

主 題

Wireless ATM에서의 매체 접근 제어

고려대학교 전기전자전파 공학부 김 충 구

차 례

I. 서 론

II. 무선 ATM 망에서의 매체 접근 제어 프로토콜의 구현 사례

V. 무선 ATM 망에서의 슬롯 할당 방식

III. 무선 ATM 망에서의 매체 접근 제어 개념

IV. 무선 ATM 망에서의 매체 접근 제어 방식의 비교 분석

VI. 결 론

요 약

무선 ATM의 MAC 프로토콜은 독립적으로 분산되어 있는 이동 단말기들을 대상으로 ATM이 추구하는 진정한 의미의 통계적 다중화 기능을 무선 매체를 통해 확장하는 역할을 한다. 이와 같은 매체 접근 제어 프로토콜을 통해서만 멀티미디어 서비스 특성에 따라 동적으로 변하는 대역 요구 사항과 지연 시간 및 셀 손실 등의 서비스 품질을 동시에 만족시킬 수 있으며, 이동 단말기들이 채널을 공평하면서도 효율적으로 사용할 수 있는 접속 환경을 제공할 수 있다. 따라서, 이와 관련한 유럽의 ACTS 프로젝트 및 제외국에서의 기술 개발 사례와 ATM Forum WATM-WG에서의 표준화 동향을 분석하여 향후 무선 ATM 구현에 필요한 요소 기술로서의 매체 접근 제어 방식의 설계 및 구현 방안에 대해서 고찰함으로써 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

I. 서론

ATM Forum의 Wireless ATM Working Group

(WATM-WG)에서 정의하고 있는 무선 ATM 시스템은 Radio ATM과 Mobile ATM의 두 부시스템이 통합된 개념으로 볼 수 있으며, 여기서 각 부시스템은 무선 접속을 통해 고정망의 ATM 서비스를 무선 구간으로 확장하고 ATM 단말에 이동성 기능을 각각 제공한다. 무선 ATM은 향후 출현할 ATM 기반의 멀티미디어 서비스 망에서의 광대역 서비스를 무선 영역으로 확장하기 위한 무선 접속 및 이동성 관리 기술로서, HFC에서의 무선 액세스 루프, ad-hoc 네트워크를 포함한 무선 LAN, 그리고 광대역 셀룰러 이동 전화망 등에서의 응용이 고려되고 있다. 본 고에서는 Radio ATM에서의 핵심 요소 기술로서 매체 접근 제어(Medium Access Control: MAC) 방식을 중심으로 기술 개발 사례와 표준화 동향을 중심으로 무선 ATM에 적합한 방안을 고찰하고자 한다.

무선 ATM에서의 매체 접근 제어 프로토콜은 독립적으로 분산되어 있는 이동 단말기들을 대상으로 ATM이 추구하는 진정한 의미의 통계적 다중화 기능을 무선 매체를 통해 확장하는 역할을 한다. 이와 같은 매체 접근 제어 프로토콜을 통해서만 멀티미디어 서비스 특성에 따라 동적으로 변하는 대역 요구 사항과 지연 시간 및 셀 손실 등의 서비스 품질을 동시에 만족시킬 수 있으며, 이동 단말기들이 채널을 공평하면서도 효율적으로 사용할 수 있는 접속 환경을 제공할 수 있다. 따라서, 이에 대한 유럽

의 ACTS 프로젝트 및 제외국에서의 관련 기술 개발 사례와 ATM Forum WATM-WG에서의 표준화 동향을 분석하여 향후 무선 ATM 구현에 필요한 요소 기술로서의 매체 접근 제어 방식의 설계 및 구현 방안에 대해서 고찰함으로써 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

본 고의 제 II장에서는 무선 ATM에서의 매체 접근 제어의 역할과 요구 사항을 중심으로 그 개념을 살펴본다. 제 III장에서는 무선 ATM 프로토타입 시스템 개발 및 관련 기술 개발 사례를 살펴보고, 제 IV장에서는 III장에서 살펴본 제안된 접근 방식들을 비교 분석한다. 한편, 제 V장에서는 매체 접근 제어를 통해 무선 구간에서의 통계적 다중화를 실현하기 위해 필요한 슬롯 할당 방식의 개념을 설명하고, 구현 사례들을 비교 분석한다. 마지막으로 제 VI장에서는 본 고의 결론을 맺는다.

II. 무선 ATM 망에서의 매체 접근 제어 개념

2.1 무선 매체 접근 제어의 역할 및 분류

매체 접근 제어는 여러 사용자들이 동일한 통신 매체를 효율적으로 공유하기 위해 필요한 접속(access)을 제어함으로써, 궁극적으로 채널의 유효 용량을 어떻게 각 사용자들에게 할당할 것인가를 관장한다. 본 고에서 고려하는 매체 접근 제어의 개념은 주파수 분할 다중 접속(FDMA), 시분할 다중 접속(TDMA), 코드 분할 다중 접속(CDMA) 등 기존의 회선 교환 기반 다중 접속 방식과는 구분이 되어야 한다. 즉, 이와 같은 다중 접속 방식들은 무선 매체상에서 물리적으로 다수 개의 논리적 채널을 구성하여 다수의 사용자들이 공유할 수 있도록 하는 개념으로 볼 수 있으며, 본 고에서 고려하는 매체 접근 제어는 이와 같이 논리적으로 구현된 채널들을 다수의 사용자들이 "어떻게" 공유할 것인가를 결정하는 기능으로 차별화할 수 있다.

하향 링크의 경우에는 무선 매체를 통해 다수의 분산된 터미널들을 대상으로 다중화된 신호를 브로드캐스팅(broadcasting)함으로써 채널을 공유할 수 있는 반면,

독립적인 터미널들이 매체 접근에 있어서 접속 정보를 사전에 공유할 수 없는 상향 링크의 경우에는 이와 같은 매체 접근 제어를 통해 "경쟁 상황"에 기인한 채널의 비효율성을 극소화하면서 서비스 트래픽 특성에 따른 지연 시간 등의 품질을 보장할 수 있어야 한다. 통신 서비스를 연결 지향성에 따라 회선 모드(circuit mode)와 패킷 모드(packet mode)로 구분할 때, 이를 기준으로 한 서비스 트래픽의 교환 방식에 따라 다른 형태의 매체 접근 제어가 구현된다. 예를 들어, 음성과 같이 연결 지향성의 서비스는 회선 모드를 기반으로 한 고정 할당 방식 매체 접근 제어를 구현하고, 비연결성의 데이터 서비스는 랜덤 접속(random access)과 같은 패킷 방식의 비동기적인 매체 접근 제어를 적용하는 것이 전통적인 접근 방법이다. 상용 시스템의 경우를 보면, 음성 서비스의 지원을 위해 설계된 디지털 셀룰러 전화망과 개인 휴대 통신망(PCS) 등은 회선 모드를 근간으로 하고 있으며, 패킷 데이터 서비스를 지원하는 CDPD, ARDIS, RAM Mobile Data 등의 무선 데이터 서비스 망의 경우에는 CSMA (Carrier Sensing Multiple Access)와 같은 랜덤 접속 방식을 이용하여 패킷 모드를 구현하고 있다.

무선 채널에서의 매체 접근 제어 방식을 크게 두 가지 형태로 구분해 보면, 상향 링크에 대한 각 터미널의 매체 접근을 기지국(Access Point: AP)에 의해 제어되는 중앙 집중 방식과 각 터미널이 독립적으로 스스로의 매체 접근을 관리하는 분산 방식으로 나눌 수 있다. 즉, 매체 접근에 대한 결정 주체가 기지국 또는 터미널인지 여부에 따라 중앙 집중식 또는 분산식 매체 접근 제어 방식으로 구분할 수 있다.

분산식 매체 접근 제어는 일반적으로 경쟁 기반으로 하며, 가장 단순한 형태인 ALOHA 프로토콜을 대표적인 예로 들 수 있다. 또한, IEEE 802.11의 DFWMAC (Distributed Foundation Wireless MAC) 프로토콜 (1) 및 ETSI RES1에서 표준화한 HIPERLAN-I의 EY-NPMA (Elimination Yield - Non-preemptive Priority Multiple Access) 프로토콜 (2) 등과 같은 무선 LAN에서 적용되는 매체 접근 제어도 분산 방식으로 분류할 수 있다. 일반적으로 이와 같은 완전 분산 방식은 채널의 수율이 낮을 뿐만 아니라 음성 등과 같은 실시간

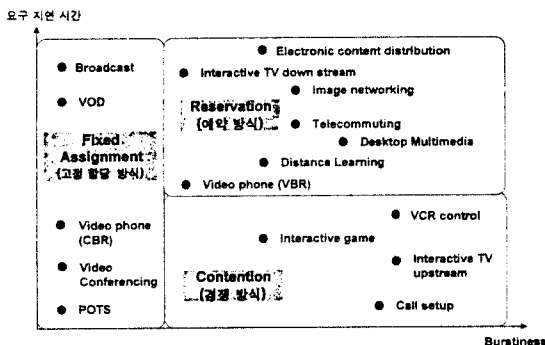
트래픽의 지연 시간을 보장할 수 없다. 따라서, 구현의 단순성에도 불구하고 이는 실시간 트래픽을 포함한 멀티미디어 서비스를 지원하기 위한 무선 매체 접근 제어 방식으로는 부적합하다.

한편, 대부분의 예약 기반 매체 접근 제어는 경쟁 방식으로 시도되는 예약 요청에 대해 중앙의 기지국이 응답을 통해 일정 버스트 동안 대역을 고정적으로 사용할 수 있도록 수락하게 되므로 중앙 집중 방식으로 분류될 수 있다. 가장 기본적인 형태의 중앙 집중 방식 매체 접근 제어로서 Reservation ALOHA 프로토콜을 들 수 있으며 (3), 이와 유사한 원리를 기반으로 패킷 방식 음성 및 데이터 서비스를 지원하기 위해 제안된 PRMA (Packet Reservation Multiple Access) 및 PRMA+, 그리고 RAMA (Resource Auction Multiple Access) 프로토콜 등도 이 분류에 포함된다 (4,5,6).

참고 문헌 (7)에서는 무선 망에서 PRMA+프로토콜, IEEE802.11 및 HIPERLAN의 MAC프로토콜들에 대한 성능 분석 결과를 제시했다. 음성과 데이터 트래픽 모델, MPEG 및 H.263 비디오 트래픽 모델을 사용하여, 시뮬레이션 수행함으로써 실시간 및 비실시간 트래픽에 대한 성능을 분석하였다. 이 분석 결과에 의하면 이와 같은 프로토콜은 특정 트래픽들만을 지원할 수 있는 반면 각 트래픽이 요구하는 차별화 된 QoS를 엄격하면서도 안정적으로 보장할 수 없다는 결론을 내릴 수 있으며, 이와 같은 측면에서 무선 ATM에서의 요구 사항을 충분히 만족시키지 못한다고 판단된다.

따라서, 그림 1에서 보는 바와 같이 멀티미디어 서비스 환경에서는 서비스의 트래픽 특성과 지연 요구 사항 등에

그림 1. 트래픽 특성과 요구 지연 시간에 따른 매체 접근 제어 프로토콜의 선택 범위 (24)



따라 다른 형태의 접속 제어 프로토콜이 선택되어야 한다. 그림 1에서는 서비스 트래픽의 버스트 특성과 요구 지연 시간에 따라 각 서비스 별로 적합한 접속 제어 프로토콜을 고정 할당 방식, 예약 방식, 그리고 경쟁 방식으로 구분한 예를 도시화한 것이다.

2.2 무선 ATM에서의 매체 접근 제어 프로토콜 요구 사항

무선 ATM에서의 MAC 프로토콜이 기존의 방식과 다른 측면을 크게 다음 두 가지 항목으로 축약할 수 있다.

① 무선 ATM의 무선 접속면에서는 UNI 4.0에서 정의한 모든 ATM 트래픽 클래스를 지원하여야 하므로 서비스에 따른 트래픽 발생 특성과 QoS 요구 사항이 다양함.

② 이동 ATM 단말이 독립적으로 분산되어 있기 때문에 각 단말국에서의 트래픽 발생 상황을 사전에 알 수 없는 경쟁 상황에서 채널을 공유해야 함.

위의 ②번 항목은 실질적으로 모든 무선 매체 접근 제어에 해당하지만, ①번 요구 사항과 동시에 고려할 때 이는 기존의 특정 무선 매체 접근 제어 프로토콜만으로는 트래픽 특성별 채널 사용 효율성을 극대화하면서 QoS를 보장하는 것은 불가능하다는 것을 암시한다. ATM에서 지원해야 하는 서비스 부류에 따라 다양한 형태의 트래픽 발생 특성을 고려하기 위해서는 ATM에서 추구하는 통계적 다중화 기반의 bandwidth-on-demand 기능을 무선 구간으로 확장하는 것이 필연적이다. 한편, 셀 지연 및 손실에 따른 QoS 요구 사항을 동시에 만족하기 위해서는 유선망에서의 유사한 개념의 트래픽 제어가 수행되어야 한다. 그러나, ②번 항목에 의한 단말국의 분산성에 따라 이와 같은 트래픽 제어와 동적 대역 할당은 각 단말국의 트래픽 발생 특성을 중앙 집중적으로 감시하고 관리함으로써만 가능하다. 따라서, 회선 모드와 패킷 모드를 기반으로 하는 연결성 및 비연결성 서비스를 한 개의 공통된 무선 접속면을 통해 통합하기 위해서는 MAC 프로토콜을 통해 무선 구간에서의 동적 대역 할당과 서비스 별 QoS를 보장할 수 있는 메커니즘을 제공할 수 있어야 한다.

이와 같이 독립적으로 분산된 이동 ATM 단말간에 무선 매체 접근에 필요한 상호 접속 정보를 사전에 공유할 수

없는 경쟁 상황에서 다양한 형태의 트래픽을 공통된 틀에서 효율적으로 통합하기 위해서는 경쟁 기반 랜덤 접속 방식의 매체 접근 제어가 적합하다. 그러나, 단순 경쟁 방식에 의해서는 연결 지향적인 서비스 또는 실시간 서비스 등과 같은 매우 엄격한 자원 할당을 요구하는 서비스의 QoS를 보장할 수 없다. 따라서, ②번 항목은 QoS 보장이라는 관점에서 ①번 항목과 매우 밀접한 관계가 있으며, 이와 같은 상황에서 동적 대역 할당을 효율적으로 수행하기 위한 수단으로서 예약형 랜덤 접속 방식의 도입과 더불어 중앙 집중적인 스케줄링(scheduling)을 기반으로 한 동적 예약 방식이 구현되어야 한다. 이 때, MAC 프레임이 시작되는 시점에 상향 링크에서의 슬롯을 미리 스케줄링하므로, 만일 한 프레임 주기 내에서 할당된 슬롯이 사용되지 않을 경우 이를 다른 단말기에 재할당할 수 없는 문제점이 발생 할 수 있다. 그러므로 셀의 발생이 주기적인 CBR 트래픽과는 달리 요구 대역량을 예측할 수 없는 VBR 트래픽의 경우에는 이와 같은 "capacity over-booking" 문제로 인하여 이상적인 통계적 다중화를 구현하는데 어려움이 따른다 [8]. 따라서, 무선 매체 접근 제어를 통한 이상적인 통계적 다중화의 실현 여부는 궁극적으로 이와 같은 스케줄링 메카니즘의 이상적인 동작 여부에 의존하며, 이는 결국 스케줄링에 필요한 각 단말의 정보를 얼마나 효율적으로 그리고 적시에 제공할 수 있는지 여부에 의존한다. 이와 같은 기능적 의존성으로 인하여 결국, 모든 트래픽 클래스의 QoS를 동시에 만족시키는 범위에서 확보할 수 있는 시스템의 최대 수율(throughput)과 같은 인자에 의해서만 MAC 계층의 성능 요구 사항을 설정하는 것이 가능하다.

요약하자면, 무선 ATM에서 MAC 프로토콜의 궁극적인 역할은 독립적으로 분산된 단말기들을 대상으로 무선 매체 위에서 ATM이 추구하는 진정한 의미의 "통계적 다중화" 기능을 구현하는 것이다. 따라서 이와 같은 MAC 프로토콜을 통해 멀티미디어 서비스의 동적 대역 요구 사항과 서비스 품질을 동시에 만족시킬 수 있어야 하며, 이동 단말기들이 채널을 공평하면서도 효율적으로 사용할 수 있는 접속 환경을 제공할 수 있어야 한다.

무선 ATM에서의 MAC 프로토콜에 대한 요구 사항은 크게 일반적인 MAC 요구 사항, 무선 환경을 고려한 측

면에서의 MAC 요구 사항, 그리고 무선 ATM 고유의 MAC 요구 사항으로 구분할 수 있다. 일반적 MAC에 대한 요구 사항은 프로토콜의 견고성, 확장성, 수율, 지연 시간, 단순성, 그리고 신뢰성들을 들 수 있다. 한편, 무선 환경을 고려한 측면에서는 단말기의 전력 소모를 고려한 효율적 MAC 관련 기능과 페이딩 채널에서의 성능 열화를 감내할 수 있는 프로토콜의 설계를 고려해야 한다. 또한, 무선 ATM 고유의 MAC 요구 사항으로서 통계적 다중화에 따른 서비스 트래픽별 QoS의 보장과 ATM 셀 전송에 적합한 MAC 프레임의 구조 등과 같은 항목을 포함한다

III. 무선 ATM 망에서의 매체 접근 제어 프로토콜의 구현 사례

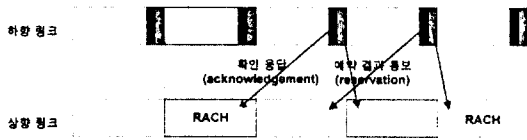
현재 무선 ATM 관련 연구는 유럽의 ACTS 프로그램 내에서 MEDIAN 및 Magic WAND 프로젝트, AT&T Bell Lab에서의 BAHAMA 및 SWAN, 그리고 NEC C&C Lab에서의 WATMnet, 일본 NTT의 AWA 등의 무선 ATM 프로토타입 시스템의 개발을 통해 추진되어 왔다. 본 절에서는 이와 같은 무선 ATM 프로토타입 시스템 개발 및 관련 요소 기술 개발 사례를 중심으로 관련 매체 접근 제어 프로토콜들을 분석하고 상호 비교한다.

3.1 Dynamic Slot Assignment (DSA) 프로토콜

DSA 프로토콜은 유럽의 RACE Project R2067 MBS (Mobile Broadband System)에서 제안된 프로토콜이다. DSA 프로토콜에서는 하향 링크에서의 각종 슬롯 할당 결과 및 확인 응답 등의 신호를 슬롯 단위로 통보하는 반면, 이를 프레임 단위 그룹으로 통보함으로써 단말국의 전력 소모를 최소화하는 방식을 제안하고 이를 DSA++ 프로토콜이라 지칭하였다.

주파수 분할 듀플렉싱(FDD)에 의해 상하향 링크를 분리하고, 기본적인 접속 방식은 TDMA를 사용한다. DSA

그림 2. DSA 프로토콜의 프레임 구조



프로토콜의 기본적인 프레임 구조는 그림 2와 같다. 상향 링크는 호 접속 및 예약 요청을 위해 지정되는 랜덤 접속 채널(Random Access Channel: RACH) 슬롯과 데이터 전송 슬롯으로 구성되며, 하향 링크의 각 슬롯은 수신된 데이터 및 예약 요청에 대한 확인 응답(acknowledgement)을 위한 부슬롯 및 상향 링크에 대한 예약 결과를 통보하는 부슬롯과 더불어 하향 링크 데이터를 전송하는 부분으로 구성된다.

한편, 이와 같은 슬롯 단위의 확인 응답과 예약 결과 통보 절차로 인하여 발생하는 단말국의 전력 소모 등을 고려하여, DSA++ 프로토콜에서는 그림 3과 같이 일정한 주기로 하향 링크 신호 버스트를 통해 슬롯 할당 결과를 통보하는 프레임 구조를 가지고 있다. 하향 링크 신호 버스트는 일정한 주기로 삽입되며, 이 때 통보되는 정보로서는 단말국에 대한 상향 링크의 예약 결과(RACH 슬롯의 지정을 포함), 하향 링크에서의 프레임 구조(즉, 다음 신호 버스트 발생까지의 데이터 슬롯의 수), RACH 슬롯에 대한 확인 응답, 그리고 각종 제어 채널에 대한 지정 등을 포함한다.

단말국의 버퍼가 빈 상태에서 패킷이 발생하면 단말국은 경쟁 모드로 동작하게 되며, 이 때 단말국은 상향 링크에서 RACH 슬롯을 통해 랜덤 접속 방식 또는 polling에

의해 슬롯 예약 요청을 수행한다. 이 예약 요청에 대한 확인 응답은 하향 링크에서 슬롯 단위(DSA 프로토콜의 경우) 또는 신호 버스트 주기 단위(DSA++ 프로토콜의 경우)로 수행된다. 랜덤 접속 방식에 의해 예약 요청을 할 경우 수율이 낮기 때문에(예를 들어, ALOHA 방식의 경우 최대 37%) 충돌로 인한 지연 시간과 안정성을 고려하여 polling 방식으로 적용하는 것을 제안하고 있다. 이 때 polling은 각 단말국의 예약 요청 우선권을 다음 식과 같이 계산한 후, 우선권이 높은 순으로 차례로 polling을 하도록 한다.

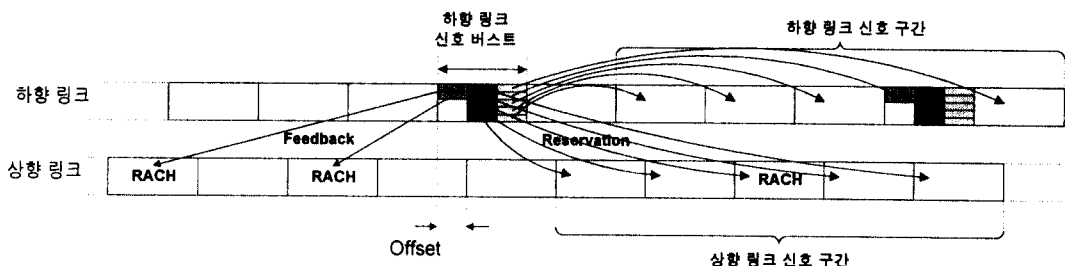
$$P = c \cdot \bar{Y} \cdot \tau \quad (1)$$

(1)식에서 c 는 scaling계수이며, \bar{Y} 와 τ 는 각각 해당 단말국의 평균 전송률 및 마지막 전송 이후 경과 시간을 나타낸다.

이와 같은 예약 요청시에 현재 버퍼에 새로 출현하여 대기 중인 패킷의 수와 잔여 수명(residual lifetime) 등의 동적 파라미터(dynamic parameter)를 함께 전송하게 되며, 이에 따른 정보량이 많지 않기 때문에 한 개의 슬롯을 몇 개의 부슬롯(subslot)으로 분할하여 충돌을 감소시키는 방안도 제시되고 있다. 또한, 예약 요청 단말국의 부하에 따라 전송 확률(transmission probability)을 제어하거나 또는 RACH 슬롯의 수를 증감하는 것도 가능하다.

예약 모드에 있는 단말국들은 기지국에 의해 대역 할당 결과를 통보받게 된다. 중앙의 기지국은 모든 이동 단말기들의 호 접속시 설정되는 평균 및 최대 전송률 등의 연결 특성 정보(connection specific parameter)와, 각 VC별로 버퍼에서 대기하고 있는 셀의 수, 가장 짧은 잔

그림 3. DSA++ 프로토콜의 프레임 구조



여 수명(residual lifetime), 그리고 길이가 가장 큰 버퍼에 있는 셀들의 평균 잔여 수명 등과 같은 동적 파라미터(dynamic parameter)를 수집한다. 동적 파라미터는 일반적으로 상향 링크로 전송되는 패킷(무선 ATM 셀)의 내부에 piggyback하여 보낸다. 이 수집된 정보를 이용하여 전송될 셀들의 우선권을 계산하고, 매 슬롯을 우선권이 높은 단말국에 할당한다. 이 때 각 단말국의 우선권을 계산하는 예는 다음 식과 같다.

$$P = \log \left[\frac{a}{\tau} \right] + b \cdot l \quad (2)$$

(2)식에서 a와b는 scaling 계수를 나타내며, τ 와 l 은 각 셀의 잔여 수명과 버퍼에서의 대기행렬 길이를 나타낸다. 보다 자세한 우선권 계산 방법에 대해서는 [9]을 참조할 수 있다.

3.2 동적 시분할 듀플렉스(Adaptive Time Division

Duplex: ATDD) 접속 프로토콜

ATDD 프로토콜은 유럽의 ACT Project MEDIAN (AC006)에서 구현된 방식이다 [10]. MEDIAN은 60GHz 대역에서 155Mbps 속도로 실내 환경에서 ATM 기반 B-ISDN 망과의 무선 접속을 목표로 한다. 이 시스템은 512개의 부반송파를 사용하는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 채택함으로써 광대역 응용에서 요구하는 고효율의 주파수 사용과 다중 경로에 대한 대응도를 확보한다.

ATDD 프로토콜은 시분할 듀플렉싱(Time Division Duplexing)에 의해 상하향 링크를 구성하고, 기본적인 접속 방식은 TDMA를 사용한다. 한 개의 ATDD 프레임은 총 64개의 슬롯으로 구성되고, 크게 상향 링크 프레임과 하향 링크 프레임으로 구분된다. 상향 및 하향링크의 프레임 길이는 각 방향의 트래픽 상황에 따라 조절할 수 있다. 즉, 한 개의 TDD 프레임은 상향 링크와 하향 링크 사이에 가변 경계(dynamic boundary)에 따라 상향 및 하향 링크의 프레임 길이가 결정된다. MEDIAN의 기본적인 정보 단위는 Extended Cell로서, ATM 셀을 전송

하거나 또는 프레임 단위로 무선 구간 제어에 필요한 각종 제어 정보를 전송하는데 사용된다. Extended Cell은 1024 비트로 구성되며, ATM 셀 전송에 있어서는 424비트의 ATM 셀 정보와 무선 구간에서의 채널 코딩 및 각종 신호에 따른 정보를 포함한다. 각 Extended Cell은 ATDD 프레임의 각 슬롯에 대응되며, 각 슬롯은 길이가 1024비트인 OFDM 블럭에 의해 전송된다. ATDD 프레임 구조와 Extended Cell의 구성은 그림 4와 같다.

매 프레임의 첫번째 슬롯은 물리 계층에서의 버스트 동기화에 필요한 Null Symbol과 Reference(Synch) Symbol로 시작되며, 두번째 슬롯에서는 기지국에서 스케줄링된 상향 링크에서의 슬롯 할당 결과를 통보하기 위한 Broadcast Cell을 전송한다. 각 프레임에서 전송되는 Broadcast Cell은 그 다음 TDD 프레임에 관련된 정보를 제공하며 구체적인 내역은 다음과 같다.

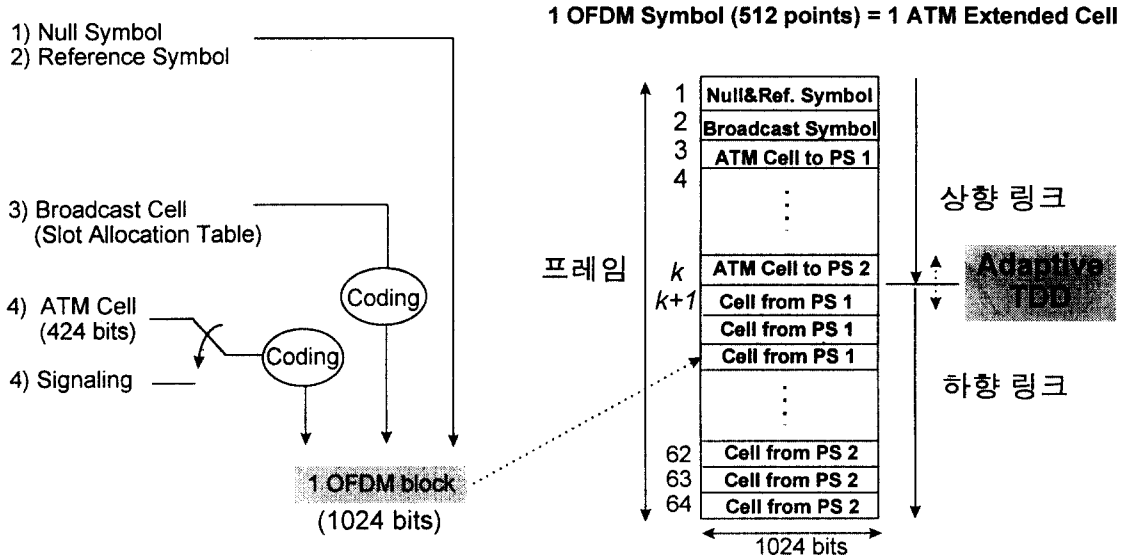
- 다음 TDD 프레임에서의 상향 및 하향 링크 프레임의 길이
- 다음 TDD 프레임에서의 상향 및 하향 링크 슬롯 할당 결과
- PRMA 프로토콜 및 호 설정/해제 관련 신호

한편, 첫번째 및 두번째 슬롯을 제외한 나머지 62개의 슬롯은 ATM 셀을 포함하는 Extended Cell을 전송하는데 사용된다.

ATDD 방식에서는 프레임 주기 단위로 상향 및 하향 링크간의 통화량 분포에 따라 동적으로 슬롯을 할당하는 것이 특징이다. 상향 링크에서는 static(예를 들어, 최대 허용 가능한 지연시간, 최대 비트율) 및 dynamic parameter(예를 들어, 버퍼에서 대기하고 있는 셀의 수)를 이용하여 PRMA 프로토콜을 적용한다. 기지국은 현 트래픽의 상태에 따라 패킷 전송 허가 확률(permission probability)를 조절함으로써 채널 사용 효율성을 극대화한다.

기지국은 프레임 단위로 스케줄링 알고리즘에 따라 상향 및 하향 링크에서의 프레임 길이와 각 슬롯의 할당을 결정하고 Broadcast Cell을 통해 단말국들에게 알려준다. 단말국들은 RVC I (Radio Virtual Call Identifier)이라 불리는 주소(address)를 통해 자신이 할당 받은 슬롯을 확인하게 된다.

그림 4. Extended 셀의 구성 및 ATDD 프레임 구조



3.3 DQRUMA (Distributed-Queuing Request Update Multiple Access) 프로토콜

DQRUMA 프로토콜은 AT&T Bell Lab에서 구현한 ad-hoc 무선 ATM LAN/PBS (Portable Base Station) 프로토타입인 BAHAMA (Broadband Ad-Hoc Wireless ATM Local-Area Network)에서 제안된 MAC 프로토콜이다 [11]. DQRUMA는 기본적으로 종류의 트래픽을 대상으로 고안되었으나 약간의 확장을 통해 멀티미디어 트래픽 환경까지도 수용할 수 있으며, 다중 전송물의 멀티미디어 트래픽을 위해 time-frequency slicing 개념을 도입한 새로운 형태의 DQRUMA 프로토콜이 최근에 제안되기도 하였으며, 이는 참고 문헌 [12]을 참조할 수 있다.

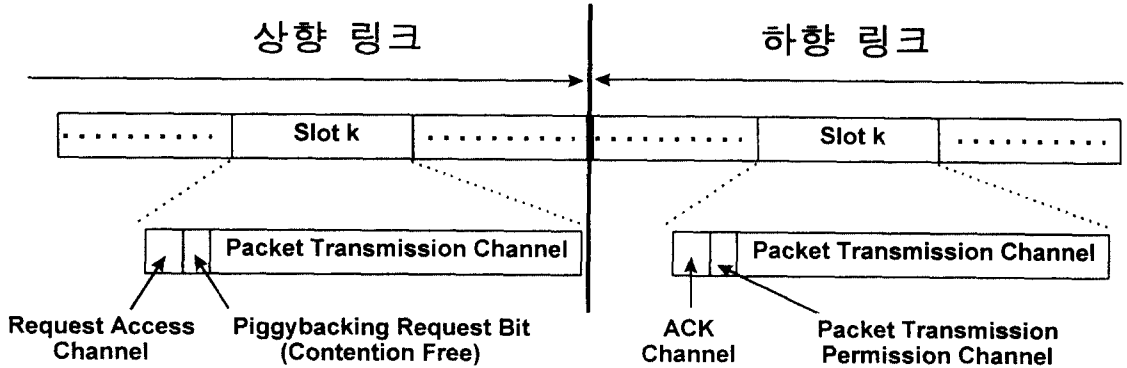
DQRUMA 프로토콜은 시분할 듀플렉싱(Time Division Duplexing)에 의해 상하향 링크를 구성하고, 기본적인 접속 방식은 TDMA를 사용한다. 프레임 구조는 그림 5와 같으며, 이 때 상향 링크의 각 슬롯은 RA (Request Access) 채널, Piggybacking (PGBK) Request 채널, 그리고 패킷 전송채널(Packet Xmt Channel)로 구분된다.

단말국의 빈 버퍼에 패킷이 도착하면 랜덤 접속 채널

(random access channel)을 통해 ALOHA와 같은 경쟁기반의 접속방식으로 Xmt_Req를 전송하게 된다. 반면, 버퍼에 패킷이 대기하고 있는 상태에서는 PGBK Request Bit를 통해 충돌 없이(contentionless) 슬롯 요청을 기지국에 알릴 수 있다. 일단 단말국이 기지국으로부터 확인 응답을 받으면, 이 채널을 통해 자신의 Access ID를 하향링크의 Transmit-permission (Xmt_Perm) Channel에서 수신할 때까지 기다리게 된다. 자신의 Access ID를 수신하면 다음 슬롯에서의 패킷 전송이 가능하다. 한편, 특정 서비스 계층의 경우에는(예를 들어, CBR서비스의 경우), 기지국은 자동적으로 Request Table에 있는 Xmt_Req를 일정 주기마다 갱신함으로써 단말국의 불필요한 Xmt_Req의 전송을 줄일 수 있다.

각 단말국으로부터 성공적으로 수신된 전송 요구(transmission request: Xmt_Req)는 기지국의 request table에 매번 기록된다. 이 request table은 단말기들의 access ID와 transmit-request 정보를 관리하는데 사용된다. 한편, 기지국은 수신받은 Xmt_Req에 대해 해당 access ID를 하향 링크의 acknowledgment(ACK) channel을 통해 통보함으로써 단말국의 요청에 대한 확인 응답을 수행한다. 매 슬롯마다 패킷의 Xmt_Perm을 알려 줌으로써, 다양한 우선권과 서비스 요구 사항을 가지는

그림 5. BAHAMA에서의 프레임 구조



멀티미디어 트래픽을 대상으로 최적의 스케줄링 수행이 가능하다.

3.4 MASCARA (Mobile Access Scheme based on Contention And Reservation for ATM)

MASCARA는 유럽의 ACTS Project의 하나인 AC085 Magic WAND 프로젝트(Wireless ATM Network Demonstrator)에서 구현된 MAC 프로토콜이다 [13]. WAND 프로젝트는 실내 환경에서 무선으로 ATM 망을 접속하기 위한 시스템 규격을 개발하고, 무선 ATM 기반 접속 시스템의 적정성을 검증하고 시연하는 것을 목표로 하고 있다. 또한, 이 과제에 의해 도출된 무선 ATM 접속 개념과 기술을 ETSI에서의 표준화에 반영하고있다. Magic WAND의 시연 목표는 실내 환경에서

5 GHz 대역에서 24 Mbps 전송률을 구현하는 것이며, 향후 17 GHz 대역에서의 구현 방안에 대해 연구하도록 되어 있다.

MASCARA는 시분할 듀플렉싱(Time Division Duplexing)에 의해 상하향 링크를 구성하고, 기본적인 접속 방식은 TDMA를 사용한다. MASCARA는 가변 길이의 프레임을 가지는 시분할 접속 방식을 기반으로 하며, 슬롯의 길이는 하나의 ATM 셀 크기와 동일하다. MASCARA에서의 MAC Time Frame (TF)는 프레임 헤더(Frame Header: FH) 구간, 상향 구간, 하향 구간, 그리고 경쟁 구간으로 구분되고, 각 구간은 가변경계(variable boundary)에 의해 동적으로 정의된다 (그림 6 참조).

상향 및 하향 구간은 예약 방식에 의해 접속되는 트래픽 (예를 들어, CBR트래픽)에 대한 슬롯 할당을 위해 사용되고, 경쟁 구간은 단말국이 예약 요청과 제어 신호를 전

그림 6. MASCARA 프로토콜의 MAC Time Frame 구조

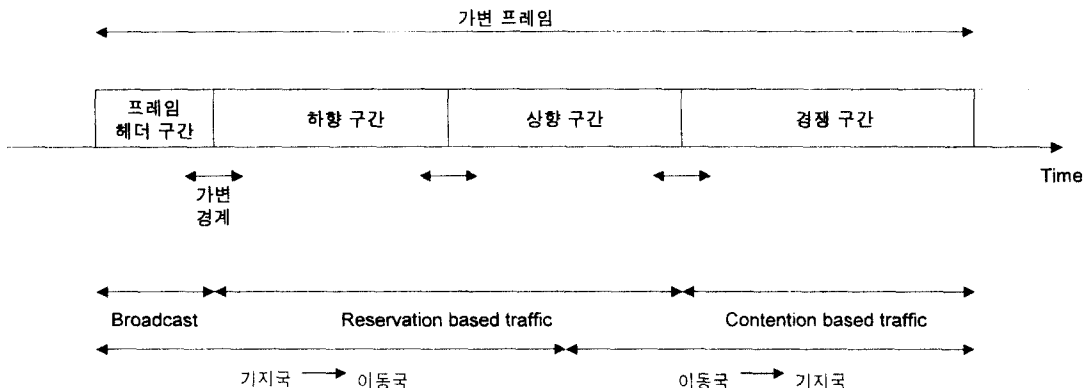
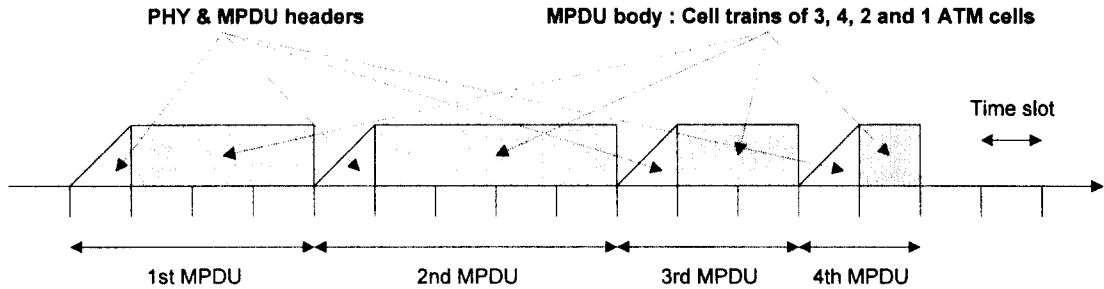


그림 7. Cell Train 개념 및 MPDU 구조



송할 때나, 경쟁 방식에 의해 접속되는 트래픽(예를 들어, ABR 트래픽)에 대해 슬롯을 할당할 때 사용된다. 상향 및 하향 그리고 경쟁 구간은 각각 가변적인 길이를 가지며, 무선 채널 상에서의 트래픽 양에 따라 그 길이가 동적으로 결정된다. 예약 방식에 의해 동작하는 상향 및 하향 구간은 각 방향에서의 예약된 통화량에 따라 슬롯의 수가 결정되므로 예약이 없는 경우에는 각 구간에 한 개의 슬롯도 할당되지 않는 상황이 발생할 수 있다. 반면, 경쟁 구간에서는 최소 수의 슬롯을 설정함으로써 새로 호를 설정하는데 필요한 전용 제어 신호(dedicated control signal)를 전송할 수 있도록 보장해야 한다.

각 Time Frame은 FH 구간으로 시작하며, 이 구간에서는 현재 프레임의 구조를 나타낼 수 있는 정보를 통보할 수 있게 된다. 특히, 프레임의 길이가 가변적이기 때문에 각 단말국은 이 FH 구간에서 통보된 정보를 통해 각 구간이 시작하고 끝나는 시점을 알 수 있어야 한다.

IEEE 802.3 또는 802.5 등 기존의 MAC 프레임과 비교할 때 53 바이트의 ATM 셀은 그 길이가 짧기 때문에 1개의 MAC Protocol Data Unit (MPDU)으로 개별적인 ATM 셀을 전송하는 것은 매우 비효율적이다. MASCARA에서는 이와 같은 비효율성을 극복하기 위해 다수 개의 ATM 셀을 연속적으로 묶는 셀 트레인(Cell Train) 개념을 도입하여, 이를 MPDU의 payload로 전송한다. 각 MPDU는 MPDU Header와 MPDU Body로 구성된다. MPDU 전송을 위해 물리 계층에서 필요한 PHY Header와 MPDU Header에 해당하는 시간의 합은 한 개의 ATM 셀 전송 구간과 동일하다. 시분할 슬롯의 길이는 한 개의 ATM 셀 전송에 필요한 시간으로 설

정함으로써 MPDU의 길이에 상관없이 시분할 방식을 구현할 수 있도록 되어 있다. 그림 7은 3개, 4개, 2개, 그리고 1개의 ATM 셀을 전송하는 셀 트레인 형태의 MPDU 구조를 예로 보여주는 것이다.

단말국은 경쟁 방식으로 예약 요청을 전송하고, 예약이 성공한 후에는 기지국에 의해 필요한 슬롯을 할당하는 예약 모드로 동작한다. 기지국(Access Point: AP)에서 트래픽 발생이 주기적인 경우에는(예를 들어, CBR 트래픽의 경우) 경쟁이 없이 예약 모드(reservation mode)로 전송하는 반면에, 트래픽 발생이 비주기적인 경우에는(예를 들어, ABR 트래픽의 경우) 경쟁 방식(contention mode)을 적용한다.

트래픽 스케줄링은 매 프레임마다 기지국에 있는 Master Scheduler와 Slave Scheduler에 의해 두 단계에 걸쳐 수행된다. 기지국에 있는 Master Scheduler는 단말국들에게 프레임을 구성하는 슬롯을 할당하고 다시 각 단말국들은 Slave Scheduler에 의해 출현한 트래픽 중에서 실제 상향 링크 시간 동안 전송할 트래픽을 다시 결정하게 된다. Slave Scheduler를 통해 Master Scheduler에 의해 할당받은 슬롯들을 재조정하여 우선적으로 전송되어야 하는 트래픽에게 할당함으로써 대역 효율성을 극대화할 수 있다.

3.5 MDR-TDMA (Multi-service Dynamic Reservation TDMA) 프로토콜

MDR-TDMA 프로토콜은 NEC USA의 C&C Research

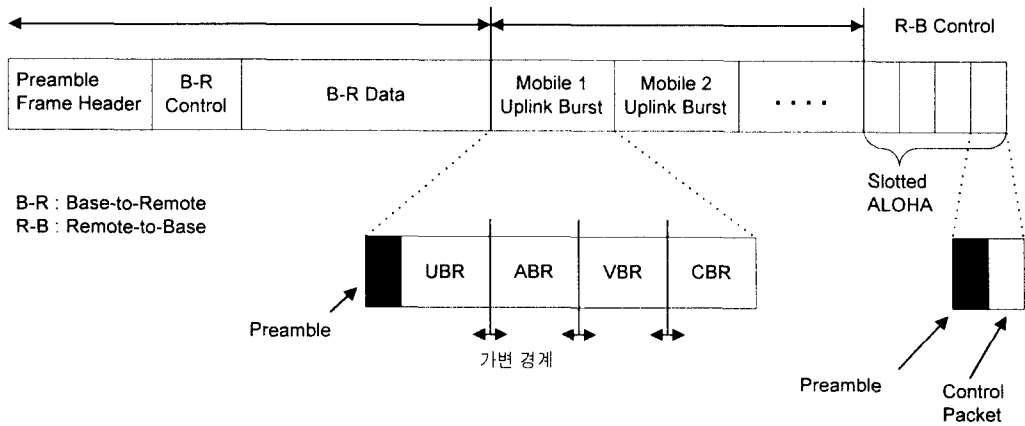


그림 8. TDMA/TDD 프레임 구조

Lab.에서 무선 ATM에 대한 연구 초창기에 발표된 방식으로 [14], 기본적으로 TDMA/TDD 프레임 구조를 기반으로 한 서비스 트래픽 특성에 따라 동적 예약 방식으로 슬롯을 할당하는 기법이다. 이 방식을 근간으로 VBR 비디오에 대한 동적 대역 할당을 위한 스케줄링 방식에 대한 지속적인 연구 결과가 발표되었으며 [8], 이는 궁극적으로 NEC C&C Research Lab.에서 구현한 프로토타입 무선 ATM 망인 WATMnet에서 MAC 프로토콜의 기반으로 활용되었다 [15]. WATMnet은 2.4GHz ISM대역에서 8Mbps의 전송률을 제공하며, ABR 및 UBR의 패킷 모드와 CBR 및 VBR의 회선 모드를 갖는 표준 ATM API에 의해 음성, 데이터 및 비디오를 지원할 수 있다.

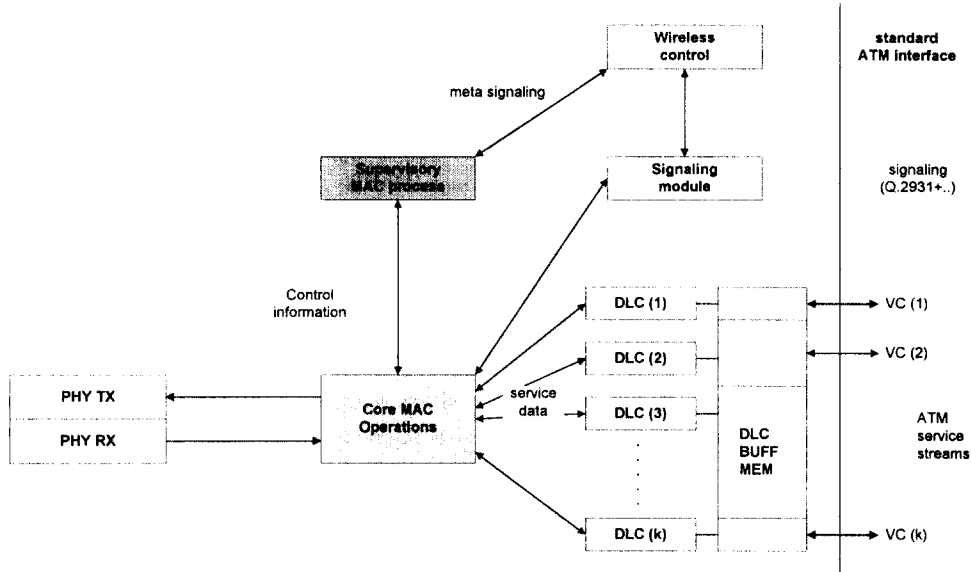
WATMnet 시스템은 시분할 듀플렉싱(Time Division Duplexing)에 의해 상하향 링크를 구성하고, 기본적인 접속 방식은 TDMA를 사용한다. 프레임은 그림 8에서 보는 TDMA/TDD 구조를 기반으로 하고 있다. 2 ms 길이의 각 프레임은 하향 링크(Base-Remote: B-R)에 해당하는 Preamble 및 프레임 헤더, 제어 필드, 그리고 데이터 필드로 구성되고, 상향 링크(Remote-Base: R-B)에 해당하는 데이터 버스트 및 하향 링크 제어 필드로 구성된다. 제어 정보 및 ATM 셀을 포함한 기지국으로부터의 하향 링크 정보는 1개의 버스트로 다중화된 후 Preamble 및 프레임 헤더에 더불어 TDMA 프레임이 시작되는 점에서 전송된다.

기지국은 각 단말국의 서비스 요구 사항에 따라 필요한 가상 연결(Virtual Connection: VC)의 수와 종류에 의해 상향 링크 대역을 할당한다. 이때 각 기지국은 VC 단위로 슬롯을 할당하게 되지만, 한 개의 단말국에 접속된 다른 VC들은 한 개의 그룹으로 묶여져 상향 링크 슬롯에 할당됨으로써 단말국이 한 개의 버스트로 전송할 수 있도록 하고 있다. 이를 통해 단말국의 상향 링크의 매 버스트마다 preamble로 인한 오버헤드를 줄일 수 있다. 상향 링크 데이터 버스트는 사용 가능한 슬롯들을 각 서비스 부류 별로 구분하고, 트래픽 부하에 따라 이들 간의 경계를 조절할 수 있도록 되어 있다.

WATMnet 시스템에서의 MAC 프로토콜은 supervisory MAC (S-MAC)과 core MAC (C-MAC)으로 구성된다(그림 9 참조). S-MAC은 기지국에서 상향 및 하향 링크에서의 슬롯 할당 스케줄링을 수행하는 상위 개념의 MAC 프로토콜이며, C-MAC은 S-MAC에 의해 결정된 슬롯 할당에 따라 여러 개의 VC로부터의 데이터를 다중화 또는 역다중화하는 기능을 수행하는 하위 개념의 MAC 프로토콜이다. 모든 VC에 대한 슬롯 할당 요청 및 무선 제어 패킷 등 상향 링크 제어 정보는 MAC 프레임에서의 R-B 제어 슬롯을 통해 기지국으로 전송되며, 이 때 R-B 제어 슬롯은 slotted ALOHA 방식에 의해 단말국간에 공유된다.

CBR VC의 경우에는 요구 비트율에 따라 주기적으로 슬롯을 할당하게 된다. 이 때 CBR 비트율은 32kbps의

그림 9. 무선 접속 프로토콜의 구조



정수배로 할당되며, TDMA 프레임 당 한 개 슬롯 이하의 할당을 요구하는 비트율을 지원하기 위해서 12 ms에 해당하는 6개의 프레임 그룹인 superframe을 규정한다. 따라서, CBR에 대해서는 이 superframe 단위로 주기적인 슬롯 할당을 수행함으로써 PSTN의 음성 전화를 무선 ATM 망에서 지원하는 것이 가능하다. 슬롯 할당 관점에 있어서 CBR의 경우에는 주기적인 슬롯 할당이 가능하므로 슬롯 할당 정보를 지속적으로 단말국으로 통보할 필요가 없다.

한편, VBR 비디오 또는 ABR 데이터 서비스의 경우에는 각 VC에서의 중단기적인 비트율의 변이에 따른 동적 슬롯 할당이 요구된다 [16]. 예를 들어, 단말국에서 비트 발생률의 순시치와 버퍼 상태에 관한 정보를 근거로 다음 프레임에서 필요한 슬롯의 수를 추정하여 이 값을 R-B 제어 슬롯을 통해 요청할 수 있다. 그러나, 이 때 트래픽 부하가 클 경우에는 R-B 제어 슬롯에서의 경쟁에 따른 지연 시간으로 인하여 현재 필요한 대역 할당 요청을 수행할 수 없는 단점이 있다. 이 문제에 대한 대응 방안으로서 현재의 버퍼 상태를 나타내는 정보를 무선 ATM 셀 헤더에 포함시켜(piggybacked), 이 정보를 기반으로 필요한 대역을 추정하여 할당하는 방법이 있다.

3.6 EC-MAC (Energy Conserving MAC) 프로토콜

EC-MAC 프로토콜은 단말국에서의 전력 소모를 최소화하기 위한 측면들을 고려하여 제안된 방식으로서, Bell Lab.에서 수행된 무선 ATM testbed 구현을 위한 SWAN (Seamless Wireless ATM Network) 과제에서 도출된 것이다 [17]. 무선 접속 프로토콜 측면에서 전력 소모의 주요 요인으로서 무선 송수신부와 CPU를 들 수 있다. 일반적으로 전송 모드에서 최대의 전력이 소모되고, 대기 모드에서는 최소의 전력이 소모된다. EC-MAC은 매체 접근 제어 과정에서 송수신기의 전력 소모를 극소화할 수 있는 프레임 구조를 기반으로 하며, 특히 경쟁 기반의 예약 과정에서 재전송으로 인한 전력 소모를 최소화하기 위하여 비경쟁 기반의 예약을 도입한 것이 특징이다.

EC-MAC 프로토콜은 시분할 듀플렉싱(Time Division Duplexing)에 의해 상하향 링크를 구성하고, 기본적인 접속 방식으로 TDMA를 가정한다. EC-MAC에서의 프레임은 고정된 수의 시분할 슬롯으로 구성되며, 각 슬롯의 길이는 무선 접속면에서의 기본 전송 단위로서 64 바이트의 무선 ATM 셀과 동일하다. 이 때, 프레임은 그림 10과 같이 여러 개의 부프레임(subframe)으로 구성된다. 프레임 beacon은 framing과 동기화에 필요한 정보,

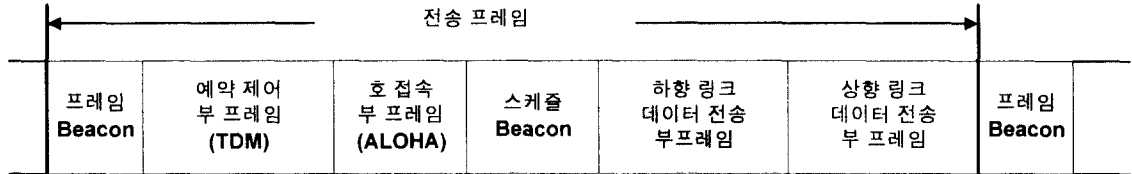


그림 10. EC-MAC 프로토콜에서의 프레임 구조

상향 링크에서의 단말국의 예약 순서 정보, 그리고 새로운 사용자 정보 부프레임의 길이 등을 포함한다. 예약 제어 부프레임은 단말국으로부터의 상향 링크에 대한 예약 요청을 시도하는 부분으로서, 예약 요청은 이 부프레임 상에서 비경쟁 방식에 의해 진행된다. 호 접속 부프레임은 새로 접속된 단말국이 기지국에 등록하기 위해 사용된다. 이 부프레임은 slotted ALOHA 방식에 의해 공유되며, 그 길이는 가변적이다.

초기에는 적은 슬롯 수의 부프레임을 사용하다가, 충돌 횟수가 증가함에 따라 슬롯의 수를 동적으로 확장해 나가게 된다. 이 부프레임의 길이에 대한 정보는 프레임 beacon을 통해 모든 단말국에 통보된다.

스케줄 beacon은 상하향 링크에서의 슬롯 할당 결과를 통보하는데 사용된다. 이 때 사용되는 슬롯 할당 결과 정보는 상향 또는 하향 링크를 구분하기 위한 2 비트의 필드, 현재 프레임 내에서 하향 링크 슬롯을 할당받은 단말국과 상향 링크 슬롯을 할당받은 단말국의 식별자, VC를 식별하기 위한 VCid 필드, 그리고 할당된 슬롯의 수를 나타내는 필드로 구성된다.

경쟁 기반 예약 요청 방식을 채택할 경우 충돌시 재전송으로 인하여 야기될 수 있는 단말국 전력의 소모를 고려하여, EC-MAC 프로토콜에서는 각 단말국에 대해 예약 제어 부프레임 내의 슬롯을 한 개씩 고정적으로 할당함으로써 경쟁 없이 예약을 수행할 수 있다. 기지국은 프레임 전반부의 프레임 beacon을 통해 현재 호가 진행 중인 모든 단말국들의 리스트와 예약 요청 순서를 모든 단말국에 통보하고, 각 단말국은 이를 근거로 예약 제어 부프레임

내에 지정된 슬롯을 이용하여 예약 요청을 수행한다.

상하향 링크에서의 슬롯 할당 결과는 스케줄 beacon을 통해 통보된다. 이 때 슬롯이 할당된 각 단말국과 해당 가상 연결(VC)은 상향 및 하향 링크 구분을 위한 2비트에 의해 식별된다. 일반적으로 상향 링크의 각 슬롯들은 여러 개의 다른 단말국들로부터 발생하므로 이 때 각 단말국 별로 비트 동기화와 채널 등화를 위한 오버헤드 비트들이 추가되어야 한다. 만일 각 단말국에 대해 1개 단위로 슬롯을 할당할 경우, 이와 같은 오버헤드로 인하여 대역 효율성이 심각하게 저하될 수 있다¹⁾. 또한, 상향 및 하향 링크 간의 교체 시간(turn-around time) 및 각 단말국이 휴지 상태에서 활성 상태로 돌아오는데 필요한 스위치 시간(turn-on time)을 최소화해야 한다. 따라서, 대역 및 단말국의 전력 효율 측면, 그리고 교체 시간 및 스위치 시간의 최소화 관점에서 볼 때 가능하면 여러 개 슬롯을 하나의 연속적인 버스트로 할당하는 것이 바람직하다.

EC-MAC 프로토콜에서는 프레임 내의 상향 및 하향 링크 데이터 부프레임을 CBR, VBR, 그리고 UBR 트래픽 전송을 위한 3개의 구간으로 구분한다. 기지국은 현재 각 단말국 버퍼에서의 대기 행렬 상태와 그 전 프레임에서 각 VC별로 할당한 슬롯의 수를 예약 요청 테이블(request table)에 기록한다. 각 단말국은 매 예약 요청 구간마다 버퍼의 대기 행렬 상태를 전송하여 기지국의 예약 요청 테이블을 갱신한다. 기지국은 우선 현재 호가 진행 중인 CBR 단말국과 새로운 CBR 호에 대하여 슬롯 할당을 위한 스케줄링을 수행한 후 그 결과를 예약 요청 테

1. 무선 채널을 통해 약 20Mbps의 속도로 전송할 때 각 버스트 단위로 요구되는 동기화 비트의 수는 400~500 비트 정도로 추정된다.

이블에 기록한다.

CBR 호에 대한 슬롯 할당 후, 기지국은 VBR 호에 대해 다음과 같이 동적 슬롯 할당을 수행한다. 기지국은 우선 그 전 프레임에서 각 VC에 대해 몇 개의 슬롯이 할당되었는지를 확인하고, 새로 갱신된 버퍼에서의 대기 행렬 상태를 근거로 새로 발생한 트래픽으로부터의 요청 슬롯의 수가 그 전 프레임에서 할당한 총 슬롯의 수보다 크지 또는 작은지 여부를 결정한다. 만일 이 값이 작다면, 기지국은 이전 프레임에서 각 VBR 단말국에 할당한 슬롯의 수를 감소시킨다. 이와 같이 감소된 값을 이용하여 잔여 VBR 슬롯의 수를 계산한 후, 이전 전송 프레임 구간에서 전송되지 못하고 버퍼에 패킷이 남아있는 단말국에 한해 균일하게 배분한다. 한편, 그 반대의 경우에는 이전 프레임에서 각 단말국에 할당했던 슬롯의 수에서 일정한 수만큼 삭감하여 할당한다.

UBR 단말국에 대해서는, CBR 및 VBR 단말국에 대한 슬롯 할당 후에 남은 슬롯을 UBR VC간에 균일하게 배분한다.

IV. 무선 ATM 망에서의 매체 접근 제어 방식의 비교 분석

4.1 무선 ATM에서의 MAC 프로토콜 특성 요소

무선 MAC 프로토콜은 물리 계층에서의 무선 접속 방식(CDMA, TDMA 또는 FDMA 방식)에 따라 전송률과 채널 공유 방식, 그리고 슬롯 할당 절차 및 구조 등이 달라질 수 있다. 한편, 이중화 방식(TDD 또는 FDD 방식)에 따라 MAC 프레임의 구조와 슬롯 할당 방식 등이 달라질 수 있지만, 궁극적으로 MAC 프로토콜의 가장 기본적인 골격을 결정하는 요소는 사용자간에 상향 링크를 공유하기 위한 패킷 다원 접속 방식이 된다. 따라서, 무선 ATM에서의 MAC 프로토콜을 구성하는 특성 요소(attributes)로서 다음과 같은 항목들을 고려해야 한다.

- 무선 접속 방식(Wireless Access Schemes)
- 이중화 방식(Duplexing Schemes)

• 패킷 다원 접속 방식(Packet Multiple Access Schemes)

• 슬롯 할당 방식(Slot Assignment Schemes)

한편, 예약 기반 다원 접속 방식의 경우에는 구체적인 예약 요청 방식을 MAC 프로토콜의 주요 특성 요소로서 구분할 수 있다. 이때, 단말국의 버퍼가 빈 상태에서(예를 들어, 단말국이 비활성 상태에 있는 경우) 새로 출현하는 각 버스트의 첫번째 셀과 나머지 셀들을 어떻게 전송하느냐에 따라 다른 형태의 예약 요청 절차가 이루어질 수 있다. 따라서, 다음과 같은 2가지 항목을 특성 요소로 추가한다.

• 버스트의 첫번째 셀에 대한 예약 요청

• 버스트의 나머지 셀에 대한 예약 요청

또한, 상향 링크를 통해 동적 슬롯 할당에 필요한 dynamic parameter를 전송하고, 하향 링크를 통해 슬롯 할당 결과를 통보하는 시그널링 방식에 따라 MAC 프로토콜의 동작 형태와 프레임 구조가 달라질 수 있다. 따라서, 다음과 같이 상향 및 하향 링크에서의 시그널링 형태를 MAC 프로토콜의 특성 요소로 포함한다.

• 상향 링크에서의 시그널링 형태

• 하향 링크에서의 시그널링 형태

이와 같은 고려 사항을 포함하여 무선 ATM의 MAC 프로토콜 설계에서 고려해야 할 사항을 특성 요소(attribute)별로 표 1에서 정리하였다. 이와 유사한 분류는 참고문헌 [18]을 참조할 수 있다. 이 특성 요소들은 각종 MAC 프로토콜들을 특징에 따라 분류하고, 장단점을 상호 비교하기 위한 기본적인 틀로서 활용될 수 있다.

4.2 무선 ATM을 위한 MAC 프로토콜의 비교 분석

(1) 프로토타입 무선 ATM 시스템에서의 MAC 프로토콜 구현 형태의 고찰

무선 LAN을 포함한 무선 ATM MAC 프로토콜에 대한 상호 비교 분석은 참고문헌 [18]을 참조할 수 있다. 본 고에서는 무선 ATM 프로토타입 시스템에서 적용된 MAC 프로토콜들을 앞 절에서 제시한 특성 요소들을 중

표 1. MAC 프로토콜의 특성 요소(attributes) 및 설계 고려 사항

특성요소	분 류		분류 형태 및 고려 사항
망 구성 (Infrastructure)	기지국 중심망/ Ad-hoc 망		각 단말간의 통신이 기지국(Base Station 또는 Access Point)을 통해 이루어지기 위한 기반망(Infrastructure)의 존재 유무에 따라 구분됨. 동적 슬롯 할당을 위해서는 기지국 중심의 망 구성이 효율적임.
접속 방식	FDMA/TDMA/CDMA/ 혼합		CDMA 방식은 고속 전송시 높은 칩률(chip rate)로 인해 시스템의 복잡도가 높아 짐. 또한, 밀리미터파 대역에서의 많은 가용 대역에 따라 CDMA 방식의 주파수 효율성으로 인한 장점이 상대적으로 미약해짐. 따라서, 고속 전송 모델 구현에 적합한 FDMA/TDMA 복합 방식을 우선적으로 고려함
이중화 (Duplexing) 방식	Frequency Division Duplexing (FDD)/ Time Division Duplexing (TDD)		FDD 방식은 모델 설계가 단순해지는 장점이 있는 반면, 모델의 송수신 기능 구현이 이중화되어야 하는 단점이 있음. TDD 방식은 송수신간의 turn-around time에 의한 오버헤드가 있는 반면 송수신간 비대칭적인 트래픽 부하에 따라 상하간 프레임 경계를 적응적으로 결정함으로써 효율적인 통계적 다중화를 실현할 수 있음.
패킷 다원 접속 방식	비경쟁(Collision-free) 방식/경쟁(Contention- oriented) 방식		패킷 전송시 충돌이 없는 예약 방식과 완전 경쟁 방식으로 구분할 수 있음. 예약 방식은 예약 요청에 따라 상향 링크상의 사용 슬롯을 기지국이 미리 통보하는 폴링(polling) 방식임.
슬롯 할당 방식 (Slot Assignment)	수직/수평/혼합 방식		TDMA 슬롯 할당 방식은 다음과 같은 2가지 방식으로 구분할 수 있음. i) 각 프레임 내의 슬롯의 위치를 고정하여 주기적으로 할당하는 방식(Vertical Slot Allocation: VSA) ii) 매 슬롯 단위로 예약하는 방식(Horizontal Slot Allocation: HSA) 무선 ATM에서는 서비스 유형별 트래픽 발생 특성과 요구 사항에 따라 VSA와 HSA를 혼합하는 Hybrid 방식을 적용할 것이며, 통계적 다중화 이득을 극대화하기 위한 동적 슬롯 할당이 수행되어야 함.
예약 요청 (Reservation Request)	버스트의 첫 번째 셀에 대한 예약 요청	경쟁 방식/ 지정 방식/ 폴링 방식/ 직교 신호 방식	단말국이 비활성 상태에서 활성 상태로 천이할 때 발생한 버스트의 첫번째 셀을 전송하기 위한 예약 요청 방식은 다음과 같이 구현이 가능함. i) 상향 링크에 정해진 예약 슬롯(미리 정해진 프레임의 일부 슬롯 또는 빈 슬롯)에서 경쟁에 의해 예약 요청 정보를 전송 (경쟁 방식) ii) 단말국별로 미리 지정된 예약 요청 슬롯에서 경쟁 없이 전송 (지정 방식) iii) 기지국이 일정한 주기로 단말국을 폴링하여 예약 요청을 통보하도록 함 (폴링 방식) iv) 직교 신호(orthogonal signal)을 사용하여 다수 사용자가 동시에 예약 요청을 시도하더라도 기지국이 구분이 가능함(직교 신호 방식)
	버스트의 나머지 셀에 대한 예약 요청	셀 단위 경 쟁/ 버스트 단위 예약	버스트 내의 나머지 셀들도 첫번째 셀과 동일하게 취급하여 셀 단위로 전송하는 방법(contention-oriented의 경우)과 첫번째 셀의 전송이 성공하면 나머지 셀들은 polling에 의해 일정시간 동안 또는 burst의 마지막 셀이 전송될 때까지 기지국에서 할당하는 슬롯에 의해 전송하는 방법(burst reservation)으로 구분할 수 있음. Bursty 트래픽에 대해서는 버스트 단위 예약 방식이 적절하나 구체적인 예약 방식은 슬롯 할당 방식에 의해 결정됨.
시그널링 (Signaling)	하향 링크	슬롯 단위/ 프레임 단위	가상회선 또는 단말국 단위로 슬롯 할당 결과를 하향 링크 신호에 의해 통보되어야 하는데 이때 모든 신호를 그룹화하여 매 프레임(신호주기) 당 전송하는 per frame 신호 방식과 매 슬롯마다 독립적으로 통보하는 per slot 신호 방식으로 구분할 수 있음.
	상향 링크	In-band/ Out-of-band 시그널링	스케줄링에 필요한 dynamic parameter를 상향 링크로 전송되는 셀에 piggybacking하는 in-band 신호 방식과 상향 링크에 지정된 신호 슬롯을 이용하여 파라미터를 전송하는 out-of-band 신호 방식으로 구분됨.

심으로 상호 비교 요약한 결과를 표 2에 제시하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 대부분의 프로토콜들이 슬롯 할당 방식, 프레임 구조 및 시그널링 형태 등에서만 약간의 차이를 보일 뿐 동적 예약(dynamic reservation) 방식 TDMA라는 동일한 개념에 기초를 두고 있다. 또한, 상하향 링크 간의 비대칭적인 트래픽 부하에 따라 상하향간 프레임 경계를 적응적으로 결정함으로써 대역 효율성을 향상시킬 수 있는 Time Division Duplexing (TDD) 방식을 적용하는 것이 가장 일반적인 형태임을 알 수 있다. 한편, 신호 방식도 거의 대부분 프레임 단위로 수행되며, 슬롯 할당 결과, 경쟁에 대한 확인응답, 그리고 데이터 링크 제어 정보 등을 전송하는 프레임의 구조에서만 약간의 차이가 있을 뿐이다.

궁극적으로 이와 같이 유사한 MAC 프로토콜간 성능과 구현상의 차별화는 슬롯 할당 방식의 구현 형태에 의해 결정된다. 따라서, 다음 V절에서는 기존의 MAC 프로토콜에서 제안된 슬롯 할당 방식들을 상호 비교함으로써 각

방식의 장단점을 보다 구체적으로 이해하고자 한다.

(2) 기존 제안된 MAC 프로토콜의 구조적 장단점

전력 효율성과 대역 효율성을 확보하기 위한 구조적인 측면에서 기존 제안된 무선 MAC 프로토콜간에 몇 가지 차이점을 찾아볼 수 있다. 전력 효율성 측면에서 볼 때, 단말국에서의 전력 소모를 최소화하기 위해 다음 3가지 접근 방안들을 고려할 수 있다.

- 각 단말국 별로 별도의 예약 요청 슬롯을 지정함으로써 경쟁 및 재전송으로 인한 전력 허비 가능성을 제거함 (예: EC-MAC).
- 프레임 단위로 상향 및 하향 링크에서의 슬롯 할당 결과를 통보함으로써 프레임 주기로 단말국이 sleep 모드로 동작할 수 있음 (예: DSA+, MASCARA 등).
- 한 단말국에 할당된 여러 개 슬롯을 하나의 연속적인 버스트(연속 슬롯의 통합 버스트)로 전송함으로써 오버헤드 처리에 대한 전력 소모를 최소화함 (예: MASCARA, MDR-TDMA).

표 2 무선 ATM 프로토타입 시스템에서의 MAC 프로토콜 비교 요약

시스템	MAC 프로토콜	다중접속/ 이중화	패킷다원 접속 방식	예약요청 방식	프레임 길이	상하향 링크 프레임 길이	슬롯 할당 결과의 통보
MBS (9)	DSA, DSA+: Dynamic Slot Assignment	TDMA	동적 예약 방식	경쟁 / 폴링	DSA: 고정 DSA+:가변	not specified	DSA: 슬롯 단위 DSA+: 프레임 단위
MEDIAN (10)	Dynamic PRMA: Packet Reservation Multiple Access	TDMA /TDD	동적 예약 방식	경쟁	고정	가변 (Adaptive TDD)	프레임 단위
Magic WAND (25)	MASCARA: Mobile Access Scheme based on Contention And Reservation for ATM	TDMA /TDD	동적 예약 방식	경쟁	가변	가변 (Adaptive TDD)	프레임 단위
BAHAMA (26)	DQRUMA: Distributed Queue Request Update Multiple Access	TDMA /TDD	동적 예약 방식	경쟁	고정	not specified	슬롯 단위
WATMnet (27)	MDR: Multiservice Dynamic Reservation	TDMA /TDD	동적 예약 방식	경쟁	고정	트래픽 클래스 간 가변 프레임 길이	프레임 단위
SWAN (28)	EC-MAC: Energy Conserving MAC	TDMA /TDD	동적 예약 방식	비경쟁	고정	가변	프레임 단위

한편, 대역 효율성 측면에서 볼 때는 다음과 같은 측면들을 고려할 수 있다.

- 중앙 집중식 스케줄링에 의해 동적 슬롯 할당을 수행함 (예: DSA, DORUMA 등)
- 트래픽 부하에 따라 프레임의 길이를 가변화하여 동적 슬롯 할당 효율성을 극대화할 수 있음 (예: MASCARA).
- 시분할 이중화(TDD)에 의해 상향 및 하향 링크의 프레임 경계를 조절하여 상향 링크에서의 트래픽 불균형에 따른 슬롯 할당의 비효율성을 제거할 수 있음 (예: MASCARA, EC-MAC 등).
- 한 단말국에 할당된 여러 개 슬롯을 하나의 연속적인 버스트 (연속 슬롯의 통합 버스트)로 전송함으로써 동기화 및 기타 오버헤드를 최소화할 수 있음 (예: MASCARA, MDR-TDMA).

V. 무선 ATM 망에서의 슬롯 할당 방식

5.1 무선 ATM에서의 통계적 다중화를 위한 동적 슬롯 할당의 개념

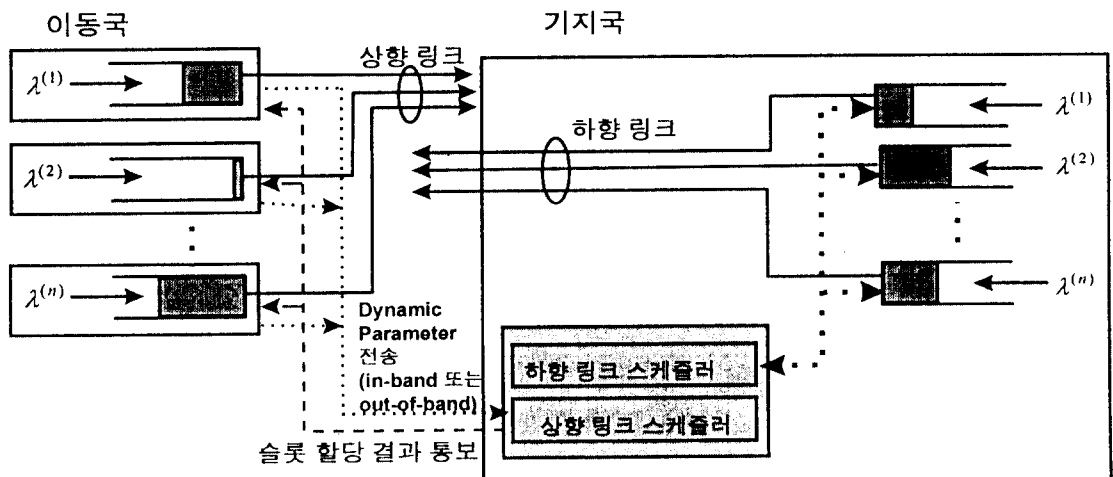
제 IV절에서 살펴본 바와 같이 무선 ATM을 통해 기존 유선 ATM 망에서 정의된 서비스 품질을 만족하면서 비트 발생률이 가변적인 서비스 트래픽을 효율적으로 수용

하기 위한 접속 방식으로 동적 예약 기반의 MAC 프로토콜을 고려할 수 있다. 이때, QoS 및 전송률 요구 사항이 다양한 서비스 트래픽들에 대해 ATM이 추구하는 bandwidth-on-demand를 실현하기 위해서는 무선 구간에서 통계적 다중화를 구현할 수 있어야 한다.

유선 ATM 망에서는 통계적 다중화 자체가 bandwidth-on-demand를 실현하는 수단이 된다. 그러나, 무선 ATM 망의 경우에는 분산된 단말국으로부터의 트래픽 발생 상황을 직접적으로 파악할 수 없기 때문에 실질적인 통계적 다중화가 이루어질 수 없다. 따라서, 목표로 하는 무선 구간에서의 통계적 다중화를 실현하기 위해서는 중앙의 기지국에 의해 동적 슬롯 할당을 수행할 수 있는 스케줄링 기능이 제공되어야 한다. 즉, 기지국의 스케줄러는 각 단말국의 트래픽 특성에 따른 대역 요구 사항을 신속 정확하게 파악하여, 각 단말국의 요구 품질을 만족하면서 사용 가능한 슬롯들을 요구에 따라 전체 단말국간에 효율적으로 배분하는 동적 슬롯 할당을 수행해야 한다. 따라서, 무선 ATM에서의 이와 같은 동적 슬롯 할당은 통계적 다중화를 실현하는 수단으로서 뿐만 아니라, 각 단말국의 QoS 요구 사항을 만족하기 위해 필요한 자원을 관리하는 역할을 한다. 또한, 이와 같은 역할은 자원 관리 측면에서 호 수락 제어와도 매우 밀접한 관계가 있다.

동적 슬롯 할당을 구현하기 위해서는 각 단말기들의 트래픽 상황을 나타내는 파라미터와 이에 관련된 제어 정보를 주고 받을 수 있는 시그널링 체계가 요구된다. 이와

그림 11. 동적 슬롯 할당을 위한 시그널링 체계



같은 시그널링 체계를 도식화하면 그림 11과 같다. 각 단말기들은 최초 호 설정 단계에서 서비스 트래픽 부류에 의해 결정되는 static parameter와 호 진행 중 버퍼의 대기 행렬 길이와 잔여 수명 등의 변화를 나타내는 dynamic parameter를 통해 자신의 대역 요구 상황을 기지국에 알려주어야 한다. 이때 사용되는 슬롯 할당 알고리즘에 따라 이러한 파라미터 정보의 종류와 설정 방법이 결정되어야 한다. 또한, 이와 같은 dynamic parameter를 전송하기 위해서는 효과적인 신호 방식이 요구되며, 이는 크게 in-band와 out-of-band방식으로 구분된다. In-band 신호 방식(예를 들어, ATM 셀 헤더의 GFC 필드를 이용하여 dynamic parameter를 전송하는 경우)은 상향 링크로 전송되는 셀에 piggybacking 함으로써 적시에 필요한 정보를 전송할 수 있으나, 전송할 수 있는 정보량을 극히 제한해야 하는 단점이 있다.

한편, out-of-band 신호 방식은 많은 정보를 전송할 수 있으나, 일반적으로 지정된 신호 슬롯(예를 들어, RACH 슬롯)을 경쟁에 의해 접근해야 하므로 적시에 정보를 전송할 수 없는 경우가 발생한다. 이는 시그널링에 소요되는 대역의 제한성 및 신호 프로토콜의 효율성 등과 연계된 사안으로서 이에 대한 최적화가 수행되어야 한다.

5.2 제안된 슬롯 할당 방식의 사례 비교

무선 ATM에서의 대역 할당 방식은 각 서비스별 트래픽 발생 특성과 QoS 요구 사항을 기반으로 수행되어야 하며, 이와 같은 통합 서비스를 지원하기 위해서는 VBR 트래픽 및 실시간 전송 지연 시간을 요구하는 서비스에 대한 동적 슬롯 할당과 각 서비스 클래스에 따른 슬롯 할당 우선권이 설정되어야 한다. 이와 같은 동적 슬롯 할당을 수행하기 위해서는 각 단말국의 트래픽 발생률과 버퍼에서의 대기 행렬 상태 등과 같이 대역 할당에 필요한 dynamic parameter의 내역을 결정하고, 이를 in-band 또는 out-of-band 방식으로 전송할 것인지를 결정해야 한다. 따라서, 슬롯 할당 방식의 비교 분석에 필요한 특성 요소로서는 크게 서비스 트래픽별 할당 방식과 동적 대역 할당을 위한 기초 정보로서의 dynamic parameter (DP)를

들 수 있다. 또한, 이와 같은 dynamic parameter의 전송 주기도 대역 할당 방식의 중요한 특성 요소가 될 수 있다.

기존 연구에서 제안된 무선 ATM에서의 동적 슬롯 할당 방식을 특성 요소별로 상호 비교하여 표 3에서 요약하였다. 또한, 표 4에서는 dynamic parameter의 사용 형태에 따라 슬롯 할당 방식을 분류하고, 각 방식들의 장단점을 요약하였다. 표 4에서 EOF는 버퍼에 대기하던 마지막 패킷을 전송할 때, 기지국으로 하여금 버퍼가 비어 있음을 통보하기 위한 End of File 메시지를 의미한다. 또한, explicit DP와 implicit DP는 각각 단말국 버퍼의 대기행렬 및 지연 시간 등과 같은 동적 슬롯 할당에 필요한 정보를 완벽하게 통보하는 경우와 그 정보의 일부만 제한적으로 통보하는 경우를 구분한 것이다.

5.3 무선 ATM 구현을 위한 슬롯 할당 알고리즘의 설계 고려 사항

무선 ATM을 위한 슬롯 할당 알고리즘의 요구 사항을 ATM 요구 사항과 무선 ATM MAC 요구 사항간의 상호 관계로 나타내면 그림 12와 같이 도식화할 수 있다. 그림 12에서 암시하는 바와 같이 슬롯 할당 알고리즘은 분산된 단말국으로부터 제공되는 dynamic parameter를 기반으로 동적 슬롯 할당을 수행함으로써 ATM 요구 사항을 궁극적으로 만족할 수 있다. 따라서, 본 절에서는 이와 같은 동적 슬롯 할당과 dynamic parameter에 대한 요구 사항을 중심으로 무선 ATM을 위한 슬롯 할당 알고리즘의 설계 방향에 대하여 살펴 본다.

그림 12 슬롯 할당 알고리즘의 요구 사항

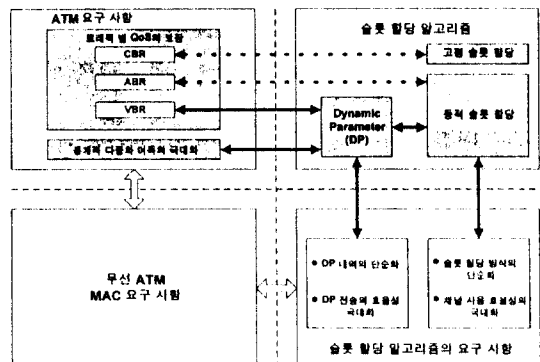


표 3. 슬롯 할당 방식의 비교

할당 방식	서비스 트래픽별 할당 방식			Dynamic Parameters	
	CBR	VBR	UBR/ABR	DP	DP 전송 (전송 주기)
DSA/ DSA++	서비스 트래픽별 할당을 별도로 고려하지 않음. Static parameter 와 dynamic parameter 를 이용하여 단말국별로 계산된 우선권 순위에 따라 슬롯 할당			end-flag, 대기행렬의 길이, 잔여수명	In-band: 상향 링크에서의 piggybacking out-of-band: 경쟁 또는 폴링 방식 (대기행렬의 수준이 일정한 범위가 넘거나 또는 일정한 주기 내에 DP 가 전송되지 않을 경우에 사용)
BoD- FSRR	단말의 전송률에 따라 공정한 슬롯 공유를 위한 round-robin 방식의 슬롯 할당			버퍼에서 대기하는 패킷의 수	Out-of-band: 경쟁 방식 In-band: piggybacking 슬롯을 통해 경쟁 없이 전송
EP-SA	고려하지 않음	In-band 신호: 버퍼 상태 변화 정보를 이용한 슬롯 요구량 추정 및 조정(proration)	고려하지 않음	2 비트로 버퍼의 변화량 표시	In-band: 상향 링크에서의 piggybacking (슬롯 단위)
		Out-of-Band 신호: 단말국이 버퍼의 길이와 프레임 당 도착물의 합으로 슬롯 요구량을 설정한 후, 기지국에 조정함(proration)			Out-of-band: 경쟁 또는 폴링 (프레임 단위)
EC- DRSA	고려하지 않음	음성: 활성 상태시 1개의 T-slot 할당을 고정적으로 할당, 비활성 상태시는 슬롯을 반환. 버퍼의 길이가 일정 수준 이하인 비디오 단말에 대해 높은 우선권을 가짐.	nrt-UBR: 유휴 슬롯의 할당(non-preemptive)	음성 서비스 단말의 마지막 셀 여부 (End_flag)	In-band: 음성 단말국 버퍼에서 대기 중이던 마지막 패킷이 전송될 때마다 End_flag 를 전송함
		비디오: 동가 대역을 기준으로 슬롯을 할당하되, 버퍼의 길이가 일정 수준 이하인 단말은 음성 단말에 슬롯을 양보할 수 있음		대기행렬의 길이 (Buff_flag=0,1,2)	In-band: MAC PDU 에서 SIG 영역을 통해 전송
PNP Polling	기지국에서 각 단말국 단위로 트래픽 특성에 따라 주기적으로 폴링 토르른을 발생하고, 폴링 토르른이 존재하는 해당 단말국을 폴링함. VBR 트래픽의 경우, EOF 파라미터에 의해 폴링 토르른을 제거함으로써 슬롯 허비를 방지함.		유휴 슬롯에 한하여 그룹별 랜덤접속(A-GRAP)	EOF (end-of-file)	VBR 트래픽 단말국 버퍼에서 대기 중이던 마지막 패킷이 전송될 때마다 EOF 신호를 전송함.
N-FGL Polling	고려하지 않음	가상 동가 대역을 기반으로 각 서비스 별 폴링 주기와 그 폴링 주기 동안 최대 할당 가능 슬롯의 수를 결정함.		해당 사항 없음	해당 사항 없음
D- RAMA	서비스 트래픽별 할당을 별도로 고려하지 않음. 단말국이 갖는 dynamic priority 를 TRAMA 와 FRAMA 알고리즘을 적용해 슬롯 할당			Dynamic Priority 코드	Out-of-band: BANDWIDTH_REQ 메시세를 통해 전송

- DSA: Dynamic Slot Assignment [9]
- BoD-FSRR: Bandwidth-on-Demand Fair Sharing Round Robin [12]
- EP-SA: Estimation-Prorated Slot Assignment [8]
- EC-DRSA: Equivalent Capacity-based Dynamic Release Slot Assignment [19]
- PNP Polling: Polling with Non-preemptive Priority Polling [20]
- N-FGL Polling: Non-uniform Fully Gated-Limited Polling [21]
- D-RAMA: Dynamic Priorities Fair Resource Auction Multiple Access [22]
- A-GRAP: Adaptive Group Randomly Addressing Polling [20]

(1) 동적 슬롯 할당의 단순성 및 효율성

동적 슬롯 할당 알고리즘은 최소의 대역으로 각 트래픽의 QoS를 보장할 수 있는 한편, 슬롯 할당 절차의 단순성을 고려하여 설계되어야 한다. 이때, 각 서비스의 트래픽 발생 특성을 고려함으로써 슬롯 할당을 단순화할 수 있다. 특히, 트래픽 발생이 동시적인 CBR 트래픽의 경우에는 주기적인 폴링 또는 고정적인 슬롯 할당을 적용함으

로써 요구하는 전송 속도와 지연시간을 만족시킬 수 있으므로 별도의 복잡한 동적 슬롯 할당 알고리즘을 요구하지 않는다. 참조문헌 [20]에서는 CBR 소스의 수에 따라 최대 허용 가능 지연 편차(maximum tolerable jitter)를 만족할 수 있는 충분 조건을 유도하였으며, 이 조건에 따라 호 수락 제어를 할 수 있다면 주기적인 슬롯 할당에 의해 CBR 단말국의 품질을 만족할 수 있다.

표 4. Dynamic Parameter (DP)의 사용 형태에 따른 분류 및 장단점 비교

DP의 사용 형태에 따른 분류			할당 방식	장점	단점
EOF 을 사용하는 경우	DP 를 사용하는 경우	Explicit DP	DSA	· 동적 우선권에 따라 모든 트래픽을 통합된 다중화의 틀에서 수용할 수 있음 · VBR 트래픽의 순시적 역동성을 반영할 수 있음	· 지속적인 DP의 전송이 요구됨 · 우선권 설정을 최적화해야 함 · DP 전송의 지연이 동적 슬롯 할당 성능에 직접적으로 영향을 미침
			EP-SA (out-of-band)	· 단말국에 의해 대역 요구 사항을 정확하게 보고할 수 있음 · VBR 트래픽의 순시적 역동성을 반영할 수 있음	
			D-RAMA	· 동적 우선권에 따라 모든 트래픽을 통합된 다중화의 틀에서 수용할 수 있음 · VBR 트래픽의 순시적 역동성을 반영할 수 있음	
	Implicit DP	EC-DRSA	· VBR 트래픽에 등가 대역을 고정적으로 할당함으로써 슬롯 할당을 단순화함 · 우선권에 따라 동적 슬롯 해제를 통해 대역 효율성을 극대화할 수 있음	등가 대역의 고정적 할당으로 VBR 트래픽의 역동성에 제한적으로 대응함	
		EP-SA (in-band)	In-band 시그널링을 통해 DP 전송 지연 시간을 최소화할 수 있음	제한된 DP 정보로 인하여 VBR 트래픽의 순시적 역동성을 추정해야 함	
DP 를 사용하지 않는 경우		PNP Polling	· 비주기적 고정 할당을 통해 폴링 오버헤드를 최소화할 수 있음	VBR 트래픽의 폴링 주기를 최적화해야 함	
EOF 를 사용하지 않는 경우			N-FGL Polling	· DP 를 사용하지 않음 · 비주기적 고정 할당을 통해 폴링 오버헤드를 최소화할 수 있음 · 가장 등가 대역을 통해 평균 셀 손실률과 지연 시간을 보장할 수 있음	VBR 트래픽의 순시적 역동성을 반영할 수 없음

그러나, VBR 트래픽의 경우에는 트래픽 발생률의 순시적인 변동 특성과 QoS 요구 사항을 동시에 고려하여 최적 슬롯 할당이 수행되어야 무선 구간에서의 통계적 다중화 이득을 극대화할 수 있다. VBR 트래픽에 대해 구현의 단순성과 QoS 보장 문제를 동시에 고려한 접근 방법인 등가 대역(Equivalent Capacity) 개념을 도입함으로써 트래픽의 특성 및 QoS 요구 사항에 의해 결정된 등가 대역을 고정적으로 할당하거나 또는 주기적인 폴링을 적용할 수 있다 [19, 20]. 특히, 폴링 방식의 슬롯 할당에서는 이와 같은 트래픽 별 등가 대역 기반의 주기적 할당을 통해 폴링에 따른 오버헤드를 극소화할 수 있다 [21]. 이와 같은 등가 대역 기반의 고정 할당은 슬롯 할당을 단순화하면서 장기간 평균의 관점에서 요구 QoS를 만족시킬 수 있으나, VBR 트래픽의 순시적인 역동성을 반영할 수 있는 부가적인 절차가 고려되어야 한다. 예를 들어, EC-DRSA 방식의 경우에는 음성과 비디오가 통합된 서비스 환경에서 버퍼의 대기 행렬이 일정 수준 이하인 비디오에 할당된 슬롯을 동적으로 해제하여 음성 서비스에 할당함으로써 대역 사용 효율을 극대화하는 방법을 사용한다. [19].

한편, 지연 시간에 대한 요구 사항이 엄격하지 않은

ABR 또는 UBR 트래픽은 CBR 및 VBR 트래픽에 대한 슬롯 할당 후의 잔여 슬롯에 대하여 경쟁 또는 비경쟁 방식으로 자원을 공유할 수 있다. 이 때, ALOHA 프로토콜과 같은 완전 분산 방식을 통해 대역 할당을 극히 단순화할 수 있는 반면, 채널의 수율을 극대화하기 위해서는 보다 복잡한 예약 방식으로 구현될 수도 있다. 이와 같이 지연 시간에 민감하지 않은 데이터 트래픽에 대한 접속 방식은 기존의 무선 매체 접근 제어에서 오랫동안 다루어져 온 이슈이다. 그러나, 매 프레임 단위로 가용한 슬롯의 수가 시변적인 상황을 고려 할 경우 랜덤 접속 프로토콜의 최적화가 요구된다. 예를 들어, 참조문헌 [20, 23]에서 제안된 GRAP (Group Randomly Addressed Polling) 및 A-GRAP (Adaptive GRAP) 알고리즘은 다중 슬롯 구조에서 ALOHA 프로토콜의 수율을 극대화하기 위한 접근 방법 중의 하나로 볼 수 있다.

(2) Dynamic Parameter (DP) 내역의 단순성 및 전송 효율성

동적 슬롯 할당을 구현하기 위해서는 단말국의 트래픽 발생 특성을 반영할 수 있는 DP를 기반으로 하여 요구

슬롯의 수를 추정할 수 있어야 한다. 이 때 적용되는 슬롯 할당 알고리즘은 스케줄링에 필요한 DP의 내역을 가능한 한 단순화함으로써 무선 접속 구간에서의 전송 효율성을 극대화할 수 있어야 하며, 시변적인 슬롯 요구량을 적시에 반영할 수 있는 DP 전송 방안도 동시에 고려되어야 한다. DP 전송 지연이 발생할 수 있는 요인은 크게 2가지 경우로 볼 수 있으며, 이에 대한 해결 방안을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 상향 링크에 지정된 슬롯을 통해 경쟁 방식으로 패킷을 전송할 때, 경쟁에 따른 지연 시간이 발생하는 경우이다. 이 경우에는 전송 지연 시간을 보장하기 위한 방안으로서 폴링, 단말국별로 고정된 DP 전송 슬롯의 할당, 또는 DP의 변화량이 일정한 수준이 넘을 경우에만 DP를 전송하는 제한적인 경쟁 방식 등을 적용함으로써 DP 전송의 효율성을 확보할 수 있다.

둘째, in-band 시그널링에 의해 piggyback하여 DP를 전송하는 경우에는 특정 단말국의 상향 링크에서 슬롯 할당이 이루어지지 않는 상황이 발생할 수 있으며 (예를 들어, 버퍼의 마지막 패킷이 전송된 후), 이에 따라 DP를 전송할 수 없는 문제가 발생할 수 있다. 이와 같이 DP 전송이 이루어지지 않으면 새로운 슬롯 할당이 이루어지지 못하고, 결과적으로 DP 전송을 위한 슬롯을 계속해서 할당받을 수 없는 최악의 상황으로 귀착될 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 방안으로서 piggyback할 수 없는 상황에서는 in-band 시그널링과 polling 방식을 결합하여, 단말국이 지정된 슬롯을 통하여 주기적으로 DP를 전송할 수 있도록 하는 것이다.

한편, polling 방식 대신 단말국에서 추정한 DP의 변화 폭이 일정 수준을 넘게 되면 경쟁 방식에 의해 지정된 슬롯을 통해 제한적으로 DP를 전송하는 방식을 in-band 시그널링과 결합하는 것도 가능하다. 또한, 화상 회의 등과 같은 비디오 응용 트래픽의 경우에는 sustained bit rate에 의해 결정된 일정한 수의 슬롯을 최소한으로 할당함으로써 항상 DP를 piggyback할 수 있는 상황을 유지할 수 있다.

위의 2가지 요구 사항을 동시에 고려할 때, 슬롯 할당 알고리즘은 DP에 대한 의존도를 가능한 최소화하면서 최소의 대역으로 각 트래픽의 QoS를 보장할 수 있는 방향

으로 설계되어야 한다.

VI. 결론

무선 ATM의 MAC 프로토콜은 독립적으로 분산되어 있는 이동 단말기들을 대상으로 ATM이 추구하는 진정한 의미의 통계적 다중화 기능을 무선 매체를 통해 확장하는 역할을 한다. 이와 같은 MAC 프로토콜을 통해서만 멀티미디어 서비스 특성에 따라 동적으로 변하는 대역 요구 사항과 지연 시간 및 셀 손실 등의 서비스 품질을 동시에 만족시킬 수 있으며, 이동 단말기들에게 무선 채널을 공평하면서도 효율적으로 사용할 수 있는 접속 환경을 제공할 수 있다.

무선 ATM을 통해 기존 유선 ATM 망에서 정의된 서비스 품질을 만족하기 위해서는 동적 예약 기반의 매체 접근 제어 방식이 구현되어야 하며, 무선 구간에서의 이상적인 통계적 다중화 기능을 실현하기 위해서는 서비스별 트래픽 특성에 따라 동적 대역 할당을 수행할 수 있는 효율적인 스케줄링 기능이 제공되어야 한다. 이는 기존의 연구 및 개발 사례들을 통해 보편적으로 인식되고 있는 접근 방법으로서, 궁극적으로 어떤 효율적인 대역 할당 알고리즘을 통해 다양한 서비스를 한 개의 통합된 매체 접근 기반에서 수용할 것인가 하는 문제로 귀결된다.

본 고에서는 기존의 제안된 매체 접근 제어 방식들을 심층적으로 분석 검토하여 동적 예약 기반 TDMA 방식의 통합 구조에 관하여 고찰하였다. 즉, 무선 ATM에서의 MAC 프로토콜은 구조적으로 단말국의 전력 효율성과 통계적 다중화 이득을 극대화하기 위한 대역 효율성을 전체로 설계되어야 하며, 이를 위해 프레임 구조, 슬롯 예약 절차, 버스트 전송 방식, 그리고 동적 슬롯 할당의 구현에 적합한 신호 방식 등에 대하여 살펴보았다. 한편, 무선 구간에서 통계적 다중화 이득을 극대화하기 위해 VBR 트래픽에 대한 동적 슬롯 할당 알고리즘은 각 서비스 트래픽의 QoS를 만족하는 등가 대역을 기반으로 한 비주기적인 폴링 또는 동적 우선권을 기반으로 한 스케줄링 방안이 적절한 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) P802.11/D2.1, Draft Standard IEEE 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications", 4 December 1995.
- (2) ETSI TC-RES, "Radio Equipment and Systems (RES): High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN): Functional Specifications," ETSI, 06921 draft prETS 300 652, July 1995.
- (3) L. G. Roberts, "Dynamic allocation of satellite capacity through packet reservation," Proceedings National Computer Conference (AFIPS), 42, pp. 711-716, June 1973.
- (4) D. J. Goodman and S. X. Wei, "Factors affecting the bandwidth efficiency of packet reservation multiple access," Proceedings of IEEE VTC '89, San Francisco, pp. 292-299, May 1989.
- (5) N. Mitrou et al., "A Reservation Multiple Access Protocol for Microcellular Mobile Communication Systems," IEEE Trans. on Vehicular Technology, pp. 340-351, November 1990.
- (6) N. Amitay and L. Greenstein, "Resource Auction Multiple Access in the Cellular Environment", IEEE Transactions on Vehicular Technology, pps. 1101-1111, November 1994.
- (7) Bruno Comaglia, et. al., "Pros and Cons of three MAC Protocols for Wireless Networks: PRMA+, IEEE802.11, HIPERLAN", ATM_Forum/97-0574, July 1997.
- (8) S.K. Biswas, D. Reiningger and D. Raychaudhuri, "UPC Based Bandwidth Allocation for VBR Video in Wireless ATM Links," Proceedings of IEEE INFOCOM 97, pp. 1073-1079, 1997.
- (9) D. Petras, "Medium Access Control Protocol for wireless, transparent ATM access," Proceedings of IEEE Wireless Communication Systems Symposium, Nov. 1995.
- (10) MEDIAN project AC006, "Draft System Design", March 1996.
- (11) M. J. Karol, Z. Liu, and K. Eng, "Distributed-queuing Request Update Multiple Access (DORUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks", International Conference on Communications (ICC'95) Conference Record, June, 1995, Seattle, USA.
- (12) Z. Liu, M. J. Karol, M. El Zarki, K. Y. Eng., "Time-Frequency Slicing with Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DORUMA) for Multi-rate Wireless Packet (ATM) Networks"
- (13) J. Mikkonen, "The Magic WAND : Overview," Wireless ATM Workshop, Espoo, Finland, Sep. 2-3, 1996.
- (14) D. Raychaudhuri, et. al., "ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Networks", IEEE JSAC., pps. 1401-1414, Oct. 1994.
- (15) P. Narasimhan, et al., "Design and Performance of Radio Access Protocols in WATMnet, a Prototype Wireless ATM Network", Proceedings of IEEE ICUPC'97, pp. 421-428, 1997.
- (16) D. Raychaudhuri, L. J. French, R. J. Siracusa, S.K. Biswas, R. Yuan, P. Narasimhan and C. Johnston, "WATMnet: A prototype wireless ATM system for multimedia personal communications" Proceedings of IEEE ICC'96, pp. 469-477, 1996.
- (17) Krishna M. Sivalingam, et. al., "Low-power Access Protocols Based on Scheduling for Wireless and Mobile ATM Networks", Proceedings of IEEE ICUPC '97, pp. 429-433, 1997.
- (18) D. Sobirk, J.M. Karlsson and L. Falk, "An Overview of Proposed MAC Algorithms for Wireless ATM," http://www.tts.Pth.se/Personal/daniels/papers/nts13_abstract.html.
- (19) Xiaowen Wu, et al., "Dynamic Slot Allocation Multiple Access Protocol for Wireless ATM Networks", Proceedings of IEEE ICC '97, pp. 1560-1565, June 1997.
- (20) Cheng-Shang Chang, et al., "Guaranteed Quality-of-Service Wireless Access to ATM Networks", IEEE JSAC, Vol. 15, No. 1, Jan. 1997.
- (21) N. Movahhedinia, G. Stamatelos and H.M. Hafez, "A Slot Assignment Protocol for Indoor Wireless ATM Networks Using the Channel Characteristics and the Traffic Parameters", Proceedings of IEEE GLOBECOM'95, pp. 327-331, 1995.
- (22) Javier Santivanez G. and J. Roberto. Boisson de Marca, "D-RAMA: A New Deterministic MAC Protocol for Wireless Multimedia Communications", Proceedings of IEEE PIMRC '97, pp. 1059-1063,

- 1997.
- [23] K. C. Chen and C. H. Lee, "Group randomly addressed polling for multi-access wireless data networks," Proceedings of IEEE ICC '94, New Orleans, 1994, pp.913-917; "An update version of GRAP," IEEE Doc. P802, 11/93-106.
- [24] J. E. Dail and et al., "Adaptive Digital Access Protocol: A MAC Protocol for Multiservice Broadband Access Networks," IEEE Communication Magazine, pp.104-112, March 1996.
- [25] J. Mikkonen, "The Magic WAND : Overview," Wireless ATM Workshop, Espoo, Finland, Sep. 2-3, 1996.
- [26] K. Y. Eng et. al., "BAHAMA : A Broadband Ad-Hoc Wireless ATM Local-Area Network," Proceedings of IEEE ICUPC, 1995.
- [27] L. French, "WATMnet : A Prototype Wireless ATM System for Multimedia Personal Communications," Wireless ATM Workshop, Espoo, Finland, Sep. 2-3, 1996.
- [28] P. Agrawal and et al., "SWAN: A Mobile Multimedia Wireless Network," IEEE Personal Communications Magazine, 3(2), April 1996.



강 충 구

- 1987. 6 : Univ. of California, San Diego, Dept. of Electrical Engineering 학사(BS)
- 1989. 9 : Univ. of California, Irvine, Dept. of Electrical & Computer Engineering 석사(MS)
- 1993. 3 : Univ. of California, Irvine, Dept. of Electrical & Computer Engineering 공학박사(Ph.D)
- 1991. 7 ~ 1992. 5 : Aerospace Corp. 연구원
- 1993. 4 ~ 1994. 2 : Rockwell International 연구원
- 1994. 3 ~ 현재 : 고려대학교 전기.전자.전파 공학부 조교수