

# **Rețele de calculatoare**

EDIȚIA A PATRA

Andrew S. Tanenbaum

*Universitatea Vrije  
Amsterdam, Olanda*



©2003 Byblos srl, [www.byblos.ro](http://www.byblos.ro)

**Traducere:**

*Colectivul de coordonare:*

prof. dr. ing. Valentin Cristea  
prof. dr. ing. Eugenia Kalisz  
prof. dr. ing. Nicolae Țăpuș

*Colectivul de traducători:*

as.ing. Ana Vârbănescu  
stud. Corina Stratan  
prep. ing. Sabina Șerbu  
ing. Mihaela Negru  
prep. ing. Natalia Costea  
as. ing. Răzvan Rughiniș  
prep. ing. Liviu Dragomirescu  
stud. Octavian Udrea  
stud. Bogdan Vișinescu  
ing. Mihaela Neață  
stud. Vlad Sima  
stud. Cătălin Cârstoiu  
stud. Mihai Mircea  
stud. Cristi Orban  
stud. Ozana Dragomir  
stud. Andrei Agapi  
stud. Ana Maria Oprescu  
stud. Ionuț Frujină  
stud. Gabi Ghiniță  
stud. Paul Chiriță  
ing. Raluca Busurca  
stud. Vlad Panait  
ing. Octavian Purdilă  
stud. Radu Niculiță  
stud. Cătălin Coman

**Pregătire, design, producție:**

Mihai Scorțaru, Claudiu Soroiu, Adrian Pop

**Editată de BYBLOS s.r.l., ©2003**

București, Str. Constantin Rădulescu Motru 13/42, Tel: +40-(0)21-3309281

**Sub licență Pearson Education, Inc. după:**

*Computer Networks, 4<sup>th</sup> ed. de Andrew S. Tanenbaum*  
©2003, 1996 by Pearson Education, Inc., Prentice-Hall PTR  
Upper Saddle River, New Jersey 07458

**Tipărită în România, la MASTER DRUCK,**

3400 Cluj-Napoca, Str. Liebknecht 2, Tel: +40-(0)264-432497

**ISBN: 973-0-03000-6**

Toate drepturile sunt rezervate. Nici o parte a acestei cărți nu poate fi reprodusă, într-o formă sau printr-un mijloc oarecare, fără permisiunea scrisă a editorului.

Toate numele produselor menționate aici sunt mărci înregistrate ale respectivilor proprietari.

# Rețele de calculatoare

EDIȚIA A PATRA

*Pentru Suzanne, Barbara, Marvin și în memoria lui Bram și a lui Sweetie  $\pi$*

## **Alte titluri de mare succes ale lui Andrew S. Tanenbaum:**

### ***Sisteme distribuite: principii și paradigme***

Această nouă carte, scrisă împreună cu Maarten van Steen, prezintă atât principiile, cât și paradigmele sistemelor distribuite moderne. În prima parte sunt tratate în detaliu principiile de comunicare, procesele, numele, sincronizarea, consistența și replicarea, toleranța la erori și securitatea. În cea de-a doua parte se trece la prezentarea unor paradigme diferite folosite pentru crearea sistemelor distribuite, inclusiv sisteme bazate pe obiecte, sisteme distribuite de fișiere, sisteme bazate pe documente și sisteme bazate pe coordonare. Sunt discutate pe larg numeroase exemple.

### ***Sisteme de operare moderne, ediția a doua***

Acest text de mare succes prezintă în detaliu principiile sistemelor de operare și le ilustrează cu ajutorul a numeroase exemple inspirate din lumea reală. După un prim capitol introductiv, următoarele cinci capitole tratează conceptele de bază: procese și fire de execuție, situații de blocare, gestiunea memoriei, operații de intrare/ieșire. Următoarele șase capitole tratează noțiuni mai avansate, incluzând sisteme multimedia, sisteme multiprocesor, securitate. La sfârșitul cărții sunt prezentate două studii de caz detaliate: UNIX/Linux și Windows 2000.

### ***Organizarea structurată a calculatoarelor, ediția a patra***

Această carte clasică, citită în lumea întreagă și ajunsă acum la cea de-a patra ediție, furnizează introducerea ideală în studiul arhitecturii calculatoarelor. Subiectul este prezentat într-o manieră ușor de înțeles începând cu prezentarea conceptelor de bază. Există un capitol dedicat începătorilor care prezintă logica digitală, urmat de capitole în care sunt prezentate microarhitectura, setul de instrucțiuni de la nivelul arhitecturii, sistemele de operare, limbajul de asamblare și arhitecturile paralele de calculatoare.

### ***Sisteme de operare: proiectare și implementare, ediția a doua***

Acest text despre sisteme de operare, scris împreună cu Albert S. Woodhull, este singura carte ce acoperă atât principiile sistemelor de operare cât și aplicațiile acestora la un sistem real. Sunt tratate în detaliu toate subiectele tradiționale legate de sistemele de operare. În plus, principiile sunt ilustrate cu grijă de MINIX, un sistem de operare gratuit, de tip UNIX, pentru calculatoare personale. Fiecare carte conține un CD-ROM care conține sistemul MINIX complet (cod binar și sursă). Codul sursă este prezentat într-o anexă a cărții și este explicat în detaliu în text.

# CUPRINS

## **PREFAȚĂ**

**XVII**

## **1. INTRODUCERE**

**1**

### **1.1 UTILIZĂRILE REȚELELOR DE CALCULATOARE 2**

- 1.1.1 Aplicații comerciale 3
- 1.1.2 Aplicații domestice 5
- 1.1.3 Utilizatorii mobili 9
- 1.1.4 Aspecte sociale 11

### **1.2 HARDWARE-UL REȚELEI 13**

- 1.2.1 Rețele locale 15
- 1.2.2 Rețele metropolitane 16
- 1.2.3 Rețele larg răspândite geografic 17
- 1.2.4 Rețele fără fir 19
- 1.2.5 Rețelele casnice (Home networks) 21
- 1.2.6 Inter-rețelele 23

**1.3 PROGRAMELE DE REȚEA 24**

- 1.3.1 Ierarhiile de protocoale 24
- 1.3.2 Probleme de proiectare a nivelurilor 28
- 1.3.3 Servicii orientate pe conexiuni și servicii fără conexiuni 29
- 1.3.4 Primitive de serviciu 31
- 1.3.5 Relația dintre servicii și protocoale 33

**1.4 MODELE DE REFERINȚĂ 34**

- 1.4.1 Modelul de referință OSI 34
- 1.4.2 Modelul de referință TCP/IP 37
- 1.4.3 O comparație între modelele de referință OSI și TCP 40
- 1.4.4 O critică a modelului și protocoalelor OSI 41
- 1.4.5 O critică a modelului de referință TCP/IP 43

**1.5 EXEMPLE DE REȚELE 44**

- 1.5.1 Internet 44
- 1.5.5 Rețele orientate pe conexiune 53
- 1.5.3 Ethernet 59
- 1.5.4 Rețele fără fir: 802.11 61

**1.6 STANDARDIZAREA REȚELELOR 64**

- 1.6.1 Who's Who în lumea telecomunicațiilor 64
- 1.6.2 Who's Who în lumea standardelor internaționale 66
- 1.6.3 Who's Who în lumea standardelor Internet 68

**1.7 UNITĂȚI DE MĂSURĂ 69****1.8 RESTUL CĂRȚII ÎN REZUMAT 70****1.9 REZUMAT 71****1.10 PROBLEME 72****2. NIVELUL FIZIC****77****2.1 BAZELE TEORETICE ALE COMUNICĂRII DE DATE 77**

- 2.1.1 Analiza Fourier 78
- 2.1.2 Semnalele cu bandă de frecvență limitată 78
- 2.1.3 Viteza maximă de transfer de date a unui canal 81

**2.2 MEDII DE TRANSMISIE GHIDATĂ 82**

- 2.2.1 Medii magnetice 82
- 2.2.2 Cablul torsadat 83
- 2.2.3 Cablu Coaxial 84
- 2.2.4 Fibre optice 84

**2.3 COMUNICAȚILE FĂRĂ FIR 90**

- 2.3.1 Spectrul electromagnetic 91
- 2.3.2 Transmisia radio 93
- 2.3.3 Transmisia prin microunde 94
- 2.3.4 Undele infraroșii și milimetrice 97
- 2.3.5 Transmisia undelor luminoase 97

**2.4 SATELIȚI DE COMUNICAȚIE 98**

- 2.4.1 Sateliți geostaționari 99
- 2.4.2 Sateliți de altitudine medie 103
- 2.4.3 Sateliți de joasă altitudine 103
- 2.4.4 Sateliții în comparație cu fibrele optice 105

**2.5 SISTEMUL TELEFONIC 107**

- 2.5.1 Structura sistemului telefonic 107
- 2.5.2 Politica din domeniul telefonic 110
- 2.5.3 Bucla locală: Modemuri, ADSL și transmisia fără fir 112
- 2.5.4 Trunchiuri și multiplexare 123
- 2.5.5 Comutarea 132

**2.6 SISTEMUL DE TELEFONIE MOBILĂ 136**

- 2.6.1 Prima generație de telefoane mobile: Voce analogică 137
- 2.6.2 A doua generație de telefoane mobile: Voce digitală 141
- 2.6.3 A treia generație de telefoane mobile: Voce digitală și date 149

**2.7 TELEVIZIUNEA PRIN CABLU 151**

- 2.7.1 Televiziune prin antena colectivă 151
- 2.7.2 Internet prin cablu 152
- 2.7.3 Alocarea de spectru 154
- 2.7.4 Modemuri de cablu 155
- 2.7.5 Comparație între ADSL și cablu 157

**2.8 REZUMAT 158**

**2.9 PROBLEME 159****3. NIVELUL LEGĂTURĂ DE DATE 165****3.1 ASPECTE ALE PROIECTĂRII NIVELULUI LEGĂTURĂ DE DATE 166**

- 3.1.1 Servicii oferite nivelului rețea 166
- 3.1.2 Încadrarea 169
- 3.1.3 Controlul erorilor 172
- 3.1.4 Controlul fluxului 173

**3.2 DETECTAREA ȘI CORECTAREA ERORILOR 173**

- 3.2.1 Coduri corectoare de erori 174
- 3.2.2 Coduri detectoare de erori 176

**3.3 PROTOCOALE ELEMENTARE PENTRU LEGĂTURA DE DATE 179**

- 3.3.1 Un protocol simplex fără restricții 183
- 3.3.2 Un protocol simplu Stop-and-Wait (pas-cu-pas) 184
- 3.3.3 Un protocol simplex pentru un canal cu zgomote 186

**3.4 PROTOCOALE CU FEREASTRĂ GLISANTĂ 189**

- 3.4.1 Un protocol cu fereastră glisantă de un bit 191
- 3.4.2 Un protocol de revenire cu  $n$  pași (Go Back  $n$ ) 194
- 3.4.3 Un protocol cu repetare selectivă 199

**3.5 VERIFICAREA PROTOCOALELOR 204**

- 3.5.1 Modele de tip automat finit 204
- 3.5.2 Modele de tip rețea Petri 207

**3.6 EXEMPLE DE PROTOCOALE ALE LEGĂTURII DE DATE 209**

- 3.6.1 HDLC - Controlul de nivel înalt al legăturii de date 209
- 3.6.2 Nivelul legăturii de date în Internet 212

**3.7 REZUMAT 216****3.8 PROBLEME 217**



## **4. SUBNIVELUL DE ACCES LA MEDIU**

**223**

### **4.1 PROBLEMA ALOCĂRII CANALULUI 224**

- 4.1.1 Alocarea statică a canalului în rețelele LAN și MAN 224
- 4.1.2 Alocarea dinamică a canalului în rețelele LAN și MAN 225

### **4.2 PROTOCOALE CU ACCES MULTIPLU 226**

- 4.2.1 ALOHA 226
- 4.2.2 Protocoale cu acces multiplu și detecție de purtătoare 230
- 4.2.3 Protocoale fără coliziuni 233
- 4.2.4 Protocoale cu conflict limitat 235
- 4.2.5 Protocoale cu acces multiplu cu divizarea frecvenței 238
- 4.2.6 Protocoale pentru rețele LAN fără fir 241

### **4.3 ETHERNET 243**

- 4.3.1 Cablarea Ethernet 244
- 4.3.2 Codificarea Manchester 247
- 4.3.3 Protocolul subnivelului MAC Ethernet 248
- 4.3.4 Algoritmul de regresie exponențială binară 250
- 4.3.5 Performanțele Ethernet-ului 251
- 4.3.6 Ethernetul comutat 253
- 4.3.7 Ethernet-ul rapid 254
- 4.3.8 Ethernetul Gigabit 257
- 4.3.9 IEEE 802.2: Controlul legăturilor logice 260
- 4.3.10 Retrospectiva Ethernetului 261

### **4.4 REȚELE LOCALE FĂRĂ FIR 262**

- 4.4.1. Stiva de protocoale 802.11 262
- 4.4.2. Nivelul fizic al 802.11 263
- 4.4.3 Protocolul subnivelului MAC al 802.11 265
- 4.4.4 Formatul cadrului 802.11 269
- 4.4.5 Servicii 270

### **4.5 REȚELE FĂRĂ FIR DE BANDĂ LARGĂ 271**

- 4.5.1 Comparatie între 802.11 și 802.16 272
- 4.5.2 Stiva de protocoale 802.16 273
- 4.5.3 Nivelul fizic 802.16 274
- 4.5.4 Protocolul subnivelului MAC la 802.16 276
- 4.5.5 Structura cadrului 802.16 278

**4.6 BLUETOOTH 278**

- 4.6.1 Arhitectura Bluetooth 279
- 4.6.2 Aplicații Bluetooth 280
- 4.6.3 Stiva de protocoale Bluetooth 281
- 4.6.4 Nivelul Bluetooth radio 282
- 4.6.5 Nivelul bandă de bază Bluetooth 283
- 4.6.6 Nivelul L2CAP Bluetooth 284
- 4.6.7 Structura cadrului Bluetooth 284

**4.7. COMUTAREA LA NIVELUL LEGĂTURII DE DATE 285**

- 4.7.1 Punți de la 802.x la 802.y 287
- 4.7.2 Interconectarea locală a rețelelor 289
- 4.7.3 Punți cu arbore de acoperire 290
- 4.7.4 Punți aflate la distanță 292
- 4.7.5 Repetoare, Noduri, Punți, Comutatoare, Rutere și Porți 292
- 4.7.6 LAN-uri virtuale 295

**4.8 REZUMAT 302****4.9 PROBLEME 303****5. NIVELUL REȚEA****309****5.1 CERINȚELE DE PROIECTARE ALE NIVELULUI REȚEA 309**

- 5.1.1 Comutare de pachete de tip Memorează-și-Retransmite (Store-and-Forward) 310
- 5.1.2 Servicii furnizate nivelului transport 310
- 5.1.3 Implementarea serviciului neorientat pe conexiune 311
- 5.1.4 Implementarea serviciilor orientate pe conexiune 313
- 5.1.5 Comparatie între subrețele cu circuite virtuale și subrețele datagramă 314

**5.2 ALGORITMI DE DIRIJARE 315**

- 5.2.1 Principiul optimalității 317
- 5.2.2 Dirijarea pe calea cea mai scurtă 318
- 5.2.3 Inundarea 320
- 5.2.4 Dirijare cu vectori distanță 321
- 5.2.5 Dirijarea folosind starea legăturilor 324
- 5.2.6 Dirijare ierarhică 329
- 5.2.7 Dirijarea prin difuzare 331
- 5.2.8 Dirijarea cu trimitere multiplă (multicast) 333

- 5.2.9 Dirijarea pentru calculatoare gazdă mobile 334
- 5.2.10 Dirijarea în rețele AD HOC 337
- 5.2.11 Căutarea nodurilor în rețele punct la punct 341

### **5.3 ALGORITMI PENTRU CONTROLUL CONGESTIEI 345**

- 5.3.1 Principii generale ale controlului congestiei 347
- 5.3.2 Politici pentru prevenirea congestiei 348
- 5.3.3 Controlul congestiei în subrețelele bazate pe circuite virtuale 349
- 5.3.4 Controlul congestiei în subrețele datagramă 351
- 5.3.5 Împrăștierea încărcării 353
- 5.3.6 Controlul fluctuațiilor 355

### **5.4 CALITATEA SERVICIILOR 356**

- 5.4.1 Cerințe 356
- 5.4.2 Tehnici pentru obținerea unei bune calități a serviciilor 357
- 5.4.3 Servicii integrate 367
- 5.4.4 Servicii diferențiate 370
- 5.4.5 Comutarea etichetelor și MPLS 372

### **5.5 INTERCONECTAREA REȚELELOR 374**

- 5.5.1 Prin ce diferă rețelele 376
- 5.5.2 Cum pot fi conectate rețelele 377
- 5.5.3 Circuite virtuale concatenate 378
- 5.5.4 Interconectarea rețelelor fără conexiuni 379
- 5.5.5 Trecerea prin tunel 380
- 5.5.6 Dirijarea în rețele interconectate 382
- 5.5.7 Fragmentarea 383

### **5.6 NIVELUL REȚEA ÎN INTERNET 386**

- 5.6.1 Protocolul IP 388
- 5.6.2 Adrese IP 391
- 5.5.4 Protocoale de control în Internet 401
- 5.5.5 Protocolul de dirijare folosit de porțile interioare: OSPF 406
- 5.6.5 Protocolul de dirijare pentru porți externe: BGP 411
- 5.6.6 Trimiterea multiplă în Internet 412
- 5.6.7 IP mobil 413
- 5.6.8 IPv6 415

### **5.7 REZUMAT 423**

**5.8 PROBLEME 423****6. NIVELUL TRANSPORT****431****6.1 SERVICIILE OFERITE DE NIVELUL TRANSPORT 431**

- 6.1.1 Servicii furnizate nivelurilor superioare 431
- 6.1.2 Primitivele serviciilor de transport 433
- 6.1.3 Socluri Berkeley 436
- 6.1.4 Un exemplu de programare cu socluri: server de fișiere pentru Internet 437

**6.2 NOȚIUNI DE BAZĂ DESPRE PROTOCOALELE DE TRANSPORT 441**

- 6.2.1 Adresarea 442
- 6.2.2 Stabilirea conexiunii 445
- 6.2.3 Eliberarea conexiunii 449
- 6.2.4 Controlul fluxului și memorarea temporară (buffering) 453
- 6.2.5 Multiplexarea 457
- 6.2.6 Refacerea după cădere 458

**6.3 UN PROTOCOL SIMPLU DE TRANSPORT 460**

- 6.3.1 Primitivele serviciului ales ca exemplu 460
- 6.3.2 Entitatea de transport aleasă ca exemplu 461
- 6.3.3 Exemplul văzut ca un automat finit 468

**6.4 PROTOCOALE DE TRANSPORT PRIN INTERNET: UDP 471**

- 6.4.1. Introducere în UDP 471
- 6.4.2. Apel de procedură la distanță (Remote Procedure Call) 472
- 6.4.3 Protocolul de transport în timp real – Real-Time Transport Protocol 474

**6.5. PROTOCOALE DE TRANSPORT PRIN INTERNET: TCP 477**

- 6.5.1 Introducere în TCP 477
- 6.5.2 Modelul serviciului TCP 478
- 6.5.3 Protocolul TCP 480
- 6.5.4 Antetul segmentului TCP 481
- 6.5.5 Stabilirea conexiunii TCP 484
- 6.5.6 Eliberarea conexiunii TCP 485
- 6.5.7 Modelarea administrării conexiunii TCP 485
- 6.5.8 Politica TCP de transmisie a datelor 487
- 6.5.9 Controlul congestiei în TCP 490
- 6.5.10 Administrarea contorului de timp în TCP 493

6.5.11 TCP și UDP în conexiune fără fir 496

6.5.12 TCP Tranzacțional 498

## **6.6 ELEMENTE DE PERFORMANȚĂ 499**

6.6.1 Probleme de performanță în rețelele de calculatoare 500

6.6.2 Măsurarea performanțelor rețelei 502

6.6.3 Proiectarea de sistem pentru performanțe superioare 504

6.6.4 Prelucrarea rapidă a TPDU-urilor 507

6.6.5 Protocoale pentru rețele gigabit 510

## **6.7 REZUMAT 514**

## **6.8 PROBLEME 515**

# **7. NIVELUL APLICAȚIE**

**521**

## **7.1 DNS - SISTEMUL NUMELOR DE DOMENII 521**

7.1.1 Spațiul de nume DNS 522

7.1.2 Înregistrări de resurse 524

7.1.3 Servere de nume 527

## **7.2 POȘTA ELECTRONICĂ 529**

7.2.1 Arhitectură și servicii 530

7.2.2 Agentul utilizator 532

7.2.3 Formatele mesajelor 534

7.2.4 Transferul mesajelor 540

7.2.5 Livrarea finală 543

## **7.3 WORLD WIDE WEB 548**

7.3.1 Aspecte arhitecturale 549

7.3.2 Documente Web statice 564

7.3.3 Documente Web dinamice 576

7.3.4 HTTP – HyperText Transfer Protocol 583

7.3.5 Îmbunătățiri ale performanței 588

7.3.6 Web-ul fără fir 593

## **7.4 MULTIMEDIA 602**

7.4.1 Introducere în sunetele digitale 603

7.4.2 Compresia audio 605

7.4.3 Fluxuri audio 607

- 7.4.4 Radio prin Internet 610
- 7.4.5 Voce peste IP 613
- 7.4.6 Introducere la video 618
- 7.4.7 Compresia video 621
- 7.4.8 Video la cerere 628
- 7.4.9 MBone - Coloana vertebrală pentru trimitere multiplă 634

## **7.5 REZUMAT 637**

## **7.6 PROBLEME 638**

# **8. SECURITATEA REȚELELOR**

**645**

## **8.1 CRIPTOGRAFIA 648**

- 8.1.1 Introducere în criptografie 648
- 8.1.2 Cifrurile cu substituție 651
- 8.1.3 Cifrurile cu transpoziție 652
- 8.1.4 Chei acoperitoare 653
- 8.1.5 Două principii criptografice fundamentale 657

## **8.2 ALGORITMI CU CHEIE SECRETĂ 658**

- 8.2.1 DES – Data Encryption Standard 660
- 8.2.2 AES – Advanced Encryption Standard 662
- 8.2.3 Moduri de cifrare 666
- 8.2.4 Alte cifruri 670
- 8.2.5 Criptanaliza 671

## **8.3 ALGORITMI CU CHEIE PUBLICĂ 671**

- 8.3.1 RSA 672
- 8.3.2 Alți algoritmi cu cheie publică 674

## **8.4 SEMNĂTURI DIGITALE 674**

- 8.4.1 Semnături cu cheie simetrică 675
- 8.4.2 Semnături cu cheie publică 676
- 8.4.3 Rezumate de mesaje 677
- 8.4.4 Atacul zilei de naștere 681

## **8.5 GESTIONAREA CHEILOR PUBLICE 682**

- 8.5.1 Certificate 683
- 8.5.2 X.509 684

8.5.3 Infrastructuri cu chei publice 685

## **8.6 SECURITATEA COMUNICAȚIEI 688**

8.6.1 IPsec 689

8.6.2 Ziduri de protecție 692

8.6.3 Rețele private virtuale 695

8.6.4 Securitatea în comunicațiile fără fir 696

## **8.7 PROTOCOALE DE AUTENTIFICARE 700**

8.7.1 Autentificare bazată pe cheie secretă partajată 701

8.7.2 Stabilirea unei chei secrete: schimbul de chei Diffie-Hellman 705

8.7.3 Autentificarea folosind un Centru de Distribuția Cheilor 707

8.7.4 Autentificarea folosind Kerberos 709

8.7.5 Autentificarea folosind criptografia cu cheie publică 711

## **8.8 CONFIDENȚIALITATEA POȘTEI ELECTRONICE 712**

8.8.1 PGP-Pretty Good Privacy (rom.: Confidențialitate Destul de Bună) 712

8.8.2 PEM-Privacy Enhanced Mail (Poștă cu Confidențialitate Sporită) 716

8.8.3 S/MIME 717

## **8.9 SECURITATEA WEB-ULUI 717**

8.9.1 Pericole 718

8.9.2 Siguranța numelor 718

8.9.3 SSL – Nivelul soclurilor sigure (Secure Sockets Layer) 725

8.9.4 Securitatea codului mobil 728

## **8.10 IMPLICAȚII SOCIALE 730**

8.10.1 Confidențialitate 731

8.10.2 Libertatea de exprimare 733

8.10.3 Dreptul de autor 736

## **8.11 REZUMAT 738**

## **8.12 PROBLEME 739**

# **9. RECOMANDĂRI DE LECTURĂ ȘI BIBLIOGRAFIE 745**

## **9.1 SUGESTII PENTRU LECTURI VIITOARE 745**

9.1.1 Lucrări introductive și generale 746

9.1.2 Nivelul fizic 747

- 9.1.3 Nivelul legătură de date 749
- 9.1.4 Subnivelul de control al accesului la mediu 750
- 9.1.5 Nivelul rețea 751
- 9.1.6 Nivelul transport 753
- 9.1.7 Nivelul aplicație 753
- 9.1.8 Securitatea rețelelor 754

## **9.2 BIBLIOGRAFIE ÎN ORDINE ALFABETICĂ 756**

## **INDEX**

**777**



# PREFAȚĂ

Această carte este acum la a patra ediție. Fiecare ediție a corespuns unei etape diferite în modul de utilizare a rețelelor de calculatoare. Când a apărut prima ediție, în 1980, rețelele erau o curiozitate academică. În 1988, când a apărut a doua ediție, rețelele erau folosite de universități și de marile firme. Când a apărut a treia ediție în 1996, rețelele de calculatoare, în special Internet-ul, au devenit o realitate zilnică pentru milioane de oameni. Noutatea celei de a patra ediții o reprezintă evoluția rapidă a rețelelor fără fir, în numeroase forme.

Imaginea rețelelor de calculatoare s-a modificat radical de la ediția a treia. În anii '90 a existat o varietate de rețele de tip LAN și WAN, împreună cu stivele de protocoale aferente. În anul 2003, singura rețea de tip LAN larg utilizată ce utilizează mediul ghidat de transmisie este Ethernet și practic toate rețelele WAN existente sunt conectate la Internet. În consecință, o importantă cantitate de informație referitoare la rețelele mai vechi a fost înlăturată.

Oricum, noile realizări în domeniu sunt și ele consistente. Cel mai important progres l-au înregistrat comunicațiile fără fir, inclusiv 802.11, buclele locale de telefonie fără fir, a doua și a treia generație de rețele celulare (2G și 3G), Bluetooth, WAP, i-mode și altele. În consecință, a fost adăugată o importantă cantitate de informație despre rețelele fără fir. Un alt subiect important de actualitate este securitatea în rețele, pentru care a fost adăugat în carte un capitol separat.

Deși cap. 1 are aceeași funcție introductivă pe care o avea și în ediția a treia, cuprinsul a fost revizuit și actualizat. De exemplu, sunt prezentate introduceri despre Internet, Ethernet, rețele LAN fără fir, împreună cu istoricul și originile acestora. Sunt tratate pe scurt și rețelele pentru utilizatori casnici.

Cap. 2 a fost restructurat într-o oarecare măsură. După o scurtă introducere în principiile comunicațiilor de date, există trei secțiuni majore despre transmisii (prin medii ghidate, medii fără fir și sateliți) urmate de încă trei secțiuni cu studii de caz (rețele comutate de telefonie publică, rețele de telefonie mobilă și rețele de televiziune prin cablu). Printre noile subiecte expuse în acest capitol se numără ADSL, comunicația fără fir în bandă largă, rețele metropolitane fără fir, accesul Internet prin cablu și DOCSIS.

Cap. 3 s-a ocupat dintotdeauna cu principiile fundamentale ale protocoalelor punct-la-punct. Ideile expuse aici au rămas în vigoare timp de decenii. Ca urmare succesiunea detaliată de exemple de protocoale prezentate în acest capitol a rămas practic neschimbată de la a treia ediție.

Din contră, în zona subnivelului MAC a existat o activitate intensă în ultimii ani, așa că s-au produs multe schimbări în cap. 4. Secțiunea dedicată Ethernet-ului a fost extinsă pentru a include și Gigabit Ethernet. S-au introdus secțiuni complet noi despre LAN-uri fără fir, comunicație fără fir în bandă largă, Bluetooth și comutare la nivel de legătură de date, inclusiv MPLS.

Cap. 5 a fost de asemenea actualizat: au fost înlăturate toate materialele referitoare la ATM și au fost adăugate materiale suplimentare despre Internet. Un alt subiect important este calitatea serviciilor, cuprinzând expuneri despre servicii integrate și servicii diferențiate. Sunt prezente în acest capitol și rețelele fără fir, împreună cu o discuție despre rutarea în rețele ad-hoc. Alte aspecte noi includ NAT și rețelele de la egal la egal (peer-to-peer).

Cap. 6 tratează în continuare nivelul transport, dar și aici au avut loc unele schimbări. Printre acestea se numără un exemplu de programare a soclurilor (sockets). Sunt prezentate și comentate două programe de câte o pagină scrise în limbajul C. Aceste programe, disponibile și pe situl Web al cărții, pot fi compilate și rulate. Împreună ele furnizează o aplicație de server de fișiere sau server de Web, pentru experimentare. Alte subiecte noi includ apelul procedurilor la distanță, RTP și tranzații/TCP.

Cap. 7, relativ la nivelul aplicație, a fost mai clar orientat. După o scurtă introducere în DNS, restul capitolului tratează trei aspecte: poșta electronică, Web și multimedia. Fiecare dintre acestea este tratată foarte detaliat. Discuția despre modul de funcționare a Web-ului se întinde acum pe mai mult de 60 de pagini, acoperind multe subiecte, printre care pagini Web statice și dinamice, HTTP, scripturi CGI, rețele cu livrare bazată pe conținut, cookies și păstrarea temporară în memoria ascunsă (cache) a Web-ului. Sunt prezente și materiale despre modul de scriere a paginilor Web moderne, cu scurte introduceri în XML, XSL, XHTML, PHP și altele, toate însoțite de exemple funcționale. Este menționat și accesul Web fără fir, cu accent asupra i-mode și WAP. Secțiunea de multimedia cuprinde acum MP3, fluxuri audio, radio prin Internet și transmisii de voce peste IP.

Securitatea rețelelor a devenit azi atât de importantă încât i s-a acordat un nou capitol însumând peste 100 de pagini. Sunt prezentate atât principii de securitate (algoritmi simetrici și algoritmi cu chei publice, semnături digitale și certificate X.509) cât și aplicații ale acestor principii (autentificare, securitatea poștei electronice și securitatea Web). Acest capitol este

atât întins ca arie de acoperire (de la criptografie cuantică până la cenzura guvernamentală) cât și bogat în detalii (de exemplu modul de funcționare al algoritmului SHA-1).

Cap. 9, conține o listă complet nouă de recomandări bibliografice, cât și o bibliografie cuprinzătoare de peste 350 de titluri. Peste 200 dintre aceste lucrări sunt scrise după anul 2000.

Cărțile despre computere conțin foarte multe acronime. Nici cartea de față nu face excepție. După ce ați terminat de citit această carte, următorii termeni ar trebui să însemne ceva pentru dumneavoastră: ADSL, AES, AMPS, AODV, ARP, ATM, BGP, CDMA, CDN, CGI, CIDR, DCF, DES, DHCP, DMCA, FDM, FHSS, GPRS, GSM, HDLC, HFC, HTML, HTTP, ICMP, IMAP, ISP, ITU, LAN, LMDS, MAC, MACA, MIME, MPEG, MPLS, MTU, NAP, NAT, NSA, NTSC, OFDM, OSPF, PCF, PCM, PGP, PHP, PKI, POTS, PPP, PSTN, QAM, QPSK, RED, RFC, RSA, RSVP, RTP, SSL, TCP, TDM, UDP, URL, UTP, VLAN, VPN, VSAT, WAN, WAP, WDMA, WEP, WWW și XML. Dar nu vă îngrijorați. Ficare din acești termeni va fi cu atenție explicat înainte de a fi utilizat. Pentru a-i ajuta pe instructorii care doresc să folosească această carte ca suport de curs, autorul a pregătit o varietate de materiale auxiliare, printre care:

Un manual cu soluțiile problemelor.

Fișiere conținând toate figurile în diferite formate

Un simulator (scris în C) pentru exemplele de protocoale din Cap. 3.

O pagină de web cu link-uri către îndrumare practice, organizații, întrebări frecvente, etc

Manualul cu soluții este disponibil la Prentice Hall (dar numai pentru instructori, nu și pentru studenți). Toate celelalte materiale pot fi găsite pe situl cărții, la adresa:

*<http://www.prenhall.com/tanenbaum>*

De acolo, faceți click pe coperta cărții.

Multe persoane m-au ajutat în timpul lucrului la a patra ediție. Aș dori în mod deosebit să mulțumesc următoarelor persoane: Ross Anderson, Elizabeth Belding-Royer, Steve Bellovin, Chatschick Bisdikian, Kees Bot, Scott Bradner, Jennifer Bray, Pat Cain, Ed Felten, Warwick Ford, Kevin Fu, Ron Fulle, Jim Geier, Mario Gerla, Natalie Giroux, Steve Hanna, Jeff Hayes, Amir Herzberg, Philip Homburg, Philipp Hoschka, David Green, Bart Jacobs, Frans Kaashoek, Steve Kent, Roger Kermode, Robert Kinicki, Shay Kutton, Rob Lanthier, Marcus Leech, Tom Maufer, Brent Miller, Shivakant Mishra, Thomas Nadeau, Shlomo Ovadia, Kaveh Pahlavan, Radia Perlman, Guillaume Pierre, Wayne Pleasant, Patrick Powell, Thomas Robertazzi, Medy Sanadidi, Christian Schmutzer, Henning Schulzrinne, Paul Sevinc, Mihail Sichitiu, Bernard Sklar, Ed Skoudis, Bob Strader, George Swallow, George Thiruvathukal, Peter Tomsu, Patrick Verkaik, Dave Vittali, Spyros Voulgaris, Jan-Mark Wams, Ruediger Weis, Bert Wijnen, Joseph Wilkes, Leendert van Doorn și Maarten van Steen.

Mulțumiri speciale sunt adresate lui Trudy Levine care a demonstrat că bunicile pot face o treabă excelentă recapitulând materialul tehnic. Shivakant Mishra s-a gândit la multe dintre problemele

difficile de la sfârșitul capitolelor. Andy Dornan mi-a recomandat lecturi suplimentare pentru Cap. 9. Jan Looyen a furnizat echipamente hardware indispensabile într-un moment critic. Dr. F de Nies s-a dovedit un expert în materie de "cut-and-paste" atunci când a fost necesar. Editorul meu de la Prentice Hall, Mary Franz m-a aprovizionat cu mai multe materiale pentru citit decât consumasem în precedenții 7 ani și m-a ajutat în numeroase alte situații.

În sfârșit, am ajuns la persoanele cele mai importante: Suzanne, Barbara și Marvin. Suzannei pentru dragoste, răbdare și prânzurile din excursiile la iarbă verde. Barbarei și lui Marvin pentru că au fost veseli și amuzanți în permanență (mai puțin atunci când se plâneau de îngrozitoarele manuale pentru colegiu, fapt ce m-a făcut să fiu mai cu picioarele pe pământ). Vă mulțumesc.

ANDREW S. TANENBAUM

# 1

## INTRODUCERE

Fiecare din ultimele trei secole a fost dominat de o anumită tehnologie. Secolul al XVIII-lea a fost secolul marilor sisteme mecanice care au însoțit Revoluția Industrială. Secolul al XIX-lea a fost epoca mașinilor cu aburi. În secolul XX, tehnologia cheie este legată de colectarea, prelucrarea și distribuirea informației. Printre alte realizări, am asistat la instalarea rețelilor telefonice mondiale, la invenția radioului și a televiziunii, la nașterea și creșterea nemaivăzută a industriei de calculatoare și la lansarea sateliților de comunicații.

Datorită progresului tehnologic rapid, aceste domenii converg în ritm alert, iar diferențele între colectarea, transportul, stocarea și prelucrarea informației dispar pe zi ce trece. Organizații cu sute de birouri răspândite pe o arie geografică largă se așteaptă să poată examina în mod curent printr-o simplă apăsare de buton chiar și echipamentele lor cele mai îndepărtate. Pe măsură ce posibilitățile noastre de a colecta, prelucra și distribui informația cresc tot mai mult, cererea pentru o prelucrarea și mai sofisticată a informației crește și mai rapid.

Deși industria de calculatoare este încă tânără în comparație cu alte industrii (de exemplu, construcția de automobile și transportul aerian), domeniul calculatoarelor a cunoscut un progres spectaculos într-un timp scurt. În primele decenii de existență sistemele de calcul erau foarte centralizate, de obicei în interiorul unei singure încăperi. Adesea, această încăpere avea pereți de sticlă prin care vizitatorii se puteau holba la marea minune electronică dinăuntru. O companie de mărime mijlocie sau o universitate ar fi putut avea unul sau două calculatoare, în timp ce instituțiile mari aveau cel mult câteva zeci. Ideea că, în mai puțin de 20 de ani, calculatoare la fel de puternice, mai mici decât un timbru poștal, vor fi produse pe scară largă în milioane de exemplare părea desprinsă dintr-un scenariu științifico-fantastic.

Întrepătrunderea dintre domeniul calculatoarelor și cel al comunicațiilor a avut o influență profundă asupra modului în care sunt organizate sistemele de calcul. Conceptul de „centru de calcul” -

în accepțiunea sa de încăpere unde există un calculator mare la care utilizatorii vin să-și ruleze programele - este total depășit. Vechiul model al unui singur calculator care servește rezolvării problemelor de calcul ale organizației a fost înlocuit de un model în care munca este făcută de un număr mare de calculatoare separate, dar interconectate. Aceste sisteme se numesc **rețele de calculatoare**. Proiectarea și organizarea acestor rețele reprezintă subiectul acestei cărți.

Pe parcursul cărții vom folosi termenul „rețea de calculatoare” pentru a desemna o colecție de calculatoare autonome interconectate folosind o singură tehnologie. Se spune despre două calculatoare că sunt interconectate dacă sunt capabile să schimbe informație între ele. Conectarea nu se face neapărat printr-un cablu de cupru; pot fi folosite în acest scop fibra optică, radiații infraroșii, microunde sau sateliți de comunicații. Rețelele pot fi de dimensiuni, tipuri și forme diferite, așa cum vom vedea ceva mai târziu. Deși poate să pară straniu, nici Internet-ul și nici World Wide Web-ul (rețea de întindere mondială) nu sunt rețele de calculatoare. Dacă parcurgeți cartea până la sfârșit va fi clar și de ce. Răspunsul simplist este următorul: Internet-ul nu este o singură rețea, ci o rețea de rețele, iar WWW este un sistem distribuit care funcționează peste nivelul Internet-ului.

În literatura de specialitate, se face deseori confuzie între o rețea de calculatoare și un **sistem distribuit**. Deosebirea esențială este aceea că într-un sistem distribuit, o colecție de calculatoare independente este percepută de utilizatorii ei ca un sistem coerent unic. De obicei, el are un model sau o unică paradigmă care îl reprezintă pentru utilizatori. Adesea, un modul software aflat pe nivelul superior al sistemului de operare (numit **middleware**) este responsabil pentru implementarea acestui model. Un bun exemplu de sistem distribuit arhicunoscut este chiar World Wide Web, în care totul ia în cele din urmă forma unui document (pagina Web).

Într-o rețea de calculatoare, coerenta, modelul și programele sunt absente. Utilizatorii au în fața lor mașini locale, fără nici o intenție de a face aceste stații să arate și să se comporte într-adevăr ca un sistem unic coerent. Dacă însă mașinile se deosebesc prin structurile hardware sau chiar prin sistemul de operare, acest amănunt este vizibil pentru utilizatori. Dacă un utilizator dorește să ruleze un program, el trebuie să se înregistreze pe mașina respectivă și să lucreze acolo.

De fapt, un sistem distribuit este un sistem de programe construit peste o rețea. Programele asigură rețelei un grad mare de coeziune și transparență. De aceea, diferența majoră între o rețea și un sistem distribuit nu apare la nivel de echipamente, ci de programe (în special la nivelul sistemului de operare).

Nu mai puțin adevărat este faptul că între cele două subiecte există o suprapunere considerabilă. De exemplu, atât sistemele distribuite cât și rețelele de calculatoare au nevoie să transfere fișiere. Diferența se referă la cine invocă transferul: sistemul sau utilizatorul. Deși această carte are în vedere în primul rând rețelele, multe din subiectele abordate sunt importante și în sistemele distribuite. Pentru mai multe informații despre sistemele distribuite, a se vedea (Tanenbaum și Van Steen, 2002).

## 1.1 UTILIZĂRILE REȚELELOR DE CALCULATOARE

Înainte de examinarea în detaliu a problemelor tehnice, merită să arătăm de ce sunt oamenii interesați de rețelele de calculatoare și la ce pot fi ele folosite. Până la urmă, dacă nimeni nu ar fi inte-

resat de rețele de calculatoare, puține rețele ar fi construite. Vom începe cu utilizările tradiționale în cadrul companiilor și pentru utilizatorii individuali, apoi ne vom deplasa spre dezvoltările recente privind utilizatorii mobili și rețelele domestice.

### 1.1.1 Aplicații comerciale

Multe companii au un număr semnificativ de calculatoare. De exemplu, o companie poate folosi calculatoare pentru monitorizarea producției, pentru urmărirea evoluției stocurilor, pentru calcularea statelor de plată. La început, fiecare din aceste calculatoare putea lucra izolat de celelalte, dar, la un moment dat, managerii au decis să le conecteze între ele pentru a putea extrage și corela informații despre întreaga firmă.

În termeni mai generali, subiectul se referă la **împărțirea resurselor**, iar scopul este de a face toate programele, echipamentele și în special datele disponibile pentru oricine din rețea, indiferent de localizarea fizică a resursei și a utilizatorului. Un exemplu uzual și larg răspândit este existența unui grup de utilizatori care folosesc o imprimantă comună. Nici unul dintre utilizatori nu are nevoie de propria imprimantă, iar o imprimantă performantă de volum mare, legată în rețea este, de cele mai multe ori, mai ieftină, mai rapidă și mai ușor de întreținut decât o colecție de imprimante individuale.

Cu toate acestea, probabil chiar mai importantă decât partajarea resurselor fizice, cum sunt imprimantele, scanerele, dispozitivele de inscripționat CD-uri, este partajarea informației. Orice companie mare sau medie, dar și multe dintre companiile mici sunt total dependente de informația prelucrată de calculatoare. Cele mai multe companii țin înregistrările clienților, inventarele, evidența conturilor de încasări, rapoartele financiare, informațiile despre taxe și încă multe altele numai cu ajutorul calculatorului. Dacă toate calculatoarele sale se defectează, o bancă nu mai poate funcționa mai mult de 5 minute. O fabrică modernă, cu o linie de asamblare condusă de calculator nu ar putea continua lucrul nici măcar atât. Chiar și o mică agenție de turism sau un birou de avocatură cu trei angajați sunt, în acest moment, dependente în mare măsură de rețelele de calculatoare, care le permit angajaților accesul instantaneu la informații relevante și la documente.

Pentru companiile mai mici, toate calculatoarele sunt cel mai probabil amplasate într-un singur birou sau poate într-o singură clădire, în timp ce pentru companiile mai mari calculatoarele și angajații pot fi răspândiți într-o mulțime de birouri și fabrici din diferite țări. Cu toate acestea, un agent de vânzări din New York poate avea uneori nevoie de acces la o bază de date cu inventarul produselor aflată în Singapore. Cu alte cuvinte, numai faptul că un utilizator se află la 15.000 km de datele de care are nevoie nu îl poate împiedica să-și folosească datele ca și când ele ar fi locale. Pe scurt, scopul poate fi definit ca o încercare de a termina cu „tirania geografiei”.

În termenii cei mai simpli se poate imagina sistemul informațional al unei companii ca fiind alcătuit din una sau mai multe baze de date și un număr de angajați care au nevoie de acces de la distanță. În acest model, datele sunt memorate în calculatoare performante, numite **servere (servers)**. Adesea, acestea sunt plasate și întreținute centralizat de un administrator de sistem. Din contră, angajații au mașini mai simple, numite **clienți (clients)**, plasate pe birourile lor, prin intermediul cărora accesează datele aflate la distanță pentru a le include, de exemplu, în foile de calcul pe care le construiesc. (Uneori ne vom referi la operatorul care folosește o mașină client cu numele de „client”, dar va fi clar din context dacă referirea este la mașină sau la utilizatorul ei). Mașinile server și client sunt conectate în rețea, așa cum este ilustrat în fig. 1-1. De notat că am reprezentat rețeaua ca un simplu oval, fără nici un alt detaliu. Vom mai folosi această formă pentru a reprezenta o rețea în mod abstract. Atunci când sunt necesare mai multe detalii, ele vor fi furnizate.

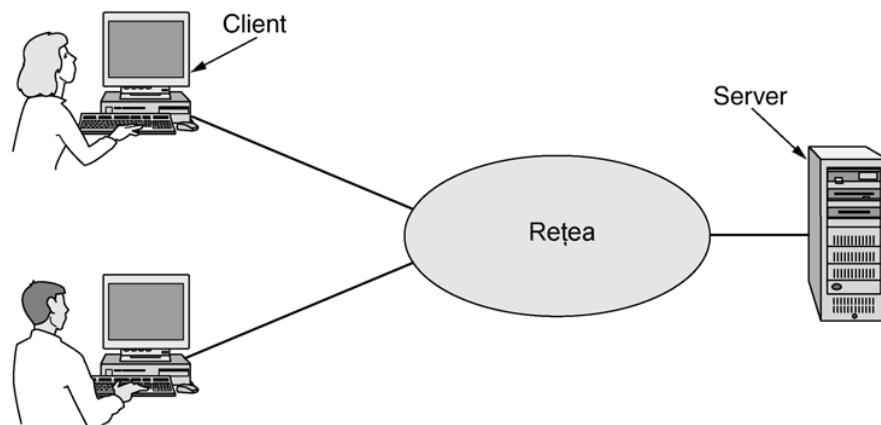


Fig. 1-1. O rețea cu doi clienți și un server.

Această structură reprezintă **modelul client-server**. Este folosit frecvent și reprezintă baza pe care lucrează multe rețele. Este aplicabil atunci când clientul și serverul se află în aceeași clădire (de exemplu, dacă ambele aparțin aceleiași companii), dar și atunci când între ele este o distanță mai mare. De exemplu, atunci când o persoană aflată acasă face un acces la o pagină Web, este folosit același model, în care serverul Web aflat la distanță are rol de server, iar calculatorul personal al utilizatorului are rol de client. În cele mai multe situații, un server poate lucra cu un număr mare de clienți.

Dacă privim mai în detaliu modelul client-server, constatăm că sunt implicate două procese, unul aflat pe mașina client și unul aflat pe mașina server. Comunicația ia forma transmiterii prin rețea a unui mesaj de la procesul client către procesul server. În continuare, procesul client va aștepta un mesaj de răspuns. Atunci când procesul server primește cererea, execută acțiunea solicitată sau caută datele cerute și transmite un răspuns. Aceste mesaje sunt prezentate în fig. 1-2.

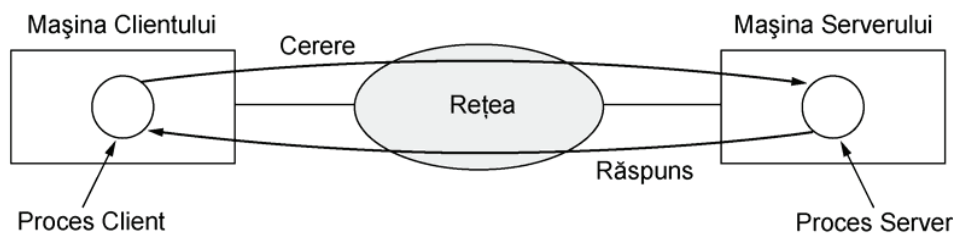


Fig. 1-2. Modelul client-server implică cereri și răspunsuri.

Un al doilea scop al construirii unei rețele de calculatoare este mai mult legat de oameni decât de informație sau chiar calculatoare. O rețea de calculatoare poate constitui un puternic **mediu de comunicare** între angajați. Aproape orice companie care are două sau mai multe calculatoare are acum **poșta electronică (e-mail)**, pe care angajații o folosesc intens pentru comunicațiile zilnice. De fapt, una dintre neplăcerile discutate intens între angajați este multitudinea de mesaje, în mare parte lipsite de sens, cu care trebuie să se confrunte zilnic pentru că șefii au descoperit că pot trimite același mesaj (de cele mai multe ori chiar fără conținut) tuturor subordonaților, prin apăsarea unui singur buton.



Dar poșta electronică nu este singura formă de comunicație îmbunătățită care a fost făcută posibilă de rețelele de calculatoare. Cu o rețea, este ușor pentru doi oameni care lucrează la mare distanță unul de altul să scrie un raport împreună. Când unul dintre ei face o modificare asupra unui document din rețea, ceilalți vor putea vedea modificarea imediat, în loc să aștepte o scrisoare timp de mai multe zile. O astfel de accelerare face din cooperarea în cadrul grupurilor de oameni aflați la distanță o simplă comunicare, fapt imposibil cu ceva timp în urmă.

O altă formă de comunicare asistată de calculator o reprezintă videoconferințele. Folosind această tehnologie, angajații din locuri aflate la distanță pot ține o întrunire, pot să se vadă și să se audă între ei, și pot scrie chiar pe o tablă virtuală partajată. Videoconferința este o modalitate eficientă de eliminare a costurilor și timpului pierdute anterior pentru a călători. Se spune uneori că între comunicare și transport este o competiție și că activitatea care câștigă o face pe cealaltă să pară depășită.

Un al treilea scop pentru tot mai multe companii este realizarea electronică a comerțului cu alte companii, în special cu furnizorii și clienții. De exemplu, producătorii de automobile, avioane sau calculatoare, printre alții, cumpără subansamble de la diverși furnizori și apoi le assemblează. Folosind rețelele de calculatoare, producătorii pot plasa comenzile electronic, după cum este nevoie. Posibilitatea de a plasa comenzi în timp real (dacă este nevoie) reduce necesitatea stocurilor mari și sporește eficiența.

Un al patrulea scop care devine din ce în ce mai important este realizarea de tranzacții cu consumatorii prin Internet. Companiile aeriene, librăriile și magazinele de muzică au descoperit că mulți consumatori le place comoditatea de a-și face cumpărăturile de acasă. În consecință, multe companii oferă on-line cataloage cu bunurile și serviciile disponibile și chiar primesc comenzi on-line. Este de așteptat ca acest sector să se dezvolte rapid în continuare. El este numit **comerț electronic (e-commerce, electronic commerce)**.

### 1.1.2 Aplicații domestice

În 1977 Ken Olsen era președinte al Digital Equipment Corporation, care era pe vremea aceea a doua companie în lume în vânzarea de calculatoare (după IBM). Atunci când a fost întrebat de ce Digital nu se implică mai mult în piața calculatoarelor personale, el a răspuns: „Nu există nici un motiv ca fiecare individ să aibă un calculator acasă.” Istoria a arătat că răspunsul a fost greșit, iar Digital nu mai există. De ce cumpără oamenii calculatoare pentru a le folosi acasă? La început, pentru prelucrarea de texte și pentru jocuri, dar în ultimii ani această imagine s-a schimbat radical. Probabil că în acest moment cel mai important motiv este accesul la Internet. Unele dintre cele mai populare utilizări ale Internet-ului pentru utilizatorii casnici sunt următoarele:

1. Accesul la informație de la distanță.
2. Comunicațiile interpersonale.
3. Divertismentul interactiv
4. Comerțul electronic

Accesul informației la distanță ia forme multiple. Poate fi navigarea pe Web pentru informații sau doar pentru distracție. Categoriile de informații disponibile includ artele, afacerile, gastronomia, guvernarea, sănătatea, istoria, preocupările din timpul liber, modalitățile de recreere, știința, sporturile, călătoriile, și multe altele. Distracția este de prea multe feluri ca să poată fi menționate, plus câteva care e mai bine să rămână nemenționate.

Multe ziare sunt acum disponibile on-line și pot fi personalizate. De exemplu, este uneori posibil să spui unui ziar că dorești să obții totul despre politicienii corupți, despre marile incendii, despre scandalurile în care sunt implicate celebritățile și despre epidemii, dar nu despre fotbal. Uneori este chiar posibil să vă aduceți articolele selectate pe discul local, în timp ce dormiți, sau să le tipăriți înainte de micul dejun. Și cum această tendință continuă să se dezvolte, va cauza o creștere importantă a ratei șomajului printre băieții de 12 ani care distribuie ziare, dar redacțiilor ziarelor le place această variantă, pentru că distribuția a fost întotdeauna cea mai slabă verigă din întregul lanț de producție.

Pasul următor după ziare (împreună cu revistele și jurnalele științifice) este biblioteca digitală on-line. Multe organizații profesionale, cum sunt ACM ([www.acm.org](http://www.acm.org)) și IEEE Computer Society ([www.computer.org](http://www.computer.org)) au deja disponibile on-line multe dintre jurnale și prezentări de la conferințe. Alte grupuri urmează rapid această tendință. În funcție de costul, dimensiunile și greutatea unui calculator portabil, cărțile tipărite vor deveni desuete. Scepticii ar trebui să fie atenți la efectul pe care l-a avut tiparul asupra manuscriselor medievale iluministe.

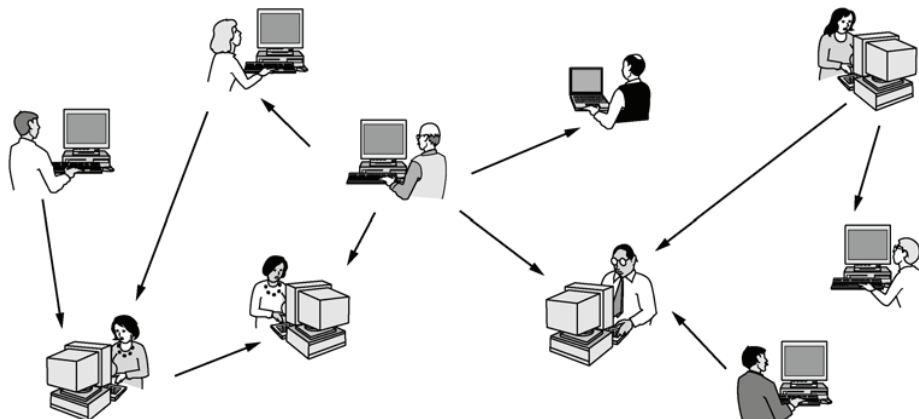
Toate aceste aplicații presupun interacțiuni între o persoană și o bază de date aflată la distanță. O a doua categorie largă de utilizări ale rețelei este comunicarea între persoane - este vorba în primul rând de replica secolului XXI la telefonul din secolul al XIX-lea. Poșta electronică, sau **e-mail-ul**, este deja folosită zi de zi de milioane de oameni din toată lumea și gradul de utilizare este în continuă creștere. Conține deja, în mod curent, pe lângă text și poze, secvențe audio și video. În schimb, va dura ceva mai mult până când se va pune la punct înglobarea mirosului în mesaje.

Orice adolescent este dependent de **mesageria instantanee (instant messaging)**. Această facilitate, derivată din programul UNIX *talk* (ro: vorbește) folosit încă din anii 1970, le permite celor doi care doresc să comunice să-și trimită mesaje unul altuia în timp real. O versiune multipersonală a acestei idei este **chat-room-ul** (ro: **camera de discuții**) în care o persoană dintr-un grup poate trimite mesaje către întregul grup.

Grupurile de știri de pe tot globul, cu discuții privind orice subiect imaginabil, fac deja parte din realitatea cotidiană a unei anumite categorii de persoane, iar acest fenomen va crește până la dimensiunile întregii omeniri. Discuțiile, în care o persoană trimite un mesaj și toți ceilalți abonați ai grupului de interes pot să-l citească, se derulează în toate stilurile posibile, putând fi la fel de bine extrem de amuzante sau de pătimase. Spre deosebire de camerele de discuții (chatroom-uri), grupurile de interese nu sunt în timp real și mesajele sunt salvate astfel încât atunci când cineva se întoarce din vacanță, toate mesajele care au fost primite între timp așteaptă cuminti să fie citite.

Un alt tip de comunicație interpersonală se numește adesea comunicație **de la egal-la-egal (peer-to-peer)**, pentru a o distinge de modelul client-server (Parameswaran et al., 2001). În această formă, persoanele independente care formează un grup oarecare comunică în cadrul grupului, după cum se vede în fig. 1-3. Fiecare persoana poate, în principiu, să comunice cu una sau mai multe persoane; nu există o departajare clară între clienți și servere.

Comunicațiile de la egal-la-egal au explodat în jurul anului 2000 cu un serviciu numit Napster, care la apogeu avea peste 50 de milioane de fani ai muzicii care schimbau între ei melodii. A fost probabil cea mai mare înfrângere a drepturilor de autor din toată istoria lor (Lam și Tan, 2001; și Macedonia, 2000). Ideea era destul de simplă. Membrii înregistrau muzica pe care o aveau pe discurile locale într-o bază de date centrală întreținută de serverul Napster. Dacă un membru dorea o melodie, verifica baza de date ca să vadă cine o are și se ducea direct la sursă pentru a o lua. Și pentru că Napster nu ținea nici un fel de muzică pe mașinile proprii, Napster a argumentat că nu a încălcat drepturile de autor ale nimănui. Dar tribunalul nu a fost de acord și a închis sistemul.



**Fig. 1-3.** Într-un sistem de la egal la egal nu sunt clienți și servere fixe.

Oricum, următoarea generație de sisteme de la egal-la-egal elimină baza de date centrală deoarece fiecare utilizator își va întreține propria bază locală și va oferi o listă de alți utilizatori membri ai sistemului aflați în apropiere. Un nou utilizator va putea atunci să viziteze fiecare membru și să vadă ce anume are acesta și care este lista de utilizatori aflați în apropierea sa. Acest proces de căutare poate fi repetat la infinit pentru a crea o bază de date de dimensiune mare cu ceea ce se regăsește în sistem. Este o activitate care ar deveni tracasantă pentru utilizatori, dar pentru care calculatoarele sunt excelente.

Există de asemenea și aplicații legale pentru comunicațiile de la egal-la-egal. De exemplu, fanii partajează muzica neprotejată de drepturile de autor sau noile extrase de melodii pe care formațiile muzicale le oferă în scop publicitar, familiile partajează poze, filme și informații genealogice, iar adolescenții joacă on-line jocuri cu mai mulți participanți. De fapt, una dintre cele mai populare aplicații ale Internet-ului, poșta electronică, este în mod implicit de la egal-la-egal. Este de așteptat ca această formă de comunicație să crească semnificativ în viitor.

Criminalitatea electronică nu este limitată la încălcarea drepturilor de autor. O altă zonă fierbinte este cea a jocurilor de noroc electronice. Calculatoarele au simulat tot felul de lucruri timp de decenii. De ce să nu simuleze și automatele cu fise, roata ruletei, masa de blackjack, și multe alte echipamente pentru jocurile de noroc? Ei bine, deoarece este ilegal în multe locuri. Problema este că jocurile de noroc sunt legale în multe alte părți (în Anglia, de exemplu) și proprietarii de cazinouri din astfel de state au înțeles potențialul jocurilor de noroc pe Internet. Ce se întâmplă dacă jucătorul și cazinoul se află în țări diferite, cu legi diferite? Bună întrebare.

Alte aplicații orientate pe comunicații includ utilizarea Internet-ului ca suport pentru convorbiri telefonice, conferințe video sau radio, trei domenii în plină dezvoltare. O altă aplicație este învățământul la distanță, aceasta însemnând ca poți să urmărești cursurile de la 8 dimineața fără a trebui să te dai mai întâi jos din pat. Pe termen lung, utilizarea calculatoarelor pentru a îmbunătăți comunicațiile interumane se va putea dovedi mai importantă decât oricare alte utilizări.

A treia categorie avută în vedere este divertismentul, care reprezintă o industrie uriașă, în continuă creștere. În acest domeniu aplicația de cel mai mare succes (cea care poate să influențeze tot restul) se numește video la cerere. Este plauzibil ca peste vreo zece ani să putem selecta orice film sau program de televiziune realizat vreodată în orice țară și acesta să fie imediat disponibil pe ecran.

nul nostru. Filmele noi ar putea deveni interactive: spectatorul ar fi întrebat în anumite momente ce continuare a povestirii alege (să-l ucidă MacBeth pe Duncan sau să aștepte o ocazie mai bună?), fiind prevăzute scenarii alternative pentru toate cazurile. De asemenea, televiziunea în direct s-ar putea desfășura interactiv, cu telespectatori care participă la concursuri, care aleg câștigătorul dintre concurenții preferați și așa mai departe.

Pe de altă parte, poate că nu sistemul de video la cerere, ci jocurile vor reprezenta aplicația de maxim succes. Există deja jocuri pentru mai multe persoane cu simulare în timp real, de exemplu v-ați ascuns într-o închisoare virtuală sau simulator de zbor în care jucătorii unei echipe încearcă să-i doboare pe cei din echipa adversă. Dacă jocurile sunt jucate cu ochelari pentru realitatea virtuală, în medii tridimensionale, în timp real și cu imagini de calitate fotografică, atunci avem un fel de realitate virtuală globală și partajată.

Cea de-a patra categorie este comerțul electronic în cel mai larg sens al cuvântului. Cumpărături-făcute de acasă sunt deja populare și permit utilizatorilor să inspecteze on-line cataloagele a mii de companii. Unele dintre aceste cataloage vor oferi în curând posibilitatea de a obține o prezentare video imediată a oricărui produs printr-o simplă selectare a numelui produsului. După ce un client cumpără electronic un produs, dar nu poate să își dea seama cum să îl folosească, poate fi consultat departamentul de ajutor on-line.

O altă arie de interes în care comerțul electronic este deja implementat este accesul la instituțiile financiare. Mulți oameni își plătesc facturile, își administrează conturile bancare și își manevrează investițiile electronice. Acestea se vor dezvolta și mai repede de îndată ce rețelele vor deveni mai sigure.

O zonă de interes pe care nimeni nu o întrevădea ca interesantă este talciocul electronic (flea market). Licitările on-line de bunuri la mâna a doua au devenit o industrie uriașă. Spre deosebire de comerțul electronic tradițional, care este construit după modelul client-server, licitațiile on-line sunt mai aproape de sistemul de la egal-la-egal, un fel de consumator-la-consumator. Unele dintre aceste forme de comerț electronic au obținut porecle simpatice, plecând de la faptul că, în limba engleză, „2 (two)” și „to” se pronunță la fel. Cele mai populare sunt prezentate în fig. 1-4.

Prescurtare	Nume întreg	Exemplu
B2C	Companie la Consumator (Business to Consumer)	Comanda de cărți online
B2B	Companie la Companie (Business to Business)	Fabricantul de mașini comandă cauciucuri de la furnizor
G2C	Guvern la consumator (Government to Consumer)	Guvernul distribuie formularele pentru taxe în format electronic
C2C	Consumator la Consumator (Consumer to Consumer)	Licitarea de produse mâna a doua online
P2P	Punct la Punct (Peer-to-Peer)	Partajare de fișiere

**Fig. 1-4.** Unele forme de comerț electronic.

Fără îndoială că domeniile de utilizare pentru rețelele de calculatoare se vor dezvolta încă și mai mult în viitor și probabil că vor aborda direcții pe care acum nu le poate prevedea nimeni. La urma urmei, câți oameni ar fi crezut în 1990 că adolescenții care își scriu plictisiți mesaje pe telefoanele mobile în timp ce călătoresc cu autobuzul vor deveni o imensă sursă de bani pentru companiile de telefonie mobilă? Cu toate acestea, serviciul de mesaje scurte este extrem de profitabil.

Rețelele de calculatoare pot deveni foarte importante pentru oamenii care se află în locuri mai greu accesibile cărora le pot oferi accesul la aceleași servicii la disponibile și celor care stau în centrul orașelor. Învățământul la distanță poate afecta hotărâtor educația; universitățile vor deveni naționa-

le sau chiar internaționale. Medicina la distanță este abia la început (de exemplu monitorizarea pacienților de la distanță), dar poate să devină mult mai importantă. Dar aplicația cea mai de succes poate să fie ceva mai practică, cum ar fi folosirea unei camere digitale în frigider pentru a vedea dacă trebuie să cumperi lapte când vii acasă de la serviciu.

### 1.1.3 Utilizatorii mobili

Calculatoarele mobile, cum sunt portabilele sau PDA-urile (**Personal Digital Assistant**, rom: asistent digital personal) sunt unele dintre segmentele cu dezvoltarea cea mai rapidă din industria calculatoarelor. Mulți posesori ai acestor calculatoare au calculatoare la birou și doresc să fie conectați la ele chiar și când sunt plecați de acasă sau pe drum. Și cum a avea o conexiune pe fir este imposibil în mașini sau în avioane, există un interes deosebit pentru rețelele fără fir. În această secțiune vom studia pe scurt câteva dintre aplicațiile rețelilor fără fir.

De ce și-ar dori cineva o astfel de rețea? Unul dintre motivele uzuale este că obține un birou portabil. Oamenii care călătoresc mult doresc să-și poată folosi echipamentele electronice portabile pentru a trimite și pentru a primi apeluri telefonice, faxuri și poșta electronică, pentru a naviga pe Web, pentru a accesa fișiere la distanță și pentru a se putea conecta la mașini aflate la distanță. Și vor să poată face toate acestea în orice loc de pe Pământ, de pe mare sau din aer. De exemplu, în ultima vreme, la conferințele legate de calculatoare organizatorii setează o rețea locală fără fir în încăperea în care se țin conferințele. Oricine are un calculator portabil cu un modem fără fir va trebui doar să își pornească propriul calculator pentru a fi conectat la Internet, ca și cum calculatorul ar fi conectat cu un fir într-o rețea obișnuită. Similar, unele universități au instalat rețele fără fir în campus, astfel încât studenții să poată sta la umbra copacilor și să consulte catalogul bibliotecii sau să-și citească poșta electronică.

Rețelele fără fir sunt de mare valoare pentru parcurile de taximetre, camioane, vehicule utilizate pentru livrare și chiar echipe de intervenție, pentru a fi mereu în contact cu baza. De exemplu, în multe orașe șoferii de taxi sunt oameni de afaceri independenți, nu angajați ai unei companii de taximetre. În unele dintre aceste orașe, taximetrele au un ecran pe care șoferul îl poate vedea. Când sună un client, un dispecer central introduce locul de unde trebuie preluat clientul și destinația unde acesta dorește să ajungă. Această informație este afișată pe ecranul din taximetru și se generează un semnal sonor. Primul șofer care atinge un buton al ecranului este cel care preia apelul.

Rețelele fără fir sunt de asemenea importante în domeniul militar. Dacă vrei să pornești un război oriunde în lume într-un termen scurt, a conta pe infrastructura de rețea de la fața locului nu este, cel mai probabil, o idee bună. Este mai bine să o aduci pe a ta de acasă.

Deși rețelele fără fir și calculatoarele mobile sunt deseori în strânsă legătură, ele nu sunt domenii identice, după cum arată și fig. 1-5. Aici se vede diferența între **fix fără fir** și **mobil fără fir**. Chiar și calculatoarele portabile au uneori nevoie de cablu. De exemplu, dacă un călător conectează firul de la calculatorul său portabil în priză de telefon din camera de hotel, el are mobilitate, folosindu-se totuși de cablu.

Fără fir	Mobil	Aplicații
Nu	Nu	Calculatoarele staționare de pe mesele de lucru din birouri
Nu	Da	Un calculator portabil folosit într-o camera de hotel
Da	Nu	Rețelele în clădiri mai vechi, necablate
Da	Da	Biroul portabil; PDA pentru inventarul magazinului

**Fig. 1-5.** Combinații de rețele fără fir și echipamente mobile.

Pe de altă parte, unele calculatoare fără fir nu sunt mobile. Un exemplu important este o companie care are o clădire mai veche, necablată pentru rețea și dorește să își interconecteze calculatoarele. Instalarea unei rețele fără fir necesită doar puțin mai mult decât a cumpăra o cutie care are ceva electronică, a o despacheta și a o conecta. Totuși, această soluție poate fi mult mai ieftină decât a pune un tehnician să tragă cabluri pentru a cabla întreaga clădire.

Există, desigur, aplicații cu adevărat mobile și fără fire, de la birourile portabile până la oamenii care, intrând în magazin cu un PDA pot face inventarul. La multe aeroporturi aglomerate, oamenii care se ocupă de primirea mașinilor care au fost închiriate lucrează cu ajutorul calculatoarelor portabile fără fire. Ei introduc numărul de înmatriculare al mașinilor care sunt returnate și echipamentul portabil, care are o imprimantă atașată, apelează calculatorul principal, obține informațiile despre închiriere și tipărește pe loc factura.

Pe măsură ce tehnologiile de comunicație fără fir devin din ce în ce mai răspândite, sunt pe cale să apară tot mai multe aplicații. Să analizăm rapid unele posibilități. Aparatele de taxat fără fir pentru plata parării au avantaje atât pentru utilizatori cât și pentru mai marii orașului. Aparatele de taxat pot să accepte cărți de credit sau de debit și să le verifice imediat prin conexiunea fără fir. Când perioada pentru care s-a plătit expiră, aparatul poate să verifice existența unei mașini în locul de parcare (va trimite un semnal înspre ea și, dacă acesta este reflectat, în spațiul respectiv se găsește o mașină) și să raporteze poliției eventuala depășire. S-a estimat că, numai la nivelul orașelor din SUA, municipalitățile ar putea obține un plus de 10 miliarde de dolari folosind această variantă (Harte et al., 2000). Mai mult, sancționarea mai riguroasă pentru parcare ilegală va ajuta mediul înconjurător, deoarece șoferii care știu că vor fi prinși în cazul în care parchează ilegal ar putea să folosească transportul în comun.

Automatele de gustări, băuturi și alte bunuri se găsesc peste tot. Desigur, mâncarea nu ajunge în aceste automate prin puterea magiei. Periodic, cineva vine cu un camion pentru a le umple. Dacă automatele însele ar transmite printr-o conexiune fără fir un raport în fiecare zi pentru a comunica stocurile curente, șoferul camionului ar ști ce mașini trebuie re-approvisionate și ce cantitate din fiecare produs trebuie să aducă. O astfel de informație ar duce la o planificare mai eficientă a drumului. Desigur, această informație ar putea să fie transmisă și prin liniile telefonice standard, dar soluția de a da fiecărui automat o conexiune fixă de telefon pentru un singur apel pe zi este scumpă din cauza taxei lunare fixe.

O altă zonă în care tehnologiile de conectare fără fir pot să ducă la economii sunt citirile contoarelor pentru diverse utilități. Varianta în care consumul la energie electrică, gaze, apă, și alte utilități care se regăsesc în casele oamenilor ar putea să fie raportat folosind o astfel de conexiune fără fir, nu ar mai fi nevoie să fie trimiși pe teren angajați care să se ocupe de citirea contoarelor. Similar, detectoarele de fum fără fir ar putea să sune la divizia de Pompieri în loc să facă un zgomot infernal (care este lipsit de orice valoare dacă nu este nimeni acasă). Deoarece costul dispozitivelor radio și cel al timpului de emisie scad, din ce în ce mai multe măsurători se vor face prin intermediul rețelelor fără fire.

O arie de aplicații complet diferită pentru rețelele fără fir este mult așteptata fuziune între telefoanele mobile și PDA-uri în mici calculatoare fără cablu. O primă încercare a fost făcută cu micile PDA-uri, care puteau să afișeze pagini Web simplificate pe minusculele lor ecrane. Acest sistem, numit WAP 1.0 (Wireless Application Protocol, rom: protocolul aplicațiilor fără fir) a eșuat, tocmai din cauza ecranelor prea mici, a lărgimii de bandă scăzute și a serviciilor slabe calitativ. Dar dispozitivele și serviciile mai noi vor funcționa mai bine cu WAP 2.0.

O zonă în care aceste dispozitive pot fi excelente este denumită comerț mobil (**m-commerce**) (Senn, 2000). Forța care stă în spatele acestui fenomen constă dintr-un amalgam de producători de dispozitive PDA fără fir și operatori de rețea care încearcă din răspuțeri să găsească o soluție pentru a obține o bucată din plăcinta comerțului electronic. Una dintre speranțele lor este să folosească PDA-urile fără fir pentru operațiuni bancare și pentru cumpărături. O idee este utilizarea PDA-urilor ca pe un fel de portofel electronic, autorizând plățile în magazine, ca un înlocuitor pentru banii lichizi și pentru cărțile de credit. Suma cheltuită apare apoi pe factura telefonului mobil. Din punct de vedere al magazinelor, această schemă aduce un câștig prin economisirea taxelor plătite companiei de cărți de credit, taxă care poate fi de câteva procente. Desigur, acest plan poate fi dezavantajos, deoarece clienții dintr-un magazin își pot folosi PDA-urile pentru a verifica prețurile concurenței înainte de a cumpăra. Încă și mai rău, companiile de telefoane pot oferi PDA-uri cu cititoare de coduri de bare care să permită unui client să scaneze un produs dintr-un magazin și apoi să obțină instantaneu un raport detaliat despre alte locuri în care același produs se găsește și despre prețul lui.

Deoarece operatorul rețelei știe unde anume se găsește utilizatorul, unele servicii sunt în mod intenționat dependente de loc. De exemplu, poate fi posibil să afli localizarea unui magazin de cărți sau a unui restaurant chinezesc din apropiere. Hărțile mobile sunt un alt candidat. La fel sunt și prognozele meteo foarte localizate („Când o să se oprească ploaia în curtea mea din spate?”). Fără îndoială că multe alte aplicații or să apară pe măsură ce aceste dispozitive devin tot mai răspândite.

Unul dintre lucrurile importante după care comerțul mobil s-a orientat este acela că utilizatorii de telefoane mobile sunt obișnuiți să plătească pentru tot (spre deosebire de utilizatorii de Internet, care așteaptă totul gratis). Dacă un sit Internet ar impune o taxă pentru a permite utilizatorilor săi să plătească prin intermediul cărții de credit, s-ar naște o grămadă de proteste zgomotoase din partea utilizatorilor. Dacă un operator de telefonie mobilă ar permite oamenilor să plătească pentru articolele dintr-un magazin folosind telefonul și apoi le-ar fi impus o taxă pentru acest serviciu, probabil că totul ar fi fost perceput ca normal. Timpul va decide.

Ceva mai departe în timp sunt rețelele personale (personal area networks) și calculatoarele la purtător (wearable computers). IBM a dezvoltat un ceas care rulează Linux (inclusiv sistemul de ferestre X11) și are conexiune fără fir la Internet pentru a trimite și primi mesaje prin poșta electronică (Narayanaswami et al., 2002). În viitor, oamenii vor putea schimba cărți de vizită numai prin punerea ceasurilor lor față în față. Calculatoarele la purtător, fără fir, vor putea permite accesul oamenilor în încăperi securizate în același fel în care cardurile cu benzi magnetice o fac astăzi (probabil că vor lucra în combinație cu un cod PIN sau cu măsurători biometrice). Este posibil ca aceste ceasuri să fie capabile chiar să obțină informațiile relevante în vecinătatea utilizatorului (de exemplu restaurante locale). Posibilitățile sunt infinite.

Ceasurile inteligente cu radio au fost parte din spațiul nostru mental încă de când au apărut în benzile comice cu Dick Tracy în 1946. Dar praful inteligent? Cercetătorii de la Berkley au construit un calculator fără fir într-un cub cu latura de 1 mm (Warneke et al., 2001). Aplicațiile potențiale includ evidența stocurilor, pachetelor, ba chiar și a păsărelelor, rozătoarelor și insectelor.

#### 1.1.4 Aspecte sociale

Introducerea pe scară largă a rețelilor va ridica noi probleme sociale, etice și politice. Vom menționa pe scurt câteva dintre ele; un studiu exhaustiv ar necesita cel puțin o carte. O aplicație populară a multor rețele sunt grupurile de interese sau sistemele de informare în rețea (BBS-urile), unde oa-



menii pot schimba mesaje cu persoane având preocupări similare. Atâta vreme cât este vorba de subiecte tehnice sau de pasiuni precum grădinăritul, nu sunt motive să apară multe probleme.

Problemele se ivesc în cazul grupurilor de interes care iau în discuție subiecte delicate sau extrem de disputate, cum ar fi politica, religia sau sexul. Atitudinile exprimate în cadrul acestor grupuri pot fi considerate ofensatoare de către anumiți oameni. Mai mult chiar, nu este obligatoriu ca mesajele să se limiteze la text. Fotografii color de înaltă rezoluție și chiar scurte clipuri video pot fi acum transmise cu ușurință prin rețelele de calculatoare. Unii oameni au o atitudine neutră („trăiește și lasă-mă să trăiesc”), dar alții consideră că trimiterea anumitor materiale (de exemplu, atacuri la anumite țări sau religii, pornografia etc.) este pur și simplu inacceptabilă și trebuie censurată. Diverse țări au diverse legi în acest domeniu, uneori chiar contradictorii. De aceea, discuțiile sunt în continuare aprinse.

Unii oameni au dat în judecată operatori de rețea, pretinzând că ei sunt responsabili pentru informația care circulă, exact ca în cazul ziarelor și revistelor. Răspunsul inevitabil este că rețeaua e ca o companie de telefoane sau ca un oficiu poștal și nu poate controla ceea ce discută utilizatorii săi. Mai mult chiar, dacă operatorii rețelei ar censura mesajele, atunci probabil că ei ar putea șterge orice fără a exista nici cea mai mică posibilitate de a-i da în judecată, încălcând astfel dreptul utilizatorilor la exprimare liberă. Nu este, probabil, hazardat să afirmăm că această dezbatere va continua mult timp.

O altă dispută animată are în atenție drepturile angajaților în raport cu drepturile patronilor. Multe persoane citează și scriu poșta electronică la serviciu. Directorii unor firme au pretins că ar avea dreptul să citească și eventual să cenzureze mesajele angajaților, inclusiv mesajele trimise de la calculatoarele de acasă, după orele de program. Numai că nu toți angajații agreează această idee.

Dar chiar admitând că directorii au o astfel de putere asupra angajaților, există o relație similară și între universități și studenți? Dar între licee și elevi? În 1994 Universitatea Carnegie-Mellon a hotărât să blocheze mesajele care veneau de la grupuri de interes legate de sex pe motivul că materialele nu erau potrivite pentru minori (adică pentru cei câțiva studenți care nu aveau încă 18 ani). Disputa izvorâtă din această decizie va dura ani întregi.

Un alt subiect cheie este relația guvern-cetățean. FBI a instalat la mulți furnizori de servicii Internet un sistem care să supravegheze toate mesajele de poșta electronică care vin și pleacă în căutarea de amănunte din domeniile sale de interes (Blaze și Belloc, 2000; Sobel, 2001 și Zacks, 2001). Sistemul a fost numit la început „Carnivore”, dar din cauza publicității negative de care a avut parte a fost redenumit cu un nume care suna ceva mai inocent: DCS1000. Dar scopul lui a rămas același: de a spiona milioane de oameni în speranța că se vor găsi informații despre activități ilegale. Din păcate, al patrulea amendament al Constituției SUA interzice cercetările guvernamentale fără mandat de căutare. Dacă aceste 54 de cuvinte scrise în secolul al 18-lea au în continuare o oarecare valoare în secolul 21, tribunalele vor rămâne ocupate până în secolul 22.

Guvernul nu are monopol la amenințarea intimității cetățeanului. Sectorul privat își are și el partea lui. De exemplu, micile fișiere denumite **cookies** (**prăjiturile**) pe care programele de navigare le stochează pe calculatoarele utilizatorilor permit companiilor să urmărească activitățile utilizatorilor în cyberspace și, de asemenea, pot face ca numerele cărților de credit, numerele de asigurări sociale sau alte informații strict confidențiale să fie accesibile în Internet (Berghel, 2001).

Rețelele de calculatoare oferă posibilitatea de a trimite mesaje anonime. În anumite situații așa ceva este de dorit. De exemplu, reprezintă un mijloc pentru studenți, soldați, angajați, cetățeni de a trage un semnal de alarmă - fără teamă de represalii - în cazul comportamentului ilegal al profesorilor, ofițerilor, directorilor sau politicienilor. Pe de altă parte, în Statele Unite și în majoritatea demo-



crațiilor, legea asigură în mod explicit dreptul unei persoane acuzate de a-și chema acuzatorul în fața Curții. Acuzațiile anonime nu pot servi drept probă.

Pe scurt, rețelele de calculatoare, asemenea industriei tipografice cu 500 de ani în urmă, permit cetățenilor obișnuiți să-și lanseze opiniile prin mijloace diferite și către audiențe diferite față de cele de până acum. Această libertate nou descoperită aduce cu ea probleme nerezolvate de ordin social, politic și moral.

Odată cu binele vine și răul. Viața pare a fi construită astfel. Internetul oferă posibilitatea de a găsi repede informații, dar multe dintre ele sunt greșit informate, tendențioase sau chiar complet eronate. Sfatul medical pe care tocmai l-ați luat de pe Internet poate să vină de la un laureat al premiului Nobel sau de la un repetent din liceu. Rețelele de calculatoare au introdus de asemenea și noi tipuri de comportamente antisociale și infracționale. Transmiterea electronică a fleacurilor și gunoaielor (eng.: junk) a devenit parte din viață pentru că oamenii au colecționat milioane de adrese pe care le vând pe CD-ROM-uri așa-zisilor agenți de marketing. Mesajele care au un conținut activ (de obicei programe sau macroui care se execută pe mașina receptorului) pot avea efecte distructive.

Furtul de identitate devine o problemă serioasă, pentru că hoții colectează destule informații despre o potențială victimă pentru a putea obține cărți de credit și alte documente în numele acesteia. În fine, posibilitatea de a transmite digital muzică și filme a deschis ușa pentru încălcarea masivă a drepturilor de autor care sunt greu de depistat și pedepsit.

Multe dintre aceste probleme puteau fi rezolvate dacă industria de calculatoare ar fi luat în serios securitatea calculatoarelor. Dacă toate mesajele erau criptate și autentificate, ar fi fost mai greu să se comită nedreptăți sau furturi. Această tehnologie este bine conturată și o vom studia în detaliu în cap. 8. Problema este că vânzătorii de hardware și aplicații software știu că introducerea unor atribute de securitate costă bani, iar cumpărătorii nu solicită astfel de atribute. Mai mult, un număr substanțial de probleme este determinat de aplicațiile care funcționează cu erori, ceea ce se întâmplă pentru că producătorii adaugă din ce în ce mai multe facilități programelor lor, ceea ce înseamnă inevitabil mai mult cod și de aceea mai multe erori. O taxă pentru noile facilități ar putea ajuta, dar ar face produsele greu de vândut în anumite segmente de piață. Plata unei despăgubiri pentru programele care funcționează eronat ar fi foarte cinstită, doar că ar duce la faliment întreaga industrie software chiar din primul an.

## 1.2 HARDWARE-UL REȚELEI

A venit acum timpul să ne îndreptăm atenția de la aplicațiile și problemele sociale ale interconectării (partea distractivă) la aspectele tehnice care intervin în proiectarea rețelelor (partea serioasă de lucru). Deși nu există o taxonomie general acceptată în care pot fi încadrate toate rețelele de calculatoare, sunt extrem de importante două criterii: tehnologia de transmisie și scara la care operează rețeaua. Vom examina pe rând fiecare din aceste aspecte.

În principal există două tipuri de tehnologii de transmisie care se folosesc pe scară largă. Acestea sunt:

1. Legături cu difuzare.
2. Legături punct-la-punct.

**Rețelele cu difuzare** au un singur canal de comunicații care este partajat de toate mașinile din rețea. Orice mașină poate trimite mesaje scurte, numite în anumite contexte **pachete**, care sunt primite de toate celelalte mașini. Un câmp de adresă din pachet specifică mașina căreia îi este adresat pachetul. La recepționarea unui pachet, o mașină controlează câmpul de adresă. Dacă pachetul îi este adresat, mașina îl prelucrează; dacă este trimis pentru o altă mașină, pachetul este ignorat.

Să considerăm, ca analogie, că cineva se află la capătul unui coridor cu multe încăperi și strigă „Watson, vino aici: Am nevoie de tine.” Deși pachetul poate fi primit (auzit) de multă lume, numai Watson va răspunde. Ceilalți pur și simplu îl ignoră. Un alt exemplu ar fi un aeroport unde se anunță că toți pasagerii zborului 644 sunt rugați să se prezinte la poarta 12.

Sistemele cu difuzare permit în general și adresarea unui pachet către *toate* destinațiile, prin folosirea unui cod special în câmpul de adresă. Un pachet transmis cu acest cod este primit și prelucrat de toate mașinile din rețea. Acest mod de operare se numește **difuzare**. Unele sisteme cu difuzare suportă de asemenea transmiterea la un subset de mașini, operație cunoscută sub numele de **trimitere multiplă**. Una din schemele posibile este să se rezerve un bit pentru a indica trimiterea multiplă. Restul de  $n - 1$  biți de adresă pot forma un număr de grup. O mașină se poate „abona” la orice grup sau la toate grupurile. Un pachet trimis unui anumit grup va ajunge la toate mașinile abonate la grupul respectiv.

Prin contrast, **rețelele punct-la-punct** dispun de numeroase conexiuni între perechi de mașini individuale. Pentru a ajunge de la sursă la destinație pe o rețea de acest tip, un pachet s-ar putea să fie nevoit să treacă prin una sau mai multe mașini intermediare. Deseori sunt posibile trasee multiple, de diferite lungimi, și de aceea descoperirea drumurilor celor mai potrivite este foarte importantă. Ca o regulă generală (deși există numeroase excepții), rețelele mai mici, localizate geografic, tind să utilizeze difuzarea, în timp ce rețelele mai mari sunt de obicei punct-la-punct. Transmisiile punct la punct cu un singur transmițător și un singur receptor sunt numite uneori și **unicasting**.

Distanța între procesoare	Procesoare localizate în același (aceeași)...	Exemplu
1 m	Metru pătrat	Rețea personală
10 m	Cameră	Rețea locală
100 m	Clădire	
1 km	Campus	
10 km	Oraș	Rețea metropolitană
100 km	Țară	Rețea larg răspândită geografic
1000 km	Continent	
10.000 km	Planetă	Internet-ul

**Fig. 1-6.** Clasificarea procesoarelor interconectate în funcție de dimensiune.

Un criteriu alternativ pentru clasificarea rețelelor este mărimea lor. În fig. 1-6 este prezentată o clasificare a sistemelor cu procesoare multiple după mărimea lor fizică. Prima categorie o reprezintă rețelele personale (personal area networks), rețele gândite pentru o singură persoană. De exemplu,

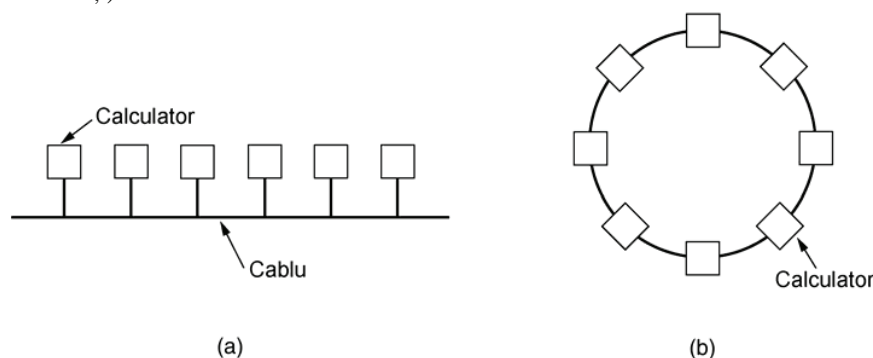
o rețea fără fir care conectează calculatorul cu perifericele sale (tastatură, imprimantă, mouse) este o rețea personală. De asemenea, un PDA care controlează aparatul auditiv al utilizatorului sau regulatorul lui de ritm cardiac se încadrează în aceeași categorie. Mai departe de aceste rețele personale sunt rețele cu domenii mai mari. Acestea pot fi împărțite în rețele locale, rețele metropolitane și rețele larg răspândite geografic. În sfârșit, prin conectarea a două sau mai multe rețele rezultă o inter-rețea. Internet-ul este un exemplu bine cunoscut de inter-rețea. Distanța este un criteriu de clasificare important, pentru că, la scări diferite, sunt folosite tehnici diferite. În această carte ne vom ocupa de rețele din toate aceste categorii. Prezentăm mai jos o scurtă introducere în subiectul echipamentelor de rețea.

### 1.2.1 Rețele locale

**Rețelele locale (Local Area Networks)**, denumite în general LAN-uri, sunt rețele private localizate într-o singură clădire sau într-un campus de cel mult câțiva kilometri. Ele sunt frecvent utilizate pentru a conecta calculatoarele personale și stațiile de lucru din birourile companiilor și fabricilor, în scopul de a partaja resurse (imprimante, de exemplu) și de a schimba informații. LAN-urile se disting de alte tipuri de rețele prin trei caracteristici: (1) mărime, (2) tehnologie de transmisie și (3) topologie.

LAN-urile au dimensiuni restrânse, ceea ce înseamnă că timpul de transmisie în cazul cel mai defavorabil este limitat și cunoscut dinainte. Cunoscând această limită, este posibil să utilizăm anumite tehnici de proiectare care altfel nu ar fi fost posibile. Totodată, se simplifică administrarea rețelei.

LAN-urile utilizează frecvent o tehnologie de transmisie care constă dintr-un singur cablu la care sunt atașate toate mașinile, așa cum erau odată cablurile telefonice comune în zonele rurale. LAN-urile tradiționale funcționează la viteze cuprinse între 10 și 100 Mbps, au întârzieri mici (microsecunde sau nanosecunde) și produc erori foarte puține. LAN-urile mai noi pot opera la viteze mai mari, până la 10 Gbps. În această carte vom păstra tradiția și vom măsura vitezele de transmisie pe linii în megabiți/sec (1 Mbps reprezintă 1.000.000 biți), și gigabiți/sec (1 Gbps reprezintă 1.000.000.000 biți).



**Fig. 1-7.** Două rețele cu difuzare. (a) Magistrală. (b) Inel.

Pentru LAN-urile cu difuzare sunt posibile diverse topologii. Fig. 1-7 prezintă două dintre ele. Într-o rețea cu magistrală (cu cablu liniar), în fiecare moment cel mult una dintre mașini este master și are dreptul să transmită. Restul mașinilor nu pot transmite. Când două sau mai multe mașini vor

să transmită simultan, este necesar un mecanism de arbitrare. Mecanismul de arbitrare poate fi centralizat sau distribuit. De exemplu, IEEE 802.3, popular numită **Ethernet**<sup>TM</sup>, este o rețea cu difuzare bazată pe magistrală cu control descentralizat, lucrând la viteze între 10 Mbps și 10 Gbps. Calculatoarele dintr-un Ethernet pot transmite oricând doresc; dacă două sau mai multe pachete se ciocnesc, fiecare calculator așteaptă o perioadă de timp aleatorie și apoi încearcă din nou.

Un al doilea tip de rețea cu difuzare este rețeaua în inel. Într-un inel fiecare bit se propagă independent de ceilalți, fără să aștepte restul pachetului căruia îi aparține. În mod tipic, fiecare bit navighează pe circumferința întregului inel într-un interval de timp în care se transmit doar câțiva biți, de multe ori înainte chiar ca întregul pachet să fi fost transmis. Ca în orice alt sistem cu difuzare, este nevoie de o regulă pentru a arbitra accesul simultan la inel. Pentru aceasta se utilizează diferite metode, care vor fi discutate în carte mai târziu. IEEE 802.5 (inelul cu jeton de la IBM) este un LAN popular de tip inel, care operează la 4 și la 16 Mbps. Un alt exemplu de rețea de tip inel este **FDDI (Fiber Distributed Data Interface)**, rom: Interfață de date distribuite pe fibră optică).

Rețelele cu difuzare pot fi în continuare împărțite în statice și dinamice, în funcție de modul de alocare al canalului. O metodă tipică de alocare statică ar fi să divizăm timpul în intervale discrete și să rulăm un algoritm round-robin, lăsând fiecare mașină să emită numai atunci când îi vine rândul. Alocarea statică irosește capacitatea canalului atunci când o mașină nu are nimic de transmis în cunșta de timp care i-a fost alocată, astfel că majoritatea sistemelor încearcă să aloce canalul dinamic (la cerere).

Metodele de alocare dinamică pentru un canal comun sunt fie centralizate, fie descentralizate. În cazul metodei centralizate de alocare a canalului există o singură entitate, de pildă o unitate de arbitrare a magistralei, care determină cine urmează la rând. Poate face acest lucru acceptând cereri și luând o decizie conform unui algoritm intern. În cazul metodei descentralizate de alocare a canalului nu există o entitate centrală; fiecare mașină trebuie să hotărască pentru ea însăși dacă să transmită sau nu. S-ar putea crede că în acest fel se ajunge totdeauna la haos, dar lucrurile nu stau așa. Vom studia mai târziu numeroși algoritmi proiectați să refacă ordinea dintr-un potențial haos.

### 1.2.2 Rețele metropolitane

O **rețea metropolitană (Metropolitan Area Network)**, sau **MAN** (plural: MAN-uri) deservește un oraș. Cel mai bun exemplu de MAN este rețeaua de televiziune prin cablu disponibilă în cele mai multe orașe. Acest sistem s-a dezvoltat de la primele antene colective folosite în zone în care semnalul recepționat prin aer era foarte slab. În aceste sisteme timpurii, o antenă foarte mare era amplasată pe vârful celui mai apropiat deal și semnalul captat era retransmis către casele abonaților.

La început, acestea erau sisteme proiectate local, ad-hoc. Apoi companiile au început să se implice în această afacere, obținând contracte de la municipalitățile orașelor pentru a cabla chiar și întreg orașul. Următorul pas a fost programarea televiziunii și chiar canale de televiziune produse numai pentru furnizarea prin cablu. De cele mai multe ori aceste canale sunt foarte specializate, pe domenii precum știrile, sporturile, gastronomia, grădinaritul, și altele. Dar încă de la începuturi și până în ultima perioadă a anilor 1990, aceste rețele erau exclusiv dedicate recepției de televiziune.

Din momentul în care Internet-ul a început să atragă audiența de masă, operatorii de rețele de cablu TV au realizat că, dacă vor face anumite schimbări în sistem, ar putea să ofere servicii bidirecționale în Internet în părțile nefolosite ale spectrului. La acel moment, sistemul de cablu TV a început să se transforme dintr-o soluție de a distribui semnalul TV în oraș într-o rețea metropolitană. La o primă aproximare, o MAN poate să arate oarecum similar cu sistemul prezentat în fig. 1-8.

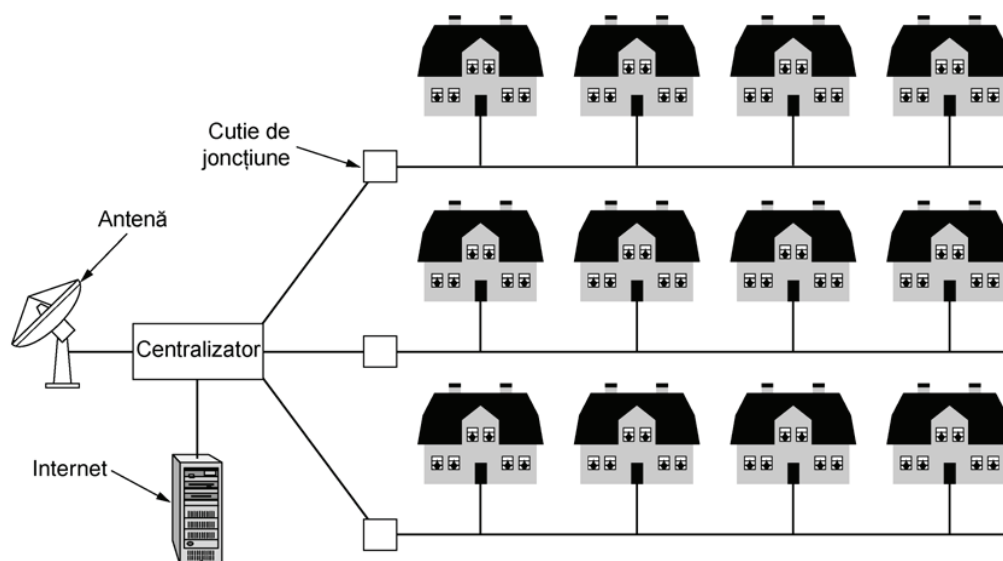


Fig. 1-8. O rețea metropolitană care se bazează pe cablu TV.

În această figură se văd atât semnalele de televiziune cât și Internet-ul trimise într-un centralizator (head end) pentru a fi apoi redistribuite în casele oamenilor. Vom reveni la acest subiect în detaliu în cap. 2.

Televiziunea prin cablu nu este singurul MAN. Ultimele dezvoltări în domeniul accesului la Internet fără fir, a dus la dezvoltarea unei noi rețele metropolitane care a fost standardizată cu numele de IEEE 802.16. Vom studia acest domeniu în cap. 2.

### 1.2.3 Rețele larg răspândite geografic

O **rețea larg răspândită geografic (Wide Area Network)**, sau WAN, acoperă o arie geografică întinsă - deseori o țară sau un continent întreg. Rețeaua conține o colecție de mașini utilizate pentru a executa programele utilizatorilor (adică aplicații). În concordanță cu termenul uzual, vom numi aceste mașini **gazde**. Gazdele sunt conectate printr-o **subrețea de comunicație** sau, pe scurt, **subrețea**. Gazdele aparțin clienților (de exemplu calculatoarele personale ale oamenilor), deși subrețeaua de comunicație aparține și este exploatată, de cele mai multe ori, de o companie de telefonie sau de un furnizor de servicii Internet (ISP). Sarcina subrețelei este să transporte mesajele de la gazdă la gazdă, exact așa cum sistemul telefonic transmite cuvintele de la vorbitor la ascultător. Prin separarea aspectelor de pură comunicație ale rețelei (subrețelei) de aspectele referitoare la aplicații (gazde), proiectarea întregii rețele se simplifică mult.

În majoritatea rețelilor larg răspândite geografic, subrețeaua este formată din două componente distincte: liniile de transmisie și elementele de comutare. **Liniile de transmisie** transportă biții între mașini. Ele pot fi alcătuite din fire de cupru, fibră optică sau chiar legături radio. **Elementele de comutare** sunt calculatoare specializate, folosite pentru a conecta două sau mai multe linii de transmisie. Când sosesc date pe o anumită linie, elementul de comutare trebuie să aleagă o nouă linie pentru a retransmite datele mai departe. Din păcate, nu există nici o terminologie standard pentru de-

numirea acestor calculatoare. Aceste elemente de comutare au primit diverse nume în trecut; numele de **ruter** (**router**<sup>1</sup>) este acum cel mai folosit.

În acest model, prezentat în fig. 1-9, fiecare gazdă este de cele mai multe ori conectată la un LAN în care există un ruter, deși în anumite cazuri o gazdă poate fi legată direct cu un ruter. Colecția de linii de comunicație și de rutere (dar nu și gazdele) formează subrețeaua.

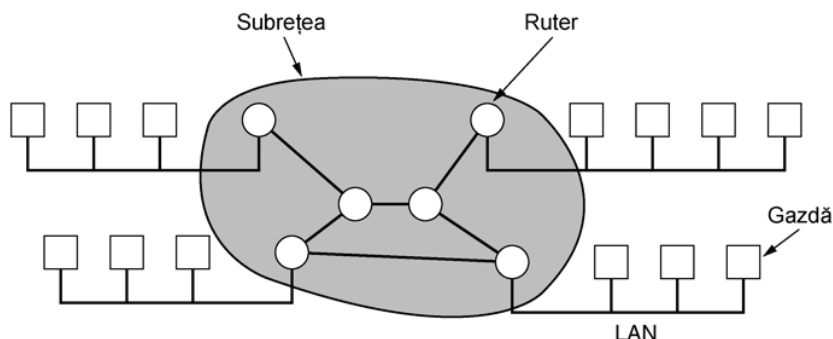


Fig. 1-9. Relația dintre gazde și subrețea.

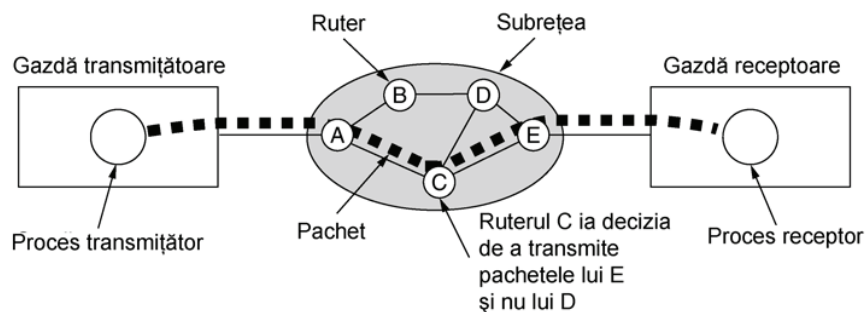
Merită să facem un scurt comentariu în jurul termenului de „subrețea”. Inițial, singura sa accepțiune se referea la colecția rutelor și liniilor de comunicație care mutau pachetele de la gazda sursă la gazda destinație. Totuși, câțiva ani mai târziu, cuvântul a mai căpătat un al doilea înțeles, în conjuncție cu adresarea rețelelor (pe care o vom discuta în Cap. 5). Din nefericire, nu există o alternativă larg acceptată pentru înțelesul său inițial, drept care noi vom folosi acest termen, cu unele rezerve, în ambele sensuri. Din context, va fi totdeauna clar care din ele este subînțeles.

În cazul celor mai multe WAN-uri, rețeaua conține numeroase linii de transmisie, fiecare din ele legând o pereche de rutere. Dacă două rutere nu împart un același cablu, dar doresc să comunice, atunci ele trebuie să facă acest lucru indirect, prin intermediul altor rutere. Când un pachet este transmis de la un ruter la altul prin intermediul unuia sau mai multor rutere, pachetul este primit în întregime de fiecare ruter intermediar, este reținut acolo până când linia de ieșire cerută devine liberă și apoi este retransmis. O subrețea care funcționează pe acest principiu se numește subrețea **memorează-și-retransmite** sau subrețea **cu comutare de pachete**. Aproape toate rețelele larg răspândite geografic (excepție făcând cele care utilizează sateliți) au subrețele **memorează-și-retransmite**. Când pachetele sunt mici și au aceeași mărime, ele sunt adesea numite **celule**.

Principiul de funcționare a unui WAN cu comutare de pachete este atât de important încât merită să mai adăugăm câteva cuvinte despre el. În general, atunci când un proces al unei gazde are un mesaj de transmis către un proces de pe o altă gazdă, gazda care transmite va sparge mesajul în pachete, fiecare dintre ele reținându-și numărul de ordine din secvență. Aceste pachete sunt apoi transmise în rețea unul câte unul într-o succesiune rapidă. Pachetele sunt transportate individual prin rețea și depozitate la gazda receptoare, unde sunt reasamblate în mesajul inițial și furnizate pro-

<sup>1</sup> Din păcate, unii îl pronunță ca englezescul „router” și alții preferă să îl asocieze ca pronunție cu „doubter”. Determinarea pronunției corecte în limba engleză va fi lăsată ca exercițiu cititorului. (răspunsul pe care îl veți afla poate depinde de zona în care întrebați).

cesului receptor. Un flux de pachete rezultat din descompunerea unui mesaj inițial oarecare este prezentat în fig. 1-10.



**Fig. 1-10.** Un flux de pachete de la transmițător la receptor.

În această figură, toate pachetele parcurg ruta A-C-E, în loc de A-B-D-E sau A-C-D-E. În unele rețele, toate pachetele aparținând unui mesaj dat trebuie să urmeze aceeași rută; în altele, fiecare pachet este dirijat separat. Desigur, dacă A-C-E este cea mai bună rută, toate pachetele pot fi transmise pe acolo, chiar dacă fiecare dintre ele este dirijat individual.

Deciziile de dirijare se iau la nivelul local al ruterului. Când un pachet ajunge la ruterul A, este de datoria lui A să decidă dacă acest pachet trebuie trimis pe linia către B sau pe linia către C. Modul în care ruterul A ia această decizie este denumit **algoritm de rutare**. Există mulți astfel de algoritmi. Pe unii dintre ei îi vom studia în detaliu în cap. 5.

Nu toate WAN-urile sunt cu comutare de pachete. O a doua posibilitate pentru un WAN este un sistem de sateliți. Fiecare ruter are o antenă prin care poate trimite și poate primi. Toate ruterele pot asculta ieșirea *de la* satelit, iar în anumite cazuri pot să asculte chiar și transmisia celorlalte rutere *către* satelit. Uneori, ruterele sunt conectate la o rețea punct-la-punct și numai unele dintre ele pot avea antene de satelit. Rețelele satelit sunt în mod implicit rețele cu difuzare și sunt foarte utile când proprietatea de difuzare este importantă.

#### 1.2.4 Rețele fără fir

Comunicațiile digitale fără fir nu reprezintă o idee nouă. Încă din 1901, fizicianul italian Guglielmo Marconi a realizat legătura între un vapor și un punct de pe coastă folosind telegraful fără fir și codul Morse (punctele și liniile sunt, în definitiv, binare). Sistemele radio moderne au performanțe mai bune, dar ideea fundamentală a rămas aceeași.

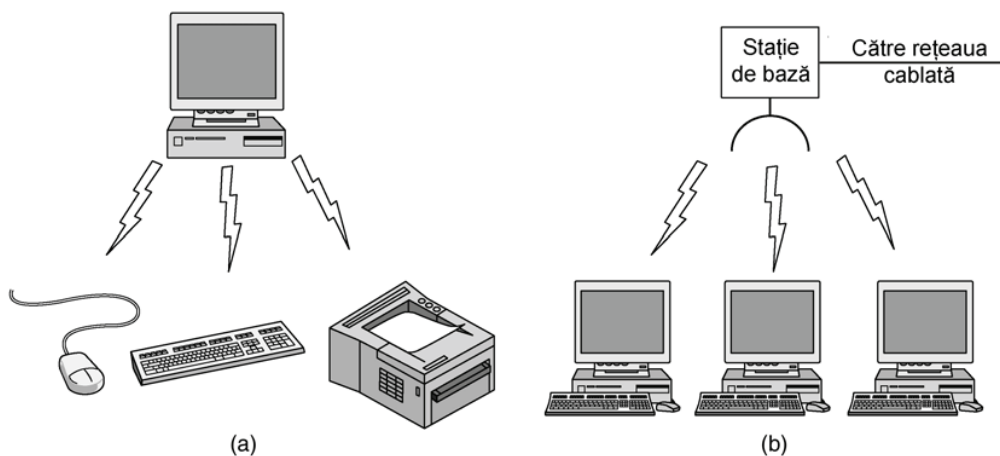
La o primă aproximare, rețelele fără fir pot fi împărțite în 3 mari categorii:

1. Interconectarea componentelor unui sistem
2. LAN-uri fără fir
3. WAN-uri fără fir

Interconectarea componentelor se referă numai la interconectarea componentelor unui calculator folosind unde radio cu rază mică de acțiune. Aproape orice calculator are un monitor, o tastatură, un mouse și o imprimantă legate la unitatea centrală prin cabluri. Mulți dintre noii utilizatori au probleme cu conectarea tuturor cablurilor exact în mufele micuțe în care trebuie (chiar dacă acestea

sunt de cele mai multe ori codificate pe culori), așa că producătorii de calculatoare oferă opțiunea de a trimite un tehnician pentru instalare. În consecință, câteva companii s-au adunat pentru a proiecta o rețea fără fir cu rază mică de acțiune denumită Bluetooth pentru a conecta toate aceste componente fără cabluri. De asemenea, Bluetooth permite camerelor digitale, căștilor, scanerelor și altor dispozitive să se conecteze la calculator prin simpla poziționare în zona acoperită de rețea. Fără cabluri, fără instalarea de drivere, doar poziționare, pornire și ... merge. Pentru mulți oameni această ușurință în utilizare este un mare avantaj.

În cea mai simplă formă, rețelele de interconectare în sistem folosesc paradigma stăpân-sclav (master-slave) din fig. 1-11(a). Unitatea centrală a sistemului este în mod normal stăpânul, care discută cu perifericele ca sclavi. Stăpânul le comunică sclavilor ce adrese să folosească, când pot să difuzeze mesaje, cât timp pot să transmită, ce frecvențe pot să folosească, și așa mai departe. Vom discuta despre Bluetooth în detaliu în cap. 4.



**Fig. 1-11.** (a) Configurație Bluetooth. (b) Rețea locală fără fir.

Următoarea treaptă în rețelele fără fir o reprezintă rețelele locale fără fir. Acestea sunt sisteme în care fiecare calculator are un modem radio și o antenă cu care poate comunica cu alte calculatoare. De multe ori există o antenă în tavan cu care mașinile vorbesc, așa cum se poate vedea în fig. 1-11(b). Oricum, dacă sistemele sunt destul de apropiate, ele pot comunica direct unul cu altul într-o configurație punct-la-punct. Rețelele locale fără fir devin din ce în ce mai utilizate în birouri mai mici și acasă, unde instalarea unei rețele Ethernet este considerată prea complicată, precum și în clădiri de birouri mai vechi, în cantinele companiilor, în camerele de conferințe, și în alte asemenea locuri. Există un standard pentru rețele locale fără fir, numit **IEEE 802.11**, pe care îl implementează majoritatea sistemelor și care devine din ce în ce mai răspândit. Îl vom discuta în cap. 4.

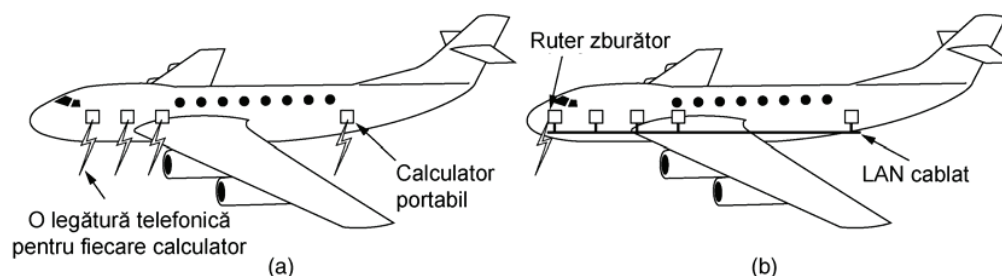
Cea de-a treia categorie de rețele fără fir este folosită în sistemele răspândite pe arii geografice largi (Wide Area Networks). Rețeaua radio utilizată de telefonie mobilă este un exemplu de sistem fără fir cu lărgime de bandă redusă. Acest sistem este deja la generația a treia. Prima generație era analogică și numai pentru voce. A doua generație era digitală, dar numai pentru voce. Cea de-a treia generație este digitală și este utilizată atât pentru voce cât și pentru date. Într-un anumit sens, rețelele celulare fără fir sunt foarte asemănătoare cu rețelele locale fără fir, cu excepția faptului că distan-



țele implicate sunt mult mai mari, iar ratele de transfer sunt mult mai mici. Rețelele locale fără fir pot opera la rate de până la 50 Mbps pe distanțe de zeci de metri. Sistemele celulare pot opera sub 1 Mbps, dar distanțele dintre stația de bază și calculator sau telefon este măsurată mai degrabă în kilometri decât în metri. Vom avea multe de spus despre aceste rețele în cap. 2.

În plus față de aceste rețele de viteză redusă, sunt dezvoltate și WAN-uri cu lărgime de bandă mare. Important este în primul rând accesul la Internet de acasă sau din cadrul companiei prin conexiune rapidă fără fir, eliminând necesitatea folosirii sistemului de telefonie. Acest serviciu este de multe ori denumit serviciu local de distribuie multipunct. Îl vom studia mai târziu în carte. A fost dezvoltat și un standard al său, numit IEEE 802.16. Îl vom examina în cap. 4.

Aproape toate rețelele ajung mai devreme sau mai târziu să fie parte dintr-o rețea cablată pentru a oferi acces la fișiere, baze de date sau Internet. Sunt multe variante prin care aceste conexiuni pot fi realizate, în funcție de circumstanțe. De exemplu, în fig. 1-12(a) este prezentat un avion în care un număr de persoane folosesc modemuri și telefoane încorporate în spătarul scaunului (eng.: seat-back telephone) pentru a suna la birou. Fiecare apel este independent de toate celelalte. O opțiune mult mai eficientă este LAN-ul zburător (flying LAN) din fig. 1-12(b). Aici, fiecare scaun este echipat cu un conector Ethernet în care pasagerii pot să își conecteze calculatoarele. Un singur ruter al avionului menține o legătură radio cu un ruter de la sol, schimbând acest ruter pe măsură ce își parcurge traseul. Această configurație este o rețea locală tradițională, doar că pentru a se conecta cu restul lumii folosește o legătură radio în loc de o linie cablată.



**Fig. 1-12.** (a) Calculatoare mobile individuale. (b) Un LAN zburător.

Multă lume crede că tehnologiile fără fir reprezintă valul viitorului (de ex. Bi et al., 2001; Leeper, 2001; Varshez și Vetter, 2000), dar există cel puțin o părere contrară cunoscută. Bob Metcalfe, inventatorul Ethernet-ului, a scris următoarele: „Calculatoarele mobile fără fir sunt ca băile mobile fără țevi - niște olițe de noapte portabile. Ele vor fi ceva comun în vehicule, pe șantiere și la concerte rock. Sfatul meu este să vă racordați cabluri în casă și să rămâneți acolo” (Metcalfe, 1995). Istoria ar putea să rețină această afirmație în aceeași categorie cu a lui T.J. Watson, președintele IBM, care explica în 1945 de ce IBM nu se intră în afacerea calculatoarelor: „Patru sau cinci calculatoare ar trebui să fie suficiente pentru întreaga lume până în anul 2000”.

### 1.2.5 Rețelele casnice (Home networks)

Rețelele în mediul casnic sunt la orizont. Ideea fundamentală este că în viitor, cele mai multe locuințe vor fi pregătite pentru instalarea de rețele. Fiecare dispozitiv din casă va fi capabil să comunice cu orice alt dispozitiv și toate vor fi accesibile prin Internet. Acesta este unul dintre acele concepte

revoluționare pe care nu l-a cerut nimeni (cum sunt telecomenzile TV sau telefoanele mobile), dar de îndată ce au fost implementate nimeni nu și-a mai putut închipui cum au trăit fără ele.

Multe dispozitive sunt capabile să fie legate în rețea. Unele dintre categoriile cele mai simple, însoțite de exemple sunt cele care urmează:

1. Calculatoarele (PC-uri staționare, PC-uri portabile, PDA-uri, periferice partajate)
2. Dispozitivele de divertisment (TV, DVD, VCR, camera video, combina muzicală)
3. Dispozitive pentru telecomunicații (telefonul, telefonul mobil, fax-ul, sistemul de comunicare interioară)
4. Aparatura casnică (cuptorul cu microunde, frigiderul, ceasul, cuptorul, aparatul de aer condiționat, luminile)
5. Contoarele și alarmele (contoarele pentru utilități, alarmele de fum sau hoți, termostatele, sistemele de supraveghere a copilului)

Rețelele casnice sunt deja implementate într-o oarecare măsură. Multe case au deja un dispozitiv pentru conectarea mai multor calculatoare la Internet printr-o conexiune rapidă. Divertismentul prin rețea nu este chiar la îndemână, dar pentru că din ce în ce mai multă muzică și mai multe filme sunt disponibile pentru descărcare din Internet, va exista o cerere de conectare a combinelor muzicale și a televizoarelor în rețea. De asemenea, oamenii vor dori să împartă propriile clipuri video cu prietenii și familia, astfel că această conexiune va trebui să fie bidirecțională. Angrenajul telecomunicațiilor este deja conectat la lumea exterioară, dar în curând aceste vor fi digitale și transmise prin Internet. În medie, o casă are cam o duzină de ceasuri (de exemplu, cele de la aparatele electrocasnice), care toate trebuie potrivite cel puțin de două ori pe an, când se trece la ora de vară și apoi la ora de iarnă. Dacă toate aceste ceasuri ar fi conectate la Internet, această potrivire s-ar face automat. În fine, monitorizarea de la distanță a casei și a interiorului său este un posibil domeniu de succes. Probabil că mulți dintre părinți ar fi gata să cheltuiască niște bani pentru a-și supraveghea copiii adormiți, prin intermediul PDA-urilor, în timp ce iau masa în oraș, chiar și dacă au angajat un adolescent pentru a avea grijă de ei. În timp ce unii își pot imagina o rețea separată pentru fiecare zonă de aplicații, integrarea tuturor într-o singură rețea mai mare este probabil o idee mult mai bună.

Rețelele casnice au câteva proprietăți fundamental diferite de alte tipuri de rețele. Mai întâi, atât rețeaua cât și dispozitivele trebuie să fie ușor de instalat. Autorul a instalat multe componente hardware și software pe diverse calculatoare de-a lungul anilor, cu diverse rezultate. O serie de telefoane la biroul de suport tehnic al producătorului au rezultat în răspunsuri de tipul (1) Citiți manualul, (2) Reporniți calculatorul, (3) Scoateți toate componentele hardware și software cu excepția celor furnizate de noi și încercați din nou, (4) Descărcați cea mai nouă versiune a programului de configurare de pe situl nostru Web și dacă toate acestea eșuează, (5) Reformatați discul și apoi reinstalați Windows de pe CD-ROM. A spune unui cumpărător de frigider care poate fi conectat la Internet să descarce și să instaleze o nouă versiune a sistemului de operare pentru frigiderul său nu este de natură să facă prea mulți clienți fericiți. Utilizatorii de calculatoare sunt obișnuiți cu instalarea de produse care nu merg din prima; cumpărătorii de mașini, televizoare sau frigidere sunt mai puțin toleranți. Ei se așteaptă ca produsele să răspundă corect la 100% din comenzi.

În al doilea rând, rețelele și dispozitivele trebuie să fie protejate împotriva utilizării neglijente. Primele aparate de aer condiționat aveau un buton cu patru poziții: OPRIT, SCĂZUT, MEDIU, RAPID. Acum au manuale de 30 de pagini. De îndată ce vor fi conectate în rețea, așteptați-vă ca numai capitolul de securizare să aibă 30 de pagini. Ceea ce va depăși capacitatea de înțelegere a majorității utilizatorilor.

În al treilea rând, prețul scăzut este esențial pentru succes. Cumpărătorii nu vor plăti 50 de dolari în plus pentru un termostat numai pentru că unii oameni consideră important să-și supravegheze de la birou temperatura din casă. Pentru numai 5 dolari în plus, s-ar putea să se vândă.

În al patrulea rând, programul principal este foarte probabil să implice facilități multimedia, așa că rețeaua are nevoie de capacitate suficientă. Nu există piață pentru televizoare conectate la Internet care să prezinte filme de groază în rezoluție de  $320 \times 240$  pixeli și la 10 cadre/s. Ethernet-ul rapid (fast Ethernet), mediul de lucru în majoritatea birourilor, nu este destul de bun pentru facilitățile multimedia. În consecință, rețelele casnice vor avea nevoie de performanțe mai bune decât cele ale rețelelor care există acum în companii și de prețuri mai mici pentru a deveni articole care se vând în masă.

În cel de-al cincilea rând, trebuie să fie posibil să se pornească cu unul sau două dispozitive și extinderea să se poată face gradat. Aceasta înseamnă fără schimbări revoluționare. A spune consumatorilor să își cumpere periferice cu interfețe IEEE 1394 (FireWire) și apoi, după câțiva ani, să retrac-tezi spunând că USB 2.0 este interfața lunii va face consumatorii să devină capricioși. Interfața de rețea va trebui să rămână stabilă pentru mulți ani; cablajul (dacă există) va trebui să rămână același pentru decade întregi.

În cel de-al șaselea rând, securitatea și siguranța vor fi foarte importante. Pierderea câtorva fișiere datorită unui virus de poștă electronică e una, dar dacă un hoț îți dezarmează sistemul de securitate al locuinței de la PDA-ul său și apoi intră în casă este cu totul altă situație.

O întrebare interesantă este dacă rețelele casnice trebuie să fie cablate sau fără fir. Majoritatea locuințelor au deja șase rețele instalate: electrică, telefonică, televiziune prin cablu, apă, gaz și canalizare. Adăugarea unei a șaptea rețele în timpul construcției nu este dificilă, dar reamenajarea caselor deja construite este costisitoare. Costul este un motiv de a alege rețelele fără fir, dar securitatea este un motiv pentru cele cablate. Problema cu rețelele fără fir este aceea că undele radio pe care le folosesc trec foarte ușor prin garduri. Nimeni nu este foarte bucuros dacă vecinii îi pot intercepta conexiunea la Internet și îi pot citi mesajele de poștă electronică în timp ce acestea sunt trimise la imprimantă. În cap. 8 vom vedea cum se poate folosi criptarea pentru a oferi securitate, dar în contextul unei rețele casnice, securitatea trebuie să fie și ea protejată împotriva utilizării neglijente, chiar și în cazul utilizatorilor fără experiență. Aceasta este mai ușor de spus decât de făcut, chiar și pentru utilizatori foarte pricepuți. Pe scurt, rețelele casnice oferă multe facilități și provocări. Multe dintre ele sunt legate de necesitatea de a fi ușor de administrat, sigure și securizate, mai ales în mâinile utilizatorilor care nu sunt implicați în domeniul tehnic, concomitent cu necesitatea de a obține performanțe ridicate la prețuri scăzute.

### 1.2.6 Inter-rețelele

În lume există multe rețele, cu echipamente și programe diverse. Persoanele conectate la o anumită rețea doresc adesea să comunice cu persoane racordate la alta. Această cerință impune conectarea unor rețele diferite, de multe ori incompatibile, ceea ce uneori se realizează utilizând mașini numite **porți (gateways)**. Acestea realizează conectarea și asigură conversiile necesare, atât în termeni de hardware cât și de software. O colecție de rețele interconectate este numită **inter-rețea** sau **internet**. Acești termeni vor fi folosiți în sens generic, spre deosebire de Internet-ul mondial (care este un internet special), al cărui nume va fi scris mereu cu majusculă.

O formă comună de inter-rețea este o colecție de LAN-uri conectate printr-un WAN. De fapt, dacă am înlocui eticheta „subrețea” din fig. 1-9 prin „WAN”, în figură nu ar mai trebui schimbat nimic altceva. În acest caz, singura diferență tehnică reală între o subrețea și un WAN se referă la

prezența gazdelor. Dacă sistemul din interiorul zonei gri conține numai rutere, atunci este o subrețea. Dacă el conține atât rutere, cât și gazde cu utilizatori proprii, atunci este un WAN. Diferențele reale sunt legate de proprietate și utilizare.

Deseori se produc confuzii între subrețele, rețele și inter-rețele. Termenul de subrețea este mai potrivit în contextul unei rețele larg răspândite geografic, unde se referă la colecția de rutere și linii de comunicație aflate în proprietatea operatorului de rețea. Ca o analogie, sistemul telefonic constă din centrale telefonice de comutare, care sunt conectate între ele prin linii de mare viteză și sunt legate la locuințe și birouri prin linii de viteză scăzută. Aceste linii și echipamente, deținute și întreținute de către compania telefonică, formează subrețeaua sistemului telefonic. Telefoanele propriu-zise (care corespund în această analogie gazdelor) nu sunt o parte a subrețelei. Combinația dintre o subrețea și gazdele sale formează o rețea. În cazul unui LAN, rețeaua este formată din cablu și gazde. Aici nu există cu adevărat o subrețea.

O inter-rețea se formează atunci când se leagă între ele rețele diferite. Din punctul nostru de vedere, legarea unui LAN și a unui WAN sau legarea a două LAN-uri formează o inter-rețea, dar nu există un consens asupra terminologiei din acest domeniu. O regulă simplă este aceea că dacă diferite companii sunt plătite să construiască diverse părți ale unei rețele și fiecare trebuie să își întrețină propria parte, avem o inter-rețea mai degrabă decât o singură rețea. De asemenea, dacă tehnologiile diferă în diverse zone ale rețelei (de exemplu: difuzare și punct-la-punct), probabil că discutăm nu despre una ci despre două rețele.

## 1.3 PROGRAMELE DE REȚEA

În proiectarea primelor rețele de calculatoare, s-a acordat atenție în primul rând echipamentelor, iar programele au fost gândite ulterior. Această strategie nu mai este valabilă. Programele de rețea sunt acum foarte structurate. În secțiunile următoare vom examina unele detalii ale tehnicii de structurare a programelor. Metoda descrisă aici formează punctul de sprijin al întregii cărți și ea va apărea mai departe în repetate rânduri.

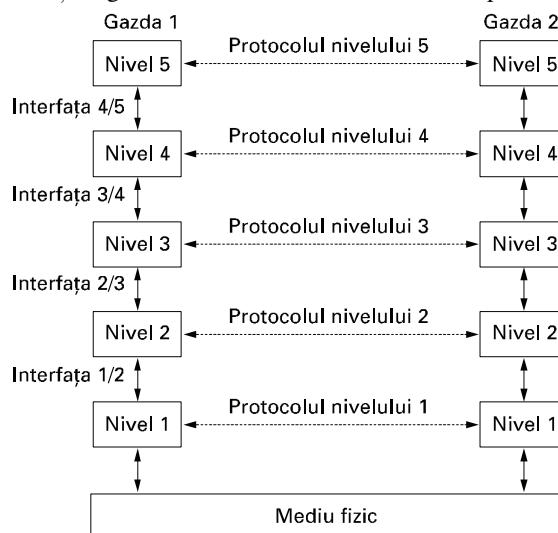
### 1.3.1 Ierarhiile de protocoale

Pentru a reduce din complexitatea proiectării, majoritatea rețelelor sunt organizate sub forma unei serii de **straturi** sau **niveluri**, fiecare din ele construit peste cel de dedesubt. Numărul de niveluri, numele fiecărui nivel, conținutul și funcția sa variază de la rețea la rețea. Oricum, în toate rețelele, scopul fiecărui nivel este să ofere anumite servicii nivelurilor superioare, protejându-le totodată de detaliile privitoare la implementarea efectivă a serviciilor oferite. Într-un anumit sens, fiecare nivel este un fel de mașină virtuală, oferind anumite servicii nivelului de deasupra lui.

Nivelul  $n$  de pe o mașină conversează cu nivelul  $n$  de pe altă mașină. Regulile și convențiile utilizate în conversație sunt cunoscute sub numele de **protocolul** nivelului  $n$ . În principal, un protocol reprezintă o înțelegere între părțile care comunică, asupra modului de realizare a comunicării. Ca o analogie, atunci când o femeie este prezentată unui bărbat, ea poate hotărî să-i întindă bărbatului mâna. La rândul său, bărbatul poate decide fie să-i strângă, fie să-i sărute mâna, decizie care depinde, să spunem, dacă femeia este o avocată americană care a venit la o întâlnire de afaceri sau este o

prințesă europeană prezentă la un bal. Încălcarea protocolului va face comunicarea mai dificilă, dacă nu chiar imposibilă.

În fig. 1-13 este ilustrată o rețea cu cinci niveluri. Entitățile din niveluri corespondente de pe mașini diferite se numesc **egale**. Entitățile egale pot fi procese, dispozitive hardware, sau chiar ființe umane. Cu alte cuvinte, entitățile egale sunt cele care comunică folosind protocolul.



**Fig. 1-13.** Niveluri, protocoale și interfețe.

În realitate, nici un fel de date nu sunt transferate direct de pe nivelul  $n$  al unei mașini pe nivelul  $n$  al altei mașini. Fiecare nivel transferă datele și informațiile de control nivelului imediat inferior, până când se ajunge la nivelul cel mai de jos. Sub nivelul 1 se află **mediul fizic** prin care se produce comunicarea efectivă. În fig. 1-13, comunicarea virtuală este reprezentată prin linii punctate, iar comunicarea fizică prin linii continue. Între două niveluri adiacente există o **interfață**. Interfața definește ce operații și servicii primitive oferă nivelul de jos către nivelul de sus. Când proiectanții de rețea decid câte niveluri să includă într-o rețea și ce are de făcut fiecare din ele, unul din considerentele cele mai importante se referă la definirea de interfețe clare între niveluri.

Aceasta presupune ca, la rândul său, fiecare nivel să execute o colecție specifică de funcții clar definite. Pe lângă minimizarea volumului de informații care trebuie transferate între niveluri, interfețele clare permit totodată o mai simplă înlocuire a implementării unui nivel cu o implementare complet diferită (de exemplu, toate liniile telefonice se înlocuiesc prin canale de satelit). Așa ceva este posibil, pentru că tot ceea ce i se cere noii implementări este să furnizeze nivelului superior exact setul de servicii pe care îl oferea vechea implementare. De altfel, este un fapt obișnuit ca două gazde să folosească implementări diferite.

O mulțime de niveluri și protocoale este numită **arhitectură de rețea**. Specificația unei arhitecturi trebuie să conțină destule informații pentru a permite unui proiectant să scrie programele sau să construiască echipamentele necesare fiecărui nivel, astfel încât nivelurile să îndeplinească corect protocoalele corespunzătoare. Nici detaliile de implementare și nici specificațiile interfețelor nu fac parte din arhitectură, deoarece acestea sunt ascunse în interiorul mașinilor și nu sunt vizibile din afară. Nu este necesar nici măcar ca interfețele de pe mașinile dintr-o rețea să fie aceleași - cu condi-

ția, însă, ca fiecare mașină să poată utiliza corect toate protocoalele. O listă de protocoale utilizate de către un anumit sistem, câte un protocol pentru fiecare nivel, se numește **stivă de protocoale**. Arhitecturile de rețea, stivele de protocoale și protocoalele propriu-zise constituie principalele subiecte ale acestei cărți.

O analogie poate ajuta la explicarea ideii de comunicare multinivel. Imaginați-vă doi filosofi (procesele egale de la nivelul 3), unul din ei vorbind limbile urdu și engleză, iar celălalt vorbind chineza și franceza. Deoarece filosofii nu cunosc o limbă comună, fiecare din ei angajează câte un translator (procesele egale de la nivelul 2), iar fiecare translator contactează la rândul său o secretară (procesele egale de la nivelul 1). Filosoful 1 dorește să comunice partenerului afecțiunea sa pentru *oryctolagus cuniculus*. Pentru aceasta, el trimite un mesaj (în engleză) prin interfața 2/3 către translatorul său, căruia îi spune următoarele cuvinte: „I like rabbits”<sup>2</sup> (ceea ce este ilustrat în fig. 1-14). Translatorii s-au înțeles asupra unei limbi neutre, olandeza, așa că mesajul este convertit în „Ik vind konijnen leuk.” Alegerea limbii reprezintă protocolul nivelului 2 și este la latitudinea proceselor pereche de pe acest nivel.

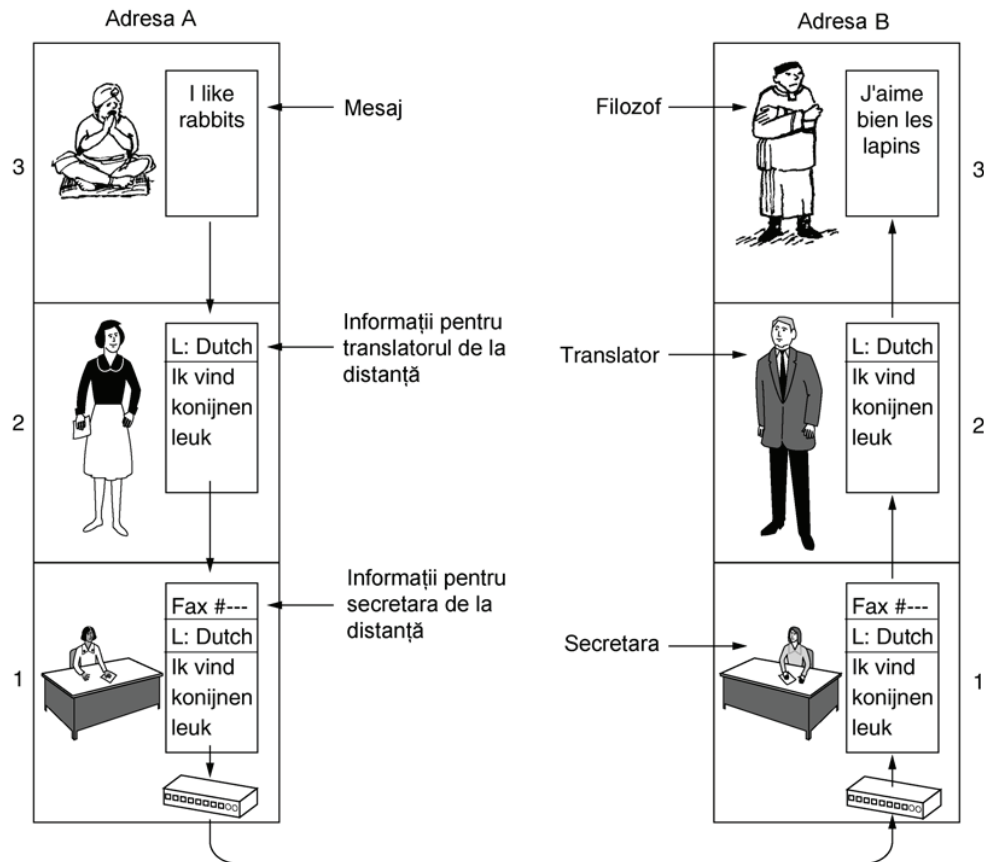
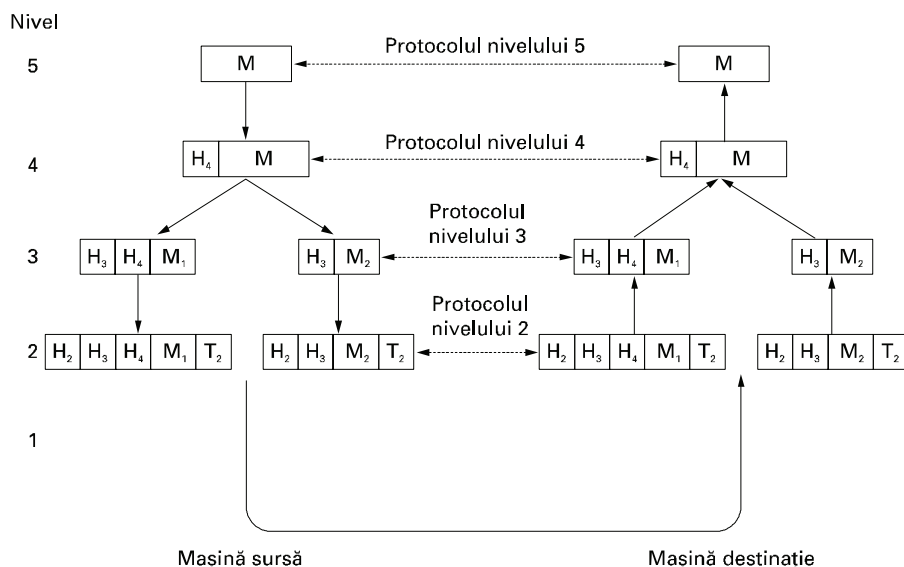


Fig. 1-14. Arhitectura filosof-translator-secretară.

<sup>2</sup>Propoziția înseamnă „Îmi plac iepurii.” (n.t.)



**Fig. 1-15.** Exemplu de flux de informații pentru suportul comunicării virtuale la nivelul 5.

În continuare, translatorul înmânează mesajul secretarei, care îl trimite, de exemplu, prin fax (protocolul nivelului 1). Când mesajul este primit, el este tradus în franceză și trimis prin interfața 2/3 către filosoful 2. Observați că, atâta timp cât interfețele nu se modifică, fiecare protocol este complet independent de celelalte. Dacă doresc, translatorii pot schimba olandeza cu altă limbă, să spunem finlandeza, cu condiția ca amândoi să se înțeleagă asupra acestui lucru și ca nici unul din ei să nu își modifice interfața cu nivelul 1 sau cu nivelul 3. În mod similar, secretarele pot înlocui faxul cu poșta electronică sau cu telefonul fără a deranja (sau măcar a informa) celelalte niveluri. Fiecare proces poate adăuga anumite informații suplimentare destinate numai procesului său pereche. Aceste informații nu sunt transmise în sus, către nivelul superior.

Să considerăm acum un exemplu mai tehnic: cum se realizează comunicarea la ultimul nivel din rețeaua cu cinci niveluri din fig. 1-15. O aplicație care se execută în nivelul 5 produce un mesaj  $M$  și îl furnizează nivelului 4 pentru a-l transmite. Nivelul 4 inserează un **antet** în fața mesajului, pentru a identifica respectivul mesaj și pasează rezultatul nivelului 3. Antetul include informații de control, de exemplu numere de ordine care ajută nivelul 4 de pe mașina de destinație să livreze mesajele în ordinea corectă în cazul în care nivelurile inferioare nu păstrează această ordine. Pe unele niveluri, antetele conțin de asemenea câmpuri de control pentru mărime, timp și alte informații.

În numeroase rețele nu există nici o limită cu privire la mărimea mesajelor transmise în protocolul nivelului 4, dar există aproape întotdeauna o limită impusă de protocolul nivelului 3. În consecință, nivelul 3 trebuie să spargă mesajele primite în unități mai mici, pachete, atașând fiecărui pachet un antet specific nivelului 3. În acest exemplu,  $M$  este descompus în două părți,  $M_1$  și  $M_2$ .

Nivelul 3 decide ce linie de transmisie să utilizeze și trimite pachetele nivelului 2. Nivelul 2 adaugă nu numai câte un antet pentru fiecare bucată, ci și o încheiere, după care furnizează unitatea rezultantă nivelului 1 pentru a o transmite fizic. În mașina receptoare mesajul este trimis în sus, din

nivel în nivel, pe parcurs fiind eliminate succesiv toate antetele. Nici un antet corespunzător nivelurilor de sub  $n$  nu este transmis în sus nivelului  $n$ .

Ceea ce este important de înțeles în fig. 1-15 este relația dintre comunicația virtuală și cea efectivă și diferența între protocoale și interfețe. De exemplu, procesele egale de la nivelul 4 își imaginează conceptual comunicarea ca realizându-se pe „orizontală”, utilizând protocolul nivelului 4. Deși fiecare din ele are, probabil, o procedură de genul *TrimiteÎnCealaltăParte* și o altă *PrimeșteDinCealaltăParte*, aceste proceduri nu comunică de fapt cu cealaltă parte, ci cu nivelurile inferioare prin interfața 3/4.

Abstractizarea proceselor pereche este crucială pentru proiectarea întregii rețele. Cu ajutorul ei, această sarcină practic imposibilă poate fi descompusă în probleme de proiectare mai mici, rezolvabile, și anume proiectarea nivelurilor individuale.

Deși Secțiunea 1-3 este intitulată „Programele de rețea”, merită să subliniem că nivelurile inferioare dintr-o ierarhie de protocoale sunt implementate frecvent în hardware sau în firmware. Nu e mai puțin adevărat că aici intervin algoritmi complecși, chiar dacă ei sunt înglobați (parțial sau în totalitate) în hardware.

### 1.3.2 Probleme de proiectare a nivelurilor

O parte din problemele cheie care apar la proiectarea rețelelor de calculatoare sunt prezente în mai multe niveluri. Vom menționa pe scurt unele probleme mai importante.

Fiecare nivel are nevoie de un mecanism pentru a identifica emițătorii și receptorii. Dat fiind că o rețea cuprinde în mod normal numeroase calculatoare, iar o parte dintre acestea dețin mai multe procese, este necesară o modalitate prin care un proces de pe o anumită mașină să specifice cu cine dorește să comunice. Ca o consecință a destinațiilor multiple, pentru a specifica una dintre ele, este necesară o formă de adresare.

Un alt set de decizii de proiectare se referă la regulile pentru transferul de date. În unele sisteme datele circulă într-un singur sens; în altele datele pot circula în ambele sensuri. Protocolul trebuie, de asemenea, să determine câtor canale logice le corespunde conexiunea și care sunt prioritățile acestora. Multe rețele dispun de cel puțin două canale logice pe conexiune, unul pentru date normale și unul pentru date urgente.

**Controlul erorilor** este o problemă importantă deoarece circuitele fizice de comunicații nu sunt perfecte. Se cunosc multe coduri detectoare și corectoare de erori, dar ambele capete ale conexiunii trebuie să se înțeleagă asupra codului utilizat. În plus, receptorul trebuie să aibă cum să-i spună emițătorului care mesaje au fost primite corect și care nu.

Nu toate canalele de comunicații păstrează ordinea mesajelor trimise. Pentru a putea trata o eventuală pierdere a secvențialității, protocolul trebuie să furnizeze explicit receptorului informația necesară pentru a putea reconstitui mesajul. O soluție evidentă este numerotarea fragmentelor, dar această soluție încă nu rezolvă problema fragmentelor care sosesc la receptor aparent fără legătură cu restul mesajului.

O problemă ce intervine la fiecare nivel se referă la evitarea situației în care un emițător rapid trimite unui receptor lent date la viteză prea mare. Au fost propuse diverse rezolvări și ele vor fi discutate mai târziu. Unele dintre acestea presupun o anumită reacție, directă sau indirectă, prin care receptorul îl informează pe emițător despre starea sa curentă. Altele limitează viteza de transmisie a emițătorului la o valoare stabilită de comun acord cu receptorul. Acest subiect se numește **controlul fluxului**.



O altă problemă care apare la câteva niveluri privește incapacitatea tuturor proceselor de a accepta mesaje de lungime arbitrară. Acest fapt conduce la mecanisme pentru a dezasambla, a transmite și apoi a reasambla mesajele. O problemă asemănătoare apare atunci când procesele insistă să transmită datele în unități atât de mici, încât transmiterea lor separată este inefficientă. În această situație, soluția este să se asambleze împreună mai multe mesaje mici destinate aceluiași receptor și să se dezasambleze la destinație mesajul mare obținut astfel.

Atunci când este neconvenabil sau prea costisitor să se aloce conexiuni separate pentru fiecare pereche de procese comunicante, nivelul implicat în comunicare poate hotărî să utilizeze aceeași conexiune pentru mai multe conversații independente. Atâta timp cât această **mutiplexare și demultiplexare** se realizează transparent, ea poate fi utilizată de către orice nivel. Multiplexarea este necesară, de exemplu, în nivelul fizic, unde traficul pentru toate conexiunile trebuie să fie transmis prin cel mult câteva circuite fizice.

Atunci când există mai multe căi între sursă și destinație, trebuie ales un anumit drum. Uneori această decizie trebuie împărțită pe două sau mai multe niveluri. De exemplu, este posibil ca trimiterea unor date de la Londra la Roma să necesite atât o decizie la nivel înalt pentru alegerea ca țară de tranzit a Franței sau a Germaniei - în funcție de legile lor de protejare a secretului datelor - cât și o decizie de nivel scăzut pentru alegerea unuia din multele trasee posibile, pe baza traficului curent. Acest subiect poartă numele de **dirijare sau rutare (routing)**.

### 1.3.3 Servicii orientate pe conexiuni și servicii fără conexiuni

Nivelurile pot oferi nivelurilor de deasupra lor două tipuri de servicii: orientate pe conexiuni și fără conexiuni. În această secțiune vom arunca o privire asupra acestor două tipuri și vom examina diferențele între ele.

**Serviciul orientat pe conexiuni** este modelat pe baza sistemului telefonic. Când vrei să vorbești cu cineva, mai întâi ridici receptorul, apoi formezi numărul, vorbești și închizi. Similar, pentru a utiliza un serviciu orientat pe conexiuni, beneficiarul trebuie mai întâi să stabilească o conexiune, să folosească această conexiune și apoi să o elibereze. În esență conexiunea funcționează ca o țevă: emițătorul introduce obiectele (biții) la un capăt, iar receptorul le scoate afară, în aceeași ordine, la celălalt capăt. În majoritatea cazurilor ordinea este menținută, astfel încât biții să ajungă în aceeași ordine în care au fost trimiși.

În anumite cazuri când se stabilește o conexiune, transmițătorul, receptorul și subrețeaua negociază parametrii care vor fi folosiți, cum sunt dimensiunea maximă a mesajului, calitatea impusă a serviciilor, și alte probleme de acest tip. De obicei, una dintre părți face o propunere și cealaltă parte poate să o accepte, să o rejeteze sau să facă o contrapropunere.

**Serviciul fără conexiuni** este modelat pe baza sistemului poștal. Toate mesajele (scrisorile) conțin adresele complete de destinație și fiecare mesaj circulă în sistem independent de celelalte. În mod normal, atunci când două mesaje sunt trimise la aceeași destinație, primul expedit este primul care ajunge. Totuși, este posibil ca cel care a fost expedit primul să întârzie și să ajungă mai repede al doilea. În cazul unui serviciu orientat pe conexiuni, așa ceva este imposibil.

Fiecare serviciu poate fi caracterizat printr-o **calitate a serviciului**. Unele servicii sunt sigure în sensul că nu pierd date niciodată. De obicei, un serviciu sigur se implementează obligând receptorul să confirme primirea fiecărui mesaj, astfel încât expeditorul să fie sigur că mesajul a ajuns la destinație. Procesul de confirmare introduce un timp suplimentar și întârzieri. Aceste dezavantaje sunt adesea acceptate, însă uneori ele trebuie evitate.

Transferul de fișiere este una din situațiile tipice în care este adecvat un serviciu sigur orientat pe conexiuni. Proprietarul fișierului dorește să fie sigur că toți biții ajung corect și în aceeași ordine în care au fost trimiși. Foarte puțini utilizatori ai transferului de fișiere ar prefera un serviciu care uneori amestecă sau pierde câțiva biți, chiar dacă acest serviciu ar fi mult mai rapid.

Serviciul sigur orientat pe conexiuni admite două variante: secvențele de mesaje și fluxurile de octeți. Prima variantă menține delimitarea între mesaje. Când sunt trimise două mesaje de 1024 de octeți, ele vor sosi sub forma a două mesaje distincte de 1024 de octeți, niciodată ca un singur mesaj de 2048 de octeți. În a doua variantă, conexiunea este un simplu flux de octeți și nu există delimitări între mesaje. Când receptorul primește 2048 de octeți, nu există nici o modalitate de a spune dacă ei au fost trimiși sub forma unui mesaj de 2048 octeți, a două mesaje de 1024 de octeți sau a 2048 mesaje de câte 1 octet. Dacă paginile unei cărți sunt expediate unei mașini fotografice de tipărit printr-o rețea, sub formă de mesaje, atunci delimitarea mesajelor poate fi importantă. Pe de altă parte, în cazul unui utilizator care se conectează la un server aflat la distanță, este nevoie numai de un flux de octeți de la calculatorul utilizatorului la server. Delimitarea mesajelor nu mai este relevantă.

Așa cum am menționat mai sus, întârzierile introduse de confirmări sunt inacceptabile pentru unele aplicații. O astfel de aplicație se referă la traficul de voce digitizată. Pentru abonații telefonici este preferabil să existe puțin zgomot pe linie sau să audă ocazional câte un cuvânt distorsionat decât să se producă o întârziere din cauza așteptării confirmării. Similar, atunci când se transmite o videoconferință, câțiva pixeli diferiți nu reprezintă o problemă, în schimb întreruperile pentru a corecta erorile ar fi extrem de supărătoare.

Nu orice aplicație necesită conexiuni. De exemplu, în măsura în care poșta electronică devine ceva tot mai uzual, se poate să nu apară foarte curând publicitatea prin poșta electronică? Expeditorul de publicitate prin poșta electronică probabil că nu vrea să se complice stabilind și apoi eliberând o conexiune doar pentru un singur mesaj. Nici furnizarea la destinație cu o rată de corectitudine de 100% nu este esențială, mai ales dacă lucrul acesta costă mai mult. Tot ceea ce se cere este un mijloc de a trimite un singur mesaj cu o probabilitate mare de a ajunge la destinație, dar fără o garanție în acest sens. Serviciul nesigur (adică neconfirmat) fără conexiuni este deseori numit **serviciu datagramă**, prin analogie cu serviciul de telegrame - care, la rândul său, nu prevede trimiterea unei confirmări către expeditor.

În alte situații, avantajul de a nu fi necesară stabilirea unei conexiuni pentru a trimite un mesaj scurt este de dorit, dar siguranța este de asemenea esențială. Aceste aplicații pot utiliza **serviciul datagramă confirmat**. Este ca și cum ai trimite o scrisoare recomandată și ai solicita o confirmare de primire. În clipa în care sosește confirmarea, expeditorul este absolut sigur că scrisoarea a fost livrată la destinația corectă și nu a fost pierdută pe drum.

Mai există un serviciu, și anume **serviciul cerere-răspuns**. În acest serviciu emițătorul transmite o singură datagramă care conține o cerere; replica primită de la receptor conține răspunsul. În această categorie intră, de exemplu, un mesaj către biblioteca locală în care se întreabă unde este vorbită limba Uighur. Serviciul cerere-răspuns este utilizat în mod frecvent pentru a implementa comunicarea în modelul client-server: clientul lansează o cerere și serverul răspunde la ea. În fig. 1-16 sunt rezumate tipurile de servicii discutate mai sus.

Conceptul de a utiliza comunicații nesigure poate părea derutant la început. La urma urmei, de ce ar prefera cineva comunicațiile nesigure în locul comunicațiilor sigure? Mai întâi, comunicațiile sigure (ceea ce înseamnă, pentru noi, confirmate) pot să nu fie disponibile. De exemplu, Ethernet-ul nu oferă comunicații sigure. Pachetele pot fi uneori alterate în timpul tranzitului. Urmează ca protocoalele nivelurilor superioare să se ocupe de această problemă.

Orientate pe conexiuni	<b>Serviciu</b>	<b>Exemplu</b>
	Flux de mesaje sigur	Secvență de pagini
	Flux de octeți sigur	Conectare la distanță
Fără conexiuni	Conexiune nesigură	Voce digitizată
	Datagramă nesigură	Publicitate prin e-mail
	Datagramă confirmată	Scrisori cu confirmare
	Cerere-răspuns	Interogări baze de date

Fig. 1-16. Șase tipuri diferite de servicii.

În al doilea rând, întârzierile inerente în cazul în care se oferă servicii sigure ar putea fi inacceptabile, mai ales în cazul aplicațiilor de timp real cum sunt aplicațiile multimedia. Pentru aceste motive, comunicațiile sigure cât și cele nesigure coexistă.

### 1.3.4 Primitive de serviciu

Un serviciu este specificat formal printr-un set de **primitive** (operații) puse la dispoziția utilizatorului care folosește serviciul. Aceste primitive comandă serviciului să execute anumite acțiuni sau să raporteze despre acțiunile executate de o entitate pereche. Dacă stiva de protocoale este localizată în sistemul de operare, așa cum se întâmplă de cele mai multe ori, primitivele sunt în mod normal apeluri sistem. Aceste apeluri cauzează o trecere a sistemului de operare în modul nucleu (kernel), care preia controlul mașinii pentru a trimite pachetele necesare.

Setul de primitive disponibile depinde de natura serviciului oferit. Primitivele serviciilor orientate pe conexiuni sunt diferite de cele ale serviciilor fără conexiuni. Ca un exemplu minimal de primitive de serviciu care pot fi oferite pentru a implementa un flux de octeți într-un mediu client-server, putem considera primitivele listate în fig. 1-17.

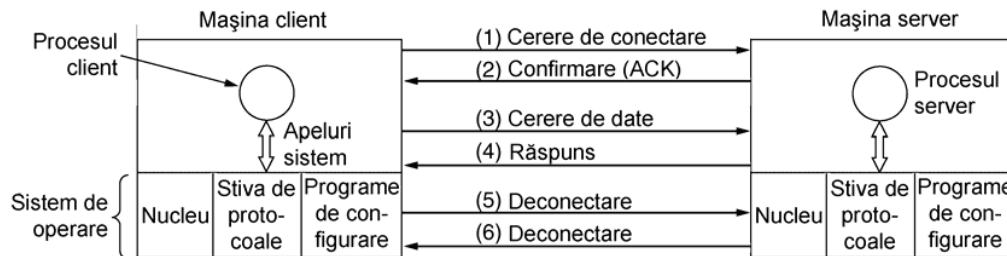
Primitiva	Semnificația
LISTEN (Ascultă)	Blocare în așteptarea unei conexiuni
CONNECT (Conectează)	Stabilirea unei conexiuni cu o entitate pereche aflată în așteptare
RECEIVE (Primește)	Blocare în așteptarea unui mesaj
SEND (Trimite)	Trimite un mesaj entității pereche
DISCONNECT (Deconectează)	Termină o conexiune

Fig. 1-17. Cinci primitive de serviciu pentru implementarea unui serviciu simplu orientat pe conexiune.

Aceste primitive pot fi folosite în următorul mod: mai întâi serverul execută LISTEN pentru a indica faptul că este pregătit să accepte conexiuni. Un mod obișnuit de a implementa LISTEN este a

face un apel de sistem blocant. După execuția primitivei, procesul server este blocat până la apariția unei cereri de conectare.

Apoi procesul client execută CONNECT pentru a stabili o conexiune cu serverul. Apelul CONNECT trebuie să specifice cu cine se dorește conectarea, așa că ar putea avea un parametru prin care se transmite adresa serverului. De cele mai multe ori, sistemul de operare va trimite un prim pachet entității pereche cerându-i să se conecteze, după cum este arătat de (1) în fig. 1-18. Procesul client este suspendat până când apare un răspuns. Când pachetul ajunge la server, el este procesat de sistemul de operare al acestuia. Când sistemul de operare observă că pachetul cere o conexiune, verifică dacă există vreun ascultător. Dacă da, va face două lucruri: va debloca ascultătorul și va trimite înapoi o confirmare (2). Sosirea acestei confirmări eliberează apoi clientul. În acest moment, atât clientul cât și serverul sunt în execuție și au stabilit o conexiune între ei. Este important de observat că secvența de confirmare (2) este generată de codul protocolului însuși, nu ca răspuns al unei primitive de la nivelul utilizatorului. Dacă apare o cerere de conexiune și nu există nici un ascultător, rezultatul este nedefinit. În anumite sisteme, pachetul poate fi păstrat un scurt timp într-o coadă, anticipând o eventuală comandă LISTEN.



**Fig. 1-18.** Pachetele trimise într-o simplă interacțiune client-server pe o rețea orientată pe conexiuni.

Analogia evidentă între acest protocol și viața reală este cazul clientului care sună la directorul departamentului de service al unei companii. Directorul stă lângă telefon pentru a putea răspunde în cazul în care acesta sună. Clientul face un apel. Când directorul ridică receptorul, conexiunea este stabilită.

Pasul următor este ca serverul să execute RECEIVE pentru a se pregăti să accepte prima cerere. În mod normal serverul face această operație de îndată ce a fost eliberat din blocarea impusă de LISTEN, înainte să ajungă confirmarea înapoi la client. Apelul RECEIVE blochează serverul.

Apoi clientul execută SEND pentru a transmite cererea sa (3) urmat de execuția unui RECEIVE pentru a obține răspunsul.

Sosirea pachetului de cerere la mașina server deblochează procesul server astfel încât acesta să poată procesa cererea. După ce a terminat lucrul, folosește SEND pentru a răspunde clientului (4). Sosirea acestui pachet deblochează clientul care poate acum să analizeze răspunsul obținut. Dacă mai există cereri din partea clientului, acesta le poate face acum. Dacă a terminat, poate folosi DISCONNECT pentru a termina conexiunea. De obicei, apelul inițial DISCONNECT este blocant, suspendând clientul și trimițând un pachet către server pentru a-i comunica faptul că respectiva conexiune nu mai este necesară (5). Când serverul primește pachetul, el lansează un DISCONNECT propriu, confirmând cererea clientului și eliberând conexiunea. Când pachetul serverului (6) ajunge

înapoi la mașina clientului, procesul client este eliberat și conexiunea este întreruptă. Foarte pe scurt, așa funcționează comunicațiile orientate pe conexiuni.

Desigur, viața nu este simplă. Multe dintre lucruri pot să nu funcționeze corect. Sincronizarea poate fi proastă (de exemplu, dacă se încearcă un CONNECT înainte de LISTEN), pachetele se pot pierde și multe altele. Vom studia toate acestea în detaliu ceva mai târziu, dar deocamdată fig. 1-18 rezumă pe scurt modul în care ar putea să funcționeze o comunicație client-server într-o rețea orientată pe conexiuni.

Știind că acele șase pachete sunt necesare pentru a realiza acest protocol, cititorul se poate întreba de ce nu se folosește un protocol fără conexiune în locul său. Răspunsul este că ar fi posibil într-o lume perfectă, și atunci ar fi nevoie de numai două pachete: unul pentru cerere și unul pentru răspuns. Oricum, în cazul real cu mesaje lungi în oricare dintre direcții (de exemplu un fișier de 1 MB), cu erori de transmisie și cu pachete pierdute, situația se modifică. Dacă răspunsul ar avea sute de pachete, dintre care unele s-ar putea pierde în timpul transmisiei, cum ar putea clientul să își dea seama că unele piese lipsesc? Cum ar putea ști clientul dacă ultimul pachet recepționat este de fapt ultimul pachet trimis? Să presupunem că de la client se face o cerere pentru un al doilea fișier. Cum ar putea clientul să diferențieze pachetele din cel de-al doilea fișier de eventualele pachete pierdute din primul fișier? Pe scurt, în lumea reală, un simplu protocol cerere-răspuns implementat într-o rețea nesigură este de cele mai multe ori inadecvat. În cap. 3 vom studia în detaliu o largă varietate de protocoale, care pot rezolva aceste probleme și altele similare. Pentru moment însă este de ajuns să spunem că a avea un flux de octeți sigur și ordonat între procese este de multe ori foarte convenabil.

### 1.3.5 Relația dintre servicii și protocoale

Deși sunt adesea confundate, serviciile și protocoalele reprezintă concepte distincte. Diferența între ele este atât de importantă, încât o subliniem din nou în această secțiune. Un *serviciu* este un set de primitive (operații) pe care un nivel le furnizează nivelului de deasupra sa. Serviciul definește ce operații este pregătit nivelul să realizeze pentru utilizatorii săi, dar nu spune nimic despre cum sunt implementate aceste operații. Un serviciu este definit în contextul unei interfețe între două niveluri, nivelul inferior fiind furnizorul serviciului și nivelul superior fiind utilizatorul serviciului.

Prin contrast, un *protocol* este un set de reguli care guvernează formatul și semnificația cadrelor, pachetelor sau mesajelor schimbate între ele de entitățile pereche dintr-un nivel. Entitățile folosesc protocoale pentru a implementa definițiile serviciului lor. Ele sunt libere să își schimbe protocoalele după cum doresc, cu condiția să nu modifice serviciul pe care îl văd utilizatorii. În acest fel, serviciul și protocolul sunt complet decuplate.

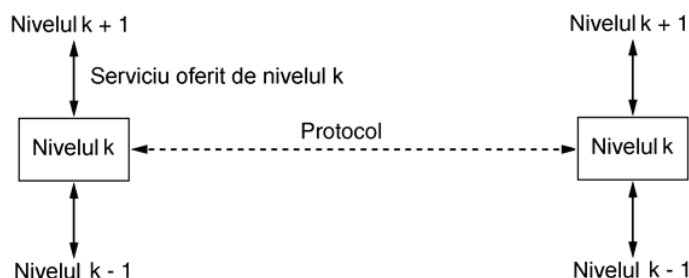


Fig. 1-19. Relația dintre un server și un protocol.

Cu alte cuvinte, serviciile sunt legate de interfețele dintre niveluri, după cum este ilustrat și în fig. 1-19. Prin contrast, protocoalele sunt legate de pachetele trimise între entitățile pereche de pe diferite mașini. Este important să nu existe confuzii între cele două concepte.

Merită să facem o analogie cu limbajele de programare. Un serviciu este ca un tip de date abstracte sau ca un obiect într-un limbaj orientat pe obiecte. Acesta definește operațiile care pot fi aplicate pe un obiect, dar nu specifică modul de implementare a operațiilor. Un protocol se referă la *implementarea* serviciului și nu este vizibil pentru utilizatorul serviciului.

Multe protocoale mai vechi nu făceau diferența între serviciu și protocol. Ca urmare, un nivel tipic putea avea o primitivă de serviciu SEND PACKET în care utilizatorul furniza o referință către un pachet complet asamblat. Acest aranjament însemna că toate modificările protocolului erau imediat vizibile pentru utilizatori. Majoritatea proiectanților de rețele privesc acum un astfel de mecanism ca pe o eroare gravă.

## 1.4 MODELE DE REFERINȚĂ

Acum, după ce am discutat la modul abstract structura pe niveluri a rețelelor, a sosit timpul să studiem câteva exemple. În următoarele două secțiuni vom discuta două arhitecturi de rețea importante, modelul de referință OSI și modelul de referință TCP/IP. Deși *protocoalele* asociate cu modelul OSI nu sunt folosite aproape deloc, *modelul* în sine este destul de general și încă valabil, iar caracteristicile puse în discuție la fiecare nivel sunt în continuare foarte importante. Modelul TCP/IP are caracteristici opuse: modelul în sine nu este foarte util, dar protocoalele sunt folosite pe scară largă. Din acest motiv, le vom studia pe fiecare în detaliu. În plus, uneori poți învăța mai multe din eșecuri decât din succese.

### 1.4.1 Modelul de referință OSI

Modelul OSI este prezentat în fig. 1-16 (mai puțin mediul fizic). Acest model se bazează pe o propunere dezvoltată de către Organizația Internațională de Standardizare (International Standards Organization - ISO) ca un prim pas către standardizarea internațională a protocoalelor folosite pe diferite niveluri (Day și Zimmermann, 1983). A fost revizuit în 1995 (Day, 1995). Modelul se numește **ISO OSI (Open Systems Interconnection)**, rom: interconectarea sistemelor deschise), pentru că el se ocupă de conectarea sistemelor deschise - adică de sisteme deschise comunicării cu alte sisteme. În continuare vom folosi mai ales termenul prescurtat de model OSI.

Modelul OSI cuprinde șapte niveluri. Principiile aplicate pentru a se ajunge la cele șapte niveluri sunt următoarele:

1. Un nivel trebuie creat atunci când este nevoie de un nivel de abstractizare diferit.
2. Fiecare nivel trebuie să îndeplinească un rol bine definit.
3. Funcția fiecărui nivel trebuie aleasă acordându-se atenție definirii de protocoale standardizate pe plan internațional.
4. Delimitarea nivelurilor trebuie făcută astfel încât să se minimizeze fluxul de informații prin interfețe.

5. Numărul de niveluri trebuie să fie suficient de mare pentru a nu fi nevoie să se introducă în același nivel funcții diferite și suficient de mic pentru ca arhitectura să rămână funcțională.

În continuare vom discuta fiecare nivel al modelului, începând cu nivelul cel mai de jos. Modelul OSI nu reprezintă în sine o arhitectură de rețea, pentru că nu specifică serviciile și protocoalele utilizate la fiecare nivel. Modelul spune numai ceea ce ar trebui să facă fiecare nivel. ISO a produs de asemenea standarde pentru fiecare nivel, însă aceste standarde nu fac parte din modelul de referință propriu-zis. Fiecare din standardele respective a fost publicat ca un standard internațional separat.

### Nivelul fizic

Nivelul fizic se ocupă de transmiterea biților printr-un canal de comunicație. Proiectarea trebuie să garanteze că atunci când unul din capete trimite un bit 1, acesta e receptat în cealaltă parte ca un bit 1, nu ca un bit 0. Problemele tipice se referă la câți volți trebuie utilizați pentru a reprezenta un 1 și câți pentru un 0, dacă transmisia poate avea loc simultan în ambele sensuri, cum este stabilită conexiunea inițială și cum este întreruptă când au terminat de comunicat ambele părți, câți pini are conectorul de rețea și la ce folosește fiecare pin. Aceste aspecte de proiectare au o legătură strânsă cu interfețele mecanice, electrice, funcționale și procedurale, ca și cu mediul de transmisie situat sub nivelul fizic.

### Nivelul legătură de date

Sarcina principală a **nivelului legăturii de date** este de a transforma un mijloc oarecare de transmisie într-o linie care să fie disponibilă nivelului rețea fără erori de transmisie nedetectate. Nivelul legătură de date realizează această sarcină obligând emițătorul să descompună datele de intrare în **cadre de date** (în mod tipic, câteva sute sau câteva mii de octeți) și să transmită cadrele secvențial. Dacă serviciul este sigur, receptorul confirmă fiecare cadru trimițând înapoi un cadru de confirmare pozitivă.

O altă problemă care apare la nivelul legătură de date (și, de asemenea, la majoritatea nivelurilor superioare) este evitarea inundării unui receptor lent cu date provenite de la un emițător rapid. În acest scop sunt necesare mecanisme de reglare a traficului care să permită emițătorului să aștepte cât spațiu tampon deține receptorul la momentul curent. Controlul traficului și tratarea erorilor sunt deseori integrate. Rețelele cu difuzare determină în nivelul legătură de date o problemă suplimentară: cum să fie controlat accesul la canalul partajat. De această problemă se ocupă un subnivel special al nivelului legătură de date și anume subnivelul de control al accesului la mediu.

### Nivelul rețea

**Nivelul rețea** se ocupă de controlul funcționării subrețelei. O problemă cheie în proiectare este determinarea modului în care pachetele sunt dirijate de la sursă la destinație. Dirijarea se poate baza pe tabele statistice care sunt „cablate” intern în rețea și care sunt schimbate rar. Traseele pot fi de asemenea stabilite la începutul fiecărei conversații, de exemplu la începutul unei sesiuni la terminal (de ex. o operație de login pe o mașină la distanță). În sfârșit, dirijarea poate fi foarte dinamică, traseele determinându-se pentru fiecare pachet în concordanță cu traficul curent din rețea.

Dacă în subrețea există prea multe pachete simultan, ele vor intra unul pe traseul celuilalt și astfel se vor produce gâturi. Controlul unor astfel de congestii îi revine tot nivelului rețea. Mai general, calitatea serviciilor oferite (întârziere, timp de tranzitare, fluctuații, etc.) este tot o responsabilitate a nivelului rețea.

Multe probleme pot apărea când un pachet trebuie să călătorească dintr-o rețea în alta ca să ajungă la destinație. Modul de adresare folosit de a doua rețea poate să difere de cel pentru prima.

A doua rețea poate chiar să nu accepte deloc pachetul pentru că este prea mare. De asemenea, protocoalele pot fi diferite și așa mai departe. Rezolvarea acestor probleme în vederea interconectării rețelelor eterogene este sarcina nivelului rețea. În rețelele cu difuzare, problema dirijării este simplă, astfel că nivelul rețea este deseori subțire sau chiar nu există deloc.

### Nivelul transport

Rolul principal al nivelului transport este să accepte date de la nivelul sesiune, să le descompună, dacă este cazul, în unități mai mici, să transfere aceste unități nivelului rețea și să se asigure că toate fragmentele sosesc corect la celălalt capăt. În plus, toate acestea trebuie făcute eficient și într-un mod care izolează nivelurile de mai sus de inevitabilele modificări în tehnologia echipamentelor.

Nivelul transport determină, de asemenea, ce tip de serviciu să furnizeze nivelului sesiune și, în final, utilizatorilor rețelei. Cel mai obișnuit tip de conexiune transport este un canal punct-la-punct fără erori care furnizează mesajele sau octeții în ordinea în care au fost trimiși. Alte tipuri posibile de servicii de transport sunt transportul mesajelor individuale - fără nici o garanție în privința ordinii de livrare - și difuzarea mesajelor către destinații multiple. Tipul serviciului se determină când se stabilește conexiunea. (Ca un comentariu secundar: este imposibil de obținut un canal fără erori; ceea ce oamenii înțeleg prin această expresie este că rata erorilor este destul de mică pentru a fi ignorată în practică).

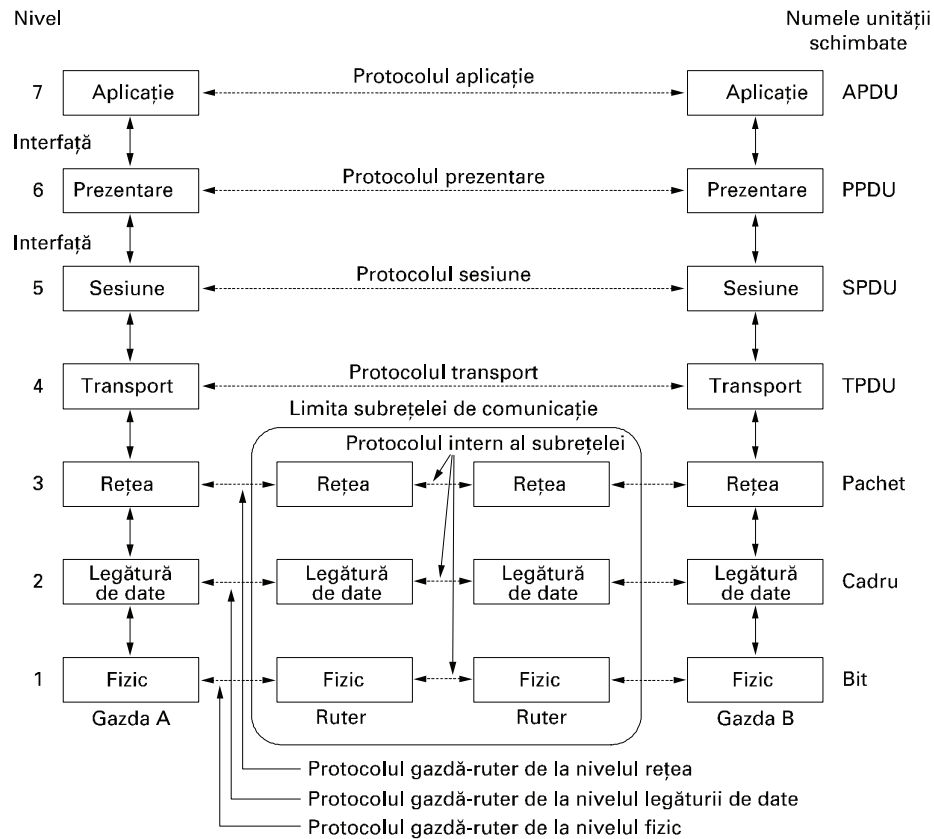


Fig. 1-20. Modelul de referință OSI.



Nivelul transport este un adevărat nivel capăt-la-capăt, de la sursă la destinație. Cu alte cuvinte, un program de pe mașina sursă poartă o conversație cu un program similar de pe mașina destinație, folosind în acest scop antetele mesajelor și mesaje de control. În nivelurile inferioare protocoalele au loc între fiecare mașină și vecinii săi imediați (niveluri înlanțuite), și nu direct între mașinile sursă și destinație (niveluri capăt-la-capăt), care pot fi separate de numeroase rutere. Diferența între nivelurile de la 1 până la 3, care sunt înlanțuite și nivelurile de la 4 la 7, care sunt capăt-la-capăt, este ilustrată în fig. 1-20.

### Nivelul sesiune

Nivelul sesiune permite utilizatorilor de pe mașini diferite să stabilească între ei sesiuni. Sesiunile oferă diverse servicii, incluzând controlul dialogului (respectarea ordinii în raport cu dreptul de a transmite), **gestionarea jetonului** (prevenirea situației în care două entități încearcă aceeași operație critică în același timp) și **sincronizarea** (introducerea de puncte de control pe parcursul transmisiilor lungi, astfel încât, în cazul unui eșec, acestea să poată fi reluate de unde rămăseseră).

### Nivelul prezentare

În particular, spre deosebire de nivelurile inferioare, care se ocupă numai de transferul biților dintr-un loc în altul, nivelul prezentare se ocupă de sintaxa și semantica informațiilor transmise. Pentru a face posibilă comunicarea între calculatoare cu reprezentări diferite ale datelor, structurile de date care se schimbă între ele pot fi definite într-un mod abstract, alături de o codificare standardizată ce va fi utilizată „pe cablu”. Nivelul prezentare gestionează aceste structuri de date abstracte și permite definirea și comunicarea unor structuri de date de nivel mai înalt (de ex. înregistrări bancare).

### Nivelul aplicație

**Nivelul aplicație** conține o varietate de protocoale frecvent utilizate. Un exemplu de protocol utilizat pe scară largă este **HTTP (HyperText Transfer Protocol**, rom: protocol de transfer al hiper-textului), care sta la baza **WWW (World Wide Web**, rom: rețea de întindere planeară). Atunci când un program de navigare (browser) accesează o pagină Web, el trimite serverului numele paginii pe care o dorește folosind HTTP. Serverul va trimite ca răspuns pagina. Alte protocoale de aplicație sunt folosite pentru transferul fișierelor, poșta electronică, știri în rețea.

## 1.4.2 Modelul de referință TCP/IP

Să ne îndreptăm acum atenția de la modelul de referință OSI spre modelul de referință utilizat de strămoșul tuturor rețelelor de calculatoare, ARPANET-ul, și de succesorul său, Internet-ul. Deși vom prezenta mai târziu o scurtă istorie a ARPANET-ului, este util să menționăm acum câteva aspecte esențiale. ARPANET a fost o rețea de cercetare sponsorizată de către DoD (U.S. Department of Defense, rom: Departamentul de Apărare al Statelor Unite). În cele din urmă, rețeaua a ajuns să conecteze între ele, utilizând linii telefonice închiriate, sute de rețele universitare și guvernamentale. Atunci când au fost adăugate, mai târziu, rețele prin satelit și radio, interconectarea acestora cu protocoalele existente a pus diferite probleme. Era nevoie de o nouă arhitectură de referință. De aceea, posibilitatea de a interconecta fără probleme mai multe tipuri de rețele a reprezentat de la bun început un obiectiv de proiectare major. Această arhitectură a devenit cunoscută mai târziu sub denumirea de **modelul de referință TCP/IP**, dată după numele celor două protocoale fundamentale utilizate. Arhitectura respectivă a fost definită prima dată în (Cerf și Kahn, 1974). O perspectivă ul-

terioară este prezentată în (Leiner ș.a., 1985). Filosofia de proiectare din spatele modelului este discutată în (Clark, 1988).

Data fiind îngrijorarea Departamentului de Apărare că o parte din prețioasele sale gazde, rutere și porți de interconectare ar putea fi distruse dintr-un moment în altul, un alt obiectiv major a fost ca rețeaua să poată supraviețui pierderii echipamentelor din subrețea fără a fi întrerupte conversațiile existente. Cu alte cuvinte, DoD dorea ca, atâta timp cât funcționau mașina sursă și mașina destinație, conexiunile să rămână intacte, chiar dacă o parte din mașini sau din liniile de transmisie erau brusc scoase din funcțiune. Mai mult, era nevoie de o arhitectură flexibilă, deoarece se aveau în vedere aplicații cu cerințe divergente, mergând de la transferul de fișiere până la transmiterea vorbirii în timp real.

### Nivelul internet

Toate aceste cerințe au condus la alegerea unei rețele cu comutare de pachete bazată pe un nivel inter-rețea fără conexiuni. Acest nivel, numit **nivelul internet**, este axul pe care se centrează întreaga arhitectură. Rolul său este de a permite gazdelor să emită pachete în orice rețea și a face ca pachetele să circule independent până la destinație (fiind posibil ca aceasta să se găsească pe o altă rețea). Pachetele pot chiar să sosească într-o ordine diferită față de cea în care au fost trimise, caz în care – dacă se dorește livrarea lor ordonată – rearanjarea cade în sarcina nivelurilor superioare. De observat că „internet” este folosit aici într-un sens generic, chiar dacă acest nivel este prezent și în Internet.

Aici, analogia este cu sistemul de poștă (clasică). O persoană dintr-o anumită țară poate depune într-o cutie poștală mai multe scrisori internaționale și, cu puțin noroc, majoritatea scrisorilor vor ajunge la adresa corectă din țara de destinație. Probabil că scrisorile vor trece pe drum prin mai multe oficii de cartare, dar acest lucru se face transparent pentru utilizatori. Mai mult, faptul că fiecare țară (adică fiecare rețea) are propriile timbre, propriile mărimi favorite de plicuri și propriile reguli de livrare este ascuns beneficiarilor.

Nivelul internet definește oficial un format de pachet și un protocol numit **IP (Internet Protocol, rom: protocol Internet)**. Sarcina nivelului internet este să livreze pachete IP către destinație. Problemele majore se referă la dirijarea pachetelor și evitarea congestiei. În consecință, este rezonabil să spunem că nivelul internet din TCP/IP funcționează asemănător cu nivelul rețea din OSI. Fig. 1-21 arată această corespondență.

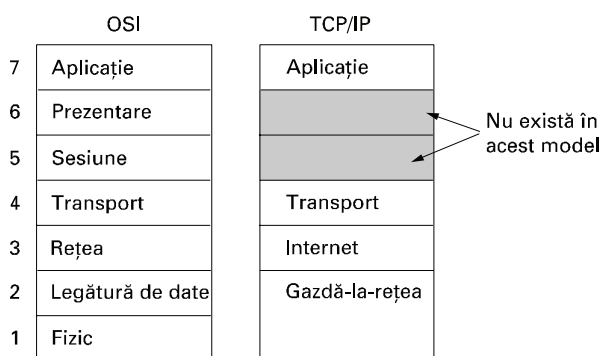


Fig. 1-21. Modelul de referință TCP/IP.

## Nivelul transport

Nivelul situat deasupra nivelului internet din modelul TCP/IP este frecvent numit **nivelul transport**. Acesta este proiectat astfel, încât să permită conversații între entitățile pereche din gazdele sursă și, respectiv, destinație, la fel ca în nivelul transport OSI. În acest sens au fost definite două protocoale capăt-la-capăt. Primul din ele, **TCP (Transmission Control Protocol**, rom: protocolul de control al transmisiei), este un protocol sigur orientat pe conexiuni care permite ca un flux de octeți trimiși de pe o mașină să ajungă fără erori pe orice altă mașină din inter-rețea. Acest protocol fragmentează fluxul de octeți în mesaje discrete și pasează fiecare mesaj nivelului internet. La destinație, procesul TCP receptor reassemblează mesajele primite într-un flux de ieșire. TCP tratează totodată controlul fluxului pentru a se asigura că un emițător rapid nu inundă un receptor lent cu mai multe mesaje decât poate acesta să prelucreze.

Al doilea protocol din acest nivel, **UDP (User Datagram Protocol**, rom: protocolul datagramelor utilizator), este un protocol nesigur, fără conexiuni, destinat aplicațiilor care doresc să utilizeze propria lor secvențiere și control al fluxului, și nu pe cele asigurate de TCP. Protocolul UDP este de asemenea mult folosit pentru interogări rapide întrebare-răspuns, client-server și pentru aplicații în care comunicarea promptă este mai importantă decât comunicarea cu acuratețe, așa cum sunt aplicațiile de transmisie a vorbirii și a imaginilor video. Relația dintre IP, TCP și UDP este prezentată în fig. 1-22. De când a fost dezvoltat acest model, IP a fost implementat pe multe alte rețele.

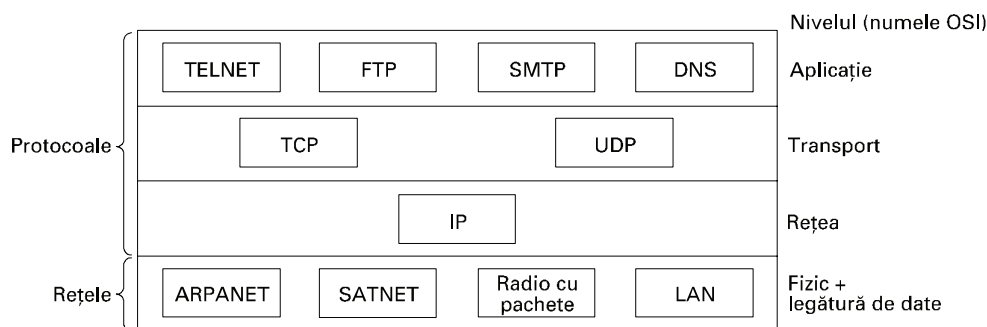


Fig. 1-22. Protocoale și rețele din modelul TCP/IP inițial.

## Nivelul aplicație

Modelul TCP/IP nu conține niveluri sesiune sau prezentare. Acestea nu au fost incluse pentru că nu s-a simțit nevoia lor. Experiența modelului OSI a dovedit că această viziune a fost corectă: în majoritatea aplicațiilor, nivelurile respective nu sunt de mare folos.

Deasupra nivelului transport se află **nivelul aplicație**. Acesta conține toate protocoalele de nivel mai înalt. Așa cum se vede din fig. 1-22, primele protocoale de acest gen includeau terminalul virtual (TELNET), transferul de fișiere (FTP) și poșta electronică (SMTP). Protocolul de terminal virtual permite unui utilizator de pe o mașină să se conecteze și să lucreze pe o mașină aflată la distanță. Protocolul de transfer de fișiere pune la dispoziție o modalitate de a muta eficient date de pe o mașină pe alta. Poșta electronică a fost la origine doar un tip de transfer de fișiere, dar ulterior a fost dezvoltat un protocol specializat (SMTP – Simple Mail Transfer Protocol, rom: Protocol simplu de transfer al poștei) pentru acest serviciu. Pe parcursul anilor, la aceste protocoale s-au adăugat multe altele, așa cum sunt Serviciul Numelor de Domenii (Domain Name Service - DNS) pentru stabilirea corespondenței dintre numele gazdelor și adresele rețelilor, NNTP, protocolul

utilizat pentru a transfera articole de știri USENET, HTTP, folosit pentru aducerea paginilor de pe Web și multe altele.

### Nivelul gazdă-rețea

Sub nivelul internet se află necunoscutul. Modelul de referință TCP/IP nu spune mare lucru despre ce se întâmplă acolo, însă menționează că gazda trebuie să se lege la rețea, pentru a putea trimite pachete IP, folosind un anumit protocol. Acest protocol nu este definit și variază de la gazdă la gazdă și de la rețea la rețea. Cărțile și articolele despre TCP/IP rareori discută despre acest protocol.

### 1.4.3 O comparație între modelele de referință OSI și TCP

Modelele de referință OSI și TCP/IP au multe lucruri în comun. Amândouă se bazează pe conceptul unei stive de protocoale independente. De asemenea, funcționalitatea nivelurilor este în linii mari similară. De exemplu, în ambele modele, nivelurile până la nivelul transport inclusiv sunt necesare pentru a pune la dispoziția proceselor care doresc să comunice un serviciu de transport capăt-la-capăt independent de rețea. Nivelurile respective formează furnizorul de transport. Din nou, în ambele modele, nivelurile de deasupra transportului sunt beneficiari orientați pe aplicații ai serviciului de transport.

În pofida acestor similitudini fundamentale, între cele două modele există și multe deosebiri. În această secțiune ne vom concentra asupra diferențelor cheie dintre cele două modele de referință. Este important de subliniat că vom compara aici *modelele de referință*, nu *stivele de protocoale* corespunzătoare. Protocoalele propriu-zise vor fi discutate mai târziu. Pentru o întreagă carte consacrată comparației și diferențelor dintre TCP/IP și OSI, a se vedea (Piscitello și Chapin, 1993).

Trei concepte sunt esențiale pentru modelul OSI:

1. Servicii
2. Interfețe
3. Protocoale

Probabil că cea mai mare contribuție a modelului OSI este că a făcut explicită diferența între aceste trei concepte. Fiecare nivel realizează niște servicii pentru nivelul situat deasupra sa. Definiția *serviciului* spune ce face nivelul, nu cum îl folosesc entitățile de deasupra sa sau cum funcționează nivelul. El definește semantica nivelului.

*Interfața* unui nivel spune proceselor aflate deasupra sa cum să facă accesul. Interfața precizează ce reprezintă parametrii și ce rezultat se obține. Nici interfața nu spune nimic despre funcționarea internă a nivelului.

În sfârșit, *protocoalele* pereche folosite într-un nivel reprezintă treaba personală a nivelului. Nivelul poate folosi orice protocol dorește, cu condiția ca acesta să funcționeze (adică să îndeplinească serviciul oferit). Nivelul poate de asemenea să schimbe protocoalele după cum vrea, fără ca acest lucru să afecteze programele din nivelurile superioare.

Aceste idei se potrivesc foarte bine cu ideile moderne referitoare la programarea orientată pe obiect. Un obiect, ca și un nivel, posedă un set de metode (operații) care pot fi invocate de către procese din afara obiectului. Semanticele acestor metode definesc mulțimea de servicii pe care le oferă obiectul. Parametrii și rezultatele metodelor formează interfața obiectului. Codul intern al obiectului reprezintă protocolul său și nu este vizibil și nici important în afara obiectului.

Deși lumea a încercat ulterior să îl readaptez pentru a fi mai asemănător modelului OSI, modelul TCP/IP nu a făcut inițial o distincție clară între serviciu, interfață și protocol. De exemplu, singurele servicii veritabile oferite de nivelul internet sunt SEND IP PACKET și RECEIVE IP PACKET.

În consecință, protocoalele din modelul OSI sunt mai bine ascunse decât în modelul TCP/IP și pot fi înlocuite relativ ușor pe măsură ce se schimbă tehnologia. Capacitatea de a face asemenea modificări reprezintă unul din scopurile principale ale organizării protocoalelor pe niveluri în modelul OSI.

Modelul de referință OSI a fost conceput *înainte* să fie inventate protocoalele corespunzătoare. Ordinea respectivă semnifică faptul că modelul nu a fost orientat către un set specific de protocoale, fiind prin urmare destul de general. Reversul este că proiectanții nu au avut multă experiență în ceea ce privește acest subiect și nu au avut o idee coerentă despre împărțirea funcțiilor pe niveluri.

De exemplu, nivelul legătură de date se ocupa inițial numai cu rețelele punct-la-punct. Atunci când au apărut rețelele cu difuzare, a trebuit să fie introdus în model un subnivel nou. Când lumea a început să construiască rețele reale utilizând modelul OSI și protocoalele existente, s-a descoperit că acestea nu se potriveau cu specificațiile serviciului cerut (minunea minunilor), astfel că a trebuit introdusă în model convergența subnivelurilor, ca să existe un loc pentru a glosa pe marginea diferențelor. În sfârșit, comitetul se aștepta inițial ca fiecare țară să aibă câte o rețea care să fie în custodia guvernului și să folosească protocoalele OSI, așa că nu s-a dat nici o atenție interconectării. Pentru a nu mai lungi povestea, să spunem doar că lucrurile s-au petrecut altfel.

În ceea ce privește TCP/IP, lucrurile stau exact pe dos: mai întâi au apărut protocoalele, iar modelul a fost de fapt doar o descriere a protocoalelor existente. Cu protocoalele respective nu era nici o problemă: ele se potriveau perfect cu modelul. Singurul necaz era că *modelul* nu se potrivea cu nici o altă stivă de protocoale. Prin urmare, modelul nu a fost prea util pentru a descrie alte rețele non-TCP/IP.

Pentru a ne întoarce de la subiectele filosofice la subiecte mai specifice, o diferență evidentă între cele două modele se referă la numărul de niveluri: modelul OSI are șapte niveluri, iar TCP/IP are patru. Ambele modele au niveluri (inter-)rețea, transport și aplicație, dar restul nivelurilor sunt diferite.

O altă deosebire privește subiectul comunicației fără conexiuni față de cel al comunicației orientată pe conexiuni. Modelul OSI suportă ambele tipuri de comunicații la nivelul rețea, dar numai comunicații orientate pe conexiuni în nivelul transport, unde acest fapt are importanță (pentru că serviciul de transport este vizibil utilizatorilor). Modelul TCP/IP are numai un mod (fără conexiuni) la nivelul rețea, dar suportă ambele moduri la nivelul transport, ceea ce lasă utilizatorilor posibilitatea alegerii. Această alegere este importantă în mod special pentru protocoale întrebare-răspuns simple.

#### 1.4.4 O critică a modelului și protocoalelor OSI

Nici modelul și protocoalele OSI și nici modelul și protocoalele TCP/IP nu sunt perfecte. Asupra lor se pot formula, și s-au formulat, câteva critici. În prezenta și în următoarea secțiune vom vedea unele dintre aceste critici. Vom începe cu OSI, după care vom examina TCP/IP.

La momentul când a fost publicată a doua ediție a acestei cărți (1989), majoritatea experților în domeniu credeau că modelul și protocoalele OSI se vor impune peste tot și vor elimina orice concurent. Acest lucru nu s-a întâmplat. De ce? O privire spre lecțiile trecutului poate fi utilă. Aceste lecții pot fi rezumate astfel:

1. Ratarea momentului.
2. Tehnologii proaste.
3. Implementări proaste.
4. Politici proaste.

### Ratarea momentului

Să vedem mai întâi prima problemă: ratarea momentului. Momentul la care se stabilește un standard este absolut critic pentru succesul acestuia. David Clark de la M.I.T. are o teorie asupra standardelor pe care o numește *Apocalipsa celor doi elefanți* și care este ilustrată în fig. 1-23.

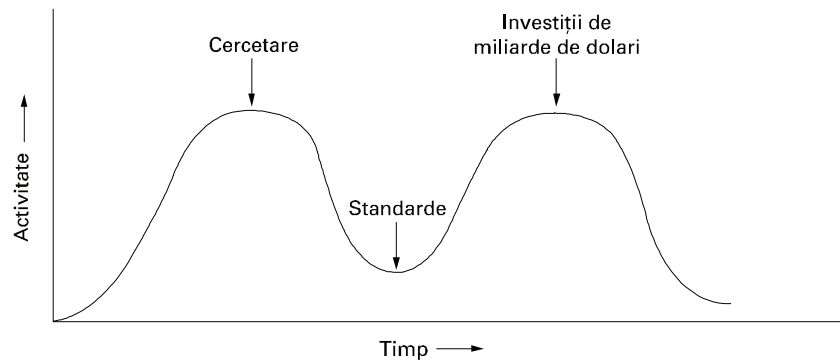


Fig. 1-23. Apocalipsa celor doi elefanți.

Această figură arată volumul de activitate desfășurată în jurul unui subiect nou. Când subiectul este lansat, are loc o explozie a activității de cercetare sub formă de discuții, articole și întâlniri. După un timp, cercetarea se reduce foarte mult, subiectul este descoperit de companii și piața cunoaște un val de investiții de miliarde de dolari.

Este esențial ca standardele să fie definite în intervalul dintre cei doi „elefanți”. Dacă ele sunt definite prea devreme, înainte să se încheie cercetarea, atunci subiectul poate să nu fie încă destul de bine înțeles, ceea ce conduce la standarde proaste. Dacă ele sunt definite prea târziu, atunci probabil că atât de multe firme au făcut deja investiții majore realizând lucrurile altfel, încât standardele sunt efectiv ignorate. Dacă intervalul dintre cei doi elefanți este foarte scurt (pentru că toată lumea arde de nerăbdare să treacă la lucru), atunci cei care dezvoltă standardele pot fi prinși la mijloc și striviți.

Acum se vede că protocoalele OSI standard au fost strivite. La momentul apariției lor, protocoalele concurente TCP/IP erau deja folosite pe scară largă în universități, în cercetare. Înainte să vină valul investițiilor de miliarde de dolari, piața din domeniul academic era destul de dezvoltată pentru ca multe firme să înceapă, prudent, să ofere produse TCP/IP. Când a apărut OSI, firmele nu au mai vrut, decât forțate, să sprijine o a doua stivă de protocoale, și, prin urmare, n-au apărut nici un fel de oferte inițiale din partea lor. Fiecare firmă aștepta să înceapă celelalte firme, așa că până la urmă n-a mai început nici o firmă și fenomenul OSI nu s-a mai produs niciodată.

### Tehnologii proaste

Al doilea motiv pentru care OSI n-a prins niciodată este că atât modelul cât și protocoalele au defecte. Opțiunea pentru șapte niveluri a fost mai mult politică decât tehnică, și două dintre niveluri (sesiune și prezentare) sunt aproape goale, în timp ce alte două (legătura de date și rețea) sunt prea aglomerate.

Modelul OSI, alături de protocoalele și definițiile de servicii asociate, este extraordinar de complex. Atunci când sunt puse unul peste altul, standardele tipărite au o grosime de câțiva zeci de centimetri. Standardele sunt, de asemenea, dificil de implementat și ineficiente în funcționare. În acest context îmi vine în minte o ghicitoare formulată de Paul Mockapetris și citată în (Rose, 1993):

Î: Ce obții când aplici un standard internațional unui gangster?

R: O persoană care îți face o ofertă pe care n-o poți înțelege.

Pe lângă faptul că este incomprehensibil, o altă problemă cu OSI este că unele funcții, cum sunt adresarea, controlul fluxului și controlul erorilor apar repetat în fiecare nivel. Saltzer ș.a. (1994), de exemplu, au arătat că, pentru a fi eficient, controlul erorilor trebuie făcut la nivelul cel mai înalt și că repetarea sa de atâtea ori în nivelurile de mai jos este adesea inutilă și ineficientă.

### **Implementări proaste**

Data fiind enorma complexitate a modelului și a protocoalelor, nu este de mirare în faptul că implementările inițiale erau uriașe, greoaie și ineficiente. Oricine le încerca se simțea ca opărit. Nu a trecut mult și lumea a asociat „OSI” cu „calitate slabă.” Deși odată cu trecerea timpului produsele au devenit mai bune, imaginea s-a deteriorat.

Din contră, una din primele implementări de TCP/IP făcea parte din Berkeley UNIX și era destul de bună (ca să nu mai spunem că era și gratuită). Lumea a început să o folosească repede, ceea ce a determinat apariția unei comunități largi de utilizatori, ceea ce a dus mai departe la îmbunătățiri, iar aceasta a dus la o comunitate și mai numeroasă. În acest caz spirala nu cobora, ci urca.

### **Politici proaste**

Din cauza implementării inițiale, multă lume, în special din mediul academic, a considerat TCP/IP ca o parte din Unix; iar în anii '80 Unix-ul era pentru oamenii din lumea academică cam la fel de popular ca paternitatea (numită apoi incorect maternitate) sau ca plăcinta cu mere.

OSI, pe de altă parte, a fost gândit ca o creație a ministerelor de telecomunicații europene, apoi a Comunității Europene și, mai târziu, a guvernului Statelor Unite. Această viziune s-a dovedit adevărată numai în parte; dar chiar ideea în sine - un grup de birocrați guvernamentali încercând să bage un standard inferior tehnic pe gâtul bieților cercetători și programatori care stau în tranșee și dezvoltă efectiv rețelele de calculatoare - nu a ajutat prea mult. Unii oameni au văzut această abordare în aceeași lumină în care a fost văzut IBM când a anunțat în anii '60 că PL/I era limbajul viitorului, sau DoD care a corectat IBM-ul anunțând că limbajul respectiv era de fapt Ada.

## **1.4.5 O critică a modelului de referință TCP/IP**

Modelul și protocoalele TCP/IP au și ele problemele lor. Mai întâi, modelul nu face o distincție clară între conceptele de serviciu, interfață și protocol. O practică recomandabilă în ingineria programării este să se facă diferența între specificație și implementare, ceea ce OSI face cu multă atenție, pe când TCP/IP nu face. De aceea, modelul TCP/IP nu este un ghid prea bun de proiectare a rețelelor noi folosind tehnologii noi.

În al doilea rând, modelul TCP/IP nu este deloc general și nu este aproape deloc potrivit pentru descrierea altor stive de protocoale în afara celei TCP/IP. De exemplu, descrierea Bluetooth folosind modelul TCP/IP ar fi aproape imposibilă.

În al treilea rând, nivelul gazdă-rețea nu este deloc un nivel - în sensul normal în care este folosit termenul în contextul protocoalelor organizate pe niveluri - ci este o interfață (între nivelurile rețea și legătură de date). Distincția între o interfață și un nivel este crucială și de aceea trebuie să i se acorde atenția cuvenită.

În al patrulea rând, modelul TCP/IP nu distinge (și nici măcar nu menționează) nivelurile fizic și legătură de date. Acestea sunt complet diferite. Nivelul fizic are de-a face cu caracteristicile

transmisiei prin cablu de cupru, fibre optice sau radio. Rolul nivelului legătură de date este să delimiteze începutul și sfârșitul cadrelor și să le transporte dintr-o parte în alta cu gradul de siguranță dorit. Un model corect ar trebui să includă ambele niveluri ca niveluri separate. Modelul TCP/IP nu face acest lucru.

În sfârșit, deși protocoalele IP și TCP au fost atent gândite și bine implementate, multe din celelalte protocoale au fost construite ad-hoc, fiind în general opera câtorva absolvenți care tot „meștereau” la ele până oboseau. Implementările protocoalelor erau apoi distribuite gratuit; ca urmare, ele erau larg utilizate, fără să li se asigure suportul necesar, fiind de aceea greu de înlocuit. Unele protocoale au ajuns acum să fie mai mult o pacoste. Protocolul de terminal virtual, TELNET, de exemplu, a fost proiectat pentru un terminal teletype mecanic de zece caractere pe secundă. Cu toate acestea, 25 de ani mai târziu, protocolul este încă foarte utilizat.

Pentru a rezuma, în pofida acestor probleme, *modelul OSI* (mai puțin nivelurile sesiune și prezentare) s-a dovedit a fi excepțional de util pentru a discuta rețelele de calculatoare. Din contră, *protocoalele OSI* nu au devenit populare. Pentru TCP/IP este adevărată afirmația inversă: *modelul* este practic inexistent, dar *protocoalele* sunt larg utilizate. Dat fiind faptul că informaticienilor le place să prepare - și apoi să și mănânce - propria lor prăjitură, în această carte vom folosi un model OSI modificat, dar ne vom concentra în primul rând pe TCP/IP și alte protocoale înrudite cu el; de asemenea, vom folosi și protocoale mai noi, precum 802, SONET și Bluetooth. Modelul de lucru folosit în carte este modelul hibrid prezentat în fig. 1-24.

Nivelul aplicație
Nivelul transport
Nivelul rețea
Nivelul legătură de date
Nivelul fizic

Fig. 1-24. Modelul hibrid de referință care va fi utilizat în această carte.

## 1.5 EXEMPLE DE REȚELE

Subiectul rețelilor de calculatoare acoperă diferite tipuri de rețele, mari și mici, arhicunoscute sau mai puțin cunoscute. Ele au scopuri, dimensiuni și tehnologii diverse. În următoarele secțiuni, vom studia câteva exemple, pentru a avea o idee despre varietatea pe care o poate regăsi oricine în domeniul rețelilor de calculatoare.

Vom porni cu Internet-ul, probabil cea mai cunoscută rețea, și vom studia istoria, evoluția și tehnologiile sale. Apoi vom discuta ATM, care este de multe ori utilizată în nucleul rețelilor (telefonice) mari. Din punct de vedere tehnic, este destul de diferită de Internet, ceea ce evidențiază un contrast interesant. Apoi vom introduce Ethernet, dominantă în cazul rețelilor locale. În final, vom studia IEEE 802.11, standardul pentru rețele fără cablu.

### 1.5.1 Internet

Internet-ul nu este deloc o rețea, ci o colecție vastă de rețele diverse, care utilizează anumite protocoale comune și oferă anumite servicii comune. Este un sistem neobișnuit prin aceea că nu a

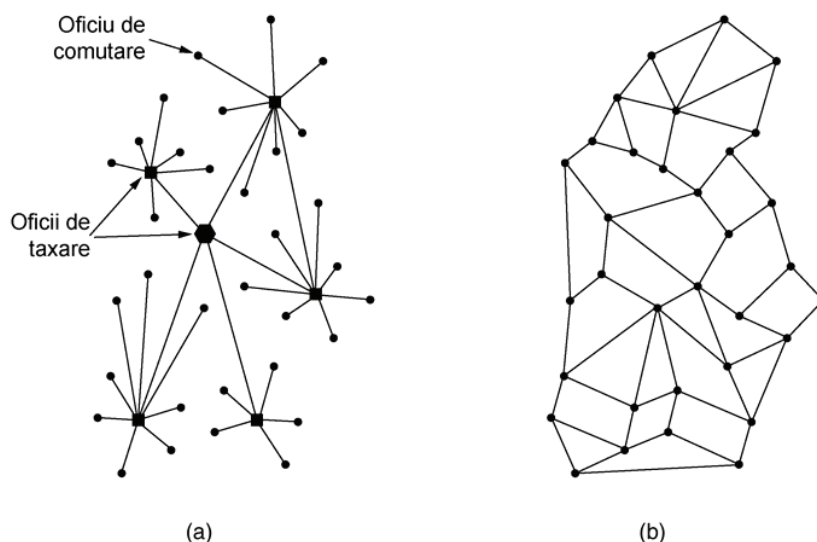


fost planificat de nimeni și nu este controlat de nimeni. Pentru a-l înțelege mai bine, să pornim de la începuturi și să vedem cum s-a dezvoltat și de ce. Pentru o istorie foarte reușită a Internet-ului, este recomandată cartea lui John Naughton (2000). Este una dintre acele cărți rare care nu este numai plăcută la citit, dar are și 20 de pagini de ibid. și op.cit. pentru istoricii serioși. Unele dintre materialele de mai jos sunt bazate pe această carte.

Desigur, au fost scrise nenumărate cărți tehnice despre Internet, și despre protocoalele sale de asemenea. Pentru mai multe informații vedeți, de exemplu, (Maufer, 1999).

### ARPANET-ul

Povestea începe la sfârșitul anilor 1950. În momentul în care Războiul Rece era la apogeu, DoD (Department of Defense, rom: Departamentul de Apărare al SUA) a vrut o rețea de comandă și control care să poată supraviețui unui război nuclear. La momentul acela, toate comunicațiile militare foloseau rețelele telefonice publice, care erau considerate vulnerabile. Motivul pentru o astfel de părere poate fi observat în fig. 1-25(a). Aici punctele negre reprezintă oficii de comutare, la ele fiind conectate mii de telefoane. Aceste oficii erau, la rândul lor, conectate la oficii de comutare de nivel mai înalt (oficii de taxare), pentru a forma o ierarhie națională cu un nivel scăzut de redundanță. Vulnerabilitatea sistemului consta în aceea că distrugerea câtorva oficii de taxare putea fragmenta sistemul în mai multe insule izolate.



**Fig. 1-25.** (a) Structura sistemului de telefonie.  
(b) Sistemul distribuit cu comutare al lui Baran.

În jurul anului 1960, DoD a oferit un contract corporației RAND pentru a găsi o soluție. Unul dintre angajații ei, Paul Baran, a venit cu ideea sistemului distribuit cu un nivel ridicat de toleranță la defecte, prezentat în fig. 1-25(b). Deoarece căile dintre oricare două oficii de comutare erau în acest caz mult mai lungi decât căile pe care semnale analogice puteau să circule fără distorsiuni, Baran a propus utilizarea unei tehnologii digitale cu comutare de pachete prin întregul sistem. Baran a scris câteva rapoarte pentru DoD în care a descris ideile sale în detaliu. Oficialii de la Pentagon au agreat

conceptul și au apelat la AT&T, apoi la monopolul național al telefoniei SUA pentru a construi un prototip. AT&T a desconsiderat imediat ideile lui Baran. Cea mai mare și cea mai bogată companie din lume nu avea de gând să permită unui tânăr oarecare să spună cum să se construiască un sistem de telefonie. Ei au declarat că sistemul propus de Baran nu poate fi construit, și ideea a fost abandonată.

Au mai trecut câțiva ani și DoD încă nu avea un sistem de comandă și control mai bun. Pentru a înțelege ceea ce s-a întâmplat în continuare trebuie să ne întoarcem în Octombrie 1957, când Uniunea Sovietică a întrecut SUA în domeniul spațial prin lansarea primului satelit artificial, Sputnik. Când președintele Eisenhower a încercat să afle cine adormise la comandă, a fost surprins să afle că Armata, Marina și Forțele Aeriene își disputau bugetul de cercetare al Pentagonului. Răspunsul lui imediat a fost crearea unei singure organizații de cercetare în domeniul apărării: ARPA (Advanced Research Projects Agency, rom: Agenția de Cercetare pentru Proiecte Avansate). ARPA nu avea nici oameni de știință, nici laboratoare; de fapt, nu avea decât un birou și un mic buget (după standardele Pentagonului). Își ducea misiunile la îndeplinire prin acordarea de granturi (fonduri pentru cercetare) și contracte universităților și companiilor ale căror idei păreau promițătoare.

În primii câțiva ani, ARPA a încercat să afle care îi era misiunea. În 1967, atenția directorului Larry Roberts a fost atrasă de domeniul rețelilor. A contactat diverși experți ca să decidă ce este de făcut. Unul dintre ei, Weslez Clark, a sugerat construirea unei subrețele cu comutare de pachete, dând fiecărei gazde propriul ruter, așa cum este ilustrat în fig. 1-12.

După un oarecare scepticism inițial, Roberts a adoptat ideea și a prezentat o lucrare destul de vagă despre ea la Simpozionul ACM SIGOPS ținut în Gatlinburg, Tennessee la sfârșitul lui 1967 (Roberts, 1967). Spre surprinderea lui Roberts, o altă lucrare prezentată la aceeași conferință descria un sistem similar, care nu numai că fusese proiectat, dar fusese și implementat sub comanda lui Donald Davies de la NPL (National Physical Laboratories, rom: Laboratoarele Naționale de cercetări în Fizică), Anglia. Sistemul propus de NPL nu era un sistem național (conecta numai câteva calculatoare în campusul NPL) dar demonstrase că comutarea de pachete poate fi funcțională. În plus, cita din rapoartele timpurii ale lui Baran care fuseseră desconsiderate la momentul respectiv. Roberts s-a întors de la Gatlinburg hotărât să construiască ceva ce urma să devină cunoscut sub numele de ARPANET.

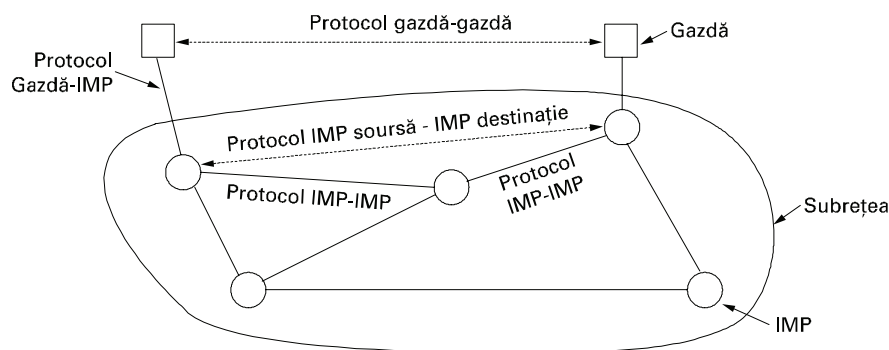
Subrețeaua trebuia să fie formată din minicalculatoare numite **IMP-uri (Interface Message Processors)** - procesoare de mesaje de interfață) conectate prin linii de transmisie. Pentru o siguranță mare, fiecare IMP trebuia legat la cel puțin alte două IMP-uri. Subrețeaua avea să fie o subrețea datagramă, astfel că dacă unele linii și IMP-uri se defectau, mesajele puteau fi redirijate automat pe căi alternative.

Fiecare nod al rețelei era format dintr-un IMP și dintr-o gazdă, aflate în aceeași încăpere și legate printr-un fir scurt. O gazdă putea să trimită mesaje de până la 8063 biți spre IMP-ul său, iar acesta descompunea apoi mesajele în pachete de cel mult 1008 biți și le retransmitea la destinație separat. Fiecare pachet era primit în întregime înainte de a fi reexpediat, astfel că subrețeaua a fost prima rețea electronică memorează-și-retransmite cu comutare de pachete.

ARPA a căutat apoi o ofertă pentru construirea subrețelei. Au depus oferte douăsprezece firme. După evaluarea tuturor propunerilor, ARPA a selectat BBN, o firmă de consultanță din Cambridge, Massachusetts, și în 1968 a încheiat cu aceasta un contract pentru construirea subrețelei și scrierea programelor de subrețea. BBN a decis să utilizeze pe post de IMP-uri minicalculatoare Honeywell DDP-316 special modificate, dispunând de o memorie internă de 12K cu cuvinte pe 16 biți. IMP-urile nu aveau discuri, pentru că părțile mobile erau considerate nesigure. IMP-urile au fost interco-

nectate prin linii de 56 Kbps închiriate de la companii de telefoane. Deși 56 Kbps este acum o variantă pentru adolescenții care nu își permit ADSL sau cablu, era cea mai bună alternativă a momentului respectiv.

Programele au fost împărțite în două: pentru subrețea și pentru gazde. Programele de subrețea cuprind gestionarea capătului dinspre IMP al conexiunii gazdă-IMP, protocolul IMP-IMP și un protocol sursă IMP - destinație IMP, proiectat pentru a mări siguranța. Proiectul inițial al rețelei ARPANET este prezentat în fig. 1-26.



**Fig. 1-26.** Proiectul inițial al rețelei ARPANET.

Și în afara subrețelei erau necesare programe: gestionarea capătului dinspre gazdă al conexiunii gazdă-IMP, protocolul gazdă-gazdă și programe de aplicație. În scurt timp, a devenit clar că BBN considera sarcina sa încheiată din momentul în care acceptase un mesaj pe un fir gazdă-IMP și îl plasase pe firul gazdă-IMP destinație.

Roberts avea o nouă problemă: gazdele aveau și ele nevoie de programe. Pentru a rezolva aceasta problemă, el a convocat o adunare a cercetătorilor în rețele, majoritatea fiind tineri absolvenți de facultate, la Snowbird, în Utah, în vara anului 1969. Absolvenții se așteptau ca niște experți în rețele să le explice proiectarea și software-ul rețelei și ca fiecare din ei să primească după aceea sarcina de a scrie o parte din programe. Au rămas însă muți de uimire când au constatat că nu exista nici un expert în rețele și nici o proiectare serioasă. Trebuiau să își dea seama singuri ce au de făcut.

Cu toate acestea, în decembrie 1969 începea deja să funcționeze o rețea experimentală cu patru noduri, la UCLA, UCSB, SRI și Universitatea din Utah. Au fost alese aceste patru instituții pentru că toate aveau un număr mare de contracte cu ARPA și toate aveau calculatoare gazdă diferite și complet incompatibile (doar ca treaba să fie mai amuzantă). Pe măsură ce se aduceau și se instalau mai multe IMP-uri, rețeaua creștea rapid; în scurt timp, s-a întins pe tot spațiul Statelor Unite. Fig. 1-27 arată cât de repede a crescut ARPA în primii 3 ani.

Pe lângă ajutorul oferit pentru dezvoltarea tânărului ARPANET, ARPA a finanțat de asemenea cercetări în domeniul rețelelor de sateliți și rețelelor mobile radio cu pachete. Într-o faimoasă demonstrație, un camion care circula în California folosea rețeaua radio cu pachete pentru a trimite mesaje către SRI, aceste mesaje erau retransmise apoi prin ARPANET pe Coasta de Est, iar de aici mesajele erau expediate către University College din Londra prin rețeaua de sateliți. Acest lucru permitea unui cercetător din camion să utilizeze un calculator din Londra în timp ce călătorea prin California.

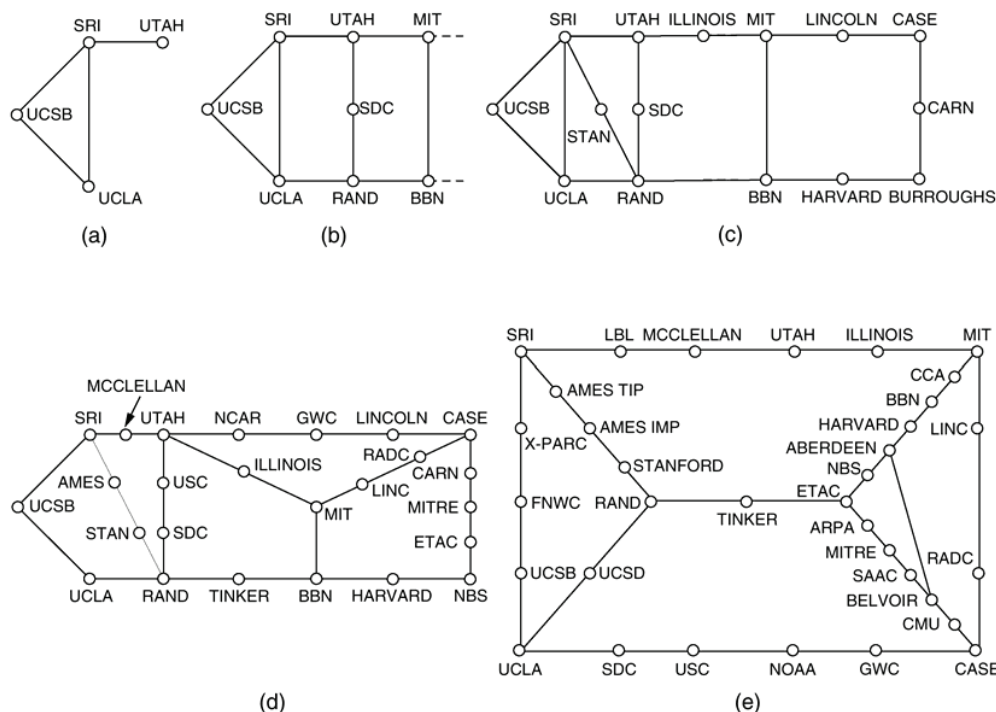


Fig. 1-27. (a) Dec.. 1969. (b) Iulie 1970. (c) Martie 1971. (d) Aprilie 1972. (e) Sept. 1972.

Acest experiment a demonstrat totodată că protocoalele ARPANET existente nu erau potrivite pentru a rula pe mai multe rețele. Observația a condus la noi cercetări asupra protocoalelor, culminând cu invenția modelului și protocoalelor TCP/IP (Cerf și Kahn, 1974). TCP/IP a fost proiectat special pentru a trata comunicarea prin inter-rețele, un lucru care devenea din ce în ce mai important, pe măsură ce tot mai multe rețele erau legate la ARPANET.

Pentru a încuraja adoptarea acestor noi protocoale, ARPA a semnat câteva contracte cu BBN și cu University of California din Berkeley pentru a integra protocoalele în Berkeley UNIX. Cercetătorii de la Berkeley au dezvoltat o interfață de programare a rețelei (soclurile) și au scris numeroase aplicații, utilitare și programe de administrare care să simplifice interconectarea.

Momentul era ideal. Multe universități tocmai achiziționaseră un al doilea sau al treilea calculator VAX și un LAN care să le conecteze, dar nu aveau nici un fel de programe de interconectare. Când a apărut 4.2BSD, cu TCP/IP, socluri și multe utilitare de rețea, pachetul complet a fost adoptat imediat. Mai mult chiar, folosind TCP/IP, LAN-urile se puteau lega simplu la ARPANET și multe LAN-uri au făcut acest lucru.

În anii '80 au fost conectate la ARPANET multe alte rețele, în special LAN-uri. Pe măsură ce creștea dimensiunea rețelei, găsirea gazdelor devenea tot mai costisitoare; de aceea, a fost creat **DNS (Domain Name System, rom: Sistemul Numelor de Domenii)**, care organiza mașinile în domenii și punea în corespondență numele gazdelor cu adrese IP. De atunci încolo, DNS a ajuns să

fie un sistem de baze de date distribuit, generalizat, folosit pentru a memora diverse informații referitoare la procedurile de atribuire a numelor. Vom studia detaliat acest sistem în cap. 7.

### NSFNET

La sfârșitul anilor 1970, NSF (U.S. National Science Foundation, rom: Fundația Națională de Știință din SUA) a remarcat impactul imens pe care ARPANET-ul îl avea asupra cercetării universitare, rețeaua permițând savanților din toată țara să partajeze date și să colaboreze la proiecte de cercetare. Dar, pentru a se conecta la ARPANET, o universitate trebuia să aibă un contract de cercetare cu DoD, iar multe universități nu aveau. Răspunsul NSF a fost proiectarea unui succesor al ARPANET care să fie deschis tuturor grupurilor de cercetare din universități. Pentru a avea ceva concret de la care să pornească, NSF a decis să construiască o rețea tip coloană vertebrală (backbone) pentru a conecta cele 6 centre de supercalculatoare pe care le deținea în San Diego, Boulder, Champaign, Pittsburgh, Ithaca, Princeton. Fiecărui calculator i s-a dat un frate mai mic, care era de fapt un micro-calculator LSI-11 denumit **fuzzball**. Aceste fuzzball-uri erau conectate cu linii închiriate de 56 Kbps și formau o subrețea, care folosea aceeași tehnologie ca și ARPANET. Tehnologia programelor era însă diferită: fuzzball-urile au fost proiectate pentru a conversa direct folosind TCP/IP, ceea ce a condus la crearea primei rețele pe arie largă bazată pe TCP/IP (TCP/IP WAN).

NSF a finanțat, de asemenea, un număr de (aproximativ 20, până la urmă) rețele regionale care se conectau la coloana vertebrală, permițând utilizatorilor din mii de universități, laboratoare de cercetare, biblioteci și muzee să acceseze oricare dintre supercalculatoare și să comunice între ei. Rețeaua completă, care includea coloana vertebrală și rețelele regionale, a fost numită **NSFNET**. Aceasta a fost conectată la ARPANET printr-o legătură între un IMP și un fuzzball din laboratorul de la Carnegie-Mellon. Prima coloană vertebrală NSFNET este ilustrată în fig. 1-28.

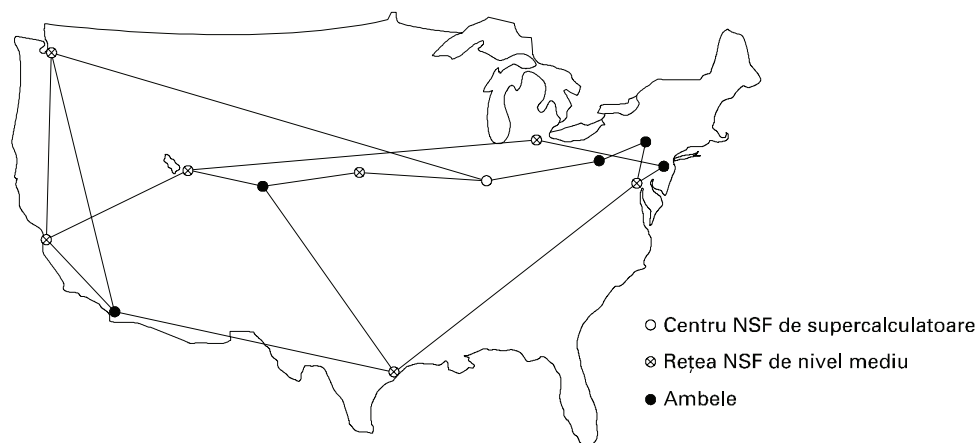


Fig. 1-28. Coloana vertebrală NSFNET în 1988.

NSFNET-ul a reprezentat un succes foarte rapid și a fost suprasolicitat din clipa în care a început să funcționeze. NSF a început imediat să planifice succesorul NSFNET-ului și a semnat un contract cu consorțiul MERIT cu sediul în Michigan. Pentru realizarea coloanei vertebrale numărul 2, au fost închiriate de la MCI (care a fuzionat între timp cu WorldCom) canale cu fibre optice de 448 Kbps. Ca rutere s-au folosit IBM PC-RT. Și această rețea a devenit curând supraîncărcată, drept care, în 1990, a doua coloană vertebrală a fost adusă la viteză de 1.5 Mbps.

Dar creșterea a continuat, iar NSF a realizat că guvernul nu poate finanța interconectările la nesfârșit. În plus, o serie de organizații comerciale erau interesate să se conecteze, dar statutul NSF le interzicea să se lege la rețele finanțate de NSF. În consecință, NSF a încurajat MERIT, MCI și IBM să formeze o corporație nonprofit, **ANS (Advanced Networks and Services)**, rom: rețele și servicii avansate), ca un pas pe drumul spre comercializare. În 1990, ANS a preluat NSFNET și a înlocuit legăturile de 1.5 Mbps cu legături de 45 Mbps, formând **ANSNET**. Această rețea a funcționat timp de 5 ani și apoi a fost cumpărată de America Online. Dar până atunci, diverse companii ofereau deja servicii IP comerciale și era clar că guvernul trebuia să se retragă din afacerea cu rețele.

Ca să ușureze tranziția și ca să fie sigur că orice rețea regională putea comunica cu orice altă rețea regională, NSF a semnat contracte cu patru operatori de rețele diferiți în vederea stabilirii unui **NAP (Network Access Point)**, rom: punct de acces la rețea). Acești operatori erau PacBell (San Francisco), Ameritech (Chicago), MFS (Washington, D.C.), și Sprint (New York City, unde - din rațiuni legate de NAP - Pennsauken, N.J. se consideră New York City). Fiecare operator de rețea care dorea să ofere servicii de infrastructură pentru rețelele regionale NSF trebuia să se lege la toate NAP-urile.

De aceea, pentru a ajunge de la NAP-ul său la NAP-ul destinației, un pachet trimis din orice rețea regională putea opta între mai multe companii care oferă servicii de transmisie pe coloana vertebrală. În consecință, pentru a fi alese de rețelele regionale, companiile de comunicații au fost forțate să intre în competiție pe baza serviciilor și prețurilor practicate - bineînțeles, aceasta era ideea. Ca rezultat, conceptul unei singure rețele de tip coloană vertebrală a fost înlocuit de o infrastructură competitivă condusă de criterii comerciale. Multora le place să critice Guvernul Federal pentru că nu este destul de inovator, dar în zona rețelor, DoD și NSF au fost cele care au creat infrastructura care a stat la bazele formării Internet-ului și apoi a cedat-o industriei pentru operare și exploatare.

În timpul anilor 1990, multe alte țări și regiuni construiesc și ele rețele naționale, de multe ori modelate chiar după ARPANET și NSFNET. Acestea includ EuropaNET și EBONE în Europa, care au pornit cu linii de 2 Mbps și apoi au avansat până la linii de 34 Mbps. În cele din urmă, și infrastructura de rețea din Europa a fost cedată industriei spre operare și exploatare.

### Folosirea Internet-ului

Numărul rețelor, mașinilor și utilizatorilor conectați la ARPANET a crescut rapid după ce TCP/IP a devenit, la 1 ian. 1983, unicul protocol oficial. Când au fost conectate NSFNET și ARPANET, creșterea a devenit exponențială. S-au alăturat multe rețele regionale și s-au realizat legături cu rețele din Canada, Europa și Pacific.

Cândva, pe la mijlocul anilor 1980, lumea a început să vadă colecția de rețele ca fiind un internet, iar apoi ca fiind Internet-ul; nu a existat însă nici un toast oficial cu politicieni desfăcând sticle de șampanie.

Substanța care ține legat Internet-ul este modelul de referință TCP/IP și stiva de protocoale TCP/IP. TCP/IP face posibile serviciile universale, putând fi comparată cu adoptarea lățimii standard pentru căile ferate în secolul 19 sau cu adoptarea protocoalelor comune de semnalizare de către toate companiile telefonice.

Ce înseamnă de fapt să fii pe Internet? Definiția noastră este că o mașină este pe Internet dacă folosește stiva de protocoale TCP/IP, are o adresă IP și are posibilitatea de a trimite pachete IP către toate celelalte mașini de pe Internet. Simpla posibilitate de a trimite și primi poșta electronică nu este suficientă, deoarece poșta electronică este redirectată către multe rețele din afara Internet-ului. Oricum, subiectul este cumva umbrat de faptul că milioane de calculatoare personale pot să apeleze

un furnizor de servicii Internet folosind un modem, să primească o adresă IP temporară și apoi să trimită pachete IP spre alte gazde. Are sens să privim asemenea mașini ca fiind pe Internet numai atâta timp cât ele sunt conectate la ruterul furnizorului de servicii.

Tradițional (însemnând din 1970 până în jurul lui 1990), Internet-ul și predecesorii săi au avut patru aplicații principale, după cum urmează:

1. **Poșta electronică.** Facilitatea de a compune, trimite și primi poștă electronică a existat din primele zile ale ARPANET-ului și este extrem de populară. Mulți oameni primesc zeci de mesaje pe zi și consideră poșta electronică principalul lor mijloc de a interacționa cu lumea exterioară, depășind de departe telefonul și poșta obișnuită. Programele de poștă electronică sunt astăzi disponibile practic pe orice tip de calculator.
2. **Știri.** Grupurile de știri sunt forumuri specializate în care utilizatorii cu un anumit interes comun pot să facă schimb de mesaje. Există mii de grupuri de știri, pe subiecte tehnice sau non-tehnice incluzând calculatoarele, știința, divertismentul și politica. Fiecare grup de știri are eticheta, stilul și obiceiurile sale proprii și nenorocirile se vor abate asupra celor care le încalcă.
3. **Conectare la distanță.** Folosind programe ca telnet, rlogin sau ssh, utilizatorii aflați oriunde pe Internet pot să se conecteze la orice mașină pe care au un cont.
4. **Transfer de fișiere.** Copierea fișierelor de pe o mașină din Internet pe alta este posibilă utilizând programul FTP. În acest fel sunt disponibile extrem de multe articole, baze de date și alte informații.

Până la începutul anilor 1990 Internet-ul a fost foarte populat cu cercetători din domeniul academic, guvernamental și industrial. O aplicație nouă, **WWW (World Wide Web)**, a schimbat total situația și a adus în rețea milioane de noi utilizatori care nu fac parte din mediul academic. Această aplicație, inventată de fizicianul Tim Berners Lee de la CERN, nu a modificat nici una din facilitățile existente, în schimb le-a făcut mai ușor de folosit. Împreună cu programul de navigare Mosaic, scris la Centrul Național pentru Aplicațiile Supercalculatoarelor, WWW-ul a făcut posibil ca un sit să pună la dispoziție un număr de pagini de informații conținând text, poze, sunet și chiar video, în fiecare pagină existând legături către alte pagini. Printr-un clic pe o legătură, utilizatorul este imediat transportat la pagina indicată de legătură. De exemplu, multe firme au o pagină principală cu intrări care trimit la alte pagini pentru informații asupra produselor, liste de prețuri, reduceri, suport tehnic, comunicare cu angajații, informații despre acționari și multe altele.

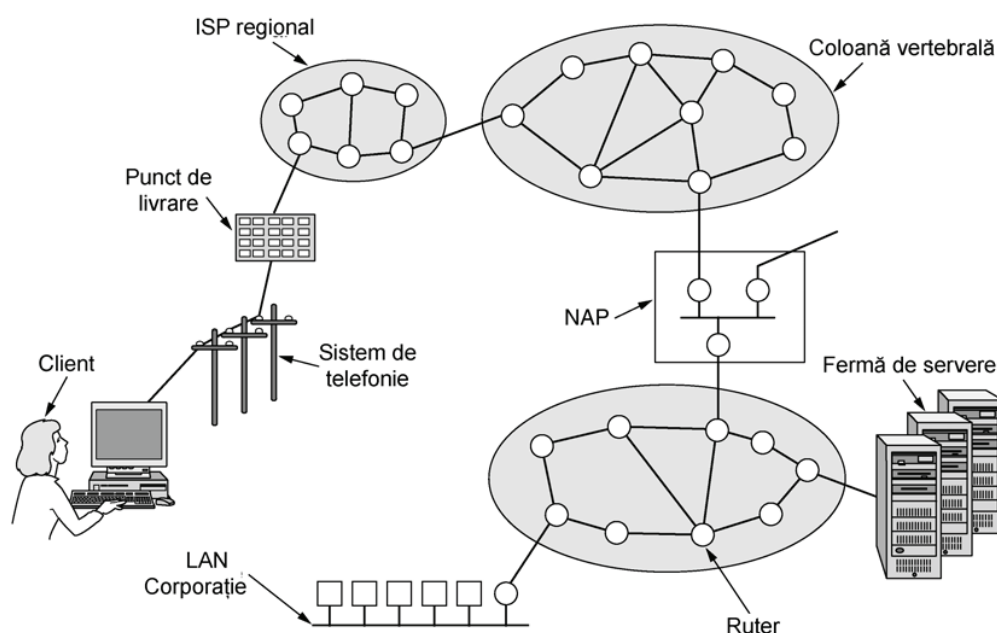
Într-un timp foarte scurt au apărut numeroase alte tipuri de pagini: hărți, tabele cu cotații la bursă, cataloage de bibliotecă, programe radio înregistrate și chiar o pagină care oferă legături spre textele complete ale multor cărți cărora le-au expirat drepturile de autor (Mark Twain, Charles Dickens, etc.). De asemenea, mulți oameni au pagini personale (home pages).

Mare parte din creșterea Internetului în timpul anilor 1990 a fost alimentată de companii denumite **ISP** (Internet Service Providers, rom: Furnizori de Servicii Internet). Acestea sunt companii care oferă utilizatorilor individuali posibilitatea de a apela, de acasă, una dintre mașinile furnizorului și de a se conecta la Internet, obținând în consecință acces la poșta electronică, WWW și alte servicii similare. La sfârșitul anilor 1990, aceste companii au înregistrat zeci de milioane de noi utilizatori în fiecare an, modificând astfel complet caracterul rețelei, care s-a transformat dintr-o rețea academică și militară într-o utilitate publică, precum sistemul de telefonie. Numărul actual al utilizatorilor Internet nu este cunoscut, dar este cu siguranță de ordinul sutelor de milioane la nivel mondial și probabil că va ajunge la un miliard în curând.



## Arhitectura Internet

În această secțiune vom încerca să aruncăm o scurtă privire de ansamblu asupra Internet-ului de astăzi. Din cauza multor fuziuni între companiile de telefoane și companiile ISP, apele au devenit tulburi, și este de cele mai multe ori dificil de precizat care sunt atribuțiile fiecăruia, cine ce anume are de făcut. În consecință această descriere va fi simplificată în raport cu realitatea efectivă. Imaginea de ansamblu este prezentată în fig. 1-29. În continuare, vom analiza această figură bucată cu bucată.



**Fig. 1-29.** Privire de ansamblu asupra Internet-ului.

Un bun punct de pornire este sistemul propriu al clientului. Să presupunem că acest client sună la ISP-ul său printr-o linie telefonică, așa cum se vede în fig. 1-29. Modemul este o placă din PC-ul clientului care convertește semnalele digitale pe care le produce calculatorul în semnale analogice care pot circula fără probleme prin sistemul telefonic. Aceste semnale sunt transferate la punctul de livrare (POP) al ISP-ului, unde sunt preluate din sistemul telefonic și injectate în rețeaua regională a ISP. De aici înainte, sistemul este în întregime digital și folosește comutarea de pachete. Dacă ISP-ul este același cu furnizorul local de telefonie, punctul de livrare va fi localizat, probabil, chiar în oficiul de comutare al serviciului telefonic, punctul în care se termină firul de telefon al utilizatorului. Chiar dacă ISP-ul nu este același cu furnizorul local de telefonie, punctul de livrare poate fi doar la distanță de câteva oficii de comutare.

Rețeaua regională a ISP este formată prin interconectarea rutelor din diverse orașe pe care le deservește compania. Dacă pachetul este destinat unei gazde deservite direct de către rețeaua ISP, pachetul va fi livrat direct gazdei. Altfel, el este livrat în continuare operatorului care furnizează companiei ISP servicii de comunicare prin coloana vertebrală (backbone) a rețelei.



În partea superioară a acestei ierarhii sunt operatorii principali de la nivelul de coloană vertebrală a rețelei, companii precum AT&T sau Sprint. Aceștia operează coloane vertebrale mari, internaționale, cu mii de rutere conectate prin fibra optică cu bandă largă de transfer. Corporațiile mari și firmele care oferă servicii de găzduire (hosting), utilizează ferme de servere (mașini care pot servi mii de pagini Web pe secundă) sunt conectate adeseori direct la nivelul coloanei vertebrale. Operatorii încurajează această conectare directă prin închirierea de spații în ceea ce se numește „**hotelul companiei de transport**” (**carrier hotel**), și reprezintă de cele mai multe ori **sertare (racks)** pentru echipamente aflate în aceeași cameră cu ruterul, pentru a permite conexiuni scurte și rapide între fermele de servere și coloana vertebrală a rețelei.

Dacă un pachet trimis în coloana vertebrală este destinat unui ISP sau unei companii deservite de aceeași coloană, el este transmis celui mai apropiat ruter. Oricum există multe astfel de coloane vertebrale în întreaga lume, astfel încât un pachet poate să treacă într-o coloană concurentă. Pentru a permite pachetelor să treacă dintr-o coloană în alta, toate aceste coloane principale sunt conectate în NAP-urile (Network Access Point, rom: Punct de acces în rețea) discutate mai devreme. În principiu, un NAP este o cameră plină cu rutere, cel puțin unul pentru fiecare coloană vertebrală conectată. O rețea locală camerei conectează toate aceste rutere, astfel încât pachetele să poată fi retransmise din orice coloană în orice altă coloană. În afară de interconectarea în NAP-uri, coloanele vertebrale de dimensiuni mari au numeroase conexiuni directe între ruterele lor, tehnică denumită **conectare privată (private peering)**. Unul dintre multiplele paradoxuri ale Internet-ului este acela că ISP-urile care sunt la nivel public în competiție pentru clienți, cooperează de cele mai multe ori pentru a realiza astfel de conectări private (private peering) (Metz, 2001).

Astfel se încheie acest scurt tur de orizont asupra Internet-ului. Vom avea multe de spus despre componentele individuale și proiectarea lor, despre algoritmi și despre protocoale în capitolele următoare. Merită de asemenea menționat în trecere că anumite companii și-au interconectat toate rețelele interne existente, folosind de multe ori aceleași tehnologii ca și Internet-ul. Aceste **intranet-uri** sunt accesibile de cele mai multe ori numai din interiorul companiei, dar altfel funcționează la fel ca Internet-ul.

### 1.5.5 Rețele orientate pe conexiune

Încă de la începuturile domeniului rețelelor, există un război între cei care susțin subrețelele fără conectare (de exemplu datagramele) și cei care susțin subrețelele orientate pe conexiune. Susținătorii subrețelelor fără conexiune provin din comunitatea ARPANET/Internet. Amintiți-vă că dorința inițială a DoD în finanțarea și construirea ARPANET a fost să aibă o rețea care să continue să funcționeze chiar și după ce mai multe lovituri nucleare îndreptate direct împotriva ei au distrus numeroase rutere și linii de transmisie. De aceea, toleranța la defecte se afla pe primele poziții ale listei de priorități; taxarea clienților nu exista pe acea listă. Această abordare a condus la o proiectare fără conexiune în care fiecare pachet era rutat independent de orice alt pachet. Ca o consecință, dacă anumite rutere se defectează în timpul unei sesiuni, nu apare nici o problemă atâta timp cât sistemul se poate reconfigura singur, dinamic, astfel încât pachetele următoare să găsească o rută către destinație, chiar dacă ea este diferită de cea utilizată până la momentul respectiv.

Tabăra celor care susțin rețelele orientate pe conexiune provine din lumea comunicațiilor pe linii telefonice. În sistemul telefonic, un utilizator trebuie să formeze numărul pe care dorește să îl apeleze și să aștepte formarea unei conexiuni înainte de a vorbi sau de a transmite date. Aceasta fază de conectare stabilește o rută prin sistemul telefonic, rută care va fi menținută până când apelul este în-

cheiat. Toate cuvintele sau pachetele de date urmează aceeași rută. Dacă o linie sau un comutator de pe respectiva cale se defectează, apelul este încheiat forțat. Aceasta proprietate era exact cea care nu convenea deloc Departamentului de Apărare.

De ce sunt companiile organizate astfel? Din două motive:

1. Calitatea serviciilor
2. Facturarea

Prin setarea unei conexiuni în avans, subrețeaua poate rezerva resurse precum zone tampon de memorie sau capacitatea de procesare a procesorului din ruter. Dacă se face o încercare de a iniția un apel și nu se găsesc suficiente resurse disponibile, apelul este rejectat și apelantul primește un fel de semnal de „ocupat”. În acest fel, de îndată ce conexiunea a fost stabilită, conexiunea va obține servicii bune din punct de vedere calitativ. Într-o rețea fără conexiune, dacă prea multe pachete ajung la același ruter în același moment, ruterul va fi sufocat și, probabil, va pierde din pachete. Eventual, utilizatorul va observa și le va retrimite, dar calitatea serviciilor va fi proastă și deloc potrivită pentru comunicații audio sau video, cu excepția cazurilor în care rețeaua este doar foarte puțin încărcată. Nu mai este nevoie să precizăm că pentru companii calitatea de transmitere a semnalului audio este un parametru extrem de important, și de aceea preferă rețelele orientate pe conexiune.

Cel de-al doilea motiv pentru care companiile de telefonie preferă serviciile orientate pe conexiune este acela că sunt obișnuite să taxeze utilizatorul în funcție de timpul de conexiune. Atunci când se face un apel la distanță (chiar și local, dar în afara Americii de Nord) taxarea se face la minut. La apariția rețelelor, aceste companii au fost automat atrase în acest sistem, în care taxarea la minut era ușor de făcut. Dacă trebuie stabilită o conexiune înainte de transmisia propriu-zisă a datelor, ceasul de taxare este pornit. Dacă nu există conexiune, nu poți fi taxat pentru ea.

Culmea, menținerea sistemului de taxare este foarte scumpă. Dacă o companie de telefonie ar trebui să adopte o schemă de plată cu rate lunare fixe, fără a ține cont de numărul de apeluri și fără a ține evidența facturărilor pe convorbire, cu siguranță s-ar economisi sume mari de bani, în ciuda creșterii însemnate a numărului de apeluri care va rezulta. Factorii politici, de reglementare și de altă natură sunt însă împotriva. Destul de interesant este că o astfel de politică este funcțională în alte sectoare. De exemplu, cablul TV este facturat cu o rată lunară fixă, indiferent de cât de mult te uiți la televizor. Ar fi putut să fie proiectat și având la bază un principiu plată-pentru-utilizare (pay-per-view), dar nu s-a făcut așa, în parte și din cauza cheltuielilor impuse de o asemenea strategie de facturare (dată fiind calitatea slabă a majorității televiziunilor, trebuie luat în considerare chiar și factorul „jenă”). Un alt exemplu sunt parcurile tematice care încasează o taxă de intrare zilnică, spre deosebire de caravane, care taxează plimbarea.

Acestea fiind spuse, nu va fi o surpriză că toate rețelele proiectate de industria de telefonie au avut subrețele orientate pe conexiune. Ceea ce este probabil surprinzător este că și Internet-ul deviază în aceasta direcție, pentru a oferi o calitate mai bună pentru serviciile audio și video. Vom reveni la acest subiect în cap. 5. Dar, să examinăm în continuare câteva rețele orientate pe conexiune.

### **X.25 și Frame Relay (releu de cadre)**

Primul exemplu de rețea orientată conexiune este X.25, care a fost prima rețea publică de date. A fost dată în folosință în anii 1970, într-un moment în care serviciile telefonice erau un monopol peste tot, și compania de telefonie din fiecare țară se aștepta să existe și o rețea de date unică în țară – a lor. Pentru a folosi X.25, un calculator a stabilit mai întâi o conexiune cu calculatorul aflat la distanță, adică a făcut un apel telefonic. Pentru această conexiune s-a alocat un număr de conexiune

folosit apoi în transferul pachetelor de date (deoarece pot fi deschise mai multe conexiuni în același timp). Pachetele de date erau foarte simple, fiind formate dintr-un antet de 3 ... 128 de octeți de date. În antet se regăsea un număr de conexiune de 12 biți, un număr de secvență al pachetului, un număr de confirmare pozitivă (ACK) și câțiva biți oarecare. Rețelele X.25 au funcționat aproape un deceniu cu un oarecare succes.

În anii 1980, rețelele X.25 au fost înlocuite pe scară largă cu un nou tip de rețea, denumit **Frame Relay** (Releu de Cadre). În esență, este vorba de o rețea orientată pe conexiune, fără control al erorilor și fără control al fluxului de date. Deoarece era orientată pe conexiune, pachetele erau furnizate în ordine (dacă erau furnizate). Aceste caracteristici – distribuire de pachete în ordine, lipsa de control al erorilor, lipsa de control al fluxului au făcut ca Frame Relay să se asemene cu o rețea locală de dimensiuni mari. Aplicația cea mai importantă a fost interconectarea rețelelor locale aflate în diverse birouri ale companiilor. Deși Frame Relay a avut parte de un succes modest, este folosit și astăzi în anumite companii.

### ATM (Asynchronous Transfer Mode)

Încă o rețea orientată pe conexiune – una mult mai importantă de această dată – este ATM (ATM Asynchronous Transfer Mode, rom: Mod de Transfer Asincron). Acest nume, oarecum ciudat, este justificat prin aceea că, în timp ce în rețelele telefonice majoritatea transmisiilor sunt sincrone (strâns legate de un semnal de ceas), în rețelele ATM transmisiile nu sunt sincrone.

ATM a fost proiectat la începutul anilor 1990 și lansat la mijlocul acestei perioade incredibile (Ginsburg, 1996; Goralski, 1995; Ibe, 1997; Kim et al., 1994; at Stallings, 2000). ATM urma să rezolve toate problemele de rețele și telecomunicații ale lumii, unificând transmisiile de voce, date, televiziune prin cablu, telex, telegraf, porumbei mesageri, cutii de conserve conectate prin sfori, semnale cu fum, și orice altceva într-un singur sistem integrat care să poată face totul pentru toată lumea. Nu s-a întâmplat. În mare parte, problemele erau similare cu acelea care au fost descrise mai devreme în ceea ce privește OSI, adică: ratarea momentului, tehnologii slabe, implementări ineficiente, politici proaste. După ce tocmai învinseseră companiile telefonice în runda I, mulți membri din comunitatea Internet au văzut ATM-ul pe poziția Internet-ului în lupta cu companiile mixte telefonie-ISP: Următorul. Dar nu a fost așa, și de această dată chiar și cei mai fanatici susținători ai datagramelor au trebuit să recunoască faptul că Internet-ul lăsa mult de dorit în privința calității serviciilor. Pentru a scurta povestea, ATM a înregistrat un succes mult mai mare decât OSI și este acum utilizat pe scară largă în cadrul sistemelor de telefonie, adeseori vehiculând chiar pachete IP. Deoarece ATM este utilizat la ora actuală de majoritatea companiilor numai pentru operațiile de rutare și transport intern, în cele mai multe cazuri utilizatorii nu sunt conștienți de existența lui, chiar dacă el este operațional.

### Circuite virtuale ATM

Deoarece rețelele ATM sunt orientate pe conexiune, transmisia datelor necesită mai întâi transmisia unui pachet pentru inițializarea conexiunii. Pe măsură ce pachetul de inițializare circulă prin subrețea, toate ruterele de pe drumul pe care îl parcurge își creează câte o înregistrare în tabelele de dirijare în care înregistrează existența conexiunii și rezervă resursele necesare pentru ea. Conexiunile sunt de cele mai multe ori denumite circuite virtuale, în analogie cu circuitele fizice utilizate în sistemele de telefonie. Majoritatea rețelelor ATM suportă și circuite virtuale permanente, care sunt conexiuni permanente între două gazde aflate la distanță. Acestea sunt similare cu liniile închiriate din lumea telefoniei. Fiecare conexiune, fie ea temporară sau permanentă, are un identificator de conexiune unic. Un circuit virtual este prezentat în fig. 1-30.

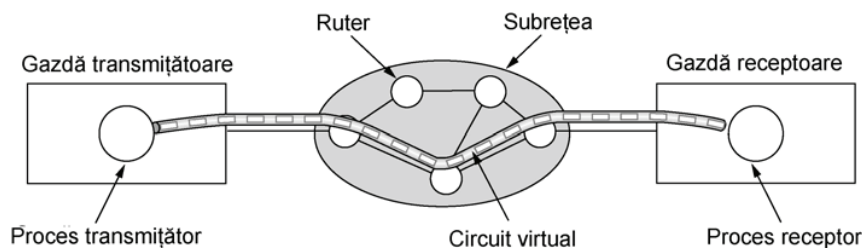


Fig. 1-30. Un circuit virtual

Îndată ce o conexiune a fost stabilită, oricare dintre părți poate să înceapă să transmită date. Ideea de bază în cazul rețelelor ATM este să se transmită toate informațiile în pachete mici, de dimensiune fixă, denumite celule (cells). Celulele au 53 de octeți, din care 5 octeți reprezintă antetul, iar restul de 48 reprezintă încărcătura efectivă, după cum se poate vedea în figura 1-31. O parte din antet reprezintă identificatorul de conexiune, astfel încât atât transmițătorul cât și receptorul, precum și toate ruterele intermediare pot ști corespondența dintre celule și conexiuni (care celule aparțin cărei conexiuni). Această informație permite fiecărui ruter să dirijeze fiecare celulă pe care o primește. Dirijarea celulelor este implementată direct în partea hardware a ruterele și este o operație rapidă. De fapt, argumentul principal în alegerea de celule de dimensiune fixă este acela că este mai ușor de construit partea hardware pentru dirijare dacă ea are de a face cu pachete scurte și egale ca dimensiune. Pachetele IP de lungime variabilă trebuie dirijate de programe (software), proces care este mai lent. Un alt avantaj al rețelelor ATM este acela că partea hardware poate fi configurată să multiplice o celulă pe care o primește la intrare pe mai multe linii de ieșire, o proprietate obligatorie în cazul în care trebuie abordată transmisia unui program de televiziune difuzat către mai mulți receptori. La urma urmei, celulele mici nu blochează nici o linie pentru prea mult timp, ceea ce face garantarea calității serviciilor mai ușoară.

Toate celulele urmează aceeași cale către destinație. Livrarea celulelor nu este garantată, dar ordinea lor da. Dacă două celule 1 și 2 sunt transmise în această ordine (1,2), dacă amândouă ajung, ele vor ajunge în aceeași ordine, niciodată nu va ajunge 2 înaintea lui 1. Dar oricare dintre ele, sau chiar amândouă se pot pierde pe drum. Este de datorită protocoalelor nivelului superior să repare eroarea cauzată de celulele pierdute. De reținut că, deși această garanție nu este perfectă, este mai bună decât cea pe care o oferă Internet-ul. Acolo nu numai că pachetele se pot pierde, dar și ordinea de ajungere la destinație poate fi oricare (nu are legătură cu ordinea de transmisie).

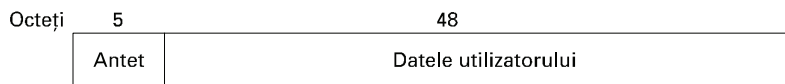


Fig. 1-31. O celulă ATM

Rețelele ATM sunt organizate similar cu rețelele WAN tradiționale, cu linii și comutatoare (rutere). Cele mai des întâlnite viteze de lucru pentru rețelele ATM sunt 155 Mbps și 622 Mbps, deși sunt posibile și viteze mai mari. Viteza de 155 Mbps a fost aleasă pentru că este foarte apropiată de viteza minimă obligatorie pentru transmisia de televiziune cu rezoluție înaltă. Decizia de a alege viteza exactă de 155.52 Mbps a fost făcută pentru compatibilitatea cu sistemul de transmisie

SONET de la AT&T, care va fi studiat în cap. 2. Viteza de 622 Mbps a fost aleasă astfel încât să fie echivalentă cu transmisia simultană a 4 canale de 155 Mbps.

### Modelul de referință ATM

ATM are propriul său model de referință, diferit de modelul OSI și diferit de asemenea de modelul TCP/IP. Acest model este ilustrat în fig. 1-32. El constă din trei niveluri - nivelul fizic, nivelul ATM și nivelul de adaptare ATM - plus orice mai vrea utilizatorul să pună deasupra lor.

Nivelul fizic se ocupă de mediul fizic: voltaj, planificare la nivel de biți și diverse alte aspecte. ATM nu prescrie un set particular de reguli, dar spune în schimb că celulele ATM pot fi trimise direct prin cablu sau fibre optice sau pot fi, la fel de bine, împachetate în interiorul datelor din alte sisteme de transmisie. Cu alte cuvinte, ATM-ul a fost proiectat pentru a fi independent de mediul de transmisie.

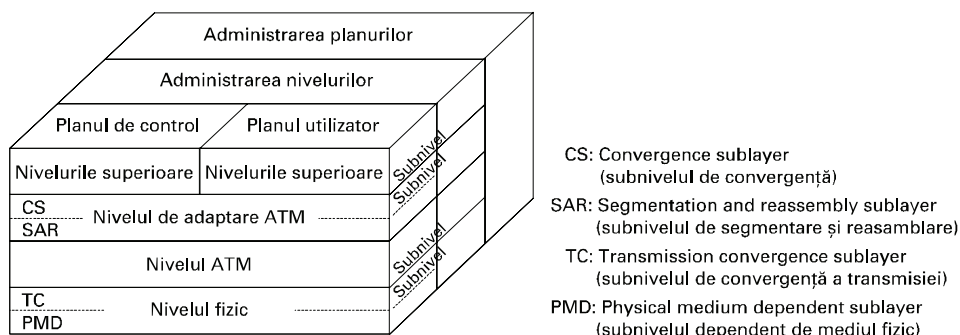


Fig. 1-32. Modelul de referință B-ISDN ATM.

**Nivelul ATM** se ocupă de celule și de transportul celulelor. Nivelul definește structura unei celule și spune ce reprezintă câmpurile celulelor. Tot el se ocupă și de stabilirea și eliberarea circuitelor virtuale. Controlul congestiei se realizează tot aici.

Deoarece cele mai multe aplicații nu vor să lucreze direct cu celule (deși unele vor), deasupra nivelului ATM a fost definit un nivel care permite utilizatorilor să trimită pachete mai mari decât o celulă. Interfața ATM segmentează aceste pachete, transmite celulele individual și le reasamblează la celălalt capăt. Acest nivel este **AAL (ATM Adaption Layer, rom: nivelul de adaptare ATM)**.

Spre deosebire de cele două modele de referință anterioare, care erau bidimensionale, modelul ATM este definit ca fiind tridimensional, după cum se arată în fig. 1-32. **Planul utilizator** se ocupă, printre altele, cu transportul datelor, controlul fluxului, corectarea erorilor. Prin contrast, sarcina **planului de control** este să trateze conexiunile. Funcțiile de administrare ale nivelurilor și planurilor se referă la gestionarea resurselor și coordonarea între niveluri.

Fiecare din nivelurile fizic și AAL sunt împărțite în două subniveluri: un subnivel care face munca efectivă, la bază, și un subnivel de convergență, deasupra, care pune la dispoziția nivelului situat peste el interfața adecvată. Funcțiile nivelurilor și subnivelurilor sunt prezentate în fig. 1-33.

Subnivelul **PMD (Physical Medium Dependent, rom: dependent de mediul fizic)** asigură interfața cu cablul propriu-zis. Acest subnivel transferă biții și se ocupă de planificarea transmisiei la nivel de biți. În cazul unor companii telefonice și a unor cabluri diferite, subnivelul va fi și el diferit.

Nivel OSI	Nivel ATM	Subnivel ATM	Rol
3/4	AAL	CS	Asigurarea interfeței standard (convergenței)
		SAR	Segmentarea și reasamblarea
2/3	ATM		Controlul fluxului Generarea/extragerea antetelor din celule Administrarea circuitelor/căilor virtuale Multiplexarea/demultiplexarea celulelor
2	Fizic	TC	Decuplarea ratei celulelor Generarea și verificarea sumelor de control din antete Generarea celulelor Împachetarea/despachetarea celulelor din plic Generarea cadrelor
1		PMD	Temporizarea biților Accesul fizic la rețea

**Fig. 1-33.** Nivelurile și subnivelurile ATM și funcțiile acestora.

Celălalt subnivel al nivelului fizic este subnivelul TC (Transmission Convergence, rom: convergența transmisiei). Când sunt transmise celulele, nivelul TC le expediază sub forma unui șir de biți spre nivelul PMD. Acest lucru este ușor de făcut. La celălalt capăt, subnivelul TC primește de la subnivelul PMD un flux de biți. Sarcina sa este să convertească acest flux de biți într-un flux de celule pentru nivelul ATM. Subnivelul TC se ocupă de tot ce este necesar pentru a putea spune unde încep și unde se termină celulele din fluxul de biți. În modelul ATM această funcționalitate este înglobată în nivelul fizic. În modelul OSI și în majoritatea celorlalte rețele, încadrarea, adică transformarea unui flux oarecare de biți într-o secvență de cadre sau de celule, este sarcina nivelului legătură de date. De aceea, în această carte vom discuta funcția respectivă împreună cu nivelul legătură de date, nu cu nivelul fizic.

Așa cum am menționat mai devreme, nivelul ATM gestionează celulele, inclusiv generarea și transportul lor. Mare parte din aspectele interesante ale ATM-ului apar aici. Nivelul ATM este un amestec între nivelurile legătură de date și rețea de la OSI, dar nu este împărțit în subniveluri.

Nivelul AAL este împărțit într-un subnivel **SAR (Segmentation And Reassembly)**, rom: segmentare și reasamblare) și un subnivel **CS (Convergence Sublayer)**, rom: subnivel de convergență). Subnivelul inferior descompune pachetele în celule - la capătul la care are loc transmisia - și le recompilează la destinație. Subnivelul superior face posibile sistemele ATM care oferă diverse tipuri de servicii pentru diverse aplicații (de exemplu, transferul de fișiere și sistemul video la cerere au cerințe diferite privitoare la gestionarea erorilor, planificare etc.).

Deoarece se preconizează o evoluție descendentă pentru rețelele ATM, ele nu vor fi discutate în continuare în această carte. Oricum, fiind instalate pe scară destul de largă, vor fi în continuare folo-

site pentru câțiva ani buni. Pentru mai multe informații despre ATM, vedeți (Dobrowski și Grise, 2001; Gadeki și Heckart, 1997).

### 1.5.3 Ethernet

Internet-ul și ATM au fost proiectate pentru WAN. Oricum, multe companii, universități și alte organizații au multe calculatoare care trebuie conectate. Această necesitate a dus la o dezvoltare rapidă a rețelelor locale. În această secțiune vom prezenta câteva lucruri despre cea mai populară dintre rețelele locale, și anume Ethernet.

Povestea începe în primitivul Hawaii la începutul anilor 1970. În acest caz, „primitiv” poate fi interpretat ca „fără sistem de telefonie funcțional”. Chiar dacă faptul că nu te deranjează telefonul cât e ziua de lungă poate să facă viața mai plăcută în vacanță, această situație nu era foarte plăcută pentru cercetătorul Norman Abramson și colegii săi de la Universitatea din Hawaii, care încercau să conecteze utilizatorii din mai multe insule aflate la distanță la calculatorul principal din Honolulu. Și cum varianta de a-și trage singuri cablurile pe fundul Oceanului Pacific nu părea viabilă, a trebuit să se caute o altă soluție.

Cea pe care au găsit-o a fost transmisia radio pe unde scurte. Fiecare terminal utilizator era echipat cu un mic sistem radio care avea două frecvențe: Trimite (**upstream** - către calculatorul central) și Primește (**downstream** - de la calculatorul central). Când utilizatorul dorea să contacteze calculatorul, trebuia doar să transmită un pachet care conținea datele pe canalul Trimite. Dacă nu mai transmitea nimeni în acel moment, pachetul ajungea la calculatorul central și i se dădea un răspuns pe canalul Primește. Dacă avea loc o dispută pentru canalul de transmisie, terminalul observa că nu primește confirmarea pozitivă pe canalul de recepție și trimitea din nou. Deoarece era un singur transmitător pe canalul de primire (calculatorul central), aici erau imposibile coliziunile. Acest sistem, care a fost denumit ALOHANET, funcționa destul de bine în condiții de trafic redus, dar eșua de îndată ce traficul pe canalul de Transmisie era aglomerat.

Cam în același timp, un student pe nume Bob Metcalfe și-a obținut diploma de absolvire la M.I.T. și s-a mutat pentru a obține doctoratul la Harvard. În timpul studiilor sale, a ajuns să cunoască lucrarea lui Abramson. A devenit atât de interesat în acest domeniu încât după ce a absolvit la Harvard, a decis să petreacă vara în Hawaii lucrând împreună cu Abramson, înainte de a începe lucrul la Xerox PARC (Palo Alto Research Center, rom: Centrul de Cercetare de la Palo Alto) . Când a ajuns la PARC, a descoperit că cercetătorii de acolo proiectaseră și construiseră mașinile care mai târziu aveau să fie denumite calculatoare personale. Dar mașinile erau izolate. Folosind cunoștințele pe care le acumulase în timpul lucrului petrecut cu Abramson, a proiectat și implementat – împreună cu colegul său David Boggs – prima rețea locală de calculatoare (Metcalfe și Boggs, 1976).

Au numit sistemul **Ethernet** după *luminiferous ether* (eter), prin care se credea odinioară că se propagă undele electromagnetice (În secolul 19, când fizicianul englez James Clerk Maxwell a descoperit că radiația electromagnetică poate fi descrisă printr-o ecuație de undă, oamenii de știință au presupus că spațiul trebuie să fie umplut cu un mediu eteric prin care aceste radiații se propagau. Numai după faimosul experiment Michelson-Morley din 1887 fizicienii au descoperit că radiația electromagnetică se poate propaga în vid).

Mediul de transmisie în acest caz era un cablu coaxial gros, având o lungime de până la 2.5 km (cu repetoare la fiecare 500m). Până la 256 de mașini pot fi atașate sistemului prin transivere conectate direct în cablu. Un cablu cu mai multe mașini atașate în paralel este numit **cablu multidrop** (multidrop cable). Sistemul funcționa la 2.94 Mbps. O schiță a arhitecturii sale este prezentată în fig.



1-34. Ethernet-ul avea o îmbunătățire majoră față de ALOHANET: înainte să transmită, un calculator asculta mediul pentru a vedea dacă nu cumva este altcineva care transmite. Dacă exista deja o transmisie în curs, calculatorul se oprea și aștepta încheierea transmisiei curente. Astfel, se evita interferența cu transmisiunile existente, ceea ce creștea semnificativ eficiența sistemului. ALOHANET nu putea să funcționeze în această manieră pentru că era imposibil pentru un terminal de pe o insulă să detecteze transmisia unui alt terminal de pe o altă insulă. Pe un cablu unic, această problemă era rezolvată.

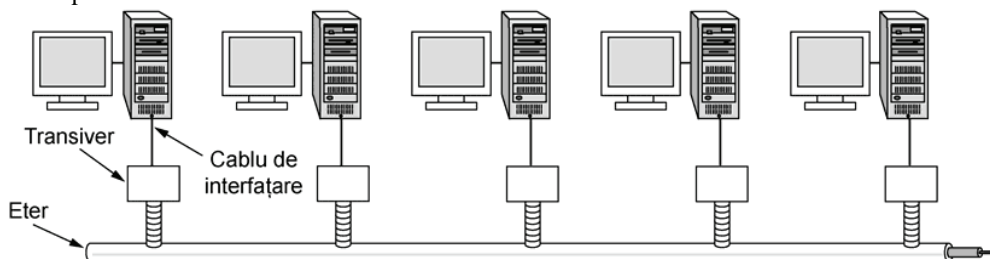


Fig. 1-34. Arhitectura Ethernet-ului original

În ciuda faptului că fiecare calculator asculta mediul înainte să înceapă transmisia, exista în continuare o problemă: ce se întâmplă dacă două calculatoare așteaptă amândouă încheierea transmisiei curente și apoi pornesc propriile transmisii simultan? Soluția este următoarea: fiecare calculator va asculta mediul și în timpul propriei transmisii și dacă detectează interferențe, bruiază linia pentru a anunța toți transmițătorii. Apoi se retrage și așteaptă un interval de timp generat aleator înainte să încerce din nou. Dacă apare o a doua coliziune, timpul de așteptare se dublează, și tot așa, pentru a dispersa (în timp) transmisiile concurente oferind fiecăreia dintre ele șansa de a fi „servită” prima.

Ethernet-ul Xerox a avut un succes atât de mare încât DEC, Intel și Xerox au colaborat pentru a schița un standard pentru o rețea Ethernet de 10 Mbps, denumit standardul DIX. Cu două modificări minore, acesta a devenit standardul IEEE 802.3 în anul 1983.

Din păcate pentru Xerox, compania avea deja reputația de a face invenții (precum calculatorul personal) și apoi să eșueze în valorificarea lor comercială, poveste spusă în *Fumbling the Future* (Smith și Alexander, 1988). Și pentru că Xerox nu a anunțat vreo intenție de a face și altceva cu Ethernet-ul – în afara standardizării lui – Metcalfe și-a format propria companie, 3Com, care urma să producă și să vândă adaptoare Ethernet pentru PC. A vândut peste 100 de milioane.

Ethernet-ul a continuat să se dezvolte și este încă în curs de dezvoltare. Noi versiuni, la 100 Mbps și 1000 Mbps, ba chiar și mai rapide au apărut deja. De asemenea, cablarea s-a îmbunătățit, fiind adăugate și alte facilități, precum comutarea (switching). Vom discuta în detaliu despre Ethernet în cap. 4.

În trecere, merită menționat că Ethernet (IEEE 802.3) nu este singurul standard LAN. Comitetul a standardizat de asemenea Token Bus (Jeton pe Magistrală – 802.4) și Token Ring (Jeton pe Inel – 802.5). Necesitatea de a avea trei standarde mai mult sau mai puțin incompatibile ține mai mult de politică decât de tehnologie. La momentul standardizării, firma General Motors promova o rețea în care topologia era aceeași ca la Ethernet (un cablu liniar), dar calculatoarele obțineau dreptul la transmisie pe rând, prin transmiterea unui scurt pachet denumit **jeton (token)**. Un calculator putea să emită numai dacă era în posesia jetonului, fiind evitate astfel coliziunile. General Motors a



anunțat că această schemă era esențială pentru fabricația de mașini și nu era pregătită să se miște de pe această poziție. Dacă acest anunț nu era susținut, 802.4 nu ar fi existat.

Similar, IBM avea propriul favorit: rețeaua proprietară cu jeton în inel. De această dată, jetonul era transmis prin inel și orice calculator care avea jetonul putea să transmită înainte de a repune jetonul în circulație în inel. Spre deosebire de 802.4, această schemă, standardizată ca 802.5, este încă folosită în birouri și filiale ale IBM, dar practic nicăieri în afara IBM. Oricum, cercetarea avansează către o versiune gigabit, dar pare foarte puțin probabil ca această tehnologie să ajungă la nivelul Ethernet. Pe scurt, chiar dacă a fost cândva un război între Ethernet, Token Ring și Token Bus, Ethernet a câștigat, în special pentru că a fost primul și pentru că oponenții săi nu era destul de buni.

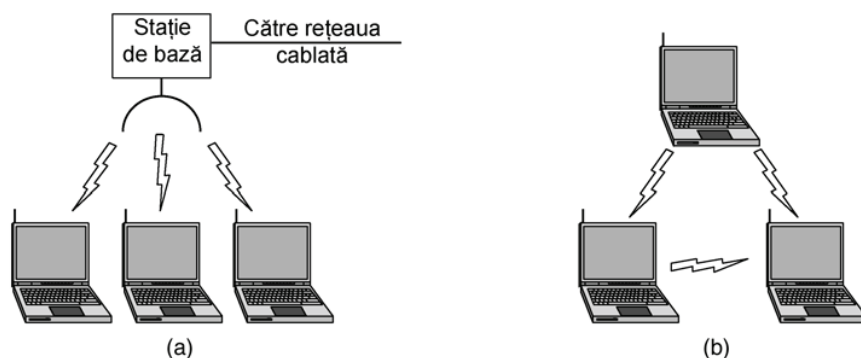
#### 1.5.4 Rețele fără fir: 802.11

Imediat după apariția calculatoarelor portabile, mulți utilizatori visau să intre cu calculatorul portabil personal într-un birou și, miraculos, acesta să fie conectat la Internet. În consecință, mai multe grupuri de studiu am început să caute soluții pentru a atinge acest scop. Cea mai practică abordare era echiparea biroului și a calculatorului cu transmițătoare și emițătoare radio cu rază mică de acțiune pentru a le permite să comunice. Această variantă a dus rapid la comercializarea soluțiilor de rețele locale fără fir de către diverse companii.

Problema era că dintre aceste variante nu se găseau două compatibile. Această proliferare a standardelor însemna că un calculator care era echipat cu un radio marca X nu putea să se conecteze în rețeaua unui birou dacă acesta era echipat cu o stație de la firma Y. În cele din urmă, comunitatea industrială a decis că ar trebui impus un standard pentru LAN fără fir. Astfel, comitetul IEEE care standardizase și LAN-urile cu cablu a primit ca sarcină să schițeze un standard pentru rețele LAN fără fir. Standardul astfel creat s-a numit 802.11. O denumire mai bine cunoscută în argou este **WiFi**. Este un standard important și merită tot respectul, astfel că ne vom referi la el cu numele oficial, 802.11.

Standardul propus trebuia să lucreze în două moduri:

1. În prezența unei stații de bază
2. În absența unei stații de bază



**Fig. 1-35.** (a) Rețele fără fir cu stație de bază. (b) Conectare ad-hoc.

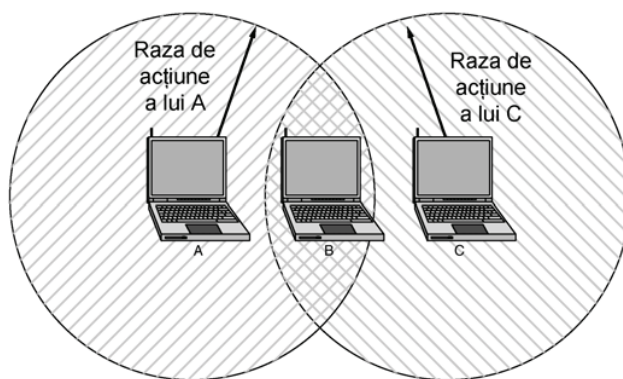
În primul caz, toate comunicațiile urmau să aibă loc prin intermediul stației de bază, denumită **punct de acces (access point)** 802.11. În cel de-al doilea caz, calculatoarele urmau să comunice direct unul cu celălalt. Acest mod este uneori denumit **conectare ad-hoc (ad-hoc networking)**. Un exemplu tipic este cel al utilizatorilor care se află într-o cameră care nu este echipată cu o stație de bază, calculatoarele lor comunicând direct. Aceste două moduri sunt ilustrate în fig. 1-35.

Prima decizie a fost cea mai simplă: cum să se numească. Toate celelalte standarde LAN aveau numere cum sunt 802.1, 802.2, 802.3, până la 802.10. Așa că noul standard de LAN fără fir s-a numit 802.11. Restul a fost mai dificil de realizat.

În particular, câteva dintre obiectivele care trebuiau atinse erau : găsirea unei benzi de frecvențe care să fie disponibilă, de preferință la nivel mondial; tratarea faptului că semnalele radio au o rază de acțiune limitată; asigurarea menținerii confidențialității utilizatorului; tratarea problemei duratei limitate de lucru a bateriei; considerarea eventualelor efecte pe care sistemul le putea avea asupra oamenilor (provoacă undele radio cancer?); înțelegerea implicațiilor portabilității calculatoarelor; și, în final, construirea unui sistem cu lărgime de bandă suficientă pentru a fi viabil din punct de vedere economic.

La momentul în care s-a început procesul de standardizare (la mijlocul anilor 1990), Ethernet-ul domina deja domeniul rețelelor locale, așa încât comitetul a decis să facă noul standard 802.11 compatibil Ethernet începând de deasupra nivelului legătură de date. Mai exact, ar trebui să se poată transmite un pachet IP într-un LAN fără fir în aceeași manieră în care un pachet IP este transmis prin Ethernet. Desigur, la nivelurile Fizic și Legătură de date apar anumite diferențe inerente față de Ethernet și ele trebuie considerate de către standard.

Mai întâi, un calculator din Ethernet va asculta eterul înainte de a transmite. Numai dacă acesta este liber calculatorul va începe transmisia. În cazul rețelelor LAN fără fir, această idee nu funcționează prea bine. Pentru a vedea de ce, analizați fig. 1-36. Să presupunem că A transmite către B, dar raza de acțiune a lui A este prea mică pentru a îl acoperi și pe C. Atunci când C vrea să transmită, el poate asculta mediul înainte să înceapă, dar faptul că nu aude nimic nu înseamnă că transmisia lui va reuși. Standardul 802.11 trebuia să rezolve și această problemă.



**Fig.1-36.** Raza de acțiune a unui singur radio poate să nu acopere întregul sistem.

O a doua problemă care trebuia rezolvată era aceea că semnalul radio poate fi reflectat de anumite obiecte solide și deci poate fi recepționat de mai multe ori (pe diverse căi). Această interferență duce la ceea ce se numește **disipare pe mai multe căi (multipath fading)**.

Cea de-a treia problemă era că o mare parte din aplicații nu erau conștiente de mobilitatea calculatoarelor. De exemplu, multe dintre editoarele de texte aveau o listă de imprimante dintre care una putea fi aleasă pentru tipărirea documentului. Atunci când calculatorul rulează în afara mediului său obișnuit, într-un mediu nou, lista de imprimante implicite nu mai este validă.

Cea de-a patra problemă se referea la mutarea calculatorului portabil din raza de acțiune a unei stații de bază în raza altei stații de bază. Într-un fel sau altul, trebuie găsită o soluție de predare/primire între cele două stații de bază. Deși această problemă apare și la nivelul telefoanelor mobile, ea nu apare la Ethernet și nu avea o soluție la momentul respectiv. Mai exact, rețeaua constă din mai multe celule, fiecare cu propria stație de bază, conectate prin Ethernet, după cum se poate vedea în fig. 1-37. Din exterior, sistemul trebuie să arate ca o singură rețea Ethernet. Conexiunea dintre sistemele 802.11 și lumea exterioară se numește **portal (portal)**.

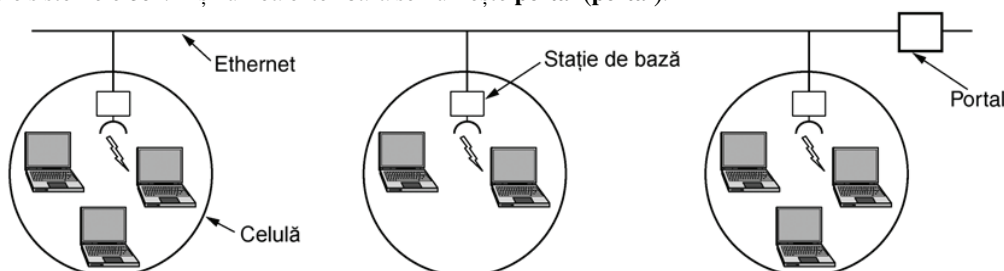


Fig.1-37. O rețea 802.11 cu mai multe celule

După o oarecare muncă, comitetul a obținut o variantă de standard în 1997, variantă care adresa aceste probleme și altele asemănătoare. Rețelele locale fără fir pe care standardul le propunea puteau funcționa la 1 Mbps sau 2 Mbps. Aproape imediat, utilizatorii au început să se plângă de viteză prea scăzută și s-a pornit o nouă campanie pentru obținerea unor standarde mai rapide. În cadrul comitetului a avut loc o ruptură, ceea ce a dus la apariția a două standarde în 1999. Standardul 802.11a folosește o bandă de frecvență mai largă și poate ajunge la viteze mai mari de 54 Mbps. Standardul 802.11b folosește aceeași bandă ca și 802.11, dar folosește o tehnică de modulare diferită și poate ajunge la 11 Mbps. Unii văd în aceasta un amănunt important la nivel psihologic, pentru că 11 Mbps este o viteză mai mare decât a Ethernet-ului original, cu cablu. Este foarte probabil ca standardul original 802.11 de 1 Mbps să moară în curând, dar nu se știe care dintre noile standarde va ieși învingător.

Pentru a face lucrurile încă mai complicate decât erau, comitetul 802 a venit cu o nouă variantă, 802.11g, care folosește tehnica de modulare folosită și de 802.11a, dar banda de frecvență a lui 802.11b. Vom reveni în detaliu la 802.11 în cap. 4.

Faptul că 802.11 urmează să ducă la o revoluție în lumea calculatoarelor și a accesului la Internet este mai presus de orice îndoială. Aeroporturile, gările, hotelurile, magazinele mari și universitățile îl implementează foarte curând. Chiar și cafenelele aflate într-o perioadă de creștere a afacerilor instalează rețele 802.11 pentru ca grupurile de tineri rebeli să poată naviga pe Web în timp ce își savurează cafelele cu lapte. Este foarte probabil că 802.11 să aibă asupra Internet-ului același efect pe care l-au avut portabilele în lumea calculatoarelor: să-l facă mobil.

## 1.6 STANDARDIZAREA REȚELELOR

În prezent există numeroși producători și furnizori, fiecare cu propriile idei despre cum ar trebui realizate rețelele. În lipsa coordonării, ar fi un haos complet și utilizatorii nu ar putea face nimic. Singura soluție este să se convină asupra unor standarde de rețea.

Standardele nu numai că permit diverselor calculatoare să comunice între ele, ci sporesc totodată piața pentru produsele care aderă la un anumit standard, cu următoarele consecințe: producție de masă, profituri financiare, implementări VLSI și alte beneficii care duc la scăderea prețurilor și la acceptarea și mai largă a respectivelor produse. În secțiunile următoare vom arunca o privire asupra importanței, dar puțin cunoscutei, lumi a standardizării internaționale.

Standardele fac parte din două categorii: de facto și de jure. Standardele **de facto** (expresia latină pentru „de fapt”) sunt acelea care pur și simplu au luat ființă, fără să existe vreun plan oficial. Deoarece zeci de producători au decis să copieze aproape identic mașinile IBM, PC-ul IBM și succesorii săi reprezintă standarde de facto pentru calculatoarele birourilor mici și pentru cele casnice. În secțiunile de informatică ale facultăților, UNIX este standardul de facto pentru sisteme de operare.

Standardele **de jure** (expresia latină pentru „de drept”) sunt, prin contrast, standarde legale, adoptate de un anumit organism de standardizare autorizat. Autoritățile de standardizare internaționale sunt, în general, împărțite în două clase: organizații stabilite prin tratate între guvernele naționale și organizații voluntare neguvernamentale. În domeniul standardelor pentru rețele de calculatoare există câteva organizații din fiecare categorie. În continuare vom discuta despre aceste organizații.

### 1.6.1 Who's Who în lumea telecomunicațiilor

Statutul legal al companiilor telefonice de pe glob variază considerabil de la țară la țară. La una din extreme se situează Statele Unite, care au 1500 de firme de telefonie private. Înainte să fie divizată, în 1984, AT&T, cea mai mare corporație din lume la vremea aceea, domina scena complet. AT&T furniza servicii telefonice pentru aproximativ 80 la sută din telefoanele Americii, răspândite pe jumătate din întinderea sa, în timp ce toate celelalte firme asigurau servicii pentru restul clienților (rurali, în majoritatea lor). De la divizarea sa, AT&T continuă să furnizeze servicii de lungă distanță, dar acum o face în concurență cu alte firme. Cele șapte Companii Regionale Bell în care a fost împărțit AT&T-ul, precum și alte numeroase firme independente, oferă servicii de telefonie locală și celulară. Datorită fuziunilor frecvente și a altor modificări de acest tip, această industrie este într-o continuă mișcare.

Firmele americane furnizoare de servicii de comunicații pentru public sunt numite **companii telefonice publice**. Ofertele și prețurile lor sunt descrise printr-un document numit **tarif**. Acesta trebuie să fie aprobat de Comisia Federală de Comunicații, care se ocupă de traficul dintre statele SUA și de traficul internațional, precum și de către comisiile publice de stat pentru traficul în interiorul său.

La cealaltă extremă se află țările în care guvernul are un monopol complet asupra tuturor mijloacelor de comunicație: poșta, telegraful, telefonul și, de multe ori, chiar radioul și televiziunea. Cea mai mare parte a lumii se încadrează în această categorie. În unele cazuri, autoritatea de telecomunicații este o companie naționalizată, în altele, este o simplă filială a guvernului, cunoscută de obicei sub numele de **PTT (Post, Telegraf & Telephone administration)**. Tendința actuală în lumea întreagă este către liberalizare și competiție și împotriva monopolului guvernamental. Majoritatea țărilor europene și-au privatizat – mai mult sau mai puțin – sistemele PTT, dar peste tot acest proces este lent.

Din cauza tuturor acestor diverși furnizori de servicii este nevoie de o compatibilitate la scară mondială. Compatibilitatea asigură faptul că oamenii (și calculatoarele) dintr-o țară pot să-și apeleze partenerii din altă țară. La drept vorbind, această necesitate există de mult timp. În 1865, reprezentanți ai multor guverne din Europa s-au întâlnit pentru a forma predecesorul actualului **ITU (International Telecommunication Union)**, rom: Uniunea Internațională de Telecomunicații). Sarcina Uniunii era standardizarea telecomunicațiilor internaționale, care la vremea aceea însemnau telegrafia. Chiar de atunci, era clar că dacă jumătate din țări foloseau codul Morse și cealaltă jumătate foloseau un cod diferit, atunci vor apare probleme. Când au apărut serviciile de telefonie internațională, ITU a preluat de asemenea și sarcina standardizării telefoniei (telephony – pronunțat și te-LEF-ony). În 1947 ITU a devenit o agenție a Națiunilor Unite. ITU are trei sectoare principale:

1. Sectorul de Radiocomunicații (ITU-R).
2. Sectorul de Standardizare a Telecomunicațiilor (ITU-T).
3. Sectorul de dezvoltare (ITU-D).

ITU-R se ocupă de alocarea frecvențelor internaționale de radio către grupurile concurente interesate. Ne vom referi mai întâi la ITU-T, care se ocupă de sistemele de telefonie și de comunicare de date. Din 1956 până în 1993, ITU-T a fost cunoscut ca **CCITT**, un acronim pentru numele său francez: Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique. La 1 martie 1993, CCITT a fost reorganizat în scopul de a deveni mai puțin birocratic și a fost redenumit pentru a reflecta noul său rol. Atât ITU-T cât și CCITT au dat recomandări în domeniul telefoniei și comunicațiilor de date. Deși, începând cu 1993, recomandările poartă eticheta ITU-T, recomandările CCITT, de genul CCITT X.25, mai sunt încă frecvent întâlnite.

ITU-T are patru clase de membri:

1. Guverne naționale
2. Membri sectoriali
3. Membri asociați
4. Agenții de reglementare

ITU-T are aproximativ 200 de membri guvernamentali, incluzând aproape fiecare membru al Națiunilor Unite. Pentru că SUA nu are un sistem PTT, altcineva trebuia să o reprezinte în cadrul ITU-T. Această sarcină a revenit Departamentului de Stat, probabil pe principiul că ITU-T are de-a face cu țări străine, tocmai specialitatea acestui departament. Sunt aproximativ 500 de membri sectoriali, incluzând aici companiile de telefonie (AT&T, Vodafone, WorldCom), producătorii de echipamente de telecomunicații (Cisco, Nokia, Nortel), producătorii de echipamente de calcul (Compaq, Sun, Toshiba), producătorii de cipuri (Intel, Motorola, TI), companii media (AOL Time, Warner, CBS, Sony) și alte companii direct interesate (Boeing, Samsung, Xerox). Diverse organizații științifice non-profit, precum și consorții industriale sunt de asemenea membri sectoriali (IFIP, IATA). Membrii asociați sunt organizații mai mici care sunt interesate într-un anumit grup de studiu. Agențiile de reglementare sunt reprezentate de oamenii care supraveghează lumea afacerilor în telecomunicații, cum este de exemplu US Federal Communications Commission (Comisia Federală pentru Comunicații).

Sarcina pe care o are ITU-T este de a face recomandări tehnice asupra interfețelor din telefonie, telegrafie și comunicații de date. Acestea devin deseori standarde recunoscute internațional; de exemplu, V.24 (cunoscut în Statele Unite și ca EIA RS-232), specifică amplasarea și semnificația pinilor din conectorul folosit de majoritatea terminalelor asincrone și de modemurile externe.

Nu trebuie uitat că recomandările date de ITU-T sunt numai sugestii tehnice, pe care guvernele le pot adopta sau ignora, după cum doresc (pentru că guvernele sunt asemenea băieților de 13 ani – nu reacționează prea bine dacă li se dau ordine). În practică, o țară care dorește să adopte un standard de telefonie diferit de cel utilizat în restul lumii este liberă să o facă, dar o face cu prețul izolării de toate celelalte țări. Lucrul acesta poate să meargă în cazul Coreei de Nord, dar în altă parte ar fi o adevărată problemă. Fantezia de a numi standardele ITU-T „recomandări” a fost și este necesară pentru a calma forțele naționaliste din multe țări.

Adevărata muncă de la ITU-T se desfășoară în grupuri de studiu, care uneori cuprind chiar și 400 de persoane. Momentan sunt 14 grupuri de studiu, care acoperă subiecte de la facturarea serviciilor telefonice până la serviciile multimedia. Pentru ca până la urmă munca să aibă un rezultat, Grupurile de Studiu se împart în Echipe de Lucru, care se împart la rândul lor în Echipe de Experti, care, la rândul lor, se împart în grupuri ad-hoc. Birocrație a fost, birocrație rămâne.

În pofida tuturor acestor lucruri, ITU-T reușește să ducă la bun sfârșit ceea ce are de făcut. De la fondarea sa, a realizat mai bine de 3000 de recomandări, care ocupă peste 60.000 de pagini. Multe dintre acestea sunt folosite pe scară largă în practică. De exemplu, standardul V.90 56-Kbps pentru modemuri este o recomandare a ITU.

Pe măsură ce telecomunicațiile desăvârșesc tranziția - începută în anii 1980 - de la un caracter strict național la un caracter complet global, standardele vor deveni din ce în ce mai importante și tot mai multe organizații vor dori să devină implicate în producerea acestora. Pentru mai multe informații privind ITU, a se vedea (Irmer, 1994).

### 1.6.2 Who's Who în lumea standardelor internaționale

Standardele internaționale sunt produse de **ISO (International Standards Organization<sup>3</sup>**, rom: Organizația Internațională de Standardizare), o organizație voluntară, neguvernamentală fondată în 1946. Membrii săi sunt organizațiile naționale de standardizare din cele 89 de țări membre. Acești membri cuprind ANSI (S.U.A.), BSI (Marea Britanie), AFNOR (Franța), DIN (Germania) și încă 85 de alte organizații.

ISO produce standarde referitoare la un număr vast de subiecte, începând cu piulițe și șuruburi și terminând cu vopsirea stâlpilor de telefon [pentru a nu menționa aici boabele de cacao (ISO 2451), plasele de pescuit (ISO 1530), lenjeria de damă (ISO 4416) și alte câteva subiecte la care nu v-ați putea gândi ca subiecte de standarde]. În total au fost create peste 5000 de standarde, inclusiv standardele OSI. ISO are aproape 200 de Comitete Tehnice (Technical Committees - TC), numerotate în ordinea creării lor, fiecare comitet ocupându-se de un subiect specific. TC1 se ocupă de piulițe și șuruburi (standardizarea înclinării filetelor). TC97 se ocupă de calculatoare și prelucrarea informației. Fiecare TC are subcomitete (SC-uri) împărțite în grupe de lucru (Work Groups - WG).

Munca propriu-zisă se desfășoară în principal în WG-uri, prin intermediul a peste 100.000 de voluntari din întreaga lume. Mulți dintre acești „voluntari” sunt puși să lucreze la probleme ale ISO de către patronii lor, ale căror produse sunt standardizate. Alții sunt oficiali guvernamentali dornici să vadă că modalitatea de a face lucrurile în țara lor devine standardul internațional. În multe WG-uri sunt activi, de asemenea, experți academici. În ceea ce privește standardele din telecomunicații, ISO și ITU-T cooperează frecvent, (ISO este un membru al ITU-T) în ideea de a evita ironia a două standarde internaționale oficiale și mutual incompatibile.

---

<sup>3</sup>Adevăratul nume pentru ISO este International Organization for Standardization (n.a.)

Număr	Subiect
802.1	Principiile generale și arhitectura LAN-urilor
802.2 ↓	Controlul legăturii logice
802.3 *	Ethernet
802.4 ↓	TokenBus (Jeton pe Magistrală – utilizat câțva timp în fabrici)
802.5	TokenRing (Jeton în Inel – contribuția IBM la lumea LAN)
802.6 ↓	Coadă duală, magistrală duală (rețea metropolitană timpurie)
802.7 ↓	Grupul de consiliere tehnică pe probleme de tehnologii de bandă largă
802.8 †	Grupul de consiliere tehnică pe probleme de tehnologii de fibră optică
802.9 ↓	LAN-uri izocrone pentru aplicații de timp real
802.10 ↓	LAN-uri virtuale și securitate
802.11 *	LAN-uri fără fir
802.12 ↓	Prioritatea cererilor (AnyLAN de la HP)
802.13	Număr cu ghinion. Nimeni nu l-a vrut
802.14 ↓	Modemuri de cablu (decedat: un consorțiu industrial a abordat înainte domeniul)
802.15 *	Rețele personale (Bluetooth)
802.16 *	Comunicații fără fir în bandă largă
802.17	Inel activ de pachete

Fig. 1-38. Grupurile de lucru ale 802.

Cele importante sunt marcate cu \*. Cele marcate cu ↓ hibernează.

Cele marcate cu † au renunțat și s-au desființat.

Reprezentantul S.U.A. în ISO este ANSI (**American National Standards Institute**, rom: Institutul Național American de Standarde), care, în pofida numelui său, este o organizație privată neguvernamentală și nonprofit. Membrii săi sunt producători, companii telefonice publice și alte părți interesate. Standardele ANSI sunt frecvent adoptate de ISO ca standarde internaționale.

Procedura utilizată de ISO pentru adoptarea standardelor este concepută astfel încât să se obțină un consens cât mai larg posibil. Procesul începe când una din organizațiile naționale de standardizare simte nevoia unui standard internațional într-un anumit domeniu. În acel moment, se formează un grup de lucru care vine cu un **CD (Committee Draft)**, rom: proiect de comitet). CD-ul circulă apoi pe la toate organizațiile membre, care au la dispoziție 6 luni pentru a-l supune criticilor. Dacă se primește aprobarea din partea unei majorități substanțiale, atunci se produce un document revizuit, numit **DIS (Draft International Standard)**, rom: proiect de standard internațional), care va circula în scopul de a fi comentat și votat. Pe baza rezultatelor din această rundă, se pregătește, se aprobă și se publică textul final al respectivului **IS (International Standard)**, rom: standard internațional). În domeniile foarte controversate, un CD sau un DIS pot să treacă prin câteva versiuni înainte de a obține suficiente voturi și întregul proces poate dura ani de zile.



**NIST (National Institute of Standards and Technology)**, rom: Institutul Național de Standarde și Tehnologie) este o agenție a Departamentului pentru Comerț al Statelor Unite. NIST a fost cunoscut anterior sub numele de Biroul Național de Standarde. El produce standarde care sunt obligatorii pentru achizițiile făcute de guvernul U.S.A., mai puțin pentru cele care privesc Departamentul de Apărare, acesta având propriile sale standarde.

Un alt actor important din lumea standardelor este **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)**, rom: Institutul Inginerilor Electricieni și Electroniști), cea mai mare organizație profesională din lume. Suplimentar față de producerea a zeci de jurnale și organizarea a numeroase conferințe în fiecare an, IEEE are un grup de standardizare care dezvoltă standarde în domeniul ingineriei electrice și tehnicii de calcul. Comitetul IEEE 802 a standardizat mai multe tipuri de rețele locale. Vom studia o parte dintre rezultatele sale ceva mai târziu în această carte. Munca efectivă este făcută de o sumă de grupuri de lucru, care sunt prezentate în fig. 1-38. Rata de succes a diverselor grupuri ale 802 a fost scăzută, așadar chiar dacă ai un număr de forma 802.x, aceasta nu este o garanție a succesului. Dar impactul poveștilor de succes (în special 802.3 și 802.11) a fost enorm.

### 1.6.3 Who's Who în lumea standardelor Internet

Internet-ul mondial are propriile sale mecanisme de standardizare, foarte diferite de cele ale ITU-T și ISO. Diferența poate fi rezumată grosier spunând că lumea care vine la întâlnirile pentru standardizare ale ITU și ISO poartă costum. Lumea care vine la întâlnirile pentru standardizarea Internet-ului poartă blugi (iar dacă se întâlnesc la San Diego poartă pantaloni scurți și tricouri).

La întâlnirile organizate de ITU-T și ISO e plin de oficiali ai unor corporații și de funcționari guvernamentali pentru care standardizarea reprezintă meseria lor. Ei privesc standardizarea ca un lucru bun și își dedică viețile acestui scop. Lumea implicată în Internet, pe de altă parte, preferă, ca principiu de bază, anarhia. Oricum, dacă sute de milioane de oameni își văd fiecare numai de treaba lor, este puțin probabil să apară vreo modalitate de comunicare. De aceea, standardele, deși regretabile, apar ocazional ca fiind necesare.

Când a fost creat ARPANET-ul, DoD-ul a înființat un comitet neoficial care să îl supravegheze. În 1983 comitetul a fost redenumit **IAB (Internet Activities Board)**, rom: Consiliul Activităților Internet) și a primit o misiune ceva mai amplă: să fie atent ca cercetătorii implicați în ARPANET și Internet să se miște, mai mult sau mai puțin, în aceeași direcție - o activitate care ar putea fi asemănată cu „păstoritul” pisicilor. Semnificația acronimului „IAB” a fost schimbată mai târziu în **Internet Architecture Board** (Consiliul Arhitecturii Internet).

Fiecare din cei aproximativ 10 membri ai IAB-ului conducea un departament care se ocupa de o anumită problemă importantă. IAB-ul se întâlnea de câteva ori pe an pentru a discuta rezultatele și a trimite informări către DoD și NSF, care asigurau la acea vreme majoritatea fondurilor. Când era nevoie de un nou standard (de exemplu, un nou algoritm de dirijare), membrii IAB îl luau în discuție și apoi anunțau schimbarea, astfel ca absolvenții facultăților - care erau sufletul muncii de programare - să îl poată implementa. Comunicările erau puse la dispoziție printr-o serie de rapoarte tehnice, numite **RFC-uri (Request For Comments)**, rom: cereri pentru comentarii). RFC-urile sunt memorate on-line și pot fi citite de oricine este interesat de ele la adresa [www.ietf.org/rfc](http://www.ietf.org/rfc). RFC-urile sunt numerotate în ordinea cronologică a creării lor. Până acum există peste 3000. Ne vom referi la multe dintre ele în cursul acestei cărți.

În 1989 Internet-ul crescuse atât de mult, încât acest stil informal nu mai putea funcționa. Multe firme vindeau la acea vreme produse TCP/IP și nu erau dispuse să le modifice doar pentru că zece cer-



cetători se gândiseră la o idee mai bună. În vara anului 1989, IAB a fost reorganizat. Cercetătorii au fost transferați la **IRTF** (**Internet Research Task Force**, rom: Departamentul de Cercetare Internet), care a fost pus în subordinea IAB-ului, alături de **IETF** (**Internet Engineering Task Force**, rom: Departamentul de Inginerie Internet). IAB-ul a fost repopulat cu persoane care reprezentau un palier de organizații mai larg decât stricta comunitate a cercetătorilor. La început a fost un grup care se auto-perpetua: membrii erau activi pe o perioadă de 2 ani, iar membrii noi erau selectați de către membrii mai vechi. Mai târziu, a fost înființată **Societatea Internet** (**Internet Society**), care reunea oameni interesați de Internet. Societatea Internet este, prin urmare, comparabilă într-un sens cu ACM sau IEEE. Societatea este administrată de un comitet ales, iar comitetul desemnează membrii IAB.

Ideea acestei divizări a fost ca IRTF să se concentreze asupra cercetării pe termen lung, iar IETF să se ocupe de probleme ingineresti pe termen scurt. IETF a fost împărțit în grupuri de lucru, fiecare cu o problemă specifică de rezolvat. Inițial, președinții grupurilor de lucru s-au reunit într-un comitet de organizare, în scopul de a coordona munca inginerască ce le revenea. Preocupările grupurilor de lucru includeau aplicații noi, informații de la utilizatori, integrare OSI, dirijare și adresare, securitate, administrare de rețea, standarde. În final s-au format atât de multe grupuri de lucru (mai mult de 70), încât ele au fost grupate pe domenii, iar comitetul de organizare s-a constituit din președinții domeniilor.

În plus, a fost adoptat un proces de standardizare mai formal, preluat după modelul ISO. Pentru a deveni un standard propus (**Proposed Standard**), ideea fundamentală trebuie să fie complet explicată într-un RFC și să prezinte destul interes din partea comunității pentru a merita să fie luată în considerare. Pentru a avansa la stadiul de proiect de standard (**Draft Standard**), este necesară o implementare de lucru care să fi fost testată în amănunțime de către două situri independente, timp de cel puțin 4 luni. Dacă IAB-ul este convins că ideea e bună și că programul funcționează, atunci poate să declare RFC-ul respectiv ca fiind un Standard Internet. Unele Standarde Internet au devenit standarde ale DoD-ului (MIL-STD), fiind, prin urmare, obligatorii pentru furnizorii DoD-ului. David Clark a făcut odată o remarcă devenită celebră privitoare la standardizarea Internet-ului, care ar consta din „consens aproximativ și programe care merg.”

## 1.7 UNITĂȚI DE MĂSURĂ

Pentru a ne feri de orice confuzie, merită să precizăm de la bun început că în această carte, ca și în lumea științei calculatoarelor în general, vor fi folosite unitățile metrice în locul unităților tradiționale englezești (sistemul furlong-stone-fortnight<sup>4</sup>). Principalele prefixe metrice sunt precizate în fig. 1-39. Ale sunt în general abreviate folosindu-se prima literă, cu unitățile mai mari ca 1 scrise cu majuscule (KB, MB etc.). O excepție (din motive istorice) este Kbps (kilobits per second) pentru kilobiți pe secundă. Astfel, o linie de comunicație de 1 Mbps transmite  $10^6$  biți/secundă, în timp ce pentru 100 ps (psec), ceasul bate la fiecare  $10^{-10}$  secunde. Deoarece denumirile mili și micro încep amândouă cu litera „m”, trebuia făcută o alegere. În mod normal, „m” este folosit pentru mili, iar „μ” (litera greacă *miu*) este folosit pentru micro.

---

<sup>4</sup> furlong = jumătate de milă  
stone = 6,350kg  
fortnight = 2 săptămâni

Exp.	Explicit	Prefix	Exp.	Explicit	Prefix
$10^{-3}$	0.001	milli	$10^3$	1,000	Kilo
$10^{-6}$	0.000001	micro	$10^6$	1,000,000	Mega
$10^{-9}$	0.000000001	nano	$10^9$	1,000,000,000	Giga
$10^{-12}$	0.000000000001	pico	$10^{12}$	1,000,000,000,000	Tera
$10^{-15}$	0.000000000000001	femto	$10^{15}$	1,000,000,000,000,000	Peta
$10^{-18}$	0.000000000000000001	atto	$10^{18}$	1,000,000,000,000,000,000	Exa
$10^{-21}$	0.000000000000000000001	zepto	$10^{21}$	1,000,000,000,000,000,000,000	Zetta
$10^{-24}$	0.000000000000000000000001	yocto	$10^{24}$	1,000,000,000,000,000,000,000,000	Yotta

Fig. 1-39. Principalele prefixe metrice

Este de asemenea important să subliniem că pentru măsurarea dimensiunilor memoriei, discurilor, fișierelor și a bazelor de date se obișnuiește folosirea acestor unități, deși ele au valori ușor modificate. Astfel, kilo reprezintă  $2^{10}$  (1024) și nu de  $10^3$  (1000), pentru că volumului memoriilor sunt întotdeauna puteri ale lui doi. Deci, o memorie de 1 KB are 1024 de octeți, nu 1000. Similar, o memorie de 1 MB are  $2^{20}$  (1.048.576) octeți, o memorie de 1 GB are  $2^{30}$  octeți (1.073.741.824), iar o bază de date de 1 TB are  $2^{40}$  (1.099.511.627.776) octeți. Oricum, o linie de comunicație de 1 Kbps transmite 1000 de biți pe secundă și o rețea locală de 10 Mbps rulează la 10.000.000 biți/secundă, deoarece aceste unități nu sunt puteri ale lui 2. Din păcate, mulți oameni tind să amestece aceste două sisteme, în special pentru capacitatea discurilor. Pentru a evita orice ambiguitate, în această carte vom folosi simbolurile KB, MB, GB pentru  $2^{10}$ ,  $2^{20}$ ,  $2^{30}$ , și simbolurile Kbps, Mbps și Gbps pentru  $10^3$ ,  $10^6$  și  $10^9$  biți pe secundă, respectiv.

## 1.8 RESTUL CĂRȚII ÎN REZUMAT

Cartea de față discută atât principiile cât și practica interconectării calculatoarelor. Majoritatea capitolelor încep printr-o discuție a principiilor relevante, urmată de un număr de exemple care ilustrează principiile respective. Aceste exemple sunt în general preluate din Internet și din rețele fără fir deoarece acestea sunt importante și diferite. Acolo unde este relevant, vor fi date și alte exemple.

Cartea este structurată în concordanță cu modelul hibrid din fig. 1-24. Începând cu cap. 2, pornim la drum de la bază în sus, de-a lungul ierarhiei de protocoale. Cap. 2 prezintă cadrul pentru studierea domeniului comunicațiilor de date. Capitolul acoperă diferite subiecte: transmisii analogice și digitale, multiplexare, comutare, sistemul telefonic trecut, actual și viitor. Acoperă sisteme de transmisie cu cablu, fără cablu și prin satelit. Acest material se referă la nivelul fizic, dar noi ne vom ocupa numai de aspectele arhitecturale, nu de cele privitoare la echipamente. Sunt discutate, de asemenea, câteva exemple de niveluri fizice, cum ar fi rețeaua cu comutare a telefoniei publice, telefoanele mobile și televiziunea prin cablu.

Cap. 3 discută modelul legătură de date și protocoalele sale prin intermediul unui număr de exemple din ce în ce mai complexe. Se realizează, de asemenea, analiza acestor protocoale. După aceea, sunt discutate unele protocoale importante din lumea reală, printre care HDLC (folosit în rețelele de viteză scăzută și medie) și PPP (folosit în Internet).

Cap. 4 se referă la subnivelul de acces la mediu, care face parte din nivelul legătură de date. Problema fundamentală cu care se ocupă este cum să determine cine poate folosi rețeaua - atunci când rețeaua constă dintr-un singur canal partajat, așa cum se întâmplă în majoritatea LAN-urilor și în unele rețele de sateliți. Sunt date multe exemple din domeniul LAN-urilor cu cablu sau fără (în special Ethernet), din cel al MAN-urilor fără fir, din cadrul rețelelor bazate pe Bluetooth și al rețelelor de sateliți. Tot aici sunt discutate și punțile, care se folosesc pentru a interconecta LAN-urile.

Cap. 5 se ocupă de nivelul rețea, în special de dirijare, cu prezentarea mai multor algoritmi de dirijare, atât statici cât și dinamici. Chiar dacă se folosesc algoritmi de rutare foarte buni, dacă traficul cerut este mai mare decât cel pe care îl poate dirija rețeaua, se ajunge la congestia rețelei, așa că se va discuta despre congestie și despre cum poate fi ea evitată. O variantă încă și mai bună decât evitarea congestiei este oferirea unei garanții de calitate a serviciilor. Și acest subiect va fi abordat aici. Interconectarea rețelelor eterogene în inter-rețele conduce la numeroase probleme care sunt discutate aici. Se acordă mare atenție nivelurilor din Internet .

Cap. 6 se ocupă de nivelul transport. Se discută pe larg protocoalele orientate pe conexiuni, deoarece ele sunt necesare în numeroase aplicații. Se discută în detaliu un exemplu de serviciu de transport și implementarea sa. Este prezentat chiar și codul sursă pentru acest exemplu simplu, pentru a se putea demonstra modul în care poate fi el implementat. Ambele protocoale din Internet – UDP și TCP – sunt discutate în detaliu și este abordată problema performanțelor lor. În plus, se discută despre problemele impuse de rețelele fără fir.

Cap. 7 se ocupă de nivelul aplicație, de protocoalele și aplicațiile sale. Primul subiect este DNS, care este cartea de telefoane a Internet-ului. Apoi urmează poșta electronică, inclusiv o discuție despre protocoalele sale. Apoi ne vom muta atenția asupra Web-ului, cu discuții detaliate despre conținut static, conținut dinamic, ce se întâmplă la client, ce se întâmplă pe server, protocoale, performanță, Web fără fir. În cele din urmă vom examina informația multimedia care este transmisă prin rețea, inclusiv fluxuri audio, radio prin Internet și video la cerere.

Cap. 8 se referă la securitatea rețelelor. Acest subiect include aspecte legate de fiecare dintre niveluri, așa că este mai ușor de tratat către final, când toate nivelurile au fost deja explicate pe larg. Capitolul începe cu o introducere în criptografie. În continuare, este prezentat modul în care criptografia poate fi utilizată pentru a securiza comunicațiilor, poșta electronică și Web-ul. Cartea se încheie cu o discuție despre anumite domenii în care securitatea interferează cu intimitatea, libertatea de exprimare, cenzura, precum și alte probleme sociale care decurg de aici.

Cap. 9 conține o listă adnotată de lecturi sugerate, aranjate în ordinea capitolelor. Lista este gândită ca un ajutor pentru cititorii care doresc să continue studiul rețelelor. Capitolul are de asemenea o bibliografie alfabetică a tuturor referințelor citate în această carte.

Situl Web al autorului de la Prentice Hall: <http://www.prenhall.com/tanenbaum> are o pagină cu legături la mai multe sinteze, liste de întrebări frecvente (FAQs), companii, consorții industriale, organizații profesionale, organizații de standardizare, tehnologii, lucrări științifice și altele.

## 1.9 REZUMAT

Rețelele de calculatoare pot fi utilizate pentru numeroase servicii, atât pentru firme cât și pentru persoane particulare. Pentru companii, rețelele de calculatoare personale care folosesc servere par-

tajate asigură accesul la informațiile corporației. De obicei, acestea urmează modelul client-server, cu stațiile de lucru clienți pe mesele de lucru ale angajaților accesând serverele puternice din camera mașinilor. Pentru persoane particulare, rețelele oferă acces la o mulțime de informații și de resurse de divertisment. De cele mai multe ori persoanele particulare accesează Internet-ul folosind un modem pentru a apela un ISP, deși din ce în ce mai mulți utilizatori au chiar și acasă o conexiune Internet fixă, permanentă. Un domeniu care se dezvoltă rapid este acela al rețelor fără fir, care conduc la dezvoltarea de noi aplicații, cum ar fi mobilitatea accesului la poșta electronică și comerțul mobil.

În mare, rețelele pot fi împărțite în LAN-uri, MAN-uri, WAN-uri și inter-rețele, fiecare cu caracteristicile, tehnologiile, vitezele și rolurile sale proprii. LAN-urile acoperă suprafața unei clădiri și lucrează la viteze mari, MAN-urile acoperă suprafața unui oraș – de exemplu rețeaua de televiziune prin cablu, care este actualmente folosită de mulți dintre utilizatori și pentru conectarea la Internet. WAN-urile se întind pe suprafața unei țări sau a unui continent. LAN-urile și MAN-urile sunt necomutate (adică nu au rutere); WAN-urile sunt comutate. Rețelele fără fir devin din ce în ce mai populare, în special la nivelul rețelor locale. Rețelele pot fi interconectate pentru a forma inter-rețele.

Programele de rețea constau din protocoale, adică reguli prin care procesele pot să comunice. Protocoalele pot fi fie fără conexiuni, fie orientate pe conexiuni. Majoritatea rețelor asigură suport pentru ierarhiile de protocoale, fiecare nivel asigurând servicii pentru nivelurile de deasupra sa și izolându-le de detaliile protocoalelor folosite în nivelurile de mai jos. Stivele de protocoale se bazează în mod tipic fie pe modelul OSI, fie pe modelul TCP/IP. Ambele modele posedă niveluri rețea, transport și aplicație, dar ele diferă în ceea ce privește celelalte niveluri. Problemele care apar în procesul de proiectare a acestor protocoale includ multiplexarea, controlul traficului, controlul erorilor și încă altele. O mare parte a acestei cărți este dedicată protocoalelor și proiectării lor.

Rețelele oferă servicii utilizatorilor lor. Aceste servicii pot fi orientate pe conexiune sau fără conexiune. În anumite rețele, serviciile fără conectare sunt oferite la un anumit nivel și pot fi completate cu serviciile orientate pe conexiune oferite de un alt nivel.

Ca rețele bine-cunoscute sunt menționate Internet-ul, rețelele ATM, Ethernet-ul și LAN-ul fără fir, standard denumit IEEE 802.11. Internet-ul a evoluat din ARPANET, prin adăugarea de noi rețele pentru a se forma o inter-rețea. În prezent, Internet-ul este în fapt o colecție de multe mii de rețele și nu o singură rețea. Ceea ce caracterizează această colecție este folosirea stivei TCP/IP peste tot. Rețelele ATM sunt răspândite mai ales în sistemele de telefonie pentru trafic de date intensiv. Ethernet-ul este cea mai populară rețea locală și este implementată în majoritatea companiilor mari și în universități. În fine, rețelele locale fără fir, cu viteze de transfer surprinzător de mari (până la 54 Mbps) încep să fie folosite pe scară largă.

Pentru a putea determina mai multe calculatoare să comunice între ele este nevoie de o importantă muncă de standardizare, atât pentru partea de echipamente (hardware), cât și pentru partea de programe (software). Organizațiile ca ITU-T, ISO, IEEE și IAB administrează diverse părți din procesul de standardizare.

## 1.10 PROBLEME

1. Imaginați-vă că v-ați dresat câinele St. Bernard, pe nume Bernie, ca, în locul clasicei sticle cu rom, să poarte o cutie cu trei benzi de 8 mm. (Când ți se umple discul, respectiva cutie reprezintă o ur-

gență.) Aceste benzi conțin fiecare câte 7 gigabytes. Câinele poate călători până la dvs., oriunde v-ați afla, cu 18 km/h. Pentru ce ordin de distanțe are Bernie o viteză mai mare de transmisie a datelor decât o linie a cărei viteză de transfer (fără supraîncărcare) este de 150 Mbps?

2. O alternativă la un LAN este pur și simplu un mare sistem, cu divizarea timpului cu terminale pentru toți utilizatorii. Prezentați două avantaje ale unui sistem client-server care folosește un LAN.
3. Performanța unui sistem client-server este influențată de doi factori ai rețelei: lărgimea de bandă (câți biți poate transporta într-o secundă) și latența (câte secunde durează transferul primului bit de la client la server). Dați un exemplu de rețea care are și lărgime de bandă ridicată și latență mare. Apoi dați un exemplu de rețea cu lărgime de bandă scăzută și latență mică.
4. Pe lângă lărgime de bandă și latență, ce alt parametru este necesar pentru a caracteriza calitatea serviciilor oferite de o rețea folosită pentru trafic de voce digitalizată?
5. Un factor de întârziere al unui sistem memorează-și-retransmite cu comutare de pachete este cât de mult timp ia operația de stocare și retransmitere a unui mesaj printr-un comutator. Dacă timpul de comutare este de  $10 \mu\text{s}$ , este acesta un factor important în răspunsul unui sistem client-server în care clientul este în New York și serverul în California? Presupuneți că viteza de propagare a semnalului printr-un fir de cupru sau prin fibra optică ar fi de  $2/3$  din viteza luminii în vid.
6. Un sistem client-server folosește o rețea-satelit, cu satelitul amplasat la o înălțime de 40.000 km. În cazul optim, care este întârzierea cu care vine răspunsul la o cerere?
7. În viitor, când toată lumea va avea acasă un terminal conectat la o rețea de calculatoare, vor deveni posibile referendumuri publice imediate pe subiecte de legislație importante. În ultimă instanță ar putea fi chiar eliminate parlamentele, pentru a lăsa voința poporului să se exprime direct. Aspectele pozitive ale unei astfel de democrații directe sunt destul de evidente; discutați unele din aspectele negative.
8. O colecție de cinci rutere trebuie să fie conectată într-o subrețea punct-la-punct. Între două rutere proiectanții pot instala o linie de mare viteză, o linie de viteză medie, o linie de viteză scăzută sau nici o linie. Dacă generarea și examinarea fiecărei topologii pe calculator durează 100 ms, cât timp va dura examinarea tuturor topologiilor pentru a o găsi pe cea care se potrivește cel mai bine cu încărcarea prevăzută?
9. Un grup de  $2^n - 1$  rutere sunt interconectate într-un arbore binar centralizat, cu un ruter în fiecare nod al arborelui. Ruterul  $i$  comunică cu ruterul  $j$  trimițând un mesaj rădăcinii arborelui. Rădăcina trimite apoi mesajul înapoi în jos până la  $j$ . Deduceți o expresie aproximativă pentru numărul mediu de salturi pe mesaj în cazul unui număr  $n$  mare, presupunând că toate perechile de rutere sunt la fel de probabile.
10. Un dezavantaj al unei subrețele cu difuzare este risipa de capacitate datorată multiplelor gazde care încearcă să acceseze canalul în același timp. Ca un exemplu simplist, să presupunem că timpul este împărțit în intervale discrete și fiecare din cele  $n$  gazde încearcă să utilizeze canalul cu probabilitatea  $p$  în timpul fiecărui interval. Ce fracțiune din intervale se pierde datorită coliziunilor?
11. Care sunt două din motivele utilizării protocoalelor organizate pe niveluri?

12. Președintelui Companiei de Vopsele Speciale îi vine ideea să lucreze împreună cu un producător local de bere în scopul de a produce o cutie de bere invizibilă (ca o măsură anti-gunoi). Președintele comandă departamentului său juridic să analizeze ideea, iar acesta cere ajutorul, la rândul său, departamentului de ingineri. Ca rezultat, inginerul șef îl cheamă pe inginerul-șef de la cealaltă firmă pentru a discuta aspectele tehnice ale proiectului. Apoi, inginerii prezintă un raport către departamentele juridice respective, iar acestea aranjează prin telefon aspectele legale. În final, cei doi președinți de firme discută partea financiară a afacerii. Este acesta un exemplu de protocol multinivel în sensul modelului OSI? **6.** Care sunt adresele SAP în cazul difuzării radio FM ?
13. Care este principala diferență între comunicarea fără conexiuni și comunicarea orientată pe conexiuni?
14. Două rețele furnizează, fiecare, servicii orientate pe conexiuni sigure. Una din ele oferă un flux sigur de octeți, iar cealaltă oferă un flux sigur de mesaje. Sunt acestea identice? Dacă da, de ce se face această distincție? Dacă nu, exemplificați prin ce diferă.
15. Ce înseamnă „negociere” atunci când se discută protocoalele de rețea? Dați un exemplu.
16. În fig. 1-19 este prezentat un serviciu. Există și servicii implicite în această figură? Dacă da, unde? Dacă nu, de ce nu?
17. În unele rețele, nivelul legătură de date tratează erorile de transmisie, solicitând retransmiterea cadrelor deteriorate. Dacă probabilitatea de a se strica un cadru este  $p$ , care este numărul mediu de transmisii necesare pentru a trimite un cadru, în cazul în care confirmările nu se pierd niciodată?
18. Care dintre nivelurile OSI se ocupă de fiecare din următoarele sarcini:
- a) Descompunerea fluxului de biți transmiși în cadre.
  - b) Determinarea traseului care trebuie folosit în subrețea.
  - c) TDPU-rile încapsulează pachete sau invers? Discuție.
19. Dacă unitățile de date schimbate la nivelul legătură de date se numesc cadre și unitățile de date schimbate la nivelul rețea se numesc pachete, pachetele încapsulează cadre sau cadrele încapsulează pachete? Explicați răspunsul dat.
20. Un sistem are o ierarhie de protocoale organizată pe  $n$  niveluri. Aplicațiile generează mesaje de lungime  $M$  octeți. La fiecare nivel este adăugat un antet de  $h$  octeți. Ce fracțiune din lățimea benzii rețelei este ocupată de antete?
21. Prezentați două aspecte comune modelului de referință OSI și modelului de referință TCP/IP. Prezentați apoi două aspecte prin care modelele diferă.
22. Care este principala deosebire între TCP și UDP?
23. Subrețeaua din fig. 1-25(b) a fost proiectată pentru a putea rezista unui război nuclear. Câte bombe ar fi necesare pentru a partiționa nodurile sale în două seturi complet deconectate? Presupuneți că orice bombă distruge un nod și toate legăturile conectate cu el.

24. Internet-ul își dublează dimensiunea o dată la aproximativ 18 luni. Deși nimeni nu știe cu siguranță, se estimează numărul gazdelor la 100 de milioane în 2001. Folosiți aceste date pentru a calcula numărul de gazde Internet prevăzut pentru anul 2010. Puteți crede acest scenariu? Explicați de ce da sau de ce nu.
25. La transferul unui fișier între două calculatoare există (cel puțin) două strategii de confirmare. Conform primei strategii, fișierul este descompus în pachete care sunt confirmate individual de către server, dar transferul de fișiere pe ansamblu nu este confirmat. În a doua strategie, pachetele nu sunt confirmate individual, dar la sfârșit este confirmat întregul fișier. Discutați aceste două abordări.
26. De ce folosește ATM-ul celule mici, de lungime fixă?
27. Cât de lung era un bit în standardul original 802.3 măsurat în metri? Folosiți viteza de transmisie de 10 Mbps și presupuneți că viteza de transmisie prin cablu coaxial este de  $2/3$  din viteza de propagare a luminii în vid.
28. O imagine are  $1024 \times 768$  pixeli și reține câte 3 octeți pentru fiecare pixel. Presupuneți că imaginea este necomprimată. Cât durează transmisia ei pe un canal de modem de 56 Kbps ? Dar printr-un modem de cablu de 1 Mbps? Dar prin Ethernet la 10 Mbps? Dar prin Ethernet la 100 Mbps ?
29. Ethernet-ul și rețelele fără fir au unele asemănări și deosebiri. O proprietate a Ethernet-ului este aceea că un singur cadru poate fi transmis la un moment dat pe mediu. Are și 802.11 această proprietate? Discutați răspunsul dat.
30. Rețelele fără fir sunt ușor de instalat, ceea ce le face mai ieftine, deoarece de cele mai mult ori operația de instalare depășește semnificativ costul echipamentelor. Totuși, aceste rețele au și unele dezavantaje. Numiți două dintre ele.
31. Prezentați două avantaje și două dezavantaje ale existenței standardelor internaționale pentru protocoalele de rețea.
32. Atunci când un sistem dispune de o parte permanentă și de o parte detașabilă, de exemplu un cititor de CD-uri și un CD-ROM, este important ca sistemul să fie standardizat, astfel ca diferite firme să poată realiza atât părțile permanente cât și cele mobile și ca ele să se potrivească fără probleme. Dați trei exemple din afara industriei de calculatoare unde există astfel de standarde internaționale. Indicați apoi trei domenii din afara industriei de calculatoare unde nu există astfel de standarde.
33. Alcătuiți o listă de activități pe care le faceți zilnic și în care sunt implicate rețele de calculatoare. Cum ar fi viața voastră alterată dacă aceste rețele ar fi deconectate la un moment dat ?
34. Descoperiți ce rețele sunt utilizate în școala sau la locul de muncă. Descrieți tipurile de rețele, topologiile și metodele de comutare folosite acolo.
35. Programul *ping* vă permite să trimiteți un pachet de test la o locație dată pentru a vedea cât de mult durează până când acesta ajunge acolo și înapoi. Încercați să folosiți *ping* pentru a vedea cât de mult durează transferul pachetului între locul în care vă găsiți și alte câteva locuri cunoscute.

cute. Din aceste date, calculați timpul de tranzit într-o sigură direcție în funcție de distanță. Este bine să folosiți universitățile deoarece locațiile serverelor lor sunt cunoscute foarte bine. De exemplu, *berkeley.edu* este în Berkley, California, *mit.edu* este în Cambridge, Massachusetts, *vu.nl* este în Amsterdam, Olanda, *www.usyd.edu.au* este în Sydney, Australia și *www.uct.ac.za* este în Cape Town, Africa de Sud.

36. Vizitați situl Web al IETF, *www.ietf.org* pentru a vedea ce mai fac. Alegeți un proiect care vă place și scrieți un raport de jumătate de pagină despre problemă și despre o soluție propusă.
37. Standardizarea este foarte importantă în lumea rețelor. ITU și ISO sunt principalele organizații oficiale de standardizare. Vizitați siturile lor Web, *www.itu.org* și *www.iso.org*, respectiv, și aflați despre munca lor de standardizare. Scrieți un scurt raport despre tipurile de lucruri pe care le-au standardizat.
38. Internet-ul este alcătuit dintr-un mare număr de rețele. Aranjarea lor determină topologia Internet-ului. O importantă cantitate de informații despre topologia Internet-ului este disponibilă online. Folosiți un motor de căutare pentru a afla mai multe despre acest subiect și scrieți un scurt raport care să rezume informațiile pe care le-ați găsit.