

5 ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΚΤΥΟΥ

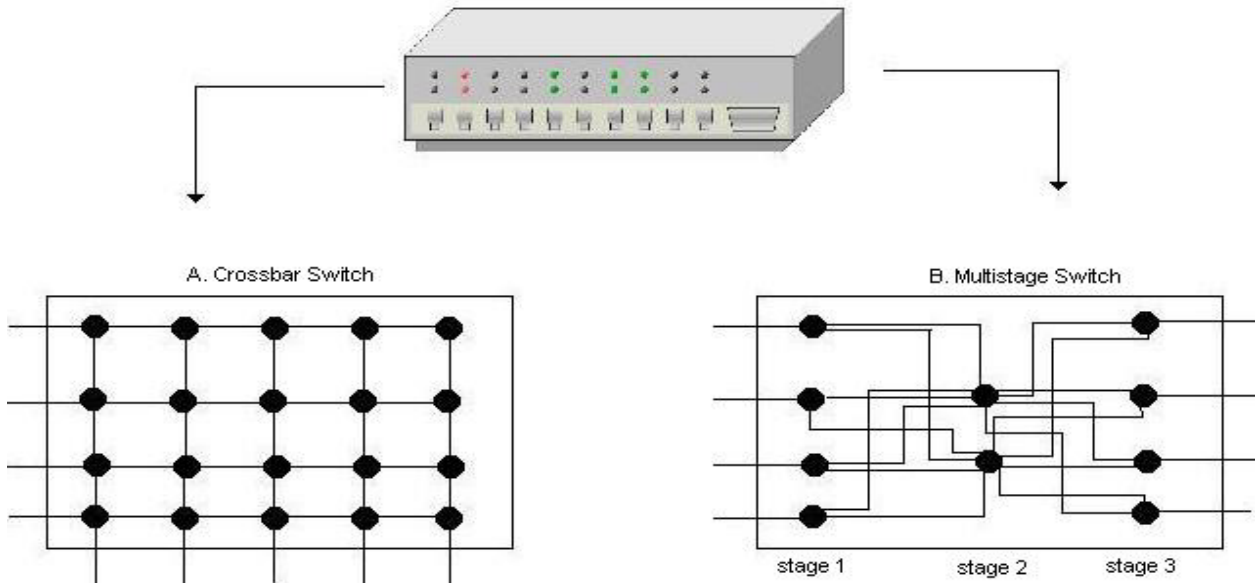
5.1 ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ – ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ

Υπάρχουν τρεις παραδοσιακοί τρόποι μεταγωγής: Η μεταγωγή κυκλώματος (Circuit Switching), η μεταγωγή πακέτου (Packet Switching) και η μεταγωγή μηνύματος (Message Switching). Σήμερα όμως έχουν αναπτυχθεί καινούργιες τεχνολογίες στην μεταγωγή, όπως το Frame Relay και τα δίκτυα ATM (Cells Relay).

5.1.1 ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ (CIRCUIT SWITCHING)

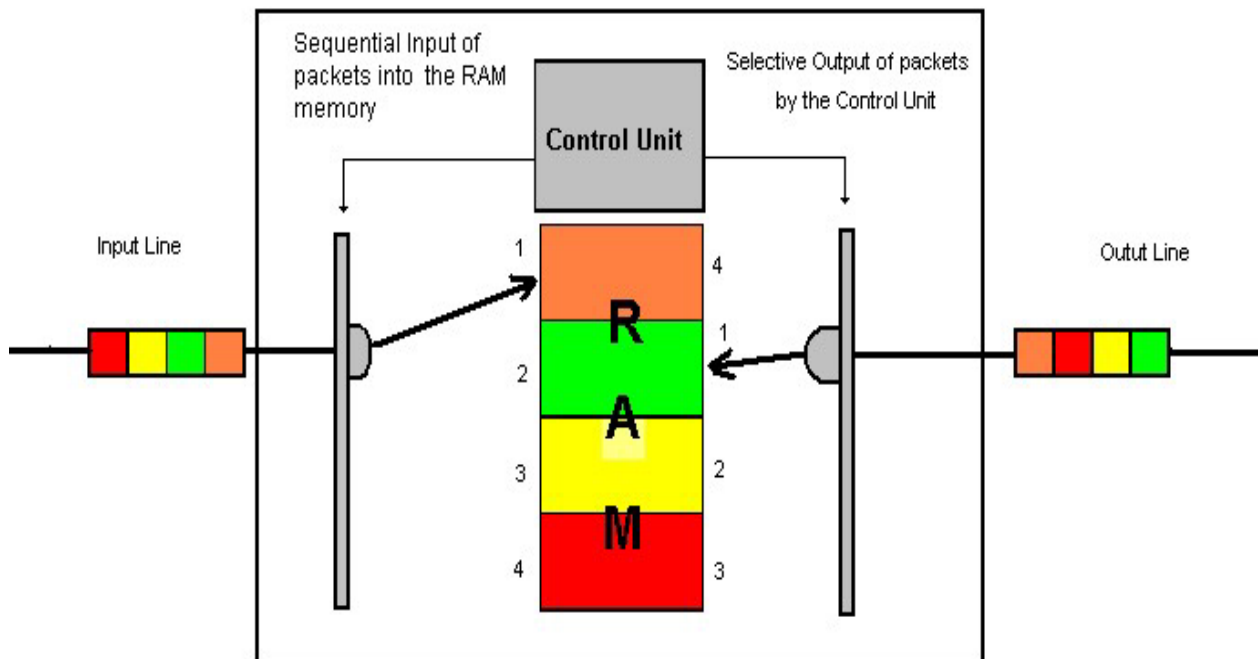
Όταν 2 τερματικά συστήματα (End Systems) προσπαθούν να επικοινωνήσουν, δημιουργείται μια φυσική σύνδεση μεταξύ τους, για όσο χρόνο διαρκέσει η επικοινωνία. Το μονοπάτι (Path) μεταξύ των 2 σταθμών είναι γνωστό με τον όρο κύκλωμα (Circuit). Όλοι οι πόροι (Resources) που θα απαιτηθούν για την επικοινωνία, δεσμεύονται κατά τη δημιουργία του κυκλώματος. Το κύκλωμα εξασφαλίζει με αυτόν τον τρόπο μια σταθερού ρυθμού μετακίνηση δεδομένων. Οι μεταγωγείς που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες:

- Μεταγωγείς Διαίρεσης – Χώρου (Space – Division Switches): Τα κυκλώματα που τους διασχίζουν χωρίζονται με διαστήματα. Σχεδιάστηκαν για αναλογικά δίκτυα, αλλά βρίσκουν εφαρμογές και στα ψηφιακά. Υπάρχουν 2 κύριες υποκατηγορίες:
 1. Crossbar Switches: Αν υπάρχουν n γραμμές εισόδου και m γραμμές εξόδου, αυτοί οι μεταγωγείς χρησιμοποιούν $n \times m$ μεταγωγικά σημεία τομής (Crosspoints). Δηλαδή, είναι πλήρεις σε crosspoints. Στατιστικές έρευνες οδήγησαν στο συμπέρασμα πως μόνο ένα ποσοστό κοντά στο 25% των crosspoints χρησιμοποιούνται σε κάποιο τυχαίο χρονικό σημείο. Έτσι, το 75% των crosspoints παραμένει αδρανές (idle).
-



Εικόνα 5.1: Η εσωτερική λειτουργία ενός μεταγωγέα διαίρεσης χώρου (a. Crossbar, b. Multistage)

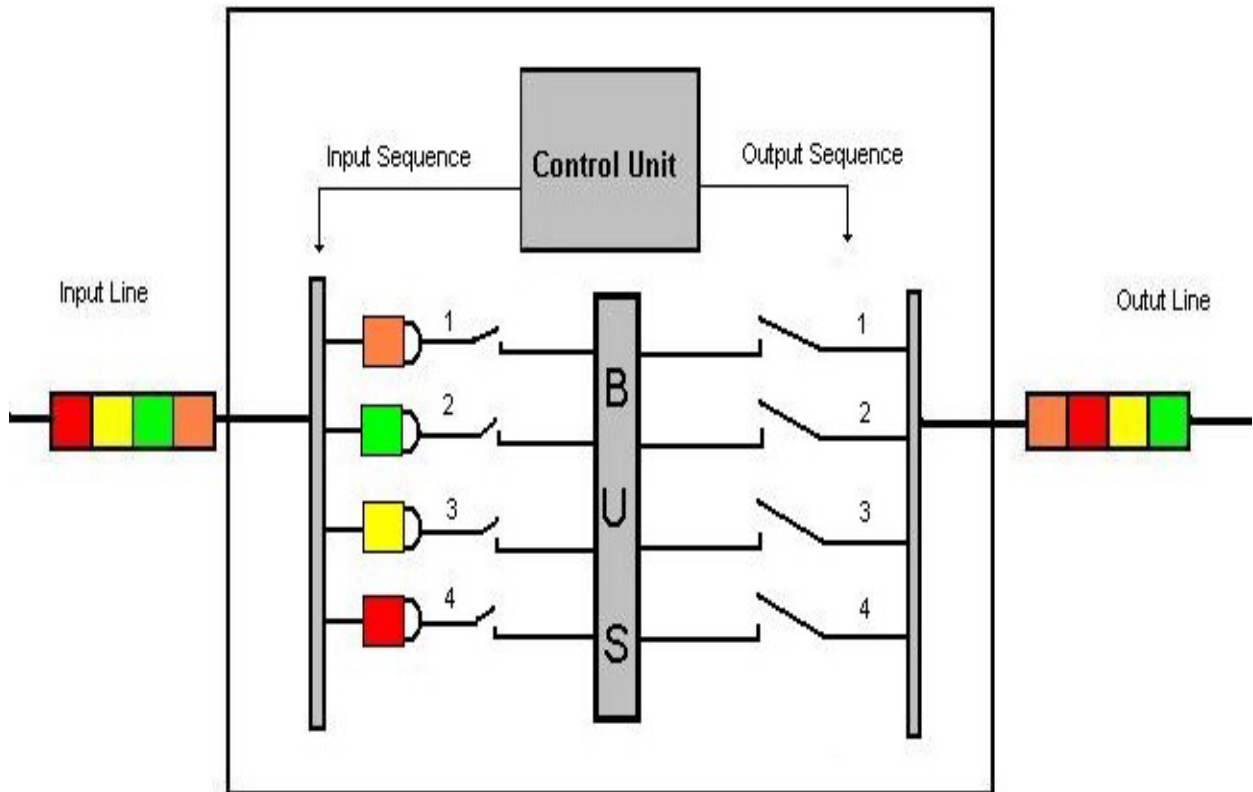
2. Multistage Switches: Περιλαμβάνουν τόσα crosspoints, όσα είναι αναγκαία, με αποτέλεσμα την ελάττωση του κόστους. Ο αριθμός των crosspoints στηρίζεται σε στατιστικές μελέτες, οι οποίες δεν αποτελούν αντικείμενο του παρόντος. Το μεγαλύτερο μέρος του μεταγωγέα είναι μη αδρανές (busy), σε αντίθεση με τους crossbar switches. Όμως, υπάρχουν και χρονικά σημεία – τα οποία δε λαμβάνονται υπόψη από τις μελέτες – όπου το σύστημα μπλοκάρεται (Blocking Phenomenon) και καταρρέει, επειδή δε μπορεί να εξυπηρετήσει έναν μεγάλο αριθμό γραμμών εισόδου. Αυτός είναι ο λόγος που καταρρέει το τηλεφωνικό σύστημα σε περιόδους φυσικών καταστροφών (π.χ. σεισμών, πλημμύρων, ...).
- Μεταγωγείς Διαίρεσης – Χρόνου (Time – Division Switches): Χρησιμοποιούν πολύπλεξη διαίρεσης χρόνου για να επιτύχουν μεταγωγή. Και στην περίπτωση αυτή, υπάρχουν 2 υποκατηγορίες μεταγωγέων, ως προς την πολύπλεξη χρόνου που χρησιμοποιείται:
 1. Time – Slot Interchange (TSI): Χρησιμοποιούν μνήμη RAM (Random Access Memory) για να πετύχουν τις απαραίτητες μεταθέσεις ανάμεσα στα time slots, τις οποίες προστάζει η μονάδα ελέγχου του μεταγωγέα. Οι μεταθέσεις αυτές είναι απαραίτητες ώστε η κάθε πηγή να μπορεί να επικοινωνεί με τον κατάλληλο προορισμό.
-



Εικόνα 5.2: Λειτουργία μεταγωγέα διαίρεσης χρόνου, με τεχνολογία TSI (Time Slot Interchange)

2. TDM Bus: Αντί για μνήμη RAM, χρησιμοποιείται ένας διάυλος (Bus). Στις εισόδους και εξόδους υπάρχουν διακόπτες. Έτσι, ανάλογα με τις μεταθέσεις που πρέπει να γίνουν, με βάση την μονάδα ελέγχου (Control Unit), οι διακόπτες κλείνουν για να δημιουργηθεί το κατάλληλο κύκλωμα αντιμετάθεσης των time slots.

Οι μεταγωγείς διαίρεσης χρόνου και χώρου μπορούν να συνδυαστούν κατάλληλα, ώστε να σχηματίζουν υβριδικά συστήματα μεταγωγής με τα πλεονεκτήματα και των δύο τύπων. Τέτοια συστήματα είναι τα: TST (Time-Space-Time), TSST (Time-Space-Space-Time), STTS (Space-Time-Time-Space) και άλλοι συνδυασμοί.



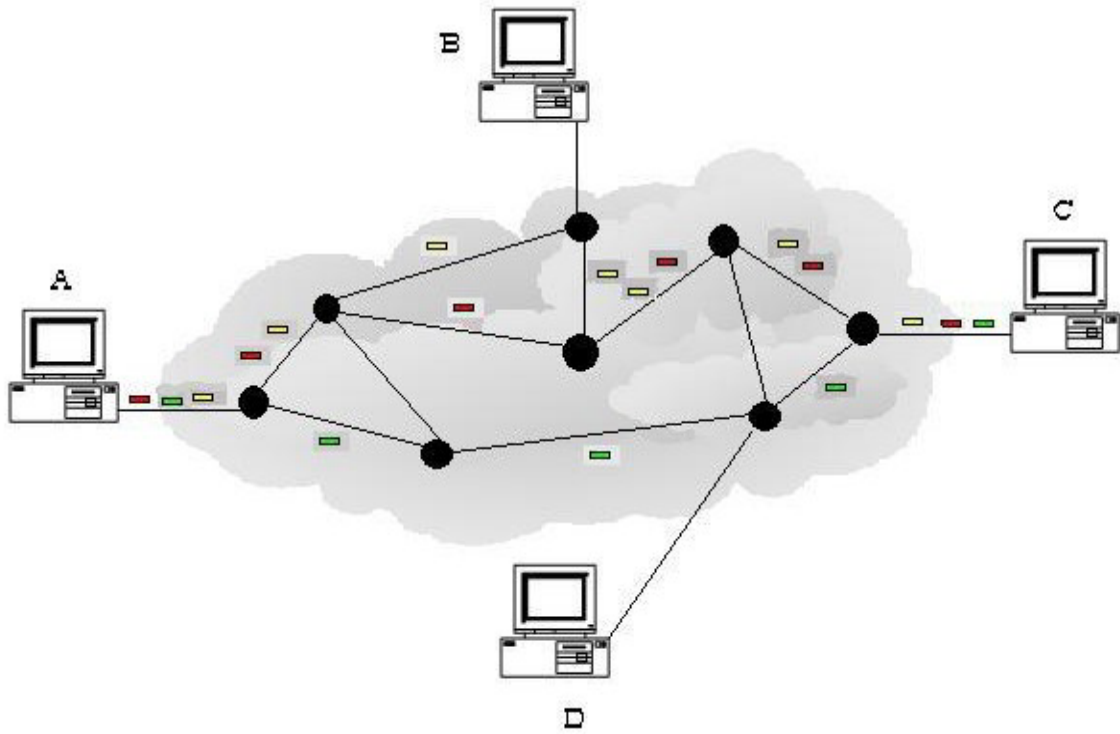
Εικόνα 5.3: Λειτουργία μεταγωγέα διαίρεσης χρόνου, με τεχνολογία TDM (Time Division Multiplexing) Bus. Όταν κλείνουν οι κατάλληλοι διακόπτες, δημιουργούνται τα κυκλώματα που πραγματοποιούν τις αντιμεταθέσεις. Η όλη λειτουργία καθορίζεται από τη μονάδα ελέγχου

5.1.2 ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΠΑΚΕΤΩΝ (PACKET SWITCHING)

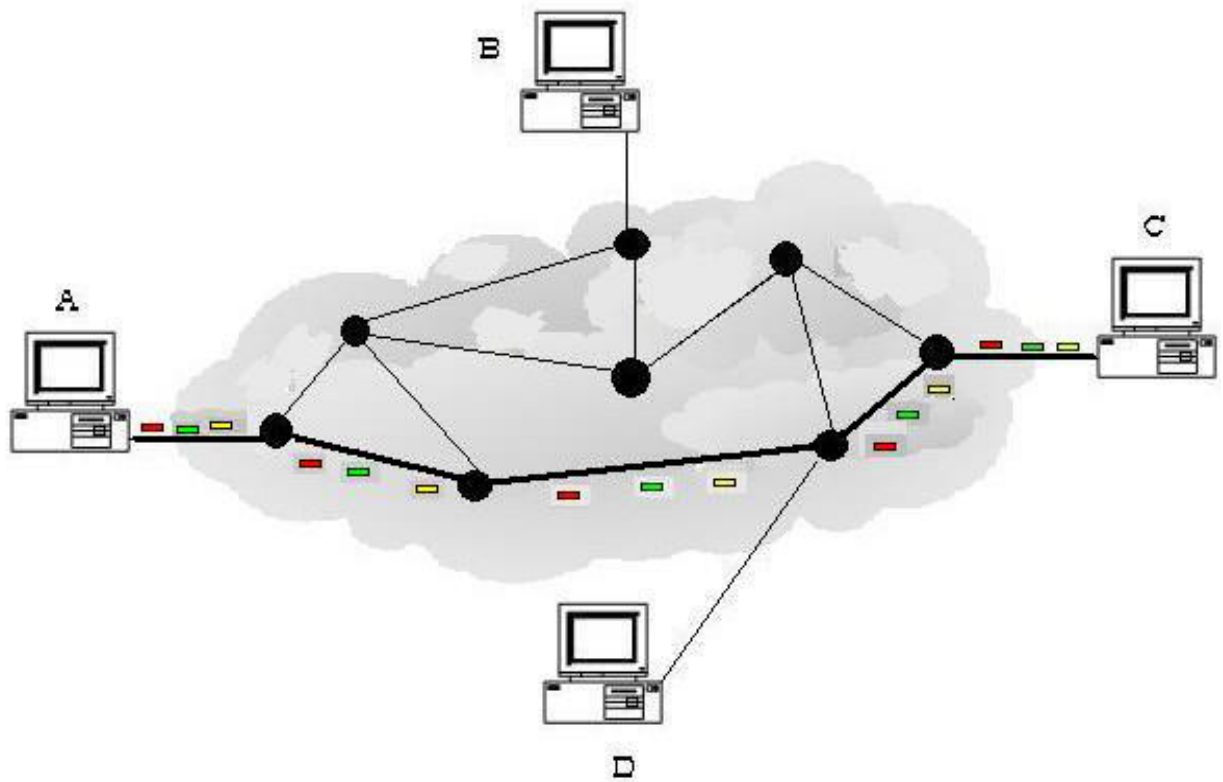
Σε αντίθεση με τη μεταγωγή κυκλώματος, στη μεταγωγή πακέτων δεν δεσμεύονται πόροι του δικτύου προκαταβολικώς. Αντίθετα, οι διάφοροι σύνοδοι (Sessions) ανταγωνίζονται μεταξύ τους, για τη δέσμευση των πόρων. Αυτό έχει ως συνέπεια, στους κόμβους των δικτύων να δημιουργούνται ουρές δεδομένων, ή ακόμα, κάποια από τα δεδομένα να απορρίπτονται. Για την καλύτερη διαχείριση των δεδομένων, αυτά διασπώνται σε λειτουργικές μονάδες, τα πακέτα (packets).

Υπάρχουν 2 βασικές προσεγγίσεις στη μεταγωγή των πακέτων:

- Προσέγγιση Αυτοδύναμων Πακέτων (Datagram Approach):** Το δίκτυο χειρίζεται το κάθε πακέτο δεδομένων χωριστά, χωρίς να λαμβάνει υπόψη του αν κάποια πακέτα ανήκουν ή όχι στο ίδιο μήνυμα (Message). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα πακέτα του ίδιου μηνύματος να φθάνουν στον προορισμό εκτός σειράς, δεδομένου ότι περνάνε από διαφορετικά μονοπάτια (paths). Παράδειγμα τέτοιων πακέτων είναι τα αυτοδύναμα πακέτα IP (IP Datagrams). Το επίπεδο μεταφοράς είναι υπεύθυνο για την ταξινόμηση των εκτός σειράς πακέτων.



Εικόνα 5.4: Προσέγγιση Αυτοδύναμων πακέτων



- Προσέγγιση Νοητού Κυκλώματος (Virtual Circuit Approach): Δημιουργείται ένας δρόμος (Route) μεταξύ των 2 τελικών συστημάτων (end systems). Όλα τα πακέτα του μηνύματος ή της συνόδου (Session) ακολουθούν το δρόμο αυτό. Υπάρχουν 2 τύποι μετάδοσης νοητού κυκλώματος:
 1. Switched Virtual Circuit (SVC): Οποτεδήποτε 2 σταθμοί επιθυμούν να επικοινωνήσουν, δημιουργείται το νοητό κύκλωμα ανάμεσά τους, με βάση την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Σε περιπτώσεις συμφόρησης, το νοητό κύκλωμα μπορεί να αλλάζει δρόμο (Route). Όταν η επικοινωνία ολοκληρωθεί, το νοητό κύκλωμα τερματίζεται.
 2. Permanent Virtual Circuit (PVC): Συνδέει μόνιμα 2 σταθμούς. Έτσι, όποτε ο ένας επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον άλλο, χρησιμοποιεί το PVC, χωρίς να μπαίνει σε διαδικασίες τύπου Connection_Requirement και Connection_Establishment.

5.1.3 ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ (MESSAGE SWITCHING)

Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως μέθοδος αποθήκευσης – προώθησης (Store-and-Forward). Ο κάθε κόμβος αποθηκεύει ολόκληρο το μήνυμα και το προωθεί όταν ελευθερωθεί η κατάλληλη διαδρομή προς τον επόμενο κόμβο. Η διαφορά με τη μεταγωγή πακέτων είναι ότι, η μεταγωγή μηνύματος χρησιμοποιεί δευτερεύουσες αποθηκευτικές συσκευές (π.χ. δίσκοι), ενώ η μεταγωγή πακέτων χρησιμοποιεί μνήμες RAM. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερες καθυστερήσεις κατά τη μεταγωγή μηνύματος.

5.2 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ (ROUTING)

Η δρομολόγηση είναι η βασικότερη λειτουργία που πραγματοποιείται στο επίπεδο δικτύου. Πρόκειται για την ικανότητα των κόμβων (δηλ. των IMPs = Routers, Brouters, ...) του δικτύου να αποφασίζουν, με βάση κάποια κριτήρια, σε ποια γραμμή εξόδου θα σταλεί το εισερχόμενο πακέτο. Στην περίπτωση των αυτοδύναμων πακέτων (Datagrams), ο αλγόριθμος δρομολόγησης εφαρμόζεται στο καθένα ξεχωριστά. Στην περίπτωση νοητών κυκλωμάτων, ο αλγόριθμος δρομολόγησης εφαρμόζεται κατά την εγκατάσταση του νοητού κυκλώματος (Δρομολόγηση Συνόδου – Session Routing).

Τα κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται η δρομολόγηση χαρακτηρίζουν τους διάφορους αλγόριθμους. Όλοι, όμως, οι αλγόριθμοι δρομολόγησης πρέπει να διέπονται από κάποιες βασικές αρχές. Αυτές είναι η ορθότητα, η απλότητα, η ανθεκτικότητα, η σταθερότητα, η αμεροληψία και η βελτιστοποίηση. Συγκεκριμένα:

- Ορθότητα: Το να λειτουργεί σωστά και να εξυπηρετεί το σκοπό για τον οποίο φτιάχτηκε ο αλγόριθμος (δηλαδή, τη δρομολόγηση).
- Απλότητα: Μικρή πολυπλοκότητα.

- Ανθεκτικότητα: Να μην επηρεάζεται από τις αλλαγές που μπορούν να πραγματοποιηθούν κατά τη διάρκεια ζωής του δικτύου (π.χ. Ενεργοποίηση ή Απενεργοποίηση συσκευών).
- Σταθερότητα: Η ενεργοποίηση του αλγορίθμου να οδηγεί το δίκτυο σε ισορροπία και να μη δημιουργεί επιπλέον προβλήματα.
- Αμεροληψία: Δίκαιη αντιμετώπιση όλων των πηγών και κατ'επέκταση όλων των τερματικών συσκευών DTEs.
- Βελτιστοποίηση: Μικρότερη μέση καθυστέρηση πακέτου και ταυτόχρονη αύξηση του συνολικού ρυθμού διέλευσης του δικτύου (Total Network Throughput).

Υπάρχουν 2 βασικές κατηγορίες αλγορίθμων δρομολόγησης:

- Προσαρμοστικοί ή Δυναμικοί: Λαμβάνουν αποφάσεις με βάση τις αλλαγές στην τοπολογία και το τρέχον κυκλοφοριακό (traffic) του δικτύου. Τις σχετικές πληροφορίες τις λαμβάνουν από διάφορες πηγές, όπως είναι οι γειτονικοί δρομολογητές ή όλοι οι δρομολογητές του δικτύου. Διαφέρουν μεταξύ τους και ως προς το κριτήριο βελτιστοποίησης (π.χ. απόσταση, αριθμός βημάτων, ...) και το χρόνο αλλαγής βημάτων (π.χ. όταν αλλάζει η τοπολογία).
- Μη Προσαρμοστικοί ή Στατικοί: Δε λαμβάνουν υπόψη τους την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Οι αποφάσεις δρομολόγησης μεταφέρονται στους δρομολογητές κατά την εκκίνηση του δικτύου (Booting).

Οι προσαρμοστικοί αλγόριθμοι χωρίζονται σε τρία είδη:

- Συγκεντρωτικοί: Συγκεντρώνουν πληροφορίες από όλο το δίκτυο. Συνήθως, υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος που αποφασίζει για το τι θα κάνουν και οι υπόλοιποι.
- Κατανεμημένοι: Ο κάθε κόμβος δέχεται πληροφορίες από τους γειτονικούς και με βάση αυτές πραγματοποιεί δρομολόγηση.
- Απομονωτικοί: Ο κάθε κόμβος πραγματοποιεί δρομολόγηση, αφού ενημερωθεί για την κατάσταση στην οποία ο ίδιος βρίσκεται. Επομένως, λαμβάνει υπόψη του στοιχεία όπως είναι τα μήκη των ουρών στους ενταμιευτές και ό,τι άλλο μπορεί να πληροφορήσει για την κατάσταση του.

5.2.1 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΝΤΟΜΟΤΕΡΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ (SHORTEST PATH ROUTING)

Η βασική ιδέα είναι να επιλέγεται η «συντομότερη» διαδρομή μεταξύ των συσκευών που θέλουν να επικοινωνήσουν (π.χ. 2 IMPs). Η έννοια της συντομότερης διαδρομής είναι τελείως υποκειμενική και εξαρτάται από τα κριτήρια που επιλέγει ο παρατηρητής ώστε να την προσδιορίσει. Διάφορα κριτήρια είναι ο αριθμός των IMPs (π.χ. δρομολογητές) που μεσολαβούν, τα μήκη των συνδέσεων (Links), το κόστος επικοινωνίας, η καθυστέρηση ουράς, και άλλα.

Πολλές φορές χρησιμοποιούνται συναρτήσεις που δέχονται ως είσοδο μια ή περισσότερες από τις μεταβλητές που αναφέρθηκαν παραπάνω, και παράγουν έναν

ειδικό συντελεστή που αντιπροσωπεύει τη «βαρύτητα» της κάθε σύνδεσης μεταξύ 2 δρομολογητών.

Έχουν, κατά καιρούς, αναπτυχθεί πολλοί αλγόριθμοι ανεύρεσης της συντομότερης διαδρομής. Οι κυριότεροι είναι ο αλγόριθμος Moore (1957) για ανεύρεση της διαδρομής με τα λιγότερα βήματα, ο αλγόριθμος Dijkstra (1959) που λαμβάνει υπόψη του τα ειδικά βάρη των συνδέσεων, ο αλγόριθμος Prim (1957) για ανεύρεση του ελάχιστου συνδετικού δέντρου, κ.α.

Σημείωση: Το δίκτυο, συνήθως, αναπαριστάται ως γράφημα στο οποίο οι κόμβοι (Nodes) αντιπροσωπεύουν τους διάφορους δρομολογητές και οι ακμές αντιπροσωπεύουν τις συνδέσεις. Οι ακμές μπορούν να φέρουν κάποιο συντελεστή που να δηλώνει τη «βαρύτητα» της κάθε σύνδεσης.

5.2.1.1 Ο αλγόριθμος του Dijkstra

Ο αλγόριθμος του Dijkstra αναπτύχθηκε το 1959 για την περίπτωση των γραφημάτων τόξων (ή, διγράφοι, ή προσανατολισμένα γραφήματα), των οποίων τα τόξα (ή, οι ακμές) φέρουν κάποιο βάρος. Ο σκοπός είναι για κάποιο συγκεκριμένο κόμβο, να χαρτογραφηθούν όλες οι διαδρομές, με τη μικρότερη αθροιστική βαρύτητα, προς οποιονδήποτε άλλο κόμβο.

Στην περίπτωση των δικτύων, οι κόμβοι είναι οι διάφοροι δρομολογητές, ενώ τα βάρη δίνουν μια εικόνα του δικτύου που ενώνει δύο οποιουσδήποτε δρομολογητές. Τα βάρη αυτά υπολογίζονται με βάση διάφορα κριτήρια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

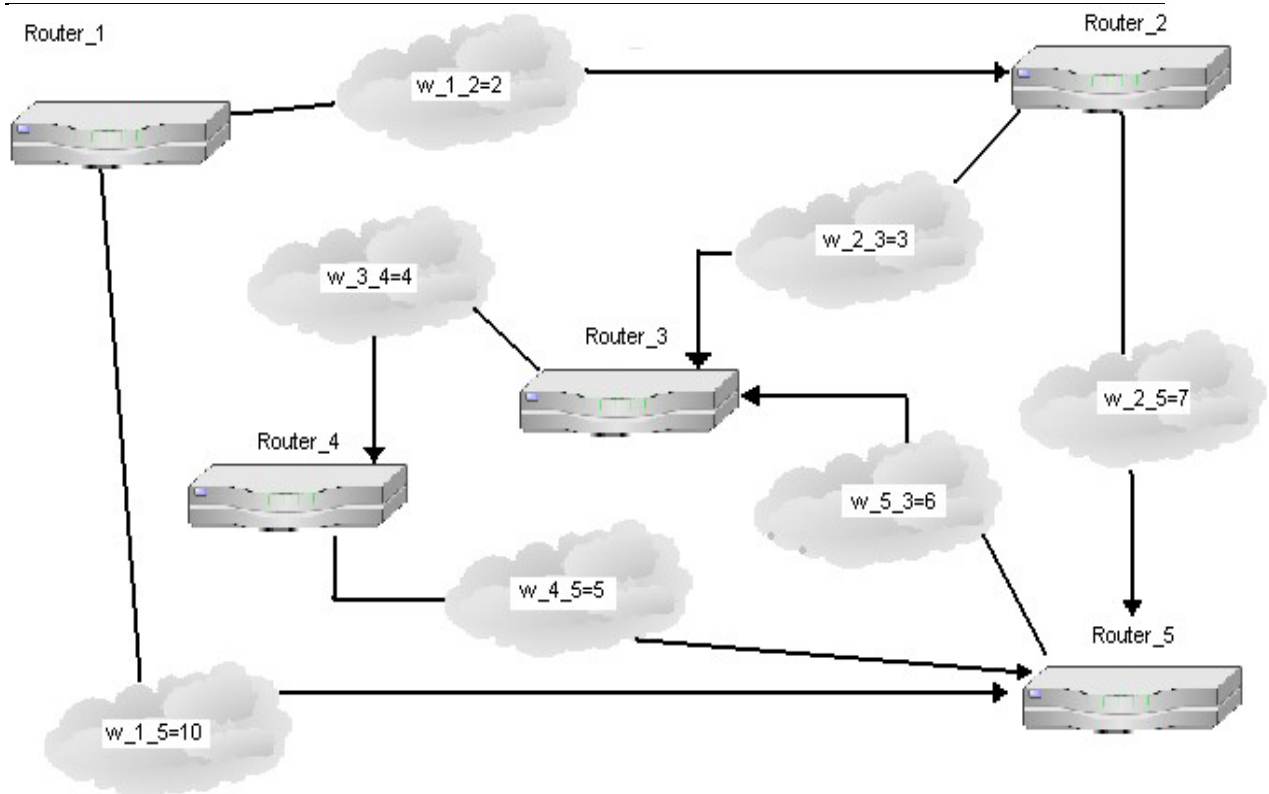
```
{
  D [v0] ← ∞;
  For (v ∈ V - {v0})
    {D[v] ← ∞;}
  S ← ∅;
  B ← {v0};
  While (B ≠ ∅)
  {
    Choose v ∈ B: D[v] = min;
    S ← S ∪ {v};
    B ← B - {v};
    For ((u ∈ V - S) AND ((v,u) ∈ E))
    {
      D[u] ← min {D[u], D[v]+d(v,u)};
      B ← B ∪ {u};
    }
  }
}
```


Εικόνα 5.6: Ο αλγόριθμος του Dijkstra (σε ψευδοκώδικα)

Ο αλγόριθμος αναπτύσσεται στην εικόνα 5.6. Για τον αλγόριθμο το σύνολο των κόμβων (δρομολογητών) χωρίζεται σε 3 υποσύνολα, τα εξής:

- S : Το σύνολο των κόμβων, που η διαδικασία έχει ήδη επισκεφτεί.
- B : Το σύνολο των κόμβων που είναι γειτονεύουν με έναν τουλάχιστον κόμβο που ανήκει στο σύνολο S . Οι κόμβοι αυτοί φέρουν μια επιγραφή k .
- $V - B - S$: Το σύνολο των κόμβων που φέρουν επιγραφή ∞ , τους οποίους η διαδικασία δεν έχει επισκεφτεί ακόμη.

Ο κάθε δρομολογητής ακολουθεί τον παραπάνω αλγόριθμο για να δημιουργήσει τον πίνακα δρομολόγησής του. Έστω το διαδίκτυο της εικόνας 5.7. Στην εικόνα 5.7, φαίνονται τα διάφορα δίκτυα που συνδέουν τους δρομολογητές και τα οποία επηρεάζουν τις ειδικές βαρύτητες των συνδέσεων μεταξύ των δρομολογητών.



Εικόνα 5.7: Παράδειγμα αλγόριθμου Dijkstra

Στο παράδειγμα αυτό, υποτίθεται ότι ο πρώτος δρομολογητής (Router_1) επιχειρεί να φτιάξει τον πίνακα δρομολόγησης του, κάνοντας χρήση του αλγόριθμου της εικόνας 5.6. Τότε ακολουθώντας διαδοχικά τα βήματα του αλγόριθμου αυτού, παράγεται ο ακόλουθος περιεκτικός πίνακας:

Βήμα	S	B	v	Router_1	Router_2	Router_3	Router_4	Router_5
0	∅	Router_1	Router_1	0				
1	Router_1	Router_2, Router_5	Router_2	0	2			10
2	Router_1, Router_2	Router_5, Router_3	Router_3	0	2	5		9
3	Router_1, Router_2, Router_3	Router_5, Router_4	Router_4	0	2	5	9	9
4	Router_1, Router_2, Router_3, Router_4	Router_5	Router_5	0	2	5	9	9
5	Router_1, Router_2, Router_3, Router_4, Router_5	∅		0	2	5	9	9

Πίνακας 5.1: Εφαρμογή αλγόριθμου Dijkstra στον δρομολογητή 1, της εικόνας 5.7

Αφού ολοκληρωθούν όλα τα βήματα, ο πρώτος δρομολογητής μπορεί να φτιάξει τον πίνακα δρομολόγησης του, από τα αποτελέσματα του τελευταίου βήματος, όπως φαίνεται από τον ανωτέρω πίνακα. Έτσι, ο πίνακας δρομολόγησης του πρώτου δρομολογητή θα μοιάζει περίπου με τον ακόλουθο πίνακα (5.2):

Router_1	Router_2	Router_3	Router_4	Router_5
0	2	5	9	9

Πίνακας 5.2: Παράδειγμα πίνακα δρομολόγησης

Αν όλοι οι δρομολογητές του παραδείγματος της εικόνας 5.7 ακολουθήσουν την ίδια διαδικασία μπορούν να παράγουν τους πίνακες δρομολόγησής τους.

5.2.2 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ (MULTIPATH ROUTING)

Είναι γνωστή και ως δρομολόγηση με διακλαδώσεις (Bifurcated Routing). Πρόκειται για το αποτέλεσμα μιας προσπάθειας για αντιμετώπιση της αδυναμίας του βέλτιστου μονοπατιού (δηλαδή, της συντομότερης διαδρομής) να αντεπεξέρθει στο μεγάλο φόρτο δεδομένων που γεννιέται στο δίκτυο. Έτσι, με αυτήν την τεχνική, πέρα από τη βέλτιστη διαδρομή χρησιμοποιούνται και άλλες δευτερεύουσες διαδρομές, με αποτέλεσμα το κυκλοφοριακό να διαμοιράζεται ομοιόμορφα ανάμεσα στους δρομολογητές και επομένως, η απόδοση του συνολικού δικτύου να κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα. Επιπλέον, οι διάφορες διαδρομές μπορεί να επιλέγονται έτσι ώστε να είναι ασύμπτωτες. Αυτό σημαίνει ότι το δίκτυο μπορεί να ανακάμπτει από βλάβες και δυσλειτουργίες των δρομολογητών και των γραμμών.

Η λειτουργία αυτής της μεθόδου είναι η εξής απλή: Σε κάθε δρομολογητή υπάρχει ένας πίνακας με καταχωρήσεις πιθανών γραμμών εξόδου, ανάλογα με τον ενδεχόμενο προορισμό των πακέτων εισόδου. Τα ειδικά βάρη των γραμμών αντιστοιχίζονται σε

πιθανότητες χρησιμοποίησης των γραμμών αυτών από τον δρομολογητή, για να προωθηθεί το εισερχόμενο πακέτο προς τον προορισμό. Όταν, λοιπόν, φθάνει ένα πακέτο ο δρομολογητής διαβάζει τον προορισμό του, παράγει έναν τυχαίο αριθμό και αφού συμβουλευτεί τον πίνακα πιθανοτήτων, στέλνει το πακέτο στη γραμμή εξόδου που αντιστοιχεί στον τυχαίο αριθμό.

Σημείωση: Ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την εύρεση ασύμπτωτων διαδρομών σε ένα γράφημα, είναι ο αλγόριθμος Even (1975).

5.2.3 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΥΤΗΣ ΠΑΤΑΤΑΣ (HOT POTATO ROUTING)

Αναπτύχθηκε από τον Baran το 1964. Ανήκει στην κατηγορία των απομονωτικών προσαρμοστικών αλγορίθμων δρομολόγησης. Ο κάθε δρομολογητής ενδιαφέρεται μόνο να ξεφορτωθεί τα εισερχόμενα πακέτα, όσο πιο γρήγορα μπορεί. Υπάρχουν 2 επιλογές:

- Το κάθε εισερχόμενο πακέτο στέλνεται στη μικρότερη ουρά εξόδου, χωρίς ο δρομολογητής να ενδιαφέρεται που οδηγεί αυτή.
- Λαμβάνονται υπόψη και τα στατικά βάρη των γραμμών εξόδου, οπότε ο δρομολογητής μπορεί να επιλέξει μεταξύ 3 υποπεριπτώσεων:
 1. Τα εισερχόμενα πακέτα στέλνονται στη γραμμή με το μεγαλύτερο βάρος, εκτός αν η αντίστοιχη ουρά είναι γεμάτη ή έχει υπερβεί κάποιο όριο.
 2. Τα πακέτα στέλνονται στις μικρότερες ουρές, εκτός εάν τα βάρη στις αντίστοιχες γραμμές είναι πολύ μικρά.
 3. Οι γραμμές κατατάσσονται ως προς το μήκος της ουράς και τα βάρη τους, οπότε για να δει που θα στείλει το πακέτο ο δρομολογητής, αθροίζει τους αριθμούς κατάταξης και επιλέγει τη γραμμή με το μικρότερο άθροισμα.

5.2.4 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ (BACKWARD LEARNING ROUTING)

Το κάθε πακέτο κρατάει την ταυτότητα του δρομολογητή της πηγής και ένα μετρητή των δρομολογητών από τους οποίους περνά. Έτσι, όταν ένας δρομολογητής, ο οποίος ελέγχει κάποια γραμμή, αντιληφθεί το πέρασμα του πακέτου από τη γραμμή αυτή, γνωρίζει ότι απαιτούνται τόσα βήματα (hops) όσα αναγράφει ο μετρητής, για να στείλει ένα πακέτο προς το δρομολογητή της πηγής. Με αυτόν τον τρόπο, ο κάθε δρομολογητής κρατάει έναν πίνακα συνεχώς ενημερώνεται

5.2.5 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΛΤΑ (DELTA ROUTING)

Πρόκειται για έναν αλγόριθμο μεταξύ συγκεντρωτικής και απομονωτικής δρομολόγησης, ο οποίος αναπτύχθηκε από τον Rudin το 1976. Ο κάθε δρομολογητής υπολογίζει ένα συντελεστή κόστους για τις γραμμές του και στέλνει όλους τους συντελεστές στο RCC (Routing Control Center – Κέντρο Ελέγχου Δρομολόγησης). Το RCC κάνει χρήση των στοιχείων αυτών για να βρει τις k καλύτερες διαδρομές μεταξύ οποιωνδήποτε 2 δρομολογητών (έστω i και j οι δρομολογητές). Μια διαδρομή n θεωρείται ισοδύναμη της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ των i και j, αν και μόνο αν υπάρχει κάποιο δ ώστε: $C_{ij}^n - C_{ij}^1 < \delta$, όπου το C_{ij}^n είναι το συνολικό κόστος της n-οστής καλύτερης διαδρομής από το i στο j και το C_{ij}^1 είναι το συνολικό κόστος της βέλτιστης διαδρομής από το i στο j.

Συνήθως οι τιμές του δ και του k καθορίζονται από το διαχειριστή του κάθε δικτύου.

5.2.6 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΣΜΑΤΟΣ (FLOODING ROUTING)

Πρόκειται για την πιο ακραία μορφή απομονωτικής δρομολόγησης. Ο κάθε δρομολογητής στέλνει από ένα αντίγραφο του εισερχόμενου πακέτου σε όλες τις γραμμές εξόδου, εκτός από τη γραμμή εισόδου του πακέτου. Η μέθοδος αυτή βρίσκει σίγουρα τη βέλτιστη διαδρομή, όμως κρίνεται ιδιαίτερα ασύμφορη εξαιτίας της υπερβολικής σπατάλης πόρων που απαιτεί. Βρίσκει κάποιες εφαρμογές, λόγω της ανθεκτικότητάς της, σε στρατιωτικά δίκτυα ή πολλών κατανεμημένων βάσεων δεδομένων. Στην ουσία, όμως, χρησιμοποιείται κυρίως ως μέτρο σύγκρισης των άλλων αλγορίθμων, αφού κάτω από ιδανικές συνθήκες, οδηγεί στη μικρότερη καθυστέρηση διάδοσης πακέτου. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η απομάκρυνση των αντιγράφων-πακέτων, όταν το πακέτο φθάσει στον προορισμό. Για την επίλυσή του έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, όπως η χρήση μετρητών.

Μια παραλλαγή του πλημμυρίσματος είναι το επιλεκτικό πλημμύρισμα (Selective Flooding), όπου το κάθε εισερχόμενο πακέτο προωθείται προς τις γραμμές εξόδου, οι οποίες εικάζεται πως θα οδηγήσουν, τελικώς, το πακέτο στον προορισμό του. Λειτουργεί, δηλαδή, με έναν τρόπο όπως η πυξίδα.

5.2.7 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΡΟΗ (FLOW – BASED ROUTING)

Πρόκειται για μια προσπάθεια αξιολόγησης όλων των αλγορίθμων δρομολόγησης με χρήση της θεωρίας ουρών. Η μέθοδος αυτή, η οποία αναπτύχθηκε από τους Bertsekas και Gallager (1987), προϋποθέτει ότι κάποια βασικά χαρακτηριστικά του προς μελέτη δικτύου είναι γνωστά (π.χ. τοπολογία, χωρητικότητες γραμμών, ...). Έτσι, με χρήση της θεωρίας ουρών, αξιολογούνται οι αλγόριθμοι ως προς τη μέση καθυστέρηση πακέτων σε ολόκληρο το δίκτυο. Είναι εύκολο να γραφτεί ένα πρόγραμμα που να αξιολογεί τους

αλγόριθμους δρομολόγησης για κάποια διαδρομή, με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω.

5.2.8 ΙΕΡΑΡΧΙΚΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ (HIERARCHICAL ROUTING)

Καθώς αυξάνει το μέγεθος του δικτύου, οι διάφοροι δρομολογητές χρειάζονται όλο και μεγαλύτερη μνήμη για να κρατούν τους πίνακες δρομολόγησης, μεγαλύτερη υπολογιστική δύναμη για να ελέγχουν τους πίνακες και η ανταλλαγή των πληροφοριών μεταξύ των δρομολογητών απαιτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Επομένως, υπάρχει ένα απαγορευτικό όριο στο μέγεθος δικτύου, το οποίο τίθεται από τις δυνατότητες των δρομολογητών.

Η ιεραρχική δρομολόγηση προσφέρει λύση στο πρόβλημα αυτό. Οι δρομολογητές τοποθετούνται σε ομάδες, οι οποίες με τη σειρά τους ιεραρχούνται σε όλο και πιο περιεκτικά και ευρύτερα σύνολα. Ένα παράδειγμα ιεραρχικής δρομολόγησης είναι η πρόταση της AT&T για πολύπλεξη στο τηλεφωνικό δίκτυο. Σύμφωνα με αυτή, ακολουθείται η εξής ιεραρχία:

Group → Super Group → Master Group → Jumbo Group.

5.2.9 ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ (BROADCAST ROUTING)

Πρόκειται για μια σειρά αλγορίθμων που αναπτύχθηκαν για περιπτώσεις δρομολόγησης όπου μια πηγή στέλνει πακέτα σε κάθε δυνατό προορισμό (Broadcasting). Οι διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης είναι οι ακόλουθοι:

- Η πηγή να κρατάει κατάλογο προορισμών και να στέλνει ένα ξεχωριστό πακέτο στον κάθε προορισμό.
- Χρήση δρομολόγησης πλημμυρίσματος.
- Δρομολόγηση πολλαπλών προορισμών (Multi destination Routing): Το πακέτο φέρει χάρτη προορισμών. Όταν φθάνει σε κάποιον δρομολογητή, αυτός ελέγχει το χάρτη και παράγει τόσα αντίγραφα, όσα πρέπει ανάλογα με τη γραμμή εξόδου.
- Χρήση του δέντρου προορισμού (Sink Tree) του δρομολογητή – πηγή, ή οποιουδήποτε άλλου δέντρου σύνδεσης (Spanning Tree). Αν όλοι οι άλλοι δρομολογητές έχουν γνώση του δέντρου αυτού, η δρομολόγηση εκπομπής πραγματοποιείται με πολύ εύκολο τρόπο.
- Οι δρομολογητές να έχουν την ικανότητα να διακρίνουν ανάμεσα στα νέα εισερχόμενα πακέτα και σε αντίγραφα πακέτα που πρέπει να απορριφθούν.

5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

Ένα επιπλέον καθήκον για το επίπεδο δικτύου είναι και ο έλεγχος συμφόρησης (Congestion Control). Αν και ο έλεγχος συμφόρησης πραγματοποιείται σε επίπεδο μεταφοράς, από το πρωτόκολλο TCP, αυτό δεν εμποδίζει συγκεκριμένου τύπου δίκτυα

(π.χ. ABR/ATM) από το να δραστηριοποιηθούν στον τομέα αυτό, τουλάχιστον εντός της δικής τους επικράτειας.

Η συμφόρηση εμφανίζεται σε ένα δρομολογητή, όταν δέχεται έναν καταγισμό πακέτων προς μια συγκεκριμένη γραμμή εξόδου για κάποιο χρονικό διάστημα αρκετά μεγάλο, ώστε να πλημμυρίσει τον ενταμιευτή (buffer) προς τη συγκεκριμένη έξοδο. Ο δρομολογητής αναγκάζεται να απορρίψει πακέτα, τα οποία θα λείψουν από τον προορισμό τους. Η πηγή αναγκάζεται να τα αναμεταδώσει με αποτέλεσμα αυτά να περνούν από τον ήδη συνωστισμένο δρομολογητή και το πρόβλημα της συμφόρησης να επιδεινώνεται συνεχώς.

Έχει αναπτυχθεί μια ποικιλία αλγορίθμων για τον έλεγχο συμφόρησης, οι οποίοι χωρίζονται σε 2 κύριες κατηγορίες: Αλγόριθμοι ανοιχτού-βρόγχου (Open-Loop Algorithms) και αλγόριθμοι κλειστού-βρόγχου (Closed-Loop Algorithms).

5.3.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ

Αυτού του είδους οι αλγόριθμοι ενεργούν προληπτικά, ώστε να μην εμφανιστεί συμφόρηση στο δίκτυο. Διασφαλίζουν ότι οι ροές που θα δημιουργηθούν από τις διάφορες πηγές δεν πρόκειται να υποβαθμίσουν τα λειτουργία και την ποιότητα υπηρεσίας (QoS) του δικτύου. Κάποια από τα προληπτικά μέτρα για τον έλεγχο συμφόρησης παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

5.3.1.1 Έλεγχος εισόδου(Admission Control)

Χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις δικτύων νοητών κυκλωμάτων (Virtual Circuits) και μεταγωγής πακέτων (Packet Switching), αλλά έχει επεκταθεί και για τα δίκτυα αυτοδύναμων πακέτων που λειτουργούν υπό συνθήκες καταγισμού (Burst).

Στην πρώτη περίπτωση, που είναι και η πιο ενδιαφέρουσα, ο αλγόριθμος είναι γνωστός ως 'Έλεγχος Εισόδου Σύνδεσης' (Connection Admission Control - CAC). Ο CAC ελέγχει τα χαρακτηριστικά της ροής κατά τη δημιουργία της σύνδεσης (Connection Setup) από την πηγή. Όλες αυτές οι παράμετροι αναγράφονται, από την πηγή, στον περιγραφέα κυκλοφοριακού (Traffic Descriptor). Βασισμένος στα στοιχεία αυτά, ο CAC υπολογίζει το εύρος ζώνης που θα αφιερωθεί στην πηγή, το οποίο είναι γνωστό και ως 'Ενεργό Εύρος ζώνης' (Effective Bandwidth).

Στην περίπτωση καταγισμού, για δίκτυα αυτοδύναμων πακέτων, ο αλγόριθμος είναι γνωστός ως 'Έλεγχος Εισόδου Καταιγισμού' (Burst Admission Control - BAC).

5.3.1.2 Επόπτευση (Policing)

Η διαδικασία της επόπτευσης ακολουθεί της διαδικασίας ελέγχου εισόδου. Σκοπός της είναι να αστυνομεύει το κυκλοφοριακό που παράγει η πηγή, ώστε αυτό να μην ξεφεύγει από τα όρια που έχουν τεθεί από τον αλγόριθμο CAC. Αν ο ρυθμός αποστολής δεδομένων από την πηγή ξεπεράσει το ανώτατο όριο (peak rate), τότε το δίκτυο μπορεί να ακολουθήσει 2 πολιτικές:

- Απορρίπτει απευθείας το κυκλοφοριακό που ξεπερνάει τα ανώτατα όρια.
- Δίνει μια ετικέτα μικρότερης προτεραιότητας στο κυκλοφοριακό αυτό, οπότε αν χρειαστεί στο μέλλον το απορρίπτει.

Ένας γνωστός αλγόριθμος επόπτευσης είναι και ο αλγόριθμος του ‘στάζοντος κουβά’ (Leaky Bucket).

5.3.1.3 Διαμόρφωση κυκλοφοριακού (Traffic Shaping)

Πρόκειται για μια λειτουργία που πραγματοποιείται από την πηγή (ή, από ειδικές συσκευές μετά την πηγή), παράλληλα με την διαδικασία της επόπτευσης του κυκλοφοριακού. Ο στόχος της είναι να συγχρονιστεί ο ρυθμός αποστολής δεδομένων της πηγής με τον ρυθμό που επιβάλλεται από τη συσκευή επόπτευσης, με αποτέλεσμα την καλύτερη δυνατή λειτουργία του δικτύου. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με την αρχική αλλοίωση του κυκλοφοριακού και τη σταδιακή διαμόρφωσή του στο επίπεδο ανοχής της συσκευής επόπτευσης.

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για τη διαμόρφωση του κυκλοφοριακού. Οι πιο σημαντικές βασίζονται στις τεχνολογίες του Leaky Bucket και του Token Bucket (Κουβάς Κουπονιών).

5.3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ

Ο έλεγχος συμφόρησης κλειστού βρόγχου αντιμετωπίζει το φαινόμενο της συμφόρησης κατά τη λειτουργία του δικτύου (δηλαδή, οι ροές των πηγών έχουν ήδη σχηματιστεί) και βασίζεται σε πληροφορίες ανάδρασης (Feedback Information) του δικτύου για να ρυθμίσει την ταχύτητα αποστολής δεδομένων των πηγών. Οι πληροφορίες ανάδρασης διακρίνονται σε 2 κατηγορίες:

- Υπονοούμενη Ανάδραση (Implicit Feedback): Οι πληροφορίες για συμφόρηση λαμβάνονται έμμεσα, συνήθως από κάποιο χρονόμετρο που διαθέτει η πηγή. Όταν ξεπεραστεί κάποιο χρονικό περιθώριο μετά την αποστολή κάποιου πακέτου, χωρίς επιβεβαίωση λήψης, τότε η πηγή εικάζει ότι το δίκτυο είναι συνωστισμένο. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο έλεγχος συμφόρησης του πρωτοκόλλου TCP (επίπεδο μεταφοράς, όχι επίπεδο δικτύου)
- Σαφής Ανάδραση (Explicit Feedback): Οι πληροφορίες για συμφόρηση περιέχονται σε ειδικά πακέτα που παράγει το δίκτυο, τα οποία αποστέλλονται στην πηγή, ώστε να ειδοποιείται αυτή, για το επίπεδο συμφόρησης του δικτύου. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ο έλεγχος συμφόρησης στα δίκτυα ABR/ATM, όπου παράγονται τα πακέτα RM τα οποία πληροφορούν την πηγή.

5.4 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ IP

5.4.1 ΤΟ ΥΠΟΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ (INTERNET SUBLAYER)

Έως τώρα, σε όλες τις αναφορές που έγιναν, θεωρήθηκε ότι κατά την end-to-end μεταφορά, τα τελικά συστήματα (End Systems ή DTEs ή Hosts) που επικοινωνούν ανήκουν στο ίδιο δίκτυο (WAN, MAN, LAN). Υπάρχουν, όμως, και περιπτώσεις όπου τα DTEs που επικοινωνούν ανήκουν σε δίκτυα με διαφορετική τοπολογία και τεχνολογία (π.χ. ATM, Frame Relay, X.25, Ethernet, ...). Αυτό σημαίνει ότι οι δρομολογητές πρέπει να έχουν τη δυνατότητα, όποτε χρειάζεται, να μετατρέπουν τα πακέτα του ενός δικτύου σε πακέτα του άλλου.

Οι ανάγκες για διαδικτύωση οδήγησαν την ISO να χωρίσει το επίπεδο δικτύου (Network Layer) του μοντέλου OSI σε τρία υποεπίπεδα: Υποεπίπεδο Διαδικτύου (Internet Sublayer), Υποεπίπεδο Βελτίωσης Υποδικτύου (Subnet Enhancement Sublayer) και Υποεπίπεδο Προσπέλασης Υποδικτύου (Subnet Access Sublayer).

Και στις περιπτώσεις διαδικτύωσης, τα βασικά θέματα είναι περίπου τα ίδια με αυτά που περιγράφηκαν σε προηγούμενες παραγράφους, δηλαδή: Δρομολόγηση, Έλεγχος Ροής και Συμφόρησης και επιπλέον Ποιότητα Υπηρεσίας (Quality of Service - QoS), Διευθυνσιοδότηση (Addressing), κ.α.

Το πρωτόκολλο διαδικτύωσης στο μοντέλο OSI είναι γνωστό ως ISO – IP ή ISO – CLNP. Στην ουσία, η ISO έχει υιοθετήσει το πρωτόκολλο IP, το οποίο πρωτοαναπτύχθηκε, ως γνωστό, από την DARPA και χρησιμοποιήθηκε στο ARPANET. Το πέρασμα από το ARPANET στο σημερινό INTERNET καθιέρωσε την αρχιτεκτονική TCP/IP, η οποία είναι κραταιά σήμερα σε όλες τις εφαρμογές διαδικτύωσης, όπως είναι τα ιδιωτικά Intranets. Δεν είναι λοιπόν τυχαία η υιοθέτηση των χαρακτηριστικών του IP (αλλά και του TCP) από την ISO.

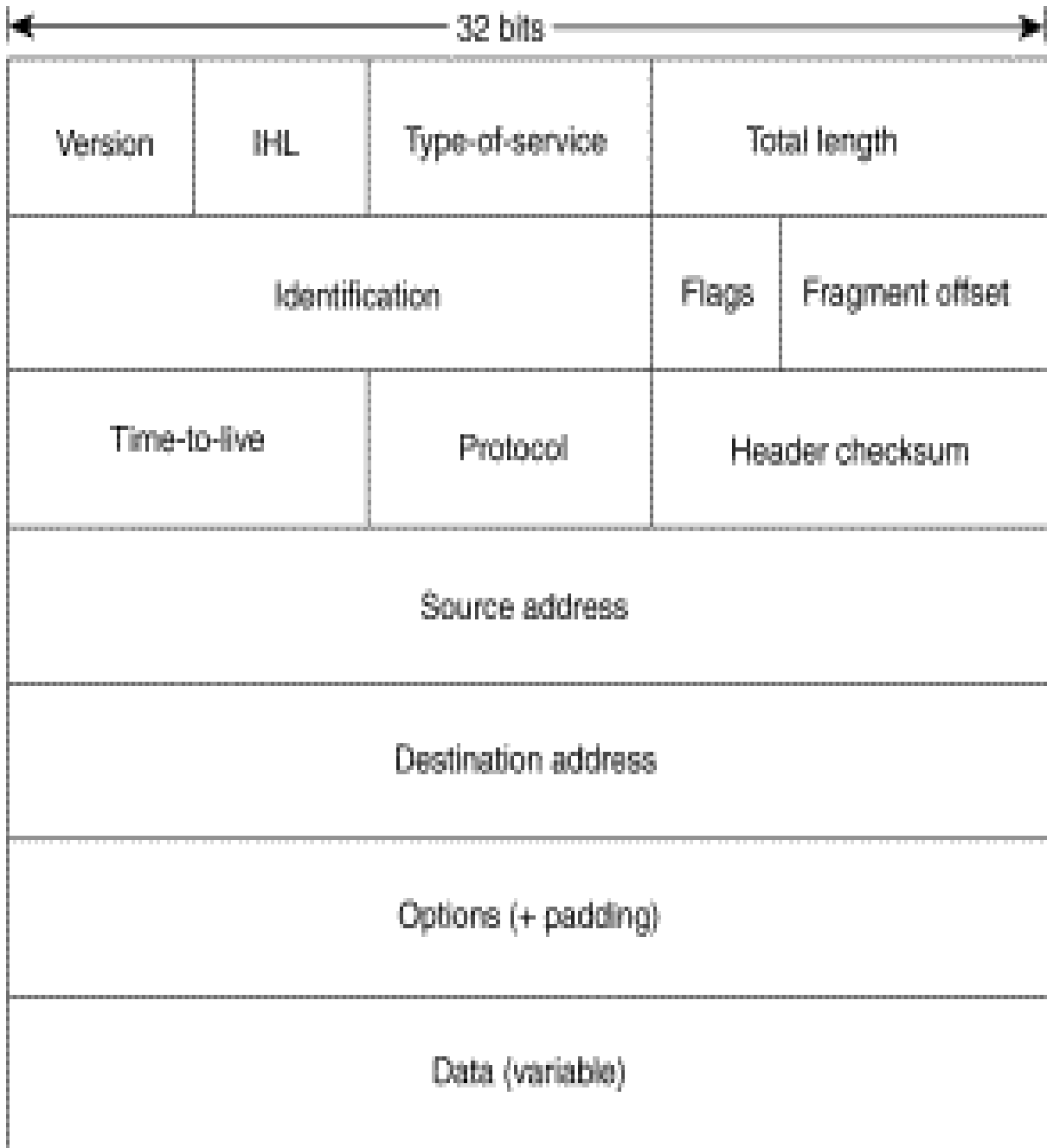
Στην παράγραφο που ακολουθεί, γίνεται η ανάλυση των κυριότερων σημείων του πρωτοκόλλου IP.

5.4.2 ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΩΣΗΣ (INTERNET PROTOCOL - IP)

Το πρωτόκολλο IP προσφέρει μια υπηρεσία χωρίς σύνδεση (connectionless service) στη μεταφορά των δεδομένων (σε αντίθεση με τις connection – oriented υπηρεσίες). Αυτό σημαίνει ότι, τα αυτοδύναμα πακέτα IP (IP Datagrams) μεταφέρονται προς τον προορισμό, χωρίς ο δέκτης να είναι προετοιμασμένος να τα δεχτεί. Αυτό έχει ως συνέπεια, το πρωτόκολλο IP να μην μπορεί να προσφέρει αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων (Reliable Data Transfer) με έλεγχο σφαλμάτων (Error Control), Έλεγχο Ροής (Flow Control) και Έλεγχο Συμφόρησης (Congestion Control).

Το κάθε πακέτο IP δρομολογείται ανεξάρτητα από τα άλλα. Αυτός είναι και ο λόγος που τα πακέτα αυτά καλούνται αυτοδύναμα. Αυτού του είδους η υπηρεσία που προσφέρει το IP, η οποία αποσκοπεί στην καλύτερη δυνατή δρομολόγηση από την πηγή στον προορισμό, χωρίς εγγυήσεις για ασφαλή μεταφορά, είναι γνωστή και με τον όρο ‘best – effort’ service (υπηρεσία καλύτερης – προσπάθειας).

Σήμερα, οι διαδικτυακές ανάγκες του INTERNET καλύπτονται από την τέταρτη έκδοση του πρωτοκόλλου IP (IPv4). Οι αυξανόμενες, όμως, απαιτήσεις, εξαιτίας του αυξανόμενου αριθμού δικτύων στο INTERNET, θα οδηγήσουν στην αντικατάσταση του IPv4 από το IPv6. Έτσι, ένα μεγαλύτερο εύρος διευθύνσεων θα μπορέσει να καλυφθεί (128 bits διευθυνσιοδότησης στο IPv6, σε αντίθεση με 32 bits στο IPv4). Το IPv6 θα φέρει και άλλες καινοτομίες (π.χ. όχι πεδίο Checksum), στις οποίες όμως δεν πρόκειται να επεκταθεί το παρόν.



Εικόνα 5.8: Το Αυτοδύναμο πακέτο δεδομένων IPv4

Το αυτοδύναμο πακέτο του IPv4 έχει μέγεθος που φθάνει έως και 65.536 bytes με μια επικεφαλίδα (Header) που κυμαίνεται από 20 έως 60 bytes. Τα κυριότερα πεδία του πακέτου IPv4 είναι τα ακόλουθα:

- Έκδοση (Version – 4 bits): Προσδιορίζει την έκδοση του πρωτοκόλλου IP (0100 για το IPv4). Έτσι, ένας δρομολογητής ξέρει πώς να διαβάσει ένα πακέτο IP.

- Μέγεθος Επικεφαλίδας (Header Length – 4 bits): Κωδικοποιεί το πραγματικό μήκος της επικεφαλίδας. Για να υπολογιστεί το πραγματικό μήκος, πολλαπλασιάζεται το κωδικοποιημένο επί 4.
- Τύπος Υπηρεσίας (Service Type – 8 bits): Τα bits του πεδίου αυτού προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο το δίκτυο πρέπει να αντιμετωπίζει και να διαχειρίζεται το πακέτο IP. Κωδικοποιούν στοιχεία σχετικά με την ποιότητα υπηρεσίας, όπως ο ρυθμός εξυπηρέτησης (Throughput), η αξιοπιστία (Reliability), η προτεραιότητα του πακέτου (Packet Priority), και άλλα.
- Συνολικό Μέγεθος (Total Length – 16 bits): Προσδιορίζει το συνολικό μέγεθος του πακέτου IP. Τα 16 bits μπορούν να κρατήσουν μέγιστο μέγεθος έως και 65.536 bytes.
- Αναγνώριση (Identification – 16 bits): Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις τμηματοποίησης του πακέτου IP, σε πακέτα των διαφόρων δικτύων πρόσβασης (π.χ. σε ATM cells). Έτσι, αναγνωρίζεται ποιο frame αντιστοιχεί σε ποιο IP Datagram.
- Σημαίες (flags – 3 bits): Τα ψηφία αυτά χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά σε περιπτώσεις τμηματοποίησης.
- Αφετηρία Τμηματοποίησης (Fragmentation Offset – 13 bits): Χρησιμοποιείται ως δείκτης της αφετηρίας των δεδομένων στο πακέτο IP, εάν αυτό είναι τεμαχισμένο.
- Χρόνος Ζωής Πακέτου (Time to Live – 8 bits): Η πηγή τοποθετεί στο πεδίο αυτό το μέγιστο αριθμό βημάτων (hops) του πακέτου IP στο δίκτυο. Ο κάθε δρομολογητής αφαιρεί από μια μονάδα. Έτσι, αν ο μετρητής αυτός μηδενιστεί σε κάποιο δρομολογητή (προτού δηλαδή το πακέτο φθάσει στον προορισμό), ο δρομολογητής το απορρίπτει θεωρώντας το χαμένο.
- Πρωτόκολλο (Protocol – 8 bits): Προσδιορίζει το πρωτόκολλο του ανωτέρου επιπέδου μεταφοράς (π.χ. TCP, UDP, ...).
- Άθροισμα Ελέγχου Επικεφαλίδας (Header Checksum – 16 bits): Χρησιμοποιείται στον έλεγχο της ακεραιότητας της επικεφαλίδας (όχι του υπόλοιπου πακέτου).
- Διεύθυνση Πηγής (Source Address – 32 bits): Προσδιορίζει την αρχική πηγή του πακέτου.
- Διεύθυνση Προορισμού (Destination Address – 32 bits): Προσδιορίζει τον προορισμό του πακέτου. Χρησιμεύει στη δρομολόγηση.
- Επιλογές (Options): Προαιρετικό πεδίο.
- Δεδομένα (Data): Μεταβλητού μεγέθους πεδίο, το οποίο, συνήθως, περιέχει το πακέτο του ανωτέρου επιπέδου (π.χ. TCP Segment).

Σημείωση: Το πρωτόκολλο IP αφήνει όλους τους ελέγχους (ροής, συμφόρησης, σφαλμάτων, ...) στο πρωτόκολλο του ανωτέρου επιπέδου μεταφοράς, δηλαδή στο πρωτόκολλο TCP.

5.4.3 ΔΙΕΥΘΥΝΣΙΟΔΟΤΗΣΗ ΣΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ IP

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

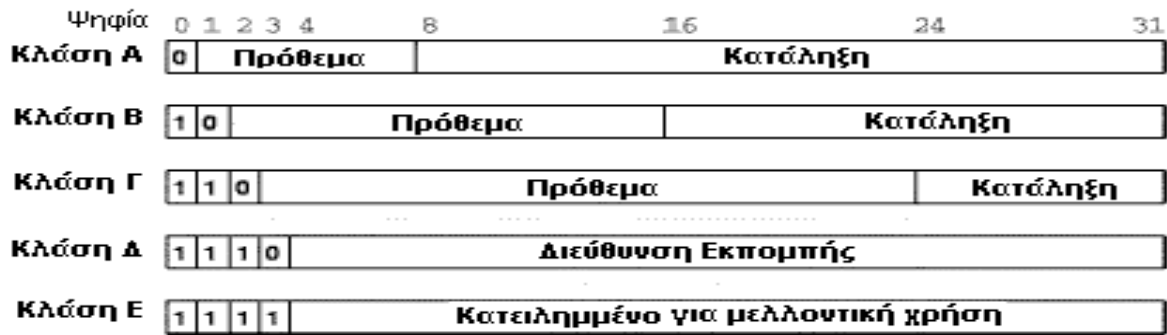
Οι διευθύνσεις IP αποτελούνται από 4 bytes πληροφορίας (δηλαδή, 32 bits). Αυτό σημαίνει ότι το πρωτόκολλο IP (συγκεκριμένα η τέταρτη έκδοση του πρωτοκόλλου) μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 2^{32} διαφορετικές διευθύνσεις IP. Οι διευθύνσεις IP αναπαριστώνται στην μορφή ‘dot decimal’. Δηλαδή, το κάθε byte μετατρέπεται στον αντίστοιχο δεκαδικό αριθμό και χωρίζεται από τα υπόλοιπα με μία τελεία. Έτσι, για παράδειγμα έχουμε τη διεύθυνση 193.32.216.9 που αντιστοιχεί στο δυαδικό: 11000001 00100000 11011000 00001001.

Η διανομή των διευθύνσεων IP στα διάφορα δίκτυα δεν είναι αυθαίρετη δεδομένου ότι ο κάθε υπολογιστής θα πρέπει να φέρει μια ξεχωριστή διεύθυνση IP. Υπάρχει ο οργανισμός IANA (Internet Assigned Number Authority) που επιφορτίζεται με το έργο της απόδοσης των διευθύνσεων στα διάφορα δίκτυα (και κατ’ επέκταση και στους υπολογιστές αυτών). Υπάρχουν τρεις επιμέρους υπο-οργανισμοί που ελέγχουν την διανομή σε παγκόσμιο επίπεδο, με τον κάθε ένα να υποστηρίζει μια συγκεκριμένη γεωγραφική ζώνη. Οι οργανισμοί αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- ARIN (American Registry for Internet Number).
- RIPE (Resaux IP Europeans).
- APNIC (Asia Pacific Network Information Center).

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

Οι διευθύνσεις IP χωρίζονται σε πέντε ομάδες – τάξεις (classes), όπως φαίνεται στο στην εικόνα 4.9. Οι διευθύνσεις έχουν δύο τμήματα, ένα τμήμα πεδίου και ένα τμήμα υπολογιστή υποδοχής (host).



Εικόνα 5.9: Οι τάξεις διευθύνσεων IP

Στην εικόνα 5.9, το τμήμα πεδίου ονομάζεται πρόθεμα, ενώ το τμήμα διεύθυνσης για τον υπολογιστή υποδοχής ονομάζεται κατάληξη. Στην διεθνή βιβλιογραφία, αυτά τα δύο τμήματα είναι γνωστά ως netID και hostID αντίστοιχα.

Από την εικόνα 5.9, φαίνεται ότι τα 4 πρώτα bit είναι αρκετά για να προσδιοριστεί κλάση του δικτύου και οι δρομολογητές ή οι άλλες δικτυακές συσκευές να αποφασίσουν ποιο τμήμα της διεύθυνσης ανήκει στο πεδίο του δικτύου και ποιο στο πεδίο του υπολογιστή υποδοχής. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται σε ένα δρομολογητή κάθε φορά που λαμβάνει ένα πακέτο. Λόγω της συχνότητας του υπολογισμού αυτού, πρέπει να γίνεται από το λογισμικό του IP γρήγορα και με αποτελεσματικό τρόπο. Έτσι με τη χρήση ενός απλού πίνακα, όπως είναι ο πίνακας 5.3, μπορεί εύκολα και γρήγορα να γίνει ο υπολογισμός της κλάσης, χωρίς τη χρήση συγκρίσεων και άλλων πράξεων που είναι περίπλοκες.

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

Πίνακας 5.3: Εύρεση της κλάσης με χρήση των 4 πρώτων bits, μιας διεύθυνσης IP

Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.3, οι οκτώ συνδυασμοί που αρχίζουν με 0 αντιστοιχούν σε κλάση Α. 4 συνδυασμοί που αρχίζουν με 01 αντιστοιχούν σε κλάση Β, και 2 συνδυασμοί που αρχίζουν με 110 αντιστοιχούν σε κλάση Γ. Μία διεύθυνση που αρχίζει με 111 αντιστοιχεί σε κλάση Δ. Μια διεύθυνση που αρχίζει με 1111 αντιστοιχεί σε μια κλάση που δεν χρησιμοποιείται.

5.5 Δυαδικός Αριθμός 32 ψηφίων	5.6 Ισοδύναμο σε μορφή δεκαδικού με τελείες (dotted decimal)
00110111 11001110 00010111 01110101	55.196.23.117
10000110 00101100 11111010 01001101	134.44.250.77
11011010 00111010 00001001 10001000	218.58.9.136
10011110 10000011 00010110 00000100	158.131.22.4

Πίνακας 5.4: Η αντιστοιχία των δυαδικών διευθύνσεων IP σε δεκαδικές

Όπως είπαμε και παραπάνω οι διευθύνσεις των 32 bit είναι πολύ δύσκολο να απομνημονευθούν από τους χρήστες. Για το λόγο αυτό κάθε ομάδα των 8 bit αντιστοιχίζεται στον ισοδύναμο δεκαδικό της αριθμό και οι τέσσερις αριθμοί που προκύπτουν χωρίζονται με μία τελεία. Στον πίνακα 5.4 φαίνονται τέτοιες αντιστοιχήσεις, ενώ στον πίνακα 5.5 φαίνεται το εύρος της κάθε κλάσης. Δηλαδή από τον πρώτο δεκαδικό αριθμό μπορούμε να βρούμε την κλάση του δικτύου.

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

Πίνακας 5.5: Το Εύρος της κάθε κλάσης με βάση τον πρώτο δεκαδικό αριθμό

Με βάση το χωρισμό των δικτύων σε κλάσεις με τον παραπάνω τρόπο, μπορούμε να υπολογίσουμε τον μέγιστο αριθμό δικτύων και υπολογιστών υποδοχής που έχει η κάθε κλάση (βλέπε πίνακα 5.6)

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

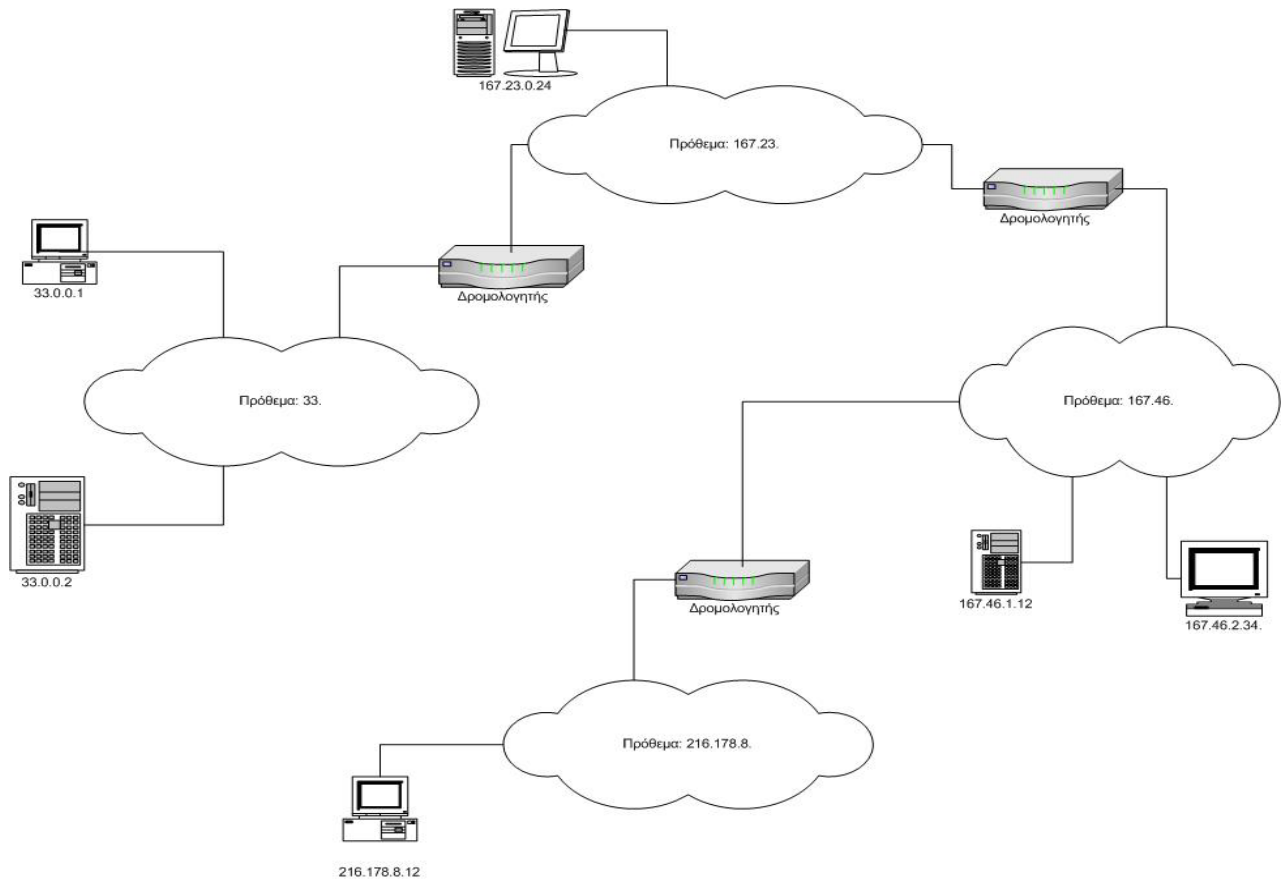
Πίνακας 5.6 Μέγιστος αριθμών δικτύων και υπολογιστών υποδοχής (Hosts) για την κάθε κλάση

Σε ένα διαδίκτυο οι αριθμοί δικτύου και υπολογιστή υποδοχής είναι μοναδικές. Οι αριθμοί αυτοί δίνονται από τους παροχείς υπηρεσιών Διαδικτύου (Internet Service Providers, ISP) ή από τις κατά τόπους εθνικές αρχές υπεύθυνες για την αριθμοδότηση. Ένας οργανισμός παίρνει την διεύθυνση δικτύου ή μια ομάδα δυνατών διευθύνσεων και μετά μπορεί να τις αναθέσει στους υπολογιστές που διαχειρίζεται.

5.6.1.1 Ένα παράδειγμα διευθυνσιοδότησης

Στο σχήμα 5.10 φαίνεται ένα παράδειγμα ενός δικτύου που αποτελείται από υποδίκτυα, σταθμούς υποδοχής και συσκευές δικτύου. Βλέπουμε ότι υπάρχει ένα δίκτυο κλάσης A (πρόθεμα 33), δύο δίκτυα κλάσης B (προθέματα 167.23, 167.46) και ένα δίκτυο κλάσης Γ (πρόθεμα 216.178.8).

Κάθε υπολογιστής υποδοχής έχει υποχρεωτικά το πρόθεμα του δικτύου στο οποίο ανήκει. Υπολογιστές υποδοχής σε διαφορετικά δίκτυα μπορεί να έχουν τον ίδιο αριθμό, ενώ οι αριθμοί αυτοί δεν είναι κατά ανάγκη συνεχόμενοι.



Σχήμα 5.10: Παράδειγμα Δρομολόγησης

5.6.2 ΕΙΔΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ IP

Το IP χρησιμοποιεί τη διεύθυνση 0 στο πεδίο του υπολογιστή υποδοχής για να προσδιορίσει ολόκληρο το δίκτυο. Η διεύθυνση 128.211.0.0 αναφέρεται στο δίκτυο κλάσης B με πρόθεμα 128.211. Είναι προφανές ότι η διεύθυνση αυτή δεν μπορεί να είναι διεύθυνση προορισμού ενός πακέτου.

Εάν στο πεδίο του υπολογιστή υποδοχής υπάρχει μια σειρά από 1 τότε αναφερόμαστε σε όλους τους υπολογιστές του δικτύου. Όταν φτάσει ένα τέτοιο πακέτο στο δίκτυο μεταφέρεται σε όλους τους υπολογιστές στο δίκτυο αυτό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη δυνατότητα που έχουν πολλά δίκτυα για ανοικτή εκπομπή (broadcast) ή μέσω της δημιουργίας αντιγράφων από το δίκτυο.

Εάν η διεύθυνση αποτελείται από μια σειρά από 1 τότε έχουμε περιορισμένη εκπομπή, δηλαδή εκπομπή τοπικά μόνο σε ένα δίκτυο.

Εάν η διεύθυνση αποτελείται από μια σειρά από 0 εννοείται ο ίδιος υπολογιστής. Η διεύθυνση αυτή χρησιμοποιείται συνήθως κατά την εκκίνηση ενός υπολογιστή.

Υπάρχει επίσης και η διεύθυνση που αρχίζει από 127, η οποία αντιστοιχεί σε μια διεύθυνση βρόχου (loopback address). Χρησιμοποιείται όταν δεν θέλουμε ένα πακέτο να φύγει έξω από το δίκτυο, κυρίως για μηνύματα ελέγχου. Ένα τέτοιο πακέτο δεν πρέπει ποτέ να κυκλοφορεί στο δίκτυο.

Στον πίνακα 5.7 φαίνονται σε περίληψη τα προθέματα των διευθύνσεων, ο τύπος της διεύθυνσης και ο σκοπός για τον οποίο χρησιμοποιούνται.

Πρόθεμα	Κατάληξη	Τύπος Διεύθυνσης	Σκοπός
Όλα '0'	Όλα '0'	Τοπικός Η/Υ	Χρησιμοποιείται κατά την αυτοδύναμη εκκίνηση του Η/Υ
Δίκτυο	Όλα '0'	Δίκτυο	Προσδιορίζει ένα Δίκτυο
Δίκτυο	Όλα '1'	Κατευθυνόμενη Εκπομπή	Εκπομπή σε συγκεκριμένο δίκτυο
Όλα '1'	Όλα '1'	Περιορισμένη Εκπομπή	Εκπομπή στο τοπικό δίκτυο
127	Οτιδήποτε	Διεύθυνση Βρόγχου	Έλεγχος

Πίνακας 5.7: Οι ειδικές διευθύνσεις IP και ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται

5.6.3 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΥΠΟΔΙΚΤΥΩΝ

Το παραπάνω μοντέλο διευθυνσιοδότησης είναι μοντέλο 2 επιπέδων. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να υποστηρίζει ένα δίκτυο μες τα τερματικά συστήματα που αυτό περιλαμβάνει. Για παράδειγμα, όσον αφορά την κατηγορία Α των διευθύνσεων, το κάθε δίκτυο μπορεί να περιλαμβάνει 16777216 (βλέπε πίνακα 5.6). Στην πραγματικότητα όμως, είναι πολύ δύσκολο να βρεθεί κάποιο δίκτυο που να έχει έστω και 1000 υπολογιστές (hosts). Είναι πολύ πιο ευέλικτη και εύχρηστη η λύση ενός δικτύου που περιλαμβάνει κάποια υπο-δίκτυα, καθένα από τα οποία έχει υπό την επίβλεψή του έναν λογικό αριθμό τερματικών συστημάτων.

Έτσι, το μοντέλο αυτό διευθυνσιοδότησης είναι θα πρέπει να μπορεί να υποστηρίζει 3 επίπεδα, το επίπεδο δικτύου (netID), το επίπεδο υποδικτύου (subnetID) και το επίπεδο υπολογιστή (hostID). Έτσι για παράδειγμα, στη διεύθυνση 141.14.2.21, που ανήκει στη δεύτερη τάξη, αντί να ισχύει netID=141.14 και hostID = 2.21, θα ισχύει netID=141.14, subnetID = 2 και hostID = 21.

Η διαδικασία που χρησιμοποιείται από τους δρομολογητές για την εύρεση των υποδικτύων είναι γνωστή με τον όρο 'masking'. Έτσι, όταν ο δρομολογητής αναλύει μια διεύθυνση IP σε ένα εισερχόμενο πακέτο, ελέγχει την αποκαλούμενη μάσκα (mask) που αντιστοιχεί για τη διεύθυνση αυτή με βάση τον πίνακα δρομολόγησής του. Εφαρμόζοντας τη μάσκα πάνω στη συγκεκριμένη διεύθυνση αποκαλύπτεται η διεύθυνση του υποδικτύου στο οποίο πρέπει να δρομολογηθεί το πακέτο.

Συγκεκριμένα, ο δρομολογητής πραγματοποιεί την λογική πρόσθεση ανάμεσα στη διεύθυνση IP του εισερχόμενου πακέτου και τη μάσκα, ώστε να αποφασίσει το υποδίκτυο. Έτσι αν η διεύθυνση IP του εισερχόμενου πακέτου είναι η 135.67.13.9 και η μάσκα είναι η 255.255.0.0, τότε το πακέτο θα παραδοθεί στο υποδίκτυο 135.67.13.9. Αν

η διεύθυνση IP του εισερχόμενου πακέτου είναι 173.123.21.8 και η μάσκα είναι 255.192.0.0 τότε το πακέτο θα παραδοθεί στο υποδίκτυο 173.64.0.0.