

ΤΕΙ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΔΕΚΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ  
WiMAX MIMO IEEE 802.16m  
STUDY OF A WiMAX MIMO  
IEEE 802.16m RECEIVER

ΤΟΥΡΜΠΕΣΛΗ ΦΛΩΡΙΤΣΑ ΑΕΜ 3766  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δρ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ

# ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- **Εισαγωγή**
  - Σκοπός της εργασίας
  - Θεωρητικός στόχος
  - Πρακτικός στόχος
- **Εισαγωγή στο WiMAX**
  - Χρονική εξέλιξη προτύπου IEEE 802.16
- **Σύντομη περιγραφή του block διαγράμματος του WiMAX IEEE 802.16m και της κωδικοποίησης που χρησιμοποιεί.**
- **Προσομοίωσης με την χρήση του ADS (Advanced Designed System)**
  - Περιγραφή της προσομοίωσης
  - Αποτελέσματα προσομοίωσης

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- **Σκοπός** της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη ενός δέκτη WiMAX 802.16m.
- **Θεωρητικός στόχος της εργασίας αποτελεί :**
  - Η μελέτη της εξέλιξης του πρότυπου WiMAX ως το πρότυπο IEEE 802.16m.
  - Η κατανόηση των παρεμβολών που αφορούν τον πομπό και τον δέκτη ενός συστήματος OFDM καθώς και το μέσο διάδοσης.
  - Μέθοδοι που εξασφαλίζουν καλύτερες επιδόσεις συστήματος.
- **Πρακτικός στόχος της εργασίας αποτελεί:**
  - Η μελέτη του ρυθμού εσφαλμένων bits (BER) και η μελέτη του ρυθμού εσφαλμένων πλαισίων (FER) σε συνάρτηση του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR).
  - Η προσομοίωση με την χρήση του προγράμματος ADS (Advanced Designed System)

# ΠΡΟΤΥΠΑ WiMAX 802.16

<b>1998</b>	<b>IEEE 802.16</b>	<b>MAN – Metropolitan Area Network</b>
<b>2001</b>	<b>IEEE 802.16 – 802.16a</b>	<b>Συστήματα μονού φορέα WMAN-SC</b>
<b>2003</b>	<b>IEEE 802.16d</b>	<b>OFDMA</b>
<b>2005</b>	<b>IEEE 802.16e</b>	<b>Προδιαγραφές επιτρέπουν την κίνηση με ταχύτητες οχημάτων</b>
<b>2006</b>	<b>IEEE 802.16m</b>	<b>Καλύπτει απαιτήσεις 4<sup>ης</sup> γενιάς κινητών συστημάτων</b>

# ΣΤΟΧΟΙ WiMAX 802.16m

- **ΑΥΞΗΣΗ ΡΑΔΙΟΚΑΛΥΨΗΣ**

20-30 % αύξηση της περιοχής κάλυψης

- **ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ**

Λειτουργίες MIMO πολλαπλών χρηστών, επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας, κυκλικό πρόθεμα 1/16

- **ΑΥΞΗΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

Τα κανάλια δεν χρειάζεται να έχουν το ίδιο εύρος ζώνης και να βρίσκονται στην ίδια ζώνη συχνοτήτων

- **ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ**

Βελτίωση σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου πχ. VoIP, διαδικτυακά παιχνίδια

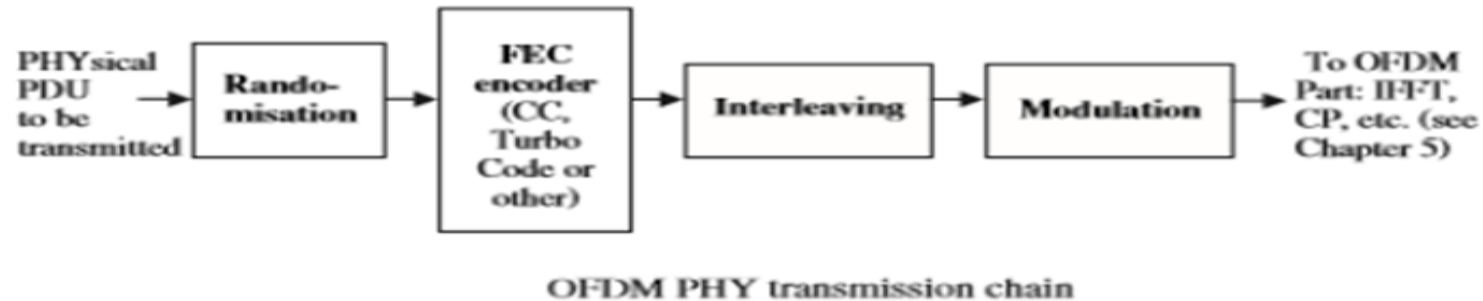
- **ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Επέκταση διάρκειας μπαταρίας με λειτουργίες Sleep Mode, Idle Mode

# ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ του WiMAX 802.16m

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ / ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΞΟΔΟΥ - ΜΙΜΟ	DL: 2 × 2 , 2 × 4, 4 × 2, 4 × 4, 8 × 8 UL: 1 × 2 , 1 × 4, 2 × 4, 4 × 4
ΚΑΛΥΨΗ ΚΥΨΕΛΗΣ	Μέχρι 100 km
ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (b/s/Hz σε km/h)	Άριστη απόδοση μέχρι 10 km/h Σταδιακή υποβάθμιση μέχρι 120 km/h Συνδεσιμότητα μέχρι 350 km/h Μέχρι 500 km/h ανάλογα με την συχνότητα λειτουργίας
ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	5 – 20 MHz
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (MHz)	450–470 698–960 1710–2025 2110–2200 2300–2400 2500–2690 3400–3600

# ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ WiMAX 802.16m



**Κωδικοποίηση Καναλιού:** Προστατεύει τα ψηφιακά δεδομένα από σφάλματα, χρησιμοποιώντας κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων και κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων

**Τυχαιοποίηση:** Παρέχει κρυπτογράφηση για την αποφυγή αποκωδικοποιήσεων από κακόβουλους δέκτες

**FEC:** Επιτρέπει την ανίχνευση ενός περιορισμένου πλήθους σφαλμάτων και την διόρθωση τους χωρίς αναμετάδοση.

Reed Solomon (RS)

Convolutional Turbo Code (CTC)

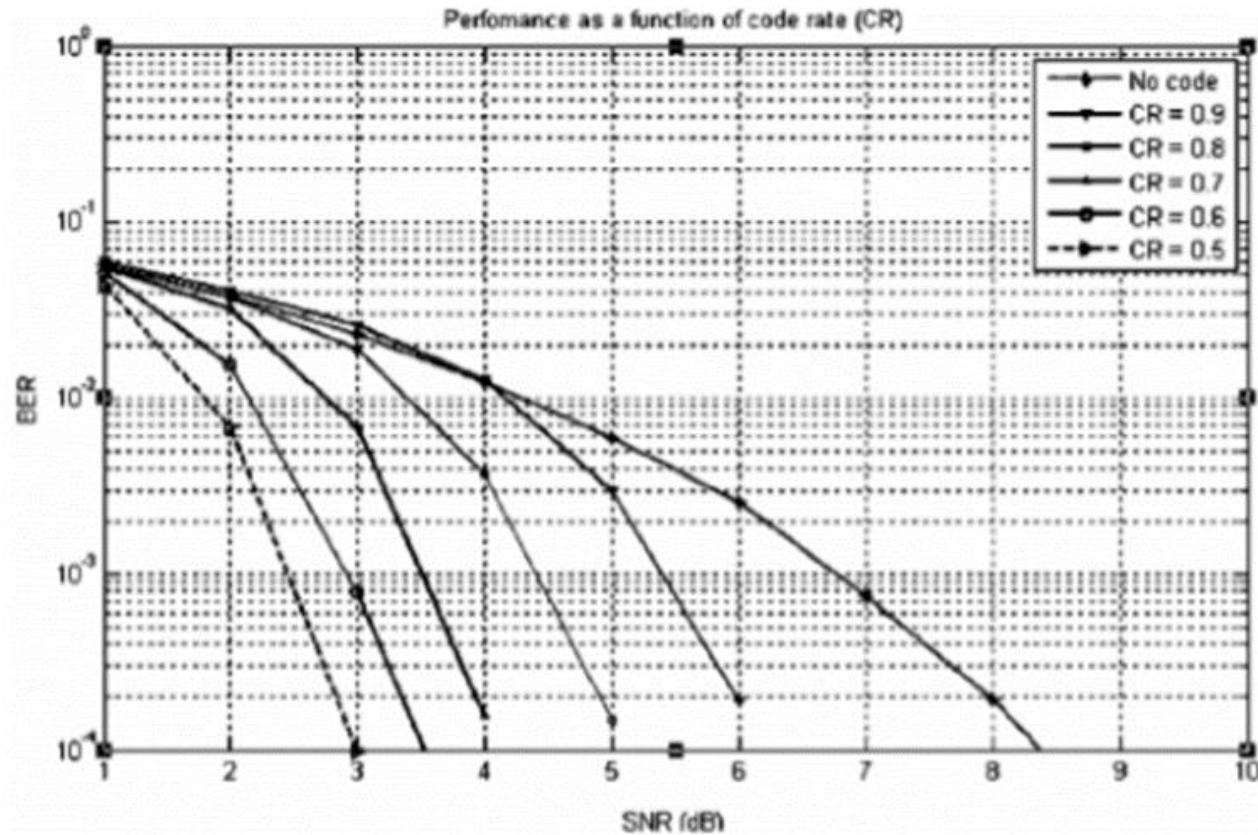
Block Turbo Coding (BTC)

Low Density Parity Check (LDPC)

**Διάπλεξη:** Εξαπλώνει τα bits στον χρόνο, έτσι ώστε αν υπάρχει μία διάλειψη ή ριπή θορύβου, τα σημαντικά bits από ένα μπλοκ δεδομένων να μην αλλοιώνονται ταυτοχρόνως

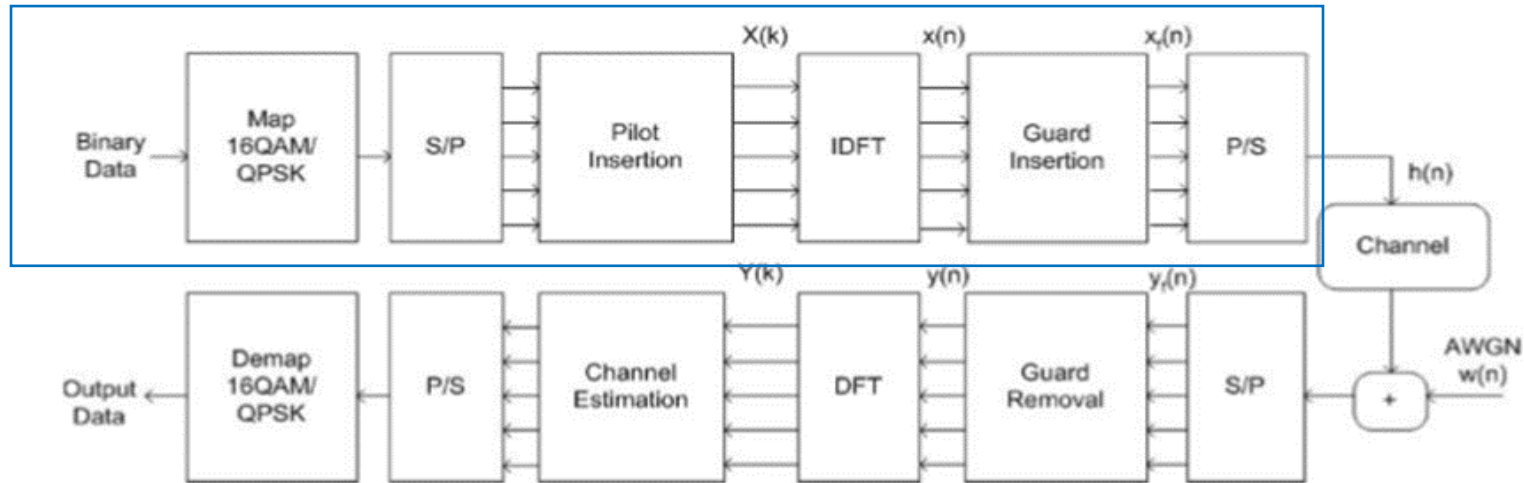
# ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΟΥ WiMAX 802.16m

Παράδειγμα αύξησης αποδοτικότητας συστήματος (BER) με χρήση Reed Solomon στο φυσικό επίπεδο  
Σε κανάλι AWGN





# BLOCK ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ OFDM



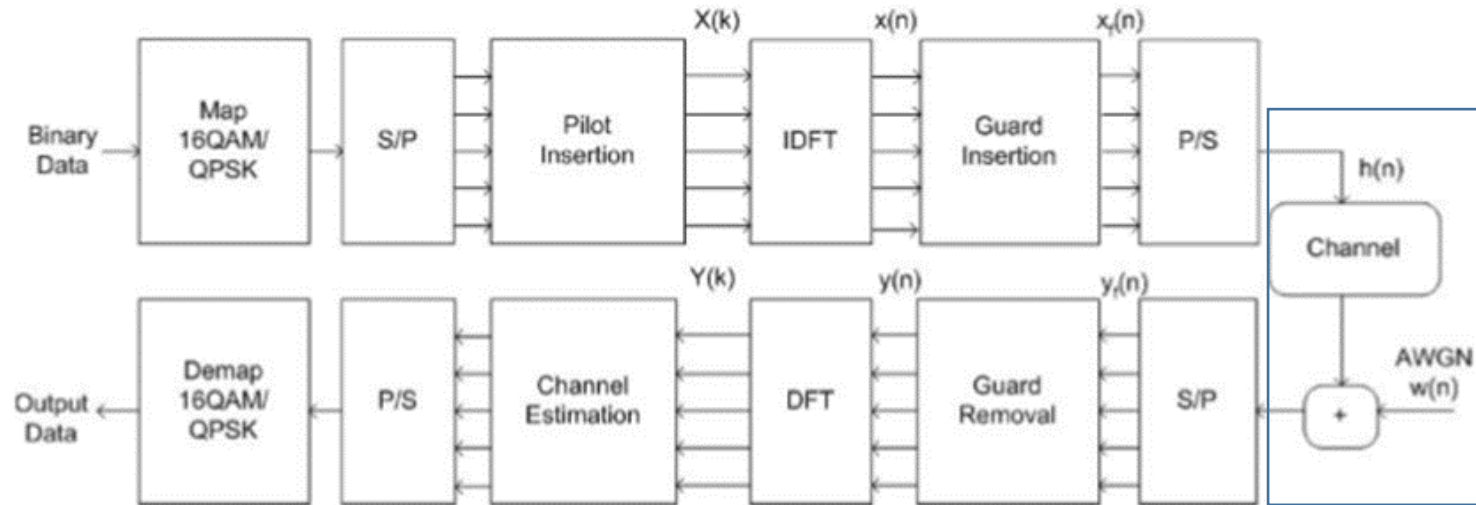
## ΠΟΜΠΟΣ

**Διαμορφώσεις:** QPSK 2bits/symbol , 16QAM 4bits/symbol , 64QAM 6bits/symbol

**Κυκλικό πρόθεμα:** Προστασία του σήματος από την διασυμβολική παρεμβολή και την πολυδιάδοση

**Πρόβλημα κλασματικού λόγου στιγμιαίας μέγιστης τιμής ισχύος προς την μέση τιμή ισχύος (PARP):** Αυξάνεται ο ρυθμός εσφαλμένων bit. Αυτό οφείλεται στην ενισχυτική διάταξη που βρίσκεται στο τέλος του πομπού (Ενισχυτής Ισχύος), πριν το σήμα περάσει στο μέσο διάδοσης.

# BLOCK ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ OFDM



## ΜΕΣΟ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

**Απώλειες Διαδρομής:** Η ποσότητα ισχύος του πομπού πρέπει να επαρκεί για να φτάσει το σήμα στον δέκτη.

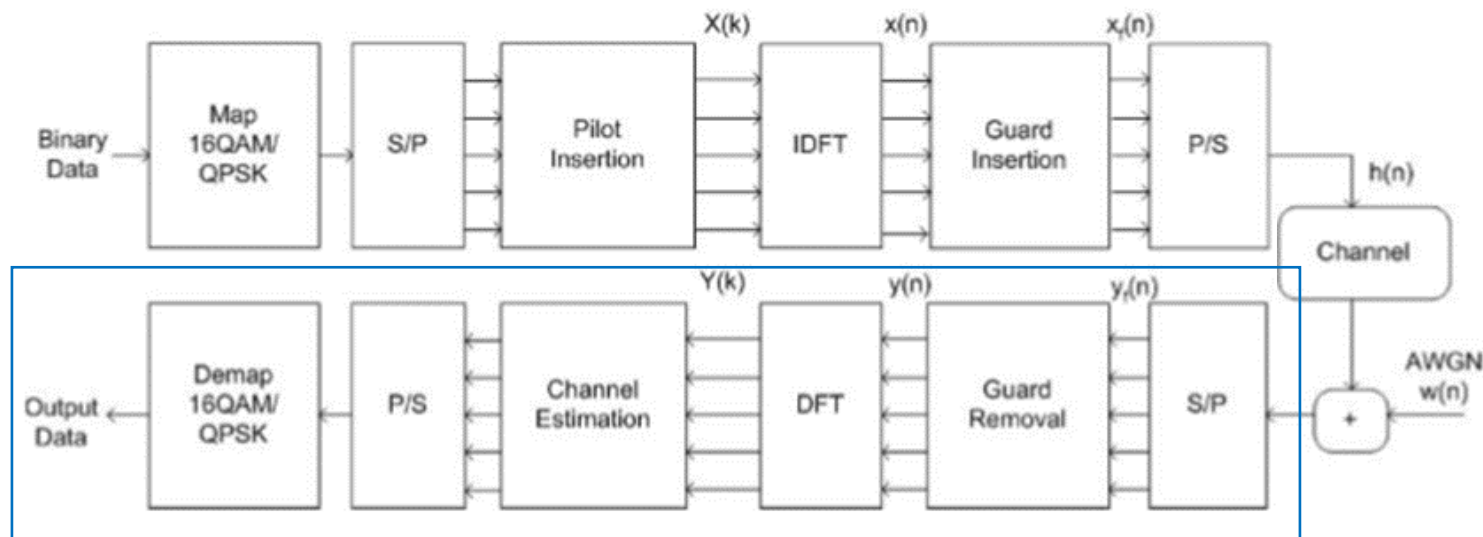
**Πολυδιόδευση:** Το σήμα λαμβάνεται από την κεραία του δέκτη από δύο ή περισσότερες διαδρομές.

**Διάλειαψη:** Οι πολλαπλές εκδόσεις του λαμβανόμενου σήματος από αποτέλεσμα αντανάκλασεων.

**Σκίαση:** Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έρθουν αντιμέτωπα με γήινα αντικείμενα, μπορεί η φάση ή/και το πλάτος τους να μετατοπιστεί.

**Διασπορά Doppler:** Υπάρχει μετατόπιση ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη. (mobility)

# BLOCK ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ OFDM



## ΔΕΚΤΗΣ

- Ο δέκτης εκτελεί την αντίστροφη διαδικασία του πομπού.
- Με τον διακριτό μετασχηματισμό Fourier (DFT), ο δέκτης μπορεί να διαχωρίσει τα υποκανάλια συντηρώντας την ορθογωνιότητά τους.
- **Εκτίμηση καναλιού:** Χρησιμοποιούνται μέθοδοι για να γίνει γνωστή η κατάσταση του καναλιού. (παρεμβολές του μέσου διάδοσης) Η διαδικασία είναι απαραίτητα για MIMO συστήματα με αξιόπιστη επικοινωνία.

# ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΗΜΑΤΟΣ

- **ΡΥΘΜΟΣ ΕΣΦΑΛΜΕΝΩΝ BIT (BER)**

$$\text{BER} = \lim_{N \rightarrow \infty} (n/N)$$

Ένα σφάλμα bit προκύπτει όταν το μεταδιδόμενο bit και το αντίστοιχο λαμβανόμενο bit στον δέκτη δεν συμφωνούν

- **ΡΥΘΜΟΣ ΕΣΦΑΛΜΕΝΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ (FER)**

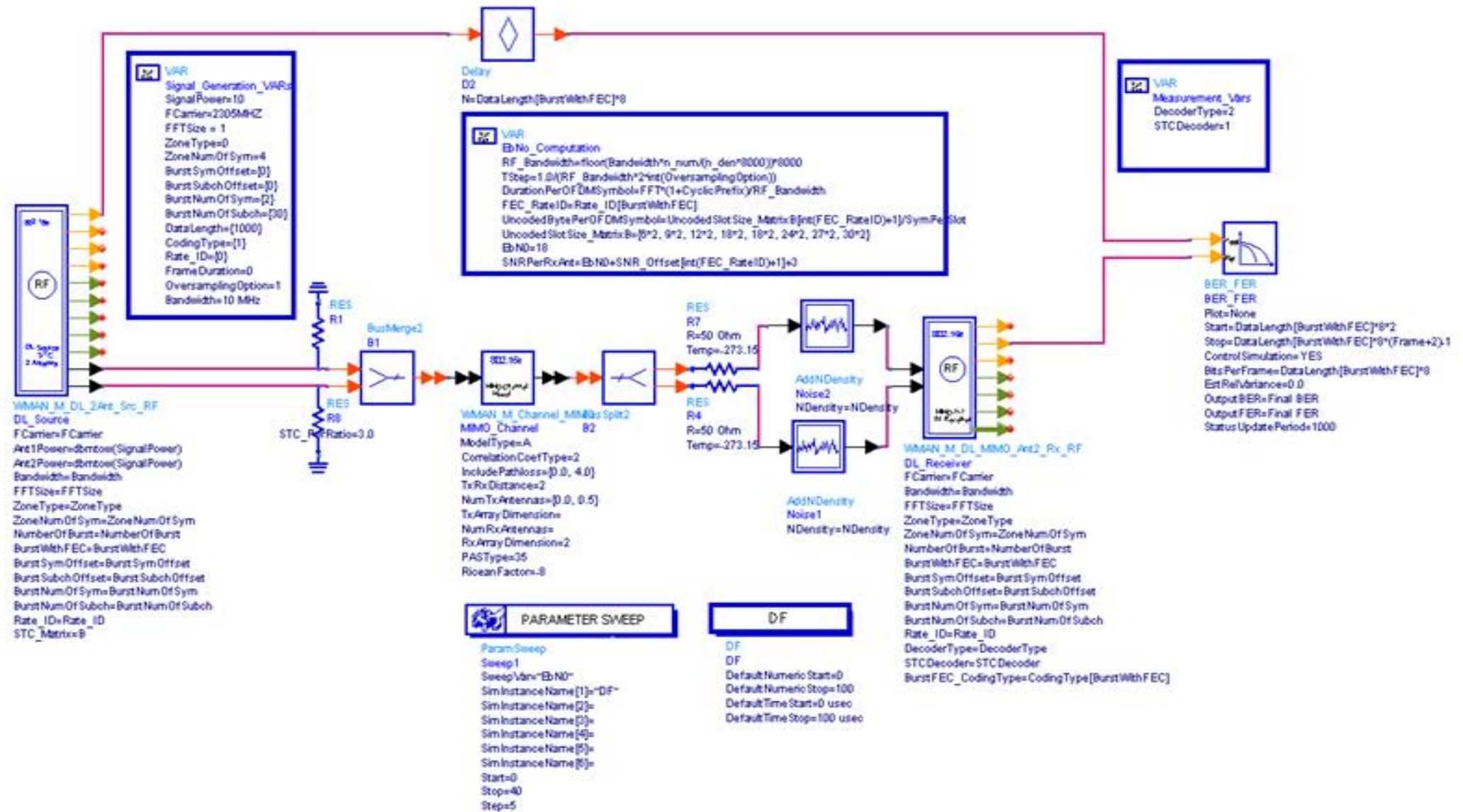
Χρησιμοποιείται για την απόδοση ενός δέκτη κινητού σταθμού

- **ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ (SNR)**

$$\text{SNR}_{\text{digital}} = E_b / N_0$$

Το BER ή FER σε συνάρτηση του SNR καθορίζουν την ποιότητα σήματος

# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ADS

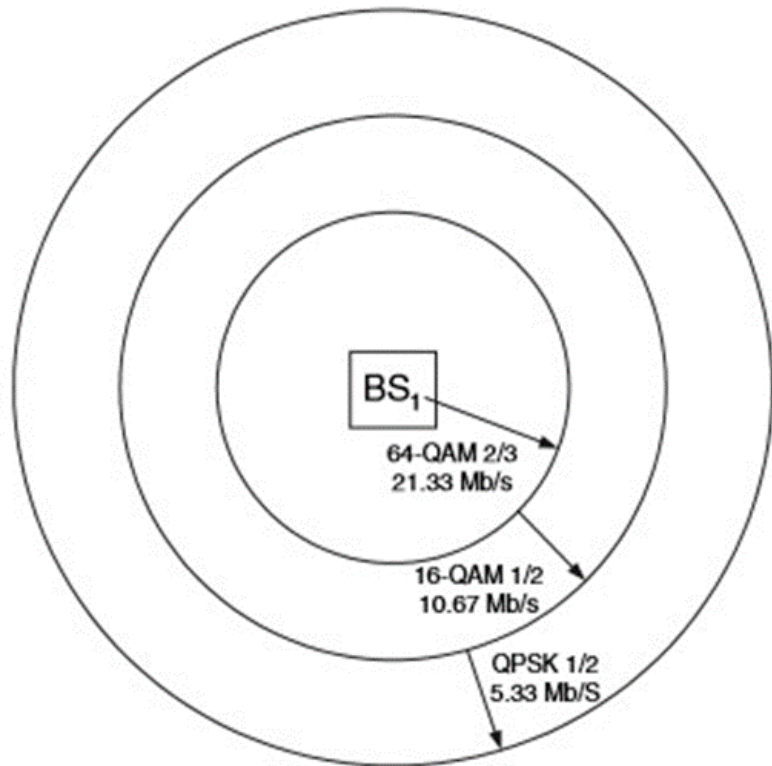


# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ADS

Θέτουμε στο σύστημα τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

<b>SIGNAL POWER</b>	<b>10 dBm</b>
<b>FREQUENCY of CARRIER</b>	<b>2305 MHz</b>
<b>DATA LENGTH</b>	<b>1000</b>
<b>RATE ID (MODULATION TYPE)*</b>	<b>QPSK, 16QAM, 64QAM</b>
<b>BANDWIDTH</b>	<b>10MHz</b>
<b>CYCLIC PREFIX</b>	<b>1/8 , 1/16 , 1/32</b>
<b>FFT</b>	<b>1024</b>
<b>FRAME DURATION</b>	<b>2 msec</b>

# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ADS



MODULATIONS	BITS / SYMBOL
QPSK	2
16 QAM	4
64 QAM	6

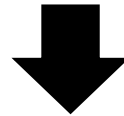
**HIGHER ORDER MODULATION:** Μικρότερη ραδιοκάλυψη - Μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων

**LOWER ORDER MODULATION:** Μεγαλύτερη ραδιοκάλυψη - Μικρότερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων

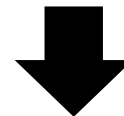
# ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΜΕ $CP = 1/8, 1/16, 1/32$

Με χρήση **μεγαλύτερου** Cyclic Prefix:

Μείωση αξιοποιήσιμου εύρους ζώνης



Μείωση της φασματικής απόδοσης

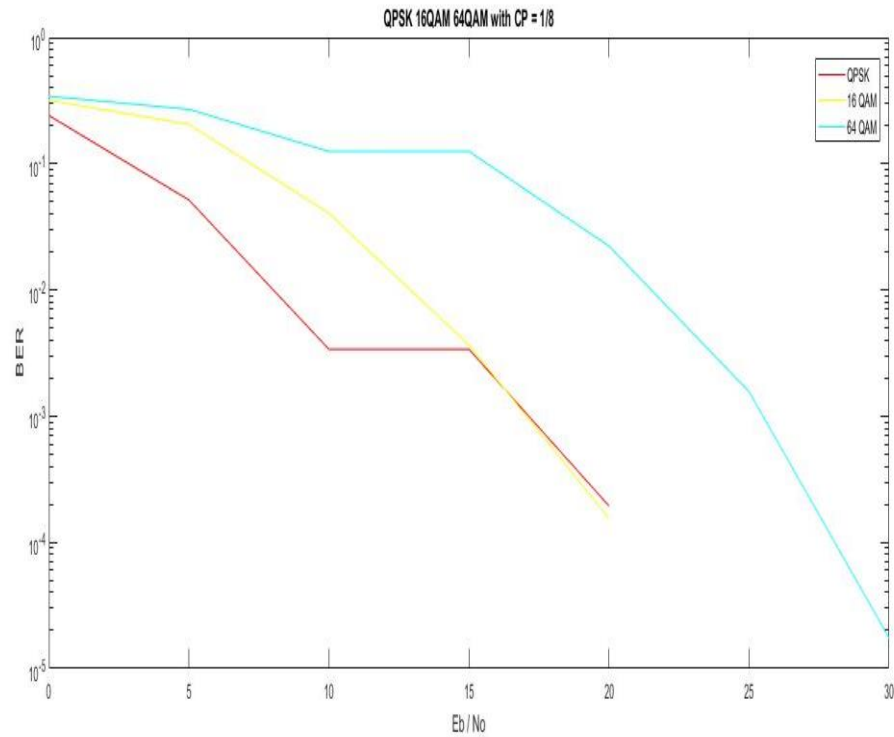


Μείωση του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας

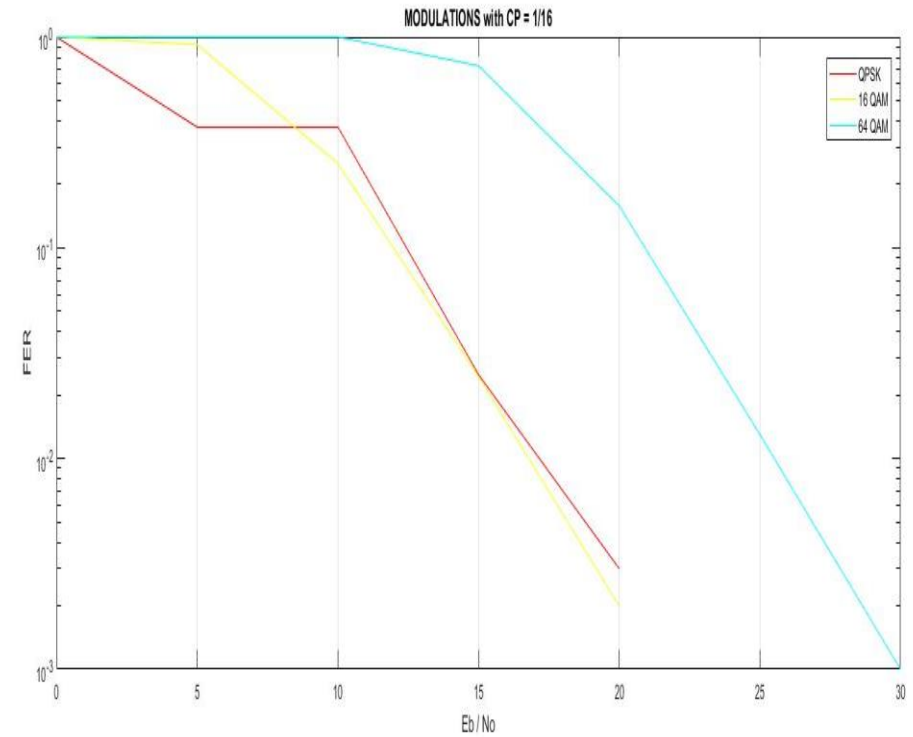


# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ WiMAX MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ CP = 1/8

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ BER

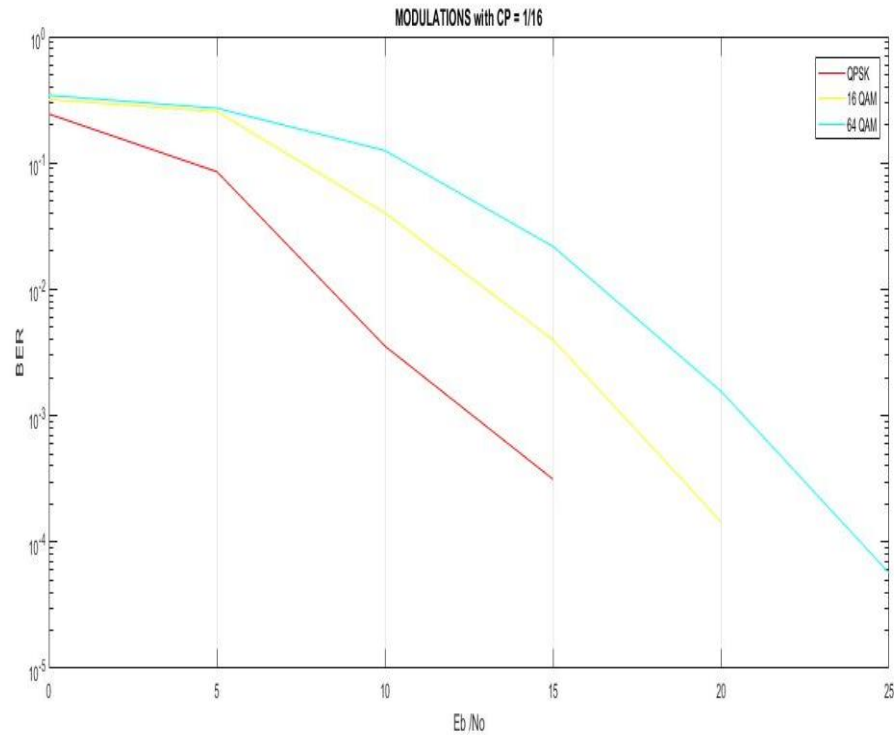


## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ FER

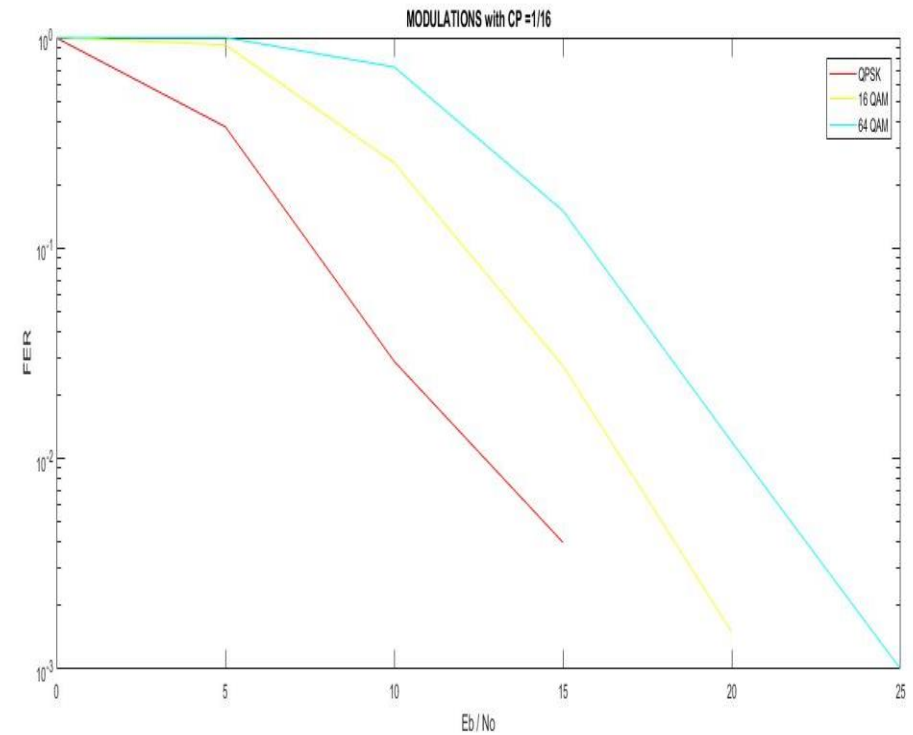


# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ WiMAX MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ CP = 1/16

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ BER

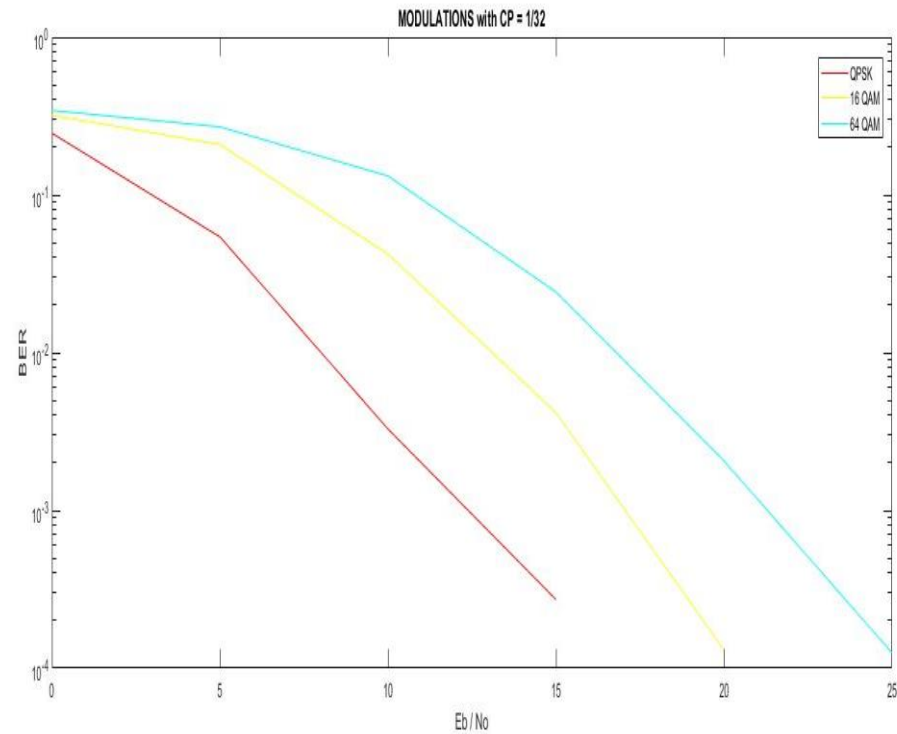


## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ FER

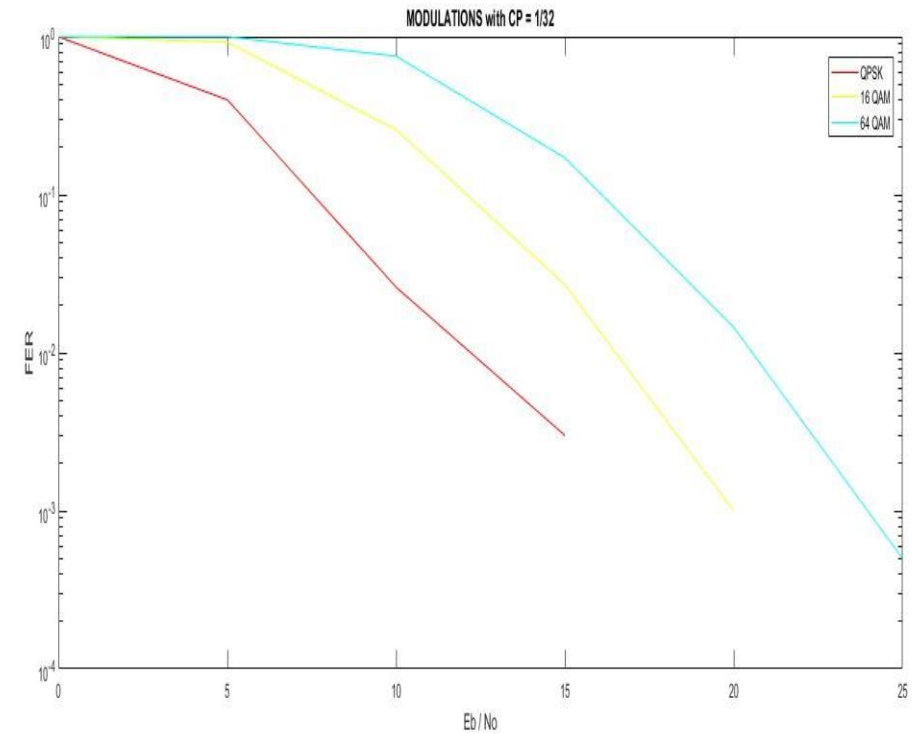


# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ WiMAX MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ CP = 1/32

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ BER



## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ FER



# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ $CP = 1/8,$ $1/16, 1/32$

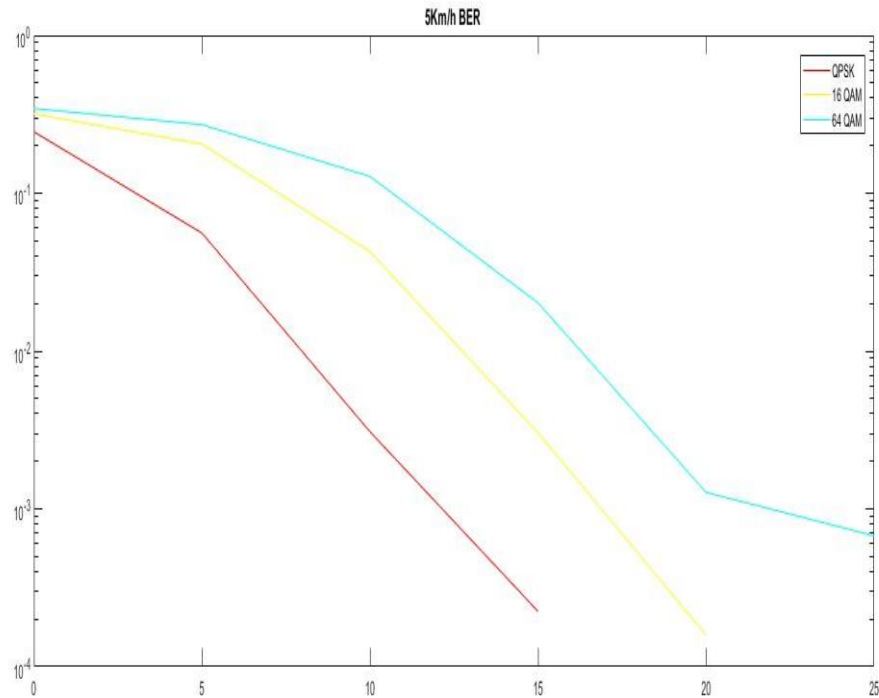
- IEEE 802.16m χρησιμοποιεί  $CP = 1/16$  (WiMAX Forum)
- QPSK η απόδοση του συστήματος είναι καλύτερη συγκριτικά με τις υπόλοιπες διαμορφώσεις.
- 16-QAM και 64-QAM παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση με μεγαλύτερο CP.
- 16-QAM παρουσιάζει καλύτερη απόδοση από QPSK για  $CP = 1/8$  , ενώ για μικρότερο CP έχει την ίδια απόδοση BER/FER.
- 64-QAM παρουσιάζει καλύτερη απόδοση για μεγαλύτερο CP.

# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ

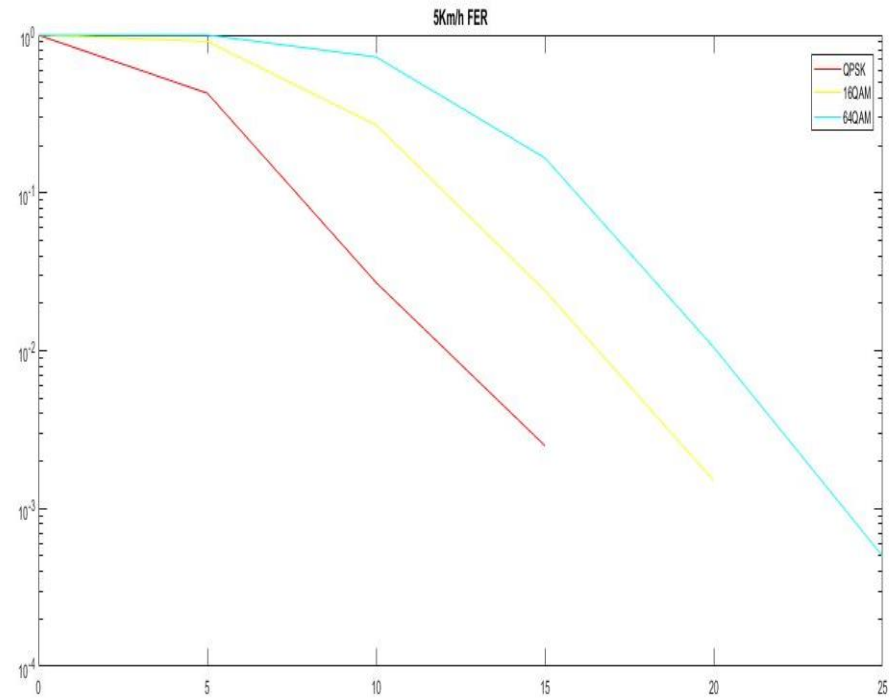
- Η ταχύτητα του κινητού σταθμού ορίζεται στα 5, 50, 100, 200 και 400 km/h.
- Θεωρητικά ως τα 10km/h έχουμε άριστη απόδοση και ως τα 120km/h έχουμε σταδιακή υποβάθμιση. Μπορεί να έχει συμβατότητα ως τα 350km/h.

# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ WiMAX MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ 5km/h

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ BER

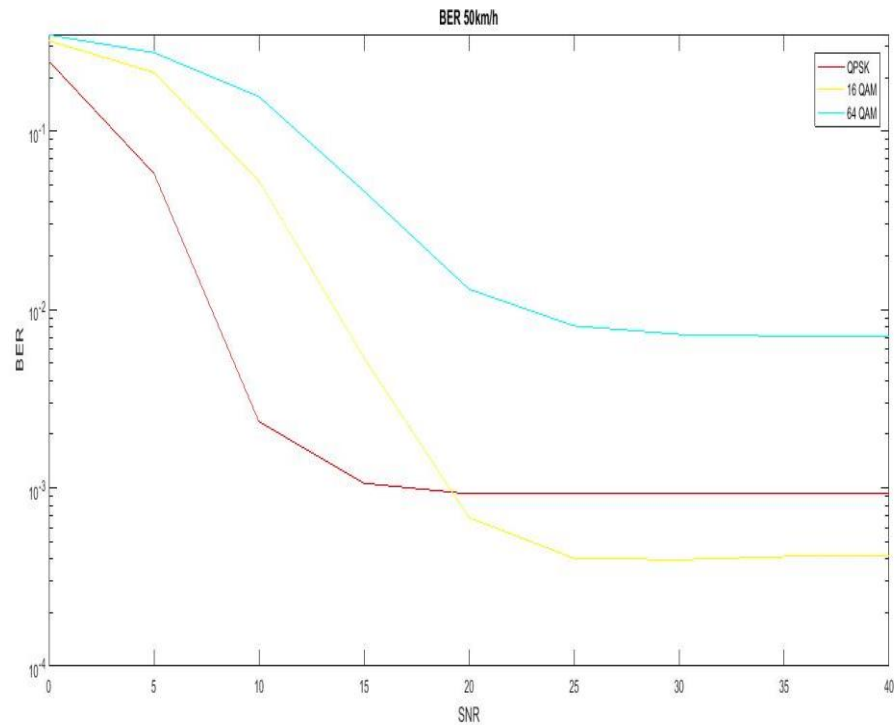


## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ FER

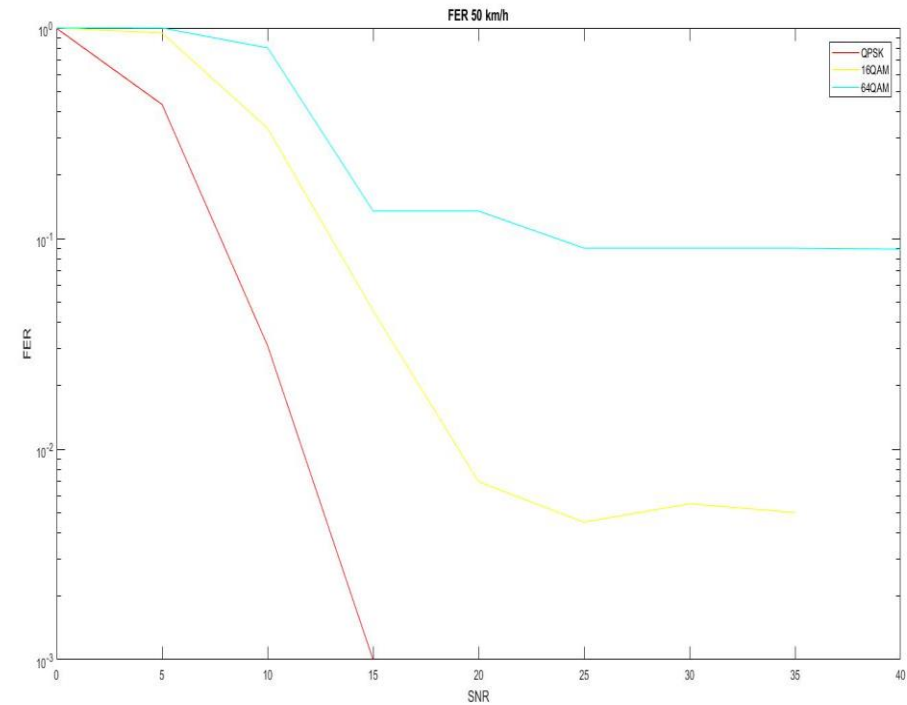


# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ WiMAX MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ 50km/h

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ BER



## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ FER



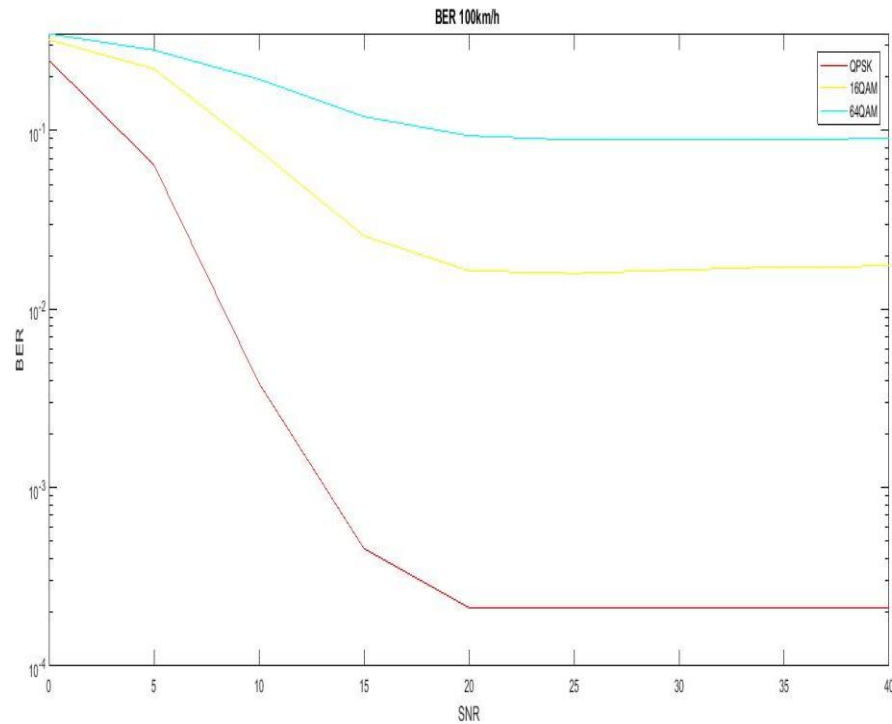
# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ

- Η ταχύτητα του κινητού σταθμού στα 5 και 50 km/h παρουσιάζει καλύτερη απόδοση.
- Η διαμόρφωση QPSK φέρει καλύτερη απόδοση BER/FER συγκριτικά με τις άλλες διαμορφώσεις.
- Η 64-QAM παρουσιάζει την χειρότερη απόδοση, για την ίδια τιμή  $E_b/N_0 = 25$  στα 5 km/h και 50 km/h έχει αντίστοιχα  $FER = 10^{-3}$  και  $FER = 10^{-1}$ .

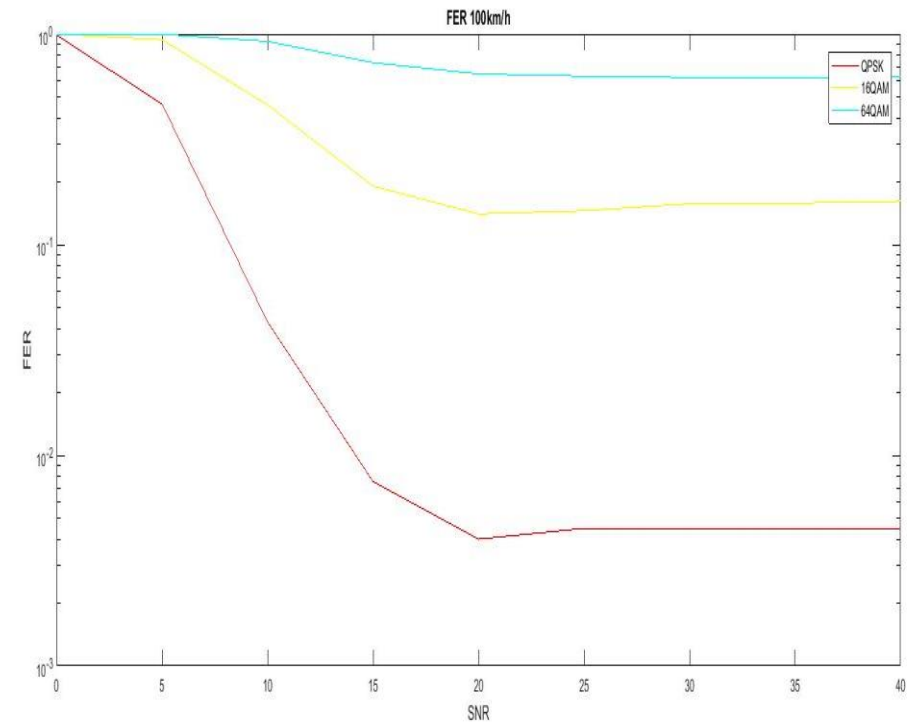


# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ WiMAX MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ 100km/h

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ BER

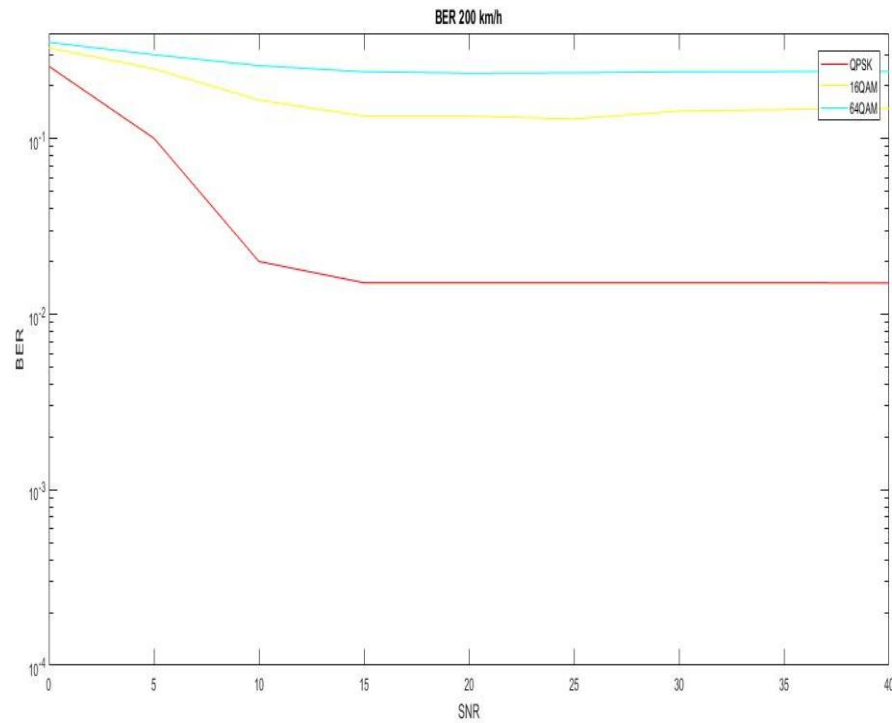


## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ FER

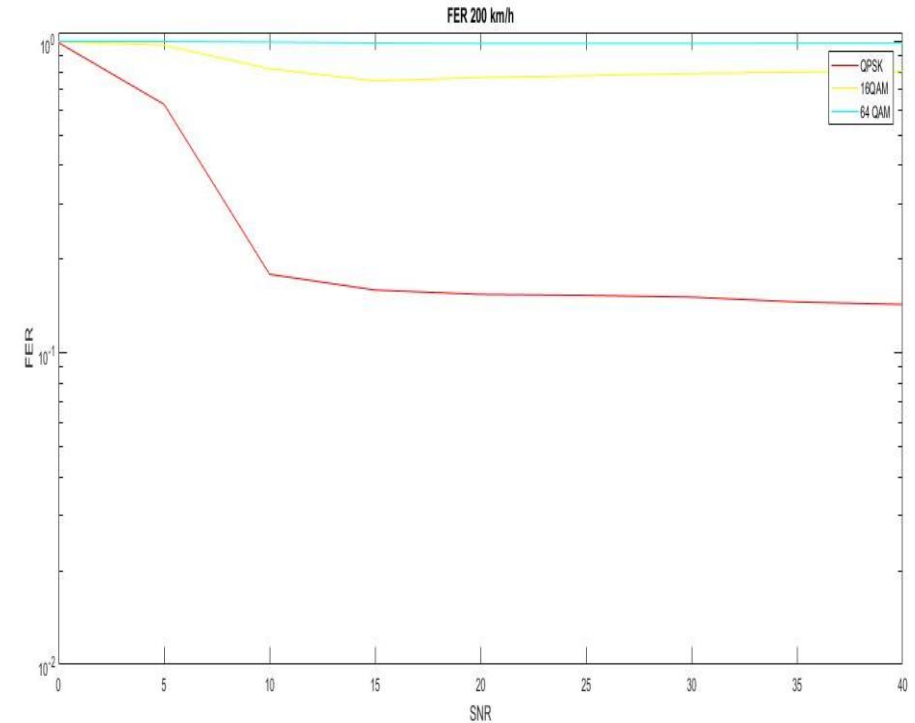


# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ WiMAX MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ 200km/h

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ BER

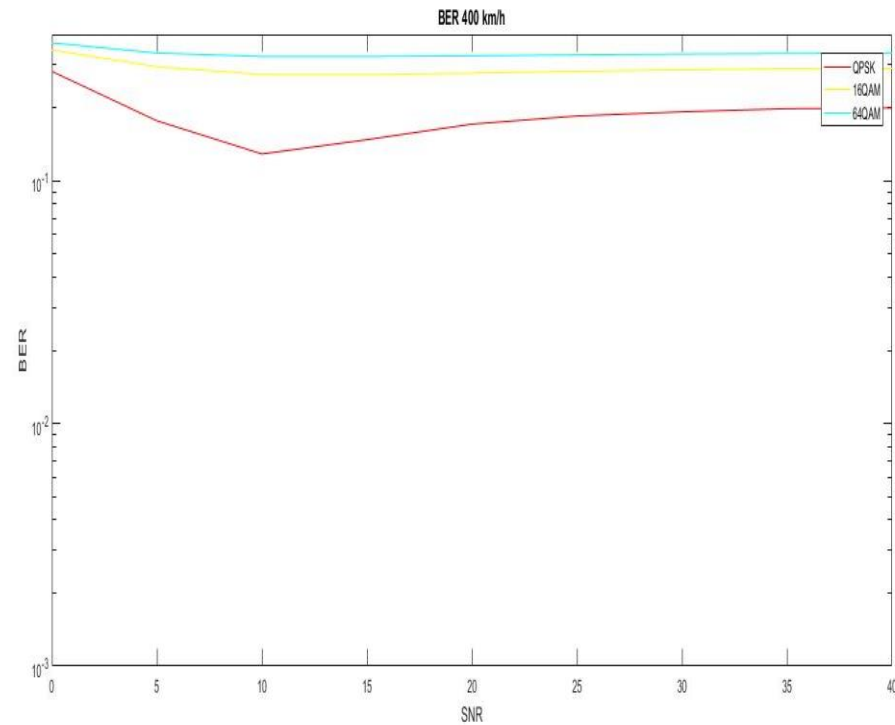


## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ FER

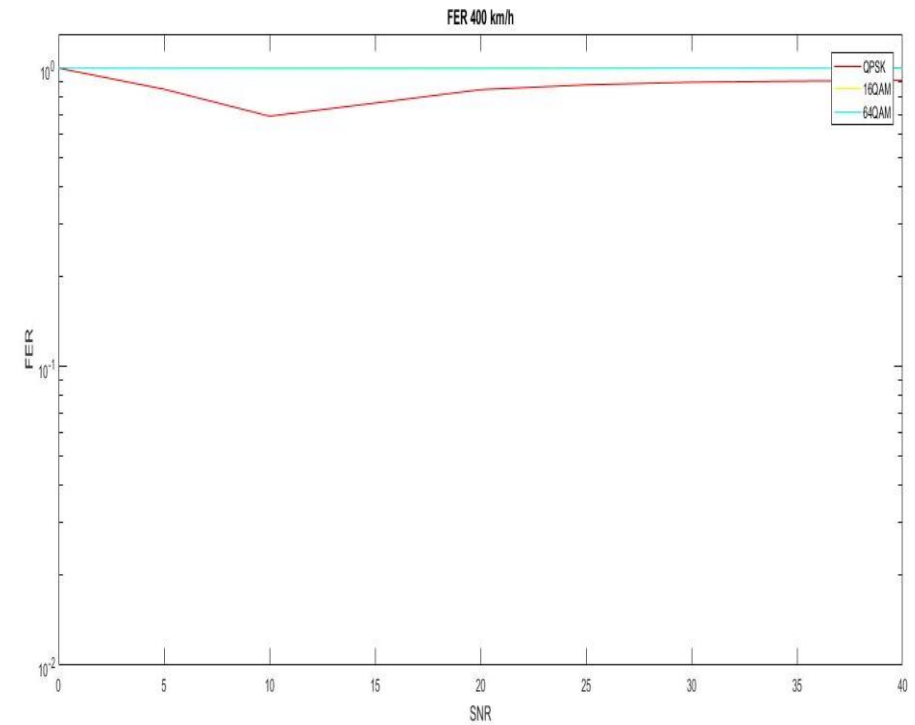


# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΝΟΣ WiMAX MIMO ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ 400km/h

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ BER



## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ FER



# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΚΤΗ

- Παρατηρούμε ότι ο ρυθμός BER/FER αυξάνεται πάρα πολύ για ταχύτητα κινητού σταθμού 200 και 400 km/h και φθάνει σε επίπεδα όπου ο δέκτης στην πραγματικότητα δεν μπορεί να αποδιαμορφώσει το λαμβανόμενο σήμα.
- Τα σημεία στο διάγραμμα αστερισμού (IQ) των διαμορφώσεων 16-QAM και 64-QAM είναι πιο κοντά το ένα στο άλλο και συνεπώς μία μικρότερη στάθμη θορύβου μπορεί να τα μετατοπίσει και να αυξήσει το BER και το FER του δέκτη.
- Το φαινόμενο μετατόπισης Doppler θέτει περιορισμούς στο σύστημα λόγω κινητικότητας.

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η αποδοτικότητα ενός OFDM συστήματος οφείλεται:
  - I. Στην ορθογωνιότητα των υποφορέων.
  - II. Στην εξάλειψη της διασυμβολικής παρεμβολής με χρήση CP
- Οι διαμορφώσεις χρησιμοποιούνται:
  - I. Ανάλογα με την υπηρεσία που προσφέρει το σύστημα κάθε φορά
  - II. Ανάλογα με την ραδιοκάλυψη και ρυθμό μετάδοσης δεδομένων που χρειάζεται το σύστημα κάθε φορά
- Το σύστημα μπορεί να μελετηθεί με διαφορετική διάταξη κεραιών MIMO, καθώς και με διαφορετική συχνότητα φορέα