

## Rozdział XVIII

# Bezprzewodowe sieci ATM – protokoły dostępu do łącza z podziałem częstotliwości (FDD)

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 przez podziału częstotliwości (FDD). 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].

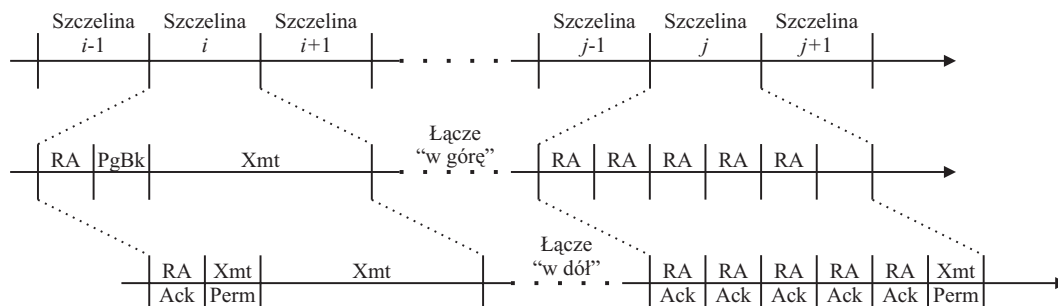
Bezprzewodowe sieci ATM mają architekturę komórkową z wydzieloną stacją bazową [2], która jest odpowiedzialna za zarządzanie siecią i organizację połączeń ze stacjami ruchomymi. W sieci takiej wyróżnia się łącze „w górę” (ze stacji ruchomych do stacji bazowej) i „w dół” (w przeciwnym kierunku).

## 2. Przegląd protokołów

Łączność bezprzewodową między stacją bazową a stacjami ruchomymi można zrealizować w łączu, w którym dwukierunkowość uzyskuje się metodą podziału częstotliwości (FDD). W takim przypadku każdy kierunek transmisji wykorzystuje osobne pasmo częstotliwości. Dzięki temu jest możliwe zmniejszenie opóźnień w procesie transmisji (a szczególnie rezerwacji) [3], jednak urządzenia transmisyjne są bardziej złożone i droższe, większe jest także zapotrzebowanie na szerokość kanału transmisyjnego.

## 2.1. Protokół DQRUMA

Protokół DQRUMA (ang. *Distributed Queuing Request Update Multiple Access*) [4, 5] nie jest oparty na strukturze ramkowej. Czas łącza podzielony jest na kanały transmisji danych (Xmt, ang. *Transmit*) oraz kanały zgłaszania żądań (RA, ang. *Request Access*), które są formowane według potrzeb w kolejnych szczelinach czasowych o stałej długości. Organizacja szczelin różni się nieco dla kierunku „w górę” i „w dół” i przedstawiona jest na rys. 1. Warto przy tym zauważyć, że łącze „w dół” jest nieznacznie opóźnione, dzięki czemu stacja bazowa może niemal natychmiast wysłać odpowiedź do stacji ruchomych.



Rys. 1. Organizacja czasowa protokołu DQRUMA.

Typowa szczelina dla łącza „w górę” zawiera kanał żądań, składający się z ciągu miniszczelin, po którym następuje kanał transmisji danych. W razie potrzeby stacja bazowa może przekształcić kanał danych na pewną liczbę kanałów żądań, zależną od parametrów pracy sieci. Dostęp do kanału żądań jest rywalizacyjny z wykorzystaniem szczelinowego protokołu Aloha lub mechanizmów drzewa binarnego (ang. *Binary Tree Algorithm*). Podczas transmisji danych stacja może zgłosić dodatkowe żądanie, korzystając z bezkolizyjnego kanału PgBk (ang. *Piggyback*). Pozwala to na bardziej racjonalne wykorzystanie przepustowości łącza, szczególnie przy połączeniach typu VBR.

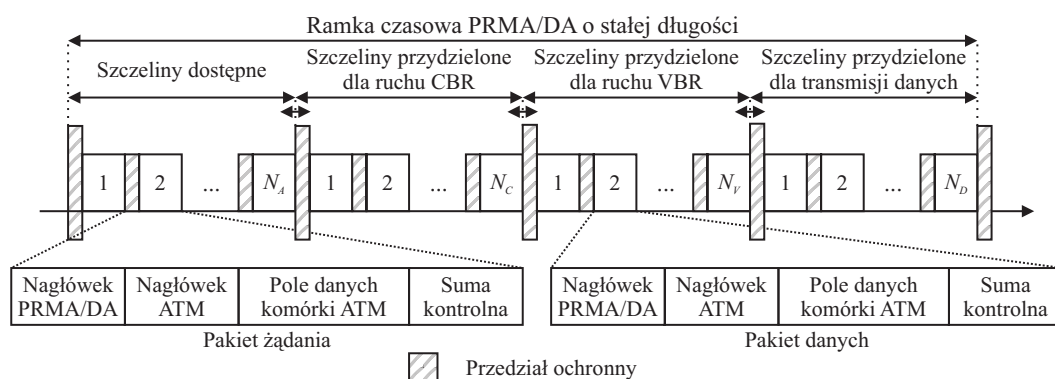
Organizacja łącza „w dół” jest podobna, przy czym znaczenie niektórych szczelin jest inne. Mianowicie stacja bazowa przesyła tu potwierdzenia otrzymania żądania rezerwacji. Potwierdzenie takie przesyłane jest niemal natychmiast po otrzymaniu zgłoszenia, dzięki czemu stacja ruchoma szybko dowiaduje się o losach swego zgłoszenia i w razie potrzeby ponawia jego transmisję. Potwierdzenie takie nie świadczy jednak jeszcze o przydziale czasu łącza. Do przekazania tej informacji służy kanał Xmt Perm (ang. *Transmit permission*). Stacja, która uzyskała zezwolenie na transmisję, może rozpocząć nadawanie w następnej szczelinie.

## 2.2. Protokół PRMA/DA

Protokół PRMA/DA (ang. *Packet Reservation Multiple Access with Dynamic Allocation*) [6] jest rozszerzoną wersją protokołu PRMA [7], umożliwiającą stosowanie go w sieciach ATM przy zapewnieniu wsparcia dla mechanizmów typowych dla takich sieci.

W protokole tym łącze „w dół” pracuje w bezkolizyjnym trybie TDM pod całkowitą kontrolą stacji bazowej, podczas gdy łącze „w górę” wykorzystuje ramkę o stałej długości, podzieloną na stałą liczbę szczelin o jednakowym rozmiarze. Rozróżnia się tu cztery rodzaje szczelin: zarezerwowane dla poszczególnych klas ruchu (dane, VBR, CBR) oraz

dostępne. Zgłoszenie żądania rezerwacji polega na wysłaniu przez stację ruchomą pakietu sieci WATM w jednej z dostępnych szczelin zgodnie z zasadami szczelinowego protokołu Aloha. Powodzenie tej operacji skutkuje przydziałem szczelin w odpowiednim fragmencie ramki; szczeliny te pozostają zarezerwowane do końca istnienia połączenia. Organizację czasową łącza „w górę” protokołu PRMA/DA pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Organizacja czasowa protokołu PRMA/DA

Liczba szczelin poszczególnych typów może być dynamicznie zmieniana przez stację bazową, zależnie od chwilowej charakterystyki ruchu, przy czym przynajmniej jedna szczelina musi pozostać dostępna. Informacja o długościach fragmentów ramki i wynikach procesu rezerwacji przekazywana jest stacjom ruchomym na końcu każdej ramki.

### 2.3. Protokół DSA++

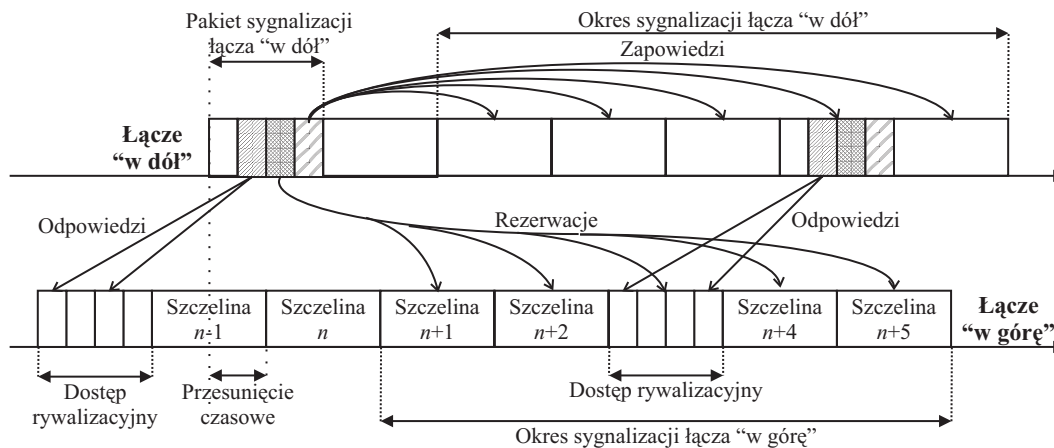
Protokół DSA++ (ang. *Dynamic Slot Assignment ++*) [8] jest rozwinięciem protokołu DSA, w którym łącza w obu kierunkach podzielone są na szczeliny czasowe o stałej długości. Pod koniec każdej szczeliny łącza „w dół” stacja bazowa przesyła stacjom ruchomym potwierdzenia przyjęcia żądań rezerwacji dokonanych w poprzedniej szczelinie oraz wyniki rezerwacji dla szczeliny następnej. Dzięki małym czasom opóźnień umożliwia to wprawdzie szybką reakcję sieci na zmianę obciążenia, jednak każdy przesył w stronę stacji ruchomych prowadzony jest w trybie rozgłoszeniowym, co z kolei uniemożliwia oszczędzanie energii przez te stacje.

Modyfikacja w protokole DSA++ polega na zgrupowaniu informacji sterujących w pojedynczej szczelinie sterującej, po której następuje ciąg szczelin poświęconych wyłącznie na przesył danych lub zgłaszanie żądań rezerwacji. Szczelina sterująca, tzw. pakiet sygnalizacji łącza „w dół” (DSB, ang. *Downlink Signalling Burst*), rozpoczyna okres sygnalizacji (ramkę) o długości 8-15 szczelin. W ramach pakietu DSB przesyłane są:

- Odpowiedzi dla każdego przedziału dostępu rywalizacyjnego z poprzedniego okresu sygnalizacji, informujące stacje ruchome o wyniku przesłania ich żądań rezerwacji;
- Informacje dotyczące rezerwacji kolejnych szczelin dla łącza „w górę”;
- Zapowiedzi przesyłu informacji w kolejnych szczelinach łącza „w dół”;
- Dodatkowe informacje sterujące protokołu.

Okres sygnalizacji dla obu kierunków transmisji ma identyczną długość, przy czym łącze „w górę” jest nieznacznie opóźnione. Rozmiar szczeliny pozwala na przesłanie całej ko-

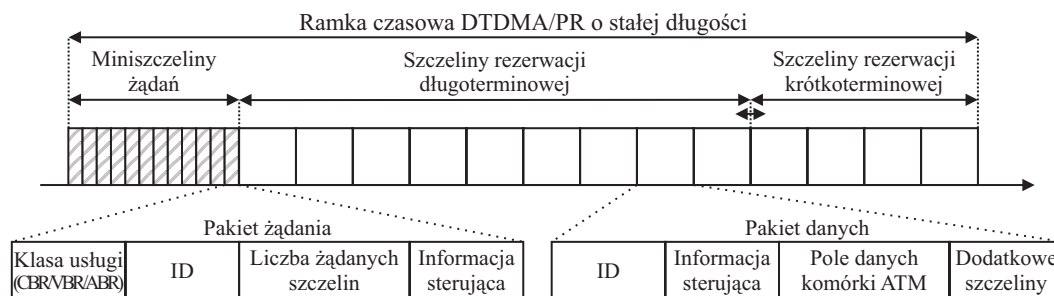
mórki ATM wraz z niezbędnym narzutem wynikającym z właściwości łącza bezprzewodowego. Dowolną szczelinę w okresie sygnalizacji łącza „w górę” można przekształcić w cztery kanały o dostępie rywalizacyjnym, służące m. in. do zgłaszania żądań przydziału czasu łącza. Organizacja czasowa protokołu DSA++ pokazana jest na rys. 3.



Rys. 3. Organizacja czasowa protokołu DSA++

## 2.4. Protokół DTDMA/PR

Protokół DTDMA/PR (ang. *Dynamic TDMA with Piggybacked Reservation*) [9] jest zmodyfikowaną wersją protokołu DTDMA [10], w którym rozróżniano tylko dwa rodzaje przesyłanej informacji (głos i dane). Protokół DTDMA/PR wspiera także ruch typu VBR. Organizację czasową protokołu pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Organizacja czasowa protokołu DTDMA/PR

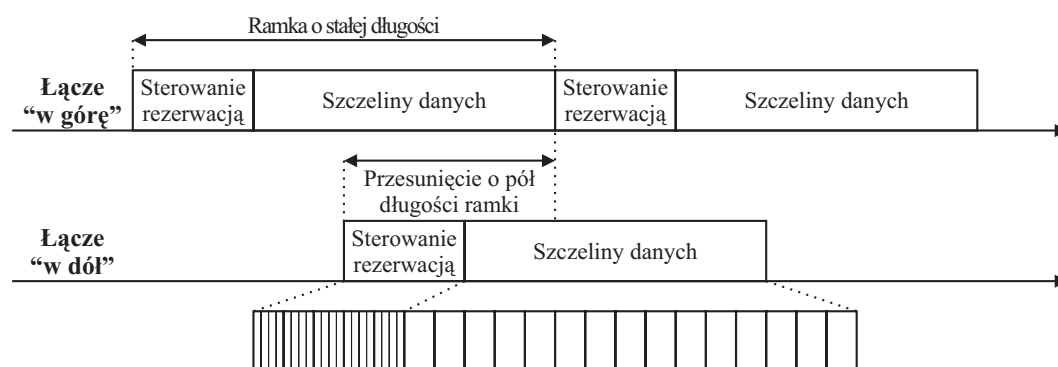
Łącze „w górę” podzielone jest na trzy fragmenty. Pierwszy z nich zawiera miniszczeliny, w których stacje ruchome mogą zgłaszać żądania przydziału czasu łącza. Kolejne dwa natomiast zawierają szczeliny (o rozmiarze odpowiadającym pojedynczej komórce ATM) do przesyłu danych. Rozróżnia się przy tym rezerwacje krótko- i długoterminowe. Szczelin przydzielone na dłużej przeznaczone są do przesyłu informacji typu CBR lub VBR, co jest uzasadnione, gdyż np. w połączeniach CBR parametry negocjowane tylko raz i nie podlegają późniejszym zmianom. Granicę między szczelinami długo- i krótkoterminowymi można przesuwac, zależnie od potrzeb. Niewykorzystane szczeliny krótkoterminowe można użyć w celu przesłania do stacji bazowej żądania przydziału czasu łącza.

Informacja o wynikach rezerwacji jest przesyłana po zakończeniu okresu zgłaszania żądań. O ile przydział dla ruchu CBR i VBR jest ważny aż do końca czasu aktywności połączeń, o tyle przydział dla połączeń ABR przestaje obowiązywać natychmiast po przesłaniu pakietów danych. W przypadku połączeń VBR możliwe jest dokonanie dodatkowej rezerwacji w sposób bezkolizyjny poprzez załączenie odpowiedniej informacji w pakiecie danych (ang. *piggyback*).

## 2.5. Protokół AM-R-TDMA

W protokole AM-R-TDMA (ang. *Adaptive Modulation Request Time Division Multiple Access*) [11], zwanym niekiedy także DTDMA/VR (ang. *Dynamic TDMA with Variable Rate*) [12, 13], zastosowano modulację zezwalającą na transmisję ze zmienną prędkością, zależnie od warunków panujących w łączu. Ponadto zaproponowano wykorzystanie szczelin zarezerwowanych, ale nie użytych przez posiadacza dla realizacji transmisji. Szczeliny takie są udostępniane pozostałym stacjom na zasadzie swobodnego dostępu rywalizacyjnego (protokół s-Aloha).

W protokole stosuje się ramkę czasową o stałej długości, składającą się z 20 szczelin. Ramka łącza „w dół” jest opóźniona względem ramki „w górę” o połowę długości w celu przyspieszenia odpowiedzi dla stacji ruchomych. W każdej ramce pięć pierwszych szczelin podzielonych jest na cztery miniszczeliny każda. Są one przeznaczone do zgłaszania żądań rezerwacji, przydziału szczelin oraz do innych celów związanych ze sterowaniem pracą łącza. Po miniszczelinach sterujących następuje 15 szczelin o stałej długości, przeznaczonych dla transmisji ramek danych. Modulacja o zmiennej prędkości stosowana jest tylko dla pola danych ramki. Organizację czasową protokołu ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Organizacja czasowa protokołu AM-R-TDMA (DTDMA/VR)

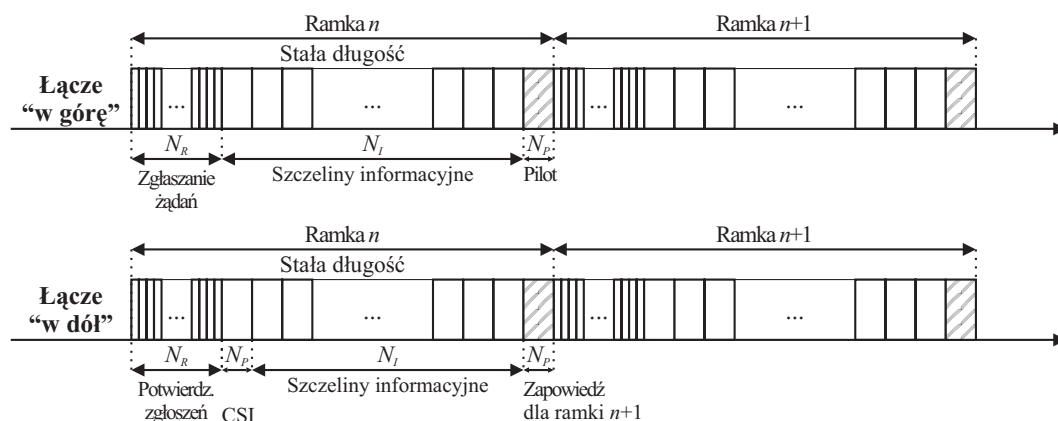
W protokole wyróżnia się połączenia głosowe oraz krótkie i długie pakiety danych. Krótkie pakiety danych mogą być przesłane w chwilach, gdy szczelina zarezerwowana dla połączenia głosowego nie zostaje użyta (chwila ciszy). Aby było to możliwe, stacja bazowa posługuje się detektorem aktywności mowy (ang. *voice activity detector*). Dzięki odpowiednim opóźnieniom (różnym dla głosu i danych) stacja bazowa rozpoznaje ten stan na tyle wcześnie, że może poinformować stacje ruchome o dostępności szczeliny. Dostęp do szczeliny jest rywalizacyjny, zgodnie z zasadami szczelinowego protokołu Aloha. Pozostałe typy połączeń (głosowe oraz długie pakiety danych) podlegają normalnym zasadom rezerwacji.

## 2.6. Protokół SCAMA

Protokół SCAMA (ang. *Synergistic Channel Adaptive Multiple Access*) [12, 13] jest rozwinięciem protokołu DTDMA/VR. Przy zachowaniu zbliżonej organizacji czasowej w większym stopniu wykorzystuje się tu możliwość dynamicznej zmiany prędkości transmisji w zależności od jakości łącza między stacją bazową a stacjami ruchomymi. Dzięki temu mechanizmowi stacje znajdujące się bliżej stacji bazowej mogą skorzystać z wyższej prędkości transmisji, mają one także pierwszeństwo podczas przydziału szczelin czasowych, co dodatkowo podwyższa prędkość przesyłu informacji. Tym niemniej podczas przydziału szczelin uwzględnia się także ograniczenia czasowe pozostałych stacji, znajdujących się w dalszej odległości od stacji bazowej.

Dla poprawnego określenia jakości łącza między stacją bazową a poszczególnymi stacjami ruchomymi konieczne jest wprowadzenie dodatkowego mechanizmu. W tym celu w ramce łącza „w dół” umieszczono miniszczeliny CSI (ang. *Channel State Information*), w których stacja bazowa odpytuje stacje ruchome zgodnie z kolejnością ustaloną podczas procesu przydziału szczelin. Stacje ruchome odpowiadają pod koniec ramki łącza „w górę”, przysyłając sygnały pilotowe pozwalające określić jakość łącza oraz – opcjonalnie – dodatkowe żądania przydziału dla połączeń VBR. Uzyskana informacja o stanie łącza jest użyta do określenia szybkości modulacji w warstwie fizycznej oraz podczas ustalania priorytetów poszczególnych połączeń.

Organizację czasową protokołu SCAMA przedstawiono na rys. 7.



Rys. 6. Organizacja czasowa protokołu SCAMA

## 2.7. Protokół DPRMA

Protokół DPRMA (ang. *Dynamic Packet Reservation Multiple Access*) [14, 15] jest także zmodyfikowaną odmianą protokołu PRMA [7]. W przeciwieństwie jednak do PRMA/DA organizacja czasowa protokołu pozostaje nie zmieniona – wykorzystuje się tu ramki o stałej długości, podzielone na równą liczbę szczelin. Nie wyróżnia się osobnych szczelin dla zgłaszania żądań.

Gdy stacja ruchoma ma dane do wysłania, rozpoczyna transmisję w jednej z wolnych szczelin ramki. Jeśli operacja ta przebiegnie pomyślnie (brak kolizji z innymi zgłosze-

niami), szczelina zostaje przydzielona tej stacji i w następnych ramkach pozostaje zarezerwowana. Zwolnienie szczeliny następuje, jeśli mimo rezerwacji nie zostały w niej przesłane żadne dane.

W protokole DPRMA wprowadzono mechanizmy dynamicznej rezerwacji szczelin dla połączeń typu VBR – w miarę możliwości liczba szczelin przydzielonych danemu połączeniu może się zmniejszać lub zwiększać w kolejnych ramkach. Gdy brak wolnych szczelin, możliwy jest przydział częściowy, który w miarę możliwości będzie powiększany w późniejszych ramkach. Gdy natomiast brak ramek dla ruchu z ograniczeniami czasowymi, można zmniejszyć przydział połączeniom typu przesył danych.

Informacja dotycząca zajętości poszczególnych szczelin oraz przydziału ich różnym stacjom przekazywana jest przez stację bazową w wydzielonych chwilach łącza „w dół”.

### 3. Podsumowanie

W przypadku łącza z podziałem częstotliwości protokół może zapewnić zmniejszenie opóźnień, jakie powstają podczas transmisji. Szczególnie istotne jest, aby możliwie jak najszybciej informować stacje ruchome o wynikach prób zgłaszania żądań rezerwacji. Stacja ruchoma może wówczas bardzo szybko ponowić próbę, dzięki czemu wzrasta prawdopodobieństwo prawidłowego obsłużenia zgłoszeń uzależnionych czasowo. Możliwość przesłania niemal natychmiastowej odpowiedzi wykorzystują protokoły DQRUMA, DSA++ oraz AM-R-TDMA, a także – w mniejszym zakresie – pozostałe. W niektórych protokołach informacja o wynikach zgłoszeń przekazywana jest bezpośrednio po zakończeniu rywalizacji, ale i tak kolejne próby mogą mieć miejsce dopiero w następnej ramce, podobnie jak w przypadku łącza TDD (DPRMA, PRMA/DA, SCAMA).

Nie wszystkie protokoły stosują koncepcję miniszczelin dla zgłaszania żądań rezerwacji – w protokołach wywodzących się od PRMA zgłoszenie zajmuje całą szczelinę, co zmniejsza wydajność protokołu. Jest to szczególnie widoczne przy dużych obciążeniach łącza, gdy duża liczba zgłoszeń stacji ruchomych ulega kolizjom.

Dla połączeń typu CBR rezerwacja odbywa się raz na początku połączenia. Inne typy połączeń, np. VBR lub ABR, wymagają zmiennej prędkości transmisji. Stacje zaangażowane w takie połączenia mogą przysyłać dodatkowe żądania zależnie od potrzeb. Aby uniknąć rywalizacji, stacje te mogą powiadamiać stację bazową o swoich potrzebach poprzez zawarcie odpowiednich informacji w ramce danych (ang. *piggyback request*). Mechanizm ten, podnoszący wydajność transmisji połączeń VBR lub ABR, występuje w protokołach DQRUMA, DTDMA/PR.

Interesującą propozycją jest uwzględnienie różnej jakości połączeń między stacją bazową a stacjami ruchomymi. W typowej sieci bezprzewodowej zjawisko takie jest wysoce prawdopodobne. Fakt ten uwzględniono w protokołach AM-R-TDMA oraz SCAMA. Wydaje się jednak, że pomysł ten nie jest jeszcze w pełni wykorzystany.

Jednym z elementów uwzględniania różnych priorytetów połączeń jest różnicowanie ich nie tylko w chwili określania przydziału szczelin, ale wcześniej, już na etapie zgłaszania żądań. Można np. wyznaczyć dwa okresy rywalizacji: jeden dla połączeń ograniczonych czasowo (CBR, VBR-RT), a drugi – dla pozostałych (VBR-NRT, ABR, UBR) [16]. Żaden z opisanych protokołów nie przewiduje takiego mechanizmu. Co dziwniejsze, nie

każdy protokół rozróżnia wszystkie 5 klas usług sieci ATM – najczęściej uwzględniane są połączenia CBR, VBR (na ogół w odmianie ograniczonej czasowo) oraz ABR.

## 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. Karol M. J., Liu Z., Eng K. Y.: Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks. *Proceedings of IEEE INFOCOM'95*, 1995, s. 1224-1231.
5. Karol M. J., Liu Z., Eng K. Y.: An efficient demand-assignment multiple access protocol for wireless packet (ATM) networks. *Wireless Networks*, Vol. 1, No. 3., 1995, s. 267-279.
6. Kim J. G., Widjaja I.: PRMA/DA: A New Media Access Control Protocol for Wireless ATM. *Proceedings of ICC'96*, Jun. 1996, s. 240-244.
7. Goodman D. J., Valenzuela R. A., Gayliard K. T., Ramamurthi B.: Packet reservation multiple access for local wireless communication. *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 37, No. 8, Aug. 1989, s. 885-890.
8. Petras D., Krämling A.: MAC protocol with polling and fast collision resolution for an ATM air interface. *Proceedings of IEEE ATM '96 Workshop*, Aug. 1996.
9. Qiu X., Li V. O. K., Ju J.-H.: A multiple access scheme for multimedia traffic in wireless ATM. *Mobile Networks and Applications*, Vol. 1, No. 3, Dec. 1996, s. 259-272.
10. Raychaudhuri D., Wilson N. D.: ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Networks. *IEEE Journal on Selected Areas of Communications*, Vol. 12, No. 8, Oct. 1992, s. 1401-1414.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Dyson D. A., Haas Z. J.: A Dynamic Packet Reservation Multiple Access Scheme for Wireless ATM. *Proceedings of MILCOM'97*, 1997, s. 687-693.
15. Dyson D. A., Haas Z. J.: A dynamic packet reservation multiple access scheme for wireless ATM. *Mobile Networks and Applications*, Vol. 4, No. 2, 1999, s. 87-99.
16. 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.