



**Α. Τ. Ε. Ι. Πάτρας**

**Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας**

**Τμήμα Επιχειρηματικού Σχεδιασμού & Πληροφοριακών Συστημάτων**

**«Ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού και εξ αποστάσεως  
εκπαίδευση σε θέματα Δικτύων Ηλεκτρονικών  
Υπολογιστών και Internet»**

**Κωνσταντουράκη Ευγενία - Κατσίκης Παναγιώτης**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Κουτσονίκος Ιωάννης**

**Πάτρα, Δεκέμβριος 2006**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση.....	1
1.1.	Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση στην Ελλάδα .....	1
1.2.	Λόγοι ανάπτυξης εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.....	2
1.3.	Τι είναι η εξ αποστάσεως εκπαίδευση .....	2
1.4.	Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται .....	3
1.4.1.	Καλύτερη τεχνολογία .....	5
1.5.	Αποδοτική εξ αποστάσεως εκπαίδευση.....	6
1.6.	Λέξεις - κλειδιά στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση.....	6
1.7.	Τηλε-κατάρτιση.....	8
2.	Εισαγωγή.....	9
2.1.	Ιστορική Αναδρομή .....	9
2.2.	Ορισμοί.....	10
2.3.	Μοντέλο Επικοινωνιών .....	11
2.4.	Δικτύωση Υπολογιστών .....	11
3.	Μετάδοση Δεδομένων .....	13
3.1.	Μορφές Μετάδοσης .....	13
3.1.1.	Παράλληλη Μετάδοση .....	13
3.1.2.	Σειριακή Μετάδοση.....	14
3.2.	Συγχρονισμός.....	15
3.2.1.	Ασύγχρονη μετάδοση (RS - 232) .....	15
3.2.2.	Σύγχρονη μετάδοση .....	16
3.3.	Μέσα μετάδοσης .....	17
3.3.1.	Ομοαξονικό καλώδιο.....	17
3.3.2.	Δισύρματα καλώδια.....	18
3.3.3.	Ραδιοκύματα.....	18
3.3.4.	Δορυφόροι .....	18
3.3.5.	Φως λέιζερ.....	19
3.3.6.	Υπέυθρες ακτίνες .....	20
3.3.7.	Οπτικές ίνες .....	20
3.4.	Συσκευές Μετάδοσης .....	21
3.4.1.	Επαναλήπτες (repeaters) .....	21
3.4.2.	Γέφυρες (bridges).....	22
3.4.3.	Γεφύρωση μεταξύ κτιρίων .....	23
3.4.4.	Μεγάλες αποστάσεις.....	24
4.	Επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων .....	26
4.1.	Φέρον κύμα .....	26
4.2.	Διαμόρφωση Σήματος.....	27
4.3.	Τεχνικές Διαμόρφωσης.....	27

4.4. Μόντεμ.....	28
4.4.1. Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικών μόντεμ.....	28
4.4.2. Μετάδοση δεδομένων μέσω μόντεμ ραδιοσυχνοτήτων .....	29
4.4.3. Μετάδοση δεδομένων μέσω τηλεφωνικών μόντεμ.....	29
5. Μετάδοση πακέτων.....	30
5.1. Πακέτα και πλαίσια υλικού.....	30
5.2. Bit ισοτιμίας.....	31
5.3. Πρωτόκολλα πλαισίωσης με οργάνωση ανά byte.....	31
5.3.1. BISYNC - DDCMP.....	31
5.4. Πρωτόκολλα πλαισίωσης με οργάνωση ανά bit .....	32
5.4.1. HDLC.....	32
5.5. Ανίχνευση σφαλμάτων.....	32
5.5.1. Άθροισμα ελέγχου.....	32
5.5.2. Έλεγχος κυκλικού πλεονασμού.....	32
5.5.3. Συμπλήρωση με byte.....	34
6. Πρωτόκολλα Ζεύξης Δεδομένων.....	35
6.1. Πρωτόκολλο εναλλασσόμενου bit - ABP.....	35
6.1.1. Απόδοση του ABP.....	36
6.2. Πρωτόκολλο Επιλεκτικής Επανάληψης - SRP .....	38
6.2.1. Αρίθμηση πακέτων στο SRP.....	40
6.3. Πρωτόκολλο οπισθοχώρησης κατά N (GO BACK N).....	41
7. Κατηγορίες Δικτύων.....	43
7.1. Τοπικά Δίκτυα (LAN).....	43
7.2. Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WAN).....	44
7.3. Μητροπολιτικά Δίκτυα (MAN).....	45
8. Τοπικά Δίκτυα (Local Area Networks - LAN).....	46
8.1. Σπουδαιότητα Τοπικών Δικτύων.....	46
8.2. Τοπολογίες Τοπικών Δικτύων.....	47
8.2.1. Τοπολογία διαύλου.....	47
8.2.2. Τοπολογία δακτυλίου.....	47
8.2.3. Τοπολογία αστέρα.....	48
8.3. Διευθυνσιοδότηση στα LAN.....	49
8.3.1. Μορφή Πλαισίου.....	50
9. Πρωτόκολλα LAN.....	51
9.1. Το Πρωτόκολλο ALOHA.....	51
9.1.1. Πρωτόκολλο ALOHA με σχισμές.....	52
9.1.2. Αγνό ALOHA.....	52
9.2. ETHERNET.....	52
9.3. Δίκτυο Ethernet με HUB (συγκεντρωτής).....	55
9.3.1. Σύγκριση Γεφυρών και Συγκεντρωτών.....	55

9.4. Διασύνδεση δικτύου Ethernet με μεταγωγείς .....	56
9.5. Τύποι Ethernet .....	58
9.5.1. Thick Ethernet 10base5.....	58
9.5.2. Πολύπλεξη συνδέσεων.....	59
9.5.3. Thin Ethernet 10base2.....	60
9.5.4. Twisted pair Ethernet - 10baseT .....	61
9.6. Token Ring - IEEE 802.5 (δίκτυο δακτυλίου με κουπόνι).....	63
9.6.1. Απόκτηση άδειας μετάδοσης και εξασφάλιση αποκλειστικής προσπέλασης στο μέσο .....	64
9.6.2. Εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του δακτυλίου.....	65
9.6.3. Το υποεπίπεδο MAC .....	66
9.7. FDDI (Fiber Distributed Data Interface).....	67
9.7.1. Τρόπος λειτουργίας του FDDI .....	68
9.7.2. Διαχείριση βλαβών στο FDDI .....	68
9.8. Δίκτυα Αρτηρίας με Κουπόνι (token bus) .....	70
9.8.1. Όταν ένας κόμβος θέλει να γίνει ενεργητικός.....	70
9.8.2. Όταν ένας κόμβος θέλει να βγει από το δίκτυο .....	71
9.8.3. Τι γίνεται σε περίπτωση που χαθεί το κουπόνι;.....	72
9.9. DQDB (διπλή αρτηρία κατανεμημένης ουράς).....	72
9.9.1. Πώς λειτουργεί το πρωτόκολλο MAC.....	73
9.9.2. Γιατί το πρωτόκολλο MAC χαρακτηρίζεται άδικο;.....	74
10. Τα δίκτυα WAN.....	75
10.1. Διάκριση δικτύων LAN με WAN.....	75
10.2. Πώς δημιουργείται ένα δίκτυο WAN .....	75
10.2.1. Μεταγωγή πακέτων .....	75
10.3. Τρόπος λειτουργίας WAN.....	76
10.3.1. Αποθήκευση & προώθηση πλαισίων .....	76
10.4. Διευθυνσιοδότηση σε δίκτυο WAN.....	76
10.5. Τρόπος προώθησης πακέτου .....	76
10.5.1. Επόμενο άλμα.....	76
10.5.2. Ανεξαρτησία από την αφετηρία.....	77
10.6. Χωρητικότητα - προσαρμοστικότητα WAN.....	77
10.7. Δρομολόγηση.....	77
10.7.1. Πίνακας δρομολόγησης .....	77
10.7.2. Προεπιλεγμένο δρομολόγιο .....	78
10.7.3. Στατική και δυναμική δρομολόγηση.....	78
10.7.4. Συντομότερη διαδρομή .....	79
10.8. Δίκτυα μεταγωγής (Switching).....	79
10.8.1. Μεταγωγή μηνυμάτων (Message switching).....	79
10.8.2. Μεταγωγή πακέτου (Packet switching).....	80
10.8.3. Μεταγωγή κυκλώματος (Circuit Switching).....	81

11. Πρωτόκολλα WAN.....	82
11.1. ATM.....	82
11.2. FRAME RELAY.....	83
11.3. X25.....	83
11.4. Το δίκτυο ISDN.....	84
11.5. PPP Protocol.....	85
12. Διαδικτύωση.....	87
12.1. Έννοια της διαδικτύωσης.....	87
12.1.1. Αρχιτεκτονική διαδικτύου.....	88
12.2. Πρωτόκολλο TCP/IP.....	89
12.2.1. Ιστορική αναδρομή του TCP/IP.....	90
12.2.2. Διαστρωμάτωση.....	91
12.3. Σύγκριση των Μοντέλων Αναφοράς TCP και OSI.....	92
12.3.1. Ομοιότητες.....	92
12.3.2. Διαφορές.....	92
12.4. Ενθυλάκωση.....	94
12.5. IP (Internet Protocol).....	94
12.5.1. Λειτουργίες στο πρωτόκολλο IP.....	95
12.5.2. Δομή του πακέτου IP.....	96
12.5.3. Διευθυνσιοδότηση του IP.....	97
12.5.4. Διευθυνσιοδότηση IP με κλάσεις.....	98
12.5.5. Συμβολισμός δεκαδικών με τελείες.....	99
12.5.6. Μάσκες διευθύνσεων.....	100
12.6. Τεμαχισμός.....	101
12.6.1. Διαφανής τεμαχισμός.....	101
12.6.2. Αδιαφανής τεμαχισμός.....	102
12.7. Πρωτόκολλο Ελέγχου Μεταφοράς TCP.....	104
12.7.1. Η Επικεφαλίδα του Πρωτοκόλλου TCP.....	105

## 1. Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση

Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση αποτελεί έναν ολοένα και περισσότερο αναπτυσσόμενο τομέα εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων και στην Ελλάδα με την πρόσφατη ίδρυση και λειτουργία οργανισμών εκπαίδευσης από απόσταση, όπως για παράδειγμα το Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις στο εργασιακό περιβάλλον και η ταχύτητα της διάδοσης των πληροφοριών οδηγούν στην ανάγκη των ατόμων για επικαιροποίηση των γνώσεών τους και συνεχή επανεκπαίδευση και επανακατάρτιση. Οι παραδοσιακές μορφές εκπαίδευσης, οι οποίες δεν επαρκούν πλέον για να καλύψουν τις ανάγκες της σύγχρονης οικονομίας, ανανεώνονται σταδιακά με την υιοθέτηση καινοτόμων μεθόδων εκπαίδευσης.

Μία νέα μέθοδος που εξαπλώνεται όλο και περισσότερο διεθνώς είναι η Εξ Αποστάσεως Εκπαίδευση η οποία συναντάται συχνά και ως Τηλεκπαίδευση. Πρόκειται για μία νέα φιλοσοφία μετάδοσης της γνώσης από απόσταση στα πλαίσια της δια βίου μάθησης, η οποία καταργεί τους περιορισμούς της συμβατικής διδασκαλίας μέσω της χρήσης νέων τεχνολογιών και συμβάλλει στην κάλυψη εκπαιδευτικών αναγκών που προκύπτουν τόσο πριν αλλά κυρίως μετά την ένταξη των ατόμων στην αγορά εργασίας. Επίσης, προσφέρει περισσότερες εκπαιδευτικές ευκαιρίες σ' ένα ευρύ φάσμα ενηλίκων δίνοντάς τους τη δυνατότητα να προσδιορίζουν το χρόνο και τον τόπο εκπαίδευσής τους. Μαζί της αναπτύχθηκαν και οι όροι «Ανοιχτή Μάθηση» και «Ευέλικτη Μάθηση» που ευρέως χρησιμοποιούνται σήμερα και δεν αναφέρονται στην έννοια της φυσικής απόστασης ανάμεσα σε διδάσκοντες και διδασκόμενους, αλλά στην εξατομίκευση και την προσαρμοστικότητα του τρόπου μάθησης στις ανάγκες και επιθυμίες του ατόμου.

Το 1992, το Υπόμνημα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Ανοιχτή και Εξ Αποστάσεως Μάθηση τυποποίησε τον όρο «Open and Distance Learning» (ODL), τον οποίο υιοθέτησαν οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, προκειμένου να εκφράσουν τη νέα έμφαση που δόθηκε στην ευελιξία σε συνδυασμό με την «παράδοση» της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ιδιαιτερότητες της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, οι βασικές μέθοδοι για την ανάπτυξη και υλοποίηση προγραμμάτων σπουδών εξ αποστάσεως, η σημασία και οι τεχνικές ανάπτυξης του εκπαιδευτικού υλικού, η υποστήριξη των εκπαιδευομένων, καθώς επίσης και ο ρόλος του εκπαιδευτικού σε διαδικασίες εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

### 1.1. Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα παρέχεται εξ αποστάσεως εκπαίδευση από το Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Επίσης, προγράμματα εξ αποστάσεως εκπαίδευσης υλοποιούνται από το Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, ενώ στο Παιδαγωγικό Ινστιτούτο λειτουργεί Κέντρο Εξ Αποστάσεως Επιμόρφωσης για τους εκπαιδευτικούς της Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.

Σήμερα, στα πλαίσια της πρόσκλησης 7 της "Κοινωνίας της Πληροφορίας" (ΚτΠ) και του ΥΠΕΠΘ, είναι σε εξέλιξη η δημιουργία ειδικά διαμορφωμένων και

εξοπλισμένων χώρων τηλεεκπαίδευσης σε κάθε ανώτατο εκπαιδευτικό ίδρυμα, προκειμένου να υποστηρίξουν οριζόντιες εκπαιδευτικές δράσεις για τις ανάγκες της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης και να καλύψουν άλλες εκπαιδευτικές ανάγκες. Ήδη πολλά ακαδημαϊκά ιδρύματα έχουν ανταποκριθεί στο αίτημα για ανάπτυξη τεχνικών υποδομών τόσο για τη σύγχρονη εκπαίδευση από απόσταση, όπου η επικοινωνία διδάσκοντα - διδασκομένων γίνεται σε πραγματικό χρόνο, όσο και στην ασύγχρονη εκπαίδευση από απόσταση, όπου η επικοινωνία πραγματοποιείται έμμεσα κυρίως μέσω του διαδικτύου. Συγκεκριμένα, αυτή τη στιγμή, εκτός του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών λειτουργούν ειδικά κέντρα τηλεεκπαίδευσης και σε άλλα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα: στο Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στο Πανεπιστήμιο Πατρών, στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, στο Πανεπιστήμιο Κρήτης, στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας και στο Τ.Ε.Ι. Πειραιά. Ωστόσο, η μέχρι τώρα αξιοποίηση της υποδομής τηλεεκπαίδευσης αφορά στα μέλη Δ.Ε.Π. και στους σπουδαστές, καθώς και σε δραστηριότητες σχετικές με την κάλυψη πανελληνίων συνεδρίων, στην επιμόρφωση εκπαιδευτικών από απόσταση, σε διαλέξεις στα πλαίσια των τμημάτων των πανεπιστημίων, στην παρακολούθηση ημερίδων και στην παρακολούθηση εργασιών ημερίδας ή συνεδρίων από ενδιαφερόμενους που βρίσκονται σε άλλες πόλεις χωρίς να χρειάζεται να μετακινηθούν, ενώ δεν έχουν δημιουργηθεί ακόμη προγράμματα ανοικτής εκπαίδευσης για όλους με τη δυνατότητα λήψης Πιστοποιημένης Βεβαίωσης Σπουδών.

## 1.2. Λόγοι ανάπτυξης εξ αποστάσεως εκπαίδευσης

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις στο εργασιακό περιβάλλον σε συνδυασμό με την ανάγκη των ατόμων για συνεχιζόμενη εκπαίδευση και επιμόρφωση μας οδήγησαν στη δημιουργία προγραμμάτων συμπληρωματικής εκπαίδευσης με τη χρήση καινοτόμων μεθόδων εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

Τα πρωτοποριακά αυτά προγράμματα εκπαίδευσης ενηλίκων έχουν ως στόχο τους την κάλυψη των εκπαιδευτικών αναγκών που προκύπτουν, κυρίως μετά την ένταξη ενός ατόμου στην αγορά εργασίας, δίνοντας τη δυνατότητα στους συμμετέχοντες να προσδιορίζουν το χρόνο και το χώρο της εκπαίδευσής τους.



## 1.3. Τι είναι η εξ αποστάσεως εκπαίδευση

Ο όρος εξ αποστάσεως εκπαίδευση στην πρωτογενή του μορφή χρησιμοποιείται για να περιγράψει μία εκπαιδευτική διαδικασία στην οποία ένα



σημαντικό κομμάτι της διδασκαλίας γίνεται από τον διδάσκοντα που βρίσκεται μακριά από τον διδασκόμενο τόσο σε απόσταση όσο και στο χρόνο (Perrotton 1988).

Η εξ αποστάσεως εκπαίδευση προσφέρει τεράστιες ευκαιρίες αλλά και προκλήσεις στην εκπαίδευση της σημερινής εποχής, καθώς η ανάγκη για τη δημιουργία ελαστικών εκπαιδευτικών προγραμμάτων είναι μεγάλη. Μέσα στο γενικό πλαίσιο της γρήγορης τεχνολογικής αλλαγής και της αλλαγής των συνθηκών της αγοράς, το εκπαιδευτικό σύστημα στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες καλείται να παράσχει αυξανόμενες εκπαιδευτικές ευκαιρίες χωρίς αύξηση του προϋπολογισμού. Πολλά εκπαιδευτικά ιδρύματα απαντούν σε αυτήν την πρόκληση στρέφοντας την προσοχή τους στην τηλεματική για να επιλύσουν προβλήματα που σχετίζονται με τις γεωγραφικές αποστάσεις και το αυξημένο κόστος της δημιουργίας πολλαπλών παράλληλων προγραμμάτων. Έτσι λοιπόν αναπτύσσονται προγράμματα εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η εξ αποστάσεως εκπαίδευση υλοποιείται όταν ο καθηγητής και ένας ή περισσότεροι μαθητές είναι αποκομμένοι λόγω φυσικής απόστασης και η τεχνολογία (φωνή, εικόνα, δεδομένα), συχνά σε συνδυασμό με διαζώσης επικοινωνία, χρησιμοποιείται για να γεφυρώσει το εκπαιδευτικό χάσμα. Αυτοί οι τύποι προγραμμάτων μπορούν να παράσχουν στους ενήλικες μια δεύτερη ευκαιρία στην εκπαίδευση, να προσεγγίσουν αυτούς που έχουν το μειονέκτημα του περιορισμένου χρόνου, της απόστασης ή της σωματικής αναπηρίας και να εμπλουτίζει με σύγχρονα δεδομένα τη βάση γνώσης των εργαζομένων στους χώρους εργασίας τους.

#### 1.4. Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται

Η παραδοσιακή διδασκαλία "πρόσωπο με πρόσωπο" έχει το πλεονέκτημα ότι οι σπουδαστές και οι διδάσκοντες είναι εξοικειωμένοι με το περιβάλλον της διδασκαλίας και η επικοινωνία είναι άμεση με αποτέλεσμα οι σπουδαστές να νοιώθουν άνετα. Από την άλλη, η διδασκαλία με τηλεματική βασίζεται σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα με υπολογιστές και οθόνες και ο τρόπος παρουσίασής της διαφέρει από τη διδασκαλία στην παραδοσιακή τάξη.

Τα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιούνται στη συμβατική εκπαίδευση χρησιμοποιούνται και στην τηλεματική. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι τα τεχνολογικά μέσα στην τηλεματική αποτελούν απαραίτητο στοιχείο της επικοινωνίας του διδάσκοντα με τους σπουδαστές και ειδικότερα των απομακρυσμένων τάξεων.

Τα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιούνται στη διδασκαλία με τηλεματική είναι ίδια για τις επιστήμες τόσο της θεωρητικής όσο και της πρακτικής κατεύθυνσης. Διαφοροποίηση υπάρχει μόνο στην περίπτωση που το μάθημα περιλαμβάνει την εξάσκηση των σπουδαστών μέσα από εργαστηριακές δραστηριότητες.

Μια μεγάλη κλίμακα τεχνολογικών επιλογών είναι διαθέσιμες σε κάθε εξ αποστάσεως διδασκόμενο. Αυτές χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

1. **Φωνή (Voice)**. Τα εργαλεία ήχου που χρησιμοποιούνται για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση συμπεριλαμβάνουν τις διαδραστικές τεχνολογίες όπως

αυτές του τηλεφώνου, του audio conferencing και του short wave radio. Στα παθητικά εργαλεία ήχου συμπεριλαμβάνονται οι κασέτες και το ραδιόφωνο.

**2. Εικόνα (Video).** Τα εργαλεία εικόνας που χρησιμοποιούνται για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση περιλαμβάνουν slides, προπαραχθείσες κινούμενες εικόνες (film και video κασέτες) καθώς και κινούμενες εικόνες πραγματικού χρόνου συνδυασμένες με ήχο (μονής ή διπλής κατεύθυνσης video με ήχο διπλής κατεύθυνσης).

- Τα *Videotapes* χρησιμοποιούνται για την επισήμανση εννοιών και ειδικότερα είναι χρήσιμη η προβολή τους στην περίπτωση των case studies, όπου χρειάζεται ανάλυση, επεξήγηση και συζήτηση.
- Το *Slide-projector* χρησιμοποιείται για προβολές οπτικού υλικού. Το οπτικό υλικό (σε μορφή slides) χρησιμεύει στον εμπλουτισμό και την επεξήγηση εννοιών.
- Το *Elmo*, ένα είδος προβολέα, επιτρέπει την προβολή στοιχείων, πληροφοριών και εικόνων από οποιοδήποτε έντυπο υλικό, όπως βιβλία και περιοδικά.

**3. Δεδομένα (Data).** Οι υπολογιστές στέλνουν και λαμβάνουν πληροφορίες σε ηλεκτρονική μορφή. Γι' αυτό το λόγο, ο όρος "δεδομένα (data)" χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτή την ευρεία κατηγορία εργαλείων διδασκαλίας. Οι εφαρμογές των υπολογιστών για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση ποικίλουν και περιλαμβάνουν τα εξής:

- *Υπολογιστές υποστήριξης διδασκαλίας (CAI Computer-assisted instruction).* Σε αυτή την κατηγορία, ο υπολογιστής έχει το ρόλο της αυτόνομης μηχανής διδασκαλίας που παρουσιάζει τα διάφορα μαθήματα.
- *Υπολογιστές οργάνωσης διδασκαλίας (CMI Computer-managed instruction).* Σε αυτή την κατηγορία ο υπολογιστής έχει το ρόλο να οργανώσει τη διδασκαλία και να κατευθύνει την πρόοδο του διδασκόμενου. Η διδασκαλία από μόνη της δεν χρειάζεται να λαμβάνεται μέσω υπολογιστή, αν και η μέθοδος CAI χρησιμοποιείται συνήθως σε συνδυασμό με τη μέθοδο CMI.
- *Υπολογιστές εκπαιδευτικής μεσολάβησης (CME Computer-mediated education).* Περιγράφει εφαρμογές υπολογιστών που διευκολύνουν την παράδοση της διδασκαλίας. Για παράδειγμα, εφαρμογές όπως ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, fax, τηλεδιάσκεψη πραγματικού χρόνου μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή και εφαρμογές διαδικτύου.

Τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιούν τον όρο "data" μπορούμε να πούμε ότι θεωρούνται τα παρακάτω:

- Το *PowerPoint* της Microsoft ή το *Director* από τη Macromedia αποτελούν προγράμματα κατάλληλα διαμορφωμένα για την παρουσίαση και ενίσχυση θεμάτων διδασκαλίας.
- Το *CD-ROM* προσφέρεται για την αποθήκευση μεγάλου όγκου πληροφοριών και η χρήση τους διευκολύνει το διδάσκοντα, καθώς μπορεί να επιλέγει και να προβάλει το συγκεκριμένο υλικό που τον ενδιαφέρει κατά περίπτωση.

- Κατάλληλα διαμορφωμένα *Web Sites*, από τα οποία ο διδασκόμενος μπορεί να αντλήσει πληροφορίες για διάφορα θέματα που τον αφορούν.

**4. Εκτύπωση (Print).** Είναι ένα ιδρυτικό στοιχείο των προγραμμάτων της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης και αποτελεί τη βάση εξέλιξης όλων των μεταγενέστερων συστημάτων. Διάφορες μορφές εκτυπώσεων μπορούν να υποστηριχθούν όπως:

- βιβλία κειμένων, βιβλία εργασίας, οδηγοί σπουδών,
- αναλυτικά προγράμματα και μελέτες "σεναρίων" (Case studies).

#### 1.4.1. Καλύτερη τεχνολογία

Αν και η τεχνολογία παίζει ρόλο - κλειδί στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να παραμένουν επικεντρωμένοι στο αποτέλεσμα της διδασκαλίας και όχι τόσο στην τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για τους εκπαιδευτικούς σκοπούς. Το κλειδί για τη σωστή διδασκαλία κατά την εξ αποστάσεως εκπαίδευση είναι ο εκπαιδευτικός να επικεντρωθεί στις ανάγκες του εκπαιδευόμενου, στο απαιτούμενο περιεχόμενο της μάθησης, στις ανάγκες που έχει ο εκπαιδευόμενος και όλα αυτά πριν επιλέξει το τεχνολογικό ή μη μέσο διδασκαλίας. Τυπικά, αυτή η συστηματική προσέγγιση θα έχει ως αποτέλεσμα τη μίξη μέσων διδασκαλίας καθένα από τα οποία θα εξυπηρετήσει ένα συγκεκριμένο σκοπό. Για παράδειγμα:

- Ένα δυνατό μέσο εκτύπωσης μπορεί να παρέχει πολλά από τα βασικά περιεχόμενα εκπαίδευσης σε μορφή κειμένου (course text), ως πρόγραμμα μαθημάτων ή περίληψη σπουδών (syllabus) καθώς και ημερήσιο πρόγραμμα.
- Ο διαδραστικός ήχος ή η εικονική διάσκεψη (Interactive audio or Video conferencing) μπορούν να παρέχουν διάδραση σε πραγματικό χρόνο (real time).
- Η διάσκεψη μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή ή η χρήση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:
  - 1) Να σταλούν μηνύματα.
  - 2) Να γίνει παράθεση έργου.
  - 3) Να στοχεύσουν στην επικοινωνία προς ένα ή περισσότερα μέλη της τάξης.
  - 4) Αύξηση της διαδραστικότητας μεταξύ των μαθητών.
- Προ-ηχογραφημένες κασέτες video μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό την παράδοση μαθήματος και τον εικονικό καθορισμό των απαιτήσεων.
- Το FAX μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα εξής:
  - 1) Ανάθεση και διαμοιρασμό έργου.
  - 2) Ανακοινώσεις της τελευταίας στιγμής.
  - 3) Λήψη έργου από μαθητές.
  - 4) Παροχή μιας σωστής χρονικά ανατροφοδότησης πληροφοριών.

Χρησιμοποιώντας αυτήν την ολοκληρωμένη προσέγγιση, ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι έτοιμος να καθοριστεί πέρα από τις τεχνολογικές επιλογές. Στόχος είναι η δημιουργία ενός μείγματος από διδασκαλικά μέσα, ο εντοπισμός των

αναγκιών των εκπαιδευομένων στο σημείο της διδασκαλικής επίδρασης, αλλά και κατά πόσο οικονομικός είναι για τον εκπαιδευόμενο ο συγκεκριμένος τρόπος εκπαίδευσής του.

### **1.5. Αποδοτική εξ αποστάσεως εκπαίδευση**

Χωρίς καμία εξαίρεση τα προγράμματα εξ αποστάσεως εκπαίδευσης ξεκίνησαν με ένα προσεκτικό σχεδιασμό, με μια εστίαση στην κατανόηση των απαιτήσεων των μαθημάτων και των αναγκιών των εκπαιδευομένων.

Η κατάλληλη τεχνολογία μπορεί να επιλεγεί μόνον όταν όλα τα παραπάνω στοιχεία που αναφέραμε έχουν κατανοηθεί λεπτομερώς. Η επιτυχία των προγραμμάτων της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης βασίζεται στις αξιόλογες προσπάθειες των μαθητών, στις προσπάθειες των υπαλλήλων υποστήριξης, στις διευκολύνσεις που παρέχουν τα τεχνολογικά μέσα και στην υποστήριξη και στις υπηρεσίες που παρέχουν οι διαχειριστές των συστημάτων.

### **1.6. Λέξεις - κλειδιά στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση**

Οι λέξεις - κλειδιά στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση είναι οι εξής:

- Μαθητές (Students).
- Ικανότητα (Faculty).
- Διευκολύνσεις (Facilitations).
- Προσωπικό υποστήριξης (Support Staff).
- Διαχειριστές (Administrators).

#### **1. Μαθητές (Students)**

Ο εντοπισμός των διδακτικών αναγκιών των μαθημάτων είναι ο θεμέλιος λίθος για κάθε αποτελεσματικό πρόγραμμα εξ αποστάσεως εκπαίδευσης, καθώς επίσης και το πείραμα από το οποίο κρίνονται όλες οι προσπάθειες στον τομέα αυτό. Χωρίς να αναφερθούμε στο γενικό πλαίσιο της εκπαίδευσης, ο πρωταρχικός σκοπός του μαθητή είναι να μάθει. Αυτό είναι ένα αυτονόητο έργο - αυτονόητος σκοπός - και αυτό πρέπει να γίνεται κάτω από τις καλύτερες συνθήκες απαιτώντας για την επίτευξή του σχεδιασμό και ικανότητα για ανάλυση και εφαρμογή του διδασκαλικού περιεχομένου που πρέπει ο μαθητής να διδαχθεί. Όταν η διδασκαλία λαμβάνεται εξ αποστάσεως, διαφορετικές προκλήσεις επιδρούν και αυτό γιατί οι μαθητές είναι συχνά χωρισμένοι και έτσι δεν μοιράζονται τις εμπειρίες και τα ενδιαφέροντά τους. Έχουν λίγες ευκαιρίες στο να έρθουν σε επαφή με τους καθηγητές. Έτσι λοιπόν η διδασκαλία τους πρέπει να βασίζεται σε τεχνικές σύνδεσης έτσι ώστε να γεφυρώσουν το χάσμα που τους χωρίζει.

#### **2. Ικανότητα (Faculty)**

Η επιτυχία κάθε προσπάθειας για την εξ αποστάσεως εκπαίδευση βασίζεται στην ικανότητα. Σε μια παραδοσιακή αίθουσα, η ευθύνη του δάσκαλου περιλαμβάνει την οργάνωση του περιεχομένου του μαθήματος, την ανάπτυξη και κατανόηση των

αναγκών των μαθητών. Ιδιαίτερες προκλήσεις αντιμετωπίζουν εκείνοι που διδάσκουν εξ αποστάσεως. Για παράδειγμα, ο δάσκαλος θα πρέπει:

- Να αναπτύξει και να κατανοήσει τα χαρακτηριστικά αλλά και τις ανάγκες των εξ αποστάσεως μαθητών.
- Να προσαρμόσει το στυλ διδασκαλίας έχοντας υπ' όψη τις ανάγκες και τις προσδοκίες των μαθητών.
- Να κατανοήσει και να αναπτύξει έργο σχετικό με τις μεθόδους διδασκαλίας που βασίζονται στην τεχνολογία, παράλληλα όμως να επικεντρωθεί στον διδασκαλικό του ρόλο.

### **3. Διευκολύνσεις (Facilitations)**

Ο δάσκαλος συχνά βρίσκει ωφέλιμο να βασίζεται σε μια ιστοσελίδα που ουσιαστικά θα παίζει το ρόλο της διευκόλυνσης, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ μαθητών και διδασκάλων. Για να επιδράσει σωστά ένας "διευκολυντής" θα πρέπει να καθοριστούν οι ανάγκες των μαθητών και οι προσδοκίες των δασκάλων. Το πιο σημαντικό είναι να ακολουθηθούν οι οδηγίες / ντιρεκτίβα που έχει θέσει ο δάσκαλος.

### **4. Προσωπικό υποστήριξης (Support Staff)**

Αυτοί είναι και οι σιωπηλοί ήρωες της "επιχείρησης" εξ αποστάσεως εκπαίδευσης που εξασφαλίζουν ότι οι αναρίθμητες λεπτομέρειες που απαιτούνται για την επιτυχία του προγράμματος θα διεκπεραιωθούν αποτελεσματικά. Τα περισσότερα προγράμματα εξ αποστάσεως εκπαίδευσης συγκεντρώνουν λειτουργίες υποστήριξης που περιλαμβάνουν καταχώρηση στοιχείων των εκπαιδευομένων, αναπαραγωγή και διανομή εκπαιδευτικού υλικού, παραγγελία εγχειριδίων, εξασφάλιση των δικαιωμάτων του δημιουργού και άδεια χειρισμού απορρήτων, χρονοδιάγραμμα διευκολύνσεων κλπ. Τα πρόσωπα υποστήριξης είναι ο συνδετικός κρίκος που κρατά την προσπάθεια της εξ αποστάσεως εκπαίδευσης ενωμένη και σε μια συγκεκριμένη τροχιά.

### **5. Διαχειριστές (Administrators)**

Αν και οι διαχειριστές είναι τυπικά σημαντικοί στο σχεδιασμό των προγραμμάτων εξ αποστάσεως εκπαίδευσης των ιδρυμάτων, συχνά χάνουν την επαφή ή παραδίδουν τον έλεγχο στους τεχνικούς διευθυντές εφόσον το πρόγραμμα διαχείρισης είναι λειτουργικό. Οι διαχειριστές της αποτελεσματικής εξ αποστάσεως εκπαίδευσης είναι ομόφωνα οι δημιουργοί, αυτοί που παίρνουν τις αποφάσεις, αυτοί που έχουν το ρόλο του παρατηρητή. Δουλεύουν από κοντά με το τεχνικό προσωπικό και το προσωπικό υποστήριξης, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματική ανάπτυξη των τεχνολογικών πηγών. Το πιο σημαντικό είναι ότι οι διαχειριστές, αντιλαμβανόμενοι ότι ο εντοπισμός των αναγκών των εξ αποστάσεως εκπαιδευομένων είναι δική τους απόλυτα ευθύνη, αναλαμβάνουν σε μεγάλο μέρος την ακαδημαϊκή εστίαση των αναγκών αυτών.

## 1.7. Τηλε-κατάρτιση

Η επαγγελματική κατάρτιση παρουσιάζει σημαντικές διαφορές με την τυπική εκπαίδευση, οι οποίες οδηγούν και σε διαφορετικές προσεγγίσεις στη μεθοδολογία υλοποίησης κάθε μορφής, τόσο με συμβατικό τρόπο όσο και εξ αποστάσεως. Η χρήση του Διαδικτύου αποτελεί την πλέον κατάλληλη επιλογή για επαγγελματική κατάρτιση εξ αποστάσεως («τηλεκατάρτιση»), αφού προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με πιο συμβατικές μεθόδους εξ αποστάσεως εκπαίδευσης:

- Δυνατότητα ενσωμάτωσης πολυμέσων και διάθεσης στους εκπαιδευόμενους ολοκληρωμένου και άμεσα προσβάσιμου εκπαιδευτικού υλικού.
- Άμεση και οικονομική ενημέρωση του εκπαιδευτικού υλικού, σύμφωνα με τις ανάγκες που προκύπτουν από τις ταχείες αλλαγές στα αντικείμενα εκπαίδευσης.
- Αμεσότερη και συχνότερη επικοινωνία των εκπαιδευομένων με τους εκπαιδευτές.
- Ταχύτερη και αποτελεσματικότερη εξοικείωση των εκπαιδευομένων με τη χρήση των νέων τεχνολογιών.
- Δυνατότητα παρακολούθησης της πορείας των εκπαιδευομένων σε κάθε στάδιο της εκπαίδευσής τους.
- Ηλεκτρονική διαχείριση της εκπαιδευτικής διαδικασίας και ελάττωση της γραφειοκρατίας.

## 2. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής τεχνολογίας επέτρεψε την κατασκευή ηλεκτρονικών υπολογιστών με χαμηλό κόστος. Η πλατιά διάδοση της χρήσης των υπολογιστών που ακολούθησε δημιούργησε έντονη την ανάγκη της επικοινωνίας μεταξύ τους.

Με την ευχέρεια που δίνουν οι σύγχρονες επικοινωνίες, πλήθος χρηστών έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί τη δύναμη ενός μεγάλου υπολογιστή μέσω τερματικών συσκευών χαμηλού κόστους ή μέσω προσωπικών υπολογιστών (Personal Computers).

Οι τερματικοί σταθμοί πλέον δεν περιορίζονται να είναι στον ίδιο χώρο με τον Η/Υ καθώς μπορεί να είναι εγκατεστημένοι και σε άλλους χώρους, διαφορετικές πόλεις ή και χώρες ακόμα.

Η σύγκλιση υπολογιστών και επικοινωνιών είχε σημαντική επίδραση στον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται τα υπολογιστικά συστήματα τα οποία αποκαλούνται δίκτυα υπολογιστών (computer networks). Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα της σχεδίασης των περισσότερων δικτύων, οργανώνονται σε σειρά από επίπεδα (levels), το κάθε ένα από τα οποία κτίζεται πάνω στο κατώτερο του. Ο αριθμός των επιπέδων, το όνομα κάθε επιπέδου, τα περιεχόμενά τους και οι λειτουργίες τους διαφέρουν από δίκτυο σε δίκτυο.

Στην ενότητα αυτή γίνεται μια ιστορική αναδρομή για το πώς γεννήθηκε η ανάγκη για τη δημιουργία δικτύων, επεξηγούνται οι όροι «*Επικοινωνίες Δεδομένων*», «*Πληροφορία*», «*Δεδομένα*», «*Μετάδοση Δεδομένων*» και γίνεται αναφορά σε μια από τις σημαντικότερες αρχιτεκτονικές δικτύων, το μοντέλο αναφοράς OSI.

### 2.1. Ιστορική Αναδρομή

Στόχος των Επικοινωνιών είναι η αποστολή ενός μηνύματος από ένα σημείο σε ένα άλλο, καθώς και η επιβεβαίωση της πλήρους, ορθής και κατανοητής λήψης του από τον εξουσιοδοτημένο παραλήπτη.

Ο τρόπος που γίνεται αυτή η επικοινωνία χαρακτηρίζει ιστορικά και την αντίστοιχη εποχή της ανθρώπινης ύπαρξης στον πλανήτη. Τα σήματα καπνού, οι ήχοι των τυμπάνων και της καμπάνας, το άναμμα της φωτιάς ήταν μερικοί από τους βασικούς τρόπους μεταφοράς της πληροφορίας σε κάποιες εποχές πολλά χρόνια πριν.

Οι τρόποι αυτοί της επικοινωνίας όμως ούτε ακριβείς ήταν ούτε και διέθεταν τη βεβαιότητα της επιτυχίας. Παράλληλα, η ταχύτητα μεταφοράς της πληροφορίας ήταν αρκετά μικρή, ο όγκος της πληροφορίας ελάχιστος, η δε ασφάλειά της πολύ μικρή.

Από τον καιρό όμως που ο ηλεκτρισμός και η ηλεκτρονική εξελίχθηκαν, πολλά πράγματα άλλαξαν στις τηλεπικοινωνίες, οι οποίες έγιναν πια τεχνολογική επιστήμη.

Μετά μάλιστα τη δεκαετία του 1950, που έχουμε την παράλληλη ανάπτυξη των υπολογιστών και της ηλεκτρονικής επεξεργασίας των πληροφοριών, οι

τηλεπικοινωνίες αρχίζουν να καταλαμβάνουν σημαντική θέση στη ζωή του ανθρώπου. Είναι φανερό σε όλους σήμερα πόσο η ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών επηρεάζει το ρυθμό ανάπτυξης της κοινωνίας στον πλανήτη μας.

Σήμερα, οι πλέον γνωστές εφαρμογές των τηλεπικοινωνιών είναι η Τηλεφωνία, το Telex, η Ραδιοφωνία και η Τηλεόραση, εφαρμογές που η μαζικότητά τους από πλευράς χρήσης τις καθιστά ευρύτατα γνωστές. Όμως τα τελευταία χρόνια η χρήση των υπολογιστών επεκτείνεται σε ευρύτερα στρώματα του πληθυσμού, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη νέων μορφών τηλεπικοινωνιών, μέσα στις οποίες συγκαταλέγονται οι Επικοινωνίες Δεδομένων (Data Communication).

Θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο να επισημάνουμε τη διάκριση ανάμεσα στους όρους Επικοινωνία και Τηλεπικοινωνία. Όταν έχουμε «Επικοινωνίες μακρινής απόστασης» τότε χρησιμοποιούμε τον όρο «Τηλεπικοινωνίες».

Οι επικοινωνίες σε μεγάλες αποστάσεις μας υποχρεώνουν λόγω ανεπάρκειας του μέσου μετάδοσης να αλλάζουμε τη μορφή της πληροφορίας προκειμένου να τη μεταδώσουμε. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι, όταν η πληροφορία δεν αλλάζει μορφή προκειμένου να μεταφερθεί σε μακρινές αποστάσεις, μιλάμε απλώς για Επικοινωνία, αν όμως υποχρεωθούμε για διάφορους λόγους να την αλλάξουμε προκειμένου να τη μεταδώσουμε σε μεγαλύτερες αποστάσεις, τότε μιλάμε για Τηλεπικοινωνία.

## 2.2. Ορισμοί

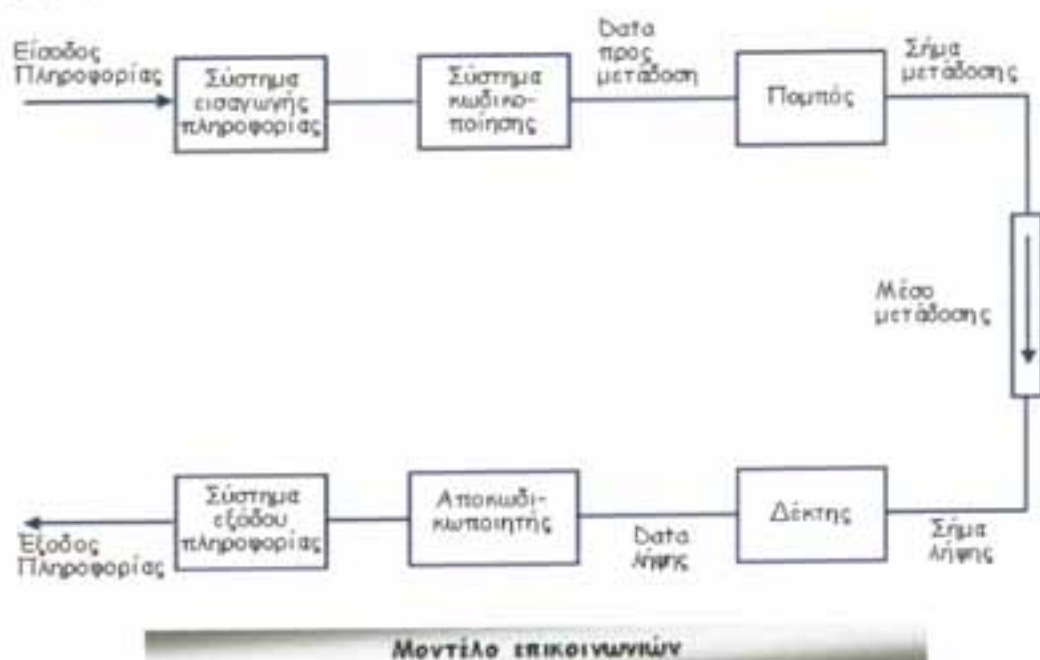
Με τον όρο *Επικοινωνίες Δεδομένων* εννοούμε την ανταλλαγή πληροφοριών υπό μορφή Data μεταξύ υπολογιστικών και τερματικών σταθμών. Οι πληροφορίες αυτές είναι δεδομένα (data) που απαρτίζονται από χαρακτήρες όπως είναι τα γράμματα αλφαβήτου, οι αριθμοί, τα σημεία στίξης και διάφορα άλλα σύμβολα.

Με τον όρο *πληροφορία* στις επικοινωνίες ερμηνεύουμε κάθε οργανωμένο σήμα ενώ με την λέξη *δεδομένα* (data) εννοούμε το συμβολισμό που αναπαριστά την κωδικοποιημένη μορφή της πληροφορίας με τη μορφή γραμμάτων ή συμβόλων. Η κωδικοποίηση γίνεται με τέτοιο τρόπο (συνήθως ψηφιακά) ώστε να καταστήσει την πληροφορία κατάλληλη για επεξεργασία, αποθήκευση ή μετάδοση.

Με τον όρο *μετάδοση δεδομένων* (data transmission) προσδιορίζουμε τη μετακίνηση της πληροφορίας μέσα από φυσικά κανάλια μετάδοσης.



## 2.3. Μοντέλο Επικοινωνιών



## 2.4. Δικτύωση Υπολογιστών

Πριν από δύο δεκαετίες ελάχιστοι είχαν πρόσβαση σε ένα δίκτυο. Σήμερα η επικοινωνία των υπολογιστών έχει γίνει απαραίτητο μέρος της υποδομής μας. Η δικτύωση χρησιμοποιείται σε κάθε δραστηριότητα των επιχειρήσεων, όπως τη διαφήμιση, την παραγωγή, τη διεκπεραίωση, το σχεδιασμό, την κοστολόγηση και τη λογιστική. Γι αυτό και οι περισσότερες εταιρείες έχουν πολλά δίκτυα. Πολλά σχολεία, σε όλες τις βαθμίδες, από τη στοιχειώδη μέχρι τη μεταπτυχιακή εκπαίδευση, χρησιμοποιούν δίκτυα υπολογιστών για να παρέχουν στους διδασκόμενους και τους διδάσκοντες άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες που υπάρχουν σε ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες σε όλο τον κόσμο. Δίκτυα χρησιμοποιούν οι κρατικές, περιφερειακές και τοπικές δημόσιες υπηρεσίες, καθώς και οι στρατιωτικοί οργανισμοί.

Η ανάπτυξη του παγκόσμιου διαδικτύου, του Internet, είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα φαινόμενα της δικτύωσης. Το Internet έχει εξελιχθεί σε ένα σύστημα επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στην παραγωγή, το οποίο φτάνει σε εκατομμύρια άτομα από όλες τις κατοικημένες χώρες του κόσμου. Το Internet συνδέει εταιρείες, πανεπιστήμια καθώς και κρατικές, περιφερειακές και τοπικές δημόσιες υπηρεσίες και σχολεία. Επίσης οι ιδιωτικές κατοικίες έχουν πρόσβαση χαμηλής ταχύτητας μέσω τηλεφωνικού συστήματος και πρόσβαση υψηλής ταχύτητας μέσω καλωδιακών μόντεμ, δορυφόρων και ασύρματων τεχνολογιών.

Πολλοί άνθρωποι πληρώνουν τα χρέη τους, διαχειρίζονται τους τραπεζικούς τους λογαριασμούς και τις επενδύσεις τους ηλεκτρονικά. Οι αγορές από το σπίτι γίνονται επίσης δημοφιλείς, με τη δυνατότητα να ανατρέχει κανείς σε on-line καταλόγους χιλιάδων εταιρειών. Οι εφημερίδες γίνονται ηλεκτρονικές (on-line) και

σύμφωνα με τις προσωπικές απαιτήσεις των αναγνωστών τους. Μια άλλη εφαρμογή είναι η πρόσβαση σε πληροφοριακά συστήματα, όπως τον σημερινό Παγκόσμιο Ιστό, World Wide Web, που περιέχει πληροφορίες για τις τέχνες, τις επιχειρήσεις, τη μαγειρική, την κυβέρνηση, την υγεία, την ιστορία, τα χόμπι, τη διασκέδαση, τις επιστήμες, τα αθλητικά, τα ταξίδια και ένα σωρό άλλα θέματα. Το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (email) είναι επίσης μια άλλη εφαρμογή η οποία χρησιμοποιείται ήδη από εκατομμύρια ανθρώπων.

Η μεγάλη αύξηση της δικτύωσης έχει και οικονομικές επιπτώσεις. Τα δίκτυα μετάδοσης δεδομένων δίνουν τη δυνατότητα συναλλαγών από απόσταση για μεμονωμένα άτομα και έχουν αλλάξει τις επαγγελματικές επικοινωνίες. Οι εταιρείες πλέον αναζητούν άτομα με γνώσεις δικτύωσης για να σχεδιάζουν, να προμηθεύονται, να εγκαθιστούν, να λειτουργούν και να διαχειρίζονται τα συστήματα υλικού και λογισμικού που αποτελούν τα δίκτυα και διαδίκτυα υπολογιστών.

### 3. Μετάδοση Δεδομένων

Στο φυσικό επίπεδο, όλες οι επικοινωνίες των υπολογιστών συνίστανται στην κωδικοποίηση δεδομένων σε μια μορφή ενέργειας και στην αποστολή της ενέργειας αυτής μέσω κάποιου μέσου μετάδοσης. Το κάθε μέσο και η τεχνολογία μετάδοσης έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για παράδειγμα, αν και ένα σύστημα με υπέρυθρες ακτίνες μπορεί να παρέχει συνδέσεις δικτύου για φορητούς υπολογιστές που μετακινούνται μέσα σε μία αίθουσα, για την ασύρματη μετάδοση πάνω από έναν ωκεανό μπορεί να χρειαστεί ένας δορυφόρος σε τροχιά.

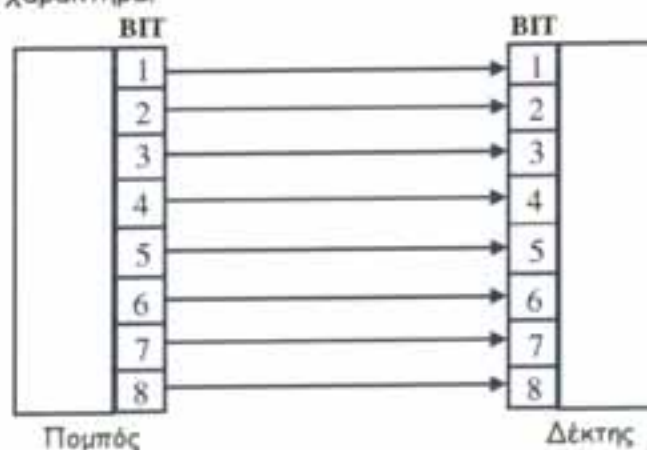
Επειδή η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση των δεδομένων πραγματοποιούνται από συσκευές υλικού που είναι προσαρτημένες στον υπολογιστή, οι προγραμματιστές και οι χρήστες δεν χρειάζεται να γνωρίζουν τις λεπτομέρειες του τρόπου μετάδοσης των δεδομένων. Η κατανόηση όμως του λογισμικού επικοινωνίας απαιτεί τη γνώση μερικών βασικών εννοιών της μετάδοσης δεδομένων.

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται τα μέσα που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση στα σημερινά υπολογιστικά συστήματα, περιγράφονται οι έννοιες της σειριακής και παράλληλης μετάδοσης καθώς και της σύγχρονης και ασύγχρονης επικοινωνίας. Ακολουθεί ανάλυση των μηχανισμών, οι οποίοι μπορούν να επεκτείνουν ένα δίκτυο σε μεγαλύτερες αποστάσεις και επιδεικνύονται μερικές τέτοιες δυνατότητες με τη χρήση μόντεμ οπτικών ινών, επαναληπτών (repeaters), γεφυρών (bridges), συγκεντρωτών (hubs) και μεταγωγέων (switches). Τέλος, γίνεται μια σύγκριση των γεφυρών με τους συγκεντρωτές.

#### 3.1. Μορφές Μετάδοσης

##### 3.1.1. Παράλληλη Μετάδοση

Στην παράλληλη μετάδοση, αντίθετα από τη σειριακή μετάδοση, όλα τα bits του χαρακτήρα αποστέλλονται ταυτόχρονα, πράγμα που επιτυγχάνεται με τη χρήση πολλαπλών καναλιών μετάδοσης, τουλάχιστον τόσα όσα και το πλήθος των bits που απαρτίζουν τον χαρακτήρα.



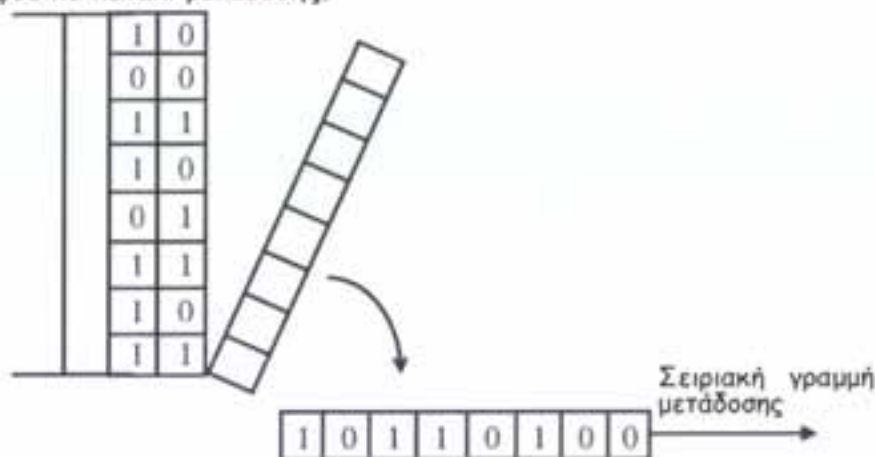
Αποστολή των bits του χαρακτήρα με τη χρήση πολλαπλών καναλιών μετάδοσης, σύμφωνα με την παράλληλη μετάδοση δεδομένων.

Η μετάδοση καλείται παράλληλη λόγω του ότι και τα 8 bits του χαρακτήρα ταξιδεύουν μαζί. Επομένως είναι κατανοητό ότι η παράλληλη μετάδοση είναι ταχύτερη της σειριακής αφού μεταδίδει πολλά bits ταυτόχρονα. Έχει εφαρμογή σε μεταδόσεις πολύ μικρών αποστάσεων, όπως για παράδειγμα η επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών και περιφερειακών συσκευών (εκτυπωτές, δίσκοι κλπ.), επειδή απαιτεί πολλαπλά κανάλια μετάδοσης. Οι συνδέσεις αυτές υλοποιούνται με καλώδια πολλαπλών αγωγών. Εκτός από τα κανάλια που μεταφέρουν τα bits δεδομένων, συνήθως υπάρχουν και πρόσθετα κανάλια για μεταφορά σημάτων ελέγχου που είναι απαραίτητα για μια επιτυχή μετάδοση.

### 3.1.2. Σειριακή Μετάδοση

Οι υπολογιστές είναι ψηφιακές συσκευές, έτσι χρησιμοποιούν δυαδικά ψηφία (bit) για την αναπαράσταση δεδομένων. Επομένως, η μετάδοση δεδομένων μεταξύ των Η/Υ σημαίνει την αποστολή bit μέσω του υποκείμενου μέσου μετάδοσης.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος σύνδεσης μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων είναι αυτός που χρησιμοποιεί τη σειριακή μετάδοση. Σύμφωνα με αυτήν, τα bits των κωδικοποιημένων χαρακτήρων αποστέλλονται το ένα κατόπιν του άλλου μέσα από ένα απλό φυσικό κανάλι μετάδοσης.



Τα bits αποστέλλονται μέσα από ένα απλό φυσικό κανάλι μετάδοσης σύμφωνα με τη σειριακή μετάδοση δεδομένων

Στη σειριακή μετάδοση, συνήθως εκπέμπεται πρώτο το λιγότερο σημαντικό bit (LSB - Last Significant Bit) του χαρακτήρα. Σε μερικές περιπτώσεις προηγείται το πλέον σημαντικό bit (MSB - Most Significant Bit). Η σειριακή μετάδοση χρησιμοποιείται κυρίως στις συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων μέσω μόντεμ, όπου περιοριζόμαστε στο να χρησιμοποιούμε ένα μόνο φυσικό κανάλι μετάδοσης. Βέβαια, η ευρεία διάδοση της σειριακής μετάδοσης την κάνει να χρησιμοποιείται ακόμη και σε συνδέσεις μικρών αποστάσεων. Τέτοιες περιπτώσεις είναι η σειριακή σύνδεση τερματικών ή εκτυπωτών με υπολογιστές σε κοντινή απόσταση μέσω του V.24<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Το V.24 που συνήθως το συναντάμε ως RS - 232, είναι ένα πρότυπο (standard) το οποίο καθορίζει τόσο το χρονισμό των σημάτων όσο και τις ηλεκτρικές λεπτομέρειες της τάσης και του ρεύματος. Δηλαδή το RS - 232 ορίζει τις λεπτομέρειες της φυσικής σύνδεσης (π. χ. ότι η σύνδεση πρέπει να έχει μήκος κάτω από 15 μέτρα), καθώς και τις ηλεκτρικές λεπτομέρειες (π. χ. ότι οι δύο τάσεις που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων είναι από -15 volt έως +15 volt).

## 3.2. Συγχρονισμός

### 3.2.1. Ασύγχρονη μετάδοση (RS - 232)

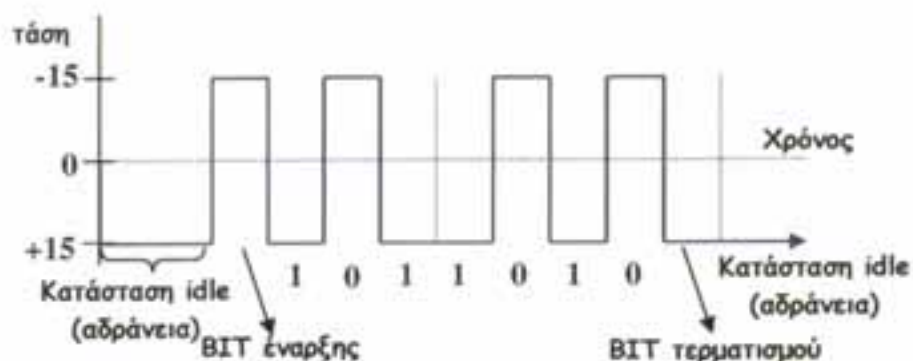
Η ασύγχρονη μετάδοση χαρακτηρίζεται από την αποστολή δεδομένων υπό μορφή χαρακτήρων. Οι χαρακτήρες μεταδίδονται ένας - ένας με κάποιο χρονικό διάστημα διαχωρισμού μεταξύ τους, που ο δέκτης εκμεταλλεύεται για να τους διακρίνει.

Το RS - 232 είναι ένα πρότυπο το οποίο προέρχεται από τον οργανισμό *EIA - Electronic Industries Association* και χαρακτηρίζεται ως ο πλέον διαδεδομένος τρόπος για τη μεταφορά χαρακτήρων μέσω συρμάτων χαλκού ανάμεσα σε έναν υπολογιστή και μια συσκευή, όπως μόντεμ, πληκτρολόγιο ή τερματικό. Ορίζει τη σειριακή ασύγχρονη επικοινωνία. Σειριακή επειδή τα bit ταξιδεύουν μέσα στο σύρμα το ένα μετά το άλλο και ασύγχρονη επειδή επιτρέπει στον αποστολέα να μεταδίδει ένα χαρακτήρα οποιαδήποτε στιγμή και να καθυστερεί απεριόριστα πριν στείλει άλλο χαρακτήρα. Επίσης, η μετάδοση ενός δεδομένου χαρακτήρα είναι ασύγχρονη, επειδή ο αποστολέας και ο παραλήπτης δεν συντονίζονται πριν από τη μετάδοση. Από τη στιγμή που θα αρχίσει η μετάδοση ενός χαρακτήρα, το υλικό αποστολής μεταδίδει όλα τα bits το ένα μετά το άλλο, χωρίς καμία καθυστέρηση μεταξύ τους. Είναι πολύ σημαντικό να τονίσουμε ότι το υλικό RS - 232 δεν αφήνει ποτέ μηδέν volt στο σύρμα. Όταν ο πομπός δεν έχει τίποτα να στείλει, αφήνει το σύρμα σε αρνητική τάση, που αντιστοιχεί σε τιμή bit 1 (idle).

Εφόσον το σύρμα δεν επανέρχεται στα μηδέν volt μεταξύ των bits, ο δέκτης δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει την απουσία τάσης για να εντοπίζει το τέλος ενός bit και την αρχή του επόμενου. Έτσι, ο αποστολέας και ο δέκτης πρέπει να συμφωνήσουν για την ακριβή χρονική διάρκεια που θα διατηρείται η τάση για το κάθε bit. Όταν φτάσει το πρώτο bit ενός χαρακτήρα, ο δέκτης αρχίζει μια χρονομέτρηση, και τη χρησιμοποιεί για να γνωρίζει πότε θα μετρά την τάση για το κάθε επόμενο bit. Επειδή όμως ο δέκτης δεν μπορεί να διακρίνει αν η γραμμή είναι αδρανής ή αν το πρώτο bit έχει την τιμή 1, ο αποστολέας μεταδίδει ένα επιπλέον bit πριν από κάθε χαρακτήρα, με τιμή 0 που ονομάζεται **start bit** και χρησιμοποιείται για να ειδοποιήσει τον δέκτη ότι ακολουθούν τα υπόλοιπα data bit που απαρτίζουν τον χαρακτήρα.

Επειδή ο αριθμός των bit του χαρακτήρα μετά το start bit είναι μικρός, συνήθως 8, η θέση τους εντοπίζεται από τον δέκτη με σαφήνεια, έστω και αν υπάρχει μια μικρή απόκλιση στην ακρίβεια κυκλωμάτων χρονισμού του πομπού και του δέκτη.

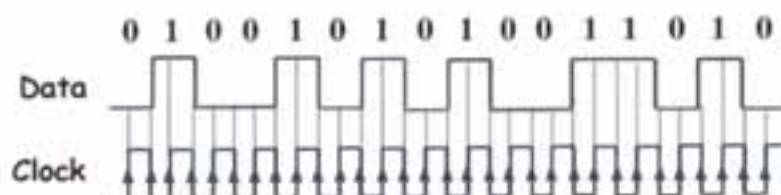
Μετά τη μετάδοση κάθε χαρακτήρα η γραμμή επανέρχεται σε αδράνεια (κατάσταση **idle** - το σύρμα σε αρνητική τάση, που αντιστοιχεί στην τιμή bit 1), για χρονικό διάστημα τουλάχιστον ενός bit. Αυτό το bit καλείται **stop bit** και η διάρκειά του μπορεί να φτάσει ανάλογα με τον κώδικα και την ταχύτητα μετάδοσης το 1,5 bit ή τα 2 bit. Η γραμμή εξακολουθεί να παραμένει σε κατάσταση idle έως ότου εμφανιστεί το start bit του επόμενου χαρακτήρα.



Μεταβολή της τάσης σε ένα σύρμα όταν στέλνεται ένας χαρακτήρας σύμφωνα με το πρότυπο RS - 232. Το πρότυπο αυτό χρησιμοποιεί αρνητική τάση *15 volt* για την αναπαράσταση των *bit 1* και θετική τάση *15 volt* για την αναπαράσταση των *bit 0*. Ένα bit έναρξης (start bit) ειδοποιεί τον δέκτη ότι αρχίζει η μετάδοση ενός χαρακτήρα, και η μετάδοση του κάθε bit έχει την ίδια χρονική διάρκεια.

### 3.2.2. Σύγχρονη μετάδοση

Σε αντίθεση με την ασύγχρονη μετάδοση, οι χαρακτήρες στη σύγχρονη μετάδοση δεν μεταδίδονται ανεξάρτητα ο καθένας, αλλά ομαδοποιούνται σε block που είναι και το κύριο χαρακτηριστικό της σύγχρονης μετάδοσης. Ένα βασικό χαρακτηριστικό της σύγχρονης μετάδοσης είναι ένα σήμα χρονισμού που συνοδεύει τα data το οποίο καλούμε ρολόι (clock). Το ρολόι αυτό είναι μια τετραγωνική κυματομορφή που έχει συχνότητα ίση με το ρυθμό μετάδοσης. Οι ανερχόμενες παρυφές των παλμών του ρολογιού συμπίπτουν χρονικά με το μέσο του κάθε αποσπελλόμενου bit.



Σύγχρονη μετάδοση καθώς και ένα σήμα χρονισμού που συνοδεύει τα data και το οποίο καλούμε ρολόι (clock).

Στη σύγχρονη μετάδοση δεν υπάρχει idle χρόνος μεταξύ του τελευταίου bit ενός χαρακτήρα και του πρώτου bit του επόμενου. Εκτός από τον απαραίτητο συγχρονισμό για τη σωστή αναγνώριση των bits κατά τη μετάδοσή τους από το φυσικό κανάλι, υπάρχει και η ανάγκη ενός άλλου συγχρονισμού, που είναι για το διαχωρισμό των χαρακτήρων μεταξύ τους.

Στη σύγχρονη μετάδοση ο δέκτης πρέπει πρώτα απ' όλα να αναγνωρίζει την αρχή και το τέλος του κάθε block χαρακτήρων. Η αντιμετώπιση είναι διαφορετική όταν το block αποτελείται από χαρακτήρες από ότι όταν αποτελείται από bit.

Η αναγνώριση της αρχής ενός block που αποτελείται από χαρακτήρες γίνεται με τη χρήση ενός ή δύο χαρακτήρων συγχρονισμού (SYN) που τοποθετούνται στην αρχή του. Συνήθως χρησιμοποιεί δύο χαρακτήρες SYN, οπότε αφού ο δέκτης αναγνωρίσει τον πρώτο, πρέπει να τον επιβεβαιώσει βρίσκοντας στα επόμενα 8 bit

τον δεύτερο. Με αυτή τη διαδικασία είναι πιο βέβαιος για την ορθότητα του συγχρονισμού.

Στα block δεδομένων που αποτελούνται από bits ο συγχρονισμός γίνεται με τις λεγόμενες σημαίες (flags). Η flag διαθέτει 8 bit που είναι έξι συνεχόμενα 1 περιβαλλόμενα από δύο 0 (01111110).

Όσον αφορά στην αναγνώριση του τέλους των μηνυμάτων, σε block αποτελούμενο από χαρακτήρες προστίθεται στο τέλος ένας χαρακτήρας τέλους γνωστός και ως rad. Ο δέκτης μόλις αναγνωρίσει το rad αποσυγχρονίζεται και περιμένει τους χαρακτήρες SYN του επόμενου block για να ξανασυγχρονιστεί.

Σε block που αποτελείται από bit προστίθεται στο τέλος μια flag σαν αυτή της αρχής. Η σύγχρονη μετάδοση χρησιμοποιείται στα μεγαλύτερα υπολογιστικά συστήματα για μεταφορές αρχείων, αλλά και σε περιβάλλον on line συναλλαγών με τη χρήση σύγχρονων πρωτοκόλλων.

### 3.3. Μέσα μετάδοσης

Στο χαμηλότερο επίπεδο, το φυσικό, τα μέσα μετάδοσης ενεργούν ως διάλυοι επικοινωνίας για τη μεταφορά του σήματος. Τα μέσα μετάδοσης διακρίνονται σε ενσύρματα, όπως το χάλκινο και το ομοαξονικό καλώδιο αλλά και οι οπτικές ίνες, και σε ασύρματα, όπως οι ραδιοεπικοινωνίες και οι δορυφορικές ζεύξεις.

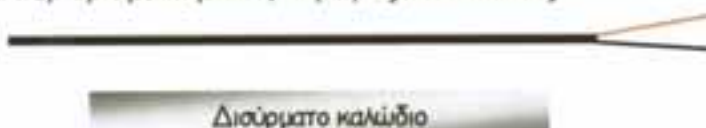
#### 3.3.1. Ομοαξονικό καλώδιο

Το ομοαξονικό καλώδιο είναι ο δεύτερος τύπος χάλκινου καλωδίου και είναι πανομοιότυπο με αυτό που χρησιμοποιείται στην τηλεόραση. Το ομοαξονικό καλώδιο έχει ένα σύρμα το οποίο περιβάλλεται από μόνωση και από βαριά μεταλλική θωράκιση. Αποτελείται από δυο αγωγούς, ο κεντρικός αγωγός περιβάλλεται από τον εξωτερικό, έχοντας κοινό άξονα και γι' αυτό το λόγο ονομάζεται ομοαξονικό. Μονωτικό υλικό υπάρχει όχι μόνο ανάμεσα στους δυο αγωγούς αλλά και γύρω από τον εξωτερικό αγωγό. Λόγω αυτής της κατασκευής ο εσωτερικός αγωγός δέχεται περιορισμένο ποσοστό θορύβου. Η διάμετρός του κυμαίνεται από 0,6 εκ. μέχρι και 2 εκ., από πλευράς χρηστικότητας είναι δύσχρηστο εξαιτίας της ακαμψίας του και της συνδεσμολογίας του (συνδέεται μόνο με ειδικά βύσματα - connector). Προσφέρει αυξημένο εύρος ζώνης μεταφοράς του σήματος 1000 MHz, επιτυγχάνοντας έτσι υψηλές ταχύτητες και μεγάλη ασφάλεια. Χρησιμοποιείται για μεγάλες αποστάσεις για αναλογικά και ψηφιακά σήματα.



### 3.3.2. Δισύρματα καλώδια

Είναι το απλούστερο μέσο μετάδοσης. Αποτελείται από δυο παράλληλα μονωμένα σύρματα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για μικρές αποστάσεις διότι είναι ευπαθή σε θορύβους και παρεμβολές από γειτονικά σύρματα. Μια εξελιγμένη τους μορφή είναι τα συνεστραμμένα ζεύγη. Η διαφορά τους εντοπίζεται στο ότι τα δυο καλώδια συστρέφονται μεταξύ τους και προστατεύονται από βάρια μεταλλική θωράκιση όπως και το ομοαξονικό. Έχει εύρος σήματος από μερικά ΚHz έως και εκατοντάδες MHz. Εμφανίζει αυξημένη απόσβεση του σήματος στις υψηλές συχνότητες με αποτέλεσμα να μην παρέχουν υψηλές ταχύτητες. Τέλος, είναι πολύ εύκολα στην εγκατάστασή τους χρησιμοποιούνται περισσότερο για αναλογικά σήματα, ενώ για ψηφιακά περιορισμένα μόνο για μικρές αποστάσεις.



### 3.3.3. Ραδιοκύματα

Εκτός από τα δίκτυα που χρησιμοποιούν άμεση φυσική σύνδεση υπάρχουν και άλλα που συνδέονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Κάθε τερματικό είναι συνδεδεμένο με μία κεραία μέσω της οποίας στέλνει και δέχεται μηνύματα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Οι μεταδόσεις αυτού του τύπου λέγονται μεταδόσεις RF και η εμβέλειά τους καθορίζεται ανάλογα με το μέγεθος της κεραίας που χρησιμοποιείται.

Μια παραλλαγή των ραδιοκυμάτων είναι τα **μικροκύματα**. Η διαφορά τους με τα ραδιοκύματα είναι ότι έχουν υψηλότερη συχνότητα, μπορούν να μεταφέρουν "περισσότερη πληροφορία" και μπορούν να στοχεύουν προς μια κατεύθυνση. Για την επικοινωνία δυο σταθμών που επικοινωνούν με μικροκύματα είναι απαραίτητο οι δυο πηγές να έχουν οπτική επικοινωνία μεταξύ τους.

### 3.3.4. Δορυφόροι

Η επικοινωνία μέσω δορυφόρου ανήκει στην κατηγορία της ασύρματης επικοινωνίας. Η διαφορά με τα ραδιοκύματα είναι ότι μπορούν να μεταδίδουν σε



μεγάλες αποστάσεις επειδή δεν επηρεάζονται από την καμπυλότητα της γης. Έτσι ένας πομπός μπορεί να μεταδίδει σε έναν δορυφόρο, ο οποίος ενισχύει το σήμα και το αναμεταδίδει στον δέκτη που βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση. Κάθε δορυφόρος περιέχει πολλούς πομποδέκτες σημάτων και μπορεί να εξυπηρετεί ταυτόχρονα πολλούς επίγειους σταθμούς.

Οι επικοινωνιακοί δορυφόροι ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες με βάση το ύψος της τροχιάς τους. Η πρώτη ομάδα δορυφόρων είναι οι γεωσύγχρονοι, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε τροχιά ακριβώς συγχρονισμένη με αυτήν της γης με αποτέλεσμα να φαίνονται σταθεροί πάνω από το ίδιο σημείο και να καλύπτουν την ίδια περιοχή.

Στη δεύτερη ομάδα δορυφόρων ανήκουν οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς. Βρίσκονται σε χαμηλότερο ύψος από τους προηγούμενους και κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα γύρω από την γη. Έχοντας μεγαλύτερη συχνότητα περιστροφής πλεονεκτούν στο ότι για μία πλήρη περιστροφή γύρω από τη γη χρειάζονται μόνο 1,5 ώρα. Από την άλλη πλευρά το μειονέκτημά τους είναι ότι δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν έναν επίγειο σταθμό για πολλή ώρα παρά μόνο για λίγα λεπτά. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν συστοιχίες δορυφόρων χαμηλής τροχιάς που καλύπτουν όλη την επιφάνεια της γης. Οι δορυφόροι αυτοί εκτός από ενισχυτές - αναμεταδότες είναι εξοπλισμένοι και με ραδιοεπικοινωνία που τους επιτρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους και να μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ τους έως το σημείο όπου βρίσκεται ο επίγειος σταθμός που είναι ο προορισμός.



Μετάδοση μέσω δορυφόρου

### 3.3.5. Φως Λέιζερ

Το φως λέιζερ λειτουργεί με δέσμες φωτός όπως οι οπτικές ίνες. Όπως και στην ασύρματη επικοινωνία είναι απαραίτητοι ένας πομπός και ένας δέκτης. Ο πομπός της δέσμης θα πρέπει να στοχεύει ακριβώς στον δέκτη και να μην παρεμβάλλονται φυσικά εμπόδια μεταξύ τους.



### 3.3.6. Υπέρυθρες ακτίνες

Οι υπέρυθρες ακτίνες είναι μια τεχνολογία με όλα τα πλεονεκτήματα της ασύρματης αλλά με περιορισμό στο εύρος του χώρου. Η τεχνολογία αυτή είναι κατάλληλη μόνο για μικρές αποστάσεις σε μέγεθος μιας μεγάλης αίθουσας. Χρησιμοποιείται συνήθως από συσκευές που βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιας κεραίας, παρ' όλα αυτά χρειάζεται να στοχεύει ο πομπός προς τον δέκτη. Καθημερινό παράδειγμα χρήσης υπέρυθρων ακτινών είναι τα κινητά τηλέφωνα που ανταλλάσσουν δεδομένα με την προϋπόθεση να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση και χωρίς τη χρήση του δικτύου.

### 3.3.7. Οπτικές ίνες

Μια νέα εναλλακτική λύση στα μέσα μετάδοσης πληροφοριών είναι αυτή της οπτικής ίνας. Στο μέσο αυτό, που είναι από γυαλί ή πλαστικό, δεν μεταφέρεται ηλεκτρική ενέργεια αλλά φωτεινές δέσμες μέσω της κεντρικής ίνας (core). Οι οπτικές ίνες αποτελούνται συνήθως από τρεις ομόκεντρες κυλινδρικές οντότητες διηλεκτρικού υλικού, την κεντρική ίνα (core), την επίστρωση (cladding) και το κάλυμμα.

Η ψηφιακή πληροφορία μεταφέρεται με διαμόρφωση πλάτους του εκπεμπόμενου φωτός. Η φωτεινή δέσμη εγκλωβίζεται μέσα στην κεντρική ίνα και ανακλάται υπό γωνία συνεχώς από το ένα άκρο προς το άλλο. Στο τέρμα του άκρου υπάρχει φωτοδέκτης που ανιχνεύει την έλευση του φωτός.

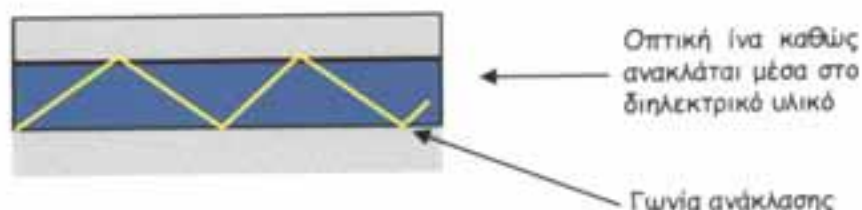
Τα **πλεονεκτήματα** της οπτικής ίνας από τα άλλα μέσα μετάδοσης είναι:

- Μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, ρυθμοί μετάδοσης έως 5 Gbps.
- Είναι ανεπηρέαστες από θορύβους όπως ηλεκτρικά μαγνητικά πεδία.
- Εμφάνιση σφαλμάτων σε πολύ χαμηλά επίπεδα.
- Είναι πολύ ελαφρύτερο σε βάρος από τα άλλα ενσύρματα μέσα και ακίνδυνο για βραχυκυκλώματα και εκρήξεις.
- Ασφάλεια: είναι πολύ ασφαλές μέσο μεταφοράς αφού πολύ δύσκολα μπορεί να υποκλέψει κάποιος.
- Η ελάχιστη δυνατή απόσβεση αφού προξενούν την μικρότερη εξασθένηση του σήματος, καλύπτει αποστάσεις έως 300 χιλιόμετρα.

Ως **μειονεκτήματα** των οπτικών ινών καταλογίζονται:

- Δύσκολοι τρόποι σύνδεσης και βυσμάτωσης των οπτικών ινών.
- Δύσκολη η σύνδεση πολλών χρηστών πάνω σε ένα καλώδιο.

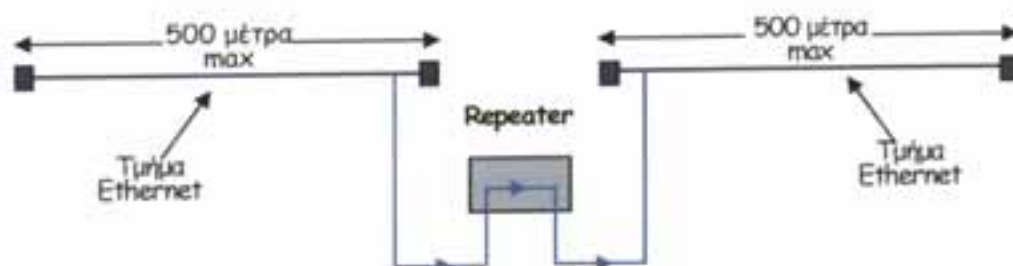
- ο Ανεπαρκής υποδομή για την τεχνολογία της οπτικής ίνας.



### 3.4. Συσκευές Μετάδοσης

#### 3.4.1. Επαναλήπτες (repeaters)

Ο επαναλήπτης (repeater) είναι μια συσκευή η οποία επιτρέπει σε δύο καλώδια να συνδεθούν μεταξύ τους. Στην ουσία επιμηκύνει το καλώδιο του τοπικού δικτύου. Είναι μια αναλογική ηλεκτρονική συσκευή η οποία παρακολουθεί τα ηλεκτρικά σήματα στο κάθε καλώδιο. Λαμβάνει το σήμα από τη μια πλευρά, το αναγεννά και το περνά στο άλλο καλωδιακό τμήμα.



Επαναλήπτης που συνδέει δύο καλώδια Ethernet. Ο επαναλήπτης συνδέεται απευθείας στο καλώδιο, χωρίς να χρησιμοποιηθεί transceiver.

Τα δύο καλώδια λέγονται τμήματα (segments), κάθε ένα από τα οποία τερματίζεται με το συνηθισμένο τρόπο. Οι επαναλήπτες δεν καταλαβαίνουν τη μορφή των πλαισίων, ούτε έχουν φυσικές διευθύνσεις. Αντίθετα, ο επαναλήπτης συνδέεται απευθείας στα καλώδια Ethernet<sup>2</sup> και στέλνει αντίγραφο των ηλεκτρικών σημάτων από το ένα στο άλλο χωρίς να περιμένει να ολοκληρωθεί ένα πλαίσιο.

Το μέγιστο μήκος ενός τμήματος (segment) Ethernet είναι 500 μέτρα. Μπορεί όμως ένας επαναλήπτης να διπλασιάσει το λειτουργικό μήκος ενός Ethernet και να το κάνει 1000 μέτρα, συνδέοντας δύο τμήματα μέγιστου μήκους. Μπορούν ακόμη, να χρησιμοποιηθούν δύο επαναλήπτες για να συνδέσουν τρία τμήματα Ethernet, ώστε να δημιουργηθεί ένα δίκτυο μήκους 1500 μέτρων. Επειδή οι

<sup>2</sup> Το Ethernet είναι ένα πρωτόκολλο τοπικού δικτύου το οποίο λειτουργεί στα δύο χαμηλότερα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI, δηλαδή στο Φυσικό Επίπεδο και στο Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων. Το Ethernet έχει ένα απλό ομοαξονικό καλώδιο, στο οποίο συνδέονται πολλοί υπολογιστές. Το καλώδιο αυτό του Ethernet περιορίζεται σε 500 μέτρα μήκος και το πρότυπο απαιτεί ελάχιστη απόσταση 3 μέτρων ανάμεσα σε κάθε ζεύγος συνδέσεων.

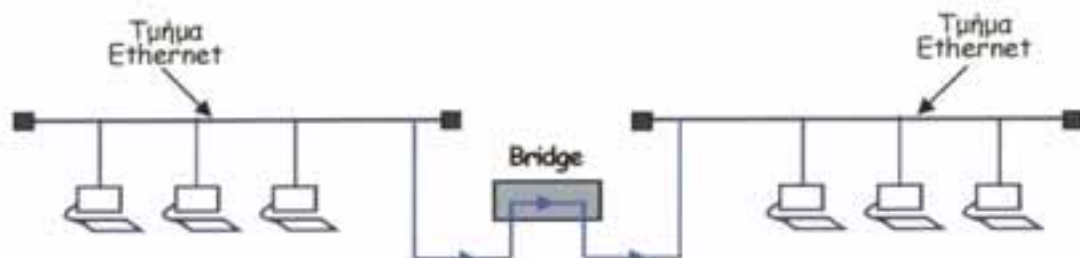
Το Ethernet απαιτεί να μοιράζονται πολλοί υπολογιστές την πρόσβαση στο ίδιο μέσο μετάδοσης. Ένας αποστολέας μεταδίδει ένα σήμα το οποίο διαδίδεται από τον αποστολέα και προς τα δύο άκρα του καλωδίου.

επαναλήπτες διαδίδουν όλα τα σήματα μεταξύ δύο τμημάτων, ένας υπολογιστής συνδεδεμένος στο ένα τμήμα μπορεί να επικοινωνεί με έναν υπολογιστή συνδεδεμένο στο άλλο τμήμα. Μάλιστα οι υπολογιστές δεν γνωρίζουν εάν υπάρχει επαναλήπτης μεταξύ τους.

Είναι πολύ σημαντικό να τονίσουμε ότι το μήκος ενός δικτύου δεν μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση περισσότερων από τέσσερις επαναλήπτες. Αυτό συμβαίνει για τον λόγο ότι κάθε επαναλήπτης ο οποίος συνδέει κάθε πρόσθετο τμήμα δικτύου, αυξάνει την καθυστέρηση. Ο μηχανισμός CSMA/CD<sup>3</sup> του Ethernet, όμως, είναι σχεδιασμένος για μικρές καθυστερήσεις. Επομένως, η προσθήκη περισσότερων από τέσσερις επαναλήπτες θα οδηγήσει στην αποτυχία του μηχανισμού. Το όριο των τεσσάρων επαναληπτών σε ένα δίκτυο Ethernet τέθηκε μετά από πολύ προσεκτικό σχεδιασμό.

### 3.4.2. Γέφυρες (bridges)

Γέφυρα είναι μια ηλεκτρονική συσκευή με την οποία συνδέονται δύο τοπικά δίκτυα μεταξύ τους, είτε τοπικά είτε απομακρυσμένα. Η γέφυρα, σε αντίθεση με τους επαναλήπτες, χειρίζεται ολόκληρα πλαίσια και χρησιμοποιεί την ίδια διασύνδεση δικτύου όπως ένας συμβατικός υπολογιστής. Όταν λάβει ένα πλαίσιο από το ένα τμήμα, η γέφυρα επαληθεύει εάν έφτασε αναλλοίωτο, και μετά προωθεί ένα αντίγραφο του πλαισίου στο άλλο τμήμα, εάν χρειάζεται. Δύο λοιπόν τμήματα LAN συνδεδεμένα μεταξύ τους με μια γέφυρα, συμπεριφέρονται σαν ενιαίο LAN.



Εξι υπολογιστές συνδεδεμένοι σε δύο LAN τα οποία συνδέονται με μια γέφυρα. Η γέφυρα χρησιμοποιεί τον ίδιο τύπο σύνδεσης με έναν υπολογιστή.

Ένα βασικό πλεονέκτημα των γεφυρών είναι η αποφυγή προβλημάτων. Εάν δύο τμήματα είναι συνδεδεμένα με έναν επαναλήπτη και κάποια αστραπή προκαλέσει ηλεκτρικές παρεμβολές στο ένα από αυτά, ο επαναλήπτης θα διαδώσει τις παρεμβολές και στο άλλο τμήμα. Στην περίπτωση όμως που τα τμήματα συνδέονται με γέφυρα, αυτή θα λάβει το πλαίσιο με λανθασμένη μορφή και θα το απορρίψει χωρίς να το περάσει στο άλλο τμήμα.

<sup>3</sup> (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect - πολλαπλή πρόσβαση μέσω ανίχνευσης φέροντος σήματος με εντοπισμό συγκρούσεων). Πρόκειται για ένα μηχανισμό συντονισμού ο οποίος χρησιμοποιεί την ηλεκτρική δραστηριότητα στα καλώδια για να προσδιορίσει την κατάσταση. Όταν κανένας υπολογιστής δεν στέλνει πλαίσια, το καλώδιο, στο οποίο συνδέονται όλοι οι υπολογιστές, δεν περιέχει ηλεκτρικά σήματα. Όταν όμως ο αποστολέας μεταδίδει ένα πλαίσιο, μεταδίδει ηλεκτρικά σήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση των bits.

Μια γέφυρα αποτελείται από ένα συμβατικό υπολογιστή, με CPU, μνήμη, και με δύο διασυνδέσεις δικτύου. Η πιο πολύτιμη λειτουργία που πραγματοποιεί μια γέφυρα είναι η *διαλογή πλαισίων* (frame filtering), που σημαίνει ότι η γέφυρα δεν προωθεί ένα πλαίσιο παρά μόνο εάν χρειάζεται. Πιο συγκεκριμένα, εάν ένας υπολογιστής συνδεδεμένος στο ένα τμήμα, θέλει να στείλει ένα πλαίσιο σε έναν άλλο υπολογιστή συνδεδεμένο στο ίδιο τμήμα, δεν χρειάζεται να προωθήσει αντίγραφο του στο άλλο τμήμα.

Η γέφυρα γνωρίζει τη θέση κάθε υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος στα LAN τα οποία συνδέει, επομένως, όταν ένα πλαίσιο φτάσει σε ένα τμήμα, η γέφυρα εξάγει και ελέγχει τη διεύθυνση προορισμού. Εάν ο υπολογιστής προορισμού είναι συνδεδεμένος στο τμήμα από το οποίο ήρθε το πλαίσιο, τότε ο προορισμός και η γέφυρα λαμβάνουν την ίδια μετάδοση, και η γέφυρα απορρίπτει το πλαίσιο χωρίς να προωθήσει αντίγραφο του. Εάν όμως, ο υπολογιστής προορισμού δεν βρίσκεται στο τμήμα από το οποίο ήρθε το πλαίσιο, τότε η γέφυρα στέλνει ένα αντίγραφο του πλαισίου στο άλλο τμήμα.

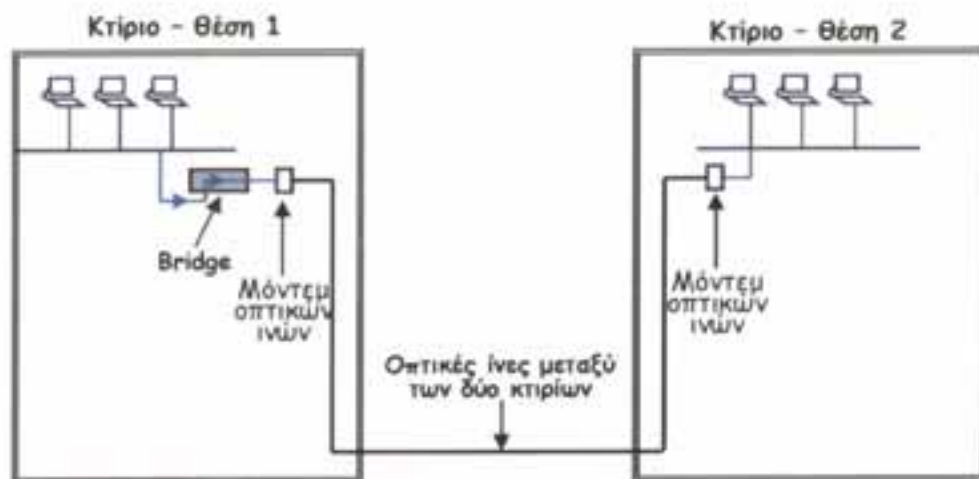
Αξίζει να συμπληρώσουμε ότι οι περισσότερες γέφυρες λέγονται προσαρμοστικές (adaptive) ή εκπαιδευόμενες (learning) επειδή μαθαίνουν τις θέσεις των υπολογιστών αυτόματα. Η γέφυρα ακροάζεται τα τμήματα τα οποία συνδέει, και φτιάχνει μια λίστα των υπολογιστών που είναι συνδεδεμένοι στο κάθε τμήμα. Όταν λοιπόν έρχεται ένα πλαίσιο, αρχικά η γέφυρα εξάγει τη φυσική διεύθυνση αφετηρίας από την κεφαλίδα του πλαισίου, και την προσθέτει στη λίστα υπολογιστών που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό το τμήμα. Στη συνέχεια, η γέφυρα εξάγει τη φυσική διεύθυνση προορισμού, και τη χρησιμοποιεί για να προσδιορίσει εάν θα προωθήσει το πλαίσιο. Επομένως, όλες οι γέφυρες που είναι συνδεδεμένες σε ένα τμήμα μαθαίνουν εάν ένας υπολογιστής είναι παρών μόλις αυτός μεταδώσει ένα πλαίσιο.

### 3.4.3. Γεφύρωση μεταξύ κτιρίων

Υπάρχουν εταιρείες οι οποίες είναι εγκατεστημένες σε δύο ή περισσότερα κτίρια τα οποία βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους. Στην περίπτωση αυτή, εάν θέλουν να επικοινωνήσουν οι υπολογιστές που βρίσκονται στο ένα κτίριο με τους υπολογιστές που βρίσκονται στο άλλο κτίριο θα το επιτύχουν με τη χρήση μιας οπτικής ίνας και ενός ζεύγους μόντεμ οπτικών ινών<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Για τη μετάδοση δεδομένων σε μεγάλη απόσταση απαιτείται να υπάρχει ένας διαμορφωτής (modulator) για τη μετάδοση δεδομένων και ένας αποδιαμορφωτής (demodulator) για τη λήψη δεδομένων.

Για να είναι χαμηλό το κόστος και εύκολη η εγκατάσταση και η λειτουργία του ζεύγους συσκευών διαμορφωτής - αποδιαμορφωτής, οι κατασκευαστές συνδυάζουν και τα δύο κυκλώματα σε μία μόνο συσκευή, η οποία ονομάζεται modem. Τα οπτικά μόντεμ μεταδίδουν δεδομένα μέσω δύο οπτικών ινών με τη χρήση φωτός.



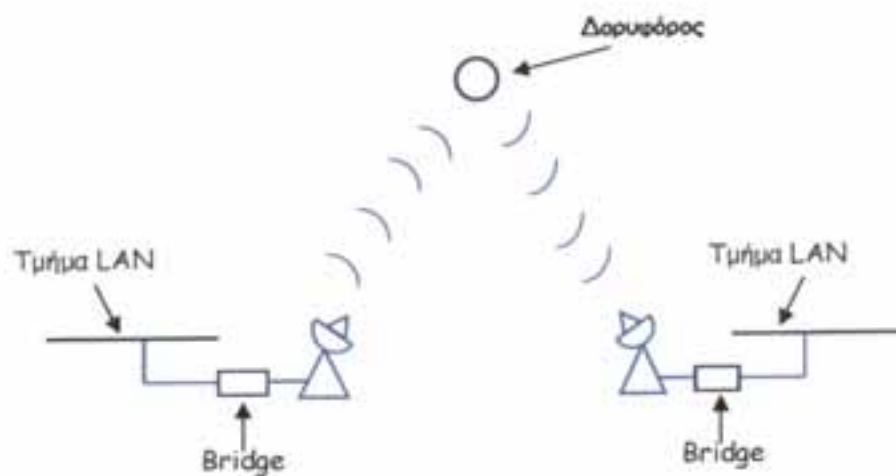
Γέφυρα η οποία συνδέει δύο κτίρια με τη χρήση μιας οπτικής ίνας και δύο μόντεμ οπτικών ινών, ένα σε κάθε κτίριο.

Η χρήση μιας γέφυρας σε τέτοιες περιπτώσεις έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. επειδή απαιτεί μια μόνο σύνδεση ίνας, η λύση της γέφυρας είναι λιγότερο δαπανηρή από τη χρήση ξεχωριστής σύνδεσης ίνας για κάθε μεμονωμένο υπολογιστή.
2. επειδή η σύνδεση μεταξύ των κτιρίων γίνεται μέσω της γέφυρας, μπορούν να προστίθενται ή να αφαιρούνται μεμονωμένοι υπολογιστές στα τμήματα, χωρίς εγκατάσταση ή αλλαγή καλωδίωσης μεταξύ των κτιρίων.
3. επειδή μια γέφυρα επιτρέπει την ταυτόχρονη επικοινωνία μεταξύ δύο τμημάτων, η χρήση γέφυρας αντί για επαναλήπτη σημαίνει ότι η επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών που βρίσκονται στο ένα κτίριο δεν επηρεάζει την επικοινωνία των υπολογιστών που βρίσκονται στο άλλο κτίριο.

#### 3.4.4. Μεγάλες αποστάσεις

Στην περίπτωση γεφύρωσης σε μεγαλύτερες ακόμα αποστάσεις, αυτή επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση μιας μισθωμένης γραμμής για τη σύνδεση μεταξύ των τοποθεσιών, είτε με τη χρήση ενός μισθωμένου δορυφορικού καναλιού. Και οι δύο αυτές μέθοδοι απαιτούν μια σύνδεση σημείου προς σημείο μεγάλης απόστασης και ειδικό υλικό γέφυρας.



Γέφυρα η οποία χρησιμοποιεί μισθωμένο δορυφορικό κανάλι για τη σύνδεση τμημάτων LAN σε διαφορετικές τοποθεσίες.

## 4. Επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων

Ένα ηλεκτρικό ρεύμα δεν μπορεί να διαδοθεί σε απεριόριστη απόσταση μέσω χάλκινου καλωδίου, επειδή το ρεύμα εξασθενίζει όσο μεταφέρεται. Για παράδειγμα, οποιαδήποτε απόπειρα να χρησιμοποιηθεί το RS - 232 για σύνδεση με μια μακρινή πόλη θα έχει ως αποτέλεσμα ηλεκτρικά ρεύματα πολύ ασθενή για να ανιχνευτούν από ένα δέκτη. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει απώλεια σήματος. Η απώλεια σήματος είναι σημαντικός παράγοντας για τα συστήματα επικοινωνίας, επειδή σημαίνει ότι οι απλές αλλαγές της ηλεκτρικής τάσης δεν αρκούν για επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων.

Επειδή ένα συνεχές σήμα μπορεί να διαδίδεται πιο μακριά από ένα τυχαίο σήμα, τα περισσότερα συστήματα επικοινωνίας μεγάλων αποστάσεων μεταδίδουν ένα συνεχές φέρον κύμα, το οποίο στη συνέχεια διαμορφώνεται έτσι ώστε να μεταφέρει δεδομένα. Οι τεχνολογίες δικτύων χρησιμοποιούν μια μεγάλη ποικιλία από τεχνικές διαμόρφωσης.

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε τους λόγους για τους οποίους χρησιμοποιείται ένα συνεχές φέρον κύμα και πώς αυτό μπορεί να χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων. Εξετάζονται κάποιες τεχνικές διαμόρφωσης, οι οποίες χρησιμοποιούνται από διάφορες τεχνολογίες δικτύων. Τέλος, προσδιορίζεται ο σκοπός του υλικού του μόντεμ και πώς χρησιμοποιούνται τα μόντεμ στην επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων.

### 4.1. Φέρον κύμα

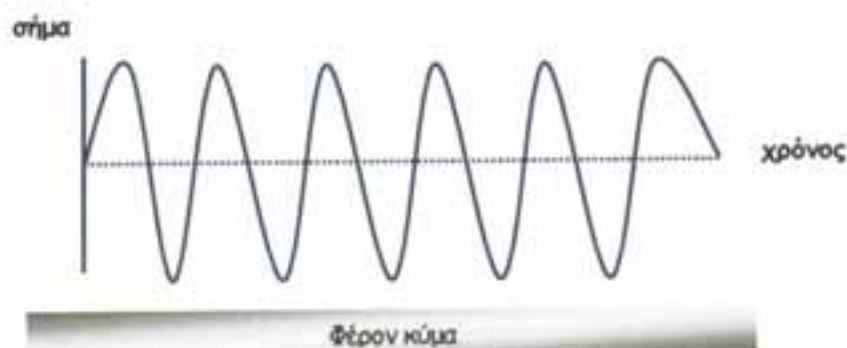
Οι χαρακτήρες μεταδίδονται σε μικρές αποστάσεις μέσω συρμάτων χαλκού, με κωδικοποίηση του κάθε bit σε μια θετική ή αρνητική ηλεκτρική τάση. Όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια μέθοδος και για τη μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις.

Αιτία είναι ότι το ηλεκτρικό ρεύμα όσο προχωράει εξασθενίζει με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ανιχνευτεί εύκολα από ένα δέκτη. Αυτό ονομάζεται *απώλεια ρεύματος* και εμφανίζεται επειδή η αντίσταση του σύρματος προκαλεί μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα.

Μετά από έρευνες διαπιστώθηκε ότι όσον αφορά στη μετάδοση σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις, ένα συνεχές ταλαντούμενο σήμα διαδίδεται πιο μακριά από τα άλλα σήματα. Αντί να μεταδίδεται ένα ηλεκτρικό ρεύμα που μεταβάλλεται μόνο όταν αλλάξει η τιμή ενός bit, τα συστήματα επικοινωνίας μεγάλων αποστάσεων στέλνουν ένα συνεχώς ταλαντούμενο σήμα το οποίο λέγεται *φέρον κύμα* (carrier).

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το φέρον κύμα το οποίο πραγματοποιεί συνεχή ταλάντωση ακόμα και όταν δεν στέλνονται δεδομένα.





## 4.2. Διαμόρφωση Σήματος

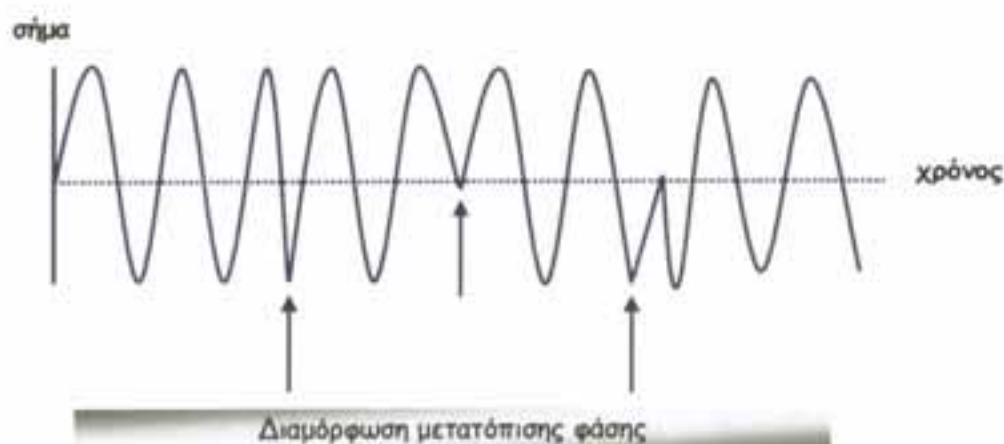
Για να στείλει δεδομένα ένας πομπός, τροποποιεί ελαφρά το φέρον κύμα. Αυτή η τροποποίηση ονομάζεται **διαμόρφωση (modulation)**. Τα περισσότερα δίκτυα υπολογιστών μεγάλων αποστάσεων, είτε μεταδίδουν μέσω συρμάτων, είτε μέσω οπτικών ινών ή ραδιοσυχνοτήτων βασίζονται στην εξής μέθοδο:

Ο πομπός παράγει ένα συνεχώς ταλαντούμενο φέρον κύμα, το οποίο διαμορφώνει σύμφωνα με τα δεδομένα που θα μεταδοθούν. Ο δέκτης μιας σύνδεσης επικοινωνίας μεγάλης απόστασης πρέπει να είναι διευθετημένος ώστε να αναγνωρίζει το φέρον κύμα που χρησιμοποιεί ο αποστολέας. Ο δέκτης παρακολουθεί το εισερχόμενο φέρον κύμα, ανιχνεύει τη διαμόρφωσή του, επανακατασκευάζει τα αρχικά δεδομένα και αποβάλλει το φέρον κύμα.

## 4.3. Τεχνικές Διαμόρφωσης

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές διαμόρφωσης όπως η διαμόρφωση πλάτους, η οποία μεταβάλλει την **ισχύ** του εξερχόμενου σήματος σύμφωνα με τις πληροφορίες που στέλνονται και η διαμόρφωση συχνότητας η οποία μεταβάλλει τη **συχνότητα** του φέροντος κύματος σε αναλογία με τις πληροφορίες που στέλνονται. Όμως η τεχνική διαμόρφωσης που χρησιμοποιούν τα δίκτυα υπολογιστών βασίζεται στην αποστολή περισσότερων bits για κάθε μεταβολή του φέροντος κύματος. Η τεχνική αυτή ονομάζεται διαμόρφωση μετατόπισης φάσης (phase shift modulation) η οποία **αλλάζει** το χρονισμό του φέροντος κύματος για να κωδικοποιήσει δεδομένα. Η αλλαγή αυτή ονομάζεται μετατόπιση φάσης (phase shift). Μετά από μία τέτοια μετατόπιση το φέρον κύμα συνεχίζει την ταλάντωσή του, αλλά μεταπηδά αμέσως σε ένα άλλο σημείο του κύκλου του.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το φέρον κύμα το οποίο συνεχίζει την ταλάντωσή του καθώς και τα σημεία στα οποία μεταπηδά. Έχουν αφαιρεθεί οριζόντια τμήματα ενός κανονικού ημιτονοειδούς κύματος, τα τμήματα που απέμειναν έχουν συσπειρωθεί, και οι ασυνέχειες έχουν ενωθεί με κατακόρυφες γραμμές στα σημεία που δείχνουν τα βέλη. Το μέγεθος του τμήματος που αφαιρείται καθορίζει το μέγεθος της μετατόπισης.



#### 4.4. Μόντεμ

Για τη μετάδοση δεδομένων σε μεγάλη απόσταση απαιτείται να υπάρχει ένας *διαμορφωτής (modulator)* για τη μετάδοση δεδομένων και ένας *αποδιαμορφωτής (demodulator)* για τη λήψη δεδομένων.

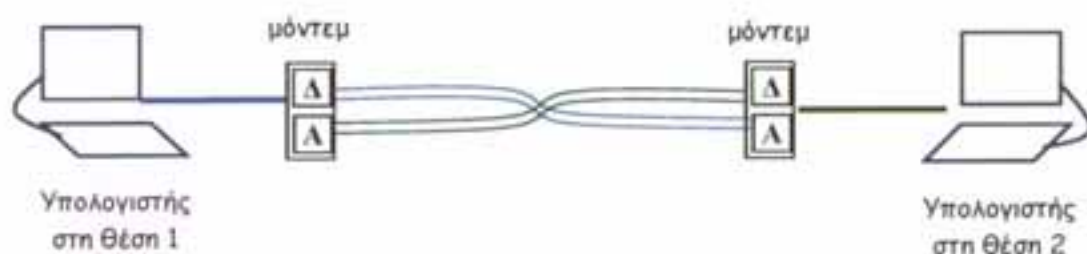
**Διαμορφωτής** είναι ένα κύκλωμα υλικού που δέχεται μια ακολουθία bit και διαμορφώνει το φέρον σήμα σύμφωνα με την τιμή των bits.

**Αποδιαμορφωτής** είναι ένα κύκλωμα υλικού που δέχεται το διαμορφωμένο σήμα και δημιουργεί ξανά την αρχική ακολουθία των bits.

Για να είναι χαμηλό το κόστος και εύκολη η εγκατάσταση και η λειτουργία του ζεύγους συσκευών διαμορφωτής - αποδιαμορφωτής, οι κατασκευαστές συνδυάζουν και τα δύο κυκλώματα σε μία μόνο συσκευή, η οποία ονομάζεται **modem**.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται πώς μπορούν να συνδεθούν δύο υπολογιστές οι οποίοι βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μέσω 2 modem και τετρασύρματου κυκλώματος.

Ο διαμορφωτής του ενός μόντεμ συνδέεται με τον αποδιαμορφωτή του άλλου μόντεμ και για την κάθε σύνδεση χρειάζεται ένα ζεύγος συρμάτων.



Σύνδεση υπολογιστών σε μακρινή απόσταση μέσω μόντεμ

##### 4.4.1. Μετάδοση δεδομένων μέσω οπτικών μόντεμ

Τα *οπτικά μόντεμ* μεταδίδουν δεδομένα μέσω δύο οπτικών ινών με τη χρήση φωτός. Όπως και στη μετάδοση δεδομένων μέσω συρμάτων έτσι κι εδώ στην πλευρά του αποστολέα υπάρχει ένα μόντεμ που μετασχηματίζει τα δεδομένα σε ένα

διαμορφωμένο σήμα και στην πλευρά του παραλήπτη τα δεδομένα εξάγονται από το διαμορφωμένο σήμα. Ενώ η βασική αρχή είναι η ίδια, τα οπτικά μόντεμ χρησιμοποιούν εντελώς διαφορετική τεχνολογία από τα άλλα μόντεμ.

#### 4.4.2. Μετάδοση δεδομένων μέσω μόντεμ ραδιοσυχνότητας

Τα *μόντεμ ραδιοσυχνότητας* παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον γιατί υποστηρίζουν *ασύρματη δικτύωση*. Αυτό επιτρέπει στα ισχυρά κυρίως μόντεμ να μεταδίδουν δεδομένα σε μεγάλες αποστάσεις.

##### Παράδειγμα:

Ένα μικρό μόντεμ ραδιοσυχνότητας το οποίο είναι συνδεδεμένο σε ένα φορητό υπολογιστή επιτρέπει να μετακινείται ο υπολογιστής μέσα σε ένα κτίριο ενώ συνεχίζει να είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο.

#### 4.4.3. Μετάδοση δεδομένων μέσω τηλεφωνικών μόντεμ

Τα *τηλεφωνικά μόντεμ* συνδέονται σε γραμμή τηλεφώνου.

**Βασικά χαρακτηριστικά ενός τηλεφωνικού μόντεμ:**

1. περιέχει κυκλώματα που μιμούνται μια τηλεφωνική συσκευή, δηλαδή μπορεί να προσομοιώνει το σήκωμα του ακουστικού, την επιλογή ενός αριθμού και το κατέβασμα του ακουστικού.
2. χρησιμοποιεί το φέρον κύμα ως ακουστικό τόνο, δηλαδή περιέχει κυκλώματα για την αποστολή και τη λήψη ήχου μέσω της τηλεφωνικής γραμμής.
3. ένα ζεύγος τηλεφωνικών μόντεμ παρέχει πλήρη αμφίδρομη επικοινωνία, δηλαδή μια τηλεφωνική σύνδεση μεταξύ δύο τηλεφωνικών μόντεμ επιτρέπει να ρέουν δεδομένα ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις.



Επικοινωνία υπολογιστών μέσω τηλεφωνικών μόντεμ, χρησιμοποιώντας το τηλεφωνικό σύστημα φωνής

## 5. Μετάδοση πακέτων

Για να εξασφαλιστεί ότι ο κάθε υπολογιστής έχει σύντομη και δίκαιη εξυπηρέτηση, τα δίκτυα υπολογιστών απαιτούν να διαιρούνται τα δεδομένα σε μικρές ενότητες που λέγονται πακέτα (packets).

Για να κάνουμε διάκριση ανάμεσα στη γενική έννοια των πακέτων και στη συγκεκριμένη μορφή των πακέτων που χρησιμοποιούνται σε ένα δεδομένο δίκτυο, χρησιμοποιούμε τον όρο πλαίσιο (frame) όταν αναφερόμαστε σε μια συγκεκριμένη μορφή πακέτου.

Ένα πλαίσιο για να μπορέσει να μεταφέρει οποιαδήποτε δεδομένα, αυτά πρέπει να τροποποιούνται πριν από τη μετάδοση και να αποκαθίστανται μετά τη λήψη. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για αυτή την τροποποίηση αναφέρονται με τον όρο συμπλήρωση δεδομένων (data stuffing), επειδή χαρακτηρίζονται από την παρεμβολή πρόσθετων bit ή byte.

Επειδή ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός και οι γραμμές μετάδοσης υφίστανται ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, τα δεδομένα που μεταφέρονται μέσω ενός δικτύου μπορούν να αλλοιωθούν ή να χαθούν. Τα δίκτυα υπολογιστών περιλαμβάνουν διάφορους μηχανισμούς για την ανίχνευση τέτοιων σφαλμάτων μετάδοσης.

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει μια θεμελιώδη ιδέα της δικτύωσης υπολογιστών. Εξετάζει την έννοια των πακέτων (packets) και εξηγεί πώς ένας αποστολέας και ένας παραλήπτης συνεργάζονται για να μεταφέρουν ένα πακέτο. Επίσης, η ενότητα αυτή δείχνει πώς μπορούν να υλοποιηθούν τα πακέτα σε ένα δίκτυο μετάδοσης χαρακτήρων με τη χρήση μιας απλής μορφής πλαισίου. Τέλος, εξηγεί τα σφάλματα μετάδοσης και εξετάζει μηχανισμούς τους οποίους χρησιμοποιούν τα δίκτυα για να ανιχνεύσουν τέτοια σφάλματα.

### 5.1. Πακέτα και πλαίσια υλικού

Τα δίκτυα υπολογιστών συχνά λέγονται δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Επειδή τα δεδομένα δεν μπορούν να μεταφέρονται με την μορφή μιας τυχαίας ακολουθίας, χωρίζονται σε μικρότερες ενότητες που ονομάζονται πακέτα. Όταν ξεκινά η μετάδοση, μαζί με τα δεδομένα μεταφέρονται χαρακτήρες αρχής και τέλους που δηλώνουν το μέγεθος του πακέτου. Τα πακέτα, τα οποία χρησιμοποιούνται από ένα συγκεκριμένο τύπο δικτύων, ονομάζονται και πλαίσια (frames).

Με τη χρήση των πακέτων, επιτυγχάνεται η σωστή μετάδοση των δεδομένων και ο έλεγχος σφαλμάτων. Επιπλέον, η μεταφορά δεδομένων υπό μορφή πακέτων σε κυκλώματα επικοινωνίας, όπου πολλοί υπολογιστές μοιράζονται συνδέσεις, βοηθά στη δίκαιη πρόσβαση και στην ισοκατανομή του χρόνου εξυπηρέτησης για όλους.

Η ισοκατανομή του χρόνου εξυπηρέτησης επιτυγχάνεται με την πολύπλεξη χρονικής διαίρεσης, όπου εξυπηρετούνται πολλοί υπολογιστές από έναν μεριζόμενο πόρο. Όλοι οι υπολογιστές αποστέλλουν ένα πακέτο τη φορά σε σειρά, οπότε και δίνεται η εντύπωση ότι εξυπηρετούνται ταυτόχρονα.

## 5.2. Bit ισοτιμίας

Ο έλεγχος ισοτιμίας είναι ένας μηχανισμός ελέγχου σφαλμάτων. Πριν αποσταλούν τα δεδομένα ο αποστολέας υπολογίζει ένα πρόσθετο bit (bit ισοτιμίας) και το προσαρτά σε κάθε χαρακτήρα των δεδομένων πριν τα αποστείλει. Αφού αποσταλούν τα δεδομένα με bit ενός χαρακτήρα ο παραλήπτης κάνει την αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή αφαιρεί το bit ισοτιμίας και το υπολογίζει και το συγκρίνει με την τιμή του bit ισοτιμίας του αποστολέα. Εάν συμφωνούν οι δύο τιμές, τότε δεν υπάρχει κάποιο σφάλμα. Εάν δεν συμφωνούν, τότε έχουν αλλοιωθεί τα δεδομένα και παρουσιάστηκε σφάλμα.

Έχουμε δύο μορφές ισοτιμίας, όπου τόσο ο αποστολέας όσο και ο παραλήπτης θα πρέπει να συμφωνούν ποια από τις δυο χρησιμοποιείται:

- **Άρτια ισοτιμία:** για να είναι άρτια η ισοτιμία, ο αποστολέας επιλέγει ένα bit ισοτιμίας που θα κάνει τον συνολικό αριθμό των bits με τιμή 1 άρτιο αριθμό.
- **Περιττή ισοτιμία:** για να είναι περιττή η ισοτιμία, ο αποστολέας επιλέγει ένα bit ισοτιμίας που θα κάνει τον συνολικό αριθμό των bits με τιμή 1 περιττό αριθμό.

## 5.3. Πρωτόκολλα πλαισίωσης με οργάνωση ανά byte

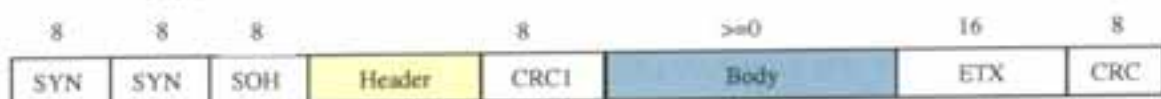
### 5.3.1. BISYNC - DDCMP

Το BISYNC είναι από τα πιο χαρακτηριστικά πρωτόκολλα αυτής της κατηγορίας μαζί με το DDCMP και αναπτύχθηκε από την IBM στα τέλη της δεκαετίας του '60 για την διασύνδεση απομακρυσμένων τερματικών.

Η μορφή πλαισίου του πρωτοκόλλου **BISYNC** έχει ως εξής:



Η μορφή του πλαισίου του πρωτοκόλλου **DDCMP** ως εξής:



- SYN:** σημαία αρχής του πλαισίου  
**SOH:** σημαία αρχής της κεφαλίδας  
**Header:** επικεφαλίδα  
**STX:** σημαία τέλους κεφαλίδας  
**Body:** δεδομένα  
**ETX:** τέλος δεδομένων  
**CRC:** έλεγχος κυκλικού πλεονασμού

## 5.4. Πρωτόκολλα πλαισίωσης με οργάνωση ανά bit

### 5.4.1. HDLC

Η σημερινή παραλλαγή του HDLC (High Level Data Link Control) είναι το PPP (Point to Point Protocol) το οποίο έχει χαρακτηριστεί ως το κύριο πρωτόκολλο πρόσβασης στο διαδίκτυο μέσω του τηλεφωνικού δικτύου.

Η μορφή του HDLC έχει ως εξής:



**Flag:** σημαία πλαισίωσης αρχής και τέλους

**Header:** κεφαλίδα / Address: διεύθυνση τερματικού (για πολλαπλά τερματικά), Control: για αύξαντες αριθμούς, επαληθεύσεις κλπ.

**Body:** δεδομένα

**CRC:** έλεγχος κυκλικού πλεονασμού

## 5.5. Ανίχνευση σφαλμάτων

### 5.5.1. Άθροισμα ελέγχου

Η ανίχνευση σφαλμάτων με άθροισμα ελέγχου είναι μια απλή και μικρή σε μέγεθος διαδικασία που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση σφαλμάτων. Παρά την απλότητα της εφαρμογής της εμφανίζει και μειονεκτήματα, όπως ότι δεν εμφανίζει όλα τα συνηθισμένα σφάλματα.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται από αποστολέα και παραλήπτη του μηνύματος. Κάθε μήνυμα περιέχει μια ακολουθία από αλφαριθμητικούς χαρακτήρες. Για να υπολογιστεί το άθροισμα ελέγχου αθροίζεται κάθε ζεύγος χαρακτήρων ως ένας ακέραιος των 16 bit. Αν το άθροισμα είναι μεγαλύτερο των 16 bit τότε τα bit της διαφοράς προστίθενται στο τελικό άθροισμα. Μόλις αποσταλεί το μήνυμα ο παραλήπτης κάνει την ίδια διαδικασία και αν τα δύο αθροίσματα συμφωνούν τότε το μήνυμα μεταδόθηκε σωστά.

### 5.5.2. Έλεγχος κυκλικού πλεονασμού

Ο αλγόριθμος CRC (Cyclic Redundancy Check) είναι μια τεχνική ελέγχου που ανιχνεύει σφάλματα μετάδοσης με απλά μαθηματικά. Τα δεδομένα του μεταδιδόμενου πλαισίου διαιρούνται από μια προκαθορισμένη ακολουθία bits, η οποία είναι γνωστή και στον αποστολέα αλλά και στον παραλήπτη κόμβο. Όταν γίνει η διαίρεση προκύπτει ένα πηλίκο, το οποίο αγνοούμε, και ένα υπόλοιπο, το οποίο προσάπτεται ως ουρά (συμπληρωματική πληροφορία) στο τέλος του μεταδιδόμενου πλαισίου. Όταν ο παραλήπτης λάβει το μεταδιδόμενο πλαίσιο από το δίκτυο, διαιρεί την εισερχόμενη ακολουθία και προκύπτει εκ νέου ένα υπόλοιπο. Εάν το υπόλοιπο είναι μηδέν, ο παραλήπτης συμπεραίνει ότι δεν υπήρξε σφάλμα κατά τη μεταφορά, διαφορετικά συμπεραίνει ότι υπάρχει σφάλμα μετάδοσης.

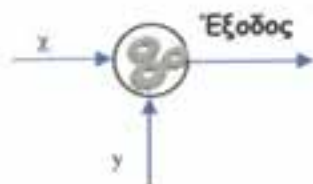
**Συνθήκη ελέγχου CRC**

$$M(x) \cdot x^r = P(x) \cdot G(x) + R(x)$$

$$T = M(x) \cdot x^r + R(x)$$

$$\text{Παραλήπτης } T = G(x) \cdot P'(x) + R'(x)$$

Αν  $R'(x) = 0$ , τότε OK



Διάγραμμα υπολογισμού "αποκλειστικού ή"

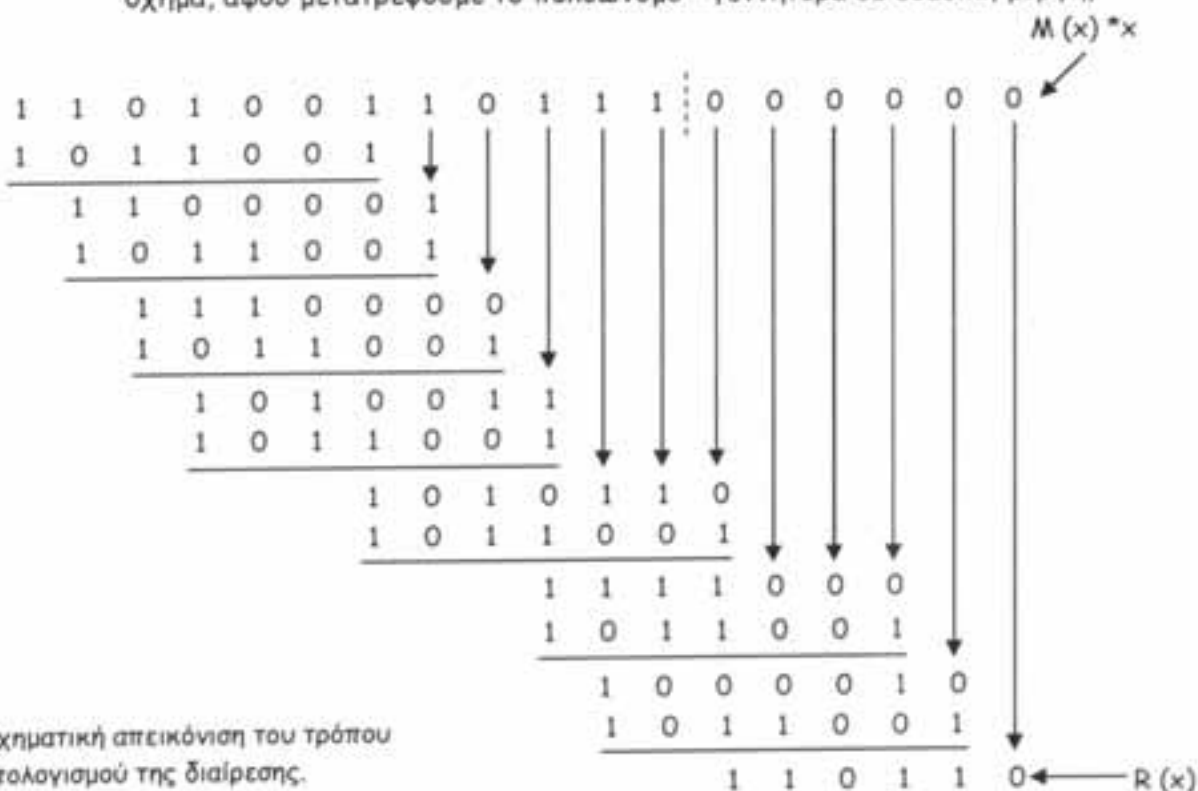
x	y	Εξοδος
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Τιμή εξόδου για κάθε πιθανό συνδυασμό τιμών εισόδου

**Παράδειγμα**

Εστω ότι το πολυώνυμο - γεννήτορας  $G(x) = x^6 + x^4 + x^3 + 1$  και το αρχικό μήνυμα είναι το  $M(x) = 110100110111$ . Θέλουμε να βρούμε ποιο θα είναι το τελικό μήνυμα  $T(x)$  που θα μεταδοθεί.

- γράφουμε το πολυώνυμο προσθέτοντας 6 μηδενικά στο τέλος (ανάλογα με το βαθμό του  $G(x)$  - στην περίπτωση μας το  $G(x)$  είναι 6<sup>ου</sup> βαθμού),
- ακολουθούμε τη διαδικασία της διαίρεσης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, αφού μετατρέψουμε το πολυώνυμο - γεννήτορα σε δυαδική μορφή,



Σχηματική απεικόνιση του τρόπου υπολογισμού της διαίρεσης.

Επομένως  $T(x) = 110100110111110110$

### 5.5.3. Συμπλήρωση με byte

Αν και η χρήση χαρακτήρων αρχής και τέλους ενός πλαισίου είναι απλή, δεν αρκεί για την αποφυγή σφαλμάτων. Χαρακτήρες αρχής και τέλους μπορεί να υπάρχουν και μέσα στα δεδομένα που μεταδίδονται, οπότε επικρατεί σύγχυση στον αποδέκτη. Για το λόγο αυτό, τα δεδομένα ελέγχονται από τον αποστολέα για τυχόν ύπαρξη ειδικών χαρακτήρων. Αν υπάρχουν ειδικοί χαρακτήρες αρχής και τέλους, τότε γίνεται αντικατάστασή τους με άλλους χαρακτήρες, ώστε να μην εκλαμβάνονται ως αρχή και τέλος του πλαισίου από τον παραλήπτη. Αυτή η διαδικασία λέγεται συμπλήρωση με byte.



## 6. Πρωτόκολλα Ζεύξης Δεδομένων

Η μεταφορά bits από τον ένα κόμβο στον άλλο, η οποία πραγματοποιείται από το φυσικό επίπεδο, είναι το πιο βασικό βήμα για την εγκαθίδρυση δικτυακής επικοινωνίας και την προσφορά υπηρεσιών επικοινωνίας στους χρήστες του δικτύου αυτού. Η μεταφορά πακέτων μεταξύ κόμβων οι οποίοι είναι εξαρτημένοι από τον ίδιο σύνδεσμο μετάδοσης (ζεύξη) είναι μια τέτοια υπηρεσία.

Πολλές εφαρμογές απαιτούν αξιόπιστη μεταφορά της πληροφορίας. Παρ' όλα αυτά, η μετάδοση bits δεν είναι ποτέ απόλυτα αξιόπιστη. Το φυσικό επίπεδο παρέχει ένα αναξιόπιστο μέσο μετάδοσης των bits που συνήθως αποκαλείται *αναξιόπιστος σωλήνας μεταφοράς των bits*. Μπορούν όμως να ακολουθηθούν ειδικές διαδικασίες από τους κόμβους του δικτύου, ώστε να μεταδίδουν αξιόπιστα πακέτα ακόμα και μέσα από αναξιόπιστους σωλήνες. Οι διαδικασίες που ακολουθούνται από τους κόμβους του δικτύου εξηγούν πώς τα λάθη μετάδοσης μπορούν να ανιχνευτούν και να διαμορφωθούν με αναμεταδόσεις. Οι διαδικασίες αυτές είναι ένα κατανοημένο σχέδιο δράσης το οποίο καλείται *πρωτόκολλο ζεύξης δεδομένων (data link protocol)*.

Τα πρωτόκολλα του επιπέδου ζεύξης δεδομένων υλοποιούν αξιόπιστες ζεύξεις. Τα πακέτα που δεν λαμβάνονται σωστά επαναμεταδίδονται. Ο αποστολέας αντιλαμβάνεται τα λάθη στη μετάδοση με χρήση χρονομέτρων και επιβεβαιώσεων. Τα πακέτα και οι επιβεβαιώσεις (ACK) αυτών πρέπει να αριθμούνται ώστε να αποφεύγεται η λανθασμένη αναγνώριση πακέτων και επιβεβαιώσεων.

### 6.1. Πρωτόκολλο εναλλασσόμενου bit - ABP

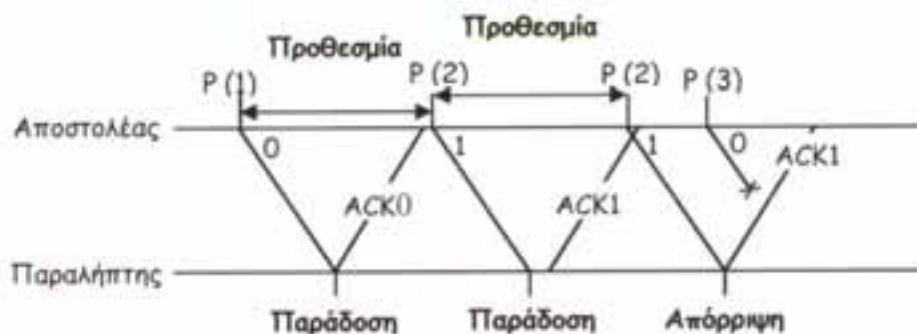
Το πρωτόκολλο εναλλασσόμενου bit (*alternative bit protocol, ABP*) είναι το πιο απλό από τα τρία πρωτόκολλα ζεύξης δεδομένων. Το πρωτόκολλο εναλλασσόμενου bit μπορεί να περιγραφεί ως ακολούθως.

Ο αποστολέας μεταδίδει ένα πρώτο πακέτο που αριθμεί με 0, αφού όμως πρώτα έχει αποθηκεύσει ένα αντίγραφο αυτού. Ο αποστολέας περιμένει στη συνέχεια μία επιβεβαίωση με αριθμό 0, ACK0, για το πακέτο. Εάν η επιβεβαίωση ACK0 δεν έρθει πριν από τη λήξη μιας προθεσμίας, ο αποστολέας κάνει άλλο ένα αντίγραφο του πρώτου πακέτου, που αριθμεί επίσης με 0, και το μεταδίδει. Εάν η ACK0 έρθει πριν από τη λήξη της προθεσμίας, ο αποστολέας "αγνοεί" πλέον το αντίγραφο του πρώτου πακέτου και είναι έτοιμος για τη μετάδοση του δεύτερου πακέτου, το οποίο αριθμεί με 1. Ο αποστολέας επαναλαμβάνει τα προηγούμενα βήματα, με τον αριθμό 0 στη θέση του 1 και αντιστρόφως. Ο παραλήπτης αρχικά περιμένει ένα πακέτο με αριθμό 0 και αγνοεί τα λανθασμένα πακέτα που λαμβάνει. Όταν ο παραλήπτης λάβει ένα σωστό πακέτο με αριθμό 1, επιβεβαιώνει το γεγονός στέλνοντας μία επιβεβαίωση με αριθμό 1 στον παραλήπτη και αγνοεί το πακέτο. Όταν ο παραλήπτης λάβει ένα σωστό πακέτο με αριθμό 0, στέλνει μία επιβεβαίωση με αριθμό 0 στον αποστολέα. Επιπλέον, ο παραλήπτης παραδίδει το πακέτο, χωρίς την αρίθμηση του, στο επίπεδο δικτύου του παραλήπτη εάν ο παραλήπτης είναι δρομολογητής ή ο κόμβος προορισμού. Ο παραλήπτης παραδίδει το πακέτο σε ένα άλλο επίπεδο ζεύξης δεδομένων εάν ο κόμβος είναι γέφυρα. Ο παραλήπτης

επαναλαμβάνει τα προηγούμενα βήματα με τον αριθμό 0 στη θέση του 1 και αντιστρόφως.

### Παράδειγμα λειτουργίας πρωτοκόλλου εναλλασσόμενου bit (ABP)

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει μία διαδοχή από γεγονότα όταν χρησιμοποιείται το ABP. Στο σχήμα έχουμε υποθέσει ότι ο κόμβος είναι ή ένας δρομολογητής ή ο κόμβος προορισμού. Το πρώτο πακέτο, P (1), αριθμείται με 0 και φτάνει σωστά. Η επιβεβαίωση του P (1), επίσης με αριθμό 0, φτάνει στον αποστολέα πριν τη λήξη της προθεσμίας. Το πακέτο P (1) παραδίδεται από το επίπεδο ζεύξης δεδομένων στο επίπεδο δικτύου στον παραλήπτη. Ο αποστολέας αριθμεί το δεύτερο πακέτο P (2) με 1, το μεταδίδει και φτάνει σωστά. Για κάποιο λόγο, για παράδειγμα επειδή ο παραλήπτης είναι απασχολημένος, η επιβεβαίωση του P (2) με ACK1 αργεί και φτάνει στον αποστολέα μετά τη λήξη της προθεσμίας. Με τη λήξη της προθεσμίας ο αποστολέας υποθέτει ότι το πακέτο P (2) δεν έφτασε τον παραλήπτη και του στέλνει ένα αντίγραφο, που έχει επίσης αριθμό 1. Το αντίγραφο αυτό φτάνει σωστά στον παραλήπτη. Εφόσον το τελευταίο πακέτο που έλαβε δεν είχε αριθμό 0 ο δέκτης καταστρέφει το πακέτο αλλά επιβεβαιώνει τη λήψη του με άλλη μία ACK1. Το επόμενο πακέτο, P (3), έχει αριθμό 0 και δεν φτάνει σωστά. Μόλις μετά την μετάδοση του P (3) φτάνει η ACK1. Εφόσον δεν είναι ACK0, ο αποστολέας δεν το υπερδύει με επιβεβαίωση του P (3).

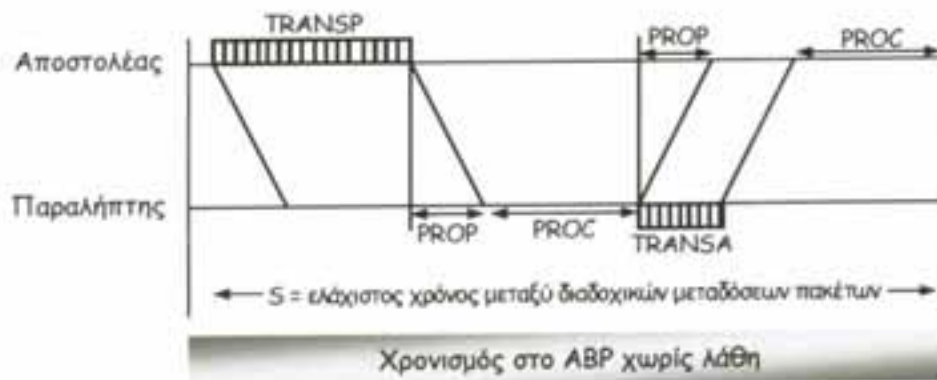


Παράδειγματα γεγονότων με πρωτόκολλο εναλλασσόμενου bit. Τα πακέτα και οι επιβεβαιώσεις τους αριθμούνται με 0, 1, 0, 1, ... Οι αριθμοί των πακέτων και των επιβεβαιώσεων φαίνονται δίπλα στις λοξές γραμμές που αναπαριστούν τη διάδοσή τους.

Τα πλεονεκτήματα του ABP είναι η απλότητά του και η μικρή χωρητικότητα καταχωρητή που απαιτείται: ο αποστολέας χρειάζεται να κρατά μόνο ένα αντίγραφο, του τελευταίου πακέτου που μετέδωσε και ο παραλήπτης δεν χρειάζεται να αποθηκεύει πακέτα στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Το κύριο μειονέκτημα του ABP είναι ότι δεν χρησιμοποιεί την τηλεπικοινωνιακή ζεύξη πολύ αποδοτικά.

#### 6.1.1. Απόδοση του ABP

Η απόδοση του πρωτοκόλλου ζεύξης δεδομένων ορίζεται ως το κλάσμα του χρόνου που στέλνονται νέα πακέτα, υποθέτοντας ότι ο αποστολέας έχει πάντα πακέτα προς μετάδοση.



Όταν δεν υπάρχουν λάθη στη μετάδοση ο αποστολέας μεταδίδει ένα νέο πακέτο κάθε  $S$  δευτερόλεπτα. Ο αποστολέας μεταδίδει ένα νέο πακέτο μέσα σε  $TRANSP$  δευτερόλεπτα από αυτά τα  $S$  δευτερόλεπτα. Ως αποτέλεσμα, η απόδοση  $\eta$  ( $ABP, 0$ ) του  $ABP$  όταν *δεν γίνονται λάθη* είναι ίση με:

$$\eta (ABP, 0) = TRANSP / S$$

όπου με  $TRANSP$  συμβολίζουμε το χρόνο μετάδοσης ενός συνηθισμένου πακέτου, δηλαδή τον αριθμό των bits του πακέτου διαιρεμένο με το ρυθμό μετάδοσης των bits ανά δευτερόλεπτο και  $S$  είναι ο ολικός χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση ενός πακέτου και την προετοιμασία για τη μετάδοση του επόμενου πακέτου. Δηλαδή,

$$S = TRANSP + 2 * PROP + 2 * PROC + TRANSA$$

όπου  $TRANSA$  είναι ο χρόνος μετάδοσης μίας  $ACK$ , δηλαδή ο αριθμός των bits σε μία επιβεβαίωση διαιρεμένη με το ρυθμό μετάδοσης του bit.  $PROP$  είναι ο χρόνος διάδοσης ενός πακέτου ή μίας  $ACK$ , δηλαδή το μήκος του καναλιού διαιρεμένο με την ταχύτητα διάδοσης του σήματος.  $PROC$  είναι ο χρόνος που απαιτείται για την επεξεργασία ενός πακέτου ή μίας  $ACK$ , δηλαδή για τον έλεγχο των bits ανίχνευσης λάθους και προετοιμασία για τη μετάδοση του επόμενου πακέτου. Ο χρόνος επεξεργασίας εξαρτάται από την κατασκευή του κόμβου. Συνήθως ο χρόνος  $PROC$  είναι κλάσμα του 1 ms.

#### Παράδειγμα 1: απόδοση του ABP

Με μία γραμμή μετάδοσης 500 km στα 56 kbps αν το πακέτο και η επιβεβαίωση έχουν 700 bits, βρίσκουμε ότι:

$$TRANSA = TRANSP = 700 \text{ bits} / 56.000 \text{ bps} = 0,0125 \text{ s},$$

$$PROP = 500.000 \text{ m} / (2,3 * 10^8) \text{ m/s} = 0,00217 \text{ s}$$

Κατά συνέπεια,

$$S = 0,0125 \text{ s} + 2 * (0,00217 \text{ s}) + 2 * PROC + 0,0125 \text{ s} = 0,02934 \text{ s} + 2 * PROC.$$

Μπορούμε να αγνοήσουμε τον όρο  $2 * PROC$  καθώς είναι συνήθως της τάξης του 1 ms. Επομένως,

$$\eta (ABP, 0) = 0,0125 \text{ s} / 0,02934 \text{ s} = 43\%$$

Στο παράδειγμα αυτό, η απώλεια απόδοσης οφείλεται στο χρόνο μετάδοσης των ACKs.

### Παράδειγμα 2: απόδοση του ABP

Ας θεωρήσουμε τώρα μία οπτική ίνα των 500 km στα 100 kbps και ας υποθέσουμε ότι τα πακέτα και οι επιβεβαιώσεις έχουν 10.000 bits. Βρίσκουμε ότι

$$TRANSP = TRANSA = 10.000 \text{ bits} / 10^8 \text{ bps} = 10^{-4} \text{ s}$$

$$PROP = 5 * 10^5 \text{ m} / 2 * 10^8 \text{ m/s} = 2,5 * 10^{-3} \text{ s}$$

Αν υποθέσουμε ότι ο χρόνος  $PROC = 1 \text{ ms}$ , τότε

$$S = 10^{-4} + 2 * 2,5 * 10^{-3} + 2 * 10^{-3} + 10^{-4} = 7,2 * 10^{-3} \text{ s}$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι

$$\eta (ABP, 0) = 10^{-4} \text{ s} / 7,2 * 10^{-3} \text{ s} \approx 1,4 \%$$

Στο παράδειγμα αυτό, η απώλεια απόδοσης οφείλεται στους χρόνους διάδοσης και επεξεργασίας.

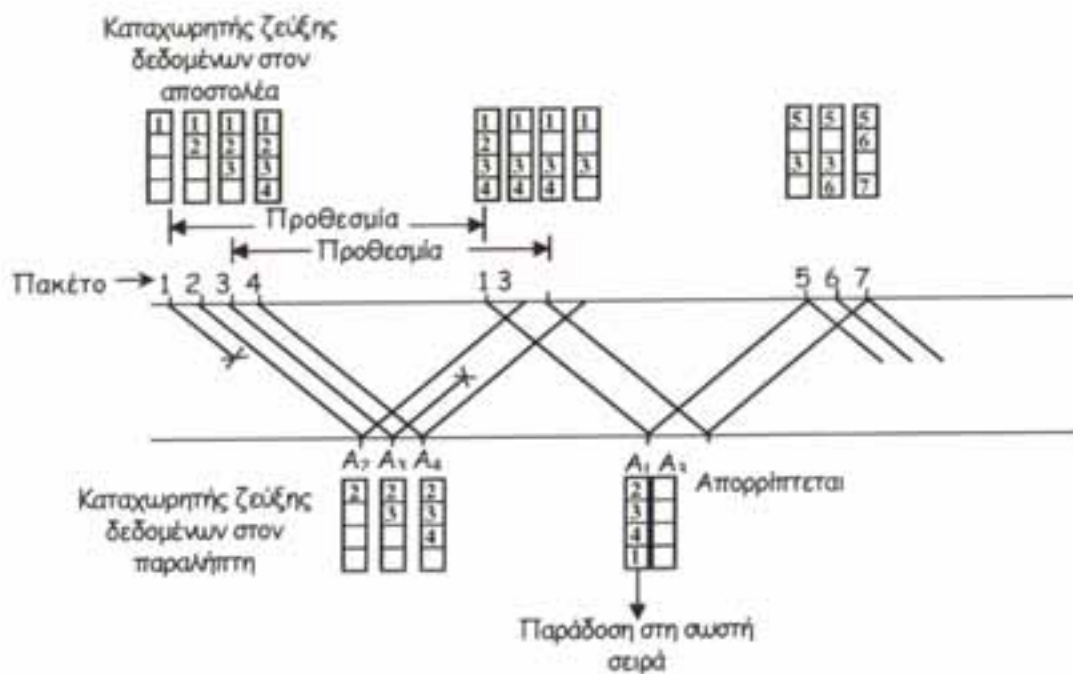
## 6.2. Πρωτόκολλο Επιλεκτικής Επανάληψης - SRP

Το πρωτόκολλο επιλεκτικής επανάληψης (*selective repeat protocol, SRP*) βελτιώνει την απόδοση του ABP επιτρέποντας περισσότερα από ένα ανεπιβεβαίωτα πακέτα. Όπως υποδηλώνει το όνομά του, το πρωτόκολλο επαναλαμβάνει μόνο επιλεγμένες μεταδόσεις, δηλαδή αυτές που δεν έχουν επιβεβαιωθεί εμπρόθεσμα. Όταν χρησιμοποιεί SRP, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων στον παραλήπτη πρέπει να παραδίδει ακριβώς ένα αντίγραφο για κάθε πακέτο και στη σωστή σειρά. Παρ' όλα αυτά, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων του παραλήπτη μπορεί να λάβει τα πακέτα σε λανθασμένη σειρά από το φυσικό επίπεδο. Αυτό συμβαίνει, για παράδειγμα, όταν κάποιο λάθος στη μετάδοση έχει συμβεί στο πρώτο πακέτο και όχι στο δεύτερο. Τότε το δεύτερο πακέτο φτάνει σωστά στον παραλήπτη πριν το πρώτο. Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων στον παραλήπτη χρησιμοποιεί μία μνήμη για την αποθήκευση των πακέτων που φτάνουν εκτός σειράς. Όταν το επίπεδο ζεύξης δεδομένων στον παραλήπτη έχει μια ομάδα από διαδοχικά πακέτα στη μνήμη του, μπορεί να τα παραδώσει στο επίπεδο δικτύου, ή σε κάποιο άλλο επίπεδο ζεύξης δεδομένων

εφόσον ο παραλήπτης είναι γέφυρα. Και ο αποστολέας χρησιμοποιεί καταχωρητή, για να αποθηκεύσει αντίγραφα των πακέτων που δεν έχουν επιβεβαιωθεί. Οι καταχωρητές στον αποστολέα και στον παραλήπτη χρειάζεται να μπορούν να κρατούν μόνο έναν πεπερασμένο αριθμό πακέτων. Ο πεπερασμένος αριθμός είναι σχεδιαστική παράμετρος του SRP. Το SRP χρειάζεται μια πλήρως αμφίδρομη (full duplex) ζεύξη: ο παραλήπτης μεταδίδει τις επιβεβαιώσεις στον αποστολέα ενόσω ο αποστολέας μεταδίδει πακέτα στον παραλήπτη.

**Παράδειγμα λειτουργίας πρωτοκόλλου επιλεκτικής επανάληψης (SRP)**

Ας υποθέσουμε ότι οι καταχωρητές του αποστολέα και του παραλήπτη μπορούν να αποθηκεύσουν από τέσσερα πακέτα. Η διαδοχή των γεγονότων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

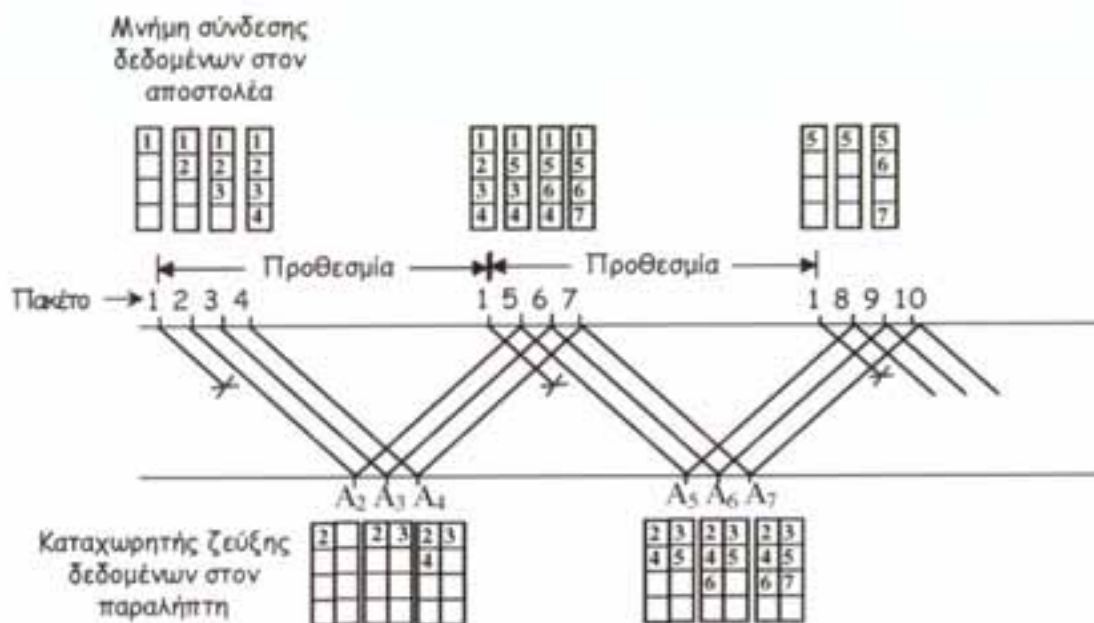


Ο αποστολέας αριθμεί τα πακέτα διαδοχικά 1, 2, 3, 4, 5, κλπ. Ο αποστολέας μεταδίδει πρώτα τέσσερα πακέτα τα οποία αριθμεί 1, 2, 3, 4, και κρατά αντίγραφα των πακέτων αυτών στη μνήμη του. Στη συνέχεια περιμένει για την επιβεβαίωση ACK του πακέτου 1. Εάν η ACK1 φτάσει πριν τη λήξη του χρόνου αναμονής, ο αποστολέας μεταδίδει το επόμενο πακέτο, αριθμημένο με 5, και αντικαθιστά το αντίγραφο του πακέτου 1 με αυτό του πακέτου 5 στη μνήμη τον. Εάν η ACK1 δεν έρθει μέσα στο χρόνο αναμονής, ο αποστολέας ξαναμεταδίδει ένα αντίγραφο του πακέτου 1. Ο αποστολέας συνεχίζει τις μεταδόσεις ενώ προσέχει ώστε οι αριθμοί των ανεπιβεβαιωτών πακέτων να διαφέρουν λιγότερο από τέσσερα. Για παράδειγμα, ο αποστολέας δεν μπορεί να μεταδώσει το πακέτο 5 όταν το πακέτο 1 είναι ακόμα ανεπιβεβαιωτό, ακόμα κι όταν ο αποστολέας έχει λάβει τις επιβεβαιώσεις των πακέτων 2 και 4, με αποτέλεσμα η μνήμη του να έχει χώρο για την αποθήκευση δυο ακόμη πακέτων. Ο παραλήπτης επιβεβαιώνει όλα τα πακέτα που λαμβάνει σωστά με

επιβεβαιώσεις αριθμημένες με τον ίδιο αριθμό που έχουν και τα πακέτα. Ο παραλήπτης αποθηκεύει σε μία μνήμη τα πακέτα που λαμβάνει εκτός σειράς. Δείτε ότι καθώς οι αριθμοί των ανεπιβεβαιωτών πακέτων διαφέρουν λιγότερο από τέσσερα, η μνήμη του παραλήπτη δεν θα κρατά ποτέ περισσότερα από τέσσερα πακέτα. Για παράδειγμα, ο παραλήπτης πρέπει να έχει λάβει ένα σωστό αντίγραφο του πακέτου 1 πριν στείλει μία ACK1 στον αποστολέα και, επομένως, πριν ο αποστολέας μεταδώσει το πακέτο 5. Κατά συνέπεια, όταν το πακέτο 1 επιβεβαιωθεί, μόνο τα πακέτα 2, 3 και 4 μπορούν να είναι ανεπιβεβαιώτα και μόνο αυτά τα πακέτα μπορούν να είναι εκτός σειράς. Ο παραλήπτης μπορεί να χρειαστεί να αποθηκεύσει αυτά τα τρία πακέτα και η μνήμη του παραλήπτη μπορεί τότε να αποθηκεύσει το αντίγραφο του πακέτου 1 όταν το λάβει σωστά. Ο παραλήπτης αδειάζει τον καταχωρητή του όταν παραδώσει τα τέσσερα πακέτα 1, 2, 3 και 4.

### 6.2.1. Αρίθμηση πακέτων στο SRP

Ένα παράδειγμα θα δείξει ότι ο παραλήπτης μπορεί να χρειαστεί να αποθηκεύσει έναν αυθαίρετα μεγάλο αριθμό από πακέτα εάν ο αποστολέας δεν ακολουθεί τον κανόνα 2<sup>5</sup>. Ας θεωρήσουμε την ακολουθία των γεγονότων του παρακάτω σχήματος.



Υποθέτουμε ότι λάθη στη μετάδοση αλλοιώνουν το πακέτο 1 και τα αντίγραφα του. Τότε ο παραλήπτης πρέπει να αποθηκεύσει όλα τα πακέτα που

<sup>5</sup> Η σειρά των βημάτων στο SRP ακολουθεί τους επόμενους κανόνες:

1. Τα πακέτα αριθμούνται με την διαδοχή 1, 2, 3, κ. ο. κ.
2. Οι αριθμοί των ανεπιβεβαιωτών πακέτων διαφέρουν λιγότερο από τέσσερα.
3. Ο αποστολέας αποθηκεύει αντίγραφα των ανεπιβεβαιωτών πακέτων και τα επαναμεταδίδει μετά τη λήξη του χρόνου αναμονής.

Ο παραλήπτης αποθηκεύει αντίγραφα των πακέτων που λαμβάνει εκτός σειράς και επιβεβαιώνει όλα τα σωστά πακέτα. Παραδίδει τα πακέτα που είναι στη σωστή σειρά.

λαμβάνει σωστά. Σημειώστε ότι ο αποστολέας συνεχίζει να μεταδίδει πακέτα εφόσον λαμβάνει επιβεβαιώσεις που ελευθερώνουν χώρο στη μνήμη του.

Το SRP που περιγράψαμε αριθμεί τα πακέτα με 1, 2, 3, κ.ο.κ. Η τεχνική αρίθμηση αυτή δεν είναι πρακτική, γιατί χρησιμοποιεί αυθαίρετα μεγάλους αριθμούς. Το SRP που υλοποιείται σε δίκτυα επικοινωνιών αριθμεί τα πακέτα με πεπερασμένο πλήθος διαφορετικών αριθμών. Οι αριθμοί είναι  $\{0, 1, \dots, 7\}$  όταν οι καταχωρητές στον αποστολέα και τον παραλήπτη μπορούν να κρατήσουν από τέσσερα πακέτα. Αυτοί οι οχτώ διαφορετικοί αριθμοί μπορούν να αναπαρασταθούν από τρία bits: 000, 001, ..., 111. Στη νέα αρίθμηση, το  $n$ -οστό πακέτο αριθμείται με το υπόλοιπο της διαίρεσης του  $(n-1)$  με 8. Επομένως, τα πακέτα αριθμούνται διαδοχικά 0, 1, 2, ..., 7, 0, 1, ..., 7, 0, 1, 2, ... Όπως και πριν, μια ACK έχει τον ίδιο αριθμό με το πακέτο που επιβεβαιώνει. Αυτή τη νέα αρίθμηση θα την ονομάζουμε *αρίθμηση modulo 8*.

### 6.3. Πρωτόκολλο οπισθοχώρησης κατά N (GO BACK N)

Το πρωτόκολλο GO BACK N επιτρέπει στον αποστολέα να έχει περισσότερα του ενός ανεπιβεβαίωτα πακέτα χωρίς να είναι υποχρεωμένος ο παραλήπτης να αποθηκεύει πακέτα. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς δεν επιτρέπεται, στον παραλήπτη να δέχεται πακέτα εκτός σειράς και επαναμεταδίδοντας όποιο πακέτο δεν έχει επιβεβαιωθεί μετά την εκπνοή μιας προθεσμίας καθώς και όλων των πακέτων που το ακολουθούν. Το πρωτόκολλο GO BACK N βελτιώνει την απόδοση του ABP, αλλά είναι λιγότερο αποδοτικό από το SRP.

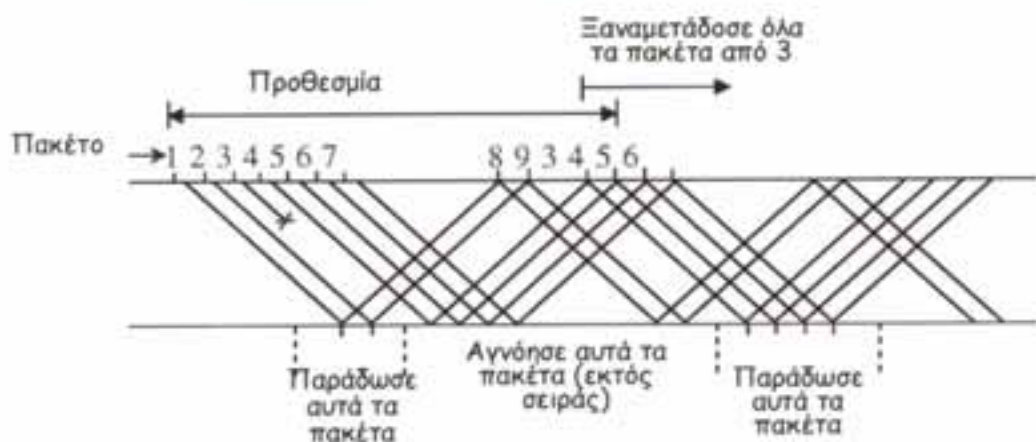
Θα περιγράψουμε πρώτα το πρωτόκολλο GO BACK N με μέγεθος παραθύρου  $W$  και απλουστευμένη αρίθμηση πακέτων. Ο αποστολέας αριθμεί τα πακέτα διαδοχικά 1, 2, 3, ..., κ.ο.κ. Ο παραλήπτης επιβεβαιώνει κάθε σωστό πακέτο που λαμβάνει μεταδίδοντας στον αποστολέα μία επιβεβαίωση που φέρει τον ίδιο αριθμό με το πακέτο. Επίσης, ο παραλήπτης καταστρέφει τα πακέτα που λαμβάνονται εκτός σειράς, ενώ παραδίδει τα πακέτα που λαμβάνει στη σωστή σειρά στο επίπεδο δικτύου ή σε ένα άλλο επίπεδο ζεύξης δεδομένων. Ο αποστολέας μπορεί να έχει μέχρι  $W$  ανεπιβεβαίωτα πακέτα και κρατά αντίγραφο των ανεπιβεβαίωτων πακέτων σε κάποιο καταχωρητή. Ο αποστολέας μεταδίδει τα πακέτα 1, 2, ...,  $W$  και περιμένει την επιβεβαίωση ACK1 του πακέτου  $n$  πριν στείλει το πακέτο  $W+1$ . Εάν ο αποστολέας δεν λάβει την επιβεβαίωση του πακέτου  $n$  πριν την εκπνοή της προθεσμίας timeout, επαναμεταδίδει αντίγραφο όχι μόνο του πακέτου  $n$  αλλά και όλων των πακέτων που μετέδωσε μετά το πακέτο  $n$ . Αυτές οι επαναμεταδόσεις χρειάζονται γιατί ο παραλήπτης δεν κρατάει αντίγραφο των πακέτων που λαμβάνει εκτός σειράς: όταν ο αποστολέας δεν λάβει την επιβεβαίωση ACK $n$  μέσα στο χρόνο αναμονής, υποπτεύεται ότι ο παραλήπτης δεν έλαβε το πακέτο  $n$  και ότι κατέστρεψε όλα τα επόμενα πακέτα, ακόμα κι αν ενδεχομένως τα επιβεβαίωσε. Μία πιθανή ακολουθία γεγονότων σύμφωνη με το πρωτόκολλο GO BACK N φαίνεται στο παρακάτω σχήμα όπου  $W=7$ .



Ακολουθία γεγονότων με πρωτόκολλο GO BACK N. Όταν ένα πακέτο δεν επιβεβαιώνεται εμπρόθεσμα ο αποστολέας επαναμεταδίδει το πακέτο και όλα τα επόμενά του πακέτα.

Ο αποστολέας μεταδίδει τα πακέτα  $\{1, \dots, 7\}$ . Τα επτά αυτά πακέτα μπορεί να είναι ανεπιβεβαιώτα. Ο παραλήπτης δέχεται τα πακέτα  $\{1, \dots, 7\}$  αφού φτάνουν στη σωστή σειρά και τα επιβεβαιώνει με ACK (1), ..., ACK (7). Λάθη στη μετάδοση αλλοιώνουν τη ACK (1). Μετά τη λήξη του χρόνου αναμονής, ο αποστολέας αρχίζει πάλι τις μεταδόσεις με το πακέτο 1. Ο παραλήπτης αγνοεί τις επαναμεταδόσεις  $\{1, \dots, 7\}$  εφόσον είναι εκτός σειράς. Το επόμενο πακέτο που θα δεχτεί και θα παραδώσει ο παραλήπτης είναι το πακέτο 8.

Οι αρνητικές επιβεβαιώσεις (NACKs) μπορεί να επιταχύνουν το πρωτόκολλο GO BACK N. Η επιτάχυνση αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



GO BACK N με αρνητικές επιβεβαιώσεις. Μια αρνητική επιβεβαίωση επιφέρει την επαναμετάδοση ενός πακέτου πριν την εκπνοή της προθεσμίας. Αυτό βελτιώνει την αποδοτικότητα του GO BACK N.

Μια αρνητική επιβεβαίωση (NACKs) στέλνεται μόλις ο παραλήπτης αναγνωρίσει ένα λανθασμένο πακέτο. Αυτό συμβαίνει όταν ο παραλήπτης διαπιστώσει ένα κενό στην αρίθμηση των σωστών πακέτων που λαμβάνει. Ο αποστολέας μπορεί τότε να επαναμεταδώσει αμέσως ένα αντίγραφο του αλλοιωμένου πακέτου χωρίς να χρειάζεται να περιμένει για τη λήξη της προθεσμίας, όπως θα συνέβαινε αν δεν υπήρχαν NACKs.



## 7. Κατηγορίες Δικτύων

Δεν υπάρχει γενικά αποδεκτή ταξινόμηση στην οποία να ταιριάζουν όλα τα δίκτυα, αλλά δύο κριτήρια ταξινόμησης ξεχωρίζουν ως σημαντικά, η τεχνολογία μετάδοσης και η κλίμακα. Στην ενότητα αυτή θα εξετάσουμε την ταξινόμηση δικτύων κατά κλίμακα.

Τα δίκτυα, με βάση την ταξινόμησή τους κατά κλίμακα, διαιρούνται σε τοπικά δίκτυα, μητροπολιτικά δίκτυα και δίκτυα ευρείας περιοχής. Η απόσταση είναι σημαντική ως μέτρο κατάταξης, επειδή σε διαφορετικές κλίμακες χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνικές.

### 7.1. Τοπικά Δίκτυα (LAN)

Σε ένα τοπικό δίκτυο (Local Area Network, LAN), οι υπολογιστές είναι εφοδιασμένοι με μια κάρτα δικτύου που συνδέεται με το καλώδιο του δικτύου. Οι υπολογιστές, μαζί με έναν εξυπηρετητή αρχείων (file server) ο οποίος παρέχει αποθηκευτικό χώρο και τις υπόλοιπες περιφερειακές συσκευές, όπως οι εκτυπωτές, αποτελούν τους κόμβους (nodes) του δικτύου. Όλοι οι κόμβοι ενός τοπικού δικτύου βρίσκονται συγκεντρωμένοι σε μια περιορισμένη γεωγραφική περιοχή, ας πούμε σε μια ακτίνα μερικών εκατοντάδων μέτρων. Η πληροφορία μεταδίδεται σε κομμάτια που ονομάζονται πλαίσια (frames) και η μετάδοσή τους γίνεται στη βασική ζώνη. Τα πλαίσια μεταδίδονται σε χρονικές στιγμές (time slices) που παρέχονται στους σταθμούς προσωρινά. Οι σχισμές δεν παρέχονται σύμφωνα με κάποιο πρόγραμμα, αλλά κάθε σταθμός τις δεσμεύει δυναμικά, ανάλογα με τις ανάγκες του.

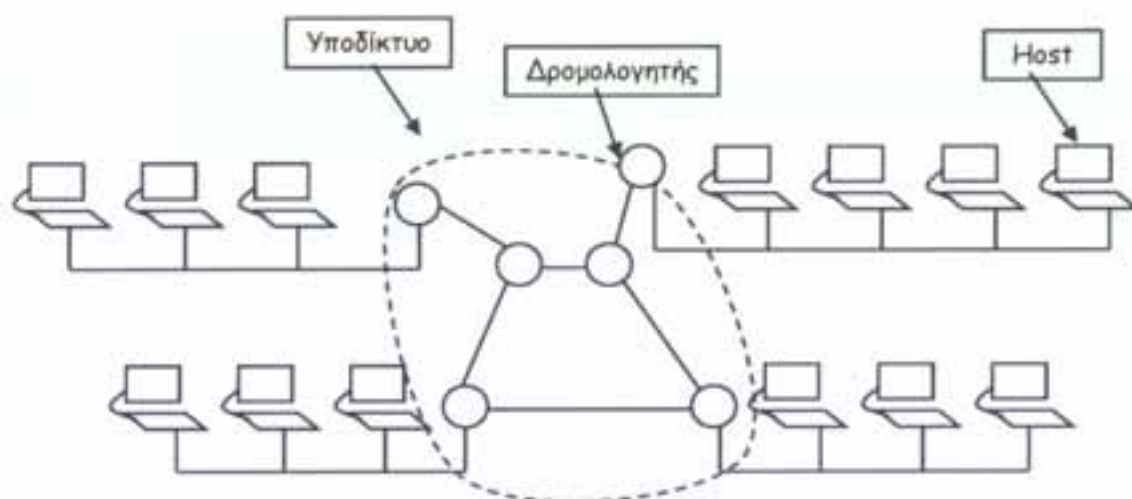
Τα τελευταία χρόνια, οι προσωπικοί υπολογιστές δικτυώνονται με όλο και μεγαλύτερους ρυθμούς. Μέχρι το 1994 το 40 % όλων των υπολογιστών που χρησιμοποιούνται σε επιχειρήσεις, αποτελούσαν κόμβους κάποιου είδους τοπικού δικτύου. Ταυτόχρονα, ο μέσος αριθμός των χρηστών LAN αυξάνεται συνεχώς, πράγμα που σημαίνει μικρότερο εύρος ζώνης ανά χρήστη. Οι πιο δημοφιλείς τύποι LAN είναι το Ethernet και το Token ring, τα οποία ακολουθούν τις τοπολογίες αρτηρίας και δακτυλίου αντίστοιχα. Ο σχεδιασμός αυτών των αρχιτεκτονικών είναι παλιός και αρχικά προοριζόταν για συνήθεις εφαρμογές και για μεταφορά αρχείων περιορισμένου όγκου. Ο βασικός περιορισμός αυτών των δικτύων βρίσκεται στο γεγονός ότι πολλοί κόμβοι μοιράζονται το ίδιο φυσικό μέσο. Αυτό οδηγεί αναπόφευκτα σε συγκρούσεις, που είτε οδηγούν στην αναμονή κάποιου αποστολέα ή σε απώλεια των δεδομένων και επαναποστολή των δεδομένων αργότερα. Με άλλα λόγια, ο ρυθμός εξυπηρέτησης είναι συνήθως μικρότερος από την ταχύτητα πρόσβασης του δικτύου και μικραίνει όσο μεγαλώνει η κίνηση στο δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι η αποστολή μεγάλων όγκων από ένα χρήστη, έχει επιπτώσεις για όλους τους χρήστες του δικτύου. Ένα πλεονέκτημα του κοινού μέσου μεταφοράς είναι η υποστήριξη του multicasting, γιατί κάθε πλαίσιο φτάνει σε όλους τους σταθμούς.

## 7.2. Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (WAN)

Ένα δίκτυο ευρείας περιοχής (wide area network, WAN) καλύπτει μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, συχνά μια χώρα ή μια ήπειρο. Περιλαμβάνει μια συλλογή από μηχανές που προορίζονται να τρέχουν εφαρμογές (προγράμματα) χρηστών. Αυτές οι μηχανές ονομάζονται υπολογιστές υπηρεσίας (host). Οι host συνδέονται μέσω του υποδικτύου επικοινωνίας (communication subnet). Έργο του υποδικτύου είναι να μεταφέρει μηνύματα από host σε host, όπως ακριβώς το τηλεφωνικό σύστημα μεταφέρει λέξεις από τον ομιλητή στον ακροατή.

Στα περισσότερα WAN, το υποδίκτυο απαρτίζεται από δύο διακριτά στοιχεία: τις γραμμές μετάδοσης και τα στοιχεία μεταγωγής. Οι γραμμές μετάδοσης ή αλλιώς δίαυλοι, μεταφέρουν τα bit μεταξύ των μηχανών.

Τα στοιχεία μεταγωγής είναι εξειδικευμένοι υπολογιστές που συνδέουν δύο ή περισσότερες γραμμές μετάδοσης. Όταν τα δεδομένα φτάσουν σε μια εισερχόμενη γραμμή, το στοιχείο μεταγωγής πρέπει να επιλέξει μια εξερχόμενη γραμμή για να τα προωθήσει. Συνήθως αυτοί οι υπολογιστές αποκαλούνται κόμβοι μεταγωγής πακέτων (packet switching nodes), όμως συνήθως χρησιμοποιούμε τον όρο δρομολογητής (router).



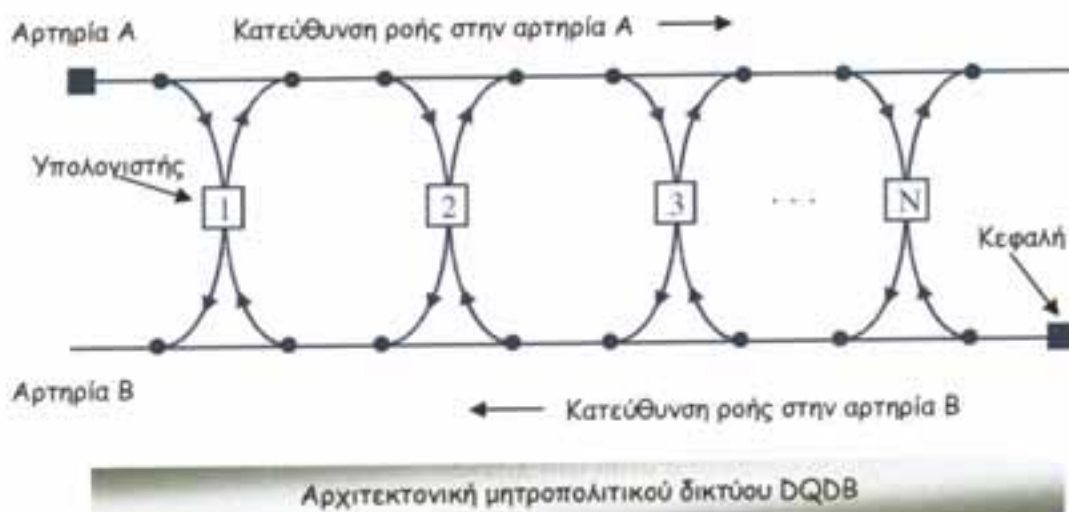
Σχέση μεταξύ των host και του υποδικτύου.

Στα περισσότερα WAN, το δίκτυο συμπεριλαμβάνει πολυάριθμα καλώδια ή τηλεφωνικές γραμμές, καθένα από τα οποία συνδέει δύο δρομολογητές. Αν δύο δρομολογητές που δεν μοιράζονται ένα καλώδιο επιθυμούν να επικοινωνήσουν, πρέπει να το κάνουν εμμέσως, μέσω άλλων δρομολογητών. Όταν ένα πακέτο στέλνεται από ένα δρομολογητή σ' άλλον, μέσω ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων δρομολογητών, το πακέτο παραλαμβάνεται ολόκληρο από κάθε ενδιάμεσο δρομολογητή, αποθηκεύεται εκεί μέχρις ότου ελευθερωθεί η απαιτούμενη εξερχόμενη γραμμή, οπότε και προωθείται.

### 7.3. Μητροπολιτικά Δίκτυα (MAN)

Ένα μητροπολιτικό δίκτυο (Metropolitan Area Network, MAN), είναι βασικά μια μεγαλύτερη εκδοχή ενός LAN και συνήθως χρησιμοποιεί παρόμοια τεχνολογία. Μπορεί να καλύπτει ομάδα γειτονικών γραφείων μιας επιχείρησης ή μια πόλη και μπορεί να είναι είτε ιδιωτικό είτε δημόσιο. Το MAN μπορεί να υποστηρίζει δεδομένα καθώς και φωνή και ίσως ακόμη να σχετίζεται με την καλωδιακή τηλεόραση. Το MAN χρησιμοποιεί ένα ή δύο καλώδια και δεν διαθέτει στοιχεία μεταγωγής που να διοδεύουν τα πακέτα προς τη μία από τις πολλές διαφορετικές γραμμές εξόδου. Η απουσία της μεταγωγής απλοποιεί τη σχεδίαση.

Ο κύριος λόγος για να αναφέρονται τα MAN ως ειδική κατηγορία είναι, ότι έχει υιοθετηθεί γι' αυτά ένα πρότυπο που τώρα υλοποιείται. Ονομάζεται DQDB (Distributed Queue Dual Bus). Το DQDB απαρτίζεται από δύο μονόδρομες αρτηρίες (καλώδια), στις οποίες είναι συνδεδεμένοι όλοι οι υπολογιστές. Κάθε αρτηρία διαθέτει μια κεφαλή, δηλαδή, μια συσκευή που αρχίζει τις περιόδους εκπομπής. Η κίνηση (traffic) που προορίζεται για υπολογιστές προς τα δεξιά του αποστολέα χρησιμοποιεί την άνω αρτηρία. Η κίνηση προς τα αριστερά χρησιμοποιεί την κάτω αρτηρία.



Ένα χαρακτηριστικό του MAN είναι η ύπαρξη ενός μέσου εκπομπής πάνω στο οποίο συνδέονται όλοι οι υπολογιστές. Αυτό απλοποιεί τη σχεδίαση σε σύγκριση με άλλα είδη δικτύων.

## 8. Τοπικά Δίκτυα (Local Area Networks - LAN)

Τα τοπικά δίκτυα σχεδιάστηκαν ως εναλλακτική μέθοδος στις δαπανηρές αποκλειστικές συνδέσεις σημείου προς σημείο<sup>6</sup>. Η σχεδίασή τους διαφέρει από τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων, επειδή βασίζονται στο μερισμό (sharing) του δικτύου. Κάθε τοπικό δίκτυο αποτελείται από ένα και μόνο μεριζόμενο μέσο μετάδοσης, συνήθως ένα καλώδιο στο οποίο συνδέονται περισσότεροι από δύο υπολογιστές. Οι υπολογιστές χρησιμοποιούν ένας - ένας με τη σειρά το μέσο για να μεταδίδουν.

Τα τοπικά δίκτυα (LAN) διακρίνονται από τα άλλα είδη δικτύων με βάση τρία χαρακτηριστικά: το μέγεθος, την τεχνολογία μετάδοσης και την τοπολογία τους.

Στη ενότητα αυτή αναφέρεται η σπουδαιότητα των τοπικών δικτύων, γίνεται μια διαίρεση των τοπικών δικτύων με βάση την τοπολογία τους και εξετάζεται η μέθοδος διευθυνσιοδότησης των τοπικών δικτύων, καθώς και η μορφή του πλαισίου των τοπικών δικτύων.

### 8.1. Σπουδαιότητα Τοπικών Δικτύων

Ο μερισμός εξαλείφει την επανάληψη και αυτό έχει μια σημαντική επίπτωση στη δικτύωση: μειώνει το κόστος. Γι' αυτό το λόγο τα τοπικά δίκτυα θεωρούνται ως η πιο διαδεδομένη μορφή δικτύωσης υπολογιστών. Οι περισσότεροι υπολογιστές σήμερα συνδέονται μέσω τοπικών δικτύων.

Οι τεχνολογίες LAN είναι και διαδεδομένες και φθηνές. Ο σημαντικότερος λόγος όμως που είναι τόσο διαδεδομένα είναι ότι ακολουθούν μια θεμελιώδη αρχή που είναι γνωστή ως *τοπικότητα των αναφορών (locality of reference)*.

Η αρχή αυτή υποστηρίζει πως η επικοινωνία μεταξύ ενός συνόλου υπολογιστών δεν είναι τυχαία, αλλά στηρίζεται σε δύο υποδείγματα:

1. Αν δύο υπολογιστές επικοινωνήσουν μία φορά, οι ίδιοι υπολογιστές είναι πιθανόν να επικοινωνήσουν ξανά στο μέλλον. Το υπόδειγμα αυτό λέγεται *χρονική τοπικότητα των αναφορών (temporal locality of reference)* και υπονοεί μια συσχέτιση μέσα στο χρόνο.

<sup>6</sup> Δίκτυο σημείου προς σημείο (point-to-point network)

Μια μέθοδος επικοινωνίας ανάμεσα σε 2 υπολογιστές είναι η άμεση επικοινωνία σημείου προς σημείο (point-to-point network). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συνήθως για την επικοινωνία υπολογιστών σε μεγάλες αποστάσεις.

Τα *βασικότερα πλεονεκτήματα* αυτής της μεθόδου είναι τα εξής:

1. Η κάθε σύνδεση εγκαθίσταται ανεξάρτητα, επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλο υλικό. Π. χ. η χωρητικότητα μετάδοσης του υποκείμενου κυκλώματος και τα μόντεμ που χρησιμοποιούνται δεν χρειάζεται να είναι ίδια για όλες τις συνδέσεις.
2. Επειδή οι συνδεδεμένοι υπολογιστές έχουν αποκλειστική πρόσβαση μπορούν να αποφασίζουν πώς ακριβώς θα στέλνουν δεδομένα μέσω της σύνδεσης. Δηλαδή μπορούν να επιλέξουν μια μορφή πλαισίου, ένα μηχανισμό ανίχνευσης σφαλμάτων ή ένα ανώτατο μέγεθος πλαισίου. Οι λεπτομέρειες αυτές μπορούν να αλλάζουν όταν οι ιδιοκτήτες των συνδεδεμένων υπολογιστών συμφωνήσουν να κάνουν μία αλλαγή.
3. Είναι εύκολο να εξασφαλιστεί η ασφάλεια και το προσωπικό απόρρητο αφού πρόσβαση στο κανάλι έχουν μόνο 2 υπολογιστές. Κανένας άλλος υπολογιστής δεν χειρίζεται δεδομένα και κανένας δεν μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση.

Το *βασικότερο μειονέκτημα* αυτής της μεθόδου παρουσιάζεται όταν χρειαστεί να επικοινωνήσουν περισσότεροι από δύο υπολογιστές. Σε ένα τέτοιο δίκτυο που διαθέτει ένα ξεχωριστό κανάλι επικοινωνίας για κάθε ζεύγος υπολογιστών, ο αριθμός συνδέσεων αυξάνεται γρήγορα καθώς αυξάνεται το μέγεθος του συνόλου. Αυτό βέβαια σημαίνει και μεγαλύτερο κόστος. *Όσο συνδέονται νέοι υπολογιστές σε ένα κανάλι επικοινωνίας θα αυξάνεται και το κόστος της σύνδεσης.*

2. Ένας υπολογιστής τείνει να επικοινωνεί πιο συχνά με άλλους υπολογιστές που βρίσκονται πιο κοντά. Αυτό το υπόδειγμα λέγεται **φυσική τοπικότητα των αναφορών** (*physical locality of reference*).

## 8.2. Τοπολογίες Τοπικών Δικτύων

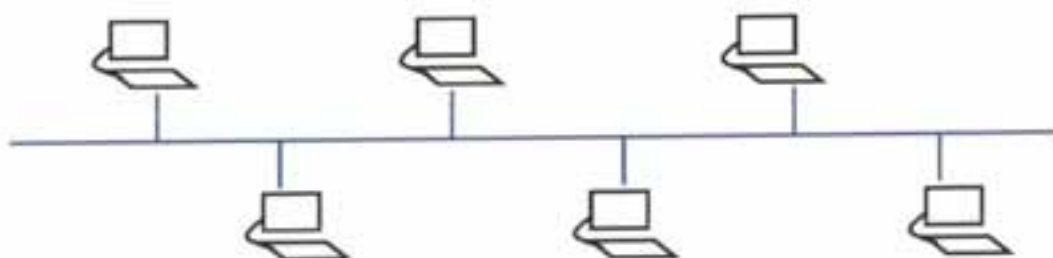
Υπάρχουν αρκετές τοπολογίες τοπικών δικτύων (LAN). Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι τρεις:

- Τοπολογία αστέρα
- Τοπολογία δακτυλίου &
- Τοπολογία διαύλου

### 8.2.1. Τοπολογία διαύλου

Στην τοπολογία διαύλου οι σταθμοί (Η/Υ) του δικτύου συνδέονται πάνω σε ένα κοινό καλώδιο υψηλής ταχύτητας. Σε αυτή την τοπολογία οι συσκευές εκμεταλλεύονται τον κοινό καλωδιακό δρόμο (bus), εκπέμποντας data σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Τα data εκπέμπονται υπό τη μορφή πακέτων που λαμβάνονται από όλους τους σταθμούς. Κάθε σταθμός αποδέχεται μόνο τα πακέτα που περιέχουν τη δική του ταυτότητα ως διεύθυνση παραλήπτη.

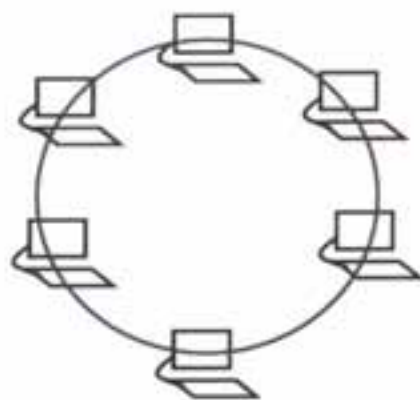
Οι σταθμοί (Η/Υ) που είναι συνδεδεμένοι σε ένα δίκτυο διαύλου πρέπει να συντονίζονται για να εξασφαλίζεται ότι μόνο ένας σταθμός θα στέλνει σήμα κάθε δεδομένη στιγμή.



*Τοπολογία διαύλου όπου οι σταθμοί (Η/Υ) συνδέονται σε ένα και μόνο καλώδιο*

### 8.2.2. Τοπολογία δακτυλίου

Στην τοπολογία δακτυλίου όλοι οι σταθμοί (Η/Υ) συνδέονται σε έναν κλειστό καλωδιακό δρόμο (loop) όπου τα data ταξιδεύουν σειριακά σε όλο το δακτύλιο από τον ένα σταθμό στον άλλο. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια τυπική διάταξη δακτυλίου. Κάθε σταθμός του δικτύου σε αυτή την τοπολογία λειτουργεί ως επαναλήπτης (repeater), επανεκπέμποντας τα δεδομένα προς τον επόμενο.



**Τοπολογία δακτυλίου** όπου οι σταθμοί (Η/Υ) συνδέονται σε ένα κλειστό βρόχο (loop)

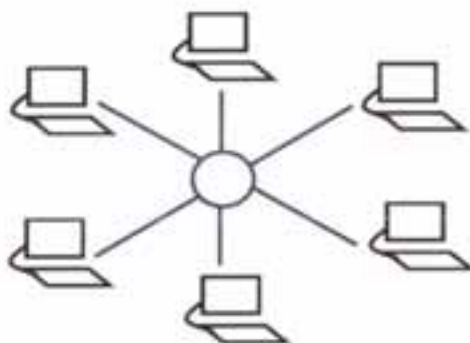
Τα data διατρέχουν τον δακτύλιο σε πακέτα, στο κάθε ένα από τα οποία περιέχεται η διεύθυνση του αποστολέα και του παραλήπτη. Διερχόμενο ένα πακέτο από τον επαναλήπτη (generator) του σταθμού, αναγνωρίζεται κατά πόσο προορίζεται για το σταθμό αυτό από τα πρώτα bit του πακέτου, όπου βρίσκεται η διεύθυνση του παραλήπτη και εάν αναφέρεται σε αυτόν το παραλαμβάνει.

Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι ο όρος δακτύλιος, αναφέρεται στις λογικές συνδέσεις μεταξύ των σταθμών (Η/Υ) και όχι στη φυσική διάταξή τους (οι υπολογιστές και οι συνδέσεις τους σε ένα δίκτυο δακτυλίου δεν χρειάζεται να είναι σε κυκλική διάταξη).

Για παράδειγμα, σε ένα διώροφο κτίριο με δύο υπολογιστές συνδεδεμένους σε ένα δίκτυο δακτυλίου, το καλώδιο που τους συνδέει μπορεί να ακολουθεί ένα διάδρομο ή να ανεβαίνει κατακόρυφα από τον έναν όροφο του κτιρίου στον άλλο.

### 8.2.3. Τοπολογία αστέρα

Στην τοπολογία αστέρα κάθε σταθμός (Η/Υ) συνδέεται point-to-point με ένα κεντρικό σταθμό, μέσω του οποίου γίνονται όλες οι επικοινωνίες. Κάθε φορά που κάποιος σταθμός επιθυμεί να στείλει data σε άλλον, κάνει αίτηση στον κεντρικό σταθμό προκειμένου να του ανοίξει δρόμο με τον επιθυμητό ανταποκριτή σταθμό. Στην περίπτωση αυτή ο κεντρικός σταθμός έχει και τον έλεγχο των επικοινωνιών του δικτύου.



**Τοπολογία αστέρα** όπου κάθε σταθμός (Η/Υ) συνδέεται σε ένα κεντρικό σημείο που λέγεται ομφαλός (hub).

### 8.3. Διευθυνσιοδότηση στα LAN

Τα περισσότερα LAN είναι μεριζόμενα δίκτυα στα οποία όλοι οι υπολογιστές συνδέονται σε ένα μέσο επικοινωνίας μέσω του οποίου μεταφέρονται δεδομένα. Επειδή όλοι οι υπολογιστές μοιράζονται το ίδιο μέσο επικοινωνίας, ένα μεταδιδόμενο σήμα φτάνει σε όλους τους υπολογιστές. Όταν λοιπόν, ένα πλαίσιο μεταδίδεται μέσω ενός δικτύου Ethernet ή γύρω από ένα δίκτυο δακτυλίου με σκυτάλη (token ring), τα ηλεκτρικά σήματα που μεταφέρουν τα bit φτάνουν σε όλους τους σταθμούς. Σε ένα δεδομένο υπολογιστή, το υλικό της διασύνδεσης δικτύου ανιχνεύει το ηλεκτρικό σήμα και εξαγει ένα αντίγραφο του πλαισίου. Όμως, συνήθως, δεν συμμετέχουν όλοι οι σταθμοί στην επικοινωνία, αλλά πολλές φορές ένα πρόγραμμα - εφαρμογή από έναν υπολογιστή στέλνει δεδομένα απευθείας σε ένα πρόγραμμα - εφαρμογή σε έναν άλλο υπολογιστή.

Για να μπορούν να επικοινωνούν δύο υπολογιστές απευθείας, μέσω ενός μεριζόμενου μέσου επικοινωνίας, έτσι ώστε όλοι οι συνδεδεμένοι σταθμοί να λαμβάνουν αντίγραφο όλων των σημάτων, οι περισσότερες τεχνολογίες LAN παρέχουν μια μέθοδο διευθυνσιοδότησης (addressing scheme). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, αποδίδεται σε κάθε σταθμό μια *φυσική διεύθυνση* (physical address) ή αλλιώς *διεύθυνση προσπέλασης μέσου* (media access address, **MAC address**). Όταν ένας αποστολέας μεταδίδει ένα πλαίσιο μέσω του LAN, συμπεριλαμβάνει τη διεύθυνση του παραλήπτη. Το υλικό του LAN στον κάθε σταθμό ελέγχει τη διεύθυνση του κάθε εισερχόμενου πλαισίου για να διαπιστώσει αν πρέπει να δεχτεί το πλαίσιο.

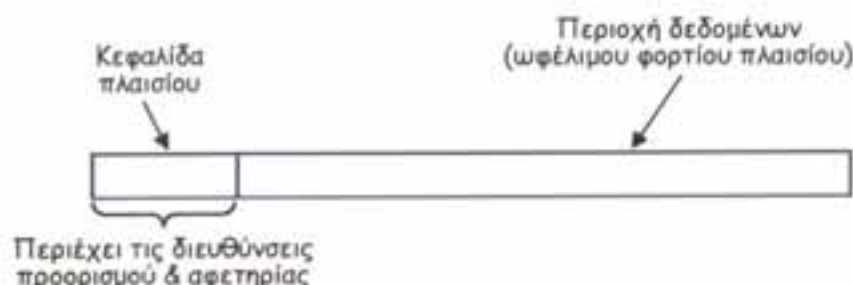
Κάθε πλαίσιο, στην πραγματικότητα, περιλαμβάνει δύο διευθύνσεις: μία που καθορίζει τον παραλήπτη και άλλη μία που καθορίζει τον αποστολέα. Οι δύο αυτές διευθύνσεις περιέχονται σε μια σταθερή *κεφαλίδα (header)* με την οποία αρχίζει το κάθε πλαίσιο και οι θέσεις οι οποίες είναι δεσμευμένες για τις διευθύνσεις καλούνται *πεδία (fields)*. Επομένως, ο αποστολέας πριν μεταδώσει το πλαίσιο, πρέπει να τοποθετήσει τη φυσική διεύθυνση του παραλήπτη στο πεδίο της *διεύθυνσης προορισμού* (destination address) και τη δική του διεύθυνση στο πεδίο της *διεύθυνσης αφετηρίας* (source address). Το υλικό της διασύνδεσης εξετάζει τα πεδία διευθύνσεων των πλαισίων που μεταβιβάζονται μέσω του δικτύου, και δέχεται μόνο εκείνα στα οποία η διεύθυνση προορισμού ταυτίζεται με τη διεύθυνση του σταθμού.

Το υλικό διασύνδεσης του LAN είναι εκείνο που χειρίζεται όλες τις λεπτομέρειες της αποστολής και της λήψης των πλαισίων στο μεριζόμενο μέσο επικοινωνίας. Για παράδειγμα, το υλικό εξετάζει το μήκος των εισερχόμενων πλαισίων για να ελέγξει αν βρίσκεται μεταξύ του ελάχιστου ή μέγιστου μεγέθους που προβλέπει το πρότυπο, εξετάζει την τιμή ελέγχου κυκλικού πλεονασμού (CRC) για να ελέγξει αν τα bit έφτασαν αναλλοίωτα, και απορρίπτει τα πλαίσια που έχουν σφάλματα. Το σημαντικότερο όμως είναι ότι το υλικό διασύνδεσης LAN πραγματοποιεί τις λειτουργίες αποστολής και λήψης πλαισίων χωρίς να χρησιμοποιεί τον επεξεργαστή του υπολογιστή. Εφόσον λοιπόν, ο επεξεργαστής μεταβιβάσει τα δεδομένα προς τη διασύνδεση LAN και ζητήσει να μεταδοθούν, μπορεί να συνεχίσει

να εκτελεί ένα πρόγραμμα - εφαρμογή, ενώ η διασύνδεση του LAN περιμένει να αποκτήσει πρόσβαση στο μεριζόμενο μέσο και μεταδίδει το πλαίσιο.

### 8.3.1. Μορφή Πλαισίου

Το κάθε πλαίσιο αποτελείται από δύο μέρη: το πρώτο μέρος είναι η κεφαλίδα πλαισίου (frame header), η οποία περιλαμβάνει τις διευθύνσεις προορισμού και αφετηρίας και ακολουθεί η περιοχή δεδομένων (data area) ή αλλιώς περιοχή ωφέλιμου φορτίου (payload area), η οποία περιέχει τις πληροφορίες που στέλνονται.



Μορφή ενός πλαισίου που στέλνεται μέσω ενός LAN

Κάθε πεδίο της κεφαλίδας πλαισίου έχει σταθερό μέγεθος και θέση. Γι' αυτό όλα τα πλαίσια που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία αυτή έχουν το ίδιο μέγεθος κεφαλίδας. Αντίθετα, η περιοχή δεδομένων ενός πλαισίου δεν έχει σταθερό μέγεθος. Το μέγεθος της περιοχής δεδομένων καθορίζεται από την ποσότητα των δεδομένων που στέλνονται.

Είναι σημαντικό να προσθέσουμε ότι εκτός από τη διεύθυνση προορισμού, η κεφαλίδα πλαισίου σε πολλές τεχνολογίες δικτύων περιλαμβάνει και ένα πεδίο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του τύπου πλαισίου. Πρέπει να αποδίδεται ένας μοναδικός τύπος για την κάθε πιθανή χρήση του δικτύου. Ο αποστολέας τοποθετεί στο πεδίο τύπου την κατάλληλη τιμή για να καθορίσει τον τύπο των δεδομένων που περιέχονται στο πλαίσιο. Ο παραλήπτης εξετάζει τα περιεχόμενα του πεδίου τύπου για να προσδιορίσει πώς θα χειριστεί αυτό το πλαίσιο. Αν δεν αναγνωρίσει την τιμή του τύπου σε ένα εισερχόμενο πλαίσιο, ο παραλήπτης το απορρίπτει.



## 9. Πρωτόκολλα LAN

Τα πρωτόκολλα τοπικού δικτύου λειτουργούν στα δύο χαμηλότερα επίπεδα του μοντέλου αναφοράς OSI, δηλαδή στο Φυσικό Επίπεδο και στο Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων.

Οι υπολογιστές σε ένα τοπικό δίκτυο επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας έναν κοινό σύνδεσμο πολλαπλής πρόσβασης αντί για συνδέσμους σημείο με σημείο. Για τον αποδοτικό χειρισμό αυτού του χαρακτηριστικού, το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων στα τοπικά δίκτυα χωρίζεται σε δύο υποεπίπεδα: στον Έλεγχο Προσπέλασης Μέσου (Medium Access Control - MAC) και στον Έλεγχο Λογικής Σύνδεσης (Logical Link Control - LLC).

Υπάρχει ένα πλήθος από πρότυπα (IEEE 802.2 - 16) που καλύπτουν τόσο το φυσικό επίπεδο όσο και το υποεπίπεδο MAC των τοπικών δικτύων, με πιο δημοφιλή τα IEEE 802.3 (δίκτυα τύπου Ethernet), IEEE 802.4 (δίκτυα τύπου Αρτηρίας με Κουπόνι), IEEE 802.5 (δίκτυα τύπου Δακτυλίου με Κουπόνι).

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται τα πιο σημαντικά πρωτόκολλα τοπικών δικτύων καθώς και η λειτουργία τους.

### 9.1. Το Πρωτόκολλο ALOHA

Το ALOHA είναι ένα ραδιοδίκτυο μεταγωγής πακέτου, το οποίο κατασκευάστηκε στο Πανεπιστήμιο της Χαβάης στις αρχές του 1970. Ένας κεντρικός κόμβος ακούει τα πακέτα που μεταδίδονται από άλλους κόμβους στη συχνότητα  $f_0 = 407$  MHz και τα αναμεταδίδει στη συχνότητα  $f_1 = 413$  MHz. Οι κόμβοι στο δίκτυο ALOHA μετέδιδαν τα πακέτα με την ταχύτητα των 9,600 bps.

Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται από το δίκτυο ALOHA είναι ένα πρωτόκολλο ελέγχου της πρόσβασης στο μέσο. Το πρωτόκολλο ALOHA ήταν το πρώτο πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης. Το πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης είναι μια μέθοδος για την κοινή χρήση ενός καναλιού μετάδοσης, που δίνει στους πομπούς τη δυνατότητα πρόσβασης στο κανάλι σε τυχαίους χρόνους. Το πρωτόκολλο ALOHA μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αναμεταδότες, όπως στο πρωτότυπο δίκτυο ALOHA, ή σε κάποιο ομοαξονικό καλώδιο, σε συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων, ή σε οπτικές ίνες. Το ALOHA ενέπνευσε τη δημιουργία του Ethernet, που βασίζεται σε μια μικρή παραλλαγή του πρωτοκόλλου ALOHA και είναι το πιο διαδεδομένο τοπικό δίκτυο.

Το πρωτόκολλο ALOHA χρησιμοποιείται από κόμβους που εκπέμπουν σε κοινό κανάλι και που ακούν το ίδιο κανάλι. Οι κόμβοι μεταδίδουν πακέτα σταθερού μήκους. Όταν δυο εκπομπές γίνονται ταυτόχρονα, παραμορφώνουν η μία την άλλη. Σε μία τέτοια περίπτωση, τα πακέτα συγκρούονται. Στο πρωτότυπο δίκτυο ALOHA, ο κεντρικός κόμβος επιβεβαιώνει τα σωστά πακέτα που λαμβάνει. Όταν ένας κόμβος δεν λάβει μήνυμα επιβεβαίωσης μέσα σε μια συγκεκριμένη προθεσμία υποθέτει ότι το πακέτο συγκρούστηκε. Όταν ένα πακέτο συγκρούεται, ο κόμβος εκπομπής προγραμματίζει αναμετάδοση μετά από κάποια τυχαία καθυστέρηση.

Υπάρχουν δύο εκδοχές του πρωτοκόλλου ALOHA: *με σχισμές (slotted)* και *αγνό (pure)*. Στο αγνό πρωτόκολλο ALOHA, οι κόμβοι μπορούν να αρχίσουν τη μετάδοση οποτεδήποτε.

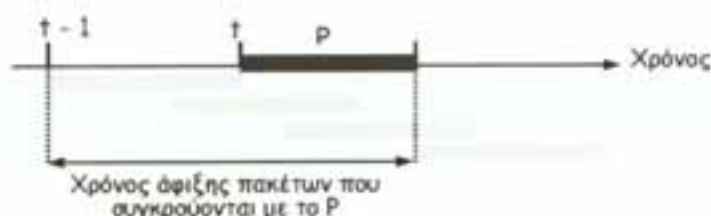
### 9.1.1. Πρωτόκολλο ALOHA με σχισμές

Στο πρωτόκολλο ALOHA με σχισμές, ο άξονας του χρόνου διαιρείται σε χρονικά διαστήματα που έχουν διάρκεια ίση με το χρόνο που απαιτείται για να μεταδοθεί ένα πακέτο στο κανάλι και ονομάζονται σχισμές. Οι κόμβοι πρέπει να ξεκινήσουν τις μεταδόσεις τους στην αρχή της σχισμής.

Όταν ένας κόμβος πάρει ένα νέο πακέτο για να το μεταδώσει, αρχίζει τη μετάδοση στην αρχή της επόμενης σχισμής. Αν το πακέτο είναι το μόνο που μεταδίδεται, κατά τη διάρκεια αυτής της σχισμής η μετάδοση είναι επιτυχής. Αλλιώς, το πακέτο υφίσταται σύγκρουση και ο κόμβος προγραμματίζει επαναμετάδοση μετά από τυχαία καθυστέρηση.

### 9.1.2. Αγνό ALOHA

Η διαφορά του αγνού ALOHA από το ALOHA με σχισμές είναι ότι οι κόμβοι μπορούν να αρχίσουν τη μετάδοση σε τυχαίες χρονικές στιγμές αντί της αρχής των χρονικών σχισμών και μόνο. Η μετάδοση ενός πακέτου  $P$  στη χρονική στιγμή  $t$  θα είναι επιτυχής αν δεν αρχίσει καμία άλλη μετάδοση πακέτου στο χρονικό διάστημα  $(t-1, t+1)$ , όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.

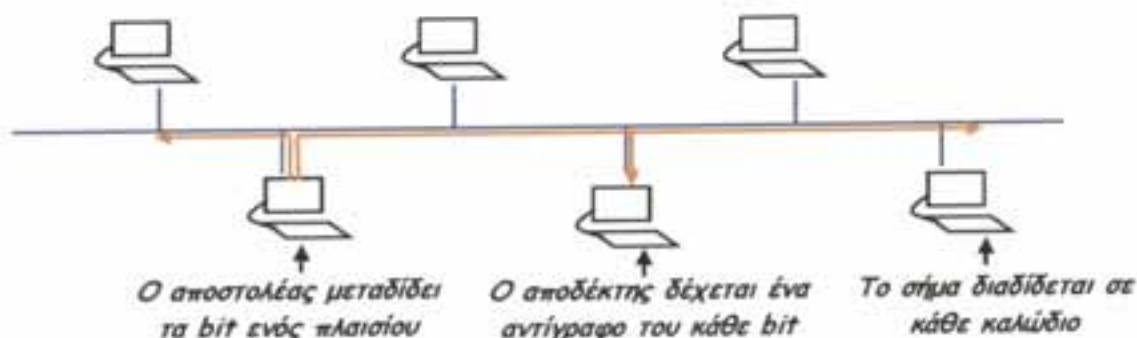


Έτσι, όταν χρησιμοποιείται το καθαρό ALOHA, η πιθανότητα να είναι η μετάδοση του πακέτου  $P$  επιτυχής ταυτίζεται με την πιθανότητα να μη μεταδίδεται άλλο πακέτο στη διάρκεια  $(t-1, t)$  ή  $(t, t+1)$ , ένα διάστημα με συνολική διάρκεια 2.

## 9.2. ETHERNET

Ένα τοπικό δίκτυο Ethernet έχει ένα απλό ομοαξονικό καλώδιο, στο οποίο συνδέονται πολλοί υπολογιστές. Το καλώδιο αυτό του Ethernet περιορίζεται σε 500 μέτρα μήκος και το πρότυπο απαιτεί ελάχιστη απόσταση 3 μέτρων ανάμεσα σε κάθε ζεύγος συνδέσεων.

Το Ethernet λόγω της τοπολογίας που χρησιμοποιεί (τοπολογία διαύλου), απαιτεί να μοιράζονται πολλοί υπολογιστές την πρόσβαση στο ίδιο μέσο μετάδοσης. Ένας αποστολέας μεταδίδει ένα σήμα το οποίο διαδίδεται από τον αποστολέα και προς τα δύο άκρα του καλωδίου.



#### Ροή των bit σε ένα δίκτυο Ethernet

Ο μερισμός στις τεχνολογίες τοπικών δικτύων δεν σημαίνει ότι στέλνονται ταυτόχρονα πολλά πλαίσια. Ο αποστολέας έχει την αποκλειστική χρήση ολόκληρου του καλωδίου κατά τη μετάδοση ενός δεδομένου πλαισίου - οι άλλοι υπολογιστές πρέπει να περιμένουν. Αφού τελειώσει τη μετάδοση ενός δεδομένου πλαισίου ένας υπολογιστής, το μεριζόμενο καλώδιο είναι διαθέσιμο να το χρησιμοποιήσει κάποιος άλλος υπολογιστής.

Για να αποκτήσουν πρόσβαση σε ένα δίκτυο Ethernet, οι σταθμοί ακολουθούν το μηχανισμό *CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection - πολλαπλή πρόσβαση μέσω ανίχνευσης φέροντος σήματος με εντοπισμό συγκρούσεων)*.

Σε ένα δίκτυο Ethernet όλοι οι υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο, ακολουθούν το μηχανισμό αυτό. Πρόκειται για ένα μηχανισμό συντονισμού ο οποίος χρησιμοποιεί την ηλεκτρική δραστηριότητα στο καλώδιο για να προσδιορίσει την κατάσταση. Όταν κανένας υπολογιστής δεν στέλνει πλαίσια, το καλώδιο, στο οποίο συνδέονται όλοι οι υπολογιστές, δεν περιέχει ηλεκτρικά σήματα. Όταν όμως ο αποστολέας μεταδίδει ένα πλαίσιο, μεταδίδει ηλεκτρικά σήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση των bits.

Εφόσον δεν ανιχνευτεί σήμα μπορεί να αρχίσει η εκπομπή. Εάν ανιχνευτεί σήμα τότε ο σταθμός περιμένει μέχρι την παύση του σήματος πριν προχωρήσει. Ακόμη πρέπει να περιμένει επιπλέον για άλλα 9,6 μsec πριν συνεχίσει. Αυτό το πρόσθετο κενό διασφαλίζει ότι θα υπάρχει πάντα μια ελάχιστη απόσταση 9,6 μsec μεταξύ των πακέτων που απαιτείται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα των δεκτών για την ανίχνευση σιγής πάνω στην γραμμή.

Ακόμα όμως και μετά την έναρξη της εκπομπής ο σταθμός συνεχίζει να ακούει τη γραμμή διότι είναι πιθανόν κάποιος άλλος μακρινός σταθμός που εντόπισε την ησυχία να έχει αρχίσει να εκπέμπει ταυτόχρονα, πράγμα που θα οδηγήσει σε σύγκρουση εκπεμπόμενων σημάτων (*collision*). Η σύγκρουση αυτή δημιουργείται λόγω της καθυστέρησης μετάδοσης από την πεπερασμένη ταχύτητα που έχει η διάδοση του σήματος πάνω στην γραμμή. Για ένα δίκτυο Ethernet μήκους 2500 μέτρων, ο χρόνος διάδοσης από άκρο σε άκρο υπολογίζεται σε 25,6 μsec. Αυτό σημαίνει ότι αν ένας σταθμός στη μία πλευρά του δικτύου αρχίσει να εκπέμπει, οι μακρινοί σταθμοί στην άλλη άκρη του δικτύου θα το αντιληφθούν αφού περάσουν τα 25,6 μsec. Έτσι είναι πολύ πιθανό ότι θα συμβούν συγκρούσεις, γι' αυτό και έχει προβλεφθεί συγκεκριμένη διαδικασία αντιμετώπισής τους. Βέβαια οι συγκρούσεις

αυτές δεν βλάπτουν το υλικό, όμως δημιουργούν μια αλλοιωμένη μετάδοση που εμποδίζει και τα δύο μεταδιδόμενα πλαίσια να ληφθούν σωστά.

Για να εξασφαλιστεί ότι κανένας άλλος υπολογιστής δεν μεταδίδει ταυτόχρονα, το πρότυπο Ethernet απαιτεί από τον σταθμό-αποστολέα να παρακολουθεί τα σήματα στο καλώδιο. Αν το σήμα στο καλώδιο διαφέρει από το σήμα που στέλνει ο σταθμός, αυτό σημαίνει ότι παρουσιάστηκε σύγκρουση και ο σταθμός αποστολέας σταματάει αμέσως τη μετάδοση. Η παρακολούθηση του καλωδίου κατά τη μετάδοση λέγεται εντοπισμός συγκρούσεων (Collision Detect, CD), και ο μηχανισμός του Ethernet λέγεται *πολλαπλή πρόσβαση μέσω ανίχνευσης φέροντος σήματος με εντοπισμό συγκρούσεων (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect, CSMA/CD)*.

Εάν συμβεί μια σύγκρουση έχουμε μια ξαφνική αλλαγή στη στάθμη της τάσης του καλωδίου ή και σύντομη απώλεια του σήματος. Όλοι οι σταθμοί που θα ανιχνεύσουν μια σύγκρουση σταματούν αμέσως οποιαδήποτε εκπομπή. Για να εξασφαλιστεί ότι όλοι οι σταθμοί του δικτύου θα ενημερωθούν για τη σύγκρουση, ο κάθε σταθμός που θα ανιχνεύσει σύγκρουση εκπέμπει μια σύντομη ακολουθία από 128 συνεχόμενα bits με τιμή 1 (jamming) και έπειτα σιωπά.

Οι συγκρούσεις που οφείλονται στην καθυστέρηση μετάδοσης του σήματος, συμβαίνουν πάντα στην αρχή των πακέτων και πιο συγκεκριμένα στα πρώτα 51,2 μsec, διάστημα που ονομάζεται και παράθυρο συγκρούσεων. Η τιμή των 51,2 μsec, που είναι διπλάσια των 25,6 μsec δικαιολογείται από το γεγονός ότι αν ένας σταθμός στη μια άκρη του δικτύου αρχίσει να εκπέμπει, ενώ ένας άλλος σταθμός στην άλλη άκρη του δικτύου αρχίσει επίσης να εκπέμπει μετά από 25,6 μsec, τότε θα δημιουργηθεί σύγκρουση την οποία ο πρώτος σταθμός δεν θα αντιληφθεί πριν παρέλθουν 25,6 μsec, έως ότου δηλαδή το σήμα του δεύτερου σταθμού φθάσει και αυτό στον πρώτο.

Η αποστολή ενός πλαισίου θεωρείται επιτυχής εφ' όσον ο αποστολέας δεν ανιχνεύσει σύγκρουση (collision) κατά το διάστημα της εκπομπής. Αν ανιχνευτεί σύγκρουση, ο σταθμός επανεκπέμπει μετά από παρέλευση τυχαίας χρονικής περιόδου. Η τυχαία αυτή χρονική περίοδος είναι πολλαπλάσιο του παραθύρου συγκρούσεων δηλαδή έχει τιμή  $n \times 51,2 \mu\text{sec}$ .

Πιο συγκεκριμένα μετά την ανίχνευση σύγκρουσης ο κάθε σταθμός επιλέγει τυχαία μεταξύ των τιμών  $n = 0$  και  $n = 1$ , δηλαδή εκπέμπει είτε άμεσα (αφήνοντας πάντα το ελάχιστο κενό των 9,6 μsec), είτε μετά 51,2 μsec.

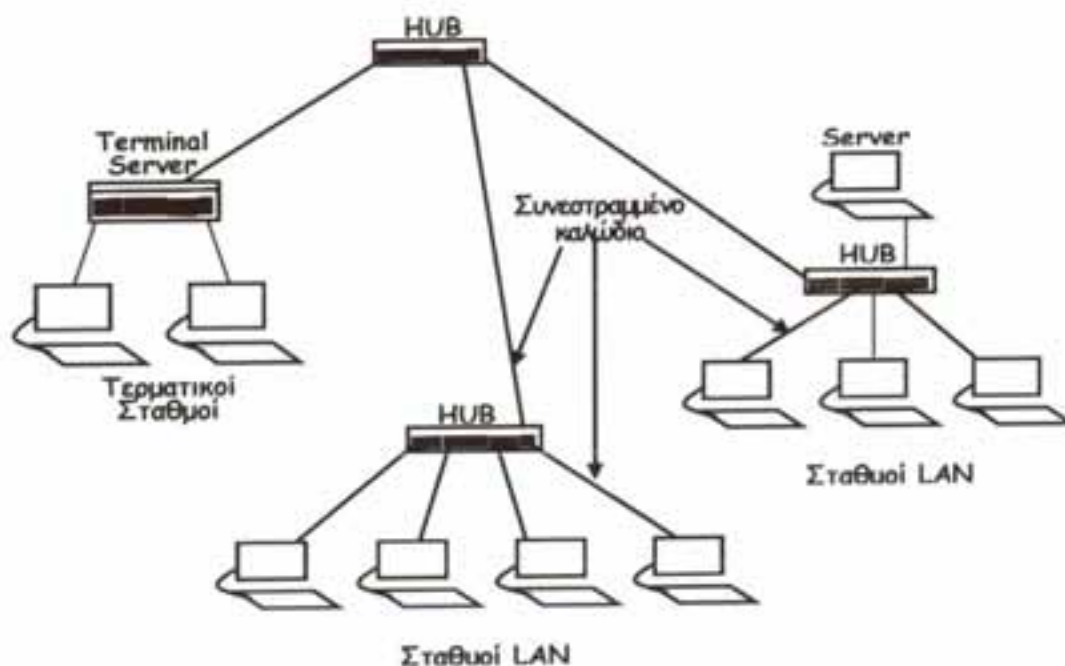
Εάν δημιουργηθεί και άλλη σύγκρουση ο κάθε σταθμός προσπαθεί και πάλι μετά το πέρας της σύγκρουσης, επιλέγοντας τυχαίο χρόνο εκπομπής  $n \times 51,2 \mu\text{sec}$ , με τη διαφορά ότι τώρα το  $n$  μπορεί να έχει τις τιμές  $n = 0$ ,  $n = 1$ ,  $n = 2$  και  $n = 3$ , ώστε να μειωθεί η πιθανότητα ταυτόχρονης εκπομπής μεταξύ των δύο σταθμών στο 25%.

Εάν συμβεί και πάλι σύγκρουση, η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς, το πολύ μέχρι 16 διαδοχικές προσπάθειες με αυξανόμενες κάθε φορά τις πιθανές τιμές του  $n$ .

### 9.3. Δίκτυο Ethernet με HUB (συγκεντρωτής)

Όπως γνωρίζουμε το δίκτυο Ethernet συνδέει τους σταθμούς εργασίας στο κοινό μέσο μετάδοσης (bus) που είναι ομοαξονικό καλώδιο. Λόγω όμως των προβλημάτων που εμφάνιζε αυτή η τοπολογία, σύντομα αντικαταστάθηκε με την ακτινωτή τοπολογία που υλοποιείται με τη χρήση μίας ειδικής συσκευής η οποία βρίσκεται στο κέντρο του αστέρα, και ονομάζεται συγκεντρωτής (hub) και με τη χρήση συνεστραμμένων καλωδίων.

Ο συγκεντρωτής (hub) είναι εξοπλισμένος με πολλές θύρες και υλοποιεί το διαμοιρασμό του μέσου πολλαπλής πρόσβασης, προωθώντας το πλαίσιο που λαμβάνει από μια θύρα του σε όλες τις υπόλοιπες θύρες. Ως άμεση συνέπεια του μηχανισμού CSMA/CD, μόνο ένας κόμβος μπορεί να μεταδίδει δεδομένα στο δίκτυο σε μια αυθαίρετη χρονική στιγμή.



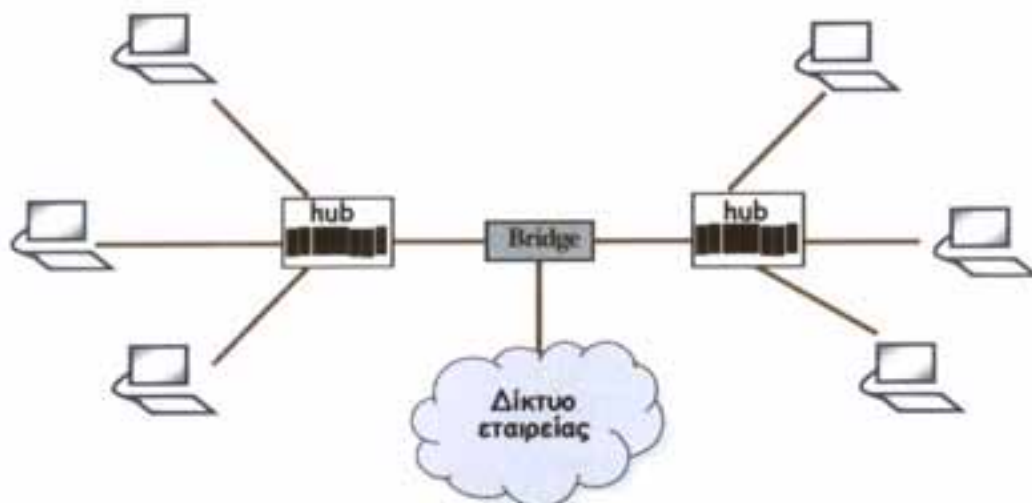
Μια τυπική διασύνδεση σταθμών εργασίας μέσω Hub

#### 9.3.1. Σύγκριση Γεφυρών και Συγκεντρωτών

- ▶ Οι γέφυρες λειτουργούν στο επίπεδο 2, ενώ οι συγκεντρωτές λειτουργούν στο επίπεδο 1.
- ▶ Οι γέφυρες είναι πιο χρήσιμες από τους συγκεντρωτές γιατί μπορούν να ανιχνεύσουν εάν υπάρχει συμφόρηση στο δίκτυο.
- ▶ Οι γέφυρες μπορούν να δουν την πηγή και τον προορισμό, τη διεύθυνση προορισμού (Media Access Control, MAC), και μπορούν να χτίσουν έναν πίνακα διευθύνσεων MAC που τις επιτρέπει να λαμβάνουν τις ευφυείς αποφάσεις αποστολής στο επίπεδο 2. Στην ουσία συλλέγουν και περνούν τα πλαίσια μεταξύ δύο τμημάτων δικτύου, ενώ την ίδια στιγμή παίρνουν σημαντικές αποφάσεις

αποστολής. Κατά συνέπεια, οι γέφυρες μπορούν να ελέγξουν καλύτερα οποιαδήποτε σύγκρουση στο δίκτυο.

- ▶ Αντίθετα από τους συγκεντρωτές, όπου όλες οι υποδοχές ανήκουν στην ίδια περιοχή σύγκρουσης, οι υποδοχές στη γέφυρα ανήκουν σε χωριστές περιοχές σύγκρουσης. Επομένως, οι γέφυρες έχουν 2 υποδοχές.



#### 9.4. Διασύνδεση δικτύου Ethernet με μεταγωγείς

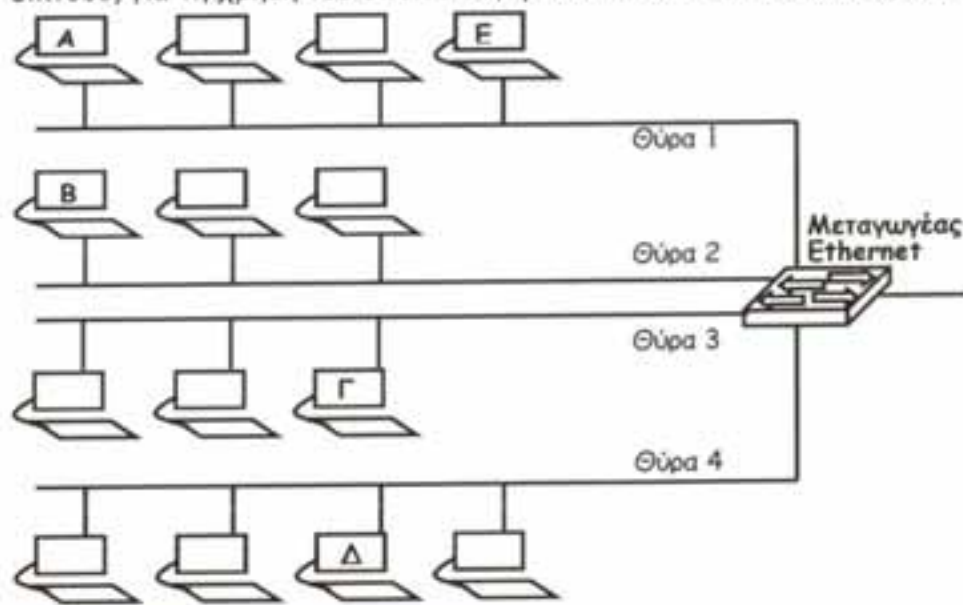
Η απόδοση ενός δικτύου Ethernet μπορεί να βελτιωθεί, εάν υλοποιηθεί με μεταγωγέα (switch) αντί για συγκεντρωτή. Ο μεταγωγέας αντί να προωθεί ένα εισερχόμενο πλαίσιο προς όλους τους κόμβους που διασυνδέονται σε αυτόν, το προωθεί μόνο προς τον παραλήπτη του. Πιο συγκεκριμένα ο μεταγωγέας μόλις δεχτεί ένα πλαίσιο σε κάποια από τις θύρες του, διαβάζει τη διεύθυνση προορισμού του πλαισίου και προσδιορίζει τον κατάλληλο εξερχόμενο σύνδεσμο. Εάν ο εξερχόμενος σύνδεσμος είναι αδρανής, τότε προωθεί το πλαίσιο σε αυτόν προς μετάδοση. Στην περίπτωση όμως που ο εξερχόμενος σύνδεσμος είναι απασχολημένος, τότε υποχωρεί και επιχειρεί τη μετάδοση του πλαισίου μετά από τυχαίο χρόνο, σύμφωνα με το CSMA/CD.

Οι μεταγωγείς Ethernet σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρέχουν τη δυνατότητα πολλαπλών μεταδόσεων ανά χρονική στιγμή, αρκεί τα μεταδιδόμενα πλαίσια να εκπέμπονται από διαφορετικό σύνδεσμο. Έτσι, με αυτές τις ταυτόχρονες μεταδόσεις πλαισίων, επιτυγχάνεται η βελτίωση στην απόδοση του δικτύου.

Η απαιτούμενη καλωδίωση και η διεπαφή των υπολογιστών με το δίκτυο είναι ακριβώς οι ίδιες και στις δύο περιπτώσεις υλοποίησης του τοπικού δικτύου: είτε με τη χρήση μεταγωγέα, είτε με τη χρήση συγκεντρωτή.

Εκτός από μεμονωμένους κόμβους, στις θύρες ενός μεταγωγέα Ethernet μπορούν να συνδεθούν και δίκτυα υπολογιστών, αναπτύσσοντας έτσι ένα μεγαλύτερο τοπικό δίκτυο. Σε μία τέτοια υλοποίηση, δημιουργούνται απομονωμένες περιοχές συγκρούσεων (collision domains), οι οποίες βελτιώνουν την απόδοση του δικτύου σε σχέση με την υλοποίηση που βασίζεται σε συγκεντρωτή. Αυτό γιατί στην περίπτωση

του συγκεντρωτή έχουμε ένα διαμοιραζόμενο μέσο σε όλη την έκταση του τοπικού δικτύου, για τη χρήση του οποίου συγκρούονται όλοι οι διασυνδεδεμένοι κόμβοι.



Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, οι μεταγωγείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διασύνδεση επιμέρους τοπικών δικτύων, επιτυγχάνοντας έτσι τη δημιουργία αυτόνομων περιοχών συγκρούσεων.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα το παραπάνω σχήμα ας δούμε ένα παράδειγμα:

Ας θεωρήσουμε το εκτεταμένο δίκτυο του παραπάνω σχήματος, το οποίο έχει αναπτυχθεί διασυνδέοντας τέσσερα επιμέρους τοπικά δίκτυα Ethernet διαμέσου ενός μεταγωγέα.

Εάν ο κόμβος Α θέλει να μεταβιβάσει δεδομένα στον κόμβο Β, τότε ο μεταγωγέας προωθεί τα αντίστοιχα πλαίσια από τη θύρα 1 στη θύρα 2, χωρίς να απασχολήσει καθόλου τα δίκτυα των θυρών 3 και 4 για το πλαίσιο που προορίζεται για τον κόμβο Β.

Εάν ο κόμβος Γ θελήσει να στείλει δεδομένα στον κόμβο Β, την ίδια χρονική στιγμή που ο Α μεταβιβάζει τα δικά του δεδομένα στον Β, τότε δεν δημιουργείται πρόβλημα. Εκ κατασκευής, ο μεταγωγέας μπορεί ταυτόχρονα να μεταβιβάζει πλαίσια με διαφορετικούς προορισμούς.

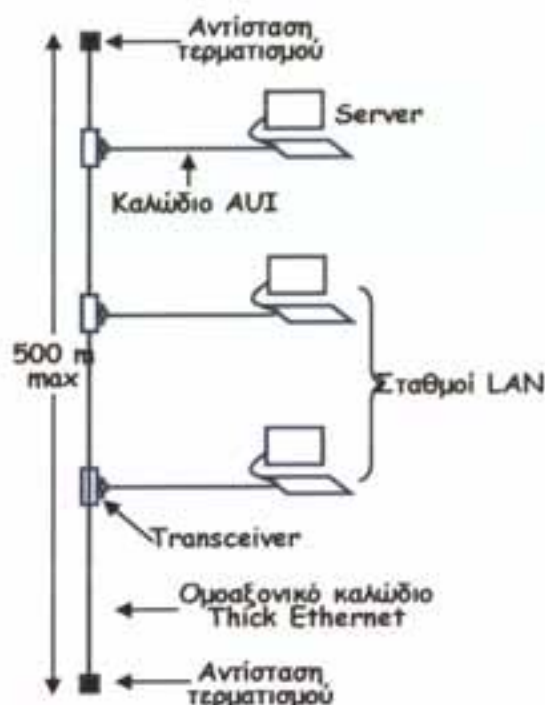
Εάν ο κόμβος Α θελήσει να επικοινωνήσει με τον κόμβο Ε, τότε η συνομιλία γίνεται στο τοπικό τους υποδίκτυο και ο μεταγωγέας δεν προωθεί κανένα πλαίσιο από τη μεταξύ τους συνομιλία.

Στο εκτεταμένο τοπικό δίκτυο του παραπάνω σχήματος υπάρχουν τέσσερις περιοχές συγκρούσεων: μία σε κάθε ένα επιμέρους τοπικό δίκτυο. Εάν στη θέση του μεταγωγέα είχαμε χρησιμοποιήσει συγκεντρωτή, τότε θα είχαμε μόνο μια περιοχή συγκρούσεων, γεγονός που θα υποβάθμιζε την απόδοση του εκτεταμένου δικτύου σε περιπτώσεις υψηλού φόρτου.

## 9.5. Τύποι Ethernet

### 9.5.1. Thick Ethernet 10base5

Η πρώτη έκδοση του Ethernet είναι το thick cable Ethernet και βασίστηκε σε ένα χονδρό ομοαξονικό καλώδιο διαμέτρου 1 cm με σύνθετη αντίσταση 50 Ω. Το μέγιστο επιτρεπτό μήκος του καλωδίου είναι 500 m. Στα δύο άκρα του καλωδίου τοποθετούνται τερματικές αντιστάσεις των 50 Ω για την αποφυγή ανακλάσεων του σήματος. Οι υπολογιστές συνδέονται στο δίκτυο με τη βοήθεια εξωτερικών συσκευών που ονομάζονται πομποδέκτες (transceivers) και τοποθετούνται απευθείας πάνω στο ομοαξονικό αυτό καλώδιο. Η σύνδεση των υπολογιστών με τους transceivers γίνεται με τη βοήθεια μιας κάρτας διασύνδεσης δικτύου (Network Interface Card, NIC) που τοποθετείται εντός του υπολογιστή και ενός ειδικού καλωδίου AUI (Attachment Unit Interface - διασύνδεση μονάδας προσαρτήσης) που στα άκρα του έχει συνδέσμους 15 ακροδεκτών τύπου DB15. Το AUI καλώδιο μπορεί να έχει μέγιστο μήκος 50 μέτρων.



Τρεις υπολογιστές συνδεδεμένοι σε Thick Ethernet. Ένα καλώδιο AUI συνδέει την κάρτα διασύνδεσης δικτύου (NIC) με τον αντίστοιχο της πομποδέκτη (transceiver).

Το *ομοαξονικό καλώδιο* που χρησιμοποιείται είναι το thick coax με διάμετρο 1 cm. Το καλώδιο είναι εξαιρετικά δύσκαμπτο και κίτρινου χρώματος.

Οι *τερματικές αντιστάσεις* (terminators) τοποθετούνται στα δύο άκρα του ομοαξονικού καλωδίου για τερματισμό, ώστε να μη δημιουργούνται στάσιμα κύματα που αλλοιώνουν τη μετάδοση.

Η *NIC* (Network Interface Card) βρίσκεται σε κάθε τερματικό σταθμό του δικτύου και τον συνδέει με το τοπικό δίκτυο. Συνήθως είναι μία κάρτα που εκτελεί όλες τις λογικές (software) και φυσικές (hardware) προσαρμογές στο



Ethernet, όπως η δημιουργία πλαισίου (frame), ενώ από κατασκευής περιέχει τη διεύθυνση MAC.

Ο *πομποδέκτης* (transceiver) είναι το σημείο σύνδεσης του κάθε σταθμού με το ομοαξονικό καλώδιο κορμού. Διαθέτει ηλεκτρονικά κυκλώματα που εκτός από την εκπομπή πάνω στο καλώδιο και τη λήψη των σημάτων, αναγνωρίζουν και την πιθανή σύγκρουση (collision) δύο ή περισσότερων σημάτων. Είναι τοποθετημένος απευθείας πάνω στο ομοαξονικό καλώδιο και έρχεται σε επαφή με τον κεντρικό αγωγό του με μία μονωμένη αιχμηρή βελόνα που διαπερνά το εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου. Μέχρι 100 το πολύ πομποδέκτες μπορούν να τοποθετηθούν σε ένα ομοαξονικό καλώδιο και πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 2,5 μέτρα μεταξύ τους.

Το *AUI* (Attachment Unit Interface) καλώδιο σύνδεσης transceiver - NIC περιέχει πολλά σύρματα. Φυσικά, δύο σύρματα χρειάζονται για να μεταφέρουν τα εξερχόμενα δεδομένα από την NIC προς τον transceiver και τα εισερχόμενα δεδομένα από τον transceiver προς την NIC. Ακόμα, ένα καλώδιο AUI περιέχει ξεχωριστά σύρματα που επιτρέπουν στην NIC να ελέγχει τον transceiver και σύρματα που μεταφέρουν ηλεκτρική ισχύ σε αυτόν.

### 9.5.2. Πολύπλεξη συνδέσεων

Αυτό ο τρόπος καλωδίωσης χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου η καλωδίωση Thicknet δεν είναι βολική. Ας δούμε ένα παράδειγμα για να κατανοήσουμε καλύτερα το πρόβλημα:

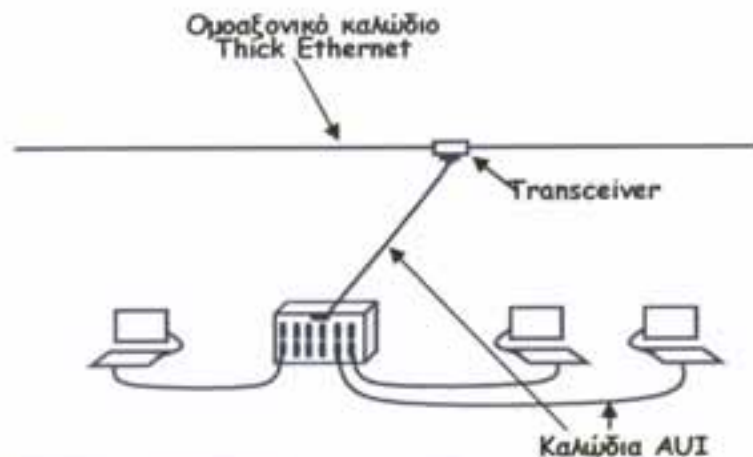
Εστω ότι έχουμε ένα εργαστηριακό χώρο όπου είναι εγκατεστημένοι πολλοί υπολογιστές. Το καλώδιο Ethernet βρίσκεται στην οροφή του διαδρόμου έξω από τον εργαστηριακό χώρο. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να εγκατασταθεί ένα καλώδιο AUI μεταξύ κάθε υπολογιστή και του αντίστοιχου transceiver (πομποδέκτη) στον διάδρομο. Επίσης, επειδή το πρότυπο του Ethernet καθορίζει μια ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο transceivers, οι μεμονωμένοι transceivers πρέπει να είναι τοποθετημένοι σε κάποιες αποστάσεις κατά μήκος του καλωδίου του Ethernet.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι πολυπλέκτες συνδέσεων (connection multiplexors). Ένας πολυπλέκτης συνδέσεων επιτρέπει να συνδέονται πολλοί υπολογιστές στον ίδιο πομποδέκτη.

Η καλωδίωση για τη χρήση ενός πολυπλέκτη συνδέσεων είναι απλή. Κάθε υπολογιστής έχει εγκατεστημένη μια συμβατική κάρτα διασύνδεσης δικτύου (NIC) και έχει συνδεδεμένο ένα συμβατικό καλώδιο AUI. Τα καλώδια AUI δεν είναι συνδεδεμένα σε ξεχωριστούς transceivers. Το καλώδιο από τον κάθε υπολογιστή συνδέεται σε μια θύρα του πολυπλέκτη. Τέλος, ένα και μοναδικό καλώδιο AUI συνδέει τον πολυπλέκτη με το Ethernet.

Ο πολυπλέκτης είναι μια ηλεκτρονική συσκευή σχεδιασμένη να παρέχει τα ίδια ακριβώς σήματα όπως ένας συμβατικός transceiver. Δηλαδή, εάν δύο υπολογιστές επιχειρήσουν να μεταδώσουν την ίδια στιγμή, ο πολυπλέκτης αναφέρει ότι παρουσιάστηκε σύγκρουση, με τον ίδιο τρόπο που ένας transceiver αναφέρει μια σύγκρουση στο δίκτυο. Επίσης, εάν υπάρχει φέρον σήμα στο δίκτυο, ο πολυπλέκτης αναφέρει την παρουσία φέροντος σήματος σε όλους τους συνδεδεμένους σταθμούς.

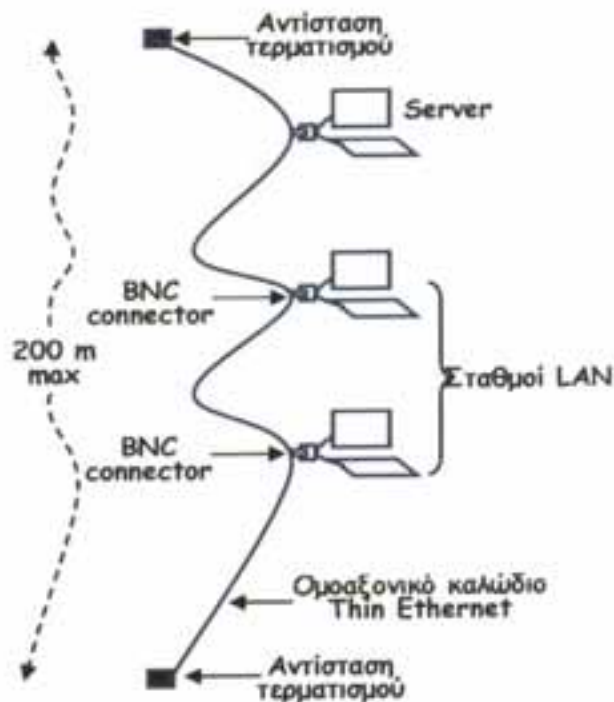
Έτσι, ένας υπολογιστής δεν χρειάζεται να γνωρίζει αν είναι συνδεδεμένος απευθείας σε ένα συμβατικό transceiver ή σε έναν πολυπλέκτη.



Πολυπλέκτης στον οποίο συνδέονται πολλοί υπολογιστές και εκείνος με τη σειρά του σε ένα και μοναδικό transceiver. Κάθε υπολογιστής λειτουργεί σαν να ήταν συνδεδεμένος απευθείας σε έναν transceiver.

### 9.5.3. Thin Ethernet 10base2

Εκτός από το Thick Ethernet υπάρχει και ένας άλλος τρόπος καλωδίωσης που λέγεται Thin Ethernet ή αλλιώς Thinnet (καλωδίωση στο λεπτό Ethernet). Σε αυτή την περίπτωση το καλώδιο που χρησιμοποιεί το Ethernet είναι πιο λεπτό, χαμηλότερου κόστους και πιο εύκαμπτο ομοαξονικό καλώδιο, των 50 Ω, σε σύγκριση με το αρχικό παχύ καλώδιο. Ένα βασικό σημείο στο οποίο διαφοροποιείται το Thinnet από το Thicknet, είναι ότι η εγκατάσταση και η λειτουργία του Thinnet γενικά κοστίζει λιγότερο αυτή του Thicknet. Ακόμη, μια σημαντική βελτίωση που πρότεινε η εταιρεία 3Com ήταν η μεταφορά του transceiver (πομποδέκτης) από το ομοαξονικό καλώδιο στην κάρτα NIC (Network Interface Card - κάρτα διασύνδεσης δικτύου) μέσα στο PC, πράγμα που καταργεί τον εξωτερικό transceiver και το καλώδιο AUI. Η σύνδεση του υπολογιστή με το καλώδιο είναι άμεση και απλή, με τη χρήση ενός ομοαξονικού BNC connector (συζευκτήρας BNC) τύπου T που συνδέεται απευθείας πάνω στην κάρτα NIC.



Τρεις υπολογιστές συνδεδεμένοι σε Thin Ethernet. Το μέσο επικοινωνίας είναι ένα εύκαμπτο καλώδιο που συνδέει την κάρτα διασύνδεσης δικτύου (NIC) ενός υπολογιστή με την κάρτα διασύνδεσης δικτύου (NIC) του άλλου υπολογιστή.

Το μέγιστο μήκος για κάθε τμήμα ομοαξονικού καλωδίου περιορίζεται από τα 500 στα 185 μέτρα λόγω της υψηλότερης απόσβεσης του καλωδίου και της μικρότερης ταχύτητας του ηλεκτρομαγνητικού σήματος στο λεπτότερο καλώδιο. Επίσης, 30 το πολύ σταθμοί μπορούν πλέον να συνδεθούν πάνω σε κάθε τμήμα του καλωδίου και η απόσταση μεταξύ των υπολογιστών πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 0.5 μέτρου.

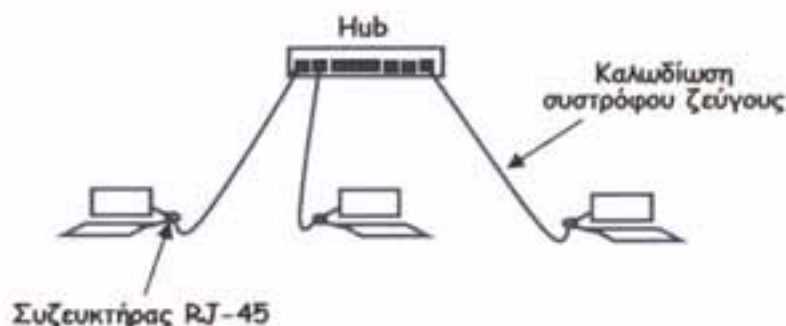
Σε μία εγκατάσταση δικτύου Thinnet, ένα ομοαξονικό καλώδιο εκτείνεται ανάμεσα σε κάθε ζεύγος υπολογιστών. Το καλώδιο δεν είναι απαραίτητο να ακολουθεί ευθεία γραμμή, αλλά μπορεί να είναι αφημένο πάνω στο τραπέζι ανάμεσα στους υπολογιστές, να περνά κάτω από το πάτωμα ή να βρίσκεται μέσα σε ηλεκτραγωγό.

Τέλος, παρά τις μεγάλες διαφορές μεταξύ της καλωδίωσης στο Thinnet και Thicknet, υπάρχουν πολλές και σημαντικές ομοιότητες. Και τα δύο είδη καλωδίου, παχύ και λεπτό καλώδιο, είναι ομοαξονικά, που σημαίνει ότι προστατεύουν τα σήματα από τις παρεμβολές. Επίσης, απαιτούν τερματισμό και χρησιμοποιούν τοπολογία διαύλου (bus). Το σημαντικότερο όμως είναι ότι επειδή οι δύο τρόποι καλωδίωσης έχουν τα ίδια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, δηλαδή ηλεκτρική αντίσταση και χωρητικότητα, τα σήματα διαδίδονται μέσω των καλωδίων με τον ίδιο τρόπο.

#### 9.5.4. Twisted pair Ethernet - 10baseT

Ενας τρίτος τύπος καλωδίωσης διαφέρει κατά πολύ από το Thicknet και Thinnet. Ο τρόπος αυτός ονομάζεται Ethernet συστρόφους ζεύγους (Twisted pair

Ethernet) ή αλλιώς 10baseT, τοπολογίας αστέρα, που χρησιμοποιεί για μέσον συνεστραμμένα χάλκινα καλώδια και έχει δυνατότητες για 10Mbps. Στο κέντρο του αστέρα χρησιμοποιούνται συσκευές συγκέντρωσης καλωδίων που ονομάζονται hub ενώ ο κάθε σταθμός συνδέεται με το hub με ανεξάρτητο καλώδιο. Δύο ζεύγη συρμάτων απαιτούνται για τη σύνδεση του κάθε σταθμού, το ένα ζεύγος χρησιμοποιείται για εκπομπή και το άλλο για λήψη. Τα σύρματα σε κάθε ζεύγος είναι συνεστραμμένα ώστε να αποφεύγεται η παραδιαφωνία μεταξύ εκπομπής και λήψης. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ hub και σταθμού εργασίας είναι 100 μέτρα.



Τρεις υπολογιστές συνδεδεμένοι σε ένα hub με καλωδίωση 10baseT. Κάθε υπολογιστής έχει δική του αποκλειστική σύνδεση.

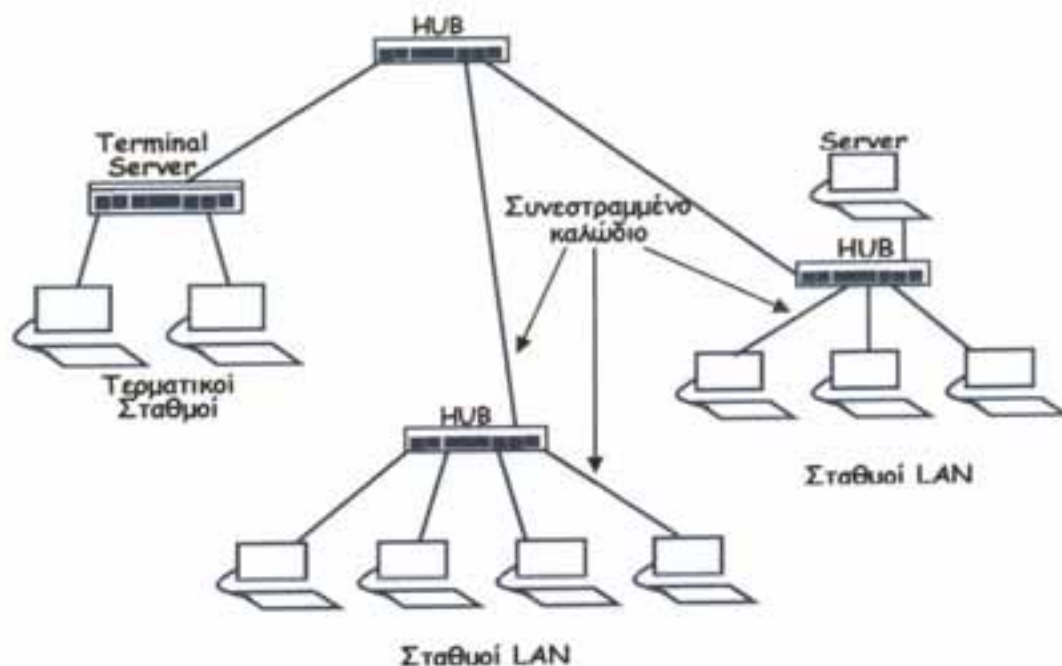
Το hub ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου μπορεί να έχει πολλές θύρες που υλοποιούνται με συνδέσμους RJ-45.

Κάθε hub ενεργεί σαν ένας επαναλήπτης που όταν λαμβάνει δεδομένα από οποιοδήποτε σταθμό τα αποστέλλει ταυτόχρονα (broadcast) σε όλους τους άλλους σταθμούς που είναι συνδεδεμένοι στις θύρες του. Στις θύρες ενός hub μπορούμε να συνδέσουμε άλλα hub σε ιεραρχική διάταξη. Μέχρι τέσσερα hub μπορούν να συνδεθούν σε τέτοια ακολουθία σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Ethernet για τέσσερις το πολύ σε σειρά επαναλήπτες.

Η κάρτα διασύνδεσης δικτύου (Network Interface Card - NIC) στους υπολογιστές εξυπηρετεί τις ίδιες λειτουργίες όπως και στους άλλους τύπους καλωδίωσης Ethernet με τη διαφορά ότι έχει ενσωματωμένο τον transceiver (πομποδέκτη) και συνδέεται με σύνδεσμο RJ-45.

Τα περισσότερα δίκτυα βασίζονται σε hub και συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων. Αυτό γιατί πλέον μπορούμε εύκολα να προσθαιρέσουμε σταθμούς στο δίκτυο χωρίς να χρειάζεται να διακόψουμε τη λειτουργία του όπως απαιτείται στα Thicknet και Thinnet.

Το hub υλοποιεί το διαμοιρασμό του μέσου πολλαπλής πρόσβασης, προωθώντας το πλαίσιο που λαμβάνει από μια θύρα του σε όλες τις υπόλοιπες θύρες. Ως άμεση συνέπεια του μηχανισμού CSMA/CD, μόνο ένας κόμβος μπορεί να μεταδίδει δεδομένα στο δίκτυο σε μια αυθαίρετη χρονική στιγμή.



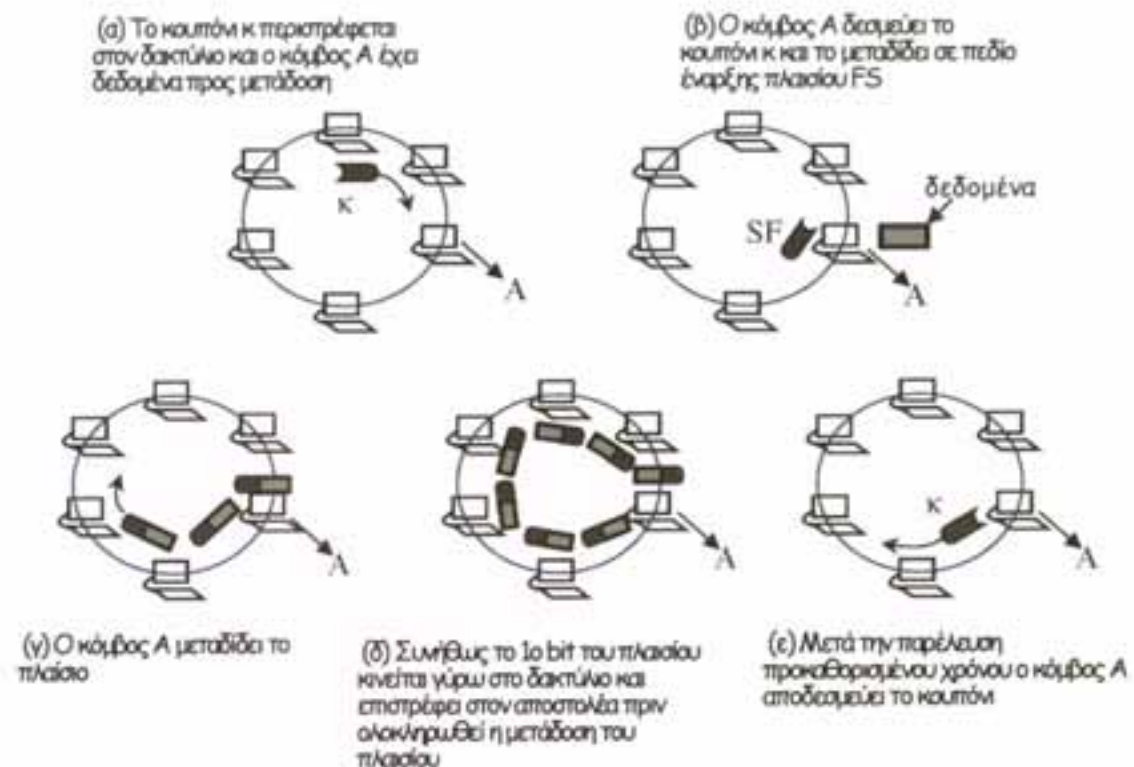
Συγκεντρωτές συνδεδεμένοι στις θύρες ενός άλλου hub σε ιεραρχική διάταξη. Μέχρι τέσσερα hub μπορούν να συνδεθούν σε τέτοια ακολουθία.

## 9.6. Token Ring - IEEE 802.5 (δίκτυο δακτυλίου με κουπόνι)

Η τεχνολογία δακτυλίου με κουπόνι (token ring) αναπτύχθηκε από την IBM στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και αποτελούσε μέχρι πρόσφατα την κύρια επιλογή της για τις εγκαταστάσεις τοπικών δικτύων. Η αποδοχή των δικτύων τύπου δακτυλίου με κουπόνι ήταν μεγάλη και αυτό οδήγησε την IEEE να θεσπίσει το πρότυπο 802.5, το οποίο είναι σχεδόν ταυτόσημο και ιδεατό με το πρωτόκολλο της IBM.

Τα δίκτυα IEEE 802.5 έχουν τη λογική τοπολογία του δακτυλίου, ενώ πλέον υλοποιούνται ως αστέρας χρησιμοποιώντας ως φυσικό μέσο καλώδια συνεστραμμένων ζευγών ή οπτικές ίνες. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στο δίκτυο μπορεί να είναι 4 Mbps ή 16 Mbps, ενώ υπάρχει ο περιορισμός των 250 κόμβων ανά δακτύλιο.

Στα δίκτυα αυτά ο έλεγχος προσπέλασης του φυσικού μέσου διενεργείται με το πέραςμα κουπονιού (token), ένα ειδικό πλαίσιο, το οποίο περιστρέφεται γύρω από τον δακτύλιο. Ο τρόπος λειτουργίας δικτύων δακτυλίου με κουπόνι φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και περιγράφεται παρακάτω.



Όταν ένας υπολογιστής χρειάζεται να στείλει δεδομένα, πρέπει να περιμένει να του δοθεί άδεια για να μπορέσει να προσπελάσει το δίκτυο. Από τη στιγμή που θα αποκτήσει την άδεια, ο υπολογιστής - αποστολέας έχει τον πλήρη έλεγχο του δακτυλίου. Κατά συνέπεια καμία άλλη μετάδοση δεν μπορεί να γίνει ταυτόχρονα. Καθώς ο υπολογιστής - αποστολέας μεταδίδει ένα πλαίσιο, τα bit μεταβιβάζονται από τον αποστολέα στον επόμενο υπολογιστή, και έπειτα στον επόμενο, και ούτω καθεξής, μέχρι να κάνουν όλο το γύρο του δακτυλίου και να ξαναγυρίσουν στον αποστολέα.

Για να επαληθεύσει ο αποστολέας ότι δεν παρουσιάστηκαν σφάλματα μετάδοσης, μπορεί να συγκρίνει τα δεδομένα που έλαβε με τα δεδομένα που έστειλε. Οι άλλοι σταθμοί παρακολουθούν όλες τις μεταδόσεις. Αν ένα πλαίσιο προορίζεται για ένα δεδομένο υπολογιστή, αυτός κρατά ένα αντίγραφο του πλαισίου καθώς τα bit περνούν γύρω από το δακτύλιο.

### 9.6.1. Απόκτηση άδειας μετάδοσης και εξασφάλιση αποκλειστικής προσπέλασης στο μέσο

Το υλικό του δικτύου συντονίζει όλους τους συνδεδεμένους υπολογιστές για να εξασφαλίζει ότι δίνεται άδεια στον κάθε υπολογιστή με τη σειρά. Για τον συντονισμό χρησιμοποιείται όπως προαναφέραμε, ένα ειδικό δεσμευμένο μήνυμα που λέγεται κουπόνι (token). Το κουπόνι είναι ένα υπόδειγμα από bit που διαφέρει από το κανονικό πλαίσιο δεδομένων. Για να εξασφαλιστεί ότι τα κανονικά δεδομένα δεν μπορούν να ερμηνευτούν ως κουπόνι, μερικές τεχνολογίες δικτύων δακτυλίου με κουπόνι χρησιμοποιούν συμπλήρωση με bit (bit stuffing), για να αλλάξουν προσωρινά τις παρουσίες των bit του κουπονιού στα δεδομένα για τη μετάδοση

πάνω στον δακτύλιο. Επίσης αξίζει να συμπληρώσουμε ότι το υλικό εξασφαλίζει και ότι υπάρχει ένα μόνο κουπόνι στο δίκτυο.

Όσον αφορά τη μοναδικότητα προσπέλασης στο φυσικό μέσο, αυτή εξασφαλίζεται ως εξής:

Ο υπολογιστής που έχει δεδομένα προς μετάδοση, περιμένει πότε θα φτάσει το κουπόνι σε αυτόν. Τότε, δεσμεύει το κουπόνι και το αντικαθιστά με μια άλλη ειδική ακολουθία bits που υποδηλώνει την αρχή ενός πλαισίου δεδομένων, ενώ ακολουθεί η μετάδοση του υπόλοιπου πλαισίου. Η δέσμευση και απομάκρυνση του μοναδικού κουπονιού από τον υπολογιστή - αποστολέα που μεταδίδει δεδομένα στο δίκτυο εξασφαλίζει αυτή τη μοναδικότητα.

Στην περίπτωση που ένας υπολογιστής έχει περισσότερα από ένα πλαίσια που περιμένουν να σταλούν, μεταδίδει μόνο ένα πλαίσιο και μετά παραδίδει το κουπόνι. Αλλιώς μπορεί να στείλει περισσότερα πλαίσια εφ' όσον δεν έχει τελειώσει ο χρόνος κράτησης κουπονιού  $\theta$ . Ο χρόνος κράτησης κουπονιού  $\theta$  ορίζεται κατά την εγκατάσταση ενός δακτυλίου με κουπόνι. Αυτός ο χρόνος είναι μια παράμετρος της εγκατάστασης και προσδιορίζει το μέγιστο χρονικό διάστημα που ένας υπολογιστής επιτρέπεται να δεσμεύει το κουπόνι. Εάν μετά τη μετάδοση του πρώτου πλαισίου υπάρχει αρκετός χρόνος για τη μετάδοση και άλλων πλαισίων, τότε αυτά μπορούν επίσης να σταλούν. Με την παρέλευση του χρόνου  $\theta$ , το κουπόνι αποδεσμεύεται και μεταδίδεται στο δακτύλιο. Φυσικά εάν δεν υπάρχουν πλαίσια προς μετάδοση σε αναμονή, ο υπολογιστής θα αποδεσμεύσει το κουπόνι πριν την εκπνοή του χρόνου  $\theta$ . Στο πρότυπο IEEE 802.5, η εξ' ορισμού τιμή του χρόνου κράτησης κουπονιού έχει οριστεί στα  $\theta = 10 \text{ msec}$ .

Αν όλοι οι υπολογιστές σε ένα δίκτυο δακτυλίου με κουπόνι έχουν δεδομένα για αποστολή, η μέθοδος μεταβίβασης κουπονιού εξασφαλίζει ότι όλοι θα μεταδίδουν με τη σειρά τους, με κάθε υπολογιστή να στέλνει ένα πλαίσιο πριν μεταβιβάσει το κουπόνι. Καθώς το κουπόνι προχωρά γύρω από το δακτύλιο, ο κάθε υπολογιστής θα έχει μια ευκαιρία να χρησιμοποιήσει το δίκτυο. Αν ένας συγκεκριμένος υπολογιστής δεν έχει δεδομένα για αποστολή όταν λάβει το κουπόνι, το υλικό διασύνδεσης απλώς περνά το κουπόνι στον επόμενο χωρίς καθυστέρηση. Στην περίπτωση που κανένας υπολογιστής δεν έχει δεδομένα να στείλει, το κουπόνι κυκλοφορεί συνεχώς στον δακτύλιο, καθώς κάθε σταθμός το λαμβάνει και το μεταβιβάζει αμέσως στον επόμενο.

### 9.6.2. Εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του δακτυλίου

Η διαχείριση του δακτυλίου με κουπόνι δεν είναι κατανεμημένη. Αντίθετα, σε κάθε δακτύλιο υπάρχει ένας *κόμβος επόπτης*, ο οποίος εποπτεύει την ορθή λειτουργία του δακτυλίου. Ο κόμβος επόπτης επιβεβαιώνει την ύπαρξη του κουπονιού και την απουσία κατεστραμμένων ή "ορφανών" πλαισίων. Το ορφανό πλαίσιο εμφανίζεται στην περίπτωση που ένας κόμβος καταρρεύσει, πριν προλάβει να απορροφήσει πλήρως το πλαίσιο που μετέδωσε. Σε αυτήν την περίπτωση, εάν δεν επέμβει ο επόπτης του δακτυλίου, το ορφανό πλαίσιο θα εκτελεί κύκλους για πάντα.

Εάν  $N$  είναι το πλήθος των διασυνδεδεμένων κόμβων στο δίκτυο, τότε η απουσία του κουπονιού μπορεί εύκολα να εντοπιστεί, εάν δεν περάσει το κουπόνι

από τον επόπτη κόμβο μέσα σε χρόνο  $N \times \Theta$ . Μετά την πάροδο αυτού του χρόνου, ο επόπτης αδειάζει το δακτύλιο και εισάγει νέο κουπόνι.

Εάν ο επόπτης εντοπίσει ένα πλαίσιο που δεν ακολουθεί την προκαθορισμένη μορφή του IEEE 802.5, τότε θεωρεί ότι το πλαίσιο αλλοιώθηκε και το απομακρύνει, εισάγοντας ένα νέο κουπόνι στο δίκτυο. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση που αποδειχτεί σφάλμα μεταφοράς κατά τον έλεγχο του κώδικα κυκλικού πλεονασμού του πλαισίου.

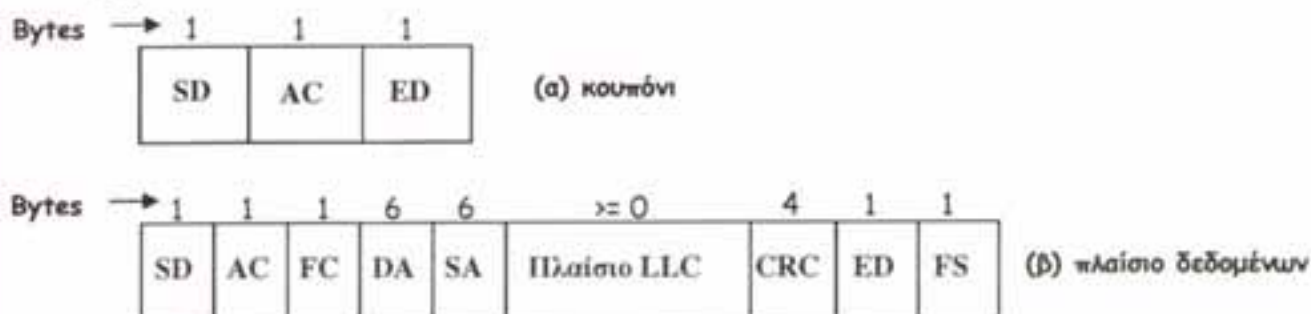
Τα ορφανά πλαίσια εντοπίζονται με την ακόλουθη τεχνική. Όταν ένα πλαίσιο περνάει από τον επόπτη κόμβο, τότε αυτός το μαρκάρει θέτοντας μια συγκεκριμένη τιμή στην επικεφαλίδα του. Εάν περάσει από τον επόπτη ένα πλαίσιο μαρκαρισμένο ως ανωτέρω, τότε χαρακτηρίζεται ως ορφανό και ο επόπτης το απομακρύνει από το δακτύλιο και εισάγει ένα νέο κουπόνι.

Κάθε κόμβος που διασυνδέεται σ' ένα δακτύλιο με κουπόνι έχει, εκ κατασκευής, εποπτικές δυνατότητες. Ο επόπτης ενός δακτυλίου στέλνει περιοδικά κάποια ειδικά πλαίσια ελέγχου (AMP - active monitor present), τα οποία υποδηλώνουν την παρουσία επόπτη. Η απουσία πλαισίων AMP υποδηλώνει την κατάρρευση του επόπτη. Σε αυτήν την περίπτωση, όλοι οι κόμβοι στέλνουν ένα άλλο ειδικό πλαίσιο ελέγχου (CT - claim token), με το οποίο δηλώνουν την επιθυμία τους να γίνουν ο επόπτης του δακτυλίου. Ένα πρωτόκολλο διαιτησίας εξασφαλίζει τη γρήγορη επιλογή του νέου επόπτη.

### 9.6.3. Το υποεπίπεδο MAC

Στα δίκτυα IEEE 802.5 χρησιμοποιείται ο μηχανισμός κουπονιού για τον έλεγχο προσπέλασης του φυσικού μέσου. Επίσης στα δίκτυα 802.5 υπάρχουν δύο τύποι πλαισίων: ένας για το κουπόνι και ένας για τα δεδομένα.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μορφή των πλαισίων IEEE 802.5. Το Κουπόνι του δακτυλίου παίρνει τη μορφή (α), ενώ το πλαίσιο δεδομένων τη μορφή (β).



SD: όριο αρχής πλαισίου  
 AC: έλεγχος προσπέλασης  
 FC: έλεγχος πλαισίου  
 DA: διεύθυνση προορισμού

SA: διεύθυνση πηγής  
 CRC: κώδικας κυκλικού πλεονασμού  
 ED: όριο τέλους πλαισίου  
 FS: κατάσταση πλαισίου

Η αρχή και το τέλος του πλαισίου οριοθετούνται με τις ειδικές ακολουθίες SD (Start Delimiter) και ED (End Delimiter), μήκους 8bits η καθεμία.



Το πεδίο AC (Access Control) χρησιμοποιείται κατά τον έλεγχο προσπέλασης του φυσικού μέσου. Συγκεκριμένα περιέχει το bit κουπονιού και το bit επόπτη. Όταν το bit κουπονιού έχει την τιμή 1, τότε το πλαίσιο είναι το κουπόνι του δακτυλίου, ενώ, στην αντίθετη περίπτωση, το πλαίσιο μεταφέρει δεδομένα. Το bit επόπτη χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό των ορφανών πλαισίων. Τα υπόλοιπα bits του πεδίου AC χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση διαφόρων σχημάτων προτεραιότητας εξυπηρέτησης στο δακτύλιο. Ο χειρισμός των πλαισίων με διάφορα επίπεδα προτεραιότητας στο δακτύλιο με κουπόνι είναι εξαιρετικά πολύπλοκος και σπάνια εφαρμόζεται στα πραγματικά δίκτυα.

Το πεδίο FC (Frame Control) χρησιμοποιείται για να διαχωρίσει την επικεφαλίδα του πλαισίου από τα δεδομένα.

Ακολουθούν οι διευθύνσεις προορισμού (Destination Address, DA) και πηγής (Source Address, SA) του πλαισίου αντίστοιχα, οι οποίες έχουν την ίδια μορφή με τις διευθύνσεις IEEE 802.3 και στη συνέχεια τα δεδομένα του πλαισίου. Όσον αφορά στη μορφή του πλαισίου, δεν υπάρχει περιορισμός στο εύρος των επισυναπτόμενων δεδομένων. Ο περιορισμός υπεισέρχεται μόνο από το χρόνο κράτησης κουπονιού. Ο κώδικας CRC προστατεύει τις διευθύνσεις και τα δεδομένα από τα σφάλματα μεταφοράς.

Το πεδίο κατάστασης πλαισίου (Frame Status, FS) έχει μια ενδιαφέρουσα χρήση. Περιέχει δύο bits, τα οποία ονομάζουμε A και C αντίστοιχα. Όταν ένα πλαίσιο διέρχεται από τον κόμβο προορισμού του, τότε αυτός θέτει στο bit A την τιμή 1. Επίσης, όταν ο κόμβος προορισμού το αντιγράψει με επιτυχία, τότε θέτει και το bit C ίσο με 1. Μια αντιγραφή πλαισίου μπορεί να αποτύχει είτε γιατί ο προσωρινός ενταμιευτής του παραλήπτη είναι γεμάτος, είτε για διάφορους άλλους λόγους (π. χ. αστοχία υλικού). Επειδή το πεδίο FS δεν καλύπτεται από τον κώδικα CRC, τα bits A και C εμφανίζονται από δύο φορές, αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία μεταφοράς.

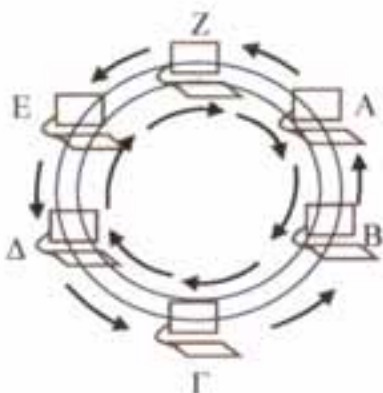
Το πεδίο FS χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση λήψης του πλαισίου. Όταν το πλαίσιο επιστρέφει στον αποστολέα, ελέγχονται οι τιμές των bits A και C. Έτσι, εάν A = 0, τότε ο προορισμός δεν είναι προσπελάσιμος. Εάν A = 1 και C = 0, τότε ο προορισμός είναι προσπελάσιμος αλλά το πλαίσιο δεν έγινε αποδεκτό. Τέλος, εάν A = 1 και C = 1, τότε το πλαίσιο παραδόθηκε στον προορισμό του.

## 9.7. FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

Τα δίκτυα FDDI (Fiber Distributed Data Interface) αναπτύχθηκαν από την επιτροπή X3T9.5 του Αμερικανικού Ινστιτούτου Τυποποιήσεων (American National Standards Institute - ANSI) στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Σκοπός τους ήταν η ανάπτυξη τοπικών δικτύων με ταχύτητες μετάδοσης σημαντικά υψηλότερες από αυτές των τότε επικρατούντων τοπικών δικτύων τύπου Ethernet και δακτυλίου με κουπόνι (token ring). Επιπλέον, η τεχνολογία FDDI αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει και την ενσωμάτωση επιμέρους τοπικών δικτύων σε ένα μεγαλύτερο μητροπολιτικό δίκτυο.

Το FDDI είναι ένας διπλός δακτύλιος με ρυθμό μετάδοσης 100Mbps, ο οποίος υλοποιείται με οπτικές ίνες. Μπορεί να διασυνδέει έως 500 κόμβους, με

μέγιστο επιτρεπτό συνολικό μήκος ινών τα 200 Km (δηλαδή το μήκος ενός δακτυλίου δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 100 Km). Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κόμβων δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 2 Km, όταν χρησιμοποιείται πολυτροπική ίνα, ή τα 10 Km για μονοτροπική ίνα.



Απεικόνιση του FDDI

### 9.7.1. Τρόπος λειτουργίας του FDDI

Στα δίκτυα FDDI, όπως και στο token ring, ο έλεγχος προσπέλασης του φυσικού μέσου διενεργείται με το πέρασμα κουπονιού. Για να μπορέσει να μεταδώσει δεδομένα στο δίκτυο, ένας υπολογιστής θα πρέπει πρώτα να δεσμεύσει ένα κουπόνι. Ένα πλαίσιο δεδομένων διασχίζει όλο το δακτύλιο και τελικά απορροφάται από τον ίδιο τον αποστολέα του. Σε αυτό που διαφέρει το FDDI από το δακτύλιο με κουπόνι είναι ο χρόνος στον οποίο αποδεσμεύεται το κουπόνι.

Επειδή το μήκος των δικτύων FDDI είναι μεγάλο και οι διασυνδεδεμένοι κόμβοι συνήθως πολλοί, ο χρόνος που απαιτείται για να κάνει ένα πλαίσιο το γύρο του δακτυλίου είναι συνήθως μεγάλος, συγκρινόμενος με το χρόνο μετάδοσης του. Εάν ο υπολογιστής - αποστολέας περίμενε να λάβει πίσω το πλαίσιο που απέστειλε για να απελευθερώσει το κουπόνι, τότε θα υπήρχε ένα σημαντικό ποσοστό ανεκμετάλλετου χρόνου μετάδοσης στο δίκτυο. Γι' αυτό το λόγο, αποφασίστηκε να επιτρέπεται σε έναν υπολογιστή να αποδεσμεύει το κουπόνι μόλις τελειώσει τη μετάδοση των πλαισίων του, χωρίς να χρειάζεται να περιμένει για να τα απορροφήσει. Έτσι, σ' ένα μεγάλο δακτύλιο μπορεί να υπάρχουν πολλά διαφορετικά πλαίσια ταυτόχρονα, τα οποία απορροφούνται από τους αποστολείς τους αντίστοιχα.

### 9.7.2. Διαχείριση βλαβών στο FDDI

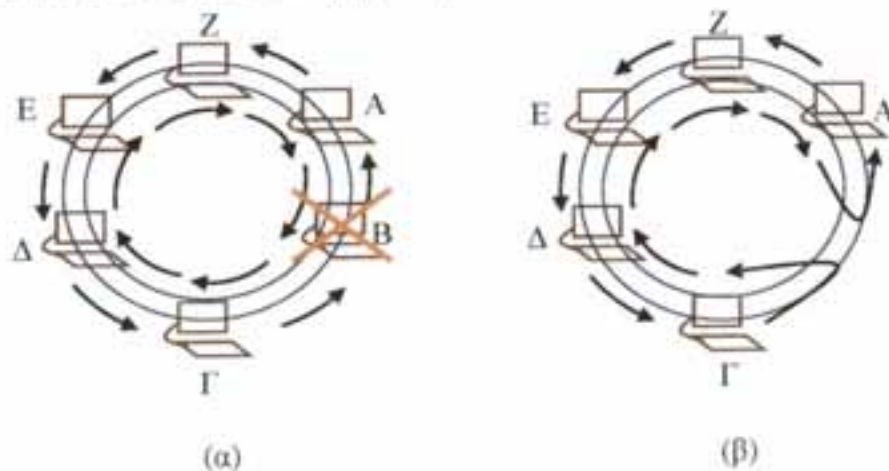
Η τεχνολογία FDDI (Fiber Distributed Data Interconnect) χρησιμοποιεί επίσης πλεονασμό για να ξεπερνάει τις βλάβες. Ένα δίκτυο FDDI περιέχει δύο πλήρεις δακτυλίους - έναν που χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων όταν όλα δουλεύουν σωστά, και έναν άλλο που χρησιμοποιείται μόνο όταν ο πρώτος παρουσιάσει βλάβη. Η κάθε ίνα είναι καλυμμένη με ένα εύκαμπτο πλαστικό περίβλημα, και τα περιβλήματα των δύο ινών είναι ενωμένα με τον ίδιο τρόπο όπως το πλαστικό περίβλημα των συρμάτων ενός καλωδίου τροφοδοσίας οικιακής

συσκευής. Έτσι οι ίνες που χρειάζονται για δύο δακτυλίους μπορούν να εγκαθίστανται μαζί.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δακτύλιοι ενός δικτύου FDDI λέγονται αντίρροποι (counter rotating), επειδή τα δεδομένα ρέουν στον δεύτερο δακτύλιο με φορά αντίστροφη από ότι στον κύριο δακτύλιο. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Πρώτον, επειδή το ζεύγος των ινών που συνδέουν δύο σταθμούς συνήθως ακολουθεί την ίδια φυσική διαδρομή, ένα ατύχημα που κόβει τη μία ίνα, συχνά κόβει και τις δύο. Δεύτερον, αν τα δεδομένα περνούν πάντα προς την ίδια κατεύθυνση και στις δύο ίνες, η αποσύνδεση ενός σταθμού από το δακτύλιο, θα διακόψει την επικοινωνία των άλλων σταθμών. Αν όμως τα δεδομένα ταξιδεύουν με αντίστροφη φορά στο δεύτερο δακτύλιο, οι υπόλοιποι σταθμοί μπορούν να αναδιευθετήσουν το δίκτυο ώστε να χρησιμοποιεί την αντίστροφη διαδρομή.

Κάθε κόμβος μπορεί να είναι συνδεδεμένος και στους δύο δακτυλίους και, όταν έχει δεδομένα προς μετάδοση, μπορεί να επιλέξει για τη μετάδοση οποιονδήποτε από τους δύο δακτυλίους.

Οι δύο δακτύλιοι είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους. Αν κάποιος από τους δύο χαλάσει, τότε το δίκτυο παραμένει λειτουργικό με τον άλλο δακτύλιο. Στην περίπτωση που και οι δύο δακτύλιοι χαλάσουν στο ίδιο σημείο, το FDDI διαθέτει έναν εσωτερικό μηχανισμό αντιμετώπισης αυτής της βλάβης. Εστω για παράδειγμα το δίκτυο FDDI του παρακάτω σχήματος.



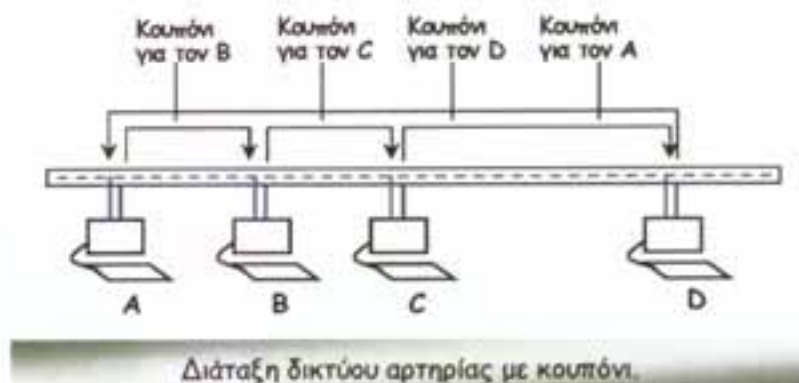
Εάν στον κόμβο Β συμβεί ένα ατύχημα και κοπούν και οι δύο ίνες, τότε αυτόματα το δίκτυο εκτελεί την απαραίτητη διαδικασία για την ένωση των δύο δακτυλίων στους κόμβους Α και Γ, ενεργοποιώντας τους σχετικούς διακόπτες με τους οποίους είναι εξοπλισμένος κάθε κόμβος FDDI. Τελικά το δίκτυο θα επανέλθει, λειτουργώντας με μονό δακτύλιο.

Αυτή η λειτουργία αποκατάστασης βλάβης είναι πολύ σημαντική, όταν από το δίκτυο διατίθενται υπηρεσίες που απαιτούν μικρό χρόνο παραμονής του δικτύου εκτός λειτουργίας και γενικότερα υψηλή αξιοπιστία.

## 9.8. Δίκτυα Αρτηρίας με Κουπόνι (token bus)

Όπως υποδηλώνει και το όνομα του, το *δίκτυο αρτηρίας με κουπόνι (token bus network)* είναι ένα δίκτυο με αρτηρία που χρησιμοποιεί MAC πρωτόκολλο με κουπόνι. Το πρότυπο IEEE 802.4 ορίζει ένα υπόδειγμα για το φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο MAC δικτύων αρτηρίας με κουπόνι. Το MAP (πρωτόκολλο βιομηχανικού αυτοματισμού- manufacturing automation protocol) της General Motors χρησιμοποιεί το δίκτυο αρτηρίας με κουπόνι. Το MAP χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση αισθητήρων, εργαλείων και επεξεργαστών με άνω φράγμα στις καθυστερήσεις επικοινωνίας.

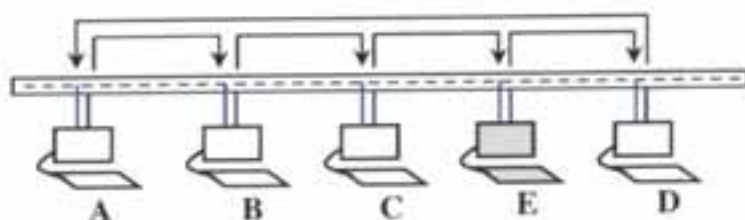
Μια χαρακτηριστική διάταξη δικτύου αρτηρίας με κουπόνι φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Το σχήμα δείχνει τέσσερις κόμβους συνδεδεμένους με κοινό ομοαξονικό καλώδιο. Οι κόμβοι χρησιμοποιούν ένα μηχανισμό παράδοσης του κουπονιού για να ρυθμίσουν την πρόσβαση στο καλώδιο και να αποφύγουν τις συγκρούσεις. Το σχήμα απεικονίζει ένα παράδειγμα της ακολουθίας των γεγονότων. Αρχικά, ο κόμβος A συγκρατεί το κουπόνι και μεταδίδει ένα πλαίσιο δεδομένων. Αφού έχει μεταδώσει αυτό το πλαίσιο δεδομένων, ο κόμβος A μεταδίδει ένα κουπόνι με διεύθυνση προορισμού B. Το κουπόνι είναι ένα μικρό πλαίσιο που αναγνωρίζεται ως κουπόνι από την τιμή του πεδίου ελέγχου πρόσβασης, όπως σε ένα δακτύλιο με κουπόνι. Όλοι οι κόμβοι στο δίκτυο βλέπουν το κουπόνι και αναγνωρίζουν ότι προορίζεται για τον κόμβο B. Ο κόμβος B μεταδίδει πρώτα το πλαίσιο δεδομένων του και μετά το κουπόνι με διεύθυνση προορισμού τον κόμβο C. Ύστερα ο κόμβος C μεταδίδει το πλαίσιο δεδομένων του και το κουπόνι με διεύθυνση προορισμού τον κόμβο D. Μετά ο κόμβος D μεταδίδει το πλαίσιο δεδομένων του ακολουθούμενο από το κουπόνι με διεύθυνση προορισμού τον κόμβο A. Οι μεταδόσεις συνεχίζουν με αυτή την κυκλική σειρά. Αυτό το πρωτόκολλο παράδοσης του κουπονιού λέγεται πρωτόκολλο MAC για αρτηρία με κουπόνι.

### 9.8.1. Όταν ένας κόμβος θέλει να γίνει ενεργητικός

Έστω το δίκτυο που παρουσιάσαμε στην ενότητα " Δίκτυο αρτηρίας με κουπόνι" και υποθέτουμε ότι ο κόμβος E θέλει να γίνει ενεργητικός, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

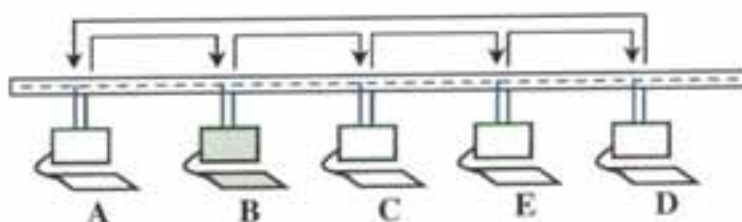


Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε πως μπορεί να τροποποιηθεί η σειρά των μεταδόσεων για να προστεθεί ο κόμβος Ε στην αρτηρία με κουπόνι.

Περιοδικά, και μόνον όταν έχει το κουπόνι, κάθε κόμβος στέλνει ένα ειδικό πακέτο που ονομάζεται *SAS* (*solicit a successor* - αναζητώ επόμενο). Κάθε κόμβος που επιθυμεί να καταστεί ενεργητικός μπορεί να απαντήσει αμέσως μόλις μεταδοθεί το *SAS*. Αν δεν απαντήσει κανένας κόμβος, τότε οι κόμβοι συνεχίζουν την κανονική λειτουργία τους. Αν απαντήσει κάποιος κόμβος στο *SAS*, τότε οι άλλοι κόμβοι μεταβάλλουν τον προηγούμενο τους και τον επόμενο τους κατάλληλα, προκειμένου να εισαχθεί ο νέος κόμβος. Για παράδειγμα, έστω ότι ο κόμβος *C* στέλνει το *SAS* και ότι ο κόμβος *E* απαντάει θέλω να συμμετάσχω (*I want to join*). Το *SAS* που εστάλη από τον *C* υποδηλώνει ότι ο *C* είναι ο αποστολέας και ότι ο επόμενος του *C* είναι ο *D*. Η απάντηση από τον *E* δηλώνει τη διεύθυνση του *E*. Ο κόμβος *E*, όταν δει το *SAS* από τον *C*, σημειώνει ότι τώρα προηγούμενός του είναι ο *C* και ότι επόμενός του είναι ο *D*. Όταν πάρει απάντηση από τον *E*, ο κόμβος *C* αντικαθιστά τον επόμενο του *D* με τον *E*. Αν περισσότεροι του ενός κόμβοι απαντήσουν στο *SAS*, τότε οι μεταδόσεις αυτών των κόμβων συγκρούονται. Η σύγκρουση επιλύεται όπως στο *CSMA-CD*: οι κόμβοι των οποίων οι μεταδόσεις συγκρούονται επαναλαμβάνουν τη μετάδοσή τους, με τυχαίες καθυστερήσεις, μέχρι κάποιος κόμβος να επιτύχει και μετά να μπει στο δίκτυο.

### 9.8.2. Όταν ένας κόμβος θέλει να βγει από το δίκτυο

Όταν ένας κόμβος θέλει να βγει από την αρτηρία με κουπόνι, περιμένει μέχρι να λάβει το κουπόνι. Μεταδίδει τότε ένα ειδικό μήνυμα που λέει "θέλω να βγω" (*I want out*). Οι άλλοι κόμβοι ενημερώνουν τον επόμενο και τον προηγούμενο τους. Για παράδειγμα, αν ο κόμβος *B* στο δίκτυο του παρακάτω σχήματος στείλει ένα μήνυμα θέλω να βγω, αυτό το μήνυμα αποστέλλεται στον προηγούμενο *A* και στον επόμενο *C* του *B*. Όταν ο κόμβος *A* δει αυτό το μήνυμα, μαθαίνει ότι επόμενός του δεν είναι πλέον ο *B* αλλά ο *C* (ο επόμενος του *B*). Όταν ο *C* δει ότι ο προηγούμενός του έφυγε από το δακτύλιο, γνωρίζει ότι ο νέος προηγούμενός του είναι τώρα ο παλιός προηγούμενος του *B*, ο *A*.

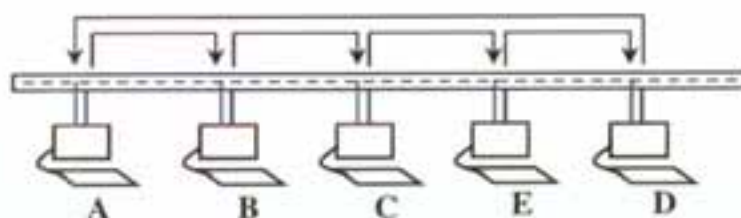


Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε πως μπορεί να τροποποιηθεί η σειρά των μεταδόσεων για να βγει ο κόμβος Β από την αρτηρία με κουπόνι.

### 9.8.3. Τι γίνεται σε περίπτωση που χαθεί το κουπόνι;

Όταν το δίκτυο τεθεί σε λειτουργία ή όταν χαθεί το κουπόνι, οι κόμβοι ανιχνεύουν την απουσία δραστηριότητας. Τότε ένας από τους κόμβους στέλνει ένα πακέτο "παίρνω το κουπόνι" (I claim the token). Αυτός ο κόμβος μετά στέλνει το κουπόνι στον επόμενο του, αν η έλλειψη δραστηριότητας οφείλεται σε χαμένο κουπόνι. Ο κόμβος στέλνει ένα SAS αν αυτή είναι η πρώτη μετάδοση μετά την ενεργοποίηση του δικτύου. Οι συγκρούσεις αντιμετωπίζονται με τον τρόπο που εξηγήθηκε παραπάνω.

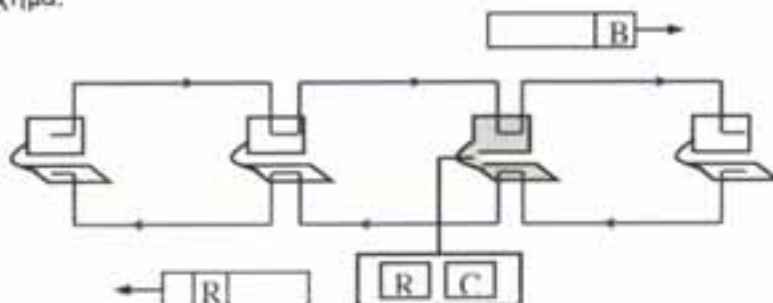
Το δίκτυο αντιμετωπίζει τη βλάβη ενός κόμβου ως εξής: Αν ο κόμβος A στείλει το κουπόνι στον κόμβο B και ο κόμβος B δεν απαντήσει, ο κόμβος A μεταδίδει ένα ειδικό μήνυμα "ποιος ακολουθεί τον B" (who follows B). Οι κόμβοι χρησιμοποιούν την απάντηση σε αυτό το μήνυμα για να απομακρύνουν τον κόμβο B, ενημερώνοντας τον επόμενο και τον προηγούμενό τους.



Δίκτυο που χρησιμοποιεί αρτηρία με κουπόνι.

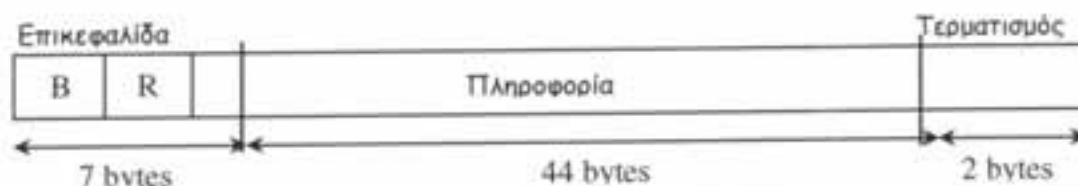
### 9.9. DQDB (διπλή αρτηρία κατανεμημένης ουράς)

Το DQDB (διπλή αρτηρία κατανεμημένης ουράς, *distributed queue dual bus*) έχει επιλεγεί από την ομάδα εργασίας IEEE 802.6 ως το πρότυπο των μητροπολιτικών δικτύων. Το διάγραμμα ενός δικτύου DQDB απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Το DQDB θα χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει LAN και για να παράσχει μεταδόσεις υψηλής ταχύτητας και μικρής καθυστέρησης για εφαρμογές γραφικών και κινούμενης εικόνας.

Το πρότυπο του DQDB προσδιορίζει το υποεπίπεδο MAC. Τα πλαίσια που μεταφέρονται στις αρτηρίες έχουν την εξής δομή:



Τα πλαίσια του DQDB έχουν 44 bytes για δεδομένα του χρήστη και 9 bytes για την επικεφαλίδα και τον τερματισμό του. Τα πεδία B (busy) και R (reservation) χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο πρόσβασης. Η επικεφαλίδα χρησιμοποιείται από τα πρωτόκολλα υψηλότερου επιπέδου για να επανασυνθέσει τα πλαίσια σε μεγαλύτερα τμήματα. Ο τερματισμός περιέχει τα bits ανίχνευσης λάθους με κυκλικό κώδικα (CRC) και την ένδειξη του μήκους των πληροφοριών του χρήστη όταν το πεδίο πληροφορίας δεν είναι πλήρες.

Αυτή η δομή πλαισίου των 53 bytes είναι ίδια με εκείνη των πλαισίων των δικτύων με ασύγχρονο τρόπο μεταφοράς (ATM, asynchronous transfer mode).

Το πρωτόκολλο MAC του DQDB προσπαθεί να κάνει τους κόμβους να μεταδώσουν τα πακέτα τους στη σειρά με την οποία φτάνουν στο επίπεδο MAC, δηλαδή στη σειρά με την οποία τα πακέτα είναι έτοιμα για μετάδοση.

### 9.9.1. Πώς λειτουργεί το πρωτόκολλο MAC

Το *πρωτόκολλο MAC* λειτουργεί ως εξής: Κάθε κόμβος είναι προσαρμοσμένος σε δύο μονόφορες οπτικές ίνες, τις οποίες ονομάζουμε αρτηρία 1 και αρτηρία 2. Ο αριστερότερος σταθμός στην αρτηρία 1 παρέχει πλαίσια των 53 bytes. Τα πλαίσια περιέχουν δύο ειδικά bits: το *bit απασχόλησης* (busy bit - B) και το *bit αίτησης* (request bit - R). Το bit απασχόλησης B είναι 1 όταν το πλαίσιο είναι απασχολημένο, δηλαδή, όταν μεταφέρει δεδομένα. Το bit B είναι 0 όταν το πλαίσιο δεν μεταφέρει δεδομένα.

Κάθε κόμβος έχει δύο μετρητές, τον CD (count down - μέτρηση προς τα κάτω) και τον RC (request counter - μετρητής αιτήσεων). Όταν κάποιος κόμβος έχει ένα πακέτο έτοιμο για μετάδοση στην αρτηρία 1, εκδίδει μια αίτηση θέτοντας 1 στο bit αίτησης R σε ένα πλαίσιο της αρτηρίας 2 το οποίο έφθασε στον κόμβο με  $R=0$ . Κάθε κόμβος, ελέγχοντας τον μετρητή RC, γνωρίζει πόσες αιτήσεις έγιναν από κόμβους στα δεξιά του και είναι ακόμα εκκρεμείς. Για να γνωρίζει αυτόν τον αριθμό των αιτήσεων, αυξάνει το RC κατά ένα όταν βλέπει ένα bit αίτησης R ίσο με 1 στην αρτηρία 2 και μειώνει το RC κατά 1 όταν βλέπει ένα κενό πλαίσιο στην αρτηρία 1. Το άδειο πλαίσιο στην αρτηρία 1 θα χρησιμοποιηθεί από κάποιο κόμβο στα δεξιά για να ικανοποιήσει μια εκκρεμή αίτηση. Επί πλέον, κάθε κόμβος ελέγχει το μετρητή RC για να μαθαίνει τον αριθμό των αιτήσεων που έγιναν από κόμβους που βρίσκονται στα δεξιά του πριν πάρει το πακέτο για να μεταδώσει και που είναι ακόμη εκκρεμείς. Για να το κάνει αυτό ο κόμβος θέτει  $CD = RC$  όταν παίρνει ένα πακέτο για να μεταδώσει και μειώνει το CD κατά 1 όποτε βλέπει ένα κενό πλαίσιο στη αρτηρία 1. Όταν το CD φτάσει στην τιμή 0, ο κόμβος υποθέτει πως όλες οι εκκρεμείς αιτήσεις που έγιναν πριν εκείνος πάρει το πακέτο του για να το μεταδώσει, έχουν ικανοποιηθεί και μετά περιμένει το επόμενο άδειο πλαίσιο στη αρτηρία 1. Ο κόμβος μεταδίδει τις πληροφορίες του σε αυτό το πλαίσιο αφού το σημειώσει ως απασχολημένο, θέτοντας το bit B στο 1. Όπως προαναφέρθηκε οι λειτουργίες για την αρτηρία 2 είναι παρόμοιες. Για να μεταδώσει κάποιος κόμβος στην αρτηρία 2 τοποθετεί μια αίτηση

στο bit αίτησης ενός πλαισίου στην αρτηρία 1. Κάθε κόμβος έχει δύο μετρητές,  $CD$  και  $RC$ , για την αρτηρία 2 κ. ο. κ.

Ας σημειωθεί ότι τα πακέτα μεταδίδονται σχεδόν στη σειρά με την οποία καθίστανται διαθέσιμα προς μετάδοση, έτσι ώστε το πρωτόκολλο  $MAC$  ουσιαστικά υλοποιεί μια δομή ουράς  $FIFO$  (first in, first out), αν και η ουρά κατανέμεται στους διάφορους κόμβους. Ας σημειωθεί επίσης πως όταν όλοι οι κόμβοι έχουν πάντα πακέτα να στείλουν, τα πλαίσια από ένα σημείο και μετά είναι όλα απασχολημένα. Συνεπώς η απόδοση αυτού του πρωτοκόλλου  $MAC$  πλησιάζει το 100%.

### 9.9.2. Γιατί το πρωτόκολλο $MAC$ χαρακτηρίζεται άδικο;

Το πρωτόκολλο  $MAC$  του  $DQDB$  είναι κάπως άδικο εξαιτίας της τοπολογίας του δικτύου. Για παράδειγμα, αν κάθε κόμβος έχει να μεταδώσει σε καθένα από τους κόμβους τον ίδιο όγκο δεδομένων, τότε οι κόμβοι που βρίσκονται στη μέση των αρτηριών καταφέρνουν να μεταδίδουν συχνότερα από τους κόμβους που βρίσκονται στα άκρα των αρτηριών. Πράγματι, ένας κόμβος που βρίσκεται στη μέση του δικτύου καταφέρνει να μεταδώσει τα μισά πακέτα του σε κάθε αρτηρία και ανταγωνίζεται μόνο τους μισούς από τους άλλους κόμβους σε κάθε αρτηρία. Οι κόμβοι στα άκρα της αρτηρίας ανταγωνίζονται όλους τους άλλους κόμβους και μπορούν να μεταδώσουν σε μία μόνο αρτηρία. Προκειμένου να διορθωθεί αυτή η αδικία, το πρωτόκολλο μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής: Ο διαχειριστής του δικτύου επιλέγει μια παράμετρο  $F$  για κάθε κόμβο. Το πρωτόκολλο  $MAC$  κάθε κόμβου τον εμποδίζει να μεταδώσει σε  $F$  διαδοχικά πλαίσια. Δηλαδή, όταν ο κόμβος λάβει το  $F$ -οστό διαδοχικό άδειο πλαίσιο, αφήνει το πλαίσιο να περάσει χωρίς να το χρησιμοποιήσει. Ο κόμβος χρειάζεται έναν επιπρόσθετο μετρητή για να ελέγχει τον αριθμό των δικών του διαδοχικών μεταδόσεων. Ο κόμβος επαναφέρει το μετρητή στο μηδέν όταν δεν χρησιμοποιεί ένα πλαίσιο. Μια μεγαλύτερη τιμή του  $F$  διευκολύνει την πρόσβαση του κόμβου στην αρτηρία. Έτσι, ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να διορθώσει την παρατηρηθείσα αδικία του δικτύου  $DQDB$  με την κατάλληλη επιλογή των τιμών του  $F$  για τους διάφορους κόμβους.



## 10. Τα δίκτυα WAN

Τα δίκτυα WAN (Wide Area Networks) είναι η τεχνολογία δικτύων που χρησιμοποιούνται για μεταδόσεις πληροφορίας σε πολύ μεγάλη απόσταση. Κύριο δομικό χαρακτηριστικό τους είναι οι μεταγωγείς, οι οποίοι είναι οι συνδυαστικοί κρίκοι μικρότερων τοπικών δικτύων. Κάθε μεταγωγέας περιέχει μια λίστα με όλα τα πιθανά δρομολόγια, δηλαδή τα επόμενα άλματα, η οποία ονομάζεται πίνακας δρομολόγησης. Η μεταγωγή των δεδομένων στους κόμβους των δικτύων (στους μεταγωγείς) γίνεται με την τεχνική αποθήκευσης και προώθησης (store-and-forward), όπου κάθε πακέτο αποθηκεύεται προσωρινά στη μνήμη ενός μεταγωγέα πριν προωθηθεί.

Ένα δίκτυο WAN μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα γράφημα, με βάση το οποίο μπορεί να δημιουργηθεί ο πίνακας δρομολόγησής του.

Στα δίκτυα WAN χρησιμοποιούνται τρεις τεχνικές μεταγωγής της πληροφορίας:

- Μεταγωγή μηνυμάτων (message switching)
- Μεταγωγή κυκλώματος (circuit switching)
- Μεταγωγή πακέτου (packet switching)

Χαρακτηριστικά παραδείγματα δικτύων ευρείας περιοχής (WAN) είναι ο παγκόσμιος ιστός (Internet), το ATM, το Frame Relay, το X25 καθώς και το ISDN.

### 10.1. Διάκριση δικτύων LAN με WAN

Η τεχνολογία WAN (Wide area network), ή τα δίκτυα ευρείας περιοχής, είναι η δεύτερη κατά σειρά μεγέθους τεχνολογία. Δημιουργήθηκαν για να μπορούν να διασυνδέουν τοπικά δίκτυα (LAN) σε απομακρυσμένες περιοχές. Ένα WAN είναι πολύ μεγαλύτερο από ένα δίκτυο LAN και μπορεί να καλύπτει περιοχές όπως μια πόλη ή να εκτείνεται σε ακόμα μεγαλύτερες περιοχές όπως ολόκληρη την υφήλιο.

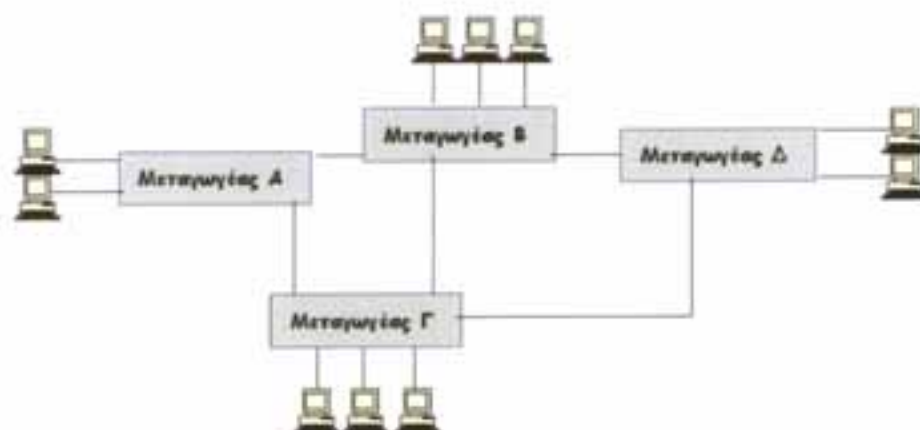
### 10.2. Πώς δημιουργείται ένα δίκτυο WAN

#### 10.2.1. Μεταγωγή πακέτων

Η μεταγωγή των πακέτων μέσα σε ένα WAN γίνεται από μία συσκευή που λέγεται packet switch - μεταγωγέας πακέτων. Ένας μεταγωγέας είναι η βασική δομική μονάδα των WAN. Κάθε μεταγωγέας χρησιμοποιεί δύο τύπους συζευκτών εισόδου /εξόδου.



Ο πρώτος τύπος χρησιμοποιείται για τη σύνδεση με ένα ψηφιακό κύκλωμα άλλου μεταγωγέα ενώ ο δεύτερος τύπος χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του μεταγωγέα με υπολογιστές (βλέπε παραπάνω εικόνα).



Ένα δίκτυο WAN που δημιουργείται από τέσσερις μεταγωγείς και δέκα υπολογιστές

### 10.3. Τρόπος λειτουργίας WAN

#### 10.3.1. Αποθήκευση & προώθηση πλαισίων

Σε ένα δίκτυο WAN μπορούν πολλοί υπολογιστές να αποστέλλουν πακέτα ταυτόχρονα. Τα πακέτα μεταδίδονται με την τεχνική αποθήκευσης και προώθησης (store-and-forward). Σύμφωνα με την τεχνική αυτή, όταν ένας μεταγωγέας λάβει ένα πακέτο στο συζευκτήρα εισόδου το αποθηκεύει στη μνήμη του και στη συνέχεια αναλαμβάνει ο επεξεργαστής που προσδιορίζει τη διεύθυνση μέσω της κεφαλίδας και το προωθεί μέσω του συζευκτήρα εξόδου στον επόμενο μεταγωγέα ή υπολογιστή.

### 10.4. Διευθυνσιοδότηση σε δίκτυο WAN

Στα δίκτυα WAN χρησιμοποιείται η μέθοδος ιεραρχικής διευθυνσιοδότησης, γι' αυτό είναι απαραίτητη η εκχώρηση μιας μοναδικής *διεύθυνσης* για κάθε κόμβο-μεταγωγέα και υπολογιστή συνδεδεμένο σε αυτόν. Η διεύθυνση προορισμού κάθε πακέτου χωρίζεται σε δύο μέρη: στο πρώτο μέρος δηλώνεται η διεύθυνση του μεταγωγέα πακέτων ενώ στο δεύτερο η θέση του υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος σε αυτόν τον μεταγωγέα.

### 10.5. Τρόπος προώθησης πακέτου

#### 10.5.1. Επόμενο άλμα

Κάθε φορά που ξεκινά η μετάδοση ενός πακέτου πρέπει να επιλέγεται η διαδρομή που θα ακολουθηθεί. Αν ο αποστολέας και ο παραλήπτης είναι συνδεδεμένοι απευθείας με τον ίδιο μεταγωγέα τότε το πακέτο προωθείται

απευθείας στον υπολογιστή - παραλήπτη. Σε περίπτωση που ο αποστολέας και ο παραλήπτης δεν είναι άμεσα συνδεδεμένοι τότε οι ενδιάμεσοι μεταγωγείς του δικτύου χρησιμοποιούν την διεύθυνση του κόμβου προορισμού (μεταγωγέα) για να αποφασίσουν τη διαδρομή που θα ακολουθηθεί.

### 10.5.2. Ανεξαρτησία από την αφετηρία

Σε κάθε πακέτο που προωθείται μέσα σε ένα δίκτυο υπάρχει μια διεύθυνση που χωρίζεται σε περαιτέρω τμήματα. Το πρώτο μέρος της αναφέρεται στη θέση του τελικού μεταγωγέα όπου βρίσκεται συνδεδεμένος ο υπολογιστής-παραλήπτης. Κάθε «ενδιάμεσος» μεταγωγέας διαβάζει μόνο τη διεύθυνση προορισμού και εντοπίζει τον επόμενο μεταγωγέα και το αποστέλλει. Η διεύθυνση του αποστολέα από όπου ξεκίνησε το πακέτο είναι άγνωστη για κάθε μεταγωγέα.

## 10.6. Χωρητικότητα - προσαρμοστικότητα WAN

Άκρως απαραίτητη για ένα δίκτυο WAN είναι η προσαρμοστικότητα του. Ένα WAN θα πρέπει να επιτρέπει τη σύνδεση νέων υπολογιστών, ώστε να αυξάνεται η χωρητικότητά του. Οι σχετικά μικρές αλλαγές στη χωρητικότητα μπορούν να γίνουν με την προσθήκη υλικού-συζευκτών εισόδου /εξόδου ή με γρηγορότερη CPU σε κάθε μεταγωγέα. Για να αυξηθεί κατά πολύ η χωρητικότητα ενός WAN θα πρέπει να προστεθούν μεταγωγείς πακέτων.

Για να αντιμετωπισθεί ο φόρτος μέσα σε ένα WAN προστίθενται μεταγωγείς οι οποίοι δεν έχουν συνδεδεμένους υπολογιστές αλλά εξυπηρετούν στην αύξηση των πιθανών διαδρομών που θα ακολουθήσει ένα πακέτο. Αυτοί οι μεταγωγείς ονομάζονται εσωτερικοί (interior switches), ενώ μεταγωγείς με συνδεδεμένους υπολογιστές ονομάζονται εξωτερικοί (exterior switches).

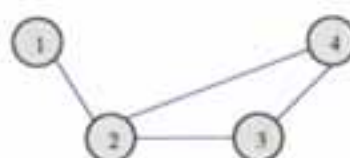
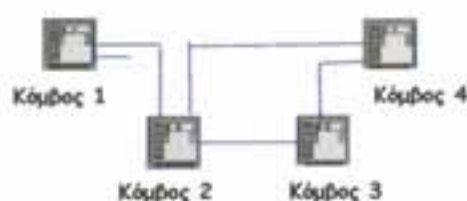
## 10.7. Δρομολόγηση

### 10.7.1. Πίνακας δρομολόγησης

Κάθε μεταγωγέας, είτε εσωτερικός είτε εξωτερικός, περιέχει έναν πίνακα με τα δρομολόγια του επόμενου άλματος, καθώς και τη βέλτιστη συντομότερη διαδρομή που θα ακολουθήσει ένα πακέτο για κάθε πιθανό προορισμό. Ο πίνακας αυτός λέγεται πίνακας δρομολόγησης και είναι μοναδικός για κάθε μεταγωγέα.

Χάρη στους πίνακες δρομολόγησης λειτουργούν καλύτερα τα δίκτυα WAN αφού αυτοματοποιείται η επιλογή της διαδρομής ενός πακέτου.

**Σχεδιασμός πίνακα δρομολόγησης:** Για να δημιουργηθεί ένας πίνακας δρομολόγησης αρκεί να μετατρέψουμε το υπάρχον δίκτυο σε γράφημα με κόμβους και ακμές, όπου οι κόμβοι θα συμβολίζουν τους μεταγωγείς και οι ακμές τα κανάλια επικοινωνίας.



Προορισμός	Επόμενο άλμα	Προορισμός	Επόμενο άλμα	Προορισμός	Επόμενο άλμα	Προορισμός	Επόμενο άλμα
1	-	1	2, 1	1	3, 2	1	4, 2
2	1, 2	2	-	2	3, 2	2	4, 2
3	1, 2	3	2, 3	3	-	3	4, 3
4	1, 2	4	2, 4	4	3, 4	4	-
←————→		←————→		←————→		←————→	
Κόμβος 1		Κόμβος 2		Κόμβος 3		Κόμβος 4	

Πίνακας δρομολόγησης του παραπάνω γραφήματος

### 10.7.2. Προεπιλεγμένο δρομολόγιο

Το μέγεθος ενός πίνακα δρομολόγησης μπορεί να αυξάνεται αρκετά, λόγω των διπλοκαταχωρήσεων που υπάρχουν για το επόμενο άλμα. Διπλοκαταχωρήσεις υπάρχουν συνήθως στους ακραίους κόμβους, όπως ο 1 του προηγούμενου σχήματος, επειδή το κανάλι σύνδεσής του με το υπόλοιπο δίκτυο είναι μόνο ένα. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα υπάρχουν μηχανισμοί στους μεταγωγείς (κόμβους) που απαλείφουν τις διπλοκαταχωρήσεις και τις αντικαθιστούν από μόνο μία καταχώρηση για το επόμενο άλμα. Αυτός ο μηχανισμός λέγεται προεπιλεγμένο δρομολόγιο και είναι μοναδικό για κάθε πίνακα δρομολόγησης. Έχει τη χαμηλότερη προτεραιότητα ως επιλεγόμενη διαδρομή αφού θα επιλεγεί μόνο όταν δεν προϋπάρχει κάποια ρητή διαδρομή για το πακέτο που πρόκειται να δρομολογηθεί.

Προορισμός	Επόμενο άλμα	Προορισμός	Επόμενο άλμα	Προορισμός	Επόμενο άλμα	Προορισμός	Επόμενο άλμα
1	-	1	2, 1	*	3, 2	*	4, 2
*	1, 2	2	-	3	-	3	4, 3
		3	2, 3	4	3, 4	4	-
		4	2, 4				
←————→		←————→		←————→		←————→	
Κόμβος 1		Κόμβος 2		Κόμβος 3		Κόμβος 4	

Απαλείφοντας τις διπλοκαταχωρήσεις ο αρχικός πίνακας δρομολόγησης θα έχει την παραπάνω μορφή με προεπιλεγμένα δρομολόγια όσα συμβολίζονται με αστερίσκο.

### 10.7.3. Στατική και δυναμική δρομολόγηση

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την κατασκευή ενός πίνακα δρομολόγησης:

- a) Η στατική δρομολόγηση όπου ένα πρόγραμμα υπολογίζει και εγκαθιστά τα δρομολόγια κατά την εκκίνηση ενός μεταγωγέα πακέτων.
- b) Η δυναμική δρομολόγηση όπου κατασκευάζεται ένας πίνακας δρομολόγησης κατά την εκκίνηση ενός μεταγωγέα και στη συνέχεια τροποποιείται ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου.

Συγκρίνοντας τις δυο προσεγγίσεις η πρώτη είναι πιο απλοϊκή και δεν επιβαρύνει το δίκτυο όπως η δυναμική, παρ' όλα αυτά είναι στατική γι' αυτό και η δεύτερη χρησιμοποιείται πιο πολύ.

#### 10.7.4. Συντομότερη διαδρομή

Η συντομότερη διαδρομή σε ένα δίκτυο υπολογίζεται με τον αλγόριθμο του Dijkstra. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό, κάθε ακμή του γραφήματος έχει μία απόλυτη τιμή που ονομάζεται βάρος. Βάρος δεν εννοείται αποκλειστικά η απόσταση ανάμεσα σε δύο κόμβους, αλλά μπορεί να εννοείται η χωρητικότητα των διασυνδέσεων, ο αριθμός των μεταγωγέων κλπ. Συντομότερη διαδρομή είναι αυτή που έχει το μικρότερο άθροισμα των βαρών.

### 10.8. Δίκτυα μεταγωγής (Switching)

Τα δίκτυα μεταγωγής είναι δίκτυα στα οποία η πληροφορία που εισέρχεται από κάποιο τερματικό δρομολογείται από κόμβο σε κόμβο έως ότου φθάσει στον τελικό παραλήπτη. Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η ύπαρξη πολλών εναλλακτικών διαδρομών και η δυνατότητα του συνδρομητή να καλεί επιλεκτικά των παραλήπτη.

#### 10.8.1. Μεταγωγή μηνυμάτων (Message switching)

Με την τεχνική μεταγωγής μηνυμάτων το δίκτυο προωθεί το μήνυμα από κόμβο σε κόμβο, εκμεταλλευόμενο τις φυσικές συνδέσεις, μέχρι τον τελικό αποδέκτη. Η εργασία που εκτελείται από το δίκτυο δεν είναι η αποκατάσταση της φυσικής σύνδεσης, όπως στη μεταγωγή κυκλώματος, αλλά η διεκπεραίωση του μηνύματος. Σε κάθε μήνυμα μεταφέρεται και η διεύθυνση του παραλήπτη ούτως ώστε ο κάθε κόμβος να το προωθεί στον επόμενο όταν βρει ελεύθερο κανάλι.

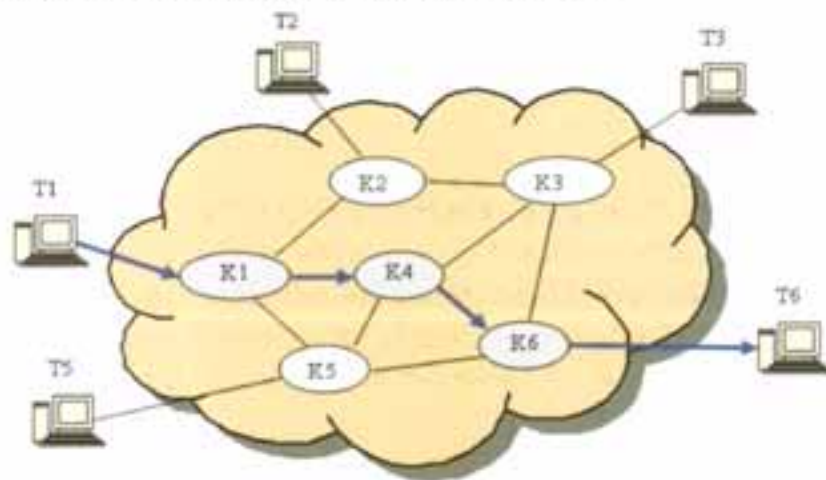
Οι ενδιάμεσοι κόμβοι του δικτύου δεν είναι απλώς ένα ηλεκτρονικό κέντρο που διασυνδέει κανάλια για να περάσει το μήνυμα αλλά υπολογιστές με χώρο μνήμης που αποθηκεύουν τα μηνύματα πριν τα αποστείλουν. Η τεχνική όπου κάθε κόμβος αποθηκεύει το μήνυμα πριν το μεταδώσει ονομάζεται *store-and-forward*.

Γενικά η τεχνική φέρει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της μεταγωγής κυκλώματος όπως:

- καλύτερο έλεγχο σφαλμάτων,
- μπορούν να αποστέλλονται μηνύματα γραμμένα σε διαφορετικό κώδικα και με διαφορετική ταχύτητα,

- μπορεί το κάθε μήνυμα να απευθύνεται σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα,
- ένα κανάλι μπορεί να διεκπεραιώσει μηνύματα πολλών χρηστών.

Βασικό μειονέκτημά της είναι ότι δεν ενδείκνυται για real time εφαρμογές λόγω της καθυστέρησης που παρουσιάζει.



Το μήνυμα θα ακολουθήσει την διαδρομή T1 K1 K4 K6 T6

### 10.8.2. Μεταγωγή πακέτου (Packet switching)

Στα δίκτυα μεταγωγής πακέτων δεν δεσμεύονται κυκλώματα ενώ τα δεδομένα κατακερματίζονται σε μικρότερα πακέτα από το αρχικό και συνήθως έχουν μήκος 128 ή 256 χαρακτήρες. Όπως και στην τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος (circuit switching), οι κόμβοι οφείλουν να έχουν επεξεργαστική ικανότητα για να διαβάζουν τον προορισμό του κάθε πακέτου (από την κεφαλίδα του).

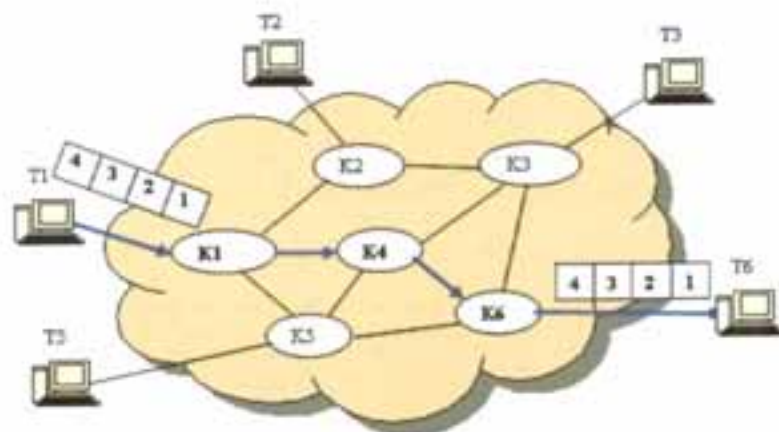
Χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι προώθησης:

- Datagram (δεδομενογράφημα)
- Virtual circuit (εικονικό κύκλωμα)

Η μέθοδος **Datagram** δρομολογεί τα πακέτα σε διαφορετικές διαδρομές στο δίκτυο ακόμα και αν έχουν τον ίδιο προορισμό με αποτέλεσμα να λειτουργούν όλες οι γραμμές του δικτύου για την περάτωση του μηνύματος. Συνέπεια αυτού είναι το κάθε πακέτο να ακολουθεί τον δικό του συντομότερο δρόμο με αποτέλεσμα πολλές φορές να φθάνουν στον προορισμό τους με διαφορετική σειρά από αυτήν που ξεκίνησαν. Ο τελικός παραλήπτης είναι αυτός που θα τα τοποθετεί εκ νέου στην σωστή σειρά.

Με την μέθοδο **Virtual circuit** εγκαθίσταται μια νοητή σύνδεση μεταξύ των δυο τερματικών. Αποτέλεσμα αυτού είναι ο δρόμος για όλα τα πακέτα της σύνδεσης να παραμένει ο ίδιος μέχρι να ολοκληρωθεί η μετάδοση. Τα πακέτα ταξιδεύουν μέσα στο δίκτυο με τη σειρά.

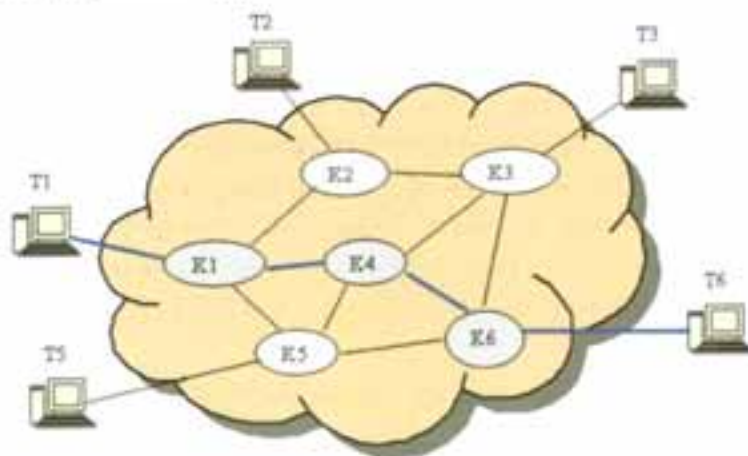
Η τεχνική **Virtual circuit** δεν θα πρέπει να παρομοιάζεται με τη μεταγωγή κυκλώματος (**Circuit Switching**). Τα δεδομένα χωρίζονται σε πακέτα και το κάθε πακέτο ταξιδεύει και παραμένει προσωρινά σε κάθε κόμβο πριν προωθηθεί στον επόμενο, ενώ στη circuit switching όλα τα αρχικά δεδομένα ταξιδεύουν ταυτόχρονα.



Χρήση της τεχνικής *datagram*, το μήνυμα θα ακολουθήσει την διαδρομή T1 K1 K4 K6 T6, διαφορετικά με την τεχνική της *virtual circuit* το μήνυμα θα διασπώταν και κάθε πακέτο θα ακολουθούσε ξεχωριστή διαδρομή.

### 10.8.3. Μεταγωγή κυκλώματος (Circuit Switching)

Σε ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος πρέπει να εγκαθιδρύεται μια φυσική ζεύξη μεταξύ των δυο τερματικών καθ' όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας τους. Η γραμμή δεσμεύεται αποκλειστικά και πλήρως για μια σύνδεση ακόμα και σε στιγμές όπου δεν ανταλλάσσονται δεδομένα όπως και στο τηλεφωνικό δίκτυο. Όταν η μετάδοση ολοκληρωθεί τότε αποδεσμεύεται η γραμμή και τότε μόνο μπορεί να εξυπηρετηθεί κάποια άλλη. Η επικοινωνία διακόπτεται μόνο όταν ειδοποιηθούν όλοι οι κόμβοι που κρατούν το κύκλωμα ανοιχτό. Αξιοσημείωτο είναι ότι η μετάδοση είναι διαφανής, δηλαδή τα δεδομένα δεν υποβάλλονται σε καμία επεξεργασία κατά την διέλευση τους από το δίκτυο. Κύριο πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η μεταφορική ικανότητα της γραμμής που μπορεί να χρησιμοποιείται εξ ολοκλήρου από τους χρήστες με μόνη καθυστέρηση το χρόνο μετάβασης από κόμβο σε κόμβο και την αρχική αποκατάσταση της σύνδεσης.



Σύνδεση με μεταγωγή κυκλώματος  
Η διαδρομή T1 K1 K4 K6 T6 είναι η φυσική ζεύξη ανάμεσα στα δυο τερματικά

## 11. Πρωτόκολλα WAN

Τα δίκτυα WAN χρησιμοποιούν δρομολογητές για να συνδέονται με τα δίκτυα LAN. Οι δρομολογητές (routers) είναι συσκευές του επιπέδου 3 και χρησιμοποιούν διευθύνσεις δικτύου, οι οποίες βρίσκονται στις επικεφαλίδες των πρωτοκόλλων WAN, για να δρομολογούν δεδομένα κατά μήκος του δικτύου.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για να συνδέουν τα δίκτυα LAN μεταξύ τους. Μερικές από αυτές θεωρούνται τεχνολογίες WAN και άλλες όχι. Όλες αυτές οι τεχνολογίες αποτελούν συστατικά των WAN.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται μερικά πρωτόκολλα WAN. Το ATM (Asynchronous Transfer Mode, σύγχρονος τρόπος μεταφοράς) είναι ένα δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN), το οποίο δημιουργήθηκε εξ αιτίας της ανάγκης για μια οικουμενική τεχνολογία όπου επιτρέπεται η μεταφορά φωνής, βίντεο και δεδομένων.

Το πρωτόκολλο μεταγωγής πλαισίου (Frame Relay) εξελίχθηκε σε πρώτη επιλογή πολλών εταιρειών, οι οποίες έπρεπε να συνδέσουν τα τοπικά δίκτυά τους με απομονωμένα τηλεφωνικά κέντρα. Είναι ένα πρωτόκολλο του Επιπέδου 2. Ενθυλακώνει τα δεδομένα σε ένα πλαίσιο και το αποστέλλει μέσω του δικτύου προς τον προορισμό του.

Το πρωτόκολλο X25 εμφανίστηκε κατά τη δεκαετία του 1960 και έχει μέχρι σήμερα χρησιμοποιηθεί από πολλές μεγάλες εταιρείες και οργανισμούς για τη σύνδεση απομακρυσμένων γραφείων με τις βάσεις δεδομένων των κεντρικών γραφείων.

Το Ψηφιακό Δίκτυο Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών (Integrated Services Digital Network, ISDN) αποτελεί περισσότερο μια σύλληψη παρά μια τεχνολογία. Η βασική ιδέα είναι να υπάρχει ένα σύστημα που να υποστηρίζει φωνή, δεδομένα και εικόνα.

Το PPP (Point-to-Point Protocol) δημιουργήθηκε για να λύνει προβλήματα σύνδεσης εξ αποστάσεως.

### 11.1. ATM

Το ATM (Asynchronous Transfer Mode, σύγχρονος τρόπος μεταφοράς) είναι ένα δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN) το οποίο δημιουργήθηκε εξ αιτίας της ανάγκης για μια οικουμενική τεχνολογία όπου επιτρέπεται η μεταφορά φωνής, βίντεο και δεδομένων. Είναι μια τεχνολογία δικτύου, όπου όλες οι απαιτήσεις από τις τρεις διαφορετικές μορφές data μπορούν και μεταφέρονται μέσα στο δίκτυο χωρίς να αλλοιώνονται. Οι αλλοιώσεις σε τέτοιας μορφής δεδομένα εμφανίζονται λόγω των καθυστερήσεων, των παραμορφώσεων και της αντήχησης που δημιουργείται από τα ίδια τα δίκτυα.

Για να ανοίξει μια σύνδεση ATM δημιουργείται μια εικονική σύνδεση μέσω των μεταγωγέων. Οι μεταγωγείς τοποθετούν μια καταχώρηση για κάθε νέα σύνδεση στους πίνακες προώθησης (πίνακας δρομολόγησης) και όταν είναι ενεργό το κανάλι επικοινωνίας εμφανίζονται μόνο οι καταχωρήσεις των πινάκων που αντιστοιχούν στο εικονικό κανάλι.



Υπάρχουν δύο τύποι εικονικών καναλιών ATM. Το μόνιμο εικονικό κανάλι PVC (Permanent Virtual Channel) που μένει ανεπηρέαστο στις διακοπές του ρεύματος και το εικονικό κανάλι μεταγωγής SVC (Switched Virtual Channel) το οποίο δημιουργείται όταν χρειάζεται για άλλες απαιτήσεις.

Στα δίκτυα ATM χρησιμοποιείται μια τεχνολογία ώστε τα δεδομένα να μεταφέρονται χωρίς να αλλοιώνονται. Η τεχνολογία του ATM διαιρεί όλα τα δεδομένα σε μικρά πακέτα σταθερού μεγέθους τα οποία λέγονται κελιά (cells).

## 11.2. FRAME RELAY

Η τεχνική Frame Relay περιγράφει ένα πρωτόκολλο δευτέρου επιπέδου (link level) για αποδοτική μεταφορά δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες σχεδιασμένο για να διασυνδέει τοπικά δίκτυα LAN με άλλα LAN ή ευρείας περιοχής WAN όπου απαιτείται σύντομη αλλά μεγάλου όγκου μετάδοση δεδομένων.

Χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου είναι ότι δεν χρησιμοποιεί μηχανισμούς διόρθωσης σφαλμάτων και ελέγχου ροής της πληροφορίας μεταξύ των διαφόρων συσκευών. Αυτές οι λειτουργίες υλοποιούνται στους ακραίους χρήστες σε υψηλότερα επίπεδα του OSI. Ο μόνος έλεγχος ροής που εκτελείται από το δίκτυο είναι ο έλεγχος συμφόρησης, η πρόληψη και η αντιμετώπισή της από μηχανισμούς όπως η έμμεση αναγνώριση συμφόρησης, το FECN, το BECN κλπ.

Τελικό αποτέλεσμα είναι ότι το Frame Relay είναι ένα εξαιρετικά αποδοτικό πρωτόκολλο με πολύ μικρές καθυστερήσεις επειδή εκτελεί λίγη επεξεργασία και μεταδίδει σε μεγάλες ταχύτητες συνήθως από 4 μέχρι και 100Mbps.



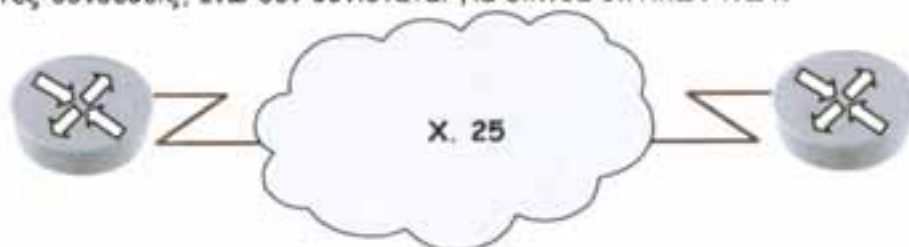
## 11.3. X25

Η βασική ιδέα δημιουργίας του πρωτοκόλλου είναι η υποστήριξη ασύγχρονης μεταφοράς δεδομένων. Όταν ξεκινάει η μεταφορά των δεδομένων ανάμεσα σε δύο τερματικά εγκαθιδρύεται μια σύνδεση η οποία είναι ανοικτή καθ' όλη τη διάρκεια της μετάδοσης και μετά το τέλος της παραμένει σε αναμονή αλλά ανενεργή. Η σύνδεση αποδεσμεύεται μόνον όταν ένα από τα δύο τερματικά το ζητήσει. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας του δικτύου το κάνει μη αποδοτικό διότι δεσμεύονται συνδέσεις για περιόδους σιωπής. Σημαντικό όμως πλεονέκτημά του είναι ότι χρησιμοποιούνται λογικές συνδέσεις και όχι φυσικές, δηλαδή δεν υπάρχουν συσκευές που δεσμεύονται αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση μίας μόνο μετάδοσης αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε κύκλωμα για τη δρομολόγηση των δεδομένων.

Σε περίπτωση που ανιχνευθεί κάποιο σφάλμα σε έναν κόμβο, κατά τη μετάδοση δεν γίνεται επανεκπομπή των δεδομένων απαραίτητα από τον αποστολέα. Τη λειτουργία αυτή μπορεί να την εκτελέσει ο προηγούμενος κόμβος προς τον κόμβο

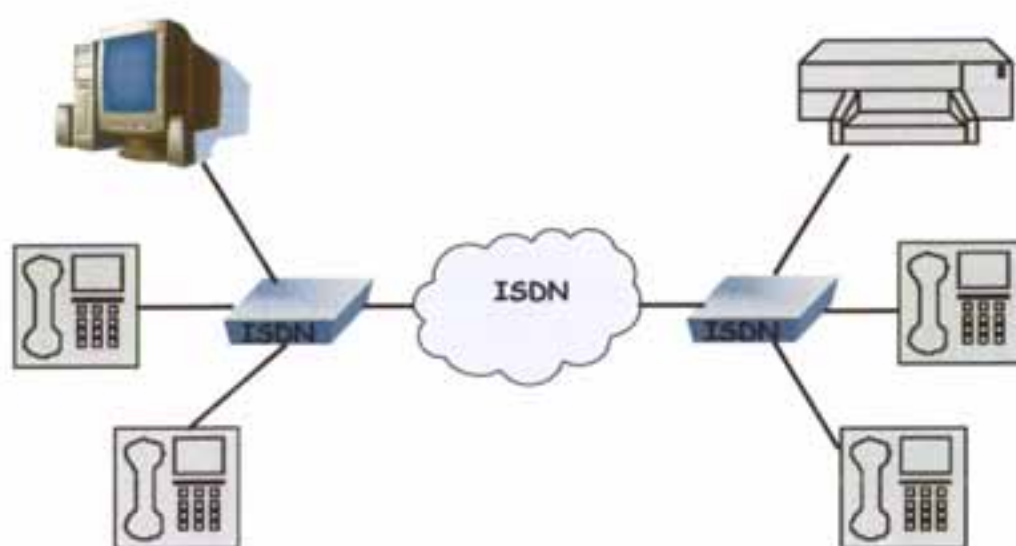
που ανίχνευσε το σφάλμα. Αυτό σημαίνει επιπλέον επεξεργασία και χρονοκαθυστέρηση για κάθε κόμβο.

Συμπερασματικά, το δίκτυο X25 αποδίδει σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν αξιόπιστες συνδέσεις, ενώ δεν συνίσταται για δίκτυα οπτικών ινών.



#### 11.4. Το δίκτυο ISDN

Η τεχνολογία ISDN (ψηφιακό δίκτυο ολοκληρωμένων υπηρεσιών) παρέχει ένα σύστημα που υποστηρίζει ψηφιοποιημένη φωνή, δεδομένα, video, φαξ και απεικονίσεις (imaging). Υπάρχουν δύο τρόποι για τη διασύνδεση του συνδρομητή με το δίκτυο, η προσαρμογή βασικού ρυθμού μετάδοσης (basic rate interface, BRI) και η προσαρμογή πρωτεύοντα ρυθμού μετάδοσης (primary rate interface, PRI). Στην BRI διασύνδεση υπάρχουν τρία ξεχωριστά ψηφιακά κανάλια, τα Β, Β και D. Τα δύο κανάλια Β με χωρητικότητα 64 Kbps προορίζονται για τη μεταφορά φωνής, data και video, ενώ το κανάλι D που λειτουργεί σε ταχύτητα 16 Kbps χρησιμοποιείται ως κανάλι ελέγχου για να μπορεί ο χρήστης να ζητά υπηρεσίες από το δίκτυο. Η PRI παρέχει είκοσι τρία κανάλια χωρητικότητας 64 Kbps και ένα κανάλι σηματοδότησης 64 Kbps.



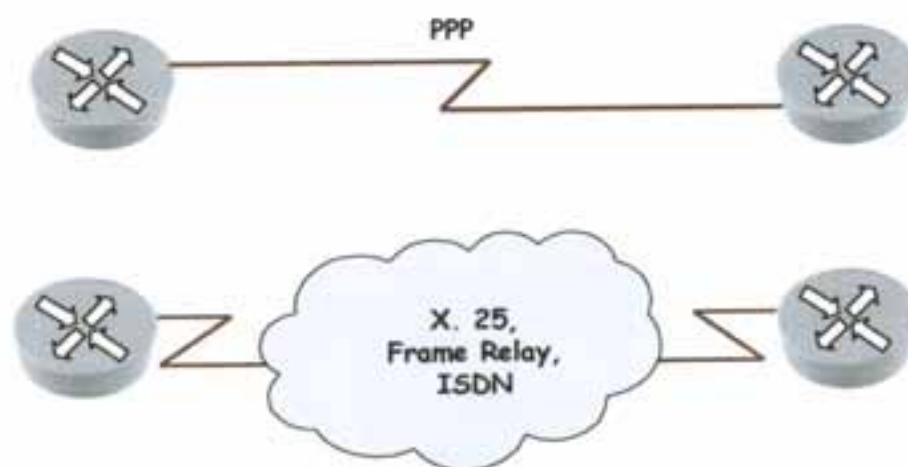
Το ISDN αναφέρεται σε ένα σύνολο πρωτοκόλλων επικοινωνίας τα οποία έχουν προταθεί από εταιρείες τηλεφωνίας για να επιτρέπουν στα τηλεφωνικά δίκτυα να μεταφέρουν δεδομένα, φωνή και video.

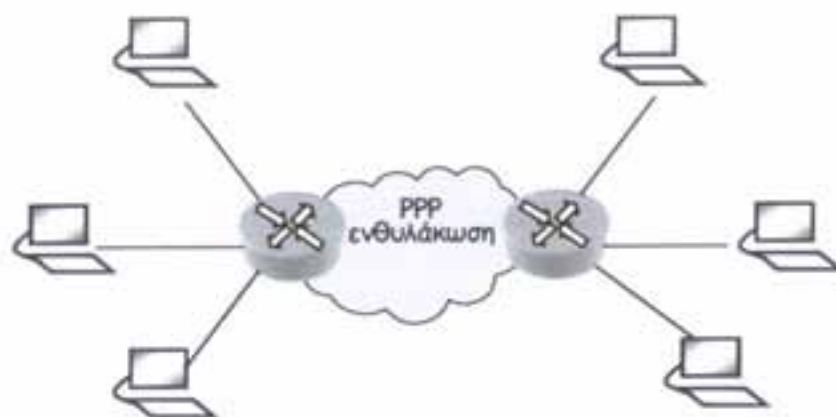
## 11.5. PPP Protocol

Το PPP (Point-to-Point Protocol) δημιουργήθηκε για να λύει προβλήματα σύνδεσης εξ αποστάσεως. Επιπλέον, το PPP έπρεπε να μπορεί να ορίζει διευθύνσεις IP και να επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών πρωτοκόλλων δρομολόγησης. Το PPP παρέχει επικοινωνία μεταξύ δρομολογητών ή μεταξύ host και διαδικτύου σε σύγχρονα και ασύγχρονα κυκλώματα. Παράδειγμα ασύγχρονης επικοινωνίας είναι η τηλεφωνική σύνδεση, ενώ σύγχρονης επικοινωνίας είναι η μισθωμένη γραμμή.

Το PPP παρέχει:

- Δυνατότητα διαπραγμάτευσης διευθύνσεων IP κατά τη διάρκεια της σύνδεσης.
- Υπηρεσίες πιστοποίησης αυθεντικότητας.
- Υπηρεσίες ανίχνευσης λαθών.
- Μια μέθοδο ενθυλάκωσης πολλαπλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας.
- Ένα πρωτόκολλο ελέγχου ζεύξης (Link Control Protocol, LCP) εγκατάστασης γραμμών, διαπραγμάτευσης επιλογών και αποδέσμευσης τους.
- Μια οικογένεια πρωτοκόλλων ελέγχου δικτύου (Network Control Protocol, NCP) για εγκατάσταση και διαμόρφωση πρωτοκόλλων για κάθε υποστηριζόμενο επίπεδο δικτύου.





Το Point-to-Point Protocol δημιουργήθηκε για να επιλύει προβλήματα επικοινωνίας στο διαδίκτυο

## 12. Διαδικτύωση

Η ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων έφερε γρήγορα την ανάγκη για διασύνδεση και επικοινωνία μεταξύ τους. Όλη αυτή η προσπάθεια έχει ως στόχο να μπορούμε να συνδέουμε δύο υπολογιστικά συστήματα, είτε είναι αυτόνομα, είτε ανήκουν σε διαφορετικά τοπικά δίκτυα. Επίσης εφαρμογές ενός Η/Υ να μπορούν να είναι συμβατές με τερματικά που ανήκουν σε άλλον Η/Υ.

Η διασύνδεση μεταξύ δικτύων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια πρωτοκόλλων του τρίτου και τέταρτου επιπέδου του μοντέλου OSI.

Από τις αρχές του 1970 η επιτροπή αμυντικών ερευνητικών προγραμμάτων των ΗΠΑ, η DARPA (Defense Advance Research Projects Agency), επιχορήγησε την ανάπτυξη τυποποιήσεων για επικοινωνίες μεταξύ υπολογιστικών συστημάτων. Τα πρωτόκολλα που αναπτύχθηκαν φέρουν το όνομα TCP/IP.

Το TCP (Transmission Control Protocol) είναι πρωτόκολλο τέταρτου επιπέδου, ενώ το IP (Internet Protocol) είναι πρωτόκολλο τρίτου επιπέδου. Το TCP/IP θεωρείται κατάλληλο και για WAN και για LAN δίκτυα.

Οι περισσότεροι κατασκευαστές σήμερα υποστηρίζουν το TCP/IP, το οποίο έθεσε τις βάσεις του μεγάλου διεθνούς διαδικτύου Internet.

### 12.1. Έννοια της διαδικτύωσης

Κάθε τεχνολογία δικτύου είναι σχεδιασμένη για να ικανοποιεί ένα συγκεκριμένο σύνολο περιορισμών. Αυτό μπορούμε να το κατανοήσουμε καλύτερα αν σκεφτούμε ότι τα LAN είναι σχεδιασμένα για να παρέχουν επικοινωνία υψηλής ταχύτητας σε μικρές αποστάσεις, ενώ τα WAN είναι σχεδιασμένα για να παρέχουν επικοινωνία σε μεγάλες περιοχές. Επομένως, καμία από τις τεχνολογίες διαδικτύωσης δεν είναι η καλύτερη για όλες τις ανάγκες.

Παρά όμως τις ασυμβατότητες μεταξύ των τεχνολογιών των δικτύων, οι ερευνητές έχουν επινοήσει μια μέθοδο για να παρέχεται *οικουμενική εξυπηρέτηση*<sup>7</sup> μεταξύ ετερογενών δικτύων. Η μέθοδος αυτή, που λέγεται *διαδικτύωση (internetworking)*, χρησιμοποιεί και υλικό και λογισμικό. Πρόσθετα συστήματα υλικού χρησιμοποιούνται για την αλληλοσύνδεση ενός συνόλου φυσικών δικτύων. Έπειτα, λογισμικό σε όλους τους συνδεδεμένους υπολογιστές παρέχει οικουμενική εξυπηρέτηση. Το σύστημα των συνδεδεμένων φυσικών δικτύων που προκύπτει λέγεται *διαδίκτυο (internetwork ή internet)*.

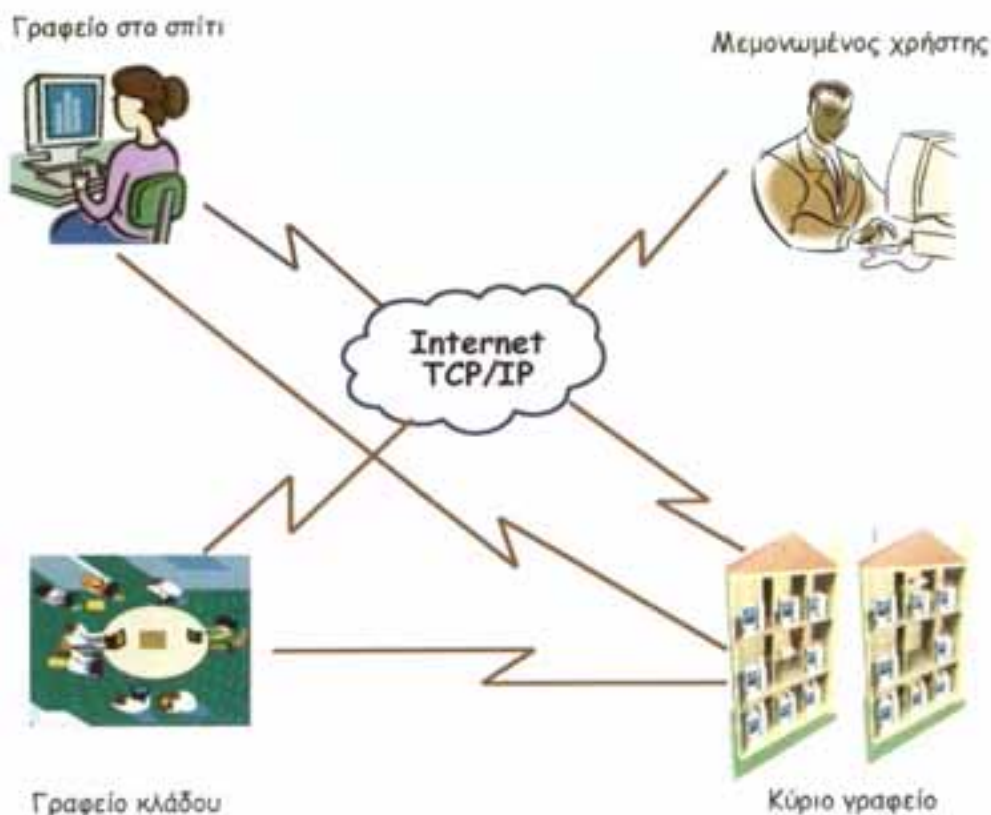
<sup>7</sup> Σε πολλές από τις πρώτες εγκαταστάσεις, κάθε υπολογιστής ήταν συνδεδεμένος σε ένα μόνο δίκτυο, και οι υπάλληλοι χρειαζόταν να επιλέγουν έναν υπολογιστή κατάλληλο για την κάθε εργασία. Δηλαδή, παρεχόταν σε έναν υπάλληλο πρόσβαση σε πολλές οθόνες και πληκτρολόγια, και ο υπάλληλος ήταν αναγκασμένος να πηγαίνει από τον ένα υπολογιστή στον άλλο για να στείλει ένα μήνυμα μέσω του κατάλληλου δικτύου.

Οι χρήστες δεν είναι ούτε ικανοποιημένοι ούτε παραγωγικοί όταν πρέπει να χρησιμοποιούν άλλον υπολογιστή για το κάθε δίκτυο. Γι' αυτό, τα περισσότερα σημερινά συστήματα επικοινωνίας υπολογιστών επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ δύο οποιονδήποτε υπολογιστών, με τρόπο ανάλογο με ένα τηλεφωνικό σύστημα το οποίο παρέχει επικοινωνία μεταξύ δύο οποιονδήποτε τηλεφώνων. Η έννοια αυτή, που ονομάζεται οικουμενική εξυπηρέτηση (universal service), είναι θεμελιώδες μέρος της δικτύωσης. Με την οικουμενική εξυπηρέτηση ένας χρήστης σε οποιονδήποτε υπολογιστή σε οποιοδήποτε μέρος ενός οργανισμού μπορεί να στέλνει μηνύματα ή δεδομένα σε οποιονδήποτε άλλο χρήστη. Ακόμα, ένας χρήστης δε χρειάζεται να αλλάζει υπολογιστή όταν αλλάζει δουλειά - όλες οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες σε όλους τους υπολογιστές. Έτσι, οι χρήστες είναι πιο παραγωγικοί.

Η διαδικτύωση είναι πολύ γενική μέθοδος. Ειδικότερα, ένα διαδίκτυο δεν έχει περιορισμούς μεγέθους - υπάρχουν διαδίκτυα που περιέχουν μόνο μερικά δίκτυα, αλλά υπάρχουν και διαδίκτυα που περιέχουν χιλιάδες δίκτυα. Επίσης, ο αριθμός των υπολογιστών που είναι συνδεδεμένοι στο κάθε δίκτυο μπορεί να διαφέρει - μερικά δίκτυα δεν έχουν κανένα συνδεδεμένο υπολογιστή, ενώ άλλα έχουν εκατοντάδες.

Το βασικό στοιχείο υλικού που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ετερογενών δικτύων είναι ο δρομολογητής (router). Δρομολογητής είναι ένας ειδικός υπολογιστής αφιερωμένος στην αλληλοσύνδεση δικτύων. Ένας δρομολογητής έχει ένα συμβατικό επεξεργαστή και μνήμη, καθώς και μια ξεχωριστή διασύνδεση εισόδου/εξόδου για κάθε δίκτυο το οποίο συνδέει. Το δίκτυο αντιμετωπίζει μια σύνδεση με ένα δρομολογητή με τον ίδιο τρόπο όπως μια σύνδεση με οποιονδήποτε άλλο υπολογιστή.

Ένας δρομολογητής μπορεί να συνδέει δύο LAN, ένα LAN και ένα WAN, ή δύο WAN. Ακόμα, όταν ένας δρομολογητής συνδέει δύο δίκτυα της ίδιας γενικής κατηγορίας, αυτά δε χρειάζεται να χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία. Για παράδειγμα, ένας δρομολογητής μπορεί να συνδέει ένα LAN τεχνολογίας Ethernet με ένα LAN τεχνολογίας FDDI.



### 12.1.1. Αρχιτεκτονική διαδικτύου

Με τους δρομολογητές, ένας οργανισμός μπορεί να επιλέξει τεχνολογίες δικτύων κατάλληλες για την κάθε ανάγκη και να χρησιμοποιήσει δρομολογητές για να συνδέσει όλα τα δίκτυα σε ένα ενιαίο διαδίκτυο (internet). Όμως, ένας οργανισμός σπάνια χρησιμοποιεί ένα μόνο δρομολογητή για τη σύνδεση όλων των δικτύων του. Αυτό γίνεται για δύο λόγους:

Επειδή η CPU και η μνήμη ενός δρομολογητή χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία κάθε πακέτου, ο επεξεργαστής ενός δρομολογητή είναι ανεπαρκής για να χειρίζεται την κυκλοφορία που περνά μεταξύ απεριόριστου αριθμού δικτύων.

Ο πλεονασμός βελτιώνει την αξιοπιστία του διαδικτύου. Το λογισμικό πρωτοκόλλων παρακολουθεί συνεχώς τις συνδέσεις του διαδικτύου και καθοδηγεί τους δρομολογητές να στέλνουν την κυκλοφορία από εναλλακτικές διαδρομές όταν ένα δίκτυο ή δρομολογητής παθαίνει βλάβη.

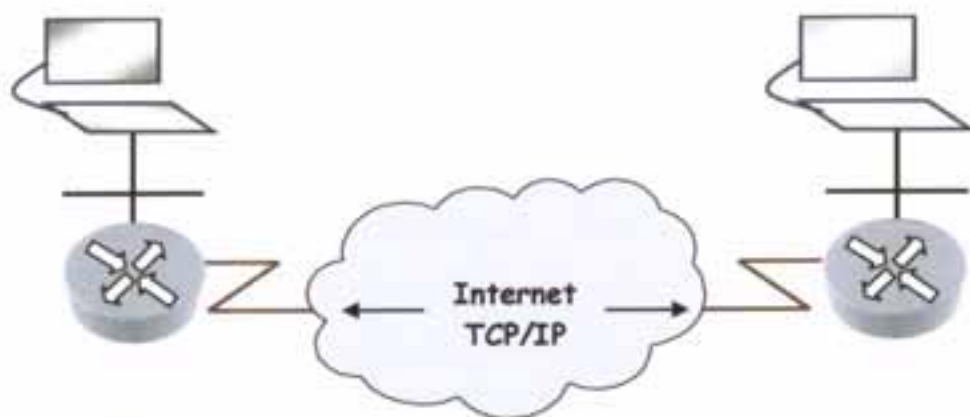
Όταν λοιπόν ένας οργανισμός σχεδιάζει ένα διαδίκτυο, πρέπει να επιλέξει μια σχεδίαση που να ικανοποιεί τις ανάγκες του ως προς την αξιοπιστία, τη χωρητικότητα και το κόστος. Ειδικότερα, οι ακριβείς λεπτομέρειες της τοπολογίας του διαδικτύου συχνά εξαρτώνται από το εύρος ζώνης των φυσικών δικτύων, από την αναμενόμενη κυκλοφορία, από τις απαιτήσεις αξιοπιστίας του οργανισμού και από το κόστος του διαθέσιμου υλικού των δρομολογητών.

## 12.2. Πρωτόκολλο TCP/IP

Πολλά πρωτόκολλα έχουν προσαρμοστεί για να χρησιμοποιηθούν σε διαδίκτυο, όμως μία οικογένεια πρωτοκόλλων ξεχωρίζει ως η πλέον διαδεδομένη για τη διαδίκτυωση. Η οικογένεια αυτή επίσημα ονομάζεται *πρωτόκολλα διαδικτύου TCP/IP (TCP/IP Internet Protocols)*, αλλά οι περισσότεροι επαγγελματίες της δικτύωσης την αναφέρουν απλώς ως TCP/IP. Το γεγονός ότι έχει γίνει τόσο δημοφιλές τα τελευταία χρόνια μπορεί να αποδοθεί στην επιτυχία και εξάπλωση του Internet. Όταν τόσο πολλά δίκτυα συνδέονται με το Internet, οι κατασκευάστριες εταιρείες επιδιώκουν διαρκώς να αναπτύσσουν προϊόντα που να τις εξυπηρετούν.

Το TCP/IP δεν είναι ένα πρωτόκολλο αλλά ένα σύνολο πάνω από 100 πρωτοκόλλων, κάθε ένα από τα οποία ρυθμίζει κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή στα πλαίσια ενός διαδικτύου. Αυτός είναι ένας από τους παράγοντες που κάνουν το TCP/IP τόσο ευέλικτο. Κάθε πρωτόκολλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα και όλα είναι συμβατά με άλλες τεχνολογίες μεταφοράς.

Το γεγονός ότι το TCP/IP έχει ξεκινήσει κατά τη δεκαετία του 1960 δε μειώνει την αξία του. Η ανάπτυξη των πρωτοκόλλων TCP/IP συνεχίζεται σήμερα, καθώς τα διαδίκτυα πρέπει να αντιμετωπίζουν διαρκώς νέες απαιτήσεις. Η διευθυνσιοδότηση που παρέχει το IP έχει φθάσει στα όριά της, καθώς δίδονται πια νέες διευθύνσεις με φειδώ. Τα παλαιά πρωτόκολλα έχουν εκσυγχρονιστεί και σε μερικές περιπτώσεις αντικατασταθεί από νεώτερα, πιο ευέλικτα πρωτόκολλα.



Το TCP/IP εξασφαλίζει την επικοινωνία πέρα από κάθε όριο διασυνδεδεμένων διαδικτύων.

### 12.2.1. Ιστορική αναδρομή του TCP/IP

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950, το δίκτυο του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ συγκροτούνταν από μερικά κεντρικά υπολογιστικά συστήματα, τα οποία ήταν συνδεδεμένα μέσω ζεύξεων μετάδοσης σημείου-προς-σημείο. Το πρόβλημα εκείνη την εποχή ήταν να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα του δικτύου σε περίπτωση πολέμου. Το Υπουργείο Άμυνας (Department of Defense, DOD) των ΗΠΑ επεδίωκε να βελτιώσει την κατάσταση.

Αυτό που απαιτούνταν ήταν ένα δίκτυο που να μπορεί να θεραπεύεται από μόνο του, δηλαδή να επιδιορθώνει μόνο του τα προβλήματά του. Εάν οποιοσδήποτε κόμβος, ή χειρότερα, κάποιος τομέας, του δικτύου επρόκειτο ξαφνικά να μη μπορεί να προσπελαστεί, το υπόλοιπο του δικτύου θα έπρεπε να μπορεί να συνεχίζει τη λειτουργία του. Εκείνη την εποχή δεν υπήρχε τέτοια τεχνολογία, και έτσι η Υπηρεσία Επικοινωνιών του Υπουργείου Άμυνας (Defense Communication Agency, DCA) ξεκίνησε κατά τη δεκαετία του 1960 την ανάπτυξη της εκ μέρους του DOD.

Το αποτέλεσμα ήταν το πρωτόκολλο TCP/IP. Οι πρώτες προσπάθειες ήταν επικεντρωμένες στο επίπεδο δικτύου (με το πρωτόκολλο IP) και το επίπεδο μεταφοράς (TCP). Αργότερα προστέθηκαν και άλλα πρωτόκολλα για να παρέχουν επιπρόσθετη λειτουργικότητα στο διαδίκτυο της κυβέρνησης των ΗΠΑ.

Το σύνολο πρωτοκόλλων του TCP/IP χωρίστηκε το 1971 και η εργασία για την εξέλιξη του συνεχίστηκε από την Υπηρεσία Προηγμένων Ερευνητικών Προγραμμάτων του Υπουργείου Άμυνας (Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA) η οποία ξεκίνησε να το χρησιμοποιεί σε όλους τους υπολογιστές του δικτύου ARPANET το 1983. Το δίκτυο στη συνέχεια χωρίστηκε σε δύο επιμέρους δίκτυα, το Στρατιωτικό Δίκτυο και το γνωστό ARPANET. Το δίκτυο αυτό παρέμεινε σε λειτουργία έως το 1990, οπότε και ο τελευταίος κόμβος του αποδεσμεύθηκε από τον έλεγχο του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ.

Μία από τις πιο έξυπνες αποφάσεις που λήφθηκαν από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ ήταν η χορήγηση του δικαιώματος διανομής των κωδίκων του πρωτοκόλλου TCP/IP στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας, στο Berkeley. Δεν χρειάστηκε πολύς χρόνος για να αποκτηθούν οι κώδικες σε άλλα πανεπιστήμια των ΗΠΑ, τα οποία ήδη χρησιμοποιούσαν το λειτουργικό σύστημα UNIX. Τα

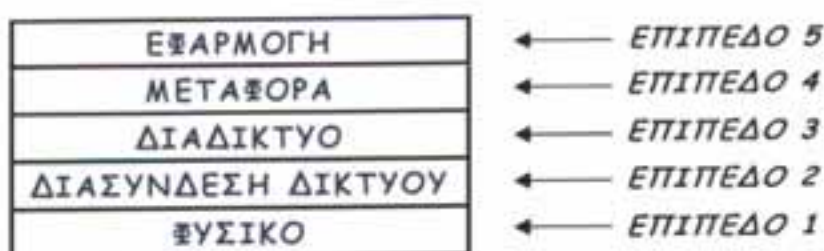


πανεπιστήμια ξεκίνησαν την ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων, τα οποία παρέχουν σήμερα πολλές από τις εφαρμογές που απολαμβάνουμε στο Internet.

Το TCP/IP είναι ένα μη-ιδιόκτητο πρωτόκολλο δικτύου που εργάζεται σε οποιοδήποτε είδος μηχανήματος και είναι αρκετά ευέλικτο, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιοδήποτε άλλο είδος τεχνολογίας. Για παράδειγμα, το TCP/IP μπορεί να λειτουργήσει σε συστήματα X.25, Μεταγωγής Πλαισίου, ακόμη και ISDN.

### 12.2.2. Διαστρωμάτωση

Το μοντέλο διαστρωμάτωσης TCP/IP (TCP/IP Layering Model), το οποίο λέγεται και μοντέλο διαστρωμάτωσης του Internet (Internet Layering Model) ή μοντέλο αναφοράς του Internet (Internet Reference Model), έχει πέντε επίπεδα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Η διαχείριση των υποδικτύων<sup>8</sup> γίνεται στο φυσικό επίπεδο (physical layer). Το επίπεδο αυτό αλληλεπιδρά με το σωρό πρωτοκόλλων, δηλαδή τα πρωτόκολλα που έχουν συσσωρευτεί το ένα πάνω στο άλλο. Για παράδειγμα, για να προσπελάσουμε μία διεύθυνση IP, πρέπει καταρχήν η διεύθυνση αυτή να μεταφραστεί σε μία διεύθυνση μηχανής ενός τοπικού δικτύου (LAN). Εάν η διεύθυνση IP που ψάχνουμε είναι τμήμα ενός υποδικτύου, πρέπει να προσδιοριστεί η ταυτότητα, ή αλλιώς μάσκα του υποδικτύου (που ονομάζεται subnet mask) και στη συνέχεια να υπολογιστεί η ζητούμενη διεύθυνση με βάση την παραπάνω ταυτότητα.

Η διασύνδεση των δικτύων αποτελεί αντικείμενο του πρωτοκόλλου IP στο επίπεδο δικτύου (network layer). Το IP δεν υποστηρίζει έλεγχο ασφαλών και έτσι στηρίζεται σε κάποιο άλλο πρωτόκολλο για αυτή τη δουλειά. Το Πρωτόκολλο Μηνυμάτων Ελέγχου Διαδικτύου (Internet Message Control Protocol, IMCP) εκτελεί διόρθωση ασφαλών και έλεγχο ροής για λογαριασμό του IP. Παρότι το IMCP χρησιμοποιεί το IP, θεωρείται και αυτό τμήμα του επιπέδου δικτύου (επειδή η πληροφορία του IMCP ενσωματώνεται μέσα στα πακέτα του πρωτοκόλλου IP, οπότε το καθιστά χρήστη του IP).

Το πρωτόκολλο TCP και το Πρωτόκολλο Διαγράμματος Χρήστη (User Datagram Protocol, UDP) θεωρούνται ως πρωτόκολλα παροχής υπηρεσιών και παραμένουν στο επίπεδο μεταφοράς (transport layer). Το TCP είναι ένα

<sup>8</sup> Υποδίκτυα (subnetworks) ονομάζονται τα επιμέρους δίκτυα που υπάρχουν στα πλαίσια ενός ευρύτερου δικτύου και παρέχονται εν γένει από διαφορετικές κατασκευάστριες εταιρείες, εταιρείες παροχής υπηρεσιών και άλλους μεγάλους χρήστες δικτύων. Ένα υποδίκτυο μπορεί να έχει μικρό αριθμό κόμβων ή μπορεί με τη σειρά του να συγκροτείται από μικρότερα υποδίκτυα (όπως στην περίπτωση πολλών εταιρειών παροχής υπηρεσιών). Ως αποτέλεσμα, από πλευράς ιεραρχίας ένα διαδίκτυο μπορεί να εκτείνεται σε πολλά, όλο και μικρότερα, επίπεδα.

πρωτόκολλο με σύνδεση (connection-oriented), ενώ το UDP ένα πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση (connectionless). Και τα δύο στηρίζονται στις υπηρεσίες του IP αλλά δεν το χρειάζονται. Για παράδειγμα, τα TCP και UDP μπορούν να μεταφερθούν από τα πρωτόκολλα X.25 ή Μεταγωγής Πλαισίου (τα οποία ευρίσκονται στο επίπεδο δικτύου, όπως και το IP).

Το επίπεδο εφαρμογών (application service layer) συγκροτείται από έναν αριθμό πρωτοκόλλων, όπως το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Αρχείων (File Transfer Protocol, FTP), το TELNET και το Πρωτόκολλο Μεταφοράς Ειδήσεων Δικτύου (Network News Transport Protocol, NNTP). Τα πρωτόκολλα αυτά δεν αποτελούν από μόνα τους εφαρμογές αλλά μπορούν να διασυνδέονται με τις εφαρμογές που χρειάζονται τις υπηρεσίες τους. Παρέχουν επικοινωνία με απομακρυσμένες συσκευές αλλά δεν παρέχουν διασύνδεση στο χρήστη ώστε να αλληλεπιδρά με τις απομακρυσμένες συσκευές.

## 12.3. Σύγκριση των Μοντέλων Αναφοράς TCP και OSI

### 12.3.1. Ομοιότητες

Τα μοντέλα αναφοράς OSI και TCP/IP έχουν αρκετές ομοιότητες. Και τα δύο βασίζονται στην ιδέα μιας στοίβας από ανεξάρτητα πρωτόκολλα. Ακόμη και η λειτουργικότητα των στρώματων είναι λίγο-πολύ η ίδια. Για παράδειγμα, και στα δύο μοντέλα τα στρώματα μέχρι και το στρώμα μεταφοράς έχουν σκοπό τους να παρέχουν μια από άκρο σε άκρο και ανεξάρτητη από το δίκτυο υπηρεσία μεταφοράς στις διεργασίες που επιθυμούν να επικοινωνήσουν. Επίσης και στα δύο μοντέλα, τα στρώματα πάνω από το στρώμα μεταφοράς αποτελούν χρήστες της υπηρεσίας μεταφοράς που εξυπηρετούν συγκεκριμένες εφαρμογές.

### 12.3.2. Διαφορές

Η μεγαλύτερη πιθανώς συνεισφορά του μοντέλου OSI είναι ότι κάνει τη διάκριση ανάμεσα στις έννοιες *Υπηρεσίες*, *Διεπαφές*, *Πρωτόκολλα* ξεκάθαρη. Κάθε στρώμα εκτελεί κάποιες υπηρεσίες για το ανώτερό του στρώμα. Ο ορισμός της *υπηρεσίας* καθορίζει το τι κάνει το στρώμα. Η *διεπαφή* ενός στρώματος καθορίζει στις υπερκείμενες διεργασίες το πώς θα έχουν πρόσβαση σ' αυτό. Καθορίζει τις παραμέτρους και τα αποτελέσματα που πρέπει να αναμένει κανείς. Τέλος, τα ομότιμα *πρωτόκολλα* που χρησιμοποιούνται σ' ένα στρώμα είναι αποκλειστική υπόθεση του στρώματος. Το στρώμα έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε πρωτόκολλο επιθυμεί, εφόσον αυτό κάνει την δουλειά του.

Αρχικά, το μοντέλο TCP/IP δεν ξεκαθάριζε τις διαφορές ανάμεσα στις έννοιες *Υπηρεσίες*, *Διεπαφές*, *Πρωτόκολλα*, αν και εκ των υστέρων μερικοί προσπάθησαν να το διασκεύαζαν ώστε να μοιάσει περισσότερο στο OSI.

Κατά συνέπεια, τα πρωτόκολλα στο *μοντέλο OSI* είναι *καλύτερα* κρυμμένα απ' ό,τι στο *μοντέλο TCP/IP* και μπορούν να αντικατασταθούν σχετικά εύκολα καθώς η τεχνολογία αλλάζει.

Το μοντέλο αναφοράς OSI δημιουργήθηκε *προτού* εφευρευθούν τα πρωτόκολλα. Αυτή η χρονική ακολουθία σημαίνει ότι το μοντέλο δεν είχε προσαρμοστεί προς ένα

συγκεκριμένο σύνολο πρωτοκόλλων, πράγμα που το έκανε αρκετά γενικό. Το αρνητικό αποτέλεσμα αυτής της ακολουθίας είναι ότι οι σχεδιαστές δεν είχαν αρκετή εμπειρία σχετικά με το αντικείμενο και δεν είχαν ξεκαθαρίσει με ποια λειτουργικότητα θα εφοδίαζαν κάθε στρώμα.

Για παράδειγμα, το στρώμα ζεύξης δεδομένων αρχικά αφορούσε μόνο δίκτυα σημείου προς σημείο. Όταν εμφανίσθηκαν τα δίκτυα εκπομπής, ένα νέο υπόστρωμα έπρεπε να εισαχθεί στο μοντέλο. Όταν άρχισαν να κτίζονται πραγματικά δίκτυα χρησιμοποιώντας το μοντέλο OSI και τα υπάρχοντα πρωτόκολλα, ανακαλύφθηκε ότι αυτά δεν ταίριαζαν με τις απαιτούμενες προδιαγραφές των υπηρεσιών και έτσι έπρεπε να εμφυτευτούν υποστρώματα σύγκλισης, ώστε να υπάρξει χώρος για να καλυφθούν οι διαφορές.

Για το TCP/IP αληθεύουν τα αντίθετα. Πρώτα ήρθαν τα πρωτόκολλα και το μοντέλο ήταν απλά μια περιγραφή των υπάρχοντων πρωτοκόλλων. Δεν υπήρχε κανένα πρόβλημα στο να ταιριάξουν τα πρωτόκολλα με το μοντέλο. Ταιριάζουν τέλεια. Το μόνο πρόβλημα ήταν ότι το μοντέλο δεν ταίριαζε με καμία άλλη στοιβα πρωτοκόλλων. Κατά συνέπεια, δεν ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο στην περιγραφή άλλων δικτύων εκτός από το TCP/IP.

Επανερχόμενοι από φιλοσοφικά θέματα σ' άλλα πιο συγκεκριμένα, μια προφανής διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων είναι ο αριθμός των στρωμάτων. Το μοντέλο OSI έχει επτά στρώματα ενώ το TCP/IP έχει πέντε στρώματα.

Μια άλλη διαφορά αφορά στην επικοινωνία με σύνδεση και χωρίς σύνδεση. Το μοντέλο OSI υποστηρίζει αμφότερες τις μεθόδους στο στρώμα δικτύου, αλλά μόνον υπηρεσία με σύνδεση στο στρώμα μεταφοράς (όπου και έχει σημασία επειδή η υπηρεσία μεταφοράς είναι ορατή στους χρήστες). Το μοντέλο TCP/IP διαθέτει μόνο μια υπηρεσία στο στρώμα δικτύου (χωρίς σύνδεση), αλλά υποστηρίζει αμφότερες στο στρώμα μεταφοράς, προσφέροντας στους χρήστες τη δυνατότητα επιλογής.

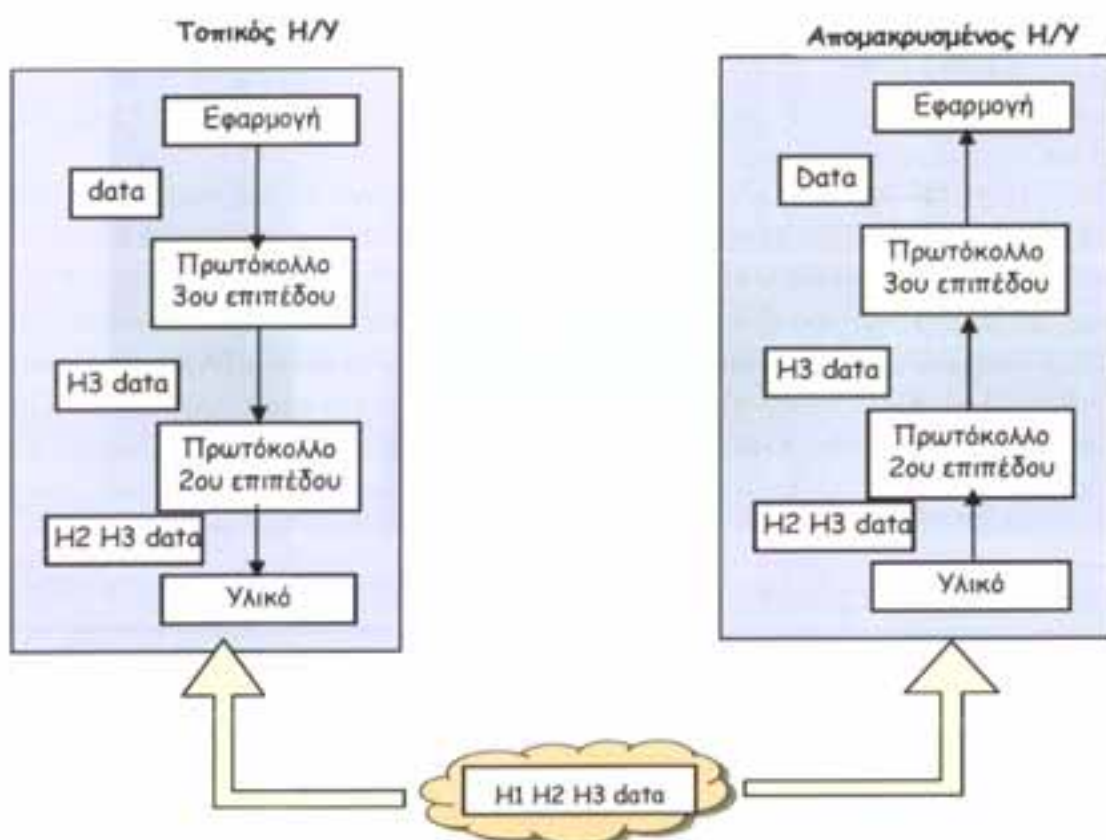


Σύγκριση μοντέλων TCP και OSI

## 12.4. Ενθυλάκωση

Ενθυλάκωση καλείται η διαδικασία με την οποία πληροφορίες ελέγχου που είναι απαραίτητες για την επικοινωνία ομότιμων οντοτήτων (δηλαδή οντοτήτων που ανήκουν στο ίδιο επίπεδο) επισυνάπτονται στα δεδομένα με τη μορφή επικεφαλίδας. Οι πληροφορίες αυτές είναι συνήθως μικρού μεγέθους σε σχέση με τον όγκο των δεδομένων και σε μερικές περιπτώσεις επισυνάπτονται στο τέλος του μηνύματος, σχηματίζοντας έτσι μια ουρά (trailer).

Περνώντας η αρχική πληροφορία από το κάθε επίπεδο προστίθενται σταδιακά οι απαραίτητες πληροφορίες του κάθε επιπέδου όπως και στο σχήμα που ακολουθεί. Η αρχική πληροφορία data τη στιγμή που βγαίνει στο δίκτυο έχει την μορφή [ H1 H2 H3 data T1 ] συμπληρωμένη με τις κεφαλίδες του κάθε επιπέδου.



Η ενθυλάκωση των μηνυμάτων υψηλότερων επιπέδων στα μηνύματα των χαμηλότερων επιπέδων. Στον απομακρυσμένο υπολογιστή ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία. Στην πορεία προς το υψηλότερο επίπεδο, το μήνυμα απαλλάσσεται σταδιακά από τις πληροφορίες ελέγχου (επικεφαλίδες και ουρές) και τελικά φθάνει στο ανώτερο επίπεδο εφαρμογής περιέχοντας μόνο το αρχικό μήνυμα που είχε δημιουργηθεί.

## 12.5. IP (Internet Protocol)

Στη στοίβα πρωτοκόλλων του TCP/IP, η διευθυνσιοδότηση ορίζεται από το πρωτόκολλο διαδικτύου (Internet Protocol, IP). Το πρότυπο IP ορίζει ότι σε κάθε

υπολογιστή υπηρεσίας αποδίδεται ένας μοναδικός αριθμός των 32 bit, ο οποίος λέγεται διεύθυνση πρωτοκόλλου διαδικτύου (Internet Protocol Address) του υπολογιστή υπηρεσίας ή, για συντομία, διεύθυνση IP ή διεύθυνση διαδικτύου. Κάθε πακέτο που στέλνεται μέσω ενός διαδικτύου περιέχει τη διεύθυνση IP των 32 bit του αποστολέα (αφετηρίας), καθώς και του παραλήπτη (προορισμού). Επομένως, για να μεταδώσει ένας υπολογιστής πληροφορίες μέσω ενός διαδικτύου TCP/IP, πρέπει να γνωρίζει, τη διεύθυνση IP του μακρινού υπολογιστή στον οποίο θα σταλούν οι πληροφορίες.

Επομένως, μια διεύθυνση διαδικτύου (διεύθυνση IP) είναι ένας μοναδικός δυαδικός αριθμός των 32 bit, ο οποίος αποδίδεται σε έναν υπολογιστή υπηρεσίας και χρησιμοποιείται για όλες τις επικοινωνίες με αυτόν.

### 12.5.1. Λειτουργίες στο πρωτόκολλο IP

Η μετάδοση στο IP γίνεται με την τεχνική των datagrams (πακέτων). Το κάθε πακέτο του IP, φθάνει στον παραλήπτη διασχίζοντας ένα ή περισσότερα διασυνδεδεμένα δίκτυα IP, χωρίς να εξαρτάται από άλλα προηγούμενα ή επόμενα πακέτα, διατηρώντας έτσι την αυτονομία του μέσα στο δίκτυο.

Το IP δεν ασχολείται με τις φυσικές συνδέσεις ή τον έλεγχο των ενδιάμεσων ζεύξεων μεταξύ των κόμβων του δικτύου που είναι αρμοδιότητα άλλων πρωτοκόλλων χαμηλότερων επιπέδων όπως Ethernet, Frame relay, PPP, κλπ. Στην ουσία ασχολείται με την διευθυνσιοδότηση, τον κατακερματισμό (fragmentation) μεγάλων πακέτων και την επανασυγκόλλησή τους. Το πρωτόκολλο IP δεν θεωρείται αξιόπιστο καθώς δεν εξασφαλίζει την απ' άκρου εις άκρο ακεραιότητα των data με τεχνικές επανεκπομπής, έλεγχο ροής κλπ. Οι λειτουργίες αυτές επιτυγχάνονται με το πρωτόκολλο TCP που είναι στο αμέσως ανώτερο επίπεδο.

Το IP δεν απαιτεί την αποκατάσταση σύνδεσης μεταξύ δύο σημείων πριν την ανταλλαγή δεδομένων όπως το X.25, και γι' αυτό χαρακτηρίζεται ως πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση (connectionless).

Το IP παραλαμβάνει τα δεδομένα από το επίπεδο μεταφοράς (π. χ. TCP) σε πακέτα με μέγιστο μέγεθος 64 Kbytes. Το IP διαιρεί το κάθε πακέτο σε περισσότερα τμήματα (fragments) αν είναι απαραίτητο και τα μεταδίδει μέσω του δικτύου. Ο κατακερματισμός αυτός γίνεται στις περιπτώσεις που τα πακέτα IP πρέπει να περάσουν από δίκτυα που έχουν περιορισμό στο μέγιστο μέγεθος πλαισίου (frame). Ενώ το έργο του κατακερματισμού μπορεί να γίνει από οποιαδήποτε ενδιάμεση συσκευή (π. χ. router) του δικτύου, η επανασυγκόλληση των IP πακέτων γίνεται από τον τελικό παραλήπτη.

Στο χειρισμό του πρωτοκόλλου IP συμμετέχουν μόνο οι δύο ακραίοι υπολογιστικοί σταθμοί και οι ενδιάμεσοι δρομολογητές (router). Την δρομολόγηση του IP πρωτοκόλλου αναλαμβάνουν οι router οι οποίοι γνωρίζουν την τοπολογία του δικτύου και διαθέτουν κατάλληλους πίνακες δρομολόγησης. Έτσι οι χρήστες αρκεί να γνωρίζουν μόνον την τελική διεύθυνση του αποδέκτη ώστε να δρομολογηθεί κατάλληλα το μήνυμά τους.

### 12.5.2. Δομή του πακέτου IP

Το IP έχει μια κεφαλίδα (header) τουλάχιστον των 20 byte και δεδομένα (data) μεταβλητού μήκους. Το μέγιστο μέγεθος ενός IP πακέτου είναι 64 Kbytes. Η δομή του πακέτου IP παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Το πρώτο πεδίο ονομάζεται *Version*, έχει μήκος 4 bit και δηλώνει την έκδοση του πρωτοκόλλου IP.

Το επόμενο πεδίο ονομάζεται *μήκος header*, έχει μήκος 4 bit, και προσδιορίζει το μήκος του header συμπεριλαμβανομένου και του πεδίου των options.

Ο *Τύπος Υπηρεσίας ή TOS (Type of Service)* μήκους 8 bit χαρακτηρίζει την ποιότητα μετάδοσης που επιζητεί ένα πακέτο. Για παράδειγμα εδώ επιλέγεται το κατά πόσον το πακέτο πρέπει να φθάσει γρήγορα ανεξαρτήτως ποιότητας ή αν πρέπει να φθάσει σωστά ανεξαρτήτως χρόνου.

Το *Συνολικό Μήκος*, πεδίο των 16 bit, προσδιορίζει το μήκος όλου του πακέτου, συμπεριλαμβανομένων του header και των data. Το μέγιστο μήκος πακέτου μπορεί να φθάσει τα 65.536 byte.

Το πεδίο *Αριθμού ταυτότητας (identification number)* χρειάζεται στις περιπτώσεις κατακερματισμού ενός datagram σε μικρότερα τμήματα, ώστε ο δέκτης να μπορεί στη συνέχεια να προσδιορίζει το κάθε τμήμα που φθάνει, σε ποιο datagram ανήκει.

Στη συνέχεια ακολουθούν *τρία bit σημασις (flags)* εκ των οποίων το πρώτο έχει τιμή 0 και υπάρχει για μελλοντική χρήση.

Το *bit DF (Don't fragment)* χρησιμοποιείται ως εντολή του αποστολέα του datagram προς το δίκτυο, ώστε αυτό να μην τεμαχισθεί, διότι ο παραλήπτης αδυνατεί να το επανασυνδέσει. DF=0 σημαίνει ότι επιτρέπεται ο τεμαχισμός, ενώ DF=1 σημαίνει ότι δεν επιτρέπεται.

Το *bit MF (More fragments)* όταν έχει τιμή 1 δηλώνει στο δέκτη ότι ακολουθούν και άλλα τμήματα του αυτού κατακερματισμένου datagram. Το τελευταίο τμήμα έχει MF = 0.

Η *Θέση του Τμήματος (Fragment Offset)* προσδιορίζει τη θέση του κάθε τμήματος (fragment) στο datagram ώστε ο τελικός αποδέκτης να διευκολυνθεί στην επανασυγκόλληση.

Ο *Χρόνος Ζωής (Time to live)* προσδιορίζει ως μετρητής, τον χρόνο ζωής του datagram. Ο χρόνος ζωής μετράται σε δευτερόλεπτα.

Στο πεδίο *Πρωτόκολλο* αναφέρεται ποιο είναι το πρωτόκολλο του επιπέδου μεταφοράς που χρησιμοποιείται (π. χ. TCP, UDP) στον τελικό σταθμό προορισμού.

Το *Header Checksum* χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ορθής μετάδοσης μόνο για τον header και όχι για τα data.

Η *Διεύθυνση αποστολέα* και η *Διεύθυνση παραλήπτη* μήκους 32 bit προσδιορίζουν την IP διεύθυνση τους.

Το πεδίο *Επιλογές (Options)* είναι μη υποχρεωτικό πεδίο, μεταβλητού μήκους που χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίζει θέματα ασφαλείας, κατευθυνόμενης δρομολόγησης, χρονοσφραγίδων, καταγραφής διαδρομών, διαχείρισης, διαγνωστικών κλπ.

### 12.5.3. Διευθυνοδότηση του IP

Για τον κάθε υπολογιστή υπάρχει μια σύνδεση ή γραμμή επικοινωνίας (link) με το δίκτυο. Ο κάθε δρομολογητής έρχεται σε επαφή με πολλές γραμμές επικοινωνίας. Γενικά, ανάμεσα σε μια γραμμή επικοινωνίας και σε έναν υπολογιστή (host) ή δρομολογητή (router), υπάρχει μια διασύνδεση (interface). Η κάθε διασύνδεση φέρει μια συγκεκριμένη διεύθυνση IP.

Οι διευθύνσεις IP αποτελούνται από 4 bytes πληροφορίας (δηλαδή, 32 bits) και αναπαριστώνται στη μορφή 'dot decimal'. Δηλαδή, το κάθε byte μετατρέπεται στον αντίστοιχο δεκαδικό αριθμό και χωρίζεται από τα υπόλοιπα με μία τελεία. Έτσι, για παράδειγμα έχουμε τη διεύθυνση 193.32.216.9 που αντιστοιχεί στο δυαδικό: 11000001 00100000 11011000 00001001.

Η διανομή των διευθύνσεων IP στα διάφορα δίκτυα δεν είναι αυθαίρετη δεδομένου ότι ο κάθε υπολογιστής θα πρέπει να φέρει μια ξεχωριστή διεύθυνση IP. Υπάρχει ο οργανισμός IANA (Internet Assigned Number Authority) που επιφορτίζεται με το έργο της απόδοσης των διευθύνσεων στα διάφορα δίκτυα (και κατ' επέκταση και στους υπολογιστές αυτών).

Κάθε υπολογιστής ή ομάδα υπολογιστών ή κάθε παροχέας Internet που επιθυμεί να πάρει μία διεύθυνση IP πρέπει να απευθυνθεί στον IANA. Ο IANA δίνει τη διεύθυνση που αποτελείται από 4 ομάδες ψηφίων και είναι της μορφής: xxx.xxx.xxx όπου κάθε ομάδα "xxx" παίρνει αριθμούς από το 0 έως το 255. Η ομάδα που βρίσκεται στα αριστερά λέγεται η πιο σημαντική ομάδα. Η κατώτατη διεύθυνση είναι η 0.0.0.0 και η ανώτατη είναι η 255.255.255.255.

Οι IP διευθύνσεις αποτελούνται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος προσδιορίζεται η *διεύθυνση του δικτύου (Network ID)* και θα το αποκαλούμε *πρόθεμα*, ενώ στο δεύτερο η *διεύθυνση του Η/Υ μέσα στο δίκτυο (Host ID)* και θα το αποκαλούμε *επίθεμα*.

Αφού επέλεξαν ένα μέγεθος για τις διευθύνσεις IP και αποφάσισαν να διαιρέσουν κάθε διεύθυνση σε δύο μέρη, οι σχεδιαστές του πρωτοκόλλου IP έπρεπε να αποφασίσουν πόσα bit να τοποθετήσουν στο κάθε μέρος. Το πρόθεμα χρειάζεται να έχει αρκετά bit για να μπορεί να αποδοθεί ένας μοναδικός αριθμός δικτύου σε κάθε φυσικό δίκτυο ενός διαδικτύου. Το επίθεμα χρειάζεται να έχει αρκετά bit για να επιτρέπει να αποδίδεται σε κάθε υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος σε ένα δίκτυο μια μοναδική τιμή. Καμία απλή επιλογή δεν ήταν εφικτή, επειδή η προσθήκη bit στο ένα μέρος σημαίνει αφαίρεση bit από το άλλο. Η επιλογή μεγάλου προθέματος επιτρέπει πολλά δίκτυα, αλλά περιορίζει το μέγεθος του κάθε δικτύου· η επιλογή μεγάλου επιθέματος σημαίνει ότι κάθε φυσικό δίκτυο μπορεί να περιέχει πολλούς υπολογιστές, αλλά περιορίζει το συνολικό αριθμό των δικτύων.

Γι' αυτό, οι σχεδιαστές επέλεξαν μια συμβιβαστική μέθοδο διευθυνοδότησης που να μπορεί να εξυπηρετεί ένα συνδυασμό μεγάλων και μικρών

δικτύων. Η αρχική μέθοδος, η οποία λέγεται *διευθυνσιοδότηση IP με κλάσεις (classful IP addressing)*, διαιρεί το χώρο των διευθύνσεων IP σε τρεις πρωτεύουσες κλάσεις (classes), κάθε μία από τις οποίες έχει διαφορετικό μέγεθος προθέματος και επίθεμας.

#### 12.5.4. Διευθυνσιοδότηση IP με κλάσεις

Τα πρώτα bit μιας διεύθυνσης προσδιορίζουν την κλάση στην οποία ανήκει η διεύθυνση και καθορίζουν το πώς υποδιαιρείται η υπόλοιπη διεύθυνση σε πρόθεμα και επίθεμα.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τις πέντε κλάσεις διευθύνσεων, όπου τα πρώτα bit χρησιμοποιούνται για να προσδιορίζουν την κάθε κλάση και τη διαίρεση σε πρόθεμα και επίθεμα.

	0	1	2	3	4	8	16	24	31	
Κλάση A	0				πρόθεμα				επίθεμα	
Κλάση B	1	0	πρόθεμα				επίθεμα			
Κλάση C	1	1	0	πρόθεμα				επίθεμα		
Κλάση D	1	1	1	0	διεύθυνση					
Κλάση E	1	1	1	1	δεσμευμένη για μελλοντική					

Διευθύνσεις που έχουν σαν πρώτο bit το 0 χαρακτηρίζονται ως διευθύνσεις κλάσης A και αφιερώνουν τα 8 πρώτα bit για τη διεύθυνση του δικτύου και τα υπόλοιπα 24 για τη διεύθυνση του υπολογιστή. Επειδή το πρώτο bit είναι δεσμευμένο για τον προσδιορισμό της κλάσης απομένουν μόνο 7 bit για την διεύθυνση του δικτύου δηλαδή 128 το πολύ δίκτυα μπορούν να εξυπηρετηθούν από διεύθυνση κλάσης A. Επιπλέον οι διευθύνσεις με όλα τα bit=1 (χρησιμοποιείται για broadcast) και με όλα τα bit=0 δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αφήνοντας τελικά 126 εκμεταλλεύσιμες διευθύνσεις κλάσης A.

Με παρόμοιο τρόπο ορίζεται ότι διευθύνσεις που αρχίζουν με 10 είναι κλάσης B και διευθύνσεις που αρχίζουν με 110 είναι κλάσης C. Επιπλέον υπάρχουν και οι κλάσεις D και E, η μεν κλάση D για διευθύνσεις multicast (αποστολή δεδομένων προς πολλούς αποδέκτες ταυτόχρονα) ενώ η κλάση E φυλάσσεται για μελλοντική χρήση.

Οι κλάσεις A, B, και C λέγονται *πρωτεύουσες κλάσεις (primary classes)*, επειδή χρησιμοποιούνται για διευθύνσεις υπολογιστών υπηρεσίας. Η κλάση D χρησιμοποιείται για πολυεκπομπή (multicasting), η οποία επιτρέπει την επίδοση σε ένα σύνολο υπολογιστών. Για να χρησιμοποιηθεί πολυεκπομπή του πρωτοκόλλου IP, ένα σύνολο υπολογιστών υπηρεσίας πρέπει να συμφωνήσουν να μοιράζονται μια κοινή διεύθυνση πολυεκπομπής (multicast address). Αφού εγκαθιδρυθεί η ομάδα πολυεκπομπής (multicast group), ένα αντίγραφο οποιουδήποτε πακέτου που στέλνεται στη διεύθυνση πολυεκπομπής θα επιδίδεται σε κάθε υπολογιστή υπηρεσίας του συνόλου.



Στον παρακάτω πίνακα μπορεί εύκολα και γρήγορα να γίνει ο υπολογισμός της κλάσης, χωρίς τη χρήση συγκρίσεων και άλλων πράξεων που είναι περίπλοκες.

4 πρώτα ψηφία της Διεύθυνσης	Πίνακας Δεικτών (σε Δεκαδική Μορφή)	Κλάση της Διεύθυνσης
0000	0	A
0001	1	A
0010	2	A
0011	3	A
0100	4	A
0101	5	A
0110	6	A
0111	7	A
1000	8	B
1001	9	B
1010	10	B
1011	11	B
1100	12	C
1101	13	C
1110	14	D
1111	15	E

Εύρεση της κλάσης με χρήση των 4 πρώτων bits, μιας διεύθυνσης IP. Οι συνδυασμοί που αρχίζουν με 0 αντιστοιχούν στην κλάση A, οι συνδυασμοί που αρχίζουν με 10 αντιστοιχούν στην κλάση B και οι συνδυασμοί που αρχίζουν με 110 αντιστοιχούν στην κλάση C. Οι διευθύνσεις που αρχίζουν με 1110 αντιστοιχούν στην κλάση D και αυτές που αρχίζουν με 1111 αντιστοιχούν σε μια κλάση που δεν χρησιμοποιείται.

#### 12.5.5. Συμβολισμός δεκαδικών με τελείες

Αυτή η αντιστοιχία των διευθύνσεων IP σε δεκαδικές γίνεται γιατί είναι δύσκολο οι διευθύνσεις των 32 bit να απομνημονευθούν από τους χρήστες. Για το λόγο αυτό κάθε ομάδα των 8 bit αντιστοιχίζεται στον ισοδύναμο δεκαδικό της αριθμό και οι τέσσερις αριθμοί που προκύπτουν χωρίζονται με μία τελεία.

Διαδικός Αριθμός 32 ψηφίων	Ισοδύναμο σε μορφή δεκαδικού με τελείες (dotted decimal)
00110111 11001110 00010111 01110101	55. 196. 23. 117
10000110 00101100 11111010 01001101	134. 44. 250. 77
11011010 00111010 00001001 10001000	218. 58. 9. 136
10011110 10000011 00010110 00000100	158. 131. 22. 4

Η αντιστοιχία των δυαδικών διευθύνσεων IP σε δεκαδικές

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το εύρος της κάθε κλάσης. Δηλαδή από τον πρώτο δεκαδικό αριθμό μπορούμε να βρούμε την κλάση του δικτύου.

Κλάση	Εύρος Τιμών
A	0 έως και 127
B	128 έως και 191
C	192 έως και 223
D	224 έως και 239
E	240 έως και 255

Με βάση το χωρισμό των δικτύων σε κλάσεις, μπορούμε να υπολογίσουμε τον μέγιστο αριθμό δικτύων και υπολογιστών υποδοχής που έχει η κάθε κλάση. Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τον αριθμό των δικτύων και των υπολογιστών υπηρεσίας ανά δίκτυο σε κάθε μια από τις τρεις πρωτεύουσες κλάσεις διευθύνσεων IP.

Κλάση Διεύθυνσης	Ψηφία Προθέματος	Μέγιστος Αριθμός Δικτύων	Ψηφία Κατάληξης	Μέγιστος Αριθμός Υπολογιστών ανά Δίκτυο
A	7	128	24	16777216
B	14	16384	16	65536
C	21	2097152	8	256

### 12.5.6. Μάσκες διευθύνσεων

Η μάσκα επιτρέπει σε έναν υπολογιστή ή δρομολογητή (router) να διακρίνει σε μια διεύθυνση IP ποιο τμήμα της αφορά την διεύθυνση δικτύου και ποιο αφορά την διεύθυνση του υπολογιστή.

Η μάσκα διευθύνσεων αποτελείται από 32 bit όπου τα bit της διεύθυνσης δικτύου έχουν τιμή 1 και τα bit διεύθυνσης υπολογιστή έχουν τιμή 0. Η τιμή της μάσκας παριστάνεται σε δεκαδική μορφή με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται στις IP διευθύνσεις, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Κλάση Διεύθυνσης	Βασική Μάσκα (δυναδικό)	Βασική Μάσκα (δεκαδικό)
A	11111111.00000000.00000000.00000000	255.0.0.0
B	11111111.11111111.00000000.00000000	255.255.0.0
C	11111111.11111111.11111111.00000000	255.255.255.0

Μια εναλλακτική γραφή της IP διεύθυνσης που συνδυάζει και τη μάσκα είναι της μορφής 192.3.4.16 / 30 η οποία υποδηλώνει ότι στην διεύθυνση 192.3.4.16 έχει εφαρμοσθεί μάσκα υποδικτύου των 30 bit.

11111111.11111111.11111111.11111100

Τα τρία πρώτα bit προσδιορίζουν το δίκτυο και τα δύο τελευταία τον υπολογιστή. Η μάσκα αυτή ισοδύναμα γράφεται 255.255.255.252.

## 12.6. Τεμαχισμός

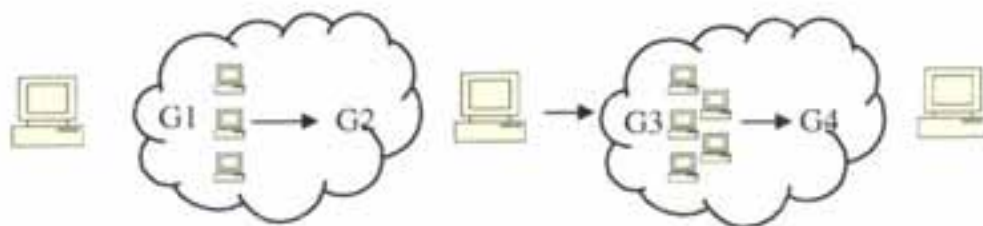
Τα πακέτα έχουν μήκος από 48 έως 65515 byte και ταξιδεύουν μέσα από ανομοιογενή δίκτυα. Υπάρχουν δίκτυα τα οποία μπορούν να χωρέσουν πακέτα με μεγάλο μήκος και άλλα που αδυνατούν. Για να μπορεί ένα πακέτο να μεταφερθεί σε διαφορετικά δίκτυα που δεν υποστηρίζουν το ίδιο μήκος γίνεται η διαδικασία του τεμαχισμού, όπου μεγαλύτερα πακέτα διασπώνται σε μικρότερα.

Με τον τεμαχισμό διασπάται ένα μεγάλο πακέτο και δημιουργούνται πολλά μικρότερα που είναι και αυτά αυτοδύναμα. Για τη συναρμολόγηση υπάρχουν δυο τεχνικές: ο **διαφανής** και ο **αδιαφανής** τεμαχισμός.

### 12.6.1. Διαφανής τεμαχισμός

Στο **διαφανή** τεμαχισμό το πακέτο συναρμολογείται και επανατεμαχίζεται σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο (δρομολογητή) και αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου να φθάσει στον προορισμό του. Απαραίτητη προϋπόθεση σε κάθε δρομολογητή είναι ότι θα πρέπει να γνωρίζει πότε έλαβε όλα τα κομμάτια του αρχικού πακέτου κάτι που δηλώνεται με ένα bit τέλους πακέτου.

Βασικό μειονέκτημα της διαδικασίας εμφανίζεται σε περιπτώσεις μεγάλων **αρχικών** πακέτων όπου η διάσπαση και η επανασυναρμολόγησή τους απαιτεί αρκετή χρονοκαθυστέρηση.



#### Παράδειγμα

Έστω ότι ο κόμβος ενός δικτύου A, το οποίο έχει μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος πακέτου 750 bytes θέλει να μεταδώσει 1200 bytes δεδομένων στον κόμβο του δικτύου C που έχει μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος πακέτου 500 bytes. Τα δεδομένα θα περάσουν από το δίκτυο B, που έχει μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος 1000 bytes. Τα μέγιστα επιτρεπόμενα μήκη αναφέρονται μόνο στα δεδομένα και όχι στις επικεφαλίδες. Θεωρούμε ότι στη δομή των πακέτων περιλαμβάνονται τα εξής πεδία: αριθμός πακέτου (μήκους 1 byte), αριθμός 1<sup>ου</sup> byte στο πακέτο (μήκους 2 bytes, bit τέλους πακέτου (μήκους 1 byte), διεύθυνση πηγής (μήκους 4 bytes), διεύθυνση προορισμού (μήκους 4 bytes) και δεδομένα. Δεν απαιτείται να συμπληρωθούν οι τιμές στα πεδία Διευθύνσεων και Δεδομένων, αλλά να φαίνεται η ύπαρξή τους και το μέγεθός τους στη μορφή των πακέτων.

### Δίκτυο Α

ID	1 <sup>o</sup> byte	Bit τέλους		Δ/ση πηγής	Δ/ση προορισμού		Δεδομένα		
27	0	0	0	SA	DA	Data			
	1	2	3	4	5	8	9	12 13	762
27	750	1	1	SA	DA	Data			
	1	2	3	4	5	8	9	12 13	462

### Δίκτυο Β

27	0	0	SA	DA	Data				
	0	1	2	3	4	7	8	11 12	1012
27	1000	1	SA	DA	Data				
	0	1	2	3	4	7	8	11 12	212

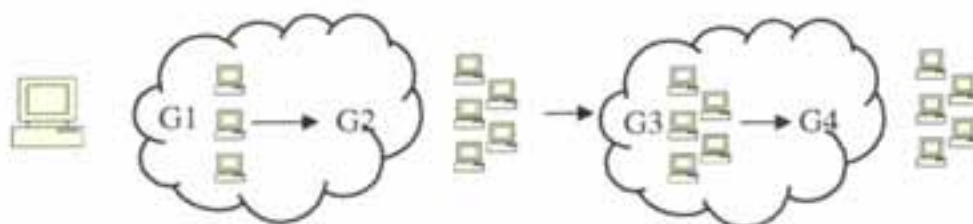
### Δίκτυο C

27	0	0	SA	DA	Data				
	0	1	2	3	4	7	8	11 12	512
27	500	0	SA	DA	Data				
	0	1	2	3	4	7	8	11 12	512
27	1000	1	SA	DA	Data				
	0	1	2	3	4	7	8	11 12	212

#### 12.6.2. Αδιαφανής τεμαχισμός

Με τη στρατηγική του **αδιαφανή** τεμαχισμού το αρχικό πακέτο διασπάται μόνο μια φορά σε μικρότερα πακέτα και επανασυναρμολογείται στον τελικό υπολογιστή υπηρεσίας (host). Το κάθε τεμάχιο προωθείται μέσα από τις πύλες κόμβους ως αυτοδύναμο αφού διαθέτει επικεφαλίδα (διεύθυνση προορισμού). Η διαδρομή που ακολουθείται από το καθένα είναι διαφορετική αυξάνοντας έτσι την απόδοση του δικτύου.

Παρά την καλύτερη απόδοση όμως, εμφανίζεται ένα σημαντικό μειονέκτημα. Οι τελικοί αποδέκτες - host θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να συναρμολογήσουν τα τεμάχια με τη σωστή σειρά, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου το αρχικό τεμάχιο ήταν αρκετά μεγάλο.



Στο διαφανή τεμαχισμό το προηγούμενο πρόβλημα δεν υπάρχει διότι τα τεμάχια ταξιδεύουν σε σειρά αλλά και το ρόλο του συναρμολογητή τον αναλαμβάνουν οι ενδιάμεσοι κόμβοι. Στον αδιαφανή τα πακέτα καταφθάνουν από διαφορετικές διαδρομές που συνεπάγεται διαφορετική σειρά άφιξης.

### Παράδειγμα

Έστω ότι ο κόμβος X του δικτύου A, το οποίο έχει μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος πακέτου 800 bytes θέλει να μεταδώσει 1500 bytes δεδομένων στον κόμβο Y του δικτύου B που έχει μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος πακέτου 750 bytes (τα μέγιστα επιτρεπόμενα μήκη αναφέρονται στο συνολικό μήκος των πακέτων, συμπεριλαμβάνοντας τόσο τα δεδομένα όσο και τα πεδία των κεφαλίδων). Θεωρούμε ότι στη δομή των πακέτων περιλαμβάνονται τα εξής πεδία: ταυτότητα πακέτου (μήκους 1 byte), αριθμός 1<sup>ος</sup> byte στο πακέτο (μήκους 2 bytes, bit τέλους πακέτου (μήκους 1 byte), διεύθυνση αποστολέα (μήκους 4 bytes), διεύθυνση παραλήπτη (μήκους 4 bytes) και δεδομένα. Στα πεδία να αναφέρεται η τιμή τους (εκτός από τα πεδία διευθύνσεων και δεδομένα) και το μήκος τους.

#### Δίκτυο A

ID	1 <sup>st</sup> byte	Bit τέλους	Δ/ση αποστολέα	Δ/ση παραλήπτη	Δεδομένα
144	0	0	SA	DA	Data
0	1	2	3	4	7 8 11 12 799
144	788	1	SA	DA	712 bytes
0	1	2	3	4	7 8 11 12 723

#### Δίκτυο B

144	0	0	SA	DA	738 bytes
0	1	2	3	4	7 8 11 12 749
144	738	0	SA	DA	50 bytes
0	1	2	3	4	7 8 11 12 61
144	788	1	SA	DA	712 bytes
0	1	2	3	4	7 8 11 12 723

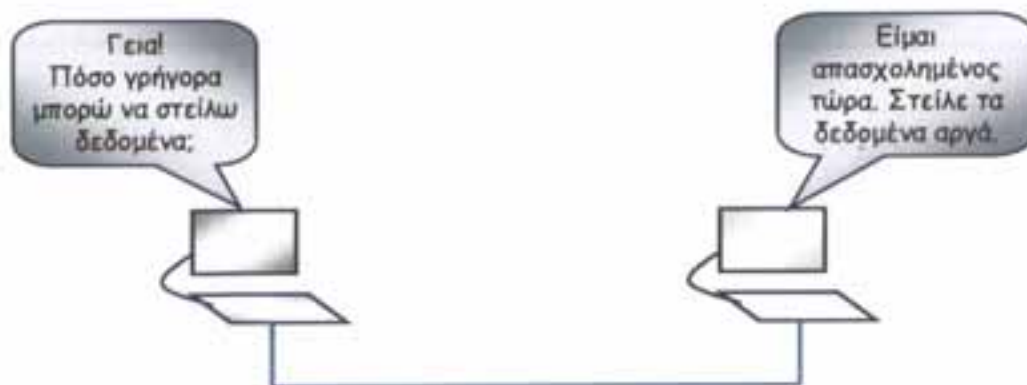
## 12.7. Πρωτόκολλο Ελέγχου Μεταφοράς TCP

Το *Πρωτόκολλο Ελέγχου Μεταφοράς (Transport Control Protocol, TCP)* είναι ένα πρωτόκολλο του Επιπέδου 4 και χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του πρωτοκόλλου IP. Δεν απαιτεί όμως ειδικά το πρωτόκολλο IP, και μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε πρωτόκολλο του Επιπέδου 3 ώστε να παράσχει τις υπηρεσίες μεταφοράς αστά. Το λογισμικό του πρωτοκόλλου TCP υπάρχει στους υπολογιστές υπηρεσίας, αλλά όχι στους δρομολογητές. Ένας δρομολογητής δε χρειάζεται να γνωρίζει οτιδήποτε για το πρωτόκολλο TCP, επειδή δεν επεξεργάζεται την επικεφαλίδα που τοποθετεί στα δεδομένα το πρωτόκολλο TCP. Μόνο οι υπολογιστές υπηρεσίας (της πηγής και του προορισμού) επεξεργάζονται αυτήν την επικεφαλίδα.

Υπάρχει μία εξαίρεση σε αυτόν τον κανόνα. Μερικές φορές οι δρομολογητές χρησιμοποιούν το λογισμικό του πρωτοκόλλου TCP για να διαχειρίζονται το δίκτυο, οπότε θα πρέπει να είναι σε θέση να δημιουργούν μία επικεφαλίδα IP, στην οποία να ενσωματώνουν το μήνυμα διαχείρισης δικτύου. Τα δεδομένα του χρήστη πάντως δεν τα επεξεργάζονται ποτέ οι δρομολογητές.

Το πρωτόκολλο TCP παρέχει *σύνδεση από άκρο σε άκρο (end to end session)* ανάμεσα σε δύο υπολογιστές φιλοξενίας. Το πρωτόκολλο TCP εκτελεί επίσης ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων για τις εφαρμογές που απαιτούν υπηρεσίες με σύνδεση.

Όπως σε κάθε πρωτόκολλο με σύνδεση, μόλις εγκαθιδρυθεί μία σύνδεση μεταξύ δύο λογικών οντοτήτων, ο υπολογιστής υπηρεσίας του προορισμού θα πρέπει να επιβεβαιώσει τη λήψη των μονάδων δεδομένων που έλαβε. Εάν η άφιξη μίας μονάδας δεδομένων δεν επιβεβαιωθεί, δε θα αποσταλεί μήνυμα σφάλματος (δηλαδή αρνητική επιβεβαίωση) από το πρωτόκολλο TCP. Αντίθετα, ο υπολογιστής υπηρεσίας της πηγής ενεργοποιεί ένα χρονομετρητή, οπότε εάν δε ληφθεί επιβεβαίωση λήψης κάποιας μονάδας δεδομένων, η μονάδα αυτή θα επανεκπεμφθεί.



Το TCP είναι γνωστό ως ένα πρωτόκολλο προσανατολισμένο προς σύνδεση. Αυτό σημαίνει ότι οι τερματικοί σταθμοί γνωρίζονται μεταξύ τους και επικοινωνούν για να μπορέσουν συνδεθούν. Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τη "συζήτηση" που υπάρχει μεταξύ δύο υπολογιστών που θέλουν να επικοινωνήσουν. Η συζήτηση ξεκινάει με ένα αρχικό μήνυμα "Γεια". Το TCP δημιουργεί μια σύνδεση, αποκαλούμενη μερικές φορές ως "εικονική", μεταξύ των εφαρμογών τελικών χρηστών.

### 12.7.1. Η Επικεφαλίδα του Πρωτοκόλλου TCP

Οι μονάδες δεδομένων που αποστέλλονται μεταξύ δύο οντοτήτων ονομάζονται *τμήματα (segments)*. Το κάθε τμήμα τοποθετείται από το πρωτόκολλο IP στην επικεφαλίδα IP (όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα) και καθίσταται ένα πακέτο.

Η διεύθυνση που περιέχεται στο πρωτόκολλο TCP είναι κάπως διαφορετική από τη διεύθυνση του πρωτοκόλλου IP. Η διευθυνσιοδότηση στο επίπεδο του TCP αναφέρεται σε λογικές οντότητες που υπάρχουν μέσα σε έναν υπολογιστή υπηρεσίας παρά στη σύνδεση κάποιου χρήστη με το δίκτυο. Οι διευθύνσεις IP δεν είναι φυσικές διευθύνσεις, αλλά δηλώνουν μία σύνδεση στο δίκτυο και προσδιορίζουν τον αντίστοιχο χρήστη.

Θύρα Πηγής (16 bits)				Θύρα Προορισμού (16 bits)			
Αριθμός Ακολουθίας (32 bits)							
Αριθμός Επιβεβαίωσης (32 bits)							
Μετατόπιση (4 bits)	Πρόσθετα (6 bits)	U R G	A C K	P S H	R S T	S Y N	F I N
Έλεγχος (16 bits)				Δείκτης Επείγοντος (16 bits)			
Επιλογές (μεταβλητό)						Συμπλήρωμα	
Δεδομένα (μεταβλητό)							

Η επικεφαλίδα του πρωτοκόλλου TCP

Το πρωτόκολλο TCP χρησιμοποιεί τον **αριθμό της θύρας (port)** του **προορισμού** και της **πηγής**. Η θύρα αποτελεί ένα προκαθορισμένο αριθμό, ο οποίος προσδιορίζει την εφαρμογή που χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του πρωτοκόλλου TCP. Ο αριθμός κάθε θύρας έχει μήκος 16 bits.

Χρησιμοποιείται ένας **αριθμός ακολουθίας (sequence number)** μήκους 32 bits για να επιβεβαιώσει ότι έχουν ληφθεί όλες οι μονάδες δεδομένων.

Μετά τον αριθμό ακολουθίας υπάρχει ο **αριθμός επιβεβαίωσης (acknowledgment number)**, ο οποίος αναγράφει τον επόμενο αριθμό ακολουθίας που αναμένεται. Ο αριθμός επιβεβαίωσης έχει μήκος 32 bits. Το πεδίο αυτό θεωρείται ως θετική επιβεβαίωση, καθώς προσδιορίζει ποιες ακολουθίες έχουν ληφθεί κανονικά και ποιες είναι ο επόμενος αριθμός ακολουθίας που αναμένεται.

Το **πεδίο μετατόπισης δεδομένων (data offset field)** καθορίζει το σημείο στο οποίο ξεκινούν τα δεδομένα της επικεφαλίδας του πρωτοκόλλου TCP. Καθορίζει πόσες λέξεις μήκους 32 bits υπάρχουν στην επικεφαλίδα πριν από τα δεδομένα του χρήστη. Το πεδίο αυτό έχει μήκος 4 bits και είναι αναγκαίο μόνον όταν υπάρχει προαιρετικό **πεδίο επιλογών (option field)** στο τέλος της επικεφαλίδας, το οποίο μπορεί να έχει μεταβλητό μήκος.

Μετά από το πεδίο μετατόπισης υπάρχουν πολλά μικρά πεδία μήκους ενός bit, τα οποία χρειάζονται για την επεξεργασία της μονάδας δεδομένων από το πρωτόκολλο TCP. Το **bit επείγοντος (urgent bit, URG)** σημειώνει ότι ο **δείκτης επείγοντος (urgent pointer)** περιέχει δεδομένα. Ο δείκτης επείγοντος είναι ένα πεδίο μήκους 16 bits, το οποίο

καθορίζει την περιοχή του πεδίου των δεδομένων του χρήστη, του οποίου τα δεδομένα θεωρούνται ότι είναι επείγοντα.

Το *bit επιβεβαίωσης (acknowledgment bit, ACK)* δηλώνει ότι υπάρχει επιβεβαίωση στο πεδίο αριθμού επιβεβαίωσης και ειδοποιεί τον προορισμό ότι αυτός ο αριθμός επιβεβαιώνει ακολουθίες που έχουν ληφθεί σε προηγούμενες χρονικές στιγμές.

Το *bit πίεσης (push bit, PSH)* είναι παρόμοιο με το bit επείγοντος. Δηλώνει στον υπολογιστή του προορισμού ότι η μονάδα δεδομένων που έχει ληφθεί πρέπει να τύχει άμεσης επεξεργασίας και οδηγεί τη μονάδα δεδομένων στη διαδικασία επεξεργασίας, παρακάμπτοντας τη γραμμή αναμονής στην οποία τοποθετούνται όλες οι ειλημμένες μονάδες δεδομένων.

Το *bit απενεργοποίησης (reset bit, RST)* απενεργοποιεί τη σύνοδο (δηλαδή τη λογική σύνδεση) που υπάρχει. Αυτό συμβαίνει όταν διαγνωσθεί σφάλμα στη σύνδεση και επομένως απαιτείται η εγκαθίδρυση της εκ νέου.

Το *bit συγχρονισμού (synchronized bit, SYN)* χρησιμοποιείται όταν εγκαθιδρύεται μία λογική σύνδεση και δείχνει ότι οι αριθμοί ακολουθίας πρέπει να συγχρονιστούν. Το *bit λήξης (finish bit, FIN)* δηλώνει το τέλος της μετάδοσης. Δείχνει ότι δεν υπάρχουν άλλα δεδομένα προς αποστολή και ότι η σύνοδος μπορεί να κλείσει.

Το *πεδίο παραθύρου (window field)* χρησιμοποιείται κατά την εγκαθίδρυση της συνόδου. Κάθε υπολογιστής υπηρεσίας πρέπει να διαπραγματευτεί πόσες μονάδες δεδομένων μπορούν να αποσταλούν προτού ληφθεί σήμα επιβεβαίωσης. Αυτό θεωρείται ως μέγεθος του *παραθύρου μετάδοσης* και καθορίζεται από το μήκος της γραμμής αναμονής και τον όγκο επεξεργασίας που ήδη έχει ο υπολογιστής υπηρεσίας του προορισμού, εξυπηρετώντας άλλες συνόδους. Το μέγεθος του παραθύρου δε μπορεί να αλλάξει αφότου εγκαθιδρυθεί η σύνοδος.

Το *πεδίο ελέγχου (checksum field)* χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σφαλμάτων στην επικεφαλίδα καθώς και στα δεδομένα του χρήστη.

Το *πεδίο επιλογών (options field)* είναι ένα πεδίο μεταβλητού μεγέθους και σχεδιάστηκε για μελλοντικές εκδόσεις του πρωτοκόλλου TCP. Το πεδίο επιλογών ακολουθείται από το *πεδίο συμπληρώματος (padding field)*, το οποίο περιέχει τόσα bits, ώστε το συνολικό μήκος των δύο πεδίων να είναι 32.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Comer (1988).D, Internetworking with TCP/IPQ Principles, Protocols, and Architecture. Prentice-Hall, 1988

Green (1982). Green, P., Computer Network Architectures and Protocols. Plenum, 1982.

Black U. Data Communication & Distributed Networks, Prentice-Hall, 1987

Douglas E. Comer, (3<sup>η</sup> έκδοση), Δίκτυα και διαδίκτυα υπολογιστών και εφαρμογές τους στο Internet

Jean Walrand, (1997), Δίκτυα Υπολογιστών – Μετάφραση: Μηλιτιάδης Αναγνώστου

Andrew S. Tanenbaum, (3<sup>η</sup> έκδοση-2000), Δίκτυα Υπολογιστών – Μετάφραση: Βασίλης Στυλιανάκης

Άρης Αλεξόπουλος – Γιώργος Λαγογιάννης, (5<sup>η</sup> έκδοση-1999), Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών

Travis Russell, (2<sup>η</sup> έκδοση), Τηλεπικοινωνιακά Πρωτόκολλα – Μετάφραση Dr. Ιωάννης Πεταλάς

Γιώργος Φούσκας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, (2002), Βασικά Ζητήματα Δικτύων Η/Υ (Τόμος Β' – Ψηφιακές Επικοινωνίες)

Γιώργος Φούσκας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, (2002), Βασικά Ζητήματα Δικτύων Η/Υ (Τόμος Γ' - Δίκτυα Υπολογιστών I)

Κουτσονίκος Ιωάννης, Σημειώσεις Μαθήματος Δικτύων Η/Υ

Δίκτυα Υπολογιστών II, Δίκτυα Υπολογιστών και το Διαδίκτυο – Πολυτεχνείο Κρήτης-Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών., [www.telecom.tuc.gr](http://www.telecom.tuc.gr)

PlusNET Δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, [www.plusnet.gr/network.php](http://www.plusnet.gr/network.php)

Κέντρο Διάδοσης Επιστημών: Δίκτυα Υπολογιστών, [www.tnth.edu.gr](http://www.tnth.edu.gr)

Διαδίκτυα – Βικιπαίδεια, [el.wikipedia.org](http://el.wikipedia.org)

Δίκτυα Υπολογιστών, [Uranus.ee.auth.gr/report/gr/part2/chap9/chap9.html](http://Uranus.ee.auth.gr/report/gr/part2/chap9/chap9.html)

Δίκτυα Υπολογιστών – Μάθημα 4-63, [www.cs.uoi.gr](http://www.cs.uoi.gr)

Δίκτυα Δεδομένων, το διαδίκτυο και εφαρμογές, [www.spinellis.gr](http://www.spinellis.gr)

Ανοικτή και εξ αποστάσεως εκπαίδευση, [www.rhodes.aegean.gr](http://www.rhodes.aegean.gr)

Internet και Εκπαίδευση - Τηλεκπαίδευση - Εκπαίδευση εξ αποστάσεως, [www.ecei.gr](http://www.ecei.gr)

Ανοικτή και εξ αποστάσεως εκπαίδευση, [www.eap.gr](http://www.eap.gr)

Ανοικτή και εξ αποστάσεως εκπαίδευση, [www.ick-kozan.koz.sch.gr](http://www.ick-kozan.koz.sch.gr)