

2. Clasificarea rețelelor de calculatoare. Standardizarea (modelul ISO-OSI, TCP/IP, Internet)

2.1. Cuprins modul

2. Clasificarea rețelelor de calculatoare. Standardizarea (modelul ISO-OSI, TCP/IP, Internet)	1
2.1. Cuprins modul	1
2.2. Topologii de rețele.....	4
2.3. Necesitatea standardizării.....	5
2.3.1. Modelul ISO-OSI (1984)	6
2.3.2. Modelul TCP/IP și modelul Internet	8
2.4. Încapsularea datelor.....	10



Introducere

Complexitatea domeniului rețelelor de calculatoare precum au generat un volum foarte mare de clasificări ale rețelelor de calculatoare; în acest modul vor fi abordate trei criterii de clasificare.

Vor fi discutate o serie de arhitecturi de rețea importante: modelul de referință OSI, modelul de referință TCP/IP și modelul Internet. 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.

Modulul se încheie printr-o secțiune dedicată procesului de încapsulare/decapsulare datelor, fără de care comunicația într-un sistem complex, așa cum este o rețea de calculatoare, n-ar fi posibilă.



După parcurgerea acestei unități de curs studenții vor fi capabili:

Să clasifice rețelele de calculatoare

Obiective Să enumere și descrie nivelurile modelului ISO/OSI, TCP/IP și Internet

Să compare modelele ISO/OSI, TCP/IP și Internet

Să descrie procesul de încapsulare/decapsulare a datelor



**Durată medie
de studiu
individual**

Durata medie de studiu individual : 2 ore

Numărul mare de producători de soluții de rețea și complexitatea domeniului au generat un volum foarte mare de clasificări ale rețelelor de calculatoare. Cu toate acestea există *trei criterii* care se regăsesc în toate prezentările rețelelor de calculatoare:

- tehnologia de transmisie folosită (rețele cu difuzare, rețele punct la punct)
- modul de acces la mediu (alocare statică, alocare dinamică, alocare aleatoare)
- dimensiunea rețelei (LAN, WAN)

Din punct de vedere al *tehnologiei de transmisie folosite* se deosebesc două mari categorii:

- rețele cu difuzare;
- rețele punct la punct.

Rețelele cu difuzare au ca principală caracteristică existența unui mediu comun la care să aibă acces toate dispozitivele din rețea. Acest mediu comun implică ca oricare din mesaje trimise de o stație să poată fi recepționat de toate celelalte stații din rețea. Implementarea unei rețele bazate pe difuzare presupune și asigurarea unui mecanism de identificare atât a stației sursă cât și a destinatarului. În plus acest tip de rețea, trimițând mesajul tuturor stațiilor, va forța fiecare stație să recepționeze mesajul și apoi să decidă dacă respectivul mesaj îi este sau adresat. Aceasta implică un consum mai mare de bandă și de resurse interne la fiecare stație pentru procesarea mesajelor. Cu toate acestea, soluțiile bazate pe rețele cu difuzare sunt adesea mai ușor de implementat. Un alt avantaj semnificativ al rețelelor cu difuzare este posibilitatea transmiterii unor mesaje către toți membrii grupului sau către un grup de membrii, aceste tipuri de comunicație fiind definite de mecanismul de adresare.

Rețelele de tip *punct la punct* sunt alcătuite din perechi de dispozitive care comunică în mod direct între ele.

Accesul la mediu se referă la un set de reguli pentru a permite accesul tuturor stațiilor la un mediu de comunicație comun. Astfel trebuie găsită o metodă de a da fiecărei stații un interval de timp în care să transmită. Această alocare poate fi de trei tipuri:

- alocare statică (TDMA, FDMA, CDMA)
- dinamică (Token Ring, Token Bus)
- aleatoare (CSMA/CD, CSMA/CA)

În cazul alocării statice, fiecărei stații *i* se alocă o cuantă de timp (TDMA) sau bandă de frecvență (FDMA). Așa cum am arătat acest tip de alocare nu este adecvat pentru traficul în rafală. În cazul *alocării dinamice*, se alocă pe rând câte o cuantă de timp fiecărei stații care dorește să transmită.

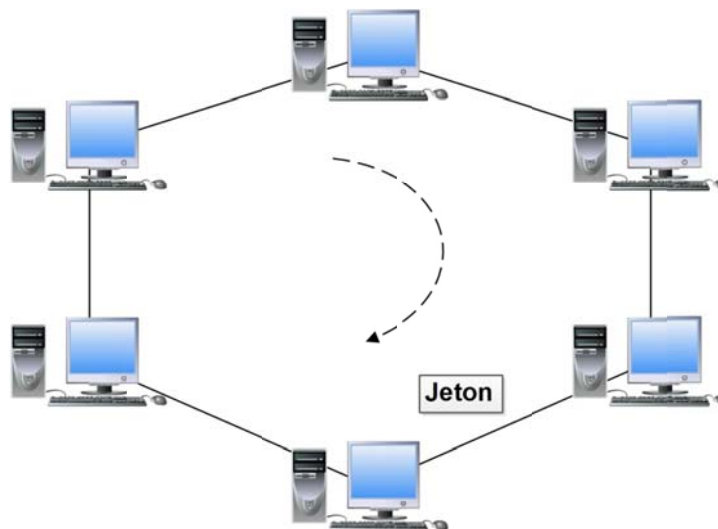


Figura 1 Alocarea dinamică a canalului (Token Ring)

În cazul *alocării aleatoare* fiecare stație procedează astfel: mai întâi ascultă mediul pentru a vedea dacă nu cumva altă stație transmite în acel moment. Dacă da, așteaptă până când nu mai transmite nimeni. După ce detectează mediul liber, începe să transmită. Fiecare stație procedează exact la fel, nu există stații privilegiate, toate au același drept de a începe transmisia. Există evident riscul ca două sau mai multe stații să asculte simultan mediul și când nu se mai transmite, să înceapă ambele să transmită în același timp. În acest caz mesajele se „ciocnesc”, dând naștere unor coliziuni care duc la pierderea ambelor mesaje.

Un alt criteriu pentru clasificarea rețelelor este *dimensiunea* lor. Deși există mai multe categorii de rețele, vom prezenta în continuare cea mai simplă împărțire a rețelelor în funcție de dimensiunea lor:

- LAN (Local Area Network , rom. Rețea locală)
- WAN (Wide Area Network, rom. Rețea larg răspândită geografic)

Rețelele locale, numite și LAN-uri, sunt rețele private localizate într-o singură clădire sau într-un campus de cel mult câțiva kilometri.

O *rețea larg răspândită* geografic, numită WAN acoperă deseori o țară sau un continent. Astfel de rețele aparțin de obicei unor companii de telefonie sau unor furnizori de servicii internet. Clienții se conectează la această rețea folosind echipamente speciale și plătind un abonament. Datorită distanțelor foarte mari nu mai este posibilă instalarea unor rețele proprii de către persoane fizice sau firme mici/mijlocii așa cum era cazul LAN-urilor. LAN-urile și WAN-urile nu se esclud reciproc. Spre exemplu o companie cu sedii aflate la distanță poate recurge la o rețea WAN pentru interconectarea LAN-urilor din cele două locații.

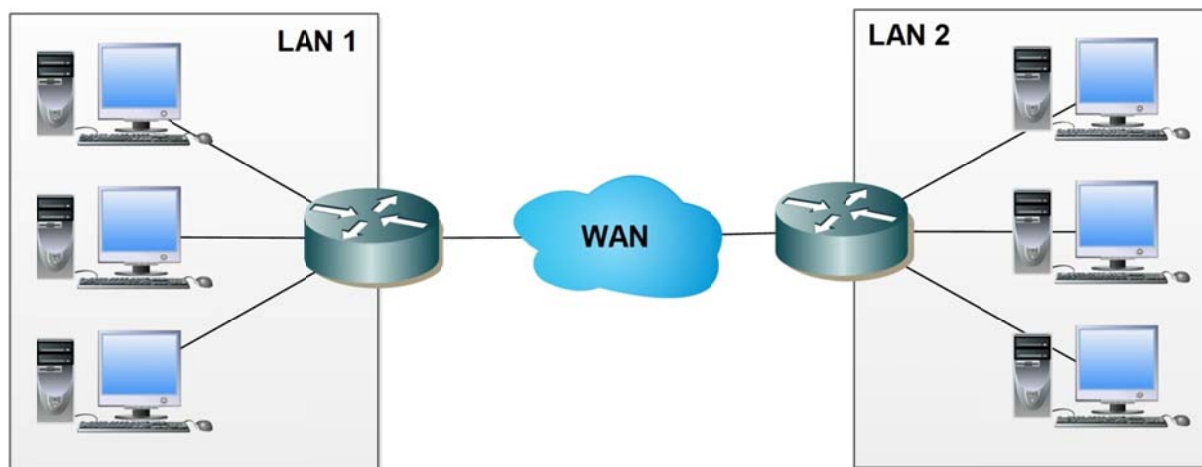


Figura 2 Coexistența LAN-WAN

Rețelele locale instalate la cele două sedii vor fi proprietatea firmei, realizând interconectarea angajaților din interiorul unui sediu, singurele costuri fiind cel inițial de instalare și cel de întreținere (angajează un administrator de rețea). Pentru interconectarea sediilor este însă nevoie de un contract cu un ISP. Aceasta din urmă are deja o infrastructură construită sau cu alte cuvinte are o rețea WAN.

Un alt tip de rețele, uneori tratate separat, îl reprezintă rețelele metropolitane (MAN) care acoperă un oraș. Acestea pot aparține fie unui furnizor de servicii fie unei companii/instituții.

2.2. Topologii de rețele

În funcție de nevoile de comunicare și de cerințele impuse, s-au dezvoltat mai multe topologii. Topologia unei rețele se referă la structura acesteia, la modul de dispunere (fizică) a nodurilor rețelei precum și la logica prin care acestea comunică. Topologiile se pot împărți în două categorii:

- topologii fizice: acestea tratează aspectul spațial și organizarea fizică a stațiilor din rețea și a cablurilor
- topologii logice: acestea se referă la modul în care se realizează comunicare în rețea, la modul în care datele circulă între stații.

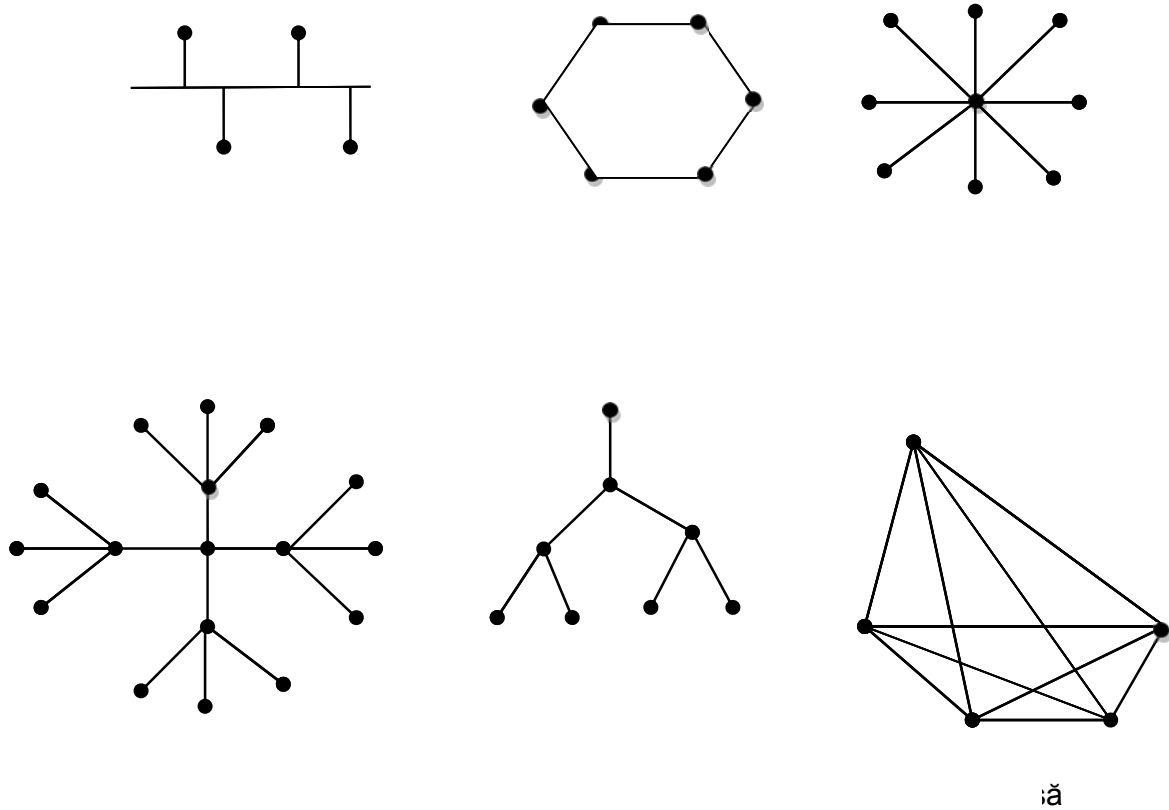


Figura 3 Topologii de rețele

2.3. Necesitatea standardizării

Un standard este un document care impune anumite reguli despre cum trebuie să se desfășoare o anumită activitate, sau un nivel de calitate al unui produs.

În domeniul rețelelor de calculatoare aceste norme se referă doar la aspectele funcționale, nu și cele tehnologice.

Am discutat cursul trecut despre ce este un protocol – fiind vorba în linii mari de niște reguli cu privire la formatul, ordinea mesajelor, acțiuni întreprinse. Ce se întâmplă dacă dorim să standardizăm o transmisie de date între două calculatoare? O astfel de transmisie este o chestiune extrem de complexă, nu poate fi tratată în cadrul unui singur protocol, deoarece acesta nu ar mai trata ceva concret ci o întreagă gamă de posibilități.

Aici intervine *noțiunea de stivă de protocoale*. Principala problemă este împărțirea unei transmisii de date de la o stație gazdă la alta în mai multe faze independente, mai ușor de gestionat. O *stivă de protocoale* este de fapt o succesiune de mai multe faze prin care sunt prelucrate informațiile în cadrul unei transmisii de date.

O stivă de protocoale este o organizare conceptuală a unei ierarhii de protocoale. În fiecare fază / nivel din ierarhie avem posibilitatea alegerii unui protocol, special creat pentru acea fază. S-a ales impunerea de reguli pentru fiecare fază a transmisiei întrucât impunerea de reguli referitoare la întreaga transmisie ar fost prea complicată și nefiabilă. Cu alte cuvinte o stivă de protocoale reprezintă un set de astfel de reguli, precum și împărțirea inițială într-un număr de faze. Un nivel poate fi implementat în hardware, în software sau o combinație a celor două (firmware).

Un model stratificat pentru rețelele de calculatoare s-a impus cu mult timp în urmă atât din considerente practice cât și teoretice; fără un model dezvoltarea, înțelegerea și în ultimă instanță funcționarea rețelelor de calculatoare ar fi imposibilă. Un model stratificat are atât avantaje structurale cât și conceptuale:

- divizează comunicația în rețea, precum și complexitatea acesteia (aspectele implicate) în componente mai mici ce pot fi tratate separat și studiate individual.
- permite diferitelor tipuri de hardware și software să comunice între ele.
- împiedică schimbările dintr-un nivel să producă modificări în alte niveluri, fiecare nivel este separat și se poate dezvolta independent ⇒ modularitate.
- permite existența unor dispozitive de comunicație mai ieftine și mai eficiente care nu cunosc decât protocoalele de pe anumite niveluri.

2.3.1. Modelul ISO-OSI (1984)

ISO (International Organization for Standardization) a studiat diferite tipuri de rețele existente la acea vreme și a propus un model de referință numit OSI (Open Systems Interconnection). Acest model definește șapte niveluri, împreună cu standarde și un set de protocoale pentru ele. Este un model teoretic, creat pentru a schematiza comunicația într-o rețea de calculatoare și pentru a explica traseul informației de la un cap la altul al rețelei. Deși nu este singurul model existent, acesta ilustrează cel mai bine separarea între niveluri și divizarea comunicației în componente mai mici. Deși există protocoale care sunt mai dificil de încadrat pe nivelurile OSI, totuși toți producătorii de echipamente și dezvoltatorii de protocoale noi își definesc produsele / soluțiile cu ajutorul nivelurilor OSI.

7	Aplicație	-	Servicii de rețea, aplicații
6	Prezentare	-	Reprezentarea datelor
5	Sesiune	-	Comunicare între stații
4	Transport	-	Controlul fluxului
3	Rețea	-	Adresare și selecția drumului de urmat
2	Legătură de date	-	Acces la mediu
1	Fizic	-	Transmisie binară: bandă, întârziere, BER

Figura 4 Modelul ISO-OSI, structurat pe șapte niveluri

Nivelul fizic definește specificațiile electrice, mecanice, procedurale și funcționale pentru activarea, menținerea și dezactivarea legăturilor fizice dintre sisteme. În această categorie se încadrează niveluri de tensiune, temporizarea schimbărilor nivelurilor, ratele de transfer fizice, distanța maximă la care se poate transmite. Pe scurt: semnale și mediul de transfer. Scopul nivelului fizic este de a transporta o secvență de biți între două dispozitive conectate direct; pentru aceasta pot fi utilizate diverse medii fizice. Pentru fiecare dintre ele este definită *lărgimea de bandă, întârzierea, rata de eroare la nivel de bit*, costul, ușurința de instalare și întreținere.

Nivelul legătură de date oferă transferul sigur al informației printr-o legătură fizică directă. Pentru a adresa acest lucru, nivelul legătură de date se ocupă cu adresarea fizică, topologia rețelei, accesul la rețea, detecția și anunțarea erorilor și controlul fluxului fizic. Dacă doriți să vă amintiți pe scurt de nivelul 2 gândiți-vă la *cadre* și *controlul accesului la mediu*. Nivelul legătură de date este responsabil de transmiterea corectă a datelor printr-o legătură fizică existentă, între două puncte conectate direct. Nivelul fizic nu poate realiza acest lucru, deoarece la nivel fizic nu se poate vorbi despre nici un fel de date, ci doar despre biți (mai exact reprezentarea acestora prin niveluri de tensiuni, intensitate luminoasă etc.)

Nivelul rețea este un nivel complex ce oferă conectivitate și selectează drumul de urmat între două sisteme gazdă localizate în rețele separate geografic. La acest nivel se realizează adresarea logică a stațiilor

Nivelul transport segmentează datele la sursă și le reasamblează la destinație. Limita dintre nivelul transport și nivelul sesiune poate fi văzută ca granița între protocoalele aplicație și protocoalele de transfer de date. Nivelul transport încearcă să ofere un serviciu de transfer de date care să izoleze nivelurile superioare de orice specificații legate de modul în care se efectuează transportul datelor. Mai concret probleme cum ar fi fiabilitatea sunt specifice acestui nivel; pentru a oferi o comunicație sigură nivelul transport detectează și recuperează erori, controlează fluxul.

Nivelul sesiune se ocupă cu stabilirea, menținerea, gestionarea și terminarea sesiunilor în comunicarea dintre două stații. Aici se realizează sincronizarea între nivelurile prezentare. În plus nivelul sesiune oferă bazele pentru transferul eficient de date, clase de servicii, raportarea excepțiilor la niveluri superioare.

Nivelul prezentare se asigură că informația transmisă de nivelul aplicație al unui sistem poate fi citită și interpretată de nivelul aplicație al sistemului corespondent. Aici se fac dacă este necesar conversii între diferite formate de reprezentare prin intermediul unui format comun, compresii/decompresii, criptare/ decriptare. Pe scurt: reprezentare, format comun al datelor.

Nivelul aplicație este situat cel mai aproape de utilizator, oferind servicii de rețea programelor utilizator. Exemplu: navigator web, client mail etc. Nivelul aplicație stabilește disponibilitatea unui sistem gazdă, procedurile în caz de eroare, verifică integralitatea datelor.

2.3.2. Modelul TCP/IP și modelul Internet

Deși modelul ISO-OSI este general recunoscut, standardul istoric și tehnic pentru Internet este TCP/IP. Acesta a fost creat de US DoD (United States Department of Defense) având ca scop crearea unei rețele care să supraviețuiască oricăror condiții, fiind structurat pe patru niveluri (Aplicație, Transport, Rețea, Acces la mediu). Anumite lucrări utilizează un model Internet structurat pe cinci niveluri (Aplicație, Transport, Rețea, Legătură de date, Fizic) singura diferență fiind divizarea nivelului acces la mediu în nivelurile legătură de date și fizic.

La *nivelul aplicație* se găsesc aplicațiile (programele) de rețea precum și protocoalele lor de nivel aplicație. Nivelul aplicație al Internet-ului (și TCP/IP) include multe protocoale cum ar fi protocolul HTTP (prin care se solicită și obțin documente Web), SMTP (care asigură transferul mesajelor email), FTP (care asigură transfer de fișiere între două sisteme capăt). Vom vedea că anumite funcții ale rețelei ca de exemplu translatarea numelor internet cum ar fi www.ietf.org în adrese de rețea pe 32 (sau 128) de biți se face de asemenea prin intermediul unui protocol specific de nivel aplicație denumit sistemul numelor de domenii, DNS (Domain Name System).

Un protocol al nivelului aplicație este distribuit pe mai multe sistem capăt, aplicația de pe un sistem capăt utilizând protocolul pentru a schimba informații cu aplicația de pe celălalt sistem capăt. Pentru unitățile de informație de la nivel aplicație vom folosi denumirea de **mesaje**.

Modelul Internet	Modelul TCP/IP		Modelul ISO OSI	
Aplicație	Aplicație	Protocoloale	Aplicație	Nivel aplicație
			Prezentare	
			Sesiune	
Transport	Transport		Transport	Nivel flux de date
Rețea	Rețea	Rețele	Rețea	
Legătură de date	Acces la mediu (Gazdă la rețea)		Legătură de date	
Fizic			Fizic	

Figura 5 Modelul TCP/IP și modelul ISO OSI

Nivelul transport transferă mesajele de nivel aplicație între punctele capăt ale aplicațiilor. În Internet (TCP/IP) există două protocoale de transport. TCP (Transmission Control Protocol) pune la dispoziția aplicațiilor un serviciu orientat conexiune, divizând mesajele lungi în segmente mai scurte. Acest serviciu include garantarea livrării la destinație a mesajelor de nivel aplicație, controlul fluxului (ajustarea ratei de transfer a emițătorului pentru a nu inunda receptorul) și controlul congestiei (reducerea ratei de transfer a emițătorului atunci când rețeaua este congestionată). Protocolul UDP (User Datagram Protocol) pune la dispoziția aplicațiilor un serviciu fără conexiune. Acesta asigură un serviciu simplu ce nu garantează livrarea mesajelor, controlul fluxului și nici controlul congestiei. Pentru unitățile de informație de la nivel transport vom folosi denumirea de **segmente**.

Nivelul rețea din Internet are ca scop transferul unităților de date de nivel rețea denumite **datagrame (pachete)** de la orice gazdă sursă la orice destinație independent de rețelele parcurse. Protocolul de nivel transport din cadrul stivei TCP/IP (Internet) de pe o gazdă sursă furnizează nivelului rețea un segment de nivel transport împreună cu o adresă destinație, la fel ca și cum s-ar furniza serviciului poștal o scrisoare având completată adresa destinatarului. Nivelul rețea pune la dispoziție serviciul de livrare a segmentului către nivelul transport al gazdei destinație.

Nivelul rețea din Internet include celebrul protocol IP (Internet Protocol) care definește câmpurile datagramei precum și modul în care sistemele capăt și ruterele procesează aceste câmpuri. Există un singur protocol IP și toate componentele Internet-ului care includ nivelul rețea trebuie să ruleze protocolul IP. Nivelul rețea conține de asemenea protocoale de rutare care determină calea optimă pe care datagramele trebuie să o parcurgă între sursă și destinație. Internet-ul dispune de mai multe protocoale de rutare (RIP, OSPF, BGP etc). Așa cum am menționat anterior Internet-ul este o rețea a rețelelor iar în interiorul unei rețele administratorul

poate folosi ce protocol de rutare dorește. Deși nivelul rețea conține atât protocol IP cât și numeroase protocoale de rutare, acesta este adesea referit ca nivelul IP, reflectând faptul că IP-ul este cel care ține Internet-ul la oaltă.

Nivelul acces la mediu (doar la modelul TCP/IP) se ocupă de toate problemele legate de transmiterea efectivă a unei datagramă IP pe o legătură fizică, incluzând toate aspectele legate de tehnologii și medii de transmisie. Include nivelurile fizic și legătură de date de la OSI.

Nivelul rețea din Internet rutează o datagramă printr-o serie de rutere între sursă și destinație. Pentru a transfera un pachet de la un nod (gazdă sau ruter) la următorul nod de pe rută, nivelul rețea folosește serviciile nivelului *legătură de date*. În particular, la fiecare nod, nivelul rețea transferă datagrama nivelului legătură de date care livrează datagrama următorului nod de pe rută. La acest nod nivelul legătură de date furnizează datagrama nivelului rețea.

Serviciile asigurate de nivelul legătură de date depind de protocolul de nivel legătură de date folosit pe acea legătură. Spre exemplu anumite protocoale de nivel legătură de date asigură livrări fiabile pe legătura dintre nodul emițător și cel receptor. Acest serviciu de livrare fiabilă este diferit de serviciul de livrare fiabilă pus la dispoziție de TCP, care asigură transferuri fiabile între sistemele capăt. Exemple de protocoale (tehnologii) de nivel legătură de date Ethernet, WiFi, PPP (Point-to-Point Protocol). Întrucât o datagramă trebuie în mod tipic să traverseze mai multe legături de la sursă la destinație, aceasta poate fi manipulată de diverse protocoale de nivel legătură de date pe diversele legături de-a lungul rutei. De exemplu o datagramă poate fi manipulată de Ethernet pe o legătură și de PPP pe altă legătură. Nivelul rețea va beneficia de servicii diferite de la fiecare din protocoalele de nivel legătură. Unitățile de date de la nivel legătură de date sunt denumite de regulă **cadre**.

Sarcina nivelului legătură de date este să transfere cadre de la un element de rețea la altul direct conectat pe când sarcina *nivelului fizic* este să transfere biții individuali din care este compus cadrul de la un transceptor la altul. Protocoalele de la acest nivel sunt din nou dependente de legătură și de asemenea dependente de mediul de transmisie (cablu torsadat de cupru, fibră optică). De exemplu Ethernet-ul are mai multe protocoale de nivel fizic: unul pentru cablu torsadat, altul pentru cablu coaxial, altul pentru fibră optică etc. În fiecare caz un bit este transferat în mod diferit pe fiecare legătură.

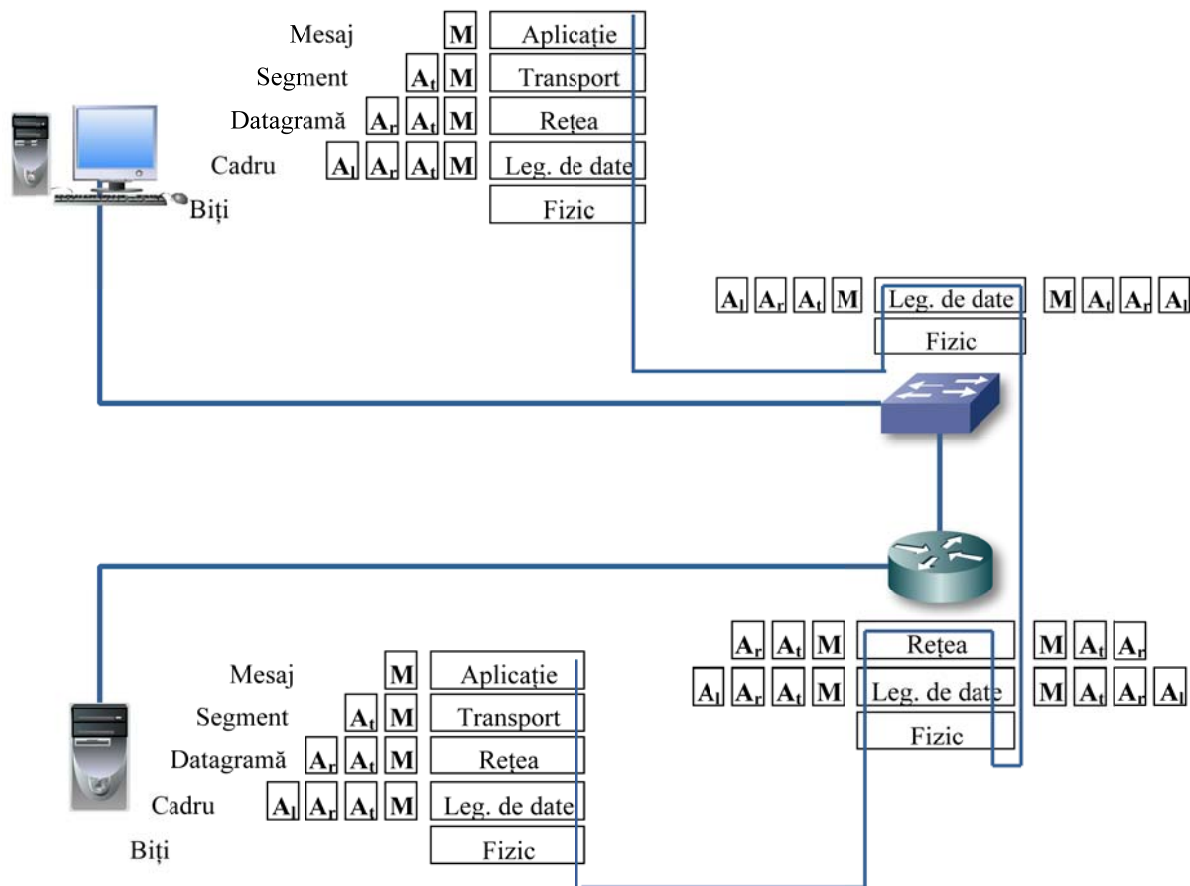
2.4. Încapsularea datelor

Înainte ca datele să fie transmise ele trec printr-un proces de încapsulare, fiecare nivel adăugând un antet sau o încheiere specifice. În acest fel protocoalele de pe fiecare nivel pot comunica între sursă și destinație independent de celelalte niveluri. La recepție are loc un proces

de decapsulare, antetele și încheierea fiind înlăturate iar informație este livrată nivelului superior în funcție de aceste date. Prin procesul de încapsulare-decapsulare devine posibilă comunicarea între nivelurile analoge de la sursă și destinație.

Fiecare nivel comunică cu nivelurile analoage prin intermediul unor unități de date proprii (Protocol Data Unit, PDU). Aceste unități de date sunt construite prin adăugarea unui antet și eventual a unei încheieri la datele primite de la nivelul superior. Fiecare tip de unitate de date pentru nivelurile OSI 1, 2, 3, 4 și 5-7 poartă nume consacrate (biți, cadre, pachete/datagrame, segmente, mesaje).

Figura 6 prezintă calea efectivă și fazele prin care sunt prelucrate datele pornind de la sistemul gazdă expeditor, parcurgând mai departe în ambele sensuri stivele unor echipamente de rețea pentru ca în final să parcurgă de jos în sus stiva gazdei destinație. Ruterele și comutatoarele de nivel legătură (eng. link-layer switch) sunt echipamente de rețea care efectuează comutare de pachete. În mod similar sistemelor capăt, atât ruterele cât și comutatoarele au hardware-ul și software-ul organizat pe niveluri. Acestea însă nu implementează toate niveluri din stiva OSI ci doar o parte din niveluri inferioare. Comutatoarele de nivel legătură implementează doar nivelurile 1 și 2. Ruterele implementează nivelurile 1, 2 și 3. Aceasta înseamnă că ruterele pot opera cu pachete IP iar comutatoarele nu. Deci comutatoarele nu pot opera cu adresele sursă și destinație din antetul IP, însă pot opera cu adresele fizice ale cadrelor. Stațiile gazdă implementează toate nivelurile din stiva OSI. Există și echipamente care implementează doar nivelul fizic (repetoare, media-convertoare etc).



Rezumat



Există *trei criterii* de clasificare a rețelelor de calculatoare care se regăsesc în toate prezentările: tehnologia de transmisie folosită (rețele cu difuzare, rețele punct la punct), modul de acces la mediu (alocare statică, alocare dinamică, alocare aleatoare), dimensiunea rețelei (LAN, WAN). Topologia unei rețele se referă la structura acesteia, la modul de dispunere (fizică) a nodurilor rețelei precum și la logica prin care acestea comunică; astfel vor exista topologii fizice și topologii logice.

O rețea de calculatoare utilizează de regulă ai multe protocoale. Pentru a administra această complexitate, protocoalele sunt organizate pe niveluri; nivelurile de protocoale sunt grupate într-o stivă de protocoale. Spre exemplu Internet-ul are protocoalele organizate pe cinci niveluri: aplicație, transport.

Rețea, legătură de date și fizic.

Atunci când procesul aplicație de la emițător furnizează o unitate de date de nivel aplicație (mesaj aplicație) nivelului transport , acel mesaj devine încărcătura utilă a segmentului de nivel transport. Segmentul mai conține și un antet care permite nivelului transport de la receptor să livreze mesajul aplicație corespunzătoare. În continuare segmentul este livrat nivelului rețea unde acesta este încapsulat într-o datagramă. La nivel legătură date datagrama este încapsulată într-un cadru. La nivel fizic informația este reprezentată sub forma unei tensiuni electrice, impuls luminos etc. având loc Transmisia efectivă pe mediul de comunicație



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