

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η Λειτουργία των Δικτύων

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας μερικών ευρέως διαδεδομένων δικτύων. Η περιγραφή γίνεται σε στοιχειώδες επίπεδο, αποφεύγοντας τις αναφορές σε θέματα απόδοσης δικτύων και σε λεπτομέρειες που αφορούν στη μορφή των πακέτων. Το κεφάλαιο αυτό στοχεύει σε μία βασική κατανόηση των λειτουργιών των δικτύων και παρέχει το απαραίτητο υπόβαθρο για την κατανόηση των πιο λεπτομερών συζητήσεων που ακολουθούν στο υπόλοιπο του βιβλίου.

Το κεφάλαιο αυτό είναι μία σύντομη επισκόπηση διαφόρων τεχνολογιών δικτύων. Αντικειμενικός σκοπός είναι να εισάγουμε τις βασικές αρχές λειτουργίας των τεχνολογιών αυτών και να δώσουμε μία γενική εικόνα των δικτύων. Θα επανέλθουμε στα δίκτυα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό σε επόμενα κεφάλαια, όπου θα εξετάσουμε τη λειτουργία τους με περισσότερη λεπτομέρεια.

Στην Ενότητα 2.1 περιγράφουμε το πιο δημοφιλές τοπικό δίκτυο, το Ethernet. Τα τοπικά δίκτυα είναι σχεδιασμένα να διασυνδέουν έως και μερικές εκατοντάδες υπολογιστών που συνήθως βρίσκονται μέσα στο ίδιο κτίριο. Λεπτομερέστερη μελέτη του δικτύου Ethernet παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 4. Στην Ενότητα 2.2 διερευνούμε το Διαδίκτυο. Το Διαδίκτυο είναι ένα παγκόσμιο δίκτυο που αποτελείται από δίκτυα και υπολογιστές. Μπορείτε να συνδέσετε τον υπολογιστή που έχετε στο σπίτι στο Διαδίκτυο με τη βοήθεια ενός πάροχου υπηρεσιών Διαδικτύου (Internet Service Provider - ISP) μέσω της τηλεφωνικής γραμμής. Ο υπολογιστής που έχετε στο γραφείο είναι πιθανώς συνδεδεμένος σε ένα δίκτυο Ethernet που με τη σειρά του είναι συνδεδεμένο στο Διαδίκτυο μέσω ενός δρομολογητή. Το Κεφάλαιο 3 είναι αφιερωμένο στα πρωτόκολλα του Διαδικτύου. Η Ενότητα 2.3 περιγράφει τα δίκτυα ασύγχρονου τρόπου μεταφοράς (ATM), τα

οποία χρησιμοποιούνται ως μία τεχνολογία συμπληρωματική στις τεχνολογίες Ethernet και Internet. Ασχολούμαστε και πάλι με τα δίκτυα ATM σε μεγαλύτερο βάθος στο Κεφάλαιο 5. Στην Ενότητα 2.4 εξηγούμε αρχιτεκτονικά μοντέλα, τα οποία αποτελούν πλαίσια εργασίας που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε για να οργανώσετε τις γνώσεις σας σχετικά με τα δίκτυα. Η Ενότητα 2.5 είναι συμπληρωματική ύλη και περιγράφει μερικά σημαντικά διανοητικά επιτεύγματα, χωρίς τα οποία η επανάσταση της πληροφορίας δεν θα ήταν δυνατή. Τα επιτεύγματα αυτά είναι η μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή αναπαράσταση της πληροφορίας, η θεμελιώδης κατανόηση των ορίων μίας τέτοιας αναπαράστασης καθώς και της μετάδοσης των bits μέσω καναλιών με θόρυβο και η μεταγωγή πακέτων.

2.1 Ethernet

Το Ethernet αναπτύχθηκε στο κέντρο ερευνών της εταιρίας Xerox, στο Palo Alto, στα μέσα της δεκαετίας του 1970 και βελτιώθηκε περαιτέρω από κοινού από τις εταιρίες DEC, Intel και Xerox το 1980. Το IEEE δημοσίευσε τις πρώτες εκδόσεις των προδιαγραφών το 1981, 1982 και 1985. Επεκτάσεις σε διαφορετικά μέσα και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δημοσιεύθηκαν αργότερα. Οι προδιαγραφές που βασίζονται στο σχεδιασμό DIX των DEC, Intel και Xerox είναι αμυδρώς διαφορετικές από τα πρότυπα IEEE 802.3.

Πρώτα θα εξηγήσουμε τον τρόπο με τον οποίο οι υπολογιστές ανταλλάσσουν πακέτα. Στη συνέχεια θα διερευνήσουμε τον τρόπο με τον οποίο οι υπολογιστές ανακαλύπτουν τις διευθύνσεις που χρειάζονται για τα πακέτα. Τέλος, θα εξετάσουμε τη διασύνδεση δικτύων Ethernet.

2.1.1 Διαμοιραζόμενο Δίκτυο Ethernet: Πλήμνες και Συγκρούσεις

Διάταξη

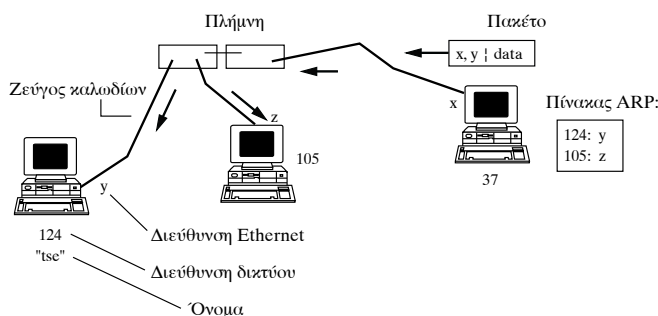
Το Σχήμα 2.1 δείχνει το δίκτυο Ethernet στο οποίο είναι συνδεδεμένος ο υπολογιστής στο γραφείο μου. Συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων συνδέουν τον υπολογιστή μου σε ένα κουτί που βρίσκεται τοποθετημένο περίπου 80 μέτρα μακριά, μέσα σε ένα ντουλάπι με καλωδιώσεις. Το κουτί αυτό είναι συνδεδεμένο με άλλα κουτιά μέσα στο ίδιο ντουλάπι και περίπου 50 υπολογιστές στον ίδιο όροφο είναι συνδεδεμένοι σε ένα από αυτά τα διασυνδεδεμένα κουτιά.

Ένα τέτοιο κουτί ονομάζεται πλήμνη (hub) Ethernet, μία κατάλληλη ονομασία εάν φανταστούμε τα καλώδια που συνδέουν τους υπολογιστές σε μία πλήμνη σαν ακτίνες ενός τροχού ποδηλάτου. Ο υπολογιστής μου είναι συνδεδεμένος σε ένα δίκτυο Ethernet, όπως και οι περισσότεροι προσωπικοί υπολογιστές και σταθμοί εργασίας. Το μεγαλύτερο μέρος του κόστους της σύνδεσής μου στο δίκτυο

Ethernet είναι το κόστος της καλωδίωσης ενώ το υπόλοιπο είναι ένα ποσοστό του κόστους της πλήμνης και του μισθού του διαχειριστή του δικτύου μας. Οι υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο σύνολο διασυνδεδεμένων πλημνών βρίσκονται και στο ίδιο “πεδίο συγκρούσεων” (collision domain). Ο όρος αυτός αναφέρεται στο γεγονός ότι τα πακέτα που στέλνονται από τους υπολογιστές αυτούς ενδέχεται να συγκρουστούν όταν φτάσουν στην πλήμνη ταυτόχρονα.

Σχήμα 2.1

Ένα διαμοιραζόμενο δίκτυο Ethernet. Κάθε υπολογιστής έχει ένα όνομα, μία διεύθυνση δικτύου και μία διεύθυνση Ethernet. Οι υπολογιστές είναι συνδεδεμένοι σε μια πλήμνη που αναπαράγει τα εισερχόμενα πακέτα στις άλλες θύρες της. Η πλήμνη πληροφορεί επίσης τους υπολογιστές για συγκρούσεις οι οποίες συμβαίνουν όταν δύο ή περισσότερα πακέτα φθάσουν στην πλήμνη ταυτόχρονα.



Όταν ένας υπολογιστής στέλνει ένα πακέτο, δηλαδή μία ομάδα από bits, στο δίκτυο Ethernet, τα ηλεκτρονικά του κυκλώματα κωδικοποιούν τα bits σε ηλεκτρικά σήματα. Αυτά τα σήματα διαδίδονται με ένα κλάσμα (περίπου 60%) της ταχύτητας του φωτός από την κάρτα σύνδεσης του υπολογιστή μέχρι την πλήμνη. Η πλήμνη επαναλαμβάνει, ή αναπαράγει, τα σήματα σε όλες τις άλλες ζεύξεις¹ της, ή θύρες (ports), και τα στέλνει προς τους άλλους υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι στο ίδιο δίκτυο Ethernet.

Έτσι, όλοι οι υπολογιστές στο δίκτυο Ethernet “βλέπουν” το πακέτο. Για να αναγνωρίζεται η πηγή και ο προορισμός ενός πακέτου, ο αποστολέας υπολογιστής σημειώνει το πακέτο με την Ethernet διεύθυνσή (Ethernet address) του και με τη διεύθυνση του προορισμού (destination address). Η διεύθυνση Ethernet είναι μία ακολουθία από 48 bits που εκ κατασκευής είναι μοναδική για κάθε κάρτα σύνδεσης στο Ethernet. Όταν ένα πακέτο φτάσει σε μία κάρτα

¹ (σ.ε.) Με τον όρο ζεύξη μεταφράζουμε τον αγγλικό όρο link, ενώ χρησιμοποιούμε τον όρο σύνδεση για τον όρο connection. Γενικά, μία σύνδεση μπορεί να χρησιμοποιεί πολλές ζεύξεις, όπως και από μία ζεύξη μπορούν να διέρχονται πολλές συνδέσεις (συνδέσεις TCP, λόγω χάρη).

σύνδεσης Ethernet, τα ηλεκτρονικά κυκλώματα συγκρίνουν τη διεύθυνση προορισμού με τη δική τους διεύθυνση και απορρίπτουν το πακέτο εάν οι διευθύνσεις διαφέρουν, εκτός εάν η διεύθυνση είναι μία ειδική και γνωστή διεύθυνση καθολικής εκπομπής (broadcast), η οποία σηματοδοτεί ότι το πακέτο προορίζεται για όλους τους υπολογιστές.

Με τον τρόπο αυτό, οι υπολογιστές σε ένα κοινό δίκτυο Ethernet μπορούν να στείλουν πακέτα ο ένας στον άλλο, με την προϋπόθεση ότι ο καθένας γνωρίζει τις διευθύνσεις των άλλων. Ο ρυθμός μετάδοσης σε ένα δίκτυο Ethernet είναι είτε 10 εκατομμύρια bits ανά δευτερόλεπτο (Mbps) ή 100 Mbps. Σύντομα, πιθανόν το 1998, θα έχουμε τη δυνατότητα να αγοράσουμε δίκτυα Ethernet με ρυθμό μετάδοσης ένα δισεκατομμύριο bits ανά δευτερόλεπτο (Gbps). Στα 100 Mbps το δίκτυο καλείται Fast Ethernet και στο 1 Gbps, Gigabit Ethernet. Αυτές οι εκδόσεις διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο μεταδίδουν τα bits.

Συγκρούσεις

Το δίκτυο Ethernet που μόλις περιγράφηκε καλείται *διαμοιραζόμενο Ethernet (shared Ethernet)* επειδή όλοι οι υπολογιστές μοιράζονται τα ίδια καλώδια: όλα τα πακέτα μεταδίδονται σε όλα τα καλώδια. Οι υπολογιστές μεταδίδουν τα πακέτα τους με τη σειρά. Τι συμβαίνει εάν δύο υπολογιστές αρχίσουν να μεταδίδουν ταυτόχρονα; Όταν συμβεί αυτό, η πλήμνη βλέπει δύο πακέτα να φθάνουν ταυτόχρονα σε δύο διαφορετικές θύρες. Τότε η πλήμνη γνωρίζει ότι δεν μπορεί να μεταδώσει τα δύο αυτά διαφορετικά σήματα ταυτόχρονα στις άλλες θύρες της επειδή θα επηρεάσουν το ένα το άλλο. Αντί για αυτό, η πλήμνη στέλνει ένα σήμα σε όλους τους υπολογιστές ώστε να τους προειδοποιήσει ότι μία “σύγκρουση” λαμβάνει χώρα. Οι υπολογιστές που μεταδίδουν εκείνη τη στιγμή σταματούν όταν λάβουν το μήνυμα σύγκρουσης. Στη συνέχεια περιμένουν για κάποιο τυχαίο χρονικό διάστημα πριν ξαναπροσπαθήσουν να μεταδώσουν τα πακέτα τους. Επιπλέον, ένας υπολογιστής γνωρίζει ότι δεν θα έπρεπε να αρχίσει να μεταδίδει εφόσον μία άλλη μετάδοση βρίσκεται σε εξέλιξη. Με αυτούς τους απλούς κανόνες, οι οποίοι ορίζουν ένα πρωτόκολλο πρόσβασης μέσω (media access protocol), θα έρθει τελικά η σειρά να μεταδώσουν όλοι οι υπολογιστές. Το πρωτόκολλο πρόσβασης μέσω που χρησιμοποιεί το δίκτυο Ethernet καλείται *πολλαπλής πρόσβασης με ανίχνευση φέρουσας και συγκρούσεων (carrier sense multiple access with collision detection - CSMA/CD)*.

2.1.2 Ανακάλυψη Διευθύνσεων: ARP και RARP

Όταν ένας υπολογιστής στέλνει ένα πακέτο σε έναν άλλο υπολογιστή, ο υπολογιστής αναφέρεται στον προορισμό χρησιμοποιώντας τη “διεύθυνση δικτύου” (network address) του. Η διεύθυνση δικτύου βασίζεται στη θέση του υπολογιστή και χρησιμοποιείται από το δίκτυο για να προωθήσει το πακέτο στον προορισμό του. Αυτή η διεύθυνση δικτύου είναι ανεξάρτητη από τη διεύθυνση

Ethernet των 48 bits του προορισμού, η οποία δεν έχει καμία σχέση με τη θέση του υπολογιστή. Ωστόσο, για να στείλει το πακέτο ο αποστολέας υπολογιστής πρέπει να συμπεριλάβει τη διεύθυνση Ethernet του προορισμού. Με ποιον τρόπο λοιπόν οι υπολογιστές ανακαλύπτουν ο ένας τη διεύθυνση Ethernet του άλλου; Θα περιγράψουμε πρώτα μία στοιχειώδη μέθοδο και στη συνέχεια θα εξηγήσουμε τους τρόπους βελτίωσής της.

Απλοϊκή Στρατηγική

Στη στοιχειώδη αυτή μέθοδο, το πρώτο βήμα είναι η απονομή αριθμών αναγνώρισης στους υπολογιστές του Ethernet δικτύου μας. Καλούμε τους αριθμούς αυτούς “διευθύνσεις δικτύου” για να τους διαφοροποιήσουμε από τις διευθύνσεις Ethernet. Καταχωρούμε τις διευθύνσεις δικτύου στο διαχειριστή δικτύου για να βεβαιωθούμε ότι είναι διακριτές μεταξύ τους. Στο δεύτερο βήμα, ο διαχειριστής δικτύου πάει σε κάθε υπολογιστή και τρέχει ένα μικρό πρόγραμμα που διαβάζει την εσωτερική διεύθυνση Ethernet του υπολογιστή. Ο διαχειριστής δικτύου τότε γράφει σε κάθε υπολογιστή ένα αρχείο διάθρωσης (configuration file) “My-Address”, το οποίο λέει στον υπολογιστή τη διεύθυνση δικτύου του. Στο τρίτο βήμα, ο διαχειριστής δικτύου επιστρέφει σε κάθε υπολογιστή και συμπληρώνει ένα αρχείο διάθρωσης “List”, το οποίο περιέχει έναν κατάλογο με τις διευθύνσεις δικτύου και Ethernet κάθε υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο Ethernet. Για να στείλει ένα πακέτο στον υπολογιστή “124” του δικτύου Ethernet, ο υπολογιστής μου “37” ελέγχει το αρχείο του “List” και προσαρτεί τη διεύθυνση Ethernet των 48 bits του “124” ως τη διεύθυνση προορισμού του πακέτου και τη δική του διεύθυνση Ethernet ως τη διεύθυνση πηγής.

ARP

Μπορούμε να βελτιώσουμε την παραπάνω στρατηγική αυτοματοποιώντας το τρίτο βήμα ως ακολούθως. Κάθε υπολογιστής έχει ένα αρχείο “My-Address” με τη δική του διεύθυνση δικτύου και ένα αρχείο “List” το οποίο είναι αρχικά άδειο. Όταν ζητώ από τον υπολογιστή μου να στείλει ένα μήνυμα στον “124”, ο υπολογιστής μου ξεετάζει εάν το αρχείο του “List” περιέχει καταχώρηση για τον “124”. Εφόσον δεν υπάρχει καμία τέτοια καταχώρηση, ο υπολογιστής μου στέλνει ένα *καθολικό* (broadcast) μήνυμα στο δίκτυο Ethernet λέγοντας: “Εάν είσαι ο 124, παρακαλώ απάντησέ μου”. Broadcast καλείται το μήνυμα το οποίο προορίζεται για όλους τους υπολογιστές στο δίκτυο. Τέτοια μηνύματα έχουν μία ειδική διεύθυνση προορισμού, η οποία καλείται διεύθυνση broadcast. Οι υπολογιστές βλέπουν αυτό το μήνυμα, συγκρίνουν το “124” με τη δική τους διεύθυνση δικτύου η οποία είναι αποθηκευμένη στο αρχείο τους “My-Address”. Ο υπολογιστής “124” απαντά στον υπολογιστή “37”, ο οποίος ανακαλύπτει τη διεύθυνση Ethernet του “124”, ως την καλέσουμε x, διαβάζοντας τη διεύθυνση Ethernet της πηγής αυτής της απάντησης. Ο υπολογιστής μου τότε γράφει μία καταχώρηση στο αρχείο του “List”. Η καταχώρηση αυτή λέει “124 = x” και ο

υπολογιστής μπορεί τελικά να στείλει το πακέτο στον “124”. Ο υπολογιστής διατηρεί την καταχώρηση αυτή στο αρχείο για μελλοντική χρήση.

Αυτή η στρατηγική καλείται πρωτόκολλο επίλυσης διεύθυνσης (address resolution protocol - ARP) και είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται από τα πρωτόκολλα του Διαδικτύου. Άλλα σύνολα πρωτοκόλλων χρησιμοποιούν παραλλαγές αυτής της στρατηγικής.

RARP

Μερικοί υπολογιστές δεν έχουν δικό τους δίσκο και εκκινούν από έναν εξυπηρετητή δικτύου (network server). Στην περίπτωση αυτή, ο κατάλογος των ονομάτων βρίσκεται στον εξυπηρετητή. Όταν ο υπολογιστής ξεκινάει, στέλνει ένα ειδικό μήνυμα broadcast το οποίο λέει “Εξυπηρετητή, παρακαλώ να μου πεις τη διεύθυνση δικτύου μου”. Ο εξυπηρετητής μπορεί να δώσει την κατάλληλη διεύθυνση δικτύου, η οποία αντιστοιχεί στη διεύθυνση Ethernet του υπολογιστή που ρωτάει. Αυτή η στρατηγική, η οποία καλείται ανάστροφο ARP (reverse ARP - RARP), χρησιμοποιείται από τα πρωτόκολλα του Διαδικτύου.

2.1.3 Διασύνδεση Δικτύων Ethernet: Μεταγωγοί και Δρομολογητές

Ο αριθμός των κόμβων σε ένα δίκτυο Ethernet είναι περιορισμένος για λόγους απόδοσης. Επιπλέον, το μήκος των καλωδίων είναι επίσης περιορισμένο στα 100 μέτρα περίπου.

Είναι εύκολο να το κατανοήσουμε το θέμα της απόδοσης. Εξηγήσαμε στην Ενότητα 2.1.1 ότι οι υπολογιστές στο δίκτυο Ethernet μοιράζονται ένα σύνολο καλωδίων, μέσω των οποίων μπορούν να μεταδίδουν bits. Εάν 10 υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι και μοιράζονται ένα δίκτυο Ethernet των 10 Mbps προσπαθήσουν να μεταδώσουν αρχεία ταυτόχρονα, ο καθένας τους θα μεταδώσει με μέσο ρυθμό 1 Mbps. Στην περίπτωση αυτή, η μετάδοση ενός αρχείου μεγέθους ενός Mbyte διαρκεί τουλάχιστον 8 δευτερόλεπτα. (Στην πραγματικότητα, η μεταφορά αυτή θα διαρκέσει περισσότερο, επειδή οι υπολογιστές σπαταλούν χρόνο όταν τα πακέτα τους συγκρούονται.)

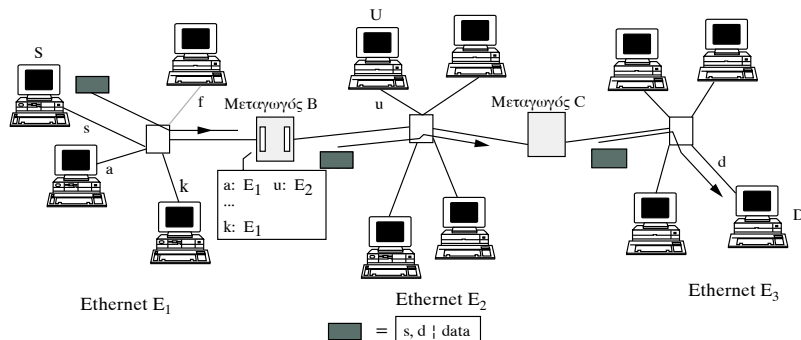
Για τους λόγους αυτούς, οδηγούμαστε συχνά στη διασύνδεση πολλαπλών δικτύων Ethernet. Διασυνδέουμε δίκτυα Ethernet με μεταγωγούς (switches) ή με δρομολογητές (routers). (Οι μεταγωγοί συνηθιζόταν να καλούνται γέφυρες (bridges).) Δεν χρησιμοποιούμε πλέον αυτήν την ορολογία εδώ αν και θα τη συναντήσετε ακόμα και τώρα στη βιβλιογραφία μια και μερικοί συγγραφείς τη διατηρούν λόγω των διαφορών στις λειτουργίες ορισμένων μεταγωγών.) Παρακάτω θα εξετάσουμε αυτές τις δύο περιπτώσεις διασύνδεσης.

Μεταγωγοί

Το Σχήμα 2.2 δείχνει τρία δίκτυα Ethernet διασυνδεδεμένα με μεταγωγούς. Ένας μεταγωγός είναι μία συσκευή συνδεδεμένη σε δύο ή περισσότερα δίκτυα Ethernet. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να αντικαταστήσουμε την πλήρη ενός δικτύου Ethernet με ένα μεταγωγό. Όταν το κάνουμε αυτό, το “διαμοιραζόμενο Ethernet” μετατρέπεται σε ένα “Ethernet μεταγωγής” (switched Ethernet). Ένας μεταγωγός έχει την ικανότητα να μεταδίδει πολλαπλά πακέτα ταυτόχρονα, με την προϋπόθεση ότι τα πακέτα έχουν διαφορετικές θύρες εισόδου και εξόδου. Η μέθοδος αυτή πολλαπλασιάζει το ρυθμό μετάδοσης ή «ρυθμαπόδοση» (throughput²) των δικτύων κατά ένα παράγοντα ο οποίος εξαρτάται από τον αριθμό των διακριτών ζευγών θυρών εισόδου/εξόδου των πακέτων που στέλνονται ταυτόχρονα. Έτσι, εάν οι περισσότερες μεταδόσεις συμβούν μεταξύ διαφορετικών ζευγών θυρών εισόδου/εξόδου, τότε αυτό το δίκτυο Ethernet μεταγωγής έχει σημαντικά μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση από ένα διαμοιραζόμενο Ethernet. Ωστόσο, εάν όλα τα πακέτα στέλνονται προς ή από τον ίδιο εξυπηρετητή αρχείων (file server), τότε το Ethernet μεταγωγής έχει την ίδια ρυθμαπόδοση με ένα διαμοιραζόμενο Ethernet.

Σχήμα 2.2

Δίκτυα Ethernet μεταγωγής.



Όταν ο υπολογιστής S θέλει να στείλει ένα πακέτο στον υπολογιστή D, στέλνει ένα πακέτο Ethernet στο δίκτυο Ethernet E₁ με διεύθυνση Ethernet πηγής τη διεύθυνση s του υπολογιστή S και διεύθυνση Ethernet προορισμού τη διεύθυνση d του υπολογιστή D. Ο μεταγωγός B βλέπει όλα τα πακέτα και εξετάζει τη διεύθυνση προορισμού d. Ο μεταγωγός διατηρεί μία λίστα από ζεύγη (διεύθυνση Ethernet, θύρα μεταγωγού). Η λίστα καθορίζει τη ζεύξη στην οποία είναι συνδεδεμένη κάθε διεύθυνση Ethernet. Συμβουλευόμενος αυτή τη λίστα, ο

² (σ.ε) Ο όρος throughput είναι ένας γενικότερος όρος που αναφέρεται στο ρυθμό ή στο βαθμό απόδοσης με τον οποίο ένα σύστημα “παράγει” ωφέλιμο “φορτίο” στην έξοδο.

μεταγωγός ανακαλύπτει ότι η διεύθυνση d δεν περιέχεται ακόμα στη λίστα. Τότε αντιγράφει το πακέτο σε όλες τις θύρες του, εκτός της θύρας εισόδου του πακέτου. Στο παράδειγμα του σχήματος, ο μεταγωγός B αντιγράφει το πακέτο στο δίκτυο Ethernet E₂.

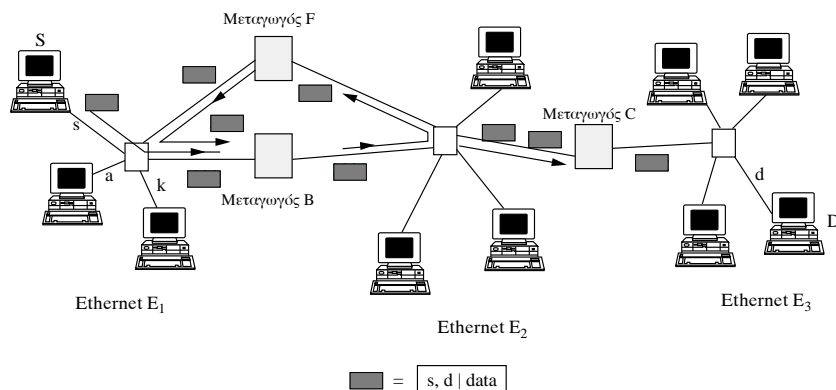
Με ποιον τρόπο διατηρεί τη λίστα του ο μεταγωγός B; Διαβάζει τις διευθύνσεις πηγής όλων των πακέτων που μεταδίδουν οι άλλοι κόμβοι και τις προσθέτει στη λίστα. Έτσι, εάν ο υπολογιστής D στείλει ένα πακέτο, το οποίο ο μεταγωγός C αντιγράφει στο E₂, τότε ο μεταγωγός B προσθέτει τη διεύθυνση d στη λίστα του σαν ο υπολογιστής D να ανήκε στο E₂. Κάθε καταχώρηση διατηρείται μόνο για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Δηλαδή, εάν ένα πακέτο με μία δεδομένη διεύθυνση πηγής δεν έχει παρουσιαστεί για κάποιο χρονικό διάστημα T , τότε η καταχώρηση διαγράφεται από τη λίστα.

Θα παρατηρήσατε ότι εάν ο μεταγωγός αντιγράφει ένα πακέτο από το E₁ στο E₂, ακόμα και αν ο προορισμός βρίσκεται στο E₁ (αλλά δεν περιέχεται ακόμα στη λίστα), δεν προκύπτει κανένα πρόβλημα: το πακέτο αγνοείται από όλους τους κόμβους εκτός των μεταγωγών και τελικά εξαφανίζεται.

Μία ενδιαφέρουσα διαφοροποίηση αυτής της διαδικασίας προκύπτει όταν συνδέσουμε δίκτυα Ethernet με μεταγωγούς έτσι ώστε να δημιουργούνται βρόχοι (loops) στο δίκτυο. Οι βρόχοι είναι επιθυμητοί για λόγους αξιοπιστίας: εάν κάποιος μεταγωγός τεθεί εκτός λειτουργίας, τότε υπάρχει ένα άλλο μονοπάτι για τα πακέτα. Το Σχήμα 2.3 παρουσιάζει μία διασύνδεση όπου υπάρχει βρόχος.

Σχήμα 2.3

Βρόχος σε δίκτυα Ethernet μεταγωγής.



Ένα πακέτο το οποίο στέλνεται από τον S στον D αντιγράφεται από τον μεταγωγό B από το E₁ στο E₂. Όταν εμφανισθεί στο E₂, ο άλλος μεταγωγός F το αντιγράφει πίσω στο E₁. Ο μεταγωγός B τότε το αντιγράφει πάλι στο E₂, κ.ο.κ. Με ποιον τρόπο αποτρέπεται η συμπεριφορά αυτή; Μία δυνατότητα θα ήταν να καταγράφει ο B τα πακέτα που έχει αντιγράψει προηγουμένως έτσι ώστε να μην τα

αντιγράφει ξανά. Προφανώς, η λύση αυτή δεν είναι καλή, εξαιτίας της πολύπλοκης λογιστικής και των συγκρίσεων που απαιτούνται. Η καθιερωμένη λύση είναι ο αλγόριθμος του “δένδρου επικάλυψης (spanning tree)”, όπου οι μεταγωγικοί εκτελούν ένα αλγόριθμο ο οποίος προσδιορίζει ένα δένδρο στο δίκτυο. Το δένδρο είναι ένας γράφος χωρίς βρόχους ο οποίος συνδέει όλα τα δίκτυα Ethernet. Ένα τέτοιο δένδρο φαίνεται στο Σχήμα 2.4. Η διαδικασία, η οποία καλείται *δρομολόγηση δένδρου επικάλυψης (spanning tree routing)*, επιτρέπει να αντιγράφουν πακέτα μόνο οι μεταγωγικοί που ανήκουν στο δένδρο.

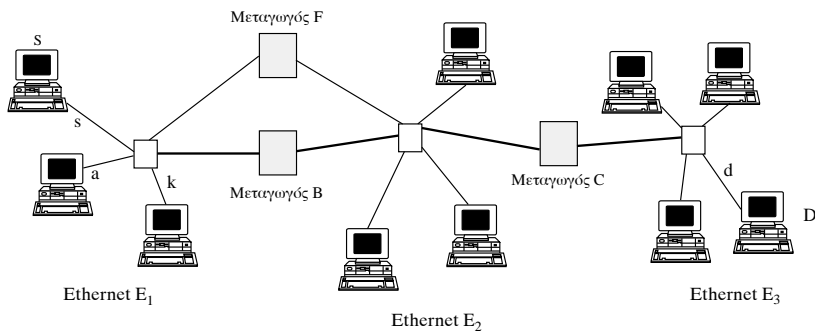
Δρομολογητής

Το Σχήμα 2.5 δείχνει δίκτυα Ethernet συνδεδεμένα μεταξύ τους με ένα κουτί που έχει πολλαπλές θύρες. Το κουτί είναι ένας δρομολογητής: αποφασίζει πού να στείλει ένα πακέτο.

Υπενθυμίζεται ότι ένας μεταγωγός παίρνει την απόφαση να αντιγράψει ένα πακέτο με βάση τη διεύθυνση Ethernet του πακέτου και αντιγράφει ένα πακέτο χωρίς τροποποίηση. Ένας δρομολογητής λειτουργεί με διαφορετικό τρόπο. Ο δρομολογητής παίρνει την απόφαση για το αν και πού θα προωθήσει ένα πακέτο με βάση τη διεύθυνση δικτύου του προορισμού και όχι τη διεύθυνση Ethernet. Επιπλέον, ο δρομολογητής τροποποιεί τις διευθύνσεις Ethernet του πακέτου.

Σχήμα 2.4

Δένδρο επικάλυψης. Για την αποτροπή σχηματισμού βρόχων, οι μεταγωγικοί τρέχουν έναν αλγόριθμο για την επιλογή ενός δένδρου. Το δένδρο παριστάνεται με πιο έντονες γραμμές.

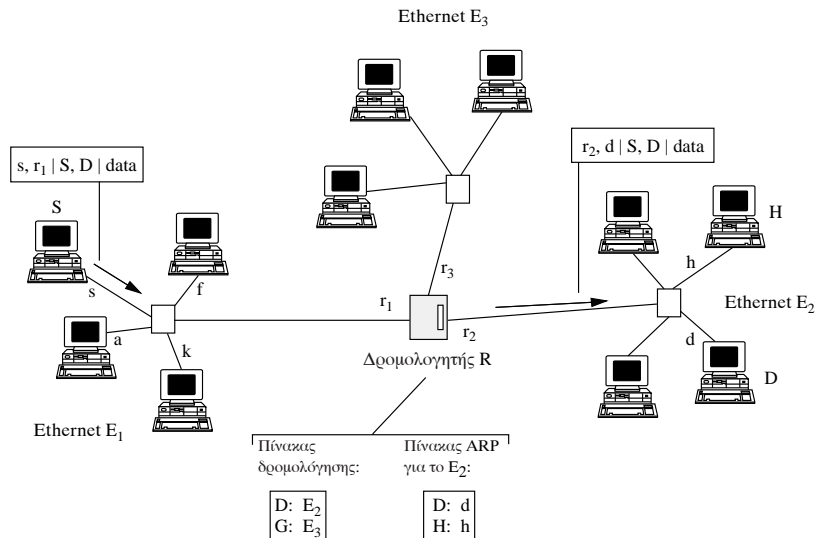


Υποθέστε ότι ο υπολογιστής S στο Σχήμα 2.5 θέλει να στείλει ένα πακέτο στον υπολογιστή D. Με S, D, R συμβολίζονται οι διευθύνσεις δικτύου των υπολογιστών. Οι διευθύνσεις s, d, r₁ και r₂ είναι διευθύνσεις Ethernet. Ο υπολογιστής S στέλνει το πακέτο [s, r₁ | S, D | data] με διεύθυνση Ethernet πηγής s, διεύθυνση Ethernet προορισμού r₁, διεύθυνση δικτύου πηγής S και διεύθυνση δικτύου προορισμού D. Ο δρομολογητής διαβάζει αυτό το πακέτο και εξετάζει τη

διεύθυνση δικτύου του προορισμού D. Στη συνέχεια, ο δρομολογητής συμβουλευτεί έναν πίνακα δρομολόγησης, ο οποίος υποδεικνύει την επόμενη ζεύξη για τον προορισμό D. Στο παράδειγμα αυτό, η επόμενη ζεύξη είναι το δίκτυο Ethernet E₂. Ο δρομολογητής τότε στέλνει το πακέτο [r₂, d | S, D | data] στο E₂ και τελικά, ο υπολογιστής D λαμβάνει το πακέτο.

Σχήμα 2.5

Δίκτυα Ethernet διασυνδεδεμένα με δρομολογητές.



Οι δρομολογητές χρειάζεται να διατηρούν πίνακες δρομολόγησης για να καθοδηγούν τα πακέτα στον προορισμό τους. Μεγάλο μέρος της ευφυΐας του Διαδικτύου έγκειται στον τρόπο με τον οποίο οι δρομολογητές του διατηρούν τους πίνακες δρομολόγησης τους. Οι κεντρικές ιδέες παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

2.2 Διαδίκτυο

Το Διαδίκτυο (Internet) είναι ένα παγκόσμιο δίκτυο αποτελούμενο από δίκτυα που χρησιμοποιούν ένα συγκεκριμένο σύνολο πρωτοκόλλων. Το Διαδίκτυο εισέβαλε εκρηκτικά στη συνείδηση του κοινού στα μέσα της δεκαετίας του 1990 με τον Παγκόσμιο Ιστό (World Wide Web), έναν υπερσύνδεσμο εγγράφων που βρίσκονται σε υπολογιστές σε όλο τον κόσμο. Τα έγγραφα, τα οποία συντάσσονται σε μία εύκολη σε γραφή γλώσσα που καλείται HTML, μπορούν να συμπεριλάβουν κείμενο, γραφικά, βίντεο, ήχο και συνδέσμους με άλλα έγγραφα.

Οι χρήστες ταξιδεύουν σε αυτή την παγκόσμια συλλογή από έγγραφα μέσω απλών κλικ του ποντικιού σε συνδέσμους ή εντοπίζουν τα έγγραφα αυτά χρησιμοποιώντας μία μηχανή αναζήτησης. Ο Παγκόσμιος Ιστός, με τα διαδεδομένα προγράμματα εξερεύνησής του, Netscape Navigator και Microsoft Explorer, εκμηδενίζει αποστάσεις, παρέχει εφαρμογές πολυμέσων, δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να βρίσκουν πληροφορίες, και εξίσου σημαντικά, μετατρέπει κάθε χρήστη σε εν δυνάμει εκδότη. Ο Ιστός συγχωνεύει υπολογιστές και επικοινωνίες και μεταμορφώνει κάθε προσωπικό υπολογιστή σε μία προσωπική συσκευή επικοινωνίας.

Είναι δύσκολο να ερευνηθεί διεξοδικά η τελική επίδραση του Διαδικτύου στην κοινωνία. Πολλοί κοινωνιολόγοι προβλέπουν ότι θα είναι μεγαλύτερη από αυτήν της τυπογραφίας, του τηλεφώνου, της τηλεόρασης και του ραδιοφώνου μαζί. Όπως πολλοί ειδικοί στους υπολογιστές και τις επικοινωνίες είχαν επίμονα εκφράσει προς ένα δύσπιστο κοινό από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, βρισκόμαστε στη μέση της Επανάστασης της Πληροφορίας, στο τρίτο κύμα. Η αξία της δυνατότητας σύνδεσης είναι πολύ μεγαλύτερη από το κόστος της και αυξάνεται με την ποσότητα και την ποιότητα της πληροφορίας που είναι διαθέσιμη στον Ιστό καθώς και με τον αριθμό των ανθρώπων με τους οποίους μπορείτε να έρθετε σε επαφή μέσω αυτής. Σαν αποτέλεσμα, ο αριθμός των χρηστών του Διαδικτύου αυξάνει εκθετικά. Το 1996, περίπου 40% των σπιτιών στις ΗΠΑ διέθεταν έναν προσωπικό υπολογιστή (PC) και περίπου 25% από αυτά χρησιμοποιούσαν το Διαδίκτυο.

Η τεχνολογία του Διαδικτύου, αν και αξιόλογη, βρίσκεται ακόμα σε αρχικό στάδιο. Συνδέει εκατομμύρια ετερογενείς υπολογιστές με υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (best effort), χωρίς καμία εγγύηση για τις καθυστερήσεις ή ακόμα και για το ρυθμό απωλειών των μεταδόσεων. Το δίκτυο δεν είναι αξιόπιστο και δεν προσφέρει καθόλου ασφάλεια. Στην ουσία όμως, αυτές είναι ασήμαντες, προσωρινές αδυναμίες. Οι πρώτες τηλεφωνικές συνδέσεις και οι πρώτες τηλεοπτικές μεταδόσεις ήταν χαμηλής ποιότητας και αναξιόπιστες. Παρά τις προσωρινές αδυναμίες του, το Διαδίκτυο είναι ένα επαναστατικό μέσο.

Το Διαδίκτυο αναπτύχθηκε από ένα μικρό πείραμα το 1969 με λίγους μικρούς κόμβους σε μία παγκόσμια συλλογή από μερικά εκατομμύρια διασυνδεδεμένους υπολογιστές. Είναι άξια θαυμασμού η διορατικότητα των αρχικών σχεδιαστών, η οποία πυροδότησε μία τόσο σημαντική ανάπτυξη. Το πιο εκπληκτικό χαρακτηριστικό του Διαδικτύου είναι οι μηχανισμοί αυτο-οργάνωσής του. Κανείς δεν γνωρίζει πόσοι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι ή πού βρίσκονται, και όμως τα πακέτα βρίσκουν το δρόμο προς τον προορισμό τους. Επιπλέον, εάν μία ζεύξη ή ένας δρομολογητής τεθεί εκτός λειτουργίας, τα πακέτα μεταφέρονται αυτόματα μέσω άλλων διαδρομών.

Στην ενότητα αυτή θα εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο δουλεύουν όλα αυτά. Πρώτα θα εξετάσουμε ένα απλό παράδειγμα και θα διερευνήσουμε τον τρόπο με

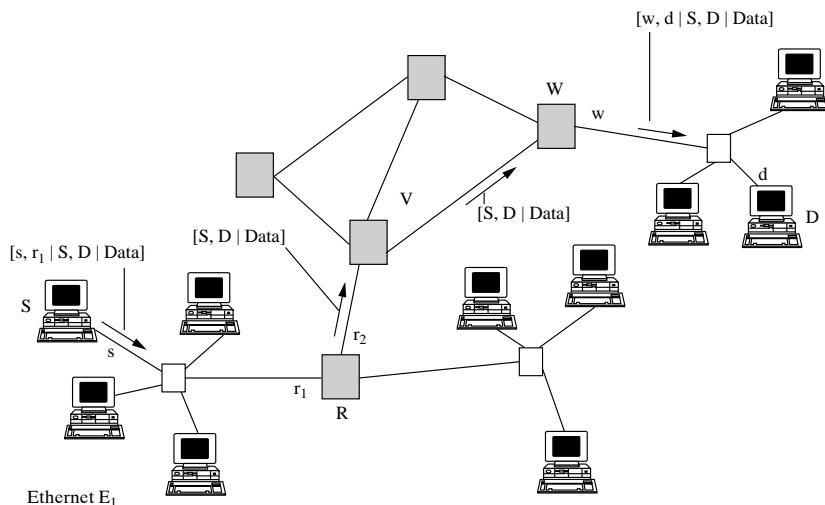
τον οποίο τα πακέτα φθάνουν στον προορισμό τους. Μετά θα εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο είναι οργανωμένα τα ονόματα και οι διευθύνσεις. Θα σκιαγραφήσουμε τους αλγόριθμους δρομολόγησης και θα εξετάσουμε τη μετάδοση των πακέτων και το σχεδιασμό των εφαρμογών. Θα μελετήσουμε το Διαδίκτυο και τα πρωτόκολλά του με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο Κεφάλαιο 3. Η ενότητα αυτή εξετάζει τα κύρια βήματα για την αποστολή πακέτων διαμέσου ενός διαδικτύου.

2.2.1 Ένα Παράδειγμα

Το Σχήμα 2.6 δείχνει ένα μικρό διαδίκτυο. Πρόκειται για ένα δίκτυο που χρησιμοποιεί τους ίδιους κανόνες λειτουργίας με το Διαδίκτυο. Ακολουθώντας αποδεκτές συμβάσεις, χρησιμοποιούμε τη λέξη Διαδίκτυο (Internet) με κεφαλαίο αρχικό γράμμα για να αναφερόμαστε στο παγκόσμιο διαδίκτυο.

Σχήμα 2.6

Ένα μικρό διαδίκτυο.



Όλοι οι κόμβοι έχουν μοναδικά ονόματα και διευθύνσεις δικτύου. Ακριβέστερα, κάθε προσάρτηση στο δίκτυο ενός υπολογιστή έχει μία μοναδική διεύθυνση δικτύου. Επιπρόσθετα, γνωρίζουμε ότι κάθε προσάρτηση σε ένα δίκτυο Ethernet έχει μία μοναδική διεύθυνση Ethernet.

Εξηγήσαμε στην Ενότητα 2.1.3 τον τρόπο με τον οποίο ένα πακέτο θα μετέβαινε από τον υπολογιστή S στον υπολογιστή D. Ας κάνουμε μία σύντομη ανασκόπηση των βημάτων αυτών. Ο υπολογιστής S γνωρίζει το δρομολογητή του, πιθανώς αφού πρώτα έχει ρωτήσει, και επίσης γνωρίζει τη δική του διεύθυνση δικτύου, πιθανώς μέσω RARP. Ο υπολογιστής S στέλνει τότε το πακέτο $[s, r_1 | S, D | data]$.

Ο δρομολογητής R εξετάζει τον πίνακα δρομολόγησής του και ανακαλύπτει ότι η επόμενη ζεύξη είναι η r_2 . Η ζεύξη αυτή δεν είναι ένα δίκτυο Ethernet αλλά μία αποκλειστική ζεύξη (dedicated link). Για την αποστολή πακέτων στη ζεύξη αυτή ενδέχεται να απαιτείται ο δρομολογητής R να τυποποιεί τα πακέτα με συγκεκριμένο τρόπο, και πιθανώς να τα τεμαχίζει σε μικρότερα κομμάτια. Για ευκολία, αγνοούμε τα βήματα αυτά και απλά θεωρούμε ότι ο δρομολογητής R στέλνει το πακέτο [S, D | data] μέσω της ζεύξης r_2 στον επόμενο δρομολογητή V. Τελικά, το πακέτο φθάνει στο δρομολογητή W του δικτύου Ethernet E_2 . Για να στείλει το πακέτο σε αυτό το δίκτυο Ethernet, ο δρομολογητής W χρειάζεται τη διεύθυνση Ethernet d του υπολογιστή D. Εάν αυτή η διεύθυνση Ethernet δεν περιέχεται στη λίστα “List” του δρομολογητή W, ο δρομολογητής αυτός χρησιμοποιεί ARP. Τότε λαμβάνει τη διεύθυνση d και στέλνει το πακέτο [r, d | S, D | data].

Ένα καθολικό σύστημα καταλόγων δίνει τη δυνατότητα σε έναν υπολογιστή δικτύου (host) να ανακαλύψει την IP διεύθυνση δικτύου που αντιστοιχεί σε ένα δεδομένο όνομα. Χρησιμοποιώντας αυτό το σύστημα, το οποίο καλείται *σύστημα ονομασίας πεδίων (Domain Name System - DNS)*, μία εφαρμογή που θέλει να στείλει ένα πακέτο σε έναν υπολογιστή με το όνομα *name* βρίσκει πρώτα την IP διεύθυνση D του υπολογιστή αυτού. Ακολουθεί η διαδικασία μετάδοσης του πακέτου με τον τρόπο που εξηγήσαμε παραπάνω. Η οργάνωση και οι λειτουργίες του DNS περιγράφονται στο Κεφάλαιο 3.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τη δρομολόγηση.

2.2.2 Δρομολόγηση: OSPF και BGP

Ποιοι είναι οι τρόποι με τους οποίους οι δρομολογητές διατηρούν τους πίνακες που υποδεικνύουν την επόμενη ζεύξη που πρέπει να ακολουθήσει ένα πακέτο προκειμένου να φθάσει σε μία δεδομένη διεύθυνση προορισμού; Τέσσερις σχετικές διαδικασίες παρουσιάζονται στη συνέχεια με σειρά αυξανόμενης επιτήδευσης.

Διαδικασία 1: Δίχως Αυτοματοποίηση

Η πρώτη διαδικασία είναι να χρησιμοποιείται ένας διαχειριστής δικτύου (network manager) για να καταγράφει πληροφορίες σχετικά με την τοπολογία του δικτύου, να υπολογίζει τους πίνακες δρομολόγησης και, τέλος, να στέλνει τους πίνακες δρομολόγησης σε όλους τους δρομολογητές.

Η διαδικασία αυτή θα αρκούσε για ένα μικρό δίκτυο που σπάνια αλλάζει. Ωστόσο, εάν μία ζεύξη ή ένας κόμβος ετίθετο εκτός λειτουργίας, αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τα πακέτα να μη βρίσκουν τον προορισμό τους. Παράλληλα, η αποκατάσταση της ανωμαλίας αυτής θα ήταν μία αργή διαδικασία. Η αποφυγή

ακριβώς των συνεπειών τέτοιων ανωμαλιών ήταν ο λόγος που άρχισε ο πειραματισμός με το ARPANET.

Παρόλο που γρήγορα θα προχωρήσουμε σε καλύτερες στρατηγικές, ας σκεφθούμε για μία στιγμή τον τρόπο με τον οποίο ο διαχειριστής του δικτύου θα μπορούσε να λάβει από τους δρομολογητές επαρκή πληροφορία ώστε να κατασκευάσει το “χάρτη” του δικτύου. Φανταστείτε ότι κάθε δρομολογητής είναι σε θέση να ανακαλύψει τις διευθύνσεις των γειτόνων του και με κάποιο τρόπο να αναφέρει τη λίστα με τις διευθύνσεις αυτές στο διαχειριστή. Ο διαχειριστής τότε μπορεί να συνδυάσει όλες τις λίστες διευθύνσεων που έχει λάβει από τους δρομολογητές και να κατασκευάσει ένα νέο “χάρτη” του δικτύου. Με ποιον τρόπο όμως οι δρομολογητές στέλνουν τις λίστες διευθύνσεων στο διαχειριστή; Μία δυνατότητα είναι να πλημμυρίσουν το δίκτυο (flooding): στέλνοντας ένα αντίγραφο σε κάθε εξερχόμενη ζεύξη και αντιγράφοντας κάθε πακέτο πλημμύρας σε όλες τις ζεύξεις εκτός της ζεύξης εισόδου του πακέτου.

Με ποιον τρόπο ένας δρομολογητής μαθαίνει σχετικά με τους γείτονές του; Στέλνει ένα μήνυμα στη ζεύξη που τον συνδέει με έναν άλλο κόμβο ζητώντας: “Δρομολογητή, δώσε μου τη διεύθυνση δικτύου σου”.

Διαδικασία 2: Χάρτες

Μία απλή παραλλαγή της διαδικασίας 1 είναι εφικτή για σχετικά μικρά δίκτυα. Χρησιμοποιώντας την τεχνική της πλημμύρας, δηλαδή ενός μηχανισμού που στέλνει κάθε πακέτο σε κάθε κόμβο, όλοι οι δρομολογητές λαμβάνουν λίστες που τους επιτρέπουν να κατασκευάσουν έναν πλήρη χάρτη του δικτύου και να προσδιορίσουν τις διαδρομές που πρόκειται να ακολουθηθούν. Εάν όλοι οι κόμβοι χρησιμοποιούν τον ίδιο αλγόριθμο για τον προσδιορισμό των διαδρομών, τότε κατασκευάζουν συμβατούς πίνακες δρομολόγησης.

Οι δρομολογητές μπορεί να γίνουν περισσότερο επιτηδευμένοι και να χαρακτηρίζουν τις εξερχόμενες ζεύξεις τους όχι μόνο με τη διεύθυνση του γείτονά τους αλλά επίσης και με μία συλλογή από παραμέτρους που αφορούν τη ζεύξη. Πιθανές παράμετροι είναι το μέγιστο μέγεθος των πακέτων στη ζεύξη αυτή, το οποίο καλείται μέγιστη μονάδα μεταφοράς (Maximum Transfer Unit - MTU), η τυπική καθυστέρηση στη ζεύξη αυτή (όπως εκτιμάται, για παράδειγμα, από τον αριθμό των πακέτων που περιμένουν να μεταδοθούν), ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης της ζεύξης αυτής, το επίπεδο ασφάλειας και η αξιοπιστία της ζεύξης.

Όταν οι δρομολογητές λάβουν αυτές τις λίστες με τις παραμέτρους, μπορούν να κατασκευάσουν τα βέλτιστα μονοπάτια από τους ίδιους προς όλους τους άλλους κόμβους. Παρατηρήστε ότι οι δρομολογητές χρειάζεται να γνωρίζουν πως να φθάσουν ως το δρομολογητή ενός δικτύου Ethernet μόνο και όχι ως τον κάθε κόμβο του συγκεκριμένου Ethernet. Η διαδικασία αυτή καλείται OSPF (Open Shortest Path First).

Διαδικασία 3: Ιεραρχική Δρομολόγηση

Η δυσκολία με τη διαδικασία 2 είναι ότι οι πίνακες δρομολόγησης αυξάνουν σε μέγεθος με τον αριθμό των υπολογιστών ή των δικτύων Ethernet. Το Διαδίκτυο χρησιμοποιεί δύο ιδέες για να βελτιώσει τη δυνατότητα κλιμάκωσης του δικτύου.

Η πρώτη ιδέα είναι η διευθέτηση των διευθύνσεων σε μία ιεραρχία δύο επιπέδων. Δηλαδή, μία διεύθυνση έχει τη μορφή *δίκτυο.υπολογιστής_δικτύου* και η δρομολόγηση βασίζεται στο μέρος *δίκτυο* της διεύθυνσης αυτής αντί να βασίζεται στην πλήρη διεύθυνση. Με το μηχανισμό αυτό, οι δρομολογητές χρειάζονται μόνο μία καταχώρηση για κάθε *δίκτυο*, αντί μίας καταχώρησης για κάθε κόμβο.

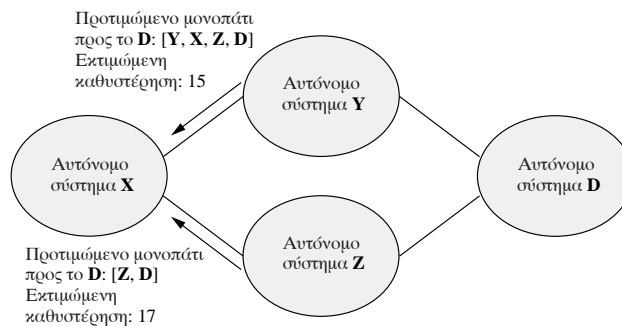
Η δεύτερη ιδέα είναι ένας ακόμα μεγαλύτερος διαχωρισμός του δικτύου, παρόμοιος με αυτόν που κάνουμε όταν ταξιδεύουμε σε μία μακρινή πόλη. Για να πάω από το σπίτι μου στο Berkeley στο σπίτι ενός φίλου στο Palo Alto, χρησιμοποιώ ένα τοπικό χάρτη του Berkeley, ένα τοπικό χάρτη του Palo Alto και ένα χάρτη των εθνικών οδών. Βρίσκω πως θα πάω από το σπίτι μου στην εθνική οδό που οδηγεί στο Palo Alto, εξετάζω το χάρτη των εθνικών οδών για να βεβαιωθώ ότι κινούμαι στη σωστή εθνική οδό και χρησιμοποιώ τον τοπικό χάρτη του Palo Alto ώστε να φθάσω στο σπίτι του φίλου μου. Οι δρομολογητές του Διαδικτύου είναι ομαδοποιημένοι σε ομάδες (clusters), οι οποίες καλούνται *αυτόνομα συστήματα* (*autonomous systems - ASs*). Ένα αυτόνομο σύστημα επιβλέπεται από έναν οργανισμό. Έτσι, ο πανεπιστημιακός χώρος του Berkeley είναι ένα αυτόνομο σύστημα. Το ίδιο είναι και ο πανεπιστημιακός χώρος του Stanford και οι δρομολογητές του Διαδικτύου που συνδέουν τα πανεπιστήμια Berkeley και Stanford. Για να σταλεί ένα πακέτο από το Berkeley στο Stanford, ένας τοπικός αλγόριθμος (OSPF) λέει στους δρομολογητές του Berkeley πως να προσπελάσουν το δρομολογητή του Διαδικτύου. Ένας άλλος αλγόριθμος λέει στο αυτόνομο σύστημα του Berkeley πως να προσπελάσει το αυτόνομο σύστημα του Stanford, και τέλος ο αλγόριθμος OSPF λέει στους δρομολογητές μέσα στο Stanford πως να προσπελάσουν τον υπολογιστή του φίλου μου.

Ο αλγόριθμος μεταξύ των αυτόνομων συστημάτων μπορεί να είναι ένας αλγόριθμος συντομότερου μονοπατιού όπως ο αλγόριθμος OSPF. Ωστόσο, από το 1989 το Διαδίκτυο χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο ο οποίος είναι καλύτερος στην ανίχνευση βρόχων. Επιπλέον, ο αλγόριθμος αυτός, ο οποίος καλείται πρωτόκολλο συνοριακής πύλης (border gateway protocol - BGP), διευκολύνει τη διεξαγωγή της δρομολόγησης με βάση πιο πολύπλοκους παράγοντες ασφάλειας και αξιοπιστίας. Η βασική ιδέα του BGP είναι ότι ένα αυτόνομο σύστημα γνωστοποιεί το μονοπάτι που προτιμά να χρησιμοποιήσει για να προσπελάσει ένα δεδομένο προορισμό δημιουργώντας μία λίστα των αυτόνομων συστημάτων που περιλαμβάνονται στο μονοπάτι αυτό και παρέχοντας ένα σύνολο χαρακτηριστικών του μονοπατιού, όπως το εύρος ζώνης και η μέση καθυστέρηση του. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 2.7 το αυτόνομο σύστημα **Y** δηλώνει ότι το μονοπάτι που προτιμά για να προσπελάσει τον προορισμό **D** είναι (**Y, X, Z, D**).

Το αυτόνομο σύστημα **Z** δηλώνει ότι το δικό του προτιμώμενο μονοπάτι για το **D** είναι **(Z, D)**. Επιπρόσθετα, τα αυτόνομα συστήματα **Y** και **Z** παρέχουν τις εκτιμώμενες καθυστερήσεις 15 και 17 κατά μήκος των μονοπατιών που προτιμούν. Ας σημειωθεί ότι οι εκτιμήσεις αυτές δεν είναι συμβατές με τα προτιμώμενα μονοπάτια: η καθυστέρηση κατά μήκος του μονοπατιού **(X, Z, D)** θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη από αυτή κατά μήκος του μονοπατιού **(Z, D)**. Αυτή η ασυμφωνία μπορεί να προκύψει επειδή οι εκτιμήσεις καθυστέρησης βασίζονται σε πληροφορίες που μπορεί να μην είναι πρόσφατα ενημερωμένες. Εάν επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά και μόνο οι εκτιμήσεις καθυστέρησης, το αυτόνομο σύστημα **X** θα έπρεπε να στείλει ένα πακέτο (που προορίζεται για το **D**) στο **Y** και το **Y** πίσω στο **X**, δημιουργώντας έτσι ένα βρόχο. Εξετάζοντας τα προτιμώμενα μονοπάτια, το **X** γνωρίζει ότι πρέπει να στείλει το πακέτο του κατευθείαν στο **Z**.

Σχήμα 2.7

Επεξήγηση του πρωτοκόλλου συνοριακής πύλης (Border Gateway Protocol).



2.2.3 Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης

Το Διαδίκτυο επιδιώκει να παραδίδει τα πακέτα στο σωστό προορισμό, αλλά δεν παρέχει καμία εγγύηση. Τα πακέτα ενδέχεται να χαθούν κατά τη διαδρομή εξαιτίας συμφόρησης στις ζεύξεις και τους δρομολογητές, ή εξαιτίας του ότι μία ζεύξη έχει τεθεί πλήρως εκτός λειτουργίας. Επίσης, ενδέχεται ένα πακέτο να αλλοιωθεί από σφάλματα μετάδοσης. Για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Διαδίκτυο, οι διάφορες εφαρμογές χρειάζονται μία τεχνική ώστε να εξασφαλίζεται η επαναμετάδοση των πακέτων έως ότου επιτευχθεί η σωστή παράδοσή τους. Αυτή είναι η δουλειά του πρωτοκόλλου ελέγχου μετάδοσης. Επιπλέον, το πρωτόκολλο αυτό ρυθμίζει το ρυθμό με τον οποίο οι υπολογιστές στέλνουν πακέτα ώστε να αποτρέπεται η υπερβολική συμφόρηση σε κάποιες ζεύξεις.

Το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (Transmission Control Protocol - TCP) είναι ένας μηχανισμός ελέγχου που εκτελείται στους υπολογιστές της πηγής και του

προορισμού. Αν και οι λεπτομέρειες του TCP είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες, οι βασικές ιδέες είναι απλές και εξηγούνται αμέσως παρακάτω.

Θεωρήστε τη μετάδοση μίας μεγάλης ακολουθίας πακέτων από έναν υπολογιστή πηγής S σε έναν υπολογιστή προορισμού D . Για την επίβλεψη των μεταδόσεων, ο D επιβεβαιώνει κάθε πακέτο που λαμβάνει σωστά στέλνοντας πίσω στον S μία επιβεβαίωση (acknowledgement) για το πακέτο αυτό. Ο υπολογιστής S διατηρεί έναν απαριθμητή καθώς και χρονομετρητές. Ο απαριθμητής εξασφαλίζει ότι ο S διακόπτει την αποστολή πακέτων όταν έχει στείλει N πακέτα για τα οποία δεν έχει λάβει ακόμα επιβεβαίωση. Για παράδειγμα, ο S θα μπορούσε να στείλει N πακέτα, μετά να περιμένει την επιβεβαίωση του πρώτου πακέτου πριν στείλει το πακέτο $(N + 1)$ κ.ο.κ. Εάν το N είναι μικρό και εάν απαιτούνται T δευτερόλεπτα από τη στιγμή που ο S στέλνει ένα πακέτο μέχρι τη στιγμή που ο S λαμβάνει την επιβεβαίωση, τότε καταλαβαίνετε ότι ο S στέλνει περίπου N πακέτα κάθε T δευτερόλεπτα. Έτσι, μεταβάλλοντας την τιμή του N ο υπολογιστής S μπορεί να ρυθμίζει το ρυθμό μετάδοσης και επομένως το φορτίο που αντιμετωπίζουν οι δρομολογητές του δικτύου. Η ιδέα του TCP είναι, λοιπόν, να μειώνει ο S το N όταν θεωρεί ότι υπάρχει κάποια συμφόρηση, διαφορετικά να το αυξάνει. Ο S μπορεί να ανιχνεύει την ύπαρξη συμφόρησης μετρώντας το χρόνο που απαιτείται έως ότου επιστρέψουν οι επιβεβαιώσεις, δηλαδή εκτιμώντας την τιμή του T . Μία αύξηση του T είναι σημάδι πιθανής συμφόρησης και σηματοδοτεί ότι ο S πρέπει να μειώσει το N . Βέβαια, μία καθυστερημένη επιβεβαίωση μπορεί επίσης να προκληθεί από ένα σφάλμα μετάδοσης, αλλά τέτοια σφάλματα είναι απίθανα εάν οι περισσότερες ζεύξεις είναι υψηλής ποιότητας ζεύξεις χαλκού ή οπτικές ζεύξεις. Εάν η σύνδεση διέρχεται από ασύρματες ζεύξεις με θόρυβο, τότε οι ζεύξεις αυτές θα πρέπει να υλοποιούν τις δικές τους επαναμεταδόσεις τοπικά, ώστε να αποτρέπεται η επιβάρυνση της διατεματικής (end-to-end³) σύνδεσης με επαναμεταδόσεις.

2.2.4 Εφαρμογές Πελάτη/Εξυπηρετητή

Η γενική μεθοδολογία για το σχεδιασμό δικτυακών εφαρμογών βασίζεται στη χρήση του μοντέλου πελάτη/εξυπηρετητή (client/server). Στο μοντέλο αυτό, ο εξυπηρετητής (server) είναι μία διεργασία σχεδιασμένη να εξυπηρετεί αιτήσεις που υποβάλλονται από τους πελάτες (clients).

Τυπικά, ο πελάτης στέλνει μηνύματα στον εξυπηρετητή χρησιμοποιώντας το TCP. Ο εξυπηρετητής ελέγχει τη σύνδεση TCP περιμένοντας αιτήσεις. Ένας εξυπηρετητής είναι σχεδιασμένος είτε να εξυπηρετεί τις αιτήσεις μία κάθε φορά, είτε να δημιουργεί ένα αντίγραφο του εαυτού του για κάθε νέα αίτηση.

³ (σ.ε) Ο όρος end-to-end αναφέρεται σε συνδέσεις από την πηγή έως και τον προορισμό.

Επειδή το TCP είναι μία ακόμη διεργασία που εκτελείται μέσα στον υπολογιστή, για να γραφεί το πρόγραμμα για έναν πελάτη ή έναν εξυπηρετητή χρειάζεται γνώση του τρόπου με τον οποίο στέλνονται μηνύματα μεταξύ διεργασιών. Αυτή η διαδιεργασιακή επικοινωνία (interprocess communication) εξαρτάται από το λειτουργικό σύστημα του υπολογιστή. Στο UNIX BSD, η διαδιεργασιακή επικοινωνία υλοποιείται με ουρές. Για να σταλεί ένα μήνυμα σε μία διεργασία, το μήνυμα γράφεται σε μία ουρά που προορίζεται για τη διεργασία αυτή. Αυτή η λειτουργία γραφής καλείται “socket write”. Όμοια, για να διαβάσει ένα μήνυμα, η διεργασία εκτελεί μία λειτουργία ανάγνωσης “socket read”.

Σε οποιαδήποτε δεδομένη χρονική στιγμή, μπορεί να τρέχει στον υπολογιστή ένας αριθμός δικτυακών εφαρμογών. Αυτές αντιστοιχούν σε διαφορετικές διεργασίες οι οποίες διακρίνονται μεταξύ τους με ξεχωριστούς αριθμούς θυρών TCP (TCP ports).

Προγράμματα γενικής χρήσης για τέτοιους δικτυακούς πελάτες και εξυπηρετητές είναι ευρέως διαθέσιμα στις γλώσσες προγραμματισμού C, C++ και Java.

2.3 Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς

Ο Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode - ATM) είναι μία τεχνολογία δικτύων σχεδιασμένη να συμπληρώνει τις τεχνολογίες Ethernet και Internet.

Είναι χρήσιμο να εξεταστούν οι μηχανισμοί λειτουργίας του ATM διότι διαφέρουν σημαντικά από εκείνους του Διαδικτύου. Συγκρίνοντας αυτούς τους μηχανισμούς θα κατανοήσετε καλύτερα τα χαρακτηριστικά και των δύο και θα αντιληφθείτε ότι υπάρχουν πολλοί τρόποι σχεδιασμού ενός δικτύου.

Πρώτα θα εξετάσουμε μερικά κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων ATM και στη συνέχεια τη δρομολόγηση και τον έλεγχο της ποιότητας υπηρεσίας (quality of service). Το Κεφάλαιο 5 είναι αφιερωμένο στο ATM. Στο Κεφάλαιο 5 θα εξετάσουμε την τεχνολογία και τα πρωτόκολλα του ATM λεπτομερέστερα και θα μελετήσουμε τον τρόπο με τον οποίο τα δίκτυα ATM μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διασύνδεση υποδικτύων IP και για την εξομίωση τοπικών δικτύων (LANs).

2.3.1 Κύρια Χαρακτηριστικά

Το ATM μεταφέρει πληροφορία σε πακέτα των 53 bytes, τα οποία καλούνται κύτταρα (cells), κατά μήκος εικονικών κυκλωμάτων (virtual circuits). Αυτό σημαίνει ότι πριν από τη μετάδοση πληροφορίας σε κάποιον άλλο υπολογιστή, η πηγή ζητά από το δίκτυο να εγκαθιδρύσει μία σύνδεση. Το δίκτυο βρίσκει μία διαδρομή κατά μήκος της οποίας δεσμεύει τους πόρους που απαιτούνται για τη

σύνδεση αυτή και μετά ενημερώνει την πηγή ότι μπορεί να αρχίσει τη μετάδοση. Στους πόρους συμπεριλαμβάνονται ο ρυθμός μετάδοσης και η χωρητικότητα των καταχωρητών (buffers⁴) στους μεταγωγούς. Η πηγή οργανώνει την πληροφορία σε κύτταρα των 53 bytes που μεταφέρονται από το δίκτυο κατά μήκος της επιλεγμένης διαδρομής. Κατά την εγκαθίδρυση της σύνδεσης, το δίκτυο ενημερώνει τους πίνακες δρομολόγησης που υπάρχουν στους μεταγωγούς του. Ενδέχεται το δίκτυο να αναγκαστεί να απορρίψει μία αίτηση για σύνδεση, αν δεν είναι σε θέση να εντοπίσει μία διαδρομή με επαρκείς πόρους.

Τα κύτταρα έχουν μία επικεφαλίδα (header) μεγέθους 5 bytes, η οποία περιέχει έναν αριθμό αναγνώρισης της σύνδεσης. Καθώς ένας μεταγωγός λαμβάνει ένα κύτταρο, ελέγχει τον αριθμό σύνδεσης, εξετάζει τον πίνακα δρομολόγησής του και έτσι αποφασίζει τον τρόπο με τον οποίο θα μεταχειριστεί το κύτταρο: τις ζεύξεις εξόδου του, το επίπεδο προτεραιότητας, κ.ο.κ. Όταν η σύνδεση τερματίζεται, το δίκτυο πληροφορεί τους μεταγωγούς, ώστε να ενημερώσουν τους πίνακες δρομολόγησής τους και να αποδεσμεύσουν τους πόρους που είχαν δεσμευθεί για τη σύνδεση.

Το ATM έχει σχεδιαστεί για να εξυπηρετεί ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών που κυμαίνονται από βιντεοδιασκέψεις έως μεταφορές αρχείων και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο. Μερικές από τις εφαρμογές αυτές, όπως οι βιντεοδιασκέψεις, παράγουν κίνηση με σταθερό ρυθμό bits και απαιτούν μικρή διατεμαστική καθυστέρηση. Άλλες εφαρμογές, όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, μπορούν να ανεχθούν μεγάλες καθυστερήσεις. Το δίκτυο εκμεταλλεύεται αυτές τις διαφορετικές απαιτήσεις προκειμένου να χειριστεί τα κύτταρα με διαφορετικό τρόπο. Για παράδειγμα, ένας μεταγωγός ενδέχεται να εξυπηρετεί τα κύτταρα που ανήκουν σε μία εφαρμογή βιντεοδιάσκεψης πριν από τα κύτταρα που ανήκουν σε μία εφαρμογή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

2.3.2 Δρομολόγηση

Το Σχήμα 2.8 δείχνει τρία εικονικά κυκλώματα που έχουν εγκαθιδρυθεί σε ένα μικρό δίκτυο ATM και τους πίνακες δρομολόγησης μέσα στους κόμβους. Σημειώστε την αρίθμηση των εικονικών κυκλωμάτων. Η αρίθμηση αυτή χρειάζεται να είναι μοναδική μόνο σε κάθε ζεύξη και όχι κατά μήκος όλης της διαδρομής της σύνδεσης. Έτσι, το εικονικό κύκλωμα από τον υπολογιστή B στον D χρησιμοποιεί τον αριθμό 1 από τον B στον S₂ και τον αριθμό 2 από τον S₂ στον S₃ και από τον S₃ στον D.

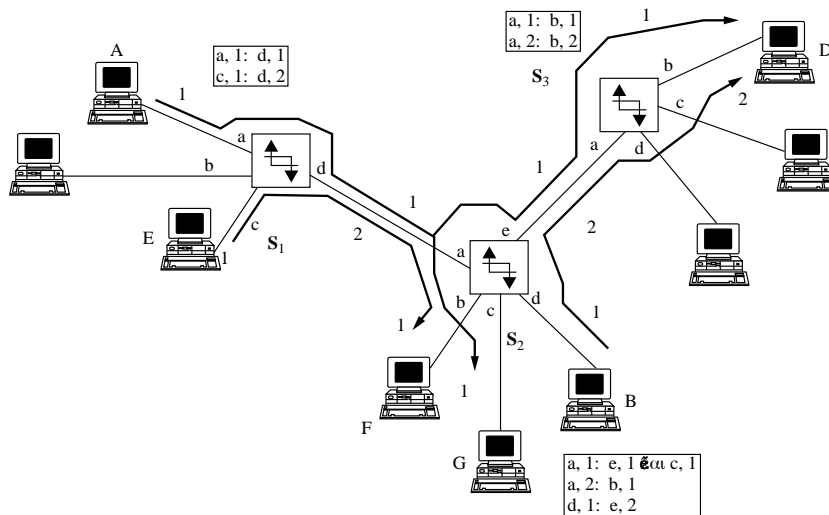
Ένας ενδεχόμενος κανόνας για την αρίθμηση των εικονικών κυκλωμάτων είναι να χρησιμοποιείται κάθε φορά ο μικρότερος αριθμός που δεν έχει ήδη

⁴ (σ.ε.) Ο όρος buffer αναφέρεται στην ενδιάμεση μνήμη που υπάρχει στους κόμβους.

χρησιμοποιηθεί σε μία ζεύξη. Μπορείτε να επαληθεύσετε ότι η αρίθμηση που φαίνεται στο σχήμα θα μπορούσε να προκύψει με εφαρμογή αυτού του κανόνα εάν τα εικονικά κυκλώματα είχαν εγκαθιδρυθεί με τη σειρά: από τον A στους D, G, μετά από τον E στον F και μετά από τον B στον D. Σημειώστε ότι τα κύτταρα από τον A μεταδίδονται σε δύο υπολογιστές⁵ D, G με αντιγραφή στον S₂.

Σχήμα 2.8

Εικονικά κυκλώματα και πίνακες δρομολόγησης.



Για κάθε εισερχόμενη ζεύξη και αριθμό εισερχόμενου εικονικού κυκλώματος, ο πίνακας δρομολόγησης καθορίζει τη ζεύξη εξόδου, τον αριθμό εικονικού κυκλώματος εξόδου και κάποια ένδειξη για τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να αντιμετωπισθεί το κύτταρο από το δίκτυο. Για παράδειγμα, η καταχώρηση που αντιστοιχεί στα κύτταρα από τον B καθορίζει την ταυτότητα του προγράμματος πολυεκπομπής. Οι μεταγωγοί χρησιμοποιούν την πληροφορία αυτή για να προσθέσουν και άλλους προορισμούς στην ομάδα πολυεκπομπής κατ' απαίτηση των χρηστών.

Για να μειωθεί ο όγκος της πληροφορίας που πρέπει να διατηρείται, τα εικονικά κυκλώματα ομαδοποιούνται σε εικονικά μονοπάτια (virtual paths) τα οποία δρομολογούνται μαζί. Εάν τα κύτταρα ενός δεδομένου εικονικού μονοπατιού αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο (π.χ. εάν έχουν την ίδια προτεραιότητα και

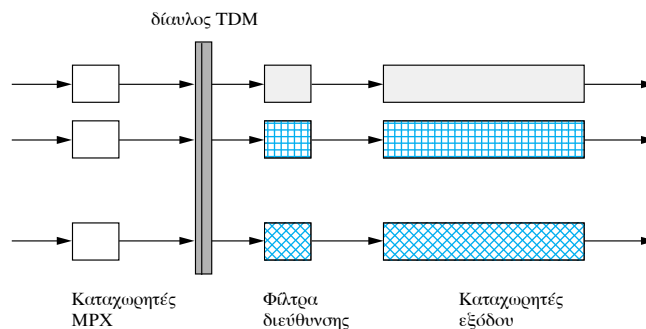
⁵ (σ.ε.) Η μετάδοση πληροφορίας από μία πηγή (ή περισσότερες) σε μία ομάδα δύο ή περισσότερων προορισμών καλείται πολυεκπομπή (multicast). Η πολυεκπομπή μπορεί να θεωρηθεί ως μία υποπερίπτωση καθολικής εκπομπής (broadcast). Το σύνολο των χρηστών που λαμβάνουν το ίδιο μήνυμα καλείται ομάδα πολυεκπομπής (multicast group).

ανήκουν στην ίδια ομάδα πολυεκπομπής), τότε ο μεταγωγός χρειάζεται να διατηρεί μία καταχώρηση για κάθε εικονικό μονοπάτι.

Το Σχήμα 2.9 δείχνει την πιο κοινή σχεδίαση μεταγωγών ATM. Τα κύτταρα φθάνουν σε μικρούς καταχωρητές εισόδου που μπορούν να αποθηκεύσουν από ένα κύτταρο ο καθένας. Στη συνέχεια τα κύτταρα μεταδίδονται με καθολική εκπομπή (broadcast) στο δίαυλο (bus) του μεταγωγού. Στο δίαυλο είναι προσαρτημένοι καταχωρητές εξόδου οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με φίλτρα που ελέγχουν ποια κύτταρα θα πρέπει να αντιγραφούν στον καταχωρητή. Επομένως, οι πίνακες δρομολόγησης υλοποιούνται στα φίλτρα. Επιπλέον, κάθε καταχωρητής εξόδου μπορεί να διαχωριστεί σε έναν αριθμό από παράλληλους καταχωρητές που αντιστοιχούν σε διαφορετικές προτεραιότητες για τα κύτταρα. Σημειώνεται ότι τα κύτταρα πολυεκπομπής αντιγράφονται ταυτόχρονα στους κατάλληλους καταχωρητές εξόδου. Ο μεταγωγός αυτός περιορίζεται από την ταχύτητα της μνήμης που θα πρέπει να είναι σε θέση να εξυπηρετεί το άθροισμα των ρυθμών μετάδοσης των γραμμών.

Σχήμα 2.9

Καταχωρητής εξόδου ενός μεταγωγού ATM.



2.3.3 Έλεγχος της Ποιότητας Υπηρεσίας: Leaky Buckets

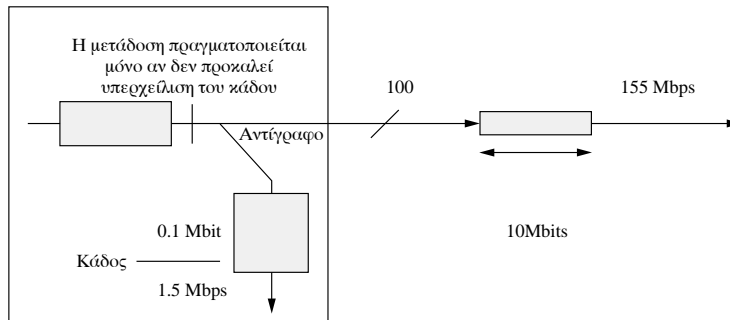
Το αρχικό κίνητρο για το σχεδιασμό των δικτύων ATM ήταν η παροχή καλύτερου ελέγχου της ποιότητας υπηρεσίας (quality of service - QoS) από αυτόν που είναι δυνατός σε ένα δίκτυο αυτοδύναμων πακέτων όπως το Διαδίκτυο. Επειδή ένα δίκτυο ATM διατηρεί πληροφορία για κάθε σύνδεση ξεχωριστά, είναι σε θέση—τουλάχιστον θεωρητικά—να εξασφαλίσει την ανάθεση επαρκών πόρων στις συνδέσεις, ώστε να διασφαλίζονται η μέγιστη καθυστέρηση και ο χαμηλός ρυθμός απωλειών που έχουν συμφωνηθεί.

Ξεκινάμε τη συζήτηση για την ποιότητα υπηρεσίας με ένα απλό παράδειγμα που παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο το δίκτυο μπορεί να εγγυηθεί μια μέγιστη καθυστέρηση και μικρές απώλειες. Στο Σχήμα 2.10 φαίνονται 100 εικονικά

κυκλώματα τα οποία διέρχονται από έναν καταχωρητή με ρυθμό μετάδοσης 155 Mbps.

Σχήμα 2.10

Πηγές ελεγχόμενες από ένα *leaky bucket*.



Κάθε εικονικό κύκλωμα μεταφέρει ένα σήμα βιντεοδιάσκεψης. Η ροή των bits (bit stream) μίας εφαρμογής βιντεοδιάσκεψης περιορίζεται στην πηγή ώστε να μην μεταφέρει περισσότερα από $0,1 + 1,5t$ Mbits μέσα σε μία οποιαδήποτε περίοδο t δευτερολέπτων. Έτσι, για μεγάλες τιμές του t ο μέσος ρυθμός μετάδοσης δεν υπερβαίνει την τιμή $(0,1 + 1,5t) / t \approx 1,5$ Mbps. Επίσης, για μικρές τιμές του $t \ll 1$, η πηγή δεν μπορεί να παράγει ξαφνικά μία ριπή από κύτταρα που να υπερβαίνει τα $0,1 + 1,5t \approx 0,1$ Mbits. Ένας μηχανισμός που επιβάλλει αυτά τα όρια καλείται ελεγκτής διαρρέοντος κάδου (*leaky bucket*)⁶. Ο κάδος έχει χωρητικότητα ίση με 0,1 Mbits και αδειάζει (διαρρέει) με ρυθμό 1,5 Mbps. Η πηγή μπορεί να μεταδίδει όποτε ο κάδος—που υλοποιείται σαν απεριθμητής—δεν είναι γεμάτος, ενώ ο κάδος γεμίζει με τα bits που στέλνει η πηγή.

Είναι εύκολα κατανοητό ότι εάν η χωρητικότητα του καταχωρητή B είναι ίση με 10 Mbits, τότε ο καταχωρητής δεν πρόκειται να χάσει ποτέ ούτε ένα bit. Επιπλέον, αφού ο καταχωρητής δεν συγκεντρώνει ποτέ περισσότερα από 10 Mbits και εξυπηρετείται με ρυθμό 155 Mbps, κανένα bit δεν θα υποστεί ποτέ καθυστέρηση μεγαλύτερη από $10 / 155 \approx 65$ ms μέσα στον καταχωρητή.

Το βασικό σημείο του παραδείγματος αυτού είναι ότι εάν οι πηγές ελέγχονται ώστε να ικανοποιούν κάποια όρια στην κίνηση που παράγουν και εάν το δίκτυο εξασφαλίζει επαρκείς πόρους για τη μεταφορά των συνδέσεων, τότε είναι δυνατόν να υπάρξουν εγγυήσεις για τα όρια καθυστέρησης και για τις απώλειες.

⁶ (σ.ε.) Ο όρος *leaky bucket* (διαρρέων κάδος) αναφέρεται σε ένα νοητό σχήμα ελεγκτή του ρυθμού μετάδοσης, ο οποίος μπορεί να αλλάζει το ρυθμό μετάδοσης μέσα σε κάποια καθορισμένα πλαίσια.

Μετά από τη συνοπτική αυτή παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας των δικτύων, στην επόμενη ενότητα θα ασχοληθούμε με διάφορα στοιχεία των δικτύων και θα προχωρήσουμε σε μια πιο δομημένη μελέτη του χώρου αυτού .

2.4 Αρχιτεκτονική Δικτύου

Στις προηγούμενες ενότητες ασχοληθήκαμε με μερικά παραδείγματα δικτύων: δίκτυα Ethernet, διαδίκτυα και δίκτυα ATM. Τα παραδείγματα αυτά αντιπροσωπεύουν μερικές μόνο από τις πολλές τεχνολογίες δικτύων που χρησιμοποιούνται ευρέως και από τις πολλές άλλες τεχνολογίες που βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης.

Στο επίπεδο των λεπτομερειών που σχετίζονται με την υλοποίησή τους, τα δίκτυα βρίσκονται σε μία κατάσταση ραγδαίων αλλαγών. Ευτυχώς όμως, στο επίπεδο της σύλληψής τους, η κατάσταση είναι απλούστερη και οι αλλαγές επέρχονται με μικρότερους ρυθμούς. Αν και δημιουργείται η εντύπωση ότι υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των δικτύων, στην ουσία είναι όλα βασισμένα σε ένα μικρό σύνολο λειτουργικών αρχών και είναι οργανωμένα με παρόμοια αρχιτεκτονική.

Στην ενότητα αυτή αρχίζουμε να σχεδιαγραφούμε την αρχιτεκτονική και τις λειτουργικές αρχές των δικτύων. Οι αρχές αυτές αναμένεται να διατηρηθούν για πολύ καιρό μετά την απαξίωση συγκεκριμένων υλοποιήσεων.

Ένα δίκτυο σχηματίζεται με τη διασύνδεση ποικίλων στοιχείων. Είναι λοιπόν φυσικό να θεωρούμε ένα δίκτυο ως ένα σύνολο αυτών των στοιχείων και των διασυνδέσεών τους. Έτσι, μπορούμε να διακρίνουμε τους υπολογιστές, τους δρομολογητές, τις ζεύξεις, τους εξυπηρετητές. Αυτό αποτελεί τη *φυσική* θεώρηση ενός δικτύου.

Μπορούμε επίσης να θεωρήσουμε ένα δίκτυο ως ένα σύνολο από υπηρεσίες παράδοσης πληροφοριών, οι οποίες είναι τοποθετημένες ή μία επάνω στην άλλη. Αυτό αποτελεί την *επιπεδοποιημένη* (layered) θεώρηση ενός δικτύου. Συγκεκριμένα, ο σχεδιαστής εφαρμογών αντιλαμβάνεται το δίκτυο σαν μία υπηρεσία παροχής υπηρεσιών παράδοσης πληροφορίας από άκρο σε άκρο. Τα χαρακτηριστικά αυτών των διατεμαστικών υπηρεσιών εξαρτώνται από την υλοποίησή τους και από τα στοιχεία του δικτύου. Αυτή η επιπεδοποιημένη θεώρηση των δικτύων εξετάζεται στην Ενότητα 2.4.1.

Σε μία πρώτη προσέγγιση, μπορείτε να ασχοληθείτε με τις εφαρμογές των δικτύων χωρίς να σας απασχολεί ο τρόπος με τον οποίο το δίκτυο υλοποιεί τις διατεμαστικές υπηρεσίες στην πραγματικότητα. Ωστόσο, θα πρέπει να έχετε κάποια ιδέα για τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών αυτών. Αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά διατεμαστικών υπηρεσιών παρουσιάζονται στην Ενότητα 2.4.2.

Ο σχεδιασμός πολλών απαιτητικών εφαρμογών απαιτεί μία λεπτομερέστερη κατανόηση των διαθεματικών υπηρεσιών και του τρόπου με τον οποίο συμπεριφέρονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Μία τόσο λεπτομερής κατανόηση απαιτεί κάποια εξοικείωση με την υποκείμενη τεχνολογία. Ξεκινάμε τη διερεύνηση τέτοιων τεχνολογιών στην Ενότητα 2.4.3.

2.4.1 Επίπεδα Αρχιτεκτονικής

Οι λειτουργίες του δικτύου είναι οργανωμένες σε μία αρχιτεκτονική επιπέδων. Σε μία τέτοια αρχιτεκτονική, οι υπηρεσίες ενός επιπέδου υλοποιούνται επάνω από τις υπηρεσίες που παρέχονται από το αμέσως κατώτερο επίπεδο.

Δύο σημαντικά οφέλη προκύπτουν από το διαχωρισμό αυτό σε επίπεδα. Τα διαφορετικά επίπεδα μπορούν να σχεδιαστούν, σε κάποιο βαθμό, ανεξάρτητα, γεγονός που απλοποιεί σημαντικά το σχεδιασμό των δικτύων. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η *συμβατότητα* που προέρχεται από την ανεξαρτησία των επιπέδων. Για παράδειγμα, οι ίδιες εφαρμογές μπορούν να τρέξουν σε πολύ διαφορετικά δίκτυα. Επίσης, στην περίπτωση διασύνδεσης διαφορετικών δικτύων, ένας υπολογιστής σε ένα δίκτυο μπορεί να προσπελάσει υπολογιστές σε όλα τα άλλα δίκτυα, ανεξάρτητα από τις συγκεκριμένες υλοποιήσεις των διαφορετικών δικτύων. Επειδή η συνδετικότητα αποτελεί πρωταρχικό στόχο των δικτύων επικοινωνιών, η συμβατότητα είναι ένα πολύτιμο χαρακτηριστικό.

Τα δίκτυα χρησιμοποιούν διάφορες αρχιτεκτονικές. Γενικά, οι ομοιότητες μεταξύ των διαφόρων αρχιτεκτονικών είναι περισσότερες από τις διαφορές. Παρακάτω παρουσιάζουμε τις πιο γνωστές αρχιτεκτονικές.

OSI

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, προκειμένου να προωθηθεί η συμβατότητα στη σχεδίαση των δικτύων, ο *Διεθνής Οργανισμός Προτυποποίησης (International Organization for Standardization - ISO)* πρότεινε ένα μοντέλο αρχιτεκτονικής το οποίο καλείται *μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (open systems interconnection reference model)* ή μοντέλο OSI. Το μοντέλο OSI είναι μία αρχιτεκτονική με επτά επίπεδα. Το Σχήμα 2.11 συνοψίζει τις λειτουργίες που εκτελούν τα επίπεδα.

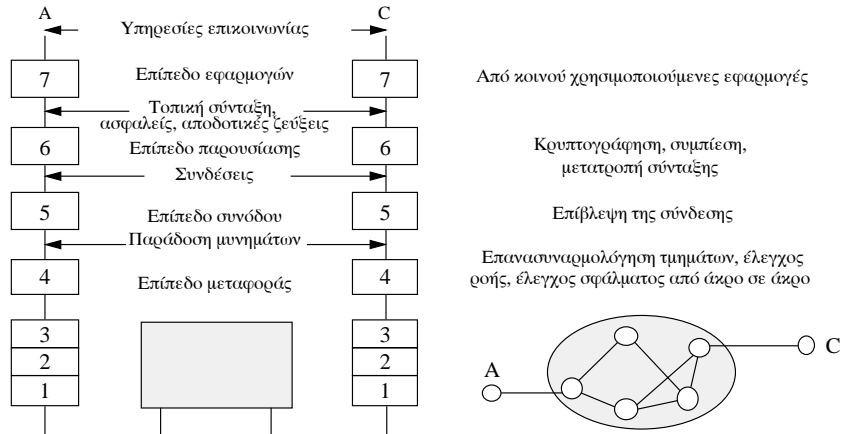
Το φυσικό επίπεδο (physical layer) υλοποιεί μία ψηφιακή ζεύξη επικοινωνίας που παραδίδει bits. Μία ζεύξη επικοινωνίας είναι πάντοτε αναξιόπιστη όσον αφορά στη σωστή μετάδοση των δεδομένων. Η ζεύξη μπορεί να είναι είτε σημείου προς σημείο (point-to-point) από έναν πομπό σε ένα δέκτη ή μπορεί να είναι διαμοιραζόμενη ανάμεσα σε έναν αριθμό από πομπούς και δέκτες.

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link layer) υλοποιεί μία υπηρεσία παράδοσης πακέτων μεταξύ κόμβων οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στην ίδια φυσική ζεύξη. Στον πομπό, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων στέλνει τα πακέτα με τη μορφή

πλαισίων έτσι ώστε ο δέκτης να είναι σε θέση να ανακτήσει τα πακέτα από τη ροή των bits. Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων μπορεί επίσης να αναλάβει την επαναμετάδοση των εσφαλμένων πακέτων.

Σχήμα 2.11

Οι λειτουργίες των επτά επιπέδων του μοντέλου OSI.



Το επίπεδο δικτύου (network layer) καθοδηγεί τα πακέτα από την πηγή στον προορισμό τους, κατά μήκος μίας διαδρομής που ενδέχεται να περιλαμβάνει έναν αριθμό από ζεύξεις. Μία τυπική μέθοδος είναι η μετάδοση με αποθήκευση και προώθηση (store-and-forward), είτε σαν αυτοδύναμα πακέτα (datagrams) είτε κατά μήκος εικονικών κυκλωμάτων.

Το επίπεδο μεταφοράς (transport layer) του μοντέλου OSI επιβλέπει τη διατεμαχτική μετάδοση των πακέτων. Το επίπεδο αυτό μπορεί να αναλάβει και την επαναμετάδοση των εσφαλμένων πακέτων. Επίσης ελέγχει το ρυθμό μεταφοράς πακέτων ώστε να αποτρέπεται η συμφόρηση τμημάτων του δικτύου.

Το επίπεδο συνόδου (session layer) χρησιμοποιεί τις υπηρεσίες του επιπέδου μεταφοράς για να εγκαθιδρύσει και να επιβλέψει συνδέσεις μεταξύ τερματικών συστημάτων.

Το επίπεδο παρουσίασης (presentation layer) του OSI ασχολείται με τη συμπίεση δεδομένων, την ασφάλεια και υλοποιεί μετατροπές στη μορφή παρουσίασης της πληροφορίας, ώστε οι κόμβοι που χρησιμοποιούν διαφορετικούς τρόπους παρουσίασης της πληροφορίας να μπορούν να επικοινωνούν αποδοτικά και με ασφάλεια.

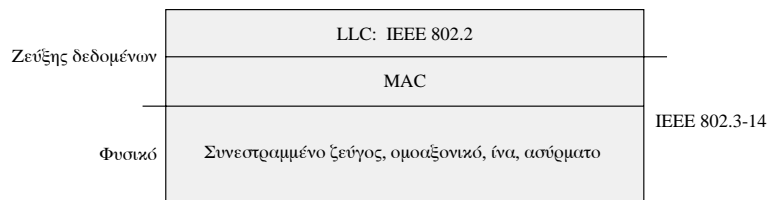
Τέλος, το επίπεδο εφαρμογών (application layer) υλοποιεί ευρέως χρησιμοποιούμενες υπηρεσίες επικοινωνιών, όπως η μεταφορά αρχείων, οι υπηρεσίες καταλόγου και τα εικονικά τερματικά (virtual terminals).

IEEE 802

Τα πρότυπα του IEEE για τα τοπικά δίκτυα είναι γνωστά σαν πρότυπα IEEE 802. Οι δραστηριότητες των ομάδων εργασίας του IEEE για την προτυποποίηση των τοπικών δικτύων συνοψίζονται στο Σχήμα 2.12. Τα επίπεδα αυτά εξετάζονται στο Κεφάλαιο 4.

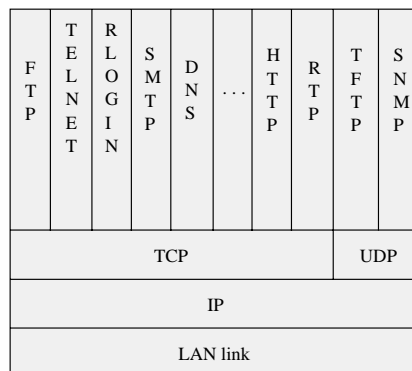
Σχήμα 2.12

Τα πρότυπα IEEE 802. Στο σχήμα αυτό φαίνονται τα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί από τις ομάδες εργασίας IEEE 802. Τα πρότυπα αυτά καθορίζουν το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο ζεύξης δεδομένων των τοπικών δικτύων. Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων (data link layer) διαχωρίζεται στο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μέσων (media access control - MAC) και στο επίπεδο ελέγχου λογικής ζεύξης (logical link control - LLC).



Σχήμα 2.13

Πρωτόκολλα του Διαδικτύου. Οι λειτουργίες του Διαδικτύου διαχωρίζονται σε τέσσερα επίπεδα.



Διαδίκτυο

Το Διαδίκτυο χρησιμοποιεί το μοντέλο που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.13. Είναι ένα μοντέλο τεσσάρων επιπέδων. Τα επίπεδα, από κάτω προς τα επάνω, παρέχουν τις ακόλουθες υπηρεσίες:

- *Επίπεδο τοπικού δικτύου ή ζεύξης (LAN or link layer):* Μεταδίδει πακέτα σε μία ζεύξη ή μεταξύ διασυνδεδεμένων τοπικών δικτύων.