

# Ethernet

Μιλτιάδης Αναγνώστου

22 Μαΐου 2015

1/41

Κλασσικό Ethernet

Πρωτόκολλο υποστρώματος MAC  
Επιδόσεις του κλασσικού Ethernet

Ethernet μεταγωγής  
Ταχύ Ethernet  
Gigabit Ethernet  
10 GB Ethernet

2/41

## Ethernet ή IEEE 802.3

Δύο τύπου Ethernet:

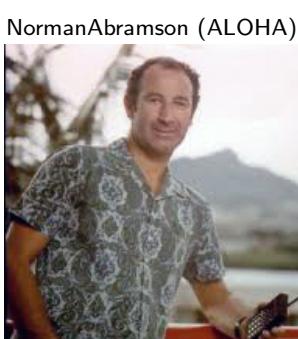
- ▶ Κλασσικό Ethernet: 3-10 Mbps
- ▶ Ethernet με μεταγωγή: 0,1-100 Gbps

3/41

## Το αρχικό κλασσικό Ethernet

- ▶ Ο Bob Metcalfe (MS MIT, PhD Harvard) γνωρίζοντας το ALOHA (Abramson κ.α., 1968), μετά την αποφοίτησή του απ' το Harvard έχοντας συνεργασθεί με τον Abramson στη Χαβάη, πήγε το 1976 στην Xerox PARC. Εκεί μαζί με τον David Boggs εφάρμοσε τη λογική του ALOHA σε ομοαξονικό καλώδιο.
- ▶ Το νέο σύστημα ονομάστηκε Ethernet.
- ▶ Χρησιμοποιήθηκε ένα μοναδικό κομμάτι από παχύ ομοαξονικό καλώδιο, στα 3 Mbps.

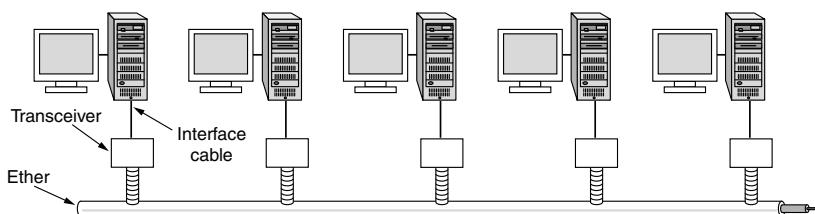
Robert Metcalfe, David Boggs (Ethernet)



4/41

## To DIX standard

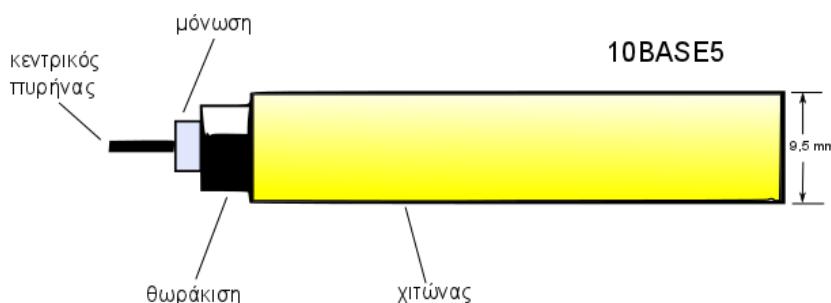
- ▶ Το 1978 μια αναβαθμισμένη στα 10 Mbps έκδοση τυποποιήθηκε ως DIX (Digital/Intel/Xerox) standard.
- ▶ Το 1983 το DIX standard έγινε δεκτό με μικρές τροποποιήσεις από το IEEE και βγήκε ως IEEE 802.3.
- ▶ Στο μεταξύ ο Metcalfe ίδρυσε τη 3Com για την παραγωγή και εμπορία προσαρμογέων δικτύου.



5/41

## Παχύ Ethernet (10BASE5)

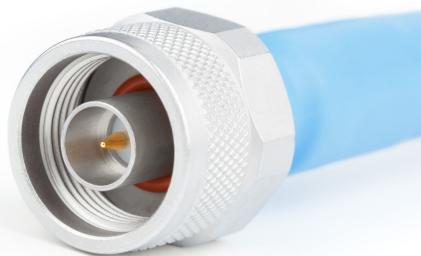
- ▶ Κίτρινο παχύ ομοαξονικό καλώδιο (RG-8/U) με σημάδια ανά 2,5 m όπου τοποθετούνται οι υπολογιστές.
- ▶ Μέγιστο μήκος καλωδίου 500 m.
- ▶ Υποστηρίζονται το πολύ 100 μηχανές.
- ▶ Ταχύτητα 10 Mbps.
- ▶ Σύνδεση με N-connector ή vampire tap.



6/41

## Type N-connector

Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση καλωδίων που εξυπηρετούν μικροκυματικές ζεύξεις. Εφευρέθηκε το 1940 από τον Paul Neill στα Bell Labs.



"Male type N connector" by Swift.Hg - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons

7/41

## Λεπτό Ethernet (10BASE2, cheapernet)

- ▶ Λεπτό ομοαξιονικό καλώδιο (RG-58A/U).
- ▶ Μέγιστο μήκος καλωδίου 180 m.
- ▶ Ύποστηρίζονται το πολύ 30 μηχανές.
- ▶ Ταχύτητα 10 Mbps.
- ▶ Σύνδεση με BNC T-connector (BNC (Bayonet Neill-Concelman) connector, 1951).
- ▶ Ήταν το συνηθισμένο μέσο δικτύωσης στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του '80.



8/41

## BNC connector

Χρησιμοποιείται για τη σύνδεση λεπτών ομοαξονικών καλωδίων στη ραδιοφωνία και στην τηλεόραση, καθώς και καλωδίων thin Ethernet (σχεδιάσθηκε από τους Paul Neill & Carl Concelman, Bell Labs).



BNC Male connector

9/41

## Λοιπές ιδιότητες του κλασσικού Ethernet

- ▶ Κάθε έκδοση του Ethernet έχει ένα μέγιστο μήκος καλωδίου ανά τμήμα.
- ▶ Μεγαλύτερα δίκτυα μπορούν να σχηματισθούν με πολλαπλά καλώδια που συνδέονται μεταξύ τους με αναμεταδότες.
- ▶ Χρησιμοποιείται κωδικοποίηση Manchester.
- ▶ Δυο μηχανές δεν απέχουν παραπάνω από 2,5 km και ανάμεσά τους είναι το πολύ 4 αναμεταδότες (λόγω πρωτοκόλλου MAC).

## Πλαίσιο MAC του κλασσικού Ethernet: Προϊόμιο

8	6	6	2	0-1500	0-46	4
Preamble	Destination address	Source address	Type	Data	Pad	Check-sum

- 8 bytes = 7 φορές  $10101010 + 10101011$  (Start of Frame).
- Η κωδικοποίηση Manchester παράγει έτσι ένα ορθογ. παλμό στα 10 MHz επί 6,4 μsec για συγχρονισμό.

11/41

## Πλαίσιο MAC του κλασσικού Ethernet: Διεύθυνση προορισμού

8	6	6	2	0-1500	0-46	4
Preamble	Destination address	Source address	Type	Data	Pad	Check-sum

- 6 bytes, το πρώτο bit είναι 0 για συνηθισμένες διευθύνσεις και 1 για ομαδικές (multicasting).
- Η διεύθυνση 1111...1 υποδηλώνει εκπομπή προς όλους (broadcasting).

12/41

## Πλαίσιο MAC του κλασσικού Ethernet: Διεύθυνση πηγής

Preamble	Destination address	Source address	Type	Data	Pad	Check-sum
8	6	6	2	0-1500	0-46	4

Η διεύθυνση πηγής, είναι μοναδική ως εξής:

- Τα πρώτα 3 bytes αποτελούν OUI - Organizationally Unique Identifier, που εκχωρεί το IEEE στον κάθε κατασκευαστή.
- Τα επόμενα τρία δίνονται με μοναδικό τρόπο σε κάθε νέο NIC - network interface controller.

13/41

## Πλαίσιο MAC του κλασσικού Ethernet: Τύπος

Preamble	Destination address	Source address	Type	Data	Pad	Check-sum
8	6	6	2	0-1500	0-46	4

- 2 bytes που στο Ethernet υποδηλώνουν τον τύπο του πρωτοκόλλου του επιπέδου δικτύου, στο οποίο θα περάσει το περιεχόμενο του πεδίου δεδομένων (π.χ. 0x0800 = IPv4).
- Στο IEEE 802.3 είναι το μήκος πλαισίου. Ο τύπος υποχώρησε μέσα στα data σε δύο από 8 bytes.
- Τελικά το 1997 το IEEE δέχθηκε αμφότερες τις εκδοχές: Αν η τιμή είναι  $< 0x600$  ( $= 6 \times 16^2 = 1536$ ) σημαίνει μήκος, αλλιώς τύπο.

14/41

## Παράδειγμα: Μια 10BASE-T Ethernet card



15/41

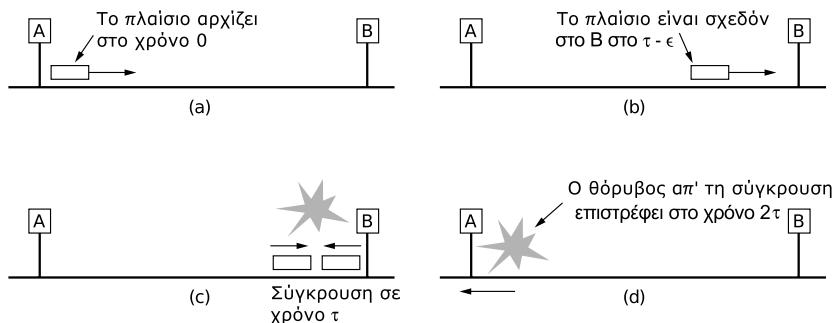
## Πλαίσιο MAC του κλασσικού Ethernet: Λοιπά πεδία

8	6	6	2	0-1500	0-46	4
Preamble	Destination address	Source address	Type	Data	Pad	Check-sum

- ▶ Δεδομένα (Data):
  - Το πολύ 1500 bytes
  - Το μέγεθος ορίσθηκε για να μην υπάρχουν υπερβολικές απαιτήσεις μνήμης RAM στον πομποδέκτη.
- ▶ Γέμισμα (Pad):
  - Αν τα Data είναι λιγότερα από 46 bytes το υπόλοιπο γεμίζεται από το Pad.
  - Το ελάχιστο μήκος συνδέεται με την ανίχνευση σύγκρουσης.
- Άρα τα νόμιμα πλαίσια έχουν μετά το preamble το λιγότερο  $6+6+2+46+4=64$  bytes.
- ▶ Έλεγχος λαθών (Checksum): 32 bit CRC.

16/41

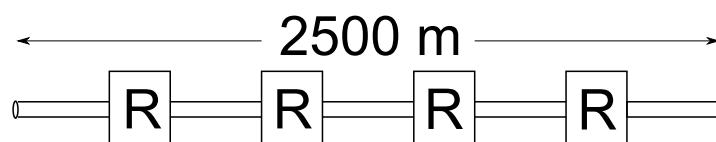
## Μήκος πλαισίου για ανίχνευση συγκρούσεων



- Όταν σημειωθεί σύγκρουση ο σταθμός B γεννάει θόρυβο για να ειδοποιήσει τους άλλους σταθμούς (c).
- Ο θόρυβος γίνεται αντιληπτός από τον A σε χρόνο  $2\tau$  (d).
- Αν η μετάδοση του πλαισίου από τον A τελειώσει πριν την άφιξη του θορύβου, ο A θα θεωρήσει τη μετάδοση σωστή, άρα ένα πλαίσιο πρέπει να έχει διάρκεια  $> 2\tau$ .
- Με τις παραμέτρους του Ethernet αυτό αντιστοιχεί σε 500 bits, έχει ορισθεί ελάχιστο μήκος 512 (64 bytes).

17/41

## Τιμολογισμός του ελαχίστου μήκους πλαισίου



- Η απόσταση των  $2 \times 2500$  m για να καλυφθεί από ένα σήμα που διαδίδεται με ταχύτητα  $0.77c$  χρειάζεται

$$\frac{2 \times 2500}{0.77 \times 3 \times 10^8} = 21.64 \text{ μsec}$$

- Στα 10 Mbps η μετάδοση ενός bit χρειάζεται 0.1 μsec
- Άρα μη λαμβανομένων υπόψη των επαναληπτών χρειάζονται 217 bits
- Στο Ethernet-DIX [The Ethernet, Version 2.0] υπολογίζεται και η συμβολή των επαναληπτών με το τελικό αποτέλεσμα να ανεβαίνει γύρω στα 500 bits.

18/41

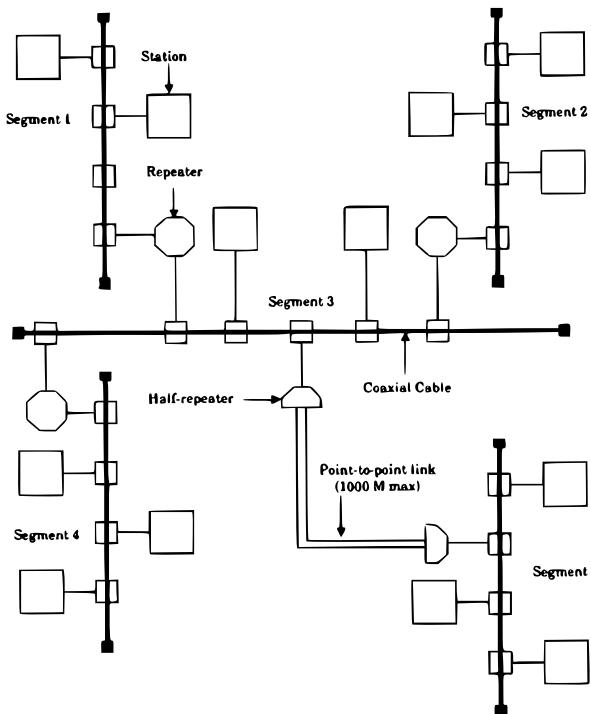


Table 7-1: Physical Channel Propagation Delay Budget (Note 1)

Element	Unit Steady-State Delay	Unit Startup Delay	# Units Forward Path (Note 2)	# Units Return Path	Total Delay
Encoder	0.1 $\mu$ s	0.1 $\mu$ s	5	5	2.0 $\mu$ s
Transceiver Cable	5.13 ns/M	0	300 M	300 M	3.08 $\mu$ s
Transceiver (transmit path)	0.05 $\mu$ s	0.30 $\mu$ s	3	3	2.10 $\mu$ s
Transceiver (receive path)	0.05 $\mu$ s	0.80 $\mu$ s	3	0	1.95 $\mu$ s
Transceiver (collision path)	0	0.9 $\mu$ s	0	3	2.70 $\mu$ s
Coaxial Cable	4.33 ns/M	0	1500 M	1500 M	12.99 $\mu$ s
Point-to-Point Link Cable	5.13 ns/M	0	1000 M	1000 M	10.26 $\mu$ s
Point-to-Point Link Driver	0.10 $\mu$ s	0	2	2	0.40 $\mu$ s
Point-to-Point Link Receiver	0.10 $\mu$ s	0	2	2	0.40 $\mu$ s
Repeater (repeat path)	0.2 $\mu$ s	0.4 $\mu$ s	2	0	1.20 $\mu$ s
Repeater	0.2 $\mu$ s	0.2 $\mu$ s	0	2	0.80 $\mu$ s
Carrier Sense	0	0.2 $\mu$ s	5	0	1.0 $\mu$ s
Collision Detect	0	0.2 $\mu$ s	0	5	1.0 $\mu$ s
Signal Rise Time (to 70% in 500 M) (Note 3)	0	0.1 $\mu$ s	3	0	0.30 $\mu$ s
Signal Rise Time (50% to 94% in 500 M) (Note 4)	0	2.0 $\mu$ s	0	3	6.0 $\mu$ s
Collision Fragment Timer Tolerance	0	0.2 $\mu$ s	0	1	0.2 $\mu$ s
Total Worst-Case Round-Trip Delay					46.38 $\mu$ s

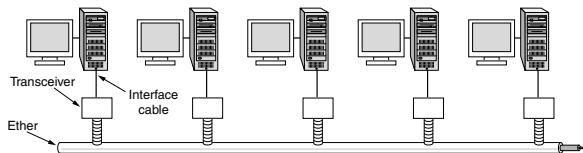
Πηγή: *The Ethernet, Version 2.0*, Digital-Intel-Xerox, November, 1982.

19/41

## CSMA/CD με δυαδική εκθετική υπαναχώρηση

- ▶ Το κλασσικό Ethernet χρησιμοποιεί CSMA/CD με επιμονή 1.
- ▶ Μετά από μια σύγκρουση ο χρονος διαιρείται σε σχισμές μήκους  $2\tau$  (= μέγιστος χρόνος διάδοσης στον αιθέρα με επιστροφή).
- ▶ Μετά την πρώτη σύγκρουση κάθε σταθμός στέλνει στη σχισμή 0 ή 1 με ίση πιθανότητα.
- ▶ Μετά τη  $n$ -οστή σύγκρουση στέλνει σε μια από  $2^n$  σχισμές.
- ▶ Μετά από 10 συγκρούσεις οι σχισμές παραμένουν στο  $2^{10}$ .
- ▶ Μετά από 16 συγκρούσεις η προσπάθεια σ' αυτό το επίπεδο τερματίζεται.

## Επιδόσεις, σελ. I



- ▶ Ας υποτεθούν  $k$  σταθμοί.
- ▶ Ας υποτεθεί σταθερή πιθανότητα  $p$  μετάδοσης/αναμετάδοσης ανά σχισμή.
- ▶ Η πιθανότητα μιας επιτυχημένης μετάδοσης σε μια σχισμή είναι

$$A = kp(1 - p)^{k-1}$$

21/41

## Επιδόσεις, σελ. II

- ▶ Θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε την  $A$  ως προς  $p$  θέτοντας  $\partial A / \partial p = 0$ , όπου

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial p} &= k(1 - p)^{k-1} + kp(k - 1)(1 - p)^{k-2}(-1) \\ &= k(1 - p)^{k-2}(1 - p - kp + p) = k(1 - p)^{k-2}(1 - kp) \end{aligned}$$

- ▶ Άρα το  $A$  μεγιστοποιείται για  $p = 1/k$ :

$$A_{\max} = \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{k-1} \rightarrow \frac{1}{e}$$

- ▶ Το διάστημα ανταγωνισμού, δηλ. το διάστημα μέχρι να περάσει μια μετάδοση, έχει μήκος  $N$  (σχισμές) όπου

$$\Pr\{N = j\} = (1 - A)^{j-1} A, \quad (j = 1, 2, \dots)$$

22/41

## Επιδόσεις, σελ. III

- ▶ Άρα η μέση του τιμή είναι

$$E\{N\} = \sum_{j=1}^{\infty} j \Pr\{N=j\} = \frac{1}{A}$$

- ▶ Δεδομένου ότι κάθε σχισμή έχει διάρκεια  $2\tau$ , το διάστημα ανταγωνισμού έχει μέσο μήκος  $2\tau E\{N\}$ .
- ▶ Άρα η απόδοση του καναλιού όταν ο χρόνος μετάδοσης ενός πλαισίου είναι  $P$ , είναι

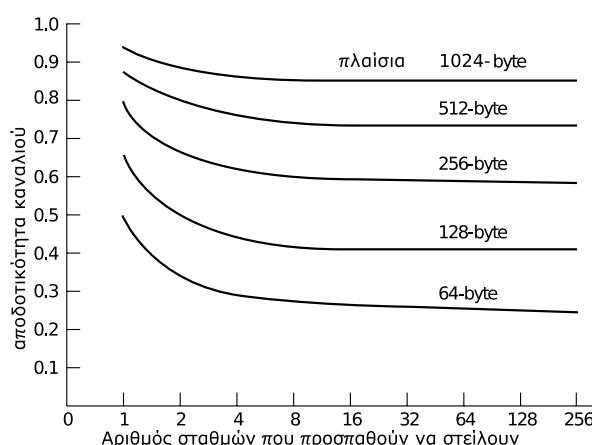
$$\eta = \frac{P}{P + 2\tau E\{N\}} = \frac{P}{P + 2\tau/A} = \frac{1}{1 + \frac{2\tau}{AP}} = \frac{1}{1 + \frac{2LB}{AFc}}$$

όπου  $\tau = L/c$ ,  $L$  το μήκος του καλωδίου,  $c$  η ταχύτητα διάδοσης στο μέσο και  $P = F/B$ ,  $F$  το μήκος πλαισίου,  $B$  ο ρυθμός μετάδοσης.

23/41

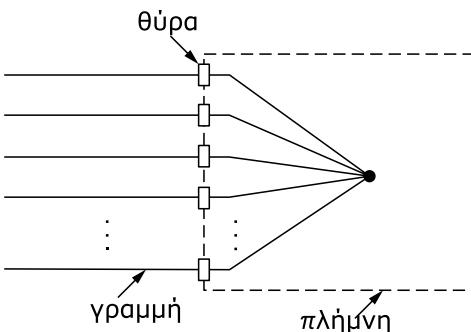
## Αριθμητικό παράδειγμα

Για πεπερασμένο πλήθος σταθμών  $k$ , βέλτιστο  $p = 1/k$ , άρα  $A = (1 - 1/k)^{k-1}$ ,  $2\tau = 51,2$  μsec,  $B = 10$  Mbps, προκύπτει το σχήμα:



24/41

## Τοπολογία πλήμνης (hub)

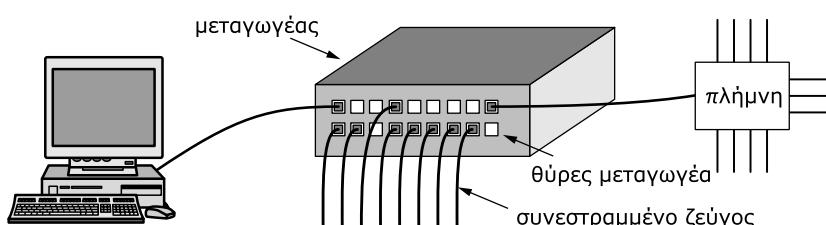


- ▶ Η επανάχρηση της υπάρχουσας τηλεφωνικής καλωδίωσης (συνεστρ. ζεύγη) και το ότι η προσθαφαίρεση σταθμού απλοποιείται οδήγησαν στην τοπολογία του σχήματος.
- ▶ Το μέγιστο μήκος κλάδου ήταν 100 m ή 200 με ζεύγος κατηγορίας 5 (Cat 5).
- ▶ Το κύκλωμα είναι λογικά ίδιο με το απλό καλώδιο. Η βελτίωση των επιδόσεων με απλή αύξηση της ταχ. μετάδοσης δεν είναι δυνατή.

25/41

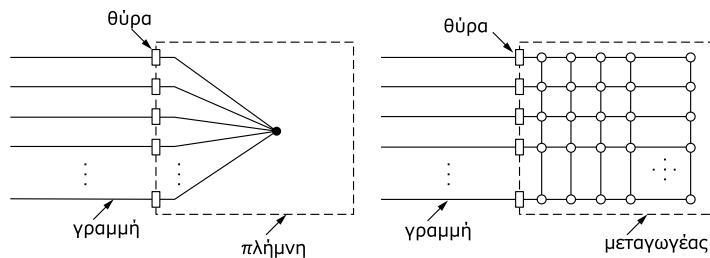
## Ethernet μεταγωγής

- ▶ Η αύξηση της ταχύτητας υπολογιστών σε καλωδιωμένα κτήρια επιτυγχάνεται πλέον με χρήση του «Ethernet μεταγωγής» switched Ethernet.
- ▶ Το Ethernet μεταγωγής δεν είναι σύστημα πολλαπλής πρόσβασης, δεν υπάρχουν συγκρούσεις, ούτε πρωτόκολλο επίλυσης συγκρούσεων.
- ▶ Χρησιμοποιείται ένας κεντρικός μεταγωγέας ενώ το format των πλαισίων παραμένει αυτό του Ethernet.



26/41

## Η διαφορά μεταξύ μεταγωγέα και πλήμνης



- ▶ Στο μεταγωγέα δεν υπάρχουν συγκρούσεις, ούτε πρωτόκολλο επίλυσης συγκρούσεων, επομένως δεν εφαρμόζονται οι περιορισμοί για μήκος πακέτου, μήκος καλωδίου κ.λπ.
- ▶ Ταυτόχρονες μεταδόσεις είναι πλέον δυνατές ανάμεσα σε διαφορετικά ζεύγη σταθμών.
- ▶ Ο διαχωρισμός της κίνησης βελτιώνει την ασφάλεια.
- ▶ Η εσωτερική δομή του μεταγωγέα δεν χρειάζεται τυποποίηση και υλοποιείται όπως επιθυμεί ο κατασκευαστής.

27/41

## Ταχύ Ethernet (IEEE 802.3u)

- ▶ Διατηρούνται η μορφή του πλαισίου και οι διαδικαστικοί κανόνες.
- ▶ Μειώνεται ο χρόνος μετάδοσης bit από 100 nsec σε 10 nsec.
- ▶ Χρησιμοποιούνται μόνο πλήμνες και μεταγωγές.
- ▶ Χρησιμοποιούνται συνεστραμμένα ζεύγη σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps (Cat 5 UTP)
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

28/41

Περιεχόμενα  
Κλασσικό Ethernet  
Ethernet μεταγωγής

Ταχύ Ethernet  
Gigabit Ethernet  
10 GB Ethernet

## 100BASE-T4

- ▶ Ταχύτητα σηματοδοσίας 20 MHz (25% μεγαλύτερη απ' το κλασσικό Ethernet),
- ▶ στέλνει τετραδικά ψηφία σε 3 στάθμες τάσης.
- ▶ Χρησιμοποιεί 4 ζεύγη, από ένα αφιερωμένο σε κάθε κατεύθυνση και τα άλλα δύο μεταβαλλόμενης κατεύθυνσης.



29/41

Περιεχόμενα  
Κλασσικό Ethernet  
Ethernet μεταγωγής

Ταχύ Ethernet  
Gigabit Ethernet  
10 GB Ethernet

## 100BASE-TX

- ▶ Χρησιμοποιεί κωδικοποίηση 4B/5B (4 bits δεδομένων ανά πεντάδα) στα 125 MHz ώστε να προκύψει ταχύτητα 100 Mbps.
- ▶ Χρησιμοποιεί 2 ζεύγη, από ένα αφιερωμένο σε κάθε κατεύθυνση.



30/41

## 100BASE-FX

- ▶ Χρησιμοποιεί ένα καλώδιο με δύο οπτικές ίνες, μία για κάθε κατεύθυνση, στα 100 Mbps.
- ▶ Η απόσταση σταθμού - μεταγωγέα μπορεί να είναι 2 km.

31/41

## Το θέμα της μέγιστης απόστασης σε πλήμνη

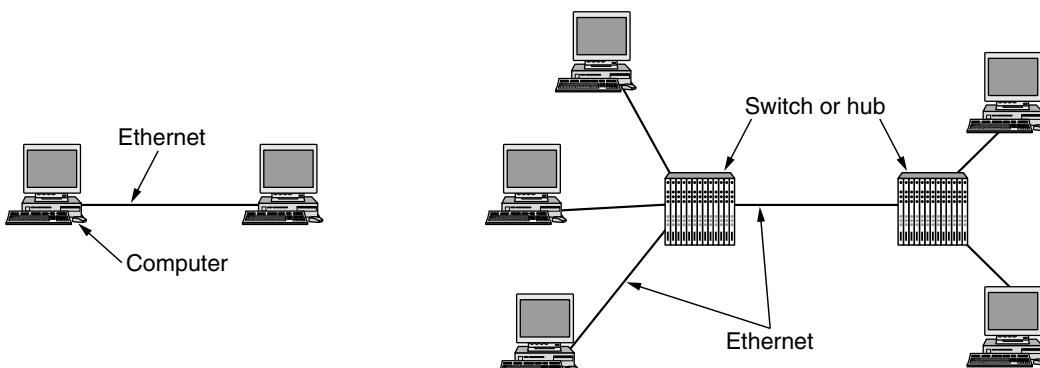
- ▶ Δεδομένου ότι στο ταχύ Ethernet επιτρέπεται και η πλήμνη, η χρήση του CSMA/CD επιβάλλει το γνωστό περιορισμό απόστασης.
- ▶ Η μέγιστη απόσταση όμως είναι υποδεκαπλασιασμένη λόγω του 10-πλασιασμού της ταχύτητας, δηλ. το πολύ 250 m αντί των 2500 m, που ούτως ή άλλως καλύπτεται από τον περιορισμό των 100 m.
- ▶ Στην περίπτωση των 2 km του 100BASE-FX επιτρέπεται μόνο μεταγωγέας.

32/41

## Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ab, 1999)

Προδιαγραφές:

- ▶ Δεκαπλασιάσμός της ταχύτητας από το προηγούμενο πρότυπο.
- ▶ Ύπηρεσία datagram, unicast & broadcast
- ▶ Διευθύνσεις 48 bit
- ▶ ίδιο μήκος πλαισίου.



33/41

## Gigabit Ethernet: Τρόποι λειτουργίας

Όπως και το ταχύ Ethernet, το Gigabit Ethernet υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας:

- ▶ “Full duplex”, δηλαδή Ethernet μεταγωγής και
- ▶ “Half duplex”, δηλαδή Ethernet σε πλήμνη με CSMA/CD.

Η δεύτερη επιλογή μειώνει την μέγιστη απόσταση μεταξύ σταθμών σε 25 m. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται με τους δύο τρόπους που αναφέρονται στη συνέχεια.



34/41

## Λύση 1: Παραγέμισμα φέροντος (carrier padding)

- ▶ Ο αποστολέας προσθέτει όσα bytes χρειάζονται για να γίνουν 512 bytes.
- ▶ Ο παραλήπτης τα αφαιρεί αντίστοιχα.
- ▶ Όμως η απόδοση του καναλιού πέφτει κάτω από το  $46/512 \simeq 9\%$

35/41

## Λύση 2: Μετάδοση πλαισίων κατά ριπές (frame bursting)

- ▶ Μια ακολουθία διαδοχικών πλαισίων εκπέμπεται ώστε να είναι συνεχόμενα, δηλαδή σαν ένα πλαίσιο.
- ▶ Αν το μέγεθος πάλι δεν ξεπεράσει τα 512 bytes ακολουθεί παραγέμισμα.

36/41

## Καλωδιώσεις

Οι δυνατές καλωδιώσεις με τους αντίστοιχους περιορισμούς φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 $\mu$ ) or multimode (50, 62.5 $\mu$ )
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP



37/41

## Κωδικοποίηση

- ▶ Χρησιμοποιείται NRZ 8B/10B δανεισμένη από το Fiber Channel.
- ▶ Προφανώς αυτό αυξάνει τα απαιτούμενα bits κατά 25%.
- ▶ Ένα πιο περίπλοκο σχήμα κωδικοποίησης PAM με 5 στάθμες χρησιμοποιείται στο 1000Base-T με χρήση και των 4 ζευγών του UTP Cat 5.

38/41

## Έλεγχος ροής και πλαίσια Jumbo

- ▶ Η αυξημένη ταχύτητα του Gigabit Ethernet προκαλεί υπερχειλίσεις καταχωρητών.
- ▶ Για να αποφευχθούν διατίθεται έλεγχος ροής μέσω του πλαισίου PAUSE.
- ▶ Το πλαισίο PAUSE έχει τύπο 0x8808 και περιγράφει μια παύση σε πολλαπλάσια της σχισμής (= 512 nsec), ως 33,6 msec.
- ▶ Jumbo frames: Εκτός προτύπου (που έχει όριο τα 1500 bytes) έχουν καθιερωθεί πλαίσια μέχρι 9000 bytes.

39/41

## 10 GB Ethernet

Name	Cable	Max. segment	Advantages
10GBase-SR	Fiber optics	Up to 300 m	Multimode fiber (0.85μ)
10GBase-LR	Fiber optics	10 km	Single-mode fiber (1.3μ)
10GBase-ER	Fiber optics	40 km	Single-mode fiber (1.5μ)
10GBase-CX4	4 Pairs of twinax	15 m	Twinaxial copper
10GBase-T	4 Pairs of UTP	100 m	Category 6a UTP

40/41

## Βιβλιογραφία

-  Robert M. Metcalfe and David R. Boggs, “Ethernet: distributed packet switching for local computer networks”, Commun. ACM, Vol. 26, Issue 1, pp. 90-95, January 1983).
-  The Ethernet, Version 2.0, Digital-Intel-Xerox, November, 1982. <http://decnet.ipv4.net/docs/dundas/aa-k759b-tk.pdf>

Τελευταία μεταβολή στις 19 Ιουνίου 2015, 10:22.