



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

# Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνιών

Τεχνικές Πολλαπλής και Τυχαίας Πρόσβασης

Δημοσθένης Βουγιούκας (dnougiou@aegean.gr)

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# 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 Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Δομή της Διάλεξης

- ◆ Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης
  - FDMA
  - TDMA
  - CDMA
  - SDMA
- ◆ Τεχνικές Τυχαίας Πρόσβασης
  - ALOHA
  - CSMA
  - MACA
  - DAMA
  - PRMA

# Πρόσβαση στο Δίαυλο

- ◆ Το ραδιοφάσμα είναι περιορισμένο (φυσικός πόρος).
- ◆ Απαιτούνται αποδοτικές τεχνικές διαμοιρασμού των διαθέσιμων διαύλων σε διαφορετικούς χρήστες.
- ◆ Εφαρμογές όπως η φωνή και το Video απαιτούν συνεχή μετάδοση και άρα αποκλειστικούς διαύλους για τη διάρκεια μιας κλήσης.
- ◆ Η μετάδοση με τη μορφή πακέτων είναι συνήθως σε ριπές.

# Πρόσβαση στο Δίαυλο

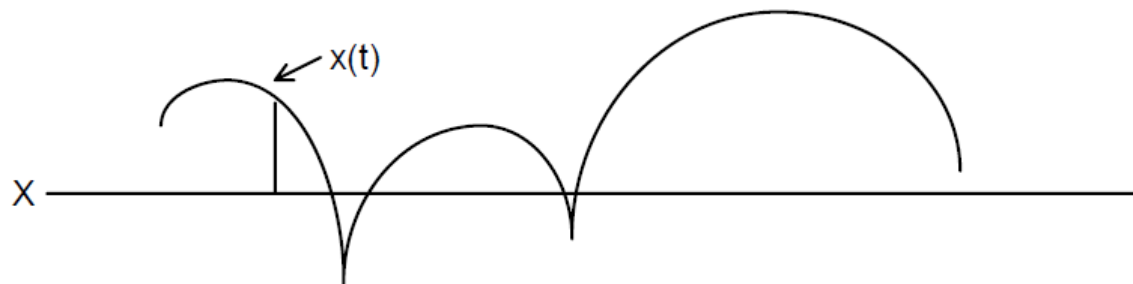
- ◆ Οι τεχνικές που αποδίδουν αποκλειστικούς διαύλους καλούνται **τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης**.
- ◆ Οι τεχνικές που αποδίδουν διαύλους τυχαία, δηλαδή δεν εξασφαλίζεται πρόσβαση στο δίαυλο, καλούνται **τεχνικές τυχαίας πρόσβασης**.
- ◆ Κάθε τύπος έχει επιμέρους παραλλαγές.
- ◆ Η επιλογή της τεχνικής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της τηλεπικοινωνιακής κίνησης του συστήματος, αλλά και τη συμβατότητα με άλλα συστήματα.

# Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης

- ◆ Διαφορετικοί χρήστες μπορούν να μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης όταν τα σήματά τους είναι ορθογώνια μεταξύ τους.
- ◆ Ορθογωνιότητα σημαίνει μηδενική (ιδανικά) ετεροσυσχέτιση, ώστε τα σήματα να είναι διαχωρίσιμα στο δέκτη.
- ◆ Όλες οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης επιτυγχάνουν ορθογωνιότητα σε διαφορετικά όμως πεδία.

# Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης Narrowband Systems

- ◆ Transmission experiences nonselective fading. This means that when fades occur, all of the information (i.e. the whole channel) is affected.
- ◆ Channel system : generally total spectrum is divided into a number of relatively narrow radio channels (e.g. FDMA). Occurrence of call blocking if channels are all being used. Unused bandwidth in each channel cannot be used by other users





# Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης Wideband Systems

- ◆ The main feature of wideband systems is that either all the spectrum available (e.g. CDMA, TDMA) or a considerable portion of it is used by each user (e.g. TDMA+FDMA).
- ◆ The advantage of wideband systems is that the transmission bandwidth always exceeds the coherence bandwidth for which the signal experiences only selective fading. That is, only a small fraction of the frequencies composing the signal is affected by fading.
- ◆ Signal can be distorted and therefore equalization is needed but unlikely that a total signal fade will occur.

# Duplexing

- ◆ For voice or data communications, must assure two way communication (duplexing, it is possible to talk and listen simultaneously). Duplexing may be done using frequency or time domain techniques.
  - Forward (downlink) band provides traffic from the BS to the mobile
  - Reverse (uplink) band provides traffic from the mobile to the BS.

# Frequency division duplexing (FDD)

- ◆ Provides two distinct bands of frequencies for every user, one for downlink and one for uplink.
- ◆ A large interval between these frequency bands must be allowed so that interference is minimized.

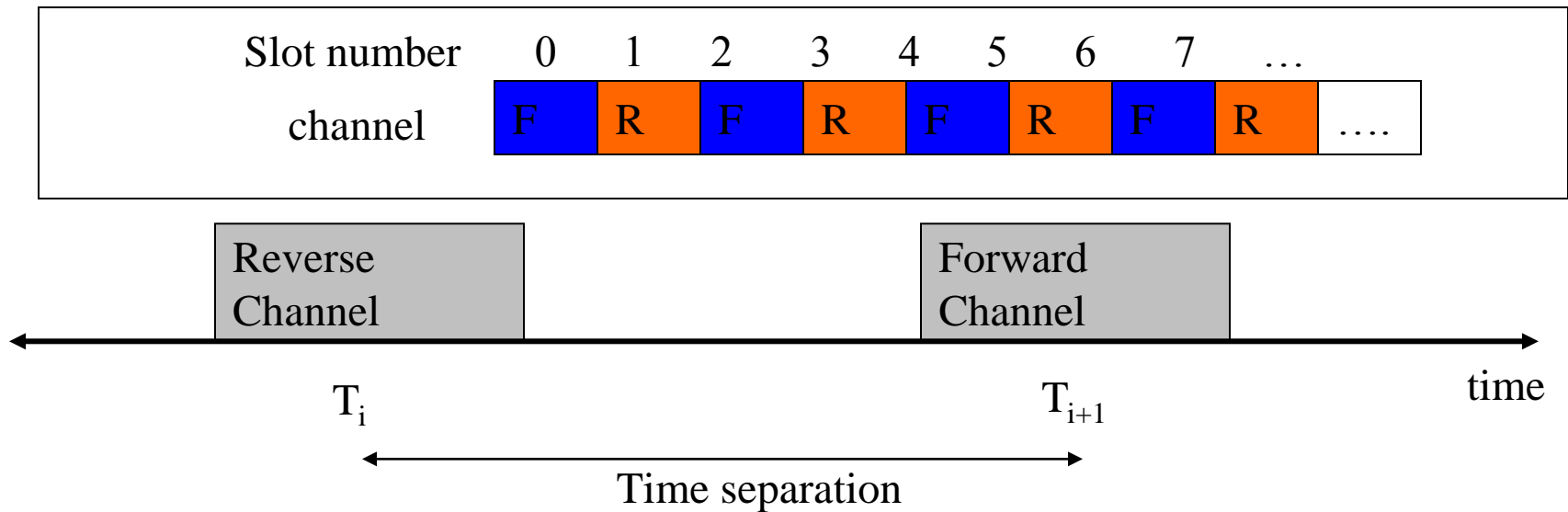


Frequency separation should be carefully decided  
Frequency separation is constant

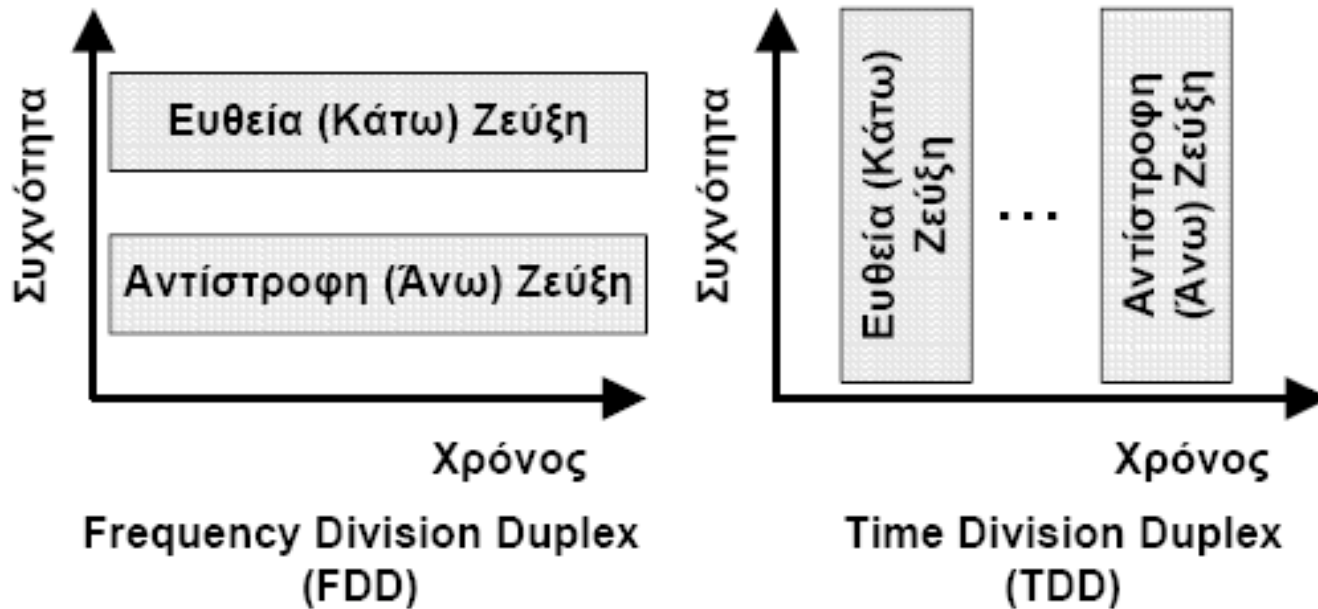
# Time division duplexing (TDD)

- ◆ In TDD communications, both directions of transmission use one contiguous frequency allocation, but two separate time slots to provide both a forward and reverse link.
- ◆ Because transmission from mobile to BS and from BS to mobile alternates in time, this scheme is also known as “ping pong”.
- ◆ As a consequence of the use of the same frequency band, the communication quality in both directions is the same. This is different from FDD.

# Time division duplexing (TDD)



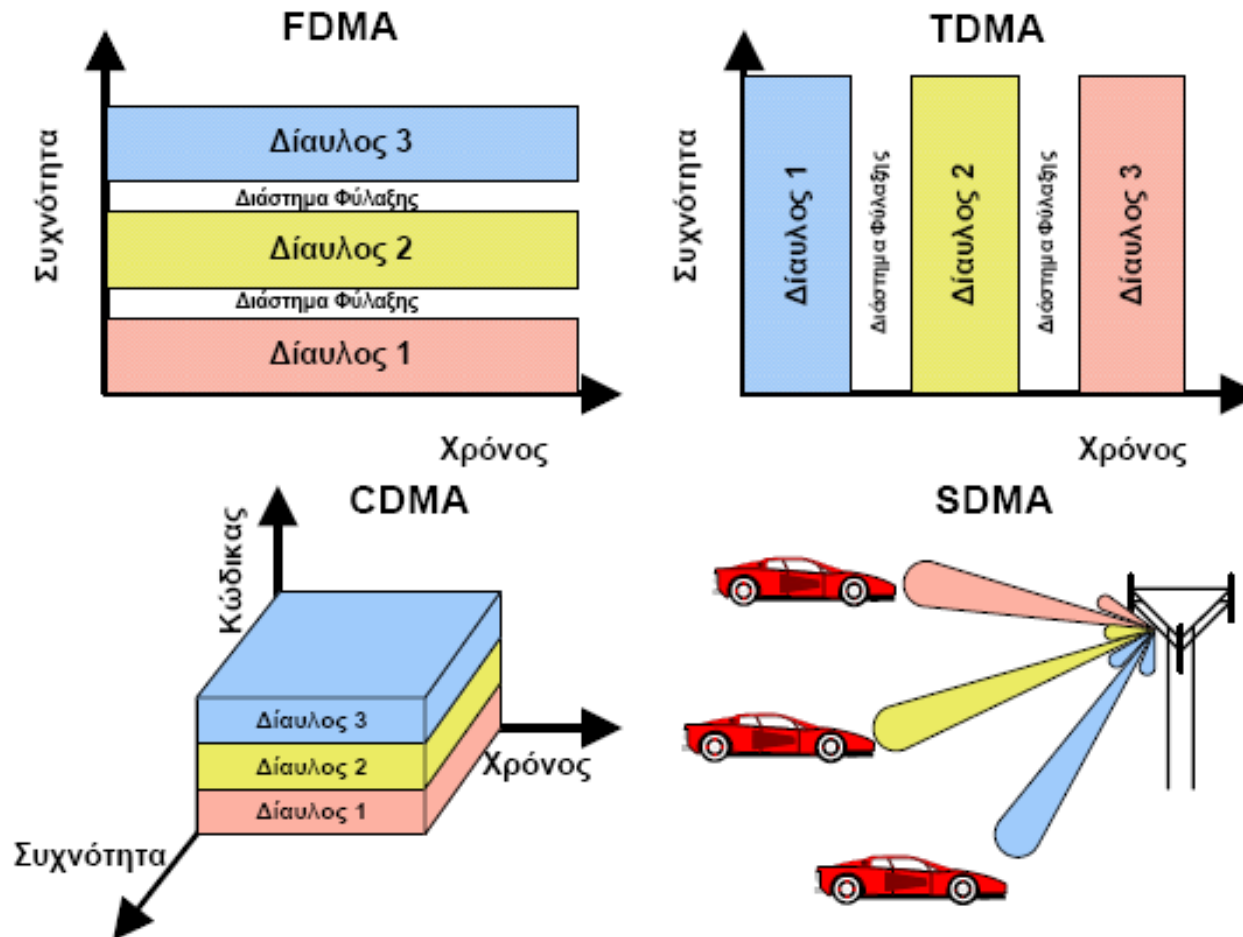
# Τύποι Διαύλων Επικοινωνίας



# Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης

- ◆ Απόδοση αποκλειστικών διαύλων σε διαφορετικούς χρήστες.
- ◆ Διαίρεση (ορθογωνιότητα-διαχωρισμός) Συχνότητας, **Frequency Division Multiple Access (FDMA)**
- ◆ Διαίρεση (ορθογωνιότητα-διαχωρισμός) Χρόνου, **Time Division Multiple Access (TDMA)**
- ◆ Διαίρεση (ορθογωνιότητα-διαχωρισμός) Κώδικα, **Code Division Multiple Access (CDMA)**
- ◆ Διαίρεση (ορθογωνιότητα-διαχωρισμός) Χώρου, **Space Division Multiple Access (SDMA)**
- ◆ Υβριδικοί Συνδυασμοί (π.χ. FDMA/TDMA στο GSM)

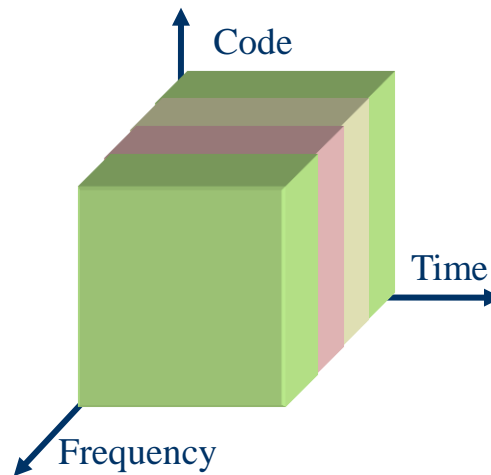
# Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης





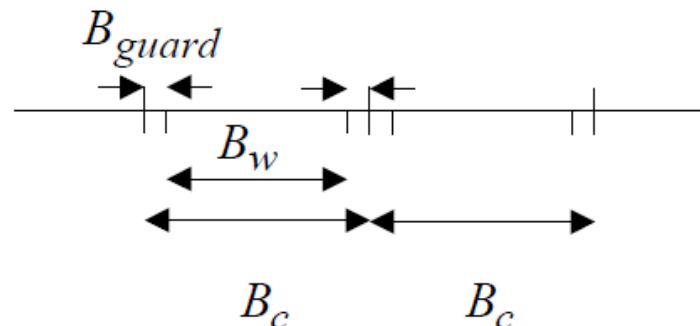
# Frequency Division Multiple Access (FDMA)

- ◆ In FDMA, each user is allocated a unique frequency band or channel. During the period of the call, no other user can share the same frequency band.



# Frequency Division Multiple Access (FDMA)

- ◆ All channels in a cell are available to all the mobiles. Channel assignment is carried out on a first-come first-served basis.
- ◆ The number of channels, given a frequency spectrum  $B_T$ , depends on the modulation technique (hence  $B_w$  or  $B_c$ ) and the guard bands between the channels  $2B_{guard}$ . These guard bands allow for imperfect filters and oscillators and can be used to minimize adjacent channel interference.
- ◆ FDMA is usually implemented in narrowband systems.



# Frequency Division Multiple Access (FDMA)

- ◆ Continuous transmission : the channels, once assigned, are used on a non-time-sharing basis. This means that both subscriber and BS can use their corresponding allotted channels continuously and simultaneously.
- ◆ Narrow bandwidth : Analog cellular systems use 25-30 kHz. Digital FDMA systems can make use of low bit rate speech coding techniques to reduce the channel band even more.
- ◆ If FDMA channels are not in use, then they sit idle and cannot be used by other users to increase capacity.
- ◆ Low ISI : Symbol time is large compared to delay spread. No equalizer is required (Delay spread is generally less than a few  $\mu\text{s}$  – flat fading).

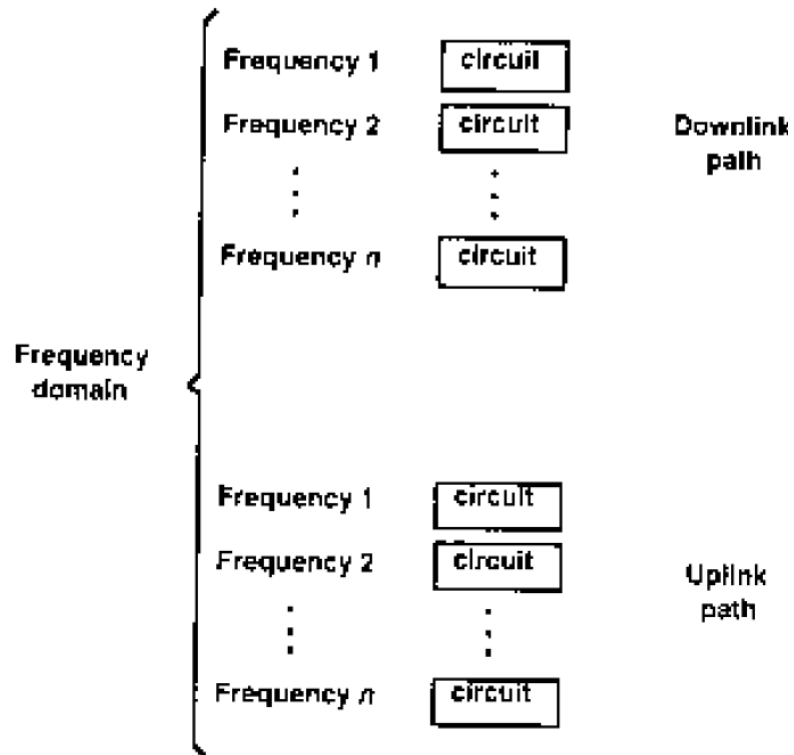
# Frequency Division Multiple Access (FDMA)

- ◆ In a FDMA system, many channels share the same antenna at the BS. The power amplifiers or the power combiners, when operated at or near saturation are nonlinear.
- ◆ The nonlinear ties generate inter-modulation frequencies.
  - Undesirable harmonics generated outside the mobile radio band cause interference to adjacent services.
  - Undesirable harmonics present inside the band cause interference to other users in the mobile system.

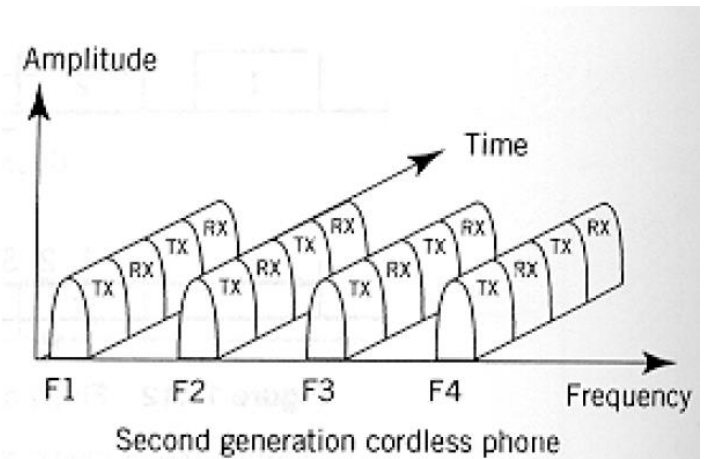
# Frequency Division Multiple Access (FDMA)

- ◆ Η FDMA τεχνική είναι σχετικά απλή.
- ◆ Η ορθογωνιότητα εξασφαλίζεται με διαστήματα φύλαξης στη συχνότητα. Απαιτούνται καλά BPFs.
- ◆ Αν ένας διάυλος δεν χρησιμοποιείται (π.χ. κατά τη διάρκεια σιωπών σε μια τηλεφωνική συνδιάλεξη), τότε έχουμε σπατάλη φάσματος, αφού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλο χρήστη και να αυξηθεί η απόδοση.
- ◆ Συνδυάζεται συνήθως με τεχνική duplexing TDD, ώστε:
  - Να αποφεύγεται ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη
  - Να υπάρχει ομοιότητα των χαρακτηριστικών του διαύλου στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη
  - Να είναι απλή η εφαρμογή τεχνικών διαφορισιμότητας (diversity) στο Σταθμό Βάσης.

# Frequency Division Multiple Access (FDMA)



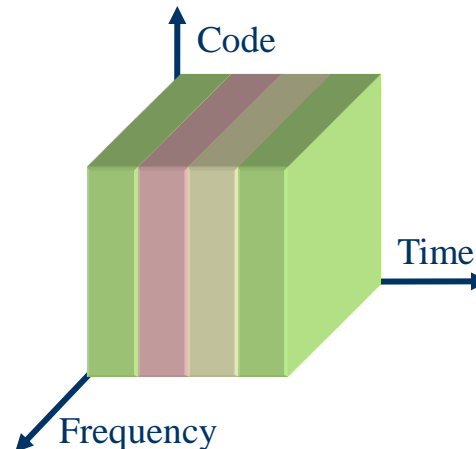
*FDMA/FDD*



*FDMA/TDD*

# Time Division Multiple Access (TDMA)

- ◆ TDMA systems divide the channel time into frames. Each frame is further partitioned into time slots. In each slot only one user is allowed to either transmit or receive.
- ◆ Unlike FDMA, only digital data and digital modulation must be used.
- ◆ Each user occupies a cyclically repeating time slot, so a channel may be thought of as a particular time slot of every frame, where  $N$  time slots comprise a frame.

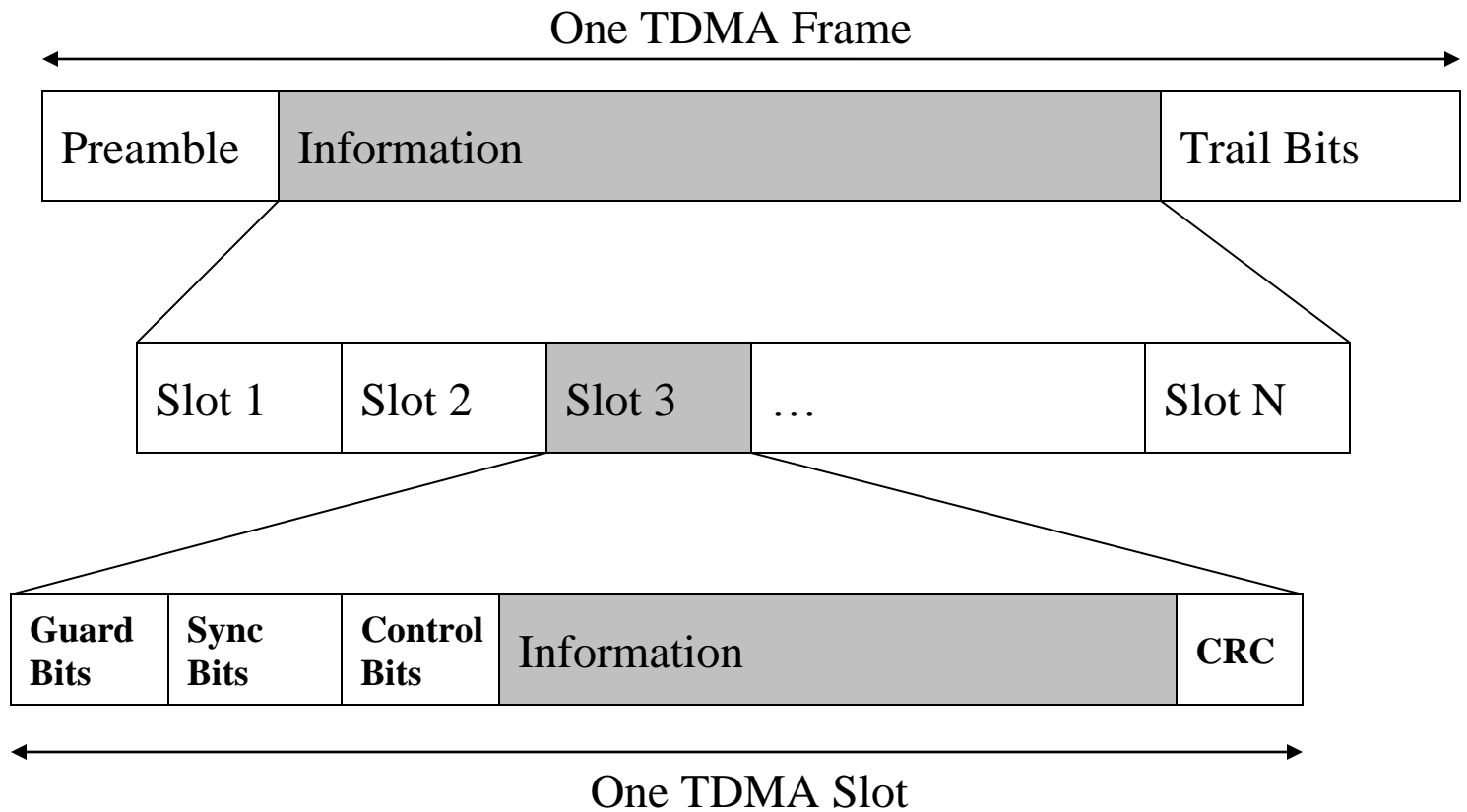


# Time Division Multiple Access (TDMA)

- ◆ Multiple channels per carrier or RF channels.
- ◆ Burst transmission since channels are used on a timesharing basis. Transmitter can be turned off during idle periods.
- ◆ Narrow or wide bandwidth – depends on factors such as modulation scheme, number of voice channels per carrier channel.
- ◆ High ISI – Higher transmission symbol rate, hence resulting in high ISI. Adaptive equalizer required.
- ◆ High framing overhead – A reasonable amount of the total transmitted bits must be dedicated to synchronization purposes, channel identification. Also guard slots are necessary to separate users.



# TDMA Frame



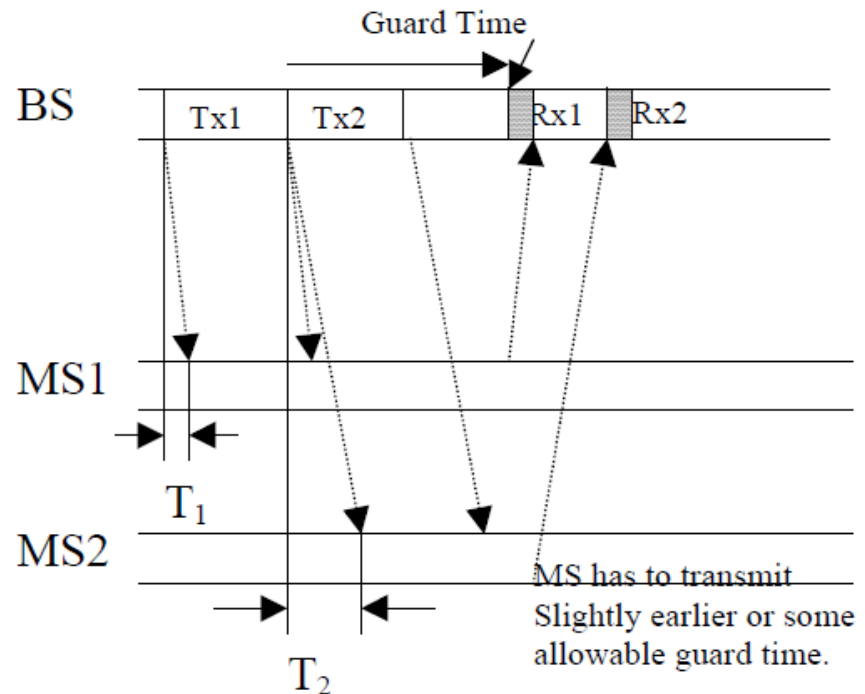
A Frame repeats in time

# Time Division Multiple Access (TDMA)

- ◆ Στην TDMA απαιτείται συγχρονισμός όλων των χρηστών.
- ◆ Ο ρυθμός μετάδοσης είναι πολλαπλάσιος (ως προς την FDMA) κατά ένα παράγοντα ίσο με τον αριθμό των χρηστών που μοιράζονται το συχνοτικό δίαυλο (π.χ. 8 στο GSM).
- ◆ Άρα η διάρκεια συμβόλου είναι μικρότερη κατά τον ίδιο παράγοντα, και άρα είναι τεχνική ευάλωτη στη διασυμβολική παρεμβολή (**Inter-Symbol Interference, ISI**).
- ◆ Απαιτούνται χρονικά διαστήματα φύλαξης.

# Time Division Multiple Access (TDMA)

- ◆ A guard time between the two time slots must be allowed in order to avoid interference, especially in the uplink direction. All mobiles should synchronize with the BS to minimize interference.



# Time Division Multiple Access (TDMA)

## ◆ Πλεονεκτήματα

- Δεν υπάρχουν προβλήματα ενδοδιαμόρφωσης
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υπηρεσίες φωνής και δεδομένων
- Υποστηρίζει μεταβαλλόμενο ρυθμό μετάδοσης
- Είναι φασματικά πιο αποδοτική μέθοδος αφού δεν χρησιμοποιούνται συχνотικά διαστήματα φύλαξης
- Επειδή η μετάδοση είναι σε ριπές, δηλαδή ασυνεχής, προσφέρει μικρότερη κατανάλωση ισχύος

# Time Division Multiple Access (TDMA)

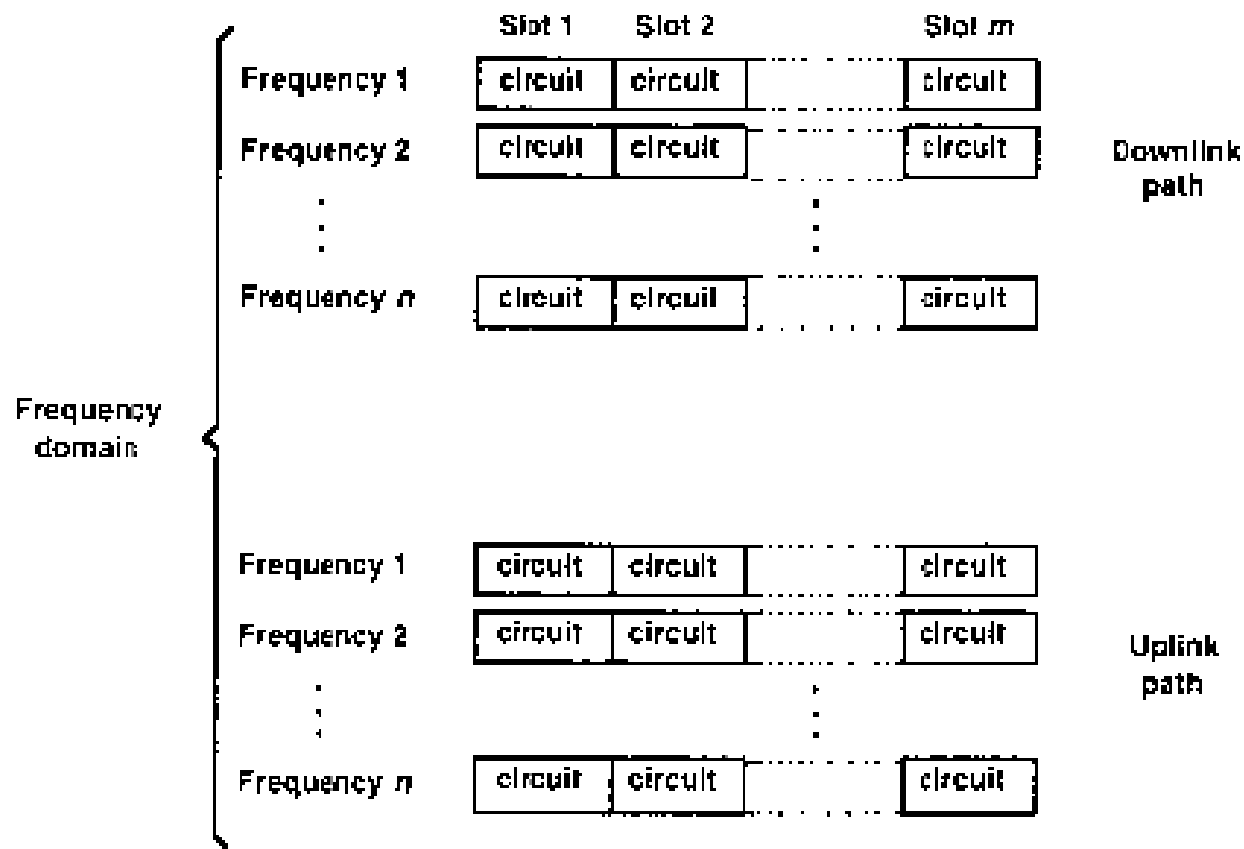
## ◆ Πλεονεκτήματα (συνέχεια)

- Τα προϊόντα TDMA παράγονται μαζικά σε VLSI και έχουν μειωμένο κόστος
- Παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης της ποιότητας σε επίπεδο πλαισίου (frame)
- Είναι ιδανικό για περιπτώσεις με ιεραρχικές δομές κυψελών
- Είναι πλέον δοκιμασμένη και αρκετά αποτελεσματική τεχνολογία

# TDMA/TDD and TDMA/FDD

- ◆ In TDMA/TDD system, half of the time slots in the frame information message would be used for the forward link channels and half would be used for reverse link channels. Same channel conditions.
- ◆ In TDMA/FDD systems, same frame structure can be used for both forward and reverse transmission but carrier frequencies used are different.

# TDMA/TDD and TDMA/FDD



# Cellular Systems and MAC

Cellular System	Multiple Access Technique
AMPS	FDMA/FDD
GSM	TDMA/FDD
USDC (IS-54 and IS-136)	TDMA/FDD
PDC	TDMA/FDD
CT2 Cordless Phone	FDMA/TDD
DECT Cordless Phone	FDMA/TDD
US IS-95	CDMA/FDD
W-CDMA	CDMA/FDD CDMA/TDD
cdma2000	CDMA/FDD CDMA/TDD



# Synchronous and asynchronous TDMA

- ◆ The same slot of all the frames are assigned to the same user. The slot assignment can actually be fixed or dynamic.
- ◆ If the assigned slot is fixed from frame to frame for the duration of the connection, the users have to synchronize to their respective assigned slots. This mode of TDMA is referred to as STDMA.
- ◆ With packet-switched transmission, it is more efficient to allow a user to transmit only when it has packets to send. Transmission slots are dynamically assigned from frame to frame. This mode is known as ATDMA.
- ◆ A TDMA is implemented using a reservation access mechanism.

# Spread Spectrum Systems

- ◆ **Spread Spectrum Systems** : The desired signal is transmitted over a bandwidth which is much larger than the Nyquist bandwidth. It is first developed for military applications for
  - Security
  - Undetectability: minimum probability of being detected
  - Robust against intentional jammers

# Spread Spectrum Applications

- ◆ It is not bandwidth efficient when used by a single user but has the capability to overcome narrowband jamming signals (cannot overcome AWGN or wideband jamming signal) and multi-path.
- ◆ Providing multiple access
- ◆ If many users can share the same spread spectrum bandwidth without interfering with one another, bandwidth efficient is improved, but will affect the capability to overcome jamming.

# Spread Spectrum Multiple Access (SSMA)

- ◆ Two techniques
  - Frequency Hopped Spread Spectrum (FHSS)
  - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
    - Also called Code Division Multiple Access – CDMA

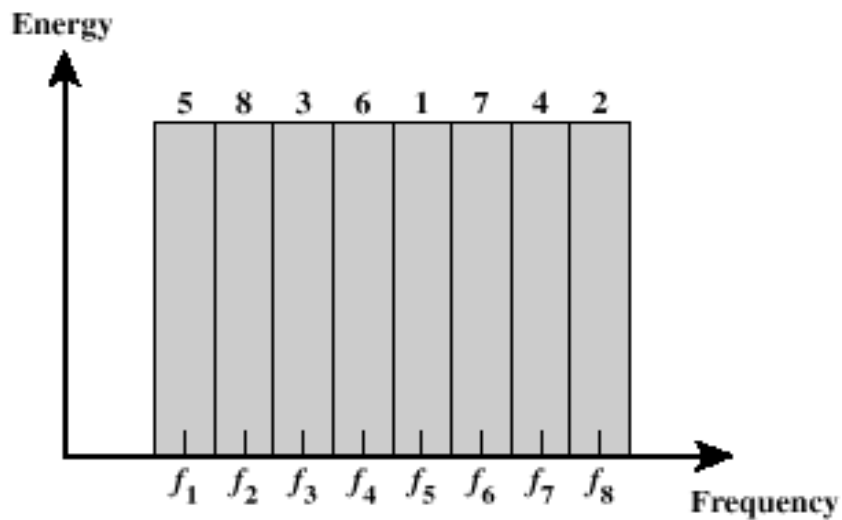
# Frequency Hopping (FHSS)

- ◆ Digital multiple access technique
- ◆ A wideband radio channel is used.
  - Same wideband spectrum is used
- ◆ The carrier frequency of users are varied in a pseudo-random fashion.
  - Each user is using a narrowband channel (spectrum) at a specific instance of time.
  - The random change in frequency make the change of using the same narrowband channel very low.

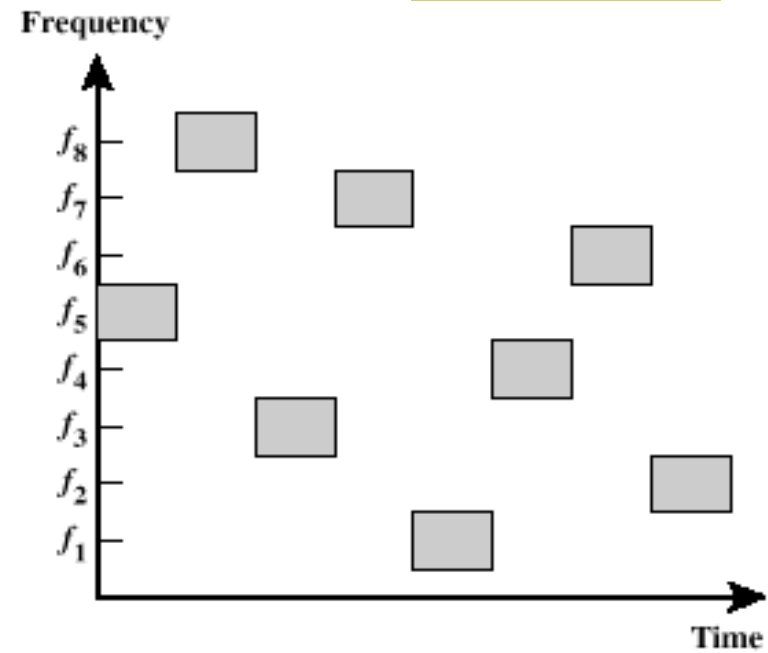
# Frequency Hopping (FHSS)

- ◆ The sender receiver change frequency (calling hopping) using the same pseudo-random sequence, hence they are synchronized.
- ◆ Rate of hopping vs. symbol rate
  - If hopping rate is greater: Called *Fast Frequency Hopping*
    - One bit transmitted in multiple hops.
  - If symbol rate is greater: Called *Slow Frequency Hopping*
    - Multiple bits are transmitted in a hopping period
    - GSM and Bluetooth are example systems

# Frequency Hopping (FHSS)

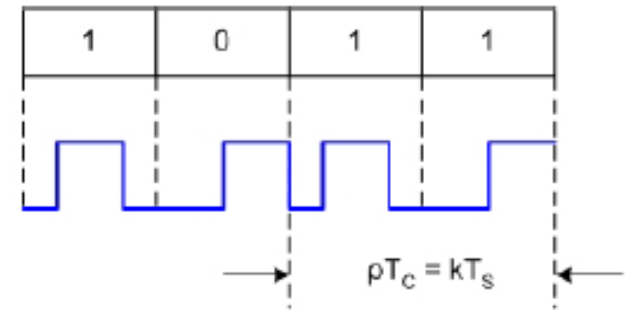
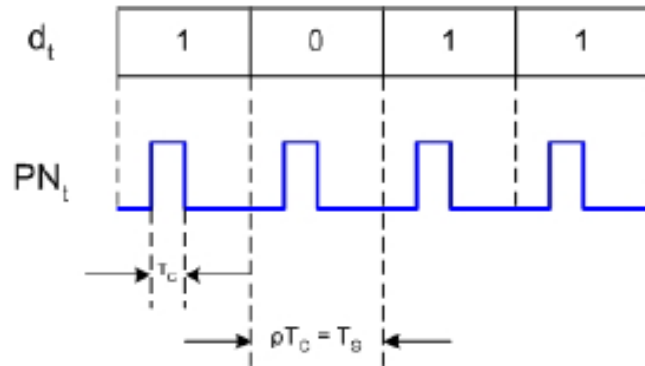
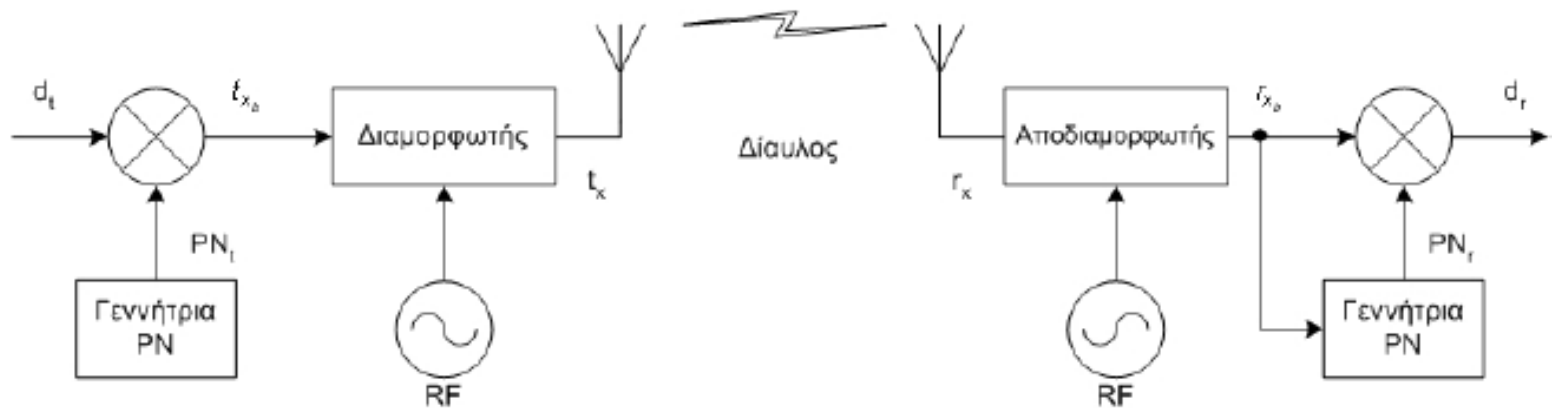


(a) Channel assignment



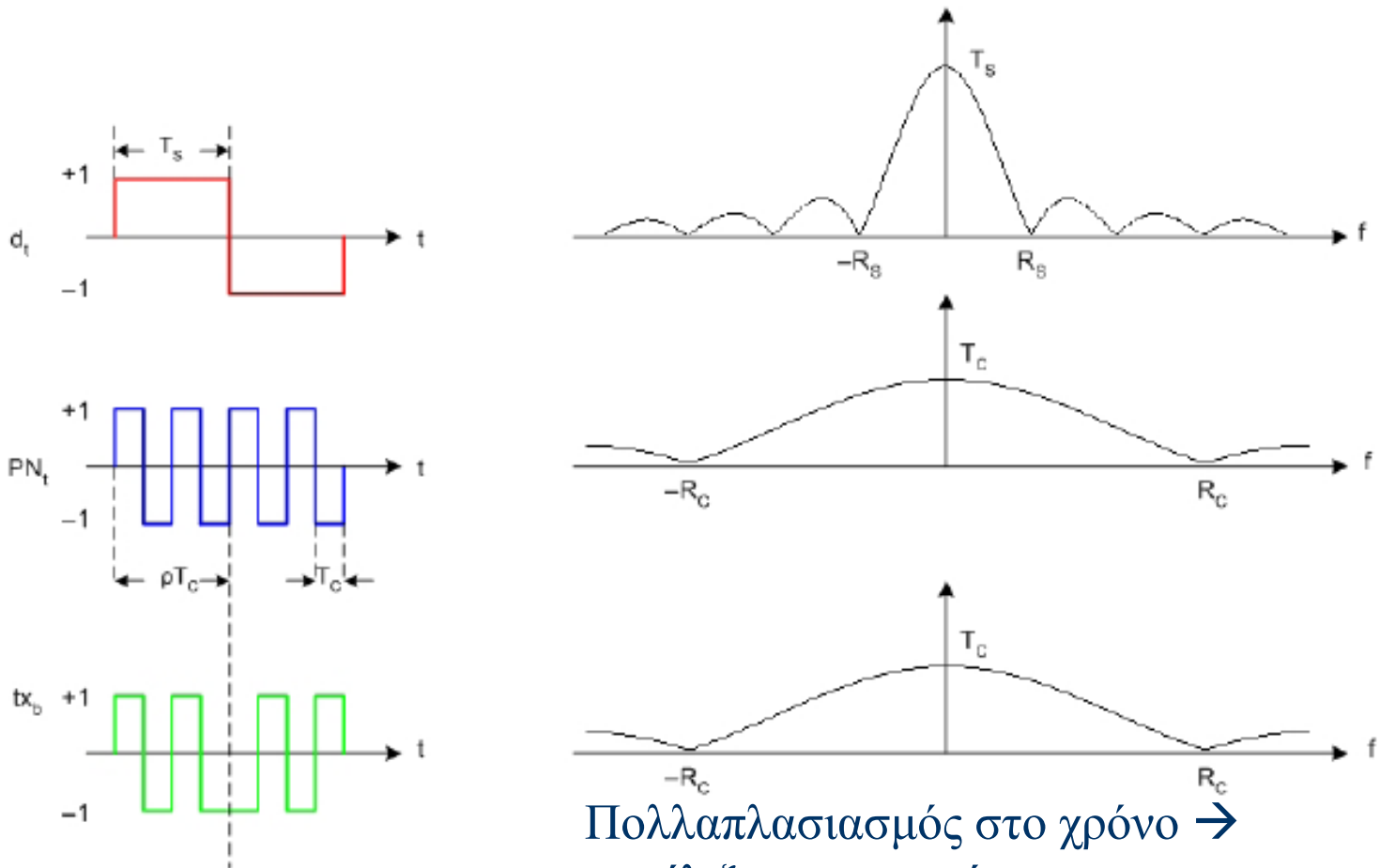
(b) Channel use

# Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)



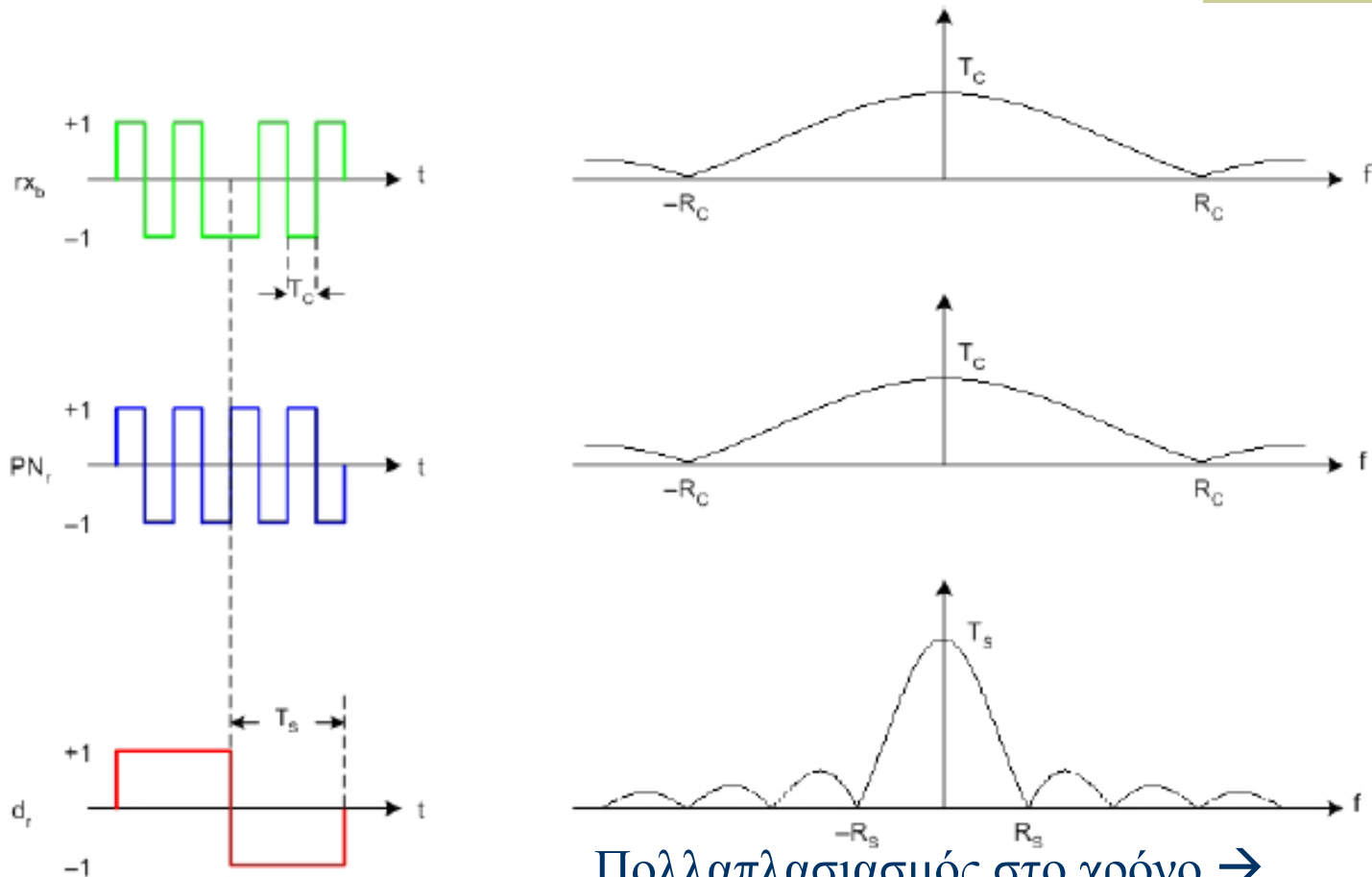


# Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) – Εκπομπή



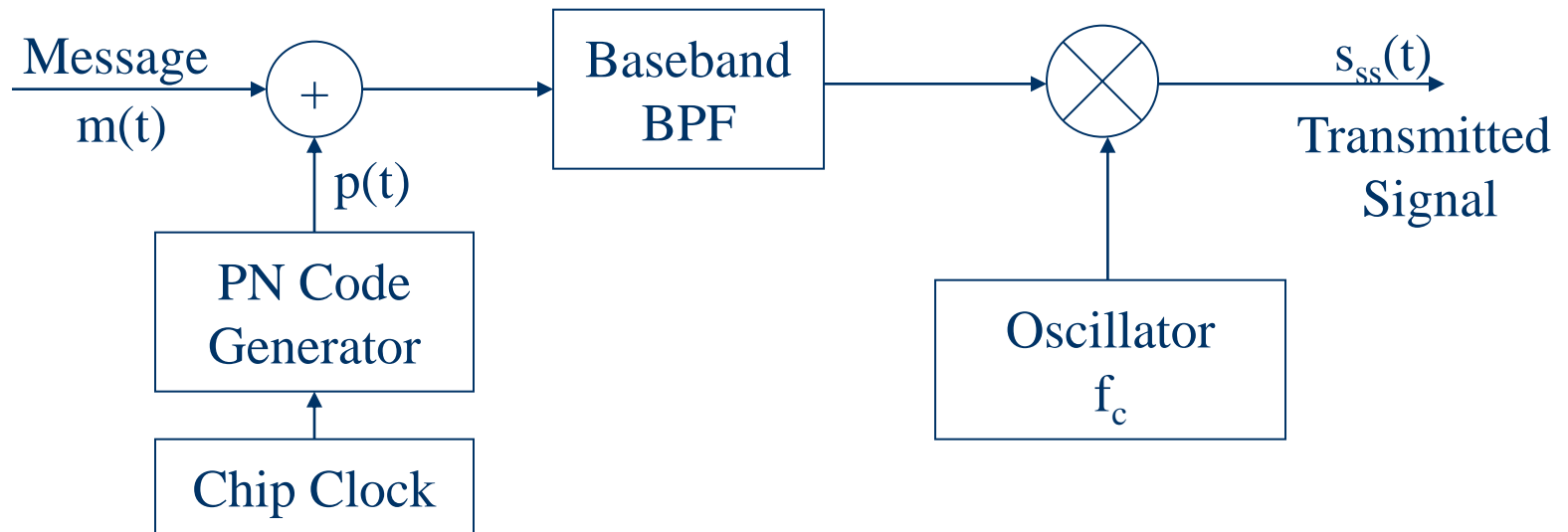
Πολλαπλασιασμός στο χρόνο  $\rightarrow$   
συνέλιξη στη συχνότητα

# Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) – Λήψη



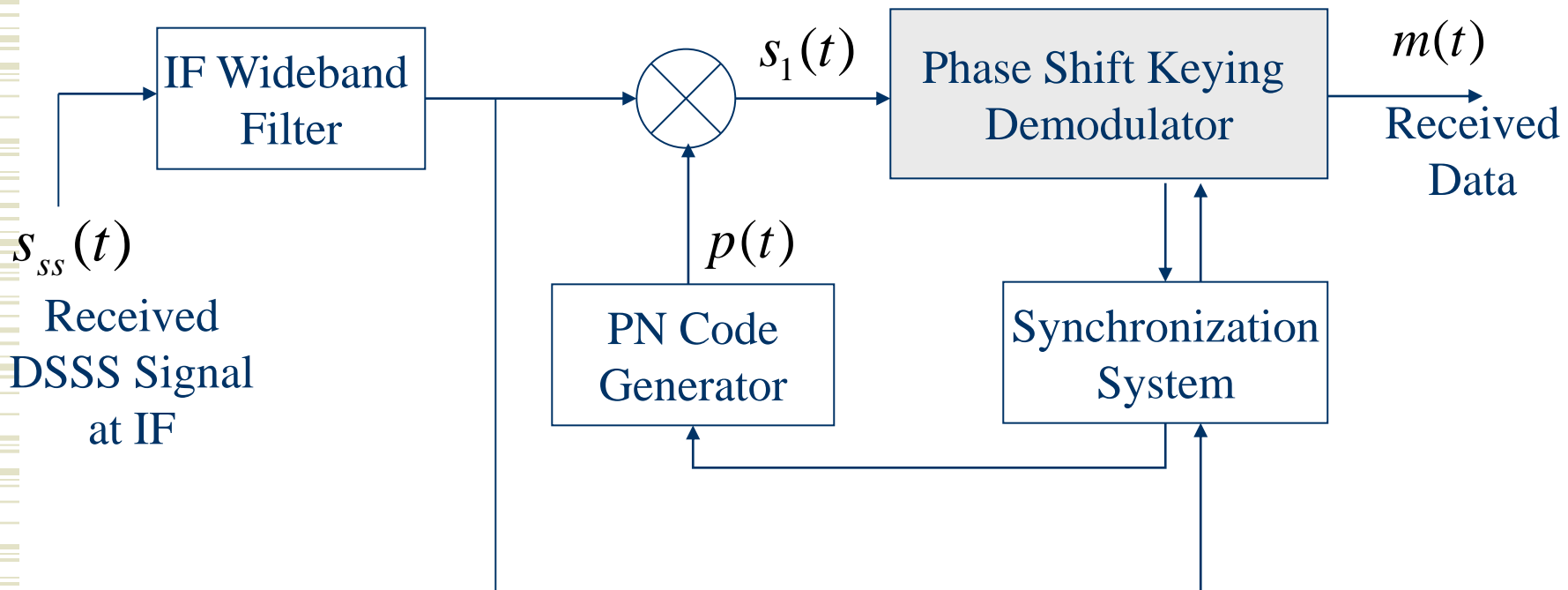
Πολλαπλασιασμός στο χρόνο →  
συνέλιξη στη συχνότητα

# DSSS – Εκπομπή



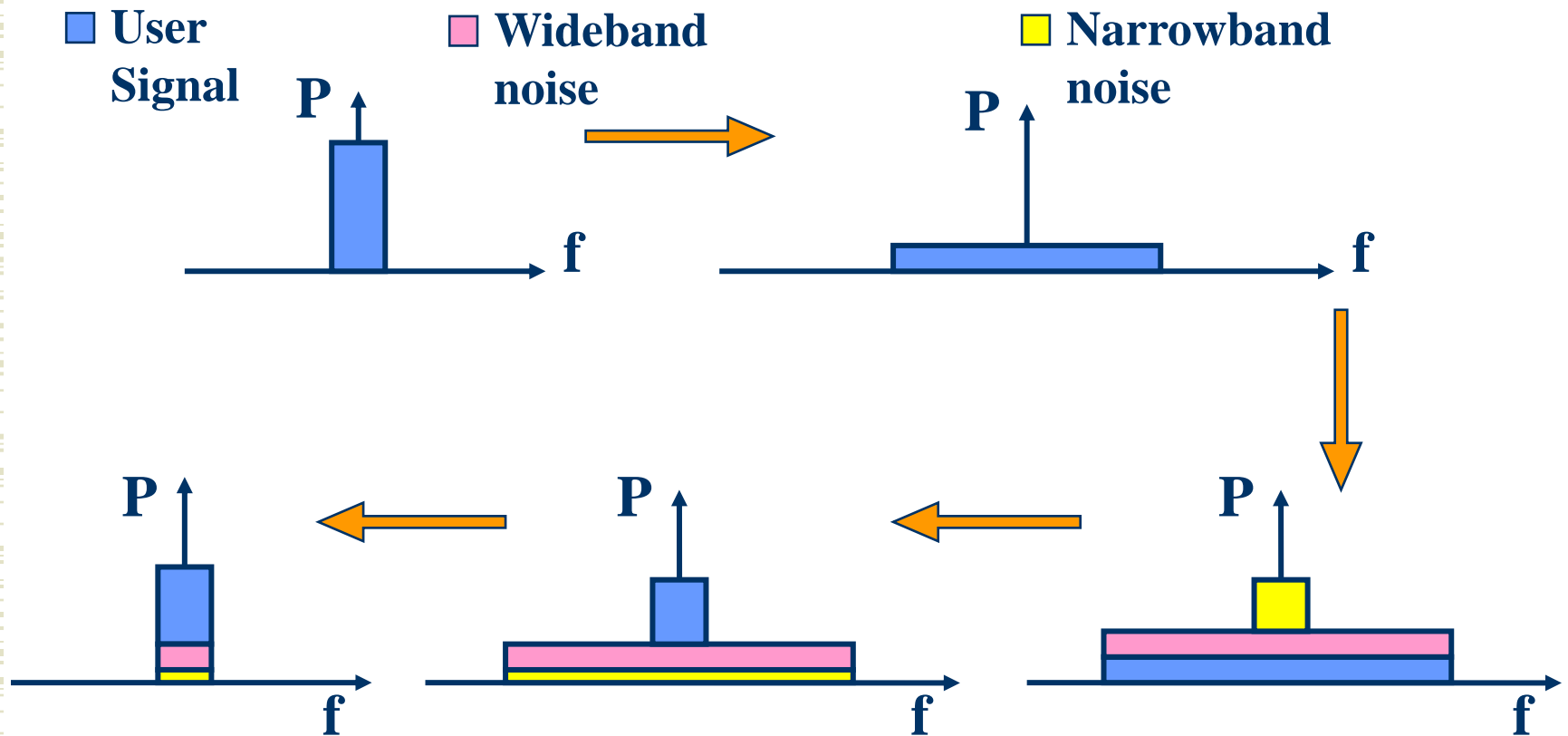
$$s_{ss}(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} m(t) p(t) \cos(2\pi f_c t + \theta)$$

# DSSS – Λήψη

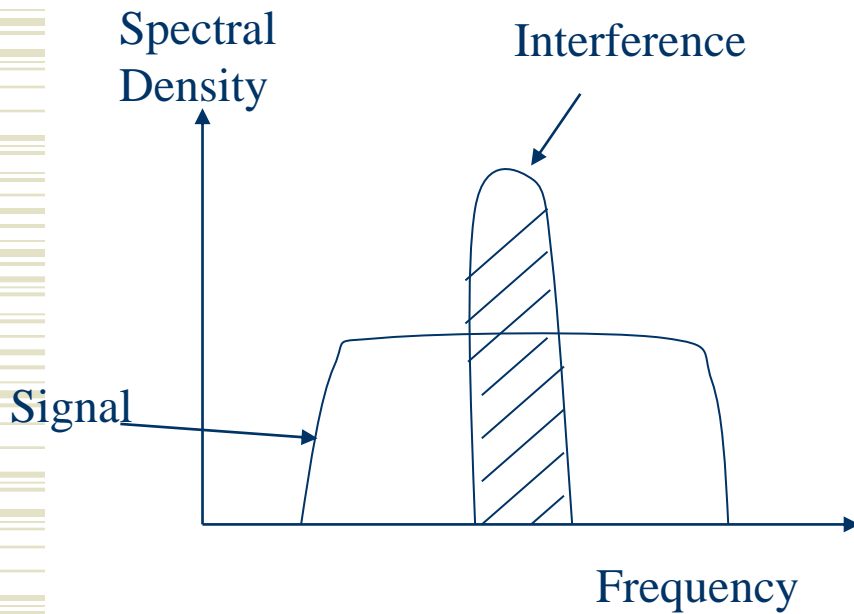


$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} m(t) \cos(2\pi f_c t + \theta)$$

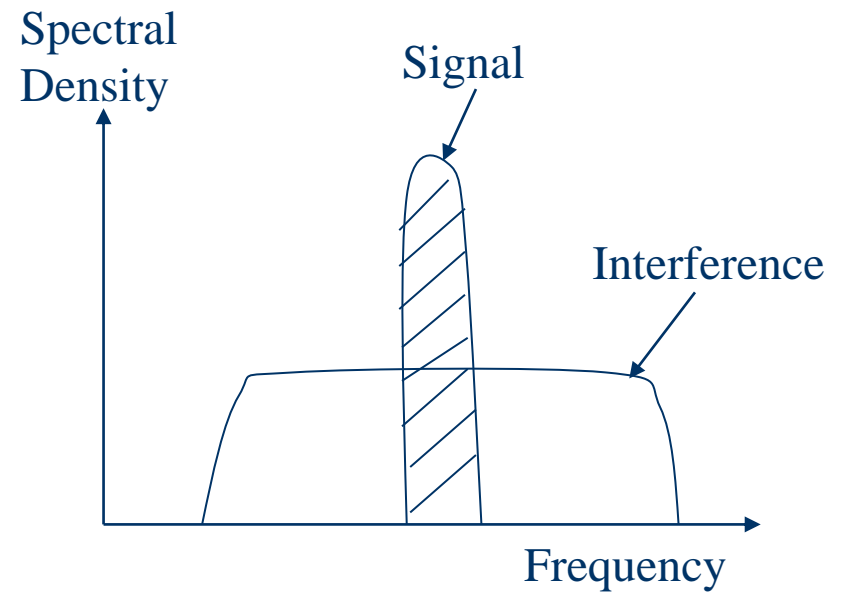
# DSSS – Φάσμα



# DSSS – Φάσμα



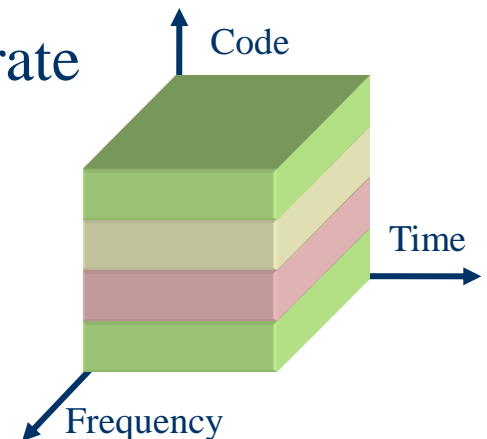
Output of Wideband filter



Output of Correlator after despreading, Input to Demodulator

# Code Division Multiple Access (CDMA)

- ◆ In CDMA, the narrowband message signal is *multiplied* by a very large bandwidth signal called spreading signal (code) before modulation and transmission over the air. This is called spreading.
- ◆ CDMA is also called DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). DSSS is a more general term.
- ◆ Message consists of symbols
  - Has symbol period and hence, symbol rate



# Code Division Multiple Access (CDMA)

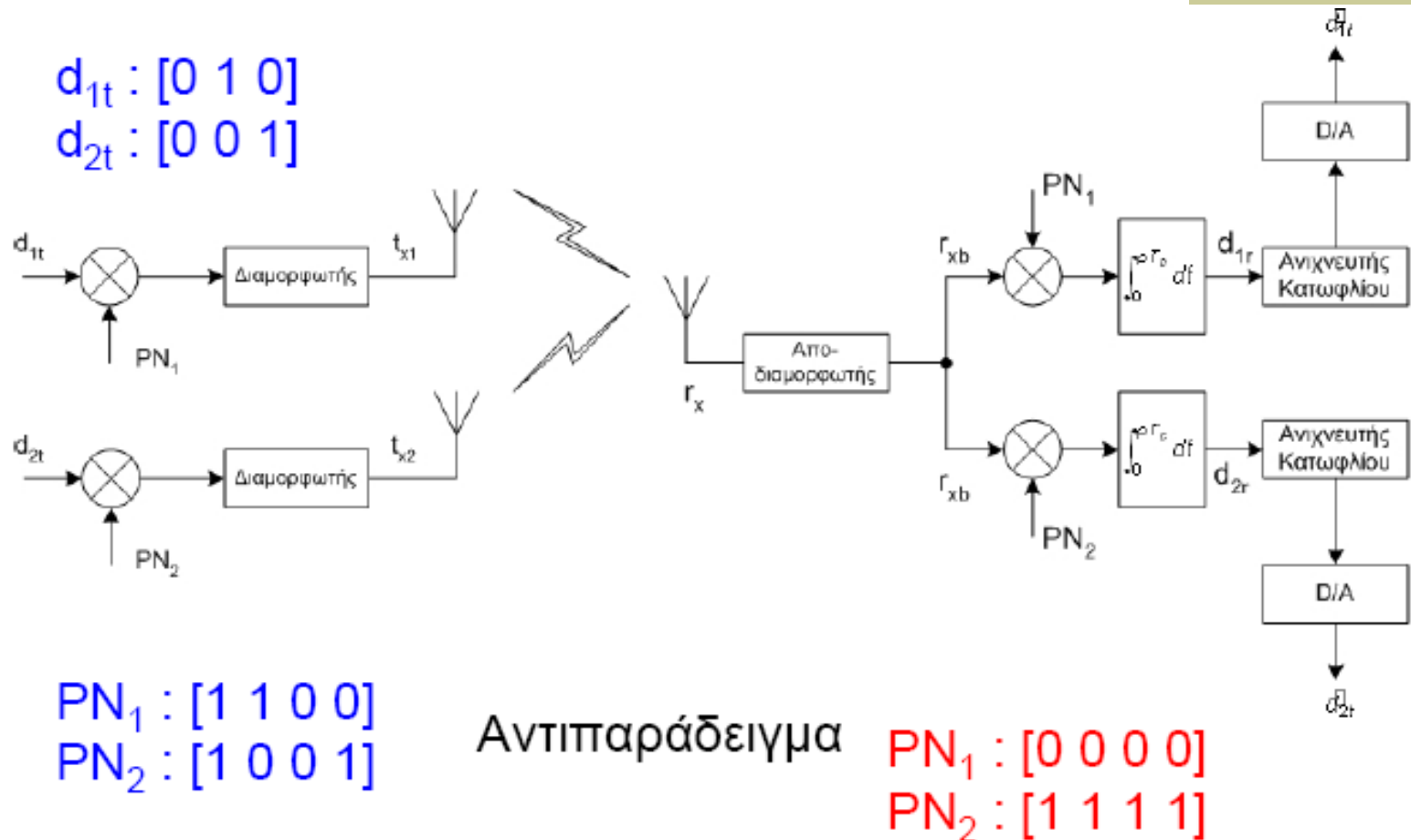
- ◆ Spreading signal (code) consists of chips
  - Has Chip period and hence, chip rate
  - Spreading signal use a pseudo-noise (PN) sequence (a pseudo-random sequence)
  - PN sequence is called a codeword
  - Each user has its own cordword
  - Codewords are orthogonal (low autocorrelation)
  - Chip rate is order of magnitude larger than the symbol rate.
- ◆ The receiver correlator distinguishes the senders signal by examining the wideband signal with the same time-synchronized spreading code
- ◆ The sent signal is recovered by despreading process at the receiver.



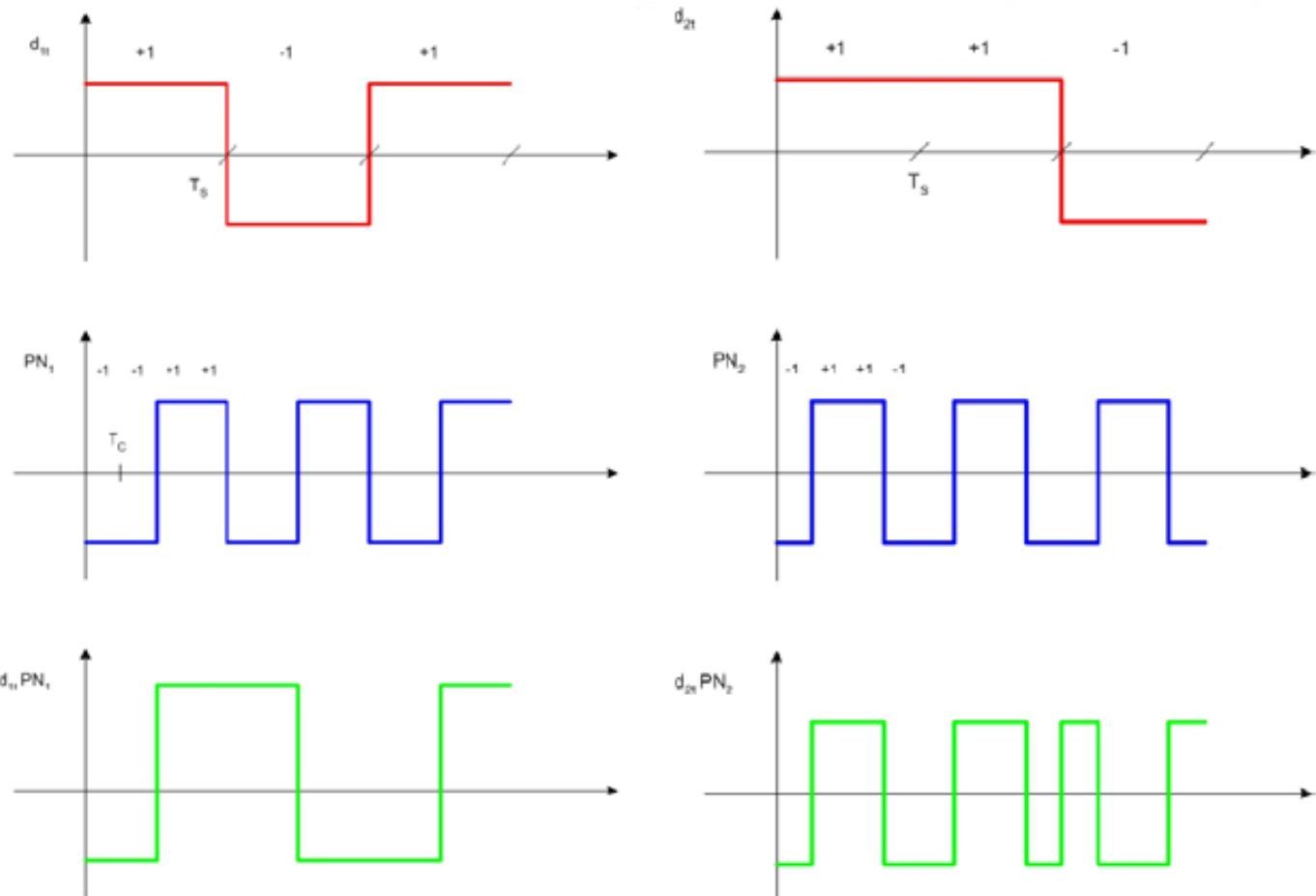
# Code Division Multiple Access (CDMA)

- ◆ Στην CDMA σημαντικό ρόλο παίζει ο τύπος των κωδίκων που χρησιμοποιούνται.
  - **Ορθογωνικοί κώδικες:** Πεπερασμένος και μικρός αριθμός κωδικών σε δεδομένο εύρος ζώνης, αλλά μηδενική παρεμβολή (πλήρης ορθογωνιότητα).
  - **Ημι-ορθογωνικοί κώδικες:** Πάρα πολύ μεγάλος αριθμός κωδικών σε δεδομένο εύρος ζώνης, αλλά υπάρχει μια μικρή εναπομείνασα παρεμβολή μεταξύ κωδικών.
- ◆ Η παραγωγή των σημάτων γίνεται συνήθως με την τεχνική **Direct Sequence (DS-CDMA)**.

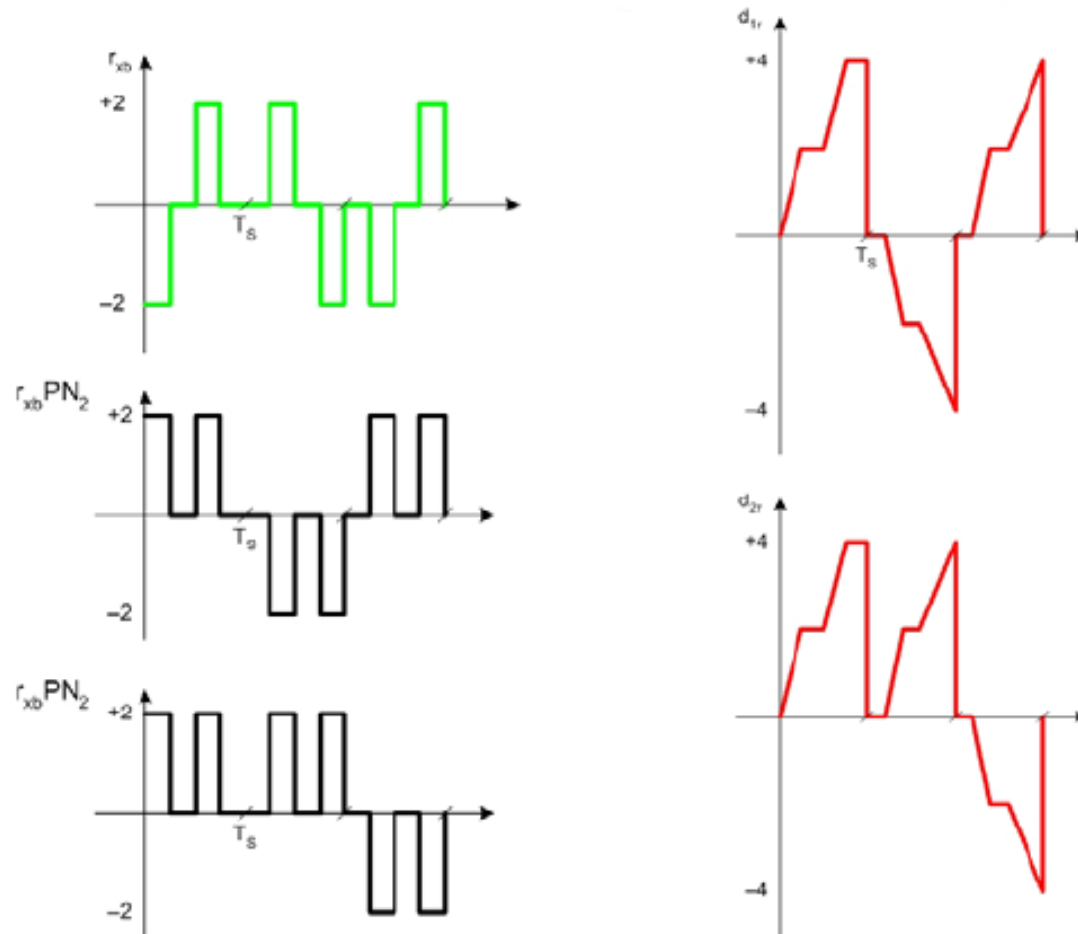
# Code Division Multiple Access (CDMA)



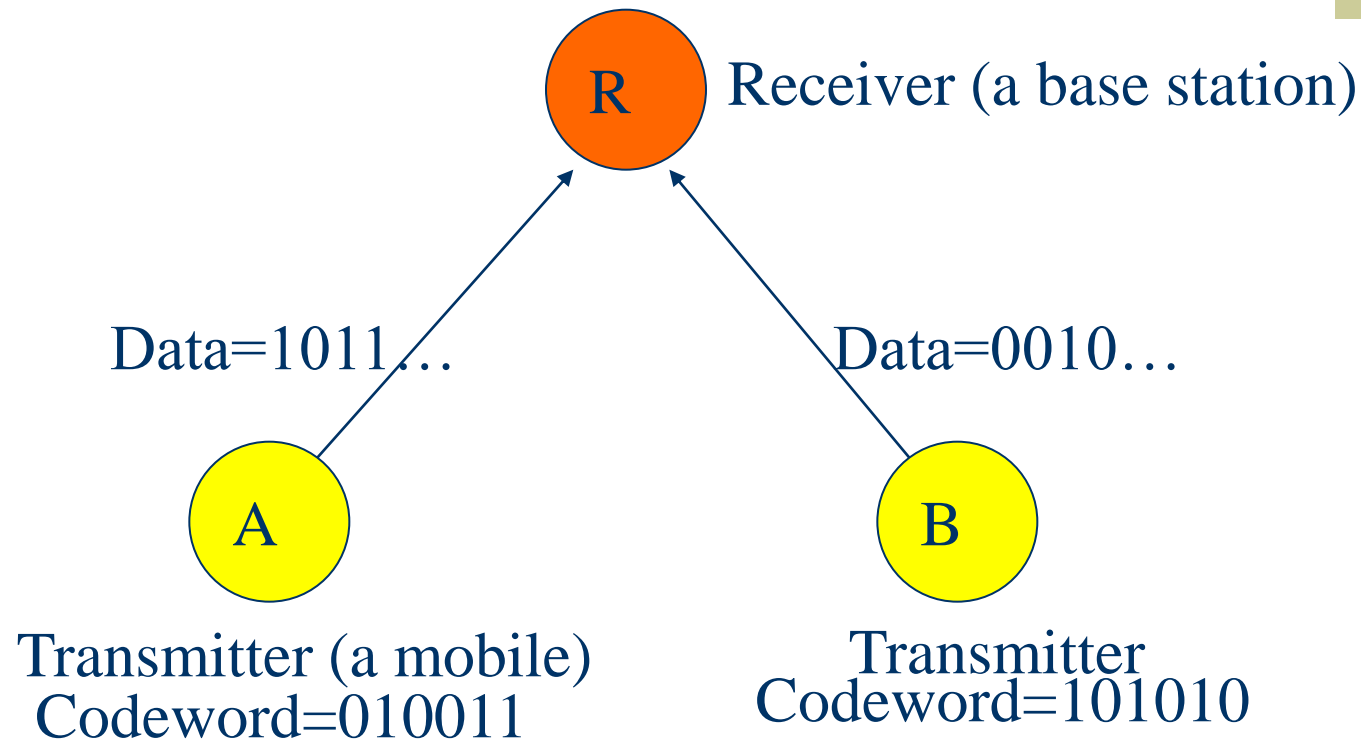
# Code Division Multiple Access (CDMA)



# Code Division Multiple Access (CDMA)

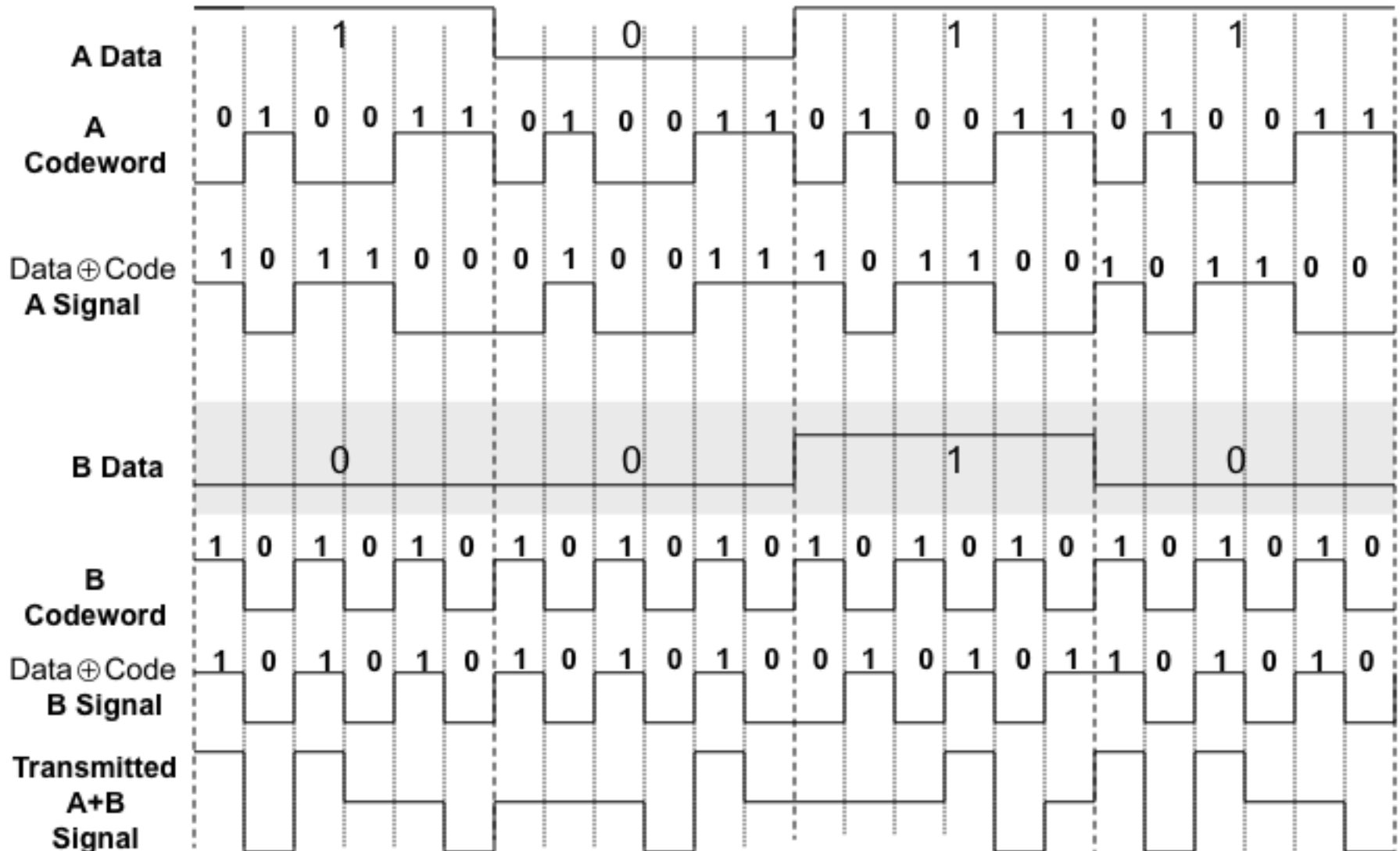


# CDMA Example

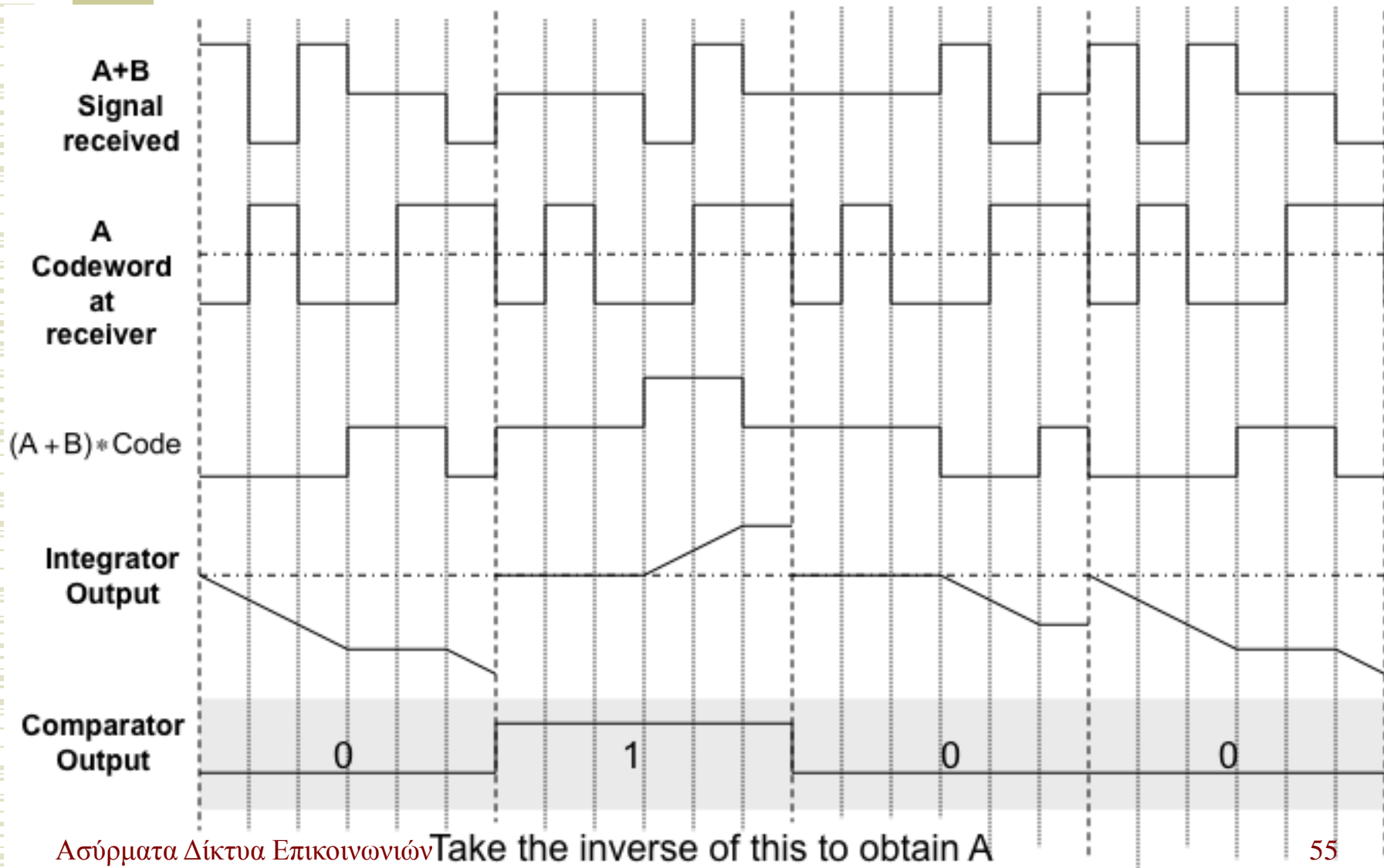


Data transmitted from A and B is multiplexed using CDMA and codeword.  
The Receiver de-multiplexes the data using despreading.

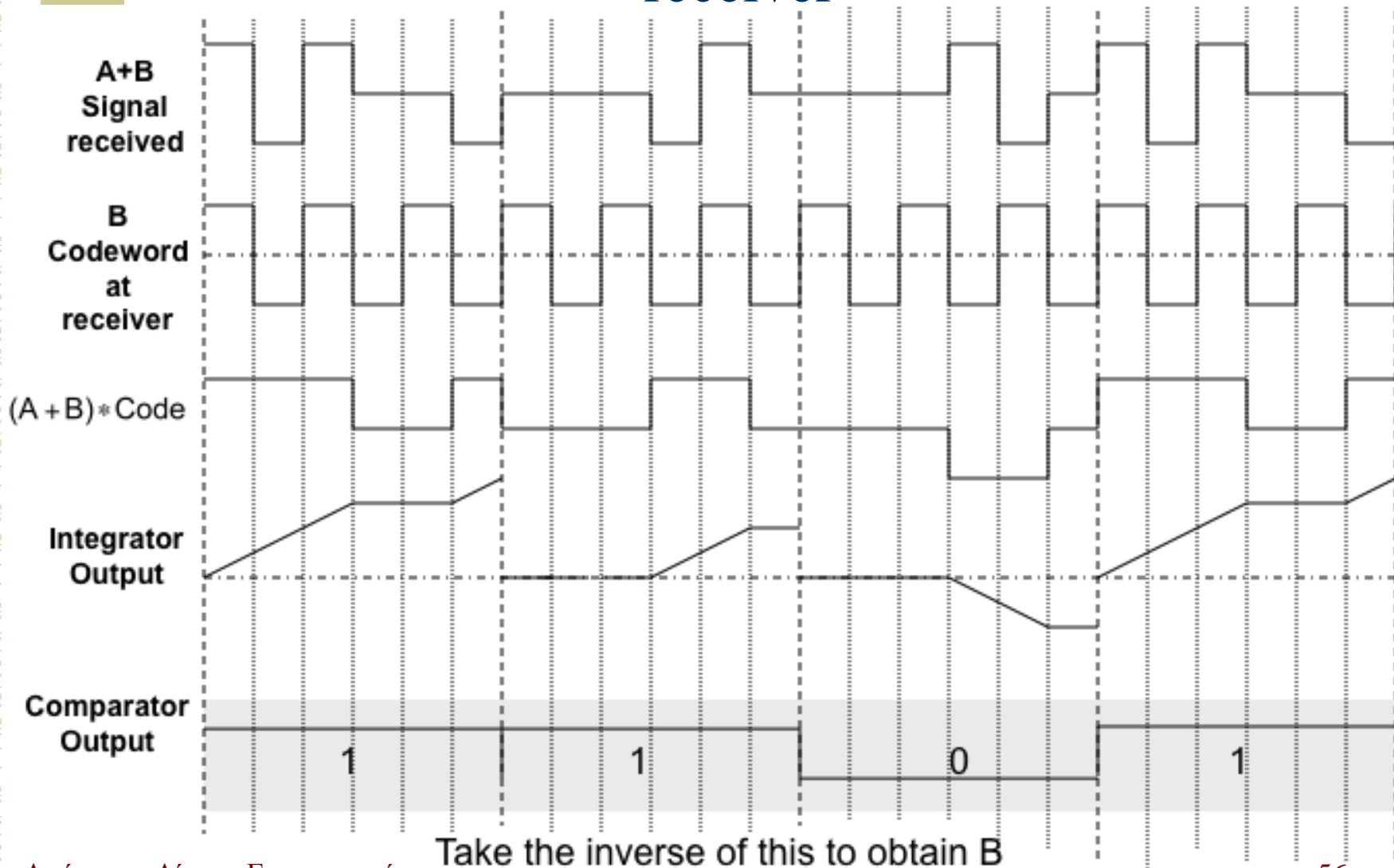
# CDMA Example: Transmission from two sources



# CDMA Example – recovering signal A at the receiver

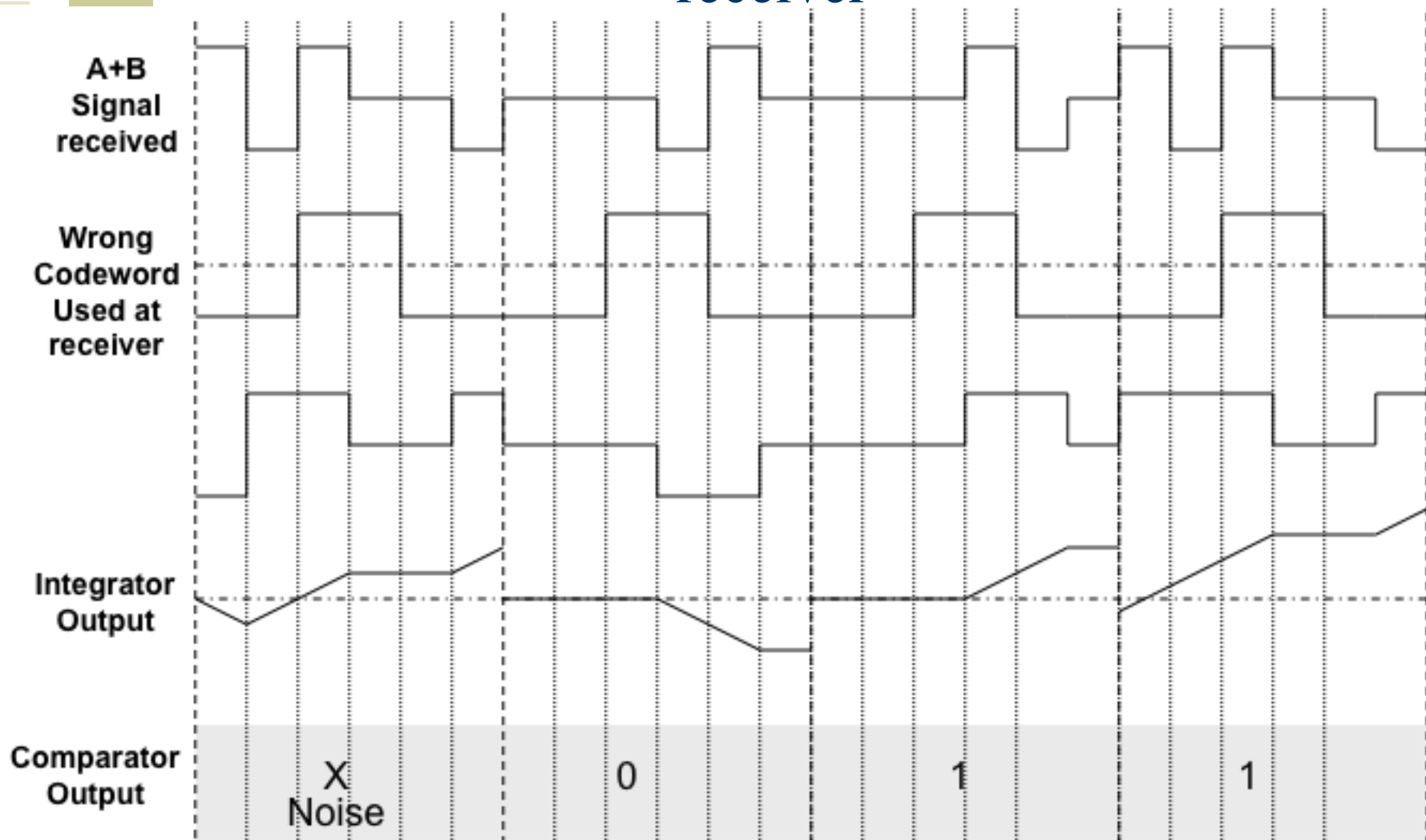


# CDMA Example – recovering signal B at the receiver





# CDMA Example – using wrong codeword at the receiver



# Πλεονεκτήματα CDMA

- ◆ Εκμεταλλευόμαστε τις σιωπηλές περιόδους στις τηλεφωνικές συνομιλίες.
- ◆ Δεν απαιτείται η χρήση **ισοσταθμιστή (equalizer)**
- ◆ Στα κυψελωτά συστήματα όπου γειτονικές κυψέλες χρησιμοποιούν τον ίδιο δίαυλο, δεν απαιτείται μεταπομπή στη συχνότητα.
- ◆ Δεν απαιτούνται διαστήματα φύλαξης, τα οποία είναι απώλεια στη συνολική χωρητικότητα.
- ◆ Επιτυγχάνει πολύ μεγαλύτερες χωρητικότητες σε επίπεδο χρηστών ανά κυψέλη.
- ◆ Δεν απαιτούνται πολύπλοκες τεχνικές απόδοσης και διαχείρισης του φάσματος καθώς επίσης και τεχνικές σχεδίασης του συστήματος.

# Πλεονεκτήματα CDMA

- ◆ Έχει πολύ καλή συμπεριφορά όσον αφορά στην ασφάλεια της μετάδοσης των δεδομένων
- ◆ Σε φυσιολογικές συνθήκες η προσθήκη ενός επιπλέον χρήστη επιδρά λίγο μόνο στην ποιότητα των υπηρεσιών των υπαρχόντων χρηστών (**soft capacity**)
- ◆ Δυνατή η συνύπαρξη με άλλα αναλογικά συστήματα
- ◆ Δυνατότητα υποστήριξης εύρους ζώνης κατά απαίτηση (**bandwidth-on-demand**)

# CDMA vs. TDMA

- ◆ Η FDMA είναι χρήσιμη σε συνδυασμό με την TDMA και την επαναχρησιμοποίηση φάσματος
  - (+) Δοκιμασμένες τεχνικές και σχετικά απλές
  - (-) Το φάσμα συχνοτήτων είναι περιορισμένο
  - (-) Προσεκτικός σχεδιασμός συχνοτήτων στις κυψέλες
  - (-) Πρόβλημα καθώς το μέγεθος των κυψελών μικραίνει
- ◆ Η CDMA μπορεί να συνδυαστεί με FDMA και TDMA
  - (+) Το πλήθος των κωδικών πολύ μεγάλο
  - (+) Δεν απαιτείται σχεδιασμός κωδικών
  - (-) Απαιτούνται πολύπλοκοι πομποδέκτες
  - (-) Απαιτείται προσεκτικός έλεγχος ισχύος στα κινητά

# CDMA – Processing Gain

- ◆ Main parameter of CDMA is the processing gain that is defined as:

$$G_p = \frac{B_{spread}}{R} = \frac{B_{chip}}{R}$$

$G_p$ : processing gain

$B_{spread}$ : PN code rate

$B_{chip}$ : Chip rate

$R$ : Data rate

- ◆ IS-95 System (Narrowband CDMA) has a gain of 64. Other systems have gain between 10 and 100.
  - 1.228 MHz chipping rate
  - 1.25 MHz spread bandwidth

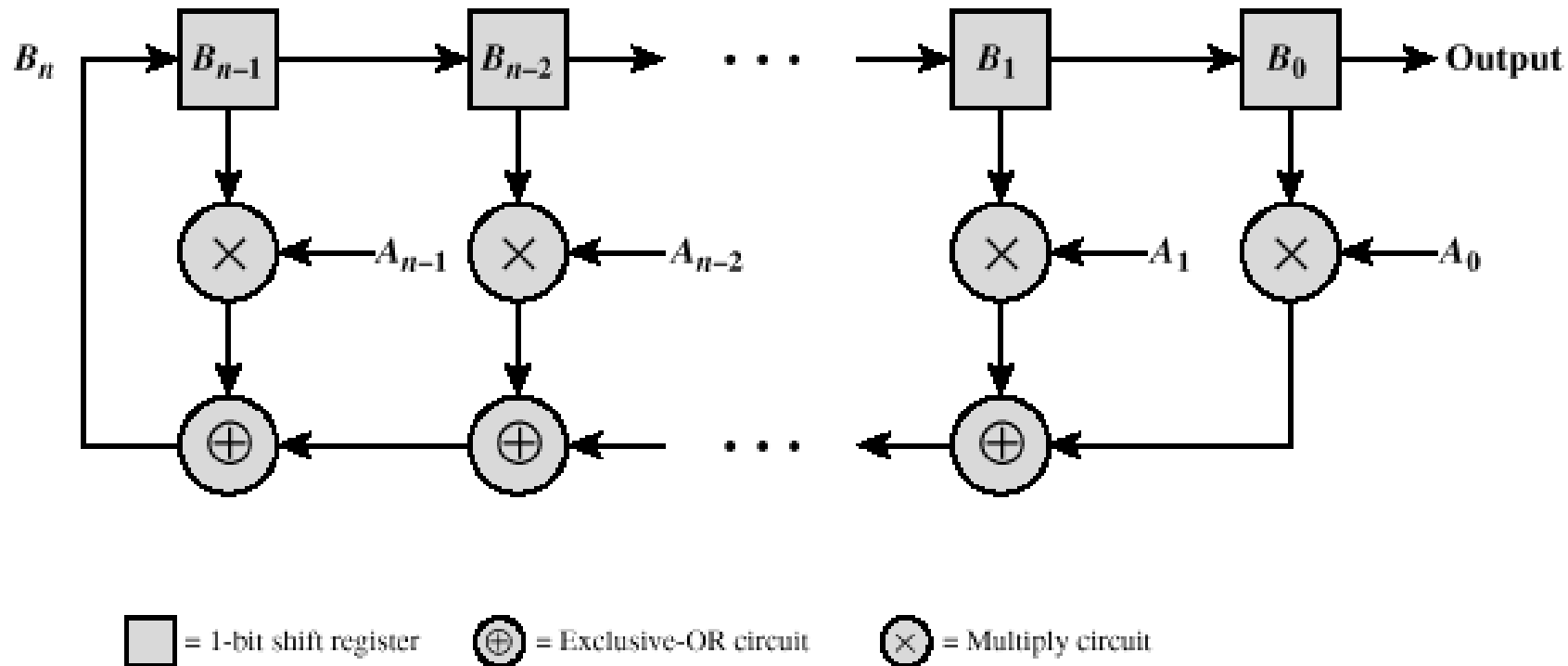
# PN Sequences

- ◆ PN generator produces periodic sequence that appears to be random
- ◆ PN Sequences
  - Generated by an algorithm using initial seed
  - Sequence isn't statistically random but will pass many test of randomness
  - Sequences referred to as pseudorandom numbers or pseudonoise sequences
  - Unless algorithm and seed are known, the sequence is impractical to predict

# Important PN Properties

- ◆ Randomness
  - Uniform distribution
    - Balance property
    - Run property
  - Independence
  - Correlation property
- ◆ Unpredictability

# Linear Feedback Shift Register Implementation



Binary Linear Feedback Shift Register Sequence Generator



# Properties of M-Sequences

- ◆ Property 1:
  - Has  $2^{n-1}$  ones and  $2^{n-1}-1$  zeros
- ◆ Property 2:
  - For a window of length  $n$  slid along output for  $N (=2^{n-1})$  shifts, each  $n$ -tuple appears once, except for the all zeros sequence
- ◆ Property 3:
  - Sequence contains one run of ones, length  $n$
  - One run of zeros, length  $n-1$
  - One run of ones and one run of zeros, length  $n-2$
  - Two runs of ones and two runs of zeros, length  $n-3$
  - $2^{n-3}$  runs of ones and  $2^{n-3}$  runs of zeros, length 1

# Properties of M-Sequences

## ◆ Property 4:

- The periodic autocorrelation of a  $\pm 1$   $m$ -sequence is

$$R(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau = 0, N, 2N, \dots \\ -\frac{1}{N} & \text{otherwise} \end{cases}$$

# Autocorrelation Function

- ◆ Η (κανονικοποιημένη) αυτο-συσχέτιση μιας περιοδικής ακολουθίας  $x(t)$  με περίοδο  $T_0$ , είναι

$$R_x(\tau) = \frac{1}{K} \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) \cdot x(t + \tau) dt$$

- ◆ Όπου

$$K = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x^2(t) dt$$

- ◆ Όταν η  $x(t)$  είναι περιοδική παλμική κυματομορφή που περιγράφει PN κώδικα, τότε ο θεμελιώδης παλμός αναφέρεται ως *PN code symbol* ή *chip*.

# Autocorrelation Function

- ♦ Για ακολουθία PN με μοναδιαία διάρκεια chip και περίοδο  $p$  chips, η κανονικοποιημένη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης θα είναι

$$R_x(\tau) = \frac{1}{p} \cdot A$$

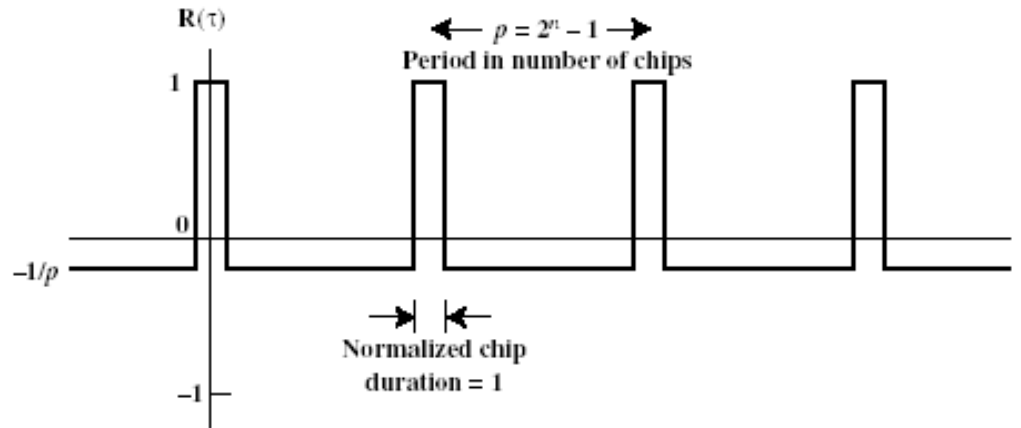
όπου  $A$ : το πλήθος των ψηφίων όπου η ακολουθία “συμφωνεί” με μια κυκλική ολίσθησή της κατά  $\tau$  chips, μείον το πλήθος των ψηφίων όπου “διαφωνεί”.

- ♦ Π.χ. η ακολουθία 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1  
και η κυκλική ολίσθηση μια θέση δεξιά 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1

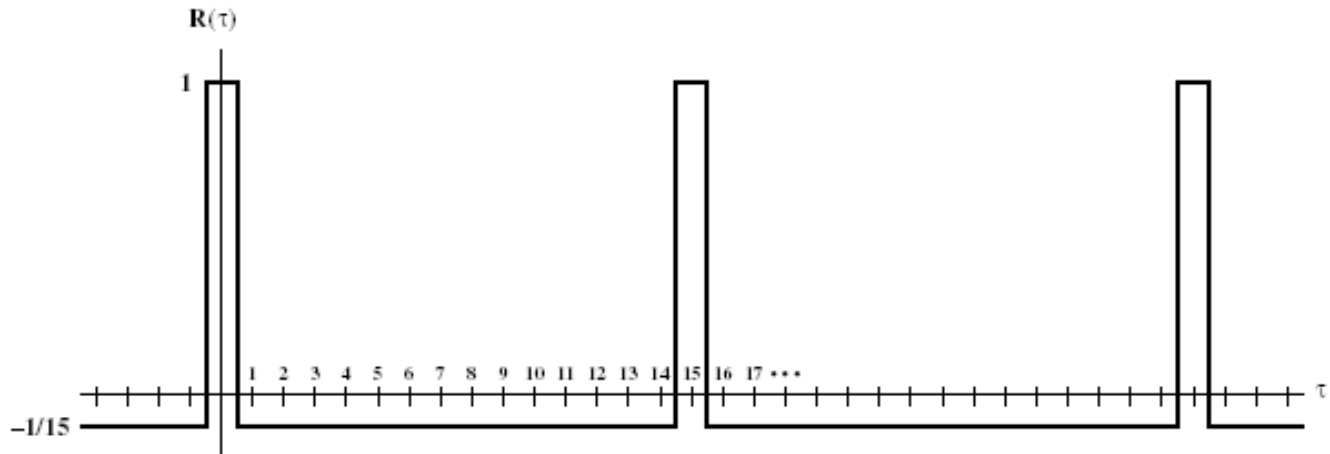
$$R_x(\tau = 1) = \frac{1}{15} \cdot (7 - 8) = -\frac{1}{15}$$

-----  
Δ Σ Σ Δ Δ Σ Δ Σ Δ Δ Δ Δ Σ Σ Σ

# Autocorrelation Function

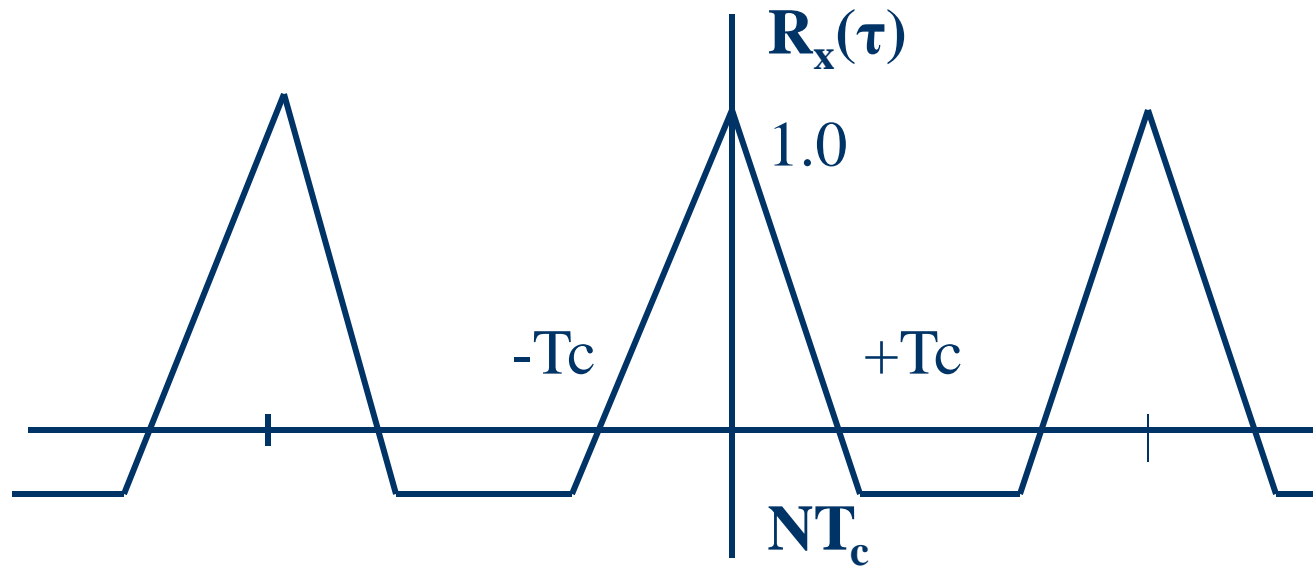


(a) General case



(b) Sequence length = 15

# Autocorrelation Function



# Definitions

## ◆ Correlation

- The concept of determining how much similarity one set of data has with another
- Range between  $-1$  and  $1$ 
  - $1$  The second sequence matches the first sequence
  - $0$  There is no relation at all between the two sequences
  - $-1$  The two sequences are mirror images

## ◆ Cross correlation

- The comparison between two sequences from different sources rather than a shifted copy of a sequence with itself

# Advantages of Cross Correlation

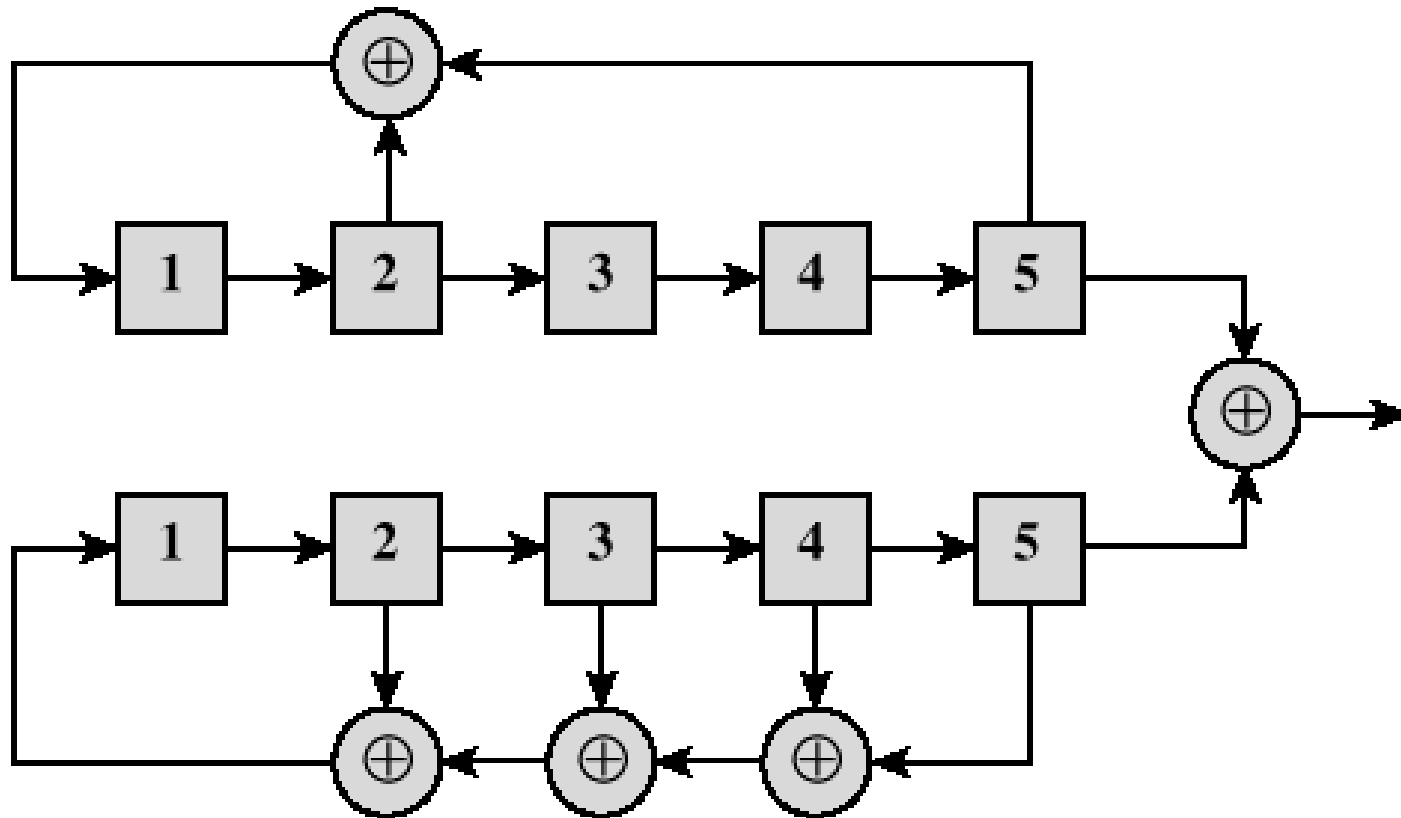
- ◆ The cross correlation between an m-sequence and noise is low
  - This property is useful to the receiver in filtering out noise
- ◆ The cross correlation between two different m-sequences is low
  - This property is useful for CDMA applications
  - Enables a receiver to discriminate among spread spectrum signals generated by different m-sequences



# Gold Sequences

- ◆ Gold sequences constructed by the XOR of two m-sequences with the same clocking
- ◆ Codes have well-defined cross correlation properties
- ◆ Only simple circuitry needed to generate large number of unique codes
- ◆ In following example two shift registers generate the two m-sequences and these are then bitwise XORed

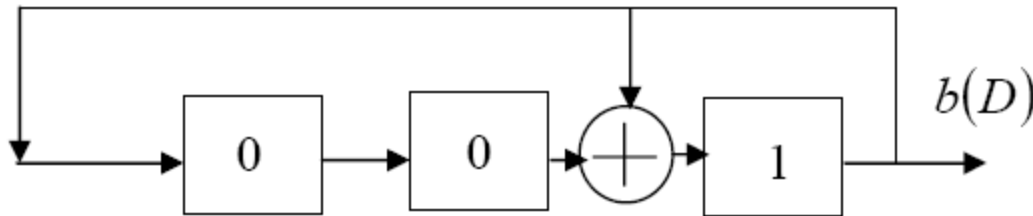
# Gold Sequences



(a) Shift-register implementation

# Maximal Length Sequences (m-Sequences)

- ◆ Example:  $g(D) = 1 + D + D^3$



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

$$b = (1110100) = b(0)$$

The  $k$ -th cyclic shift of  $b$  is represented as  $b(k)$

$$b(2) = (0011101)$$

# Orthogonal Codes

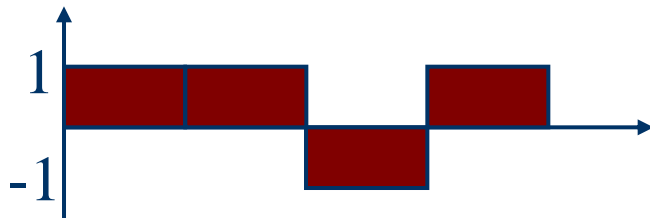
- ◆ Orthogonal codes
  - All pairwise cross correlations are zero
  - Fixed- and variable-length codes used in CDMA systems
  - For CDMA application, each mobile user uses one sequence in the set as a spreading code
    - Provides zero cross correlation among all users
- ◆ Types
  - Walsh codes
  - Variable-Length Orthogonal codes

# Orthogonal Codes?

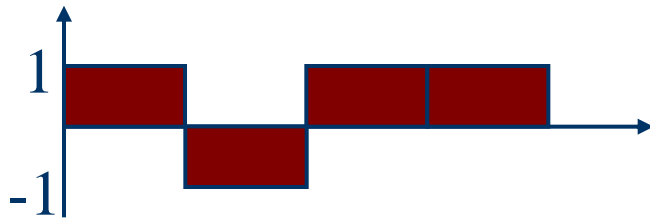
- ◆ Problem: Synchronisation (Uplink)

At the transmitter

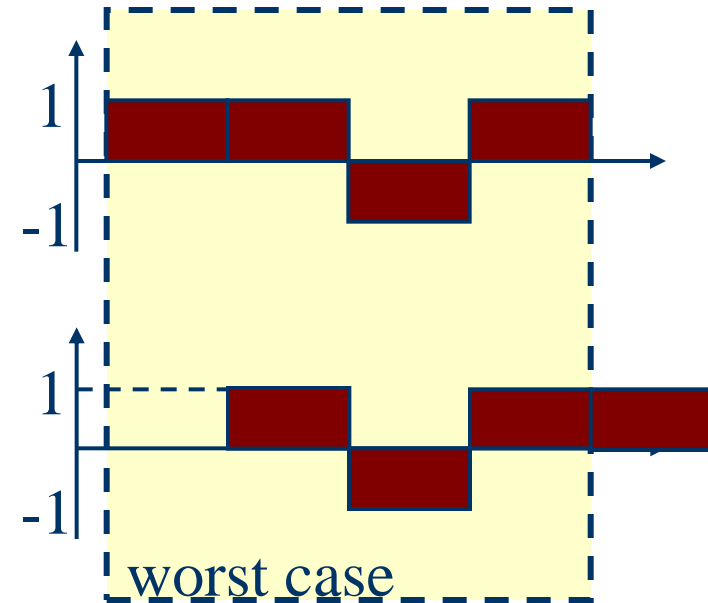
chip sequence  
of user 1



chip sequence  
of user 2

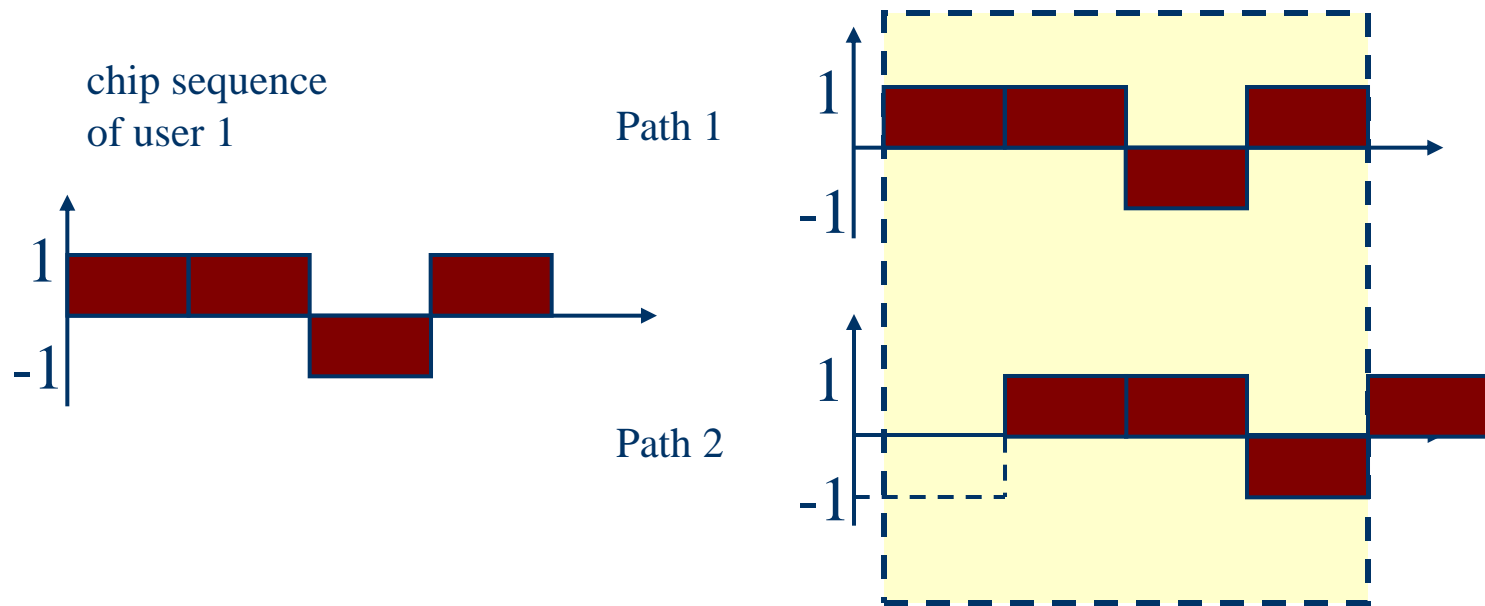


Receiver of user 1

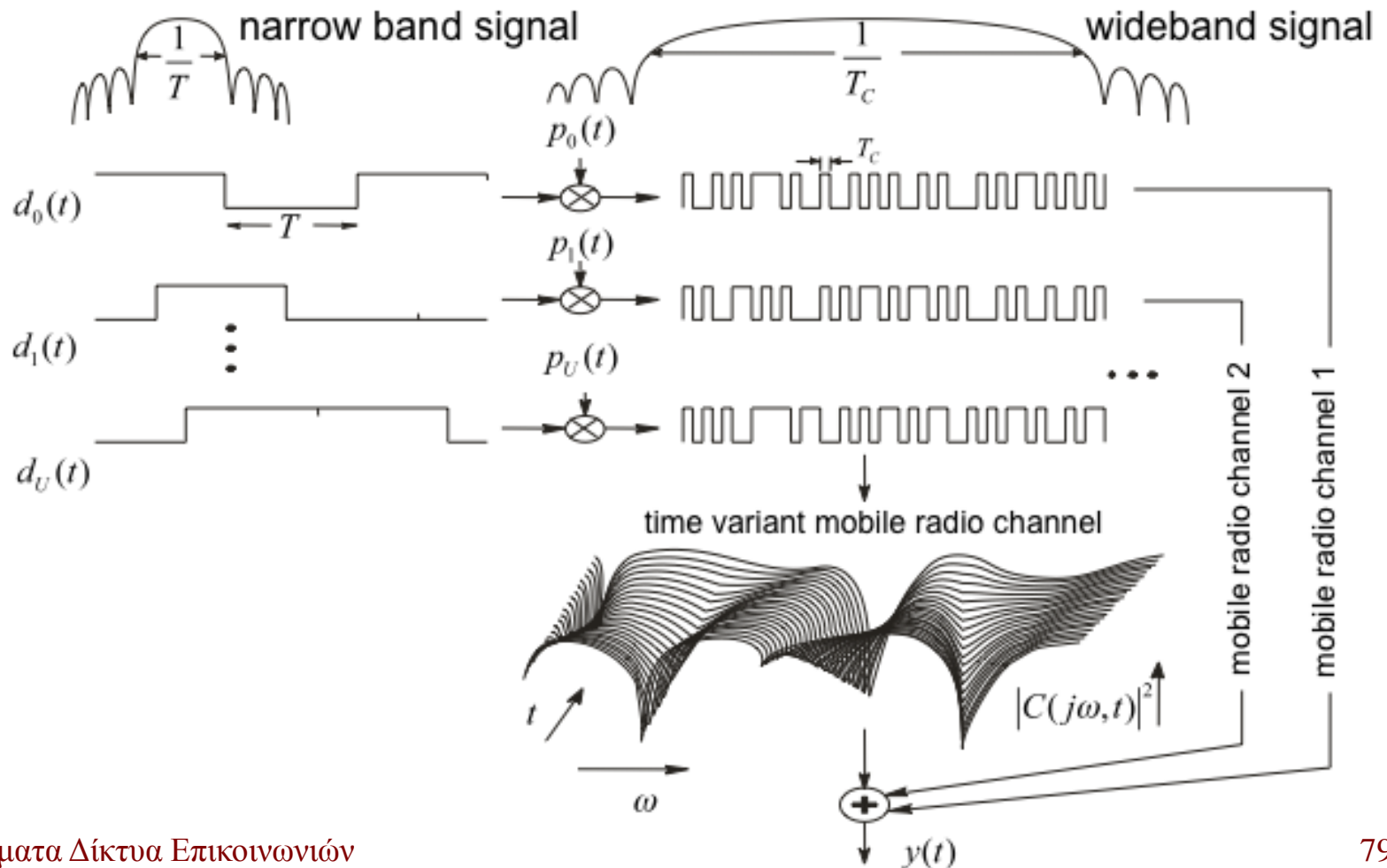


# Orthogonal Codes?

- ◆ Problem: Multipath channel (Up- and Downlink)



# CDMA System and mobile radio channel



# Walsh Codes

- ◆ Set of Walsh codes of length  $n$  consists of the  $n$  rows of an  $n \times n$  Walsh matrix:

- $W_1 = (0)$        $W_{2n} = \begin{pmatrix} W_n & W_{2n} \\ W_n & \overline{W_n} \end{pmatrix}$

- $n$  = dimension of the matrix
- Every row is orthogonal to every other row and to the logical not of every other row
- Requires tight synchronization
  - Cross correlation between different shifts of Walsh sequences is not zero



# How to choose spreading codes?

- ◆ Walsh Hadamard codes:

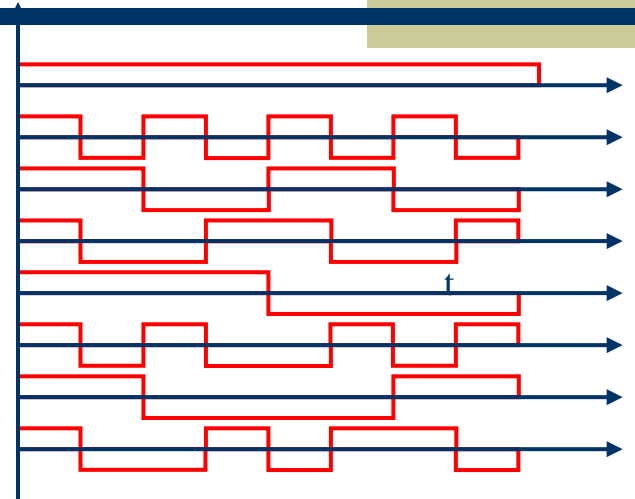
$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & -\mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix}$$

- ◆ Orthogonality:

$$\mathbf{H}_k^T \mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & -\mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & -\mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\mathbf{H}_{k-1}^T \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & 2\mathbf{H}_{k-1}^T \mathbf{H}_{k-1} \end{bmatrix} = 2^k \mathbf{I}_{2^k}$$

- ◆ Example:

$$\mathbf{H}_0 = 1 \quad \mathbf{H}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{H}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

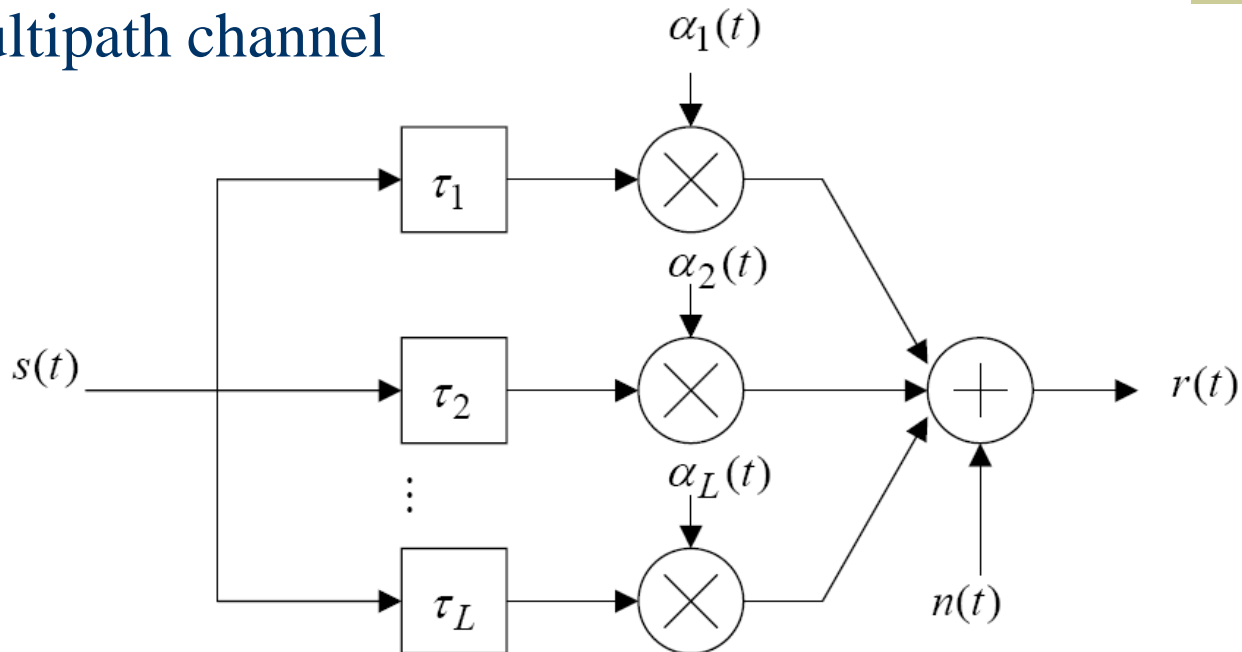


# Typical Multiple Spreading Approach

- ◆ Spread data rate by an orthogonal code (channelization code)
  - Provides mutual orthogonality among all users in the same cell
- ◆ Further spread result by a PN sequence (scrambling code)
  - Provides mutual randomness (low cross correlation) between users in different cells

# Rake Receiver

- ◆ Multipath channel



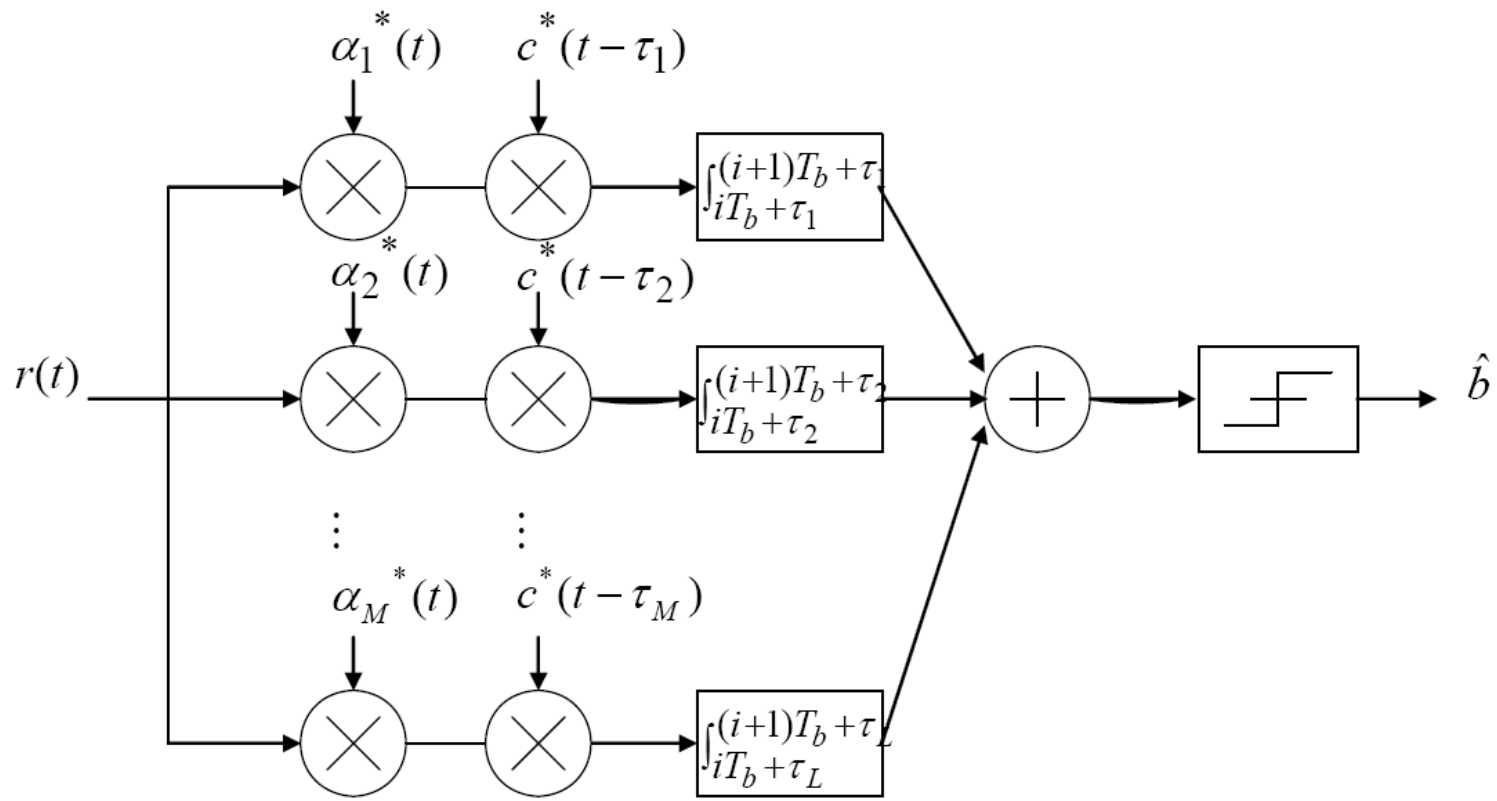
$$r(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_l(t) s(t - \tau_l) + n(t) \text{ - for only one user.}$$

where  $s(t) = \sqrt{P}b(t)c(t)$  and  $\alpha_l(t)$  is the time-variant complex channel gain of the  $i$ th path.

# Rake Receiver

- ◆ Spread spectrum techniques can improve reception through using a receiver structure named RAKE receiver.
- ◆ It inherited its name from the analogy of a garden rake, whereby the fingers constitute the resolvable paths.
- ◆ The point where the handle and fingers meet is where diversity combining takes place.
- ◆ Possible methods of diversity combining are:
  - Selection combining (SC)
  - Maximal ratio combining (MRC)
  - Equal gain combining (EGC)
  - Combining of the n best signals (SC-n)

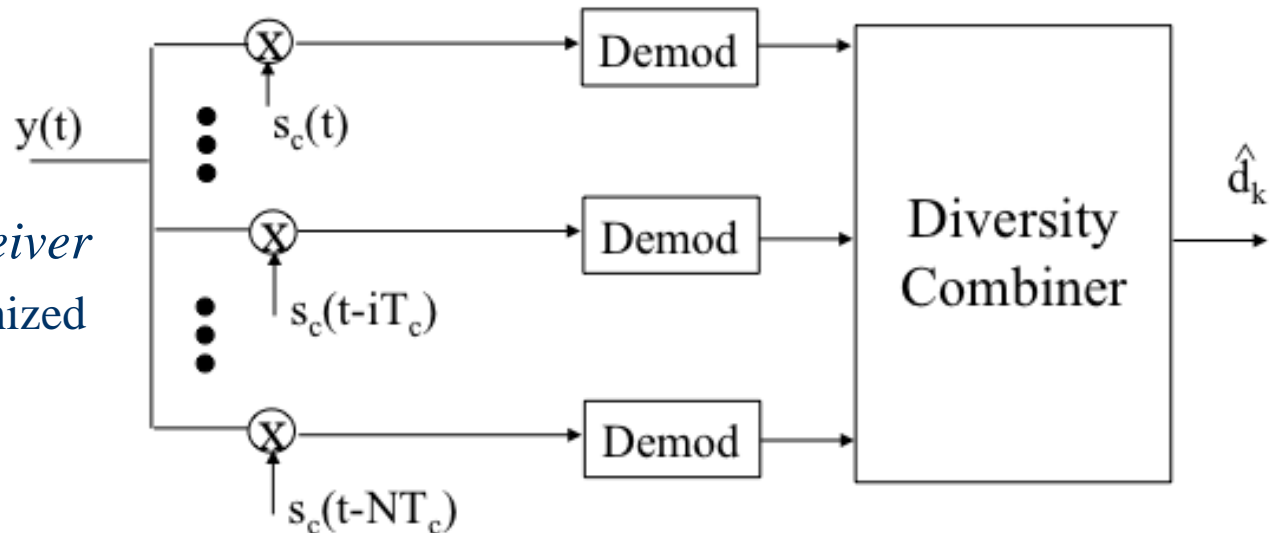
# Rake Receiver



# Rake Receiver

- ◆ For optimum performance of the RAKE receiver using coherent demodulation, the path attenuation and phase must be accurately estimated.
- ◆ This estimation is performed by another process known as channel estimation.

*Multibranch receiver*  
Branches synchronized  
to different MP  
components



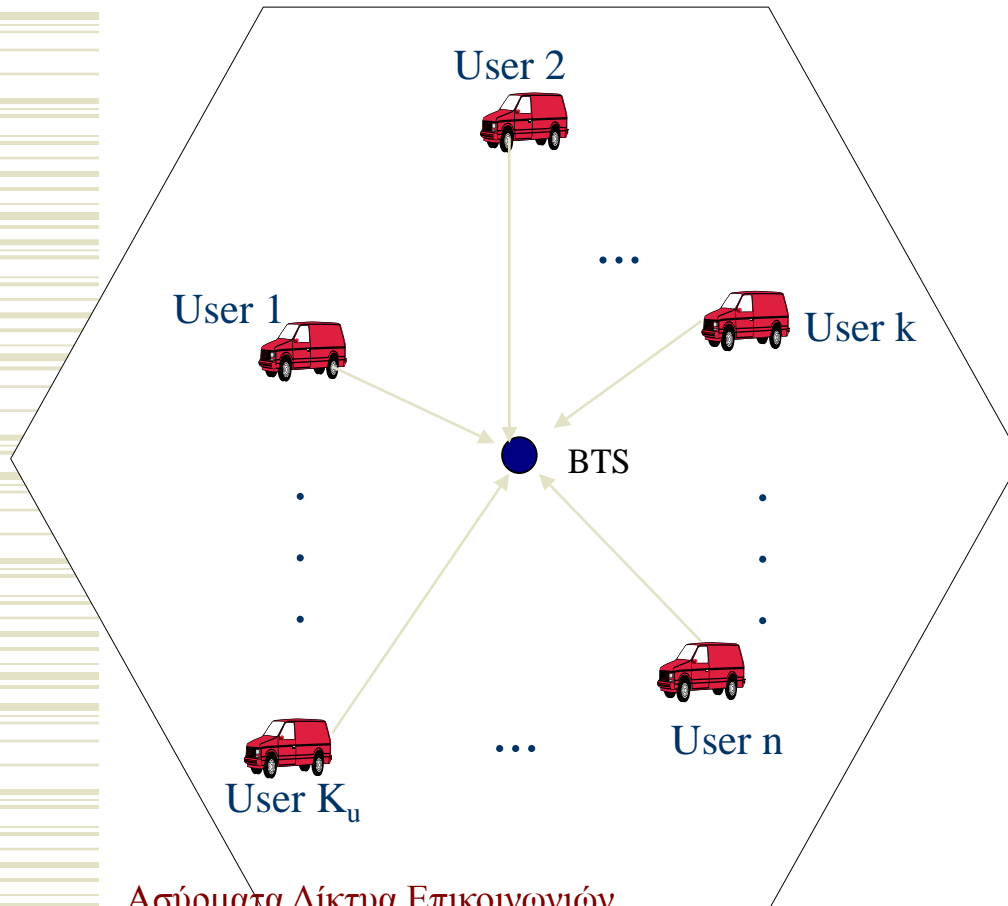
# Προβλήματα στο CDMA



- ◆ Η ισχύς που λαμβάνεται από τον πομπό με Κώδικα Β είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη του επιθυμητού με κώδικα Α.
- ◆ Λύση: Έλεγχος ισχύος (**power control**) από το BTS, ώστε όλα τα λαμβανόμενα να έχουν περίπου την ίδια ισχύ.

# Capacity of CDMA Systems

## ◆ Uplink Single-cell System Model



### Assumptions

- Total active users  $K_u$
- The intra-cell MAI can be modeled as AWGN
- Perfect power control is assumed
- Random sequences



# Capacity of CDMA Systems

## ◆ Coarse estimate of the reverse link (uplink) capacity

### ■ Assumptions:

- Single Cell.
- The interference caused by other users in the cell can be modeled as AWGN.
- Perfect power control is used, i.e. the received power of each user at the base station is the same.

- If the received power of each user is  $P_s$  watts, and the background noise can be ignored (ex: micro-cells), then the total interference power (MAI) at the output of the desired user's detector is

$$I \cong (K_u - 1)P_s$$

where  $K_u$  is the total number of equal energy users in the cell. Suppose each user can operate against Gaussian noise at a bit-energy-to-noise density level of  $E_b/I_0$ . Let  $W$  be the entire spread bandwidth, then the interference spectral density can be expressed as:

$$I_0 = \frac{I}{W} \quad \text{Watts/Hz} \quad (\text{one-sided})$$

# Capacity of CDMA Systems

Interference limited

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Also, the bit energy } E_b \text{ is } E_b = \frac{P_s}{R_b} \\ \text{Thus, } K_u - 1 = \frac{I}{P_s} = \frac{I_0 \cdot W}{E_b \cdot R_b} = \frac{W/R_b}{E_b/I_0} \end{array} \right.$$

★ Now, if we consider the factors of voice activity ( $G_v$ ), sectorized antenna gain ( $G_A$ ), and other-cell interference factor ( $f$ ), where

$$G_v \approx 1/v = 2.67$$

$$G_A \text{ (three sectors)} \approx 2.4$$

$$f = (\text{Interference from other cells})/(\text{Interference from given cell}) \approx 0.6$$

# Capacity of CDMA Systems

In this case,  $K_u$  can be approximated by

$$K_u \cong \frac{W/R_b}{E_b/I_0} \cdot \frac{G_v \cdot G_A}{(1+f)}$$

Ex: If  $G_v \approx 2.67$ ,  $G_A \approx 2.4$ ,  $f \approx 0.6$

$$\Rightarrow K_u \cong \frac{4 \cdot (W/R_b)}{(E_b/I_0)}$$

If  $(E_b/I_0)$  required is 6 dB (i.e.  $E_b/I_0 = 4$ )

$$\Rightarrow K_u \cong \frac{W}{R_b}$$

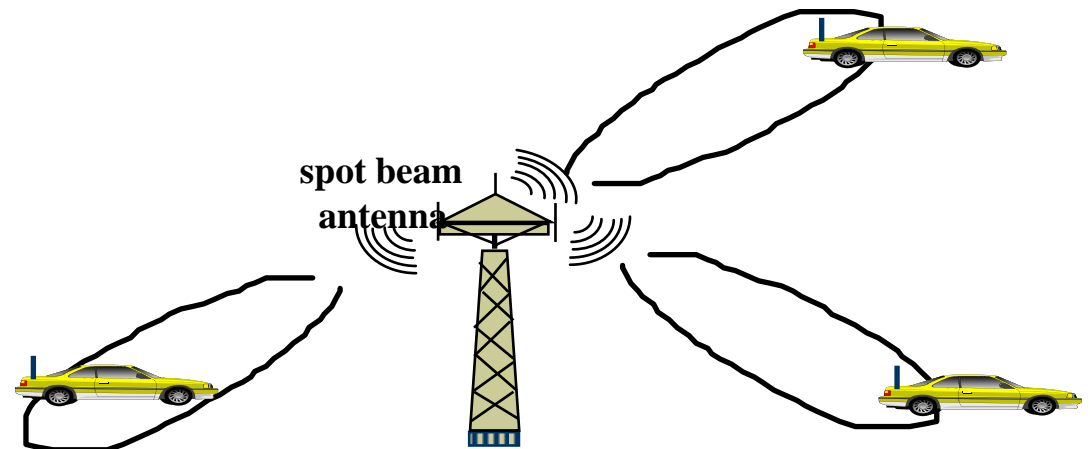
which will be larger than the TDMA or FDMA systems in the cellular environment.

# Space Division Multiple Access (SDMA)

- ◆ Έλεγχος της ακτινοβολούμενης Η/Μ ακτινοβολίας για κάθε χρήστη στην περιοχή κάλυψης.
- ◆ Για τον έλεγχο χρησιμοποιούνται έξυπνες (**smart**) προσαρμοστικές (**adaptive**) κεραίες (**antennas**).
- ◆ Σε κάθε περιοχή που εξυπηρετείται από ένα λοβό ακτινοβολίας, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άλλες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (π.χ. FDMA, TDMA ή και CDMA).

# Space Division Multiple Access (SDMA)

- ◆ Use spot beam antennas
- ◆ Sectorized antenna can be thought of as a SDMA
- ◆ Adaptive antennas can be used in the future (simultaneously steer energy in the direction of many users)



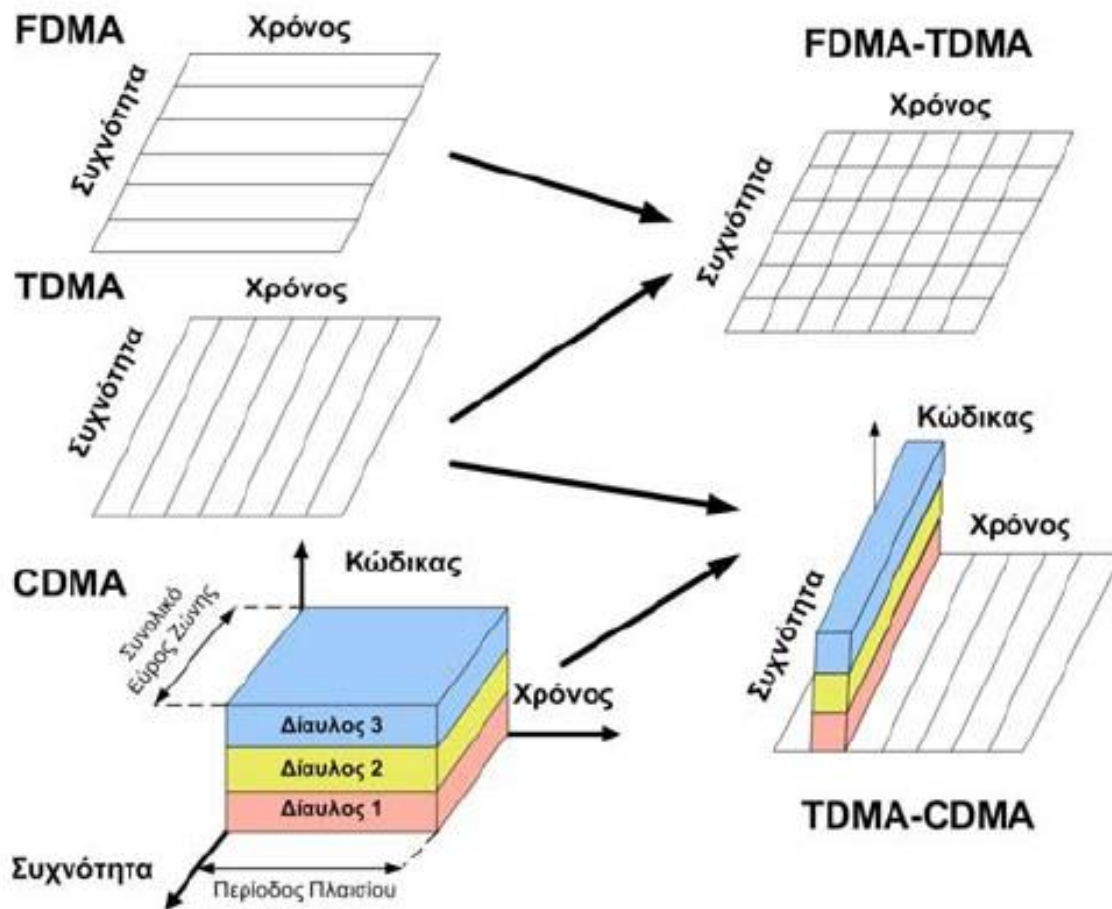
# Space Division Multiple Access (SDMA)

- ◆ A large number of independently steered high-gain beams can be formed without any resulting degradation in SNR ratio.
- ◆ Beams can be assigned to individual users, thereby assuring that all links operate with maximum gain.
- ◆ Adaptive beamforming can be easily implemented to improve the system capacity by suppressing co-channel interference.

# Συνδυασμοί Τεχνικών Πολλαπλής Πρόσβασης

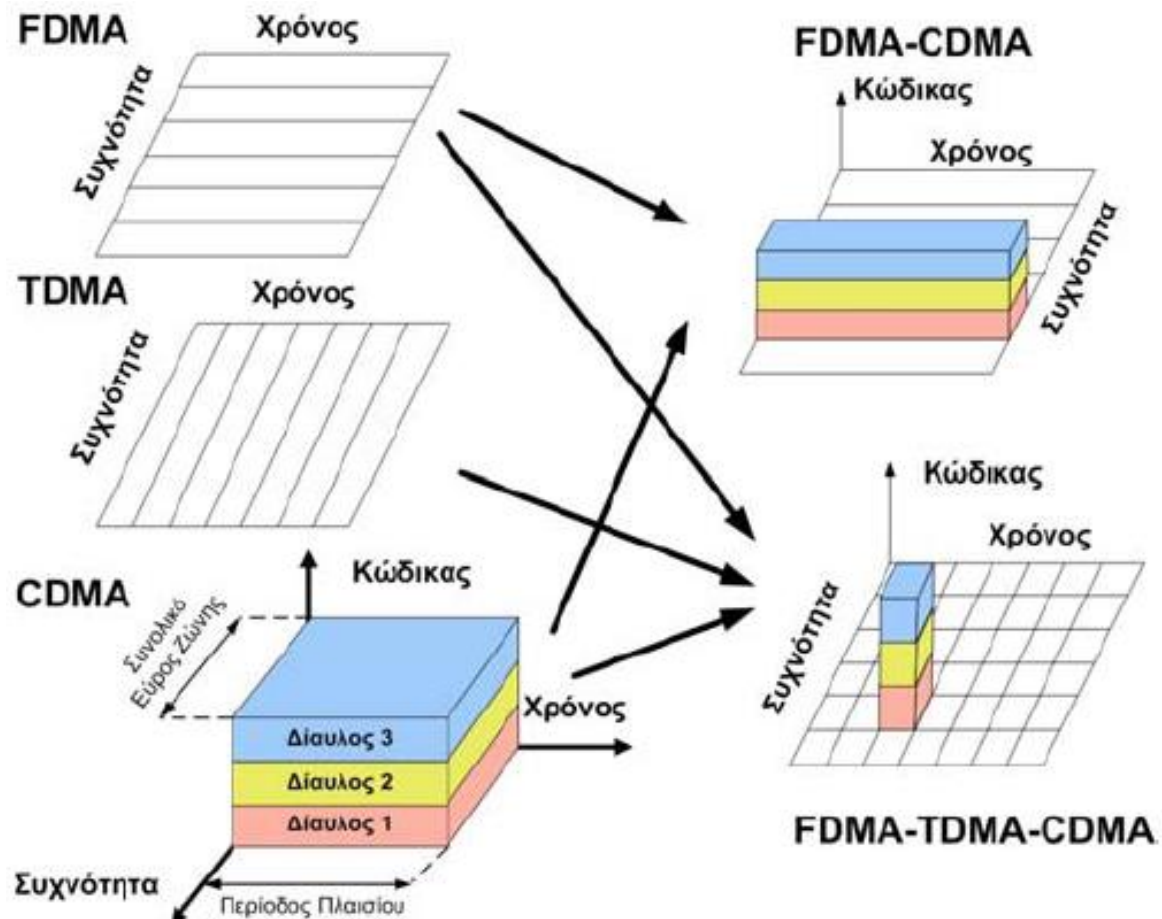
- ◆ Time Division CDMA (TCDMA)
  - Each cell is using a different spreading code (CDMA employed between cells) that is conveyed to the mobiles in its range.
  - Inside each cell (inside a CDMA channel), TDMA is employed to multiplex multiple users.
- ◆ Time Division Frequency Hopping
  - At each time slot, the user is hopped to a new frequency according to a pseudo-random hopping sequence.
  - Employed in severe co-interference and multi-path environments.
    - Bluetooth and GSM are using this technique.

# Συνδυασμοί Τεχνικών Πολλαπλής Πρόσβασης





# Συνδυασμοί Τεχνικών Πολλαπλής Πρόσβασης



# Τεχνικές Τυχαίας Πρόσβασης

- ◆ Στα περισσότερα ασύρματα δίκτυα δεδομένων μόνο

- Μια μικρή
- Απρόβλεπτη
- Δυναμική

υποομάδα χρηστών στέλνει δεδομένα μια δεδομένη χρονική στιγμή.

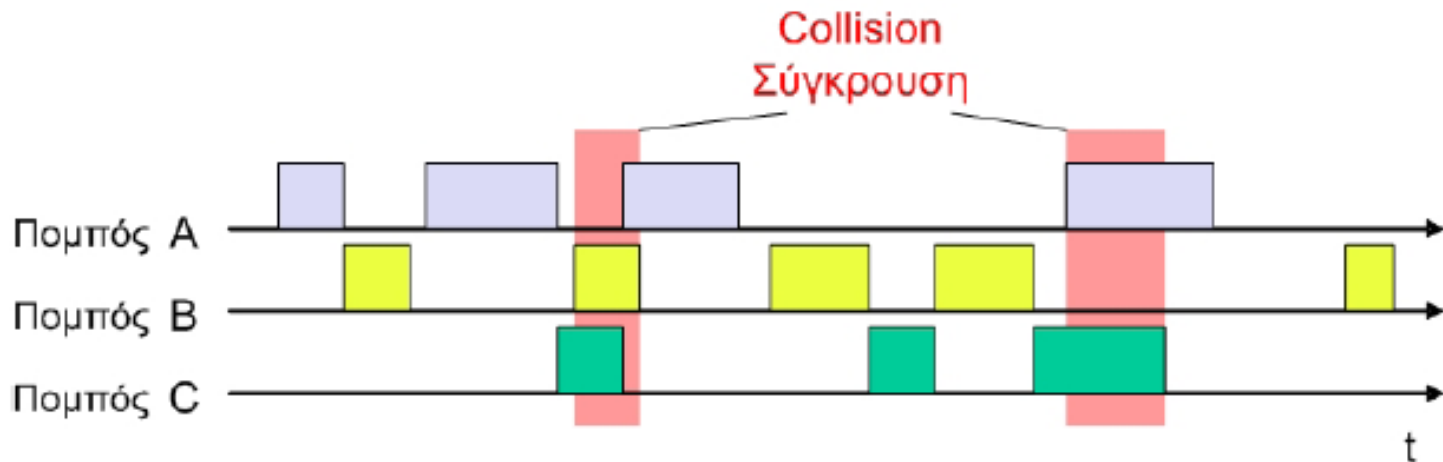
- ◆ Η αποκλειστική απόδοση διαύλων δεν είναι αποδοτική.
- ◆ Χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης που στηρίζονται στη μετάδοση δεδομένων σε πακέτα.

# Τεχνικές Τυχαίας Πρόσβασης

- ◆ Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες
  - Τεχνικές ALOHA
  - Πρωτόκολλα Reservation ή Demand-Assignment
  - Υβριδική τεχνική PRMA (Packet Reservation Multiple Access)
- ◆ ALOHA
  - Απλή ALOHA
  - Slotted-ALOHA
  - Επικουρικές τεχνικές: Carrier Sensing, Collision Detection, Collision Avoidance

# Απλό ALOHA

- ◆ Ο πομπός στέλνει δεδομένα στο δίαυλο, κάθε φορά που αυτά είναι διαθέσιμα.
- ◆ Σύγκρουση δεδομένων στο δέκτη.



# Απλό ALOHA

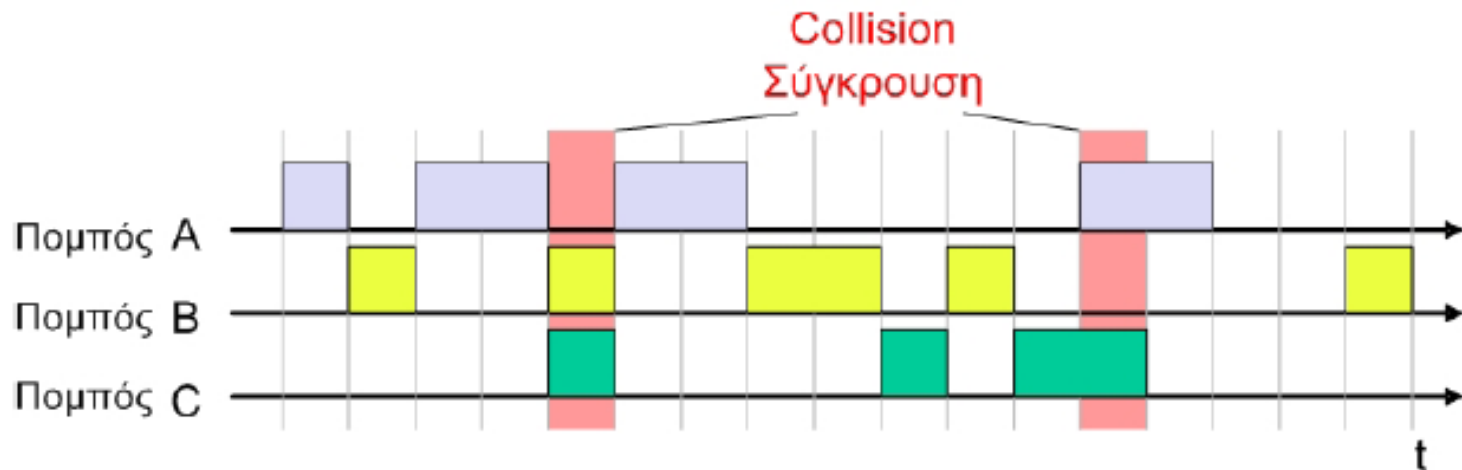
- ◆ Όσα πακέτα συγκρούονται πρέπει να αποσταλούν ξανά μετά από κάποιο τυχαίο (ώστε να αποφευχθούν αλληπάλληλες συγκρούσεις) χρονικό διάστημα.
- ◆ Για μικρό φορτίο, η τεχνική αποδίδει καλά.
- ◆ Η μέγιστη δυνατότητα μεταφοράς σε ένα δίαυλο ALOHA είναι το 18% εκείνης αν ένας μόνο χρήστης χρησιμοποιούσε το δίαυλο.
- ◆ Η υπόθεση που γίνεται είναι ότι οι αφίξεις πακέτων ακολουθούν κατανομή Poisson.
- ◆ Αυτή η υπόθεση είναι ικανοποιητική σε κλασικά τηλεφωνικά δίκτυα, όχι όμως και για τη σημερινή κίνηση στο Internet.

# Self-Similar Traffic

- ◆ Η κίνηση των πακέτων στο Internet ακολουθεί την κατανομή **self-similar**, ή όπως πολλές φορές λέγεται κατανομή με μεγάλες ουρές.
- ◆ Δηλαδή υπάρχουν πολλές τιμές της κατανομής αρκετά μακριά από τη μέση τιμή.
- ◆ Η ιδιότητα self-similarity ουσιαστικά περιγράφει την **ανεξαρτησία της παρατηρούμενης δομής γεγονότων από τη διάρκεια της παρατήρησης (scale-invariant)**.
- ◆ Δηλαδή οι χρόνοι μεταξύ διαδοχικών αφίξεων κάποιων www sessions, ή εγκαταστάσεων TCP συνδέσεων, ή πακέτων IP, ή ATM cells, δείχνουν όλοι παρόμοιοι μέσα στην αντίστοιχη χρονική κλίμακα.

# Slotted ALOHA

- ◆ Ο χρόνος διαιρείται σε σχισμές και οι χρόνοι μετάδοσης είναι προκαθορισμένοι (συγχρονισμός πομπών).

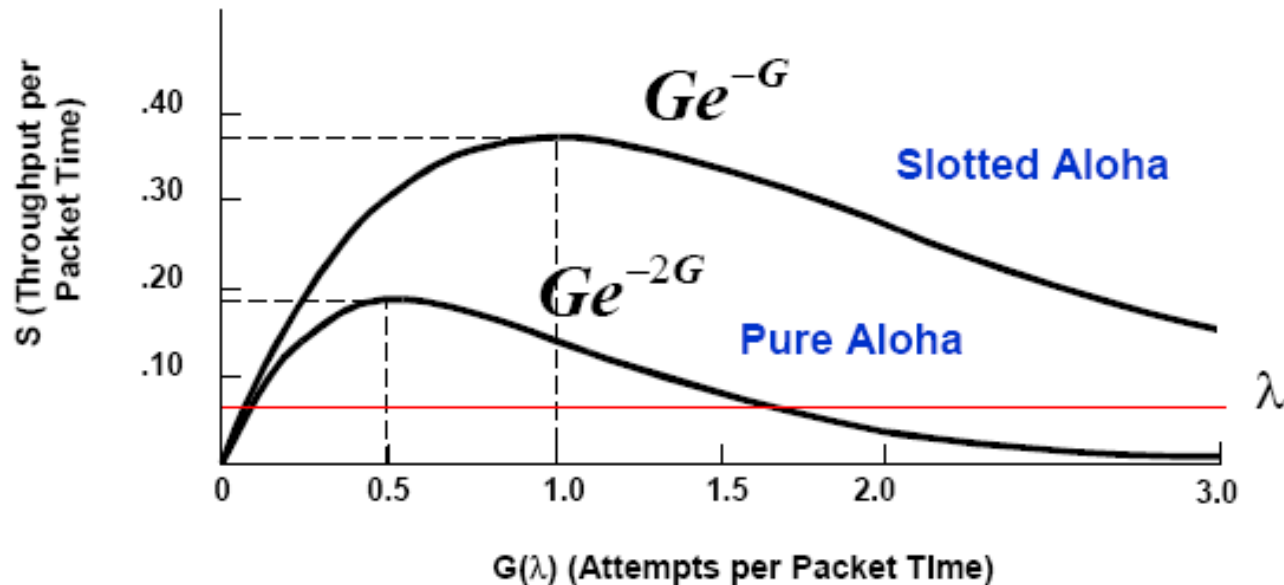


# Slotted ALOHA

- ◆ Όσα πακέτα συγκρούονται πρέπει να αποσταλούν ξανά μετά από κάποιο τυχαίο (ώστε να αποφευχθούν αλληπάλληλες συγκρούσεις) χρονικό διάστημα.
- ◆ Προκύπτουν συνολικά λιγότερες συγκρούσεις γιατί εκλείπουν τα μερικώς επικαλυπτόμενα πακέτα.
- ◆ Έχει περίπου διπλάσια δυνατότητα μεταφοράς ως προς το απλό ALOHA.
- ◆ Χρησιμοποιείται για την τυχαία πρόσβαση ακόμη και στο UMTS για την τυχαία πρόσβαση στην εγκατάσταση κλήσεων.



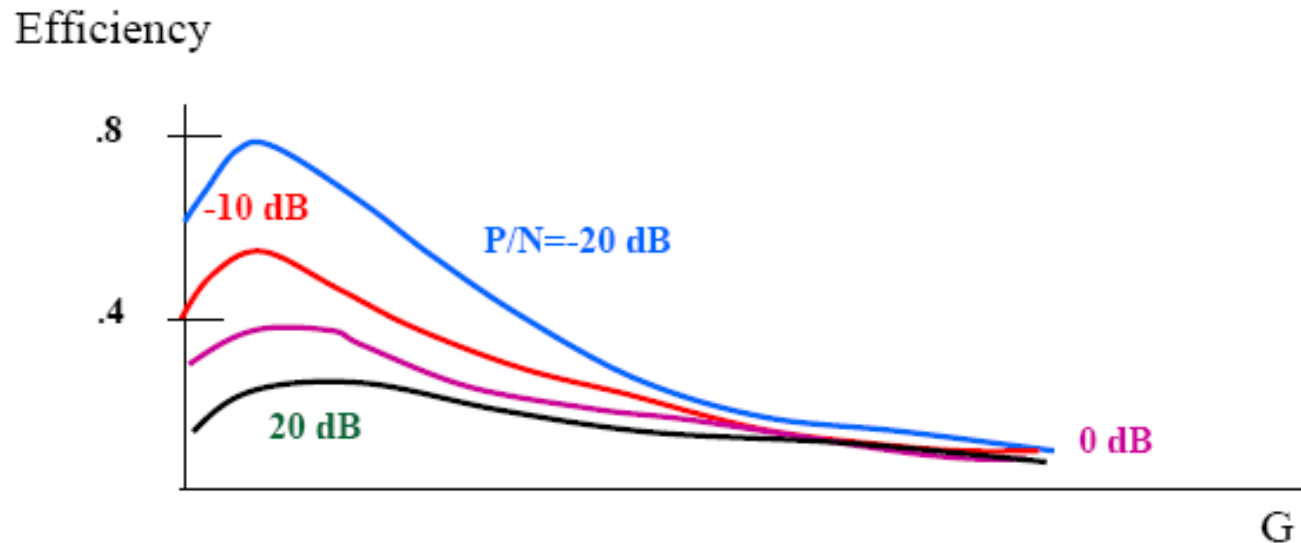
# Απόδοση των δύο ALOHA



Ενώ η slotted ALOHA παρουσιάζει διπλάσια σχεδόν δυνατότητα μεταφοράς, δεν είναι αποδοτική τεχνική για πολλούς χρήστες υψηλού ρυθμού μετάδοσης.

# Απόδοση της ALOHA

- ♦ Για συστήματα με περιορισμένους πόρους μέσης ισχύος και εύρους ζώνης, η αποδοτικότητα (σε σχέση με το απλό ALOHA) φαίνεται στο σχήμα.



# Επικουρικές Τεχνικές

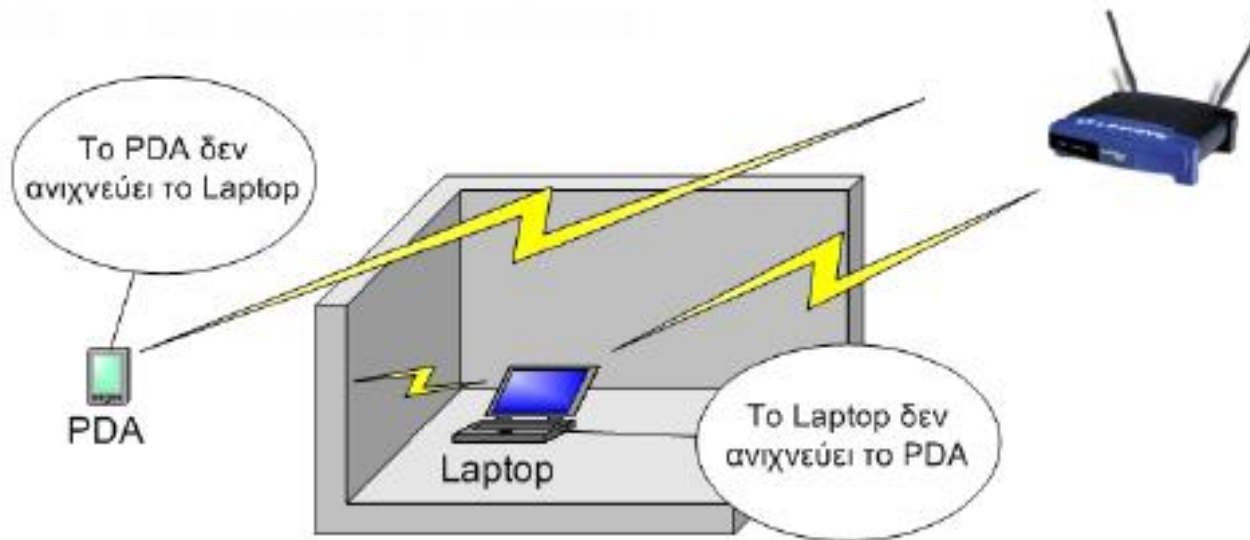
- ◆ Ένα φαινόμενο που βελτιώνει την απόδοση του ALOHA είναι το **φαινόμενο σύλληψης (capture effect)**, παρόμοιο σε λογική με το near-far στο CDMA.
- ◆ Πακέτα από μακρινούς στο δέκτη χρήστες λαμβάνονται με πολύ μικρότερη ισχύ και παρόλη την επικάλυψη με πακέτα από κοντινούς χρήστες δεν υπάρχει πρόβλημα στην ανάκτηση της πληροφορίας.
- ◆ Επιπλέον μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την τεχνική διασποράς φάσματος σε συνδυασμό με ALOHA ώστε να μειωθούν οι συγκρούσεις.

# Επικουρικές Τεχνικές

- ◆ Με την τεχνική **ανίχνευσης φέροντος (carrier sensing multiple access, CSMA)** στα ενσύρματα συστήματα (π.χ. Ethernet) ο πομπός ανιχνεύει το δίαυλο αν είναι κατειλημμένος πριν αποστείλει πακέτα.
- ◆ Αν είναι κατειλημμένος η εκπομπή καθυστερείται μέχρι να είναι διαθέσιμος ο δίαυλος. Έτσι επιτυγχάνονται λιγότερες αναμεταδόσεις.
- ◆ Η τεχνική αυτή συνήθως στα ενσύρματα συνδυάζεται με την τεχνική **αναγνώρισης συγκρούσεων (Collision Detection, CD)**.
- ◆ Ο δίαυλος δηλαδή παρακολουθείται και αν εντοπιστεί άλλος πομπός να στέλνει πακέτα, τότε ο αρχικός πομπός ξαναστέλνει τα δικά του πακέτα χωρίς να περιμένει αρνητική επιβεβαίωση ή λήξη του χρόνου (timeout) από το δέκτη.

# Επικουρικές Τεχνικές

- ◆ Η αναγνώριση των συγκρούσεων προϋποθέτει την αναγνώριση εκπομπών άλλων χρηστών, που είναι πολλές φορές αδύνατη σε ασύρματα συστήματα, λόγω απωλειών διάδοσης και σκίασης.
- ◆ Το πρόβλημα της αναγνώρισης των εκπομπών καλείται και **πρόβλημα κρυμμένων τερματικών (hidden terminal problem)**.



# Επικουρικές Τεχνικές

## Πρόβλημα κρυμμένων τερματικών (συνέχεια)

- ◆ Το Laptop στέλνει πακέτα στο Access Point.
- ◆ Το PDA δεν ανιχνεύει το Laptop και αποστέλλει πακέτα στο Access Point, επειδή «ακούει» κενό δίαυλο, δηλαδή η τεχνική CS αποτυγχάνει.
- ◆ Στο Access Point έχουμε σύγκρουση.
- ◆ Το Laptop δεν μπορεί να αναγνωρίσει τη σύγκρουση επειδή δεν «βλέπει» το PDA, άρα η τεχνική CD αποτυγχάνει.

# Επικουρικές Τεχνικές

- ◆ Πρόβλημα Εκτεθειμένων Τερματικών (Exposed Terminals)



- ◆ Ο B στέλνει στον A, και ο C θέλει να στείλει (ούτε στον A ούτε στον B αλλά σε άλλο τερματικό)
- ◆ Λόγω CS ο C θα περιμένει.
- ◆ Όμως ο A είναι εκτός κάλυψης του C, άρα κακώς ο C περιμένει, δηλαδή ο C είναι εκτεθειμένος.

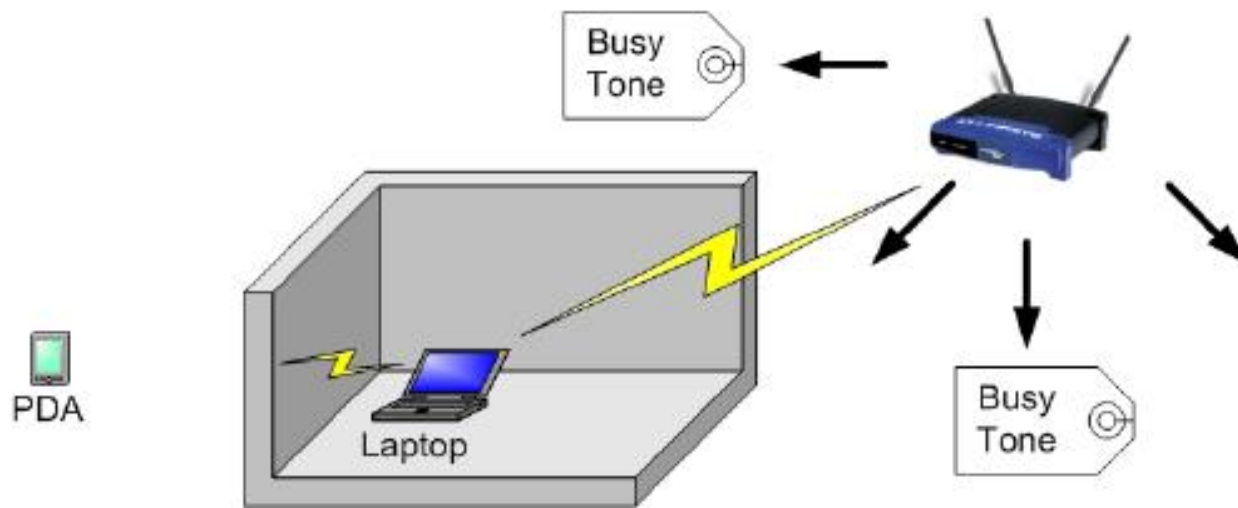
# Επικουρικές Τεχνικές

- ◆ Συνήθως στα WLANs χρησιμοποιείται η τεχνική **αποφυγής συγκρούσεων (Collision Avoidance, CA)**.
- ◆ Η τεχνική πλέον περνά στο δέκτη!!!
- ◆ Ο δέκτης ενημερώνει όλους τους γειτονικούς πομπούς ότι δέχεται ένα πακέτο, εκπέμποντας ένα **τόνο κατειλημμένου (busy tone)**.
- ◆ Οι πομποί που έχουν πακέτα προς αποστολή περιμένουν ένα τυχαίο χρονικό διάστημα μετά τη λήξη του τόνου.
- ◆ Αυτή η τεχνική πολλές φορές καλείται και Inhibit Sense Multiple Access (ISMA) και προτάθηκε κυρίως για τη μετάδοση δεδομένων στο AMPS.



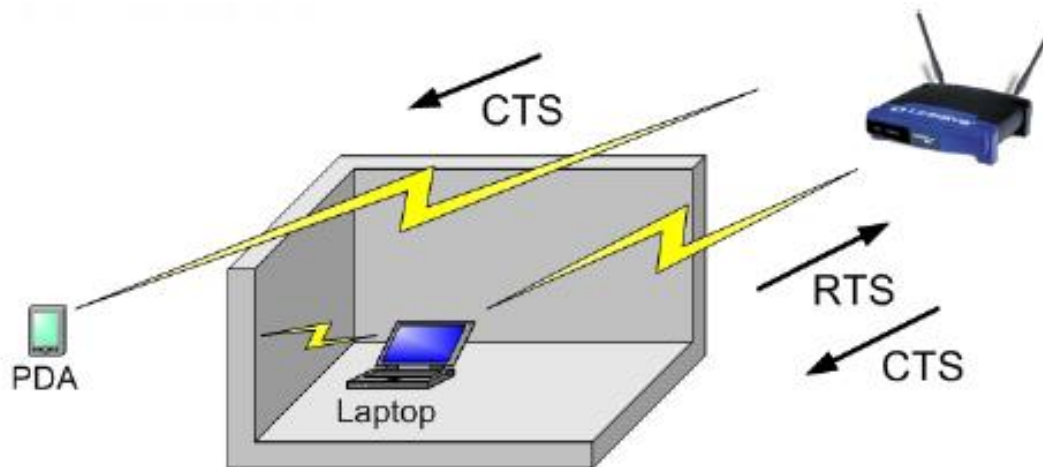
# Επικουρικές Τεχνικές

- ◆ Η τεχνική της αποφυγής συγκρούσεων είναι πολύ αποδοτική.
- ◆ Η αποδοτικότητα περιορίζεται όταν ο τόνος κατειλημμένου επηρεάζεται από τις απώλειες διάδοσης, της σκίασης και των διαλείψεων.



# Επικουρικές Τεχνικές

- ♦ Μια παρόμοια τεχνική αποφυγής συγκρούσεων που χρησιμοποιείται (προαιρετικά) στο IEEE 802.11 είναι με χρήση αίτησης για αποστολή και επιβεβαίωσης από το δέκτη για έναρξη αποστολής (**Multiple Access Collision Avoidance, MACA**).

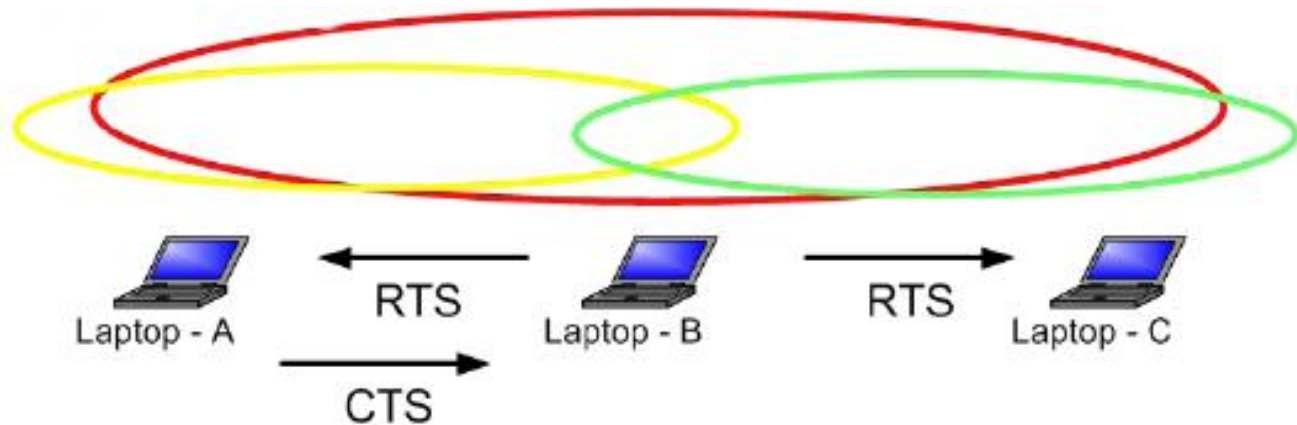


# Επικουρικές Τεχνικές

- ◆ Το Laptop στέλνει Request To Send (RTS) που περιέχει το όνομα πομπού και δέκτη (Laptop, AP) και την επιθυμητή διάρκεια μετάδοσης.
- ◆ Το AP λαμβάνει το RTS (το PDA δεν το λαμβάνει αν είναι κρυμμένο τερματικό) και απαντά με Clear To Send (CTS), που περιέχει τις ίδιες πληροφορίες με το RTS.
- ◆ Το μέσο ουσιαστικά έχει κρατηθεί από το Laptop και το PDA που λαμβάνει το CTS δεν στέλνει μέχρι να λήξει ο χρόνος που αναφέρονταν στο CTS.
- ◆ Το πρόβλημα των κρυμμένων τερματικών επιλύεται αν δεν αλλάξει η κατάσταση (π.χ. Αν δεν εισέλθει στην περιοχή του AP ένα άλλο τερματικό μετά την αποστολή του CTS).

# Επικουρικές Τεχνικές

- ◆ Καμία μετάδοση δεν επιτρέπεται χωρίς CTS.
- ◆ Επιλύεται όμως και το πρόβλημα των εκτεθειμένων τερματικών.
- ◆ Στο RTS που στέλνει ο B ο C δεν αντιδρά. Επειδή ο C δεν λαμβάνει το CTS του A, συμπεραίνει ότι ο A είναι εκτός εμβέλειας και μπορεί να στείλει.

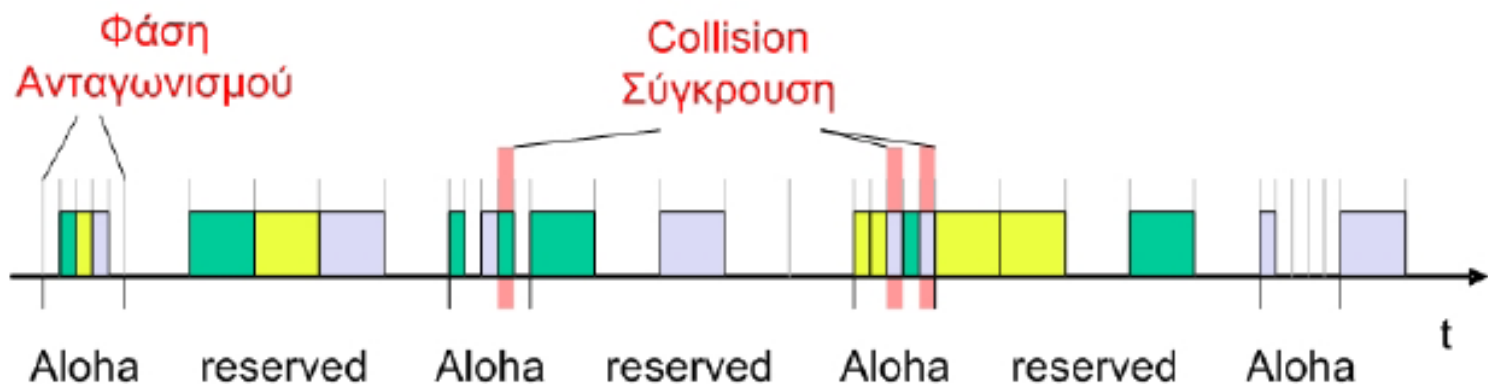


# Πρωτόκολλα Κράτησης (Reservation)

- ◆ Στα πρωτόκολλα αυτά υπάρχει **αποκλειστικός δίαυλος κρατήσεων**.
- ◆ Μέσω αυτού αποδίδονται δίαυλοι στους χρήστες κατά απαίτηση.
- ◆ Η απόδοση γίνεται είτε κεντρικά (Access Point), είτε από ένα κοινό αλγόριθμο που τρέχει σε κάθε τερματικό.
- ◆ Αν τα πακέτα σηματοδοσίας είναι ένα μικρό μόνο μέρος των αντίστοιχων της πληροφορίας, η τεχνική είναι πολύ αποδοτική.
- ◆ Αν όχι, τότε η απόδοση μειώνεται.
- ◆ Επιπλέον αν το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο, το πρόβλημα της απόδοσης μεταφέρεται στο δίαυλο κρατήσεων.

# Explicit Reservation ALOHA (DAMA)

- ◆ Υπάρχει φάση ανταγωνισμού όπου και καθορίζεται στο επόμενο πλαίσιο ποιος έχει δικαίωμα να στείλει σε κάθε σχισμή.
- ◆ Κεντρική τεχνική όπου ο ΣΒ (ή ο δορυφόρος) στέλνει λίστα με τα δικαιώματα πρόσβασης.



# Packet Reservation Multiple Access (PRMA)

- ◆ Ο χρόνος διαιρείται σε σχισμές και πλαίσια.
- ◆ Τα ενεργά τερματικά ανταγωνίζονται (slotted ALOHA) για ελεύθερες σχισμές σε κάθε πλαίσιο.
- ◆ Αν ένα πακέτο μεταδοθεί επιτυχώς σε μια σχισμή, τότε αυτή αποδίδεται στο χρήστη για όσο χρονικό διάστημα υπάρχουν πακέτα προς αποστολή.
- ◆ Αν σταματήσει η εκπομπή πακέτων, αφαιρείται και η χρονοσχισμή από το χρήστη.
- ◆ Υπηρεσίες π.χ. φωνής και video εξασφαλίζουν συνεχή ροή, ενώ π.χ. η μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιεί το δίαυλο όσο είναι απαραίτητο.

# Packet Reservation Multiple Access (PRMA)

- ◆ Το σχήμα ACDABA-F σημαίνει ότι η 7η σχισμή είναι ελεύθερη και σε αυτή θα ανταγωνιστούν οι πιθανοί χρήστες.
- ◆ Αν υπάρξει σύγκρουση η 7η σχισμή παραμένει κενή και στο επόμενο πλαίσιο.

