

## ΚΕΦ. 4 - Τοπικά Δίκτυα (LANs)

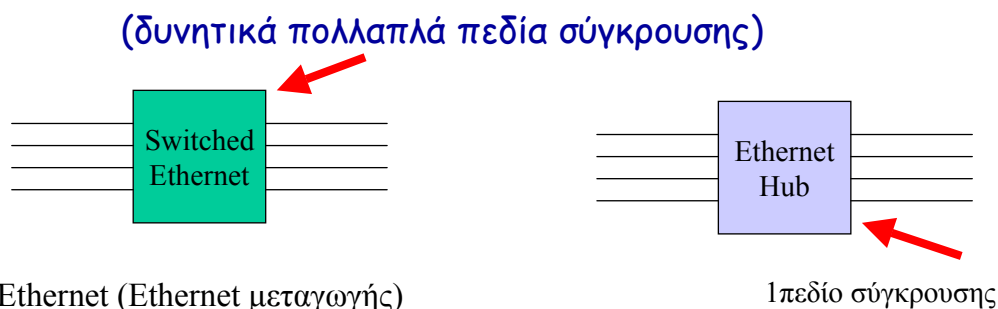
- Ethernet (10Mbps , 100Mbps, 1Gbps), κυρίαρχο τοπικό δίκτυο
- FDDI (100Mbps), τοπικό η μητροπολιτικό περιβάλλον υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου αδιάκοπη λειτουργία μετά από απώλεια κόμβου η ζεύξης
- Token ring , λιγότερο σήμερα
- ATM χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση LANs

### Κατηγορίες LANS :

- Διαμοιραζόμενου μέσου (shared medium)
- Μεταγωγής (switched)

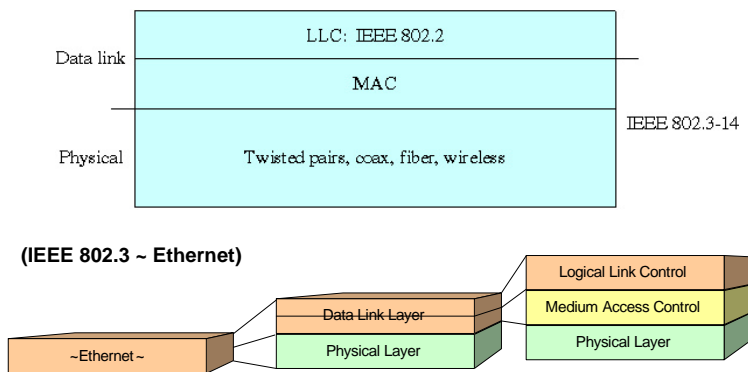
### Χρήση μεταγωγού Ethernet (Ethernet Switch) για υλοποίηση

## Ethernet μεταγωγής (Switched Ethernet)

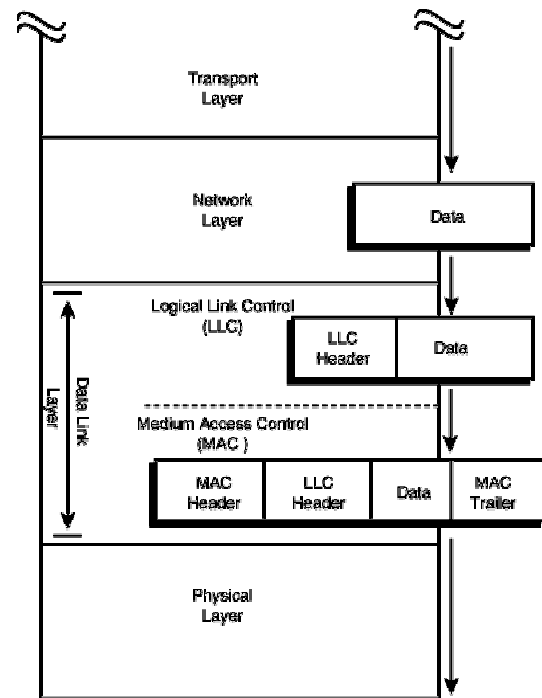


- Switched Ethernet (Ethernet μεταγωγής)
  - Προώθηση πακέτων με βάση τις Ethernet διευθύνσεις
  - Απλή αντιγραφή πακέτων από μία είσοδο σε συγκεκριμένη έξοδο – όχι προς όλες τις θύρες (εξαιρέση: broadcast)
  - Υψηλότερο throughput από αντίστοιχο διαμοιραζόμενο (shared / hub) (γιατί?)

# Αρχιτεκτονική Επιπέδων για Τοπικά Δίκτυα (LANs)



- Physical layer: ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των συνδέσεων
- MAC: «μετατρέπει» μια διαμοιραζόμενη ζεύξη σε εικονικές ζεύξεις σημείου προς σημείο
- LLC: επίβλεψη μεταδόσεων (προαιρετικά, επαναμεταδόσεις)



Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 4 (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) -2008

3

## Χαρακτηριστικά των LANs : Ρυθμαπόδοση (throughput) :

Η Ρυθμαπόδοση καθορίζει την «χρήσιμη» χωρητικότητα του συστήματος, τον βαθμό αποδοτικότητας χρήσης των πόρων και την καθυστέρηση μετάδοσης πληροφορίας

Για Ρυθμαπόδοση δικτύου 6.5Mbps και 7 ενεργούς χρήστες, ο μέσος χρόνος μετάδοσης πακέτου 10Mbytes είναι :  $10 / (6.5/7)$  s

–Διαμοιραζόμενου μέσου :

Ο μέγιστος μέσος συνολικός ρυθμός επιτυχών μεταδόσεων

Καθορίζεται από την αποδοτικότητα του MAC

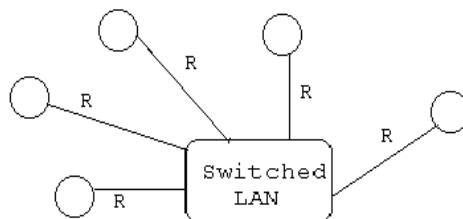
Εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από τη διαδικασία άφιξης πακέτων

Επίσης μπορεί να οριστεί και σαν το μέγιστο δυνατό ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο γίνεται επιτυχής μετάδοση πακέτου)

(7Mbps για MAC με αποδοτικότητα 70% σε δίκτυο 10Mbps)

## Χαρακτηριστικά των LANs : Ρυθμαπόδοση (throughput) : (2)

- Μεταγωγής :** Εξαρτάται σημαντικότερα από τα χαρακτηριστικά της κίνησης
- Για  $N$  κόμβους που επικοινωνούν πάντα κατά διαφορετικά ζεύγη, ισούται με  $RN/2$  ( $R$ : ρυθμός μετάδοσης κόμβου)
- Όταν όλοι οι κόμβοι επικοινωνούν σχεδόν πάντα με ένα server, είναι λιγότερο από  $R$



## Χαρακτηριστικά των LANs : (3)

- Καθυστέρηση :** Εξαρτάται από το MAC  
Εν γένει μεταβλητή, λόγω στοχαστικών αφίξεων  
ελεγχόμενη στο FDDI
- Καλώδια και αποστάσεις :** Συνεστραμμένα ζεύγη, ομοαξονικό καλώδιο, οπτική ίνα  
Μέγιστο επιτρεπτό μήκος εξαρτάται από καλώδιο και MAC  
100 m(συν. ζεύγη, Ethernet), μερικά Km (οπτ. ίνα, FDDI)
- Ασφάλεια :** Δυσκολότερη πρόσβαση σε οπτική ίνα (φυσικό επίπεδο)  
Κόμβος του LAN μπορεί να «ακούει» όλα τα πακέτα (snorping)
- Αξιοπιστία :** FDDI λειτουργεί μετά από βλάβη κόμβου η ζεύξης  
Token ring επίσης, με μηχανισμούς bypass κόμβων με βλάβη

## Χαρακτηριστικά των LANs (4)

### Σύγκριση

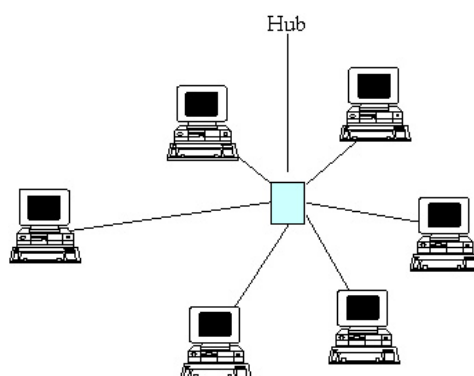
**Πίνακας 4.1**

*Κύρια χαρακτηριστικά των LAN*

Characteristics	LANs					
	Sh.10	Sw.10	Sh.100	Sw.100	TR-16	FDDI
Throughput, Mbps	8	n10	60	n100	16	100
Latency, ms	0.1-40	0.1-10	0.01-4	0.01-0.4	0.1-500	0.01-50
Wiring/distance, m	UTP/100 m fiber/a few kilometers					
Security	Snooping	Good	Snooping	Good	Snooping	Snooping

## Ethernet - IEEE 802.3

### **10BASE-T LAN**



### Φυσικό Επίπεδο :

**Δυνατότητα ταυτόχρονης λήψης και μετάδοσης (π.χ. Από 1 συνεστραμμένο ζεύγος)**

**Μετάδοση πακέτου ==> αντιγραφή στον buffer της κάρτας δικτύου (NIC)**

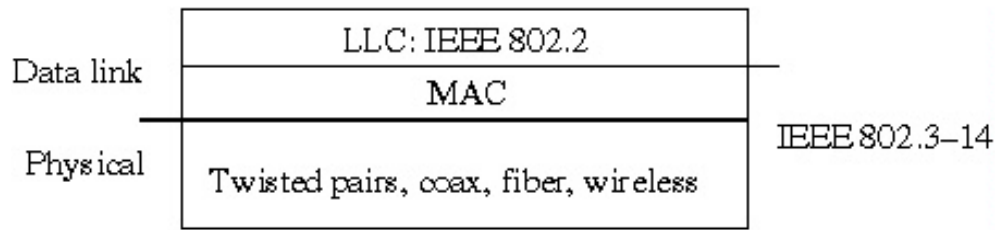
**Κωδικοποίηση Manchester (1μs, 0: -0.85v-->0.85v, 1: 0.85v-->-0.85v)**

**δειγματοληψία μετά το μέσον, ανίχνευση μέσου με εντοπισμό 0v**

**προσθήκη σειράς 64bits (preamble/start-of-frame delimiter) για PLL**

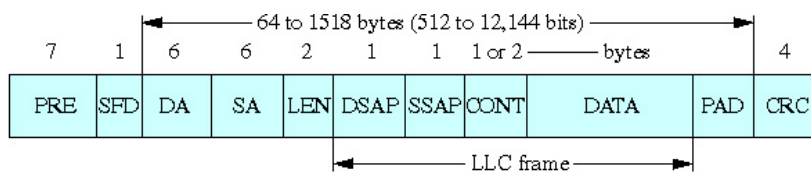
**Σύγκρουση όταν το hub (Πλήμνη) δεχθεί τουλάχιστον 2 σήματα**

## MAC - Έλεγχος Πρόσβασης στο Μέσο



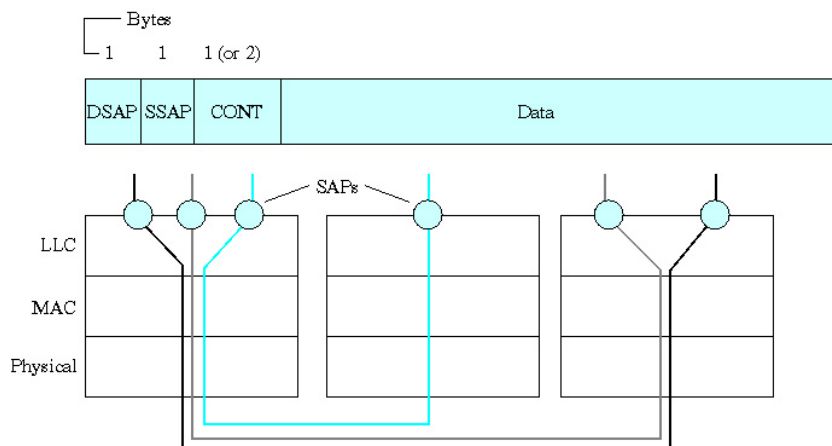
### Περιγραφή πλαισίου με προσθήκες πεδίων των επιπέδων PHY/MAC/LLC

Κάθε επίπεδο της στοίβας πρωτοκόλλων ενθυλακώνει το πακέτο πριν το προωθήσει στο παρακάτω επίπεδο (αντίστροφα στον προορισμό)



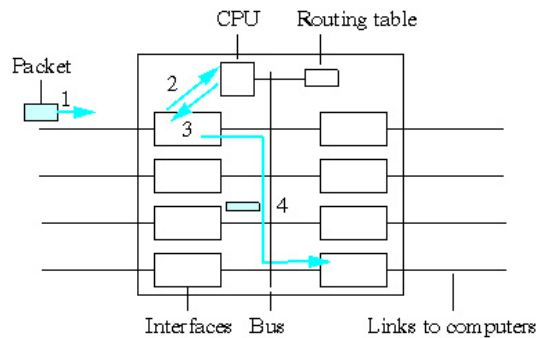
## Logical Link Control

- Μετατρέπει τα αναξιόπιστα MAC πακέτα σε αξιόπιστα LLC πλαίσια
- Βασικές λειτουργίες : έλεγχος σφαλμάτων και πιθανόν ροής - πολυπλεξία πλαισίων
- CONT->content, DSAP(SSAP)->Destination(Source) Service Access Point
- Υπηρεσίες : -- Connection-oriented (παράδοση πακ. με σειρά και χωρίς σφάλματα)
  - Connectionless με επιβεβαιώσεις για συνδέσεις από σημείο σε σημείο. Αποστολή επόμενου πλαισίου μετά από επιβεβ. προηγούμενου
  - Connectionless (καμία εγγύηση για παράδοση η έλλειψη σφαλμάτων)



## Switched 10BASE-T Ethernet

- Προώθηση πακέτου προς κατάλληλη έξοδο
- Προσωρινή αποθήκευση εάν η έξοδος είναι κατειλημμένη
- store-and-forward η cut-through λειτουργία
- NIC ίδια όπως με το «κοινού μέσου»
- Θύρα 100Mbps δυνατή, για σύνδεση με server



## 100BASE-T Ethernet

- «κοινού μέσου» η μεταγωγής
- 100BASE-T : - 4 συν. ζεύγη ποιότητας τηλεφ. (κατηγ. 3, unshielded)
  - 3 για δεδομένα , 1 για συγκρούσεις
  - ternary σήματα =>  $3 \times 3 \times 3 = 27$  σύμβολα => 4bits ---  $4 \times 25\text{MHz} = 100\text{Mbps}$
- 100BASE-TX : - 2 ζεύγη ποιότητας δεδομένων (κατηγ. 5, unshielded)
  - ρυθμός μετάδοσης bits: 125Mbps -- 4B5B κωδικοποίηση
- 100BASE-FX: - οπτική ίνα -- switched -- 2Km

## Gigabit Ethernet

Οπτική ίνα - μικρές αποστάσεις (100m) - switched

## Καθυστέρηση (latency) στα LAN

Καθυστέρηση πρόσβασης, μετάδοσης, αναμονής και διάδοσης

- Πρόσβασης : εξαρτάται από MAC και φορτίο για «κοινού μέσου» καθορίζεται από χρόνο πρόσβασης στο μεταγωγό (π.χ. half-duplex)
- Μετάδοσης : εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης  
0.05-1.2ms για πακέτα 500-12,000bits στα 10Mbps
- Αναμονής : χρόνος μέχρι την μετάδοση προηγούμενων πακ. από το ίδιο σημείο
- Διάδοσης : 3.3μs/Km (συνεστρ. ζεύγη) - 5μs/Km (οπτική ίνα)

## MAC - Έλεγχος Πρόσβασης στο Μέσο (1)

Κανόνες μετάδοσης (MAC πρωτόκολλο CDMA/CD) :

- Αναμονή μέχρι την ανίχνευση ανενεργού (idle) καναλιού
- Μετάδοση στο ανενεργό κανάλι με ταυτόχρονο έλεγχο του σήματος στο κανάλι
- Μετά από ανίχνευση σύγκρουσης, διακοπή μετάδοσης πακέτου, μετάδοση σήματος μπλοκαρίσματος (jam), αναμονή για ένα στοχαστικό χρονικό διάστημα (καθυστέρηση) , επανάληψη από το την αρχή

Σήμα jam : ακολουθία 32 τυχαίων bits, για να αντιληφθούν οι άλλοι την σύγκρουση

Ανίχνευση σύγκρουσης μέσω ανίχνευσης πακέτου <512bits / αυξημένης ενέργειας

χρονική μονάδα (χ.μ.) : χρόνος μετάδοσης 512 bits ( $10^{-7}s$  στα 10 Mbps)  $\geq$  χρόνο διάδοσης σήματος από άκρη σε άκρη με επιστροφή και μέσω επαναμεταδοτών (=2ρ)

## MAC - Έλεγχος Πρόσβασης στο Μέσο (2)

**Καθυστέρηση επαναμετάδοσης : αλγόριθμος : binary exponential backoff**

Μετά από  $n$  διαδοχικές συγκρούσεις ( $n \leq 16$ ), αναμονή για  $K$  χ.μ.

όπου  $K$  επιλέγεται με την ίδια πιθανότητα για όλες τις χ.μ. του συνόλου :

$$K \in \{0, 1, 2, 3, \dots, 2^n - 1\} \quad , \quad \text{ή } K \in \{0, 1, 2, 3, \dots, 2^{10} - 1\} \text{ για } n > 10$$

Όπου οι τιμές αναφέρονται σε πολλαπλάσια χ.μ. (=χρόνο μετάδοσης 512 bits)

**Π.Χ.**

$n=1$  ( $2^1=2$ ): : επιλέγει να μεταδώσει τη χρονική στιγμή 0 ή 1)

$n=2$  ( $2^2=4$ ): : επιλέγει να μεταδώσει τη χρονική στιγμή 0 ή 1 ή 2 ή 3

$n=3$  ( $2^3=8$ ): επιλέγει να μεταδώσει τη χρονική στιγμή 0 ή 1 ή 2 ή 3 ή 4 ή 5 ή 6 ή 7

.....

.....

Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 4 (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) -2008

15

## Κανόνες μετάδοσης (MAC πρωτόκολλο) : CSMA/CD (2)

**Καθυστέρηση επαναμετάδοσης :**

–Θεωρητική απαίτηση : πολλαπλάσια του χρόνου διάδοσης σήματος από άκρη σε άκρη με επιστροφή και μέσω επαναμεταδοτών (=2ρ)

–Πρακτικά : πολλαπλάσια χρονικής μονάδας (χ.μ) (χρόνος μετάδοσης 512bits)

–Σχόλιο : χ.μ. = ( 512bits x  $10^{-7}$  s/bit = 51.7  $\mu$ s )  $\geq$  ( 2ρ ) = 2 x 3.3 $\mu$ s/Km x 1Km +  
+ καθυστ. επαναμεταδοτών (hubs) = 6.6  $\mu$ s + καθυστ. επαναμεταδοτών



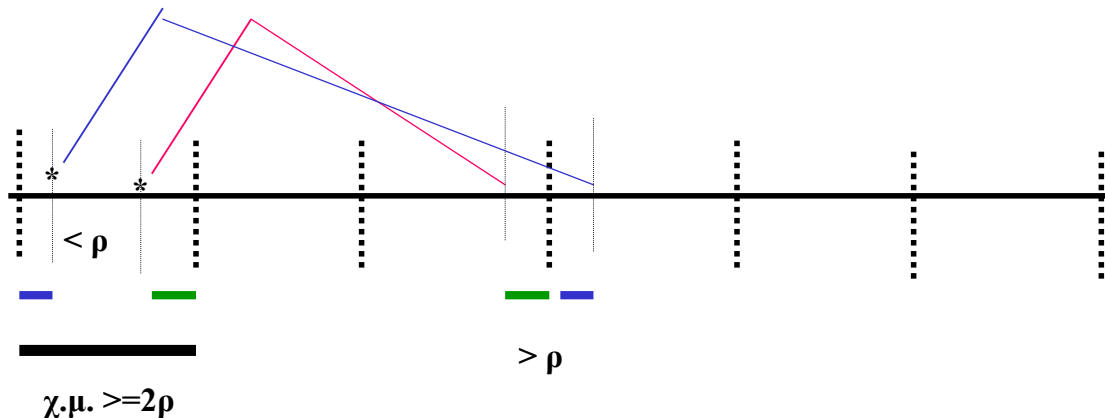
## Κανόνες μετάδοσης (MAC πρωτόκολλο) : CSMA/CD (2)

Σύγκρουση δυνατή μόνο εάν η χρονική απόσταση μεταδόσεων  $< \rho$

Σύγκρουση αδύνατη εάν η χρονική απόσταση μεταδόσεων  $\geq \rho$

### Αιτιολόγηση θεωρητικής απαίτησης :

Εγγύηση μη επανασύγκρουσης πακέτων με καθ. επαν.  $m2\rho$  και  $n2\rho$  όταν  $m \neq n$



Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 4 (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) -2008

17

## Απόδοση του CSMA/CD

$$n_{CSMA/CD} \approx \frac{1}{1+5\alpha} \quad \alpha := \frac{\rho}{\tau} \quad \tau = \text{χρόνος μετάδοσης πακέτου}$$

## Ανάλυση απόδοσης του CSMA/CD

**Υποθ. :** διακριτός χρόνος (μονάδα  $2\rho$ ) / # ενεργών κόμβων γνωστός (N)  
αρχικά αδρανές σύστημα

**Πιθανότητα για 1 ακριβώς μετάδοση από N κόμβους :**  $a(p) = Np(1-p)^{N-1}$

**Απόδ.:** Οι N αποφάσεις για μετάδοση (m) η μη μετάδοση (MM) από κάθε κόμβο σε ένα slot είναι στατιστικά ανεξάρτητα γεγονότα.  $P(M)=p$  ,  $P(MM)=1-p$

**Περίπτωση 1:** m,MM,MM, ... ,MM με πιθαν.  $p(1-p)(1-p)\dots(1-p)=p(1-p)^{N-1}$

Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 4 (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) -2008

18

## Ανάλυση απόδοσης του CSMA/CD (2)

Περίπτωση 2: MM,m,MM, ... ,MM με πιθαν.  $(1-p)p(1-p)\dots(1-p)=p(1-p)^{N-1}$   
.....

Περίπτωση N: M,MM,MM, ... ,m με πιθαν.  $(1-p)(1-p)\dots(1-p)p=p(1-p)^{N-1}$

$$\begin{aligned} P(1 \text{ μετάδοση από } N \text{ κόμβους}) &= P(\text{περ.1 η περ.2 η ... η περ.N}) \\ &= \text{επειδή περ.1, ... , περ.N είναι } \underline{\text{αμοιβαία αποκλειόμενα γεγονότα}} \\ &= P(\text{περ.1})+P(\text{περ.2})+\dots+P(\text{περ.N}) = Np(1-p)^{N-1} \quad \square \end{aligned}$$

Μεγιστοποίηση throughput  $\Leftrightarrow$  υπολογισμός  $p$  ( $p_0$ ) που μεγιστοποιεί  $\alpha(p)$

$$p_0 : \quad \frac{d}{dp} \alpha(p) = N(1-p)^{N-1} - N(N-1)p(1-p)^{N-2} = 0 \Rightarrow p_0 = 1/N$$

Μέγ. Throughput :  $\alpha(1/N)=(1-1/N)^{N-1} \sim 40\%$  (για  $N \sim 15$ )

$$\alpha(1/N) \rightarrow 1/e = 36\% \text{ για } N \rightarrow \infty$$

## Ανάλυση απόδοσης του CSMA/CD (3)

$\alpha := P(\text{επιτυχές slot}) = P(1 \text{ μετάδοση από } N \text{ κόμβους}) \sim 0.4$

Μέσος χρόνος μέχρι την πρώτη επιτυχή μετάδοση: (αναγεννητική μέθοδος, Παράρτημα)

$$A = \alpha \times 0 + (1-\alpha) \times (1+A) \Rightarrow A = 1.5 \Rightarrow A = 1.5 \times 2\rho \text{ sec} = 3\rho \text{ sec}$$

$$n_{CSMA/CD} \approx \frac{\tau}{\tau + 3 \times \rho} = \frac{1}{1 + 3\alpha} \quad (\text{θεωρητική απόδοση})$$

Πρακτικά (υποθέσεις, μη βέλτιστο  $\rho$ ),  $A = 5\rho \text{ sec}$  και επομένως :

$$n_{CSMA/CD} \approx \frac{1}{1 + 5\alpha} \quad \alpha := \frac{\rho}{\tau}$$

Σχόλιο :  $n_{CSMA/CD}$  εξαρτάται από τον κανονικοποιημένο χρόνο διάδοσης  $\alpha$

- $\alpha$  εξαρτάται από :
- (1) Το μήκος του πακέτου (επηρεάζει το  $\tau$ )
  - (2) Η ταχύτητα του δικτύου (επηρεάζει το  $\tau$ )
  - (3) Τη διάμετρο του δικτύου (επηρεάζει το  $\rho$ )

## Παράδειγμα : Υπολογισμός απόδοσης του CSMA/CD

2.5Km ομοαξονικό καλώδιο, R=10Mbps, πακέτο 650bits :

$$\rho = \frac{2500m}{2,3 \times 10^8 m/s} \approx 1,09 \times 10^{-5} s \quad \tau = \frac{620bits}{10 \times 10^6 bps} = 6,2 \times 10^{-5} s \quad \alpha = \rho/\tau \approx 0,176$$

$$n = \frac{1}{1+5\alpha} = \frac{1}{1+0,176} \approx 53\% \quad \Rightarrow 5.3 \text{ Mbps}$$

30 bytes επικεφαλίδα στο TCP/IP  $\Rightarrow (620-240)/620 = 61\%$  είναι πληροφορία χρήστη  
 $\Rightarrow 5.3 \times 0.61 = 3.2 \text{ Mbps} !$

Επίδραση ταχύτητας δικτύου : Θεωρείστε τώρα R=1Gbps

$$\tau' = \tau/100 \Rightarrow \alpha' = 100\alpha \Rightarrow n' = 1/(1+17,6) = 1/18.6 = 5,37\%$$

## Μέσος Χρόνος Πρόσβασης Μέσου

$$\beta = N(5\rho + \tau)$$

5ρ = μέσος χρόνος μέχρι την έναρξη επιτυχούς μετάδοσης

5ρ+τ = μέσος χρόνος μέχρι την ολοκλήρωση της επιτυχούς μετάδοσης

N ενεργοί κόμβοι  $\Rightarrow$  N κύκλοι μέσου μήκους 5ρ+τ μέχρι την έναρξη επόμενης επιτυχούς μετάδοσης από τον συγκεκριμένο κόμβο

Σχόλιο : β αναφέρεται σε πακέτα που περιμένουν τη μετάδοση των προηγούμενων

Για πακέτα που δεν βρίσκουν το προηγούμενο στον κόμβο  $\Rightarrow \beta/2$

Παράδειγμα : 200m συνεστρ. ζεύγη, 1000byte πακέτα, 100Mbps,

$$\rho = 0.66\mu s, \tau = 1\mu s, \text{ υποθέτοντας } N=20 \Rightarrow \beta = 33\mu s$$

## Απόδοση του IEEE 802.3

Αντί για 2p χρησιμοποιείται η χ.μ. (χρόνος μετάδοσης 512 bits = 2γ)

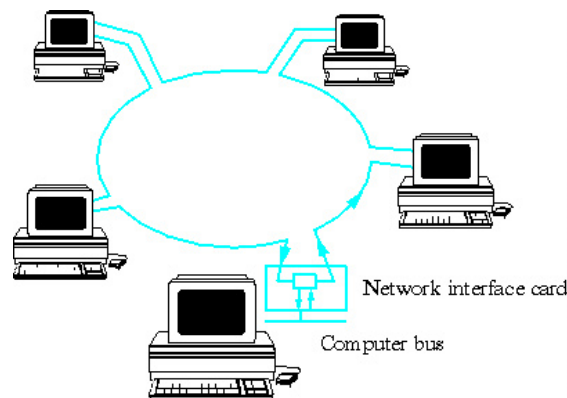
$$n_{802,3} \approx \frac{1}{1 + 5\gamma / \tau}$$

$\gamma = 216/R$  ,  $\tau = P/R$  ( $P =$  μέσο μήκος πακέτου)  $\implies \gamma/\tau = 216/P \implies$

$$n_{802,3} \approx \frac{1}{1 + 1000/P}$$

Σχόλιο :  $P = 620 \implies$  απόδοση 37%

## Δακτύλιος με κουπόνι (Token Ring)



-4Mbps / 16Mbps

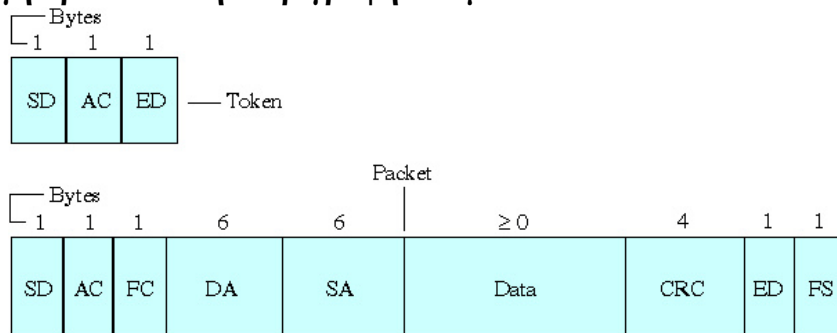
-Λήψη και επαναμετάδοση των bits / ελαστικός buffer για απορρόφηση διαφοράς ρολογιών λήψης / μετάδοσης

-MAC : Ανίχνευση και κατακράτηση του token, μετάδοση του πακέτου, αποδέσμευση του token

-token και SFD (start of frame delimiter) διαφέρουν στο τελευταίο bit  $\implies$  καθυστέρηση ενός bit για αλλαγή του token σε SFD

## Δακτύλιος με κουπόνι (Token Ring) (2)

- Μέγιστος χρόνος κατακράτησης κουπονιού (token) 10ms
- Το κουπόνι προσδιορίζεται από συγκεκριμένο AC
- Δυνατότητα προτεραιοτήτων (μέσω του AC πεδίου)
- FS : Frame Status (ενεργοποιείται από τον προορισμό / ένδειξη λήψης πακέτου)
- FC : Frame Control χρησιμοποιείται για παρακολούθηση / έλεγχο του δακτυλίου
- Διασύνδεση δικτύων με κουπόνι - Δρομολόγηση πηγής (source routing):
  - Αναζήτηση προορισμού με broadcast
  - Καταγραφή των μεταγωγών μονοπατιού έως τον προορισμό
  - Η πηγή προσθέτει την περιγραφή του μονοπατιού στο πακέτο



## Ανάλυση απόδοσης Token Ring

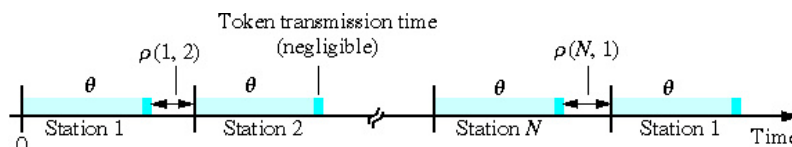
$$n_{TR} \approx \frac{1}{1 + \rho / (N\theta)}$$

- $\theta$  : μέγιστος χρόνος κατακράτησης κουπονιού
- $\rho$  : χρόνος διάδοσης σήματος στο δακτύλιο
- $N$  : αριθμός σταθμών
- Παράδειγμα :  $N=50$ ,  $\theta=10\text{ms}$ ,  $\rho=8\mu\text{s}$  (2,400m)  $\Rightarrow n_{TR} \sim 100\%$

**Ανάλυση :** Συνθήκες μεγάλου φορτίου ( $\Rightarrow$  μέγιστος χρόνος κατακράτησης κουπονιού)

- $N$  πακέτα διάρκειας  $\theta$  το καθένα σε χρονικό διάστημα  $S$

$$S = N\theta + \rho(1,2) + \dots + \rho(N,1) \approx N\theta + \rho$$



## Μέγιστος χρόνος πρόσβασης σε Token Ring

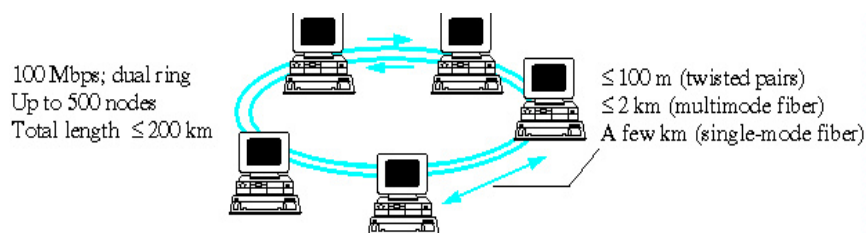
$MMAT_{TR}$  (Max Medium Access Time) - Μέγιστος χρόνος πρόσβασης στο μέσο

- Είναι πεπερασμένος, σε αντίθεση με το Ethernet
- Συνθήκες  $MMAT$  : Το πακέτο φθάνει στην αρχή της μετάδοσης του τελευταίου πακέτου πριν το κουπόνι εγκαταλείψει το σταθμό (εξάντληση  $\theta$ ) και όταν όλοι οι άλλοι σταθμοί εξαντλούν το περιθώριο τους

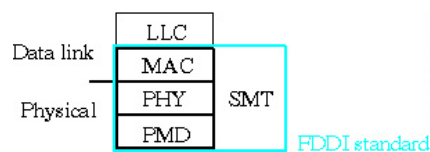
$$MMAT_{TR} = \rho + \tau + (N-1)\theta$$

- Παράδειγμα :  $N=50$  ,  $u=10ms$  ,  $\tau=0.75s$  ,  $\rho=8\mu s$   $\Rightarrow 0.49s$   
(μη αποδεκτή καθυστέρηση για εφαρμογές πραγμ. χρόνου)

## FDDI (Fiber Distributed Data Interface)



- Πλεονέκτημα ως προς το Ethernet : Αξιοπιστία , μεγαλύτερες αποστάσεις
- Μειονέκτημα : Ακριβότερο



- STM : Station management

## FDDI (2)

- PDM (Physical Dependent Medium) : Εξαρτάται από το μέσον (τύπος οπτικής ίνας ...)
- PHY : 4 bits κωδικοποιούνται σε ομάδα 5 bits (4B5B κωδικοποίηση)
- NRZI (nonreturn to zero with inversion) διαμόρφωση

PMD	Max. length, m	Medium	Transmission
Original	2000	62.5- μm/125-μm graded index fiber	1.3 μm
SMF	>2000	8-μm/125-μm single-mode fiber	1.3 μm
TP	100	Type 1 shielded TP or cat 5 UTP	4B5B

## FDDI (3) - MAC

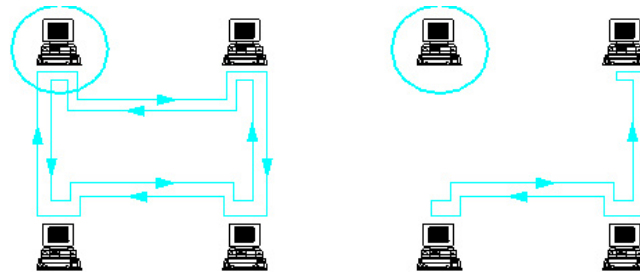
- Σύγχρονη κίνηση (για χρόνο  $S(i)$  για το σταθμό  $i$ ) / ασύγχρονη κίνηση
- TTRT (Target Token Rotation Time) : Μέγιστος συνολικός χρόνος μετάδοσης σύγχρονης κίνησης από όλους τους σταθμούς σε ένα κύκλο (=  $\sum S(i)$ )
- 2 x TTRT : Μέγιστος χρόνος ανάμεσα σε διαδοχικές αφίξεις του token σε ένα σταθμό
- Υλοποίηση με 2 χρονομετρητές :
  - TRT (Token Rotation Timer) - THT (Token Holding Timer)
- Όταν ο σταθμός  $i$  παίρνει ένα token, οι χρονομετρητές έχουν τις τιμές TRT και THT.
  - Ο σταθμός  $i$  εκτελεί τα ακόλουθα βήματα:
    - Θέτει  $THT = TTRT - TRT$  και THT αρχίζει να μειώνεται με μοναδιαίο ρυθμό.
    - Θέτει  $TRT = 0$  και TRT αρχίζει να αυξάνει με μοναδιαίο ρυθμό.
    - Εκπέμπει σύγχρονη κίνηση το πολύ για  $S(i)$  μονάδες χρόνου.
    - Εκπέμπει μη σύγχρονη κίνηση το πολύ για όσο το THT είναι θετικό.
    - Απελευθερώνει το token.
- Σχόλιο : Μεγάλο TRT => μικρό THT στον επόμενο κύκλο
- TRT  $\leq$  2 x TTRT (απόδειξη στο βιβλίο)

## FDDI (4)



Ο αποστολέας (SA) αποσύρει το πλαίσιο του από το SA και μετά. Ο επόμενος αποστολέας καθαρίζει το δακτύλιο από τα SD-FC-DA τμήματα

**Station Management (STM) :** Ανιχνεύει σφάλματα και επιδιορθώνει



Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 4 (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) -2008

31

## FDDI (5) - Ανάλυση

– $MMAT_{FDDI} \leq 2TTRT$  (σημαντικό για δυνατότητα υποστήριξης εφαρμ. πραγμ. χρόνου)  
Αρκεί να αποδειχθεί ότι  $TRT \leq 2xTTRT$  αφού  $MMAT_{FDDI} \leq \max TRT$   
(απόδειξη στο βιβλίο)

–Απόδοση FDDI :

$$n_{FDDI} = \frac{TTRT - N \times (d + \sigma) - \rho}{TTRT}$$

$\rho$  : χρόνος περιστροφής του token στον δακτύλιο

$\sigma$  : χρόνος μετάδοσης του token

$d$  : καθυστέρηση που προκαλείται από κάθε σταθμό

**Παράδειγμα : 80Km , 100Mbps , 300 σταθμοί , 16-bit καθυστέρηση/σταθμό ,  
100-bit token , 1.49 refractive index , TTRT=10ms**

$$\rho = \frac{80km}{c/1.46} = \frac{1.46 \times 80km}{3 \times 10^5 km/s} = 3.9 \times 10^{-4} s \quad \Rightarrow n_{FDDI} \sim 92.6\%$$

Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 4 (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) -2008

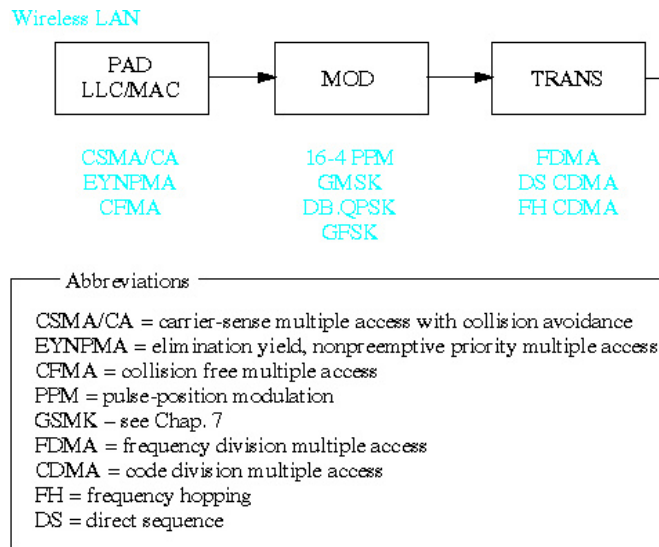
32



## Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless LANs)

- Κυβελωτά δίκτυα πακέτων (HIPERLAN (ETSI) / IEEE 802.11)
- Πακέτα μικρού μεγέθους λόγω αυξημένων σφαλμάτων στο μέσο
- MAC : συνήθως ένα Time Division Multiple Access (TDMA) σχήμα

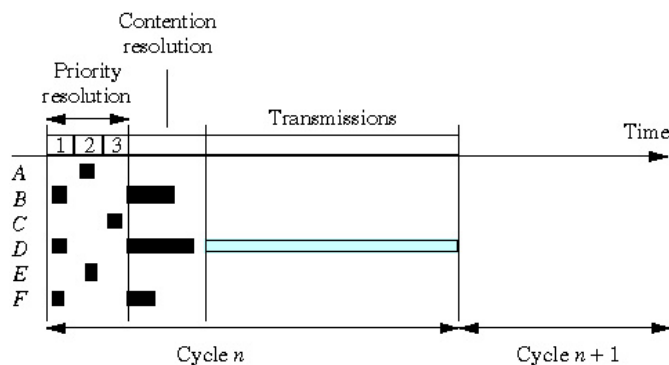
### Φυσικό επίπεδο - Ασύρματος μεταδότης :



## Hiperlan

### MAC : Elimination yield, nonpreemptive priority multiple access (NPMA)

- Λειτουργία σε κύκλους : Επίλυση (I) προτεραιοτήτων, (II) συγκρούσεων, (III) Μετάδοση
  - (I) Διάρθρωση χρόνου σε αντιστοιχία με τα επίπεδα προτεραιοτήτων / μετάδοση ένδειξης προτεραιότητας στο αντίστοιχο υποδιάστημα / ανίχνευση ύπαρξης ένδειξης μεγαλύτερης προτεραιότητας.
  - (II) Μετάδοση σήματος στοχαστικής διάρκειας / επικράτηση σήματος μεγαλύτερης διάρκειας (νικητής)
  - (III) Μετάδοση πακέτου από τον νικητή



## IEEE 802.11

MAC : Οργάνωση χρόνου σε πλαίσια - δύο φάσεις σε κάθε πλαίσιο

–(I) Φάση χωρίς ανταγωνισμό (για ελεγχόμενη καθυστέρηση) :

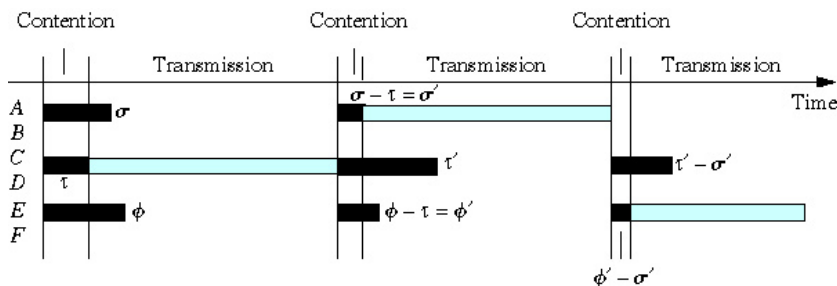
–Polling των σταθμών από έναν σταθμό / μετάδοση 1 πακέτου ανά σταθμό

–(II) Φάση με ανταγωνισμό - χρήση CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access

Collision Avoidance) : Οι μη επικρατούντες σταθμοί ελαττώνουν την αναμονή κατά τον επόμενο κύκλο κατά χρόνο ίσο με την καθυστέρηση (back off delay  $\tau$ ) του σταθμού που επεκράτησε στον προηγούμενο κύκλο

–Τάση για απόδοση “στοχαστικής” προτεραιότητας στους χρήστες με τις περισσότερες συγκρούσεις

–Απόδοση εξαρτώμενη από χρόνο διάδοσης σήματος και μήκος πακέτου



Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 4 (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) -2008

35

## ALOHA

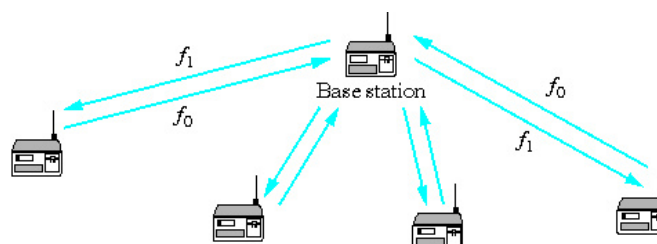
Το πρώτο πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης - U. of Hawaii - 1970's - Abramson

–ραδιοπομπούς :  $f_1=413\text{MHz}$  ,  $f_2=407\text{MHz}$ , ρυθμός 9600bps

–Δυνατότητα χρήσης με συν. ζεύγη, ομοαξ. καλ., δορυφορικές ζεύξεις.

–Πρωτόκολλο με συγκρούσεις που ανιχνεύονται (αρχική έκδοση) μέσω μη λήψης από τον αποστολέα του ack που στέλνει ο σταθμός βάσης

– Λόγω του μεγάλου χρόνου διάδοσης σήματος, ανίχνευση φέροντος και συγκρούσεων μη αποδοτική

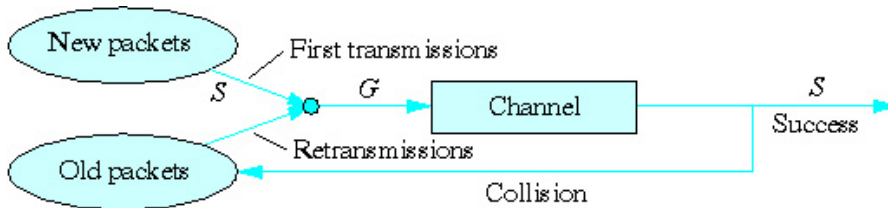


Δίκτυα Επικ. - Κεφ. 4 (Καθ. Ι. Σταυρακάκης, Τμήμα Πληροφ. & Τηλεπικ., Ε.Κ.Π.Α.) -2008

36

## Απόδοση ALOHA

- Τυχαία καθυστέρηση επαναμετάδοσης μετά από σύγκρουση
- G : συνολικός ρυθμός μεταδόσεων



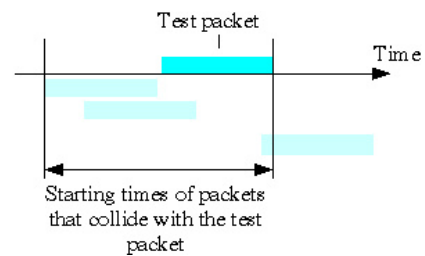
## Slotted ALOHA

- Μεταδόσεις επιτρέπονται μόνο στην αρχή χρονικών πλαισίων διάρκειας ίσης με το χρόνο μετάδοσης ενός πακέτου.
- Υπόθεση για πιθανότητα αριθμού μεταδόσεων (Poisson) :  $P(n, T) = \frac{(GT)^n}{n!} e^{-GT}$   
(T=1 σε μονάδες χρόνου μετάδοσης ενός πακέτου)
- S = G P(0,1) = G e<sup>-G</sup> ==> S<sub>max</sub> = e<sup>-1</sup> = 36%

## Pure ALOHA

- εταδόσεις επιτρέπονται οποιαδήποτε στιγμή t
- ==> σύγκρουση αν υπάρξει άλλη μετάδοση στα (t-1, t) και (t, t+1)
- Πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης :  $P(0,2) = e^{-2G}$

$$= G e^{-2G} \implies S_{\max} = 1/2e = 18\%$$



## Πρωτόκολλα με κρατήσεις

Λόγω του μικρού S<sub>max</sub> του ALOHA συνήθως χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα με κρατήσεις

## SPADE : (Πρωτόκολλο κρατήσεων για Intelsat δορυφόρους)

- 397 (αμφίδρομα) κανάλια των 64Kbps για φωνή, 1 των 128Kbps για κρατήσεις
- 50 χρονικές υποδιαίρεσεις στο κανάλι για κρατήσεις ==>  
μέχρι 50 σταθμοί μπορούν να κάνουν κράτηση για ένα κανάλι φωνής με υπόδειξη στην υποδιαίρεση που τους έχει διατεθεί
- Χρήση καναλιού φωνής σε αντιστοιχία με την σειρά της αίτησης
- Αποδέσμευση του καναλιού με υπόδειξη στην αντίστοιχη υποδιαίρεση
- Απόδοση : 397 / 398 ~ 100%

## R.ALOHA

- Slotted ALOHA για τη φάση της κράτησης / χωρίς συγκρούσεις στη φάση μετάδοσης
- Επιτυχημένες αιτήσεις οδηγούν σε μετάδοση (με σειρά επιτυχίας) πακέτων
- Για διάρκεια μετάδοσης πακέτου  $\tau$  και TRES διάρκεια της φάσης κράτησης

$$\eta_{R.ALOHA} = \frac{\tau}{\frac{TRES}{0.36} + \tau} \approx \frac{1}{1 + 2.8 \frac{TRES}{\tau}} \quad (90\% \text{ εφικτό})$$