

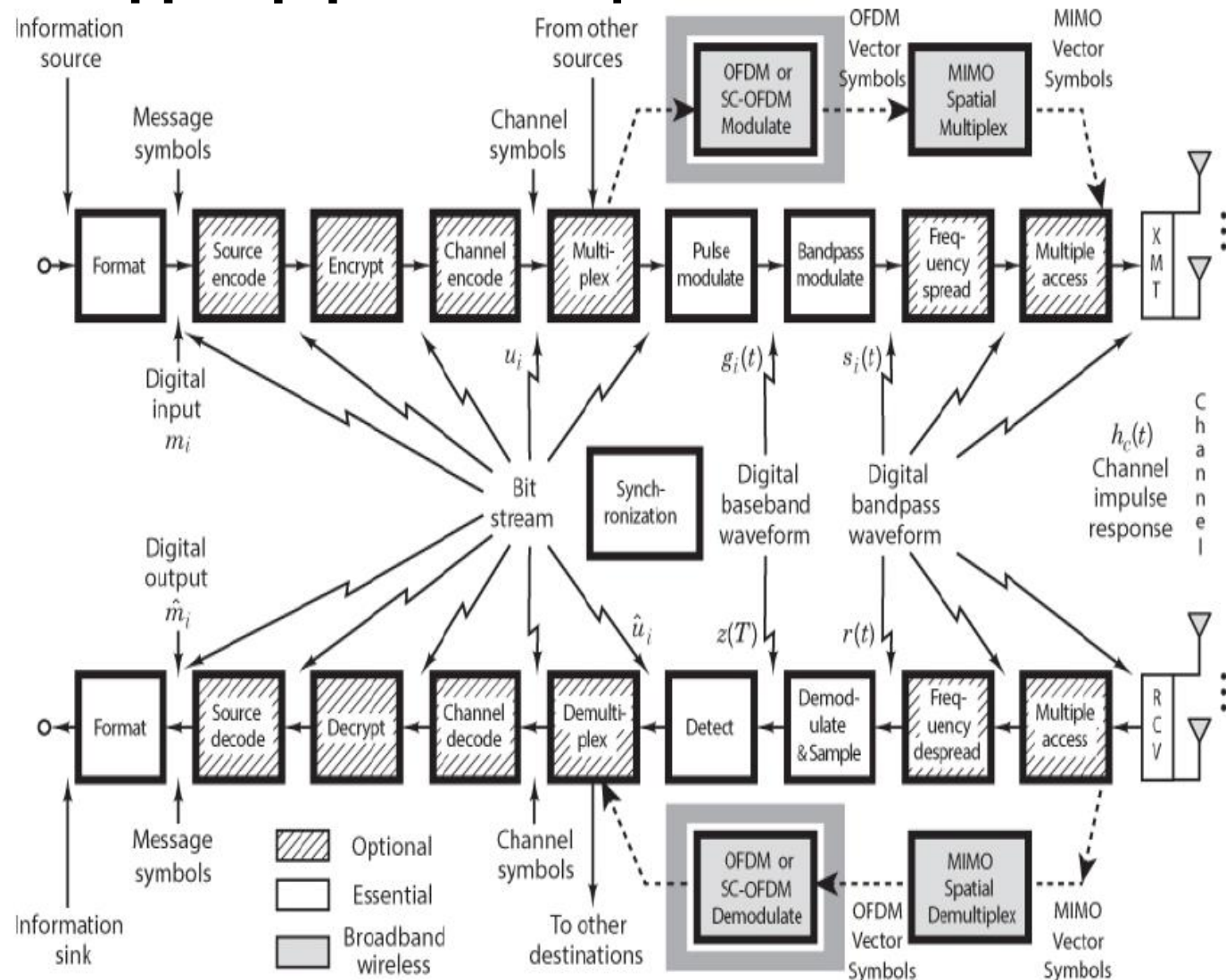
Ψηφιακές Επικοινωνίες

Τα Βασικά Στοιχεία της Ορθογωνικής Πολυπλεξίας Διαίρεσης
Συχνότητας (OFDM)

Περιεχόμενα: Κεφάλαιο 15

- Εισαγωγή (15.1 – 15.3)
- Γιατί OFDM Από Πλευράς Ανάλυσης Ζεύξης
- Συμβατική Πολυκαναλική FDM vs. Πολυκαναλική OFDM
- OFDM και IEEE 802.11
- OFDM και LTE
- Δομικό Διάγραμμα OFDM (15.6 – 15.8, 15.14, 15.16)
- Σύνθεση OFDM Κυματομορφής (15.9 – 15.13)
- Μειονεκτήματα της OFDM (15.18 – 15.19)
- Ασκήσεις

Δομικό Διάγραμμα: Κεφάλαιο 15

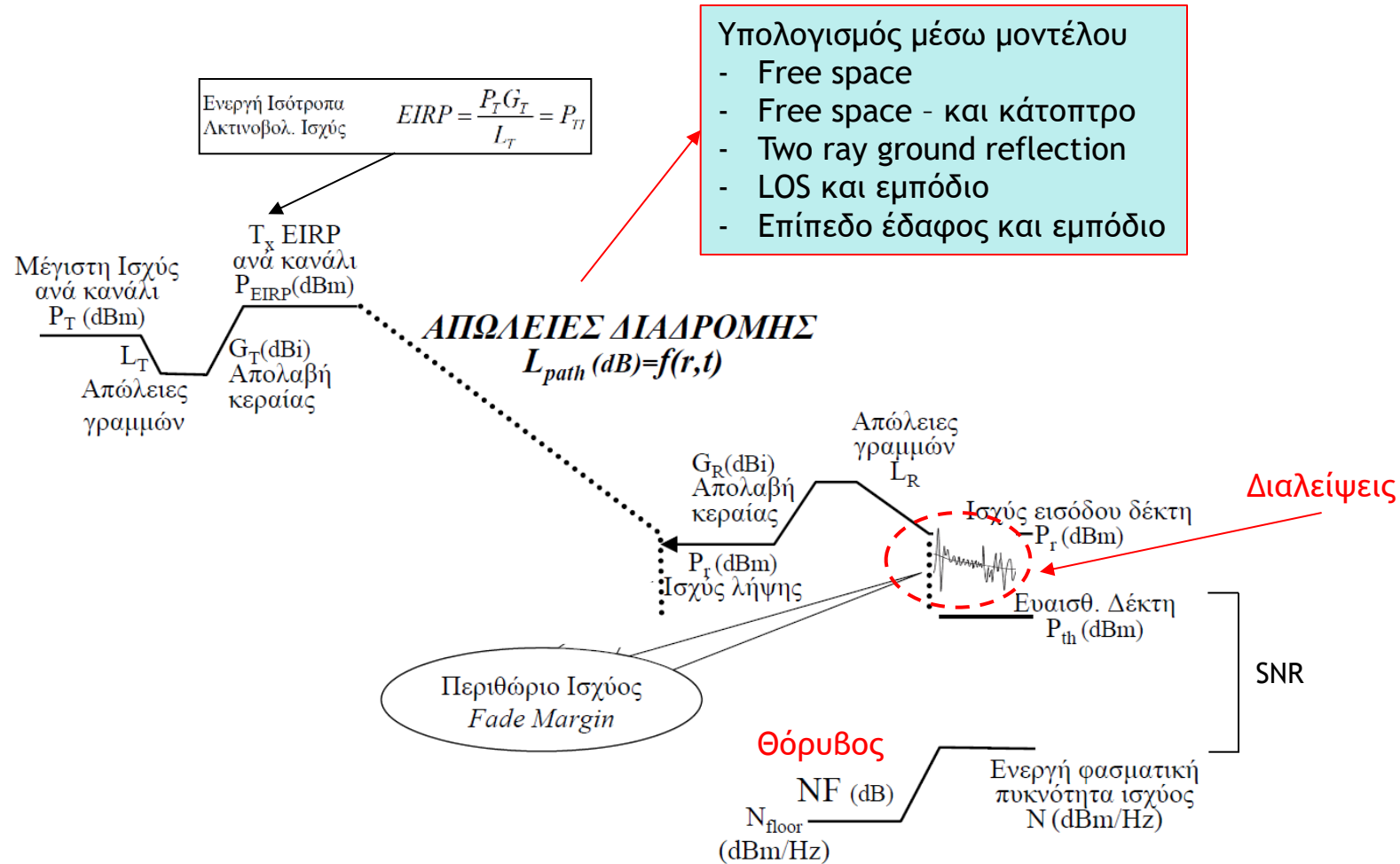


Εισαγωγή

Κεντρική Ιδέα

- OFDM: Orthogonal frequency-division multiplexing
- Συνδυασμός διαμόρφωσης και πολυπλεξίας
- Κατάτμηση ενός μεγάλου πακέτου-προς-μετάδοση σε μικρότερα πακέτα
 - Αντιμετωπίζεται το πρόβλημα Single Point of Failure – SPOF
 - Αντιμετωπίζεται το πρόβλημα περιορισμένου συνεχόμενου εύρους ζώνης, χωρίς διαλείψεις
- Τα μικρότερα πακέτα στέλνονται μέσω ζεύξεων μικρότερου ρυθμού δεδομένων

Ισοζύγιο Ζεύξης (Link budget)

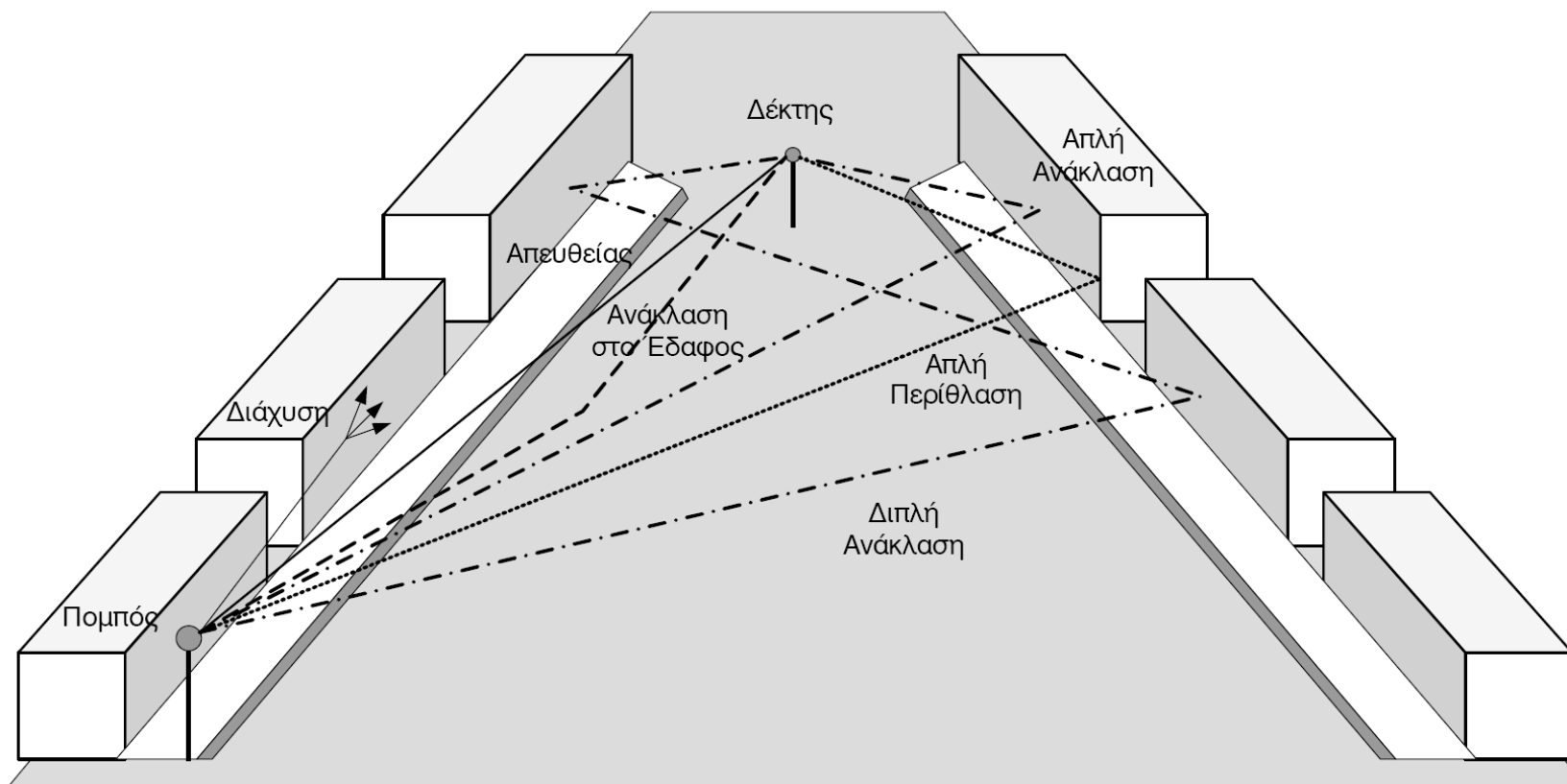


Θόρυβος δέκτη: Noise floor (αναπόφευκτο) + Noise figure (κατασκευαστικό)

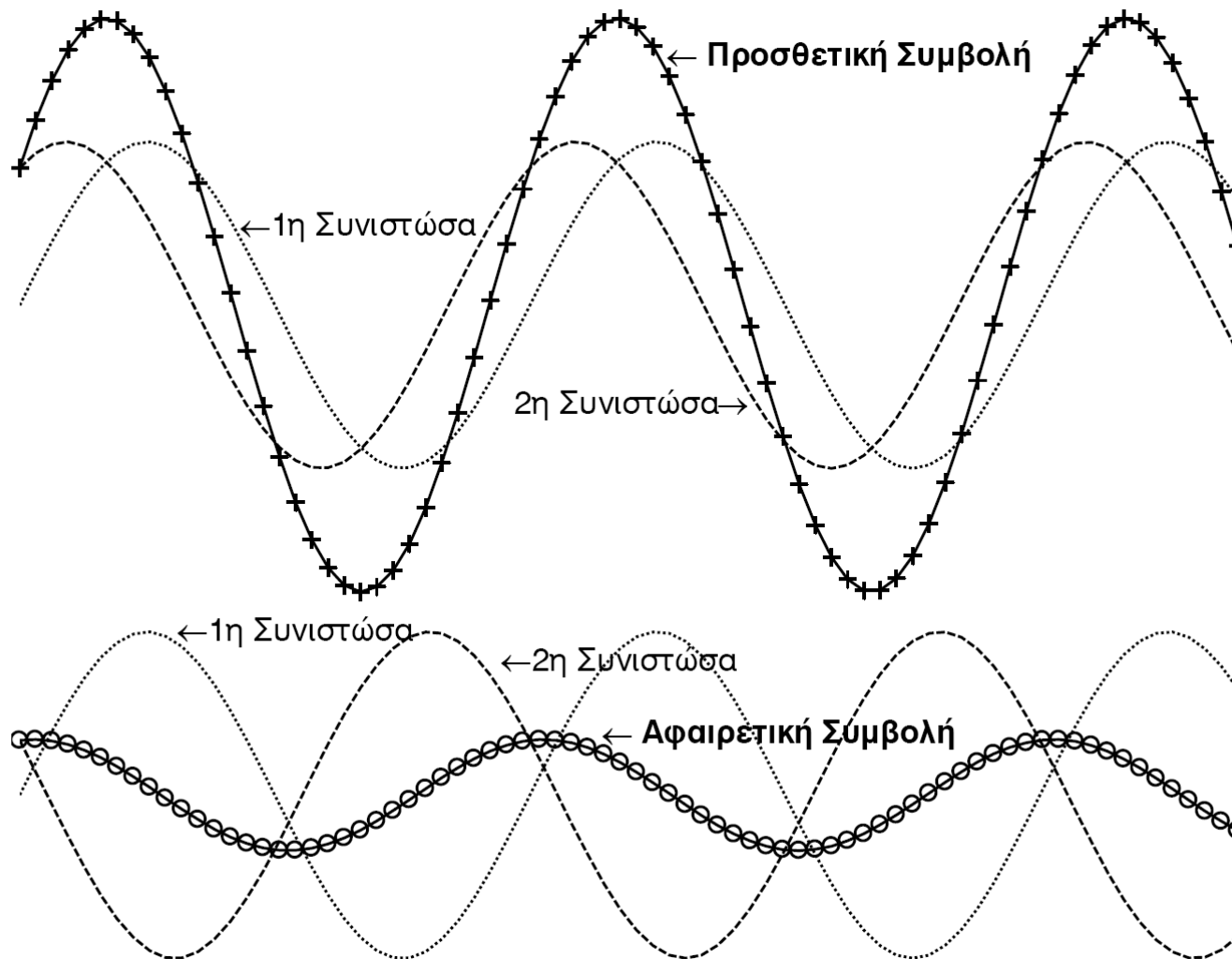
Το φαινόμενο των διαλείψεων

- Ακίνητος δέκτης (και εμπόδια) και αδιαμόρφωτο φέρον
- Πολυδιαδρομική συνιστώσα (ή πολυδιόδευση)
 - Διαδοχικές εκδοχές του σήματος οι οποίες λαμβάνονται στο δέκτη από πολλαπλούς μηχανισμούς διάδοσης
 - Διαφορετική χρονική καθυστέρηση
 - Διαφορά διαδρομής
 - Ολίσθηση φάσης
 - Διαφορετικό ηλεκτρικό μονοπάτι
- Υπέρθεση συνιστωσών οδηγεί σε αθροιστική ή αφαιρετική συμβολή των συνιστωσών ανάλογα με τις σχετικές φάσεις τους

Περιβάλλον διάδοσης

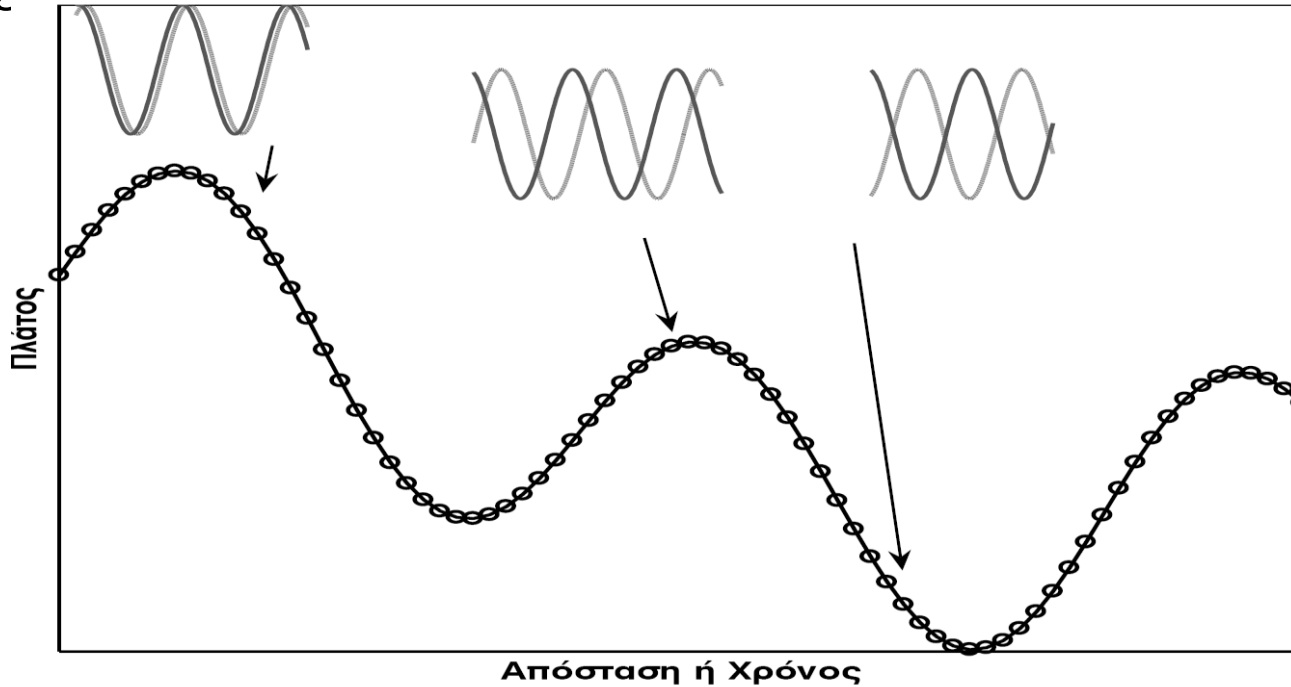


Συμβολή κυμάτων



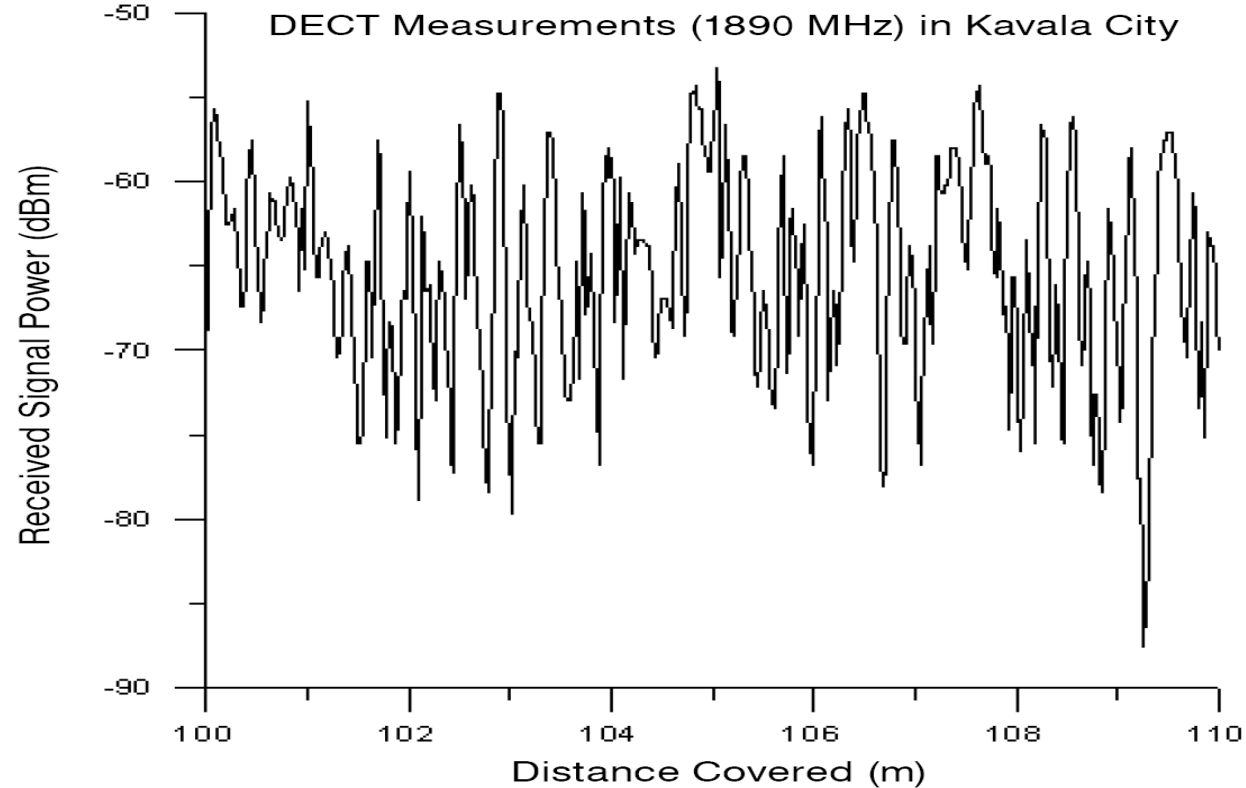
Κινητός δέκτης – Δύο συνιστώσες

- Δυναμικό περιβάλλον πολυδιαδρομικής διάδοσης
 - Συνεχής αλλαγές του ηλεκτρικού μήκους μονοπατιού και σχετικές ολισθήσεις φάσης συναρτήσει



Κινητός δέκτης – Πραγματικότητα

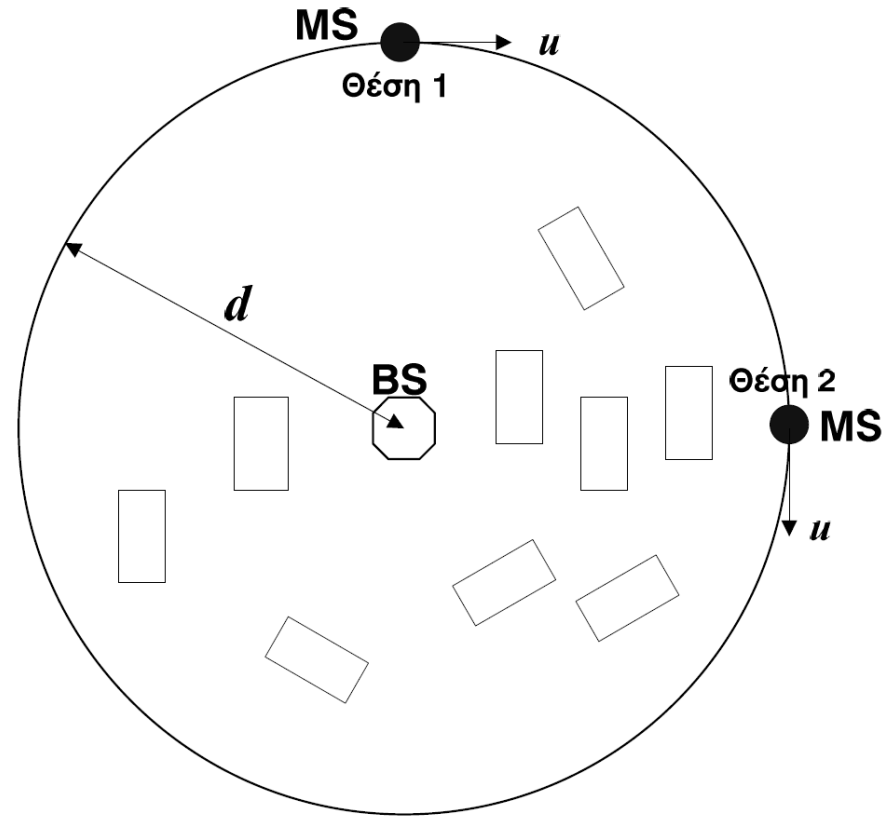
- Περισσότερες και ποικιλόμορφες συνιστώσες
 - Πιο περίπλοκη περιβάλλουσα στο δέκτη
 - Ο δέκτ



Είδη διαλείψεων

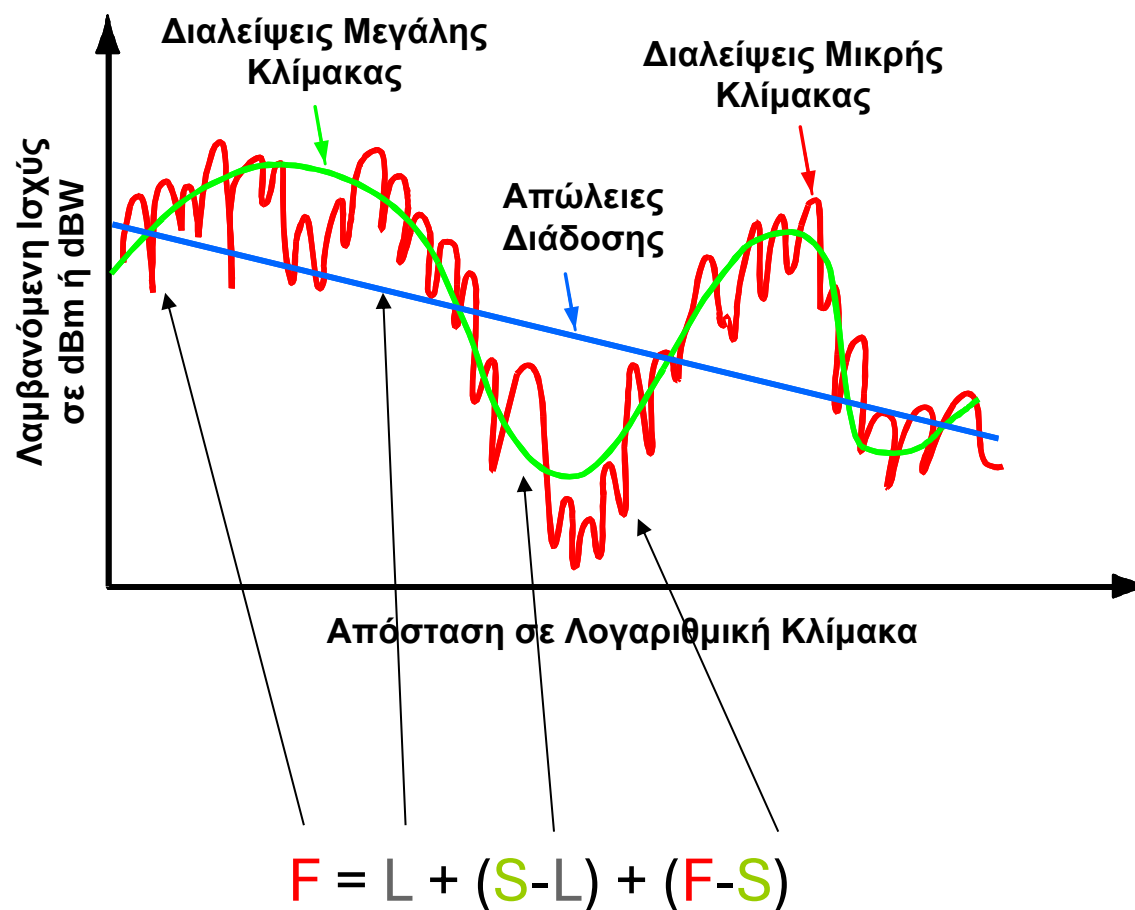
- Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας (large scale fading)
 - Απώλειες Διάδοσης
 - Μεταβολή της μέσης εξασθένισης με την απόσταση
 - Σκίαση (μεγάλα εμπόδια)
 - Τυχαία μεταβολή της εξασθένισης γύρω από τη μέση τιμή για δεδομένη απόσταση
- Διαλείψεις μικρής κλίμακας (small scale fading)
 - Μεταβολή των χαρακτηριστικών του σήματος (πλάτος, φάση, κλπ) για μετατοπίσεις του κινητού σταθμού $\lambda/2$
 - Λόγω χρονικής διασποράς από πολυδιόδευση
 - Λόγω μετατόπισης δέκτη και σκεδαστών

Φαινόμενο σκίασης



Επιπλέον εμπόδια από αυτά που θεωρούνται στα εμπειρικά μοντέλα

Στιγμιαία λαμβανόμενη ισχύς συναρτήσει της απόστασης



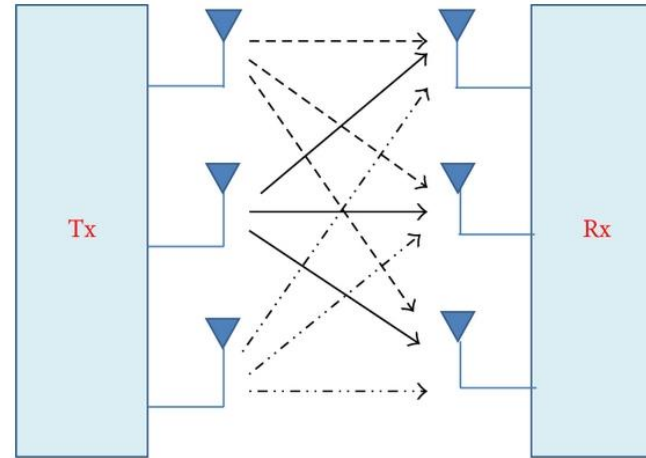
Αντιμετώπιση διαλείψεων

- Στιγμιαία λαμβανόμενη ισχύς σε περιβάλλον πολυδιόδευσης κύματος
 - Δύναται να μειωθεί κατά δεκάδες dB (συνήθως μέχρι 30 dB) σε σχέση με τη μέση τιμή που προβλέπει το μοντέλο απωλειών
- Ισχυρές διαλείψεις
 - Όταν η τιμή της στιγμιαίας ισχύος πέφτει κάτω από το ελάχιστο απαιτούμενο κατώφλι επικοινωνίας στο δέκτη (πχ ευαισθησία δέκτη ή ποιότητα σήματος)
- Αντιμετώπιση
 - Χρήση περιθωρίου ισχύος αρκετών dB (link/fading margin) κατά τον σχεδιασμό της ζεύξης
 - Προσοχή στην σπατάλη πόρων σε μακροπρόθεσμη βάση
 - Αύξηση της αλληλοπαρεμβολής

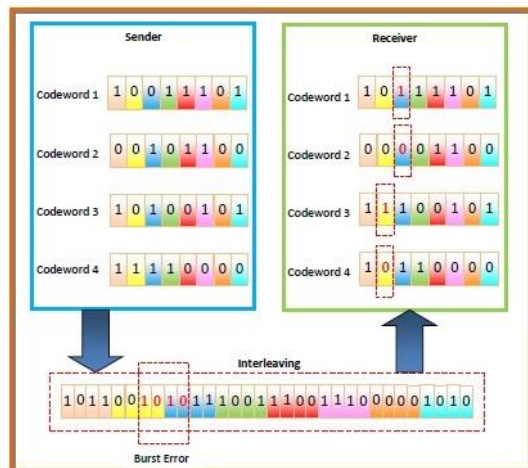
Αντιμετώπιση διαλείψεων

- Καθώς οι διαλείψεις εκτός link budget είναι συνήθως στιγμιαίες η χρήση μεγαλύτερης ισχύος είναι συνήθως σπατάλη
- Εκμετάλλευση κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων
 - Μπορούν να διορθώσουν μικρό αριθμό εσφαλμένων bits
- Παράλληλη χρήση άλλων τεχνικών
 - Διαφορικής λήψης (spatial diversity - MIMO)
 - Κωδικοποίησης με διεμπλοκή (interleaving – διασπορά λαθών)
 - Προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση (adaptive modulation and coding)

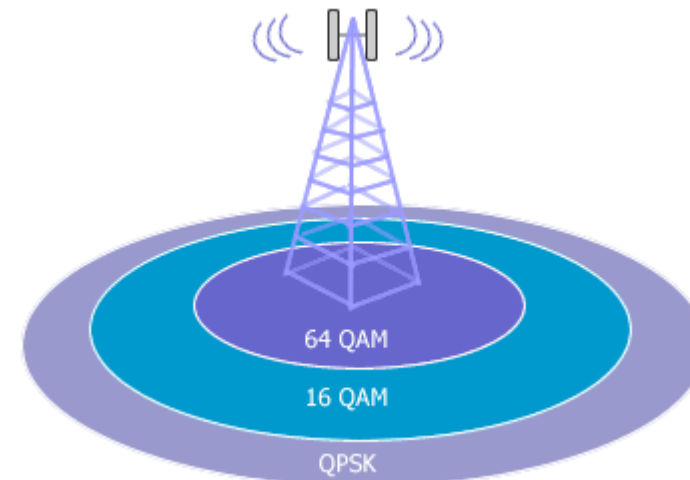
Αντιμετώπιση διαλείψεων



spatial diversity



interleaving

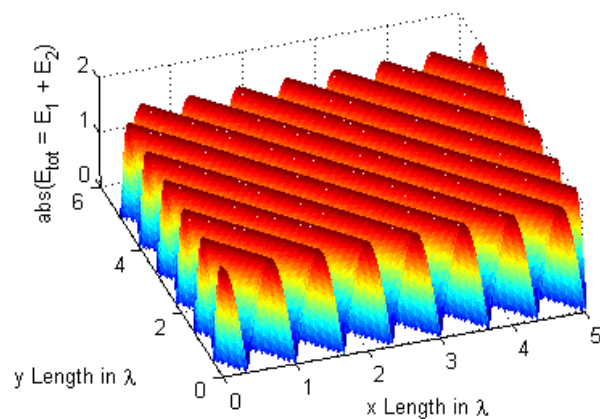
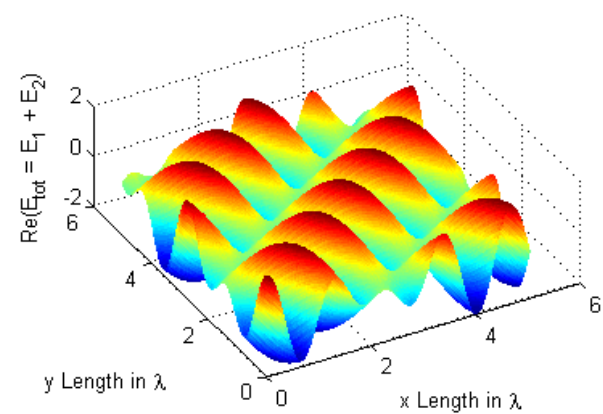
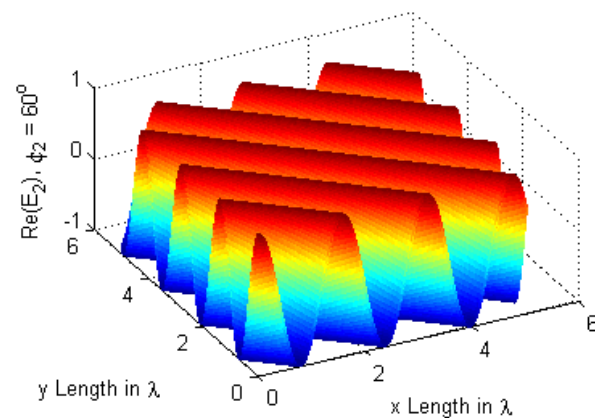
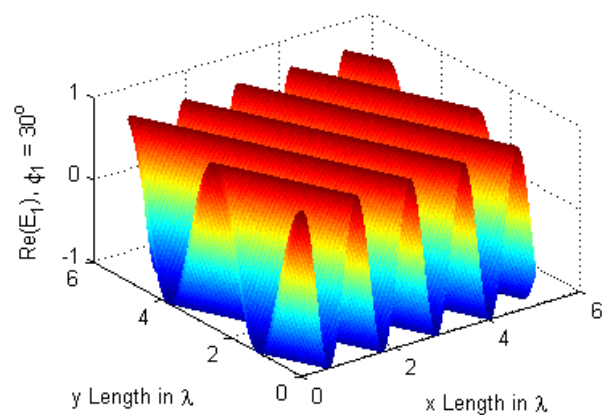


adaptive modulation and coding

Διαλείψεις μικρής κλίμακας

- Έστω δυο διαφορετικά επίπεδα κύματα με διαφορετική φάση αλλά ίδιο πλάτος
- Απουσία κίνησης των σκεδαστών διαμορφώνεται στάσιμο κύμα σε συνάρτηση με την απόσταση
- Η λαμβανόμενη ισχύς θα κυμαίνεται από 0 έως 2 ανάλογα με τη θέση του δέκτη
- Η κίνηση του δέκτη προκαλεί διαλείψεις στο δέκτη ακόμα και σε αυτό το σενάριο

Διαλείψεις μικρής κλίμακας



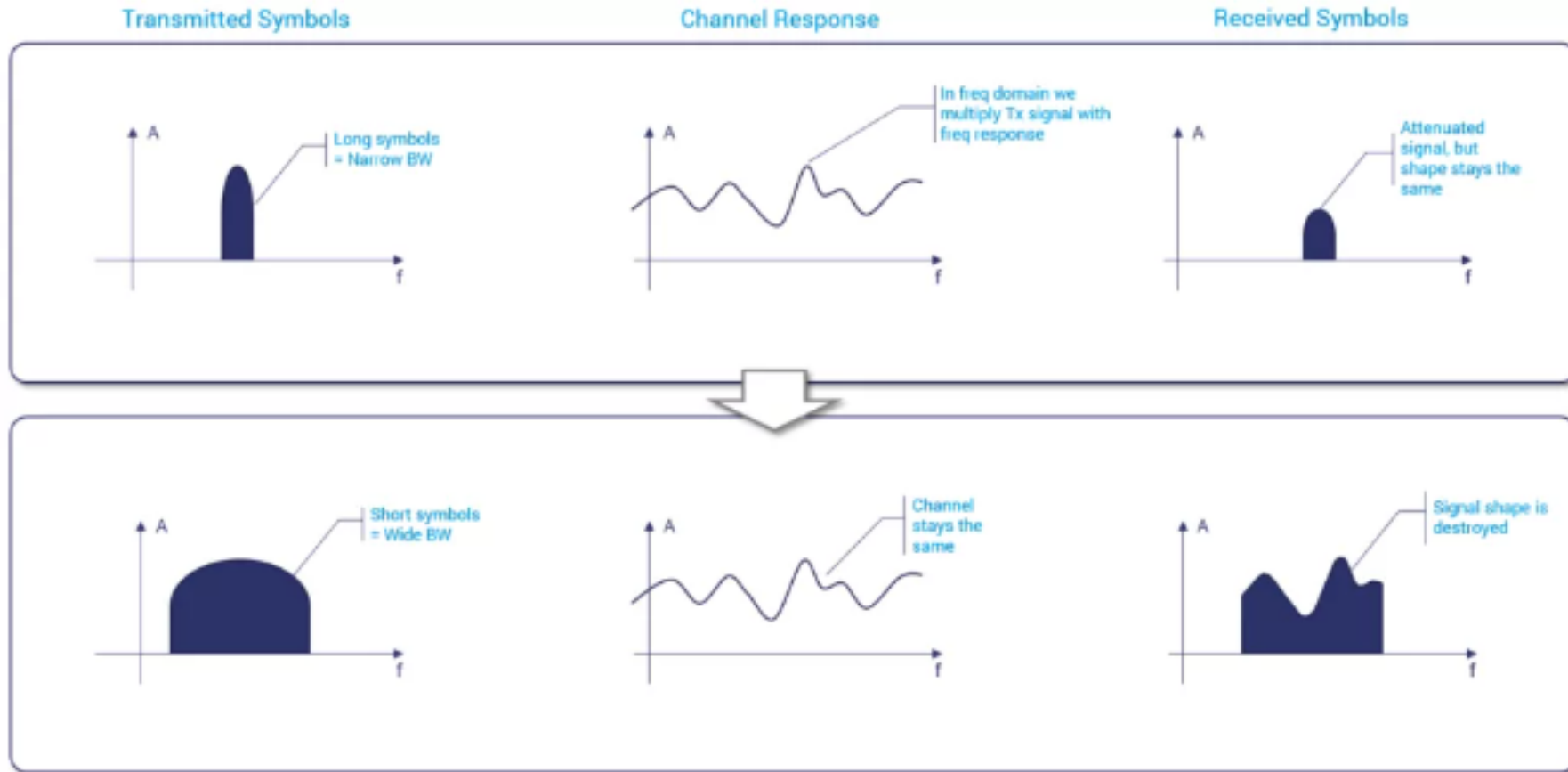
Διαλείψεις μεγάλης κλίμακας

- Τα μοντέλα απωλειών διάδοσης αναφέρονται σε μέσες τιμές χωρίς να λαμβάνουν υπόψη διαφορετικές περιπτώσεις για την ίδια απόσταση
- Σκίαση
 - Δεν είναι συνήθως απότομη ή απόλυτη
 - Τυχαία μεταβλητή που εξαρτάται από το πλήθος και τα χαρακτηριστικά των σκεδαστών
 - Μεταβάλλει την μέση τιμή απωλειών στα μοντέλα απωλειών
- Μετρήσεις δείχνουν ότι η λαμβανόμενη ισχύς σε dB ακολουθεί κανονική κατανομή
 - Λογαριθμοκανονική κατανομή
 - Μέση τιμή εξαρτάται από το συντελεστή απωλειών
 - Τυπική απόκλιση από το περιβάλλον

OFDM – Αποσυμφόρηση συχνότητας μετάδοσης

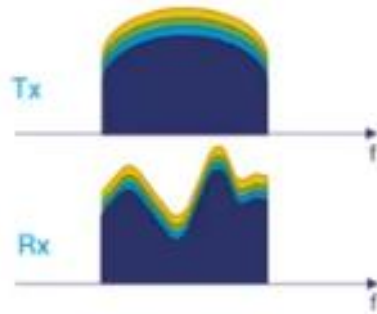


OFDM – Αποσυμφόρηση συχνότητας μετάδοσης



OFDM – Αποσυμφόρηση συχνότητας μετάδοσης

2 options for transmitting the data

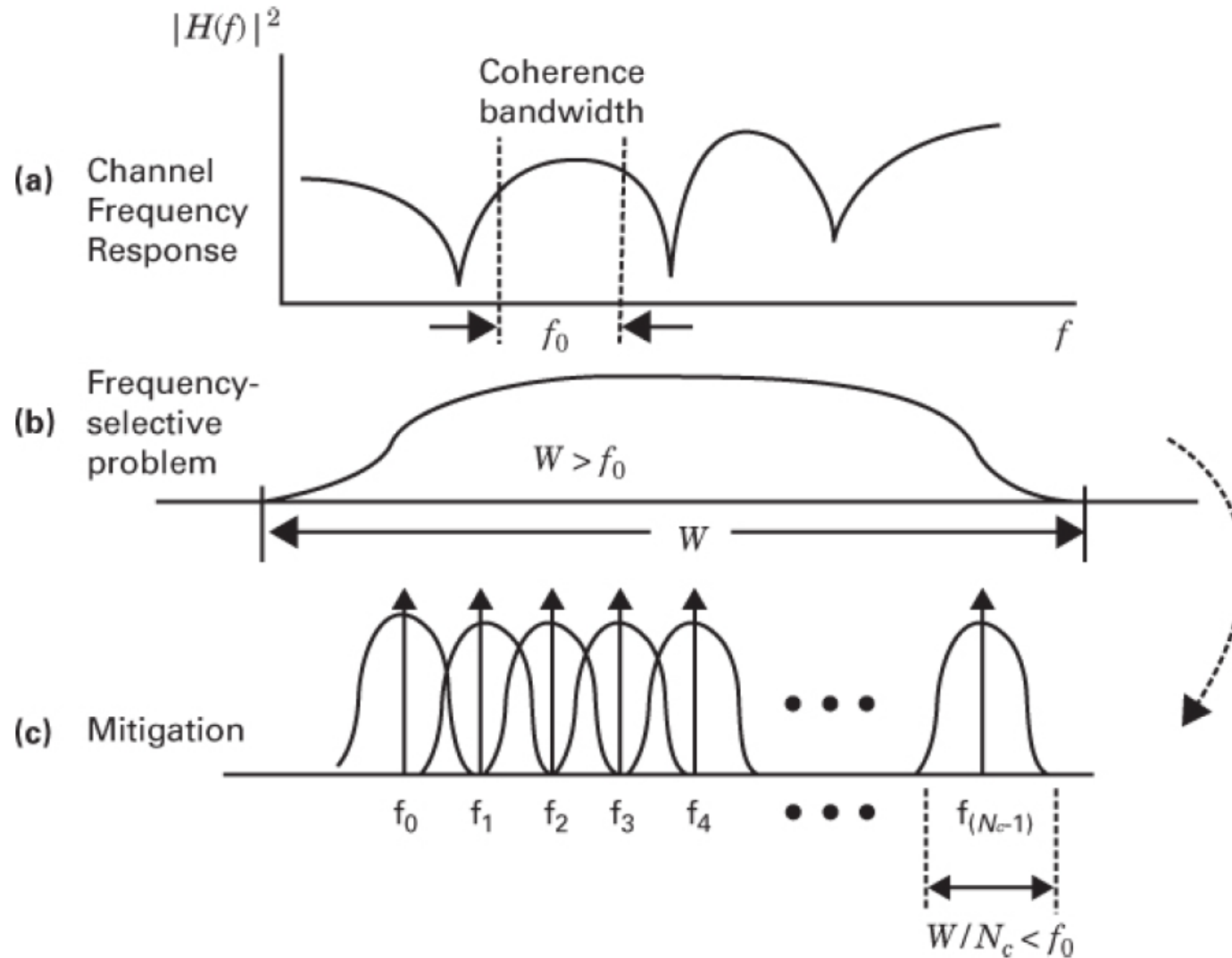


Both carry the same data but a deep fade damages only 1/4 of data

2 options for shipment goods via a truck



Περιορισμένο Bandwidth



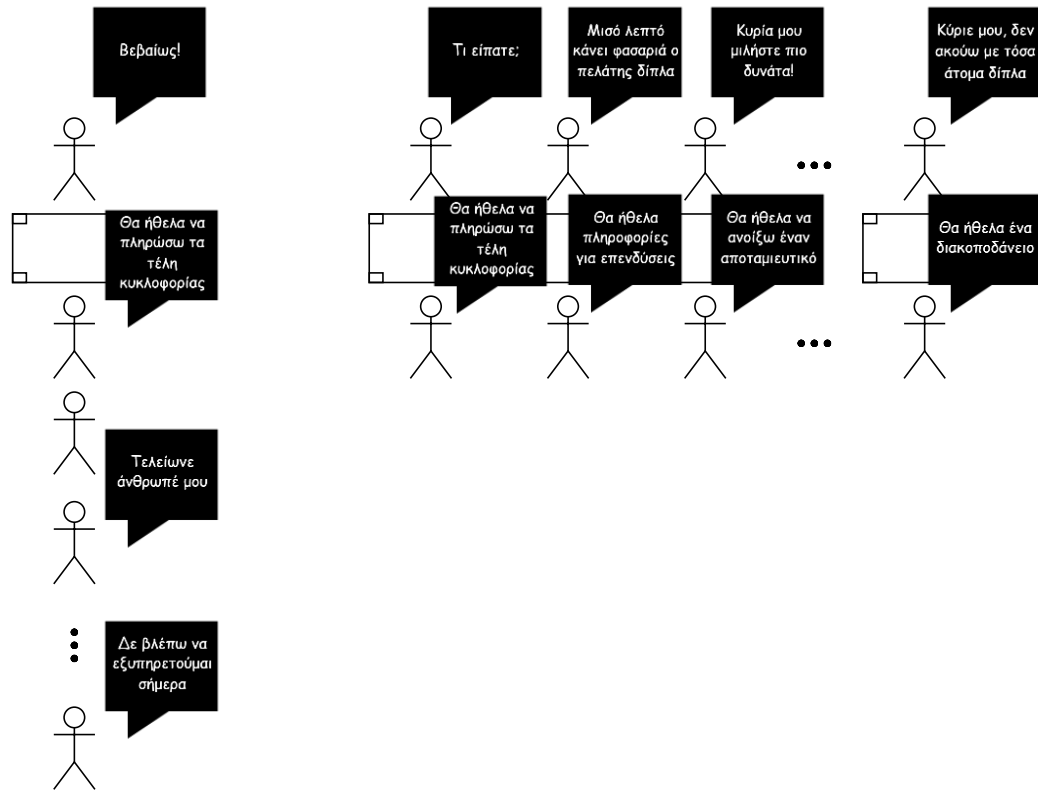
Μετάδοση σε εύρος μικρότερο
του εύρους ζώνης συνοχής

Γιατί OFDM Από Πλευράς Ανάλυσης Ζεύξης

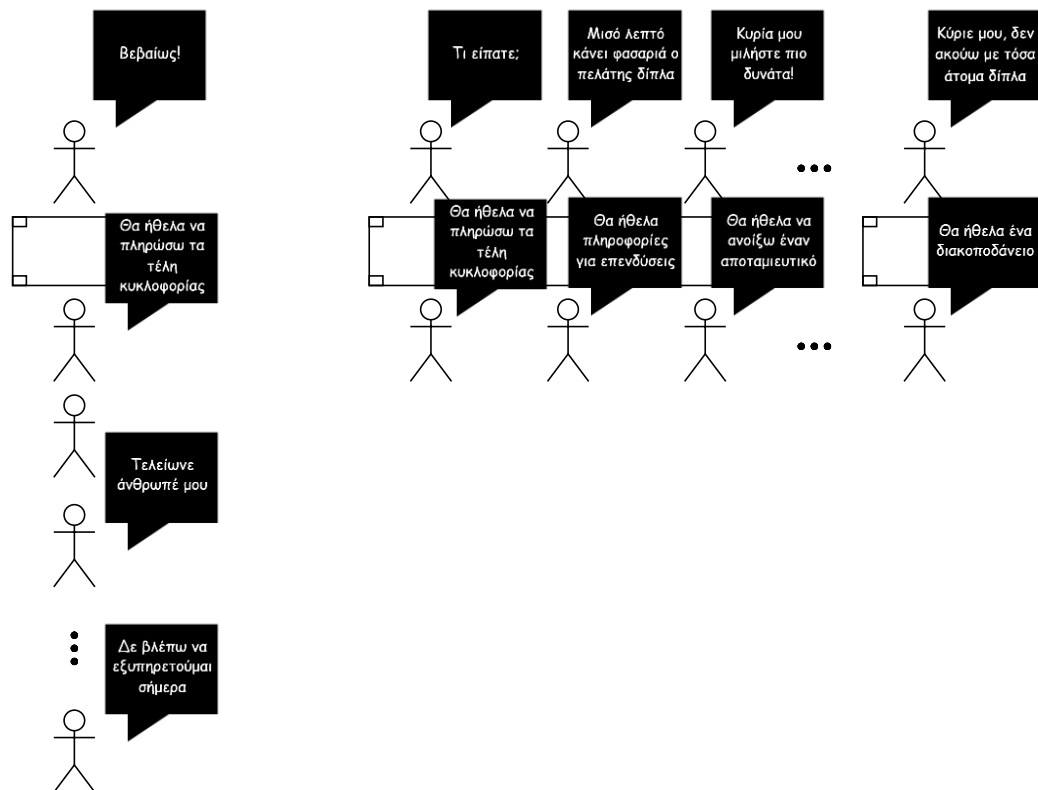
Ορθογωννικότητα – Ιδέα



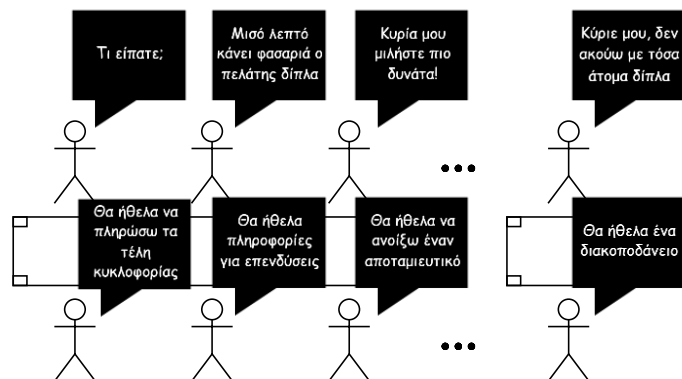
Ορθογωννικότητα – Ιδέα



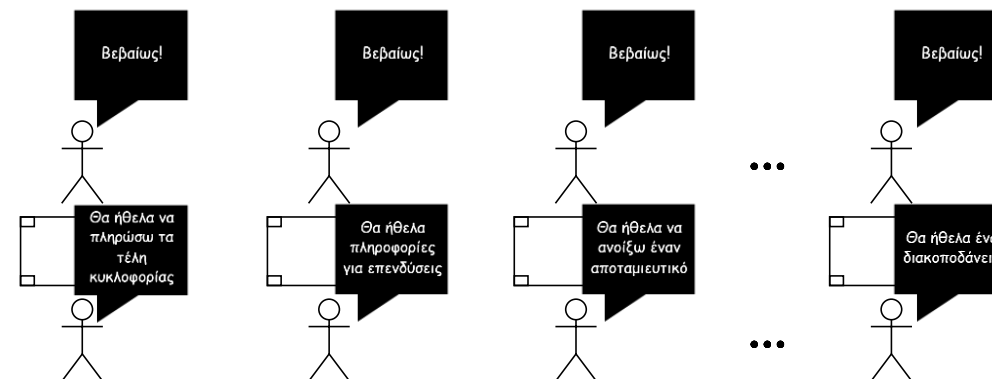
Ορθογωννικότητα – Ιδέα



Μη-επικαλυπτόμενα
κάναλια



Επικαλυπτόμενα κανάλια
με γειτονικό θόρυβο



Επικαλυπτόμενα κανάλια
χωρίς γειτονικό θόρυβο

Ορθογώνια FDM: Γενικά

- 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 (αρκεί να απέχουν στη συχνότητα απόσταση ίση με k/T , όπου T η διάρκεια του OFDM συμβόλου).

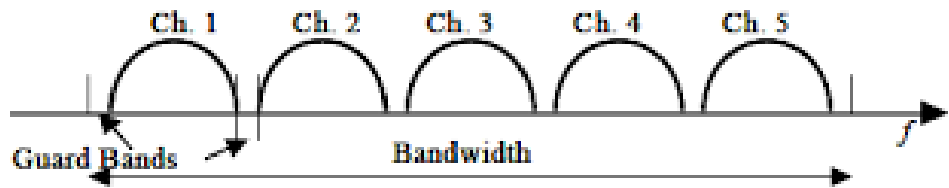


Fig 1 (a)

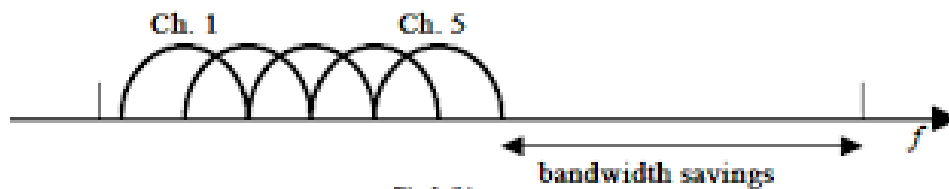
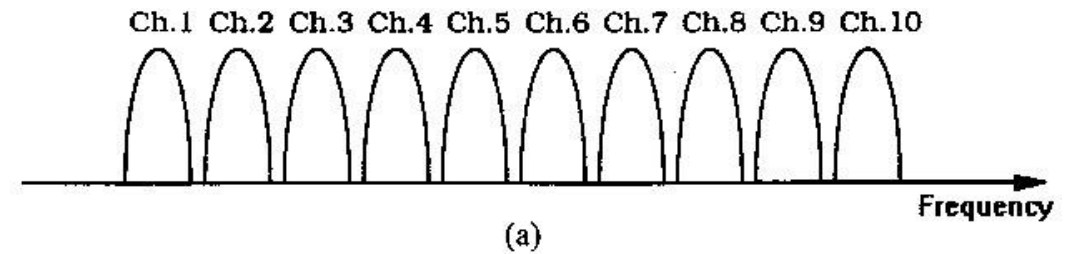
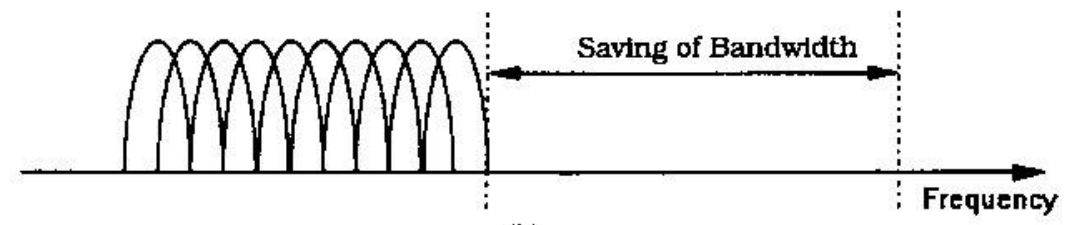


Fig 1 (b)



(a)



(b)

Ορθογώνια FDM

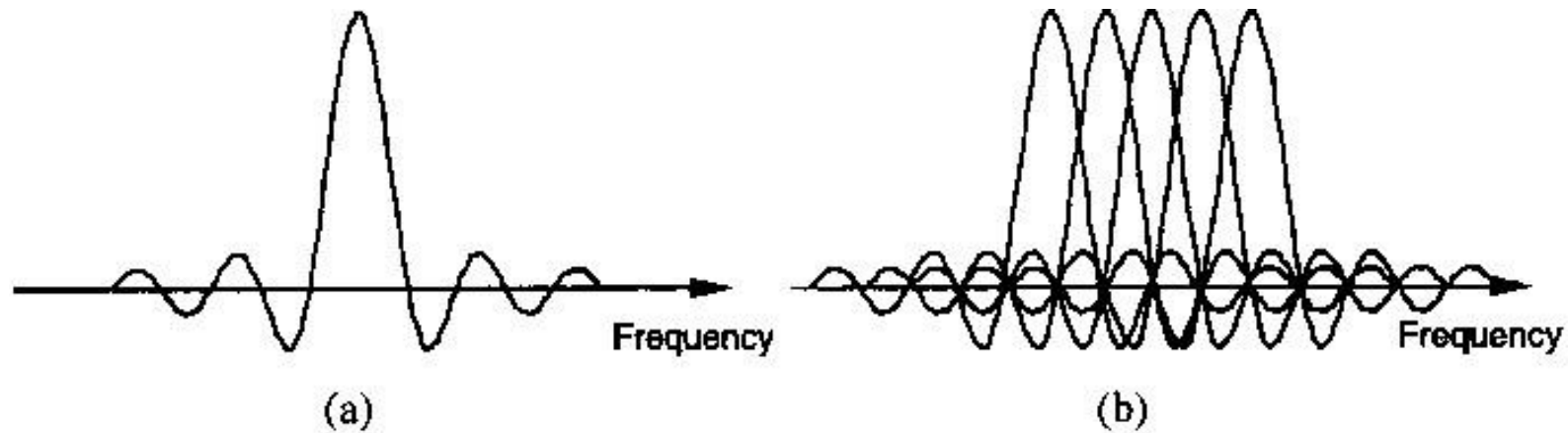
- Σε κάθε υποκανάλι k , χρησιμοποιείται διαφορετική φέρουσα

$$y_k(t) = \cos(2\pi f_k t), \quad k = 0, 1, \dots, K - 1$$

όπου f_k η κεντρική συχνότητα του υποκαναλιού

- Αν η διαφορά συχνότητας μεταξύ διαδοχικών υποκαναλιών είναι (κατ' ελάχιστο) $\Delta f = 1/T$, όπου T ο ρυθμός συμβόλων σε κάθε υποκανάλι,
 - τότε οι υποφέρουσες είναι **ορθογώνιες** μεταξύ τους ανεξάρτητα από τις φάσεις τους
$$\int_0^T \cos(2\pi f_k + \varphi_k) \cos(2\pi f_j + \varphi_j) dt = 0$$
- Τότε, έχουμε ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας
 - **Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM**

Ορθογώνια FDM



- Στο σχήμα (α) βλέπουμε το φάσμα ενός OFDM sub-channel
- ενώ στο σχήμα (β) το φάσμα του συνολικού σήματος OFDM.

Σύνδεση Ανάλυσης Ζεύξης και OFDM

- Εύρος ζώνης συνοχής (Coherence bandwidth): εύρος συχνοτήτων που στατιστικά είναι το ίδιο για το κανάλι
 - Ίδιο κέρδος
 - Γραμμική φάση
- Θέλουμε κανάλια πολυδιόδευσης με επίπεδες διαλείψεις (flat fading) και αργές διαλείψεις (slow fading)
 - Επίπεδες διαλείψεις: οι διαλείψεις επηρεάζουν όλες τις φασματικές συνιστώσες του σήματος το ίδιο
 - Αργές διαλείψεις: το κανάλι επιφέρει “σταθέρες” αλλαγές στο πλάτος και στη φάση του διαδιδόμενου σήματος, π.χ., σκίαση (shadowing)

Σύνδεση Ανάλυσης Ζεύξης και OFDM

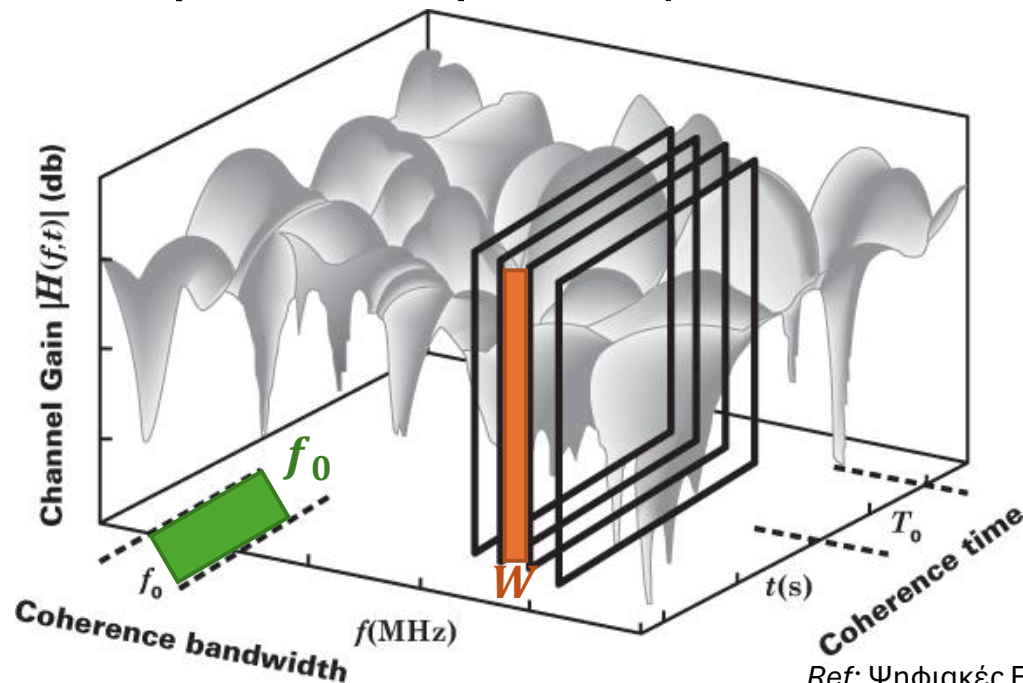
- Φορμαλισμός: $\underbrace{f_0 > W}_{\text{Flat fading}}$ και $\underbrace{W > f_d}_{\text{Slow fading}}$
 - f_0 : Εύρος ζώνης συνοχής
 - W : Ρυθμός σηματοδοσίας
 - f_d : Ρυθμός διαλείψεων
- Η OFDM χρησιμοποιεί, αντί ενός φέροντος, πολλά υπο-φέροντα

$$f_0 > \frac{W}{N_c} > f_d$$

- Υποδιαίρεση καναλιού σε υπο-κανάλια
 - Το κάθε υπο-kanάλι μπορεί να περιλαμβάνει ένα ή παραπάνω υπο-φέροντα

Σύνδεση Ανάλυσης Ζεύξης και OFDM

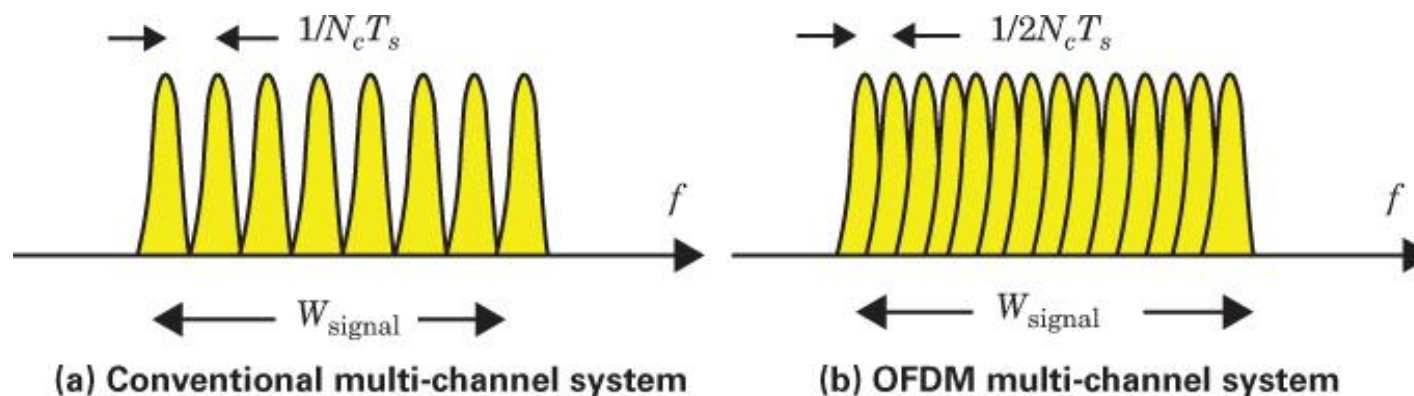
- Μετασχηματισμός καναλιού πολυδιόδευσης σε πολλά παράλληλα υπο-κανάλια επίπεδων διαλείψεων
- Προσφέρει πλεονεκτήματα στη διαδικασία της ισοστάθμισης στο δέκτη (πολλαπλασιασμοί / διαιρέσεις)



Συμβατική Πολυκαναλική FDM vs. Πολυκαναλική OFDM

Κανάλια FDM vs. Κανάλια OFDM

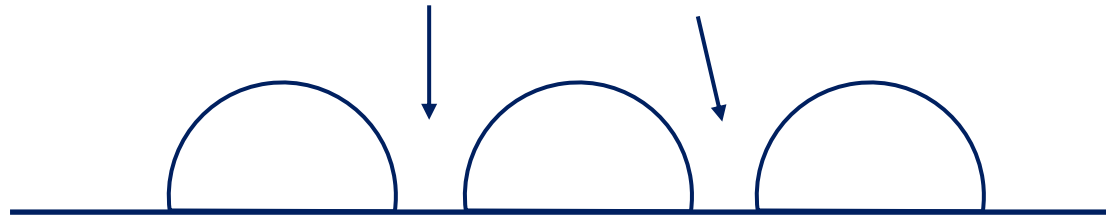
- FDM: μη-επικαλυπτόμενα κανάλια
- OFDM: επικαλυπτόμενα γειτονικά κανάλια κατά 50%
 - Εφικτό λόγω ορθογωνικότητας σε σήματα στενής ζώνης, με έλεγχο του σήματος στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας
 - Σε σηματοδοσία μεγαλύτερου εύρους ζώνης η αλλοίωση σε κανάλια πολυδιόδευσης είναι εντονότερη



OFDM vs FDM

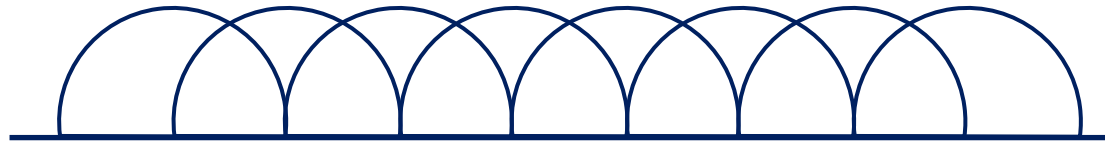
- FDM

- Μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια
- Απώλειες φάσματος λόγω απόστασης



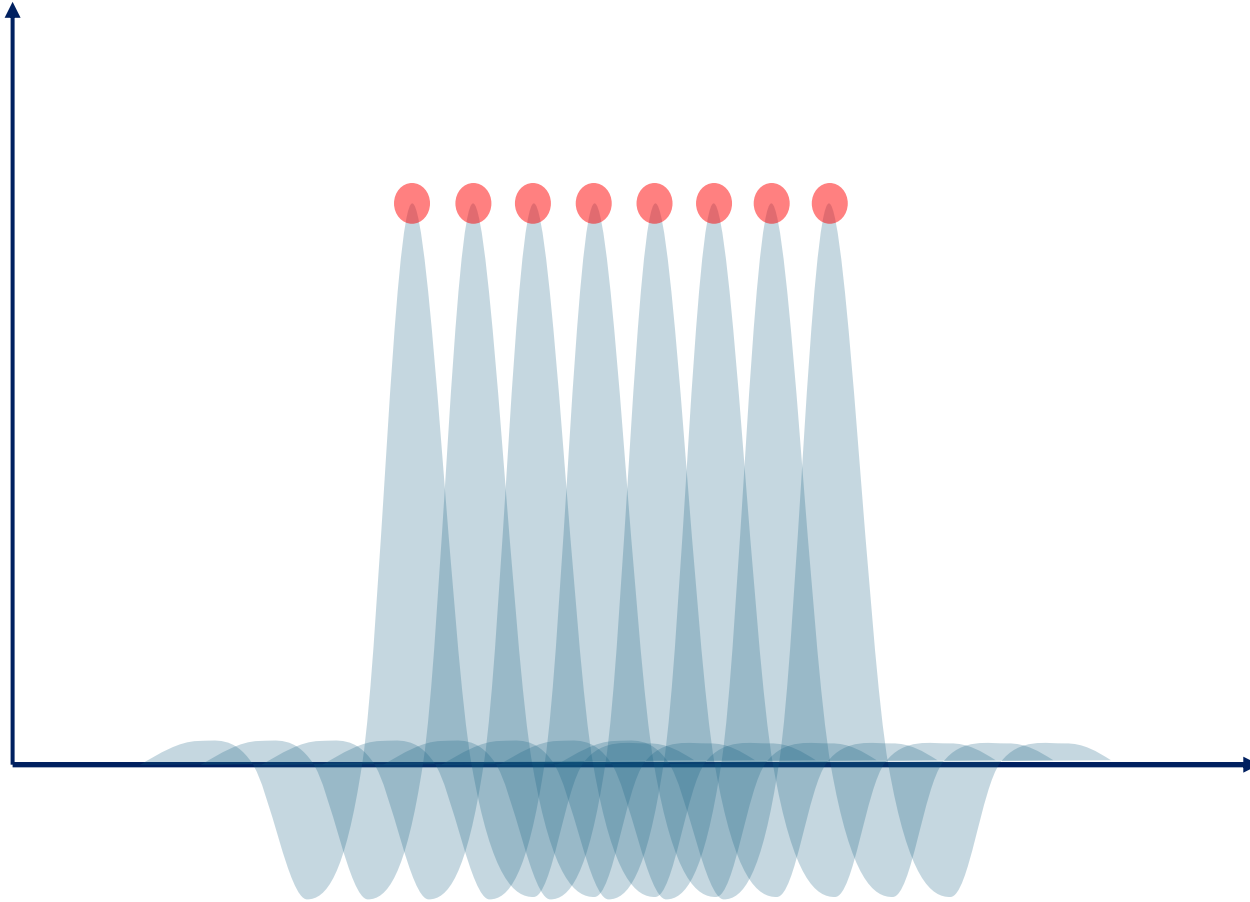
- OFDM

- Επικαλυπτόμενα ορθογώνια υποκανάλια
- Προσεκτική επιλογή – Στο κέντρο κάθε υποκαναλιού όλα τα άλλα είναι μηδέν



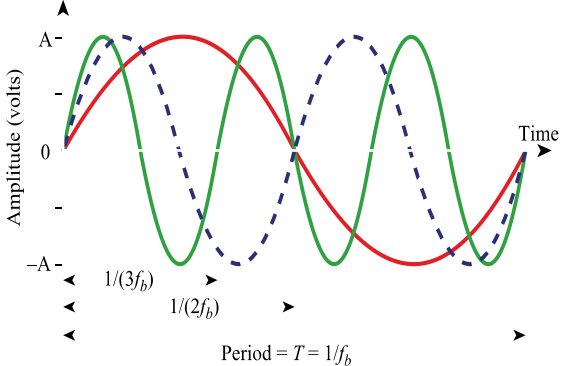
OFDM subcarriers

Ισχύς

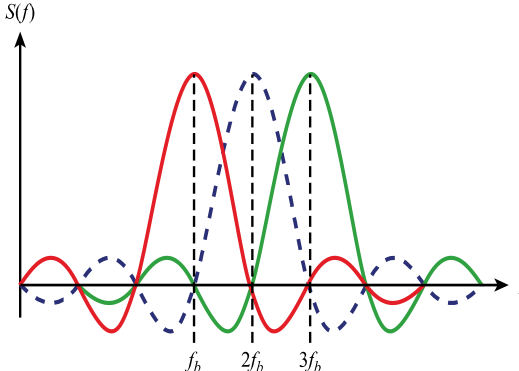


Συχνότητα

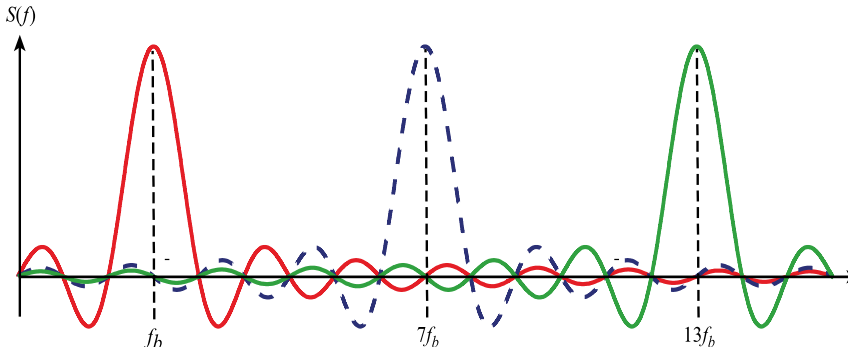
Illustration of Orthogonality of OFDM



(a) Three subcarriers in time domain



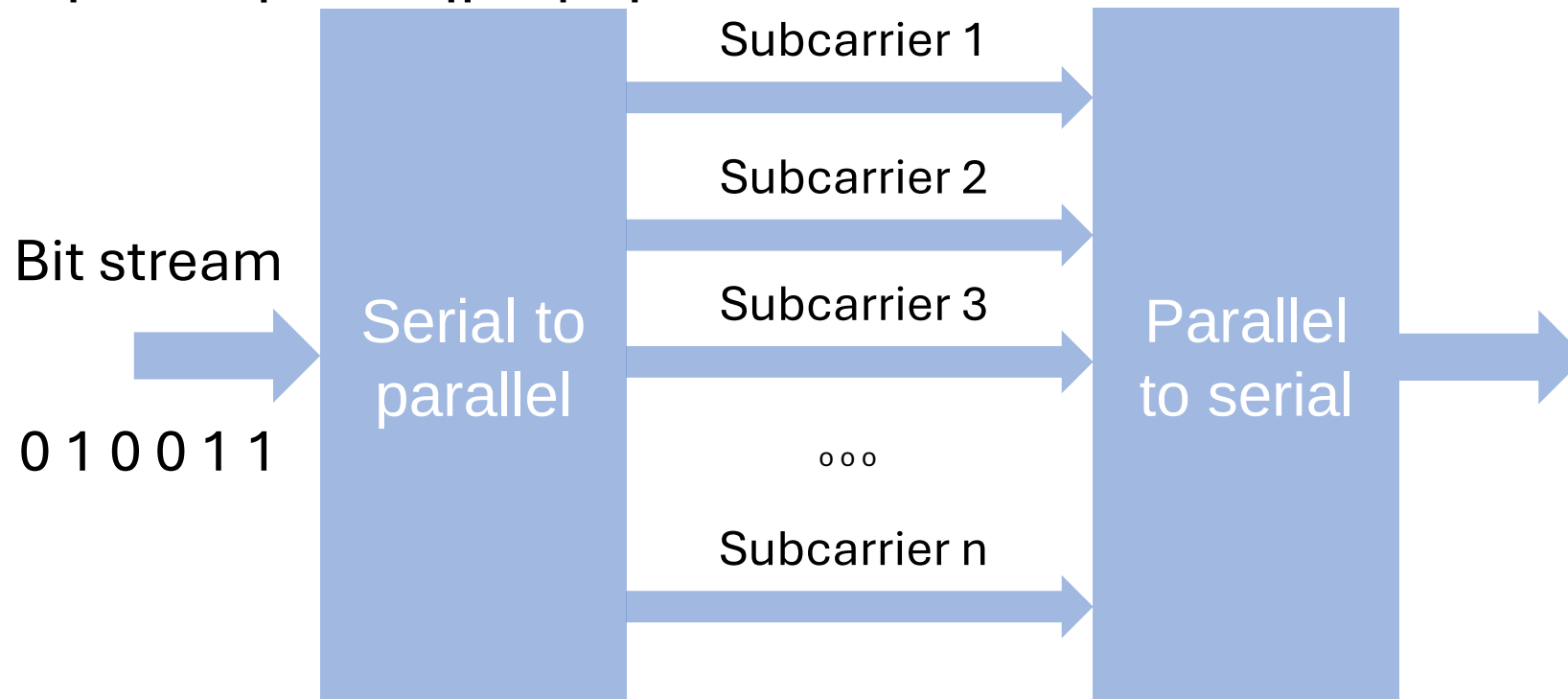
(b) Three orthogonal subcarriers in frequency domain



(c) Three carriers using traditional FDM

OFDM

- Πως μοιράζουμε πληροφορία στα υποκανάλια?

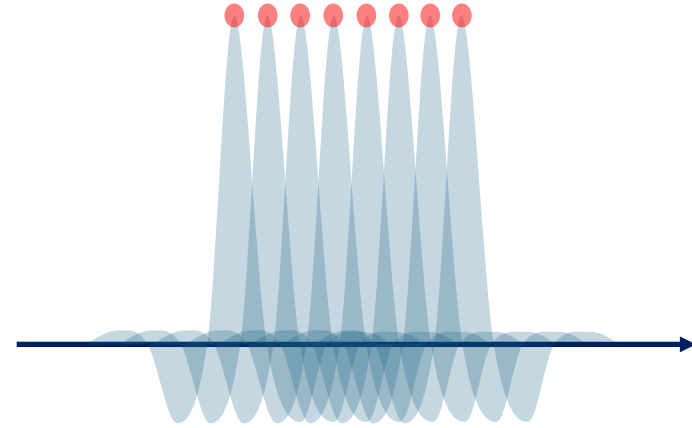


OFDM

- Παράδειγμα με 8 υποκανάλια

0 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1 0 1 0 1

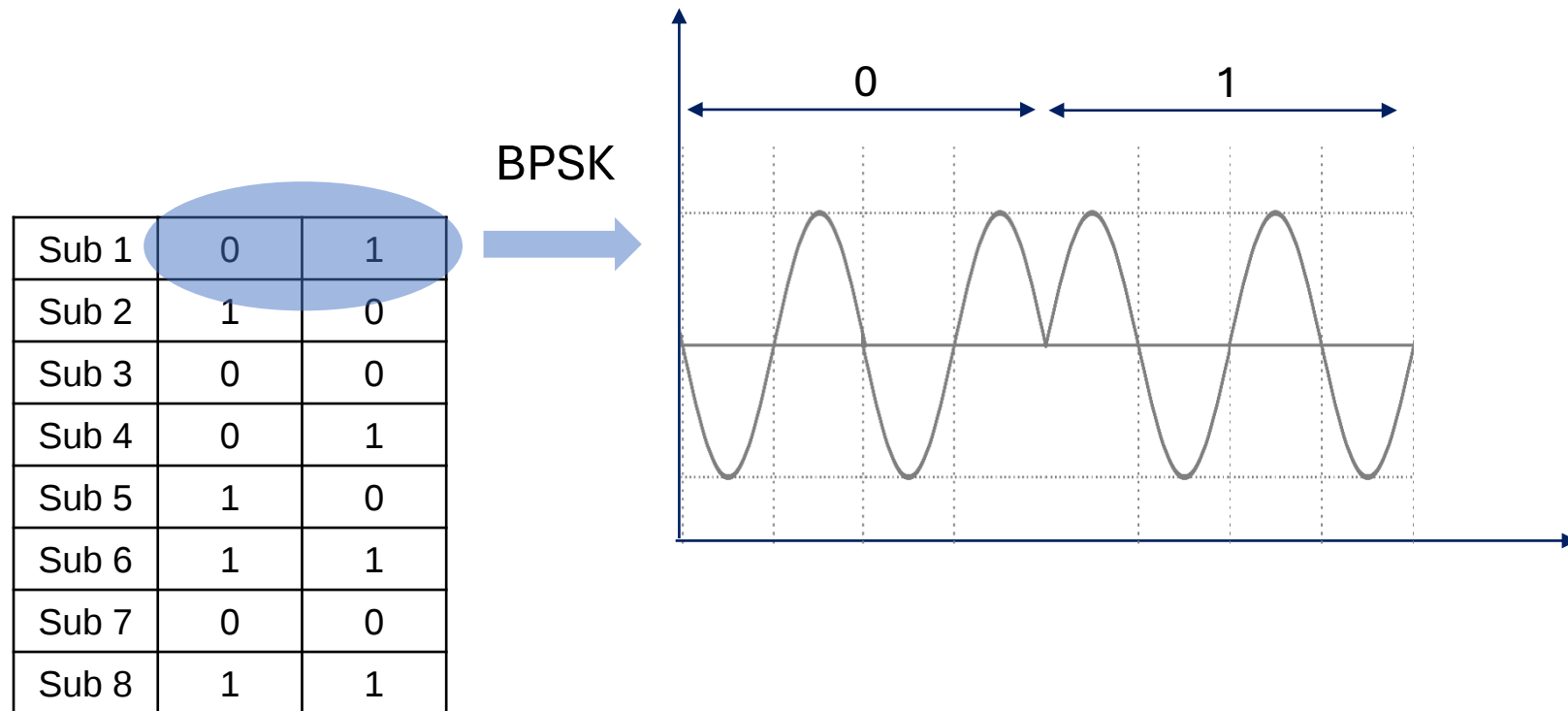
Sub 1	0	1
Sub 2	1	0
Sub 3	0	0
Sub 4	0	1
Sub 5	1	0
Sub 6	1	1
Sub 7	0	0
Sub 8	1	1



Βήμα 1: Serial to parallel

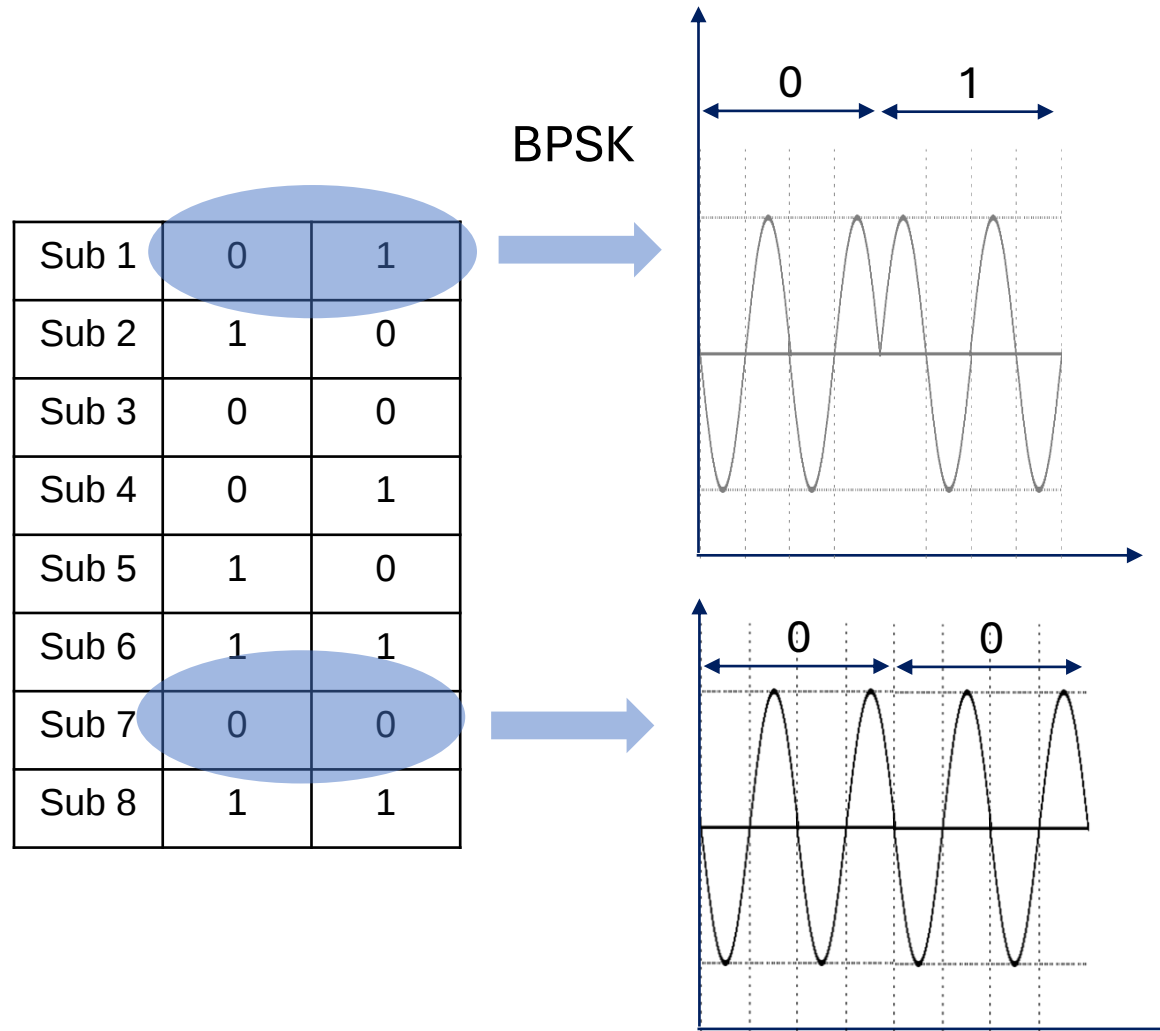
OFDM

- Step 2: Διαμόρφωση σε κάθε υποκανάλι



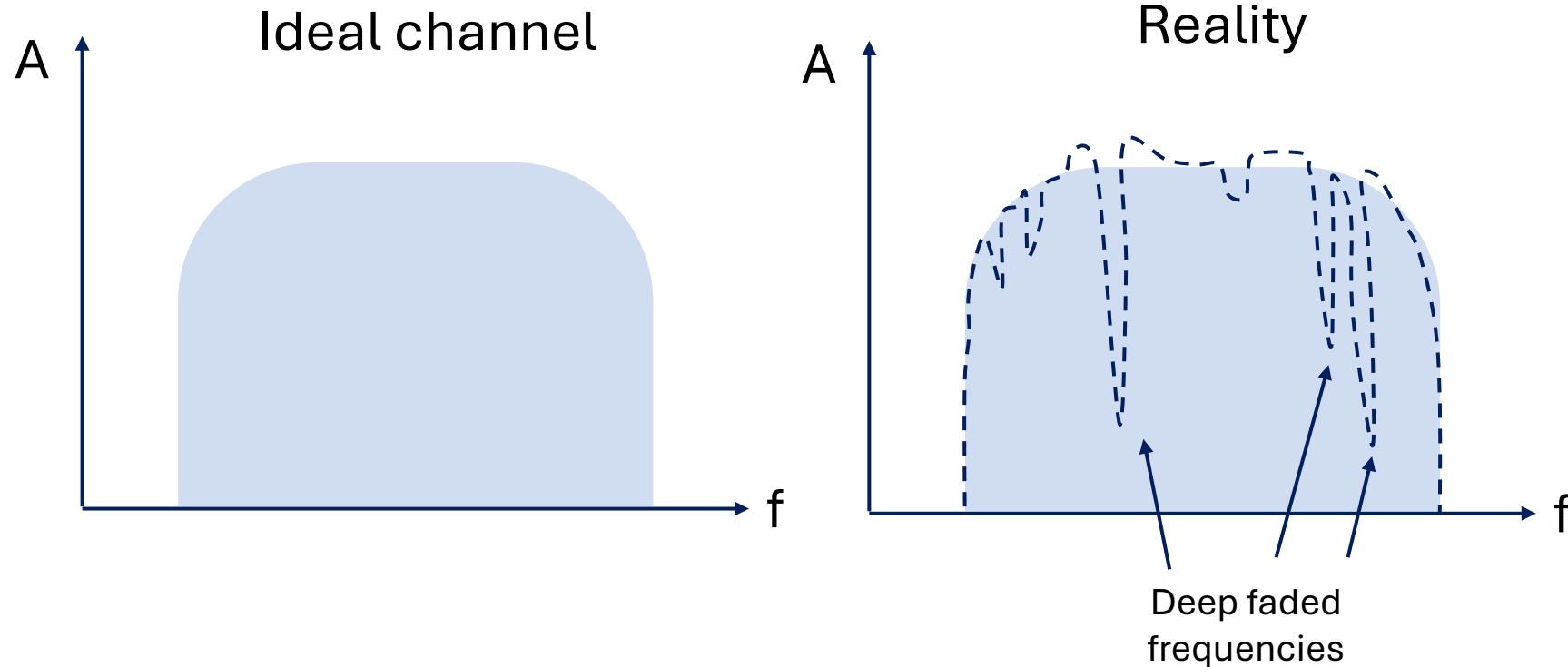
OFDM

Step 2: Διαμόρφωση σε κάθε υποκανάλι

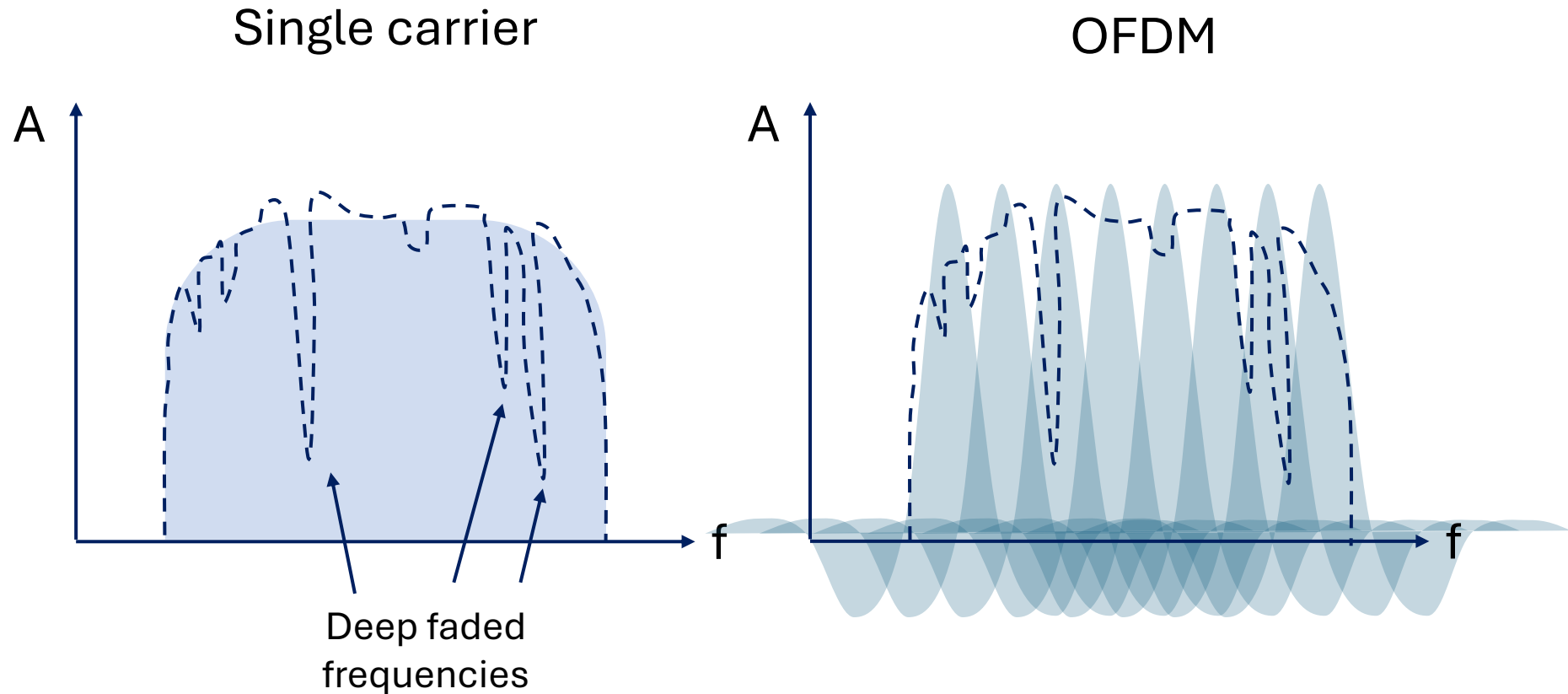


Γιατί OFDM?

- Frequency selective fading
 - Κάποιες συχνότητες στο κανάλι έχουν διαλείψεις
 - Αυτές οι συχνότητες δεν έχουν συσχέτιση



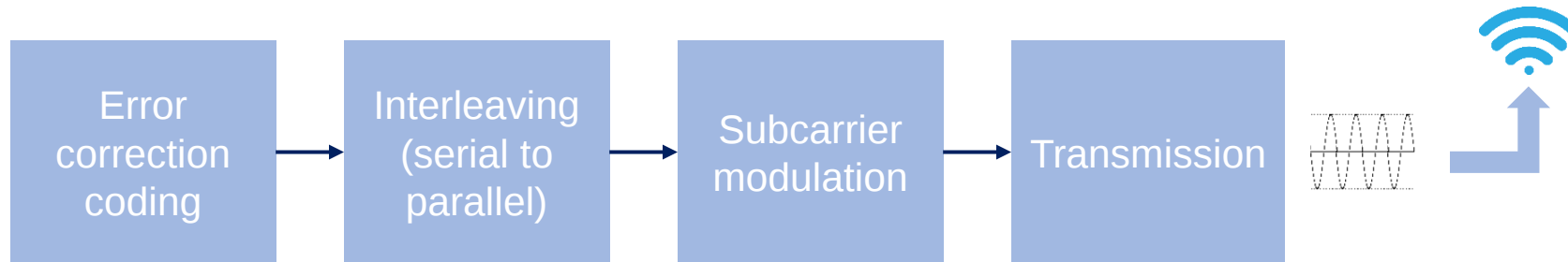
Γιατί OFDM?



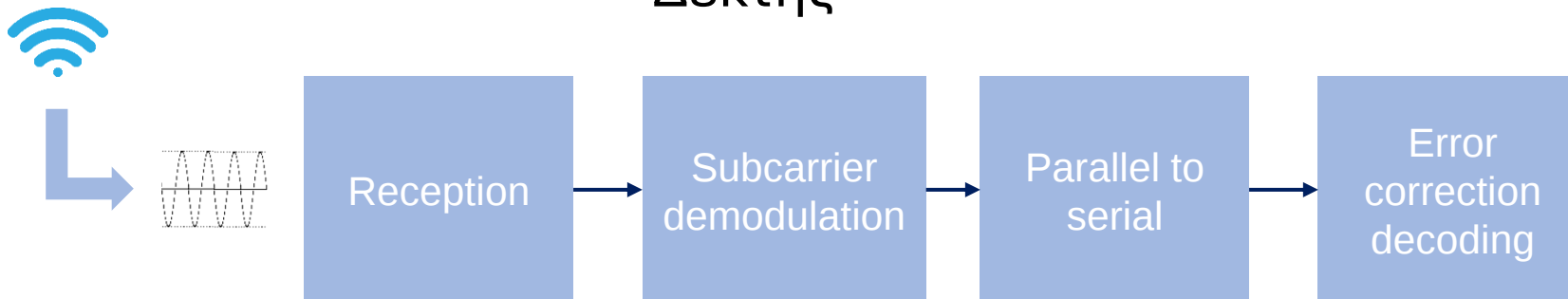
- Επιρρεάζονται μόνο μερικά υποκανάλια στο OFDM
 - Χαμηλότερο bit error rate

OFDM Block Diagram

Πομπός

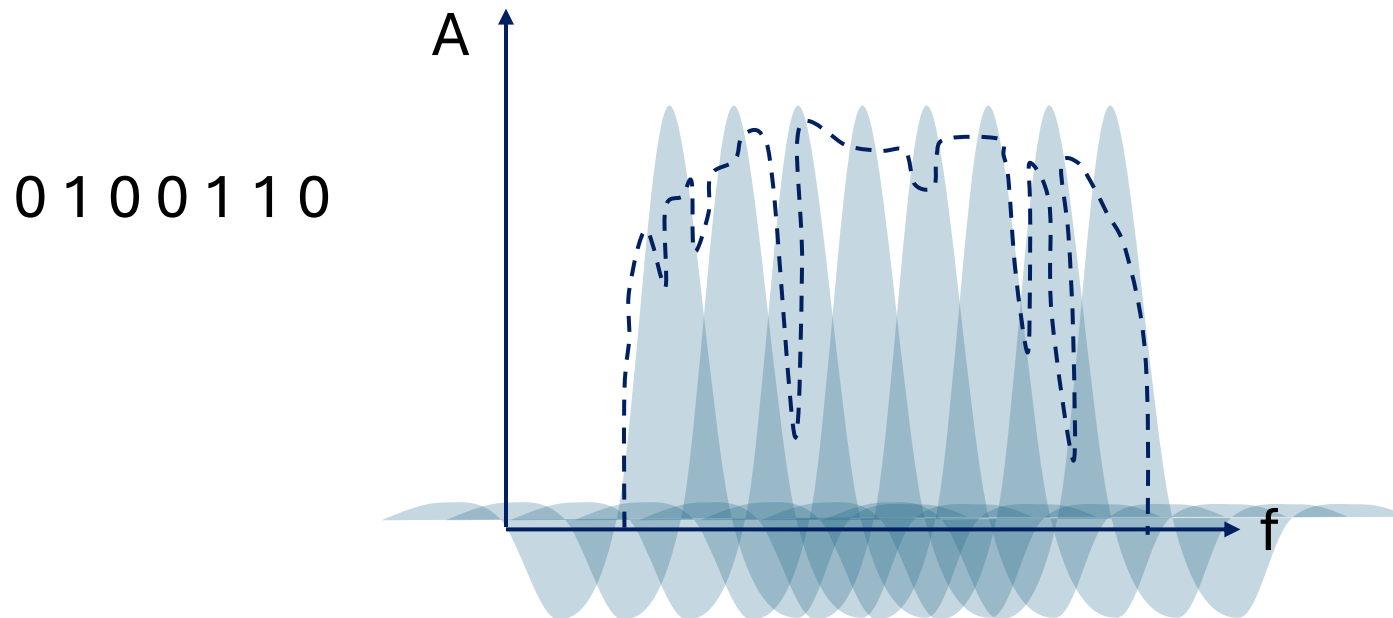


Δέκτης



Interleaving (Διεμπλοκή)

- Αντιστοίχιση εισερχόμενων δεδομένων σε υποκανάλια
 - Όχι το προφανές round-robin
- Γενικός κανόνας
 - Αντιστοίχιση συνεχόμενων bits σε απομακρυσμένα υποκανάλια
 - Μείωση της πιθανότητας απωλειών συνεχόμενων bits



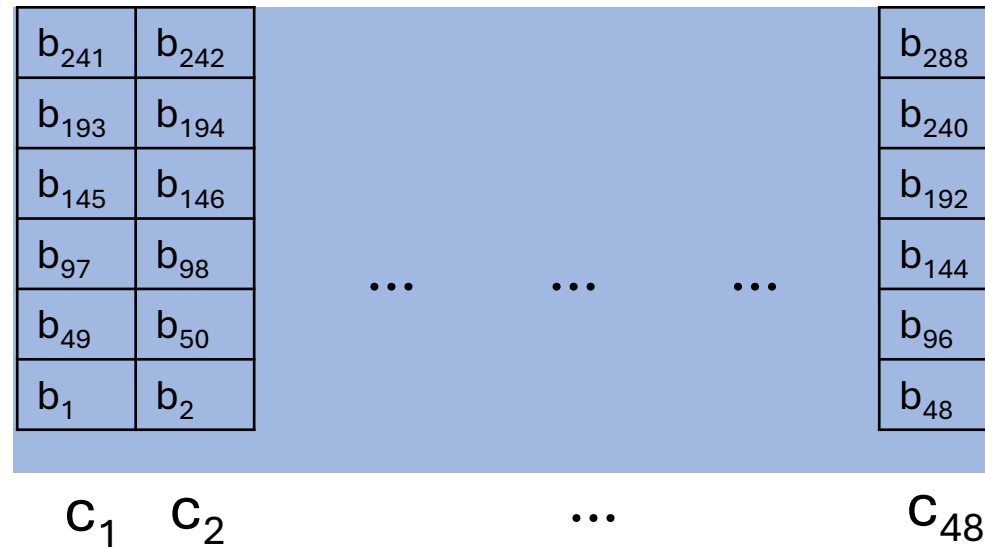
Block Interleaving

- 802.11a παράδειγμα
 - 48 υποφέρουσες
 - Διαμόρφωση - 64 QAM (6 bits per symbol)
- Interleaver buffer size = $48 \times 6 = 288$ bits

Round robin αλλά μπορεί
και κάτι πιο περίπλοκο

0, 1, 0, ..., 1

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_{288}$

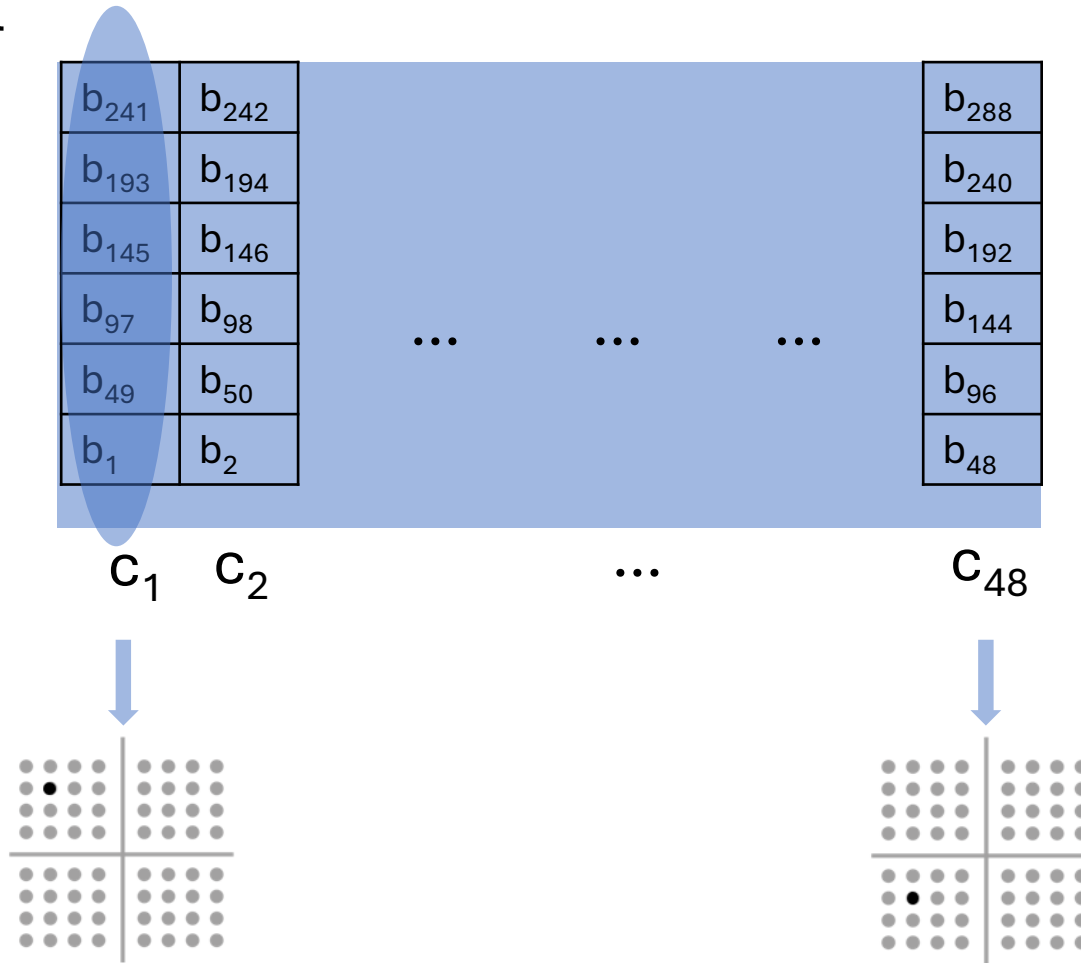


Subcarrier no.

Subcarrier Modulation

- Subcarrier symbol

0, 1, 0, ...,
1
 $b_1, b_2, b_3, \dots, b_{288}$

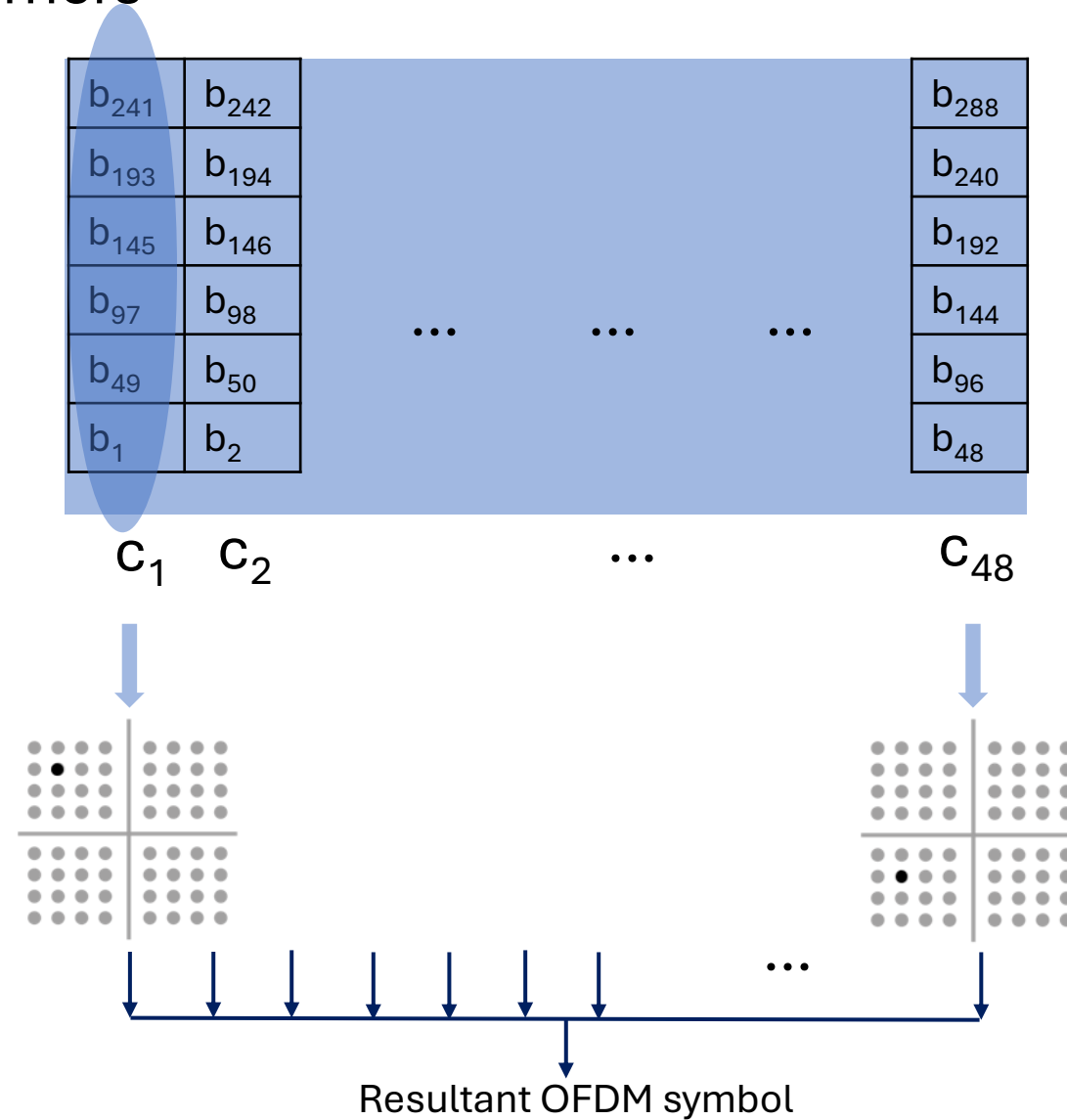


Final transmission

- Combine subcarriers

0, 1, 0, ..., 1

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_{288}$



OFDM και IEEE 802.11

IEEE 802.11

- At 1997 IEEE issued standard IEEE Std. 802.11-1997 for wireless local transmissions at the ISM band.
- The standard defines MAC and PHY layers for wireless local environments.
- Standard 802.11 provides 2Mbps at 2,4GHz ('97).
- Extension 802.11b provides 11Mbps at 2,4GHz ('99).
- Extension 802.11a provides 54Mbps at 5GHz ('99) through OFDM.
- Extension 802.11g offers 54Mbps at 2.4GHz ('02) through OFDM.
- Extension 802.11n offers up to 600Mbps at 2.4/5GHz through MIMO.

IEEE 802.11 Group Standards

IEEE 802.11	The original 1 Mbit/s and 2 Mbit/s , 2.4 GHz RF and IR standard (1999)
IEEE 802.11a	54 Mbit/s, 5 GHz standard (1999, shipping products in 2001)
IEEE 802.11b	Enhancements to 802.11 to support 5.5 and 11 Mbit/s (1999)
IEEE 802.11c	Bridge operation procedures; included in the IEEE 802.1D standard (2001)
IEEE 802.11d	International (country-to-country) roaming extensions (2001)
IEEE 802.11e	Enhancements: QoS, including packet bursting (2005)
IEEE 802.11f	Inter-Access Point Protocol (2003) Withdrawn February 2006
IEEE 802.11g	54 Mbit/s, 2.4 GHz standard (backwards compatible with b) (2003)
IEEE 802.11h	Spectrum Managed 802.11a (5 GHz) for European compatibility (2004)
IEEE 802.11i	Enhanced security (2004)
IEEE 802.11j	Extensions for Japan (2004)

IEEE 802.11 Group Standards

IEEE 802.11k	Radio resource measurement enhancements
IEEE 802.11l	(reserved and will not be used)
IEEE 802.11m	Maintenance of the standard; odds and ends.
IEEE 802.11n	Higher throughput improvements using MIMO (multiple input, multiple output antennas)
IEEE 802.11o	(reserved and will not be used)
IEEE 802.11p	WAVE - Wireless Access for the Vehicular Environment (such as ambulances and passenger cars)
IEEE 802.11q	(reserved and will not be used, can be confused with 802.1Q VLAN trunking)
IEEE 802.11r	Fast roaming Working "Task Group r"
IEEE 802.11s	ESS Mesh Networking
IEEE 802.11T	Wireless Performance Prediction (WPP) - test methods and metrics Recommendation
IEEE 802.11u	Interworking with non-802 networks (for example, cellular)
IEEE 802.11v	Wireless network management
IEEE 802.11w	Protected Management Frames
IEEE 802.11x	(reserved and will not be used)
IEEE 802.11y	3650-3700 Operation in the U.S.

Physical layer extensions

- IEEE 802.11b
 - Compatible MAC as in 802.11
 - Larger data rates in 2.4 GHz (11Mbps)
 - Direct Sequence Spread Spectrum (FDM)
- IEEE 802.11a
 - Compatible MAC as in 802.11
 - 5 GHz band
 - OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - data rates up to 54 Mbps
- IEEE 802.11g
 - Compatible MAC as in 802.11
 - Larger data rates at 2.4 GHz (up to 54Mbps)
 - OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

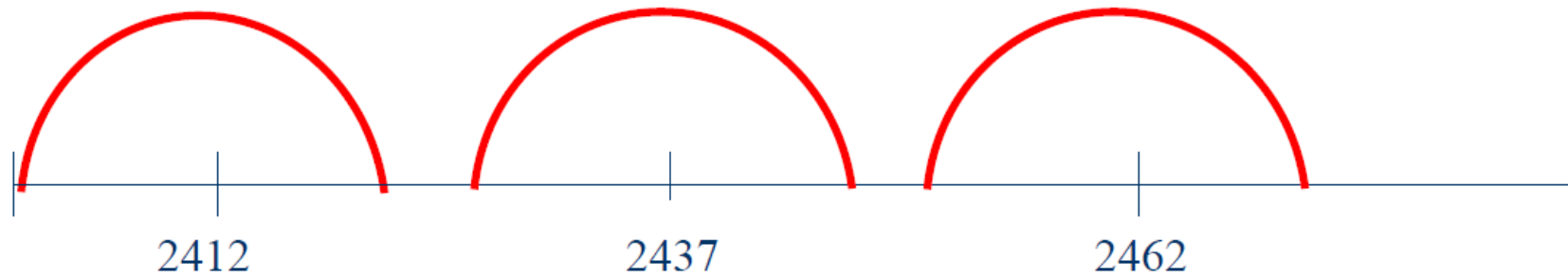
Physical layer extensions

	HR (802.11b) 1999	OFDM (802.11a) 1999	ERP (802.11g) 2003	HT (802.11n) 2009	VHT (802.11ac) 2014	HE (802.11ax) 2020
Wi-Fi Gen. (WFA)	Wi-Fi 1*	Wi-Fi 2*	Wi-Fi 3*	Wi-Fi 4 	Wi-Fi 5 	Wi-Fi 6 
Frequency	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz / 5 GHz	5 GHz	2.4 GHz / 5 GHz
Channel Width	22 MHz	20 MHz	20 MHz	20/40 MHz	20/40/80/160 MHz	20/40/80/160 MHz
Spatial Streams	1	1	1	4	8	8
Data Rate	1, 2, 5.5, 11 Mbps	Up to 54 Mbps	Up to 54 Mbps	Up to 600 Mbps	6.933 Gbps	9.607 Gbps
MIMO	No	No	No	Yes	Yes	Yes
MU-MIMO	No	No	No	No	DL	DL & UL
Max Modulation	QPSK	64 QAM	64 QAM	64 QAM	256 QAM	1024 QAM
Subcarrier Size	n/a	312.5 kHz	312.5 kHz	312.5 kHz	312.5 kHz	78.125 kHz
Symbol Duration	n/a	3.2 µs	3.2 µs	3.2 µs	3.2 µs	12.8 µs
Guard Interval	n/a	0.8µs	0.8µs	0.8, 0.4 µs	0.8, 0.4 µs	0.8, 1.6, 3.2 µs
OFDMA	No	No	No	No	No	Yes

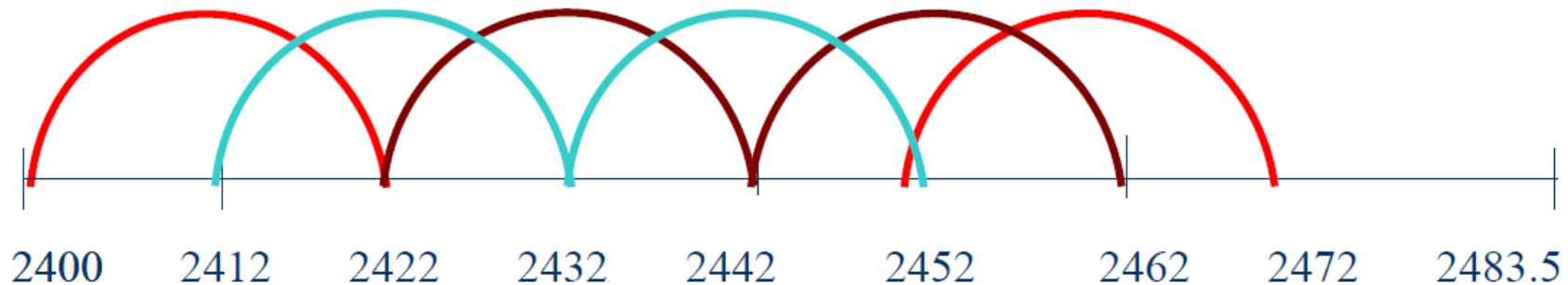
* Wi-Fi 1, Wi-Fi 2, and Wi-Fi 3 are not being branded because they are older technologies and their usage is low.

WiFi Channels

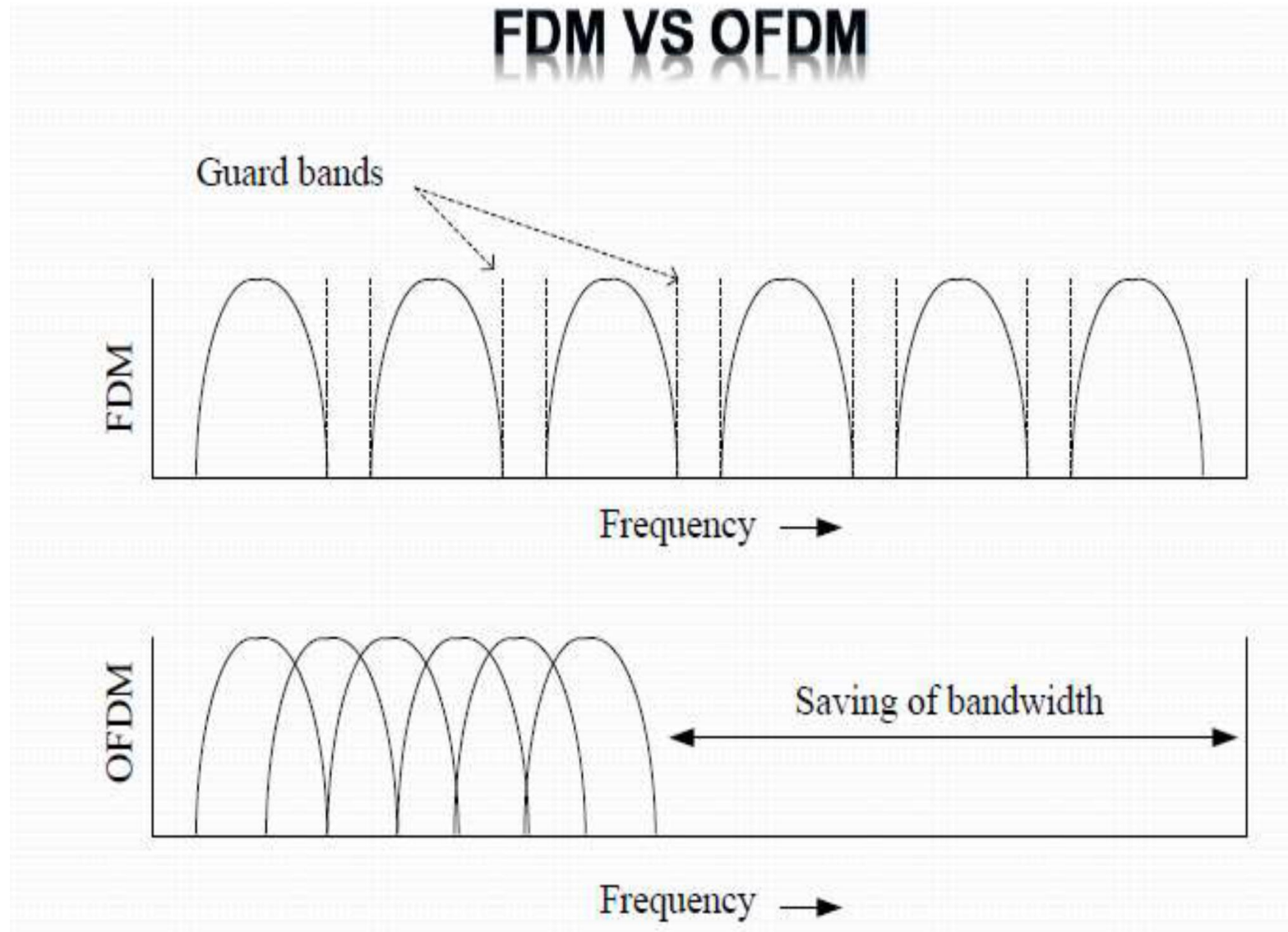
Non overlapping channels



Overlapping channels

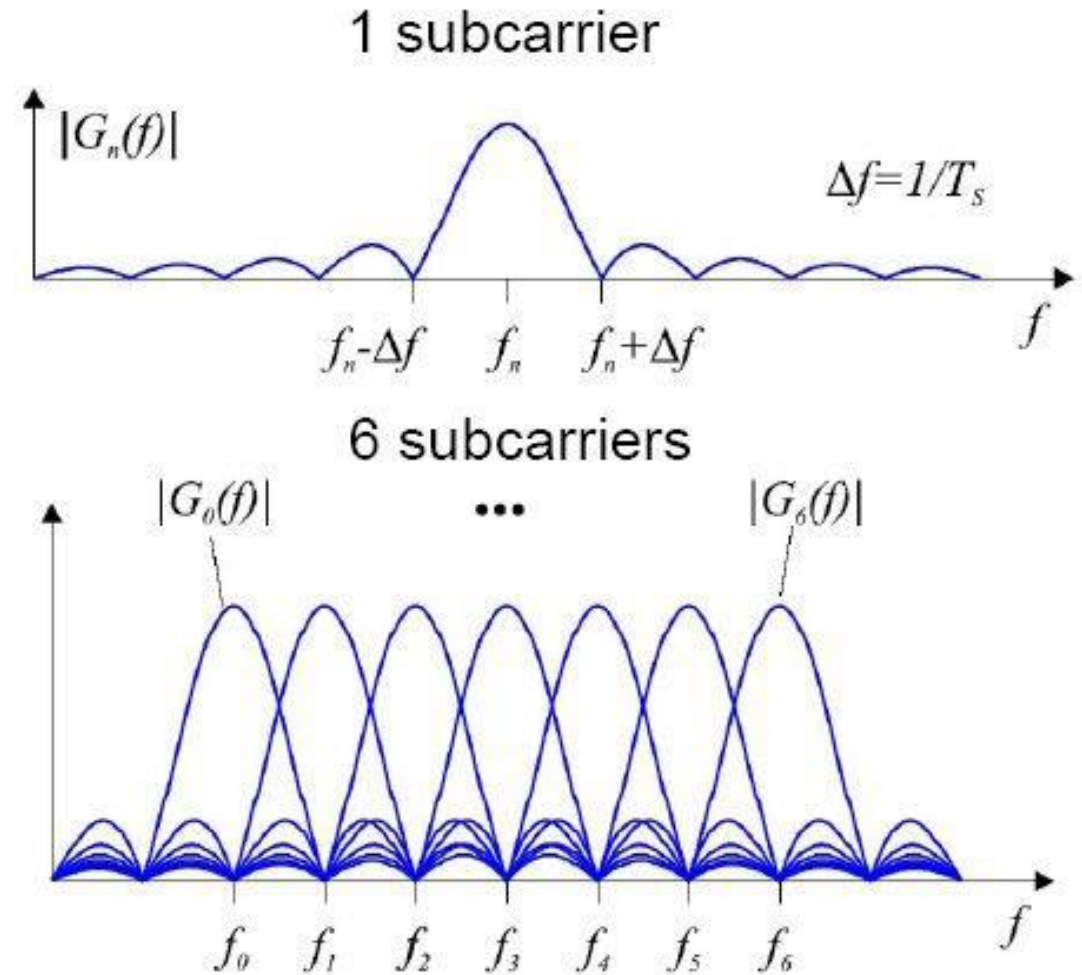


OFDM



OFDM

- Improved spectral efficiency
- Reduce ISI effect by multipath

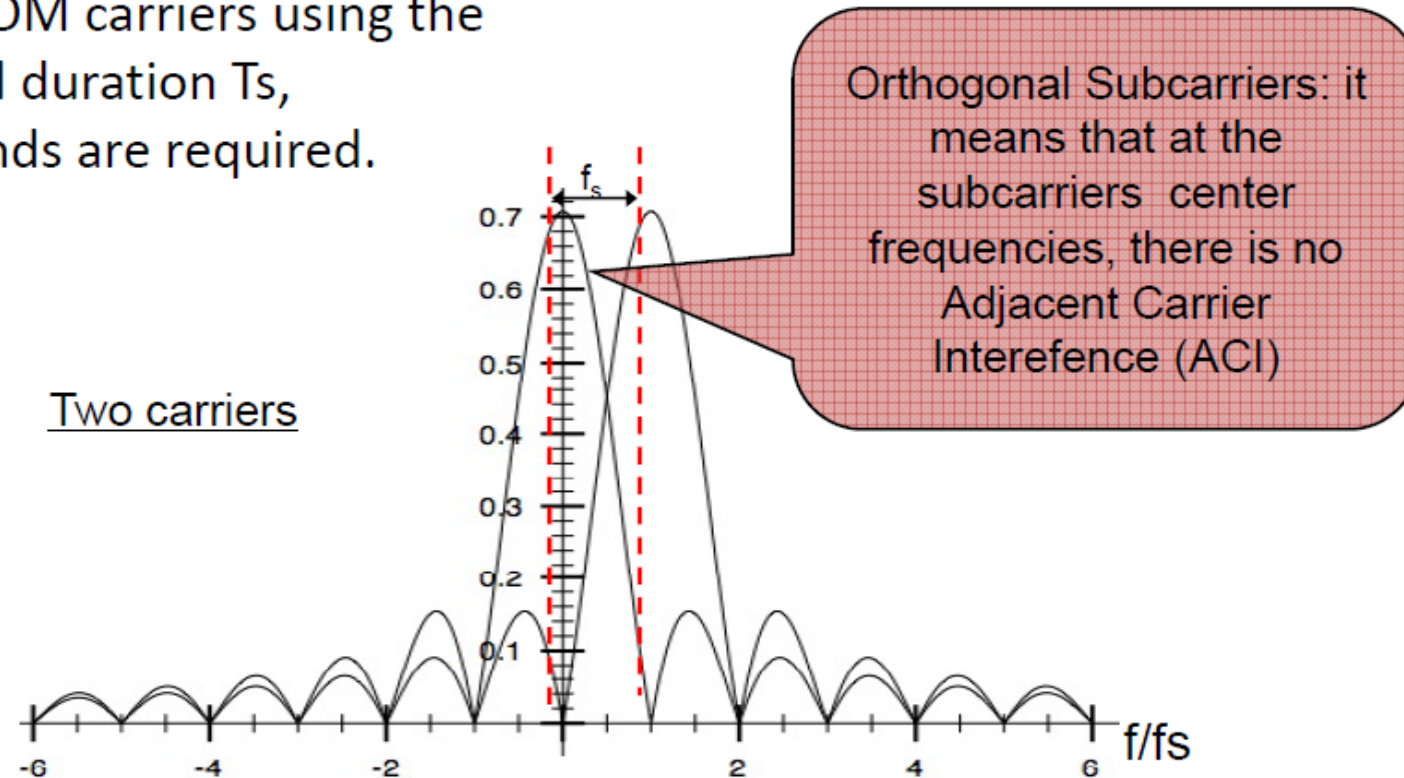


OFDM: Orthogonal Frequency Division Multi-Carrier

Thus OFDM simply places the next carrier exactly in the first null point of the previous one.

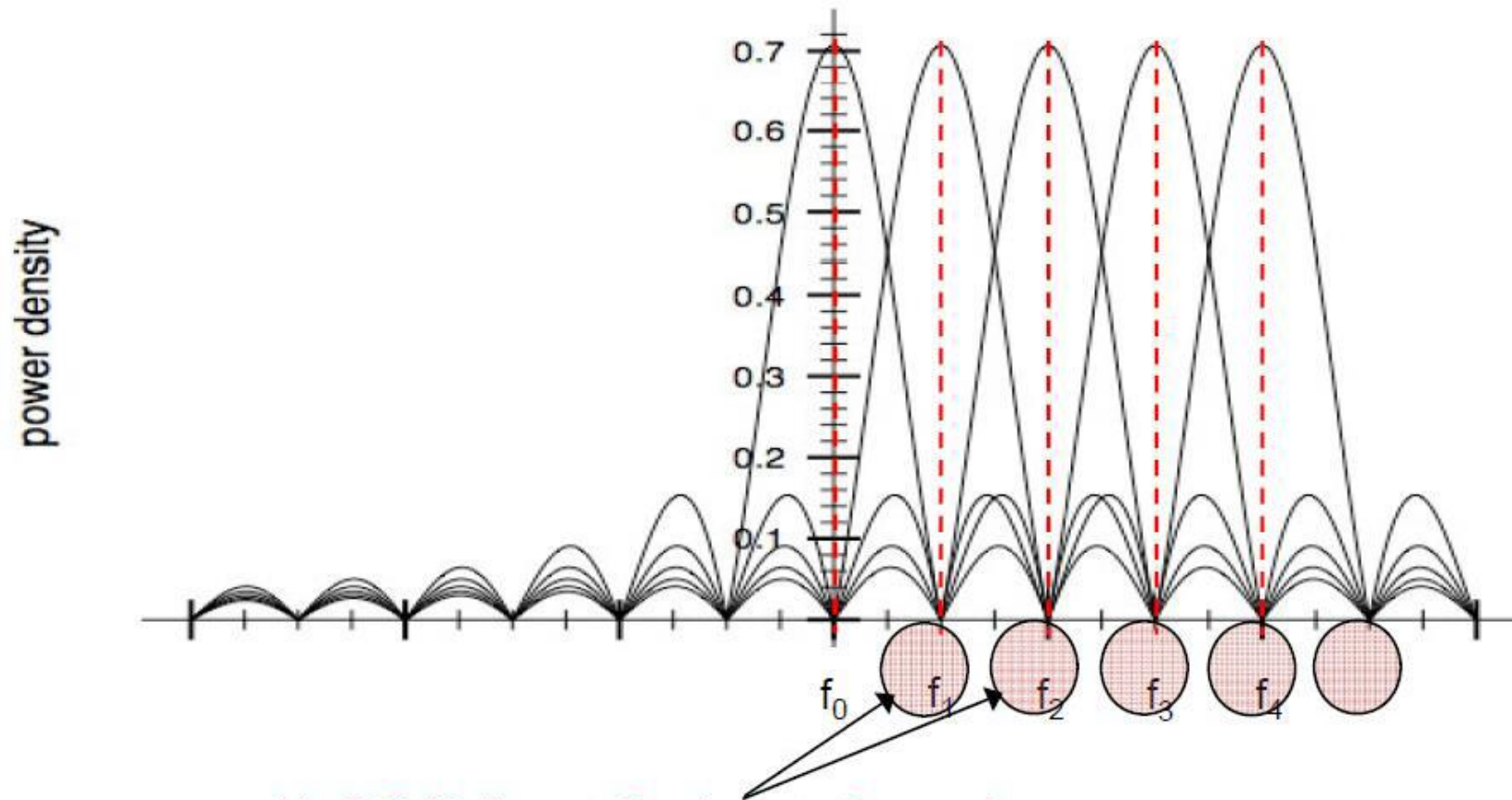
With this we don't need any pulse-shaping.

Between OFDM carriers using the same symbol duration T_s , no guard bands are required.



Spectrum Overlapping of multiple OFDM carriers

$$f_n = f_0 + n f_s = f_0 + n \frac{1}{T_s} \quad n = \dots -1, 0, 1, 2, \dots$$

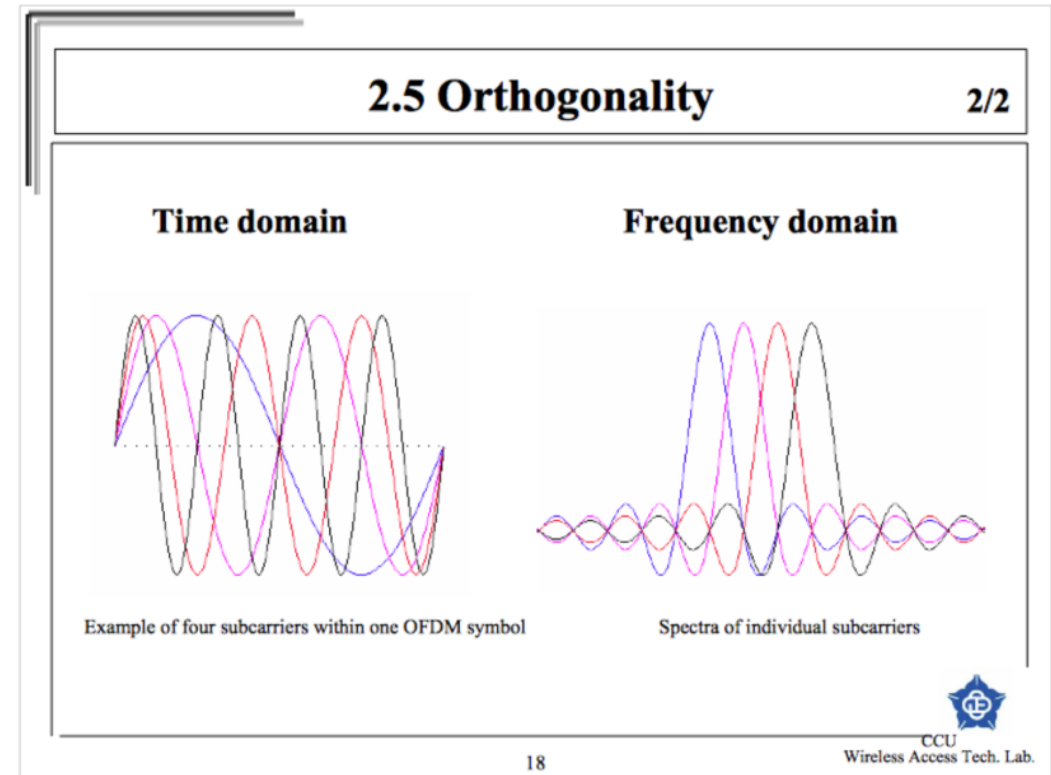


No ACI (Adjacent Carrier Interference)

OFDM

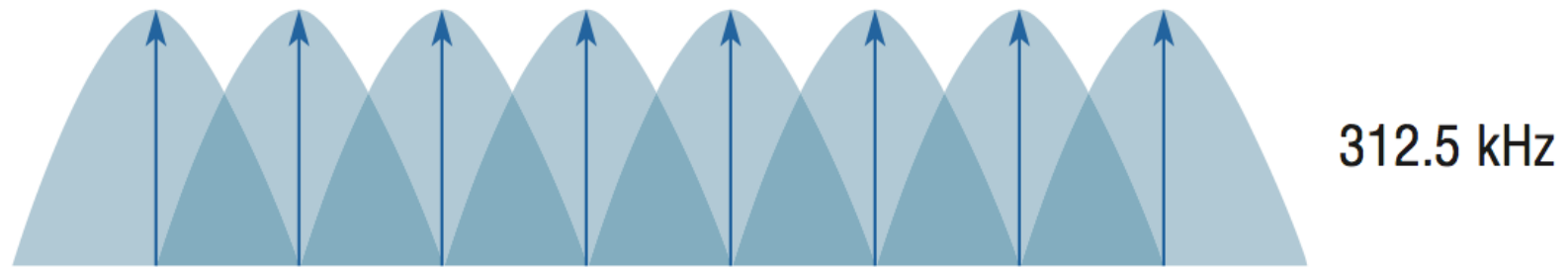
Orthogonality

The peak of one subcarrier coincides with the null of an adjacent subcarrier.

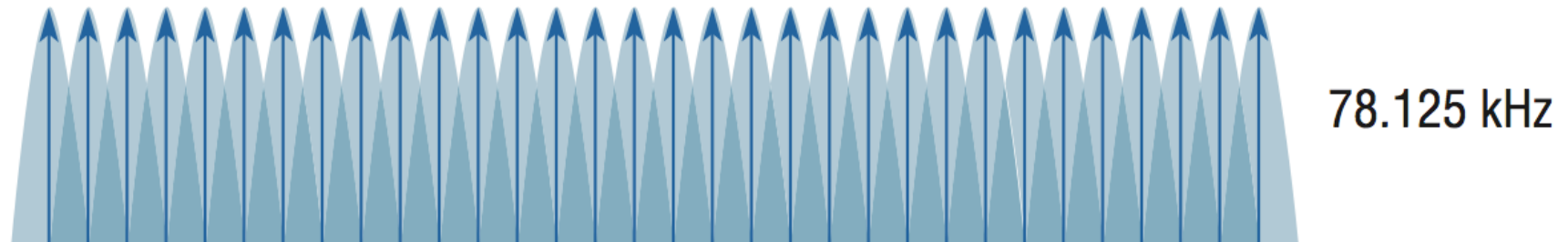


OFDM

802.11a/g/n/ac subcarriers



802.11ax subcarriers

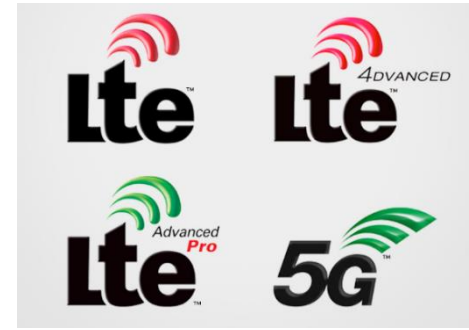


Σύγκριση Εκδόσεων Πρωτοκόλλου 802.11

Characteristics	802.11	802.11b	802.11a	802.11g
Modulation	FH/DSSS	DSSS	OFDM	OFDM
Carrier Frequency	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz
Max Physical Rate	2 Mb/s	11 Mb/s	54 Mb/s	54 Mb/s
Max Data Rate, Layer 3	1.2 Mb/s	5 Mb/s	32 Mb/s	32 Mb/s
Medium Access Control / Media Sharing	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
Connectivity	Conn.-less	Conn.-less	Conn.-less	Conn.-less
Multicast	Yes	Yes	Yes	Yes

OFDM και LTE

LTE



- In Nov. 2004, 3GPP began a project to define the long-term evolution (LTE) of Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) cellular technology
 - Higher performance
 - Backwards compatible
 - Wide application

3GPP



Standards organizations and other related bodies have agreed to co-operate for the production of **a complete set of globally applicable** Technical Specifications for a 3rd Generation Mobile System based on the **evolved GSM** core networks and the radio access technologies supported by 3GPP partners (i.e., UTRA both FDD and TDD modes).

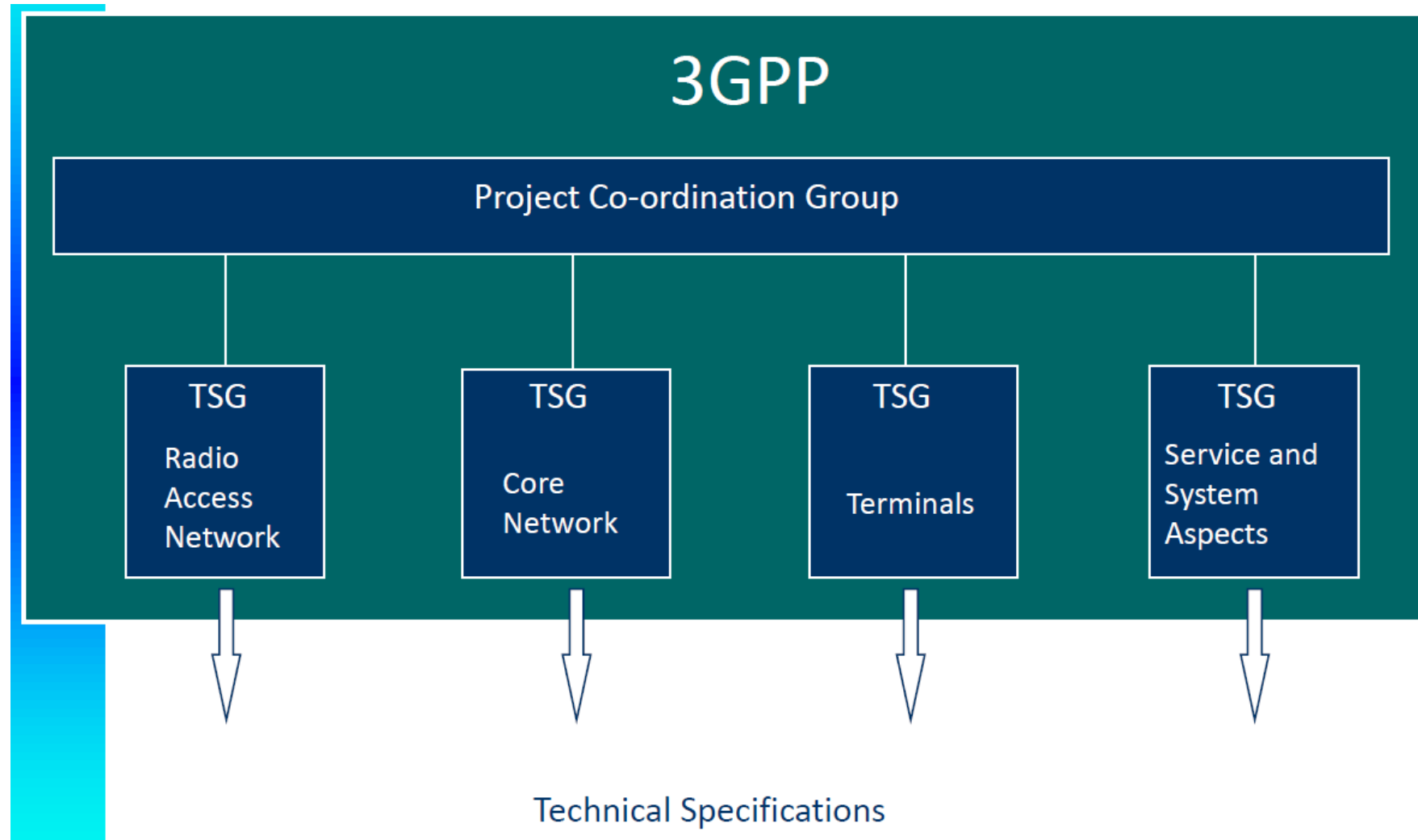
The Project is entitled the “Third Generation Partnership Project” and may be known by the acronym “3GPP”.

3GPP has been established for the preparation and maintenance of the above mentioned Technical Specifications, and is not a legal entity.

3GPP

- 3GPP composition
 - Partners
 - Organizational Partners
 - 3GPP is open to all standards organizations irrespective of the geographical location
 - Market Representation Partners
 - Individual Members
- 3GPP is characterized by the following attributes:
 - Minimum production time for Technical Specifications from conception to approval
 - Fast, electronic based approval process
 - Maximum use of modern (electronic) working methods
 - Minimum number of hierarchical levels with decision making taking place at the lowest appropriate levels

Internal structure of 3GPP



3GPP Meetings



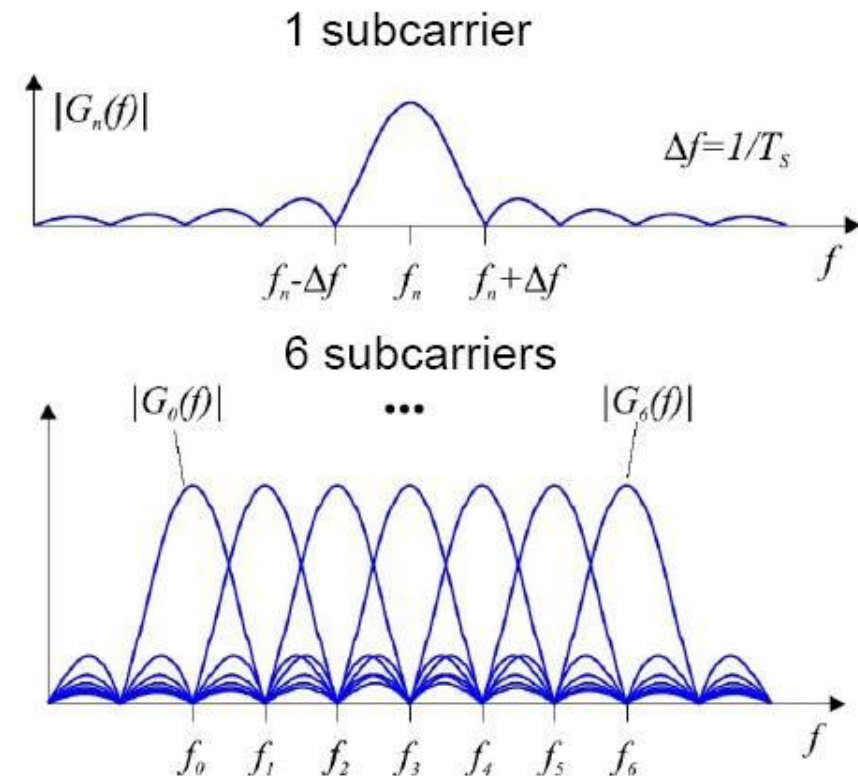


Consortium

- **ARIB** The Association of Radio Industries and Businesses, Japan
- **ATIS** The Alliance for Telecommunications Industry Solutions, USA
- **CCSA** China Communications Standards Association
- **ETSI** The European Telecommunications Standards Institute
- **TTA** Telecommunications Technology Association, Korea
- **TTC** Telecommunication Technology Committee, Japan

LTE Transmission Techniques

- LTE employs Orthogonal Frequency Division Multiple Access (**OFDMA**) for downlink data transmission and Single Carrier FDMA (**SC-FDMA**) for uplink transmission
- Improved spectral efficiency
- Reduce ISI effect by multipath
- Against frequency selective fading

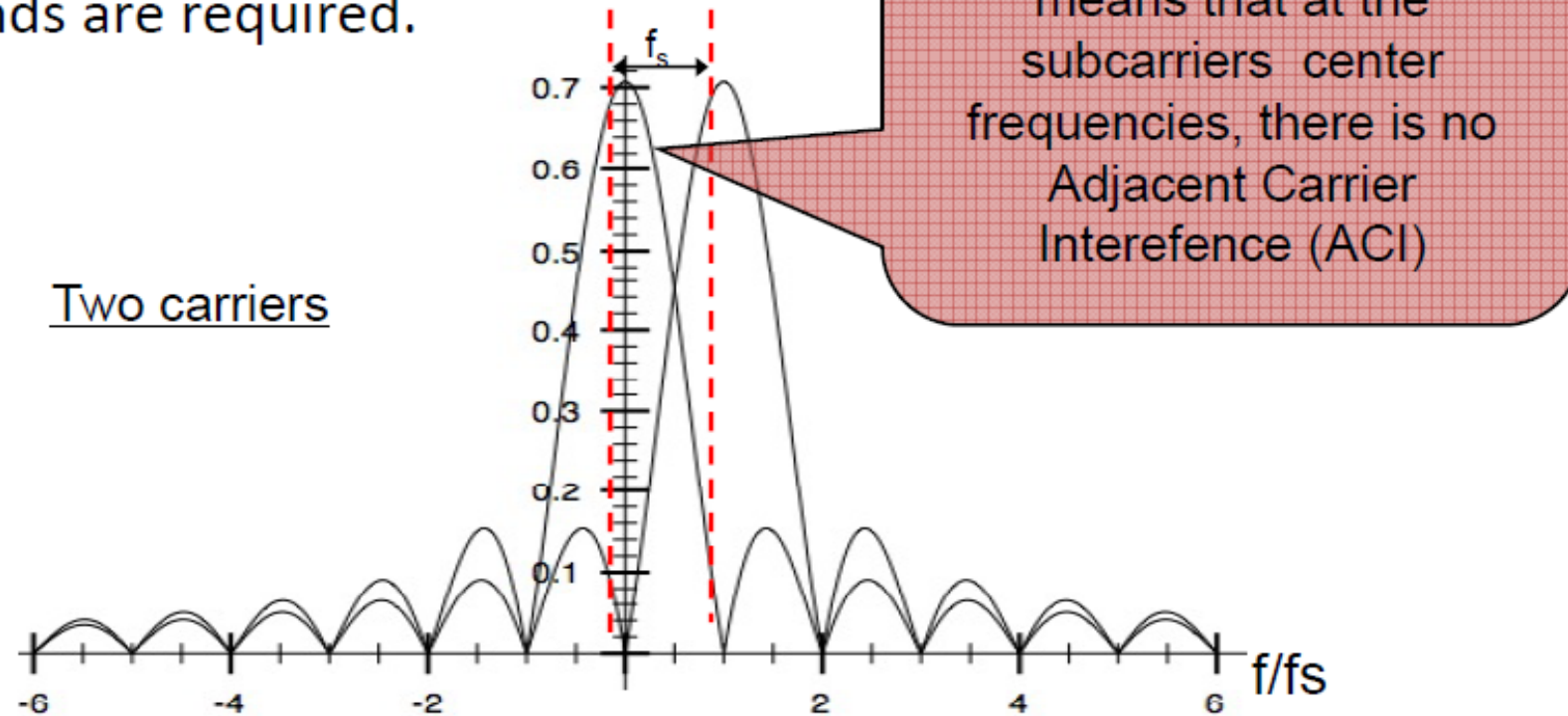


OFDM: Orthogonal Frequency Division Multi-Carrier

Thus OFDM simply places the next carrier exactly in the first null point of the previous one.

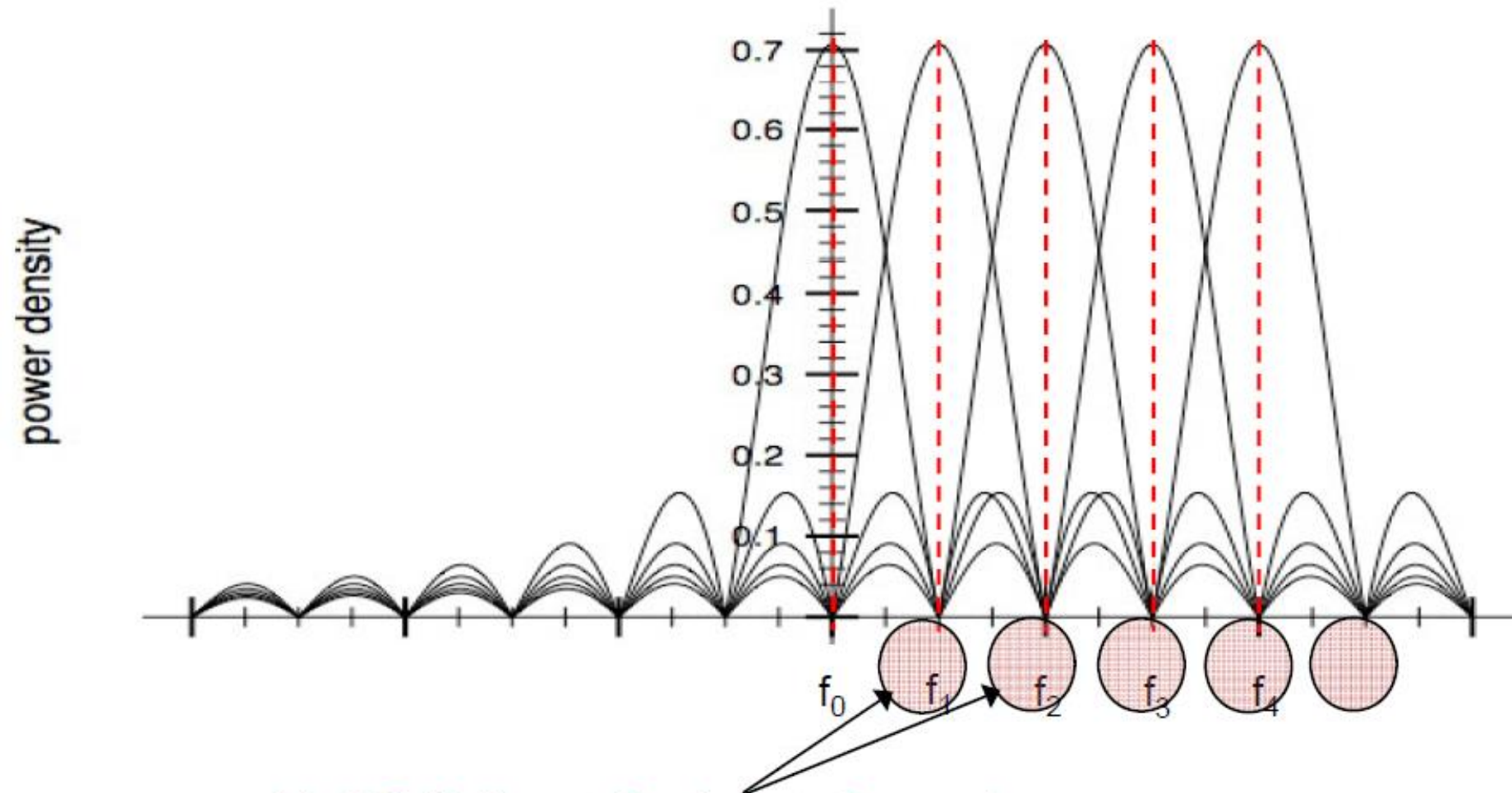
With this we don't need any pulse-shaping.

Between OFDM carriers using the same symbol duration T_s , no guard bands are required.



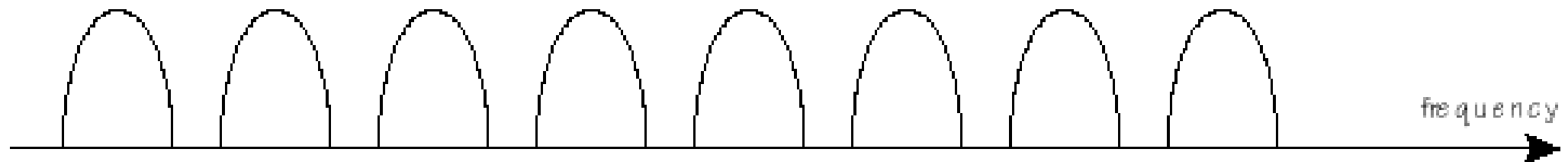
Spectrum Overlapping of multiple OFDM carriers

$$f_n = f_0 + nf_s = f_0 + n \frac{1}{T_s} \quad n = \dots -1, 0, 1, 2, \dots$$

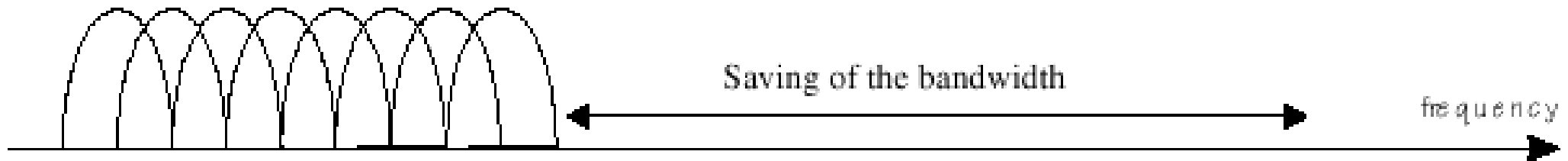


No ACI (Adjacent Carrier Interference)

FDM vs. OFDM



Conventional Frequency Division Multiplex (FDM) multicarrier modulation technique

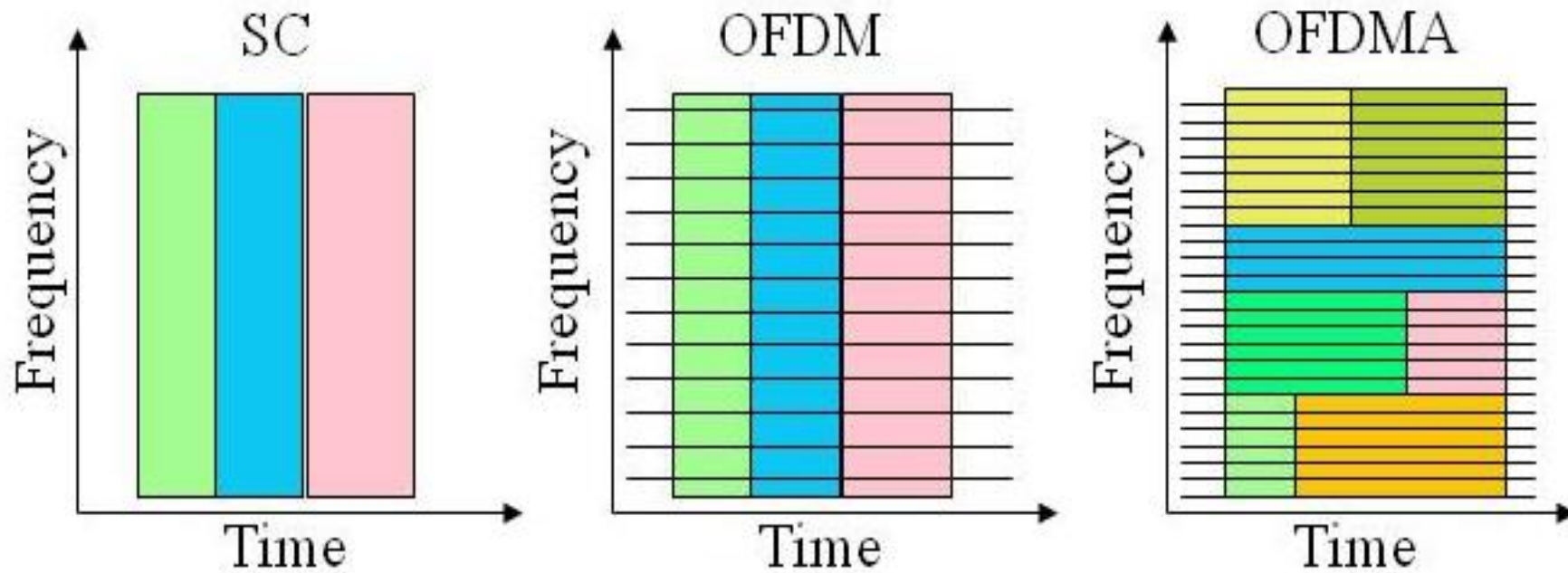


Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) multicarrier modulation technique

Άλλες Εφαρμογές της OFDM

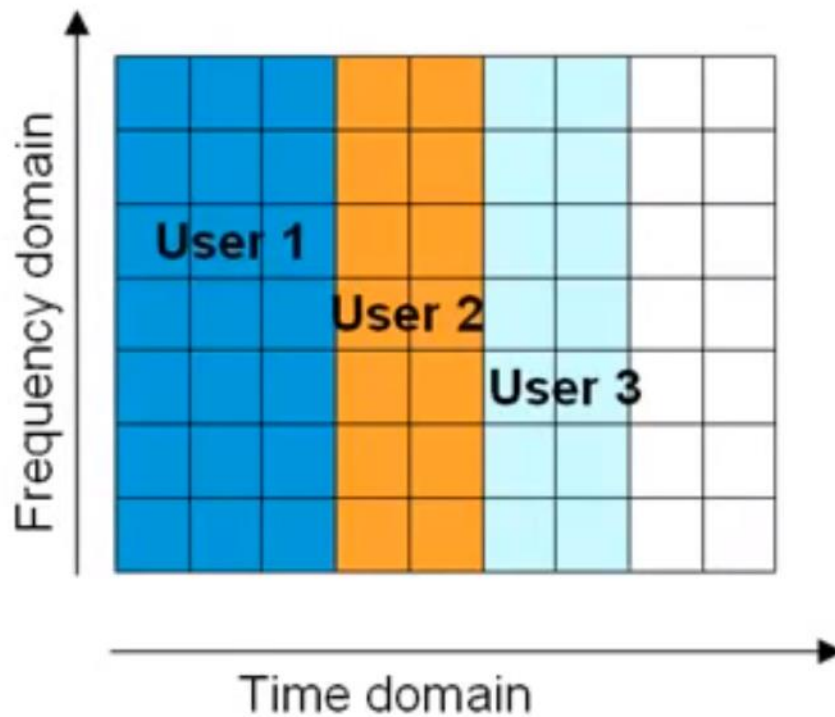
- Ευρυεκπομπή επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης (Digital video broadcasting – terrestrial (**DVB-T**))
 - Χρήση της coded OFDM (COFDM), μια παραλλαγή της OFDM που περιλαμβάνει και σχήμα διόρθωσης λαθών
 - Πρακτικά, σήμερα $OFDM \equiv COFDM$
- (Πολύ υψηλής ταχύτητας) Ασύμμετρη ψηφιακή γραμμή συνδρομητή ((Very high-speed) Asymmetric digital subscriber line (**VDSL / ADSL**))
 - Χρήση της διακριτής πολυτονικής διαμόρφωσης (discrete multitone modulation (DMT))
 - Πρακτικά, OFDM με επιπλέον χρήση bit loading
- Επικοινωνίας γραμμής ρεύματος (Power-line communication (**PLC**))
 - Μεταφορά σημάτων πληροφορίας μέσω ηλεκτρικού δικτύου
 - Πρακτικά, χρήση κλασικού OFDM

SC/OFDM/OFDMA

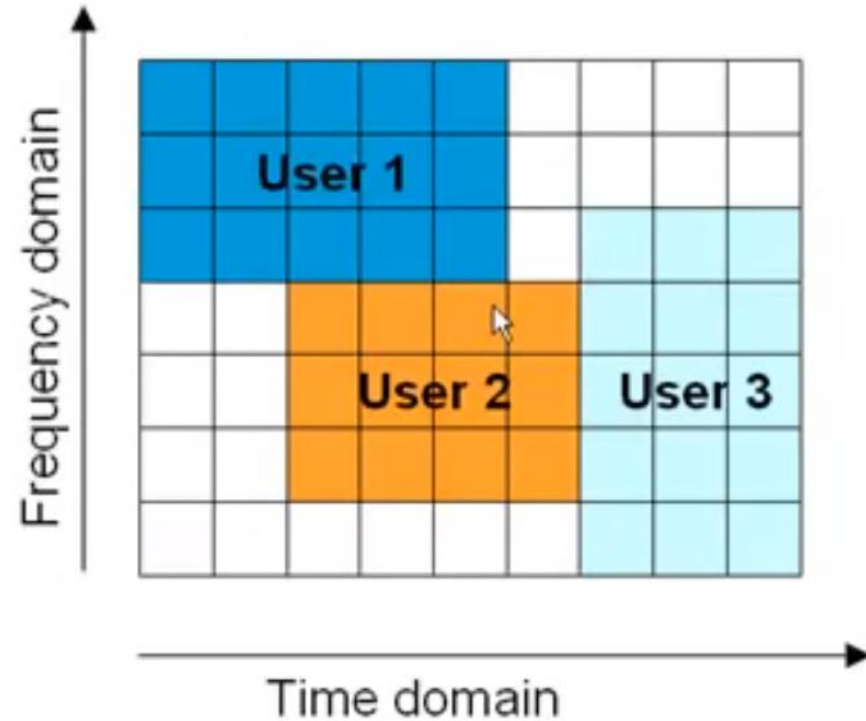


OFDMA allocation

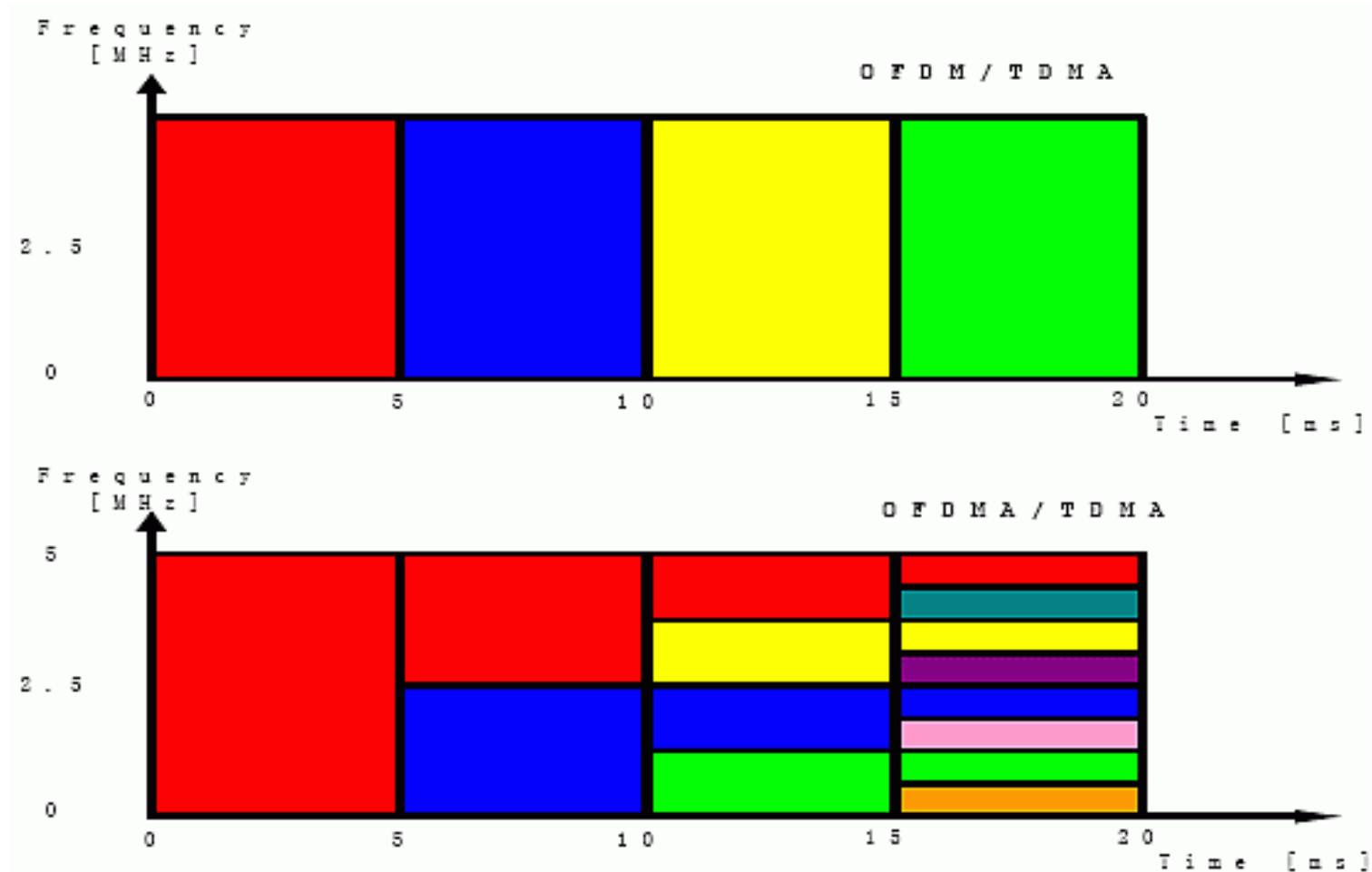
I OFDM allocates users in time domain only



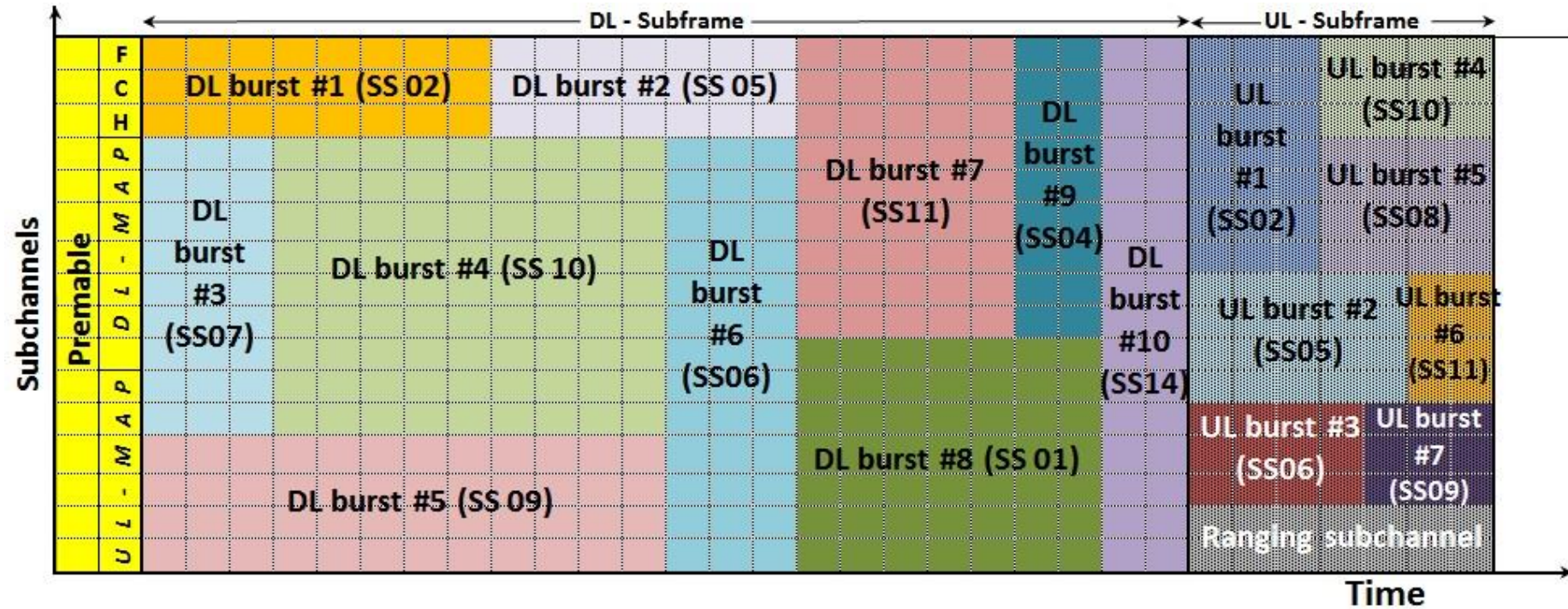
I OFDMA allocates users in time and frequency domain



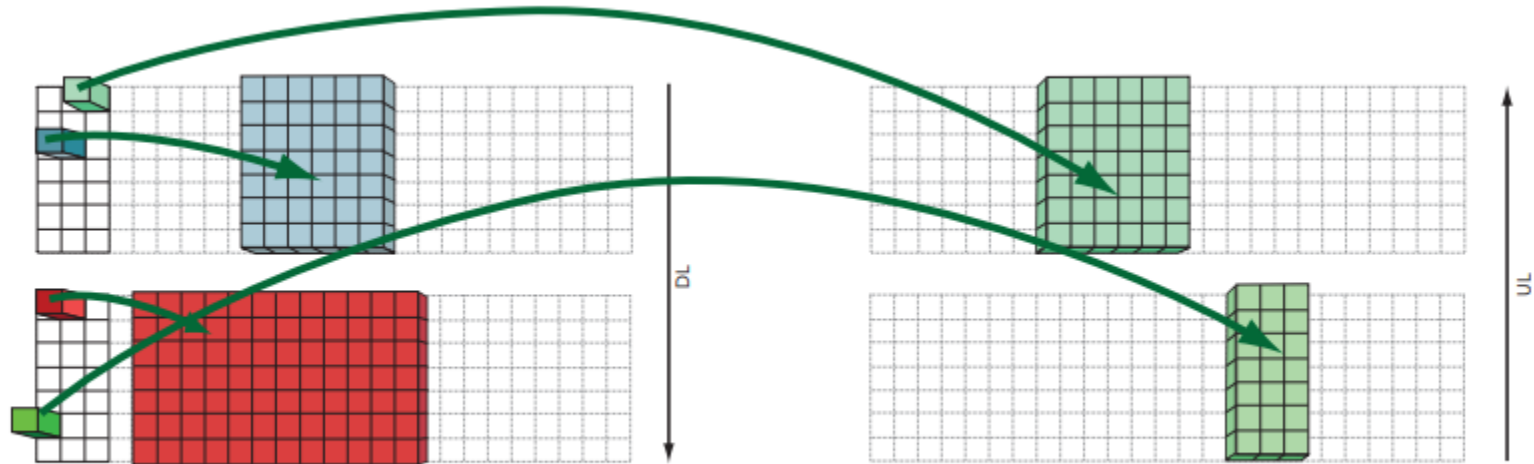
OFDMA allocation



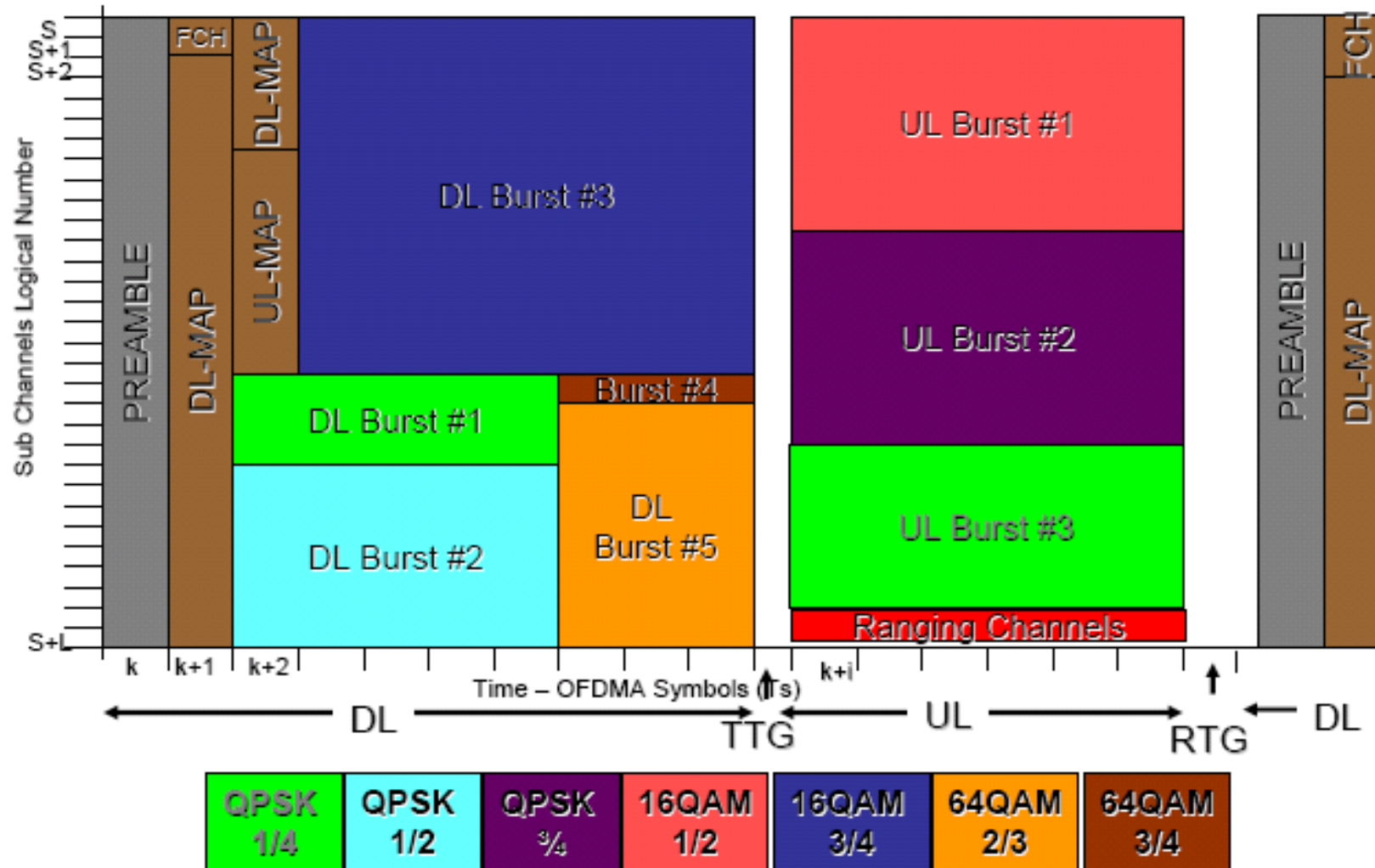
OFDMA/TDD structure



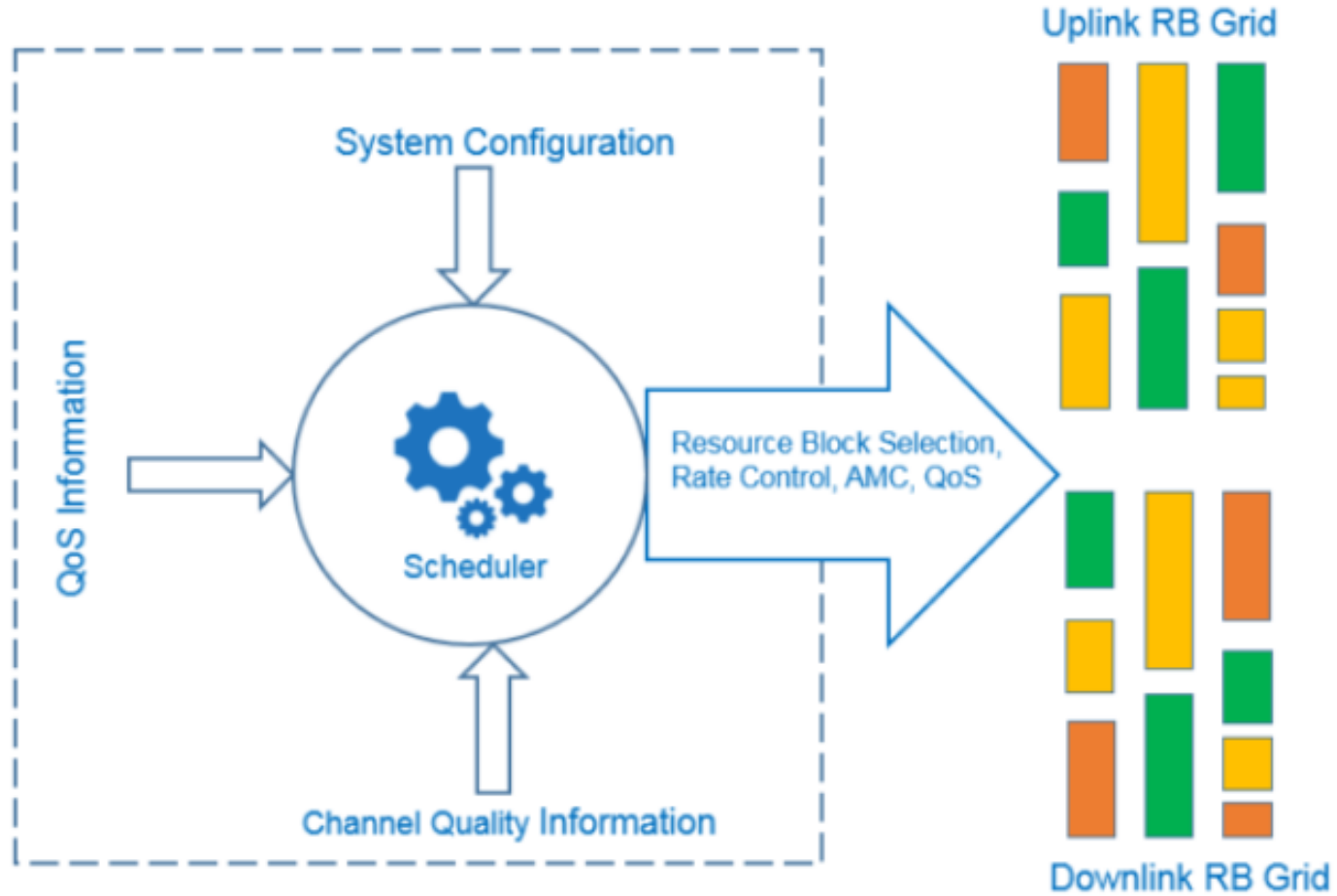
OFDMA/TDD structure



OFDMA/TDD structure



Traffic Scheduling



Traffic Scheduling

