STUDIA INFORMATICA 2003
Volume 24 Number 2A (53)

Bartłomiej ZIELIŃSKI, Iwona GÓRAL
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

BADANIE WYDAJNOŚCI PROTOKOŁÓW DOSTĘPU DO ŁĄCZA W DOŚWIADCZALNEJ SIECI BEZPRZEWODOWEJ

Streszczenie. Zaimplementowano wybrane rywalizacyjne protokoły dostępu do łącza. Porównano wydajność tych protokołów w doświadczalnej sieci bezprzewodowej.

Słowa kluczowe: protokoły dostępu do łącza, badanie wydajności.

TESTING EFFICIENCY OF MAC PROTOCOLS IN EXPERIMENTAL WIRELESS NETWORK

Summary. Selected contention medium access control protocols have been implemented Their efficiency in an experimental wireless network has been compared.

Keywords: medium access protocols, efficiency testing.

1. Wprowadzenie

Protokoły dostępu do łącza są jednym z najistotniejszych zagadnień projektowania sieci lokalnych. Jeżeli bowiem protokół jest źle dobrany do środowiska pracy sieci oraz stosowanego łącza transmisyjnego, efektywność wykorzystania kanału jest niewielka. Problem ten uwidacznia się np. podczas stosowania rywalizacyjnych protokołów z wykrywaniem nośnej w sieciach bezprzewodowych [1, 2, 3].

Dla każdego protokołu jest możliwe oszacowanie jego efektywności zgodnie z rachunkiem prawdopodobieństwa [4]. Interesujące byłoby jednak porównanie tych wyników z wynikami uzyskanymi w rzeczywistej, doświadczalnej sieci komputerowej. W tym celu zaimplementowano i zbadano wybrane protokoły dostępu do łącza [5].

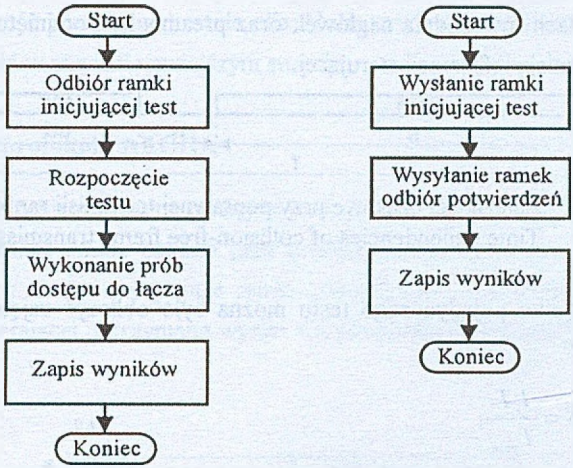
2. Badanie efektywności protokołów

W celu zbadania wydajności protokołów dostępu do łącza zrealizowano najpierw doświadczalną sieć bezprzewodową, w której następnie przeprowadzano badania wydajności poszczególnych protokołów.

2.1. Realizacja segmentu doświadczalnej sieci komputerowej

Segment doświadczalnej bezprzewodowej składa się z czterech węzłów. Każdy z węzłów zawiera komputer klasy PC, do którego poprzez interfejs RS-232C podłączono modem radiowy. Jeden z węzłów sieci pełni wyłącznie funkcję odbiornika, do którego adresowane są wszystkie ramki w sieci. Jego zadaniem jest odbiór, zliczanie i potwierdzanie wszystkich ramek. Takie rozwiązanie pozwala na analizę efektywności sieci tylko na podstawie wyników wygenerowanych przez jeden węzeł. Poprawność transmisji ramki weryfikowana jest na podstawie sumy kontrolnej zamieszczonej na końcu ramki. W przypadku gdy odbiornik otrzyma ramkę przekłamaną, potwierdzenie nie zostanie przesłane. Dodatkowo węzeł będący odbiornikiem ma za zadanie synchronizować oraz inicjować inne węzły. Dokonuje się tego poprzez wysłanie krótkiej ramki do nadajników zawierającej numer protokołu dostępu do łącza, rozmiar pola danych oraz liczbę ramek, jaką ma wysłać pojedynczy nadajnik w czasie pojedynczego testu. Ramka ta jest także sygnałem do rozpoczęcia nadawania ramek. Pozostałe węzły pracują wyłącznie jako nadajniki, generując w losowo wybranych chwilach ramki i wysyłając je do odbiornika według określonego protokołu dostępu do łącza. Każda ze stacji nadających generuje g ramek na sekundę o stałej zadanej długości. Kolejno wysyłane przez dany węzeł ramki są numerowane w celu zapewnienia możliwości wykrycia zgubienia ramki np. wskutek kolizji.

Na rys. 1 przedstawiono schematy blokowe oprogramowania dla stacji centralnej (odbierającej ramki) i stacji nadających ramki.



Rys. 1. Oprogramowanie węzła sieci (stacja nadająca i odbierająca)
Fig. 1. Control software of network node (transmitter and receiver)

2.2. Wyznaczenie charakterystyki przepływu

Wyznaczenie charakterystyki przepływu polegało na wykonaniu serii n testów. Pojedynczy test wykonywano przez czas T_{pom}. W kolejnych testach każda z trzech stacji generowała, w losowo wybranych chwilach, od 1 do n ramek o czasie transmisji T. Dostęp do łącza odbywał się zgodnie z regułami badanego protokołu. Każdy test rozpoczynano pojedynczą ramką inicjującą, wysłaną przez stację odbierającą do pozostałych węzłów. W czasie testu stacja ta odbiera ramki i wysyła potwierdzenia. Na podstawie adresu stacji źródłowej i numeru ramki w stacji odbierającej można było określić liczbę prawidłowo przesłanych ramek od poszczególnych nadawców, z czego suma stanowiła całkowitą liczbę ramek przesłanych w pojedynczym teście. Pojedynczą serię wykonywano dla zadanej długości ramki, której odpowiadał czas transmisji T, przy zmiennym obciążeniu łącza. Czas trwania pojedynczego testu T_{pom} (rys. 2) dobierano w zależności od długości ramki danych, przy czym założono, że:

$$T = t_d + t_w + t_{ack}, \tag{1}$$

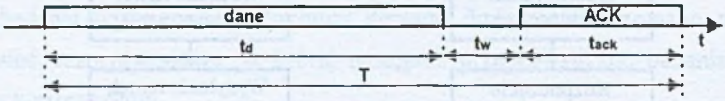
gdzie: t_d – czas transmisji ramki z danymi, t_w – czas generacji potwierdzenia przez stację centralną, t_{ack} – czas transmisji potwierdzenia.

Czasy transmisji ramki można obliczyć ze wzoru:

$$t = \frac{10r}{v}, \tag{2}$$

gdzie: r – rozmiar ramki w bajtach, v – prędkość transmisji. Czas generacji potwierdzenia przez stację odbierającą ustalono doświadczalnie i przyjęto, że wynosi 2 ms. Przyjęto także, że

rozmiar ramki w bajtach uwzględnia nagłówek oraz preambułę. Pominięto w ten sposób narzut związany z transmisją informacji sterującej.



Rys. 2. Zależności czasowe przy poprawnej transmisji ramki
Fig. 2. Time dependencies of collision-free frame transmission

Na podstawie wyniku pojedynczego testu można było obliczyć zajętość G kanału oraz przepływ S w kanale:

$$G = \frac{l_s T}{T_{pom}}, \quad S = \frac{l_r T}{T_{pom}}, \tag{3}$$

gdzie: l_r – całkowita liczba ramek odebranych przez stacje centralną, l_s – liczba ramek wysłanych przez pojedynczą stacje × liczba stacji, T_{pom} – czas pomiaru.

Po wykonaniu całej serii testów wyznaczono charakterystykę przepływu w kanale w funkcji zajętości dla zadanego protokołu, przy określonej długości ramki i prędkości transmisji. W przeprowadzonych badaniach wykonywano trzy jednakowe serie, a wyniki uśredniano. Maksymalna liczba prób dostępu do kanału przez każdą ze stacji wynosiła 120. W zależności od długości ramki T_{pom} dobierano tak, aby uzyskać maksymalną zajętość kanału 2,2. Badanie efektywności dla większego obciążenia uniemożliwiała mała liczba węzłów sieci.

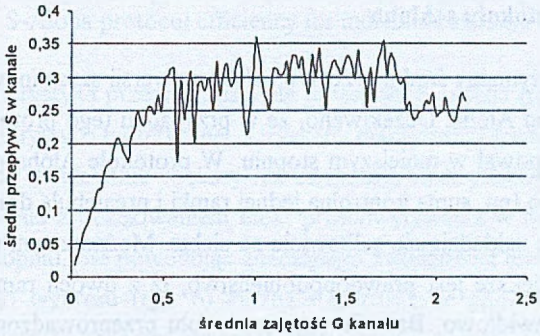
2.3. Obserwacja efektu przechwytywania

Przed przystąpieniem do wyznaczenia charakterystyk wybranych protokołów wydało się słuszne zaobserwowanie, czy w zbudowanym segmencie sieci będzie występował efekt przechwytywania oraz oszacowanie, w jaki sposób może wpłynąć na uzyskane wyniki. Aby to zaobserwować, oprogramowanie węzłów przygotowano tak, by węzły generujące ruch w sieci zapamiętywały czasy generacji ramek, a stacja odbierająca ramki zapamiętywała czasy ich odbioru. Otrzymane wyniki zapisano do pliku. Test wykonano dla protokołu Aloha i Aloha w wersji szczelinowej. W obu testach zajętość kanału wynosiła 1. W przypadku Aloha uzyskano przepływ w wysokości 0,47, dla Aloha szczelinowego – 0,49. Analizując czasy dostępu stacji nadawczych i czasy odbioru ramek przez stacje centralną można było stwierdzić, że w sieci występuje efekt przechwytywania. Czasy transmisji niektórych z nich nakładały się na siebie. W niektórych przypadkach, pomimo wystąpienia kolizji, transmisja jednej z kolizyjnych ramek kończyła się sukcesem. Po odrzuceniu ramek, które pomimo kolizji zostały odebrane bezbłędnie, ustalono, że przepływ w sieci dla protokołu Aloha wyniósłby 0,22, a dla Aloha szczelinowego – 0,44. Jak widać, w przypadku Aloha efekt przechwytywania

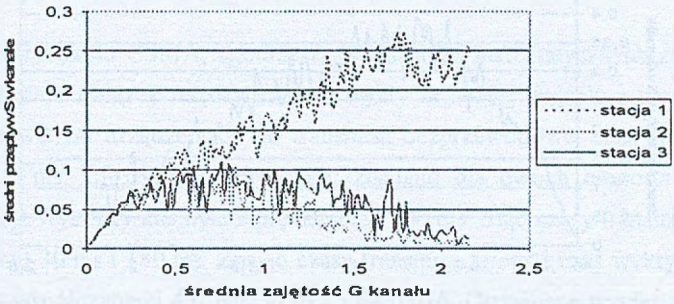
podniósł efektywność ponad dwukrotnie, dla Aloha w wersji szczelinowej efekt ten poprawił ogólną efektywność w znacznie mniejszym stopniu.

2.4. Badanie protokołu ALOHA

Zgodnie z obliczeniami matematycznymi maksymalny średni przepływ dla tego protokołu wynosi 0,18. Protokół Aloha badano przy prędkości transmisji 9600 b/s i ramce o czasie transmisji T=30 ms. Stacje wysyłające ramki umieszczono jedna obok drugiej w odległości 1 m od stacji odbierającej. Otrzymane wyniki dla protokołu Aloha zaprezentowano na wykresach (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Efektywność protokołu Aloha
Fig. 3. Aloha protocol efficiency



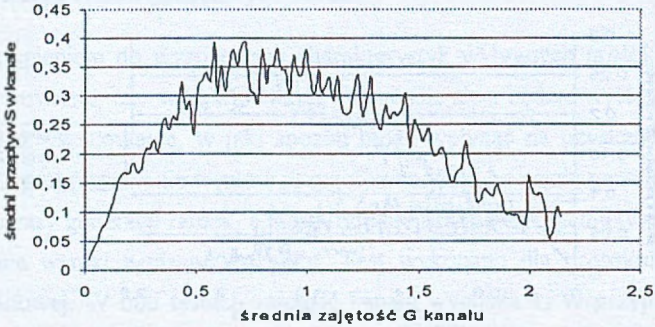
Rys. 4. Efektywność protokołu Aloha dla poszczególnych stacji
Fig. 4. Aloha protocol efficiency for individual stations

Chociaż otrzymana charakterystyka przepływności (rys. 3) ma kształt zbliżony do charakterystyki wyznaczonej za pomocą modelu matematycznego, to uzyskana maksymalna efektywność tego protokołu w badanym segmencie sieci jest znacznie wyższa od teoretycznej. Na podstawie obserwacji efektu przechwytywania stwierdzono, że właśnie to jest powodem

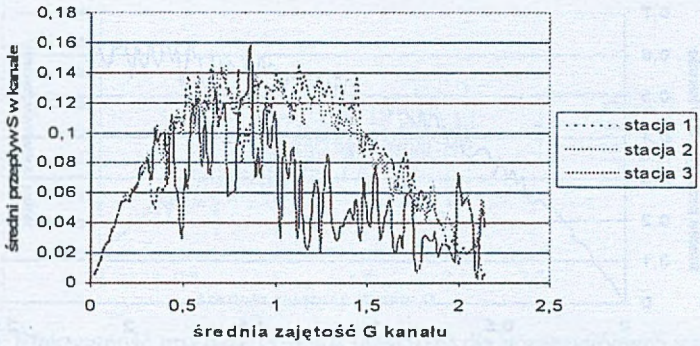
zwiększenia maksymalnego całkowitego przepływu. Następny wykres (rys. 4) pokazuje, jak ogólny przepływ w kanale rozłożył się na poszczególne stacje. Z wykresu wyraźnie widać, że stacja 1 przesyła znacznie więcej ramek od pozostałych. Mamy więc do czynienia z niesprawiedliwym podziałem łącza, co jest jednym ze skutków występowania efektu przechwytywania. W czasie badań zauważono, że większe oddalenie stacji 1 od stacji odbierającej, w stosunku do pozostałych, powoduje zmniejszenie liczby poprawnie przesłanych ramek przez tę stację. W przypadku gdyby efekt ten nie występował, wykres przepływności dla stacji 1 byłby podobny do wykresów pozostałych stacji, co dałoby, jak widać, po zsumowaniu całkowity przepływ zbliżony do teoretycznego.

2.5. Badanie protokołu s-Aloha

Teoretycznie maksymalny średni przepływ Aloha w wersji szczelinowej wynosi 0,37 i jest dwukrotnie większy od Aloha. Oczekiwano, że w przypadku tego protokołu efekt przechwytywania będzie występował w mniejszym stopniu. W protokole Aloha ramki kolizyjne mogą nakładać się częściowo (np. suma kontrolna jednej ramki i preambuła drugiej), w przypadku s-Aloha ramki kolizyjne nakładają się całkowicie na siebie. Można zatem dojść do wniosku, że w protokole Aloha większe jest prawdopodobieństwo, iż z dwóch ramek kolizyjnych jedna odebrana zostanie prawidłowo. Badanie tego protokołu przeprowadzono w taki sposób, jak protokołu Aloha. Otrzymane charakterystyki przepływności i średniej liczby retransmisji w zależności od stopnia zajętości G kanału przedstawiono na rys. 5 i 6.



Rys. 5. Efektywność protokołu s-Aloha
Fig. 5. S-Aloha protocol efficiency

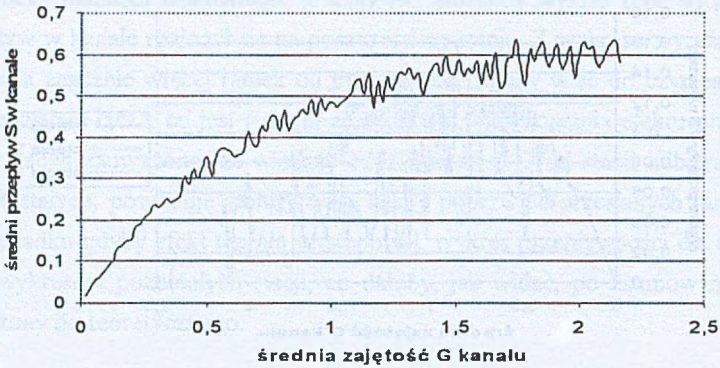


Rys. 6. Efektywność protokołu s-Aloha dla poszczególnych stacji
Fig. 6. S-Aloha protocol efficiency for individual stations

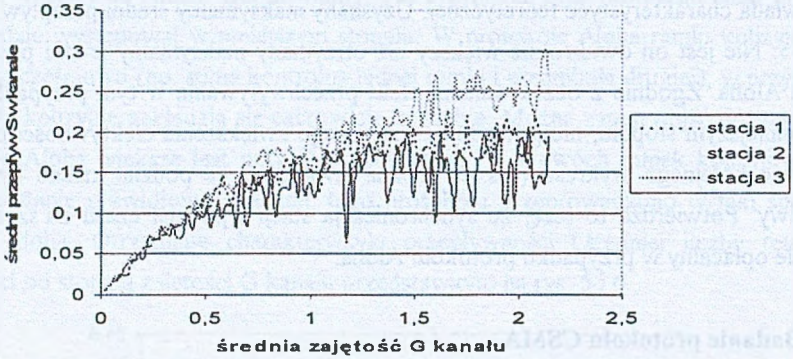
Otrzymana charakterystyka przepływności dla protokołu S- Aloha (rys. 5) w dużym stopniu odpowiada charakterystyce teoretycznej. Uzyskany maksymalny średni przepływ S wynosi około 0,35. Nie jest on dwukrotnie większy niż otrzymany maksymalny średni przepływ dla protokołu Aloha. Zgodnie z oczekiwaniem, efekt przechwytywania w tym przypadku występował w mniejszym stopniu, nie powodując znaczącego zwiększenia efektywności protokołu. Na postawie kolejnego wykresu (rys. 6) można stwierdzić, że podział kanału był bardziej sprawiedliwy. Potwierdza to tezę, że synchronizacja stacji i podział czasu na szczeliny jest szczególnie opłacalny w przypadku protokołu Aloha.

2.6. Badanie protokołu CSMA

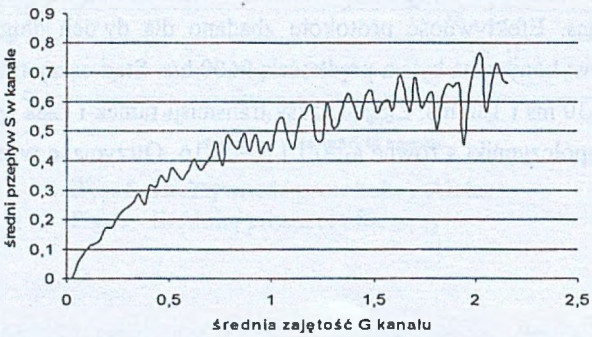
Efektywność protokołu CSMA, zgodnie z wyliczeniami matematycznymi zależy od parametru a, który podaje związek między czasem wykrycia nośnej sygnału i czasem transmisji ramki. W zastosowanym urządzeniach do transmisji bezprzewodowej czas wykrycia nośnej sygnału wynosił 3 ms. Efektywność protokołu zbadano dla dwóch długości ramek: 28 B i 178 B. Transmisja wykonywana była z prędkością 9600 b/s. Stąd czasy transmisji ramek wynosiły odpowiednio 30 ms i 180 ms. Znając czasy transmisji ramek i czas wykrycia nośnej sygnału, wyliczono współczynniki a równe a_1=0,1 i a_2=0,016. Otrzymane wyniki zaprezentowano na rys. 7-10.



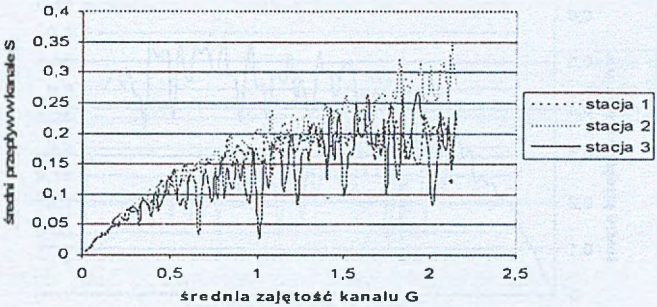
Rys. 7. Efektywność protokołu CSMA (a=0,1)
Fig. 7. CSMA protocol efficiency (a=0,1)



Rys. 8. Efektywność protokołu CSMA (a=0,1) dla poszczególnych stacji
Fig. 8. CSMA protocol efficiency (a=0,1) for individual stations



Rys. 9. Efektywność protokołu CSMA (a=0,016)
Fig. 9. CSMA protocol efficiency (a=0,016)

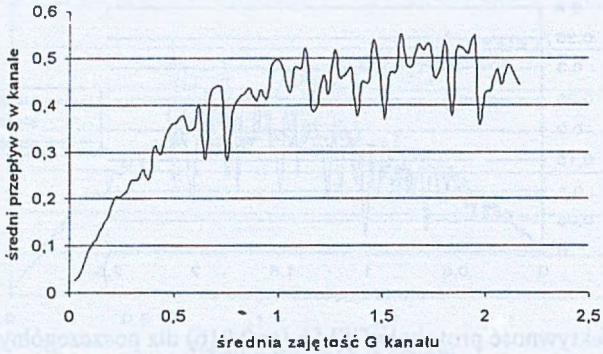


Rys. 10. Efektywność protokołu CSMA (a=0,016) dla poszczególnych stacji
Fig. 10. CSMA protocol efficiency (a=0,016) for individual stations

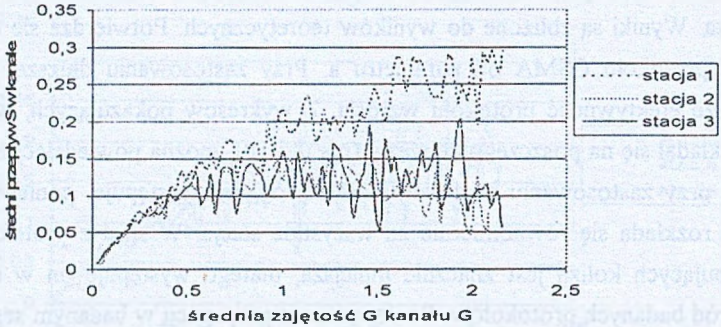
Otrzymane wyniki potwierdziły słuszność stosowania mechanizmu wykrywania nośnej sygnału. Mechanizm ten zapewnia znacznie mniejszą ilość kolizji w sieci i efektywniejsze wykorzystanie łącza. Wyniki są zbliżone do wyników teoretycznych. Potwierdza się też zależność efektywności protokołu CSMA od parametru a. Przy zastosowaniu dłuższej ramki widać z wykresów, że efektywność protokołu wzrosła. Z wykresów pokazujących, w jaki sposób przepływ rozkładał się na poszczególne węzły (rys. 8 i 10), można powiedzieć, że efekt przechwytywania przy zastosowaniu protokołu CSMA również występuje, ponieważ całkowity przepływ nie rozkłada się równomiernie na wszystkie stacje. W sieci z protokołem CSMA liczba występujących kolizji jest znacznie mniejsza, dlatego występuje on w najmniejszym stopniu spośród badanych protokołów. Ponieważ czas propagacji w badanym segmencie sieci jest dużo mniejszy niż czas wykrycia nośnej sygnału, widać, że jakość tego protokołu związana jest również z jakością zastosowanych urządzeń, a w szczególności układu wykrywania nośnej sygnału.

2.7. Badanie protokołu MACA

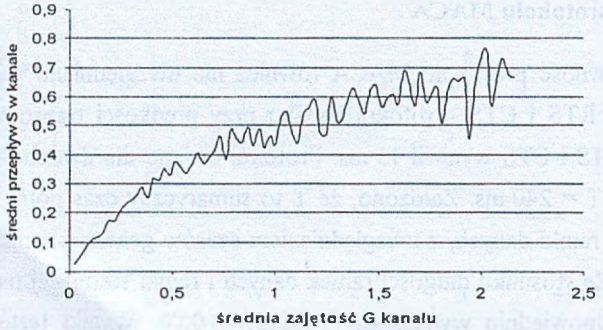
Badając efektywność protokołu MACA również nie uwzględniano narzutu związanego z przesyłem ramek RTS i CTS. Protokół badano przy prędkości transmisji 9600 b/s. Czas transmisji ramek RTS i CTS wynosił 15 ms. Protokół badano dla dwóch długości ramek danych: T = 13 ms i T = 240 ms. Założono, że T to sumaryczny czas potrzebny na transmisję ramek RTS, CTS i ramki danych, z uwzględnieniem czasów generacji ramki CTS i ramki danych przez stacje. Ze stosunku długości ramek danych i ramki sterującej można wyliczyć parametr b, który odpowiednio wynosi: b_1 = 1 i b_2 = 0,06. Wyniki testów przedstawiono na wykresach (rys. 11-14).



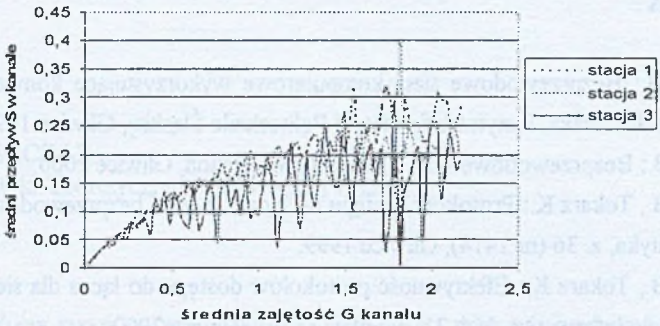
Rys. 11. Efektywność protokołu MACA (b = 1)
Fig. 11. MACA protocol efficiency (b=1)



Rys. 12. Efektywność protokołu MACA (b = 1) dla poszczególnych stacji
Fig. 12. MACA protocol efficiency (b=1) for individual stations



Rys. 13. Efektywność protokołu MACA (b=0,06)
Fig. 13. MACA protocol efficiency (b=0,06)



Rys. 14. Efektywność protokołu MACA (b=0,06) dla poszczególnych stacji
Fig. 14. MACA protocol efficiency (b=0,06) for individual stations

Badania wykazały, że protokół MACA dla krótkich ramek danych wykazuje właściwości zbliżone do protokołu Aloha. Większa efektywność (rys. 11) MACA w stosunku do uzyskanych wyników z badań Aloha wynika z faktu, że ramki RTS i CTS traktowane są jako część ramki danych. Ponieważ badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, gdzie nie ma stacji ukrytych, stacja po otrzymaniu ramki RTS wstrzymywała transmisję. Ramki CTS i danych są przesyłane praktycznie bezkolizyjnie. Podobnie jak w przypadku Aloha, zaobserwowano duży wpływ efektu przechwytywania, poprawiającego całkowitą efektywność i powodującego nierównomierny podział łącza (rys. 12). Badania potwierdziły, że zastosowanie długich ramek danych znacznie poprawia efektywność MACA (rys. 13). Protokół zaczyna wykazywać właściwości zbliżone do protokołu CSMA, zapewniając też bardziej sprawiedliwy podział łącza, przy występującym efekcie przechwytywania (rys. 14).

3. Podsumowanie

Zbudowanie segmentu sieci bezprzewodowej umożliwiło zbadanie i porównanie czterech protokołów dostępu do łącza bezprzewodowego. Otrzymane wyniki różniły się, w zależności od protokołu, w większym lub mniejszym stopniu od wyników teoretycznych. W badanym segmencie sieci występował efekt przechwytywania, którego nie uwzględniają podstawowe modele matematyczne. Efekt przechwytywania powodował zwiększenie efektywności wykorzystania łącza, które niestety nie rozkładało się równomiernie na wszystkie węzły. Możliwe jest uwzględnienie tego zjawiska, jak również innych występujących w sieciach bezprzewodowych w modelach matematycznych. Wymaga to jednak poznania ich i określenia, jak duży wpływ mają na efektywność sieci.

LITERATURA

1. Zieliński B.: Bezprzewodowe sieci komputerowe wykorzystujące konwersję protokołów. Rozprawa doktorska, Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
2. Zieliński B.: Bezprzewodowe sieci komputerowe. Helion, Gliwice 2000.
3. Zieliński B., Tokarz K.: Protokoły dostępu do łącza dla sieci bezprzewodowych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka, z. 36 (nr 1414), Gliwice 1999.
4. Zieliński B., Tokarz K.: Efektywność protokołów dostępu do łącza dla sieci bezprzewodowych. Studia Informatica, Vol. 21, Number 1 (39), Gliwice 2000.
5. Masłowski K.: Implementacja i badanie protokołów dostępu do łącza dla sieci bezprzewodowych. Praca dyplomowa, Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

Recenzent: Dr inż. Ryszard Winiarczyk

Wpłynęło do Redakcji 20 marca 2003 r.

Abstract

Media access protocols design is one of the most important problems in local area networks. It can be seen especially while using contention protocols in wireless networks. For every protocol it is possible to evaluate its efficiency using probability calculus. However, it is interesting how these protocols behave in a practical network.

To test the protocols efficiency, an experimental wireless network has been created. It consists of one control station (receiver) and three local stations, sending frames to the receiver. The rules of their operation are shown on Fig. 1. Several MAC protocols have been tested: Aloha, slotted Aloha, CSMA and MACA. The results are shown on Fig. 3-14. As shown on the pictures, they are similar to the theoretical results.

Adresy

Bartłomiej ZIELIŃSKI: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16, 44-101 Gliwice, Polska, bmw@zeus.polsl.gliwice.pl .

Iwona GÓRAL: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16, 44-101 Gliwice, Polska, goriwona@zeus.polsl.gliwice.pl .