

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΠΕΛΛΟΠΟΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Πρωτόκολλα ελέγχου ροής στο επίπεδο σύνδεσης δεδομένων  
(Data Link Layer)**

**Πουλημένος Γεώργιος**

Σπάρτη, Νοέμβριος 2016

## Περίληψη

Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί καθημερινά το δίκτυο για να μπορεί να επικοινωνεί και να συνεργάζεται με άλλους. Ένα δίκτυο υπολογιστών είναι ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα από αυτόνομους ή μη αυτόνομους διασυνδεδεμένους υπολογιστές. Τα δίκτυα υπολογιστών, για να ελαττώσουν την πολυπλοκότητα της σχεδίασης, είναι οργανωμένα σε επίπεδα (layers) που το καθένα χτίζεται πάνω στο προηγούμενό του. Ο σκοπός κάθε επιπέδου είναι να προσφέρει συγκεκριμένες υπηρεσίες. Ο αριθμός των επιπέδων, τα ονόματά τους, τα περιεχόμενά τους και η λειτουργία του καθενός, διαφέρουν από δίκτυο σε δίκτυο. Τα n-οστά επίπεδα των διαφόρων ΗΥ ενός δικτύου επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των κατωτέρων επιπέδων με την βοήθεια κανόνων, τα πρωτόκολλα.

Στην ιστορία των δικτύων έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα αναφοράς δικτυακής αρχιτεκτονικής τα οποία παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους. Το πρώτο μοντέλο που αναπτύχθηκε είναι το μοντέλο αναφοράς *OSI* διότι ασχολείται με συνδέσεις ανοιχτών συστημάτων. Το μοντέλο *OSI*, λόγω του μεγάλου αριθμού επιπέδων που έχει και άλλων παραγόντων, παρέμεινε θεωρητικό αλλά έθεσε τις βάσεις ανάπτυξης άλλων μοντέλων τα οποία έχουν ευρεία εφαρμογή στις μέρες μας όπως το μοντέλο αναφοράς *TCP/IP*.

Το αντικείμενο της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι αρχικά η παρουσίαση του επιπέδου ζεύξης δεδομένων ή επιπέδου σύνδεσης (*Data Link Layer*), ή συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων. Είναι το δεύτερο εκ των επτά επιπέδων του μοντέλου δικτύωσης *OSI*, ή το πρώτο εκ των τεσσάρων επιπέδων του μοντέλου *TCP/IP*. Στόχος του είναι να παρέχει υπηρεσίες στο επίπεδο δικτύου, αξιοποιώντας τις υπηρεσίες του φυσικού επιπέδου. Αναλύονται τα υποεπίπεδα από τα οποία αποτελείται και δίνεται έμφαση στο υποεπίπεδο λογικού ελέγχου σύνδεσης και στους μηχανισμούς που το διέπουν.

Τέλος, αναλύεται ένας από τους μηχανισμούς του υποεπιπέδου αυτού, ο έλεγχος ροής και σφαλμάτων (*flow and error control*), καθώς επίσης και οι μέθοδοι και τα πρωτοκόλλα που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.

# Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> .....	5
1.1 Ορισμός δικτύου .....	5
1.2 Βασικά συστατικά στοιχεία ενός δικτύου .....	6
1.3 Σκοπός χρήσης δικτύου .....	7
1.4 Ταξινόμηση Δικτύων .....	8
1.4.1 Ταξινόμηση ως προς την τοπολογία .....	8
1.4.2. Ταξινόμηση ως προς την τεχνολογία μετάδοσης των δεδομένων .....	12
1.4.3. Ταξινόμηση ως προς τη γεωγραφική κάλυψη – κλίμακα.....	14
1.5 Λογισμικό Δικτύων .....	16
1.5.1 Η έννοια του επιπέδου (layer) σε ένα δίκτυο .....	16
1.5.2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	16
Κεφάλαιο 2ο .....	19
Πρότυπα Αναφοράς Δικτύων.....	19
2.1 Μοντέλο OSI.....	19
2.1.1 Ορισμός .....	19
2.1.2 Σκοπός .....	20
2.1.3 Ανάλυση επιπέδων OSI.....	22
2.1.3.1 Φυσικό επίπεδο .....	22
2.1.3.2. Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων .....	23
2.1.3.3. Επίπεδο δικτύου.....	26
2.1.3.4. Επίπεδο μεταφοράς .....	28
2.1.3.5. Επίπεδο συνόδου.....	30
2.1.3.6. Επίπεδο παρουσίασης .....	33
2.1.3.7. Επίπεδο εφαρμογής .....	34
2.2 Μοντέλο TCP/IP .....	36
2.2.1 Ανάλυση επιπέδων TCP/IP .....	39
2.2.1.1 Επίπεδο πρόσβασης δικτύου (Network Accesss layer) .....	39
2.2.1.2 Επίπεδο Διαδικτύου (Internet layer).....	39
2.2.1.3 Επίπεδο Μεταφοράς (Transport layer).....	40
2.2.1.4 Επίπεδο Εφαρμογής (Application layer) .....	40
2.3 Αξιολόγηση και Σύγκριση των Προτύπων Αναφοράς OSI & TCP/IP .....	41
2.3.1 Ομοιότητες μοντέλου OSI – TCP/IP .....	41
2.3.2 Διαφορές μοντέλου OSI – TCP/IP .....	42

Κεφάλαιο 3ο .....	45
Επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (data link layer) .....	45
3.1 Εισαγωγή.....	45
3.2 Παρεχόμενες υπηρεσίες προς το επίπεδο δικτύου .....	46
3.3 Πλαίσιο .....	48
3.3.1 Μορφή πλαισίου.....	49
3.4 Τύποι «ζεύξεως» .....	49
3.4.1 Ζεύξη εκπομπής.....	50
3.4.2 Ζεύξεις σημείου προς σημείο .....	50
3.4.2.1 Ζεύξεις σημείου προς σημείο: dial-up.....	51
3.4.2.2 Ζεύξεις σημείου προς σημείο: Μισθωμένες γραμμές .....	51
3.4.3 Ζεύξεις με μεταγωγή.....	52
3.5 Μέσα Μετάδοσης Δεδομένων.....	55
3.5.1 Ενσύρματα μέσα μετάδοσης.....	56
3.6 Διαχωρισμός επιπέδου μετάδοσης δεδομένων .....	57
Κεφάλαιο 4ο .....	60
Υποεπίπεδο λογικού ελέγχου σύνδεσης.....	60
4.1 Πλαισίωση.....	61
4.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων .....	62
4.3 Έλεγχος ροής (flow control) .....	64
Κεφάλαιο 5ο .....	67
Έλεγχος ροής και σφαλμάτων (flow and error control) .....	67
5.1 Έλεγχος ροής (flow control) .....	67
5.1.1 Πρωτόκολλα Ελέγχου Ροής.....	69
5.1.1.1 Έλεγχος Ροής Παύσης και Αναμονής .....	69
5.1.1.2 Έλεγχος Ροής Συρόμενου Παραθύρου.....	72
5.2 Έλεγχος σφαλμάτων (error control).....	76
5.2.1 Σκοπιμότητα ελέγχου σφαλμάτων .....	76
5.2.2 Πρωτόκολλα ARQ ελέγχου σφαλμάτων.....	76
5.2.2.1 Alternating Bit Protocol (ABP) .....	77
5.2.2.2 Go-Back-N (GBN) .....	81
5.2.2.3 Selective Repeat (SR) .....	85
Βιβλιογραφία.....	88

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>

## Εισαγωγή στα Δίκτυα Υπολογιστών

Το δίκτυο, δηλαδή, ένα σύνολο υπολογιστών και συσκευών που διασυνδέονται για ανταλλαγή δεδομένων και επιτρέπουν σε πολλούς χρήστες να διαμοιράζονται κοινές βάσεις δεδομένων. Ο βασικότερος στόχος είναι η επικοινωνία κι η μεταφορά δεδομένων από τον διπλανό χρήστη μέχρι τον πιο μακρινό υπολογιστή του κόσμου. Εφαρμογές σε: σχολεία, πανεπιστήμια, τράπεζες, αστυνομικά κέντρα, ταχυδρομεία, υπουργεία, εταιρείες εθνικές και διεθνής, επιχειρήσεις, οργανισμούς, στα στρατόπεδα κα. Κυρίως βρίσκουν εφαρμογή σε σπίτια. Σε άλλα για εκπαιδευτικούς σκοπούς και σε άλλα για επαγγελματικούς από το σπίτι (Κοκκινάκης, 1994).

### 1.1 Ορισμός δικτύου

Ένα δίκτυο υπολογιστών, που συχνά αναφέρεται απλά ως ένα δίκτυο, είναι μία συλλογή από υπολογιστές και τις συσκευές που συνδέονται με διαύλους επικοινωνίας, η οποία διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών και επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται τους πόρους με άλλους χρήστες. Τα στοιχεία του δικτύου επικοινωνούν με συγκεκριμένους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί λέγονται *πρωτόκολλα επικοινωνίας* και είναι υπεύθυνα για την ποιότητα και την πιστότητα των πληροφοριών που μεταδίδονται στο κανάλι επικοινωνίας.

Το Υπουργείο Άμυνας των Η.Π.Α. ξεκίνησε την ανάπτυξη του δικτύου ARPANET στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Το ARPANET ήταν το πρώτο μεγάλης κλίμακας δίκτυο και ο κύριος στόχος ήταν η ανάπτυξη ενός εύρωστου δικτύου, το οποίο θα μπορούσε να επιβιώσει με βλάβες σε κάποιους από τους κόμβους και κάποιες από τις ζεύξεις του. Με την πάροδο του χρόνου το ARPANET εξελίχθηκε στο Internet (Διαδίκτυο), μια συλλογή από συνδεδεμένα

δίκτυα που χρησιμοποιούνται σήμερα από εκατομμύρια ανθρώπους (Stallings,2011 & Tanenbaum, 2003).

## 1.2 Βασικά συστατικά στοιχεία ενός δικτύου

Τα δομικά στοιχεία ενός δικτύου υπολογιστών είναι τα ακόλουθα (εικόνα 1):

- **Κόμβοι επικοινωνίας:** ηλεκτρονικά συστήματα που διαθέτουν τουλάχιστον επεξεργαστή και μνήμη, π.χ. Η/Υ, δικτυακοί εκτυπωτές, επίγειοι δορυφορικοί σταθμοί αναμετάδοσης
- **Φυσικό μέσο μετάδοσης ή σύνδεσμος:** το μέσο μέσα από το οποίο θα περάσουν τα δεδομένα υπό μορφή σημάτων επικοινωνίας, π.χ. χάλκινα καλώδια, οπτικές ίνες, μικροκύματα
- **Διατάξεις σύνδεσης:** μονάδες υλικού που εξασφαλίζουν τη διασύνδεση των συσκευών και τη μεταφορά των πληροφοριών ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου, π.χ. hubs, switches, routers, bridges
- **Λογισμικό δικτύου:** το σύνολο των προγραμμάτων που εξασφαλίζουν τη σύνδεση και ελέγχουν την επικοινωνία των υπολογιστών του δικτύου, π.χ. Windows NT, Unix, Windows 2000 Server, Windows XP, Linux
- **Λογισμικό εφαρμογών δικτύου:** προγράμματα εφαρμογών που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες που τους προσφέρει ένα δίκτυο υπολογιστών, π.χ. Kerberos, HyperTerminal, Netscape, Firewall, (Κοκκινάκης,1994)



Εικόνα 1: Δομικά στοιχεία δικτύου υπολογιστών

## 1.3 Σκοπός χρήσης δικτύου

Δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς:

- Για τη **διευκόλυνση της επικοινωνίας**. Χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο, οι άνθρωποι μπορούν να επικοινωνούν αποτελεσματικά και εύκολα μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, να έχουν ανταλλαγή άμεσων μηνυμάτων (chat rooms), βίντεο τηλεφωνικές κλήσεις και video conferencing.
- Παρέχουν **κοινή χρήση υλικού**. Σε ένα δικτυωμένο περιβάλλον, κάθε υπολογιστής μπορεί να έχει πρόσβαση και χρήση του υλικού στο δίκτυο. Ας υποθέσουμε ότι πολλοί προσωπικοί υπολογιστές σε ένα δίκτυο απαιτούν τη χρήση ενός εκτυπωτή laser. Αν οι προσωπικοί υπολογιστές και ο εκτυπωτής συνδέονται με ένα δίκτυο, κάθε χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στον εκτυπωτή μέσω του δικτύου.
- Επιτρέπουν τη **κοινή χρήση λογισμικού**. Χρήστες που είναι συνδεδεμένοι σε ένα δίκτυο μπορούν να έχουν πρόσβαση στα προγράμματα εφαρμογής του δικτύου.
- Επιτρέπουν τη **διανομή των αρχείων, δεδομένων και πληροφοριών**. Σε ένα περιβάλλον δικτύου, κάθε

εξουσιοδοτημένος χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε δεδομένα και πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σε άλλους υπολογιστές του δικτύου. Η δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα και πληροφορίες σχετικά με κοινές συσκευές αποθήκευσης είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό πολλών δικτύων (Κοκκινάκης, 1994).

## 1.4 Ταξινόμηση Δικτύων

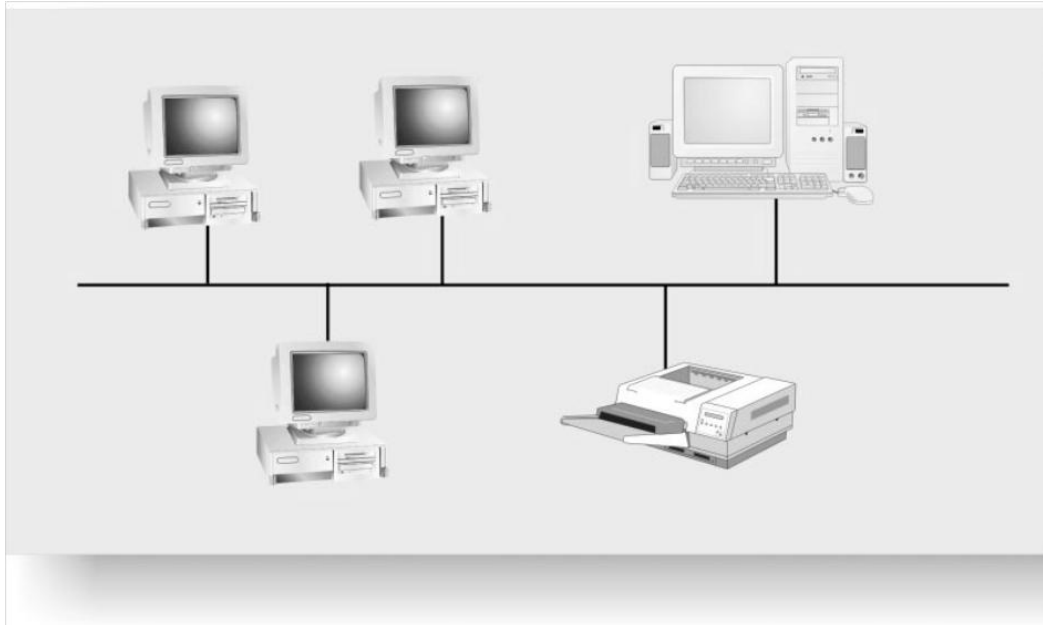
### 1.4.1 Ταξινόμηση ως προς την τοπολογία

Τοπολογία δικτύου χαρακτηρίζεται η φυσική διάταξη των καλωδίων που συνδέουν τους κόμβους του δικτύου. Οι πιο γνωστές τοπολογίες είναι οι εξής (Κοκκινάκης, 2004):

- **Διαύλου, λεωφόρου ή αρτηρίας (bus):** οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται μέσω ενός καλωδίου του οποίου τα άκρα είναι ανοιχτά. Όλοι οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται άμεσα, χωρίς τη μεσολάβηση άλλων διατάξεων σε μία κοινή γραμμή επικοινωνίας που λέγεται δίαυλος (bus). Τα πακέτα μεταδίδονται σε όλο το μήκος του φυσικού μέσου και μπορεί να παραληφθούν από όλους τους άλλους κόμβους. Κάθε κόμβος βλέπει το μήνυμα, ελέγχει τη διεύθυνση του παραλήπτη και αν τον αφορά το αντιγράφει. Επειδή οι κόμβοι βρίσκονται κοντά σε αυτόν που εκπέμπει, λαμβάνουν ισχυρότερο σήμα από αυτούς που βρίσκονται μακρύτερα, τίθεται περιορισμοί που αφορούν το υλικό του καλωδιακού μέσου, το μήκος του, τον αριθμό των συνδεδεμένων κόμβων και τα προσαρμοστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στις συνδέσεις, ώστε να μην αποδυναμώνεται η ισχύς των σημάτων. Τα δίκτυα διαύλου δεν παρουσιάζουν κατασκευαστική πολυπλοκότητα και μπορούν εύκολα να αναδιαταχτούν ή να επεκταθούν προσθέτοντας ή αφαιρώντας διατάξεις. Επίσης, βλάβη σε κάποιον κόμβο δεν επηρεάζει το δίκτυο, αφού αυτός μπορεί εύκολα να απομονωθεί. Η χρήση της τοπολογίας διαύλου είναι κατάλληλη για μικρά τοπικά δίκτυα, δηλαδή δίκτυα όπου ο αριθμός των κόμβων είναι μικρός και η κυκλοφορία μικρή. Τα δίκτυα διαύλου παρουσιάζουν χαμηλή



απόδοση σε κάθε ενέργεια που προκαλεί αύξηση της κυκλοφορίας. Και βασικό μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι ότι εάν το καλώδιο της αρτηρίας κοπεί σε κάποιο σημείο το δίκτυο δεν μπορεί να λειτουργήσει (εικόνα 2).



Εικόνα 2: Δίκτυο τοπολογίας διαύλου

- **Δακτυλίου (ring):** οι υπολογιστές του δικτύου συνδέονται επίσης μέσω ενός μόνο καλωδίου, τα άκρα του όμως είναι μεταξύ τους ενωμένα. Στην τοπολογία δακτυλίου το δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο διαδοχικών κόμβων με συνδέσεις σημείου προς σημείο, ώστε να σχηματίζεται ένας κλειστός βρόχος. Κάθε κόμβος συνδέεται στο δίκτυο διαμέσου μιας διάταξης που λέγεται αναμεταδότης. Η διάταξη αυτή έχει στόχο την ενίσχυση του σήματος και την αποστολή του στον κόμβο με τον οποίο είναι συνδεδεμένη. Οι συνδέσεις είναι μίας κατεύθυνσης, δηλαδή η ροή των πληροφοριών έχει την ίδια πάντα φορά επάνω στο δίκτυο (είτε αυτήν των δεικτών του ρολογιού είτε την αντίστροφη). Τα πακέτα μεταδίδονται από κόμβο σε κόμβο χωρίς ιδιαίτερη καθυστέρηση και χωρίς επιβάρυνση του δικτύου με πληροφορίες δρομολόγησης, όπως η διεύθυνση του παραλήπτη. Κάθε κόμβος που βλέπει το μήνυμα ελέγχει τη διεύθυνση του παραλήπτη και αν τον αφορά το αντιγράφει. Από τη στιγμή που πολλοί κόμβοι μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης απαιτείται έλεγχος προκειμένου να καθοριστεί πότε κάθε σταθμός μπορεί να μεταδώσει πακέτα. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να είναι κεντρικός ή κατακεντρωμένος. Καταστροφή ενός

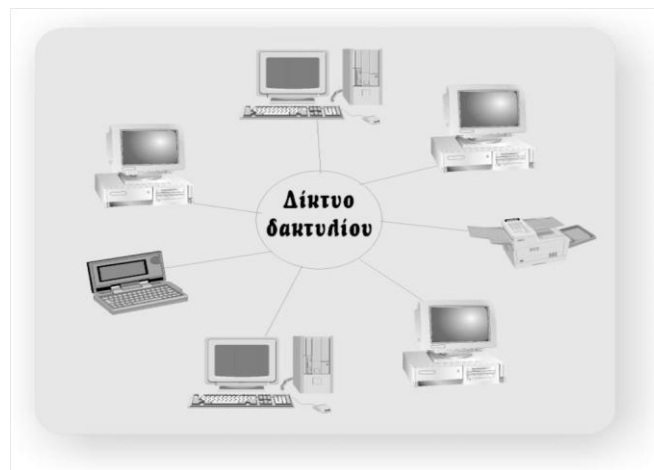
κόμβου δε σημαίνει απαραίτητα και διακοπή της κυκλοφορίας, αφού υπάρχουν μέθοδοι απομόνωσής τους. Η τοπολογία δακτυλίου (εικόνα 3) είναι καλή επιλογή όταν:

- απαιτείται ισοκατανομή της χωρητικότητας στους κόμβους του δικτύου
- υπάρχει σε μικρές αποστάσεις μικρός αριθμός κόμβων οι οποίοι απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης
- κάθε κόμβος πρέπει να μεταδώσει οπωσδήποτε πριν από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα

Τα δίκτυα δακτυλίου παρουσιάζουν:

- σημαντική μέση καθυστέρηση μετάδοσης, ακόμη και στην περίπτωση μικρών φορτίων κίνησης
- μη αναλογική με το φορτίο αύξηση της μέσης καθυστέρησης μετάδοσης
- σταθερή χρησιμοποίηση του καναλιού της μέσης καθυστέρησης μετάδοσης

Επέκταση της τοπολογίας του δακτυλίου αποτελεί ο διπλός δακτύλιος, με αντίθετες κατευθύνσεις μετάδοσης σε κάθε δακτύλιο που χρησιμοποιείται στα δίκτυα υψηλών επιδόσεων (Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003).



Εικόνα 3: Δίκτυο τοπολογίας δακτυλίου

- **Αστέρα (star):** σε αυτή την τοπολογία υπάρχει ένας κατακεντρωμένος ή κεντρικός υπολογιστής, ο οποίος συνδέεται με κάθε υπολογιστή του δικτύου απευθείας με μία μόνιμη γραμμή σύνδεσης. Δύο υπολογιστές ενός τέτοιου δικτύου συνδέονται

μόνο μέσω του κεντρικού υπολογιστή. Η τοπολογία αυτή έχει όλα τα χαρακτηριστικά της τοπολογίας διαύλου, επειδή η μετάδοση κάποιου κόμβου γνωστοποιείται σε όλους τους άλλους κόμβους και επειδή μόνο ένας κόμβος μπορεί να μεταδώσει επιτυχημένα κάθε χρονική στιγμή (εικόνα 4). Τα μηνύματα των κόμβων μεταδίδονται στον κεντρικό κόμβο, ο οποίος ενεργεί ανάλογα με τη μορφή ελέγχου που ασκείται. Υπάρχουν τρεις μορφές ελέγχου που μπορούν να υλοποιηθούν:

- Στην πρώτη περίπτωση ο κεντρικός κόμβος είναι υπεύθυνος για όλες τις διαδικασίες δρομολόγησης των μηνυμάτων. Τα μηνύματα που φθάνουν στον κεντρικό κόμβο υφίστανται επεξεργασία και αποστέλλονται σε κάποιον από τους κόμβους προκειμένου να σταλούν στον παραλήπτη.
- Στη δεύτερη περίπτωση ο έλεγχος ασκείται από κάποιον περιφερικό κόμβο, ενώ ο κεντρικός κόμβος λειτουργεί σαν διακόπτης μεταγωγής (επαναλήπτης), που εγκαθιστά συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, αποστέλλοντας τα μηνύματα σε όλους τους κόμβους.
- Στην τρίτη περίπτωση ο έλεγχος είναι ισοκατανεμημένος στους κόμβους, ενώ ο κεντρικός κόμβος είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση και την αποφυγή των συγκρούσεων (Κοκκινάκης,2004).

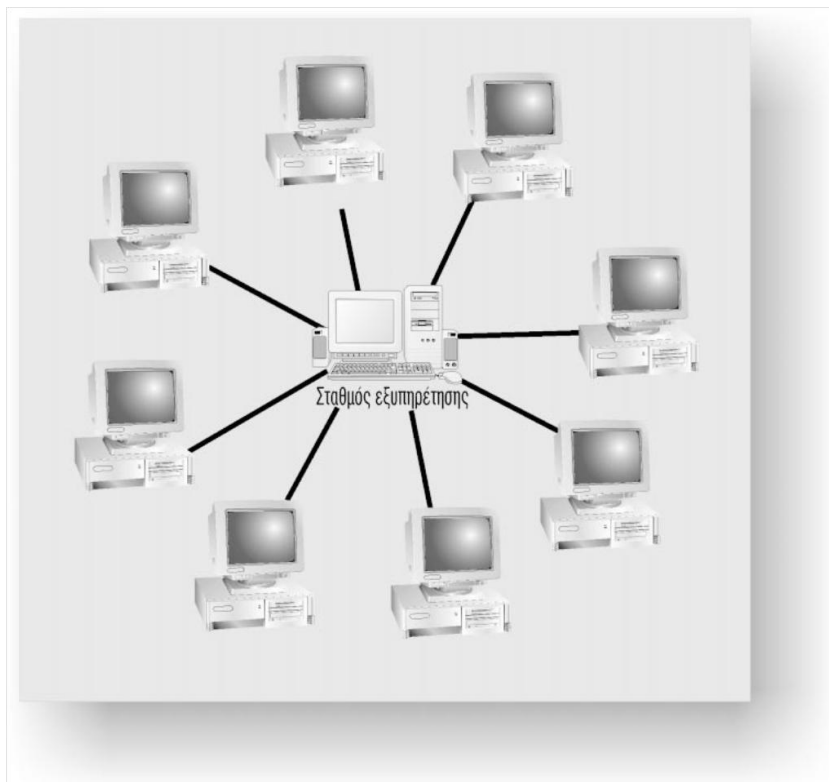
Η τοπολογία άστρου αποτελεί καλή επιλογή όταν:

- απαιτούνται ολοκληρωμένες υπηρεσίες φωνής-δεδομένων
- απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης

Η υλοποίηση των δικτύων άστρου είναι πολύπλοκη, αφού ορισμένοι κόμβοι μπορεί να είναι απλές περιφερειακές μονάδες και άλλοι να ασκούν έλεγχο. Σε περίπτωση κεντρικού ελέγχου ο κεντρικός κόμβος λειτουργεί παρόμοια με ένα ιδιωτικό κέντρο μεταγωγής, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στην τηλεφωνία. Πολλά χαρακτηριστικά του δικτύου εξαρτώνται από τις δυνατότητες του κεντρικού κόμβου. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η χωρητικότητα του δικτύου, η δυνατότητα επέκτασής του όσον αφορά τον αριθμό των κόμβων που μπορεί να υποστηρίξει, ο ρυθμός μεταφοράς των γραμμών επικοινωνίας, η αξιοπιστία του κτλ.

- Δέντρου (tree): έχει ιεραρχική δομή σχήματος δέντρου, η ρίζα έχει την κύρια ευθύνη και μοιράζεται ιεραρχικά τους κόμβους των κλάδων του δέντρου.
- Δικτυωτού (mesh): λέγεται και πλέγμα και δεν έχει κάποια συγκεκριμένη μορφή.
- Μεικτή (mixed): αποτελεί συνένωση πολλών διαφορετικών τοπολογιών.

Οι κόμβοι του δικτύου που συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές υψηλού ρυθμού μετάδοσης σχηματίζουν το λεγόμενο κορμό (backbone) του δικτύου, και οι κόμβοι αυτοί συχνά λειτουργούν ως πύλες (gateways) για δίκτυα χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης (Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003).

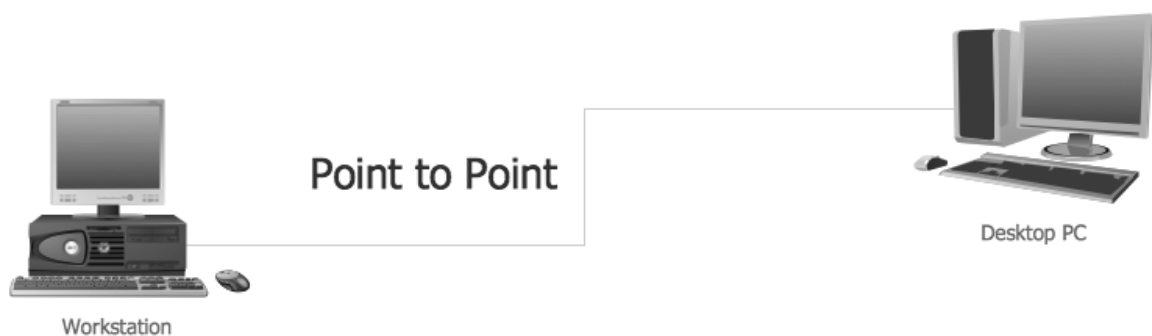


Εικόνα 4: Δίκτυο τοπολογίας αστέρα

## 1.4.2. Ταξινόμηση ως προς την τεχνολογία μετάδοσης των δεδομένων

Με κριτήριο το είδος της σύνδεσης τα δίκτυα διακρίνονται στις ακόλουθες δύο κατηγορίες:

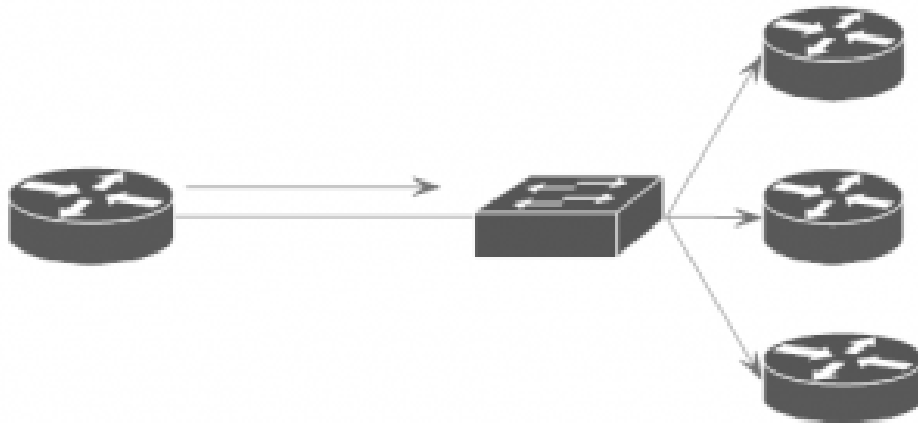
- **Δίκτυα σημείου προς σημείου (Point-to-Point Networks):** ο σύνδεσμος συνδέει δύο μόνο κόμβους κάθε φορά. Είναι η απλούστερη μορφή επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων που επιτυγχάνεται με απευθείας σύνδεσή τους με κάποια γραμμή επικοινωνίας. Όταν δύο κόμβοι δεν επικοινωνούν με απευθείας σύνδεση, επικοινωνούν μέσω άλλων κόμβων του δικτύου. Για αυτά τα δίκτυα υπάρχουν διάφορες τεχνικές δρομολόγησης. Γνωστά δίκτυα με συνδέσεις σημείου προς σημείου είναι το τηλεφωνικό δίκτυο, τα δίκτυα δεδομένων ευρείας περιοχής και το διαδίκτυο (εικόνα 5) (Κοκκινάκης,2004).



Εικόνα 5: Δίκτυα σημείου προς σημείου

- **Δίκτυα ανοικτής ακρόασης ή ευρείας εκπομπής (Broadcast Networks):** ο σύνδεσμος συνδέει δύο ή και περισσότερους κόμβους ταυτόχρονα. Τα δίκτυα ευρείας εκπομπής διαθέτουν ένα μόνο κανάλι επικοινωνίας, το οποίο μοιράζονται όλοι οι κόμβοι που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Κάθε μήνυμα που στέλνεται παραλαμβάνεται από όλους ανεξαιρέτως τους χρήστες που βρίσκονται στο δίκτυο και για αυτό είναι εφοδιασμένο με τη διεύθυνση του παραλήπτη. Γνωστά δίκτυα ευρείας εκπομπής είναι αυτά του ραδιοφώνου, της τηλεόραση και τοπικά δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών (εικόνα 6).

## Broadcast Network

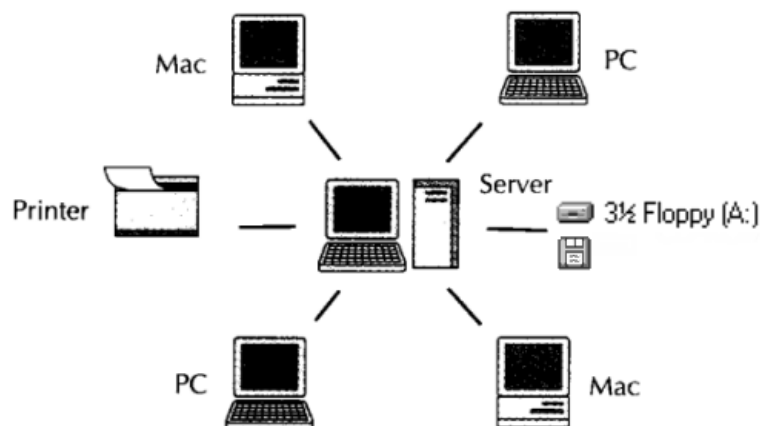


Εικόνα 6: Δίκτυα ανοικτής ακρόασης ή ευρείας εκπομπής

### 1.4.3. Ταξινόμηση ως προς τη γεωγραφική κάλυψη – κλίμακα

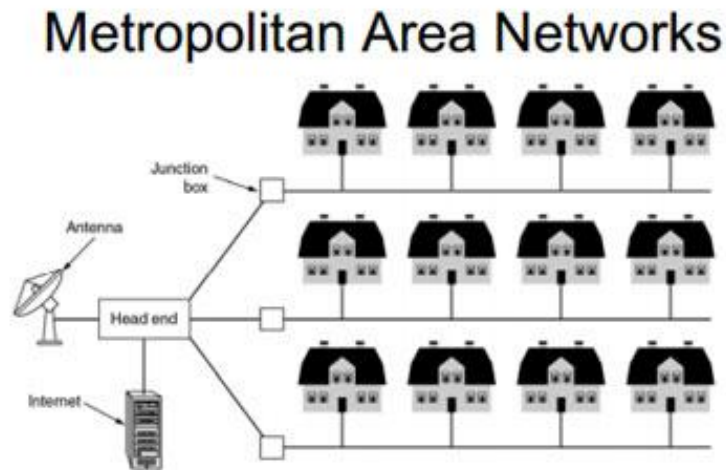
- **Τοπικά δίκτυα (LAN – Local Area Networks):** δίκτυα των οποίων η γεωγραφική κάλυψη είναι περιορισμένη. Ενσύρματα δίκτυα αυτής της κατηγορίας δεν εκτείνονται πέρα από τα 100Km και οι ρυθμοί μετάδοσης είναι μέχρι τα 2Gbps. Τοπικό δίκτυο είναι το δίκτυο ενός ή περισσότερων δωματίων, ενός κτιρίου ή και κοντινών κτιρίων. Τα κυριότερα πρότυπα τοπικών δικτύων είναι το Ethernet και το Token Ring (εικόνα 7).

#### Local Area Network (LAN)



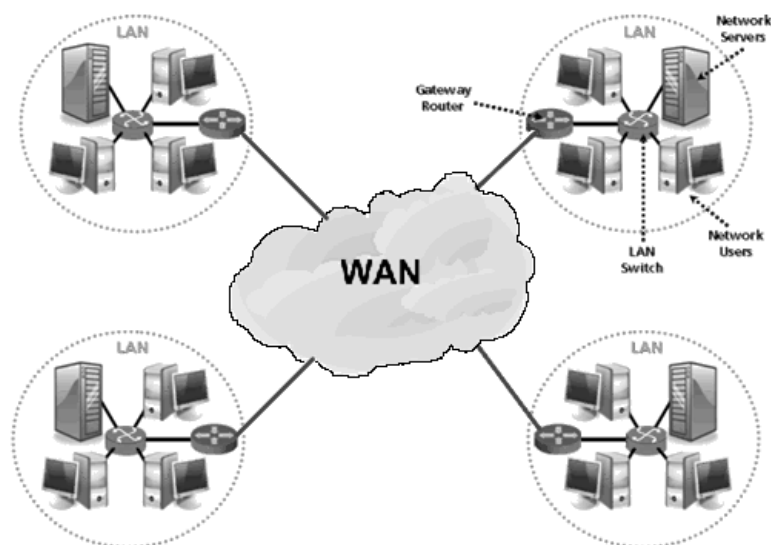
Εικόνα 7: Απεικόνιση LAN δικτύου

- **Μητροπολιτικά δίκτυα (MAN – Metropolitan Area Networks):**  
η κλίμακά τους είναι μεταξύ των τοπικών και των δικτύων ευρείας περιοχής και καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές αποστάσεις με χαρακτηριστικά τοπικών δικτύων. Ενσύρματα δίκτυα αυτής της κατηγορίας δεν υπερβαίνουν σε μήκος τα 200Km και οι ρυθμοί κυμαίνονται έως 100Mbps. Συνήθως πρόκειται για ιδιόκτητα δίκτυα (εικόνα 8).



Εικόνα 8: Απεικόνιση MAN δικτύου

- **Ευρείας Περιοχής δίκτυα (WAN – Wide Area Networks):**  
πρόκειται για υπεραστικά ή διεθνή δίκτυα, των οποίων οι ρυθμοί μετάδοσης πάνω από 622Mbps και φτάνουν και το 1Gbps (εικόνα 9).



Εικόνα 9: Απεικόνιση WAN δικτύου

## 1.5 Λογισμικό Δικτύων

### 1.5.1 Η έννοια του επιπέδου (layer) σε ένα δίκτυο

Ο σχεδιασμός των πρώτων δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών έγινε δίνοντας βάρος στο υλικό. Με την πάροδο του χρόνου και την αλματώδη εξέλιξη των επικοινωνιών τόσο ο σχεδιασμός όσο και η λειτουργία των δικτύων βασίστηκε περισσότερο στην ανάπτυξη λογισμικού δικτύων. Για να μειωθεί η πολυπλοκότητα και να βελτιωθεί η λειτουργία των δικτύων, το λογισμικό σχεδιάστηκε υπό μορφή επιπέδων ή στρωμάτων (layers), κάθε ένα από τα οποία δομείται επάνω στο άλλο. Ο αριθμός, η λειτουργία και το όνομα κάθε επιπέδου διαφέρουν από δίκτυο σε δίκτυο. Σκοπός ενός επιπέδου είναι να προσφέρει κάποιες υπηρεσίες στα επίπεδα που βρίσκονται επάνω από αυτό, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή και ασφαλής μετάδοση των πληροφοριών από υπολογιστή σε υπολογιστή. Σημειώνεται ότι κάθε επίπεδο δέχεται τις υπηρεσίες που του προσφέρουν τα κατώτερα από αυτό επίπεδα, χωρίς να αναγνωρίζει τον τρόπο με τον οποίο προσφέρονται αυτές οι υπηρεσίες (Stallings,2011).

### 1.5.2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Για να ανταλλάξουν δεδομένα δύο σταθμοί, εκτός από την ύπαρξη διαδρομής μεταξύ τους, είτε απευθείας είτε μέσω δικτύου επικοινωνιών, χρειάζεται να ακολουθήσουν επιπλέον κάποιες συγκεκριμένες διαδικασίες, οι οποίες βασίζονται σε ένα σύνολο κανόνων.

**Ορισμός:** Πρωτόκολλο επικοινωνίας (communication protocol) ή απλά πρωτόκολλο (protocol) είναι ένα σύνολο κανόνων ή παραδοχών που πρέπει να ακολουθήσουν δύο τουλάχιστον υπολογιστές προκειμένου να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας αποτελεί την κοινή γλώσσα (κοινό κώδικα) μεταξύ των σταθμών σε ένα δίκτυο (Κοκκινάκης,2004).



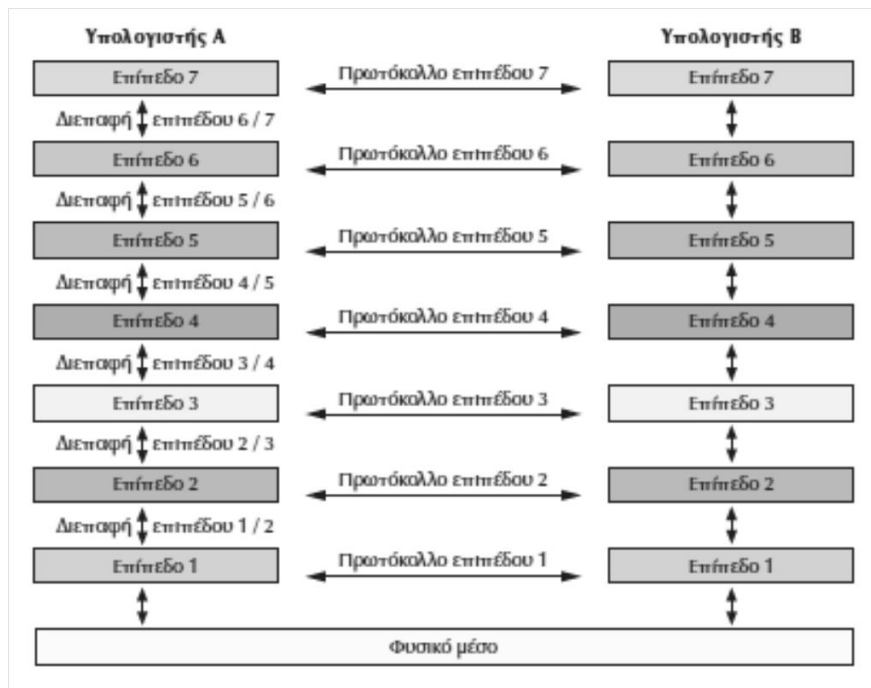
Κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας διαθέτει ένα σύνολο κανόνων οι οποίοι καθορίζουν ένα σύνολο βασικών λειτουργιών και κύρια σημεία τους είναι:

- Σύνταξη: περιλαμβάνει σημεία όπως η μορφή των δεδομένων και τα επίπεδα του σήματος
- Σημασιολογία: πληροφορίες ελέγχου για το χειρισμό των σφαλμάτων
- Συγχρονισμός: εναρμονισμός της ταχύτητας και της ακολουθίας των πακέτων

Μερικά παραδείγματα γνωστών πρωτοκόλλων είναι τα

- TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol): Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης και πρωτόκολλο Internet
- HTTP (Hyper Text Transfer Protocol): Πρωτόκολλο Μεταφοράς Υπερκειμένου

Τα δίκτυα οργανώνονται σε επίπεδα προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού τους. Έτσι, όταν λέμε ότι δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές επικοινωνούν, στην ουσία εννοούμε ότι αυτό επιτυγχάνεται λόγω της επικοινωνίας των αντίστοιχων επιπέδων τους. Δηλαδή, αν κάποιος δίκτυο έχει οργανωθεί σε η επίπεδα, τότε κάθε επίπεδο του ενός υπολογιστή επικοινωνεί με το αντίστοιχο επίπεδο του άλλου υπολογιστή, με κοινό σκοπό το προσφέρουν τις υπηρεσίες τους. Οι κανόνες που χρησιμοποιούνται για να λειτουργήσει αυτή η επικοινωνία μεταξύ των αντίστοιχων επιπέδων των δυο υπολογιστών, αποτελούν το πρωτόκολλο του συγκεκριμένου επιπέδου. Στην εικόνα 10 απεικονίζεται η σχέση μεταξύ επιπέδων και πρωτοκόλλων σε ένα δίκτυο του οποίου η επικοινωνία βασίζεται σε επτά επίπεδα (Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003).



Εικόνα 10: Απεικόνιση μεταξύ (επτά) επιπέδων και πρωτοκόλλων σε ένα δίκτυο

Ως πρωτόκολλο επικοινωνίας δηλαδή ορίζεται ένα σύνολο κανόνων συμφωνημένων και από τα δυο επικοινωνούντα μέρη και που εξυπηρετούν την μεταξύ τους ανταλλαγή πληροφοριών. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι δηλαδή μια δέσμη κανόνων στους οποίους στηρίζεται η επικοινωνία των συσκευών (συνήθως, αλλά όχι πάντα, υπολογιστών) σε ένα δίκτυο. Οι κανόνες αυτοί καθορίζουν τη μορφή, το χρόνο και τη σειρά μετάδοσης των πληροφοριών στο δίκτυο. Εκτελούν, επίσης, έλεγχο και διόρθωση σφαλμάτων στη διάρκεια μετάδοσης των πληροφοριών. Υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, τα οποία προκαλούν πολλές φορές σύγχυση στους χρήστες. Ευτυχώς σήμερα, παρόλο που δεν υπάρχει κάποιο που να είναι καθιερωμένο πρότυπο, με την εξάπλωση των Windows και του Διαδικτύου, τα πρωτόκολλα που είναι περισσότερο διαδεδομένα είναι το TCP/IP, το NETBEUI και το IPX/SPX (Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003).

# Κεφάλαιο 2ο

## Πρότυπα Αναφοράς Δικτύων

### 2.1 Μοντέλο OSI

#### 2.1.1 Ορισμός

Το μοντέλο είναι μια ιεραρχική δομή επτά επιπέδων που καθορίζει τις προδιαγραφές επικοινωνίας μεταξύ δύο υπολογιστών, ορίζοντας επακριβώς τον σκοπό κάθε επιπέδου αλλά και τα χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα, και τυποποιήθηκε ως πρότυπο ISO 7498-1. Θεωρήθηκε ότι θα επέτρεπε τη λειτουργική συνεργασία μεταξύ ποικίλων ψηφιακών συσκευών που ήταν διαθέσιμες στην αγορά. Το μοντέλο επιτρέπει σε όλα τα στοιχεία ενός δικτύου να συλλειτουργούν, με κάθε στοιχείο να υλοποιεί ένα ή περισσότερα πρωτόκολλα δικτύωσης, ανεξάρτητα από το ποιος είναι ο κατασκευαστής τους. Περί τα τέλη της δεκαετίας του 1980 ο ISO συνιστούσε την εφαρμογή του μοντέλου OSI ως κοινώς αποδεκτού υποδείγματος σχεδιασμού δικτύων (Κοκκινάκης, 2004).

Το μοντέλο Ανοικτής Διασύνδεσης Συστημάτων, ή μοντέλο αναφοράς OSI ( αγγλ. OSI reference model ) είναι μια διαστρωματωμένη, αφηρημένη περιγραφή για τη σχεδίαση τηλεπικοινωνιακών και δικτυακών πρωτοκόλλων. Αρχικά διατυπώθηκε, στο τέλος της δεκαετίας του '70, από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Organization for Standardization, ISO). Ουσιαστικά ήταν μια σειρά από οδηγίες για

την αρχιτεκτονική δικτύων. Οι οδηγίες αυτές συνέθεσαν το μοντέλο αναφοράς για τη Διασύνδεση Ανοιχτών Συστημάτων (Open Systems Interconnection, OSI. Είναι γνωστό και ως μοντέλο των επτά επιπέδων (Tanenbaum, 2003).

## 2.1.2 Σκοπός

Το **μοντέλο OSI** υποδιαιρεί τις λειτουργίες ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου σε μια «κατακόρυφη» στοίβα από επίπεδα, για το καθένα από τα οποία μπορεί να οριστεί κάποιο πρωτόκολλο σε μία συγκεκριμένη υλοποίηση. Κάθε επίπεδο αξιοποιεί τις λειτουργίες του κατώτερου του στη στοίβα επιπέδου, ενώ στόχος του είναι να παρέχει λειτουργικότητα στο αμέσως ανώτερο επίπεδό του. Μία συγκεκριμένη υλοποίηση του μοντέλου, με καθορισμένα πρωτόκολλα για κάθε επίπεδο, ονομάζεται στοίβα πρωτοκόλλων ή απλά στοίβα.

Το βασικό χαρακτηριστικό του είναι η διασύνδεση μεταξύ των επιπέδων, (Kritzinger, 1986) η οποία υπαγορεύει τις προδιαγραφές της αλληλεπίδρασής τους. Αυτό σημαίνει ότι ένα επίπεδο υλοποιημένο με κάποιο συγκεκριμένο πρωτόκολλο μπορεί να συνεργαστεί με το γειτονικό του στη στοίβα επίπεδο, το οποίο υλοποιείται με κάποιο άλλο πρωτόκολλο, υπό την προϋπόθεση ότι οι προδιαγραφές του καθενός έχουν δημοσιευθεί και έχουν γίνει αντιληπτές σωστά.

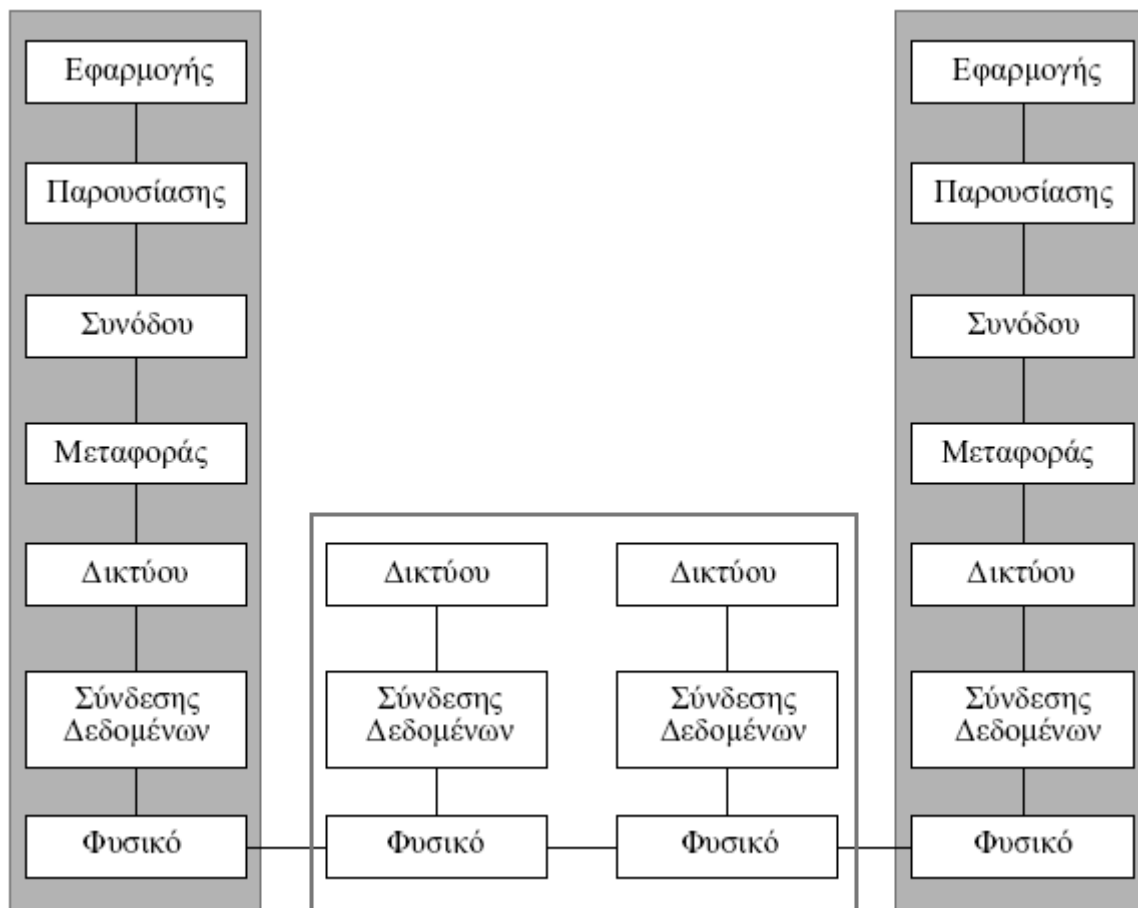
Συνήθως τα επίπεδα είναι αυστηρά διαχωρισμένα μεταξύ τους, αξιοποιούν τις υπηρεσίες του κατώτερου επιπέδου τους και προσφέρουν υπηρεσίες στο ανώτερό τους, αλλά το καθένα δεν παρεμβαίνει στις λειτουργίες του άλλου· πιθανόν να μη γνωρίζει καν γι' αυτές. Αυτός ο λογικός διαχωρισμός των επιπέδων διευκολύνει πολύ τη μελέτη της συμπεριφοράς των πρωτοκόλλων και επιτρέπει τη σχεδίαση πολύπλοκων και αξιόπιστων στοιβών πρωτοκόλλων. Το μοντέλο χρησιμοποιεί επτά επίπεδα (φυσικό, σύνδεσης δεδομένων, δικτύου, μεταφοράς, συνόδου, παρουσίασης, εφαρμογής) (Κοκκινάκης, 2004).

Το μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (OSI) αναπτύχθηκε από το διεθνή οργανισμό τυποποίησης ISO και

ονομάστηκε έτσι, γιατί αποτέλεσε τη βάση αναφορών και το πλαίσιο καθορισμού των προτύπων διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων. Στόχος της ανάπτυξης αυτού του μοντέλου ήταν η δυνατότητα επικοινωνίας των συστημάτων που προέρχονταν από διαφορετικούς κατασκευαστές και η υποστήριξη εφαρμογών κατανομημένης επεξεργασίας, ανεξάρτητα από το χρησιμοποιούμενο υλικό και λογισμικό. Το μοντέλο αναφοράς OSI αποτελείται από επτά ανεξάρτητα μεταξύ τους επίπεδα ή στρώματα, καθένα από τα οποία υλοποιεί ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Το μοντέλο αναφοράς OSI ακολουθεί την αρχιτεκτονική των στρωμάτων ή επιπέδων (layered architecture), σύμφωνα με την οποία οι λειτουργίες του ανοικτού συστήματος στο οποίο αναφέρεται διαμοιράζονται σε ένα σύνολο κατακόρυφα διαρθρωμένων επιπέδων. Κάθε επίπεδο χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του αμέσως χαμηλότερου επιπέδου, ενώ παρέχει υπηρεσίες στο αμέσως υψηλότερο από αυτό επίπεδο. Ο αριθμός των επιπέδων είναι τέτοιος, ώστε η αρχιτεκτονική να παραμένει απλή και διακριτές λειτουργίες να τοποθετούνται σε διαφορετικό επίπεδο. Το σύνολο των επιπέδων που υλοποιούνται στο μοντέλο αναφοράς OSI, αρχίζοντας από το χαμηλότερο (επίπεδο 1) και προχωρώντας προς το υψηλότερο (επίπεδο 7), είναι το ακόλουθο:

1. **Επίπεδο 1 ή φυσικό επίπεδο:** Αναλαμβάνει τη μεταφορά των σημάτων στο μέσο μετάδοσης. Το επίπεδο αυτό καθορίζει τις λειτουργίες του μέσου μετάδοσης.
2. **Επίπεδο 2 ή επίπεδο γραμμής δεδομένων:** Αναλαμβάνει την προσαρμογή και τη μεταφορά των δεδομένων στο κανάλι μετάδοσης. Παραδίδει τα δεδομένα στο επίπεδο 1 (φυσικό επίπεδο) προκειμένου να μεταδοθούν.
3. **Επίπεδο 3 ή επίπεδο δικτύου:** Είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες δρομολόγησης και διευθυνσιοδότησης.
4. **Επίπεδο 4 ή επίπεδο μεταφοράς:** Αναλαμβάνει, χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες των χαμηλότερων επιπέδων, τη μεταφορά δεδομένων απ' άκρη σ' άκρη στο δίκτυο.
5. **Επίπεδο 5 ή επίπεδο συνόδου:** Ελέγχει τη δημιουργία και τον τερματισμό των συνδέσεων του επιπέδου 4 (επιπέδου μεταφοράς).

6. **Επίπεδο 6 ή επίπεδο παρουσίασης:** Αναλαμβάνει τη μορφοποίηση και την κωδικοποίηση των δεδομένων.
7. **Επίπεδο 7 ή επίπεδο εφαρμογής:** Πρόκειται για την εφαρμογή που εμφανίζεται στο χρήστη (το πρόγραμμα που χρησιμοποιεί) (Tanenbaum, 2003).



Εικόνα 11: Μοντέλο αναφοράς OSI

## 2.1.3 Ανάλυση επιπέδων OSI

### 2.1.3.1 Φυσικό επίπεδο

Το φυσικό επίπεδο είναι το πρώτο επίπεδο του μοντέλου και είναι υπεύθυνο για τη μετατροπή των δυαδικών ψηφίων που παραλαμβάνονται από το δέκτη σε σήμα κατάλληλο για μετάδοση από το μέσο επικοινωνίας, τη μετάδοσή τους και την επαναφορά

τους σε δυαδική μορφή. Είναι το επίπεδο που είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των bits μέσα από το τηλεπικοινωνιακό κανάλι, το οποίο μπορεί να είναι ένα ομοαξονικό καλώδιο, μία οπτική ίνα ή και ασύρματη ζεύξη. Το φυσικό επίπεδο ορίζει τις στάθμες οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση των δυαδικών ψηφίων μέσα από το κανάλι, καθώς και τον τρόπο κωδικοποίησης της πληροφορίας. Αναλαμβάνει τον καθορισμό των ηλεκτρικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της σύνδεσης του σταθμού με το μέσο μετάδοσης, π.χ. αν χρησιμοποιείται καλώδιο ως μέσο μετάδοσης οι προδιαγραφές του φυσικού επιπέδου καθορίζουν πόσους ακροδέκτες έχει ο συνδετήρας, το ρόλο του κάθε ακροδέκτη, κλπ. Το φυσικό επίπεδο επικοινωνεί μόνο με το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων και έχει την υποχρέωση να του παρέχει μία σειρά δυαδικών ψηφίων χωρίς να ελέγχει την ορθότητά τους. Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το φυσικό επίπεδο είναι:

- ενεργοποιεί τη φυσική σύνδεση
- απενεργοποιεί τη φυσική σύνδεση
- μεταφέρει τα δεδομένα σε μορφή δυαδικού ψηφίου
- επισημαίνει τα σφάλματα στη μετάδοση

Το φυσικό επίπεδο (physical layer) ασχολείται με τη μετάδοση “ακατέργαστων” bit σε ένα κανάλι επικοινωνίας. Τα θέματα σχεδίασης ασχολούνται με τη διασφάλιση της σωστής λήψης των μεταδιδόμενων bits. Δηλαδή ενδιαφερόμαστε για μηχανικές, ηλεκτρικές συνδέσεις και διαδικαστικές διασυνδέσεις καθώς και για το φυσικό μέσο μετάδοσης το οποίο βρίσκεται από κάτω. Το φυσικό μέσο μετάδοσης παρουσιάζει ατέλειες που οδηγούν σε σφάλματα (π.χ. αλλαγές τιμών ή απώλειες), με αποτέλεσμα να απαιτούνται μέθοδοι διασφάλισης της ορθής λήψης της πληροφορίας (Tanenbaum, 2003).

### **2.1.3.2. Επίπεδο σύνδεσης δεδομένων**

Η κύρια αποστολή του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων (data link layer) είναι ο μετασχηματισμός του ακατέργαστου μέσου

μετάδοσης σε μια γραμμή που εμφανίζεται ελεύθερη από σφάλματα μετάδοσης στο επίπεδο δικτύου. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται με την διάσπαση των δεδομένων (πακέτων) εισόδου του αποστολέα σε πλαίσια δεδομένων (data frames, με μέγεθος συνήθως μερικές εκατοντάδες ή χιλιάδες bit), μετάδοση αυτών με τη σειρά και επεξεργασία των πλαισίων επιβεβαίωσης λήψης (acknowledgement frames), που επιστρέφονται από τον δέκτη. Εφ' όσον το φυσικό επίπεδο απλώς αποδέχεται και μεταδίδει ένα συρμό από bits χωρίς να νοιάζεται για το νόημα και τη δομή του, η δημιουργία και η αναγνώριση των ορίων των πλαισίων εξαρτάται πλέον από το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί με την επισύναψη ειδικών ακολουθιών bit στην αρχή και στο τέλος των πλαισίων. Εάν αυτές οι ακολουθίες μπορούν κατά σύμπτωση να παρουσιαστούν στα δεδομένα, πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα για να αποφευχθεί η σύγχυση (Kritzinger, 1986).

Η εμφάνιση θορύβου στη γραμμή μπορεί να καταστρέψει ολοκληρωτικά το πλαίσιο. Στην περίπτωση αυτή το λογισμικό του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων του πομπού πρέπει να επαναμεταδώσει το πλαίσιο. Ωστόσο οι πολλαπλές μεταδόσεις του ίδιου πλαισίου δημιουργούν τη δυνατότητα ύπαρξης αντιγράφων πλαισίων. Ένα αντίγραφο πλαισίου, θα μπορούσε για παράδειγμα, να σταλεί, εάν καταστραφεί ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης λήψης που επιστρέφει ο δέκτης στον πομπό. Από αυτό το επίπεδο εξαρτάται η λύση των προβλημάτων που δημιουργούνται από καταστροφές, απώλειες και αντίγραφα πλαισίων. Το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων μπορεί να προσφέρει πολλές διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσιών στο επίπεδο δικτύου (Κοκκινάκης, 2004).

Ένα άλλο θέμα που εμφανίζεται στο επίπεδο αυτό (και στα υψηλότερα επίπεδα) είναι η ανάγκη συγκράτησης του πομπού, ώστε ένας αργός δέκτης να μην πλημμυρίζει από δεδομένα. Αυτή η διαδικασία καλείται επίσημα έλεγχος ροής. Πρέπει να εφαρμοστεί ένας ρυθμιστικός μηχανισμός ανάδρασης για να μπορεί ο πομπός να γνωρίζει αν ο δέκτης έχει χώρο στην ενδιάμεση μνήμη (buffer) του.

Η χρήση της γραμμής για αμφίδρομη μετάδοση δεδομένων, δημιουργεί ένα νέο πρόβλημα με το οποίο πρέπει να ασχοληθεί το



λογισμικό του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων. Το πρόβλημα είναι ότι τα πλαίσια επιβεβαίωσης λήψης για την κυκλοφορία από το μηχανή A στη μηχανή B ανταγωνίζονται με τα πλαίσια δεδομένων της κίνησης από τη μηχανή B στη μηχανή A, για το ποιος θα χρησιμοποιήσει τη γραμμή. Μια έξυπνη κίνηση είναι η εμβόλιμη επιβεβαίωση λήψης (piggyback acknowledgement) κατά την οποία η επιβεβαίωση λήψης έχει ενσωματωθεί σε ένα πλαίσιο μετάδοσης δεδομένων που μεταδίδεται με τη φορά μετάδοσης της επιβεβαίωσης (B-A).

Το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων είναι υπεύθυνο για τη διόρθωση των σφαλμάτων των δεδομένων και πρέπει να παραδίδει στο φυσικό επίπεδο μία σειρά από δυαδικά ψηφία χωρίς σφάλματα. Φροντίζει να επιβεβαιώνει ότι τα δεδομένα πράγματι παραλήφθηκαν από την άλλη πλευρά, το οποίο γίνεται με τα πλαίσια επιβεβαίωσης λήψης που στέλνονται από τον δέκτη. Είναι υποχρέωση του επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων να καθορίζει τα όρια των πλαισίων που στέλνει και να αναγνωρίζει τα όρια των πλαισίων που δέχεται. Στόχος του επιπέδου αυτού είναι να κάνει αξιόπιστη τη φυσική γραμμή σύνδεσης και από τα πακέτα του επιπέδου δικτύου να φτιάχνει πλαίσια δεδομένων, ορίζοντας που αυτά αρχίζουν και τελειώνουν προσθέτοντας τις κατάλληλες επικεφαλίδες και ουρές, να ανιχνεύει τα σφάλματα μετάδοσης, να επιδιορθώνει τα αλλοιωμένα δεδομένα ή να ζητά την επανεκπομπή τους. Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο γραμμής δεδομένων είναι:

- Αποκαθιστά και ελευθερώνει τη ζεύξη των δεδομένων
- Μεταφέρει δεδομένα
- Αριθμεί και συγχρονίζει τα πλαίσια που διοχετεύονται στο φυσικό επίπεδο
- Ανιχνεύει και διορθώνει τα σφάλματα των πλαισίων
- Ελέγχει τη ροή των πλαισίων ( Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003).

### 2.1.3.3. Επίπεδο δικτύου

Το επίπεδο δικτύου (network layer) ασχολείται με τον έλεγχο της λειτουργίας του υποδικτύου. Ένα βασικό θέμα της σχεδίασης είναι ο καθορισμός του τρόπου δρομολόγησης των πακέτων από την αφετηρία στον προορισμό τους. Οι διαδρομές θα μπορούσαν να βασιστούν σε στατικούς πίνακες, οι οποίοι θα ήταν καλωδιωμένοι (wired into) και σπάνια θα τροποποιούνταν. Θα μπορούσαν επίσης να οριστούν στην αρχή κάθε συνομιλίας, για παράδειγμα ενός συνόλου τερματικών. Τέλος, πρέπει να είναι πολύ δυναμικές και να μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ώστε να απεικονίζουν το τρέχον φορτίο του δικτύου.

Εάν στα υποδίκτυα μεταδίδονται πολλά πακέτα την ίδια χρονική στιγμή, θα εμπλακεί το ένα στη διαδρομή του άλλου δημιουργώντας συμφόρηση (congestion). Ο έλεγχος μιας τέτοιας συμφόρησης ανήκει επίσης στις αρμοδιότητες του επιπέδου αυτού. Στο επίπεδο δικτύου υπάρχει και μια λειτουργία χρέωσης. Στο τέλος μιας σύνδεσης, το λογισμικό πρέπει να υπολογίζει πόσα πακέτα, χαρακτήρες ή bits στάλθηκαν από κάθε πελάτη για την έκδοση των λογαριασμών. Όταν ένα πακέτο διασχίσει τα εθνικά σύνορα και δεδομένων των διαφορετικών τιμών που υπάρχουν σε κάθε πλευρά, η διαδικασία χρέωσης μπορεί να γίνει πολύπλοκη. Όταν το πακέτο πρέπει να μεταδοθεί από ένα δίκτυο σε ένα άλλο για να φθάσει στον προορισμό του, εμφανίζονται πολλά προβλήματα. Η διευθυνσιοδότηση που χρησιμοποιείται από το δεύτερο δίκτυο μπορεί να είναι διαφορετική. Το δεύτερο μπορεί να μη δέχεται καθόλου το πακέτο διότι ίσως είναι πολύ μεγάλο. Τα πρωτόκολλα των δύο δικτύων μπορεί να διαφέρουν. Το επίπεδο δικτύου πρέπει να υπερπηδήσει όλα αυτά τα προβλήματα και να επιτρέψει την διασύνδεση ετερογενών δικτύων (διαδικτύωση).

Το επίπεδο δικτύου ασχολείται με τη μεταφορά των πακέτων από τον πομπό προς το δέκτη, διαδικασία η οποία απαιτεί τη δρομολόγηση των πακέτων από ενδιάμεσους κόμβους, καθώς επίσης την απαρίθμηση και ταξινόμησή τους. Είναι επίσης υπεύθυνο για τον έλεγχο της συμφόρησης στο δίκτυο και μερικές φορές για τη χρέωση των πελατών που χρησιμοποιούν το υποδίκτυο. Τέλος, το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για τη λύση

των προβλημάτων που δημιουργούνται, όταν ετερογενή δίκτυα προσπαθούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Επομένως οι βασικές λειτουργίες του επιπέδου δικτύου είναι (Kritzinger, 1986):

- η διευθυνσιοδότηση (ένας τρόπος αντιστοίχισης μίας μοναδικής διεύθυνσης σε καθέναν υπολογιστή που συμμετέχει στο δίκτυο)
- η δρομολόγηση των δεδομένων
- η οργάνωσή τους σε πακέτα
- η απαρίθμηση
- η ταξινόμησή τους

Για να επιτελέσει τις παραπάνω λειτουργίες, το επίπεδο αυτό πρέπει να γνωρίζει την τοπολογία του δικτύου και να επιλέγει τις κατάλληλες διαδρομές. Όταν ο πομπός και ο δέκτης ανήκουν σε διαφορετικά δίκτυα, είναι αρμοδιότητα του επιπέδου δικτύου να μεσολαβήσει για την ορθή μετάδοση των πακέτων και να κάνει τη διασύνδεση μεταξύ των διαφορετικών δικτύων. Τέλος, το επίπεδο δικτύου ασχολείται και με τον έλεγχο της συμφόρησης, όπου προκύπτει το πρόβλημα όταν σε έναν υπολογιστή (κόμβο) φτάνουν περισσότερα πακέτα από αυτά που μπορεί να δεχτεί. Ένας τρόπος επίλυσης του προβλήματος είναι ο έλεγχος της κυκλοφορίας των δεδομένων σε κάθε υπολογιστή και η απαγόρευση μεταβίβασης τους σε άλλον υπολογιστή, όταν αυτός δεν μπορεί να τα δεχτεί και να τα επεξεργαστεί. Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο δικτύου είναι (Κοκκινάκης, 2004):

- Αποκαθιστά και τερματίζει τις συνδέσεις μεταξύ διάφορων ηλεκτρονικών υπολογιστών συνδεδεμένων στο δίκτυο
- Προσδιορίζει, με τη χρήση του συστήματος διευθυνσιοδότησης, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές που επιθυμούν να επικοινωνήσουν.
- Μεταφέρει τα δεδομένα σε μορφή πακέτων ή μηνυμάτων.
- Ελέγχει για σφάλματα.
- Ελέγχει τη ροή των δεδομένων.

### 2.1.3.4. Επίπεδο μεταφοράς

Η βασική λειτουργία του επιπέδου μεταφοράς (transport layer) είναι η αποδοχή δεδομένων από το επίπεδο συνόδου, διάσπαση αυτών σε μικρότερες μονάδες αν απαιτείται, η μεταφορά τους στο επίπεδο δικτύου και η διασφάλιση ότι όλα τα τμήματα φθάνουν σωστά στην άλλη πλευρά. Επιπλέον όλα αυτά πρέπει να γίνουν αποδοτικά και με τέτοιο τρόπο, που να απομονώνουν το επίπεδο συνόδου από τις αναπόφευκτες αλλαγές στην τεχνολογία του υλικού.

Υπό κανονικές συνθήκες, το επίπεδο μεταφοράς δημιουργεί μια ξεχωριστή σύνδεση δικτύου, για κάθε σύνδεση μεταφοράς που απαιτείται από το επίπεδο συνόδου. Εάν, ωστόσο, η σύνδεση μεταφοράς απαιτεί υψηλό ρυθμό εξυπηρέτησης (throughput), το επίπεδο μεταφοράς μπορεί να δημιουργήσει πολλαπλές συνδέσεις δικτύου μοιράζοντας τα δεδομένα ανάμεσα στις συνδέσεις του δικτύου για να μεγαλώσει τον βαθμό εξυπηρέτησης. Από την άλλη πλευρά εάν η δημιουργία ή η συντήρηση μιας σύνδεσης δικτύου είναι ακριβή, το επίπεδο μεταφοράς μπορεί να πολυπλέκει πολλές συνδέσεις μεταφοράς στην ίδια σύνδεση δικτύου για να ελαττώσει το κόστος. Σε όλες τις περιπτώσεις το επίπεδο αυτό είναι απαραίτητο, για να κάνει την πολυπλεξία “διαφανή” (δηλ. ανεπαίσθητη) στο επίπεδο συνόδου.

Το επίπεδο μεταφοράς καθορίζει επίσης το είδος των υπηρεσιών που θα παρέχει το επίπεδο συνόδου. Ο πιο γνωστός τύπος σύνδεσης μεταφοράς είναι ένα αλάνθαστο κανάλι από σημείο σε σημείο (point-to-point), το οποίο παραδίδει μηνύματα με τη σειρά που έχουν σταλεί. Ωστόσο άλλα πιθανά είδη υπηρεσιών μεταφοράς είναι η μεταφορά απομονωμένων μηνυμάτων χωρίς εγγυήσεις σχετικά με τη σειρά παράδοσης και η εκπομπή μηνυμάτων σε πολλούς αποδέκτες. Ο τύπος της υπηρεσίας καθορίζεται με την εγκατάσταση της σύνδεσης.

Το επίπεδο μεταφοράς ενδιαφέρεται για την επικοινωνία από την αφετηρία στον προορισμό ή από άκρο σε άκρο (end-to-end), σε αντίθεση με το επίπεδο Σύνδεσης δεδομένων (που ενδιαφέρεται για την επικοινωνία μεταξύ δύο γειτονικών κόμβων). Με άλλα λόγια, ένα πρόγραμμα του ΗΥ-πομπού συνομιλεί με ένα παρόμοιο

πρόγραμμα του ΗΥ-δέκτη, χρησιμοποιώντας τις επικεφαλίδες του μηνύματος και τα μηνύματα ελέγχου. Στα κατώτερα επίπεδα, τα πρωτόκολλα ρυθμίζουν την συνομιλία διεργασιών μεταξύ γειτονικών ΗΥ, και όχι μεταξύ των τελικών ΗΥ αφετηρίας και προορισμού, ανάμεσα στους οποίους μπορεί να παρεμβάλλονται πολλοί κόμβοι.

Πολλοί κόμβοι πολυπρογραμματίζονται, πράγμα που σημαίνει ότι κάθε κόμβος θα έχει πολλαπλές εισερχόμενες και εξερχόμενες συνδέσεις. Εκεί δημιουργείται η ανάγκη ύπαρξης κάποιας θέσης, η οποία θα δηλώνει τα μηνύματα που ανήκουν σε κάθε σύνδεση. Η επικεφαλίδα μεταφοράς είναι μια θέση που μπορεί να τοποθετηθεί η πληροφορία αυτή (Kritzinger, 1986).

Πέραν της πολύπλεξης πολλών συρμών μηνυμάτων σε ένα κανάλι, το επίπεδο μεταφοράς πρέπει να φροντίζει για την εγκατάσταση και διαγραφή των συνδέσεων μέσω του δικτύου. Αυτό απαιτεί κάποιο είδος μηχανισμού για καθορισμό ονομάτων, έτσι ώστε η διεργασία ενός μηχανήματος να διαθέτει ένα τρόπο για να ορίζει με ποιον θέλει να επικοινωνήσει. Πρέπει επίσης να υπάρχει ένας μηχανισμός ρύθμισης της ροής των πληροφοριών, έτσι ώστε ένας γρήγορος κόμβος να μην υπερφορτώνει έναν αργό (Κοκκινάκης, 2004).

Η βασική λειτουργία του επιπέδου μεταφοράς είναι η παραλαβή των δεδομένων από το αμέσως υψηλότερο επίπεδο (το επίπεδο συνόδου), ο τεμαχισμός τους (αν χρειαστεί σε μικρότερες μονάδες, η παράδοσή τους στο αμέσως χαμηλότερο επίπεδο (το επίπεδο δικτύου) και η διασφάλιση ότι όλες οι μονάδες θα φτάσουν σωστά στην άλλη πλευρά. Όλα αυτά πρέπει να γίνονται έτσι ώστε να μην επηρεάζεται το επίπεδο συνόδου από τις αλλαγές της τεχνολογίας υλικού. Το επίπεδο μεταφοράς είναι αυτό που συνδέει τα χαμηλότερα επίπεδα, τα οποία

υλοποιούνται μέσω του υλικού, με τα υψηλότερα επίπεδα, τα οποία υλοποιούνται κυρίως μέσω του λογισμικού. Επομένως το επίπεδο μεταφοράς, αποτελεί το σύνορο μεταξύ των τριών χαμηλότερων και των τριών υψηλότερων επιπέδων και έχει ως σκοπό να παρέχει μια ομοιογενή διασύνδεση επικοινωνίας στο επίπεδο συνόδου, ανεξάρτητα από την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών από το επίπεδο δικτύου. Γενικά το επίπεδο μεταφοράς είναι υπεύθυνο για τη συνολικά επιτυχημένα και χωρίς λάθη μετάδοση δεδομένων. Παρ' ότι το επίπεδο δικτύου ελέγχει τη μεταφορά των πληροφοριών από

κόμβο σε κόμβο, το επίπεδο μεταφοράς είναι αυτό που εξασφαλίζει την αξιοπιστία της μετάδοσης και την αποφυγή δυσμενών καταστάσεων, όπως είναι η δημιουργία σφαλμάτων σε ενδιάμεσους κόμβους της γραμμής επικοινωνίας. Για να επιτευχθεί η καλύτερη αξιοποίηση του δικτύου και για να εξασφαλιστεί η ποιότητα των υπηρεσιών που το επίπεδο συνόδου μπορεί να ζητηθεί από το επίπεδο μεταφοράς, επιτελούνται διάφορες λειτουργίες σ' αυτό το επίπεδο, όπως είναι ο κατακερματισμός και η επανασυγκόλληση των δεδομένων. Το επίπεδο μεταφοράς επιτελεί επίσης εκείνες τις λειτουργίες οι οποίες συμβάλλουν:

- στη σωστή λήψη των πακέτων, ακόμη και αν έχει συμβεί κάποιο προσωρινό λάθος, κάτι που διορθώνεται με αναμετάδοση του λανθασμένου πακέτου
- στον έλεγχο ροής των δεδομένων από τον αποστολέα προς τον παραλήπτη, η οποία σταματά ή περιορίζεται με ενέργειες του δέκτη
- στον έλεγχο ακολουθίας των πακέτων.

Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο μεταφοράς είναι:

- αποκαθιστά και τερματίζει τη σύνδεση στο επίπεδό του
- μεταδίδει τα δεδομένα στο βαθμό αξιοπιστίας που απαιτεί ο χρήστης
- επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει την ποιότητα εξυπηρέτησης της σύνδεσης
- ελέγχει τη ροή των δεδομένων
- παρέχει τη δυνατότητα πολυπλεξίας μέσω της ίδιας ζεύξης

### **2.1.3.5. Επίπεδο συνόδου**

Το επίπεδο συνόδου (session layer) επιτρέπει στους χρήστες διαφορετικών μηχανημάτων να εγκαθιστούν συνόδους (sessions) μεταξύ τους. Μια σύννοδος επιτρέπει μια συνήθη μεταφορά

δεδομένων, όπως και το επίπεδο μεταφοράς, με τη διαφορά ότι παρέχει και μερικές πρόσθετες υπηρεσίες που είναι χρήσιμες σε πολλές εφαρμογές. Μια σύννοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτρέψει τη σύνδεση ενός χρήστη σε ένα απομακρυσμένο σύστημα καταμερισμού χρόνου (time-sharing) ή για να μεταφέρει ένα αρχείο μεταξύ δύο μηχανών.

Μια από τις υπηρεσίες που παρέχει το επίπεδο συνόδου είναι η δυνατότητα διαχείρισης ελέγχου ενός διαλόγου. Οι σύννοδοι μπορούν να επιτρέψουν την κυκλοφορία προς τη μία κατεύθυνση ή και προς τις δύο κατευθύνσεις την ίδια χρονική στιγμή. Εάν η κυκλοφορία σε μια δεδομένη χρονική στιγμή μπορεί να κινηθεί μόνο προς την μία κατεύθυνση (μονόδρομο [simplex] ή ημι-αμφίδρομο [half duplex] κανάλι), το επίπεδο συνόδου παρακολουθεί ποιος έχει σειρά (Κοκκινάκης, 2004).

Μια άλλη υπηρεσία συνόδου είναι ο συγχρονισμός (synchronization). Μπορούν να δημιουργηθούν προβλήματα κατά την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ δύο μηχανών, καθώς μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες, όταν υπάρχει συγκεκριμένος μέσος χρόνος κατάρρευσης του δικτύου. Όταν μια μεταφορά διακοπεί, πρέπει να ξαναρχίσει ολόκληρη από την αρχή και είναι δυνατό να υπάρξουν και νέες αποτυχίες. Για την εξάλειψη αυτού του προβλήματος, το επίπεδο συνόδου παρέχει ένα τρόπο για την εισαγωγή σημείων ελέγχου, έτσι ώστε μετά την κατάρρευση μόνο τα δεδομένα που ακολουθούν το τελευταίο σημείο ελέγχου να μεταδοθούν.

Το επίπεδο συνόδου επιτρέπει στους χρήστες διαφορετικών υπολογιστών να δημιουργούν συνόδους μεταξύ τους. Μια σύννοδος, για παράδειγμα, μπορεί να είναι η σύνδεση ενός χρήστη με ένα απομακρυσμένο σύστημα ή η μεταφορά αρχείων ανάμεσα σε δύο υπολογιστές. Το επίπεδο συνόδου ελέγχει επίσης την κυκλοφορία ανάμεσα στις δύο κατευθύνσεις, ενώ πολλές φορές παρέχει υπηρεσίες διαχείρισης κουπονιού, καθώς επίσης και υπηρεσίες συγχρονισμού ανάμεσα στις δύο πλευρές. Στην ουσία το επίπεδο αυτό δεν ασχολείται με τη μεταφορά των δεδομένων, για την οποία ευθύνη έχουν αλλά επίπεδα, αλλά αναλαμβάνει κυρίως τη διαχείριση και το συγχρονισμό του διαλόγου μεταξύ των εφαρμογών. Έτσι το επίπεδο συνόδου αναλαμβάνει τις ακόλουθες λειτουργίες (Kritzinger, 1986):

- Την εγκατάσταση μίας συνόδου με έναν ή περισσότερους σταθμούς.
- Την εξακρίβωση του χρήστη.
- Την εξακρίβωση της ποιότητας της συνόδου.
- Τον έλεγχο της ανταλλαγής δεδομένων.
- Τη διαχείριση της κατεύθυνσης της πληροφορίας. Οι σύνοδοι μπορούν να επιτρέψουν την ταυτόχρονη και προς τις δύο κατευθύνσεις ροή δεδομένων μεταξύ δύο σταθμών ή προς τη μία κατεύθυνση κάθε στιγμή.
- Τον τερματισμό της σύνδεσης. Ο τερματισμός μπορεί να είναι είτε ομαλός είτε αποτέλεσμα κάποιου προβλήματος ή σφάλματος του χρήστη ή του δικτύου. Στην περίπτωση μη ομαλού τερματισμού πιθανόν να υπάρξει και απώλεια δεδομένων.
- Το συγχρονισμό των δεδομένων. Στόχος είναι η εισαγωγή σημείων ελέγχου μέσα στη διαδικασία μεταφοράς δεδομένων, ώστε σε περίπτωση σφάλματος ή προβλήματος κατά τη μετάδοση να μη χρειαστεί η επανεκπομπή όλων των δεδομένων, αλλά μόνο αυτών που δεν παραλήφθηκαν μετά το τελευταίο σημείο ελέγχου που είχε αποσταλεί πριν από το σφάλμα.
- Τη διαχείριση κουπονιού (token management). Για να μην παρουσιάζεται το φαινόμενο και οι δύο πλευρές σε μια σύνδεση να προσπαθούν να κάνουν ταυτόχρονα την ίδια ενέργεια, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πρόβλημα, κάθε πλευρά πριν προχωρήσει σε μια λειτουργία, ζητά άδεια από το επίπεδο συνόδου, το οποίο της παρέχει ένα ειδικό πακέτο που ονομάζεται κουπόνι (token) και της επιτρέπει τη συγκεκριμένη λειτουργία. Επομένως, εάν η άλλη πλευρά σκοπεύει να κάνει την ίδια ενέργεια, το κουπόνι το έχει άλλος σταθμός και αποτρέπεται έτσι η σύγκρουση. Βέβαια η λειτουργία με τη χρήση κουπονιού δε συναντάται σε όλα τα δίκτυα (Tanenbaum, 2003).

Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο συνόδου είναι:



- αποκαθιστά και συντηρεί το διάλογο μεταξύ των δύο πλευρών, ώστε να εξασφαλίζεται η επιτυχής μεταφορά των δεδομένων
- διαχειρίζεται και ελέγχει την πρόσβαση σε έναν απομακρυσμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή
- κάνει επανορθωτικές διαδικασίες σε επίπεδο διαλόγου

### **2.1.3.6. Επίπεδο παρουσίασης**

Το επίπεδο παρουσίασης (presentation layer) εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες οι οποίες ζητούνται αρκετά συχνά από τους χρήστες, για να εξασφαλίσουν την εύρεση μιας γενικής λύσης για αυτούς, έτσι ώστε να μην αφήνεται κάθε χρήστης να λύνει τα προβλήματα του μόνος του. Συγκεκριμένα όλα τα κατώτερα επίπεδα ενδιαφέρονται μόνο για την αξιόπιστη μετακίνηση bits από το ένα στο άλλο, το επίπεδο παρουσίασης ενδιαφέρεται για τη σύνταξη και τη σημασιολογία των πληροφοριών που μεταδίδονται.

Ένα τυπικό παράδειγμα υπηρεσίας παρουσίασης είναι η κωδικοποίηση δεδομένων με έναν κώδικα που έχει συμφωνηθεί. Τα περισσότερα προγράμματα των χρηστών δεν ανταλλάσσουν τυχαίες σειρές από bits, αλλά στοιχεία όπως ονόματα ανθρώπων, ημερομηνίες, ποσά. Αυτά τα στοιχεία παριστάνονται ως σειρές χαρακτήρων, ακέραιοι, αριθμοί κινητής υποδιαστολής και δομές δεδομένων που αποτελούνται από απλούστερα στοιχεία. Διαφορετικοί υπολογιστές έχουν διαφορετικούς κώδικες για την αναπαράσταση σειρών χαρακτήρων (ASCII, EBCDIC), ακεραίων (συμπλήρωμα ως προς ένα ή δύο) και ούτω καθ' εξής. Για να καταστεί δυνατή η επικοινωνία ανάμεσα σε ανόμοιους υπολογιστές, οι δομές των δεδομένων που πρόκειται να ανταλλάγουν πρέπει να καθοριστούν με έναν αφηρημένο τρόπο μαζί με την τυποποιημένη κωδικοποίηση που θα χρησιμοποιηθεί «πάνω στο καλώδιο». Η εργασία της διαχείρισης αυτών των αφηρημένων δομών δεδομένων και η μετατροπή τους από την αναπαράσταση που χρησιμοποιείται στον υπολογιστή προς την τυποποιημένη αναπαράσταση δικτύου, αντιμετωπίζεται από το επίπεδο παρουσίασης (Κοκκινάκης, 1994).

Το επίπεδο παρουσίασης ενδιαφέρεται και για άλλα θέματα αναπαράστασης πληροφοριών. Για παράδειγμα η συμπίεση των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελαττώσει τον αριθμό των bits που πρόκειται να μεταδοθούν και συχνά απαιτείται κρυπτογράφηση για να εξασφαλιστεί η μυστικότητα (privacy) και η γνησιότητα (authentication) της πληροφορίας.

Το επίπεδο παρουσίασης ασχολείται με την ορθότητα της σύνταξης των δεδομένων που μεταδίδονται, αντίθετα με τα άλλα επίπεδα που ασχολούνται με την αξιόπιστη μεταβίβαση των δυαδικών ψηφίων από το ένα μέρος στο άλλο. Επομένως το επίπεδο αυτό δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες για την αναπαράσταση και σύνταξη των δεδομένων, έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνούν οι εφαρμογές των σταθμών. Μια άλλη βασική λειτουργία του επιπέδου παρουσίασης είναι η συμπίεση και η αποσυμπίεση των δεδομένων, με την οποία μπορεί να ελαττωθεί ο όγκος των δεδομένων που μεταδίδονται προσαρμόζοντας το ρυθμό μετάδοσης στο διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού. Μ' αυτό τον τρόπο γίνεται οικονομία στο εύρος ζώνης του καναλιού αλλά και στο χρόνο μετάδοσης. Τέλος, μια σημαντική λειτουργία του επιπέδου παρουσίασης είναι η κρυπτογράφηση των δεδομένων, η οποία αποσκοπεί στο να διασφαλιστεί το απόρρητο των διακινούμενων πληροφοριών, πράγμα που συχνά επιβάλλεται στις επικοινωνίες (τράπεζες, αγορές, τηλεδιασκέψεις κ.α.) (Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003). Συνοψίζοντας, οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο παρουσίασης είναι:

- μετατρέπει τη σύνταξη των δεδομένων ο Συμπιέζει και αποσυμπιέζει τα δεδομένα
- κρυπτογραφεί τα δεδομένα (Kritzinger, 1986).

### **2.1.3.7. Επίπεδο εφαρμογής**

Το επίπεδο εφαρμογής (application layer) περιέχει μια ποικιλία πρωτοκόλλων που χρειάζονται συχνά. Για παράδειγμα, υπάρχουν εκατοντάδες τύποι συμβατών τερματικών σε ολόκληρο τον κόσμο. Ας θεωρήσουμε το πρόβλημα ενός κειμενογράφου (editor) πλήρους οθόνης (full screen editor) ο οποίος υποτίθεται ότι εργάζεται σε ένα δίκτυο με πολλούς διαφορετικούς τύπους τερματικών, το καθένα με διαφορετική παρουσίαση οθόνης,

διαφορετικές ακολουθίες διαφυγής για εισαγωγή και διαγραφή κειμένου, μετακίνηση του δρομέα κτλ (Κοκκινάκης, 1994).

Ένας τρόπος επίλυσης αυτού του προβλήματος είναι ο καθορισμός ενός αφηρημένου νοητού τερματικού δικτύου (network virtual terminal) για το οποίο μπορούν να γραφούν κειμενογράφοι και άλλα προγράμματα που να συνεργάζονται μεταξύ τους. Για το χειρισμό κάθε τύπου τερματικού, πρέπει να γραφεί ένα πρόγραμμα αντιστοίχισης των λειτουργιών του νοητού τερματικού του δικτύου επάνω στο πραγματικό τερματικό. Για παράδειγμα όταν ο κειμενογράφος μετακινεί τον δρομέα του νοητού τερματικού στην επάνω αριστερή γωνία της οθόνης, το λογισμικό αυτό πρέπει να δώσει την κατάλληλη σειρά εντολών στο πραγματικό τερματικό για την κίνηση και του δικού του δρομέα εκεί. Όλο το λογισμικό του νοητού τερματικού βρίσκεται στο επίπεδο εφαρμογής .

Μια άλλη λειτουργία του επιπέδου εφαρμογής είναι η μεταφορά αρχείων. Διαφορετικά συστήματα αρχείων έχουν διαφορετικές μεθόδους καθορισμού ονομασίας, διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης των γραμμών κειμένου και ούτω καθεξής. Η μεταφορά ενός αρχείου μεταξύ δύο διαφορετικών συστημάτων απαιτεί αντιμετώπιση των παραπάνω, καθώς και άλλων μη συμβατών καταστάσεων. Η εργασία αυτή ανήκει στο επίπεδο εφαρμογής όπως επίσης και το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η εισαγωγή εργασιών από απόσταση, η εμφάνιση καταλόγων (directory) αρχείων και διάφορες άλλες ειδικού και γενικού σκοπού ευκολίες.

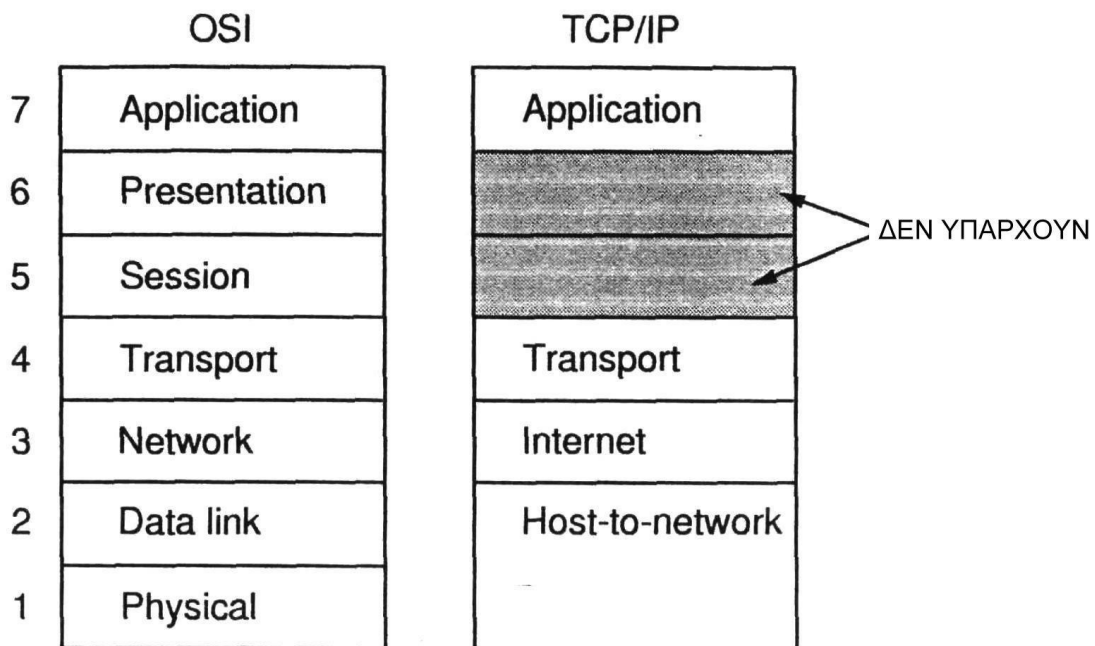
Το υψηλότερο επίπεδο του μοντέλου OSI είναι το επίπεδο εφαρμογής. Είναι ουσιαστικά το επίπεδο, το οποίο περιέχοντας τις κατάλληλες εφαρμογές κάνει το δίκτυο χρήσιμο. Παρέχει λειτουργίες και μηχανισμούς για την υποστήριξη και διαχείριση κατανεμημένων εφαρμογών. Προσδιορίζει το πρωτόκολλο στο οποίο αναφέρονται οι εφαρμογές και δημιουργεί τα κατάλληλα μηνύματα, για να διαπιστώσει εάν είναι διαθέσιμη η αντίστοιχη εφαρμογή από την άλλη πλευρά του δικτύου. Παραδείγματα εφαρμογών είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η μεταφορά αρχείων, η τηλεδιάσκεψη, κτλ (Κοκκινάκης, 1994).

Συνοπτικά οι υπηρεσίες που προσφέρει το επίπεδο εφαρμογής είναι:

- εξακριβώνει την ταυτότητα των εφαρμογών που θέλουν να επικοινωνήσουν
- επιβεβαιώνει το κατά πόσο οι εφαρμογές είναι διαθέσιμες για το διάλογο που πρόκειται να ακολουθήσει
- παρέχει επιβεβαίωση και έλεγχο στο δικαίωμα διαλόγου.

## 2.2 Μοντέλο TCP/IP

Το μοντέλο OSI, λόγω του μεγάλου αριθμού επιπέδων που έχει και άλλων παραγόντων, παρέμεινε θεωρητικό αλλά έθεσε τις βάσεις ανάπτυξης άλλων μοντέλων τα οποία έχουν ευρεία εφαρμογή στις μέρες μας. Ιστορικά η πρώτη στοίβα πρωτοκόλλων που εμφανίσθηκε ήταν το πασίγνωστο σήμερα ζεύγος πρωτοκόλλων TCP/IP. Η βάση για την ανάπτυξη αυτού του μοντέλου αναφοράς πραγματοποιήθηκε όταν το αμερικάνικο (αρχικά στρατιωτικό) δίκτυο ARPAnet άρχισε να συνδέεται με ασύρματα και δορυφορικά δίκτυα. Γι' αυτό είχε από την αρχή την προοπτική της διαδικτύωσης. Το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των ΗΠΑ ήθελε το δίκτυο ARPAnet να παραμένει σε λειτουργία κάτω από δύσκολες συνθήκες, όταν ένα μέρος του δικτύου έχει καταρρεύσει. Μετά από μελέτες που έγιναν δημιουργήθηκε το μοντέλο αναφοράς TCP/IP (1974) το οποίο πήρε το όνομα του από τα δύο κυριότερα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί (TCP και IP). Αποτελείται από 4 επίπεδα - σε αντίθεση με το μοντέλο OSI που αποτελείται από 7- όπως δείχνει και η εικόνα 12 (Tanenbaum, 2003).



Εικόνα 12: μοντέλο TCP/IP

Η δημιουργία του μοντέλου αναφοράς TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol), μίας εναλλακτικής πρότασης του μοντέλου διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων OSI, οφείλεται στη λειτουργία του ARPANET, ενός δικτύου που προηγήθηκε του Internet και το οποίο αργότερα μετεξελίχθηκε στη μορφή που γνωρίζουμε σήμερα. Το ARPANET ήταν ένα δίκτυο που δημιουργήθηκε για λογαριασμό του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ την εποχή του ψυχρού πολέμου. Η ιδέα ήταν τα διάφορα πολιτικά και στρατιωτικά κέντρα των ΗΠΑ να έχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας οποιαδήποτε χρονική στιγμή, έστω και αν ένα μέρος του δικτύου επικοινωνίας είχε τεθεί για διάφορους λόγους εκτός λειτουργίας. Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP πήρε το όνομά του από τα δύο κυριότερα πρωτόκολλα του μοντέλου, το TCP και το IP. Σε αντιστοιχία με την αρχιτεκτονική του OSI, το πρότυπο αναφοράς TCP/IP αποτελείται από τέσσερα επίπεδα, ενώ κάθε επίπεδο υλοποιεί ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Τα επίπεδα του TCP/IP είναι το επίπεδο πρόσβασης δικτύου, το επίπεδο διαδικτύου, το επίπεδο μεταφοράς και το επίπεδο εφαρμογής, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

Καθώς είναι μία αρχιτεκτονική στρωμάτων ή επιπέδων, κάθε επίπεδο χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του αμέσως χαμηλότερου επιπέδου, ενώ παρέχει υπηρεσίες στο αμέσως υψηλότερο από αυτό επίπεδο. Ο αριθμός των επιπέδων είναι ο πλέον πρόσφορος, ώστε η

αρχιτεκτονική να παραμένει απλή και ταυτόχρονα αυστηρά προσδιορισμένες λειτουργίες να τοποθετούνται σε διαφορετικά επίπεδα.

Το σύνολο των επιπέδων που υλοποιούνται στο μοντέλο αναφοράς TCP/IP, αρχίζοντας από το χαμηλότερο (επίπεδο 1) και προχωρώντας προς το υψηλότερο (επίπεδο 4), είναι το ακόλουθο:

1. **Επίπεδο 1 ή επίπεδο πρόσβασης δικτύου.** Αναλαμβάνει τη μεταφορά των σημάτων στο μέσο μετάδοσης. Το επίπεδο αυτό καθορίζει τις λειτουργίες του μέσου μετάδοσης και είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με το δίκτυο.
2. **Επίπεδο 2 ή επίπεδο Διαδικτύου ή δικτύου.** Είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες δρομολόγησης και διευθυνσιοδότησης.
3. **Επίπεδο 3 ή επίπεδο μεταφοράς.** Αναλαμβάνει, χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες των χαμηλότερων προς αυτό επιπέδων, τη μεταφορά δεδομένων απ' ακρη σ' ακρη στο δίκτυο.
4. **Επίπεδο 4 ή επίπεδο εφαρμογής.** Πρόκειται για την εφαρμογή που εμφανίζεται στο χρήστη (το πρόγραμμα που χρησιμοποιεί).

Τα επίπεδα 1 έως και 3 αφορούν τις υπηρεσίες - λειτουργίες που προσφέρονται από το δίκτυο, ενώ το επίπεδο 4 είναι προσανατολισμένο στις λειτουργίες της εφαρμογής του χρήστη. Η επικοινωνία δύο υπολογιστών που χρησιμοποιούν το μοντέλο αναφοράς TCP/IP πραγματοποιείται μέσω των ακόλουθων δύο μορφών διευθυνσιοδότησης:

- Μέσω μίας μοναδικής διεύθυνσης για κάθε υπολογιστή που συνδέεται στο δίκτυο, η οποία είναι γνωστή ως διεύθυνση IP και αποτελείται από 32 δυαδικά ψηφία.
- Μέσω μίας μοναδικής διεύθυνσης για κάθε εφαρμογή που λειτουργεί στον κάθε υπολογιστή. Αυτό επιτρέπει στο επίπεδο μεταφοράς να παραδίδει τα δεδομένα.

## **2.2.1 Ανάλυση επιπέδων TCP/IP**

### **2.2.1.1 Επίπεδο πρόσβασης δικτύου (Network Access layer)**

Το επίπεδο πρόσβασης δικτύου είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία του σταθμού με το δίκτυο. Ανιχνεύει την αρχιτεκτονική του δικτύου και ανάλογα διοχετεύει το πακέτο στο κανάλι επικοινωνίας. Επίσης είναι υπεύθυνο για την παροχή μιας διεπαφής που θα του επιτρέψει την επικοινωνία με το επίπεδο Διαδικτύου.

Το επίπεδο αυτό καθορίζει το φυσικό μέσο που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση των συσκευών μετάδοσης δεδομένων (σταθμών εργασίας ή προσωπικών υπολογιστών) με το δίκτυο. Το κύριο τμήμα του διαδικτύου αποτελείται από έναν αριθμό υπολογιστών ειδικού σκοπού, που διασυνδέονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας γραμμές επικοινωνίας παντός τύπου. Όλοι οι υπόλοιποι υπολογιστές και τα τοπικά δίκτυα συνδέονται στη συνέχεια σ' αυτούς τους ειδικού σκοπού υπολογιστές. Κατ' αυτό τον τρόπο διασυνδέονται μεταξύ τους οι υπολογιστές, χρησιμοποιώντας μια μεγάλη ποικιλία φυσικών μέσων, από τηλεφωνικές γραμμές (κοινές η μισθωμένες) έως δορυφορικές ζεύξεις, κτλ.

Το μοντέλο αναφοράς TCP/IP δεν περιγράφει αναλυτικά το συγκεκριμένο επίπεδο ούτε τα πρωτόκολλα που πρέπει να χρησιμοποιηθούν, για να επιτευχθεί η πρόσβαση στο δίκτυο, με αποτέλεσμα τα χρησιμοποιούμενα σ' αυτό το επίπεδο πρωτόκολλα να ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος ή το είδος του δικτύου (Stallings, 2011).

### **2.2.1.2 Επίπεδο Διαδικτύου (Internet layer)**

Το επίπεδο Διαδικτύου είναι το ζωτικό επίπεδο του μοντέλου. Ο σκοπός του είναι η δρομολόγηση και η παράδοση των μονάδων πληροφορίας (PDU – Protocol Data Unit) στον παραλήπτη. Προσθέτει στις PDUs τη διεύθυνση του παραλήπτη και τις στέλνει στο δίκτυο, προκειμένου αυτές να φθάσουν, ανεξάρτητα η μία από την άλλη, στον προορισμό τους, περνώντας από διάφορους ενδιάμεσους σταθμούς οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με το αντίστοιχο πρωτόκολλο. Στις περιπτώσεις που δύο συστήματα είναι συνδεδεμένα σε διαφορετικά δίκτυα, απαιτούνται διαδικασίες οι

οποίες θα επιτρέψουν τη μετάβαση των δεδομένων στον προορισμό τους διαμέσου πολλαπλών διασυνδεδεμένων δικτύων (Kritzinger, 1986).

### **2.2.1.3 Επίπεδο Μεταφοράς (Transport layer)**

Το επίπεδο μεταφοράς παρέχει τους μηχανισμούς που εξασφαλίζουν την αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων. Είναι υπεύθυνο για την παραλαβή των δεδομένων από το επίπεδο εφαρμογής, τη διάσπασή τους σε μικρότερα μηνύματα, αν χρειαστεί, την παράδοσή τους στο αμέσως χαμηλότερο επίπεδο του Διαδικτύου και τη διασφάλιση ότι όλα τα μηνύματα φτάνουν σωστά στην άλλη πλευρά. Είναι ευθύνη των πρωτοκόλλων αυτού του επιπέδου να τοποθετήσουν σε σωστή σειρά τα PDUs ή να ζητήσουν την επαναμετάδοση των λανθασμένων ή χαμένων PDUs. Οι υπηρεσίες αυτού του επιπέδου παρέχονται από δύο πρωτόκολλα, το TCP και το UDP (User Datagram Protocol – Πρωτόκολλο διαγράμματος δεδομένων χρήστη) (Kritzinger, 1986).

### **2.2.1.4 Επίπεδο Εφαρμογής (Application layer)**

Επάνω από το επίπεδο μεταφοράς στο μοντέλο TCP/IP είναι το επίπεδο εφαρμογών, δεν υπάρχουν δηλαδή στο TCP/IP τα επίπεδα συνόδου και παρουσίασης όπως στο OSI, τα οποία η εμπειρία έχει δείξει ότι ελάχιστα χρησιμοποιούνται. Στο επίπεδο εφαρμογής υπάρχουν πολλά ευρέως διαδεδομένα πρωτόκολλα, όπως τα εξής:

- Πρωτόκολλο εξομοίωσης τερματικού (terminal emulator protocol – Telnet): επιτρέπει σε κάποιον χρήστη να συνδεθεί από τον υπολογιστή του με κάποιο απομακρυσμένο μηχάνημα.
- Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (FTP – File Transfer Protocol): χρησιμοποιείται για μεταφορά αρχείων από έναν υπολογιστή σε έναν άλλο.



- Πρωτόκολλο μεταφοράς απλού ταχυδρομείου (SMTP – Simple Mail Transfer Protocol): αφορά την αποστολή και λήψη ηλεκτρονικής αλληλογραφίας.
- Πρωτόκολλο HTTP (Hyper Text Transfer Protocol): αφορά τη μεταφορά ιστοσελίδων από το Διαδίκτυο στον υπολογιστή μας (Kritzinger, 1986).

## 2.3 Αξιολόγηση και Σύγκριση των Προτύπων Αναφοράς OSI & TCP/IP

Συγκρίνοντας τα δύο μοντέλα αναφοράς, OSI και TCP/IP, πρέπει να διευκρινιστεί ότι δε συγκρίνονται τα πρωτόκολλα που λειτουργούν στα διάφορα επίπεδα των μοντέλων.



Εικόνα 13: μοντέλο OSI – TCP/IP

### 2.3.1 Ομοιότητες μοντέλου OSI – TCP/IP

- Και τα δύο μοντέλα αναφοράς περιγράφονται υπό μορφή επιπέδων.
- Σε κάθε επίπεδο δρουν κάποια πρωτόκολλα, που αναφέρονται και ως πρωτόκολλα του αντίστοιχου επιπέδου, πχ. στο TCP/IP στο επίπεδο μεταφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα πρωτόκολλα, όπως το TCP ή το UDP. Συνεπώς η

αντιστοιχία πρωτοκόλλων - επιπέδων δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένα.

- Συνήθως κάθε επίπεδο περιλαμβάνει περισσότερο από ένα πρωτόκολλα. Το ποιο πρωτόκολλο θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τις απαιτήσεις των χρηστών και της εφαρμογής που επιλέγουν για να επικοινωνήσουν.
- Και στα δύο μοντέλα αναφοράς τα πρωτόκολλα των υψηλότερων επιπέδων από το επίπεδο μεταφοράς (του επιπέδου μεταφοράς συμπεριλαμβανομένου) είναι ανεξάρτητα από το δίκτυο που χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί η επικοινωνία (Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003).

## 2.3.2 Διαφορές μοντέλου OSI – TCP/IP

- Η περιγραφή του OSI θεωρείται πληρέστερη από αυτήν του TCP/IP. Η μεγαλύτερη προσφορά του OSI είναι το γεγονός ότι κάνει ένα σαφή διαχωρισμό ανάμεσα στις έννοιες της υπηρεσίας, της διεπαφής και του πρωτοκόλλου. Στο TCP/IP ο διαχωρισμός αυτός δεν είναι ευδιάκριτος. Το OSI μοντέλο είναι θεωρητικό, καθώς πρώτα περιγράφηκε και στη συνέχεια γράφτηκαν τα πρωτόκολλα και όλο το λογισμικό που αφορούσε τη λειτουργία των διεπαφών και των υπηρεσιών. Στο TCP/IP πρώτα δημιουργήθηκαν τα πρωτόκολλα και με βάση τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δημιουργήθηκε και το μοντέλο.
- Στο TCP/IP δεν υπάρχει πρόβλημα συμφωνίας πρωτοκόλλων-μοντέλου, καθώς το μοντέλο περιγράφηκε με βάση τα υπάρχοντα πρωτόκολλα.
- Στο OSI το μοντέλο περιγράφηκε κάνοντας σαφή διαχωρισμό στις έννοιες που υιοθετήθηκαν από τα πρωτόκολλα. Η ανυπαρξία έτοιμων πρωτοκόλλων οδήγησε σε ένα αρκετά γενικό μοντέλο. Όταν υλοποιήθηκαν δίκτυα με βάση το OSI εμφανίστηκαν προβλήματα, όπως π.χ. στο επίπεδο γραμμής διασύνδεσης το OSI αρχικά αναφερόταν μόνο σε δίκτυα σημείου προς σημείο και δεν είχε λάβει υπόψη του τα δίκτυα εκπομπής με αποτέλεσμα να προστεθεί στη συνέχεια ένα υποεπίπεδο που να ασχολείται με τα δίκτυα εκπομπής.

- Στο OSI μοντέλο έχουμε επτά επίπεδα, ενώ στο TCP/IP έχουμε τέσσερα. Η χρήση των επτά επιπέδων σήμερα κρίνεται υπερβολική, ενώ την εποχή που έγινε φαινόταν ως η καλύτερη λύση. Η επιτροπή του ISO που πρότεινε το OSI δεν κατάφερε να περιγράψει ένα μοντέλο διαφορετικό από τη λύση των επτά επιπέδων που πρότεινε τότε η IBM από το φόβο μήπως αυτό αποτύχει.
- Το επίπεδο συνόδου του OSI έχει στην πραγματικότητα πολύ μικρή εφαρμογή, ενώ το επίπεδο παρουσίασης απουσιάζει εντελώς από τις περισσότερες εφαρμογές. Δικαιώνεται έτσι η περιγραφή του TCP/IP με τα λιγότερα επίπεδα.
- Το TCP/IP δεν κάνει σαφή διαχωρισμό μεταξύ του φυσικού επιπέδου και του επιπέδου διασύνδεσης δεδομένων, το οποίο αποτελεί μειονέκτημα για το TCP/IP, καθώς ο διαχωρισμός τους είναι απαραίτητος.
- Στο επίπεδο δικτύου του OSI υποστηρίζει τόσο την προσανατολισμένη όσο και τη μη προσανατολισμένη στη σύνδεση επικοινωνία. Όμως στο επίπεδο μεταφοράς υποστηρίζει μόνο την προσανατολισμένη στη σύνδεση επικοινωνία. Το μοντέλο TCP/IP υποστηρίζει στο επίπεδο Διαδικτύου μόνο τη μη προσανατολισμένη στη σύνδεση επικοινωνία, ενώ υποστηρίζει και τους δύο τρόπους επικοινωνίας στο επίπεδο μεταφοράς.
- Το OSI είναι ένα γενικό μοντέλο αναφοράς μέσα από το οποίο μπορούν να υλοποιηθούν και να περιγραφούν και άλλες σειρές πρωτοκόλλων. Στο TCP/IP είναι αδύνατη η περιγραφή άλλων πρωτοκόλλων, καθώς αυτό φτιάχτηκε για να περιγράψει συγκεκριμένα πρωτόκολλα.
- Το TCP/IP έτυχε ευρύτερης αποδοχής από τον κόσμο σε σύγκριση με το OSI για τους εξής λόγους:
  - Το OSI προσπάθησε να αναπτυχθεί όταν το TCP/IP ήδη χρησιμοποιούνταν.

- ο Λόγω της αναλυτικής περιγραφής του OSI και του σαφή διαχωρισμού που έκανε μεταξύ των εννοιών του πρωτοκόλλου, της διεπαφής και της υπηρεσίας, οι πρώτες εφαρμογές που γράφτηκαν στα πλαίσιά του ήταν πολύπλοκες, δύσχρηστες και ακριβές. Αντίθετα τα βασικά πρωτόκολλα του TCP/IP (το TCP και το IP) ήταν καλογραμμένα και εύχρηστα
- ο Οι βασισμένες στο μοντέλο TCP/IP εφαρμογές ήταν και είναι δωρεάν διαθέσιμες και μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν και να ενσωματωθούν στα δίκτυα υπολογιστών.

Το OSI αποτελεί χρήσιμο εκπαιδευτικό εργαλείο αν και δεν έχει την καθολική αποδοχή που απολαμβάνει το TCP/IP λόγω και του ότι η λειτουργία του Διαδικτύου βασίζεται σε αυτό (Stallings,2011 & Tanenbaum, 2003).

# Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

## Επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (data link layer)

### 3.1 Εισαγωγή

Στις τηλεπικοινωνίες και στην πληροφορική, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων ή επίπεδο σύνδεσης (Data Link Layer), ή συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων, είναι το δεύτερο εκ των επτά επιπέδων του μοντέλου δικτύωσης OSI, ή το πρώτο εκ των τεσσάρων επιπέδων του μοντέλου TCP/IP (από κοινού με το φυσικό επίπεδο του OSI). Μπορεί να αναφέρεται και ως δεύτερο επίπεδο, στο πλαίσιο συζήτησης για δίκτυα υπολογιστών (Tanenbaum, 2003).

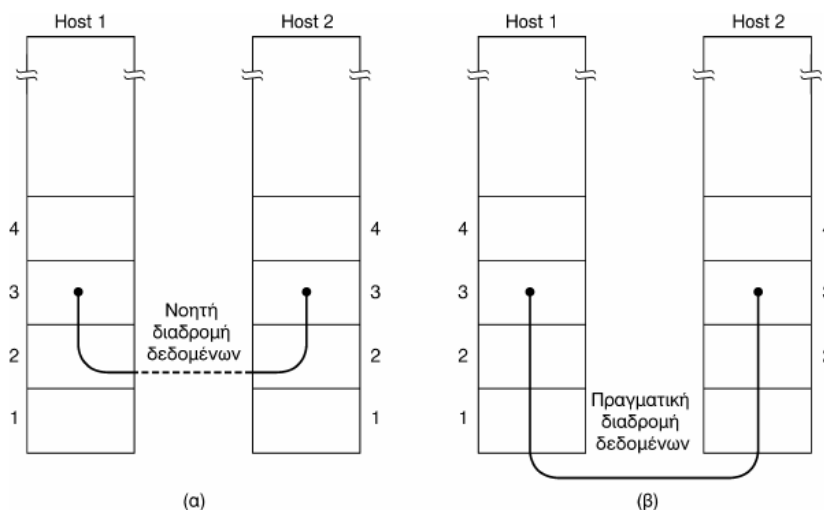
**Στόχος του είναι να παρέχει υπηρεσίες στο επίπεδο δικτύου, αξιοποιώντας τις υπηρεσίες του φυσικού επιπέδου.**

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων ενός δικτύου καθορίζεται από πρωτόκολλα τα οποία ρυθμίζουν τη μετάδοση δεδομένων σε ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι αποτελούμενο από ένα μοναδικό φυσικό μέσο (π.χ. σε ενσύρματο τοπικό δίκτυο, όπου το κοινό φυσικό μέσο είναι ένα καλώδιο, σε ασύρματο τοπικό δίκτυο, όπου το κοινό φυσικό μέσο είναι ο ελεύθερος χώρος, ή σε σύνδεση από σημείο-σε-σημείο, όπου το φυσικό μέσο δεν είναι κοινό καθώς μπορεί να προσπελαστεί μόνο από τους κόμβους στα δύο άκρα επικοινωνίας).

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων ασχολείται με την τοπική παράδοση πλαισίων μεταξύ συσκευών στο ίδιο τοπικό δίκτυο. Τα πλαίσια (frames) του επιπέδου ζεύξης δεδομένων, όπως καλούνται οι μονάδες δεδομένων αυτού του πρωτοκόλλου, δεν διασχίζουν τα σύνορα ενός τοπικού δικτύου. Η δρομολόγηση ανάμεσα σε δίκτυα και σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι δουλειά υψηλότερων επιπέδων, επιτρέποντας στα πρωτόκολλα ζεύξης δεδομένων να εστιάσουν στην τοπική παράδοση, διευθυνσιοδότηση και διαχείριση των μέσων. Από αυτήν την άποψη το επίπεδο ζεύξης δεδομένων, είναι ανάλογο με τον τροχονόμο της γειτονιάς. Πασχίζει να διαιτητεύσει ανάμεσα σε μέλη που αντιδικούν για πρόσβαση στο μέσο. Όταν οι συσκευές προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν ταυτόχρονα το μέσο, συμβαίνει σύγκρουση πλαισίων. Τα πρωτόκολλα σύζευξης δεδομένων καθορίζουν πώς οι συσκευές ανιχνεύουν και ανακλύπτουν από τέτοιες συγκρούσεις δεδομένων και μπορεί να προμηθεύουν μηχανισμούς για να τις μειώσουν ή να τις προλάβουν (Tanenbaum, 2003).

## 3.2 Παρεχόμενες υπηρεσίες προς το επίπεδο δικτύου

Η δουλειά του επιπέδου συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων είναι να παρέχει υπηρεσίες στο επίπεδο δικτύου. **Η θεμελιώδης υπηρεσία του είναι η μεταφορά δεδομένων από το επίπεδο δικτύου της μηχανής προέλευσης στο επίπεδο δικτύου της μηχανής προορισμού.** Στη μηχανή προέλευσης υπάρχει κάποια οντότητα στο επίπεδο δικτύου, η οποία ονομάζεται διεργασία και παραδίδει κάποια bit στο επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων για να μεταδοθούν σε κάποιο προορισμό. Η δουλειά του επιπέδου αυτού είναι να μεταδοθούν αυτά τα bit στη μηχανή προορισμού έτσι ώστε να μπορέσουν να παραδοθούν στο εκεί επίπεδο δικτύου (εικόνα 14). Η πραγματική μετάδοση ακολουθεί τη διαδρομή της εικόνας.



Εικόνα 14: α)Εικονική επικοινωνία β)Πραγματική επικοινωνία

Ακόμη, **η ανίχνευση και η διόρθωση σφαλμάτων που συμβαίνουν στο φυσικό επίπεδο είναι μια ακόμη σημαντική υπηρεσία που προσφέρει.** Στο επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης χρησιμοποιούνται οι φυσικές διευθύνσεις (MAC διευθύνσεις), οι οποίες είναι προκαθορισμένες και αποθηκευμένες στις κάρτες δικτύου των κόμβων από το εργοστάσιο. Το πιο γνωστό πρότυπο αυτού του επιπέδου είναι το Ethernet, για τοπικά δίκτυα και το 802.11 για τα ασύρματα τοπικά δίκτυα. Στο επίπεδο αυτό λειτουργούν οι δικτυακές γέφυρες (bridges) και οι δικτυακοί διακόπτες (μεταγωγείς, switch).

Οι πιο βασικές εργασίες του επιπέδου ζεύξης [2]

- δημιουργία πλαισίων
- έλεγχος σφαλμάτων [2]
- έλεγχος ροής

Το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να προσφέρει διάφορες υπηρεσίες. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες μπορεί να ποικίλλουν από σύστημα σε σύστημα, Τρεις τυπικές πιθανότητες οι οποίες συνήθως παρέχονται είναι οι:

- **Ασυνδεσμική υπηρεσία χωρίς επιβεβαιώσεις.** Ο κόμβος-αποστολέας απλά μεταδίδει δεδομένα χωρίς να τον απασχολεί η ορθή λήψη των δεδομένων από τον παραλήπτη και είναι κατάλληλη για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

- **Ασυνδεσμική υπηρεσία με επιβεβαιώσεις.** Η λήψη κάθε ομάδας δεδομένων (πακέτο) πρέπει να επιβεβαιωθεί. Εάν δεν ληφθεί επιβεβαίωση από τον παραλήπτη μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα το πακέτο μεταδίδεται ξανά. Προσφέρει αξιοπιστία (χρησιμή υπηρεσία στα μη αξιόπιστα κανάλια, όπως οι ασύρματες ζεύξεις)
- **Συνδεσμοστρεφής υπηρεσία με επιβεβαιώσεις.** Οι κόμβοι «συμφωνούν» να επικοινωνήσουν (εγκαθιδρύεται μία λογική σύνδεση). Κάθε πακέτο αριθμείται και μεταδίδεται και λαμβάνεται σε σειρά. Αντίθετα στην ασυνδεσμική υπηρεσία μπορεί να χαθεί μία επιβεβαίωση και επομένως ένα συγκεκριμένο πακέτο μπορεί να παραληφθεί πολλές φορές (Tanenbaum, 2003).

### 3.3 Πλαίσιο

Η βασική ευθύνη του επιπέδου αυτού (data link layer) είναι ο έλεγχος της ροής των δεδομένων μεταξύ δύο συστημάτων και η αξιόπιστη παράδοσή τους στον προορισμό. Δηλαδή η παρακολούθηση της σωστής μετάδοσης και λήψης των δεδομένων από το φυσικό επίπεδο. Αυτό το επιτυγχάνει με την δημιουργία **πλαισίων** (frames) δεδομένων, που το καθένα εκτός από τα προς μετάδοση δεδομένα περιέχει στην αρχή και στο τέλος πρόσθετα bit, τα οποία αξιοποιούνται σε διάφορες λειτουργίες. Παράδειγμα αποτελεί ο έλεγχος λαθών.

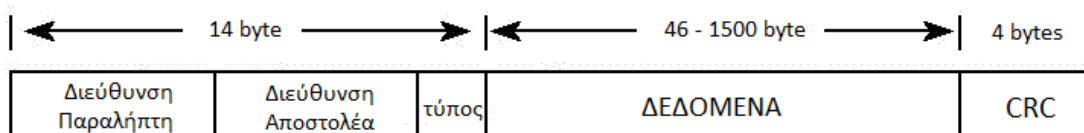
Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων ασχολείται με την τοπική παράδοση πλαισίων μεταξύ συσκευών στο ίδιο τοπικό δίκτυο. Τα πλαίσια του επιπέδου ζεύξης δεδομένων, όπως καλούνται οι μονάδες δεδομένων αυτού του πρωτοκόλλου, οργανώνει δηλαδή τα μπιτ σε λογικές μονάδες που ονομάζονται πλαίσια (frames), και οι οποίες περιέχουν πληροφορίες από το επίπεδο δικτύου και δεν διασχίζουν τα σύνορα ενός τοπικού δικτύου.

- Λαμβάνει τα πακέτα από το επίπεδο του δικτύου και τα ταξινομεί σε πλαίσια (frames)
- Η διαχείριση των πλαισίων είναι το κύριο ζήτημα του επιπέδου συνδέσμου δεδομένων.



### 3.3.1 Μορφή πλαισίου

Η πιο διαδεδομένη και πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία τοπικών δικτύων, είναι το Ethernet. Όταν ένα πακέτο (IP datagram, UDP datagram κλπ) χρειάζεται να ταξιδέψει μέσα σε ένα δίκτυο Ethernet, πρέπει πρώτα να ενθυλακωθεί μέσα σε ένα **πλαίσιο** Ethernet. Η μορφή αυτού του πλαισίου είναι η εξής (εικόνα 15):



Εικόνα 15: μορφή πλαισίου (frame)

1. **Destination Address:** έχει μέγεθος 6 byte, και αντιστοιχεί στην φυσική διεύθυνση (**διεύθυνση MAC**) του παραλήπτη.
2. **Source Address:** έχει μέγεθος 6 byte, και αντιστοιχεί στην φυσική διεύθυνση του αποστολέα.
3. **Type:** έχει μέγεθος 2 byte, προσδιορίζει τον τύπο του πλαισίου.
4. **ΔΕΔΟΜΕΝΑ:** μπορεί να έχει μέγεθος από 46-1500 bytes. Τα δεδομένα αυτά, δεν αντιστοιχούν εξ' ολοκλήρου στα καθαρά δεδομένα, αλλά εμπεριέχονται και οι ενθυλακωμένες κεφαλίδες, από τα ανώτερα επίπεδα.
5. **CRC (έλεγχος σφαλμάτων):** έχει μέγεθος 4 byte και αντιστοιχεί στον έλεγχο της ομαλής μετάδοσης των δεδομένων της κεφαλίδας (και όχι όλου του πακέτου). Το πεδίο αυτό, έπεται των δεδομένων.

### 3.4 Τύποι «ζεύξεως»

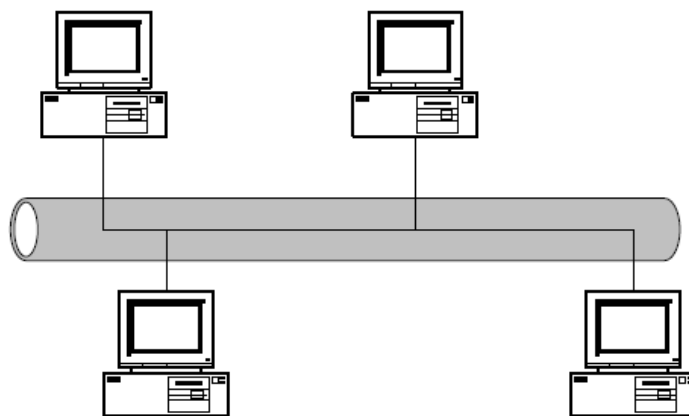
Το επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να προσφέρει τρεις τύπους ζεύξεως.

- **εκπομπής (κοινό μέσο μετάδοσης)**

- Παραδοσιακό Ethernet
- Ασύρματο LAN 802.11
- Καλωδιακά συστήματα τηλεόρασης
- **σημείου προς σημείο**
  - PPP σε ζεύξη dialup
  - Ζεύξη μεταξύ Ethernet switch και PC
- **με μεταγωγή**
  - ATM
  - MPLS

### 3.4.1 Ζεύξη εκπομπής

Το πιο διαδεδομένο είδος ζεύξης δεδομένων στο Internet είναι τα τοπικά δίκτυα (LAN) όπου υπάρχουν πολλοί υπολογιστές σε ένα κτίριο και έχουν κοινόχρηστο επικοινωνιακό μέσο με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλές συγκρούσεις (εικόνα 16). Αναλύεται στην παρακάτω υποενότητα.



Εικόνα 16: Απεικόνιση LAN δικτύου

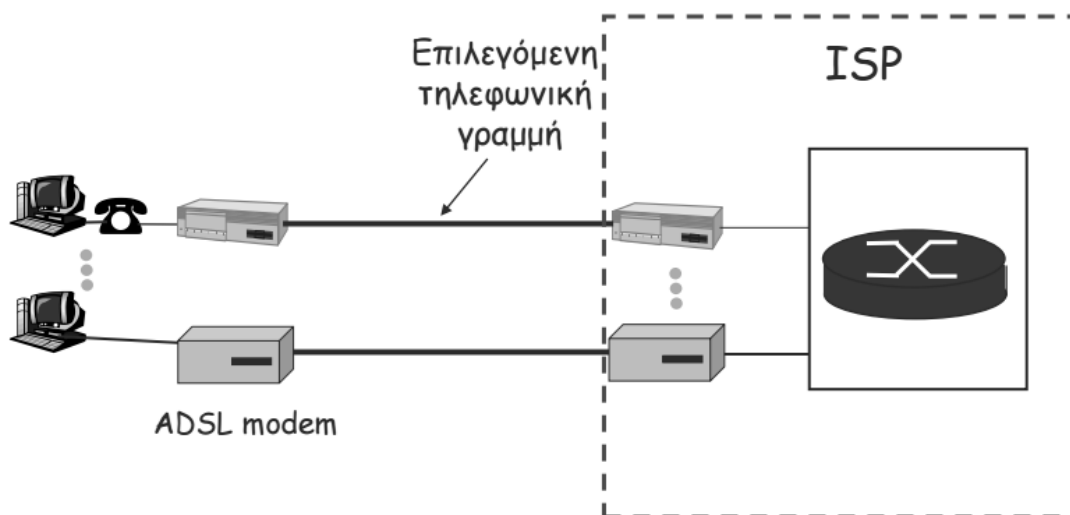
### 3.4.2 Ζεύξεις σημείου προς σημείο

Στην πράξη, η επικοινωνία από σημείο σε σημείο στο Internet χρησιμοποιείται κυρίως σε δύο περιπτώσεις:

- Στις επιλεγόμενες τηλεφωνικές γραμμές (dial-up) ή ψηφιακοί συνδρομητικοί βρόχοι (DSL) για σύνδεση υπολογιστών με δρομολογητές πρόσβασης
- Στις σειριακές γραμμές υψηλής ταχύτητας για διασύνδεση δρομολογητών

### 3.4.2.1 Ζεύξεις σημείου προς σημείο: dial-up ή DSL

Είναι η σύνδεση ιδιωτών από το σπίτι, μέσω modem, με κάποιον πάροχο υπηρεσίας Internet (Internet Service Provider, ISP) (εικόνα 17).



Εικόνα 17: Σύνδεση ISP

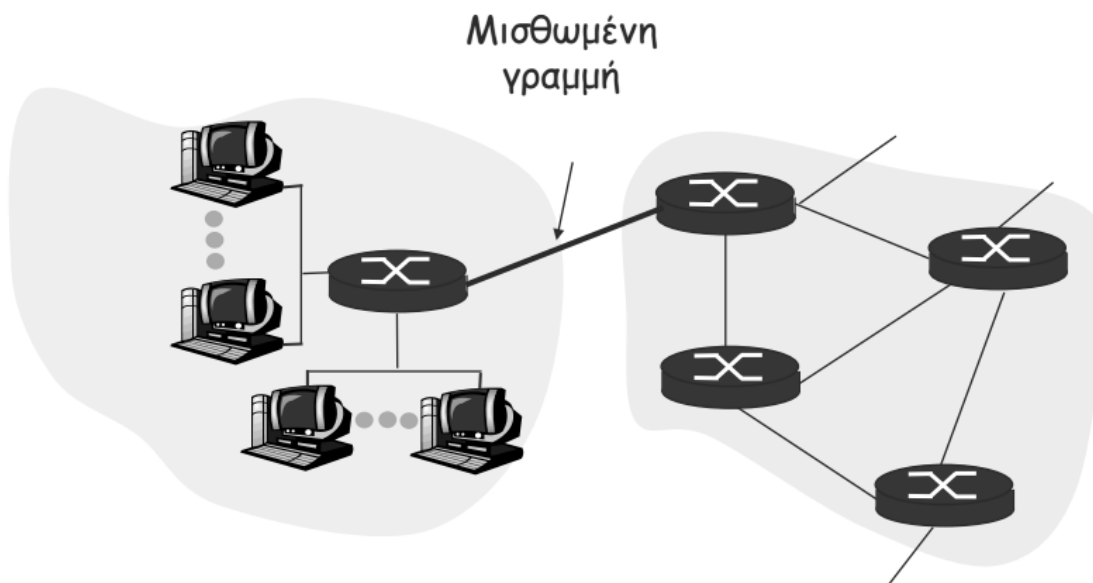
### 3.4.2.2 Ζεύξεις σημείου προς σημείο: Μισθωμένες γραμμές

Σύνδεση LAN μέσω μισθωμένης γραμμής στο δίκτυο κορμού. Οι μισθωμένες γραμμές υλοποιούν την τηλεπικοινωνιακή διασύνδεση δύο ή περισσότερων σημείων με προδιαγεγραμμένη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Ήταν για τη δεκαετία του 1960 ο μόνος τρόπος υλοποίησης ιδιωτικού δικτύου. Ένα τέτοιο δίκτυο δομείται όταν μία εταιρία μισθώνει κάποιες γραμμές επικοινωνίας για αποκλειστικά δική της ενδο-εταιρική χρήση. Οι γραμμές αυτές δεν

ανήκουν στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN), συνεπώς σε αυτά τα δίκτυα οι παρεχόμενες σημείο-προς-σημείο ("point-to-point") συνδέσεις πραγματοποιούνται χωρίς τη μεσολάβηση των διεπιλογικών κέντρων του τηλεπικοινωνιακού παρόχου.

Οι τηλεπικοινωνιακές γραμμές που εκμισθώνει ο τηλεπικοινωνιακός πάροχος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- σύνδεση Τηλεφωνικών Κέντρων
- τηλεφωνική επικοινωνία
- τηλεμοιοτυπία (fax)
- μετάδοση δεδομένων
- σύνδεση με το Internet και άλλα δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα(εικόνα 18)

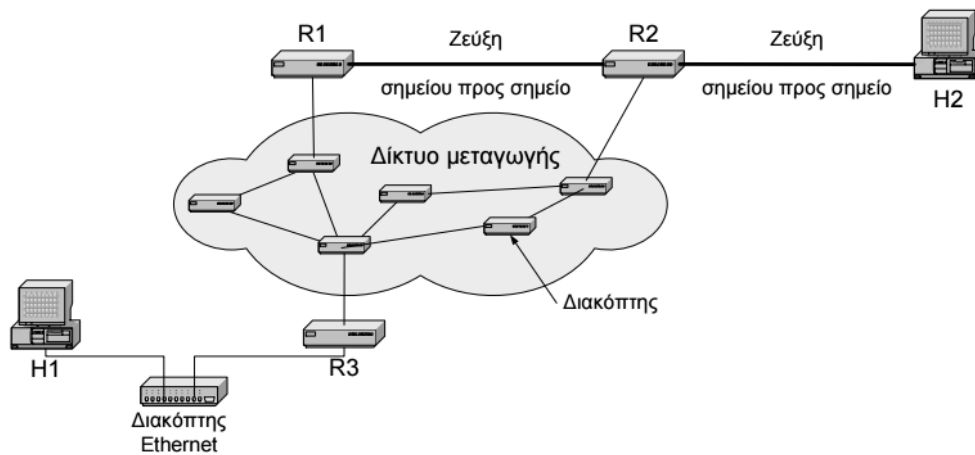


Εικόνα 18: Μισθωμένη γραμμή

### 3.4.3 Ζεύξεις με μεταγωγή

Μερικές τεχνολογίες (ζεύξης δεδομένων) επιτρέπουν τη δημιουργία πλήρων δικτύων με δικές τους διευθύνσεις, τεχνικές δρομολόγησης και μηχανισμούς προώθησης. Αυτά τα δίκτυα αποκαλούνται δίκτυα μεταγωγής (switched networks) (εικόνα 19).

Για το στρώμα IP το δίκτυο μεταγωγής μπορεί να μοιάζει είτε με ζεύξη από σημείο προς σημείο είτε με ζεύξη εκπομπής.

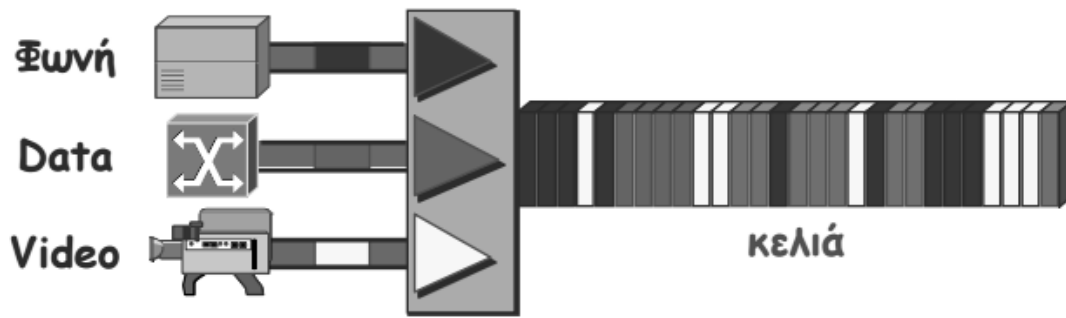


Εικόνα 19: Ζεύξη με μεταγωγή

Τα ATM και MPLS είναι πραγματικά δίκτυα από μόνα τους. Είναι διαφορετικά μοντέλα υπηρεσίας, διευθυνσιοδότησης, δρομολόγησης από το Internet. Το Internet τα θεωρεί ως λογικές ζεύξεις που διασυνδέουν δρομολογητές IP όπως ακριβώς οι επιλεγόμενες τηλεφωνικές γραμμές. Είναι μέρος ενός διαφορετικού δικτύου. Τα ATM και MPLS παρουσιάζουν τεχνικό ενδιαφέρον από μόνα τους.

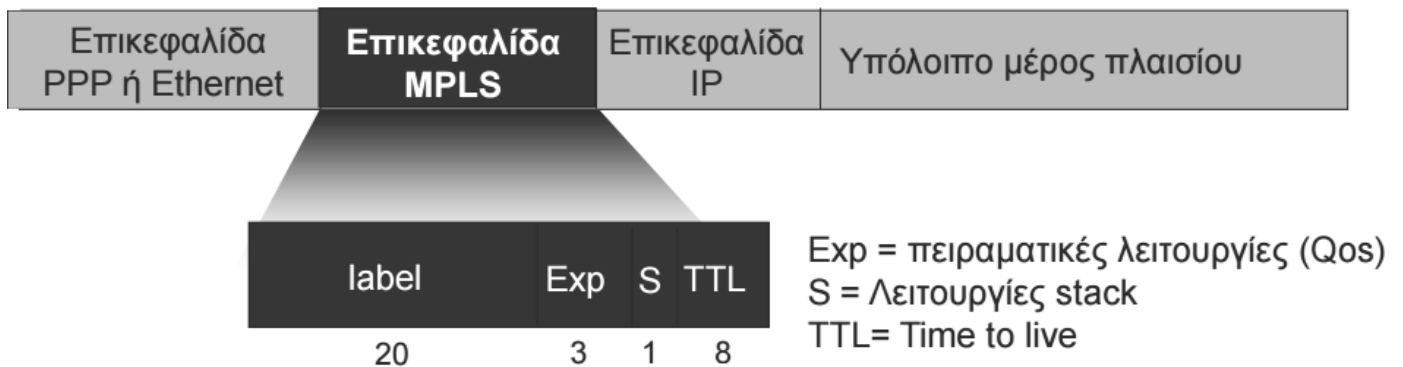
Στόχος των ATM (εικόνα 20) είναι η ενοποιημένη (ολοκληρωμένη), απ' άκρη σ' άκρη μεταφορά φωνής, βίντεο, δεδομένων. Χρησιμοποιεί:

- μικρά πακέτα σταθερού μήκους
- υπηρεσία με σύνδεση
- υποστηρίζει πολλούς τύπους υπηρεσιών
- εφαρμόσιμο σε LAN και WAN



Εικόνα 20: Απεικόνιση ATM

Αρχικός σκοπός των MPLS είναι η επιτάχυνση της προώθησης πακέτων IP μέσω της χρήσης ετικέτας (label)(εικόνα21) σταθερού μήκους αντί της διεύθυνσης IP . Δανείζεται την ιδέα του νοητού κυκλώματος αλλά το πακέτο διατηρεί την IP διεύθυνσή του.



Εικόνα 21: Ετικέτα MPLS

- Label Edge Router (LER): εισάγει ετικέτα στο εισερχόμενο πακέτο
- Label Switch Router (LSR): πραγματοποιεί προώθηση με βάση μόνο την ετικέτα

Οι πίνακες προώθησης MPLS είναι διαφορετικοί από τους πίνακες δρομολόγησης. Οι ετικέτες κατανέμονται μεταξύ των LER και LSR με τη χρήση του LDP (Label Distribution Protocol). Οι δρομολογητές MPLS πρέπει να συνυπάρχουν με απλούς δρομολογητές IP.

## 3.5 Μέσα Μετάδοσης Δεδομένων

Κάθε πληροφορία, προκειμένου να μεταδοθεί από την πηγή στον προορισμό της πρέπει να χρησιμοποιήσει κάποιο μέσο, που λέγεται μέσο μετάδοσης. Το μέσο μετάδοσης παρέχει ένα φυσικό δρόμο ή αλλιώς, ένα κανάλι επικοινωνίας διαμέσου του οποίου θα μεταφέρονται τα σήματα. Κάθε μέσο μετάδοσης αναλογικών σημάτων είναι σχεδιασμένο για ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων, το οποίο καθορίζει και το εύρος ζώνης του (bandwidth) του. Συνεπώς το εύρος ζώνης εκφράζει πάντα τη διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη συχνότητα που μπορεί να εξασφαλίσει το μέσο μετάδοσης. Το εύρος ζώνης επιμερίζεται σε ζώνες συχνοτήτων μικρότερους εύρους, που ονομάζονται λογικά κανάλια. Στην ψηφιακή μετάδοση η χωρητικότητα (capacity) ενός αναλογικού μέσου εκφράζει το μέγιστο ρυθμό με τον οποίο μπορούμε να στείλουμε ή να πάρουμε χωρίς σφάλμα κάποια πληροφορία από αυτά και έχει στενή σχέση με το εύρος ζώνης του. Γενικά, όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης του μέσου μετάδοσης, όσο μεγαλύτερος είναι και ο ρυθμός μετάδοσης των δυαδικών ψηφίων. Στα συστήματα επικοινωνίας δεδομένων η χωρητικότητα μετριέται σε δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο (bps: bits per seconds).

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, τα μέσα μετάδοσης διακρίνονται σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- Μέσα μετάδοσης στενής ζώνης (narrowband), που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 45 έως 600 bps. Τα μέσα αυτά δεν έχουν επαρκή χωρητικότητα για να μεταδώσουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις και συναντώνται σε τηλεγραφικά κυκλώματα.
- Μέσα μετάδοσης βασικής ζώνης (baseband), που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 1200 έως 33600 bps. Τυπικά χρησιμοποιούνται στην τηλεφωνία για τη μετάδοση σημάτων φωνής.
- Μέσα μετάδοσης ευρείας ζώνης (broadband), που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 48.000 έως 1.5Mbps. Η χωρητικότητά τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί όλο το εύρος τους, μπορεί όμως και να υποδιαιρεθούν σε λογικά κανάλια μικρότερης χωρητικότητας προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε

τηλεφωνικές συνδιαλέξεις ή στη μετάδοση σημάτων χαμηλότερων ρυθμών μετάδοσης.

Όπως είναι γνωστό, η επικοινωνία μπορεί να είναι ενσύρματη ή ασύρματη. Στην ενσύρματη το μέσο μετάδοσης είναι το καλώδιο, ενώ στην ασύρματη η γήινη ατμόσφαιρα. Τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης διακρίνονται στα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων, στα ομοαξονικά καλώδια και στις οπτικές ίνες (Κοκκινάκης, 2004).

### **3.5.1 Ενσύρματα μέσα μετάδοσης**

- Καλώδια Συνεστραμμένου Ζεύγους (Twisted Pair – Unshielded Twisted Pair CAT5)
- Ομοαξονικά Καλώδια Βασικής Ζώνης (Baseband Coaxial Cable)
- Ομοαξονικά Καλώδια Ευρείας Ζώνης (Broadband Coaxial Cable)
- Οπτικές Ίνες

### **3.5.2 Ασύρματη Μετάδοση (Wireless Transmission)**

Οι ασύρματες μεταδόσεις δεν απαιτούν καλωδιακό μέσο για την επικοινωνία. Το μέσο μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι η γήινη ατμόσφαιρα ή το διάστημα. Η περιοχή των συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στα ασύρματα συστήματα κυμαίνεται από 10KHz έως 40GHz περίπου και με την εισαγωγή των λέιζερ φθάνει ως την περιοχή των οπτικών κυμάτων.

Η ασύρματη επικοινωνία πραγματοποιείται είτε μεταξύ δύο σταθερών σημείων είτε μεταξύ δύο σημείων από τα οποία το ένα ή και τα δύο βρίσκονται σε κίνηση. Οι ασύρματες μεταδόσεις με οπτική επαφή στηρίζονται στις υπέρυθρες ακτίνες, στην τεχνολογία των λέιζερ, στα μικροκύματα, καθώς και σε ορισμένες περιοχές του ραδιοφωνικού φάσματος. Σημειώνεται ότι η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ σταθερών σημείων, σε συνδυασμό με την ενσύρματη,



καλύπτει ένα μεγάλο μέρος της τηλεφωνικής κίνησης των υπεραστικών δικτύων.

Όπως είναι γνωστό, η μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται από κάποιον πομπό δεν είναι πάντα ευθύγραμμη. Τα κύματα που ακολουθούν την καμπυλότητα της Γης και επομένως μεταδίδονται στην επιφάνεια της λέγονται επιφανειακά κύματα και είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στη ραδιοφωνία. Παράδειγμα επιφανειακών κυμάτων αποτελούν τα μακρά και μεσαία ραδιοκύματα. Όμως όσο το κύμα απομακρύνεται από τον πομπό, τόσο ελαττώνεται η έντασή του με αποτέλεσμα σε μεγάλες αποστάσεις να έχει εξασθενήσει, να έχει χάσει δηλαδή ένα μεγάλο μέρος της έντασής του (Κοκκινάκης, 1994).

Ασύρματα μέσα μετάδοσης

- ραδιοκύματα (Radiowaves)
- μικροκύματα (Microwaves)
- δορυφορική επικοινωνία
- υπέρυθρα – λέιζερ (Infrared)

## 3.6 Διαχωρισμός επίπεδου μετάδοσης δεδομένων

Το επίπεδο σύνδεσης αποτελείται από δύο υποεπίπεδα:

- Το υποεπίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσω (Medium Access Control)
- Το υποεπίπεδο λογικού ελέγχου σύνδεσης (Logical Link Control)

Το **υποεπίπεδο MAC** καθορίζει λεπτομέρειες σχετικά με το ποιος θα έχει σειρά για μετάδοση δεδομένων σε κανάλια πολλαπλής πρόσβασης. Είναι πολύ σημαντικός ο ρόλος στα ενσύρματα δίκτυα αλλά κυρίως στα ασύρματα δίκτυα. Πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου αποτελούν το Ethernet, το WiFi. Το υποεπίπεδο MAC είναι

ιδιαίτερα σημαντικό στα LAN, αφού πολλά LAN χρησιμοποιούν ένα κανάλι πολλαπλής πρόσβασης ως βάση για την επικοινωνία.

Η πρόσβαση σε κοινό μέσο μετάδοσης απαιτεί συντονισμό.

Δύο τρόποι ελέγχου πρόσβασης:

- κεντρικός
- κατανεμημένος

### **Κεντρικός Έλεγχος Πρόσβασης**

Ένας κεντρικός ελεγκτής (κόμβος) παραχωρεί πρόσβαση στους σταθμούς του δικτύου (rolling master).

- ξεκάθαρος έλεγχος (δεν υπάρχουν διενέξεις σταθμών)
- μοναδικό σημείο αστοχίας (single point of failure)
- συμφόρηση (congestion)

### **Κατανεμημένος Έλεγχος Πρόσβασης**

Όλοι οι σταθμοί εκτελούν ένα κοινό σύνολο κανόνων

- αποκέντρωση
- απομόνωση σταθμού με βλάβη

Το **υποεπίπεδο λογικού ελέγχου σύνδεσης** ασχολείται με τους αλγορίθμους αξιόπιστης και αποδοτικής επικοινωνίας για μονάδες πληροφοριών που αποκαλούνται για το συγκεκριμένο επίπεδο “πλαίσια”. Πρωτόκολλα αυτού του επιπέδου αποτελούν το HDLC (High level Data Link Control), το PPP (Point to Point Protocol).

Η αντιμετώπιση των σφαλμάτων λαμβάνει χώρα σε δύο φάσεις:

- Πλαισίωση (framing) των δεδομένων.
- Ανίχνευση και διόρθωση των σφαλμάτων σε κάθε πλαίσιο.

Για τον συντονισμό της πρόσβασης στο κοινό μέσο μετάδοσης υπεύθυνο είναι το Υπο-επίπεδο Πρόσβασης στο Μέσο (Medium Access Control – MAC). Παρέχει :

- Διευθυνσιοδότηση
- Μηχανισμούς (πρωτόκολλα) συντονισμού πρόσβασης (Tanenbaum, 2003).

Αναλυτικότερα ακολουθεί στο παρακάτω κεφάλαιο.

# Κεφάλαιο 4ο

## Υποεπίπεδο λογικού ελέγχου σύνδεσης

Η μετάδοση δεδομένων μέσα από ένα σύνδεσμο δεν εξασφαλίζει την αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ δύο κόμβων του δικτύου π.χ. δεδομένα μπορεί να καταστραφούν στο κανάλι. Στόχος του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων είναι η αποδοτική και αξιόπιστη επικοινωνία γειτονικών κόμβων.

**Λογική σύνδεση είναι η αξιόπιστη ροή δεδομένων μεταξύ δύο κόμβων που συνδέονται με ένα σύνδεσμο.**

Η υλοποίηση μιας λογικής σύνδεσης απαιτεί την επίλυση των παρακάτω ζητημάτων:

- καθορισμός των κόμβων που επικοινωνούν (όταν πολλοί κόμβοι χρησιμοποιούν τον ίδιο σύνδεσμο)
- τμηματοποίηση της πληροφορίας (για δίκτυα μεταγωγής πακέτου)
- αξιόπιστη μετάδοση των δεδομένων

Η έννοια της λογικής σύνδεσης είναι απαραίτητη ανεξάρτητα από το αν ένας σύνδεσμος συνδέει δύο δρομολογητές/μεταγωγείς ή συνδέει πολλούς υπολογιστές υπηρεσίας σε ένα δίκτυο άμεσου συνδέσμου (Tanenbaum, 2003).

Μια λογική σύνδεση αποτελείται από τους παρακάτω μηχανισμούς:

- **πλαισίωση (framing)**
- **διόρθωση σφαλμάτων (error correction)**

- έλεγχο ροής (flow control)
- έλεγχο σφαλμάτων (error control)

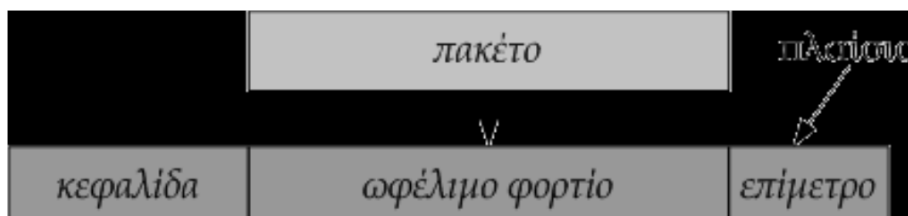
Οι μηχανισμοί μιας λογικής σύνδεσης κατατάσσονται στο επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων (data link layer) σύμφωνα με το μοντέλο OSI συνήθως αναφέρουμε ότι οι μηχανισμοί της λογικής σύνδεσης αποτελούν ένα υποεπίπεδο που ονομάζεται υποεπίπεδο ελέγχου λογικής σύνδεσης (Logical Link Control, LLC).

## 4.1 Πλαισίωση

Στα δίκτυα μεταγωγής πακέτου η πληροφορία μεταδίδεται κατά τμήματα και αυτό γιατί το επίπεδο μετάδοσης δεδομένων λαμβάνει μια ανεπεξέργαστη ροή από μονάδες πληροφορίας (bits) που ενδέχεται να περιέχει σφάλματα. Το πλήθος των bit που λαμβάνονται μπορεί να διαφέρει από αυτό που αρχικά μεταδόθηκαν. Για λόγους διαχείρισης είναι θεμιτό να ομαδοποιηθούν σε τμήματα. Στο επίπεδο λοιπόν συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων τα τμήματα αυτά ονομάζονται πλαίσια (frames).

Ένα πλαίσιο αποτελείται από (εικόνα 22):

- **την κεφαλίδα:** περιέχει δεδομένα απαραίτητα για την υλοποίηση των μηχανισμών της λογικής σύνδεσης αλλά και του επιπέδου συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων, π.χ. διευθύνσεις κόμβων που επικοινωνούν
- **το ωφέλιμο φορτίο:** περιέχει το πακέτο που προέρχεται από το επίπεδο δικτύου
- **το επίμετρο:** περιέχει δεδομένα για την αξιόπιστη μετάδοση του πλαισίου



Εικόνα 22: μορφή πλαισίου

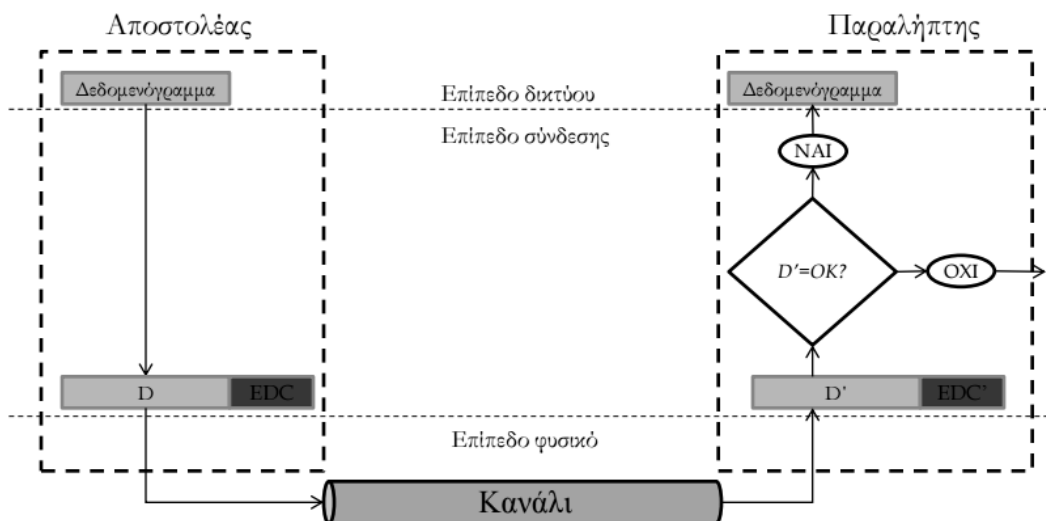
Ένα σημαντικό ζήτημα στην πλαισίωση είναι ο καθορισμός των ορίων (αρχής και τέλους) ενός πλαισίου δεδομένων, ιδιαίτερα σημαντικό όταν μεταδίδονται συνεχόμενα πλαίσια.

Οι γνωστότερες τεχνικές για την επίλυση του προβλήματος είναι:

- μετρητής χαρακτήρων
- δείκτες συνόρων με συμπλήρωση byte
- δείκτες συνόρων με συμπλήρωση bit
- χρονισμός με χαρακτήρες που δε χρησιμοποιούνται από την κωδικοποίηση φυσικού επιπέδου

## 4.2 Ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων

Εμπλουτισμός του πλαισίου προς αποστολή με bits EDC τα οποία θα βοηθήσουν τον δέκτη να εντοπίσει και (ενδεχομένως) να διορθώσει σφάλματα και αλλοιώσεις (εικόνα 23).



Εικόνα 23: Γενικό σχεδιάγραμμα Error Detection and Correction - EDC

Ο θόρυβος μπορεί να προκαλέσει αλλοίωση ενός ή περισσότερων bits κατά τη μετάδοση δεδομένων μέσα από ένα σύνδεσμο. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος γίνεται χρήση της πλεονάζουσας

(redundant) πληροφορίας όπου ο παραλήπτης μπορεί να χρησιμοποιήσει την πλεονάζουσα πληροφορία για να ανιχνεύσει ή να διορθώσει τα σφάλματα.

Δύο προσεγγίσεις για τη χρήση πλεονάζουσας πληροφορίας:

- η πλεονάζουσα πληροφορία κατασκευάζεται με βάση τα δεδομένα και προστίθεται στο τέλος ενός πλαισίου (επίμετρο)
- κάθε πλαίσιο μεγέθους  $k$  bits αναπαρίσταται από ένα νέο πλαίσιο μεγέθους  $n > k$  bits ( $n - k$  πλεονάζοντα bits)

Η χρήση επίμετρου είναι η συνηθέστερη προσέγγιση στα δίκτυα υπολογιστών. Στα δίκτυα υπολογιστών κώδικας ανίχνευσης/διόρθωσης σφαλμάτων ονομάζεται ο αλγόριθμος σύμφωνα με τον οποίο κατασκευάζεται το επίμετρο.

**Γενικός ορισμός:** Ένα σύνολο από ακολουθίες bit, οι οποίες καλούνται κωδικολέξεις, που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των δεδομένων πληροφορίας. Στα δίκτυα, ένα επίμετρο συνήθως κατασκευάζεται με τρόπο ώστε τα δεδομένα μαζί με το επίμετρο να αποτελούν μια από τις κωδικολέξεις ενός κώδικα. Οι κώδικες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την ικανότητά τους να ανιχνεύουν ή να διορθώνουν σφάλματα:

- κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων (Error Detecting Codes)
- κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων (Error Correcting Codes, ECC)

Η αντιμετώπιση των σφαλμάτων γίνεται με δύο προσεγγίσεις:

- ευθεία διόρθωση των σφαλμάτων
- ανίχνευση των σφαλμάτων και αίτηση επανεκπομπής του πλαισίου

Η διόρθωση σφαλμάτων δεν είναι πάντα η καλύτερη προσέγγιση

- απαιτείται μεγάλο μέγεθος πλεονάζουσας πληροφορίας
- η πλεονάζουσα πληροφορία μεταδίδεται συνεχώς ακόμα και αν δεν υπάρχουν σφάλματα

Η ευθεία διόρθωση σφαλμάτων είναι προτιμότερη όταν:

- τα σφάλματα είναι πολύ συχνά (π.χ. ασύρματη μετάδοση)
- το κόστος της επανεκπομπής ενός πλαισίου είναι μεγάλο (π.χ. μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης) (Tanenbaum, 2003).

## 4.3 Έλεγχος ροής (flow control)

Ο έλεγχος ροής είναι μια τεχνική με την οποία εξασφαλίζεται ότι μια οντότητα μετάδοσης δεν κατακλύζει με δεδομένα μια οντότητα λήψης. Τυπικά, η οντότητα λήψης εκχωρεί μια ενδιάμεση μνήμη δεδομένων ενός μέγιστου μεγέθους για μια μετάδοση. Όταν λαμβάνονται τα δεδομένα, ο δείκτης πρέπει να κάνει κάποια επεξεργασία πριν διαβιβάσει τα δεδομένα στο λογισμικό του υψηλότερου επιπέδου. Χωρίς έλεγχο ροής, η ενδιάμεση μνήμη του δείκτη ενδέχεται να γεμίσει και να υπερχειλίσει ενώ επεξεργάζεται παλιά δεδομένα(εικόνα 24α).

***Γενικά ο έλεγχος ροής ρυθμίζει την ταχύτητα αποστολής πομπού στην ικανότητα λήψης του δέκτη.***

Το Πρόβλημα του ελέγχου ροής είναι ότι ο παραλήπτης δεν μπορεί να λάβει τα δεδομένα με το ρυθμό που του αποστέλλονται.

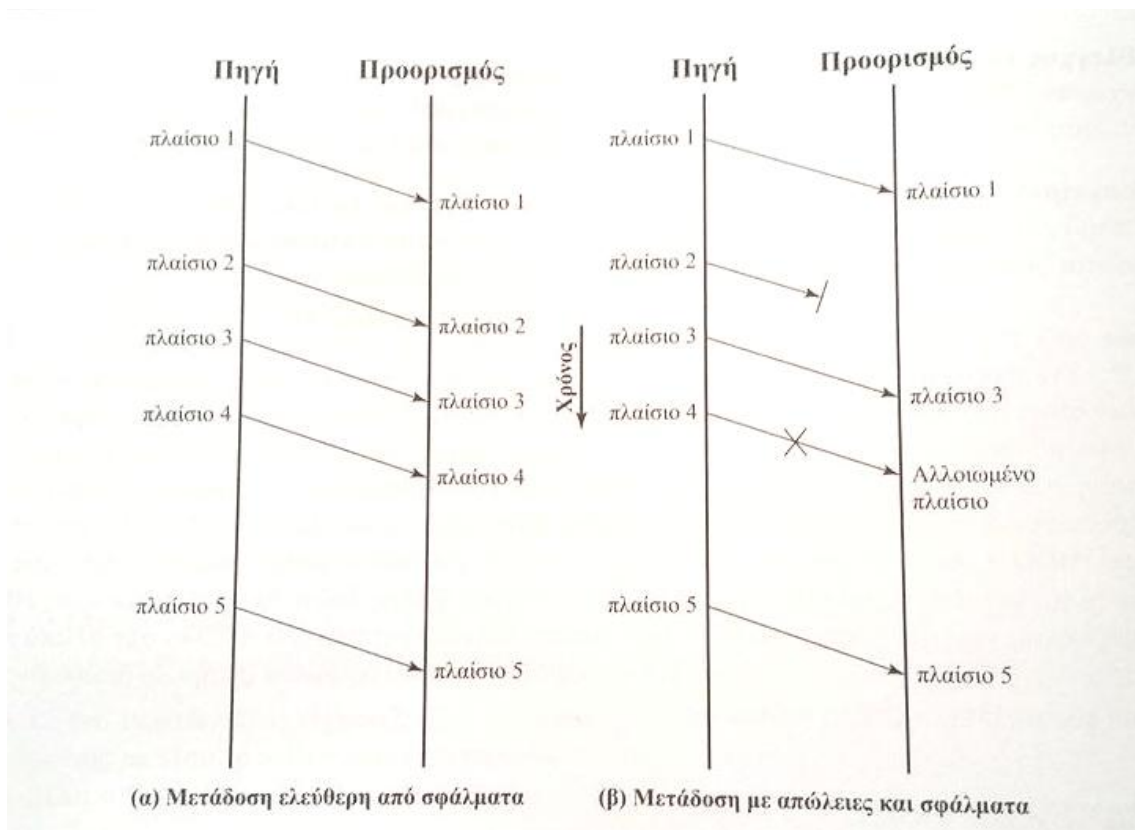
- π.χ. λόγω αυξημένου φόρτου επεξεργασίας
- συνέπεια: απώλεια πλαισίων λόγω του πεπερασμένου αποθηκευτικού χώρου

Οι αλγόριθμοι ARQ αντιμετωπίζουν το πρόβλημα ως μέρος του γενικότερου προβλήματος της απώλειας πλαισίων. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι χρήσιμοι σε περιπτώσεις που τα σφάλματα στο κανάλι δεν υπάρχουν ή διορθώνονται με ένα κώδικα ευθείας διόρθωσης και ονομάζονται αλγόριθμοι ελέγχου ροής (flow control algorithms) (Stallings,2011).

Δυο είναι οι μηχανισμοί που βοηθούν στον έλεγχο ροής των δεδομένων:



- **Stop and Wait:** Αυτός ο μηχανισμός ελέγχου ροής αναγκάζει τον αποστολέα μετά τη μετάδοση ενός πλαισίου δεδομένων να σταματήσει και να περιμένει μέχρι να ληφθεί η αναγνώριση των πλαισίων που αποστέλλονται.
- **Sliding Window:** Σε αυτό το μηχανισμό ελέγχου ροής, τόσο ο αποστολέας όσο και ο παραλήπτης πρέπει να διατηρούν ένα παράθυρο αναγνώρισης (acknowledgement). Σε κάθε πλευρά του είναι ενεργή μια διεργασία η οποία αναλαμβάνει τη σωστή μετάδοση. Περιλαμβάνει δύο μέρη, ένα το οποίο στέλνει εξερχόμενα δεδομένα και ένα το οποίο διαχειρίζεται τα εισερχόμενα. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται full-duplex μετάδοση, καθώς ο κάθε host μπορεί να είναι ταυτόχρονα αποστολέας και παραλήπτης (Stallings, 2011). Αναλυτικότερα οι μηχανισμοί αυτοί παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5 .



Εικόνα 24: Μοντέλο μετάδοσης πλαισίων

## 4.4 Έλεγχος σφαλμάτων (error control)

Ο έλεγχος σφαλμάτων αναφέρεται σε μηχανισμούς ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων τα οποία εμφανίζονται κατά την μετάδοση πλαισίων (εικόνα 24β). Όπως και πριν τα δεδομένα στέλνονται ως μια ακολουθία πλαισίων. Τα πλαίσια φθάνουν με την ίδια σειρά με την οποία αποστέλλονται και κάθε μεταδιδόμενο πλαίσιο υφίσταται μια αυθαίρετη και πιθανόν μεταβλητή καθυστέρηση πριν από κάθε λήψη. Δυο τύποι σφαλμάτων (Κοκκινάκης, 2004) :

- **Χαμένο πλαίσιο.** Ένα πλαίσιο αποτυγχάνει να φτάσει στην άλλη πλευρά. Για παράδειγμα, μια ριπή θορύβου είναι δυνατόν να καταστρέψει το πλαίσιο, στο σημείο που ο δέκτης να μην αναγνωρίζει τη μετάδοσή του.
- **Κατεστραμμένο πλαίσιο.** Ένα αναγνωρισμένο πλαίσιο φτάνει, αλλά μερικά από τα bits είναι εσφαλμένα (έχουν αλλάξει κατά την διάρκεια της μετάδοσης).

Οι πιο κοινές τεχνικές ελέγχου σφαλμάτων βασίζονται σε μερικά ή όλα τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- ανίχνευση σφάλματος
- θετική επιβεβαίωση λήψης
- αναμετάδοση μετά το τέλος χρόνου
- αρνητική επιβεβαίωση λήψης και αναμετάδοσης

Συνολικά, όλοι αυτοί οι μηχανισμοί αναφέρονται ως **μηχανισμοί αυτόματης αίτησης επανάληψης (Automatic Repeat reQuest, ARQ)**. Το αποτέλεσμα αυτής είναι να μετατρέψει μια αναξιόπιστη ζεύξη δεδομένων σε αξιόπιστη. Τρεις εκδοχές αυτόματης αίτησης επανάληψης έχουν τυποποιηθεί (Stallings, 2011):

- **ARQ παύσης και αναμονής**
- **ARQ επανεκπομπής N**
- **ARQ επιλεκτικής απόρριψης**

Όλες αυτές οι μορφές βασίζονται στη χρήση τεχνικών ελέγχου ροής και θα εξεταστούν αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

# Κεφάλαιο 5ο

## Έλεγχος ροής και σφαλμάτων (flow and error control)

Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα σχεδίασης που εμφανίζεται στο επίπεδο συνδέσμου μετάδοσης δεδομένων είναι με το τι θα πρέπει να γίνει με τους αποστολείς που προσπαθούν συστηματικά να μεταδώσουν πλαίσια με ρυθμό ταχύτερο απ' όσο μπορούν να αντέξουν οι παραλήπτες. Αυτή η κατάσταση είναι εύκολο να παρουσιαστεί όταν ο αποστολέας εκτελείται σε ένα γρήγορο υπολογιστή και ο παραλήπτης εκτελείται σε μια αργή μηχανή. Ο αποστολέας θα συνεχίσει να παράγει πλαίσια με γοργό ρυθμό, μέχρι να κατακλύσει τον παραλήπτη. Ακόμα και όταν η μετάδοση γίνεται χωρίς σφάλματα, σε κάποιο σημείο ο παραλήπτης θα είναι πια ανίκανος να διαχειριστεί τα πλαίσια που λαμβάνει και θα αρχίσει να χάνει μερικά από αυτά (Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003).

### 5.1 Έλεγχος ροής (flow control)

Στον έλεγχο ροής:

- τα δεδομένα στέλνονται σε ακολουθίες από πλαίσια
- τα πλαίσια περιλαμβάνουν δεδομένα και πληροφορίες ελέγχου
- ο χρόνος μετάδοσης:

- ο χρόνος που απαιτείται για την εκπομπή όλων των bit ενός πλαισίου πάνω στο μέσο μετάδοσης
- εξαρτάται από το μήκος του πλαισίου
- ορίζεται ως  $L/R$  (όπου  $L$  είναι το μήκος του πλαισίου σε bits και  $R$  είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε bps)
- ο χρόνος διάδοσης:
  - ο χρόνος που απαιτείται για την μεταφορά ενός bit από τον πομπό στο δέκτη (δηλ. να διαβεί το μέσο μετάδοσης)
  - το ποσό καθυστέρησης είναι μεταβλητό σε περίπτωση που έχουμε δίκτυο
  - σε μία απευθείας σύνδεση σημείου προς σημείο, το ποσό καθυστέρησης είναι σταθερό
  - ορίζεται ως  $d/U$ , όπου  $d$  (m) είναι η απόσταση της ζεύξης και  $U$  είναι η ταχύτητα διάδοσης (m/sec)

Θεωρώντας ότι το μήκος της ζεύξης σε bits είναι  $B$ , τότε  $B=R*d/U$ .

Δυο είναι οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως.

Στην *πρώτη*, τον βασιζόμενο σε ανάδραση έλεγχο ροής (feedback – based flow control), ο παραλήπτης επιστρέφει περιοδικά πληροφορίες στον αποστολέα δίνοντας του την άδεια να στείλει περισσότερα δεδομένα ή τουλάχιστον ενημερώνοντας τον αποστολέα πώς τα πάει ο παραλήπτης.

Στη *δεύτερη*, τον βασιζόμενο σε ρυθμό έλεγχο ροής (rate – based flow control), το πρωτόκολλο έχει έναν ενσωματωμένο μηχανισμό ο οποίος περιορίζει το ρυθμό με τον οποίο οι αποστολείς μπορούν να μεταδίδουν δεδομένα, χωρίς να χρειάζεται ανάδραση από τον παραλήπτη (Tanenbaum, 2003).

Υπάρχουν διάφορες βασιζόμενες σε ανάδραση μέθοδοι ελέγχου ροής, οι περισσότερες όμως χρησιμοποιούν την ίδια βασική αρχή (Κοκκινάκης, 2004).

## 5.1.1 Πρωτόκολλα Ελέγχου Ροής

Ο έλεγχος ροής :

- παρέχει επίσης μια «μονόδρομη» ροή δεδομένων από τον πομπό προς το δεκτή
- ο δίαυλος επικοινωνίας υποτίθεται ότι είναι ελεύθερος από σφάλματα
- ο δέκτης διαθέτει χώρο αποθήκευσης πεπερασμένης χωρητικότητας και πεπερασμένης ταχύτητας επεξεργασίας.
- ο δέκτης πρέπει να αποτρέπει τον πομπό από το να υπερχειλίσει τον δεκτή με δεδομένα ταχύτερα από όσο μπορεί να χειρισθεί
- ο δίαυλος επικοινωνίας ανάμεσα στα δυο στρώματα ζεύξης δεδομένων πρέπει να είναι ικανός για αμφίδρομη μεταφορά πληροφοριών
- είναι συνυφασμένο με μια αυστηρή εναλλαγή ροής: πρώτα ο πομπός στέλνει ένα πλαίσιο, μετά ο δεκτήσ στέλνει ένα πλαίσιο, μετά ο πομπός στέλνει ένα πλαίσιο, κ.ο.κ

### 5.1.1.1 Έλεγχος Ροής Παύσης και Αναμονής

Η πιο απλή μορφή ελέγχου ροής είναι γνωστή ως έλεγχος ροής παύσης και αναμονής (*Stop and Wait*) και λειτουργεί ως εξής. Μια οντότητα αφετηρίας μεταδίδει ένα πλαίσιο. Όταν η οντότητα παραλάβει το πλαίσιο, δείχνει την προθυμία της να αποδεχθεί ένα άλλο πλαίσιο με την αποστολή μιας επιβεβαίωσης λήψης του πλαισίου που μόλις λήφθηκε. Η αφετηρία θα πρέπει να περιμένει μέχρι να λάβει την επιβεβαίωση λήψης πριν στείλει το επόμενο πλαίσιο. Με τον τρόπο αυτό, ο προορισμός είναι σε θέση να σταματήσει την ροή των δεδομένων απλά παρακρατώντας την επιβεβαίωση λήψης. Αυτή η διαδικασία λειτουργεί πολύ καλά και, στην πραγματικότητα, επιδέχεται πολύ μικρή βελτίωση, στην περίπτωση που ένα μήνυμα στέλνεται σε λίγα μεγάλα πλαίσια.

Ωστόσο, συχνά η αφετηρία διασπά ένα μεγάλο τμήμα δεδομένων σε μικρότερα και μεταδίδει τα δεδομένα σε πολλά πλαίσια.

Με την χρήση πολλαπλών πλαισίων για την αποστολή ενός μηνύματος, η διαδικασία παύσης και αναμονής πιθανόν να είναι ανεπαρκής. Η ουσία του προβλήματος είναι ότι σε κάθε χρονική στιγμή, μόνον ένα πλαίσιο μπορεί να βρίσκεται σε μετάβαση. Για να εξηγήσουμε τα παραπάνω, ορίζουμε αρχικά το μήκος bit μιας ζεύξης ως ακολούθως:

$$B=R*d/U$$

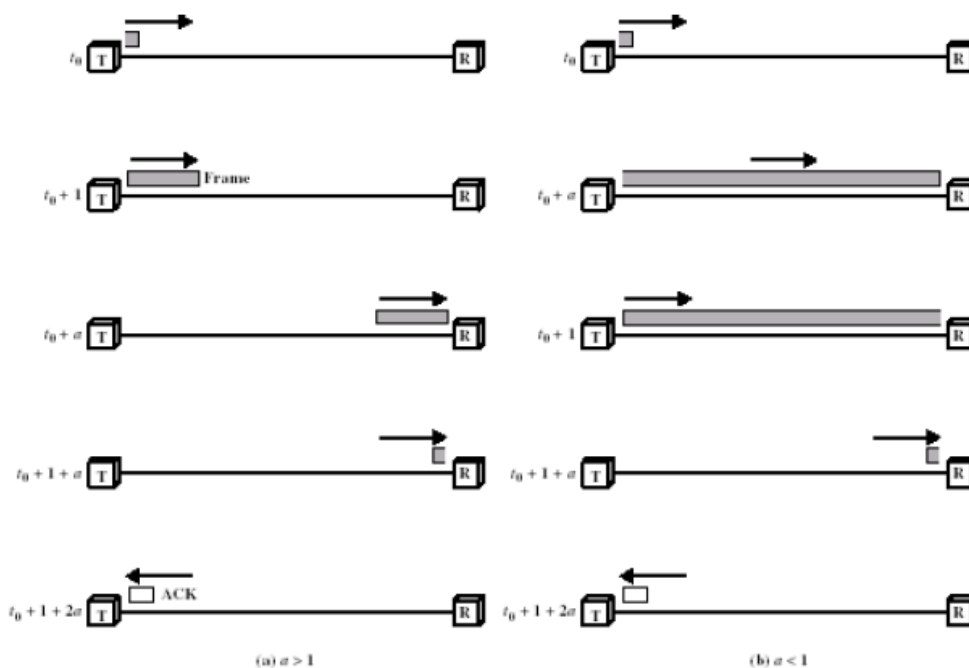
όπου

$B$  = μήκος της ζεύξης σε bit. Πρόκειται για το πλήθος των bits που βρίσκονται στη ζεύξη σε μια χρονική στιγμή, όταν μια ροή από bits καταλαμβάνει πλήρως τη ζεύξη

$R$  = ρυθμός μετάδοσης δεδομένων της ζεύξης σε bps

$d$  = μήκος ή απόσταση της ζεύξης σε μέτρα

$V$  = ταχύτητα διάδοσης σε m/s



Εικόνα 25: Χρήση της ζεύξης κατά τον έλεγχο ροής με τη μέθοδο Παύσης και Αναμονής (χρόνος μετάδοσης = 1, χρόνος διάδοσης =  $\alpha$ )

Σε περιπτώσεις όπου το μήκος της ζεύξης σε bits είναι μεγαλύτερο από το μήκος του πλαισίου, προκύπτουν σοβαρά προβλήματα. Αυτό φαίνεται στην εικόνα 25. Στο σχήμα αυτό, ο χρόνος μετάδοσης ( ο χρόνος που απαιτείται για ένα σταθμό να μεταδώσει ένα πλαίσιο) έχει κανονικοποιηθεί στη μονάδα και η καθυστέρηση διάδοσης ( ο χρόνος που απαιτείται για να ταξιδέψει ένα bit από τον αποστολέα στο δέκτη) εκφράζεται ως η μεταβλητή  $\alpha$ . Επομένως, μπορούμε να εκφράσουμε το  $\alpha$  ως ακολούθως:

$$\alpha = B / L$$

όπου

$L$  = το πλήθος των bits του πλαισίου σε bits

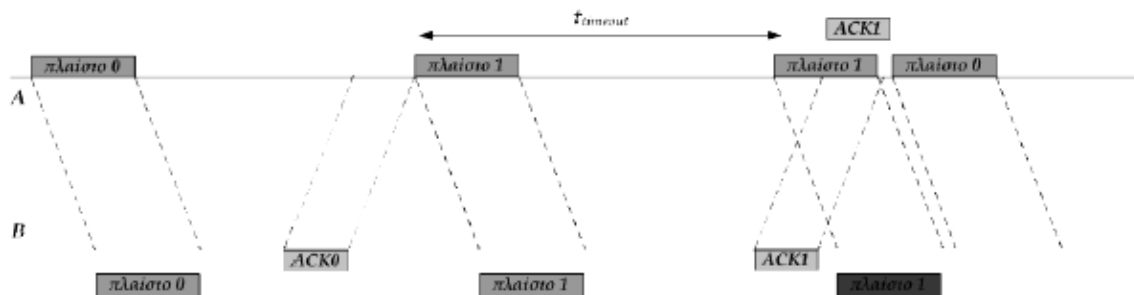
Όταν η τιμή του  $\alpha$  είναι μικρότερη από 1, ο χρόνος διάδοσης είναι μικρότερος από το χρόνο μετάδοσης. Σε αυτή την περίπτωση, το πλαίσιο είναι αρκετά μεγάλο ώστε τα πρώτα του bits να έχουν φτάσει στον προορισμό προτού η αφετηρία ολοκληρώσει την μετάδοση του πλαισίου. Όταν το  $\alpha$  είναι μεγαλύτερο από 1, ο χρόνος διάδοσης είναι μεγαλύτερος από το χρόνο μετάδοσης. Σε αυτήν την περίπτωση ο πομπός ολοκληρώνει τη μετάδοση ολόκληρου του πλαισίου πριν τα bits αυτού του πλαισίου φθάσουν στο δέκτη.

Τα δύο μέρη του σχήματος αποτελούνται από μια ακολουθία στιγμιότυπων της διαδικασίας μετάδοσης μέσα στο χρόνο. Στις δυο αυτές περιπτώσεις, τα πρώτα τέσσερα στιγμιότυπα παρουσιάζουν τη διαδικασία μετάδοσης ενός πλαισίου που περιέχει δεδομένα, ενώ το τελευταίο στιγμιότυπο παρουσιάζει την επιστροφή ενός μικρού πλαισίου επιβεβαίωσης λήψης. Παρατηρείται ότι όταν το  $\alpha > 1$ , η γραμμή δεν χρησιμοποιείται πλήρως, ενώ ακόμα και όταν το  $\alpha < 1$  η γραμμή δεν χρησιμοποιείται με αποδοτικό τρόπο.

**Ουσιαστικά, για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και για πολύ μεγάλες αποστάσεις μεταξύ αποστολέα και δέκτη, ο έλεγχος ροής παύσης και αναμονής παρέχει ανεπαρκή βαθμό χρήσης της γραμμής** (Stallings, 2011).

Συνοπτικά:

- **Ο αποστολέας** μπορεί να μεταδώσει μόνο ένα πλαίσιο αναμένοντας την επιβεβαίωσή του. Το πλαίσιο επανεκπέμπεται αν δεν επιβεβαιωθεί μέσα στο χρόνο αναμονής
- **Ο παραλήπτης** επιβεβαιώνει ένα πλαίσιο μόνο αν διαθέτει αποθηκευτικό χώρο για να λάβει και επόμενο πλαίσιο. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελέγξει την αποστολή δεδομένων (εικόνα 26)



Εικόνα 26: Απεικόνιση αλγορίθμου Παύσης και Αναμονής

Το μειονέκτημα αυτού είναι η χαμηλή ρυθμαπόδοση ακόμα και αν ο παραλήπτης μπορεί να λαμβάνει πλαίσια χωρίς διακοπές.

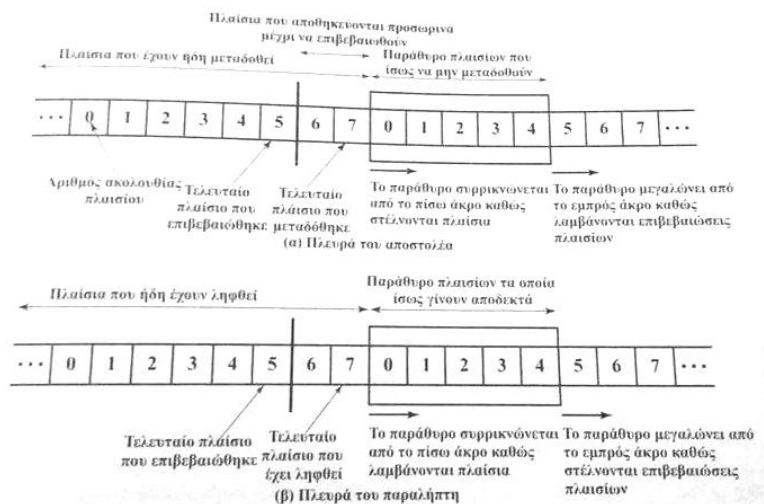
### 5.1.1.2 Έλεγχος Ροής Συρόμενου Παραθύρου

Η ουσία του προβλήματος που περιγράφηκε μέχρι τώρα είναι ότι μόνον ένα πλαίσιο τη φορά μπορεί να διανύει το μέσο. Σε περιπτώσεις όπου το μήκος της ζεύξης σε bits είναι μεγαλύτερο από το μήκος πλαισίου ( $a > 1$ ), προκύπτει σημαντική αναποτελεσματικότητα. Η αποδοτικότητα μπορεί να βελτιωθεί κατά πολύ εάν επιτραπεί σε πολλά πλαίσια να διέρχονται από το μέσο ταυτόχρονα.

Ας εξετάσουμε πως είναι δυνατόν να λειτουργήσει κάτι τέτοιο για δυο σταθμούς, A και B, οι οποίοι συνδέονται μέσω μίας πλήρως αμφίδρομης ζεύξης. Ο σταθμός B εκχωρεί ενδιάμεση μνήμη για W πλαίσια. Κατά συνέπεια, ο B μπορεί να υποδεχθεί W πλαίσια και ο A επιτρέπει να στείλει W πλαίσια χωρίς να αναμένει τις επιβεβαιώσεις λήψης. Για να παρακολουθούμε ποια πλαίσια έχουν επιβεβαιωθεί,



καθένα λαμβάνει μια ετικέτα με έναν αριθμό ακολουθίας. Ο Β επιβεβαιώνει τη λήψη ενός πλαισίου στέλνοντας μια επιβεβαίωση λήψης η οποία περιλαμβάνει τον αριθμό ακολουθίας του επόμενου αναμενόμενου πλαισίου. Επίσης, αυτή η επιβεβαίωση λήψης αναφέρει ρητά ότι ο Β είναι έτοιμος να λάβει τα επόμενα W πλαίσια, αρχίζοντας με τον αριθμό που προσδιορίστηκε. Αυτή η μέθοδος είναι επίσης δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για να επιβεβαιώσει πολλαπλά πλαίσια. Στην εικόνα 27 που ακολουθεί είναι ένας τρόπος απεικόνισης της διαδικασίας συρόμενου παραθύρου.



Εικόνα 27: Απεικόνιση Συρόμενου Παραθύρου

Υποθέτει τη χρήση ενός αριθμού ακολουθίας τριών bits, έτσι ώστε τα πλαίσια να αριθμούνται διαδοχικά από το 0 μέχρι το 7 και στη συνέχεια οι ίδιοι αριθμοί να χρησιμοποιούνται εκ νέου για τα επόμενα πλαίσια. Το σκιασμένο ορθογώνιο δείχνει τα πλαίσια που είναι δυνατόν να σταλούν. Σε αυτό το σχήμα, ο πομπός είναι δυνατόν να μεταδώσει πέντε πλαίσια, αρχίζοντας από το πλαίσιο 0. Κάθε φορά που στέλνεται ένα πλαίσιο, το σκιασμένο παράθυρο συρρικνώνεται και κάθε φορά που παραλαμβάνεται μια επιβεβαίωση λήψης, το σκιασμένο παράθυρο μεγαλώνει. Τα πλαίσια μεταξύ της κάθετης γραμμής και του σκιασμένου παραθύρου έχουν σταλεί αλλά δεν έχουν επιβεβαιωθεί ακόμη. Το μέγεθος παραθύρου δεν χρειάζεται να είναι όσο το μέγιστο δυνατό μέγεθος για ένα δοθέν μήκος αριθμού ακολουθίας.

Ο μηχανισμός που περιγράφηκε ως τώρα, παρέχει μια μορφή ροής ελέγχου: ο δέκτης θα πρέπει απλώς να είναι σε θέση να αποθηκεύσει επτά πλαίσια πέρα από εκείνο που επιβεβαίωσε τελευταίο. Τα περισσότερα πρωτόκολλα ελέγχου ζεύξης δεδομένων επιτρέπουν επίσης σε ένα σταθμό να διακόψει τη ροή των πλαισίων από την άλλη πλευρά, με την αποστολή ενός μηνύματος «όχι έτοιμος για λήψη (Receive not Ready – RNR), το οποίο επιβεβαιώνει τα προηγούμενα πλαίσια, αλλά απαγορεύει τη μεταφορά μελλοντικών πλαισίων. Συνεπώς το μήνυμα RNR 5 σημαίνει ότι «έχω λάβει όλα τα πλαίσια μέχρι τον αριθμό 4 αλλά δεν είμαι σε θέση να δεχτώ άλλα αυτή τη στιγμή». Σε κάποιο επόμενο σημείο, ο σταθμός θα πρέπει να στείλει μια κανονική επιβεβαίωση λήψης, ώστε να ανοίξει εκ νέου το παράθυρο(Choi & Un 1989).

Μέχρι τώρα έχουμε αναφερθεί στη μετάδοση προς μια μόνο κατεύθυνση. Αν δυο σταθμοί ανταλλάσσουν δεδομένα, καθένας θα πρέπει να διατηρεί δυο παράθυρα, ένα για μετάδοση και ένα για τη λήψη και κάθε πλευρά πρέπει να στείλει δεδομένα και επιβεβαιώσεις λήψης στην άλλη. Για να υποστηριχθεί αποτελεσματικά αυτή η απαίτηση, συνήθως παρέχεται ένα χαρακτηριστικό, γνωστό ως εμβόλιμη επιβεβαίωση λήψης (**piggybacking**). Κάθε πλαίσιο δεδομένων περιλαμβάνει ένα πεδίο το οποίο διατηρεί τον αριθμό ακολουθίας αυτού του πλαισίου συν ένα πεδίο που διατηρεί τον αριθμό ακολουθίας που χρησιμοποιείται για επιβεβαίωση. Επομένως αν ένας σταθμός έχει να στείλει δεδομένα και μια επιβεβαίωση, στέλνει και τα δυο μαζί σε ένα πλαίσιο, εξοικονομώντας έτσι χωρητικότητα. Βέβαια, εάν ένας σταθμός έχει να στείλει μια επιβεβαίωση αλλά όχι δεδομένα, στέλνει ένα ξεχωριστό πλαίσιο επιβεβαίωσης. Αν ένας σταθμός έχει να στείλει δεδομένα αλλά όχι κάποια νέα επιβεβαίωση λήψης, θα πρέπει να επαναλάβει τον τελευταίο αριθμό ακολουθίας της επιβεβαίωσης που έστειλε. Αυτό συμβαίνει γιατί το πλαίσιο δεδομένων περιλαμβάνει ένα πεδίο για τον αριθμό επιβεβαίωσης και θα πρέπει να τοποθετηθεί κάποια τιμή σε αυτό το πεδίο. Όταν ένας σταθμός λάβει μια διπλή επιβεβαίωση, απλώς την αγνοεί (Choi & Un 1989).

**Ο έλεγχος ροής συρόμενου παραθύρου είναι πιθανόν πολύ πιο αποτελεσματικός από τον έλεγχο ροής παύσης και αναμονής.**

Ο λόγος είναι ότι, με τον έλεγχο ροής συρόμενου παραθύρου, η ζεύξη μετάδοσης αντιμετωπίζεται ως ένας αγωγός που είναι πιθανό να γεμίσει με διερχόμενα πλαίσια. Αντίθετα με τον έλεγχο ροής παύσης και αναμονής, ένα μόνο πλαίσιο είναι δυνατόν να βρίσκεται στον αγωγό κάθε φορά (Stallings, 2011).

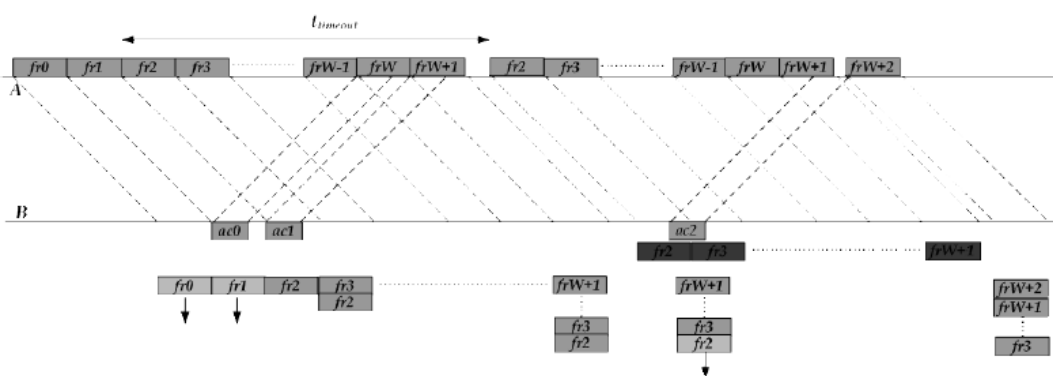
Συνοπτικά (εικόνα 28):

- ο αποστολέας μπορεί να μεταδώσει μέχρι SWS πλαίσια
- ο παραλήπτης μπορεί να αποθηκεύει μέχρι RWS λαμβανόμενα πλαίσια

Ισχύει  $SWS = RWS$

- δεν έχει νόημα η επιλογή  $SWS < RWS$  (ο παραλήπτης δεν θα λάβει περισσότερα πλαίσια από αυτά που στέλνει ο αποστολέας)
- επίσης δεν έχει νόημα η επιλογή  $SWS > RWS$  (ο αποστολέας στέλνει πλαίσια τα οποία δεν μπορούν να αποθηκευτούν)

Ο παραλήπτης επιβεβαιώνει ένα πλαίσιο μόνο αν διαθέτει αποθηκευτικό χώρο για τουλάχιστον  $RWS$  πλαίσια έτσι με τον τρόπο αυτό μπορεί να περιορίσει το ρυθμό αποστολής



Εικόνα 28: Παράδειγμα απεικόνισης πρωτόκολλου Συρόμενου Παραθύρου

## 5.2 Έλεγχος σφαλμάτων (error control)

### 5.2.1 Σκοπιμότητα ελέγχου σφαλμάτων

Σε πολλές περιπτώσεις η ευθεία διόρθωση σφαλμάτων δεν είναι αποδοτική ή εφικτή.

Η ευθεία διόρθωση σφαλμάτων δεν είναι αποδοτική:

- σε κανάλια με μικρό ρυθμό σφαλμάτων
- όταν ο ρυθμός και το είδος των σφαλμάτων απαιτούν υπερβολικά μεγάλο μέγεθος κώδικα για τη διόρθωση
- όταν το κόστος της αναμετάδοσης ενός πλαισίου είναι μικρό

Η ευθεία διόρθωση σφαλμάτων δεν είναι εφικτή όταν:

- το κανάλι καταστρέφει πλήρως τα πλαίσια (erasure channel)
- το πλήθος των σφαλμάτων σε ένα πλαίσιο είναι τέτοιο ώστε ακόμα και ο κώδικας ευθείας διόρθωσης αποτυγχάνει

Η ευθεία διόρθωση σφαλμάτων δεν μπορεί να αντιμετωπίσει απώλειες πλαισίων εξαιτίας του ότι ο παραλήπτης δεν μπορεί να παραλάβει τα πλαίσια με το ρυθμό που του αποστέλλονται (Tanenbaum, 2003).

### 5.2.2 Πρωτόκολλα ARQ ελέγχου σφαλμάτων

**Κεντρική ιδέα: ανίχνευση της απώλειας ενός πλαισίου και επανεκπομπή του από τον αποστολέα.**

Βασικοί μηχανισμοί για την ανίχνευση της απώλειας ενός πλαισίου:

- επιβεβαίωση της λήψης από τον παραλήπτη με την αποστολή ενός πλαισίου επιβεβαίωσης (ACK)
- αναμονή για τη λήψη της επιβεβαίωσης από τον αποστολέα (χρόνος αναμονής (timeout)). Αν δεν ληφθεί επιβεβαίωση τότε η εκπομπή επαναλαμβάνεται
- αρίθμηση των πλαισίων με ακολουθιακούς αριθμούς (sequence numbers) (Akyildiz & Liu, 1991).

Τα πρωτόκολλα που επανεκπέμπουν πλαίσια μετά τη λήξη του χρόνου αναμονής ονομάζονται **πρωτόκολλα αυτόματης αίτησης επανάληψης (Automatic Repeat reQuest, ARQ)**

Τα πρωτόκολλα ARQ διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητα και την αξιοποίηση του συνδέσμου. Η πολυπλοκότητα εξαρτάται από τον αποθηκευτικό χώρο που απαιτείται αλλά και το πλήθος των ακολουθιακών αριθμών. Η επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου ARQ εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συνδέσμου:

- το ρυθμό σφαλμάτων
- το γινόμενο καθυστέρησης-εύρους ζώνης

Τα σημαντικότερα πρωτόκολλα της κατηγορίας ARQ είναι τα:

- Alternating Bit Protocol (ABP)
- Go-Back-N (GBN)
- Selective Repeat (SR)

Όλες οι παραπάνω μορφές μηχανισμών βασίζονται στη χρήση των τεχνικών ελέγχου ροής που περιγράφηκαν και πιο πάνω (Akyildiz & Liu, 1991).

### **5.2.2.1 Alternating Bit Protocol (ABP)**

Το πρωτόκολλο Alternating Bit Protocol (ABP) είναι το απλούστερο πρωτόκολλο για τον έλεγχο σφαλμάτων. Ονομάζεται επίσης και **Stop-and-Wait ARQ** και βασίζεται στην τεχνική ελέγχου ροής παύσης και αναμονής που παρουσιάστηκε πιο πριν.

**Κεντρική ιδέα: αποστολή ενός πλαισίου κάθε φορά και αναμονή για την επιβεβαίωσή του από τον παραλήπτη. Κανένα άλλο πλαίσιο δεδομένων δεν μπορεί να σταλεί μέχρι να φτάσει η απάντηση του σταθμού προορισμού στο σταθμό αφετηρίας.**

Είναι ένα πρωτόκολλο με χαμηλή πολυπλοκότητα αλλά και χαμηλή αξιοποίηση του συνδέσμου. Ο αποστολέας πρέπει να έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης ενός πλαισίου και επίσης χρησιμοποιούνται μόνο δύο αριθμοί ακολουθίας (οι 0 και 1).

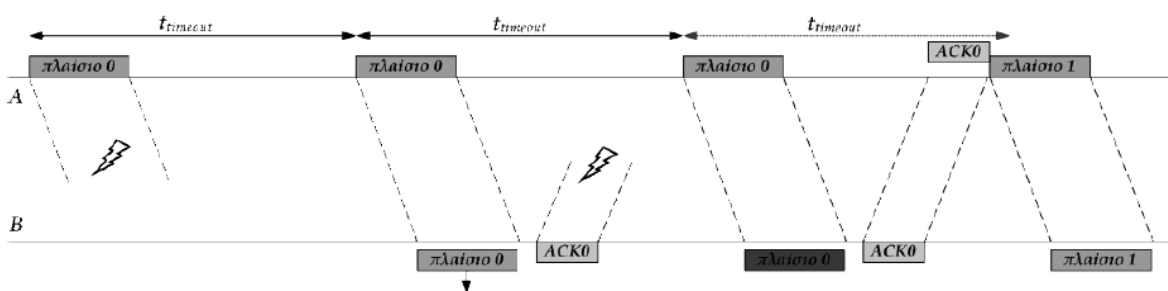
## Λειτουργία ABP

### Αποστολέας:

- εκπέμπει ένα πλαίσιο τη φορά και κρατά αντίγραφο του πλαισίου μέχρι αυτό να επιβεβαιωθεί από τον παραλήπτη
- για την αναμονή της επιβεβαίωσης χρησιμοποιείται χρονόμετρο που λήγει μετά από κάποιο προκαθορισμένο χρόνο ( $t_{timeout}$ )
  - ο χρόνος  $t_{timeout}$  πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να επιτρέπει τη λήψη μιας επιβεβαίωσης και από τον πλέον απομακρυσμένο κόμβο
- τα πλαίσια αριθμούνται εναλλάξ με 0 ή 1
- αν δεν ληφθεί επιβεβαίωση το πλαίσιο επανεκπέμπεται, διαφορετικά εκπέμπεται το επόμενο πλαίσιο

### Παραλήπτης:

- με την ορθή λήψη του πλαισίου:
  - παραδίδει το πλαίσιο στο ανώτερο επίπεδο
  - επιβεβαιώνει την ορθή λήψη ενός πλαισίου με ένα ACK
- το πλαίσιο ACK αριθμείται όπως και το πλαίσιο που επιβεβαιώνει (εικόνα 29)



Εικόνα 29: Απεικόνιση πρωτοκόλλου Alternating Bit Protocol (ABP)

Οι αριθμοί ακολουθίας χρησιμεύουν στην αναγνώριση και απόρριψη διπλοτύπων από τον παραλήπτη τα οποία δημιουργούνται όταν ο αποστολέας επαναλαμβάνει την αποστολή ενός πλαισίου επειδή δεν γνωρίζει ότι το πλαίσιο παραδόθηκε σωστά.

Η μετάδοση ενός πλαισίου στο ABP αποτελείται από  $k$  συνολικά

προσπάθειες ( $k + 1$  αποτυχίες και 1 επιτυχία). Σε κάθε αποτυχία δαπανάται χρόνος  $t_{timeout}$  και στην επιτυχία δαπανάται χρόνος  $2t_{pr} + t_{fr} + t_s + t_{ack}$  όπως φαίνεται στην εικόνα 30.



Εικόνα 30: Απεικόνιση χρόνου που δαπανάται για μετάδοση πλαισίου με το πρωτοκόλλου ABP

Δύο είδη σφαλμάτων μπορούν να συμβούν κατά την μετάδοση (εικόνα 29 και 31).

**Πρώτον**, το πλαίσιο που φτάνει στον προορισμό θα μπορούσε να είναι κατεστραμμένο. Ο δέκτης ανιχνεύει αυτό το ενδεχόμενο χρησιμοποιώντας την τεχνική ανίχνευσης που αναφέρθηκε παραπάνω και απλά απορρίπτει το πλαίσιο. Για αυτό το ενδεχόμενο, ο σταθμός αφετηρίας είναι εξοπλισμένος με ένα χρονόμετρο. Όταν μεταδοθεί ένα πλαίσιο, ο σταθμός αφετηρίας περιμένει μια επιβεβαίωση λήψης. Αν δεν παραληφθεί καμία επιβεβαίωση λήψης μέχρι τη λήξη του χρονομέτρου, τότε το ίδιο το πλαίσιο στέλνεται πάλι. Παρατηρείστε ότι αυτή η μέθοδος απαιτεί ο αποστολέας να διατηρεί ένα αντίγραφο ενός πλαισίου που μεταδόθηκε, μέχρι να παραληφθεί μια επιβεβαίωση για αυτό το πλαίσιο (Akyildiz & Liu, 1991).

Το **δεύτερο** είδος σφάλματος είναι μια κατεστραμμένη επιβεβαίωση. Θεωρείστε την ακόλουθη κατάσταση. Ο σταθμός A στέλνει ένα πλαίσιο. Το πλαίσιο λαμβάνεται σωστά από το σταθμό B, ο οποίος αποκρίνεται με μια επιβεβαίωση λήψης (ACK). Η επιβεβαίωση καταστρέφεται κατά τη μεταφορά και δεν αναγνωρίζεται από τον A, του οποίου ο χρόνος επομένως θα λήξει και θα στείλει εκ νέου το ίδιο πλαίσιο. Αυτό το διπλότυπο πλαίσιο φτάνει και γίνεται αποδεκτό από τον B. Επομένως ο B έχει δεχτεί δύο αντίγραφα του ίδιου πλαισίου σαν να ήταν διαφορετικά. Για να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα, τα πλαίσια λαμβάνουν εναλλάξ μια ετικέτα 0 ή 1 και οι θετικές επιβεβαιώσεις είναι της μορφής ACK0 και ACK1.





### 5.2.2.2 Go-Back-N (GBN)

Η πιο συνηθισμένη μορφή ελέγχου σφαλμάτων που βασίζεται στον έλεγχο ροής συρόμενου παραθύρου, ονομάζεται **ARQ επανεκπομπής N (GO – Back – N)**. Σε αυτήν την μέθοδο, ένας σταθμός μπορεί να στείλει μια σειρά από πλαίσια τα οποία αριθμούνται διαδοχικά modulo κάποια μέγιστη τιμή. Το πλήθος των μη επιβεβαιωμένων πλαισίων που απομένουν καθορίζεται από το μέγεθος του παραθύρου, χρησιμοποιώντας την τεχνική ελέγχου ροής συρόμενου παραθύρου. Όταν δεν εμφανίζεται κανένα σφάλμα, ο προορισμός θα επιβεβαιώνει τα εισερχόμενα πλαίσια ως συνήθως (με RR = έτοιμο για λήψη, ή με εμβόλιμη επιβεβαίωση λήψης). Αν ο σταθμός προορισμού ανιχνεύει ένα σφάλμα σε κάποιο πλαίσιο, μπορεί να στείλει μια αρνητική επιβεβαίωση (REJ = απόρριψη) για αυτό το πλαίσιο. Ο σταθμός προορισμού θα απορρίψει αυτό το πλαίσιο και όλα τα μελλοντικά εισερχόμενα πλαίσια μέχρι να ληφθεί σωστά το εσφαλμένο πλαίσιο. Επομένως, όταν ο σταθμός αφετηρίας λάβει μια επιβεβαίωση REJ, θα πρέπει να αναμεταδώσει το εσφαλμένο πλαίσιο και όλα τα επόμενα πλαίσια που μεταδόθηκαν στο μεσοδιάστημα (Akyildiz & Liu, 1991). Θεωρείστε ότι ο σταθμός A στέλνει πλαίσια στο σταθμό B. μετά από κάθε μετάδοση, ο A θέτει ένα χρονόμετρο επιβεβαίωσης για το πλαίσιο που μόλις μεταδόθηκε. Έστω ότι προηγουμένως, ο B έλαβε επιτυχώς το πλαίσιο  $(i-1)$  και ότι ο A μόλις μετέδωσε πλαίσιο  $i$ . Η τεχνική επανεκπομπής N λαμβάνει υπ' όψιν τα ακόλουθα ενδεχόμενα:

- 1. Καταστραμμένο πλαίσιο:** Εάν το πλαίσιο που έχει ληφθεί δεν είναι έγκυρο (δηλαδή ο B εντοπίζει ένα σφάλμα ή το πλαίσιο είναι τόσο κατεστραμμένο ώστε ο B δεν έχει καν καταλάβει ότι έχει λάβει ένα πλαίσιο), ο B απορρίπτει το πλαίσιο και δεν κάνει καμία περαιτέρω ενέργεια λόγω αυτού του πλαισίου. Υπάρχουν δυο υποπεριπτώσεις:
  - Εντός μιας λογικής χρονικής περιόδου, ο A στέλνει διαδοχικά το πλαίσιο  $(i+1)$ . Ο B λαμβάνει το πλαίσιο  $(i+1)$  σε λάθος σειρά και στέλνει μια επιβεβαίωση REJ  $i$ . Ο A θα

πρέπει να αναμεταδώσει το πλαίσιο  $i$  και όλα τα επόμενα πλαίσια.

- Ο A δεν στέλνει επιπλέον πλαίσια. Ο B δεν λαμβάνει κάτι και δεν επιστρέφει ούτε επιβεβαίωση RR ούτε επιβεβαίωση REJ. Όταν το χρονόμετρο του A λήξει, μεταδίδει ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης RR όπου περιλαμβάνεται ένα bit γνωστό ως P bit, το οποίο τίθεται ίσο με 1. Ο B ερμηνεύει το πλαίσιο RR με ένα P bit ίσο με 1 ως μια εντολή η οποία πρέπει να επιβεβαιωθεί με την αποστολή μια επιβεβαίωσης R, όπου δηλώνεται το επόμενο πλαίσιο που αναμένει, δηλαδή το πλαίσιο  $i$ . Όταν ο A λάβει την επιβεβαίωση RR, αναμεταδίδει το πλαίσιο  $i$ . Εναλλακτικά, ο A θα μπορούσε απλώς να αναμεταδώσει το πλαίσιο  $i$  όταν εκπνεύσει ο χρόνος του.

## 2. Κατεστραμμένη επιβεβαίωση RR:

- Ο B λαμβάνει το πλαίσιο  $i$  και στέλνει την επιβεβαίωση RR( $i+1$ ), η οποία έχει σφάλμα κατά τη μεταφορά.
- Αν το χρονόμετρο του A λήξει, ο A μεταδίδει μια εντολή RR, όπως στην περίπτωση 1β. Ο A θέτει τώρα ένα άλλο χρονόμετρο, το οποίο ονομάζεται P bit. Εάν ο B αποτύχει να αποκριθεί στην εντολή RR ή αν η απόκριση εμφανίζει σφάλμα κατά τη μετάδοση το χρονόμετρο P bit του σταθμού θα εκπνεύσει. Σε αυτό το σημείο, ο A θα προσπαθήσει πάλι εκδίδοντας μια νέα εντολή RR και ξεκινώντας εκ νέου το χρονόμετρο P bit. Αυτή η διαδικασία δοκιμάζεται για ένα πλήθος επαναλήψεων. Εάν ο A αποτύχει να λάβει μια επιβεβαίωση μετά από κάποιο μέγιστο αριθμό προσπαθειών, ξεκινά μια διαδικασία επαναφοράς των αρχικών συνθηκών.

**3. Κατεστραμμένη επιβεβαίωση REJ:** εάν μια επιβεβαίωση REJ χαθεί, αυτή η περίπτωση ισοδυναμεί με την περίπτωση 1β. για παράδειγμα υποθέτουμε έναν αριθμό ακολουθίας τριών Bits (χώρος αριθμού ακολουθίας = 8). Υποθέτουμε ότι ένας αριθμός στέλνει το πλαίσιο 0 και λαμβάνει μια επιβεβαίωση RR

1 και έπειτα στέλνει τα πλαίσια 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 0 και λαμβάνει ακόμα μια επιβεβαίωση RR 1. Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι και τα οκτώ πλαίσια παραλήφθηκαν σωστά και η RR 1 είναι μια συσσωρευτική επιβεβαίωση. Επίσης, θα μπορούσε να σημαίνει ότι και τα οκτώ πλαίσια καταστράφηκαν ή χάθηκαν κατά τη μετάδοση και ότι ο δέκτης επαναλαμβάνει την προηγούμενη επιβεβαίωση RR 1. Το πρόβλημα αποφεύγεται αν το μέγιστο μέγεθος παραθύρου είναι περιορίζεται στην τιμή  $7 (2^3 - 1)$  (Κοκκινάκης, 2004).

**Συνοπτικά:**

- επιτυγχάνει μέτρια αξιοποίηση του συνδέσμου και χαρακτηρίζεται από μέτρια πολυπλοκότητα
- δεν επιτυγχάνει υψηλή ρυθμαπόδοση σε συνδέσμους με υψηλό ρυθμό σφαλμάτων
- απαιτείται δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι  $W$  πλαισίων στον αποστολέα
- δεν απαιτείται δυνατότητα αποθήκευσης στον παραλήπτη
- απαιτείται η χρήση  $W + 1$  αριθμών ακολουθίας

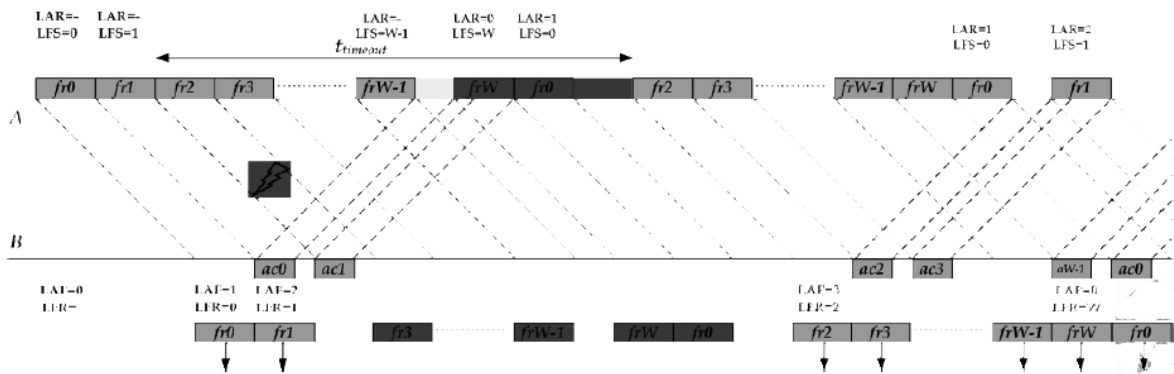
**Αποστολέας:**

- αριθμεί τα προς μετάδοση πλαίσια χρησιμοποιώντας τους ακολουθιακούς αριθμούς  $0, \dots, W$  κυκλικά
- εκπέμπει μέχρι  $W$  μη επιβεβαιωμένα πλαίσια
- αν δεν ληφθεί επιβεβαίωση για ένα πλαίσιο με αριθμό ακολουθίας  $k$  τότε επανεκπέμπονται όλα τα πλαίσια από το  $k$  μέχρι την εξάντληση του παράθυρο (Akyildiz & Liu, 1991)

**Παραλήπτης:**

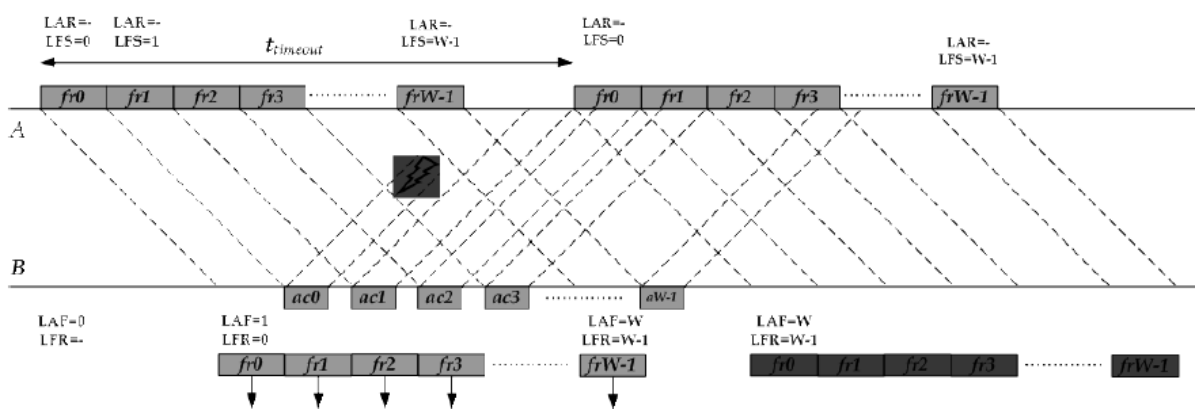
- ένα πλαίσιο γίνεται αποδεκτό και επιβεβαιώνεται (με ένα πλαίσιο ACK με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας) μόνο αν ληφθεί στη σωστή σειρά

- τα πλαίσια με σωστή σειρά παραδίδονται στο ανώτερο επίπεδο
- απορρίπτει όλα τα πλαίσια που λαμβάνονται εκτός σειράς (εικόνα 32)



Εικόνα 32: Απεικόνιση ARQ επανεκπομπής N (GO – Back – N)

Απαιτούνται  $W + 1$  διαφορετικοί αριθμοί ακολουθίας για να γίνεται διάκριση των διπλότυπων πλαισίων. Ακόμα και όταν χαθεί η επιβεβαίωση του πρώτου πλαισίου του τρέχοντος παραθύρου του αποστολέα (Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003) (εικόνα 33).



Εικόνα 33: Απεικόνιση ARQ επανεκπομπής N (GO – Back – N) αφού έχει χαθεί η επιβεβαίωση του πρώτου πλαισίου

### 5.5.2.3 Selective Repeat (SR)

Το πρωτόκολλο Selective Repeat (SR) ανήκει στην κατηγορία Sliding Window ARQ. Σε αυτό τα μόνα πλαίσια που αναμεταδίδονται είναι εκείνα που λαμβάνουν μια αρνητική επιβεβαίωση λήψης, η οποία σε αυτήν τη περίπτωση ονομάζεται SREJ – Selective Reject, ή εκείνα των οποίων ο χρόνος εκπνέει.

Η επιλεκτική απόρριψη φαίνεται να είναι αποδοτικότερη από την επανεκπομπή  $N$ , επειδή ελαχιστοποιεί τον αριθμό των αναμεταδόσεων. Από την άλλη, ο δέκτης πρέπει να διατηρεί μια αρκετά μεγάλη ενδιάμεση μνήμη, ώστε να αποθηκεύσει τα πλαίσια που ακολουθούν την επιβεβαίωση SREJ μέχρι να αναμεταδοθεί το εσφαλμένο πλαίσιο, αλλά και να περιλαμβάνει λογικό μηχανισμό με τον οποίο θα επανατοποθετεί το πλαίσιο στη σωστή σειρά. Επίσης, ο πομπός απαιτεί πιο πολύπλοκη λογική ώστε να είναι σε θέση να στείλει ένα πλαίσιο με λάθος σειρά. Εξαιτίας αυτών των επιπλοκών, η επιβεβαίωση ARQ επιλεκτικής απόρριψης χρησιμοποιείται πολύ λιγότερο από την ARQ επανεκπομπής  $N$ . Η επιλεκτική απόρριψη είναι μια χρήσιμη επιλογή για μια δορυφορική ζεύξη λόγω της μεγάλης καθυστέρησης διάδοσης που εμπεριέχει.

Ο περιορισμός του μεγέθους του παραθύρου είναι πιο αυστηρός για την επιλεκτική απόρριψη σε σύγκριση με την επανεκπομπή  $N$ . Γενικά, για ένα πεδίο αριθμού ακολουθίας μεγέθους  $k$  bits το οποίο παρέχει ένα εύρος αριθμών ακολουθίας  $2^k$ , το μέγιστο μέγεθος παραθύρου περιορίζεται στην τιμή  $2^{k-1}$  (Akyildiz & Liu, 1991).

Συνοπτικά:

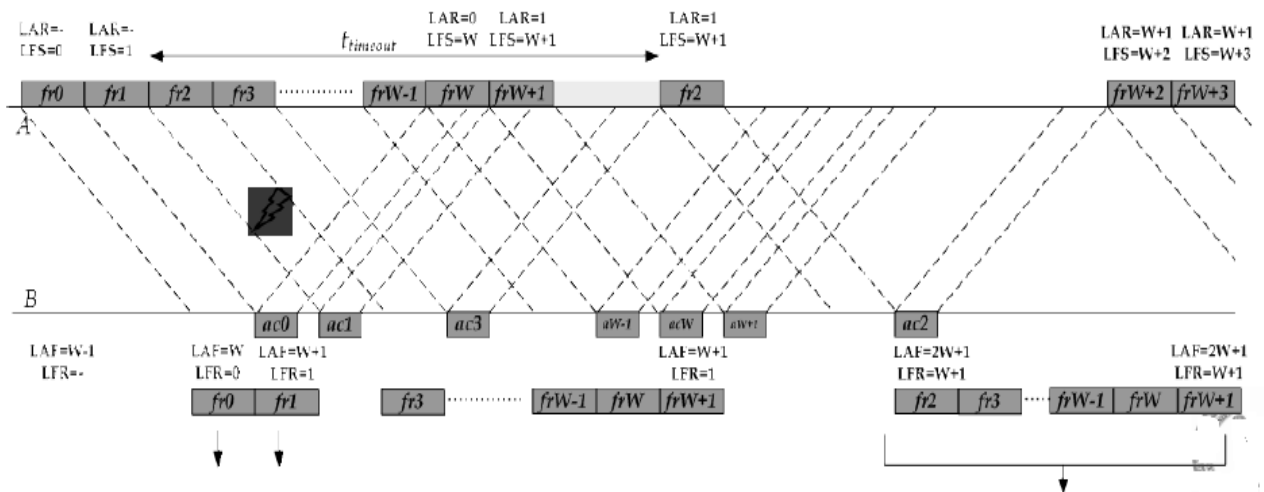
- επιτυγχάνει καλή αξιοποίηση του συνδέσμου και χαρακτηρίζεται από υψηλή πολυπλοκότητα
- απαιτείται δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι  $W$  πλαισίων στον αποστολέα
- απαιτείται δυνατότητα αποθήκευσης μέχρι  $W - 1$  πλαισίων στον παραλήπτη
- απαιτείται η χρήση  $2W$  αριθμών ακολουθίας

## Αποστολέας:

- αριθμεί τα προς μετάδοση πλαίσια χρησιμοποιώντας τους ακολουθιακούς αριθμούς  $0, \dots, 2W - 1$  κυκλικά
- εκπέμπει μέχρι  $W$  μη επιβεβαιωμένα πλαίσια
- αν δεν ληφθεί επιβεβαίωση για ένα πλαίσιο με αριθμό ακολουθίας  $k$  τότε επανεκπέμπεται μόνο το πλαίσιο αυτό

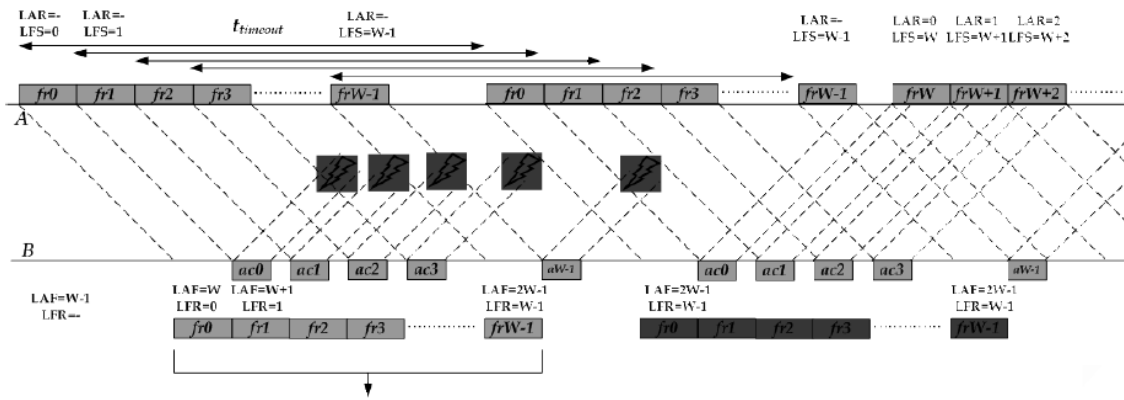
## Παραλήπτης:

- επιβεβαιώνει την ορθή λήψη ενός πλαισίου με ένα πλαίσιο ACK με τον ίδιο αριθμό ακολουθίας
- αποθηκεύει τα πλαίσια που φτάνουν εκτός σειράς
- όταν είναι δυνατή η ανάκτηση της σειράς μιας ομάδας πλαισίων τότε αυτά προωθούνται στο ανώτερο επίπεδο (Anagnoston & Protonotarios, 1986) (εικόνα 34)



Εικόνα 34: Απεικόνιση πρωτόκολλο Selective Repeat (SR)

Απαιτούνται  $2W$  διαφορετικοί αριθμοί ακολουθίας για να γίνεται διάκριση των διπλότυπων πλαισίων ακόμα και όταν χαθούν οι επιβεβαιώσεις για  $W$  πλαίσια (Stallings, 2011 & Tanenbaum, 2003) (εικόνα 35).



Εικόνα 35: Απεικόνιση πρωτόκολλο *Selective Repeat (SR)* όταν έχουν χαθεί οι επιβεβαιώσεις για  $W$  πλαίσια

# Βιβλιογραφία

- [1] A. Tanenbaum, Δίκτυα Υπολογιστών, 4η έκδοση (Κλειδάριθμος, 2003)
- [2] Γ. Κοκκινάκης, Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα, 3η έκδοση (Συμμετρία, 1994)
- [3] Γ. Κοκκινάκης, Εισαγωγή στις Επικοινωνίες, (Συμμετρία, 2004)
- [4] J.K. Choi and C.K. Un (1989): On Acknowledgement Schemes of Sliding Window Flow Control, IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-37, pp 1184 - 1191
- [5] Ian F. Akyildiz and Wei Liu. (1991): A general analysis technique for arq protocol performance in high speed networks, pp 498 - 507
- [6] M. Anagnoston and E.N. Protonotarios (1986): Performance Analysis of the Selective Repeat ARQ Protocol, IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-34, pp 127-135
- [7] P. S. Kritzinger (1986): "A Performance Model of the OSI Communication Architecture", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-34, pp. 554 - 563.
- [8] W. Stallings, Επικοινωνίες Υπολογιστών και δεδομένων, 8η έκδοση (Τζιόλα, 2011)

## Ιστοτόποι:

- [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AD%CE%BB%CE%BF\\_%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AC%CF%82\\_OSI](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AD%CE%BB%CE%BF_%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AC%CF%82_OSI)
- <https://el.wikipedia.org/wiki/TCP/IP>



- [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%80%CE%AF%CF%80%CE%B5%CE%B4%CE%BF\\_%CE%B6%CE%B5%CF%8D%CE%BE%CE%B7%CF%82\\_%CE%B4%CE%B5%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%89%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%80%CE%AF%CF%80%CE%B5%CE%B4%CE%BF_%CE%B6%CE%B5%CF%8D%CE%BE%CE%B7%CF%82_%CE%B4%CE%B5%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%89%CE%BD)
- [https://el.wikipedia.org/wiki/Sliding\\_Window\\_Protocol#Selective\\_Repeat](https://el.wikipedia.org/wiki/Sliding_Window_Protocol#Selective_Repeat)