



Krzysztof M. Brzeziński

---

# Sieci lokalne



OFICyna WYDAWNICZA  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ  
WARSZAWA 1995

**Krzysztof M. Brzeziński**

---

# **Sieci lokalne**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych  
Instytut Telekomunikacji  
**BIBLIOTEKA**  
ul. Nowowiejska 15/19  
00-665 WARSZAWA  
tel. 660-77991, fax 25-49-50  
— 1 —



OFICyna WYDAWNICZA  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ  
WARSZAWA 1995

Opiniodawca  
*Marek S. Średniawa*

Redakcja  
*Krzysztof M. Brzeziński*

© Copyright by Instytut Telekomunikacji  
Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995

Druk i Oprawa  
Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej  
161 / 95, nakład 550 egz.

# SPIS TREŚCI

1. Wstęp	7
1.1. Definicja sieci lokalnej	7
1.2. Zastosowania	10
1.3. Historia	13
2. Komunikacja w sieci	14
2.1. Metody transmisji	14
2.2. Techniki zwielokrotnienia	15
2.3. Techniki komutacji	16
2.4. Architektura systemów otwartych - model OSI	17
2.5. Model warstwowy - dyskusja	20
3. Fizyczne środki transmisji w sieciach lokalnych	22
3.1. Topologia	22
3.2. Rodzaje mediów transmisyjnych	23
4. Protokoły sieci lokalnych	26
4.1. Model odniesienia dla sieci lokalnych	26
4.2. Protokoły sterowania łączem logicznym	29
4.2.1. Charakterystyka warstwy LLC	29
4.2.2. Protokół LLC IEEE 802.2	30
4.3. Protokoły sterowania dostępem do medium (MAC)	35
5. Sieci pierścieniowe	39
5.1. Informacje wstępne	39
5.1.1. Rodzaje sieci pierścieniowych	39
5.1.2. Zadania i procedura wyboru stacji-monitora	40
5.1.3. Usuwanie ramki	41
5.1.4. Przesyłanie ramki do wszystkich stacji	41
5.2. Token ring — pierścień z przesyłaniem znacznika	42
5.2.1. Zasada działania	42
5.2.2. Postać znacznika	44
5.2.3. Strategia przywracania znacznika	44
5.2.4. Minimalna długość pierścienia	45
5.2.5. Usługi utrzymania sieci	46
5.2.6. Usługa typu broadcast	47
5.2.7. Potwierdzenia	47
5.2.8. Przykład — IBM Token Ring	47
5.2.9. Przykład - FDDI	52
5.3. Slotted ring — pierścień szczelinowy	54
5.3.1. Zasada działania	54
5.3.2. Nadawanie	54
5.3.3. Odbiór	55
5.3.4. Stacja-monitor	55
5.3.5. Wady i zalety	55
5.3.6. Przykład — Cambridge Ring	55
5.4. Register insertion ring — pierścień z wtrącanym rejestrem	57
5.4.1. Zasada działania	57
5.4.2. Nadawanie ramek typu broadcast	59
5.4.3. Wady i zalety	60
5.4.4. Przykład — sieć SILK	60

6. Sieci o topologii szyny . . . . .	62
6.1. Wstęp . . . . .	62
6.2. Sieć ALOHA (pure ALOHA) . . . . .	62
6.3. Zmodyfikowana sieć ALOHA (slotted ALOHA) . . . . .	64
6.4. Dostęp losowy w sieci o topologii szyny . . . . .	65
6.4.1. Informacje wstępne . . . . .	65
6.4.2. CSMA . . . . .	67
6.4.3. CSMA/CD . . . . .	68
6.4.4. Przykład — Ethernet . . . . .	70
6.4.5. Przykład - <i>Fast Ethernet</i> . . . . .	73
6.5. Token bus — szyna z przesyłaniem znacznika . . . . .	74
6.5.1. Zasada działania . . . . .	74
6.5.2. Przykład — IEEE 802.4 Token bus . . . . .	76
6.5.3. Przykład — ARCNET (Datapoint Corp.) . . . . .	78
7. Porównanie własności sieci . . . . .	80
7.1. Zagadnienia transmisyjne . . . . .	80
7.2. Synchronizacja . . . . .	81
7.3. Izolacja galwaniczna . . . . .	82
7.4. Niezawodność . . . . .	82
7.5. Niedeterminizm . . . . .	86
8. Adresowanie i łączenie sieci . . . . .	87
8.1. Adresowanie wewnątrz sieci lokalnej . . . . .	87
8.2. Łączenie sieci jednostkowych . . . . .	88
8.2.1. Regenerator . . . . .	89
8.2.2. Mostek . . . . .	89
8.2.3. Router . . . . .	90
8.2.4. Gateway . . . . .	92
9. Warstwy wyższe . . . . .	93
9.1. NETBIOS (Network Basic Input/Output System) . . . . .	93
9.1.1. Rozkazy NETBIOSa . . . . .	94
9.1.2. NETBIOS w sieci IBM Token Ring . . . . .	96
9.1.3. Styk NETBIOS — wyższe warstwy oprogramowania . . . . .	97
9.2. Systemy operacyjne . . . . .	98
9.2.1. Podstawy . . . . .	98
9.2.2. IBM PC LAN Program (IBM PC Network) . . . . .	100
9.2.3. Sieciowy system operacyjny Novell NetWare . . . . .	101
LITERATURA . . . . .	103
DODATEK - przykłady konstrukcji . . . . .	104

*Wśród ogromnej ilości dostępnej literatury na temat sieci lokalnych wyraźnie dominuje podejście pragmatyczno-użytkowe. Najczęściej opisuje się poszczególne rozwiązania sieciowe od strony funkcjonalnej, z punktu widzenia aplikacji reprezentujących konkretne rozwiązania firmowe. W publikacjach tych nacisk kładziony jest na sposób posługiwania się produktem. Mamy więc do czynienia głównie z dokumentacją eksploatacyjno-techniczną, czasem nazywaną żartobliwie "klawiszologią".*

*Zamiarem autora było skupienie się na istocie funkcjonowania sieci lokalnych. Przedstawimy wewnętrzną budowę i zasady działania takich sieci, będących pewną specyficzną infrastrukturą komunikacyjną o bardzo szerokim zakresie potencjalnych zastosowań. Postaramy się odpowiedzieć na pytanie, dlaczego stosuje takie a nie inne rozwiązania konstrukcyjne i jakie są konsekwencje wyboru poszczególnych ich wariantów. Mamy nadzieję, że Czytelnik znajdzie satysfakcję w poznaniu czasem zdumiewająco prostych i oczywistych, a czasem niezwykle wyrafinowanych pomysłów, które znalazły zastosowanie w konstrukcji tak powszechnie dziś stosowanych sieci lokalnych.*



# 1. Wstęp

## 1.1. Definicja sieci lokalnej

Przed zdefiniowaniem terminu "sieć lokalna" i omówieniem własności tak określanych sieci telekomunikacyjnych przypomnijmy trendy, które doprowadziły do ich powstania.

Podstawowym zjawiskiem jest tu gwałtowny spadek cen sprzętu komputerowego w stosunku do jego możliwości. Ilustracją dla skali tych przemian może być następujące efektowne porównanie: gdyby w okresie ostatnich 25 lat w motoryzacji zaszły podobne zmiany, dzisiejszy popularny samochód rozwijałby prędkość ponad 10 tys. km/h, spalając kilkanaście miligramów benzyny na 100 km, a jego cena nie przekroczyłaby kilku dolarów.

Wraz ze spadkiem kosztów sprzętu upowszechniły się komputery przeznaczone do użytkowania indywidualnego oraz inteligentne stanowiska robocze (*workstations*). Równocześnie istnieje tendencja do skracania się czasu życia sprzętu (tzw. starzenie się moralne), czego konsekwencją jest konieczność częstej, a kłopotliwej, konwersji oprogramowania. Jedną z możliwości ograniczenia kosztów takiej konwersji jest dekompozycja dużych systemów komputerowych na wiele mniejszych, autonomicznych komponentów, podlegających niezależnej ewolucji. Wzrasta więc liczba systemów, instalowanych w jednym miejscu (budynku biurowym, zakładzie przemysłowym itp.). Istnieje wiele powodów, skłaniających do łączenia tych systemów: konieczność wymiany danych pomiędzy poszczególnymi systemami (kooperacja), wprowadzenie rezerwy na wypadek awarii (zwłaszcza w systemach czasu rzeczywistego), wspólne korzystanie z zasobów o naturze mechanicznej, a więc drogich (drukarki laserowe, macierze dyskowe).

Powyższe rozważania uzasadniają następujące sformułowanie terminu "sieć lokalna":

**Sieć lokalna (LAN, *Local Area Network*) jest siecią telekomunikacyjną, służącą do połączenia różnorodnych urządzeń wymieniających dane cyfrowe, rozmieszczonych na niewielkim obszarze.**

Trzeba podkreślić, że sieć lokalna jest siecią telekomunikacyjną (ściślej: siecią teledacyjną) która może, lecz nie musi, stanowić infrastrukturę komunikacyjną dla rozproszonego komputerowego systemu obliczeniowego. Mając na myśli takie zastosowanie sieci lokalnej mówimy o sieci komputerowej. Nie jest natomiast słuszne, choć niestety często spotykane, utożsamianie terminów "sieć lokalna" (LAN) i "lokalna sieć komputerowa" (LSK, LACN).

Określenie "urządzenia wymieniające dane" obejmuje komputery, terminale, urządzenia peryferyjne komputerów, czujniki (temperatury, ciśnienia, położenia), telefony cyfrowe, urządzenia telewizyjne, zdalnie sterowane mechanizmy (obrabiarki, siłowniki) itp. Oczywiście, rodzaj dołączonych urządzeń odpowiada zastosowaniu danej sieci: do przetwarzania danych, automatyzacji prac biurowych, automatyzacji zarządzania (np. gospodarka magazynowa) i produkcji (systemy automatyki przemysłowej), w systemach nadzoru i bezpieczeństwa, w zastosowaniach multimedialnych itp.



Zasięg geograficzny sieci lokalnej jest "stosunkowo mały"; mówimy tu o sieci jednostkowej, bowiem przez odpowiednie łączenie takich sieci można stworzyć sieć nawet o zasięgu ogólnosiwiatowym. Typowe sieci mają zasięg ograniczony do obszaru jednego lub kilku budynków (np. zabudowania zakładu przemysłowego lub wyższej uczelni). Zasięg sieci lokalnej nie przekracza w zasadzie kilku kilometrów, choć np. sieć ALOHA obejmuje swoim zasięgiem obszar o promieniu ponad stu kilometrów, pozostając pod pewnymi względami typową siecią lokalną.

Pozatechnicznym elementem wyróżniającym jest fakt, że sieć lokalna, wraz z dołączonymi do niej urządzeniami, pozostaje zasadniczo własnością jednej instytucji, będącej zarazem jedynym jej użytkownikiem.

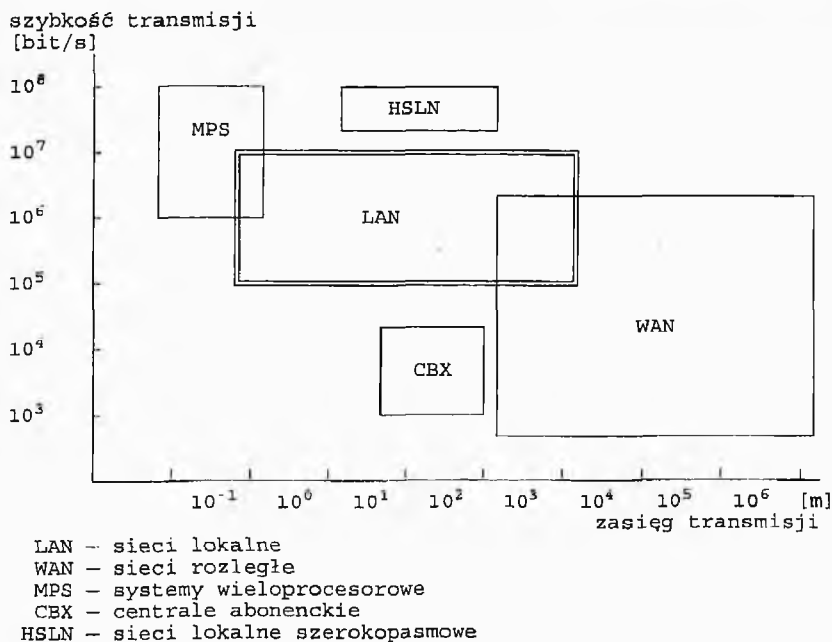
Wymagania ilościowe stawiane przed sieciami lokalnymi możemy opisać następującymi parametrami (nie traktując poszczególnych danych zbyt rygorystycznie):

- duża szybkość transmisji (0.1 do 100 Mbit/s), obecna średnia to nieco ponad 10 Mbit/s, z tendencją rosnącą (pojawia się drugie maksimum w okolicach 100 Mbit/s);
- niewielka odległość transmisji (10 m do 10 km), bez silnej motywacji jej zwiększania;
- niska bitowa stopa błędów ( $10^{-8}$  do  $10^{-11}$ ), czyli wysoka jakość transmisji.

Na rys.1.1 symbolicznie pokazano umiejscowienie sieci lokalnych względem innych struktur teledacyjnych: systemów wieloprocesorowych (*Multi-Processor Systems*), sieci teledacyjnych rozległych (*Wide Area Networks*), szybkich sieci lokalnych (HSLN — *High-speed Local Networks*) używanych też do budowy sieci miejskich MAN, oraz cyfrowych abonenckich central komutacyjnych (CBX — *Computerized Branch Exchange*).

Tradycyjne sieci rozległe to złożona struktura, składająca się z węzłów komutacji pakietów, połączonych oddzielnymi łączami. Systemy wieloprocesorowe, wielomaszynowe (wielokomputerowe) i sieci lokalne różnią się stopniem sprzężenia poszczególnych elementów systemu. Systemy wieloprocesorowe charakteryzują się silnym sprzężeniem; zazwyczaj posiadają wspólne centralne sterowanie i całkowicie zintegrowane funkcje komunikacyjne (sprzężenie na poziomie wymienianych sygnałów sterujących). W sieciach lokalnych mamy do czynienia ze zdecentralizowanym sterowaniem i niskim stopniem sprzężenia (na poziomie wymienianych komunikatów). Pośrednią pozycję zajmują systemy wielomaszynowe (wielokomputerowe), w których komunikaty wymieniane są poprzez wspólną pamięć operacyjną (systemy o sprzężeniu bezpośrednim) lub masową (systemy o sprzężeniu pośrednim).

Najbardziej kontrowersyjny podział biegnie pomiędzy sieciami LAN a centralami CBX. Oba rozwiązania pozwalają na uzyskanie zbliżonych parametrów technicznych. CBX jest w zasadzie nowoczesną cyfrową centralą komutacyjną, umożliwiającą zestawianie pomiędzy "abonentami" połączeń cyfrowych, najczęściej o przepływności 64 kbit/s. Po zestawieniu łącza partnerzy mogą dowolnie wymieniać dane (lub milczeć!) tak, jakby byli połączeni za pomocą łącza wydzielonego. CBX jest jednak centralnym elementem komutacyjnym, który (nawet odpowiednio zabezpieczony, np. zdublowany) stanowi wąskie gardło systemu,



Rys.1.1 Porównanie sieci lokalnych z systemami pokrewnymi

zarówno pod względem przepustowości, jak i niezawodności. Wprowadzie sumaryczna przepustowość całego systemu (64 kbit/s razy ilość połączeń) może być bardzo znaczna, ale chwilowa szybkość transmisji pomiędzy partnerami jest mocno ograniczona, zwłaszcza, gdy pomyślimy np. o przesyłaniu grafiki wysokiej rozdzielczości. Rozwiązania oparte o CBX i innego typu elementy centralne, jak węzły szybkiej komutacji pakietów lub komutatory łączy, zwane czasem "przełącznikami" lub "hubami (węzłami) przełączającymi", bywają traktowane jako specyficzny rodzaj sieci lokalnych (tzw. *switch-based LAN*). W tym opracowaniu twierdzimy, że byłoby to pewne nadużycie terminologiczne, choć kryterium uznawania tego typu sieci za "prawdziwe" sieci LAN będzie zapewne ewoluować. Dlatego nie zajmujemy się tu tego typu strukturami.

Pierwotnie, główną przesłanką przy konstruowaniu sieci LAN była obserwacja, że aktywność poszczególnych użytkowników ma najczęściej charakter "wybuchowy" (*bursty traffic*): krótkie okresy nadawania ograniczonej porcji informacji (jednego lub kilku pakietów), przedzielone stosunkowo długimi okresami ciszy. Oczywiście pożądanym jest, by samo nadawanie następowało z maksymalną możliwą szybkością. Kluczowym pomysłem jest tu wykorzystanie jednego tylko połączenia fizycznego (medium transmisyjnego), do którego dołączeni są wszyscy użytkownicy. Każde połączenie pomiędzy dwoma użytkownikami biegnie tą samą drogą (bo jest tylko jedna!) i całkowicie "zajmuje" medium transmisyjne, co naturalnie uniemożliwia (na chwilę) nadawanie innym użytkownikom. Nadający transmituje pakiet z maksymalną, dopuszczalną dla danego medium szybkością. Decyzja o tym, kto ma

w danej chwili nadawać, podejmowana jest kolektywnie przez wszystkie stacje, w wyniku wykonania rozproszonego algorytmu. Tym samym nie istnieje centralny element sterujący, szczególnie podatny na uszkodzenia.

Wyżej omówione różnice pozwalają na bardziej wyraziste wyróżnienie sieci lokalnej pod względem specyficznej "filozofii" projektowej i sposobu realizacji:

**W sieci lokalnej wspólne medium transmisyjne jest dynamicznie dzielone pomiędzy poszczególnych użytkowników w wyniku wykonania określonego algorytmu rozproszonego, bez konieczności stosowania centralnego elementu komutacyjnego.**

## 1.2. Zastosowania

Zastosowanie sieci lokalnej jako infrastruktury komunikacyjnej dla rozproszonego, "inteligentnego" środowiska przetwarzania danych stało się swoistym paradygmatem (standardową decyzją projektową). W dalszym ciągu tego rozdziału omówimy, za [STAL84], konsekwencje i zakres stosowania tego paradygmatu.

Zastosowanie sieci lokalnej może stać się źródłem rozmaitych korzyści w stosunku do innych rozwiązań. Uzyskanie tych korzyści zależy jednak od prawidłowości decyzji podejmowanych podczas projektowania systemu, a w szczególności od prawidłowego wyboru rodzaju sieci lokalnej.

Tabela 1.1 Zalety i wady sieci lokalnych

### ZALETY

- Podatność systemu na ewolucję: zmiany przyrostowe o ograniczonym oddziaływaniu.
- Zwiększenie żywotności, dostępności i niezawodności systemu: rozproszenie funkcji, redundancja komponentów.
- Wspólne wykorzystanie zasobów: drogich urządzeń peryferyjnych, mocy obliczeniowej, danych.
- Ułatwienie współpracy użytkowników znajdujących się w różnych pomieszczeniach.
- Poprawa efektywności przez umożliwienie jednoczesnego przetwarzania.
- Uzyskanie dostępu do wielu urządzeń przetwarzających z jednego urządzenia dialogowego.
- Elastyczność rozmieszczenia elementów wyposażenia.

### WADY

- Brak gwarancji poprawnej współpracy (programy, dane).
- Rozproszenie baz danych: problemy integralności, bezpieczeństwa, tajności.
- "Pełzająca eskalacja": wzrost przekraczający rzeczywiste potrzeby.
- Utrata kontroli: trudności zarządzania i utrzymywania jednolitości standardów.

Najważniejsze zalety stosowania sieci lokalnych wiążą się z podatnością na ewolucję. W sieciowych rozwiązaniach cała moc obliczeniowa jest skupiona w jednym systemie (lub co najwyżej w paru systemach komputerowych). Wszelkie zmiany składu instalacji są utrudnione, gdyż mają nieuchronnie charakter niszczący (konieczne jest zazwyczaj wyłączenie całej instalacji w celu jej przebudowy). Przez rozproszenie mocy obliczeniowej na wiele komputerów uzyskujemy możliwość zmieniania zastosowań, stopniowej wymiany poszczególnych komponentów systemu bądź dołączenia nowych, bez konieczności podejmowania działań typu "wszystko albo nic". Poza systemami o charakterze obliczeniowym, ta zaleta jest bodaj jeszcze bardziej istotna w systemach sterujących.

Sieci lokalne stwarzają możliwość podwyższenia niezawodności i dostępności przetwarzania danych. Wobec mnogości systemów składowych i ich rozproszenia, uszkodzenie jednego z nich może wywierać minimalny wpływ na pracę całości instalacji. Co więcej, jeżeli ma miejsce redundancja w odniesieniu do kluczowych składników systemu, sprawne komponenty mogą szybko przejąć zadania komponentu uszkodzonego.

Wymieniona wcześniej możliwość dzielenia zasobów pomiędzy użytkowników dotyczy nie tylko drogich urządzeń peryferyjnych (np. drukarka laserowa) ale również danych. Dane mogą być gromadzone i kontrolowane w jednym miejscu, ale — poprzez sieć — być dostępne dla wielu użytkowników.

Dostarczając możliwości połączenia urządzeń znajdujących się w różnych miejscach, sieć lokalna stwarza szansę większej elastyczności wykorzystania tych urządzeń i korzystnego zsumowania ich możliwości. Jednakże sieć lokalna (w sensie opisanego dalej modelu IEEE 802) świadczy jedynie proste usługi wymiany danych. Dla uzyskania poprawnej współpracy urządzeń dołączonych do sieci, trzeba je wyposażyć w odpowiednie oprogramowanie sieciowe, realizujące funkcje pozostałych poziomów.

Niestety, istnieje również szereg (potencjalnych) pułapek, których znajomość jest niezbędna do świadomego zastosowania sieci.

Sieć lokalna nie gwarantuje automatycznie, że dwa urządzenia będą w stanie współpracować ze sobą (*interoperability*), np. z powodu niejednolitej syntaktyki (lub co gorsza - znaczenia) wymienianych informacji.

Przy wykorzystaniu sieci lokalnej istnieje możliwość, że dane będą rozproszone lub przynajmniej że będą one osiągalne z wielu miejsc. Stwarza to problem utrzymania ich integralności (np. w sytuacji, gdy dwóch użytkowników próbuje jednocześnie dokonać ich aktualizacji), a także zabezpieczenia przed zniszczeniem lub nieuprawnionym dostępem.

Inne potencjalne niebezpieczeństwo ma charakter organizacyjny: rozproszenie sprzętu i łatwość rozbudowy konfiguracji może spowodować, że poszczególni użytkownicy lub jednostki organizacyjne niższego rzędu będą, kierując się własnymi potrzebami, dokonywać instalacji (i zakupów) nowego sprzętu w ilości nieefektywnej z punktu widzenia całego przedsięwzięcia ("pełzająca eskalacja").

Istnieje również niebezpieczeństwo utraty kontroli nad siecią. Sama istota rozproszenia stanowi bowiem jednocześnie źródło zasadniczego zagrożenia. Jak się okazuje — bardzo trudno jest zarządzać rozproszonymi zasobami i ich użytkownikami tak, aby zachowana została zgodność oprogramowania i sprzętu, jak też panować nad różnorodnością informacji, dostępnej za pośrednictwem sieci. Specyficznym dowodem realności takiego zagrożenia są ostatnio szybko rozwijające się systemy globalnego, zdalnego zarządzania całą siecią i jej poszczególnymi zasobami (np. oparte na protokołach SNMP).

W tabeli 1.2. wypunktowane zostały niektóre ze "sztandarowych" zastosowań sieci lokalnych. Podkreślamy ponownie, że nie każdemu zastosowaniu odpowiada grupa optymalnych rozwiązań technicznych (czy typów) sieci lokalnych.

Tabela 1.2. Zastosowania sieci lokalnych

---

Przetwarzanie danych

- Wprowadzanie danych
- Przetwarzanie transakcji
- Transfer zbiorów
- Zapytania/odpowiedzi
- Przetwarzanie wsadów

Automatyzacja prac biurowych

- Edycja tekstów / przetwarzanie dokumentów
- Poczta elektroniczna
- Inteligentne kopiarki/faksymile

Automatyzacja zakładów produkcyjnych

- CAD/CAM (projektowanie/wytwarzanie wspomagane komputerem)
- Gospodarka magazynowa / zamówienia / zakupy

Kontrolowanie urządzeń energetycznych

- Systemy ogrzewcze
- Systemy wentylacyjne
- Systemy klimatyzacji

Sterowanie procesami (automatyka przemysłowa)

Systemy bezpieczeństwa

- Czujniki ppoż. / włamaniowe / alarmowe
- Kamery / monitory TV

Telekonferencje, telefonia cyfrowa

Telewizja

- TV kablowa
  - Przekazywanie obrazów
-

### 1.3. Historia

Prekursorów sieci lokalnych można doszukiwać się w sieciach pętlowych z przepytaniem (*polling*) i "towarzystkich" liniach wielodostępnych (*multidrop*). Pierwsze sieci lokalne z prawdziwego zdarzenia zaczęły pojawiać się w pierwszej połowie lat 70 (m.in. ALOHA na Hawajach, Cambridge Ring w Anglii oraz wczesne prototypy sieci Ethernet). Termin "sieci lokalne" wszedł do użycia dopiero pod koniec lat siedemdziesiątych, gdy upowszechniła się świadomość odrębności takich sieci. Świadomość ta zresztą spowodowała, że sieci lokalne (jako "niepubliczne") przez długi czas opierały się zabiegom normalizacyjnym.

Formalną standaryzację poprzedziło opracowanie przez firmę XEROX eksperymentalnej wersji sieci Ethernet (1972), której późniejszy sukces rynkowy sprawił, że stała się ona szybko rodzajem *de facto* standardu. Innym fenomenem jest dziś często pogardzana, a sprawna i bardzo odporna sieć ARCnet firmy DATAPOINT, dostarczana od roku 1977 w niemal niezminionej postaci. Przełomem było ogłoszenie w 1982r przez komitet IEEE 802 propozycji międzynarodowego standardu, definiującego 3-poziomową architekturę systemu komunikacyjnego opartego o sieć lokalną. Standard obejmuje dwa różne sposoby dołączania użytkowników do medium (szyna i pierścień) oraz wiele typów medium transmisyjnego i rozproszonych algorytmów dostępu do tego medium. W rezultacie standard określa kilka głównych typów sieci (których przedstawicielami są np. Ethernet czy IBM Token Ring), w licznych wariantach. Każda z tak zdefiniowanych sieci zdolna jest do wykonania podstawowego zadania: dostarczenia wiadomości (ciągu bajtów) od użytkownika A do wskazanego użytkownika B.

Obecnie prowadzone prace standaryzacyjne i rozwojowe w zakresie sieci lokalnych dotyczą ewolucji dotychczas stosowanych typów sieci (np. przez dostosowywanie ich własności do potrzeb zastosowań multimedialnych), wprowadzania nowych rodzajów i konfiguracji mediów transmisyjnych (zwłaszcza światłowodowych i w postaci pary przewodów skręconych, tzw. "skrętki"), opracowywania sieci o dużej przepływności oraz wprowadzania sprawnych systemów zarządzania. Należy jednak pamiętać, że rozwiązania techniczne charakterystyczne dla sieci lokalnych (LAN) to tylko **jedna z wielu alternatyw** dla uniwersalnych, cyfrowych sieci telekomunikacyjnych. Inne opcje to m.in.:

- użycie publicznej bądź prywatnej sieci ISDN (*Integrated Services Digital Network*, uruchamianej obecnie także w Polsce) do łączenia dowolnie oddalonych urządzeń, wymagających niewygórowanej szybkości transmisji (128 kbit/s do 2 Mbit/s); możliwe jest też dołączanie bardzo prostych urządzeń (np. telemetrycznych);
- jeśli wymagane są wielkie szybkości transmisji (np. znacznie przekraczające 100 Mbit/s) - użycie sieci szerokopasmowej B-ISDN (możliwe w przyszłości);
- lokalne stosowanie komutatorów ATM<sup>1</sup> (asynchronicznego trybu transferu), dostępnych jako indywidualne urządzenia; jest to rozwiązanie strukturalnie przypominające centrale CBX, lecz nie ograniczające arbitralnie stosowanych szybkości transmisji.

---

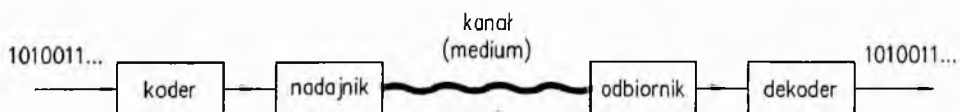
<sup>1</sup> Metoda zwielokrotnienia i komutacji, przyjęta jako bazowa dla szerokopasmowych sieci B-ISDN.

## 2. Komunikacja w sieci

Przed przejściem do omawiania zagadnień szczegółowych podamy, w skondensowanej formie, niezbędne informacje podstawowe.

### 2.1. Metody transmisji

Sygnaly, za pomocą których transmitowane są wiadomości, dzielą się na **analogowe** i **cyfrowe**; te ostatnie mają skończony zbiór wartości, które mogą być przyjmowane jedynie w określonych chwilach czasu. Z technicznego punktu widzenia, fizyczny charakter wszelkich przebiegów elektromagnetycznych jest jednak analogowy. Cyfrowy system transmisyjny tworzy się uzupełniając podkładowy (bazowy) system analogowy o koder, poprzedzający w łańcuchu nadajnik, oraz dekodek, umieszczony za odbiornikiem (rys.2.1).



Rys.2.1 Cyfrowy system transmisyjny

Sygnaly podczas transmisji nieuchronnie podlegają zniekształceniom oraz zakłóceniom, których konsekwencją jest utrata części nadanej informacji (pogorszenie jakości). W systemach transmisyjnych analogowych można, za pomocą odpowiednich zabiegów technicznych, w pewnym stopniu wyeliminować zniekształcenia (które mają charakter deterministyczny); zakłóceń losowych w zasadzie nie można uniknąć. W systemach cyfrowych, w procesie kodowania, sygnał zostaje wzbogacony o cechy nadmiarowe, umożliwiające skuteczne odtworzenie niesionej informacji, mimo odkształcenia sygnału analogowego. Stanowi to podstawowy powód szerokiego wykorzystywania systemów transmisji cyfrowej, nawet dla przenoszenia informacji o charakterze analogowym.

Warunkiem pomyślnej transmisji sygnałów cyfrowych jest dostarczenie odbiornikowi informacji o położeniu chwil czasowych, w których transmitowane są poszczególne elementy sygnału. Odbierane sygnały zawsze różnią się od nadawanych (podlegają bowiem zniekształceniom i zakłóceniom), należy więc odtworzyć informację dwóch typów: o skali czasu i o wartościach przekazywanych danych.

Najprostszą metodą uzyskiwania tych informacji przez odbiornik jest zastosowanie **transmisji arytmicznej** (asynchronicznej - dwa pojęcia bardzo do siebie zbliżone, lecz formalnie nie tożsame). Dane są grupowane w znaki (5÷8 bitów; rzadziej — pojedyncze bity) i przekodowywane na sygnały w taki sposób, że zmiana parametru sygnału, rozpoczynająca transmisję znaku ("bit startowy"), determinuje położenie następnych elementów tego znaku. Znak jest zamkniętą jednostką transmisji - jego nadawanie może się rozpocząć w dowolnym

momencie po zakończeniu transmisji poprzedniego znaku. Metoda ta jest "tania", lecz mało odporna na zakłócenia (zwłaszcza - na zniekształcenie elementu startowego) i nieekonomiczna.

Bardziej efektywna jest **transmisja synchroniczna**, której istotą jest ciągłe korygowanie odbiorczej skali czasu, na podstawie informacji odtwarzanej z odbieranego sygnału. Stosowany kod transmisyjny musi dostarczać takiej informacji w dostatecznej ilości. Dane grupowane są w bloki o długości zazwyczaj od kilkunastu do kilku tysięcy bitów i uzupełniane preambułą - sekwencją rozbiegową (*preamble*), umożliwiającą początkowe ustalenie odbiorczej skali czasu (wstępne zsynchronizowanie odbiornika), a ponadto — ustalenie położenia początku danych użytkowych. Blok danych, wraz z ewentualną sekwencją rozbiegową i końcową oraz koniecznymi informacjami służbowymi, tworzy tzw. ramkę (*frame*). Jeśli transmitowane dane (ramki) przedzielane są przerwami (okresami "ciszy" w medium), to sekwencja rozbiegowa musi poprzedzać każdą ramkę; w przeciwnym przypadku (ramki transmitowane bez przerw) preambuła jest niezbędna jedynie przed pierwszą nadawaną ramką.

## 2.2. Techniki zwielokrotnienia

Aby efektywnie wykorzystać medium systemu transmisyjnego, stosuje się transmisję wielu sygnałów "jednocześnie" (z punktu widzenia użytkownika), co określane jest jako zwielokrotnienie (multipleksacja). Znane są powszechnie trzy metody (techniki) zwielokrotnienia:

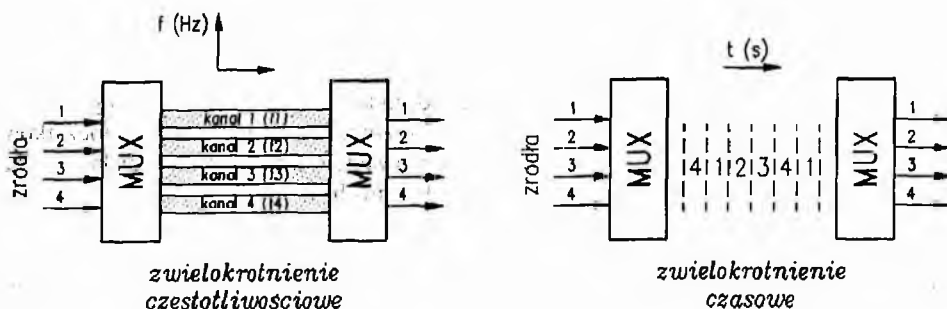
- zwielokrotnienie częstotliwościowe (*Frequency-Division Multiplexing*, FDM);
- zwielokrotnienie czasowe (*Time-Division Multiplexing*, TDM);
- zwielokrotnienie kodowe (*Code-Division Multiplexing*, CDM).

Przy zwielokrotnieniu częstotliwościowym wykorzystuje się fakt, że użyteczne pasmo częstotliwości przenoszone przez medium jest szersze, niż pasmo wykorzystywane przez jednego użytkownika. Wiele sygnałów użytkowych może być transmitowanych jednocześnie, jeżeli każdy z nich posłuży do zmodulowania innej częstotliwości nośnej (każdy z użytkowników wykorzystuje inny kanał częstotliwościowy). Technika ta stosowana jest od dawna w telefonii, do tworzenia systemów transmisyjnych o wysokiej krotkości (np. 9600 kanałów telefonicznych). Zwielokrotnienie częstotliwościowe stosuje się obecnie w sieciach lokalnych szerokopasmowych (technologia zbliżona do telewizji kablowej).

Zwielokrotnienie czasowe wykorzystywane jest (prawie wyłącznie) przy transmisji danych cyfrowych. Jeżeli medium umożliwia transmisję szybszą niż tempo dostarczania danych przez użytkownika, to pozostaje czas niewykorzystany, w którym można dokonać transmisji danych dostarczonych przez innych użytkowników. Możliwe są rozmaite zasady podziału czasu między użytkowników. Transmisja kolejnych pojedynczych bitów, przekazywanych przez poszczególnych użytkowników (przeplot bitowy) lub grup bitów o ustalonej długości (np. przeplot bajtowy) może się odbywać w kolejnych, regularnych przedziałach czasu. Mówimy wówczas, że każdy z użytkowników wykorzystuje oddzielny kanał czasowy, przydzielony



do wyłącznego użytku na czas połączenia. Technika taka jest znana np. z systemów PCM (też stosowanych w telefonii). Zasadę klasycznego zwielokrotnienia częstotliwościowego i czasowego (synchronicznego) zilustrowano na rys.2.2.



Rys.2.2 Główne techniki zwielokrotnienia

W odróżnieniu od wyżej omówionego zwielokrotnienia synchronicznego, zwielokrotnienie czasowe asynchroniczne (*Asynchronous TDM*; *Asynchronous Transfer Mode*, "multipleksacja statystyczna") polega na dynamicznym przydziale szczelin czasowych — w miarę napływu danych od użytkowników, wobec czego każda z porcji danych musi zostać uzupełniona o informację identyfikującą nadawcę i odbiorcę.

Zwielokrotnienie kodowe polega na podziale pomiędzy użytkowników przestrzeni kodowej transmitowanych sygnałów i stosowane jest m.in. w systemach z modulacją szerokopasmową (*spread-spectrum*).

W sieciach lokalnych będziemy mieć do czynienia z pewnym wariantem zwielokrotnienia asynchronicznego, w którym jednostką przydziału czasu jest cała ramka, nadawana przez danego użytkownika.

### 2.3. Techniki komutacji

Aby umożliwić użytkownikom sieci wymianę informacji, należy zestawić pomiędzy nimi połączenie elektryczne i (ewentualnie) logiczne, czyli dokonać komutacji. Trzy główne techniki komutacji to: komutacja łączy (stosowana w telefonii i CBX), pakietów (jak w sieciach WAN) i wiadomości, z niezliczonymi wariantami i odmianami pośrednimi. W sieciach lokalnych, w pewnym uproszczeniu, komutacja zanika: połączenie elektryczne jest jedno (wspólne), a nadawane informacje (pakiety) są rozgłaszane i docierają do każdego odbiornika, bez żadnej specjalnej interwencji. Niekiedy metody stosowane w sieciach LAN można interpretować jako uproszczoną komutację blokową (*Burst Switching*) lub komutację asynchroniczną (*Asynchronous Transfer Mode*).

## 2.4. Architektura systemów otwartych - model OSI

W 1977 roku Międzynarodowa Organizacja Standaryzacyjna ISO przyjęła tzw. model odniesienia OSI (OSI RM — *Open Systems Interconnection Reference Model*), opisujący abstrakcyjną architekturę systemu, umożliwiającego komunikowanie się rozproszonych w przestrzeni użytkowników.

W modelu wyróżniono 7 warstw (*layers*) funkcjonalnych, z których każda zawiera odpowiedni podzbiór funkcji, służących komunikacji. Każda warstwa korzysta z usług świadczonych jej przez warstwę niższą, sama świadcząc usługi warstwie wyższej. Szczegóły wewnętrznej struktury każdej warstwy są przed innymi warstwami ukryte (zasada *black box*), zaś komunikacja z warstwą odbywa się poprzez ustalony styk (*interface*) funkcjonalny. Styk ten definiowany jest jako zbiór operacji elementarnych (prymitywów), o kilku zaledwie typach:

**N-(nazwa funkcji).request** (żądanie)

Warstwa N+1 żąda zainicjowania wykonania danej funkcji w warstwie N.

**N-(nazwa funkcji).confirmation** (potwierdzenie)

Warstwa N informuje warstwę N+1 o wyniku wykonania żądanej funkcji (pozytywnym lub negatywnym).

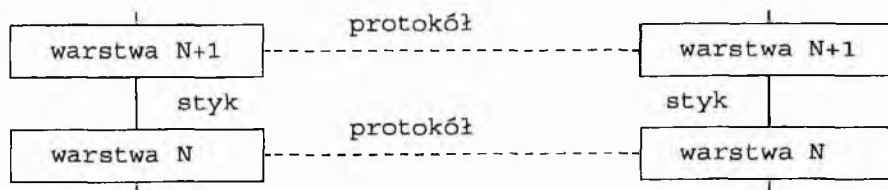
**N-(nazwa funkcji).indication** (zawiadomienie)

Warstwa N powiadamia warstwę N+1 o zdarzeniu, które nie wynika bezpośrednio z uprzedniego żądania warstwy wyższej (np. odebrano dane od partnera).

**N-(nazwa funkcji).response** (odpowiedź)

Warstwa (N+1) wysyła (za pośrednictwem warstwy N) odpowiedź na wcześniej otrzymane zawiadomienie (indication).

Komunikacja pomiędzy systemami (użytkownikami) jest możliwa, jeśli zachodzi komunikacja pomiędzy odpowiadającymi sobie warstwami funkcji realizowanych w obu systemach. Zbiór reguł takiej komunikacji dla każdej z warstw nazywa się protokołem (konkretnie: N-protokołem, gdy mówimy o warstwie N).



Rys.2.3 Protokoły i styki OSI

**Warstwa fizyczna** (*Physical* — 1) służy ukryciu fizycznego styku z medium transmisyjnym. Następuje w niej przekształcanie poszczególnych bitów (traktowanych osobno) na sygnały w medium transmisyjnym (kodowanie transmisyjne) oraz funkcja odwrotna. Typowym

standardem dla warstwy fizycznej jest zalecenie CCITT V.24 (charakterystyka funkcjonalna i proceduralna łączy arytmicznej transmisji szeregowej).

**Warstwa łączy danych** (*Data Link* — 2) ma za zadanie przekształcić zawodny (wprowadzający błędy) kanał transmisyjny w kanał niezawodny. Mówimy tu o kanale pomiędzy dwoma sąsiednimi węzłami sieci, które w przypadku sieci rozległych często nie są węzłami końcowymi, a jedynie pośredniczą w przekazywaniu danych pomiędzy użytkownikami. Na poziomie tym rozróżnia się systemy transmisji synchronicznej i asynchronicznej. Zabezpieczenie przed błędami uzyskiwane jest zazwyczaj przez organizowanie danych w numerowane bloki, które poddawane są kodowaniu nadmiarowemu (detekcyjnemu), oraz przekazywanie potwierżeń poprawnego odbioru bloków, co pozwala również na kontrolowanie szybkości przepływu danych (*flow control*). Typowym standardem obejmującym funkcje warstwy łączy jest protokół HDLC.

**Warstwa sieciowa** (*Network* — 3) zapewnia transmisję bloków danych przez sieć komunikacyjną po odpowiednio dobranych trasach (np. w drodze komutacji łączy lub komutacji pakietów) i dostarczanie ich wskazanym adresatom. Przykładem może tu być protokół CCITT X.25.

**Warstwa transportowa** (*Transport* — 4) dokonuje podziału wiadomości na bloki (i przekształcenia odwrotnego) oraz zapewnia bezbłędne ich przekazywanie pomiędzy punktami końcowymi (*end-to-end*), bez ich utraty, duplikacji bądź zmiany kolejności, kontrolując ich priorytety, opóźnienia oraz tajność.

**Warstwa sesji** (*Session* — 5) odpowiada za przebieg dialogu pomiędzy użytkownikami (reprezentowanymi tu przez warstwy wyższe). Określa tryb dialogu (przekazywanie danych dwukierunkowe jednoczesne, naprzemienne, jednokierunkowe), momenty przekazywania danych (np. związane z synchronizacją dostępu do wspólnych zasobów), punkty i sposób restartowania itp.

**Warstwa prezentacji** (*Presentation* — 6) dokonuje transformacji kodów i formatów danych stosowanych przez użytkownika na kody i formaty stosowane w sieci (w tym np. kompresji lub szyfrowania danych), i odwrotnie. Protokoły tej warstwy bywają nazywane terminalami wirtualnymi.

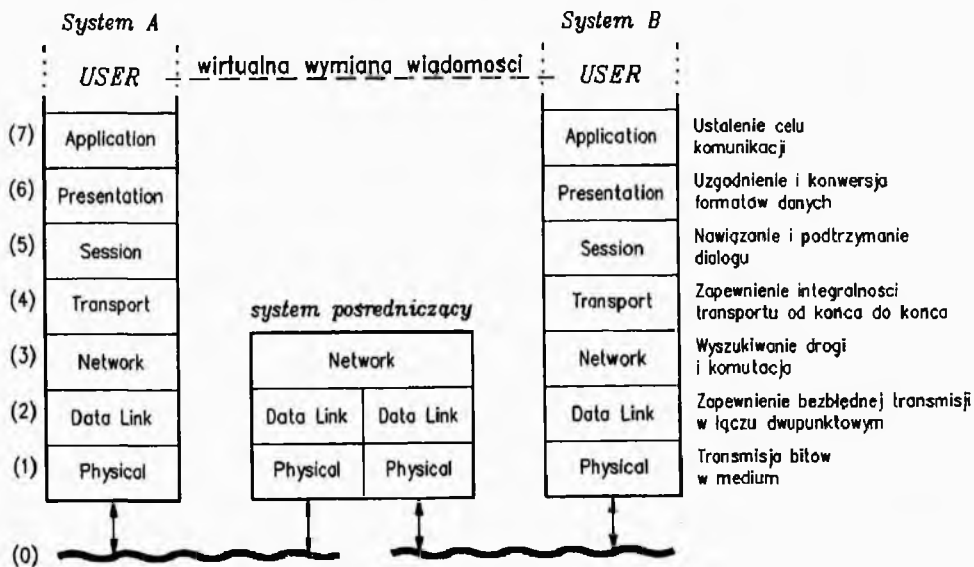
**Warstwa zastosowań** (*Application* — 7) świadczy usługi użytkownikom środowiska OSI. Przykładami takich usług wysokiego poziomu są: transfer zbiorów, poczta elektroniczna, obsługa transakcji.

Ostatecznym efektem realizacji protokołu warstwy zastosowań jest pomyślne przesłanie danych. Z punktu widzenia użytkownika, przesłania jednostki danych do partnera dokonuje warstwa aplikacji. Jednakże przesłanie to jest wirtualne: jednostka danych jest powierzana kolejnym, coraz niższym warstwom architektury (za pomocą prymitywów żądania), zaś fizyczna transmisja prowadzona jest przez warstwę najniższą, zawiadującą medium transmisyjnym. W systemie odległym jednostka danych przekazywana jest kolejnym, coraz wyższym warstwom, aż do warstwy siódmej, i dalej - do użytkownika.

Przekazaniu jednostki danych z warstwy N+1 do warstwy N towarzyszy otoczenie tej jednostki informacjami służbowymi, istotnymi jedynie dla realizacji protokołu warstwy N. Mówiąc obrazowo, użytkowa jednostka danych w systemie nadającym kolejno "obraca" w dodatkowe pola (nagłówki, uzupełnienia), zaś w systemie odbierającym — stopniowo "oczyszcza się" z nicistotnego dla użytkownika nadmiaru informacji. Proces taki, zwany **enkapsulacją**, może prowadzić do znacznej nieefektywności. Przykładowo, przy przesyłaniu nazwy zbioru w pewnym systemie, długość przesyłanej informacji w kolejnych warstwach wynosi (nazwy warstw — firmowe, koncepcja — zbliżona do OSI):

18 bajtów	—	aplikacja
40 bajtów	—	NetWare
74 bajty	—	XNS
77 bajtów	—	LLC
91 bajtów	—	warstwa fizyczna (5-krotne wydłużenie)

Dla podsumowania, na rys.2.4 pokazano przypadek dwóch systemów, komunikujących się za pośrednictwem systemu pośredniczącego - jako ćwiczenie czytelnik zechce odtworzyć proces przekazywania danych pomiędzy sąsiednimi warstwami.



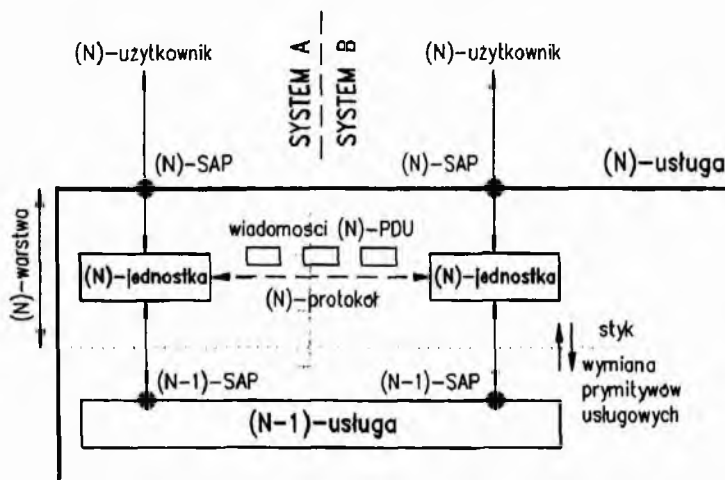
Rys.2.4 Warstwy w modelu OSI

## 2.5. Model warstwowy - dyskusja

Model OSI jest koncepcyjnie bardziej złożony i subtelny, niż to się zwykle przyznaje. Czytelnik nieusatysfakcjonowany uproszczonymi wyjaśnieniami zawartymi w poprzednim rozdziale znajdzie poniżej alternatywne, bardziej formalne przedstawienie tematu wraz z informacjami uzupełniającymi.

Rozważmy meta-system (system systemów), składający się z autonomicznych, przestrzennie rozdzielonych systemów, komunikujących się ze sobą za pośrednictwem fizycznych środków wymiany wiadomości (medium transmisyjnego). Podstawowym celem jest realizacja **usług komunikacyjnych** na rzecz (nie modelowanych) użytkowników poszczególnych systemów składowych. OSI RM jest **modelem** takiego meta-systemu. Jest to model **abstrakcyjny**, co oznacza, że jego pojęcia dotyczą struktury logicznej, a nie budowy fizycznej modelowanego systemu. Jest to również model **funkcjonalny**: kryterium wewnętrznych podziałów architektonicznych wewnątrz modelu systemu są funkcje tego systemu.

Każdy z systemów składowych jest modelowany jako liniowy stóg ("słupek") hierarchicznie zależnych podsystemów. Podsystemy różnych systemów wypełniające tę samą rolę tworzą **warstwę (layer)**. Liczba, nazwy i funkcje warstw są cechą poszczególnych modeli warstwowych. W modelu OSI zastosowaną strukturę 7-warstwową (o zadaniach warstw omówionych uprzednio), choć spotyka się też modele np. 5-warstwowe (SNA) i 4-warstwowe (system sygnalizacji nr 7 dla sieci telekomunikacyjnych).



Rys.2.5 Elementy modelu warstwowego

Sąsiednie (przylegające) warstwy tego samego systemu są związane relacją używania usług warstwy bezpośrednio niższej przez warstwę bezpośrednio wyższą. Inaczej - zadaniem warstwy N jest dostarczenie (N)-usług swym użytkownikom, którymi są w tym przypadku jednostki warstwy (N+1). Zatem, każda warstwa pełni rolę **dostawcy usług (service provider)** dla warstwy bezpośrednio wyższej.

Na rys.2.5 pokazano elementy modelu warstwowego. Podsystem warstwy N składa się z poszczególnych **jednostek** (entities) warstwy N. W celu zrealizowania usługi (umożliwienia komunikacji pomiędzy użytkownikami), jednostki warstwy N komunikujących się systemów same muszą wymieniać informacje. Takie jednostki są zwane **partnerami** (*peer entities*): ich wzajemne zależności nie są typu hierarchicznego (jednostki te należą do różnych, autonomicznych systemów). Informacje wymieniane "poziomo", pomiędzy partnerskimi jednostkami warstwy N, są zawarte w **jednostkach danych protokołu warstwy N**, oznaczanych jako (N)-PDU.

Jeśli pomiędzy partnerskimi jednostkami nie istnieje fizyczne medium transmisyjne, akty wymiany (N)-PDU są "wirtualne": należą do dziedziny modelu, a nie rzeczywistej implementacji. Zatem, w celu wymiany wiadomości (N)-PDU, (N)-jednostki muszą zdać się na usługi komunikacyjne, świadczone przez bezpośrednio niższą warstwę (N-1). (N)-jednostki żądają realizacji usług za pomocą abstrakcyjnych **prymitywów usługowych**, podając, jako jeden z parametrów, wiadomość PDU do przesłania. Łańcuch powierzenia wiadomości kolejnym niższym warstwom (rodzaj rekurencji!) kończy się w chwili natrafienia na fizyczne medium transmisyjne, które jest ostatecznym (pierwotnym) dostawcą usług transmisyjnych. W modelu OSI medium transmisyjne umiejscowione jest poniżej warstwy pierwszej (fizycznej).

Dostawca usług nie ma prawa naruszyć (np. przekłamać) wiadomości powierzonej jej do przesłania, a jedynie zapewnić przetransportowanie tej wiadomości do odbiorcy zgodnie z żądaniem. Jednakże wiadomo, że w rzeczywistości takie usterki będą miały miejsce (z najróżniejszych powodów) - usługi są świadczone w sposób **niedoskonały**. Stąd częścią funkcji każdej warstwy-usługobiorcy jest wykrycie i skorygowanie błędów, popełnionych przez usługodawcę.

W kontekście opisanej wyżej architektury warstwowej, **protokół warstwy N** może być zdefiniowany jako:

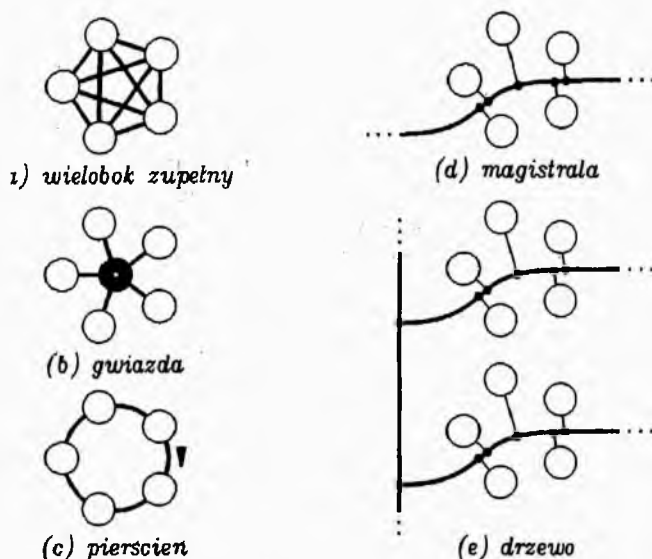
*zbiór reguł (semantyka) i formatów (syntaktyka) rządzących wymianą wiadomości PDU pomiędzy partnerskimi (N)-jednostkami w celu realizacji (N)-usługi na rzecz jednostek warstwy (N+1)*

Protokół jest pojęciem odnoszącym się do jednej tylko warstwy. W systemie zbudowanym zgodnie z koncepcją siedmiowarstwowego modelu OSI będziemy mieć zatem do czynienia z siedmioma różnymi protokołami, choć niektóre z nich mogą być "puste" (o zerowej funkcji, przezroczyste). Koncepcją twórców modelu OSI było, bardzo istotne w środowisku telekomunikacyjnym, umożliwienie dowolnej wymiany każdego z protokołów na inny, bez konieczności modyfikowania lub choćby tylko informowania pozostałych warstw. Aby to było możliwe, muszą zostać zachowane funkcje protokołu (zresztą przypisane do warstwy) oraz styki danej warstwy z warstwą niższą i wyższą. Trzeba powiedzieć, że w praktyce ta atrakcyjna koncepcja sprawdziła się tylko częściowo: jednym z przykładów udanej realizacji są właśnie sieci lokalne (o czym w dalszych rozdziałach). Bardziej realne okazało się specyfikowanie zestawów obejmujących alternatywne zbiory protokołów sąsiednich warstw. Zestawy takie są zwane **profilami**.

### 3. Fizyczne środki transmisji w sieciach lokalnych

#### 3.1. Topologia

Termin "topologia" odnosi się do konfiguracji logicznej (a nie kształtu!) wzajemnych połączeń pomiędzy sprzętem użytkowników, nazywanym odąd **stacjami sieci**. Podstawowe topologie wykorzystywane w sieciach teledacyjnych przedstawione zostały na rys.3.1.



Rys.3.1 Topologie sieci komunikacyjnych

W sieci o topologii **wieloboku zupełnego** (*mesh topology*) każda para stacji dysponuje bezpośrednim łączem, specjalnie (na stałe) jej przydzielonym. Oczywiste zalety (prostota, niezawodność) nie równoważą podstawowej wady takiego rozwiązania: nadmiernych kosztów, rosnących z kwadratem liczby użytkowników. Z tego też względu topologia ta wykorzystywana jest tylko w przypadkach, gdy liczba łączonych stacji jest niewielka (np. w sieci telefonicznej — na najwyższych płaszczynach sieci międzymiastowej) lub (w oszczędnościowej odmianie) gdy wiadomo z góry, że w znacznej części relacji nie będą wymienione żadne informacje, co pozwala nie instalować łączy odpowiadających tym relacjom.

Topologia **gwiazdy** (*star topology*) polega na podłączeniu każdej ze stacji indywidualnym łączem do wspólnego, centralnego komutatora. Komunikacja każdej pary stacji odbywa się dzięki pośrednictwu komutatora (np. centrali CBX), który dla potrzeb takiej pary dokonuje komutacji. Topologia gwiazdy wymusza scentralizowaną strategię sterowania siecią. Każde

z wielu jednoczesnych połączeń musi zostać ustanowione (o ile jest to w danej chwili możliwe), utrzymywane i wreszcie rozłączone przez centralny komutator.

Sieć o topologii **pierścienia** (*ring topology*) stanowi zbiór węzłów połączonych poprzez łącza dwupunktowe w zamknięty łańcuch. Każdy węzeł jest dołączony do dwóch jednokierunkowych odcinków medium: przychodzącego ze stacji poprzedniej i wychodzącego do stacji następnej. Węzły odgrywają tu, z punktu widzenia transmisji, rolę regeneratorów sygnałów. Odbierane sygnały są retransmitowane bit po bicie ("na bieżąco") do kolejnej stacji. Nadana wiadomość okrąży więc pierścień, co pozwala na jej odebranie przez każdą ze stacji. Sterowanie wykorzystaniem pierścienia ma charakter zdecentralizowany. Należy odróżniać sieć pierścieniową od sieci **pętlowej** (nie będącej, w myśl naszej definicji, siecią lokalną), w której istnieje centralna stacja, wysyłająca zapytania do stacji podrzędnych.

W sieci o topologii **magistrali** (*bus topology*), nazywanej także **szyną**, stacje dołączone są równolegle do jednorodnego medium transmisyjnego, bez pośrednictwa jakichkolwiek komutatorów. Sygnały nadawane przez jedną ze stacji propagują w medium, docierając do wszystkich pozostałych stacji; sieć taka stanowi fizycznie łącze wielopunktowe (*multipoint*) a transmisja w nim ma charakter rozgłaszania (*broadcast*). Uogólnieniem liniowej magistrali jest topologia drzewa, stanowiącego połączenie wielu magistral, nie zawierające pętli. Podobnie jak w sieciach pierścieniowych, niezbędny jest rozproszony mechanizm sterowania dostępem do medium, zapobiegający kolizjom powstałym w wyniku jednoczesnego nadawania przez dwie lub więcej stacji lub zapewniający ich rozstrzygnięcie.

Zgodnie z wcześniej podaną definicją, w sieciach lokalnych będziemy mieć do czynienia z topologią pierścienia i szyny (drzewa) oraz z rozproszonym algorytmem dostępu do medium.

Należy zauważyć, że często spotykane w popularnych opisach sieci LAN określenie topologii jako "gwiazdy" jest mylące i błędne<sup>1</sup>. Oczywiście fizyczna trasa kabla swym przebiegiem może przypominać gwiazdę (jak zresztą każdą inną figurę). Jednakże, z punktu widzenia topologii szyna pozostaje szyną, nawet jeśli ma pięć centymetrów długości, a doprowadzenia poszczególnych stacji - po 100m. Podobnie pierścień o średnicy kilku centymetrów nie przestaje być pierścieniem.

### 3.2. Rodzaje mediów transmisyjnych

Medium transmisyjne stanowi fizyczny ośrodek rozchodzenia się sygnałów pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. W sieciach lokalnych zwykle funkcję tę pełnią różnego rodzaju kable, budowane z przewodów metalowych lub włókien światłowodowych. Medium transmisyjnym bywa też przestrzeń elektromagnetyczna (przy transmisji za pomocą fal radiowych lub podczerwieni).

---

<sup>1</sup> Mówimy tu o sieciach LAN zgodnych z przyjętą w tej pracy definicją.



Medium transmisyjne może być jednorodne lub złożone z wielu fragmentów (np. odcinków kabla), połączonych bezpośrednio lub sprzężonych za pomocą urządzeń pośredniczących (regeneratorów), odtwarzających nominalną postać sygnałów cyfrowych - z tym ostatnim rozwiązaniem mamy zawsze do czynienia w pierścieniu.

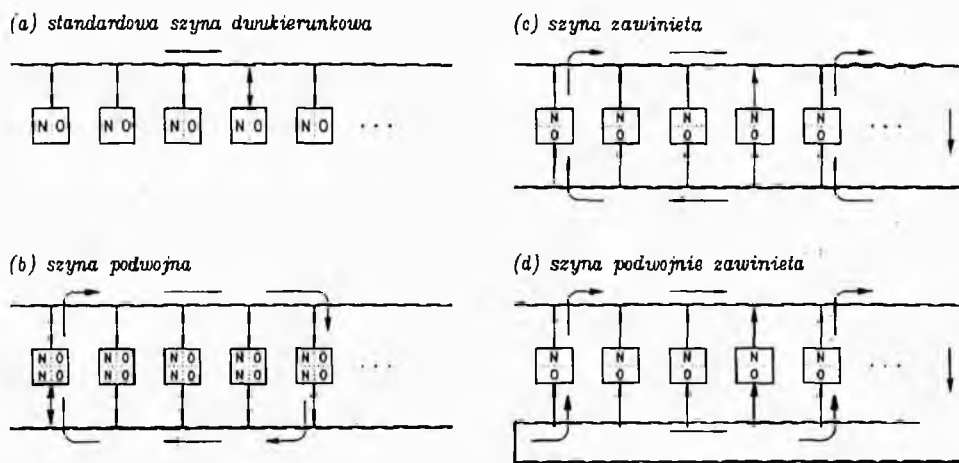
Najpopularniejszym i najtańszym środkiem transmisji jest **kabel symetryczny** w postaci pary odizolowanych od siebie i skręconych przewodów, nazywany po prostu skrętką (TP - *twisted pair*). Skręcenie przewodów (symetria osiowa) minimalizuje oddziaływanie elektromagnetyczne z otoczeniem. Odporność skrętek na zakłócenia (i podstęp informacji!) jest jednak niezbyt wysoka, czemu można przeciwdziałać przez ich ekranowanie. Skrętki ekranowane noszą symbol STP, a nieekranowane - UTP. Ilustracją możliwości transmisyjnych skrętki może być jej powszechne stosowanie w telefonii (system PCM) do transmisji sygnału cyfrowego 2.048 Mbit/s na odległość rzędu kilku kilometrów. Ostatnio popularność skrętki jako medium dla sieci lokalnych bardzo wzrasta, gdyż wykorzystanie już istniejącego okablowania telefonicznego budynku jest atrakcyjne cenowo i użytkowo. Praktycznie dla każdego typu sieci zdefiniowano wariant, przewidujący zastosowanie skrętki.

Początkowo standardowym rozwiązaniem w sieciach lokalnych były **kable koncentryczne (współosiowe)**, zbudowane z cylindrycznego ekranu i umieszczonego w jego osi pojedynczego przewodu. Taka geometria kabla zapewnia bardzo słabe oddziaływanie elektromagnetyczne z otoczeniem, a więc dużą odporność na zakłócenia. W sieciach lokalnych najczęściej stosowane są dwa rodzaje kabli: kable specjalne (różnych typów i średnic) używane do transmisji cyfrowej w pasmie podstawowym (*baseband*) z szybkością do ok. 10 Mb/s, oraz kable produkowane dla potrzeb telewizji kablowej (CATV — *Community Antenna Television*), używane do szerokopasmowej transmisji analogowej (*broadband*) lub bardzo szybkiej transmisji cyfrowej. Początkowo stosowany w sieci Ethernet "gruby" żółty kabel wyszedł już z powszechnego użycia, jako zbyt kosztowny i niewygodny. Generalnie, kable koncentryczne zastępowane są przez kable światłowodowe i skrętki.

**Kable optyczne** są stosunkowo nowym i intensywnie rozwijającym się środkiem transmisyjnym. Sygnały są w nich przenoszone w postaci impulsów świetlnych, rozchodzących się w światłowodzie (zwykle szklanym), co pozwala na transmisję z szybkościami nieosiągalnymi dla innych rodzajów kabli. Natura medium zapewnia doskonałą odporność na zakłócenia elektromagnetyczne wszelkich rodzajów oraz brak problemów z izolacją galwaniczną stacji, gdyż medium nie przewodzi prądu. Istotny wpływ na zasięg transmisji ma rodzaj światłowodu (wielomodowy lub lepszy - jednomodowy) oraz rodzaj zastosowanych źródeł i odbiorników sygnału (diody LED lub diody laserowe ILD, fotodiody PIN lub APD). Obecnie osiągnęte są rutynowo (w łączach dwupunktowych) zasięgi rzędu setek kilometrów przy szybkościach transmisji rzędu setek Mbit/s. Produkowane są także tanie "światłowody" plastikowe (przypominające grubą żyłkę wędkarską), służące do transmisji na małe odległości.

W odróżnieniu od kabli metalicznych, w światłowodach sygnały rozchodzą się tylko w jednym kierunku. Dodatkową trudność przedstawia sposób optycznego, równoległego dołączenia się do światłowodu. Jeszcze do niedawna uważano, że trudności te ograniczają zastosowanie światłowodu jedynie do sieci o topologii pierścienia (transmisja dwupunktowa,

od jednego nadajnika do jednego odbiornika). Obecnie buduje się już optyczne rozgałęźniki (wciąż dość drogie), umożliwiające stosowanie światłowodów również w sieciach o topologii szyny. Kierunkowość transmisji, charakterystyczna też dla sieci szerokopasmowych, wymaga jedynie pewnej "sztuczki", polegającej na modyfikacji sposobu prowadzenia kabla tak, by wszystkie odbiorniki znalazły się za nadajnikiem (rys.3.2).



Rys.3.2 Odmiany topologii szyny

Zbudowanie optycznych łączy wielopunktowych sprawiło, że straciło na znaczeniu, do niedawna uważane za istotne, przyporządkowanie określonych rodzajów medium do pewnych topologii sieci, np. światłowodu do sieci o topologii pierścienia, ze swą naturą stosującej transmisję jednokierunkową w dwupunktowych odcinkach medium. Wyraźnie daje się zauważyć dążenie do stosowania, niezależnie od topologii, z jednej strony medium bardzo taniego (czyli skrętki), a z drugiej strony - medium o doskonałych parametrach (czyli światłowodu).

## 4. Protokoły sieci lokalnych

### 4.1. Model odniesienia dla sieci lokalnych

W protokołach sieci lokalnych pojawiają się elementy nie występujące w sieciach rozległych i (co gorsza) nie przewidziane w schemacie OSI; implikuje to konieczność dokonania odpowiedniej modyfikacji modelu OSI RM.

Model odniesienia, skonstruowany specjalnie dla potrzeb opisu sieci lokalnych, został opracowany przez komisję 802 stowarzyszenia IEEE w latach 1980–82. Wzięto w nim pod uwagę wspomnianą już przez nas wcześniej charakterystyczną cechę sieci lokalnych, polegającą na tym, że wszystkie współpracujące stacje dysponują stale połączeniami fizycznymi pomiędzy sobą (zanikają funkcje komutacji, wyboru tras itd.). Wobec równie typowego dla sieci LAN braku wyróżnionej stacji centralnej, konieczna jest rozproszona realizacja funkcji sterujących uzyskiwaniem przez stacje dostępu logicznego do wspólnego medium transmisyjnego. Funkcje takie zostały więc przypisane do nowej, nie występującej w modelu OSI warstwy. Warstwa ta, zwana warstwą dostępu (MAC), została wprowadzona w modelu komitetu 802 pomiędzy warstwę fizyczną a warstwę łącza, przejmując jednocześnie część ich funkcji.

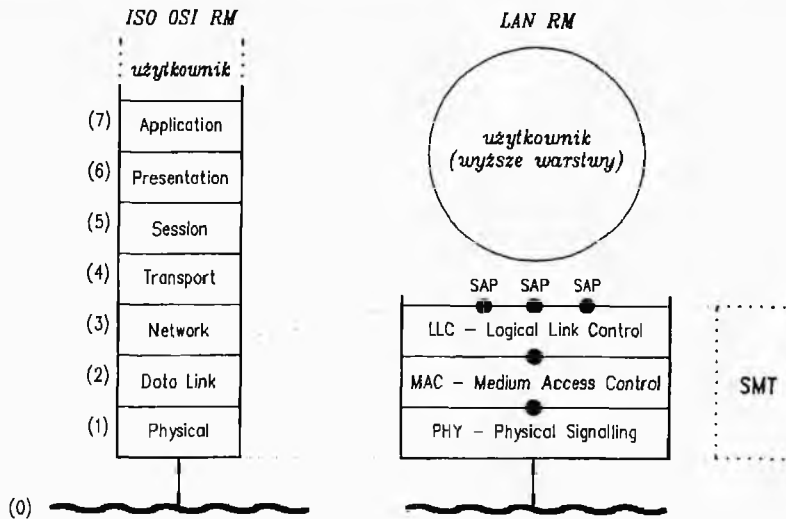
Opracowany model L&M RM (*Local and Metropolitan Area Reference Model*) obejmuje funkcje dwóch (lub trzech - zależnie od punktu widzenia<sup>1</sup>) najniższych warstw modelu OSI, podzielone na trzy warstwy (rys.4.1):

- warstwa sterowania łączem logicznym  
(LLC — *Logical Link Control layer*);
- warstwa sterowania dostępem do medium transmisyjnego  
(MAC — *Medium Access Control layer*);
- warstwa fizyczna  
(PS — *Physical Signalling layer*).

Wyróżnia się również "warstwę" SMT — zarządzania pracą stacji. "Warstwa" ta nie zawsze występuje jawnie, a odpowiada np. za automatyczną rekonfigurację sieci w przypadku awarii. Na zlecenie warstwy SMT (a więc bez udziału warstw wyższych) w sieci mogą być przesyłane informacje służbowe, specjalnie oznaczane.

---

<sup>1</sup> W przypadku pojedynczego segmentu sieci LAN, czyli rozważanej tu sieci jednostkowej (jedna droga połączeniowa), szcztkowe funkcje warstwy sieci są wypełniane automatycznie. W przypadku sieci globalnej, złożonej z połączonych ze sobą sieci jednostkowych, niezbędna jest pełna realizacja typowych funkcji warstwy sieci, poza (ponad) modelem IEEE 802.



Rys.4.1 Model odniesienia LAN RM w porównaniu z OSI RM

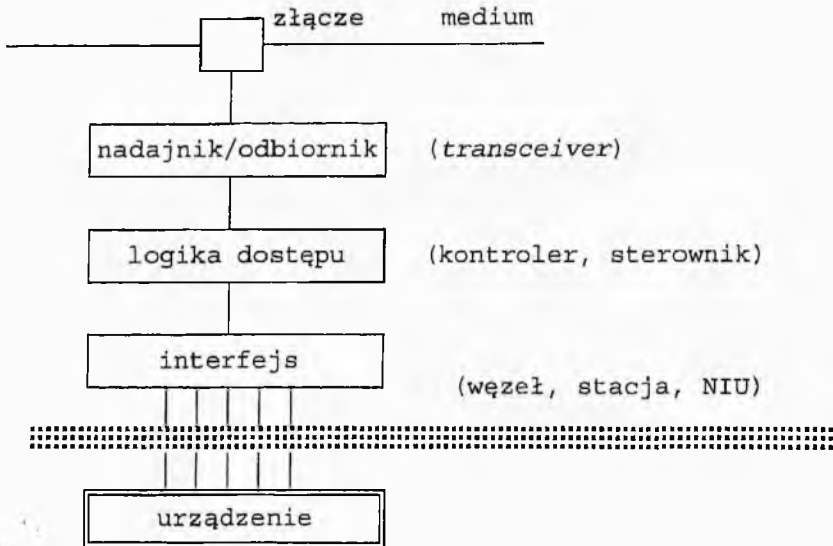
Potraktowanie sieci lokalnej jako infrastruktury komunikacyjnej o potencjalnie bardzo szerokim zastosowaniu uzasadnia ograniczenie się jedynie do wymienionych trzech warstw. "Słupki protokołów" wyższych warstw będą natomiast związane raczej z określonym systemem (i jego zastosowaniem), niż z faktem użycia właśnie sieci lokalnej, a nie np. rozległej sieci z komutacją pakietów.

Model architektury sieci lokalnych przewiduje udostępnienie wyższym warstwom jednego lub wielu "punktów dostępu do usług" (SAP — *Service Access Point*), tworzących logiczny interfejs między sąsiadującymi warstwami. W szczególności, poszczególne punkty dostępu do usług świadczonych przez warstwę LLC (oznaczone jako L-SAP) mogą być związane z różnymi zestawami protokołów warstw wyższych, a pośrednio - z różnymi aplikacjami. W ten sposób jedna, wspólna sieć lokalna może dokonywać multipleksacji strumieni informacji, wymienianych przez różne klasy użytkowników<sup>1</sup>.

Opracowany został ponadto tzw. model odniesienia dla implementacji (*Implementation Reference Model*), który uwzględnia konstrukcyjne wydzielenie modułu realizującego dołączenie stacji do medium (PMA — *Physical Medium Attachment*) oraz złącza i kabla dołączeniowe. Istnieje tu analogia z konstrukcyjnym podziałem na DTE i DCE, do którego odwołują się zalecenia CCITT serii V i X.

<sup>1</sup> Dla przykładu przytoczymy analogię z siecią telekomunikacyjną ISDN. Poszczególne terminale użytkownika są dołączone do centrali za pomocą pewnego rodzaju sieci lokalnej, tzw. szyny pasywnej. Numer punktu dostępu do usług wyróżnia tam przesyłane informacje sterujące związane z zestawianiem połączeń w trybie komutacji łączy (np. dla aparatu telefonicznego) i komutacji pakietów (dla terminala teledacyjnego).

W materiałach firmowych i opisach konstrukcji często spotyka się jeszcze inny, bardziej zorientowany na rzeczywistą realizację model i związaną z nim terminologię (rys.4.2).



Rys.4.2 Stacja sieci - model fizyczny (przykład)

Komisja IEEE 802 opracowała grupę standardów dla poszczególnych warstw modelu. Zgodnie z koncepcją architektury warstwowej, protokoły warstwy MAC są "wymienne"; zastosowany wariant protokołu MAC wyznacza typ (rodzaj) sieci lokalnej. Zdefiniowano natomiast tylko jeden wariant dla warstwy LLC, wspólny dla wszystkich protokołów MAC.

**UWAGA:** Jak to już wyjaśniono w rozdziale 2, wariantowy wybór protokołu warstwy MAC jest możliwy dzięki temu, że funkcje warstwy MAC (usługi świadczone przez tę warstwę) pozostają w swej istocie takie same, niezależnie od sposobu ich wewnętrznej realizacji.

Niektóre (lecz nie wszystkie!) standardy IEEE 802.x zostały włączone do norm międzynarodowych ISO/IEC serii 8802. Najważniejsze z tych norm to:

- **ISO 8802-2** funkcje i protokół warstwy LLC;
- **ISO 8802-3** specyfikacja warstwy MAC i PS dla sieci wykorzystujących metodę dostępu CSMA/CD w medium o topologii szyny (sieci klasy Ethernet);
- **ISO 8802-4** specyfikacja warstwy MAC i PS dla sieci wykorzystujących metodę przekazywania znacznika w medium o topologii magistrali (*Token-passing Bus*);

- **ISO 8802-5** specyfikacja warstwy MAC i PS dla sieci wykorzystujących metodę przekazywania znacznika w medium o topologii pierścienia (*Token-passing Ring*); przykładem wiernej implementacji jest sieć IBM Token Ring;
- **ISO 8802-6** specyfikacja warstwy MAC i PS dla sieci miejskich *Metropolitan Area Network*) o topologii i metodzie dostępu oznaczonej jako DQDB;

Każda z wyżej wymienionych norm formalnie obejmuje całą grupę standardów IEEE; przykładowo, ISO 8802-2 obejmuje standardy IEEE 802.2a, 802.2b, 802.2d, 802.2e i 802.2p. Grupy studyjne i konsorcja IEEE opracowują rozszerzenia już istniejących i propozycje nowych standardów IEEE. Dla przykładu, projekt standardu 802.3u dotyczy nowego, szybszego wariantu sieci Ethernet (izw. *Fast Ethernet*) - wariant ten nie został dotychczas (lipiec 1995r) włączony do norm międzynarodowych. Zakres tematyczny innych grup standardów IEEE to:

- **IEEE 802.1** ogólna koncepcja standardów L&M RM, koncepcja zarządzania stacjami sieci oraz zasady adresowania i łączenia sieci jednostkowych;
- **IEEE 802.7** transmisja szerokopasmowa (*broadband*);
- **IEEE 802.9** styki sieci LAN dla usług zintegrowanych;
- **IEEE 802.10** bezpieczeństwo i ochrona danych w sieci;
- **IEEE 802.11** bezprzewodowe sieci lokalne
- **IEEE 802.12** metoda dostępu DPAM (obsługa według priorytetu żądania), do stosowania w szybkich sieciach o topologii szyny; popularnie, lecz niesłusznie traktowana jako wariant sieci typu *Fast Ethernet*).

## 4.2. Protokoły sterowania łączem logicznym

### 4.2.1. Charakterystyka warstwy LLC

Głównym zadaniem warstwy LLC jest:

- uniezależnienie wyższych warstw sieci od procedur sterowania dostępem do medium (cecha architektury warstwowej) - przypomnijmy, że zdefiniowano tylko jeden wariant warstwy LLC, ten sam dla każdego, alternatywnego typu warstwy MAC (wyznaczającego "typ" sieci lokalnej);
- zapewnienie bezbłędnego przekazywania danych, w zakresie zabezpieczenia przeciwko zagubieniu lub duplikacji ramek i sterowania przepływem (np. ochrony przed przepełnieniem buforów);
- zdefiniowanie i obsługa punktów dostępu do usług L-SAP, reprezentujących styk (często rzeczywisty - fizyczny) pomiędzy siecią lokalną (w rozumieniu infrastruktury komunikacyjnej) a korzystającymi z jej usług protokołami wyższych warstw.

Funkcje warstwy sterowania łączem logicznym LLC są w sieciach lokalnych zasadniczo podobne do funkcji warstwy łącza danych dla sieci rozległych, a występujące różnice funkcjonalne można scharakteryzować w następujący sposób:

- Konieczne jest uwzględnienie wielodostępnej natury łącza. Tradycyjne protokoły warstwy 2 operują z definicji na łączu dwupunktowym, pomiędzy dwoma sąsiednimi węzłami sieci. W sieciach lokalnych łącze, czyli medium transmisyjne, jest oczywiście wielopunktowe, zaś różnica w stosunku do klasycznych łączy wielopunktowych polega na braku stacji nadrzędnej. W sieci lokalnej konieczna jest więc realizacja pewnych funkcji typowych dla warstwy sieciowej (trzeciej), zwłaszcza multipleksacja strumieni danych od różnych użytkowników.
- Specyficzne uwarunkowanie stanowi bardzo wysoka zazwyczaj jakość łącza fizycznego, a więc bardzo niska stopa błędów; z drugiej strony — kolizje ramek, występujące w niektórych typach sieci (np. Ethernet), wykrywane są już przez warstwę dostępową (MAC), realizującą w związku z tym niektóre inne funkcje typowe dla warstwy łącza, jak synchronizacja blokowa (wykrywanie początku i końca ramki) i zabezpieczenie kodowe.
- Z samej koncepcji sieci lokalnej wynika, że możliwa jest niemal "bezprotokołowa" realizacja funkcji rozgłaszania (*broadcast, multicast*), tzn. przekazywania danych do wielu odbiorców jednocześnie.

Komisja IEEE 802, definiując protokół LLC dla sieci lokalnych (standard IEEE 802.2), wykorzystwała i odpowiednio zmodyfikowała znany protokół warstwy łącza: HDLC. Modyfikacje polegały głównie na przeniesieniu do warstwy MAC wzmocnionego zabezpieczenia kodowego, rozszerzeniu możliwości adresowania i ograniczeniu liczby opcji.

#### 4.2.2. Protokół LLC IEEE 802.2

##### *Usługi LLC*

Na styku z wyższymi warstwami, LLC udostępnia usługi w trzech podstawowych trybach: połączeniowym, bezpołączeniowym oraz bezpołączeniowym z potwierdzeniem.

W trybie bezpołączeniowym (LLC-1: *Unacknowledged connectionless service*) dane są przekazywane pomiędzy stacjami (ściślej: pomiędzy procesami warstwy LLC w tych stacjach) bez nawiązywania logicznego połączenia między odpowiednimi punktami dostępu. Pakiety nie są potwierdzane ani powtarzane w razie błędów i nie jest zapewniona kontrola przepływu ani bezbłędności danych.

W trybie połączeniowym (LLC-2: *Connection-oriented service*) przesyłanie danych zostaje poprzedzone ustanowieniem połączenia logicznego pomiędzy parą punktów SAP w sieci. Umożliwia to sterowanie przepływem danych oraz zapewnienie bezbłędności dzięki kontrolowaniu kolejności i powtarzaniu transmisji ramek, które uległy przekłamaniu.

Tryb bezpołączeniowy z potwierdzeniami (LLC-3: *Acknowledged connectionless service*) został ustalony stosunkowo niedawno (IEEE 802.2b). Jest to usługa typu datagramowego, lecz — w odróżnieniu od omówionej wcześniej — proces warstwy LLC u odbiorcy

automatycznie potwierdza odbiór danych, co pozwala zagwarantować ich dostarczenie bez angażowania w tę kontrolę wyższych warstw. Dostępne są dwie odmiany usługi: odpowiednik prostej usługi datagramowej (nadawca otrzymuje jedynie binarne potwierdzenie dostarczenia ramki) i odpowiednik przepytывania (*polling*): nadawca otrzymuje krótką wiadomość - odpowiedź, automatycznie i niezwłocznie wysłaną przez LLC odbiorcy. Funkcje takie, choć w chwili obecnej możliwe do efektywnej realizacji jedynie w powiązaniu z niektórymi protokołami MAC (np. *Token-bus*<sup>1</sup>), mogą być szczególnie atrakcyjne w środowisku przemysłowym, np. przy komunikacji ze stacjami uproszczonymi sprzętowo i funkcjonalnie.

W zależności od zaimplementowanych usług LLC, stację sieci określa się jako należącą do odpowiedniej klasy:

Klasa I:	LLC-1
Klasa II:	LLC-1, LLC-2
Klasa III:	LLC-1, LLC-3
Klasa IV:	LLC-1, LLC-2, LLC-3

Należy podkreślić, że usługa datagramowa LLC-1, jako jedyna, musi być dostępna w każdej sieci zbudowanej zgodnie ze standardami IEEE 802. Jak już wspomniano, usługa LLC-3 jest potencjalnie atrakcyjna w specyficznych zastosowaniach. Usługi LLC-2 często nie są oferowane; spotyka się pogląd (tzw. "*end-to-end argument*" Saltzera), zgodnie z którym finalna kontrola poprawności przesłania danych może być dokonana jedynie przez konkretną aplikację (w konkretnym kontekście), zaś wykonywanie tej funkcji kolejno w każdej niższej warstwie (tutaj - w LLC) jest pewną rozrzutnością.

### *Formaty ramek*

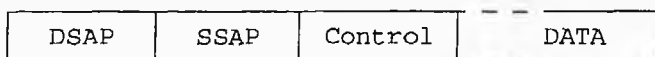
Bloki danych wymieniane przez warstwy wyższe umieszczane są w ramach/pakietach<sup>2</sup> o formacie przedstawionym na rys.4.3.

Pola DSAP i SSAP zawierają 7-bitowe adresy punktów dostępu L-SAP, pomiędzy którymi mają być przesłane dane z warstw wyższych, umieszczone w polu DATA. Ostatni (najmłodszy) bit DSAP wskazuje, czy chodzi o adres indywidualny, czy grupowy. Ostatni bit SSAP wskazuje, czy ramka niesie odpowiedź, czy też rozkaz. Pełna identyfikacja nadawcy i odbiorcy wymaga uzupełnienia adresów SAP o adresy stacji nadawczej i odbiorczej (w praktyce - adresy sterowników sieciowych), zawarte w "pochłaniającej" ramkę LLC ramce MAC (patrz rozdział 8.1).

<sup>1</sup> Choć rozważano też stosowanie protokołu typu *token-ring* (IEEE 802.5h).

<sup>2</sup> Formalnie - w jednostkach danych protokołu warstwy LLC (PDU - *Protocol Data Unit*). Termin "ramka" (*frame*) jest zwykle stosowany na oznaczenie PDU warstwy drugiej. W sieciach lokalnych termin ten dotyczy w zasadzie warstwy MAC; PDU wyższych warstw określa się nieformalnie jako "pakiety".





DSAP - *Destination SAP* (adres L-SAP odbiorcy); 1 oktet  
 SSAP - *Source SAP* (adres L-SAP nadawcy); 1 oktet  
 Control - pole sterujące; 1/2 oktety  
 DATA - blok danych; N oktetów

Rys.4.3 Format ramki LLC (802.2)

Pole sterujące ma format identyczny jak w protokole HDLC (rys.4.4). Zdefiniowane zostały trzy typy ramek: informacyjne (*information transfer*), nadzorcze (*supervisory*) i nienumerowane (*unnumbered*). Ramki informacyjne służą do wymiany ciągu danych pomiędzy użytkownikami. N(S) i N(R) oznaczają numery sekwencyjne ramek, służące do kontroli ich kolejności i sterowania przepływem danych. Stacja nadająca sekwencję ramek umieszcza ich kolejne numery (modulo 128) w polu N(S). N(R) stanowi zwrotne potwierdzenie, wskazujące spodziewany numer ramki, której odbiór ma nastąpić w pierwszej kolejności. Za jego pomocą możliwe jest kontrolowanie przepływu, jako że brak potwierdzenia wcześniej uzgodnionej liczby kolejnych ramek (tzw. okno retransmisji) zmusza stację nadającą do zaprzestania wysyłania nowych ramek.

bity (lo-hi)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-16
<b>Information</b>	0	N(S)							P/F	N(R)
<b>Supervisory</b>	1	0	S	S	X	X	X	X	P/F	N(R)
<b>Unnumbered</b>	1	1	M	M	P/F	M	M	M		

N(S) - numer nadawczy  
 N(R) - numer odbiorczy  
 SS - typ ramki nadzorczej  
 MMMMM - typ ramki nienumerowanej  
 P/F - rozkaz/odpowieź

Rys.4.4 Format pola sterującego ramek LLC

Ramki nadzorcze są używane do nadawania potwierdzeń i kontroli przepływu danych. Pole SS pozwala rozróżnić 3 rodzaje komend:

RR **Gotowość odbioru** (*Receive Ready*); ramka używana do potwierdzenia odbieranych ramek w sytuacji braku własnych danych do nadania (analogicznie do ramek informacyjnych — poprzez wartość N(R)).

- RNR** **Niegotowość odbioru** (*Receive Not Ready*): ramka potwierdzająca odbiór ramek, z jednoczesnym żądaniem wstrzymania przesyłania dalszych ramek (aż do anulowania tego polecenia za pomocą ramki RR).
- REJ** **Odrzucenie** (*Reject*): ramka informująca o odrzuceniu ramki z numerem N(R), co jest równoznaczne z żądaniem powtórzenia tej i wszystkich później nadanych ramek.

Ramki nienumerowane, czyli nie oznaczane numerami sekwencyjnymi, są wykorzystywane do przesyłania danych w trybie bezpołączeniowym oraz informacji sterujących. Na bitach M kodowane są następujące typy ramek nienumerowanych:

- UI** Nienumerowana informacja (*Unnumbered Information*): przenosi nienumerowany blok danych (datagram).
- SABME** Ustanowienie połączenia logicznego (*Set Asynchronous Balanced Mode Extended*); nazwa ta, podobnie jak inne nazwy ramek, wzięta jest z protokołu HDLC, gdzie analogiczna komenda służy do wybrania jednej z kilku możliwych odmian protokołu.
- DISC** Rozłączenie (*Disconnect*): likwidacja połączenia logicznego.
- XID** Wymiana parametrów stacji (*Exchange Identification*): służy do powiadomienia o możliwości (lub jej braku) przekazywania danych w trybie połączenia logicznego oraz o rozmiarze okna retransmisji.
- TEST** Testowanie (*Test*): żądanie przesłania w odpowiedzi identycznej ramki TEST w celu skontrolowania drogi przesyłowej LLC-LLC.
- AC** Datagram z potwierdzeniem (*Acknowledged Connectionless Information*): nie występuje w protokole HDLC, wprowadzony dla celów realizacji usługi LLC-3.

Oprócz wyżej wymienionych ramek, niosących rozkaz lub odpowiedź, istnieją ramki nadawane wyłącznie jako odpowiedzi:

- UA** Nienumerowana odpowiedź (*Unnumbered Response*): używana do obowiązkowego potwierdzenia ramek z komendami SABME i DISC.
- DM** Odłączenie logiczne stacji (*Disconnected Mode*): odpowiedź na ramkę odebraną w sytuacji, gdy LLC stacji jest logicznie odłączone.
- FRMR** Odrzucenie niepoprawnej ramki (*Frame Reject*): używana do zasygnalizowania odbioru ramki niepoprawnej w danej sytuacji.

### *Prymitywy LLC*

Dostęp wyższych warstw do usług LLC odbywa się poprzez styk funkcjonalny, określony jako zbiór prymitywów (tab.4.1). Prymitywy te można zrealizować w dowolny, stosowny sposób, np. jako przerwania lub wywołania procedur z parametrami.

Parametry prymitywów, nie zamieszczone w tablicy 4.1, to m.in.:

- dane użytkowe do przesłania;
- adresy nadawcy i odbiorcy, złożone z adresów punktów dostępu L-SAP oraz adresów jednostki warstwy MAC (patrz rozdz. 8.1);
- priorytet (różnicowanie priorytetów dotyczy tylko niektórych protokołów warstwy MAC);
- status;
- klasa usługi.

Tabela 4.1. Zestawienie prymitywów LLC

---

Usługi bezpołączeniowe bez potwierdzenia	
	L - UNITDATA.request
	L - UNITDATA.indication
Usługi bezpołączeniowe z potwierdzeniem	
	L - DATA-ACK.request
	L - DATA-ACK.indication
	L - DATA-ACK-STATUS.indication
	L - REPLY.request
	L - REPLY.indication
	L - REPLY-STATUS.indication
	L - REPLY-UPDATE.request
	L - REPLY-UPDATE-STATUS.indication
Usługi połączeniowe	
	L - CONNECT.request
	L - CONNECT.indication
	L - CONNECT.response
	L - CONNECT.confirm
	L - DATA.request
	L - DATA.indication
	L - DISCONNECT.request
	L - DISCONNECT.indication
	L - RESET.request
	L - RESET.indication
	L - RESET.response
	L - RESET.confirm
	L - CONNECTION-FLOWCONTROL.request
	L - CONNECTION-FLOWCONTROL.indication

---

Z najprostszą usługą bezpołączeniową bez potwierdzenia związane są tylko dwa prymitywy. L-UNITDATA.request służy do przekazania warstwie LLC bloku danych przeznaczonego do nadania. Za pomocą prymitywu L-UNITDATA.indication LLC przekazuje warstwie wyższej blok odebranych danych.

Usługa połączeniowa wykorzystuje grupę trzech prymitywów: CONNECT, DATA i DISCONNECT, stosowanych odpowiednio w fazie zestawiania połączenia logicznego, wymiany danych w ramach tego połączenia i, w końcu, jego rozłączania.

Dodatkowo wyróżnia się całą grupę prymitywów (nie wymienionych w tab.4.1), służących do wykonywania usług zarządzania: testowania, aktywowania i dezaktywowania punktów dostępu L-SAP oraz sterowania logicznym dołączaniem i odłączaniem stacji od sieci.

### *Styk warstw LLC z warstwą MAC*

Protokół IEEE 802.2 może współpracować z dowolnym z przewidzianych protokołów warstwy MAC. Na styku pomiędzy tymi warstwami zdefiniowano trzy prymitywy:

#### **MA-DATA.request**

Prymityw "nadawczy": LLC żąda od warstwy MAC nadania ramki przeznaczonej dla jednostki LLC we wskazanej stacji przeznaczenia (typ ramki nie ma tu znaczenia).

#### **MA-DATA.confirm**

Potwierdzenie dla LLC, wskazujące na przyjęcie lub odrzucenie żądania przez warstwę MAC; potwierdzenie to ma jedynie znaczenie lokalne, tzn. nie informuje o dalszych sieciowych losach ramki (prymityw ten jest często pomijany).

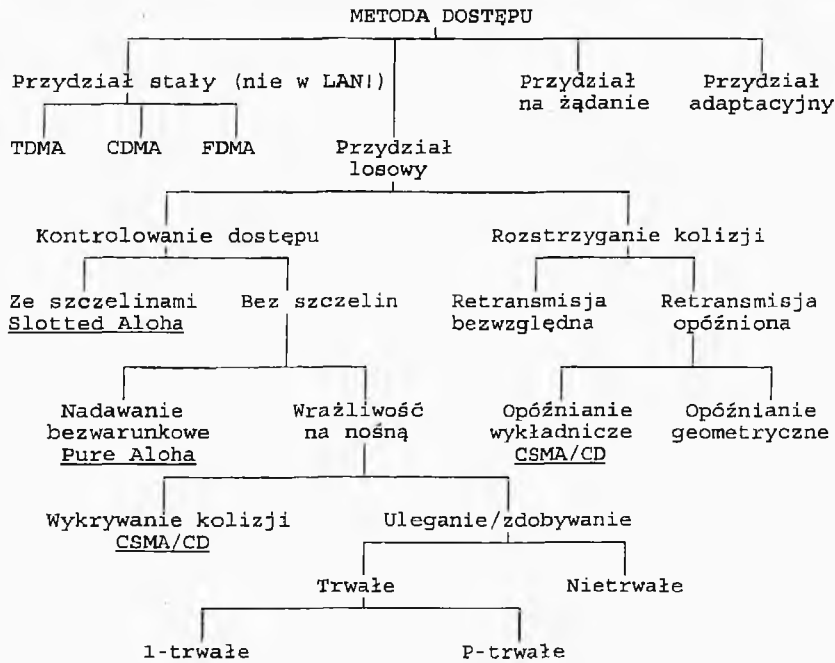
#### **MA-DATA.indication**

Prymityw odbiorczy: przekazuje do lokalnego LLC ramkę odebraną z sieci przez warstwę MAC.

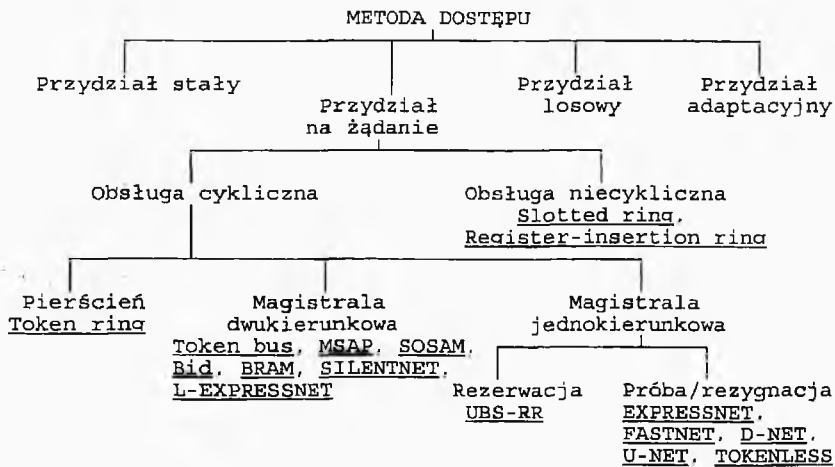
## **4.3. Protokoły sterowania dostępem do medium (MAC)**

Zadaniem warstwy dostępu MAC jest sterowanie podziałem wspólnego medium pomiędzy wiele jednostek warstwy LLC, umiejscowionych w różnych stacjach sieci. Dzięki zdefiniowanemu stykowi z warstwą MAC jednostki warstwy LLC (i wyżej - użytkownicy sieci) mogą zlecić nadanie ramki nie troszcząc się o to, w jaki sposób sieć rozstrzyga o prawie do nadawania.

Algorytmy warstwy MAC są "solą" sieci lokalnych; opracowano ich już dziesiątki i stale przybywają nowe, choćby w związku z pojawieniem się nowych klas mediów transmisyjnych. Szczegółowemu omówieniu protokołów warstwy MAC poświęcone są rozdziały 5 i 6. Ilustrację różnorodności i zarazem propozycję klasyfikacji najważniejszych rodzajów spotykanych metod dostępu pokazano na rys.4.5 (a) i (b). W tym miejscu przypomnijmy tylko, że generalną zasadą jest tu rozproszenie funkcji MAC, a spotykane w niektórych sieciach drobne odstępstwa od tej zasady (natury technicznej, a nie koncepcyjnej) jedynie potwierdzają regułę.



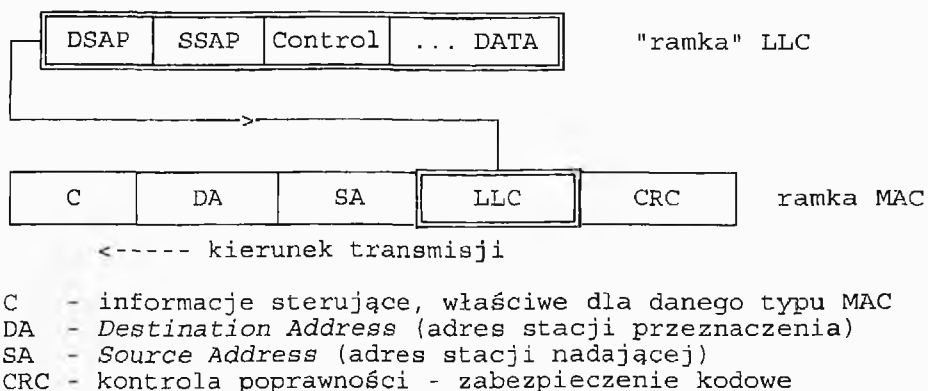
Rys.4.5 (a) Klasyfikacja metod dostępu: przydział stały i losowy



Rys.4.5 (b) Klasyfikacja metod dostępu: przydział na żądanie i adaptacyjny

### Formaty ramek

Warstwa MAC jest ostatnią (najniższą) warstwą dokonującą ingerencji w postać nadawanej informacji (enkapsulacja - por. rozdz.2). Warstwa MAC jest zarazem najniższą warstwą, w której mamy do czynienia z ramką o określonej strukturze. Dla każdego rodzaju protokołu dostępu informacja dopisywana przez warstwę MAC do danych wymienianych pomiędzy jednostkami LLC jest nieco inna. Dające się wyróżnić elementy wspólne pokazano na rys.4.6.



Rys.4.6 Generyczna struktura ramki MAC

### Styk warstwy MAC z warstwą PHY

Aby przesłać ramkę, warstwa MAC żąda od warstwy fizycznej usługi polegającej na kolejnym przesłaniu poszczególnych bitów tej ramki; w warstwie fizycznej przesyłana informacja nie ma żadnej wydzielonej struktury. Prymitywy na styku warstw MAC i PHY dotyczą zatem transmisji pojedynczych bitów:

#### **PLS-DATA.request** (0/1/symbol specjalny)

Żądanie przesłania bitu o podanej wartości logicznej.

#### **PLS-DATA.confirm**

Potwierdzenie przez warstwę PHY; dotyczy gotowości przyjęcia kolejnego bitu lub np. niegotowości systemu transmisyjnego.

#### **PLS-DATA.indication** (0/1/symbol specjalny)

Zawiadomienie warstwy MAC o odebraniu przez warstwę PHY kolejnego bitu, o wskazanej wartości logicznej.

W zależności od typu protokołu dostępu do medium, warstwa fizyczna może również generować zawiadomienia o zajściu pewnych szczególnych zdarzeń istotnych dla warstwy MAC, jak np.:

**PLS-CARRIER.indication**

Wykrycie "nośnej" (w sieciach typu CSMA/CD).

**PLS-SIGNAL.indication**

Spadek mocy sygnału, co może np. oznaczać uszkodzenie medium.

Na przykładzie styku warstw MAC i PHY można wyraźnie zaobserwować umowność definicji prymitywów: praktycznie w żadnej realnej implementacji warstwa MAC nie będzie żądać transmisji metodą bit po bicie, lecz raczej zapisze całą ramkę do odpowiedniego rejestru lub bufora o adresie znanym procesowi realizacji warstwy fizycznej. Również jawne potwierdzanie przez warstwę PHY faktu nadania każdego bitu jest w rzeczywistości tylko umowne.

## 5. Sieci pierścieniowe

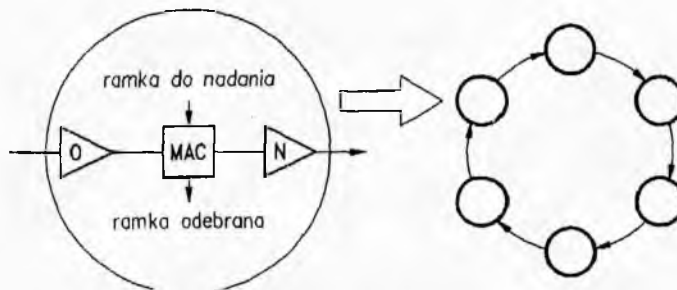
### 5.1. Informacje wstępne

#### 5.1.1. Rodzaje sieci pierścieniowych

W sieciach o topologii pierścienia stosuje się trzy główne metody sterowania dostępem do medium transmisyjnego, a zarazem — typy warstwy MAC, z którymi często identyfikowany jest typ sieci:

- pierścień z przesyłanym znacznikiem (*token ring*, Farmer'69), najbardziej rozpowszechniony;
- pierścień szczelinowy (*slotted ring*, Pierce'72), opracowany w Wielkiej Brytanii i powszechnie tam stosowany;
- pierścień z wtrącanym rejestrem (*register insertion ring*, Hafner'74), zdecydowanie najmniej popularny.

Mimo że metoda przesyłania znacznika stosowana jest również w sieciach o topologii szyny (*token bus*), wszystkie wymienione metody dostępu korzystają w sposób istotny z cech topologii pierścieniowej (rys.5.1).



Rys.5.1 Sieć pierścieniowa

Generalna zasada pracy wszelkich sieci pierścieniowych daje się sprowadzić do następujących punktów:

- Stacja, która ma do nadania ramkę, uzyskuje chwilowy dostęp do medium w wyniku wykonania procedur warstwy MAC; uzyskanie dostępu równa się prawu do nadania jednej lub wielu ramek (przeważnie ograniczeniem jest tu czas dany stacji na nadawanie).
- Kolejne stacje retransmitują odebrane od swych poprzedników bity ramki MAC, czyli działają jak regeneratory sygnału cyfrowego, wprowadzając przy tym określone opóźnienie retransmisji. Dąży się do tego, by opóźnienie retransmisji, wyrażone w ilości bitów chwilowo przetrzymywanych w stacji, było jak najmniejsze.



- Stacja docelowa, zaadresowana przez nadawcę, odbiera ramkę przez skopiowanie retransmitowanych bitów ramki do własnego bufora odbiorczego.
- Nadana ramka jest następnie, po spełnieniu swej roli, usuwana z pierścienia, by nie krążyła w nim w nieskończoność.

### 5.1.2. Zadania i procedura wyboru stacji-monitora

Podstawowy protokół dostępu do medium w sieciach pierścieniowych jest symetryczny, czyli w każdej stacji wykonuje się identyczny program. Przeważnie jest jednak wygodne wydzielenie jednej stacji - **monitora**, wypełniającej jedną lub więcej z następujących funkcji:

- wyznaczanie szybkości transmisji w pierścieniu, poprzez wymuszanie taktu zegarów nadawczych w pozostałych stacjach;
- zbieranie i reagowanie na ramki służbowe (awaryjne);
- inicjowanie pracy pierścienia;
- wspomaganie realizacji transmisji rozsiewczej, do wszystkich odbiorców (*broadcast*);
- reagowanie na ramki wielokrotnie okrążające pierścień;
- wykonywanie innych funkcji utrzymaniowych.

Niekiedy stacja-monitor jest odmienna konstrukcyjnie od pozostałych stacji (i tym samym wydzielona konstrukcyjnie). Jednakże dla zachowania symetrii dąży się do tego, by stacja-monitor była wybierana automatycznie spośród wszystkich stacji pierścienia. Ewentualny "zarzut" wprowadzania elementu centralnego (wbrew deklarowanym intencjom) można wtedy łatwo odeprzeć, gdyż sam algorytm wyboru stacji-monitora jest w pełni rozproszony<sup>1</sup>. Dynamicznego wyboru stacji-monitora dokonuje się z reguły na zasadzie rywalizacji adresów:

- Każdej stacji przyporządkowuje się unikatowy adres sieciowy. Jest to ten sam adres, który stacja nadająca umieszcza w polu SA ramki MAC - patrz rys.4.6).
- Po rozpoczęciu procedury wyboru, każda stacja A przesyła do swego następnika B nieprzerwany ciąg ramek służbowych, zawierających własny adres (A).
- Równocześnie każda stacja (B) odbiera ramki od swego poprzednika (A) i porównuje adres otrzymany z własnym.
- Stacja B, odbierająca ramkę ze stacji A, retransmituje ją do stacji kolejnej C tylko wtedy, gdy  $A > B$ , czyli gdy adres odebrany jest wyższy od adresu własnego. Oznacza to, że w sieci istnieje stacja o adresie wyższym; od chwili stwierdzenia tego faktu stacja B "wypada z gry" i zaczyna retransmitować wszelkie otrzymywane ramki.
- Jeśli  $A < B$ , to ramka nie jest retransmitowana dalej (jest "zjadana"), a stacja B kontynuuje nadawanie ramek z własnym adresem do swego następnika.
- Stacja, która odbierze ze stacji poprzedniej ramkę zawierającą własny adres, przejmuje rolę stacji-monitora. Jest to stacja o adresie najwyższym spośród adresów wszystkich stacji sieci, a fakt, że wszystkie inne stacje przekazały ramkę wokół pierścienia oznacza, że musiały one wcześniej "zrezygnować".

<sup>1</sup> Algorytmy takie należą do klasy algorytmów łamania symetrii, zwanej też elekcją lidera.

Algorytm powyższy zapiszemy w sposób bardziej zwarty, choć nie do końca formalny:

```

STACJA (B):
  Nadawaj_ciąg_ramek (B);
  DO FOR EVER
    A := Odbierz_ramkę;
    CASE
      A<B: Zignoruj_ramkę;
      A>B: Przestań_nadawać_własne_ramki;
           Zacznij_retransmitować_ramki;
           EXIT;
      A=B: Włącz_funkcje_monitora;
           {stacja stała się monitorem}

```

### 5.1.3. Usuwanie ramki

Istnieją trzy sposoby usuwania z pierścienia uprzednio nadanej ramki:

- usuwanie przez zaadresowaną stację-odbiorcę (*destination removal*);
- usuwanie przez stację nadającą, po obiegnięciu ramki wokół całego pierścienia (*source removal*);
- usuwanie przez stację-monitor (dotyczy z reguły ramek przekłamanych lub typu *broadcast*).

Wymienione sposoby usuwania ramek mogą dotyczyć wszelkich metod dostępu do pierścienia, rozumianych jako zasady wprowadzania własnej ramki - są od nich w zasadzie niezależne. W praktyce danemu typowi MAC przyporządkowuje się "najwłaściwszy" dla niego sposób usuwania ramek:

- *destination removal* dla *register insertion*;
- *source removal* dla *slotted ring* i *token ring*.

Usuwanie ramki może mieć charakter fizyczny (usunięcie bitów ramki z pierścienia, przez zaniechanie ich retransmisji) albo logiczny, polegający na oznaczeniu retransmitowanej ramki jako usuniętej.

### 5.1.4. Przesyłanie ramki do wszystkich stacji

Wykorzystanie wspólnego medium transmisyjnego, niezależnie od topologii sieci, pozwala na realizację w pojedynczej operacji jednej z dwóch podstawowych usług:

- przesłanie ramki do określonej stacji, opisanej przez jej indywidualny, unikatowy adres sieciowy (adres MAC);
- przesłanie ramki do wszystkich stacji (*broadcast*), w wyniku użycia specjalnego adresu, rozpoznawanego jako "swój" przez każdą ze stacji.

W sieciach lokalnych usługa typu *broadcast* jest zwykle traktowana jako szczególny przypadek komunikacji **grupowej** (*multicast*), w której dany adres jest rozpoznawany jako "swój" przez określoną grupę stacji. Grupa taka może dynamicznie zmieniać swój skład, a w szczególności - być pusta bądź obejmować wszystkie stacje sieci.

Jeśli ramkę usuwa stacja nadająca (*source removal*), usługę typu *broadcast* realizuje się w naturalny sposób: każda ramka obiega cały pierścień, a zatem może być skopiowana przez każdą ze stacji.

Przy *destination removal* ramka z zasady obiega tylko część pierścienia, leżącą pomiędzy stacją nadającą a odbierającą. Do realizacji usługi *broadcast* stosuje się wtedy pewne modyfikacje protokołu, z użyciem stacji-monitora.

Poniżej omówimy trzy generyczne typy protokołów warstwy MAC dla sieci o topologii pierścienia, poczynając od najbardziej popularnego.

## 5.2. Token ring — pierścień z przesyłaniem znacznika

Protokół warstwy MAC dla pierścienia z przesyłaniem znacznika jest przedmiotem dokumentu IEEE 802.5. Jest to złożony protokół, bardzo zbliżony do zastosowanego przez firmę IBM w znanej sieci IBM Token Ring. Identyczna zasada działania, sama w sobie dość prosta, znalazła również zastosowanie w szybkiej sieci FDDI, choć użyty tam protokół ma nieco inne właściwości. Nietrudno wyobrazić sobie znacznie prostsze realizacje.

### 5.2.1. Zasada działania

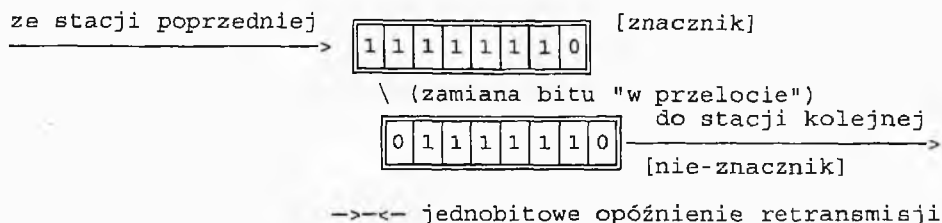
- W sytuacji spoczynkowej (gdy żadna ze stacji nie nadaje) w pierścieniu krąży, czyli jest kolejno retransmitowany od stacji do stacji, jeden unikatowy (nie do "podrobienia" przez ciąg danych) służbowy ciąg bitów, zwany **znacznikiem** (*token*). Odebranie znacznika przez stację jest równoznaczne z uzyskaniem przez tę stację prawa do nadawania.
- Stacja pragnąca nadawać oczekuje na znacznik, po czym odbiera go i usuwa z sieci ("niszczy"). Po usunięciu znacznika żadna inna stacja nie ma możliwości nadania własnej ramki (brak znacznika w sieci).
- Następnie stacja wprowadza do pierścienia (nadaje) własną ramkę<sup>1</sup>.
- Po wykorzystaniu, nadana ramka musi zostać usunięta z pierścienia, zgodnie z przyjętą zasadą usuwania. Stacja, która nadała ramkę, oczekuje na jej powrót "z drugiej strony" pierścienia i usuwa ją, czyli odbiera i nie retransmituje dalej.
- Po nadaniu ramki stacja ma obowiązek ponownego wprowadzenia znacznika (zgodnie z opisaną dalej strategią), by przekazać tym samym prawo nadawania do kolejnych stacji.

---

<sup>1</sup> Lub też ciąg ramek - to nie jest tu istotne.

Uwaga: właściwe dla sieci typu *token-ring* jest usuwanie ramki przez stację nadającą (*source removal*)

W celu maksymalnego wykorzystania medium dąży się do minimalizacji opóźnienia retransmisji w każdej ze stacji. Zwykle opóźnienie to wynosi zaledwie 1 bit i jest stałe. W związku z tym, usuwanie znacznika (tuż przed nadaniem ramki) musi dokonywać się podczas retransmisji, "w biegu", np. w następujący sposób (rys.5.2)



Rys.5.2 Prosty sposób zamiany znacznika wolnego na zajęty

- postać znacznika różni się od postaci ciągu "pustego" nie będącego znacznikiem (a pełniącego rolę np. ciągu początkowego — *headera* ramki) wartością tylko jednego bitu, przy czym jest to bit ostatni w sekwencji znacznika<sup>1</sup>;
- stacja pragnąca nadawać rozpoznaje charakterystyczną dla znacznika sekwencję bitów; w tej chwili wszystkie bity znacznika, z wyjątkiem ostatniego, zostały już wysłane do stacji kolejnej (opóźnienie retransmisji — tylko 1 bit);
- zamiast retransmitować ostatni bit znacznika, stacja zmienia jego wartość "w przelocie", dzięki czemu stacja kolejna odbiera sekwencję początkową ramki, nie będącą znacznikiem;
- z chwilą zamiany znacznika w sekwencję początkową, stacja przelacza się w stan nadawania: zaprzestaje retransmisji bitów ze stacji poprzedniej (odłącza logicznie własny nadajnik od własnego odbiornika) i rozpoczyna nadawanie dalszego ciągu własnej ramki.

W związku z takim sposobem usuwania znacznika stosuje się często następującą terminologię:

- **znacznik wolny** (*free token*) — prawo do nadawania;
- **znacznik zajęty** (*busy token*) — początek ramki, uzyskany w wyniku celowego przekłamania znacznika wolnego.

<sup>1</sup> Bardziej precyzyjnie - sekwencja bitów jednoznacznie wyróżniająca znacznik musi wystąpić w całości przed tym bitem.

### 5.2.2. Postać znacznika

Unikatową postać znacznika można uzyskać przykładowo na jeden z następujących sposobów:

- stosując *bit stuffing*, wzorowany na protokole HDLC;  
Znacznik ma postać 01111111, a flaga rozpoczynająca ramkę: 01111110. W ciągu danych po każdym pięciu bitach 1 nadajnik "wtrąca" bit 0, a odbiornik usuwa (ukrywa) taki bit. W ten sposób w ciągu danych nadawanych, poddanych procesowi wtrącania zer, nie może nigdy wystąpić sekwencja służbowa, zawierająca pod rząd sześć lub więcej jedynek. Znaczną część protokołu dostępu do medium można zrealizować w prosty sposób z użyciem popularnych układów scalonych do transmisji synchronicznej, które automatycznie realizują wtrącanie zer (rys.5.2).
- stosując zaburzenia kodu transmisyjnego;  
Przykładowo, w kodzie transmisyjnym typu *differential Manchester* występują elementy J i K, nie reprezentujące ani bitu "0", ani "1" i oczywiście nie występujące w ciągu transmitowanych danych użytkowych. Elementy te mogą zostać użyte do wyróżnienia znacznika. Jest to rozwiązanie stosowane np. w sieci IBM Token Ring.
- wykorzystując dwa oddzielne pierścienie fizyczne.  
W jednym pierścieniu krąży wyłącznie impuls pełniący rolę znacznika, w drugim — prowadzi się transmisję ramek użytkowych. Jest to rozwiązanie nieekonomiczne i niepraktyczne (wymaga dwóch torów przesyłowych), choć zostało praktycznie zrealizowane.

### 5.2.3. Strategia przywracania znacznika

Stosowane są trzy różne strategie, wyznaczające chwilę ponownego wprowadzania wolnego znacznika przez stację, która go uprzednio usunęła z pierścienia:

- *single frame* (najprostsza);
- *single token*;
- *multiple token* (zapewniająca największą efektywność protokołu).

Na wstępie należy przypomnieć, że w trakcie nadawania stacja odbiera bity ze stacji poprzedniej, lecz ich nie retransmituje, (odbiornik i nadajnik stacji są w tym czasie rozłączone). Zauważmy, że przy *source removal*, w warunkach poprawnej pracy sieci, pierwszą ramką, którą stacja nadająca odbierze ze stacji poprzedniej, będzie jej własna ramka. **Jest to niezmiennik sieci *token-ring*.**

Przy zastosowaniu strategii "pojedynczej ramki" *single frame*, stacja nadająca oczekuje na odebranie całej własnej ramki, aż do jej końca. Wprowadzenie nowego znacznika może wówczas nastąpić niezwłocznie, gdyż oczywiście fakt odebrania końca własnej ramki implikuje wcześniejsze zakończenie jej nadawania. Po nadaniu znacznika stacja przełącza się natychmiast w stan retransmisji. Omawiana tu strategia dobrze nadaje się do zastosowania

w sieci, w której długość ramek jest (znacznie) większa od "długości bitowej" pierścienia (patrz dalej), czyli gdy czas bezproduktywnego oczekiwania na obiegnięcie końca ramki dookoła pierścienia jest zanedbywalny w stosunku do całkowitego czasu transmisji tej ramki. Jest to również strategia najmniej złożona i najbardziej "bezpieczna".

W strategii "pojedynczego znacznika" *single token* stacja nadająca oczekuje na odebranie jedynie początku nadanej przez siebie ramki, zawierającego nagłówek (czyli znacznik zajęty) i adresy MAC: docelowy (DA) i źródłowy (SA) - stacja sprawdza je by upewnić się, że niezmiennik sieci jest rzeczywiście zachowany<sup>1</sup>. Po odebraniu początku ramki stacja może już wprowadzić nowy znacznik, lecz przełączy się w stan retransmisji dopiero po odebraniu końca tej ramki. W ten sposób, przy okazji, ramka zostanie fizycznie usunięta z pierścienia. Oczywiście nadanie znacznika może nastąpić dopiero po zakończeniu nadawania własnej ramki. Dlatego omawiana strategia dobrze nadaje się do sieci, w których długości ramek są porównywalne z "długością bitową" pierścienia, czyli gdy odebranie początku ramki oznacza zwykle, że koniec tej ramki został właśnie nadany. Nazwa *single token* odnosi się do faktu przebywania w pierścieniu zawsze tylko jednego znacznika (wolnego lub zajętego), co ułatwia kontrolę poprawności pracy sieci.

W strategii "wieloznacznikowej" *multiple token*, zwanej też ETR - *Early Token Release*, natychmiast po zakończeniu nadawania stacja wprowadza nowy wolny znacznik - "dokleja" go tuż za końcem swej ramki. Podobnie jak w pozostałych strategiach, stacja nadająca przełącza się w stan retransmisji po odebraniu końca własnej ramki. Wolny znacznik może zostać wykorzystany przez inną stację nawet wtedy, gdy nadana ramka jeszcze obiega pierścień. W ten sposób może utworzyć się struktura złożona z wielu nadanych ramek, przedzielonych znacznikami zajętymi i "pchanych" przez jeden znacznik wolny.

Strategia *multiple token* prowadzi do maksymalnego wykorzystania przepustowości sieci, zwłaszcza w przypadku sieci bardzo "długiej" w porównaniu z długością ramek, kosztem pewnego utrudnienia kontroli poprawności pracy. Czytelnik zechce sprawdzić, że również w tej strategii niezmiennik sieci powinien być zachowany.

#### 5.2.4. Minimalna długość pierścienia

Po nadaniu, wolny znacznik jest retransmitowany dookoła pierścienia bez aktywnej interwencji poszczególnych stacji. Z tego względu wszystkie bity znacznika muszą jednocześnie "zmieścić się" w pierścieniu, czyli znacznik musi być krótszy niż pierścień. Miarą długości pierścienia jest jego **długość bitowa**, określana jako suma:

- **opóźnień retransmisji** we wszystkich stacjach, np. 1 bit na stację;
- **opóźnienia propagacji** sygnału fizycznego we wszystkich odcinkach medium pomiędzy stacjami (zależnego od sumarycznej długości medium i szybkości transmisji).

---

<sup>1</sup> Naruszenie tego niezmiennika jest poważnym błędem w pracy sieci.

Aby umożliwić pracę sieci złożonej zaledwie z dwóch (czy nawet jednej) stacji, połączonych bardzo krótkimi odcinkami medium, należy sztucznie wydłużyć pierścieni. W zależności od wybranej długości znacznika, wprowadza się zatem dodatkowe opóźnienie, które w przypadku sieci IBM Token Ring wynosi 24 bitów. Wprowadzenie dodatkowego opóźnienia w każdej stacji byłoby jednak nieekonomiczne i niepotrzebne, dlatego bufor opóźniający (rejestr przesuwany) zostaje zwykle włączony tylko w stacji-monitorze<sup>1</sup>.

### 5.2.5. Usługi utrzymania sieci

Jak łatwo sobie wyobrazić, przedstawiony wcześniej scenariusz pracy sieci może zostać zaburzony w wyniku np. zakłóceń sygnału w medium (losowego przekłamania) oraz błędów logicznych i awarii sprzętowych stacji sieci. Zakłócenia tego typu mogą doprowadzić do zagubienia wolnego znacznika (*lost token*), pojawienia się dwóch lub więcej znaczników (*duplicate token*), krążenia raz nadanej i nie usuniętej ramki (*circulating frame*), jak również do przerwania pierścienia. Dlatego poza podstawowym cyklem oczekiwania na znacznik, przekłamania go, nadania ramki, usunięcia jej z pierścienia i przywrócenia znacznika, integralną częścią algorytmów warstwy MAC są wielokrotnie bardziej złożone, rozbudowane i czasem bardzo "zmyślne" procedury utrzymaniowe. Sytuacje awaryjne mogą być obsługiwane w sposób rozproszony (kolektywnie przez wszystkie stacje) lub centralnie, przez stację-monitor, co może być prostsze i bardziej efektywne. Przykładową procedurą utrzymaniową jest opisany uprzednio mechanizm wyboru monitora, który został prawie dosłownie zaimplementowany w sieci IBM Token Ring.

W celu realizacji procedur utrzymaniowych, jednostki warstwy MAC we własnym zakresie (bez zleceń warstw wyższych) wymieniają pomiędzy sobą ramki służbowe. W strukturze ramki warstwy MAC występuje zatem pole pozwalające na odróżnienie ramek służbowych od użytkowych, czyli przenoszących informacje użytkownika. Sumaryczne obciążenie sieci ramkami służbowymi nie przekracza paru procent.

Poniżej opisano przykładowy sposób obsługi podstawowych sytuacji awaryjnych w sieci typu *Token ring*.

Po odliczeniu maksymalnego czasu, w którym powinien zostać zaobserwowany wolny znacznik, stacja-monitor stwierdza jego zagubienie. Monitor "czyści" sieć (przez zaniechanie retransmisji na pewien czas), po czym nadaje nowy znacznik.

W razie nieusunięcia ramki przez stację nadającą (np. w wyniku jej awarii), czyni to stacja-monitor. Do tego celu przewidziany jest w polu adresowym lub sterującym każdej ramki bit "monitor", zerowany przez stację nadającą, a ustawiany przez stację-monitor. Monitor ma obowiązek usunięcia z sieci każdej ramki, w której bit "monitor" jest ustawiony. W ten sposób żadna nieusunięta ramka nie będzie retransmitowana przez stację-monitor więcej niż jeden raz.

---

<sup>1</sup> W sieci FDDI w każdej stacji znajduje się niewielki bufor opóźniający, lecz wynika to z zastosowania innej niż w sieci IBM Token Ring zasady synchronizacji.

Sytuację powielenia wolnego znacznika wykrywa każda stacja nadająca. Jeśli stacja taka stwierdzi, że podczas nadawania odbiera od stacji poprzedniej ramkę, której nie nadała (czyli że doszło do zaburzenia niezmiennika sieci), natychmiast kończy nadawanie i nie nadaje nowego znacznika. W ten sposób sytuacja nazbyt wielu znaczników przekształca się w sytuację braku znacznika, obsługiwaną przez stację-monitor w sposób opisany uprzednio.

### 5.2.6. Usługa typu broadcast

Przy *source removal* nadawanie do wszystkich stacji sieci odbywa się w naturalny sposób: adres *broadcast*, wspólny dla wszystkich stacji, pozwala każdej z nich na skopiowanie retransmitowanej ramki.

### 5.2.7. Potwierdzenia

Każda nadana ramka obiega cały pierścień i jest ponownie odbierana przez stację nadającą. Fakt ten pozwala na zwrotne przesyłanie potwierdzenia odbioru w ramach tej samej ramki. W tym celu, zwykle w sekwencji kończącej ramkę, wydziela się sekwencję bitów służbowych, które mogą być ustawiane "w przelocie" (podobnie jak zamiana znacznika wolnego na zajęty) przez stację odbierającą. Przykładowo, bity te mogą mieć następujące znaczenie:

- adres rozpoznany (istnieje aktywna stacja o podanym adresie);
- ramka skopiowana (wykorzystana);
- błąd w ramce (ramka przekłamana).

W przypadku usługi *broadcast* do interpretacji dwóch pierwszych bitów służbowych należy dodać sformułowanie "przez co najmniej jedną stację". Bit błędu może być obsługiwany przez każdą stację retransmitującą, niezależnie od adresu przeznaczenia ramki.

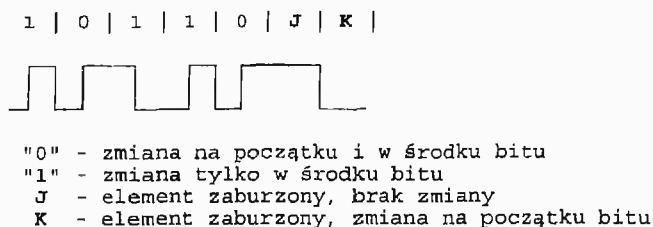
### 5.2.8. Przykład — IBM Token Ring

#### *Dane ogólne*

- Topologia: pierścień, z okablowaniem prowadzonym w układzie gwiazdy.
- Usuwanie ramek: *source removal*.
- Strategia wprowadzania znacznika: *single token*, opcjonalnie - *multiple token* (IEEE 802.5i).
- Szybkość transmisji: 4 Mbit/s lub 16 Mbit/s (wcześniejsze wersje standardu przewidywały też 1 Mbit/s).
- Maksymalna długość ramki [HELD94]: 4500 B dla 4 Mbit/s, 18000 B dla 16 Mbit/s;
- Medium transmisyjne: różne rodzaje skrętek ekranowanych i nieekranowanych, a także światłowód.

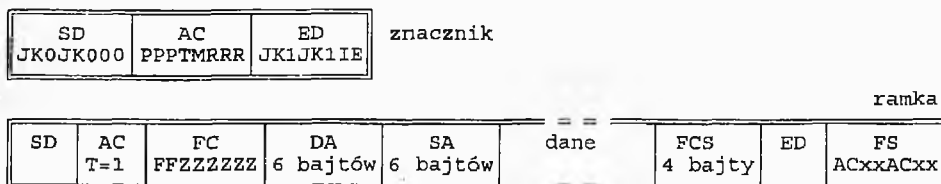


- Maksymalna ilość stacji: 260, ograniczona możliwością zapewnienia synchronizacji zegarów transmisyjnych we wszystkich stacjach. Niektóre typy mediów, o gorszych parametrach, dopuszczają dołączenie jedynie 72. stacji.
- Automatyczna rekonfiguracja — izolowanie stacji uszkodzonych.
- Stacja-monitor: wybierana automatycznie w wyniku rywalizacji adresów, każdorazowo przy starcie sieci oraz po wystąpieniu poważnego błędu.
- Opcjonalnie - możliwość stosowania 8 priorytetów ramek.
- Kodowanie transmisyjne: *differential Manchester* (rys.5.3).

Rys.5.3 Zasady kodowania transmisyjnego *Differential Manchester*

### Formaty ramek

Format ramek (znacznika i ramek użytkowych) przedstawiono na rys.5.4.



Rys.5.4 Formaty ramek MAC w sieci IBM Token Ring

Znacznik wolny od zajętego odróżnia wartość bitu T (*token*). Bit M ("monitor") służy do usuwania ramki, która nie została usunięta przez stację nadającą (jak to opisano wcześniej). Bity PPP wyznaczają aktualny priorytet znacznika wolnego (patrz dalej). Bity RRR umożliwiają rezerwację znacznika o podanym priorytecie. Elementy J i K są zaburzeniami kodu *Manchester*, wyróżniającymi ciąg startowy (SD) i końcowy (ED) znacznika i ramek. Bit I (*intermediate*) oznacza, że ramka należy do ciągu ramek, nadawanego przy użyciu jednego znacznika. Bit E (*error*) jest ustawiany przez każdą stację, która wykryje błąd (niezgodność wyniku kontroli nadmiarowej).

Oktet FC (*frame control*) określa, czy transmitowana ramka zawiera dane z wyższych warstw oprogramowania (FF="01"), czy też jest to ramka służbowa, konieczna do realizacji zadań utrzymaniowych warstwy MAC (FF="00"). W tym drugim przypadku na kolejnych bitach Z zapisany jest kod typu ramki służbowej:

- Z=3: *Claim Token* (CL\_TK) - ramka używana do realizacji procedury wyboru monitora;
- Z=0: *Duplicate Address Test* (DAT) - ramka wysyłana przez stację włączającą się w pierścień; służy do sprawdzenia, czy w sieci nie znajduje się już stacja o identycznym adresie MAC (byłby to poważny błąd);
- Z=5: *Active Monitor Present* (AMP) - ramka wysyłana periodycznie przez stację-monitor; służy do informowania pozostałych stacji o sprawnej pracy monitora;
- Z=6: *Standby Monitor Present* (SMP) - ramka wysyłana periodycznie przez pozostałe stacje sieci; służy również do prowadzenia procedury "poznawania sąsiadów" (patrz rozdz. 7.4);
- Z=2: *Beacon* (BCN) - ramka wysyłana przez stację, która stwierdzi poważną awarię sieci, jak np. zerwanie kabla.
- Z=4: *Purge* (PRG) - ramka wysyłana przez stację-monitor; służy do "czyszczenia" pierścienia, np. po przymusowym usunięciu krążącej ramki.

Adres stacji przeznaczenia (DA — *destination*) i źródła (SA — *source*) są sekwencjami 6-bajtowymi. Stosowanie dopuszczonych w standardzie IEEE 802.5 adresów 2-bajtowych w praktyce zanika.

Pole danych może zawierać w szczególności 0 bajtów. Górna granica długości pola danych określona jest pośrednio przez czas, po którym stacja musi "oddać" znacznik.

Czterobajtowe pole kontroli kodowej FCS (*Frame Check Sequence*) umożliwia sprawdzenie poprawności przesyłanej ramki.

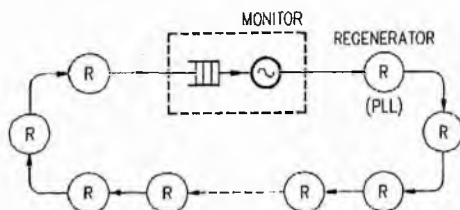
Pole FS (*frame status*) zawiera bity potwierdzenia A (adres rozpoznany) i C (ramka skopiowana). Bity te są powtórzone dwukrotnie, gdyż nie są objęte kontrolą kodową.

## Zegar

Aktywny monitor (w odróżnieniu od pozostałych stacji, z których każda może stać się aktywnym monitorem w wyniku rywalizacji) zadaje szybkość transmisji za pomocą własnego generatora kwarcowego. Pozostałe stacje pierścienia pełnią rolę regeneratorów: odzyskują przebieg zegarowy z transmitowanego przebiegu danych za pomocą układów pętli fazowej PLL (rys.5.5).

Z powodu analogowej natury sygnału transmitowanego w medium, rozpoznawanie jego zbczcy jest niedoskonałe. Połączone łańcuchowo układy PLL wprowadzają drżenie fazy (*jitter*), które powoduje, że chwilowa długość bitowa pierścienia może się zmieniać

w zakresie  $\pm 3$  bitów przy szybkości transmisji 4 Mbit/s i maksymalnej ilości stacji równej 260. W stacji-monitorze (i tylko tam) włączony jest bufor (gwarantujący krążenie znacznika) o długości maksymalnej 30 bitów, z czego 24 przypada na długość znacznika, a 6 — na korygowanie chwilowej długości bitowej pierścienia (wynik kumulacji drżenia fazy). Początkowo ustawiana jest długość logiczna rejestru równa 27 bitów. Monitor wybierany jest przy użyciu procedury rywalizacji adresów, opisanej wcześniej.



Rys.5.5 Zegar w sieci IBM Token Ring

### Priorytety

Przy korzystaniu tylko z jednego, najniższego priorytetu (000), protokół dostępu do medium nie odbiega od wcześniej opisanego. W przypadku, gdy każda ze stacji ma wypełnione bufony nadawcze, prawo do nadawania przydzielane jest stacjom kolejno ("w kółko").

Zasada korzystania z wyższych priorytetów opisana jest za pomocą bardzo złożonego algorytmu [CURR88, STAL93]. Poniżej opiszemy, w wielkim uproszczeniu, jego działanie.

Stacja może otrzymać z warstw wyższych polecenie nadania ramki o określonym priorytecie. Najniższym priorytetem jest "000" (zero), najwyższym - "111" (siedem). Pojęcie priorytetu dotyczy również znacznika: przykładowo, jeśli bity PPP pola AC wolnego znacznika mają wartość "011", to mówimy, że znacznik ma priorytet 3.

Do transmisji ramki o priorytecie  $n$  stacja może użyć wyłącznie znacznika o priorytecie  $n$  lub niższym. W sytuacji spoczynkowej, w sieci krąży znacznik wolny o priorytecie 0, który oczywiście może być natychmiast użyty do transmisji ramki o dowolnym priorytecie. Jeśli jednak ruch w sieci wzrasta, stacja pragnąca nadać ramkę o wysokim priorytecie (nazwijmy ją stacją A) musiałaby czekać, aż stacje "przed nią" nadadzą swoje ramki, co oczywiście jest niezadowolające.

Stacja A obserwuje retransmitowane przez siebie znaczniki zajęte i bada ich pole rezerwacji RRR. Stacja umieszcza w polu RRR priorytet własnej ramki do nadania, jeśli tylko uprzednio inna stacja nie umieściła tam swojej rezerwacji ramki o jeszcze wyższym priorytecie. Bity rezerwacji nadawane są począwszy od bitu najbardziej znaczącego (priorytet "011" = 3, bit "0" nadawany jako pierwszy). Dzięki temu stacja A może, przy zachowaniu 1-bitowego opóźnienia retransmisji, przeczytać dotychczasową zawartość pola, porównać ją z priorytetem własnej ramki i zmodyfikować bity rezerwacji jeśli okaże się, że priorytet jej ramki jest wyższy. Stacja dokonuje tych wszystkich operacji bit po bicie - łatwo przekonać się, że jest

to rzeczywiście możliwe. W ten sposób, podczas swego ruchu dookoła pierścienia, ramka "zbiera" rezerwacje i "dowodzi" rezerwację najwyższą do stacji nadającej (nazwijmy ją stacją B). Stacja B, usuwając nadaną ramkę, jednocześnie odczytuje zawartość pola rezerwacji, po czym nadaje znacznik o priorytecie równym tej wartości. Mówimy, że stacja B podwyższa priorytet znacznika. Taki znacznik "ominie" stacje pragnące nadać ramki o niskim priorytecie i dotrze bezpośrednio do stacji A, która go zarezerwowała.

Stacja, która podwyższyła priorytet znacznika, ma obowiązek ponownie go obniżyć, gdyż w przeciwnym przypadku znacznik o raz podwyższonym priorytecie mógłby krążyć w nieskończoność, uniemożliwiając nadawanie pozostałym stacjom. Jedynie znacznik o priorytecie 0 jest uprawniony do ciągłego krążenia.

Wykorzystanie mechanizmu priorytetów w sieci IBM Token Ring jest opcjonalne. Niektóre z priorytetów, jeżeli są stosowane, mają z góry określone przeznaczenie. Przykładowo, najwyższy priorytet (111) jest zarezerwowany dla celów zarządzania pracą stacji.

### Rekonfiguracja

Stacje są dołączane do sieci za pośrednictwem przekaźników (TCU - *Trunk Coupling Unit*), znajdujących się w "jadrze" sieci (patrz rys.7.1). Klasycznym urządzeniem grupującym osiem modułów TCU (i umożliwiającym przyłączenie ośmiu stacji) jest koncentrator okablowania MAU (*Multistation Access Unit*) o symbolu IBM 8228. W razie potrzeby dołączenia większej liczby stacji koncentratory okablowania są łączone ze sobą. Stosowanie koncentratorów okablowania sprawia, że sieć pierścieniowa IBM Token Ring jest często błędnie uważana za sieć o topologii gwiazdy.

Przekaźniki modułów TCU są zasilane indywidualnie przez stacje. Zanik napięcia (w wyniku uszkodzenia stacji lub na jej polecenie) odłącza stację i zwiera pierścień w miejscu jej dołączenia. Taka czynność może doprowadzić (i zwykle prowadzi) do chwilowego rozsynchronizowania się pierścienia i zapewne do utraty ramki. Pełna sprawność sieci przywracana jest automatycznie. Możliwości rekonfiguracji nie ograniczają się zresztą do odłączania poszczególnych stacji: dzięki opcjonalnemu zastosowaniu drugiego (zapasowego, *backup*) medium pierścieniowego, dodatkowo łączącego poszczególne MAU, staje się możliwe "omijanie" przerwanych bądź uszkodzonego kabla pomiędzy dwoma koncentratorami okablowania (IEEE 802.5c).

Od pewnego czasu produkuje się koncentratory "inteligentne", które, odpowiednio sterowane z punktu nadzoru sieci, umożliwiają zdalne dokonywanie rekonfiguracji oraz dołączanie i odłączanie stacji. Z punktu widzenia protokołu dostępu do medium, te dodatkowe funkcje nie wprowadzają żadnych elementów centralizacji.

### 5.2.9. Przykład - FDDI

Sieć FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*) została opracowana przez komitet ANSI X3T9.5. Jest to szybka sieć lokalna typu *token ring*, która z racji swych parametrów bywa zaliczana do klasy HSLN (patrz rozdział 1) i może stanowić środek techniczny do realizacji sieci **miejskiej** MAN (*Metropolitan Area Network*). Sieci takie, publiczne lub prywatne, stanowią szkielet komunikacyjny (*backbone*), m.in. umożliwiający łączność pomiędzy poszczególnymi sieciami lokalnymi. Należy pamiętać, że sieci MAN nie muszą być realizowane w technologii LAN.

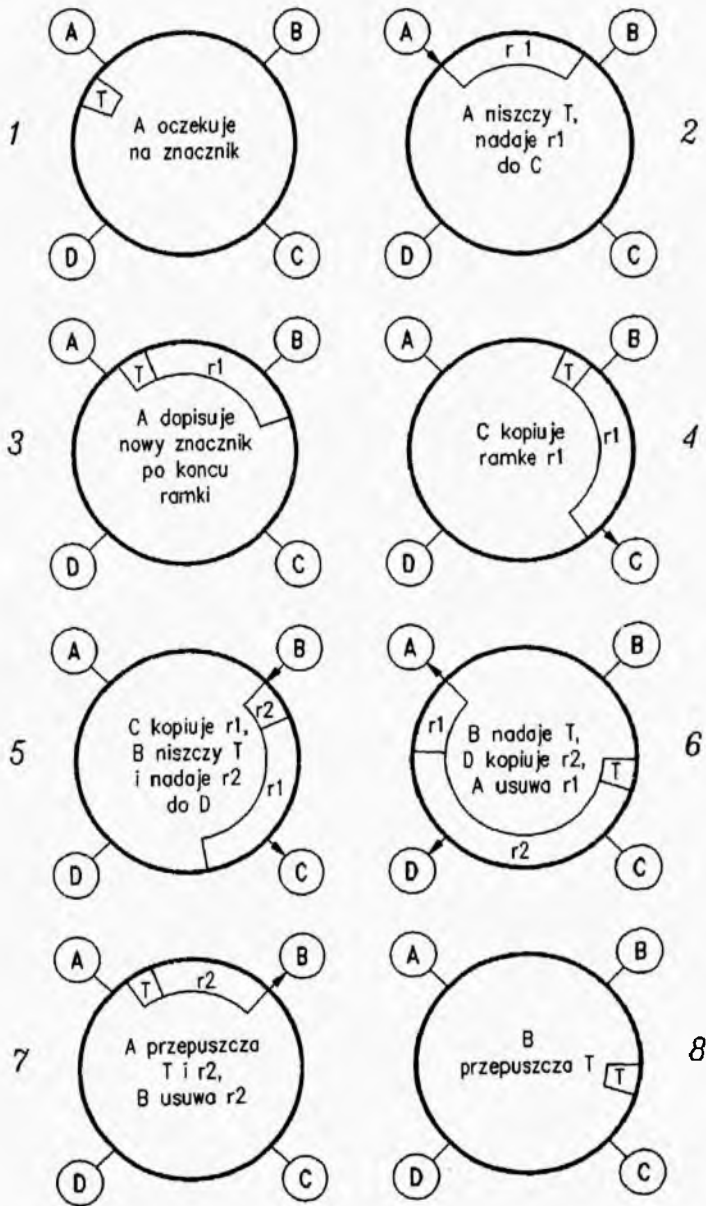
#### *Dane ogólne*

- typ: *token ring, multiple token (ETR), source removal*;
- medium: dwa przeciwbieżne światłowody, z rekonfiguracją (patrz rozdział 7.4); możliwe też użycie skrętki (wariant TPDDI) i nie korzystanie z zapasowego pierścienia;
- możliwość tworzenia złożonych struktur okablowania (drzewiasto-podobnych), przy zachowaniu topologii pierścienia;
- szybkość transmisji: 100 Mbit/s;
- kodowanie: 4B/5B (każde pół oktetu kodowane na pięciu bitach);
- całkowita długość pierścienia: rzędu stu kilometrów, ograniczona czasem obiegu informacji sterującej;
- maksymalna liczba stacji: rzędu 1000 (teoretycznie nieograniczona, dzięki innej niż w sieci IBM metodzie synchronizacji);
- maksymalna długość ramki: 4500 bajtów (ograniczenie techniczne, wynika z przyjętej metody synchronizacji i stabilności zegarów nadawczych 0.005 %);
- synchronizacja: rozproszona, niezależna w każdej stacji (bez udziału stacji-monitora).
- obsługa ruchu asynchronicznego o ośmiu poziomach priorytetów (podobnie jak w sieci IBM *Token ring*), ruchu synchronicznego (wykorzystującego wydzieloną część przepustowości sieci) i ruchu izochronicznego (periodycznej transmisji ramek w cyklu 125 mikrosekund - tylko w nowym, mało popularnym wariantcie sieci FDDI-II).

Na rys.5.6 przypomniano omówioną wcześniej zasadę działania protokołu w wariantcie ETR, zastosowanego w sieci FDDI.

Odmienne niż w sieci IBM *Token Ring*, w sieci FDDI każda stacja posiada 10-bitowy bufor elastyczny, niwelujący zjawisko *jitteru* pomiędzy własnym odbiornikiem a nadajnikiem stacji poprzedniej. Każda ramka poprzedzona jest preambułą, która jednak nie służy do synchronizacji zegarów (w dosłownym znaczeniu), lecz do wstępnego ustawiania bufora w środkowej pozycji. Taki sposób synchronizacji pozwala na obsługę wielkiej ilości stacji.

Dodatkowym środkiem zwiększającym niezawodność sieci jest optyczny przełącznik (*optical bypass*), który odłącza stację (w wypadku jej awarii) bez przerywania ciągłości pierścienia. Budżet mocy pozwala na odłączenie za pomocą tego elementu trzech kolejnych stacji.



Rys.5.6 Protokół MAC sieci FDDI (token ring w wariacji ETR)

### 5.3. Slotted ring — pierścień szczelinowy

Uwaga: w pierścieniu szczelinowym stosuje się zasadę usuwania ramki przez stację nadającą (*source removal*).

#### 5.3.1. Zasada działania

"Długość bitowa" pierścienia o szybkości transmisji 10 Mbit/s, 100 stacjach i odległości pomiędzy stacjami równej 10 m wynosi nieco ponad 150 bitów. W pierścieniu szczelinowym długość ta podzielona jest na stałą liczbę niewielkich ramek (np. 4 ramki po 38 bitów, jak w angielskiej sieci *Cambridge Ring*), zwanych również **szczelinami** lub **minipakietami**. Ramki te, których struktura jest ustalana przez stację-monitor przy starcie sieci, stale obiegają pierścień. W rozwiązaniu podstawowym każda ramka ma taki sam format, choć nie jest to absolutnie konieczne z punktu widzenia protokołu dostępu do medium. Każda ramka składa się przynajmniej z bitu "wolny/zajęty" (na początku ramki) i pola danych. Jak w każdej sieci pierścieniowej, dąży się do minimalizowania opóźnienia retransmisji — osiągalne opóźnienie w każdej stacji wynosi jeden bit. Bit "wolny/zajęty" pełni rolę podobną do znacznika w sieci *token ring*, jednakże tutaj występuje jednocześnie wiele niezależnych znaczników, z których każdy może być wolny lub zajęty. Istotną różnicą koncepcyjną jest to, że wszelkie operacje związane z nadawaniem i usuwaniem ramek dokonywane są tu na zasadzie logicznej, przez modyfikację wartości retransmitowanego bitu.

#### 5.3.2. Nadawanie

Stacja pragnąca nadawać oczekuje na odebranie ze stacji poprzedniej początku ramki, oznaczonej jako "wolna". Następnie, w przelocie (podczas retransmisji) zmienia wartość bitu zajętości na "zajęty", po czym modyfikuje zawartość pola danych, ustawiając poszczególne bity zgodnie z treścią nadawanej ramki. Po zakończeniu nadawania stacja oczekuje na obiegnięcie pierścienia przez ramkę. W chwili, gdy odbiera bit zajętości własnej ramki, ustawia jego wartość ponownie na "wolny". W ten sposób dokonuje logicznego "usunięcia" ramki (a nie fizycznego, jak w sieci typu *Token ring*). Rozpoznawanie własnej ramki prowadzone jest na zasadzie zliczania retransmitowanych ramek, gdyż oczywiście nie obowiązuje tu reguła, zgodnie z którą pierwsza odebrana ramka jest ramką własną. Wręcz przeciwnie — to na pewno nie jest ramka własna, jeśli tylko ilość szczelin jest większa od 1. Zliczanie ramek możliwe jest dzięki zachowywaniu stałej ilości szczelin, o znanej długości.

Stacja może ponownie nadawać (starać się przejąć szczelinę) dopiero po oznaczeniu uprzednio nadanej ramki jako wolnej. Dzięki temu unika się niebezpieczeństwa zmonopolizowania pierścienia przez jedną stację (*hogging*).

### 5.3.3. Odbiór

Zaadresowana stacja kopiuje retransmitowaną ramkę do wewnętrznych buforów. Stacja może również umieszczać przy końcu ramki potwierdzenie (negatywne lub pozytywne), które zostanie następnie odczytane przez stację źródłową. Podobnie jak w sieci *token ring*, nadawanie i odbiór ramek z adresem okólnikowym (*broadcast*) nie wymaga żadnych specjalnych zabiegów.

### 5.3.4. Stacja-monitor

Stacja-monitor (zwykle wybrana na stałe) może wypełniać następujące zadania:

- zadawać szybkość transmisji, śledzoną następnie przez inne stacje za pomocą układów PLL;
- wydłużać pierścień do wymaganej długości za pomocą rejestru przesuwnego (tym razem, minimalna wymagana długość bitowa pierścienia wynika z sumarycznej długości wszystkich szczelin);
- usuwać ramki, które nie zostały oznaczone jako wolne (korzystając z wartości bitu "monitora", w sposób omówiony uprzednio);

### 5.3.5. Wady i zalety.

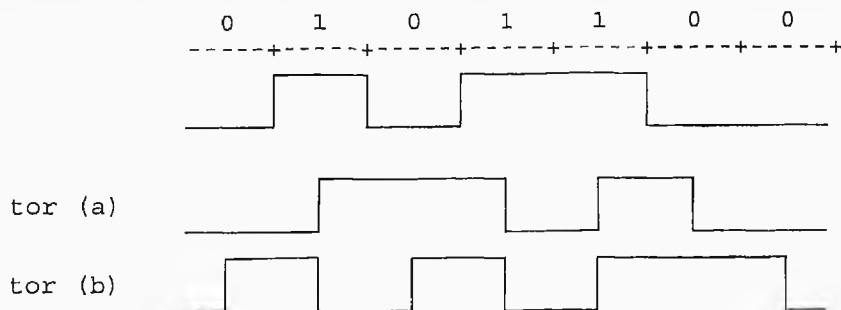
Konkretna implementacja sieci typu *slotted ring* - angielska sieć *Cambridge Ring* - pełni rolę *de facto* standardu. Sieć ta jest dość popularna w przemyśle i w zastosowaniach akademickich. Zapewnia znany i krótki czas dostarczenia wiadomości, lecz za to mało efektywnie wykorzystuje pasmo (długość pola danych jest mała w porównaniu z długością ramki). Powoduje to również konieczność rozbijania pakietów użytkowych na minipakiety w wyższych warstwach oprogramowania.

### 5.3.6. Przykład — Cambridge Ring

#### *Dane ogólne*

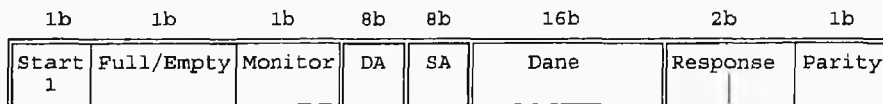
- Szybkość transmisji: 10 Mbit/s
- Kodowanie transmisyjne: zmiany sygnału jednocześnie w dwóch torach transmisyjnych (transmisja czteroprzewodowa — rys.5.7);
- Stała stacja-monitor (*Master Clock*).
- Cztery ramki po 38 bitów (2 bajty danych użytkowych).



Rys.5.7 Kodowanie transmisyjne w dwóch torach sieci *Cambridge Ring*

### Struktura ramki

Format ramki MAC pokazano na rys.5.8.

Rys.5.8 Format ramki MAC sieci *Cambridge Ring*

Pierwszy bit ramki ma zawsze wartość 1. Drugi bit określa, czy ramka jest wolna, czy zajęta. Trzeci bit służy do realizacji zadań stacji-monitora. Adresy stacji przeznaczenia i źródła zapisywane są na jednym bajcie, co wyznacza maksymalną liczbę stacji w sieci. Na dane użytkowe przeznaczone są dwa bajty. Dwa kolejne bity przeznaczone są na informacje zwrotne (potwierdzenia), przesyłane od stacji docelowej do stacji źródłowej:

- 01    pakiet zaakceptowany (skopiowany);
- 00    stacja zajęta (brak zasobów, np. buforów odbiorczych);
- 10    pakiet odrzucony (stacja celowo nie odbiera);
- 11    brak stacji o takim adresie (też wartość początkowa).

Cztery krążące ramki upakowane są gęsto, bez przerw pomiędzy nimi. Pomiedzy końcem czwartej a początkiem pierwszej ramki znajduje się przerwa synchronizacyjna, złożona z bitów 0. Strukturę transmisyjną tworzy i utrzymuje stacja-monitor.

### *Modyfikacje*

Znana jest implementacja scalona *Cambridge Ring*, w której wprowadzono następujące modyfikacje:

- dostępna usługa *broadcast*;
- zadawana długość pola danych: od 1 do 8 bajtów;
- dwa dodatkowe bity użytkowe (ramka 40-bitowa);
- możliwość wprowadzenia rezerwacji szczeliny (ruch synchroniczny);
- możliwość utworzenia struktury transmisji, dostosowanej do potrzeb (np. jedna krótka i jedna długa szczelina w pierścieniu).

### **5.4. Register insertion ring — pierścień z wtrącanym rejestrem**

Uwaga 1: w sieci tego typu za naturalne przyjmuje się usuwanie ramki przez stację przeznaczenia — *destination removal*

Uwaga 2: zasada wtrącanego rejestru (zwana też zasadą dostępu z użyciem buforów opóźniających) nie znalazła odzwierciedlenia w dokumentach IEEE 802

#### **5.4.1. Zasada działania**

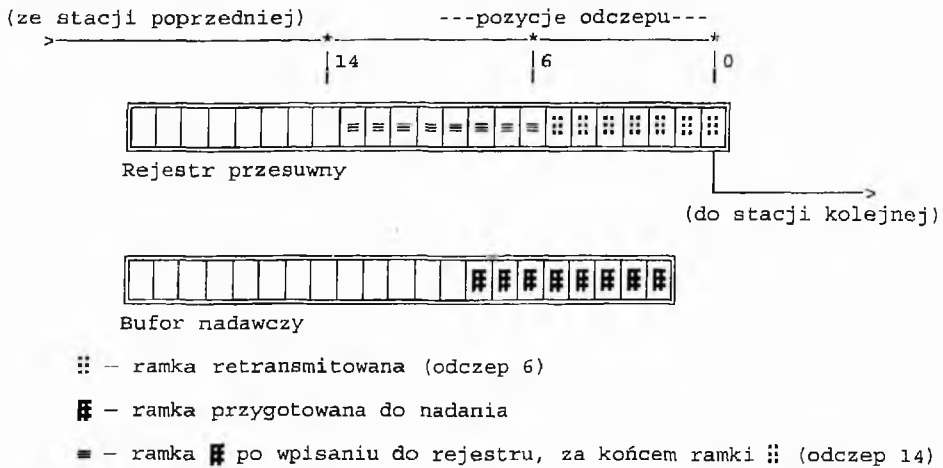
Każda stacja sieci pełni rolę cyfrowego regeneratora sygnału, wprowadzając przy tym dość znaczne (wielobitowe) i zmienne opóźnienie (przy czym opóźnienie maksymalne jest określone).

Zasadę realizacji protokołu *register insertion* MAC prześledzimy na szkicu konstrukcji stacji, przedstawionym na rys.5.9.

Stacja dysponuje dwoma buforami: rejestrem przesuwным i buforem nadawczym. Bity danych, przysyłane ze stacji poprzedniej, wprowadzane są do rejestru przesuwного, zgodnie z aktualną pozycją "odczepu". Bity danych, nadawane do stacji kolejnej, pobierane są z pierwszej komórki rejestru przesuwного (na rysunku - z prawej strony). Ramka przeznaczona do nadania jest wstępnie wpisywana do bufora nadawczego, gdzie oczekuje na przydział medium.

#### *Retransmisja i odbiór*

W fazie retransmisji stacja nie ubiega się o przydział medium (nie umieściła ramki do nadania w buforze nadawczym). Obserwujemy stację od chwili, gdy w medium panuje "cisza".



Rys.5.9 Szkic konstrukcji stacji *register insertion ring*

**Uwaga:** Przy opisywaniu zasady działania protokołów MAC sieci pierścieniowych mówimy o "ciszy w medium", rozumiejąc przez to zwykle brak transmisji danych użytkowych. W zależności od konkretnej realizacji, "cisza" taka może być wypełniona transmisją przebiegu pustego (np. flagi w protokole HDLC), służącej do podtrzymania synchronizacji zegarów transmisyjnych i do nadzoru ciągłości połączenia elektrycznego.

W stanie spoczynkowym odczep rejestru znajduje się na pozycji 0. Kolejne bity ramki odbieranej od stacji poprzedniej wprowadza się na kolejne pozycje 1,2,3... rejestru — "odczep" przesunąć się w lewo. Transmisja zawartości skrajnego prawego elementu rejestru do stacji następnej jest przy tym zablokowana. W ten sposób buforuje się w rejestrze początek ramki, aż do chwili odebrania adresu stacji przeznaczenia (mówimy tu o adresie indywidualnym, a nie o adresie *broadcast*).

Konieczność chwilowego przechowania początku ramki (i w konsekwencji - wprowadzenie znacznego i zmiennego opóźnienia retransmisji) wynika ze stosowanej zasady usuwania ramki przez stację przeznaczenia. Do chwili odczytania adresu stacja "nie wie", czy ramka jest skierowana do niej (a zatem powinna być usunięta z pierścienia), czy też nie.

Jeśli stacja rozpozna własny adres, usuwa z rejestru już odebrany początek ramki oraz odczytuje pozostałe jej bity bezpośrednio, z pominięciem rejestru. Jeśli po odczytaniu adresu stacja stwierdzi, że nie jest stacją przeznaczenia, rozpoczyna transmisję zawartości skrajnego prawego elementu rejestru przesuwającego. Podczas odbierania pozostałej części retransmitowanej ramki, kolejne bity tej ramki będą umieszczane na wciąż tej samej, ostatniej zajętej pozycji rejestru, czyli odczep nie będzie się przesunął (zgodnie z sekwencją: bit nadany — przesunięcie rejestru w prawo o jeden bit — ostatnia pozycja zwolniona — bit

wprowadzony). Po odebraniu przez stację końca ramki (po którym następuje "cisza"), odczep zacznie się przesuwać w prawo o jedną pozycję po transmisji każdego bitu, aż osiągnie pozycję spoczynkową 0.

### *Nadawanie*

Po wpisaniu własnej ramki do bufora nadawczego, stacja oczekuje na wykrycie stanu umożliwiającego przełączenie się na tryb nadawania. Stan ten określony jest jako koincydencja dwóch warunków:

- do rejestru przesuwnego nie są wprowadzane żadne nowe bity ramki, nadawanej przez stację poprzednią; końcowe bity uprzednio zbuforowanej ramki mogą się jeszcze znajdować w rejestrze;
- w rejestrze przesuwnym pozostało wystarczająco dużo wolnego miejsca (z lewej strony odczepu), by pomieścić ramkę przeznaczoną do nadania.

Przełączenie się na tryb nadawania polega na:

- równoległym przepisaniu ramki z bufora nadawczego na wolne miejsce w rejestrze przesuwnym — za końcem poprzednio retransmitowanej ramki (począwszy od aktualnej pozycji odczepu);
- przesunięciu odczepu na pierwszą wolną pozycję za przepisaną ramkę (może to być również jedyna, ostatnia pozycja w rejestrze).

W ten sposób ramka została niejako "nanizana" na medium (wciśnięta pomiędzy dwie retransmitowane ramki) i zostanie nadana w sposób automatyczny, w wyniku stopniowego "wysuwania" zawartości rejestru przesuwnego.

### **5.4.2. Nadawanie ramek typu broadcast**

Jak w każdej sieci stosującej zasadę *destination removal*, nadawanie ramek przeznaczonych dla wszystkich stacji wymaga specjalnych zabiegów. Wykorzystuje się w tym celu usługi stacji-monitora i obecność bitu "monitora" w strukturze ramki. Stacja nadająca zeruje bit "monitor", zaś stacja-monitor wpisuje w tę pozycję wartość 1. Równocześnie, stacja-monitor ma za zadanie usunąć każdą ramkę, w której bit "monitor" jest już ustawiony. Dzięki temu najpóźniej po dwóch okrążeniach pierścienia z sieci usuwane są ramki, których (w wyniku błędu) nie usunęła stacja przeznaczenia. W ten sam sposób, niejako "przy okazji", usuwane są ramki *broadcast*.

Adres *broadcast* jest unikatowym, wyróżnionym adresem. Ramki opatrzonej adresem *broadcast* nie wolno usunąć z pierścienia w normalnym trybie. Każda stacja może wykorzystać (skopiować) zawartość ramki *broadcast* tylko, gdy bit "monitor" tej ramki jest ustawiony. Pełną historię ramki *broadcast* można opisać następująco:

- Stacja nadająca wprowadza ramkę;
- Pomiedzy stacją nadającą a stacją-monitorem bit "monitor" pozostaje wyzerowany; żadna stacja nie ma prawa skopiować ramki.
- Stacja-monitor ustawia bit "monitor".
- Kolejne stacje (wszystkie stacje pierścienia) kopiuja zawartość ramki; ramka wykonuje jeden, pełen obieg pierścienia, ponownie dochodząc do stacji-monitora.
- Stacja-monitor stwierdza, że tym razem bit "monitor" jest ustawiony, a zatem usuwa "zużytą" ramkę tak, jak każdą inną ramkę pozostawioną w pierścieniu w wyniku awarii.

### 5.4.3. Wady i zalety

*Wady:*

- Każda stacja wprowadza znaczne opóźnienie retransmisji.
- Zasada *destination removal* powoduje, że nie jest możliwe przesyłanie potwierdzenia odbioru za jednym obiegiem ramki (jak w *Token ring* i *Slotted ring*); mogą być konieczne osobne ramki potwierdzające.
- Budowa stacji sieci jest złożona.
- Istnieją kłopoty z zapewnieniem równoprawnego dostępu dla wszystkich stacji.

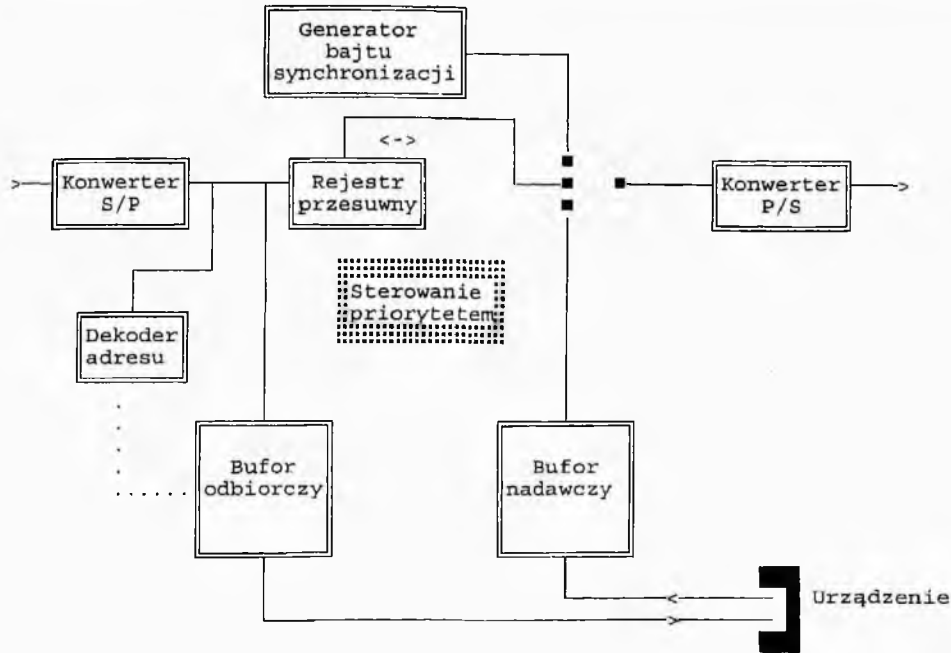
*Zalety:*

Podstawową zaletą protokołu jest doskonałe wykorzystanie pasma medium: dzięki zasadzie *destination removal* i dynamicznemu wydłużaniu długości bitowej pierścienia (przez "rozpychanie") uzyskuje się wykorzystanie medium przewyższające 100% zastosowanej szybkości transmisji, co wydaje się paradoksalne (jednocześnie w różnych częściach pierścienia może trwać skuteczna transmisja wielu różnych ramek).

### 5.4.4. Przykład — sieć SILK

Przedstawiona na rys.5.9 uproszczona konstrukcja stacji nie pozwala na dokładne prześledzenie wszystkich trybów pracy stacji. Przykładem wykorzystania omawianej metody dostępu może być szwajcarska sieć SILK ([HOPP86], rys.5.10), która posłużyła m.in. do budowy 1000-numerowej cyfrowej centrali telefonicznej, z możliwością jednoczesnej realizacji 120 rozmów telefonicznych. W tym zastosowaniu w sieci, której stacjami są cyfrowe aparaty telefoniczne, przesyła się 8-bitowe próbki cyfrowe sygnału mowy.

W konstrukcji sieci SILK w rzeczywistości wykorzystano trzy bufory: odbiorczy, nadawczy i rejestr przesuwny, wraz z układami decyzyjnymi, dokonującymi odpowiedniego przełączania wejść i wyjść tych buforów.



Rys.5.10 Wewnętrzna budowa stacji sieci SILK

Szybkość transmisji w pierścieniu wynosi ok. 17 Mbit/s. Ramka MAC składa się z następujących pól:

- jednego bajtu nagłówka;
- dwóch bajtów adresu przeznaczenia;
- od 1 do 13 bajtów informacyjnych (w zastosowaniu telefonicznym przesyłane są cztery kolejne próbki sygnału mowy po 8 bitów każda).

W sieci istnieje wyróżniona stacja *master clock*, pełniąca obowiązki monitora: zadająca szybkość transmisji i usuwająca ramki *broadcast*. Opóźnienie minimalne w każdej stacji wynosi 3.5 bajta, a maksymalne - ponad 35 bajtów.

W sieci zastosowano ciekawą odmianę topologii pierścienia, zwaną *chordal ring* lub *braided interconnection*. Stacje dysponują nie jednym, lecz trzema (przełączanymi) wejściami odbiornika i trzema wyjściami nadajnika. Dodatkowe połączenia służą omijaniu ("przeskakiwaniu") niektórych stacji, co pozwala na utrzymanie poprawnej pracy sieci jako całości przy awarii jej fragmentu. Nie jest to jedyny możliwy sposób zwiększenia niezawodności sieci o topologii pierścienia - inne sposoby zostaną omówione dalej.

## 6. Sieci o topologii szyny

### 6.1. Wstęp

Wspólną cechą sieci o topologii szyny jest wykorzystywanie medium jednorodnego, przez co w danej chwili tylko jedna stacja może nadawać skutecznie. Jeśli próbę nadawania podejmą jednocześnie kilka stacji, dojdzie do kolizji (*collision, contention*), polegającej na nałożeniu się na siebie sygnałów, co uczyni transmitowane ramki bezużytecznymi. Przypomnijmy, że w sieciach pierścieniowych, dzięki istnieniu wielu oddzielonych fizycznie odcinków medium, mieliśmy do czynienia z protokołami MAC, które umożliwiały transmisję jednoczesną (np. *slotted ring, register insertion ring*). Istotą rozwiązań warstwy MAC dla sieci o topologii szyny jest minimalizowanie, unikanie lub niedopuszczanie do powstawania kolizji.

Popularnym nieporozumieniem jest utożsamianie topologii szynowej z losowym (spotyka się też nazwę — przypadkowym) przydziałem medium, czyli takim, w którym nie można określić momentu rozpoczęcia nadawania, który gwarantowałby sukces.

Rzeczywiście, większość omówionych dalej protokołów MAC realizuje losowy przydział medium (ALOHA, CSMA, CSMA/CD). Jednakże stosowany jest również przydział szyny na żądanie (*token bus* — IEEE 802.4 — patrz rozdział 6.5) oraz inne, mniej popularne (nie omawiane w niniejszym opracowaniu) protokoły z unikaniem kolizji i ograniczoną rywalizacją.

Uwaga: Przez rywalizację rozumiemy tu procedurę, realizowaną przed rozpoczęciem nadawania ramki i zmierzającą do "zawładnięcia" medium. W wyniku rywalizacji zostanie wyłoniona stacja, która następnie nada ramkę bez narażania się na kolizję. Niekiedy utożsamia się dostęp losowy z rywalizacyjnym, co jest pewnym uproszczeniem.

Odmienne niż w większości sieci pierścieniowych, w okresach braku nadawania w medium panuje "rzeczywista" cisza. Synchronizacja zegarów odbiorników do częstotliwości nadawania następuje na początku każdej ramki. Odbiór danych musi odbywać się synchronicznie (po zsynchronizowaniu zegarów), dlatego początkowy fragment ramki stanowi sekwencja synchronizacyjna - **preambuła**, nie przenosząca danych.

### 6.2. Sieć ALOHA (pure ALOHA)

Sieć ALOHA, zbudowana na Hawajach w 1970 r., służy do dołączenia wielu terminali do jednego, centralnego komputera. Terminale zainstalowane są na obszarze setek kilometrów (ewenement wśród sieci lokalnych), na wyspach. Połączenie terminali z komputerem centralnym następuje za pośrednictwem transpondera (przekaźnika), umieszczonego na pokładzie satelity geostacjonarnego. Ze zjawiskami charakterystycznymi dla sieci lokalnej

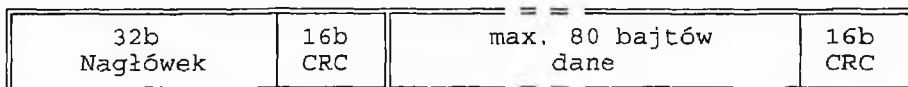
spotykamy się tu jedynie przy rozpatrywaniu komunikacji od terminali do komputera. Komunikacja w drugą stronę prowadzona jest przez rozgłaszanie: komputer transmituje ramkę zaadresowaną do określonego terminala, ignorowaną przez pozostałe terminale.

Uwaga: wspólnym medium jest tu przestrzeń elektromagnetyczna — "szyna" w postaci pojedynczego kanału łączności radiowej, wspólnego dla wszystkich terminali (w kierunku do komputera centralnego)

Całkowity czas transmisji (od terminala do satelity i z satelity do komputera centralnego) wynosi kilkaset milisekund. Jest to czas bardzo duży w stosunku do czasu transmisji ramki.

### Format ramki

Format ramki przedstawiono na rys.6.1. Długość pola danych dostosowana jest do długości linii znaków na monitorze ekranowym.



Rys.6.1 Format ramki w sieci Aloha

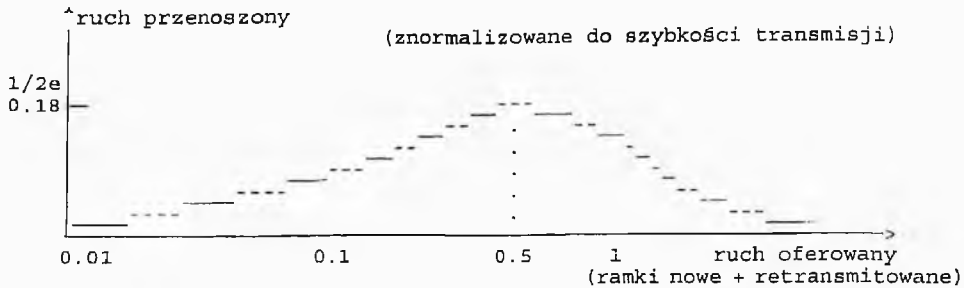
### Nadawanie

Terminal (będziemy go dalej nazywać stacją), pragnąc nadać ramkę, czyni to bez oczekiwania na spełnienie żadnego warunku. Jeśli w czasie transmisji ramki żadna inna stacja nie zacznie nadawać, ramka zostanie przekazana bez zniekształceń do komputera centralnego, który natychmiast potwierdzi jej otrzymanie w kanale łączności zwrotnej, wysyłając krótką ramkę potwierdzającą. Jeśli jednak w czasie nadawania ramki jakakolwiek inna stacja również rozpocznie transmisję, "zawadzające" o siebie ramki zostaną odebrane (przez odbiornik satelity) w stanie zniekształconym i w takim stanie przekazane do komputera. Komputer centralny stwierdzi nieprawidłową postać ramki i odrzuci ją, nie wysyłając żadnego potwierdzenia. Stacja która nadała ramkę oczekuje przez określony i stały czas na nadejście potwierdzenia. Jeżeli potwierdzenia nie otrzyma, ponowi nadawanie ramki po losowo wybranym czasie. Taki losowy wybór chwili ponownego nadawania ma za zadanie "rozdzielenie" stacji, których ramki uczestniczyły w kolizji. Należy zauważyć, że jeśli dwie ramki "zawadzą" o siebie tylko jednym bitem (ostatnim pierwszej i pierwszym drugiej ramki), obie zostaną uznane za przekłamanne.

Matematyczna analiza opisanego sposobu dostępu do medium pozwala stwierdzić, że maksymalne osiągnięte wykorzystanie sieci wynosi zaledwie 18% zastosowanej szybkości transmisji w kanale. Powyżej tej wielkości ujawniają się zjawiska charakterystyczne dla teorii katastrof (rys.6.2): ruch przenoszony (ilość ramek pomyślnie przekazanych, w proporcji do



wszystkich wysłanych ramek) spada do zera i nie wzrasta ponownie nawet w razie zaniechania prób nadawania nowych ramek, a cała aktywność sieci zostaje skierowana na, stale nieskuteczną, retransmisję uprzednio nadanych ramek. Czas dostarczania ramek do adresata rośnie przy tym do nieskończoności.

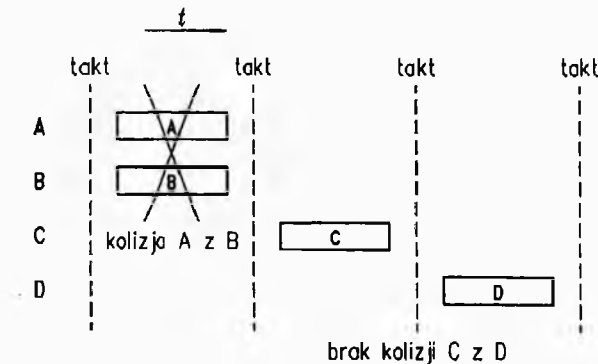


Rys.6.2 Przepustowość sieci Aloha

Ta podstawowa wada sieci wynika koncepcyjnie z braku jakiegokolwiek synchronizacji pracy poszczególnych stacji, co jest wymuszone okolicznościami (znaczne opóźnienie transmisji).

### 6.3. Zmodyfikowana sieć ALOHA (slotted ALOHA)

W celu poprawy parametrów poprzednio omówionej metody dostępu, wprowadza się koordynację stacji. Satelita rozsyła do wszystkich stacji takt o okresie większym niż czas nadawania ramki, wyznaczający początek transmisji. Takt ten dociera do wszystkich stacji praktycznie jednocześnie. Stacja ma prawo rozpocząć nadawanie tylko w chwili odebrania taktu. Jak pokazano na rys.6.3, taka synchronizacja stacji prowadzi do dwukrotnego zmniejszenia się okresu wrażliwości na kolizję (tzw. **okna kolizji**): albo dwie ramki zostają całkowicie rozdzielone w czasie, albo też nakładają się dokładnie na siebie, powodując kolizję (nie jest już możliwe "zawadzenie" np. jednym bitem). W konsekwencji maksymalne wykorzystanie sieci (ruch przenoszony) rośnie też dwukrotnie i wynosi ok. 37%.



Rys.6.3 Synchronizacja nadawania w sieci *Slotted Aloha*

## 6.4. Dostęp losowy w sieci o topologii szyny

### 6.4.1. Informacje wstępne

W odróżnieniu od sieci satelitarnej ALOHA, "naziemne" sieci lokalne o topologii szyny łączy stacje oddalone od siebie na odległość rzędu pojedynczych kilometrów. Co za tym idzie, maksymalne opóźnienie propagacji sygnału pomiędzy dwiema najbardziej oddalonymi stacjami jest niewielkie, porównywalne z czasem transmisji ramki. W takich warunkach staje się sensowne obserwowanie aktywności w medium przed i w czasie nadawania, prowadzące do lepszej wzajemnej synchronizacji działań poszczególnych stacji. Stacja może obserwować aktywność pozostałych stacji niemal w czasie rzeczywistym, a nie jedynie odległą historię tej aktywności, jak w przypadku sieci ALOHA.

#### *Terminologia*

Terminem **CSMA** (*Carrier Sense Multiple Access*) oznaczamy klasę protokołów dostępu losowego, w których stacja przed nadawaniem prowadzi nasłuch "nośnej", czyli aktywności w medium<sup>1</sup>. Wykrycie ciszy w medium upoważnia stację do rozpoczęcia nadawania.

W razie stwierdzenia zajętości medium w trakcie nasłuchu przed nadawaniem, stacja stosuje jeden z algorytmów wyznaczających chwilę podjęcia ponownej próby nadawania, o nazwach:

- *1-persistent* (CSMA trwały);
- *nonpersistent* (CSMA nietrwały);
- *p-persistent* (CSMA p-trwały).

Terminem **CSMA/CD** (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) oznacza się podklasę protokołów z nasłuchem nośnej przed nadawaniem (CSMA), w których dodatkowo prowadzi się nasłuch także w trakcie nadawania.

Uwaga 1: Nasłuch w trakcie nadawania umożliwia wykrycie kolizji podczas (na początku) nadawania ramki. Jest to cecha wariantu CSMA/CD. W wariacie CSMA fakt zajścia kolizji nie jest wykrywany przez stację nadającą, a jedynie dedukowany z faktu nieotrzymania jawnej ramki-potwierdzenia ze stacji docelowej (jak w sieci ALOHA).

Uwaga 2: W pewnych przypadkach prowadzenie nasłuchu podczas nadawania jest po prostu niemożliwe z przyczyn technicznych - tak dzieje się np. w przypadku radiowych sieci lokalnych, które także można rozpatrywać jako sieci o topologii szyny.

---

<sup>1</sup> Przy transmisji w pasmie podstawowym (*baseband*) nie występuje nośna jako taka — oznacza to po prostu fakt nadawania przez którąkolwiek z pozostałych stacji.

Podobnie jak w sieci ALOHA, wykrycie (CSMA/CD) lub stwierdzenie (CSMA) kolizji powoduje konieczność ponowienia transmisji, po losowo wybranym okresie oczekiwania (*backoff*). Dla polepszenia stabilności protokołu zakres, z którego dokonuje się losowania tego okresu, jest zwiększany po każdej kolejnej nieudanej próbie nadania tej samej ramki, czego efektem jest stopniowe "wycofywanie" ramek retransmitowanych jako składnika ruchu oferowanego. Jednym z algorytmów takiego powiększania zakresu losowania jest algorytm *binary exponential backoff*, stosowany w sieci Ethernet.

### Zjawiska fizyczne

W sieci *baseband* (bez modulacji) nadany sygnał propaguje dwukierunkowo. Jeśli stacja K nada ramkę, to wszystkie stacje sieci (włączając w to również stację K) odbiorą nadawany sygnał po opóźnieniu wynikającym z oddalenia fizycznego od stacji nadającej. Dla stacji K będzie to opóźnienie zerowe.

Na odcinku  $L$  medium jednorodnego, maksymalne opóźnienie propagacji pomiędzy najbardziej oddalonymi stacjami A i Z wynosi  $\tau$ :

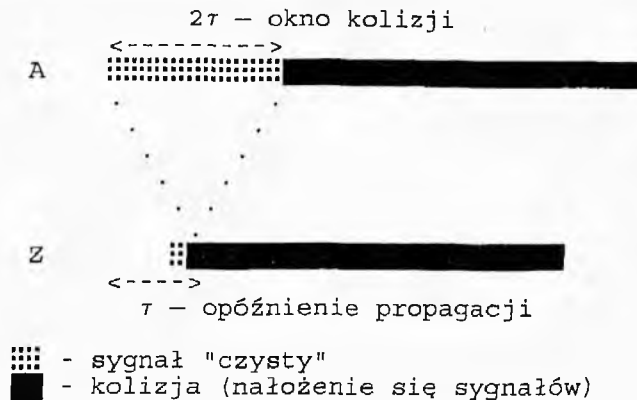
$$\tau[\text{s}] = \frac{L[\text{m}]}{2 \cdot 10^8[\text{m/s}]}$$

gdzie mianownik ułamka jest szybkością rozchodzenia się sygnału w medium (kablu metalicznym).

Na rys.6.4 przedstawiono przypadek skrajny (najmniej "korzystny"), w którym dwie najbardziej oddalone stacje A i Z rozpoczynają nadawanie na podstawie stwierdzenia ciszy w medium. Stacja A stwierdza ciszę i zaczyna nadawać. Stacja Z rozpoczyna nadawanie już przed dotarciem do niej, po czasie  $\tau$ , sygnału od już nadającej stacji A. Oczywiście taka sekwencja zdarzeń prowadzi do powstania kolizji. Ramka nadawana przez stację Z, obserwowana w miejscu dołączenia tej stacji, zostanie niemal natychmiast przekłamana. Natomiast do stacji A sygnał nadawany przez stację Z dotrze znów po czasie  $\tau$ , czyli w sumie - po czasie  $2\tau$  od chwili rozpoczęcia nadawania przez A.

Zauważmy, że kolizja (widziana przez stację A) nie może powstać później, niż po czasie  $2\tau$ , gdyż oznaczałoby to, że stacja Z zaczęła nadawać już usłyszeniu sygnału stacji A (po upływie czasu  $\tau$ ), co nie jest dozwolone. Jeśli natomiast stacja Z zacznie nadawać wcześniej (np. po czasie  $0.5\tau$ ), to kolizja widziana przez stację A nastąpi też odpowiednio wcześniej (w tym przypadku - po czasie  $1.5\tau$ ).

Widzimy zatem, że każda nadawana ramka jest przez czas  $2\tau$  wrażliwa na kolizje. Okres ten nazywamy **oknem kolizji**. Jeśli kolizja nie nastąpi w czasie trwania okna kolizji, to ramka zostanie nadana pomyślnie.



Rys.6.4 Definicja okna kolizji

### 6.4.2. CSMA

Zasadę dostępu do medium w sieci CSMA można sformułować następująco:

- stacja prowadzi nasłuch w medium;
- w zależności od wyniku nasłuchu (medium wolne lub zajęte), stacja postępuje zgodnie z podanym poniżej algorytmem;
- jeśli po określonym czasie od nadania ramki stacja nie odbierze jawnej ramki potwierdzenia, to wnioskując, że nastąpiła kolizja, wstrzymuje się od wszelkich działań przez losowo wybrany okres czasu (*backoff*) i ponawia procedurę.

W wypadku stwierdzenia zajętości medium przed nadawaniem, stacja postępuje w następujący sposób:

- *Nonpersistent* (stacja "nieśmiała")  
Jeśli medium jest wolne ("cisza"), stacja nadaje natychmiast.  
Jeśli medium jest zajęte, stacja odczeka losowo wybrany okres czasu i ponawia procedurę dostępu. W tym wariantcie pozostaje potencjalnie niewykorzystany czas po zakończeniu poprzedniej transmisji, co prowadzi do pewnej straty przepustowości.
- *1-persistent* (stacja "zachłanna")  
Jeśli medium jest wolne, stacja nadaje natychmiast.  
Jeśli medium jest zajęte, stacja w dalszym ciągu prowadzi nasłuch, a po stwierdzeniu zakończenia poprzedniej transmisji — natychmiast zaczyna nadawać. Jeśli na nadawanie oczekują dwie lub więcej stacji, przyjęcie tego wariantu "gwarantuje" zajście kolizji z prawdopodobieństwem 1. Kolidujące ramki zostaną jednak rozdzielone w dalszej fazie, przy kolejnych próbach nadawania.

- *p-persistent* (stacja "sprytna");  
Stacja stara się "przechytrzyć" inne stacje, z intencją uniknięcia kolizji. Jeśli medium jest wolne, stacja nadaje z prawdopodobieństwem  $p$ , a wstrzymuje się od nadawania na określony czas (np. czas propagacji  $\tau$ ) z prawdopodobieństwem  $(1-p)$ , po czym ponawia procedurę. Jeśli medium jest zajęte, stacja kontynuuje nasłuch do chwili zwolnienia medium i postępuje jak wyżej.

Jak łatwo zauważyć, warunek  $N * p > 1$  (gdzie  $N$  jest liczbą stacji pragnących nadawać jednocześnie) "gwarantuje" zajście kolizji. Aby się przed tym uchronić można dobrać dostatecznie małe prawdopodobieństwo  $p$ , lecz wtedy niepotrzebnie rosną opóźnienia.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w razie zajścia kolizji wszystkie uczestniczące w niej ramki są nadal transmitowane w całości.

### 6.4.3. CSMA/CD

Aby zminimalizować czas trwania kolizji (i tym samym ograniczyć stratę przepustowości sieci) rozszerza się algorytm CSMA o nasłuch nośnej także podczas nadawania (CSMA/CD).

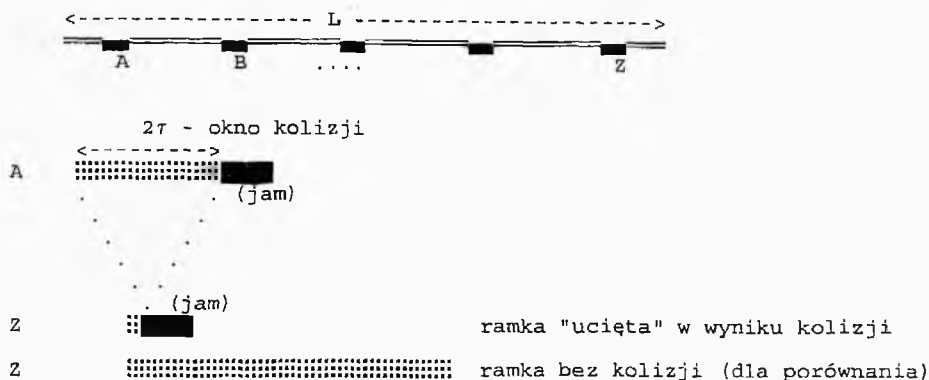
#### *Zasada działania*

- Stacja rozpoczyna nadawanie tak, jak w wypadku CSMA.
- Podczas nadawania stacja prowadzi nasłuch. Wykrycie kolizji polega na stwierdzeniu rozbieżności pomiędzy ramką nadawaną i odbieraną (techniczne sposoby wykrywania kolizji omówiono dalej). Podobnie jak w CSMA, kolizja (i tym razem — także jej wykrycie) może nastąpić wyłącznie wewnątrz okna kolizji.
- W razie wykrycia kolizji, stacja natychmiast przestaje nadawać ramkę i nadaje sygnał służbowy "wymuszenia kolizji" (*jam*), ułatwiający pozostałym stacjom wykrycie kolizji. Stacja dalej postępuje tak, jak w algorytmie CSMA przy braku potwierdzenia, czyli oczekuje losowy kwant czasu (*backoff*) i ponawia próbę nadawania.

#### *Ograniczenie na długość ramki*

Na rys.6.5 pokazano skrajną sytuację, w której może dojść do kolizji. Jak można łatwo zauważyć, maksymalny czas transmisji ramki "uszkodzonej" w wyniku kolizji jest zaledwie minimalnie większy od okna kolizji - po stwierdzeniu kolizji nie nadaje się już dalszego ciągu ramki. W związku z tym, aby osiągnąć korzyść w stosunku do CSMA, długość najkrótszej ramki (wyrażona w jednostkach czasu nadawania) musi być większa, niż czas trwania okna kolizji. W przeciwnym razie kolizja nie mogłaby być wykryta w trakcie nadawania, a w algorytmie CSMA/CD nie stosuje się jawnych ramek potwierdzających. Sytuacja taka prowadziłaby do drastycznego pogorszenia parametrów sieci. Dlatego też **minimalna długość**

ramki MAC jest istotnym parametrem sieci CSMA/CD. Jeśli ilość danych przesyłanych w ramce jest niewystarczająca, dane te należy uzupełnić do wymaganej długości.



Rys.6.5 Kolizja w sieci CSMA/CD

Miarą sprawności sieci jest stosunek długości okna kolizji do czasu nadawania ramki, wyrażany np. przez:

$$a = \frac{(\text{okno kolizji})}{(\text{czas nadawania ramki})} = \frac{L \cdot B}{n}$$

gdzie:

- L = długość medium [m]
- n = długość ramki [bit]
- B = szybkość transmisji [bit/s]

lub

$$a' = \frac{(\text{czas propagacji})}{(\text{czas transmisji})} = \frac{(\text{długość bitowa medium})}{(\text{długość ramki})} = \frac{L \cdot B}{n \cdot V}$$

gdzie:

V = szybkość propagacji sygnału ( $2 \cdot 10^8$  m/s)

Im współczynnik  $a$  lub  $a'$  jest mniejszy, tym sprawniejsza sieć (w porównaniu z CSMA). Współczynnik ten można zmniejszyć przez:

- wydłużanie ramki (sensowne tylko w granicach potrzeb);
- skracanie medium transmisyjnego;
- zmniejszanie szybkości transmisji.

Paradoksalnie, im sieć ma gorsze parametry, tym jest sprawniejsza. Jako kompromis przyjmuje się zwykle ograniczenie długości jednorodnego odcinka medium do kilkuset metrów, a większe odległości transmisji (obszar objęty siecią) osiąga się przez stosowanie węzłów pośredniczących.

### *Metody wykrywania kolizji*

Kolizja następuje w wyniku nałożenia się osłabionego w medium transmisyjnym sygnału stacji odległej na (duży) sygnał stacji nadającej. Istnieją dwie główne metody wykrywania kolizji:

- w systemie transmisyjnym, przez wykrycie parametrów elektrycznych sygnału, charakterystycznych dla kolizji;
- przez porównywanie wartości logicznej bitów nadanych i odebranych.

Wykrycie kolizji w systemie transmisyjnym (stosowanym zwykle przy transmisji *baseband*) następuje z chwilą odebrania sygnału o poziomie wyższym, niż mógłby wygenerować własny nadajnik. Jeśli jednak duża liczba stacji uczestniczy jednocześnie w kolizji, może dojść do nasycenia medium (*saturation*), co mogłoby być niesłusznie zinterpretowane jako "cisza".

Wykrywanie kolizji przez porównywanie bitów opiera się na założeniu, że bity nadawane będą przekłamywane przez sygnał odległej stacji. Może jednak zdarzyć się sytuacja, w której odbiornik przypadkowo odbierze nadane bity bez przekłamań (np. duże osłabienie sygnału odległego lub sygnał odległy identyczny z sygnałem nadawanym).

W obu wypadkach konieczność poprawnego wykrywania kolizji prowadzi do ograniczenia długości medium transmisyjnego, warunkującego tłumienie sygnału odległego. To ograniczenie jest niezależne od ograniczenia wynikającego z chęci skrócenia okna kolizji.

### *Oczekiwanie na ponowienie transmisji (backoff)*

Aby polepszyć stabilność sieci, stosuje się tzw. *truncated binary exponential backoff*: podwajanie długości przedziału, z którego losuje się czas oczekiwania po każdym (nieudanym) ponowieniu nadawania ramki. W rezultacie ponawiane ramki nadawane są coraz rzadziej, zmniejszając chwilowe obciążenie sieci i umożliwiając innym stacjom nadawanie ramek nowych. Prowadzi to jednak w skali całej sieci do dyscypliny LIFO dostarczania ramek: ramki nowe mają duże szanse na dostarczenie do adresata wcześniej, niż ramki już wielokrotnie ponawiane. To "odwrócenie kolejności" jest zjawiskiem globalnym; dotyczy sieci jako całości, a nie poszczególnych stacji, z których każda może w danej chwili próbować nadać tylko jedną (konkretną) ramkę.

#### **6.4.4. Przykład — Ethernet**

Sieć Ethernet, opracowana przez firmy DEC, Intel i Xerox (DIX), po drobnych zmianach stała się przedmiotem standardu IEEE 802.3 (CSMA/CD).

*Dane ogólne*

- Szybkość transmisji: 10 Mbit/s.
- Kodowanie transmisyjne: kod Manchester.
- Okno kolizji: 51.2  $\mu$ s (czas transmisji 512 bitów)
- Minimalna przerwa pomiędzy ramkami: 9.6  $\mu$ s
- Minimalna długość ramki: 72 bajty.
- Maksymalna długość ramki: 1526 bajtów.
- Długość pola danych: 46..1500 bajtów.

W zastosowanym algorytmie *truncated binary exponential backoff* po dziesięciu nieudanych próbach nadawania (1024 okresy jednostkowe oczekiwania) nie powiększa się dalej zakresu losowania, a po 16 nieudanych próbach stacja melduje o niepowodzeniu. Okres jednostkowy oczekiwania (*slot\_time*) jest nieznacznie dłuższy od okna kolizji (51.2  $\mu$ s).

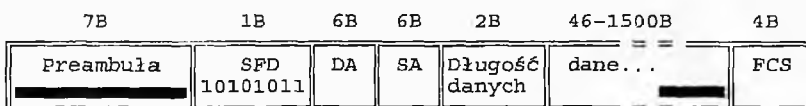
Algorytm wstrzymywania można zapisać w następujący sposób:

```

CONST backoff_limit = 16  {16 prób}
CONST limit = 10         {po 10 próbie już nie zwiększamy
                          przedziału losowania}
while attempts < backoff_limit
  k := min( attempts, limit)
  r := Random( 0, 2k)
  delay := r * slot_time

```

Format ramki przedstawiono na rys.6.6. 6-bajtowe (lub 2-bajtowe) pole adresu przeznaczenia pozwala na wyróżnianie adresów indywidualnych i grupowych (*broadcast*). Pole danych o długości mniejszej niż 46 bajtów uzupełnia się do tej długości za pomocą bajtów "wypełniaczy".



SFD – Start Frame Delimiter (start ramki)

Rys.6.6 Format ramki w sieci IEEE 802.3 (Ethernet)

**Uwaga:** Istnieje drobna, lecz istotna różnica formatu ramki oryginalnej sieci Ethernet i sieci IEEE 802.3. W sieci oryginalnej w miejscu pola długości danych umieszczone jest pole typu ramki. Ramka typu 802.3, przekazana wyższemu warstwowi przystosowanemu do pracy w oryginalnej sieci Ethernet, będzie dla nich niezrozumiała (niepoprawna) i odwrotnie. W jednej sieci mogą być natomiast transmitowane ramki obu typów, w obrębie dwóch logicznie osobnych grup stacji.



Sieć o maksymalnej rozpiętości (limitowanej przez stosunek okna kolizji do długości ramki) uzyskuje się przez łączenie odcinków medium za pomocą regeneratorów.

Standard określa wiele wariantów konstrukcyjnych sieci, oznaczanych skrótowo za pomocą trójki:

< szybkość transmisji > < sposób transmisji > < rozpiętość segmentu >

gdzie np. 10BASE5 oznacza sieć o szybkości transmisji 10 Mbit/s, transmisji w paśmie podstawowym (bez modulacji), o rozpiętości segmentu do 5\*100m.

Dane wersji pierwotnej **10BASE5** (tzw. "gruby" Ethernet):

- Maksymalna rozpiętość sieci (odległość dwóch skrajnych stacji): 2.5 km.
- Maksymalna długość segmentu: 500 m.
- Medium transmisyjne: kabel koncentryczny 50 ohm typu RG-11, żółty, sztywny.
- Wykrywanie kolizji: w układzie transmisyjnym.
- Maksymalna liczba stacji w sieci: 1024 (ograniczenie administracyjne).
- Maksymalna liczba stacji w segmencie: 100 (ograniczenie techniczne).

Z uwagi na odbicia w kablu, stacje mogą być dołączane nie gęściej, niż co 2.5 metra (odpowiednie oznaczenia na kablu). Dołączenia odbiornika/nadajnika do medium dokonuje się za pomocą szybkozłącza penetrującego (igła wkłuwana w kabel). Dla wygody, z uwagi na dużą sztywność kabla, pozostałe układy stacji (kontroler) mogą znajdować się w odległości do 50m od miejsca dołączenia do medium. Wyniesiony nadajnik/odbiornik nosi nazwę **MAU** (*Medium Attachment Unit*, nie mylić z koncentratorom MAU dla sieci IBM Token ring - jest to zupełnie inne urządzenie!). Styk pomiędzy MAU i kontrolerem (kartą sieciową), zwany **AUI** (*Attachment Unit Interface*), został unormowany: połączenie zachodzi za pośrednictwem czteroparowego kabla, zakończonego 15-stykowymi złączami. Standaryzacja jest tu o tyle istotna, że do złącza AUI, w które wyposażono większość kart sterowników sieciowych, można dołączać nadajniki/odbiorniki różnych typów, współpracujące z różnymi mediami, jak światłowód czy skrętka.

Dane wersji **10BASE2**:

- Maksymalna odległość dwóch stacji: 925m (z użyciem regeneratorów).
- Maksymalna długość segmentu: 185m.
- Medium transmisyjne: kabel koncentryczny 50 ohm typu RG-58A/U, czarny, giętki.
- Maksymalna liczba stacji w segmencie: 30.

Z uwagi na giętkość kabla nie ma potrzeby wydzielenia odbiornika/nadajnika - są one umieszczone bezpośrednio na karcie sterownika. Dołączenia stacji do medium dokonuje się przez przecięcie kabla, zamontowanie gniazd BNC i połączenie końców ze sterownikiem za pomocą złącza T.

Aby minimalizować odbicia (złącza wprowadzają nieciągłości) zaleca się dołączanie stacji w odległości nie mniejszej niż 50cm od siebie.

Pierwotnej nazwy tego wariantu: *Cheapernet*, sugerującej kompromisowe parametry i "tanie" rozwiązania, już się nie stosuje. W chwili obecnej jest to najbardziej rozpowszechniony wariant, powoli ustępujący rozwiązaniu opartemu na zastosowaniu skrętki (patrz poniżej).

Dane wersji **10BASE-T** (gdzie T oznacza *Twisted pair*, czyli skrętkę):

- Maksymalna odległość dwóch stacji: 500m.
- Maksymalna długość "segmentu": 100m.
- Medium transmisyjne: nieekranowana skrętka telefoniczna.

Szyna jednego segmentu jest w tym wariantcie zredukowana do "obiektu punktowego" i mieści się w wielowejsciowym module, zwanym *multiport repeater*. Jego zadania to:

- przenoszenie prawidłowego sygnału z dowolnego wejścia na pozostałe wyjścia;
- z chwilą wykrycia kolizji na dwóch wejściach - transmisja sygnału "wymuszenia kolizji" na wszystkich wyjściach;
- przenoszenie sygnału "wymuszenia kolizji" z jednego wejścia do wszystkich pozostałych wyjść.

Stacje dołączane są do omawianego modułu za pomocą dwóch torów (czterech przewodów): toru wejściowego (kierunek transmisji do stacji) i toru wyjściowego (kierunek transmisji od stacji do modułu *multiport repeatera*). Podstawową zaletą wariantu 10BASE-T jest wielka elastyczność, możliwość stosowania jako segmentu w ramach innego wariantu sieci oraz korzyści z wykorzystania okablowania telefonicznego, zwykle już znajdującego się w budynku.

Znany jest również starszy wariant 1BASE5 (STARLAN), pracujący z szybkością 1 Mbit/s na parze przewodów skręconych, wariant szerokopasmowy 10BROAD36 oraz liczne odmiany wariantu 10BASE-F, wykorzystującego światłowody [ETHE].

Uwaga: do sprawnego działania sieci Ethernet niezbędne jest bardzo staranne wykonanie projektu jej instalacji, z uwzględnieniem dość złożonych zależności numerycznych - patrz [ETHE].

#### 6.4.5. Przykład - *Fast Ethernet*

Prowadzone przez poszczególnych producentów i wewnątrz IEEE prace nad stworzeniem szybkiej (100 Mbit/s) sieci o topologii szyny stały się dotychczas źródłem wielu nieporozumień. Proponowane są dwa konkurencyjne rozwiązania:

- 100 BASE-T (*Fast Ethernet*): metoda dostępu typu CSMA/CD, z odpowiednimi modyfikacjami (nie identyczna ze stosowaną w dotychczasowych sieciach Ethernet). Opisana w IEEE 802.3u. Wspierana m.in. przez Fast Ethernet Alliance i firmę 3COM.

- 100VG-AnyLAN<sup>1</sup>: metoda dostępu DPAM, nie mająca wiele wspólnego z CSMA/CD. Opisana w IEEE 802.12. Promowana m.in. przez firmy IBM i HP. Odnoszenie się do tego wariantu jako do "szybkiego Ethernetu" jest oczywistym nieporozumieniem.

Oba rozwiązania, dla zmniejszenia wymagań na medium transmisyjne przy dużej szybkości nadawania, używają jednocześnie wielu (dwóch lub czterech) torów transmisyjnych i stosują zaawansowane kody liniowe. Należy podkreślić, że dotychczas (sierpień 1995r) żaden z opisywanych wariantów nie stał się przedmiotem normy międzynarodowej. Prowadzone są intensywne prace m.in. nad stworzeniem zbiorów testów, pozwalających stwierdzić, czy dany produkt sieciowy klasy 100 Mbit/s gwarantuje współpracę z innymi podobnymi produktami.

## 6.5. Token bus — szyna z przesyłaniem znacznika

Sieć typu *token bus* jest przykładem sieci o topologii szyny (ogólnie — drzewa), lecz o nielosowej, deterministycznej zasadzie dostępu na żądanie.

### 6.5.1. Zasada działania

Stacjom dołączonym do szyny przydziela się unikatowe adresy MAC. W sieci transmitowane są dwa rodzaje informacji: ramki użytkowe i znacznik - *token*, choć w rzeczywistości znacznik jest po prostu specjalnie oznakowaną ramką. Pod względem funkcjonalnym procedura dostępu przypomina *token ring*: tworzy się pierścień logiczny, w którym każda stacja zna numer stacji poprzedniej i następnej (w żaden sposób nie związany z fizycznym rozmieszczeniem stacji). Jednakże, odmiennie niż w sieci o topologii pierścienia, w sieci *token bus* znacznik nie krąży autonomicznie i nie jest "przekłamywany" w trakcie retransmisji, lecz jest wysyłany w sposób jawny, do konkretnej (logicznie kolejnej) stacji.

Podobnie jak w innych sieciach o topologii szyny, każdą transmisję ramki (w tym także znacznika) poprzedza nadanie preambuły synchronizacyjnej, zaś w sytuacji braku nadawania w medium panuje "rzeczywista" cisza. Nie ma zatem problemu z utrzymywaniem synchronicznej pracy sieci: każdorazowo nadajnik synchronizuje wszystkie odbiorniki.

### *Nadawanie*

Stacja, która odebrała skierowany do siebie znacznik, uzyskuje na ściśle określony czas prawo do nadawania ramek, adresowanych do dowolnej innej stacji sieci. Jeśli stacja nie korzysta z prawa nadawania, lub też gdy czas przeznaczony na nadawanie upłynął, ma ona obowiązek jawnie wysłać ramkę-znacznik do stacji logicznie kolejnej, która tym samym

<sup>1</sup> Rozwiązanie znane uprzednio pod nazwą 100 BASE-VG. Nazwę zmieniono.

stanie się uprawniona do nadawania. Dzięki takiej regulacji dostępu, w medium nie zachodzą kolizje podczas normalnej pracy sieci.

W sieci mogą współistnieć stacje włączone w pierścień logiczny i stacje pozostające poza nim. Stacjom spoza pierścienia logicznego nie wolno nadawać z własnej inicjatywy, natomiast stacje należące do pierścienia mogą nadawać ramki do dowolnych stacji, także tych spoza pierścienia. Ponadto, stacja nadająca ramkę może upoważnić zaadresowaną stację-odbiorcę do natychmiastowego nadania odpowiedzi, bez konieczności oczekiwania na znacznik. Możliwość ta może być wykorzystana do realizacji usług bezpołączeniowych z potwierzzeniami warstwy LLC (patrz rozdział 4.2).

### *Dołączanie logiczne nowych stacji*

Populacja stacji w sieci może się zmieniać, np. mogą być włączane (lub wręcz instalowane) nowe stacje. Każda stacja ma obowiązek co określony czas wysyłać ramkę zaproszenia do włączenia się nowych stacji do sieci. Ramkę-zaproszenie wysyła się na normalnych zasadach, opisanych powyżej. Ramka ta zawiera adres stacji wysyłającej i stacji logicznie następnej. Tylko stacje jeszcze nie włączone w pierścień logiczny i oznaczone adresem leżącym wewnątrz podanego w ramce-zaproszeniu zakresu mogą odpowiedzieć. Ponieważ stacje te nie posiadają znacznika, a ich ilość nie jest z góry znana, to nadawane przez nie ramki odpowiedzi mogą uczestniczyć w kolizji. Do rozstrzygnięcia kolizji stosuje się procedurę rywalizacji adresów, opisaną dalej na przykładzie sieci IEEE 802.4.

### *Inicjalizacja pracy sieci*

Procedury dołączania logicznego nowych stacji wymagają, by istniał już, choćby bardzo mały, czynny pierścień logiczny, w którym krąży znacznik. Z chwilą inicjalizacji pracy sieci pierścień logiczny jest pusty. Procedura inicjalizacji służy do wyłonienia stacji, która jako pierwsza (i na razie jedyna) znajdzie się w pierścieniu, po czym "zaprosi" kolejną stację i odda jej znacznik. Od tej chwili pierścień logiczny stanie się otwarty dla pozostałych stacji i będzie się stopniowo powiększał. Istnieje analogia pomiędzy procedurą inicjalizacji sieci *Token bus* i wyborem stacji-monitora w sieci *Token ring*.

### *Odlączenie logiczne stacji*

Stacja może zostać usunięta z pierścienia logicznego z własnej inicjatywy lub przez stację poprzednią (w razie uszkodzenia). Opisany niżej bardzo prosty algorytm usuwania stacji został zastosowany w sieci IEEE 802.4.

Stacja B, pragnąca odłączyć się z własnej inicjatywy, oczekuje na otrzymanie znacznika ze stacji poprzedniej A, a następnie odsyła znacznik ponownie do tej stacji, informując ją również o adresie własnego następnika C. Stacja A zmienia adres swego następnika z B na

C i przesyła znacznik do stacji C. Stacja B może się następnie ponownie włączyć do sieci w sposób opisany uprzednio.

Stacja otrzymująca znacznik powinna natychmiast zareagować: albo rozpocząć nadawanie własnych ramek, albo odesłać znacznik dalej. Stacja A, po przesłaniu znacznika do swego następnika B, prowadzi przez krótki czas nasłuch w medium. Jeśli stacja ta stwierdzi, że B nie wykazuje aktywności (nie nadaje ramki lub znacznika), ustala adres kolejnego następnika i przesyła mu znacznik, a jeśli okaże się to nieskuteczne - inicjuje procedurę zapraszania stacji do włączenia się w pierścień logiczny. Od tej chwili stacja B (najprawdopodobniej po prostu "wyłączona z prądu") nie znajduje się już w pierścieniu logicznym.

### *Sytuacje awaryjne*

Przykładem sytuacji awaryjnej jest pojawienie się w sieci kilku znaczników. Jeśli stacja, która właśnie otrzymała znacznik stwierdzi, że w medium toczy się inna transmisja (czyli że musi istnieć drugi znacznik), natychmiast zaprzestaje nadawania. Jeśli w wyniku tego ilość znaczników spadnie do zera, normalna praca sieci zostanie przywrócona w procedurze inicjalizacji.

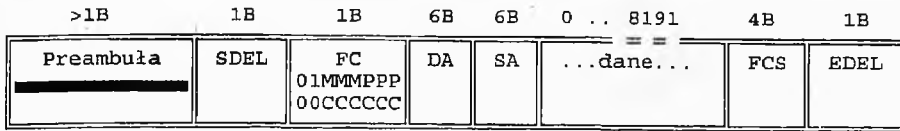
### *Długość ramki*

W sieci *token bus* ograniczenie górne na długość ramki wynika wyłącznie z ustaleń administracyjnych i potrzeb aplikacji (ograniczenia fizycznego brak). Z powodu braku konfliktów w trakcie normalnej pracy, nie ma również ograniczenia na długość minimalną ramki.

## **6.5.2. Przykład — IEEE 802.4 Token bus**

### *Dane ogólne*

- Szybkość transmisji: wariantowo 1, 5, 10, 20 Mbit/s.
- Sposób transmisji: *baseband*, *broadband* lub *carrierband* (technologia *broadband* z tylko jednym kanałem - użytkowo zbliżona do transmisji w paśmie podstawowym).
- Medium: kabel współosiowy lub światłowodowy.
- Całkowita długość ramki: max. 8191 bajtów.
- Format ramki: patrz rys.6.7.



SDEL - *Start Delimiter* (start ramki)  
 EDEL - *End Delimiter* (koniec ramki)  
 FC - *Frame Control* (pole sterujące ramki)  
 Ramki użytkowe (przenoszą dane z LLC):  
 MMM - 0 = *request no response* ("normalna" ramka)  
       1 = *request with response* (żądanie odpowiedzi, LLC-3)  
       2 = *response to a request* (odpowiedź na żądanie, LLC-3)  
 PPP - priorytet  
 Ramki służbowe (kod w polu CCCCC):  
       0 = *claim token* (przy inicjalizacji)  
       1 = *solicit successor 1* (zapraszanie nowych stacji)  
       2 = *solicit successor 2* (zapraszanie nowych stacji)  
       3 = *who follows* (poszukiwanie kolejnego następnika)  
       4 = *resolve contention* (rozstrzygnięcie kolizji pomiędzy stacjami zapraszającymi)  
       5 = TOKEN  
       6 = *set successor* (odpowiedź na zaproszenie do włączenia się)

Rys.6.7 Format ramki w sieci IEEE 802.4 Token Bus

### Dołączanie nowych stacji

- Stacja B nadaje zaproszenie (ramkę służbową *solicit\_successor*) i oczekuje na odpowiedź przez określony kwant czasu, nieco większy od dwukrotnego maksymalnego opóźnienia propagacji. Jeśli przez ten czas nie nadejdzie żadna odpowiedź, stacja zapraszająca kontynuuje normalną pracę.
- Jeśli nadejdzie odpowiedź od jednej stacji C (zawarta w ramce *set\_successor*), stacja B modyfikuje przechowywany adres stacji następnej (zmienia jego wartość z E na C), po czym przesyła znacznik do stacji C, która tym samym zostaje włączona w pierścień logiczny. Stacja C zna już adres swego poprzednika B (zawarty w otrzymanym znaczniku) i następnika E (z zawartości pierwotnej ramki zapraszającej).
- Jeśli odpowiedź zostanie wysłana jednocześnie przez dwie lub więcej stacji (np. C i D), stacja zapraszająca B stwierdzi zajście kolizji. Stacja B wysyła zatem ramkę *resolve\_contention*, po czym oczekuje 4 kwanty czasu.

Każdy kwant czasu odpowiada innej kombinacji dwóch najbardziej znaczących bitów adresu stacji, ubiegających się o włączenie do pierścienia, np.:

- 11 — kwant pierwszy;
- 10 — kwant drugi;
- 01 — kwant trzeci;
- 00 — kwant czwarty.

Stacja o dwóch pierwszych bitach adresu 11 odpowiada w kwancie pierwszym, o bitach 01 — w trzecim itd. Jeśli stacja o adresie niższym stwierdzi transmisję we wcześniejszym kwancie czasu, to wstrzymuje się od nadawania (rezygnuje z procedury rywalizacji w bieżącej turze).

- Dwie stacje o różnych adresach, lecz identycznych dwóch początkowych bitach adresu, nadają ramkę w tym samym kwancie, co oczywiście prowadzi do kolizji. Po stwierdzeniu kolizji, stacja zapraszająca ponownie wysyła ramkę *resolve contention* i ponownie oczekuje przez cztery kwanty na odpowiedź. Tylko stacje które nadały odpowiedź w pierwszej fazie mają prawo do dalszego ubiegania się o włączenie do pierścienia logicznego. Tym razem jednak kwanty czasu przyporządkowane są dwóm kolejnym bitom adresu.
- W razie ponownego wystąpienia konfliktu, procedurę powyższą powtarza się dla dwóch kolejnych (mniej znaczących) bitów adresu. Niepowtarzalne adresy MAC stacji gwarantują, że procedura zakończy się sukcesem (dokładnie jedna stacja nada pomyślnie odpowiedź). Stacja ta zostanie włączona do pierścienia logicznego w opisany wcześniej sposób.

Uwaga: działanie procedury opisanej powyżej nie zmienia się (logicznie), jeśli zamiast "najbardziej znaczących bitów adresu" zostaną użyte "najmniej znaczące bity" (choć kolejność dołączania stacji będzie inna).

### *Inicjalizacja*

Procedury inicjalizacji dokonuje się, gdy stacje stwierdzą brak aktywności sieci w ciągu ustalonego czasu (czyli np. w wypadku włączenia sieci lub zagubienia znacznika). Procedura ta opiera się na zasadzie rywalizacji adresów, podobnie jak przy dołączaniu nowej stacji. Każda stacja nadaje ramkę służbową *claim-token*, dopełnioną nieistotnymi danymi o długości 0,2,4 lub 6 kwantów czasu, w zależności od wartości dwóch pierwszych bitów adresu tej stacji. Po zakończeniu nadawania stacja nasłuchuje. Jeśli stwierdzi, że inna stacja wciąż nadaje, to wyłącza się z procedury rywalizacji. Jeśli zaś w medium panuje cisza, stacja ponawia procedurę, używając dwóch kolejnych bitów swego adresu. Po "zużyciu" w ten sposób wszystkich bitów adresu, stacja uznaje się za posiadacza znacznika i rozpoczyna opisaną wcześniej procedurę zapraszania pozostałych stacji do dołączenia się do pierścienia logicznego.

### **6.5.3. Przykład — ARCNET (Datapoint Corp.)**

Sieć ta została opracowana znacznie wcześniej niż standardy IEEE 802 (1977 r.) i nie jest zgodna z dokumentem 802.4. Mimo to, dzięki swej niezawodności i niskiej cenie wciąż cieszy się zainteresowaniem.

### *Dane ogólne*

- Szybkość transmisji: 2.5 Mbit/s, *baseband*. Produkowany jest też wariant o szybkości transmisji 20 Mbit/s oraz wersja pochodna, o szybkości transmisji 100 Mbit/s (sieć TCNS).
- Topologia: drzewo (aktywne i pasywne regeneratory).
- Medium: skrętka, kabel współosiowy, światłowód.
- Długość pakietu: max. 512 bajtów.
- Liczba stacji: max. 255.
- Wewnętrzne bufony w stacjach: o wielkości 4 ramek (2 KB).
- Zmodyfikowany protokół *token bus*.
- *Broadcast*: adres 0.

Uwaga: Niektóre warianty okablowania przypominają gwiazdę. Nie zmienia to faktu, że koncepcyjnie sieć ma topologię szyny/drzewa.

Stacja nadająca na wstępie wysyła do stacji przeznaczenia krótki pakiet z zapytaniem, czy stacja ta jest zdolna do przyjęcia ramki danych (czy dysponuje wolnymi buforami). Dopiero po pozytywnej odpowiedzi wysyłana jest ramka danych. Po odebraniu ramki stacja przeznaczenia odpowiada ramką potwierdzenia. Unikatową wśród sieci lokalnych cechą sieci ARCNET jest transmisja bajtowa, a nie bitowa (wszelkie informacje sterujące mają postać określonych znaków ASCII).



## 7. Porównanie własności sieci

Porównanie właściwości dotyczyć będzie cech i własności konstrukcyjnych, wynikających bezpośrednio z przyjętej topologii (pierścienia lub szyny) i algorytmu dostępu do medium.

### 7.1. Zagadnienia transmisyjne

#### *Pierścień*

Cechą pierścienia jest wykorzystywanie każdego odcinka medium przez tylko jeden nadajnik (transmisja punkt-punkt). Stacje pełnią rolę cyfrowych regeneratorów sygnału. Osiągnięcie odległości transmisji pomiędzy dwiema stacjami rzędu setek metrów nie przedstawia żadnych trudności, także z wykorzystaniem skrętki. Wprowadzane przez długie odcinki medium opóźnienie propagacji nie wpływa bezpośrednio na działanie protokołu dostępu, a jedynie może zwiększyć czas oczekiwania na nadanie ramki. Tym samym technicznie możliwe (i bardzo proste) jest zbudowanie pierścienia o promieniu np. 10 kilometrów.

Charakter transmisji w pierścieniu umożliwia również łatwe stosowanie kabli światłowodowych, całkowicie odpornych na zakłócenia, co może mieć podstawowe znaczenie w sieciach przemysłowych.

#### *Szyna*

W sieci o topologii szyny lub drzewa i o protokole dostępu typu CSMA/CD występuje wiele czynników natury technicznej, ograniczających jej rozmiary (rozpiętość i rozmieszczenie stacji):

- Konieczność wykrywania kolizji przez stację nadającą (porównywanie silnego sygnału własnego ze słabym sygnałem odległym) sprawia, że maksymalne tłumienie sygnału nie może przekroczyć określonej wielkości; dla kontrastu, w pierścieniu dopuszczalne jest tłumienie bardzo duże, ograniczone jedynie czułością odbiornika, odbierającego pojedynczy sygnał.
- Dołączone równolegle nieaktywne nadajniki wprowadzają do sieci szum analogowy, pogarszający warunki pracy odbiorników. Głównie stąd wynika ograniczenie na liczbę stacji w segmencie medium.
- Złącza (penetrujące lub BNC) wprowadzają do medium nieciągłości, będące powodem odbić. Silne odbicie może zostać błędnie zinterpretowane jako kolizja, co spowoduje ponowne wysłanie ramki. W celu minimalizacji wpływu odbić konieczne są ograniczenia w ilości i rozmieszczeniu stacji.

Poza ograniczeniami technicznymi, podstawowym ograniczeniem logicznym jest konieczność zapewnienia odpowiedniej sprawności protokołu dostępu. Wydłużanie medium powoduje wydłużanie okna kolizji i spadek sprawności protokołu (przy stałej długości ramki). Zwiększanie szybkości transmisji przy stałej długości medium powoduje ten sam efekt, przez skrócenie czasu nadawania ramki. Podobną zależność na sprawność protokołu można też wyprowadzić dla sieci pierścieniowych - tam jednak możemy się bronić, wprowadzając odpowiednie warianty protokołu (*Early Token Release*, *destination removal*), nie znajdujące odpowiednika w sieciach o topologii szyny. Ponadto w sieciach pierścieniowych nie wystąpi, charakterystyczne dla CSMA/CD, załamanie się protokołu z chwilą skrócenia ramek poniżej pewnej wartości.

Powyższe rozważania sugerują, że sieci pierścieniowe są bardziej podatne na wydłużanie medium i zwiększanie szybkości transmisji.

## 7.2. Synchronizacja

### *Pierścień*

W pierścieniu wymagane są specjalne zabiegi, służące do utrzymania synchronizacji poszczególnych stacji. Możliwe sposoby realizacji tych zabiegów zostały przedstawione poniżej:

- Układ PLL jest aktywny w każdej stacji — praca pierścienia na uśrednionej "częstotliwości własnej".
- Zegar odbiorczy każdej stacji jest synchronizowany, za pośrednictwem układu PLL, z ciągiem danych nadawanych ze stacji poprzedniej. Kvarcowy zegar nadajnika pracuje na ustalonej częstotliwości. W każdej stacji niezbędny jest bufor elastyczny (wariant stosowany w sieci FDDI).
- Każda stacja posiada dwa układy PLL: odbiorczy i nadawczy.
- Jedna stacja nadaje i retransmituje dane, używając do tego celu generatora kvarcowego. Pozostałe stacje śledzą częstotliwość zegarową za pomocą układów PLL, wytwarzających wspólny, odbiorczy i nadawczy przebieg zegarowy. Bufor niezbędny jest tylko w jednej stacji ("aktywny monitor") - jak w sieci IBM Token ring.
- Transmisja bitów następuje asynchronicznie.

Bufor lub buforów służą do zniwelowania zjawiska drżenia fazy (*jitter*), powstającego w wyniku zniekształcenia (pochylenia) zboczy sygnału w medium. Drżenie fazy akumuluje się przy łańcuchowym połączeniu nadajników i odbiorników, prowadząc do chwilowych zmian długości bitowej pierścienia (w granicach kilku bitów). Zjawisko *jitteru* ogranicza maksymalną ilość stacji (odcinków medium), np. do 260 w sieci IBM Token Ring.

Bufory elastyczne niezbędne są również z uwagi na konieczność utrzymania minimalnej (*Token ring*) lub określonej (*Slotted ring*) długości bitowej pierścienia.

### *Szyna*

Wyżej opisane zjawiska nie występują. Synchronizacja wymagana jest jedynie w trakcie transmisji ramki. Nadawanie następuje każdorazowo z szybkością określoną przez kwarcowy zegar nadawczy stacji nadającej. Każda nadawana ramka musi być poprzedzona preambułą synchronizacyjną, umożliwiającą układom PLL odbiorników wytworzenie poprawnego przebiegu zegara odbiorczego. Preambuła synchronizacyjna ma zwykle długość kilku bajtów (strata przepustowości!), choć w eksperymentalnej wersji sieci Ethernet z powodzeniem stosowano bardzo krótką preambułę 1-bitową.

## **7.3. Izolacja galwaniczna**

### *Pierścień*

Z uwagi np. na prądy błędzące nie jest możliwe galwaniczne połączenie stacji w pierścieniu o średnicy przekraczającej kilkanaście metrów. Każdy odcinek medium musi być odseparowany obustronnie lub jednostronnie, za pomocą optoizolatora lub transformatora. Izolacja taka zapewniana jest automatycznie w wypadku użycia medium światłowodowego.

### *Szyna*

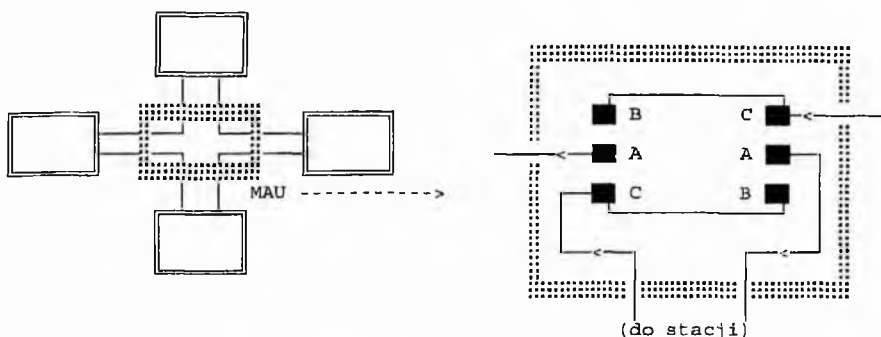
Z analogicznych powodów, ekran kabla musi pozostać nieuziemiaiony lub zostać uziemiaiony dokładnie w jednym miejscu (uziemiaenie to musi wytrzymać przepływ znacznych prądów!). Kabel nieuziemiaiony sprowadza niebezpieczeństwo nawet śmiertelnego porażenia. Kabla nie wolno prowadzić na zewnątrz budynku, bo mógłby posłużyć jako piorunochron. Nadajnik-odbiornik jest z konieczności sprzężony galwanicznie z kablem, lecz za to musi być odseparowany (transformatorowo, optycznie lub pojemnościowo) od pozostałych układów stacji.

## **7.4. Niezawodność**

### *Pierścień*

Spotykane jeszcze przekonanie, że sieć pierścieniowa jest z definicji bardziej zawodna od sieci o topologii szyny, zupełnie nie znajduje uzasadnienia. Pierścień jest jedyną topologią, w której nawet po przerwaniu medium lub "złośliwym" uszkodzeniu dowolnej stacji zostaje zachowana fizyczna możliwość komunikacji pomiędzy pozostałymi stacjami. Do wykorzystania tej unikatowej cechy (nie występującej np. w przypadku sieci Ethernet) niezbędne jest jednak uzupełnienie wszystkich stacji o dodatkowe wyposażenie sprzętowe i programowe, umożliwiające rekonfigurację sieci. Znanych jest kilka sposobów zapewnienia niezawodności sieci pierścieniowej:

- automatyczne odłączanie stacji i zwieranie miejsca jej dołączenia za pomocą przekaźnika, jak w sieci IBM *Token Ring* (rys.7.1), lub specjalnego "przekaźnika optycznego", jak w sieci FDDI (bilans mocy optycznej pozwala na "zwarcie" trzech kolejnych stacji);
- drogi obejściowe (*Chordal Ring*), jak w sieci SILK;
- dwa pierścienie przeciwbieżne, umożliwiające rekonfigurację sieci w razie uszkodzenia odcinka medium lub stacji (z inicjatywy stacji uszkodzonej lub nawet bez jej "zgody" — rys.7.2), jak w sieci FDDI.



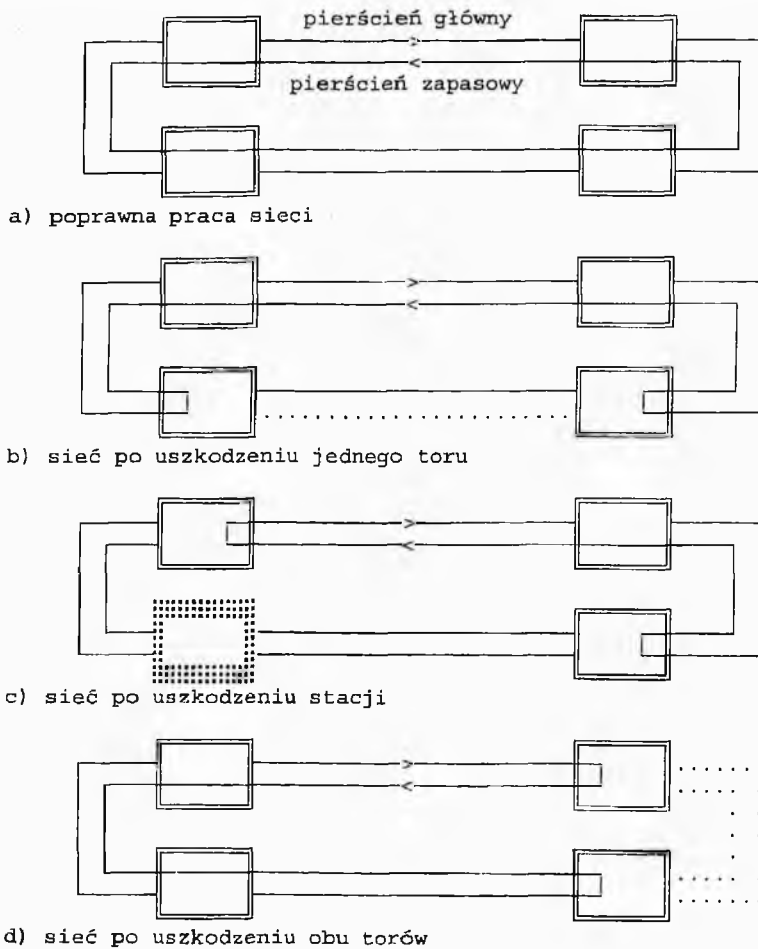
MAU Multistation Access Unit – koncentrator okablowania  
 A-C stacja włączona w pierścień  
 A-B stacja odłączona od pierścienia i "zapełniona"

Rys.7.1 Mechanizm rekonfiguracji w sieci IBM Token Ring

W tym ostatnim rozwiązaniu, algorytm rekonfiguracji pierścienia umożliwia nawet rozpadnięcie się sieci na pewną ilość niezależnych, mniejszych sieci, z których każda zachowuje zdolność do pracy. Przywrócenie pierwotnego składu sieci następuje automatycznie, po usunięciu uszkodzenia. Algorytm rekonfiguracji jest jednak dość skomplikowany, a jego wykonanie może być długotrwałe.

W sieci pierścieniowej stacja, która jako pierwsza wykryje błąd postaci ramki, może wnioskować o uszkodzeniu stacji poprzedniej lub łączącego te dwie stacje odcinka medium. Lokalizacja uszkodzeń może być zatem włączona do procedur utrzymaniowych oprogramowania stacji.

Generalnie, algorytmy rekonfiguracji wymagają, by każda stacja B знаła adres sprzętowy swego poprzednika A. Stacja B, po stwierdzeniu uszkodzenia po stronie odbiorczej (np. brak sygnału) może, znając adres stacji A, wysłać do tej stacji (poprzez sprawny łańcuch pozostałych stacji) ramkę służbową z żądaniem dokonania rekonfiguracji. Wspólne działanie stacji A i B umożliwia "ominięcie" uszkodzenia. Populacja stacji w sieci może ewoluować, dlatego algorytm "poznawania sąsiadów" (*Neighbour notification*), wchodzący w skład procedur utrzymaniowych, wykonywany jest ciągle (w cyklu kilkusekundowym).



Rys.7.2 Rekonfiguracja podwójnego pierścienia przeciwbieżnego

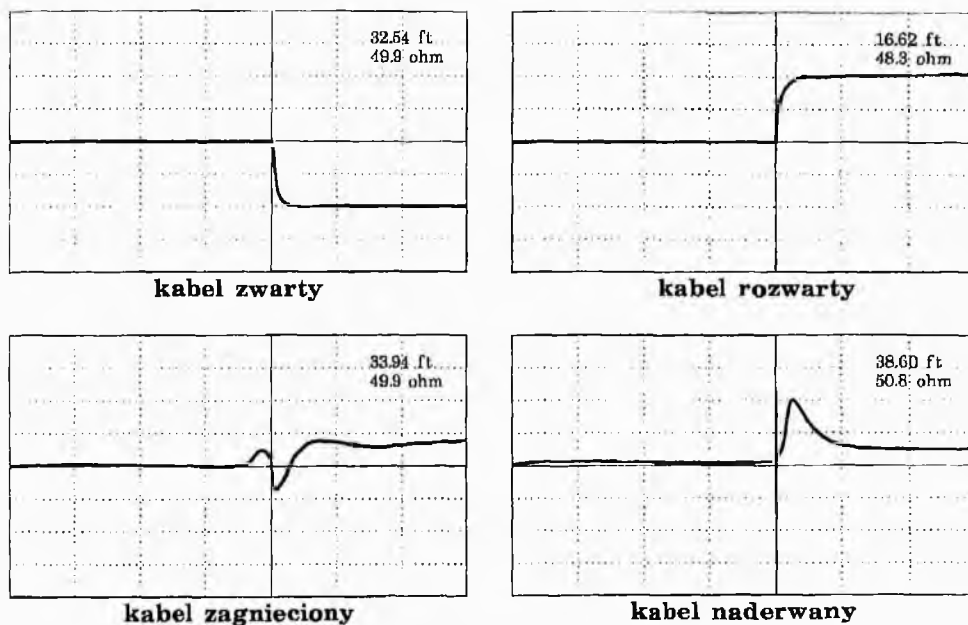
Przykładowo, w sieci IBM Token ring algorytm taki polega na periodycznym wysyłaniu (w trybie *broadcast*) specjalnych ramek służbowych: AMP (*Active Monitor Present*) i SMP (*Standby Monitor Present*). Kluczowym pomysłem jest tu wykorzystanie opisanych uprzednio bitów odpowiedzi A (adres rozpoznany) i C (ramka skopiowana): za każdym razem tylko jedna stacja (bezpośredni następnik stacji nadającej) skopiuje ramkę z nieustawionymi bitami A i C, czyli ramkę, która nie była jeszcze retransmitowana przez żadną inną stację. Skopiowanie ramki o takiej postaci pozwala przyjąć, że adres jej nadawcy jest zarazem adresem stacji bezpośrednio poprzedniej.

## Szyna

Pasywne medium jako takie (zwłaszcza kabel współosiowy) jest bardzo niezawodne. Każda stacja może jednak doprowadzić do awarii całej sieci poprzez:

- zwarcie do stałego potencjału w miejscu dołączenia stacji, co całkowicie uniemożliwia nadawanie przez inne stacje — brak skutecznej obrony;
- długotrwałą, niekontrolowaną aktywność (*jabber*, "bełkotanie") — układ "*anti-jabber*" odłącza nadajnik po upływie maksymalnego, ustalonego czasu nadawania.

Rekonfiguracja jest możliwa jedynie w wypadku praktycznego zdublowania sprzętu sieci (samego medium i poszczególnych stacji), co jest bardzo kosztowne i niezbyt praktyczne, choć może być konieczne w sieciach przemysłowych (IEEE 802.4b).



Rys.7.3 Wskazania reflektometru

Znajdowanie miejsca uszkodzenia kabla współosiowego (np. zagięcia, zagniecenia lub przerwania) w zasadzie wymaga zastosowania **reflektometru**, pozwalającego na ustalenie miejsca awarii na podstawie pomiaru opóźnienia sygnału odbitego od nieciągłości (rys.7.3). Ma on najczęściej postać urządzenia zewnętrznego, a jego praca wyklucza równoczesną pracę sieci. Niektóre układy scalone dla sterowników sieciowych dysponują wbudowanymi funkcjami reflektometru, jednak w praktyce systemy nie korzystają z tej możliwości. Samodzielne zbudowanie reflektometru, złożonego z oscyloskopu i generatora krótkich impulsów, jest w pełni możliwe.

### 7.5. Niedeterminizm

Z uwagi na występowanie kolizji, zasada losowego dostępu do medium (szyny) nie gwarantuje określonego, maksymalnego czasu oczekiwania na pomyślne nadanie ramki. Jednakże, przy odpowiednio małym obciążeniu sieci, prawdopodobieństwo "zbyt długiego" oczekiwania jest bardzo niewielkie. W szczególności, prawdopodobieństwo to może być mniejsze, niż prawdopodobieństwo błędu w sieci pierścieniowej, powodującego konieczność przeprowadzenia długotrwałej procedury rekonfiguracji.

Sieci pierścieniowe, z procedurą dostępu na żądanie, są "deterministyczne" (znany maksymalny czas oczekiwania), dlatego też są preferowane są do zastosowań przemysłowych, do kontroli procesów technologicznych nie tolerujących nieterminowego dostarczania sygnałów sterujących. "Determinizm" ten dotyczy wszakże zjawisk związanych z normalną, sprawną pracą sieci. W ogólności, oba typy sieci (czy raczej ich implementacje) są niedeterministyczne. Trzeba jednak powiedzieć, że ramki dostarczane są z prawdopodobieństwem bardzo bliskim jedności.

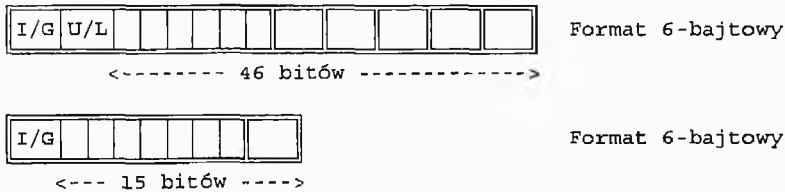
## 8. Adresowanie i łączenie sieci

### 8.1. Adresowanie wewnątrz sieci lokalnej

Docelowy punkt dostępu do usług L-SAP, dla którego przeznaczona jest ramka nadawana w sieci LAN, wskazywany jest dwustopniowo, przez kombinację dwóch adresów:

- adresu warstwy MAC (pole DA w ramce MAC), wyznaczającego żadaną stację docelową, a ściślej - określony sterownik sieciowy;
- adresu żadanego punktu L-SAP w tej stacji, zapisanego w polu DSAP "ramki" LLC.

Każdy sterownik sieciowy identyfikowany jest przez przypisany mu w procesie produkcyjnym (najczęściej) lub ustawiony przez administratora unikatowy, indywidualny adres "sprzętowy" (adres warstwy MAC). W sieciach typu *token ring*, *token bus* i CSMA/CD (ogólnie w sieciach IEEE 802) dopuszcza się dwa formaty pól adresowych warstwy MAC (adresu przeznaczenia DA i adresu źródła SA): 2-bajtowe i 6-bajtowe (patrz rys.8.1). W danej sieci oba adresy muszą być zapisane w tym samym formacie.



Rys.8.1 Formaty pól adresowych ramki MAC (w/g IEEE 802)

Bit I/G adresu przeznaczenia DA określa, czy chodzi o adres indywidualny (0), czy grupowy (1). W przypadku adresu źródłowego SA w sieci IBM Token Ring, wartość (1) bitu I/G informuje, że w ramce MAC znajdują się dodatkowe informacje adresowe (RI, *route information*), niezbędne przy stosowaniu metody łączenia sieci, zwanej *source routing* (patrz dalej).

Bit U/L określa sposób, w jaki adres został przydzielony:

- 0 — adres nadany globalnie (*universally administered*)
- 1 — adres nadany lokalnie (*locally administered*)

Adres globalny identyfikuje jednoznacznie stację w skali ogólnoswiatowej (gwarancja unikatowości adresu). Przyznawaniem producentom pul adresów globalnych zajmuje się agenda IEEE. Przykładowa postać tego typu adresów to:

<kod\_producenta> <numer\_seryjny\_wyrobu>



Adres lokalny nadawany jest przez operatora sieci i jednoznacznie identyfikuje stację lub grupę stacji w ramach danej, konkretnej sieci. Format 2-bajtowy dotyczy wyłącznie adresów administrowanych lokalnie.

Adres *broadcast* składa się z 16 lub 48 bitów "1" i dotyczy wszystkich aktywnych stacji w danej sieci.

Wśród lokalnie administrowanych adresów grupowych IEEE wyróżnia tzw. **adresy funkcyjne**, oznaczające "dobrze znane" obiekty nie przypisane do konkretnego adresu sprzętowego, takie jak: procesy realizujące oprogramowanie NETBIOS (patrz dalej), monitor błędów, urządzenie pośredniczące przy łączeniu sieci (mostek) itd. [HELD94].

Również adresy punktów L-SAP (tym razem tylko jednobajtowe!) występują w odmianie indywidualnej i grupowej. W zależności od zastosowania sieci lokalnej będziemy mieli do czynienia z różnymi kombinacjami typów użytych adresów MAC i LLC. Można zaryzykować twierdzenie, że wbrew pozorom stosunkowo mało praktyczne jest stosowanie indywidualnego adresu MAC i LLC. Przykładowo, jeśli przyjąć, że L-SAP związany jest z konkretnym, ogólnie znanym procesem aplikacyjnym, który może migrować w sieci (nie jest przypisany do określonej stacji fizycznej), to właściwe będzie użycie grupowego lub rozsiewczego adresu MAC w połączeniu z indywidualnym adresem LLC.

## 8.2. Łączenie sieci jednostkowych

Dotychczas mówiliśmy o zjawiskach zachodzących w **jednostkowych** sieciach lokalnych. Łączenia takich sieci jednostkowych dokonuje się, gdy:

- z potrzeb użytkownika wynika konieczność zwiększenia ilości stacji ponad granice wyznaczone przez parametry konkretnej, zastosowanej sieci lokalnej;
- połączenia za pomocą sieci lokalnej wymagają dwie lub kilka grup użytkowników, z których każda oddalona jest od pozostałych na odległość przekraczającą możliwości pojedynczej sieci jednostkowej;
- należy scalić w jedną, logiczną całość dwie (lub więcej) dotychczas używane sieci jednostkowe;
- stacje sieci lokalnej wymagają dołączenia do wspólnej infrastruktury komunikacyjnej (np. sieci rozległej WAN lub sieci miejskiej MAN).

W zależności od konkretnych potrzeb, do łączenia sieci używa się następujących urządzeń, czy klas systemów pośredniczących, od dawna zresztą znanych w telekomunikacji:

- *repeater* (regenerator)
- *bridge* (mostek)
- *router*
- *gateway* (brama, śluza)

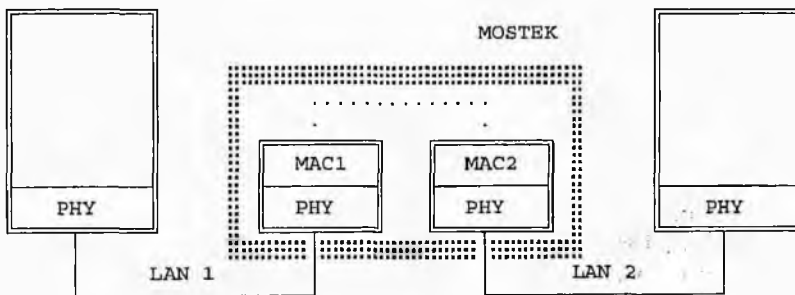
Rozróżnienie dotyczy ostatniej, najwyższej warstwy protokołów, obsługiwanej przez system pośredniczący: mówimy, że system działa "na poziomie warstwy  $n$ " lub "w warstwie  $n$ ". Oznacza to, że w systemie pośredniczącym zaimplementowano jednostkę realizującą protokół wybranej warstwy  $n$  dla każdego systemu końcowego (w naszym przypadku - dla każdej dołączonej sieci jednostkowej).

### 8.2.1. Regenerator

Regenerator łączy dwa segmenty sieci lokalnej tego samego typu na poziomie warstwy fizycznej. Służy do rozszerzenia obszaru obsługiwanego przez sieć, przez niwelowanie efektów niedoskonałości odcinka medium. Przykładowo, za pomocą tego typu urządzeń (maksymalnie czterech) można łączyć segmenty sieci Ethernet aż do uzyskania rozpiętości przewidzianej standardem, ale nigdy ponad to ograniczenie.

### 8.2.2. Mostek

Mostek łączy sieci na poziomie warstwy MAC (w ogólności — na poziomie warstwy łączy danych w strukturze ISO OSI) — rys.8.2.



Rys.8.2 Łączenie sieci za pomocą mostka

Generalną zasadą pracy mostka tzw. **przezroczystego** (*transparent*, IEEE 802.1d) jest to, że odbiera on (kopiuje) wszystkie ramki nadawane w każdym dołączonym segmencie sieci<sup>1</sup>, analizuje adresy MAC w każdej odebranej ramce i na tej podstawie decyduje o natychmiastowym "zapomnieniu" tej ramki bądź nadaniu jej w pozostałych segmentach (ramka z wykrytym błędem jest "zapominana" od razu). Zauważmy, że mostek nigdy nie nadaje skopiowanej ramki w segmencie, z którego ją otrzymał - jest to niepotrzebne i spowodowałoby powstanie "dublera" uprzednio nadanej ramki.

<sup>1</sup> W najczęściej spotykanym przypadku mostek łączy dwie sieci. Takie ograniczenie nie jest istotne z punktu widzenia zasady pracy mostka.

Mostek dokonuje "selekcji negatywnej": nadaje w pozostałych segmentach tylko ramki zaadresowane do stacji, o których wiadomo, że nie znajdują się w segmencie, w którym daną ramkę nadano. Przy podejmowaniu takich decyzji mostek posługuje się tablicami adresowymi (*routing tables*), związanymi z poszczególnymi dołączonymi sieciami i zawierającymi adresy SA odczytane z "podglądanych" ramek. Adresy te ujawniają bowiem aktualną populację stacji aktywnych w danej sieci. Tablice adresowe są uaktualniane na bieżąco, co oznacza, że mostek **uczy się** położenia poszczególnych stacji i po włączeniu działa coraz sprawniej, czyli popelnia coraz mniej błędów, polegających na niepotrzebnym przesłaniu ramki<sup>1</sup>.

Mostek nie dokonuje przekodowania adresów w transferowanych ramach: przestrzeń adresowa połączonych sieci jest traktowana jako jednorodna, czyli w dalszym ciągu nie mogą w niej występować dwa identyczne adresy MAC. Natomiast, w zależności od rodzaju użytych protokołów MAC, mostek będzie odpowiednio wypełniał pola sterujące w transferowanej ramce (np. pole kontroli kodowej zostanie wypełnione ponownie, z reguły inną wartością).

Do funkcji przypisanych warstwie MAC nie należy segmentacja. Oznacza to, że mostek nie będzie w stanie przesłać np. ramki o długości 2000 bajtów z sieci typu IBM Token Ring do sieci Ethernet, która nie przenosi tak długich ramek. Poza tym ograniczeniem, działanie mostka jest zupełnie przezroczyste z punktu widzenia użytkowników sieci.

W rozbudowanej sieci połączeń funkcje uczenia się i transferu ramek nie będą wykonywane poprawnie, jeśli pomiędzy dowolnymi dwiema sieciami jednostkowymi wystąpi więcej niż jedna droga przepływu ramek. Należy zatem odłączyć wszelkie drogi alternatywne, czyli rozpiąć drzewo (strukturę połączeń bez pętli) na grafie sieci. Tej operacji dokonuje algorytm STA (*Spanning Tree Algorithm*), wykonywany autonomicznie przez wszystkie mostki w sieci. Podczas realizacji tego algorytmu mostki wymieniają pomiędzy sobą informacje, zawarte w ramach służbowych (niewidocznych dla użytkowników sieci).

Znana jest również inna koncepcja kierowania ramek poprzez mostki: *source routing*, opracowana przez firmę IBM dla jej sieci *Token Ring* i w praktyce nie stosowana poza tą siecią. Stacja nadająca umieszcza w rozszerzeniu pola adresowego ramki MAC (uwaga - wymaga to stosowania nieco zmodyfikowanego formatu ramki!) adresy wszystkich kolejnych mostków, prowadzących do sieci z dołączoną stacją docelową. Mostki nie korzystają przy tym z wewnętrznych list adresowych, a jedynie analizują informację zamieszczoną w transferowanej ramce.

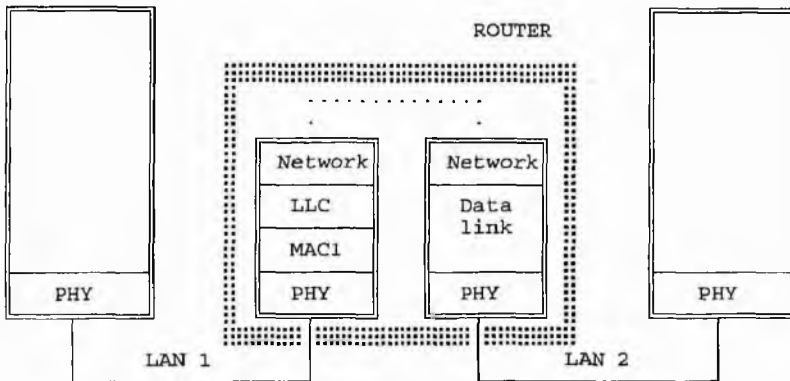
### 8.2.3. Router

Router (rys.8.3) łączy sieci na poziomie warstwy sieciowej. Jest to urządzenie znane od dawna w telekomunikacji pod nazwą NLR (*Network Layer Relay*) bądź IWU (*Interworking Unit*). Należy uświadomić sobie fakt, że router jako klasa urządzeń pośredniczących ma bardzo mało wspólnego z sieciami LAN. Jest to po prostu **węzeł komutacji pakietów**,

---

<sup>1</sup> Mostek nie popelnia błędów polegających na nieprzesłaniu ramki w sytuacji, gdy jest to konieczne.

będący zwykle podstawowym urządzeniem składowym (systemem pośredniczącym) w pakietowych sieciach rozległych (WAN). W istocie, struktura sieciowa złożona z jednostkowych sieci LAN połączonych za pomocą routerów to nic innego, jak rozległa sieć pakietowa, w której fakt dołączenia segmentów LAN, a nie pojedynczych urządzeń końcowych, ma jedynie marginalne znaczenie. Zagadnienie konstruowania sieci globalnej (tzw. intersieci) przy pomocy węzłów IWU jest bardzo rozległe i znacznie wykracza poza zakres tematyczny niniejszej pracy. Wydaje się przy tym, że środowisko informatyczne nie zawsze w pełni zdaje sobie sprawę z wkładu wniesionego w tę dziedzinę wiedzy przez środowisko telekomunikacyjne, co niestety czasem kończy się "odkrywaniem Ameryki". Zainteresowanych odsyłamy np. do [DICK92], a poniżej podajemy jedynie podstawowe fakty, w kontekście zastosowania routerów w sieciach LAN.



Rys.8.3 Łączenie sieci za pomocą routera

Zgodnie z koncepcją OSI (patrz rys.2.4), komunikacja na poziomie warstwy  $n$  pomiędzy dwoma sąsiednimi systemami (dwoma systemami końcowymi lub systemem końcowym i systemem pośredniczącym) jest możliwa wtedy, gdy jednostki warstwy  $n$  obu systemów realizują ten sam protokół. Router działa, z definicji, w warstwie sieciowej. Aby było możliwe użycie routera, dołączony system końcowy (np. sieć LAN) musi również stosować ten sam protokół warstwy sieci<sup>1</sup>. Spełnienie tego warunku nie jest wcale oczywiste, gdyż zdefiniowano wiele różnych protokołów warstwy sieci, a ponadto istnieją "słupki" protokołów (profile), w których warstwa sieci nie występuje wcale - takie zbiory protokołów są czasem żargonowo zwane "nierutowalnymi". Dla przykładu, nic nie stoi na przeszkodzie, by aplikacja użytkownika odwoływała się bezpośrednio do usług najwyższej warstwy sieci LAN - warstwy LLC. Jest to jedna z przyczyn, dla której router **nie jest przezroczysty**: musi być używany świadomie i oddzielnie adresowany.

<sup>1</sup> To ograniczenie dotyczy oddzielnicy każdej "strony" routera. Istnieją też ograniczenia globalne, dotyczące zgodności typu usług (połączeniowych/bezpołączeniowych) świadczonych przez warstwę sieci w komunikujących się systemach końcowych [DICK92].

Główne zadania routera to:

- wybór drogi pakietu poprzez odcinki łączy i systemy pośredniczące (generyczna funkcja warstwy sieci);
- obsługa adresów: konwersja adresów sieciowych NSAP (docelowo - globalnie jednolitych dla komunikujących się systemów wszelkich typów) na adresy jednostek warstwy LLC i MAC;
- segmentacja i składanie zbyt długich pakietów;
- buforowanie, obsługa błędów, sterowanie przepływem.

Za pomocą routerów można kierować pakiety do odległej sieci LAN za pomocą dowolnej innej sieci prywatnej lub publicznej, a także łączyć sieci lokalne o zupełnie różnych własnościach.

Fakt przynależności danego pakietu do konkretnego protokołu często może być stwierdzony na podstawie obserwacji postaci (formatu) pakietu<sup>1</sup>. Stąd pomysł zwiększenia funkcjonalności routera i rozszerzenia możliwości jego zastosowań (tzw. router wieloprotokolowy). Szczególnym urządzeniem jest **brouter**, łączący w sobie funkcje mostka i routera. W razie otrzymania pakietu "nierutowalnego" brouter zachowuje się jak mostek, a w razie wykrycia pakietu zgodnego z protokołem warstwy sieciowej - jak router.

#### 8.2.4. Gateway

Brama służy do łączenia sieci o radykalnie różnych zestawach protokołów, np. zbudowanych na bazie różnych modeli, jak SNA i OSI. Połączenie następuje na poziomie warstwy aplikacji. Każda z "połówek" bramy odpowiada swoją architekturą strukturze danej sieci, zaś wspólną płaszczyznę stanowią usługi (programy transferu danych), wykorzystujące warstwę aplikacji. Z powodu konieczności obsługi wielu warstw protokołów śluzą stanowi potencjalnie wąskie gardło sieci.

---

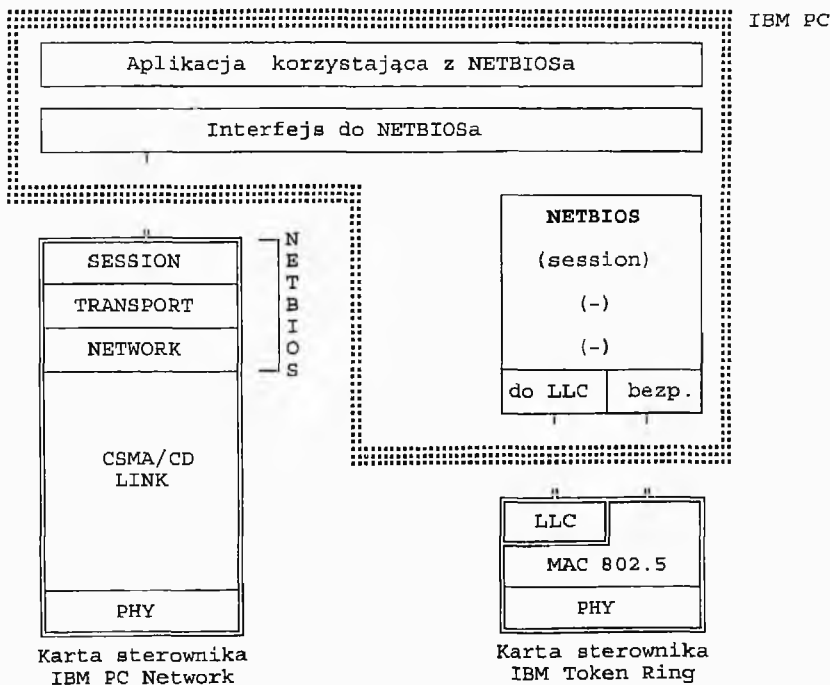
<sup>1</sup> Nie jest to reguła.

## 9. Warstwy wyższe

### 9.1. NETBIOS (Network Basic Input/Output System)

Bezpośrednie odwoływanie się przez aplikacje użytkownika do usług warstwy LLC lub nawet MAC jest uciążliwe, a ponadto konkretne realizacje styków z tymi warstwami nigdy nie doczekały się powszechnie uznanych unormowań. Jednym z najbardziej znanych rozwiązań alternatywnych jest NETBIOS (po okresie zapomnienia znów popularny).

NETBIOS (patrz też [WOLI92, ZYDO93] został opracowany w 1984r przez firmę IBM, z myślą o jej sieci szerokopasmowej PC Network. NETBIOS jest programem realizującym warstwy 3–5: sieciową, transportową i sesji). Wyższe warstwy (programy aplikacyjne, ew. system operacyjny) korzystają z usług NETBIOSa, posługując się ustalonym i opublikowanym stykiem z warstwą sieci. W oryginalnej sieci IBM PC Network NETBIOS był zainstalowany i wykonywał się na karcie adaptera sieciowego (rys.9.1). Późniejsze jego implementacje, zresztą bardziej efektywne od oryginału, mają postać programu ładowanego do pamięci komputera IBM PC; mówimy wtedy o **emulacji** NETBIOSa. Istnieje wiele różnych, dostępnych emulacji NETBIOSa (jedną z nich to program NETBEUI.COM).



Rys.9.1 Dwa sposoby implementacji NETBIOSa

### 9.1.1. Rozkazy NETBIOSa

NETBIOS umożliwia przesyłanie wiadomości pomiędzy użytkownikami (procesami), reprezentowanymi przez nazwy symboliczne, w trybie *datagram* (bezpoleźeniowym) lub po zestawieniu połączenia logicznego. Użytkownik NETBIOSa sam nadaje i wprowadza nazwy symboliczne do wewnętrznych tablic NETBIOSa. Użytkownik żąda wykonania odpowiedniej akcji, wydając jeden z dostępnych rozkazów.

Większości rozkazów przyporządkowano dwa kody (podane poniżej w nawiasach): dla wykonania z oczekiwaniem (*wait*) i bez oczekiwania (*return*). W trybie z oczekiwaniem aplikacja użytkownika jest wstrzymywana do chwili wykonania rozkazu przez NETBIOS. W trybie bez oczekiwania natychmiast po wydaniu rozkazu sterowanie jest zwracane do programu użytkownika, który tym samym może się wykonywać równolegle z realizacją rozkazu NETBIOSa. W tym wypadku użytkownik może również wielokrotnie wydać ten sam rozkaz: "wcielenia" tego rozkazu będą wykonywane równolegle. Rozkazy zostały zgrupowane w czterech klasach. Poniżej pokrótce omówiono najważniejsze z nich.

#### *Rozkazy ogólne*

- RESET (32H)  
Zwolnienie zasobów
- CANCEL (35H)  
Odwołanie wydanego uprzednio rozkazu, którego wykonanie jeszcze się nie zakończyło
- STATUS (33H *wait*, B3H *return*)  
Żądanie podania statusu sieci (statystyka ruchu i zawartość lokalnej tablicy nazw)

#### *Rozkazy dotyczące nazw*

Użytkownik wprowadza do tablic NETBIOSa pewną liczbę 16-znakowych nazw, po czym, przy wydawaniu innych rozkazów, odwołuje się do tych nazw za pomocą ich numeru w tablicy. Nazwy identyfikują punkty końcowe łączy komunikacyjnych (można je przyrównać do adresów przeznaczenia - DA). Aby wysłać wiadomość do nazwy zarejestrowanej przez innego użytkownika w odległym systemie, użytkownik wysyłający musi tę nazwę znać i podać w pełnej postaci alfanumerycznej, lecz nie wprowadza jej do własnej tablicy nazw. Poniżej opisano też skrótowo wewnętrzny algorytm NETBIOSa, wykonywany w celu realizacji rozkazu otrzymanego od użytkownika.

- **ADD NAME (30H wait, B0H return)**  
Wprowadzenie nazwy indywidualnej, unikatowej w skali całej sieci. Przed umieszczeniem tej nazwy w tablicy, NETBIOS upewnia się, wysyłając kilkakrotnie zapytanie w trybie *broadcast* do wszystkich stacji, że nazwa taka nie została wprowadzona przez żadnego innego użytkownika. Brak jakiegokolwiek odpowiedzi oznacza sukces - żadna inna stacja nie rozpoznała nazwy jako własnej, a więc już "zajętej". Z powodu konieczności oczekiwania na ewentualne odpowiedzi, wykonanie rozkazu może być dość długotrwałe (nawet do kilkunastu sekund).
- **ADD GROUP NAME (36H wait, B6H return)**  
Wprowadzenie nazwy grupowej. Nazwa taka mogła uprzednio zostać wprowadzona, też jako grupowa, w innych stacjach. NETBIOS upewnia się, za pomocą zapytania *broadcast* (jak wyżej), że nazwa nie została wcześniej wprowadzona jako indywidualna.
- **DELETE NAME (31H wait, B1H return)**  
Usunięcie nazwy (grupowej lub indywidualnej) z własnej tablicy nazw. Nie wymaga współpracy z innymi stacjami.

### *Rozkazy przesyłania wiadomości w trybie Datagram*

Przesyłane są wiadomości o długości do 512 bajtów, bez potwierdzenia, do nazwy indywidualnej, grupy wyznaczonej przez nazwę grupową lub do wszystkich stacji w sieci (*broadcast*). Ramka-*datagram* jest tracona, jeśli dana stacja nie oczekuje na jej odbiór (nie wydała uprzednio rozkazu odbioru).

- **SEND DATAGRAM (20H wait, A0H return)**  
Wysłanie wiadomości do nazwy indywidualnej lub grupowej. Jeśli nazwa taka rezyduje w lokalnej tablicy nazw, wiadomość zostanie odebrana lokalnie.
- **SEND BROADCAST DATAGRAM (22H wait, A2H return)**  
Wysłanie wiadomości "do wszystkich". Wiadomość taka zostanie odebrana w danej stacji, jeśli użytkownik wydał uprzednio rozkaz **RECEIVE BROADCAST DATAGRAM**.
- **RECEIVE DATAGRAM (21H wait, A1H return)**  
Zostanie odebrana wiadomość-*datagram*, skierowana do wskazanej nazwy indywidualnej lub grupowej, umieszczonej w lokalnej tablicy nazw NETBIOSa w danej stacji.
- **RECEIVE BROADCAST DATAGRAM (23H wait, A3H return)**  
Odebrana zostanie wiadomość-*datagram*, wysłana przez dowolną stację za pomocą rozkazu **SEND BROADCAST DATAGRAM**.



### *Rozkazy dotyczące sesji (połączenia logicznego)*

Usługa sesji umożliwia tworzenie pewnej liczby sesji (połączeń logicznych) pomiędzy dwiema nazwami indywidualnymi, a następnie przesyłanie pomiędzy tymi nazwami ciągów danych o długości do 64 KB, z gwarancją poprawnego odbioru. Po utworzeniu sesji, użytkownik przesyła dane posługując się przydzielonym tej sesji numerem.

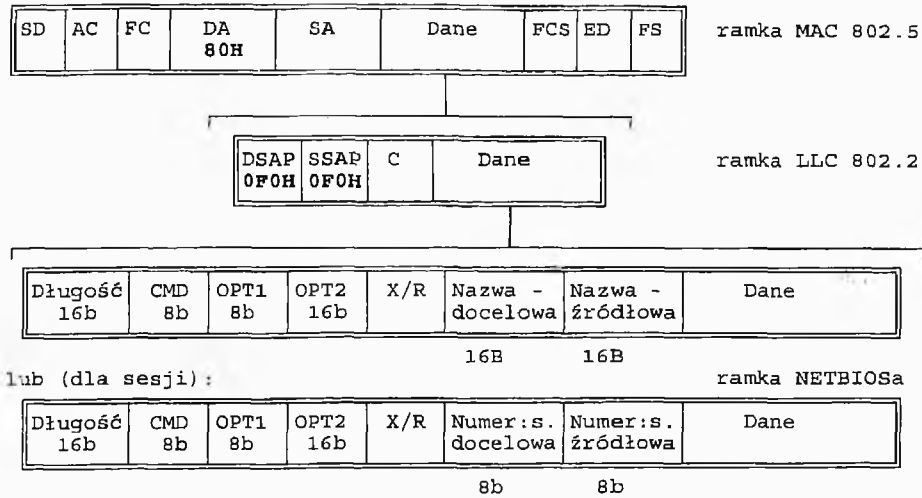
- **LISTEN (11H wait, 91H return)**  
Oczekiwanie na otworenie sesji z podaną nazwą lokalną (udostępnienie jednej z lokalnie zarejestrowanych nazw jako potencjalnego uczestnika sesji).
- **CALL (10H wait, 90H return)**  
Żądanie otwarcia sesji między podaną nazwą lokalną (własną) i drugą podaną nazwą, zwykle zarejestrowaną w stacji odległej. Wykonanie rozkazu zakończy się powodzeniem jedynie, jeśli stacja odległa wykonała uprzednio rozkaz LISTEN. Wynikiem wykonania rozkazu jest numer sesji.
- **SEND (14H wait, 94H return)**  
Przesyłanie danych w ramach sesji o wskazanym numerze.
- **SEND NO\_ACK (71H wait, F1H return)** — tylko w późniejszych implementacjach NETBIOSa. Jak SEND, przesyłanie bez wymagania potwierdzenia.
- **CHAIN SEND (17H wait, 97H return)**  
Jak SEND, dopuszcza łączenie buforów, zawierających dane do nadania.
- **RECEIVE (15H wait, 95H return)**  
Odbieranie danych w ramach sesji o podanym numerze.
- **RECEIVE ANY (16H wait, 96H return)**  
Odbieranie danych w ramach którejkolwiek otwartej sesji.
- **SESSION STATUS (34H wait, B4H return)**  
Żądanie podania informacji o wszystkich sesjach, otwartych w danej stacji.

Główne różnice użytkowe pomiędzy emulacjami a oryginalnym NETBIOSem to: liczba jednocześnie toczących się sesji (zwiększona z 32 do 254), liczba nazw lokalnych (zwiększona z 17 do 254), liczba współbieżnie wykonujących się rozkazów (zwiększona z 32 do 255).

#### **9.1.2. NETBIOS w sieci IBM Token Ring**

Jak pokazano na rys.9.1, NETBIOS komunikuje się z kartą adaptera IBM Token Ring na poziomie LLC, choć możliwa jest również współpraca bezpośrednio na poziomie MAC. Uwagi poniższe odnoszą się do wszelkich sieci lokalnych zgodnych z IEEE 802.

Jednostki protokołu (PDU) NETBIOSa przenoszone są w ramce MAC w następujący sposób (rys.9.2):



Rys.9.2 Ramki NETBIOSa w sieciach IEEE 802

Każda jednostka PDU NETBIOSa jest transmitowana w ramce MAC o ustalonym adresie grupowym (jest to ogólnie znany adres funkcyjny). Na poziomie LLC usługom NETBIOSa przyporządkowano adres 0F0H. W ten sposób, poza NETBIOSem, w danej sieci lokalnej mogą być równocześnie prowadzone dowolne inne transmisje.

### 9.1.3. Styk NETBIOS — wyższe warstwy oprogramowania

Przed wywołaniem rozkazu użytkownik umieszcza niezbędne dane w 64-bajtowej strukturze o nazwie NCB (*Network Control Block*), w następujących polach:

- |                |   |
|----------------|---|
| 1B NCB_COMMAND | numer rozkazu (patrz lista rozkazów)  |
| 1B NCB_RETCODE | kod zakończenia rozkazu:<br>00H — zakończenie pomyślne<br>03H — rozkaz nieprawidłowy<br>21H — interfejs zajęty<br>23H — nieprawidłowy numer adaptera sieciowego<br>24H — odwoływanie już zakończonego rozkazu<br>26H — rozkaz nie może być odwołany<br>4xH — "nienormalny stan w sieci" (dla Token Ring)<br>50-FEH — awaria adaptera sieciowego |
| 1B NCB_LSN     | numer sesji, przydzielony przez NETBIOSa  |

1B NCB_NUM	numer nazwy, przydzielony przez NETBIOSa
4B NCB_BUFFER@	adres (offset:segment) bufora danych
2B NCB_LENGTH	długość (w bajtach) bufora danych
16B NCB_CALLNAME	nazwa "odległa"
16B NCB_NAME	nazwa własna
1B NCB_RTO	timeout (wielokrotność 0.5s) związany z rozkazem RECEIVE jak wyżej, dla rozkazów SEND
1B NCB_STO	adres (offset:segment) procedury wyspecyfikowanej przez użytkownika, która ma zostać automatycznie wywołana po zakończeniu wykonania rozkazu w trybie <i>return</i> (0: procedura nie jest wołana)
1B NCB_POST@	adres (offset:segment) procedury wyspecyfikowanej przez użytkownika, która ma zostać automatycznie wywołana po zakończeniu wykonania rozkazu w trybie <i>return</i> (0: procedura nie jest wołana)
1B NCB_LANA_NUM	numer adaptera sieciowego (0 lub 1)
1B NCB_CMD_CPLT	status wykonania (OFFH-trwa, 0-wykonany, inne-błąd)
14B NCB_RESERVE	obszar zarezerwowany

W celu wywołania rozkazu należy:

- wypełnić NCB (położony w dowolnym obszarze pamięci, np. w strukturze danych należącej do programu użytkownika);
- zapisać w rejestrach procesora ES:BX adres tego bloku NCB;
- wywołać przerwanie programowe 5CH.

## 9.2. Systemy operacyjne

Częstym nieporozumieniem, a co najmniej nadmiernym uproszczeniem, jest utożsamianie sieci lokalnej z określonym środowiskiem aplikacyjnym lub systemem operacyjnym<sup>1</sup>. Poniżej postaramy się uporządkować pojęcia związane z systemami operacyjnymi i ich związki z sieciami lokalnymi.

### 9.2.1. Podstawy

Główne zadania systemu operacyjnego to:

- koordynacja pracy użytkowników;
- zarządzanie wykorzystaniem zasobów;
- ukrywanie przed użytkownikiem szczegółów implementacji systemu.

System komputerowy, złożony z wielu procesorów i urządzeń peryferyjnych połączonych za pomocą sieci lokalnej, również koncepcyjnie wymaga systemu operacyjnego. Dodatkowa rola takiego systemu to:

---

<sup>1</sup> Czytelnik zechce zbadać częstotliwość odwoływania się w Jego otoczeniu do nieistniejącego obiektu o nazwie "sieć lokalna Novell".

- ukrywanie przed użytkownikiem sposobu komunikacji pomiędzy procesami użytkowymi wykonywanymi w różnych stacjach sieci;
- świadczenie dodatkowych usług (realizacja funkcji użytkowych), związanych z rozproszeniem.

Istnieją dwie odmiany systemów operacyjnych dla środowiska sieciowego:

- sieciowe systemy operacyjne (*Network Operating Systems*);
- rozproszone systemy operacyjne (*Distributed Operating Systems*).

Sieciowy system operacyjny jest zwykle realizowany jako "nakładka" na istniejący, nie-sieciowy system operacyjny. Mówimy o systemach **homogenicznych** (jeśli na wszystkich komputerach w sieci działa taki sam system podkładowy, np. UNIX lub DOS) i **heterogenicznych** (łączyjących w spójną całość komputery korzystające z różnych lokalnych systemów operacyjnych).

Podstawowym modelem koncepcyjnym sieciowych systemów operacyjnych jest tzw. model *Client-Server*, w którym populacja zasobów sieci dzielona jest, na stałe lub dynamicznie, na grupę użytkowników (stacji roboczych, klientów) i grupę usługodawców (serwerów).

Serwer może być przeznaczony wyłącznie do wykonywania zadań usługowych (*dedicated server*), lub też łączyć realizację tych zadań z wykonywaniem programów użytkownika (*non-dedicated server*).

Sieciowe systemy operacyjne to m.in.:

- MS-Net;
- IBM PC Network;
- IBM PC LAN;
- IBM OS/2 LAN Server;
- 3COM 3+Open;
- 3COM 3+Share;
- Novell NetWare;
- Banyan VINES.

Rozproszony system operacyjny budowany jest z reguły od podstaw, z myślą o konkretnej klasie aplikacji, a często — także o konkretnym języku programowania. Według klasycznej definicji Enslowa (1978 r.) kryteria uznania systemu za system rozproszony są następujące:

- istnienie wielu zasobów;
- fizyczne rozproszenie za pomocą odpowiednich środków komunikacji;
- system operacyjny, integrujący środowisko w jedną całość logiczną;
- przezroczystość (usługi adresowane przez ich nazwy);
- kooperatywna autonomia (czyli nie zależność typu master/slave).

Głównym zadaniem rozproszonego systemu operacyjnego jest wspieranie pracy tak rozumianego systemu rozproszonego, zwłaszcza wykonującego **jeden**, wspólny, rozproszony program. Najczęściej spotykanym modelem programu rozproszonego jest sieć współbieżnych, kooperujących procesów, komunikujących się bezpośrednio pomiędzy sobą. Dwa komunikujące się procesy mogą wykonywać się na tym samym procesorze lub na dwóch odległych maszynach. W każdym z tych przypadków fizyczny mechanizm wymiany danych będzie zupełnie inny (w drugim przypadku — np. za pośrednictwem sieci lokalnej), lecz z punktu widzenia programisty (lub konstrukcji językowych) nie powinno to mieć znaczenia, z uwagi na postulowaną przezroczystość. Wybór odpowiedniego sposobu realizacji wymiany danych należy tu do zadań rozproszonego systemu operacyjnego.

Jednym z zasobów, którym także może zarządzać rozproszony system operacyjny, jest czas procesora. Zadania systemu operacyjnego w tym zakresie to m.in.:

- alokacja procesów: wybór procesora, do którego należy załadować, a następnie uruchomić dany proces;
- migracja procesów: dynamiczna zmiana procesora, na którym wykonuje się dany proces.

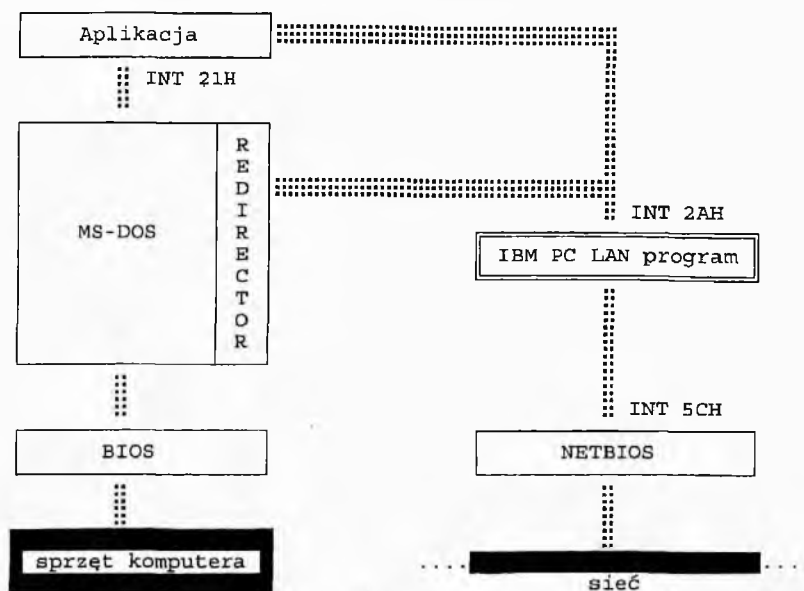
Dodatkowym zadaniem, stojącym przed rozproszonym systemem operacyjnym czasu rzeczywistego (*real-time*) jest konieczność zapewnienia (zakaz przekroczenia) określonego czasu reakcji, traktowanego globalnie, a nie dotyczącego jedynie pojedynczych aktów komunikacji pomiędzy losowo wybranymi procesami. Zapewnienie określonego czasu reakcji systemu wymaga wpływania na sposób dzielenia czasu procesora przez procesy lokalne (*scheduling*). Migracja procesów może być uważana za jeden z mechanizmów optymalizacji pracy systemu czasu rzeczywistego, lecz (zwykle długi) czas wykonania algorytmu migracji jest często nie do pogodzenia z tym celem.

Przykładowe rozproszone systemy operacyjne to:

GALAXIE	Dragon Slayer	Sprite	V-System
Locus	Demos/MP	EDEN	CEDAR
ARGUS	CRONUS	STAR	GEM
CHAOS	AMOEBA	JASMIN	LYNX

### 9.2.2. IBM PC LAN Program (IBM PC Network)

System IBM PC LAN jest prostym sieciowym systemem operacyjnym (rys.9.3). System korzysta z emulacji NETBIOSa (w oryginalnej wersji — z adaptera sieci IBM PC Network, z umieszczonym w nim NETBIOSem). *Redirector* jest dodatkowym programem, który, dołączony do systemu operacyjnego MS-DOS (począwszy od wersji 3.1), służy do przechwytywania poleceń związanych ze zdalnymi zasobami (np. dyskami, nie zainstalowanymi w danym komputerze IBM PC). System PC LAN pracuje pod nadzorem systemu operacyjnego MS-DOS, który pozostaje jądrem oprogramowania systemowego komputera.



Rys.9.3 System IBM PC LAN

Podczas startu systemu można wybrać jeden z czterech trybów jego pracy, w kolejności wzrastających możliwości funkcjonalnych: *redirector*, *receiver*, *messenger*, *server*.

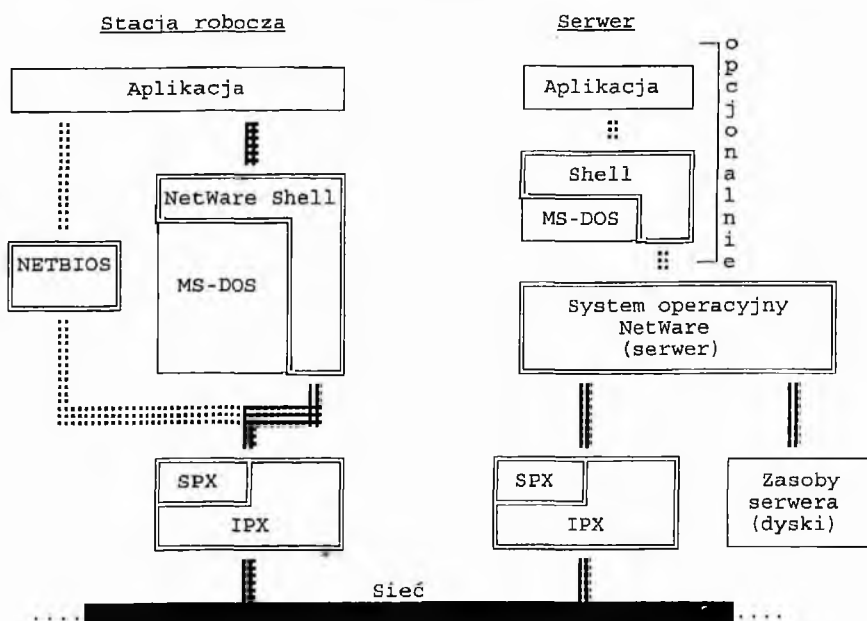
Sieć użytkowników, obsługiwana przez system PC LAN, jest siecią **partnerską** (*peer-to-peer*). Wprawdzie sieć składa się ze stacji roboczych (tryb *redirector*, *receiver* i *messenger*) i stacji obsługowych (tryb *server*), to jednak jest to struktura elastyczna: każda stacja może pełnić jednocześnie rolę serwera i klienta innych serwerów (serwery niededykowane).

### 9.2.3. Sieciowy system operacyjny Novell NetWare

Sieciowy system operacyjny Novell NetWare<sup>1</sup> składa się z czterech głównych komponentów (rys.9.4):

- systemu operacyjnego stacji roboczych (MS-DOS);
- interpretera poleceń sieciowych (NetWare Shell);
- systemu operacyjnego stacji-serwera (specyficznego dla NetWare);
- programów usługowych.

<sup>1</sup> Ten rozdział ma charakter szkicowej, wstępnej informacji. Funkcjom i użytkowaniu systemu NetWare poświęcone są liczne i łatwo dostępne publikacje, do których odsyłamy zainteresowanych.



Rys.9.4 Struktura systemu operacyjnego Novell NetWare

Umieszczona w stacjach roboczych "nakładka" NetWare Shell przechwytuje zlecenia systemu operacyjnego: zlecenia lokalne przekazuje podkładowemu systemowi MS-DOS, a dotyczące zasobów zdalnych koduje w blokach protokołu IPX (*Internetwork Packet Exchange*) i przesyła do stacji obsługowej (serwera). Struktura pakietów IPX jest wzorowana na pakietach XNS (*Xerox Network Standard*). Stacje robocze mogą wykonywać wszystkie programy aplikacyjne, działające w środowisku systemu MS-DOS. Dostarczany jest również emulator NETBIOSa, umożliwiający pracę oprogramowania korzystającego z jego usług (jak w systemie IBM PC LAN). Emulator ten nie korzysta bezpośrednio z usług warstwy LLC lub MAC adaptera sieciowego, lecz także posługuje się protokołem IPX. Zaimplementowano również rozszerzenie protokołu IPX — protokół SPX (*Sequenced Packet Exchange Protocol*), zapewniający niezawodną transmisję.

Oprogramowanie serwera jest pełnym, współbieżnym systemem operacyjnym, optymalizującym sposób korzystania z zasobów (dysków). Dyski serwera obsługiwane są w sposób zupełnie inny, niż w systemie MS-DOS, co przyspiesza operacje dyskowe i zwiększa niezawodność dostępu do danych. Pierwotnie było możliwe konfigurowanie stacji obsługowej na dwa różne sposoby: jako serwera dedykowanego lub niededykowanego (w którym system operacyjny wykonywał pod swoją kontrolą, jako jedno z zadań, program systemu MS-DOS). Obecnie stosowane jest już tylko to pierwsze rozwiązanie.

## LITERATURA

- [STAL84] Stallings W.: *Local Area Networks: An Introduction*, Macmillan, 1984
- [STAL93] Stallings W.: *Local and Metropolitan Area Networks*, Macmillan, 1993
- [WOLI90] Wolisz A.: *Podstawy lokalnych sieci komputerowych: sprzęt sieciowy*, WNT, 1990
- [WOLI92] Wolisz A.: *Podstawy lokalnych sieci komputerowych: oprogramowanie komunikacyjne i usługi sieciowe*, WNT, 1992
- 
- [BAKE86] Baker D.G.: *Local-Area Networks with Fiber-Optic Applications*, Prentice-Hall, 1986
- [CHEO83] Cheong V.E., Hirschheim R.A.: *Local Area Networks: Issues, Products, and Developments*, John Wiley & Sons, 1983
- [CURR88] Currie W.S.: *LANs Explained: A Guide to Local Area Networks*, Ellis Horwood, 1988
- [DALL88] Dallas I.N., Spratt E.B. (ed.): *Issues in LAN Management*, North-Holland, 1988
- [DAVI92] Davidson R.P., Muller N.J.: *Internetworking LANs: Operation, Design, and Management*, Artech House, 1992
- [DICK92] Dickson G., Lloyd A.: *Open Systems Interconnection*, Prentice Hall, 1992
- [ETHE] *Podstawy wiedzy o technice światłowodowej i jej stosowaniu w sieci typu ETHERNET*, LANEX, Lublin
- [GIBB94] Gibbs M.: *Sieci komputerowe. Biblia użytkownika*, READ ME, 1994
- [HALS92] Halsall F.: *Data Communications, Computer Networks and Open Systems*, Addison-Wesley Pub. Co., 1992
- [HAUG87] Haugdahl J.S.: *Inside the Token-Ring*, Architecture Technology Corporation, 1988
- [HAUG88] Haugdahl J.S.: *Inside NETBIOS*, Architecture Technology Corporation, 1988
- [HELD94] Held G.: *Token-ring Networks*, John Wiley & Sons, 1994
- [HOPP86] Hopper A., Temple S., Williamson R.: *Local Area Network Design*, Addison-Wesley, 1986
- [KEIS89] Keiser G.E.: *Local Area Networks*, McGraw-Hill, 1989
- [MADR88] Madron T.W.: *Local Area Networks: the Second Generation*, John Wiley & Sons, 1988
- [MCNA85] McNamara J.E.: *Local Area Networks: An Introduction to the Technology*, Digital Press, 1985
- [MILL89] Miller M.A.: *LAN Troubleshooting Handbook*, M&T Pub., 1989
- [TANG88] Tangney B., O'Mahony D.: *Local Area Networks and their Applications*, Prentice Hall, 1988
- [ZYDO93] Zydorowicz T.: *PC i sieci komputerowe*, PLJ, 1993
- 

Ponadto czasopisma: NetForum i NetWorld



## DODATEK - przykłady konstrukcji

Stosowane w sterownikach sieci lokalnych elementy i rozwiązania konstrukcyjne podlegają szybkiej ewolucji. Przy okazji oddala się możliwość skonfrontowania wiadomości na temat zasad działania sieci LAN ze sposobem ich technicznej realizacji. Dlatego z rozmysłem przedstawiamy poniżej, w skrótovej formie, rozwiązania wcześniejsze, które wciąż mogą zainteresować inżyniera-praktyka. Zwracamy uwagę Czytelnika na wielką różnorodność tych wczesnych rozwiązań.

### Sieci bezsprętowe (zero-slot)

Sieci zero-slot nie wymagają stosowania dodatkowego sprzętu sieciowego (kontrolera sprzętowego). Wykorzystują one środki transmisji arytmicznej szeregowej (RS232) lub porty równoległe (od drukarki), wbudowane w sprzęt stacji — zwykle komputery klasy IBM PC/XT/AT/386.

#### *LANLink/MultiLink (The Software Link, Inc.)*

- max. 16 stacji roboczych, dołączonych do jednego serwera;
- sprzęt: komputery serii IBM PC XT/AT/386;
- transmisja z szybkością 115200 bit/s z użyciem portów szeregowych (układ 8250 UART) komputerów IBM, lub z szybkością 524288 bit/s z użyciem portów równoległych drukarki.

#### *INFAPLUG (INFA Communications)*

Bardzo prosty nadajnik/odbiornik (zmontowany we wtyku) łączony jest z komputerami typu IBM PC za pomocą łącza szeregowego RS232.

- topologia: pierścień
- zasada dostępu: *register insertion*
- max. ilość stacji: 255
- szybkość transmisji w pierścieniu: 115200 bit/s
- szybkość transmisji pomiędzy stacją a nadajnikiem: max. 9600 bit/s

### Sieci proste

Sieci takie wykorzystują popularne i łatwo dostępne układy scalone ogólnego przeznaczenia, w rodzaju:

6854 ADLC	(Motorola)
Z80 SIO	(Zilog)
8086	(Intel) — programowa realizacja protokołu

Sieci te cechują się względnie niskimi szybkościami transmisji (od 500 kbit/s do 1 Mbit/s). Służą z reguły do łączenia komputerów osobistych. Stosowane scalone układy transmisyjne wykorzystują protokół HDLC warstwy łącza i zapewniają:

- tworzenie struktury ramki;
- rozpoznawanie początku ramki;
- wtrącanie i usuwanie zer (*bit stuffing*);
- kontrolę poprawności — kod cykliczny.

#### ***Transnet (D-Link, Omninet) — RPTI***

- topologia szyny
- medium: nieekranowana skrętka (segment max. 300m)
- szybkość transmisji: 1 Mbit/s
- zasada dostępu: zmodyfikowane CSMA/CD (CSMA/CA)
- budowa: 6502 CPU, 6854 ADLC, 6K RAM, 8K ROM

Sieci tego typu (i pochodne) mają znikomą niezawodność w wyniku błędu konstrukcyjnego: brak jest izolacji galwanicznej nadajnika.

#### ***C-NET (Cromemco)***

- topologia szyny
- długość segmentu: 2000m
- ilość stacji: max. 255
- szybkość transmisji: 880 kbit/s
- budowa: Z80 CPU, Z80 SIO

#### ***MULTILINK (Hawker Siddeley Dynamics)***

- topologia pierścienia
- max. 125 stacji
- szybkość transmisji 250 kbit/s
- max. długość pierścienia 400 km (!)
- budowa: Z80

#### ***Cluster/One (Zynar, Nestar)***

- topologia szyny
- medium: kabel 16-przewodowy
- max. 65 stacji
- zasada dostępu: CSMA/CD
- szybkość transmisji 240 kbit/s
- zastosowanie: łączenie komputerów Apple II / III

***Appletalk (Apple Computers)***

- topologia szyny
- medium: skrętka
- max. 32 stacje/segment
- zasada dostępu: CSMA/CA
- szybkość transmisji 230.4 kbit/s

***PROWAY A***

- topologia szyny
- medium: kabel koncentryczny
- długość segmentu: max. 2000m
- max. 100 stacji
- zasada dostępu: *token bus*
- szybkość transmisji 1 Mbit/s

Istniała polska implementacja sieci PROWAY A (INTELDIGIT-PROWAY), w której dostępem do medium sterował bezpośrednio odpowiednio zaprogramowany procesor 8086.

**Sieci złożone**

Sprzętowa realizacja sieci złożonych, np. odpowiadających standardom IEEE 802, wymaga użycia ok. 80-100 układów scalonych TTL SSI/MSI na stację (takie realizacje istnieją, np. *Cambridge Ring*). Ze względów niezawodnościowych i ekonomicznych opracowano więc szereg układów scalonych VLSI i analogowych/hybrydowych, pozwalających na zbudowanie stacji sieci z kilku (maksymalnie kilkunastu) podstawowych elementów. Głównymi elementami każdej takiej "rodziny" układów scalonych są: sterownik (kontroler), koder/dekoder i (przeważnie hybrydowy) nadajnik/odbiornik (*transceiver*). Układy takie z reguły nie są powszechnie dostępne, a szczegółowe rozwiązania w nich zawarte chronione są jako tajemnica przemysłowa.

***Układy dla sieci typu Token Ring***

Trzy podstawowe zestawy elementów, używanych w konstrukcji sterowników sieci IBM *Token Ring*, pochodzą z firm: IBM, Ungermann-Bass i Texas Instruments.

Zestaw firmy IBM, niedostępny na rynku, składał się z następujących układów:

- procesor — specjalna wersja procesora Motorola 68000
- układ interfejsu
- zegar i bufor
- nadajnik
- odbiornik

Zestaw uzupełnia się o 32k słów (16-bitowych) pamięci ROM i 4k słów pamięci statycznej RAM. Sterownik komunikuje się z komputerem IBM PC bez pośrednictwa kanałów DMA.

Zestaw firmy Texas Instruments, dostępny na rynku, składał się z układów:

- TMS 38010: 16-bitowy procesor, 2.75kB pamięci RAM
- TMS 38020: układ realizacji protokołu + 16kB ROM dla procesora
- TMS 38051/52: *transceiver* + PLL + kontroler pierścienia
- TMS 38030: interfejs komputera

Zestaw jako całość ma możliwość pracy z szybkością transmisji 16 Mbit/s. Układ interfejsu, wykorzystujący kanały DMA, może pracować z teoretyczną maksymalną szybkością 49 Mbit/s. Spodziewane było opracowanie jednoukładowej wersji całego zestawu.

Do realizacji stacji sieci FDDI używano m.in. zestawu elementów firmy AMD:

- AM79C81 RBC: sterownik bufora RAM (256KB, pięć kanałów DMA)
- AM79C82 DPC: sterownik ścieżki danych
- AM79C83 FORMAC: procesor protokołu dostępu do medium
- AM7984: odbiornik kodu 4B5B
- AM7985: nadajnik kodu 4B5B

#### *Układy dla sieci typu CSMA/CD*

Układy do realizacji sieci CSMA/CD, stosowane też w sterownikach oryginalnej sieci Ethernet, produkowane były m.in. przez firmy: 3COM, INTEL, AMD, DEC, MOSTEK, FUJITSU, Ungermann-Bass, Western Digital i National Semiconductor. Poniżej przedstawiono listę najbardziej znanych układów, wraz z ich krótkim opisem.

82586 (Intel) — Local Area Network Coprocessor (LANC)

Szybkość transmisji od 100 kbit/s do 10 Mbit/s. Możliwość wyboru różnych parametrów sieci typu CSMA/CD (nie tylko zgodnych ze specyfikacją IEEE). Wbudowany 4-kanałowy kontroler DMA.

82501 (Intel) — Ethernet Serial Interface (ESI)

Interfejs szeregowy (koder/dekoder) dla układu 82586. Transmisja szeregową w kodzie Manchester z szybkością 10 Mbit/s.

82502 (Intel) — układ formowania sygnału

82588 (Intel) — Single Chip LAN Controller (SCLC)

Łączy w sobie funkcje 82586 i 82501.

AM7990 LANCE (AMD)

MK68590 LANCE (Mostek) — LAN Controller for Ethernet

Wbudowany kontroler DMA.

AM7991 SIA (AMD)

**MD3891 SIA (Mostek) — Serial Interface Adapter**

Kodowanie i dekodowanie w kodzie Manchester. Detekcja nośnej i kolizji. Współpracuje z 7990.

**8001 EDLC****8003 EDLC (Seeq Technology, 3COM) — Ethernet Data Link Controller**

W układzie brak wbudowanego kontrolera DMA (można dołączyć zewnętrzny). Przewidziano jeden bufor nadawczy i jeden bufor odbiorczy, o pojemności niewystarczającej do przechowania pojedynczej ramki.

**8023 MCC (3COM) — Manchester Code Converter**

Koder/dekoder kodu Manchester. Zawiera układ synchronizacji. Współpracuje z EDLC.

**MB61301 DLC (Fujitsu) — Data Link Controller**

Brak wbudowanych układów DMA. Cechy szczególne — mały pobór mocy, możliwość jednoczesnego nadawania i odbierania.

**MB502 (Fujitsu) — koder/dekoder, współpracuje z 61301.****DP8390 NIC (National Semiconductor) — Network Interface Controller****DP8391 — interfejs sieciowy****DP8392 — *transceiver* dla kabla koncentrycznego**

Zestaw układów dla sieci CSMA/CD 10BASE2. Wbudowane układy DMA. 64 adresy multicast rozpoznawane w układzie.

***Układy dla sieci typu Token Bus*****COM9026 (Standard Microsystems) — sterownik dla sieci ARCNet****COM9032 — *transceiver* dla sieci ARCNet**

Do komunikacji pomiędzy sterownikiem a komputerem używany jest bufor o pojemności 2 kB, umieszczony na karcie sterownika. Układ automatycznie obsługuje rekonfigurację sieci. Komputer steruje układem, wydając jeden z siedmiu rozkazów:

- Disable Transmitter (wstrzymanie nadawania ramek);
- Disable Receiver (wstrzymanie odbioru ramek);
- Enable Transmit From Page nn (nadawanie uprzednio przygotowanej ramki);
- Enable Receive To Page nn (odbiór ramki do wyznaczonego pola bufora);
- Define Configuration (maksymalny rozmiar ramki: 254 lub 512 bajtów);
- Clear Flags (zerowanie rejestru stanu);
- None (operacja zarezerwowana);

**WD2840 (Western Digital)**

Szybkość transmisji do 1 Mbit/s. Automatycznie dokonuje rekonfiguracji. Wbudowane układy DMA.

**MC68824 (Motorola)**

Sterownik dla sieci zgodnych z IEEE 802.4

**Sieć IBM PC Network**

- topologia drzewa
- transmisja *broadband*
- szybkość transmisji: 2 Mbit/s
- zasada dostępu: CSMA/CD
- max. długość segmentu: 330 m
- max. ilość stacji: 72
- budowa: procesor 80188, 82586, 16kB RAM
- zastosowanie: łączenie komputerów IBM PC

Rozwiązanie zarzucone. Karta sterownika sieci zawierała wbudowany program NETBIOS, który stał się *de facto* standardem.