

# ABR 형태의 데이터 서비스를 위한 무선 MAC: APRMA

正會員 이 윤 주\*, 강 상 욱\*\*, 여 현\*\*\*, 최 승 철\*\*

## A Wireless MAC for ABR Type Data Service: APRMA

Yoonju Lee\*, Sangwook Kang\*\*, Hyun Yoe\*\*\*, Seungchul Choi\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 PRMA의 구조를 사용하여 ABR 형태의 데이터 서비스를 수행할 수 있는 알고리즘을 도입함으로써 그 개념을 확장하고, 채널의 이용효율을 극대화하도록 설계된 무선 MAC 알고리즘인 APRMA를 제안한다.

기존의 PRMA에서는 랜덤 데이터를 전송하고자 하는 단말들은 슬롯을 예약할 수 없다. 즉, 슬롯의 예약은 시간 지연에 엄격한 음성에만 국한된다. 그러나 데이터들도 요구하는 서비스 품질을 만족시켜 주어야 하며, 이를 위해 데이터에 대해서도 예약을 가능하게 하므로써 채널의 처리율도 높일 수 있다. 따라서 무선 MAC에서는 음성 뿐 아니라 데이터에 대해서도 예약이 수행되어야 한다. 이때, 데이터에 고정된 전송율을 갖도록 슬롯을 예약해줄 수도 있겠지만 이로 인해 시간 지연에 민감한 서비스들의 효율이 떨어질 수 있다. 따라서, APRMA에서는 초기에는 최소한의 대역만을 할당해주며, 잉여의 대역이 존재하면 계속 그 전송율을 높여나갈 수 있게 하므로써 채널의 이용율을 높이고, 음성과 같은 상대적으로 우선순위가 높은 서비스 요청에 대해서도 동시에 그 서비스 품질을 만족시킬 수 있다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a wireless MAC protocol named APRMA, which is capable of supporting the ABR type data service and maximizing channel utilization.

In PRMA protocol, data terminals with random data packets cannot reserve slot. That is, slot reservation is applicable to the time constraint voice packet exclusively. But the reservation scheme has to be performed for loss sensitive data packet, and so data packets can get their quality of service. Therefore, in wireless MAC, reservation technique has to be used for both voice and data services.

But in service aspects, if a fixed bandwidth is allocated to data terminals, time constraint voice packets may have

\* 한국전자통신연구원

\*\* 숭실대학교 전자공학과

\*\*\* 순천대학교 정보통신공학과

論文番號: 97257-0724

接受日字: 1997年 7月 24日

a low efficiency. So in this study, the terminal which wants to request for ABR type service, acquires a minimum bandwidth from system for the first time. If the system has extra available bandwidth, ABR terminals would acquire additional bandwidth slot by slot. As a result, APRMA protocol can support the data service with loss sensitivity and maintain their channel utilization high. Also high priority services like voice can be satisfied with their QoS by APRMA.

## I. 서 론

기존의 패킷 무선 망에서 사용되던 MAC 프로토콜들은 크게 랜덤 액세스 방식과 제어 액세스 방식으로 나뉘어 진다. 랜덤 액세스 방식에는 ALOHA와 그 처리율 성능을 두 배로 증가시킨 슬롯화된 ALOHA 시스템, 그리고 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 방식 등이 있다. 예약을 기반으로하는 제어 액세스 방식에는 예약용의 슬롯을 별도로 할당하는 ALOHA-Reservation 방식과 별도의 예약슬롯을 할당하지 않는 R-ALOHA 방식이 있다. 이 중에 음성을 위주로하여 설계된 PRMA(Packet Reservation Multiple Access)기법은 R-ALOHA에 근거한 것이다. PRMA는 셀룰라를 위하여 개발되었으며, TDMA(Time Division Multiple Access)기법과 Slotted ALOHA방식이 혼합된 것으로 음성의 On/Off 특징을 이용하여 여러 소스들로부터 통계적 다중화 이득을 얻을 수 있다. 따라서, 음성은 예약을 통하여 토크 스퍼트 구간을 안정적으로 서비스받을 수 있다[1][2]. 여기에 사용하지않는 자원을 랜덤한 데이터가 사용할 수 있도록 하여 링크의 이용율을 증가시키는 연구도 진행되고 있다[3][4]. 이들의 연구에서는 실시간 음성과 랜덤 데이터가 혼합된 환경에서의 프로토콜 성능을 상세히 분석하였으나, PRMA 프로토콜이 갖는 단점인 과부하시 시스템 처리율의 급격한 감소로 인한 불안정성 발생 측면에서의 성능의 개선에는 관심을 두지 않았다. 기본적으로 PRMA 프로토콜은 음성 트래픽을 위하여 설계된 통계적 다중화 프로토콜이므로 과부하시나 기타의 트래픽이 함께 서비스될 때에는 각각의 성능이 감소하게 된다. 또한, 랜덤 데이터의 경우에는 매 패킷 전송을 위하여 경쟁 방식 만이 사용되므로 과도한 지연이 발생 할 수 있으므로 패킷의 재전송으로 인한 성능저하를 초래한다. 이후의 연구들에서는 혼합된 서비스를 효율적으로 지원하는 방안들이 계속적으로 연구되고 있다. N.

M. Mitrou 등의 예약프로토콜[5], P. Narasimhan 등의 프레임 예약기법[6], 그리고, G. Bianchi의 C-PRMA[7]가 그것이다. 이들에서는 데이터에 대해서도 예약을 수행할 수 있으며 이로인한 음성의 원활한 서비스에는 지장을 초래하지 않도록 하는 기법들이 수행된다. 그러나 이들은 프레임의 형태를 변형시킨 ALOHA-Reservation 구조를 갖는다. 이는 추가적인 오버헤드의 존재를 의미하며, PRMA가 갖는 상, 하향의 동기 메카니즘을 자연스럽게 적용시키기 어려워진다는 단점을 갖는다. 그러므로 PRMA에서 제안된 구성형태를 유지하면서 약간의 추가정보를 제공하여 데이터가 혼합된 서비스를 만족시켜줄 수 있는 기법이 바람직하다. 이를 위하여 데이터를 마치 ATM에서의 ABR(Available Bit Rate) 형태로 서비스하는 것이 가장 바람직한 방안이라 생각된다[9].

이의 지원을 위하여 PRMA 프로토콜이 갖는 주기성을 이용할 수 있다. 프레임에 기초한 프로토콜들의 특징인 주기성은 다양한 형태의 서비스를 지원하기 위한 중요한 특성으로 여겨진다. 따라서, 본 연구에서는 PRMA에 기초를 두고 데이터에 대해서는 ABR 형태의 서비스를 지원할 수 있는 MAC 프로토콜인 APRMA(Arbitrary Period Reservation Multiple Access) 기법을 제안한다.

이 연구를 위하여 2장에서는 PRMA 프로토콜에 대하여 간략히 소개하고 문제점을 도출한다. 그리고 3장에서는 제안된 APRMA 프로토콜에 대하여 그 구성과 동작을 상세히 설명한다. 4장에서는 모의실험을 통하여 제안된 기법의 성능을 고찰하고, 마지막으로 5장에서 결론과 향후의 연구방향에 대하여 논의한다.

## II. PRMA 프로토콜

PRMA 프로토콜은 마이크로 셀 내부에 있는 여러 단말들이 하나의 기지국을 통하여 정보를 전송할 수

있는 방식으로 현재 음성과 랜덤 데이터 그리고 비디오 트래픽의 수용에 대하여 연구가 되고 있다. PRMA는 기존의 패킷 무선 망에서 사용되던 TDMA기반 Slotted ALOHA의 변형으로서 FDMA나 기타의 다른 기법들보다 효율이 좋은 것으로 연구되고 있다[3]. 또한 PRMA는 스타 토폴로지를 갖는 단일 양방향 무선 통신망을 위한 프로토콜로서 분산된 단말이 공유된 매체를 통하여 패킷화된 정보를 중앙의 기지국으로 전송할 수 있게 한다. 여기서 단말의 정보는 '주기 정보'와 '랜덤정보'로 구분된다. 음성과 같은 주기정보인 경우에는 음성활성기간 검출기를 사용하여 각 활성구간의 첫 패킷만이 경쟁방식으로 슬롯을 점유할 수 있다. 후속되는 패킷들에 대해서는 그 패킷율과 동일한 비율로 프레임 발생시켜 매 프레임마다 한 슬롯씩을 예약해주므로써 음성의 특성을 만족시켜준다.

PRMA는 상향 링크 트래픽을 제어하는 반면 하향 링크에서는 기지국이 패킷화된 정보를 연속 스트림으로 방송하므로 기지국에서 단말로는 연속적인 성질 때문에 패킷간에 가이드 시간이 불필요하다. 시간 슬롯의 길이가 상,하향 양방향 모두 같으므로 하향 패킷은 상향 패킷보다 더 많은 정보를 보낼 수 있다. PRMA에서는 이에 해당되는 부수적인 용량을 이용하여 예약결과를 전달하는데, 사용한다. 슬롯의 예약여부는 기지국에 의하여 처리된 후 그 슬롯의 끝에서 바로 단말들에 방송되므로, 모든 단말들은 현 슬롯의 예약상황을 즉시 알게된다[1].

반면, 랜덤 데이터들은 패킷마다 슬롯들을 점유하기 위하여 매 슬롯마다 경쟁을 해야하는 구조로 되어 있으며, 데이터의 발생율이 음성의 발생율보다 클 때에는 프레임당 두 개 이상의 슬롯을 경쟁방식으로 점유할 수도 있다. 따라서 랜덤 데이터만이 사용된다면 PRMA는 Slotted ALOHA로 동작한다[2][3].

그러나 위와 같은 동작원칙에서 랜덤 데이터를 서비스할 때, 데이터 패킷의 지연이 임계치를 초과하게 되면 그 단말의 성능 저하와 함께 전체 시스템의 처리능 성능에도 영향을 미친다. 따라서, 이는 UBR(Unspecified Bit Rate) 서비스에 해당한다고 볼 수 있으며, 현재 서비스 요구가 증가하고 있는 ABR 형태의 서비스 지원을 위해서는 추가적인 동작의 수행을 필요로 한다.

### III. APRMA 프로토콜

#### 3.1 APRMA(Arbitrary Period Reservation Multiple Access)의 구조

기본적인 PRMA에서의 주기신호는 매 프레임마다 한 슬롯을 예약 받을 수 있는 경우로 정의되어 있다. 하지만, ABR 형태의 연결은 최소 전송율과 최대 전송율로 그 서비스를 특징지을 수 있으므로, 망의 상황에 따라 가변적인 전송율을 갖게 된다. 즉, 기지국에서는 이런 형태의 연결에 대해서는 동적으로 슬롯을 예약해줄 수 있어야 한다. 이렇게 하므로써 통계적 다중화 이득을 극대화시킬 수 있다. 한편, 음성 서비스에 대해서는 기존의 PRMA와 동일한 서비스를 제공하게 된다.

APRMA의 채널 구조를 살펴보면 그림 1과 같다.

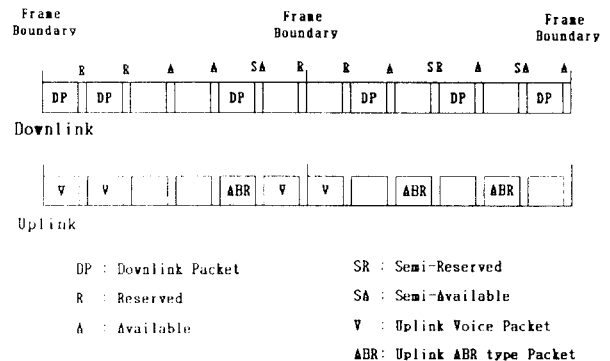


그림 1. APRMA의 채널 구조  
Fig. 1 Channel structure of APRMA

이 구조는 기존의 PRMA를 그대로 사용하고 있는 것이며, 단지 다음에 설명될 ABR 형태의 서비스를 위하여 Semi-Reserved, Semi-Available 슬롯을 정의하고 있는 점만이 차이로 할 수 있다. 기본 동작을 설명하기 위하여 상향채널의 사용상황을 설정하여 그림 2에 나타내었다.

그림 2에서와 같이 음성은 활성기간 동안에는 프레임마다 고정된 위치의 슬롯을 할당받는다. 반면에, ABR 형태의 연결에 대해서는 초기에는 최소한의 대역만을 할당해주며, 잉여의 전송대역이 존재한다면 계속적으로 추가적인 전송대역이 확보된다. 예약된

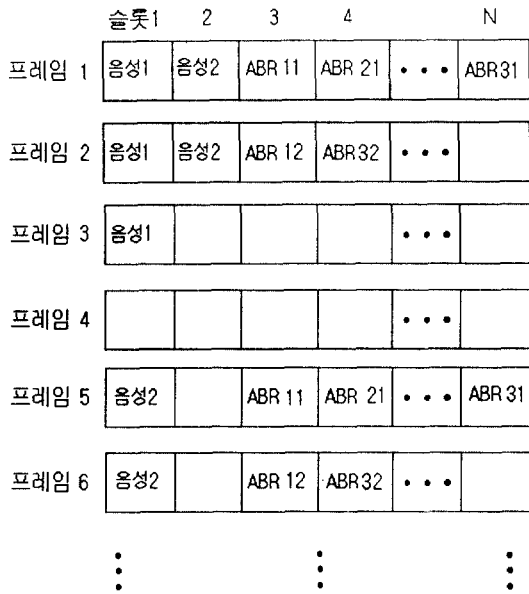


그림 2. APRMA의 상향링크 도해  
Fig. 2 Illustration of the APRMA uplink operation

전송대역이 협의된 최대 대역에 이르면 추가적인 대역점유는 없다. 또한, 음성등의 실시간성 연결에 의해 대역이 가로채기 당할 수도 있다. 하지만 이런 경우에도 사전에 협의된 최소 셀율은 만족되어야 한다. 이를 위하여 APRMA에서는 ABR 형태의 연결에 대해서는 특정 프레임 주기마다 하나씩의 슬롯을 할당하므로써 최소대역을 설정하고, 이 주기만큼씩의 가용 대역을 추가로 점유할 수 있게 하였다. 그림 2에서는 ABR 용 최소 프레임 주기를 4로 정한 시스템의 예를 보인다.  $ABR_{ij}$ 는 i단말의 j번째 연결을 의미한다고 할때, ABR 1 데이터의 경우에는 추가적으로 대역을 확보하여 4프레임당 2슬롯(ABR 11, ABR 12)을 예약하여 사용하고 있으며, ABR 2는 4 프레임당 하나만의 슬롯이 예약되어 있다.

이 경우에서와 같이 프레임 주기를 가지고 예약된 슬롯 인덱스를 반예약(Semi-Reserved) 슬롯 인덱스라 정의한다. 이러한 반예약 슬롯 인덱스는 모든 프레임이 예약되어 사용되는 것이 아니므로 그림 1에서와 같이 기지국의 ACK에는 Semi-Reserved와 Semi-Available의 두 가지가 있게 된다. Semi-Reserved는 ABR 형태의 연결에 대한 예약의 성공을 의미하며, ABR

형태의 데이터를 위해 사전에 정의된 프레임 주기마다 슬롯이 예약되어 있음을 방송하는 것이다. Semi-Available은 충돌등의 이유로 인한 예약의 실패 또는, 추가적인 대역 점유를 위해 가용한 슬롯임을 방송한다.

이와같이 Semi-Reserved 슬롯인덱스의 사용으로 프레임마다 특정 위치의 슬롯열은 주기사이의 사용치 않는 슬롯들이 존재하게 되고, 이 슬롯을 이용하여 또 다른 연결을 서비스 할 수 있다. 이는 또 다른 ABR 형태의 서비스가 이용할 수도 있으므로 전체 링크의 이용율을 증가시킬 수 있다. 이와 같이 APRMA는 각 프레임마다 나타나는 고정된 위치의 슬롯정보를 관리하기 위하여 기지국에서는 슬롯인덱스 테이블을 두어 슬롯정보를 관리하게 된다. 또한 반예약 슬롯인덱스인 경우에는 여러 단말이 그 슬롯을 사용할 수 있으므로, 각 연결의 시작 프레임과 단말 ID를 관리하는 슬롯주기 관리자를 둔다.

슬롯인덱스 테이블의 각 요소마다에는 다음과 같은 정보가 관리된다.

- (1) 슬롯 인덱스: 프레임 내의 슬롯의 위치
- (2) 슬롯의 형태: 슬롯의 형태(예약, 반예약, 가용)
- (3) 시스템에 사용된 ABR용 주기
- (4) 슬롯주기 관리자: 단말의 ID, 시작 프레임

(4)항의 슬롯주기 관리자에서는 하나의 슬롯 인덱스내에 존재하는 여러개의 ABR 형태 연결들을 관리한다. 즉, 시스템내의 모든 슬롯주기 관리자에 기록된 특정 단말의 ID 수는 그 단말의 연결 수를 의미하게 된다. 단말의 ID는 단말이 취할 수 있는 최대 연결의 수를 제한하기 위하여 사용된다. 시작 프레임은 ABR 형태 단말의 예약주기를 보장하기 위하여 사용된다. 이때, 시스템은 ABR 용으로 할당된 프레임 주기로 프레임 인덱스를 관리하게 된다. 따라서, 슬롯 인덱스 테이블은 시스템에서 정한 ABR 용 프레임 주기만큼의 슬롯 사용상황을 종합적으로 판단하도록 구성되어 있으며, 이를 토대로 방송되는 응답은 다음 프레임의 현 위치 슬롯에 대한 쓰임새를 단말들에 알리는 것이된다.

### 3.2 APRMA의 상세 동작

#### 3.2.1 ABR Type의 서비스 원칙

가용슬롯이 음성에 예약되면 기지국에서는 이를 예

약슬롯으로 바꾸어 이후 음성 토크 스퍼트가 끝날 때까지는 이 슬롯을 때 프레임마다 고정적으로 음성 에 할당한다. 그러나 가용슬롯이 ABR 형태의 연결에 예약되었다면 이 슬롯은 반예약 슬롯으로 규정되어 이 슬롯인덱스는 또 다른 ABR 형태의 연결을 수용하거나, 음성이 프리엠트할 수 있음을 알려주게 된다. 이때 하나의 슬롯 인덱스에는 최대 ABR용 주기만큼의 연결을 수용할 수 있다.

하나의 ABR 형태의 서비스에 대하여 관찰해 볼 때, 먼저 경쟁에 의해 최소율을 갖는 하나의 연결을 예약하게 된다. 이것이 받아들여지게 되면 주기적으로 특정 슬롯을 할당받게 된다. 이 후 경쟁을 통하여 지속적으로 하나의 연결씩 용량을 추가로 확보할 수 있다. 이때 예약되는 슬롯 인덱스는 어느 것이라도 무관하다. 용량의 확보를 계속하여 최대 전송율에 이르렀을 때 단말은 더 이상 추가적인 예약을 수행하지 않는다.

3.2.2 음성에 의한 슬롯 가로채기(Slot Preempt)

앞서 언급했듯이 반예약 슬롯 인덱스에는 ABR 형태로 예약된 슬롯과 예약되지 않은 슬롯이 존재하게 된다. 이 중 예약되지 않은 슬롯은 마치 가용슬롯 처럼 사용될 수 있다. 따라서, 지연에 민감한 음성 서비

스에 의한 예약시도가 반예약 슬롯 인덱스에 존재할 수 있으며, 이러한 예약 시도가 성공하게되면 그 슬롯 인덱스는 반예약으로부터 예약으로 형태가 바뀌게 된다. 이를 음성에 의한 슬롯 가로채기라 정의하며, 그 상세한 절차는 다음의 그림 3과 같다.

지연에 민감한 음성이 반예약 슬롯 인덱스 중 가용한 슬롯을 경쟁에 의하여 점유한다면, 기지국은 그 인덱스에 할당되어있던 모든 ABR 형태의 단말들에 대해서 또 다른 연결이 다른 인덱스에 존재하는가를 검사한다. 여러 슬롯 인덱스에 걸쳐 예약되었던 ABR의 경우에는 음성에 의해 그 인덱스에는 연결이 모두 해제되더라도 이들의 최소 전송율은 다른 슬롯인덱스를 통하여 보장될 수 있다. 이에 기지국은 예약슬롯의 취소를 알리기 위하여, 해당 프레임의 슬롯 ACK시 반예약성공(Semi-Reserved)이 아닌 반예약(Semi-Available)을 단말로 전송하게 된다. 이를 수신한 ABR 단말들은 그 슬롯 인덱스를 통한 전송을 포기하게 되어 전송율이 감소한다. 그러나, 해제되는 ABR 연결이 그 슬롯인덱스에만 예약되어있는 연결이라면 그 최소 전송율을 보장하기 위하여 연결은 해제되지 않는다. 따라서, 음성패킷은 충돌한 결과를 가져오게 되고 그 슬롯인덱스의 형태는 반예약 상태로 남게 된다.

예를들어 그림 2에서 프레임 3의 3번째 슬롯으로 음성이 예약을 시도하는 경우, 인덱스 3에 할당되어 있던 ABR 1은 다른 인덱스에 연결을 갖고있지 않으므로 연결이 해제될 수 없고 음성은 가로채기가 실패한다. 그러나, 프레임 3의 N번째 슬롯에 예약을 시도하는 음성인 경우, 이 인덱스에 할당되어있는 ABR 3이 인덱스 4에있는 또 다른 연결을 통하여 최소율을 보장받을 수 있다. 따라서, 인덱스 N의 ABR 3 연결은 해제되고 음성의 슬롯 가로채기가 성공된다. 이어 기지국은 슬롯인덱스의 형태를 예약으로 변경하게 되고, 프레임 5의 인덱스 N에서는 Semi-Reserved가 아닌, Reserved가 발송되므로, ABR 3은 전송을 취소하게 된다. 위와 같은 동작에 의해 APRMA에서는 ABR 형태의 데이터 서비스가 지원되며, 동시에 음성과 같은 실시간성의 서비스도 유지될 수 있다.

이상에서와 같은 처리만을 수행한다면 음성과 ABR 형태의 서비스가 섞인 경우에는 그 성능을 보장할 수 없게 된다. 그 이유는 ABR 형태의 서비스는 여러개의 연결을 할당받을 수 있기때문에, 단말들은 자신의

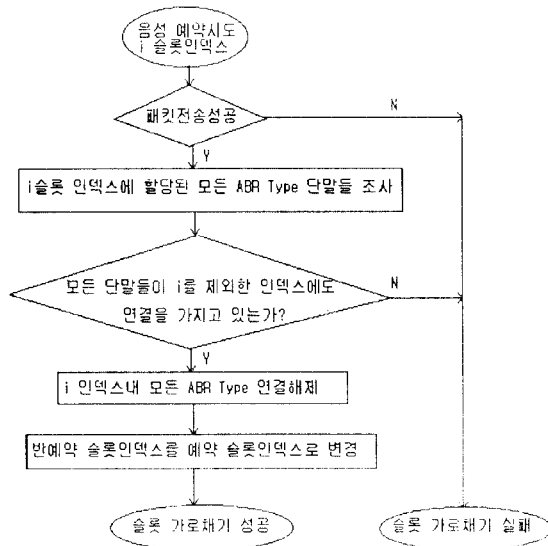


그림 3. 음성패킷에 의한 반예약 슬롯 인덱스 가로채기  
Fig. 3 Semi-Reserved slot index preempt by Voice Packet

전송율이 규정된 최대율에 이를 때까지는 계속하여 예약을 시도하게 될 것이다. 그러므로 하나의 연결이 예약되었다고 해서, 후속되는 슬롯에 대한 예약시, 경쟁 단말의 수가 줄어들지 않는다는 사실이다. 이는 음성의 입장에서 볼 때, 공정하지 못한 경쟁을 하게 되는 것이다. 이 문제를 해결하기 위하여 ABR 형태 단말의 전송 허용 확률을 상황에 따라 변경시키는 방법을 사용하였다.

ABR 형태의 단말은 최초 망에 의해 할당된 전송 허용 확률을 이용하여 예약을 시도하게 된다. 그 결과로 하나의 연결이 확보되면, 이 후 추가적인 연결확보시에는 전송 허용 확률을 하향조정한다. 이 알고리즘은 연결이 추가적으로 예약될 때마다 반복적으로 적용된다. 따라서 높은 전송속도로 서비스되는 단말일수록 추가적인 연결의 예약 기회는 줄어들게되며, 상대적으로 음성단말이나 저속으로 서비스 중인 ABR 형태의 단말들은 예약의 기회가 증가하게 된다. 이 때 적용시킬 알고리즘에는 여러 가지 형태가 있겠으나 단순한 논리의 적용으로 그 의미를 명확하게 하기 위하여 비례감소를 적용한다.

비례감소란 일단 연결을 확보한 ABR 형태의 단말은 “확보한 연결 수”의 함수로써 그 전송 허용 확률을 줄이는 방식이다. 예약에 성공하여 Semi-Reserved 응답을 청취한 ABR 형태의 단말은 그 즉시 자신의 전송 허용 확률을 갱신한다. ABR 형태의 단말은 자신이 예약한 연결의 수를 파악하고 있으므로, 아래와 같이 전송 허용 확률을 갱신할 수 있다.

$$P_{new} = P_{init} * (1 - \frac{C_c}{C_M}) \tag{1}$$

$P_{new}$  = 갱신된 전송허용확률

$P_{init}$  = 초기 전송허용확률

$C_c$  = 현재 연결 수

$C_M$  = 최대 연결 수

이로써, 연결의 수가 증가할수록 단말의 예약 성공률은 감소하게되고, 전송율 증가는 둔화된다. 그러나 일정한 허용확률을 갖는 음성에 대해서는 상대적으로, 그 예약 성공률이 증가하게되어 음성의 성능을 보상할 수 있게 된다.

#### IV. 실험 및 분석

모의 실험을 위한 파라미터는 실험의 결과를 정량적으로 비교해보기 위해서 기존의 PRMA 해석에서 사용된 파라미터를 이용하였다.

32kbps의 음성이 32ms의 최대허용지연을 만족하기 위하여 2 프레임 이하의 지연까지만 수용하게 된다. 그 이상 지연시에는 패킷을 폐기하게 되고 따라서 음성의 토크 스퍼트의 앞 부분에서는 예약지연으로 인한 폐기가 발생할 수 있다. 이때 그 폐기율이 0.01 이하를 유지할 때 음성연결의 성능이 만족되는 것으로 보았다[1][2][3].

표 1. 시스템의 공통 사양

Table 1. System Parameter Value

채널 레이트	720	kbps
음성 레이트	32	kbps
프레임길이	16	msec
프레임당 슬롯 수	20	개
슬롯길이	0.8	msec
음성의 폐기허용율	0.01	
사용된 음성검출기	fast	Detector
ABR 형태의 주기	1	kbps

한편, ABR 형태의 서비스는 파일전송 등과 같은 서비스에 해당되므로 소스발생율이 정의되지않는다. 따라서 본 논문에서의 실험을 위해 ABR 형태의 서비스를 요구하는 단말들은 항상 전송될 데이터들을 가지고 있다고 가정하였다. 또한 ABR 형태의 서비스용으로, 시스템에서 할당하는 프레임 주기에 의해 ABR의 최소율이 정해진다고 가정하였다. 따라서 하나의 슬롯 인덱스에는 주기만큼의 연결이 수용될 수 있으며, 전체 시스템에는 주기\*프레임당 슬롯수 만큼의 연결이 수용가능하게 된다. 실험에서는 ABR 형태의 트래픽에 대해서는 최소 전송율을 1kbps로 하였다. 이는 32kbps인 음성을 기준으로 설계된 프레임 구조에서 주기가 32프레임 일때의 전송율에 해당한다. 따라서 실험에 사용된 시스템은 하나의 슬롯 인덱스를 최대 32개의 서로 다른 연결이 사용할수 있게 된다. 따라서, 표 1에서는 실험에 사용된 공통적인 사양만을 표시한 것이며, 기타 ABR 형태의 서비스를 위한 기타 사양은 변화시켜가며 실험을 수행하였다.

먼저, ABR 형태의 데이터 서비스가 많이 수행될 때의 결과들을 살펴보면 다음과 같다.

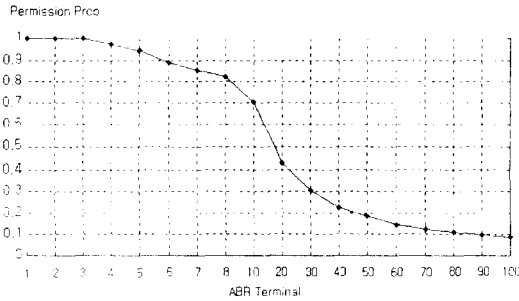


그림 4. ABR 단말의 전송허용확률 변화에 따른 최대 수용 단말 수  
 Fig. 4 The system capacity vs. the permission probability of ABR terminal.

그림 4의 결과는 ABR 형태 단말의 전송허용확률에 따라 수용가능한 단말의 수가 변화함을 보인다. 이 확률 값은 ABR 형태 단말이 연결의 수를 늘려나가기 위하여 최초의 슬롯을 점유할 때 사용되며, 일단 예약된 연결에 대해서는 의미가 없는 파라메터이다. 위의 결과로부터 확률값을 크게하면 접속의 기회를 많이 부여하게되므로 과부하시 충돌확률이 커지게 되고 서비스가 개시되기 까지의 지연이 증가하게 된다. 따라서 평균적인 전송율이 줄어들게 되므로 수용가능한 단말의 수가 감소하게된다. 또한, 서비스가 개시되기 까지 즉, 연결의 예약이 성공하기까지의 지연이 증가하게된다. 이를 위해 ABR 형태의 서비스를 요청하는 단말들은 서비스 지연으로인한 손실을 방지할 수 있는 비퍼관리 알고리즘을 가지고 있어야 할 것이다. 그러나 원칙적으로 ABR 형태의 서비스는 지연에 무관한 특성을 가지므로 여기서는 이는 고려하지 않았다.

그 다음으로 고려해야 할 것은, 단말이 차지할 수 있는 연결의 수가 제한됨에 따라 처리율에도 제한이 가해진다. 따라서, 동시 수용가능한 단말의 수와는 절충 관계에 있게된다. 또한, 본 실험의 가정은 최소율을 한 연결의 속도로 가정하였으므로, 단말이 차지하는 연결의 수가 시시각각 변화에 따라 최소율의 배수만큼씩 속도가 변하게 된다. 이런 구조에서 최소율이

키지게되면 최대도 차지할 수 있는 연결의 수가 상대적으로 적어지게된다. 따라서, 이에 관한 일반적인 관계를 정의하면 다음과 같다. 먼저 표 2에 사용된 파라메터들과 그 기호들을 정리해 놓았다.

표 2. 분석에 사용된 파라메터  
 Table 2. Parameter Notation for Analysis

사용된 파라메터	기호
전체 채널 대역(kbps)	B
ABR Type의 단말 수	$N_T$
단말 당 연결 수	$N_C$
단말의 최소율(kbps)	$R_{min}$
단말의 최대율(kbps)	$R_{Max}$
전송허용확률	P
처리율	T

ABR 형태의 서비스가 존재할 때는 지연에 무관하다는 가정에 안정상태에서는 채널의 전체 대역을 모든 단말들이 동등하게 사용하게 된다. 따라서 단말당 취할 수 있는 최대 전송율이 정해져 있을 때, 시스템에 수용할 수 있는 최적의 단말 수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{최적 단말수 } N_T = \frac{B}{R_{Max}} \quad (2)$$

$$\text{전송허용확률} = \frac{1}{N_T}$$

이때, 확률값은 앞서 시술된 바와 같이 단말의 수와 반비례 관계에 있으므로 1/단말수의 관계로 정의할 수 있다. 여기에 ABR 형태의 서비스용 주기에 의해 정해지는, 최소율 요소를 추가하면 다음과 같이 해석이 확장된다.

$$\text{최적 단말수 } N_T = \frac{B}{R_{min}} \quad (3)$$

단말 당 평균 대역은  $R_T$ .

$$R_T = \frac{B \times R_{min}}{R_{Max}}$$

$$\text{단, } \frac{R_{Max}}{R_{min}} = N_C \rightarrow \text{단말 당 최대연결 수}$$

$$\text{전송허용확률} = \frac{1}{N_T}$$

단말의 수와 허용확률간에는 역 비례관계가 성립할 수 위의 분석들에서 알 수 있다. 여기에 최대 연결수(단말의 최대율/단말의 최소율)를 그대로 유지하면서, 전송 허용 확률을 반으로 줄이면 2배의 단말을 지원할 수 있다. 따라서 이 사실로부터 처리율을 유도해보면 식 (4)와 같다.

$$T \equiv 1, \quad \frac{B}{N_T} \leq R_{Max} \leq B$$

$$\equiv \frac{R_{Max} \times N_T}{B}, \quad 0 < R_{Max} < \frac{B}{N_T} \quad (4)$$

위의 경우 전송허용확율은  $\frac{1}{N_T}$ 이다. 처리율이 최적화되는 점은 단말의 최대율이  $\frac{B}{N_T}$ 인 경우이다. 이제 전송허용확율의 변화에 대하여 고찰해보면 다음의 식 (5)와 같다. 여기서  $\alpha$ 는 전송 허용 확률 계수로서 전송 허용 확률 P에 의해 결정된다.

$$T \equiv 1, \quad \frac{B}{N_T} \leq R_{Max} \leq B$$

$$\equiv \frac{R_{Max} \times N_T \times (1 - \alpha P \times N_T)}{B}, \quad 0 < R_{Max} < \frac{B}{N_T} \quad (5)$$

$$\alpha \equiv 0, \quad P \geq \frac{1}{N_T}$$

$$\equiv 1, \quad P < \frac{1}{N_T}$$

따라서, 위의 실험 결과인 식(2)에서 처럼 처리율을 최적화 시키는 단말수에서는 다음과 같이 처리율이 거의 1 이 되며, 그 이상의 단말에서도 처리율은 그대로 유지된다. 단, 앞서 언급되었듯이 연결을 확보하는데 소요되는 초기 지연의 증가가 존재하지만 이는 ABR 형태에 대해서는 성능상에 문제를 야기하지 않는다. 또한 하나의 연결예약만으로 최소율을 보장할 수 있도록 설계되었기 때문에 연결을 추가 예약할 때의 지연문제는 문제되지 않는다. 다음 (6)식은 최적의 조건에서 처리율이 거의 1이 됨을 보이고 있다.

$$T \equiv \frac{R_{Max} \times N_T \times (1 - \alpha P \times N_T)}{B}, \quad N_T = \frac{B}{R_{Max}}$$

$$\equiv 1 - \alpha P \times N_T \quad (6)$$

$$\equiv 1, \quad P = \frac{1}{N_T}$$

지금까지의 결과들에서는 APRMA의 기본적인 특성과 ABR Type의 서비스 지원 시의 성능에 대하여 살펴보았다. 이로부터 APRMA 에서의 통계적 다중화 효과에 관하여 관찰해보면 다음과 같다.

기존의 PRMA 구조에서는 고속음성 검출기를 사용한 음성의 서비스인 경우 통계적 다중화 이득  $\eta = 1.64$  까지 가능했으며, 이때의 처리율은 0.68이었다. 또한 최대 처리율은 저속 음성검출기를 사용한 경우에 0.75 까지 얻을 수 있었으나 이때의 다중화 이득은  $\eta = 1.5$ 에 불과했다[2][3]. APRMA는 데이터에 예약을 수행하는 방식을 사용하고 있으므로 처리율 면에서는 매우 좋은 성능을 내고 있다. 이에 APRMA에서 ABR 형태의 서비스를 수행할 때 얻어지는 통계적 다중화 이득을 고찰해보면 다음과 같다.

정규화된 채널의 수는 전체 시스템의 대역폭과 하나의 ABR 형태 트래픽이 취할 수 있는 전송속도의 비로서 표현할 수 있으므로, 정규화된 채널수는  $\frac{R_C}{R_{MAX}}$ 이다. 이때 지원되는 ABR 단말의 수를 정규화된 채널 수로 나누면 다중화 이득  $\eta$ 를 얻을 수 있다.

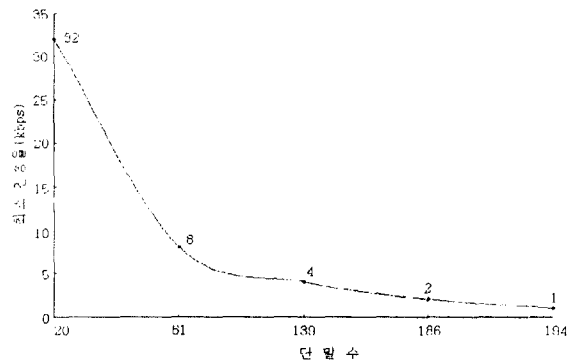


그림 5. 수용된 ABR 형태의 단말수에 대한 평균 전송율 변화  
Fig. 5 The average transmission rate vs. the number of ABR type terminal

다음의 시나리오를 살펴보자. 앞의 결과로부터 채널 속도가 720kbps이고 단말의 최대율이 32kbps일 때에는 정규화된 채널의 수는  $720/32$ 인 22.5개이며, 처리율을 최대화하는 단말의 수와 전송 허용 확률은 각각 22개와 0.05이다. 이때의 다중화이득은 1이다. 그



러나 ABR의 특성상, 단말의 최소율을 만족시키는 범위내에서 단말의 수를 증가시킨다면, 그림 5에서처럼 194개의 단말을 지원가능하게 되고 다중화 이득은 194/22.5가 되어  $\eta=8.62$ 가 된다.

APRMA에서 각각의 서비스에 대한 부하-처리율 곡선은 그림 6과 같다. 예상할 수 있듯이 음성이나 랜덤 데이터에 대해서는 고 부하시 시스템의 불안성으로 인한 처리율의 급격한 감소가 나타나는 반면, ABR 형태의 데이터 서비스시에는 부하가 증가하더라도 채널의 처리율 성능이 급격히 감소하지 않는다. 따라서 시스템은 안정하다고 할 수 있다.

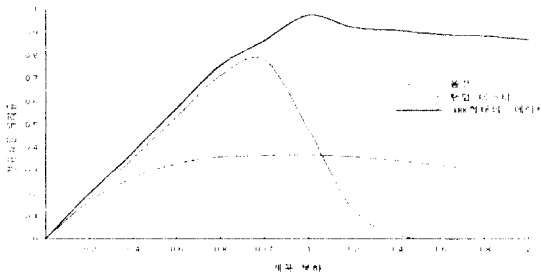


그림 6. 각 트래픽에 대한 제공부하와 처리율에 관한 곡선  
Fig. 6 Offered load versus throughput curves for each traffic

이제 음성과 랜덤 데이터가 ABR 형태의 데이터와 함께 서비스되는 경우를 고찰해보자. 이 경우에도 시스템의 안정성이 유지될 수 있어야 할 것이다. 음성과 랜덤 데이터 서비스를 동시에 지원하는 상황은 다음의 그림 7과 그림 8에 나타나있다.

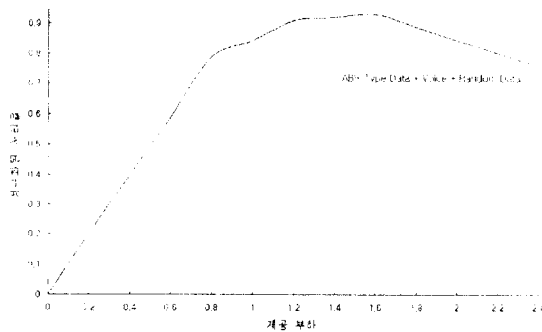


그림 7. 혼합된 트래픽에 대한 제공부하와 처리율에 관한 곡선  
Fig. 7 Offered load versus throughput curve for intergrated traffic.

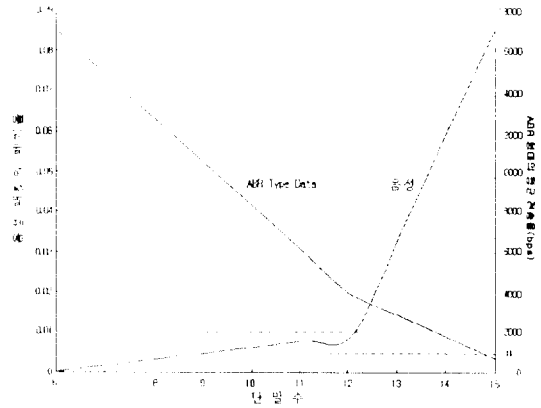


그림 8. 음성과 데이터(ABR + Random)가 혼합된 경우의 시스템 용량  
Fig. 8 The system capacity for intergrated traffic.

음성, 랜덤 데이터, 그리고 ABR 형태의 데이터 단말의 수가 모두 같은 경우에 대해서 실험하였다. 음성과 랜덤 데이터의 전송 허용 확률은 각각 0.3과 0.045로 삼았으며, 랜덤 데이터의 성능 기준으로는 250 msec 이상의 지연으로 하였다. 이는 앞서 연구된 [2], [3]에서의 같은 조건하에서 실험된 것이다. 추가적으로 ABR 형태 단말의 전송 허용 확률은 0.1로 하였다. 이는 음성과 랜덤 데이터 사이의 값으로서 초기의 예약우선 순위 의미가 있으며, 예약이 진행됨에 따라 그 값이 변화되므로, 초기 값의 미세 변동에는 결과의 큰 차이가 없다. 앞의 실험들과 관련된 부수적인 실험들에서 저 부하에서는 초기 전송 허용 확률값을 최적화하여 평균 전송율과 처리율을 극대화할 수 있으며 단말당 최대 연결 수에 제한을 주어 다중화 효과를 크게 할 수 있음을 알수있었으나, 고 부하시에서는 이런 제한의 효과가 거의 없다. 따라서 고정된 전송 허용 확률과 단말 당 연결수의 제한없이 부하-처리율 관계를 고찰하였다. 이로부터 그림 7에서는 여러 형태가 혼합된 트래픽의 부하가 증가하는 경우에도 대해서도 높은 처리율을 유지할 수 있으며, 시스템의 처리율에는 급격한 변화가 없음을 보이고 있다. 그림 8에 표시된 두 개의 점선은 음성 패키지의 폐기율 0.01의 기준선과 ABR 형태 패키지의 최소 전송율인 1kbps의 기준선을 나타내고 있다. 이는 실험한 상황에서의 결과만을 표현한 것이며, ABR의 특성상 단말당 최대 연결 수

나 전송 허용 확률의 초기값 등을 변화함에 따라 지원되는 단말의 총 수 역시 변화한다. 따라서, 본 논문에서는 단말의 수가 아닌 제공된 부하를 성능의 파라미터로 삼았다. 이에 대해 각 서비스 단말이 12개씩일 때, 각각의 성능을 만족시킬 수 있음을 보이고 있다.

### V. 결 론

본 연구에서는 무선 MAC에서 ABR 형태의 서비스가 지원되는 APRMA를 제안하였다. 이는 기존에 취급되던 데이터의 서비스 원칙만으로는, 지연 성능의 보장을 요구하는 데이터 트래픽을 지원할 수 없다는 사실과 과 부하시에 야기되는 시스템의 불안정성 해결이 목적이다. 따라서, 본 연구에서는 최소 성능을 보장할 수 있는 데이터 서비스를 정의하고 이를 ABR 형태의 서비스라 하였다. 시스템은 ABR 형태의 서비스를 위하여 특정한 프레임 주기를 정의한다. 그 주기단위로 연결이 여러 개 예약될 수 있으며, 따라서 한 시점에서 각 단말들은 임의의 주기로 서비스를 받는 효과를 가져온다. 이것이 APRMA라 명명된 동기이다.

실험결과에서 알 수 있듯이 APRMA 프로토콜을 사용하여 ABR 형태의 데이터 서비스에 대하여 최소 전송을 보장할 수 있으며, 음성과 랜덤 데이터가 모두 혼합되어 있는 상황에서도 원활한 서비스가 이루어진다. 또한 기존의 패킷 예약형 프로토콜들의 문제점이었던, 과부하시에의 시스템 불안정성이 해결되었다. 따라서, APRMA에서는 최대 처리율이 증가하였으며, 고 부하 상황에서도 채널의 처리율을 높게 유지할 수 있다.

ABR 서비스가 지원된다함은 각 연결의 요구성능을 만족시킬 수 있다는 의미이며, 동시에 가변 비트율이 지원될 수 있다는 의미로도 해석될 수 있다. 따라서, 이를 토대로 VBR 등의 서비스를 지원하도록 알고리즘을 확장할 수 있을 것이다. 그러나 모든 유형의 트래픽을 원활하게 지원하기 위해서는 기지국에서의 더 많은 제어가 요구되며, 전체 시스템의 구조가 변형될 수도 있을 것이다. 따라서, 향후 무선 ATM을 위한 MAC 프로토콜로 사용할 수 있으며, 이를 위하여 구조확장과 더불어 기타의 MAC 프로토콜들과의 면밀한 비교평가가 수행되어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. D.J. Goodman, S.X. Valenzuela, K. T. Gayliard, B. Ramamurthi., "Packet Reservation Multiple Access for local wireless communications", IEEE Trans. Commun., Vol. 37, Aug. 1989, pp. 885-890.
2. David J. Goodman, Sherry X. Wei, "Efficiency of Packet Reservation Multiple Access", IEEE Trans. on Vehicular Tech. Vol. 40, No. 1, Feb. 1992, pp. 170-176.
3. Sajiv Nanda, David Goodman, "Performance of PRMA: A Packet Voice Protocol for Cellular Systems", IEEE Trans. on Vehicular Tech., vol. 40, No. 3, Aug. 1991, pp. 584-598.
4. Sanjiv Nanda, "Analysis of Packet Reservation multiple Access: voice data integration for wireless networks", IEEE Globecom'90, pp. 1984-1988.
5. N. M. Mitrou, Th. Orinos, E. N. Protonotariou, "A Reservation Multiple Access Protocol for Micro-cellular Mobile-communication Systems". IEEE Trans. on Veh. Tech., Nov. 1990, pp. 340-351.
6. P. Narasimhan, R. Yates, and D.J. Goodman. "Analysis of Frame Reservation Multiple Access", IEEE Wireless'96, pp. 26-30.
7. G. Bianci, F. Borgonovo, L. Fratta, L. Musumeci, M. Zorzi, "C-PRMA: a Centralized Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications", IEEE Trans. on Veh. Tech., vol. 46, No. 2, May 1997, pp. 1-21.
8. Mathew Thomas, David J. Goodman, "Multi-rate PRMA: A Time Division Protocol for Adjustable Bit-rate Sources", In Proc. of IEEE Veh. Tech., vol. 3-A, May 1997, pp. 1360-1364.
9. 강상욱, 여현, 이윤주, 최승철, "무선 ATM을 위한 MAC 프로토콜 설계에 관한 연구", JCCI'97, April, 1997, pp. 1163-1167.
10. Sangwook KANG, Hyun YO, Yoonju LEE, Jaemin LEE. "A Study on the design of the Wireless MAC Protocol for ABR Support", MoMuC '97, pp. 248~251.



**이 윤 주(Yoonju Lee) 정회원**  
 1974년 2월: 숭실대학교 전자공학과(공학사)  
 1989년 2월: 숭실대학교 전자공학과 대학원(공학석사)  
 1997년 3월: 숭실대학교 전자공학과 대학원 박사과정 수료

1975년: 민성전자(주)  
 1977년: 대한통신(주)  
 1979년~현재: 한국전자통신연구소 책임연구원  
 ※주관심분야: 디지털 통신, 개인통신, WATM



**여 현(Hyun Yoe) 정회원**

- 항공대학(공학사)
- 숭실대학교 전자공학과 대학원(공학석사)
- 숭실대학교 전자공학과 대학원(공학박사)
- 한국통신 연구개발단
- 순천대학교 정보통신공학과 교수



**강 상 욱(Sangwook Kang) 정회원**  
 1991년 2월: 숭실대학교 전자공학과(공학사)  
 1994년 2월: 숭실대학교 전자공학과(공학석사)  
 1995년 3월~현재: 숭실대학교 대학원 전자공학과 박사과정

**최 승 철(Seungchol Choi) 정회원**  
 1954년: 공군사관학교  
 1961년: 한양대학교 전기공학과(공학사)  
 1963년: 미국 텍사스 A&M대학 전기공학과(공학석사)  
 1963년~1973년: 공군사관학교 전자공학과 교관  
 1973년~1996년: 숭실대학교 전자공학과 교수  
 1996년~현재: 숭실대학교 전자공학과 명예교수