무선 환경에서 ABR 서비스를 위한 MAC 프로토콜에 관한 연구

A Study on the MAC Protocol for ABR Service in Wireless environments

강상욱, 정종혁

경운대학교 정보통신공학과

Sang-Wook Kang, Jong-Hyug Jeong

Dept. of Information and Communication Kyungwoon Univ.

요 약

본 논문에서는 PRMA의 구조를 사용하여 ABR 형태의 데이터 서비스를 수행할 수 있는 알고리즘을 도입하므로서 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 만족시켜주어야 하며, 이를 위해 데이터에 대해서도 예약을 가능하게 하므로서 채널의 처리율도 높일 수 있다. 이때, 데이터에 고정된 전송율을 갖도록 슬롯을 예약해줄 수도 있겠지만 이로 인해 시간 지연에 민감한 서비스들의 효율이 떨어질 수 있으므로 APRMA에서는 초기에는 최소한의 대역만을 할당해주며, 잉여의 대역이 존재하면 계속 그 전송율을 높여나갈 수 있게하므로서 채널의 이용율을 높이고, 음성과 같은 상대적으로 우선순위가 높은 서비스 요청에 대해서도 동시에 그 서비스 품질을 만족시킬 수 있다.

Abstract

In this paper, we describe a wireless MAC protocol named APRMA(Abitrary Period Reservation Multiple Access), which is capable of supporting the ABR type data service and maximizing channel utilization. In original 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 have to be performed for loss sensitive data packet, so data packets can get their quality of service. The aspects of service, if fixed bandwidth is allocated to data terminals, time constraint voice packets may have 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 have 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 highly. Also high priority services like voice can be satisfied with their QoS by APRMA.

1. 서 론

기존의 패킷라디오 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 기반으로 하는 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/Off적인 특징을 이용하여 여러 소스들로부터 통계적 다중화 이득을 얻을 수 있다. 따라서, 음성은 예약을 통하여 토크 스퍼트 구간을 안정적으로 서비스 받을 수 있다[1][2]. 여기에 사용하지 않는 자원을 랜덤한 데이터가 사용할 수 있도록 하여 링크의 이용률을 증가시키는 연구도 진행되고 있다. 이들의 연구에서는 실시간 음성과 랜덤 데이터가 혼합된 환경에서의 프로토콜 성능을 상세히 분석하였으나, PRMA 프로토콜이 갖는 단점인 과부하 시 시스템 처리율의 급격한 감소로 인한 불안정성 발생 측면에서의 성능의 개선에는 관심을 두지 않았다. 기본적으로 PRMA 프로토콜은 음성 트래픽을 위하여 설계된 통계적 다중화 프로토콜이므로 과부하 시나 기타의 트래픽이 함께 서비스 될 때에는 각각의 성능이 감소하게된다. 또한, 랜덤 데이터의 경우에는 매 패킷 전송을 위하여 경쟁 방식만이 사용되므로 과도한 지연이 발생 할 수 있으므로 패킷의 폐기로 인한 심각한 성능저하를 초래한다. 그러므로 PRMA에서 제안된 구성형태를 유지하면서 약간의 추가정보를 제공하여 데이터가 혼합된 서비스를 만족시켜줄 수 있는 기법이 요구된다. 이를 위하여 데이터를 마치 ATM에서의 ABR(Available Bit Rate) 형태로 서비스하는 것이 가장 바람직한 방안이라 생각된다[3].

이의 지원을 위하여 PRMA 프로토콜이 갖는 주기성을 이용할 수 있다. 프레임에 기초를 둔 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.

2. 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 라디오 망에서 사용되던 TDMA 기반 Slotted ALOHA의 변형으로서 FDMA나 기타의 다른 기법들보다 효율이 좋은 것으로 연구되고 있다[2]. 또한 PRMA는 스타 토폴로지를 갖는 단일 양방향 무선 통신망을 위한 프로토콜로서 분산된 단말이 공유된 매체를 통하여 패킷화 된 정보를 중앙의 기지국으로 전송할 수 있게 한다. 여기서 단말의 정보는 '주기정보'와 '랜덤정보'로 구분된다. 음성과 같은 주기정보인 경우에는 음성활성구간 검출기를 사용하여 각 활성구간의 첫 패킷만이 경쟁방식으로 슬롯을 점유할 수 있다. 후속 되는 패킷들에 대해서는 그 패킷율과 동일한 비율로 프레임을 발생시켜 매 프레임마다 한 슬롯씩을 예약함으로서 음성의

특성을 만족시켜준다.

PRMA는 상향 링크 트래픽을 제어하는 반면 하향 링크에서는 패킷화된 정보를 연속 스트림으로 방송하므로 패킷 간에 가아드 시간이 불필요하다. 따라서, 하향 패킷은 상향 패킷보다 더 많은 정보를 보낼 수 있으며, 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.

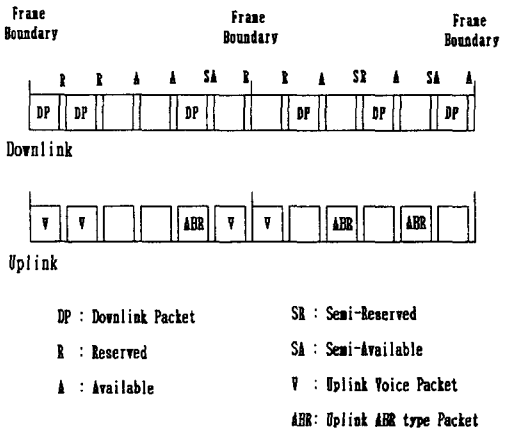
반면, 랜덤 데이터들은 패킷마다 슬롯들을 점유하기 위하여 매 슬롯마다 경쟁을 해야하는 구조로 되어있으며, 데이터의 발생율이 음성의 발생율보다 클때에는 프레임당 두개 이상의 슬롯을 경쟁방식으로 점유할 수도 있다. 따라서 랜덤 데이터만이 사용된다면 PRMA는 Slotted ALOHA로 동작한다.

그러나 위와 같은 동작원칙에서 랜덤 데이터를 서비스할 때, 데이터 패킷의 지연이 임계치를 초과하게되면 그 데이터 패킷은 단순 폐기된다. 따라서 손실에 민감한 데이터 트래픽에 대해서는 어떠한 성능도 보장할 수 없다. 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.

3. APRMA 프로토콜

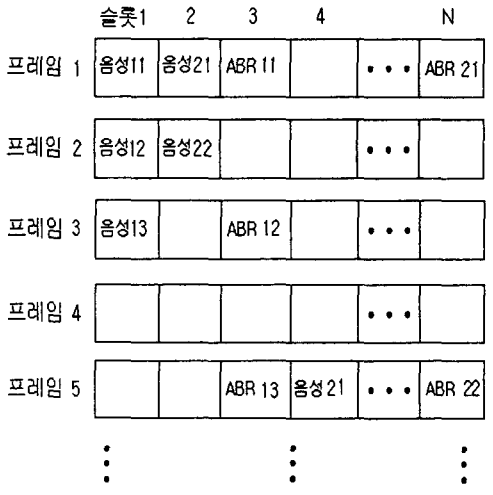
3.1 APRMA의 구조

기본적인 PRMA에서의 주기신호는 매 프레임마다 한 슬롯을 예약 받을 수 있는 경우로 정의되어 있다. 하지만, ABR 형태의 연결은 망의 상황에 따라 가변적인 전송률을 가지므로 기지국에서는 이런 형태의 연결에 대해서는 동적으로 슬롯을 예약해 줄 수 있어야 한다. 이렇게 하므로써 통계적 다중화 이득을 극대화시킬 수 있다[3]. APRMA에서는 음성 서비스에 대해서는 기존의 PRMA와 동일하게 동작하고



[그림 1] APRMA의 채널 구조

ABR 형태의 연결에 대해서는 초기에는 최소한의 대역만을 할당해주며, 잉여의 전송대역이 존재한다면 계속적으로 추가적인 전송대역이 확보된다. 예약된 전송대역이 협의된 최대 대역에 이르면 추가적인 대역 점유는 없다. 또한, 음성 등의 실시간성 연결에 의해 대역이 가로채기 당할 수도 있다. 하지만 이런 경우에도 사전에 협의된 최소 셀 율은 만족되어야 한다. 이를 위하여 APRMA에서는 ABR 형태의 연결에 대해서는 특정 프레임 주기마다 하나씩의 슬롯을 할당하여 최소대역을 설정하고, 이 주기만큼씩의 가용 대역을 추가로 점유할 수 있게 하였다.



[그림 2] APRMA의 구조

[그림 2]에서는 ABR 용 최소 프레임 주기를 4로 정한 시스템의 예를 보인다. ABR 1 데이터의 경우에는 추가적으로 대역을 확보하여 4 프레임 당 2 슬롯씩을 사용하고 있으며, ABR 2는 4 프레임 당 하나만의 슬롯이 예약되어 있다. 이 경우에서와 같이 프레임 주기를 가지고 예약된 슬롯을 반예약(Semi-Reserved) 슬롯이라 정의한다. 이러한 반예약 슬롯은 매 프레임마다 사용되는 것이 아니므로 기지국의 ACK에는 Semi-Reserved-S과 Semi-Reserved-F 두 종류가 있다.

Semi-Reserved-S는 ABR 형태의 연결에 대한 예약의 성공을 의미하며, 다음 프레임의 그 슬롯은 예약된 슬롯임을 방송하게 된다. Semi-Reserved-F는 충돌 등의 이유로 인한 예약의 실패 시 또는, 추가 대역 점유를 위해 가용한 슬롯임을 나타낸다.

이와 같이 Semi-Reserved 슬롯의 사용으로 프레임마다 특정 위치의 슬롯 열은 주기사이의 사용치 않는 슬롯들이 존재하게 되고, 이 슬롯을 이용하여 또 다른 연결을 서비스 할 수 있다. 이는 또 다른 ABR 형태의 서비스가 이용할 수도 있고, 랜덤 경쟁 방식을 이용하여 UBR의 데이터가 이용할 수도 있으므로 전체 링크의 이용률을 증가시킬 수 있다. 이와 같이 APRMA는 각 프레임마다 나타나는 고정된 위치의 슬롯정보를 관리하기 위하여 기지국에서는 슬롯인덱스 테이블을 두어 슬롯정보를 관리하게 된다. 또한 반예약 슬롯인 경우에는 여러 단말이 그 슬롯을 사용할 수 있으므로, 각 연결의 시작 프레임과 단말 ID, 그리고 그 단말의 최소 셀 율을 관리하는 슬롯주기 관리자를 둔다.

슬롯인덱스 테이블의 각 요소마다 다음과 같은 정보가 관리된다.

- 슬롯 인덱스 : 프레임 내의 슬롯 위치
- 슬롯의 형태 : 슬롯의 형태 (예약, 반예약, 가용)
- 슬롯을 예약한 단말의 ID
- 슬롯주기 관리자

3.2 APRMA의 동작

가용슬롯이 음성에 예약되면 기지국에서는 이를 예약슬롯으로 바꾸어 이후 음성의 토크 스퍼트가 끝날 때까지는 이 슬롯을 매 프레임 고정적으로 음성에 할당한다. 그러나 가용슬롯이 ABR 형태의 연결에 예약되었다면 이 슬롯은 반예약 슬롯으로 규정되어 또 다른 ABR 형태의 연결을 수용하거나, 음성이 가로채기 할 수 있음을 알려주게 된다. 이때 한 슬롯인덱스에는 최대로 주기만큼의 연결이 수용 가능하게 된다.

ABR 형태의 서비스 요청 시에는 최소 연결 수로 환산된 최소 셀 율을 요청하게 된다. 이것이 받아들여지게 되면 주기적으로 특정 슬롯을 할당받게 되어 최소 전송률로 서비스 받게된다.

ABR 형태의 단말은 최초 망에 의해 할당된 전송허용확률을 이용하여 예약을 시도하게 된다. 그 결과로 하나의 연결이 확보되면, 이 후 추가적인 연결 확보 시에는 전송허용확률을 하향 조정한다. 이 알고리즘은 연결이 추가적으로 예약 될 때마다 반복적으로 적용된다. 따라서 높은 전송속도로 서비스되는 단말일수록 추가적인 연결의 예약 기회는 줄어들게 되며, 상대적으로 음성단말이나 저속으로 서비스 중인 ABR 형태의 단말들은 예약의 기회가 증가하게 된다. 이 때 적용시킬 알고리즘에는 여러 가지가 있겠으나 단순한 논리의 적용으로 그 의미를 명확하게 하기 위하여 비례감소를 적용한다.

비례감소란 일단 연결을 확보한 ABR 형태의 단말은 "확보한 연결 수"의 함수로써 그 전송허용확률을 줄이는 방식이다. 예약에 성공하여 Semi-Reserved-S 응답을 청취한 ABR 형태의 단말은 그 즉시 자신의 전송허용확률을 갱신한다. ABR 형태의 단말은 자신이 예약한 연결의 수를 파악하고 있으므로, 아래의 수식(1)과 같이 전송허용확률을 갱신할 수 있다. 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.

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

P_{new} = 갱신된 전송허용확률

P_{init} = 초기 전송허용확률

C_c = 현재 연결 수

C_M = 최대 연결 수

용량의 확보를 계속하여 최대 전송률에 이르면 단말은 더 이상 추가 예약을 수행하지 않는다. 그러나 지연 우선 순위가 높은 음성이 슬롯인덱스 중 가용한 슬롯을 경쟁에 의하여 점유한다면, 그 슬롯을 사용하던 모든 ABR 연결은 해제된다. 이때 기존의 모든 ABR의 연결이 취소되면 음성의 패킷은 예약에 성공하게 되고 기지국은 슬롯의 형태를 예약으로 바꾸게 된다. 여러 슬롯인덱스에 걸쳐 예약되었던 ABR의 경우에는 음성에 의해 하나의 인덱스에 있는 연결이 모두 해제되더라도 이들의 최소 전송률은 다른 슬롯인덱스를 통하여 보장될 수 있다. 이에 기지국은 예약슬롯의 취소를 알리기 위하여, 해당 프레임의 ACK 시 반예약성공(Semi-Reserved-S)이 아닌 예약(Reserved)을 단말로 전송하게된다. 이를 수신한 ABR 단말들은 그 슬롯인덱스를 통한 전송을 포기하게 되어 전송률이 감소한다. 그러나, 해제되는 ABR 연결이 그 슬롯인덱스에만 예약되어있는 연결이라면 그 최소 전송률을 보장하기 위하여 연결은 해제되지 않고 음성패킷은 충돌한 결과를 가져오게 되어 그 슬롯인덱스의 형태는 반예약 상태로 남게 된다. 위와 같은 동작에 의해 ABR 서비스가 지원되며, 동시에 음성과 같은 실시간성의 서비스도 유지될 수 있다.

4. 모의실험

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

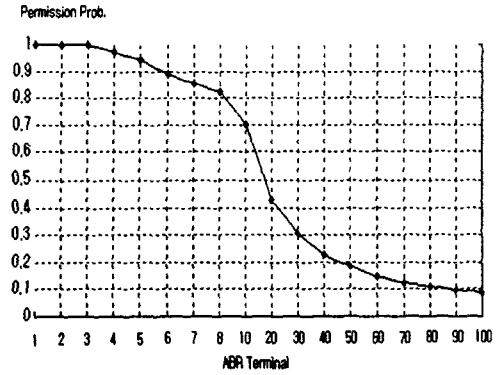
[표 1] 모의실험에 사용한 시스템 변수

채널 전송률	720 kbps
프레임 간격	16 msec
프레임 당 슬롯 수	20 개
슬롯 간격	0.8 msec
음성 전송률	32kbps
평균 TalkSpurt	1 sec
평균 Silent	1.35 sec
최대허용지연	32 msec
Permission Prob.	0.3
ABR 단말의 최소 율	1kbps (주기 36프레임)
Permission Prob.	변화

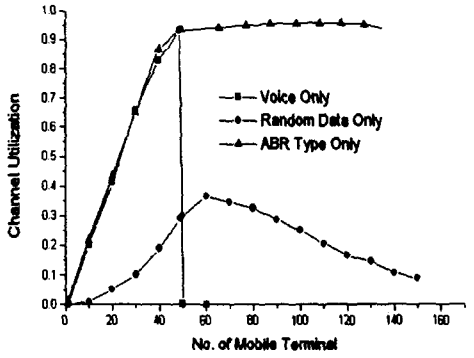
32Kbps의 음성인 16ms 마다의 프레임에서는 32ms의 최대허용지연을 만족하기 위하여 2 프레임 이상의 지연까지만 수용하게 된다. 그 이상 지연 시에는 패킷을 폐기하게 되고 따라서 음성의 토크 스퍼트의 앞부분에서는 예약지연으로 인한 폐기가 발생할 수 있다. 이때 그 확률이 0.01정도일 때 음성연결의 성능이 만족되는 것으로 보았다[2].

또한 ABR 형태의 트래픽에 대해서는 최소 전송률을 1kbps로 하였다. 이는 32kbps인 음성을 기준으로 설계된 프레임 구조에서 주기가 36 프레임일 때의 전송률에 해당한다. 따라서 실험에 사용된 시스템은 하나의 슬롯 인덱스를 최대 36개의 서로 다른 연결이 사용 할 수 있게 된다.

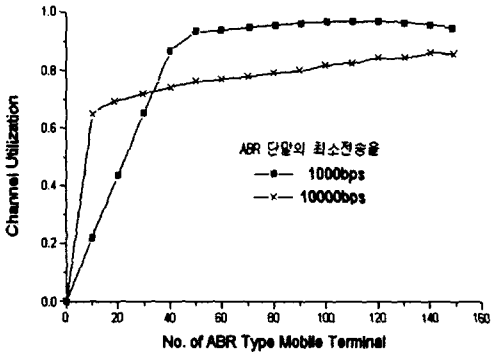
[그림 3]의 결과는 ABR 단말의 Permission Probability에 따라 수용 가능한 단말의 수가 변화함을 보인다. 이 확률



[그림 3] ABR 단말의 Permissio Probability 변화에 따른 최대 수용 단말 수



[그림 4] 단말의 증가에 따른 채널 이용율 변화



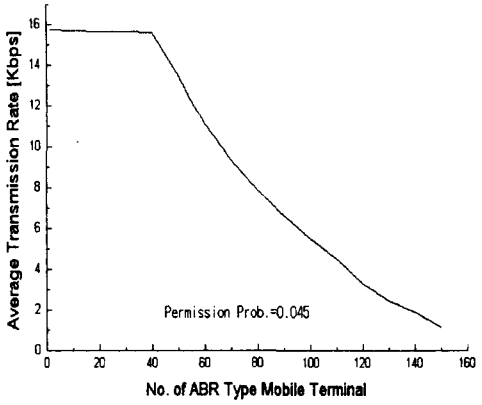
[그림 5] 단말의 전송율과 채널 이용율과의 관계

값은 ABR 단말이 연결의 수를 늘려나가기 위하여 최초의 슬롯을 점유할 때 사용되며, 위의 결과로부터 확률 값을 크게 하면 접속의 기회를 많이 부여하게되므로 과부하 시 충돌확률이 커지게 된다. 따라서 평균적인 전송률이 줄어들게 되므로 수용가능한 단말의 수가 감소하게된다. 또한, 서비스가 개시되기까지의 지연이 증가하게 되지만 ABR 서비스는 지연에 무관한 특성을 가지므로 이는 고려하지 않았다. 이하의 실험에서는 이 최초전송확률을 0.045로 고정시키고 실험을 전개하였다. 이 값은 이전의 연구들에서 밝혀진 랜덤 데이터의 최적 전송시도 확률이며, ABR 형태의 연결에 대해서는 약 140 개의 단말을 수용할 수 있는 값이다.

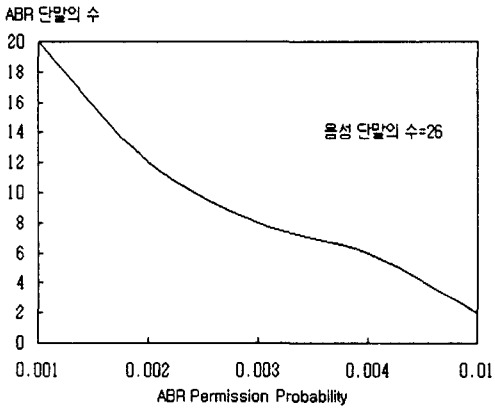
[그림 4]에서는 APRMA에서 각 트래픽들을 독립적으로 서비스하였을 때의 채널이용률을 보이고 있다. 랜덤 데이터의 경우에는 슬롯화 된 ALOHA에서와 같이 최대 0.37의 정규화 된 채널 이용률을 보이고 있다. 음성의 경우에는 47개의 단말까지는 이용률이 증가하지만 그 이상에서는 충돌의 증가로 인하여 채널의 이용률이 급격히 줄어들게 된다. 그러나 ABR 형태의 트래픽의 경우에는 한 슬롯 인덱스를 여러 단말이 예약하여 사용할 수 있으므로, 단말수의 증가에 채널 이용률은 거의 변화 없이 유지된다.

만일 [그림 5]에서와 같이 ABR 형태의 최소율을 1Kbps에서 10Kbps로 증가시킨다면, 요구되는 최소 연결의 수는 하나에서 10개로 증가하게 되어 단말 수를 증가시킴에 따라 최대 이용률은 다소 감소하게 된다.

[그림 6]는 1Kbps ABR 형태의 서비스에서 실제 얻을 수 있는 전송률이다. 위의 실험에서 단말에 전송할 데이터가 항상 존재한다고 가정하였으며, 최대 전송률은 16Kbps로 제한하였다. 단말이 증가해감에 따라 평균 전송률이 감소한다. 이는 ABR 형태의 단말이 예약을 수행하는 과정에서 충돌로 인하여 그 연결의 수를 충분히 확보하지 못하기 때문이다.



[그림 6] 1kbps ABR 서비스의 단말 수와 전송율 관계



[그림 7] 음성단말과 ABR 단말의 동시 서비스

그림에서는 최소 전송률이 1Kbps를 만족할 수 있을 때까지만 살펴본 것이다. 이 실험에서는 최대 전송률을 제한하였는데, 이는 하나의 ABR 단말이 가질 수 있는 최대 연결의 수를 제한하여 최대로 수용가능한 단말의 수를 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

[그림 7]은 26개의 음성에 대한 성능을 유지하면서 추가적으로 ABR 형태의 단말을 서비스한 결과이다. 이때 음성은 0.01의 패킷 폐기율을 만족하는 것을 성능척도로 하였고, ABR 경우에는 최소율을 만족하는 것을 척도로 하였다. ABR 단말의 수가 증가하더라도 반예약 슬롯의 가로채기에 의해 음성의 성능을 보장할 수 있다. 그러나 결과에서 제시된 단말의 수를 초과하는 경우에는 가로채기의 실패와 과도한 충돌로 인하여 음성과 ABR의 품질이 크게 저하된다. 이 결과에서는 ABR 형태의 연결에 의해 실시간을 요구하는 음성에 대한 서비스 품질이 저하되지 않음을 알 수 있으며, ABR 단말의 전송시도확률을 조절하여 채널의 이용효율을 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

이상의 실험들에서 APRMA를 사용하여 ABR 서비스를 원활히 수행할 수 있으며, 또한, 채널의 이용률을 증가시킴으로 효율적인 망의 운영을 할 수 있다. 그리고 ABR 단말의 파라미터들과 최대로 수용가능한 단말의 수 사이의 절충관계를 확인하여 요구에 따라 효율적인 MAC 서비스 구조를 설계하는 것이 가능함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 PRMA를 기본으로 하여 ABR형태의 서비스가 지원되는 APRMA를 제안하였다. 이 프로토콜을 사용하여 ABR 형태의 데이터 서비스 연결에 대하여 그 QoS를 유지시키면서, 채널의 용량을 효율적으로 사용할 수 있음을 알 수 있다. APRMA 방식에 ABR 형태의 서비스만이 연결될 때 링크의 이용률이나 서비스 품질의 면에서 매우 효율적이고 안정적인 서비스가 이루어진다. 또한 음성연결이 존재할 때에도 다양한 종류의 단말을 지원할 수 있으며, 서비스의 품질 측면에서도 안정하게 된다.

ABR 서비스가 지원된다함은 연결의 요구성능을 만족시킬 수 있다는 의미이며, 동시에 가변 비트율이 지원될 수 있다는 의미이다. 이를 토대로 CBR, VBR 등의 서비스를 지원하도록 알고리즘을 확장 할 수 있다. 앞의 모의 실험에서 사용한 파라미터는 음성에 적합하도록 슬롯과 프레임의 크기가 결정된 것이지만, 무선 ATM

의 사용에서 고속의 채널용량을 갖도록 설계될 때, 슬롯의 크기가 작아지고 프레임당 슬롯의 수가 늘어나게 되므로 APRMA는 더욱 효율적으로 사용될 것이다. 향 후 제어를 위한 별도의 슬롯들을 사용하고 있는 ALOHA-Reservation 류의 프로토콜과의 비교 분석이 요구된다.

참고문헌

[1] "Packet Reservation Multiple Access for local wireless communications", D.J.Goodman and S.X.Valenzuela, K.T.Gayliard, and B.Ramamurthi., *IEEE Trans. Commun.*, Vol.37, Aug. 1989. pp.885-890.

[2] "Efficiency of Packet Reservation Multiple Access", David J. Goodman, Sherry X.Wei, *IEEE Trans. Vehicular Tech.* Vol.40, No.1, Feb. 1992., pp.170-176.

[3] S. Kang, H. Yoe, Y. Lee, J. Lee, and S. Choi, "A Study on the Design of the Wireless MAC Protocol for ABR Support," *Proc. Mobile Multimedia Commun. Workshop*, pp. 248 - 251, Seoul, Korea, Sep. 1997.