



# ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (Θ)

## Ενότητα 2: ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ευσταθίου Δημήτριος

Διδάκτορας Κινητών τηλεπικοινωνιών

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ





# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





# Ενότητα 2

---

## ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

**ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
ΔΙΔΑΚΤΟΡΑΣ ΚΙΝΗΤΩΝ  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**



# Περιεχόμενα ενότητας

1. Η ιστορία της Πολύπλεξης με Διαίρεση Συχνότητας - FDM
2. Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)
3. Βασικές αρχές συστήματος μετάδοσης με Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)
4. Η ιστορία του FDM – παράλληλη μετάδοση πληροφορίας
5. Η εξέλιξη του FDM σε OFDM
6. Τι είναι το OFDM;
7. Συστήματα που χρησιμοποιούν OFDM



# Σκοποί ενότητας

---



# Ευρυζωνικά Δίκτυα

## Ενότητα 2<sup>η</sup>



# Ορθογωνική Πολύπλεξη με Διαίρεση Συχνότητας

# Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)





# Η ιστορία της Πολύπλεξης με Διαίρεση Συχνότητας - FDM

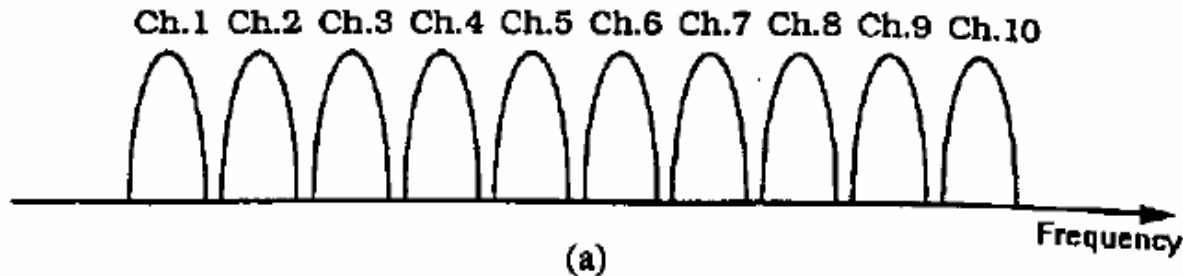
---

## Παράλληλη μετάδοση πληροφορίας

- Η έννοια της χρησιμοποίησης της παράλληλης μετάδοσης πληροφορίας με τη βοήθεια της πολύπλεξης με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiplexing - FDM) δημοσιεύθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '60.
- Ενδιαφέρον για αυτή την τεχνική και κάποια πρόοδος ανάπτυξης είχε ξεκινήσει στη δεκαετία του '50.
- Ένα αμερικανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας συμπληρώθηκε και εκδόθηκε τον Ιανουάριο, του 1970.



# Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)

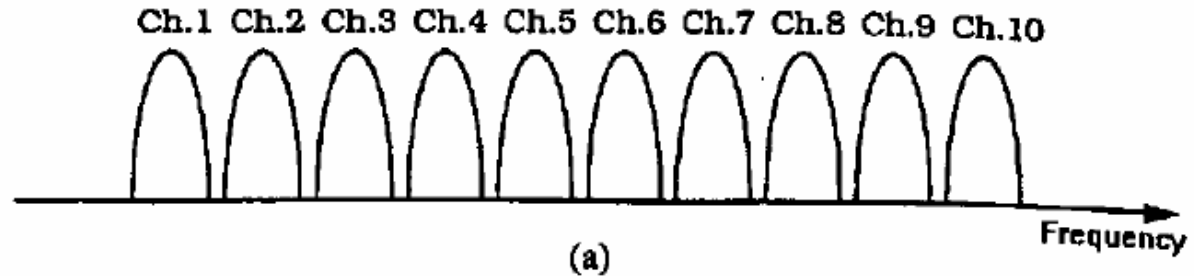


- Η πολύπλεξη FDM μοιάζει με την FDMA στο ότι και οι δύο χωρίζουν το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε υποκανάλια.
- Η διαφορά τους είναι ότι:
  - η FDMA είναι μια μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης ενώ
  - το FDM δεν είναι μια τεχνική πολλαπλής πρόσβασης, καθώς δεν υπάρχει κοινό μέσο για να διαμοιραστούν. Το FDM είναι πολύπλεξη δεδομένων.



# Βασικές αρχές συστήματος μετάδοσης με Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)

## Πομπός

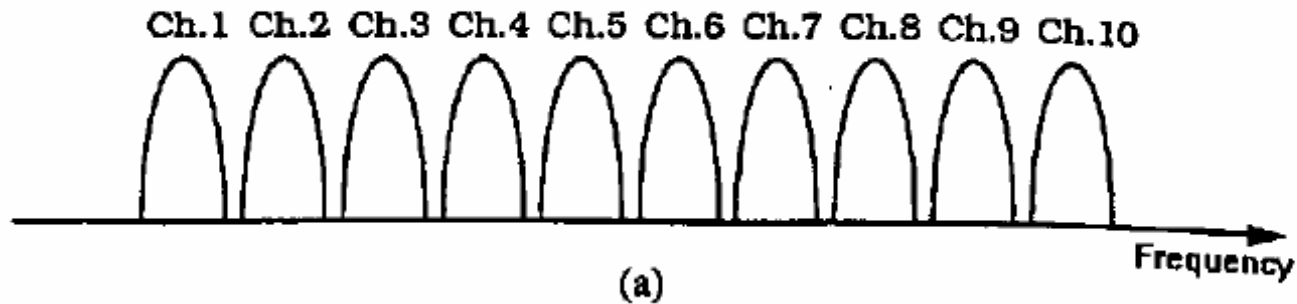


(a)

- Σε ένα κλασικό παράλληλο σύστημα, το εύρος της συχνότητας του σήματος διαιρείται σε  $N$  μη επικαλυπτόμενα «τμήματα» και το κάθε κομμάτι αντιστοιχεί σε ένα υποκανάλι.
- Από κάθε υποκανάλι μεταδίδεται ένα ξεχωριστό σύμβολο και έπειτα τα  $N$  υπο-κανάλια πολυπλέκονται στο πεδίο της συχνότητας.
- Η επιλογή μη επικαλυπτόμενων πεδίων φάσματος, οφείλεται στο ότι προσπαθούμε να αποφύγουμε φαινόμενα παρεμβολής μεταξύ των υποκαναλιών μετάδοσης.
- Η τεχνική αυτή οδηγεί σε μη αποδοτική χρήση του διαθέσιμου φάσματος.

# Βασικές αρχές συστήματος μετάδοσης με Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)

## Δέκτης

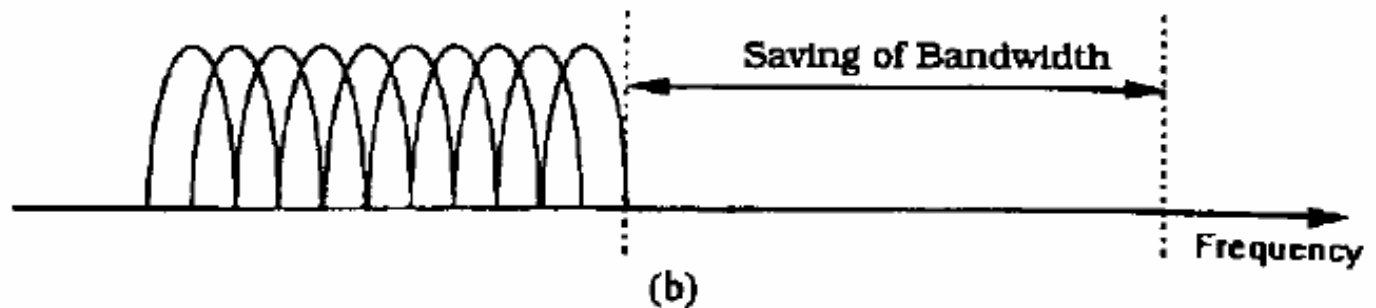


- Ο δέκτης, με τη χρήση κατάλληλων φίλτρων και αποδιαμορφωτών μπορεί να διαχωρίσει τα υποκανάλια μεταξύ τους.
- Σε τέτοιους δέκτες ωστόσο, χρησιμοποιούνται **συχνοτικά διαστήματα ελέγχου** (guard bands) μεταξύ των διαφορετικών υποκαναλιών, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της αξιοποίησης του διαθέσιμου φάσματος.

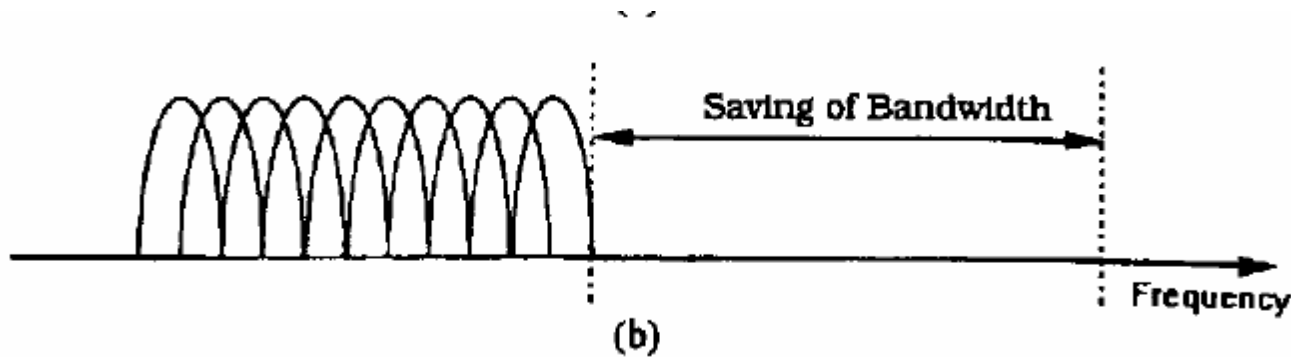
# Βασικές αρχές συστήματος μετάδοσης με Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)

## Βελτίωση Αξιοποίησης του διαθέσιμου φάσματος

- Για την βελτίωση αξιοποίησης του διαθέσιμου φάσματος, προτάθηκαν συστήματα που συνδυάζουν την παράλληλη ροή δεδομένων και την τεχνική Frequency Division Multiplexing (FDM) με **επικαλυπτόμενα υποκανάλια μετάδοσης**.
- Στην περίπτωση αυτή, αν  $B$  είναι ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης του σήματος, τότε το φάσμα της συχνότητας διαιρείται σε  $N$  υποκανάλια, όπου το κάθε ένα έχει πολύ μικρότερο ρυθμό μετάδοσης ( $B/N$ ).



# Βασικές αρχές συστήματος μετάδοσης με Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)



- Τα δεδομένα δηλαδή που μεταδίδονταν με **υψηλό** ρυθμό από **ένα κανάλι**, θα μεταδίδονται τώρα παράλληλα από ξεχωριστά **υποκανάλια** με **χαμηλότερους** ρυθμούς μετάδοσης. Τα δεδομένα πολυπλέκονται με κατάλληλες τεχνικές.
- Χρησιμοποιώντας την τεχνική **επικαλυπτόμενων φερουσών**, μπορούμε να εξοικονομήσουμε μέχρι και 50% του διαθέσιμου εύρους ζώνης.



# Η ιστορία του FDM – παράλληλη μετάδοση πληροφορίας

---

- Η ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθούν **παράλληλα ρεύματα πληροφορίας** και FDM με επικάλυψη υποκαναλιών για να αποφευχθεί:
  - η χρήση ισοσταθμιστή (equalizer) υψηλής ταχύτητας
  - για να καταπολεμηθεί ο κρουστικός θόρυβος (impulse noise)
  - Για να καταπολεμηθεί η πολλαπλών διοδεύσεων παραμόρφωση (multi-channel interference)
  - για να χρησιμοποιηθεί πλήρως το διαθέσιμο εύρος ζώνης (σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα FDM που δεν χρησιμοποιούν επικάλυψη υποκαναλιών).
  - Ερώτηση: Ποια ήταν τα κίνητρα χρήσης της Πολύπλεξης με Διάρθρωση Συχνότητας (FDM) στις Τηλεπικοινωνίες;



# Η εξέλιξη του FDM σε OFDM

---

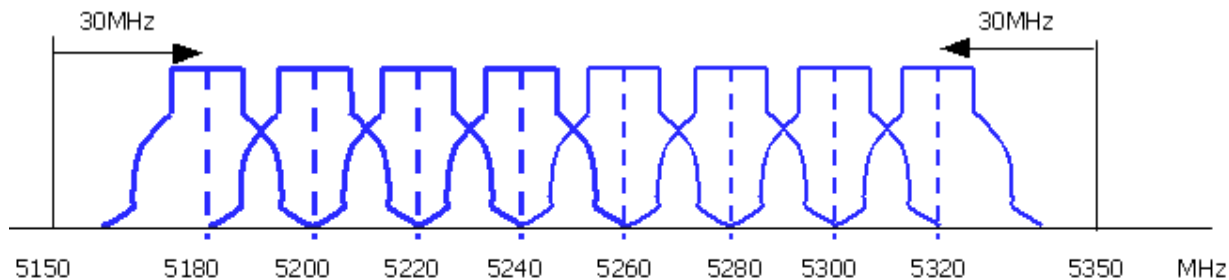
- Τις τελευταίες δεκαετίες διατυπώθηκαν οι αρχές μιας τεχνολογίας **μετάδοσης** πολλαπλών φερουσών, γνωστής σαν **Ορθογωνική** Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).
- Το OFDM είναι συνδυασμός **διαμόρφωσης** και **πολύπλεξης**.
- Η **πολύπλεξη** γενικά αναφέρεται σε μεμονωμένα σήματα, που παράγονται από διαφορετικές πηγές. Έτσι, το πρόβλημα είναι πως θα μοιραστεί το φάσμα στους χρήστες.





## Τι είναι το OFDM;

- Το OFDM είναι μια μορφή **διαμόρφωσης**, όπου μια ροή δεδομένων εκπέμπεται με έναν αριθμό υπο-φερόντων (υπο-καναλιών) **χαμηλότερου ρυθμού**.
- Το προς μετάδοση σήμα είναι το άθροισμα των  $N$  ανεξάρτητων υπο-φερόντων **ίσου εύρους** με κεντρική συχνότητα  $f_i = f_1 + \Delta f * (i-1)$  για  $i = 1, \dots, N$

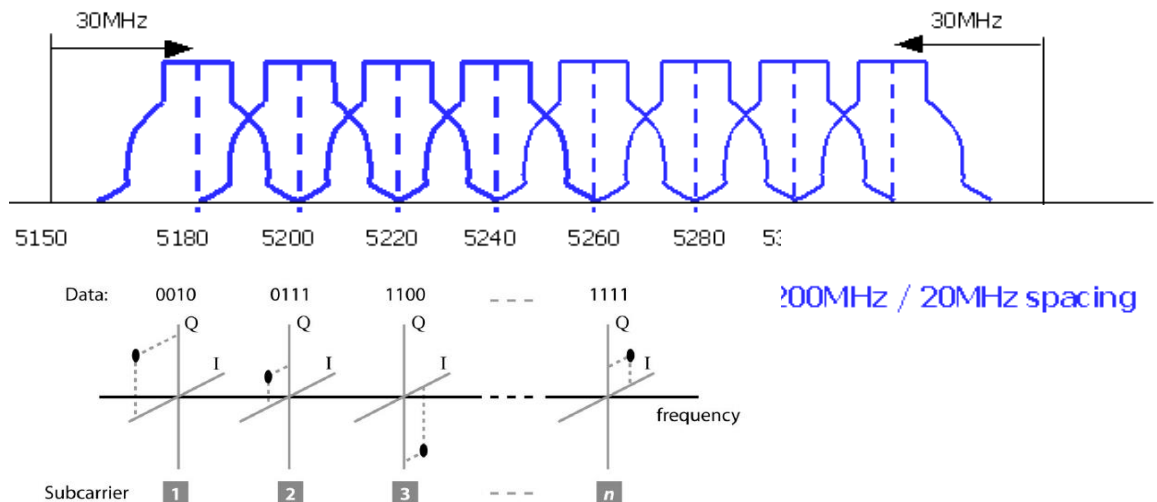


Lower and Middle U-NII Band – 8 carriers in 200MHz / 20MHz spacing



# Τι είναι το OFDM;

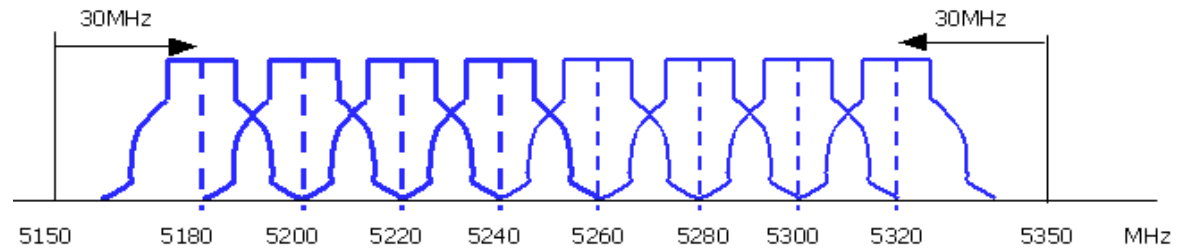
- ❑ Τα δεδομένα μεταφέρονται με παράλληλο τρόπο αντί να εκπέμπονται με σειριακό τρόπο. Μόνο ένα μικρό μέρος των δεδομένων μεταφέρεται σε κάθε υπο-φέρων και με αυτόν τον τρόπο η **μείωση του ρυθμού μετάδοσης ανά φέρον** (όχι ο συνολικός ρυθμός μετάδοσης), μειώνεται σημαντικά η επίδραση της διασυμβολικής παρεμβολής.
- ❑ Δηλαδή οι ψηφιακοί παλμοί προς μετάδοση «απέχουν» περισσότερο ο ένας από τον άλλο.



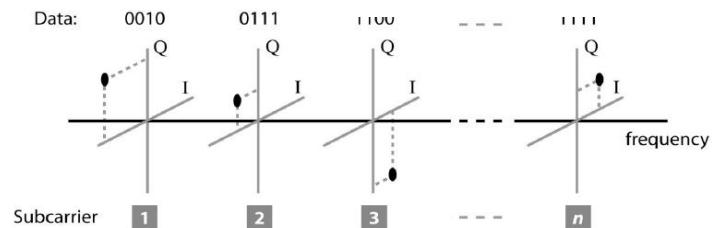


# Τι είναι το OFDM;

- Διάφοροι τύποι διαμόρφωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαμορφώσουν τα δεδομένα με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης σε κάθε φέρον.
- Οι πιο συνηθισμένοι τύποι διαμόρφωσης είναι QPSK, 16-QAM και 64-QAM



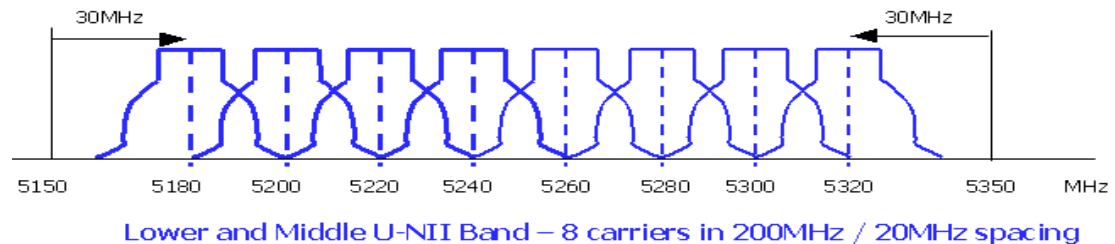
Lower and Middle U-NII Band – 8 carriers in 200MHz / 20MHz spacing





# Τι είναι το OFDM;

- Το εύρος ζώνης που χρησιμοποιεί ένα σύστημα OFDM είναι μεγαλύτερο από την κρουστική απόκριση του καναλιού.
- Μερικά από τα υπο-φέροντα υποβαθμίζονται από το την εξασθένιση λόγω πολυ-διόδευσης. Η πλειονότητα των φερόντων μπορούν να ληφθούν επαρκώς.
- Ένα σύστημα OFDM μετατρέπει σε τυχαία τα σφάλματα στα εκπεμπόμενα δεδομένα (bits) που προκαλούνται από τις διαλείψεις του μέσου διάδοσης. Το OFDM επιτυγχάνει το παραπάνω με την χρήση της τεχνικής interleaving.





# Συστήματα που χρησιμοποιούν OFDM

---

## Wireless

- IEEE 802.11a, g, j, n (WiFi) Wireless LANs
- IEEE 802.15.3a Ultra Wideband (UWB) Wireless PAN
- IEEE 802.16d, e (WiMAX), WiBro, and HiperMAN Wireless MANs
- IEEE 802.20 Mobile Broadband Wireless Access (MBWA)
- DVB (Digital Video Broadcast) terrestrial TV systems: DVB-T, DVB-H, T-DMB and ISDB-T
- DAB (Digital Audio Broadcast) systems: EUREKA 147, Digital Radio Mondiale, HD Radio, T-DMB and ISDB-TSB
- Flash-OFDM cellular systems
- 3GPP UMTS & 3GPP@ LTE (Long-Term Evolution), and 4G

## Wireline

- ADSL and VDSL broadband access via POTS copper wiring
- MoCA (Multi-media over Coax Alliance) home networking
- PLC (Power Line Communication)



# Τέλος Ενότητας

---

