

CAPITOLUL 4

REȚELE LOCALE DE CALCULATOARE

4.1 Prezentare generală

O rețea locală (LAN - Local Area Network) permite unui număr de sisteme independente, dispuse într-o arie geografică relativ restrânsă, să comunice direct unul cu altul folosind un mediu de comunicație fizic (definiție IEEE). Într-o rețea locală, de regulă, mediul de comunicație este utilizat în comun de către mai multe sisteme pentru comunicația directă între ele, spre deosebire de rețelele ierarhice, controlate central, la care comunicațiile au loc prin intermediul unei unități centrale. Debitul datelor este mare, de la 1 Mb/s la 100 Mb/s. Deoarece distanțele de transmisiune sunt mici procentul de erori este mic. Având în vedere aria restrânsă pe care o acoperă o rețea locală, cea a unei clădiri sau a unui grup de clădiri, aceste rețele sunt proprietate privată și de folosință particulară, nu publică. Instalarea, dezvoltarea, întreținerea și reconfigurarea acestor rețele nu ridică probleme deosebite. Rețelele locale permit utilizarea eficientă a resurselor partajabile (sisteme de calcul, baze de date, imprimante, etc.). Interconectând rețelele locale apropiate și distante prin echipamente adecvate, de interconectare și de comunicație, se pot obține rețele de arie mare (WAN - Wide Area Network).

Deoarece în rețelele locale suportul fizic este utilizat în comun de către mai multe calculatoare este nevoie de o metodă de acces pentru a preîntâmpina și rezolva situațiile în care mai mulți utilizatori au acces simultan la mediul de transmisiune. În plus, în multe dintre rețelele locale, informația emisă de un utilizator poate fi recepționată de către toți ceilalți, deși ea este destinată unui anumit utilizator. Din aceste motive modelul OSI nu poate fi preluat ca atare, în întregime, și pentru rețelele locale.

Data fiind diversitatea rețelelor locale puse în funcțiune, în 1980 s-a constituit comitetul 802 al IEEE având ca sarcină elaborarea standardelor pentru aceste tipuri de rețele. De atunci comitetul a elaborat și continuă să elaboreze o familie de standarde, cunoscute sub denumirea "Standardele IEEE 802".

Desigur, este de dorit ca modelul corespunzător rețelelor locale să fie cât mai apropiat de modelul OSI și să fie transparent la topologia rețelei, la viteza de transmisiune, la suportul de comunicații și la alte elemente ce diferă de la o rețea la alta.

Dacă protocoalele relative la metodele de adresare și la definirea formatelor mesajelor pot fi ușor specificate, alte aspecte (cum ar fi procedura pentru controlul accesului la mediu) sunt dificil de specificat datorită dependenței lor de topologia rețelei, de viteza de transmisiune și de suportul utilizat.

Din aceste cauze comitetul IEEE 802 nu s-a orientat către un standard unic, ci către o serie de standarde care să răspundă mai bine diversității acestor rețele. Practic, standardele IEEE 802 corespund unei implementări particulare a nivelelor 1 și 2 ale modelului OSI, celelalte nivele rămânând la fel cu cele din modelul OSI.

Aceste două nivele au fost restructurate ținând seama de specificul rețelelor locale. În fapt, nivelele inferioare trebuie să asigure următoarele funcțiuni și deziderate:

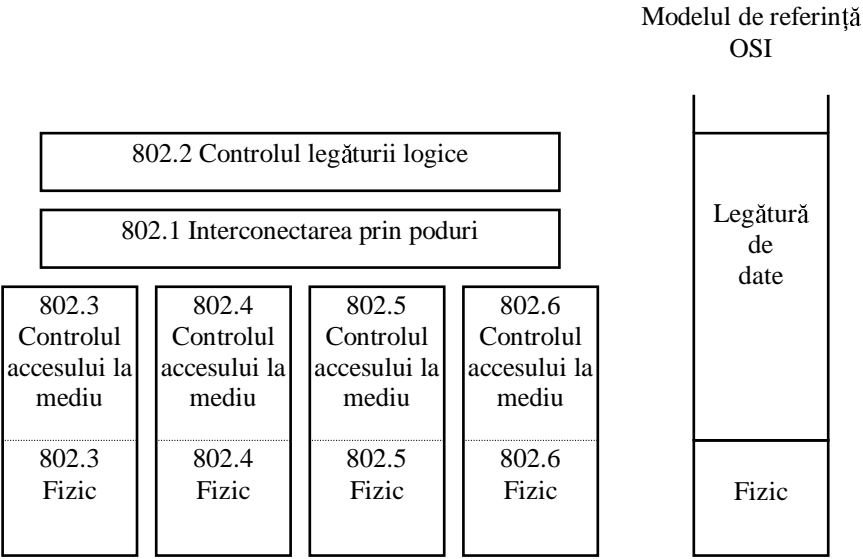
- interfața cu suportul fizic de transmisiune, care poate permite debite mari (1 - 100 Mb/s) și care necesită măsuri corespunzătoare;
- nivelul legătură de date, prin protocolul său, să nu reducă debitul efectiv și să fie adaptat conexiunilor multipunct;
- metoda de acces la suportul de transmisiune;
- interfața cu utilizatorul sau cu alte rețele.

Nivelul legătură de date din modelul de referință a fost divizat în două subnivele, așa cum arată standardul IEEE 802, anterior notat IEEE 802.1:

- un subnivel relativ la controlul accesului la mediu (MAC - Medium Access Control);
- un subnivel independent de metoda de acces, cu rolul de a controla legătura de date, numit controlul legăturii logice (LLC - Logical Link Control).

În familia de standarde 802 sunt normalizate mai multe metode de control al accesului la mediu, fiecareia dintre ele corespunzându-i un anumit standard care specifică și nivelul fizic. În figura 4.1 este prezentată relația dintre modelul OSI și o parte din standardele 802.

Este important să se facă distincție între două moduri diferite de a caracteriza o rețea locală: *tehnologia legăturii de date LAN*, utilizată pentru a implementa o rețea de calculatoare și *software-ul de rețea*, utilizat pentru a furniza utilizatorului rețelei facilitățile oferite de aceasta.



802.3 Rețele CSMA / CD
802.4 Rețele liniare cu jeton (Token-passing bus)
802.5 Rețele inel cu jeton (Token-passing ring)
802.6 Rețele DQDB (Distributed queue dual bus)

Fig. 4.1 Corespondența standardelor 802 cu modelul OSI

Din punct de vedere al tehnologiei de realizare a legăturii de date LAN (mediul de transmisiune, semnale folosite, topologia rețelei, metoda de control al accesului la mediu) există diferite tipuri de rețele: liniară (bus) CSMA/CD, liniară cu jeton (token bus), inel cu jeton (token ring) etc.

Subnivelul LLC, ca subnivel superior al legăturii de date, trebuie să asigure pentru utilizatorii serviciilor oferite de legătura de date transparența la tehnologia de realizare a acesteia. Altfel spus, subnivelul LLC trebuie să prezinte o interfață unică pentru utilizatorii legăturii de date LAN.

Desigur, trebuie făcută distincție între o legătură de date LAN individuală, care este folosită pentru comunicația de la nivelul legătură de date și o rețea locală completă, pe care utilizatorii o folosesc pentru diferitele servicii de rețea. Utilizatorul unei legături de date LAN este, în mod uzual, o componentă a sistemului de operare rețea (NOS - Network Operating System), așa cum se arată în figura 4.2.

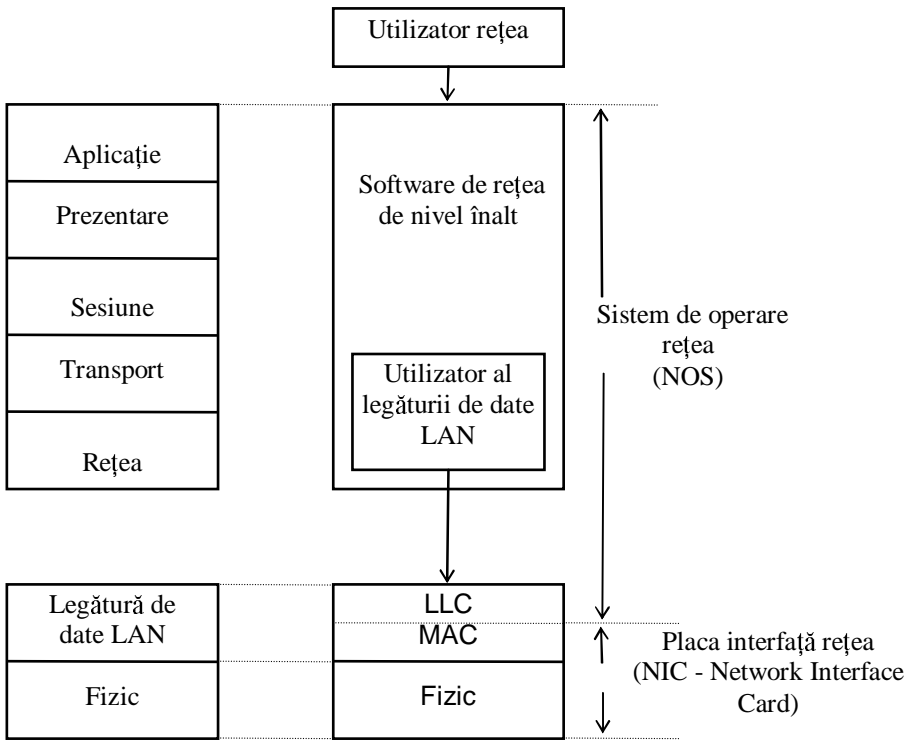


Fig. 4.2 Comparație între utilizator rețea și utilizator al legăturii de date LAN

Sistemul de operare rețea constă în software de realizare a nivelelor superioare, de la nivelul aplicație până la subnivelul LLC inclusiv. Subnivelul MAC și nivelul fizic sunt realizate de obicei prin circuite aflate pe o placă de interfață rețea (NIC - Network Interface Card). Totuși, în unele cazuri, subnivelul LLC este realizat separat de NOS. Este posibil, de asemenea, ca un utilizator de rețea să folosească un program de aplicație care cere servicii direct legăturii de date LAN. Utilizatorul rețelei locale interacționează cu software-ul de rețea, instalat în sistemul de calcul cu care operează și în alte sisteme pe care le poate accesa, fără a ține seama de tehnologia legăturii de date LAN. Dintre tipurile de software de operare rețea pot fi menționate: Novell NetWare, TCP/IP, Apple Talk, System Network Architecture, ISO/ITU-T, etc.

4.2 Topologie, suport de transmisiune, semnale utilizate pentru reprezentarea datelor

Topologii utilizate în rețelele locale

În rețelele locale, dată fiind distanța relativ mică între utilizatori, se folosesc topologii mai simple decât cea de tip plasă din rețelele de arie extinsă. Topologiile frecvent utilizate sunt stea, liniară și inel.

- *Topologia stea* -

În această configurație sistemele sunt conectate la un nod central care joacă un rol particular în funcționarea rețelei. Orice comunicație între două sisteme trece prin nodul central, care se comportă ca un comutator față de ansamblul rețelei (fig. 4.3). Transferul informației se face punct-la-punct dar, cu ultimele tipuri de comutatoare, este posibil și un transfer în legătură multipunct. Această topologie prezintă avantajul că poate folosi în mare parte cablajul telefonic vechi existent într-o întreprindere. De asemenea, în mare parte software-ul este concentrat în nodul central, pentru sisteme fiind necesar un software simplu.

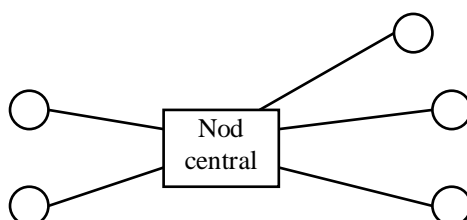


Fig. 4.3 Topologie stea

Dintre inconveniente pot fi menționate: fiabilitatea rețelei depinde foarte mult de nodul central, o defectare a acestuia conducând la căderea rețelei; este necesar un suport fizic de comunicație individual pentru fiecare sistem; extensia rețelei este limitată la capacitatea nodului central.

- *Topologia liniară (bus)* -

Rețelele locale cu topologie liniară funcționează ca o linie de comunicație multipunct, pentru care fiecare racord corespunde unui sistem ce reprezintă fie o resursă comună partajabilă de către alte sisteme, fie un utilizator al rețelei (fig. 4.4).

În ciuda dificultăților cauzate de conflictele de acces la suportul de transmisiune, avantajele topologiei liniare, legate de omogenitatea rețelei, facilitățile de reconfigurare, costul redus al suportului și al dispozitivelor de cuplare la suport au condus la o utilizare frecventă a acesteia.

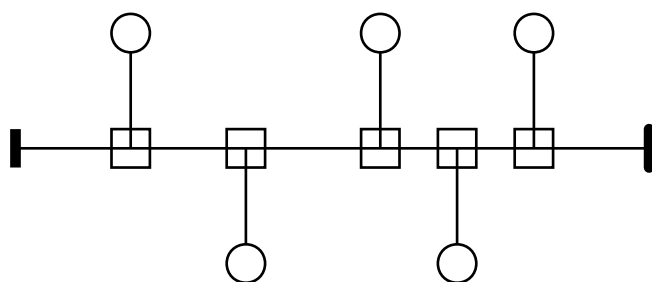


Fig. 4.4 Topologie liniară.

În unele configurații magistrala este divizată în segmente, urmând o structură în arbore (fig. 4.5).

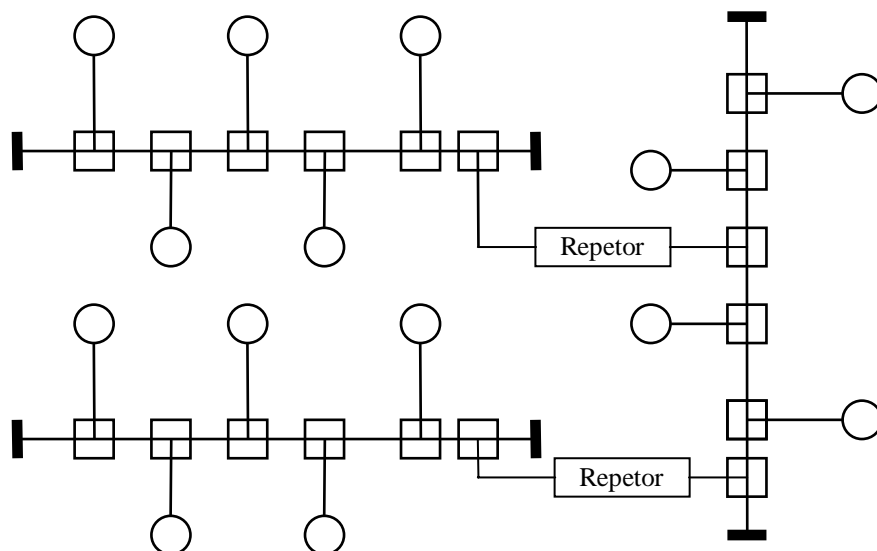


Fig. 4.5 Structură de tip arbore.

Topologia liniară reprezintă o conexiune multipunct, informațiile emise de un sistem fiind recepționate de toate celelalte sisteme, dar aceste informații sunt copiate și transmise către un nivel superior numai de acele sisteme care recunosc în adresa destinației propria lor adresă.

Dispozitivele de conectare a sistemelor la suportul fizic pot fi pasive, ceea ce reprezintă un avantaj din punct de vedere al fiabilității rețelei. În același timp însă, trebuie observat că aceste conexiuni pasive sunt simplu de realizat atunci când suportul de transmisiune este cablul coaxial sau perechile de fire răsucite. În cazul utilizării fibrei optice ca suport de transmisiune conexiunile sunt dificil de realizat, introduc atenuări suplimentare și sunt mai costisitoare.

Pentru a mări distanța de transmisiune se utilizează repetoare.

- Topologia inel -

Într-o configurație de tip inel toate sistemele sunt legate succesiv între ele, două câte două, ultimul sistem fiind conectat la primul sistem (fig. 4.6).

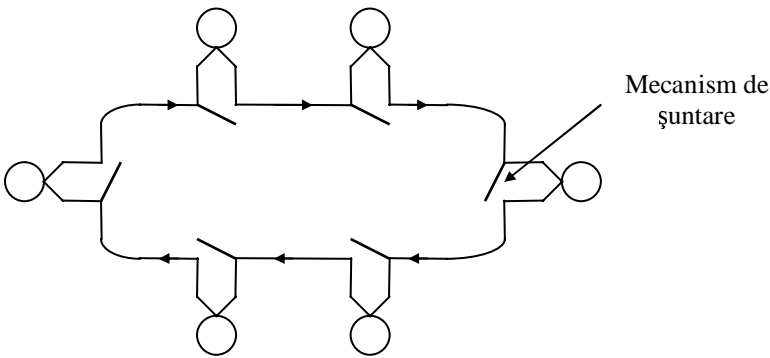


Fig. 4.6 Topologie inel

Fiecare sistem recepționează semnalul transmis pe buclă și-l retransmite mai departe, copiind mesajul dacă îi este destinat. Mesajul emis de un sistem (sursă) va fi retras din buclă de către același sistem atunci când îi va reveni după parcurgerea buclei.

Pentru ca defectarea unui sistem să nu provoace întreruperea buclei, fiecare sistem este prevăzut cu un mecanism pasiv de șuntare. În general bucla este unidirecțională. Există și bucle duble, a doua cale servind pentru a crește fiabilitatea buclei. Frecvent, în cazul buclelor duble, semnalele circulă în sensuri contrare pe cele două căi .

Pentru a crea facilități de reconfigurare sau pentru a putea folosi un cablaj existent (cablajul telefonic în special), unele rețele prezintă aparent topologia stea, cu toate că ele sunt realmente de tip buclă sau liniare. În figura 4.7 este prezentată o rețea inel cablată sub formă de stea.

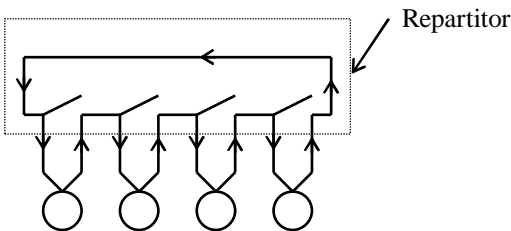


Fig. 4.7 Rețea inel cu cablaj stea

Rețelele LAN cu o topologie logică liniară sau arbore folosesc adesea dispozitive, numite hub (Host Unit Broadcast), care permit conectarea unor sisteme individuale la puncte situate central.

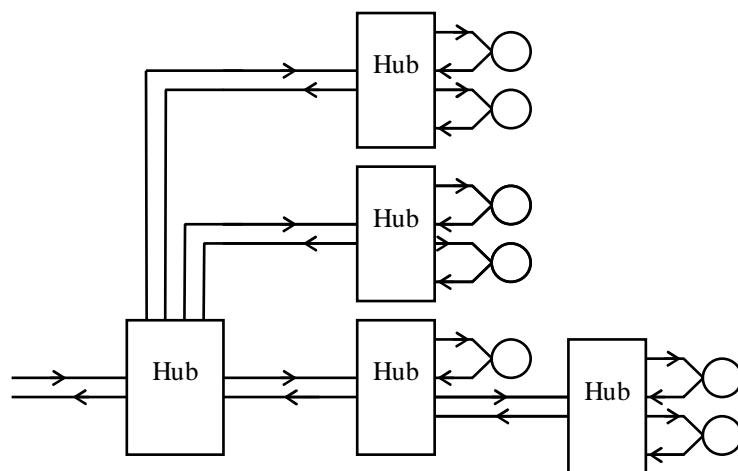


Fig. 4.8 Topologie arbore folosind huburi.

Fiecare hub, împreună cu sistemele atașate la el, formează o structură cu cablaj stea. Huburile pot fi interconectate pentru a forma o structură complexă de tip arbore (fig.4.8). Un hub nu realizează o funcție de comutare ci constă într-un set de repetitoare care retransmit toate semnalele primite de la un sistem către toate celelalte sisteme, în același fel ca și în rețeaua liniară.

Mediul de transmisiune

La elaborarea unei rețele locale alegerea suportului de transmisiune este influențată de performanțele urmărite, în primul rând de debitul datelor transmise în rețea și de alte criterii, cum ar fi: costul cablajului, folosirea unui cablaj existent, facilitățile de racordare a echipamentelor, fiabilitatea suportului ținând seama de mediul în care este instalat, protecția față de perturbații, facilitățile de întreținere, etc.

Suportul cel mai folosit în prezent este cablul cu fire metalice, coaxial sau cu perechi răsucite, dar, într-o măsură din ce în ce mai mare, este folosită și fibra optică.

Aceste tipuri de cabluri prezintă caracteristici foarte diferite în ceea ce privește lărgimea benzii de frecvențe utilizabile, atenuarea pe unitatea de lungime, atenuarea de paradiafonie (pentru circuite apropiate), impedanța caracteristică.

- Cablul cu perechi torsadate (răsucite) -

O pereche de fire torsadate constă din două fire de cupru izolate, răsucite în spirală, unul în jurul celuilalt. Un număr de astfel de perechi grupate și protejate într-un

înveliș formează un cablu de perechi torsadate. Pentru o protecție bună față de perturbațiile electromagnetice se poate utiliza un ecran metalic. Cablurile ecranate (STP - shielded twisted pair) permit debite mai mari decât cele neecranate (UTP - unshielded twisted pair). Diametrul firelor este, depinzând de tipul cablului, între 0,2 mm și 1 mm. După lărgimea benzii de trecere sunt clasificate în mai multe categorii. În tabelul următor sunt prezentate valorile maxime admise pentru atenuarea la frecvența limită superioară a benzii de trecere pentru cablurile de categorie 3, 4 și 5 (conform normei EIA/TIA 568).

Caracteristici ale cablurilor cu perechi torsadate

Categorie	Frecvență MHz	Atenuarea maximă (dB/Km), corespunzător impedenței caracteristice		
		Z=100 ohmi	Z=120 ohmi	Z=150 ohmi
3	16	131	68	45
4	20	102	73	50,5
5	100	220	180	125

În mod tipic lungimea admisă pentru perechea torsadată este de 100 m, această lungime depinzând însă de debitul datelor și calitatea cablului. Perechile torsadate pot fi folosite în orice fel de topologie.

- **Cablul coaxial** -

Cablul coaxial permite debite mai mari și pe distanțe mai mari decât cablul cu perechi torsadate, fiind mai puțin afectat de interferențe și diafonie. Conectarea sistemelor la cablul coaxial se realizează relativ simplu. Un parametru important al cablurilor coaxiale este impedența caracteristică. Din acest punct de vedere sunt două tipuri de cabluri frecvent utilizate: cablul de tip Ethernet, cu impedența de 50 ohmi și cablul CATV (Community Antenna Television), conceput și realizat pentru difuziunea televiziunii pe cablu, cu impedența caracteristică de 75 ohmi. Cablul coaxial este recomandabil pentru topologiile liniară și inel.

- **Fibra optică** -

Are o bandă de frecvențe utilizabilă foarte largă, produsul bandă-distanță luând valori de la 1 GHz.Km, pentru fibre multimod, la 100GHz.Km, pentru fibrele monomod. Asigură o bună calitate a transmisiunii, atenuare mică, protecție foarte bună

față de perturbațiile electromagnetice. În schimb conexiunile (racordurile) la fibră sunt foarte dificile și prezintă o atenuare mare. Din aceste motive se recomandă a fi folosită în rețelele cu topologie inel, deci pentru legături punct la punct.

- *Legături radio* -

În locul unui cablu fizic pot fi utilizate legăturile radio. Aceste legături radio pot fi folosite pentru interconectarea segmentelor de cablu ale rețelilor locale sau pentru conectarea sistemelor individuale la LAN. Realizarea unei rețele locale prin intermediul legăturilor radio permite deplasarea sistemelor de calcul și a altor echipamente ale rețelei dintr-un loc în altul fără a fi nevoie de modificarea unui cablaj fizic. În schimb transmisiunile radio sunt afectate de interferențe, ceea ce conduce la procente mai mari de erori.

Semnale utilizate pentru transmiterea datelor în rețelele locale

Transmiterea datelor în rețelele locale se face fie în banda de bază (transmisiune digitală, prin impulsuri de curent constant), fie prin modularea unui purtător (transmisiune analogică). În cazul în care pe același suport fizic se creează mai multe canale de transmisiune, folosind purtători de frecvențe diferite, transmisiunea se mai numește în bandă largă (broadband), prin analogie cu canalele de bandă largă obținute în sistemele de transmisiuni telefonice folosind multiplexarea cu diviziune în frecvență. Transmisiunea în bandă largă ofera posibilitatea transmiterii simultane, pe același suport fizic, și a altor semnale, reprezentând voce sau imagini.

Sistemul de transmisiune în bandă largă este utilizat pentru difuzarea televiziunii pe cablu, pe distanțe ce pot atinge zeci de kilometri. Această aplicație a condus la o organizare ierarhică, unde un echipament plasat la un capăt al cablului (head end) difuzează mai multe canale TV pe cablul la care sunt conectate receptoarele TV ale utilizatorilor. Transmisiunea este aici unidirecțională, ceea ce face posibilă utilizarea amplificatoarelor. Rețeaua poate fi organizată în arbore, folosind derivații.

Pentru aplicarea acestei tehnici într-o rețea locală de calculatoare este necesar ca sistemele conectate la rețea să poată emite pe rețea spre capătul de cablu, ca apoi acesta să difuzeze informația către toate sistemele. Acest mod de lucru se poate realiza folosind încă un cablu, de retur, pe care diferitele sisteme emit în direcția capătului de cablu, sau prin împărțirea benzii de frecvențe a unui singur cablu în două părți: banda de frecvențe joase, folosită pentru transmisiunea înapoi, spre capătul de cablu și banda

frecvențelor înalte, folosită pentru transmisiunea înainte, de la capătul de cablu spre sisteme (fig. 4.9).

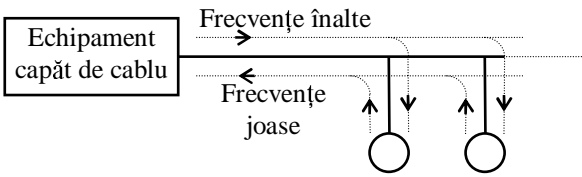


Fig. 4.9 Transmisiune în bandă largă pe un singur cablu

Cablul utilizat pentru transmisiunile în bandă largă este de tipul coaxial CATV cu impedanța caracteristică de 75 ohmi, folosindu-se banda 5 - 116 MHz pentru sensul înapoi și 168 - 300 (400) MHz pentru sensul înainte. Banda 116 - 168 MHz este nefolosită, permițând separarea celor două sensuri cu filtre trece jos și trece sus. Totodată acest mod de separare a sensurilor permite realizarea repetoarelor care amplifică simultan semnalele transmise în cele două sensuri (fig.4.10). În capătul de cablu, printr-un translator de frecvențe, se realizează translatarea benzii joase (sensul înapoi) la frecvențe înalte (sensul înainte).

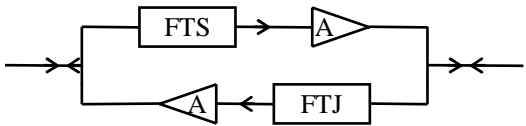


Fig. 4.10 Repetor pentru transmisiunea în bandă largă pe un singur cablu

În cazul folosirii a două cabluri fiecare sistem este conectat la cele două cabluri (fig.4.11). Un cablu este utilizat pentru transmisiunea către capătul de cablu, iar celălalt pentru recepția de la capătul de cablu.

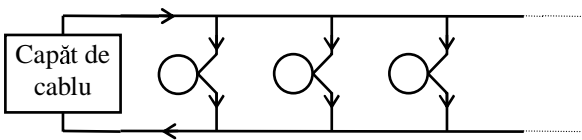


Fig. 4. 11 Transmisiune în bandă largă pe două cabluri.

Transmisiunea în bandă largă se face fie pe un singur canal (single channel broadband), fie pe mai multe canale (multichannel broadband).

În cazul transmisiunii în banda de bază datele sunt reprezentate în cod bifazic (Manchester), bifazic diferențial (Manchester diferențial) sau într-un cod mBnL (unui

grup de m simboluri binare îi corespunde un grup de n simboluri L-are, cu L nivele posibile).

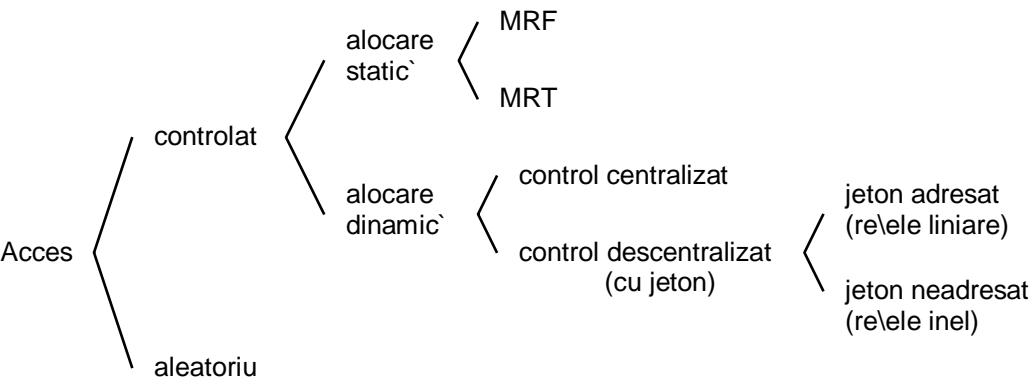
În cazul transmisiunii în banda largă se folosește modulația în frecvență sau o combinație între modulația în amplitudine și modulația în fază.

4.3 Controlul accesului la mediul de transmisiune

În rețelele în care suportul de transmisiune este folosit în comun de către sistemele conectate în rețea este necesar un mecanism care să permită distribuirea capacității de transmisiune a acestui suport între sistemele interconectate, astfel ca:

- fiecărui sistem să-i revină o parte din această capacitate de transmisiune;
- fiecare sistem să aibă acces la suportul de transmisiune într-un interval de timp rezonabil;
- pierderile din capacitatea de transmisiune datorită acestui mecanism să fie minime.

Tehnicile de acces, foarte diferite, pot fi clasificate astfel:



În tehnicile de acces cu alocare statică capacitatea de transmisiune a suportului este repartizată sistemelor din rețea fie prin diviziune în frecvență (FDM –Frequency Division Multiplexing), fie prin diviziune în timp (TDM –Time Division Multiplexing). Aceste tehnici prezintă dezavantajul unei eficiențe scăzute în utilizarea capacității de transmisiune și, în plus, al unui cost ridicat (FDM) sau al unei întârzieri mari în transmiterea mesajelor (TDM).

În tehnicile de acces prin alocare dinamică suportul de comunicație este alocat doar utilizatorilor care au nevoie. Apare deci o dificultate legată de posibilitatea de cunoaștere a necesităților utilizatorilor.

În tehnicile cu acces aleatoriu fiecare sistem poate încerca să transmită, deci să ocupe suportul de transmisiune, în orice moment, însă va transmite numai după ce a “ascultat” suportul și a constatat că acesta este liber.

În continuare vor fi prezentate câteva metode de acces mai frecvent utilizate.

Metode polling

Metodele de acces prin polling (interogare) sunt utilizate în topologiile liniară și stea. Într-una din variantele sale, *polling cu control centralizat*, un sistem coordonator are responsabilitatea de a da parola (dreptul de a transmite) fiecărui sistem din rețea, într-o ordine predeterminată. Sistemele sunt interogate succesiv și dacă unul dintre ele dorește (este gata) să transmită, răspunde pozitiv și sistemul coordonator îi transmite parola. El obține astfel accesul la suportul de transmisiune. După ce termină de transmis va înapoia parola sistemului coordonator care, în continuare, va interoga un alt sistem. Este o tehnică de tip master - slave. Se pot introduce ușor priorități pentru anumite sisteme, cărora li se va da accesul mai des. Este totuși o tehnică greoaie, neeficientă. O ameliorare poate fi adusă printr-un control descentralizat.

În tehnica de acces prin *polling cu control descentralizat* sistemul care primește parola de la sistemul coordonator o trece, când nu are de transmis sau a terminat de transmis un mesaj, sistemului următor, fără a o mai întoarce la sistemul coordonator. Față de pollingul centralizat aici este necesar un software mai complex, stocat în fiecare sistem.

În aceste două tehnici de polling doar sistemul central (coordonator) are dreptul să conecteze sisteme noi în rețea. În pollingul cu control descentralizat acest lucru se face numai dacă sistemul central a preluat parola, după o rotație a acesteia la sistemele active. Aceste tehnici sunt greoaie. Ele sunt utilizate în special pentru a concentra traficul de la terminalele lente. În mod deosebit aceste tehnici nu sunt eficiente când numărul utilizatorilor este mare.

O versiune ameliorată, care permite reducerea timpului de gestiune a legăturii, este *pollingul adaptiv*, numit și “*probing*”. În această tehnică sistemul coordonator încearcă să afle care sunt sistemele ce doresc să transmită. Pentru aceasta el transmite un semnal ansamblului celorlalte sisteme, interpretat ca “aveți de transmis?”. În caz

afirmativ sistemele trebuie să emită un semnal pe un interval de timp care le este destinat, fiecăruia în parte, permițând sistemului central să cunoască explicit terminalele active. Acesta va da parola succesiv terminalelor care au răspuns, apoi din nou va emite semnalul de interogare. Dacă nu este nici un răspuns repetă semnalul de interogare până când unul sau mai multe sisteme răspund. Această tehnică poate fi socotită ca o rezervare dinamică a tranșelor (slots) de timp. Ea diminuează sensibil timpul de gestiune în comparație cu tehnicile prezentate anterior. Totuși, dacă multe sisteme au de transmis, ameliorarea nu este sensibilă.

Tehnici cu jeton

La modul general aceste tehnici constau în a face să circule în rețea un permis de emisie, numit *jeton* (token) și constând într-o anumită combinație de biți. Numai sistemul care posedă jetonul este autorizat să emită.

Tehnicile de acces cu jeton diferă, în special, prin algoritmul de trecere a jetonului de la un sistem la altul și prin momentul în care este eliberat jetonul de către sistemul care l-a deținut.

- Tehnici cu jeton neadresat -

Tehnicile cu jeton neadresat sunt folosite în rețelele cu topologie inel. Jetonul este o configurație de biți (poate fi și un singur bit), plasată într-un câmp bine precizat al formatului (cadrului) în care se transmite mesajul, sau care reprezintă un cadru particular ce circulă în rețea, de la un sistem la altul. Un jeton circulant poate fi captat (reținut) de orice sistem gata să emită. Aflat în posesia jetonului, sistemul transmite mesajul său. Când emisia mesajului s-a terminat, jetonul este retransmis și, în funcție de momentul în care se face retransmiterea sa, sunt mai multe variante. Astfel, jetonul poate fi retransmis (eliberat) de sistemul care-l deține:

- după ce cadrul emis de el, parcurgând inelul, i-a revenit în întregime;
- imediat ce recepționează antetul cadrului emis;
- imediat ce a emis cadrul.

Eficacitatea rețelei este influențată foarte mult de soluția aleasă. Prima variantă are dezavantajul blocării jetonului pe un interval de timp mare. La debite mari eficiența este foarte scăzută. În schimb cadrul de informație nu necesită un câmp pentru jeton.

În a doua soluție un cadru circulă fără oprire în buclă și jetonul este materializat printr-un bit situat într-un câmp la începutul cadrului (fig. 4.12).

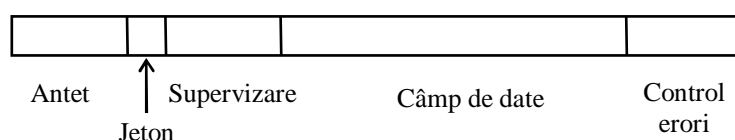


Fig. 4.12 Formatul cadrului cu jeton

Dacă bitul jeton este 0 înseamnă că jetonul este liber. Un sistem care vede acest bit în 0 poate capta jetonul, înlocuindu-l printr-un 1. Jetonul va fi lăsat liber când bitul jeton va trece din nou pe la sistemul emițător. Pentru a putea examina starea jetonului și pentru a introduce informația în cadrul care circulă este necesar ca, la fiecare sistem, cadrul circulant să fie introdus într-un registru de deplasare, ceea ce va însemna o întârziere suplimentară.

În variantele prezentate monopolizarea jetonului într-un sistem, pe intervalul de timp în care cadrul face un tur pe buclă, poate antrena o utilizare nesatisfăcătoare a suportului de transmisiune.

În cea de a treia variantă (fig. 4.13) suportul de transmisiune este mult mai bine utilizat deoarece jetonul este eliberat imediat după ce sistemul care-l deține a terminat de emis cadrul său, jetonul găsindu-se într-o zonă la sfârșitul cadrului. În felul acesta este posibilă propagarea (nu emisia!) simultană a mai multor cadre provenind de la sisteme diferite.

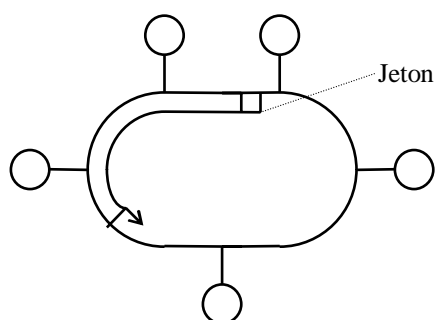


Fig. 4.13 Jeton plasat la sfârșitul cadrului

Sistemul care este gata să transmită, găsind jetonul liber într-un cadru de informație ce trece prin registrul său de deplasare, îl pune în starea ocupat și inițiază formarea altui cadru de informație, al cărui jeton va fi pus în starea liber. Spre deosebire de celelalte două variante, aici cadrul de informație nu este retras de către emițător ci de către destinatar. Este o soluție atractivă pentru rețelele de mare viteză, cum ar fi rețelele FDDI (Fiber Distribution Data Interface), în care suportul de transmisiune este fibra optică.

Aceste tehnici cu jeton prezintă inconvenientul că necesită un control pentru menținerea în permanență a jetonului în rețea și pentru ca acesta să nu se multiplice. În cazul pierderii jetonului scade debitul efectiv al rețelei. În general este necesară o stație monitor care face acest control. Pentru o funcționare mai sigură este bine ca fiecare sistem să posede software-ul necesar pentru a fi stație monitor însă, în orice moment, numai un sistem poate fi în serviciu ca stație monitor.

- *Tehnici cu jeton adresat* -

O metodă folosită (IEEE 802.4 - rețea liniară) este aceea de a adresa explicit jetonul unui anumit sistem prin intermediul unui cadru de supervizare. Dacă sistemul care a primit jetonul nu are nimic de transmis îl va pasa altui sistem, specificând adresa acestuia.

Inelul cu tranșe (slotted ring)

Această tehnică de acces este utilizată numai în rețelele cu topologie inel și constă în a diviza capacitatea inelului într-o serie de intervale (slots), constituite fiecare dintr-un număr de biți și capabile să transporte câte un cadru de informație de mărime fixă. Formatul cadrului pe un astfel de interval este prezentat în figura 4.14.

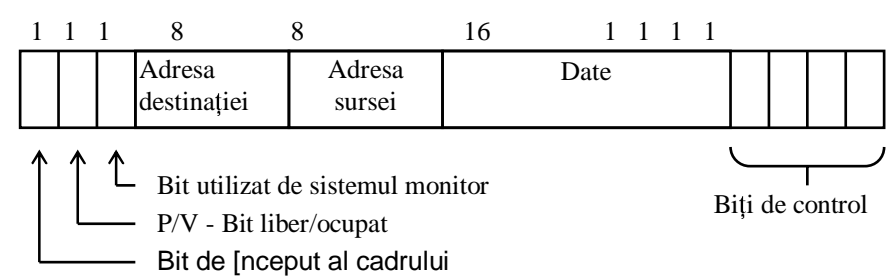


Fig. 4.14 Formatul cadrului pentru inelul cu tranșe

Diferitele sisteme din inel emit continuu cadre de lungime fixă, de la un sistem la altul în jurul inelului. Fiecare interval (cadru) conține un indicator P/V (plin-vid) la începutul său, indicând dacă este gol (V) sau conține date (P). Dacă un sistem are de transmis un mesaj el așteaptă un interval gol, îi schimbă indicatorul P/V, deci ocupă acest interval, înserează adresele destinației și sursei și o parte din mesaj, atât cât să umple intervalul și transmite cadrul astfel format către următorul sistem în inel.

Atunci când un astfel de cadru, conținând date, este recepționat de un sistem, acesta verifică adresa destinație pentru a vedea dacă trebuie să copieze mesajul sau nu.

În ambele situații va transmite apoi cadrul către următorul sistem în inel. Cadrul poate fi retras de către sistemul care l-a emis, lăsând liber intervalul corespunzător, sau de către un sistem monitor în anumite situații de funcționare anormală.

Această tehnică de acces permite emiterea simultană de către mai multe sisteme a unor mesaje pentru că în rețea circulă mai multe tranșe simultan (fig. 4.15). Spre exemplu, la un debit de 50 Mb/s durata unui bit este 20 ns și dacă timpul de propagare în inel, ținând seama și de întârzierea introdusă de registrele de deplasare asociate sistemelor, este de 10 μs, se pot propaga simultan în inel 500 biți, reprezentând mai multe tranșe. O tranșă ar putea fi utilizată de mai multe sisteme diferite într-un tur al inelului dacă ea ar fi eliberată de către sistemul destinatar.

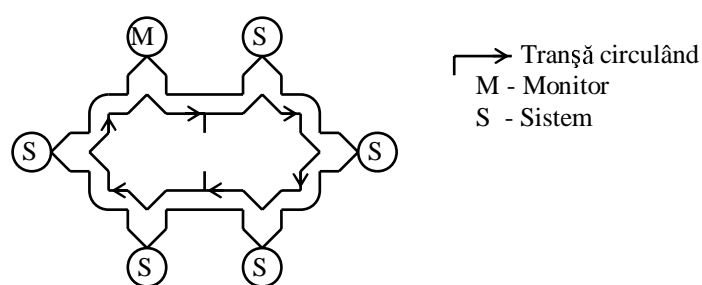


Fig. 4.15 Inelul cu tranșe

Tehnica inelului cu tranșe este adaptată mesajelor scurte și are avantajul simplității, necesitând o interfață și software relativ simple în fiecare sistem. Pentru transmiterea mesajelor lungi sunt necesare multe tranșe și informația de adresare și de control din fiecare tranșă face ca metoda să fie mai puțin eficientă decât pentru mesajele scurte.

Acesul aleatoriu

În tehnicile cu acces aleatoriu un sistem poate accede la mediul de transmisiune, cu unele restricții, în orice moment. Principalul avantaj al acestor tehnici este disponibilitatea completă a suportului de transmisiune pentru un sistem dacă celelalte sisteme conectate în rețea nu sunt pregătite să transmită. Dar, datorită accesului aleatoriu, pot surveni situații de contenție, când două sau mai multe sisteme transmit în același timp. Mesajele care sunt în conflict (coliziune) sunt pierdute și trebuie retransmise. Au fost propuse diferite metode pentru a reduce numărul conflictelor și pentru a le rezolva. În continuare vor fi prezentate câteva dintre aceste metode.

- Aloha în tranșe (Slotted Aloha) -

Se discretizează timpul în intervale egale și fiecare sistem are voie să intre în emisie numai la începutul unui astfel de interval. Dacă apare o coliziune se va relua transmisia după un interval de timp aleatoriu, dar numai la început de tranșă.

- *Acces aleatoriu cu ascultarea purtătoarei* -

Un sistem care este gata să transmită ascultă întâi mediul de transmisiune și dacă acesta este liber, deci nu se detectează semnal pe el, va începe să emită. Dacă mediul este ocupat va amâna transmisiunea. Această metodă reduce considerabil riscurile de coliziune, dar nu le evită complet. Spre exemplu, dacă timpul de propagare între două sisteme, cele mai îndepărtate între ele din rețea, este τ și dacă unul dintre aceste două sisteme începe să transmită, celălalt va simți mediul ocupat după o întârziere τ , interval în care poate și el să înceapă emisia, survenind astfel o coliziune.

Sunt numeroase variante la această tehnică, diferențiindu-se prin următoarele caracteristici:

- strategia urmată când se detectează mediul ocupat;
- modul în care sunt detectate coliziunile;
- strategia urmată după detectarea coliziunilor.

În toate variantele, înainte de a transmite, sistemul ascultă mediul și dacă mediul este liber începe să transmită.

Metoda CSMA nonpersistent (Carrier Sense Multiple Access - Acces multiplu cu perceperea purtătoarei). Sistemul gata să transmită ascultă mediul. Dacă acesta este ocupat va reîncepe același proces după o întârziere aleatorie (fig. 4.16).

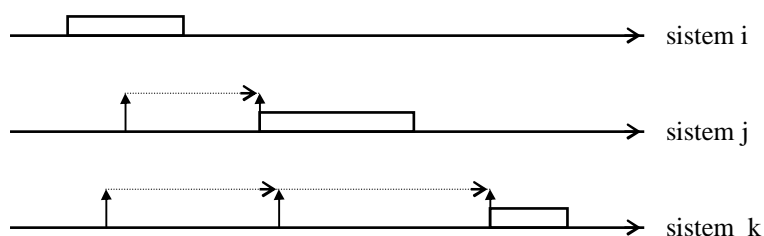


Fig. 4.16 CSMA nonpersistent

Metoda CSMA persistent. Sistemul care, fiind gata să transmită, ascultă mediul și-l găsește ocupat, va continua să-l asculte până ce acesta devine liber, moment în care începe să transmită (fig. 4.17).

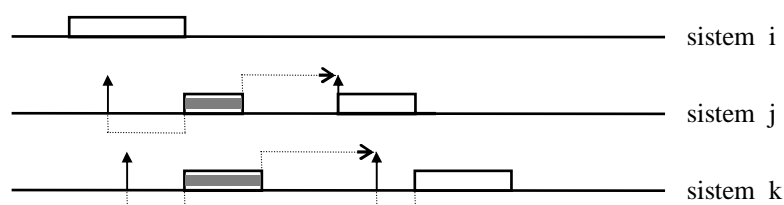


Fig. 4.17 CSMA persistent

În această variantă se pierde mai puțin timp decât în precedenta în ceea ce privește așteptarea pentru a începe transmisia, în schimb crește probabilitatea de coliziune pentru că mesajele care se acumulează în perioada în care este ocupat mediul vor fi transmise toate în același timp.

Metoda CSMA p-persistent ($0 \leq p \leq 1$). În această variantă algoritmul este ca și cel precedent, doar că atunci când mediul devine liber sistemul emite cu o probabilitate p sau, altfel spus, cu o probabilitate $1-p$ amână transmisiunea. Se micșorează probabilitatea de coliziune dar pot fi pierderi de timp deoarece, la eliberarea suportului de transmisiune, deși unul sau mai multe sisteme sunt gata să transmită, acesta poate să rămână în continuare liber un interval de timp oarecare.

Metoda CSMA cu detectarea coliziunii (CSMA/CD - Collision Detection). Este cea mai utilizată tehnică de acces aleatoriu, normalizată în standardele IEEE 802.3 și ISO 8802.3 pentru rețele liniare. La ascultarea mediului înainte de a transmite se adaugă și ascultarea în timpul transmisiunii (fig. 4.18).

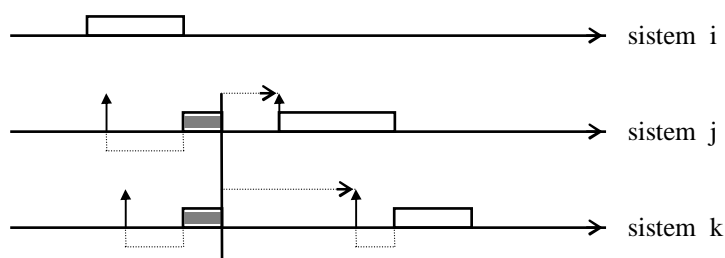


Fig. 4.18 CSMA/CD

Un sistem gata să transmită, detectând mediul liber, începe să transmită și continuă să asculte mediul de transmisiune. Astfel, dacă va avea loc o coliziune, aceasta este sesizată, transmisiunea mesajului este abandonată și sistemul emite un semnal special de bruiaj cu scopul de a avertiza și celelalte sisteme aflate în emisie. Sistemul va încerca să retransmită ulterior, conform unui anumit algoritm de reluare a transmisiunii. Această

variantă aduce un plus de eficacitate în raport cu celelalte pentru că se detectează imediat coliziunile și se abandonează transmisia în curs.

Coliziunea este sesizată comparând semnalul emis cu cel care se propagă pe mediul de transmisiune. Metoda de detectare a coliziunilor este relativ simplă dar necesită tehnici de codare (reprezentare a datelor) adecvate pentru a recunoaște ușor o suprapunere de semnale.

Metoda CSMA cu evitarea coliziunii (CSMA/CA - Collision Avoidance). Cu această metodă, care are la rândul ei mai multe variante, sistemul ascultă mediul de transmisiune și, dacă este ocupat, continuă ascultarea până când devine liber. Apoi așteaptă un anumit interval de timp, depinzând de poziția lui relativă într-o listă logică a sistemelor din rețea. Cum va proceda sistemul în continuare, după ce acest interval de timp s-a scurs fără ca un alt sistem să înceapă să transmită, depinde de varianta CSMA/CA adoptată.

4.4 Adresarea în rețelele locale

Utilizatorul unei legături de date LAN solicită servicii de transmisiuni de date printr-un punct de acces la serviciul subnivelului LLC (SAP - LLC). Este posibil ca subnivelul LLC să permită accesul la serviciile sale simultan mai multor utilizatori. Fiecare utilizator va folosi un alt punct de acces, identificat printr-o adresă. În contextul modelului de referință OSI utilizatorul legăturii de date LAN este o entitate funcționând la nivelul rețea. Datele pe care aceasta le va transfera unei alte entități de la același nivel (rețea) dintr-un alt sistem, în cadrul protocolului de nivel rețea, sunt trecute subnivelului LLC sub forma unei unități de date de serviciu LLC - SDU. La aceste date, în subnivelul LLC, se atașează informația pentru controlul protocolului (PCI - Protocol Control Information), serviciul solicitat acestui subnivel fiind realizat prin protocolul LLC. În mod similar, pentru realizarea protocolului LLC se apelează la serviciile subnivelului MAC. Diagrama transferurilor de informație și notațiile utilizate sunt specificate în figura 4.19.

În arhitectura IEEE a rețelelor locale sunt două nivele de adresare:

- adresarea punctelor de acces la serviciul LLC (adresarea LLC - SAP);
- adresarea MAC.

O adresă SAP identifică un anumit punct de acces la serviciul LLC. O adresă MAC identifică un anumit sistem conectat într-o rețea locală.

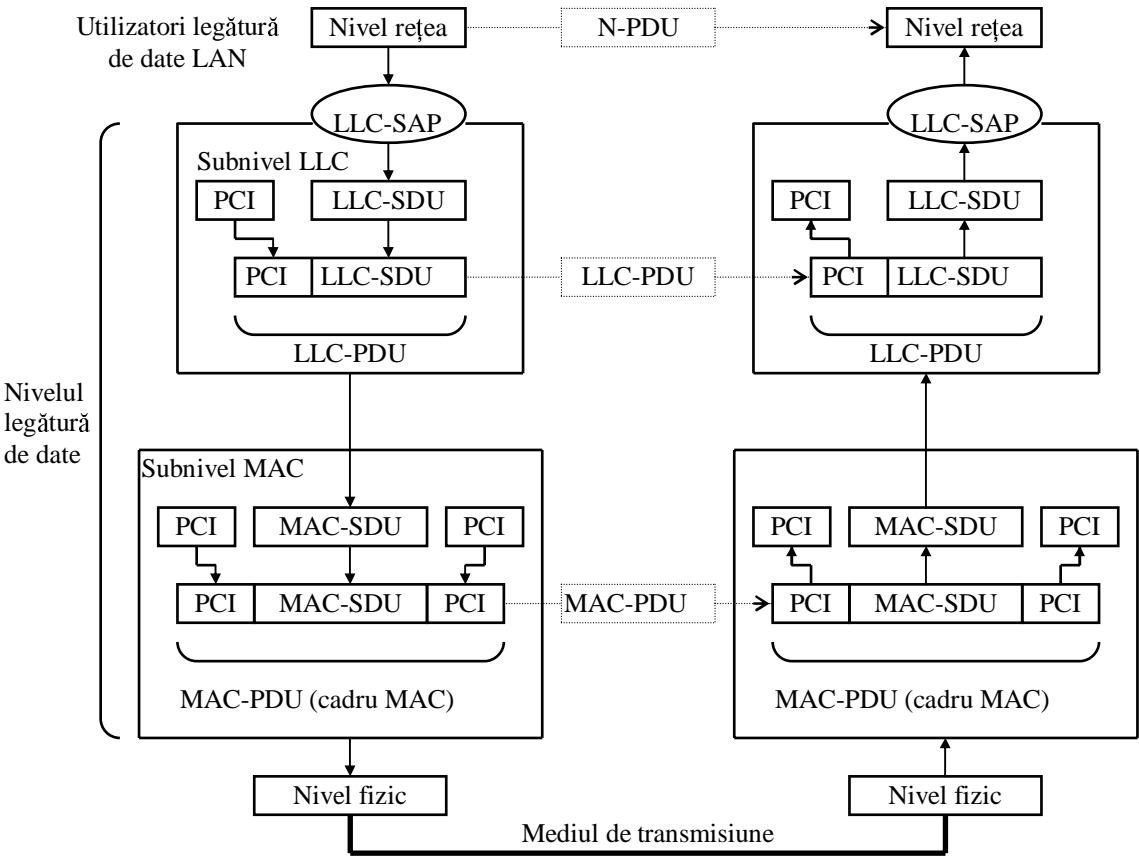


Fig. 4.19 Servicii și protocoale în subnivelele LLC și MAC

Mecanismul de adresare MAC este folosit de subnivelul MAC pentru a transfera fiecare cadru MAC către sistemul sau sistemele destinate din rețea. Mecanismul de adresare SAP - LLC este utilizat de subnivelul LLC pentru a transfera datele LLC - PDU către utilizatorul sau utilizatorii serviciului subnivelului LLC din sistemul destinatar.

Adresarea MAC

Mecanismul de adresare MAC implică două câmpuri de adresă în cadrul MAC. Deși formatul detaliat al cadrelor MAC nu este unic, depinzând de metoda pentru controlul accesului la mediu, formatul lor general arată ca în figura 4.20.

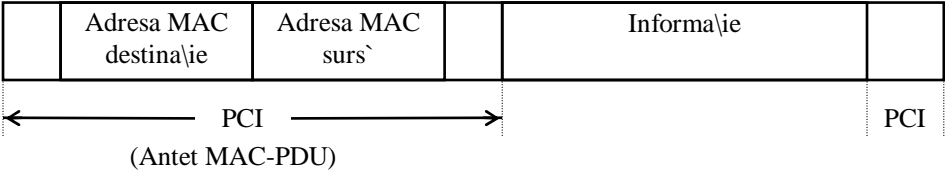


Fig. 4.20 Formatul general al cadrelor MAC

Adresa destinației se poate referi la un sistem sau la un grup de sisteme. Dacă toți biții adresei destinație sunt 1 atunci cadrul respectiv va fi copiat de către toate sistemele din rețea (adresă “broadcast” - de difuziune). Adresa sursei corespunde unui singur sistem. Câmpurile de adresă conțin 16 biți sau 48 biți. Într-o rețea locală câmpurile de adresă au aceeași dimensiune în toate cadrele MAC generate. Adresarea MAC poate fi administrată local sau global. Adresele de 16 biți sunt administrate local. Formatul câmpurilor de adresă este prezentat în figura 4.21.

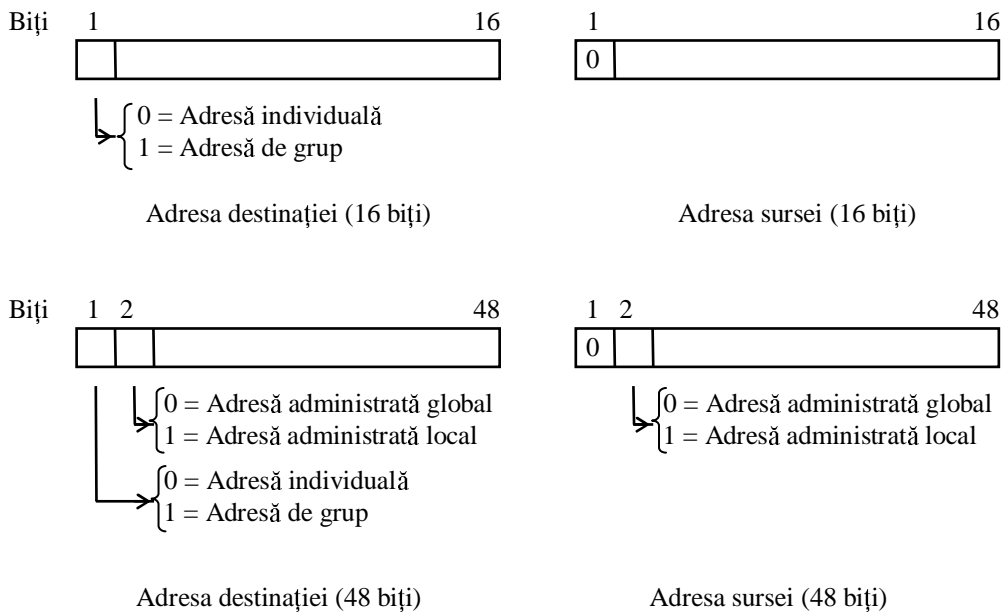


Fig. 4.21 Câmpuri de adresă MAC

Cu o adresare administrată local se atribuie fiecărui sistem din rețeaua locală o adresă MAC unică pentru acea rețea. Pentru fixarea adresei se folosesc comutatoarele de pe placa NIC sau o funcție software.

Dacă se utilizează adresarea administrată global fiecare sistem din orice rețea de pe glob are o adresă unică. Administrarea globală a adreselor este coordonată de IEEE. Producătorilor de echipamente de rețea (NIC) li se atribuie, la cerere și contra unei taxe, o valoare pentru cei 24 biți cu ponderea cea mai mare, ei fiind responsabili pentru a folosi o adresă MAC unică în ceilalți 24 biți, de pondere mică, pentru fiecare placă NIC fabricată. La unele plăci NIC cu adresarea administrată global prestabilită din fabricație este posibilă înlocuirea acesteia, printr-o funcție software, cu o adresă administrată local. Cu un mecanism de filtrare a adreselor MAC este posibil ca

subnivelul LLC să ceară recepționarea și a unor cadre MAC cu adrese de destinație diferite de cea a propriului sistem (adrese de grup, spre exemplu).

Adresarea SAP - LLC

După ce un cadru MAC, având în câmpul de informație date LLC - PDU, a ajuns în sistemul de destinație, subnivelul LLC din acest sistem utilizează adresarea SAP - LLC pentru a livra mesajul (LLC - SDU) către utilizatorul (sau utilizatorii) legăturii de date LAN căruia îi este destinat acest mesaj.

Adresele SAP - LLC ale utilizatorilor sursă și destinație sunt în LLC - PDU, așa cum se vede în figura 4.22.

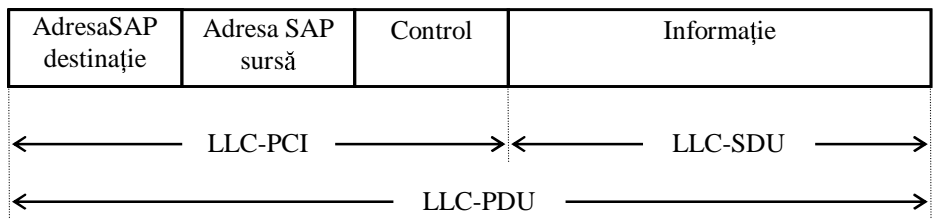


Fig. 4.22 Format LLC - PDU

Cîmpurile de adresă conțin fiecare câte 8 biți, primii doi biți având o semnificație aparte (fig. 4.23). Adresa SAP destinație poate fi o adresă individuală sau de grup. Adresa de grup cu toți biții 1 este o adresă SAP globală, ceea ce înseamnă că mesajul (LLC - SDU) este pentru toate punctele SAP active din sistem. Adresa sursei este totdeauna o adresă individuală. Dacă primul bit este 0 înseamnă că LLC - PDU este o comandă. O astfel de comandă se transmite de o entitate a subnivelului LLC pentru a iniția un transfer de date. Răspunsul, marcat prin valoarea 1 a primului bit din câmpul adresei sursă, este trimis de o entitate a subnivelului LLC din sistemul corespondent ca urmare a comenzii primite.

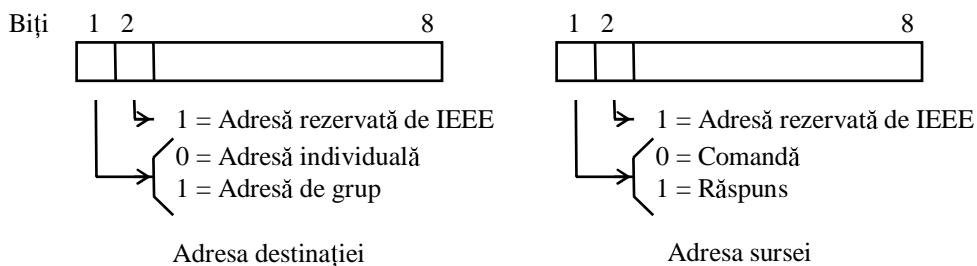


Figura 4.23 Câmpurile de adresă SAP - LLC

Într-un sistem pot fi activi în același timp mai mulți utilizatori ai subnivelului LLC. Procesul specific care solicită serviciile subnivelului LLC depinde de arhitectura

utilizată în nivelele superioare. Subnivelul LLC poate oferi în același timp, prin multiplexare, servicii unor utilizatori diferiți, aparținând fiecărui nivelului imediat superior dintr-o altă arhitectură (TCP/IP, OSI, Apple Talk, Novell NetWare, etc.).

Toate adresele SAP - LLC având în poziția a doua un bit 1 sunt rezervate de IEEE, unora dintre ele fiindu-le deja atribuite anumite semnificații. Spre exemplu, adresa 11111110 semnifică faptul că nivelul imediat superior subnivelului LLC este nivelul rețea din arhitectura OSI și că la acest nivel se folosește protocolul ISO 8473 CLNP (Connectionless Network Protocol - Protocol de rețea fără conexiune) pentru schimbul de pachete pe legăturile de date LAN.

Ca și la subnivelul MAC și aici, cu un mecanism de filtrare a adreselor SAP, este posibil ca un utilizator al serviciilor LLC să primească toate pachetele purtate în LLC - PDU având alte adrese de destinație SAP (adrese de grup).

4.5 Serviciile și protocoalele LLC

Tipuri de servicii

Subnivelul LLC permite utilizatorului legăturii de date LAN să solicite serviciile acestuia fără a ține seama de tehnologia de realizare a subnivelului MAC și a nivelului fizic.

Sunt definite trei tipuri de servicii oferite de legătura de date LAN:

- serviciul fără conexiune;
- serviciul cu conexiune;
- serviciul fără conexiune, cu confirmare.

Orice rețea trebuie să asigure cel puțin serviciul fără conexiune. Cea mai mare parte dintre rețelele locale asigură numai acest serviciu. Dintre cele trei servicii cel care implică cel mai simplu protocol este serviciul fără conexiune. Pentru acest serviciu nu este necesară stabilirea în prealabil a unei asocieri sursă - destinație. Fiecare unitate LLC - PDU este prelucrată în mod independent de celelalte unități de date ale protocolului LLC. Nu se verifică dacă recepția lor se face în ordinea în care au fost transmise, nu se transmit confirmări de recepție și nu se fac nici controlul fluxului și nici corectarea erorilor. Decodarea pentru detecția erorilor se face în subnivelul MAC și starea fiecărei unități LLC - PDU este semnalată în primitiva de serviciu prin care ea este transferată subnivelului LLC, dar protocolul corespunzător serviciului LLC fără

conexiune nu prevede retransmiterea cadrelor eronate. Dacă sunt necesare un control al fluxului și corectarea erorilor acestea trebuie asigurate de nivelele superioare.

Serviciul cu conexiune implică stabilirea unei conexiuni LLC înainte de a începe transferul datelor, între punctele de acces la serviciile LLC sursă și destinație. Această conexiune este o asociere logică între cele două puncte de acces, menținută până când încetează cererea de transfer al datelor. Protocolul LLC corespunzător acestui serviciu asigură recepționarea datelor (LLC - PDU) în ordinea în care au fost emise (fără omisiuni sau duplicate), corectarea unităților LLC - PDU afectate, controlul fluxului. Conexiunile stabilite nu pot fi decât între doi corespondenți, deci acest serviciu nu asigură difuzarea mesajelor către mai mulți destinatari.

Serviciul fără conexiune și cu confirmare este un compromis între celelalte două tipuri de servicii. Unitățile LLC - PDU sunt transmise independent una de alta, fiecare fiind confirmată de destinatar.

Marea majoritate a rețelelor locale asigură serviciul LLC fără conexiune deoarece, într-o arhitectură uzuală a acestor rețele, indiferent de tipul serviciului oferit de legătura de date LAN, se utilizează proceduri de corectare a erorilor într-un nivel superior. În plus, în cele mai multe rețele, legăturile de date LAN asigură un procent de erori foarte mic în cursul transmisiunii.

Primitivele de serviciu utilizate

Interacțiunile între două nivele adiacente, desfășurate pentru ca nivelul inferior să furnizeze servicii nivelului superior, se manifestă prin primitivele de serviciu. O primitivă este desemnată printr-o literă, reprezentând inițiala numelui nivelului care furnizează serviciile, urmată de numele primitivei, specificând serviciul solicitat sau oferit și tipul primitivei. Sunt patru tipuri de primitive de serviciu: cerere, indicație, răspuns și confirmare. În continuare vor fi prezentate primitivele utilizate de serviciul LLC fără conexiune.

- *Serviciul LLC fără conexiune* - Definește un singur serviciu, de transfer al datelor, cu două tipuri de primitive (fig. 4.24).

L-DATA.request este primitivă de serviciu emisă de un utilizator al legăturii de date LAN din sistemul transmițător, pentru a transfera datele la o entitate a subnivelului LLC, în vederea transmisiei către unul sau mai multe puncte SAP din unul sau mai multe sisteme de destinație.

L-DATA.indication este primitivă de serviciu emisă de o entitate a subnivelului LLC din sistemul de destinație, pentru a informa utilizatorul legăturii de date LAN din acest sistem că au fost recepționate date și pentru a le transfera acestuia.

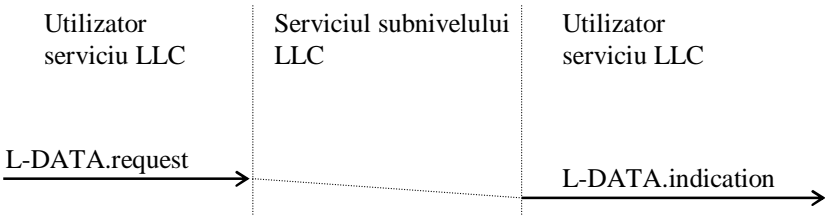


Fig. 4.24 Diagrama de timp pentru serviciul de transfer date L-DATA

Fiecare dintre aceste două primitive de serviciu L-DATA are un set de parametri asociați pentru a caracteriza informația transferată prin interfața dintre utilizatorul legăturii de date LAN și subnivelul LLC. Acești parametri sunt, pentru ambele primitive:

- adresa sursei, incluzând adresa SAP și adresa MAC;
- adresa destinației, incluzând, la fel, cele două adrese SAP și MAC;
- date, reprezentând informația ce trebuie transmisă;
- prioritatea, specificând prioritatea dorită pentru transmisiune (numai anumite metode de control al accesului la mediu asigură un mecanism de priorități).

După tipul serviciilor LLC pe care o rețea le poate oferi există patru clase de implementare LLC, așa cum se specifică în tabelul următor.

Clase de implementare LLC

	Servicii LLC asigurate		
Clasa LLC	Fără conexiune	Cu conexiune	Fără conexiune, cu confirmare
I	x		
II	x	x	
III	x		x
IV	x	x	x

Se observă că, așa cum s-a mai precizat, orice rețea trebuie să asigure cel puțin serviciul LLC fără conexiune.

Protocoloalele LLC

Fiecărui tip de serviciu LLC îi corespunde un anumit protocol. Însă indiferent de tipul serviciului oferit formatul unităților de date ale protocolului LLC este același (fig. 4.25).

	Adresa SAP destinație	Adresa SAP sursă	Control	Informație
Octeți	1	1	1 sau 2	0 – N

Fig. 4.25 Formatul LLC - PDU

Sunt trei tipuri de LLC - PDU: de informație (I), de supervizare (S) și nenumerate (U). Tipul LLC - PDU este specificat de câmpul de control, care conține 2 octeți pentru tipurile I și S și 1 octet pentru tipul U (fig. 4.26).

Biți	1	2						8	9							16
I	0									P/F						N(R)
S	1	0	S	S	X	X	X	X		P/F						N(R)
U	1	1	M	M	P/F	M	M	M								

Fig. 4.26 Formatul câmpului de control al unităților LLC - PDU

Unitățile LLC - PDU de informație au un bit 0 în prima poziție din câmpul de control, celelalte două tipuri având un bit 1 în aceeași poziție. În poziția a doua este un bit 0 la tipul S și un bit 1 la tipul U.

N(S) și N(R) reprezintă numere de secvență la emisie, respectiv la recepție, utilizate în mecanismele de corectare a erorilor și de control al fluxului. P/F este un bit denumit poll/final și servește, împreună cu bitul comandă/răspuns din câmpul de adresă SAP sursă, pentru realizarea mecanismului de comandă - răspuns.

Prin biții S se desemnează funcțiile de supervizare (comenzi sau răspunsuri) ale unităților LLC - PDU de tip S, iar prin biții M se precizează funcțiile de comandă sau de răspuns ale unităților LLC - PDU de tip U. Biții X sunt rezervați. Câmpul de informație este de lungime variabilă, conținând, de regulă, pachetele provenite de la nivelul superior subnivelului LLC. Sunt cazuri însă când câmpul de informație este utilizat pentru unele funcțiuni din cadrul protocolului sau lipsește.

Prin biții S din câmpul de control se definesc trei tipuri de formate S sau, altfel spus, trei funcțiuni de supervizare:

- RR - recepția gata (Receive Ready);
- REJ - rejectare (Reject);
- RNR - recepția nu e gata (Receive Not Ready).

Prin biții M se definesc 10 tipuri de formate U:

UI - informație nenumerotată (Unnumbered Information), utilizat pentru transportul datelor de utilizator între o pereche de entități LLC;

XID - schimb de identificare (Exchange Identification), utilizat pentru a comunica informația de identificare între entități LLC sursă și destinație;

TEST - test, utilizat pentru testarea în buclă a căii de transmisiune între două entități LLC;

SABME - stabilește modul asincron echilibrat extins (Set Asynchronous Balanced Mode Extended), utilizat pentru a cere stabilirea unei conexiuni între o pereche de entități LLC;

UA - confirmare nenumerotată (Unnumbered Acknowledgment), transmis de o entitate LLC de destinație ca un răspuns de confirmare pozitivă la o comandă SABME sau DISC;

DM - mod deconectat (Disconnected Mode), utilizat pentru a rejecta o cerere de stabilire a unei conexiuni LLC;

DISC - deconectează (Disconnect), utilizat pentru a cere eliberarea unei conexiuni, stbilite în prealabil printr-o comandă SABME;

FRMR - rejectare cadru (Frame Reject), transmis de o entitate LLC de destinație pentru a semnala recepția unei unități LLC - PDU care nu corespunde cerințelor impuse acesteia;

AC0 și AC1 - informație confirmată, secvența 0 (Acknowledged Connectionless Information, Sequence 0), respectiv secvența 1, folosite pentru transmiterea datelor de utilizator între o pereche de entități LLC (formate utilizate în serviciul LLC fără conexiune, cu confirmare). Fiecare transmițător alternează utilizarea unităților LLC - PDU format AC0 și AC1. Un format AC0 este confirmat cu un format AC1 iar un format AC1 este confirmat cu un format AC0. În tabelul următor se specifică tipul serviciului LLC pentru care sunt utilizate diferitele formate ale unităților LLC - PDU.

Unități LLC-PDU

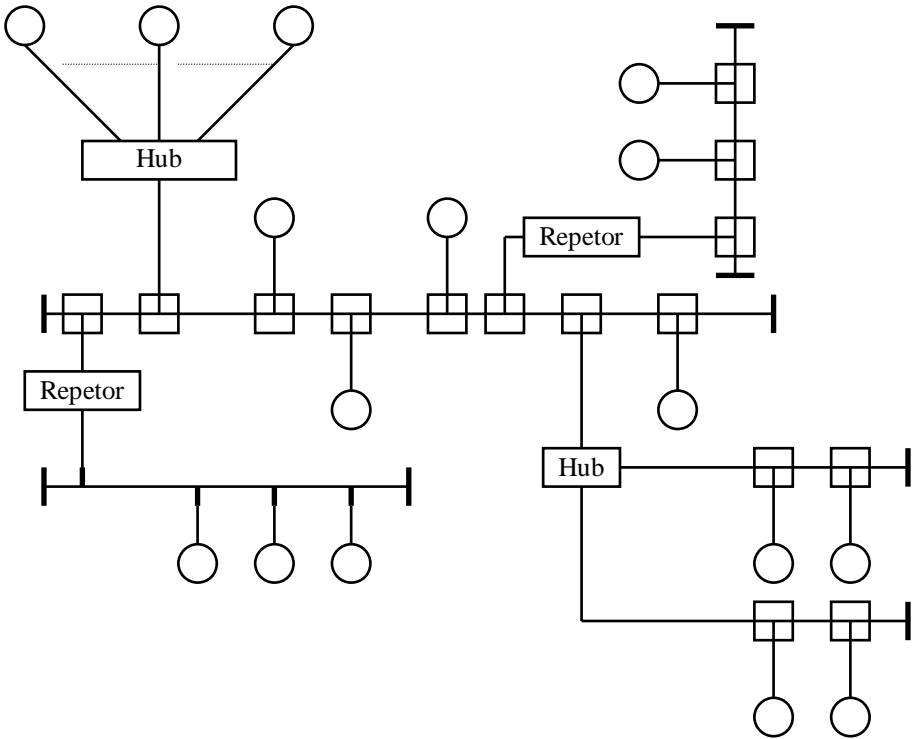
Tip serviciu LLC	Notăție (Numele LLC-PDU)	Tip			Comandă	Răspuns
		I	S	U		
1 - LLC fără conexiune	UI (Unnumbered Information)			x	x	x
	XID (Exchange Identification)			x		

	TEST (Test)			x	x	x
2-LLC cu conexiune	I (Information)	x			x	x
	RR (Receive Ready)		x		x	x
	RNR (Receive Not Ready)		x		x	x
	REJ (Reject)		x		x	x
	SABME (Set Asynchronous Balanced Mode)			x	x	
	DM (Disconnected Mode)			x		x
	DISC (Disconnect)			x	x	
	FRMR (Frame Reject)			x	x	x
	UA (Unnumbered Acknowledge)			x	x	x
3 - LLC fără conexiune, cu confirmare	AC0 (Acknowledged Connectionless Information, Sequence 0)			x	x	x
	AC1 (Acknowledged Connectionless Information, Sequence 1)			x	x	x

4.6 Rețele liniare CSMA/CD

Metoda de control al accesului la mediu numită acces multiplu prin percepția purtătorului și detectarea coliziunilor (CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) este normalizată în standardele IEEE 802.3/ISO 8802.3. O rețea LAN având legătura de date în conformitate cu aceste standarde este foarte frecvent numită rețea LAN Ethernet, deoarece standardele menționate se bazează pe specificările rețelei Ethernet elaborate de firmele DEC, Intel și Xerox în anii '70, la rândul ei inspirată de rețeaua ALOHA, realizată în 1970 pentru a interconecta, folosind undele radio, laboratoarele universitare din insulele Hawaii.

Practic sunt mai multe norme ce folosesc aceeași tehnică de acces, CSMA/CD, deosebiriile dintre ele fiind determinate de tipul suportului de transmisiune utilizat, debitul permis de suport și lungimile maxime ale segmentelor de cablu. La segmentele de cablu se conectează sistemele. Cu ajutorul repetoarelor sau al echipamentelor hub se interconectează segmentele de cablu rezultând o structură arbore fără rădăcină (fig. 4.27).



Sunt mai multe restricții relative la topologie, una dintre ele fiind aceea că trebuie să existe numai o singură cale fizică între două sisteme.

4.6.1 Subnivelul MAC

Cadrele MAC emise de un sistem ajung la toate celelalte sisteme din rețea și fiecare sistem trebuie să examineze adresa MAC de destinație conținută în cadru și să preia cadrele asociate lui.

Formatul cadrului MAC

Difuzarea cadrelor MAC pe suportul de transmisiune se face conform protocolului de la subnivelul MAC, folosind serviciile nivelului fizic. Specificările protocolului corespunzător subnivelului MAC - CSMA/CD definesc formatul cadrului MAC ca în figura 4.28.

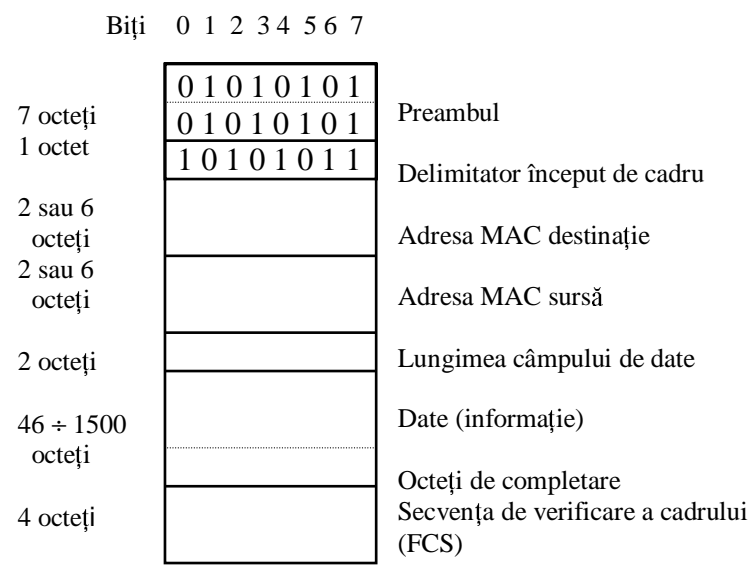


Figura 4.28 Formatul cadrului MAC

Câmpul de informație conține datele (MAC - SDU) primite de la entitatea LLC. Dimensiunea câmpului variază între 46 și 1500 octeți. Deoarece, din motive ce vor fi explicate ulterior, standardul impune ca lungimea cadrului, socotită începând cu câmpul adresei MAC destinație și sfârșind cu secvența de verificare a cadrului, să fie de cel puțin 64 octeți, în cazul în care datele provenind de la entitatea LLC reprezintă mai puțin de 46 octeți, câmpul de informație va fi completat de subnivleul MAC la această lungime. La stabilirea lungimii minime de 46 octeți s-a avut în vedere faptul că practic se folosesc numai adresele MAC de 6 octeți.

Preambulul, prin structura secvenței incluse, permite sincronizarea de bit la recepție. Câmpul următor, delimitator început de cadru, marchează începutul efectiv al cadrului. Aceste două câmpuri sunt atașate la cadrul MAC de către nivelul fizic și nu sunt socotite în lungimea cadrului.

Câmpurile de adrese identifică sistemul sau sistemele destinate și sistemul sursă. Câmpul de doi octeți ce urmează după adrese indică lungimea câmpului de date LLC. Câmpul secvenței de verificare a cadrului (FCS - Frame Check Sequence) permite detecția erorilor la recepție. În acest câmp se trec cei 32 biți rezultați în urma codării blocului ce include adresele, lungimea câmpului de date și câmpul de informație, polinomul generator al codului utilizat având gradul 32. Aceeași operație de codare se efectuează și la recepție și dacă biții astfel rezultați nu coincid cu cei din câmpul FCS al cadrului recepționat se decide că au intervenit erori.

Funcționarea protocolului MAC

Metoda de acces CSMA/CD prevede că un sistem gata să emită, având deci un cadru MAC pregătit, va asculta mai întâi mediul de transmisiune și, dacă acesta este liber, va transmite. Dacă mediul este ocupat stă în ascultare și când mediul devine liber începe să transmită, continuând ascultarea în timpul transmiterii cadrului. Dacă două sau mai multe sisteme au început transmiterea într-un interval de timp suficient de mic se va produce o coliziune. Sistemele care emit vor detecta rapid coliziunea, încetează transmiterea datelor și vor emite un scurt semnal de bruieră (jam) pentru a avertiza toate

sistemele din rețea. Sistemele care au fost în coliziune încetează apoi emisia și vor retransmite, fiecare, după o întârziere aleatoare.

Pentru o gestionare corectă a coliziunilor trebuie să se țină seama de întinderea rețelei, mai exact de timpul de propagare dus-întors (round trip delay) maxim al rețelei. Acest timp depinde de suportul fizic de transmisiune (tip și lungime), de numărul repetoarelor prin care trece semnalul pentru a ajunge de la un sistem la celălalt. El include de asemenea și timpii necesari pentru traversarea elementelor de conexiune a sistemelor la rețea. Valoarea maximă admisibilă pentru acest timp este, conform standardului 802.3, de 51,2 μ s, ceea ce corespunde timpului necesar emiterii a 512 biți cu debitul de 10 Mb/s. Acest interval de timp este numit tranșă canal (time slot).

Exemplul care urmează evidențiază importanța acestui interval de timp. Să presupunem situația cea mai defavorabilă, când unul dintre cele două sisteme cele mai îndepărtate între ele, să-l numim S1, a început să emită iar celălalt, să-l numim S2, intră în emisie cu foarte puțin timp înainte ca primii biți din cadrul emis de S1 să se fi propagat până la el. Va fi o suprapunere de cadre, deci o coliziune, care va fi detectată de sistemul S2. El va începe procesul de gestionare a coliziunii: încetează emiterea propriului cadru și va transmite semnalul de bruieră care va semnaliza coliziunea. Acest semnal de coliziune este difuzat în rețea și se va propaga și către sistemul S1. Dacă sistemul S1 încheie emiterea cadrului său înainte de a-i parveni semnalul de coliziune, el nu va sesiza coliziunea și deci nu va ști dacă s-a produs sau nu o coliziune, dacă mesajul (cadrul) emis de el a ajuns la destinație neafectat de coliziune. Pentru a evita această situație este necesar ca lungimea minimă a cadrului emis să fie de 512 biți, ceea ce înseamnă 64 octeți.

Semnalul de bruieră, utilizat pentru intensificarea coliziunii, este necesar deoarece altfel, în cazul în care s-ar produce o coliziune între cadrele emise de două sisteme apropiate, ele ar înceta foarte rapid emiterea cadrelor, semnalul rezultat în urma coliziunii ar fi de foarte scurtă durată și ar putea fi de amplitudine redusă. În propagarea sa către sistemele îndepărtate este atenuat suplimentar și coliziunea nu ar fi detectată și de către acestea. Secvența de bruieră nu este specificată în standard.

Dacă tentativele de transmisiune ale unor stații diferite sunt separate între ele prin mai mult de 51,2 μ s nu se produc coliziuni. În caz contrar sunt posibile coliziunile. Întârzierea cu care se încearcă retransmiterea cadrului după o coliziune este un multiplu al tranșei canal. Notând acest multiplu cu M întârzierea va fi $M \cdot 51,2 \mu$ s. Numărul întreg

M este aleatoriu, generat într-un domeniu de valori a cărei mărime se stabilește conform unui algoritm numit BEB (truncated binary exponential backoff).

Fie N numărul de coliziuni pe care un cadru le-a suferit deja. Se alege M astfel ca $0 \leq M < 2^N$, dacă $N \leq 10$ și $0 \leq M < 2^{10}$, dacă $10 \leq N \leq 16$. Astfel, după prima coliziune M poate fi 0 sau 1, după a doua coliziune poate fi 0, 1, 2 sau 3 ș.a.m.d.. Pentru $N \in [10, 16]$ M este generat aleatoriu în domeniul 0÷1023. Dacă și după 17 încercări nu s-a reușit transmiterea cadrului, subnivelul MAC abandonează încercările de transmisiune și semnalează starea de “coliziuni excesive”.

În figura 4.29 sunt prezentate organigramele pentru emisia (a) și pentru recepția (b) cadrelor MAC. Acest algoritm a fost ales pentru a adapta dinamic numărul sistemelor ce încearcă să transmită în același timp. Dacă s-ar stabili de la început domeniul maxim de valori pentru M, probabilitatea de coliziune pentru a doua oară, pentru două sisteme, ar fi neglijabilă, dar timpul de așteptare după o coliziune ar fi de sute de tranșe de canal, introducând astfel o întârziere foarte mare.

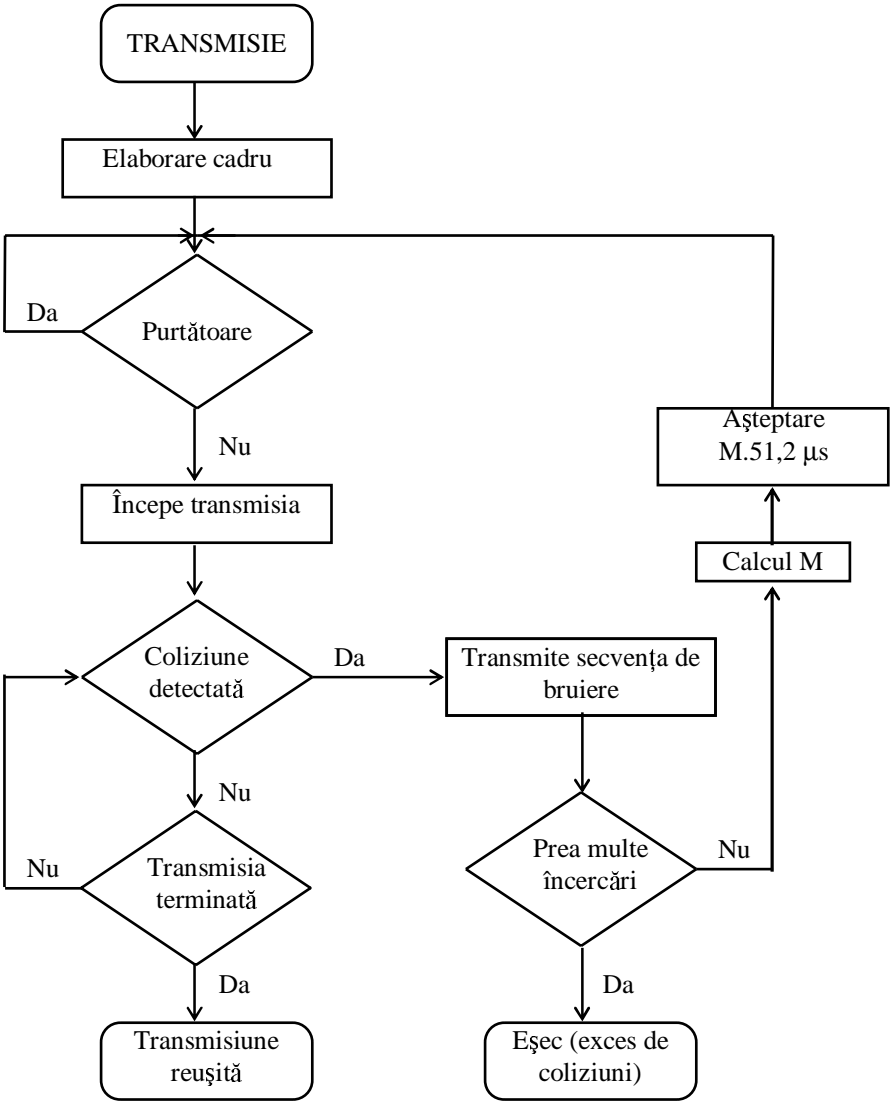
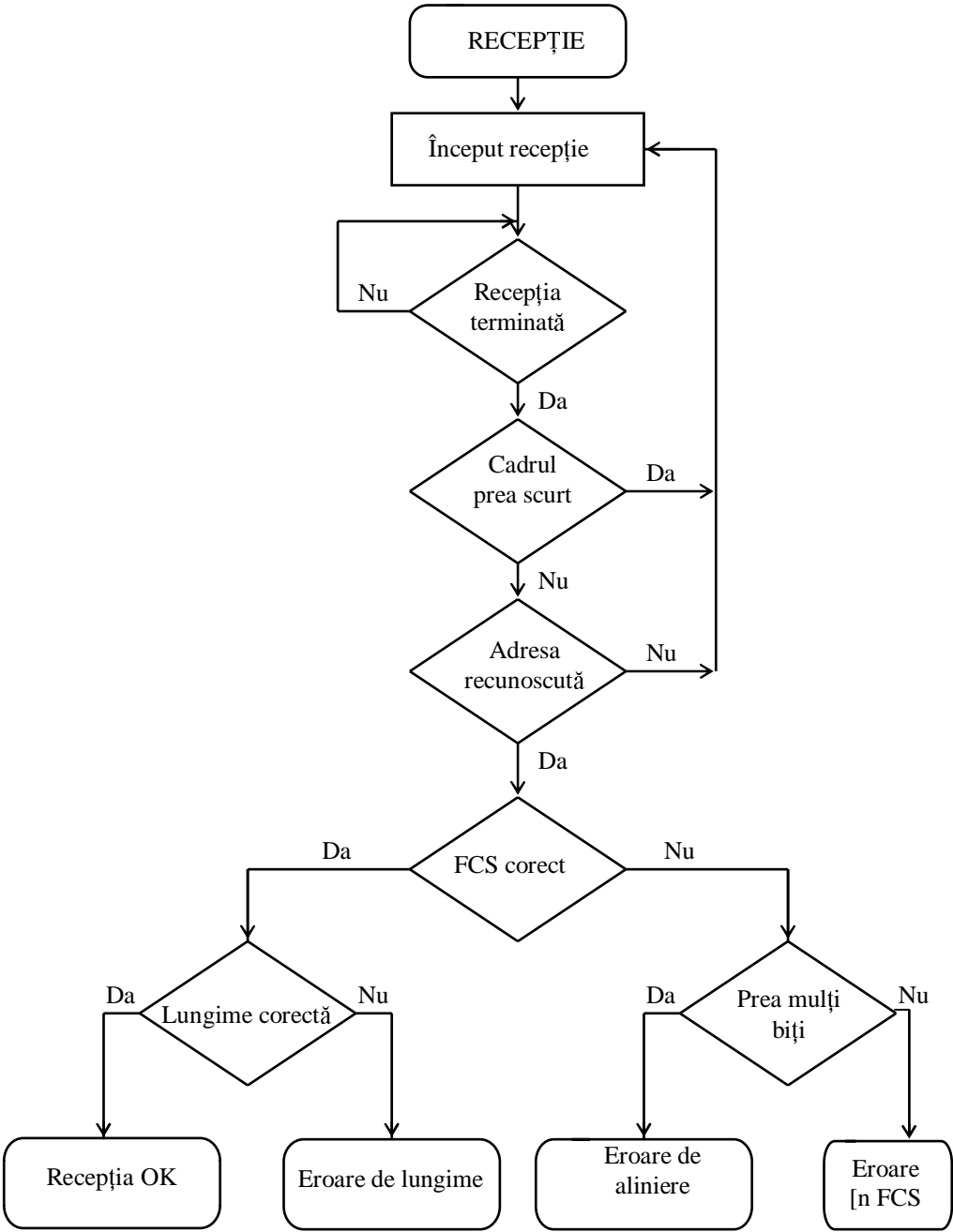


Figura 4.29.a Organigramă pentru emisia cadrelor MAC

Pe de altă parte, dacă fiecare sistem ar alege totdeauna între $M=0$ și $M=1$ și dacă mai multe sisteme încearcă să emită în același timp, ele vor avea coliziuni până când un sistem ar alege $M=0$ și celelalte sisteme ar alege $M=1$, ceea ce ar putea necesita un interval de timp foarte mare. Având însă un interval aleatoriu crescând exponențial pe măsură ce tot mai multe coliziuni se produc, algoritmul asigură o întârziere mică atunci când doar câteva sisteme intră în coliziune și, de asemenea, asigură rezolvarea coliziunilor într-un interval de timp rezonabil când intră în coliziune multe sisteme.



Dacă un sistem are de transmis mai multe cadre el procedează la fel pentru fiecare cadru: ascultă mediul, așteaptă eventual până ce mediul devine liber, emite. Între cadre se impune o întârziere minimă egală cu durata necesară transmiterii a 96 biți, deci 9,6 μ s. Această întârziere este respectată și în cazul în care cadrele provin de la sisteme diferite. Ea permite reinițializarea tuturor proceselor legate de nivelele 1 și 2, precum și stabilizarea condițiilor electrice pe suportul de transmisiune.

Rezumând, parametrii relativi la cadrele MAC sunt:

- tranșa canal: 512 biți (51,2 μ s);
- intervalul între cadre: 9,6 μ s;
- număr maxim de încercări: 16;
- limita BEB (N): 10;
- durata bruiajului: 32 biți;
- lungimea minimă a cadrului: 64 octeți;
- lungimea maximă a cadrului: 1518 octeți;
- lungimea adreselor: 6 octeți;
- așteptarea aleatorie: 51,2 μ s - 5,24 ms.

Entitățile LLC din două sisteme își transferă reciproc unități LLC - PDU, în cadrul protocolului LLC, prin intermediul serviciilor oferite de subnivelul MAC constituit din entități MAC din cele două sisteme. Primitivele de serviciu utilizate în interfața LLC - MAC sunt prezentate în figura 4.30.

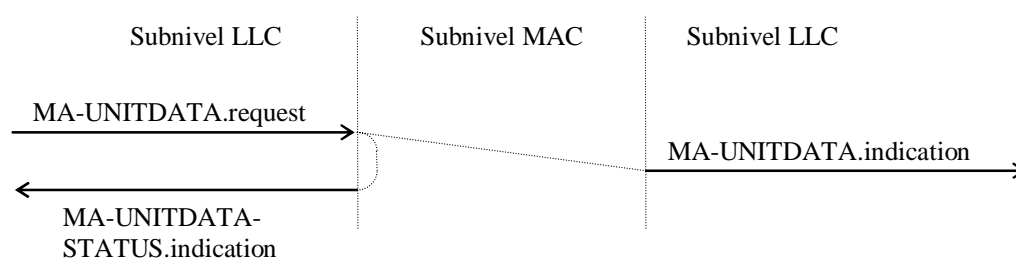


Figura 4.30 Primitive de serviciu în interfața LLC - MAC

Primitiva MA-UNITDATA.request (adresa-destinație, date, clasa-serviciului), între paranteze fiind parametrii primitivei, este generată de entitatea LLC în sistemul sursă pentru a cere entității MAC din același sistem transmiterea unei unități MAC - SDU (echivalentă cu LLC - PDU) către unul sau mai multe sisteme de destinație. Prin parametrul “date” se înțelege unitatea MAC - SDU. În ceea ce privește clasa serviciului, standardul CSMA/CD prevede o singură clasă de servicii și entitatea MAC va ignora acest parametru (cu utilizare în alte standarde MAC).

Primitiva MA-UNITDATA-STATUS.indication (starea-transmisiei) este generată de entitatea MAC din sistemul sursă pentru a informa entitatea LLC din același sistem despre reușita sau nereușita încercării de a transmite unitatea LLC - PDU, deci dacă primitiva anterioară MA-UNITDATA.request a fost acceptată sau nu de entitatea MAC.

Primitiva MA-UNITDATA.indication (adresa-destinație, adresa-sursă, date, starea-recepției) este generată de entitatea MAC din sistemul destinație către entitatea LLC pentru a indica recepționarea unei unități MAC - SDU și pentru a o transfera acesteia. Prin parametrul “starea-recepției” se indică entității LLC dacă unitatea MAC - SDU a fost recepționată fără erori.

De remarcat faptul că operațiile de codare și de decodare se efectuează la subnivelul MAC, dar cererea de retransmitere a cadrului eronat se face la subnivelul LLC, în cazul serviciului LLC cu conexiune.

4.6.2 Nivelul fizic

Conform standardului CSMA/CD nivelul fizic este constituit din următoarele componente (fig. 4.31):

- subnivelul de semnalizare fizică (PLS - Physical Signalling);
- subnivelul de conexiune la mediu (PMA - Physical Medium Attachment);
- interfața dependentă de mediu (MDI - Medium Dependent Interface);
- mediul de transmisiune.

Subnivelul PLS asigură servicii subnivelului MAC. În sistemul sursă realizează codarea datelor (cod Manchester), ascultă mediul semnalând subnivelului MAC dacă este liber sau nu și detectează coliziunile. În sistemul de destinație realizează decodarea datelor.

Subnivelul PMA asigură servicii subnivelului PLS și, ca intermediar între subnivelul PLS și mediul de transmisie, definește caracteristicile unui mediu de transmisie particular. În mod frecvent subnivelul PLS este realizat împreună cu subnivelul MAC pe o aceeași placă NIC, numită și controler Ethernet, aflată în interiorul sistemului, iar subnivelul PMA este realizat separat, în exteriorul sistemului, într-un dispozitiv numit unitate de cuplare la mediu (MAU - Medium Attachment Unit).

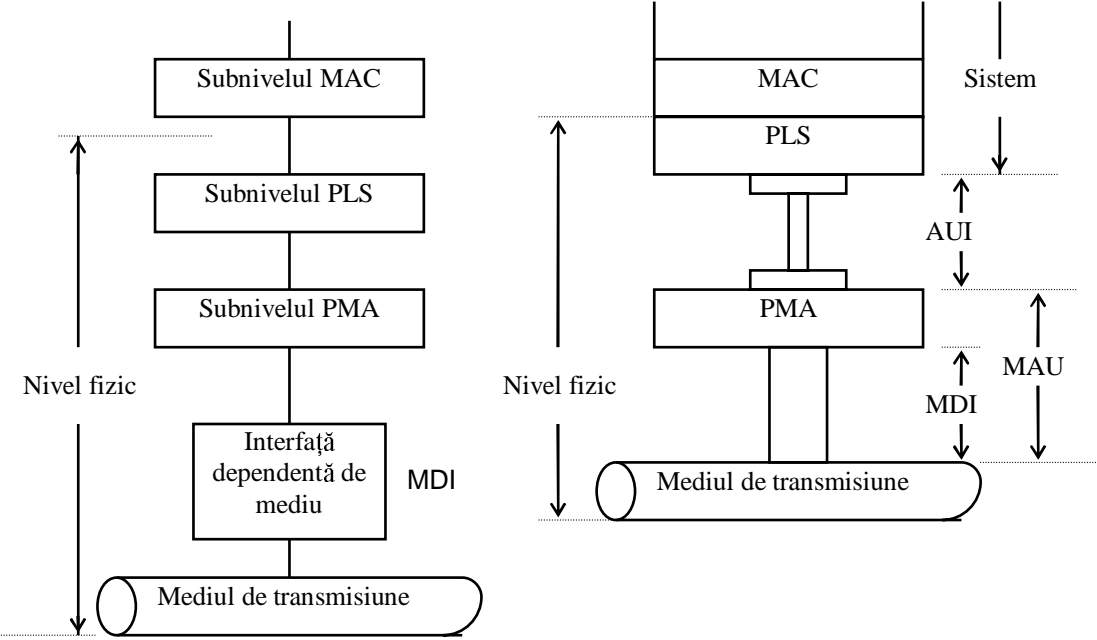


Figura 4.31 Arhitectura nivelului fizic CSMA/CD

În implementările practice dispozitivul MAU este frecvent numit transceiver (prin contracția cuvintelor din limba engleză transmitter și receiver). În acest caz interfața PLS/PMA este o interfață concretă (fig. 4.32), numită interfață de conexiune a sistemului (AUI - Attachment Unit Interface).

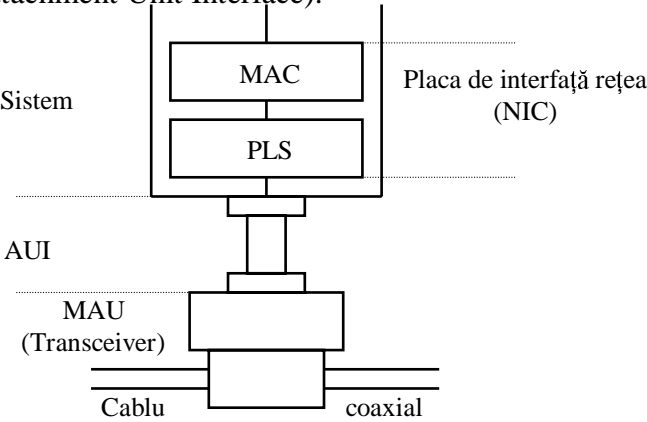


Figura 4.32 Conectarea sistemului la cablu

AUI este de fapt constituit din cablul și conectorii utilizați pentru a conecta sistemul la transceiverul fixat pe suportul de transmisiune (cablul coaxial gros, galben). Cablul de conexiune mai este numit cablu transceiver sau cablu de coborâre. Acest cablu conține patru sau cinci perechi ecranate individual și incluse toate într-un alt ecran, utilizate pentru (fig. 4.33):

- emisie, de la sistem către transceiver (pinii 1 și 10 în conector, ecranul pe pinul 11);
- recepție (5 - 12, 4);
- coliziune, de la transceiver către sistem (2 - 9, 1);
- alimentarea transceiverului cu tensiune de 12÷15 v (6 - 13, 14);
- control (pereche opțională, rar inclusă în cablu), de la sistem către transceiver (7-15).

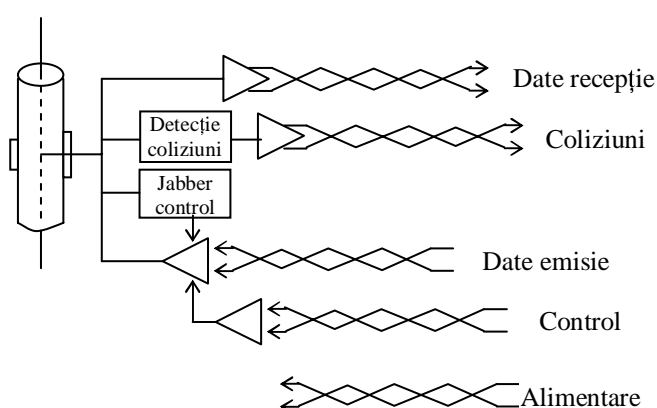


Fig. 4.33 Transceiverul și cablul AUI

Ecranele individuale sunt izolate de cel exterior și sunt folosite pentru potențialul de referință. Lungimea maximă a cordonului AUI este de 50 m. În majoritatea cazurilor însă cordonul are 3 - 5 m. Există și cabluri AUI de secțiune mai mică, cu atenuare mai mare decât a celui normalizat, folosite frecvent datorită flexibilității mărite și prețului mai mic, dar cu lungime maximă admisibilă mai mică, depinzând de tipul lor.

Transceiverul are două funcțiuni principale, emisie - recepție și detecția coliziunilor, la care se adaugă funcțiunea “jabber” de protejare a rețelei dacă sistemul, datorită unei defecțiuni, emite continuu (jabber - a flecări, a trăncăni) și funcțiunea eroare de calitate a semnalului (SQE - Signal Quality Error), prin care sistemul este avertizat că pe mediul de transmisiune este un semnal impropriu.

Transceiverul este o interfață activă între sistem și mediul de transmisiune. Sistemul comunică exclusiv cu transceiverul. Transmisiunea și recepția semnalelor se fac în codul Manchester (fig.4.34), cod care asigură prezența informației de sincronizare în semnalul de date însuși.

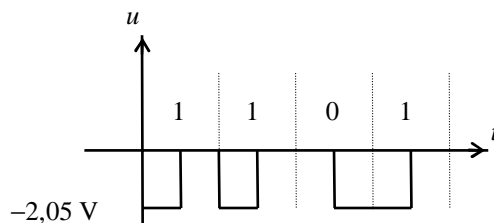


Fig. 4.34 Codul Manchester

Semnalul transmis pe mediul de transmisiune are o componentă continuă cu tensiunea de $-1,025\text{ V}$ și o componentă alternativă, corespunzătoare reprezentării datelor prin $+1,025\text{ V}$ și $-1,025\text{ V}$. Suma acestor două componente face ca nivelele de tensiune ale semnalului de date să fie de 0 V și $-2,05\text{ V}$.

În cazul unei coliziuni crește valoarea absolută a componentei continue a semnalului. Pragul de tensiune pentru componenta continuă, de la care transceiverul decide că a intervenit o coliziune, este în jur de $-1,5\text{ V}$ (între $-1,492\text{ V}$ și $-1,692\text{ V}$ pentru cablul coaxial gros 10 BASE 5 și între $-1,404\text{ V}$ și $-1,581\text{ V}$ pentru cablul coaxial subțire 10 BASE 2).

Pentru cablurile cu perechi răsucite (10 BASE - T) și fibră optică (FOIRL și 10 BASE - F) se decide că este coliziune dacă transceiverul detectează în același timp activități de emisie și de recepție.

Dacă transceiverul detectează o coliziune el previne sistemul la care este racordat printr-un semnal SQE, transmis pe perechea coliziune a cordonului AUI. Evident, acest semnal nu este transmis și pe mediu. Dacă sistemul este în curs de transmisiune, deci coliziunea s-a produs chiar cu propriul cadru în curs de emisie, el va

înceta transmisiunea declanșând procesul de gestiune a coliziunilor: emite semnalul de bruierie și așteaptă un interval de timp aleatoriu ca să reia transmiterea cadrului.

Transceiverul are și rolul de a proteja rețeaua în cazul unei funcționări defectuoase a sistemului la care este racordat, funcționare care ar face inutilizabilă rețeaua. Acesta este cazul în care sistemul emite continuu pe durate mai mari decât cele corespunzătoare lungimii maxime admisibile a unui cadru (1,214 ms la 10 Mb/s și 12,14 ms la 1 Mb/s). Prin funcția jabber transceiverul întrerupe emiterea semnalelor spre mediul de transmisiune după un interval cuprins între 20 și 150 ms de la începutul unei emisii continue. Sistemul continuă eventual să emită spre transceiver, dar acesta nu va mai transmite nimic pe cablu. Reinițializarea funcției jabber se face după 0,5 secunde de la revenirea la funcționarea normală a sistemului.

Semnalul SQE este transmis de transceiver către sistem pe perechea coliziune a cordonului AUI în următoarele situații:

- transceiverul a detectat o coliziune;
- transceiverul a activat funcția jabber;
- după emiterea fiecărui cadru, transceiverul realizând un test SQE (funcție opțională) pentru a verifica circuitul (transceiverului) de detectare a coliziunilor precum și legătura între transceiver și sistem.

Transceiverul prezintă două interfețe fizice: una spre mediul de transmisiune, dependentă de tipul mediului (MDI) și numită în mod curent capul transceiverului, cealaltă spre cordonul AUI.

Pentru cuplarea la cablul coaxial 10 BASE 5 există două tipuri de conectoare: conectorul serie N și conectorul tip vampir. Conectorul serie N este un sistem cu șurub care necesită, pentru montarea sa, tăierea cablului, motiv pentru care este mai puțin utilizat în acest scop. În schimb este utilizat la conectarea în cascadă a secțiunilor de cablu pentru a forma un segment și la conectarea rezistențelor de terminăție (adaptare) la capetele segmentelor de cablu.

Conectorul de tip vampir este foarte utilizat, poate fi montat chiar când rețeaua este în funcțiune. Două vârfuri găuresc învelișul cablului pentru a face contact, unul cu conductorul exterior iar altul, mai lung și care străpunge dielectricul, cu conductorul central al cablului.

Pentru cablul coaxial 10 BASE 2 se folosesc mufe BNC, pentru a forma un conector în T, necesitând tăierea cablului. Și pentru celelalte tipuri de medii de transmisiune există o conecție normalizată.

Transceiverele sunt concepute pentru a funcționa cu un debit cuprins între 1 Mb/s și 20 Mb/s. Toate echipamentele conectate la o rețea LAN trebuie să funcționeze cu același debit, ce poate fi selectat manual la instalare. Practic însă, cele mai multe rețele Ethernet folosesc debitul de 10Mb/s.

4.6.3 Medii de transmisiune CSMA/CD

Standardul 802.3 specifică subnivelul MAC și nivelul fizic pentru rețelele CSMA/CD. Specificările relative la mediul de transmisiune au fost elaborate succesiv, pentru fiecare mediu de transmisiune, în capitole separate ale standardului, notate 802.3a, 802.3b, 802.3c etc.

Fiecărui mod de funcționare pe un anumit mediu de transmisiune i s-a atribuit o notație care este de regulă de tipul D M L, în care D este un număr ce reprezintă debitul în Mb/s, M este un nume ce reprezintă metoda de transmisiune (BASE pentru transmisiune în banda de bază și BROAD pentru transmisiune în bandă largă, prin modulație), iar L este, cu unele excepții, un număr care reprezintă lungimea maximă a unui segment de cablu, exprimată în sute de metri. Excepțiile apar în cazul perechilor răsucite și al fibrei optice, folosindu-se literele T (de la twisted - răsucit) și respectiv F (de la fiber - fibră) în locul lungimii. În momentul de față există următoarele norme:

- 10 BASE 5, însemnând 10 Mb/s, în banda de bază, cu segmente de cablu coaxial gros având, fiecare, o lungime de maximum 500 m;
- 10 BASE 2 - 10Mb/s, în banda de bază, cu segmente de cablu coaxial subțire, având lungimea maximă de 200 m (mai exact 185 m);
- 10 BASE T - 10 Mb/s, în banda de bază, pe cablu cu perechi răsucite;
- 10 BROAD 36 - 10 Mb/s, în bandă largă, cu segmente de cablu CATV de lungime maximă 1800 m și distanță maximă între sisteme de 3600 m;
- 10 BASE F - 10 Mb/s, în banda de bază, pe fibră optică;
- Fast Ethernet (standard 802.3u: 100 BASE-T4, 100 BASE-TX, 100 BASE-FX) cu debitul de 100 Mb/s;
- 1 Gigabit Ethernet (standard 802.3z);
- 10 Gigabit Ethernet (standard 802.3ae);

- Ethernet in the First Mile (standard 802.3ah, EFM).

Cablul coaxial gros: 10 BASE 5 (Ethernet Standard)

Mediul de transmisiune este cablul coaxial gros, al cărui diametru exterior este în jur de 10 mm. Iată câțiva parametri electrici și fizici ai acestui tip de cablu:

- impedanța caracteristică: $50 \pm 2 \Omega$;
- atenuarea pentru un segment de 500 m: $\leq 8,5 \text{ dB}$ la 10 MHz și $\leq 6 \text{ dB}$ la 5 MHz;
- viteza de propagare a semnalului: $\geq 0,77 c$ (c fiind viteza luminii în vid);
- raza de curbură minimă permisă: $\leq 25 \text{ cm}$.

Valorile prezentate corespund performanțelor minime impuse. Cablul este folosit în domeniul de frecvențe de până la 20 MHz. Cămașa cablului trebuie să aibă o culoare strălucitoare, de preferință galbenă și să fie inscripționată la fiecare 0,5 m. Un segment de cablu poate avea o lungime de maximum 500 m și poate fi constituit din mai multe secțiuni de cablu conectate între ele prin conectori N. Rezistența unui segment de cablu, inclusiv conectorii, scurtcircuitat la un capăt (în buclă) nu trebuie să depășească 5Ω . La îmbinarea secțiunilor de cablu pentru a forma un segment trebuie să se țină seama de reflexiile cauzate de neadaptările de impedanțe. Se recomandă a se folosi secțiuni de cablu din același lot de fabricație. Dacă nu sunt din același lot de fabricație, pentru a evita ca reflexiile provocate de neadaptări să se adune în fază, se recomandă ca lungimile secțiunilor de cablu ce alcătuiesc un segment să fie multipli impari ai jumătății de lungime de undă la 5 MHz, adică lungimi de 23,4 m, 70,2 m sau 117 m ($\pm 0,5 \text{ m}$). Practic este bine să se facă măsurători de reflectometrie pentru a verifica dacă semnalul reflectat are, așa cum se cere, o amplitudine mai mică de 7% din cea a semnalului incident.

Cămașa cablului este marcată la fiecare 2,5 m, aceste marcări reprezentând punctele posibile de conexiune pentru transceiver. Distanța minimă de 2,5 m între două puncte de conexiune alăturate asigură o atenuare suficientă pentru reflexiile provocate de aceste conexiuni ca să nu afecteze funcționarea transceiverelor vecine. Tot ca o măsură de prevenire a apariției unor semnale reflectate de amplitudine mare (prin însumare), numărul transceiverelor conectate pe un segment este limitat la 100. Segmentele de cablu trebuie terminate la capete pe rezistențe de 50Ω (tot pentru a evita reflexiile). Fiecare segment trebuie legat la pământ numai la unul din capetele sale.

Rezistențele de terminație sunt prevăzute cu bornă de masă. Pentru a mări dimensiunea rețelei și pentru a-i extinde topologia se folosesc repetoare (fig. 4.35). Repetoarele conectate la un segment de cablu ocupă poziții ale transceiverelor și se socotesc la numărul maxim de conexiuni pe segment. Cablurile de conexiune (AUI) nu trebuie să fie mai lungi de 50 m.

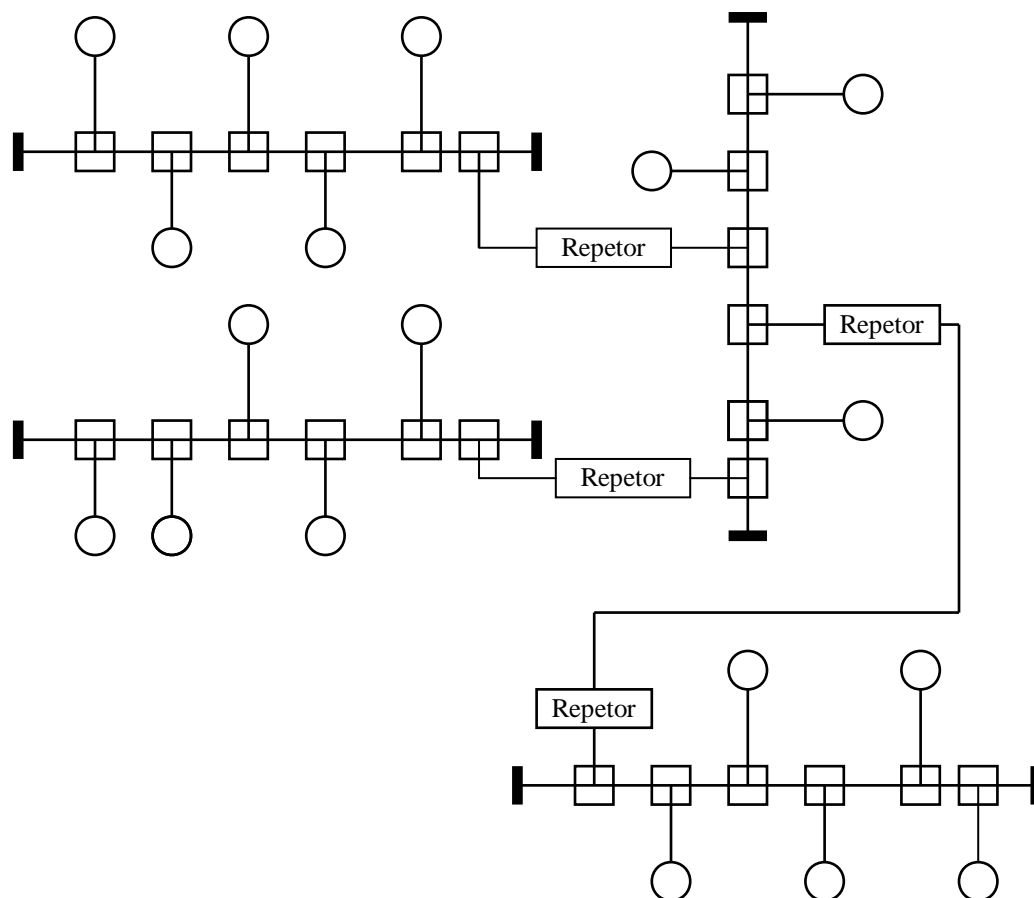


Fig. 4.35 Configurație tipică 10 BASE 5

Un segment de cablu utilizat pentru a interconecta două repetoare și care nu are conectate sisteme la el este numit legătură punct la punct sau legătură între repetoare (IRL - Inter-Repeater Link). Un astfel de segment, realizat din fibră optică, este numit legătură între repetoare pe fibră optică (FOIRL - Fiber-Optic Inter-Repeater Link).

Între două sisteme din rețea trebuie să existe o singură cale fizică de transmisiune și aceasta nu trebuie să aibă mai mult de patru repetoare și cinci segmente de cablu, iar dintre acestea numai trei pot fi cu sisteme conectate la ele, celelalte două trebuie să fie pentru legături punct la punct. Rezultă că între două sisteme putem avea 1500 m pe segmente de cablu cu sisteme și 1000 m pe segmente de cablu fără sisteme,

adică o distanță maximă de 2500 m, fără a lua în considerație lungimea cablurilor AUI. Aceste restricții, împreună cu cele privind timpii de propagare pentru segmentele de cablu, cablurile AUI și repetoare, asigură limita maximă de 51,2 μ s pentru tranșa canal (timpul de propagare dus-întors între două sisteme).

De obicei, date fiind rigiditatea, diametrul său mare, costul ridicat, cablul coaxial gros este utilizat pentru segmentele ce alcătuiesc artera centrală (backbone) a rețelei și nu pentru distribuția la posturile de lucru, care se face de regulă cu cablu coaxial subțire sau cu perechi răsucite.

Cablul coaxial subțire 10 BASE 2

Principalele caracteristici ale cablului coaxial subțire, având diametrul exterior de 4,8 mm, sunt:

- impedanța caracteristică: $50 \pm 2 \Omega$;
- atenuarea unui segment de 185 m: $\leq 8,5$ dB la 10 MHz și ≤ 6 dB la 5 MHz;
- viteza de propagare a semnalului: $\geq 0,65$ c;
- raza de curbura minimă: ≤ 5 cm.

Lungimea maximă a segmentelor de cablu, ținând seama de atenuarea mai mare pe unitate de lungime decât la cablul gros, este de 185 m. Punctele de conexiune pentru transceivere sunt marcate la 0,5 m unul de altul. La un segment se pot conecta maximum 30 de sisteme. Conexiunile sunt în T și se fac prin mufe BNC. Suplețea cablului permite ca el să fie adus direct la placa de interfață rețea (NIC). Standardul nu prevede utilizarea unui transceiver separat de sistem, dar între conexiunea în T la cablu și transceiver distanța nu trebuie să fie mai mare de 4 cm, așa încât, de regulă, transceiverul este pe placa NIC și conexiunea se face direct la această placă, unde se află și conectorul în T.

Ca și la 10 BASE 5 se poate mări lungimea rețelei și se poate crea o structură în arbore folosind repetoare. Frecvent sunt utilizate repetoare multiport, numite și hub. La fiecare port se pot conecta, prin cablul coaxial subțire, un singur sistem sau mai multe sisteme, rezultând o configurație stea (fig. 4.36). Ca și la 10 BASE 5, o rută de comunicații maximală între două sisteme este limitată la cinci segmente și patru repetoare. Cele cinci segmente pot include cel mult trei segmente la care sunt conectate sisteme, celelalte fiind segmente de legătură punct la punct între repetoare. Se pot utiliza și combinații hibride de segmente 10 BASE 2 și 10 BASE 5. În acest caz fiecare

segment 10 BASE 2 nu trebuie conectat la mai mult de un segment 10 BASE 5. Cu alte cuvinte, într-o rețea hibridă segmentele 10 BASE 2 sunt segmente periferice, iar segmentele 10 BASE 5 formează artera principală a rețelei.

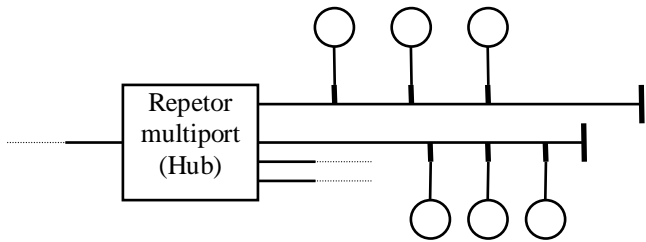


Fig. 4.36 Configurație stea 10 BASE 2 utilizând repetor multiport

Cablul cu perechi răsucite 10 BASE – T

Norma 10 BASE - T (10 Mb/s, în banda de bază, pe cablu cu perechi răsucite) a fost adoptată în anul 1990, după ce în anii ‘80 a fost utilizată rețeaua de tip 1 BASE 5, de asemenea pe cablu cu perechi răsucite, dar cu un debit de numai 1 Mb/s.

Spre deosebire de normele 10 BASE 5 și 10 BASE 2, norma 10 BASE - T nu definește precis cablul utilizat, permițând o gamă largă de cabluri cu perechi răsucite existente. Principalele caracteristici ale cablului sunt:

- cablu cu mai multe perechi, fără ecranare individuală;
- diametrul conductorilor: 0,4 - 0,6 mm;
- atenuarea unui segment de cablu: $\leq 11,5$ dB în banda 5 - 10 MHz;
- impedanța caracteristică: $100 \pm 15 \Omega$ în banda 1 - 16 MHz;
- viteza de propagare a semnalului: $\geq 0,585$ c, cu un timp de propagare pe segmentul de cablu de cel mult 1 μ s.

Lungimea maximă a unui segment de cablu, depinzând de atenuarea sa și de viteza de propagare a semnalului, este în jur de 100 m. Spre deosebire de 10 BASE 5 și 10 BASE 2, în cazul utilizării cablului cu perechi răsucite sistemele nu sunt conectate pe aceeași pereche. Fiecare sistem este conectat individual, prin două perechi, direct la un repetor multiport (fig. 4.37).

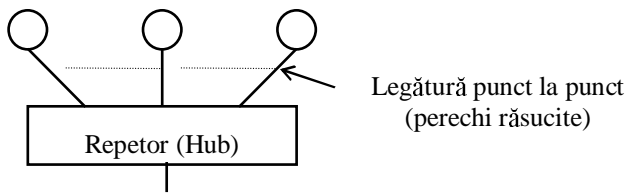


Fig. 4.37 Topologie stea cu repetor multiport

Legăturile fiind de tip punct la punct, conflictele de acces nu apar pe aceste legături ci în repetorul multiport, acesta reprezentând o resursă partajată și care, de asemenea, asigură proprietatea de difuziune a rețelei Ethernet. Ceea ce un sistem emite către repetor va fi difuzat de repetor către celelalte sisteme. Dacă mai multe sisteme transmit simultan către repetor, acesta va genera semnalul de coliziune care se transmite către toate sistemele conectate la el.

Rețeaua 10 BASE - T, cu topologia sa de tip stea este, în anumite privințe, mai ușor de administrat decât o rețea liniară. O defecțiune apărută pe o legătură între un sistem și repetor afectează numai sistemul respectiv deoarece, prin testarea periodică de către repetor a fiecărei legături, sistemele pe ale căror legături apar defecțiuni sunt eliminate, din punct de vedere logic, din rețea. După remedierea defecțiunii sistemul care a fost dezactivat logic este reconectat la rețea. Toate aceste operațiuni se execută automat, fără intervenția operatorului.

Repetoarele 10 BASE - T pot fi interconectate pentru a forma o rețea mai întinsă, folosind segmente de cablu 10 BASE - T, 10 BASE 5 și 10 BASE 2.

Fibra optică 10 BASE – F

O primă normă, adoptată în anul 1989, se referă la utilizarea fibrei optice pentru legături între repetoare (FOIRL - Fiber-Optic Inter-Repeater Link). O a doua normă, mai generală și asemănătoare prin scopul ei normei 10 BASE - T, a fost adoptată în anul 1992: 10 BASE - F. Cele două norme prevăd același tip de cablu optic, cu următoarele caracteristici:

- fibră multimod cu indice gradat;
- atenuare: 3,75 dB/Km la $\lambda=850\text{nm}$;
- produsul bandă de frecvențe-distanță: 160 MHz.Km;
- timp de propagare: 5 $\mu\text{s/Km}$ (viteza de propagare $2c/3$).

Lungimea maximă a unui segment de cablu este 1000 m (norma FOIRL) sau 2000 m (norma 10 BASE - F). Dimensiunile recomandate pentru fibra optică sunt 62,5/125 μm (diametrul miezului/diametrul învelișului). Pot fi utilizate și fibre de alte dimensiuni, care pot prezenta avantajul unei atenuări mai mici și ar permite astfel distanțe mai mari, dar trebuie să fie luate în considerație următoarele două aspecte.

Folosirea unei fibre de dimensiuni mai reduse, spre exemplu 50/125 μm , conduce la pierderi de putere optică la emisie, de cca 5 dB, datorită aperturii mai mici, cu un câștig însă la recepție de maximum 1dB, mai mic deci decât pierderea de la emisie. Pe de altă parte, cu o fibră de dimensiuni mai mari, spre exemplu 100/140 μm , rezultă un câștig de putere optică la emisie de 2 dB, dar o pierdere mai mare la recepție, de până la 4dB. Acest lucru se datorește faptului că echipamentele active, emițător și receptor, sunt construite pentru fibra de 62,5/125 μm și utilizarea altor fibre conduce la atenuări introduse de cuplarea acestor echipamente cu fibra.

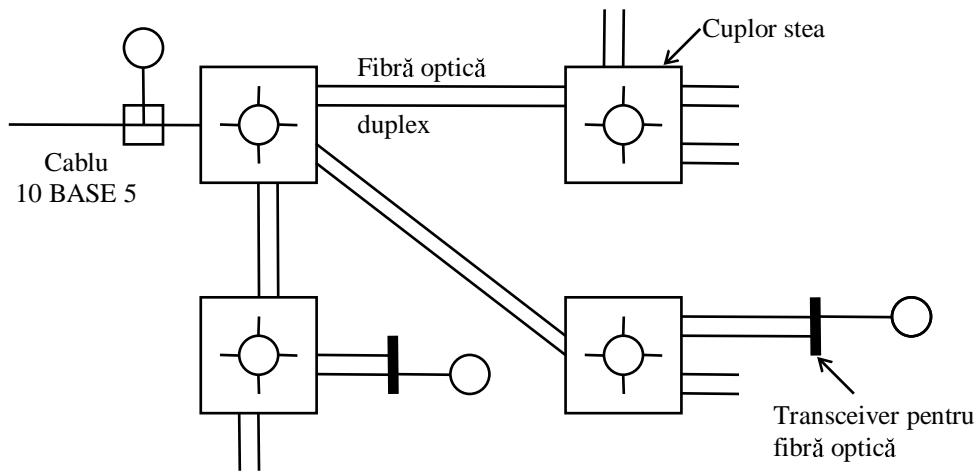


Fig. 4.38 Rețea 10 BASE - F

Un al doilea aspect de care trebuie să se țină seama este legat de restricțiile impuse timpului de propagare, restricții ce limitează distanța. Așa se și explică de ce norma nu prevede utilizarea unei fibre foarte performante din punct de vedere al atenuării.

Utilizatorii rețelei 10 BASE - F folosesc aceeași placă de interfață rețea (NIC) de tip Ethernet. Totuși topologia unei astfel de rețele nu este liniară, ci stea, adesea cu mai multe nivele (fig.4.38). În nodurile rețelei se află cuplorii stea, de la care pleacă legăturile duplex punct la punct (segmente de legătură optică) spre transceiverele optice ale altor cuploare sau ale utilizatorilor. Cuploarele stea sunt fie active, fie pasive și la ele sunt conectate două sau mai multe segmente de legătură, fiecare segment fiind compus din două fibre, câte una pentru fiecare sens de transmisie.

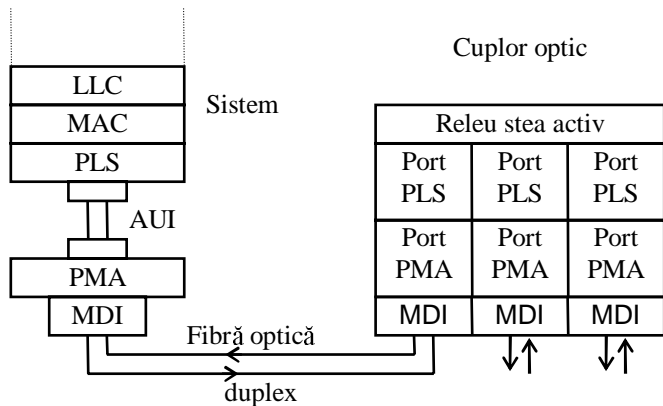


Fig. 4.39 Nivelul fizic pentru 10 BASE - F, cuplor activ

Într-un cuplor activ semnalele optice recepționate la o poartă de intrare sunt convertite în semnale electrice și transmise spre porțile de ieșire, exceptând-o pe cea asociată segmentului de pe care s-a recepționat, unde sunt din nou convertite în semnale optice (fig. 4.39).

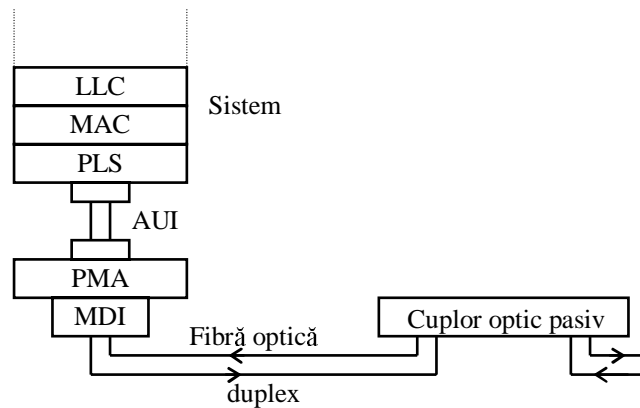


Fig. 4.40 Nivelul fizic 10 BASE - F, cuplor pasiv

Într-un cuplor pasiv semnalele optice recepționate de la o poartă de intrare sunt direct distribuite, prin mijloace optice, către toate porțile de ieșire, inclusiv cea asociată segmentului de pe care se recepționează (fig. 4.40).

Lungimea segmentului optic poate fi de maximum 500 m în cazul cuplorului pasiv și de maximum 2000 m în cazul cuplorului activ.

Cablul CATV 10 BROAD 36

Cablul coaxial CATV cu impedanța caracteristică de 75 Ω , prezintă interes pentru utilizarea ca mediu de transmisiune în rețelele locale datorită prețului de cost mai scăzut și, în special, în situațiile în care el este deja instalat pentru difuzarea altor semnale. Cu toate acestea el este foarte puțin utilizat. Ca și la 10 BASE -T specificările normei 10 BROAD 36 sunt sumare.

Spre deosebire de rețelele de televiziune pe cablu (CATV), în care semnalele sunt transmise numai într-un singur sens, de la un transmițător (stația capăt de cablu) către receptoare, în rețelele de comunicații de date este necesar ca fiecare utilizator să poată

comunica cu oricare alt utilizator, deci semnalele sunt transmise în ambele sensuri. Pentru a asigura ambele sensuri de transmisiune se pot utiliza atât sistemul cu un singur cablu pe segment, cu separarea sensurilor de transmisie-recepție în domeniul frecvență (fig. 4.41), cât și sistemul cu două cabluri pe segment, unul pentru emisie și celălalt pentru recepție (fig. 4.42).

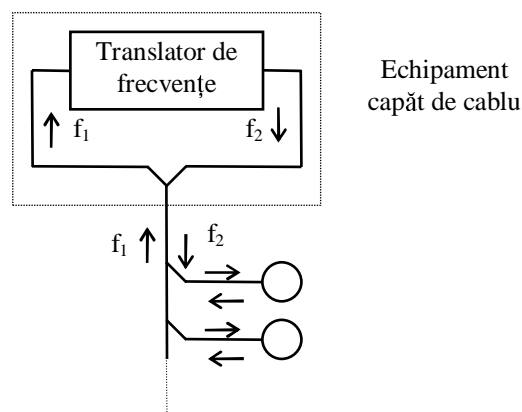


Fig. 4.41 Rețea cu un singur cablu pe segment

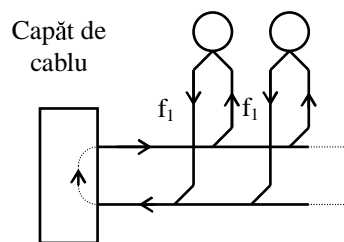


Fig. 4.42 Rețea cu două cabluri pe segment

În ambele cazuri se folosește un echipament capăt de cablu (head end) care repetă pe sensul de recepție semnalele de pe sensul de emisie, cu translatare de frecvențe în cazul utilizării unui singur cablu pe segment. Lungimea maximă a segmentului de cablu este 1800 m. Echipamentul capă de cablu se plasează fie la capătul unui singur segment de cablu, fie ca rădăcină a unei structuri arbore, în care caz distanța maximă dintre două sisteme poate fi de 3600 m (fig. 4.43).

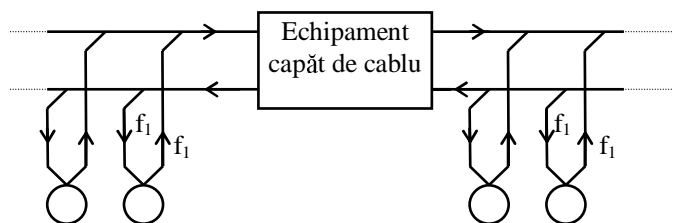


Fig. 4.43 Rețea arbore

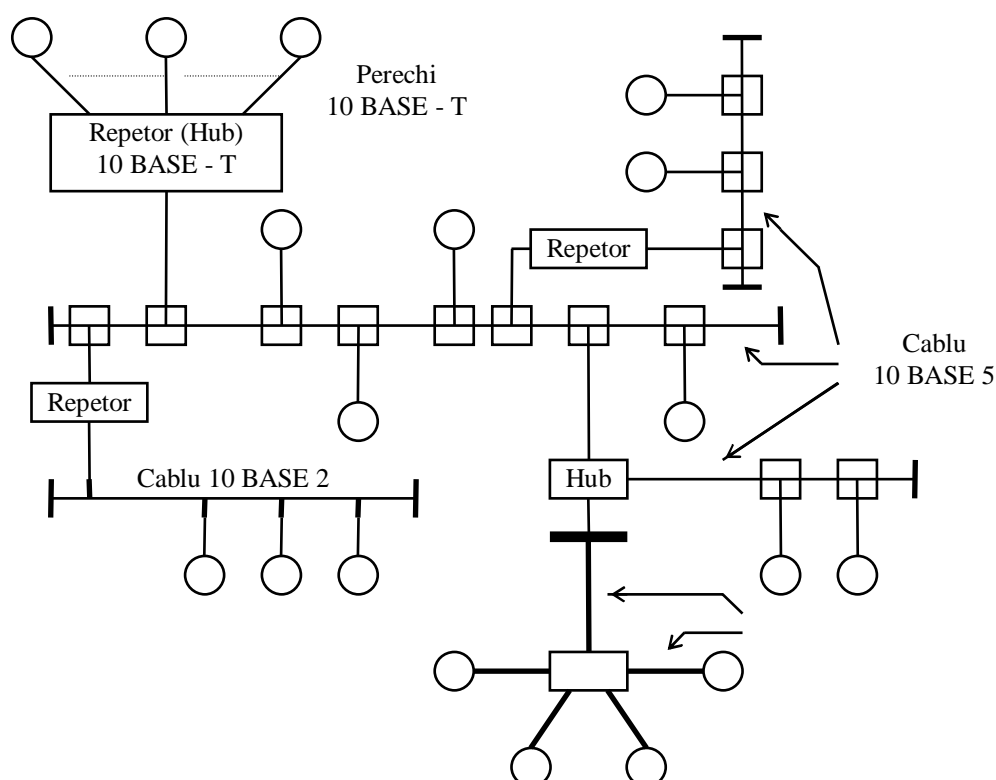
Unitatea pentru conexiune la mediu (MAU) este astfel gândită încât interfața de conectare AUI și placa NIC să rămână ca și la rețelele Ethernet standard. Ca și unitatea MAU standard, unitatea MAU de tip 10 BROAD 36 realizează funcțiunile: transmisiune, recepție, detectarea coliziunilor, jabber, dar într-o modalitate care ține seama de folosirea modulației. Astfel, funcția de transmisiune constă din următoarele subfuncțiuni: decodare Manchester, reformarea cadrului, modulație diferențială de fază binară. Înainte de modulație semnalul în cod Manchester primit de la placa NIC este transformat în cod NRZ (Non Return to Zero - fără întoarcere la zero). În plus, înainte de modulație, cadrul primit de la placa NIC este modificat prin folosirea unei operații de scrambling (aleatorizare) pe fragmentul ce urmează după delimitatorul de început de cadru și prin completarea sa cu un câmp de sfârșit de cadru.

Pentru fiecare sens de transmisiune se folosește o bandă de 18 MHz, 14,5 MHz pentru date și 3,5 MHz pentru semnalarea coliziunilor. Pentru rețelele cu un singur cablu pe segment benzile de frecvențe recomandate sunt: 53,75 - 71,75 MHz pentru sensul înapoi (spre capătul de cablu), cu purtătorul pentru semnalul de date având frecvența de 61 MHz și 246 - 264 MHz pentru sensul înainte.

Coliziunile se detectează prin compararea bit cu bit, de către sistemul sursă, a biților recepționați cu cei din cadrul transmis. În acest scop unitatea MAU memorează biții cadrului pe care-l transmite. Operația de comparare trebuie efectuată pe un interval de timp cel puțin egal cu de patru ori timpul de propagare de la sistemul cel mai îndepărtat la capătul de cablu, pentru a detecta apariția coliziunilor și în situația cea mai defavorabilă.

Extensia fizică a rețelelor CSMA/CD

Deși normele CSMA/CD pentru diferite medii de transmisiune introduc constrângeri privind lungimile segmentelor de cablu, se poate obține o extensie fizică a rețelei prin intermediul repetoarelor (Fig. 4.44).



Mai mult, repetoarele permit utilizarea în aceeași rețea a unor medii de transmisiune diferite. Repetoarele sunt elemente active care realizează regenerarea semnalelor fără nici un efect asupra conținutului acestora și asupra protocolului utilizat. Ele acționează deci la nivelul fizic din modelul OSI. Prin intermediul repetoarelor putem avea într-o aceeași rețea (fig. 4.44) medii de transmisiune 10 BASE 5, 10 BASE 2, 10 BASE - T și 10 BASE - F (mai puțin 10 BROAD 36).

La plasarea repetoarelor pentru extinderea fizică a rețelei trebuie să se țină seamă de restricțiile privind timpul de propagare dus-întors între două sisteme. În general, pe conexiunea fizică dintre două sisteme nu trebuie să fie mai mult de patru repetoare. De fapt trebuie avută în vedere corelația dintre dimensiunea minimă a cadrului, intervalul între cadre, numărul maxim de repetoare și timpul dus-întors între sistemele cele mai îndepărtate. Nerespectarea limitelor admise pentru acești parametri poate antrena o degradare importantă a performanțelor și o funcționare defectuoasă a rețelei. Cele mai frecvente repetoare multiport sunt de tip 10 BASE - T. Unele repetoare multiport sunt configurabile, cu funcțiuni inteligente folosite în administrarea rețelelor. Repetoarele sunt echipamente simple și ușor de instalat. Totuși, la configurarea lor, unele erori sunt posibile. Astfel, se știe că fiecare segment de cablu trebuie terminat pe impedanța caracteristică pentru a evita reflexiile. Spre exemplu, în cazul unui segment 10 BASE 2, rezistența de terminație este de $50\ \Omega$. Cum în acest caz repetoarele sunt de regulă la extremitatea segmentelor de cablu, trebuie verificat dacă impedanța de intrare în portul repetorului este de $50\ \Omega$. Repetorul poate avea integrată la fiecare port al său o

rezistență de 50 Ω . Adăugarea altei rezistențe din exterior, în acest caz, va împiedica funcționarea normală a segmentului de cablu respectiv.

4.7 Rețele inel cu jeton (Standard IEEE 802.5 – Token Ring)

Într-o rețea inel cu jeton sistemele sunt conectate în serie prin intermediul suportului de transmisiune (fig. 4.45).

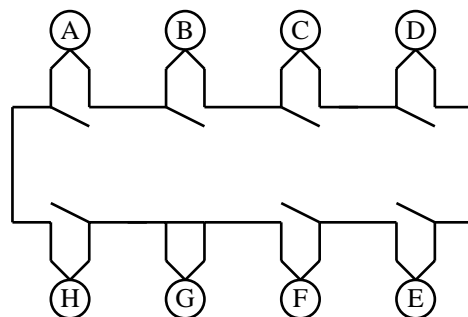


Fig. 4.45 Rețea inel cu jeton

Informația este transferată secvențial bit cu bit, de la un sistem activ la altul. Sistemul care-și recunoaște adresa de destinație, conținută în cadrele care circulă în rețea, va copia cadrele respective. Fiecare cadru este eliminat din rețea de către sistemul sursă, deci după ce a parcurs în întregime inelul. Un sistem obține dreptul de a transmite informația sa atunci când detectează trecerea jetonului, semnal de control reprezentând o anumită secvență. Orice sistem care are de transmis cadre MAC, după ce detectează jetonul îl poate reține prin modificarea lui la începutul unei secvențe cadru și adaugă câmpurile necesare, între care și cel de informație. După ce a transferat pe mediul de transmisiune cadrul astfel format, dacă mai are de transmis informație și dacă nu a depășit timpul pentru care are permisiunea să dețină jetonul, formează alte cadre sau, în caz contrar, inițiază un nou jeton care asigură altor sisteme oportunitatea de acces la mediul de transmisiune.

Sunt disponibile mai multe nivele de prioritate, depinzând de clasa serviciului cerută pentru fiecare mesaj de subnivelul LLC. O funcție de monitorizare a rețelei, realizată de un anumit sistem din rețea, asigură reluarea funcționării normale a rețelei în cazurile în care erorile de transmisiune sau tranzițiile în regimul electric, provocate de introducerea în rețea sau scoaterea din rețea a unui sistem, au provocat abateri de la

funcționarea normală a metodei de acces. Dacă un sistem se defectează inelul se întrerupe. Pentru a reface continuitatea lui se utilizează comutatoare de șuntare. Fiecare sistem este prevăzut cu un astfel de comutator (în figura 4.45 sistemul G este șuntat).

Metoda de acces cu jeton în inel este mult folosită în rețelele IBM. Rețeaua de tip inel IBM este de fapt o rețea cu cablaj stea care permite controlul conectării sau deconectării sistemelor din inel dintr-un punct central (fig. 4.46).

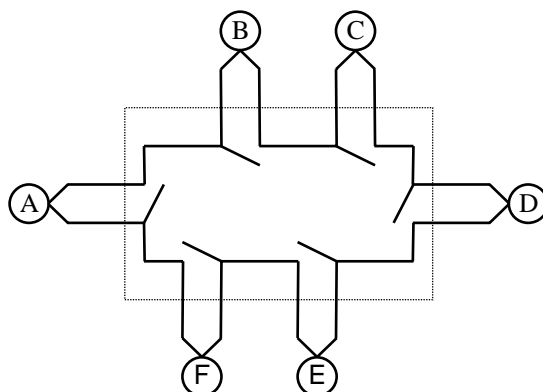


Fig. 4.46 Cablaj stea și comutatoare de șuntare

4.7.1 Subnivelul MAC

Ca și în cazul celorlalte metode de acces, serviciile subnivelului MAC permit schimburile de unități LLC - PDU între subnivelele LLC ale sistemelor conectate în rețea, folosindu-se primitivele de serviciu: MA-UNITDATA.request, MA-UNITDATA-STATUS.indication și MA-UNITDATA.indication (par. 4.6.1).

Subnivelul MAC dintr-un sistem receptor folosește nivelul fizic pentru a recepționa cadrele MAC de la sistemul anterior din inel. El examinează adresa MAC de destinație din fiecare cadru primit și copiază numai acele cadre care îi sunt adresate. Pentru fiecare cadru pe care îl copiază subnivelul MAC înlătură PCI și transferă unitatea MAC - SDU care rezultă către subnivelul LLC. Subnivelul MAC dintr-un sistem receptor examinează de asemenea adresa sursă din fiecare cadru pe care îl primește pentru a identifica cadrele pe care el le-a generat și le-a introdus în inel. Dacă identifică un astfel de cadru nu-l mai repetă, eliminându-l astfel din inel. Un sistem receptor repetă toate celelalte cadre MAC către următorul sistem în inel, indiferent dacă le copiază sau nu.

Standardul definește și o interfață între subnivelul MAC și o funcție de administrare a sistemului, funcție care include o serie de facilități de control, cum ar fi

resetarea subnivelului MAC, specificarea valorilor constantelor utilizate în rețea și altele, folosite în cadrul protocolului MAC.

Formatul cadrelor MAC

Standardul definește două formate de bază: jetoane și cadre. Procesele care necesită compararea câmpurilor sau biților realizează această comparare începând cu bitul cel mai din stânga, în reprezentările care urmează, bit care este primul transmis în fiecare octet și care este considerat, pentru scopul comparării, cel mai semnificativ.

Formatul jeton conține trei câmpuri, fiecare de câte un octet (fig. 4.47).

Delimitator început de cadru
Controlul accesului
Delimitator sfârșit de cadru

Fig. 4.47 Formatul jetonului

Număr de octeți		
1	J K 0 J K 0 0 0	Delimitator început de cadru
1	P P P T M R R R	Controlul accesului
1	F F Z Z Z Z Z Z	Controlul cadrului
6		Adresa destinației
6		Adresa sursei
0 ÷ n		Informație
4		Secvența de verificare a cadrului
1	J K 1 J K 1 I E	Delimitator sfârșit de cadru
1	A C r r A C r r	Starea cadrului

Fig. 4.48 Formatul cadrului.

Formatul cadrului este prezentat în figura 4.48. Lungimea câmpului de informație poate fi cel mult atât cât să nu se depășească timpul permis pentru deținerea jetonului. Formatul cadru trebuie să fie utilizat pentru transmiterea atât a datelor LLC cât și a informației de control generate de subnivelul MAC. Când un sistem deține

jetonul și nu are pregătite cadrele pentru transmisiune emite o secvență neprecizată de 0 și/sau 1 dar, evident, nu trebuie să depășească timpul permis pentru deținerea jetonului.

Simbolurile J și K din delimitatorii începutului și sfârșitului de cadru sunt simboluri nondata care se reprezintă altfel decât simbolurile 0 și 1. Ele apar totdeauna în pereche.

Biții PPP din octetul prin care se controlează funcționarea protocolului MAC, octet numit controlul accesului, sunt biți de prioritate conținând o valoare de la 0 la 7 și indicând prioritatea cadrului sau a jetonului. T este bitul jeton, având valoarea 0 într-un jeton (liber) și 1 într-un cadru MAC (jeton ocupat). Când un sistem, având de transmis o unitate MAC - PDU, detectează un jeton care are prioritatea egală sau mai mică decât unitatea MAC - PDU ce așteaptă a fi transmisă, poate schimba jetonul în începutul unei secvențe cadru și transmite această unitate MAC - PDU. M este bitul monitor, utilizat pentru a preveni ca un jeton de prioritate mai mare ca 0 sau orice cadru să circule continuu în inel. Sistemul care generează un cadru sau eliberează un jeton pune bitul M în starea 0. Când jetonul sau cadrul trec pe la sistemul monitor acesta va modifica M în 1. Dacă pe la sistemul monitor trece un cadru cu bitul M=1 înseamnă că acel cadru a făcut un tur complet fără a fi actualizat de către sistemul care l-a generat. Acesta ar fi trebuit să genereze un nou cadru sau să elibereze jetonul și, în ambele cazuri, bitul M este pus la 0. Sistemul monitor va trebui să reinițializeze inelul.

Biții RRR sunt biți “rezervați” ce permit sistemelor care au cadre de transmis să ceară, în cadrele sau jetoanele pe care le repetă, ca următorul jeton să fie generat cu prioritatea cerută.

Octetul de control al cadrului indică tipul cadrului. Biții FF sunt 00 într-un cadru MAC generat de subnivelul MAC (nu la cererea subnivelului LLC) și 01 într-un cadru LLC (care conține LLC - PDU). Formatele 10 și 11 pentru biții FF sunt rezervate pentru utilizări ce urmează a fi precizate.

În cadre LLC biții ZZZZZZ, notați în continuare rrrYYY, sunt interpretați după cum urmează. Biții rrr sunt biți rezervați, trebuie să fie 0 în toate cadrele transmise și să fie ignorați la recepție. Biții YYY pot fi utilizați pentru a reprezenta prioritatea cerută de subnivelul LLC în primitiva MA-UNITDATA.request.

În cadrele MAC biții ZZZZZZ indică tipul cadrului de control MAC. Standardul definește șase tipuri de cadre de control MAC utilizate pentru a asigura funcționarea normală a inelului.

Așa cum s-a menționat, lungimea câmpului de informație este limitată de timpul permis pentru deținerea jetonului. Fiecare octet din câmpul de informație se transmite începând cu cel mai semnificativ bit.

Secvența de verificare a cadrului conține cei 32 biți care rezultă în urma codării, într-un cod ciclic definit de un polinom generator de grad 32, același ca și la CSMA/CD și Token Bus, a câmpurilor: controlul cadrului, adresa destinație, adresa sursă și informație.

Primii șase biți din octetul delimitator sfârșit de cadru identifică sfârșitul cadrului. Bitul I, numit bit intermediar, pus în 1 arată că mai urmează cel puțin un cadru de transmis. Bitul E, numit bit de eroare, este pus în 0 de sistemul care generează jetonul sau cadrul. Toate sistemele din inel verifică jetoanele și cadrele dacă au erori, erori detectate prin codul utilizat sau erori de alt tip, spre exemplu privind simbolurile nondata. Bitul E al jetoanelor sau cadrelor care sunt repetate va fi pus la 1 când se detectează erori.

Biții r din octetul ce indică starea cadrului sunt biți rezervați, se transmit cu valoarea 0 și sunt ignorați de receptor. Biții A și C sunt transmiși cu valoarea 0 de către sistemul care generează cadrul. Dacă un alt sistem recunoaște adresa destinație ca fiind adresa sa proprie sau adresa grupului căruia îi aparține, va pune biții A în 1. Dacă copiază cadrul, în memoria tampon de recepție, va pune biții C în 1. În felul acesta sistemul sursă poate distinge una din următoarele trei situații privind sistemul de destinație:

- sistemul neexistent/inactiv în inel ($AC=00$);
- sistemul există dar cadrul n-a fost copiat ($AC=10$);
- cadrul a fost copiat ($AC=11$).

Cadrele în care $AC=01$ nu vor fi socotite valide și vor fi ignorate.

Circulația jetonului și priorități

În funcționare normală un sistem care are de transmis așteaptă să treacă un jeton, pe care îl recunoaște prin bitul $T=0$ al octetului de control, îl ocupă dacă mecanismul de priorități îi permite, punând bitul T în 1 și atașează câmpurile ce compun un cadru. Fiecare jeton are un nivel de prioritate, să-l notăm PJ, specificat de biții PPP. Fiecare cadru pe care un sistem trebuie să-l transmită are o prioritate, notată PC. Când sistemul recepționează un jeton compară prioritatea lui, PJ, cu prioritatea fiecărui cadru pe care îl are de transmis. În limita timpului pentru care poate deține jetonul sistemul transmite

cadrele ce au o prioritate mai mare sau egală cu cea a jetonului. Pentru cadrele pe care le are de transmis, ce au o prioritate mai mică decât a jetonului, liber sau ocupat, pe care sistemul îl retransmite, el poate solicita un jeton cu prioritatea cadrelor sale (PC), poziționând câmpul RRR, reprezentând prioritatea cerută (PR), la valoarea dorită (PC), dacă aceasta este mai mare decât cea deja specificată (PR) în respectivul jeton.

Când sistemul sursă elimină cadrul generat de el (după ce acesta a parcurs inelul), va genera un jeton liber a cărui prioritate este cea mai mare valoare dintre prioritatea jetonului curent (PJ) și prioritatea cerută (PR).

Când un sistem mărește prioritatea unui jeton, el trebuie să memoreze prioritatea PJ anterioară, pentru că el este singurul sistem autorizat să micșoreze prioritatea unui jeton. Poate face acest lucru atunci când îi revine un jeton liber cu prioritatea cerută PR mai mică decât prioritatea jetonului, aflată la valoarea pusă de sistemul respectiv.

În orice moment în rețea trebuie să existe un sistem care îndeplinește funcția de monitor activ. Toate celelalte sisteme din rețea au un statut de monitor pasiv. Dacă, dintr-un motiv oarecare, sistemul monitor nu funcționează normal se va declanșa o procedură de selectare a unui nou sistem care să îndeplinească rolul de monitor activ.

4.7.2 Nivelul fizic

Standardul definește un model arhitectural al sistemului cuplat la inelul cu jeton, corespunzător nivelelor fizic și legătură de date, așa cum se arată în figura 4.49.

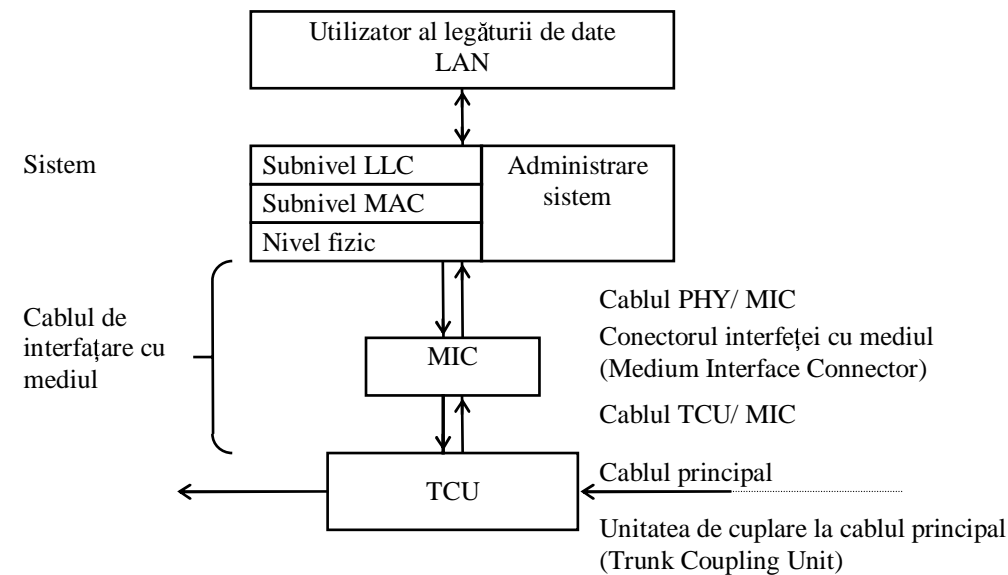


Fig. 4.49 Modelul arhitectural al conectării unui sistem la inelul cu jeton

Suportul (mediul) de transmisiune este o pereche răsucită ecranată, cu impedanța caracteristică de $150\ \Omega$. Conectarea sistemului la acest suport se face prin cablu ecranat cu două perechi răsucite, având aceeași impedanță caracteristică ($150\ \Omega$), ca în figura 4.50. Mecanismul prin care sistemul este introdus în inel sau șuntat se găsește în unitatea de cuplare la cablul principal (TCU - Trunk Coupling Unit) și este controlat prin intermediul conectorului interfeței cu mediul de transmisiune (MIC - Medium Interface Connector). Printr-un circuit fantomă se aplică o tensiune continuă (V_A) mecanismului de comutare, care va introduce sistemul în inel. Dacă nu se aplică tensiunea V_A mecanismul de comutare va scoate sistemul din inel și, totodată, va realiza buclarea lui (emisie-recepție). Această buclă poate fi utilizată de sistem pentru funcțiuni de autotestare (off line). Împreună cu un alt circuit, căruia i se aplică tensiunea V_B , se pot detecta anumite defecțiuni de întreruperi sau scurtcircuit pe perechea de emisie sau pe cea de recepție, defecțiuni care conduc la inegalitatea curenților din cele două circuite.

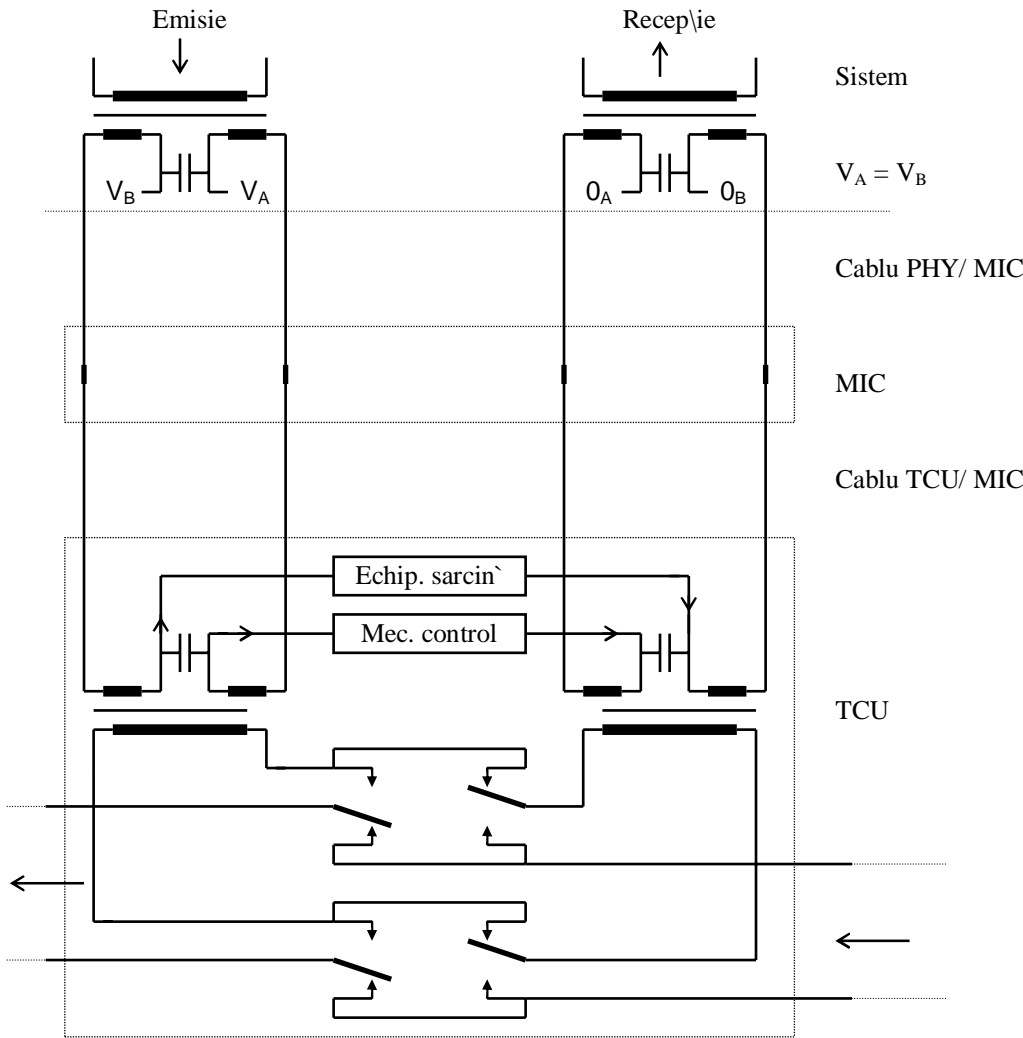


Fig.4.50 Schema cuplării unui sistem în inel

În funcție de calitatea cablului utilizat ca suport de transmisiune debitul datelor este de 1 Mb/s, 4 Mb/s sau 16 Mb/s (1 Mb/s și 4 Mb/s conform standardului IEEE 802.5, 4 Mb/s și 16 Mb/s în rețelele IBM). Transmisiunea se face în banda de bază folosind reprezentarea în cod Manchester diferențial (fig. 4.51). Fiecărui bit 0 sau 1 îi corespunde o tranziție la mijlocul intervalului de simbol. În plus, bitului 0 îi corespunde o tranziție și la începutul intervalului de simbol. Simbolurile nondata J și K apar totdeauna în pereche. Simbolul J se reprezintă, pe toată durata sa, prin starea ultimului element de semnal. Simbolul K se reprezintă, la fel pe toată durata sa, prin starea opusă celei utilizate pentru simbolul J.

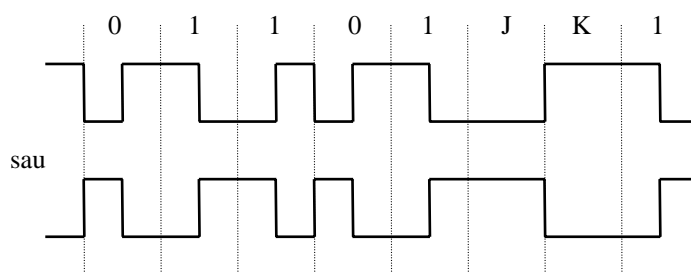


Fig. 4.51 Reprezentarea în cod Manchester diferențial

Toate sistemele din inel își sincronizează tactul de bit cu cel al sistemului monitor. În acest scop partea de recepție a fiecărui sistem are o buclă de sincronizare. Pentru compensarea fluctuației de fază, inerentă unei bucle de sincronizare și amplificată în cazul sistemelor conectate în inel deoarece fiecare își extrage informația de sincronizare din semnalul de date provenit de la sistemul anterior, el însuși afectat de fluctuația tactului de bit, sistemul monitor este prevăzut cu o memorie tampon de retenție (latency buffer). Această memorie tampon are un dublu scop: cel menționat mai sus, de a compensa fluctuația de fază și cel de a asigura retenția minimă în inel. Prin retenția inelului se înțelege timpul, măsurat în intervale de bit, corespunzător debitului folosit în transmisiune, necesar unui semnal să parcurgă în întregime inelul. Acest timp include întârzierea în propagarea semnalului pe mediul de transmisiune al inelului și suma timpilor de propagare prin fiecare sistem conectat în inel.

Pentru ca jetonul să circule continuu în inel când toate sistemele sunt în starea de receptor (repetă semnalul) inelul trebuie să aibă o retenție egală cu cel puțin numărul de biți din secvența jeton, adică 24. Stația monitor trebuie deci să asigure o întârziere de cel puțin 24 intervale de bit, dat fiind că nu se știe apriori cum sunt celelalte sisteme.

Compensarea fluctuației fazei se face printr-o memorie tampon elastică cu o lungime de 6 biți (12 elemente de semnal în cazul unui cod Manchester), la care se adaugă cea fixă de 24 biți, rezultând o memorie tampon de maximum 30 biți care, inițial, se fixează la 27 biți.

Dacă semnalul recepționat de sistemul monitor este mai rapid, corespunzând unui tact de frecvență ușor mai mare decât cea proprie, atunci memoria tampon este extinsă, adecvat, la 28, 29 sau 30 biți, pentru a evita omiterea unor biți. Invers, dacă tactul semnalului recepționat de sistemul monitor este mai lent, memoria tampon se contractă la 26, 25 sau 24 biți, pentru a evita adăugarea de biți la fluxul celor recepționați.

Aceste date precizate de standard corespund, ținând seama de abaterea admisă pentru frecvența oscilatorului fiecărui sistem, la un număr de 250 sisteme în inel.

Rețelele inel cu jeton sunt frecvent întâlnite datorită, în special, susținerii lor de către IBM, prin producerea componentelor necesare implementării lor.

4.8 Interconectarea rețelelor locale

4.8.1 Moduri de interconectare

Interconectarea rețelelor locale necesită atât echipamente pentru a realiza conexiunile fizice cât și software de interconectare. Un aspect important de care trebuie să se țină seama este eterogenitatea rețelelor, atât ca mod de realizare a legăturii de date cât și ca sistem de operare rețea utilizat.

Rețelele locale pot fi interconectate în mai multe moduri, așa cum se arată în continuare.

Interconectare directă

Două sau mai multe rețele locale, de același tip sau de tipuri diferite (CSMA/CD, Token Bus, Token Ring), plasate în apropiere una de alta, pot fi conectate direct, prin echipamente de interconectare, pentru a forma o rețea locală extinsă (fig. 4.52).

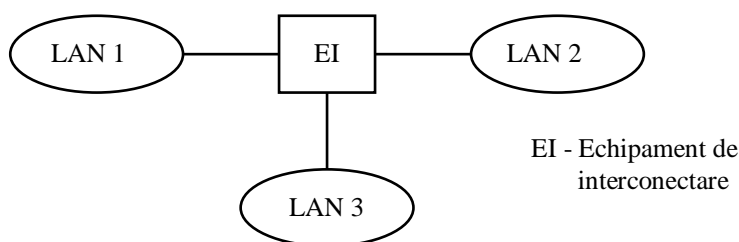


Fig. 4.52 Interconectare directă

Interconectare prin legături de distanță mare

Legăturile de distanță mare sunt oferite de rețelele de telecomunicații de arie mare (WAN). Două sau mai multe rețele locale, localizate în zone distanțate una de alta, pot fi interconectate folosind suporturi de transmisiune oferite de rețeaua de telecomunicații care acoperă practic tot globul. Aceste legături permit, de regulă, viteze mai mici decât cele din rețelele locale.



Fig. 4.53 Interconectare prin circuite de telecomunicații de distanță mare

Pot fi astfel folosite, pentru legăturile pe distanță mare, circuite telefonice vocale analogice, care permit cu modemi adecvate debite de până la 33,6 Kb/s, circuite telefonice vocale digitale (64 Kb/s) sau canale digitale de debite mai mari oferite de rețeaua de telecomunicații digitală (fig. 4.53). Pot fi folosite și canale digitale din alte tipuri de rețele WAN, cum ar fi spre exemplu rețelele publice de date cu comutație de pachete, ISDN, ATM, Frame Relay, etc.

Interconectare prin intermediul rețelilor de debit mare

O rețea de debit mare, metropolitană, este rețeaua pe fibră optică FDDI. Această rețea va constitui artera principală (backbone) și la ea se atașează numai rețele locale (fig. 4.54).

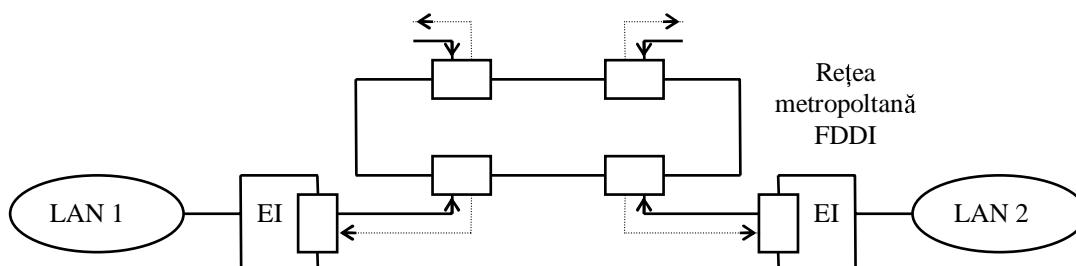


Fig. 4.54 Interconectare prin rețea FDDI

4.8.2 Echipamente de interconectare

Echipamentele utilizate pentru interconectarea rețelelor locale sunt de mai multe tipuri, fiecare fiind folosit cu un anumit scop și fiind adecvat pentru o anumită formă de interconectare. În marea diversitate a acestor echipamente se pot distinge următoarele categorii: repetoare, poduri, ruteri, comutatoare, pasarele.

Repetoare

Repetorul permite prelungirea arhitecturii unei rețele CSMA/CD. În felul acesta pot fi depășite constângerile relative la lungimile segmentelor. Spre exemplu, un segment de cablu 10 BASE 5 de lungime maximă poate fi prelungit cu un nou segment prin intermediul unui repetor. Repetorul poate fi conectat și în alte puncte ale segmentului, nu numai la o extremitate a sa și poate retransmite semnalele pe mai multe segmente de cablu care alcătuiesc o structură de tip arbore. De asemenea, repetorul se utilizează pentru a face legătura între medii de transmisiune diferite, cum ar fi: cablu coaxial - fibră optică, cablu coaxial - pereche răsucită, cablu 10 BASE 5 - cablu 10 BASE 2.

În corespondență cu modelul OSI cu șapte nivele acest echipament funcționează la nivelul fizic, regenerând semnalul recepționat de pe un segment de cablu și transmițându-l pe alte segmente (fig. 4.55). El nu interpretează cadrele pe care le recepționează, ci doar le repetă bit cu bit pe celelalte segmente, fiind astfel transparent la protocoalele utilizate la nivelul legătură de date.

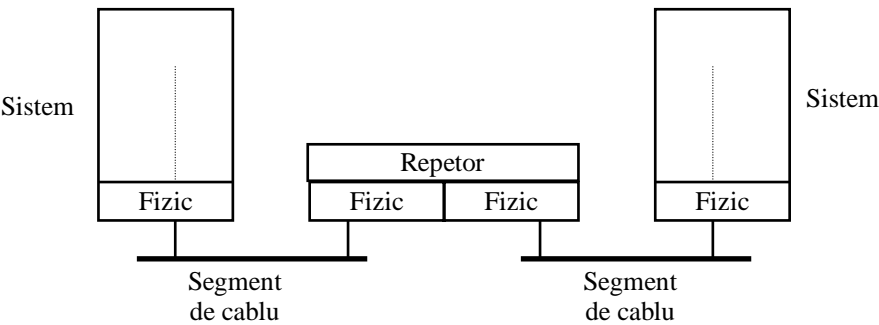


Fig. 4.55 Repetorul în raport cu modelul OSI

La rețelele în inel repetoarele nu sunt folosite. De fapt în aceste rețele fiecare sistem acționează ca un repetor.

Poduri

Spre deosebire de repetor, lipsit de inteligență și folosit strict pentru a face conexiunea între segmentele aceluiași tip de rețea, podul (bridge) este un echipament inteligent care interconectează rețele LAN de același tip sau diferite. Podul oferă de asemenea posibilitatea extinderii, dincolo de limitele impuse de norma CSMA/CD sau Token Ring. Dacă o rețea CSMA/CD comportă deja patru repetoare între două puncte, podul este singurul mijloc de a mai extinde rețeaua. La fel, în cazul în care timpul dus-întors între două puncte ale unei rețele CSMA/CD se apropie de limita de 512 intervale de bit, se pot atașa alte segmente folosind un pod.

Un pod poate realiza și o funcție de filtrare a cadrelor între două rețele. El determină, pe baza adresei de destinație din cadru, dacă este cazul sau nu să transmită cadrul de pe o rețea pe alta.

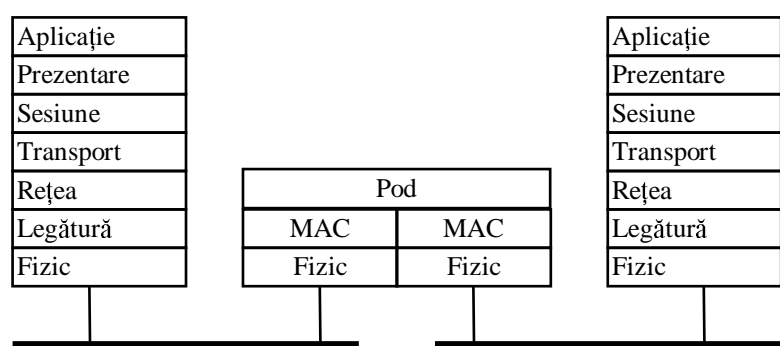


Fig. 4.56 Podul în raport cu modelul OSI

În felul acesta podul poate izola o parte din traficul de rețea generat pe o rețea locală pentru a nu pătrunde în alte rețele atunci când nu este cazul. În raport cu modelul OSI podul operează în subnivelul MAC, fiind transparent la protocoalele nivelelor aflate deasupra acestui subnivel (fig. 4.56). Spre deosebire de repetor, podul este capabil să decodeze cadrul pe care-l primește pentru a face prelucrările necesare transiterii pe rețeaua vecină. El se comportă, din punct de vedere al accesului la rețea, ca un sistem de extremitate. Dacă trebuie să transmită un cadru într-o rețea el trebuie să aștepte disponibilitatea rețelei la fel ca un sistem oarecare din acea rețea. Rezultă că mesajele recepționate sunt temporar memorate de către pod și apoi emise în rețeaua în care se

află sistemul destinat. Desigur, dacă într-o rețea apar coliziuni, el nu le propagă în altă rețea.

Pentru a interconecta două rețele localizate în zone distanțate se folosesc două poduri și un suport de transmisiuni dintr-o rețea de tip WAN.

Ruteri

Ruterul este un echipament prin excelență pentru interconectarea mai multor rețele locale de tipuri diferite. Pentru aceasta însă sistemele din diferitele rețele trebuie să utilizeze același protocol de nivel 3. În timp ce podul operează cu adresele fizice ale sistemelor (din cadrele MAC) ruterul utilizează adresele logice, de rețea, ale sistemelor. Aceste adrese sunt administrate de nivelul 3 și sunt cu totul independente de tipul rețelei locale.

Un pod asociază rețele fizice diferite într-o aceeași rețea logică. Toate sistemele din această rețea logică au aceeași adresă logică de subrețea. Ruterul interconectează rețele logice diferite. Ruterul asigură posibilitatea rutării mesajelor de la sursă la destinație atunci când există mai multe căi posibile între cele două puncte. În raport cu modelul OSI el operează la nivelul rețea (fig. 4.57).

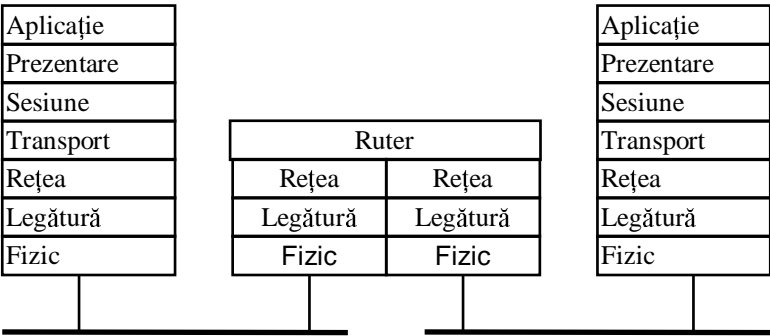


Fig. 4.57 Ruterul în raport cu modelul OSI

Capacitatea de a opera la nivelul rețea îi permite ruterului să determine cel mai bun traseu, printr-o serie de legături de date, de la o rețea locală în care se află sistemul sursă la rețeaua locală în care se află sistemul de destinație.

Pentru a caracteriza un ruter este necesară precizarea protocolului sau protocoalelor de nivel 3 pe care le suportă.

Există o categorie de ruteri care pot deveni poduri atunci când nu recunosc protocolul de rețea al cadrului și, în consecință, nu pot face operația de rutare, lucrând cu adresele fizice. Un astfel de echipament, suplu și modular, care poate fi configurat și

ca pod și ca ruter, este cunoscut sub denumirile, în limba engleză: bridge - router, B - router și brouter. Îl vom numi în continuare B - ruter.

Comutatoare

În multe situații este necesar să se formeze grupuri de lucru logice în cadrul unor sisteme ce sunt plasate în locuri diferite. În acest scop se instalează în paralel mai multe segmente de mediu de transmisiune la care se atașează aceste sisteme (fig. 4.58).

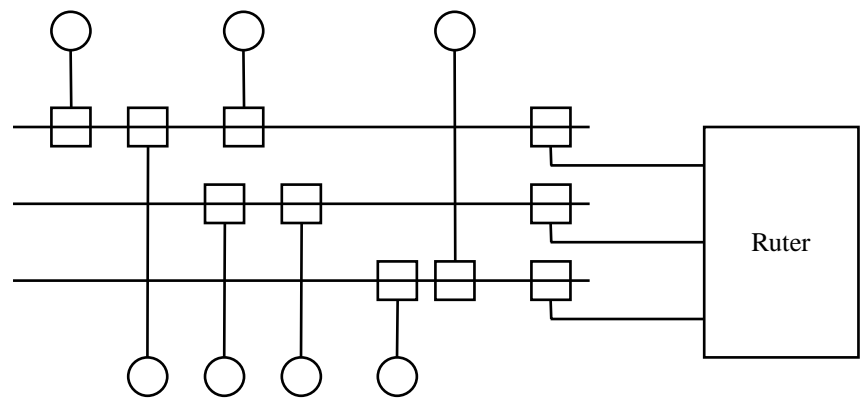


Fig. 4.58 Segmente multiple, paralele, de transmisiune

Interconectarea acestor segmente se poate face printr-un ruter care va permite comunicația între sistemele conectate la segmente diferite. În același timp ruterul poate izola o mare parte din traficul de rețea generat pe un segment de traficul generat pe celelale segmente. În felul acesta se asigură o creștere a capacității totale de transmisiune disponibile în sistemele conectate la fiecare dintre aceste segmente.

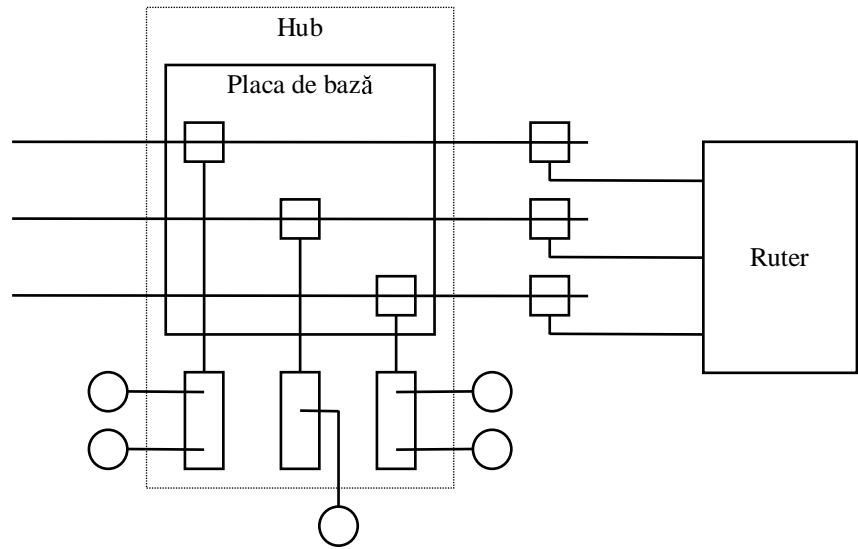


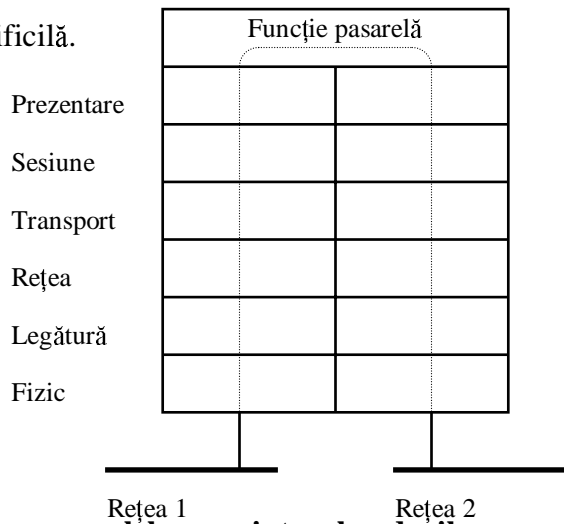
Fig. 4.59 Hub cu funcții de comutare

În același scop, pentru a conecta sistemele la segmentele de transmisiune adecvate, se pot folosi echipamente hub care permit însă

realizarea unor funcțiuni de comutare, de conectare a unui grup de sisteme la oricare dintre segmentele paralele (Fig. 4.59). Fiecare grup de porți ale hubului, realizat pe o placă ce se poate introduce într-un conector de pe placa de bază, se poate conecta prin intermediul unor comutatoare, acționate fizic sau prin software, la oricare dintre segmentele de cablu la care este atașat acest hub. Există huburi inteligente, cu facilități de comutare mai flexibile, care permit ca fiecare port individual să fie conectat la un anumit segment.

Pasarele

Pasarela (gateway) este un echipament fundamental diferit de un repetor, pod, ruter sau comutator. Ea realizează o conversie de protocol pentru toate cele șapte nivele OSI, operând la nivelul aplicație (fig. 4.60). Pasarela permite ca un program de aplicație, care rulează pe un sistem în conformitate cu o anumită arhitectură de rețea, să comunice cu un alt program aplicație ce rulează într-un sistem corespunzător unei alte arhitecturi de rețea. Sarcina unei pasarele este de a face conversia de la un set de protocoale de comunicație la un alt set de protocoale de comunicație. Aceasta include următoarele funcțiuni: conversia formatului de mesaj (inclusiv dimensiunea mesajelor și codul de reprezentare a caracterelor), translatarea adreselor (mecanismul de adresare, structura adreselor), conversia de protocol (informația pentru controlul protocolului la fiecare nivel, segmentarea mesajelor, controlul fluxului, detecția erorilor). Deoarece o pasarelă realizează funcțiuni mult mai complexe decât un ruter, ea este mai lentă și implică o instalare mai dificilă.



4.8.3 Interconectarea rețelelor cu ajutorul nodurilor

Fig. 4.60 Pasarela și corespondența cu modelul OSI

Rețelele locale conform standardului IEEE 802 pot fi interconectate prin intermediul podurilor, echipamente ce includ nivelul fizic și subnivelul MAC și sunt

transparente la protocoalele operând deasupra subnivelului MAC. Podurile sunt utile în următoarele situații:

- interconectarea rețelelor locale ce folosesc tehnici de control al accesului la mediu (MAC) diferite;
- extinderea fizică a unei rețele LAN (mărirea distanței admisibile între sisteme), creșterea numărului de sisteme conectate la rețea, îmbunătățirea performanțelor;
- partiționarea suportului fizic pentru motive de ordin administrativ sau de întreținere.

Serviciul MAC oferit de o rețea constând din mai multe rețele interconectate prin poduri este similar celui oferit de o singură rețea LAN. Podurile operează prin examinarea adreselor MAC, folosind adresele sursă și destinație dintr-un cadru ca un criteriu pentru deciziile de rutare a cadrului. Ele nu sunt adresabile de către sistemele din rețea și trebuie să examineze toate cadrele care circulă în rețelele la care sunt atașate. Într-o rețea astfel formată, prin interconectare cu poduri, toate adresele MAC trebuie să fie unice.

La modul general un pod realizează o funcție de filtrare, retransmițând cadrele de pe o rețea LAN pe alta numai atunci când este necesar.

În rețelele extinse, obținute prin utilizarea podurilor, este necesară o funcție de rutare a cadrelor, din rețeaua LAN în care se află sistemul sursă spre rețeaua LAN în care se află sistemul de destinație. Din acest punct de vedere există două tipuri de poduri: transparente și cu rutare prin sursă.

Podurile transparente

Un sistem dintr-o rețea extinsă prin intermediul acestor tipuri de poduri comunică cu alte sisteme din rețea ca și cum ar fi toate conectate la aceeași rețea locală, fără să existe poduri. Un pod transparent examinează adresele MAC din cadrele care circulă în rețelele la care este conectat și, pe baza unor tabele de adrese, decide pentru fiecare cadru dacă trebuie transmis de pe o rețea pe alta.

În figura 4.61 este prezentat un exemplu simplu în care două rețele CSMA/CD și o rețea Token Ring sunt interconectate prin intermediul a două poduri. La punerea în funcțiune a rețelei tabelele de adrese sunt goale. Pe măsură ce sistemele emit, podul primește cadrele și extrage adresele stațiilor transmițătoare. Adresele sunt memorate în tabel împreună cu portul prin care au fost recepționate cadrele. În felul acesta podul localizează sistemele și poate realiza apoi funcția de filtrare.

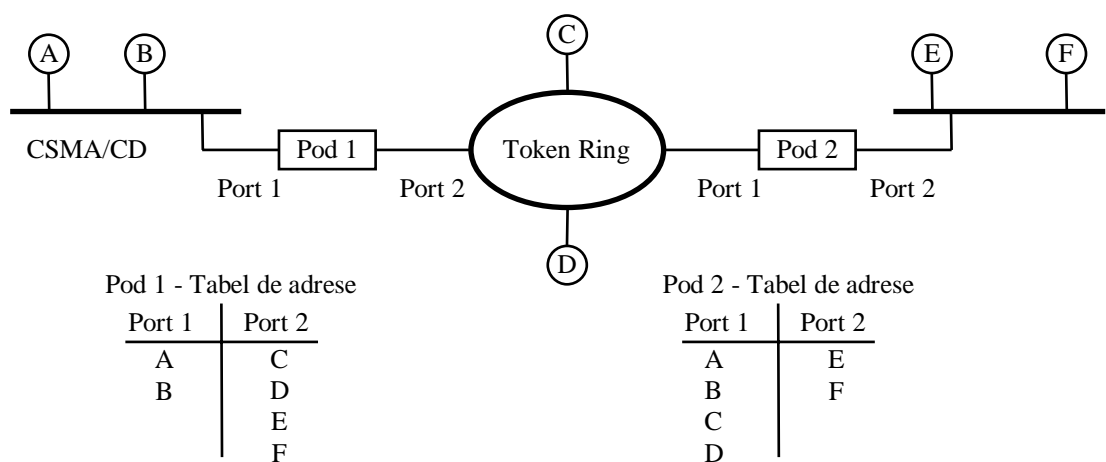
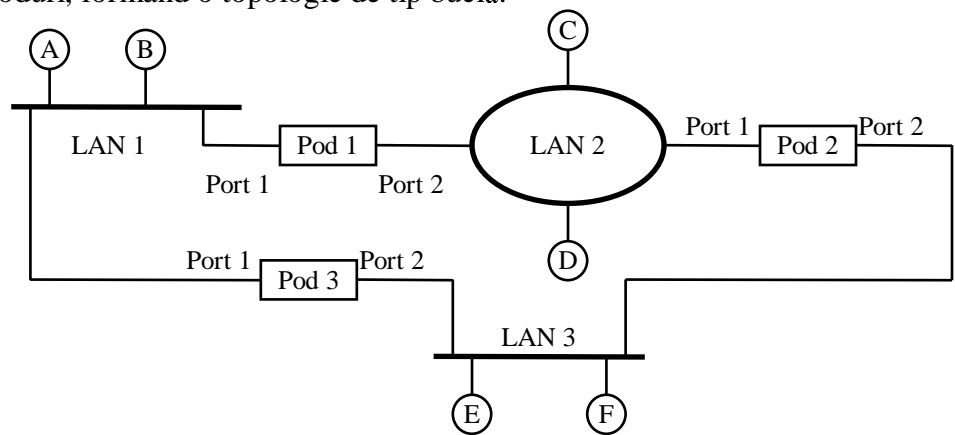


Fig. 4.61 Interconectarea rețelelor prin poduri transparente

Pentru a fi posibilă plasarea în rețea a unor poduri redundante, cu scopul de a obține mai multe rute posibile între două rețele LAN, și pentru ca, în acest caz, să nu apară cadre duplicate în rețea datorită buclelor formate, este necesar un algoritm care să garanteze că în orice moment există o singură cale activă între oricare două rețele LAN. În figura 4.62 este prezentat un exemplu în care trei rețele LAN sunt interconectate prin trei poduri, formând o topologie de tip buclă.



Deoarece un **Fig. 4.62** Buclă formată prin interconectare cu poduri la portul 1, fie la portul 2, această topologie duce la crearea unor cadre duplicate care, pe de o parte, măresc artificial traficul iar, pe de altă parte, ridică probleme sistemelor destinate care primesc cadre duplicate. Spre exemplu, un cadru emis de sistemul A către sistemul E va fi retransmis de către podul 1 prin portul 2 spre LAN2 și apoi în LAN3 prin podul 2. Același cadru va fi transmis de podul 3 prin portul 2 spre LAN3. În felul acesta în LAN3 cadrul emis de A apare duplicat.

Funcționarea podurilor transparente, împreună cu un algoritm inteligent numit algoritmul arborelui acoperitor (spanning tree algorithm), bazat pe teoria grafurilor și care transformă bucla într-o topologie arbore, sunt standardizate în IEEE 802.1D/ISO 8802-1d.

Funcțiunile de bază ale unui pod transparent sunt:

- filtrarea și retransmiterea cadrelor;
- obținerea informației necesare pentru filtrarea cadrelor și luarea deciziilor de retransmitere;
- transformarea topologiei fizice arbitrare a rețelei LAN extinse într-un arbore acoperitor.

Un pod recepționează și examinează toate cadrele emise pe legăturile de date la care el este conectat. În funcție de adresa MAC destinație și de conținutul bazei de date pentru filtrare, podul poate acționa într-unul din modurile următoare.

1) Dacă în cadru este o adresă MAC destinație de grup cadrul va fi retransmis pe toate porturile podului, exceptând cel prin care a fost recepționat cadrul.

2) Dacă adresa MAC destinație este individuală podul o caută în tabelul său de adrese (baza de date pentru filtrare). Dacă o găsește și dacă, corespunzător acestei adrese, ar trebui să retransmită cadrul prin același port prin care l-a recepționat, va ignora cadrul respectiv.

3) Dacă, ca și în cazul 2), adresa MAC destinație este individuală și este găsită în tabelul de adrese dar, corespunzător ei, podul trebuie să retransmită cadrul printr-un port diferit de cel prin care l-a recepționat, îl va retransmite prin portul respectiv.

4) Dacă adresa MAC destinație, individuală, nu este găsită în tabelul de adrese, cadrul va fi retransmis prin toate porturile podului, exceptând acel port prin care a fost recepționat.

Pentru a completa și a actualiza baza de date, la fiecare cadru recepționat podul examinează adresa MAC sursă. Dacă această adresă nu este în baza sa de date, o va înregistra în tabelul asociat portului prin care a recepționat cadrul. Dacă adresa MAC sursă este deja înregistrată, o va actualiza prin marcarea momentului în care a fost recepționat cadrul respectiv. Adresele sunt menținute în baza de date pentru un anumit interval de timp după care, dacă n-au mai fost actualizate, sunt eliminate. Prin acest proces sunt eliminate din baza de date adresele sistemelor care eventual nu sunt în funcțiune sau au fost scoase din rețea.

Algoritmul arborelui acoperitor (STA - Spanning Tree Algorithm), ca algoritm de configurare, și protocolul de funcționare a podurilor, prevăzute de standardul 802.1D, reduc topologia rețelelor LAN cu poduri la un singur arbore acoperitor și asigură calitatea cerută serviciului MAC. Algoritmul STA configurează topologia arbitrară a unei rețele LAN cu poduri așa încât să existe o singură rută activă între oricare două sisteme, eliminând bucele prin pasivizarea unor porturi ale podurilor.

Trebuie făcută distincție între topologia fizică a unei rețele cu poduri și topologia activă a acelei rețele. Această distincție permite elaborarea unei topologii de rețea în care rute existente fizic, dar inactive, pot fi puse în funcțiune (activate) dacă au apărut defecțiuni pe alte rute, menținând proprietatea arborelui de a nu avea bucle.

Dacă un pod este utilizat pentru a realiza o cale activă, el va retransmite cadre prin portul conectat la calea activă. Un astfel de port este în starea de retransmitere. Un port care nu poate retransmite cadre, pentru că este conectat la o cale care nu trebuie să fie activă, este în stare de blocare. Cu algoritmul arborelui acoperitor un port aflat în starea blocată poate fi plasat la un moment dat în starea de retransmitere, pentru a forma o cale care devine parte a topologiei active. Acest lucru este necesar atunci când trebuie reconfigurată rețeaua pentru că, spre exemplu, una din căile active s-a întrerupt.

Pentru a obține informațiile necesare configurării arborelui acoperitor podurile emit cadre corespunzător unui protocol asociat.

Poduri cu rutare prin sursă

Un alt tip de pod, propus de IBM pentru interconectarea rețelelor Token Ring, este podul cu rutare prin sursă (source routing bridge). Deși în denumirea sa apare termenul “rutare”, acesta nu trebuie confundat cu funcția pe care o realizează un ruter. Ruterul efectuează o funcție de rutare la nivelul rețea, utilizând adresele de rețea ale sistemelor, în timp ce funcția de rutare prin sursă se realizează la nivelul legătură de date, pe baza adreselor MAC. În cazul utilizării podurilor cu rutare prin sursă sistemul transmițător (sursă) include, în prima parte a câmpului de informație al unui cadru (RIF - Routing Information Field, câmpul informației de rutare), ruta pe care trebuie să o parcurgă cadrul emis pentru a ajunge la destinație. Ruta este specificată menționând rețelele LAN și podurile prin care trebuie să treacă acest cadru.

Pentru ca să se poată aplica un astfel de mecanism de rutare este necesar ca sistemele conectate la rețeaua LAN extinsă să cunoască ruta pe care trebuie să o parcurgă fiecare cadru emis. Dacă un sistem sursă nu cunoaște ruta pe care trebuie să o

parcursă un cadru spre o anumită destinație sau dacă constată că ruta cunoscută nu mai este activă, va emite un tip particular de cadru, de descoperire a rutei, care conține adresele sursă și destinație și care va fi difuzat în rețea pe toate rutele posibile spre destinație. Fiecare pod care recepționează un astfel de cadru adaugă în antetul său informație despre ruta parcursă până în acel moment. Sistemul de destinație trimite înapoi, spre sistemul sursă, pentru fiecare cadru de acest tip recepționat, un cadru copie ce conține informația privind ruta parcursă de cadrul original. Pe baza cadrelor copii recepționate sistemul sursă va alege și va memora ruta adecvată.

Comparație între podurile transparente și podurile cu rutare prin sursă

Podurile cu rutare prin sursă sunt în mod tipic utilizate pentru a interconecta rețele Token Ring, în scopul creerii unei rețele LAN Token Ring extinse. Un avantaj al utilizării podurilor cu rutare prin sursă constă în faptul că se poate construi o rețea plasă, cu bucle, tolerantă la întreruperea funcționării unor ramuri ale sale. În același timp sunt posibile, prin instalarea mai multor poduri, căi paralele active între oricare două rețele LAN, căi ce vor permite un trafic mai mare cu o distribuire echilibrată pe diferitele poduri. Podurile transparente nu admit bucle în rețea și deci nici căi paralele active.

Un dezavantaj al tehnicii de rutare prin sursă constă în faptul că, în multe situații, podurile cu rutare prin sursă nu pot fi utilizate pentru a interconecta rețele LAN Token Ring cu alte tipuri de rețele LAN. În schimb, podurile transparente pot fi utilizate pentru a interconecta toate tipurile de rețele LAN.

Un alt dezavantaj al rutării prin sursă este reprezentat de traficul mare creat prin cadrele de descoperire a rutei.

În ceea ce privește configurarea, podurile transparente se instalează ușor, fără a necesita configurare. Desigur, podurile cu rutare prin sursă fiind mai simple decât cele transparente sunt mai ieftine, dar nu trebuie omis faptul că, în cazul rutării prin sursă, sistemele trebuie să fie capabile să specifice rutele cadrelor pe care le generează, deci sunt mai complexe.

Podurile cu rutare prin sursă, propuse și folosite de IBM pentru interconectarea rețelelor Token Ring, nu sunt standardizate. Este însă standardizat, din anul 1992, un pod cu rutare prin sursă transparent (SRT - Source Routing Transparent) care poate fi considerat ca un pod transparent capabil să efectueze și rutarea prin sursă. Practic sunt două poduri, unul transparent și altul cu rutare prin sursă, într-unul singur.

Podul SRT tratează cadrele ce comportă un câmp RIF așa cum o face un pod cu rutare prin sursă, iar pe cele ce n-au câmp RIF așa cum o face un pod transparent.

Utilizatorii pot construi rețele folosind simultan cele două tipuri de poduri normalizate: transparente și SRT.

4.8.4 Interconectarea rețelelor cu ajutorul ruterilor

Ruterul este un echipament care permite interconectarea rețelelor LAN și funcționează la nivelul rețea al modelului de referință OSI. Spre deosebire de poduri, ruterii asigură o mai bună izolare a rețelelor interconectate. Spre exemplu, cadrele care au adresa MAC destinație cu toți biții în 1 și pe care trebuie să le copieze orice sistem dintr-o rețea LAN sunt retransmise de poduri spre alte rețele dar nu și de ruteri. De asemenea, în rețelele care folosesc ruteri se pot izola mai ușor subrețelele care prezintă anomalii în funcționare.

Posibilitatea de a funcționa la nivelul rețea permite ruterilor să determine cea mai bună cale, printr-o serie de legături de date, de la sistemul (rețeaua) sursă la sistemul (rețeaua) de destinație. Pentru aceasta ruterii funcționează folosind un protocol de rețea. Același protocol de rețea trebuie să-l folosească și rețelele sursă și destinație. Podul, operând la nivelul legătură de date, poate fi folosit oricând pentru a transfera informația între rețele ce folosesc protocoale de rețea diferite.

Folosirea ruterilor asigură o mai mare flexibilitate rețelei în ceea ce privește topologia acesteia. În general, ruterii fiind echipamente mai inteligente decât podurile, asigură facilități suplimentare (mecanisme de prioritate, posibilități de configurare, etc.).

Fiind însă echipamente mai complexe decât podurile au și un cost mai ridicat. În plus, implicând un volum de prelucrare mai mare (intervenind în plus, față de poduri, nivelul rețea), introduc și o întârziere mai mare pentru traficul prelucrat.

Spre deosebire de o rețea cu poduri, care poate fi privită ca o singură rețea extinsă și la care un sistem își poate schimba poziția fără a-i schimba adresa de rețea, într-o rețea cu ruteri schimbarea poziției unui sistem, dintr-o rețea logica în alta, necesită schimbarea adresei de rețea a acestuia.

Modul în care se transmite mesajul printr-un ruter este prezentat în figura 4.63.

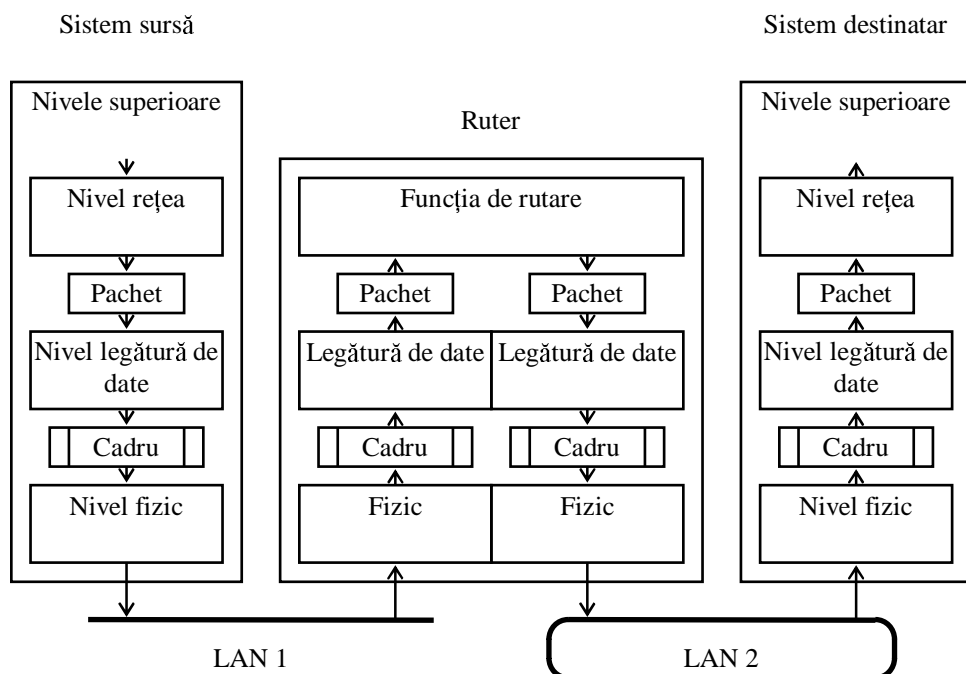


Fig. 4.63 Transmiterea mesajului printr-un ruter

Sistemul sursă utilizează serviciile nivelului rețea pentru a transmite unul sau mai multe pachete către sistemul de destinație. Fiecare pachet conține adresele de rețea ale sistemelor sursă și destinație. Fiecare pachet este inclus, la nivelul legătură de date, într-un cadru care va conține adresa MAC a sistemului sursă și adresa MAC a sistemului destinație, dacă acesta este conectat la aceeași rețea LAN, sau adresa MAC a ruterului local, dacă sistemul destinație este conectat la o altă rețea LAN. Nivelul legătură de date al ruterului local primește cadrul de la sistemul sursă, extrage pachetul și-l trece nivelului rețea. Nivelul rețea al ruterului, pe baza adresei de rețea destinație a pachetului, stabilește, cu ajutorul tabelelor sale de rutare, care este următoarea legătură de date pe care trebuie să o străbată pachetul. Pachetul va fi trecut la nivelul legătură de date pentru a fi inclus într-un cadru în care, în câmpurile de adrese MAC, se trec adresele ruterului (ca sursă) și sistemului care va recepționa acest cadru (ca destinație). În cazul prezentat în figură sistemul destinație se află într-o altă rețea LAN, conectată însă la același ruter, deci adresa MAC destinație va fi chiar cea a sistemului la care trebuie să ajungă în final pachetul. Prin urmare, pentru fiecare salt pe care-l face un pachet, în drumul său de la sistemul sursă la sistemul destinație, adresele MAC din cadrul care-l poartă sunt ale celor două sisteme aflate la capetele legăturii de date parcurse în acel salt.

După cum se poate constata, spre deosebire de poduri, ruterii sunt adresabili. Ruterii examinează cadrele care le sunt direct adresate pentru a lua deciziile de rutare.

Luarea contactului cu vecinii la nivelul rețea

Funcționarea unui protocol de nivel rețea, prin care se asigură transportul pachetelor de la sistemul sursă, prin rețea, la sistemul destinație, implică, printre altele, cunoașterea de către fiecare sistem a ruterilor adiacenți, realizarea distincției între sisteme adiacente (sisteme, ruteri) și sisteme care nu sunt accesibile decât printr-un ruter și cunoașterea adreselor fizice (la nivelul legătură de date - MAC) ale sistemelor adiacente. În același timp ruterii trebuie să cunoască adresele de nivel rețea și de nivel legătură de date ale sistemelor vecine.

Aceste probleme prezintă aspecte specifice pentru cazul când sistemele adiacente sunt conectate prin legături punct la punct sau prin legături LAN. În cazul unei legături punct la punct între un sistem S de extremitate și un ruter (fig. 4.64) este suficient ca ruterul să cunoască doar adresa de nivel rețea a sistemului S. Acest fapt va permite ruterului dirijarea pachetelor către sistemul S și informarea ruterilor vecini despre adresa de rețea a sistemului S, ceea ce va face posibilă rutarea de către aceștia prin ruterul R a pachetelor destinate sistemului S.

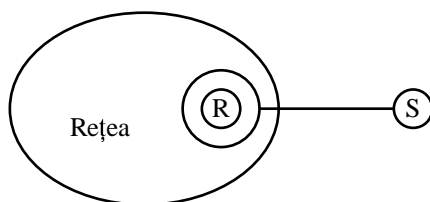


Fig. 4.64 Legătura punct la punct între sistem și ruter

Pentru cunoașterea adreselor de rețea ale sistemelor conectate la un ruter protocoalele ISO prevăd transmiterea periodică de către fiecare sistem a unui pachet, denumit ESH (End System Hello), prin care anunță adresa sa de rețea. Sistemul nu trebuie să cunoască adresa de nivel rețea a ruterului și, de asemenea, pentru că nu sunt decât două sisteme pe o legătură punct la punct, nu este necesară adresa de nivel legătură de date.

Protocoalele TCP/IP sunt mai simple în această privință, nefiind necesare acțiuni pentru a cunoaște adresele de nivel rețea ale sistemelor conectate la un ruter. Ruterul se configurează cu adresele de nivel rețea ale acestor sisteme.

În cazul în care sistemele sunt conectate la un ruter printr-o rețea LAN (fig. 4.65) este necesar să se rezolve următoarele probleme:

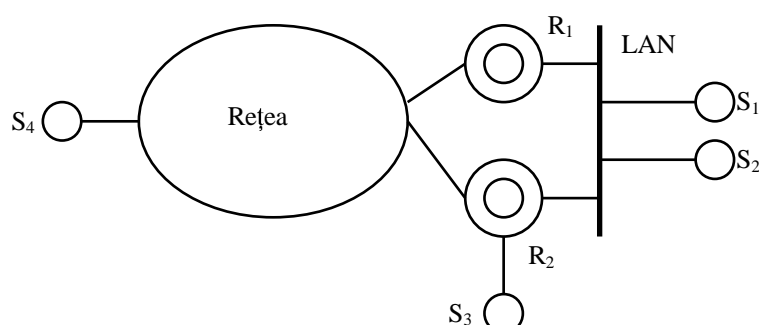


Fig. 4.65 Legătură LAN între sisteme și rutere

1. Ruterii conectați la LAN (R_1 și R_2) trebuie să cunoască adresele de nivel rețea ale sistemelor din LAN, pentru a le face cunoscute și ruterilor vecini și pentru a dirija pachetele către aceste sisteme, precum și adresele de nivel legătură de date, pentru a le transmite cadrele MAC destinate acestora.

2. Sistemele din LAN (S_1 și S_2) trebuie să cunoască adresa de nivel legătură de date a cel puțin unui ruter, pentru a putea dirija prin acesta pachetele către sisteme din afara LAN-ului.

3. Sistemele din LAN pot comunica între ele fie direct și, pentru aceasta, este necesar ca fiecare să cunoască adresele MAC ale celorlalte sisteme, fie prin intermediul unui ruter și, în acest caz, este necesar ca fiecare să cunoască adresele de nivel rețea ale celorlalte sisteme din LAN. În acest al doilea caz traficul pe rețeaua LAN se va dubla.

4. În cazul în care un sistem din LAN, spre exemplu S_1 , dorește să comunice cu un sistem din afara LAN-ului dar conectat la unul din ruterii aflați pe acest LAN, spre exemplu S_3 , cea mai bună soluție este ca el să selecteze, pentru adresa MAC de destinație a cadrului pe care-l emite, chiar acel ruter, R_2 în exemplul considerat. În caz contrar traficul pe LAN se va dubla. Astfel, dacă sistemul S_1 va emite către ruterul R_1 cadrul ce conține pachetul destinat sistemului S_3 , acestui cadru îi va corespunde încă un cadru, emis de R_1 către R_2 , circulând în aceeași rețea LAN.

Pentru rezolvarea acestor probleme în diferitele arhitecturi de rețea există protocoale specifice. Astfel, în arhitectura OSI sunt protocoalele ES –IS (End System to Intermediate System) și IS –IS (Intermediate System to Intermediate System), iar în arhitectura TCP/IP sunt protocoalele ARP (Address Resolution Protocol) și ICMP (Internet Control Message Protocol).

Protocoale și algoritmi de rutare

Un pachet emis de un sistem sursă trece din ruter în ruter până când ajunge la ruterul conectat direct la aceeași rețea ca și sistemul destinatar. Protocolul de rutare utilizat de un ruter trebuie să determine o cale între acel ruter și un ruter conectat la rețeaua în care se află sistemul destiatar, folosind un mecanism (algoritm) prestabilit și specificând primul ruter adiacent pe această cale. Ruterii care folosesc tabele de rutare configurate prin operațiile de administrare a rețelei se numesc ruteri statici. Rutarea statică prezintă avantajul că se pot folosi tehnici complexe pentru determinarea rutelor, calculele necesare nefiind făcute în timp real. Dar, la fiecare modificare a topologiei rețelei trebuie refăcute calculele. Tehnicile de rutare statică sunt adecvate rețelelor mici, cu un număr redus de ruteri și având o topologie relativ stabilă.

Rutarea dinamică, utilizată în rețelele mari în care, pentru interconectare, sunt folosite și rețelele de distanță mare, reconfigurează automat tabelele de rutare și recalculează rutele optime atunci când intervin modificări în topologia rețelei.

Pentru adaptarea continuă a rutelor este nevoie în permanență de informații privind topologia rețelei. În funcție de cum obțin ruterii aceste informații, de la un nod central al rețelei sau prin schimburile cu ruterii vecini, tehnicile de rutare se împart în două categorii: rutare centralizată și rutare distribuită.

Tinând seama de structurarea unei rețele globale în domenii, protocoalele de rutare pot fi clasificate în două grupe: protocoale de rutare în interiorul domeniilor și protocoale de rutare între domenii.

Un protocol de rutare intradomeniu (în interiorul domeniului) asigură un mecanism pentru fluxul informațiilor în cadrul unui domeniu care este reprezentat de un grup de rețele ce formează o entitate comună. Un astfel de protocol creează tabele de rutare pentru fiecare ruter, folosind ca măsură pentru compararea rutelor numărul de salturi sau timpul de parcurgere implicate de fiecare rută. Un salt corespunde unei conexiuni între doi ruteri adiacenți. Astfel de protocoale sunt RIP (Routing Information Protocol) și OSPF (Open Shortest Path First) aparținând grupului TCP/IP.

Un protocol de rutare interdomenii este folosit pentru a conecta împreună domenii diferite. Spre deosebire de protocoalele intradomeniu, axate pe construirea tabelelor de rutare pentru fluxul informațiilor în cadrul unui domeniu, protocoalele interdomenii specifică metoda prin care ruterii schimbă între ei informații privind rețelele din fiecare domeniu către care ei pot transmite mesajele utilizatorilor. Din

această categorie fac parte protocoale precum: EGP (Exterior Gateway Protocol) și BGP (Border Gateway Protocol) aparținând grupului TCP/IP și IDRP (Inter-Domain Routing Protocol) propus de ISO.

Algoritmii de rutare pe care se bazează protocoalele intradomeniu se pot clasifica, la rândul lor, în două categorii: vector - distanță și starea legăturii.

Algoritmul vector - distanță presupune construirea unui tabel de rutare în fiecare ruter și difuzarea periodică a conținutului lui către ruterii vecini. Tabelul de rutare conține o listă de perechi denumite vector și distanță. Vectorul identifică o rețea de destinație, iar distanța este numărul de salturi de la ruter la acea destinație sau o altă măsură care poate servi la calculul costului rutei respective. Inițial tabelul de rutare al fiecărui ruter conține câte o linie pentru fiecare rețea la care el este direct conectat, distanța fiind 0 (în unele protocoale 1) pentru fiecare dintre ele. Prin continuarea procesului de difuzare periodică către vecini a tabelului de rutare și de actualizare a lui, tabelul va converge spre starea corespunzătoare topologiei rețelei, dar procesul trebuie continuat pentru a asigura cunoașterea în permanență a stării fiecărei legături.

Algoritmul vector - distanță prezintă inconveniente unei convergențe lente și al sporirii considerabile a traficului în rețelele mari datorită procesului de difuzare periodică a tabelelor de rutare. Dintre protocoalele care folosesc acest algoritm pot fi menționate: RIP (TCP/IP), RTMP (Routing Table Management Protocol - Apple Talk), IGRP (Interior Gateway Routing Protocol - Cisco Systems).

Algoritmul stării legăturilor (link state) încearcă să reducă traficul suplimentar, reprezentat de schimbul de informații între ruteri pentru stabilirea tabelelor de rutare. Informația de rutare se transmite de către un ruter numai când există o schimbare pe una din legăturile sale. O altă deosebire față de algoritmul vector - distanță constă în modul în care se selectează o rută dintre mai multe posibile. În algoritmul vector - distanță criteriul de selecție este reprezentat de numărul de salturi (ruteri) până la destinație. Un protocol care utilizează algoritmul stării legăturilor poate folosi drept criteriu de selecție întârzierea introdusă de rută, capacitatea (debitul) de transmisiune, siguranța în funcționare. În plus, acest algoritm permite utilizarea unor căi multiple pentru a echilibra traficul între ruteri.

Într-o variantă particulară a acestui algoritm, numită SPF (Shortest Path First), fiecare ruter, după ce cunoaște complet topologia rețelei, testează periodic starea ruterilor vecini și, implicit, a legăturilor cu ei și transmite altor ruteri informații despre

stările legăturilor. Pentru a testa ruterii vecini este transmis periodic un mesaj scurt. Dacă vecinul răspunde legătura este considerată bună, altfel, absența răspunsului într-un interval de timp prestabilit indică întreruperea legăturii. Spre deosebire de algoritmul vector - distanță, conform căruia se transmit ruterilor vecini tabele de rutare complete, aici se transmit informații privind doar starea legăturilor între perechile de ruteri. Cu aceste informații ruterii sunt capabili să-și actualizeze tabelele de rutare.

Dintre protocoalele care folosesc algoritmul stării legăturilor pot fi menționate: OSPF(Open Shortest Path First - TCP/IP, alternativă la RIP), IS - IS (Intermediate System to Intermediate System - ISO), DecNet Phase V, APPN (Advanced Peer - to - Peer Networking - IBM).