

Rozdział XIX

Bezprzewodowe sieci ATM – protokoły dostępu do łącza z podziałem czasu (TDD)

Bartłomiej ZIELIŃSKI
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki
bmw@zeus.polsl.gliwice.pl

Streszczenie

Przedstawiono wybrane protokoły dostępu do łącza, zaprojektowane z myślą o bezprzewodowych sieciach ATM, w których dwukierunkowość łącza uzyskano metodą podziału czasowego (TDD). Zaprezentowano i pokrótce omówiono organizację czasową i podstawowe właściwości tych rozwiązań.

1. Wprowadzenie

Protokoły dostępu do łącza dla bezprzewodowych sieci ATM muszą zapewniać realizację mechanizmów typowych dla tego typu sieci. Jedną z głównych cech jest możliwość obsługi połączeń o zróżnicowanych wymaganiach odnośnie jakości usług [1].

Bezprzewodowe sieci ATM mają architekturę komórkową z wydzieloną stacją bazową [2], która jest odpowiedzialna za zarządzanie siecią i organizację połączeń ze stacjami ruchomymi. W sieci takiej wyróżnia się łącze „w górę” (ze stacji ruchomych do stacji bazowej, ang. *uplink*) i „w dół” (w przeciwnym kierunku, ang. *downlink*).

2. Przegląd protokołów

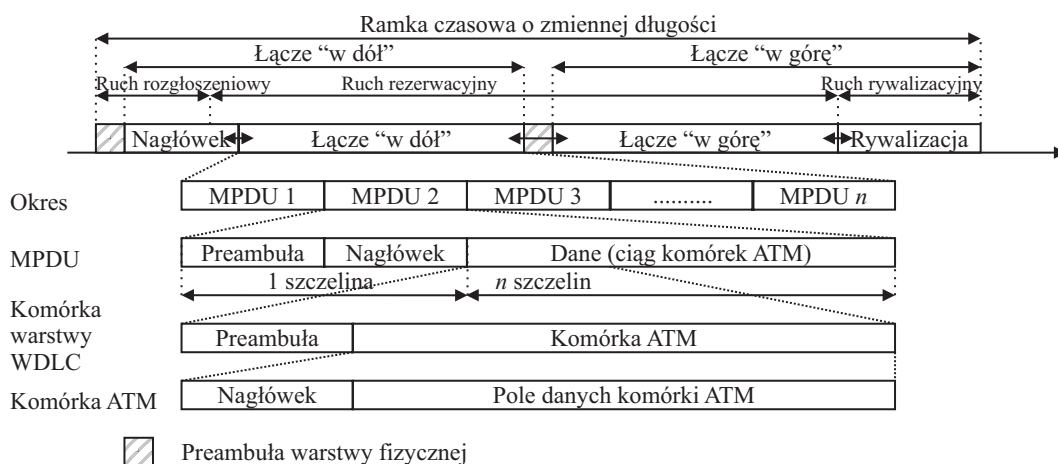
Jednym z wariantów realizacji łączności bezprzewodowej między stacją bazową a stacjami ruchomymi jest łącze, w którym dwukierunkowość uzyskuje się metodą podziału czasu (TDD). W takim przypadku oba kierunki transmisji wykorzystują wspólne pasmo częstotliwości. Upraszcza to budowę układów nadawczo-odbiorczych, jednak zwiększa opóźnienia podczas transmisji [3].

2.1. Protokół MASCARA

Protokół MASCARA (ang. *Mobile Access Scheme Based on Contention and Reservation for ATM*) [4, 5, 6] został zaproponowany jako warstwa MAC w europejskim projekcie WAND (ang. *Wireless ATM Network Demonstrator*).

Protokół ten oparty jest na strukturze ramki czasowej (TF, ang. *Time Frame*) o zmiennej długości. Ramka ta używana jest do przesyłu zarówno danych sieci ATM, jak i do wymiany informacji sterującej podwarstwy dostępu do łącza. Protokół pracuje w sposób hierarchiczny, co odzwierciedla strukturę bezprzewodowej sieci ATM. Stacja sterująca (ang. *Access Point*) jest odpowiedzialna za planowanie transmisji, przy czym niektóre składniki ruchu mogą być przewidziane (zależnie od klasy jakości usług). Protokół ogranicza do niezbędnego minimum okresy rywalizacji, tak więc występują one tylko na łączu „w górę” w celu zgłoszenia żądania przydziału czasu łącza.

Organizację czasową protokołu MASCARA ilustruje rys. 1 [6].



Rys. 1. Organizacja czasowa protokołu MASCARA

Ramka czasowa podzielona jest na cztery części (okresy) o zmiennej długości:

- nagłówek ramki (FH, ang. *Frame Header*), służący do rozgłoszenia informacji sterującej, określającej parametry bieżącej ramki, np. w celu zapewnienia stacjom ruchomym możliwości określenia długości poszczególnych części ramki;
- łącze „w dół”, służące do przesyłu danych ze stacji bazowej do stacji ruchomych w trybie rezerwacyjnym; jeśli w danej ramce brak danych wymagających tego trybu, część ta nie występuje;
- łącze „w górę”, służące do przesyłu danych ze stacji ruchomych do stacji bazowej w trybie rezerwacyjnym; podobnie jak część poprzednia, może nie występować;
- okres rywalizacyjny, służący do przesyłu do stacji bazowej danych w trybie rywalizacyjnym, w tym także zgłoszeń żądań rezerwacji czasu łącza zgodnie z wymaganymi parametrami jakości usług; minimalna długość tej części jest taka, że stacje ruchome mogą dokonać takiego zgłoszenia.

Każda część jest następnie dzielona na pewną liczbę szczelin czasowych.

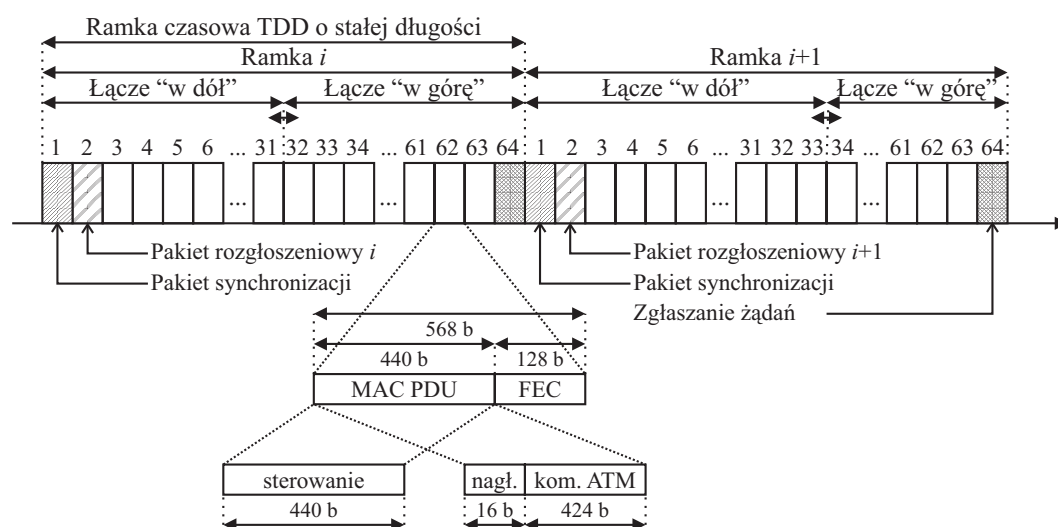
W celu zwiększenia wydajności transmisji w trybie rezerwacyjnym komórki ATM (o długości 53 B) łączone są w większe jednostki MPDU (ang. *MAC Protocol Data Unit*). Każda taka jednostka zaczyna się preambułą i nagłówkiem o łącznym czasie trwania równym 1 szczelinie czasowej. Po niej następuje tzw. ciąg komórek ATM (ang. *cell train*) trwający pewną liczbę szczelin czasowych. Czas trwania takiej szczeliny pozwala na przesłanie pojedynczej komórki ATM.

Stacja bazowa jest odpowiedzialna za planowanie ruchu. W tym celu bierze ona pod uwagę m. in. bieżące obciążenie łącza oraz żądane parametry jakości usług. Wynik tego działania przekazuje się stacjom ruchomym w postaci tzw. „mapy szczelin” (ang. *slot map*) w czasie transmisji nagłówka ramki czasowej. Na podstawie tej informacji stacje mogą określić chwile nadawania i odbioru, dzięki czemu można także zrealizować pewne mechanizmy oszczędzania energii.

2.2. Protokół PRMA/ATDD

Protokół PRMA/ATDD (ang. *Packet Reservation Multiple Access with Adaptive Time-Division Duplex*) [7, 8] został zaproponowany jako podwarstwa MAC w europejskim projekcie MEDIAN, będącym częścią programu ACTS (ang. *Advanced Communications Technologies and Services*).

Protokół ten oparty jest na ramce TDD o stałej długości. Ramka ta zawiera 64 szczeliny czasowe, które mogą być dynamicznie przydzielane obu kierunkom transmisji w zależności od potrzeb. Podstawową jednostką informacji jest tzw. rozszerzona komórka (ang. *extended cell*) o długości 568 bitów, zajmująca całą szczelinę czasową. Zawiera ona pojedynczą komórkę ATM uzupełnioną nagłówkiem lub informację sterującą protokołu. Organizacja czasowa protokołu pokazana jest na rys. 2.



Rys. 2. Organizacja czasowa protokołu PRMA/ATDD

Pierwsza szczelina każdej ramki TDD zawiera informacje niezbędne dla synchronizacji, a wynikające z właściwości warstwy fizycznej. Kolejna szczelina zawiera informację rozgłoszeniową, precyzującą właściwości ramek TDD (w ramce *i* przesyła się dane doty-

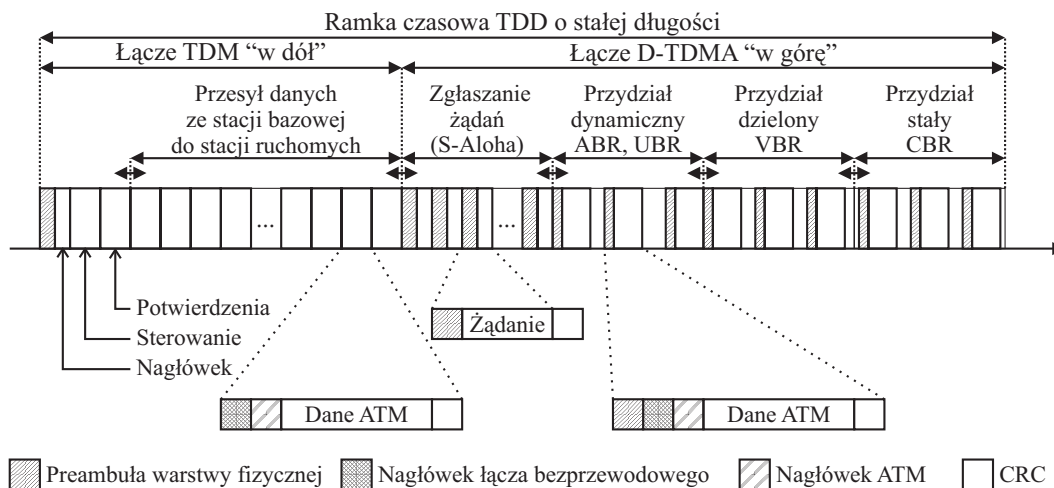
czące ramki $i+2$). Informacje te dotyczą liczby szczelin poświęconych poszczególnym kierunkom transmisji oraz określają przypisanie szczelin konkretnym połączeniom.

Po szczelinie rozgłoszeniowej następuje ciąg szczelin użytych dla transmisji „w dół”, czyli do stacji ruchomych. Liczba tych szczelin jest zmienna i zależy od decyzji stacji bazowej, co jest uzależnione od chwilowej charakterystyki ruchu. Następnie zmienia się kierunek transmisji. Ostatnia szczelina ramki TDD poświęcona jest na zgłaszanie żądań rezerwacji w trybie rywalizacyjnym oraz do celów zestawiania połączeń.

2.3. Protokół DTDMA/TDD

Protokół DTDMA/TDD (ang. *Dynamic Time Division Multiple Access with Time Division Duplex*) [9] został zaproponowany jako podwarstwa MAC w projekcie WATMnet (ang. *Wireless Asynchronous Transfer Mode network*), realizowanym w USA.

Protokół ten wykorzystuje ramkę czasową o stałej długości, podzieloną na dwie części. Pierwsza z nich służy do transmisji „w dół” i jest zorganizowana w oparciu o prostą metodę TDM. Druga natomiast służy do transmisji „w górę” i jest dynamicznie dzielona na cztery grupy szczelin czasowych, przeznaczonych kolejno do zgłaszania żądań i transmisji danych z różnymi klasami jakości usług. Czas trwania poszczególnych części ramki jest dobierany zależnie od chwilowej charakterystyki ruchu w łączu. Organizację czasową protokołu ilustruje rys. 3.



Rys. 3. Organizacja czasowa protokołu DTDMA/TDD

Transmisję ramki rozpoczyna stacja bazowa. Przesyła ona preambułę warstwy fizycznej, a następnie nagłówek ramki oraz informację sterującą i potwierdzenia otrzymania wiadomości od stacji ruchomych. Informacja sterująca pozwala stacjom ruchomym określić m. in. czas trwania poszczególnych części ramki oraz sposób przydziału czasu łącza poszczególnym stacjom. Następnie stacja bazowa przesyła kolejne komórki ATM, opatrzone dodatkowym nagłówkiem łącza bezprzewodowego oraz sumą kontrolną.

Po zmianie kierunku transmisji stacje ruchome zgłaszają żądania przydziału czasu łącza, korzystając ze szczelinowego protokołu Aloha. Zgłoszenia te, podobnie jak i pozostałe informacje sterujące, przesyłane są w ramach o długości 8 B. Po fazie zgłoszeń następu-

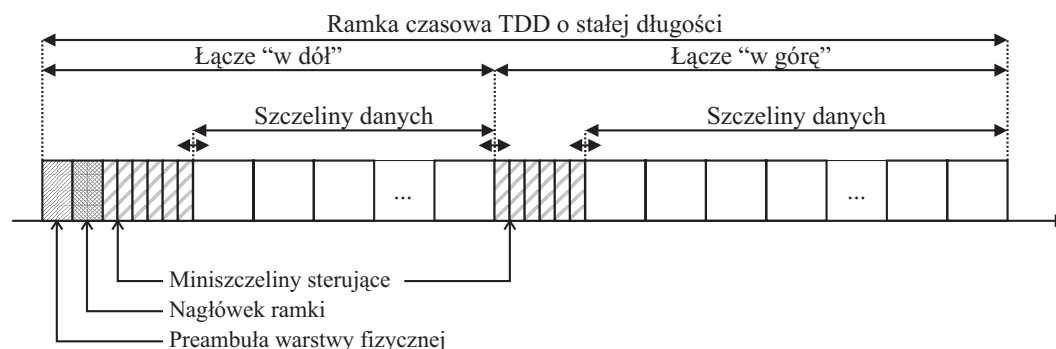
ją trzy fazy transmisji danych zgodnie z ustaleniami poczynionymi przez stację bazową w procesie rezerwacji. Fazy te odpowiadają obsługiwanym przez protokół klasom jakości usług sieci ATM. Dla połączeń ze stałą prędkością transmisji (CBR) przydział szczeliny wykonywany jest podczas zestawiania połączenia i nie podlega zmianom aż do chwili rozłączenia. Dla połączeń typu ABR oraz UBR szczeliny są przypisywane połączeniu wówczas, gdy stacja zgłasza zapotrzebowanie na przesył danych. Pula szczelin przeznaczonych dla tego typu połączeń może być uzupełniona o nie wykorzystane szczeliny pozostałych typów połączeń (CBR, VBR). Algorytm przydziału szczelin połączeniom typu VBR jest bardziej skomplikowany i wykracza poza ramy niniejszej publikacji.

Warto zaznaczyć, że jeśli dane połączenie wymaga kilku szczelin w jednej ramce, są to szczeliny sąsiednie. Dzięki temu unika się wielokrotnego powtarzania preambuły, co naturalnie zwiększa wydajność sieci.

2.4. Protokół DR-TDMA

Protokół DR-TDMA (ang. *Dynamic Reservation Time Division Multiple Access*) [10] jest zmodyfikowaną odmianą protokołu DTDMA/TDD. Modyfikacja ta obejmuje m. in. zasady rywalizacyjnego dostępu do łącza podczas zgłaszania żądań rezerwacji czasu łącza. Dzięki wykorzystaniu wersji FPBP (ang. *Framed Pseudo-Bayesian Priority*) protokołu Aloha [11] zgłoszenia, pochodzące od aplikacji uwarunkowanych czasowo (np. CBR, VBR-RT), uzyskują wyższy priorytet. Dzięki temu opóźnienia czasowe wynikające z rywalizacji są w tym przypadku zmniejszone.

Organizacja czasowa protokołu DR-TDMA pokazana jest na rys. 4.

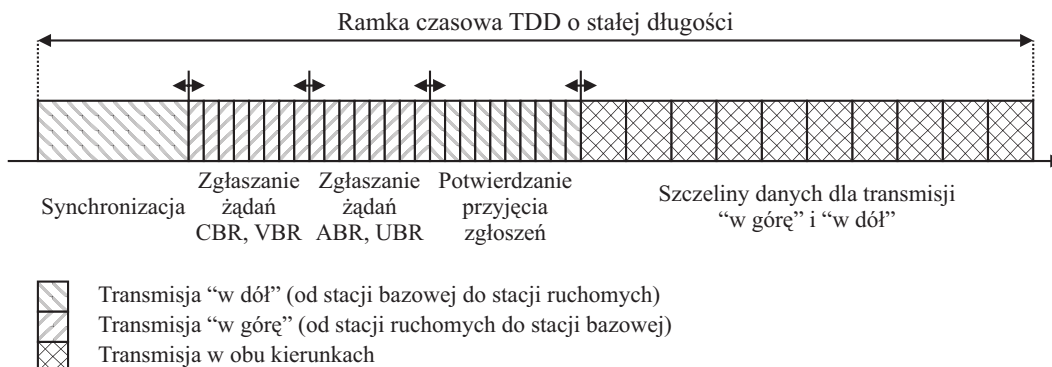


Rys. 4. Organizacja czasowa protokołu DR-TDMA

2.5. Protokół FAFS

W protokole FAFS (ang. *Fair Access Fair Scheduling*) [12] wprowadzono interesujące rozwiązanie zagadnienia przyjmowania zgłoszeń o różnych priorytetach. Rozróżnia się tu zgłoszenia o priorytecie wyższym (uwarunkowane czasowo, czyli CBR i VBR) i niższym (bez ścisłych zależności czasowych, czyli ABR i UBR). Dzięki temu niektóre wymogi jakości usług spełniane są już na etapie rywalizacji o przydział czasu łącza.

Organizację czasową protokołu FAFS przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Organizacja czasowa protokołu FAFS

W protokole przyjęto stałą długość ramki czasowej. W ramce można wyróżnić kilka fragmentów, których długość może być dynamicznie zmieniana, zależnie od zapotrzebowania w danej sytuacji. Pierwszy z nich poświęcony jest dla potrzeb synchronizacji stacji ruchomych i służy także do przekazania im informacji o czasie trwania poszczególnych fragmentów ramki. W kolejnym fragmencie ramki stacje ruchome przekazują stacji bazowej swoje zapotrzebowanie na czas łącza. Zgłaszanie to odbywa się poprzez przesył krótkich ramek, osobno dla ruchu uwarunkowanego czasowo i dla ruchu bez takich ograniczeń. Decyzja stacji bazowej określająca przydział szczelin poszczególnym stacjom przekazywana jest w fazie potwierdzenia. Ostatni fragment ramki podzielony jest na szczeliny, służące przesyłowi danych w obu kierunkach.

Liczba miniszczelin przeznaczonych dla zgłaszania żądań określa maksymalną liczbę aktywnych połączeń w stacji bazowej. Początkowo oba przedziały rywalizacji (dla zgłoszeń o wyższym i niższym priorytecie) mają taką samą długość. Gdy stopień wykorzystania danego przedziału jest niski, jego długość zostaje zmniejszona. Duża liczba kolizji w przedziale rywalizacji świadczy natomiast o konieczności zwiększenia jego długości. Dostosowanie parametrów protokołu do warunków panujących w sieci odbywa się jednak w małych krokach, dzięki czemu sieć reaguje jedynie na dłuższe zmiany obciążenia.

3. Podsumowanie

Spośród przedstawionych protokołów trudno jednoznacznie wybrać najlepszy. Z pewnością można jednak wskazać zalety i wady poszczególnych rozwiązań. Ważne jest, aby protokół przyczyniał się do efektywnego wykorzystania czasu łącza. Wpływ na to ma długość szczeliny przeznaczonej dla zgłoszenia żądania rezerwacji, która może być porównywalna z wielkością komórki ATM (MASCARA, PRMA/ATDD, DR-TDMA) lub znacznie od niej mniejsza (DTDMA/TDD, FAFS). Mniejsza długość takiej szczeliny to mniejsza strata czasu w przypadku kolizji zgłoszeń pochodzących z różnych stacji. Dobrym rozwiązaniem wydaje się także łączenie komórek ATM w dłuższe ciągi (jedynie MASCARA). Należy także podkreślić, że łącze z podziałem czasu pozwala na lepszą dynamiczną adaptację protokołu do chwilowej charakterystyki ruchu, szczególnie gdy zapotrzebowanie na przepustowość w obu kierunkach jest mocno asymetryczne. Dotyczy to zwłaszcza połączeń typu VBR i ABR.

Interesującym rozwiązaniem jest wydzielenie osobnego przedziału rywalizacji dla połączeń uzależnionych czasowo (tylko FAFS). W ten sposób zwiększa się prawdopodobieństwo dotarcia takiego zgłoszenia do stacji bazowej, zmniejszając tym samym opóźnienia wnoszone przez protokół, a więc zwiększając szansę przesłania informacji na czas.

Protokół MASCARA jest jedynym, w którym długość ramki jest zmienna. Z jednej strony ułatwia to dynamiczne dostosowanie się protokołu do sytuacji panującej na łączu – i to w znacznie szerszym zakresie niż przy stałej długości ramki – z drugiej zaś utrudnia (lecz nie czyni niemożliwym) przydział szczelin dla połączeń typu CBR. Efektem tego może być mała równomierność przydziału dla konkretnych połączeń, podczas gdy przy stałej długości ramki liczba szczelin przypisanych konkretnemu połączeniu CBR jest taka sama w każdej ramce – aż do rozwiązania połączenia.

W przypadku stacji ruchomych – a w koncepcji sieci WATM zakłada się istnienie takowych – istotna jest możliwość oszczędzania energii. Spośród przedstawionych protokołów, w mniejszym lub większym stopniu, wszystkie pozwalają na czasowe wyłączenie urządzeń nadawczo-odbiorczych bez obawy o utratę fragmentu informacji.

Przedstawione protokoły zakładają stałą jakość łącza radiowego, niezależnie od odległości między stacją bazową a konkretną stacją ruchomą. Ponieważ odległości te mogą być różne, także jakość poszczególnych połączeń nie musi być taka sama. Fakt ten można wykorzystać do zwiększenia prędkości transmisji z wybranymi stacjami ruchomymi [13, 14, 15].

LITERATURA

1. Tannenbaum A. S.: *Computer Networks (Fourth Edition)*. Prentice Hall, 2003.
2. Nowicki K., Woźniak J.: *Przewodowe i bezprzewodowe sieci LAN*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
3. Stojmenović I. (red.): *Handbook of Wireless Networks and Mobile Computing*. Wiley, 2002.
4. Passas N., Paskalis S., Vali D., Merakos L.: *Quality-of-Service-Oriented Medium Access Control for Wireless ATM Networks*. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, No. 11., Nov. 1997, s. 42-50.
5. Bauchot F., Decrauzat S., Marmigère G., Merakos L., Passas N.: *MASCARA, a MAC Protocol for Wireless ATM*. *ACTS Mobile Summit '96*, Granada, Nov. 1996, s. 647-651.
6. Passas N., Merakos L., Skyrianoglou D., Bauchot F., Marmigère G., Decrauzat S.: *MAC Protocol and Traffic Scheduling for Wireless ATM Networks*. *Mobile Networks and Applications*, Vol. 3, No. 3, Sept. 1998, s. 275-292.
7. Priscoli F. D.: *Medium Access Control for the MEDIAN System*. *Proceedings of ACTS Mobile Summit '96*, Granada, Nov. 1996, s. 631-638.
8. Priscoli F. D.: *Design and Implementation of a Simple and Efficient Medium Access Control for High-Speed Wireless Local Area Networks*. *IEEE Journal on Selected Areas of Communications*, Vol. 17, No. 11, Nov. 1999, s. 2052-2064.
9. Raychaudhuri D., French L. J., Siracusa R. J., Biswas S. K., Yuan R., Narasimhan P., Johnston C. A.: *WATMnet: A Prototype Wireless ATM System for Multimedia Personal Communications*. *IEEE Journal on Selected Areas of Communications*, Vol. 15, No. 1, Jan. 1997, s. 83-95.

10. Frigon J.-F., Leung V. C. M., Chan H. C. B.: Dynamic Reservation TDMA Protocol for Wireless ATM Networks. *IEEE Journal on Selected Areas of Communications*, Vol. 19, No. 2, Feb. 2001, s. 370-383.
11. Frigon J. F., Leung V. C. M.: A pseudo-Bayesian Aloha algorithm with mixed priorities. *Wireless Networks*, Vol. 7, No. 1, Jan. 2001, s. 55-63.
12. Jain S., Sharma V., Sanghi D.: FAFS: A New MAC Protocol for Wireless ATM. *Proc. of IEEE Int'l Conf. on Personal Wireless Communications*, Jaipur, India, Feb. 1999, s. 135-139.
13. Kawagishi M., Sampei S., Morinaga N.: A Novel Reservation TDMA Based Multiple Access Scheme using Adaptive Modulation for Multimedia Wireless Communication Systems. *Proceedings of IEEE VTC'98*, 1998, s. 112-116.
14. Kwok Y.-K., Lau V. K. N.: Performance evaluation of multiple access control schemes for wireless multimedia service. *IEE Proceedings – Communications*, Vol. 148, No. 2, Apr. 2001, s. 86-94.
15. Kwok Y.-K., Lau V. K. N.: On Channel Adaptive Multiple Access Control without Contention Queue for Wireless Multimedia Services. *Wireless Networks*, Vol. 9, No. 4., July 2003, s. 379-392.