύ των δικτύων Wi-Fi και 3G. Είναι μια νέα τεχνολογία που υπερβαίνει πολλές από τις υπηρεσίες που προσφέρονται από τα δίκτυα Wi-Fi και 3G, δεν είναι αντίπαλος ή υποκατάστατο αυτών. Η κωδικοποίηση OFDM, η οποία θεωρείται επίσης η βάση της επόμενης γενιάς δικτύων 4G, είναι το θεμέλιο της κινητής τεχνολογίας WiMAX. Η αρχιτεκτονική WiMAX προσφέρει εξαιρετική ποιότητα υπηρεσιών και ευελιξία στη

διαμόρφωση μεμονωμένων δικτύων. Η σύγχρονη αγορά ασύρματων επικοινωνιών κάνει εκτενή χρήση των τεχνολογιών WCDMA και CDMA2000. Η HSDPA (Υψηλή Ταχύτητα Πρόσβασης Δεδομένων Πακέτου) δημιουργήθηκε από τον 3GPP για το WCDMA προκειμένου να καταστήσει τα δίκτυα 3G πιο ανταγωνιστικά με το WiMAX και γενικά να βελτιώσει τα δίκτυα 3G. Ωστόσο, προκειμένου να υποστηρίξει το CDMA2000, η 3GPP2 δημιούργησε το 1xEVDO-Rev 0 και το 1xEVDO-Rev, τα οποία επέτρεψαν ταχύτερη μεταφορά δεδομένων. Σε σύγκριση με τα δίκτυα 3G, το WiMAX προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, από τα οποία το πιο αξιοσημείωτο είναι η ευρεία κάλυψη και οι γρήγοροι ρυθμοί μετάδοσης. Ένας πύργος WiMAX μπορεί να καλύψει μια περιοχή που είναι περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη από έναν συγκρίσιμο πύργο δικτύου 3G. Το WiMAX παρέχει επεκτάσιμη εύρος ζώνης για να καλύψει την μεγαλύτερη δυνατή περιοχή. Μειώνει το φαινόμενο της παρεμβολής προάγοντας τη χρήση της τεχνολογίας έξυπνων κεραιών. Επιπλέον, σε αντίθεση με τα δίκτυα 3G, όπου ο έλεγχος των προσφερόμενων υπηρεσιών είναι εξαιρετικά περιορισμένος και ελλιπής, το WiMAX προσφέρει έλεγχο στις υπηρεσίες που παραδίδονται. Οι κατώτερης ποιότητας κλάσεις ενδέχεται να αποκλειστούν ως αποτέλεσμα της αυξημένης κίνησης σε κλάσεις υψηλότερης προτεραιότητας στο 3G και κατά τη διάρκεια συμφόρησης του δικτύου. Το WiMAX προσφέρει μια ποικιλία από διακριτές τεχνικές για την παροχή υπηρεσιών, καθιστώντας αυτό το σενάριο απίθανο να συμβεί.

Η φασματική αποδοτικότητα και η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων που προσφέρουν τα δίκτυα 3G είναι πολύ κατώτερες από αυτές του WiMAX.

Όταν συγκρίνουμε τις θέσεις των δύο τεχνολογιών στην παγκόσμια αγορά, πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι τα δίκτυα 3G έχουν πρωτοστατήσει στη βιομηχανία κινητής ασύρματης επικοινωνίας για αρκετό καιρό. Είναι προφανές από μετρήσεις και έρευνες ότι οι παροχείς υπηρεσιών και οι τηλεπικοινωνιακές εταιρείες προτιμούν να αναβαθμίσουν τα υπάρχοντα δίκτυα 3G τους παρά να επενδύσουν σε μια εναλλακτική τεχνολογία όπως το WiMAX. Στην αγορά, η τεχνολογία HSDPA είναι πιο πλεονεκτική από το WiMAX. Αν και εισήχθη το 2005, το WiMAX είναι ακόμα σε βρεφική ηλικία. Υπάρχει πολλή δυναμική και υποστήριξη για το HSDPA από την υπάρχουσα υποδομή.

Η αναβάθμιση του σχετικού και κατάλληλου λογισμικού καθιστά τη μετάβαση από WCDMA σε HSDPA απλή και γρήγορη. Πριν από την ωρίμανση του προτύπου, η ανάπτυξη της αγοράς WiMAX θα περάσει από μια περίοδο αβεβαιότητας. Για μερικά χρόνια, τα δίκτυα WiMAX και 3G θα συνυπάρχουν πριν συγχωνευτούν για να σχηματίσουν τα δίκτυα 4G. Επιπλέον, οι πάροχοι μπορούν να δαπανήσουν χρήματα σε WiMAX για να διαχειριστούν την κίνηση που προέρχεται από τα δίκτυα 3G. Είναι ακόμα δυνατό να παρέχονται υπηρεσίες backhaul υψηλής ποιότητας συνδυάζοντας WiMAX και 3G, κάτι που θα αυξήσει το ARPU των καταναλωτών.

Οι άδειες 3G αποκτήθηκαν από παρόχους υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας που έχουν ήδη επενδύσει ένα σημαντικό ποσό χρημάτων στα δίκτυά τους. Επιπλέον, ξοδεύουν περισσότερα χρήματα για τη συντήρηση και τη λειτουργία του δικτύου, αν και οι άδειες δικτύου WiMAX είναι προφανώς πολύ φθηνότερες. Για παράδειγμα, μια άδεια για ένα δίκτυο WiMAX στη Γερμανία κοστίζει 360 εκατομμύρια ευρώ, ενώ μια άδεια για ένα δίκτυο 3G κοστίζει πάνω από 50 δισεκατομμύρια ευρώ. Το γεγονός ότι το WiMAX μπορεί να λειτουργεί σε μη διεκδικούμενες συχνότητες και σε ένα πολύ μεγαλύτερο φάσμα συχνοτήτων από το 3G είναι ένα από τα κύρια πλεονεκτήματά του. Η προσιτή τιμή του απαραίτητου εξοπλισμού παίζει ρόλο στην ανάπτυξη των δικτύων WiMAX. Ως παράδειγμα, βλέπουμε ότι ένας πύργος WiMAX, ο οποίος κοστίζει περίπου όσο και ένας αντίστοιχος πύργος 3G, μπορεί να καλύψει μια απόσταση που είναι περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη, απαιτώντας σημαντικά μικρότερο αριθμό σταθμών WiMAX σε σύγκριση με τους 3G. Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μονοπωλιακές τεχνικές που θα οδηγούσαν σε μειώσεις τιμών δεν μπορούν να εφαρμοστούν λόγω των πολλών προμηθευτών που αποτελούν τη βάση της τεχνολογίας WiMAX.

1.7.4 WiMAX LTE

Το νέο πρότυπο του Τρίτης Γενιάς Συνεργατικού Έργου (TGPPP), γνωστό ως LTE, στοχεύει στη βελτίωση των υπηρεσιών που προσφέρει η τεχνολογία κινητής επικοινωνίας UMTS. Αυτές οι δύο προδιαγραφές συγκρίνονται στον παρακάτω πίνακα με βάση την κάλυψη που προσφέρουν για τα συστήματα επικοινωνίας τέταρτης γενιάς. Η σύγκριση επικεντρώνεται κυρίως στις επιδόσεις τους όσον αφορά το φυσικό επίπεδο. Διαπιστώνουμε ότι το WiMAX έχει χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων στις κατευθύνσεις ανόδου και καθόδου. Είναι προφανές από τους παρακάτω πίνακες ότι υπάρχουν τεχνολογικές ομοιότητες μεταξύ του 3GPP-LTE και του προτύπου WiMAX όσον αφορά την απόδοση και την ποιότητα. Από την

άποψη της αγοράς, ωστόσο, υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο προτύπων, διότι, όπως έχει ήδη διαπιστωθεί, το WiMAX θεωρείται ότι είναι πιο ανεπτυγμένο για προώθηση στις παγκόσμιες αγορές. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι λόγω του σχεδιασμού και της χρήσης αυτών των συγκεκριμένων τεχνολογιών, το WiMAX είναι πιθανώς η καλύτερη επιλογή για πρόσβαση σε κινητό ευρυζωνικό δίκτυο τόσο για νέους όσο και για υπάρχοντες παρόχους DSL που επιθυμούν να προσφέρουν κινητές υπηρεσίες. Τα δεδομένα μας οδηγούν επίσης στο συμπέρασμα ότι οι πάροχοι υπηρεσιών UMTS/HSPA ανεπτυγμένων χωρών θα

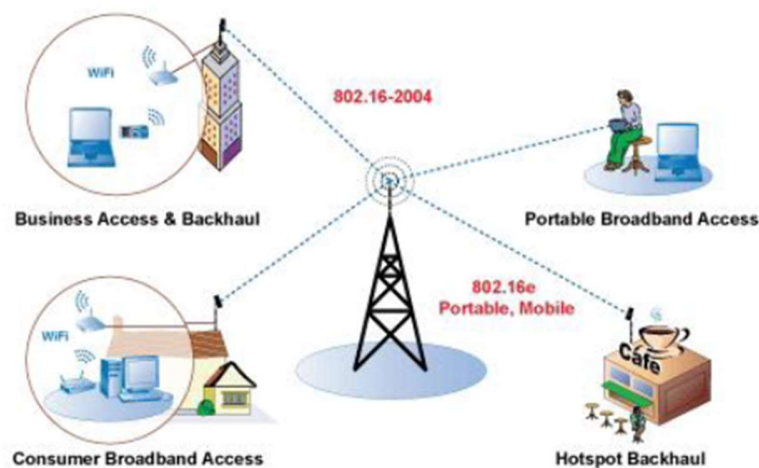
προτιμήσουν το 3GPP-LTE, ενώ οι πάροχοι πρόσβασης κινητής ευρυζωνικότητας όπως το CDMA 2000 και το GSM/EDGE θα προτιμήσουν το mobile WiMAX, το οποίο θα δημιουργήσουν με βάση το υπάρχον δίκτυό τους. [5] [6]

2 Κεφάλαιο 2

2.1 IEEE 802.16e Πρότυπο

Περιγραφή και βελτιώσεις για κινητή πρόσβαση

Το πρότυπο IEEE 802.16e, κοινώς γνωστό ως Mobile WiMAX, είναι μια βελτίωση του αρχικού προτύπου IEEE 802.16 που έχει σχεδιαστεί για την υποστήριξη κινητής ευρυζωνικής ασύρματης πρόσβασης. Το πρότυπο IEEE 802.16e επικυρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2005 και επέφερε σημαντικές βελτιώσεις στις δυνατότητες του WiMAX, επιτρέποντάς του να υποστηρίζει όχι μόνο σταθερούς αλλά και κινητούς χρήστες.



Εικόνα 2.1-1 Δίκτυο

2.2 Χαρακτηριστικά του προτύπου IEEE 802.16e

2.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά

SOFDMA, ή κλιμακωτό OFDMA

Στα σύγχρονα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας, η κλιμακούμενη ορθογώνια διαίρεση συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης, ή SOFDMA, είναι μια ζωτική και εξελιγμένη τεχνολογία. Λόγω της ικανότητάς του να κατανέμει διάφορες ζώνες συχνοτήτων με βάση τις μοναδικές

ανάγκες του δικτύου, το SOFDMA προσφέρει μια ευέλικτη μέθοδο χρήσης του φάσματος. Αυτή η προσαρμοστικότητα επιτρέπει τη χρήση μιας ευρείας γκάμας εύρους ζώνης καναλιών, από 1,25 MHz έως 20 MHz. Οι πάροχοι δικτύου μπορούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση ακόμη και σε συνθήκες συμφόρησης ή περιορισμένου φάσματος, χάρη στην κλιμάκωσή του, που τους διασφαλίζει ότι θα κάνουν αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων πόρων φάσματος. Η επεκτασιμότητα του SOFDMA σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιοχές όπου η διαθεσιμότητα φάσματος και οι κανονιστικές ρυθμίσεις διαφέρουν. Η SOFDMA διευκολύνει την υλοποίηση συστημάτων επικοινωνίας σε διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες και ρυθμιστικά πλαίσια, υποστηρίζοντας μια ευρεία γκάμα μεγεθών καναλιών. Αυτή η ευελιξία διασφαλίζει ότι οι χειριστές μπορούν να βελτιστοποιούν την ικανότητα και την αποδοτικότητα του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα πληρούν τις τοπικές κανονιστικές απαιτήσεις.

Σύγχρονες Μέθοδοι για Κεραίες

MIMO σημαίνει πολλαπλή είσοδος/πολλαπλή έξοδος. Το MIMO είναι μια πρωτοποριακή τεχνολογία που χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες στις πλευρές του πομπού και του δέκτη για να βελτιώσει σημαντικά την ασύρματη επικοινωνία. Χρησιμοποιώντας χωρική ποικιλία και χωρικό πολλαπλασιασμό, διαφορετικά ρεύματα δεδομένων μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα πάνω στην ίδια συχνότητα χάρη στο MIMO. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές βελτιώσεις στη ροή δεδομένων, την ποιότητα σήματος και τη συνολική απόδοση του συστήματος. Με την προσφορά ανθεκτικότητας απέναντι σε παρεμβολές και εξασθένηση σήματος, η τεχνολογία MIMO βελτιώνει περαιτέρω την αξιοπιστία εξασφαλίζοντας μια πιο σταθερή και αξιόπιστη σύνδεση ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες.

Beamforming

Αυτή η περαιτέρω εξελιγμένη τεχνολογία κεραιών αυξάνει την αποτελεσματικότητα, την κάλυψη και την ποιότητα των ασύρματων επικοινωνιών. Η τεχνική της κατευθυνόμενης εκπομπής (beamforming) είναι μια μέθοδος που βελτιώνει την ισχύ του σήματος και ελαχιστοποιεί την παρεμβολή στην επιλεγμένη περιοχή κάλυψης, κατευθύνοντας με έξυπνο τρόπο την εκπομπή ραδιοσημάτων σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Αυτή η στοχευμένη στρατηγική αυξάνει την κάλυψη του δικτύου καθώς και την συνολική ποιότητα του σήματος, ειδικά σε περιοχές με πυκνές πληθυσμιακές συγκεντρώσεις ή περίπλοκες συνθήκες διάδοσης.

Η κατευθυντική ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε καταστάσεις όπου απαιτείται ακριβής στόχευση σήματος, όπως μέσα σε κτίρια ή σε αστικές περιοχές.

Το MIMO και η διαμόρφωση δέσμης είναι δύο προηγμένες τεχνικές κεραιών που λειτουργούν από κοινού για να βελτιώσουν σημαντικά την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων, να επεκτείνουν την κάλυψη του δικτύου και να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα του σήματος σε περιβαλλοντικά εμπόδια. Στα σύγχρονα δίκτυα, είναι απαραίτητα για την επίτευξη υψηλής απόδοσης ασύρματης επικοινωνίας.

Καλύτερη Κωδικοποίηση και Ρύθμιση

Η AMC, ή προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση, είναι μια δυναμική προσέγγιση που τροποποιεί το ρυθμό κωδικοποίησης και το σχέδιο διαμόρφωσης σε πραγματικό χρόνο ανάλογα με τις τρέχουσες συνθήκες του καναλιού. Η AMC επιλέγει τις καλύτερες παραμέτρους διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, αξιολογώντας συνεχώς την ποιότητα του επικοινωνιακού συνδέσμου για να προσφέρει την καλύτερη δυνατή απόδοση δεδομένων. Για παράδειγμα, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει χαμηλότερους ρυθμούς κωδικοποίησης και μεθόδους υψηλότερης τάξης διαμόρφωσης για να μεγιστοποιήσει τη ροή δεδομένων όταν οι συνθήκες του καναλιού είναι κατάλληλες. Από την άλλη πλευρά, για να διατηρηθεί μια αξιόπιστη σύνδεση υπό δυσμενείς συνθήκες, το σύστημα μπορεί να καταφύγει σε πιο ανθεκτικά σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

Το πλεονέκτημα του AMC είναι η ικανότητά του να εξισορροπεί την αξιοπιστία και τον ρυθμό δεδομένων σε απάντηση στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του ασύρματου καναλιού. Αυτή η ευελιξία εξασφαλίζει ότι οι καταναλωτές λαμβάνουν σταθερή απόδοση, είτε βρίσκονται σε περιοχές με ασθενή σήμα είτε σε περιβάλλοντα υψηλής ταχύτητας κινητής τηλεφωνίας. Η AMC βελτιώνει τη συνολική αποδοτικότητα και αξιοπιστία του δικτύου, βελτιστοποιώντας τη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που ενισχύει την εμπειρία του χρήστη.

Διαχείριση Κινητικότητας

Η ικανότητα των σύγχρονων ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας να συνεχίζουν να παρέχουν υπηρεσίες ακόμη και όταν οι πελάτες μετακινούνται σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές που εξυπηρετούνται από ξεχωριστές κεραιές είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ομαλών πρωτοκόλλων μεταφοράς, τα οποία επιτρέπουν στις

συσκευές να μετακινούνται από ένα κύτταρο σε άλλο χωρίς αντιληπτές διακοπές στην υπηρεσία. Η ομαλή μεταφορά εξασφαλίζει αδιάλειπτες συνομιλίες, συνεδρίες δεδομένων ή υπηρεσίες ροής, είτε ο χρήστης μετακινείται μεταξύ ορόφων ενός κτιρίου, είτε οδηγεί σε μια πόλη, είτε περιπατεί. Αυτά τα προηγμένα συστήματα μεταφοράς είναι σχεδιασμένα να διαχειρίζονται αποτελεσματικά την αλλαγή μεταξύ κυψελών, μειώνοντας την απώλεια πακέτων και την καθυστέρηση στη διαδικασία. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για υπηρεσίες επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο όπως η φωνητική επικοινωνία μέσω IP (VoIP), οι βιντεοκλήσεις και η ζωντανή μετάδοση, καθώς ακόμη και μια μικρή διακοπή μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στην εμπειρία του χρήστη. Οι αδιάλειπτες διαδικασίες μεταφοράς παρέχουν συνεχόμενη συνδεσιμότητα, προσφέροντας έτσι στους καταναλωτές μια συνεπή και εύχρηστη εμπειρία επικοινωνίας, ανεξάρτητα από τις κινήσεις ή τις τοποθεσίες τους.

Λειτουργία Αναμονής για Εξοικονόμηση Μπαταρίας

Η ενεργειακή αποδοτικότητα είναι μια παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό σύγχρονων συστημάτων επικοινωνίας, εκτός από την εξασφάλιση της συνδεσιμότητας κατά τη διάρκεια της ενεργής χρήσης. Ένα αδρανές mode μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει δραστηρικά την κατανάλωση ενέργειας μιας συσκευής ενώ δεν στέλνει ή δεν λαμβάνει ενεργά δεδομένα. Η συσκευή μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας της σε αυτή τη λειτουργία αναμονής, αυξάνοντας τον χρόνο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί πριν χρειαστεί να φορτιστεί. ενώ η μεταφορά δεδομένων είναι απαραίτητη, η συσκευή χαμηλής κατανάλωσης παραμένει έτοιμη να επανασυνδεθεί γρήγορα, διασφαλίζοντας ότι ο χρήστης αντιμετωπίζει την ελάχιστη καθυστέρηση κατά την επιστροφή του στην δραστηριότητα. Οι κινητές συσκευές, οι οποίες εξαρτώνται από τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και συχνά πρέπει να κάνουν συμβιβασμούς μεταξύ απόδοσης και ενεργειακής αποδοτικότητας, θα ωφεληθούν σημαντικά από την εισαγωγή της λειτουργίας αδράνειας. Η λειτουργία αδράνειας βοηθά στην παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας ελέγχοντας δυναμικά τη χρήση ενέργειας, επιτρέποντας στους χρήστες να παραμένουν συνδεδεμένοι για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους χωρίς να ανησυχούν για την ανάγκη συνεχούς φόρτισης των συσκευών τους. Αυτή η λειτουργία είναι κρίσιμη για να διασφαλίσει ότι οι κινητές συσκευές λειτουργούν όλη την ημέρα, ειδικά για χρήστες που είναι συνεχώς εν κινήσει και μπορεί να μην έχουν εύκολη πρόσβαση σε πρίζες για φόρτιση.

Παροχή Συνεχούς Υποστήριξης για Χρήστες Κινητών

Αυτές οι προηγμένες δυνατότητες—αδιάλειπτη μετάβαση και κατάσταση αδράνειας—είναι κρίσιμες για την παροχή στους χρήστες κινητών μιας συνεπούς και αξιόπιστης υπηρεσίας, όπως συμβαίνει και στα παραδοσιακά κυψελωτά δίκτυα. Μαζί, αυτές οι τεχνολογίες διασφαλίζουν ότι η υπηρεσία είναι ανταγωνιστική και συνεχής, είτε οι πελάτες χρησιμοποιούν GPS για να πλοηγηθούν είτε απλώς περιηγούνται στο διαδίκτυο. Η δυνατότητα να συνεχίζεις να λαμβάνεις υπηρεσίες ενώ είσαι εν κινήσει είναι ουσιώδης για ολόκληρη την εμπειρία των κινητών πελατών. Οι χρήστες μπορούν να βασίζονται στις συσκευές τους για να παραμένουν συνδεδεμένοι, είτε ταξιδεύουν με γρήγορες ταχύτητες, είτε διασχίζουν αστικές περιοχές, είτε και τα δύο, χάρη στον συνδυασμό ομαλής μεταφοράς και αποτελεσματικής διαχείρισης μπαταρίας. Οι σύγχρονες επικοινωνιακές υποδομές βασίζονται σε αυτό το θεμέλιο της συνέπειας στην υπηρεσία, που επιτρέπει στους χρήστες να είναι ενημερωμένοι, διασκεδασμένοι και παραγωγικοί όπου κι αν βρίσκονται.

Ποιότητα υπηρεσίας QoS

Οι ροές υπηρεσιών είναι κρίσιμες για τη διαχείριση και την μεγιστοποίηση της απόδοσης διαφόρων τύπων κυκλοφορίας στα σύγχρονα δίκτυα επικοινωνίας. Αυτές οι ροές παρέχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) για διάφορους τύπους δεδομένων, διασφαλίζοντας ότι παρέχεται η σωστή ποσότητα υπηρεσίας σε κάθε μορφή κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, λόγω της ευαισθησίας τους σε καθυστερήσεις, τρεμούλες και απώλειες πακέτων, οι premium υπηρεσίες δεδομένων όπως η streaming βίντεο υψηλής ευκρίνειας, οι επικοινωνίες τηλεφώνου σε πραγματικό χρόνο και οι κρίσιμες μεταφορές δεδομένων συχνά απαιτούν υψηλότερα επίπεδα ποιότητας υπηρεσίας (QoS).

Οι ροές υπηρεσιών διασφαλίζουν ότι κάθε είδους δεδομένα λαμβάνει το εύρος ζώνης, την καθυστέρηση και την αξιοπιστία που χρειάζεται για να λειτουργεί στο καλύτερο δυνατό επίπεδο, ταξινομώντας και ιεραρχώντας την κίνηση σύμφωνα με τις μοναδικές της απαιτήσεις. Για να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη, συνεχής επικοινωνία, οι υπηρεσίες φωνής και βίντεο σε πραγματικό χρόνο, για παράδειγμα, έχουν υψηλότερα επίπεδα προτεραιότητας λόγω της εξαιρετικής τους ευαισθησίας σε καθυστερήσεις. Ωστόσο, τα λιγότερο ευαίσθητα σε χρόνο δεδομένα μπορούν να έχουν χαμηλότερη προτεραιότητα στην επεξεργασία, όπως οι λήψεις στο

παρασκήνιο ή η κανονική περιήγηση στο διαδίκτυο, χωρίς να υποβαθμίζεται η εμπειρία του χρήστη.

Το δίκτυο μπορεί να διαχειρίζεται πιο αποτελεσματικά τους πόρους χάρη σε αυτή τη διαφορά κυκλοφορίας, διασφαλίζοντας ότι οι σημαντικές υπηρεσίες λαμβάνουν την προσοχή που χρειάζονται, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει και άλλους τύπους κυκλοφορίας δεδομένων. Οι ροές υπηρεσιών συμβάλλουν στην παροχή υψηλής ποιότητας, συνεπούς ποιότητας υπηρεσιών (QoS) καθορίζοντας συγκεκριμένες ανάγκες για διάφορους τύπους κυκλοφορίας.

Καθορισμός προτεραιοτήτων και σχεδιασμός

Οι τεχνικές προτεραιοποίησης και προγραμματισμού είναι ουσιώδεις για τη διατήρηση έγκαιρης επεξεργασίας δεδομένων και αποδοτικότητας δικτύου, και υποστηρίζουν τις ροές υπηρεσιών. Η υψηλής προτεραιότητας κυκλοφορία επεξεργάζεται πρώτη χάρη σε αυτούς τους αλγόριθμους, οι οποίοι επίσης αποφασίζουν τη σειρά με την οποία μεταφέρονται τα πακέτα δεδομένων μέσω του δικτύου.

Η ιεράρχηση εξασφαλίζει ότι οι πληροφορίες που πρέπει να επεξεργαστούν άμεσα, όπως η φωνή και το βίντεο σε πραγματικό χρόνο, βρίσκονται στην κορυφή της ουράς επεξεργασίας του δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγονται οι καθυστερήσεις και οι διαταραχές, κάτι που είναι ουσιώδες για τη διατήρηση της ποιότητας των υπηρεσιών επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο. Η προτεραιοποίηση, για παράδειγμα, διασφαλίζει ότι τα δεδομένα ήχου και βίντεο μεταφέρονται χωρίς αισθητή καθυστέρηση ή απώλεια ποιότητας κατά τη διάρκεια μιας βιντεοδιάσκεψης ή μιας ζωντανής εκδήλωσης streaming.

Με την εκχώρηση συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων ή πόρων για τη μετάδοση δεδομένων σύμφωνα με τις καθορισμένες προτεραιότητες, ο προγραμματισμός βελτιώνει περαιτέρω αυτή τη διαδικασία. Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται ότι το δίκτυο μπορεί να διαχειρίζεται πολλούς τύπους κυκλοφορίας ταυτόχρονα χωρίς να υπερφορτώνει καμία περιοχή του δικτύου. Ο προγραμματισμός εξασφαλίζει ότι οι εργασίες υψηλής προτεραιότητας ολοκληρώνονται πρώτες, ενώ επιτρέπει στις εργασίες χαμηλότερης προτεραιότητας να συνεχίζουν όταν οι πόροι είναι διαθέσιμοι, ρυθμίζοντας αποτελεσματικά τη μεταφορά δεδομένων.

Η ιεράρχηση και ο προγραμματισμός συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα ευέλικτο, δυναμικό σύστημα που μπορεί να προσαρμόζεται στις πραγματικές απαιτήσεις του δικτύου. Αυτά τα συστήματα είναι απαραίτητα για την παροχή μιας αξιόπιστης και συνεπούς εμπειρίας χρήστη σε μια σειρά εφαρμογών, όπως οι επιχειρηματικές επικοινωνίες, τα διαδικτυακά παιχνίδια και η ροή πολυμέσων. Οι χρήστες μπορούν να βασίζονται στις βασικές τους υπηρεσίες για να συνεχίζουν να λειτουργούν κανονικά, ακόμη και κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ζήτησης.

Συνοπτικά:

Μέσω ενός συνδυασμού των μοναδικών κριτηρίων ποιότητας υπηρεσίας (QoS) που καθορίζονται από τις ροές υπηρεσιών και της διαχείρισης σε πραγματικό χρόνο που προσφέρεται από τον προγραμματισμό και την ιεράρχηση, τα σύγχρονα δίκτυα επικοινωνίας μπορούν να προσφέρουν στους χρήστες μια αξιόπιστη και ομαλή εμπειρία. Μαζί, αυτές οι τεχνολογίες διασφαλίζουν ότι, ανεξάρτητα από το πόσο περίπλοκο ή απαιτητικό είναι το περιβάλλον του δικτύου, οι καταναλωτές πάντα απολαμβάνουν συνεπή απόδοση σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών, οι ζωτικές υπηρεσίες προτεραιοποιούνται και τα δεδομένα μεταφέρονται αποτελεσματικά. [4]

2.2.2 Βελτιώσεις ασφάλειας

Κρυπτογράφηση: Ένα βασικό στοιχείο της σύγχρονης ασφάλειας δεδομένων είναι η κρυπτογράφηση, η οποία διασφαλίζει ότι τα ιδιωτικά δεδομένα προστατεύονται καθώς μεταφέρονται μέσω δικτύων επικοινωνίας. Το Πρότυπο Προηγμένης Κρυπτογράφησης (AES) είναι ένα από τα πιο δημοφιλή πρότυπα κρυπτογράφησης. Δεδομένου ότι το AES είναι γνωστό για την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά του, αποτελεί μια αξιόπιστη λύση ασφάλειας δεδομένων. Χρησιμοποιεί συμμετρική κρυπτογράφηση κλειδιού, η οποία διασφαλίζει ότι μη εξουσιοδοτημένα μέρη δεν μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση στα δεδομένα εκτός αν διαθέτουν το σωστό κλειδί. Το ίδιο κλειδί χρησιμοποιείται τόσο για την κρυπτογράφηση όσο και για την αποκρυπτογράφηση των δεδομένων.

Το AES χρησιμοποιεί κλειδιά με μήκη 128, 192 ή 256 bit και λειτουργεί σε διαφορετικά επίπεδα ασφάλειας, με τα μεγαλύτερα κλειδιά να προσφέρουν υψηλότερη προστασία. Λόγω

της προσαρμοστικότητάς του, το AES μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικιλία περιβαλλόντων, από την προστασία ιδιωτικών πληροφοριών σε κινητές συσκευές μέχρι την ασφάλιση κρίσιμων επικοινωνιών στους χρηματοοικονομικούς και κυβερνητικούς τομείς. Η δύναμη της κρυπτογράφησης AES έγκειται στην ικανότητά της να αποτρέπει τις προσπάθειες των επιτιθέμενων να αποκρυπτογραφήσουν δεδομένα, ακόμη και μπροστά σε προηγμένες υπολογιστικές μεθόδους.

Τα συστήματα επικοινωνίας εγγυώνται την ασφάλεια και την εμπιστευτικότητα των δεδομένων χρησιμοποιώντας AES, ανεξαρτήτως του αν τα δεδομένα επεξεργάζονται σε περιβάλλοντα cloud, αποθηκεύονται σε συσκευές ή μεταφέρονται μέσω ασύρματων δικτύων. Αυτή η βαθμίδα ασφάλειας είναι απαραίτητη για την αποτροπή της κλοπής ταυτότητας, των παραβιάσεων δεδομένων και της παράνομης πρόσβασης σε ιδιωτικά δεδομένα.

Αυθεντικοποίηση: Ενώ η αυθεντικοποίηση είναι απαραίτητη για να επιβεβαιωθεί η ταυτότητα ενός χρήστη ή μιας συσκευής πριν επιτραπεί η πρόσβαση σε ένα δίκτυο ή υπηρεσία, η κρυπτογράφηση εξασφαλίζει τα ίδια τα δεδομένα. Ένα βασικό στοιχείο της ασφαλούς επικοινωνίας είναι το Πρωτόκολλο Επεκτάσιμης Αυθεντικοποίησης (EAP), μια ισχυρή και προσαρμόσιμη αρχιτεκτονική που υποστηρίζει μια ποικιλία τεχνικών αυθεντικοποίησης.

Πολλά συστήματα αυθεντικοποίησης, όπως αυτά που βασίζονται σε κωδικούς πρόσβασης, ψηφιακά πιστοποιητικά, έξυπνες κάρτες και ακόμη και βιομετρικές πληροφορίες, μπορούν να υποστηριχθούν από το EAP. Λόγω της προσαρμοστικότητάς του, το EAP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ασφάλιση δικτύων σε διάφορες ρυθμίσεις, συμπεριλαμβανομένων των προσωπικών συσκευών και των επιχειρηματικών δικτύων, παρέχοντας πρόσβαση μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Η EAP υποστηρίζει πολλαπλές μεθόδους αυθεντικοποίησης, προσφέροντας μια ισχυρή λύση ασφαλείας που μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να καλύψει τις μοναδικές απαιτήσεις διαφόρων εφαρμογών και οργανισμών. Για παράδειγμα, σε ένα εταιρικό περιβάλλον, το EAP μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να απαιτεί πολυπαραγοντική ταυτοποίηση (MFA), η οποία ενισχύει την ασφάλεια συνδυάζοντας τη γνώση ενός κωδικού πρόσβασης από τον χρήστη με είτε ένα φυσικό αντικείμενο (όπως μια έξυπνη κάρτα) είτε μια ταυτότητα. (like a fingerprint). Με αυτή την

ιεραρχική προσέγγιση, το σύστημα προστατεύεται από επιπλέον εμπόδια ακόμη και στην περίπτωση που μια μέθοδος ταυτοποίησης παραβιαστεί.

Ασφαλής Επικοινωνία: Στα σύγχρονα δίκτυα, η ασφαλής επικοινωνία βασίζεται στον συνδυασμό της αυθεντικοποίησης και της κρυπτογράφησης. Χρησιμοποιώντας το AES για κρυπτογράφηση, τα δεδομένα προστατεύονται από ανεπιθύμητη πρόσβαση κατά τη διάρκεια της μετάδοσης και της αποθήκευσης, διατηρώντας την ακεραιότητα και την εμπιστευτικότητα της πληροφορίας. Ταυτόχρονα, η πιστοποίηση μέσω EAP επιβεβαιώνει τις ταυτότητες χρηστών και συσκευών, διασφαλίζοντας ότι μόνο οι εξουσιοδοτημένα μέρη μπορούν να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο και στους πόρους του.

Τα δεδομένα των χρηστών πρέπει να προστατεύονται από μια ποικιλία κινδύνων, όπως η υποκλοπή, οι επιθέσεις man-in-the-middle και η μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, χρησιμοποιώντας αυτόν τον συνδυασμό αυθεντικοποίησης και κρυπτογράφησης. Αυτά τα μέτρα ασφαλείας προσφέρουν στους καταναλωτές ηρεμία, γνωρίζοντας ότι οι επικοινωνίες και τα δεδομένα τους είναι προστατευμένα από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, είτε χρησιμοποιούν ένα κινητό σύστημα επικοινωνίας, ένα δίκτυο εργασίας ή μια δημόσια περιοχή Wi-Fi.

Σε μια εποχή που οι κυβερνοεπιθέσεις και οι παραβιάσεις δεδομένων γίνονται ολοένα και πιο συχνές, είναι απαραίτητο να υιοθετήσουμε ισχυρές διαδικασίες ταυτοποίησης και κρυπτογράφησης. Αυτές οι λύσεις διατηρούν την αξιοπιστία και την εμπιστοσύνη των δικτύων επικοινωνίας, εκτός από την προστασία ευαίσθητων δεδομένων. Τα δίκτυα μπορούν να διατηρήσουν την ακεραιότητα των υπηρεσιών τους, να υποστηρίξουν τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς και να προστατεύσουν την ιδιωτικότητα των χρηστών διασφαλίζοντας ασφαλή επικοινωνία. [7]

2.2.3 Βελτιώσεις που εισήχθησαν στο IEEE 802.16e για κινητή πρόσβαση

Μετάβαση από IEEE 802.16e σε IEEE 802.16e

Στοχεύοντας στις ανάγκες των κινητών χρηστών, η εξέλιξη του προτύπου IEEE 802.16 σε IEEE 802.16e σημείωσε μια σημαντική πρόοδο στην ασύρματη επικοινωνία. Αν και ο κύριος στόχος

του αρχικού προτύπου IEEE 802.16 ήταν να παρέχει ευρυζωνική πρόσβαση σε σταθερές τοποθεσίες, η τροποποίηση IEEE 802.16e έφερε μια σειρά σημαντικών βελτιώσεων που αύξησαν τη βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα του WiMAX (Παγκόσμια Διαλειτουργικότητα για Πρόσβαση Μικροκυμάτων) ως τεχνολογία για υπηρεσίες κινητής ευρυζωνικότητας. Αυτές οι αναβαθμίσεις έχουν καταστήσει δυνατή την προσφορά περισσότερων εφαρμογών από το WiMAX τόσο σε αστικά όσο και σε προαστιακά περιβάλλοντα, όπως η VoIP, η ροή πολυμέσων και η πρόσβαση στο κινητό διαδίκτυο.

Υποστήριξη για Επιχειρήσεις που Δεν Είναι Ορατές (NLOS):

Το πρότυπο IEEE 802.16e περιλαμβάνει υποστήριξη για λειτουργία μη γραμμικής οπτικής επαφής (NLOS) ως μία από τις κύριες καινοτομίες του. Η λειτουργία NLOS επιτρέπει την αποστολή και λήψη σημάτων ακόμη και όταν εμπόδια όπως κτίρια, δέντρα ή τοπογραφικά χαρακτηριστικά παρεμποδίζουν την άμεση διαδρομή μεταξύ των κεραιών, σε αντίθεση με τις προηγούμενες ασύρματες τεχνολογίες που απαιτούσαν καθαρή οπτική επαφή μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Έχουν προστεθεί χαμηλότερες συχνότητες, ειδικά αυτές στην περιοχή 2–11 GHz, καθώς και προηγμένες μέθοδοι επεξεργασίας σήματος, όπως η προσαρμοστική διαμόρφωση, η διόρθωση σφαλμάτων και η μείωση πολλαπλών διαδρομών, για να παρέχουν αυτή την ικανότητα.

Πλεονέκτημα: Το WiMAX είναι μια ελκυστική εναλλακτική λύση για την παροχή ευρυζωνικών υπηρεσιών σε αστικές και προαστιακές περιοχές όπου η οπτική επαφή μεταξύ του σταθμού βάσης και της συσκευής του χρήστη συχνά καλύπτεται. Η ικανότητά του να λειτουργεί σε ρυθμίσεις NLOS αυξάνει σημαντικά τις επιλογές ανάπτυξης για το WiMAX. Η υποστήριξη για NLOS αυξάνει την ανθεκτικότητα του συστήματος και του επιτρέπει να παρέχει αξιόπιστη συνδεσιμότητα σε περιβάλλοντα με περίπλοχα χαρακτηριστικά διάδοσης, όπως πολυσύχναστες πόλεις ή περιοχές με ποικιλία τοπογραφιών. Αυτή η εξέλιξη είναι ουσιώδης για να διασφαλιστεί ότι οι καταναλωτές μπορούν να έχουν εύκολη πρόσβαση σε επιπλέον υπηρεσίες, όπως το γρήγορο διαδίκτυο, ακόμη και όταν είναι σε κίνηση ή σε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές κάλυψης.

Βελτιωμένοι Τρόποι Παράδοσης:

Επιπλέον, το IEEE 802.16e προσέφερε βελτιωμένους μηχανισμούς παράδοσης για να αυξήσει τη συνέχεια και την αξιοπιστία της υπηρεσίας όταν οι χρήστες κινούνται. Η υποστήριξη τόσο σκληρών όσο και μαλακών τεχνικών μεταφοράς—οι οποίες είναι κρίσιμες για τη διατήρηση της συνδεσιμότητας όταν οι χρήστες αλλάζουν μεταξύ διαφόρων σταθμών βάσης—είναι μία από τις πιο σημαντικές πτυχές σε αυτό το πλαίσιο. Το πρότυπο περιέχει συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές για την Παράδοση Μακροενότητας (MDHO) και την Ταχεία Εναλλαγή Σταθμού Βάσης (FBSS).

Με τη χρήση της Γρήγορης Εναλλαγής Σταθμών Βάσης (FBSS), μια κινητή συσκευή μπορεί να αλλάζει γρήγορα μεταξύ σταθμών βάσης χωρίς να βιώνει καμία αισθητή διακοπή υπηρεσίας. Όταν οι βάσεις σταθμών είναι κοντά η μία στην άλλη και οι χρήστες μπορεί να κινούνται τακτικά μεταξύ των ζωνών εξυπηρέτησης, το FBSS είναι ιδιαίτερα χρήσιμο.

Η Παράδοση Μακρο-Ποικιλίας, ή MDHO, είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει σε μια κινητή συσκευή να παραμένει συνδεδεμένη σε αρκετούς σταθμούς βάσης ταυτόχρονα. Αυτό δημιουργεί ένα όφελος ποικιλίας που βελτιώνει την ποιότητα του σήματος και μειώνει την πιθανότητα αποσυνδέσεων. Αυτή η μέθοδος λειτουργεί ιδιαίτερα καλά σε περιοχές όπου η ισχύς του σήματος ποικίλλει, όπως τα όρια των ζωνών κάλυψης ή οι πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Όφελος: Όταν οι χρήστες κινούνται, αυτές οι βελτιωμένες διαδικασίες μεταβίβασης είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της συνδεσιμότητας και για να προκαλούν την ελάχιστη δυνατή διακοπή υπηρεσίας. Είτε ο χρήστης οδηγεί, είτε χρησιμοποιεί δημόσιες συγκοινωνίες, είτε περπατά σε μια πολυσύχναστη πόλη, αυτοί οι μηχανισμοί βοηθούν στη διατήρηση μιας σταθερής και αδιάλειπτης σύνδεσης. Το IEEE 802.16e επιτρέπει μια ομαλή μετάβαση μεταξύ των βάσεων σταθμών, διευκολύνοντας τόσο τις μαλακές όσο και τις σκληρές μεταφορές. Αυτό μειώνει την καθυστέρηση και αποτρέπει τις χαμένες κλήσεις και τις διακοπές στις συνεδρίες δεδομένων. Αυτή η δυνατότητα είναι κρίσιμη για την παροχή μιας αξιόπιστης και συνεπούς εμπειρίας χρήστη, ειδικά για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο όπως οι υπηρεσίες streaming, τα διαδικτυακά παιχνίδια και η βιντεοδιάσκεψη.

Συνοπτικά:

Το IEEE 802.16e, το οποίο αντικατέστησε το IEEE 802.16, είναι μια σημαντική πρόοδος που καθιστά το WiMAX μια εφικτή τεχνολογία για υπηρεσίες κινητής ευρυζωνικότητας. Με την προσθήκη προηγμένων διαδικασιών μεταβίβασης και υποστήριξης για λειτουργία εκτός οπτικής επαφής, το WiMAX είναι πλέον πιο εφαρμόσιμο σε ένα ευρύτερο φάσμα ρυθμίσεων, καθιστώντας το μια πιο αξιόπιστη και προσαρμόσιμη κινητή λύση. Με αυτές τις βελτιώσεις, το WiMAX είναι πλέον σε θέση να καλύψει τις ανάγκες της σύγχρονης κινητής επικοινωνίας, προσφέροντας αξιόπιστη, γρήγορη συνδεσιμότητα σε αστικά και προαστιακά περιβάλλοντα και επιτρέποντας μια ευρεία γκάμα εφαρμογών με ελάχιστη έως καθόλου διακοπή υπηρεσίας.

2.2.4 Διαχείριση ενέργειας και κατάσταση αδράνειας

Η προσθήκη λειτουργιών αδράνειας και ύπνου είναι ένα διακριτικό χαρακτηριστικό. Η αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας είναι ένα κρίσιμο ζήτημα στην σύγχρονη τεχνολογία επικοινωνιών, ιδιαίτερα για τις κινητές συσκευές που εξαρτώνται από τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η προσθήκη λειτουργιών αδράνειας και ύπνου έχει αποκτήσει σημασία στα προηγμένα ασύρματα πρότυπα ως απάντηση σε αυτή την ανάγκη. Αυτές οι δυνατότητες έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια ενώ η συσκευή δεν στέλνει ή δεν λαμβάνει ενεργά δεδομένα, γεγονός που μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα της μπαταρίας και παρατείνει τη διάρκεια ζωής των κινητών συσκευών. Όταν μια συσκευή δεν επικοινωνεί ενεργά αλλά πρέπει να παραμείνει συνδεδεμένη στο δίκτυο, εισέρχεται σε κατάσταση αδράνειας, η οποία είναι μια κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Σε αυτή τη λειτουργία, η συσκευή ελαχιστοποιεί ή απενεργοποιεί τη λειτουργία ορισμένων τμημάτων, συμπεριλαμβανομένου του ραδιοπομπού, προκειμένου να εξοικονομήσει κατανάλωση ενέργειας, ενώ παρακολουθεί τυχόν εισερχόμενα δεδομένα ή αιτήματα επικοινωνίας. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για πλήρη επανεκκίνηση του συστήματος και επιτρέπει στη συσκευή να αναβιώσει άμεσα και να αποκαταστήσει πλήρη απόδοση όταν χρειάζεται. Η μετάβαση από τη λειτουργία αναμονής σε ενεργή λειτουργία γίνεται ομαλά, έτσι ώστε όταν η συσκευή ενεργοποιηθεί ξανά, ο χρήστης να μην χρειάζεται να περιμένει πολύ.

Λειτουργία Ύπνου: Κατά τις περιόδους αδράνειας, η λειτουργία ύπνου επιτρέπει στη συσκευή να εισέλθει σε μια ακόμη πιο χαμηλή κατάσταση κατανάλωσης ενέργειας, η οποία μειώνει

περαιτέρω την κατανάλωση ενέργειας. Η πλειοψηφία των χαρακτηριστικών της συσκευής είναι προσωρινά απενεργοποιημένη ενώ βρίσκεται σε κατάσταση ύπνου, εκτός από εκείνα που είναι απολύτως απαραίτητα για την παρακολούθηση των σημάτων αφύπνισης. Αυτό μπορεί να μειώσει δραστικά την κατανάλωση ενέργειας, ειδικά όταν η συσκευή δεν χρησιμοποιείται για παρατεταμένες περιόδους, όπως κατά τη διάρκεια του ταξιδιού ή του ύπνου. Η συσκευή μπορεί να επανέλθει γρήγορα σε πλήρη λειτουργία μόλις λάβει ένα σήμα αφύπνισης, επιτρέποντας στον χρήστη να συνεχίσει τη δουλειά του με ελάχιστη διακοπή.

Όφελος: Η προσθήκη λειτουργιών αδράνειας και ύπνου σε κινητές συσκευές έχει σημαντική θετική επίδραση στη διάρκεια ζωής των μπαταριών τους. Η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι απαραίτητη για τους καταναλωτές φορητών ηλεκτρονικών συσκευών όπως φορητοί υπολογιστές, ταμπλέτες και smartphones, προκειμένου να διασφαλίσουν ότι οι συσκευές τους λειτουργούν όλη την ημέρα. Αυτά τα χαρακτηριστικά βοηθούν τους πελάτες να αποφύγουν την ταλαιπωρία της τακτικής φόρτισης και βελτιώνουν την καταλληλότητα της τεχνολογίας για φορητές εφαρμογές μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας κατά τις περιόδους αδράνειας.

Επιπλέον, οι πελάτες που εξαρτώνται από τις συσκευές τους για συνεχή συνδεσιμότητα—όπως οι επαγγελματίες που χρησιμοποιούν φορητούς υπολογιστές εν κινήσει ή οι τουρίστες που χρειάζονται τα κινητά τους τηλέφωνα για να παραμένουν λειτουργικά κατά τη διάρκεια μακρών ταξιδιών—θα βρουν αυτές τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας πολύ χρήσιμες. Οι δυνατότητες αδράνειας και ύπνου βελτιώνουν τη συνολική εμπειρία του χρήστη και καθιστούν την σύγχρονη ασύρματη τεχνολογία πιο χρήσιμη για καθημερινή χρήση, διατηρώντας τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας χωρίς να θυσιάζουν την απόδοση.

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας όχι μόνο βελτιώνει την άνεση των χρηστών, αλλά προάγει επίσης τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος. Οι συσκευές που φορτίζονται λιγότερο συχνά καταναλώνουν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερη συνολική κατανάλωση ενέργειας και μικρότερο αποτύπωμα άνθρακα. Αυτά τα χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ενέργειας είναι κρίσιμα για την ενθάρρυνση πιο υπεύθυνης κατανάλωσης ενέργειας στη βιομηχανία πληροφορικής καθώς οι κινητές συσκευές γίνονται ολοένα και πιο συνηθισμένες.

Συνοπτικά:

Μια σημαντική εξέλιξη στην κινητή τεχνολογία είναι η προσθήκη λειτουργιών αδράνειας και ύπνου, οι οποίες επιτρέπουν πιο αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας για φορητές ηλεκτρονικές συσκευές. Αυτά τα χαρακτηριστικά ανταποκρίνονται στην αυξανόμενη ζήτηση για φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία, καθιστώντας τα σύγχρονα ασύρματα συστήματα επικοινωνίας πιο βιώσιμα, καθώς και φιλικά προς τον χρήστη. Η ικανότητα εξοικονόμησης ενέργειας όταν δεν χρησιμοποιείται είναι ένα βασικό στοιχείο που βελτιώνει τη χρηστικότητα και τη βιωσιμότητα της τεχνολογίας, είτε πρόκειται για φορητούς υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα ή άλλες φορητές συσκευές.

2.2.5 Βελτιστοποιημένη αρχιτεκτονική δικτύου

Η υποστήριξη της κινητικότητας στην αρχιτεκτονική δικτύων είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα. Η ικανότητα των σύγχρονων προτύπων ασύρματης επικοινωνίας να παρέχουν κινητικότητα είναι κρίσιμη, καθώς διασφαλίζει την ικανότητα των χρηστών να παραμένουν συνδεδεμένοι όταν μετακινούνται από το ένα μέρος στο άλλο. Αυτό επιτυγχάνεται με την ένταξη των ολοκληρωμένων απαιτήσεων για μια αρχιτεκτονική δικτύου που έχει δημιουργηθεί ειδικά για να καλύψει τις ανάγκες της κινητής επικοινωνίας. Η εργασία της Ομάδας Εργασίας Δικτύου (NWG) του Φόρουμ Mobile WiMAX, η οποία έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην καθοριστική διαμόρφωση των βασικών στοιχείων και πρωτοκόλλων που απαιτούνται για την ενεργοποίηση της κινητικότητας εντός των δικτύων WiMAX, έχει επηρεάσει αυτά τα πρότυπα.

Αρχιτεκτονική Δικτύου: Η αρχιτεκτονική δικτύου του προτύπου προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που αντιμετωπίζει τα διάφορα ζητήματα που περιβάλλουν την κινητή επικοινωνία, όπως η ανάγκη για συνεχή συνδεσιμότητα, η αποτελεσματική μεταφορά βάσεων σταθμών και η ικανότητα διαχείρισης μεταβαλλόμενων όγκων κυκλοφορίας δικτύου. Περιέχει προδιαγραφές για τα θεμελιώδη στοιχεία του δικτύου, όπως οι σταθμοί βάσης, οι κινητές σταθμοί και οι πύλες, εκτός από τα πρωτόκολλα που ελέγχουν την επικοινωνία τους. Λόγω του ευέλικτου και επεκτάσιμου σχεδιασμού της, η αρχιτεκτονική μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια ποικιλία καταστάσεων ανάπτυξης, από μικρές τοπικές δίκτυα έως εκτενή εθνικά συστήματα.

Η έμφαση αυτής της αρχιτεκτονικής στη διαχείριση κινητικότητας είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της. Αυτό περιλαμβάνει τη διασφάλιση ότι δεν υπάρχουν διακοπές υπηρεσίας ή αξιοσημείωτες καθυστερήσεις για τις συσκευές που κινούνται μέσα στην περιοχή κάλυψης του δικτύου. Για να επιτευχθεί αυτό, η αρχιτεκτονική επιτρέπει δυνατότητες όπως η απρόσκοπτη μεταφορά, η οποία επιτρέπει σε μια κινητή συσκευή να αλλάζει μεταξύ σταθμών βάσης χωρίς να διακόπτει μια συνεχιζόμενη συνεδρία. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο, όπου μια μικρή διακοπή μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στην εμπειρία του χρήστη, όπως το διαδικτυακό παιχνίδι, η βιντεοδιάσκεψη και οι φωνητικές κλήσεις.

Οι προδιαγραφές της Ομάδας Εργασίας Δικτύου (NWG):

Το NWG του Mobile WiMAX Forum έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην καθορισμό των ακριβών προδιαγραφών και πρωτοκόλλων που απαιτούνται για να επιτευχθεί αυτό το επίπεδο κινητικότητας. Οι προσπάθειές τους διασφαλίζουν ότι η αρχιτεκτονική του δικτύου είναι συμβατή με διάφορα πρότυπα και τεχνολογίες, εκτός από το ότι είναι αποδοτική. Η ικανότητα να επικοινωνούν χωρίς προβλήματα μεταξύ διαφόρων δικτύων και συσκευών καθίσταται δυνατή μέσω της διαλειτουργικότητας, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να απολαμβάνουν συνεπή υπηρεσία είτε ταξιδεύουν σε δίκτυα LTE ή 5G είτε συνδέονται σε δίκτυο WiMAX.

Η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και η ασφάλεια είναι επίσης προτεραιότητες στις απαιτήσεις του NWG, διασφαλίζοντας ότι τα κινητά δίκτυα μπορούν να διατηρούν αξιόπιστες και ασφαλείς συνδέσεις ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες. Καθώς το δίκτυο επεκτείνεται για να υποστηρίξει περισσότερους χρήστες και πιο απαιτητικά δεδομένα, αυτές οι προδιαγραφές συμβάλλουν στη διατήρηση της ακεραιότητας και της απόδοσης του δικτύου, αντιμετωπίζοντας προβλήματα όπως η ταυτοποίηση, η κρυπτογράφηση και η προτεραιοποίηση της κυκλοφορίας.

Οφέλος:

Διευκόλυνση Στερεών και Επεκτάσιμων Κινητών Δικτύων

Για να είναι η ανάπτυξη των κινητών δικτύων αποδοτική και κλιμακούμενη, αυτές οι προδιαγραφές που υποστηρίζουν τη κινητικότητα πρέπει να περιληφθούν στο πρότυπο. Λόγω

της ευρείας χρήσης smartphones, tablets και άλλων συσκευών IoT, η χρήση κινητών δεδομένων αναμένεται να αυξηθεί ακόμη περισσότερο. Ως αποτέλεσμα, οι πάροχοι δικτύου απαιτούν λύσεις που μπορούν να επεκτείνονται αποτελεσματικά χωρίς να θυσιάζουν την απόδοση. Λόγω του τρόπου που έχει κατασκευαστεί η αρχιτεκτονική, τα δίκτυα μπορεί να αναπτυχθούν για να καλύψουν τη μεγαλύτερη ζήτηση χωρίς να θυσιάσουν την εμπειρία του χρήστη, την ταχύτητα ή την αξιοπιστία.

Για παράδειγμα, σε πόλεις όπου η συμφόρηση του δικτύου μπορεί να είναι ένα σοβαρό πρόβλημα, η ικανότητα της αρχιτεκτονικής να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τις μεταφορές και την κυκλοφορία είναι κρίσιμη για την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών σε έναν μεγάλο αριθμό χρηστών. Ομοίως, η ευελιξία της αρχιτεκτονικής επιτρέπει την οικονομικά αποδοτική ανάπτυξη υπηρεσιών κινητής ευρυζωνικότητας σε προαστιακές και αγροτικές περιοχές, παρέχοντας πρόσβαση σε περιοχές που αλλιώς μπορεί να είναι υποεξυπηρετούμενες.

Επιπλέον, λόγω της επεκτασιμότητας της αρχιτεκτονικής, μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να ενσωματώσει νέες ραδιοτεχνολογίες, καλύτερα μέτρα ασφαλείας και αυξημένες δυνατότητες διαχείρισης δεδομένων, μεταξύ άλλων μελλοντικών τεχνικών εξελίξεων. Με την παροχή μέτρων για την προστασία από το μέλλον, τα δίκτυα που κατασκευάζονται με αυτό το πρότυπο μπορούν να προσαρμόζονται με την πάροδο του χρόνου, διασφαλίζοντας τις επενδύσεις και προάγοντας περαιτέρω επέκταση.

Συνοπτικά:

Η βάση για τη δημιουργία αξιόπιστων και κλιμακούμενων κινητών δικτύων τίθεται από τις αρχιτεκτονικές προδιαγραφές του δικτύου που αποτελούν μέρος του προτύπου και υποστηρίζονται από τις προσπάθειες της Ομάδας Εργασίας Δικτύου (NWG). Με τη βοήθεια αυτών των απαιτήσεων, τα δίκτυα θα είναι σε θέση να καλύψουν τις ανάγκες της κινητικότητας και να προσφέρουν στους χρήστες που είναι συνεχώς εν κινήσει αξιόπιστη και ασφαλή συνδεσιμότητα. Αυτή η αρχιτεκτονική παίζει καθοριστικό ρόλο στο να καταστήσει το WiMAX και τις σχετικές τεχνολογίες βιώσιμες επιλογές για τις τρέχουσες και μελλοντικές υπηρεσίες κινητής ευρυζωνικότητας, διευκολύνοντας την αποδοτική ανάπτυξη και εξέλιξη των κινητών δικτύων.

2.2.6 Προηγμένο πλαίσιο QoS

Το πλαίσιο Ενισχυμένης Ποιότητας Υπηρεσίας (QoS) που υποστηρίζει πολλαπλά επίπεδα υπηρεσιών είναι μια σημαντική βελτίωση στα σύγχρονα πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας. Αυτό το πλαίσιο κατηγοριοποιεί και ιεραρχεί διάφορους τύπους κυκλοφορίας σύμφωνα με τις ατομικές τους ανάγκες, προκειμένου να διαχειριστεί και να βελτιστοποιήσει την απόδοση του δικτύου. Ένα πλήθος επιπέδων υπηρεσιών περιλαμβάνονται στην αναβαθμισμένη αρχιτεκτονική QoS, το καθένα ειδικά σχεδιασμένο για να καλύπτει τις απαιτήσεις διαφορετικών ειδών υπηρεσιών και εφαρμογών. Αυτοί οι βαθμοί υπηρεσίας αποτελούνται από:

Την υπηρεσία Unsolicited grant service (UGS): Οι αιτήσεις που απαιτούν μια σταθερή, αδιάκοπη ροή δεδομένων με χαμηλή καθυστέρηση προορίζονται να χρησιμοποιούν την UGS. Οι υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο, όπως η φωνητική επικοινωνία μέσω διαδικτύου (VoIP) και ορισμένες μορφές βιντεοδιάσκεψης, είναι συνήθως οι εφαρμογές της. Με την κατανομή αφιερωμένων πόρων, η UGS εξασφαλίζει εύρος ζώνης και σταθερή καθυστέρηση χωρίς να απαιτεί περιοδική αναζήτηση από τον σταθμό βάσης. Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται ότι τα προγράμματα που είναι ευαίσθητα σε καθυστερήσεις διαθέτουν τους πόρους που χρειάζονται για να λειτουργούν χωρίς διακοπές και με βέλτιστη ταχύτητα.

Την υπηρεσία Real – time polling service (nrtPS): Η nrtPS έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές που μπορούν να ανεχτούν σποραδικές διακυμάνσεις στην υπηρεσία και είναι λιγότερο ευαίσθητες σε καθυστερήσεις. Αυτό καλύπτει τις μεταφορές δεδομένων που συμβαίνουν στο παρασκήνιο, όπως οι ενημερώσεις λογισμικού και οι λήψεις αρχείων. Αν και η δημοσκοπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατανομή πόρων, η nrtPS δεν χρειάζεται το ίδιο επίπεδο προτεραιότητας ή εγγυημένου εύρους ζώνης όπως η rtPS. Αυτό το επίπεδο υπηρεσίας διασφαλίζει ότι οι λιγότερο επείγουσες μεταφορές δεδομένων διαχειρίζονται αποτελεσματικά χωρίς να παρεμβαίνουν σε υπηρεσίες υψηλότερης προτεραιότητας, επιτυγχάνοντας μια ισορροπία μεταξύ αποδοτικότητας και αξιοποίησης πόρων.

Την υπηρεσία Best Effort service (BE): Η κυκλοφορία που μπορεί να αντέξει σημαντικές διακυμάνσεις στην ποιότητα υπηρεσίας και δεν έχει κανένα συγκεκριμένο κριτήριο ποιότητας υπηρεσίας (QoS) ανατίθεται στο επίπεδο υπηρεσίας Best Effort service (BE). Η BE χρησιμοποιείται συνήθως για μη κρίσιμες εφαρμογές, όπως η απλή περιήγηση στο διαδίκτυο,

όπου γίνονται ανεκτές sporadic hiccups. Βασισμένο στην αρχή της καλύτερης προσπάθειας, αυτό το επίπεδο υπηρεσίας χρησιμοποιεί τους πόρους του δικτύου που απομένουν μετά την εκχώρηση της κυκλοφορίας υψηλότερης προτεραιότητας. Αν και η BE δεν εξασφαλίζει ένα συγκεκριμένο επίπεδο απόδοσης, επιτρέπει την αποτελεσματική αξιοποίηση της υπάρχουσας εύρους ζώνης.

Οφέλη:

Εγγύηση Αποτελεσματικότητας για Ποικιλόμορφες Υπηρεσίες:

Υπάρχουν πολλαπλά σημαντικά οφέλη από την εφαρμογή ενός βελτιωμένου πλαισίου ποιότητας υπηρεσιών με πολλαπλά επίπεδα υπηρεσιών. Μέσω της ταξινόμησης της κυκλοφορίας σε διακριτές κατηγορίες υπηρεσιών, η αρχιτεκτονική διασφαλίζει ότι κάθε είδος εφαρμογής λαμβάνει την κατάλληλη ποσότητα απόδοσης σύμφωνα με τις απαιτήσεις του.

Εγγυημένη Απόδοση για Εφαρμογές Ευαίσθητες σε Καθυστερήσεις:

Τα επίπεδα υπηρεσιών που είναι αφιερωμένα, όπως το UGS και το rtPS, είναι ευνοϊκά για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση και σταθερή απόδοση, όπως η VoIP και η ροή βίντεο. Αυτά τα επίπεδα υπηρεσιών διασφαλίζουν ότι αυτές οι ζωτικής σημασίας υπηρεσίες συνεχίζουν να παρέχουν υψηλής ποιότητας επικοινωνία χωρίς διακοπές ή επιδείνωση της απόδοσης, εγγυώμενα το εύρος ζώνης και την προτεραιότητα.

Αποτελεσματική Κατανομή Πόρων:

Το πλαίσιο QoS καθιστά δυνατή τη διαχείριση των δικτυακών πόρων πιο αποτελεσματικά, επιτρέποντας τη διάκριση διαφορετικών τύπων κυκλοφορίας. Οι λιγότερο ευαίσθητες στο χρόνο εφαρμογές λαμβάνουν πόρους ανάλογα με τη διαθεσιμότητα, ενώ οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου λαμβάνουν την απαιτούμενη εύρος ζώνης και προτεραιότητα. Αυτή η καλά ισορροπημένη στρατηγική βοηθά στη βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης και αποδοτικότητας του δικτύου.

Ευελιξία και Προσαρμοστικότητα:

Το δίκτυο μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορα πρότυπα κυκλοφορίας και απαιτήσεις εφαρμογών χάρη στην ικανότητα του πλαισίου να διαχειρίζεται διάφορους τύπους υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις. Αυτή η προσαρμοστικότητα είναι ουσιώδης για την διευκόλυνση μιας ποικιλίας περιπτώσεων χρήσης, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών δεδομένων στο παρασκήνιο και των υπηρεσιών υψηλής ζήτησης σε πραγματικό χρόνο.

Βελτιωμένη Εμπειρία Χρήστη:

Το βελτιωμένο πλαίσιο QoS διασφαλίζει ότι οι σημαντικές υπηρεσίες διαθέτουν τους πόρους που χρειάζονται και διατηρεί τη διαχείριση της κυκλοφορίας δικτύου σε ομαλή λειτουργία, γεγονός που βελτιώνει συνολικά την εμπειρία του χρήστη. Είτε χρησιμοποιούν τις εφαρμογές τους για κανονική περιήγηση στο διαδίκτυο, για streaming πολυμέσων ή για συνομιλίες σε πραγματικό χρόνο, οι χρήστες επωφελούνται από μια απρόσκοπτη, αδιάκοπη απόδοση.

Συνοπτικά

Ένας σημαντικός τομέας των σύγχρονων προτύπων ασύρματης επικοινωνίας είναι η αρχιτεκτονική QoS πολλαπλών επιπέδων υπηρεσιών, η οποία προσφέρει μια οργανωμένη μέθοδο προτεραιοποίησης της κίνησης και διαχείρισης της απόδοσης του δικτύου. Το πλαίσιο διασφαλίζει ότι οι υπηρεσίες που είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις λαμβάνουν την απαραίτητη χωρητικότητα και προτεραιότητα, ενώ ταυτόχρονα βελτιστοποιεί την κατανομή πόρων για άλλες ροές, παρέχοντας ειδικά επίπεδα υπηρεσιών για διάφορους τύπους εφαρμογών. Αυτό εγγυάται μια αξιόπιστη και εξαιρετική εμπειρία χρήστη για μια ευρεία ποικιλία υπηρεσιών και εφαρμογών. [1]

2.2.7 Ενσωμάτωση με δίκτυα IP

Ένας σημαντικός τομέας των σύγχρονων προτύπων δικτύου είναι η συμβατότητά τους τόσο με το IPv4 όσο και με το IPv6, η οποία αντικατοπτρίζει την ανάπτυξη και την προσαρμοστικότητα της υποδομής δικτύου ώστε να διαχειρίζεται έναν αυξανόμενο αριθμό συσκευών και ολοένα πιο περίπλοκες απαιτήσεις δικτύου.

- IPv4: Η τέταρτη έκδοση του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου, ή IPv4, έχει χρησιμεύσει ως η βάση για την επικοινωνία δικτύου από τη δημιουργία της. Χρησιμοποιεί έναν χώρο διευθύνσεων 32-bit, με αποτέλεσμα περίπου 4,3 δισεκατομμύρια δυνατές διευθύνσεις

IP. Παρά το γεγονός ότι το IPv4 έχει σημειώσει μεγάλη επιτυχία για δεκαετίες, δεν υπάρχουν αρκετές διευθύνσεις λόγω της ταχείας ανάπτυξης των συσκευών που συνδέονται στο διαδίκτυο.

- IPv6: Με έναν πολύ μεγαλύτερο χώρο διευθύνσεων, το IPv6 εισήχθη για να διορθώσει τις αδυναμίες του IPv4. Με τη μορφή διεύθυνσης 128-bit, μπορεί να κατανεμηθεί ένας σχεδόν άπειρος αριθμός διευθύνσεων IP—περίπου 340 undecillion ($3,4 \times 10^{38}$) μοναδικές διευθύνσεις. Το IPv6 περιέχει βελτιώσεις σε τομείς όπως η αποτελεσματικότητα δρομολόγησης, η αυτόματη διαμόρφωση δικτύου και η ασφάλεια, εκτός από την αύξηση του χώρου διευθύνσεων.

Οφέλη: Εύκολη Εγκατάσταση και Διαχείριση

Υπάρχουν διάφορα οφέλη από την υποστήριξη πρωτοκόλλων δικτύου τόσο για το IPv4 όσο και για το IPv6:

1. **Αρμονική Επικοινωνία:** Ανεξαρτήτως της έκδοσης IP που χρησιμοποιείται, τα δίκτυα μπορούν εύκολα να επικοινωνούν με μια ποικιλία συστημάτων και συσκευών υποστηρίζοντας τόσο το IPv4 όσο και το IPv6. Με αυτή τη μέθοδο διπλού στοίβας, η επικοινωνία μεταξύ νέων συστημάτων IPv6 και δικτύων IPv4 μπορεί να πραγματοποιείται σταδιακά και χωρίς να απαιτείται πλήρης ανακατασκευή της υποδομής του δικτύου.
2. **Απλούστερη Διαχείριση:** Υποστηρίζοντας και τις δύο εκδόσεις IP, οι διαχειριστές δικτύου μπορούν να ρυθμίζουν και να διαχειρίζονται τις συσκευές πιο αποτελεσματικά. Αυτή η προσαρμοστικότητα διατηρεί την συμβατότητα με τα κληρονομημένα συστήματα ανέπαφη, ενώ διευκολύνει την αναβάθμιση των δυνατοτήτων του δικτύου και την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών. Επιπλέον, διευκολύνει τη μετάβαση στο IPv6, καθώς οι επιχειρήσεις μπορούν να εφαρμόσουν σταδιακά το νέο πρωτόκολλο διατηρώντας παράλληλα τις λειτουργίες IPv4.
3. **Μέλλον-Ασφάλιση:** Τα δίκτυα που υποστηρίζουν το IPv6 είναι καλύτερα εξοπλισμένα για να διαχειριστούν μελλοντική επέκταση και τεχνικές εξελίξεις. Η διαθεσιμότητα διευθύνσεων IPv6 εγγυάται ότι το δίκτυο μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς να περιορίζεται από την εξάντληση των διευθύνσεων IPv4, καθώς ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών συνεχώς αυξάνεται.

2.2.8 Επαναχρησιμοποίηση Συχνοτήτων και Διαχείριση Παρεμβολών

Οι σύγχρονες ασύρματες επικοινωνιακές δίκτυα πρέπει να διαθέτουν αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και διαχείριση παρεμβολών, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου υπάρχει σημαντική ζήτηση για αξιόπιστη και υψηλής χωρητικότητας υπηρεσία.

Η χρήση των ίδιων καναλιών συχνότητας σε διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες είναι γνωστή ως επαναχρησιμοποίηση συχνότητας και είναι μια στρατηγική για την πιο αποτελεσματική αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος. Τα δίκτυα μπορούν να διαχειριστούν περισσότερους χρήστες και να αυξήσουν την ικανότητά τους χωρίς να χρησιμοποιούν περισσότερο φάσμα, διανέμοντας τους συχνοτικούς καναλιούς με σοφό τρόπο σε μη επικαλυπτόμενες περιοχές. Αυτή η μέθοδος βελτιώνει τη συνολική απόδοση του δικτύου και βοηθά στην καλύτερη αξιοποίηση του ραδιοφωνικού φάσματος.

Ο έλεγχος της παρεμβολής είναι ουσιώδης για τη διατήρηση της απόδοσης του δικτύου και της ποιότητας του σήματος. Πολλοί παράγοντες, όπως οι γειτονικοί σταθμοί βάσης, οι επικαλυπτόμενες συχνότητες και άλλες ασύρματες συσκευές, μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές. Μεταξύ των μεθόδων για τον έλεγχο της παρεμβολής είναι:

Αποφυγή Παρεμβολών:

Τα δίκτυα μπορούν να μειώσουν την πιθανότητα παρεμβολών σχεδιάζοντας προσεκτικά την τοποθέτηση των βάσεων και των καναλιών συχνοτήτων. Για να ελαχιστοποιηθούν οι επικαλυπτόμενες περιοχές κάλυψης, αυτό προϋποθέτει βελτιστοποίηση των θέσεων των σταθμών βάσης και ρυθμίσεις στα επίπεδα ισχύος μετάδοσης.

Ακύρωση Παρεμβολών:

Για να εντοπιστούν και να μειωθούν οι παρεμβολές, μπορούν να εφαρμοστούν προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος. Τα δίκτυα μπορούν να διατηρήσουν υψηλά ποσοστά δεδομένων και να βελτιώσουν την ποιότητα επικοινωνίας χρησιμοποιώντας αλγόριθμους που ενισχύουν το επιθυμητό σήμα και φιλτράρουν τα ανεπιθύμητα.

Δυναμική Διαχείριση Φάσματος:

Η πραγματική ανταπόκριση του δικτύου σε δυναμικές συνθήκες παρεμβολών καθίσταται εφικτή μέσω τεχνικών προσαρμοσμένης κατανομής φάσματος. Η δυναμική διαχείριση φάσματος βοηθά στη διατήρηση της μέγιστης απόδοσης και στη μείωση της παρεμβολής, τροποποιώντας τη χρήση των καναλιών συχνότητας με βάση τις τρέχουσες συνθήκες του δικτύου.

Οφέλος:

Βελτιστοποίηση της Απόδοσης Δικτύου και της Αποτελεσματικότητας Φάσματος
Πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα προκύπτουν από τον συνδυασμό αποδοτικής επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων και τεχνικών διαχείρισης παρεμβολών

Αυξημένη Ικανότητα:

Μέσα στην ίδια κατανομή φάσματος, τα δίκτυα μπορούν να φιλοξενήσουν περισσότερους χρήστες και υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων ανακυκλώνοντας αποτελεσματικά τις συχνότητες και ελέγχοντας την παρεμβολή. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο σε πόλεις όπου υπάρχει μεγάλη ζήτηση για ασύρματες υπηρεσίες.

Ενισχυμένη Αναφορά:

Η μείωση των περιοχών με κακή ισχύ σήματος ή διακοπές στη σύνδεση καθίσταται δυνατή μέσω της διαχείρισης παρεμβολών και του σχεδιασμού συχνοτήτων, οι οποίοι επίσης συμβάλλουν στην παροχή πιο αξιόπιστης και συνεπούς κάλυψης. Η καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών και η ευτυχία των χρηστών προκύπτουν από αυτό.

Μέγιστη Χρήση του Φάσματος:

Η αποτελεσματική αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος διασφαλίζει ότι το δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει την αύξηση του όγκου κυκλοφορίας χωρίς να απαιτεί περισσότερους πόρους συχνότητας. Αυτό βελτιστοποιεί την απόδοση της επένδυσης στο φάσμα, επιπλέον υποστηρίζει την μελλοντική ανάπτυξη και τις τεχνολογικές προόδους.

Με λίγα λόγια η εγκατάσταση και η διαχείριση δικτύων διευκολύνονται από την υποστήριξη τόσο του IPv4 όσο και του IPv6, που θέτει τα θεμέλια για μελλοντική επέκταση και

συμβατότητα. Εν τω μεταξύ, η βελτίωση της χωρητικότητας, της κάλυψης και της απόδοσης του δικτύου—ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα υψηλής πυκνότητας—απαιτεί εξελιγμένες προσεγγίσεις στην επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και στη διαχείριση παρεμβολών. Όταν συνδυάζονται, αυτά τα χαρακτηριστικά βοηθούν στην οικοδόμηση αξιόπιστων και επεκτάσιμων ασύρματων δικτύων επικοινωνίας που είναι ικανά να καλύψουν τις μεταβαλλόμενες ανάγκες των σύγχρονων χρηστών και εφαρμογών.

3 Κεφαλαιο 3

3.1 Συστήματα πομπού και δέκτη: WiMAX

3.1.1 Δημιουργία:

- Μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα σε αναλογικά σήματα που μπορούν να αποσταλούν ασύρματα.
- Οι τρεις κύριες τεχνικές διαμόρφωσης, QPSK, 16-QAM και 64-QAM, ισορροπούν την φασματική απόδοση και την ταχύτητα δεδομένων.
- Το WiMAX διαιρεί το φάσμα σε ορθογώνιες υποφορείς για αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιώντας ορθογώνια διαίρεση συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDM), μια τεχνική διαμόρφωσης.

3.1.2 Ενίσχυση ισχύος:

- Αυξάνει τα επίπεδα ισχύος των διαμορφωμένων σημάτων στα κατάλληλα επίπεδα για επικοινωνία.
- Διατηρεί την αποδοτικότητα για να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας και τη γραμμικότητα για να αποτρέψει τις παραμορφώσεις.
- Οι ενισχυτές ισχύος του πομπού WiMAX πρέπει να συμμορφώνονται με νομικές απαιτήσεις για τις εκπομπές φάσματος.

3.1.3 Φιλτράρισμα:

- Για να διατηρηθεί η καθαρότητα του σήματος, φιλτράρει τον θόρυβο του περιβάλλοντος και τις παρεμβολές εκτός ζώνης.
- Μειώνει την παρεμβολή από γειτονικά κανάλια και βοηθά στη συμμόρφωση με τα πρότυπα φασματικής μάσκας.
- Για να διαμορφώσουν το φάσμα του αποσταλθέντος σήματος μέσα στην καθορισμένη ζώνη συχνοτήτων, οι πομποί WiMAX χρειάζονται φίλτρα.
- Με την πρόληψη των εκπομπών εκτός ζώνης που θα μπορούσαν να παρεμβαίνουν σε άλλα κανάλια, οι φίλτρα ζώνης διέλευσης διασφαλίζουν ότι το σήμα παραμένει εντός της επιτρεπόμενης ζώνης συχνοτήτων.

3.1.4 Συστήματα κεραιών:

- Τα πρότυπα ακτινοβολίας, τα κέρδη και η κάλυψη επηρεάζονται όλα από το σχεδιασμό της κεραίας.
- Πολλαπλές κεραίες χρησιμοποιούνται σε συστήματα WiMAX για ποικιλία, και οι τεχνικές MIMO (Πολλαπλή Είσοδος Πολλαπλή Έξοδος) χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας.
- Για τα καλύτερα αποτελέσματα, ο σχεδιασμός κεραιών πρέπει να περιλαμβάνει διαμόρφωση δέσμης, χωρικό πολλαπλασιασμό και πολωτική.

3.2 Γενικές αρχές σχεδιασμού δέκτη

3.2.1 Ενίσχυση χαμηλού θορύβου

- Προσθέτει πολύ λίγο θόρυβο και ενισχύει τα αδύναμα ληφθέντα σήματα.
- Για αξιόπιστη ανίχνευση σήματος, διατηρεί την αναλογία σήματος προς θόρυβο. (SNR).
- Χρειάζονται ενισχυτές χαμηλού θορύβου (LNA) για τους δέκτες WiMAX προκειμένου να ενισχύουν τα ληφθέντα σήματα χωρίς να αυξάνουν σημαντικά τον θόρυβο.

3.2.2 Διενέργεια ελέγχου

- Απορρίπτει τον εκτός ζώνης θόρυβο και παρεμβολές για να αυξήσει την ευαισθησία του δέκτη.
- Βελτιώνει την επιλεκτικότητα στη διαδικασία διαχωρισμού επιθυμητών σημάτων από ανεπιθύμητα.
- Τα φίλτρα ζώνης διέλευσης χρησιμοποιούνται από τους δέκτες WiMAX για να εξαλείψουν τις ανεπιθύμητες συχνότητες και να αυξήσουν τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR).

3.2.3 Αντίστροφη μετατροπή

- Μετατρέπει τα σήματα RF που λαμβάνονται σε σήματα βάσης ή ενδιάμεσης συχνότητας, ώστε να μπορούν να υποβληθούν σε περαιτέρω επεξεργασία.
- Με τη μεταφορά των ληφθέντων σημάτων σε μια χαμηλότερη συχνότητα, απλοποιείται η επεξεργασία των σημάτων.

- Οι τοπικοί ταλαντωτές και οι μίκτες χρησιμοποιούνται από τους δέκτες WiMAX για την υποβάθμιση.

3.2.4 Αποδιαμόρφωση

- Εξάγει δομημένα δεδομένα από τα σήματα που λαμβάνονται.
- Οι δέκτες WiMAX χρησιμοποιούν αποδιαμόρφωση OFDM για να αποκωδικοποιήσουν δεδομένα από ορθογώνιες υποφορείς
- Ταιριάζουν τα πρότυπα αποδιαμόρφωσης με τις τεχνικές διαμόρφωσης του πομπού.

3.3 Ειδικές εκτιμήσεις σχεδιασμού για το WiMAX:

Διαμόρφωση OFDMA:

Το WiMAX χρησιμοποιεί OFDMA για αποδοτική χρήση του φάσματος και πρόσβαση πολλών χρηστών. Οι πομποί και οι δέκτες πρέπει να υποστηρίζουν διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση OFDMA, χειριζόμενοι ταυτόχρονα πολλαπλούς υποφορείς.

Διάφοροι αλγόριθμοι για την κατανομή πόρων του συστήματος στους χρήστες καλύφθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Αυτοί οι πόροι είναι αποτελεσματικά υποφορείς OFDMA και η συνολική ισχύς που έχει διατεθεί σε κάθε χρήστη σε ένα σύστημα OFDM. Στην ενότητα αυτή συγκεντρώνεται σημαντική πληροφορία σχετικά με την πρακτική εφαρμογή του OFDMA. Η ενότητα αναφέρεται ειδικά στην εφαρμογή του WiMAX στο OFDMA, τη δυσκολία υλοποίησης του OFDMA σε ένα κυψελοειδές σύστημα και την ανάλυση του διαφορικού κέρδους του OFDMA σε σχέση με άλλες μορφές διαφορικού κέρδους.

Τα παρακάτω είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός κινητού συστήματος WiMAX: Ένα ευρύ φάσμα εύρους ζώνης υποστηρίζεται από την κλιμάκωση, η οποία επιτυγχάνεται με την προσαρμογή του μεγέθους FFT, διατηρώντας παράλληλα την απόσταση μεταξύ των υποφορέων, προκειμένου να ικανοποιηθούν διάφορες ανάγκες για φασματική κατανομή και οι απαιτήσεις των χρησιμοποιούμενων μοντέλων. Η ασφάλεια επιδιώκεται μέσω συγκεκριμένων πρωτοκόλλων για ευέλικτη διαχείριση, αυθεντικοποίηση χρηστών, γρήγορες μεταφορές, κρυπτογράφηση κυκλοφορίας και προστασία μηνυμάτων ελέγχου. Η κινητικότητα υποστηρίζεται από βελτιωμένα σχέδια μεταφοράς με χαμηλές καθυστερήσεις, εξασφαλίζοντας

εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο χωρίς υποβάθμιση της υπηρεσίας. Υψηλά ποσοστά δεδομένων επιτυγχάνονται μέσω της εισαγωγής τεχνικών κεραιών MIMO σε συνδυασμό με ευέλικτα σχήματα κατανομής καναλιών και προηγμένα είδη διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

Επιπλέον, για να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος, το Mobile WiMAX αξιοποιεί την αλληλεπίδραση του OFDMA με την τεχνολογία έξυπνων κεραιών. Οι υποστηριζόμενες τεχνολογίες MIMO (Πολλαπλή Είσοδος Πολλαπλή Έξοδος) είναι οι εξής: η εφαρμογή κωδικών χώρου-χρόνου (STC) για την επίτευξη χωρικής ποικιλίας και τη μείωση των περιθωρίων διακοπής; η τεχνική beamforming, η οποία χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές για τη μετάδοση σημάτων με διαφορετικά βάρη, προσπαθώντας να βελτιώσει την κάλυψη και την ικανότητα, ενώ ταυτόχρονα μειώνει την πιθανότητα αποκλεισμού χρηστών; και η χωρική πολλαπλοποίηση, η οποία εκμεταλλεύεται τις υψηλές κορυφαίες ταχύτητες για να αυξήσει την απόδοση.

Η διαίρεση χρόνου πολλαπλής πρόσβασης (TDD) είναι το επιλεγμένο σχήμα πολλαπλής πρόσβασης ανάμεσα σε TDD, FDD και Ημι-Διπλή FDD, τα οποία υποστηρίζονται από το 802.160. Έχει πολλά οφέλη για το σύστημα, συμπεριλαμβανομένου του εξής:

- i) Δεν απαιτεί συγχρονισμό σε όλο το εύρος του συστήματος για να αντιμετωπίσει ζητήματα παρεμβολών.
- ii) Επιτρέπει τις προσαρμογές ρυθμού τόσο σε προοδευτικές όσο και σε αναδρομικές συνδέσεις, διευκολύνοντας τη αποτελεσματική διαχείριση καταστάσεων ασύμμετρης κίνησης.
- iii) εγγυάται την αμοιβαιότητα του καναλιού για την πιο αποδοτική χρήση των τεχνολογιών MIMO και άλλων προηγμένων κλειστών κυκλωμάτων κεραιάς, μπορεί να προσαρμοστεί πιο εύκολα στις μεταβαλλόμενες παγκόσμιες φασματικές κατανομές, καθώς χρειάζεται μόνο ένα κοινό κανάλι για τους δύο συνδέσμους.
- iv) Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί πολύ εύκολα και οικονομικά.
- v) Ωστόσο, προκειμένου να υλοποιηθούν οι δύο σύνδεσμοι, η προσέγγιση FDD απαιτεί δύο κανάλια, το καθένα από τα οποία έχει μια προκαθορισμένη εύρος ζώνης που είναι συνήθως ίση.

Όσον αφορά τον παράγοντα επαναχρησιμοποίησης, στο Mobile WiMAX, μπορεί να είναι ένας από τους δύο: είτε όλα τα κελιά ή οι τομείς χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι συχνότητας, είτε οι χρήστες χρησιμοποιούν υποκανάλια που αποτελούν το ένα τρίτο του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Το πρώτο σενάριο μεγιστοποιεί την φασματική αποδοτικότητα, αλλά οι χρήστες στις άκρες του κυττάρου μπορεί να βιώσουν πτώση στην ποιότητα σύνδεσης λόγω ισχυρής διασύνδεσης μεταξύ των καναλιών. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί χωρίς τη χρήση τυπικού σχεδιασμού συχνότητας. Αντίθετα, ένα συνδυαστικό σύστημα που αναθέτει όλα τα υποκανάλια σε κεντρικούς χρήστες και μόνο μερικά σε περιφερειακούς χρήστες θα ήταν επαρκές.

Αυτό επιτρέπει την βέλτιστη επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα επαρκή φασματική αποδοτικότητα και ποιότητα σύνδεσης. Η δυναμική σχεδίαση βασίζεται στο φορτίο και το επίπεδο παρεμβολής. [7]

OFDMA δομή

Τρεις διαφορετικοί τύποι υποφορέων αποτελούν ένα σύμβολο OFDMA: οι υποφορείς δεδομένων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση πληροφοριών; οι υποφορείς πιλοτών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για εκτίμηση καναλιού και συγχρονισμό; και οι μηδενικοί υποφορείς, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως DC φορείς και για διαστήματα προστασίας. Οι πρώτες δύο κατηγορίες ενεργών υποφορέων ομαδοποιούνται σε σύνολα τόσο στους προ Forward όσο και στους αντίστροφους συνδέσμους, δημιουργώντας υποκανάλια. Ένα slot θεωρείται ότι ισούται με 48 τόνους, ως η ελάχιστη μονάδα χρόνου - συχνότητας κατά τη διάρκεια του σχηματισμού υποκαναλιών. (subcarriers). Οι συνδυασμοί υποφορέων γενικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τον διαφορικό τύπο, στον οποίο οι υποφορείς που αποτελούν ένα υποκανάλι επιλέγονται ψευδοτυχαία, και τον συνεχόμενο τύπο, στον οποίο συγκεντρώνεται ένα μπλοκ οριακών υποφορέων για να σχηματίσει ένα υποκανάλι. Αυτό επιτρέπει την εξομάλυνση της παρεμβολής μεταξύ των κελιών και τη διάκριση των συχνοτήτων. Τυπικοί τύποι είναι οι PUSC και FUSC. (Fully Used Sub-Carrier). (Sub-Carrier Used Partially).

Ενώ οι συνεχείς λειτουργούν καλά σε σταθερά, φορητά ή χαμηλής κινητικότητας περιβάλλοντα, οι διάφοροι συνδυασμοί είναι κατάλληλοι για κινητές εφαρμογές. Αυτό επιτρέπει την ανταλλαγή κινητικότητας και ροής δεδομένων στον σχεδιασμό συστημάτων.

Πρωτόκολλα OFDMA

Ενώ η υποκαναλοποίηση, η χαρτογράφηση μηνυμάτων και η κλιμάκωση χρειάζονται τυποποίηση, οι αλγόριθμοι προγραμματισμού δεν χρειάζεται να ορίζονται από το πρότυπο WiMAX, πράγμα που σημαίνει ότι πολλά από τα "κλειδιά χαρακτηριστικά" του OFDMA δεν εξηγούνται λεπτομερώς.

Υποκαναλοποίηση

Για να απλοποιήσει τη διαδικασία χαρτογράφησης μηνυμάτων και να μειώσει την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου κατανομής υποφορέων, το WiMAX αναθέτει μπλοκ υποφορέων στους χρήστες αντί για μεμονωμένους υποφορείς. Πιστεύεται ότι ο χρήστης k λαμβάνει ένα μπλοκ L_k παροχών. Αυτές οι υποζώνες L_k μπορούν να βρίσκονται εξ ολοκλήρου στο φάσμα συχνοτήτων της "γειτονικής υποζώνης συνδυασμού," ή μπορούν να είναι διασκορπισμένες σε όλο το εύρος ζώνης της "κοινής υποζώνης συνδυασμού." Ενώ η παραλλαγή γειτονικών υποφορέων προσφέρει το πλεονέκτημα της βελτιωμένης διαφορικής κέρδους για πολλούς χρήστες, τα κύρια πλεονεκτήματα της παραλλαγής κατανεμημένων υποφορέων είναι η προηγμένη διαφορική κέρδους συχνότητας και η ανθεκτικότητα.

Χαρτογράφηση μηνυμάτων (mapping messages)

Για να μπορέσει κάθε MS να καθορίσει ποιες υποφορείς προορίζονται γι' αυτό, αυτή η πληροφορία πρέπει να μεταδοθεί από τον Σταθμό Βάσης μέσω μηνυμάτων DL MAP. Σε παρόμοιο πνεύμα, το BS δίνει οδηγίες σε κάθε MS σχετικά με τους υποφορείς που πρέπει να στείλουν μέσω μηνυμάτων DL MAP. Επιπλέον, το προφίλ που χρησιμοποιείται στη Λήψη (DL) και στην Αποστολή (UL) πρέπει να ενημερώνεται στην επικοινωνία του MS με τα υποενδιαφέροντα που έχουν ανατεθεί από τη Λήψη και την αποστολή. Αυτό το προφίλ καθορίζει το κατάλληλο επίπεδο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης με βάση τις μετρημένες τιμές SINR και BLER και για τις δύο συνδέσεις.

Κανονικοποίηση

Είναι κρίσιμο να συγχρονιστούν τα σύμβολα και να εξομαλυνθούν τα επίπεδα ισχύος που λαμβάνονται ανάμεσα στα πολλά έργα MS, καθώς κάθε MS έχει διαφορετική απόσταση από

τον σταθμό βάσης. Αυτή τη διαδικασία την ονομάζουμε "καθορισμός εύρους." Η βάση σταθμού (BS) πρέπει να καθορίσει τη δύναμη του καναλιού και τον χρόνο άφιξης για τον κινητό σταθμό (MS) όταν ξεκινά η κανονικοποίηση. Δεδομένου ότι η σύνδεση είναι ήδη συγχρονισμένη, η συγχρονισμός δεν είναι απαραίτητος για το κατέβασμα (downlink); ωστόσο, οι ενεργοί χρήστες στο ανέβασμα (uplink) πρέπει να συγχρονιστούν μεταξύ τους τουλάχιστον μία φορά κατά τη διάρκεια ενός μόνο κυκλικού προθέματος χρόνου προστασίας. Αν όχι, η μεταφορά και η συμβολική παρεμβολή μπορεί να προκαλέσουν σημαντική παρεμβολή. Ομοίως, ο έλεγχος ισχύος στη σύνδεση του κατώτερου συνδέσμου δεν είναι απαραίτητος, αλλά συνιστάται για να μειωθεί η παραπλανητική παρεμβολή από άλλες κυψέλες. Η διαχείριση ισχύος είναι απαραίτητη στη σύνδεση ανόδου για τρεις λόγους: 1) για να παραταθεί η διάρκεια ζωής της μπαταρίας 2) για να μειωθεί η παρεμβολή από άλλες κυψέλες και 3) για να αποφευχθούν οι αποσυνδέσεις χρηστών στο ίδιο κανάλι που μοιράζονται ένα σύμβολο OFDM. Η τρίτη αιτία προέρχεται από τη μειωμένη ορθογωνιότητα μεταξύ των χρηστών ανόδου του cocsell (χρήστες στη σύνδεση ανόδου που μοιράζονται την ίδια κυψέλη), καθώς και από πρακτικά προβλήματα όπως η εξομάλυνση του φορέα από τα υπολείμματα Doppler, το αναλογικό προς ψηφιακό δυναμικό πεδίο και οι ασυμφωνίες που δεν διορθώνονται σωστά από την γραμμικοποίηση και την ελλιπή συγχρονισμό. Αν και είναι πολύ μικρότερη, η δυσκολία διαχείρισης ισχύος στη σύνδεση ανόδου WiMAX είναι συγκρίσιμη με αυτήν στο CDMA, καθώς ο έλεγχος ισχύος στη σύνδεση ανόδου CDMA απαιτεί σημαντικά υψηλότερη ακρίβεια. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι διαδικασιών γραμμικοποίησης στο WiMAX: παρεχόμενη κανονικοποίηση, αίτημα κανονικοποίησης ευρείας ζώνης, περιοδική κανονικοποίηση και αρχική κανονικοποίηση. Η κανονικοποίηση χωρίς φάσεις διακοπής σε δύο ή τέσσερα διαδοχικά σύμβολα επιτρέπει στο BS να "ακούει" ένα μη ευθυγραμμισμένο MS με μια χρονικά ελλιπή συνδυασμένη που υπερβαίνει το κυκλικό πρόθεμα. Σε περίπτωση που η διαδικασία γραμμικοποίησης είναι επιτυχής, ο BS ειδοποιεί τον MS για τις κατάλληλες ρυθμίσεις αποζημίωσης χρόνου, αποζημίωσης συγχρονισμού και ρύθμισης ισχύος μέσω ενός γραμμικοποιημένου μηνύματος απόκρισης (RNG-RES). Η MS επαναλαμβάνει αυτή τη διαδικασία συνεχώς μέχρι να είναι επιτυχής η γραμμικοποίηση, αυξάνοντας το επίπεδο ισχύος και στέλνοντας ένα νέο μήνυμα κανονικοποίησης αν η πρώτη απόπειρα αποτύχει.

OFDMA Κυψελωτό

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι προγραμματισμένες αποφάσεις που λαμβάνονται από κάθε σταθμό βάσης επηρεάζουν τους χρήστες σε γειτονικές κυψέλες, διότι οι προγραμματισμένοι αλγόριθμοι που καλύφθηκαν μέχρι τώρα σε αυτό το κεφάλαιο εξαρτώνται πλήρως από την αντιληπτή SINR για κάθε χρήστη. Οι αποτελεσματικοί SINR όλων των χρηστών στο κελί δίπλα σε μια συγκεκριμένη κινητή συσκευή, για παράδειγμα, θα μειωθούν αν αυτή η κινητή συσκευή -πιθανώς με χαμηλό SINR- επιλεγεί να μεταδώσει ανοδικά με υψηλή ισχύ. Αυτό πιθανότατα θα αλλάξει την κατανομή υποκαναλιών και το προφίλ για εκείνο το κελί. Για αυτόν τον λόγο, τα κυψελωτά συστήματα OFDMA προσφέρουν ένα μεγάλο πλεονέκτημα σε σχέση με άλλες προσεγγίσεις όσον αφορά την πρόληψη παρεμβολών από γειτονικές κυψέλες. Η αξιοποίηση προτύπων συχνότητας-πληθύνσεως σε κάθε βάση σταθμού για την τυχαία δημιουργία παρεμβολών με γειτονικές κυψέλες είναι μια απλή μέθοδος που έγινε δημοφιλής από τη μελέτη της Flarion (τώρα QUALCOMM) γνωστή ως Flash-OFDM. Ακόμα και αν αυτός ο σχεδιασμός μειώνει την πιθανότητα να συμβεί σοβαρή παρεμβολή, τα επίπεδα παρεμβολής μπορεί να υπάρχουν ακόμα σε ένα υψηλό σύστημα υπό φόρτο.

Μπορεί σύντομα να πλησιάσουν σε επίπεδα χωρίς υποστήριξη, και μπορεί να υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα βίας ως αποτέλεσμα της παρέμβασης.

Η δημιουργία εξελιγμένων δέκτων που μπορούν να εξαλείψουν την παρεμβολή από πολλές σημαντικές πηγές παρεμβολής είναι μια πιο ερευνημένη στρατηγική. Ακόμα και για ένα σύστημα με έναν μόνο φορέα, αυτή είναι μια ενδιαφέρουσα διατριβή, και η εφαρμογή της σε ένα κυψελωτό σύστημα OFDMA συζητείται. Η κατανομή των υποφορέων και της ισχύος ακολουθεί τη θεωρία των μη συνεργατικών πεδίων και οδηγεί σε αυτό που είναι γνωστό ως ισορροπία Nash, εάν κάθε βάση σταθμού δεν είναι ενήμερη για τις ακριβείς συνθήκες στις άλλες κυψέλες και εάν η συνεργασία μεταξύ των γειτονικών βάσεων σταθμών απαγορεύεται. Η ισορροπία Nash. Με λίγα λόγια, αυτή η κατάσταση είναι ίδια με την ακινησία: οι χρήστες τελικά φτάνουν σε ένα σημείο όπου δεν μπορούν να αυξήσουν ή να μειώσουν ανεξάρτητα την ισχύ τους, επομένως αυξάνοντας την ικανότητά τους. Φυσικά, περισσότερη συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη απόδοση. Για να δημιουργηθούν συγκρίσιμα προγράμματα κατανομής πόρων πολλαπλών κελιών, ένας επικεφαλής προγραμματιστής για κάθε σταθμό βάσης θα πρέπει να είναι εξοικειωμένος με τα κανάλια που είναι διαθέσιμα σε κάθε σταθμό βάσης. (Schedules for allocating multicell resources). Η

αποστολή του προσδιορισμού μιας παγκοσμίως ιδανικής ή σχεδόν ιδανικής κατανομής πόρων θα ήταν περιττά περίπλοκη, καθώς θα απαιτούσε τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο προς και από τον κεντρικό προγραμματιστή, εκτός από τις υπολογισμένες δυσκολίες που προκύπτουν από τη διαχείριση ενός τέτοιου όγκου δεδομένων. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν πιο απλές μέθοδοι. Για να αποτραπεί η παροχή των ίδιων υπο-υπηρεσιών σε ευάλωτους χρήστες, για παράδειγμα, οι κοντινές βάσεις θα μπορούσαν να ανταλλάσσουν βασικά δεδομένα. Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί αύξηση στην έρευνα σχετικά με τη συνεργασία και την κωδικοποίηση των κυττάρων, που περιλαμβάνει τόσο τεχνικές λεπτομέρειες για το κυτταρικό OFDMA όσο και βασική θεωρητική μελέτη. Ορισμένες από αυτές τις στρατηγικές πιθανότατα θα υιοθετηθούν από τα συστήματα WiMAX τα επόμενα χρόνια προκειμένου να αυξήσουν και να βελτιώσουν την φασματική τους αποδοτικότητα και την περιοχή κάλυψης.

Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (AMC):

Ένα από τα κύρια στοιχεία της τεχνολογίας WiMAX είναι η προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (AMC), η οποία επιτρέπει δυναμικές τροποποιήσεις στα σχήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης σύμφωνα με τις τρέχουσες συνθήκες του καναλιού. Ως αποτέλεσμα, το σύστημα μπορεί να προσαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο στις αλλαγές του ασύρματου περιβάλλοντος, βελτιώνοντας την αξιοπιστία των χρηστών και τις ταχύτητες δεδομένων.

Μηχανισμοί που επιτρέπουν τη δυναμική επιλογή ρυθμών διαμόρφωσης και κωδικοποίησης πρέπει να ενσωματωθούν τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη για να λειτουργήσει σωστά η AMC. Αυτό συνεπάγεται τη συνεχή αξιολόγηση της ποιότητας του ασύρματου καναλιού και την προσαρμογή ανάλογα για τη διατήρηση της βέλτιστης απόδοσης.

Το WiMAX μπορεί να βελτιστοποιήσει τη ροή δεδομένων και να παρέχει μια αξιόπιστη σύνδεση ακόμη και σε δύσκολες ή μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, αξιοποιώντας την AMC. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε υπαίθριες και μεταφερόμενες εγκαταστάσεις όπου η παρεμβολή και η ισχύς του σήματος μπορεί να διαφέρουν σημαντικά.

Λαμβάνοντας υπόψη τα πάντα, το AMC είναι μια βασική τεχνολογία που βελτιώνει την αποτελεσματικότητα και την απόδοση των δικτύων WiMAX, καθιστώντας τα εξαιρετική επιλογή για μια ποικιλία εφαρμογών, από κινητή ευρυζωνικότητα έως σύνδεση IoT.

Υποστήριξη κινητικότητας:

Για να έχουν οι πελάτες του WiMAX μια ομαλή και αδιάκοπη εμπειρία όταν είναι εν κινήσει, η υποστήριξη κινητικότητας είναι απαραίτητη. Οι χρήστες κινητών συσκευών μπορούν να επωφεληθούν από ομαλή συνδεσιμότητα και γρήγορες μεταφορές δεδομένων χρησιμοποιώντας το WiMAX, ακόμη και όταν μεταπηδούν μεταξύ αρκετών σημείων πρόσβασης.

Οι σχεδιασμοί δέκτη πρέπει να διαθέτουν ορισμένους αλγόριθμους που μπορούν να διαχειριστούν τις ανησυχίες σχετικά με την κινητικότητα με αποδοτικό τρόπο, προκειμένου να το επιτύχουν αυτό. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση λειτουργιών όπως η συγχρονισμός, η λήψη αποφάσεων για τη μεταφορά δεδομένων και η διασφάλιση αδιάλειπτης σύνδεσης του χρήστη. Η τεχνολογία WiMAX πρέπει να συνεχίζει να βελτιώνει τα πρωτόκολλα και τους αλγόριθμους της προκειμένου να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του δικτύου, ώστε να παρέχει στους κινητούς πελάτες εξαιρετική απόδοση. Αυτό εγγυάται ότι, ανεξάρτητα από το πού βρίσκονται, οι χρήστες μπορούν να μετακινούνται μεταξύ των σταθμών βάσης με ευκολία και να διατηρούν μια σταθερή σύνδεση.

Τελικά, είτε οι χρήστες κινούνται μέσα στην ίδια περιοχή είτε μεταξύ διαφόρων τοποθεσιών, η υποστήριξη κινητικότητας του WiMAX είναι κρίσιμη για την ικανότητά τους να παραμένουν συνδεδεμένοι. Οι δυνατότητες υποστήριξης κινητικότητας της τεχνολογίας WiMAX βελτιώνονται συνεχώς, διασφαλίζοντας ότι παραμένει μια αξιόπιστη και αποτελεσματική λύση δικτύου για τους κινητούς πελάτες.

Προηγμένες τεχνικές κεραιών:

Οι εξελιγμένες μέθοδοι κεραιών είναι απαραίτητες για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος WiMAX. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών beamforming και Multiple Input Multiple

Output (MIMO) μπορεί να βελτιώσει την κάλυψη και τη συνολική αποδοτικότητα αυτών των συστημάτων.

Η τεχνολογία MIMO επιτρέπει τη μετάδοση και λήψη πολλαπλών ροών δεδομένων ταυτόχρονα, αυξάνοντας την ικανότητα του συστήματος και την φασματική αποδοτικότητα. Τα συστήματα WiMAX μπορεί να αντισταθμίσουν με επιτυχία την εξασθένηση του σήματος και την παρεμβολή χρησιμοποιώντας πολλές κεραίες και στις δύο πλευρές, του πομπού και του δέκτη, οδηγώντας σε μια πιο αξιόπιστη και σταθερή σύνδεση.

Επιπλέον, με την κατεύθυνση των ραδιοκυμάτων σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, οι τεχνικές διαμόρφωσης δέσμης βελτιώνουν την ένταση του σήματος και την περιοχή κάλυψης, ενώ ταυτόχρονα βελτιστοποιούν την παράδοση του σήματος. Η τεχνική της κατευθυντικής ακτινοβολίας είναι μια μέθοδος που μπορεί να μειώσει την πολλαπλή εξασθένηση και να βελτιώσει τη συνολική ποιότητα υπηρεσίας για τους πελάτες του WiMAX, τροποποιώντας δυναμικά τη φάση και την ένταση των σημάτων που αποστέλλονται από κάθε κεραία.

Για να επωφεληθούν πλήρως οι πομποί και οι δέκτες WiMAX από το MIMO και τη διαμόρφωση δέσμης, αυτές οι προηγμένες τεχνικές κεραίας πρέπει να υποστηρίζονται στις σχεδιάσεις τους. Αυτό περιλαμβάνει την εφαρμογή σύνθετων τεχνικών επεξεργασίας σήματος που μπορούν να αξιοποιήσουν αποτελεσματικά πολλές κεραίες και να βελτιστοποιήσουν σε πραγματικό χρόνο τις ρυθμίσεις διαμόρφωσης δέσμης.

Τελικά, η ενσωμάτωση των τεχνολογιών beamforming και MIMO στα συστήματα WiMAX βελτιώνει την απόδοση και την κάλυψη, ενώ παράλληλα ανοίγει το δρόμο για περισσότερες εξελίξεις στην ασύρματη επικοινωνία στο μέλλον. Οι πάροχοι WiMAX μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι χρήστες σε διάφορες καταστάσεις θα απολαμβάνουν απρόσκοπτη υψηλής ταχύτητας συνδεσιμότητα, ερευνώντας και βελτιώνοντας συνεχώς την προηγμένη τεχνολογία κεραιών.

Ποιότητα υπηρεσίας (QoS):

Για να διασφαλίσουν οι δίκτυα WiMAX την αποτελεσματική και αποδοτική παράδοση δεδομένων, η Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) είναι απαραίτητη. Το WiMAX μπορεί να καλύψει συγκεκριμένες απαιτήσεις εφαρμογών και να δώσει προτεραιότητα στην κίνηση εφαρμόζοντας

τεχνικές ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Αυτό είναι απαραίτητο για να διατηρηθούν οι συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών και να διασφαλιστεί μια αξιόπιστη και συνεπής εμπειρία πελάτη.

Για να γίνει αυτό, η υποστήριξη QoS πρέπει να ενσωματωθεί στους σχεδιασμούς του πομπού και του δέκτη. Για να διασφαλιστεί η έγκαιρη μετάδοση δεδομένων υψηλής προτεραιότητας, πρέπει να είναι σε θέση να τα αναγνωρίζουν και να τους δίνουν προτεραιότητα. Με αυτόν τον τρόπο, το WiMAX μπορεί να μειώσει την απώλεια πακέτων και να διαχειριστεί αποτελεσματικά τη συμφόρηση του δικτύου, γεγονός που θα βελτιώσει τελικά τη συνολική απόδοση του δικτύου.

Οι μέθοδοι QoS ουσιαστικά βοηθούν στην αποδοτική αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων του δικτύου, διασφαλίζοντας ότι τα λιγότερο σημαντικά δεδομένα διαχειρίζονται κατάλληλα και ότι τα κρίσιμα δεδομένα παραδίδονται εγκαίρως. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο σε καταστάσεις όπως οι κλήσεις VoIP ή οι βιντεοδιασκέψεις, όπου απαιτείται άμεση επικοινωνία.

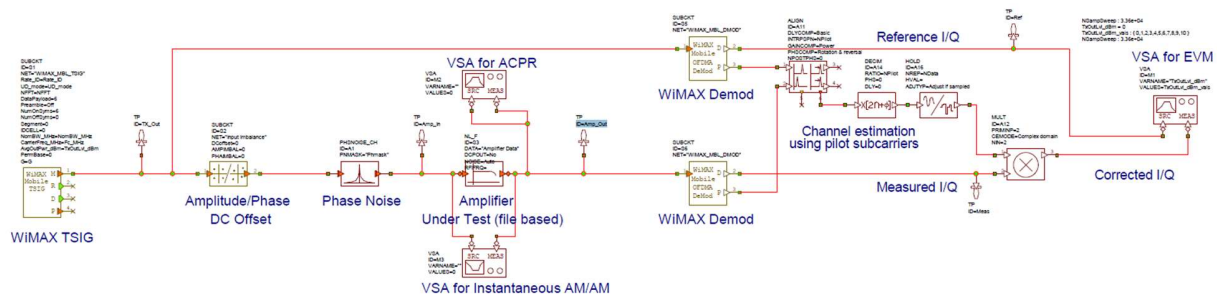
Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πράγματα, η Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) είναι ένα βασικό στοιχείο της τεχνολογίας WiMAX, επιτρέποντας την αποτελεσματική μεταφορά δεδομένων και διασφαλίζοντας ότι οι καταναλωτές λαμβάνουν μια σταθερή και αξιόπιστη υπηρεσία. Τα δίκτυα WiMAX μπορούν να δώσουν προτεραιότητα στην κυκλοφορία, να παρέχουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας στους πελάτες και να ικανοποιούν τις ανάγκες των εφαρμογών ενσωματώνοντας υποστήριξη QoS στις σχεδιάσεις πομπού και δέκτη. [7]

4 Κεφαலைο 4

4.1 Περιγραφή Κυκλώματος WiMAX_Mobile_802_16e_TX

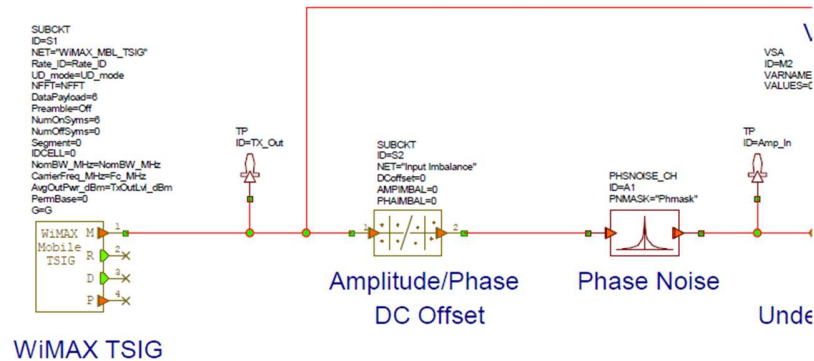
Το κύκλωμα Mobile Wimax της δίκης μας προσομοίωσης αναπαριστά μια δοκιμαστική διάταξη για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός συστήματος επικοινωνίας WiMAX. Παράγεται ένα σήμα δοκιμής, παραμορφώνεται με ανισορροπία πλάτους/φάσης και θόρυβο φάσης, και περνά μέσω ενός ενισχυτή υπό δοκιμή (DUT) για να αναλυθεί η επίδρασή του, όπως η παραμόρφωση και η διαρροή ισχύος. Οι Αναλυτές Διανυσματικών Σημάτων (VSA) μετρούν βασικούς δείκτες όπως η διαρροή ισχύος γειτονικών καναλιών (ACPR), η παραμόρφωση AM/AM και η ποιότητα σήματος (EVM). Το σήμα αποδιαμορφώνεται σε συνιστώσες I/Q και συγκρίνεται με μια αναφορά και διορθώνεται χρησιμοποιώντας εκτίμηση καναλιού. Αυτή η διάταξη αξιολογεί την απόδοση του ενισχυτή, την ακεραιότητα του σήματος και την αποτελεσματικότητα της διόρθωσης υπό πραγματικές συνθήκες.

4.2 Αναλυση κυκλωματος WiMAX_Mobile_802_16e_TX



Εικόνα 4.1-1 Γενικό διαγραμμα Κυκλώματος

4.1.1 Τμηματική περιγραφή κυκλώματος



Εικόνα 4.2-2 Block 1

Περιγραφή Block 1

"WiMAX Mobile TSIG" - Αναπαριστά μια γεννήτρια σήματος WiMAX.

"SUBCKT " υποσύστημα που προσομοιώνει το DC offset

"PHNOISE_CH" δείχνει την ένταση του θορύβου

"TP" (Test Point): Δεν επηρεάζουν την λειτουργία του κυκλώματος

Ξεκινώντας από αριστερά βλέπουμε την Γεννήτρια Σημάτων Δοκιμής WiMAX, ή TSIG: Αυτό το μπλοκ παράγει το σήμα δοκιμής για το WiMAX. Αυτό το παραγόμενο σήμα είναι μια προσομοίωση του είδους μετάδοσης που προέρχεται από ένα σύστημα WiMAX. Η διαμόρφωση, η αρχιτεκτονική πλαισίου και άλλα χαρακτηριστικά της επικοινωνίας WiMAX μπορούν να περιληφθούν σε αυτό. Όπως υποδεικνύει το διάγραμμα, οι παράμετροι είναι:

Βαθμός: Καθορίζει το ρυθμό δεδομένων του σήματος WiMAX.

Λειτουργία UL/DL: Ρυθμίζει τη διαμόρφωση του σήματος ανόδου (UL) ή καθόδου (DL).

Αριθμός Πλαισίου: Υποδεικνύει πόσα πλαίσια υπάρχουν στο σήμα δοκιμής.

G: Η τιμή του G καθορίζει το μήκος του κυκλικού προθέματος (Cyclic Prefix - CP). Το CP είναι ένα μικρό χρονικό τμήμα στην έναρξη του σήματος, στο οποίο επαναλαμβάνεται το τελευταίο κομμάτι του OFDM συμβόλου, δημιουργώντας ένα "buffer" για να αποτρέψει τις παρεμβολές μεταξύ των συμβόλων.

Ακολουθεί η Amplitude/Phase DC Offset:

Αυτό το μπλοκ εισάγει ανισορροπίες σήματος σε φάση και πλάτος. Αυτές οι ανισορροπίες μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τη συνολική ακεραιότητα του σήματος και συχνά εντοπίζονται σε πραγματικά συστήματα ραδιοσυχνοτήτων (RF).

Όταν η ενίσχυση μεταξύ των καναλιών I (σε φάση) και Q (σε τεταρτημόριο) είναι διαφορετική, προκύπτει ανισορροπία πλάτους.

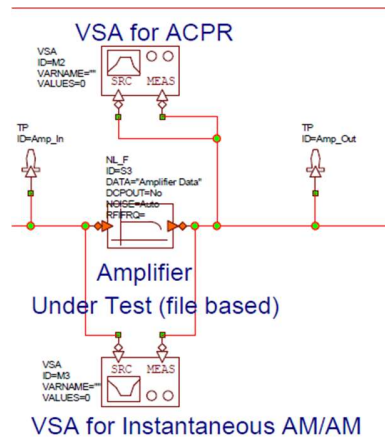
Η ανισορροπία φάσης είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια διαφορά φάσης που δεν είναι ακριβώς ενενήντα μοίρες μεταξύ των καναλιών I και Q.

Τα σήματα I/Q στη βάση ζώνης μπορεί να παραμορφωθούν μακριά από την ιδανική μηδενική μέση τιμή λόγω μιας σταθερής τάσης εκτροπής στο σήμα, η οποία αναφέρεται ως DC offset.

Θόρυβος Φάσης:

Ο θόρυβος φάσης, ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο στα συστήματα επικοινωνίας που προκαλείται από ελαττώματα των ταλαντωτών, και προσομοιώνεται από αυτό το μπλοκ. Η υποβάθμιση του σήματος μπορεί να προκληθεί από θόρυβο φάσης, ιδιαίτερα σε συστήματα υψηλής συχνότητας όπως το WiMAX.

Επίδραση: Αυξάνει τους ρυθμούς σφαλμάτων bit (BER) και υποβαθμίζει την απόδοση εισάγοντας jitter και παραμόρφωση σήματος.



Εικόνα 4.3-3 Block 2

Περιγραφή Block 2

"NL-F" (Non-Linear File-Based Model): Προσομοιώνει τον ενισχυτή

"VSA" (Vector Signal Analyzer) μετρητές για:

- ACPR (Adjacent Channel Power Ratio)
- Instantaneous AM/AM

"TP" (Test Point): Δεν επηρεάζουν την λειτουργία του κυκλώματος

Amplifier Under Test (AUT):

Ο Ενισχυτής Υπό Δοκιμή αποτελεί βασικό στοιχείο του κυκλώματος, όπου αξιολογείται η απόδοση ενός ενισχυτή μικροκυμάτων/ραδιοσυχνοτήτων και αναπαρίσταται από αυτό το μπλοκ. Ο ενισχυτής χρησιμοποιείται για την ενίσχυση του σήματος πριν από τη μετάδοση. Είναι σημαντικό να αξιολογηθούν οι μη γραμμικότητες, η συμπίεση κέρδους και άλλες παραμορφώσεις που μπορεί να εισάγει ο ενισχυτής, προκειμένου να διασφαλιστεί αξιόπιστη επικοινωνία. Ο ενισχυτής λαμβάνει το σήμα WiMAX και το ενισχύει, αλλά λόγω φυσικών περιορισμών παρουσιάζει παραμόρφωση και απώλειες απόδοσης.

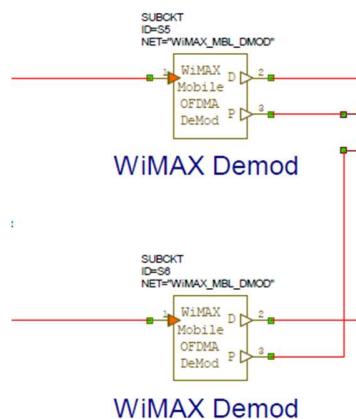
Άμεσο AM/AM VSA:

Εξετάζει τη σύνδεση μεταξύ των πλάτους εισόδου και εξόδου του ενισχυτή και βοηθά στην κατανόηση της μη γραμμικής συμπεριφοράς του ενισχυτή, η οποία είναι ουσιώδης για τη διατήρηση της ακεραιότητας του σήματος.

VSA for ACPR

Καθορίζει την ποσότητα της ενέργειας που διαρρέει σε κοντινές διαδρομές από την κύρια διαδρομή.

Η αυξημένη ACPR υποδηλώνει ανεπαρκή φασματική αποδοτικότητα και αυξημένη παρεμβολή από γειτονικά κανάλια.



Εικόνα 4.4-4Block 3

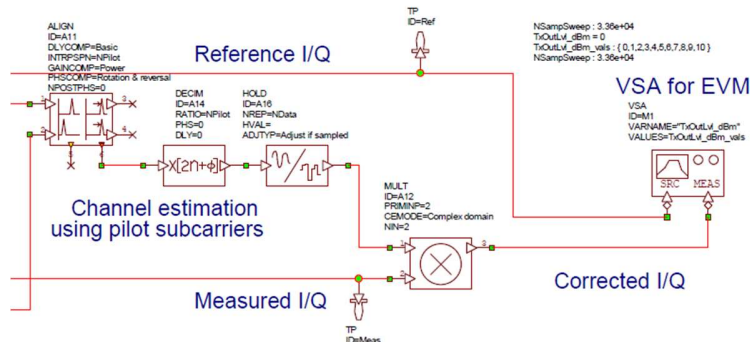
Περιγραφή Block 3

"WiMAX Mobile OFDMA Demod" (WiMAX Demodulators)

WiMAX Demod (Demodulator):

Το σήμα αποδιαμορφώνεται σε αυτό το μπλοκ και επιστρέφει στην αρχική του μορφή δεδομένων. Για να γίνει επιπλέον ανάλυση των επιδράσεων της διέλευσης του σήματος μέσω του συστήματος, απαιτείται το αποδιαμορφωμένο σήμα.

OFDMA Demod: Το WiMAX χρησιμοποιεί την ορθογώνια διαίρεση συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA), στην οποία τα μεταδιδόμενα δεδομένα ανακτώνται από τον διαμορφωμένο φορέα μέσω του αποδιαμορφωτή.



Εικόνα 4.5-5 Block 4

Περιγραφή Block 4

"ALIGN " (Ευθυγράμμιση σήματος)

"HOLD " (Συγκράτηση δεδομένων για υπολογισμό διορθώσεων)

"MULT " (Πολλαπλασιαστής για αποκατάσταση του σήματος)

"VSA" (Vector Signal Analyzer) για τη μέτρηση του EVM.

"TP" (Test Point): Δεν επηρεάζουν την λειτουργία του κυκλώματος

Channel Estimation με χρήση Pilot Subcarriers:

Οι pilot subcarriers , οι οποίοι είναι προκαθορισμένοι subcarriers στο σήμα OFDMA που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επιδράσεων του καναλιού (όπως η εξασθένηση, ο θόρυβος και άλλες βλάβες), χρησιμοποιούνται σε αυτή την ενότητα για την εκτίμηση του καναλιού.

Corrected I/Q: Οι pilot subcarriers βοηθούν στην εκτίμηση της μεταβαλλόμενης διαδρομής του σήματος. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα, το ληφθέν σήμα διορθώνεται, με αποτέλεσμα το "Corrected I/Q"

Reference I/Q: Αυτή είναι μια αναπαράσταση του τέλειου σήματος χωρίς παρεμβολές.

Measured I/Q: Αυτό δείχνει το πραγματικό σήμα που ελήφθη μετά την επίδραση του καναλιού.

Το Reference I/Q και το Measured I/Q χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί το Error Vector Magnitude (EVM), που δείχνει πόσο έχει παραμορφωθεί το σήμα.

(EVM) χρησιμοποιώντας VSA:

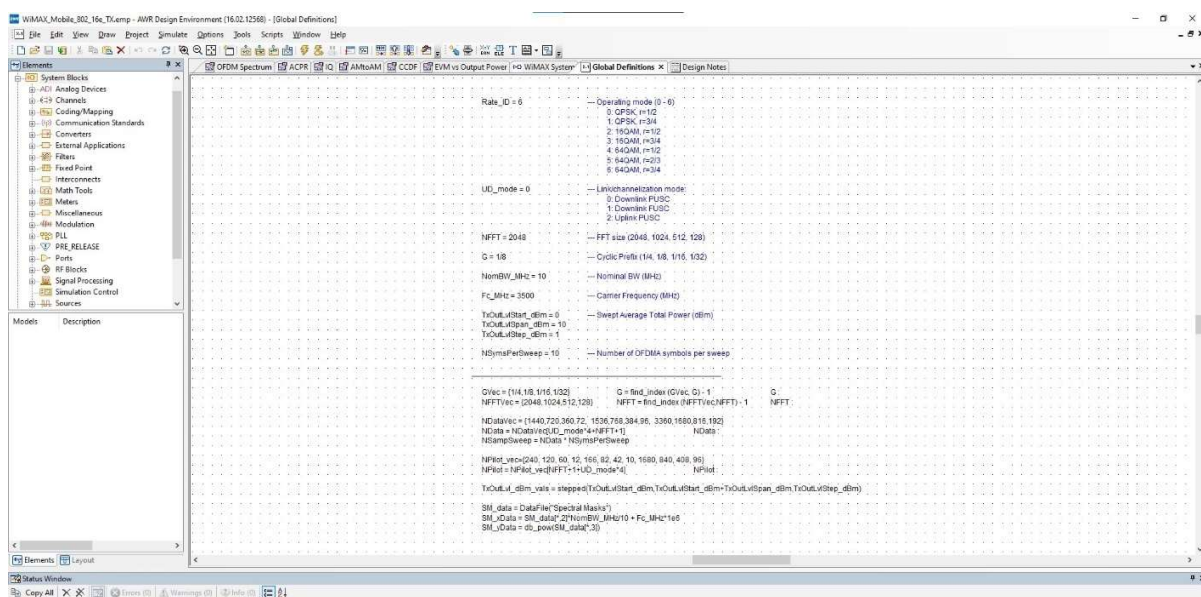
Η διαφορά μεταξύ του ιδανικού αναφοράς σήματος και του πραγματικά μετρημένου σήματος ποσοτικοποιείται μέσω της μέτρησης EVM.

Χαμηλό EVM: Υποδηλώνει ένα σήμα με λίγα λάθη και παραμορφώσεις και καλή ποιότητα.

Υψηλό EVM: Υποδηλώνει σημαντικές αποκλίσεις από το βέλτιστο σήμα, υποδεικνύοντας κατώτερη ποιότητα σήματος.

Για να προσδιοριστεί το ποσό του σφάλματος που εισάγεται κατά τη μετάδοση, ο VSA (Αναλυτής Διανυσματικού Σήματος) συγκρίνει το Corrected I/Q (από τον αποδιαμορφωτή) με το Reference I/Q.

4.1.2 Mobile WiMAX System Parameters



Από εδώ γίνεται η αλλαγή των μεταβλητών για τις προσομοιώσεις του επόμενου κεφαλαίου. Μέσα στις παρενθέσεις φαίνονται όλες οι πιθανές τιμές που μπορούν να πάρουν οι μεταβλητές.

5 Κεφάλαιο 5

5.1 Αποτελέσματα προσομοιώσεων

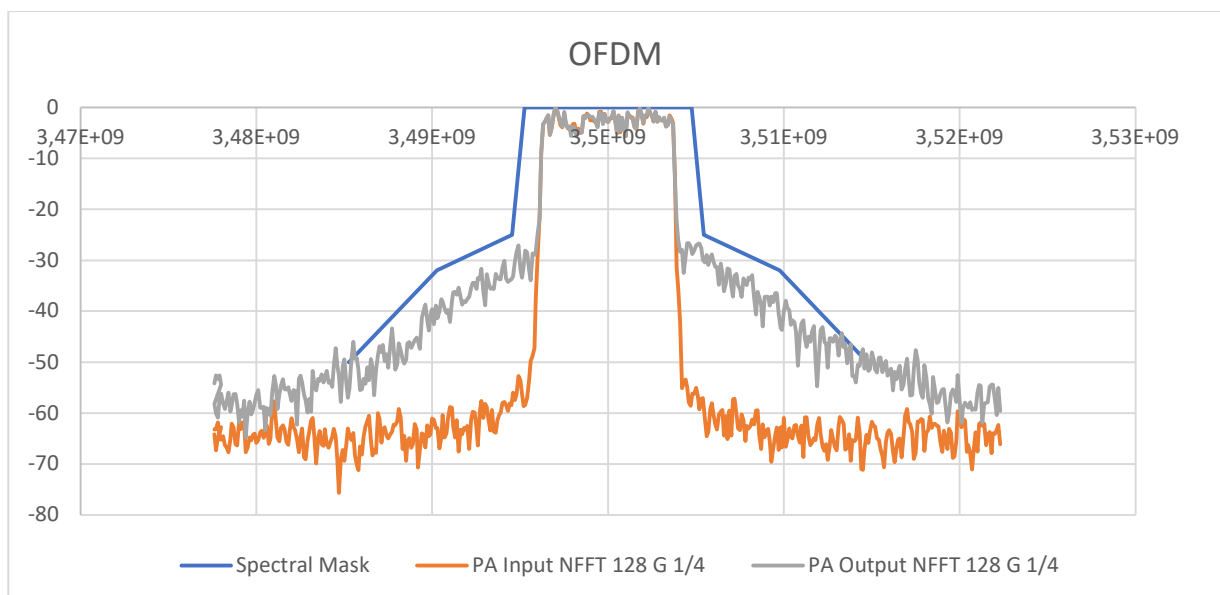
Για τις προσομοιώσεις έγιναν συνδυασμοί χρησιμοποιώντας τις παρακάτω τιμές:

ID	NFFT	G
0	128	1/4
2	512	1/32
6	2048	

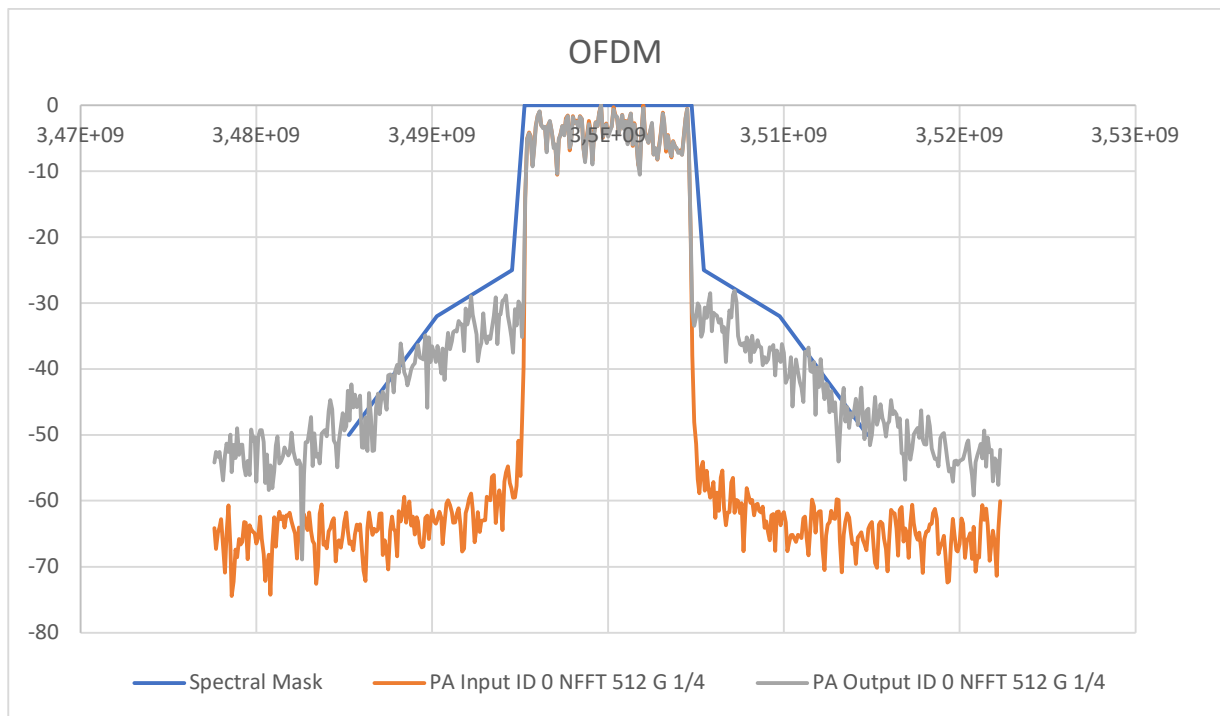
5.1.1 OFDM

Εδώ θα εξετάσουμε την επίδραση που έχουν οι αλλαγές στις παραμέτρους μας στην Ορθογώνια Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνοτήτων (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) , μια τεχνική πολυπλεξίας που χωρίζει ένα σήμα σε πολλές ορθογώνιες υποφέρουσες συχνότητες και βοηθά στην αποδοτικότερη χρήση του φάσματος.

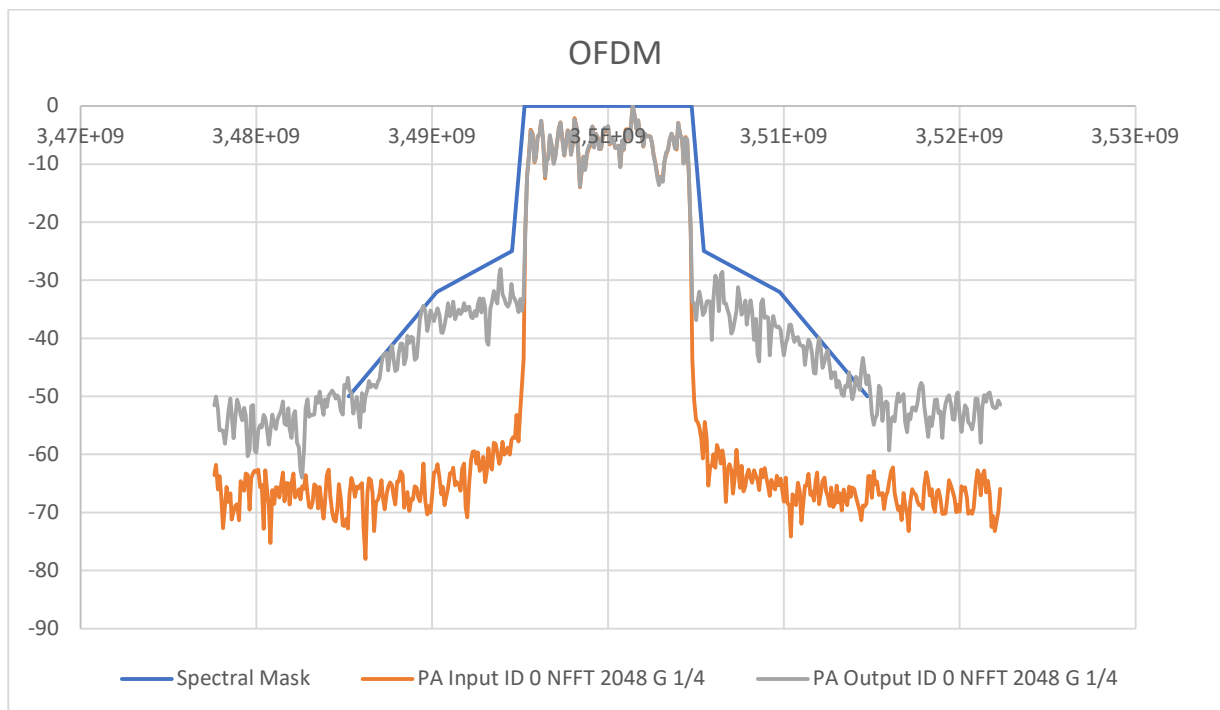
Το διάγραμμα για τιμές NFFT 128 και G 1/4



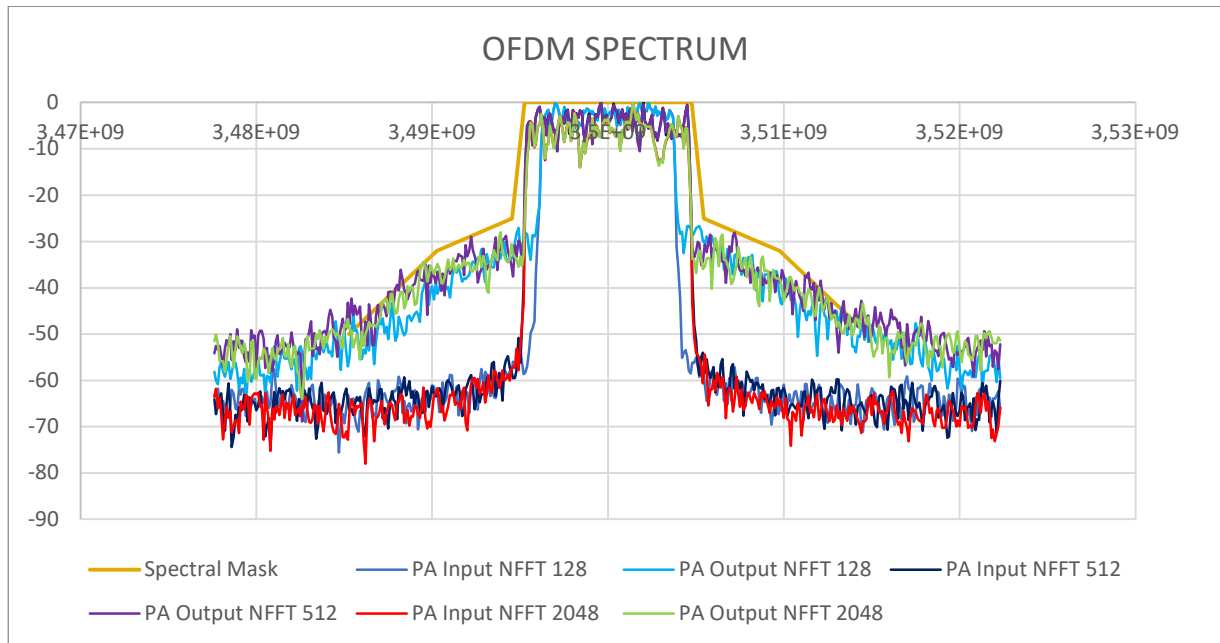
Αντιστοίχως το διάγραμμα για NFFT 512 και ίδιο G (1 /4)



Για NFFT 2048

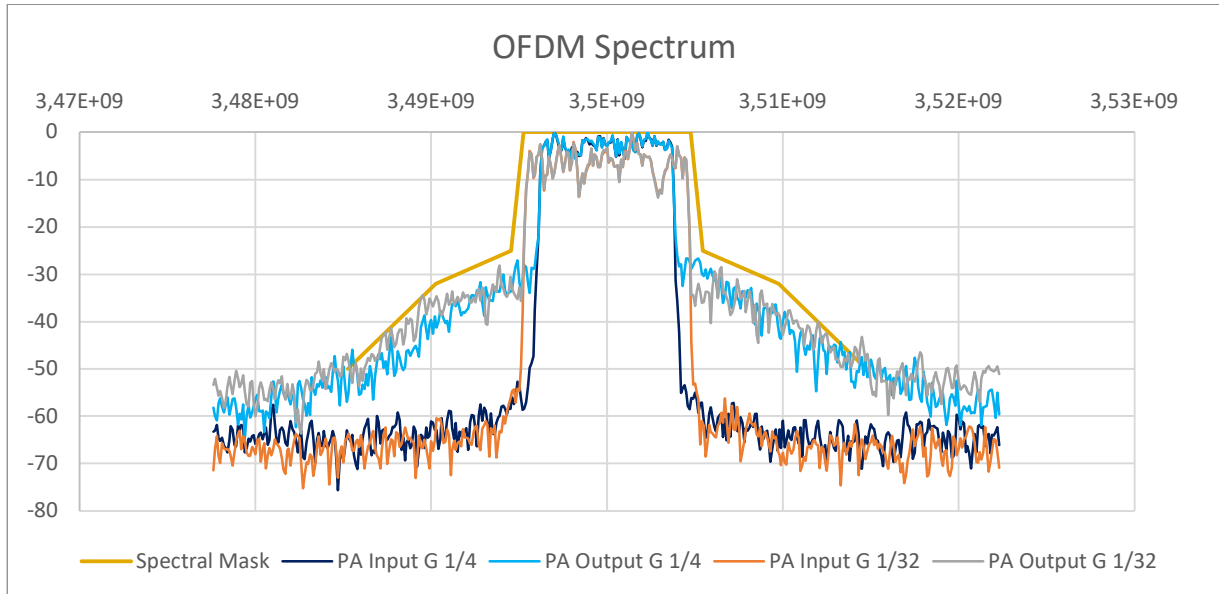


Η σύγκριση και των τριών προηγούμενων διαγραμμάτων σε ένα ώστε να φανεί η διαφοροποίηση

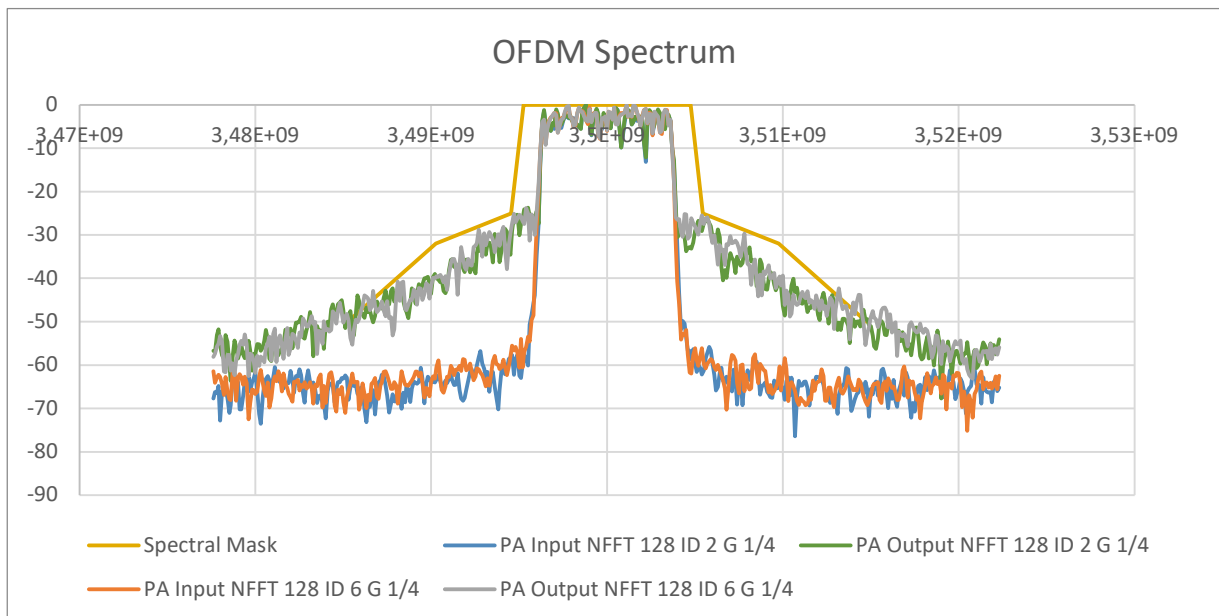


Αυξάνοντας την τιμή του NFFT από την ελάχιστη τιμή (128) επιτυγχάνεται καλύτερη κάλυψη στη μάσκα φάσματος. Παρόλα αυτά όσο και αν αυξήσουμε την τιμή παραπάνω, δεν παρατηρείται περαιτέρω αύξηση στο φάσμα.

Παρομοίως αν έχουμε NFFT 128 και $G = 1/4$ και NFFT 2048 και $G = 1/32$ υπάρχει η ίδια διαφορά με το προηγούμενο διάγραμμα.

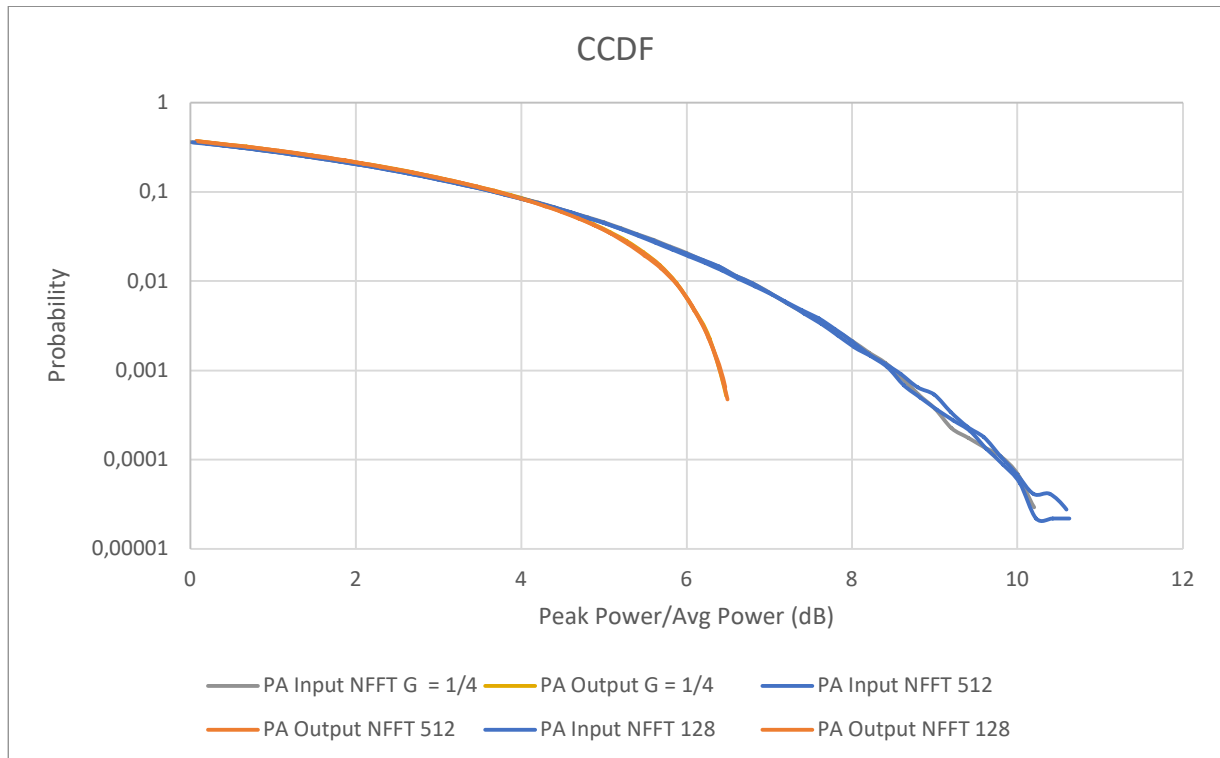


Αντιθέτως αν αλλαχθεί μόνο η τιμή του ID δεν παρατηρείται καμία αλλαγή στις συχνότητες μας

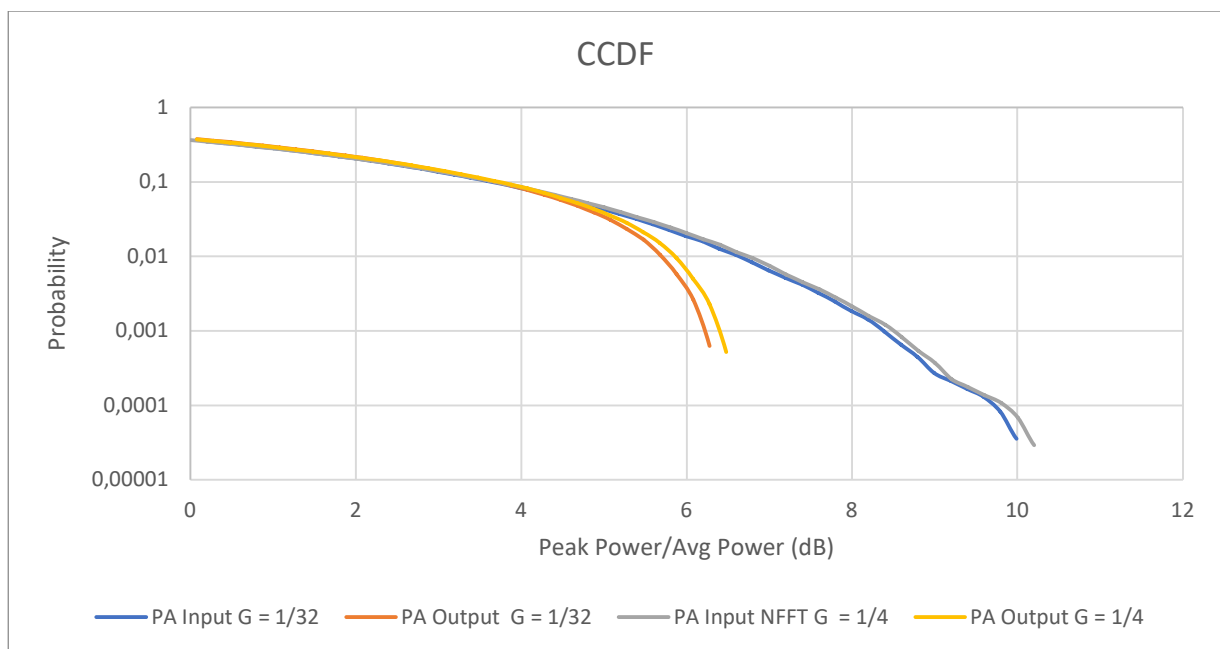


5.1.2 CCDF

Με την καμπύλη CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function) μπορούμε να δούμε την πιθανότητα που έχει το σήμα μας να παραμείνει σε ένα επίπεδο ισχύος. Για τρεις προσομοιώσεις τιμές $ID = 0$, $G = 1/4$ και NFFT να έχει 128, 512 και 2048 έкаστη βλέπουμε ότι δεν υπάρχει διαφορά στα επίπεδα ισχύος.



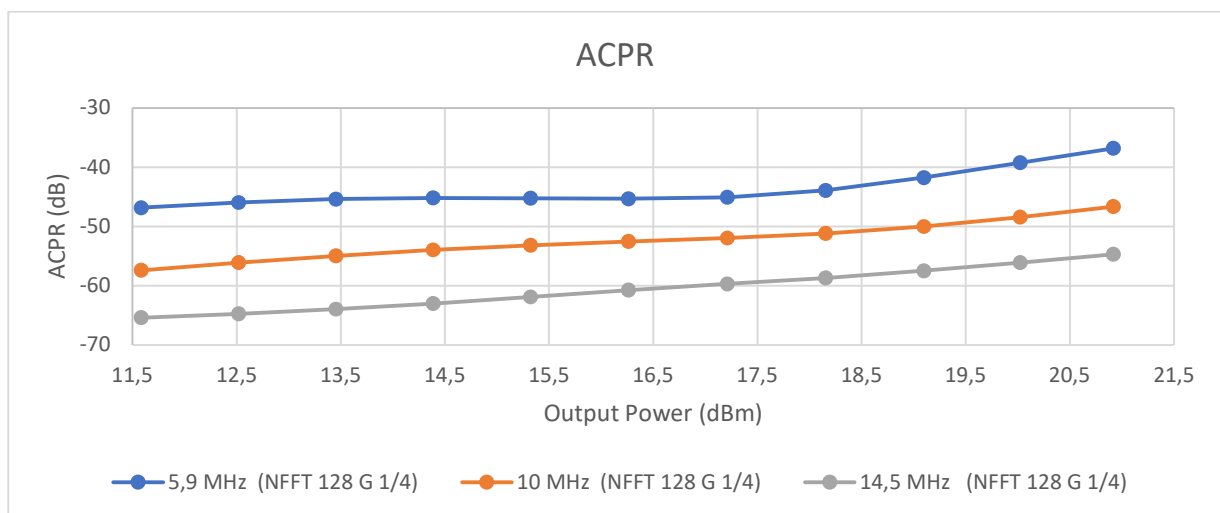
Αν από τις 3 όμοιες καμπύλες, επιλεχθεί η καμπύλη με στοιχεία ID = 0, $G = 1/4$, NFFT 2048 και γίνει προσομοίωση αλλάζοντας μόνο το $G = 1/32$ θα δούμε πως στην νέα δοκιμή μετατοπίζεται προς τα αριστερά η καμπύλη. Κάτι τέτοιο γενικά δείχνει ότι η μέγιστη ισχύς του σήματος σε σχέση με τον μέσο όρο είναι μικρότερη. Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει καθώς δείχνει ότι το σήμα είναι πιο εύκολο στη διαχείριση καθώς δεν έχει τόσο μεγάλες αυξομειώσεις.



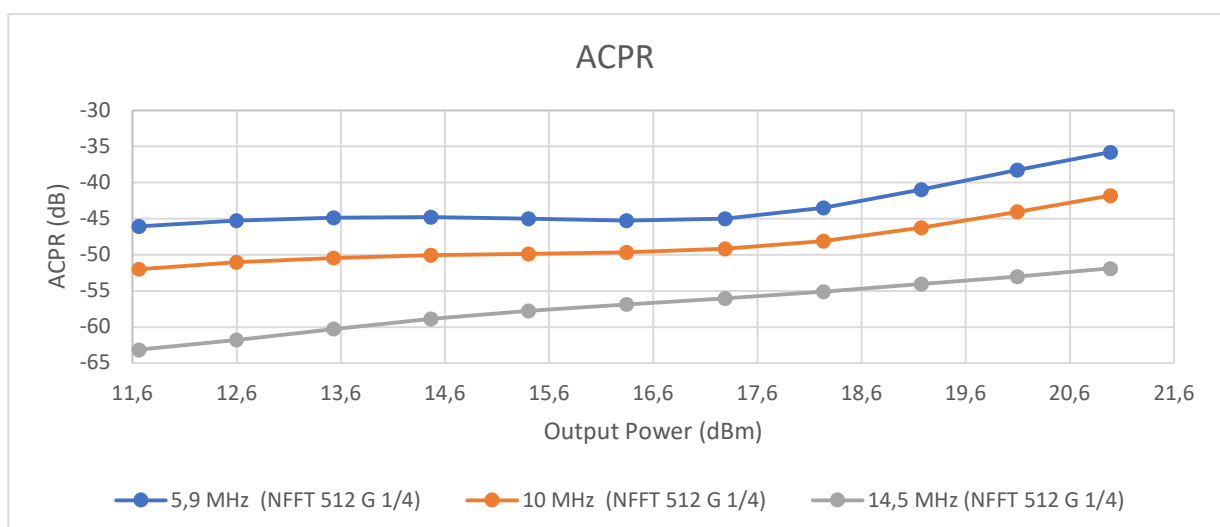
5.1.3 ACPR

Με το ACPR (Adjacent Channel Power Ratio) φαίνεται ο λόγος της ισχύος του σήματος προς την ισχύ των συχνοτήτων (καναλιών) δίπλα από το σήμα. Πιο απλοϊκά εκφράζει το πόσο πολύ επηρεάζει ένα κανάλι τα διπλανά του λόγω της ισχύος του. Ιδανικά δεν θα έπρεπε να επηρεάζονται οι διπλανές συχνότητες αλλά αυτό είναι σχεδόν αδύνατο σε πραγματικές συνθήκες. Οπότε δίνεται σημασία στην προσπάθεια της ελαχιστοποίησης αυτών των παρεμβολών.

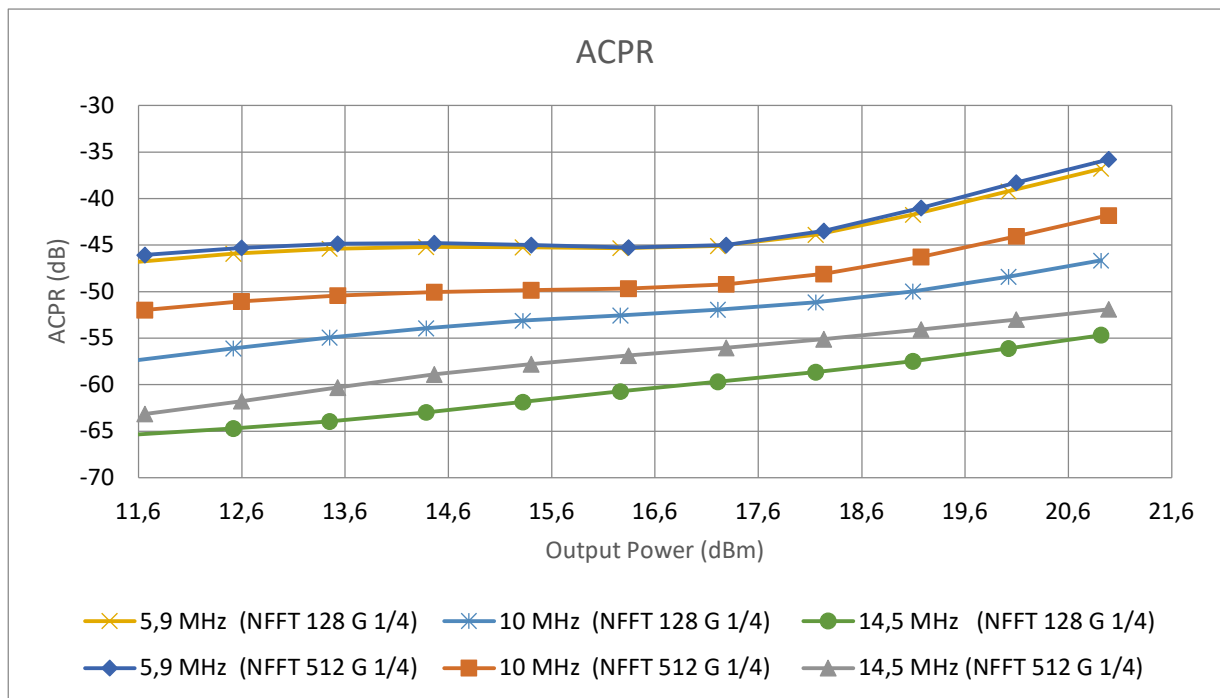
Στο πρώτο διάγραμμα γίνεται μέτρηση του ACPR για NFFT 128 και $G 1/4$



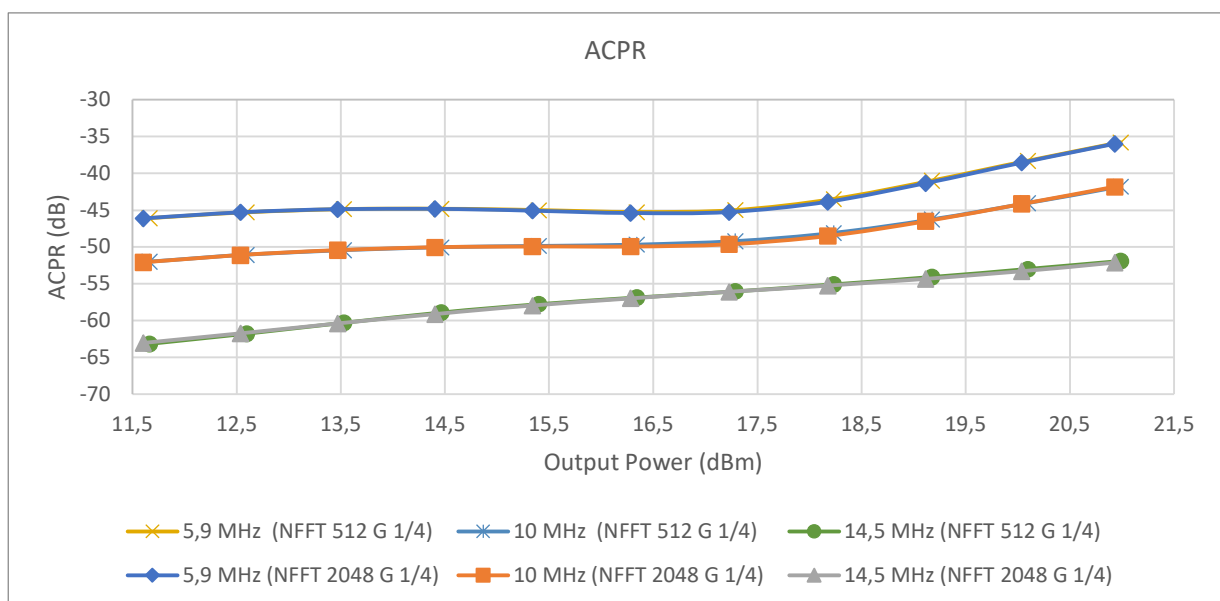
Αντιστοίχως για NFFT 512 και $G 1/4$



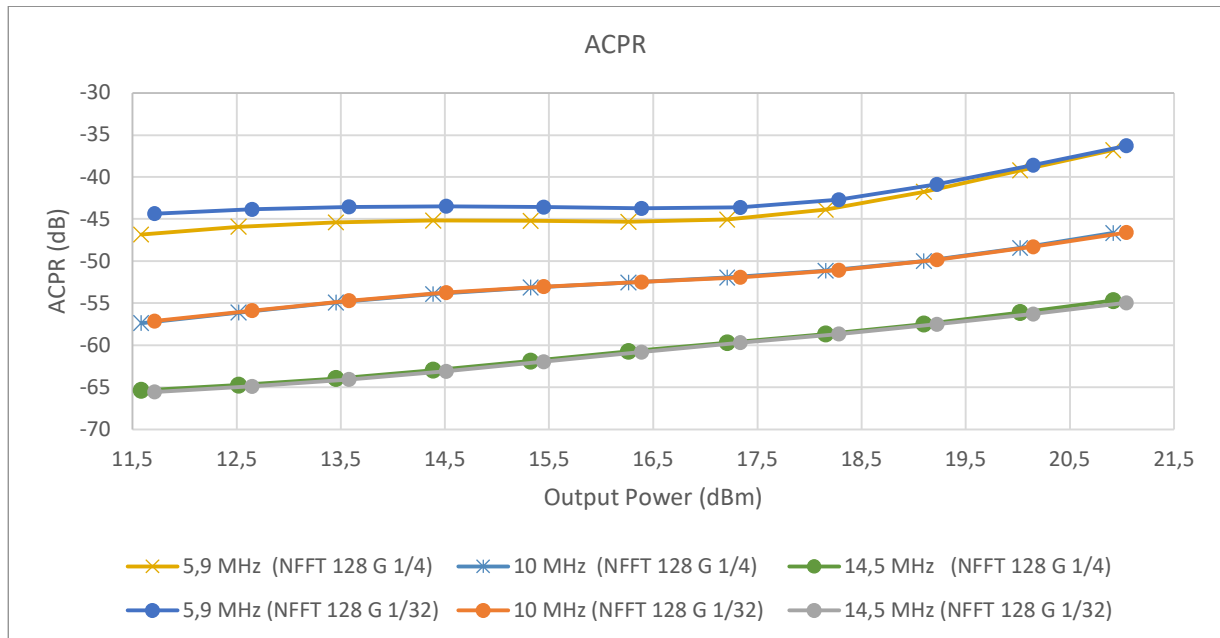
Στο διάγραμμα παρακάτω γίνεται η σύγκριση των προηγούμενων δύο μετρήσεων. Ενώ στο κανάλι των 5MHz φαίνεται ότι δεν υπάρχει κάποια διαφορά, στα κανάλια των 10MHz και 14,5MHz υπάρχει σημαντική βελτίωση στην μείωση της παρεμβολής.



Δοκιμάζοντας να αυξήσουμε επιπλέον το NFFT από 512 σε 2048 οι καμπύλες εφάπτονται που δείχνει ότι δεν αλλάζει κάτι στο σήμα.



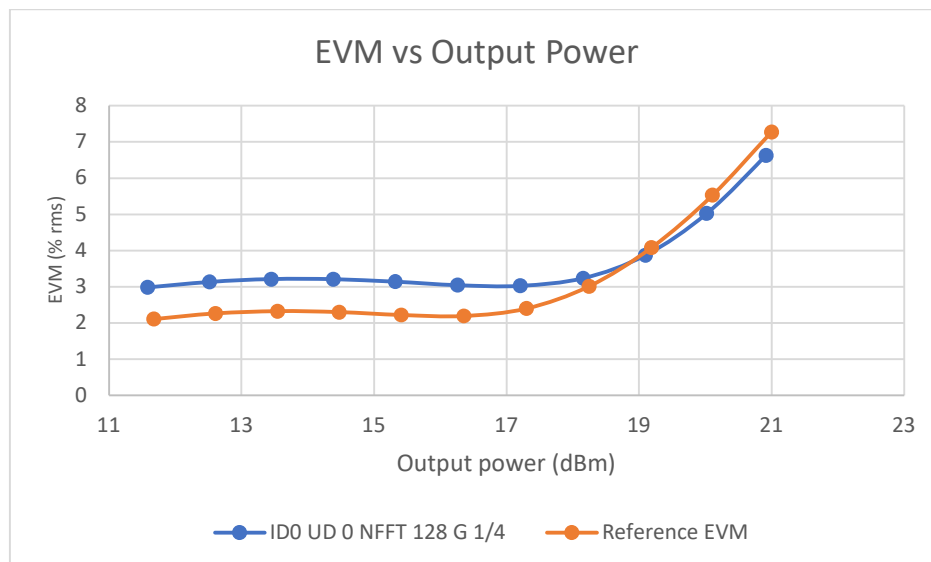
Αν μείνουν σταθερές οι τιμές των παραμέτρων και αλλάξει μόνο το G από $1/4$ σε $1/32$ το σήμα φαίνεται ότι χειροτερεύει ελαφρώς, ειδικά στο εύρος των 5,9MHz.



5.1.4 EVM

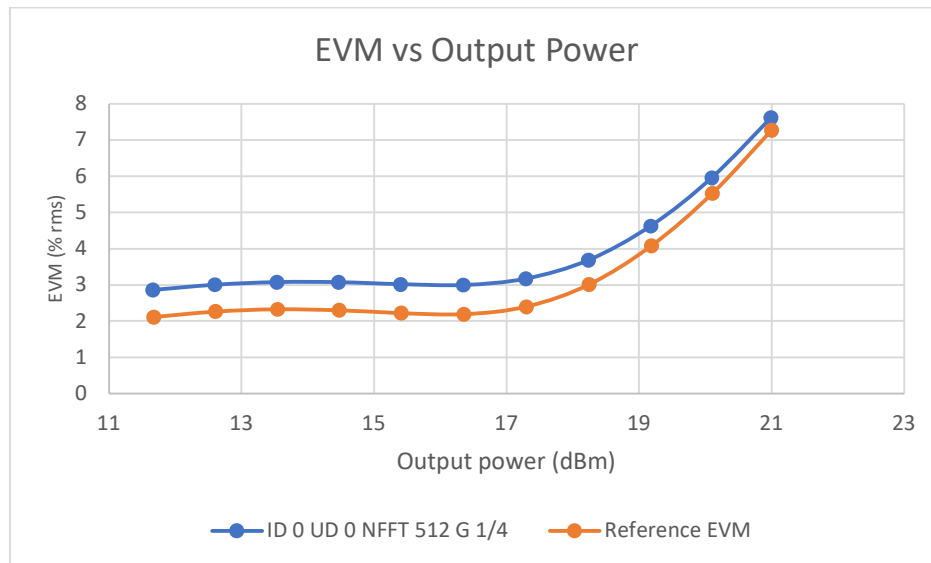
Το EVM (Error Vector Magnitude) είναι μια πολύ σημαντική μέτρηση που μας δείχνει την ποιότητα της διαμόρφωσης που έχουμε επιλέξει. Ανάλογα την διαμόρφωση υπάρχει ένας αριθμός συμβόλων που καθορίζουν τα bits. Στην πράξη όμως οι μετρήσεις δεν πέφτουν ακριβώς πάνω στα ιδανικά σημεία που καθορίζονται από την διαμόρφωση. Το EVM μετράει μόνο την απόσταση των πραγματικών μετρήσεων από τα ιδανικά σημεία και καθόλου τη διεύθυνση. Μεγαλύτερες τιμές EVM δείχνουν μεγαλύτερες αποστάσεις από τις ιδανικά σημεία και μεγαλύτερη πιθανότητα για λάθη.

Για παράδειγμα στο παρακάτω διάγραμμα με NFFT 128 και G 1/4 φαίνεται ότι για ισχύ σήματος πάνω από 19 dBm είμαστε οριακά κάτω από τις τιμές αναφοράς.



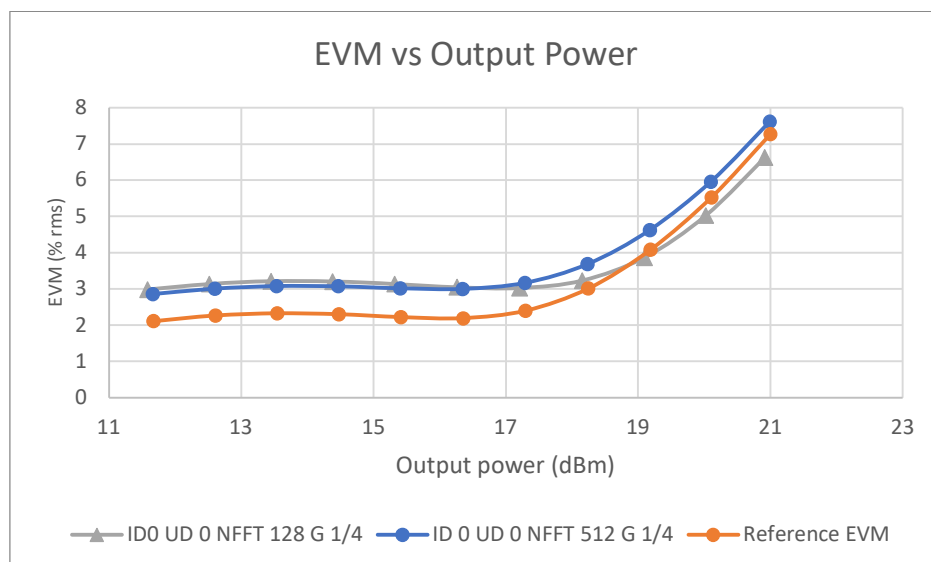
Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι τιμές για το επίπεδο αναφοράς έχουν σημασία. Αν έχουμε θέσει πολύ χαμηλά τότε θα χάνονται αρκετές παρατηρήσεις επειδή θα απέχουν πάρα πολύ από το ιδανικό. Αντιθέτως αν οριστεί πολύ ψηλά τότε ο θόρυβος έχει μεγαλύτερη επίδραση.

Αντιστοίχως για NFFT 512 το διάγραμμα γίνεται ως εξής

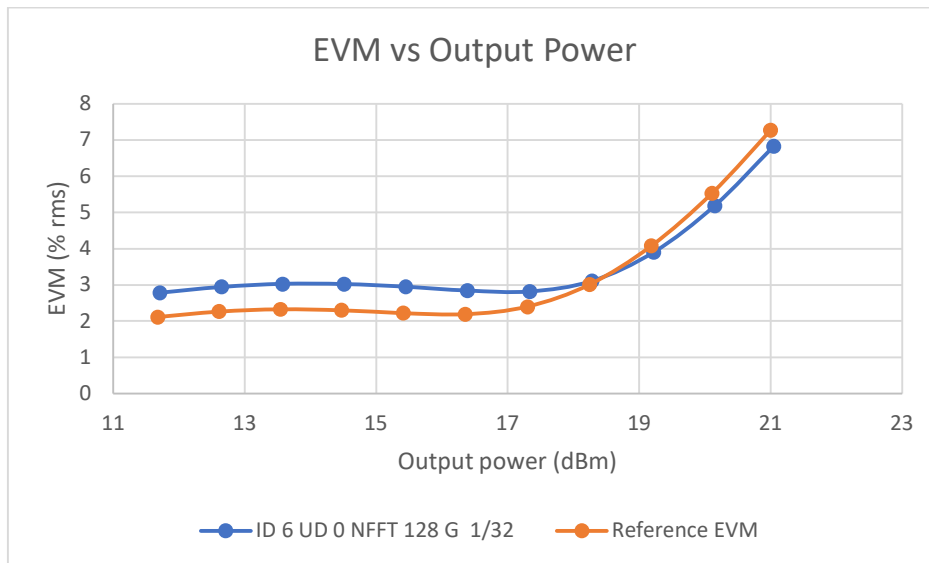


Εδώ το σήμα φαίνεται χειρότερα από το προηγούμενο καθώς σε τιμές πάνω από 19dBm φαίνεται να ξεπερνάει τις τιμές αναφοράς.

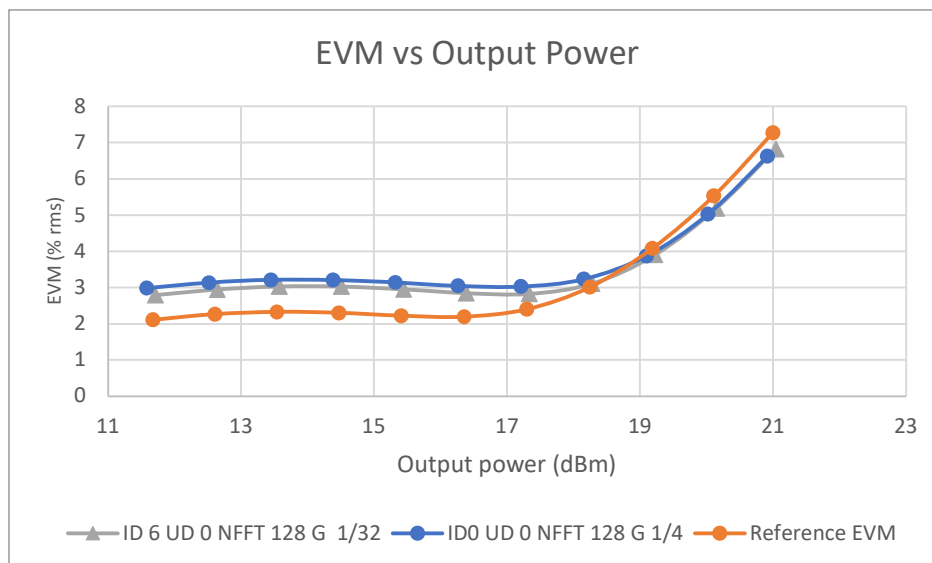
Αν συγκρίνουμε τις δύο προηγούμενες γραφικές παραστάσεις βλέπουμε με NFFT 128 επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση αφού το EVM σε υψηλότερες τιμές ισχύος παραμένει κάτω από τις τιμές αναφοράς.



Για $G 1/32$ και NFFT 128 το EVM παραμένει κάτω από τις τιμές αναφοράς

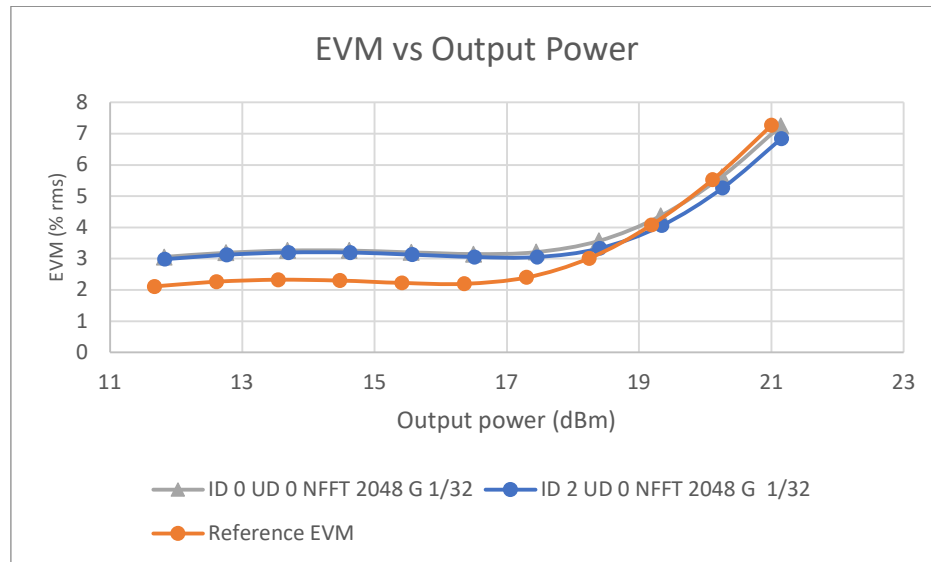


Συγκρίνοντας με $G 1/4$ και ίδιο NFFT (128) είναι εμφανές ότι το G δεν επηρεάζει τόσο πολύ όσο το NFFT στην προηγούμενη σύγκριση.



Η ελαφριά διαφοροποίηση σε τιμές κάτω από 19 dBm είναι επειδή έχει γίνει χρήση άλλου ID. Αν η ισχύς είναι πάνω από τα 19 dBm τότε πρακτικά δεν υπάρχει διαφοροποίηση.

Μια σύγκριση μεταξύ ίδιων NFFT (2048) και G (1/32) με αλλαγμένο το ID δείχνει πως με ID 2 επιτυγχάνεται καλύτερο EVM σε επίπεδα ισχύος πάνω από 19 dBm



Γενικά φαίνεται ότι το σήμα επηρεάζεται στο EVM όταν το NFFT έχει υψηλότερες τιμές και χρησιμοποιείται ID διαφορετικό του 0.

6 Συμπεράσματα

Από την εκτέλεση των πολλαπλών προσομοιώσεων που έγιναν με διαφορετικούς συνδυασμούς συνιστωσών και τα διαγράμματα που παρατέθηκαν πιο πάνω παρατηρούμε στο συγκεκριμένο κύκλωμα ότι το OFDM και το ACPR επηρεάζονται κυρίως από τις αλλαγές στο NFFT και ότι η αύξηση του NFFT από 128 σε 512 βελτιώνει την κάλυψη φάσματος για το OFDM, και την φασματική απόδοση για το ACPR, αλλά μετά από το 512 δεν παρατηρείται περαιτέρω βελτίωση. Το CCDF παρατηρούμε ότι επηρεάζεται κυρίως από την αλλαγή του G από $1/4$ σε $1/32$, κάτι που υποδηλώνει μικρότερη μέγιστη ισχύ σε σχέση με τον μέσο όρο. Αυτό καθιστά το σήμα πιο εύκολο στη διαχείριση, καθώς μειώνονται οι μεγάλες αυξομειώσεις στην ισχύ. Το EVM φαίνεται να επηρεάζεται κυρίως από το NFFT από 128 έως 512 να έχει καλύτερη ποιότητα διαμόρφωσης. Έτσι συνολικά παρατηρούμε ότι η επιλογή NFFT 512 και G $1/4$ φαίνεται να είναι η πιο ισορροπημένη, καθώς μειώνει τις παρεμβολές χωρίς να επιδεινώνει σημαντικά την ποιότητα του σήματος.

Βιβλιογραφία

- [1] Τσεκμέζογλου, Σ. (2006), ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ IEEE 802.16 ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ (Διπλωματική εργασία). Ανακτήθηκε από: <https://ikee.lib.auth.gr/record/291545/> .
- [2] Χουζούρης, Ιωάννης. (2008), Τεχνοοικονομική ανάλυση της WiMAX τεχνολογίας (Μεταπτυχιακή διατριβή). Ανακτήθηκε από: <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/2509>
- [3] Κουρούς, Ι. (2009), Μελέτη Τεχνολογίας και Εφαρμογών WiMAX (Μεταπτυχιακή διατριβή). Ανακτήθηκε από: <https://dspace.lib.uom.gr/handle/2159/13918>
- [4] Ευρυζωνικές Τεχνολογίες: Παρουσίαση συστήματος Mobile WiMax Γιαννούμη Αγγελική Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
- [5] Baxevani, Theodora. (2018). WiMAX's evolution. Ανακτήθηκε από: https://www.researchgate.net/publication/333560512_WiMAX's_evolution
- [6] Ευρυζωνική και ασύρματη επικοινωνία με WiMAX, LTE και τεχνολογία WiFi. Φωτιάδης Δημήτριος Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
- [7] Μερτζάνης, Κωνσταντίνος (2011). Μελέτη και προσομοίωση δικτύου WiMax (Μεταπτυχιακή διατριβή). Ανακτήθηκε από: <https://dione.lib.unipi.gr/xmlui/handle/unipi/>