

1. ΑΡΧΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

1.1 Αναδρομή – εισαγωγή

Πριν από την δεκαετία του 60, η επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών περιοριζόταν στην ανταλλαγή απλού κειμένου και δυαδικών δεδομένων, η οποία χρησιμοποιούσε την πιο γνωστή για την εποχή δικτυακή τεχνολογία, την μεταγωγή κυκλώματος. Η μεταγωγή κυκλώματος αποτελούσε την βάση των τηλεφωνικών δικτύων και χρησιμοποιούνταν κοντά 100 χρόνια. Όμως εξαιτίας της εκρηκτικότητας (δηλαδή μεγάλη ποσότητα δεδομένων σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα) που παρουσίαζε η κίνηση των δεδομένων η μεταγωγή κυκλώματος αποδείχτηκε άκρως ανεπαρκής. Το 1962 ο Paul Baran περιέγραψε την μεταγωγή πακέτου.

Το Internet (Διαδίκτυο) ξεκίνησε ως ένα πείραμα χρηματοδοτούμενο από το υπουργείο εθνικής αμύνης των Η.Π.Α. (για να συνδέσει τους ερευνητικούς υπολογιστές των εργαστηρίων που επίσης χρηματοδοτούνταν από το Υπ. Εθ. Αμύνης). Το 1968 εγκαταστάθηκε το πρώτο δίκτυο μεταγωγής πακέτου (ARPANET) το οποίο είχε 4 κόμβους, τον έναν στο U.C.L.A. Το 1971 απλώθηκε σε όλες τις Η.Π.Α. και μέχρι το 1973 είχε φτάσει και στην Ευρώπη. Το ARPANET περιλάμβανε στρατιωτικές, πανεπιστημιακές και ερευνητικές τοποθεσίες (sites) και χρησιμοποιούνταν για την υποστήριξη πληροφοριακών επιστημών και στρατιωτικών ερευνητικών προγραμμάτων. Το 1984 το υπουργείο αμύνης χώρισε το ARPANET σε δύο δίκτυα – το ARPANET για πειραματική έρευνα και το MILNET για στρατιωτική χρήση.

Διάφορα πρωτόκολλα έκαναν την εμφάνιση τους προσπαθώντας να υποστηρίξουν την καινούργια τεχνολογία. Ένα από αυτά ήταν και το X.25. Το δημοφιλέστερο και επικρατέστερο, όπως αποδείχτηκε αργότερα, ήταν το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μεταφοράς /Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP).

Έτσι λοιπόν το Internet είχε ήδη καλά εδραιωθεί μέχρι το 1985 σαν μια τεχνολογία για την υποστήριξη μιας ευρείας ομάδας ερευνητών και προγραμματιστών, και είχε αρχίσει να χρησιμοποιείται από άλλες ομάδες για καθημερινή επικοινωνία μέσω υπολογιστών. Το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο χρησιμοποιούνταν ευρέως από πολλές ομάδες, που συχνά ήταν χρήστες διαφορετικών συστημάτων.

Το 1987 το National Science Foundation (NSF) χρηματοδότησε ένα δίκτυο που συνέδεσε τα έξι διεθνή κέντρα υπολογιστών που είχαν δημιουργηθεί. Αυτό το δίκτυο ονομάστηκε NSFNET. Φυσικά το δίκτυο αυτό σύνδεσε 13 τοποθεσίες χρησιμοποιώντας υψηλής ταχύτητας μισθωμένες τηλεφωνικές γραμμές και ονομάζεται το δίκτυο κορμού του NSFNET. Το NSFNET αποδείχτηκε τόσο επιτυχημένο που τελικά αντικατέστησε το ARPANET, το οποίο έκλεισε το 1990. Τον Απρίλιο του 1995 το NSFNET αντικαταστάθηκε επίσημα από το NAPS (Network Access Points), με αναγνωρισμένους εμπορικούς παροχείς, οι οποίοι πριν έλεγχαν το δίκτυο σκελετού, και τώρα υποστηρίζουν και το Net. Το Διαδίκτυο έχει γίνει γνωστό σε όλους σαν μέσο προσπέλασης απομακρυσμένων

πληροφοριών και επικοινωνίας μηχανών και ανθρώπων για ανταλλαγή δεδομένων, εικόνων και ήχων. Το Διαδίκτυο είναι μία τεχνολογία επικοινωνίας υπολογιστών που απαρτίζεται από υλοποιήσεις τηλεπικοινωνιακών πρωτοκόλλων μέσω προγραμμάτων υπολογιστών. Όταν τα ίδια πρωτόκολλα χρησιμοποιούνται για την διασύνδεση των υπολογιστών εσωτερικά σε μία επιχείρηση ή σε ένα οργανισμό, τότε χρησιμοποιείται ο όρος Intranet.

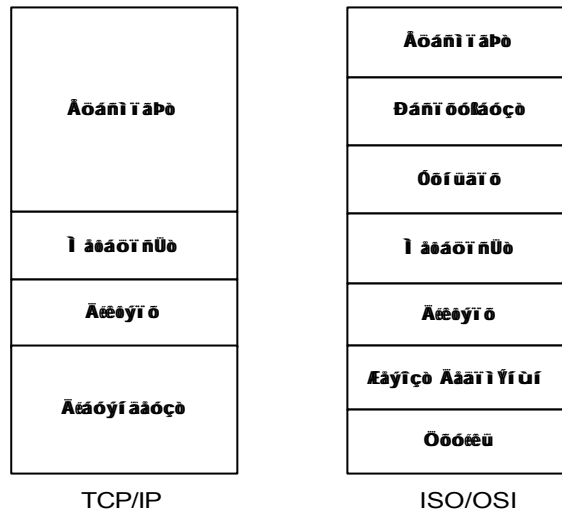
Όπως ήδη αναφέρθηκε το ARPANET ξεκίνησε με 4 κόμβους και το 1983 πριν ακόμα χωριστεί από το Internet είχε 600. Τώρα πλέον το διαδίκτυο έχει 30 εκατομμύρια κεντρικούς υπολογιστές και συνδέει παραπάνω από 200.000 δίκτυα. Η αύξηση έχει αρχίσει να παίρνει εκθετική μορφή και υπολογίζεται ότι το δίκτυο διπλασιάζεται κάθε 6-8 μήνες. Παρόλη την χαοτική ανάπτυξη του, το διαδίκτυο διαθέτει μερικούς οργανισμούς στοιχειώδους διοίκησης. Τέτοιοι είναι το Internet Engineering Task Force (IETF), το Internet Society (ISOC), το Internet Engineering Steering Group (IESG) και αρκετοί άλλοι τόσο διεθνείς όσο και εθνικοί.

1.2 Πρωτόκολλα TCP/IP

1.2.1 Διαστρωμάτωση

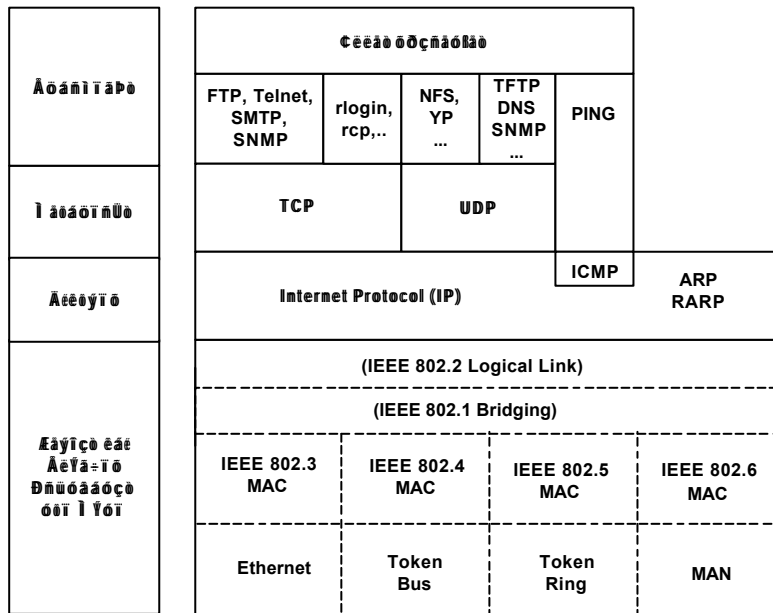
Το Internet βασίζεται στην διασύνδεση τοπικών δικτύων μέσω απλών μεταγωγέων πακέτου, δρομολογητών ή θυρών που εκτελούν δρομολόγηση, καθοριζόμενη από τα σχετικά πρωτόκολλα IP. Η αξιοπιστία της μετάδοσης πακέτων καθορίζεται από τους τελικούς χρήστες με τα πρωτόκολλα Transmission Control Protocol (TCP) ή User Datagram Protocol (UDP). Οι τελικοί χρήστες μπορούν να αναπτύξουν ανώτερες λειτουργίες βασισμένες στις υπηρεσίες του TCP/IP: ενοποίηση συστημάτων αρχείων σε τοπικό δίκτυο (Network File System, NFS), μεταφορά αρχείων δια μέσου του Internet (File Transfer Protocol, FTP), πρόσβαση σε απομακρυσμένους υπολογιστές (Rlogin, Telnet), ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail, Simple Mail Transfer Protocol, SMTP), διαχείριση κόμβων – υπολογιστών, δρομολογητών και υποδικτύων (Simple Network Management Protocol, SNMP), πρόσβαση σε υπηρεσίες πληροφόρησης (Gopher, World-Wide-Web, X-Mosaic) κλπ.

Το TCP/IP θεωρείται ένα σύστημα 4 στρωμάτων όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.1. Όπως και στην αρχιτεκτονική OSI (Open System Interconnection), έτσι και εδώ κάθε στρώμα είναι υπεύθυνο για διαφορετικές λειτουργίες.



Σχήμα 1.1
Διαστρωμάτωση TCP/IP και OSI

Στο Σχήμα 1.1 βλέπουμε την αντιστοιχία των στρωμάτων ISO/OSI και TCP/IP. Το TCP/IP αποτελείται από λιγότερα στρώματα, αλλά κρατάει την δομή και την ιεραρχία του OSI. Τα πρωτόκολλα που παρέχει το κάθε στρώμα φαίνονται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2

Αντιστοίχιση επιπέδων TCP/IP και Πρωτοκόλλων

Το στρώμα ζεύξης δεδομένων περιλαμβάνει τον οδηγό (driver) της κάρτας δικτύου του υπολογιστή και το κατάλληλο λογισμικό για την αλληλεπίδραση με αυτή. Το στρώμα δικτύου χειρίζεται την κίνηση των πακέτων στο δίκτυο, π.χ. η δρομολόγηση των πακέτων γίνεται σε αυτό το στρώμα. Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιεί είναι τα IP, ICMP (Internet Control Message Protocol) και το IGMP (Internet Group Management Protocol). Το στρώμα μεταφοράς παρέχει στο στρώμα εφαρμογής την ροή των δεδομένων μεταξύ δύο υπολογιστών. Στο συγκεκριμένο στρώμα υπάρχουν δυο πολύ διαφορετικά πρωτόκολλα μεταφοράς: το TCP (Transmission Control Protocol) και το UDP (User Datagram Protocol).

Το TCP παρέχει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των απομακρυσμένων υπολογιστών. Ασχολείται με λειτουργίες όπως είναι η κατάτμηση των πακέτων που παίρνει από το στρώμα εφαρμογής σε μεγέθη τέτοια ώστε να είναι κατάλληλα για την επεξεργασία τους από το στρώμα δικτύου, η επιβεβαίωση της λήψης των πακέτων, η ρύθμιση των χρόνων αναμονής (timeouts) ώστε να λαμβάνει και τις επιβεβαιώσεις από το άλλο άκρο της σύνδεσης, κ.ά. Επειδή το στρώμα μεταφοράς αναλαμβάνει όλες αυτές τις λειτουργίες, το στρώμα εφαρμογής δεν χρειάζεται να ασχοληθεί με αυτές τις λεπτομέρειες.

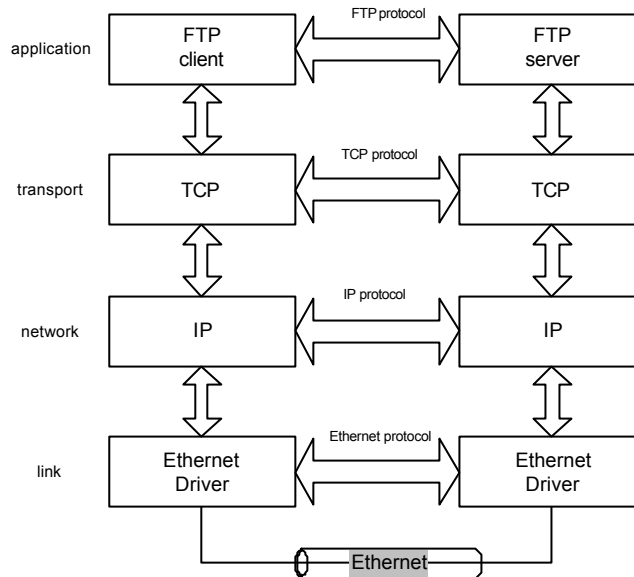
Αντίθετα το πρωτόκολλο UDP παρέχει μια πολύ απλούστερη υπηρεσία στο στρώμα εφαρμογής. Απλώς στέλνει πακέτα που ονομάζονται datagrams από την μια άκρη στην άλλη, αλλά δεν είναι σίγουρο ότι τα πακέτα θα φτάσουν στην άλλη πλευρά, παρέχοντας με αυτό τον τρόπο μια αναξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς. Οποιαδήποτε επιθυμητή αξιοπιστία πρέπει να προστεθεί στο στρώμα εφαρμογής.

Τα δύο πρωτόκολλα μεταφοράς TCP και UDP χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του IP για την κατάτμηση των μηνυμάτων σε πακέτα και την δρομολόγηση των πακέτων αυτών διαμέσου των κόμβων του δικτύου.

Το πρωτόκολλο ICMP (Internet control message protocol) αποτελεί ένα ουσιαστικό κομμάτι του πρωτοκόλλου IP, που είναι υπεύθυνο για τα μηνύματα λαθών και ελέγχου. Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιείται από τους δρομολογητές και από τους σταθμούς εργασίας προκειμένου οι δρομολογητές να αναφέρουν τα προβλήματα με τα IP datagrams πίσω στην αρχική πηγή που έστειλε το μήνυμα. Το ICMP επίσης χρησιμοποιεί μηνύματα echo request/reply προκειμένου να διαπιστώσει αν κάποιος κόμβος είναι σε λειτουργία και επιπλέον αν είναι προσιτός. Η εφαρμογή PING (Packet Internet Groper) είναι η μοναδική που έχει πρόσβαση κατ'ευθείαν στο στρώμα δικτύου, χρησιμοποιώντας τα μηνύματα ICMP. Άλλα πρωτόκολλα του στρώματος δικτύου είναι τα Address Resolution Protocol (ARP) και Reverse Address Resolution Protocol (RARP), τα οποία χρησιμοποιούνται για την μετάφραση μεταξύ των φυσικών διευθύνσεων και των διευθύνσεων IP.

Το στρώμα εφαρμογής ασχολείται με τις λεπτομέρειες της κάθε εφαρμογής. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές για TCP/IP και οι πιο συνηθισμένες είναι το Telnet, FTP (File Transfer Protocol), SMTP (Simple

Mail Transfer Protocol), SNMP (Simple Network Management Protocol), και άλλες.



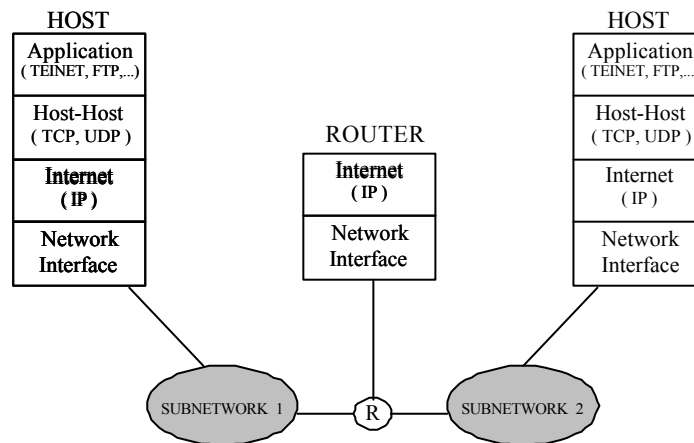
Σχήμα 1.3
Παράδειγμα εφαρμογής FTP

Στο Σχήμα 1.3 παρουσιάζονται δύο υπολογιστές σε ένα τοπικό δίκτυο Ethernet που «τρέχουν» μία εφαρμογή FTP, όπου ο ένας είναι ο εξυπηρετητής (server) και ο άλλος είναι ο πελάτης (client). Επιπλέον φαίνονται τα πρωτόκολλα κάθε στρώματος που χρησιμοποιούνται. Οι περισσότερες εφαρμογές στηρίζονται στην αρχιτεκτονική εξυπηρετητή – πελάτη (server-client). Το υψηλότερο στρώμα ασχολείται περισσότερο με τις λειτουργίες και τις απαιτήσεις της εφαρμογής που «τρέχει» και ελάχιστα ως και καθόλου με την ροή των δεδομένων στο δίκτυο. Είναι σαφές ότι το πακέτο πρωτοκόλλων TCP/IP περιλαμβάνει 4 στρώματα και όχι 2 όπως αναφέρεται παραπλανητικά στο όνομά του. Τα 4 στρώματα είναι το στρώμα Εφαρμογής, το στρώμα Μεταφοράς, το στρώμα Δικτύου και το στρώμα Διασύνδεσης όπως φαίνονται στο Σχήμα 1.1. Το Σχήμα 1.3 κάνει ξεκάθαρο όσον αφορά το ρόλο του στρώματος δικτύου και του στρώματος εφαρμογής: οι λειτουργίες του επικοινωνιακού μέσου που ανήκουν στο πρώτο και οι λειτουργίες της συγκεκριμένης εφαρμογής (FTP, telnet, κ.ά.) που ανήκουν στο δεύτερο.

Στο παραπάνω παράδειγμα είδαμε πως γίνεται η διαδικασία μεταφοράς πληροφορίας σε ένα δίκτυο με χρήση του TCP/IP. Σύντομα έγινε αντιληπτό ότι η ύπαρξη απομονωμένων δικτύων δεν είχε τόσο μεγάλη σημασία. Ξεκίνησε έτσι ο συνδυασμός δικτύων δημιουργώντας τα διαδικτύα. Το διαδικτύο είναι μια συλλογή από δίκτυα που χρησιμοποιούν το ίδιο πακέτο πρωτοκόλλων. Ο απλούστερος τρόπος να φτιαξει κανείς

ένα διαδίκτυο είναι να ενώσει δύο ή περισσότερα δίκτυα με έναν δρομολογητή (router). Ο δρομολογητής είναι μια συσκευή που μπορεί να συνδέει πολλά διαφορετικού είδους δίκτυα. Λέγοντας διαφορετικού είδους εννοούμε δίκτυα με διαφορετικό φυσικό στρώμα όπως Ethernet, Token Ring, FDDI κ.ά. Ένας δρομολογητής έχει εξ' ορισμού δύο ή περισσότερα σημεία προσαρμογής (network interfaces) στο δίκτυο. Ορισμένοι κεντρικοί υπολογιστές έχουν και αυτοί δυο ή περισσότερα διαφορετικά σημεία προσαρμογής (π.χ. Ethernet, ATM). Όμως αν δεν μεταφέρουν πακέτα από το ένα στο άλλο δεν λέγονται δρομολογητές. Τελικά γίνεται κατανοητό ότι με την χρήση της στοιβάς πρωτοκόλλων του TCP/IP, το στρώμα εφαρμογής και κατά συνέπεια και οι εφαρμογές που φτιάχνονται, δεν χρειάζεται να λαμβάνουν υπόψη τους τα δίκτυα μέσα από τα οποία θα τρέξουν. Αυτή η ιδιότητα είναι η οποία κάνει το Internet τόσο χρήσιμο και δυνατό.

Στο Σχήμα 1.4 φαίνονται τα πρωτόκολλα που υλοποιούνται στα τερματικά και στους δρομολογητές (routers). Υπενθυμίζουμε εδώ ότι στο μοντέλο OSI σε κάθε κόμβο υλοποιούνται τα 3 κατώτερα στρώματα και μόνο στα τερματικά υλοποιούνται και τα επτά.



Σχήμα 1.4
Υλοποίηση στρωμάτων σε δρομολογητές και τερματικά

1.2.2 Μέσα Μετάδοσης

Τα μέσα μετάδοσης καθορίζουν τις τεχνολογίες που μπορούν να τρέξουν τα πρωτόκολλα TCP/IP. Τα κύρια μέσα μετάδοσης είναι αυτά που προτείνονται από την IEEE, καθώς και το FDDI της ANSI.

1.2.2.1 IEEE 802.3

Το πρότυπο αυτό ορίζει τον τρόπο προσπέλασης του μέσου Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD). Βασίζεται σε δουλειά που έγινε από την Xerox Corporation και είναι γνωστό και σαν Ethernet.

Το IEEE 802.3 καθορίζει τόσο το φυσικό στρώμα όσο και το στρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο (Medium Access Control layer). Το πρώτο πρότυπο καθόριζε ως φυσικό μέσο ομοαξονικό καλώδιο των 50Ω, με 10Mbps βασικής ζώνης και με μέγιστο μήκος τμήματος 500m. Στην συνέχεια αναπτύχθηκαν αρκετές παραλλαγές, όπως:

- 1BASE2 1 Mbps baseband Thin Ethernet (CHearpnet).
- 1BASE5 1 Mbps baseband Ethernet (StarLAN).
- 10BASE5 10 Mbps baseband Ethernet.
- 10BASEF 10 Mbps Ethernet on Optical Fiber.
- 10BASET 10 Mbps baseband Ethernet on Twisted Pair.
- 10BROAD36 10 Mbps Broadband Ethernet.

Ο τρόπος προσπέλασης του μέσου CSMA/CD χρησιμοποιείται κυρίως σε δίκτυα τοπολογίας αρτηρίας όπως αυτά που καθορίζει το πρότυπο IEEE 802.3. Σύμφωνα με την τοπολογία αυτή όλοι οι τερματικοί σταθμοί είναι απευθείας συνδεδεμένοι στο ίδιο καλώδιο. Όλα τα δεδομένα, που μεταδίδονται από κάποιο σταθμό εργασίας ενθυλακώνονται σε ένα πλαίσιο στο οποίο τοποθετείται και η φυσική διεύθυνση του σταθμού προορισμού. Το πλαίσιο στη συνέχεια μεταδίδεται στο κοινό μέσο μεταφοράς. Όλοι οι άλλοι σταθμοί μπορούν και αντιλαμβάνονται το γεγονός ότι κάποιος μεταδίδει. Αν το πακέτο έχει στη διεύθυνση προορισμού την δική τους διεύθυνση τότε συνεχίζουν και διαβάζουν και την υπόλοιπη πληροφορία του πλαισίου. Στο πλαίσιο περιλαμβάνεται και ο αποστολέας έτσι ώστε να μπορέσει να απαντήσει στο μήνυμα.

Με αυτόν τον τρόπο διευθέτησης του μέσου είναι δυνατόν δύο σταθμοί να προσπαθήσουν την ίδια στιγμή να μεταδώσουν στο δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή η πληροφορία και των δύο θα καταστραφεί. Για αυτήν την περίπτωση ο τρόπος προσπέλασης του μέσου CSMA/CD καθορίζει ότι πριν την μετάδοση του μέσου πρέπει ο σταθμός να ελέγχει αν κάποιος άλλος σταθμός μεταδίδει. Για να ελέγξει κάποιος σταθμός ότι μεταδίδει σωστά, συγκρίνει το σήμα στο καλώδιο και το σήμα που μεταδίδει. Αν τα σήματα αυτά είναι διαφορετικά, τότε διαπιστώνει ότι έχει γίνει σύγκρουση. Στην περίπτωση αυτή, η μετάδοση διακόπτεται αμέσως για εξοικονόμηση πόρων και επαναλαμβάνεται μετά από ένα κατάλληλα επιλεγμένο τυχαίο χρονικό διάστημα. Ο Πίνακας 1.1 δείχνει τη μορφή πλαισίου αυτού του πρωτοκόλλου.

Πίνακας 1.1
Μορφή πλαισίου CSMA/CD

Preamble	SFD	Destination address	Source addresses	Length	LLC Data	PAD	FCS
7 octets	1 octet	2–6 octets	2-6 octets	2 octets		4octets	

1.2.2.2 IEEE 802.4

Το πρότυπο IEEE 802.4 καθορίζει το φυσικό στρώμα και το στρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο για ένα σύστημα τοπολογίας αρτηρίας και ελέγχου πρόσβασης στο μέσο με σκυτάλη (token).

Το πρότυπο αυτό καθορίζει τρία συστήματα κωδικοποίησης της πληροφορίας πάνω από ομοαξονικό καλώδιο 75Ω:

- Phase continuous Frequency Shift Keying (FSK) 1 Mbps
- Phase coherent SFK 5,10 Mbps
- Multi level duo-binary coding 5,10 Mbps

Η μέθοδος ελέγχου πρόσβασης στο μέσο επιτυγχάνεται με την χρησιμοποίηση μιας σκυτάλης ελέγχου αδείας (control permission token). Η σκυτάλη περνάει από σταθμό σε σταθμό σύμφωνα με το σύνολο των κανόνων που αποδέχονται όλοι οι σταθμοί. Ο σταθμός μπορεί να μεταδώσει ένα πλαίσιο μόνο στη περίπτωση που έχει τη σκυτάλη. Μόλις ολοκληρώσει την μετάδοση του πλαισίου ελευθερώνει τη σκυτάλη περνώντας την στον επόμενο σταθμό. Στην τεχνική αυτή εισάγεται η έννοια μιας λογικής σειράς στους σταθμούς ώστε να γνωρίζει κάθε σταθμός τον επόμενό του, ειδικά στην περίπτωση των δικτύων τοπολογίας αρτηρίας, όπου η λογική σειρά δεν είναι προφανής.

Λειτουργίες παρακολούθησης στους σταθμούς που είναι συνδεδεμένοι στο κοινό μέσο παρέχουν υπηρεσίες αρχικοποίησης και επαναφοράς σε περίπτωση σφάλματος της λογικής συνδεσμολογίας. Αν και οι λειτουργίες επαναλαμβάνονται από όλους τους σταθμούς, κάθε χρονική στιγμή ένας σταθμός είναι υπεύθυνος για το δίκτυο. Το φυσικό μέσο δεν είναι απαραίτητο να έχει τοπολογία δακτυλίου. Επιπλέον υπάρχει και ένα μέγιστο δυνατό χρονικό διάστημα για το οποίο μπορεί να μεταδίδει ο σταθμός. Μετά το πέρας αυτού του διαστήματος ο σταθμός υποχρεωτικά ελευθερώνει τη σκυτάλη ακόμα και αν δεν έχει ολοκληρώσει την μετάδοσή του πλαισίου. Προφανώς η μετάδοση αυτή θα συνεχιστεί όταν η σκυτάλη επανέλθει στην κατοχή του συγκεκριμένου σταθμού. Η τεχνική αυτή ελέγχου πρόσβασης στο μέσο με σκυτάλη χρησιμοποιείται και σε δίκτυα τοπολογίας δακτυλίου. Ο Πίνακας 1.2 δείχνει το πλαίσιο του IEEE 802.4.

Πίνακας 1.2
Πλαίσιο του IEEE 802.4

Preamble	S D	F C	Destination address	Source addresses	Length	Data Unit	FCS	ED
7 octets	1 octet each		2-6 octets	2-6 octets	2 octets		4 octets	1 octet

1.2.2.3 IEEE 802.5

Το πρότυπο αυτό καθορίζει το φυσικό στρώμα καθώς και το στρώμα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο για δίκτυα τοπολογίας δακτυλίου και ελέγχου πρόσβασης στο μέσο με σκυτάλη. Το σύνολο των σταθμών που σχηματίζουν το δακτύλιο σκυτάλης είναι σειριακά συνδεδεμένοι με το μέσο μεταφοράς και η πληροφορία μεταφέρεται από τον ένα σταθμό στον άλλο. Το IEEE 802.5 διαφέρει από το CSMA/CD και από το IEEE 802.4 από την άποψη ότι τα bits σε κάθε πλαίσιο μεταδίδονται στο μέσο ξεκινώντας από το πιο σημαντικό ψηφίο, πράγμα που δεν συμβαίνει στα δύο πρότυπα που εξετάσαμε προηγουμένως. Το πρότυπο αυτό καθορίζει σαν φυσικό μέσο ένα προστατευμένο ή απροστάτευτο ζευγάρι καλωδίων στα 1 Mbps ή στα 4 Mbps. Επιπλέον, η IBM έχει παρουσιάσει μια εξελιγμένη έκδοση του η οποία χρησιμοποιεί προστατευμένα διπλά καλώδια με ρυθμό μετάδοσης 16 Mbps. Ο Πίνακας 1.3 παρέχει την πληροφορία πλαισίου αυτού του προτύπου.

Πίνακας 1.3
Πλαίσιο του IEEE 802.5

S D	A C	P C	Destination address	Source address	Data Unit	FCS	ED	FS
1 octet			2-6 octets	2-6 octets	>=0 octets	4 octets	1 octet	1 octet

1.2.2.4 FDDI

Το πρότυπο αυτό είναι οργανωμένο σε τέσσερα μέρη τα οποία είναι:

- Medium Access Control (MAC)
- Physical Medium Dependent (PMD)
- Physical Layer Protocol (PHY)
- Station Management (SMT)

Το Fiber Distributed Data Interface, είναι το ταχύτερο από τα παραπάνω μέσα μεταφοράς της πληροφορίας. Ο λόγος είναι ότι το πρότυπο αυτό επιτρέπει περισσότερα από ένα πλαίσια να βρίσκονται ταυτόχρονα σε μετάδοση. Υποστηρίζει 100Mbps μετάδοση πληροφορίας

σε διπλό δακτύλιο από οπτική ίνα που μπορεί να συνδέει μέχρι και 500 κόμβους τοποθετημένους σε αποστάσεις ακόμα και 2Km ο ένας από τον άλλο και για ένα συνολικό μήκος μέχρι και 100Km.

Το FDDI μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δίκτυο κορμός για τη διασύνδεση άλλων τοπικών δικτύων ή και σαν τοπικό δίκτυο διασύνδεσης σταθμών εργασίας υψηλών ταχυτήτων με μεγάλες υπολογιστικές ανάγκες. Επίσης χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση back-end σταθμών εργασίας υψηλών προδιαγραφών για την υποστήριξη του συστήματος αρχείων.

1.2 Το πρωτόκολλο IP

Στα δίκτυα TCP/IP όλη η πληροφορία μεταφέρεται από το μη αξιόπιστο πρωτόκολλο δικτύωσης χωρίς σύνδεση (connectionless), IP (Internet Protocol). Πληροφορίες για το IP υπάρχουν στο RFC791 και είναι το πρώτο πρωτόκολλο στρώματος δικτύου στην στοίβα πρωτοκόλλων του Internet. Μαζί με το Transmission Control Protocol (TCP), το IP αντιπροσωπεύει την καρδιά των πρωτοκόλλων του διαδικτύου.

Το πρωτόκολλο αυτό λέμε ότι είναι μη αξιόπιστο γιατί δεν εγγυάται την μεταφορά της πληροφορίας που αναλαμβάνει. Το IP-datagram μπορεί να φτάσει σε λάθος προορισμό, να διπλασιαστεί μέσα στο δίκτυο ή να χαθεί στο δρόμο προς τον προορισμό του. Επίσης, λέμε ότι είναι χωρίς σύνδεση γιατί κάθε IP-datagram μεταδίδεται ανεξάρτητα από όλα τα άλλα datagram. Το ίδιο μεταφέρει όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται.

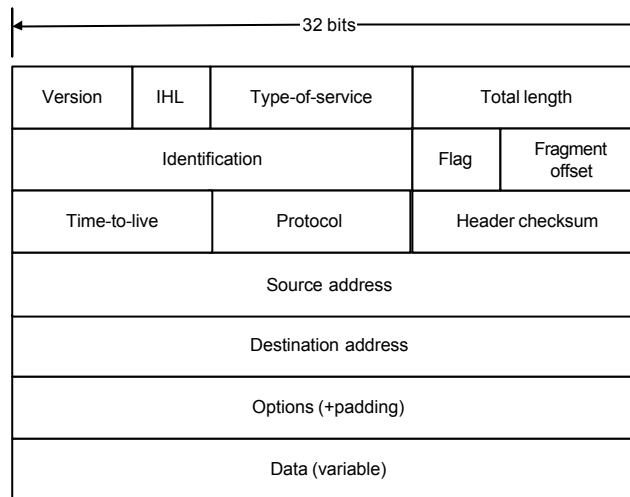
Το πρωτόκολλο IP προσφέρει ένα σύνολο από βασικές λειτουργίες οι οποίες είναι απαραίτητες για την επιτυχία της διασύνδεσης δικτύων υπολογιστών. Τέτοιες λειτουργίες είναι:

- Λειτουργίες κατάτμησης των μηνυμάτων και επανένωσης αυτών προκειμένου αυτά να περάσουν από υποδίκτυα που υποστηρίζουν διαφορετικού μεγέθους πεδίο δεδομένων στο πλαίσιο τους.
- Λειτουργίες δρομολόγησης των IP-datagrams διαμέσου των κόμβων του δικτύου, προκειμένου να φθάσουν στον προορισμό τους. Για να επιτευχθεί αυτό ο κάθε κόμβος πρέπει να γνωρίζει την διεύθυνση IP του υπεύθυνου δρομολογητή προκειμένου να του ανατεθεί η δρομολόγηση ενός IP-datagram και κάθε δρομολογητής πρέπει να γνωρίζει τη διαδρομή που πρέπει να ακολουθηθεί από κάποιο datagram προκειμένου να φτάσει στον κόμβο προορισμού.
- Λειτουργίες αναφοράς σφαλμάτων. Κατά την εκτέλεση των δύο παραπάνω λειτουργιών είναι δυνατόν κάποια datagrams να χαθούν. Αυτή η τρίτη λειτουργία έχει σκοπό την ενημέρωση του κόμβου-πηγή για την σχετική απώλεια.

Ένα IP-datagram μεταφέρεται στο πεδίο δεδομένων ενός πλαισίου στρώματος ζεύξης δεδομένων. Βέβαια το υλικό και το λογισμικό υλοποίησης του στρώματος ζεύξης δεδομένων δεν αναγνωρίζουν ούτε την μορφή ενός IP-datagram, ούτε τη διεύθυνση IP του προορισμού.

Το πρωτόκολλο IP ορίζει την μορφή που πρέπει να πάρουν τα πακέτα και την επεξεργασία που πρέπει να δεχθούν προκειμένου να μεταδοθούν μέσα από το μέσο μεταφοράς. Η τελική μορφή ονομάζεται IP-datagram.

Ένα πακέτο IP περιέχει διάφορα είδη πληροφορίας. Σε κάθε datagram ξεχωρίζουμε διάφορα πεδία μεταξύ των οποίων τις IP διευθύνσεις της πηγής και του προορισμού, τον χρόνο ζωής του, το μήκος του και φυσικά τα δεδομένα που μεταφέρει. Στο Σχήμα 1.5 φαίνονται όλα τα πεδία του IP πακέτου.



Σχήμα 1.5

Τα πεδία του IP packet

Τα πεδία του πακέτου IP είναι αναλυτικά τα εξής:

- Version---Δείχνει την έκδοση του IP που χρησιμοποιείται
- IP Header Length (IHL)---Δείχνει το μήκος της επικεφαλίδας σε 32-bit λέξεις
- Type-of-Service---Αναθέτει στα πακέτα IP διαφορετικά επίπεδα σημαντικότητας
- Total Length---Καθορίζει το μήκος σε bytes ολόκληρου του πακέτου IP, συμπεριλαμβανομένου των δεδομένων και της επικεφαλίδας
- Identification---Περιέχει έναν ακέραιο που προσδιορίζει το τρέχον πακέτο. Αυτό το πεδίο χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στη επανένωση των κατακερματισμένων πακέτων
- Flags---Αποτελείται από ένα πεδίο των 3-bit από τα οποία τα 2 χαμηλότερης σημασίας bits ελέγχουν την κατάτμηση. Το χαμηλότερης σημασίας bit καθορίζει εάν το πακέτο μπορεί να κατατμηθεί. Το μεσαίο bit καθορίζει εάν το πακέτο είναι το τελευταίο πακέτο της κατάτμησης από μια σειρά από κατατμημένα πακέτα. Το τρίτο bit δεν χρησιμοποιείται
- Fragment Offset---Προσδιορίζει την θέση των δεδομένων των πακέτων κατάτμησης σχετικά με την αρχή των δεδομένων στο αρχικό datagram, και επιτρέπει στην διαδικασία IP προορισμού να επανενώσει σωστά το αρχικό πακέτο

- Time-to-Live---Διατηρεί έναν μετρητή που βαθμιαία μειώνεται έως το μηδέν, και στο σημείο αυτό το πακέτο απορρίπτεται. Αυτό αποτρέπει τα πακέτα από το να κάνουν κύκλους συνέχεια
- Protocol---Προσδιορίζει ποιο πρωτόκολλο ανωτέρου επιπέδου λαμβάνει τα εισερχόμενα πακέτα αφού έχει ολοκληρωθεί η επεξεργασία IP
- Header Checksum---Βοηθάει στην εξασφάλιση της ακεραιότητας της επικεφαλίδας IP
- Source Address---Προσδιορίζει τον κόμβο αποστολέα
- Destination Address--- Προσδιορίζει τον κόμβο προορισμού
- Options---Επιτρέπει στο IP να υποστηρίζει διάφορες επιλογές, όπως ασφάλεια
- Data---Περιέχει πληροφορία ανωτέρου επιπέδου.

1.2.1 Δρομολόγηση IP

Όπως σε κάθε πρωτόκολλο στρώματος δικτύου, η δρομολόγηση IP είναι ένα εσωτερικό θέμα της διαδικασίας δρομολόγησης IP datagrams μέσω ενός διαδικτύου. Κάθε διεύθυνση IP έχει κάποια συγκεκριμένα στοιχεία και ακολουθεί μια συγκεκριμένη δομή. Οι διευθύνσεις IP μπορούν να υποδιαιρεθούν και να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία διευθύνσεων για υποδίκτυα, όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια.

Σε κάθε τερματικό (host) σε ένα δίκτυο TCP/IP ανατίθεται μια μοναδική λογική διεύθυνση 32-bit που διαχωρίζεται σε δυο κυρίως μέρη: τον αριθμό δικτύου και τον αριθμό τερματικού (network number και host number). Ο αριθμός δικτύου πρέπει να πιστοποιεί κάποιο δίκτυο και να ανατίθεται από το κέντρο πληροφορίας Διαδικτύου (Internet Network Information Center, InterNIC), εάν το δίκτυο είναι μέρος του Διαδικτύου. Ένας παροχέας Υπηρεσιών Διαδικτύου (Internet Service Provider, ISP) μπορεί να αποκτήσει μια σειρά διευθύνσεων από τον InterNIC και μπορεί από μόνος του να αναθέσει τον χώρο των διευθύνσεων όπως είναι απαραίτητο. Ο αριθμός τερματικού αναγνωρίζει ένα τερματικό στο δίκτυο και ανατίθεται από τον τοπικό διαχειριστή δικτύου.

Ο όρος δρομολόγηση αναφέρεται στην μεταφορά ενός πακέτου IP (datagram) από ένα κόμβο σε έναν άλλο, του ίδιου ή διαφορετικού δικτύου. Ο όρος αναφέρεται επίσης στο δρόμο που θα ακολουθήσει το IP datagram προκειμένου να φτάσει στον προορισμό του και ο οποίος βασίζεται στη διεύθυνση IP του δικτύου προορισμού. Δύο σημαντικά είδη δρομολόγησης είναι η άμεση και η έμμεση δρομολόγηση.

Ο τρόπος επιλογής της διαδρομής που θα ακολουθηθεί από ένα πακέτο IP έχει σημαντικές συνέπειες στις επιδόσεις του δικτύου. Σε περίπτωση που ορίζεται στατική διαδρομή για κάποιο δίκτυο προορισμού, όλο το φορτίο με προορισμό το δίκτυο αυτό θα ακολουθήσει την ίδια διαδρομή ακόμα και αν υπάρχουν καλύτερες εναλλακτικές διαδρομές. Οι πληροφορίες που καθορίζουν την δρομολόγηση αφορούν τους δρομολογητές. Κάθε δρομολογητής εκτελεί την δρομολόγηση κατανεμημένα, ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους.

Οι συνήθεις αλγόριθμοι δρομολόγησης λαμβάνουν υπόψη τους και προκαθορισμένες διαδρομές στην περίπτωση που δεν υπάρχει άλλη εναλλακτική διαδρομή. Στην περίπτωση αυτή δίνουν στον διαχειριστή του δικτύου μεγαλύτερες δυνατότητες για καλύτερο έλεγχο.

Σε γενικό πλαίσιο, το IP μπορεί να λάβει πακέτα από το TCP, UDP, ICMP ή το IGMP και να τα στείλει. Το IP έχει σε κάθε δρομολογητή ένα πίνακα δρομολόγησης, τον οποίο ψάχνει κάθε φορά που θέλει να στείλει ένα πακέτο. Όταν ένα πακέτο IP παραλαμβάνεται από κάποιο σημείο προσαρμογής του δικτύου, ο δρομολογητής πρώτα ελέγχει αν η διεύθυνση προορισμού είναι η δικιά του, ή κάποια από τις διευθύνσεις που ανήκουν στο υποδίκτυο. Αν αυτό συμβεί προωθεί το πακέτο στο προορισμό του. Διαφορετικά, μπαίνει σε εφαρμογή η διαδικασία δρομολόγησης και αν και αυτή δεν φέρει αποτέλεσμα το πακέτο απορρίπτεται.

Κάθε αλγόριθμος δρομολόγησης χρησιμοποιεί έναν πίνακα δρομολόγησης (routing table), όπου αποθηκεύονται πληροφορίες για τις διαδρομές που πρέπει να ακολουθήσει κάποιο πακέτο IP προκειμένου να φθάσει στον κόμβο προορισμού του.

Κάθε γραμμή του πίνακα δρομολόγησης περιέχει τα εξής στοιχεία:

- Διεύθυνση προορισμού. Αυτή μπορεί να είναι είτε διεύθυνση ολόκληρη είτε διεύθυνση δικτύου
- Διεύθυνση επόμενου δρομολογητή, ή διεύθυνση του κατάλληλου συνδεδεμένου δικτύου. Αυτός θα είναι και ο επόμενος σταθμός του πακέτου, όχι όμως απαραίτητα και ο τελικός
- Σημαίες (flags). Δείχνουν αν ο επόμενος σταθμός είναι δρομολογητής ή δίκτυο, αν η διεύθυνση προορισμού είναι κόμβου ή υποδικτύου κ.ά.
- Λεπτομέρειες για το σημείο προσαρμογής του δικτύου από το οποίο θα προωθηθεί το πακέτο.

Η διαδικασία της δρομολόγησης γίνεται από δρομολογητή σε δρομολογητή. Ο κάθε δρομολογητής δεν γνωρίζει το πλήρες μονοπάτι που ακολουθεί το πακέτο παρά μόνο τον επόμενο σταθμό του. Συνεπώς η δρομολόγηση ουσιαστικά προμηθεύει το πακέτο κάθε φορά με την διεύθυνση του επόμενου σταθμού του. Τα βήματα του δρομολογητή είναι τα εξής:

1. Αρχικά ψάχνει στους πίνακες δρομολόγησης που έχει για να δει αν υπάρχει η διεύθυνση προορισμού του πακέτου (ολόκληρη η διεύθυνση). Αν βρεθεί, τότε στέλνει το πακέτο στον κατάλληλο επόμενο - δρομολογητή (next-hop router) ή στο υποδίκτυο, σύμφωνα με τον πίνακα δρομολόγησης
2. Αν δεν βρεθεί, τότε ψάχνει να βρει μόνο τη διεύθυνση του υποδικτύου. Αν τη βρει προωθεί το πακέτο στον αντίστοιχο επόμενο δρομολογητή, και αφήνει εκείνο να αποφασίσει για την τελική διεύθυνση
3. Τέλος, αν δεν βρεθεί ούτε το υποδίκτυο ψάχνει στον πίνακα να βρει αν υπάρχει κάποιος προεπιλεγμένος δρομολογητής (default router) και αν υπάρχει το στέλνει εκεί. Αν όλα τα παραπάνω αποτύχουν το πακέτο απορρίπτεται και επιστρέφεται κάποιο μήνυμα λάθους στην εφαρμογή στην οποία άνηκε το πακέτο.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι η δρομολόγηση στο IP με τον τρόπο που γίνεται, επιτρέπει στους δρομολογητές να κρατούν ένα μικρό πίνακα δρομολόγησης (της τάξης των χιλιάδων κόμβων) και όχι ολόκληρου του δικτύου (αρκετών εκατομμυρίων κόμβων). Συνήθως υπάρχουν τάξεις δρομολογητών, οι περισσότεροι είναι μικροί (ουσιαστικά τοπικοί) και γνωρίζουν μόνο το δίκτυο που ανήκουν. Μερικοί άλλοι γνωρίζουν και κάποια γειτονικά δίκτυα και υπάρχουν και οι μεγάλοι δρομολογητές που γνωρίζουν σχεδόν όλο το δίκτυο, ή τουλάχιστον τα πιο κοντινά τους δίκτυα, π.χ. ο μεγάλος δρομολογητής για το ελληνικό Διαδίκτυο βρίσκεται στα κεντρικά του Ο.Τ.Ε. στην οδό Κωλέττη, ενώ στο Ε.Μ.Π. ο μεγαλύτερος είναι ο blackhole.

Ο Πίνακας 1.4 είναι ένας τυπικός πίνακας δρομολόγησης. Όπως βλέπουμε αποτελείται από τις εξής στήλες: Destination, Gateway, Flags, Reference Count, Use και Interface. Κάθε στοιχείο της πρώτης στήλης του πίνακα αντιστοιχεί σε μία διεύθυνση προορισμού. Στην δεύτερη στήλη (Gateway) περιλαμβάνεται η διεύθυνση του δρομολογητή μέσω της οποίας το πακέτο θα προωθηθεί στην αντίστοιχη διεύθυνση προορισμού. Η στήλη Flags παρέχει πληροφορία σχετική με τον τύπο της κάθε ζεύξης και την κατάσταση.

Πίνακας 1.4
Πίνακας Δρομολόγησης

Destination	Gateway	Flags	RefCnt	Use	Interface
104.252.13.6 5	140.252.13.2 5	UGH	0	0	em d0
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	1	0	lo0
default	140.252.13.3 3	UG	0	0	em d0
140.252.13.3 2	140.252.13.3 4	U	4	2523	em d0

Η πρώτη στήλη κάθε γραμμής μας είναι η διεύθυνση προορισμού ενός πακέτου. Αν έρθει στον δρομολογητή ένα πακέτο με διεύθυνση που να ταιριάζει με κάποια από τις διευθύνσεις αυτές τότε θα χρησιμοποιηθούν οι επόμενες στήλες της ίδιας γραμμής για να προωθηθεί το πακέτο προς τον τελικό παραλήπτη. Η πληροφορία για το ποιος δρομολογητής χρησιμοποιείται παρέχεται από την δεύτερη στήλη της πρώτης γραμμής. Η τρίτη στήλη μας ενημερώνει μέσω κάποιων flags για τον τύπο και την κατάσταση της ζεύξης. Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι flags:

- U : Το μονοπάτι είναι ενεργό
- G : Το μονοπάτι περνάει μέσω ενός δρομολογητή
- H : Το μονοπάτι συνδέεται απ' ευθείας στον υπολογιστή που έχει την διεύθυνση της πρώτης στήλης

Πολύ σημαντικό είναι το flag G γιατί μας πληροφορεί αν το μονοπάτι προς τον τελικό προορισμό (πρώτη στήλη κάθε γραμμής) είναι έμμεσο (μέσω ενός ακόμη δρομολογητή) ή άμεσο. Η διαφορά είναι η εξής: στην περίπτωση του έμμεσου μονοπατιού, το πακέτο που θα προωθηθεί θα έχει στο επίπεδο IP την διεύθυνση του τελικού προορισμού ενώ η διεύθυνση του επιπέδου ζεύξης (επίπεδο 2 του OSI) αντιστοιχεί στην διεύθυνση του επόμενου δρομολογητή. Αντιθέτως, όταν πρόκειται για άμεσο μονοπάτι τόσο η διεύθυνση του επιπέδου 2 όσο και του επιπέδου 3 αντιστοιχούν στις διευθύνσεις του τελικού παραλήπτη του πακέτου. Η παρουσία του flag H καθορίζει το ότι η διεύθυνση που περιέχεται στην δεύτερη στήλη του πίνακα είναι πλήρης διεύθυνση κάποιου IP τερματικού και όχι διεύθυνση κάποιου δικτύου. Η διαφορά μεταξύ των flag G και H είναι η εξής: το flag H μας ενημερώνει ότι ο τελικός προορισμός είναι συγκεκριμένο τερματικό ενώ το G μας ενημερώνει για το αν υπάρχει άμεσο ή έμμεσο μονοπάτι προς τον προορισμό είτε αυτός είναι τερματικό είτε δίκτυο. Έτσι για να προωθηθεί ένα πακέτο προς το μονοπάτι μιας εγγραφής που έχει το flag H στην τρίτη στήλη πρέπει η διεύθυνση προορισμού να ταιριάζει ακριβώς με αυτήν της πρώτης στήλης. Αν όμως δεν υπάρχει το flag H, σε μια εγγραφή του πίνακα, τότε για να χρησιμοποιηθεί το αντίστοιχο μονοπάτι αρκεί το ταίριασμα μόνο στις ταυτότητες δικτύου και υποδικτύου. Το flag U μας ενημερώνει για την κατάσταση της ζεύξης και πιο συγκεκριμένα σημαίνει ότι η ζεύξη είναι ενεργή. Η στήλη Reference Count (Refcnt) δίνει τον αριθμό των ενεργών χρηστών κάθε μονοπατιού. Αν δηλαδή εγκαταστήσουμε σύνδεση Telnet μεταξύ των .13.34 και .1.19 θα δούμε τον αριθμό αυτόν να γίνεται 1. Η στήλη Use μας πληροφορεί για το πόσα πακέτα έχουν σταλεί μέσω του αντίστοιχου μονοπατιού.

Στην συνέχεια δίνονται κάποια παραδείγματα:

1. Ας υποθέσουμε ότι ο τελικός παραλήπτης έχει την διεύθυνση 140.252.13.33 και κατά την αναζήτηση του πίνακα δεν βρίσκεται κάποια διεύθυνση τερματικού που να ταιριάζει. Υπάρχει όμως διεύθυνση δικτύου (140.252.13.32) η οποία ταιριάζει. Σε αυτήν την περίπτωση λοιπόν θα χρησιμοποιηθεί η διασύνδεση emd0
2. Αν ο παραλήπτης έχει διεύθυνση 140.252.13.65, τότε κατά την αναζήτηση διαπιστώνεται ότι υπάρχει εγγραφή τερματικού με αυτήν την διεύθυνση και έτσι θα χρησιμοποιηθεί η διασύνδεση emd0. Επειδή εμφανίζεται το flag G καταλαβαίνουμε ότι το μονοπάτι δεν είναι άμεσο οπότε η διεύθυνση του επιπέδου 2 τίθεται στην τιμή που αντιστοιχεί στον δρομολογητή 140.252.13.25
3. Η τελική διεύθυνση είναι 192.207.117.2 και μετά την αναζήτηση στον πίνακα ο διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει εγγραφή που να ταιριάζει. Το πακέτο προωθείται στην διεύθυνση που αντιστοιχεί στην εγγραφή default μέσω της διασύνδεσης emd0
4. Η αποστολή του πακέτου είναι προς τον ίδιο τον αποστολέα. Κατά την ανάγνωση του πίνακα βρίσκεται διεύθυνση που να ταιριάζει. Το πακέτο προωθείται προς την διασύνδεση emd0. Εκεί ο οδηγός του επιπέδου ζεύξης ανακαλύπτει ότι το πακέτο είναι για τον ίδιο τον αποστολέα και το προωθεί στη ουρά εισόδου του IP.

1.2.1.1 Address Resolution Protocol (ARP)

Η χρήση ενός δρομολογητή σε κάθε περίπτωση επικοινωνίας μεταξύ δύο σταθμών εργασίας φορτώνει υπερβολικά κάποιο υποδίκτυο. Σε περιπτώσεις όπου οι σταθμοί εργασίας ανήκουν στο ίδιο υποδίκτυο, αρκεί ο σταθμός πηγή να γνωρίζει τη φυσική διεύθυνση του σταθμού προορισμού για να του προωθήσει το πακέτο IP. Το πρωτόκολλο που εκτελεί την παραπάνω λειτουργία ονομάζεται Address Resolution Protocol (ARP). Το πρωτόκολλο αυτό λειτουργεί ως εξής:

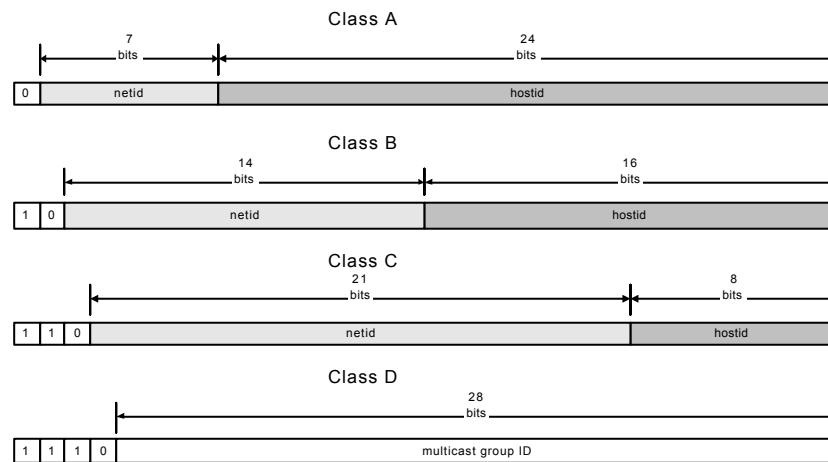
1. Μόλις η διαδικασία κατάτμησης έχει ένα πακέτο IP έτοιμο για προώθηση, περνά ένα δείκτη στην μνήμη όπου βρίσκεται αυτό στο πρωτόκολλο ARP. Το τελευταίο διατηρεί ένα τοπικό πίνακα δρομολόγησης, ο οποίος περιέχει ζευγάρια διευθύνσεων IP κόμβων του υποδικτύου
2. (α) Εάν η διεύθυνση προορισμού βρίσκεται στον πίνακα αυτό, τότε το πρωτόκολλο ARP περνά το δείκτη στη μνήμη όπου βρίσκεται το IP πακέτο μαζί με τη φυσική διεύθυνση στο υποκείμενο πρωτόκολλο για τη μετάδοση. (β) Εάν η διεύθυνση προορισμού δεν βρίσκεται στον πίνακα αυτό, τότε το ARP θα προσπαθήσει να την ανακαλύψει, στέλνοντας ένα μήνυμα ARP. Το μήνυμα αυτό θα περιέχει την IP και την φυσική διεύθυνση της πηγής και την διεύθυνση IP του προορισμού, της οποίας την αντίστοιχη φυσική αναζητεί. Το μήνυμα αυτό μπορεί να σταλεί είτε broadcast, είτε σε συγκεκριμένο σταθμό εργασίας. Στην περίπτωση broadcast μετάδοσης ο σταθμός ο οποίος αναζητείται, θα αναγνωρίσει την διεύθυνση IP του στο μήνυμα ARP και θα προχωρήσει στην επεξεργασία του μηνύματος. Στην περίπτωση χρήσης τρίτου σταθμού, ο σταθμός αυτό θα εκτελέσει τις ίδιες λειτουργίες.
3. Στην αρχή θα ενημερώσει το δικό του τοπικό πίνακα δρομολόγησης με το ζευγάρι της IP και της φυσικής διεύθυνσης του σταθμού που έστειλε το μήνυμα, εφόσον αυτές δεν υπάρχουν ήδη
4. Στην συνέχεια στέλνει απάντηση στο σταθμό με ένα δεύτερο μήνυμα ARP, το οποίο περιέχει τη μέχρι τώρα άγνωστη φυσική διεύθυνση μαζί με όλα τα άλλα γνωστά στοιχεία
5. Λαμβάνοντας την απάντηση ο πρώτος σταθμός, αρχικά ενημερώνει τον τοπικό του πίνακα δρομολόγησης με το ζευγάρι διευθύνσεων που έλαβε και συνεχίζει όπως στο 2(α).

Συμπερασματικά το ARP είναι ένα χαμηλού επιπέδου πρωτόκολλο, το οποίο κρύβοντας την μορφή των φυσικών διευθύνσεων, μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε τις διευθύνσεις IP με όποιο τρόπο θέλουμε. Η διεύθυνση IP κάποιου σταθμού διατηρείται σε κάποιο δίσκο, ώστε να είναι δυνατή η εύρεσή της κάθε φορά που το μηχάνημα ξεκινά. Στην περίπτωση σταθμών χωρίς δίσκο, το παραπάνω δεν είναι δυνατό, οπότε χρησιμοποιείται ένα κατάλληλο πρωτόκολλο, το Reverse Resolution Protocol (RARP). Προκειμένου να λειτουργήσει αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται ένας server, ο οποίος είναι υπεύθυνος για μια σειρά από σταθμούς χωρίς

δίσκο, διατηρώντας τα ζευγάρια φυσικών διευθύνσεων IP, όλων των κόμβων στον δίσκο του.

1.2.2 Τάξεις Διευθύνσεων IP

Όπως είναι ίσως προφανές, όταν φτιάχνει κανείς κάποιο δίκτυο ή συνδέει μεταξύ τους ήδη υπάρχοντα δίκτυα χρειάζεται να υπάρχει κάποιος τρόπος να ξεχωρίζουν οι διάφοροι υπολογιστές μεταξύ τους. Για αυτό το λόγο κάθε υπολογιστής που είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο έχει και μία δική του διεύθυνση IP (IP address). Αυτές οι διευθύνσεις είναι αριθμοί των 32 bits. Δεν είναι όμως απλώς αριθμοί, αλλά έχουν κάποια συγκεκριμένη μορφή. Η διεύθυνση αποτελείται από 4 δεκαδικούς αριθμούς (έναν για κάθε byte) χωρισμένους με τελείες, π.χ. 147.102.13.1. Τα δίκτυα χωρίζονται σε τάξεις ανάλογα με τον τρόπο που κατανέμουν τα bits της διεύθυνσης σε κάθε πεδίο. Οι κύριες τάξεις είναι οι A, B, C, κάθε μια από τις οποίες προορίζεται για χρήση σε διαφορετικού μεγέθους δίκτυο. Η τάξη στην οποία ανήκει κάθε δίκτυο μπορεί να αναγνωρισθεί από τη θέση του πρώτου μηδενικού στα τέσσερα πρώτα bits της διεύθυνσής του. Τα bits που υπολείπονται καθορίζουν δύο άλλα υποπεδία, ένα αναγνωριστικό δικτύου (netid) και ένα αναγνωριστικό κόμβου (hostid). Στο Σχήμα 1.5 φαίνεται καθαρά η δομή της διεύθυνσης των δικτύων κάθε τάξης.



Σχήμα 1.5
Τάξεις δικτύων

Για την τάξη A το netid έχει μήκος 1 byte και το hostid 3 bytes. Στο netid το πρώτο bit είναι πάντα μηδέν. Έτσι μπορούμε να έχουμε μέχρι 126 υποδίκτυα τάξης A και μέχρι 16 εκατομμύρια κόμβους στο καθένα. Για την τάξη B το netid έχει μήκος 2 bytes και το hostid έχει επίσης μήκος 2 bytes. Στο netid τα δύο πιο σημαντικά ψηφία είναι πάντα 1 0 . Έτσι σε κάθε δίκτυο μπορούμε να έχουμε περίπου 16 χιλιάδες υποδίκτυα τάξης B με 65

χιλιάδες κόμβους στο καθένα. Το υποδίκτυο του Ε.Μ.Π. είναι τάξης Β με netid 147.102. Τέλος για την τάξη C έχουμε netid με μήκος 3 bytes ενώ το hostid έχει μήκος 1 byte. Στο netid έχουμε τα τρία πιο σημαντικά bit να είναι πάντα 1 1 0. Έτσι σε κάθε δίκτυο έχουμε 2 εκατομμύρια περίπου υποδίκτυα τάξης C με 256 κόμβους στο καθένα.

Σε αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι η χορήγηση των διευθύνσεων γίνεται υπό την αιγίδα του Internet Network Information Center (InterNIC) και φυσικά κάθε αίτηση για υποδίκτυα οποιασδήποτε τάξης πρέπει να δικαιολογεί πλήρως το λόγο για τον οποίο επιλέχθηκε η συγκεκριμένη τάξη (π.χ. μια αίτηση για υποδίκτυο τάξης Α πρέπει να δικαιολογεί την ανάγκη ύπαρξης τόσων πολλών κόμβων.) Το InterNIC χορηγεί μόνο το netid. Το μίγρμα των hostids το αναλαμβάνει ο εκάστοτε διαχειριστής.

1.2.3 Το πρωτόκολλο ICMP

Ένα άλλο πρωτόκολλο της οικογένειας TCP/IP είναι το Internet Control Message Protocol (ICMP). Τα μηνύματα ICMP μεταφέρουν πληροφορία σχετική με διάφορες δυσλειτουργίες καθώς και λειτουργίες ελέγχου του δικτύου. Οι λειτουργίες που είναι πολύ βασικές για την σωστή λειτουργία του δικτύου είναι η αναφορά σφαλμάτων, η δοκιμή δυνατότητας πρόσβασης στον κόμβο, ο έλεγχος συμφόρησης, η ειδοποίηση αλλαγής διαδρομής, η μέτρηση επιδόσεων και η διευθυνσιοδότηση υποδικτύων.

Το λογισμικό υλοποίησης των πρωτοκόλλων TCP/IP επεξηγεί τα μηνύματα ICMP και εκτελεί τις απαραίτητες ενέργειες ανάλογα με το περιεχόμενο του μηνύματος. Δηλαδή τα μηνύματα ICMP δεν στέλνονται από κάποια εφαρμογή, αλλά χρησιμοποιούνται από το λογισμικό υλοποίησης των πρωτοκόλλων TCP/IP σε ειδικές περιπτώσεις. Έτσι δρομολογητές ή σταθμοί εργασίας, μπορούν να αναφέρουν διάφορα προβλήματα που αφορούν πακέτα IP, στην αρχική πηγή τους, χρησιμοποιώντας το ICMP.

Κάθε ένα από τα μηνύματα με την βοήθεια κατάλληλων κωδικών μπορεί να αναφέρει περισσότερες από μια περιπτώσεις. Για παράδειγμα το μήνυμα ICMP που πληροφορεί για την απόρριψη ενός πακέτου IP λόγω λήξης του χρόνου ζωής του, μπορεί να παρέχει πρόσθετη ερμηνεία ότι έληξε ο χρόνος ζωής του ή ότι έληξε ο χρόνος επανασύνδεσης ενός κερματισμένου πακέτου IP.

Τέλος, επειδή κάποιο μήνυμα ICMP χρειάζεται συχνά να περάσει μέσα από διαφορετικά δίκτυα, χρησιμοποιεί για την μεταφορά του το πεδίο δεδομένων του πακέτου IP.

1.3 Πρωτόκολλα Στρώματος Μεταφοράς

Το στρώμα μεταφοράς της ομάδας πρωτοκόλλων TCP/IP περιλαμβάνει το Transmission Control Protocol (TCP) και το User Datagram Protocol (UDP). Το πρώτο είναι μια αξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς με σύνδεση ενώ το δεύτερο είναι μια μη αξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς χωρίς σύνδεση.

Θεωρούμε ότι ο προορισμός ενός μηνύματος δεν είναι η εφαρμογή του υπολογιστή, η οποία κατά πάσα πιθανότητα θα χρησιμοποιήσει το μήνυμα. Μπορούμε να θεωρούμε σαν τελικό προορισμό των δεδομένων σε κάθε μηχανήμα ένα σύνολο από νοητά σημεία προορισμού, τα οποία ονομάζουμε Protocol Ports και καθένα από αυτά αναγνωρίζεται από ένα θετικό ακέραιο αριθμό. Το λειτουργικό σύστημα του μηχανήματος έχει την ευθύνη ανάθεσης των Protocol Ports σε διεργασίες μέσω ενός σημείου προσαρμογής ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση στις διεργασίες αυτές. Η πρόσβαση σε κάποια από τα Protocol Ports είναι σύγχρονη, δηλαδή το λειτουργικό σύστημα σταματά την διαδικασία μέχρι να αφιχθούν δεδομένα χωρίς να αποκλείεται και η δυνατότητα ενταμίευσης ώστε τα δεδομένα που φθάνουν πριν η διεργασία να είναι έτοιμη να τα δεχθεί να μην χάνονται.

1.3.1 Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης (Transmission Control Protocol, TCP)

Όταν δύο διαδικασίες εφαρμογής ανταλλάσσουν μεγάλο όγκο δεδομένων θεωρούμε τα δεδομένα αυτά σαν μια σειρά από οκτάδες. Μια αξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς όπως είναι το TCP περνά τα δεδομένα στον προορισμό με την ίδια σειρά με την οποία τα έστειλε η διαδικασία της πηγής. Προκειμένου να το επιτύχει αυτό το TCP εγκαθιστά ένα νοητό κύκλωμα μεταξύ των δύο σταθμών εργασίας και στην συνέχεια κάθε ροή από οκτάδες που ξεκινάει από το ένα μηχανήμα φθάνει στο άλλο με την σωστή σειρά. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο TCP, λαμβάνουν από το λειτουργικό σύστημα δύο αριθμούς προκειμένου η επικοινωνία του να καθορίζεται καλά σε σχέση με άλλες επικοινωνίες διεργασιών μεταξύ των δύο ίδιων μηχανημάτων. Οι αριθμοί που λαμβάνουν ονομάζονται TCP port numbers.

Πιο συγκεκριμένα η πλευρά που επιθυμεί να επικοινωνήσει εκτελεί μια παθητική λειτουργία ενημερώνοντας το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή ότι στην συνέχεια θα δέχεται συνδέσεις στο συγκεκριμένο TCP port number. Η άλλη πλευρά η οποία αναγνωρίζει το παραπάνω port number εκτελεί μια λειτουργία και λαμβάνει από το λειτουργικό σύστημα ένα TCP port number προκειμένου να επικοινωνήσει με την άλλη πλευρά. Στη συνέχεια τα δύο κομμάτια λογισμικού του TCP επικοινωνούν μεταξύ τους για να εγκαταστήσουν και να επιβεβαιώσουν τη σύνδεση. Από τη στιγμή που η σύνδεση έχει εγκατασταθεί οι διαδικασίες εφαρμογής μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα, ενώ τα κομμάτια λογισμικού του TCP στα δύο άκρα εξασφαλίζουν την αξιόπιστη μετάδοση των δεδομένων.

Η μεταφορά δεδομένων με TCP είναι full-duplex, δηλαδή μπορούμε να έχουμε ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων και προς τις δύο διευθύνσεις. Η μονάδα πληροφορίας στο TCP ονομάζεται TCP segment. Τα TCP segments μεταφέρονται στο πεδίο δεδομένων ενός IP datagram. Το λογισμικό του TCP αποθηκεύει τα bytes που πρέπει να μεταφέρει μέχρι να μπορεί να γεμίσει ένα IP-datagram. Οι ροές των bytes δεν έχουν μια

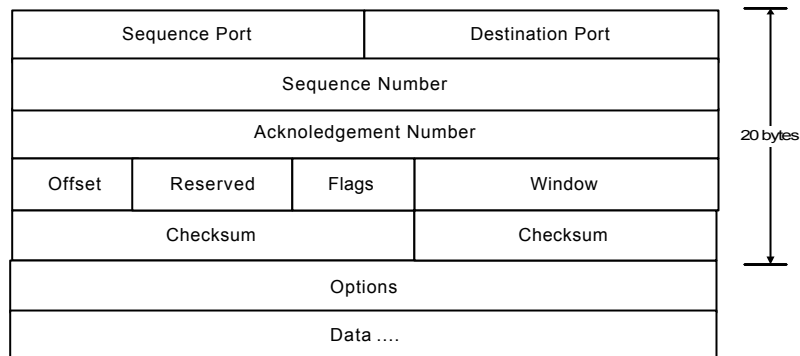
συγκεκριμένη δομή. Δηλαδή, για έναν εξωτερικό παρατηρητή, ακόμα και αν μεταφέρεται ένα αρχείο με συγκεκριμένες εγγραφές, ένα TCP segment δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια σειρά από 0 και 1. Οι δύο εφαρμογές που επικοινωνούν πρέπει να έχουν συμφωνήσει πάνω στη δομή των μεταδιδόμενων δεδομένων πριν την ανταλλαγή.

Κάθε TCP segment έχει σε ειδικό πεδίο της πληροφορίας ελέγχου έναν μοναδικό αριθμό που το αναγνωρίζει σε σχέση με τα υπόλοιπα segments. Με τον τρόπο αυτό η διεργασία προορισμός μόλις το λάβει στέλνει μια θετική επιβεβαίωση στη διεργασία πηγή, η οποία συνεχίζει την αποστολή των segments. Αν η πηγή δεν δεχθεί μια θετική επιβεβαίωση για κάποιο segment εντός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος, τότε επαναμεταδίδει το μη επιβεβαιωμένο segment. Αν ο προορισμός δεχθεί ένα segment δεύτερη φορά μπορεί να το απορρίψει. Με αυτόν τον τρόπο ξεπερνιούνται όλα τα μειονεκτήματα του μη αξιόπιστου πρωτοκόλλου IP στο στρώμα δικτύου.

Στο Σχήμα 1.6 φαίνονται τα πεδία της επικεφαλίδας του πακέτου TCP. Το κανονικό μέγεθος της επικεφαλίδας του TCP είναι 20 bytes εκτός και αν υπάρχει κάποια επιλογή. Τα SrcPort και DstPort πεδία προσδιορίζουν τις θύρες (Ports) της πηγής και του προορισμού αντίστοιχα. Αυτά τα πεδία μαζί με την διεύθυνση IP της πηγής και του προορισμού, συνδυάζονται για να προσδιορίσουν μοναδικά κάθε σύνδεση TCP. Το πεδίο sequence number είναι το Sequence Number της πρώτης οκτάδας των δεδομένων σε αυτό το segment.

Το πεδίο Acknowledgement Number περιέχει το επόμενο Sequence Number, όπου ο αποστολέας της επιβεβαίωσης περιμένει να λάβει. Ως εκ τούτου αυτό είναι το Sequence Number συν 1 του τελευταίου επιτυχημένου παραλαμβανόμενου byte δεδομένων. Τα πεδία Acknowledgement, SequenceNum, και AdvertisedWindow εμπλέκονται όλα στον μηχανισμό συρομένου παραθύρου του TCP που θα περιγραφεί στη συνέχεια. Τα πεδία Acknowledgement και Advertised Window περιέχουν πληροφορία για την ροή δεδομένων που πηγαίνει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Στον μηχανισμό συρομένου παραθύρου του TCP ο παραλήπτης γνωστοποιεί ένα μέγεθος παραθύρου στον αποστολέα. Αυτό γίνεται με την χρήση του πεδίου AdvertisedWindow. Ο αποστολέας περιορίζεται τότε στο να μην έχει περισσότερο από μια τιμή AdvertisedWindow bytes μη επιβεβαιωμένων δεδομένων οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Ο αποστολέας θέτει μια κατάλληλη τιμή του AdvertisedWindow βασισμένη στο μέγεθος της μνήμης που έχει ανατεθεί στην σύνδεση για την αποθήκευση δεδομένων.

Το πεδίο Header Length δίνει το μήκος της επικεφαλίδας σε λέξεις των 32-bit. Αυτό απαιτείται γιατί το μήκος του πεδίου option είναι μεταβαλλόμενο. Το Option Field είναι η μέγιστη επιλογή του μεγέθους ενός segment και ονομάζεται Maximum Segment Size (MSS). Κάθε άκρη της σύνδεσης συνήθως προσδιορίζει αυτή την επιλογή στο πρώτο segment που ανταλλάσσεται. Προσδιορίζει το μέγιστο μέγεθος segment που ο αποστολέας επιθυμεί να λάβει.

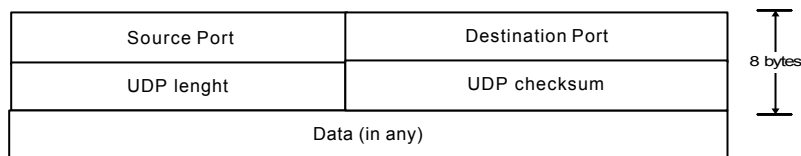


Σχήμα 1.6
Η επικεφαλίδα του πακέτου TCP

1.3.2 Πρωτόκολλο Πακέτων Χρήστη (User Datagram Protocol, UDP)

Το User Datagram Protocol (UDP) επιτρέπει στις εφαρμογές TCP/IP να ανταλλάζουν μονοσήμαντα ανεξάρτητα μηνύματα πληροφορίας πάνω από ένα δίκτυο σε ένα περιβάλλον πολυεπεξεργασίας. Το πρωτόκολλο UDP προσφέρει μια μη αξιόπιστη υπηρεσία μεταφοράς χωρίς σύνδεση, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο IP για τη μεταφορά των μηνυμάτων μεταξύ μηχανών. Δεν χρησιμοποιεί επιβεβαιώσεις, δεν αριθμεί τα μηνύματα και δεν ελέγχει τη ροή τους. Έτσι ένα μήνυμα UDP μπορεί να χαθεί ή να φτάσει σε δύο αντίγραφα, ή ακόμα να φτάσουν μηνύματα UDP σε λανθασμένη σειρά. Επιπλέον τα μηνύματα UDP μπορεί να φθάσουν σε μια διεργασία συχνότερα από ότι αυτή μπορεί να τα επεξεργαστεί.

Όλα τα παραπάνω σημαίνουν ότι μια εφαρμογή που χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο UDP θα πρέπει να λύσει το πρόβλημα της αξιοπιστίας ελέγχοντας για χαμένα, διπλά καθυστερημένα και μηνύματα με αλλαγμένη σειρά. Επίσης ένας ανώμαλος τερματισμός της σύνδεσης είναι πιθανός και ειδικά σε μεγάλα δίκτυα. Σε μια τέτοια περίπτωση η άλλη πλευρά μπορεί να συνεχίζει να φορτώνει το δίκτυο με UDP datagrams. Αξίζει να τονίσουμε ότι ο έλεγχος της εφαρμογής TCP/IP που χρησιμοποιεί το UDP και η επιτυχής λειτουργία σε ένα περιορισμένο περιβάλλον ενός αξιόπιστου τοπικού δικτύου υψηλής ταχύτητας δεν εγγυάται την λειτουργία της εφαρμογής και σε ένα περιβάλλον όπως το Διαδίκτυο. Κάθε μονάδα πληροφορίας του UDP ονομάζεται επίσης datagram. Όπως στο TCP έτσι και εδώ ζευγάρια αριθμών 16 bit χρησιμοποιούνται για να ξεχωρίζουν τις διεργασίες που επικοινωνούν. Δηλαδή κάθε μήνυμα UDP μαζί με τα δεδομένα μεταφέρει επίσης και τα port numbers για την πηγή και τον προορισμό του μηνύματος. Στο Σχήμα 1.7 φαίνονται τα πεδία της επικεφαλίδας του UDP.



Σχήμα 1.7
Η επικεφαλίδα του πακέτου UDP

1.4 Η εξέλιξη της Τεχνολογίας του Διαδικτύου

1.4.1 Το Διαδίκτυο Σήμερα

Το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol, IP) έχει δημιουργήσει ένα παγκόσμιο δίκτυο ανάμεσα σε μία πληθώρα συστημάτων και μέσω των μεταδόσεων. Η ανταλλαγή μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (e-mail) και το ξεφύλλισμα ιστοσελίδων (web browsing) αποτελούν πλέον ένα κομμάτι της καθημερινής ζωής, στη δουλειά, τη μελέτη, το παιχνίδι, την ψυχαγωγία. Και σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, άλλα δίκτυα, όπως τηλέφωνο, ράδιο, τηλεόραση, συγκλίνουν προς το IP προκειμένου να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητές του. Με αυτά τα δίκτυα κάνουν την εμφάνισή τους και νέες εφαρμογές και συνεπώς όλο και περισσότεροι χρήστες, ενώ δεν υπάρχει κανένα στοιχείο που να δείχνει πως αυτή η μοναδική ανάπτυξη του Διαδικτύου θα καταλαγιάσει κάπου στο κοντινό μέλλον.

Ο κύριος λόγος στην οποία οφείλει το IP την επιτυχία του, είναι η απλότητά του. Η θεμελιώδης σχεδιαστική του αρχή προκύπτει από το «άκρο - σε - άκρο επιχείρημα», το οποίο τοποθετεί το «μυαλό» στα άκρα του δικτύου, ενώ τον πυρήνα του δικτύου τον αφήνει «απλό». Οι δρομολογητές πρέπει να κάνουν κάτι παραπάνω από απλά να ελέγχουν τη διεύθυνση προορισμού σε ένα πίνακα δρομολόγησης προκειμένου να αποφασίσουν ποιος θα είναι ο επόμενος κόμβος όπου θα αποσταλεί το πακέτο IP. Εάν η ουρά για τον επόμενο κόμβο είναι μεγάλη, το πακέτο μπορεί να συναντήσει καθυστέρηση. Εάν η ουρά είναι γεμάτη ή δεν είναι διαθέσιμη, ένας δρομολογητής IP επιτρέπεται να απορρίπτει πακέτα. Το αποτέλεσμα είναι ότι το Διαδίκτυο όπως είναι σήμερα, παρέχει μόνο μία υπηρεσία «βέλτιστης προσπάθειας» (best-effort) που δεν παρέχει καμία εγγύηση για την καθυστέρηση και την απώλεια που συναντούν τα πακέτα IP.

Το IP σχεδιάστηκε με μεγάλη απλότητα, η οποία ήταν αρκετή για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες μας για πολλά χρόνια. Δεν είναι, όμως, ικανό να αντεπεξέλθει στις νέες απαιτήσεις του Διαδικτύου, το οποίο γνωρίζει μία εκρηκτική πρόοδο, ιδιαίτερα στις μέρες μας. Η προφανής λύση είναι να αυξήσουμε τη χωρητικότητα των γραμμών ώστε να εξυπηρετούνται

περισσότεροι χρήστες και / ή πιο απαιτητικές (σε χωρητικότητα) εφαρμογές. Το πρόβλημα, όμως, είναι κάτι παραπάνω από πρόβλημα διασφάλισης χωρητικότητας.

Το ζήτημα είναι πως η κίνηση στο Διαδίκτυο δεν έχει αλλάξει μόνο ως προς τον όγκο της, αλλά και ως προς τη φύση της. Εμφανίστηκαν πολλοί νέοι τύποι κίνησης από πολλές νέες εφαρμογές βασισμένες στην τεχνολογία IP, οι οποίες αναπόφευκτα διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό όσον αφορά τις λειτουργικές τους απαιτήσεις.

Μία μεγάλη κατηγορία εφαρμογών Διαδικτύου είναι οι εφαρμογές πολυμέσων, οι οποίες χρειάζονται σημαντικό εύρος ζώνης ή έχουν αυστηρές χρονικές απαιτήσεις ή απαιτούν μετάδοση ενός-προς-πολλαπλούς προορισμούς ή πολλών-προς-πολλαπλούς προορισμούς (multicast). Όλες αυτές οι απαιτήσεις δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν από την απλή υπηρεσία «μέγιστης προσπάθειας» που προσφέρει το Διαδίκτυο, σήμερα. Κατά συνέπεια, θα πρέπει τα δίκτυα IP (που είναι «απλά») να αποκτήσουν κάποια «ευφυΐα».

Η τηλεφωνία πάνω από IP αποτελεί μία εφαρμογή που συγκεντρώνει το ενδιαφέρον της έρευνας σήμερα, εξαιτίας της μεγάλης ζήτησης που εμφανίζει στην αγορά. Περισσότερο από οτιδήποτε άλλο, η επιθυμία της παροχής τηλεφωνικής υπηρεσίας πάνω από IP οδηγεί στη σύγκλιση των βιομηχανιών τηλεφωνίας και Διαδικτύου. Οι δύο αυτές τεχνολογίες έχουν σχεδιαστικές αρχές που είναι άκρως αντίθετες μεταξύ τους και αυτό κάνει το πρόβλημα της σύγκλισής τους ιδιαίτερα ενδιαφέρον. Από τη μία, το IP χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτου (datagram, χωρίς σύνδεση) για τη μεταφορά των δεδομένων και παρέχει υπηρεσία «βέλτιστης προσπάθειας». Από την άλλη, τα τηλεφωνικά δίκτυα χρησιμοποιούν μεταγωγή κυκλώματος (με σύνδεση) για την παροχή εξασφαλισμένης υπηρεσίας (με εγγύηση), επειδή μία αμφίδρομη και πραγματικού χρόνου συνδιάλεξη, είναι εφαρμογή με υψηλές απαιτήσεις από το δίκτυο.

1.4.2 Το Διαδίκτυο Επόμενης Γενιάς

Η αξιοσημείωτη ανάπτυξη του Διαδικτύου που εξακολουθεί να παρουσιάζει διπλασιασμό των τερματικών συστημάτων κάθε 8-9 μήνες, προκαλεί ανησυχία όσον αφορά τα όριά του και κάνει επιτακτική την ανάγκη για τη σχεδίαση ενός πρωτοκόλλου IP επόμενης γενιάς (Next Generation IP, IPnG). Εξάλλου, το IP συνιστά το συστατικό στοιχείο, την κόλλα, που κρατάει όλο το σύστημα μαζί.

Ο αρχικός λόγος που οδήγησε στο IPnG ήταν η εξάντληση του χώρου διευθύνσεων. Η τρέχουσα έκδοση (4) του IP, η IPv4, χρησιμοποιεί διευθύνσεις που ορίζονται από ένα πεδίο επικεφαλίδας 32 ψηφίων (32-bit). Αυτές οι διευθύνσεις υποδεικνύουν μία διασύνδεση μίας συσκευής (δρομολογητής, τερματικό κ.ά.) συνδεδεμένης στο δίκτυο και επομένως, αποτελούνται από τουλάχιστον δύο ιεραρχικά μέρη: δίκτυο + τερματικό. Αρχικά, η ανάθεση των διευθύνσεων γίνονταν από την αρχή Internet Assigned Numbers Authority (IANA) και χωρίζονταν σε τρεις περιοχές, γνωστές με το όνομα περιοχή κλάσης A, B και C, όπου ανάλογα με τον

αριθμό των αναμενόμενων χρηστών σε ένα δίκτυο, το μέρος δικτύου ήταν 8, 16 ή 24 ψηφία, αντίστοιχα. Αυτός ο τρόπος ανάθεσης των 2^{32} διευθύνσεων αποδείχτηκε άκρως αναποτελεσματικός, αφού πολλοί «σημαντικοί» οργανισμοί αυτόματα ζητούσαν διευθύνσεις κλάσης A ή B καταλαμβάνοντας 2^{24} ή 2^{16} διευθύνσεις, αντίστοιχα, για κάθε απλή ανάθεση, ακόμα και στις περιπτώσεις που είχαν λίγους χρήστες ή είχαν πολλά υποδίκτυα με μερικούς χρήστες σε καθένα από αυτά. Ένα δεύτερο πρόβλημα ήταν ότι οι διευθύνσεις σπάνια επιστρέφονταν όταν έπαυαν να χρησιμοποιούνται.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο αριθμός των χρηστών και των δικτύων που απαρτίζουν το Διαδίκτυο, αυξάνεται εκθετικά από το 1981, αφού σχεδόν διπλασιάζεται κάθε 8-9 μήνες. Το 1992 προβλέφθηκε ότι μέχρι το 2001 ο χώρος διευθύνσεων θα έχει εξαντληθεί, με βάση το ρυθμό ανάπτυξης εκείνης της χρονιάς. Για την αντιμετώπιση αυτής της «απειλής», συστάθηκε η ομάδα εργασίας IPnG της IETF. Όμως, με την ευκαιρία αλλαγής του IPv4 (που διέθετε στην επικεφαλίδα του πεδία διευθύνσεων πηγής και προορισμού 32 ψηφίων), ήταν η κατάλληλη στιγμή να αλλάξουν κι άλλα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου. Η νέα έκδοση του IP είναι η 6, επειδή η 5 είχε ήδη δοθεί στο πειραματικό και σήμερα ξεπερασμένο (obsolete) πρωτόκολλο ST.

1.4.2.1 Τρέχουσες ανάγκες

Αν και ο στόχος είναι η ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου που θα ικανοποιεί τις ανάγκες του Διαδικτύου επόμενης γενιάς, θα πρέπει να έχουμε υπόψη α) πως το μέγεθος του Διαδικτύου δεν επιτρέπει ριζικές αλλαγές και β) οι αρετές του IPv4 δεν θα πρέπει να διαγραφούν. Οι πιο βασικές ίσως, αρετές είναι:

- Απλό στη χρήση: Η πρόσβαση σε αυτό δεν απαιτεί ειδικές γνώσεις και μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα από μεγάλο πλήθος χρηστών.
- Ένα πρωτόκολλο συνδέει τα πάντα: Το Διαδίκτυο διαθέτει ένα κοινό σημείο αναφοράς (το IP), ενώ παράλληλα υποστηρίζει τη λειτουργία οποιουδήποτε πρωτοκόλλου πάνω από αυτό.
- Μακροζωία: Κάθε αλλαγή στο IP πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε η διάρκεια ζωής του να είναι τουλάχιστον όση και η προηγούμενη έκδοση (15 χρόνια).
- Μακροζωία και Ευημερία: Υπάρχει έντονο επιχειρησιακό ενδιαφέρον που δεν μπορεί να παραβλεφθεί.
- Αναρχία Σύμπραξης: Το Διαδίκτυο προωθεί την ανάπτυξη χωρίς καμία κεντρική μονάδα διαχείρισης. Αυτό αποτελεί προαπαιτούμενο για τη συνεχόμενη επιτυχία του.

1.4.2.2 Κριτήρια για το IP επόμενης γενιάς (IPnG)

- Επεκτασιμότητα – Ευελιξία Τοπολογίας – Επίδοση – Στιβαρή Υπηρεσία. Το Διαδίκτυο υποστηρίζει ταχύτητες από 1 bps έως 1 Gbps, τοπολογίες υποδικτύων από 2 έως 20,000 χρήστες, απώλειες πακέτων που ξεκινούν από σχεδόν μηδενικά επίπεδα. Πρέπει να διατηρήσει αυτό το ρεπερτόριο, αλλά και να το επεκτείνει.
- Μετάβαση. Ένα νέο πρωτόκολλο πρέπει να έχει τρόπους συμβατότητας με τα προηγούμενα.
- Ανεξαρτησία Μέσου – Μη-αξιόπιστη Υπηρεσία Datagram – Ρύθμιση – OAM. Ένα νέο Διαδίκτυο δεν θα πρέπει να περιορίζεται στα υπάρχοντα μέσα, δεν θα πρέπει να αλλάζει το μοντέλο επικοινωνίας και θα πρέπει να επιτρέπει ρυθμίσεις και διαχείριση από το χρήστη.
- Ασφάλεια. Το Διαδίκτυο πρέπει να παρέχει καλύτερη ασφάλεια στους πελάτες του, διαφορετικά οι εμπορικές συναλλαγές θα περιοριστούν, κάτι που οδηγεί σε μείωση και των μη εμπορικών συναλλαγών λόγω έλλειψης υπηρεσιών και της κοινότητας εκείνης που θα επενδύσει σε αυτό.
- Διευθύνσεις Πολλαπλών Προορισμών (Multicast). Ειδική υποστήριξη για επικοινωνία με πολλαπλούς προορισμούς ώστε να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα επίδοσης και επεκτασιμότητας.
- Κινητές Επικοινωνίες. Το τρέχον Διαδίκτυο υποστηρίζει μόνο ένα μοντέλο υπηρεσίας και αυτό είναι βασισμένο κυρίως για σταθερούς χρήστες. Πρέπει να υποστηρίξει κι άλλα μοντέλα, κανόνες πολιτικής κοινής γραμμής (link sharing policy rules), καθώς και κινητούς χρήστες και δρομολογητές.
- Σήραγγες. Οι σήραγγες είναι μία κοινή τεχνική για να μπορούν άλλα πρωτόκολλα να χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο σαν φορέα.
- Ποιότητα Υπηρεσίας. Η Ποιότητα Υπηρεσίας αποτελεί σημαντική απαίτηση για πολλές νέες εφαρμογές του Διαδικτύου. Θα πρέπει να δίνει τη δυνατότητα ώστε να μπορεί ένας χρήστης να ζητά, λαμβάνει και πληρώνει μια τέτοια υπηρεσία, οποιουδήποτε επιθυμητού βαθμού.

1.4.2.3 Το πρωτόκολλο IPv6

Αν και το IPv6 διατηρεί πολλά από τα χαρακτηριστικά που χάρισαν στον προκάτοχό του τεράστια επιτυχία, τολμά και αλλάζει μερικές λεπτομέρειες του πρωτοκόλλου. Περιληπτικά, αναφέρουμε:

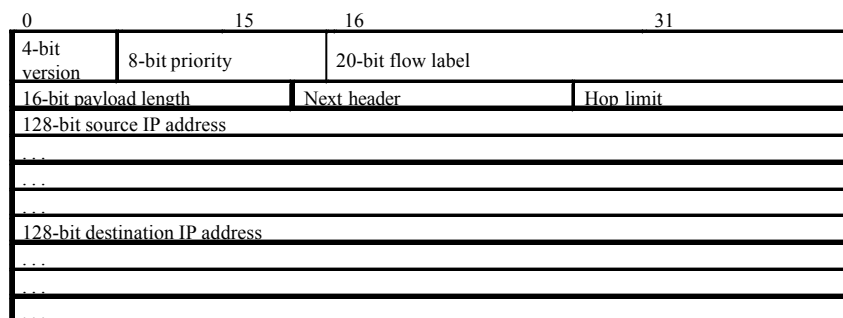
- μεγαλύτερες διευθύνσεις
- ευελιξία στο σχήμα (format) της επικεφαλίδας
- εξελιγμένες επιλογές
- υποστήριξη ανάθεσης πόρων
- πρόληψη επέκτασης του πρωτοκόλλου

Μία σύντομη εισαγωγή στις βασικές διαφορές των δύο εκδόσεων του IP δίνονται στη συνέχεια, με έμφαση στις αλλαγές που έγιναν στο σχήμα (format) της επικεφαλίδας, στις διευθύνσεις, στη δρομολόγηση και στη νέα υποστήριξη για ροές και κίνηση πραγματικού χρόνου.

Σχήμα (format) Επικεφαλίδας

Η νέα επικεφαλίδα είναι πολύ πιο απλή από αυτή του IPv4. Συνολικά, έχει μόνο 8 πεδία από τα 13 που υπήρχαν παλιά. Επίσης, το μήκος της παύει να είναι μεταβλητό και σταθεροποιείται στις 40 οκτάδες. Επομένως, δεν υπάρχει λόγος ύπαρξης ειδικού πεδίου που να αποθηκεύει το μήκος της επικεφαλίδας.

Το μόνο πεδίο που παραμένει ίδιο και στις δύο εκδόσεις είναι το πεδίο έκδοσης 4 ψηφίων (bits).



Σχήμα 1.7

Η επικεφαλίδα του πακέτου UDP

Διευθύνσεις

Οι νέες διευθύνσεις διαφέρουν σημαντικά από τις παλιές στο μέγεθος, στη σημειολογία, στη σημασία και στη δομή. Το μήκος τους είναι 128 ψηφία (bits) και γράφονται με δεκαεξαδική μορφή σαν 8 ακέραιους 16 ψηφίων (bits) χωρισμένα με ":" (άνω-κάτω τελεία).

Οι διευθύνσεις ανήκουν σε έναν από τους εξής τύπους: Unicast, Multicast, Anycast.

Αντίθετα με το IPv4, οι νέες διευθύνσεις δεν έχουν προκαθορισμένη δομή. Δεν υπάρχουν σαφή διαχωριστικά ανάμεσα σε δίκτυο, υποδίκτυο και ταυτότητες διαπροσωπειών. Ένας χρήστης μεταχειρίζεται τη διεύθυνση σαν ένα string από 128 ψηφία (bits) και οι εισαγωγές στους πίνακες δρομολόγησης θα είναι απλά προθέματα από 1 έως 128 ψηφία (bits). Όμως, πρέπει να είναι δυνατή η αναγνώριση κάποιων ειδικών διευθύνσεων, π.χ. απροσδιόριστες, βασισμένες στο IPv4, βασισμένες στον παροχέα, multicast, και anycast.

Το IPv6 επιτάσσει την αναγνώριση των διευθύνσεων πολλαπλών προορισμών από τους δρομολογητές με χρήση του πρωτοκόλλου ελέγχου Internet Group Management Protocol (IGMP) του IPv4 για τη διαχείριση της συμμετοχής / αποχώρησης σε / από μία ομάδα multicast. Εφόσον, το IPv6 εμπεριέχει την λειτουργία multicast, τα χαρακτηριστικά του IGMP του IPv4 έχουν ενσωματωθεί στο βασικό πρωτόκολλο ελέγχου Internet Control Message Protocol (ICMP) του IPv6, το οποίο επιτρέπει στους

δρομολογητές να ανταλλάσσουν μεταξύ τους μηνύματα λάθους και ελέγχου.

Δρομολόγηση

Ένα από τα προβλήματα του IPv4 είναι η έκρηξη του μεγέθους των πινάκων δρομολόγησης. Σε πολλές περιπτώσεις, οι δρομολογητές μπορούν να συντηρήσουν ακριβή πληροφορία δρομολόγησης μόνο για ένα υποσύνολο του Διαδικτύου και χρησιμοποιούν default διαδρομές για το υπόλοιπο. Το IPv6 κάνει προσπάθεια να λύσει το συγκεκριμένο πρόβλημα συλλέγοντας εγγραφές δρομολόγησης (aggregating routing entries). Αυτές οι εγγραφές θα ανταλλάσσονται με το Inter-Domain Routing Protocol (IDRP). Το πρωτόκολλο Border Gateway Protocol (BGP) όπως χρησιμοποιείται από το IPv4 είναι βελτιστοποιημένο για διευθύνσεις 32 ψηφίων (bits) και δεν είναι εύκολη η μετάβαση στο IPv6.

Η συλλογή εγγραφών δρομολόγησης μπορεί να επιτευχθεί μόνο εάν υπάρχει κάποιο είδος ιεραρχίας στο σχήμα διευθύνσεων. Το σχήμα διευθύνσεων που βασίζεται στο παροχέα είναι ένα ιεραρχικό σχήμα που θα χρησιμοποιηθεί από το IDRP. Εξ ορισμού, όλοι οι δρομολογητές ενός παροχέα δρομολογούνται από το δίκτυο του παροχέα. Έξω από αυτό το δίκτυο είναι αρκετή η εισαγωγή ενός προθέματος στους πίνακες δρομολόγησης για όλους τους χρήστες που βρίσκονται μέσα σε αυτό.

Για δρομολόγηση μέσα σε έναν χώρο αρμοδιότητας (intra-domain), το IPv6 δεν χρησιμοποιεί διαφορετικό πρωτόκολλο σε αντίθεση με το IPv4 που το κάνει. Τα τρέχοντα εσωτερικά πρωτόκολλα δρομολόγησης, όπως το Open Shortest Path First (OSPF) και το Routing Information Protocol (RIP), απλά ενημερώνονται, κάνοντας μόνο τις απαραίτητες αλλαγές που αφορούν το νέο σχήμα διευθύνσεων.

Υποστήριξη Ροών και Κίνησης Πολυμέσων

Αντίθετα με το IPv4, το IPv6 υποστηρίζει ρητά ροές. Ορίζει ως ροή «την ακολουθία πακέτων που αποστέλλονται από μία συγκεκριμένη πηγή σε έναν συγκεκριμένο προορισμό (unicast ή multicast), για τον οποίο η πηγή επιθυμεί ειδική μεταχείριση από τους παρεμβαλλόμενους δρομολογητές». Μία ροή IPv6 είναι ένα σύνολο πακέτων από την ίδια πηγή όπου όλα φέρουν την ίδια ετικέτα ροής.

Το πεδίο ετικέτας ροής μήκους 20 ψηφίων (bits) χρησιμοποιείται για την αναγνώριση ροών. Η ετικέτα που φέρει δεν επηρεάζει καθόλου τη δρομολόγηση. Παρόλα αυτά, προβλέπεται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ετικέτα του πακέτου σε συνδυασμό με την επικεφαλίδα δρομολόγησης ώστε να παρέχεται δρομολόγηση πηγής για τις ροές.

Η ετικέτα ροής ταιριάζει ιδιαίτερα καλά με τη δέσμευση πόρων. Παρέχει έναν μηχανισμό με τον οποίο οι ενδιάμεσοι δρομολογητές μπορούν αποδοτικά να ταξινομήσουν τα εισερχόμενα πακέτα ανάλογα με τις απαιτήσεις κίνησης που έχουν εκφράσει.