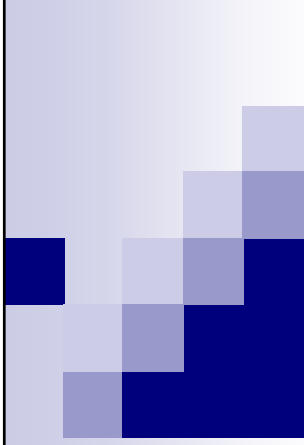




Υπόστρωμα Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου

Medium Access Control Sub-layer.

Πρόβλημα

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

Περίληψη

- Κανάλια πολλαπλής πρόσβασης
- Πρόβλημα Κατανομής Καναλιών
 - Στατική κατανομή
 - Δυναμική κατανομή
- Πρωτόκολλα Πολλαπλής Πρόσβασης (multiple access protocols)
 - Aloha (Pure Aloha, Slotted aloha)
 - Ανίχνευση φέροντος κύματος (carrier sense)
 - Επίμονα και μη επίμονα (persistent and non-persistent)
 - Ανίχνευση σύγκρουσης (collision detection).
 - Πρωτόκολλα χωρίς Συγκρούσεις
 - Πρωτόκολλα περιορισμένου ανταγωνισμού (limited contention)
 - Ασύρματα τοπικά δίκτυα (wireless networks).

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

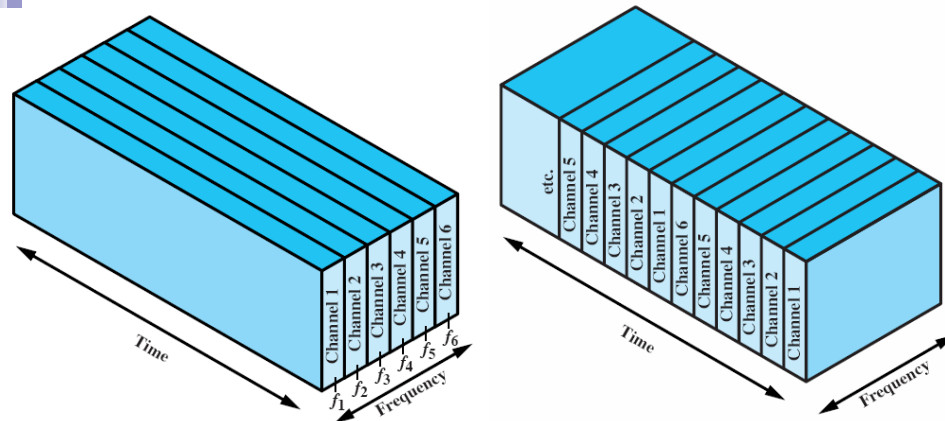
- Διακριτός χρόνος (slotted time): ο χρόνος χωρίζεται σε διακριτά διαστήματα ίσης διάρκειας. Κάθε πλαίσιο εκπέμπεται **πάντα στην αρχή ενός διαστήματος**.
- Ανίχνευση φέροντος κύματος (carrier sense). Οι κόμβοι έχουν την δυνατότητα να υπολογίσουν κατά πόσο το κανάλι χρησιμοποιείται από κάποιο άλλο κόμβο. 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)

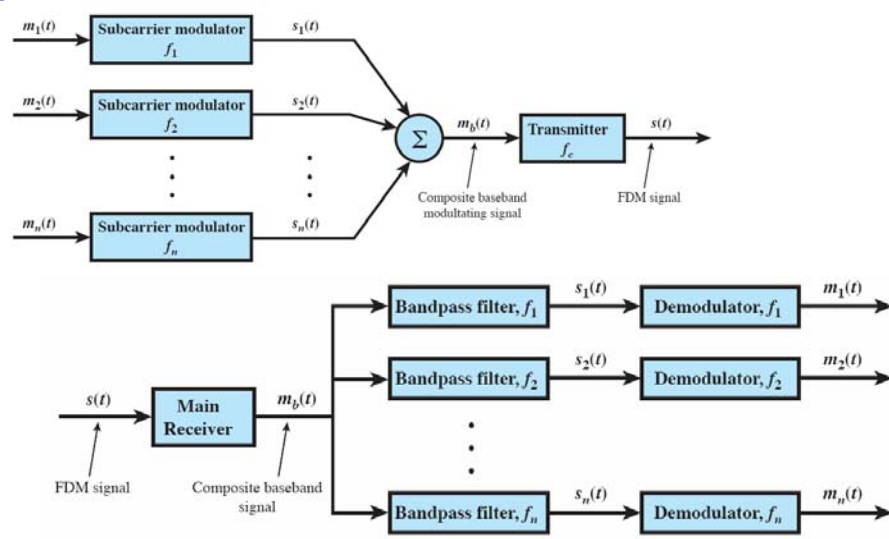
- Υποθέτουμε πως το κανάλι έχει εύρος ζώνης (χωρητικότητα) C .
- Στην κατανομή συχνοτήτων (Frequency Division Multiple Access (FDMA)), όλο το εύρος ζώνης υποδιαιρείται σε N τμήματα και σε κάθε χρήστη αντιστοιχεί ένα τμήμα εύρους ζώνης C/N .
- Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiple Access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

□

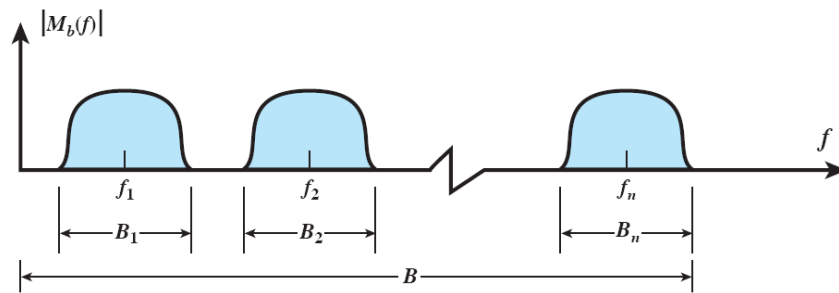
FDMA vs TDMA



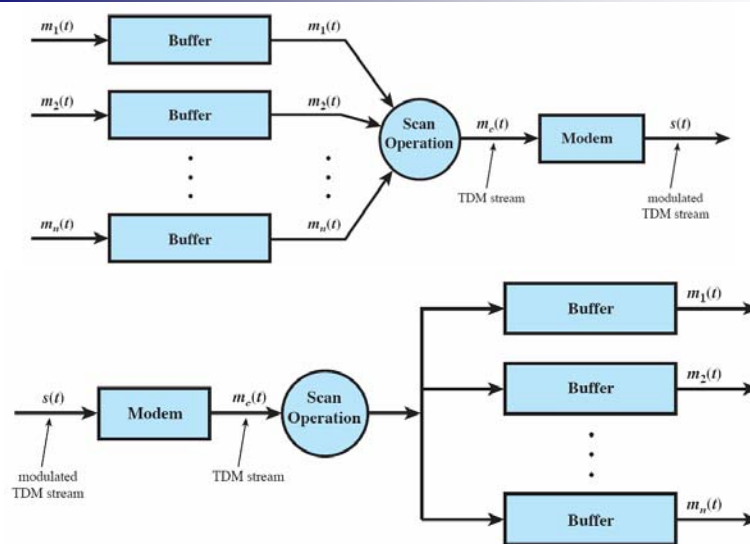
FDMA Transmitter and Receiver



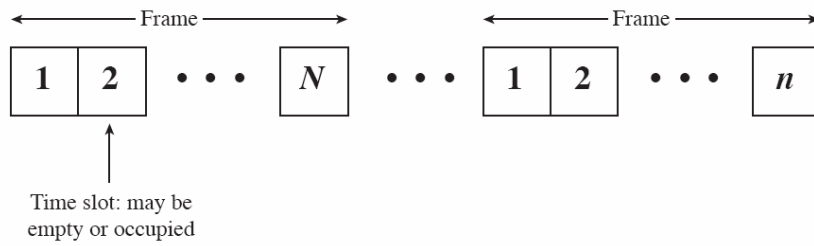
FDMA Φάσμα (Spectrum)



TDMA Transmitter-Receiver

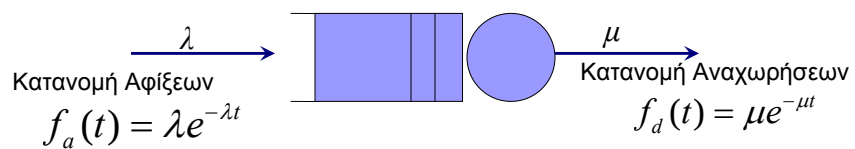


TDMA Πλαίσια



Προκαταρκτικά...

Συστήματα Ουρών M/M/1



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

Η Διαίρεση Συχνοτήτων ΔΕΝ είναι Αποδοτική!

- Υποθέτουμε πως το κανάλι έχει εύρος ζώνης (χωρητικότητα) $C=100\text{Mbps}$.
- Υποθέτουμε επίσης πως όλοι οι χρήστες συνολικά δημιουργούν πλαίσια με ρυθμό λ πλαίσια ανά δευτερόλεπτο, σύμφωνα με την κατανομή Poisson.
- Το μέσο μήκος ενός πλαισίου είναι $1/\mu$ bits (εκθετική κατανομή) δηλαδή ο μέσος χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου $1/C\mu=100\mu\text{sec}$.
 - Ο ρυθμός μετάδοσης πλαισίων είναι $C\mu$
- $\lambda = 5,000$ πλαίσια το δευτερόλεπτο.
- $1/\mu = 10,000$ bits.

Η Διαίρεση Συχνοτήτων ΔΕΝ είναι Αποδοτική!

- Εάν υποθέσουμε πως με κάποιο «μαγικό» τρόπο οι χρήστες ξέρουν τότε να στείλουν πλαίσια (χωρίς συγκρούσεις) ...
- Τότε η μέση καθυστέρηση δίνεται από
- Υποθέτουμε πως υπάρχουν $N=10$ χρήστες οι οποίοι μοιράζονται εξίσου το εύρος ζώνης. Ο καθένας παίρνει $C/N=10$ Mbps. Τότε η μέση καθυστέρηση δίνεται από

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)

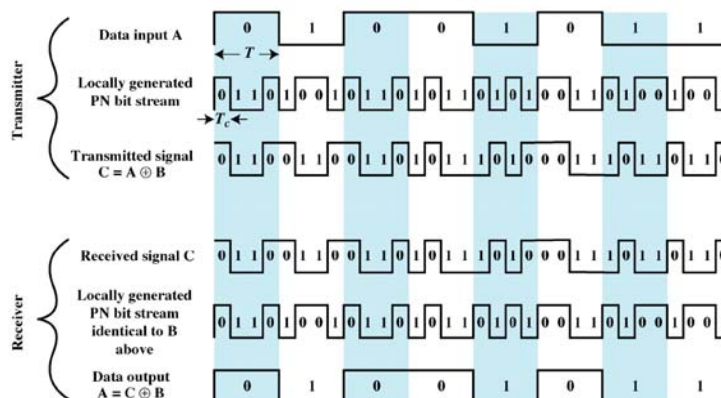
- Μέθοδος κωδικοποίησης σήματος
- Η μέθοδος, παρόλο ότι είναι πιο πολύπλοκη, παρέχει ορισμένα πλεονεκτήματα
 - Επηρεάζεται λιγότερο από το θόρυβο και τις παρεμβολές
 - Πιο ασφαλής μέθοδος καθώς το σήμα «κρυπτογραφείται»
 - Μπορεί να πετύχει μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης.
- Δύο «εκδόσεις»
 - Frequency-hopping 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 (φέρων 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
 - Εάν θέλει να στείλει -1, τότε στέλνει
 - Εάν ο παραλήπτης πάρει s_1 τότε υπολογίζει
 - Εάν ο παραλήπτης πάρει s_{-1} τότε υπολογίζει

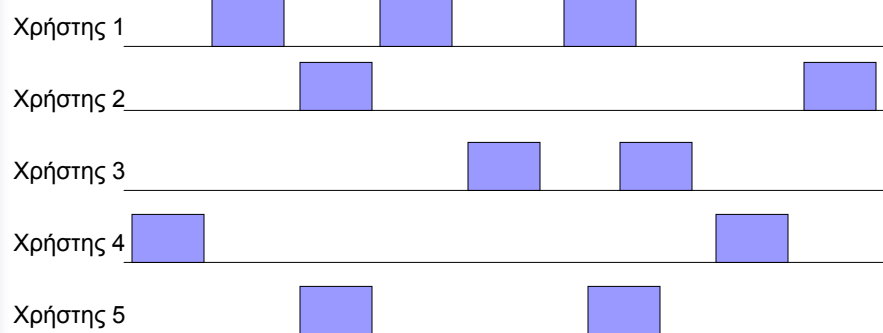
Code Division Multiple Access (CDMA)

- 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.
- 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
- Ο παραλήπτης του a θα πάρει:

Πρωτόκολλο Aloha

- 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

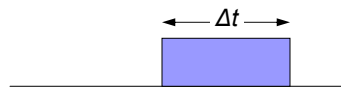
■ Υπόθεση

- Όλα τα πλαίσια είναι του ίδιου 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 →

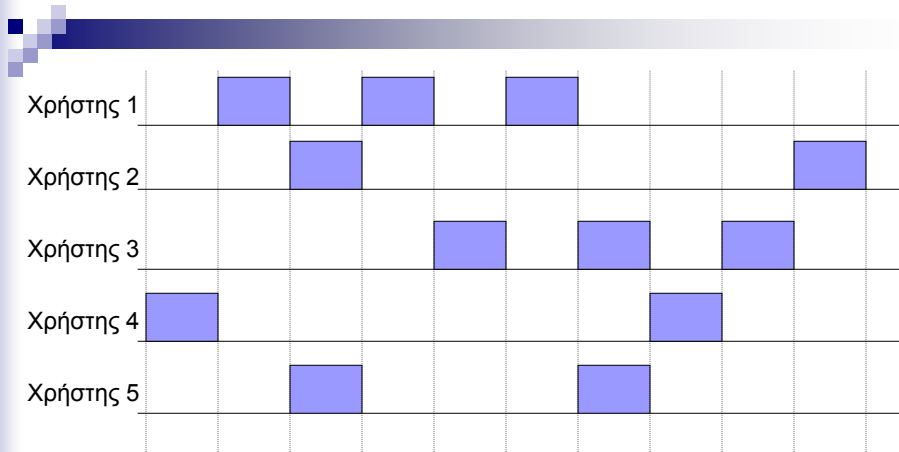


Throughput:

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

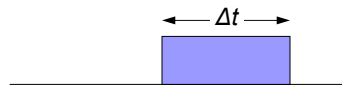
■ Υπόθεση

- Όλα τα πλαίσια είναι του ίδιου 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 →



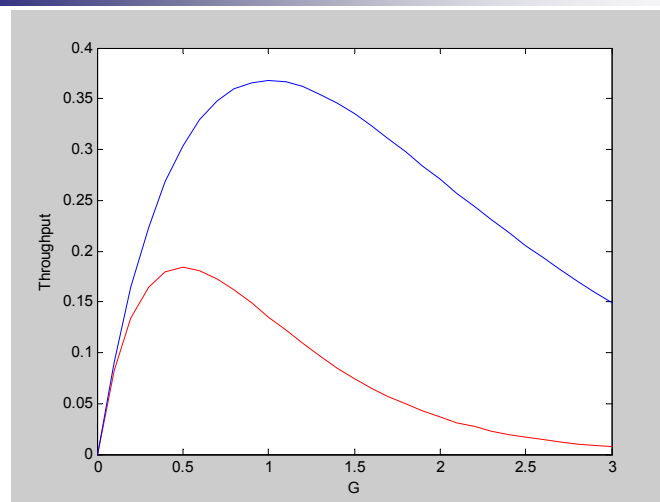
Throughput

Ενδιαφέρον Στατιστικά...

■ Slotted Aloha

- Πιθανότητα σύγκρουσης: $1 - e^{-G}$
- Πιθανότητα μη σύγκρουσης: e^{-G}
- Πιθανότητα αποστολής ενός πλαισίου μετά από k προσπάθειες:
- Μέσος αριθμός προσπαθειών που χρειάζονται για την επιτυχή αποστολή ενός πλαισίου

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.
-

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.

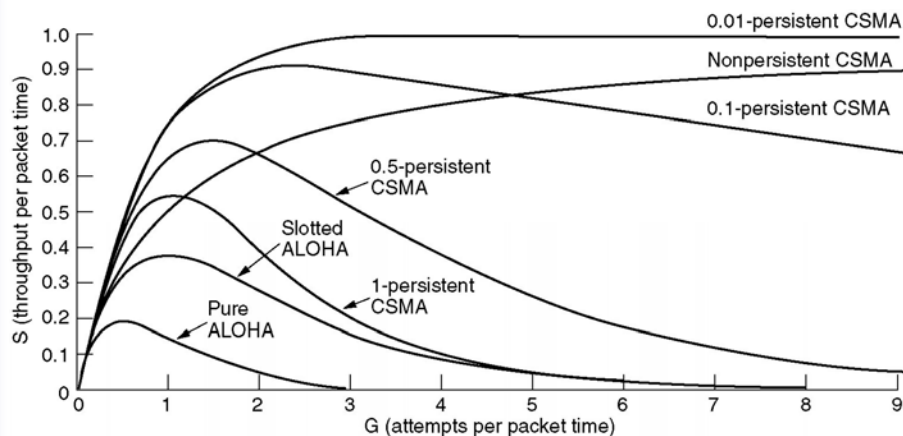
p-Επίμονο Πρωτόκολλο (p-Persistent CSMA)

- 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

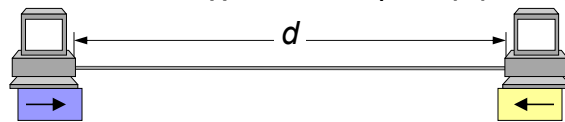


Πρωτόκολλα Πολλαπλής Πρόσβασης με Ανίχνευση Φέροντος Κύματος και Συγκρούσεων

- 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.
-

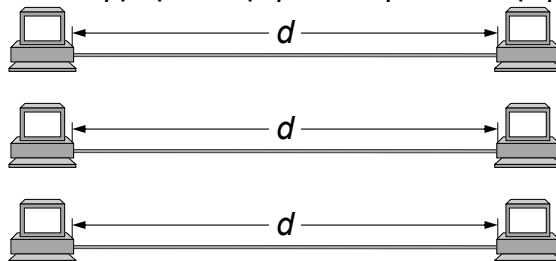
CSMA/CD και Καθυστέρηση Διάδοσης

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



Καθυστέρηση
διάδοσης:

- Πια η μεγαλύτερη δυνατή καθυστέρηση;



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)

- **Bit-Map Method**
 - Πρωτόκολλο με προκρατήσεις (Reservation Based)
 - Η περίοδος ανταγωνισμού (contention period) χωρίζεται σε N διαστήματα (slots) όπου N είναι ο αριθμός των χρηστών.
 - Όποιος χρήστης έχει πλαίσιο να στείλει «σημαδεύει» το διάστημα που του αντιστοιχεί.
 - Όλοι οι χρήστες που σημάδεψαν αποστέλλουν ένα πλαίσιο κατά αύξων αριθμό

Πρωτόκολλα Χωρίς Συγκρούσεις (Collision Free Protocols)

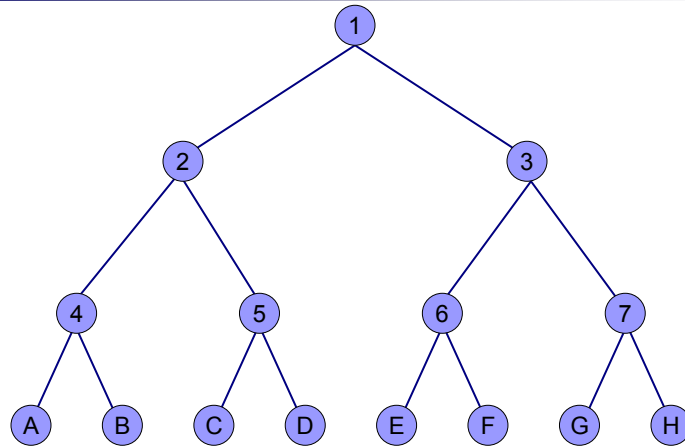
■ Binary Countdown

- 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.

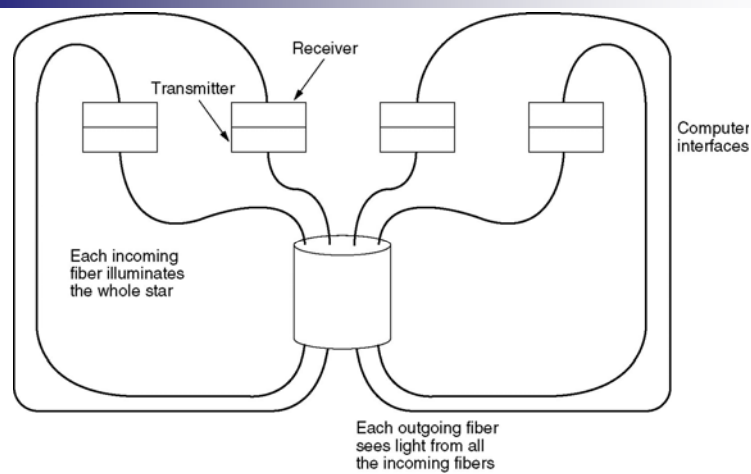
Πρωτόκολλα Περιορισμένου Ανταγωνισμού (Limited Contention Protocols)

- 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.

Adaptive Tree-Walk Protocol

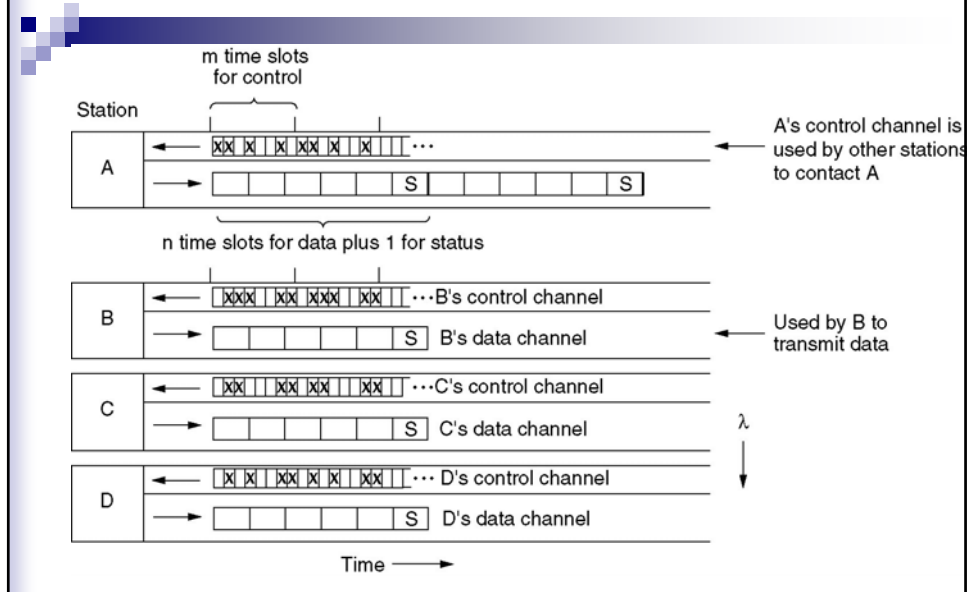


Wavelength Division Multiple Access Protocols

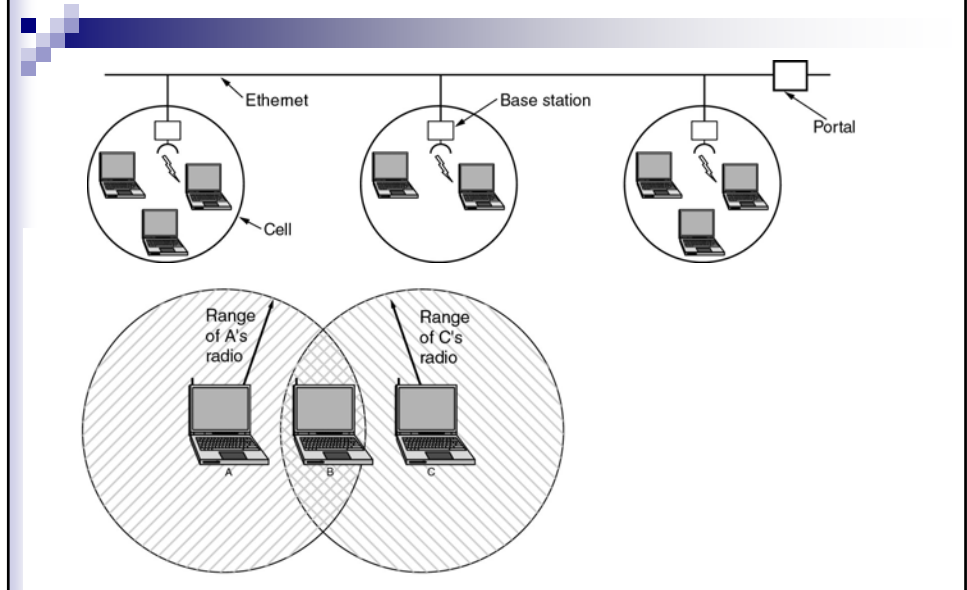


A passive star connection in a fiber optics network.

Wavelength Division Multiple Access Protocols

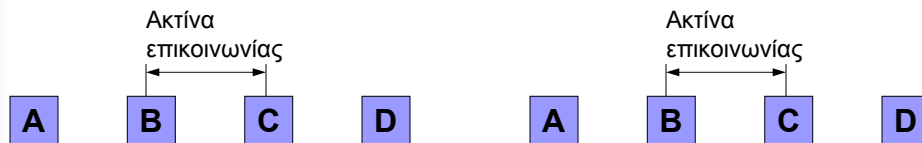


Πρωτόκολλα για Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα



Πρόβλημα Κρυμμένου Σταθμού (Hidden Station Problem)

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



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.
- 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

