

πηρέτησή τους. Το νέο πρωτόκολλο ήταν ανεξάρτητο από το υλικό και το λογισμικό χαμηλότερου επιπέδου: μπορούσε να λειτουργήσει με τον ίδιο τρόπο σε συσκευές οποιουδήποτε κατασκευαστή και καταργούσε τους περιορισμούς επικοινωνίας που επέβαλλαν οι διάφοροι κατασκευαστές. Λόγω και αυτής της καινοτομίας του, το νέο πρωτόκολλο προτάθηκε και για παγκόσμια διασύνδεση (μια ιδέα αρκετά πρωτοποριακή για την εποχή).

Το 1982 το TCP/IP καθιερώθηκε ως το βασικό πρωτόκολλο του δικτύου που αναπτύσσονταν και το οποίο συνέδεε πλέον συστήματα σε όλη την ήπειρο. Υπολογίζεται ότι την πρώτη δεκαετία λειτουργίας του TCP/IP συνδέονταν στο ARPANET ένας νέος υπολογιστής κάθε είκοσι μέρες.

Με την εξέλιξη του ARPANET έγινε φανερό ότι το νέο δίκτυο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί και από ερευνητές μη στρατιωτικών εφαρμογών. Δημιουργήθηκε έτσι το MILNET ως δίκτυο στρατιωτικών εφαρμογών ενώ το ARPANET παρέμεινε για ερευνητικές και άλλες δραστηριότητες που δεν σχετίζονταν με το στρατό. Με την πάροδο του χρόνου, το ARPANET ξεπέρασε τα όρια του στρατιωτικού δικτύου και άρχισαν να προστίθενται σε αυτό τα δίκτυα πανεπιστημίων, κοινωφελών οργανισμών καθώς και εταιριών. Το δίκτυο αυτό εξελίχθηκε στο γνωστό μας σήμερα Internet.

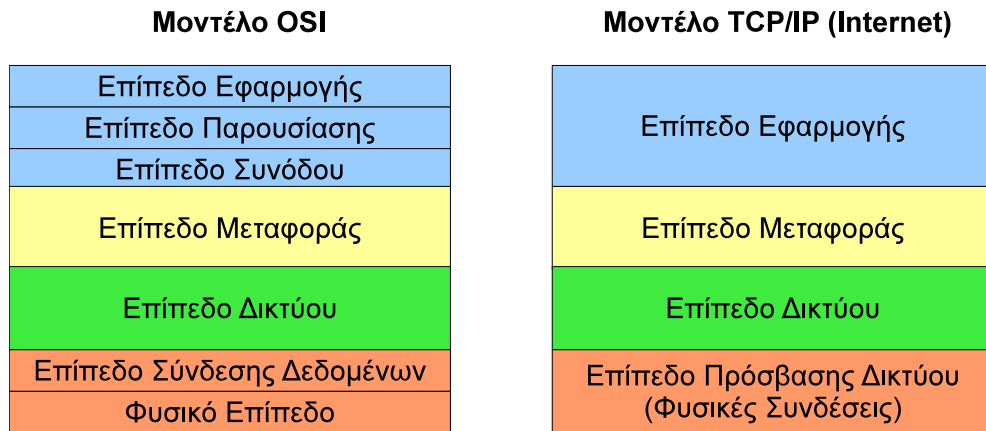
---

### 7.2.2 Σχέση OSI και TCP/IP

Το TCP/IP και το OSI ουσιαστικά αναπτύχθηκαν ταυτόχρονα. Δεν υπάρχει στην πραγματικότητα σύγκρουση μεταξύ των δύο προτύπων, ωστόσο υπάρχουν κάποιες ουσιαστικές διαφορές.

Στο μάθημα της Β τάξης μάθαμε ότι το πρότυπο OSI χωρίζει τη λειτουργία του δικτύου σε επίπεδα. Το TCP/IP χρησιμοποιεί επίσης το ίδιο μοντέλο. Μια από τις βασικές διαφορές των δύο είναι ότι το OSI χρησιμοποιεί επτά επίπεδα ενώ το TCP/IP μόνο τέσσερα. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει αντιστοιχία των επιπέδων ένα – προς – ένα. Όπως μπορείτε να δείτε στο σχήμα 7.4 πλήρης αντιστοιχία υπάρχει στα επίπεδα μεταφοράς και δικτύου. Τα επίπεδα εφαρμογής, παρουσίασης και συνόδου του OSI συνδυάζονται στο επίπεδο εφαρμογής του TCP/IP ενώ και τα επίπεδα σύνδεσης δεδομένων και φυσικό συνδυάζονται στο επίπεδο πρόσβασης δικτύου. Ο συνδυασμός των επιπέδων σύνδεσης δεδομένων και φυσικού στο TCP/IP είναι απαραίτητος καθώς βασική αρχή της τεχνολογίας TCP/IP είναι η υλοποίηση πρωτοκόλλου χωρίς σύνδεση.

Στην πραγματικότητα ωστόσο, ακόμα και στο μοντέλο OSI το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων και το φυσικό επίπεδο συνδυάζονται σε ένα έξυπνο ελεγκτή (κάρτα) δικτύου.



Σχήμα 7.4: Μοντέλα OSI και TCP/IP

Στο σχήμα 7.5 παρουσιάζονται τα επίπεδα του TCP/IP σε σχέση με τα επίπεδα του OSI ενώ παρουσιάζονται και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση κάθε επιπέδου. Πάνω από τα πρωτόκολλα TCP/IP βρίσκονται τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στο επίπεδο εφαρμογής. Τα πρωτόκολλα αυτά έχουν δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιούν για την επικοινωνία είτε το Πρωτόκολλο Ελέγχου Μετάδοσης TCP είτε το Πρωτόκολλο Αυτοδύναμων Πακέτων Χρήση, User Datagram Protocol, UDP στο επίπεδο μεταφοράς. Στο πρωτόκολλο δικτύου χρησιμοποιείται το Πρωτόκολλο Διαδικτύου, IP καθώς και το Πρωτόκολλο Μηνύματος Ελέγχου Διαδικτύου, Internet Control Message Protocol, ICMP. Καθώς τα πρωτόκολλα αυτά υλοποιούνται με λογισμικό (προγράμματα) το σχήμα δείχνει και τη σχέση των προγραμμάτων μεταξύ τους.

|                   | Εφαρμογές         | Εφαρμογές |
|-------------------|-------------------|-----------|
| Επίπεδο Εφαρμογής | Telnet, FTP, SMTP | TFTP      |
| Επίπεδο Μεταφοράς | TCP               | UDP       |
| Επίπεδο Δικτύου   | IP/ICMP           |           |

Σχήμα 7.5: Στοιβά Πρωτοκόλλων TCP/IP

**Επεξήγηση των Πρωτοκόλλων του σχήματος 7.5:** Τα πρωτόκολλα εφαρμογής που φαίνονται στην αριστερή στήλη χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο TCP στο επίπεδο μεταφοράς. Τα πρωτόκολλα εφαρμογής της δεξιάς στήλης χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο UDP στο επίπεδο μεταφοράς. Και στις δύο περιπτώσεις, στο επίπεδο δικτύου

χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα IP και ICMP. Τα πρωτόκολλα που αναφέρονται στο σχήμα είναι:

- **Telnet:** Telecommunications Network (Σημ: Λάθος του βιβλίου – στην πραγματικότητα σημαίνει Teletype Network) το οποίο χρησιμεύει για την απομακρυσμένη σύνδεση και χειρισμό (σε περιβάλλον γραμμής εντολών) ενός υπολογιστή από ένα άλλο. Στις μέρες μας έχει αντικατασταθεί από το πολύ πιο ασφαλές SSH (Secure Shell)
- **FTP:** File Transfer Protocol ή Πρωτόκολλο Μεταφοράς Αρχείων το οποίο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά αρχείων από ένα υπολογιστή σε ένα άλλο. Το χρησιμοποιούμε και σήμερα για να “κατεβάσουμε” αρχεία από τους λεγόμενους *εξυπηρετητές FTP*.
- **SMTP:** Simple Mail Transfer Protocol ή Απλό Πρωτόκολλο Μεταφοράς Ταχυδρομείου. Πρόκειται για το πρωτόκολλο που χρησιμοποιούν μεταξύ τους οι εξυπηρετητές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (το γνωστό μας email) στο Internet για να μεταφέρουν τα μηνύματα που στέλνουμε μέχρι τον παραλήπτη.
- **TFTP:** Πρόκειται για το Απλό Πρωτόκολλο Μεταφοράς Αρχείων (Trivial FTP) το οποίο χρησιμοποιείται για μεταφορά αρχείων όπως και το FTP αλλά έχει πολύ μικρότερες δυνατότητες και πολυπλοκότητα και χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις όπου δεν μπορεί (ή δεν χρειάζεται) να χρησιμοποιηθεί το κανονικό FTP.

---

Θα δούμε τώρα τις λειτουργίες που εκτελούν τα επίπεδα πρόσβασης δικτύου και μεταφοράς.

### 7.2.2.1 Επίπεδο Πρόσβασης Δικτύου

Το επίπεδο πρόσβασης δικτύου παρέχει την πρόσβαση στο φυσικό μέσο στο οποίο η πληροφορία μεταδίδεται με την μορφή πακέτων. Το επίπεδο πρόσβασης δικτύου αντιπροσωπεύει το χαμηλότερο επίπεδο λειτουργικότητας που απαιτείται από ένα δίκτυο και περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία της φυσικής σύνδεσης: καλώδια, κάρτες δικτύου, πρωτόκολλα πρόσβασης τοπικών δικτύων. Όπως κάθε επίπεδο στο TCP/IP (αλλά και στο OSI), το επίπεδο αυτό παρέχει τις υπηρεσίες του στο αμέσως ανώτερο επίπεδο, το επίπεδο δικτύου. Στην τεχνολογία TCP/IP δεν υπάρχουν προδιαγραφές για τα χαμηλότερα επίπεδα του επιπέδου δικτύου και έτσι μπορούν να χρησιμοποιούνται εντελώς διαφορετικές τεχνολογίες. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι το TCP/IP μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά φυσικά μέσα και τεχνολογίες (Ethernet, Token ring κλπ).

### 7.2.2.2 Επίπεδο Δικτύου

Το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση στο φυσικό δίκτυο των πακέτων που δημιουργούνται από τα πρωτόκολλα TCP και UDP που βρίσκονται στο αμέσως ανώτερο επίπεδο (Μεταφοράς). Το βασικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται σε αυτό το επίπεδο είναι το IP ή πρωτόκολλο Διαδικτύου και είναι αυτό που μας εξασφαλίζει την παγκόσμια διασυνδεσιμότητα. Το πρωτόκολλο IP είναι υπεύθυνο για την παροχή λογικών διευθύνσεων (των γνωστών μας διευθύνσεων IP) στα σημεία διεπαφής του με το φυσικό δίκτυο (σε κάθε δηλ. συσκευή του δικτύου που διαθέτει δική της διεύθυνση). Είναι επίσης υπεύθυνο για την αντιστοίχιση των λογικών (IP) διευθύνσεων με τις φυσικές διευθύνσεις.

---

**Σημείωση κατανόησης:** Τι είναι η φυσική διεύθυνση; Κάθε συσκευή που έχει δυνατότητα να διαθέτει μια διεύθυνση IP (π.χ. μια κάρτα δικτύου σε ένα υπολογιστή) έχει επίσης και ένα μοναδικό χαρακτηριστικό αναγνωριστικό αριθμό, την *φυσική διεύθυνση ή διεύθυνση MAC* η οποία δίνεται από τον κατασκευαστή της και είναι σταθερή.

---

Οι φυσικές διευθύνσεις παρέχονται από το επίπεδο πρόσβασης δικτύου (φυσικό επίπεδο) ή από το υπο-επίπεδο ελέγχου προσπέλασης μέσου MAC (Media Access Control) του OSI. Για τη μετατροπή των λογικών (IP) διευθύνσεων σε φυσικές χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο *ARP (Address Resolution Protocol)* και για την αντίστροφη διαδικασία το πρωτόκολλο *RARP (Reverse Address Resolution Protocol)*.

---

**ARP:** Πρωτόκολλο Μετατροπής Διευθύνσεων

**RARP:** Πρωτόκολλο Ανάστροφης Μετατροπής Διευθύνσεων

---

Στο επίπεδο δικτύου λειτουργεί επίσης και το πρωτόκολλο *ICMP, Internet Control Message Protocol* ή *Πρωτόκολλο Ελέγχου Μεταφοράς Μηνυμάτων*. Αυτό χρησιμοποιείται για να αναφέρει προβλήματα και ασυνήθιστες καταστάσεις που σχετίζονται με το πρωτόκολλο IP. Συνήθως δημιουργεί και μεταφέρει μηνύματα που έχουν να κάνουν με την κατάσταση λειτουργίας των συσκευών του δικτύου. Δημιουργεί επίσης και μεταφέρει μηνύματα που σχετίζονται με την ίδια τη λειτουργία του TCP/IP και όχι από κάποια εφαρμογή που εκτελεί ο χρήστης. Για παράδειγμα όταν κάποιος προσπαθεί να συνδεθεί σε ένα υπολογιστή ο οποίος δεν είναι διαθέσιμος τη δεδομένη στιγμή (π.χ. γιατί δεν είναι ενεργός ή γιατί υπάρχει πρόβλημα στο συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου) θα λάβει ένα μήνυμα ότι ο υπολογιστής είναι “απρόσιτος”.

---

### Παράδειγμα από το Εργαστήριο μας

```
$ ping 10.14.28.11
Pinging 10.14.28.11 with 32 bytes of data:
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Destination host unreachable.
Ping statistics for 10.14.28.11:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss)
```

Αντίθετα, μια επικοινωνία που λειτουργεί θα έχει το παρακάτω αποτέλεσμα:

```
$ ping www.freebsdgr.org
PING www.freebsdgr.org (94.71.112.109): 56 data bytes
64 bytes from 94.71.112.109: icmp_seq=0 ttl=62 time=21.849 ms
64 bytes from 94.71.112.109: icmp_seq=1 ttl=62 time=21.325 ms
64 bytes from 94.71.112.109: icmp_seq=2 ttl=62 time=20.689 ms
```

---

#### 7.2.2.3 Επίπεδο Μεταφοράς

Το επίπεδο μεταφοράς είναι υπεύθυνο για την υλοποίηση των συνδέσεων μεταξύ των υπολογιστών ενός δικτύου. Το βασικό πρωτόκολλο εδώ είναι το TCP (πρωτόκολλο με σύνδεση) ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το UDP (πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση). Το TCP είναι υπεύθυνο για την αποκατάσταση αξιόπιστων ταυτόχρονων συνδέσεων διπλής κατεύθυνσης.

Η έννοια του *αξιόπιστου* είναι ότι το TCP αναλαμβάνει να διορθώσει τα λάθη που τυχόν παρουσιάζονται στη μετάδοση (π.χ. μεταδίδοντας ξανά ένα πακέτο που χάθηκε ή αλλοιώθηκε). Το TCP παρέχει τις υπηρεσίες του στο αμέσως ανώτερο επίπεδο (Εφαρμογής). Καθώς θεωρείται ότι οι συνδέσεις που παρέχει είναι αξιόπιστες, τα προγράμματα στο επίπεδο εφαρμογής δεν κάνουν κανένα έλεγχο για ορθότητα των δεδομένων που προέρχονται από το TCP.

Η έννοια του *ταυτόχρονου* είναι ότι ένας υπολογιστής μπορεί σε μια δεδομένη στιγμή να διατηρεί πλήθος διαφορετικών συνδέσεων TCP οι οποίες να λειτουργούν όλες μαζί αλλά καμιά να μην επηρεάζει την άλλη.

*Επικοινωνία διπλής κατεύθυνσης* σημαίνει ότι μέσω μιας σύνδεσης μπορούν ταυτόχρονα να μεταδίδονται και να λαμβάνονται δεδομένα.

Το πρωτόκολλο αυτοδύναμων πακέτων UDP είναι ένα πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση. Δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο αλλά επειδή είναι λιγότερο πολύπλοκο χρησιμοποιεί-

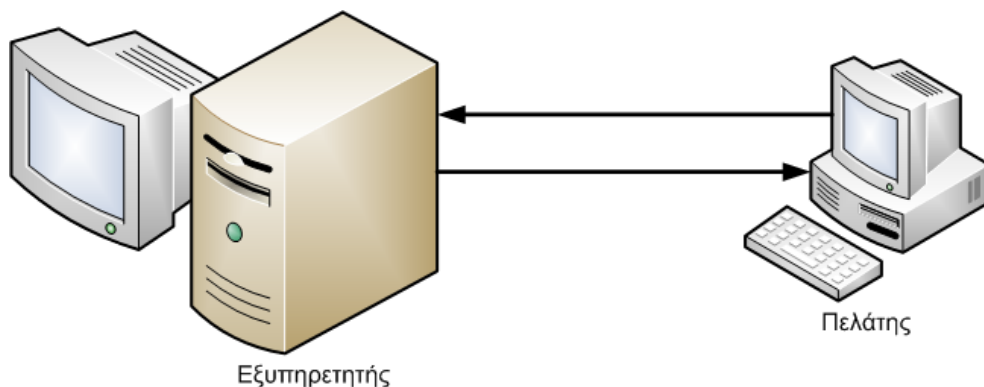
ται σε περιπτώσεις που η αξιοπιστία δεν είναι κρίσιμη και δεν είναι η επιθυμητή η χρήση του TCP.

**Παραδείγματα κατανόησης UDP:** Μια μετάδοση ραδιοφώνου μέσω Internet μπορεί να χρησιμοποιεί μετάδοση με πακέτα UDP. Αν κάποια πακέτα χαθούν ή αλλοιωθούν θα έχει σαν αποτέλεσμα την προσωρινή διακοπή ή παραμόρφωση του ήχου. Ωστόσο στη συγκεκριμένη εφαρμογή αυτό δεν είναι κρίσιμο. Από την άλλη δεν θα μπορούσαμε να κατεβάσουμε αρχεία μέσω UDP χωρίς έξτρα έλεγχο λαθών. Διαφορετικά τα περιεχόμενα τους θα μπορούσαν να είναι κατεστραμμένα.

#### 7.2.2.4 Επίπεδο Εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής παρέχει τις εφαρμογές (προγράμματα) που χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα του επιπέδου μεταφοράς. Παραδείγματα δώσαμε στην προηγούμενη ενότητα (Μεταφορά αρχείων, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, απομακρυσμένη πρόσβαση). Το επίπεδο εφαρμογής είναι και το σημείο που ο τελικός χρήστης έρχεται σε επαφή με την στοίβα πρωτοκόλλων της τεχνολογίας TCP/IP.

Στο σχήμα 7.6 φαίνεται το βασικό μοντέλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμογές TCP/IP και το οποίο δεν είναι άλλο από το μοντέλο *πελάτη – εξυπηρετητή*. Ο εξυπηρετητής είναι μια διεργασία (πρόγραμμα) η οποία εκτελείται σε ένα υπολογιστή (γνωστός ως server) και ελέγχει τις εισερχόμενες αιτήσεις πελατών για να δει αν κάποια απευθύνεται προς αυτήν. Αν υπάρχει κάποια τέτοια αίτηση, ο εξυπηρετητής αναλαμβάνει να βρει τα δεδομένα που ζητούνται και να τα στείλει στον πελάτη.



Σχήμα 7.6: Πρότυπο Πελάτη – Εξυπηρετητή

Ο πελάτης είναι πάλι αντίστοιχα το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται (συνήθως από

τον τελικό χρήστη) για να ζητήσει τα δεδομένα από τον εξυπηρετητή. Ο πελάτης στέλνει την αντίστοιχη αίτηση και περιμένει να λάβει τα δεδομένα που ζήτησε. Με το τέλος της εξυπηρέτησης ενός πελάτη, ο εξυπηρετητής επιστρέφει ξανά σε κατάσταση αναμονής, περιμένοντας νέα αίτηση (Σημείωση: Τυπικά ένας πελάτης είναι σε θέση να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα περισσότερες από μια αιτήσεις).

---

**Παράδειγμα Πελάτη – Εξυπηρετητή:** Όταν χρησιμοποιείτε τον Firefox για να συνδεθείτε σε μια ιστοσελίδα, το πρόγραμμα αυτό λειτουργεί ως πελάτης. Ζητάει τα δεδομένα της ιστοσελίδας από τον αντίστοιχο *εξυπηρετητή ιστοσελίδων (Web Server)* ο οποίος εκτελείται στο μηχάνημα που προσπαθείτε να συνδεθείτε.

**Εργαστηριακή άσκηση κατανόησης:** Εκτελέστε σε ένα μηχάνημα:

- Linux: `netstat -npl |more`
- FreeBSD: `sockstat -4l |more`

για να δείτε ποιοι εξυπηρετητές εκτελούνται και αναμένουν αιτήσεις από πελάτες.

Ξεκινήστε να κατεβάζετε με FTP ένα αρχείο (π.χ. από την τοποθεσία <ftp://ftp.otenet.gr>) και χρησιμοποιήστε τις εντολές:

- Linux: `lsnf -Pnl +M -i4 | more`
- FreeBSD: `sockstat -4L | more`

για να δείτε τη σύνδεση που έχει πραγματοποιηθεί μεταξύ του μηχανήματος σας και του απομακρυσμένου εξυπηρετητή. Αντίστοιχες εντολές υπάρχουν και για Windows, αλλά σας αφήνω να τις βρείτε μόνοι σας!

---