NAUKI PODSTAWOWE
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
FUNDAMENTAL SCIENCES
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
1-NP/2012
ZESZYT 18
ROK 109
ISSUE 18
YEAR 109

JERZY BIAŁAS*

SPRAWNOŚĆ PRZESYŁANIA DANYCH W PIERŚCIENIOWYCH LOKALNYCH SIECIACH KOMPUTEROWYCH

DATA TRANSFER EFFICIENCY IN LOCAL AREA RING NETWORKS

Streszczenie

Pierścieniowe lokalne sieci komputerowe działają w sposób bezkolizyjny i bez rywalizacji. Natomiast inaczej wygląda to w najpopularniejszej obecnie technologii sieciowej Ethernet, w której kolizje mogą występować, nawet w dość dużym nasileniu. Te dwie cechy zapewniają znacznie wyższą sprawność sieci, a więc ilość danych, jaka może być skutecznie przesłana w tej samej jednostce czasu. Jest to szczególnie widoczne w czasie dużego obciążenia sieci. Niniejszy artykuł zajmuje się porównaniem sprawności działania dwóch sieci pierścieniowych: Token Ring i FDDI (Fiber Distributed Data Interface), biorąc pod uwagę ich mechanizmy dostępu stacji sieciowych do nośnika. W nawiązaniu do tego zagadnienia przedstawione są też ogólne informacje na temat sprawności sieci Ethernet.

Słowa kluczowe: lokalna sieć komputerowa, wydajność przesyłania danych, Ethernet, Token Ring, FDDI

Abstract

Local area ring networks operate without causing collision, and without station competition. It is quite opposite to currently the most popular technology, Ethernet network, where collisions may occur in a large amount. These two features of the ring networks provide significantly better performance and greater amount of data that can be effectively transmitted in the same time unit. This is especially true during high network load. This paper deals with the comparison of the efficiency of the two ring networks: Token Ring and FDDI (Fiber Distributed Data Interface), taking into account the access mechanisms to network stations. In relation to this issue general information about the efficiency of the Ethernet is also described.

Keywords: local area network, data transfer efficiency, Ethernet, Token Ring, FDDI

* Dr inż. Jerzy Białas, Instytut Informatyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

1. Sprawność Ethernetu

Duży spadek wydajności Ethernetu wykazano w opracowaniu Boba Metcalfa i Davida Boggsa opisującego rozwój i działanie Parc Ethernetu już w 1976 r. [4]. Dowiedli oni, że sieć wypełnia się przy 36,8% obciążenia. Zostało to przedstawione przy założeniach maksymalnej transmisji ramek o minimalnej długości.

W 1988 roku David Boggs wraz z dwoma współpracownikami (Mogul i Kent) opublikowali wyniki badań praktycznych rzeczywistego systemu Ethernet [1]. Nawet kiedy 24 stacje stale rywalizowały o pasmo i wysyłały ramki o minimalnym rozmiarze (warunki podobne do założeń pierwszego modelu), wykorzystanie kanału oscylowało w granicach 9 Mb/s.

Jak wynika aktualnie z obserwacji administratorów, w tradycyjnej magistralowej sieci pracującej w protokole Ethernet, wydajność sieci może spaść nawet o 80%.

Problemy z siecią zaczynają się, gdy [3]:

- średnie wykorzystanie sieci w ciągu dowolnych 15 minut pracy przekracza 50%,
- średnie wykorzystanie sieci w ciągu dowolnej 1 godziny pracy przekracza 30%,
- średnie wykorzystanie sieci w ciągu dowolnych 8 godzin pracy przekracza 20%.

Jeśli weźmiemy pod uwagę medium transmisyjne, w którym dane przesyłane są z szybkością 100 Mb/s, to w ciągu ośmiu godzin pracy sieci może być przesłane bez większych problemów 70,3 GB, a nie 351,6 GB, jak by to wynikało wprost z przemnożenia szybkości taktowania i czasu przesyłania danych. Ethernet znany jest jako sieć radząca sobie z dużą liczbą przesyłanych danych w jednostce czasu, ale gdy takie obciążenie jest krótkotrwałe, czyli gdy są to tzw. „wybuchy transmisji ramek" [3]. Gdy duże obciążenie trwa dłużej niż kilka minut, dochodzi najczęściej do „zakleszczenia sieci". Wynika ono z pojawiających się i następnie narastających lawinowo kolizji. Stacje, którym nie udało się wysłać swoich ramek, będą próbowały ponownie je przesłać po odstępie czasu generowanym losowo z pewnego przedziału wartości. Te dodatkowe retransmisje będą stanowić dodatkowy wzrost obciążenia sieci w kolejnych chwilach. W ten sposób coraz trudniej będzie przesłać dane bez wystąpienia kolizji.

Kolizje w Ethernecie pojawiają się wtedy, gdy dwie stacje inicjują transmisję w tym samym lub zbliżonym czasie. Ze względu na skończoną szybkość propagacji sygnału w sieci rozpoznanie kolizji przez stację może nastąpić nawet dopiero po upływie względnie długiego czasu od rozpoczęcia nadawania. Np. w technologii Ethernet 802.3, pracującej z szybkością 10 Mb/s, ten czas może wynieść nieco ponad 50 mikrosekund [3] i taka może być też różnica czasowa w rozpoczęciu transmisji przez dwie stacje. Czas ten nie wynika z samej propagacji sygnału elektrycznego w przewodniku, ale głównie z opóźnień w urządzeniach występujących na drodze transmisji, które wnoszą znacznie większy czas opóźnienia sygnału niż sama propagacja sygnału elektrycznego [2]. Maksymalna szerokość sieci 925 m w technologii Ethernetu 10Base2 jest pokonywana przez falę elektromagnetyczną bez uwzględniania urządzeń pośredniczących w czasie 3,1 μs. Przy dużym obciążeniu sieci dochodzącym do maksymalnej możliwej przepustowości sieć Ethernet zakleszcza się dość szybko. Jak to natomiast wygląda w technologiach Token Ring i FDDI?

Ten problem spadku wydajności pojawiający się przy dużym obciążeniu nie występuje w sieciach pierścieniowych, w których mamy do czynienia z Tokenem (żetonem), którego obecność w poszczególnych stacjach organizuje dostęp do nośnika. Nie ma tutaj zatem rywalizacji w dostępie do medium transmisyjnego i nie ma też możliwości wystąpienia kolizji, gdyż dane mogą być wysyłane w danej chwili tylko przez jedną stację; tę, która posiada Token.

2. Token Ring

W sieciach pierścieniowych, Token Ring lub FDDI, stacja może wysyłać swoje dane zorganizowane w postaci ramek danych, dopiero gdy otrzyma wcześniej od poprzedniej stacji trzybajtową ramkę Token [7]. W pierścieniu transmisja odbywa się zawsze w jednym kierunku. Dla zabezpieczenia przed pojawieniem się w pierścieniu kilku ramek jednocześnie, oprogramowanie sieciowe nie umożliwia wygenerowania nowej ramki danych. Nagłówek ramki danych może powstać tylko z Tokena przez jego modyfikację (negacja pojedynczego bitu w drugim bajcie Tokena). Wysłana ramka danych obiega cały pierścień dookoła i na koniec dociera do nadawcy. W trakcie obiegu poszczególne stacje odczytują w locie adres odbiorcy i stacja, która identyfikuje się jako odbiorca, odczytuje dane i ustawia znacznik potwierdzenia odbioru danych w przesuwającej się ramce. Wszystko to odbywa się bez zatrzymania transmisji. Wykorzystywane są tylko rejestry przesuwne jako bufory w poszczególnych stacjach. Nadawca sprawdza znacznik odbioru danych i wie w ten sposób, że dane dotarły do adresata. Jednocześnie nadawca likwiduje swoją ramkę. Przyjmijmy, że rejestr przesuwny ma wielkość trzech bajtów. Protokół transmisji określa minimalną ilość bajtów, które muszą być buforowane przez pierścień. Muszą to być 3 bajty, ponieważ z tylu składa się Token. Po obiegnięciu ramki danych dookoła pierścienia stacja posiadająca Token może wysłać kolejne ramki, o ile nie minął dopuszczalny czas przetrzymywania Tokena (standardowo 10 ms). W przeciwnym przypadku przekazuje Token do następnej stacji.

Celem autora nie jest porównywanie bezwzględnych wartości liczby przesłanych bajtów, lecz określenie sprawności sieci definiowanej jako maksymalna możliwa ilość przesłanych danych wynikająca z protokołu transmisji do ilości danych, jakie zostałyby przesłane przez medium transmisyjne (np. między dwoma urządzeniami), biorąc tylko pod uwagę szybkość bitową transmisji i uznając, że nie ma strat na przesyłanie danych nadmiarowych służących do organizacji transmisji przez protokół. Wartość tę wyraża się w procentach. Zatem ogólnie sprawność η będzie w postaci:

$$\eta = \frac{R_d}{L_m} \cdot 100\% \tag{1}$$

gdzie:

- η – sprawność lokalnej sieci komputerowej wyrażona w [%],
- R_d – liczba bajtów użytecznych przesłanych w sieci - rozmiar ramki danych,
- L_m – maksymalna możliwa liczba bajtów w pełnym cyklu wynikająca z szybkości taktowania sieci.

Medium transmisyjne taktowane jest ze stałą częstotliwością, określając w ten sposób szybkość bitową linii. Niech określenie „pusty bajt" będzie odpowiednikiem czasu transmisji jednego bajta danych, gdy w medium brak jest aktualnie transmisji danych użytecznych. W pracującym pierścieniu Token Ring (rys.1) obserwator będzie obserwował ramkę danych użytecznych, następnie brak transmisji danych przez czas odpowiadający obiegowi danych dookoła pierścienia (będą to puste bajty w ilości odpowiadającej pojemności buforów wszystkich stacji w pierścieniu oraz ramkę Token – razem L_m bajtów.

Zatem:

$$L_m = R_d + L_p + T \tag{2}$$

gdzie:

L_p – liczba bajtów „pustych" – gdy brak przesyłania danych a medium transmisyjne jest taktowane

T – rozmiar Tokena (standardowo 3 bajty)

czyli sprawność Token Ringu wyniesie:

$$\eta_{TR} = \frac{R_d}{R_d + L_p + T} \cdot 100\% \tag{3}$$

$$L_p = n \cdot R_B \tag{4}$$

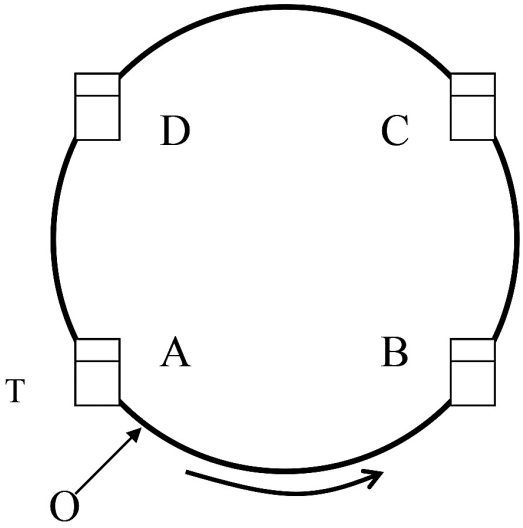
gdzie:

n – liczba stacji w pierścieniu,

R_B – rozmiar bufora (rejestru przesuwnego) każdej stacji - przyjętego w tym opracowaniu jako 3 bajty.

Ostatecznie:

$$\eta_{TR} = \frac{R_d}{R_d + nR_B + T} \cdot 100\% \tag{5}$$



Rys. 1. Poglądowy schemat działania pierścienia Token Ring i FDDI z zaznaczonym obserwatorem O, T – Token, A,B,C,D – stacje robocze

Fig. 1. Block diagram of Token Ring and FDDI action with the selected observer O, T – Token, A, B, C, D – workstations

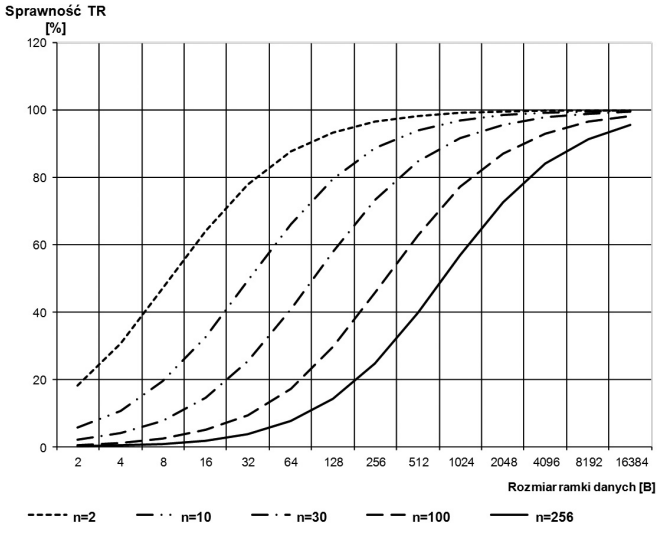
Dla określenia sprawności należy zliczać bajty. Niech w punkcie O bezpośrednio za stacją A (rys. 1) będzie umieszczony obserwator zliczający przesyłane bajty. Niech na początku stacja A posiada Token. Ma zatem prawo wysłać swoją ramkę. Ramka może mieć rozmiar począwszy od 2 bajtów (np. ramka przerwania złożona jest z dwóch bajtów: bajt ogranicznika początku i bajt ogranicznika końca), a skończywszy na maksymalnym rozmiarze ramki danych 18000 B.

Przyjęto założenia, że każda stacja sieciowa posiada bufor w postaci rejestru przesuwnego o wielkości trzech bajtów i każda stacja zawsze będzie chciała wysyłać dane, w ten sposób zostanie zbadana sprawność przy maksymalnym obciążeniu sieci.

Obserwator będzie obserwował wysyłane dane ze stacji A, a następnie puste bajty aż do czasu zakończenia obiegu pierścienia przez ramkę danych oraz Token, który stacja A po skończonej transmisji przekaże dalej. Sprawność będzie zależała od wielkości przesyłanej ramki oraz od pojemności pierścienia, która wpływa na czas pustych bajtów. Np. dla ramki o wielkości 100 B i sieci złożonej z 30 stacji, obserwator w cyklu przesłania danych zaobserwuje 100 B danych „użytecznych" i 30*3 bajtów pustych oraz 3 bajtowy Token. Zatem sprawność wyniesie

$$\eta_{TR} = \frac{100}{100+90+3} \cdot 100\% = 51{,}8\% \tag{6}$$

Licząc w ten sposób sprawność dla wielkości ramek w zakresie 2-18000 B dla różnych rozmiarów pierścienia, otrzymamy szereg wartości, które można przedstawić w postaci rodziny krzywych na wykresie (rys 2), gdzie wartościami na osi poziomej jest rozmiar przesyłanej ramki, a parametrem określającym daną krzywą – rozmiar pierścienia.



Rys. 2. Rodzina krzywych przedstawiających sprawność technologii Token Ring w funkcji rozmiaru ramki przy wybranych parametrach rozmiarów pierścienia

Fig. 2. The set of characteristics presenting the fficienct of the technology Token Ring as a function of the frame size and the ring size

Z wykresów (rys. 2) wynika, że sprawność pierścienia Token Ring silnie zależy od rozmiarów ramek danych i wielkości pierścienia. Tylko duże ramki i względnie małe pierścienie pozwalają na osiąganie wyższych sprawności rzędu 80-100%.

3. FDDI

W przypadku technologii pierścieniowej FDDI, o ile chodzi o dostęp do nośnika, jest jedna zasadnicza różnica w porównaniu do technologii Token Ring. Nadawca w FDDI nie czeka z przekazaniem Tokena do następnej stacji aż jego ramka danych obiegnie cały pierścień, tylko bezpośrednio za nią umieszcza Token. Jest to tzw. mechanizm szybkiego uwalniania Tokena [5]. Dzięki temu kolejna stacja ma możliwość umieszczenia swojej ramki bezpośrednio za ramką danych nadawcy A (rys. 1). Kolejna stacja, gdy otrzyma Token, może go zamienić w nagłówek ramki danych, następnie umieścić dane zgodnie z częstotliwością taktowania pierścienia i za swoją ramką umieścić Token. W ten sposób nie następuje opróżnienie pierścienia i jego jałowa praca, tak jak to jest w Token Ringu. Obserwator „widzi" zatem ciąg ramek danych pochodzących od różnych nadawców, a na samym końcu ramkę Token. Później za ramką Tokena jest krótka chwila, gdy obserwator widzi puste bajty. Jest to czas odpowiadający sytuacji, gdy ramka danych po obiegnięciu całej pętli zostaje usuwana z pierścienia przez jej nadawcę. Stanowi to mały procent czasu pracy pierścienia i w związku z tym mały spadek wydajności transmisji. Zatem sprawność dla technologii FDDI można określić

$$\eta_{FDDI} = \frac{nR_d}{nR_d + nR_B + T} \cdot 100\% = \frac{R_d}{R_d + R_B + \frac{T}{n}} \cdot 100\% \qquad (7)$$

Z (7) wynika, że rozmiar pierścienia (liczba stacji) w przypadku FDDI ma pomijalnie mały wpływ na sprawność. Jeśli chodzi o transmisję Tokena, to w przypadku Token Ringu jego rozmiar sumuje się wprost w mianowniku, w przypadku FDDI ma tym mniejszy wpływ im więcej jest stacji w pierścieniu.

Dla analogicznego przykładu jak (6), dla ramek danych o wielkości 100 B i sieci złożonej z 30 stacji, obserwator w cyklu przesłania danych zaobserwuje 30*100 B danych „użytecznych" i 30*3 bajtów pustych. Zatem sprawność dla FDDI wyniesie

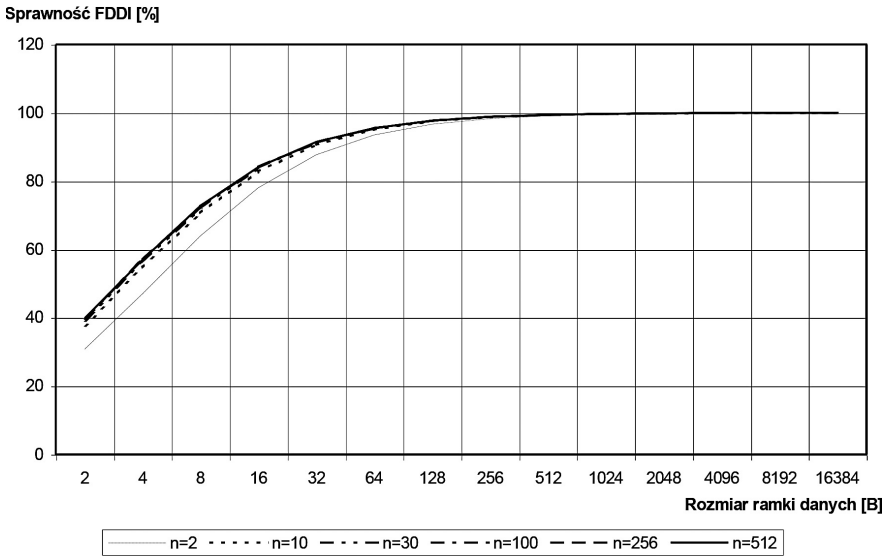
$$\eta_{FDDI} = \frac{100}{100 + 3 + \frac{3}{30}} \cdot 100\% = 97\% \qquad (8)$$

Wobec spadku sprawności w TR o blisko 50 % (6), tutaj mamy spadek tylko o 3%.
Dla ramek danych wielkości rzędu 1 kB będzie to odpowiednio

$\eta_{TR} = 91{,}5\ \%$

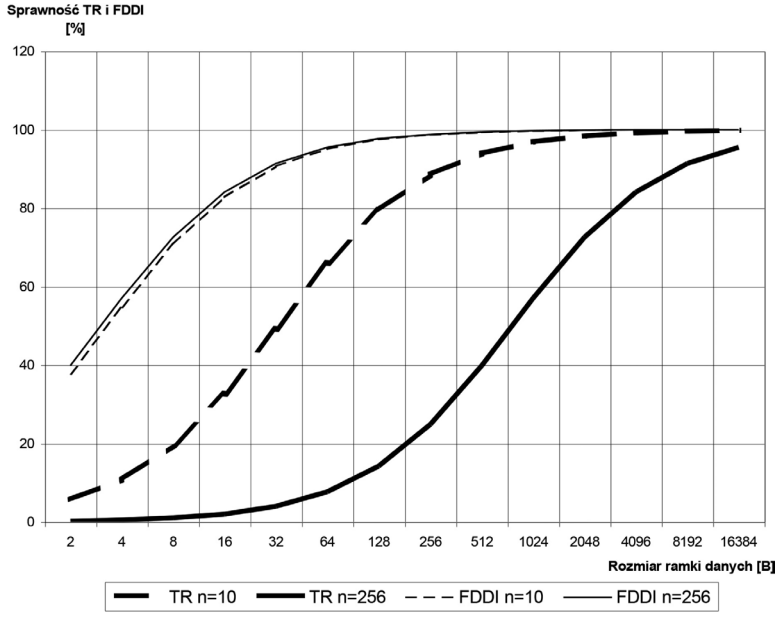
$\eta_{FDDI} = 99{,}7\ \%$

Zatem sprawność w Token Ringu wzrasta do nieco ponad 90%, a w FDDI osiąga praktycznie 100%.



Rys. 3. Rodzina krzywych przedstawiających sprawność technologii FDDI w funkcji rozmiaru ramki przy wybranych parametrach rozmiarów pierścienia

Fig. 3. The set of characteristics presenting the efficiency of the technology FDDI as a function of the frame size and the ring size



Rys. 4. Porównanie wybranych krzywych sprawności w TR i FDDI dla tych samych parametrów

Fig. 4. Direct comparison of efficienct TR and FDDI for the same parameters

Rodzina krzywych (rys.3) pokazuje, że zwiększanie liczby urządzeń w pierścieniu nie wpływa na zmianę sprawności. Jedynie dla bardzo małej liczby sprawność jest nieco mniejsza, jednak jest to ilość nie mająca znaczenia w praktyce. Natomiast zwiększanie liczby urządzeń poprawia sprawność. Jest to zjawisko odwrotne niż w technologii Token Ring. Poza tym dla praktycznych wielkości ramek (powyżej 60B) sprawność staje się bliska 100%.

Rysunek 4 bezpośrednio pokazuje, że sprawność technologii FDDI jest zdecydowanie większa niż dla Token Ringu. Największa różnica jest dla pierścieni o większej średnicy. Co więcej, wzrost rozmiaru pierścienia poprawia sprawność FDDI, a zdecydowanie pogarsza dla Token Ringu w szerokim zakresie rozmiarów ramek.

Porównując technologię FDDI z Token Ring, oprócz powyżej przedstawionej analizy sprawności, warto jeszcze wymienić najważniejsze różnice między nimi [6]. Są to głównie zalety FDDI:

- Szybkie uwalnianie Tokena;
- Wyższa sprawność – bliska 100% – niezależnie od wielkości pierścienia;
- Możliwość autonaprawy bez przerywania pracy poprzez logiczne zawijanie pierścienia;
- Możliwość pracy w podwójnym pierścieniu;
- Możliwość większej liczby stacji roboczych (do 500);
- Znacznie większy zasięg sieci (nawet do 200 km);
- Transmisja światłowodem, chociaż jest wersja FDDI w oparciu o skrętkę miedzianą, wtedy jest to CDDI;
- Większa szybkość strumienia bitowego – mniej istotna, ponieważ i w technologii Token Ring są możliwe „szybkie" wersje;
- Różnice w wielkości ramki danych – w TR do 18 kB w FDDI do 4,5 kB.

4. Wnioski

W pierścieniowych sieciach lokalnych pracujących w technologii Token Ring sprawność wg definicji (1) znacznie spada dla ramek o małych, a nawet średnich rozmiarach, szczególnie znaczny spadek jest widoczny dla pierścienia zawierającego dużo stacji roboczych.

Technologia FDDI jest odporna na spadek wydajności dla małych ramek, nawet przy dużych pierścieniach zawierających znaczną liczbę stacji, a wręcz większa liczba stacji poprawia sprawność. Sprawność pozostaje wysoka – ponad 90% już od rozmiaru ramki 30B. Decyduje o tym mechanizm szybkiego uwalniania Tokena, którego to mechanizmu nie ma w technologii Token Ring.

W tej analizie przyjęto całą ramkę danych jako dane użyteczne. Nie brano zatem pod uwagę różnic w budowie ramki w technologii Token Ring i FDDI, aby wyraźnie wskazać znaczenie mechanizmu szybkiego uwalniania Tokena. Różnica w budowie ramek miałaby tylko takie znaczenie o ile różne są rozmiary ramek przy przenoszeniu takiej samej liczby danych użytkownika. Ramka danych zawiera oprócz samych danych dodatkowe bajty organizujące przesyłanie ramki w sieci lokalnej i rozległej. Są to m.in. bajty kontrolne, adres odbiorcy, adres nadawcy, suma kontrolna itp., wynikające z całego procesu przygotowania ramki danych począwszy od najwyższej warstwy – warstwy aplikacji, a skończywszy na warstwie łącza danych modelu Osi. Warstwa fizyczna już nie dokłada żadnych logicznych bajtów – zamienia tylko postać logiczną ramki na strumień bitowy.

W tym opracowaniu skupiono się przede wszystkim na wskazaniu zasadniczej różnicy w dostępie do medium transmisyjnego – szybkiego uwalniania Tokena – aby pokazać wpływ jedynie tego mechanizmu na różnice w sprawności, przyjmując pozostałe parametry takie jak: szybkość taktowania pierścienia, rozmiar ramek danych jako takie same w obu technologiach.

Literatura

[1] Boggs D.R., Mogul J.C., Kent C.A., *Measured capacity of an Ethernet: myths and reality*, Sigcomm 1988;
[2] Brenton C., *Projektowanie sieci wieloprotokołowych*, Warszawa 1998;
[3] Krysiak K., *Sieci komputerowe. Kompendium*, Helion 2005;
[4] Metcalfe R.M., Boggs D.R., *Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks*, Xerox Palo Alto Research Center 1978;
[5] Mills A., *Understanding FDDI*, Prentice Hall,1995;
[6] Sportack M., *Sieci komputerowe. Księga eksperta*, Helion 2004;
[7] Tanenbaum A.S., *Sieci komputerowe*, Helion 2004.