



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

UNIVERSITY OF THE AEGEAN  
DEPARTMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING

## 321-10302– Ψηφιακές Επικοινωνίες

### Διδάσκοντες

Μεσαριτάκης Χάρης (Θεωρία), Τάτσης Βασίλειος (Εργαστήριο)

---

## 6<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση

---

3212018107 Κυριαζής Ιωάννης

3212018161 Παπαδόπουλος Παναγιώτης

Σάμος, Παρασκευή 28 Ιανουαρίου, 2022



321-10302– Ψηφιακές Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: 6<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση

Παπαδόπουλος Παναγιώτης – Κυριαζής Ιωάννης

## **Κατάλογος Περιεχομένων**

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</u></b> | Βασική Θεωρητική Προετοιμασία .....σελ. 03 |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</u></b> | Απαντήσεις στις Ερωτήσεις.....σελ. 06      |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</u></b> | Βιβλιογραφία .....σελ. 08                  |



321-10302– Ψηφιακές Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: 6<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση

Παπαδόπουλος Παναγιώτης – Κυριαζής Ιωάννης

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Βασική Θεωρητική Προετοιμασία



Η τεχνική OFDM είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που οδήγησαν στην βελτίωση των χαρακτηριστικών των ασύρματων συστημάτων τα τελευταία 15 χρόνια. Μπορεί να θεωρηθεί ως σχήμα διαμόρφωσης στο οποίο η πληροφορία μεταδίδεται παράλληλα πάνω σε  $N$  ορθογώνιες φέρουσες που έχουν απόσταση  $1/T_s$ , όπου  $T_s$  είναι η διάρκεια ενός συμβόλου OFDM. Μέσω της παράλληλης μετάδοσης επιτυγχάνουμε σημαντική μείωση έως και εξουδετέρωση της δια συμβολικής παρεμβολής (ISI) που προκαλείται από τη χρονική διασπορά του καναλιού και τα πολυδρομικά φαινόμενα. Δύο βασικές κατηγορίες συστημάτων παράλληλης μετάδοσης:

- Multicode Transmission που χρησιμοποιήθηκε στα CDMA συστήματα τρίτης γενιάς, παρουσίασαν όμως σημαντικά προβλήματα στη διαχείριση των παρεμβολών.
- Multicarrier Transmission OFDM.

Στο σύστημα OFDM τα φάσματα των υπο-φερουσών επικαλύπτονται χωρίς όμως αυτό να προκαλεί το φαινόμενο inter-carrier interference. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει οι υπο-φέρουσες να είναι μαθηματικά ορθογώνιες. Στο πεδίο της συχνότητας ο κάθε subcarrier εμφανίζει μηδενισμό εκεί που τα γειτονικά του εμφανίζουν μέγιστο

Πλεονεκτήματα:

- Καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος μιας και σε μικρό σχετικά φασματικό περιεχόμενο γίνεται δυνατή η μετάδοση πολλών παράλληλων μεταδόσεων.
- Διάχυση του προβλήματος της επιλεκτικής και γρήγορης απόσβεσης fast fading. Αποφεύγονται έτσι τα burst errors.
- Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα του OFDM είναι η αντοχή του σε παρεμβολές.

Μειονεκτήματα:

- Ευαισθησία σε carrier frequency offset. Η μετατόπιση των συχνοτήτων δημιουργεί τα μεγαλύτερα προβλήματα στα συστήματα OFDM όπως οι πολυδιαδρομικές διαλείψεις και το φαινόμενο doppler.
- Δεν διασφαλίζεται η σταθερή περιβάλλουσα και συνεπώς η τεχνική OFDM είναι ευαίσθητη σε μη γραμμικές παραμορφώσεις του διαύλου

Στο πεδίο της συχνότητας, η απόκριση καναλιού χαρακτηρίζεται από διαφορετικές αποκρίσεις σε διαφορετικές τιμές συχνότητας (συχνοεπιλεκτικές διαλείψεις).



Στην περίπτωση ενός καναλιού με χρονική διασπορά και πολυδιαδρομικές διαλείψεις θα παρουσιαστεί παρεμβολή μεταξύ των subcarrier. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της απώλειας της ορθογωνιότητας των subcarrier η οποία οφείλεται στην επικάλυψη του διαστήματος συσχέτισης του αποδιαμορφωτή μίας διαδρομής με το όριο του συμβόλου μίας άλλης. Το διάστημα ολοκλήρωσης το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του Fast Fourier Transform (FFT), δε θα αντιστοιχεί απαραίτητα σε έναν ακέραιο αριθμό περιόδων των μιγαδικών εκθετικών συντελεστών μίας διαδρομής. Τα σύμβολα διαμόρφωσης μπορεί να διαφέρουν μεταξύ δύο διαδοχικών περιόδων συμβόλου

### Φαινόμενο Doppler

Σε κινητά συστήματα, η ευρυζωνική μετάδοση, όπως αυτή του LTE, χαρακτηρίζεται από μείωση της ποιότητας καναλιού εξαιτίας διαλείψεων μικρής κλίμακας (πολυδιαδρομικές διαλείψεις). Για να πραγματοποιηθεί ακριβής αξιολόγηση της επίδοσης του LTE πρέπει να μοντελοποιηθούν αυτά τα φαινόμενα. Το προφίλ της απόκρισης καναλιού παρουσιάζει διακυμάνσεις εξαιτίας της κινητικότητας της συσκευής χρήστη. Τα κανάλια γρήγορων και αργών διαλείψεων αντανακλούν την ταχύτητα του κινητού τερματικού και εκφράζονται με όρους μετατόπισης συχνότητας Doppler

### Δομή OFDM

Pilots: Τα pilot subcarriers χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της ποιότητας της σύνδεσης. Σε αυτά περιέχονται συγκεκριμένα γνωστά στο δέκτη δεδομένα και από τη σύγκριση με τα λαμβανόμενα καθορίζει την ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος. Η λειτουργία τους είναι πολύ σημαντική για τη ρύθμιση των χαρακτηριστικών του εκπεμπόμενου σήματος. Δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος κανόνας για το πόσα subcarriers θα περιέχονται σε ένα OFDM φέρον μιας και αυτό εξαρτάται από τις απαιτήσεις της σύνδεσης το φάσμα του φέροντος και τον αριθμό των subcarriers ανα φέρον. Στη βιβλιογραφία περιγράφεται ότι ο κανόνας 1 pilot ανα 8 subcarriers καλύπτει τις περισσότερες περιπτώσεις.

Guards: Τα guard subcarriers δεν εκπέμπονται ή εκπέμπονται με μικρή ισχύ και χρησιμοποιούνται για να δημιουργείται ένα κενό διάστημα ανάμεσα στα εκπεμπόμενα φέροντα. Στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτούνται 4-6 guard subcarriers σε κάθε πλευρά του φέροντος. Ο αριθμός αυτός μπορεί να καθορίζεται δυναμικά ανάλογα με τις συνθήκες παρεμβολών που επικρατούν.



321-10302– Ψηφιακές Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: 6<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση

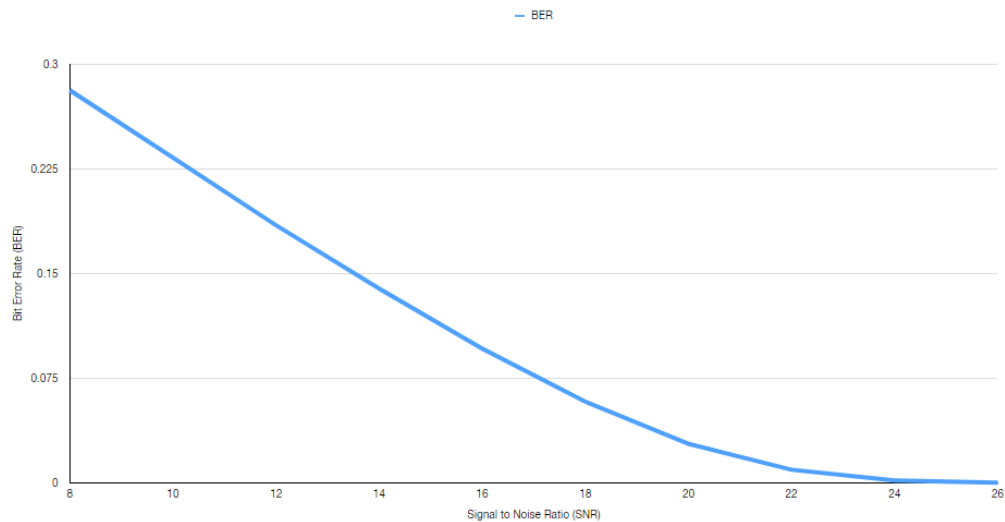
Παπαδόπουλος Παναγιώτης – Κυριαζής Ιωάννης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Απαντήσεις στις Ερωτήσεις



### ΕΡΩΤΗΣΗ 3



Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το SNR στον 16-QAM, τόσο μειώνεται το σφάλμα.

### ΕΡΩΤΗΣΗ 4

| Bit | Bit Rate | Modulation | FFT Length | Subcarriers | Pilots | Guards | BW (KHz)   | BER     |
|-----|----------|------------|------------|-------------|--------|--------|------------|---------|
| 360 | 360      | 16-QAM     | 109        | 90          | 10     | 8      | -50<br>+50 | 0.1672  |
| 360 | 360      | 64-QAM     | 79         | 60          | 6      | 12     | -30<br>+40 | 0.1059  |
| 360 | 360      | 256-QAM    | 67         | 45          | 5      | 16     | -20<br>+35 | 0.0765  |
| 360 | 360      | 512-QAM    | 63         | 40          | 4      | 18     | -15<br>+35 | 0.06909 |
| 360 | 360      | 1024-QAM   | 61         | 36          | 4      | 20     | -15<br>+35 | 0.05912 |
| 600 | 600      | 1024-QAM   | 87         | 60          | 6      | 20     | -30<br>+45 | 0.07738 |



321-10302– Ψηφιακές Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: 6<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση

Παπαδόπουλος Παναγιώτης – Κυριαζής Ιωάννης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### Βιβλιογραφία





321-10302– Ψηφιακές Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: 6<sup>η</sup> Εργαστηριακή Άσκηση

Παπαδόπουλος Παναγιώτης – Κυριαζής Ιωάννης

[1]:<https://eclass.icsd.aegean.gr/modules/document/file.php/ICSD411/%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF/%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%91%CF%83%CE%BA%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%91%CF%83%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7%20OFDM.pdf>

# ΠΕΡΑΣ 6<sup>ης</sup> ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ  
ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

UNIVERSITY OF THE AEGEAN  
DEPARTMENT OF INFORMATION AND  
COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING

**Kyriazis Ioannis | Papadopoulos Panagiotis**

Copyright © 2022 – All Rights Reserved