



# ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Πρωτόκολλα  
πολλαπλής  
πρόσβασης

# Περίληψη



- Πολλαπλή πρόσβαση
- Πολλαπλή πρόσβαση στα δίκτυα εκπομπής
- Πρωτόκολλα ελέγχου πολλαπλής πρόσβασης
  - Ταξινόμηση
  - Κριτήρια επίδοσης
- Πρωτόκολλα MAC τυχαίας πρόσβασης
  - ALOHA
  - Slotted ALOHA
  - CSMA και CSMA/CD
- Πρωτόκολλα MAC εκχώρησης σειράς
  - Δακτύλιος με σκυτάλη
  - Αρτηρία με σκυτάλη
  - FDDI
- Έλεγχος λογικής ζεύξης (LLC)

# Πολλαπλή πρόσβαση



Οι συνδεδεμένοι σταθμοί χρησιμοποιούν από κοινού το μέσο μετάδοσης

# Πολλαπλή πρόσβαση



- Στα δίκτυα εκπομπής, που χαρακτηρίζονται και ως δίκτυα πολλαπλής πρόσβασης, η μεταδιδόμενη πληροφορία λαμβάνεται από όλους τους σταθμούς, οπότε δεν απαιτείται δρομολόγηση.
- Ένα επίπεδο σχήμα διευθυνσιοδότησης αρκεί για να καθορίζεται σε ποιον χρήστη απευθύνεται η πληροφορία.
- Απαιτείται όμως ένα πρωτόκολλο ελέγχου πρόσβασης στο μέσο μετάδοσης, για να ρυθμίζει τις μεταδόσεις από τους διάφορους χρήστες.

# Πολλαπλή πρόσβαση



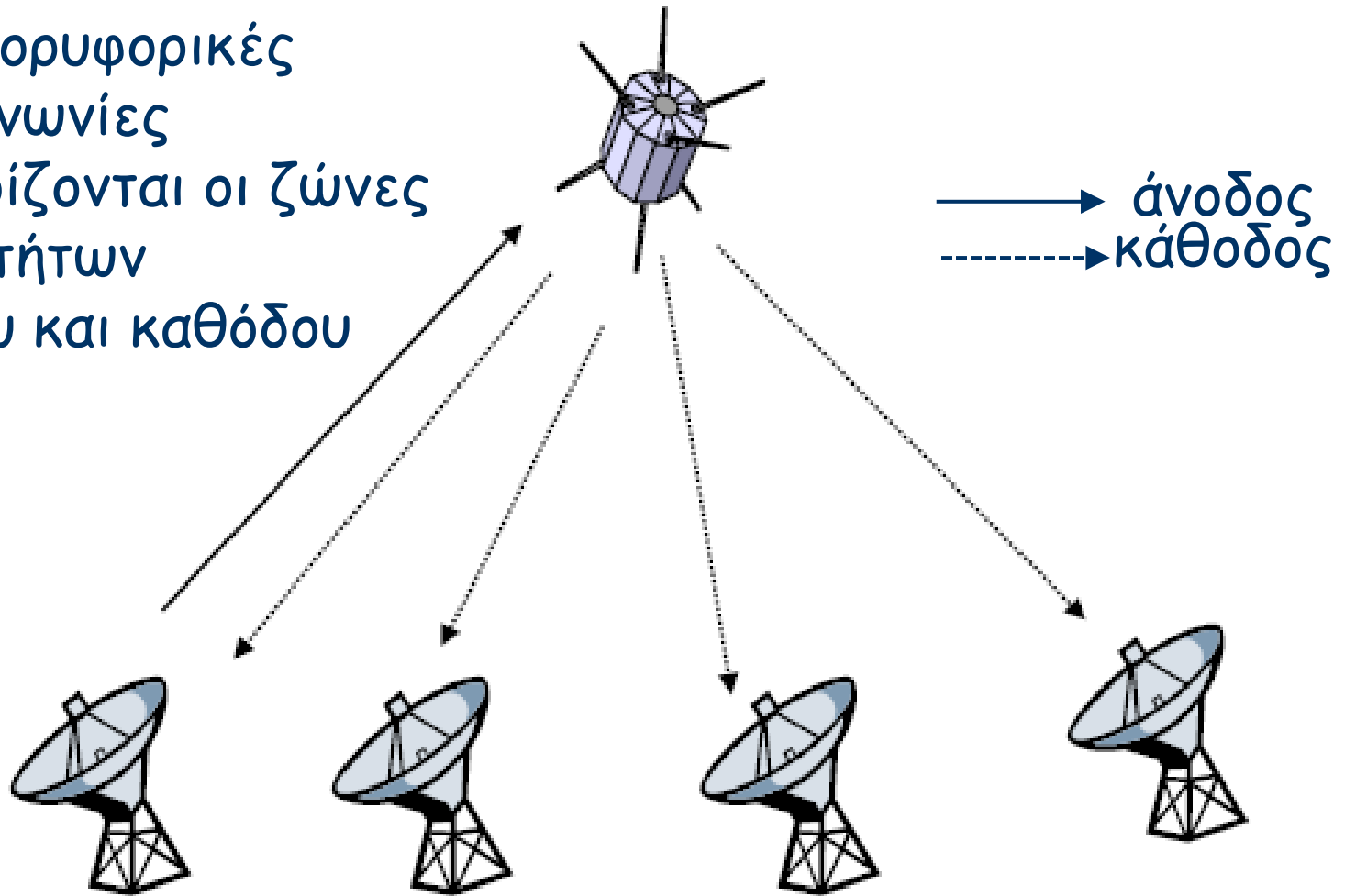
- Τα τοπικά δίκτυα, για λόγους περιορισμού του κόστους, είναι συνήθως δίκτυα εκπομπής.
- Ο ρόλος των πρωτοκόλλων ελέγχου πρόσβασης (Medium Access Control, MAC) είναι να ρυθμίζουν την πρόσβαση στο κοινό μέσο μετάδοσης.
- Οι τεχνικές για την από κοινού χρησιμοποίηση του μέσου μετάδοσης μπορεί να ενταχθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:
  - Στατικού επιμερισμού του μέσου
  - Δυναμικού ελέγχου πρόσβασης στο μέσο

# Πολλαπλή πρόσβαση



## Στατικός επιμερισμός

Στις δορυφορικές επικοινωνίες επιμερίζονται οι ζώνες συχνοτήτων ανόδου και καθόδου

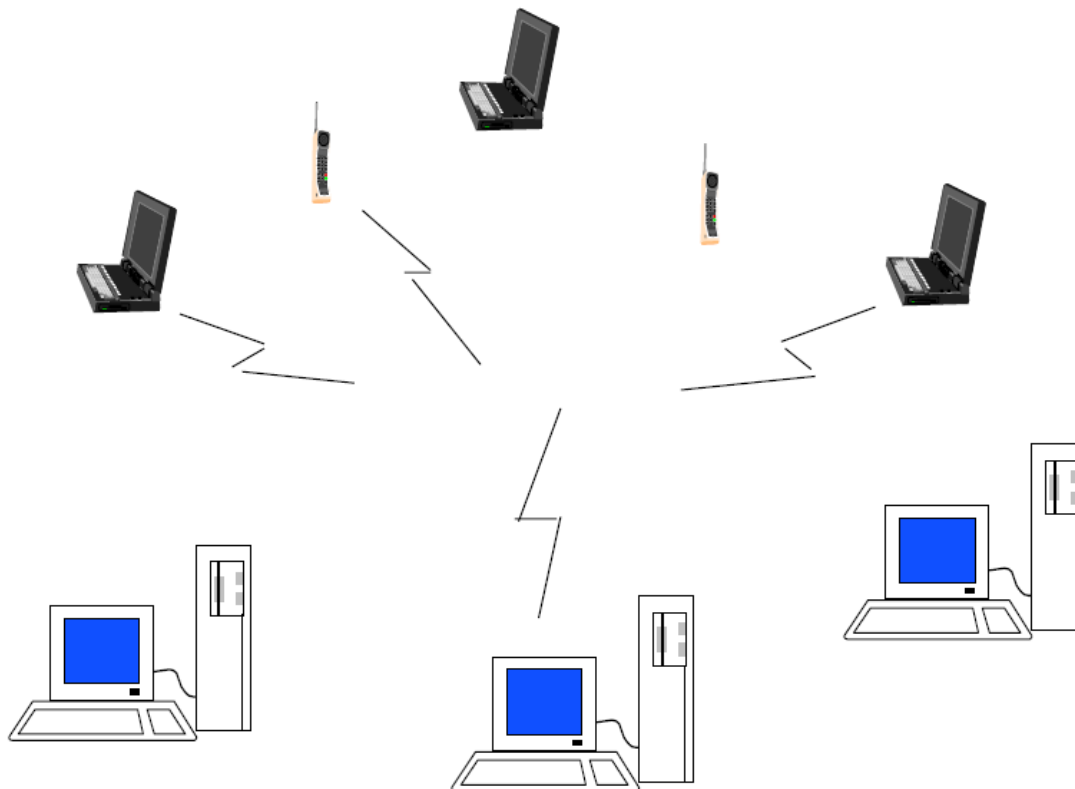


# Πολλαπλή πρόσβαση



## Δυναμικός έλεγχος πρόσβασης

Στα ασύρματα τοπικά δίκτυα χρειάζεται πρωτόκολλο MAC για την από κοινού χρησιμοποίηση του μέσου μετάδοσης



# Πολλαπλή πρόσβαση



## Πρόβλημα

- Θεωρήστε διάσκεψη όπου
  - όταν μιλάει ένας, όλοι οι άλλοι μπορούν να ακούνε
  - αν μιλούν περισσότεροι ταυτόχρονα, όλες οι ομιλίες καταστρέφονται
- Πώς θα συντονίσουν τις ενέργειές τους οι συμμετέχοντες, ώστε
  - να μεγιστοποιείται ο αριθμός των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων ανά μονάδα χρόνου
  - να ελαχιστοποιείται ο χρόνος αναμονής για να μπορεί κάποιος να μιλήσει



# Πολλαπλή πρόσβαση



## Απλές λύσεις

- Χρήση συντονιστή (κεντρική λύση)
  - ο κάθε ομιλητής θα πρέπει να περιμένει να τον καλέσει ο συντονιστής, ακόμη και αν δεν περιμένει κανείς άλλος να μιλήσει
  - τι γίνεται όταν πάθει κάτι ο συντονιστής;
- Κατανεμημένη λύση
  - Μιλάει κάποιος όταν δεν μιλάει κανείς άλλος
  - Αλλά, εάν δύο ομιλητές περιμένουν κάποιον τρίτο να τελειώσει, θα γίνει σύγκρουση
- Η σχεδίαση καλών σχημάτων πρόσβασης είναι πολύ δύσκολη



## Πρόβλημα

- Κοινό μέσο μετάδοσης
  - τα μηνύματα από οιονδήποτε σταθμό λαμβάνονται από όλους τους άλλους σταθμούς
- Μόνο ένας σταθμός μπορεί να μεταδώσει επιτυχώς κάθε φορά
- Τα συγκρουόμενα μηνύματα καταστρέφονται
- Στόχος: η ικανοποίηση των κριτηρίων επίδοσης
  - μεγιστοποίηση της διέλευσης μηνυμάτων
  - ελαχιστοποίηση του μέσου χρόνου αναμονής



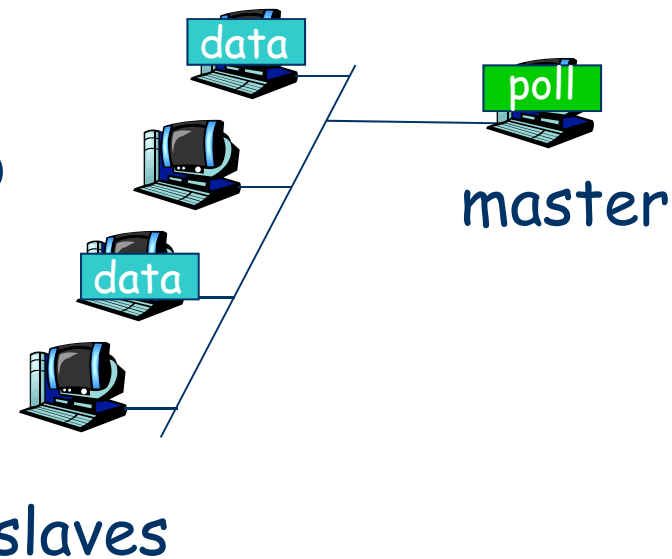
## Λύση του προβλήματος

- Αρχικά, επιλέγουμε μια βασική τεχνολογία
  - για να ξεχωρίσουμε τις ροές πληροφορίας από τους διάφορους σταθμούς
  - μπορεί να είναι στο πεδίο του χρόνου ή στο πεδίο της συχνότητας
- Στη συνέχεια, προσπαθούμε να βρούμε πώς να κατανείμουμε το μέσο μετάδοσης σε μεγαλύτερο σύνολο ανταγωνιζόμενων σταθμών



## Επιλογές

- **Κεντρικό σχήμα**
  - υπάρχει συντονιστής
  - ένας από τους σταθμούς είναι ο **ελέγχων (*master*)** και οι άλλοι είναι **ελεγχόμενοι (*slaves*)**
  - μειονεκτήματα
    - πλεονασμός από το polling
    - καθυστέρηση
    - μοναδικό σημείο αποτυχίας
- **Κατανεμημένο σχήμα**
  - όλοι οι σταθμοί είναι **ομότιμοι**





## Κατανεμημένα σχήματα

- Συγκρινόμενα με τα κεντρικά σχήματα
  - περισσότερο αξιόπιστα
  - έχουν μικρότερες καθυστερήσεις μηνυμάτων
  - συχνά επιτρέπουν υψηλότερη χρησιμοποίηση δικτύου
  - αλλά είναι πιο πολύπλοκα

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



- **Πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης** είναι ένας **κατανεμημένος αλγόριθμος** που καθορίζει πώς θα μοιράζονται οι σταθμοί τον δίαυλο, δηλ. τότε μπορεί να μεταδώσει κάθε σταθμός
- η επικοινωνία για τη χρήση του μέσου (σηματοδοσία) χρησιμοποιεί το ίδιο το μέσο
- τι να προσέχουμε στα πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης:
  - σύγχρονα ή ασύγχρονα
  - απαιτούμενη πληροφορία για τους άλλους σταθμούς
  - αντοχή (π.χ., σε σφάλματα διαύλου)
  - επίδοση

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Ιδανικό πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης

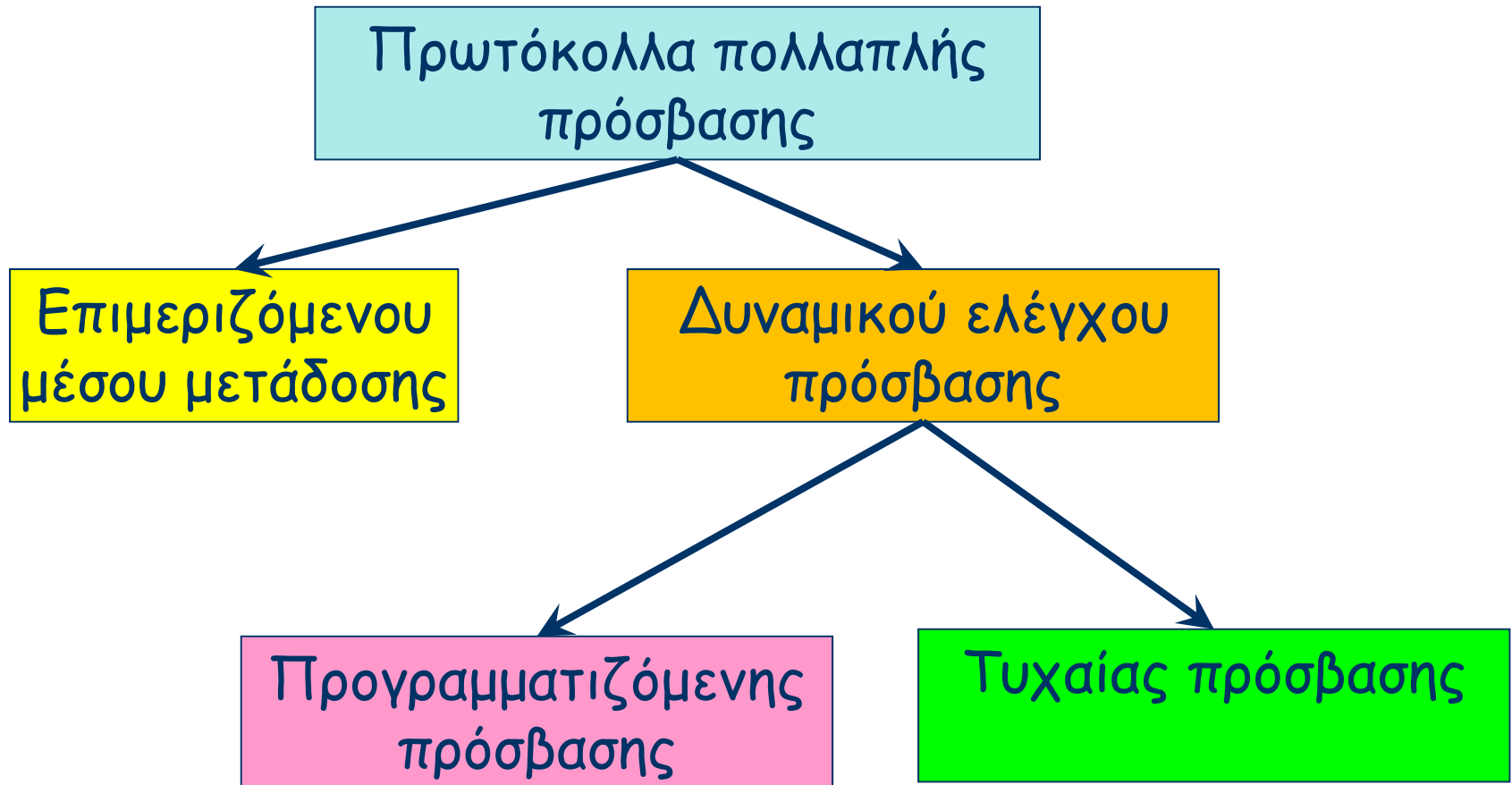
### Δίαυλος εκπομπής ρυθμού μετάδοσης $R$ bps

1. όταν θέλει να στείλει ένας σταθμός, μπορεί να στείλει με ρυθμό  $R$
2. όταν θέλουν να στείλουν  $M$  σταθμοί, ο καθένας θα μπορεί να στέλνει με ρυθμό  $R/M$
3. πλήρως αποκεντρωμένο
  - όχι ειδικός σταθμός για τον συντονισμό των μεταδόσεων
  - όχι συγχρονισμός ρολογιών, χρονοσχισμών
4. απλό

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Ταξινόμηση





# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Επιμεριζόμενου μέσου μετάδοσης

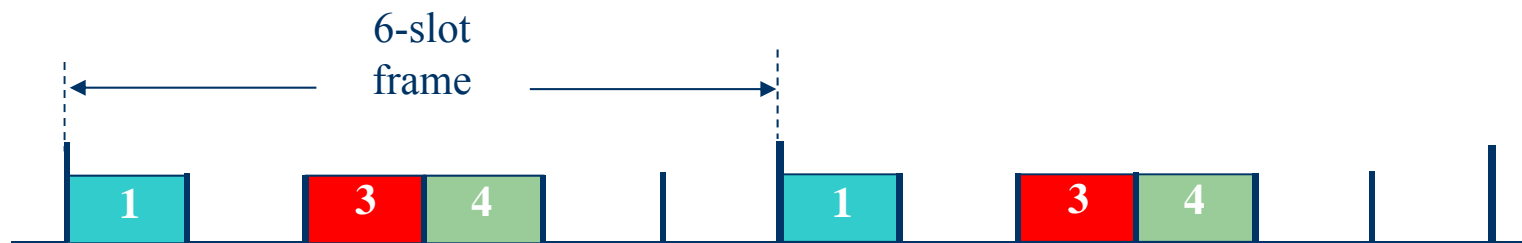
- Θεωρήστε δίκτυο όπου  $M$  σταθμοί χρησιμοποιούν από κοινού ένα μέσο μετάδοσης για να παρέχουν την ίδια σταθερή ροή πληροφορίας
- Έχει έννοια τότε να διαιρέσουμε το μέσο σε  $M$  διάυλους και να εκχωρηθεί ένας σε κάθε σταθμό για αποκλειστική χρήση
- Σχήματα επιμερισμού
  - FDMA
  - TDMA
  - CDMA

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης

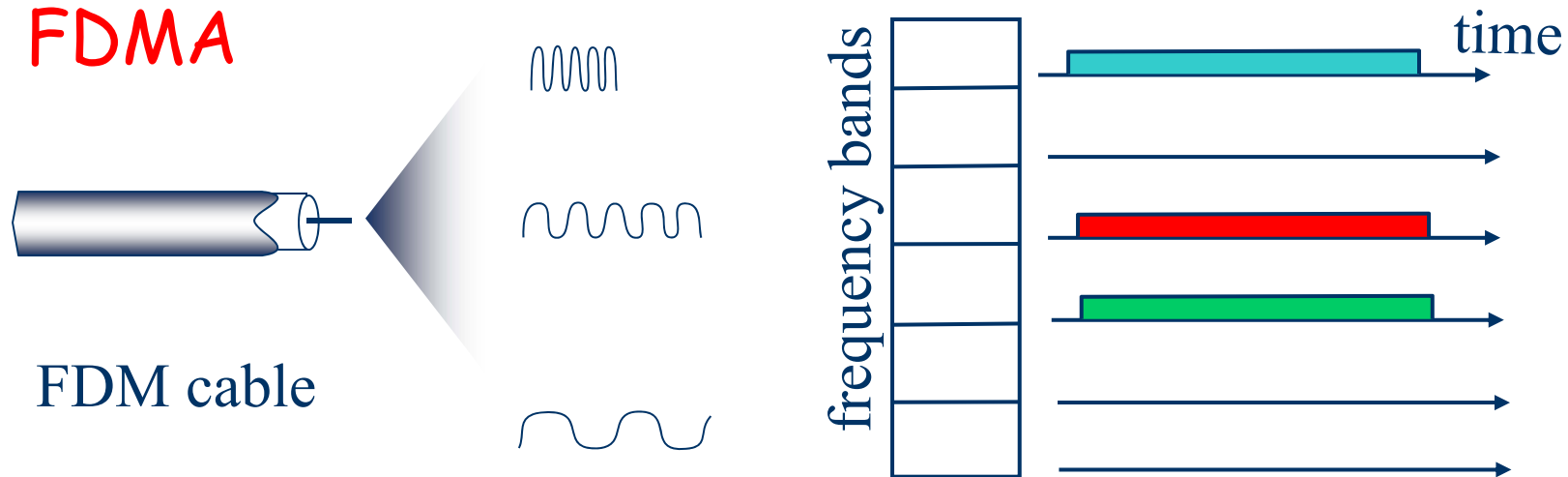


## Επιμεριζόμενου μέσου μετάδοσης

- **TDMA**



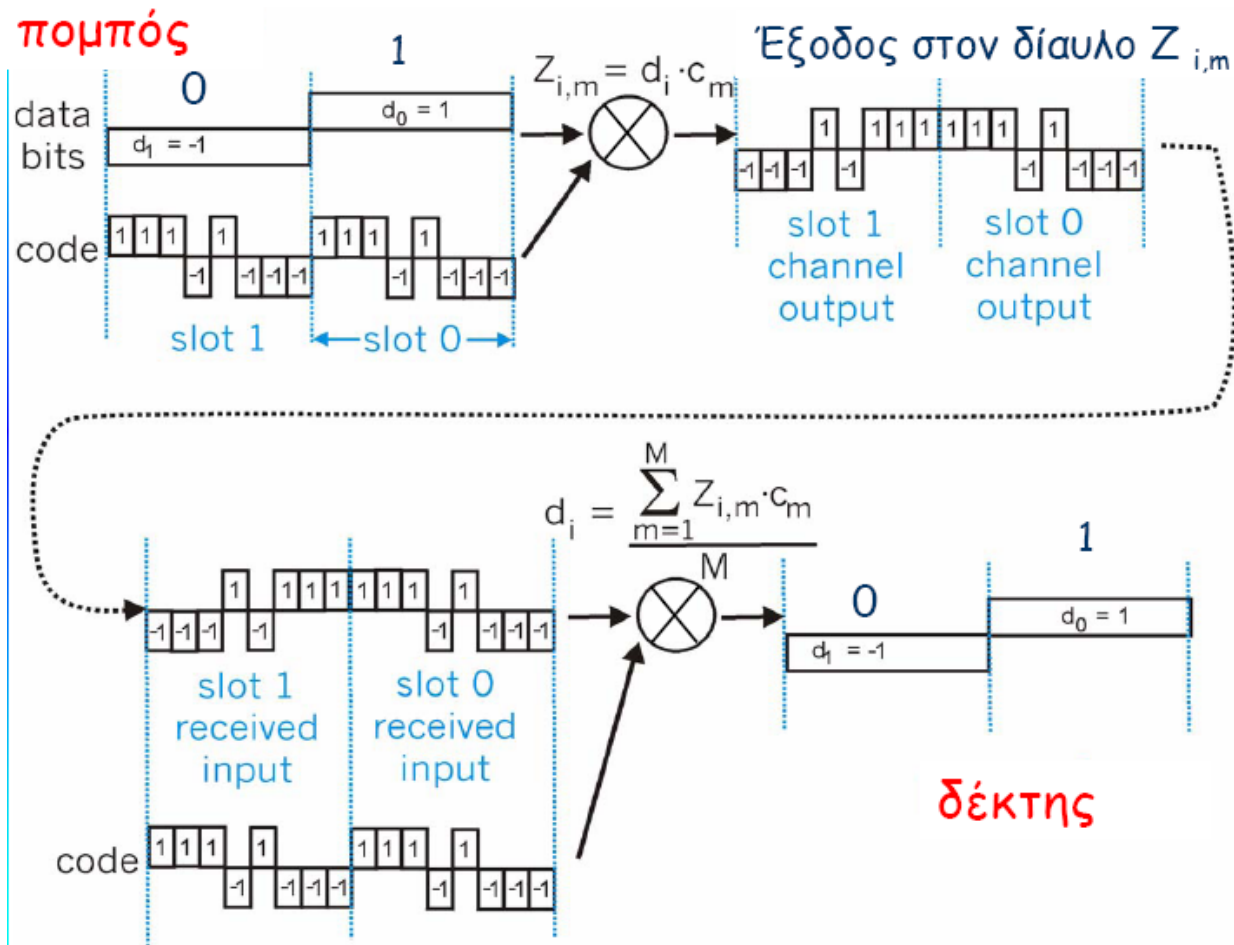
- **FDMA**



# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Επιμεριζόμενου μέσου μετάδοσης CDMA

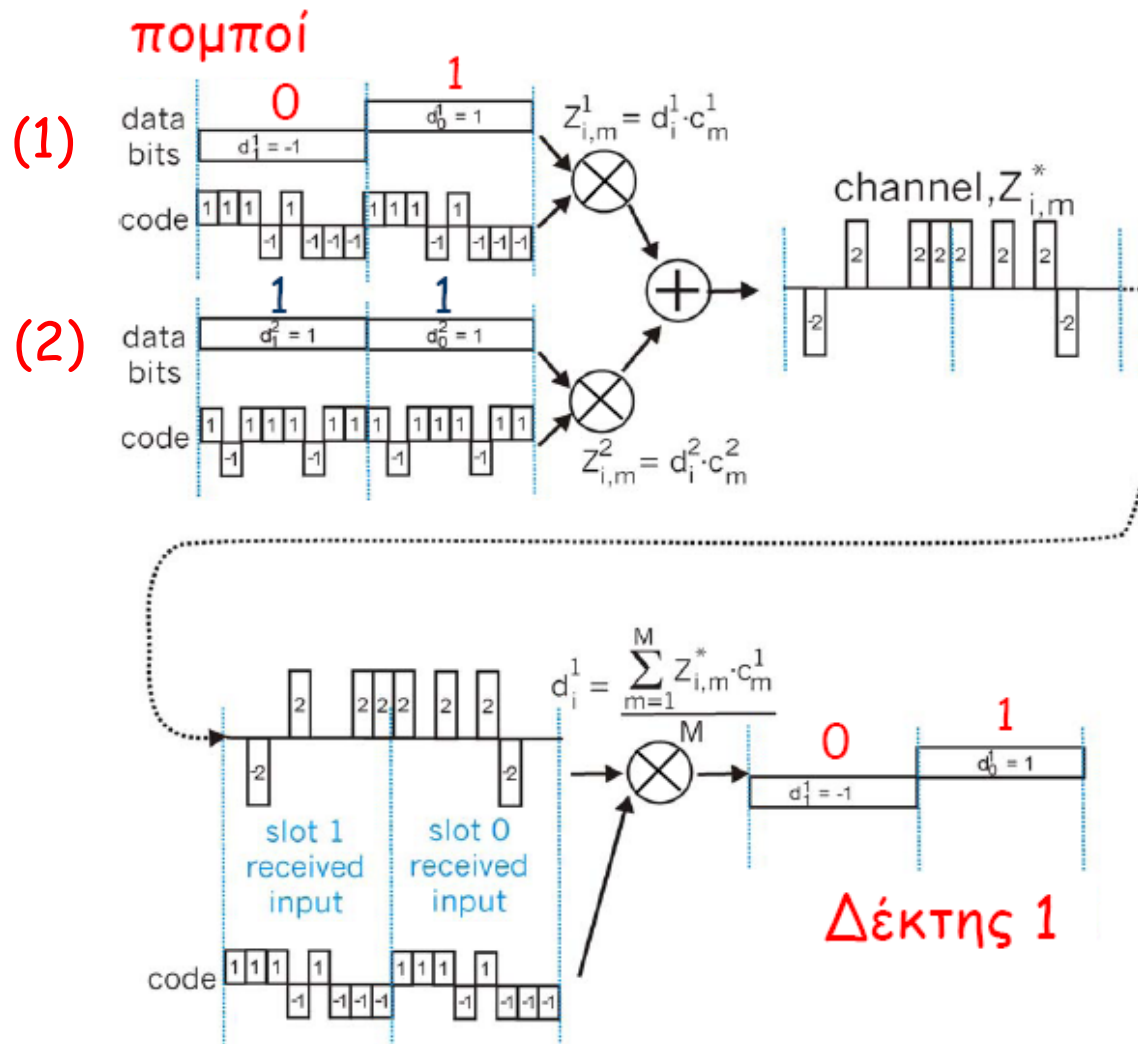


# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Επιμεριζόμενου μέσου μετάδοσης

### CDMA



# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Δυναμικού ελέγχου πρόσβασης

### Τυχαία πρόσβαση

- Όταν ένας σταθμός έχει πακέτο να στείλει
  - μεταδίδει σε πλήρη ρυθμό μετάδοσης  $R$ .
  - δεν υπάρχει συντονισμός μεταξύ των σταθμών
- αν μεταδίδουν δύο ή περισσότεροι σταθμοί ταυτόχρονα  $\Rightarrow$  "σύγκρουση"
- Το πρωτόκολλο **MAC τυχαίας πρόσβασης** καθορίζει:
  - πώς να ανιχνεύονται οι συγκρούσεις
  - πώς να επιλύονται οι συγκρούσεις (πχ., με καθυστερημένες αναμεταδόσεις)
- Παραδείγματα πρωτοκόλλων MAC τυχαίας πρόσβασης:
  - ALOHA
  - ALOHA με χρονοσχισμές
  - CSMA and CSMA/CD

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης

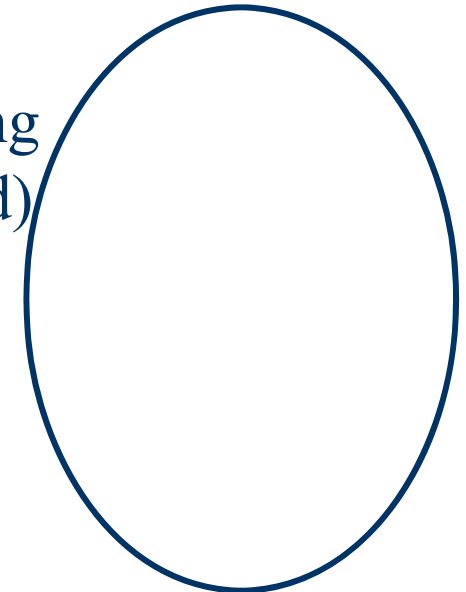


## Δυναμικού ελέγχου πρόσβασης

### Προγραμματιζόμενη πρόσβαση (Εκχώρηση σειράς)

- συντονιζόμενη κοινή πρόσβαση για αποφυγή συγκρούσεων
- επιδιώκουν τα καλύτερα από τις δύο άλλες κατηγορίες
- η σκυτάλη ελέγχου διέρχεται από κάθε κόμβο διαδοχικά.
- μήνυμα σκυτάλης
- μειονεκτήματα:
  - πλεονασμός σκυτάλης
  - καθυστέρηση
  - αποτυχία κεντρικού σημείου (σκυτάλη)

(nothing to send)



data

Δίκτυα επικοινωνιών

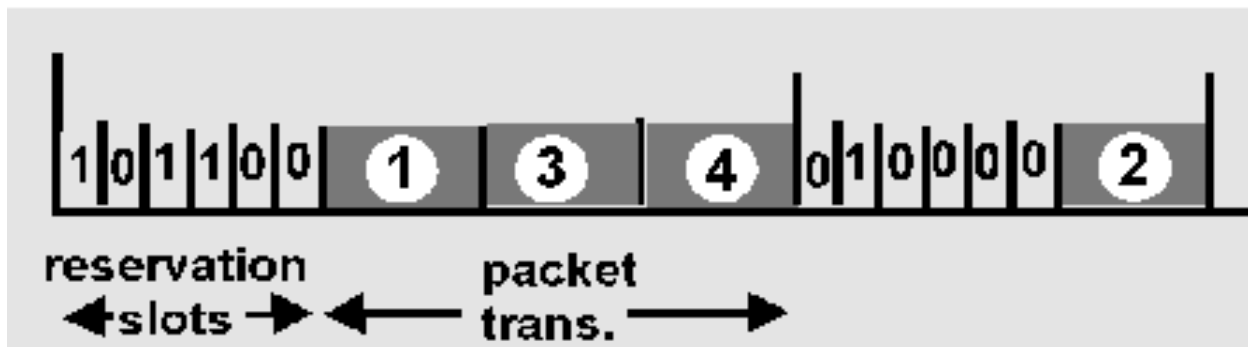
# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Δυναμικού ελέγχου πρόσβασης

### Προγραμματιζόμενη πρόσβαση (Κρατήσεις)

- Ο χρόνος διαιρείται σε χρονοσχισμές
- Αρχίζουμε με  $N$  σύντομες **χρονοσχισμές κράτησης**
  - η διάρκεια της χρονοσχισμής κράτησης ισούται με τον χρόνο διάδοσης απ' άκρη σ' άκρη του διαύλου
  - σταθμός που έχει μήνυμα να στείλει κάνει κράτηση
  - η κράτηση βλέπεται από όλους τους σταθμούς
- Μετά τις χρονοσχισμές κράτησης, οι μεταδόσεις των μηνυμάτων γίνονται με τη σειρά κράτησης



# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Επιλογή πρωτοκόλλου

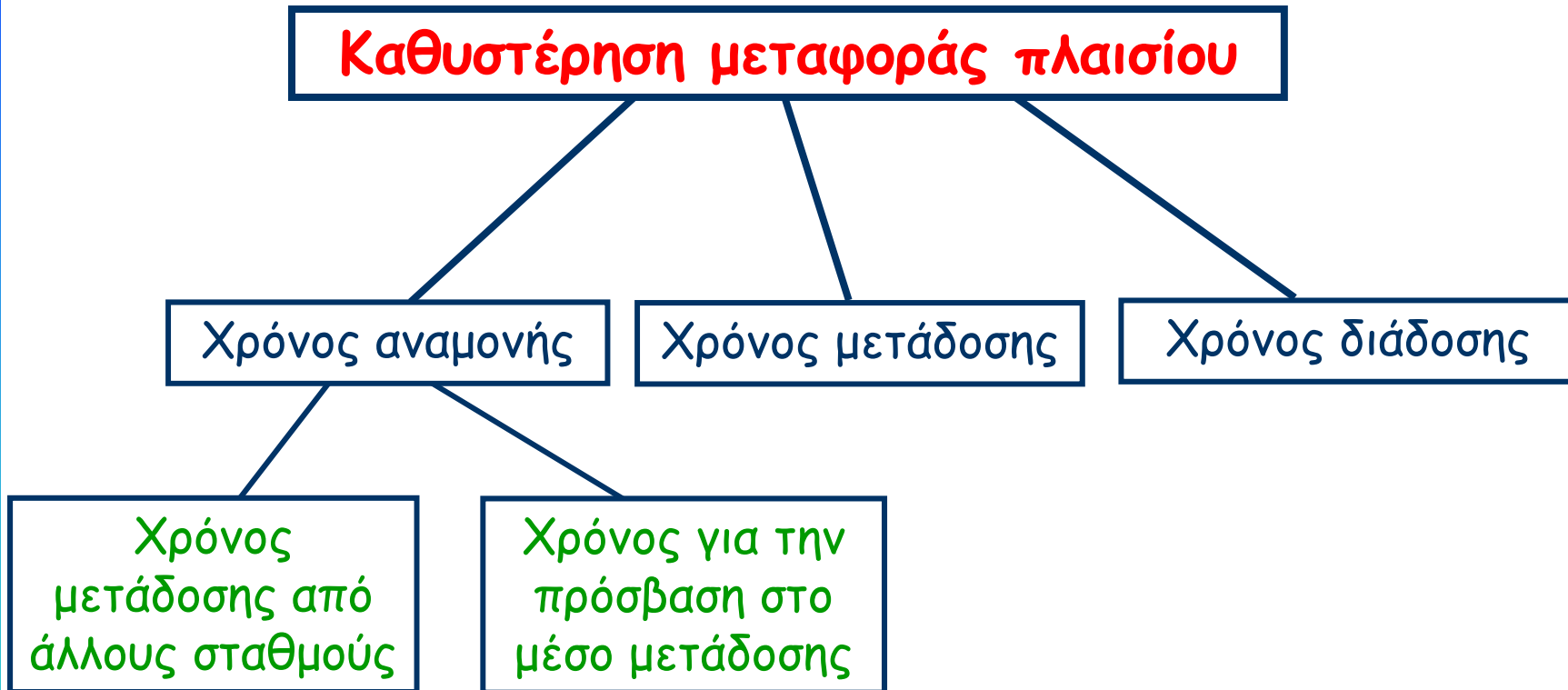
- Εξαρτάται κυρίως από τον λόγο του χρόνου διάδοσης στο μέσο προς τον χρόνο μετάδοσης ενός πλαισίου
- Η καθυστέρηση μεταφοράς που αντιμετωπίζουν τα πλαίσια είναι ένα ενδιαφέρον μέτρο επίδοσης.
- **Καθυστέρηση μεταφοράς πλαισίου (frame transfer delay)  $T$** : ο χρόνος που παρέχεται από την άφιξη του πρώτου bit του πλαισίου στο MAC του πομπού έως και τη παράδοση του τελευταίου bit στο MAC του δέκτη.



# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Κριτήρια επίδοσης



# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Κριτήρια επίδοσης

- Διέλευση
- Καθυστέρηση μεταφοράς πλαισίου
- Αξιοπιστία: αντοχή σε σφάλματα του υλικού, ώστε να μην επηρεάζεται η παρεχόμενη υπηρεσία
- Δικαιοσύνη: ενδιαφέρει κυρίως να λαμβάνουν οι σταθμοί το κατάλληλο εύρος ζώνης και τα πλαίσια να αντιμετωπίζουν την κατάλληλη καθυστέρηση.

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Κριτήρια επίδοσης

- **Διέλευση**
  - Διέλευση πρωτοκόλλου MAC είναι η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης στο LAN, όταν είναι πολύ φορτωμένο
  - **Διέλευση** = απόδοση × ταχύτητα μετάδοσης στο φυσικό μέσο
  - **Απόδοση** πρωτοκόλλου MAC είναι το μέγιστο ποσοστό του χρόνου που μπορούν οι κόμβοι να μεταδώσουν επιτυχώς, όταν χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο και όταν το δίκτυο είναι πολύ φορτωμένο και έχει πολλούς κόμβους

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Κριτήρια επίδοσης

### ➤ Διέλευση

- Μ σταθμοί παράγουν πλαίσια με ρυθμό  $\lambda$  πλ./sec και τα πλαίσια έχουν μήκος  $L$  bit.
- Κανονικοποιημένη διέλευση ή φορτίο:  $\rho = \lambda L / R$
- Πρέπει  $\lambda L < R$ , οπότε  $\rho = \lambda L / R < 1$
- Γενικά κάθε πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης έχει μέγιστη διέλευση  $< R / L$  πλαίσια/sec, διότι μέρος του χρόνου χάνεται σε συγκρούσεις ή για την αποστολή πληροφοριών συντονισμού
- Συνεπώς, το φορτίο  $\rho$  δεν μπορεί να υπερβαίνει κάποια κανονικοποιημένη τιμή διέλευσης  $\rho_{\max} < 1$

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



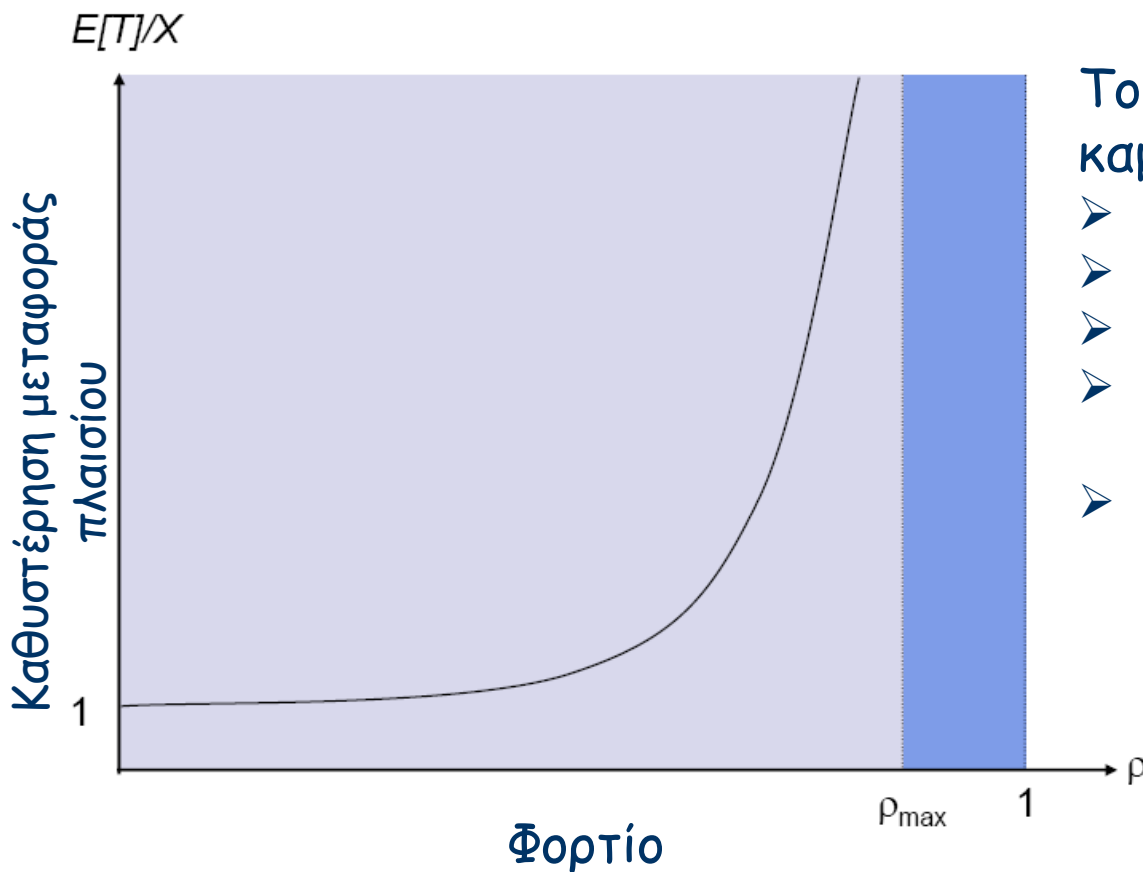
## Κριτήρια επίδοσης

- **Καθυστέρηση μεταφοράς πλαισίου**
  - Η μέση καθυστέρηση μεταφοράς πλαισίου  $E[T]$  και η διέλευση ενός πρωτοκόλλου πολλαπλής πρόσβασης σχετίζονται.
  - Όταν το φορτίο είναι μικρό δεν υπάρχει ή υπάρχει μικρός ανταγωνισμός και η μέση καθυστέρηση μεταφοράς πλαισίου είναι παραπλήσια με τον χρόνο μετάδοσης πλαισίου  $X = L/R$ .
  - Όσο αυξάνει το φορτίο υπάρχει μεγαλύτερος ανταγωνισμός για το μέσο μετάδοσης και τα πλαίσια περιμένουν μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα πριν μεταφερθούν.

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



## Κριτήρια επίδοσης

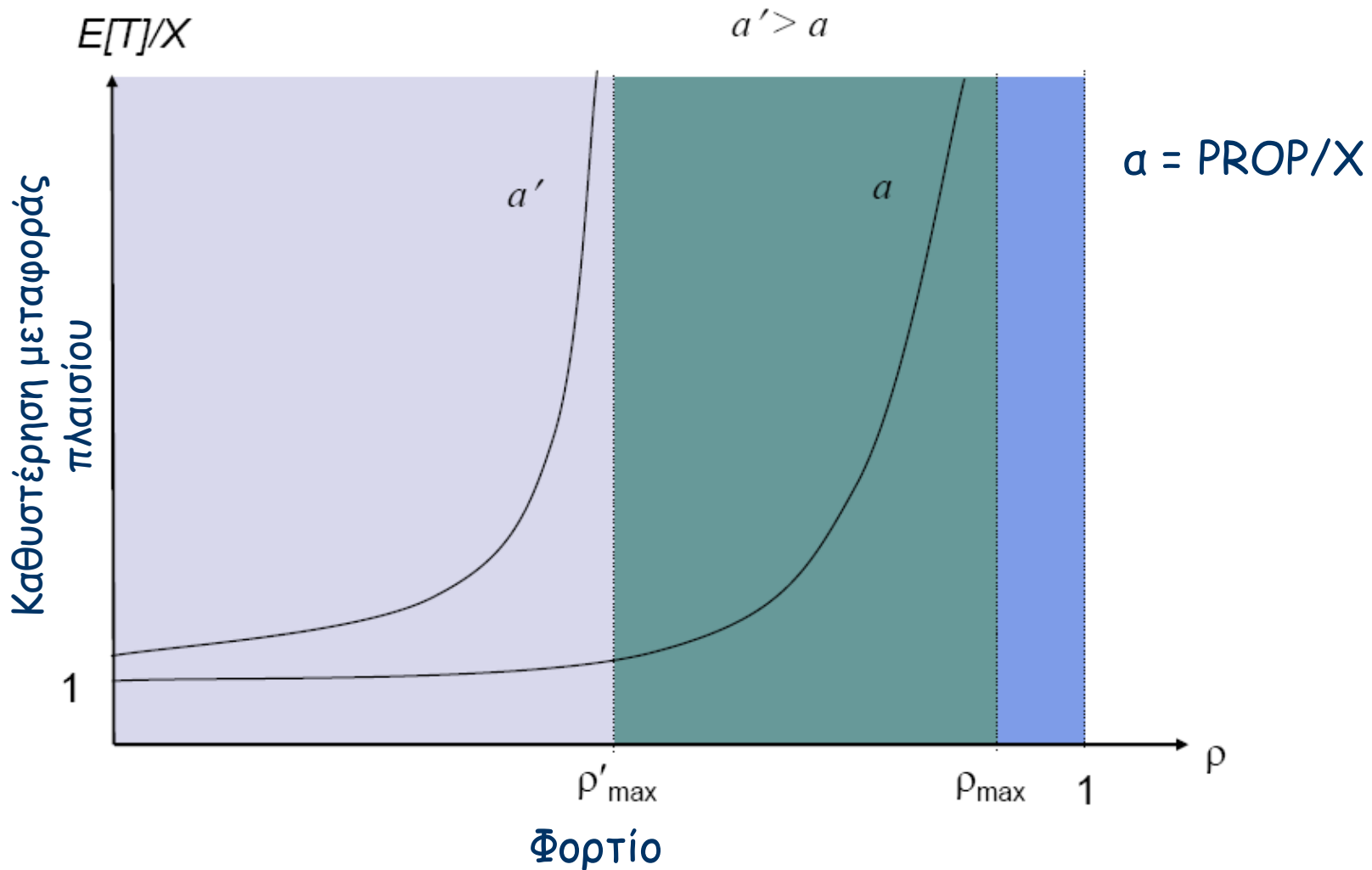


- Το ακριβές σχήμα της καμπύλης εξαρτάται από:
- το μέσο μετάδοσης
  - το πρωτόκολλο MAC,
  - τον αριθμό των σταθμών
  - τον τρόπο άφιξης των πλαισίων στους σταθμούς
  - την κατανομή των μηκών των πλαισίων

# Πρωτόκολλα πολλαπλής πρόσβασης



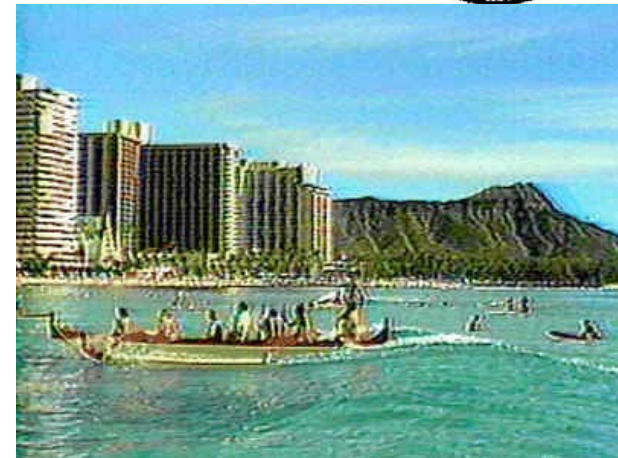
## Κριτήρια επίδοσης



# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## ALOHA





# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



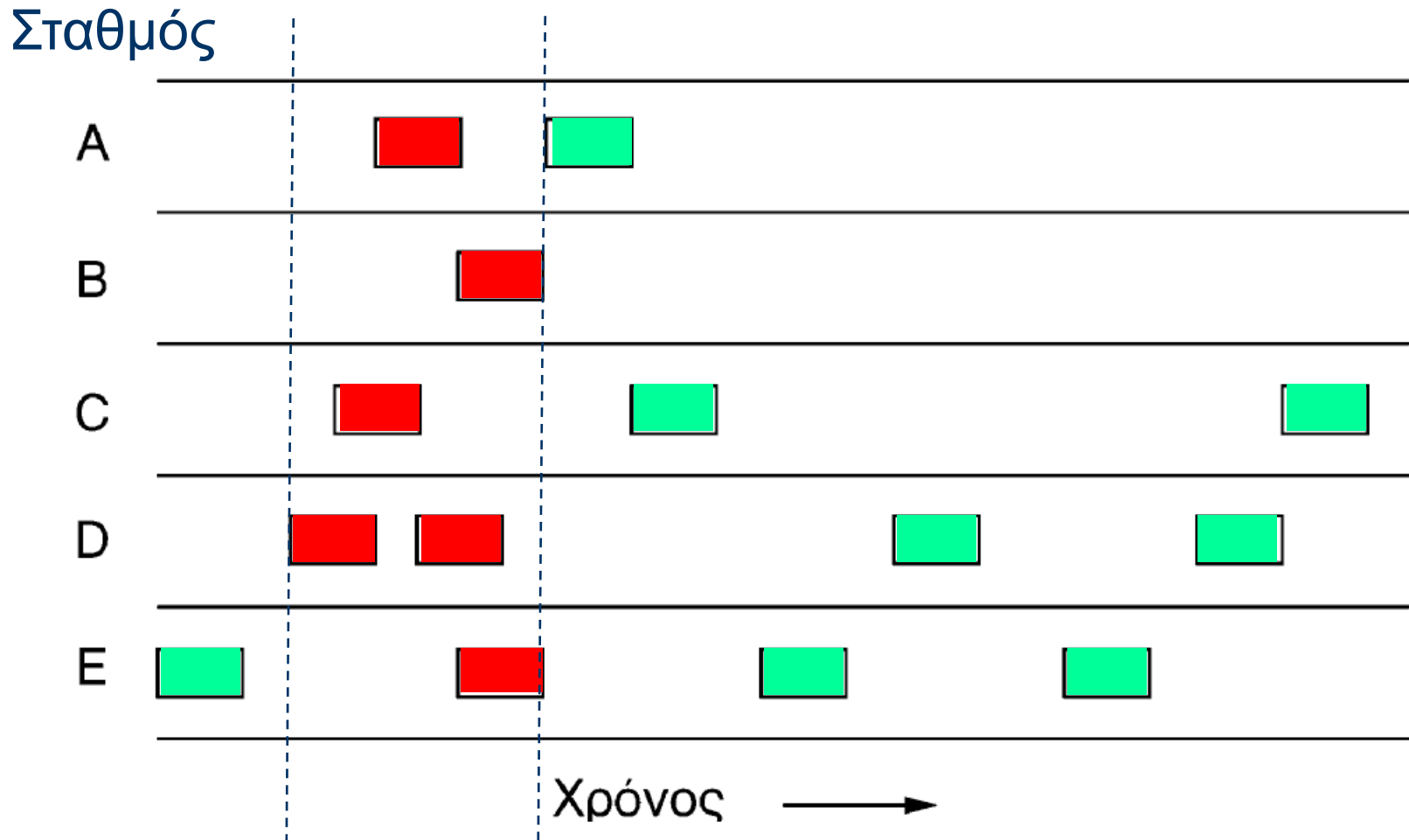
## ALOHA

- Σύστημα ασύρματης μετάδοσης πλαισίων
- Όταν ένας σταθμός έχει πλαίσιο, το μεταδίδει
- Ο σταθμός αποστολής ακούει για χρονικό διάστημα ίσο με τον μέγιστο χρόνο μετάβασης και επιστροφής
  - Αν έρθει ACK, εντάξει. Αν όχι, επαναμεταδίδει
  - Αν δεν σταλεί ACK μετά από πολλές επαναμεταδόσεις, εγκαταλείπει
- Υπάρχει έλεγχος σειράς πλαισίων
- Αν το πλαίσιο είναι σωστό και ταιριάζει η διεύθυνση προορισμού του με εκείνη του δέκτη, στέλνεται ACK
- Το πλαίσιο μπορεί να καταστραφεί από θόρυβο ή από άλλο σταθμό που εκπέμπει την ίδια στιγμή (σύγκρουση)
- Οποιοσδήποτε επικαλυπτόμενες μεταδόσεις πλαισίων προκαλούν σύγκρουση

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## Λειτουργία του ALOHA



# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## Απόδοση του ALOHA



$$S = G \times p$$

επικίνδυνη περίοδος

$$\Pr\{N = n\} = \frac{(GT)^n}{n!} e^{-GT} \Rightarrow$$

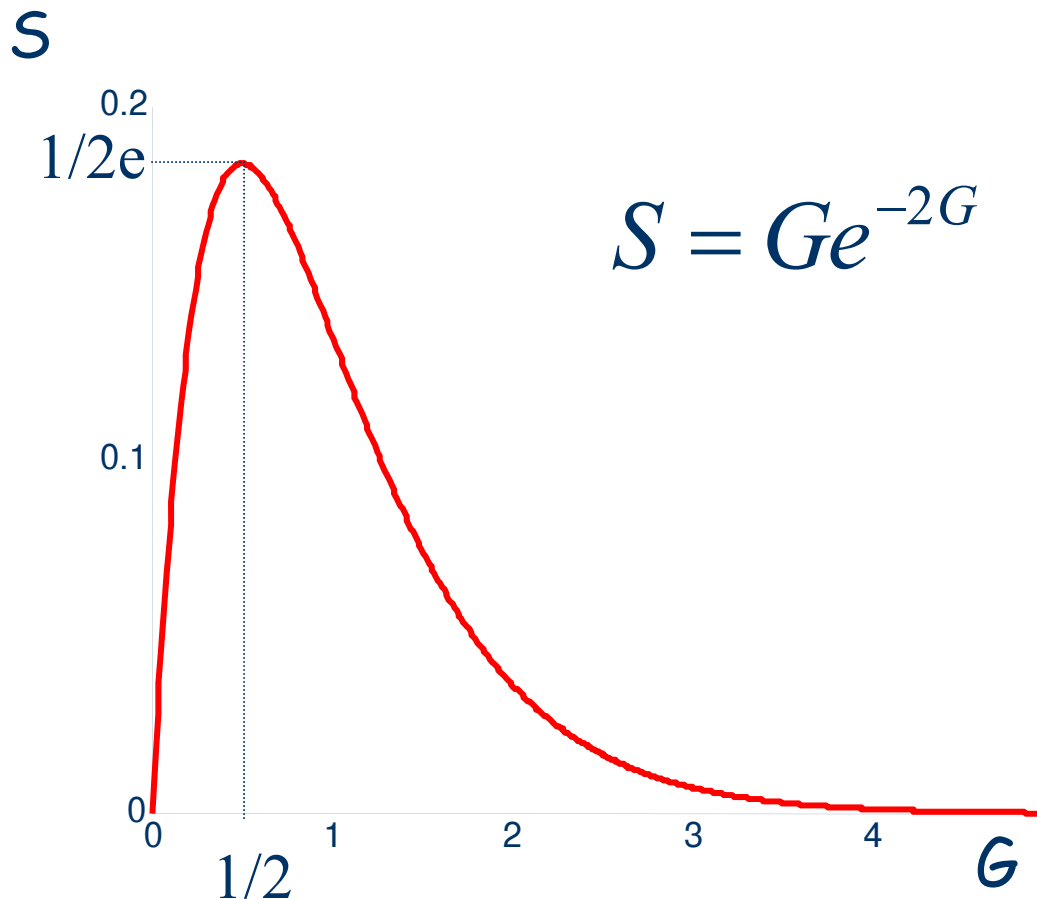
$$p = \Pr\{N = 0\} = e^{-2G} \quad (T = 2) \Rightarrow$$

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

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## Απόδοση του ALOHA



# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## ALOHA με χρονοσχισμές (Slotted ALOHA)

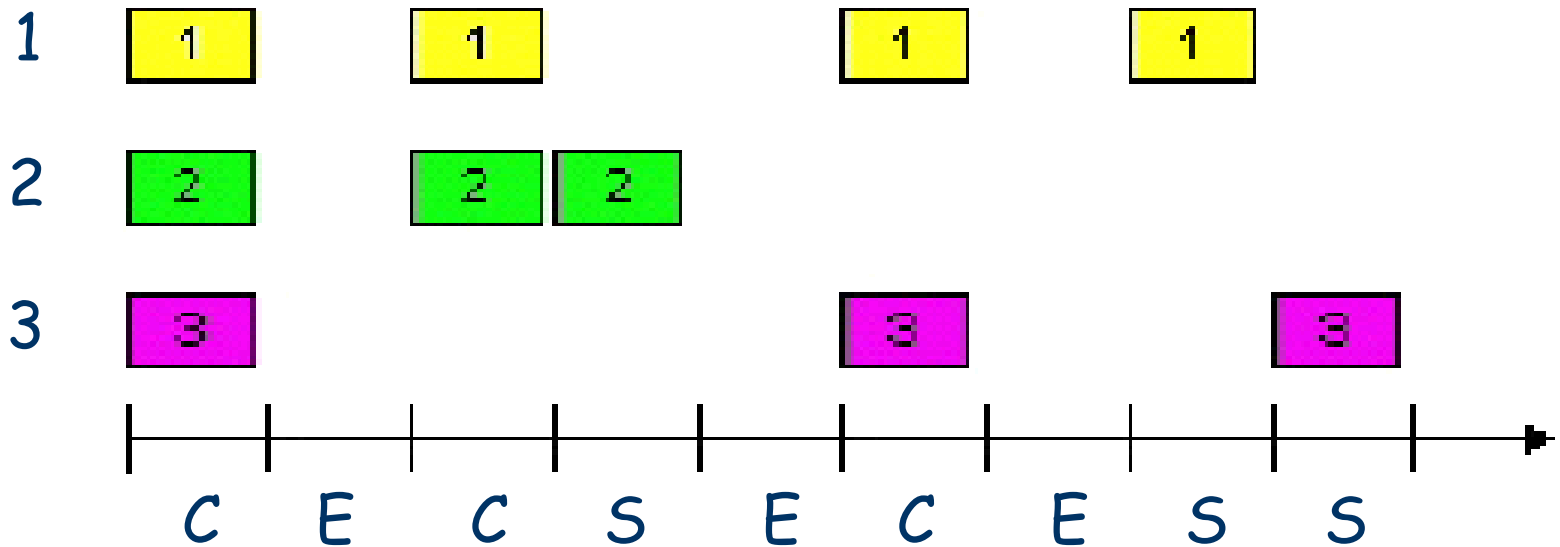
- Ο χρόνος διαιρείται σε όμοιες χρονοσχισμές ίσες με το χρόνο μετάδοσης πλαισίου
- Ανάγκη ύπαρξης κεντρικού ρολογιού (ή άλλου μηχανισμού συγχρονισμού)
- Ο σταθμός που έχει πλαίσιο να στείλει, το στέλνει στην αρχή της επόμενης χρονοσχισμής
- Αν γίνει σύγκρουση, επαναμεταδίδει το πλαίσιο με πιθανότητα  $p$ , μέχρι να το πετύχει.

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## Λειτουργία του ALOHA με χρονοσχισμές

Σταθμός

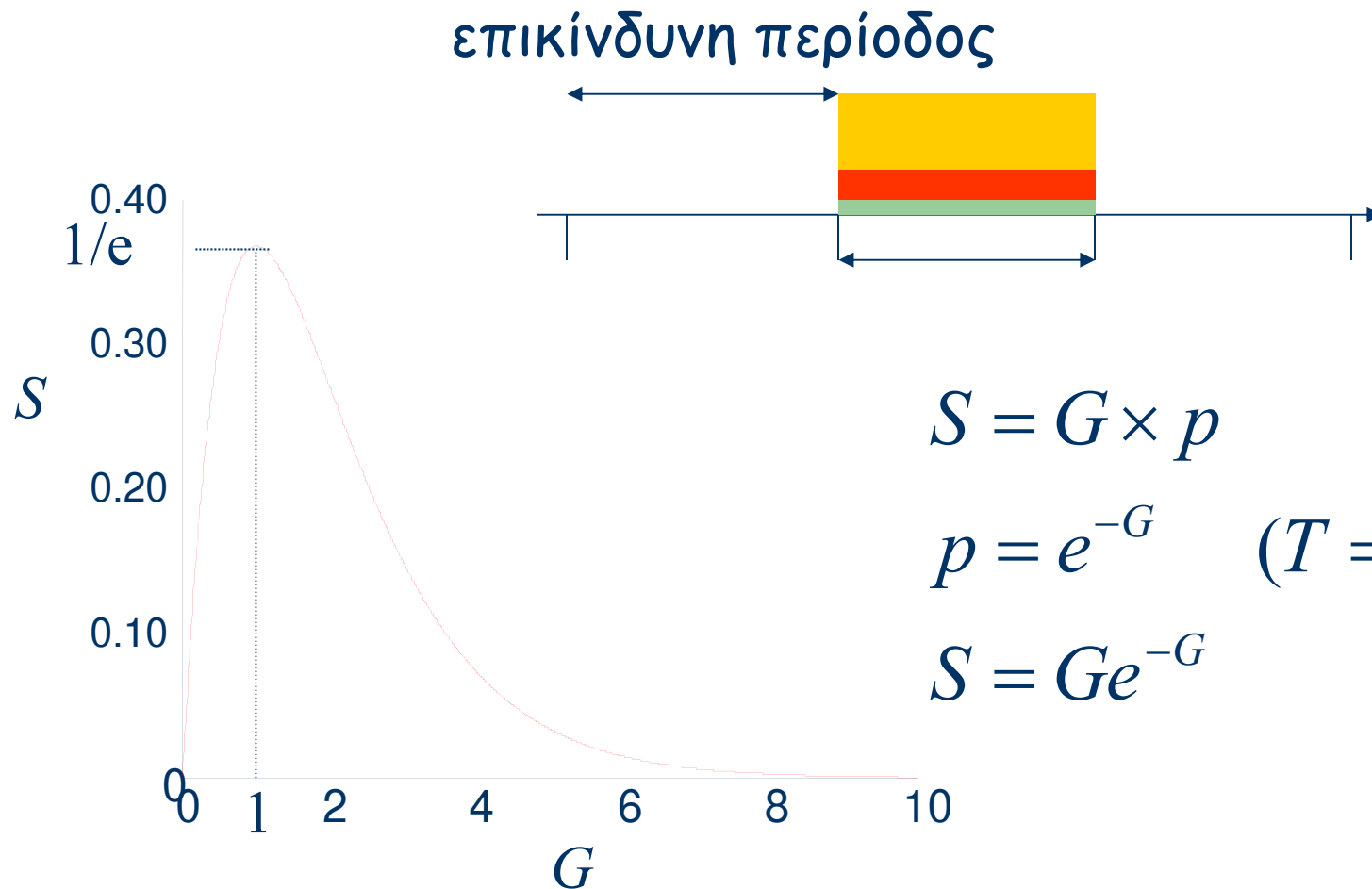


S: Success  
C: Collision  
E: Empty slot

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## Απόδοση του ALOHA με χρονοσχισμές



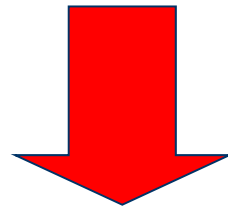
# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## ALOHA με χρονοσχισμές

Αναμενόμενος αριθμός μεταδόσεων

$$E[N] = e^{-G} \times 1 + (1 - e^{-G})(1 + E[N])$$



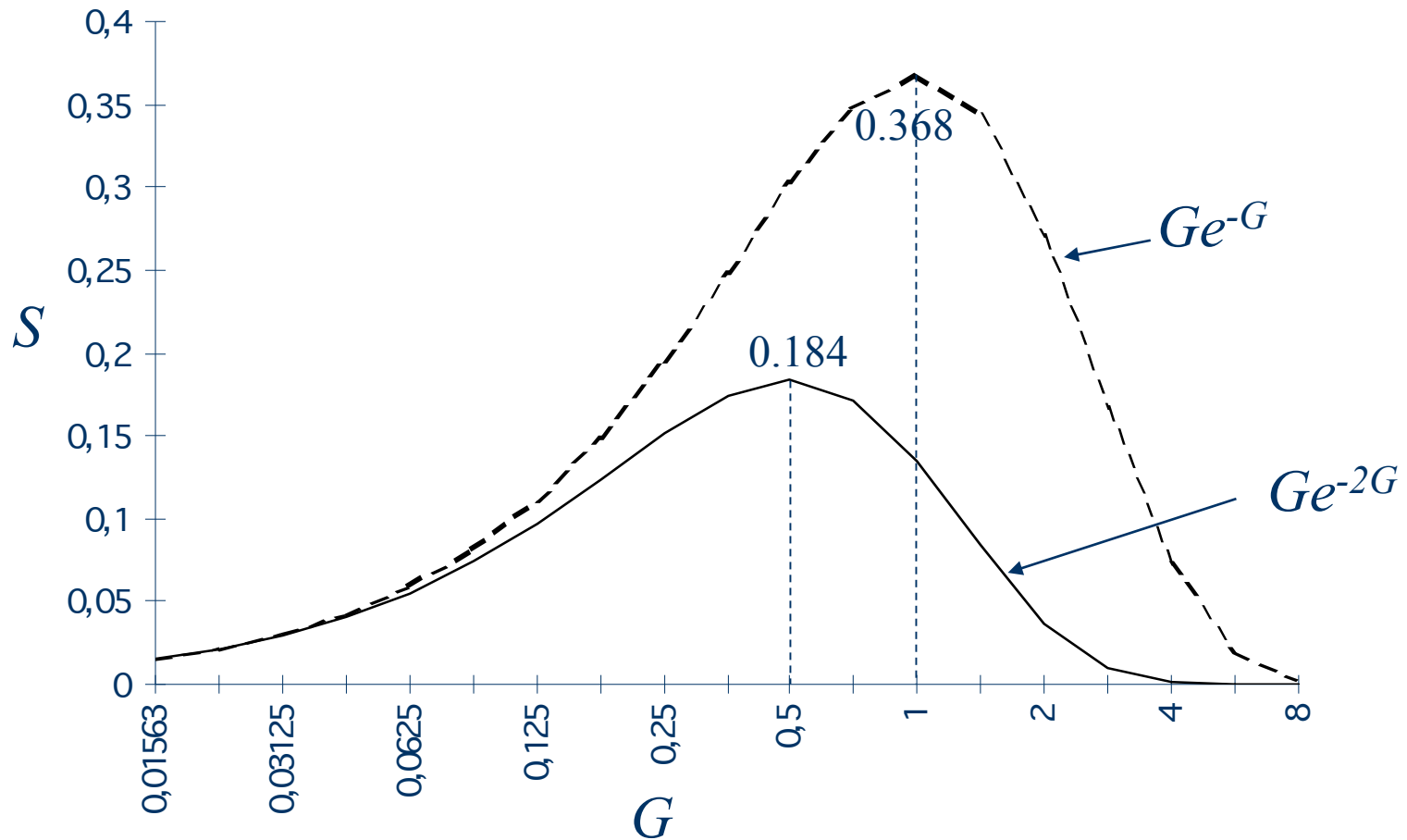
$$E[N] = e^G$$



# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## ALOHA και ALOHA με χρονοσχισμές



# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## ALOHA και ALOHA με χρονοσχισμές

Σύστημα ασύρματης επικοινωνίας χρησιμοποιεί δίαυλο 9600 bps για την αποστολή μηνυμάτων εγκατάστασης κλήσης σε σταθμό βάσης. Τα πλαίσια έχουν μήκος 120 bit. Ποια είναι η μέγιστη δυνατή διέλευση με ALOHA και slotted ALOHA;

$$9600bps \times 120bit / \text{πλαίσιο} = 80 \text{ πλαίσια} / \text{sec}$$

$$ALOHA_{\max} = 80 \times 0.184 \approx 15 \text{ πλαίσια} / \text{sec}$$

$$Slotted ALOHA_{\max} = 80 \times 0.368 \approx 30 \text{ πλαίσια} / \text{sec}$$

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## ALOHA με κρατήσεις

1. Αρχίζει με μια περίοδο κρατήσεων σύμφωνα με το πρωτόκολλο ALOHA με σχισμές (απόδοση  $< 0.36$ ).
2. Ακολουθεί η μετάδοση από όσους είχαν κάνει κρατήσεις.

$$\text{Απόδοση: } \eta = \frac{T}{\tau/0.36 + T}$$

- $T$ : διάρκεια μετάδοσης του πλαισίου δεδομένων
- $\tau$ : διάρκεια της σχισμής κράτησης
- με  $\tau/T = 0.05$  προκύπτει  $\eta = 88\%$ .

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## Carrier Sense Multiple Access (CSMA)

- **Θεμελιώδης αρχή:** έλεγξε κατά πόσο το μέσο μετάδοσης είναι απασχολημένο πριν στείλεις πλαίσιο (π.χ. ανιχνεύοντας το φέρον)
- Στείλε ένα πλαίσιο μόλις απελευθερωθεί το μέσο
- Αν κατά την ανίχνευση, το μέσο βρεθεί κατειλημμένο, περίμενε να ελευθερωθεί και στείλε -> *1-persistent*
- Αν κατά την ανίχνευση, το μέσο βρεθεί κατειλημμένο, βάλε χρονόμετρο και δοκίμασε αργότερα -> *non-persistent*
- Πρόβλημα με το persistent: δύο σταθμοί που περιμένουν θα συγκρουσθούν

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## CSMA

- Χρόνος διάδοσης  $\ll$  χρόνος μετάδοσης πλαισίου
- Όλοι οι σταθμοί ξέρουν σχεδόν αμέσως ότι άρχισε κάποια μετάδοση
- Πρώτα ακούν για ελεύθερο μέσο (ανίχνευση φέροντος)
- Αν το μέσο είναι ελεύθερο, μεταδίδουν
  - Αν δύο σταθμοί αρχίζουν την ίδια στιγμή, συγκρούονται
- Περιμένουν εύλογο διάστημα (round trip + ανταγωνισμό για μετάδοση ACK)
  - Αν δεν υπάρξει ACK, τότε αναμεταδίδουν
- Η μέγιστη απόδοση εξαρτάται από τον χρόνο διάδοσης (μήκος μέσου) και το μήκος πλαισίου
  - Μακρύτερο πλαίσιο και βραχύτερος χρόνος διάδοσης δίνουν καλύτερη απόδοση

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## CSMA

Ο σταθμός A αρχίζει τη μετάδοση τη στιγμή  $t=0$



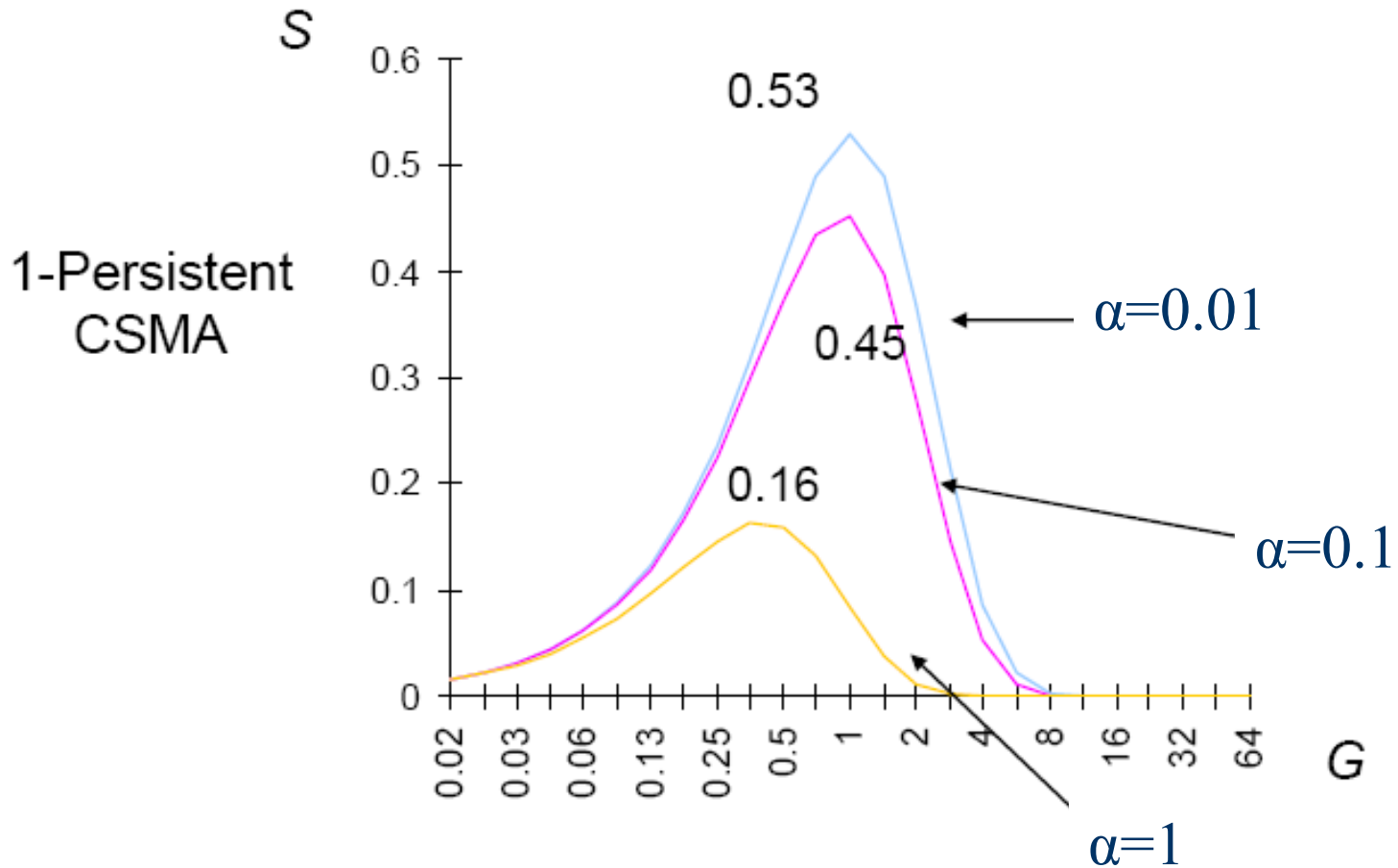
Ο σταθμός A καταλαμβάνει τον δίαυλο τη στιγμή  $t=t_{prop}$



# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## CSMA

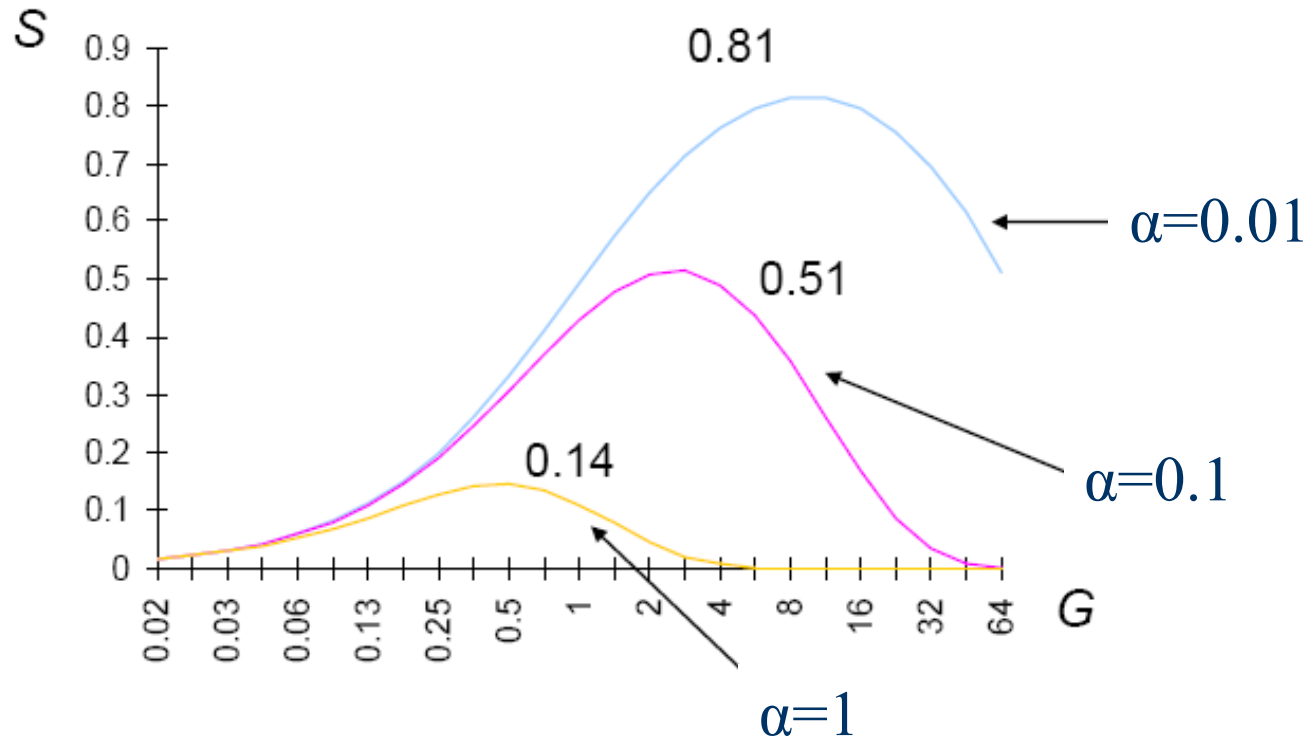


# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## CSMA

Non-Persistent  
CSMA





# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



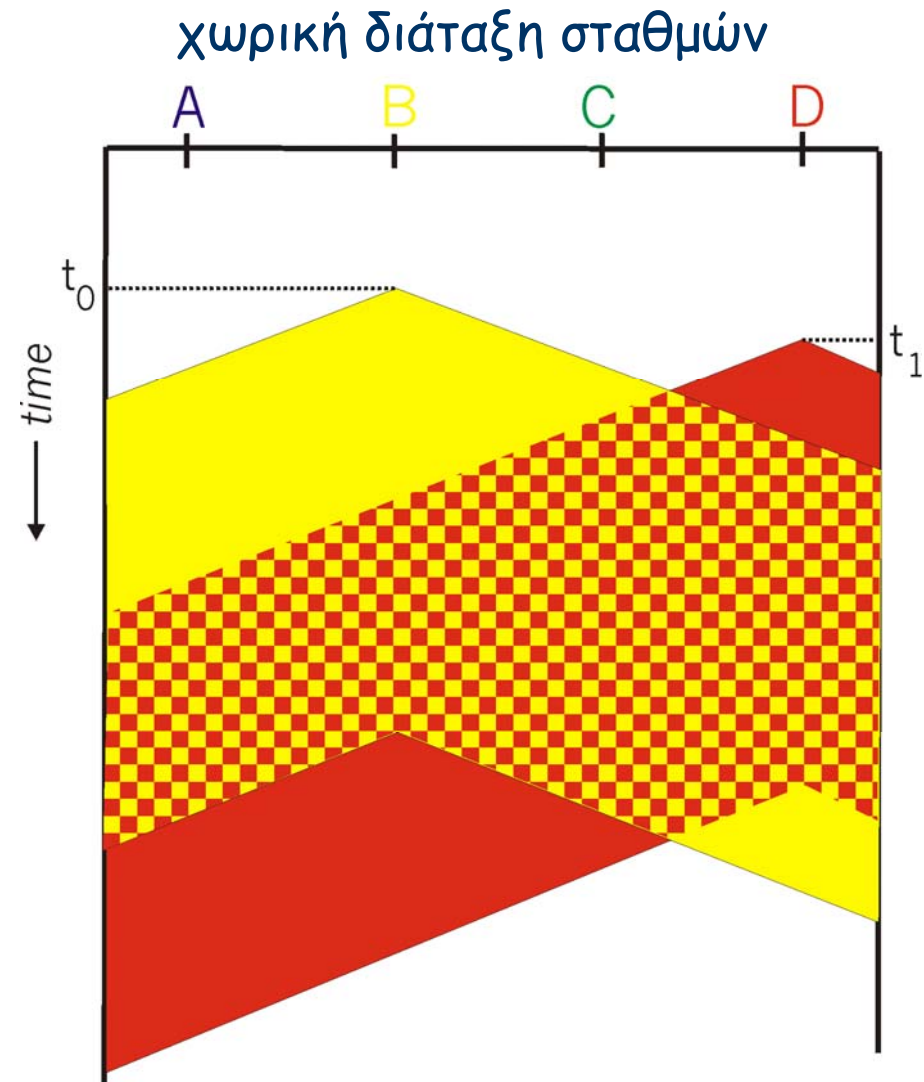
## CSMA: συγκρούσεις

### υπάρχουν συγκρούσεις:

λόγω του χρόνου διάδοσης ένας σταθμός μπορεί να μην προλάβει να ακούσει τη μετάδοση του άλλου

### σύγκρουση:

το μέσο μετάδοσης παραμένει κατειλημμένο καθ' όλη τη διάρκεια μετάδοσης των πακέτων



# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## CSMA/CD

- Στο CSMA/CD, οι σταθμοί ακούν και κατά τη διάρκεια της μετάδοσης
  - οι συγκρούσεις ανιχνεύονται σύντομα
  - οι συγκρουόμενες μεταδόσεις διακόπτονται περιορίζοντας την άσκοπη κατάληψη του μέσου
- μετά τη σύγκρουση, περιμένουν τυχαίο χρονικό διάστημα και ξαναρχίζουν
  - Δυαδική εκθετική υποχώρηση
- ανίχνευση συγκρούσεων
  - εύκολη στα ενσύρματα LAN
  - δύσκολη στα ασύρματα LAN

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## CSMA/CD

Ο Α αρχίζει να μεταδίδει  
τη στιγμή  $t=0$



Ο Β αρχίζει  
τη στιγμή  
 $t = t_{prop} - \delta$ .



Ο Β ανιχνεύει  
σύγκρουση  
την  $t = t_{prop}$

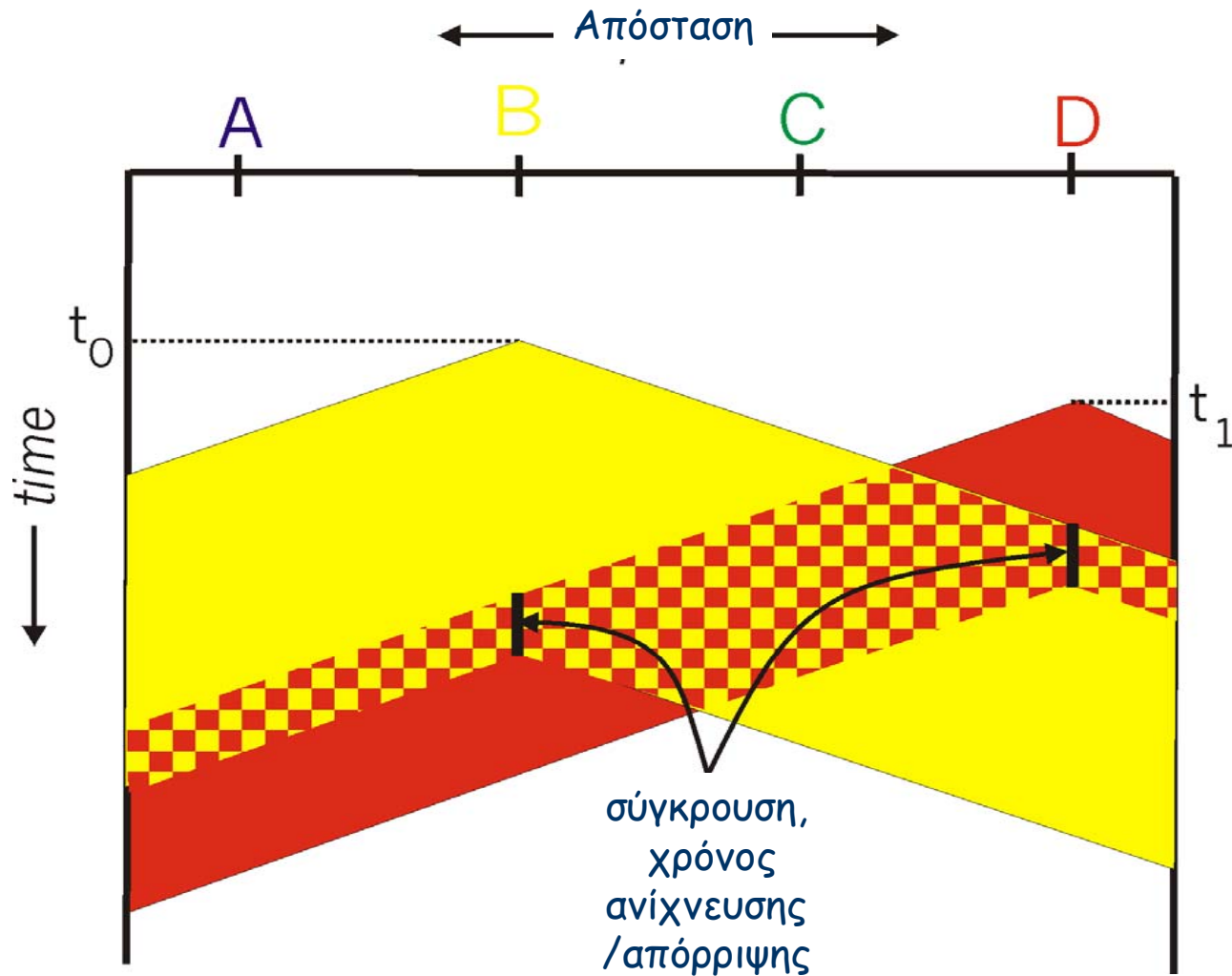
Ο Α  
ανιχνεύει  
σύγκρουση  
την  
 $t = 2 t_{prop} - \delta$

Χρειάζεται χρόνος  $2 t_{prop}$  για να διαπιστωθεί  
ότι ο δίαυλος έχει καταληφθεί

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



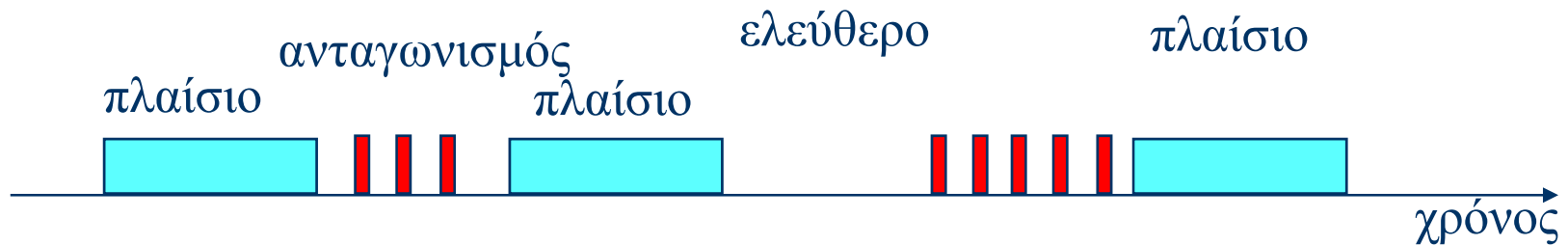
## CSMA/CD ανίχνευση σύγκρουσης



# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## CSMA/CD



- Η ανάλυση για την απόδοση σε 1-persistent CSMA/CD μπορεί να γίνει αν θεωρήσουμε ότι ο χρόνος διαιρείται σε μικροσχισμές διάρκειας  $2 t_{prop}$
- Υποθέτουμε ότι η σταθμοί ανταγωνίζονται για τον δίαυλο και κάθε σταθμός μεταδίδει κατά τη διάρκεια μιας μικροσχισμής ανταγωνισμού με πιθανότητα  $p$ .

$$P_{success} = np(1 - p)^{n-1}$$

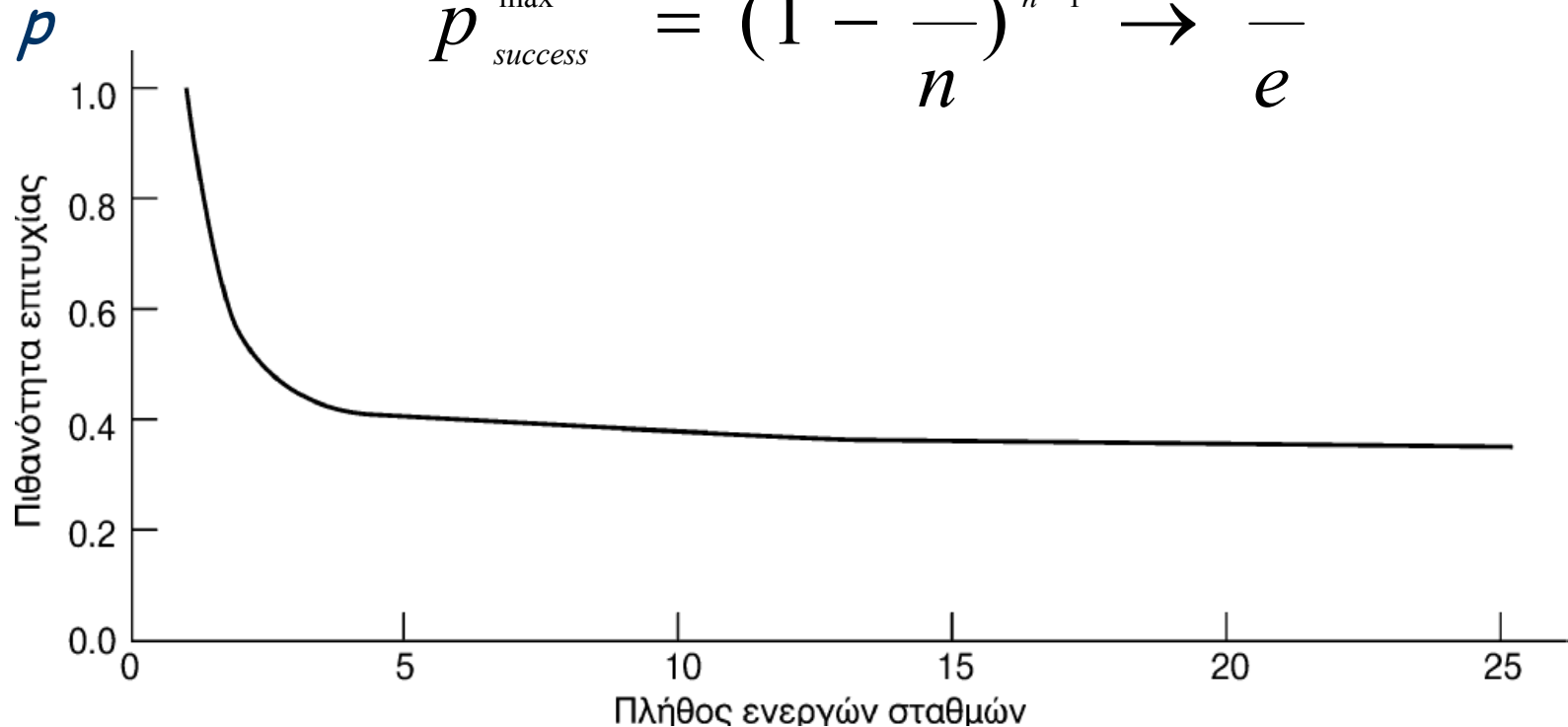
# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## CSMA/CD

Η  $p_{success}$  μεγιστοποιείται για  $p=1/n$ :

$$p_{success}^{max} = \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{n-1} \rightarrow \frac{1}{e}$$



# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## CSMA/CD

$$E[N] = p_{success}^{\max} \times 1 + (1 - p_{success}^{\max})(1 + E[N])$$



$$E[N] = e$$

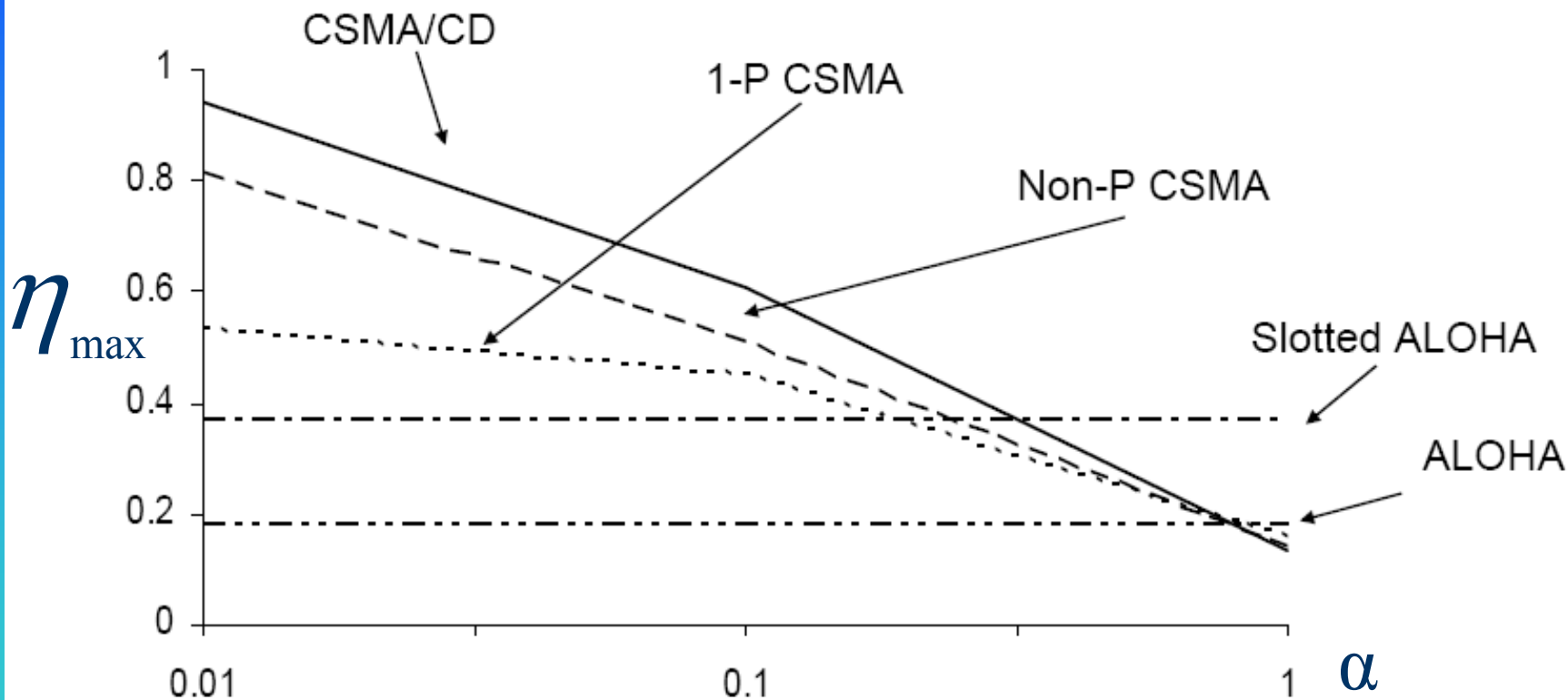
$$\eta_{CSMA/CD}^{\max} = \frac{X}{X + t_{prop} + 2et_{prop}} = \frac{1}{1 + (2e + 1)\alpha}$$

$$\alpha = \frac{t_{prop}}{X}$$

# Πρωτόκολλα τυχαίας πρόσβασης



## Μέγιστες αποδόσεις για τα σχήματα τυχαίας πρόσβασης





# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



## Δακτύλιος με σκυτάλη

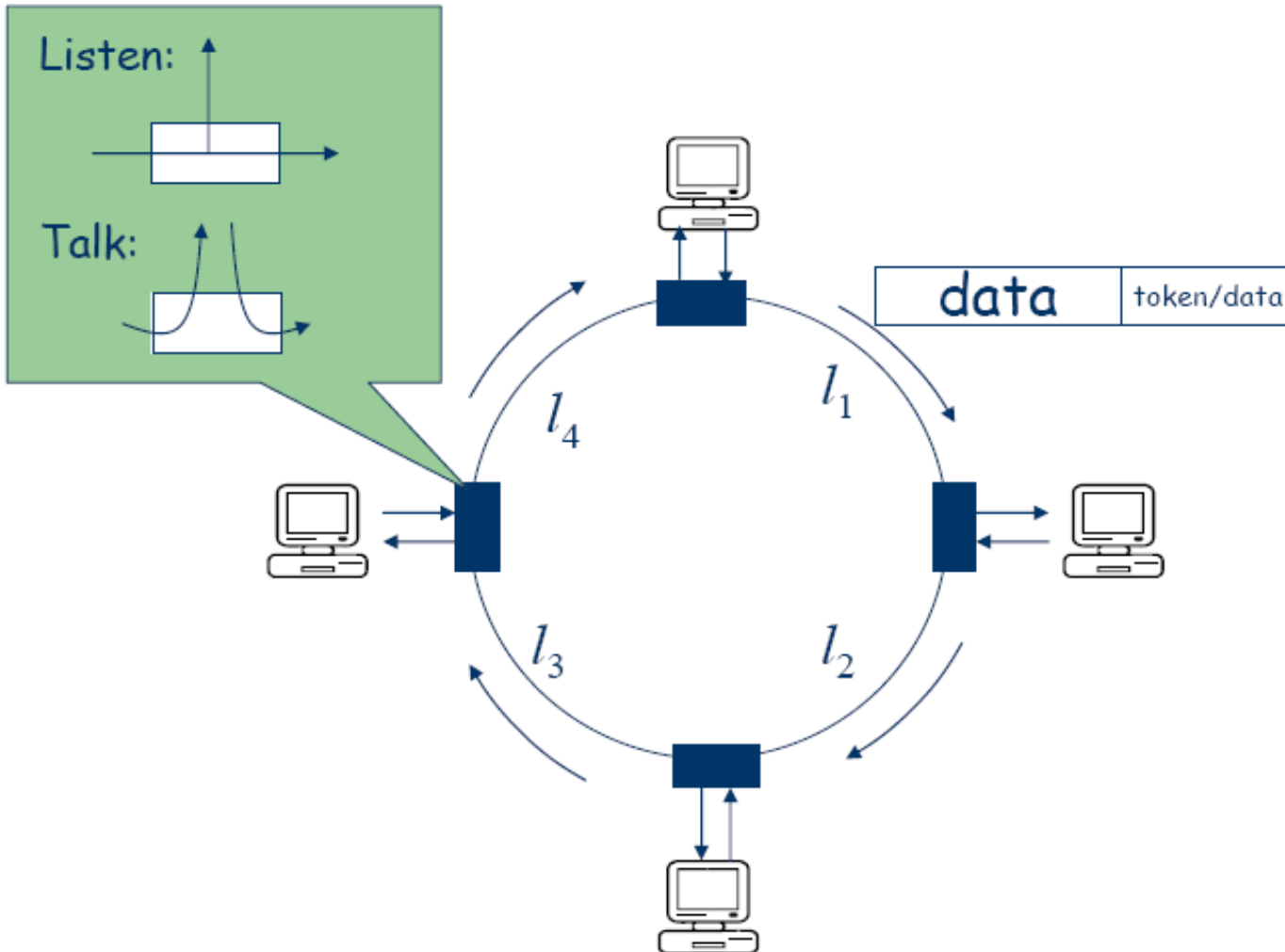
### ➤ Πρωτόκολλο MAC

- Μικρό πλαίσιο (σκυτάλη) κυκλοφορεί όταν δεν μεταδίδει κανείς
- Ο σταθμός περιμένει τη σκυτάλη
- Αλλάζει ένα bit στη σκυτάλη για να την καταλάβει
- Προσαρτά τα υπόλοιπα δεδομένα του
- Το πλαίσιο κάνει τον κύκλο και αποσύρεται από τον σταθμό που το μετέδωσε
- Στη συνέχεια ο σταθμός εισάγει νέα σκυτάλη
- Με μικρό φορτίο, μικρή απόδοση
- Με βαρύ φορτίο, κυκλική ανάθεση

# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



## Δακτύλιος με σκυτάλη



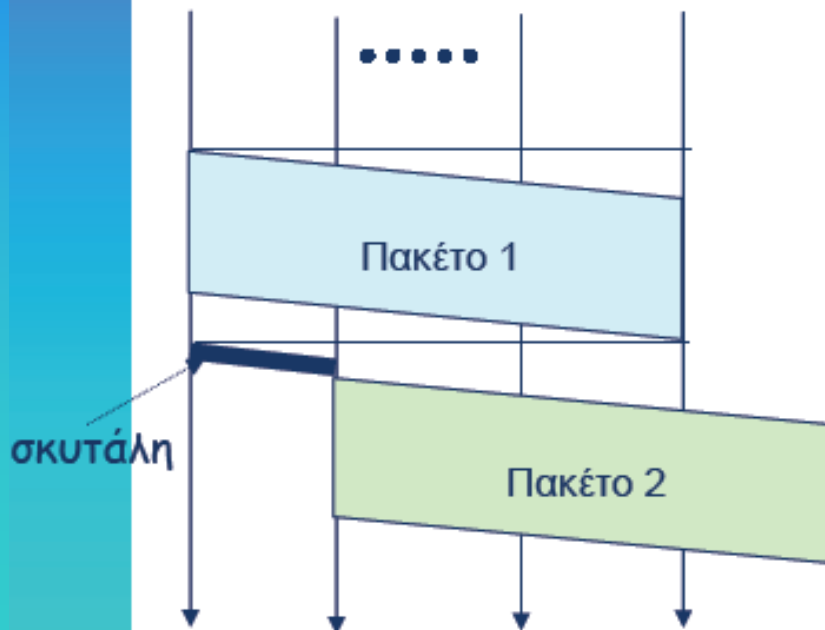
# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



## Δακτύλιος με σκυτάλη

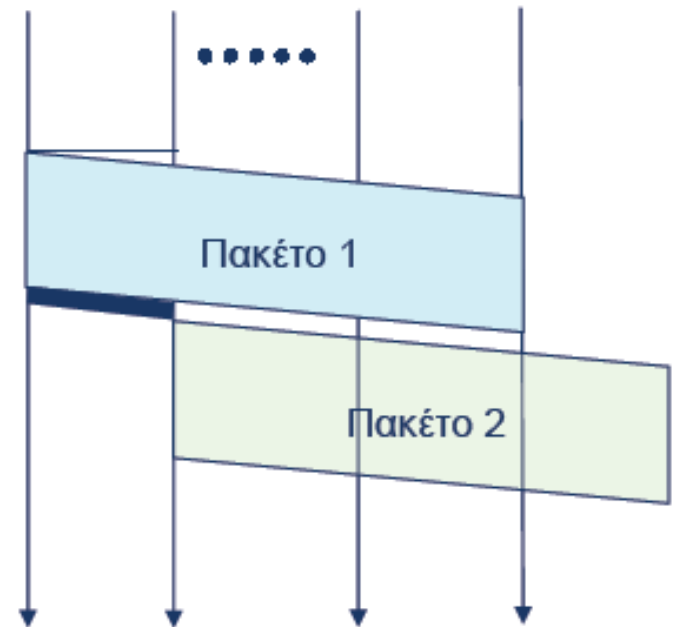
- Release After Reception (RAR)
  - Παράδειγμα: IEEE 802.5 Token Rings (4Mbps)

σταθμός<sub>1</sub> σταθμός<sub>2</sub> σταθμός<sub>N</sub> σταθμός<sub>1</sub>



- Release After Transmissions (RAT)
  - Παράδειγμα: Fiber Distributed Data Interface (FDDI) (100Mbps)

σταθμός<sub>1</sub> σταθμός<sub>2</sub> σταθμός<sub>N</sub> σταθμός<sub>1</sub>

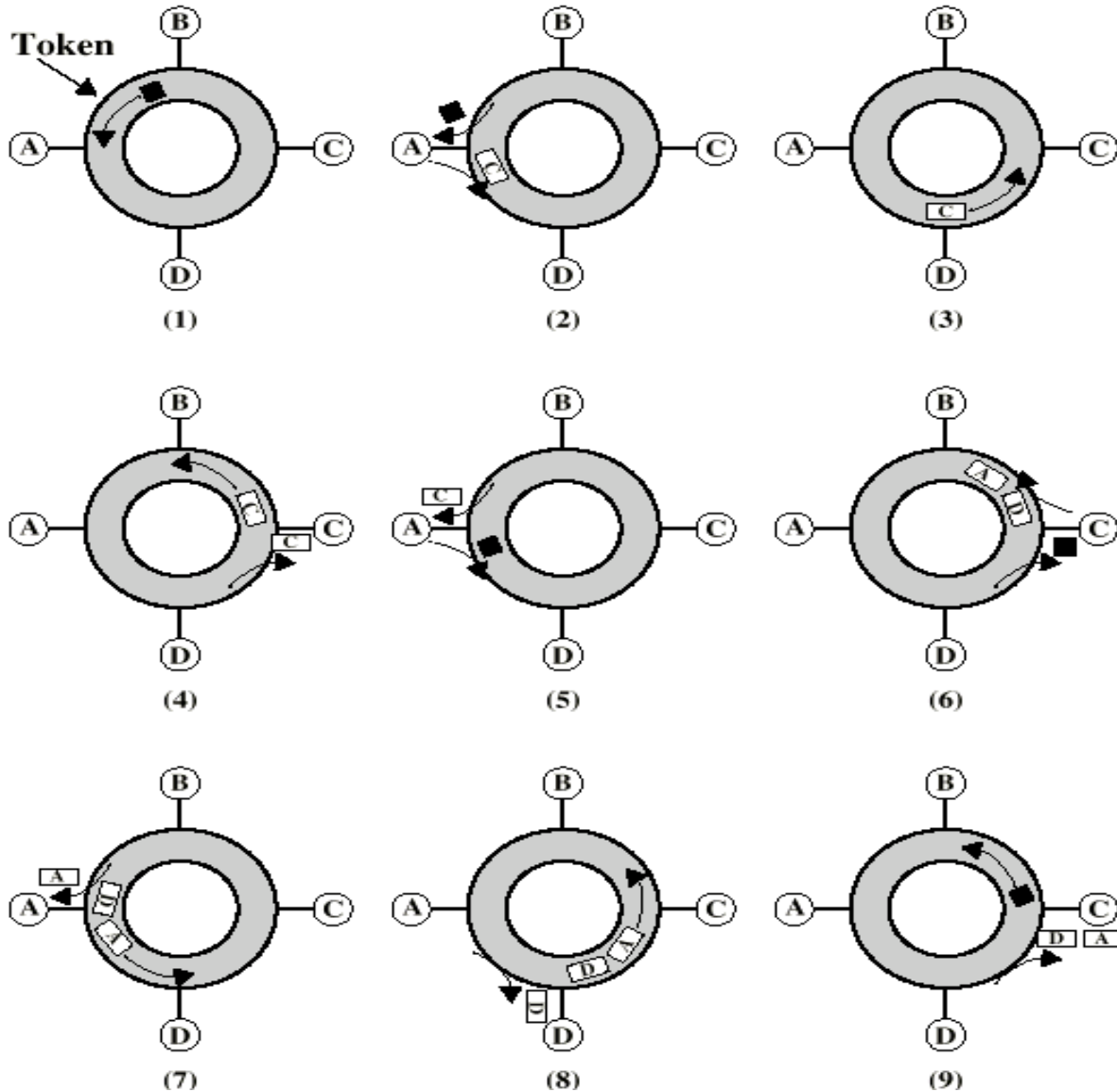


Δίκτυα επικοινωνιών

# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



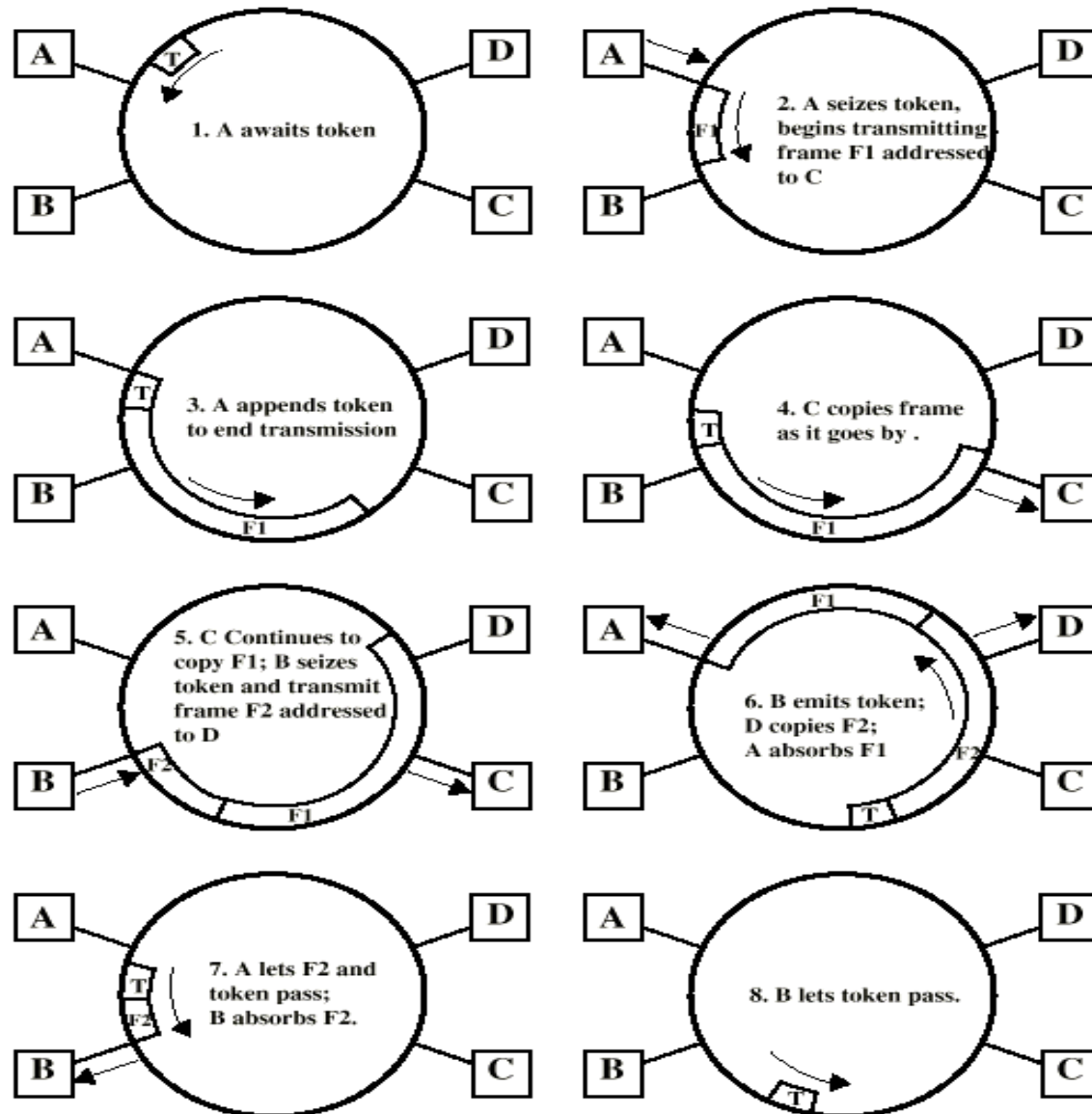
RAR



# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



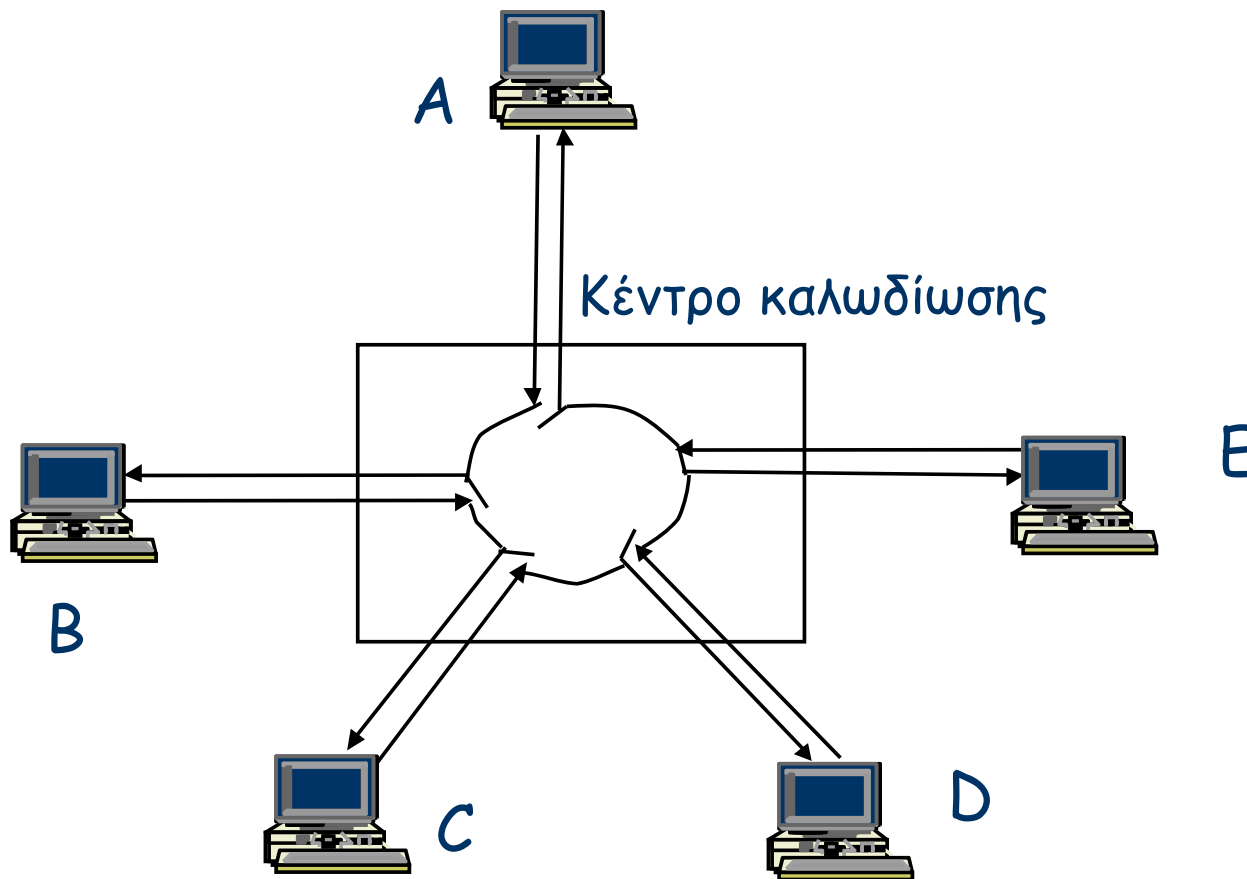
## RAT



# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



## Δακτύλιος με σκυτάλη



# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



## IEEE 802.5: φυσικό στρώμα

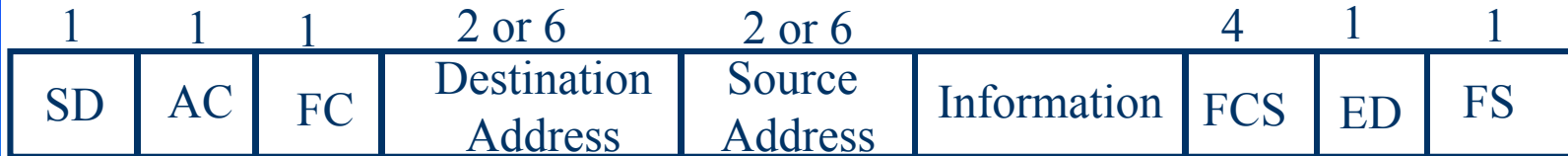
• Data Rate	4	16	100
• Medium	UTP	STP	Fiber
• Signaling	Differential Manchester		
• Max Frame	4550	18200	18200

# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



## IEEE 802.5 Μορφή πλαισίου

ΣΚΥΤΆΛΗ



Starting delimiter



J, K non-data symbols (line code)

Access control



PPP Priority, T Token bit  
M Monitor bit, RRR Reservation

Frame control



FF : frame type (MAC ή LLC)  
ZZZZZZ control bit

Ending delimiter



I intermediate-frame bit  
E error-detection bit

Frame status



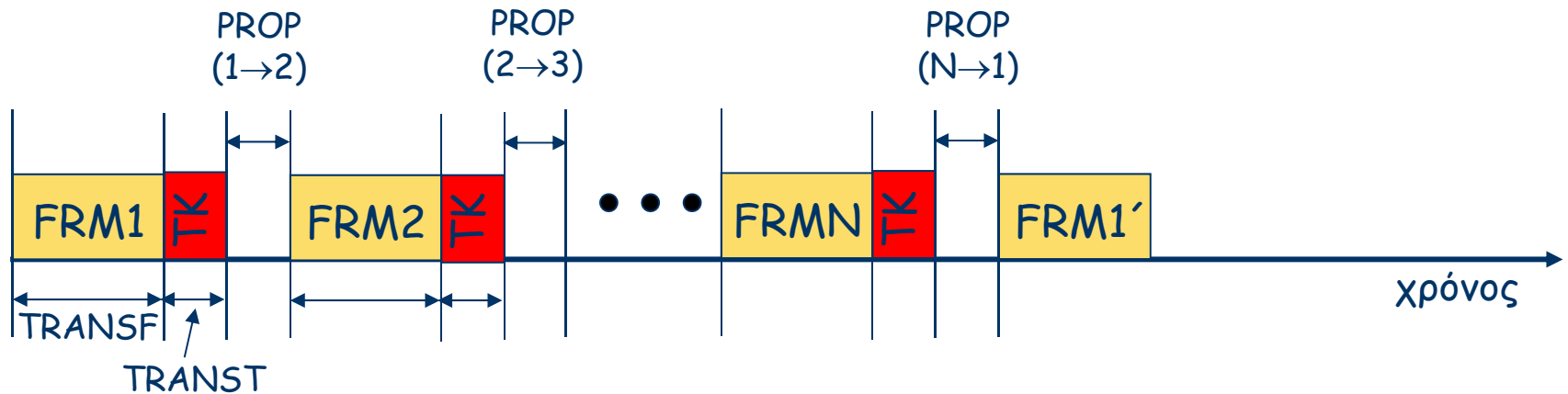
A address-recognized bit  
xx undefined  
C frame-copied bit



# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



## Απόδοση πρωτοκόλλου RAT



$$T_{ολ} = N \times (TRANSF + TRANST) + PROP + N$$
$$\approx N \times TRANSF + PROP$$

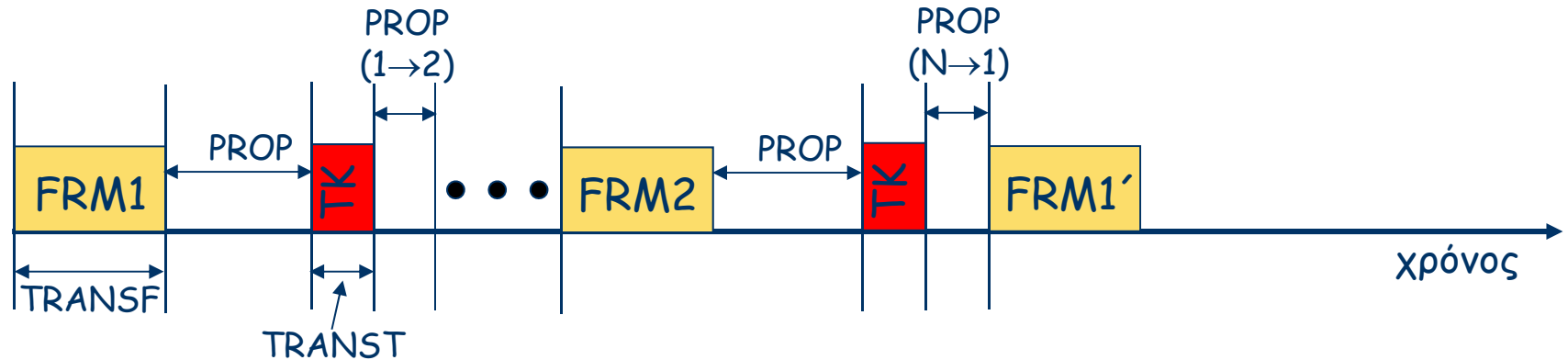
$$\eta_{RAT} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{N}}$$

$$\mu\epsilon \alpha = \frac{PROP}{TRANSF}$$

# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



## Απόδοση πρωτοκόλλου RAR



$$T_{ολ} = N \times (TRANSF + TRANST + PROP) + PROP + N$$
$$\approx N \times (TRANSF + PROP)$$

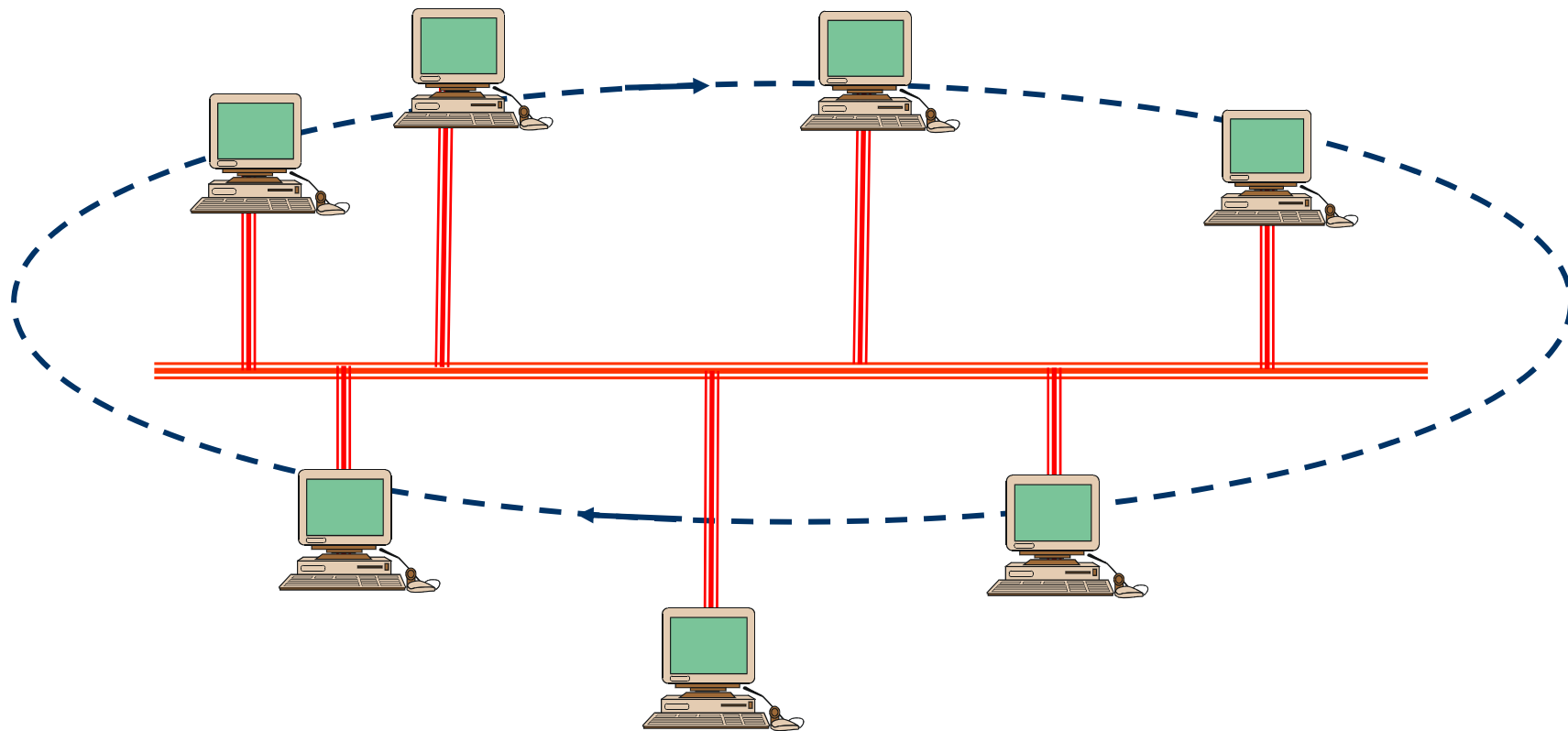
$$\eta_{RAR} = \frac{1}{1 + \alpha}$$

$$\text{με } \alpha = \frac{PROP}{TRANSF}$$

# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



## Αρτηρία με σκυτάλη

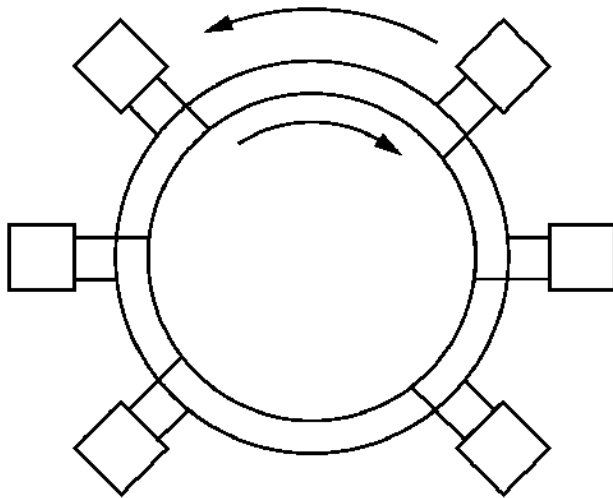


# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς

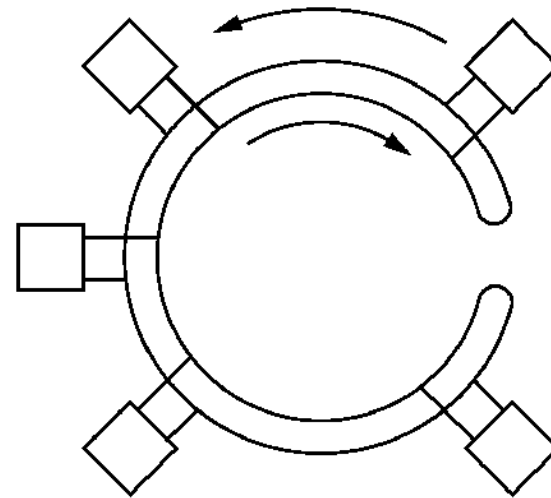


## FDDI

- 100Mbps
- LAN και MAN
- Δακτύλιος με σκυτάλη



(α)



(β)

# Πρωτόκολλα εκχώρησης σειράς



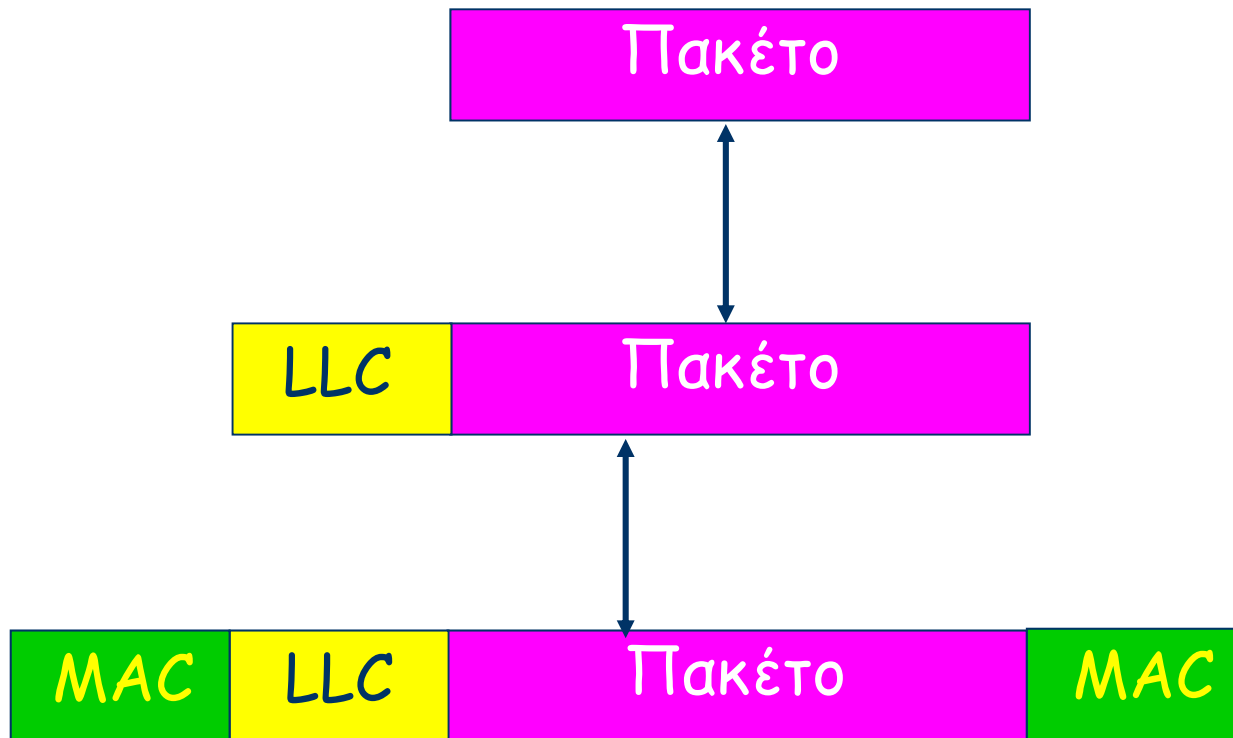
## FDDI: πρωτόκολλο MAC

- Όπως και στο IEEE 802.5 εκτός:
  - RAT
  - Μετά την κατάληψη της σκυτάλης, ένα ή περισσότερα πλαίσια δεδομένων

# Έλεγχος λογικής ζεύξης



## Τυπική χρήση του LLC



# Έλεγχος λογικής ζεύξης



## LLC: Υπηρεσίες

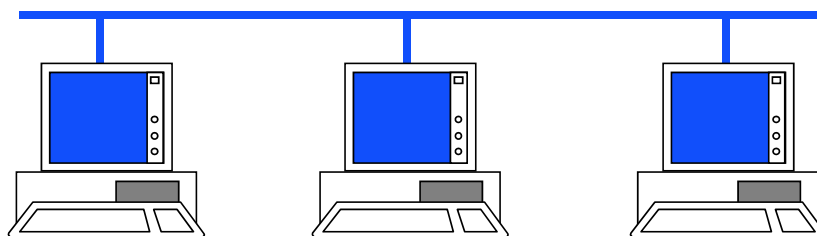
Το LLC παρέχει τρεις επιλογές υπηρεσίας:

- Αναξιόπιστη υπηρεσία δεδομενογραμμάτων
- Υπηρεσία δεδομενογραμμάτων με επαληθεύσεις
- Αξιόπιστη υπηρεσία με σύνδεση

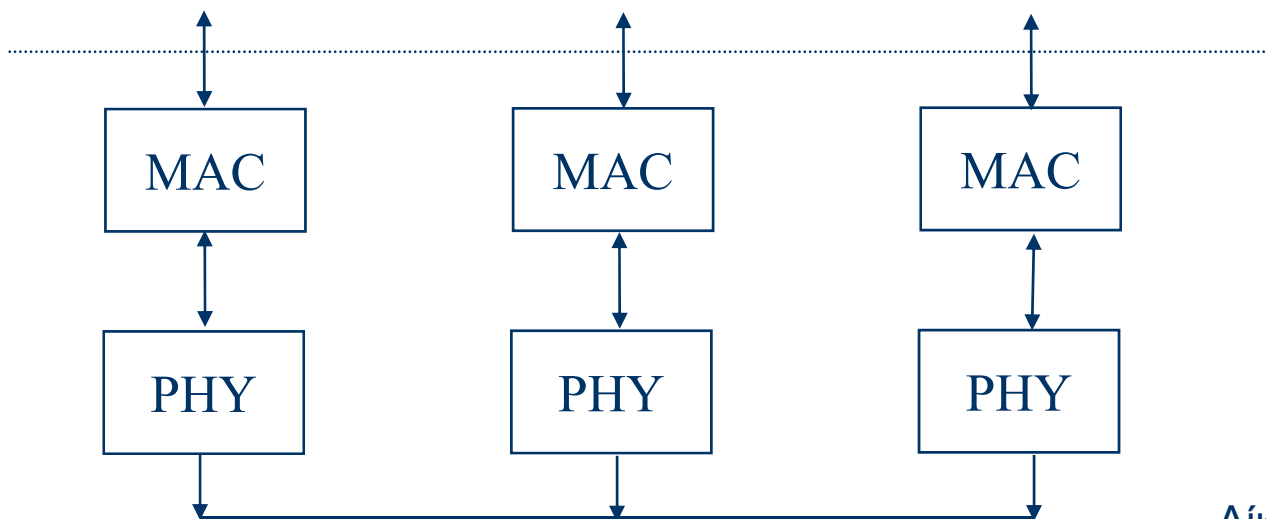
# Έλεγχος λογικής ζεύξης



## LLC: Υπηρεσίες



## Αναξιόπιστη υπηρεσία δεδονογραμμάτων

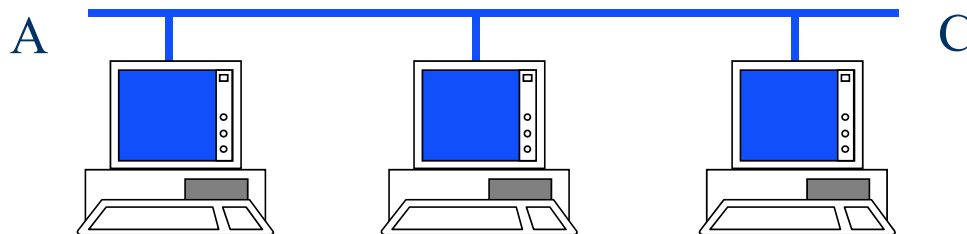




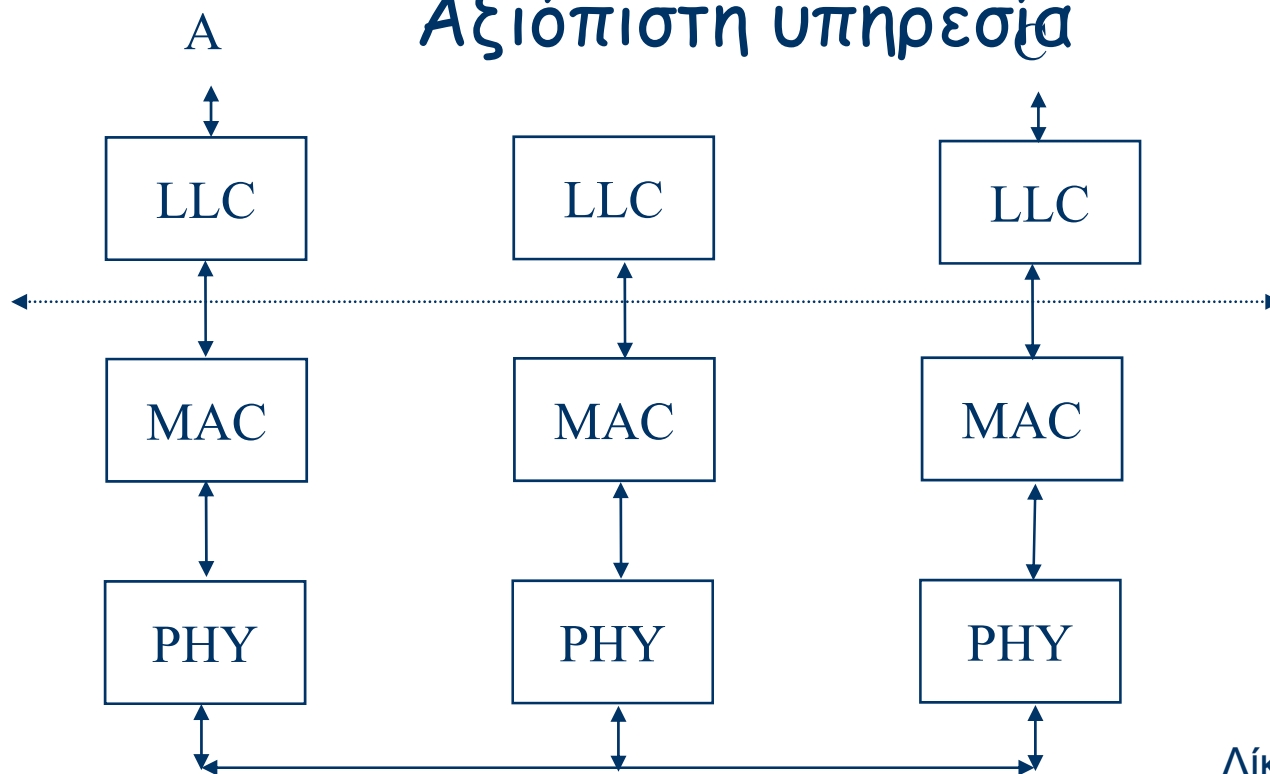
# Έλεγχος λογικής ζεύξης



## LLC: Υπηρεσίες



### Αξιόπιστη υπηρεσία



# Έλεγχος λογικής ζεύξης



## LLC: Μορφή πλαισίου

