

# ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ ΜΕΣΟΥ (ΜΑC) ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Καθ. Σταύρος Α. Κουμπιάς

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΑΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ

- **Φορτίο, Απόδοση (Throughput, S)**

Ορίζεται ως ο μέσος αριθμός των *επιτυχώς* μεταδιδόμενων πληροφοριακών πακέτων / μηνυμάτων στη μονάδα του χρόνου

- **Συνολικό Φορτίο (Total Load, G)**

Είναι ο ρυθμός της συνολικά μεταδιδόμενης (*επιτυχημένα και μή*) πληροφορίας στο επικοινωνιακό κανάλι

- **Χωρητικότητα Πρωτοκόλλου (Capacity, C<sub>protocol</sub>)**

Η μέγιστη τιμή του S ( $C_{\text{protocol}} = \text{Max}(S)$ ) που μπορεί να προσφέρει ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο MAC-επιπέδου

- **Καθυστέρηση Ουράς (Queueing Delay, D<sub>q</sub>)**

Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη χρονική στιγμή της δημιουργίας ενός πακέτου / μηνύματος έως την στιγμή που το πακέτο / μήνυμα αυτό θα φθάσει στη πρώτη θέση της ουράς

# ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΜΑΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ

- **Καθυστέρηση Εξυπηρέτησης (Service Delay,  $D_s$ )**

Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη χρονική στιγμή της άφιξης του πακέτου / μηνύματος στη πρώτη θέση της ουράς μετάδοσης, έως τη στιγμή που θα αρχίσει η επιτυχής μετάδοση του στο κανάλι επικοινωνίας

- **Καθυστέρηση Πακέτου / Μηνύματος (Packet/Message Delay,  $D$ )**

Είναι το χρονικό διάστημα από τη χρονική στιγμή της δημιουργίας ενός πακέτου έως το τέλος της επιτυχούς μετάδοσής του.

$D = D_q + D_s + P_s$ , όπου  $P_s = B_i / W$  και  $B_i$  ο συνολικός αριθμός bits στο μεταδιδόμενο πληροφοριακό πακέτο / μήνυμα,  $W$  = το εύρος ζώνης του καναλιού

- **Φράγμα Καθυστέρησης (Delay Bound)**

Όρος που δηλώνει την ύπαρξη άνω ορίου για την καθυστέρηση  $D$

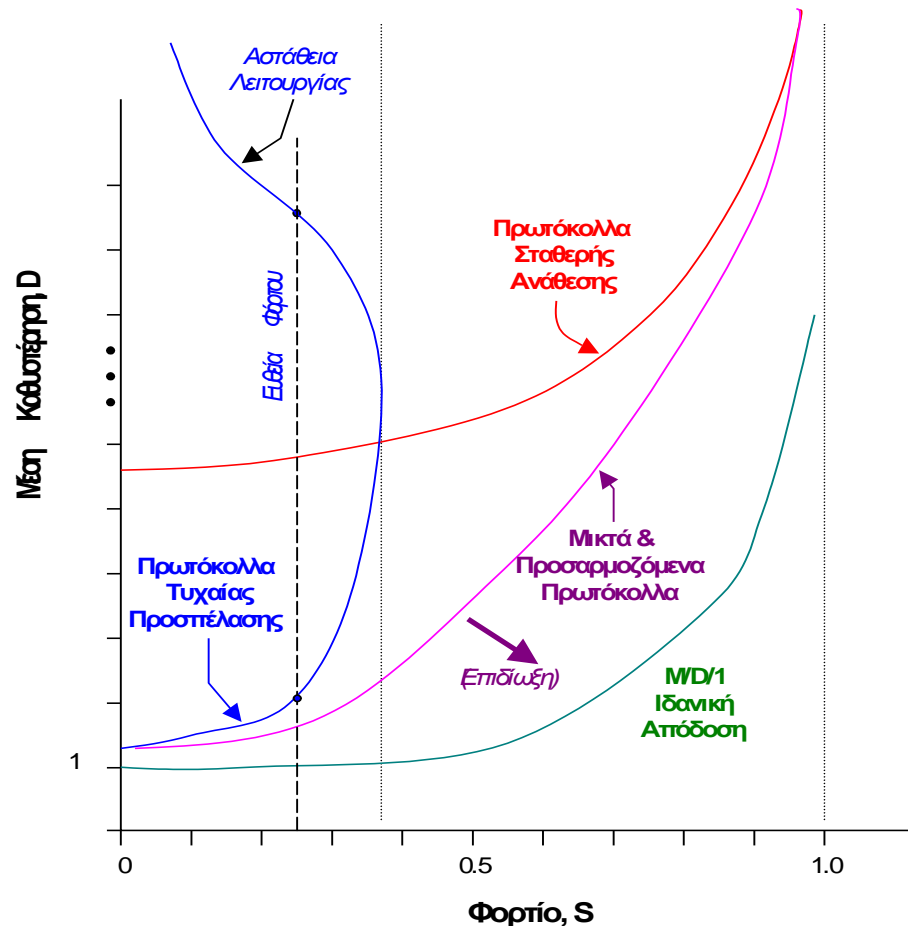
# ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΜΑΣ- ΕΠΙΠΕΔΟΥ

- Το είδος των εφαρμογών που θα υποστηριχθούν
- Αξιολόγηση της συμπεριφοράς του πρωτοκόλλου για όλο το εύρος των εφαρμογών
- Η απαίτηση για ύπαρξη κεντρικοποιημένου ή κατανεμημένου ελέγχου
- Παράγοντες σχετικοί με την ευκολία υλοποίησης, τον τρόπο διαχείρισης της εισόδου / εξόδου σταθμών στο δίκτυο, τους αλγορίθμους χειρισμού των λαθών, την αξιοπιστία λειτουργίας, κ.λ.π.

# ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ ΜΑC- ΥΠΟΕΠΙΠΕΔΟΥ

- Πρωτόκολλα Τυχαίας Προσπέλασης του Καναλιού (Random Access Protocols)
- Πρωτόκολλα Σταθερής Ανάθεσης του Καναλιού (Fixed Assignment Protocols)
- Πρωτόκολλα Αίτησης Ανάθεσης του Καναλιού με Κεντρικοποιημένο Έλεγχο (Demand Assignment Protocols with Central Control)
- Πρωτόκολλα Αίτησης Ανάθεσης του Καναλιού με Κατανεμημένο Έλεγχο (Demand Assignment Protocols with Distributed Control)
- Προσαρμοζόμενα Πρωτόκολλα (Adaptive Protocols)

# Χαρακτηριστικές καμπύλες απόδοσης φορτίου – μέσης καθυστέρησης (S-D)



# Πρωτόκολλα Σταθερής Ανάθεσης του Καναλιού (Fixed Assignment Protocols)

- Τα πρωτόκολλα της κατηγορίας αυτής αναθέτουν το εύρος ζώνης (bandwidth) του καναλιού στους χρήστες με ένα στατικό τρόπο.
- Τα πιο γνωστά από αυτά τα πρωτόκολλα είναι το TDMA (Time Division Multiple Access) και το FDMA (Frequency Division Multiple Access).

# ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ TDMA

- Τεχνική πολλαπλής προσπέλασης με καταμερισμό του χρόνου του καναλιού (Time Division Multiple Access, TDMA)
- Εξασφαλίζεται η προσπέλαση των σταθμών στο δίκτυο χωρίς συγκρούσεις
- Ο χρόνος του καναλιού οργανώνεται σε χρονικές σχισμές εύρους ίσου με τον χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου δεδομένων

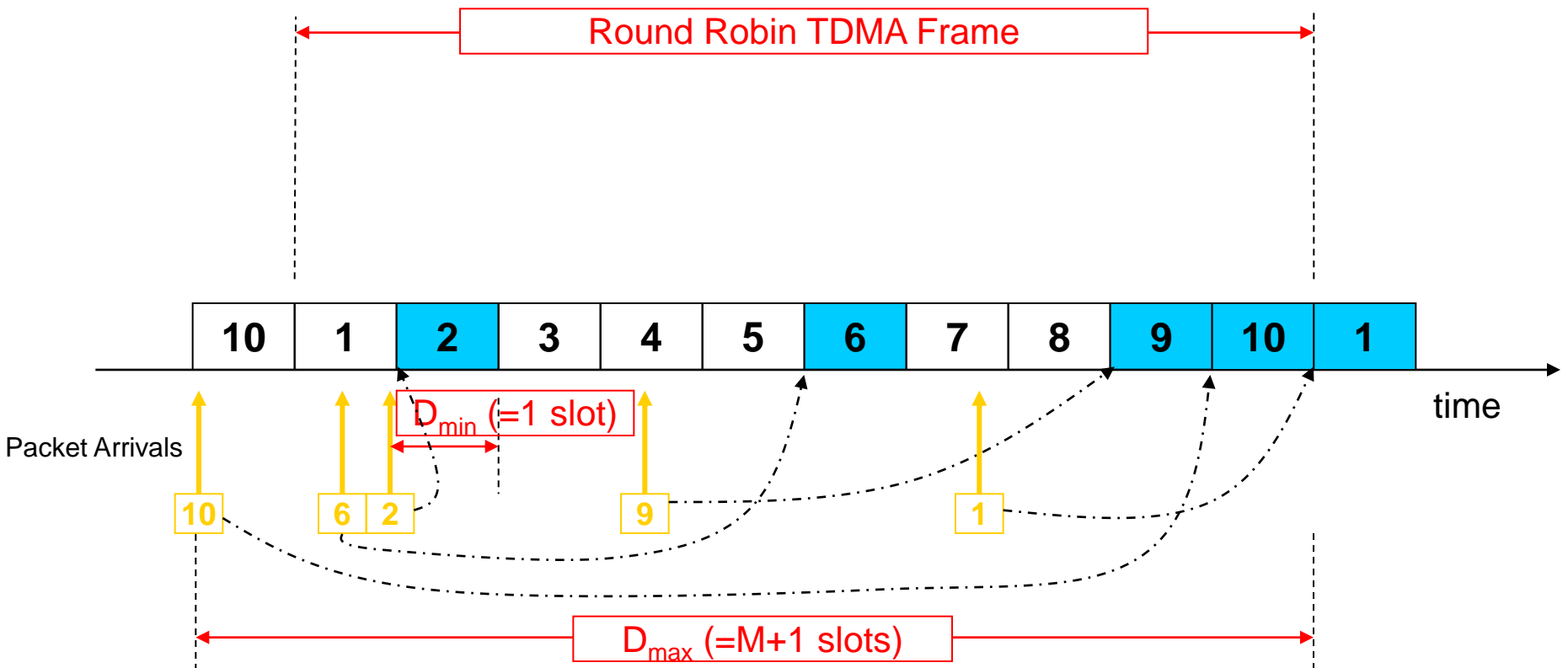


# ΒΑΣΙΚΕΣ TDMA ΤΕΧΝΙΚΕΣ

- **Η κυκλική (round-robin):**  
κάθε σχισμή “ανατίθεται” σε *ένα* σταθμό που επιλέγεται κυκλικά μεταξύ των συνολικά υπαρχόντων  $M$  στο δίκτυο
- **Η τυχαία (random):**  
η επιλογή του σταθμού στον οποίο ανήκει η κάθε σχισμή γίνεται με τυχαίο τρόπο, μέσω μιας ψευδοτυχαίας γεννήτριας

# ΤΟ TDMA ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

## Round-Robin TDMA PROTOCOL (M=10 nodes)



# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Δεν υπάρχουν συγκρούσεις πακέτων
- Υψηλή απόδοση όταν το φορτίο είναι υψηλό

## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Χαμηλή απόδοση όταν το φορτίο είναι χαμηλό λόγω της σταθερής ανάθεσης των σχισμών στους σταθμούς

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Το πρωτόκολλο Token Bus αποτελεί εξέλιξη του κυκλικού TDMA μειώνοντας σε ένα βαθμό τα μειονεκτήματα του TDMA στο χαμηλό φορτίο

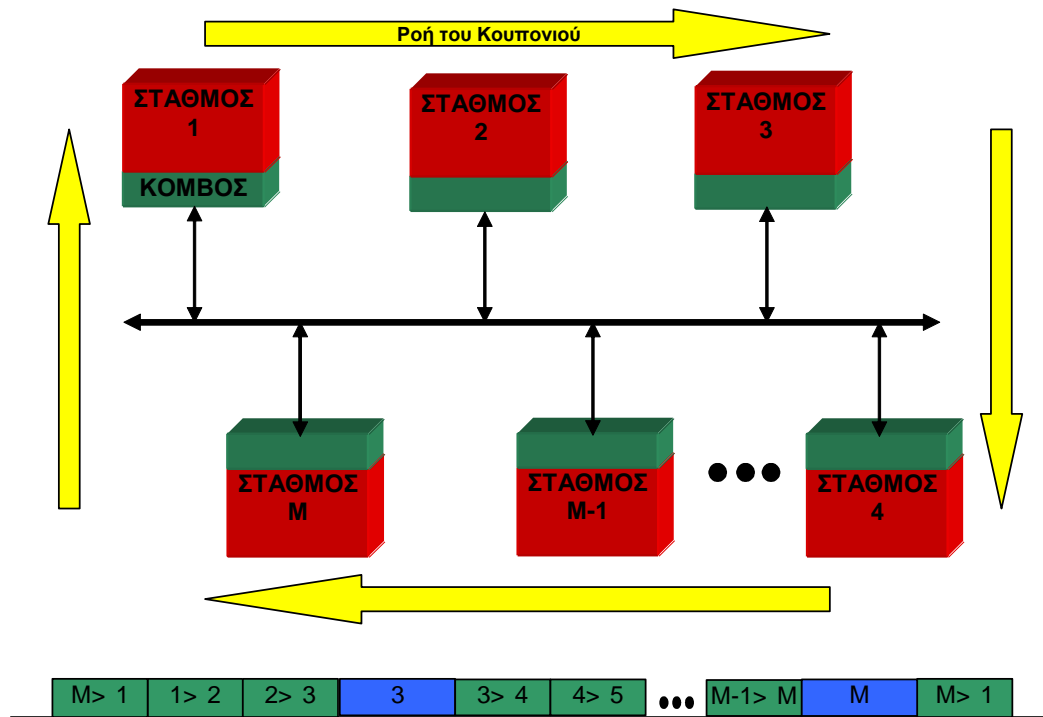
# Πρωτόκολλα Αίτησης Ανάθεσης του Καναλιού με Κατανεμημένο Έλεγχο

- Μεγαλύτερη αξιοπιστία και υψηλότερη απόδοση σε σύγκριση με πρωτόκολλα κεντριοποιημένου ελέγχου
- Ανάγκη ανταλλαγής (σαφώς ή ασαφώς) πληροφορίας ελέγχου μεταξύ των σταθμών έτσι ώστε, εκτελώντας όλοι τον ίδιο αλγόριθμο, να μπορούν να συντονίσουν τον τρόπο προσπάσης στο κανάλι.
- Βασίζονται στην τεχνική του “κουπονιού” (token) ή ενός χρόνου που αντικαθιστά το ειδικό αυτό πακέτο (token)

# ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ TOKEN PASSING BUS (IEEE 802.4)

- Η προσπέλαση των σταθμών στο κανάλι επιτυγχάνεται μέσω ενός ειδικού πακέτου ελέγχου ή “κουπονιού” (token) .
- Το κουπόνι περνάει κυκλικά από κάθε σταθμό του δικτύου, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός λογικού δακτυλίου
- Υποστηρίζει προτεραιότητες
- Μπορεί να θεωρηθεί εξέλιξη του TDMA

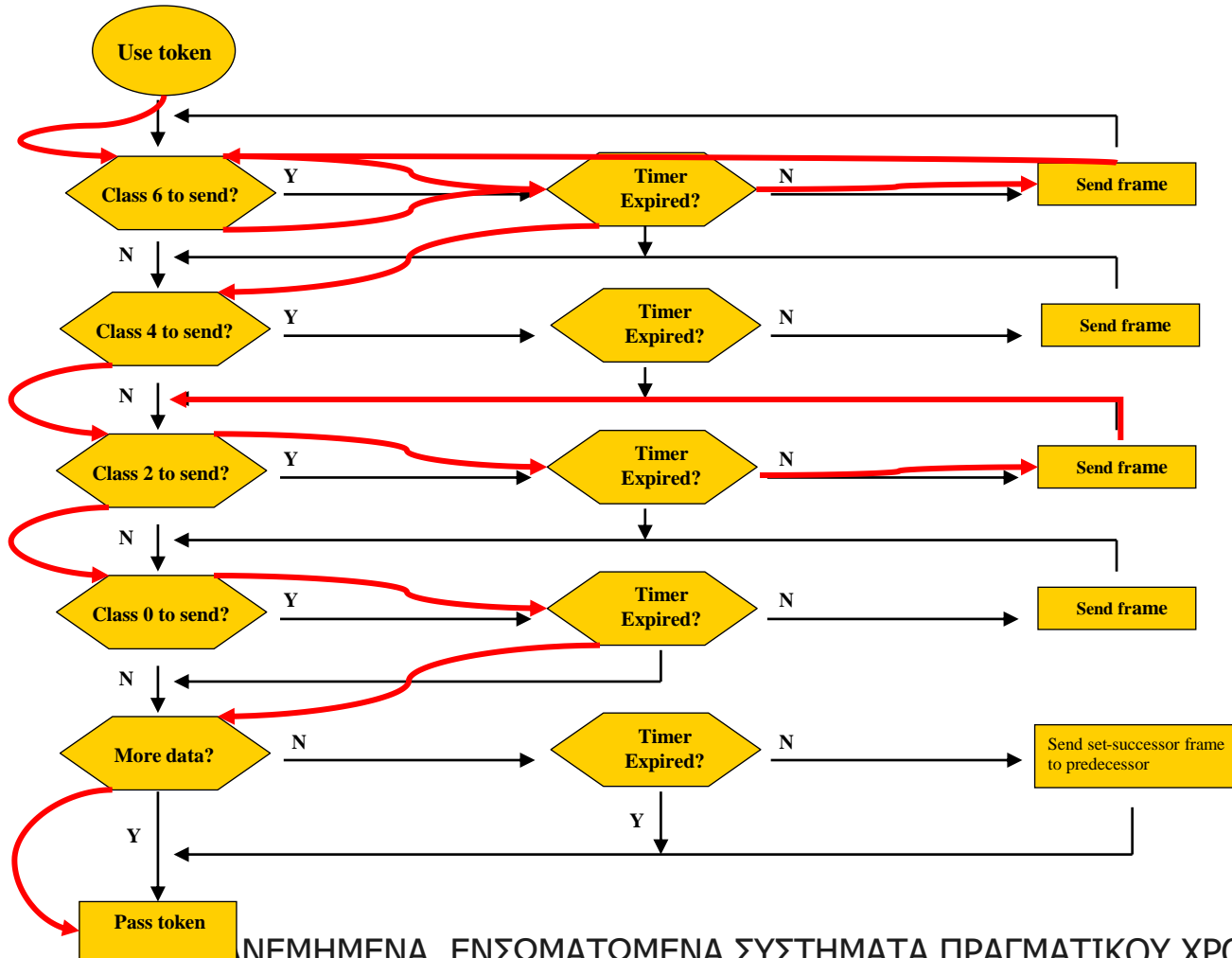
# Token Bus m σταθμών



**Σ** : Πακέτο δεδομένων του σταθμού Σ

**Σ > Σ+1** : Κουπόνι του σταθμού Σ που δίνει δικαίωμα μετάδοσης στον σταθμό Σ+1

# ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ TOKEN BUS



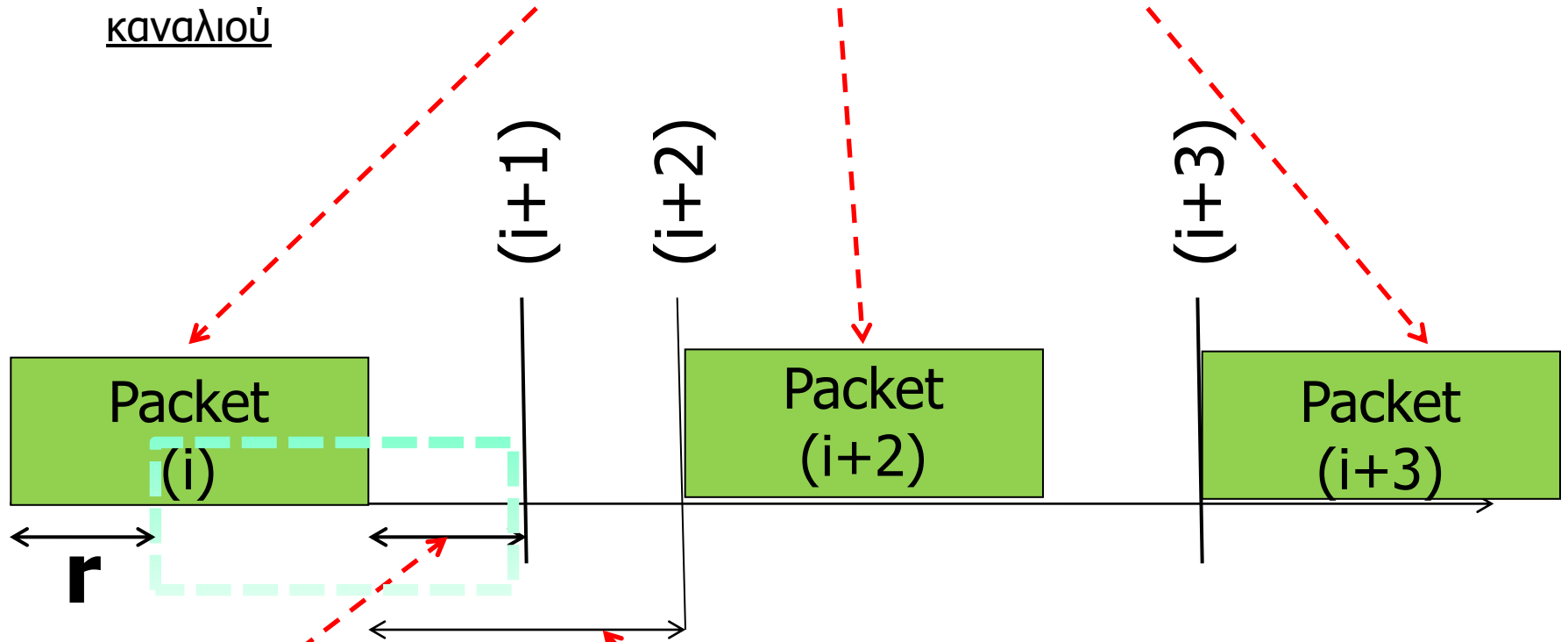
# ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Σχετικά υψηλή απώλεια εύρους ζώνης (λόγω overhead) ειδικά σε χαμηλά φορτία, εξ αιτίας της περιστροφής του κουπονιού σε όλους τους σταθμούς
- Πολύπλοκοι αλγόριθμοι για την είσοδο και έξοδο σταθμών στο δίκτυο
- Η εξάρτηση της προσπάσιας από την κατοχή του token οδηγεί σε περιόδους "απροσπελασιμότητας" (inaccessibility periods), οποτεδήποτε υπάρξει απώλεια ή πολλαπλότητα του κουπονιού.
- Η απόδοσή του μειώνεται με την αύξηση του μήκους του δικτύου.



# **VIRTUAL TOKEN ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ**

Όλοι οι σταθμοί παρακολουθούν την ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (ACTIVITY) του καναλιού



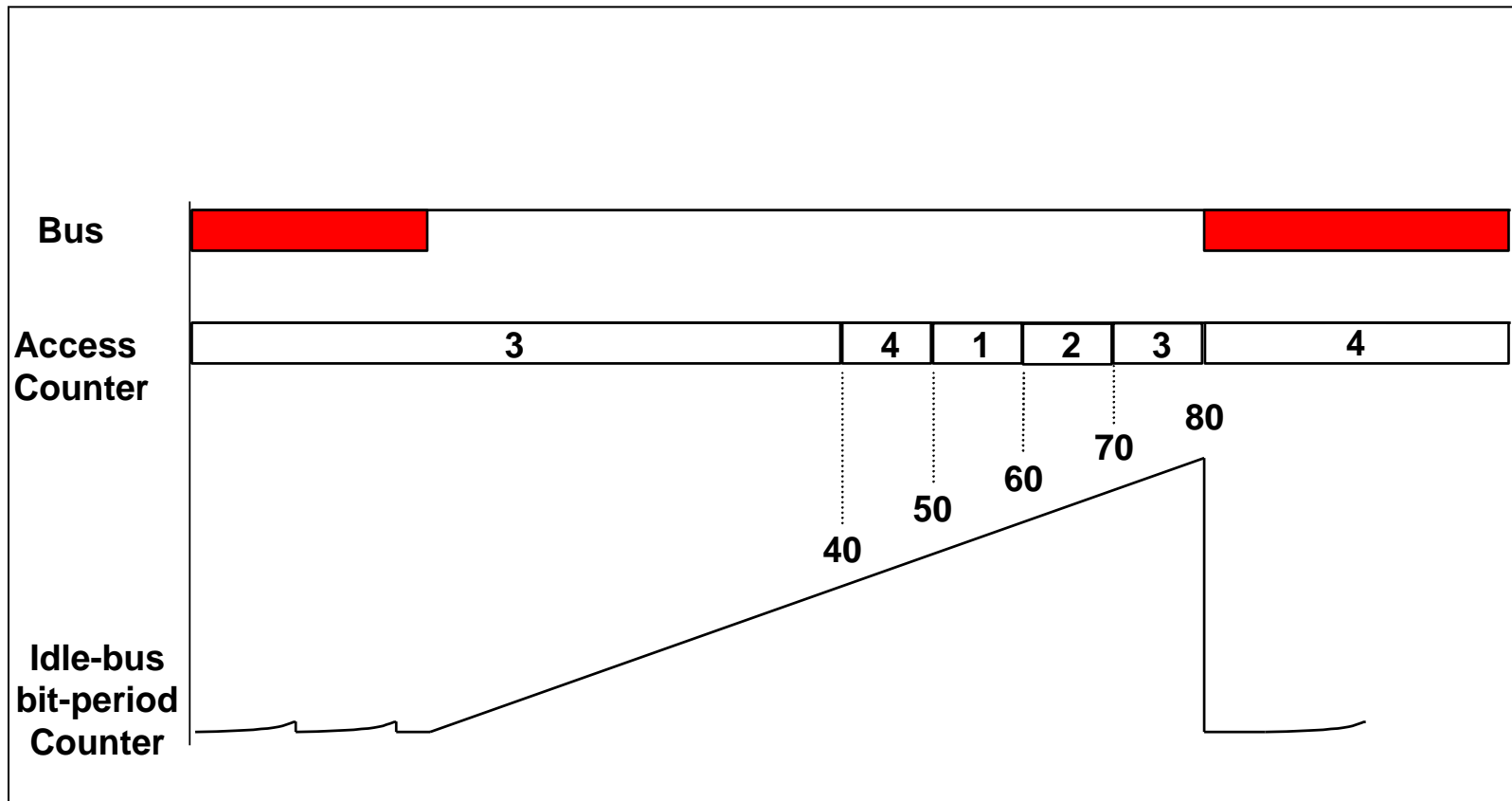
$IFS_{min} \geq r$  (pr. delay)

High Priority

$IFS_{max} = 2 * IFS_{min}$   
Low Priority

**Το (Virtual) TOKEN δεν είναι ΣΑΦΕΣ ΠΑΚΕΤΟ που μπορεί να 'χαθεί', αλλά ΧΡΟΝΟΣ (μεγαλύτερη αξιοπιστία)**

# ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ VIRTUAL TOKEN ΔΙΚΤΥΟΥ P-NET



ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

# ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ VIRTUAL (P-NET)

Το σχήμα δείχνει ένα παράδειγμα διακίνησης του κουπονιού στο P-NET για ένα σύστημα με τέσσερις κύριους κόμβους. Αρχικά ο κόμβος 3 κατέχει το κουπόνι και λαμβάνει δεδομένα από ένα εξαρτημένο κόμβο. Τότε το κανάλι επανέρχεται στην αδράνεια. Όταν μετρηθούν 40 περίοδοι bits αδράνειας, όλοι οι "access" μετρητές αυξάνονται κατά 1 και ο κόμβος 4 έχει το δικαίωμα να προσπελάσει το κανάλι. Δεδομένου ότι ο κόμβος 4 δεν έχει πακέτο να μεταδώσει και μετά από 50 bit περιόδους, ο κόμβος 1 παίρνει το δικαίωμα να χρησιμοποιήσει το κανάλι. Ο κόμβος 1 είτε δεν έχει να μεταδώσει ή δεν είναι στο δίκτυο, οπότε το ασαφές κουπόνι περνά στον κόμβο 2, όταν ο "idle bus bit period" μετρητής μετρήσει 60. Δεδομένου ότι οι κόμβοι 2 και 3 δεν απαιτούν χρήση του καναλιού, δηλαδή δεν είναι ενεργοί, το κουπόνι περνά στον κόμβο 4, όταν ο "idle bus bit period" μετρητής είναι ίσος με 80. Αυτή τη στιγμή, ο κόμβος 4 απαιτεί χρήση του καναλιού και τα δεδομένα εμφανίζονται στο κανάλι και άρα όλοι οι "idle bus bit period" μετρητές μηδενίζονται.

# Πρωτόκολλα Τυχαίας Προσπέλασης του Καναλιού (Random Access Protocols)

- Παρέχεται ολόκληρο το εύρος του καναλιού στους χρήστες
- Οι χρήστες μεταδίδουν οποτεδήποτε έχουν ένα πακέτο για μετάδοση (ALOHA)
- ή υπακούουν σε απλούς κανόνες ανίχνευσης του καναλιού πριν τη μετάδοση (Carrier Sense Multiple Access-CSMA).

# Κατανεμημένη/ ανταγωνιστική πρόσβαση

- Κύρια Ιδέα:
  - Όλοι οι κόμβοι είναι ισότιμοι, ενεργούν αυτόνομα και ανεξάρτητα, δεν υπάρχει προκαθορισμένο πρόγραμμα
  - Παραδείγματα: ALOHA, CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA .....
- Πλεονεκτήματα:
  - Σθεναρότητα, ευελιξία, δεν απαιτείται συγχρονισμός, καλή απόδοση σε χαμηλά-μέτρια φορτία, υπολογισμένο ρίσκο σε υψηλά, σημαντικές επεκτάσεις για καλή διαχείριση υψηλού φορτίου
- Μειονεκτήματα:
  - Συγκρούσεις σε υψηλά φορτία, control overhead για το έλεγχο της πρόσβασης

# ALOHA Πρωτόκολλο

## ■ Κύρια Ιδέα:

- Όποτε δημιουργείται πακέτο, μεταδίδεται άμεσα χωρίς κανένα έλεγχο
- Προέλευση: Πανεπιστήμιο Hawaiï, πρώτη λειτουργία το 1971, στόχος: ο διαμοιρασμός ενός υπολογιστή μεταξύ των νησιών Hawaiï

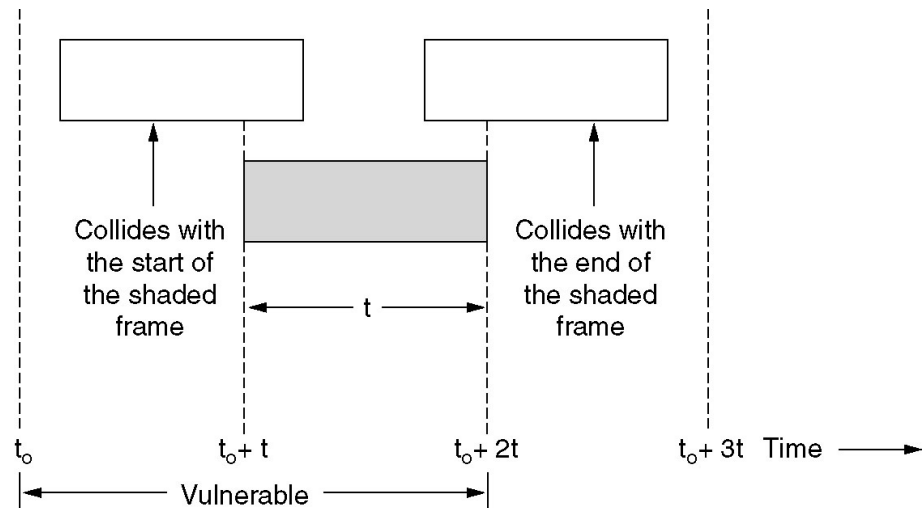
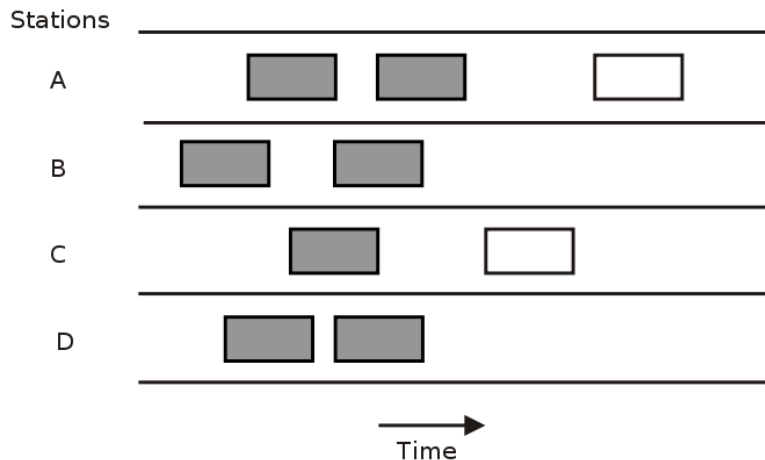
## ■ Πλεονεκτήματα:

- Απλούστατη υλοποίηση
- Κανένας συγχρονισμός δεν απαιτείτο

# ALOHA Πρωτόκολλο

## ■ Μειονεκτήματα:

- Καμία προστασία από συγκρούσεις
- Πακέτα ACK επίσης υπόκεινται σε συγκρούσεις και οδηγούν σε εσφαλμένη αντίληψη απώλειας
- Μία μετάδοση μπορεί να οδηγήσει σε παραπάνω από 1 συγκρούσεις



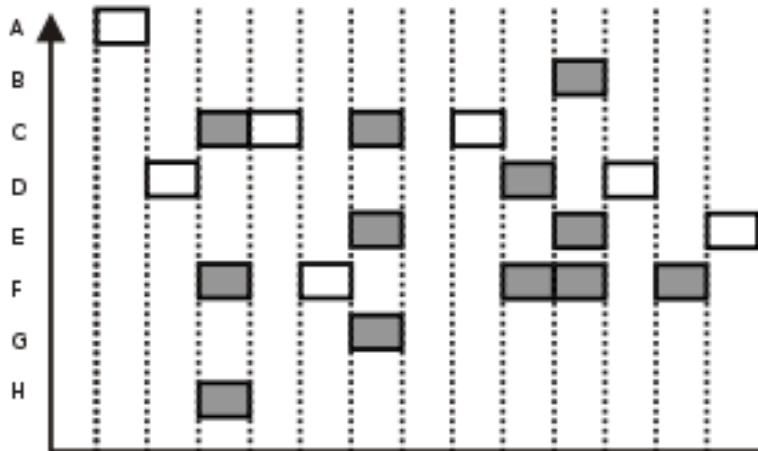


# ALOHA Πρωτόκολλο

- Αποτέλεσμα:

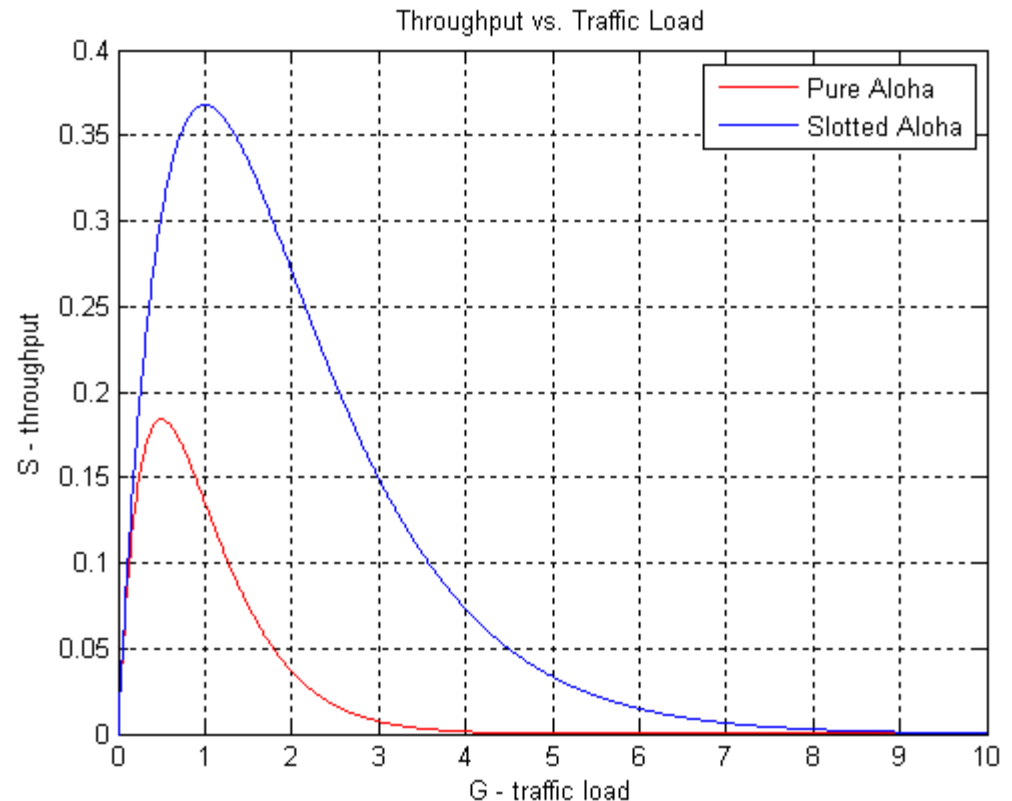
- Αν  $G$  ο μέσος αριθμός μεταδόσεων σε διάστημα ενός πακέτου

- Slotted Aloha



Slotted ALOHA protocol (shaded slots indicate collision)

ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ ΕΝΣ



# CSMA Τεχνική

- Βασική ιδέα:
  - Έλεγχος για μετάδοση σε εξέλιξη πριν τη μετάδοση. Αν ανιχνευτεί κάτι τέτοιο αναμονή μέχρι την ολοκλήρωση της μετάδοσης.
- Carrier Sense:
  - Δειγματοληψία του μέσου και προσπάθεια αναγνώρισης κωδικοποιημένων δεδομένων στο σήμα φορέα
- Multiple Access:
  - Δηλώνει ότι η μετάδοση του ενός μπορεί να ληφθεί από πολλούς

# CSMA Τεχνική

- Non-Persistent :
  - Δειγματοληψία καναλιού:
    - Αν απασχολημένο, αναμονή για τυχαίο χρόνο και επανάληψη
    - Αν αδρανές, άμεση αποστολή
  - Σε περίπτωση σύγκρουσης:
    - Αναμονή για τυχαίο χρόνο και επανάληψη διαδικασίας

# CSMA Τεχνική

- 1-Persistent :
  - Δειγματοληψία καναλιού:
    - Αν απασχολημένο, συνεχή παρακολούθηση καναλιού και άμεση αποστολή όταν αυτό γίνει αδρανές
    - Αν αδρανές, άμεση αποστολή
  - Σε περίπτωση σύγκρουσης:
    - Αναμονή για τυχαίο χρόνο και επανάληψη διαδικασίας
- Η τεχνική ονομάζεται 1-persistence διότι με πιθανότητα 1 θα γίνει μετάδοση όταν το κανάλι είναι αδρανές
- Πιθανότητα σύγκρουσης:
  - αν B, C θέλουν να μεταδώσουν στη μέση του A → Όταν ο A τελειώσει θα προσπαθήσουν ταυτόχρονα → **Σύγκρουση**

# CSMA Τεχνική

- Σύγκριση 1 και non persistence κόμβων
  - B και C θέλουν μεταδώσουν στη μέση του A
    - 1-persistence: B και C συγκρούονται
    - Non-persistence: B και C πιθανόν δεν θα συγκρουστούν
  - Αν μόνο ο B θέλει να μεταδώσει
    - 1-persistence: B μεταδίδει επιτυχώς και άμεσα
    - Non-persistence: πιθανών ο B θα περιμένει ενώ δεν χρειάζεται
  - Άρα κάτι ενδιάμεσο ?

# CSMA Τεχνική

## ■ P-Persistence :

### 1. Δειγματοληψία καναλιού:

- Αν αδρανές, μετάδοση με πιθανότητα  $p$ 
  - Αν μετάδοση  $\rightarrow$  Βήμα 2
  - Αν όχι μετάδοση αναμονή συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος και  $\rightarrow$  Βήμα 1
- Αν απασχολημένο κανάλι, αναμονή συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος και  $\rightarrow$  Βήμα 1

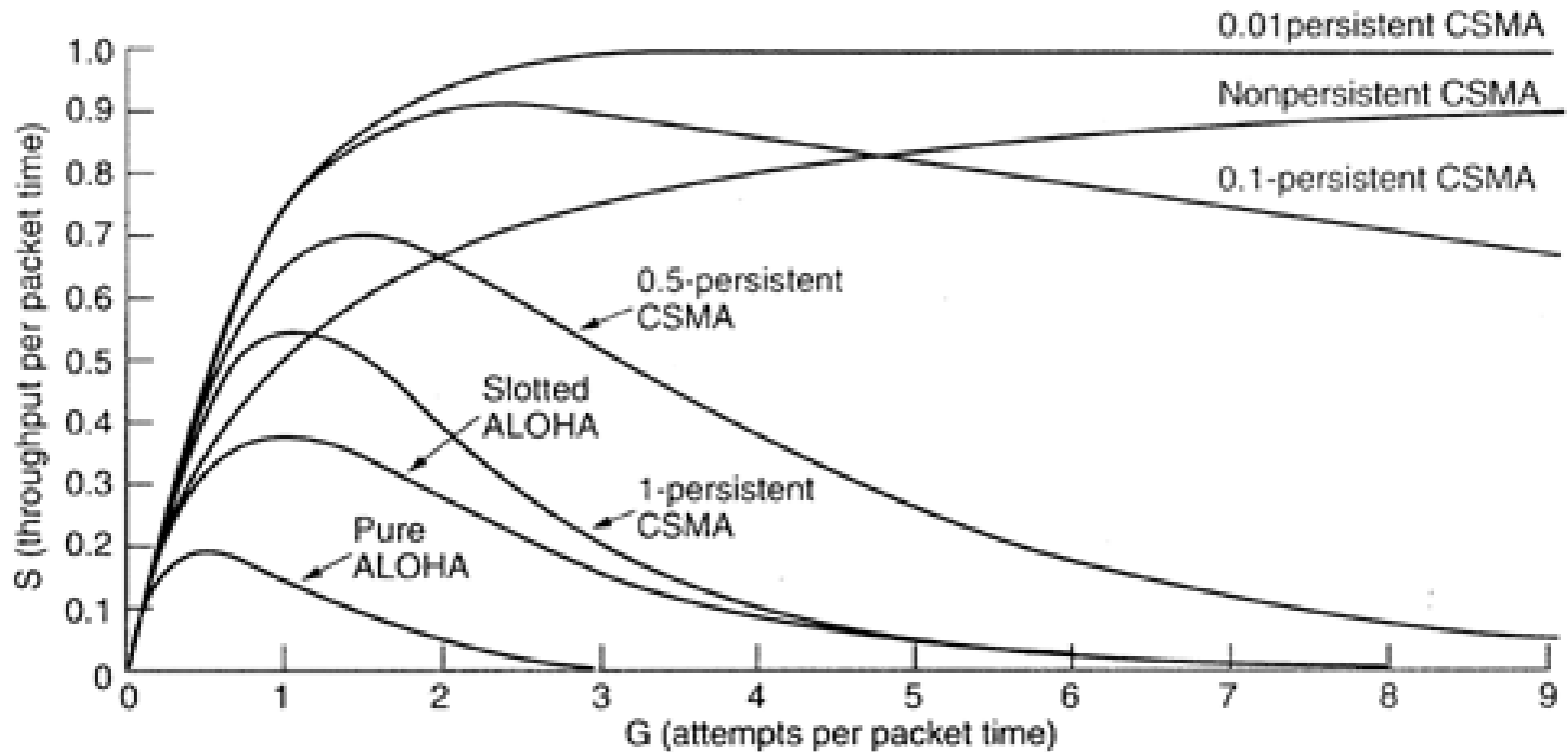
### 2. Έλεγχος για σύγκρουση

1. Σε περίπτωση σύγκρουσης, αναμονή για τυχαίο χρόνο και  $\rightarrow$  Βήμα 1

# CSMA Τεχνική

- P-Persistence :
- Θεωρούμε P-persistent CSMA με  $p = 0.5$ :
  - Αν αδρανές, άμεση μετάδοση με πιθανότητα  $0.5$
  - Με πιθανότητα  $0.5$  αναμονή συγκεκριμένου χρόνου και επανάληψη

# CSMA vs ALOHA





# CSMA/CD

- Βασικό πρόβλημα των CSMA τεχνικών
  - Σε περίπτωση ταυτόχρονης μετάδοσης, μεταδίδονται 2 πλήρη πακέτα τα οποία θα συγκρουστούν → απώλεια πόρων του καναλιού
- Αντιμετώπιση μέσω της CD προσθήκης
  - Με την αναγνώριση σύγκρουσης, άμεση παύση μετάδοσης → εξοικονόμηση πόρων
  - Collision Detection CD

# CSMA/CD

- Αναγνώριση σύγκρουσης
  - Εύκολο στα ενσύρματα μέσα: οι ισχύς σημάτων είναι άμεσα γνωστές σε όλους
  - Δύσκολο έως αδύνατο στα ασύρματα: ο πομπός δεν μπορεί να καταλάβει τι γίνεται στον παραλήπτη
- Ανάλογο ανθρώπινης συμπεριφοράς: ο ευγενικός συνομιλητής

# CSMA/CD

- Δειγματοληψία καναλιού
  - Αν αδρανές, άμεση αποστολή
  - Αν απασχολημένο, αναμονή μέχρι να γίνει αδρανές
- Σε περίπτωση σύγκρουσης
  - Άμεση παύση της τρέχουσας μετάδοσης
  - Αναμονή τυχαίου χρόνου και επανάληψη

# CSMA/CD

- Carrier Sense
  - Μείωση των συγκρούσεων
- Collision Detection
  - Μείωση των επιπτώσεων των συγκρούσεων

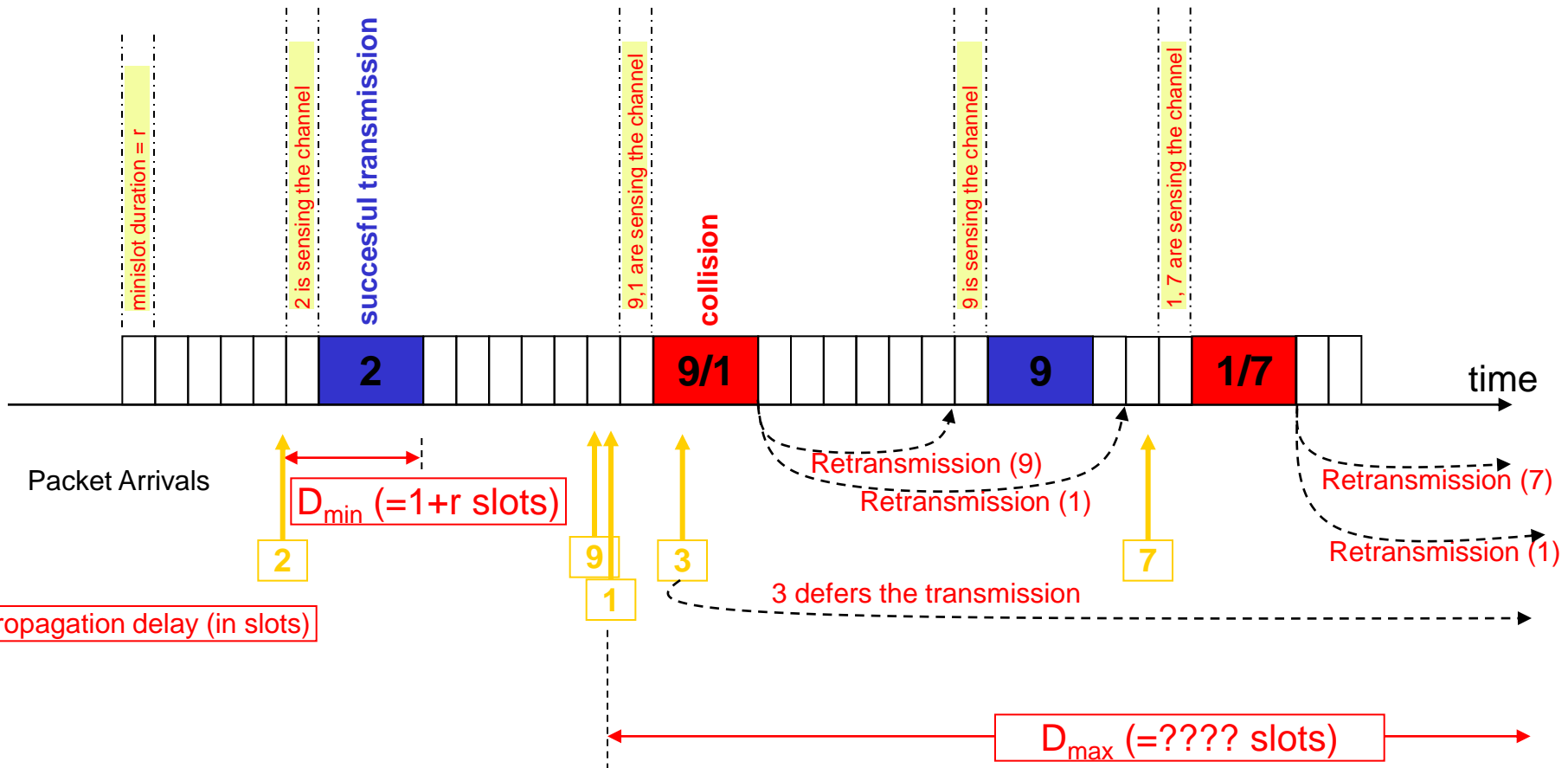
# CSMA με $p=1$ (1)

- Ο χρόνος του καναλιού χωρίζεται σε χρονικές σχισμές (time slots) με εύρος ίσο με την από άκρο σε άκρο καθυστέρηση διάδοσης του φυσικού μέσου επικοινωνίας.
- Κάθε σταθμός που έχει ένα πακέτο προς αποστολή, αρχίζει την διαδικασία μετάδοσης αφού συγχρονισθεί με την αρχή της επόμενης χρονικής σχισμής.
- Ο σταθμός παρακολουθεί το κανάλι κατά την διάρκεια αυτής της χρονικής στιγμής, υλοποιώντας στην ουσία μια διαδικασία (αρνητικής) ανάδρασης .
- Εάν ο σταθμός διαπιστώσει ότι το κανάλι είναι αδρανές μεταδίδει το πακέτο του με πιθανότητα  $p=1$ .
- Εάν και κάποιος άλλος σταθμός ενεργώντας κατά τον ίδιο τρόπο μεταδώσει το πακέτο του τότε θα υπάρξει σύγκρουση.
- Στην περίπτωση αυτή οι σταθμοί τερματίζουν τις μεταδόσεις τους στέλνοντας ένα ειδικό σήμα (Jam signal) για να γνωστοποιήσουν την σύγκρουση στο δίκτυο.

# CSMA με $p=1$ (2)

- Τα πακέτα που συγκρούστηκαν πρέπει να αναμεταδοθούν σύμφωνα με ένα back-off αλγόριθμο αναμετάδοσης. Μετά από αυτό το διάστημα το σταθμός επαναλαμβάνει το αλγόριθμο για την μετάδοση του πακέτου.
- Η σύγκρουση αναγνωρίζεται από τους σταθμούς σε ένα χρόνο CDT (collision detection time), που είναι γενικά μικρότερος από το εύρος του πληροφοριακού πακέτου, με αποτέλεσμα να σταματά τότε η μετάδοση των συγκρουόμενων πακέτων και έτσι να μειώνεται η απώλεια εύρους ζώνης.
- Εάν ο σταθμός διαπιστώσει την ύπαρξη σήματος φορέα στο κανάλι δεν μεταδίδει το πακέτο του, δεδομένου ότι υπάρχει ήδη κάποια μετάδοση στο κανάλι. Στην περίπτωση αυτή, ο σταθμός συνεχίζει να παρακολουθεί το κανάλι για να διαπιστώσει πότε αυτό θα επανέλθει στην αδράνεια, οπότε και επαναλαμβάνει τον αλγόριθμο μετάδοσης.

# Η βασική λειτουργία του Πρωτοκόλλου Carrier Sense Multiple Access (p=1)



# Το LonTalk Πρωτόκολλο του Δικτύου LON (Predictive p-persistent CSMA/CD)

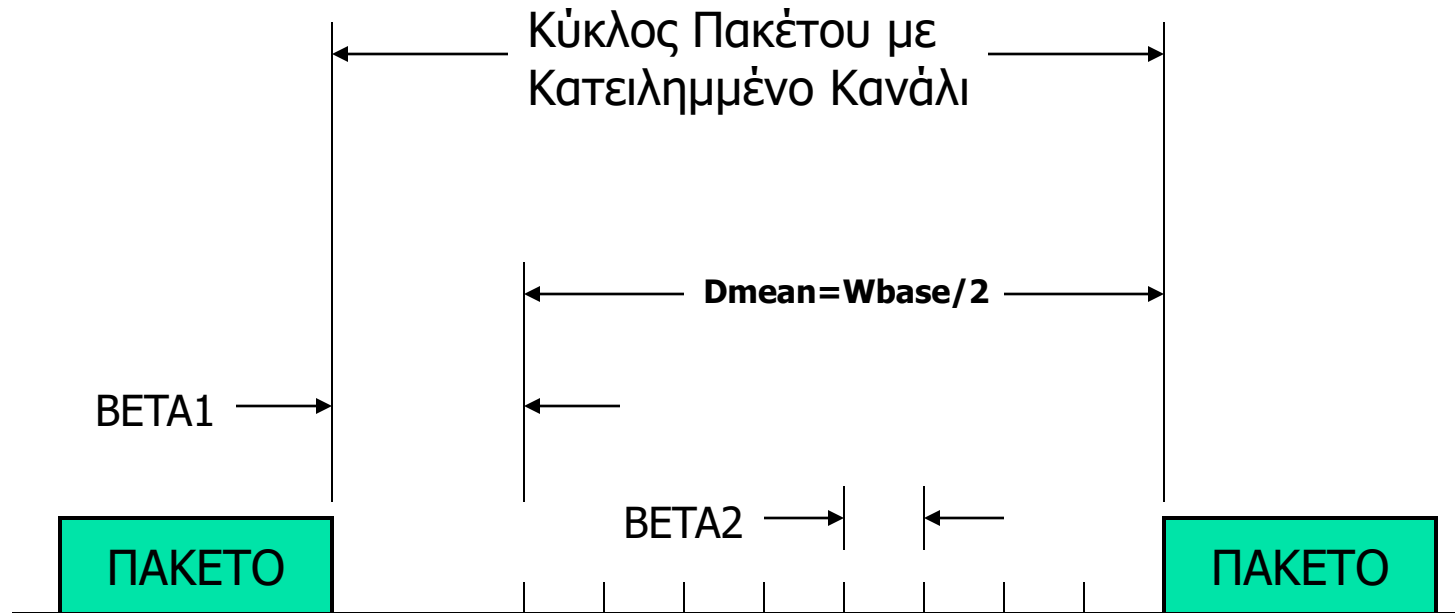
- Κάθε κόμβος του δικτύου διατηρεί μία εκτίμηση του τρέχοντος φορτίου (BL) στο κανάλι
- Το εκτιμώμενο φορτίο έχει πάντα τιμή μεγαλύτερη ή ίση του ένα (1)
- Όταν ένας κόμβος προσπαθεί να μεταδώσει, ελέγχει πρώτα την κατάσταση του καναλιού
- Αν είναι αδρανές για διάρκεια  $\text{Beta}1$ , τότε παίρνει το δικαίωμα να μεταδώσει



# Το LonTalk Πρωτόκολλο του Δικτύου LON (Predictive p-persistent CSMA/CD)

- Ο κόμβος υπολογίζει μια τυχαία καθυστέρηση  $T$  (Transmit) μέσα στο διάστημα (0 έως  $BL * W_{base}$ )
- Η καθυστέρηση  $T$  είναι ένας ακέραιος αριθμός σχισμών διάρκειας  $Beta2$ .
- Αν μετά από αυτήν την καθυστέρηση το κανάλι συνεχίζει να ανιχνεύεται ως αδρανές, τότε ο κόμβος μεταδίδει το πακέτο του. Διαφορετικά, ο κόμβος λαμβάνει το εισερχόμενο πακέτο και επαναλαμβάνει τον εν λόγω MAC-αλγόριθμο.

# Βασική λειτουργία πρωτοκόλλου LonTalk p-persistent CSMA (Beta1=Αδρανής Σχισμή, Beta2=Σχισμή Τυχειότητας)



# Το LonTalk Πρωτόκολλο του Δικτύου LON (Predictive p-persistent CSMA/CD)

- Ρυθμίζοντας κατάλληλα το μέγεθος του παραθύρου τυχαιότητας,  $W_{base}$ , ο αλγόριθμος διατηρεί τον ρυθμό των συγκρούσεων σταθερό και ανεξάρτητο του φορτίου
- Θεωρώντας ότι το εκτιμώμενο φορτίο  $BL$  είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το πραγματικό, ισχύει η σχέση:

$$\begin{aligned} & \text{Ρυθμός Συγκρούσεων} = \\ & = \text{Κύκλοι Εσφαλμένων Πακέτων} / \text{Κύκλοι Επιτυχών} \\ & \text{Πακέτων} \leq 1 / 2 W_{base} \end{aligned}$$

# Το LonTalk Πρωτόκολλο του Δικτύου LON (Predictive p-persistent CSMA/CD)

- Μεγιστοποίηση της απόδοσης αν το βασικό παράθυρο είναι εύρους 16 σχισμών. Αυτό σημαίνει πως υπάρχουν κατά μέσο όρο 8 σχισμές πλάτους Beta2 και μία σχισμή πλάτους Beta1 ανάμεσα σε κάθε πακέτο
- Το πλάτος της περιόδου Beta2 είναι κρίσιμο για την αποτελεσματική χρήση του καναλιού
- Η εκτίμηση φορτίου βασίζεται στον αναμενόμενο αριθμό πακέτων θετικής επιβεβαίωσης (ACK)

# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Καλή απόδοση ως προς τη σχέση φορτίου - μέσης καθυστέρησης πακέτου, για *χαμηλά φορτία* και σχετικά μικρή τιμή του λόγου χρόνου διάδοσης του καναλιού προς μέγεθος πακέτου ( $a = \tau/P_s$ ), ακόμα και για *πολλούς σταθμούς*.
- Το CSMA/CD μπορεί να λειτουργήσει σε δίκτυα *ελαστικού πραγματικού χρόνου*, χωρίς καμία τροποποίηση στον αλγόριθμο προσπέλασης και λύσης της σύγκρουσης, εφ' όσον το φορτίο δεν ξεπερνάει μία ανώτατη τιμή που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Στα *μεσαία και υψηλά φορτία*, η *στατιστική* συμπεριφορά του πρωτοκόλλου, οδηγεί σε μεγάλη αύξηση της μέσης καθυστέρησης πακέτου και μείωση του αποδοτικού φορτίου (αστάθεια λειτουργίας).
- Η χρήση του CSMA/CD σε δίκτυα *αυστηρού πραγματικού χρόνου* είναι απαγορευτική λόγω της μη ντετερμινιστικής συμπεριφοράς του πρωτοκόλλου.
- Το CSMA/CD δεν παρέχει τη δυνατότητα υποστήριξης κίνησης με *διαφορετικές προτεραιότητες*.