

Δίκτυα Υπολογιστών I

Δίκτυα άμεσου συνδέσμου: Μέρος Β'



Ευάγγελος Παπαπέτρου

Τμ. Μηχ. Η/Υ & Πληροφορικής, Παν. Ιωαννίνων

1 Δίκτυα Ethernet

- Φυσικές ιδιότητες
- Πλαισίωση και διευθύνσεις
- Μηχανισμός πρόσβασης με ακρόαση φέροντος



Διάρθρωση

1 Δίκτυα Ethernet

- Φυσικές ιδιότητες
- Πλαισίωση και διευθύνσεις
- Μηχανισμός πρόσβασης με ακρόαση φέροντος



Εισαγωγή (1/2)

- Το Ethernet αποτελεί την πλέον επιτυχημένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση τοπικών δικτύων
 - ▶ ανήκει στην κατηγορία δικτύων πολλαπλής πρόσβασης με ανταγωνισμό
 - ▶ αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1970 από την Xerox
 - ▶ το 1978 οι εταιρείες Xerox και Intel καθόρισαν μια έκδοση του Ethernet που λειτουργούσε στα 10 Mbps
- Βασικές καινοτομίες για την πολλαπλή πρόσβαση σε ένα σύνδεσμο:
 - ▶ ανίχνευση (ή ακρόαση) φέροντος σήματος (carrier sense, CS)
 - οι κόμβοι μπορούν να διακρίνουν αν ο σύνδεσμος είναι αδρανής ή αν υπάρχει κάποια μετάδοση (κατειλημμένος σύνδεσμος)
 - ▶ ανίχνευση συγκρούσεων (collision detection, CD)
 - ένας κόμβος μπορεί να καταλάβει αν ένα πλαίσιο που μεταδίδει έχει υποστεί σύγκρουση



Εισαγωγή (2/2)

- Ο οργανισμός IEEE επέκτεινε το Ethernet και εξέδωσε το **πρότυπο IEEE 802.3**
 - ▶ το πρότυπο προδιαγράφει τις **φυσικές ιδιότητες** του δικτύου αλλά και τον **μηχανισμό πολλαπλής πρόσβασης**
 - ▶ το πρότυπο επιτρέπει την δικτύωση με τις βασικές αρχές του Ethernet σε **μεγαλύτερες ταχύτητες** και χρησιμοποιώντας μια **μεγαλύτερη συλλογή φυσικών μέσων**
 - ▶ περιλαμβάνονται εκδόσεις με ταχύτητες 100 Mbps (**Fast Ethernet**) και 1 Gbps (**Gigabit Ethernet**)

IEEE 802.3 vs Ethernet

⇒ Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν μικρές διαφορές του προτύπου IEEE 802.3 και του Ethernet, το IEEE 802.3 επέκτεινε την βασική λειτουργία του Ethernet και θεωρείται υπερσύνολο αυτού



Διάρθρωση

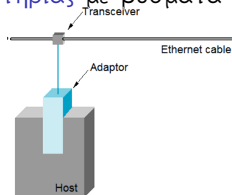
1 Δίκτυα Ethernet

- Φυσικές ιδιότητες
- Πλαισίωση και διευθύνσεις
- Μηχανισμός πρόσβασης με ακρόαση φέροντος



Τοπολογίες (1/3)

- Το Ethernet υλοποιείται από **τμήματα ομοαξωνικού καλωδίου**
 - ▶ τα τμήματα του ομοαξωνικού πρέπει να έχουν μήκος μέχρι 500 μέτρα
 - ▶ τα δίκτυα με αυτά τα χαρακτηριστικά ονομάζονται 10Base5 και το ομοαξωνικό καλώδιο *μεγάλης διαμέτρου (thick-net)*
- Οι κόμβοι συνδέονται στο καλώδιο σε **τοπολογία αρτηρίας με βύσματα**
 - ▶ οι υπολογιστές πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση τουλάχιστον 2.5m
 - ▶ ο **πομποδέκτης (transceiver)** *εκπέμπει και λαμβάνει* ένα σήμα
 - ▶ στον **προσαρμογέα (adaptor)** υλοποιούνται οι μηχανισμοί του Ethernet



⇒ Συμβολισμός 10Base5: 10 → ταχύτητα 10Mbps, Base → δίκτυο *βασικής ζώνης*, 5 → τμήματα καλωδίου μέχρι 500 m

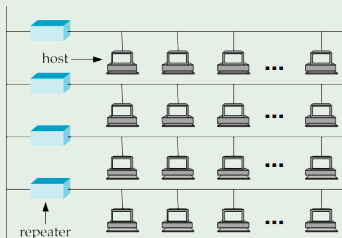
⇒ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί καλώδιο *μικρής διαμέτρου (thin-net)* με μήκος μέχρι 200 m (10Base2) όπου οι κόμβοι συνδέονται στο καλώδιο με μια *ένωση T (T-joint)*

Τοπολογίες (2/3)

- Πολλά τμήματα Ethernet μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους με επαναλήπτες (repeaters)
 - ▶ ένας επαναλήπτης προωθεί ένα ψηφιακό σήμα από ένα καλώδιο στο άλλο
 - ▶ μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι 4 επαναλήπτες μεταξύ δύο οποιονδήποτε κόμβων
 - μέγιστη έκταση ενός δικτύου Ethernet = 2500m
 - ▶ μπορούν να διασυνδεθούν μέχρι 1024 υπολογιστές υπηρεσίας

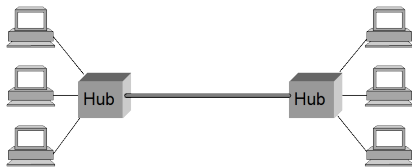
Διασύνδεση Ethernet με επαναλήπτες

Μεταξύ δύο οποιωνδήποτε υπολογιστών υπηρεσίας μεσολαβούν δύο επαναλήπτες



Τοπολογίες (3/3)

- Σε δίκτυα Ethernet μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν τμήματα καλωδίου τύπου **συνεστραμμένου ζεύγους (twisted pair)**
 - ▶ τα τμήματα πρέπει να έχουν μήκος μέχρι 100 μέτρα
 - ▶ τα δίκτυα αυτής της τεχνολογίας ονομάζονται 10BaseT
 - ▶ με καλώδια συνεστραμμένου ζεύγους μπορούν να λειτουργήσουν και δίκτυα Ethernet 100Mbps και 1Gbps
- Οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους σε τοπολογία **αστέρα** μέσω **διακλαδωτήρων (hubs)**
 - ▶ ο διακλαδωτήρας λειτουργεί ως ένας **πολύδρομος επαναλήπτης**
 - ▶ οι διακλαδωτήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διασυνδέσουν πολλά τμήματα Ethernet
 - η διασύνδεση τμημάτων δεν είναι εφικτή σε δίκτυα 1Gbps



Εκδόσεις Ethernet

- Το πρότυπο IEEE 802.3 προδιαγράφει διαφορετικούς τύπους δικτύων Ethernet
 - ▶ χρησιμοποιούνται φυσικά μέσα όπως οι οπτικές ίνες ή θωρακισμένα συνεστραμμένα ζεύγη
 - ▶ ταχύτητες 100Mbps (**Fast Ethernet, 802.3u**) και (**Gigabit Ethernet, 802.3z**)

Όνομα	Καλώδιο	Μέγιστο Τμήμα(m)	Πλεονέκτημα/Μειονέκτημα
10Base5	Παχύ ομοαξωνικό	500	είναι πλέον απαρχαιωμένο
10Base-T	Σύστροφο ζεύγος	100	φθηνότερο
10Base-F	Οπτική Ίνα	2000	καλύτερο μεταξύ κτιρίων
100Base-T4	Σύστροφο ζεύγος	100	UTP κατηγορίας 3
100Base-FX	Οπτική ίνα	2000	μεγάλες αποστάσεις, πλήρως αμφίδρομο
1000Base-T	4 ζεύγη UTP	100	τοπικό καλώδιο UTP κατηγορίας 5
1000Base-CX	2 ζεύγη STP	25	θωρακισμένο καλώδιο
1000Base-LX	Οπτική ίνα	5000	μεγάλες αποστάσεις



Διάδοση σήματος

- Σε ένα δίκτυο Ethernet, το σήμα από έναν υπολογιστή **λαμβάνεται από όλους τους άλλους υπολογιστές**
 - ▶ η ιδιότητα αυτή είναι θεμελιώδης για ένα δίκτυο *άμεσου συνδέσμου*
- Στην τοπολογία αρτηρίας το σήμα απορροφάται από τους **τερματισμούς του καλωδίου**
 - ▶ το σήμα δεν πρέπει να ανακλάται ώστε να μην δημιουργείται παρεμβολή με επακόλουθα σήματα
- Στο φυσικό επίπεδο χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση Manchester

Περιοχή συγκρούσεων (collision domain)

Η περιοχή στην οποία κάθε κόμβος λαμβάνει τα σήματα όλων των άλλων κόμβων του δικτύου και επομένως μπορεί να προκύψουν παρεμβολές μεταξύ διαφορετικών σημάτων (συγκρούσεις πακέτων αν το δίκτυο χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτου)



Διάρθρωση

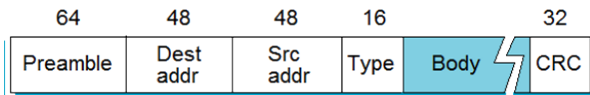
1 Δίκτυα Ethernet

- Φυσικές ιδιότητες
- Πλαισίωση και διευθύνσεις
- Μηχανισμός πρόσβασης με ακρόαση φέροντος



Πλαισίωση (1/3)

- Τα δεδομένα σε ένα δίκτυο Ethernet διακινούνται με τη μορφή πλαισίων
- Κάθε πλαίσιο αποτελείται από:
 - ▶ το προοίμιο (preamble), 8 bytes: μια ακολουθία από 0 και 1 που βοηθά στο συγχρονισμό του παραλήπτη
 - ▶ δύο πεδία διευθύνσεων, 6 bytes: χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της διεύθυνσης του παραλήπτη και του αποστολέα
 - ▶ το πεδίο τύπος (type), 2 bytes: προσδιορίζει το πρωτόκολλο ανώτερου επιπέδου (από τα πολλά πιθανά) στο οποίο πρέπει να παραδοθεί το πλαίσιο (κλειδί αποπολύπλεξης)
 - ▶ το ωφέλιμο φορτίο (payload ή body), 46-1500 bytes: περιέχει τα δεδομένα
 - ▶ τον κώδικα CRC, 4 bytes: χρησιμοποιείται για την ανίχνευση σφαλμάτων



Πλαισίωση (2/3)

- Το Ethernet, ως προς την πλαισίωση, είναι **προσανατολισμένο σε bit**
 - ▶ χρησιμοποιεί συμπλήρωση με bit
- Ο προσαρμογέας δημιουργεί (και αφαιρεί στη λήψη) το προοίμιο και τον κώδικα CRC
 - ▶ ο υπολογιστής υπηρεσίας αντιλαμβάνεται μόνο τα υπόλοιπα πεδία
- Κάθε πλαίσιο έχει ένα **ελάχιστο** και ένα **μέγιστο μέγεθος (maximum transmission unit, MTU)**
 - ▶ ελάχιστο μέγεθος (64 bytes χωρίς το προοίμιο - 46 bytes payload)
 - απαιτείται ώστε να είναι δυνατή η **ανίχνευση των συγκρούσεων**
 - σε περίπτωση που το ωφέλιμο φορτίο είναι μικρότερο από 46 bytes, τότε ο αποστολέας **συμπληρώνει (pad)** με τυχαία δεδομένα μέχρι τα 46 bytes
 - ▶ μέγιστο μέγεθος (1514 bytes χωρίς το προοίμιο και τον CRC κώδικα)
 - απαραίτητο ώστε κάθε κόμβος να απασχολεί τον σύνδεσμο για **περιορισμένο χρονικό διάστημα**



Πλαισίωση (3/3)

- Το πρότυπο IEEE 802.3 προδιαγράφει ένα παρόμοιο πλαίσιο
 - ▶ το πεδίο type αντικαθίσταται από ένα πεδίο **μέγεθος (size)** που έχει μέγεθος επίσης 2 bytes και περιέχει το μέγεθος του ωφέλιμου φορτίου
 - ▶ το πεδίο type ενσωματώνεται ως το πρώτο πεδίο στο ωφέλιμο φορτίο
- Ένας υπολογιστής μπορεί να λειτουργήσει και με τις δύο μορφές πλαισίου
 - ▶ αν η τιμή του πεδίου type (ή size) είναι μεγαλύτερη από 1500 τότε ερμηνεύεται ως τύπος
 - το Ethernet χρησιμοποιεί τιμές μεγαλύτερες από 1500 για να δηλώσει ένα πρωτόκολλο ανώτερου επιπέδου
 - ▶ αν η τιμή του πεδίου type (ή size) είναι μικρότερη από 1500 τότε ερμηνεύεται ως μέγεθος
 - το ωφέλιμο φορτίο ενός πλαισίου δεν είναι ποτέ μεγαλύτερο από 1500 bytes

⇒ Στην πράξη συνήθως χρησιμοποιείται η δομή πλαισίου που καθορίστηκε από τις εταιρείες Xerox και Intel

Διευθύνσεις και λήψη δεδομένων (1/2)

- Οι διευθύνσεις σε ένα δίκτυο Ethernet έχουν μέγεθος 48 bit (6 bytes)
 - ▶ κάθε διεύθυνση **προσδιορίζει ένα προσαρμογέα δικτύου**
 - ▶ κάθε διεύθυνση είναι **μοναδική** (χρησιμοποιείται μόνο σε έναν προσαρμογέα)
 - ▶ οι διευθύνσεις Ethernet συνήθως αναπαρίστανται σε δεκαεξαδικό σύστημα, π.χ. A3:F2:12:3C:55:09
- Η ανάθεση των διευθύνσεων είναι **στατική**
 - ▶ σε κάθε εταιρεία κατασκευής προσαρμογέων εκχωρείται μια περιοχή διευθύνσεων (κοινό πρόθεμα 3 bytes)
 - ▶ οι διευθύνσεις είναι **συνήθως** ενσωματωμένες (hard coded) στη μνήμη ROM των προσαρμογέων δικτύου

⇒ Υπάρχουν περιπτώσεις που η διεύθυνση Ethernet αποδίδεται στον προσαρμογέα από το λειτουργικό σύστημα

Διευθύνσεις και λήψη δεδομένων (2/2)

- Ένας προσαρμογέας λαμβάνει όλα τα πλαίσια που κυκλοφορούν σε ένα δίκτυο Ethernet και αποδέχεται τα πλαίσια που:
 - ▶ έχουν ως διεύθυνση παραλήπτη τη διεύθυνση του προσαρμογέα
 - η διεύθυνση του προσαρμογέα ονομάζεται στην περίπτωση αυτή διεύθυνση αποκλειστικής διανομής (unicast address)
 - ▶ έχουν ως διεύθυνση παραλήπτη τη διεύθυνση FF:FF:FF:FF:FF:FF
 - η διεύθυνση αυτή καλείται διεύθυνση ευρείας εκπομπής (broadcast address) και χρησιμοποιείται για την αποστολή πλαισίων σε όλους τους κόμβους του δικτύου
 - ▶ έχουν ως διεύθυνση παραλήπτη μια διεύθυνση πολυεκπομπής (multicast) αν έχει προγραμματιστεί να παρακολουθεί αυτή τη διεύθυνση
 - οι διευθύνσεις πολυεκπομπής έχουν το πρώτο bit ίσο με 1
 - χρησιμοποιούνται για την αποστολή πλαισίων σε μια ομάδα κόμβων
- Ένας προσαρμογέας μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να αποδέχεται όλα τα πλαίσια που λαμβάνει
 - ▶ αυτή η κατάσταση λειτουργίας ονομάζεται λειτουργία χωρίς διάκριση (promiscuous mode)



Διάρθρωση

1 Δίκτυα Ethernet

- Φυσικές ιδιότητες
- Πλαισίωση και διευθύνσεις
- Μηχανισμός πρόσβασης με ακρόαση φέροντος



Εισαγωγή (1/2)

- Η πρόσβαση των κόμβων στο σύνδεσμο ρυθμίζεται με τον αλγόριθμο CSMA/CD
 - ▶ αλγόριθμος πολλαπλής πρόσβασης με ακρόαση φέροντος και ανίχνευση συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)
- Κεντρική ιδέα: η υποαξιοποίηση του συνδέσμου στα δίκτυα Aloha οφείλεται στο ότι *οι κόμβοι δεν λαμβάνουν υπόψη τους την κατάσταση του καναλιού*
 - ▶ **ακρόαση φέροντος**: ένας κόμβος μπορεί να διακρίνει αν ο σύνδεσμος είναι αδρανής ή όχι και να **αποφύγει τις συγκρούσεις**
 - ▶ **ανίχνευση συγκρούσεων**: ένας κόμβος μπορεί να καταλάβει αν ένα πλαίσιο που μεταδίδει έχει υποστεί σύγκρουση και να **ακυρώσει τη μετάδοσή του, ελευθερώνοντας το σύνδεσμο**



Εισαγωγή (2/2)

- Ο αλγόριθμος CSMA/CD:
 - ▶ ανήκει στους αλγόριθμους πρόσβασης με *ανταγωνισμό (contention-based)*
 - ▶ υλοποιείται *κατανεμημένα*: κάθε κόμβος λειτουργεί ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου
 - ▶ είναι ένας *ημιαμφίδρομος αλγόριθμος*
 - ένας κόμβος δεν εμπλέκεται ταυτόχρονα στην αποστολή και στη λήψη πλαισίων
 - ▶ μπορεί να εφαρμοστεί για να ρυθμίσει την πρόσβαση σε μια *περιοχή συγκρούσεων* (π.χ. ένα δίκτυο με τοπολογία αρτηρίας, ένα δίκτυο με διακλαδωτές, κλπ)

⇒ Η ακρόαση φέροντος είναι μια επιτυχημένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε διαφορετικά πρότυπα όπως π.χ. τα IEEE802.3 (CSMA/CD) και IEEE802.11 (CSMA/CA)



CSMA (1/4)

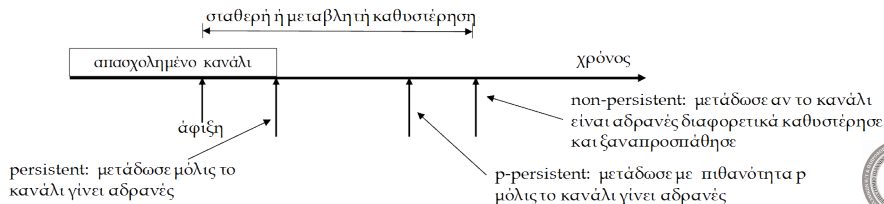
- Ένας κόμβος με ένα πλαίσιο προς αποστολή **μεταδίδει αμέσως το πλαίσιο**:
 - ▶ αν ο σύνδεσμος είναι αδρανής
 - ▶ αν ο σύνδεσμος είναι κατειλημμένος, μετά από αναμονή ως ότου αυτός γίνει αδρανής
- Το πρωτόκολλο Ethernet είναι ένα **επίμονο πρωτόκολλο τύπου 1 (1-persistent)**
 - ▶ ένας κόμβος μεταδίδει με πιθανότητα 1 μόλις ελευθερωθεί ο σύνδεσμος
- Εναλλακτικές προσεγγίσεις:
 - ▶ επίμονο πρωτόκολλο τύπου p (p -persistent)
 - ▶ μη επίμονο πρωτόκολλο (non -persistent)

Μειονέκτημα 1-persistent CSMA

⇒ **Μεγάλη πιθανότητα σύγκρουσης**: πολλοί κόμβοι μπορεί να **συγχρονιστούν** και να προσπαθήσουν να μεταδώσουν ταυτόχρονα

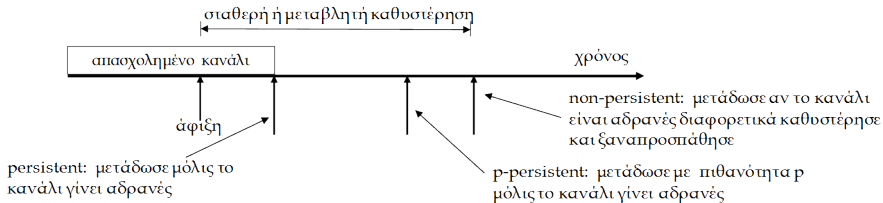
CSMA (2/4)

- p-persistent CSMA: ένας κόμβος με ένα πλαίσιο προς μετάδοση
 - ▶ μεταδίδει αμέσως το πλαίσιο αν ο σύνδεσμος είναι αδρανής
 - ▶ αν ο σύνδεσμος είναι κατειλημμένος:
 - μεταδίδει το πλαίσιο με πιθανότητα $p < 1$ μόλις ελευθερωθεί ο σύνδεσμος
 - με πιθανότητα $q = 1 - p$ αναβάλλει την προσπάθεια του για χρόνο ίσο με $2t_{pr}^{Max}$
 - ▶ αν μετά το χρόνο αναμονής $2t_{pr}^{Max}$, ο σύνδεσμος είναι:
 - αδρανής: αποφασίζει για τη μετάδοση και πάλι με πιθανότητα p
 - κατειλημμένος: περιμένει για χρόνο $2t_{pr}^{Max}$ και επαναλαμβάνει τον αλγόριθμο

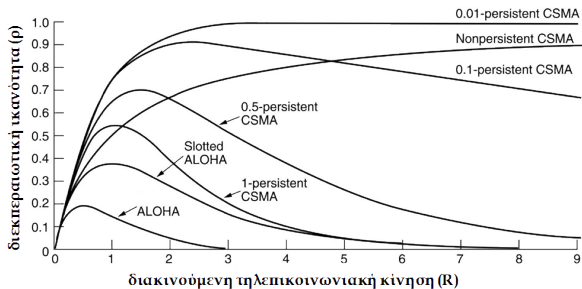


CSMA (3/4)

- non-persistent CSMA: ένας κόμβος με ένα πλαίσιο προς μετάδοση
 - ▶ μεταδίδει αμέσως το πλαίσιο αν ο σύνδεσμος είναι αδρανής
 - ▶ περιμένει για τυχαίο χρονικό διάστημα και ξαναπροσπαθεί αν ο σύνδεσμος είναι κατειλημμένος



CSMA (4/4)



persistent CSMA vs p-persistent και non-persistent CSMA

- Ο 1-persistent αλγόριθμος, παρά την αυξημένη πιθανότητα συγκρούσεων, έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικός **όταν συνδυάζεται με την ανίχνευση συγκρούσεων**
- Οι p-persistent και non-persistent αλγόριθμοι μπορεί να οδηγήσουν σε περιόδους αδράνειας στο σύνδεσμο
 - ◆ ο σύνδεσμος δεν αξιοποιείται πλήρως
 - ◆ αυξάνεται η καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο και επομένως και η συνολική καθυστέρηση

Συγκρούσεις στον CSMA

- Η πιθανότητα σύγκρουσης στον αλγόριθμο CSMA **δεν είναι μηδενική**
- Συγκρούσεις μπορούν να συμβούν όταν δύο κόμβοι μεταδίδουν ταυτόχρονα επειδή:
 - ▶ ο σύνδεσμος έγινε αδρανής μετά από μια περίοδο δραστηριότητας
 - ▶ η ακρόαση φέροντος **απέτυχε**
- Η ακρόαση φέροντος αποτυγχάνει αν δύο κόμβοι προσπαθήσουν να μεταδώσουν με χρονική διαφορά μικρότερη από την καθυστέρηση διάδοσης (t_{pr})
 - ▶ η μετάδοση ενός κόμβου γίνεται αντιληπτή μετά από χρόνο ίσο με t_{pr}
 - ▶ η ακρόαση φέροντος **δεν μπορεί να εφαρμοστεί** ή **δεν είναι αποδοτική** σε δίκτυα με μεγάλο μήκος



Ανίχνευση συγκρούσεων (1/3)

- Κεντρική ιδέα: η **ανίχνευση συγκρούσεων (collision detection)** μπορεί να βοηθήσει στη **βελτίωση της απόδοσης**
 - ▶ η μετάδοση ακυρώνεται αμέσως μόλις ανιχνευθεί η σύγκρουση και ο χρόνος δεν σπαταλιέται στη μετάδοση πλαισίων που συγκρούστηκαν
 - ▶ η δραστηριότητα στο σύνδεσμο μειώνεται επιτρέποντας τη χρήση του από άλλους κόμβους
 - ▶ επισπεύδεται η επανεκπομπή των πλαισίων που συγκρούστηκαν
- Έστω ένας κόμβος B αντιλαμβάνεται ότι το πλαίσιο που μεταδίδει συγκρούεται:
 - ▶ μεταδίδει μια **ακολουθία εμπλοκής (jamming sequence)** μήκους 32 bit για να ενημερώσει τον κόμβο που μεταδίδει το άλλο πλαίσιο (έστω κόμβος A)
 - ▶ σταματά τη μετάδοση του πλαισίου

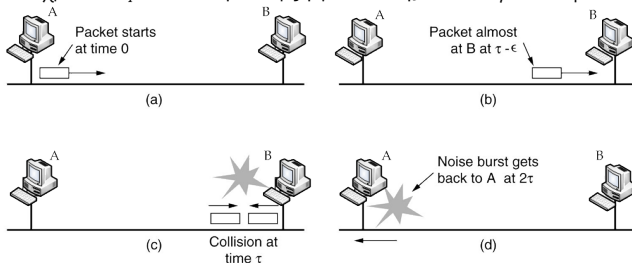
⇒ Ένας κόμβος μπορεί να αντιληφθεί τη σύγκρουση ενός πλαισίου συνήθως με μηχανισμούς του φυσικού επιπέδου που σχετίζονται με την αξιολόγηση του επιπέδου λαμβανόμενης ισχύος

Ανίχνευση συγκρούσεων (2/3)

- Ο κόμβος A πρέπει να λάβει την ακολουθία εμπλοκής για να ανιχνεύσει τη σύγκρουση του πλαισίου του
 - ο μηχανισμός έχει νόημα αν η ακολουθία εμπλοκής φτάνει στον A όταν αυτός μεταδίδει ακόμα δεδομένα:

$$t_{fr} \geq 2t_{pr}^{Max}$$

- ο κόμβος A μεταδίδει για χρόνο t_{fr} (χρόνος μετάδοσης του πλαισίου)
- το σήμα της ακολουθίας εμπλοκής χρειάζεται, στη χειρότερη περίπτωση, χρόνο $2t_{pr}$ από την έναρξη μετάδοσης του A για να φτάσει σε αυτόν



Ανίχνευση συγκρούσεων (3/3)

- Αν οι κόμβοι βρίσκονται πολύ κοντά τότε θα μεταδοθούν 96 bits (μικροσκοπικό πλαίσιο, runt frame)
 - ▶ 64 bits του προοιμίου και 32 bits της ακολουθίας εμπλοκής
- Σε ένα δίκτυο 2500m με 4 επαναλήπτες και 10Mbps ισχύει:

$$2t_{pr}^{Max} = 51.2\mu sec \Rightarrow l_{fr}^{min} = 64bytes = 512bits$$

- Ο χρόνος $2t_{pr}^{Max}$ αποτελεί τη μονάδα χρόνου για το Ethernet
 - ▶ στην ορολογία του Ethernet ονομάζεται **χρονοθυρίδα (timeslot)**
 - διάρκεια χρονοθυρίδας: $t_{slot} = 51.2\mu sec$ ή 512 bits
 - ▶ αποτελεί τον μέγιστο χρόνο που χρειάζεται για να ανιχνευτεί οποιαδήποτε σύγκρουση



Αλγόριθμος οπισθοχώρησης

- Στην περίπτωση σύγκρουσης ένας κόμβος σταματά τη μετάδοση, περιμένει τυχαίο χρονικό διάστημα και προσπαθεί ξανά
 - ▶ ο καθορισμός του τυχαίου χρονικού διαστήματος γίνεται με τον αλγόριθμο εκθετικής οπισθοχώρησης (exponential backoff)
- Εκθετική οπισθοχώρηση:
 - ▶ ο χρόνος αναμονής καθορίζεται ως ακέραιο πολλαπλάσιο της διάρκειας μιας χρονοθυρίδας ($t = kt_{slot}$)
 - ▶ ο αριθμός k επιλέγεται ομοιόμορφα από το διάστημα $[0, 2^m - 1]$
 - $m = \min\{10, n\}$
 - n : πλήθος των συγκρούσεων
 - ▶ ο μετρητής n :
 - αυξάνεται σε κάθε σύγκρουση
 - μηδενίζεται αν το πλαίσιο μεταδοθεί επιτυχώς ή το πλαίσιο απορριφθεί
- Ένα πλαίσιο, που έχει υποστεί $n = 16$ συγκρούσεις, απορρίπτεται



Απόδοση CSMA/CD

- Η μέση ρυθμαπόδοση ενός δικτύου Ethernet δίνεται από τη σχέση

$$\bar{R} = \frac{l_{fr}}{2 \frac{1}{p_s} t_{pr}^{Max} + t_{fr}} = \frac{p_s l_{fr}}{2 t_{pr}^{Max} + p_s t_{fr}}$$

- ▶ όπου p_s η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης από έναν κόμβο σε μια χρονοθυρίδα

$$p_s = \binom{N}{1} p (1 - p)^{N-1}$$

$$p_s^{max} \stackrel{p = \frac{1}{N}}{=} \left(\frac{N-1}{N} \right)^{N-1}$$

Παράμετροι

- Αριθμός τερματικών: N
- Μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης: t_{pr}^{Max}
- Χρόνος μετάδοσης πλαισίου: t_{fr}
- Μήκος πλαισίου σε bits: l_{fr}
- Πιθανότητα ένας κόμβος να εκπέμψει σε μια χρονοθυρίδα: p

Κριτική CSMA/CD

- Μειονεκτήματα:
 - ▶ χαμηλή απόδοση σε συνθήκες υψηλού φόρτου (πολλοί υπολογιστές ή πολλά πλαίσια)
 - υψηλή καθυστέρηση πρόσβασης στο μέσο αλλά και χαμηλή ρυθμαπόδοση
 - μη αποδοτικό για μετάδοση πολλών μικρών πλαισίων
 - ▶ άνιση αντιμετώπιση κόμβων του δικτύου (**capture effect**)
- Πλεονεκτήματα:
 - ▶ εξαιρετικά απλή υλοποίηση και διαχείριση του δικτύου
 - ▶ μικρό κόστος δικτύωσης

