

Stanisław JĘDRUŚ

Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej, PAN

WYKORZYSTANIE ŚRODOWISKA SMURPH W OCENIE EFEKTYWNOŚCI PROTOKOŁÓW MAC DQDB I FDDI

Streszczenie. Niniejsze opracowanie ma na celu zaprezentowanie wyników symulacyjnej oceny efektywności protokołów DQDB i FDDI. Badania modelowe wykonano za pomocą pakietu SMURPH, którego krótką charakterystykę podano również w pracy. Badania protokołów obejmują określenie wpływu podstawowych parametrów protokołów na pracę sieci.

USING SMURPH MODELLING ENVIRONMENT FOR PERFORMACE EVALUATION OF DQDB AND FDDI MAC PROTOCOLS

Summary. This article presents simulation results of DQDB and FDDI MAC protocols. Simulations have been performed using SMURPH Modelling Environment and this article contains also a brief sketch of this simulation tool. The aim of simulations was to determine the influence of basic protocol parameters on a network efficiency.

1. Wstęp

Wraz z rozwojem sieci komputerowych pojawiają się coraz to nowe wymagania odnośnie do protokołów transmisji. Z jednej strony protokoły ulegają standaryzacji, co umożliwia wielu producentom produkcję osprzętu i oprogramowania wzajemnie się akceptującego. Z drugiej strony postęp technologiczny, jaki dokonuje się na polu szybkości i niezawodności łączy, otwiera nowe możliwości komunikacji. W miarę upowszechniania się nowych technologii zapotrzebowanie na nowe i wydajniejsze protokoły wzrasta, toteż w wielu ośrodkach na świecie prowadzone są intensywne badania nad poprawieniem istniejących standardów oraz stworzeniem nowych: wydajniejszych i lepiej przystosowanych do współczesnych wymagań.

W związku z prowadzonymi pracami zachodzi potrzeba oceny protokołów, tak aby można było obiektywnie stwierdzić, czy nowo opracowany protokół jest lepszy od obecnie używanego.

W obecnych czasach symulatory protokołów stały się podstawowym narzędziem oceny ich efektywności. Symulatory pozwalają także na lepsze zrozumienie idei danego protokołu oraz dostrzeżenie wielu drobnych, lecz znaczących zależności, jakie dany protokół wprowadza, których nie sposób zawrzeć w modelu teoretycznym. Podstawową wadą symulatorów jest ich duże zapotrzebowanie na moc obliczeniową. Uzyskanie wiarygodnych wyników wiąże się z symulacją dużej liczby zdarzeń. Stąd obliczenia, chociaż nie mają zwykle dużych wymagań pamięciowych, zajmują dużą ilość czasu procesora.

Pomimo czasochłonności symulacje są często jedynym względnie tanim środkiem uzyskania potrzebnych danych liczbowych. Symulatory są również ważnym elementem dydaktyki, pokazując w czytelnym i sformalizowanym zapisie sposób działania danego protokołu.

Jednym z najpopularniejszych stosowanych obecnie protokołów przeznaczonych dla sieci LAN i MAN jest protokół FDDI. Z powodu nowych potrzeb, które nie były uwzględnione w założeniach protokołu FDDI, opracowano protokół o pierwotnej nazwie QPSX, znany obecnie pod nazwą DQDB. Protokoły te zostały poddane analizie symulacyjnej. Do analizy wykorzystano pakiet SMURPH autorstwa P. Gburzyńskiego [3,4] z University of Alberta z Edmonton w Kanadzie. W ramach niniejszego artykułu zostaną pokrótce przedstawione możliwości pakietu oraz zaprezentowane wyniki przykładowych badań protokołów DQDB i FDDI wykonanych za pomocą tego pakietu.

2. Podstawowe cechy pakietu SMURPH

SMURPH stanowi otoczkę językową nad językiem C++. Udostępnia on dodatkowe słowa kluczowe zwiększające czytelność i zwartość programu symulatora, oraz klasy biblioteczne, za pomocą których można modelować rzeczywiste sieci. Podstawowymi klasami reprezentującymi fizyczne obiekty są klasy Station, Link i Port. Klasa Station reprezentuje pojedyncze stanowisko podłączone do sieci. Na takim stanowisku wykonuje się zespół procesów realizujących przetwarzanie danych oraz protokoły transmisji. Do stanowiska przynależą też obiekty związane z pomiarem wielkości statystycznych oraz kolejki pakietów. Klasa Link reprezentuje fizyczne medium transmisyjne. Klasa Port służy do podłączenia obiektów klasy Station do obiektów klasy Link. Stanowi ona odpowiednik karty sieciowej. Aby zbudować w pełni funkcjonalny symulator, poza utworzeniem sieci należy określić procesy odpowiadające za przesył danych, tj. zaimplementować badany protokół warstwy MAC. Dodatkowo należy określić sposób generowania pakietów z danymi oraz warunki zakończenia symulacji.

Procesy są w SMURPH'ie obiektami klasy *Process*. Klasa ta wymaga od użytkownika zdefiniowania specjalnej pseudometody *perform*. Metoda ta określa reakcje procesu na zdarzenia podczas symulacji. Proces wykonuje się na zasadzie odpowiedzi na zdarzenie i można go nazwać automatem skończonym. Każdy proces musi mieć zdefiniowaną listę stanów, w których się może znaleźć. W metodzie *perform* deklaruje się fragmenty kodu wykonywane dla każdego z tych stanów. Zdarzeniami w SMURPH'ie mogą być np. upływanie zadanej odległości czasu, odebranie przez port początku pakietu czy też wejście innego procesu w jakiś określony stan. Klasy, których obiekty są zdolne do generowania zdarzeń, dziedziczą z istniejącej w SMURPH'ie klasy *AI* i są nazywane *Activity Interpreters*. Do zadeklarowania, że proces oczekuje na dane zdarzenie, służy metoda *wait* klasy, od której oczekujemy zgłoszenia zdarzenia. Można zadeklarować dowolną liczbę oczekiwanych zdarzeń. Po zajściu któregośkolwiek z nich pozostałe deklaracje są kasowane. Zdarzenie jest wybierane losowo, jeśli dwa zdarzenia zachodzą w tym samym momencie. Wybór jest dokonywany osobno dla każdego oczekującego procesu.

Ruch danych w sieci może być w SMURPH'ie generowany automatycznie poprzez specjalny obiekt *Client*. Aby to było możliwe, trzeba utworzyć obiekty klasy *Traffic*. Obiekty te pełnią rolę generatorów pakietów jednej klasy. Generowane pakiety są kolejgowane przed stacjami i mogą być dowolnej wielkości; są one dopiero przy pobieraniu z kolejki przekształcane na pakiety o właściwych rozmiarach.

Pomiar statystyk przepustowości sieci jest dokonywany automatycznie. Wszelkie inne statystyki użytkownik musi zadeklarować sam poprzez utworzenie odpowiednich obiektów i dołączenie kodu uaktualniającego statystyki. Dane statystyczne można zbierać za pomocą klasy *RVariable*, która reprezentuje pojedynczą zmienną losową. Obiekty te umożliwiają pomiar wartości średniej i wyższych momentów centralnych ze zbieranych próbek. Możliwy jest pomiar do 32 momentu centralnego włącznie. Obiekty te automatycznie wyliczają też względny promień przedziału ufności (przedział ufności podzielony przez wyznaczoną wartość średnią) dla poziomu ufności 95% i 99%.

Wszystkie czynności związane z utworzeniem sieci, uruchomieniem procesów, zadeklarowaniem postaci generowanych strumieni danych i warunków zakończenia symulacji oraz wyprzedzeniem wyników wykonuje w SMURPH'ie specjalny proces klasy *Root*, który użytkownik musi sam zdefiniować.

SMURPH udostępnia kilka nowych typów arytmetycznych. Wprowadzenie nowych typów okazało się konieczne ze względu na fakt, że dokładność wyników symulacji rośnie wraz długością symulacji. Długie symulacje powodują często przepełnienie standardowych typów, szczególnie całkowitych. Podstawowym nowym typem arytmetycznym jest typ *BIG*. Typ ten pozwala na zapisywanie liczb naturalnych z obieralną precyzją do 279 bitów włącznie.

3. Symulacje protokołu DQDB

3.1. Podstawowe cechy protokołu DQDB

Protokół DQDB definiuje usługi warstwy MAC dla sieci LAN. Prowadzone są badania nad zastosowaniem protokołu do sieci MAN. Został on wstępnie opracowany pod nazwą QPSX w Australii. Po pewnym czasie organizacja IEEE zdecydowała o zaadoptowaniu protokołu do modelu sieci otwartych i włączeniu go do standardu opracowywanego przez komisję 802. Specyfikacja protokołu DQDB została oznaczona numerem IEEE 802.6. Protokół jest ciągle w fazie konstrukcji, jednakże niektóre firmy europejskie sprzedają już osprzęt do konstrukcji sieci opartych na tym protokole. Protokół DQDB wymaga sieci o architekturze podwójnej magistrali, każda w przeciwnym kierunku. Dostęp do magistrali przydzielany jest w małych jednostkach nazywanych segmentami. Segmenty są przydzielane poszczególnym stacjom według jednej z dwóch reguł. Dla ruchu synchronicznego przydzielane są segmenty według reguły dostępu synchronicznego PA (ang. *Pearbitrated Access*). Dla ruchu asynchronicznego przydział segmentów odbywa się na podstawie reguły dostępu asynchronicznego QA (ang. *Queuearbitrated Access*). Segmenty są tworzone poprzez generatory znajdujące się na początku każdej z magistral i grupowane są w ramki generowane co 125 μ s. Sieć używająca protokołu DQDB standardowo pracuje z prędkością przesyłu około 155 Mbps.

Reguła PA pozwala stacjom na nawiązanie połączenia w ramach wirtualnego kanału transmisyjnego. Kanał ten jest tworzony poprzez rezerwację odpowiedniej liczby segmentów w ramach każdej ramki na potrzeby danego kanału. Rezerwacji dokonują generatory podczas tworzenia danego segmentu. Zewnętrznym efektem utworzenia takiego kanału jest zmniejszenie przepustowości dostępnej dla ruchu asynchronicznego.

Dostęp w trybie QA jest przeznaczony dla transmisji asynchronicznej, gdyż w odróżnieniu od trybu PA nie daje żadnej gwarancji odnośnie do opóźnień. Tryb ten stosuje regułę rozproszonej kolejki dla przydzielania konkretnym stacjom dostępu do segmentów na magistrali. Tak skonstruowany protokół niestety nie zapewnia sprawiedliwego dostępu do łącza. Podstawową przyczyną tego jest fakt, że stacje są ustawione w stałej kolejności względem generatora znaczników segmentów. Aby zaradzić temu zjawisku, do protokołu DQDB dołączono mechanizm BWB (*BandWidth Balancing*). Mechanizm ten polega na tym, że stacja jest zmuszona co pewien czas przepuścić wolny segment, który zgodnie z regułą rozproszonej kolejki miała prawo wypełnić własnymi danymi. Mechanizm ten powoduje, że stacje leżące dalej od generatora znaczników otrzymują więcej wolnych segmentów, co umożliwia im wytransmitowanie swoich danych. Dzięki temu równoważony jest dostęp poszczególnych stacji do magistrali. Szybkość równoważenia dostępnego pasma pomiędzy poszczególnymi stacjami zależy od wartości parametru BWB_mod. Im niższa wartość, tym więcej wolnych segmentów jest prze-

puszczanych przez daną stację i tym szybsze jest równoważenie. Jednakże mechanizm ten powoduje straty. Jeden segment na BWB_mod wolnych segmentów, jakie docierają do ostatniej chcącej wysyłać dane stacji, jest przepuszczany wolno. W ten sposób w najgorszym przypadku tracimy $(BWB_mod)^{-1}$ część całego dostępnego pasma (tylko jedna stacja nadaje na danej magistrali). Straty te można oszacować z dołu poprzez $(BWB_mod)^{N+1}$ - wszystkie stacje nadają na danej magistrali oprócz ostatniej, która nie ma do kogo nadawać. Wartość ta nie jest jednak dolną granicą strat, gdyż każda ze stacji oprócz segmentów otrzymanych w wyniku mechanizmu BWB otrzymuje dodatkowo segmenty zamówione bitami REQ.

3.2. Opis przeprowadzonych badań

Przeprowadzone zostały symulacje, na podstawie których określono wpływ wartości parametru BWB_mod na pracę sieci. Do badań przyjęto sieć o 5 stanowiskach. Całkowita długość sieci wynosiła 200 metrów. Przyjęto równe odstępów między stanowiskami. Za jednostkę czasu eksperymentu przyjęto sekundę, natomiast za jednostkę czasu symulatora przyjęto 0,1 ns. Przepustowość pojedynczej magistrali zgodnie ze specyfiką SMURPH'a określono jako czas potrzebny do wprowadzenia pojedynczego bitu na magistralę. Ponieważ standard QADB zakłada, że częstotliwość na magistrali powinna wynosić około 155 MHz, przyjęto, że do wprowadzenia jednego bitu na magistralę potrzeba 6,4 ns, czyli 64 jednostki czasu symulatora, co daje częstotliwość 156,25 MHz. Pakiety przeznaczone do transmisji były generowane z wykładniczym rozkładem odstępów czasu pomiędzy pakietami oraz z wykładniczym rozkładem długości pakietów.

Symulacje z rozkładem wykładniczym przeprowadzono dla względnego obciążenia pojedynczej magistrali równego 0,90. Przyjęto średnią długość pakietu równą 12000 bitów (1500 oktetów) i dostępność segmentów QA jako 100%. Maksymalną przepustowość magistrali określono jako $T_{max} = freq (1 - ipf) pl / (ps + is)$, gdzie pl - ilość bitów danych w segmencie (384), ps - całkowita długość segmentu (424), is - odstęp pomiędzy segmentami (2), $freq$ - częstotliwość na magistrali ($\approx 155,5 \cdot 10^6$), ipf - średnia wewnętrzna fragmentacja pakietów, która została przybliżona jako $ipf = pl / mms$, gdzie mms oznacza średnią długość pakietu (12000 bitów). Pomiary przeprowadzono dla wartości BWB_mod wynoszącej 0 (wyłączony mechanizm BWB), 4, 8, 16 i 32.

Na rysunku 1 przedstawiono wykres średniego czasu dostępu do łącza dla modelu wykładniczego odstępów pomiędzy kolejnymi wiadomościami. Wartość zerowa dla stacji numer 4 wynika z tego, że stacja ta jest końcową stacją na magistrali, stąd nie transmituje ona danych do żadnej stacji. Dane z tego wykresu pozornie mogłyby świadczyć o niecelowości używania mechanizmu, gdyż wraz ze zmniejszaniem parametru BWB_mod wzrasta wartość średnia czasu dostępu do łącza dla wszystkich stacji. Jest to jednak logiczne, gdyż stacje muszą przepusz-

czać część wolnych segmentów, które przy wyłączonym mechanizmie BWB byłyby przez daną stację wykorzystane. Warto zauważyć, że dla stacji ze środka magistrali, przy włączonym mechanizmie BWB, czas dostępu do łącza zwiększa się proporcjonalnie więcej niż dla stacji leżących na krańcach magistrali.

Rysunek 2 przedstawiający standardowe odchylenie czasu dostępu do łącza wyjaśnia cel stosowania mechanizmu BWB. Przy wyłączonym mechanizmie BWB wielkość ta dla stacji numer 0 osiąga nieporównywalnie większą wartość niż dla pozostałych stacji. Wynika z tego, że stacja ta ma znacznie gorsze warunki pracy niż pozostałe stacje na magistrali. Z wykresu tego wynika także, że już dla dużych wartości mechanizmu BWB sytuacja ta ulega diametralnej poprawie. Zmniejszanie wartości parametru BWB powoduje jedynie, że standardowe odchylenie czasu dostępu do łącza osiąga coraz mniejsze wartości. Jednocześnie należy pamiętać, że odbywa się to kosztem utraty pewnego procentu przepustowości sieci. Dolne oszacowanie tych strat dane jest następującym wzorem: $S_{min} = (BWB_mod + 1)^{-N+1}$, gdzie N jest liczbą stacji na magistrali. Górne oszacowanie strat jest dane wzorem $S_{max} = (BWB_mod + 1)^{-1}$. Pierwsze oszacowanie wyprowadzamy, przyjmując, że każda stacja ma prawo wykorzystać wszystkie nadchodzące wolne segmenty oprócz tych, które są zabronione mechanizmem BWB i zakładając, że wszystkie stacje oprócz ostatniej mają stale coś do nadania. Drugie oszacowanie otrzymujemy w momencie, gdy tylko jedna stacja nadaje na magistrali, starając się wykorzystać 100% dostępnego pasma. Oszacowanie z góry można zaokrąglić rozważając sytuację, gdy n stacji na magistrali ma dane do nadania. Pomińmy stacje, których kolejki wiadomości są puste. Oznaczmy przez ρ_i obciążenie i -tej stacji oraz $\gamma = BWB_mod / (BWB_mod + 1)$. Niech S_i oznacza pasmo dostępne dla i -tej stacji. Otrzymujemy stąd $S_{k+1} / S_k = 1 - \gamma \rho_i$. Po wielokrotnym wstawieniu dostajemy:

$$S_n = S_1 (1 - \gamma \rho_1)(1 - \gamma \rho_2) \dots (1 - \gamma \rho_{n-1}) \leq S_1 [1 - \gamma / (n - 1)]^{n-1} \approx S_1 e^{-\gamma}.$$

To ostatnie oszacowanie ($e^{-\gamma}$) należy traktować jako zgrubne oszacowanie średnich strat przy dużej liczbie stacji (>10).

Rysunek 3 przedstawia wykres średniego czasu oczekiwania pakietu na transmisję. Wykres ten ukazuje wyraźnie, że dobranie zbyt małej wartości parametru BWB_mod może paradoksalnie znacznie pogorszyć warunki pracy niektórych stacji. Na wykresie przy zmniejszającej się wartości parametru BWB_mod opóźnienie pakietów dla stacji numer 0 rośnie w zaskakującym tempie. Jest to spowodowane tym, że stacja 0 jako najbardziej obciążona na danej magistrali (w związku z obranym modelem wyboru nadawcy pakietu) wymaga największego pasma przepustowości. Jednocześnie przy niskiej wartości parametru BWB dużą część należnego jej pasma traci na rzecz mniej obciążonych stacji. Dodatkowo przy obranym względnym obciążeniu sieci wynoszącym 90% możliwe jest, że ze względu na straty, które wnosi mechanizm BWB, stacja numer 0 jest przeciążona bądź też bliska przeciążenia dla niskich

wartości parametru BWB_mod. Wynika z tego, że mechanizm BWB, szczególnie przy zbyt małej wartości parametru BWB_mod, może diametralnie pogorszyć warunki pracy niektórych stacji, zwłaszcza tych najbardziej obciążonych.

Opisane powyżej wyniki symulacji potwierdziły, że sieć DQDB charakteryzuje niesprawiedliwy przydział dostępu do łącza. Zjawisko to w sieci DQDB jest tak intensywne, że po opracowaniu wstępnej wersji protokołu wiele ośrodków podjęło wysiłki nad jego wyeliminowaniem. Stąd wprowadzono do protokołu mechanizm BWB (BandWidth Balancing), który przynajmniej częściowo ogranicza niesprawiedliwości. W szczególności dobre efekty mechanizm ten daje dla stacji leżących przy początku magistrali, ograniczając znacznie ich czas oczekiwania na transmisję. W symulowanych warunkach czas ten zmniejszył się w najgorszym wypadku siedmiokrotnie, do poziomu porównywalnego z czasami oczekiwania na transmisję innych stacji. Skuteczność działania tego mechanizmu zależy od wartości parametru BWB_mod protokołu. Parametr ten przyjmuje wartości dodatnie całkowite. Mniejsze wartości tego parametru powodują lepszą skuteczność działania mechanizmu BWB - mniejsze standardowe odchylenia czasów dostępu do łącza. Jednakże, jak to wykazano, wraz ze zmniejszaniem wartości tego parametru zwiększają się straty przepustowości spowodowane przez mechanizm BWB. Symulacje wykazały, że dla wartości niższych od 8 przy dużych obciążeniach mechanizm ten przestaje być skuteczny. Efekt ten jest spowodowany właśnie stratami związanymi z mechanizmem BWB. Przy dużych obciążeniach straty te mogą spowodować chwilowe albo nawet całkowite przeciążenia niektórych stacji (szczególnie tych najbardziej obciążonych), przez co paradoksalnie mechanizm ten powoduje nierówne czasy oczekiwania na transmisję na poszczególnych stacjach.

4. Symulacje protokołu FDDI

4.1. Podstawowe cechy protokołu FDDI

Protokół FDDI został opracowany w ramach standardu FDDI (Fiber Distributed Data Interface) przez komitet normalizacyjny X3t9.5 i został uznany przez ANSI (American National Standards Institute). Pracę nad tym standardem podjęła również organizacja IEEE i otrzymała on numer IEEE 802.7. Standard ten określa sieci oparte na kablach światłowodowych lub miedzianych (ekranowana skrętka STP lub nieekranowana skrętka UTP). Ten drugi wariant ze względu na szumy używa trójpoziomowego kodowania MTL-3 zamiast standardowego NRZI, przez co zyskał sobie osobną nazwę CDDI (Copper Distributed Data Interface). Niezależnie od wariantu standard zapewnia transmisję z szybkością 100 Mbps. Protokół ten zapewnia dostęp do łącza za pomocą metody przesyłania znacznika. Standard został zaprojektowa-

ny z myślą o sieciach LAN i MAN o architekturze podwójnego lub pojedynczego pierścienia. Realna przepustowość dostępna dla danych w sieci FDDI niestety nie dochodzi do 100 Mbps. Ze względu na konieczność dodawania do pakietów informacji służących ich adresowaniu, preambuły itp., maksymalna przepustowość osiągana przez sieć FDDI wynosi około 90 Mbps.

Podobnie jak w przypadku protokołu DQDB protokół FDDI przewiduje dwa typy ramek: asynchroniczne - do transmisji plików itp. oraz synchroniczne - do transmisji danych, takich jak wizja czy dźwięk w czasie rzeczywistym. Każda stacja może mieć przydzielony czas do transmisji synchronicznej. Przez ten czas po otrzymaniu znacznika, niezależnie od innych warunków, stacja może transmitować dane synchroniczne. Dla sieci określony jest też parametr zwany TTRT (Target Token Rotation Time). Każda stacja rejestruje moment wysłania znacznika i uruchamia zegar. W momencie ponownego otrzymania znacznika stacja porównuje wartość zegara z parametrem TTRT. Dopóki wartość zegara jest niższa od wartości TTRT stacja może transmitować dane asynchroniczne.

4.2. Opis przeprowadzonych badań

Przeprowadzone symulacje miały na celu, podobnie jak w przypadku sieci DQDB, określenie zależności warunków pracy sieci od względnego obciążenia oraz wpływ parametru TTRT na czas dostępu do łącza i czas oczekiwania na transmisję.

Do badań wpływu przepustowości na czas dostępu do łącza i czas oczekiwania na transmisję wykorzystano sieć złożoną z pięciu stacji. Całkowita długość pierścienia wynosiła 200 metrów. Odstęp między stacjami były jednakowej wielkości (40 metrów). Dla badań wpływu obciążenia na pracę sieci parametr TTRT był równy 2 ms. Rozmiar okna transmisji synchronicznej oraz obciążenie ruchem synchronicznym ustawiono na zero, ponieważ ruch ten ma zgodnie z protokołem gwarantowany czas dostępu do łącza.

Parametr TTRT (Target Token Rotation Time) jest kluczowym parametrem protokołu FDDI dla transmisji danych asynchronicznych. Przy pełnym obciążeniu sieci znacznik może okrążyć sieć w czasie TRT (Token Rotation Time) ≤ 2 TTRT. Skrajnie długi czas okrążenia pierścienia przez znacznik zachodzi w sytuacji, gdy sumaryczna szerokość okien dla ruchu synchronicznego na wszystkich stacjach w pierścieniu jest równa TTRT. W tym przypadku, jeśli przez pewien czas w pierścieniu panowała cisza i nagle stacja będąca w posiadaniu znacznika otrzyma dużą ilość danych asynchronicznych do nadania, natomiast pozostałe stacje otrzymają dużą ilość danych synchronicznych do nadania, to znacznik wykona to okrążenie sieci w maksymalnym możliwym czasie. Dlatego też podczas inicjalizacji pierścienia stacje negocjują wartość TTRT i wybierana jest najmniejsza z proponowanych. Jednakże niższa wartość TTRT oznacza, że sieć traci więcej czasu na transmisję znacznika (znacznik częściej okrąży sieć). W celu określenia wpływu parametru TTRT na maksymalną przepustowość sieci

oraz czasu dostępu do łącza wykonane zostały symulacje w warunkach przeciążenia sieci przy ograniczonej długości kolejek przed stacjami dla parametru TTRT wynoszącego od 0,01 ms do 10 ms. Dla tych samych wartości parametru TTRT przeprowadzono symulacje przy obciążeniu sieci wynoszącym 50 Mbps dla określenia wpływu parametru TTRT na czas oczekiwania na transmisję.

Straty przepustowości spowodowane transmisją znacznika w uzależnieniu od wartości parametru TTRT pokazano na wykresie na rysunku 4. Wykres ten przedstawia wyniki symulacji wykonanych dla wartości TTRT z przedziału od 0,01 ms do 10 ms. Na osi poziomej tego wykresu umieszczono parametr TTRT wyrażony w ms, natomiast na osi pionowej przepustowość w bps. Wykres ten udowadnia, że praktycznie nie jest możliwe przekroczenie 98% sprawności sieci. Widać także, że dla wartości TTRT powyżej 0,5 ms średnie straty przepustowości są poniżej 2,5%, co należy uznać za bardzo korzystny wynik. Jednocześnie straty te nawet przy wartościach niższych nie przekroczyły 4%, co pozwala stwierdzić, że protokół FDDI wykazuje dużą elastyczność. Wypukły charakter krzywej zamieszczonej na wykresie dla ekstremalnie niskich wartości TTRT jest spowodowany przekraczaniem przy doborze parametru TTRT granicy wyznaczonej czasem potrzebnym na wytransmitowanie pojedynczego pakietu. Niestety rozważany przypadek jest nieco wyidealizowany. Zakłada się zerowe opóźnienie pakietu przy przejściu przez transponder stacji. Niezerowe opóźnienia w rzeczywistości znacznie wydłużają czas obiegu pierścienia przez informację. Dla kilku stacji czas ten wynosi w rzeczywistości już około 0,1 ms. Dla kilkudziesięciu stacji czas ten wydłuży się już do kilku milisekund. W takim przypadku ten czas będzie decydował o stratach wnoszonych przez mechanizm przekazywania znacznika. Wyniki zamieszczone w [7] pokazują, że dla kilkudziesięciu stacji w pierścieniu straty mogą być rzędu 50%, gdy wartość TTRT jest zbliżona do czasu okrążenia pierścienia przez znacznik w nieobciążonej sieci.

Przy okazji przeprowadzania symulacji opisanych powyżej pobrano statystyki czasu dostępu do łącza. Wyniki te zamieszczono na rysunkach 5 i 6. Oś pozioma na tych wykresach przedstawia parametr TTRT wyrażony w ms, natomiast oś pionowa przedstawia odpowiednio wartość średnią lub standardowe odchylenie czasu dostępu do łącza w sekundach. Średni czas dostępu do łącza można wyprowadzić w następujący sposób:

$$N_{ir} = (TTRT - D) / T_P = (TTRT - D) Thr / L_{ir}$$

$$B_{ir} = (1 / N_{ir}) \cdot [(N_{ir} - 1) \cdot T_P + (S - 1) \cdot N_{ir} \cdot T_P + T_P + (S + 1) \cdot D] =$$

$$= S \cdot T_P + (S + 1) \cdot D / N_{ir} = S \cdot L_{ir} / Thr \quad (1)$$

$$B_{ir}^2 = (1 / N_{ir}) \cdot [(N_{ir} \cdot (S - 1) \cdot T_P + T_P + (S + 1) \cdot D)^2 + (N_{ir} - 1) \cdot T_P^2]$$

$$D^2 B = B_{ir}^2 - (B_{ir})^2 = (N_{ir} - 1) [(S - 1) T_P + (S + 1) D / N_{ir}]^2 =$$

$$= (TTRT - D - L_{ir} / Thr) L_{ir} / Thr [((S - 1) TTRT + 2D) / (TTRT - D)]^2 \quad (2)$$

gdzie B_{ir} oznacza średni czas dostępu do łącza, S - liczbę stacji w pierścieniu, N_{ir} - średnią liczbę pakietów transmitowanych w ramach jednej wizyty znacznika w stacji, Thr - przepustowość nominalna sieci - 100 Mbps, L_{ir} - średnią długość pakietu, T_P - średni czas potrzebny na wprowadzenie pakietu na łącze, D - czas potrzebny na okrążenie pierścienia przez bit informacji. Powyższy wzór obowiązuje przy założeniu $N_{ir} > 1$.

Zakładając, że znacznik okrążył pierścień nie będąc podjętym przez żadną ze stacji (nie pozwalają na to reguły protokołu lub żadna ze stacji chwilowo nie miała danych do transmisji), stacja, która otrzymuje ten znacznik i ma dane do nadania, wypełnia całe okno TTRT, po czym oddaje znacznik i następne S stacji (do wysyłającej znacznik włącznie) nie ma prawa podjąć znacznika z pierścienia. Stacja $S+1$ jest w sytuacji analogicznej do sytuacji stacji S chwilę wcześniej. Stąd przyjmujemy, że na stację przypada całe okno i szacujemy N_{ir} jak powyżej.

Porównując wykres na rysunku 5 ze wzorem (1) widać, że wartości zmierzone w symulacji niewiele odbiegają od teoretycznej wartości średniej wynoszącej w tym przypadku $6 \cdot 10^4$. Natomiast w przypadku standardowego odchylenia czasu dostępu do łącza rozbieżność jest większa, przy czym dla większych wartości TTRT wzór (2) dość dobrze aproksymuje wartości uzyskane w symulacji. Jednocześnie po pominięciu wyrazu wolnego ($TTRT - D$ zamiast $TTRT - D - L_{ir} / Thr$) otrzymany wzór jeszcze lepiej pasuje do otrzymanych danych. Wygięcie krzywej ku górze na wykresie standardowego odchylenia dla niskich wartości TTRT należy tłumaczyć zbliżaniem się wartości TTRT do granicy określonej przez $T_P + D$.

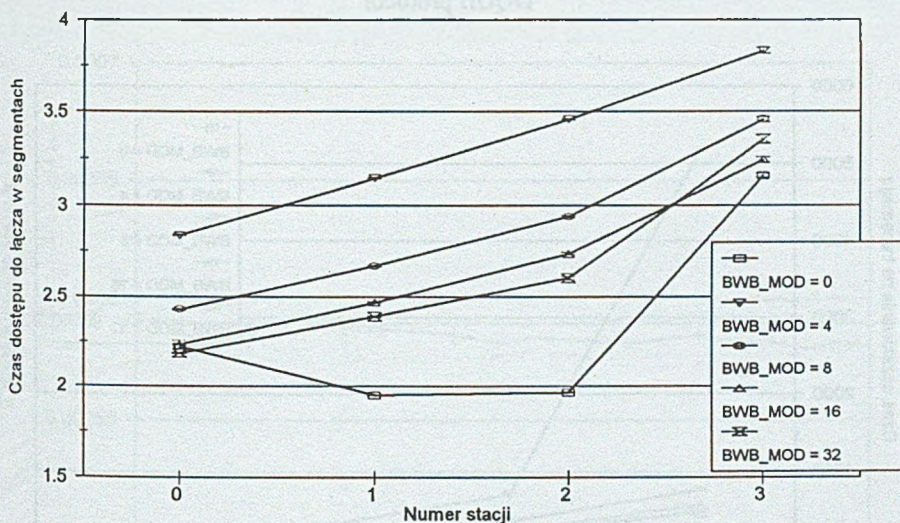
Na rysunku 7 zamieszczono wykres wartości średniej czasu dostępu do łącza dla różnych wartości parametru TTRT dla obciążeń wynoszących 10, 30, 50, 70 i 90 Mbps. Podobnie jak w poprzednich przypadkach na osi pionowej znajduje się wartość czasu dostępu do łącza wyrażona w sekundach, natomiast na osi poziomej znajduje się wartość parametru TTRT wyrażona w ms. Zgodnie z wcześniejszymi rozważaniami wartość średnia czasu dostępu do łącza jest praktycznie niezależna od wartości parametru TTRT. Jedynie dla największego obciążenia można zauważyć niewielki wzrost czasu dostępu do łącza wraz ze spadkiem wartości parametru TTRT. Można to wytłumaczyć zwiększającymi się stratami przepustowości przy malejącej wartości TTRT. Powoduje to, że przy zachowaniu stałego obciążenia bezwzględnego względne obciążenie sieci wzrasta i stąd wzrost średniego czasu dostępu do łącza. Efekt ten oczywiście jest najlepiej widoczny przy dużym obciążeniu, por. rysunek 7.

Wykres standardowego odchylenia czasu dostępu do łącza został zamieszczony na rysunku 8. Wykres ten również potwierdza wcześniejsze rozważania. Widoczny jest nieliniowy charakter wzrostu tej wielkości przy wzroście parametru TTRT. Jest to związane zapewne również ze zmiennymi stratami przepustowości, a stąd ze zmianami względnego obciążenia sieci dla różnych wartości TTRT i stałej bezwzględnej wartości średniego obciążenia.

5. Podsumowanie

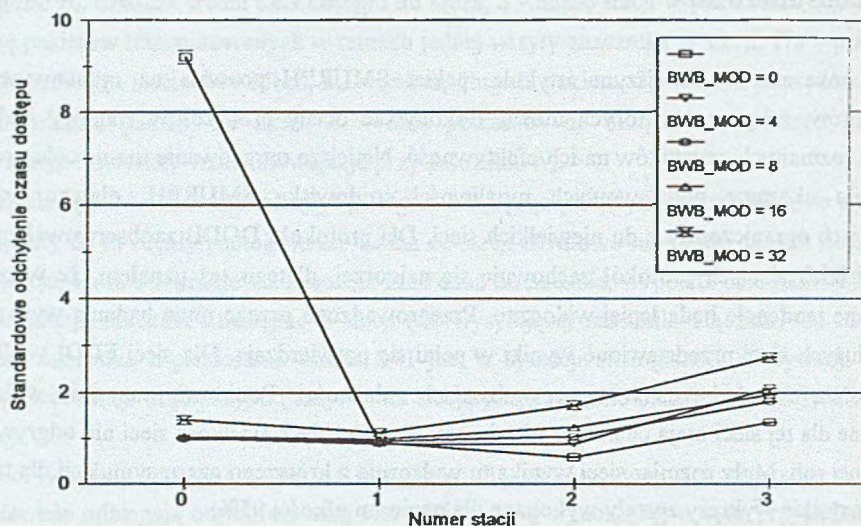
Jak pokazano w niniejszym artykule, pakiet SMURPH pozwala na opracowywanie symulatorów, za pomocą których można dokonywać oceny protokołów warstwy MAC i wpływu rozmaitych czynników na ich efektywność. Niniejsze opracowanie ma na celu przede wszystkim ukazanie podstawowych możliwości środowiska SMURPH, dlatego też w symulacjach ograniczono się do niewielkich sieci. Dla protokołu DQDB zaobserwowałem, że w niewielkich sieciach protokół zachowuje się najgorzej, dlatego też uznałem, że wszelkie negatywne tendencje będą lepiej widoczne. Przeprowadzone przeze mnie badania wykazały, że dla dużych sieci przedstawione wyniki w pełni się potwierdzają. Dla sieci FDDI wielkość sieci została uwzględniona w wyprowadzeniach zależności. Ponieważ wszystkie wykresy wykonane dla tej sieci mają charakter uśredniony dla całej sieci, wielkość sieci nie odgrywa tu tak istotnej roli. Mały rozmiar sieci wynika tu wyłącznie z krótszego czasu symulacji dla takiej sieci. Wszystkie wykresy zostały wykonane dla poziomu ufności 95%.

Opracowane powyżej symulacje stanowią niewielką część wykonanych badań, których wyniki można znaleźć w całości w [8]. Kompletny opis pakietu SMURPH można znaleźć w [9] oraz w wersji angielskiej w [3] i [4].



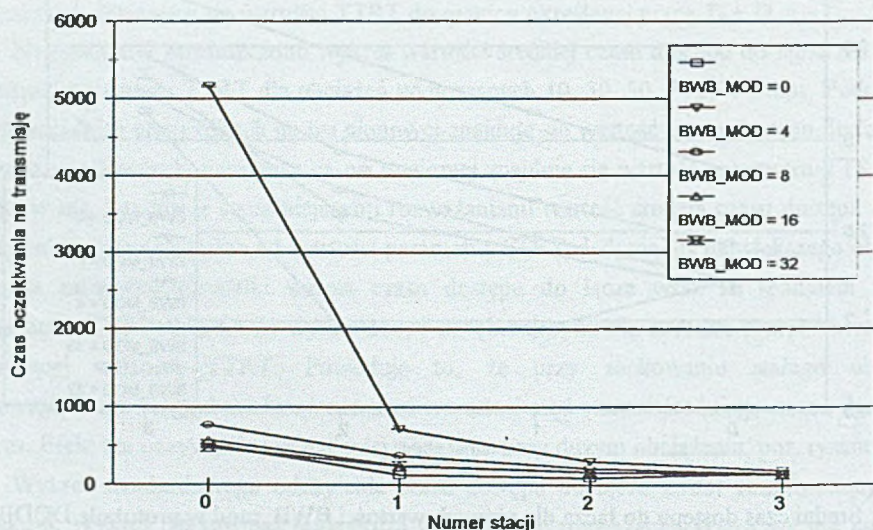
Rys. 1. Średni czas dostępu do łącza dla różnych wartości BWB_mod w protokole DQDB

Fig. 1. Mean bus access time for different values of BWB_mod in DQDB protocol



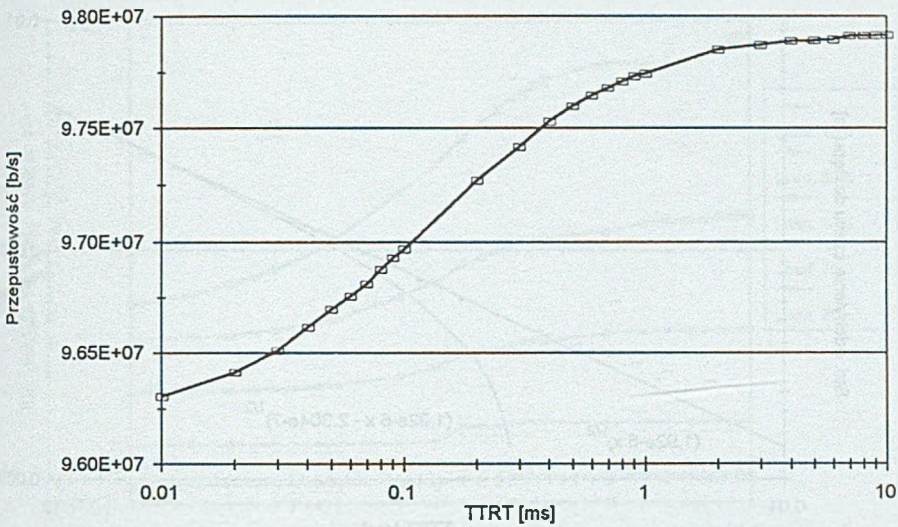
Rys. 2. Standardowe odchylenie czasu dostępu do łącza dla różnych wartości parametru BWB_mod w protokole DQDB

Fig. 2. Standard deviation of bus access time for different values of BWB_mod parameter in DQDB protocol



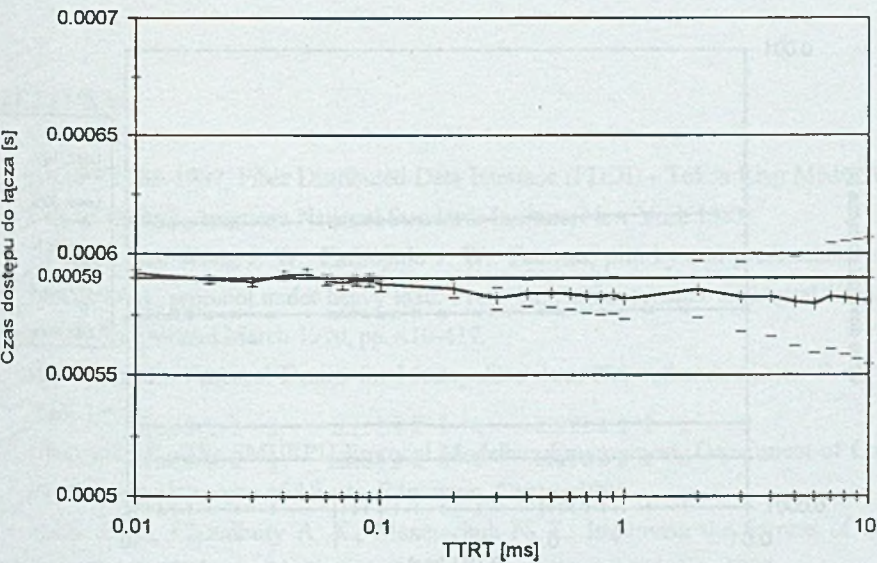
Rys. 3. Średni czas oczekiwania na transmisję w zależności od wartości parametru BWB_mod w protokole DQDB

Fig. 3. Mean packet delay time for different values of BWB_mod parameter in DQDB protocol



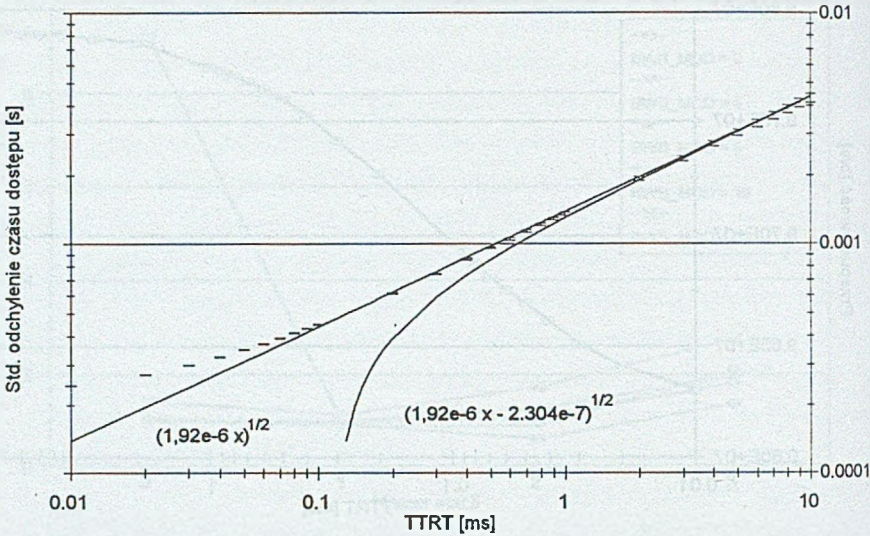
Rys. 4. Maksymalna przepustowość sieci w zależności od wartości parametru TTRT w protokole FDDI

Fig. 4. Maximal throughput curve in dependence of TTRT value in FDDI protocol



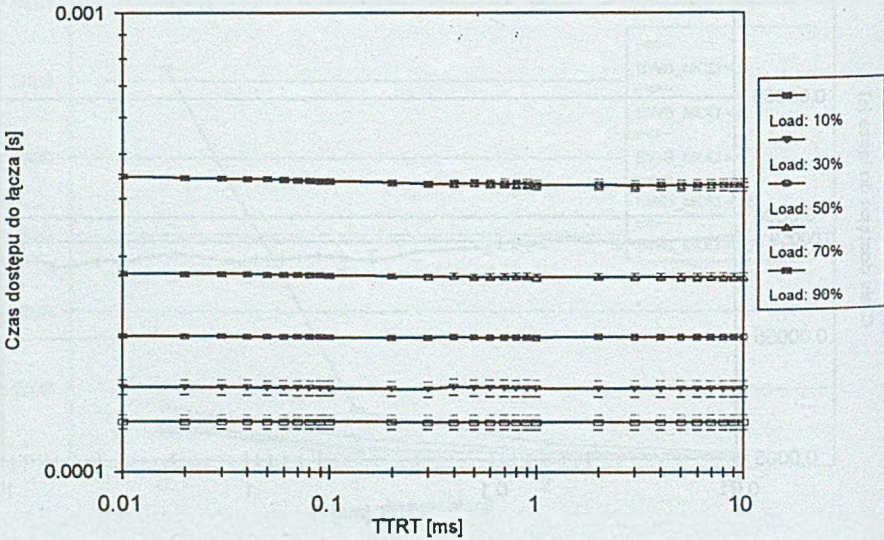
Rys. 5. Średni czas dostępu do łącza w warunkach przeciążenia w zależności od parametru TTRT w protokole FDDI

Fig. 5. Mean bus access time during overload in dependence of TTRT value in FDDI protocol



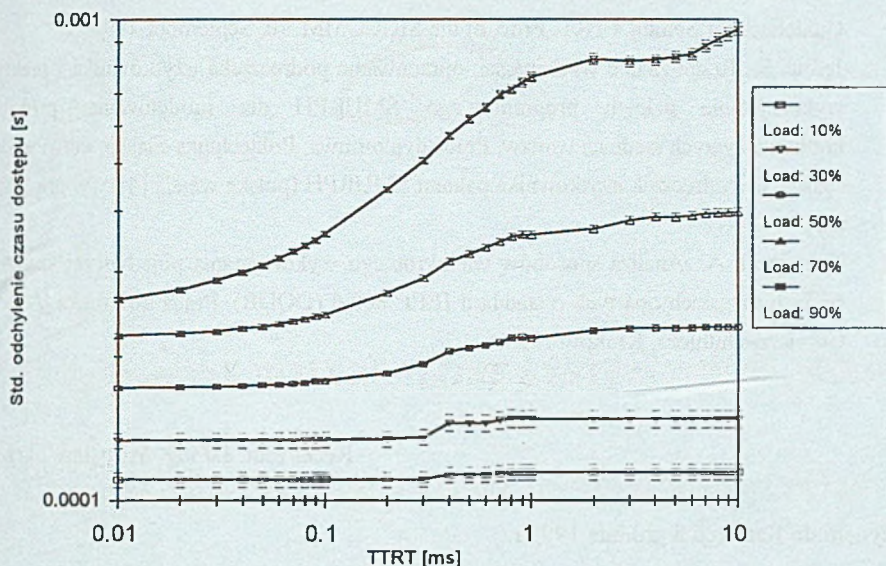
Rys. 6. Standardowe odchylenie czasu dostępu do łącza w zależności od parametru TTRT w protokole FDDI

Fig. 6. Standard deviation of bus access time in dependence of TTRT value in FDDI protocol



Rys. 7. Średni czas dostępu do łącza w zależności od wartości parametru TTRT dla różnych wartości obciążenia w protokole FDDI

Fig. 7. Mean bus access time in dependence of TTRT value for different values of network load in FDDI protocol



Rys. 8. Standardowe odchylenie czasu dostępu do łącza w zależności od wartości parametru TTRT dla różnych wartości obciążenia sieci w protokole FDDI

Fig. 8. Standard deviation of bus access time in dependence of TTRT value for different values of network load in FDDI protocol

LITERATURA

- [1] ANSI X3.139-1987, Fiber Distributed Data Interface (FDDI) - Token Ring Media Access Control (MAC). American National Standards Institute, New York 1987.
- [2] As H. R. van, Wong J. W., Zafiropulo J. W.: Fairness, priority and predictability of the DQDB MAC protocol under heavy load. Proc. Int. Zurich seminar on Digital Comm., Zurich, Switzerland March 1990, pp. 410-417.
- [3] Gburzyński P.: Protocol Design for Metropolitan Area Networks. Academic Press, New York 1995.
- [4] Gburzyński P.: The SMURPH Protocol Modelling Environment. Department of Computing Science, University of Alberta, Edmonton, Canada 1994.
- [5] Hahne E. L., Choudhury A. K., Maxemchuk N. F.: Improving the fairness of DQDB networks. IEEE Trans. Commun., vol. 40, no. 7, pp. 1192-1204, July 1992.
- [6] IEEE 802.6 Working Group, IEEE Standard 802.6 - Distributed Queue Dual Bus (DQDB) Subnetwork of a Metropolitan Area Network (MAN), Final Draft, Approved by IEEE Standards Board on December 6, 1990.

- [7] Jain R.: Performance Analysis of FDDI Token Ring Networks: Effect of Parameters and Guidelines for Setting TTRT. Proc. of the SIGCOMM '90, September 1990.
- [8] Jędrus S.: Rozpoznanie właściwości, opracowanie podręcznika użytkownika i praktyczne wykorzystanie pakietu programowego SMURPH dla modelowania protokołów komunikacyjnych średnich warstw. Praca dyplomowa, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.
- [9] Jędrus S.: Podręcznik użytkownika pakietu SMURPH (polska wersja [4]). (w przygotowaniu).
- [10] Tamarczak A.: Analiza sposobów wielokrotnego wykorzystania pojedynczej szczeliny w sieciach miejskich opartych o standard IEEE 802.6 (DQDB). Praca doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1996.

Recenzent: Dr inż. Mirosław Skrzewski

Wpłynęło do Redakcji 8 grudnia 1997 r.

Abstract

The DQDB protocol has been accepted as the international standard for Metropolitan Area Networks. Also the FDDI protocol has been standardized and is world-wide used as LAN and rarely MAN protocol. This paper presents some of simulation results concerning DQDB and FDDI performances and which have been obtained with the use of "SMURPH Modelling Environment" package. These results include an analysis of BWB mechanism influence on equality of bus access for DQDB MAC protocol. An approximation of bandwidth loss implied by BWB mechanism has been proposed. Also an analysis of TTRT parameter influence on maximal throughput, bus access time and packet delay time in FDDI network has been reported. Mean bus access time and bus access time variance approximation have been presented and validated by simulation results. At the time, SMURPH Modelling Environment has been introduced and main features of this package have been discussed.