

Κεφάλαιο 6

Τεχνολογίες δικτύων

- Μάθημα 6.1: Τεχνολογία σημείου προς σημείο - Μεταγωγή
- Μάθημα 6.2: Τεχνική μεταγωγής κυκλώματος - μηνύματος
- Μάθημα 6.3: Τεχνικές μεταγωγής πακέτου
- Μάθημα 6.4: Σύγκριση τεχνικών μεταγωγής
- Μάθημα 6.5: Τεχνολογίες επικοινωνιών εκπομπής - Ραδιοφωνικά δίκτυα
- Μάθημα 6.6: Τεχνολογίες επικοινωνιών εκπομπής - Δορυφορικά δίκτυα



Κεφάλαιο 6: Τεχνολογίες δικτύων



Σκοπός

Στόχος του Κεφαλαίου 6 είναι να γνωρίσει ο μαθητής την τεχνολογία σημείου προς σημείο, όπως αυτή εξειδικεύεται στα δίκτυα μεταγωγής, καθώς και τις τεχνολογίες εκπομπής, όπως αυτές εξειδικεύονται στα ασύρματα δίκτυα. Ειδικότερα, σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να αντιληφθεί ο μαθητής την έννοια της μεταγωγής και να μπορεί να διακρίνει τις ομοιότητες και τις διαφορές μεταξύ των διαφορετικών τεχνικών της. Επίσης να μπορεί να περιγράφει και να αναλύει τις βασικές αρχές των τεχνολογιών εκπομπής και να αντιλαμβάνεται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ασύρματων δικτύων.



Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Με την ολοκλήρωση της μελέτης αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής θα πρέπει:

- ✓ Να μπορεί να περιγράφει την τεχνολογία της μεταγωγής.
- ✓ Να μπορεί να αναλύει τους δυνατούς τρόπους μεταγωγής.
- ✓ Να μπορεί να συγκρίνει τις διαφορετικές τεχνικές μεταγωγής.
- ✓ Να γνωρίζει τις βασικές αρχές των τεχνολογιών εκπομπής.
- ✓ Να γνωρίζει την τεχνολογία εκπομπής των ραδιοκυμάτων.
- ✓ Να γνωρίζει την τεχνολογία εκπομπής των μικροκυμάτων.
- ✓ Να γνωρίζει την τεχνολογία των δορυφορικών εκπομπών.



Προερωτήσεις

1. Γνωρίζεις πώς επιτυγχάνεται η επικοινωνία σε ένα τηλεφωνικό δίκτυο;
2. Γνωρίζεις τους λόγους για τους οποίους η παραδοσιακή τηλεφωνική επικοινωνία δεν αποτελεί και τον πλέον ιδανικό τρόπο για μετάδοση πακέτων ψηφιακής πληροφορίας;
3. Γνωρίζεις πώς μεταφέρεται η πληροφορία στα ραδιοφωνικά δίκτυα από τον αποστολέα στον αποδέκτη;
4. Αντιλαμβάνεσαι τις ομοιότητες και τις διαφορές μεταξύ της ραδιοφωνικής και της τηλεφωνικής επικοινωνίας;
5. Κατανοείς τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα των παραδοσιακών μεθόδων επικοινωνίας (τηλεφωνική, ραδιοφωνική, τηλεοπτική);
6. Γνωρίζεις τα πλεονεκτήματα της ασύρματης επικοινωνίας;





Μάθημα 6.1: Τεχνολογία σημείου προς σημείο - Μεταγωγή

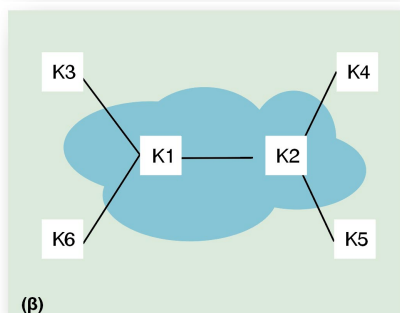
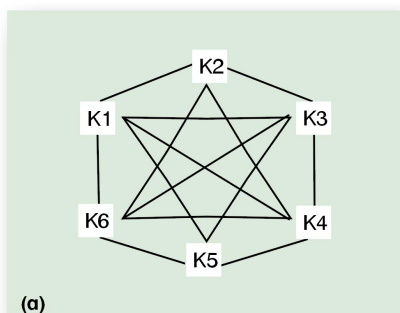
6.1.1 Δίκτυα μεταγωγής

Όπως αναφέρθηκε στο Μάθημα 4.2, για τη διασύνδεση απομακρυσμένων υπολογιστικών συστημάτων χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι σημείου προς σημείο. Η τεχνολογία που αναπτύχθηκε για τη διασύνδεση αυτού του τύπου δικτύων είναι συνυφασμένη με την έννοια της μεταγωγής. Ιστορικά, από τις τρεις μεγάλες περιόδους στις οποίες διακρίνεται η εξέλιξη της τεχνολογίας των δικτύων υπολογιστών, η τεχνολογία μεταγωγής απασχόλησε τους ειδικούς πολλά χρόνια πριν. Έτσι η τεχνική **μεταγωγής κυκλώματος** είναι η πρώτη που εμφανίστηκε και έχει τη βάση της στο τηλεφωνικό σύστημα, ενώ η τεχνική **αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής** δρομολογήθηκε από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 και αφορά δίκτυα δεδομένων. Σύγχρονες τεχνολογίες που εξασφαλίζουν μετάδοση πληροφοριών πολλών τύπων από το ίδιο μέσο (πολυμέσα) στηρίζονται σε **υβριδικές τεχνικές**, οι οποίες έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη των πρόσφατων τεχνικών *ISDN* και *ATM*.

Στα μαθήματα αυτού του κεφαλαίου θα ασχοληθούμε με την τεχνολογία της μεταγωγής, η οποία αποτέλεσε άλλωστε και το θεμέλιο για τη διασύνδεση των δικτύων δεδομένων και ιδιαίτερα για την ανάπτυξη του Διαδικτύου. Σημειώνεται ότι ως **δίκτυα μεταγωγής** μπορεί να θεωρηθούν όλα τα δίκτυα σημείου προς σημείο που εφαρμόζουν την τεχνική αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής.

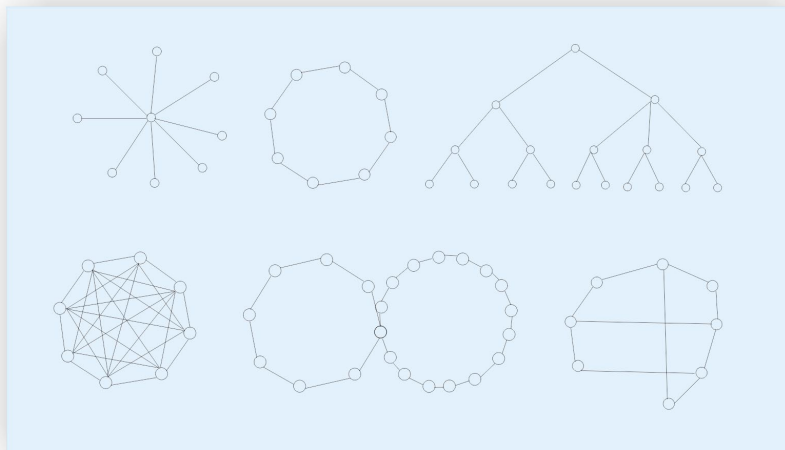
Η έννοια της μεταγωγής μπορεί να γίνει κατανοητή με το ακόλουθο παράδειγμα. Έστω ότι διασυνδέονται 6 απομακρυσμένοι κόμβοι. Αν έπρεπε να χρησιμοποιηθούν μόνο απευθείας συνδέσεις μεταξύ των κόμβων, τότε θα σχεδιαζόταν ένα δίκτυο όπως αυτό του σχήματος 6.1α, λύση με αυξημένο διαχειριστικό φόρτο. Εναλλακτικά, αναπτύχθηκαν τεχνικές **έμμεσης διασύνδεσης**, η οποία πραγματοποιείται με τη συνεργασία ενδιάμεσων κόμβων, που ονομάζονται **μεταγωγείς (switches)**.

Οι μεταγωγείς είναι εξοπλισμένοι με δύο ή περισσότερους συνδέσμους και μία από τις κύριες λειτουργίες τους είναι η προώθηση των δεδομένων που λαμβάνουν από ένα σύνδεσμά τους σε έναν άλλο. Στο σχήμα 6.1β απεικονίζεται ένα δίκτυο μεταγωγής για τη διασύνδεση 6 κόμβων. Οι δύο ενδιάμεσοι κόμβοι παίζουν το ρόλο του μεταγωγού, ενώ ο σύνδεσμος που τους ενώνει λέγεται **διαμοιρασμένος σύνδεσμος (shared link)**, αφού χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών και σε κόμβους διαφορετικούς από αυτούς που συνδέει άμεσα.



Σχήμα 6.1:

(α) Δίκτυο διασύνδεσης 6 κόμβων που χρησιμοποιεί μόνο απευθείας συνδέσεις και (β) δίκτυο μεταγωγής για την έμμεση διασύνδεση 6 κόμβων.



Σχήμα 6.2: Δίκτυα επικοινωνίας με συνδέσεις σημείου προς σημείο

Παραδείγματα δικτύων επικοινωνίας με συνδέσεις σημείου προς σημείο και με διαφορετικές τοπολογίες φαίνονται στο σχήμα 6.2.

Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας, τα δίκτυα μεταγωγής διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ✓ **δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος** (*circuit switching networks*),
- ✓ **δίκτυα μεταγωγής μηνύματος** (*message switching networks*) και
- ✓ **δίκτυα μεταγωγής πακέτου** (*packet switching networks*).

Οι συνηθέστεροι τύποι είναι αυτοί του δικτύου μεταγωγής κυκλώματος, που χρησιμοποιείται αποκλειστικά στο τηλεφωνικό δίκτυο, και του δικτύου μεταγωγής πακέτου, που χρησιμοποιείται στα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μεταγωγή, μεταγωγείς, δίκτυα μεταγωγής, μεταγωγή κυκλώματος, μεταγωγή μηνύματος, μεταγωγή πακέτου, αποθήκευση και προώθηση, σύνδεσμος, διαμοιρασμένος σύνδεσμος.





Μάθημα 6.2: Τεχνική μεταγωγής κυκλώματος - μηνύματος

6.2.1 Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος

Στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος (*circuit switching networks*) η μετάδοση δεδομένων είναι εφικτή μόνο μετά την εγκατάσταση μιας φυσικής ζεύξης - κυκλώματος μεταξύ δύο κόμβων. Η μετάδοσή τους είναι **διαφανής** (*transparent*), με την έννοια ότι τα δεδομένα δεν υποβάλλονται σε καμία επεξεργασία κατά τη διέλευσή τους από το δίκτυο. Αυτό το κύκλωμα παραμένει ενεργό σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας των κόμβων, ακόμα και όταν αυτοί δεν ανταλλάσσουν δεδομένα.

Η τεχνική μεταγωγής κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε πρωταρχικά στο τηλεφωνικό δίκτυο για τη μετάδοση της φωνής, όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη μετάδοση δεδομένων. Κάθε κέντρο υποστηρίζει έναν αριθμό γραμμών και περιέχει έναν πίνακα που μπορεί να υποστηρίξει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Χαρακτηριστικό ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι κάθε κέντρο μπορεί να εξυπηρετήσει ένα συγκεκριμένο αριθμό χρηστών.

Παράδειγμα I

Όταν υπάρχει κλήση για κάποιον συνδρομητή του ΟΤΕ, αυτή μεταφέρεται από κέντρο σε κέντρο σταδιακά, μέχρι να εντοπιστεί η συσκευή του συνδρομητή. Από τη στιγμή που αυτός απαντήσει, δημιουργείται ένα φυσικό κανάλι επικοινωνίας, το οποίο παραμένει ανοικτό όσο κρατά η συνδιάλεξη.

Ανάλογη είναι και η συμπεριφορά ενός δικτύου μεταγωγής κυκλώματος για τη μετάδοση δεδομένων. Όταν ένας υπολογιστής καλεί κάποιον άλλο, η κλήση προωθείται τμηματικά από κόμβο σε κόμβο, μέχρι να φτάσει στο δέκτη. Αν ο δέκτης θέλει να επικοινωνήσει, απαντά θετικά στην πρόσκληση, οπότε και δημιουργείται μια αποκλειστική φυσική ζεύξη μεταξύ των δύο μερών για όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας τους.

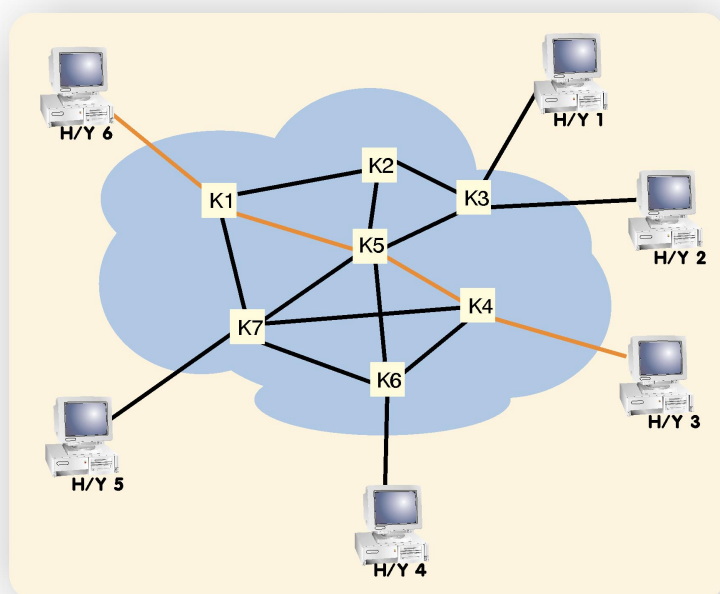
Παράδειγμα II

Στο σχήμα 6.3 ο Η/Υ 6 θέλει να επικοινωνήσει με τον Η/Υ 3. Ας υποθέσουμε ότι η σύνδεση μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας το υποδίκτυο των κόμβων Κ1 έως Κ7, μέσω κάποιου συνδυασμού συνδέσεων μεταξύ των κόμβων.

Ο Η/Υ 6 στέλνει το σχετικό αίτημα μέσω του κόμβου Κ1. Βασισμένος σε ορισμέ-



Όταν ο αριθμός των κλήσεων ξεπεράσει τον αριθμό των γραμμών που μπορεί να εξυπηρετήσει ένα κέντρο, τότε μερικές από αυτές τις κλήσεις μπλοκάρονται και δεν προωθούνται. Για παράδειγμα, σε όλους μας έχει συμβεί, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις έκτακτων αναγκών, να ακούσουμε το μήνυμα της εταιρείας παροχής τηλεφωνικών υπηρεσιών (ΟΤΕ, Panafon, Telestet) ότι το δίκτυο είναι υπερφορτωμένο και δεν μπορεί να μας εξυπηρετήσει. Για να μπορέσει το κέντρο να εξυπηρετήσει άλλες κλήσεις, θα πρέπει να ελευθερωθούν κάποιες κατειλημμένες γραμμές.



Σχήμα 6.3: Παράδειγμα δικτύου μεταγωγής κυκλώματος. Η μετάδοση είναι εφικτή μόνο μετά την εγκατάσταση του κυκλώματος μεταγωγής H/Y 6 - K1 - K5 - K4 - H/Y 3, το οποίο παραμένει ενεργό σε όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας και αποδεσμεύεται με τον τερματισμό της.

να κριτήρια, ο κόμβος K1 μεταδίδει την πληροφορία μέσω του συνδέσμου K1 - K5. Αν ο διαμοιρασμένος σύνδεσμος K1 - K5 έχει διαθέσιμο κανάλι, αυτό δεσμεύεται και το αίτημα προωθείται στον κόμβο K5. Με τον ίδιο τρόπο ο K5 επιλέγει να προωθήσει το αίτημα του H/Y 6, μέσω του κόμβου K4, καταλαμβάνοντας ένα από τα κανάλια σύνδεσής του μ' αυτόν. Ο κόμβος K4 προωθεί το αίτημα του H/Y 6 στον H/Y 3, ο οποίος, αν είναι διαθέσιμος, δέχεται το αίτημα, και οι δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές μπορούν να αρχίσουν την επικοινωνία τους.

Το κύκλωμα επικοινωνίας που δημιουργείται (H/Y 6 - K1 - K5 - K4 - H/Y 3) διατίθεται αποκλειστικά στους δύο υπολογιστές που το χρησιμοποιούν, σαν να υπήρχε μία και μόνο γραμμική σύνδεση, χωρίς τίποτα να παρεμβάλλεται μεταξύ τους. Μόλις τα δύο μέρη αποφασίσουν να τερματίσουν την επικοινωνία, ειδοποιούνται ταυτόχρονα οι ενδιαμέσοι κόμβοι, για να διακόψουν και αυτοί τη μεταξύ τους σύνδεση, απελευθερώνοντας τα κανάλια τους για κάποιες άλλες συνδέσεις. Αν οι δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές θελήσουν να επικοινωνήσουν και πάλι στο μέλλον, δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί η ίδια διαδρομή, για να επιτευχθεί η σύνδεσή τους.



Η επικοινωνία με τη χρήση μεταγωγής κυκλώματος περιλαμβάνει τρεις φάσεις:

- ✓ **Εγκατάσταση φυσικής ζεύξης.** Σ' αυτή τη φάση γίνεται η δέσμευση των φυσικών συνδέσεων που θα αποτελέσουν το κανάλι επικοινωνίας ανάμεσα στους δύο σταθμούς.
- ✓ **Μετάδοση δεδομένων.** Σ' αυτή τη φάση γίνεται η μετάδοση των δεδομένων ανάμεσα στους δύο σταθμούς. Η μετάδοση μπορεί να είναι ψηφιακή ή αναλογική, ανάλογα με τη φύση του δικτύου. Γενικά, η σύνδεση που επιτυγχάνεται παρέχει τη δυνατότητα να μεταδοθούν δεδομένα και προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα (*full-duplex*).
- ✓ **Αποσύνδεση.** Η σύνδεση ανάμεσα στους δύο σταθμούς τερματίζεται μετά από απαίτηση ενός από τους δύο σταθμούς, οπότε και αποδεσμεύονται οι φυσικές ζεύξεις.

Σημειώνεται ότι, σε περίπτωση που έχουν δεσμευτεί πολλά κυκλώματα για κάποιο χρονικό διάστημα, είναι ενδεχόμενο να μην μπορούν να πραγματοποιηθούν νέες συνδέσεις λόγω κάλυψης του συνολικού αριθμού των συνδέσεων που έχουν τη δυνατότητα να εξυπηρετήσουν οι κόμβοι (μεταγωγείς). Επίσης πρέπει να τονιστεί πως η χωρητικότητα των συνδέσεων που χρησιμοποιούνται στη μεταγωγή κυκλώματος είναι δεσμευμένη για όλη τη διάρκεια της σύνδεσης, ακόμη και αν δε μεταδίδονται δεδομένα. Αυτό είναι σημαντικό, αφού οι συνδέσεις για τη μετάδοση φωνής, συνήθως δε χρησιμοποιούν 100% τη διαθέσιμη χωρητικότητα, ενώ οι συνδέσεις για τη μετάδοση δεδομένων μπορεί να μένουν αδρανείς για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Επιπλέον υπάρχει και η καθυστέρηση που οφείλεται στην εγκατάσταση του κυκλώματος επικοινωνίας, πριν αρχίσει η μετάδοση δεδομένων. Βέβαια, από τη στιγμή που θα εγκατασταθεί η σύνδεση, η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με συγκεκριμένο ρυθμό και η μόνη καθυστέρηση που παρατηρείται οφείλεται στο χρόνο μετάδοσης των μέσων που αποτελούν τις συνδέσεις του κυκλώματος.

6.2.2 Δίκτυα μεταγωγής μηνύματος

Η **μεταγωγή μηνύματος** (*message switching*) είναι η τεχνική κατά την οποία ο πομπός οργανώνει την πληροφορία που θέλει να στείλει στο δέκτη σε ένα μήνυμα, που περιέχει τη διεύθυνση του παραλήπτη. Στη συνέχεια το μήνυμα παραδίδεται στο δίκτυο, το οποίο αναλαμβάνει την αποστολή του στον αποδέκτη. Σ' αυτή την περίπτωση το δίκτυο δεν εγκαθιστά ένα φυσικό κανάλι μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη, αλλά η αποστολή του μηνύματος γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο.

Το μήνυμα αποστέλλεται από τον πομπό στο δέκτη περνώντας από έναν ή περισσότερους ενδιάμεσους κόμβους (σχήμα 6.4). Κάθε κόμβος λαμβάνει ολόκληρο το μήνυμα, το αποθηκεύει και, μόλις βρει την κατάλληλη ευκαιρία, το αποστέλλει στον αμέσως επόμενο κόμβο που θεωρεί ότι είναι η καλύτερη επιλογή για να φτάσει αυτό σύντομα και με ασφάλεια στον προορισμό του.

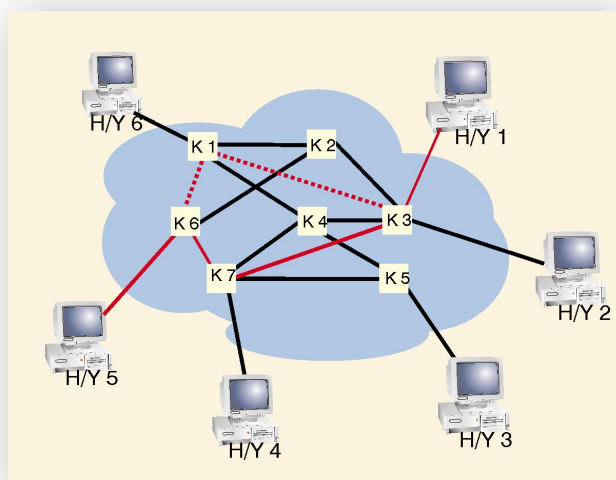
Η τεχνική αυτή, λόγω του ότι κάθε μήνυμα αρχικά αποθηκεύεται σε έναν κόμβο και στη συνέχεια προωθείται στον επόμενο, ονομάζεται τεχνική **αποθήκευσης και προώ-**



θησης (*store and forward*). Ο τρόπος με τον οποίο η πληροφορία προωθείται στον προορισμό της προϋποθέτει κόμβους με αυξημένες δυνατότητες αποθήκευσης, καθώς θα πρέπει να αποθηκεύουν όλα τα μηνύματα που λαμβάνουν από γειτονικούς κόμβους, μέχρι να βρουν την κατάλληλη ευκαιρία να τα προωθήσουν.

Παράδειγμα III

Στο σχήμα 6.4 ο Η/Υ 1 επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον Η/Υ 5. Οργανώνει την πληροφορία που θέλει να αποστείλει σε ένα μήνυμα προσαρτώντας και τη διεύθυνση του Η/Υ 5. Σε πρώτη φάση το μήνυμα αποστέλλεται στον κόμβο Κ3. Ο Κ3, αφού λάβει όλο το μήνυμα, το αποθηκεύει και στη συνέχεια, μόλις βρει ελεύθερο κανάλι, το προωθεί στον κόμβο Κ7. Ο Κ7 με τη σειρά του το προωθεί στον Κ6 και αυτός στον τελικό παραλήπτη, που είναι ο Η/Υ 5. Αν ο Η/Υ 5 για κάποιους λόγους είναι εκτός λειτουργίας, το μήνυμα παραμένει αποθηκευμένο στον κόμβο Κ6, μέχρι ο Η/Υ 5 να λειτουργήσει και πάλι. Τέλος, αν για κάποιους λόγους ο κόμβος Κ3 δεν μπορεί να βρει ελεύθερο τον Κ7, τότε είναι δυνατόν να προωθήσει το μήνυμα μέσω του κόμβου Κ1 (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) και το μήνυμα να ακολουθήσει ένα διαφορετικό δρομολόγιο, μέχρι να φτάσει στον προορισμό του.



Σχήμα 6.4: Παράδειγμα σύνδεσης με μεταγωγή μηνύματος. Η μετάδοση γίνεται μέσω της διαδρομής Η/Υ 1 - Κ 3 - Κ 7 - Κ 6 - Η/Υ 5 και εναλλακτικά, αν ο κόμβος Κ 7 δε λειτουργεί, μέσω της διαδρομής Η/Υ 1 - Κ 3 - Κ 1 - Κ 6 - Η/Υ 5. Κάθε σύνδεσμος παραμένει ενεργός μόνο κατά τη διάρκεια της μετάδοσης των κόμβων του.

Αναλυτική σύγκριση των τεχνικών μεταγωγής θα γίνει στα παρακάτω κεφάλαια, όμως εδώ αξίζει να επισημανθεί μια σημαντική διαφορά μεταξύ της μεταγωγής κυκλώματος και της μεταγωγής μηνύματος, που γίνεται αμέσως αντιληπτή από τα παραπάνω παραδείγματα (II και III). Η διαφορά αυτή έγκειται στο ότι, για να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών με την τεχνική της μεταγωγής



κυκλώματος, πρέπει ο παραλήπτης να είναι σε θέση να δεχτεί την κλήση, αντίθετα με την τεχνική της μεταγωγής μηνύματος στην οποία αυτό δεν είναι αναγκαίο. Σ' αυτή την περίπτωση, αν ο παραλήπτης δεν είναι διαθέσιμος, το μήνυμα φυλάσσεται στον τελευταίο κόμβο με τον οποίο αυτός συνδέεται και παραλαμβάνει το μήνυμα, μόλις η σύνδεσή του με τον κόμβο γίνει εφικτή.



Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μεταγωγή, δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος, τεχνική αποθήκευσης και προώθησης, δίκτυο μεταγωγής μηνύματος, εγκατάσταση φυσικής ζεύξης, αποσύνδεση.



Μάθημα 6.3: Τεχνικές μεταγωγής πακέτου

6.3.1 Δίκτυα μεταγωγής πακέτου

Στα **δίκτυα μεταγωγής πακέτων** τα δεδομένα χωρίζονται σε μικρότερα τμήματα πριν από τη μετάδοσή τους. Αυτά τα τμήματα δεδομένων ονομάζονται **πακέτα** (*packets*). Το μέγεθος κάθε πακέτου ποικίλλει, αλλά ένα τυπικό ανώτατο όριο μήκους είναι οι 1.000 χαρακτήρες (*bytes*) ή οκτάδες δυαδικών ψηφίων (*octets*). Μικρά σε μέγεθος πακέτα (128 έως 256 δυαδικών ψηφίων) είναι συνήθως προτιμότερα, προκειμένου να ελέγχεται καλύτερα η κυκλοφορία στο δίκτυο.

Κάθε πακέτο περιέχει ένα τμήμα του μηνύματος προς αποστολή και επιπλέον πληροφορίες ελέγχου. Οι πληροφορίες ελέγχου είναι απαραίτητες, γιατί επιτρέπουν τη σωστή δρομολόγηση του πακέτου μέσα στο δίκτυο, έτσι ώστε να φτάσει στο σωστό προορισμό. Όταν τα πακέτα φτάσουν στον κόμβο προορισμού, τα αρχικά δεδομένα που περιέχουν επανασυνθέτονται. Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων χρειάζεται να έχουν ικανότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης, για να προωθούν τα πακέτα, αλλά και για να τα αποθηκεύουν προσωρινά, αν χρειαστεί, μέχρι να βρουν την καταλληλότερη διαδρομή.

Η τεχνική που ακολουθείται για τη μετάδοση των πακέτων είναι γνωστή από το Μάθημα 6.1 και λέγεται τεχνική αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής. Σύμφωνα μ' αυτήν, τα πακέτα στέλνονται συνεχόμενα στο δίκτυο, χωρίς να εγκαθίσταται εκ των προτέρων κάποια μόνιμη σύνδεση ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη, όπως γίνεται στη μεταγωγή κυκλώματος. Στη μεταγωγή πακέτου αυτά κυκλοφορούν μέσα στο δίκτυο από κόμβο σε κόμβο, αποθηκεύονται προσωρινά σε κάθε ενδιάμεσο κόμβο και στη συνέχεια προωθούνται στον επόμενο.

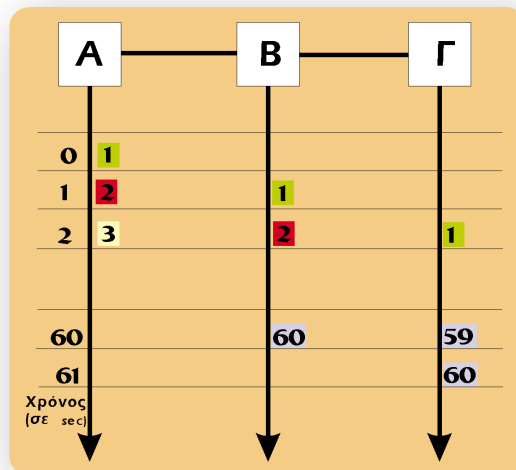
Παράδειγμα IV

Έστω ότι θέλουμε να μεταδώσουμε, μέσω του δικτύου μεταγωγής πακέτων του σχήματος 6.5, ένα αρχείο δεδομένων από τον κόμβο Α στον κόμβο Γ. Αν οι χρόνοι μετάδοσης του αρχείου από τον Α στο Β κόμβο και από το Β στο Γ κόμβο είναι ίδιοι και ίσοι με 60 sec, τότε ο συνολικός χρόνος μετάδοσης θα είναι ίσος με 120 sec.

Αν χωριστεί το αρχείο σε 60 ισομεγέθη πακέτα, τότε ο χρόνος μετάδοσης ενός πακέτου από τον Α στο Β ή από το Β στο Γ κόμβο θα είναι ίσος με 1 sec. Στο 1ο sec το πρώτο πακέτο του αρχείου θα σταλεί από τον Α στο Β κόμβο. Στο 2ο sec το δεύτερο πακέτο θα σταλεί από τον Α στο Β κόμβο, ενώ ταυτόχρονα το πρώτο πακέτο θα σταλεί από το Β στο Γ κόμβο. Έτσι ο συνολικός χρόνος μετάδοσης του αρχείου θα είναι ίσος με 61 sec. Η εξοικονόμηση στο χρόνο μετάδοσης των πακέτων θα είναι μεγαλύτερη όσο περισσότεροι είναι οι ενδιάμεσοι κόμβοι.



Η ύπαρξη άμεσου ή έμμεσου τρόπου διασύνδεσης μεταξύ των υπολογιστών ενός δικτύου δεν επαρκεί για την επίτευξη της επικοινωνίας τους. Μία επιπλέον απαίτηση είναι η εκχώρηση μίας μοναδικής **διεύθυνσης** σε κάθε κόμβο του δικτύου, ικανής να τον διαφοροποιεί από τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου.



Σχήμα 6.5: Μετάδοση με αποθήκευση και προώθηση. Τα πακέτα αποστέλλονται συνεχόμενα στο δίκτυο και έτσι μειώνεται ο απαιτούμενος χρόνος μετάδοσης της πληροφορίας.

Η τεχνική αυτή έχει αποδειχτεί εξαιρετικά αποδοτική. Τα πλεονεκτήματά της είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Η αποδοτικότητα της γραμμής είναι πολύ καλύτερη, αφού κάθε σύνδεση από κόμβο σε κόμβο μπορεί να μοιραστεί συγχρόνως και δυναμικά σε πολλές ροές πακέτων.
- ✓ Μπορούν να διασυνδεθούν μεταξύ τους σταθμοί με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης, αφού ο κάθε σταθμός συνδέεται με το δίκτυο στο ρυθμό που επιθυμεί και μπορεί να επιτύχει.
- ✓ Δεν απορρίπτονται πακέτα, όταν υπάρχει μεγάλος φόρτος στο δίκτυο, μειώνεται όμως η απόδοση του δικτύου.

Μπορεί να δοθεί προτεραιότητα στη μετάδοση ορισμένων πακέτων. Αυτό σημαίνει πως, αν υπάρχουν αποθηκευμένα σε κάποιον κόμβο του δικτύου πακέτα που περιμένουν να μεταδοθούν, ο κόμβος μπορεί να μεταδώσει πρώτα αυτά τα πακέτα που έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα. Έτσι αυτά θα μεταδοθούν πιο σύντομα από τα πακέτα με χαμηλότερη προτεραιότητα.

Γενικά, υπάρχουν δύο τεχνικές μεταγωγής πακέτου. Η πρώτη είναι η τεχνική των **αυτοδύναμων πακέτων** (*datagrams*) και η δεύτερη των **νοητών κυκλωμάτων** (*virtual circuits*). Στην πρώτη περίπτωση το δίκτυο χειρίζεται κάθε πακέτο ανεξάρτητα, ενώ στη δεύτερη εγκαθίσταται μια νοητή σύνδεση μεταξύ των δύο κόμβων που πρόκειται να επικοινωνήσουν.



Όταν ένας χρήστης του δικτύου θέλει να μεταβιβάσει κάποια πληροφορία σε ένα συγκεκριμένο προορισμό στο δίκτυο, τότε πρέπει να προσδιορίσει τη διεύθυνση του αντίστοιχου κόμβου. Η διεύθυνση προορισμού καταγράφεται σε καθένα από τα μεταδιδόμενα πακέτα. Εάν ο αποστολέας και ο παραλήπτης δεν είναι άμεσα συνδεδεμένοι μεταξύ τους, τότε οι ενδιάμεσοι μεταγωγείς του δικτύου χρησιμοποιούν τη διεύθυνση του κόμβου προορισμού, για να αποφασίσουν από ποιον σύνδεσμο τους θα προωθήσουν τα μεταδιδόμενα πακέτα. Αυτή η διαδικασία επιλογής του συνδέσμου προώθησης των πακέτων στους μεταγωγείς ονομάζεται **δρομολόγηση** (*routing*).



6.3.2 Δίκτυα μεταγωγής με αυτοδύναμα πακέτα

Πιο αναλυτικά, η αρχή λειτουργίας των δικτύων μεταγωγής με αυτοδύναμα πακέτα έχει ως ακολούθως. Κάθε πακέτο που φτάνει σε έναν ενδιαμέσο κόμβο αντιμετωπίζεται ανεξάρτητα από τα άλλα. Ο κόμβος αποφασίζει εκείνη τη στιγμή ποιος είναι ο συντομότερος και καταλληλότερος δρόμος για να προωθηθεί το πακέτο στον προορισμό του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην ακολουθούν όλα τα πακέτα την ίδια διαδρομή, καθώς, όταν φτάνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σε κάποιον κόμβο, είναι πιθανόν οι συνθήκες στο δίκτυο να είναι διαφορετικές. Μπορεί δηλαδή, ενώ κάποια πακέτα έχουν ήδη προωθηθεί σε έναν κόμβο, η κίνηση σ' αυτή την περιοχή του δικτύου να μεταβλήθηκε ξαφνικά, οπότε τα πακέτα που ακολουθούν να προωθηθούν στον προορισμό τους μέσω ενός άλλου κόμβου που εκείνη τη στιγμή θεωρείται καταλληλότερος. Επομένως, επειδή οι μεταγωγείς του δικτύου επιλέγουν το σύνδεσμο προώθησης κάθε πακέτου της ροής δεδομένων ξεχωριστά, τα πακέτα μπορεί να ακολουθήσουν διαφορετικές διαδρομές κατά τη διέλευσή τους από το δίκτυο.

Ένα ανάλογο παράδειγμα του μοντέλου που εξετάζουμε μπορούμε να βρούμε στο ταχυδρομικό δίκτυο, όπου τα γράμματα που στέλνουμε στον ίδιο παραλήπτη αντιμετωπίζονται ξεχωριστά από την ταχυδρομική υπηρεσία και μπορεί να φτάσουν στον προορισμό τους ακολουθώντας διαφορετικές διαδρομές.

Τυπικό παράδειγμα δικτύου μεταγωγής πακέτων είναι το Διαδίκτυο.

Παράδειγμα V

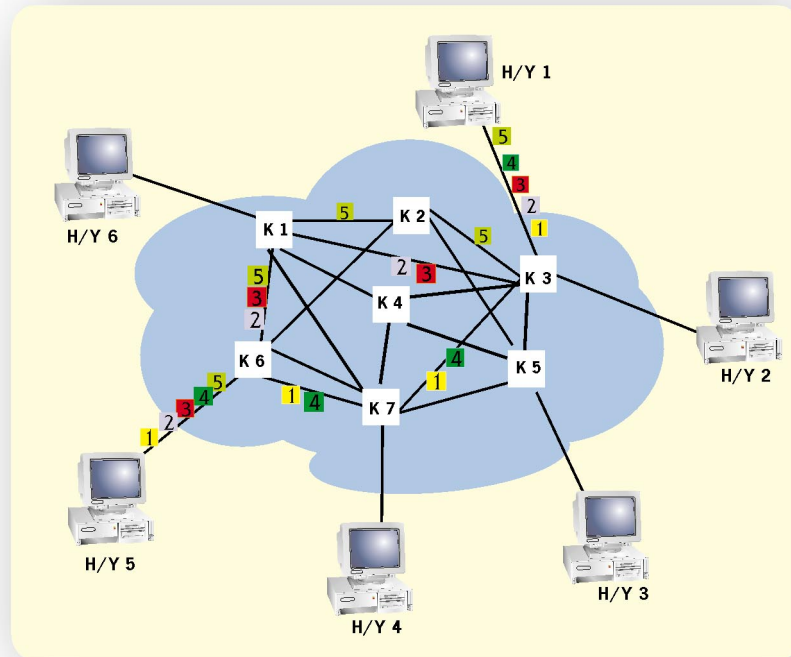
Στο σχήμα 6.6 ο Η/Υ 1 επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον Η/Υ 5. Χωρίζει την πληροφορία που θέλει να αποστείλει σε πακέτα προσαρτώντας σε καθένα από αυτά τη διεύθυνση του Η/Υ 5. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι έχουμε 5 πακέτα, τα 1, 2, 3, 4 και 5. Αρχικά όλα τα πακέτα αποστέλλονται στον κόμβο Κ3. Ο Κ3 προωθεί κάθε πακέτο στον προορισμό του στέλνοντάς το στον καταλληλότερο γειτονικό του κόμβο.

Ο κόμβος Κ3 προωθεί το πακέτο 1 (κίτρινο χρώμα) μέσω της διαδρομής Κ3 - Κ7 - Κ6 - Η/Υ 5. Για το πακέτο 2 (μωβ χρώμα) αλλάζει γνώμη για κάποιους λόγους, για παράδειγμα λόγω υπερφόρτωσης της γραμμής που οδηγεί στον Κ7, και γι' αυτό το στέλνει μέσω της διαδρομής Κ3 - Κ1 - Κ6 - Η/Υ 5. Το πακέτο 3 (κόκκινο χρώμα) το στέλνει μέσω της ίδιας διαδρομής Κ3 - Κ1 - Κ6 - Η/Υ 5, γιατί οι συνθήκες παραμένουν οι ίδιες. Το πακέτο 4 (πράσινο χρώμα) αποφασίζει να το στείλει και πάλι μέσω της διαδρομής Κ3 - Κ7 - Κ6 - Η/Υ 5, γιατί στην παρούσα φάση φαίνεται να είναι ο συμφερότερος δρόμος, για να φτάσει το πακέτο στον προορισμό του. Τέλος, το πακέτο 5 (πράσινο ανοικτό χρώμα) το στέλνει μέσω μιας νέας διαδρομής, της Κ3 - Κ2 - Κ1 - Κ6 - Η/Υ 5, γιατί οι συνθήκες άλλαξαν πάλι. Τελικά όλα τα πακέτα παραλαμβάνονται από τον παραλήπτη. Στην περίπτωση που δε φτάσουν με τη σωστή σειρά, ο παραλήπτης έχει τη δυνατότητα να επανασυναρμολογήσει την πληροφορία συνθέτοντας τα πακέτα με τη σωστή σειρά.

Φυσικά κάθε άλλος ενδιαμέσος κόμβος μπορεί να αλλάξει τη διαδρομή ενός πα-



κέτου, πράγμα που σημαίνει ότι ο κόμβος Κ3 δεν αποφασίζει οριστικά για όλη τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το πακέτο. Κάθε κόμβος αποφασίζει οριστικά μόνο για τον αμέσως επόμενο σταθμό στον οποίο θα προωθήσει το πακέτο, με βάση τις πληροφορίες που διαθέτει εκείνη τη στιγμή για την καταλληλότερη διαδρομή.



Σχήμα 6.6: Παράδειγμα σύνδεσης με μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου

6.3.3 Δίκτυα μεταγωγής πακέτων με νοητά κυκλώματα

Εάν οι μεταγωγείς του δικτύου δρομολογούν τα πακέτα μιας ροής δεδομένων από τον ίδιο πάντα σύνδεσμο, τότε το δίκτυο ονομάζεται **δίκτυο μεταγωγής πακέτων με νοητά κυκλώματα** (*packet switched virtual circuits network*). Ως **ροή δεδομένων** (*data flow*) ορίζεται η ακολουθία πακέτων που έχουν τον ίδιο αποστολέα και τον ίδιο παραλήπτη. Σ' αυτή την περίπτωση σκιαγραφείται στο δίκτυο ένα **νοητό κύκλωμα** (*virtual circuit*). Η διαδικασία εγκατάστασης του νοητού κυκλώματος προηγείται της μεταφοράς των δεδομένων και είναι ανάλογη μ' αυτήν των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος.

Η **μεταγωγή νοητού κυκλώματος** (*virtual circuit switching*) είναι η τεχνική κατά την οποία ο πομπός οργανώνει την πληροφορία που θέλει να στείλει στο δέκτη σε πακέτα, τα οποία περιέχουν τη διεύθυνση του παραλήπτη. Στη συνέχεια δημιουργείται ένα νοη-



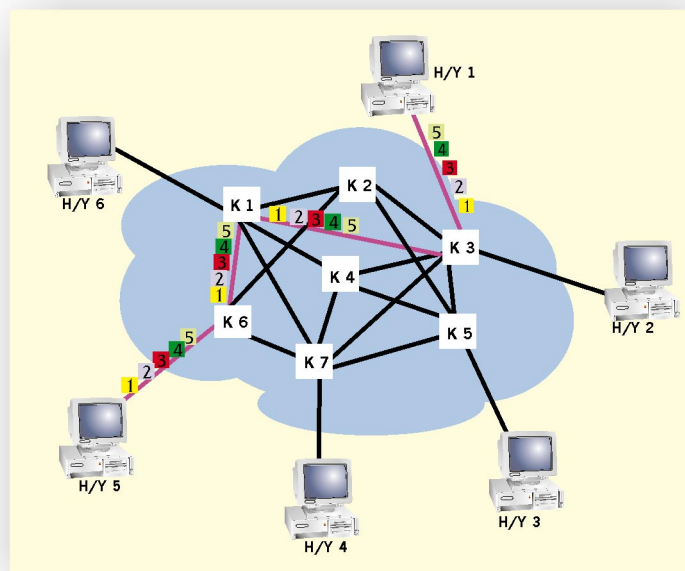
τό κύκλωμα μεταξύ των δύο κόμβων που επιθυμούν να επικοινωνήσουν και τα πακέτα στέλνονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, ακολουθούν όμως την ίδια διαδρομή.

Πρόκειται για μια τεχνική που συνδυάζει τη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου και τη μεταγωγή κυκλώματος. Η διαφορά είναι ότι δεν εγκαθίσταται ένα πραγματικό φυσικό κανάλι επικοινωνίας μεταξύ των δύο ηλεκτρονικών υπολογιστών που θέλουν να επικοινωνήσουν, αλλά ένα νοητό κανάλι, με την έννοια ότι όλα τα πακέτα θα περάσουν από την ίδια διαδρομή, όπως συμβαίνει δηλαδή με τα δεδομένα στην περίπτωση της μεταγωγής κυκλώματος. Η διαφορά της με τη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου είναι ότι κάθε κόμβος, από τη στιγμή που επιλεγεί η διαδρομή, στέλνει όλα τα πακέτα εκεί και δεν αποφασίζει για κάθε πακέτο ποια είναι η καταλληλότερη διαδρομή.

Η μέθοδος μεταγωγής νοητού κυκλώματος χρησιμοποιεί τη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου για την παρουσίαση της πληροφορίας (πακέτα) στο δίκτυο, όπως επίσης και τη μεταγωγή κυκλώματος για τον τρόπο που μεταφέρονται τα πακέτα αυτά μέσα από το δίκτυο.

Παράδειγμα VI

Στο σχήμα 6.7 ο Η/Υ 1 επιθυμεί να επικοινωνήσει με τον Η/Υ 5. Αρχικά ο Η/Υ 1 στέλνει μια αίτηση επικοινωνίας στον Η/Υ 5 μέσω του κόμβου Κ3. Ο Κ3 προωθεί το αίτημα, διαλέγοντας εκείνη τη στιγμή ως καταλληλότερη διαδρομή τον κόμβο Κ1, ο οποίος με τη σειρά του στέλνει το αίτημα στον κόμβο Κ6 και αυτός τελικά στον Η/Υ 5. Αν ο Η/Υ 5 είναι σε θέση να επικοινωνήσει, στέλνει μια θετική απάντηση στον Η/Υ 1 μέσω της ίδιας διαδρομής, δηλαδή μέσω των κόμβων Κ6, Κ1, Κ3. Έκτοτε οι πληροφορίες που ανταλλάσσουν οι δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές περνούν από το νοητό αυτό κύκλωμα (Η/Υ 1 - Κ3 - Κ1 - Κ6 - Η/Υ 5, χρώμα μωβ) υπό μορφή πακέτων, μέχρι το τέλος της επικοινωνίας. Η επικοινωνία μπορεί να διακοπεί, όταν κάποιος από τους δύο ηλεκτρονικούς υπολογιστές θελήσει να την τερματίσει, στέλνοντας ένα σχετικό αίτημα.

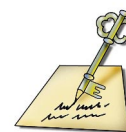


Σχήμα 6.7: Παράδειγμα σύνδεσης με μεταγωγή νοητού κυκλώματος

Συνήθως η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται από τα δημόσια δίκτυα, για τα οποία θα μιλήσουμε αναλυτικότερα στην Ενότητα Ε.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μεταγωγή, δίκτυο μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου, δίκτυο μεταγωγής πακέτου με νοητά κυκλώματα.





Μάθημα 6.4: Σύγκριση τεχνικών μεταγωγής

Τα δίκτυα μεταγωγής που περιγράψαμε στα προηγούμενα μαθήματα προσφέρονται συνήθως από τις δημόσιες εταιρείες τηλεπικοινωνιών, όπως είναι για παράδειγμα ο ΟΤΕ στην Ελλάδα, η ΒΤ στη Βρετανία, η France Telecom στη Γαλλία, η AT&T στις Η.Π.Α. και άλλοι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί σε όλες τις χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Μερικά από αυτά τα δίκτυα είναι το *HellasPack* στην Ελλάδα, το *EPSS* στη Βρετανία, το *TransPack* στη Γαλλία, το *Sprint* στις Η.Π.Α., το *AustPack* στην Αυστραλία κ.ά.

Τα δίκτυα μεταγωγής αποτελούνται από κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να δίνουν πάντα την ευκαιρία εναλλακτικών διαδρομών στις πληροφορίες που μεταφέρονται στο δίκτυο. Η σύνδεση των κόμβων γίνεται είτε με κάποιον ηλεκτρονικό υπολογιστή ή τοπικό δίκτυο είτε μόνο με άλλους κόμβους, οι οποίοι παίζουν το ρόλο ενός ενδιάμεσου σταθμού που θα αποθηκεύσει και θα προωθήσει την πληροφορία στον προορισμό της.

Κοινό χαρακτηριστικό των δικτύων μεταγωγής είναι η δυνατότητα που έχει κάθε χρήστης να καλέσει το συνομιλητή του, όπως ακριβώς γίνεται και με τις τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, κάτι που δε συναντάμε στα δίκτυα εκπομπής, όπως θα δούμε σε επόμενα μαθήματα. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος είναι η κατάληψη της γραμμής για όση ώρα διαρκεί η επικοινωνία των δύο μερών. Όπως γνωρίζουμε και από τις τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, κατά τη διάρκεια της συνομιλίας δε γίνεται συνεχώς μεταφορά κάποιου μηνύματος από τον ένα συνομιλητή στον άλλο, η γραμμή όμως παραμένει ανοικτή. Με απλά λόγια αυτό σημαίνει ότι στις τηλεφωνικές συνδιαλέξεις μεταδίδονται και οι παύσεις της συνομιλίας. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση μεταφοράς δεδομένων μέσα από ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος. Παρ' ότι υπάρχει η φυσική σύνδεση μεταξύ των δύο μερών που επικοινωνούν, δε μεταφέρονται δεδομένα συνεχώς. Μάλιστα ο χρόνος που το κανάλι παραμένει κενό από δεδομένα θεωρείται αρκετά μεγάλος, γεγονός που καταγράφεται ως μειονέκτημα των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος.

Όταν η κίνηση στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος είναι αυξημένη, παρατηρείται το φαινόμενο να μη γίνονται δεκτές κλήσεις για επικοινωνία, καθώς δεν υπάρχει διαθέσιμο κανάλι, για να επιτευχθεί η σύνδεση. Αντίθετα, σε όλα τα άλλα δίκτυα μεταγωγής η πληροφορία, είτε σε μορφή μηνύματος είτε σε μορφή πακέτου, θα γίνει δεκτή από το δίκτυο και, σε περίπτωση αυξημένης κίνησης, θα παραμείνει αποθηκευμένη σε κάποιον κόμβο, μέχρι ο κόμβος να βρει ευκαιρία να την προωθήσει στον προορισμό της. Παρ' όλα αυτά στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν όλη τη διαθέσιμη χωρητικότητα της γραμμής, καθώς δεν τη μοιράζονται με άλλους, αφού το φυσικό κανάλι είναι αποκλειστικά δεσμευμένο γι' αυτούς και δεν υπάρχουν τεχνικές πολυπλεξίας.

Συνοψίζοντας, για να επικοινωνήσουν μέσω δικτύου μεταγωγής κυκλώματος δύο υπολογιστές, πρέπει και οι δύο να είναι άμεσα διαθέσιμοι, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα



δίκτυα μεταγωγής στα οποία τα δεδομένα φυλάσσονται σε κάποιον κόμβο και στέλνονται στον παραλήπτη το συντομότερο δυνατόν, μόλις αυτός μπορέσει να επικοινωνήσει με το δίκτυο.

Επίσης στα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος η μεταφορά δεδομένων από τον αποστολέα στον παραλήπτη πρέπει να γίνεται με ρυθμούς αποδεκτούς από τον παραλήπτη, διαφορετικά υπάρχει η περίπτωση ένας γρήγορος αποστολέας να κατακλύσει με δεδομένα έναν αργό παραλήπτη και να μην επιτευχθεί η επικοινωνία. Αντίθετα, στα υπόλοιπα δίκτυα μεταγωγής δεν υφίσταται τέτοιο πρόβλημα, καθώς ο παραλήπτης συνδέεται με τον αντίστοιχο κόμβο στον κατάλληλο ρυθμό μετάδοσης.

Επιπλέον πλεονεκτήματα των δικτύων αποθήκευσης και προώθησης έναντι των δικτύων μεταγωγής κυκλώματος είναι ότι:

- ✓ Στα δίκτυα μεταγωγής πακέτου μπορούν να τεθούν προτεραιότητες στη μετάδοση, έτσι ώστε τα επείγοντα πακέτα να προηγούνται έναντι των άλλων.
- ✓ Η διόρθωση των σφαλμάτων της πληροφορίας που μεταφέρεται από τον έναν υπολογιστή στον άλλο και η ασφάλειά της εξασφαλίζονται από το δίκτυο και όχι από τα συστήματα που επικοινωνούν.
- ✓ Οι ενδιαμέσοι κόμβοι παίζουν το ρόλο του μεταφραστή και έτσι είναι δυνατή η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ υπολογιστών που χρησιμοποιούν διαφορετικό κώδικα.

Από την άλλη πλευρά, ένα σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος έναντι της μεταγωγής πακέτου ή μηνύματος είναι η υπεροχή της όσον αφορά τις **εφαρμογές πραγματικού χρόνου** (*real time applications*), όπως είναι για παράδειγμα οπτική τηλεδιάσκεψη (*videoconference*), αφού η μετάδοση πακέτων και μηνυμάτων αντιμετωπίζει σημαντικές για τις εφαρμογές αυτές καθυστερήσεις κατά τη διαδρομή της στο δίκτυο.

Εκτός από τη σύγκριση της τεχνικής μεταγωγής κυκλώματος με τις υπόλοιπες τεχνικές, συγκρίσεις μπορούν να γίνουν και όσον αφορά τις δύο τεχνικές μεταγωγής πακέτων, τη μεταγωγή νοητού κυκλώματος και τη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου. Να σημειωθεί ότι η τεχνική μεταγωγής νοητού κυκλώματος προσπαθεί να εκμεταλλευθεί τα πλεονεκτήματα τόσο της μεταγωγής κυκλώματος όσο και της μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου. Παρ' όλα αυτά παρουσιάζει και μερικά μειονεκτήματα, όπως είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Στη μεταγωγή νοητού κυκλώματος παρατηρείται κάποια καθυστέρηση, μέχρι να συμφωνήσουν οι δύο κόμβοι να επικοινωνήσουν, καθώς ο κόμβος - αποστολέας πρέπει να στείλει σχετική αίτηση στον κόμβο - δέκτη και αυτός με τη σειρά του να απαντήσει καταφατικά. Κατά τη διάρκεια μάλιστα αυτής της διαδικασίας πρέπει να καθοριστεί και το νοητό κανάλι από το οποίο θα περάσουν οι πληροφορίες που θα ανταλλάξουν οι δύο υπολογιστές.
- ✓ Αν κατά τη διάρκεια της σύνδεσης δύο υπολογιστών κάποιος κόμβος τεθεί εκτός λειτουργίας, σημειώνονται σημαντικές καθυστερήσεις στην αναδρομολόγηση των πακέτων και στην εγκατάσταση ενός νέου νοητού κυκλώματος. Αντίθετα, στη μεταγωγή αυτοδύναμου πακέτου τα πακέτα θα σταλούν στον προορισμό



τους μέσω κάποιου άλλου διαθέσιμου κόμβου, χωρίς σημαντική καθυστέρηση.

- ✓ Αν παρά την εγκατάσταση ενός νοητού κυκλώματος υπάρξει καθυστέρηση σε κάποιον από τους ενδιάμεσους κόμβους λόγω αύξησης της κίνησης σ' εκείνο το σημείο, δεν υπάρχει η δυνατότητα αναδρομολόγησης των πακέτων μέσω άλλης οδού. Επομένως αυτά υπόκεινται σε υποχρεωτικές καθυστερήσεις, τις οποίες θα απέφευγαν με την τεχνική της μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου, καθώς θα προωθούνταν στον προορισμό τους από άλλες, πιο σύντομες διαδρομές.

Τέλος, αξίζει να επισημανθούν μερικά από τα πλεονεκτήματα της μεταγωγής νοητού κυκλώματος έναντι της μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου, εκτός από αυτά που «κληρονομεί» από τη μεταγωγή κυκλώματος και τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω:

- ✓ Δεν απαιτείται η αναταξινόμηση των πακέτων από τον παραλήπτη, καθώς αυτά λαμβάνονται όπως τα έστειλε ο αποστολέας.
- ✓ Ο παραλήπτης έχει τη δυνατότητα να ειδοποιεί τον αποστολέα για κάποιο προσωρινό πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά τη λήψη των πακέτων και ο αποστολέας διακόπτει τη μετάδοση μέχρι τη λήψη νέου μηνύματος. Έτσι δεν κυκλοφορούν στο δίκτυο πακέτα που δεν έχουν τη δυνατότητα να παραληφθούν και επομένως δεν επιβαρύνεται η κυκλοφορία και η αποθηκευτική ικανότητα του δικτύου.
- ✓ Δεν απαιτείται η αναγραφή της πλήρους διεύθυνσης του παραλήπτη σε όλα τα πακέτα, λόγω της σταθερής διαδρομής που αυτά ακολουθούν μέχρι τον προορισμό τους. Έτσι μειώνεται ο φόρτος του δικτύου.

Κλείνοντας, από τη σύγκριση των τεχνικών της μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου και της μεταγωγής νοητού κυκλώματος προκύπτει ότι η πρώτη ευνοεί την ανταλλαγή μικρού όγκου πληροφοριών μεταξύ των υπολογιστών, ενώ η δεύτερη την ανταλλαγή μεγάλου όγκου πληροφοριών.

Μάθημα 6.5: Τεχνολογίες εκπομπής – Ραδιοφωνικά δίκτυα

6.5.1 Εισαγωγή

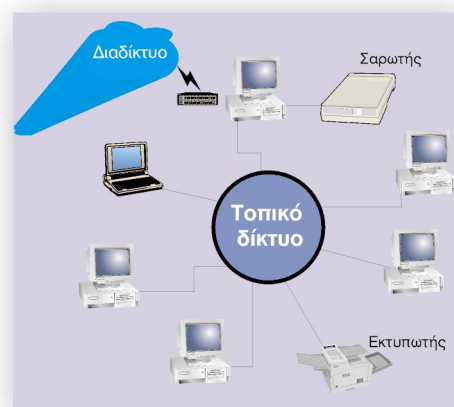
Στα προηγούμενα μαθήματα εξετάστηκε η τεχνολογία των δικτύων με συνδέσεις σημείου προς σημείο, όπως αυτή εφαρμόζεται με τις τεχνικές της μεταγωγής. Όμως, εκτός από τα δίκτυα της κατηγορίας αυτής, υπάρχει και η άλλη μεγάλη κατηγορία των **δικτύων εκπομπής** (*broadcasting networks*), στα οποία η τεχνική προώθησης της πληροφορίας από τον αποστολέα στον αποδέκτη διαφέρει σημαντικά. Οι κύριοι εκπρόσωποι της κατηγορίας των δικτύων εκπομπής είναι τα τοπικά δίκτυα (σχήμα 6.8), τα τηλεοπτικά δίκτυα, τα ραδιοφωνικά δίκτυα (σχήμα 6.9), τα δορυφορικά δίκτυα (σχήμα 6.10) κ.ά.

Σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταγωγής, το χαρακτηριστικό των δικτύων εκπομπής είναι ότι δε διαθέτουν ενδιάμεσους κόμβους που να προωθούν την πληροφορία στον προορισμό της, αλλά έχουν ένα κοινό μέσο μετάδοσης, το οποίο μοιράζονται όλοι οι σταθμοί που συνδέονται στο δίκτυο. Οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ των υπολογιστών λαμβάνονται συνήθως από όλους τους σταθμούς του δικτύου. Σε κάθε πακέτο που στέλνεται στο δίκτυο προστίθεται ένα πεδίο διεύθυνσης που καθορίζει το σταθμό για τον οποίο προορίζεται το πακέτο. Οι υπόλοιποι σταθμοί απλώς αγνοούν το πακέτο.

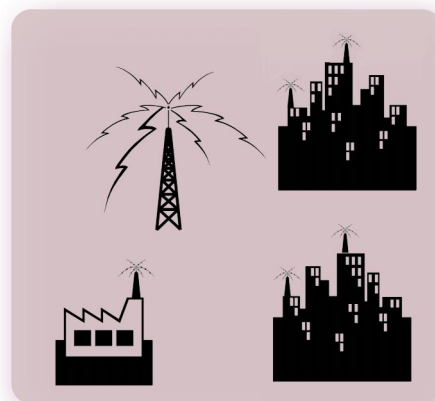
Επειδή στα δίκτυα εκπομπής υπάρχει ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας και επομένως δε διατίθενται εναλλακτικοί δρόμοι για να φτάσει ένα πακέτο

στον προορισμό του, προκύπτουν προβλήματα που δημιουργούνται από την ταυτόχρονη αποστολή πληροφοριών από τον έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή στον άλλο. Γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί, οι **τεχνικές ελέγχου πρόσβασης στο μέσο** (*access control techniques*), που καθορίζουν τον τρόπο και το χρόνο χρήσης του κοινού καναλιού από τους συνδεδεμένους υπολογιστές.

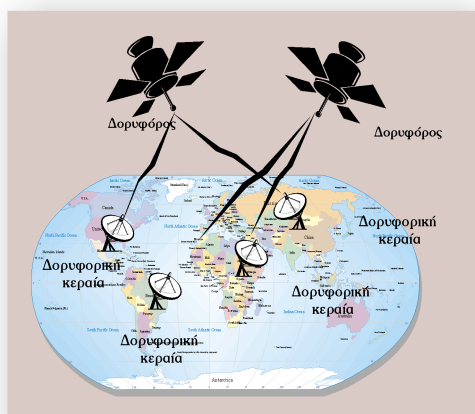
Οι τεχνικές ελέγχου πρόσβασης διακρίνονται σε συγχρονισμένες και σε ασυγχρονιστες. Οι συγχρονισμένες τεχνικές



Σχήμα 6.8: Τοπικό δίκτυο



Σχήμα 6.9: Ραδιοφωνικό δίκτυο



Σχήμα 6.10: Δορυφορικό δίκτυο



χρησιμοποιούνται, όταν μέρος της χωρητικότητας του μέσου μετάδοσης διατίθεται αποκλειστικά σε μία μόνο σύνδεση. Παραδείγματα συγχρονισμένων τεχνικών είναι οι τεχνικές πολυπλεξίας συχνότητας (*FDM*) και χρόνου (*TDM*). Στα δίκτυα εκπομπής προτιμώνται γενικά ασυγχρόνιστες τεχνικές, γιατί οι μεταδόσεις των συνδεδεμένων σταθμών γίνονται τυχαία. Οι τεχνικές αυτές διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ✓ **Δακτυλίου** (*round robin*). Είναι η τεχνική κατά την οποία οι σταθμοί έχουν δικαίωμα να εκπέμψουν με τη σειρά, ο ένας μετά τον άλλο, μία φορά σε κάθε γύρο. Αν ένας σταθμός έχει δεδομένα να στείλει σε κάποιον άλλο, χρησιμοποιεί το δικαίωμά του για εκπομπή, όταν έρθει η σειρά του. Αν δεν έχει κάτι να στείλει, παραχωρεί το δικαίωμα στον επόμενο σταθμό. Σ' αυτή την τεχνική στηρίζεται η λειτουργία των δικτυακών προτύπων *Token Ring*, *Token Bus*, *FDDI* και άλλων, τα οποία εξετάζονται αναλυτικά σε άλλα μαθήματα.
- ✓ **Ανταγωνισμού** (*contention*). Είναι η τεχνική κατά την οποία η μετάδοση δεδομένων από τους σταθμούς που συνδέονται στο δίκτυο είναι τυχαία. Κάθε σταθμός προσπαθεί να μεταδώσει τα δεδομένα που διαθέτει στο κανάλι ελπίζοντας να είναι κενό, ώστε να φτάσουν αυτά στον προορισμό τους. Βέβαια πάντα υπάρχει ένας μηχανισμός ο οποίος ειδοποιεί το σταθμό σε περίπτωση αποτυχίας της μετάδοσης, ώστε να υπάρξει επαναμετάδοση. Σ' αυτή την τεχνική στηρίζεται η λειτουργία των δικτυακών προτύπων ανοικτής ακρόασης, όπως είναι το *Ethernet*, το *ALOHA*, το *CSMA*, και άλλα, που θα εξεταστούν σε ιδιαίτερα μαθήματα.
- ✓ **Δέσμευσης ή κράτησης θέσης** (*reservation*). Κατ' αυτή χρησιμοποιούνται τεχνικές πολυπλεξίας, που διαιρούν τη χωρητικότητα του καναλιού σε κανάλια μικρότερης χωρητικότητας τα οποία διατίθενται σε κάθε σταθμό. Χρησιμοποιείται, όταν υπάρχει συνεχής και μεγάλης διάρκειας μετάδοση δεδομένων.



Στην Ελλάδα η κινητή τηλεφωνία καταλαμβάνει τις ακόλουθες περιοχές: οι εταιρείες Panafon και Teletet χρησιμοποιούν συχνότητες από 890 έως 960 MHz, ενώ ο Cosmote χρησιμοποιεί συχνότητες από 1.760 έως 1.785 MHz και από 1.855 έως 1.880 MHz.

6.5.2 Ασύρματη επικοινωνία - Ραδιοκύματα

Η ασύρματη επικοινωνία είναι ένας από τους τρόπους μετάδοσης που βρήκαν πολύ μεγάλη εφαρμογή ειδικά κατά το τελευταίο ήμισυ του 20ού αιώνα. Τελευταία εφαρμόζεται ευρύτατα και στην επικοινωνία των υπολογιστών, καθώς ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματά της είναι η αποδέσμευση των επικοινωνιών από τα ενσύρματα μέσα (καλώδια, οπτικές ίνες κτλ.). Η ασύρματη επικοινωνία βρίσκει πρόσφορο έδαφος εφαρμογής σε όλες σχεδόν τις μορφές επικοινωνιών εκπομπής, όπως είναι τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, τα ραδιοφωνικά δίκτυα, τα δορυφορικά δίκτυα, κτλ.

Ειδικότερα, οι συχνότητες των ραδιοκυμάτων κυμαίνονται από 30 Hz έως 300 GHz. Για καλύτερο έλεγχο έχουν ταξινομηθεί σε 10 περιοχές συχνότητας (*frequency bands*). Οι ραδιοφωνικές εκπομπές των *FM*, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν τις συχνότητες από 87,5 έως 108 MHz.

Τα μειονεκτήματα των ζεύξεων μέσω ραδιοκυμάτων είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Στις περισσότερες των περιπτώσεων παρέχουν μικρή ασφάλεια, καθώς οποιοσ-



δήποτε μπορεί να λάβει το σήμα χρησιμοποιώντας την ανάλογη κεραία.

- ✓ Η επικοινωνία απαιτεί οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, που όμως παρεμποδίζεται σε πολλές περιπτώσεις από φυσικά εμπόδια, όπως είναι τα υψηλά κτίρια, τα βουνά κτλ. Για το λόγο αυτό οι κεραίες τοποθετούνται σε υψηλά σημεία και επάνω σε ειδικούς πύργους. Η απόσταση η οποία εξασφαλίζει οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, με δεδομένη την καμπυλότητα της Γης και τη μη παρεμβολή άλλων εμποδίων, δίνεται από τον τύπο:

$$D = 7,14(K \cdot H)^{1/2}$$

όπου D η μέγιστη απόσταση, H το ύψος των κεραίων και K (συνήθως 1,33) ο συντελεστής διόρθωσης.

- ✓ Σε μερικές περιπτώσεις η επικοινωνία μπορεί να επηρεαστεί από φυσικά φαινόμενα, όπως καταιγίδες και ηλεκτρικές εκκενώσεις, ειδικά στις υψηλότερες συχνότητες των μικροκυμάτων.
- ✓ Η επικοινωνία είναι ευαίσθητη σε παρεμβολές θορύβου.
- ✓ Απαιτείται μεγάλη ισχύς στους σταθμούς μετάδοσης.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Δίκτυα εκπομπής, τεχνικές ελέγχου πρόσβασης στο μέσο, τεχνική δακτυλίου, τεχνική ανταγωνισμού, τεχνική δέσμευσης ή κράτησης θέσης, ασύρματη επικοινωνία, ραδιοκύματα, μικροκύματα.





Μάθημα 6.6: Τεχνολογίες εκπομπής – Δορυφορικά δίκτυα



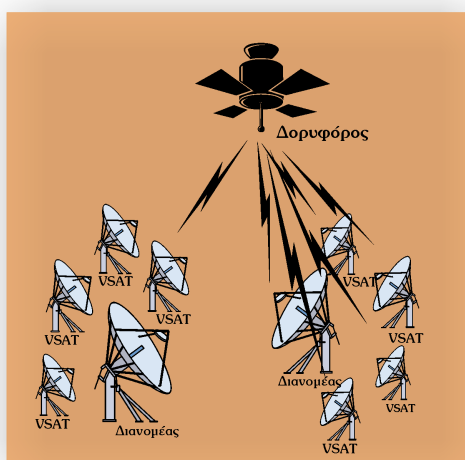
Στη δορυφορική επικοινωνία χρησιμοποιούνται μικροκύματα των οποίων οι συχνότητες είναι πάνω από 1 GHz.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα μαθήματα, τα δεδομένα είναι δυνατόν να μεταδοθούν χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραδιοκύματα) μέσω της ατμόσφαιρας ή του διαστήματος. Τα δορυφορικά συστήματα είναι αυτά τα οποία μπορούν να φέρουν σε πέρας τέτοιου είδους επικοινωνία. Χρησιμοποιείται γι' αυτό το σκοπό μια δέσμη μικροκυμάτων, που περιέχει κωδικοποιημένα δεδομένα και μεταδίδεται από το έδαφος στο δορυφόρο. Τα δεδομένα επιστρέφουν στο έδαφος σε προκαθορισμένους παραλήπτες μέσω **δορυφορικών αναμεταδοτών** (*transponders*). Ένας δορυφόρος έχει πολλούς τέτοιους αναμεταδότες, καθένας από τους οποίους καλύπτει μια συγκεκριμένη περιοχή συχνότητας. Ένα τυπικό δορυφορικό κανάλι έχει εύρος 500 MHz και μπορεί να παρέχει εκατοντάδες συνδέσεις πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιώντας τεχνικές πολυπλεξίας συχνότητας και χρόνου.

Οι δορυφόροι που χρησιμοποιούνται για επικοινωνιακούς σκοπούς είναι συνήθως γεωστατικοί, κινούνται δηλαδή σε γεωστατική τροχιά γύρω από τη Γη, στα 35.900 χιλιόμετρα περίπου επάνω από τον Ισημερινό. Αυτό σημαίνει ότι μία πλήρης περιφορά ενός δορυφόρου γύρω από τη Γη έχει διάρκεια 24 ώρες. Συγχρονισμένοι όμως οι δορυφόροι με την περιφορά της Γης γύρω από τον εαυτό της, γυρνούν μαζί με τη Γη και με την ίδια φορά, δίνοντας την εντύπωση ότι βρίσκονται πάντα επάνω από τον ίδιο τόπο. Το σήμα που εκπέμπουν μπορεί είτε να εκτείνεται σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή είτε να εστιάζεται σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή. Στη δεύτερη περίπτωση το σήμα είναι δυνατότερο και μπορεί να ληφθεί και από μικρές δορυφορικές κεραίες (σχήμα 6.11), γνωστές και ως **VSATs** (*Very Small Aperture Terminals*). Οι μικροκυματικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται ανήκουν στην περιοχή C-band (4-6 GHz) ή στην περιοχή Ku-band (12-14 GHz).

Οι δορυφόροι λειτουργούν ως σταθμοί αναμετάδοσης των δεδομένων, ενώ ένα τυπικό δορυφορικό δίκτυο (σχήμα 6.11) αποτελείται συνήθως από:

- ✓ Το δορυφόρο.
- ✓ Το διανομέα (*hub*), δηλαδή ένα σταθμό με δορυφορική κεραία διαμέτρου από 4 έως 15 μέτρα συνήθως.
- ✓ Τους τερματικούς σταθμούς που είναι εφοδιασμένοι με VSATs, η διάμετρος των οποίων κυμαίνεται συνήθως από 0,5 έως 2 μέτρα. Φυσικά ο διανομέας και οι τερματικοί σταθμοί συνδέονται με τα επίγεια δίκτυα δεδομένων.
- ✓ Τους υπολογιστές, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με το διανομέα και τους τερματικούς σταθμούς.



Σχήμα 6.11: Δορυφορικό σύστημα VSATs (*Very Small Aperture Terminals*)



Ένας τερματικός σταθμός αποτελείται από:

- ✓ Την κεραία στο εξωτερικό κάποιου κτιρίου, η οποία διαθέτει και το μετατροπέα συχνότητας, που μετατρέπει τη συχνότητα λήψης σε μικρότερη συχνότητα (1,5 GHz περίπου).
- ✓ Το δορυφορικό διαποδιαμορφωτή (*modem*), που παίρνει το χαμηλότερης συχνότητας σήμα, το αποκωδικοποιεί και, μέσω καλωδίου πλέον, στέλνει τα δεδομένα σε ένα συνδεδεμένο ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Τα πλεονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων είναι:

- ✓ Παρέχουν μεγάλη ταχύτητα μετάδοσης.
- ✓ Η απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και των σταθμών εδάφους δεν επηρεάζει την επικοινωνία τους.
- ✓ Μπορούν να χρησιμοποιηθούν συγχρόνως για μεταφορά πολλών μορφών δεδομένων, όπως δεδομένων ηλεκτρονικών υπολογιστών, φωνής (τηλεφωνία), εικόνας (τηλεόραση).
- ✓ Το κόστος τους είναι ανεξάρτητο από την απόσταση που τους χωρίζει από το σταθμό εδάφους.

Τα μειονεκτήματα των δορυφορικών συστημάτων είναι:

- ✓ Έχουν υψηλό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης.
- ✓ Επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες.
- ✓ Δεν παρέχουν ασφάλεια, καθώς οποιοσδήποτε με μια κεραία μπορεί να λάβει την πληροφορία που εκπέμπουν. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται, αν παραστεί ανάγκη, διάφορες τεχνικές κρυπτογράφησης του μηνύματος.
- ✓ Παρατηρείται μεγάλη καθυστέρηση του σήματος, λόγω της μεγάλης απόστασης του δορυφόρου από τους σταθμούς εδάφους (περίπου 500 msec).

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Ασύρματη επικοινωνία, μικροκύματα, δορυφορική επικοινωνία, δορυφορικά δίκτυα, δορυφορικός αναμεταδότης, VSAT.





Ανακεφαλαίωση

Οι τεχνολογίες των δικτύων υπολογιστών που αναπτύχθηκαν μέχρι σήμερα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το αν πρόκειται για συνδέσεις σημείου προς σημείο ή συνδέσεις εκπομπής. Η πρώτη περίπτωση αφορά τα δίκτυα ευρείας περιοχής ή τις συνδέσεις απομακρυσμένων συστημάτων υπολογιστών και είναι συνυφασμένη με την έννοια της μεταγωγής. Η τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος είναι η πρώτη που εμφανίστηκε και έχει τη βάση της στο τηλεφωνικό σύστημα, ενώ η τεχνική της αποθήκευσης και προώθησης των πακέτων μεταγωγής δρομολογήθηκε από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 και αφορά δίκτυα δεδομένων.

Ανάλογα με τον τρόπο μεταβίβασης της πληροφορίας, τα δίκτυα μεταγωγής διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ✓ δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος (*circuit switching networks*),
- ✓ δίκτυα μεταγωγής μηνύματος (*message switching networks*),
- ✓ δίκτυα μεταγωγής πακέτου (*packet switching networks*) και

Σύγχρονες τεχνολογίες που παρέχουν μετάδοση πληροφοριών πολλών τύπων (πολυμέσα) από το ίδιο μέσο στηρίζονται σε υβριδικές τεχνικές, δηλαδή τεχνικές μεταγωγής πακέτου και μεταγωγής κυκλώματος, οι οποίες έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη των πρόσφατων τεχνικών *ISDN* και *ATM*.

Εκτός από τα δίκτυα με συνδέσεις σημείου προς σημείο, υπάρχουν και τα δίκτυα εκπομπής (*broadcasting networks*), στα οποία η τεχνική προώθησης της πληροφορίας από τον αποστολέα στον αποδέκτη διαφέρει σημαντικά. Σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταγωγής, το χαρακτηριστικό των δικτύων εκπομπής είναι ότι δε διαθέτουν ενδιάμεσους κόμβους που να προωθούν την πληροφορία στον προορισμό της, αλλά έχουν ένα κοινό μέσο μετάδοσης, που μοιράζονται όλοι οι σταθμοί οι οποίοι συνδέονται στο δίκτυο. Η τεχνολογία αυτής της μορφής αφορά τα τοπικά κυρίως δίκτυα, όπου η πρόσβαση στο μέσο μετάδοσης γίνεται με ανταγωνιστικούς όρους.

Τέλος, η ασύρματη επικοινωνία είναι ένας από τους τρόπους μετάδοσης που βρήκε πολύ μεγάλο πεδίο εφαρμογής τελευταία. Εφαρμόζεται ευρύτατα και στην επικοινωνία των υπολογιστών, καθώς ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματά της είναι η αποδέσμευση των επικοινωνιών από τα καλωδιακά μέσα (χάλκινα καλώδια, οπτικές ίνες κτλ.). Οι τεχνολογίες της ασύρματης επικοινωνίας, όπως είναι η ραδιοφωνική και η δορυφορική επικοινωνία, αν και πολύ παλιές, έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Σήμερα χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη διασύνδεση υπολογιστών, αν και πολύ παλιές, και σε ειδικότερες και πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές, όπως είναι η διασύνδεση των τοπικών δικτύων.



Ερωτήσεις

1. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά της μεταγωγής κυκλώματος;
2. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά της μεταγωγής μηνύματος;
3. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά της μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου;
4. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά της μεταγωγής νοητού κυκλώματος;
5. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα των τεχνικών μεταγωγής;
6. Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των τεχνολογιών εκπομπής και σε ποιους τύπους δικτύων χρησιμοποιούνται συνήθως;
7. Ποιες είναι οι ομοιότητες και οι διαφορές και ποια τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας μεταγωγής και των τεχνολογιών εκπομπής;
8. Σε ποιους τύπους δικτύων ταιριάζει καλύτερα η τεχνολογία μεταγωγής και γιατί;
9. Ποια κατηγορία δικτύου μεταγωγής προσεγγίζει καλύτερα το τηλεφωνικό μοντέλο και γιατί;
10. Ποια τεχνολογία προσεγγίζει καλύτερα το τηλεοπτικό και το ραδιοφωνικό δίκτυο και γιατί;





Βιβλιογραφία

1. Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., *Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών*, 1997.
2. Bertsekas D., Gallager R., *Data Networks*, Prentice-Hall, New Jersey, 1996.
3. Cvetkovic S., notes in *Analysis and Design of Computer Networks*, University of Sheffield, UK, 1996.
4. Drefler F., *Using Networks*, QUE, 1998.
5. Drefler F., Freed L., *How Networks Works*, QUE, 1998.
6. Πομπόρτσος Α. Σ., *Τοπικά δίκτυα υπολογιστών*, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 1990.
7. Σχολικό βιβλίο Α', Β', Γ' Ενιαίου Λυκείου ΟΕΔΒ, *Εφαρμογές πληροφορικής - υπολογιστών*, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 1998.
8. Rozell E., Pablo M., *MSCE TestPrep: TCP/IP*, 2nd edition, New Riders, 1999.
9. Smythe C., notes in *Computer and Data Networks: Advanced Networks and Internetworking*, University of Sheffield, UK, 1995.
10. Smythe C., notes in *Computer and Data Networks: OSI and LANs*, University of Sheffield, UK, 1995.
11. Stallings W., *Local and Metropolitan Area Networks*, 5th edition, Prentice Hall, 1997.
12. Stallings W., *Data and Computer Communications*, Macmillan Publishing Company, 2nd edition, 1990.
13. Tanenbaum S. A., *Computer Networks*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1996.



Διευθύνσεις Διαδικτύου (URLs)

- ✓ <http://www.ieee.org>
- ✓ <http://www.isoc.org/internet-history/cerf.html>
- ✓ <http://www.delphi.com/navnet/faq/history.html>
- ✓ <http://www.isoc.org/guest/zakon/Internet/History/>
- ✓ http://www.scis.nova.edu/~raciti/frame_1.html
- ✓ <http://www.elot.gr>
- ✓ <http://www.itu.int/>
- ✓ <http://www.cisco.com>
- ✓ http://aol.pcwebopedia.com/TERM/c/circuit_switching.html
- ✓ <http://www.vislab.usyd.edu.au/photonics/networks/networks/network5.html>
- ✓ http://ce597n.www.ecn.purdue.edu/~gavilan/costa/Internet/Operation/packet_switching.whtml
- ✓ <http://lamar.colostate.edu/~mrchips/ecc/Network2.htm>