

# 1. Noțiuni introductive

## 1.1. Cuprins modul

1.	Noțiuni introductive .....	1
1.1.	Internetul .....	2
1.1.1.	Descrierea componentelor .....	2
1.1.2.	Descrierea serviciilor .....	4
1.2.	Protocoale de rețea.....	5
1.3.	Nucleul rețelei .....	5
1.3.1.	Comutare de circuite .....	6
1.3.2.	Comutarea de pachete .....	7
1.3.3.	Comutarea de pachete versus comutarea de circuite .....	8
1.3.4.	Comutare de mesaje .....	9



### Introducere

Această primă unitate de învățare abordează problematica rețelelor de calculatoare și a protocoalelor de comunicații din perspectiva Internet-ului. După prezentarea principalelor elemente hardware/software ale Internet-ului și introducerea unor termeni specifici sunt discutate protocoalele de comunicații care reprezintă elementul central al unei rețele de calculatoare. În a doua parte sunt prezentate principiile care stau la baza realizării unui nucleu de rețea, cu evidențierea avantajelor și dezavantajelor comutării de circuite, pachete și mesaje în condițiile unui profil de trafic specific rețelelor de calculatoare.



### Obiective

După parcurgerea acestei unități de curs studenții vor fi capabili:

- ✓ Să utilizeze conceptele de bază din domeniul rețelelor de calculatoare
- ✓ Să descrie componentele hardware și software ale Internet-ului
- ✓ Să compare comutație de circuite, mesaje și pachete



Durata medie de studiu individual : 2 ore

**Durată medie  
de studiu  
individual**

## **1.2. Internetul**

În cadrul acestui curs vom folosi Internet-ul (care este o rețea specifică de calculatoare) ca principal vehicul în discutarea protocoalelor specifice rețelelor de calculatoare. Întrucât Internet-ul este deosebit de complex atât din punct de vedere al componentelor hardware și software cât și a serviciilor oferite formularea unei definiții concise și în același timp acoperitoare este dificilă.

### **1.2.1. Descrierea componentelor**

- Internet-ul public reprezintă o rețea globală de calculatoare, cu alte cuvinte o rețea care interconectează milioane de dispozitive de calcul din întreaga lume. Majoritatea dintre aceste dispozitive reprezintă stații de lucru tradiționale (PC-uri, MAC-uri, Win/Linux) și servere care reprezintă dispozitive de calcul destinate stocării, procesării și transmiterii informațiilor cum ar fi paginile Web, mesajele e-mail etc. Pe lângă acestea din ce în ce mai multe dispozitive de calcul netradiționale au început să fie conectate la Internet și anume: TV-uri, telefoane, camere de supraveghere video, instalații de climatizare mergând până la mașini de spălat sau prăjitore de pâine. În limbajul specific (jargonul Internet) toate aceste dispozitive sunt denumite *stații gazdă* (eng. host) sau *sisteme capăt* (eng. End system). Aplicațiile Internet, cu care suntem familiari (navigatoare, clienți email etc.) reprezintă *aplicații (programe) de rețea* ce rulează pe astfel de stații gazdă.

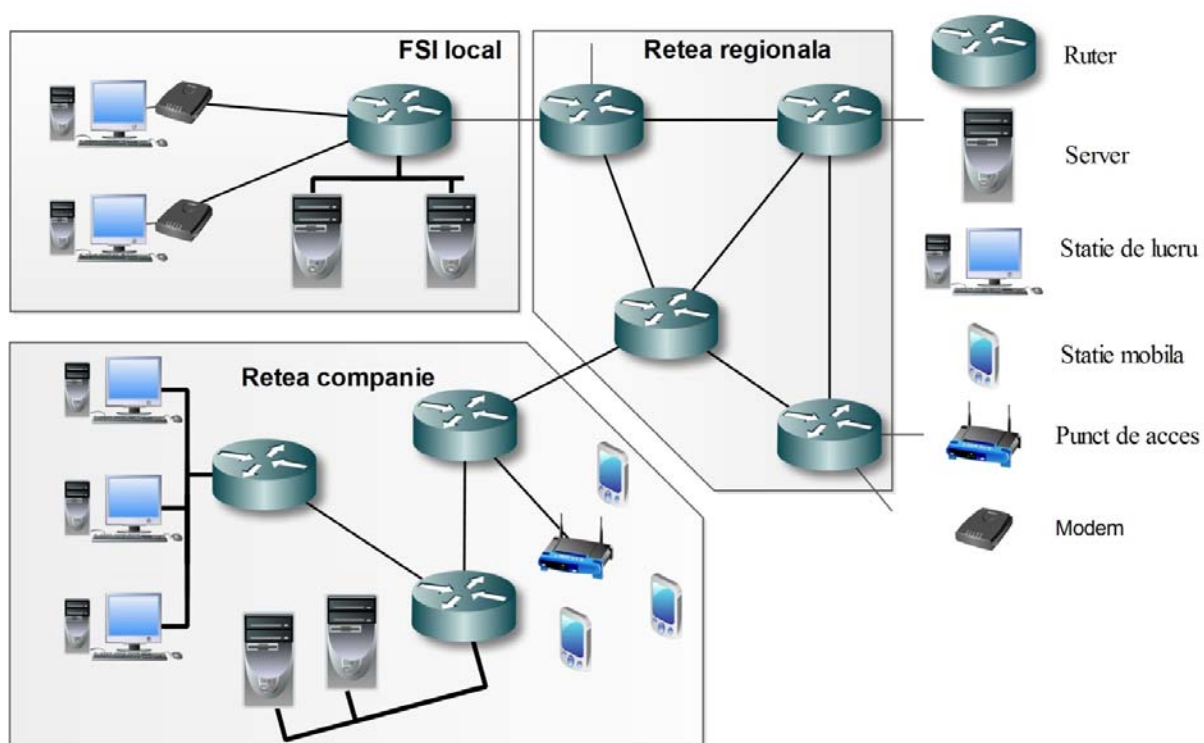


Figura 1.1 O parte din componentele Internetului

- Sistemele gazdă, precum și majoritatea celorlalte componente ale Internet-ului rulează *protocoale* care controlează transmisia și recepția informațiilor în cadrul Internetului : TCP (Transmission Control Protocol) și IP (Internet Protocol) sunt două dintre cele mai importante protocoale din Internet, fiind cunoscute sub denumirea colectivă de *protocolale TCP/IP*.
- Sistemele gazdă sunt interconectate prin intermediul legăturilor de comunicații. Acestea sunt realizate folosind diverse medii fizice: cablu coaxial, cablu torsadat, fibre optice, unde electromagnetice. Diversele legături transmit date cu diferite rate. Rata de transmisie a unei legături este adesea numită *lărgime de bandă*, unitatea de măsură fiind biți/secundă.
- De regulă, sistemele gazdă nu sunt atașate direct unul de altul prin intermediul unei singure legături de comunicație, ci sunt conectate indirect prin intermediul unor dispozitive de comutație denumite *rutere*. Ruterele preiau informația care sosește pe una din legături după care retransmit acea informație pe altă legătură. Formatul informației vehiculate între stațiile gazdă și rutere este specificat de protocolul IP. Calea pe care circulă informația de la stația gazdă expeditoare la sistemul capăt destinație, parcurând o serie de legături de comunicație și rutere este cunoscută sub numele de *rută* sau *cale prin rețea*.
- În loc să se pună la dispoziție o cale dedicată între stațiile gazdă aflate în proces de comunicare, în Internet se folosește o tehnică denumită *comutare de pachete* ce permite mai multor stații gazdă să partajeze o rută sau porțiuni dintr-o rută în același timp. Vom

arăta ulterior că comutarea de pachete duce adesea la o utilizare mai eficientă a legăturilor în raport cu comutarea de circuite (unde fiecare pereche de stații gazdă deține o cale dedicată).

- Internet-ul reprezintă o rețea a rețelelor; astfel Internet-ul reprezintă o mulțime de rețele interconectate deținute și administrate atât public cât și privat. Orice rețea conectată la Internet trebuie să folosească protocolul IP și să se conformeze unor reguli de numire și adresare. În afara acestor câteva constrângeri un operator își poate configura și exploata rețeaua proprie așa cum dorește.
- Topologia Internet-ului (structura interconectărilor dintre părțile componente ale Internet-ului) prezintă o ierarhie slabă. Văzută de jos în sus ierarhia constă din sisteme gazdă conectate la Furnizori locali de Servicii Internet prin intermediul unor rețele de acces. O rețea de acces poate fi o rețea locală în cadrul unei companii sau universități sau o linie telefonică echipată cu modem. Furnizorii locali de Servicii Internet (FSI) sunt conectați la FSI regionali, care la rândul lor sunt conectați la FSI naționali sau internaționali. Adăugarea de elemente noi (rețele noi, rețele de rețele noi) se face într-un mod simplu fără modificarea arhitecturii existente.

La nivel tehnic și de dezvoltare, existența Internet-ului este posibilă prin crearea, testarea și implementarea Standardelor Internet. Aceste standarde sunt dezvoltate de IETF, fiind denumite RFC-uri.

Internet-ul public (rețeaua globală de rețele discutată) este cea rețea denumită în mod tipic Internet. Există și alte rețele private (guvernamentale sau ale unor corporații) ale căror stații gazdă nu sunt accesibile (nu se poate face schimb de mesaje) de la stații gazdă aflate în afara acelei rețele private. Aceste rețele private sunt denumite *intranet-uri*, deoarece folosesc aceleași tehnologii (stații gazdă, rutere, legături, protocoale și standarde) ca și Internet-ul.

### 1.2.2. Descrierea serviciilor

Internet-ul permite *aplicațiilor distribuite* ce rulează pe stațiile gazdă să realizeze schimburi de informații. Internet-ul asigură două tipuri de servicii pentru aplicații.

- servicii orientate pe conexiune – care garantează că datele transmise de o sursă vor fi eventual livrate la destinație unde vor ajunge în ordine și în totalitate.
- servicii neorientate pe conexiune – nu garantează nimic.

Actualmente Internet-ul nu pune la dispoziție un serviciu care să garanteze cât timp va dura livrarea datelor de la sursă la destinație.

### 1.3. Protocoale de rețea

Un protocol de rețea este similar cu un protocol uman, cu observația că entitățile care realizează schimbul de mesaje și întreprind acțiuni sunt componentele hardware sau software ale unei rețele de calculatoare. Toate activitățile din Internet care implică două sau mai multe entități aflate la distanță sunt guvernate de un protocol. Exemple:

- protocoalele de rutare – determină calea parcursă de un pachet de la sursă la destinație.
- protocoale implementate în hardware-ul interfețelor (plăcilor) de rețea aparținând unor dispozitive direct conectate – controlează fluxul de biți pe „cablul” ce leagă aceste dispozitive.
- un protocol de control al congestiei controlează rata la care pachetele sunt trimise de la stația gazdă la stația sursă.

**Definiție:** Un protocol de rețea stabilește formatul și ordinea mesajelor schimbate între două sau mai multe entități comunicante precum și acțiunile care trebuie întreprinse la transmisia și/sau recepționarea unui mesaj.

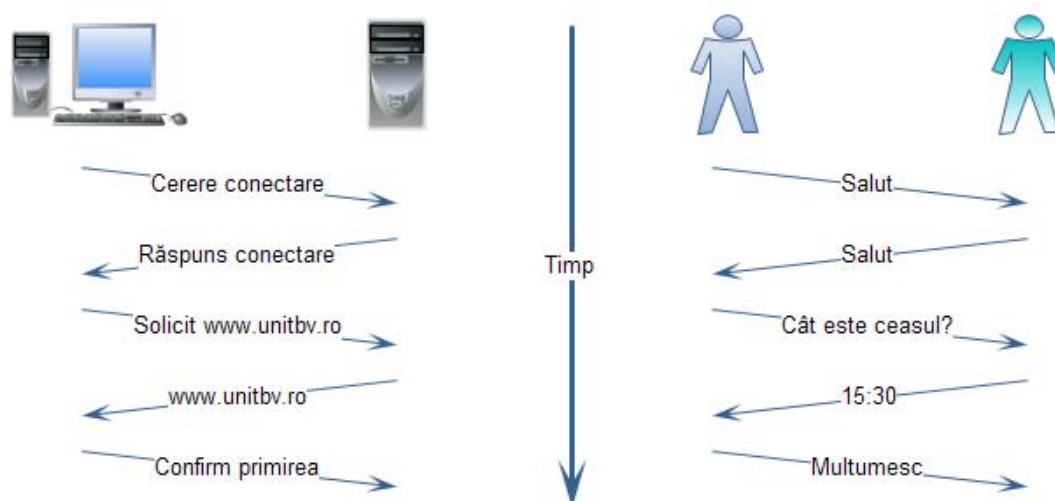


Figura 1.2 Analogie protocol uman – protocol de rețea

Rețelele de calculatoare utilizează în mod extensiv protocoale în scopul îndeplinirii diverselor sarcini. Unele protocoale sunt simple, altele sunt deosebit de complexe.

### 1.4. Nucleul rețelei

Există două abordări fundamentale în construirea unui nucleu de rețea

- comutarea de circuite – resursele necesare desfășurării comunicației (memorie, lărgime de bandă) sunt rezervate pentru întreaga durată a sesiunii.
- comutare de pachete – resursele nu sunt rezervate, mesajele din sesiune utilizând resursele la cerere, ceea ce poate duce la apariția unor timpi de așteptare pentru accesarea legăturii de comunicație.

Un exemplu de rețea cu comutare de circuite este rețeaua telefonică. Înainte de a se putea transmite informații este necesară stabilirea legăturii (rezervarea resurselor). Existența unor resurse rezervate permite emițătorului să transmită date cu o rată constantă, garantată.

În cazul comutării de pachete, datele sunt transmise fără a efectua o rezervare prealabilă. În cazul în care una din legături este congestionată, întrucât există deja alte pachete ce trebuie transmise simultan, datele noastre trebuie să aștepte stocate într-un buffer de memorie la unul dintre rutere, ceea ce duce la apariția unor întârzieri. Despre o astfel de rețea se spune că este de tip *best effort*.

#### 1.4.1. Comutare de circuite

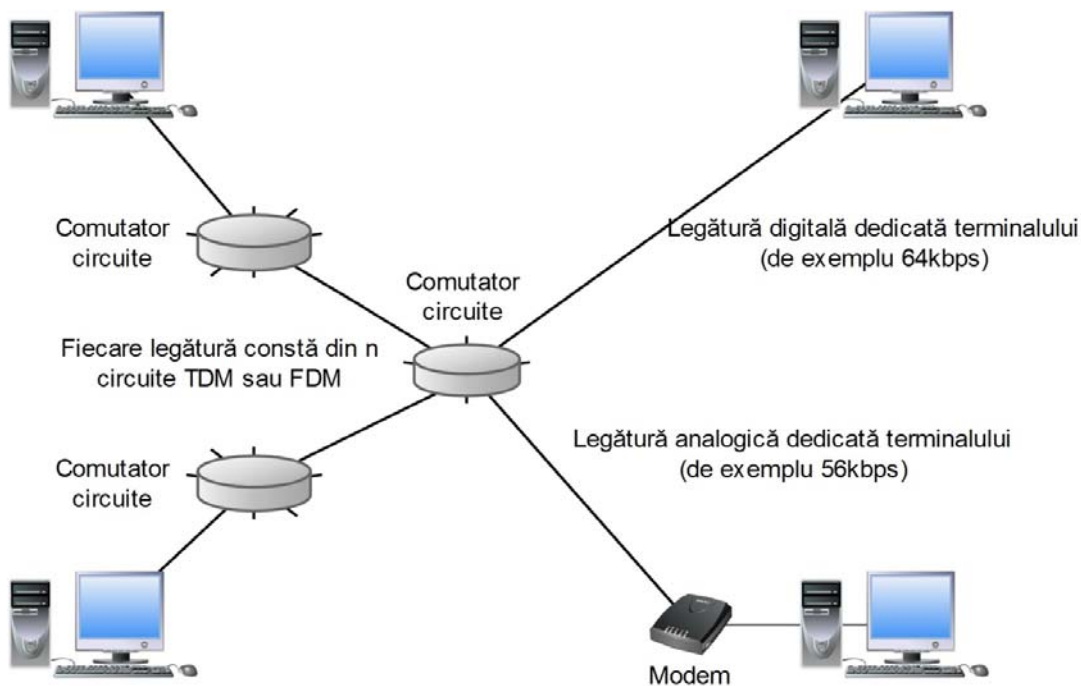


Figura 1.3 Rețea cu comutație de circuite

Să luăm un exemplu numeric. Considerăm că avem de transmis un fișier de 640 Kb de la gazda A la gazda B. Considerăm că toate legăturile din rețea folosesc TDM cu 24 sloturi iar rata de bit este 1.536 Mbps. Considerăm că timpul necesar stabilirii circuitului cap-la-cap este 500ms înainte ca transmisia să poată începe. Cât durează transmisia fișierului ?

Fiecare circuit are o rată de transfer de  $1.536\text{Mbps}/24=64\text{kbps}$ , deci vor fi necesare  $640\text{kb}/64\text{kbps}=10\text{s}$  pentru transmiterea fișierului. La acestea se mai adaugă  $0,5\text{ s}$  necesare stabilirii circuitului, fiind în final necesare  $10,5\text{s}$ . Timpul necesar transmisiei este independent de numărul de legături.

### 1.4.2. Comutarea de pachete

În cadrul rețelelor cu comutare de pachete stația gazdă sursă segmentează mesajele lungi în pachete mai mici. Pe ruta dintre sursă și destinație, fiecare dintre aceste pachete traversează legături de comunicație și comutatoare de pachete (cunoscute ca rutere). Pachetele sunt transmise peste fiecare legătură la o rată egală cu rata maximă a acelei legături. Majoritatea comutatoarelor utilizează o tehnică denumită *stochează și retransmite* (store and forward) pe legăturile de intrare. Aceasta înseamnă că acel comutator trebuie să recepționeze întreg pachetul înainte de putea transmite primul bit din pachet pe legătura de ieșire. Din această cauză comutatoarele de pachete de tip stochează și retransmite introduc întârzieri de retransmisie la intrare pe fiecare dintre legăturile de pe rută, întârzierea fiind proporțională cu lungimea pachetului. Mai exact dacă un pachet are  $L$  biți, iar acesta este transmis pe o legătură cu o capacitate de  $R$  bps, atunci întârzierea la comutator va fi de  $L/R$  s. În cadrul fiecărui ruter există mai multe buffer-e (denumite cozi de așteptare), fiecare legătură având un buffer de intrare și un buffer de ieșire. Buffer-ul de ieșire joacă un rol de cheie în comutare de pachete.

Dacă un pachet sosit trebuie transmis pe o legătură, însă acea legătură este ocupată cu transmiterea altui pachet, atunci pachetul sosit trebuie să aștepte în buffer-ul de ieșire până la eliberarea legăturii. Astfel la întârzierile datorate stocării și retransmisiei, se mai adaugă *întârzieri datorate așteptării în cozi*. Aceste întârzieri sunt variabile și depind de nivelul de congestie din rețea. Întrucât cozile de așteptare au dimensiuni finite există posibilitatea ca un pachet care sosește să găsească buffer-ul de ieșire plin cu alte pachete aflate în așteptare. Acest caz va duce la *pierderea unui pachet* – fie pachetul sosit fie unul dintre pachetele aflate în coada de așteptare va fi șters.

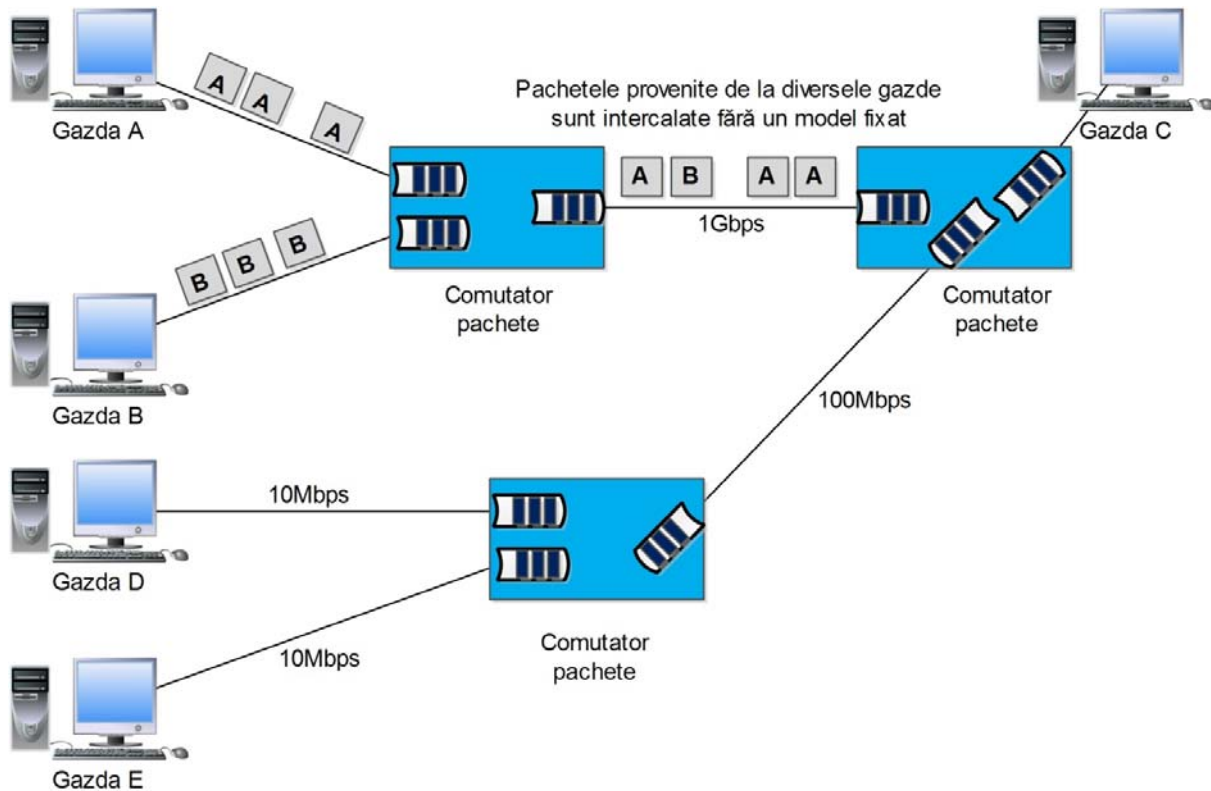


Figura 1.4 Rețea cu comutație de pachete

Considerăm că stațiile gazdă A și B transmit pachete. După cum se poate observa pachetele transmise nu sunt ordonate, pachetele fiind retransmise în ordinea sosirii. Din această cauză se spune despre comutarea de pachete că folosește multiplexare statistică.

Cât durează transmiterea unui pachet de lungime  $L$  între două stații gazdă între care există  $n$  legături, fiecare având rata  $R$ . ( $nL/R$  considerând ca așteptările din cozi și întârzierile de propagare capăt la capăt sunt neglijabile și de asemenea nu există nici un fel de stabilire a conexiunii).

### 1.4.3. Comutarea de pachete versus comutarea de circuite

CP:- utilizare mai eficientă a lungimii de bandă disponibile;

- mai simplă, mai ieftin de implementat;
- ar putea apărea probleme în cazul serviciilor în timp real (apeluri telefonice, videoconferințe) datorate întârzierilor variabile și imprevizibile.

Avantajele comutării de pachete – demonstrație numerică

Presupunem că avem o legătură de 1Mbps partajată între mai mulți utilizatori. Mai presupunem că fiecare utilizator alternează între perioade de activitate (generând date cu o rată



constantă de 100 kbps) și perioade de inactivitate (nu generează date). Utilizatorii sunt activi în medie 10% din timp. Folosind comutarea de circuite, ar trebui rezervați permanent 100 kbps pentru fiecare utilizator, ceea ce înseamnă că vor fi suportați max. 10 utilizatori. În schimb folosind comutarea de pachete, și considerând un număr total de 35 utilizatori, probabilitatea să existe 10 sau mai mulți utilizatori activi la un moment dat este mai mică de  $4 \cdot 10^{-4}$ . Dacă există 10 sau mai puțini utilizatori activi simultan (probabilitate 0,9996) rata cumulată a sosirilor datelor va fi sub 1Mbps (rata legăturii), deci pachetele vor fi transmise fără întârziere, similar cazului în care s-ar folosi comutarea de circuite. Dacă există mai mult de 10 utilizatori activi simultan atunci rata cumulată a sosirilor va depăși capacitatea legăturii, iar coada (buffer-ul) de ieșire va începe să crească (până în momentul în care rata totală scade sub 1Mbp, moment în care coada începe să scadă). Întrucât probabilitatea de a avea 10 sau mai mulți utilizatori activi simultan este extrem de mică, comutarea de pachete va avea aceleași performanțe ca și permutarea de circuite, însă va permite un număr de utilizatori de 3 ori mai mare.

$$p = \sum_{i=10}^{35} C_i^{35} (0,1)^i (0,9)^{35-i}$$

#### 1.4.4. Comutare de mesaje

În rețelele cu comutare de pachete stația gazdă sursă segmentează mesajele lungi în pachete mai mici; stația gazdă receptoare reassemblează pachetele pentru reconstituirea mesajului original. Se pune întrebarea: de ce să segmentăm mesajele lungi, n-am putea să le expediem așa cum sunt evitând complicațiile legate de segmentare și reasamblare. Spunem despre o rețea cu comutare de pachete că efectuează comutare de mesaje atunci când sursa nu segmentează mesajele.

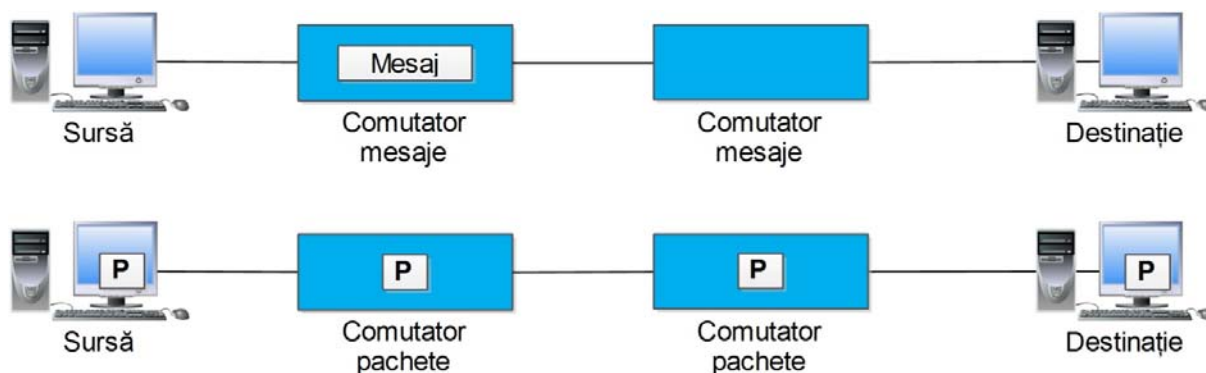


Figura 1.5 Comutare de mesaje

În cazul comutării de mesaje mesajul rămâne intact la traversarea rețelei. Datorită faptului că se utilizează tehnica stochează și retransmite, un comutator de pachete trebuie să recepționeze întreg mesajul înainte de a-l retransmite mai departe.



### Exemple

Prezentăm în continuare un exemplu de calcul al timpului de transfer pentru un mesaj de dimensiune 7,5 Mb ce trebuie transferat de la sursă la destinație printr-o rețea liniară formată din două comutatoare interconectate prin trei legături. Rata de transfer a fiecărei legături este de 1,5Mbps. Cât timp durează transmitia mesajului de la sursă la destinație ?

$$S \rightarrow CP_1: 7,5\text{Mb}/1,5\text{Mbps}=5 \text{ s}$$

$$CP_1 \rightarrow CP_2: 7,5\text{Mb}/1,5\text{Mbps}=5 \text{ s}$$

$$CP_2 \rightarrow D: 7,5\text{Mb}/1,5\text{Mbps}=5 \text{ s}$$

$$\text{Total} \quad \quad \quad 15 \text{ s}$$

Întregul proces este ilustrat în figura de mai jos.

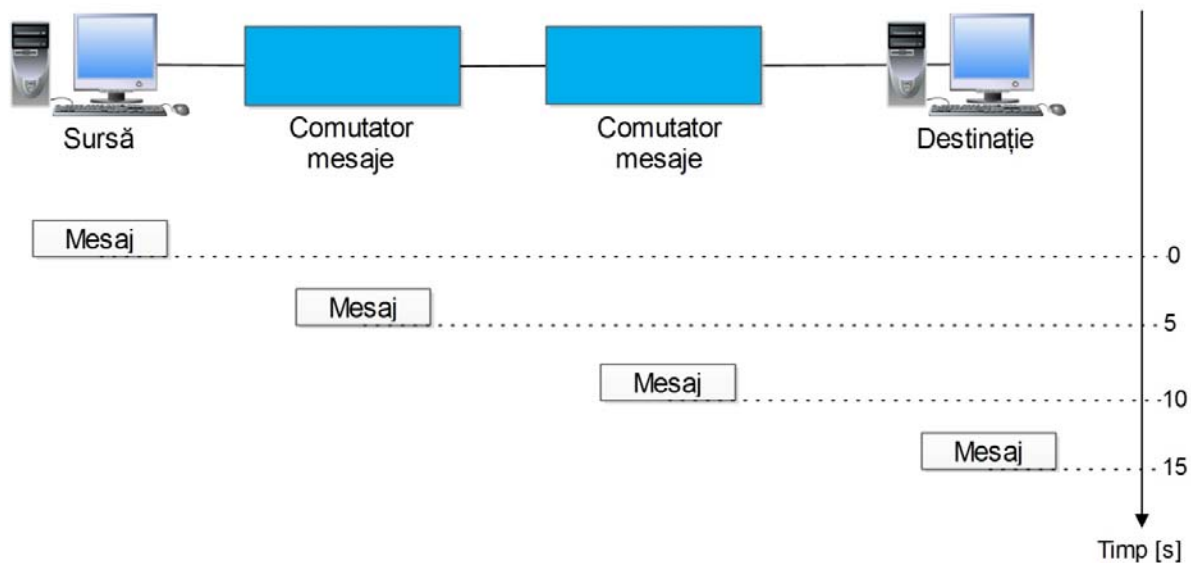


Figura 1.6 Comutare de mesaje – exemplu de calcul



### Exemple

Cât durează transmitia dacă se folosește segmentarea, considerând că un segment are 1,5Kb și nu există congestii? Numărul de pachete rezultate este  $7,5\text{Mb}/1,5 \text{ Kbps}=5000$  pachete. Durează 1 ms pentru a transfera primul pachet de la S la  $CP_1$ ; mai durează 1 ms transferul de la  $CP_1$  la  $CP_2$ . Simultan însă are loc transferul pachetului doi de la S la  $CP_1$ .

Astfel al doilea pachet ajunge la  $CP_1$  după 2 ms. Deci, aplicând aceeași regulă deducem că ultimul pachet va fi complet recepționat de  $CP_1$  după  $5000\text{ms}=5\text{s}$ . De aici mai are de parcurs încă două legături, ceea ce înseamnă că va ajunge la destinație după  $5\text{s } 2\text{ms}=5,002\text{s}$ .

În concluzie comutarea de pachete reduce întârzierile deoarece efectuează transmisii în paralel.

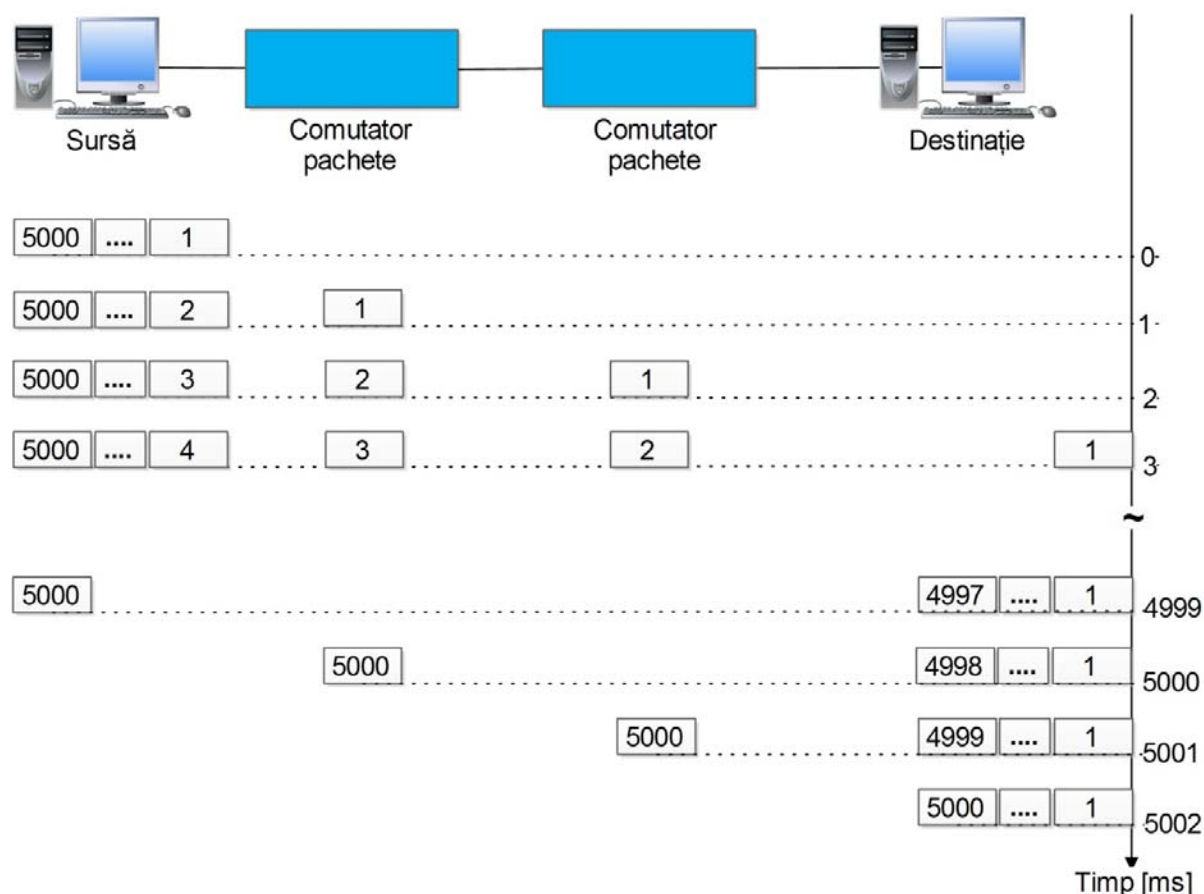


Figura 1.7 Comutație de pachete



## Rezumat

Internet-ul este o rețea mondială de comunicații alcătuită din calculatoare precum și alte dispozitive, interconectate în conformitate cu stiva de protocoale *TCP/IP*. Printr elementele hardware ale Internet-ului se numără: stațiile gazdă, serverele, ruterele și legăturile de comunicație. Programele de rețea și protocoalele reprezintă elemente software ale Internet-ului. Datorită ierarhiei slabe adăugarea de elemente noi (rețele noi, rețele de rețele

noi) se face într-un mod simplu fără modificarea arhitecturii existente.

În scopul îndeplinirii diverselor sarcini rețelele de calculatoare utilizează în mod extensiv protocoale cu diverse grade de complexitate. La momentul de față nu există un serviciu care să garanteze cât durează un transfer de date prin Internet.

Atunci când un sistem capăt trimite date unui alt sistem capăt, sistemul emițător divizează datele în pachete care sunt transferate separat pe baza adresei destinație. Atunci când un comutator de pachete recepționează un pachet, acesta este retrimis pe legătura corespunzătoare. Comutatoarele de pachete utilizează de regulă metoda „memorează-și-retrimite”, deci pachetul trebuie mai întâi stocat complet și abia apoi poate fi retrimis.



#### **Bibliografie**

Andrew S. Tanenbaum, *Computer Networks*, 4/E, Prentice Hall, 2003

James F. Kurose and Keith W. Ross, *Computer Networking A Top Down Approach*, 5/E, Pearson Education, 2009

William Stallings, *Data and Computer Communications*, 9/E, Pearson Education, 2011