ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995

Seria: INFORMATYKA z. 28 Nr kol. 1270

Dariusz CABAN

ARCNET – NOWY „STARY" STANDARD

Streszczenie. Artykuł zawiera charakterystykę protokołów warstw: fizycznej i liniowej sieci Arcnet. Sieć ta, wprowadzona w 1977 roku, przez 15 lat stanowiła standard *de facto*. Od 1992 roku protokoły Arcneta należą do grupy standardów *de iure*.

ARCNET – THE NEW „OLD" STANDARD

Summary. This article presents physical and link layer protocols of Arcnet network. Arcnet was introduced in 1977. During 15 years it was *de facto* standard. Arcnet protocols are *de iure* standards since October, 1992.

ARCNET – STANDARD VIEUX AU STATUS NOUVEAU

Resumé. L'article présente des niveaux phisique et ligniaire des protocoles du réseau d'ARCNET. Cette réseau était utilisée dès 1977 an. Elle était standard pendant 15 an. A partir de 1992 an les protocoles d'ARCNET font partie d'une groupe des standardes *de iure*.

1. Wprowadzenie

W październiku 1992 roku organizacja ANSI opublikowała dokument „ATA/ANSI 878.1 Local Area Network Standard", zawierający specyfikację protokołów warstw: fizycznej i liniowej[1] sieci Arcnet [6]. Tym samym zostały zakończone, trwające od schyłku

[1] Według modelu OSI/ISO.

lat osiemdziesiątych, prace mające na celu wprowadzenie tych protokołów do zbioru standardów. Sieć Arcnet, opracowana i wprowadzona na rynek w drugiej połowie lat siedemdziesiątych przez firmę Datapoint Corp., szybko znalazła szerokie zastosowanie – już na początku następnej dekady liczbę zainstalowanych takich sieci określano na ponad 4000. Stała się przez to *de facto* standardem. O dużej popularności tego rozwiązania zadecydowało kilka czynników [9]:

- deterministyczny charakter zastosowanej w sieci metody dostępu do łącza transmisyjnego – metody przekazywania uprawnienia;
- możliwość wykorzystania w charakterze mediów transmisyjnych: skrętki telefonicznej, kabli koncentrycznych, światłowodów i środków transmisji bezprzewodowej;
- zmniejszenie obciążenia linii transmisyjnej przez eliminację tych transmisji, które byłyby „z góry" skazane na niepowodzenie z powodu braku gotowości węzła docelowego do odbioru danych (np. wskutek zapełnienia wszystkich buforów u odbiorcy);
- możliwość realizacji transmisji w trybie rozgłaszania;
- samoczynne dostosowywanie się sieci do zmian zachodzących w jej otoczeniu, takich jak: włączenie nowego węzła, wyłączenie węzła;
- automatyczne odtworzenie pierścienia logicznego (przez pojęcie pierścienia logicznego rozumie się kolejność obiegu uprawnienia) po zagubieniu uprawnienia;
- łatwość instalacji sieci oraz jej późniejszej rozbudowy i modyfikacji;
- łatwość wykrywania i usuwania uszkodzeń;
- stosunkowo niski koszt.

Deterministyczny charakter metody dostępu do medium transmisyjnego został wymieniony na pierwszym miejscu nie bez powodu. Ten właśnie czynnik sprawia, że sieć Arcnet stanowi użyteczne rozwiązanie problemu komunikacji w pewnych zastosowaniach, np. w przemysłowych rozproszonych systemach sterowania. W systemach tego typu występuje konieczność przesyłania informacji o aktualnym stanie sterowanego procesu w regularnych odstępach czasu, zależnych od specyfiki tego procesu. Ściśle określony czas dostępu to jeden z wymogów stawianych sieciom przemysłowym [1]. Spełnienie tego warunku w sieciach, w których zastosowano rywalizacyjne metody dostępu, np. w sieci Ethernet, jest utrudnione. Czas oczekiwania na dostęp do medium transmisyjnego w takich sieciach zależy od aktualnego obciążenia sieci. Wraz ze wzrostem liczby żądań dostępu do medium w

jednostce czasu, pochodzących od różnych węzłów, zwiększa się prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji. Może zaistnieć sytuacja, że łącze zostanie zupełnie zablokowane wskutek ciągle powtarzających się konfliktów. Deterministyczny charakter metody przekazywania uprawnienia, należącej, obok metody przepytywania, do grupy metod kontrolowanego dostępu, gwarantuje chcącemu nadawać urządzeniu dostęp do łącza przed upływem możliwego do określenia odcinka czasu. Czas ten jest funkcją liczby węzłów oraz charakterystyk sieci. Ponieważ tylko ten węzeł sieci, który otrzymał zezwolenie na zajęcie medium, może rozpocząć transmisję, nie występuje zjawisko kolizji. Stąd konstrukcja sprzęgów sieciowych Arcneta jest prostsza niż sprzęgów Etherneta, które muszą być dodatkowo wyposażane w układy wykrywania kolizji [3].

Kolejnym argumentem za stosowaniem Arcneta w realizacjach sieci przemysłowych jest długość przesyłanych w tych sieciach pakietów informacji. Najczęściej są to pakiety zawierające kilkanaście bajtów – szacuje się, że stanowią one 90% pakietów [3, 7]. Długość pola danych w ramce informacyjnej Arcneta mieści się w granicach 1..508 bajtów[2], w ramce informacyjnej Etherneta – 46..1500 bajtów. Zatem przesłanie kilkunastobajtowej ramki w sieci Ethernet wymaga przetransmitowania dodatkowo $(46 - N) * 8$ bitów (N – długość ramki), będących w istocie informacją bezużyteczną[3].

Brak wolnego miejsca w buforze odbiorcy jest jedną z przyczyn gubienia ramek, w praktyce dominującą [11]. W sieci Arcnet przyczynę tę wyeliminowano stosując sprawdzanie dostępności bufora odbiorcy przed nadawaniem właściwej informacji. „Zapytanie o wolny bufor" (ang. *free buffer enquiry*) to krótka ramka, którą urządzenie chcące nadawać wysyła po otrzymaniu uprawnienia. Odpowierux negatywna powoduje przekazanie uprawnienia następnemu urządzeniu, a próba transmisji zostanie automatycznie ponowiona przez sterownik sieciowy po kolejnym nadejściu uprawnienia. W ten sposób nie tylko unika się gubienia ramek, ale również zmniejsza się obciążenie linii komunikacyjnej.

Z chwilą włączenia nowego węzła następuje samoczynna jej rekonfiguracja. Nowo włączony węzeł zakłóca pracę sieci, deformując ramkę uprawnienia. Pozostałe urządzenia sytuację taką traktują jako zaginięcie uprawnienia. W procesie odtwarzania pierścienia logicznego, inicjowanym przez jedno z urządzeń, zostanie wykryta obecność nowego

[2]Pierwotnie maksymalna długość pola danych wynosiła tylko 253 bajty [9]. Obecnie produkowane sterowniki sieciowe Arcneta mogą dokonywać transmisji ramek informacyjnych dwojakiego rodzaju: tzw. ramek krótkich o rozmiarze pola danych 1..253 bajty oraz tzw. ramek długich o rozmiarze 257..508 bajtów; ramki o długości 254..256 muszą być uzupełniane do długości 257 bajtów.

[3]46 to minimalna liczba bajtów danych w ramce informacyjnej Etherneta. Konieczność dokładania bezużytecznych bajtów występuje również w sieci Arcnet w przypadku, gdy przesyłane są ramki o długości pola danych 254..256 bajtów; pakiety takie stanowią jednak co najwyżej 10% pakietów przesyłanych w sieci przemysłowej [3, 7].

węzła. Wyłączenie węzła na krótko „burzy" ustaloną kolejność obiegu uprawnienia. Sposób reakcji węzłów sieci na wystąpienie takich sytuacji zostanie przedstawiony w dalszej części artykułu. „Umiejętność" dostosowywania się sieci do zmian zachodzących w jej otoczeniu sprawia, że rozbudowa lub modyfikacja konfiguracji sprowadza się do fizycznego dołączenia lub odłączenia urządzenia od medium transmisyjnego oraz uruchomienia odpowiedniego oprogramowania.

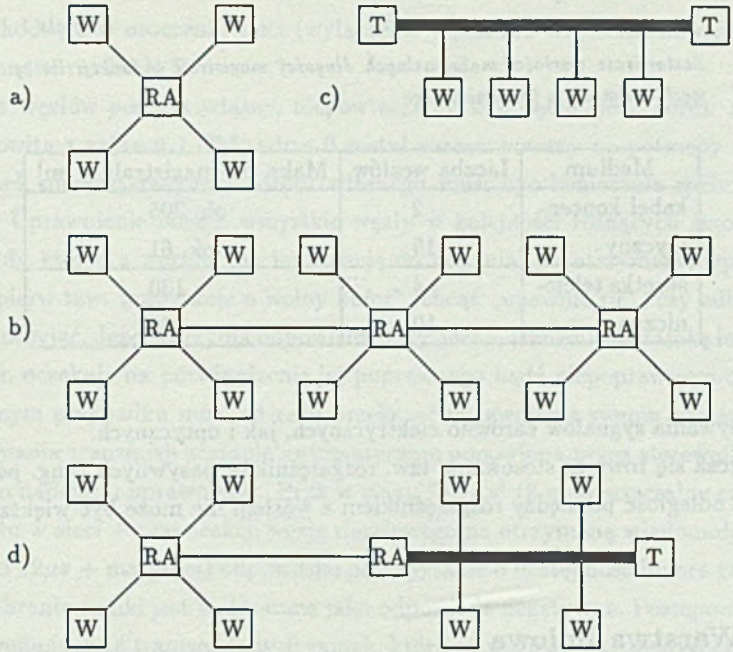
O ile na początku lat osiemdziesiątych obserwowano dość duże zainteresowanie sieciami tego typu, o tyle już w połowie tej dekady zainteresowanie to wyraźnie osłabło. Wydawało się wówczas, że rynek sieci lokalnych zostanie całkowicie opanowany przez rozwiązania zgodne ze standardami międzynarodowymi. Okazało się jednak, że realizacja sprzętowa sieci lokalnych opierająca się na sprzęgach Arcneta jest dużo tańsza niż rozwiązań zgodnych z normą ISO 8802 przy porównywalnych właściwościach. Podjęte w końcu lat osiemdziesiątych prace standaryzacyjne zostały, jak już wiemy, zakończone w 1992 roku.

Zagadnienia dotyczące zastosowanych w sieci Arcnet rozwiązań funkcji warstwy fizycznej i liniowej modelu OSI/ISO są prezentowane dość rzadko w polskojęzycznej literaturze (np. w [1, 11]). W niniejszym artykule przedstawiono sposób realizacji tych funkcji, osobny rozdział poświęcono problemom związanym z reakcją sieci na zakłócenia w normalnej jej pracy. Zastosowanie Arcneta nie musi się ograniczać do sieci przemysłowych – niski koszt kart sieciowych oraz dostępne oprogramowanie, jak np. LANtastic czy Netware Lite [8], umożliwiają tworzenie na bazie tego sprzętu sieciowego stosunkowo tanich sieci mikrokomputerów personalnych do zastosowań biurowych. Wprawdzie w tych zastosowaniach przesyłane są duże porcje danych z dużymi prędkościami – Arcnet zapewnia „zaledwie" 2.5Mb/s i maksymalnie 508 bajtów danych w ramce informacyjnej przy 10Mb/s i 1500 bajtach w sieci Ethernet, ale firma Datapoint w końcu ubiegłej dekady zapowiedziała wprowadzenie ulepszonej wersji Arcneta.

2. Charakterystyka warstw: fizycznej i liniowej sieci Arcnet

2.1. Warstwa fizyczna

Klasyczne rozwiązanie sieci Arcnet posiadało topologię gwiaździstą, zarówno skupioną (rys. 1.a), jak i rozproszoną (rys. 1.b) [9]. Obecnie stosuje się, obok wymienionych



RA - rozgałęźnik aktywny (active hub)
W - węzeł (node)
T - terminator (terminator)

Rys. 1. Konfiguracje sieci Arcnet: a) gwiazda skupiona, b) gwiazda rozproszona, c) magistrala, d) konfiguracja mieszana
Fig. 1. Arcnet network topologies: a) star, b) distributed star, c) bus, d) mixed topology

uprzednio, także topologię magistralową (rys. 1.c) i mieszaną (rys. 1.d). Punkt centralny gwiazdy stanowi rozgałęźnik aktywny (ang. *active hub*), pełniący dodatkowo funkcję regeneratora sygnału. Poprzez rozgałęźnik informacja nadawana przez jeden z węzłów jest rozsyłana do pozostałych, jednocześnie węzły (w liczbie do 255) są od siebie izolowane galwanicznie. Przy użyciu kabla koncentrycznego typu RG62/U oraz prędkości transmisji 2.5Mb/s maksymalna odległość pomiędzy rozgałęźnikiem a węzłem wynosi ok. 610 m. Rozproszona gwiazda powstaje przez połączenie w szereg kilku rozgałęźników aktywnych, przy czym należy pamiętać, aby odległość pomiędzy skrajnymi węzłami nie przekraczała ok. 6400 m. Czynnikiem determinującym tę odległość jest dopuszczalny czas propagacji sygnału w sieci równy $31\mu s$. W przypadku sieci o topologii magistralowej maksymalna długość magistrali zależy także od liczby węzłów oraz użytego medium transmisyjnego (tabela 1) [3, 11].

Zastosowanie światłowodów pozwala na dwukrotne zwiększenie odległości pomiędzy rozgałęźnikiem a węzłem (do 1220 m). Istnieją rozgałęźniki z przyłączami dostosowanymi

Tabela 1

Zestawienie wartości maksymalnych długości magistrali w funkcji liczby węzłów i medium transmisyjnego

Medium	Liczba węzłów	Maks. dł. magistrali w [m]
kabel koncentryczny	2	ok. 305
	19	ok. 61
skrętka telefoniczna	4	130
	10	100

do przekazywania sygnałów zarówno elektrycznych, jak i optycznych.

Dopuszcza się również stosowanie tzw. rozgałęźników pasywnych (ang. *passive hub*), przy czym odległość pomiędzy rozgałęźnikiem a węzłem nie może być większa niż 35 m [11].

2.2. Warstwa liniowa

2.2.1. Protokół dostępu do medium transmisyjnego

W sieci Arcnet zastosowano zmodyfikowany protokół przekazywania uprawnienia[4]. Istnienie uprawnienia, nieustannie krążącego pomiędzy węzłami sieci:

a) wyklucza rywalizację o dostęp do łącza transmisyjnego, tym samym eliminuje zjawisko kolizji – tylko ten węzeł, który otrzymał uprawnienie, może przesłać ramkę informacyjną;

b) zapewnia każdemu z węzłów sieci możliwość zajęcia medium przed upływem łatwego do oszacowania odcinka czasu.

Aby sieć pracowała poprawnie, oprócz spełnienia warunków stawianych warstwie fizycznej, powinien zostać spełniony jeszcze jeden: posiadacz uprawnienia musi rozpocząć transmisję ramki: informacyjnej lub organizacyjnej (np. ramki uprawnienia) przed upływem ograniczonego czasu, będącego parametrem protokołu. W przeciwnym przypadku węzły sieci stwierdzą fakt zaginięcia uprawnienia i podejmą czynności zmierzające do odtworzenia pierścienia logicznego (pierścień logiczny określa kolejność obiegu uprawnienia w sieci). Problemy związane z odtwarzaniem pierścienia, jak również z reakcją na

[4]Punkt odniesienia w tym przypadku stanowi protokół zdefiniowany w normie ISO 8802.4.

zmiany zachodzące w otoczeniu sieci (wyłączenie węzła lub włączenie nowego) zostaną przedstawione w rozdziale 5.

Każdy z węzłów posiada własny, niepowtarzalny w obrębie sieci, adres. Adres jest liczbą całkowitą z zakresu 1..255, adres 0 został zarezerwowany na potrzeby rozgłaszania. Warunek niepowtarzalności adresu własnego musi być koniecznie spełniony (rozdział 5.2.). Uprawnienie obiega wszystkie węzły w kolejności rosnących (modulo 255) adresów. Gdy któryś z węzłów ma informację do nadania, po otrzymaniu uprawnienia wysyła najpierw tzw. „zapytanie o wolny bufor", chcąc „upewnić się", czy odbiorca jest w stanie ją przyjąć. Jeżeli otrzyma odpowiedź pozytywną, transmituje ramkę informacyjną, po czym oczekuje na potwierdzenie jej poprawnego bądź niepoprawnego odebrania. W przeciwnym przypadku musi od razu przekazać uprawnienie swemu następnikowi, a próba dokonania transmisji zostanie automatycznie ponowiona przez sterownik sieciowy po kolejnym nadejściu uprawnienia. Brak w ciągu $74.7\mu s$[5] (2 x dopuszczalny czas propagacji sygnału w sieci + czas reakcji węzła docelowego na otrzymaną wiadomość równy w przybliżeniu $12\mu s$ + margines) odpowiedzi na zapytanie o dostępność bufora czy potwierdzenia odebrania ramki jest traktowane jako odpowiedź negatywna. Postępowanie takie pozwala wyeliminować transmisje tych ramek, które ze względu na „niedyspozycyjność" odbiorcy zostałyby odrzucone. Zmniejsza się tym samym obciążenie łącza transmisyjnego.

Zapytania o bufor i potwierdzania odebrania informacji nie stosuje się w przypadku rozgłaszania.

2.2.2. Typy i formaty ramek

Wyróżnia się następujące typy ramek:

1. uprawnienie (ang. *invitation to transmit*),
2. zapytanie o wolny bufor (ang. *free-buffer enquiry*),
3. informacyjna (ang. *data packet*),
4. potwierdzenie pozytywne (ang. *acknowledgment*),
5. potwierdzenie negatywne (ang. *negative acknowledgment*).

Ramki informacyjne z kolei dzieli się na:

- krótkie - o długości pola danych 1..253 bajtów,

[5] Parametr ten jest nazywany czasem odpowiedzi.

ramka uprawnienia (invitation to transmit - token)

FP	EOT	AO	AO

zapytanie o wolny bufor (free buffer enquiry)

FP	ENQ	AO	AO

ramka informacyjna krótka (short data packet)

FP	SOH	AN	AO	AO	256-N	dane (1..253 bajty)	CRC (2 bajty)

ramka informacyjna długa (long data packet)

FP	SOH	AN	AO	AO	0	512-N	dane (257...508 bajtów)	CRC (2 bajty)

ramka potwierdzenia pozytywnego (acknowledgment)

FP	ACK

ramka potwierdzenia negatywnego (negative acknowledgment)

FP	NAK

Rys. 2. Formaty ramek

Fig. 2. Frame formats

FP - flaga początkowa (sekwencja 111111)
AN - adres nadawcy
AO - adres odbiorcy
N - liczba bajtów danych
EOT - znak ASCII o kodzie 04H
ENQ - znak ASCII o kodzie 85H
SOH - znak ASCII o kodzie 01H
ACK - znak ASCII o kodzie 86H
NAK - znak ASCII o kodzie 15H

FP - alert burst (sequence 111111)
AN - source address
AO - destination address
N - number of data bytes
EOT - ASCII code 04H
ENQ - ASCII code 85H
SOH - ASCII code 01H
ACK - ASCII code 86H
NAK - ASCII code 15H

- długie - o długości pola danych 257..508 bajtów.

Ramki zawierające 254..256 bajtów danych, po uzupełnieniu pola danych do długości 257 bajtów, są przesyłane jako ramki długie. Konieczność uzupełniania wynika z przyjętego sposobu kodowania długości pola danych ramki informacyjnej. Sposób kodowania tej wartości zostanie omówiony na końcu tego rozdziału. Formaty ramek wszystkich typów przedstawiono na rysunku 2.

Według definicji zawartej w pozycji [11] ramka to ciąg bitów o określonej strukturze i jawnie zaznaczonym początku i końcu. Początek każdej z wymienionych wyżej ramek wyznacza sekwencja złożona z 6 jedynek (ang. *alert burst*). W tej samej pozycji literaturowej sekwencja ta nazywana jest także preambułą, chociaż cel nadawania preambuły

jest inny niż wyróżnienie początku ramki[6]. Nadawanie preambuły ma na celu przywrócenie, po dłuższym okresie bezczynności łącza, zdolności odbiorcy danych do rozeznania poszczególnych bitów przesyłanej ramki, a więc zsynchronizowanie nadawcy i odbiorcy. W sieci Arcnet występują jedynie krótkotrwałe, rzędu mikrosekund, okresy bezczynności łącza[7]. Do korzyści płynących z istnienia uprawnienia, wymienionych w rozdziale 2.2.1., należy zaliczyć jeszcze jedną: istnienie tegoż uprawnienia gwarantuje utrzymanie niemalże ciągłej aktywności w łączu. Eliminuje to tym samym konieczność nadawania preambuły. Sekwencję 6 jedynek poprzedzającą każdą z ramek będziemy nazywać flagą początkową. Ponadto każdy ze znaków jest poprzedzany sekwencją 110.

Znak następujący bezpośrednio po fladze początkowej określa typ ramki. Część ramek ma sztywnie ustaloną długość (ramki a,b,e,f rys. 2), a informację o liczbie bajtów danych zawiera sama ramka informacyjna. Rozwiązanie takie eliminuje potrzebę transmisji ciągu bitów stanowiącego flagę końcową, a co za tym idzie - zapewnia przeźroczystość protokołu bez konieczności „dokładania" bitów.

Piąty bajt ramki informacyjnej określa rodzaj tej ramki. Wartość niezerowa oznacza ramkę krótką. Zamiast liczby bajtów danych *a priori* przesyła się liczbę 256 - N (N – liczba bajtów danych) w przypadku ramki krótkiej i 512 - N w przypadku ramki długiej (szósty bajt ramki). Dzięki temu informację o długości pola danych ramki można zapisać w jednym bajcie, chociaż rozwiązanie to ma, co prawda niewielką, wadę. Ramka długa musi liczyć minimum 257 bajtów, stąd ramki zawierające 254..256 bajtów danych muszą być uzupełniane „pustymi" bajtami. W sieciach przemysłowych ramki takie stanowią jednak co najwyżej 10% całości przesyłanych ramek [3, 7].

Jedynie do ramki informacyjnej dołączana jest suma kontrolna CRC, obliczona z użyciem wielomianu generacyjnego $x^{16}+x^{15}+x^2+1$. W celu zmniejszenia ryzyka wystąpienia błędu w ramkach: uprawnienia i zapytania o wolny bufor stosuje się dublowanie adresu odbiorcy (rys. 2.a i 2.b).

3. Rozgłaszanie i adresowanie grupowe

Każdy z węzłów posiada adres, unikalny w skali sieci i będący liczbą całkowitą z zakresu 1..255. Węzeł o adresie adr przyjmuje tylko te ramki, których adres przeznacze-

[6]Np. w sieci Ethernet ramkę informacyjną poprzedza preambuła złożona z siedmiu bajtów o postaci 10101010 i znacznik początku ramki o postaci 10101011.

[7]Ze względu na wymóg ciszy w łączu po transmisji każdej ramki (minimalny czas trwania 3.6μs) oraz niezerowy czas reakcji węzła.

nia jest równy adresowi własnemu danego węzła. Jeżeli w węźle zostanie odblokowany odbiór wraz z opcją odbioru informacji rozgłoszeniowej, tj. przeznaczonej dla wszystkich aktywnych węzłów sieci, ramka informacyjna z zerową zawartością pola AO będzie przez ten węzeł również przyjęta. Ponieważ odbiór informacji przesyłanej w trybie rozgłaszania jest opcjonalny, stwarza to możliwość realizacji transmisji w trybie adresowania grupowego. Pociąga to za sobą konieczność zakazu odblokowywania *a priori* odbioru informacji rozgłoszeniowej we wszystkich węzłach i wstępnego powiadomienia grupy odbiorców o mającej nadejść informacji tego typu.

Jak wspomniano w rozdziale 2.2.1, w przypadku transmisji w trybie rozgłaszania nie stosuje się zapytania o wolny bufor, a odbiór ramek nie jest potwierdzany przez odbiorców.

4. Oszacowanie maksymalnego czasu oczekiwania na rozpoczęcie transmisji danych

Metoda przekazywania uprawnienia, zastosowana w sieci Arcnet, należy do grupy deterministycznych metod dostępu do medium transmisyjnego. Jako że uprawnienie obiega wszystkie węzły sieci, każdy z nich ma zagwarantowaną możliwość przejęcia kontroli nad łączem i realizacji w tym czasie transmisji danych. Ponieważ znany jest czas trwania procesu wymiany informacji w funkcji długości kabla i liczby bajtów danych, można wyznaczyć maksymalny czas oczekiwania na rozpoczęcie transmisji danych[8] w funkcji liczby węzłów.

Posiadacz uprawnienia może wysłać ramkę informacyjną dopiero po otrzymaniu pozytywnej odpowiedzi na zapytanie o wolny bufor. Odbiór ramki jest również potwierdzany. Niezależnie od tego, czy próba przetransmitowania ramki informacyjnej zakończy się sukcesem czy też nie, uprawnienie musi zostać przekazane kolejnemu węzłowi. Operacja przesłania ramki informacyjnej wymaga zatem przeprowadzenia 5 transmisji. Tabela 2 zawiera zestawienie liczby bitów przypadających na poszczególne ramki organizacyjne oraz liczbę bitów organizacyjnych w ramce informacyjnej[9]. Przetransmitowanie wszystkich bitów organizacyjnych zajmuje $t_{io} = 82.4\mu s$. Łączny czas t_{rw} reakcji węzłów: nadawczego, odbiorczego i kolejnego posiadacza uprawnienia, na otrzymywane wiadomości

[8] Liczony od chwili wydania sterownikowi przez procesor nadrzędny rozkazu „rozpocznij nadawanie".

[9] W tym przypadku podano liczbę bitów organizacyjnych w ramce długiej.

Tabela 2

Zestawienie liczby bitów organizacyjnych przesyłanych przy transmisji danych

Rodzaj ramki	Liczba bitów	Czas trwania transmisji w [μs]
zapytanie o wolny bufor	39	15.6
ramka informacyjna	94	37.6
potwierdzenie pozytywne	17	6.8
potwierdzenie negatywne	17	6.8
uprawnienie	39	15.6

wynosi w przybliżeniu $60\mu s$. Czas trwania t_{tz} transmisji 1 znaku jest równy $4.4\mu s$ (prędkość transmisji 2.5Mb/s, długość znaku - 11 bitów). Czasy: t_{io}, t_{rw} oraz t_{tz} stanowią stałe w równaniu określającym czas trwania t_{tb} transmisji bloku danych o ustalonej długości. Zmiennymi w tym równaniu są:

- liczba n bajtów danych,
- czas propagacji t_p sygnału pomiędzy węzłami: nadawczym i odbiorczym.

Równanie ma następującą postać:

$$t_{tb} = t_{io} + t_{rw} + n * t_{tz} + 5 * t_p \quad [\mu s] \tag{1}$$

gdzie:

t_{tb} – czas trwania transmisji bloku danych,
t_{io} – czas trwania transmisji informacji organizacyjnej,
t_{rw}– łączny czas reakcji węzłów: nadawczego, odbiorczego i kolejnego posiadacza uprawnienia w pierścieniu logicznym,
t_{tz} – czas trwania transmisji jednego znaku,
t_p – czas propagacji sygnału pomiędzy nadawcą i odbiorcą.

Wielkość t_{tb} przyjmuje wartość maksymalną dla $n = 508$ i $t_p = 31\mu s$, co daje $t_{tb_{max}} = 2532.6\mu s$. Gdy zakłada się przesyłanie wyłącznie ramek o liczbie bajtów danych nie przekraczającej 253, wówczas $t_{io} = 78\mu s$ i $t_{tb_{max}} = 1346.2\mu s$.

Jeżeli dokonano rozmieszczenia m węzłów sieci oraz przyporządkowania im adresów w ten sposób, że czas propagacji sygnału pomiędzy dowolnym węzłem i jego następnikiem

jest równy t_p oraz czas propagacji sygnału pomiędzy nadawcą i odbiorcą danych w każdym przypadku wynosi również t_p i przesyłane są ramki informacyjne o jednakowej długości, wówczas czas oczekiwania t_o na rozpoczęcie transmisji danych będzie równy:

$$t_o = m * t_{tb} \quad [\mu s] \tag{2}$$

Zatem maksymalny czas oczekiwania wyniesie:

$$t_{o_{max}} = m_{max} * t_{tb_{max}} \quad [\mu s]$$

gdzie $m_{max} = 255$. Oczywiście zależność (2) jest słuszna tylko wtedy, gdy praca sieci przebiega bez zakłóceń.

5. Zakłócenia w normalnej pracy sieci i sposoby reakcji

5.1. Zaginięcie uprawnienia

Ruch w sieci jest nieustannie obserwowany przez wszystkie węzły. Cisza lub szum w łączu trwający dłużej niż $78.2\mu s$[10] (czas odpowiedzi równy $74.7\mu s$ + czas potrzebny węzłowi oczekującemu na odpowiedź na rozpoczęcie transmisji kolejnej ramki + margines) zostaje przez nie zinterpretowany jako rezultat zaginięcia uprawnienia. Każdy z węzłów ustala wtedy adres swego następnika jako równy adresowi własnemu, po czym rozpoczyna odliczanie odcinka czasu o długości

$$(255 - \text{adres_własny_węzła}) * 146\mu s, \tag{3}$$

aby po jego upływie wysłać ramkę uprawnienia. Jak wynika z powyższego wzoru, inicjatorem procesu odbudowy pierścienia logicznego staje się węzeł o najwyższym adresie własnym. Pozostałe węzły po odebraniu nadanej przez niego ramki uprawnienia przerywają odliczanie czasu i przechodzą do nasłuchu łącza. Ponieważ inicjator wysyła ramkę uprawnienia z adresem odbiorcy równym adresowi własnemu, w przeciągu $74.7\mu s$ od momentu wysłania tej ramki żaden z pozostałych węzłów nie podejmie nadawania. Wówczas inicjator:

[10] Parametr ten jest nazywany czasem bezczynności.

1. zwiększa o 1 (modulo 255) adres swego następnika,

2. wysyła doń ramkę uprawnienia,

3. prowadzi nasłuch łącza przez czas równy czasowi odpowiedzi.

Jeżeli przed upływem tego czasu nie stwierdzi aktywności w łączu, czynności 1÷3 zostaną powtórzone. W przeciwnym przypadku zapamiętuje on adres swego następnika i przekazuje mu kontrolę nad łączem. Każdy z węzłów prowadzi poszukiwanie swego następnika w taki sam sposób jak inicjator. Proces odtwarzania pierścienia zostaje zakończony z chwilą, gdy uprawnienie otrzyma węzeł mający adres następnika różny od adresu własnego.

5.2. Włączenie nowego węzła

Nowo uruchomiony węzeł sygnalizuje „chęć" włączenia się do pierścienia logicznego wysyłając 765 razy sekwencję 111111110 (ang. *reconfigure burst*), wskutek czego ramka uprawnienia zostaje zniekształcona. Węzły sieci stwierdzają wówczas fakt zaginięcia uprawnienia i podejmują działania opisane w rozdziale 5.1. Ponieważ w trakcie odtwarzania pierścienia w polu AO ramki uprawnienia 2.2.2. występują wszystkie wartości z zakresu 0..255, nowo uruchomiony węzeł zostanie „odnaleziony" i dołączony do pierścienia. Czas trwania zakłócenia (2.754ms) dobrano tak, aby zniekształceniu uległa także ramka uprawnienia wysłana po uprzednim przetransmitowaniu ramki informacyjnej o maksymalnej długości (508 bajtów).

Czas rekonfiguracji sieci zależy od czasu propagacji sygnału pomiędzy najdalej położonymi węzłami, liczby węzłów oraz najwyższego adresu własnego, a jego wartość typowa zawiera się w granicach 24÷61ms. Rekonfigurację może wymusić także ten z węzłów, który nie otrzyma uprawnienia przed upływem około 840ms[11].

Jeżeli więcej niż jeden węzeł będzie posiadał ten sam adres, szum w łączu powstały wskutek „jednoczesnego" wytransmitowania ramek uprawnienia z dwóch źródeł zostanie przez pozostałe węzły zinterpretowany jako wynik zaginięcia uprawnienia. Wymusi to ponowną realizację ciągu czynności podanych w rozdziale 5.1. Stąd warunek niepowtarzalności adresów musi być koniecznie spełniony.

[11] Parametr ten w literaturze angielskojęzycznej jest określany jako RECONFIGURATION TIME, de facto jest to czas, przed upływem którego węzeł musi otrzymać uprawnienie, przy założeniu że w sieci pracuje maksymalna liczba węzłów.

5.3. Wyłączenie węzła

Wyłączenie węzła nie pociąga za sobą konieczności „niszczenia" ramki uprawnienia w celu dokonania rekonfiguracji sieci. Węzeł, który po przekazaniu uprawnienia swemu następnikowi nie stwierdzi aktywności w łączu przed upływem czasu odpowiedzi, uznaje, że jego następnik został wyłączony. W celu przywrócenia „ciągłości" pierścienia logicznego węzeł ten realizuje czynności 1÷3 (rozdział 5.1.) tak długo, aż któryś z pozostałych węzłów podejmie nadawanie w przeciągu 74.7μs.

6. Podsumowanie

Przełom lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych był okresem dość dużej popularności sieci Arcnet, która to popularność sprawiła, że Arcnet stał się standardem *de facto*. W połowie dekady lat osiemdziesiątych przewidywano, że rozwiązanie to zostanie całkowicie wyparte z rynku sieci lokalnych przez rozwiązania zgodne z zaleceniami ISO 8802.x. Pod koniec tej dekady zaobserwowano ponowny wzrost zainteresowania sprzętem Arcnet. Okazało się bowiem, że realizacja sieci lokalnych opartych na tym sprzęcie jest tańsza od realizacji zgodnych z zaleceniami ISO, a właściwości sieci są porównywalne. Podjęto wtedy prace mające na celu wprowadzenie protokołów warstwy fizycznej i liniowej do zbioru standardów *de iure*. Na początku lat dziewięćdziesiątych zanotowano kolejny spadek popularności tego sprzętu. Fr. J. Derfler, Jr. w artykule [5] do przyszłych użytkowników sieci zwracał się w następujący sposób: *„Budowanie sieci oznacza dokonywanie wyborów... Istnieje szereg możliwości wyboru: Arcnet, Ethernet, Token Ring i FDDI... Zanim dokonasz wyboru, musisz dokładnie określić swoje wymagania. Unikaj jednak stosowania sprzętu Arcnet – sprzedaż tego sprzętu spada. Rozwiązanie to było kiedyś popularne i po dziś dzień jeszcze w wielu instalacjach sprzęt ten pracuje. Jeżeli istniejące okablowanie pozwala na łączenie komputerów w sieć nie tylko za pośrednictwem adapterów Arcnet, modernizacja sieci powinna zostać oparta na rozwiązaniach zgodnych ze standardami ustalonymi przez IEEE lub ANSI: Ethernet, Token Ring i FDDI."*. Dokonana niedawno przez ANSI standaryzacja protokołów Arcneta powinna zachęcić użytkowników do dalszego wykorzystywania tego sprzętu sieciowego. Zwłaszcza że z punktu widzenia pewnych zastosowań rozwiązania warstw: fizycznej i liniowej sieci Arcnet posiadają pożądane właściwości (tabela 3).

Specjalizowane układy scalone – sterowniki sieciowe – dostosowane do współpracy z mikroprocesorami i realizujące, opisane w poprzednich rozdziałach, funkcje warstwy fizy-

Tabela 3

Zestawienie właściwości warstw: fizycznej i liniowej sieci Arcnet

Topologia	gwiazda: skupiona i rozproszona, magistrala, mieszana	
Media transmisji	skrętka telefoniczna, kabel koncentryczny, światłowody, środki transmisji bezprzewodowej	
Prędkość transmisji	2.5Mb/s	
Maksymalna liczba węzłów	255	
Maksymalna odległość między skrajnymi węzłami	zależna od topologii i użytego medium transmisji (rozdział 2.1.)	
Metoda dostępu do łącza	deterministyczna – przekazywania uprawnienia	
Rodzaj adresowania odbiorcy danych	indywidualne, rozgłaszanie, możliwość realizacji adresowania grupowego	
Liczba bajtów danych w ramce informacyjnej	ramka krótka	1..253
	ramka długa	257..508
Całkowita liczba bitów informacji organizacyjnej przy transmisji ramki informacyjnej (tabela 2)	ramka krótka	195
	ramka długa	206
Zabezpieczenie przed błędami transmisji	16-bitowe CRC obliczane z użyciem wielomianu generacyjnego $x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$	
Czas trwania transmisji 1 znaku	4.4μs	
Czas $t_{tb_{max}}$ trwania transmisji bloku danych o maksymalnej długości	ramka krótka	1346.2μs
	ramka długa	2532.6μs
Maksymalny czas oczekiwania na dostęp do łącza (przy założeniu że praca sieci przebiega bez zakłóceń)	$n * t_{tb_{max}}$ (n – liczba węzłów sieci)	
Reakcja na zakłócenia i zmiany zachodzące w konfiguracji sieci	samoczynna, nie wymagająca ingerencji operatora	
Czas odtwarzania pierścienia logicznego po zagubieniu uprawnienia	21÷58ms (wartość typowa)	
Czas rekonfiguracji sieci po włączeniu nowego węzła	24÷61ms (wartość typowa)	
Maksymalny czas poszukiwania przez węzeł nowego następnika	19.8ms	

cznej i liniowej oraz procedury reakcji na zakłócenia w normalnej pracy sieci są dostępne na rynku już od kilkunastu lat [9]. Programista jest zatem uwolniony od konieczności ich implementacji. Wytransmitowanie jednej ramki informacyjnej wymaga tylko umieszczenia danych w buforze nadawczym sterownika i wydania rozkazu „rozpocznij nadawanie". Po skompletowaniu pakietu w buforze odbiorczym sterownik powiadamia procesor główny o nadejściu danych. Stąd nakład pracy programisty potrzebny na zaimplementowanie procedury przesłania ramki pomiędzy węzłami sieci jest stosunkowo niewielki.

W ostatnich latach wprowadzono na rynek sterowniki sieciowe przystosowane do współpracy z mikrokomputerami jednoukładowymi. Czołowy producent bazy sprzętowej dla sieci Arcnet, firma Standard Microsystems Corp, oferuje układ do realizacji łącz sieciowych w systemach zbudowanych na bazie mikrokomputerów rodziny MCS51 firmy Intel lub 680x firmy Motorola [2]. W przypadku gdy występuje konieczność przesyłania dużych porcji danych w krótkich odstępach czasu pomiędzy takimi systemami lub ich zespołem (np. siecią sterowników przemysłowych) a mikrokomputerem (np. klasy IBM PC [3]), zastosowanie sterownika sieciowego staje się opłacalne. Koszt takiego układu wynosi w przybliżeniu 25$, zakup karty sieciowej do komputera IBM to wydatek rzędu 50÷60$. Stosowanie kabli koncentrycznych i rozgałęźników, aktywnych lub pasywnych, nie zawsze jest konieczne – w pewnych przypadkach można z powodzeniem wykorzystywać skrętkę telefoniczną i sprzęgać węzły sieci poprzez wspólną magistralę (tabela 1 str. 44).

Pod koniec lat osiemdziesiątych podano do publicznej wiadomości informację o pracach nad stworzeniem wersji sieci Arcnet o ulepszonych parametrach rozwiązań funkcji warstwy fizycznej [10]. Maksymalną prędkość transmisji ustalono w tej wersji na 20Mb/s, maksymalny rozmiar pola danych w ramce informacyjnej na 4000 bajtów. Na przełomie lat 1992 i 1993 roku firma Datapoint wprowadziła tę wersję na rynek pod handlową nazwą Arcnet Plus [6]. Nowe sterowniki sieciowe mogą współpracować ze sterownikami starszej generacji, przy 2.5Mb/s prędkości transmisji. Koszt adaptera sieciowego Arcnet Plus wynosi ok. 700$, koszt karty rozgałęźnika do komputera IBM PC – 1200$ (dane z początku 1993 roku). Wraz z upowszechnianiem się tej technologii zapewne można spodziewać się obniżki cen.

LITERATURA

[1] Białas A.: Przegląd rozwiązań lokalnych sieci komputerowych dla zastosowań przemysłowych. Materiały szkoleniowe nr 3/88, Katowice 1988.

[2] Standard Microsystems Corp.: COM20020 Universal Local Area Network Controller. 1990.

[3] Conner D.: The deterministic character of Arcnet proves ideal for the factory floor. EDN September 15, 1988, s. 101-110.

[4] Davidson R., Metz R., Beverly A.: Choosing a network for local industrial control. EDN November 24, 1988, s. 203-212.

[5] Derfler, Fr. J., Jr.: Connectivity simplified. An introduction to the ways of networking. PC Magazine, March 31, 1992, 251-285.

[6] Derfler Fr. J., Jr.: The Arcnet Standard. PC Magazine, February 9, 1993, str. 434.

[7] Gingold D., Veal B. L.: Arcnet and NetBios: low-cost communication combination. Control Engineering, October 1990, s. 89-91.

[8] Madron Th. W.: Peer–to–peer LANs. Networking two to ten PCs. John Wiley & Sons, New York 1993.

[9] Murphy J. A.: Token-passing protocol boosts throughput in local networks. Electronics, September 8, 1982, s. 158-163.

[10] Shandle J.: How they'll step up to 100-Mbit/s nets. Electronics, January 1989, s. 40, 45.

[11] Wolisz A.: Podstawy lokalnych sieci komputerowych. Sprzęt sieciowy. WNT, Warszawa 1990.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Grzywak

Wpłynęło do Redakcji 31 sierpnia 1994 r.

Abstract

After its introduction in 1977, Arcnet gained wide popularity fast. In the early eighties there were approximately 4000 installations worldwide based on Arcnet hardware. During 15 years Arcnet was *de facto* standard. In October, 1992, ANSI specified the Arcnet protocol as the „ATA/ANSI 878.1 Local Area Network Standard".

In this article physical and link layer protocols of Arcnet has been presented (section 2.). Structure of the Arcnet Network and usable transmission media has been described (subsection 2.1.). One of the possible network topology is the bus. Maximum length of the bus depends on number of nodes and used medium (table 1). Next, media access

scheme, frame formats (figure 2), and error checking has been explained. In the Arcnet network modified token passing scheme (not ISO 8802.4) is used (subsection 2.2.1.). Thanks to this method nodes don't compete for physical link, so collisions don't take place. Also, evaluation of the maximum time node have to wait before media access can be done (section 4.). Response of the network to changes in it's environment as well as regenerating of destroyed token has been presented (section 5.). In the section 6. main features of the Arcnet network has been collected.