

Ψηφιακές Επικοινωνίες

Κεφ 11: Πολυπλεξία και Πολλαπλή Πρόσβαση

Πρόβλημα

- Υπάρχει ένα κανάλι το οποίο «μοιράζονται» πολλοί κόμβοι.
- **Πρόβλημα:** Ποιος μεταδίδει, που και πότε;

Παραδοχές και Υποθέσεις

- Μοντέλο
 - N ανεξάρτητοι κόμβοι (terminals) οι οποίοι σε ένα διάστημα Δt δημιουργούν νέο πλαίσιο με πιθανότητα $\lambda \Delta t$ όπου λ είναι μία σταθερά.
- Υπάρχει **μόνο ένα κανάλι για επικοινωνία**
- Εάν δύο πλαίσια εκπεμφθούν έτσι ώστε να υπάρχει **χρονική επικάλυψη** τότε υπάρχει **σύγκρουση** (collision) και τα δύο πλαίσια χάνονται και πρέπει να ξανασταλούν. Οι συγκρούσεις αποτελούν την μόνη πηγή σφαλμάτων
 - Εξαίρεση αποτελούν τα συστήματα Spread-Spectrum τα οποία λύνουν το πρόβλημα των συγκρούσεων «εξαπλώνοντας» (spreading) το σήμα.
- Συνεχής χρόνος (continuous time): πλαίσια μπορούν να αποστέλλονται **οποιαδήποτε χρονική στιγμή**

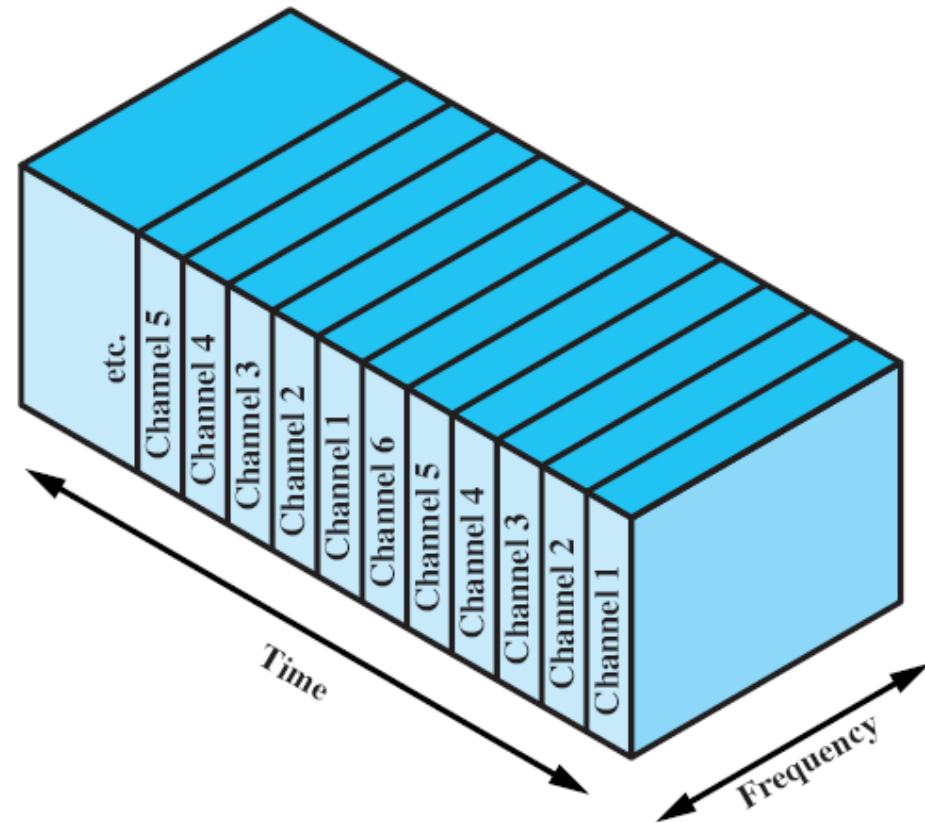
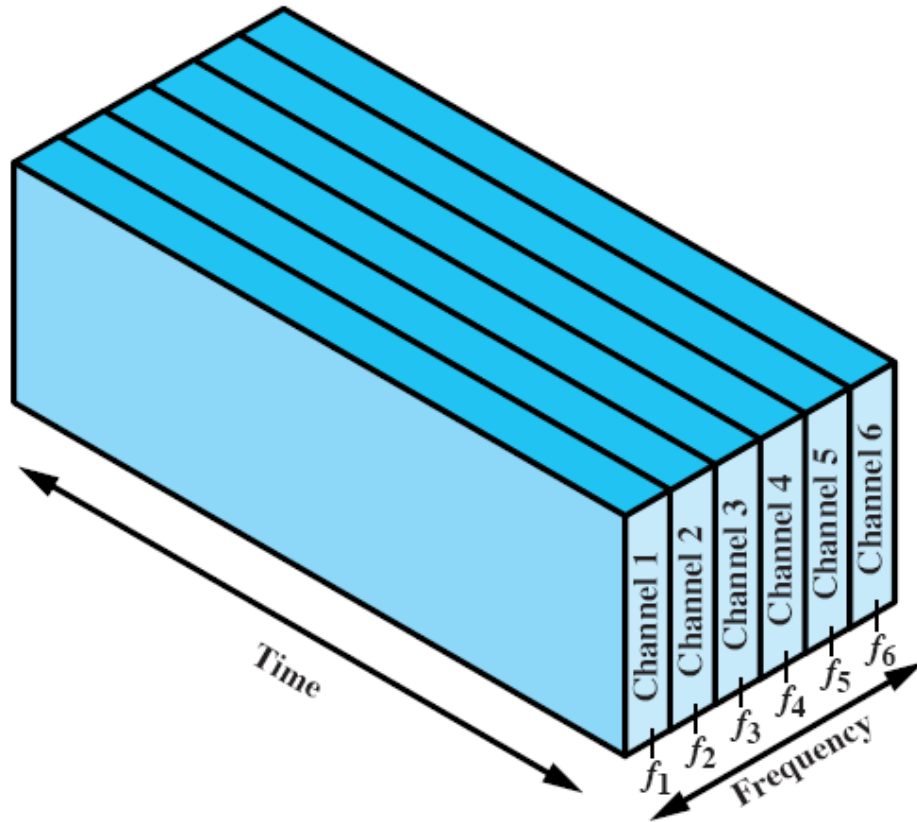
Παραδοχές και Υποθέσεις

- Διακριτός χρόνος (slotted time): ο χρόνος χωρίζεται σε διακριτά διαστήματα ίσης διάρκειας. Κάθε πλαίσιο εκπέμπεται **πάντα στην αρχή ενός διαστήματος**.
- Ανίχνευση φέροντος κύματος (carrier sense). Οι κόμβοι έχουν την δυνατότητα να υπολογίσουν κατά πόσο το κανάλι χρησιμοποιείται από κάποιο άλλο κόμβο. Σε περίπτωση που το κανάλι χρησιμοποιείται, τότε ο δεδομένος κόμβος **δεν εκπέμπει**.
- Ανίχνευση σύγκρουσης (collision detection). Οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύσουν συγκρούσεις. Μόλις ανιχνεύσουν σύγκρουση **σταματούν να εκπέμπουν**.

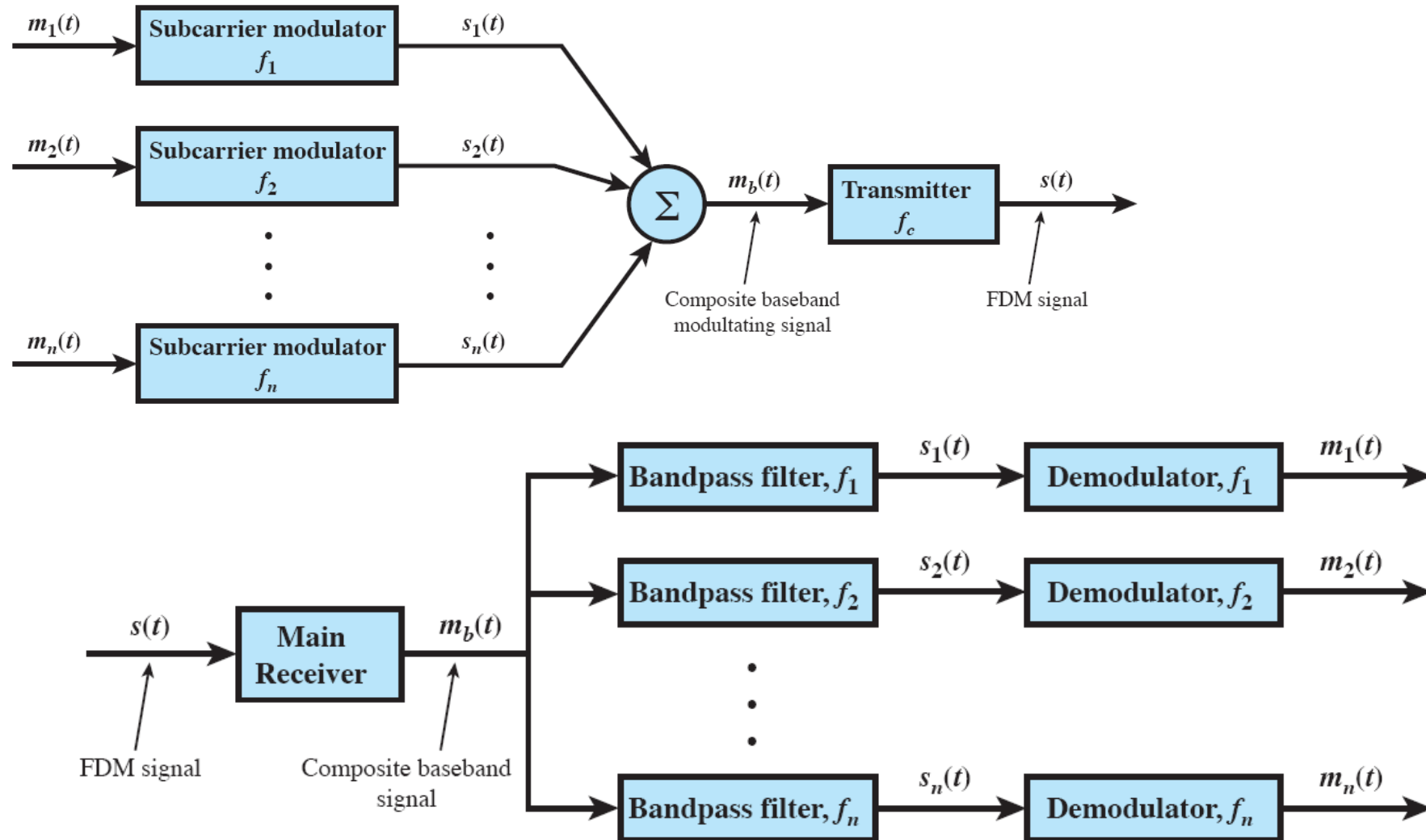
Στατική Κατανομή Καναλιών (Διαίρεση Συχνοτήτων)

- Υποθέτουμε πως το κανάλι έχει εύρος ζώνης (χωρητικότητα) C .
- Στην κατανομή συχνοτήτων (Frequency Division Multiple Access (FDMA)), όλο το εύρος ζώνης υποδιαιρείται σε N τμήματα και σε κάθε χρήστη αντιστοιχεί ένα τμήμα εύρους ζώνης C/N .
- Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiple Access (TDMA)), λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο.
- Και οι δύο μέθοδοι μπορεί να είναι προβληματικές και πιθανόν καθόλου αποδοτικές!
 - Τι συμβαίνει όταν το N δεν είναι σταθερό;

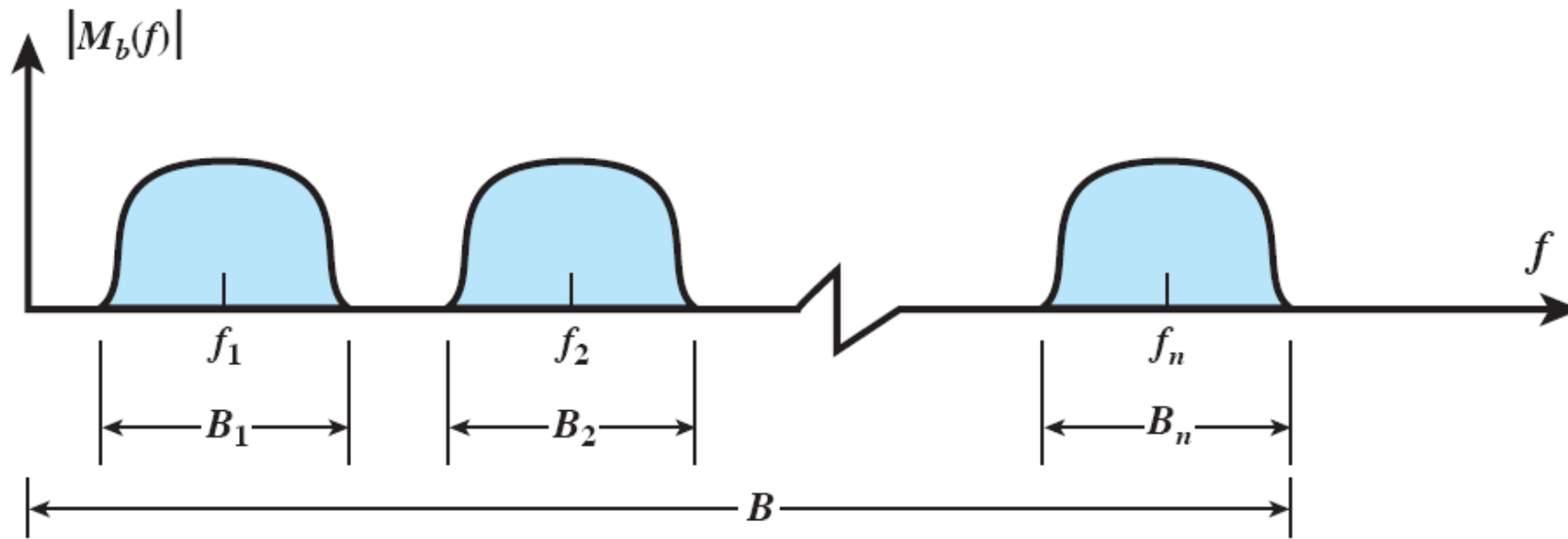
FDMA vs TDMA



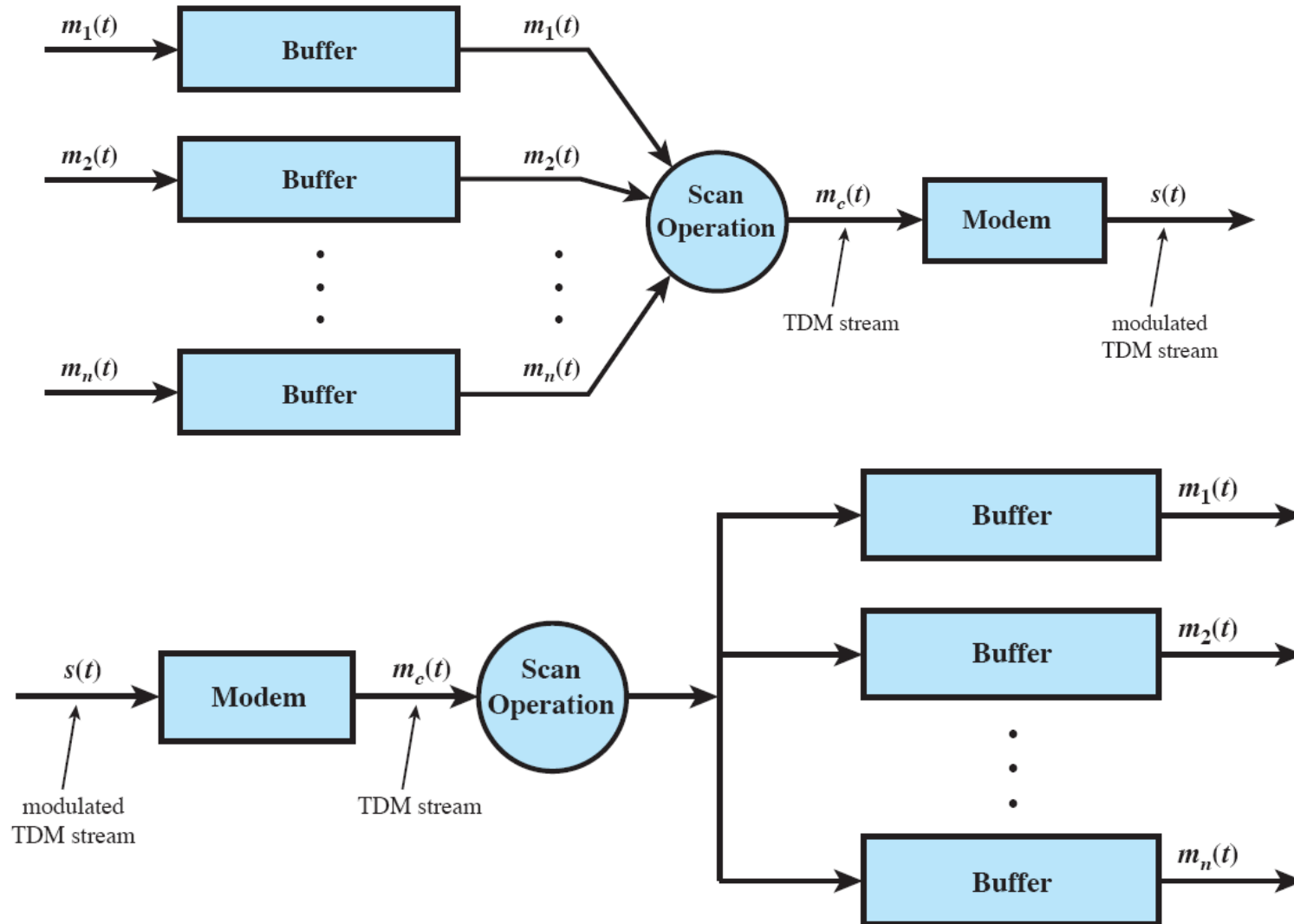
FDMA Transmitter and Receiver



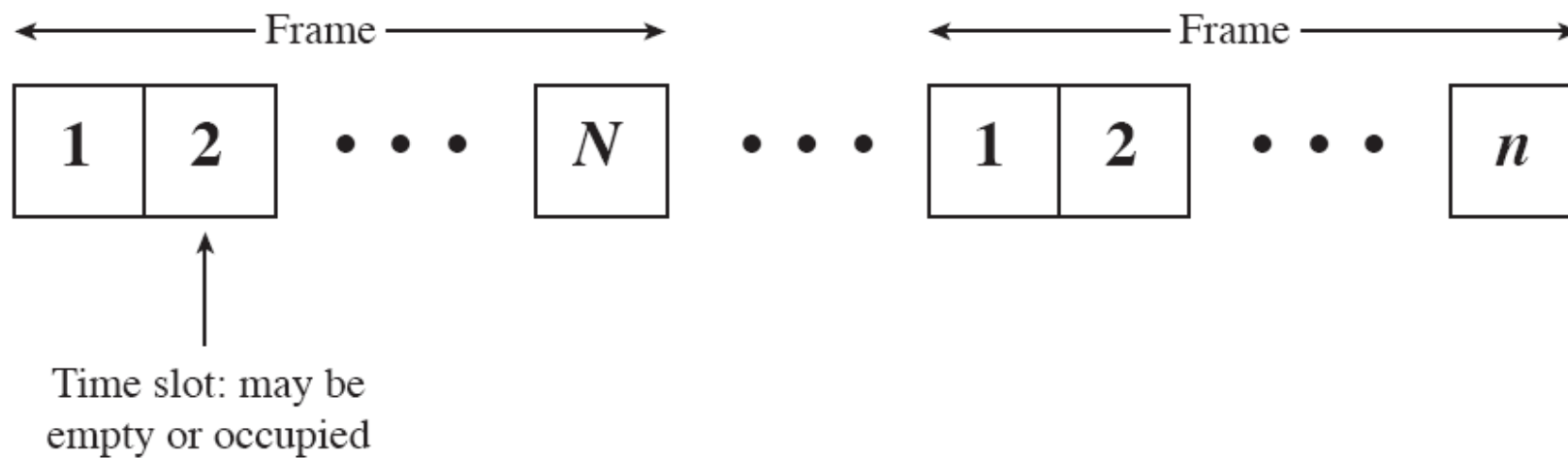
FDMA Φάσμα (Spectrum)



TDMA Transmitter-Receiver

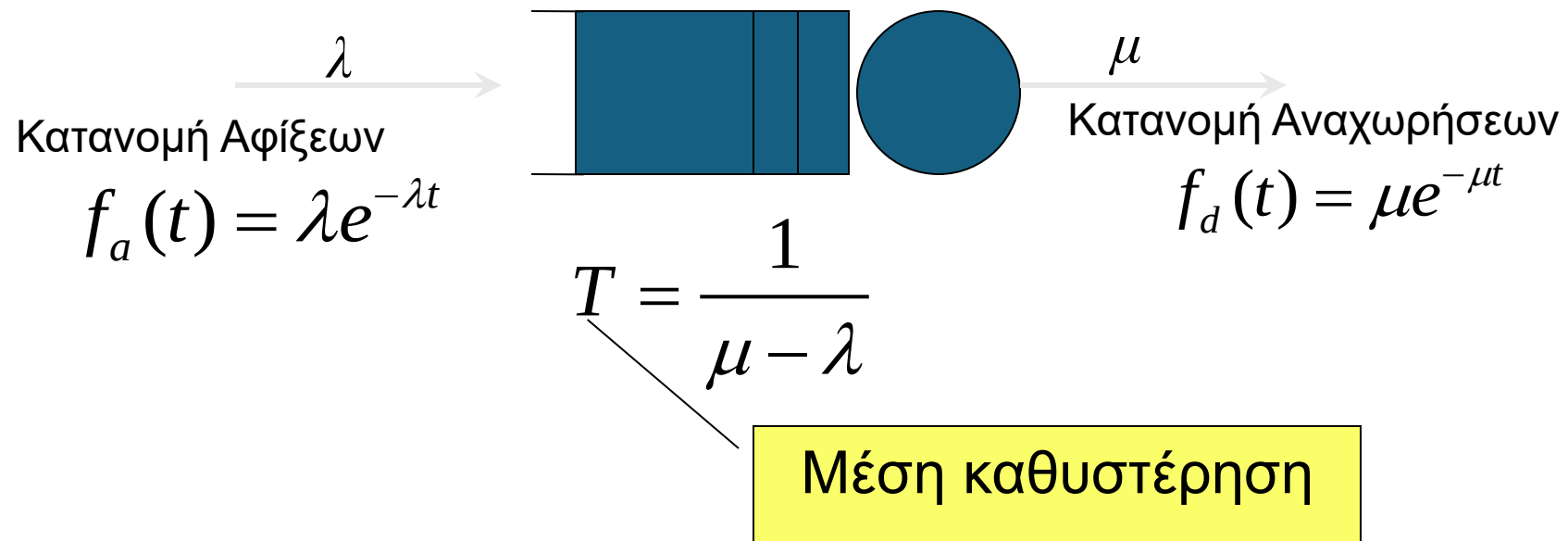


TDMA Πλαίσια



Προκαταρκικά...

Συστήματα Ουρών M/M/1



Ανέλιξη Poisson: Στο διάστημα Δt η πιθανότητα k αφίξεων δίνεται από

$$\Pr[k] = \frac{(\lambda \Delta t)^k e^{-\lambda \Delta t}}{k!}$$

Η Διαίρεση Συχνοτήτων ΔΕΝ είναι Αποδοτική!

- Γιατί παρατηρείται αυτό το φαινόμενο;
- Όταν ένας από τους χρήστες δεν έχει πλαίσια για να στείλει, τότε το εύρος ζώνής που του αναλογεί μένει **αχρησιμοποίητο**!
- Παρόμοιο φαινόμενο παρατηρείται και στην περίπτωση της Διαίρεσης Χρόνου (TDMA).

Spread Spectrum (SS)

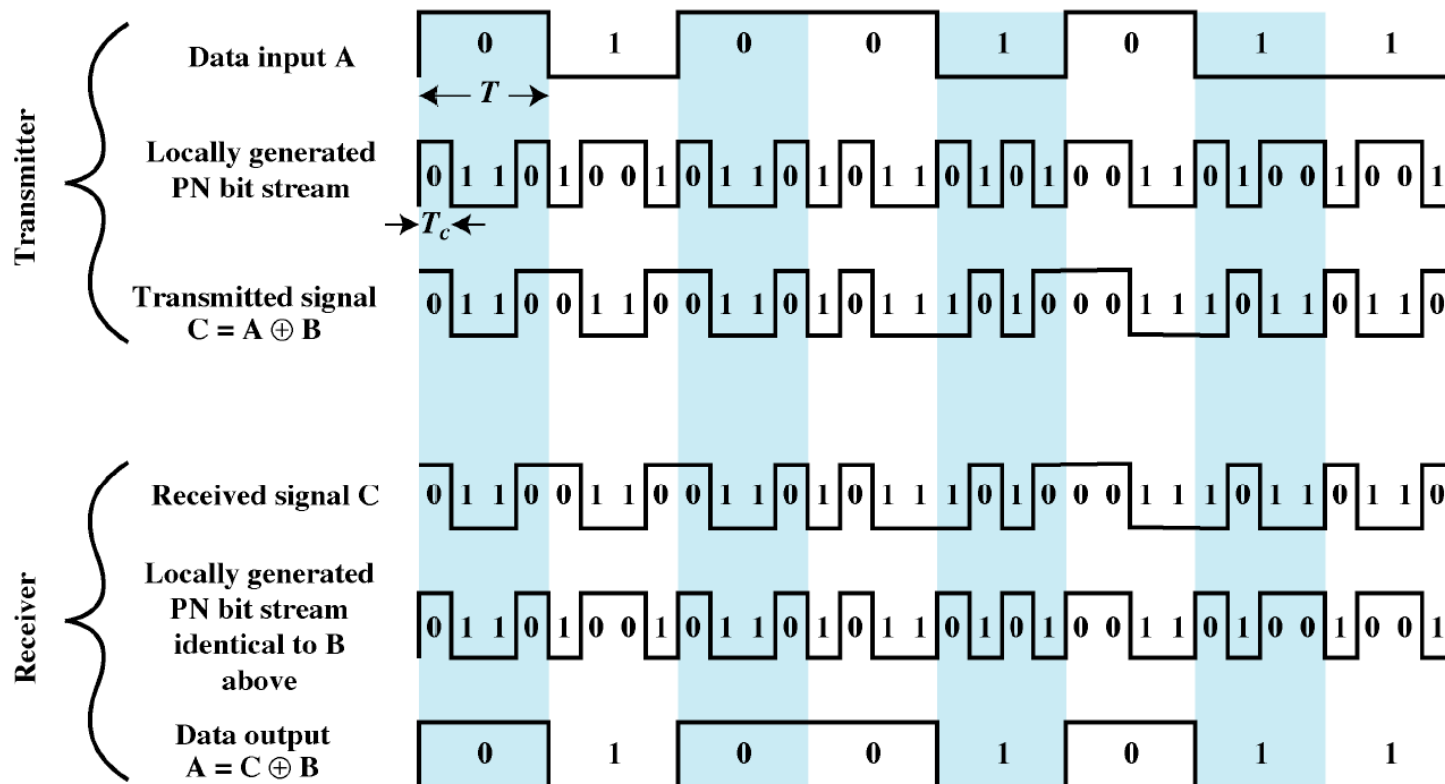
- Μέθοδος κωδικοποίησης σήματος
- Η μέθοδος, παρόλο ότι είναι πιο πολύπλοκη, παρέχει ορισμένα πλεονεκτήματα
 - Επηρεάζεται λιγότερο από το θόρυβο και τις παρεμβολές
 - Πιο ασφαλής μέθοδος καθώς το σήμα «κρυπτογραφείται»
 - Μπορεί να πετύχει μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης.
- Δύο «εκδόσεις»
 - Frequency-hopping spread spectrum
 - Direct sequence spread spectrum
- Code Division Multiple Access (CDMA)

Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

- Υπάρχει ένα σύνολο από κανάλια και το κάθε ένα αντιστοιχεί σε μια συχνότητα (φέρον κύμα).
- Αποστολέας και παραλήπτης χωρίζουν το χρόνο σε μικρά διαστήματα τα οποία μπορεί να αντιστοιχούν στην διάρκεια ενός bit ή ακόμα και μικρότερο.
- Σε κάθε διάστημα, ο αποστολέας χρησιμοποιεί διαφορετικό κανάλι (διαφορετική συχνότητα).
- Ο παραλήπτης, ο οποίος ξέρει από πριν την σειρά των καναλιών που θα χρησιμοποιήσει ο αποστολέας συντονίζεται σε κάθε διάστημα στη σωστή συχνότητα.
 - Χρήση «ψευδο-τυχαίας» σειράς

Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

- Κάθε bit αντιπροσωπεύεται από ένα κώδικα «εξάπλωσης» (spreading code) – μια σειρά από bits.
- Η σειρά των bits αλλάζει από bit σε bit όμως είναι «γνωστή» και στον αποστολέα καθώς και στον παραλήπτη



Code Division Multiple Access (CDMA)

- Κάθε bit υποδιαιρείται σε chips (k παλμοί)
- Κάθε χρήστης έχει ένα κωδικό με τον οποίο πολλαπλασιάζει το bit το οποίο θέλει να στείλει
- Ο παραλήπτης πολλαπλασιάζει επίσης με τον ίδιο κωδικό.
- Παράδειγμα:
 - Ο χρήστης A έχει τον κωδικό $c=[1,-1,-1,1,-1,1]$
 - Εάν θέλει να στείλει 1, τότε στέλνει $s_1=1 \times c=[1,-1,-1,1,-1,1]$
 - Εάν θέλει να στείλει -1, τότε στέλνει $s_{-1}=-1 \times c=[-1,1,1,-1,1,-1]$
 - Εάν ο παραλήπτης πάρει s_1 τότε υπολογίζει $S(s_1)=c^T s_1=6$
 - Εάν ο παραλήπτης πάρει s_{-1} τότε υπολογίζει $S(s_{-1})=c^T s_{-1}=-6$

Code Division Multiple Access (CDMA)

- Για να «ξεχωρίσει» το σήμα από κάθε αποστολέα, ο κάθε χρήστης έχει το δικό του κωδικό.
- Οι κωδικοί είναι μεταξύ τους ορθογώνιοι.
 - Δύο κώδικες είναι ορθογώνιοι εφόσον το εσωτερικό τους γινόμενο ισούται με μηδέν.
 - Οι $c_a = [1, -1, -1, 1, -1, 1]$, και $c_b = [1, -1, 1, -1, -1, -1]$ είναι ορθογώνιοι
- Υποθέστε πώς ο a κωδικοποίησε το bit b_a χρησιμοποιώντας τον κώδικα c_a και ο b χρησιμοποιώντας τον κώδικα c_b .
- Στο κανάλι θα εμφανιστεί το άθροισμα των δύο κωδικών

$$s = b_a c_a + b_b c_b$$

- Ο παραλήπτης του a θα πάρει:

$$S(s) = c_a^T (b_a c_a + b_b c_b) = b_a c_a^T c_a + b_b c_a^T c_b = 6b_a$$

DS/CDMA

- Κάθε σταθμός μετάδοσης παίρνει ένα κωδικό (chip sequence) που αντιπροσωπεύει τη μετάδοση του 1 (το συμπληρωματικό αντιπροσωπεύει το 0)
 - Π.χ. 1=00011011 0=11100100 (8-chip code)
- Το μετάδοση του 0 σηματοδοτείται με -1 και το 1 με $+1$ (π.χ. τάση σε volts)

A: 0 0 0 1 1 0 1 1

B: 0 0 1 0 1 1 1 0

C: 0 1 0 1 1 1 0 0

D: 0 1 0 0 0 0 1 0

A: $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$

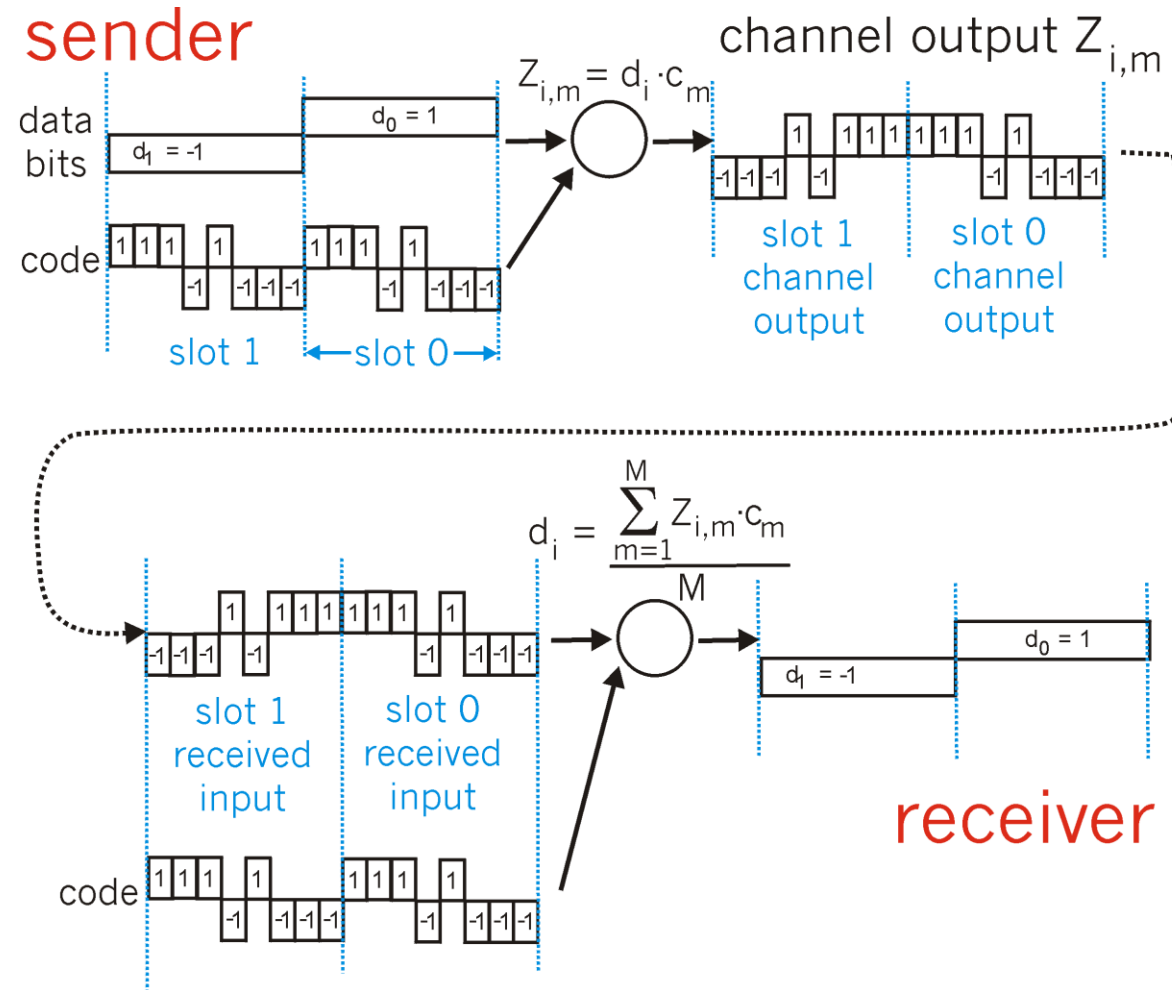
B: $(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$

C: $(-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$

D: $(-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)$

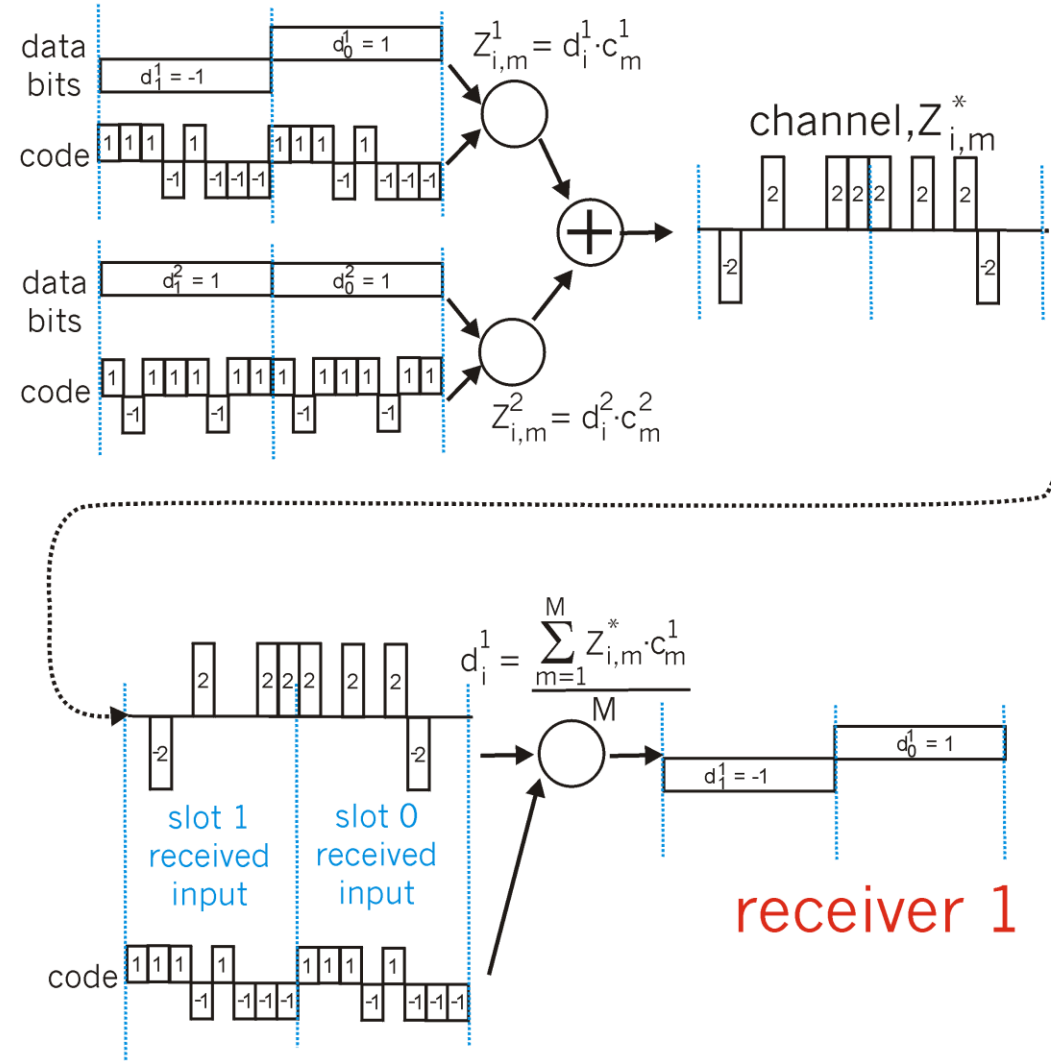
Chip Sequence:	1 0 1 1 0 0
Spreading Sequence:	1 -1 1 1 -1 -1
Transmitted bits, data = 1:	1 -1 1 1 -1 -1
Transmitted bits, data = 0:	-1 1 -1 -1 1 1
No transmission:	0 0 0 0 0 0

DS/CDMA Encode/Decode



DS/CDMA: two-sender interference

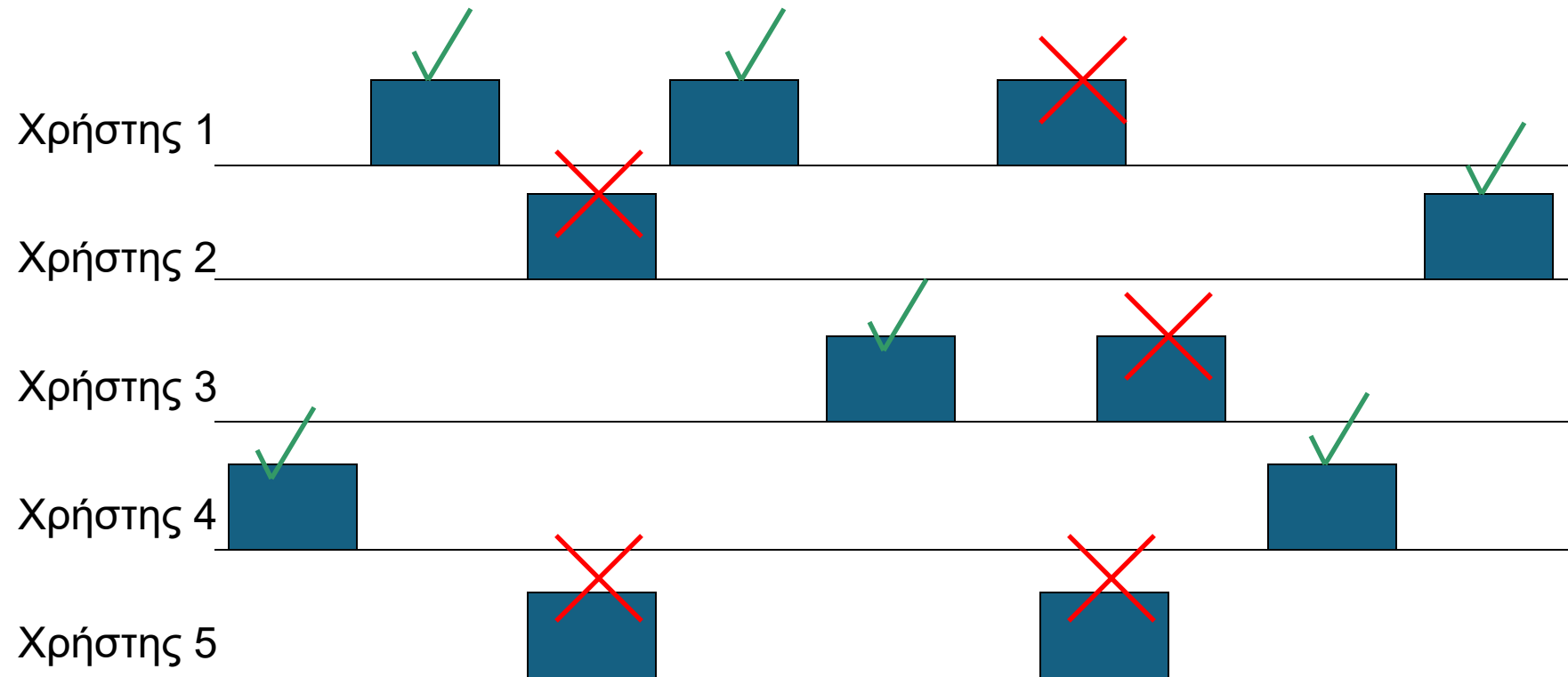
senders



Πρωτόκολλο Aloha

- Όποιος χρήστης έχει πλαίσιο να στείλει, **το στέλνει**.
- Εάν κατά την διάρκεια της εκπομπής του πλαισίου κανένας άλλος χρήστης δεν δοκίμασε να στείλει άλλο πλαίσιο, τότε το πλαίσιο **μεταδίδεται επιτυχώς**.
- Εάν κατά την διάρκεια της εκπομπής κάποιος άλλος χρήστης επιχειρήσει να αποστείλει άλλο πλαίσιο, τότε **καταστρέφονται και τα δύο πλαίσια** και πρέπει να σταλούν ξανά.
- Στην περίπτωση που το πλαίσιο καταστραφεί, ο χρήστης περιμένει κάποιο **τυχαίο διάστημα** και ξαναδοκιμάζει να στείλει το πλαίσιο.

Πρωτόκολλο Aloha



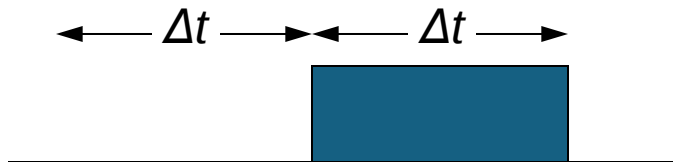
Απόδοση Πρωτοκόλλου Aloha

- Υπόθεση
 - Όλα τα πλαίσια είναι του ιδίου μεγέθους και χρειάζονται Δt χρονικές μονάδες για να μεταδοθούν.
 - Τα πλαίσια (νέα και αναμεταδόσεις) φτάνουν με διαδικασία Poisson και ρυθμό G πλαίσια ανά Δt .
- Πια η πιθανότητα ένα πλαίσιο να μεταδοθεί επιτυχώς (χωρίς σύγκρουση);
- Πιθανότητα k αφίξεων στο διάστημα Δt

$$\Pr[k] = \frac{G^k e^{-G}}{k!}$$

Μη σύγκρουση $\rightarrow k=0$ σε $2\Delta t$

$$\Pr[k = 0, 2\Delta t] = \frac{(2G)^0 e^{-2G}}{0!} = e^{-2G}$$

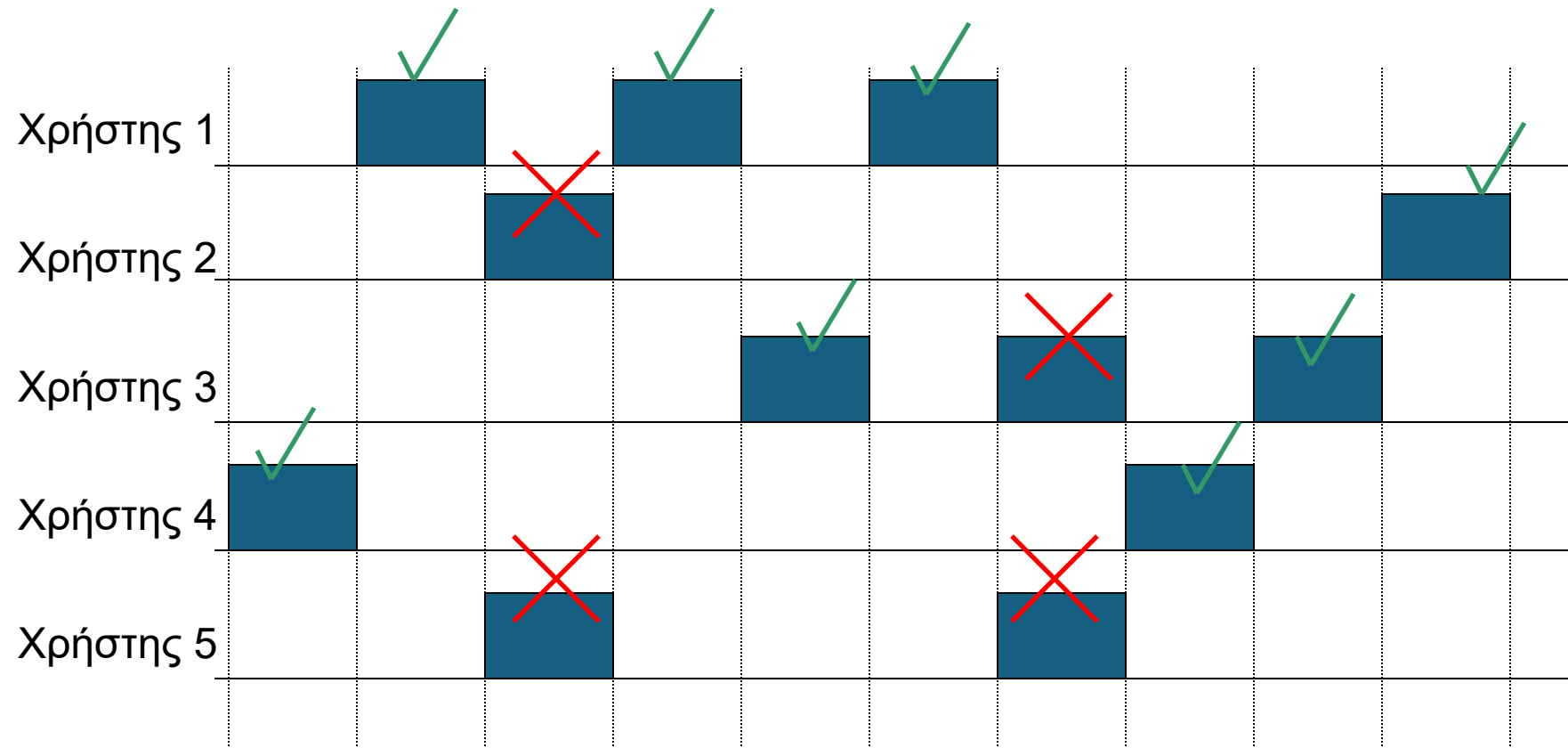


Throughput: $S = Ge^{-2G}$

Πρωτόκολλο Slotted Aloha

- Ο χρόνος υποδιαιρείται σε ίσα διακριτά διαστήματα τα οποία είναι διάρκειας ίσης με το χρόνο μετάδοσης ενός πλαισίου.
- Όποιος χρήστης έχει πλαίσιο να στείλει, το στέλνει ξεκινώντας **πάντα στην αρχή ενός διαστήματος**.
- Εάν κατά την διάρκεια της εκπομπής του πλαισίου κανένας άλλος χρήστης δεν δοκίμασε να στείλει άλλο πλαίσιο, τότε το πλαίσιο μεταδίδεται επιτυχώς.
- Εάν κατά την διάρκεια της εκπομπής κάποιος άλλος χρήστης επιχειρήσει να αποστείλει άλλο πλαίσιο, τότε καταστρέφονται και τα δύο πλαίσια και πρέπει να σταλούν ξανά.
- Στην περίπτωση που το πλαίσιο καταστραφεί, ο χρήστης περιμένει κάποιο τυχαίο διάστημα και ξαναδοκιμάζει να στείλει το πλαίσιο.

Πρωτόκολλο Slotted Aloha



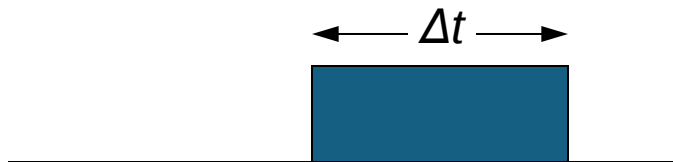
Απόδοση Πρωτοκόλλου Slotted Aloha

- Υπόθεση
 - Όλα τα πλαίσια είναι του ιδίου μεγέθους και χρειάζονται Δt χρονικές μονάδες για να μεταδοθούν.
 - Τα πλαίσια (νέα και αναμεταδόσεις) φτάνουν με διαδικασία Poisson και ρυθμό G πλαίσια ανά Δt .
- Πια η πιθανότητα ένα πλαίσιο να μεταδοθεί επιτυχώς (χωρίς σύγκρουση);
- Πιθανότητα k αφίξεων στο διάστημα Δt

$$\Pr[k] = \frac{G^k e^{-G}}{k!}$$

Μη σύγκρουση $\rightarrow k=0$ σε Δt

$$\Pr[k = 0, \Delta t] = \frac{G^0 e^{-G}}{0!} = e^{-G}$$



Throughput

$$S = Ge^{-G}$$

Ενδιαφέρον Στατιστικά...

- Slotted Aloha

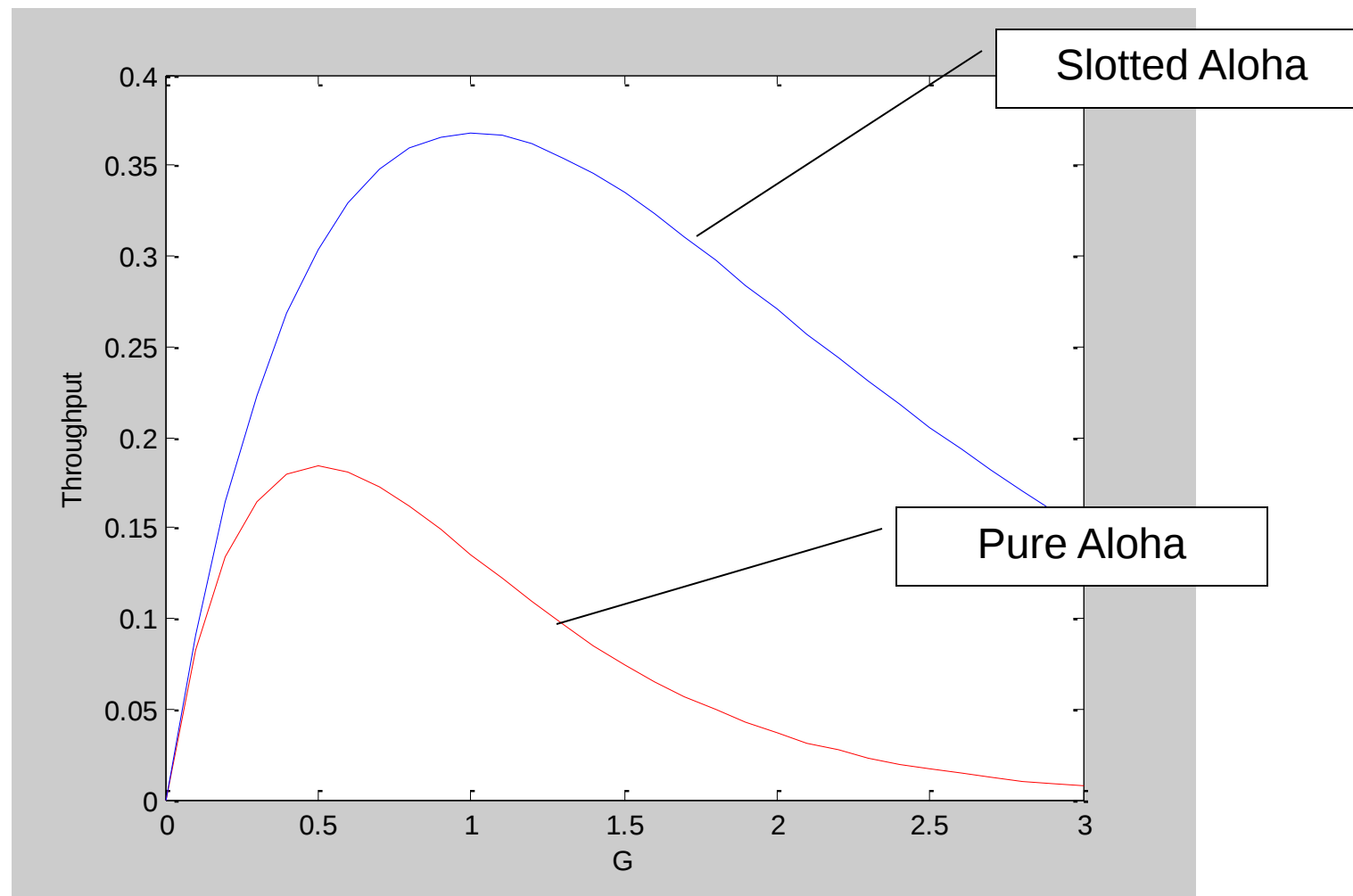
- Πιθανότητα σύγκρουσης: $1 - e^{-G}$
- Πιθανότητα μη σύγκρουσης: e^{-G}
- Πιθανότητα αποστολής ενός πλαισίου μετά από k προσπάθειες:

$$P_k = e^{-G} (1 - e^{-G})^{k-1}$$

- Μέσος αριθμός προσπαθειών που χρειάζονται για την επιτυχή αποστολή ενός πλαισίου

$$E = \sum_{k=1}^{\infty} k P_k = \sum_{k=1}^{\infty} k e^{-G} (1 - e^{-G})^{k-1} = e^G$$

Σύγκριση Aloha και Slotted Aloha



Πρωτόκολλα Πολλαπλής Πρόσβασης με Ανίχνευση Φέροντος Κύματος

- Persistent Carrier Sense Multiple Access (CSMA)
 - Όλοι οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν εάν το κανάλι χρησιμοποιείται από άλλο χρήστη.
- Επίμονο Πρωτόκολλο (persistent or 1-persistent)
- Μη-Επίμονο Πρωτόκολλο (non-persistent)
- p -Επίμονο Πρωτόκολλο (p -persistent)

Επίμονο Πρωτόκολλο (Persistent CSMA)

- Όποιος χρήστης έχει πλαίσιο να στείλει, ελέγχει πρώτα το κανάλι.
 - Εάν το κανάλι είναι «ελεύθερο» αρχίζει αμέσως να μεταδίδει το δικό του πλαίσιο.
 - Εάν το κανάλι χρησιμοποιείται από άλλο χρήστη, τότε περιμένει μέχρι να τελειώσει. Μόλις ο άλλος χρήστης ελευθερώσει το κανάλι, τότε αρχίζει αμέσως να μεταδίδει το δικό του πλαίσιο.
- Εάν κατά την διάρκεια της εκπομπής του πλαισίου κανένας άλλος χρήστης δεν δοκίμασε να στείλει άλλο πλαίσιο, τότε το πλαίσιο μεταδίδεται επιτυχώς.
- Εάν υπάρξει σύγκρουση, τότε ο χρήστης περιμένει κάποιο τυχαίο διάστημα και επιχειρεί να ξαναστείλει το πλαίσιο.

Μη Επίμονο Πρωτόκολλο (Non-Persistent CSMA)

- Όποιος χρήστης έχει πλαίσιο να στείλει, ελέγχει πρώτα το κανάλι.
 - Εάν το κανάλι είναι «ελεύθερο» αρχίζει αμέσως να μεταδίδει το δικό του πλαίσιο.
 - Εάν το κανάλι χρησιμοποιείται από άλλο χρήστη, τότε σταματά να ελέγχει το κανάλι, περιμένει ένα τυχαίο διάστημα και ξαναδοκιμάζει.
- Εάν κατά την διάρκεια της εκπομπής του πλαισίου κανένας άλλος χρήστης δεν δοκίμασε να στείλει άλλο πλαίσιο, τότε το πλαίσιο μεταδίδεται επιτυχώς.
- Εάν υπάρξει σύγκρουση, τότε ο χρήστης περιμένει κάποιο τυχαίο διάστημα και επιχειρεί να ξαναστείλει το πλαίσιο.

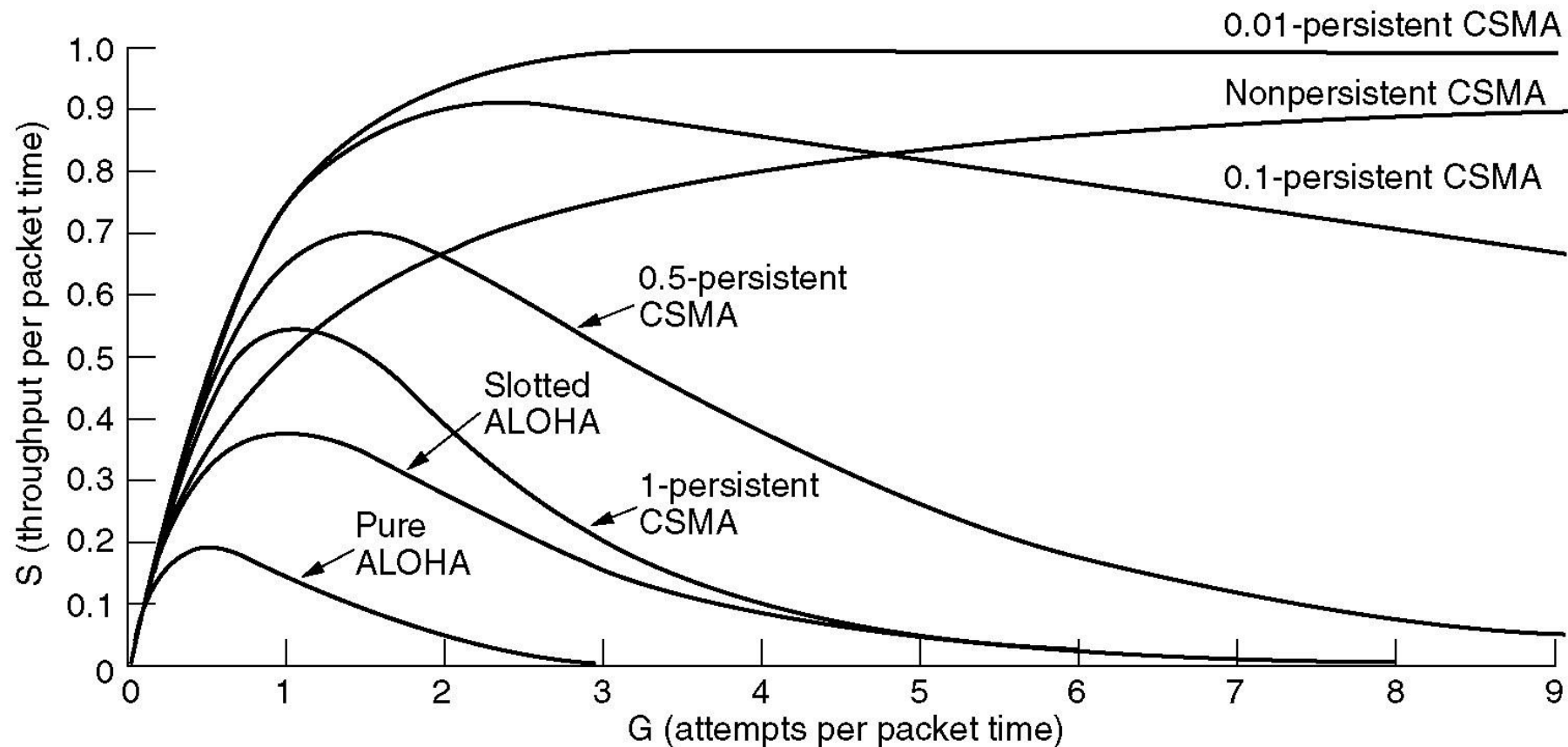
p -Επίμονο Πρωτόκολλο (p -Persistent CSMA)

- Διακριτός χρόνος
- Ο χρήστης ανιχνεύει το κανάλι
 - Εάν είναι «ελεύθερο», μεταδίδει με πιθανότητα p και με πιθανότητα $q=1-p$ περιμένει μέχρι το επόμενο διάστημα.
- Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι ο χρήστης στείλει το πλαίσιο, ή ο χρήστης ανιχνεύσει πως το κανάλι έχει «καταληφθεί» από άλλο χρήστη. Και στις δύο περιπτώσεις ο χρήστης συμπεριφέρεται όπως στην περίπτωση όπου ανιχνεύεται σύγκρουση.
- Σε περίπτωση που υπάρχει σύγκρουση, τότε ο χρήστης περιμένει ένα τυχαίο διάστημα και ξαναδοκιμάζει να στείλει το πλαίσιο.

Επίμονο και Μη-Επίμονο Πρωτόκολλο

- Υπάρχει περίπτωση σύγκρουσης;
- Λόγω της **καθυστέρησης διάδοσης** δύο κόμβοι μπορεί να ξεκινήσουν να μεταδίδουν ταυτόχρονα πριν προλάβουν να ανιχνεύσουν την παρουσία άλλου χρήστη στο κανάλι.
- Ακόμη και χωρίς τη καθυστέρηση διάδοσης δύο κόμβοι μπορούν να αρχίσουν εκπομπή ακριβώς την ίδια στιγμή
 - **Επίμονο**. Δύο χρήστες ξεκινούν ταυτόχρονα να μεταδίδουν μόλις το κανάλι «ελευθερωθεί».
 - **Μη-Επίμονο**. Η πιθανότητα σύγκρουσης είναι μηδαμινή.
 - **p -Επίμονο**. Δύο χρήστες ξεκινούν ταυτόχρονα να μεταδίδουν μόλις το κανάλι «ελευθερωθεί». Αυτή η πιθανότητα μειώνεται όσο μειώνεται το p .

Σύγκριση Πρωτοκόλλων με Ανίχνευση Φέροντος Κύματος

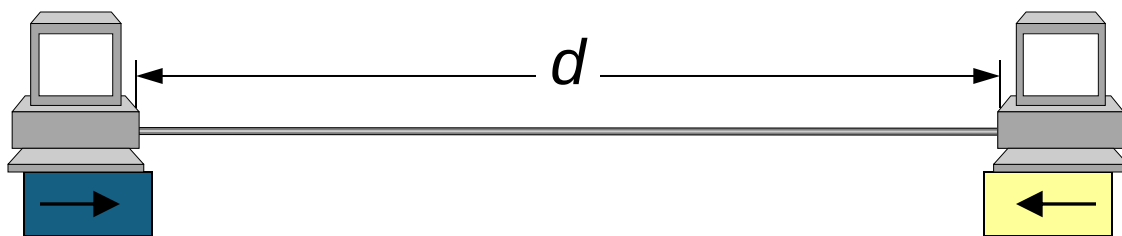


Πρωτόκολλα Πολλαπλής Πρόσβασης με Ανίχνευση Φέροντος Κύματος και Συγκρούσεων

- Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD).
 - Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν εάν το κανάλι χρησιμοποιείται από άλλο χρήστη.
 - Επίσης έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύουν άμεσα την ύπαρξη σύγκρουσης.
- Μόλις ανιχνεύσουν σύγκρουση, σταματούν αμέσως την μετάδοση του καταστρεμμένου πλαισίου
 - Με αυτό τον τρόπο εξοικονομείται χρόνος και εύρος ζώνης.
- Το CSMA/CD είναι η βάση του Ethernet.

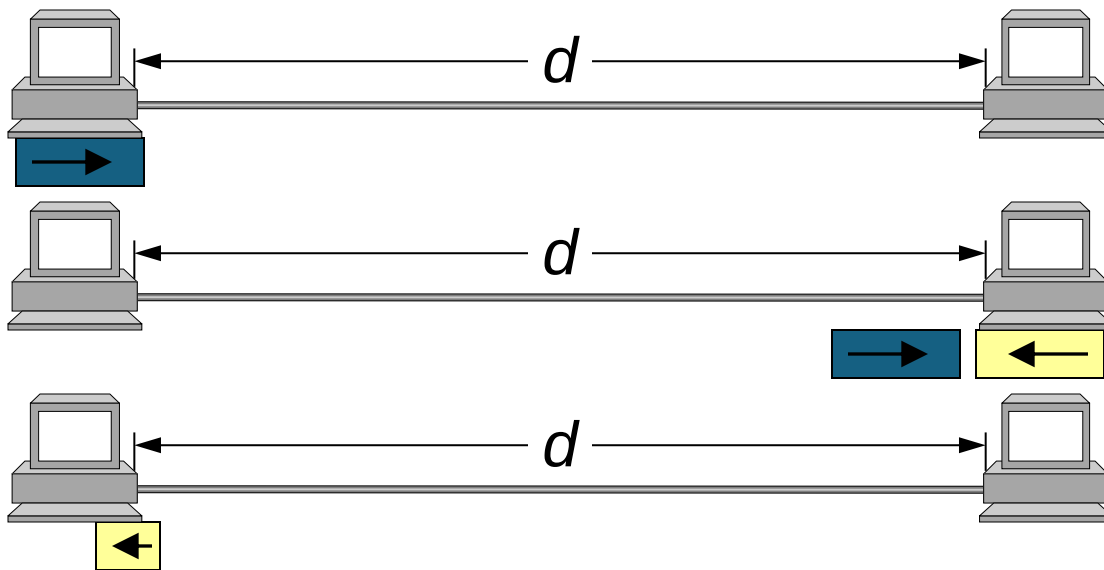
CSMA/CD και Καθυστέρηση Διάδοσης

- Εάν οι κόμβοι ξεκινήσουν να μεταδίδουν ταυτόχρονα, τότε θα ανιχνεύσουν την σύγκρουση;



Καθυστέρηση
διάδοσης: $\tau = d/c$

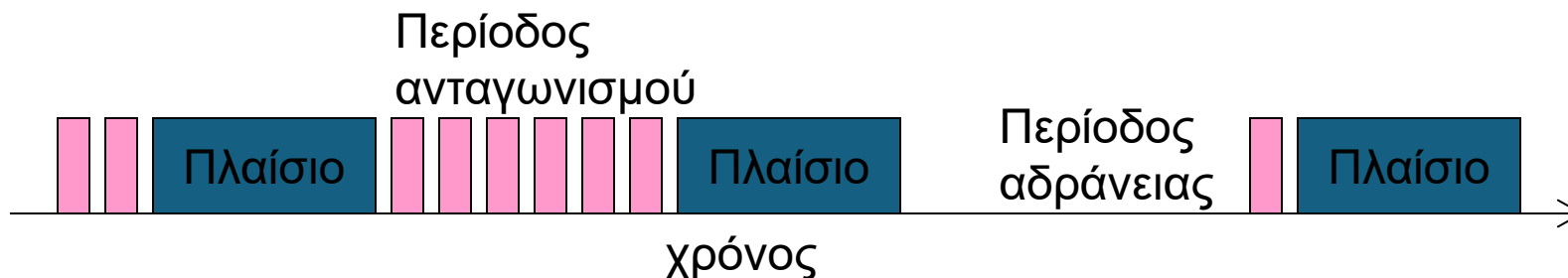
- Πια η μεγαλύτερη δυνατή καθυστέρηση;



$$2\tau = 2d/c$$

Πρωτόκολλο CSMA/CD

- Όταν ένας χρήστης έχει πλαίσιο να στείλει, ελέγχει πρώτα το κανάλι.
 - Εάν είναι «ελεύθερο», τότε αρχίζει να μεταδίδει αμέσως.
 - Εάν **χρησιμοποιείται**, περιμένει μέχρι να τελειώσει την μετάδοση ο προηγούμενος χρήστης και τότε αρχίζει αμέσως να μεταδίδει.
- Από τη στιγμή που αρχίζει να μεταδίδει, ελέγχει το κανάλι για διάστημα 2τ .
 - Εάν δεν ανιχνεύσει σύγκρουση, τότε μπορεί να συνεχίσει και να τελειώσει την μετάδοση.
 - Εάν ανιχνεύσει σύγκρουση, σταματά και επανέρχεται μετά από τυχαίο διάστημα.
- Στο κανάλι, κάθε επιτυχής μετάδοση εναλλάσσεται με περιόδους ανταγωνισμού (contention periods)



Πρωτόκολλα Χωρίς Συγκρούσεις (Collision Free Protocols)

- Binary Countdown
 - Οι χρήστες που έχουν πλαίσια για μετάδοση ξεκινούν να αποστέλλουν την διεύθυνση τους ξεκινώντας από το **bit μεγαλύτερου βαθμού**.
 - Μόλις ένας χρήστης δει 1 στο κανάλι και ο ίδιος στο αντίστοιχο bit έχει 0, τότε ο χρήστης αυτός αποχωρεί.
 - Τελικά μεταδίδει ο χρήστης του οποίου η διεύθυνση αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο αριθμό.
 - Υπάρχει και εισήγηση όπου η χρήστες έχουν «**προσωρινές**» διευθύνσεις. Μόλις μεταδώσουν ένα πλαίσιο, τότε παίρνουν τη διεύθυνση 0.
 - **Παράδειγμα:** Υποθέτουμε πώς οι χρήστες με διευθύνσεις 0010, 0100, 1001, 1010 θέλουν να μεταδώσουν κάποιο πλαίσιο.

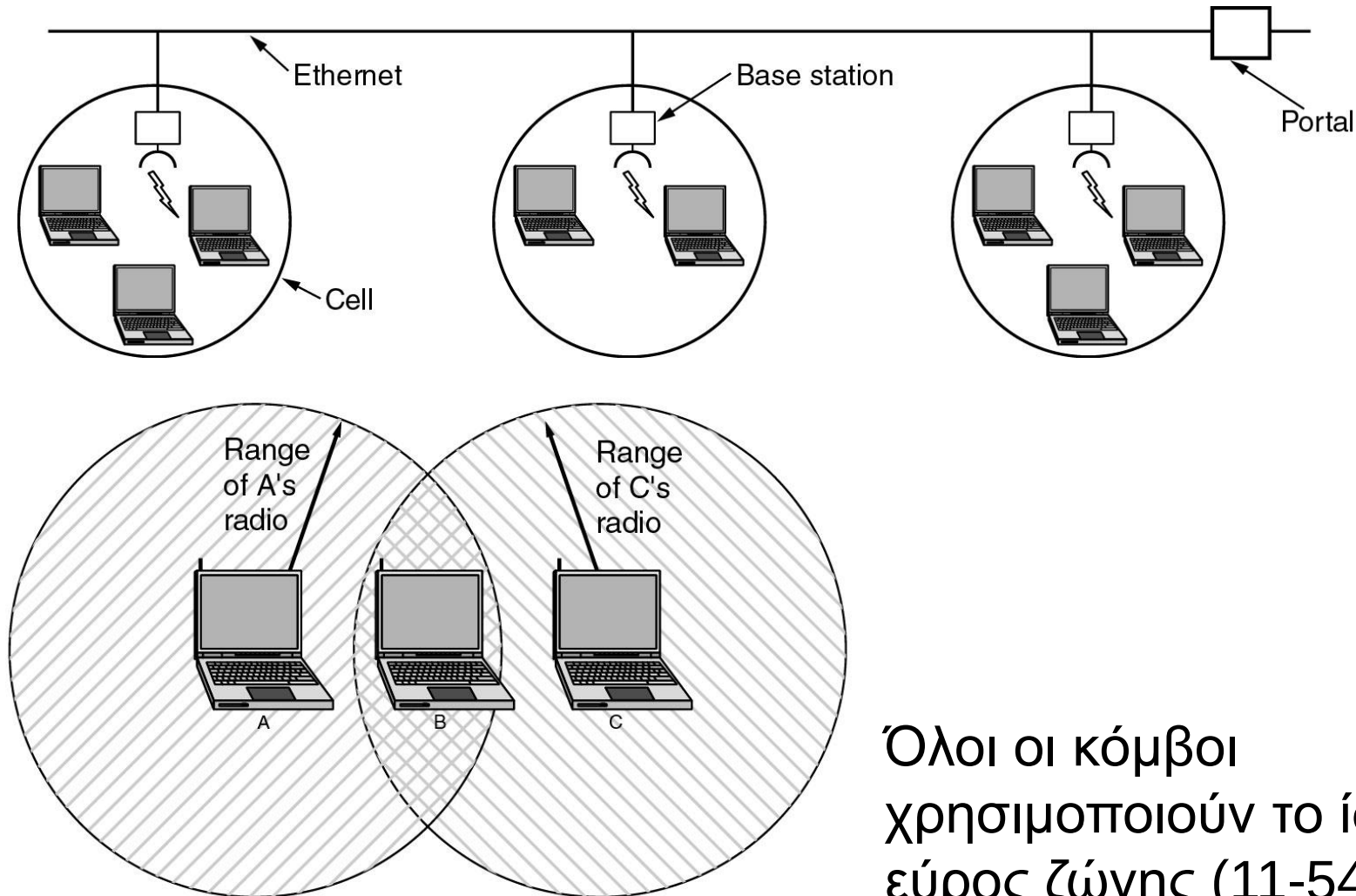
0 0 1 0	0 -
0 1 0 0	0 -
1 0 0 1	1 0 0 -
1 0 1 0	1 0 1 0

Επόμενος χρήστης που θα μεταδώσει

Πρωτόκολλα Περιορισμένου Ανταγωνισμού (Limited Contention Protocols)

- Η απόδοση των πρωτοκόλλων που έχουμε δει μέχρι τώρα εξαρτάτε από την κυκλοφορία του καναλιού
 - Κάτω από συνθήκες **χαμηλής κίνησης** - Aloha
 - Κάτω από συνθήκες **ψηλής κίνησης** – Πρωτόκολλα χωρίς συγκρούσεις.
- Τα πρωτόκολλα «**περιορισμένου ανταγωνισμού**» συνδυάζουν τα προτερήματα των πρωτοκόλλων που έχουμε δει μέχρι τώρα.
 - Τέτοια πρωτόκολλα προσπαθούν να περιορίσουν τον αριθμό των χρηστών οι οποίοι ανταγωνίζονται για χρήση του καναλιού σε κάθε δεδομένη στιγμή.

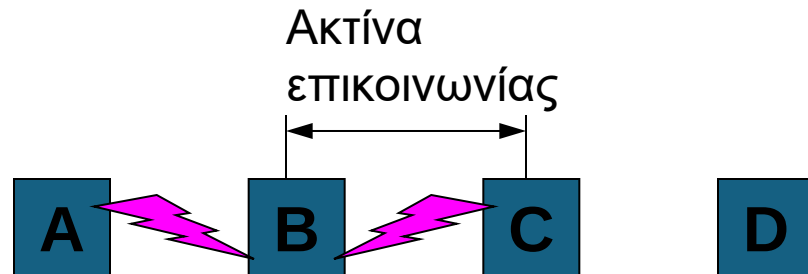
Πρωτόκολλα για Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα



Όλοι οι κόμβοι
χρησιμοποιούν το ίδιο
εύρος ζώνης (11-54Mbps)

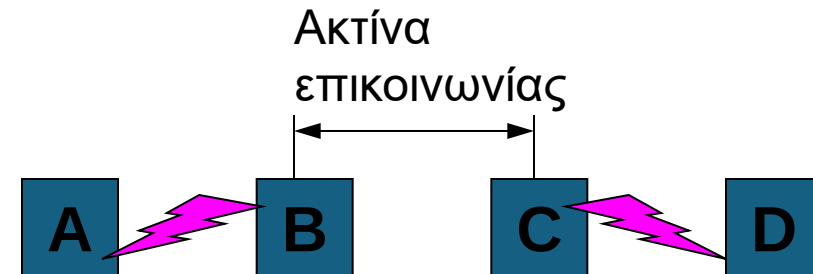
Πρόβλημα Κρυμμένου Σταθμού (Hidden Station Problem)

- Τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν κανάλια πολλαπλής πρόσβασης, οπότεν θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τα πρωτόκολλα που έχουμε δει μέχρι τώρα...
- Πρόβλημα κρυμμένου σταθμού (hidden station problem)
- Πρόβλημα εκτεθειμένου σταθμού (exposed station problem)



Πρόβλημα Κρυμμένου Σταθμού

- Ο A και C θέλουν να επικοινωνήσουν με τον B.
- Ο C δεν ακούει το φέρον κύμα του A



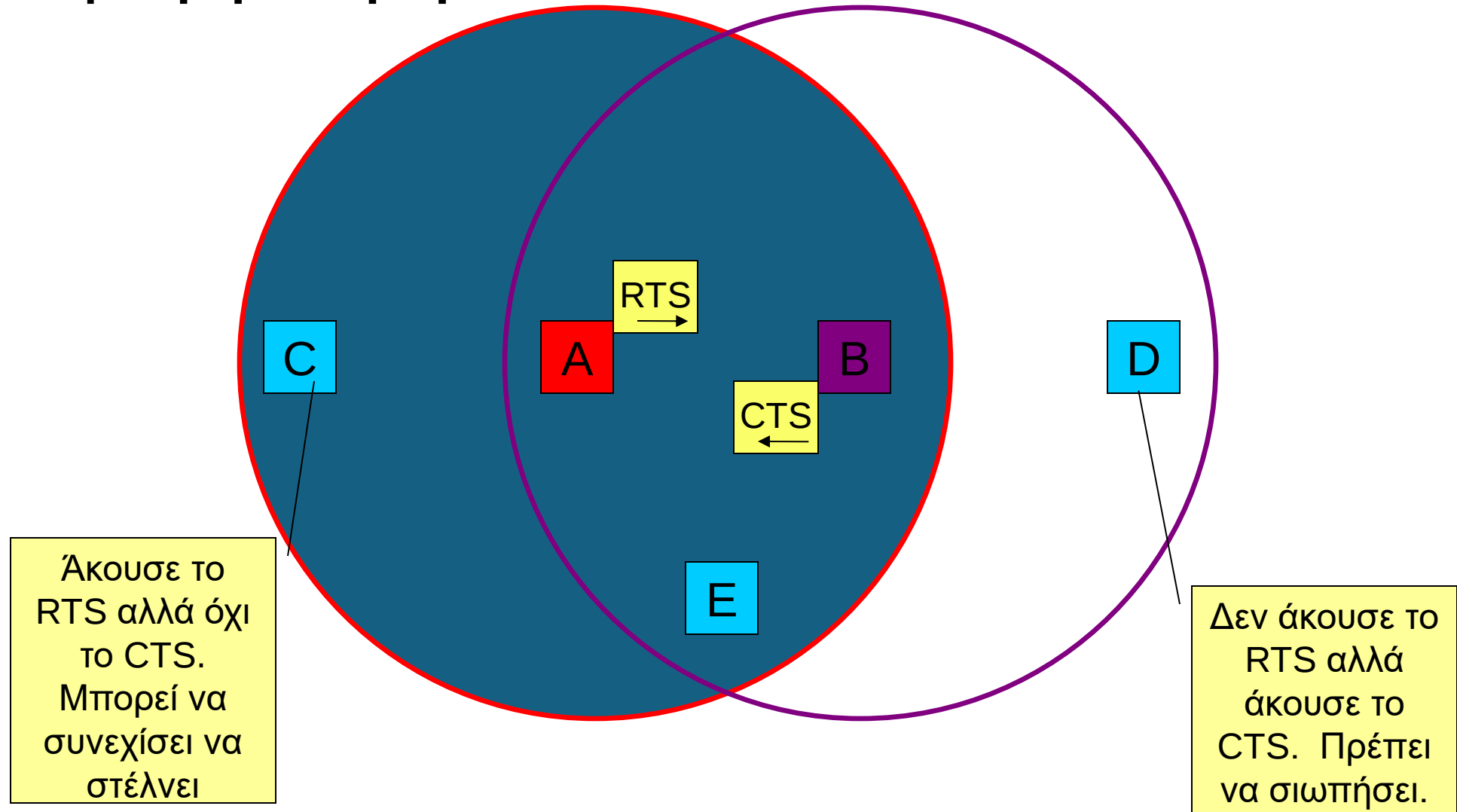
Πρόβλημα Εκτεθειμένου Σταθμού

- Ο B θέλει να επικοινωνήσει με τον A, και ο C με τον D.
- Ο C ακούει το φέρον κύμα του B, και «νομίζει» πως το κανάλι χρησιμοποιείται

Πρωτόκολλο Πολλαπλής Πρόσβασης Με Αποφυγή Συγκρούσεων

- Multiple Access with Collision Avoidance (MACA)
- Εάν ο A θέλει να στείλει κάποιο πλαίσιο στον B, στέλνει πρώτα ένα μικρό μήνυμα **RTS** (Request to Send 30 bytes).
- Ο B Απαντά με άλλο μικρό μήνυμα **CTS** (Clear To Send).
 - Τα RTS και CTS περιέχουν το μέγεθος του αναμενόμενου πλαισίου.
- Ο **A ξεκινά** με την αποστολή του πλαισίου
- Όλοι οι σταθμοί που άκουσαν το CTS **σιωπούν** μέχρι να τελειώσει η αποστολή του πλαισίου από τον A στον B.
- Δύο σταθμοί μπορεί να στείλουν σχεδόν **ταυτόχρονα RTS** σε κάποιο τρίτο, οπότε και θα παρατηρηθεί **σύγκρουση**. Κάθε σταθμός που ανιχνεύει σύγκρουση, περιμένει ένα **τυχαίο διάστημα** και ξαναδοκιμάζει.

Πρωτόκολλο Πολλαπλής Πρόσβασης Με Αποφυγή Συγκρούσεων



OFDMA/TDD structure

