

## 3. NIVELUL RETEA

### 3.A. CERINȚELE DE PROIECTARE ALE NIVELULUI RETEA

#### COMUTARE DE PACHETE DE TIP MEMOREAZĂ-ȘI-RETRANSMITE (STORE-AND-FORWARD)

Componentele majore ale sistemului sunt echipamentul companiei de telecomunicații (rutere conectate prin linii de transmisie), prezentat în interiorul ovalului umbrat, și echipamentul clientului, prezentat în afara ovalului. Gazda H1 este conectată direct la unul dintre ruterele companiei de telecomunicații, A, printr-o linie închiriată. În contrast, H2 este într-o rețea LAN cu un ruter, F, deținut și operat de către client. Acest ruter are, deasemeni, și o linie închiriată către echipamentul companiei de telecomunicații.

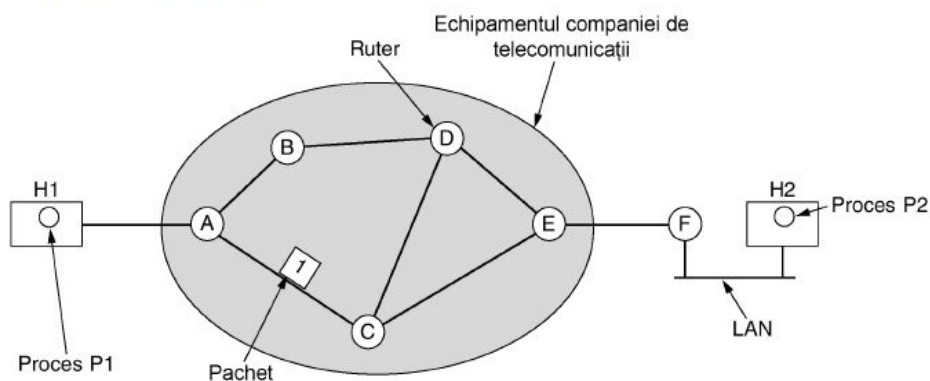


Fig. 5-1. Cadrul protocoalelor nivelului rețea.

O gazdă care are de transmis un pachet îl transmite celui mai apropiat ruter, fie în aceeași rețea LAN, fie printr-o legătură punct la punct cu compania de telecomunicații. Pachetul este memorat acolo până ajunge integral, astfel încât să poată fi verificată suma de control. Apoi este trimis mai departe către următorul ruter de pe traseu, până ajunge la gazda destinație, unde este livrat. Acest mecanism reprezintă comutarea de pachete de tip memorează-și-retransmit.

#### SERVICII FURNIZATE NIVELULUI TRANSPORT

Serviciile nivelului rețea au fost proiectate având în vedere următoarele scopuri:

1. Serviciile trebuie să fie independente de tehnologia ruterului.
2. Nivelul transport trebuie să fie independent de numărul, tipul și topologia rutelor existente

3. Adresele de rețea disponibile la nivelul transport trebuie să folosească o schemă de numerotare uniformă, chiar în cadrul rețelelor LAN și WAN.

Problema centrală a discuției este dacă nivelul rețea trebuie să furnizeze servicii orientate pe conexiune sau servicii neorientate pe conexiune.

O tabără (reprezentată de comunitatea Internet) afirmă că scopul ruterului este de a transfera pachete și nimic mai mult deoarece subrețeaua este inherent nesigură, indiferent cum ar fi proiectată.. Acest punct de vedere duce rapid la concluzia că serviciul rețea trebuie să fie neorientat pe conexiune, cu două primitive SEND PACKET și RECEIVE PACKET și cu foarte puțin în plus.

Cealaltă tabără (reprezentată de companiile de telefoane) afirmă că subrețeaua trebuie să asigure un serviciu orientat pe conexiune sigur.

#### IMPLEMENTAREA SERVICIULUI NEORIENTAT PE CONEXIUNE

Sunt posibile două organizări diferite, în funcție de tipul serviciului oferit. Dacă este oferit un serviciu neorientat pe conexiune, atunci pachetele sunt trimise în subrețea individual și dirijate independent de celelalte.

În acest context, pachetele sunt numite frecvent datagrame (datagrams) (prin analogie cu telegramele), iar subrețeaua este numită subrețea datagramă (datagram subnet). Dacă este folosit serviciul orientat conexiune, atunci, înainte de a trimite pachete de date, trebuie stabilită o cale de la ruterul sursă la ruterul destinație

Această conexiune este numită VC (virtual circuit, circuit virtual), prin analogie cu circuitele fizice care se stabilesc în sistemul telefonic, iar subrețeaua este numită subrețea cu circuite virtuale (virtual-circuit subnet).

Să presupunem că procesul P1 din fig. 5-2 are un mesaj lung pentru procesul P2. El transmite mesajul nivelului transport, cu instrucțiunile de livrare către procesul P2 aflat pe calculatorul gazdă H2. Codul nivelului transport rulează pe calculatorul gazdă H1, de obicei în cadrul sistemului de operare.

Acesta inserează la începutul mesajului un antet corespunzător nivelului transport și transferă rezultatul nivelului rețea, probabil o altă procedură din cadrul sistemului de operare. Să presupunem că mesajul este de patru ori mai lung decât dimensiunea maximă a unui pachet, așa că nivelul rețea trebuie să îl spargă în patru pachete, 1, 2, 3, și 4 și să le trimită pe fiecare în parte ruterului A, folosind un protocol punct-la-punct, de exemplu, PPP. Cum au ajuns la A, pachetele 1, 2 și 3 au fost memorate pentru scurt timp (pentru verificarea sumei de control). Apoi fiecare a fost trimis mai departe către C conform tabelului A. Pachetul 1 a fost apoi trimis mai departe către E și apoi către F. Când a ajuns la F, a fost încapsulat într-un cadru al nivelului legătură de date și trimis către calculatorul gazdă H2 prin rețeaua LAN.

#### IMPLEMENTAREA SERVICIILOR ORIENTATE PE CONEXIUNE

Pentru serviciile orientate conexiune, avem nevoie de o subrețea cu circuite virtuale. Ideea care se stă la baza circuitelor virtuale este evitarea alegerii unei noi căi (rute) pentru fiecare pachet trimis. În schimb, atunci când se stabilește o conexiune, se alege o cale între mașina sursă și mașina destinație, ca parte componentă a inițializării conexiunii și aceasta este memorată în tabelele rutelor.

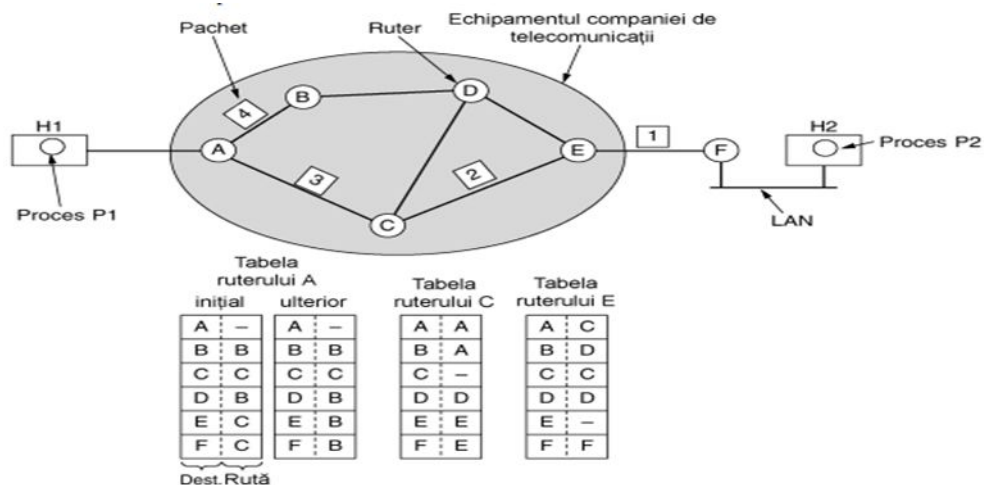


Fig. 5-2. Dirijarea într-o subrețea datagramă.

#### COMPARAȚIE ÎNTRE SUBREȚELE CU CIRCUITE VIRTUALE ȘI SUBREȚELE DATAGRAM

Problemă	Subrețea datagramă	Subrețea cu circuite virtuale (CV)
Stabilirea circuitului	Nu este necesară	Obligatorie
Adresare	Fiecare pachet conține adresa completă pentru sursă și destinație	Fiecare pachet conține un număr mic de CV
Informații de stare	Ruterele nu păstrează informații despre conexiuni	Fiecare CV necesită spațiu pentru tabela ruterului per conexiune
Dirijare	Fiecare pachet este dirijat independent	Calea este stabilită la inițierea CV; toate pachetele o urmează
Efectul defectării ruterului	Nici unul, cu excepția pachetelor pierdute în timpul defectării	Toate circuitele virtuale care trec prin ruterul defect sunt terminate
Calitatea serviciului	Dificil	Simplu, dacă pentru fiecare CV pot fi alocate în avans suficiente resurse
Controlul congestiei	Dificil	Simplu, dacă pentru fiecare CV pot fi alocate în avans suficiente resurse

Fig. 5-4. Comparatie între subrețele datagramă și subrețele cu circuite virtuale.

În interiorul subrețelei există situații în care trebuie să se aleagă între facilități antagoniste specifice fie circuitelor virtuale, fie datagramelor. Un astfel de compromis este acela între spațiul de memorie al ruterului și lățimea de bandă.

Alt compromis este cel între timpul necesar stabilirii circuitului și timpul de analiză a adresei. Folosirea circuitelor virtuale presupune existența unei faze inițiale de stabilire a căii, care cere timp și consumă resurse.

O altă problemă este cea a dimensiunii spațiului necesar pentru tabela din memoria ruterului. O subrețea datagramă necesită o intrare pentru fiecare destinație posibilă, în timp ce o rețea cu circuite virtuale necesită o intrare pentru fiecare circuit virtual.

## 3.B. ALGORITMI DE DIRIJARE

Algoritmul de dirijare (routing algorithm) este acea parte a software-ului nivelului rețea care răspunde de alegerea liniei de ieșire pe care trebuie trimis un pachet recepționat

### CALEA CEA MAI SCURTA

Modelul topologic al unei rețele este un graf în care nodurile corespund comutatoarelor de pachete, iar muchiile corespund liniilor de comunicație.

Asociind fiecărei muchii o lungime, se poate calcula calea cea mai scurtă între oricare două noduri, deci cea mai indicată pentru dirijarea pachetelor între nodurile respective (algoritmul lui Dijkstra).

Lungimea poate avea diverse semnificații. Dacă toate liniile au lungimea unu, găsim caile cu număr minim de noduri intermediare.

Lungimea poate fi distanța geografică între noduri, costul comunicației, întârzierea medie măsurată etc

- Algoritmul lui Dijkstra găsește caile cele mai scurte de la o sursă la toate celelalte noduri.
- El trebuie să dispună de informații topologice generale asupra rețelei: listele nodurilor și legăturilor, costurile asociate legăturilor.
- Prin natură el este centralizat
- Algoritmul este iterativ și calculează la fiecare iterație cea mai scurtă cale de la sursă la un nod al rețelei.

### DIRIJAREA CENTRALIZATA

Varianta centralizată a algoritmului drumurilor minime (Floyd) utilizează un tablou  $A$  al distanțelor minime,  $A[i][j]$  fiind distanța minimă de la nodul  $i$  la nodul  $j$ . Inițial,

Calculul drumurilor minime se face iterativ.

La iterația  $k$ ,  $A[i][j]$  va avea ca valoare cea mai bună distanță între  $i$  și  $j$ , pe care nu conțin noduri numerotate peste  $k$  (exceptând  $i$  și  $j$ ).

Deficiențele acestei metode sunt determinate de:

- vulnerabilitatea rețelei, dependența de funcționarea centrului de control (se recurge la dublarea lui);
- supraîncărcarea traficului prin transmiterea rapoarelor și a tabelelor de dirijare;
- utilizarea în noduri, în anumite perioade, a unor tabele necorelate, datorită recepției la momente de timp distincte a noilor tabele.

### DIRIJAREA IZOLATA

Pachetul receptionat de nod este plasat in coada cea mai scurta. (O varianta ia in considerare lungimea cozilor anumitor linii, selectate conforme cailor celor mai scurte)

Desi nepractic, algoritmul este folosit in aplicatii militare (datorita robustetii sale) sau in comparatii de performanta cu alte tehnici (deoarece are un timp de intirziere minim).

#### DIRIJAREA DISTRIBUITA

Varianta modificata a algoritmului lui Dijkstra care calculeaza drumurile minime de la toate nodurile catre o anumita destinatie.

Conduce in mod natural la o varianta descentralizata

Algoritmul este convergent, asigurand gasirea drumurilor minime intr-un numar finit de pasi

Poate fi utilizat doar pentru datagrame.

#### DIRIJAREA IERARHICA

Se utilizeaza pentru retele de mari dimensiuni la care tabelele de dirijare ar fi voluminoase.

Comutatoarele sint grupate in regiuni, fiecare comutator cunoscind detaliat caile din regiunea proprie, dar necunoscind structura interna a altor regiuni.

Doua regiuni sint legate prin conectarea unui anumit nod din prima regiune cu un anumit nod din a doua regiune.

Tabela de dirijare se poate reduce, ea avind cite o intrare pentru fiecare nod din regiunea proprie si cite o intrare pentru fiecare din celelalte regiuni.

#### INUNDAREA

Un alt algoritm static este inundarea (flooding), în care fiecare pachet recepționat este trimis mai departe pe fiecare linie de ieșire, cu excepția celei pe care a sosit.

Inundarea generează un mare număr de pachete duplicate, de fapt un număr infinit dacă nu se iau unele măsuri pentru a limita acest proces.

## 3.c. ALGORITMI PENTRU CONTROLUL CONGESTIEI

Atunci cand mai multe pachete sunt prezente intr-o subretea performantele se degradeaza. Aceasta situatie se numeste congestie. Congestia poate fi produsa de mai multi factori. Dacă dintr-o dată încep să sosească șiruri de pachete pe trei sau patru linii de intrare și toate necesită aceeași linie de ieșire, atunci se va forma o coadă. Dacă nu există suficientă memorie pentru a le păstra pe toate, unele se vor pierde. Și procesoarele lente pot cauza congestia.

**1. Prealocarea zonelor tampon**

- Este aplicabila circuitelor virtuale si consta in rezervarea uneia sau mai multor zone tampon in fiecare nod intermediar, la deschiderea circuitului. In lipsa de spatiu, se alege o alta cale sau se rejecteaza cererea de stabilire a circuitului.

**2. Distrugerea pachetelor**

- Daca nu exista spatiul necesar memorarii, pachetul receptionat de un nod este ignorat. Deoarece astfel se pot ignora pachete de confirmare, care ar duce la eliberarea spatiului ocupat de pachetele confirmate, se mentine cel putin un tampon de receptie pentru fiecare linie, permitindu-se inspectarea pachetelor primite. De asemenea, se poate limita numarul zonelor tampon de transmisie ale fiecarei linii.

**3. Pachete de permisiune.**

- Se initializeaza reseaua cu pachete de permisiune (in numar fix). Cind un nod vrea sa transmita, el captureaza un pachet de permisiune si trimite in locul lui pachete de date. Receptorul regenereaza pachetul de permisiune. Se garanteaza astfel ca numarul maxim de pachete nu depaseste numarul de pachete de permisiune, fara a se asigura distribuirea lor conform necesitatilor nodurilor. In plus, pierderea pachetelor de permisiune conduce la scaderea capacitatii retelei.

**4. Pachete de soc.**

- Sunt transmise de comutatoare surselor de date pentru a micsora rata de generare a pachetelor.

**EVITAREA BLOCARII DEFINITIVE.**

Blocarea reprezinta o situatie limita a unei retele congestionate, cind lipsa de spatiu impiedica transmiterea vreunui pachet.

O solutie de evitare a blocarii definitive este utilizarea in fiecare nod a  $m+1$  zone tampon,  $m$  fiind lungimea maxima a cailor retelei. Un pachet sosit de la calculatorul gazda local este acceptat in zona 0. In urmatorul nod trece in 1, apoi in 2 s.a.m.d. Zona " $m$ " a unui nod poate fi goala, poate contine un pachet pentru gazda locala, care este livrat, sau are un pachet pentru un nod distant, care este distrus. In toate cazurile zona " $m$ " se elibereaza, putind avansa un pachet din zona " $m-1$ ", apoi " $m-2$ " etc.

Alta varianta pastreaza pentru fiecare pachet o informatie de vechime. La comunicarea dintre doua noduri A si B putem intilni situatiile urmatoare (presupunem ca A are de transmis lui B un pachet mai vechi decit B catre A):

- B are un tampon liber si poate primi cel mai vechi pachet al lui A catre B;
- B nu are un tampon liber, dar are un pachet pentru A si poate primi, prin schimb, cel mai vechi pachet al lui A catre B;
- B nu are nici un tampon liber si nici un pachet catre A; in acest caz, B este fortat sa transmita lui A un pachet la alegere si sa primeasca cel mai vechi pachet al lui A catre B

## 3.D. PROTOCOLUL IP

O datagramă IP constă dintr-o parte de antet și o parte de text. Antetul are o parte fixă de 20 de octeți și o parte opțională cu lungime variabilă. El este transmis în ordinea **big endian** (cel mai semnificativ primul): de la stânga la dreapta, începând cu bitul cel mai semnificativ al câmpului Versiune. (Procesorul SPARC este de tip bigendian; Pentium este de tip **little endian** - cel mai puțin semnificativ primul). Pe mașinile de tip little endian, este necesară o conversie prin program atât la transmisie cât și la recepție.

- Utilizat de sisteme autonome în vederea interconectării
- Serviciu de transmitere de pachete (hosttohost)
- Traducere dintre diferite protocoale legatură de date
- Oferă servicii neorientate-conexiune, nesigure: datagrame
- Fiecare datagramă este independentă de celelalte
- Nu se garantează transmiterea corectă a datagramelor (pierdere, multiplicare,...)
- Folosește doar adresele logice ale gazdelor
- Adresele IP nu sunt identice cu cele ale nivelului MAC (e.g., adresele hardware ale plăcilor de rețea) pentru că IP trebuie să suporte diferite implementări hardware (rețele eterogene)