

Să vedem acum modul în care *A* îi trimite un cadru lui *B*. *A* începe prin a emite un cadru RTS (Request To Send, rom: cerere de emisie) către *B*, ca în fig. 4-12(a). Acest scurt cadru (30 de octeți) conține lungimea cadrului de date care va urma. Apoi *B* răspunde cu un cadru CTS (Clear To Send, rom: aprobare transmisie), ca în fig. 4-12(b). Cadrul CTS conține lungimea datelor (copiată din cadrul RTS). La recepția cadrului CTS, *A* începe transmisia.

Să urmărim acum modul în care reacționează stațiile care recepționează vreunul din aceste cadre. Orice stație care aude RTS se află în mod cert în apropierea lui *A* și trebuie să tacă suficient de mult timp pentru ca să poată fi trimis un CTS înapoi la *A*, fără conflicte. Orice stație care recepționează CTS se află în mod cert în apropiere de *B* și trebuie să tacă în timpul transmisiei de date în curs, a cărei lungime o poate afla examinând cadrul CTS.

În fig. 4-12, *C* se află în domeniul lui *A*, însă nu în domeniul lui *B*. De aceea va auzi RTS de la *A*, dar nu și CTS de la *B*. Cât timp nu interferează cu CTS, ea este liberă să transmită în timp ce cadrul de date este emis. În schimb *D* este în domeniul lui *B*, dar nu și în cel al lui *A*. Nu aude RTS, dar aude CTS. Recepționând CTS, își va da seama că este aproape de o stație care este pe cale să primească un cadru, așa că se va abține de la a emite ceva până când, după calculele sale, acel cadru se va termina. Stația *E* aude ambele mesaje de control și, ca și *D*, trebuie să tacă până la terminarea cadrului de date.

În ciuda acestor precauții, încă mai pot apărea coliziuni. De exemplu, *B* și *C* ar putea transmite simultan cadre RTS către *A*. Ele vor intra în coliziune și se vor pierde. În eventualitatea unei coliziuni, un emițător care nu a avut succes (adică unul care nu aude un CTS în intervalul de timp prevăzut) va aștepta o perioadă de timp aleatorie și va încerca din nou. Algoritmul utilizat este cel de regresie exponențială binară, pe care îl vom studia când vom ajunge la LAN-ul IEEE 802.3.

Bazat pe studii de simulare a MACA, Bharghavan ș.a. (1994) au reușit până la urmă să îmbunătățească performanțele MACA și au redenumit noul lor protocol **MACAW**. La început, ei au observat că, fără confirmări ale nivelului legătură de date, cadrele pierdute nu erau retransmise până când, mult mai târziu, nivelul transport le observa absența. Au rezolvat această problemă introducând un cadru de confirmare ACK după fiecare cadru de date transmis cu succes. Tot ei au mai observat că CSMA are o oarecare utilitate, și anume să oprească o stație de la a transmite un RTS concomitent cu o altă stație apropiată care face același lucru către aceeași destinație, așa că a fost adăugată și detecția de purtătoare. În plus, ei au mai decis să execute algoritmul de regresie separat pentru fiecare flux de date (pereche sursă-destinație), iar nu pentru fiecare stație. Această schimbare îmbunătățește echitatea protocolului. În final, pentru a îmbunătăți performanțele sistemului, s-au mai adăugat: un mecanism ce permite stațiilor să schimbe informații despre congestia rețelei și o cale de a face ca algoritmul de regresie să reacționeze mai puțin violent la problemele temporare.

4.3 ETHERNET

Am terminat acum discuția noastră generală despre protocoalele de alocare a canalelor în teorie, deci este timpul să vedem cum se aplică aceste principii sistemelor reale – în particular, LAN-urilor. După cum am discutat în secțiunea 1.5.3, IEEE a standardizat un număr de rețele locale și metropolitane sub numele de IEEE 802. Câteva au supraviețuit, dar nu multe, după cum am văzut în fig. 1-38. Unii dintre cei care cred în reîncarnare se gândesc că Charles Darwin s-a întors ca membru al IEEE Standards Association pentru a elimina rețelele neadaptate. Cei mai importanți dintre supra-

viețuitori sunt: 802.3 (Ethernet) și 802.11 (LAN fără fir). În ceea ce privește 802.15 (Bluetooth) și 802.16 (MAN fără fir), este prea devreme pentru a ne pronunța. Vă sfătuim să consultați ediția a 5-a a acestei cărți ca să aflați. Atât 802.3 și 802.11 au niveluri fizice diferite și subniveluri MAC diferite, dar ele converg asupra aceluiași subnivel logic de control al conexiunii (LLC) (definit în 802.2), astfel încât au aceeași interfață cu nivelul de rețea.

Am introdus Ethernetul în Sec.1.5.3 și nu vom mai repeta aici aceleași informații. În continuare ne vom concentra asupra detaliilor tehnice ale Ethernetului, protocoalele și realizările recente în Ethernet-ul de mare viteză (gigabit). Din moment ce Ethernet și IEEE 802.3 sunt aproape identice, cu excepția a două detalii minore pe care le vom discuta în curând, mulți oameni folosesc termenii „Ethernet” și „IEEE 802.3” ca sinonime, astfel încât și noi vom face același lucru. Pentru mai multe informații despre Ethernet, vezi (Bradley și Riley, 1999; Seifert, 1998; Spurgeon, 2000).

4.3.1 Cablarea Ethernet

Întrucât numele „Ethernet” se referă la cablu (eterul), să pornim discuția noastră de aici. În mod obișnuit, sunt utilizate patru tipuri de cabluri, după cum se arată în fig. 4-13.

Nume	Cablu	Seg. maxim	Noduri / seg.	Avantaje
10Base5	coaxial gros	500 m	100	Cablul original, în prezent ieșit din uz
10Base2	coaxial subțire	185 m	30	Nu este nevoie de hub
10Base-T	perechi torsadate	100 m	1024	Cel mai ieftin sistem
10Base-F	Fibră optică	2000 m	1024	Cel mai bun între clădiri

Fig. 4-13. Cele mai obișnuite tipuri de cablare Ethernet.

Din punct de vedere istoric, cablul **10Base5**, numit popular și **Ethernet gros (thick Ethernet)**, a fost primul. El se aseamănă cu un furtun galben de grădină cu semne la fiecare 2.5 metri pentru a arăta unde vin conectorii (Standardul 802.3 nu *impune* de fapt cabluri de culoare galbenă, dar *sugerează* acest lucru). Conexiunile cu el sunt făcute în general utilizând **conectori-vampir (vampire taps)**, la care un pin este introdus cu *mare* grijă până în miezul cablului coaxial. Notăția 10Base5 înseamnă că funcționează la 10 Mbps, utilizează semnalizare în banda de bază și poate suporta segmente de până la 500 metri. Primul număr reprezintă viteza în Mbps. Apoi urmează cuvântul „Base” (uneori „BASE”) pentru a indica transmisia în banda de bază. Exista mai demult o variantă în banda largă, 10Broad36, dar nu s-a impus pe piață și a dispărut. În fine, dacă mediul de transmisie este cablul coaxial, lungimea sa apare rotunjită în unități de 100m după „Base”.

Istoric vorbind, al doilea tip de cablu a fost **10Base2**, sau **Ethernet subțire (thin Ethernet)**, care, spre deosebire de Ethernet gros „ca un furtun de grădină”, se îndoaie ușor. Conexiunile cu el sunt făcute utilizând conectori standard industriali BNC pentru a forma joncțiuni în T, mai curând decât conectori-vampir. Aceștia sunt mai ușor de folosit și mai siguri. Ethernetul subțire este mult mai ieftin și mai ușor de instalat, dar el poate suporta lungimi ale cablului de maxim 185 de metri pe segment, fiecare segment putând trata numai 30 de calculatoare.

Detectarea întreruperilor de cablu, a conectorilor proști sau a conectorilor desprinși poate fi o problemă majoră pentru ambele medii de transmisie. Din acest motiv au fost dezvoltate tehnici care să le detecteze. În esență, în cablu este injectat un impuls cu o formă cunoscută. Dacă impulsul întâlnește un obstacol sau ajunge la capătul cablului, va fi generat un ecou care este trimis înapoi. Măsurând cu grijă timpul scurs între emiterea impulsului și recepționarea ecoului, este posibilă

localizarea originii ecoului. Această tehnică este numită **reflectometrie în domeniul timp (time domain reflectometry)**.

Problemele asociate cu găsirea întreruperilor de cablu au condus sistemele către un alt tip de model de cablare, în care toate stațiile au un cablu care duce la un **concentrator (hub)**. De obicei, aceste fire sunt perechi torsadate ale companiei de telefoane, deoarece majoritatea clădirilor cu birouri sunt deja cablate în acest fel și, în mod normal, există o mulțime de perechi disponibile. Această strategie se numește **10Base-T**. Concentratorii nu pot ține într-o memorie tampon traficul pe care îl transferă. Vom discuta mai târziu în acest capitol o versiune îmbunătățită a acestei idei (comutatoarele), care au mecanisme de păstrare a traficului primit într-o memorie tampon.

Aceste trei strategii de cablare sunt ilustrate în fig. 4-14. Pentru 10Base5, în jurul cablului este prins strâns un **transiver (transceiver)**, astfel încât conectorul său face contact cu miezul cablului. Transiverul conține partea de electronică care se ocupă cu detecția purtătoare și cu detecția coliziunilor. Atunci când este detectată o coliziune, transiverul trimite pe cablu un semnal nepermis special, pentru a se asigura că și celelalte transivere își dau seama că s-a produs o coliziune.

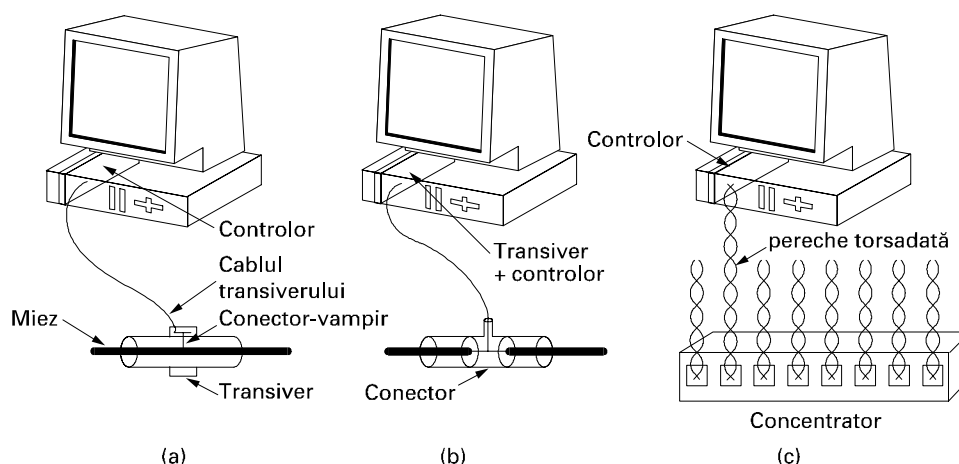


Fig. 4-14. Trei tipuri de cablare 802.3. (a) 10Base5. (b) 10Base2. (c) 10Base-T.

La 10Base5, un **cablu de transiver (transceiver cable)** conectează transiverul cu o placă de interfață din calculator. Cablul transiverului poate avea până la 50 de metri lungime și conține cinci perechi torsadate izolate individual. Două dintre perechi sunt pentru datele de intrare și respectiv datele de ieșire. Alte două sunt pentru semnalele de control de intrare și de ieșire. A cincea pereche, care nu este întotdeauna folosită, permite calculatorului să alimenteze electronica transiverului. Pentru a reduce numărul de transivere necesare, unele transivere permit să le fie atașate până la opt calculatoare învecinate.

Cablul transiverului se termină la placa de interfață din interiorul calculatorului. Placa de interfață conține un cip controlor care transmite cadre către transiver și recepționează cadre de la acesta. Controlorul este responsabil cu asamblarea datelor în formatul de cadru corespunzător, precum și cu calculul sumelor de control pentru cadrele trimise și verificarea lor pentru cadrele primite. Unele cipuri controlor gestionează și un set de zone tampon pentru cadrele primite, o coadă de zone tampon pentru transmisie, transferurile DMA cu calculatoarele gazdă și alte aspecte legate de administrarea rețelei.

La 10Base2, conexiunea cu cablul se face printr-un conector BNC pasiv cu joncțiune în T. Electronica transiverului este pe placa controlorului și fiecare stație are întotdeauna propriul transiver.

La 10Base-T, nu există nici un cablu, ci doar un concentrator - o cutie plină de electronică. Adăugarea sau îndepărtarea unei stații este mai simplă în această configurație, iar întreruperile cablului pot fi detectate ușor. Dezavantajul lui 10base-T este acela că dimensiunea maximă a cablului care pleacă de la concentrator este de numai 100 de metri, poate chiar 150 de metri, dacă sunt folosite perechi torsadate de foarte bună calitate (categoria 5). De asemenea, un concentrator mare costă mii de dolari. Totuși, 10Base-T devine tot mai popular datorită ușurinței de întreținere. O versiune mai rapidă de 10Base-T (100Base-T) va fi discutată mai târziu în acest capitol.

A patra opțiune de cablare pentru 802.3 este **10Base-F**, care folosește fibre optice. Această alternativă este scumpă datorită costului conectorilor și a terminatorilor, dar are o imunitate excelentă la zgomot și este metoda care este aleasă atunci când transmisia se face între clădiri sau concentratoare aflate la distanțe mari. Sunt permise distanțe de kilometri. Oferă de asemenea o securitate bună, deoarece interceptarea traficului de pe o fibră de sticlă este mult mai dificil decât ascultarea traficului pe cablul de cupru.

Fig. 4-15 arată diferite moduri de cablare a unei clădiri. În fig. 4-15(a), un singur cablu este șerpuit din cameră în cameră, fiecare stație fiind conectată direct la el în punctul cel mai apropiat. În fig. 4-15(b), o coloană verticală suie de la parter până la acoperiș, cu cabluri orizontale conectate direct la ea la fiecare etaj prin amplificatoare speciale (repetoare). În unele clădiri, cablurile orizontale sunt subțiri, iar coloana este groasă. Cea mai generală topologie este cea de arbore, ca în fig. 4-15(c), deoarece o rețea cu două căi între unele perechi de stații poate suferi din cauza interferenței dintre cele două semnale.

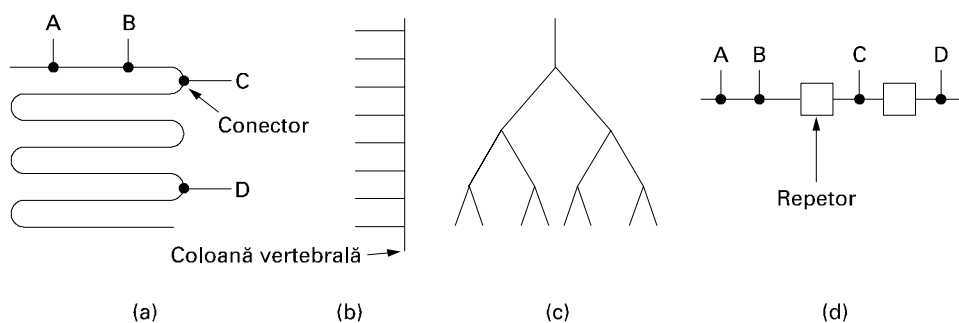


Fig. 4-15. Topologii de cablu. (a) Liniar. (b) Coloană. (c) Arbore. (d) Segmentat.

Fiecare versiune de 802.3 are o lungime maxim admisă de cablu pe segment. Pentru a permite rețele mai mari, mai multe cabluri pot fi conectate prin **repetoare (repeaters)**, așa cum se arată în fig. 4-15(d). Un repetor este un dispozitiv de nivel fizic. El recepționează, amplifică și retransmite semnale în ambele direcții. În ceea ce privește programarea, o serie de segmente de cablu conectate prin repetoare nu prezintă nici o diferență față de un singur cablu (cu excepția unei oarecare întârzieri introduse de repetoare). Un sistem poate conține segmente de cablu multiple și repetoare multiple, dar două transivere nu pot fi la o distanță mai mare de 2,5 km și nici o cale între oricare două transivere nu poate traversa mai mult de 4 repetoare.

4.3.2 Codificarea Manchester

Nici una din versiunile lui 802.3 nu folosește o codificare binară directă, cu 0 volți pentru un bit 0 și 5 volți pentru un bit 1, deoarece aceasta conduce la ambiguități. Dacă o stație trimite șirul de biți 00010000, altele l-ar putea interpreta fals ca 10000000 sau 01000000 întrucât nu pot distinge diferența între un emițător inactiv (0 volți) și un bit 0 (0 volți). Această problemă poate fi rezolvată prin utilizarea valorilor +1V pentru 1 și -1V pentru 0. Totuși, această soluție nu rezolvă problema receptorului care va eșantiona semnalul cu o frecvență ușor diferită de cea pe care emițătorul o folosește ca să-l genereze. Ceasurile diferite pot duce la o desincronizare între emițător și receptor în ceea ce privește granițele biților, în special după un șir lung de 0 consecutivi sau de 1 consecutivi.

Ceea ce le trebuie receptorilor este un mijloc de a determina fără dubii începutul, sfârșitul și jumătatea fiecărui bit fără ajutorul unui ceas extern. Două astfel de abordări se numesc **codificarea Manchester (Manchester encoding)** și **codificarea Manchester diferențială (differential Manchester encoding)**. În cazul codificării Manchester, fiecare perioadă a unui bit este împărțită în două intervale egale. Un bit 1 este trimis stabilind un voltaj ridicat în timpul primului interval și scăzut în cel de-al doilea. Un 0 binar este trimis exact invers: întâi nivelul scăzut iar apoi cel ridicat. Această strategie asigură că fiecare perioadă a unui bit are o tranziție la mijloc, ușurând sincronizarea între emițător și receptor. Un dezavantaj al codificării Manchester este acela că necesită o lărgime de bandă dublă față de codificarea binară directă, deoarece impulsurile au durată pe jumătate. Codificarea Manchester este prezentată în fig. 4-16(b).

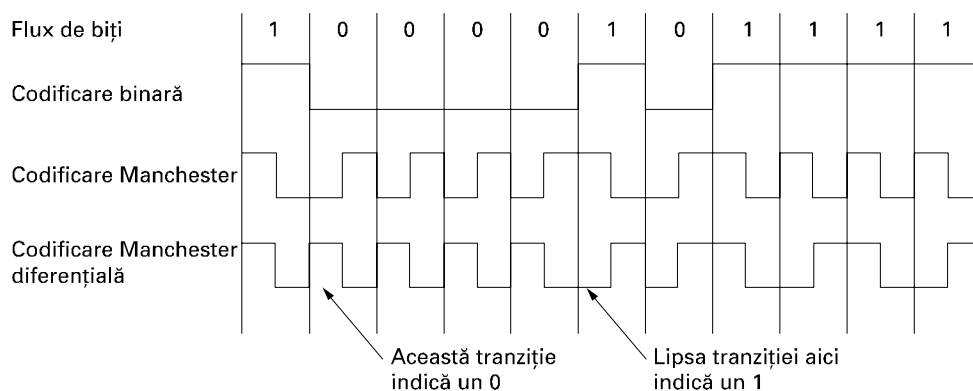


Fig. 4-16. (a) Codificare binară. (b) Codificare Manchester.
(c) Codificare Manchester diferențială.

Codificarea Manchester diferențială, prezentată în fig. 4-16(c), este o variantă a codificării Manchester clasice. În aceasta, un bit 1 este indicat prin absența tranziției la începutul unui interval. Un bit 0 este indicat prin prezența unei tranziții la începutul intervalului. În ambele cazuri, există și o tranziție la mijloc. Strategia diferențială necesită un echipament mai complex, dar oferă o mai bună imunitate la zgomot. Toate sistemele 802.3 în banda de bază folosesc codificarea Manchester datorită simplității sale. Semnalul înalt este de +0.85 volți iar semnalul scăzut este de -0.85 volți, dând o valoare în curent continuu de 0 volți. Ethernet nu folosește codificarea Manchester diferențială, dar alte LAN-uri (de exemplu: 802.5 - LAN-urile de tip jeton pe inel) o folosesc.

4.3.3 Protocolul subnivelului MAC Ethernet

Structura cadrului original DIX (DEC, Intel, Xerox) este prezentată în fig. 4-17(a). Fiecare cadru începe cu un *Preamble* (Preamble) de 8 octeți, fiecare octet conținând șablonul de biți 10101010. Codificarea Manchester a acestui șablon furnizează o undă dreptunghiulară de 10 MHz timp de 6.4 μ s pentru a permite ceasului receptorului să se sincronizeze cu cel al emițătorului. Cea-surile trebuie să rămână sincronizate pe durata cadrului, folosind codificarea Manchester pentru a detecta granițele biților.

Cadrul conține două adrese, una pentru destinație și una pentru sursă. Standardul permite adrese pe 2 și pe 6 octeți, dar parametrii definiți pentru standardul în banda de bază de 10 Mbps folosesc numai adrese pe 6 octeți. Bitul cel mai semnificativ al adresei destinație este 0 pentru adresele obișnuite și 1 pentru adresele de grup. Adresele de grup permit mai multor stații să asculte de la o singură adresă. Când un cadru este trimis la o adresă de grup, toate stațiile din grup îl recepționează. Trimiterea către un grup de stații este numită **multicast** (trimitere multiplă). Adresa având toți biții 1 este rezervată pentru **broadcast** (difuzare). Un cadru conținând numai biți de 1 în câmpul destinație este distribuit tuturor stațiilor din rețea. Diferența dintre trimitere multiplă și difuzare este suficient de importantă ca să merite a fi repetată: un cadru de trimitere multiplă este trimis unui grup de stații selectate pe Ethernet; un cadru de difuzare este trimis tuturor stațiilor de pe Ethernet. Deci, trimiterea multiplă este mai selectivă, dar implică gestiunea grupurilor. Difuzarea este mai imprecisă dar nu necesită nici un fel de gestiune de grup.

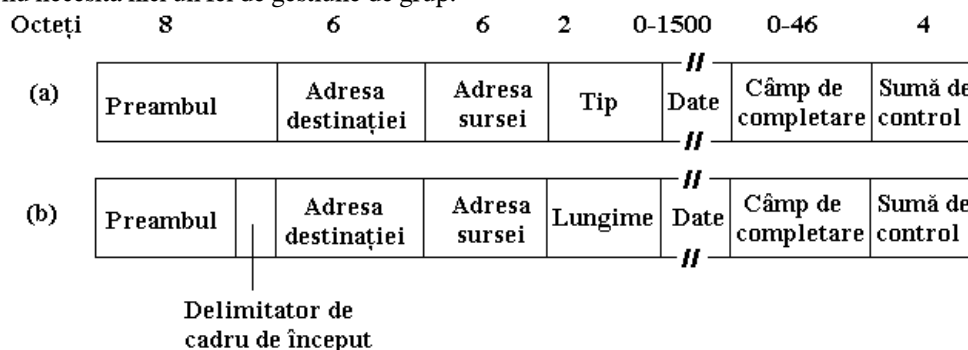


Fig. 4-17. Formatul cadrelor. (a) DIX Ethernet. (b) IEEE 802.3.

O altă trăsătură interesantă a adresării este utilizarea bitului 46 (vecin cu cel mai semnificativ bit) pentru a distinge adresele locale de cele globale. Adresele locale sunt stabilite de fiecare administrator de rețea și nu au semnificație în afara rețelei locale. În schimb, adresele globale sunt asignate de IEEE pentru a se asigura că oricare două stații din lume nu au aceeași adresă globală. Cu $48 - 2 = 46$ biți disponibili, există aproximativ 7×10^{13} adrese globale. Ideea este că orice stație poate adresa în mod unic orice altă stație specificând numai numărul corect pe 48 de biți. Este sarcina nivelului rețea să-și dea seama cum să localizeze destinatarul.

În continuare urmează câmpul „Tip” (Type), care îi spune receptorului ce să facă cu cadrul. Numeroase protocoale de nivel rețea pot fi folosite simultan pe aceeași mașină, astfel încât, atunci când un cadru Ethernet ajunge, nucleul trebuie să știe cui să-i trimită cadrul. Câmpul „Tip” specifică procesul căruia îi este destinat cadrul.

Apoi urmează datele, până la 1500 de octeți. Această limită a fost aleasă oarecum arbitrar la momentul în care standardul DIX a fost solidificat, în special din cauza considerației că un transiver are nevoie de suficient RAM ca să conțină un cadru întreg și RAM era scumpă în 1978. O valoare mai mare pentru această limită ar fi însemnat mai mult RAM, deci un transiver mai scump.

În afară de faptul că există o lungime maximă a cadrelor, există și o lungime minimă a cadrelor. Deși un câmp de date de 0 octeți este uneori util, el poate duce la o situație problemă. Când un transiver detectează o coliziune, el trunchiază cadrul curent, ceea ce înseamnă că fragmente răzlețe de cadre și biți răătăciți apar mereu pe cablu. Pentru a facilita distingerea cadrelor valide de reziduuri, Ethernet cere ca toate cadrele valide să aibă cel puțin 64 de octeți, incluzând adresa destinației și suma de control. Dacă porțiunea de date dintr-un cadru este mai mică de 46 de octeți, se folosește câmpul de completare pentru a se ajunge la lungimea minimă necesară.

Un alt motiv (și mai important) de a avea o lungime minimă a cadrului este de a preveni situația în care o stație termină transmisia unui cadru scurt înainte ca primul bit să ajungă la capătul cel mai îndepărtat al cablului, unde poate intra în coliziune cu un alt cadru. Această problemă este ilustrată în fig. 4-18. La momentul 0, stația A, aflată la un capăt al rețelei, expediază un cadru. Să notăm cu τ timpul de propagare al cadrului până la celălalt capăt. Exact înainte de sosirea cadrului la celălalt capăt (adică la momentul $\tau - \epsilon$), cea mai îndepărtată stație față de A, stația B, începe să transmită. Când B observă că primește mai multă putere decât emite, știe că a apărut o coliziune, prin urmare abandonează transmisia și generează o rafală de 48 de biți de zgomot pentru a avertiza toate celelalte stații. Aproximativ la momentul 2τ , emițătorul observă apariția zgomotului și își abandonează la rândul său transmisia. Apoi așteaptă un timp aleatoriu înainte de a încerca din nou.

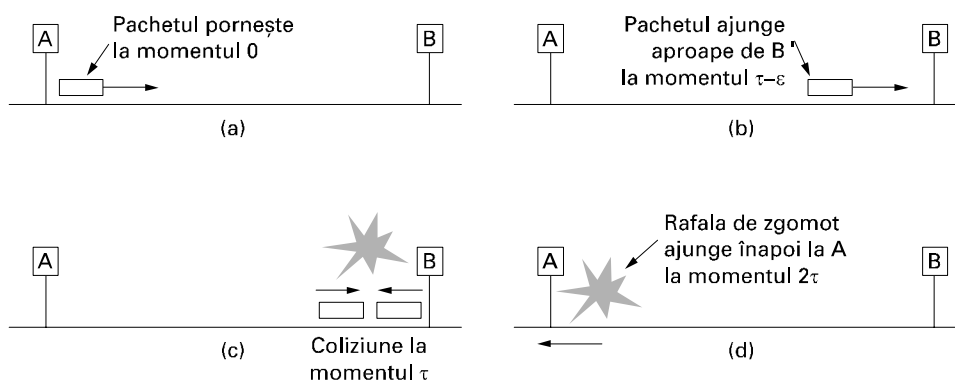


Fig. 4-18. Detectarea coliziunii poate dura 2τ .

Dacă o stație încearcă să transmită un cadru foarte scurt, este posibil să apară o coliziune, dar transmisia se termină înainte ca zgomotul produs să se întoarcă la momentul 2τ . Emițătorul va ajunge încorect la concluzia că transmisia cadrului s-a încheiat cu succes. Pentru a preveni apariția acestei situații, transmisia fiecărui cadru trebuie să ia mai mult de 2τ . Pentru un LAN la 10 Mbps cu o lungime maximă de 2500 metri și patru repetoare (conform specificației 802.3), durata unei călătorii dus-întors (incluzând și timpul necesar propagării prin cele 4 repetoare) a fost calculată la aproximativ $50 \mu s$ în cel mai defavorabil caz – inclusiv timpul trecerii prin repetoare, care în mod sigur nu este zero. Prin urmare, transmisia unui cadru minim trebuie să dureze cel puțin $50 \mu s$ pentru a se transmite. La 10 Mbps, un bit durează 100 ns, astfel încât cel mai mic cadru trebuie să aibă 500 de biți pentru o funcționare garantată. Pentru a adăuga un oarecare spațiu de siguranță, acest număr a fost

mărit la 512 biți, adică 64 de octeți. Cadrele cu mai puțin de 64 de octeți utili sunt completate până la 64 de octeți folosind câmpul de completare.

Pe măsură ce viteza rețelelor crește, lungimea minimă a cadrului trebuie să crească sau lungimea maximă a cablului trebuie să scadă proporțional. Pentru un LAN de 2500 de metri operând la 1 Gbps, dimensiunea minimă a cadrului ar trebui să fie de 6400 de octeți. Alternativ, dimensiunea minimă a cadrului ar putea fi de 640 octeți, iar distanța maximă între două stații de 250 de metri. Aceste restricții devin din ce în ce mai neplăcute pe măsură ce ne îndreptăm spre rețele cu viteze de ordinul gigabiților.

Ultimul câmp la 802.3 este *Suma de control* (*Checksum*). Aceasta este de fapt un cod de dispersie pe 32 de biți (32-bit hash-code) a datelor. Dacă anumiți biți de date sunt recepționați eronat (datorită zgomotului de pe cablu), suma de control va fi aproape sigur greșită și va fi detectată o eroare. Algoritmul sumei de control este un control cu redundanță ciclică de tipul celui discutat în cap. 3. El realizează doar detectarea erorilor și nu are legătură cu corectarea lor.

Când IEEE a standardizat Ethernetul, comitetul a decis două schimbări la formatul DIX, după cum se vede în fig. 4-17(b). Prima a fost reducerea preambulului la 7 octeți, folosind ultimul octet ca un delimitator de cadru inițial („Start of Frame”) pentru compatibilizarea cu 802.4 și 802.5. A doua schimbare a constat în transformarea câmpului „tip” într-un câmp „lungime”. Desigur, acum receptorul nu mai știa ce să facă cu un cadru care sosea, dar această problemă a fost rezolvată prin adăugarea unui mic antet porțiunii de date, pentru a oferi această informație. Vom discuta formatul porțiunii de date când ajungem la controlul legăturilor logice, mai târziu în acest capitol.

Din păcate, la momentul publicării lui 802.3, se utilizau deja dispozitive hardware și aplicații software pentru DIX Ethernet, astfel încât producătorii și utilizatorii nu prea erau entuziaști să convertească câmpul „tip” în câmpul „lungime”. În 1997 IEEE a capitulat și a declarat că ambele standarde erau acceptabile. Din fericire, toate câmpurile „tip” folosite înainte de 1997 erau mai mari de 1500. Prin urmare, orice număr s-ar afla în acea poziție care este mai mic sau egal cu 1500 poate fi interpretat ca „lungime”, iar orice număr mai mare decât 1500 poate fi interpretat ca „tip”. Acum IEEE poate susține că fiecare îi folosește standardul și toată lumea poate să își vadă de treabă făcând ce făceau și înainte, fără să aibă remușcări.

4.3.4 Algoritmul de regresie exponențială binară

Să vedem acum algoritmul prin care se generează timpii aleatorii atunci când apare o coliziune. Modelul este cel din fig. 4-5. După o coliziune, timpul este împărțit în intervale discrete, a căror lungime este egală cu timpul de propagare dus-întors prin mediu în cazul cel mai defavorabil (2τ). Pentru a se potrivi cu cea mai lungă cale permisă de 802.3 (2.5 km și patru repetoare), mărimea cuantei a fost fixată la 512 intervale de bit, adică $51.2 \mu s$ – după cum a fost menționat anterior.

După prima coliziune, fiecare stație așteaptă fie 0, fie 1 cuante înainte să încerce din nou. Dacă două stații intră în coliziune și fiecare alege același număr aleatoriu, vor intra din nou în coliziune. După a doua coliziune, fiecare așteaptă la întâmplare 0, 1, 2 sau 3 cuante. Dacă se produce o a treia coliziune (probabilitatea este de 0.25), atunci, data viitoare, numărul de cuante așteptate va fi ales aleatoriu din intervalul de la 0 la $2^3 - 1$.

În general, după i coliziuni, se așteaptă un număr aleatoriu de cuante între 0 și $2^i - 1$. Oricum, după un număr de 10 coliziuni, intervalul de așteptare este înghețat la un maxim de 1023 de cuante.

După 16 coliziuni, controlorul aruncă prosopul* și raportează eșec calculatorului. Recuperarea ulterioară din situația de eroare cade în sarcina nivelurilor superioare.

Acest algoritm, numit **algoritmul de regresie exponențială binară (binary exponential backoff algorithm)**, a fost conceput să se poată adapta dinamic la numărul stațiilor care încearcă să transmită. Dacă intervalul de generare aleatorie a fost pentru toate coliziunile 1023, șansa ca 2 stații să intre în coliziune pentru a doua oară este neglijabilă, dar timpul mediu de așteptare după o coliziune ar fi de sute de cuante, introducând o întârziere semnificativă. Pe de altă parte, dacă fiecare stație așteaptă mereu sau zero sau o cantă, atunci dacă 100 de stații ar încerca să transmită deodată, ele ar intra în coliziune iar și iar, până când 99 dintre ele aleg 0 și una 1 sau invers. Aceasta ar putea dura ani de zile. Lăsând intervalul de generare aleatorie să crească exponențial pe măsură ce apar tot mai multe coliziuni, algoritmul asigură o întârziere minimă când se ciocnesc numai câteva stații, dar garantează de asemenea că ciocnirea este rezolvată într-un interval rezonabil atunci când este vorba de mai multe stații. Limitarea intervalului la 1023 de cuante previne creșterea peste măsura a întârzierilor.

Așa cum am arătat până acum, CSMA/CD nu oferă confirmări. Cum simpla absență a coliziunilor nu garantează că biții nu au fost modificați de zgomotul de pe cablu, pentru o comunicație sigură, destinația trebuie să verifice suma de control și, dacă este corectă, să trimită înapoi către sursă un cadru de confirmare. În mod normal, din punct de vedere al protocolului, această confirmare ar fi doar un alt cadru de date și ar trebui să lupte pentru timp de canal, ca orice cadru de date. Totuși, cu o simplă modificare a algoritmului de tratare a conflictelor s-ar permite o confirmare rapidă a recepționării cadrului (Tokoro și Tamaru, 1977): prima cantă de conflict care urmează unei transmisii cu succes ar trebui rezervată pentru stația destinație. Din nefericire, standardul nu oferă această posibilitate.

4.3.5 Performanțele Ethernet-ului

Să examinăm pe scurt performanțele standardului 802.3 în condiții de încărcare mare și constantă, dată de k stații gata mereu să transmită. O analiză riguroasă a algoritmului de regresie exponențială binară ar fi complicată. În schimb vom proceda ca Metcalfe și Boggs (1976) și vom presupune o probabilitate de retransmisie constantă pentru fiecare cantă. Dacă fiecare stație transmite în timpul unei cuante de conflict cu probabilitatea p , probabilitatea A ca o stație să primească canalul în această cantă este:

$$A = kp(1 - p)^{k-1}$$

A este maxim când $p = 1/k$, și $A \rightarrow 1/e$ atunci când $k \rightarrow \infty$. Probabilitatea ca intervalul de conflict să aibă exact j cuante este $A(1 - A)^{j-1}$, astfel că numărul mediu de cuante pe conflict este dat de:

$$\sum_{j=0}^{\infty} jA(1 - A)^{j-1} = \frac{1}{A}$$

Întrucât fiecare cantă durează 2τ , intervalul de conflict mediu, w , este $2\tau/A$. Presupunând p optim, numărul mediu de cuante de conflict nu este niciodată mai mare decât e , deci w este cel mult $2\tau e \approx 5.4\tau$.

* Așa procedează antrenorul unui boxer când hotărăște ca acesta să abandoneze lupta.

Dacă pentru a transmite un cadru de lungime medie sunt necesare P secunde, atunci când multe stații au cadre de transmis se obține:

$$\text{Eficiența canalului} = \frac{P}{P + 2\tau / A} \quad (4-6)$$

Aici vedem cum lungimea maximă a cablului dintre oricare două stații influențează calculul performanțelor, sugerând și alte topologii decât cea din fig. 4-15(a). Cu cât cablul este mai lung, cu atât intervalul de conflict este mai lung. Acesta este motivul pentru care standardul Ethernet specifică o lungime maximă a cablului.

Este instructiv să formulăm ecuația (4-6) și în termeni de lungime de cadru F , lărgime de bandă a rețelei B , lungime a cablului L și viteză de propagare a semnalului c , pentru cazul optim cu e cuante de conflict pe cadru. Cu $P = F/B$, ecuația (4-6) devine:

$$\text{Eficiența canalului} = \frac{1}{1 + 2BLE/cF} \quad (4-7)$$

Atunci când al doilea termen al numitorului este mare, eficiența rețelei va fi mică. Mai precis, creșterea lărgimii de bandă sau a distanței (produsul BL) reduce eficiența pentru o lungime dată a cadrului. Din nefericire, o mare parte din cercetarea în domeniul hardware-ului de rețea a ținut exact creșterea acestui produs. Oamenii doresc lărgime de bandă mare pe distanțe lungi (de exemplu, MAN-urile cu fibră optică), ceea ce sugerează că Ethernetul implementat în acest fel poate să nu fie cel mai bun sistem pentru aceste aplicații. Vom vedea alte modalități de a implementa Ethernet când ajungem la Ethernetul comutat mai târziu în acest capitol.

În fig. 4-19 este trasată eficiența canalului în funcție de numărul stațiilor gata de transmisie, pentru $2\tau = 51.2 \mu s$ și o rată de transmisie a datelor de 10 Mbps, folosind ecuația (4-7). Cu o mărime a cuantei de 64 de octeți, nu este surprinzător faptul că nu sunt eficiente cadrele de 64 de octeți. Pe de altă parte, cu cadre de 1024 de octeți și o valoare asimptotică de e cuante de 64 de octeți pe interval de conflict, perioada de conflict este de 174 de octeți, iar eficiența este 0.85.

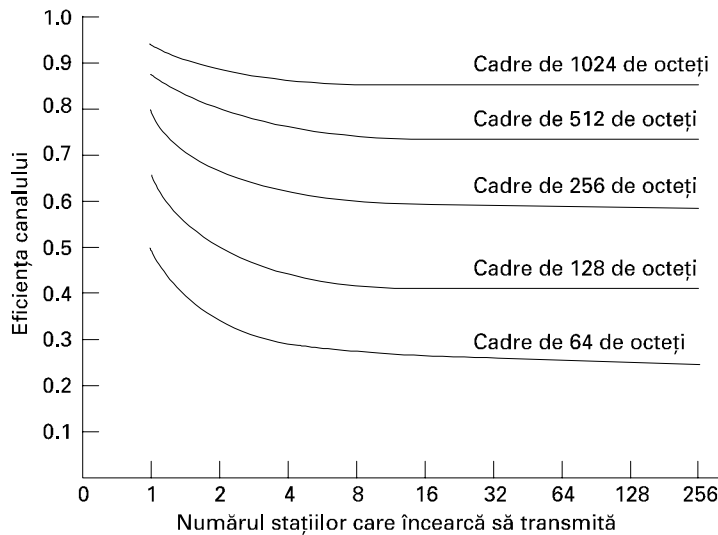


Fig. 4-19. Eficiența 802.3 la 10 Mbps cu dimensiunea cuantelor de 512 biți.

Pentru a determina numărul mediu de stații gata de transmisie în condițiile unei încărcări mari, putem să ne folosim de următoarea observație (brută). Fiecare cadru acaparează canalul pentru o perioadă de conflict și un interval de transmisie a unui cadru, totalizând un timp de $P + w$ secunde. Prin urmare, numărul de cadre pe secundă este $1/(P + w)$. Dacă fiecare stație generează cadre cu o rată medie de λ cadre/sec, atunci când sistemul este în starea k^* , rata totală de intrare combinată a tuturor stațiilor neblocați este de $k\lambda$ cadre/sec. Deoarece la echilibru ratele de intrare și de ieșire trebuie să fie identice, putem egala aceste două expresii și putem rezolva pentru k (nu uitați că w este funcție de k). O analiză mai sofisticată este dată în (Bertsekas și Gallager, 1992).

Probabil că merită să menționăm că s-au realizat numeroase analize teoretice ale performanțelor pentru Ethernet (și pentru alte rețele). De fapt, toată această muncă a presupus că traficul este de tip Poisson. Pe măsură ce cercetătorii au început să se uite la datele reale, s-a descoperit că traficul în rețea este rareori Poisson, în schimb este autosimilar (Paxson și Floyd, 1994; și Willinger ș.a., 1995). Aceasta înseamnă că nici prin calcularea valorilor medii pe perioade lungi de timp nu se obține o netezire a traficului. Altfel spus, numărul mediu de pachete în fiecare minut al unei ore variază la fel de mult ca și numărul mediu de pachete în fiecare secundă a unui minut. Consecința acestei descoperiri este că majoritatea modelelor de trafic în rețea nu se aplică lumii reale și ar trebui luate cu un pic (sau, mai bine, cu o tonă) de sare!

4.3.6 Ethernetul comutat

Pe măsură ce la Ethernet sunt adăugate tot mai multe stații, traficul va crește. În cele din urmă, LAN-ul se va satura. O cale de ieșire din această situație este mărirea vitezei, să zicem, de la 10 Mbps la 100 Mbps. Dar, odată cu creșterea în importanță a aplicațiilor multimedia, chiar un Ethernet de 100 Mbps sau 1-Gbps poate deveni saturat.

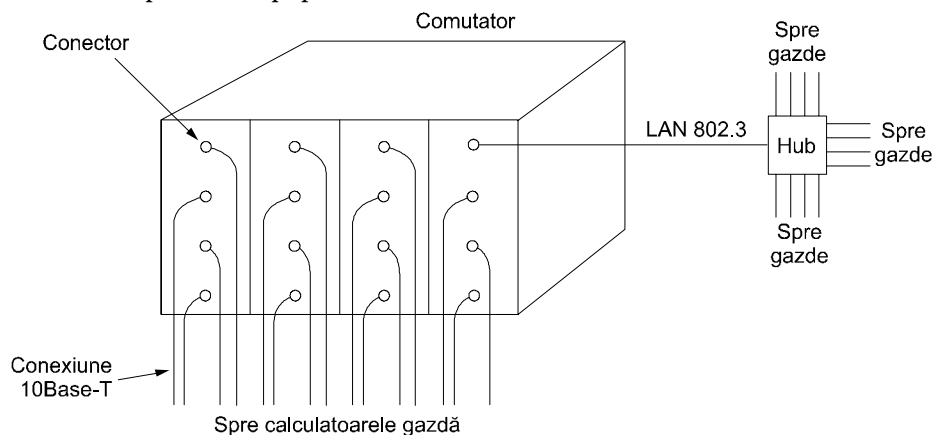


Fig. 4-20. Un LAN 802.3 comutat.

Din fericire, este posibilă o soluție diferită, mai puțin drastică: un Ethernet comutat ca cel din fig. 4-20. Inima acestui sistem este un comutator care conține o placă de bază (similară unui fund de sertar – backplane) de mare viteză și, în general, loc pentru 4 până la 32 de plăci de rețea plug-in,

* k stații gata de transmisie

fiecare având între 1 și 8 conectori. Cel mai des, fiecare conector are o conexiune prin perechi torsadate de tip 10Base-T cu un singur calculator gazdă.

Atunci când o stație dorește să transmită un cadru 802.3, trimite un cadru standard către comutator. Placa plug-in care primește cadrul verifică dacă el este destinat pentru una din celelalte stații conectate la aceeași placă. Dacă da, cadrul este copiat acolo. Dacă nu, cadrul este trimis prin placa de bază a comutatorului (backplane) către placa stației destinație. Placa de bază a comutatorului rulează în mod obișnuit la peste 1 Gbps folosind protocolul proprietar.

Ce se întâmplă dacă două calculatoare legate la aceeași placă plug-in transmit cadre în același timp? Depinde de cum a fost construită placa. O posibilitate este ca toate porturile de pe placă să fie legate împreună pentru a forma un LAN local pe placă. Coliziunile din acest LAN pe placă vor fi detectate și tratate la fel ca orice altă coliziune dintr-o rețea CSMA/CD - cu retransmisii utilizând algoritmul de regresie binară. Cu acest tip de placă plug-in este posibilă o singură transmisie pe placă la un moment dat, dar toate plăcile pot transmite în paralel. Astfel concepute, fiecare dintre plăci își formează propriul **domeniu de coliziune (collision domain)**, independent de celelalte.

La celălalt tip de placă plug-in, fiecare port de intrare utilizează un registru tampon, astfel încât cadrele care vin sunt stocate în memoria RAM inclusă în placă, pe măsură ce sosesc. Această concepție permite tuturor porturilor de intrare să recepționeze (și să transmită) cadre în același timp, pentru operare duplex integral (full duplex), în paralel. Odată ce un cadru a fost recepționat în întregime, placa poate verifica dacă el este destinat pentru un alt port de pe aceeași placă, sau pentru un port aflat la distanță. În primul caz, el poate fi transmis direct la destinație. În cel de-al doilea, el trebuie transmis prin placa de bază a comutatorului către placa corespunzătoare. În acest mod, fiecare port este un domeniu de coliziune separat, deci nu se mai produc coliziuni. Adesea, productivitatea întregului sistem poate fi îmbunătățită astfel cu un ordin de mărime față de 10Base-5, care are un singur domeniu de coliziune pentru întreg sistemul.

Întrucât comutatorul stă și așteaptă cadre standard Ethernet pe fiecare port de intrare, putem folosi unele porturi drept concentratori. În fig. 4-20, portul din colțul din dreapta sus este conectat nu la o singură stație, ci la un concentrator cu 12 porturi. Pe măsură ce cadrele sosesc la concentrator, ele concurează pentru canale în mod obișnuit, cu apariție de coliziuni și algoritmi de regresie binară. Cadrele transmise cu succes ajung la comutator, unde sunt tratate ca orice cadru de intrare: sunt îndreptate către linia de ieșire corectă prin placa de bază de viteză mare. Concentratoarele sunt mai ieftine decât comutatoarele, dar, datorită prețurilor în scădere ale comutatoarelor, ele ies treptat din uz. Totuși, mai există concentratoare rămase moștenire.

4.3.7 Ethernet-ul rapid

La început, 10 Mbps păreau raiul pe pământ, la fel cum modemurile 1200-bps păreau divine utilizatorilor modemurilor acustice de 300 bps. Totuși, noutatea s-a uzat rapid. Ca un fel de corolar al Legii lui Parkinson („Munca se dilată astfel încât să ocupe tot timpul aflat la dispoziție”), se părea că datele se dilată pentru a umple lărgimea de bandă disponibilă. Pentru a crește viteza, diverse grupuri industriale au propus două noi LAN-uri optice bazate pe două inele. Una era numită FDDI (Fiber Distributed Data Interface, rom: Interfață de Date Distribuie pe Fibră), cealaltă se numea canal de fibră (Fibre Channel^{*}). Pentru a scurta o poveste lungă, amândouă au fost folosite ca și rețele de coloană vertebrală și nici una nu a reușit să ajungă în birourile utilizatorilor finali. În ambele cazuri ma-

^{*} Este denumit „fibre channel” și nu „fiber channel”; autorul documentului era englez

nagementul stațiilor era prea complicat, ceea ce ducea la cip-uri complexe și prețuri ridicate. Lecția care trebuia învățată de aici era KISS (Keep it simple, Stupid, rom: Lasă lucrurile simple, prostule).

În orice caz, eșecul LAN-urilor optice în a se impune pe piață a lăsat un gol în care au înflorit o varietate de Ethernet-uri la viteze de peste 10 Mbps. Multe instalații aveau nevoie de mai multă lărgime de bandă și prin urmare aveau numeroase LAN-uri de 10 Mbps conectate printr-un labirint de repetoare, punți, rutere și porți, deși administratorilor de rețea li se părea mai degrabă că erau conectate cu gumă de mestecat și resturi de sârmă.

În acest mediu IEEE a reconvocat comitetul 802.3 în 1992 cu instrucțiuni de a produce un LAN mai rapid. O propunere a fost aceea de a păstra 802.3 exact cum era, dar să-l facă să meargă mai repede. O altă propunere era să-l refacă total astfel încât să îi ofere o mulțime de noi proprietăți, cum ar fi trafic în timp real și voce digitizată, dar să păstreze vechiul nume (din rațiuni de marketing). După ceva confruntări, comitetul a decis să păstreze 802.3 așa cum era, dar să-l facă mai rapid. Cei care susținuseră propunerea înfrântă au făcut ceea ce orice indivizi din industria de calculatoare ar fi făcut în aceste circumstanțe – s-au detașat și au format propriul lor comitet care a standardizat LAN-ul (în ceea ce va fi versiunea 802.12). Încercarea lor a eșuat lamentabil.

Comitetul 802.3 a decis să continue cu un Ethernet ameliorat din trei motive principale:

1. Nevoia de a fi compatibil retroactiv cu LAN-urile Ethernet existente;
2. Teama că un nou protocol ar putea avea consecințe negative neprevăzute;
3. Dorința de a termina treaba înainte ca tehnologia să se schimbe.

Munca a fost făcută rapid (după standardele comitetului), iar rezultatul, 802.3u, a fost aprobat oficial de IEEE în iunie 1995. Din punct de vedere tehnic, 802.3u nu este un standard nou, ci o adăugire la standardul 802.3 existent (pentru a accentua compatibilitatea cu versiunile anterioare). Din moment ce toată lumea îl denumeste **Ethernet rapid (Fast Ethernet)**, în loc de 802.3u, îl vom denumi și noi la fel.

Ideea de bază din spatele Ethernetului rapid era simplă: păstrează vechile formate de cadre, interfețele și regulile procedurale, dar reduce durata bitului de la 100 ns la 10 ns. Din punct de vedere tehnic, ar fi fost posibil să copieze fie 10Base-5 sau 10Base-2 și să detecteze în continuare coliziunile la timp pur și simplu reducând lungimea maximă a cablului cu un factor de 10. Totuși, avantajele cablării 10Base-T erau atât de copleșitoare, încât Ethernetul rapid este bazat în întregime pe acest design. Prin urmare, toate sistemele de Ethernet rapid folosesc concentratoare și comutatoare; cabluri multipunct cu conectori vampir sau BNC nu sunt permise.

Totuși, rămân câteva alegeri de făcut, dintre care cea mai importantă este ce tip de cabluri să fie suportate. Un concurent era cablul torsadat categoria 3. Argumentul pro era că practic fiecare birou în lumea occidentală are cel puțin patru cabluri răsucite categoria 3 (sau mai mult) care îl conectează cu un centru de conexiuni telefonice la cel mult 100 m distanță. Uneori există două astfel de cabluri. Prin urmare, folosind cablurile torsadate categoria 3 ar fi făcut posibilă conectarea calculatoarelor de birou la Ethernet fără să fie necesară recablarea clădirii, un avantaj enorm pentru multe organizații.

Principalul dezavantaj al cablurilor torsadate categoria 3 este incapacitatea lor de a transmite semnale de 200 megabaud (100Mbps cu codificare Manchester) pe o lungime de 100 de metri, care este distanța maximă de la calculator la concentrator specificată pentru 10Base-T (vezi fig. 4-13). Dimpotrivă, cablurile torsadate categoria 5 fac față ușor distanțelor de 100 m, iar fibra face față unor distanțe mult mai mari. Compromisul la care s-a ajuns a fost să permită toate trei posibilitățile, după cum reiese din fig. 4-21, ca să se îmbunătățească soluția de categorie 3 pentru a-i oferi capacitatea adițională de transportare de care avea nevoie.

Nume	Cablu	Segment maxim	Avantaje
100Base-T4	Cablu torsadat	100 m	Folosește UTP categoria 3
100Base-TX	Cablu torsadat	100 m	Full duplex la 100 Mbps (UTP Cat 5)
100Base-FX	Fibră de sticlă	2000 m	Full duplex la 100 Mbps; distanțe lungi

Fig. 4-21. Cablarea originală a Ethernet-ului rapid.

Schema de categorie 3 UTP, numită 100Base-T4, folosește o viteză de semnalizare de 25MHz, cu numai 25% mai rapid decât Ethernetul standard de 20MHz (amintiți-vă de codificarea Manchester care, după cum reiese din fig. 4-16, necesită două rotații de ceas pentru fiecare dintre cei 10 milioane de biți pe secundă). Totuși, pentru a obține lărgimea de bandă necesară, 100Base-T4 necesită patru perechi răsucite. Deoarece cablarea telefonică standard include de decenii patru perechi torsadate per cablu, majoritatea birourilor sunt capabile să facă față. Desigur, înseamnă să renunți la telefonul din birou, dar acesta este un preț mic pentru un e-mail mai rapid.

Din cele patru perechi torsadate una merge întotdeauna către concentrator, una vine de la concentrator, iar celelalte două sunt comutabile în direcția transmisiunii curente. Codificarea Manchester nu poate fi folosită din cauza cerințelor de lărgime de bandă, dar date fiind ceasurile moderne și distanțele scurte, nici nu mai este necesară. În plus, sunt trimise semnale ternare, astfel încât în timpul unei singure rotații de ceas cablul poate conține un 0, un 1 sau un 2. Având trei perechi torsadate în direcția „înainte” și cu semnalizare ternară, există 27 de simboluri posibile, și deci se pot trimite 4 biți cu o oarecare redundanță. Transmiterea a 4 biți în fiecare dintre cele 25 de milioane de rotații de ceas pe secundă oferă cei 100Mbps necesari. În plus, există întotdeauna un canal invers de 33.3Mbps care folosește perechea torsadată rămasă. Această schemă, cunoscută ca și 8B/6T (8 biți mapați pe 6 triți), nu este cea mai elegantă din lume, dar funcționează cu cablarea existentă.

Pentru cablarea de categorie 5, designul 100Base-TX este mai simplu deoarece cablurile fac față frecvențelor de ceas de 125MHz. Numai 2 perechi torsadate sunt folosite – una către concentrator, și alta dinspre el. Codificarea binară directă nu este folosită, ci în locul ei se află o schemă numită 4B/5B. Este preluată din FDDI și este compatibilă cu el. Fiecare grup de cinci rotații de ceas, având fiecare una dintre cele două valori ale semnalului, generează 32 de combinații. 16 dintre acestea sunt folosite pentru a transmite grupurile de biți 0000, 0001, 0010, ..., 1111. Din restul de 16, unele sunt folosite în scopuri de control, cum ar fi marcarea granițelor cadrelor. Combinațiile folosite au fost alese cu grijă, astfel încât să ofere suficiente tranziții pentru a menține sincronizarea ceasului. Sistemul 100Base-TX este integral duplex: simultan, stațiile pot transmite date la 100Mbps și pot primi date la 100Mbps. Deseori oamenii se referă la 100Base-TX și la 100Base-T4 cu denumirea comună 100Base-T.

Ultima opțiune, 100Base-Fx, folosește două linii de fibră multimod, una pentru fiecare direcție, astfel încât sistemul este, de asemenea, integral duplex, cu 100Mbps în fiecare direcție. În plus, distanța dintre o stație și concentrator poate ajunge până la 2 km.

În 1997, comitetul a adăugat, la cerere, un nou tip de cablu, 100Base-T2, permițând Ethernetului rapid să funcționeze peste două perechi de cablu de categoria 3 deja existente. Totuși, este nevoie de un procesor complicat de semnale digitale pentru a face față schemelor de codificare, așa că această opțiune este destul de scumpă. Până acum nu prea a fost utilizată, datorită complexității, costului, și faptului că multe clădiri de birouri au fost deja recablate cu categoria 5 UTP.

100Base-T face posibile două tipuri de sisteme de interconectare: concentratoare și comutatoare, după cum reiese din fig. 4-20. Într-un concentrator, toate liniile care sosesc (sau cel puțin toate liniile care ajung la o placă de extensie logică, formează un singur domeniu de coliziune. Toate regulile standard pot fi aplicate, incluzând algoritmul de regresie exponențială binară, astfel încât sistemul

funcționează exact ca Ethernetul de modă veche. În particular, o singură stație poate să transmită la un moment dat. Cu alte cuvinte, concentratoarele au nevoie de comunicații semi-duplex.

Într-un comutator, fiecare cadru care sosește este ținut într-o memorie tampon într-o placă de extensie și transmis printr-o placă de bază de mare viteză de la placa sursă la placa destinație, dacă este nevoie. Această placă de bază a comutatorului nu a fost standardizată, și nici nu trebuie să fie, din moment ce este cu desăvârșire ascunsă în interiorul comutatorului. Conform experiențelor precedente este foarte probabil că vânzătorii de comutatoare vor intra într-o concurență acerbă pentru a produce plăci de bază tot mai rapide și pentru a îmbunătăți performanța sistemului. Deoarece cablurile 100Base-FX sunt prea lungi pentru algoritmul normal de coliziune, ele trebuie să fie conectate la comutatoare, astfel încât fiecare este un domeniu de coliziune distinct. Concentratoarele nu sunt permise în 100Base-FX.

Ca observație finală, practic toate comutatoarele pot face față unui mix de stații 10 Mbps și 100 Mbps, pentru a facilita modernizarea. Pe măsură ce un site obține tot mai multe stații de 100 Mbps, tot ceea ce trebuie să facă este să cumpere numărul necesar de plăci de extensie noi și să le insereze în comutator. De fapt, standardul însuși oferă o cale astfel încât două stații să negocieze automat viteza optimă (10 sau 100Mbps) și modul de comunicație (semi-duplex sau duplex integral). Majoritatea produselor de Ethernet rapid folosesc această caracteristică pentru a se autoconfigura.

4.3.8 Ethernetul Gigabit

De-abia se uscase cerneala pe standardul Ethernetului rapid când comitetul 802 a început să lucreze la un Ethernet și mai rapid (1995). A fost numit imediat **Ethernet gigabit (Gigabit Ethernet)** și a fost ratificat de IEEE în 1998 sub numele 802.3z. Această notație sugerează că Ethernetul gigabit va fi sfârșitul liniei, în afară de cazul în care cineva inventează rapid o nouă literă după z. Vom discuta mai jos câteva dintre caracteristicile de bază ale Ethernetului gigabit. Mai multe informații pot fi găsite în (Seifert, 1998). Scopurile comitetului 802.3z erau practic aceleași cu ale comitetului 802.3u: să facă Ethernetul de 10 ori mai rapid, astfel încât să rămână totuși compatibil cu toate versiunile anterioare. În particular, Ethernetul gigabit trebuia să ofere suport pentru transferul fără confirmare a datagramelor atât pentru difuzare cât și pentru trimitere multiplă, să folosească aceeași schemă de adresare de 48 de biți care era deja în uz, și să mențină același format al cadrelor, inclusiv dimensiunile minime și maxime ale acestora. Standardul final a reușit să îndeplinească toate aceste scopuri.

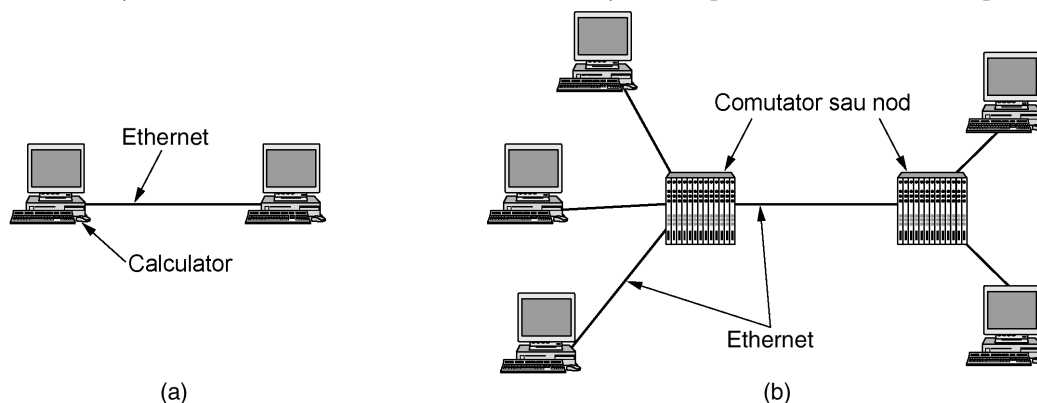


Fig. 4-22. (a) Un Ethernet cu două stații. (b) Un Ethernet cu mai multe stații.

Toate configurațiile Ethernetului gigabit sunt punct-la-punct mai degrabă decât multipunct, ca și în standardul original 10 Mbps, acum onorat cu denumirea de **Ethernet clasic**. În cea mai simplă configurație Ethernet, ilustrată în fig. 4-22(a), două calculatoare sunt conectate direct unul cu altul. Situația mai frecventă este totuși aceea în care există un concentrator sau un comutator conectat la mai multe calculatoare, și la alte concentratoare sau comutatoare adiționale, ca în fig. 4-22(b). În ambele configurații, fiecare cablu individual de Ethernet conectează exact două sisteme – nici mai multe, nici mai puține.

Ethernetul Gigabit suportă două moduri diferite de operare: modul duplex integral și modul semi-duplex. Modul „normal” este cel duplex integral, care permite traficul în ambele direcții în același timp. Acest mod este folosit atunci când există un comutator central la care sunt conectate calculatoarele (sau alte comutatoare) de la periferie. În această configurație, toate liniile sunt prevăzute cu spații tampon astfel încât fiecare calculator și fiecare comutator sunt libere să transmită cadre oricând doresc. Emițătorul nu trebuie să verifice canalul ca să vadă dacă este utilizat de altcineva, deoarece conflictele sunt imposibile. Pe linia dintre un calculator și un comutator, calculatorul este singurul emițător posibil către acel comutator și transmisia va reuși chiar și în cazul în care comutatorul transmite în același timp un cadru către calculator, deoarece linia este duplex. Din moment ce conflictele sunt imposibile, protocolul CSMA/CD nu este utilizat, astfel încât lungimea maximă a cablului este determinată de argumente referitoare la intensitatea semnalului, și nu de considerente referitoare la durata maximă a propagării zgomotului unei ciocniri către emițător. Comutatoarele sunt libere să amestece și să potrivească vitezele. Autoconfigurarea este suportată la fel ca în Ethernetul rapid.

Celălalt mod de operare, semi-duplex, este folosit când calculatoarele sunt conectate la un concentrator mai degrabă decât la un comutator. Un concentrator nu stochează cadrele care vin într-un spațiu tampon. În loc să facă asta, el conectează electric toate liniile în interior, simulând cablul multipunct folosit în Ethernetul clasic. În acest fel, există posibilitatea să apară coliziuni, astfel încât standardul CSMA/CD este necesar. Din cauză că un cadru de lungime minimă (adică de 64 de octeți) poate fi transmis acum de 100 de ori mai rapid decât în Ethernetul clasic, distanța maximă este de 100 de ori mai mică – adică de 25 de metri, pentru a menține proprietatea esențială că emițătorul mai transmite încât atunci când zgomotul ajunge înapoi la el, chiar și în cel mai rău caz. Cu un cablu lung de 2500 de metri, emițătorul unui cadru de 64 de octeți la 1Gbps va fi terminat de mult înainte ca drumul parcurs de cadru să fie măcar o zecime din cât are de mers – fără să mai socotim și returul.

Comitetul 802.3z a considerat că o rază de 25 de metri este inacceptabilă și a adăugat două caracteristici standardului pentru a mări raza. Prima caracteristică, numită **extinderea de către purtător**, se referă practic la a spune dispozitivului hardware să realinieze cadrul, mărindu-l până la 512 octeți. Din moment ce această completare este adăugată de dispozitivul hardware emițător și este înlăturată de dispozitivul hardware receptor, partea software nu este conștientă de existența sa, și prin urmare nu trebuie să sufere modificări. Desigur, transmiterea a 512 octeți de lărgime de bandă pentru a transmite 46 octeți de date ale utilizatorului (încărcătura propriu-zisă a cadrului de 64 de octeți) are o eficiență de transmitere de 9%.

A doua caracteristică, denumită **cadre în rafală (frame bursting)**, permite unui transmițător să trimită o secvență concatenată de cadre multiple într-o singură transmisie. Dacă rafala totală este mai mică de 512 octeți, dispozitivul hardware o completează din nou până la 512 octeți. Dacă sunt destule cadre care așteaptă să fie transmise, această schemă este foarte eficientă și este preferată extinderii de către purtător. Aceste noi caracteristici extind raza la 200 de metri, ceea ce probabil este suficient pentru majoritatea birourilor.

Ca să fim sinceri, este destul de greu să ne imaginăm o organizație trecând prin toate dificultățile cumpărării și instalării plăcilor de Ethernet gigabit pentru a obține o performanță ridicată, și apoi conectând calculatoarele printr-un concentrator pentru a simula Ethernetul clasic cu toate coliziunile sale. Deși concentratoarele sunt oarecum mai ieftine decât comutatoarele, plăcile de Ethernet gigabit sunt totuși scumpe. Să faci economii prin cumpărarea unui concentrator ieftin și astfel să reduci performanța noului sistem este o prostie. Totuși, compatibilitatea cu versiunile anterioare este sacră în industria calculatoarelor, astfel încât comitetul 802.3z a trebuit să se conformeze.

Ethernetul gigabit suportă atât cablarea cu cupru cât și cablarea cu fibră, precum este descris în fig. 4-23. Semnalizarea la nivelul de 1Gbps sau în jurul acestei viteze, înseamnă că sursa de lumină trebuie să fie închisă și deschisă în mai puțin de 1ns. LED-urile pur și simplu nu pot lucra atât de rapid, astfel încât este nevoie de lasere. Două lungimi de undă sunt permise: 0.85 microni (scurt) și 1.3 microni (lung). Laserele de 0.85 microni sunt mai ieftine dar nu funcționează pe fibra mono-mod.

Nume	Cablu	Segment maxim	Avantaje
1000Base-SX	Fibră de sticlă	550 m	Fibră multimod (50 și 62,5 microni)
1000Base-LX	Fibră de sticlă	5000 m	Mono-mod (10μ) sau multimod (50 și 62,5 μ)
1000Base-CX	2 perechi de STP	25 m	Pereche torsadată ecranată
1000Base-T	4 perechi de UTP	100 m	UTP Categoria 5

Fig. 4-23. Cablarea pentru Ethernet gigabit.

Sunt permise trei diametre de fibră: 10, 50 și 62,5 microni. Prima este pentru mono-mod și celelalte două sunt pentru multimod. Nu toate cele șase combinații sunt permise, totuși, iar distanța maximă depinde de combinația folosită. Numerele date în fig. 4-23 se referă la cazul cel mai fericit. În particular, 5000 de metri pot fi obișnuiți numai dacă lasere de 1,3 microni operează pe fibră de 10 microni mono-mod, dar aceasta este cea mai bună alegere pentru structurile vertebrale din campusuri și este de așteptat să fie populară, deși este și cea mai scumpă alegere.

Opțiunea 1000Base-CX folosește cabluri de cupru scurte și protejate. Problema sa este că se află în concurență cu versiunea cu fibră de înaltă performanță prezentată mai sus și cu versiunea ieftină UTP de mai jos. Este destul de puțin probabil să fie folosită la scară largă, în cele din urmă.

Ultima opțiune se referă la smocuri de patru cabluri UTP de categoria 5 lucrând împreună. Deoarece aceste cabluri sunt deja instalate în multe cazuri, este probabil că acest Ethernet gigabit va fi cel adoptat de clienții cu buzonare strâmte.

Ethernetul gigabit folosește reguli noi de codificare pe fibre. Codificarea Manchester la 1 Gbps ar avea nevoie de un semnal de 2 Gbaud, care a fost considerat foarte dificil și de asemenea foarte risipitor în ceea ce privește banda. A fost aleasă în loc o nouă schemă, numită 8B/10B, bazată pe canale de fibră. Fiecare octet de 8 biți este codificat pe fibră ca 10 biți, de unde și denumirea de 8B/10B. Din moment ce există 1024 cuvinte de cod de ieșire pentru fiecare octet de intrare, exista un oarecare spațiu de alegere în ceea ce privește cuvintele care să fie permise. Următoarele două reguli au fost folosite pentru a lua o decizie:

1. Nici un cuvânt de cod nu poate avea mai mult de patru biți identici la rând;
2. Nici un cuvânt de cod nu poate avea mai mult de șase de 0 sau șase de 1.

Aceste alegeri urmăreau să păstreze destule transmisiuni pe flux pentru a se asigura că receptorul rămâne sincronizat cu emițătorul, și de asemenea pentru a păstra numărul de 0-uri și de 1-uri pe fibră pe cât posibil egale între ele. În plus, pentru mulți octeți de intrare există două cuvinte de cod

care pot fi atribuite. Când codificatorul are de făcut o alegere, va alege întotdeauna varianta care va egaliza numărul de 0 și 1 transmiși până la momentul respectiv. Accentul este pus pe echilibrarea 0-urilor și 1-urilor pentru a păstra componenta continuă a semnalului la un nivel cât mai scăzut cu putință și pentru a-i permite să treacă nemodificată prin transformatoare. Deși cercetătorii în domeniul calculatoarelor nu sunt prea încântați de faptul că proprietățile transformatoarelor le dictează schemele de codificare, așa se întâmplă în viață uneori.

Ethernetul gigabit care folosește 1000Base-T utilizează o schemă diferită de codificare deoarece sincronizarea datelor pe un cablu de cupru într-un interval de 1ns este prea dificilă. Această soluție folosește patru cabluri torsadate de categorie 5 pentru a permite unui număr de 4 simboluri să fie transmise în paralel. Fiecare simbol este codificat folosind unul din cele cinci niveluri de voltaj. Această schemă permite ca un singur simbol să fie codificat 00, 01, 10, 11 sau cu o valoare specială în scop de control. Prin urmare, există doi biți de date per pereche torsadată, sau 8 biți de date per ciclu de ceas. Ceasul funcționează la 125 MHz, permițând operarea la 1 Gbps. Motivul pentru care sunt permise cinci niveluri de voltaj în loc de patru este necesitatea de a avea combinații rămase disponibile în scopuri de control și delimitare.

O viteză de 1 Gbps este destul de mare. De exemplu, dacă un receptor este ocupat cu o altă sarcină chiar pentru 1 ms și nu golește spațiul tampon de pe vreo linie, până atunci este posibil să se fi acumulat chiar și 1953 cadre, în acel interval de 1 ms. De asemenea, dacă un calculator care folosește Ethernet gigabit transmite date unui calculator care folosește Ethernet clasic, este foarte probabil ca memoria tampon a celui din urmă să fie epuizată, iar cadrele următoare să fie pierdute. Ca o consecință a acestor două observații, Ethernetul gigabit suportă fluxuri de control (ca și Ethernetul rapid, deși cele două sunt diferite).

Flux de control înseamnă că un capăt trimite un cadru special de control către celălalt capăt, spunându-i să ia o pauză pentru o anumită perioadă de timp. Cadrele de control sunt în general cadre Ethernet având tipul 0x8808. Primii doi octeți din câmpul de date dau comanda; următorii octeți oferă parametri, dacă există vreunul. Pentru fluxul de control sunt folosiți cadre PAUSE, în care parametrii specifică lungimea pauzei, în unități de durată minimă a cadrului. Pentru Ethernetul gigabit unitatea de timp este de 512 ns, permițând pauze de maxim 33,6 ms.

Imediat după ce Ethernetul gigabit a fost standardizat, comitetul 802 s-a plictisit și își dorea să treacă înapoi la treabă. IEEE le-a spus să înceapă să lucreze la un Ethernet de 10-gigabit. După ce au căutat îndelung o literă care să-i urmeze lui z, au abandonat această abordare și au trecut la sufixe din două litere. S-au apucat de treabă și standardul a fost aprobat de IEEE în 2002 ca 802.3ae. Oare cât de departe poate fi Ethernetul de 100-gigabit?

4.3.9 IEEE 802.2: Controlul legăturilor logice

Acum este momentul să ne întoarcem la discuțiile anterioare și să comparăm ce am învățat în acest capitol cu ce am studiat în capitolul precedent. În cap. 3 am văzut cum două calculatoare pot comunica sigur printr-o linie nesigură folosind diferite protocoale de legături de date. Aceste protocoale ofereau controlul erorilor (prin mesaje de confirmare) precum și controlul fluxului de date (folosind o fereastră glisantă).

Dimpotrivă, în acest capitol nu am vorbit deloc despre comunicații stabile. Tot ceea ce oferă Ethernetul, ca și celelalte protocoale 802, este un serviciu datagramă de tipul „best-effort” (cea mai bună încercare). Uneori, acest serviciu este adecvat. De exemplu, în cazul transportării pachetelor

IP, nu sunt cerute și nici măcar nu sunt așteptate garanții. Un pachet IP poate să fie inserat într-un câmp de informație utilă 802 și trimis încotro o fi. Dacă se pierde, asta e.

Totuși, există și sisteme în care este de dorit un protocol de legătură de date cu control al erorilor și al fluxului. IEEE a definit un astfel de protocol care poate funcționa peste Ethernet și peste celelalte protocoale 802. Mai mult, acest protocol, numit LLC (Logical Link Control, rom: controlul legăturilor logice), ascunde diferențele între diferitele tipuri de rețele 802, oferind un singur format și o singură interfață pentru nivelul rețea. Formatul, interfața și protocolul sunt bazate îndeaproape pe protocolul HDLC, pe care l-am studiat în cap. 3. LLC formează jumătatea superioară a nivelului legătură de date, având nivelul MAC dedesubt, după cum se vede în fig. 4-24.

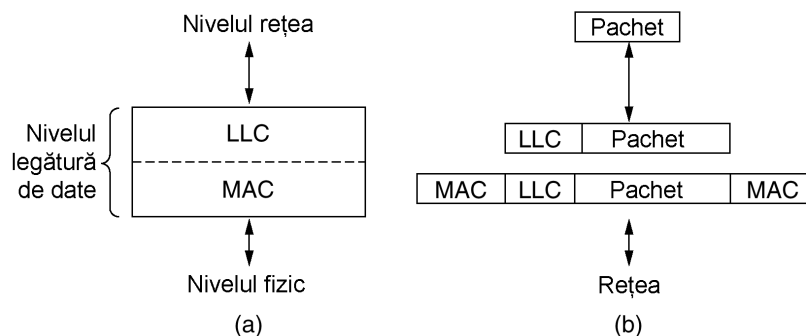


Fig. 4-24. (a) Poziția LLC. (b) Formatul protocoalelor.

Utilizarea tipică a LLC este prezentată în continuare. Nivelul rețea de pe calculatorul emițător trimite un pachet către LLC, folosind primitivele de acces LLC. Subnivelul LLC adaugă apoi un antet LLC, conținând numere care indică secvența și mesajul de confirmare. Structura rezultată este inserată apoi în câmpul de informație utilă al unui cadru 802 și apoi transmisă. Când cadrul ajunge la receptor se desfășoară procesul invers.

LLC oferă trei opțiuni de servicii: servicii pentru datagrame nesigure, confirmarea serviciului de datagrame, și un serviciu sigur orientat spre conexiuni. Antetul LLC conține trei câmpuri: un punct de acces de destinație, un punct de acces sursă și un câmp de control. Punctul de acces spune din partea cărui proces a sosit cadrul și unde trebuie transportat, înlocuind câmpul „tip” DIX. Câmpul de control conține numere de secvență și de confirmare, în stilul lui HDLC (vezi fig. 3-24), dar nu identic cu acesta. Aceste câmpuri sunt folosite în principal atunci când este necesară o conexiune stabilă la nivelul legătură de date, caz în care ar fi folosite protocoale similare cu cele discutate în cap. 3. Pentru Internet, încercările de a transmite pachete IP fără garanții sunt suficiente, astfel încât nu este nevoie de confirmări la nivelul LLC.

4.3.10 Retrospectiva Ethernetului

Ethernetul funcționează deja de 20 de ani și încă nu există competitori serioși, așa că probabil va mai funcționa încă mulți ani. Puține arhitecturi CPU, sisteme de operare sau limbaje de programare au dominat scena pentru două sau trei decenii. Evident, Ethernetul a făcut ceva cum trebuie. Ce anume?

Probabil că motivul principal al longevității sale este că Ethernetul este simplu și flexibil. Din punct de vedere practic simplu înseamnă: stabil, ieftin, și ușor de întreținut. Odată ce conectorii vampir au fost înlocuiți de conectori BNC, eșecurile au devenit extrem de rare. Oamenii ezită să înlocuiască ceva ce merge perfect tot timpul, mai ales când știu că o grămadă de lucruri din industria

calculatoarelor merg foarte prost, astfel încât multe dintre așa numitele îmbunătățiri funcționează semnificativ mai prost decât versiunea pe care au înlocuit-o.

Simplu înseamnă de asemenea ieftin. Ethernetul subțire și cablarea cu cabluri torsadate sunt relativ ieftine. Plăcile de rețea nu sunt nici ele scumpe. Doar când au fost introduse concentratoarele și comutatoarele au fost necesare investiții substanțiale, dar în momentul în care acestea au apărut în peisaj, Ethernetul era deja solid stabilit.

Ethernetul este ușor de întreținut. Nu trebuie instalat nici un software (în afara driver-elor) și nu există tabele de configurații care să trebuiască administrate (și astfel să fie un prilej de greșeli). De asemenea, adăugarea unor noi stații nu înseamnă nimic mai mult decât introducerea unui cablu în placa lor de rețea.

Un alt aspect este faptul că Ethernetul se integrează ușor cu TCP/IP, care a devenit dominant. IP este un protocol fără conexiune, ceea ce se potrivește perfect cu Ethernetul, care nici el nu este orientat pe conexiune. De exemplu, IP se potrivește mult mai greu cu ATM, care este orientat spre conexiune și această nepotrivire este un dezavantaj serios în impunerea ATM.

În cele din urmă, Ethernetul a fost capabil să evolueze în anumite aspecte cruciale. Vitezele au crescut cu câteva ordine de mărime, au fost introduse concentratoarele și comutatoarele, iar aceste schimbări nu au necesitat schimbarea interfețelor software. Dacă un vânzător din domeniul rețelelor vă arată o instalație amplă și vă spune „am această nouă rețea fantastică pentru Dvs. Tot ce trebuie să faceți este să vă aruncați tot hardware-ul și să vă rescrieți tot software-ul”, atunci are o problemă. FDDI, Canal de fibră și ATM au fost toate mai rapide decât Ethernetul când au fost introduse, dar erau incompatibile cu Ethernetul, mult mai complexe și mai dificil de administrat. În cele din urmă Ethernetul le-a ajuns din urmă în ceea ce privește viteza, astfel încât, rămase fără nici un avantaj, au murit în tăcere – cu excepția ATM care este folosit în interiorul sistemului de telefonie.

4.4 REȚELE LOCALE FĂRĂ FIR

Deși Ethernetul este folosit pe scară largă, competiția este pe cale să apară. LAN-urile fără fir sunt din ce în ce mai populare, și tot mai multe clădiri, aeroporturi și alte spații publice sunt echipate cu ele. LAN-urile fără fir pot opera în două configurații, după cum am văzut în fig. 1-35: cu sau fără stație de bază. Prin urmare, standardul LAN 802.11 ia acest fapt în considerare și oferă sprijin pentru ambele aranjamente, după cum vom vedea în continuare.

Am oferit niște informații introductive despre 802.11 în secțiunea 1.5.4. Acum este momentul să ne uităm mai îndeaproape la tehnologie. În secțiunile următoare ne vom uita la stiva de protocoale, la tehnicile de la nivelul fizic radio de transmisiuni, la protocolul subnivelului MAC, la structura cadrelor și la servicii. Pentru mai multă informație despre 802.11 vezi (Crov et. al., 1997; Geier, 2002; Heegard et. al, 2001; Kapp, 2002; O`Hara și Petrick, 1999; Severance, 1999). Pentru a afla adevărul chiar de la sursă, consultați standardul publicat al 802.11.

4.4.1 Stiva de protocoale 802.11

Protocoalele folosite de toate variantele 802, inclusiv Ethernetul, au o anumită similaritate a structurii. O viziune parțială a stivei de protocoale 802.11 este prezentată în fig. 4-25. Nivelul fizic