

## Ενότητα B

# Δίκτυα επικοινωνίας δεδομένων

Κεφάλαιο 4: Δικτυακά μοντέλα

Κεφάλαιο 5: Αρχιτεκτονική δικτύων

Κεφάλαιο 6: Τεχνολογίες δικτύων



## Ενότητα Β: Δίκτυα επικοινωνίας δεδομένων

### Περιεχόμενα

#### Κεφάλαιο 4: Δικτυακά μοντέλα

<b>Μάθημα 4.1:</b>	<b>Εισαγωγή στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών .....</b>	<b>137</b>
4.1.1	Γενικά στοιχεία .....	137
4.1.2	Δομικά στοιχεία δικτύου επικοινωνίας .....	142
4.1.3	Το υποδίκτυο επικοινωνίας .....	143
<b>Μάθημα 4.2:</b>	<b>Δικτυακά μοντέλα υπολογιστών .....</b>	<b>144</b>
4.2.1	Ταξινόμηση ως προς το μέσο μετάδοσης .....	144
4.2.2	Ταξινόμηση ως προς το είδος της σύνδεσης .....	144
4.2.3	Ταξινόμηση ως προς τη γεωγραφική κάλυψη .....	146
4.2.4	Ταξινόμηση ως προς την τοπολογία .....	150
4.2.5	Ταξινόμηση ως προς την τεχνολογία .....	151
<b>Μάθημα 4.3:</b>	<b>Αξιοπιστία μετάδοσης - Απόδοση δικτύου .....</b>	<b>153</b>
4.3.1	Αξιοπιστία μετάδοσης .....	153
4.3.1.1	Αιτίες των σφαλμάτων μετάδοσης .....	153
4.3.1.2	Μηχανισμοί εντοπισμού και αντιμετώπισης των σφαλμάτων μετάδοσης .....	153
4.3.1.3	Δείκτης αξιοπιστίας μετάδοσης .....	154
4.3.2	Απόδοση δικτύου .....	154
4.3.2.1	Ρυθμός διέλευσης .....	155
4.3.2.2	Καθυστερήση μεταφοράς .....	155
4.3.2.3	Χαρακτηρισμός της απόδοσης δικτύου .....	156
<b>Μάθημα 4.4:</b>	<b>Τεχνολογική εξέλιξη δικτύων δεδομένων .....</b>	<b>157</b>
<b>Μάθημα 4.5:</b>	<b>Χρήση δικτύων .....</b>	<b>161</b>
4.5.1	Η χρήση των δικτύων στην κοινωνία της πληροφορίας .....	161
4.5.2	Η νέα δυναμική .....	163
<b>Ανακεφαλαίωση .....</b>		<b>164</b>
<b>Ερωτήσεις .....</b>		<b>165</b>



## Κεφάλαιο 5: Αρχιτεκτονική δικτύων

<b>Μάθημα 5.1:</b>	<b>Πρωτόκολλα επικοινωνίας .....</b>	<b>169</b>
5.1.1	Εισαγωγή .....	169
5.1.2	Πρωτόκολλα επικοινωνίας .....	169
5.1.3	Ιεραρχία πρωτοκόλλων .....	170
5.1.4	Τύποι πρωτοκόλλων .....	171
5.1.5	Μεταφορά δεδομένων μέσω πρωτοκόλλων .....	176
<b>Μάθημα 5.2:</b>	<b>Λειτουργίες πρωτοκόλλων .....</b>	<b>178</b>
5.2.1	Κατάτμηση μηνυμάτων .....	178
5.2.2	Επανασυναρμολόγηση .....	179
5.2.3	Ενθυλάκωση .....	179
5.2.4	Έλεγχος σύνδεσης .....	180
5.2.5	Έλεγχος ροής .....	180
5.2.6	Έλεγχος σφαλμάτων .....	180
5.2.7	Τμηματοποίηση .....	181
5.2.8	Διευθυνσιοδότηση .....	181
5.2.9	Προτεραιότητα διεκπεραίωσης .....	181
5.2.10	Ασφάλεια .....	181
5.2.11	Συγχρονισμός .....	182
<b>Μάθημα 5.3:</b>	<b>Διεπαφές και υπηρεσίες δικτύων .....</b>	<b>183</b>
5.3.1	Διεπαφές .....	183
5.3.2	Υπηρεσίες .....	184
5.3.2.1	Προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες .....	185
5.3.2.2	Μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες .....	186
5.3.2.3	Επιβεβαιωμένα μη προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες .....	187
5.3.2.4	Ανεπιβεβαίωτα προσανατολισμένες στη σύνδεση υπηρεσίες .....	187
<b>Μάθημα 5.4:</b>	<b>Μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων .....</b>	<b>188</b>
5.4.1	Εισαγωγή .....	188



5.4.2	Μετάδοση δεδομένων στο OSI .....	190
5.4.3	Υπηρεσίες και λειτουργίες των επιπέδων του OSI .....	194
5.4.3.1	Φυσικό επίπεδο .....	194
5.4.3.2	Επίπεδο γραμμής δεδομένων .....	195
5.4.3.3	Επίπεδο δικτύου .....	196
5.4.3.4	Επίπεδο μεταφοράς .....	197
5.4.3.5	Επίπεδο συνόδου .....	198
5.4.3.6	Επίπεδο παρουσίασης .....	199
5.4.3.7	Επίπεδο εφαρμογής .....	200
5.4.4	Οικογένειες πρωτοκόλλων .....	200
<b>Μάθημα 5.5:</b>	<b>Διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης</b>	
	- Πρότυπα και συστάσεις .....	203
5.5.1	Η ανάγκη προτυποποίησης .....	203
5.5.2	Διεθνείς οργανισμοί για πρότυπα .....	203
5.5.2.1	Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης .....	204
5.5.2.2	Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών .....	205
5.5.2.3	Το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικών και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών .....	206
5.5.2.4	Άλλοι οργανισμοί .....	206
5.5.3	Διαδικασία τυποποίησης προτύπων .....	207
<b>Μάθημα 5.6:</b>	<b>Μοντέλο αναφοράς TCP/IP .....</b>	<b>208</b>
5.6.1	Εισαγωγή .....	208
5.6.2	Μετάδοση δεδομένων TCP/IP .....	209
5.6.3	Τα επίπεδα του TCP/IP .....	213
5.6.3.1	Επίπεδο πρόσβασης δικτύου .....	213
5.6.3.2	Επίπεδο Διαδικτύου .....	213
5.6.3.2.1	Το πρωτόκολλο Διαδικτύου .....	214
5.6.3.2.2	Το πρωτόκολλο ανάλυσης διευθύνσεων .....	217
5.6.3.2.3	Το πρωτόκολλο ελέγχου μηνυμάτων Διαδικτύου ...	217
5.6.3.3	Επίπεδο μεταφοράς .....	217
5.6.3.3.1	Πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης .....	218
5.6.3.3.2	Πρωτόκολλο αυτοδύναμου πακέτου δεδομένων χρήστη .....	220



5.6.3.4	Επίπεδο εφαρμογής .....	221
5.6.3.4.1	Πρωτόκολλο εξομοίωσης τερματικού .....	222
5.6.3.4.2	Πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων .....	222
5.6.3.4.3	Πρωτόκολλο μεταφοράς απλού ταχυδρομείου .....	223
5.6.3.4.4	Υπηρεσίες καταλόγου .....	225
5.6.3.4.5	Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου .....	226
<b>Μάθημα 5.7:</b>	<b>Σύγκριση των μοντέλων αναφοράς</b>	
	<b>TCP/IP και OSI .....</b>	<b>228</b>
5.7.1	Εισαγωγή .....	228
5.7.2	Ομοιότητες .....	228
5.7.3	Διαφορές .....	228
<b>Ανακεφαλαίωση</b>	<b>.....</b>	<b>232</b>
<b>Ερωτήσεις</b>	<b>.....</b>	<b>234</b>

## Κεφάλαιο 6: Τεχνολογίες δικτύων

<b>Μάθημα 6.1:</b>	<b>Τεχνολογία σημείου προς σημείο - Μεταγωγή ..</b>	<b>238</b>
6.1.1	Δίκτυα μεταγωγής .....	238
<b>Μάθημα 6.2:</b>	<b>Τεχνική μεταγωγής κυκλώματος - μηνύματος ...</b>	<b>240</b>
6.2.1	Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος .....	240
6.2.2	Δίκτυα μεταγωγής μηνύματος .....	242
<b>Μάθημα 6.3:</b>	<b>Τεχνικές μεταγωγής πακέτου .....</b>	<b>245</b>
6.3.1	Δίκτυα μεταγωγής πακέτου .....	245
6.3.2	Δίκτυα μεταγωγής αυτοδύναμου πακέτου .....	247
6.3.3	Δίκτυα μεταγωγής πακέτου με νοητά κυκλώματα .....	248
<b>Μάθημα 6.4:</b>	<b>Σύγκριση τεχνικών μεταγωγής .....</b>	<b>250</b>
<b>Μάθημα 6.5:</b>	<b>Τεχνολογίες επικοινωνιών εκπομπής - Ραδιοφωνικά δίκτυα .....</b>	<b>253</b>
6.5.1	Εισαγωγή .....	253
6.5.2	Ασύρματη επικοινωνία - Ραδιοκύματα .....	254
<b>Μάθημα 6.6:</b>	<b>Τεχνολογίες επικοινωνιών εκπομπής -</b>	



Δορυφορικά δίκτυα .....	256
Ανακεφαλαίωση .....	258
Ερωτήσεις .....	259
Βιβλιογραφία .....	260
Διευθύνσεις διαδικτύου (URLs) .....	260
Γλωσσάριο τόμου Ι .....	i - vii

# Κεφάλαιο 4

## Δικτυακά μοντέλα

---

- Μάθημα 4.1: Εισαγωγή στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών
- Μάθημα 4.2: Δικτυακά μοντέλα υπολογιστών
- Μάθημα 4.3: Αξιοπιστία μετάδοσης - Απόδοση δικτύου
- Μάθημα 4.4: Τεχνολογική εξέλιξη δικτύων δεδομένων
- Μάθημα 4.5: Χρήση δικτύων





## Κεφάλαιο 4: Δικτυακά μοντέλα

### Σκοπός

Σκοπός του Κεφαλαίου 4 είναι να συνειδητοποιήσει ο μαθητής τη σημασία της επικοινωνίας από τα πρώτα χρόνια της παρουσίας του ανθρώπου στη Γη, να τη συνδέσει με τα σύγχρονα επικοινωνιακά μοντέλα και να γνωρίσει τις βασικές έννοιες που σχετίζονται με τα δίκτυα υπολογιστών. Έννοιες που αφορούν τα χαρακτηριστικά και την ταξινόμηση των δικτύων υπολογιστών, σε συνδυασμό με την απόδοση του δικτύου η οποία αντικατοπτρίζει την αξιοπιστία και την ποιότητα της μετάδοσης, εισάγουν το μαθητή σταδιακά σε βαθύτερες έννοιες - αντικείμενα των δικτυακών μοντέλων επικοινωνίας. Τέλος, στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιαστεί, μέσω της διαχρονικής τεχνολογικής εξέλιξης των δικτύων υπολογιστών και πιο συγκεκριμένα του Διαδικτύου, η σημερινή τεχνολογική κατάσταση και οι πλέον ορατές χρήσεις των δικτύων υπολογιστών.

### Προσδοκώμενα αποτελέσματα

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

- ✓ Να γνωρίζει τη διαχρονική εξέλιξη των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και των δικτύων υπολογιστών, καθώς και τις χρήσεις τους.
- ✓ Να γνωρίζει τα δομικά στοιχεία των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών, τις κατηγορίες τους και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους.
- ✓ Να διακρίνει και να ταξινομεί τα δικτυακά μοντέλα ως προς διάφορα χαρακτηριστικά, όπως είναι το μέσο μετάδοσης, η γεωγραφική κάλυψη, το είδος της σύνδεσης, η τοπολογία και η τεχνολογία.
- ✓ Να μπορεί να περιγράφει τα δικτυακά μοντέλα και να δίνει παραδείγματα χρησιμοποίησής τους.
- ✓ Να γνωρίζει τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός δικτύου, όπως είναι η διέλευση ή η καθυστέρηση, και γενικότερα να αντιμετωπίζει τα προβλήματα που αφορούν την ποιότητα και την αξιοπιστία της μετάδοσης.
- ✓ Να αναγνωρίζει τη χρήση των διάφορων τύπων δικτύων.



## Προερωτήσεις

1. Ποιους τρόπους επικοινωνίας γνωρίζεις;
2. Τι είναι ένα σύστημα επικοινωνίας και ποια νομίζεις ότι είναι τα δομικά χαρακτηριστικά του;
3. Γνωρίζεις τους λόγους που ώθησαν και ωθούν τους ανθρώπους να αναπτύξουν δρόμους επικοινωνίας;
4. Ποια είναι τα κυριότερα προβλήματα που εμφανίζονται στις σύγχρονες μορφές επικοινωνίας;
5. Ποια νομίζεις ότι είναι τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα των σύγχρονων μορφών επικοινωνίας;



## Μάθημα 4.1: Εισαγωγή στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών

### 4.1.1 Γενικά στοιχεία

Όπως είναι γνωστό, διάφοροι τύποι δικτύων έχουν δημιουργηθεί και λειτουργήσει από τα παλιά χρόνια έως σήμερα. Τα δίκτυα αυτά έχουν ποικίλες εφαρμογές στην οικονομική και στην κοινωνική ζωή των λαών, όπως είναι για παράδειγμα το ταχυδρομικό δίκτυο, το δίκτυο ύδρευσης, το δίκτυο ηλεκτρισμού, τα πάσης φύσεως δίκτυα μεταφοράς (οδικά, σιδηροδρομικά, ακτοπλοϊκά, αεροπορικά) κτλ. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η λέξη δίκτυο έχει μια πολύ γενικευμένη έννοια.

Τα δίκτυα επικοινωνίας ηλεκτρονικών υπολογιστών ανήκουν στη γενικότερη κατηγορία των **τηλεπικοινωνιακών δικτύων** (*telecommunication networks*), δηλαδή σε εκείνα τα συστήματα που επιτρέπουν στους χρήστες τους να μεταβιβάζουν ή να ανταλλάσσουν πληροφορίες, ενώ βρίσκονται σε απόσταση. Τα πλέον γνωστά και εκτεταμένα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα είναι το τηλεφωνικό δίκτυο και τα δίκτυα της τηλεόρασης. Να σημειωθεί ότι το κοινό χαρακτηριστικό των δικτύων αυτών είναι ότι έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την ικανοποίηση μιας συγκεκριμένης ανάγκης, δηλαδή για τη μετάδοση φωνής στην πρώτη περίπτωση και κινούμενης εικόνας και ήχου στη δεύτερη, με αποτέλεσμα να απαιτούν ειδικό τερματικό εξοπλισμό για τη λειτουργία τους, δηλαδή τις συσκευές τηλεφώνου και τηλεόρασης αντίστοιχα. Με την εισαγωγή της μικροηλεκτρονικής και την εφαρμογή των νέων τεχνικών ψηφιακής μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων άλλαξαν οι κλασικές μορφές επικοινωνίας, με αποτέλεσμα την κατάργηση στην πράξη ορισμένων γνωστών υπηρεσιών ή εφαρμογών, όπως είναι για παράδειγμα η τηλεγραφία.

Σημαντικά βήματα στην ιστορική εξέλιξη των συστημάτων τηλεπικοινωνίας μπορεί να θεωρηθούν τα ακόλουθα:

- ✓ Ο Βρετανός Charles Morrison το 1753 ανέπτυξε ένα από τα πρώτα συστήματα επικοινωνιών που χρησιμοποιούσαν ηλεκτρικές μεθόδους.
- ✓ Ο Γάλλος μοναχός Abbe Nollet, κάνοντας επίδειξη της θεωρίας του για την ταχύτητα μετάδοσης του ηλεκτρικού σήματος, έβαλε διακόσιους περίπου Καρθουσιανούς μοναχούς να σχηματίσουν έναν ανοικτό κύκλο με 1,5 χιλιόμετρα διάμετρο, κρατώντας ανάμεσά τους ένα σιδερένιο σύρμα. Συνέδεσε το σύρμα που κρατούσε ο πρώτος μοναχός σε μια ηλεκτροστατική γεννήτρια και υπέβαλε τους μοναχούς σε διαδοχική ηλεκτροπληξία, για να αποδείξει τη θεωρία του. Σχημάτισε έτσι το πρώτο δίκτυο δακτυλίου, το οποίο αποτελούταν από μοναχούς.
- ✓ Τα πρώτα τηλεγραφικά συστήματα αναπτύσσονται το 1837 από το Samuel Morse στην Αμερική και από τους Cooke και Wheatstone στην Αγγλία, ενώ το

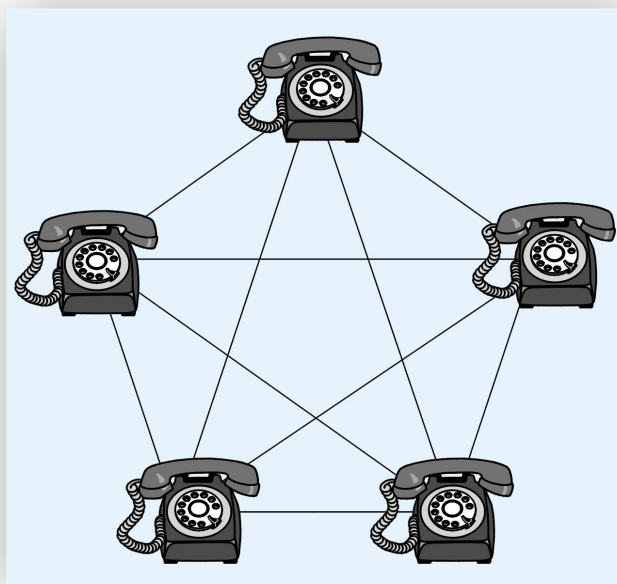
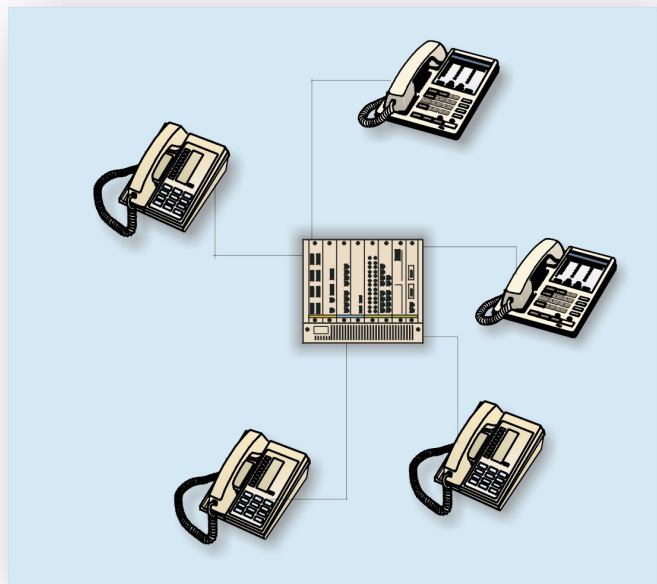


Αρχέγονους τρόπους επικοινωνίας είχαν επινοήσει οι άνθρωποι από πολύ παλιά προκειμένου να μεταφέρουν γρήγορα και σωστά κάποια πληροφορία. Οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν φωτιές από βουνό σε βουνό, για να μεταδώσουν κάποια πληροφορία, ενώ άλλοι λαοί χρησιμοποιούσαν τον ήχο των τυμπάνων ή τα σήματα καπνού.



πρώτο εμπορικό τηλεγραφικό δίκτυο υλοποιείται το 1844, ανοίγοντας το δρόμο για την εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών.

- ✓ Ο Σκωτσέζος Graham Bell εφευρίσκει το τηλέφωνο το 1876 και αρχίζει η εποχή της κυριαρχίας των αναλογικών μεθόδων μετάδοσης της πληροφορίας, έναντι των ψηφιακών που χρησιμοποιούσε ο τηλεγράφος. Αρχικά κάθε ζεύγος συσκευών απαιτούσε τη δική του γραμμή επικοινωνίας, με αποτέλεσμα να χρειάζονται για  $n$  συσκευές  $n(n-1)/2$  συνδέσεις. Έτσι κάθε συνδρομητής διέθετε  $n-1$  συνδέσεις. Το σχήμα όμως αυτό ήταν ασύμφορο και η σπατάλη πόρων προφανής. Η λύση στο πρόβλημα δόθηκε με τη δημιουργία ενός τηλεφωνικού κέντρου στο οποίο συνδέονται όλες οι συσκευές (σχήμα 4.1). Ο συνδρομητής καλεί το τηλεφωνικό κέντρο και ζητά να μιλήσει με κάποιον άλλο συνδρομητή. Το τηλεφωνικό κέντρο καλεί το δεύτερο συνομιλητή και τον συνδέει με τον πρώτο. Στην πορεία, με τη σύνδεση περισσότερων τηλεφωνικών κέντρων, αρχίζουν να δημιουργούνται τα πρώτα τηλεφωνικά δίκτυα.
- ✓ Το τέλος του 19ου αιώνα έχει να επιδείξει και την εφεύρεση του ραδιοφώνου. Τα πρώτα ραδιοφωνικά συστήματα αναπτύχθηκαν από τον Ιταλό Marconi, ο οποίος το 1897 κατάφερε να μεταδώσει ραδιοκύματα σε απόσταση 9 μιλίων. Η πρώτη υπερατλαντική ραδιοεπικοινωνία επιτεύχθηκε το 1901 μεταξύ της Κορνουάλης και του Νιουφάουντλαντ, ενώ το 1910 οι πρώτοι ραδιοφωνικοί σταθμοί άρχισαν να εκπέμπουν σε εμπορική βάση με τη σημερινή μορφή τους. Ο τηλεγράφος και



Σχήμα 4.1: Παράδειγμα τηλεφωνικού δικτύου 5 συσκευών με και χωρίς τηλεφωνικό κέντρο, που απαιτεί 5 και 10 γραμμές επικοινωνίας αντίστοιχα.

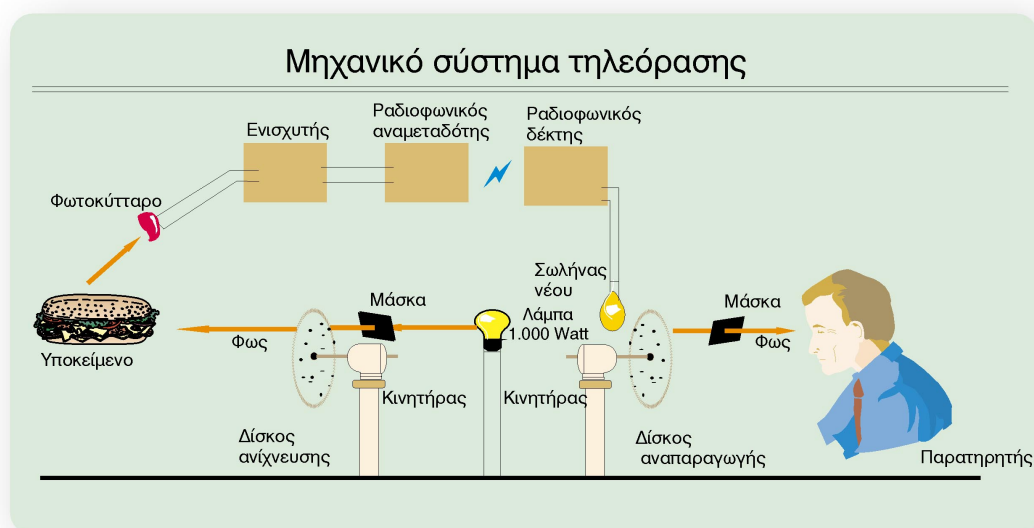


αργότερα η τηλεφωνία και η τηλεόραση (σχήμα 4.2) αποτελούν τα πρώτα σοβαρά βήματα στην ανάπτυξη των επικοινωνιών.

- ✓ Ο 20ός αιώνας έχει να παρουσιάσει θαυμαστά επιτεύγματα, όπως το τηλεοπτικό δίκτυο της δεκαετίας του 1940, το πρώτο ψηφιακό τηλεφωνικό σύστημα το 1959, τις δορυφορικές επικοινωνίες το 1960, καθώς και τις πρώτες επικοινωνίες μεταξύ ηλεκτρονικών υπολογιστών στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Σήμερα, με την ανατολή του 21ου αιώνα, στις ανεπτυγμένες τουλάχιστον κοινωνίες, η επικοινωνία των υπολογιστών είναι μια καθημερινή πραγματικότητα όχι μόνο στο επίπεδο των οργανισμών και των επιχειρήσεων αλλά και στο επίπεδο του απλού χρήστη, ο οποίος έχει τη δυνατότητα, με τον κατάλληλο ηλεκτρονικό εξοπλισμό, να επικοινωνήσει με οποιονδήποτε, σχεδόν οπουδήποτε και αν βρίσκεται. Η αλματώδης αυτή εξέλιξη των τηλε-



Ο Marconi, μετά την εφεύρεσή του, πέρασε το υπόλοιπο της ζωής του προσπαθώντας να βελτιώσει τις τεχνικές μετάδοσης των ραδιοκυμάτων και, όταν πέθανε το 1937, ο κόσμος τον τίμησε με 2 λεπτών σιγή όλων των ραδιοφωνικών σταθμών του πλανήτη.



Σχήμα 4.2: Μηχανικό σύστημα τηλεόρασης του 1920

πικοινωνιών και των υπολογιστικών συστημάτων οδήγησε στην ανάπτυξη διάφορων τύπων δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη γρήγορη και ασφαλή μετάδοση των δεδομένων (κείμενα, φωνή, εικόνα, γραφικά, βίντεο κτλ.) μεταξύ υπολογιστών που βρίσκονται σε ποικίλες αποστάσεις, από λίγα μόλις μέτρα μέχρι χιλιάδες χιλιόμετρα.

Τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών λειτουργούν κυρίως με προγραμματιζόμενες συσκευές γενικού σκοπού. Για παράδειγμα, μια τερματική συσκευή δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορεί να είναι ένας προσωπικός υπολογιστής ή, γενικότερα, συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για την εξυπηρέτηση πολλών διαφορετικών μορφών αναπαράστασης της πληροφορίας. Με τον τρόπο αυτό τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορούν να υποστηρίξουν μια μεγάλη και ολοένα αυξανόμενη ποικιλία εφαρμογών.



Χαρακτηριστικά παραδείγματα προσφοράς τέτοιων υπηρεσιών μπορεί να αναζητήσει κανείς στο παγκόσμιο δίκτυο διασύνδεσης υπολογιστών, γνωστό και ως **Διαδίκτυο (Internet)**, το οποίο συνδέει φυσικά πρόσωπα, εταιρείες, οργανισμούς κτλ. και παρέχει ένα πλήθος νέων δυναμικών. Η βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών του Διαδικτύου επιτυγχάνεται με όλο και ταχύτερους ρυθμούς, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη και ασφα-

λή μετάδοση διάφορων τύπων δεδομένων. Με την εμφάνιση των **ψηφιακών δικτύων ολοκληρωμένων υπηρεσιών (ISDN: Integrated Services Digital Networks)** και των δικτύων **ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς (ATM: Asynchronous Transfer Mode)**, τα οποία αναπτύσσονται με ταχύτατους ρυθμούς, προβλέπεται η σύγκλιση όλων των υπάρχοντων τηλεπικοινωνιακών δικτύων που χρησιμοποιεί στις καθημερινές δραστηριότητές του ο άνθρωπος (τηλεφωνικά, τηλεοπτικά, ραδιοφωνικά κτλ.) προς ένα και μοναδικό δίκτυο, μέσα από το οποίο θα γίνεται η διαχείριση και η χρήση όλων αυτών των μορφών επικοινωνίας με μειωμένο το κόστος σύνδεσης και λειτουργίας.

Πιο αναλυτικά, στα δίκτυα οικιών του μέλλοντος θεωρείται εφικτή η ενοποίηση όλων των μορφών επικοινωνίας κάτω από ένα και μόνο δίκτυο επικοινωνίας, μέσα από το οποίο ο άνθρωπος θα μπορεί να βλέπει τηλεόραση, να χρησιμοποιεί το τηλέφωνο, να αναζητεί στο Διαδίκτυο, να διαχειρίζεται τους τραπεζικούς του λογαριασμούς, να ελέγχει την ασφάλεια της κύριας ή της εξοχικής κατοικίας του κτλ. (σχήμα 4.3). Πολλές τέτοιου είδους τεχνολογίες και υπηρεσίες έχουν ήδη κάνει την εμφάνισή τους.

Η επικοινωνία μεταξύ των ηλεκτρονικών υπολογιστών εκμεταλλεύτηκε σε μεγάλο βαθμό το ήδη υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο, τα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, που υπάρχουν σε αφθονία στις προηγμένες χώρες, και τελευταία, με τη διάδοση της ψηφιακής τηλεόρασης, τις εκπομπές του ψηφιακού τηλεοπτικού σήματος. Το ψηφιακό δίκτυο ολοκληρωμένων υπηρεσιών (ISDN) είναι μια προσπάθεια ενοποίησης όλων αυτών των δικτύων. Μέσα από αυτό υπάρχει η δυνατότητα

επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων ηλεκτρονικών υπολογιστών (φωνή, εικόνα, βίντεο) με μια απλή σύνδεση, με τρόπο ανάλογο με αυτόν που σήμερα επιτυγχάνεται με μια απλή τηλεφωνική σύνδεση.



Σχήμα 4.3: Δίκτυα οικιών του μέλλοντος. Τα δίκτυα αυτά θα διανέμουν σήματα δεδομένων και ψυχαγωγίας που παράγονται τοπικά, καθώς και σήματα που μεταφέρονται από το Διαδίκτυο μέσω ευρυζωνικής σύνδεσης (*broadband connection*).



Ο πίνακας 4.1 παρουσιάζει τη διαχρονική εξέλιξη των υπηρεσιών των δικτύων τηλεπικοινωνίας από το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα έως σήμερα.

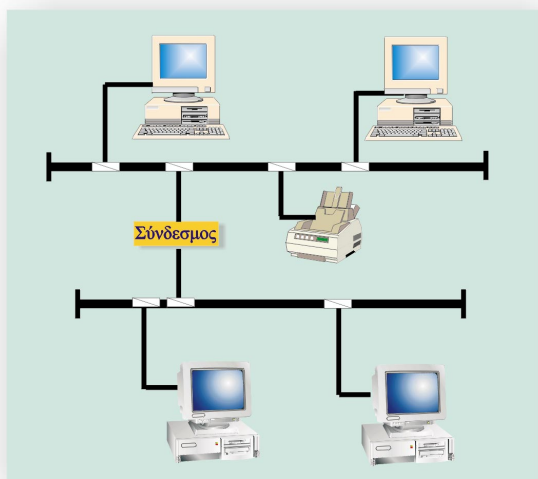
Χρονολογία	Υπηρεσίες δικτύων τηλεπικοινωνίας
1850-1900	Τηλέγραφος Τηλέφωνο
1901-1950	Ραδιόφωνο Τηλεομοιοτυπία ( <i>fax</i> ) Τηλεόραση <i>Telex</i>
1951-1960	Ασύρματη τηλεφωνία Τηλέτυπο
1961-1970	Δορυφορικές επικοινωνίες Έγχρωμη τηλεόραση Δίκτυα υπολογιστών μεταγωγής κυκλώματος
1971-1980	Καλωδιακή τηλεόραση Δίκτυα υπολογιστών μεταγωγής πακέτων Κινητή τηλεφωνία Οπτική τηλεδιάσκεψη Δίκτυα ψηφιακής μετάδοσης
1981-1990	<i>Videotex</i> <i>Teletex</i> Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο Δίκτυα <i>ISDN</i>
1991- 2000	Παγκόσμιος ιστός - Διαδίκτυο Δίκτυα <i>ATM</i> Ψηφιακή τηλεόραση <i>B – ISDN</i> Κατ' απαίτηση βίντεο ( <i>Video on demand</i> ) Βιντεοτηλεφωνία Ηλεκτρονικό εμπόριο Πρωτόκολλο ασύρματων εφαρμογών ( <i>WAP: Wireless Applications Protocol</i> )

Πίνακας 4.1: Διαχρονική εξέλιξη υπηρεσιών δικτύων τηλεπικοινωνίας



### 4.1.2 Δομικά στοιχεία δικτύου επικοινωνίας

Σε ένα οποιοδήποτε δίκτυο είναι δυνατόν να διακρίνουμε τους κόμβους που το αποτελούν, τις πληροφορίες που ανταλλάσσουν οι κόμβοι αυτοί, καθώς και το κανάλι επικοινωνίας μέσω του οποίου διακινούνται οι πληροφορίες. Για παράδειγμα, το οδικό δίκτυο συνδέει πόλεις, το κανάλι επικοινωνίας είναι οι δρόμοι και το υλικό που διακινείται μέσω αυτού είναι τα οχήματα και οι άνθρωποι.



Σχήμα 4.4: Δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Σε αναλογία, ένα δίκτυο υπολογιστών συνδέει συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, αυτόνομους υπολογιστές και άλλες περιφερειακές συσκευές και γενικώς κάθε είδους τερματικές διατάξεις που διαθέτουν επεξεργαστή. Το κανάλι επικοινωνίας μπορεί να είναι τα καλώδια, τα λέιζερ, τα μικροκύματα κτλ., μέσω των οποίων μεταφέρονται από τον έναν υπολογιστή στον άλλο διάφορες πληροφορίες (σχήμα 4.4).

Επομένως ένα **δίκτυο υπολογιστών** είναι ένα σύνολο συνδεδεμένων μεταξύ τους ηλεκτρονικών υπολογιστών και άλλων τερματικών διατάξεων, που επικοινωνούν με συγκεκριμένους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί λέγονται **πρωτόκολλα** επικοινωνίας και είναι υπεύθυνα για την ποιότητα και την πιστότητα των πληροφοριών που μεταδίδονται στο κανάλι επικοινωνίας. Η αποτελεσματικότητα αυτών των κανόνων καθορίζει και την **αποδοτικότητα** του δικτύου, η οποία, όπως θα δούμε σε επόμενα μαθήματα, μετριέται με συγκεκριμένο τρόπο.

Πιο αναλυτικά, τα δομικά στοιχεία ενός δικτύου υπολογιστών είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Οι **κόμβοι επικοινωνίας** (*hosts*). Γενικά, οι κόμβοι είναι ηλεκτρονικά συστήματα που διαθέτουν τουλάχιστον επεξεργαστή και μνήμη. Στην πράξη, ένας κόμβος μπορεί να είναι ένα σύστημα υπολογιστών, σταθμοί αναμετάδοσης ραδιοκυμάτων - μικροκυμάτων, επίγειοι δορυφορικοί σταθμοί που αναμεταδίδουν και αποκωδικοποιούν δορυφορικά σήματα ή, τέλος, ένας απλός ηλεκτρονικός υπολογιστής οποιουδήποτε είδους και μεγέθους. Οι κόμβοι χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση δύο ή περισσότερων γραμμών μετάδοσης. Ο ρόλος τους είναι να στέλνουν σωστά τα δεδομένα στον προορισμό τους και να ελέγχουν την κυκλοφορία στο δίκτυο. Επίσης πολλές φορές διορθώνουν σφάλματα που παρουσιάζονται στα δεδομένα, ενισχύουν σήματα που εξασθενούν από την απόσταση την οποία έχουν διανύσει, ειδοποιούν τον αποστολέα για ενδεχόμενες απώλειες δεδομένων κτλ.
- ✓ Το **φυσικό μέσο μετάδοσης ή σύνδεσμος**. Είναι το μέσο από το οποίο θα περάσουν τα δεδομένα υπό μορφή σημάτων επικοινωνίας. Τέτοιου είδους μέσα μπορεί να είναι καλώδια διάφορων τύπων, οπτικές ίνες, ασύρματες ζεύξεις κτλ.
- ✓ Οι **διατάξεις διασύνδεσης**. Πρόκειται για μονάδες υλικού που εξασφαλίζουν τη διασύνδεση των συσκευών και τη μεταφορά των πληροφοριών ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου. Συνήθως οι διατάξεις αυτές παρεμβάλλονται ανά-

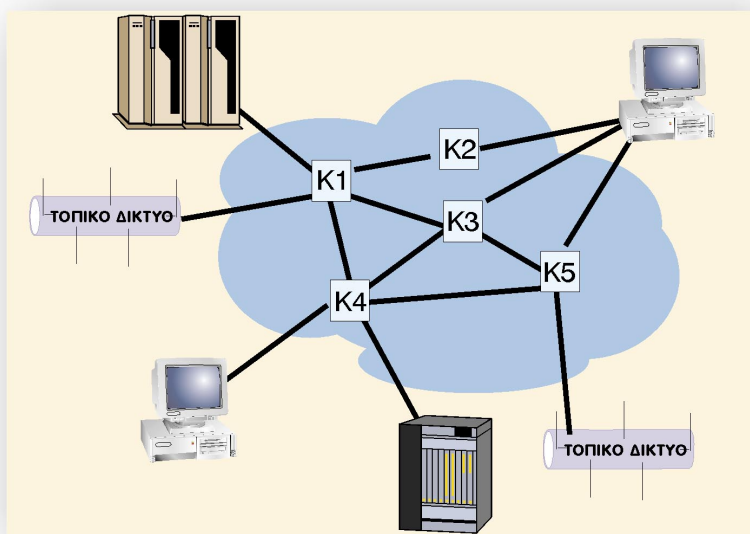


μεσα στον κόμβο και στο φυσικό μέσο μετάδοσης. Τυπικές λειτουργίες που εκτελούν τέτοιου είδους διατάξεις είναι η διαμόρφωση και η αποδιαμόρφωση, καθώς και ο έλεγχος ορθότητας των μεταφερόμενων δεδομένων.

- ✓ Το **λογισμικό δικτύου**. Πρόκειται για το σύνολο των προγραμμάτων που εξασφαλίζουν τη σύνδεση και ελέγχουν την επικοινωνία των υπολογιστών του δικτύου. Τυπικές λειτουργίες του λογισμικού είναι ο έλεγχος και η εκχώρηση του δικαιώματος πρόσβασης στους χρήστες του δικτύου.
- ✓ Το **λογισμικό εφαρμογών δικτύου**. Πρόκειται για προγράμματα εφαρμογών που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες που τους προσφέρει ένα δίκτυο υπολογιστών. Προγράμματα αυτής της μορφής είναι ενδεχόμενο να αποτελούν απλές ή σύνθετες επεκτάσεις δικτυακών εφαρμογών, που έχουν αναπτυχθεί για περιβάλλον αυτόνομων συστημάτων υπολογιστών.

### 4.1.3 Το υποδίκτυο επικοινωνίας

Όπως ήδη αναφέρθηκε, στα δομικά στοιχεία ενός δικτύου συμπεριλαμβάνονται τα μέσα μετάδοσης και οι κόμβοι επικοινωνίας. Τα στοιχεία αυτά είναι υπεύθυνα για τη φυσική επικοινωνία του δικτύου, η οποία γίνεται μέσω των κόμβων και των μεταξύ τους γραμμών επικοινωνίας, συνθέτοντας με αυτό τον τρόπο (σχήμα 4.5) το αποκαλούμενο **υποδίκτυο επικοινωνίας** (*communications subnetwork*). Οι χρήστες ενός δικτύου επικοινωνούν μεταξύ τους πάντοτε μέσω των κόμβων επικοινωνίας, οι οποίοι, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να ταυτίζονται και με τους ίδιους τους χρήστες. Τα μικρά δίκτυα, όπως είναι για παράδειγμα το δίκτυο ενός σχολικού εργαστηρίου, δεν είναι λειτουργικά απαραίτητο να διαθέτουν ανεξάρτητο υποδίκτυο επικοινωνίας, οπότε η έννοια του υποδικτύου επικοινωνίας ταυτίζεται με την έννοια του κόμβου.



Σχήμα 4.5: Υποδίκτυο επικοινωνίας.

#### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, δίκτυο υπολογιστών, ψηφιακό δίκτυο ολοκληρωμένων υπηρεσιών (*ISDN*), δίκτυο ασυγχρόνου τρόπου μεταφοράς (*ATM*), πρωτόκολλο επικοινωνίας, αποδοτικότητα κόμβος επικοινωνίας, μέσο μετάδοσης, σύνδεσμος, λογισμικό δικτύου, δίκτυο επικοινωνίας, υποδίκτυο επικοινωνίας.



## Μάθημα 4.2: Δικτυακά μοντέλα υπολογιστών

Τα δίκτυα υπολογιστών είναι δυνατόν να ταξινομηθούν σε κατηγορίες ανάλογα με ορισμένα χαρακτηριστικά τους. Αν και τα χαρακτηριστικά ενός δικτύου ποικίλλουν, πολλά από αυτά μπορεί να υπάρχουν αυτόνομα ή σε συνδυασμό με άλλα, προκειμένου να οριοθετηθούν κάποιας μορφής ταξινόμηση. Τα σπουδαιότερα κριτήρια βάσει των οποίων γίνονται οι ταξινομήσεις δικτύων είναι τα ακόλουθα:

- ✓ ταξινόμηση ως προς το μέσο μετάδοσης,
- ✓ ταξινόμηση ως προς το είδος της σύνδεσης,
- ✓ ταξινόμηση ως προς τη γεωγραφική κάλυψη,
- ✓ ταξινόμηση ως προς την τοπολογία,
- ✓ ταξινόμηση ως προς την τεχνολογία.

### 4.2.1 Ταξινόμηση ως προς το μέσο μετάδοσης

Στην απλούστερη μορφή σύνδεσης οι κόμβοι συνδέονται απευθείας με κάποιο φυσικό μέσο ή σύνδεσμο, όπως είναι για παράδειγμα ένα καλώδιο χαλκού, μια οπτική ίνα ή μια ασύρματη ζεύξη. Δύο είναι οι κυριότερες μορφές συνδέσεων:

- ✓ Η **καλωδιακή** ή **ενσύρματη** επικοινωνία, η οποία περιλαμβάνει όλων των ειδών τις εναέριες, τις επίγειες ή τις υπόγειες συνδέσεις αυτού του είδους. Παραδείγματα τέτοιων δικτύων αποτελούν όλα τα χάλκινα καλωδιακά δίκτυα, όπως επίσης και τα οπτικά δίκτυα.
- ✓ Η **ασύρματη** επικοινωνία, στην οποία το μέσο μετάδοσης είναι η γήινη ατμόσφαιρα ή το διάστημα. Στα δίκτυα αυτά η πληροφορία μεταφέρεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα που εξαρτάται κάθε φορά από το ρυθμό μετάδοσης που απαιτείται να έχει το δίκτυο. Παραδείγματα τέτοιων δικτύων αποτελούν τα δίκτυα μικροκυματικών ζεύξεων, τα δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών, καθώς και τα δορυφορικά δίκτυα.

### 4.2.2 Ταξινόμηση ως προς το είδος της σύνδεσης

Με κριτήριο το είδος της σύνδεσης οι σύνδεσμοι διακρίνονται στις ακόλουθες δύο κατηγορίες:

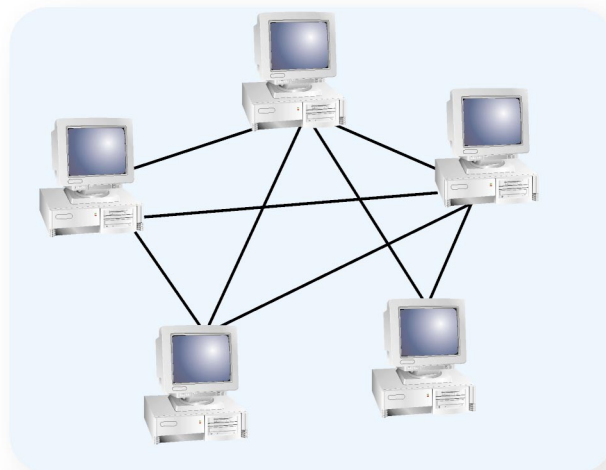
- ✓ **Σύνδεσμος σημείου προς σημείο** (*point-to-point connection*), ο οποίος συνδέει δύο μόνο κόμβους κάθε φορά. Πρόκειται για την απλούστερη μορφή επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων, που επιτυγχάνεται με απευθείας σύνδεσή τους



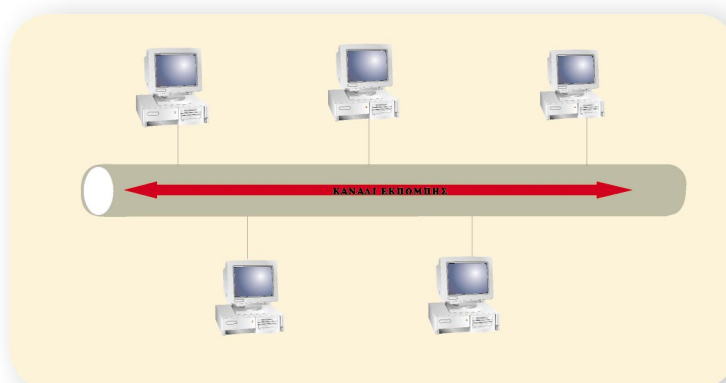
με κάποια γραμμή επικοινωνίας (σχήμα 4.6). Όταν δύο κόμβοι δεν επικοινωνούν με απευθείας σύνδεση, έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν μέσω κάποιων άλλων κόμβων, με αποτέλεσμα η επικοινωνία να γίνεται τμηματικά. Φυσικά δεν είναι απαραίτητο η επικοινωνία δύο κόμβων να γίνεται πάντα μέσω των ίδιων γραμμών μετάδοσης, αφού είναι δυνατόν να αλλάξει η διαδρομή για διάφορους λόγους. Στο πλαίσιο αυτό έχουν αναπτυχθεί ειδικές τεχνικές για τον έλεγχο και τον καθορισμό της δρομολόγησης των δεδομένων από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Γνωστά δίκτυα με συνδέσεις σημείου προς σημείο είναι τα δίκτυα δεδομένων ευρείας περιοχής, το Διαδίκτυο, καθώς και άλλα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, όπως για παράδειγμα, το τηλεφωνικό δίκτυο, τα παλαιά τηλεγραφικά δίκτυα κτλ.

- ✓ **Σύνδεσμος ανοικτής ακρόασης ή ευρείας εκπομπής (broadcasting)**, ο οποίος συνδέει δύο ή και περισσότερους κόμβους ταυτόχρονα (σχήμα 4.7). Τα δίκτυα ευρείας εκπομπής διαθέτουν ένα μόνο κανάλι επικοινωνίας, το οποίο μοιράζονται όλοι οι κόμβοι που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Αποτέλεσμα αυτής της σύνδεσης είναι κάθε μήνυμα που αποστέλλεται να παραλαμβάνεται από όλους ανεξαιρέτως τους χρήστες που βρίσκονται στο δίκτυο. Για το λόγο αυτό ο σύνδεσμος αυτής της μορφής λέγεται και **σύνδεσμος σημείου με πολλαπλά σημεία (point to multipoint connection)**. Το μήνυμα που στέλνεται από έναν κόμβο σε έναν άλλο είναι εφοδιασμένο με τη διεύθυνση του παραλήπτη και λαμβάνεται από όλους τους κόμβους που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Όταν ένας κόμβος δεχτεί το μήνυμα, ελέγχει τη διεύθυνση του παραλήπτη. Αν η διεύθυνση είναι του παραλήπτη, τότε παραλαμβάνει και καταχωρίζει το μήνυμα στον αποταμιευτή του *buffer* για περαιτέρω επεξεργασία, διαφορετικά το αγνοεί.

Αρκετές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί οι οποίες καθορίζουν τον τρόπο και το χρόνο χρησιμοποίησης του κοινού μέσου μετάδοσης από τους κόμβους. Εκτός από τα τοπικά δίκτυα των ηλεκτρονικών υπολογιστών, άλλα γνωστά δίκτυα ανοικτής ακρόασης είναι αυτά του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης, στα οποία όμως οι δέκτες δεν έχουν τη δυνατότητα εκπομπής.



Σχήμα 4.6: Δίκτυο επικοινωνίας με συνδέσεις σημείου προς σημείο. Το σήμα λαμβάνεται μόνο από το σταθμό στον οποίο αποστέλλεται και όχι από όλους τους σταθμούς.



Σχήμα 4.7: Δίκτυο ανοικτής ακρόασης ή ευρείας εκπομπής. Το σήμα λαμβάνεται από όλους τους σταθμούς.



### 4.2.3 Ταξινόμηση ως προς τη γεωγραφική κάλυψη



Το **IEEE** (*Institute of Electronics and Electrical Engineers*) είναι το Ινστιτούτο Ηλεκτρονικών και Ηλεκτρολόγων Μηχανικών.

Ένα άλλο κριτήριο ταξινόμησης των δικτύων υπολογιστών είναι η έκταση την οποία αυτά καταλαμβάνουν. Τρεις είναι οι κύριες μορφές δικτύων αυτής της ταξινόμησης, που όμως έχουν ασαφή γεωγραφικά όρια διαχωρισμού και τείνουν να προδιαγράψουν τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε κάθε κατηγορία. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **τοπικά δίκτυα** (*LAN: Local Area Networks*),
- ✓ **μητροπολιτικά δίκτυα** (*MAN: Metropolitan Area Networks*),
- ✓ **δίκτυα ευρείας περιοχής** (*WAN: Wide Area Networks*).

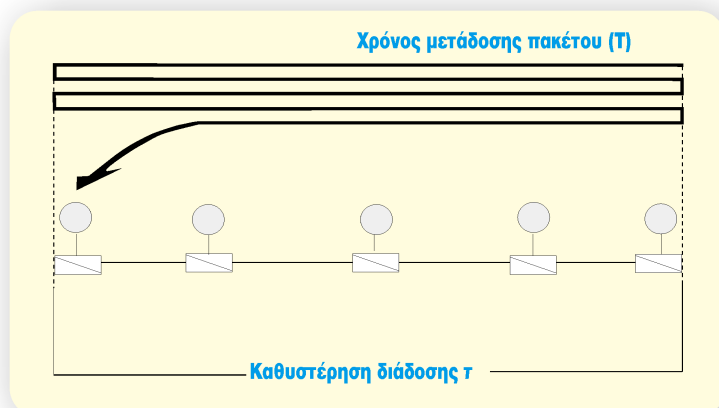
Η ταξινόμηση αυτή οφείλεται στο *IEEE* και λαμβάνει υπόψη της, πέρα από τη γεωγραφική εμβέλεια του δικτύου, και άλλα χαρακτηριστικά, τα σπουδαιότερα των οποίων είναι:

- ✓ Ο αριθμός των χρηστών που μπορεί το δίκτυο να εξυπηρετήσει.
- ✓ Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων.
- ✓ Το περιθώριο λάθους που υπάρχει κατά τη μετάδοση των δεδομένων.
- ✓ Ο τρόπος με τον οποίο το δίκτυο δρομολογεί τα δεδομένα από τον έναν κόμβο στον άλλο.
- ✓ Η καθυστέρηση της μετάδοσης των δεδομένων.
- ✓ Το μέγεθος του συντελεστή σύζευξης.

Σημειώνεται ότι ως **συντελεστής σύζευξης** (*coupling coefficient*) ορίζεται ο λόγος  $\alpha = \tau/T$ , όπου  $\tau$  είναι η καθυστέρηση διάδοσης του σήματος από το ένα άκρο του δικτύου στο άλλο και  $T$  ο μέσος χρόνος μετάδοσης του πακέτου. Ο συντελεστής αυτός είναι ενδεικτικός του τρόπου κατανομής των χρηστών σε σχέση με το μέσο χρόνο μετάδοσης

του πακέτου (σχήμα 4.8). Στα τοπικά δίκτυα η τιμή του  $\alpha$  είναι θετική αλλά πολύ μικρότερη της μονάδας ( $0 < \alpha < 1$ ), στα μητροπολιτικά είναι συνήθως κοντά στο 1 ( $0,1 < \alpha < 1$ ), ενώ στα δίκτυα ευρείας περιοχής είναι αρκετά μεγαλύτερη του 1 ( $\alpha > 1$ ). Όμως ο υπολογισμός του  $\alpha$  είναι μια σύνθετη υπόθεση, αφού ανάγεται στον υπολογισμό του μέσου χρόνου μετάδοσης του πακέτου  $T$ , ο οποίος συμπεριλαμβάνει και το χρόνο καθυστέρησης του πακέτου στους κόμβους από τους οποίους διέρχεται.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, με την αλματώδη ανάπτυξη νέων τεχνικών μετάδοσης και τεχνολογιών διασύνδεσης, πολλά από τα παραπάνω χαρακτηριστικά που αφορούν την ταξινόμηση των δικτύων έχουν μεταβληθεί σημαντικά. Για παράδειγμα, σήμερα, με την εξέλιξη των τοπικών δικτύων υψηλών επιδόσεων, η κατηγορία των μητροπολιτικών δικτύων ουσιαστικά έχει αφομοιωθεί από τις άλλες δύο κατηγορίες δικτύων.



Σχήμα 4.8: Συντελεστής σύζευξης  $\alpha = \tau/T$



- ✓ **Τοπικά δίκτυα (LAN: Local Area Networks)** ονομάζονται τα δίκτυα των οποίων η γεωγραφική κάλυψη είναι περιορισμένη (σχήμα 4.9). Ενσύρματα δίκτυα αυτής της κατηγορίας συνήθως δεν εκτείνονται πέρα από 100 km. Τα πρώτα τοπικά δίκτυα περιορίζονταν σε μήκος καλωδίωσης έως 20 km και έδιναν ρυθμούς μετάδοσης έως 16 Mbps. Μετέπειτα επεκτάθηκαν σε μήκος έως 100 km, δίνοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως 100 Mbps. Με τις σημερινές τεχνολογίες οι ρυθμοί μετάδοσης υπερβαίνουν το 1 Gbps και τείνουν να φτάσουν τα 2 Gbps.

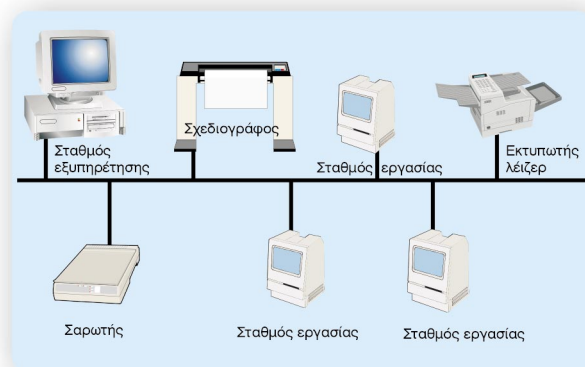
Τοπικό μπορεί να είναι το δίκτυο ενός ή περισσότερων δωματίων, ενός κτιρίου ή ακόμα και κοντινών κτιρίων. Για παράδειγμα, το δίκτυο μιας εταιρείας που διασυνδέει τις αποθήκες, το τμήμα παραγγελιών, το λογιστήριο και τις άλλες υπηρεσίες της στο ίδιο κτίριο αποτελεί ένα τοπικό δίκτυο. Τοπικά δίκτυα συγκροτούνται συνήθως ανάμεσα σε προσωπικούς υπολογιστές, χωρίς να αποκλείεται και ο συνδυασμός μεσαίων ή μεγάλων υπολογιστών. Το φυσικό μέσο μετάδοσης είναι συνήθως κάποιος τύπος χάλκινου καλωδίου (π.χ. ομοαξονικό, συνεστραμμένου ζεύγους κτλ.) ή ακόμα και οπτικές ίνες. Το λειτουργικό σύστημα μπορεί να είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα δικτύου ή ένας συνδυασμός λειτουργικών συστημάτων με δικτυακές δυνατότητες ή επεκτάσεις. Οι υπολογιστές αυτοί μπορεί να είναι οποιοδήποτε μεγέθους και ποικίλων δυνατοτήτων. Συνήθως τα φυσικά μέσα μετάδοσης των τοπικών δικτύων είναι ιδιόκτητα.

Ενδεικτικά, ένα τοπικό δίκτυο θα μπορούσε να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- |                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| • Γεωγραφική κάλυψη:          | 0 - 100 km            |
| • Αριθμός υπολογιστών:        | περίπου 1.000         |
| • Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων: | 1 Mbps - 1 Gbps       |
| • Ρυθμός λαθών:               | 1 bit στα $10^9$ bits |
| • Καθυστερήση μετάδοσης:      | 1 - 100 ms            |
| • Συντελεστής σύζευξης:       | $0 < \alpha < 1$      |

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο χαρακτηρισμός ενός δικτύου ως τοπικού δε συνεπάγεται αυτόματα και την ικανοποίηση όλων των τιμών των παραπάνω χαρακτηριστικών. Απλές μέθοδοι δρομολόγησης συναντώνται στα μεγαλύτερα τοπικά δίκτυα, που χρησιμοποιούν ειδικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές για τη διασύνδεσή τους, όπως διακοπτικά στοιχεία, δρομολογητές, γέφυρες και επαναλήπτες. Γι' αυτές τις ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις και τη χρησιμότητά τους θα αναφερθούμε λεπτομερέστερα στα Κεφάλαια 9, 13 και 16.

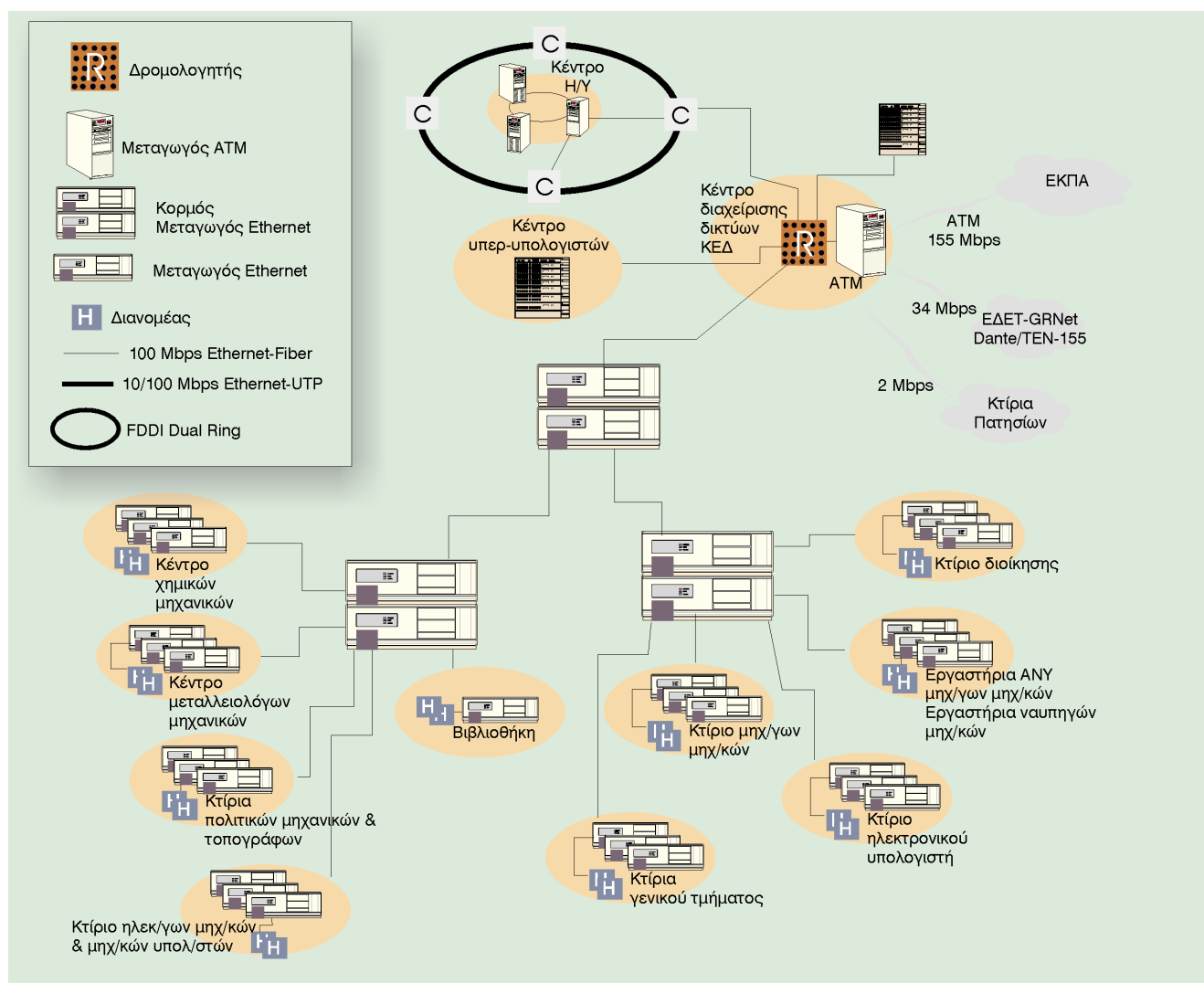
Πολλά πρότυπα τοπικών δικτύων έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα, δύο όμως είναι τα κυριότερα, του *Ethernet* και του *Token Ring*.



Σχήμα 4.9: Τοπικό δίκτυο



- ✓ **Μητροπολιτικά δίκτυα (MAN: Metropolitan Area Networks)** ονομάζονται τα δίκτυα των οποίων η γεωγραφική κάλυψη βρίσκεται στο ενδιάμεσο μεταξύ των τοπικών και των δικτύων ευρείας περιοχής (σχήμα 4.10). Προέκυψαν από την ανάγκη να καλυφθούν μεγάλες γεωγραφικά αποστάσεις με δίκτυα που έχουν χαρακτηριστικά τοπικών δικτύων, τουλάχιστον όσον αφορά το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων. Ενσύρματα δίκτυα αυτής της κατηγορίας δεν υπερβαίνουν σε μήκος εγκατεστημένης καλωδίωσης τα 200 km, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης μπορεί να κυμαίνονται από 56 Kbps έως 100 Mbps, ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Συνήθως τα φυσικά μέσα μετάδοσης των μητροπολιτικών δικτύων είναι ιδιόκτητα.



Σχήμα 4.10: Το δίκτυο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου διαθέτει πολλά από τα χαρακτηριστικά ενός μητροπολιτικού δικτύου.



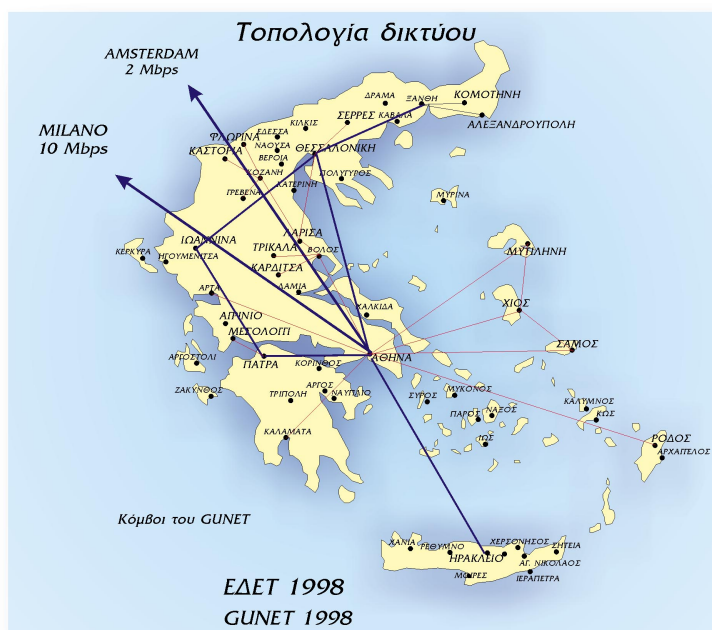
Ενδεικτικά, ένα μητροπολιτικό δίκτυο θα μπορούσε να διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Γεωγραφική κάλυψη: 100 - 200 km
- Αριθμός υπολογιστών: 5.000 - 10.000
- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων: 100 Mbps
- Ρυθμός λαθών: 1 bit στα  $10^9$  bits
- Καθυστέρηση μετάδοσης: 1- 100 ms
- Συντελεστής σύζευξης: περίπου 1 ( $0,1 < \alpha < 10$ )

Δύο είναι τα κυριότερα πρότυπα επικοινωνίας που αντιπροσωπεύουν τα μητροπολιτικά δίκτυα: το **δίκτυο οπτικής διασύνδεσης κατανεμημένων δεδομένων (FDDI: Fiber Distributed Data Interface)** και το **δίκτυο διπλού διαύλου κατανεμημένης ουράς (DQDB: Distributed Queue Dual Bus)**. Όσον αφορά την τεχνολογία τους, τα δίκτυα FDDI τείνουν να αφομοιωθούν από τα τοπικά δίκτυα, ενώ τα δίκτυα DQDB από τα δίκτυα ευρείας περιοχής.

- ✓ **Δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN: Wide Area Networks)** ονομάζονται τα δίκτυα των οποίων η γεωγραφική κάλυψη υπερβαίνει τα 200 km, ενώ οι υπολογιστές που τα αποτελούν βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Τα δίκτυα αυτά είναι συνήθως υπεραστικά ή διεθνή. Οι ρυθμοί μετάδοσής τους διαβαθμίζονται ανάλογα με την τεχνολογία τους, σήμερα όμως ξεπερνούν τα 622 Mbps, φτάνοντας και το 1 Gbps. Το πλήθος των υπολογιστών και των λειτουργικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε ένα δίκτυο ευρείας περιοχής μπορεί να είναι τεράστιο, ενώ σε αρκετά εκατομμύρια ανέρχεται και ο αριθμός των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν μέσω αυτού, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με το Διαδίκτυο (σχήμα 4.11). Σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να ενώνονται άλλα μικρότερα δίκτυα ευρείας περιοχής, μητροπολιτικά δίκτυα, τοπικά δίκτυα και αυτόνομοι υπολογιστές. Για τη διασύνδεση δύο ή περισσότερων δικτύων χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές, όπως είναι οι δρομολογητές και οι κατανεμητές.

Ενδεικτικά και κατά την ταξινόμηση του



Σχήμα 4.11: Τμήμα του Διαδικτύου των ελληνικών πανεπιστημίων μέσω του οποίου θα υλοποιηθεί και το πανελλήνιο δίκτυο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης EDUnet.

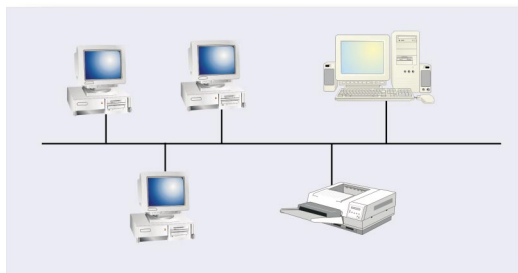


IEEE, τα χαρακτηριστικά ενός δικτύου ευρείας περιοχής είναι τα ακόλουθα:

- Γεωγραφική κάλυψη:  $> 200 \text{ km}$
- Αριθμός υπολογιστών:  $> 10.000$
- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων:  $> 1 \text{ Mbps}$
- Ρυθμός λαθών:  $1 \text{ bit στα } 10^6 \text{ bits}$
- Καθυστέρηση μετάδοσης:  $100 - 1.000 \text{ ms}$
- Συντελεστής σύζευξης:  $\alpha > > 1$

Αρχικά ο εξοπλισμός διασύνδεσης και τα φυσικά μέσα σύνδεσης των δικτύων ευρείας περιοχής είχαν δημόσιο χαρακτήρα, σήμερα όμως αυτό δεν είναι απαραίτητο να ισχύει. Παραδείγματα δικτύων ευρείας περιοχής συνιστούν το τηλεφωνικό δίκτυο, άλλα δημόσια δίκτυα μεταφοράς δεδομένων, καθώς και το Διαδίκτυο.

Στην κατηγοριοποίηση που αναφέρθηκε κάθε τύπος δικτύου απαιτεί διαφορετικές αρχές σχεδιασμού και διαφορετική τεχνολογία υλοποίησης από τους υπόλοιπους τύπους δικτύων. Καθοριστικό παράγοντα γι' αυτό αποτελεί και το φυσικό μέσο μετάδοσης, που ποικίλλει ανάλογα με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία και τους φυσικούς περιορισμούς. Για παράδειγμα, η ασύρματη τεχνολογία έχει συνήθως ως αποτέλεσμα χαμηλότερους ρυθμούς μετάδοσης από την αντίστοιχη ενσύρματη. Όμως παρέχει ευελιξία και ωφέλεια κόστους, επειδή αποτελεί συστατικό στοιχείο της κινητής επικοινωνίας και δεν απαιτεί ενσύρματη εγκατάσταση.

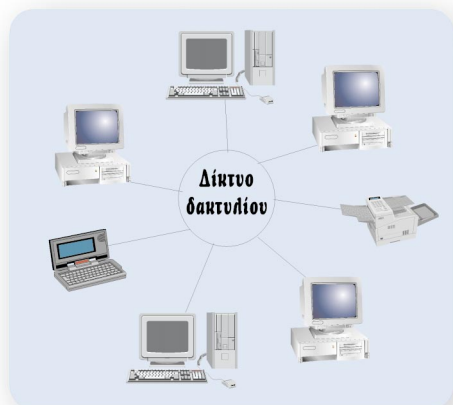


Σχήμα 4.12: Δίκτυο τοπολογίας διαύλου

#### 4.2.4 Ταξινόμηση ως προς την τοπολογία

Ως **τοπολογία δικτύου** χαρακτηρίζεται η φυσική διάταξη των καλωδίων που συνδέουν τους κόμβους του δικτύου. Μερικές από τις πιο γνωστές τοπολογίες είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **Διαύλου, λεωφόρου ή αρτηρίας (bus).** Στην περίπτωση αυτή οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται μέσω ενός καλωδίου του οποίου τα άκρα είναι ανοικτά (σχήμα 4.12). Η χρήση αυτής της τοπολογίας περιορίζεται συνήθως σε μικρά τοπικά δίκτυα. Μειονέκτημα αυτού του είδους σύνδεσης είναι ότι, αν το καλώδιο κοπεί σε κάποιο σημείο, το δίκτυο δεν μπορεί να λειτουργήσει.
- ✓ **Δακτυλίου (ring).** Στην τοπολογία αυτή (σχήμα 4.13) οι υπολογιστές του δικτύου συνδέονται επίσης μέσω ενός μόνο καλωδίου, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, με τη διαφορά ότι τα άκρα του είναι μεταξύ τους ενωμένα.
- ✓ **Άστρου (star).** Στην τοπολογία αυτή (σχήμα 4.14) υπάρχει ένας κατακεντρώμενος ή κεντρικός υπολογιστής ο οποίος συνδέεται με κάθε υπολογιστή του δικτύου απευθείας με μια μόνιμη γραμμή σύνδεσης. Δύο υπολογιστές του δικτύου της μορφής αυτής μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους μόνο μέσω του κεντρικού υπολογιστή.

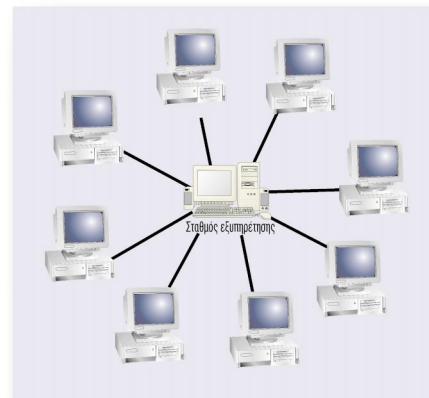


Σχήμα 4.13: Δίκτυο τοπολογίας δακτυλίου

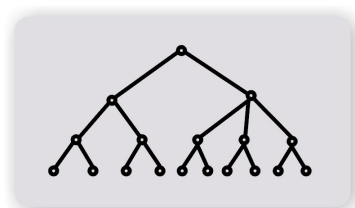


- ✓ **Δέντρου (tree).** Η τοπολογία του δέντρου (σχήμα 4.15), η οποία είναι παράγωγη της τοπολογίας του άστρου, έχει ιεραρχική δομή σχήματος δέντρου. Η ρίζα έχει την κύρια ευθύνη και μοιράζεται ιεραρχικά τους κόμβους των κλάδων του δέντρου.
- ✓ **Δικτυωτού (mesh).** Η τοπολογία αυτή (σχήμα 4.16), η οποία λέγεται και πλέγμα, δεν έχει κάποια συγκεκριμένη μορφή ούτε αποτελεί συνένωση άλλων δικτύων γνωστής μορφής.
- ✓ **Μεικτή (mixed).** Η μεικτή τοπολογία αποτελεί συνένωση πολλών διαφορετικών τοπολογιών (σχήμα 4.17).

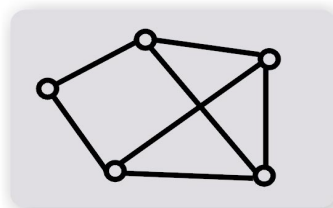
Σημειώνεται ότι οι κόμβοι του δικτύου που συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές υψηλού ρυθμού μετάδοσης σχηματίζουν το λεγόμενο **κορμό (backbone)** του δικτύου. Οι κόμβοι αυτοί συχνά λειτουργούν ως **πύλες (gateways)** για δίκτυα χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης.



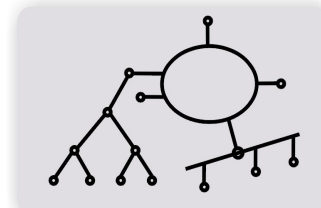
Σχήμα 4.14: Δίκτυο τοπολογίας άστρου.



Σχήμα 4.15: Δίκτυο τοπολογίας δέντρου



Σχήμα 4.16: Δίκτυο τοπολογίας δικτυωτού



Σχήμα 4.17: Δίκτυο μεικτής τοπολογίας

## 4.2.5 Ταξινόμηση ως προς την τεχνολογία

Ως προς την τεχνολογία των δικτύων, οι πρώτες προσπάθειες ταξινόμησης αφορούν τη διασύνδεση δύο μόνο υπολογιστών. Όπως είναι γνωστό, οι προσπάθειες αυτές κατέληξαν στη δημιουργία των προτύπων της ασυγχρόνιστης και της συγχρονισμένης μετάδοσης. Τα πρότυπα αυτά περιγράφηκαν στο Μάθημα 2.3 και έχουν ως ακολούθως:

- ✓ **Πρότυπο RS-232C** και μετέπειτα **RS-422**, **RS-423** και **RS-449**. Σε φυσικό επίπεδο η διασύνδεση δύο υπολογιστών επιτεύχθηκε το 1969 με τη δημοσίευση του προτύπου **RS-232C**. Το πρότυπο αυτό αφορά την έως 38 Kbps σειραϊκή μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο υπολογιστών οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση που δεν υπερβαίνει τα 30 μέτρα. Πρόκειται για χαμηλού ρυθμού μεταφορά δεδομένων, κατάλληλη για κοντινές αποστάσεις, η οποία γίνεται σειραϊκά, δηλαδή μεταφέρεται ένας χαρακτήρας κάθε φορά.
- ✓ **Πρότυπο ελέγχου συγχρονισμένης γραμμής δεδομένων (SDLC: Synchronous Data Link Control).** Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 εισάγεται το πρότυπο της **συγχρονισμένης μετάδοσης**, το οποίο αύξησε το ρυθμό μετάδοσης και το ωφέλιμο μήκος της γραμμής μετάδοσης. Το πρότυπο αυτό, που είναι γνωστό ως **SDLC**, στηρίζεται στη δημιουργία πακέτων και επομένως στην εξοικονόμηση του χρόνου που χάνεται από τα κενά των διαδοχικών χαρακτήρων της σει-

Η σημερινή τεχνολογική εξέλιξη δημιούργησε μια γρήγορη, ισόχρονη, χαμηλού κόστους σειραϊκή διεπαφή που λέγεται **USB (Universal Serial Bus)**. Η διεπαφή αυτή έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης, μέσω διανομέα, με πολλές άλλες συσκευές, περιφερειακά, τηλεφωνικές συσκευές κτλ., τις οποίες μπορεί και να διαχειριστεί.



Το **πακέτο** είναι μια ακολουθία από δυαδικά ψηφία στην οποία έχουν ενσωματωθεί δύο προκαθορισμένες αλλά διαφορετικές σειρές δυαδικών ψηφίων, εκ των οποίων η μία τίθεται στην αρχή του πακέτου και λέγεται **επικεφαλίδα** (*header*), ενώ η άλλη τίθεται στο τέλος του πακέτου και λέγεται **ουρά** (*trailer*). Ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων στο πακέτο ποικίλλει, ενώ το μέγεθός του παίρνει πολλές φορές καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του δικτύου.

ραϊκής μετάδοσης.

Τόσο η ασυγχρόνιστη όσο και η συγχρονισμένη μεταφορά δεδομένων, που χρησιμοποιούνται ευρύτατα έως σήμερα στη διασύνδεση δύο κόμβων για ανταλλαγή πληροφοριών, δεν απαντούν στο ερώτημα πώς διασυνδέονται περισσότεροι από δύο κόμβοι. Το ερώτημα αυτό, που απασχόλησε τους μηχανικούς επικοινωνιών από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, απαντήθηκε με την αποδοχή της τεχνολογίας της **μεταγωγής**. Σημειώνεται ότι μπορεί κανείς να διακρίνει τρεις μεγάλες περιόδους που χαρακτηρίζουν την εξέλιξη της τεχνολογίας των δικτύων υπολογιστών η οποία εξειδικεύτηκε με τις παρακάτω τεχνικές:

- ✓ η τεχνική της **μεταγωγής κυκλώματος** (*circuit switching*),
- ✓ η τεχνική της **μεταγωγής πακέτου ή αποθήκευσης και προώθησης** (*packet switching ή store and forward*) και
- ✓ η τεχνική του **ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς** (*ATM: Asynchronous Transfer Mode*).

Η τεχνική της μεταγωγής κυκλώματος οφείλει την ανάπτυξή της στο τηλεφωνικό δίκτυο, ενώ η τεχνική της μεταγωγής πακέτου αφορά τα δίκτυα δεδομένων. Στην πρώτη περίπτωση η μετάδοση δεδομένων είναι εφικτή μόνο μετά την εγκατάσταση μιας φυσικής ζεύξης (κυκλώματος) μεταξύ των κόμβων, ενώ στη δεύτερη τα πακέτα αποστέλλονται συνεχόμενα στο δίκτυο, με αποτέλεσμα τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου μετάδοσης της πληροφορίας.

Η ανάπτυξη της τεχνικής των **ψηφιακών δικτύων ολοκληρωμένων υπηρεσιών** (*ISDN*) αποτελεί μια προσπάθεια για τη μετάδοση όλων των μορφών πληροφορίας, όπως δεδομένα ηλεκτρονικών υπολογιστών, βίντεο, εικόνας, φωνής κ.ά., από το ίδιο μέσο μετάδοσης. Η τεχνική των δικτύων *ISDN* προωθήθηκε σε δύο επίπεδα, την τεχνική των δικτύων **στενής ζώνης** (*narrowband*), γνωστή και ως *N-ISDN*, και την τεχνική των δικτύων **ευρείας ζώνης** (*broadband*), γνωστή και ως *B-ISDN*. Η πρώτη παρέχει συνδέσεις συνολικού εύρους ζώνης 144 Kbps (2B + D), ενώ η δεύτερη 1.984 Kbps (30B + D). Η τεχνική *B-ISDN* μετεξελίχτηκε, ιδιαίτερα στην περίπτωση των δικτύων ευρείας περιοχής, ώστε να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη μιας νέας τεχνικής, του **ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς** (*ATM: Asynchronous Transfer Mode*). Σύμφωνα μ' αυτή τη νέα τεχνική, οι πληροφορίες οποιασδήποτε μορφής τεμαχίζονται σε μικρά πακέτα των 53 δυαδικών ψηφίων, τα οποία συνδυαζόμενα συνθέτουν ροές κυκλοφορίας πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης, που κινούνται μεταξύ 150 Mbps και φθάνουν σταδιακά το 1 Gbps. Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να συνεργαστεί με όλους σχεδόν τους τύπους των πρωτοκόλλων. Τελευταίες ανακαλύψεις προωθούν την ανάπτυξη της τεχνικής *ATM* και στα τοπικά δίκτυα. Τα δίκτυα αυτά είναι γνωστά και ως **τοπικά δίκτυα ασυγχρόνιστου τρόπου μεταφοράς** (*LATM: Local ATM*).

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Ενσύρματη επικοινωνία, ασύρματη επικοινωνία, σύνδεσμος σημείου προς σημείο, σύνδεσμος ανοικτής ακρόασης ή ευρείας εκπομπής, τοπικά δίκτυα, μητροπολιτικά δίκτυα, δίκτυα ευρείας περιοχής, τοπολογία δικτύου (δίαυλος, δακτύλιος, άστρο, δέντρο, δικτυωτό, μεικτή) μεταγωγή, μεταγωγή κυκλώματος, μεταγωγή πακέτων, αποθήκευση και προώθηση.



## Μάθημα 4.3: Αξιοπιστία μετάδοσης – Απόδοση δικτύου

### 4.3.1 Αξιοπιστία μετάδοσης

Είναι προφανές ότι ένα δίκτυο θα πρέπει να μεταφέρει χωρίς σφάλματα την πληροφορία από το ένα στο άλλο άκρο του. Επειδή όμως, όπως συμβαίνει άλλωστε σε όλους τους τομείς της ζωής μας, τα σφάλματα είναι αναπόφευκτα, το δίκτυο θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με μηχανισμούς εντοπισμού και αντιμετώπισης των **σφαλμάτων μετάδοσης**.

#### 4.3.1.1 Αιτίες των σφαλμάτων μετάδοσης

Τα σφάλματα μεταφοράς προκύπτουν από διάφορες αιτίες. Συχνά πρόκειται για **σφάλματα κατά τη μετάδοση** των δεδομένων από το φυσικό μέσο μεταφοράς (π.χ. χάλκινο καλώδιο, οπτική ίνα ή ασύρματη ζεύξη). Σ' αυτή την περίπτωση αντιστρέφεται η τιμή σε ένα δυαδικό ψηφίο ή σε μία ομάδα από συνεχόμενα δυαδικά ψηφία (από 0 γίνεται 1 και το αντίστροφο). Αιτίες εμφάνισης τέτοιων σφαλμάτων είναι η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, ο εξωτερικός θόρυβος και ο θόρυβος από τα κυκλώματα πομπού και δέκτη.

Μία άλλη συχνή αιτία εμφάνισης σφαλμάτων μετάδοσης στα δίκτυα δεδομένων είναι η **απόρριψη πακέτων** στους κόμβους. Είναι συνηθισμένο φαινόμενο τα πακέτα να αποθηκεύονται προσωρινά στους αποταμιευτές των κόμβων. Επειδή όμως οι αποταμιευτές είναι συγκεκριμένης χωρητικότητας, ένα πακέτο είναι πιθανό να βρει τον αποταμιευτή γεμάτο κατά την άφιξή του στον κόμβο. Σ' αυτή την περίπτωση το πακέτο απορρίπτεται από τον κόμβο.

Τέλος, οι βλάβες ή οι δυσλειτουργίες του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, όπως επίσης και η **εσφαλμένη διαμόρφωση** και **παραμετροποίηση** του δικτυακού λογισμικού, είναι επίσης πιθανές αιτίες εμφάνισης σφαλμάτων μετάδοσης (π.χ. μια λανθασμένη ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης ενός κόμβου μπορεί να ανακατευθύνει όλα τα πακέτα μιας ροής δεδομένων προς έναν ανύπαρκτο προορισμό). Σ' αυτή την περίπτωση ο παραλήπτης - κόμβος μπορεί να μη λάβει δεδομένα που του είχαν αποσταλεί ή μπορεί και να λάβει δεδομένα που δεν προορίζονταν γι' αυτόν.

#### 4.3.1.2 Μηχανισμοί εντοπισμού και αντιμετώπισης των σφαλμάτων μετάδοσης

Το δίκτυο θα πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τα εσφαλμένα πακέτα, πριν τα παραδώσει στον προορισμό τους. Για το λόγο αυτό το δίκτυο προσθέτει σε κάθε πακέτο μία επιπλέον πληροφορία πριν από τη μεταφορά του. Έτσι, ανάλογα με το χρη-



σιμοποιούμενο μηχανισμό εντοπισμού και την έκταση της επιπλέον πληροφορίας, το δίκτυο εντοπίζει αλλοιώσεις σε ένα, δύο ή και περισσότερα δυαδικά ψηφία ταυτόχρονα. Αυτή η πρόσθετη πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη διόρθωση των εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων. Εάν ένα δυαδικό ψηφίο αναγνωρισθεί ως λανθασμένο, τότε η διόρθωσή του απαιτεί απλώς την αντιστροφή του 0 σε 1 ή του 1 σε 0.

Μία άλλη τεχνική αντιμετώπισης των σφαλμάτων μετάδοσης είναι η **επαναμετάδοση** των εσφαλμένων ή των απολεσθέντων πακέτων, στην οποία ο παραλήπτης ζητά την επανεκπομπή του συγκεκριμένου πακέτου από τον αποστολέα.

Τέλος, αρκετές σύγχρονες εφαρμογές παρουσιάζουν μια μικρή ανοχή στην εμφάνιση σφαλμάτων. Για παράδειγμα, κατά τη μετάδοση κινούμενης εικόνας ένα πακέτο αντιστοιχεί σε ένα πολύ μικρό τμήμα της εικόνας (π.χ. 8 x 8 κουκκίδες). Σε περίπτωση απώλειας του πακέτου ενεργοποιούνται διάφορες τεχνικές αναδημιουργίας του τμήματος της εικόνας από τα γειτονικά του, αντίστοιχα, τμήματα. Έτσι η απώλεια ενός πακέτου γίνεται αντιληπτή στον τελικό χρήστη με μια μικρή ποιοτική υποβάθμιση της λαμβανόμενης εικόνας, η οποία είναι συνήθως μέσα στα αποδεκτά όρια.

### 4.3.1.3 Δείκτης αξιοπιστίας μετάδοσης

Γενικότερα για τις συσκευές, ως δείκτης αξιοπιστίας χρησιμοποιείται ο **μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών**, ο οποίος προσδιορίζει τη μέση χρονική απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών βλαβών. Αυτός ο δείκτης μπορεί φυσικά να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις συσκευές δικτύου. Ειδικότερα για τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών, ορίζεται ο ακόλουθος **δείκτης αξιοπιστίας μετάδοσης**:

$$\text{Δείκτης αξιοπιστίας μετάδοσης} = 1 - \frac{\text{εσφαλμένα δεδομένα}}{\text{σύνολο ληφθέντων δεδομένων}}$$

Ως **εσφαλμένα** θεωρούνται εκείνα τα δεδομένα των οποίων τα σφάλματα μετάδοσης δεν εντοπίστηκαν ή εντοπίστηκαν αλλά δεν κατέστη δυνατόν να διορθωθούν από τους μηχανισμούς αντιμετώπισης σφαλμάτων του δικτύου. Επίσης ως εσφαλμένα θεωρούνται και εκείνα τα πακέτα που ελήφθησαν περισσότερες από μία φορές (π.χ. γιατί ζητήθηκε εσφαλμένα η επανεκπομπή τους). Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι ο δείκτης αξιοπιστίας, τόσο πιο αξιόπιστο είναι το δίκτυο για τη μετάδοσης δεδομένων.

### 4.3.2 Απόδοση δικτύου

Όπως όλα σχεδόν τα συστήματα, έτσι και τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών πρέπει να σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνουν την καλύτερη κατά το δυνατόν απόδοση. Δύο μετρήσιμοι όροι που χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα κατά το παρελθόν για το χαρακτηρισμό της απόδοσης του δικτύου είναι ο **ρυθμός διέλευσης** (*throughput*) και η **καθυστέρηση μεταφοράς** (*transmission delay*).



### 4.3.2.1 Ρυθμός διέλευσης

Ο **ρυθμός διέλευσης** εκφράζει το πλήθος των δυαδικών ψηφίων που μπορεί να μεταφερθεί αξιόπιστα μέσα από το δίκτυο σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, ένα δίκτυο με ρυθμό διέλευσης 10 Mbps περιμένουμε ότι θα μπορεί να μεταφέρει, από άκρο σε άκρο του δικτύου, 10 εκατομμύρια δυαδικά ψηφία στο χρονικό διάστημα του ενός δευτερολέπτου. Όμως, στην πράξη, αυτό μεταφέρει πολύ λιγότερα.

Σε γενικές γραμμές, ο ρυθμός διέλευσης ενός δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι ένας πολύ σύνθετος παράγοντας, ο οποίος εξαρτάται από τους ρυθμούς μετάδοσης των κόμβων, από τις λειτουργίες ελέγχου και διαχείρισης της κυκλοφορίας των κόμβων, καθώς και από το ρυθμό εμφάνισης σφαλμάτων κατά τη μεταφορά δεδομένων. Εάν η δικτυακή εφαρμογή απαιτεί τη μεταφορά αρχείων μεγάλου μεγέθους, όπως είναι για παράδειγμα η μεταφορά άρθρων από ψηφιακή βιβλιοθήκη, τότε ο ρυθμός διέλευσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα χαρακτηρισμού της απόδοσης του δικτύου.

### 4.3.2.2 Καθυστέρηση μεταφοράς

Η καθυστέρηση μεταφοράς εκφράζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται προκειμένου να μεταφερθεί ένα δυαδικό ψηφίο από το ένα άκρο του δικτύου στο άλλο και ισούται με το ακόλουθο άθροισμα:

$$\text{καθυστέρηση μεταφοράς} = \text{χρόνος μετάδοσης στο μέσο} + \text{χρόνος μετάδοσης στο δίκτυο} + \text{χρόνος αναμονής στους κόμβους}$$

- ✓ Ο πρώτος όρος του αθροίσματος, ο **χρόνος μετάδοσης στο μέσο**, αφορά το χρόνο που απαιτείται προκειμένου να μεταδοθεί ένα δυαδικό ψηφίο διαμέσου των φυσικών μέσων που συνθέτουν την από άκρη σε άκρη διαδρομή. Επειδή δεν υπάρχει υλικό το οποίο μπορεί να μεταδοθεί με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτήν του φωτός, ο χρόνος μετάδοσης στο μέσο έχει ως κατώτερο φράγμα το πηλίκο της απόστασης των δύο άκρων του διά την ταχύτητα της μετάδοσης του φωτός.
- ✓ Ο δεύτερος όρος του αθροίσματος, ο **χρόνος μετάδοσης στο δίκτυο**, ισούται με το αντίστροφο του ρυθμού διέλευσης του δικτύου. Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο με ρυθμό διέλευσης 10 Mbps ο χρόνος μετάδοσης ενός δυαδικού ψηφίου (*bit time*) θα είναι ίσος με 0,1 μsec.
- ✓ Τέλος, ο τρίτος όρος του αθροίσματος, ο **χρόνος αναμονής στους κόμβους**, αφορά το χρόνο που περιμένει ένα πακέτο στον προσωρινό αποταμιευτή κάθε κόμβου, μέχρι να εξυπηρετηθεί. Ο ακριβής υπολογισμός του χρόνου αναμονής είναι ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα στο πεδίο των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών και, τουλάχιστον από όσα γνωρίζουμε, μπορούμε να εκφράσουμε προσεγγιστικές εκτιμήσεις μόνο για μερικές ειδικές κατηγορίες δικτύων.

Στα σύγχρονα δίκτυα ο χρόνος μετάδοσης αποτελεί τον κύριο όρο στο άθροισμα υπολογισμού της καθυστέρησης μεταφοράς. Εάν η δικτυακή εφαρμογή απαιτεί μικρούς χρόνους απόκρισης και ανταλλάσσει αρχεία μικρού μεγέθους μεταξύ των πελατών και των σταθμών εξυπηρέτησης (π.χ. τηλεειδοποίηση ή τηλεέλεγχος), τότε η καθυστέρηση



μεταφοράς παίζει σημαντικό ρόλο στο χαρακτηρισμό της απόδοσης του δικτύου.

### Παράδειγμα Ι

Έστω ότι δύο κόμβοι, σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη αντίστοιχα, ενώνονται με απευθείας σύνδεσμο, ο οποίος έχει ρυθμό μετάδοσης 1 Mbps, δεν παρουσιάζει σφάλματα κατά τη μεταφορά δεδομένων και διατίθεται αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση αυτών των δύο κόμβων μόνο.

Γνωρίζοντας ότι η απόσταση Αθήνας - Θεσσαλονίκης ισούται με 500 km, μπορούμε να υπολογίσουμε την καθυστέρηση μεταφοράς  $D$  από την ακόλουθη σχέση:

$$D = \frac{500 \text{ km}}{300.000 \text{ km/sec}} + \frac{1 \text{ bit}}{10^6 \text{ bps}} \Leftrightarrow D = 1,67 \text{ msec} + 0,001 \text{ msec}$$

Τονίζουμε ότι ο σύνδεσμος διατίθεται αποκλειστικά για την εξυπηρέτηση των δύο κόμβων και επομένως τα πακέτα της ροής δεδομένων κάθε κόμβου δε θα επιβαρύνονται με χρόνο αναμονής.

Σ' αυτό το παράδειγμα φαίνεται ότι ο χρόνος μετάδοσης στο μέσο είναι τρεις τάξεις μεγαλύτερος από το χρόνο μετάδοσης στο δίκτυο. Αυτή η διαφορά θα αμβλυνθεί σημαντικά στα μελλοντικά δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθώς ο ρυθμός διέλευσής τους αναμένεται να αυξηθεί κατά πολύ σε σχέση με τα σύγχρονα δίκτυα.

### 4.3.2.3 Χαρακτηρισμός της απόδοσης δικτύου

Οι δύο όροι που παρουσιάσαμε στις προηγούμενες παραγράφους χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα κατά το παρελθόν για να χαρακτηρίσουν την απόδοση ενός δικτύου. Αξίζει επίσης να παρατηρήσουμε ότι, μέχρι πρόσφατα, οι δικτυακές εφαρμογές δεν είχαν ιδιαίτερες απαιτήσεις **ποιότητας εξυπηρέτησης** (QoS: *Quality of Service*) από το δίκτυο. Για παράδειγμα, κανένας χρήστης δεν ξεκινούσε τη μεταφορά κάποιου αρχείου του από απομακρυσμένο κόμβο έχοντας προσυμφωνήσει με το δίκτυο έναν αυστηρό χρόνο παράδοσης.

Όμως στα σύγχρονα δίκτυα άρχισαν ήδη να εμφανίζονται διάφορες υπηρεσίες που έχουν πολύ αυστηρές προδιαγραφές όσον αφορά την παρεχόμενη από το δίκτυο ποιότητα εξυπηρέτησης. Για παράδειγμα, στην εκπομπή κινούμενης εικόνας, όπου κάθε στιγμή (καρέ) μεταδίδεται στο δίκτυο με σταθερό ρυθμό, συνήθως ίσο με 30 καρέ/sec, η διακύμανση της καθυστέρησης μεταφοράς πακέτου δεν μπορεί να υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή. Έτσι, κατά την είσοδό του στο δίκτυο, κάθε καρέ απέχει από το προηγούμενο και το επόμενο του χρόνο ίσο με 33 msec. Κάθε καρέ, κατά τη μεταφορά του από το δίκτυο, υφίσταται διαφορετική καθυστέρηση από τα υπόλοιπα. Αν η διαφορά στην καθυστέρηση που έχουν υποστεί δύο διαδοχικά καρέ υπερβαίνει τα 33 msec, τότε το δεύτερο καρέ δε θα είναι διαθέσιμο προς απεικόνιση στην ώρα του, με συνέπεια κάποια στιγμιαία παραμόρφωση της λαμβανόμενης εικόνας.

Επομένως στην απόδοση ενός δικτύου θα πρέπει να συνυπολογίζονται και τα προκαθορισμένα και προσυμφωνημένα όρια αποδεκτής ποιότητας εξυπηρέτησης των διάφορων κλήσεων.

#### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Αξιοπιστία, σφάλμα μετάδοσης, απόδοση, ρυθμός διέλευσης, καθυστέρηση, χρόνος μετάδοσης στο μέσο, χρόνος μετάδοσης στο δίκτυο, χρόνος αναμονής στους κόμβους, ποιότητα εξυπηρέτησης.



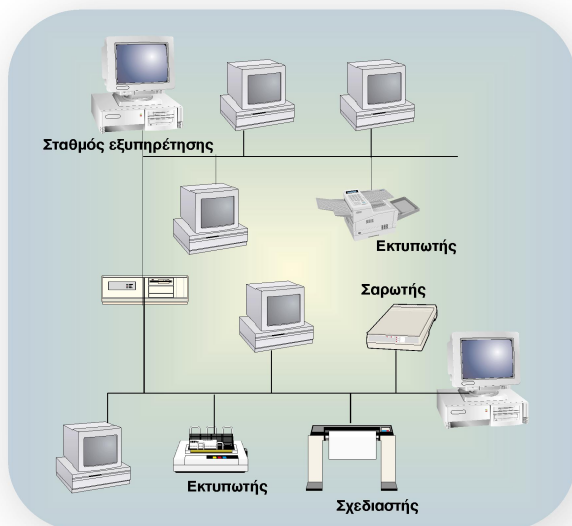
## Μάθημα 4.4: Τεχνολογική εξέλιξη δικτύων δεδομένων

Δε θα ήταν υπερβολή να ισχυριστεί κανείς ότι σήμερα τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι ένα βασικό εργαλείο της καθημερινής μας ζωής, τόσο στο χώρο του σπιτιού όσο — και πολύ περισσότερο — στον εργασιακό χώρο, όπου βρίσκουν πολύ μεγάλη εφαρμογή. Η ευρεία χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των δικτύων έχει αλλάξει δραστικά, τα τελευταία χρόνια, τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί μια επιχείρηση. Σε πολλές περιπτώσεις η εφαρμογή της νέας τεχνολογίας είναι τόσο καθοριστική, ώστε να επηρεάζει την ικανότητα της επιχείρησης να σταθεί ανταγωνιστικά μέσα στο χώρο της.

Από την εποχή που ο Βρετανός Charles Morrison, το 1753, ανέπτυξε ένα από τα πρώτα δίκτυα επικοινωνιών που χρησιμοποιούσαν ηλεκτρικές μεθόδους πολλά έχουν αλλάξει. Σήμερα, στις ανεπτυγμένες τουλάχιστον κοινωνίες, η επικοινωνία των υπολογιστών δίνει τη δυνατότητα στον καθένα να επικοινωνήσει με απομακρυσμένους υπολογιστές. Η παράλληλη εξέλιξη των επικοινωνιών και των υπολογιστικών συστημάτων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη διάφορων τύπων δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτά τα δίκτυα είναι υπεύθυνα για τη γρήγορη και ασφαλή μετάδοση διάφορων τύπων δεδομένων μεταξύ των κόμβων, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται σε απόσταση που κυμαίνεται από λίγα μόλις μέτρα μέχρι χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά.

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα μαθήματα, η ανάπτυξη των διάφορων τύπων δικτύων άρχισε στα τέλη της δεκαετίας του 1960 από το **Τμήμα Προηγμένων Αμυντικών Ερευνητικών Προγραμμάτων** (ARPA: *Advanced Research Projects Agency*) της Αμερικής. Το επιστέγασμα ήταν η έναρξη της λειτουργίας του *ARPANET*, ενός δικτύου τεσσάρων υπολογιστών, το οποίο χρησιμοποίησε το ήδη υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο, καθώς και ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για τη μεταγωγή των πακέτων, τον έλεγχο και τη διόρθωση των σφαλμάτων μετάδοσης. Επάνω σ' αυτό το δίκτυο συνδέθηκαν σταδιακά πολλά ερευνητικά και πανεπιστημιακά ιδρύματα. Σημειώνεται ότι η αρχική έρευνα χρηματοδοτήθηκε από το αμερικανικό Υπουργείο Άμυνας (*DoD: Department of Defense*) και είχε σκοπό την επικοινωνία των πολιτικο-στρατιωτικών κέντρων της Αμερικής.

Η δεκαετία του 1970 ήταν η περίοδος που τα μεγάλα υπολογιστικά συστήματα (*mainframes*) έδιναν σταδιακά τη θέση τους στα μικρότερα (*minicomputers* και *microcomputers*). Η φιλοσοφία άλλαξε και δόθηκε έμφαση στην περιφερειακά κατανεμημένη επεξεργαστική δύναμη και όχι στην κεντρική επεξεργαστική υπερδύναμη των μεγάλων υπολογιστικών συστημάτων. Ωστόσο το κόστος για τις περιφερειακές συσκευές ήταν αρκετά μεγάλο. Τη λύση έδωσαν τα τοπικά δίκτυα, μέσω των οποίων όλοι οι χρήστες του δικτύου είχαν πρόσβαση σε κοινούς πόρους, όπως είναι τα περιφερειακά μηχανήματα. Το σχήμα 4.18 παρουσιάζει την περίπτωση κατά την οποία διαφορετικοί τύποι διασυνδεδεμένων ηλεκτρονικών υπολογιστών έχουν πρόσβαση σε



Σχήμα 4.18: Η χρήση πόρων ενός τοπικού δικτύου.



Το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο τοπικό δίκτυο ήταν το *ARCNET*, το οποίο παρουσιάστηκε από την *Data Point* το 1976. Γρήγορα ακολούθησαν το *Ethernet* από τη *Xerox*, το *Token Ring* της *IBM*, καθώς και πολλοί άλλοι τύποι τοπικών δικτύων. Για αποστάσεις που δεν ξεπερνούν τα 10 km το *Ethernet* είναι το πρότυπο τοπικό δίκτυο που κυριαρχεί στην αγορά μέχρι και σήμερα. Για παράδειγμα, το δίκτυο του σχολείου σας είναι πολύ πιθανό να είναι αυτού του τύπου.

κάποια ηλεκτρονική διάταξη. Έτσι με την ανάπτυξη νέων συσκευών μεταγωγής όλο και περισσότεροι χρήστες μπορούσαν να έχουν πρόσβαση σε συσκευές συνδεδεμένες με το δίκτυο.

Η αλλαγή στο σχεδιασμό των υπολογιστών αναμφίβολα επηρέασε και την ανάπτυξη του *ARPANET*, το οποίο όμως σταδιακά μεγάλωνε, καθώς ομοσπονδιακές υπηρεσίες της Αμερικής και πανεπιστήμια που συμμετείχαν στην έρευνα συνδέονταν μαζί του, με αποτέλεσμα να προκύψει επιτακτική η ανάγκη της δημιουργίας πρωτοκόλλων που θα ρύθμιζαν την κυκλοφορία στο διαρκώς αυξανόμενο υποδίκτυο. Μέσω του δικτύου αυτού οι ειδικοί συμφώνησαν στην προτυποποίηση της μορφής του πακέτου, καθώς και σε ένα κοινό σχήμα διευθυνσιοδότησης. Η μοναδικότητα της μορφής του πακέτου έδωσε τη δυνατότητα διασύνδεσης όλων των διαφορετικών τύπων δικτύων, που προσαρμόστηκαν στους νέους κανόνες, συμπεριλαμβανομένων τόσο των τοπικών δικτύων με συνδέσεις σημείου προς πολλά σημεία που βρίσκονταν ήδη σε πειραματική λειτουργία όσο και των δικτύων με συνδέσεις σημείου προς σημείο. Ταυτό-

χρονα οι ερευνητές μπόρεσαν να αναπτύξουν εφαρμογές επικοινωνιών στηριζόμενοι στη ρεαλιστική υπόθεση ότι τα δεδομένα είναι δυνατόν να μεταφερθούν με πακέτα σταθερής μορφής και μεγέθους.

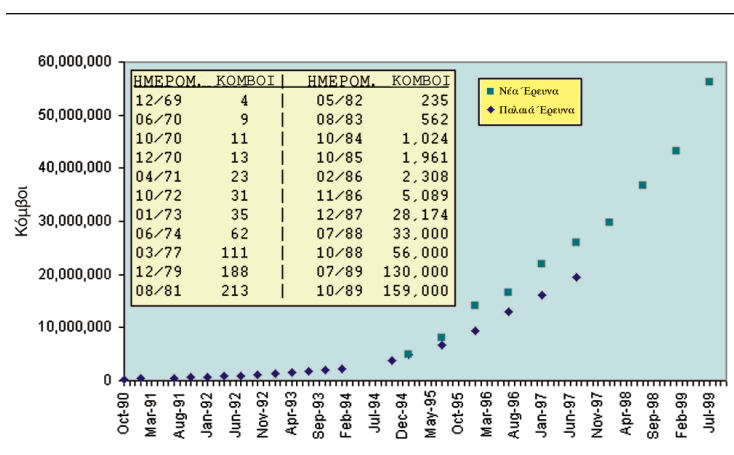
Κατάληξη του *ARPANET* ήταν η ανάπτυξη του μοντέλου *TCP/IP*, το οποίο εκτός των άλλων επέτρεπε στα τότε υπάρχοντα τοπικά δίκτυα των διάφορων οργανισμών, εταιρειών και πανεπιστημίων να συνδέονται στο *ARPANET*. Το νέο πρωτόκολλο που δημιουργήθηκε στηρίχτηκε τόσο στη λογική του *ARPANET* όσο και στο **πρότυπο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων** (*OSI: Open Systems Interconnection*), το οποίο θα αναλυθεί στο Μάθημα 5.4. Το 1983 το *TCP/IP* έγινε το μοναδικό επίσημο πρωτόκολλο του *ARPANET*. Το ίδιο έτος όλο το πολιτικο-στρατιωτικό τμήμα του *ARPANET* αποσχίστηκε δημιουργώντας το *MILNET*, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 1990 το *ARPANET* σταμάτησε τη λειτουργία του, καθώς υπερκαλύφτηκε από νεότερα δίκτυα, που το ίδιο δημιούργησε.

Τα οφέλη από αυτή την εξέλιξη έγιναν αμέσως φανερά, αφού το *ARPANET* θεωρήθηκε, όχι τυχαία, ο προπομπός του Διαδικτύου, που σήμερα χρησιμοποιείται παγκοσμίως στη διασύνδεση μεγάλου αριθμού υπολογιστών και δικτύων, αλλάζοντας τη μορφή της κοινωνίας με την εισαγωγή της αμεσότητας στην πληροφόρηση. Ασφαλώς υπήρξαν και άλλα δίκτυα που δημιουργήθηκαν σχεδόν παράλληλα με το *ARPANET* και σήμερα έχουν αφομοιωθεί από το Διαδίκτυο. Ένα από αυτά, το σπουδαιότερο ίσως, ήταν το *NSFNET* (*National Science Foundation NETwork*), το οποίο δημιουργήθηκε από τον ομώνυμο οργανισμό και συνέδεε πανεπιστήμια και οργανισμούς που δεν είχαν την τύχη να βρίσκονται κάτω από την «ομπρέλα» του *ARPANET*. Από τότε που τα δύο δίκτυα ενοποιήθηκαν άρχισε μια εκθετική αύξηση των δικτύων που συνδέονταν με το νέο γίγαντα (σχήματα 4.19 και 4.20). Ήταν αυτό το ενοποιημένο δίκτυο

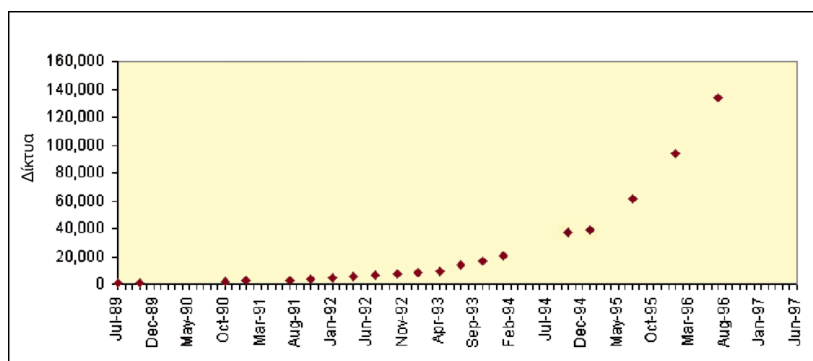


που στα μέσα της δεκαετίας του 1980 μετονομάστηκε ανεπίσημα σε Διαδίκτυο.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 αναπτύχθηκαν και άλλα δίκτυα, κυρίως ευρωπαϊκά, που ακολούθησαν το πρότυπο που δημιουργήθηκε από τη **Διεθνή Συμβουλευτική Επιτροπή Τηλεγραφίας και Τηλεφωνίας (CCITT: Comite Consultatif International de Telegraphique et Telephonique)**. Το επικρατέστερο από αυτά, το X.25,



Σχήμα 4.19: Αύξηση των συνδεδεμένων κόμβων στο Διαδίκτυο



Σχήμα 4.20: Αύξηση των συνδεδεμένων δικτύων στο Διαδίκτυο

αναπτύχθηκε με σκοπό να προσφέρει διασύνδεση μεταξύ των δημόσιων δικτύων μεταγωγής πακέτων και των πελατών τους. Οι ρυθμοί μετάδοσής του είναι χαμηλοί, με προδιαγραφές που δεν ξεπερνούν τα 64 Kbps.

Η αδυναμία του X.25 να δώσει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης στα δίκτυα μεταγωγής πακέτων προκάλεσε την αντικατάστασή του από μια νέα τεχνική, τη **μεταγωγή πλαισίου (FR: Frame Relay)**, η οποία θα παρουσιαστεί στο Μάθημα 15.2. Η τεχνική



Τα πρώτα προγράμματα που αναπτύχθηκαν για δίκτυα με πακέτα δεδομένων στο χώρο της αγοράς είχαν στόχο την επικοινωνία ενός μεγάλου κόμβου με πολλούς τερματικούς σταθμούς. Εκείνη την εποχή αρκετές εταιρείες κατασκεύαζαν τέτοια δίκτυα με οδηγό το πρόγραμμα *TYMNET* της *Tymshare Co* και αφού διατέθηκαν στην αγορά οι πρώτοι επεξεργαστές για την επικοινωνία δικτύων με πακέτα δεδομένων.



Ενδιαφέροντα στοιχεία σχετικά με την ιστορία και τα μεγέθη του Διαδικτύου στην πάροδο του χρόνου μπορεί κανείς να βρει στις URL διευθύνσεις της Ενότητας II.



αυτή αναπτύχθηκε για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της γρήγορης και αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων, κυρίως κατά τη διασύνδεση και την επικοινωνία μεταξύ τοπικών δικτύων με δίκτυα ευρείας περιοχής ή τοπικών δικτύων μεταξύ τους. Στις περιπτώσεις αυτές παρατηρείται η λεγόμενη **καταιγιστική κίνηση** (*bursty traffic*), όπου συμβαίνουν σύντομες αλλά πολύ μεγάλου όγκου μετακινήσεις δεδομένων. Η μεταγωγή πλαισίου εμφανίστηκε στην αρχή της δεκαετίας του 1990 και βασίζεται στα προϋπάρχοντα πρότυπα του *X.25* και του *ISDN*.

Όπως αναφέρθηκε στο Μάθημα 4.2, η ανάπτυξη του *ISDN* αποτέλεσε και τη βάση της νέας τεχνικής του *ATM*, το μεγάλο πλεονέκτημα της οποίας συνίσταται στο γεγονός ότι μπορεί να λειτουργήσει με όλους τους τύπους των πρωτοκόλλων *TCP/IP*, *X.25*, *Frame Relay* κτλ. και ότι είναι ανεξάρτητη από την απόσταση, μπορεί δηλαδή να καλύψει τόσο τα τοπικά όσο και τα δίκτυα ευρείας περιοχής.



### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

*ARPANET*, πρότυπο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (*OSI*), μεταγωγή πλαισίου, καταιγιστική κίνηση.



## Μάθημα 4.5: Χρήση δικτύων

### 4.5.1 Η χρήση των δικτύων στην κοινωνία της πληροφορίας

Η ευρύτατη χρήση των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει επιφέρει ριζικές αλλαγές σε πολλούς τομείς της οικονομικής και της κοινωνικής ζωής, όπως είναι η αμεσότητα στην πληροφόρηση, η νέα (ηλεκτρονική) οικονομία η αναμόρφωση της όλης εκπαιδευτικής διαδικασίας, η υγεία, η ψυχαγωγία κτλ. Η ευρεία χρήση τους οφείλεται τόσο στη συνεχή μείωση του κόστους των υπολογιστών όσο και στην παράλληλη αύξηση των δυνατοτήτων τους. Τα οφέλη των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

- ✓ **Διαμοιρασμός πόρων δικτύου.** Η διασύνδεση των υπολογιστών έχει μεγάλη επίδραση στον εργασιακό χώρο, αφού αυξάνει τη λειτουργικότητά του προσθέτοντας δυνατότητες, όπως είναι για παράδειγμα:
  - **Ο διαμοιρασμός εφαρμογών.** Οι εφαρμογές λογισμικού υψηλού κόστους, όπως ένας προσομοιωτής ή ένα στατιστικό ή σχεδιαστικό πακέτο, μπορούν να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα από διάφορους χρήστες στο δίκτυο, χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάστασή τους σε καθέναν υπολογιστή ξεχωριστά.
  - **Ο διαμοιρασμός περιφερειακών συσκευών.** Όλα τα συστήματα ενός δικτύου μπορούν να χρησιμοποιούν οποιαδήποτε περιφερειακή συσκευή, όπως έναν έγχρωμο εκτυπωτή λέιζερ, ένα σαρωτή υψηλής ευκρίνειας κτλ.
  - **Ο διαμοιρασμός αρχείων.** Διάφορα κοινόχρηστα αρχεία μπορούν να αποθηκεύονται σε ένα μόνο υπολογιστή του δικτύου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόσβασή τους σε όλους τους υπολογιστές των ενδιαφερόμενων χρηστών.
- ✓ **Επικοινωνία και πληροφόρηση.** Οι υπηρεσίες του Διαδικτύου αποτελούν εύχρηστους και άμεσους τρόπους επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών. Το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η οπτική τηλεδιάσκεψη, οι ειδήσεις κτλ. είναι σήμερα πραγματικότητα για εκατομμύρια ανθρώπους σε όλο τον κόσμο. Ταυτόχρονα παραδοσιακές και νέες πηγές πληροφόρησης, όπως οι εφημερίδες, η τηλεόραση, το ραδιόφωνο, τα περιοδικά, είναι διαθέσιμα στο Διαδίκτυο για τους συνδρομητές - χρήστες του.

Η αύξηση της επεξεργαστικής δυνατότητας και η συνεχιζόμενη τεχνολογική εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει επιτρέψει την ανάπτυξη δικτυακών εφαρμογών ιδιαίτερης πολυπλοκότητας και υψηλών προδιαγραφών. Τέτοιες εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ισχύ επεξεργασίας και ικανότητα μεταφοράς δεδομένων είναι:



Η αναμόρφωση της εκπαιδευτικής διαδικασίας αφορά τη διάχυση του εκπαιδευτικού υλικού και την εισαγωγή της ηλεκτρονικής εκπαίδευσης. Ο παραδοσιακός τρόπος διδασκαλίας μαθημάτων σχετικών με την πληροφορική και τις επικοινωνίες, τα μαθηματικά και τις φυσικές επιστήμες μπορεί να αλλάξει, μέσω της ανάπτυξης του κατάλληλου εκπαιδευτικού λογισμικού, διευκολύνοντας τον τρόπο παρουσίασης και κατανόησής τους. Στη χώρα μας, στο πλαίσιο της εκπαιδευτικής αναβάθμισης, έχουν δημιουργηθεί — ή βρίσκονται στο τελικό στάδιο ολοκλήρωσης — προϊόντα λογισμικού που λειτουργούν επικουρικά στη διδασκαλία πολλών διαδικτυακών μαθημάτων.



- ✓ η οπτική τηλεδιάσκεψη (*video-conference*),
- ✓ η αναγνώριση φωνής (*speech recognition*),
- ✓ η επεξεργασία εικόνας (*image processing*),
- ✓ οι μηχανολογικές και επιστημονικές εφαρμογές,
- ✓ τα συστήματα προσομοίωσης (*simulation systems*) κ.ά.

Επιπλέον οι εφαρμογές που ήδη αναπτύσσονται στα δίκτυα νέων τεχνολογιών είναι πάρα πολλές και αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά αρκετούς τομείς της κοινωνικής και της οικονομικής δραστηριότητας. Αναλυτικότερα, μερικές τέτοιες εφαρμογές είναι:

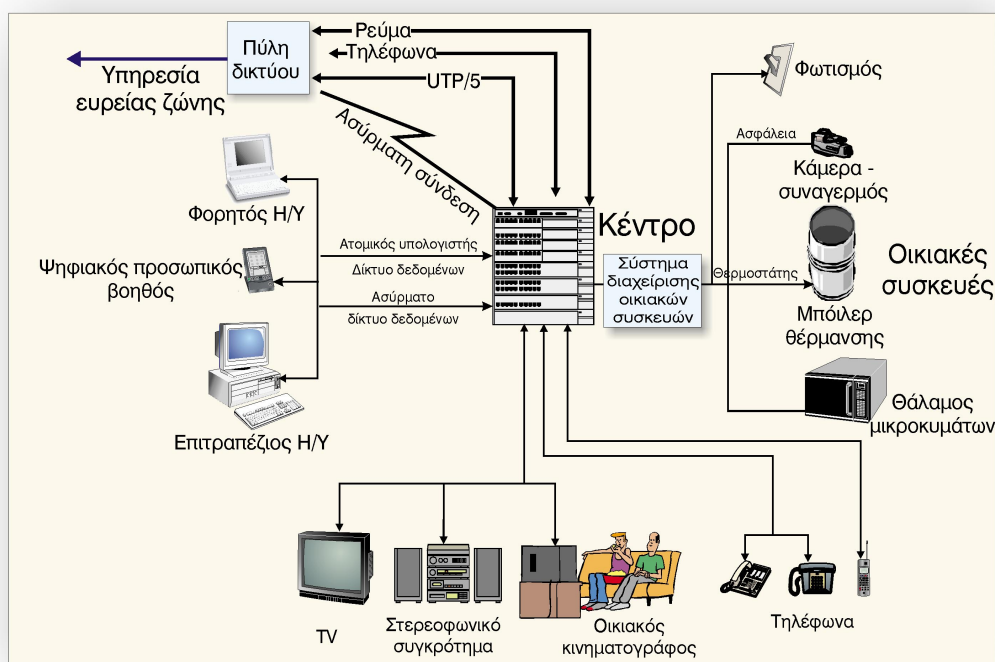
- ✓ **Η τηλεδιάσκεψη.** Αποτελεί μια εναλλακτική οικονομική λύση για τα επαγγελματικά ταξίδια. Όλοι οι χρήστες θα βρίσκονται και θα συνομιλούν σε έναν ιδεατό χώρο, θα μοιράζονται τις ηλεκτρονικές σημειώσεις τους και θα γράφουν τις παρατηρήσεις τους σε έναν ηλεκτρονικό πίνακα.
- ✓ **Η τηλεϊατρική.** Πρόκειται για εφαρμογή που έχει στόχο την άμεση πρόσβαση σε ιατρικές πληροφορίες τεράστιου όγκου, την αναζήτηση παρόμοιων περιστατικών και τη ζωντανή σύνδεση του ιατρικού και του νοσηλευτικού προσωπικού με κόμβους επιστημονικής υποστήριξης. Οι δυνατότητες αυτές μπορούν να υποστηριχθούν από τα δίκτυα υψηλών επιδόσεων και αναμένεται ότι θα βελτιώσουν το επίπεδο των προσφερόμενων ιατρικών υπηρεσιών.
- ✓ **Η τηλεεκπαίδευση.** Σύμφωνα με την εφαρμογή αυτή, κάθε εκπαιδευόμενος θα μπορεί από το χώρο του να παρακολουθεί τη διδασκαλία ενός θέματος, όποτε θέλει, με το ρυθμό που κρίνει αποδοτικό, επιλέγοντας ή επαναλαμβάνοντας τμήματά της και έχοντας ταυτόχρονα πρόσβαση σε μια τεράστια ποικιλία επικουρικού και συμπληρωματικού υλικού, όπως π.χ. ψηφιακές βιβλιοθήκες, ηλεκτρονικά εργαστήρια, εκπαιδευτικό λογισμικό κτλ.
- ✓ **Το ηλεκτρονικό εμπόριο.** Όπως γίνεται και σήμερα, έτσι και με τα δίκτυα υψηλών επιδόσεων ο καθένας θα μπορεί να κάνει μια έρευνα αγοράς για τα προϊόντα που τον ενδιαφέρουν, πριν τα αγοράσει. Η μεγάλη διαφορά όμως είναι ότι η έρευνα θα γίνεται με ηλεκτρονικό τρόπο από το χώρο του καθενός, εύκολα και γρήγορα, ψάχνοντας σε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό κατάστημα του πλανήτη εμπορεύεται τα προϊόντα που τον ενδιαφέρουν. Έτσι θα μπορεί να πραγματοποιήσει με ασφάλεια και εμπιστευτικότητα, οποιαδήποτε εμπορική συναλλαγή επιθυμεί, όπως π.χ. παραγγελίες, πληρωμές κ.ά. χωρίς να μετακινηθεί από το χώρο του.
- ✓ **Τα ψυχαγωγικά προγράμματα.** Η εκπομπή ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών προγραμμάτων υψηλής πιστότητας και ευκρίνειας, η επιλογή προβολής ταινιών ή εκτέλεσης μουσικών έργων κατ' απαίτηση και η ζωντανή σύνδεση με οποιοδήποτε ηλεκτρονικό τόπο του πλανήτη εξελίσσεται ένα ενδιαφέρον φαινόμενο ή παρουσιάζεται μια ευχάριστη εκδήλωση είναι από τις πρώτες υπηρεσίες που εμφανίζονται στα δίκτυα υψηλών επιδόσεων.



## 4.5.2 Η νέα δυναμική

Η δικτύωση των υπολογιστών έχει αλλάξει πάρα πολύ τα τελευταία χρόνια. Πριν από μία εικοσαετία τα δίκτυα των υπολογιστών ήταν προνόμιο των πανεπιστημίων και άλλων ισχυρών οργανισμών και θεωρούνταν εργαλεία που χρησιμοποιούνταν μόνο από ειδικούς και για ειδικούς σκοπούς. Σήμερα υπάρχει μεγάλη ποικιλία από υπολογιστές, από προσωπικούς μέχρι υπερυπολογιστές, οι οποίοι συνήθως συνδέονται σε κάποιο δίκτυο. Το προνόμιο της χρήσης ενός δικτύου έχει επεκταθεί και στον απλό χρήστη, που έχει τη δυνατότητα να συνδέεται με το Διαδίκτυο από το σπίτι του και να το χρησιμοποιεί για πληροφόρηση, για ψυχαγωγία ή για ενημέρωση σε θέματα που τον ενδιαφέρουν. Τελευταία εμφανίζονται και τα οικιακά τοπικά δίκτυα, όπου οι περισσότεροι του ενός ηλεκτρονικοί υπολογιστές που βρίσκονται στο σπίτι είναι δυνατόν να δικτυωθούν χρησιμοποιώντας για την επικοινωνία τους τις ήδη υπάρχουσες τηλεφωνικές ή ηλεκτρικές εγκαταστάσεις του κτιρίου, καθώς επίσης και τεχνικές για ασύρματη σύνδεση (σχήμα 4.21).

Μέχρι πριν από λίγα χρόνια κάθε κατασκευαστής δικτύου είχε μια δική του αρχιτεκτονική, με αποτέλεσμα να υπάρχουν πολλά προβλήματα ασυμβατότητας μεταξύ των δικτύων. Σήμερα η βιομηχανία των υπολογιστών έχει συμφωνήσει σε μια σειρά **διεθνών προτύπων**, στην οποία περιγράφονται κοινές αρχιτεκτονικές, συμβατές μεταξύ τους. Ένα από αυτά τα πρότυπα είναι γνωστό ως **μοντέλο αναφοράς OSI** (*OSI Reference Model*). Η ιδέα του OSI είναι να σχεδιάζει κανείς δίκτυα σε μια σειρά επιπέδων, καθένα από τα οποία να βασίζεται και να εξυπηρετεί το προηγούμενο. Το OSI θα μελετηθεί πιο αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 4.21: Συνδέσεις σε οικιακό τοπικό δίκτυο

### Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Διαμοιρασμός πόρων δικτύου, επικοινωνία και πληροφόρηση, τηλεδιάσκεψη, τηλεϊατρική, τηλεεκπαίδευση, ηλεκτρονικό εμπόριο, ψυχαγωγικά προγράμματα, διεθνή πρότυπα.



## Ανακεφαλαίωση

Τα δίκτυα επικοινωνίας ηλεκτρονικών υπολογιστών ανήκουν στη γενικότερη κατηγορία των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Όπως είναι γνωστό, η ανάπτυξη της τεχνολογίας της πληροφορικής και των ηλεκτρονικών υπολογιστών προώθησε τη διασύνδεση των διάφορων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών και τη συνεργασία μεταξύ των χρηστών. Από την εξέλιξη αυτή δεν ήταν δυνατόν να εξαιρεθούν τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Ένα δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών αποτελείται από τα στοιχεία που επικοινωνούν μεταξύ τους, το υλικό (πληροφορία) που ανταλλάσσουν τα στοιχεία αυτά, καθώς και τις γραμμές επικοινωνίας μέσω των οποίων διακινείται η πληροφορία. Στο κεφάλαιο αυτό εξετάστηκαν με κάθε λεπτομέρεια όλα τα επιμέρους στοιχεία που απαρτίζουν το δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών και ειδικότερα οι κόμβοι, τα φυσικά μέσα μετάδοσης που χρησιμοποιούνται, οι διατάξεις διασύνδεσης, καθώς και το λογισμικό διαχείρισης του δικτύου. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην ταξινόμηση των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών σύμφωνα με ορισμένα καίρια χαρακτηριστικά τους, όπως είναι το μέσο μετάδοσης, το είδος της σύνδεσης, η γεωγραφική κάλυψη, το είδος της τοπολογίας και τέλος η τεχνολογία του δικτύου. Παράγοντες που επηρεάζουν βασικές παραμέτρους του δικτύου, όπως είναι η αξιοπιστία της μετάδοσης και η απόδοση του δικτύου, αναλύθηκαν με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας της εξυπηρέτησης (QoS: *Quality of Service*).

Τέλος, εξετάστηκε η διαχρονική τεχνολογική εξέλιξη των δικτύων δεδομένων, με κύρια έμφαση στην πορεία του Διαδικτύου και στο ρόλο των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών στην κοινωνία της πληροφορίας.



## Ερωτήσεις

1. Ποια είναι τα δομικά στοιχεία ενός δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών;
2. Πώς ταξινομούνται τα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών κατά το *IEEE* και ποια είναι τα κυριότερα κριτήρια βάσει των οποίων γίνεται αυτή η ταξινόμηση;
3. Ποιοι είναι οι λόγοι που οδήγησαν στην αλματώδη ανάπτυξη των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών;
4. Τι είναι οι συνδέσεις εκπομπής; Δώσε ορισμένα παραδείγματα δικτύων της κατηγορίας αυτής.
5. Τι είναι οι συνδέσεις σημείου προς σημείο; Δώσε ορισμένα παραδείγματα δικτύων της κατηγορίας αυτής.
6. Ποιες είναι οι σημαντικότερες μορφές επικοινωνίας κάθε δεκαετίας από τα τέλη του 19ου αιώνα έως σήμερα;
7. Ποιος είναι ο ρόλος των κόμβων σε ένα δίκτυο επικοινωνίας ηλεκτρονικών υπολογιστών;
8. Τι είναι το υποδίκτυο επικοινωνίας και ποιος ο ρόλος του;
9. Ποιες είναι οι κυριότερες υπηρεσίες που βρίσκουν σήμερα εφαρμογή στα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών;

