

무선 ATM망에서 DTDD/PS 접속 프로토콜의 제안 및 성능평가

정희원 임재환*, 김점구**, 정환익***

Propose and Performance Evaluation of DTDD/PS MAC Protocol for Wireless ATM Network

Jae-Hawn Lim*, Jeom-Goo Kim**, Hwan-Ik Chung*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 무선 ATM의 MAC 프로토콜로 DTDD/PS(Dynamic Time Division Duplex using Polling/Selecting scheme)을 제안한다. DTDD/PS 프로토콜에서 기지국의 MAC 제어기는 각 단말의 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위해 각 단말의 순간적인 대역요구의 수용에 초점을 둔다. 이를 위해 기지국에서는 각 단말로부터 동적 매개변수를 받아 이것을 이용하여 각 단말들의 접속 상태를 통제하고 대역을 슬롯 단위로 동적으로 할당한다. 따라서 유선 ATM 보다 낮은 전송률을 갖는 무선 ATM에서 실시간 서비스의 QoS를 만족시킬 수 있게된다. DTDD/PS 프로토콜의 성능을 평가하기 위해서 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 DTDD/PS 프로토콜이 음성, 비디오회의 트래픽이 혼합된 시스템에서 잘 동작되는 것을 알 수 있다. 또한 변형된 PRMA 프로토콜보다 좋은 성능을 제공하는 것을 알 수 있다.

ABSTRACT

In this paper we propose a WATM MAC protocol called DTDD/PS (Dynamic Time Division Duplex using Polling/Selecting scheme). The MAC controller in base station is charged in coordinating terminals for the QoS requirement from each terminal. For that reason, terminals send it's own dynamic parameter represented its status, and controller controls the access of terminals and assigns time slots dynamically using received parameters. Therefore this system can satisfy the QoS of real-time service in wireless environments. To evaluate this protocol simulations are executed. And this protocol is shown to perform well in a system with voice and video conferencing. It is also to provide improved performance over a system with a modified version of the PRMA scheme.

I. 서 론

WATM(Wireless Asynchronous Transfer Mode)의 출현 배경은 ATM 기술을 기반으로 하는 멀티미디어 서비스 망의 확장과 멀티미디어 이동통신서비스에 대한 요구가 증대하면서 광대역 통신망을 무선영역으로 확장하고자 하는 노력의 일환으로 볼

수 있다. 현재 무선 통신망이 음성과 저속의 데이터 서비스를 위주로 한 셀룰러 이동 전화 및 무선 패킷 데이터 망, 그리고 무선 LAN 등을 주축으로 성장하고 있으며, 이와 같은 무선 통신망의 발전에 따라 무선 멀티미디어 서비스에 대한 요구도 증대할 것으로 예상된다. 그러나 현재 이동 전화 시스템의 차세대 시스템으로 고려되고 있는 UMTS(Universal Mobile Telecommunications System)는 이전의 이

* 남서울대학교 멀티미디어학과(ezra@nsu.ac.kr)

** 남서울대학교 컴퓨터학과(jgoo@nsu.ac.kr)

*** 경북대학 전자공학과(hichung@kyungbok.ac.kr)

논문번호 : 99033-0928

접수일자 : 1999년 9월 28일

동 전화 시스템에 비해 높은 대역폭을 제공하지만, 이미 사용되고 있는 ATM 기반의 유선 광대역 시스템 사용자의 증가하는 요구를 만족시키기에는 역부족이라고 판단되고 있다. 이들 사용자는 보장된 QoS(Quality of Service)로 광대역 데이터의 전송을 요구한다. 이에 따라 요구되는 QoS를 보장할 수 있는 광대역 이동 통신을 서비스하는 새로운 형태의 시스템이 요구되었다. 이러한 광대역 무선망의 요구에 따라 많은 연구들이 진행되었거나 진행 중이고, 그 결과 유선 ATM 네트워크를 무선으로 접속하는 것을 목표로 하는 WATM이 고려되고 있다.

일반적으로 WATM단말 사용자는 유선단말 사용자와 같은 기능과 QoS를 요구하므로 WATM의 프로토콜 구조는 일반적인 ATM 다중화기와 같은 동작을 해야 한다. 따라서 그림 1에서와 같이 WATM의 가상 ATM 다중화기의 내부에서 물리계층과 ATM계층 부분이 W-PHY(Wireless Physical Layer) 뿐 아니라 W-LLC(Wireless Logical Link Control)와 W-MAC(Wireless Medium Access Control) 부계층으로 구성된 부가적인 데이터링크계층으로 대체된다. WATM의 가상 ATM다중화기는 각각의 VCC(Virtual Channel Connection)에 대해 모든 ATM 서비스등급의 QoS를 보장할 수 있는 방법으로 무선자원을 공유하는 액세스와 통합되어야 한다. 또한 WATM의 MAC 프로토콜은 협상된 QoS에 따른 공정한 통계적 다중화를 구현해야 한다.^[1]

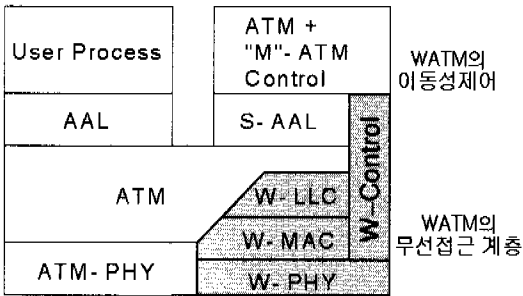


그림 1. WATM의 프로토콜 스택

본 논문에서는 WATM에서 동적 채널할당기법을 이용한 MAC 프로토콜을 제안하고 그 성능을 평가한다. 본 논문에서 제안하는 DTDD/PS(Dynamic Time Division Duplex with Poll/Select scheme) 프로토콜은 동적 채널할당을 통해 다양한 QoS를 갖는 멀티미디어 트래픽을 원활히 서비스하고, TDD(Time Division Duplex) 방식을 사용하여 상/하향

트래픽이 비대칭인 환경에서도 효과적으로 적응되는 특징을 갖는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 프로토콜인 DTDD/PS를 소개하고, 3장에서는 그 성능을 시뮬레이션을 통해서 평가한다. 4장에서는 본 논문의 결론에 대해서 논의한다.

II. DTDD/PS 프로토콜의 제안

2.1 지금까지 연구된 MAC 프로토콜의 비교

무선 ATM 시스템에서 적용된 MAC 프로토콜들을 상호 비교한 결과를 표 1에 제시한다. 표 1에서 보는 바와 같이 대부분의 프로토콜들이 스케줄, 프레임 구조 및 신호 형태 등에서만 약간의 차이를 보일 뿐 동적 예약(Dynamic Reservation) TDMA라는 동일한 개념에 기초를 두고 있다. 이와 같은 동적 예약 TDMA 방식은 ATM에서 요구하는 지연시간에 따른 다양한 QoS를 보장하면서 통계적 다중화를 실현하기 위해서 가장 효율적인 방법으로 생각된다. 또한, 상/하향링크간의 비대칭적인 트래픽 부하에 따라 상하향간 프레임 경계를 적응적으로 결정함으로써 효율적인 통계적 다중화를 실현할 수 있는 TDD 방식을 적용하는 것이 가장 일반적인 형태이다. 한편, 신호 방식도 거의 대부분 프레임 단위로 수행되며, 슬롯 할당 정보, 경쟁에 대한 확인응답, 그리고 데이터 링크 제어 정보 등을 전송하는 프레임의 구조에서만 약간의 차이가 있을 뿐이다.

그러나 이들 MAC 프로토콜은 고정된 프레임 구조를 갖거나 고정된 시그널링 기간을 갖는 문제를 가지고 있다.

이 경우 예약을 위한 슬롯의 위치가 고정된다. 무선 ATM이 서비스할 실제의 트래픽은 고정된 프레임 구조에 동기 되지 않고 완전히 임의의 주기를 가지고 발생하게 된다. 따라서 이러한 트래픽을 서비스하는데는 고정된 프레임의 구조는 적합하지 않다고 볼 수 있다. 또한 예약용 슬롯의 위치가 고정되어 있으므로 새로운 트래픽이 발생하여 예약을 시도할 때까지 필요 이상의 지연이 생길 수 있고, 한번 예약시도에 실패하면 다시 한 프레임의 시간을 기다려야하는 문제가 발생하게 된다. DSA++의 경우에는 프레임의 구조를 가지고 있지는 않으나, 시그널링 기간을 가지게 되므로 유사 프레임 구조를 갖는다고 할 수 있다.

표 1. WATM MAC 프로토콜의 비교^{2,9)}

| 시스템 | MBS | MEDIAN | Magic WAND | SWAN | BAHAMA | WATMnet | ORATM |
|---------------|---------------|----------|------------|----------|---------------|---------------|-----------|
| MAC 프로토콜 | DSA++ | ATDD | MASCARA | EC-MAC | DQRUMA | MDR | OR-MAC |
| 다중접속/이중화 | TDMA | TDMA/TDD | TDMA/TDD | TDMA/TDD | TDMA/TDD | TDMA/TDD | TDMA/TDD |
| 패킷 다중접속 | 동적 예약 방식 | 동적 예약 방식 | 동적 예약 방식 | 동적 예약 방식 | 동적 예약 방식 | 동적 예약 방식 | 동적 예약 방식 |
| 예약 요청방식 | 경쟁/폴링 | 경쟁 | 경쟁 | 경쟁 | 경쟁 | 경쟁 | 경쟁 |
| 프레임길이 | 가변 | 고정 | 가변 | 고정 | 고정 | 고정 | |
| 상하방향 링크 프레임길이 | not specified | 가변 | 가변 | 고정 | not specified | 트래픽 등급간 가변프레임 | not known |
| 슬롯할당 결과의 통보 | 프레임단위 | 프레임 단위 | 프레임 단위 | 프레임 단위 | 슬롯단위 | 프레임 단위 | 프레임 단위 |

2.2 DTDD/PS 프로토콜의 기본개념

본 논문에서 제안하는 DTDD/PS 프로토콜의 기본 개념은 기지국과 단말로 구성된 무선 패킷 망을 하나의 큐잉 시스템으로 고려하는 것이다. 기지국에 있는 MAC 제어기는 각 단말의 QoS를 만족시키기 위해 각 단말로부터의 순간적인 대역요구의 수용에 초점을 둔다. 이를 위해 기지국에서는 각 단말로부터 동적 매개변수를 받아 이것을 이용하여 각 단말들의 접속 상태를 통제하고 슬롯 단위로 대역의 동적인 할당을 한다. 이러한 방법으로 유선 망보다 낮은 전송률을 갖는 무선 패킷 망에서 실시간 서비스의 QoS를 만족시킬 수 있게된다. DTDD/PS의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- ① 예약 방식으로 S-ALOHA를 이용한다. 충돌의 확률을 줄이기 위해 예약용 슬롯은 m개의 미니슬롯으로 나뉘고, 예약용 미니 패킷의 전송에 사용된다.
- ② 예약 패킷의 충돌에 의한 예약의 실패를 빨리 해결하기 위해 기지국은 충돌을 감지한 즉시 예약용 슬롯을 할당하는 빠른 충돌해결 알고리즘을 사용한다.
- ③ 다중화 이득을 최대한으로 하기 위해서 기지국의 스케줄 알고리즘에 의한 중앙집중식 스케줄로 동적인 슬롯 할당을 수행한다.
- ④ 고정 프레임을 사용할 경우의 문제를 해결하기 위해서 가장적인 가변 프레임 구조를 갖는다. 무선 패킷 망이 서비스할 트래픽은 고정된 프레임 구조에 동기 되지 않고 완전히 임의의 주기를 가지고 발생하게 된다. 이러한 트래픽을 고정된 프레임의

구조로 서비스할 경우 예약용 슬롯의 위치가 고정되어 새로운 트래픽이 발생하여 예약을 시도할 때까지 지연이 길어지게 되고, 한 번 예약시도에 실패하면 다시 한 프레임의 시간을 기다려야하는 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 트래픽의 부하에 따라 예약용 슬롯의 빈도를 조절하여 동적 슬롯 할당의 효율성을 극대화한다.

⑤ 동적 TDD 방식으로 상/하향 링크의 대역을 동적으로 관리하여 FDD 방식에서 상/하향 링크의 불균형 트래픽을 서비스할 경우에 생기는 슬롯 할당의 비효율성을 제거한다. 무선 통신 시스템에서 컴퓨터 통신 서비스가 (즉, 전자우편, 파일전송, 데이터베이스 검색 등) 중요한 서비스가 될 것이다. 이들 컴퓨터 통신의 특징은 비대칭적 트래픽을 생성한다는 것이다. 이 비대칭적 트래픽은 전자우편과 같이 단방향 트래픽이거나, 데이터베이스 검색과 같이 각각 다른 양을 갖는 양방향 이중 트래픽으로 정의된다. FDD 방식을 사용할 경우 상/하향 링크에서 다른 주파수를 사용하여 상/하향 링크의 대역폭이 고정되고, 비대칭 트래픽 환경에서는 시스템 전체의 효율이 저하될 우려가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 동적 TDD 방식으로 상/하향 링크의 대역을 통합적으로 관리하고 할당하는 알고리즘을 사용한다.

⑥ 슬롯 단위의 동적인 할당을 통해 폴링/선택 방식에 이용한 즉시 재전송 알고리즘을 사용하여 BER이 높은 무선환경에 대처한다. 무선 패킷 망이 사용하는 무선환경은 높은 BER를 가지므로 채널의

오류를 반드시 고려해야 한다. 대부분의 무선 패킷 망용 MAC에서는 음성 및 영상 트래픽과 같이 지연에 민감한 트래픽은 오류제어 방식으로 FEC(Forward Error Correction)를 사용하고 있으나, 이 경우 많은 오버헤드가 발생하여 대역의 낭비를 초래하게 된다. 이러한 낭비 요소를 없애고자 DTDD/PS에서는 동적인 슬롯할당으로 오류 패킷의 즉시 재전송이 이루어지게 되는데 이 특성은 음성과 같이 지연에 민감한 트래픽이나 BER이 큰 무선환경에서는 특히 중요성을 가진다.

2.3 슬롯의 종류 및 구조

DTDD/PS 프로토콜에서는 기지국에서의 스케줄링(scheduling)에 따라 임의접속(random access)방식과 폴링/셀렉팅 방식을 사용한다. 기지국은 매 슬롯마다 제어용 미니슬롯으로 각 슬롯이 예약용 슬롯(Reservation Slot)인지 데이터용 슬롯(Data Slot)인지를 방송한다. 예약용 슬롯은 그림 2와 같이 다시 예약용 미니슬롯과 응답용 미니슬롯으로 나뉘고, 각 단말은 예약용 미니슬롯 중에서 임의로 하나를 선택하여 예약용 미니패킷을 기지국으로 전송하여 예약을 요청한다. 기지국에서는 수신된 예약용 미니패킷에 대해 응답용 미니슬롯을 통해 수신 결과를 통보한다. 데이터용 슬롯인 경우는 기지국의 스케줄링 알고리즘의 폴링에 의해 상향 데이터 전송용과 셀렉팅에 의해 하향 데이터 전송용으로 구분된다.

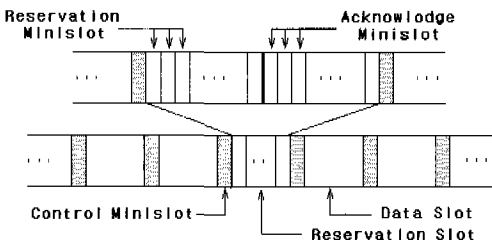


그림 2. DTDD/PS 프로토콜의 슬롯 구조

2.3.1 예약용 슬롯

① 예약용 미니슬롯 : 예약용 미니슬롯은 예약을 위해서만 사용되며 충돌의 확률을 줄이기 위해 m개의 미니슬롯으로 나뉘어 예약용 미니패킷의 전송에 사용된다. 이 미니패킷에는 동적 매개변수와 단말의 ID, 요구 QoS, CRC 등이 포함된다. 이 미니패킷의 전송방식은 S-ALOHA 기법을 사용한다.

② 응답용 미니슬롯 : 기지국은 예약용 미니 슬

롯을 통해 수신한 예약용 미니패킷을 확인하고 수신 결과와 같은 번호의 응답용 미니슬롯을 통하여 방송한다. 이 때 방송의 내용은 수신자가 정상적이면 ACK를, 충돌이 발견되었으면 NAK를, 수신된 것이 없으면 IDLE이 된다. 만일 하나의 미니슬롯이라도 충돌이 일어났으면, 다음 슬롯을 예약용 슬롯으로 할당하여 빠른 충돌 해결 알고리즘을 수행한다. 응답용 미니슬롯을 통해서 예약에 대한 결과만을 방송하고, 슬롯의 할당은 스케줄링 알고리즘에 의해서 결정되어 폴링/셀렉팅에 의해 각 단말로 통지된다.

2.3.2 데이터 전송용 슬롯

데이터 전송용 슬롯은 기지국으로부터의 신호에 따라 상향 데이터 전송용과 하향 데이터 전송용으로 구분된다. 기지국에 의해 폴링을 받은 단말은 해당 슬롯을 통해서 데이터를 전송하게 된다. 이때 폴링에는 단말의 ID뿐만 아니라 CRC와 0 또는 1을 갖는 명령순서가 포함된다. 단말로부터 기지국으로 전송되는 데이터 패킷에는 단말의 ID, 동적 매개변수, CRC 등을 포함하고 있다. 동적 매개변수의 전송은 패킷 발생률이 일정한 CBR(Constant Bit Rate)에서는 다음에 보낼 패킷이 있다는 것을 알리는 의미로 사용되지만, VBR(Variable Bit Rate)과 같이 패킷 발생률이 가변적인 경우에는 다음 패킷의 전송 시점에 대한 매우 중요한 정보가 된다. 또한 ABR(Available Bit Rate)의 경우에는 기지국이 여유 슬롯을 단말에 동적으로 할당하기 위한 자료로 사용하게 된다. 단말은 더 이상 전송할 패킷이 없을 경우에는 EOT(End Of Transmission)를 동적 매개변수 대신에 전송하고, 기지국은 EOT를 수신하면 해당 단말에 더 이상 전송할 패킷이 없다는 것을 감지하고 연결을 해제한다. 기지국은 빠른 셀렉팅(fast selecting) 방식을 이용하여 유선 망이나 셀 내의 다른 단말로부터 도착한 하향 데이터를 전송한다. 하향링크의 데이터 패킷 헤더에는 목적지 단말의 ID가 있으므로 해당 단말만이 이에 대해 응답하게 된다.

2.4 DTDD/PS 스케줄링 알고리즘

DTDD/PS 스케줄링 알고리즘에서는 다양한 QoS를 갖는 멀티미디어 트래픽을 통합적으로 수용하고, 상향과 하향링크의 대역폭을 동적으로 할당하여 전체 링크의 이용률을 극대화시키기 위해서 단말의 선두 패킷의 잔여수명 l_i , 단말 i 의 재전송 회수

r_i , 경쟁상태에서 충돌여부를 나타내는 경쟁 Flag F_c , 지난번 예약슬롯 이후에 할당된 데이터 슬롯의 수 CRS (Consecutive Reserved Slot), CRS 의 임계값 C_T , 그리고 r_i 의 임계값 r_T 등의 동적 매개변수를 사용한다.

스케줄링 알고리즘은 각 단말의 연결 상태를 관리하기 위해 그림 3과 같은 상향트래픽 큐(UTQ : Up link Traffic Queue)와 하향트래픽 큐(DTQ : Down link Traffic Queue)를 관리한다. UTQ에는 예약에 성공하여 전송 권한을 얻기를 기다리는 단말의 ID와 동적 매개변수들이 기록된다. 스케줄링 알고리즘은 패킷이 올바르게 수신되면 헤더에 기록된 동적 매개변수를 이용하여 UTQ를 갱신한다. UTQ는 매 슬롯의 끝에서 잔여수명 순서로 재 정렬되고, 이때 잔여수명은 이전의 잔여수명보다 한 슬롯의 시간만큼 감소된다. 만일 어떠한 이유에서든 패킷이 폐기되어 단말로부터의 동적 매개변수가 정상적으로 전달되지 않으면 스케줄링 알고리즘은 이전에 수신한 해당 단말의 동적 매개변수로 UTQ를 갱신한다. 하나의 단말에 대해서는 항상 하나의 패킷에 대한 예약만이 UTQ에 있게 된다.

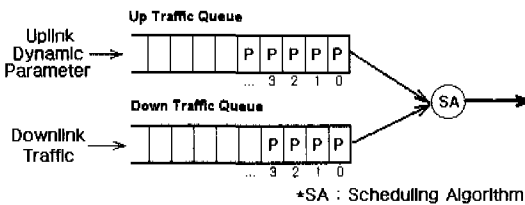


그림 3. DTDD/PS 프로토콜의 상/하향링크 트래픽 큐

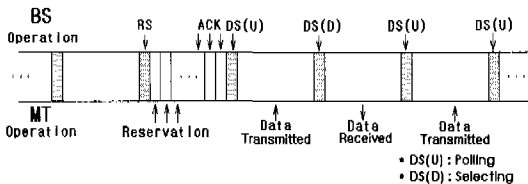


그림 4. DTDD/PS 프로토콜의 동적 슬롯 할당

또한 스케줄링 알고리즘은 유선 망이나 셀 내의 단말로부터 동일 셀 내의 다른 단말로 향하는 패킷이 도착하면 DTQ에 저장한다. DTQ도 하향 패킷의 잔여 수명에 따라 매 슬롯의 끝에서 재 정렬된다. 이 DTQ와 UTQ의 상태를 이용하여 스케줄링 알고리즘은 다음 슬롯의 종류를 결정하고, 그림 4와 같이 슬롯을 동적으로 할당한다. 그림 5에 DTDD/PS

프로토콜의 스케줄링 알고리즘을 보인다.

```

void main() /* main Procedure */
{
    while(1)
    {
        if ( CRS >= C_T OR F_C = Set )
            RS_ALLOC();
        else if ( DTQ not busy AND UTQ not busy )
            RS_ALLOC();
        else if ( UTQ 서비스 순서 AND UTQ busy )
            DS_ALLOC(UTQ(0));
        else if ( DTQ 서비스 순서 AND UTQ not busy )
            DS_ALLOC(DTQ(0));
        else if ( DTQ 서비스 순서 AND DTQ busy )
            DS_ALLOC(DTQ(0));
        else if ( DTQ 서비스 순서 AND DTQ not busy )
            DS_ALLOC(UTQ(0));
        else RS_ALLOC();
    }
}

void RS_ALLOC()/*Reservation Slot Allocation*/
{
    FC = reset;
    DO
    {
        Control_Minislot = Reservation;
        Request_Receive();
        If (Collision) FC = set; /* Collision Detection*/
    } while(FC=set); /* Collision Resolution */
}

void DS_ALLOC(queue)/*Data Slot Allocation*/
{
    DO
    {
        CRS++;
        if(queue=DTQ) Control_Minislot = Selecting;
        else Control_Minislot = Polling;
        Error_Detect(); /* Error Detection */
    } while ( Error && CRS < C_T && retrans_count < r_T )
}
    
```

그림 5. DTDD/PS 프로토콜의 스케줄링 알고리즘

2.4.1 예약용 슬롯의 할당기준

기지국의 스케줄링 알고리즘은 다음의 세 가지 조건 중 하나가 만족되면 다음 슬롯을 예약용 슬롯으로 할당한다.

- ① 이전의 예약용 슬롯 이후에 연속적으로 할당된 데이터 슬롯의 수 CRS 가 C_T 를 초과하는 경우에 예약용 슬롯을 할당한다. 이것은 새로운 트래픽이 발생한 단말이 예약을 시도하기까지 기다려야 하는 최대 지연 시간이 된다.
- ② 단말들로부터의 예약용 미니 패킷이 충돌되었음을 알리는 F_c 플래그가 설정되면, 즉 충돌이 감

지되면 예약용 슬롯을 할당한다. 이것으로 빠른 충돌해결을 할 수 있다.

③ UTQ와 DTQ의 선두 패킷의 잔여수명이 재전송 제한회수 r_T 보다 클 때, 즉 상/하향 트래픽 부하가 비교적 적을 때 예약용 슬롯을 할당한다. 이것을 통해 새로운 메시지가 발생한 단말이 예약을 시도하기까지 기다리는 지연시간을 감소시킬 수 있다.

2.4.2 데이터 전송용 슬롯의 할당기준

스케줄링 알고리즘은 기본적으로 DTQ와 UTQ를 교대로 서비스한다. 만일 DTQ의 서비스 순서에 DTQ 선두 패킷의 잔여수명이 r_T 보다 크고 UTQ 선두 단말의 잔여수명이 r_T 보다 작다면, UTQ 선두 단말에 하향 데이터용으로 데이터 전송용 슬롯을 할당한다. 또한 UTQ의 서비스 순서에 UTQ 선두 단말의 잔여수명이 r_T 보다 크고 DTQ 선두 패킷의 잔여수명이 r_T 보다 작다면, DTQ 선두 패킷 하향 데이터용으로 데이터 전송용 슬롯을 할당한다. 결과적으로 데이터 전송용 슬롯을 잔여수명이 짧은 패킷에 먼저 할당하므로, 동적인 슬롯의 할당이 이루어지게 된다.

상향데이터 전송용 슬롯에서 전송오류가 생기면 기지국은 다음 슬롯을 다시 해당 단말에 상향 데이터 전송용 슬롯으로 재 할당하여 즉시 재전송을 시도한다. 이때 재전송 회수 r_r 가 r_T 를 넘게되면 더 이상의 재전송을 포기하고 해당단말에 대해서 이전에 받았던 동적 매개변수를 이용하여 UTQ에 재등록해 준다. 따라서 단말의 선두 패킷은 폐기되지만 연결은 계속 유지되어 다음 패킷은 정상적으로 서비스 받게 된다.

2.5 빠른 충돌 해결 알고리즘

S-ALOHA 방식의 경쟁 예약방식을 사용할 경우에는 충돌에 의한 예약 실패가 문제가 된다. 특히 예약용 슬롯의 위치가 고정되어 있는 경우에 예약의 시도에 실패한 단말은 다음 예약용 슬롯까지 기다리게 되고, 결과적으로 잔여수명 동안에 예약을 다시 시도하지 못하는 경우도 생길 수 있다.

DTDD/PS 프로토콜에서는 예약을 위해 기다리는 지연시간을 최소화하기 위해서 예약용 슬롯의 할당 간격을 시스템의 부하에 따라 가변하고 있다. 또한 예약용 미니 패킷의 충돌에 의한 예약의 실패를 빠른 시간 안에 해결하기 위해서 그림 6과 같은 빠른 충돌 해결 알고리즘을 채용한다.

빠른 충돌해결 알고리즘은 예약용 슬롯을 할당하고 나서, 예약용 미니슬롯에서 충돌이 감지되면 바로 다음 슬롯을 다시 예약용 슬롯으로 할당하여 충돌이나 무선 구간의 잡음 등으로 인해 예약에 성공하지 못한 단말들이 빠른 시간 안에 예약용 미니패킷을 재 전송할 수 있도록 한다.

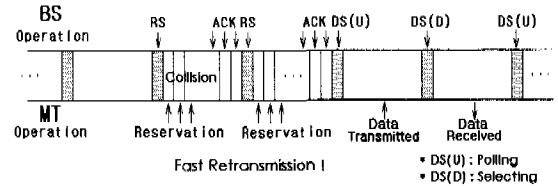


그림 6. DTDD/PS 프로토콜의 빠른 충돌해결 알고리즘

재 할당된 예약용 슬롯을 통해 각 단말들은 다시 예약을 시도한다. 이 때 각 단말에서는 충돌의 확률을 줄이기 위해 이진병렬분할 알고리즘을 사용한다. 이를 위해 각 단말은 응답용 미니슬롯의 내용을 검사하여 충돌이 일어난 슬롯의 개수를 카운트한다.

만일 k 번째 미니슬롯에 대한 응답이 충돌이고 이전까지 충돌의 개수가 m 개라면 이 단말은 다음과 같은 식에 의해 재 전송할 미니슬롯의 번호 k' 를 결정한다.

$$k' = \text{Random}(2m + 1, 2m + 2) \tag{1}$$

여기서 $\text{Random}(A, B)$ 는 A 와 B 중에서 임의의 하나를 선택하는 함수이다. 이러한 방법으로 분할 (splitting)된 단말들은 서로 중복된 미니슬롯을 이용할 확률이 줄어들게 되므로 충돌의 확률이 감소되고, 예약용 미니슬롯의 이용률을 증가시켜 빠른 충돌 해결이 가능하다.

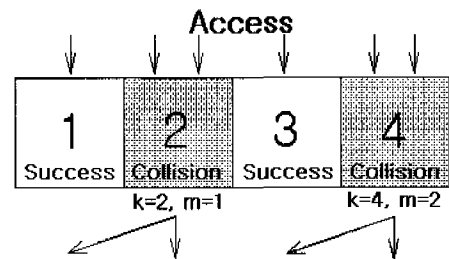


그림 7. 이진 병렬 분할의 예

2.6 즉시 재전송 알고리즘

PRMA와 유사한 무선망용 프로토콜에서는 무선

환경에서의 높은 BER(Bit Error Rate) 때문에 상향 링크에서 오류가 생기면 기지국은 사용자의 패킷을 감지하지 못하게 되고, 따라서 사용자의 메시지 전송이 끝나 더 이상의 패킷을 전송하지 않고 연결의 해제를 원하는 것으로 알게 된다. 이 때 단말의 입장에서는 연결을 너무 빨리 해제 당하여 메시지의 전송 도중에 패킷의 손실이 생기게 되고, 다시 예약을 하기 위한 추가적인 노력이 필요해진다.

하향링크에서 오류가 생긴 경우에는 더 심각한 상황이 발생한다. 기지국은 단말들에게 패킷을 방송하기 때문에 각 단말들은 다른 신호를 수신할 수 있다. 대부분의 단말이 패킷을 정상적으로 수신할 때, 일부 단말들은 손상된 패킷을 수신할 수 있고, 따라서 단말들은 상향링크에 대해 서로 다른 견해를 갖게 된다. 만일 방송된 패킷이 상향슬롯에 대한 예약의 응답이었다면, 해당 단말은 자신만이 그 슬롯을 사용할 수 있을 것이라고 생각하게 되지만, 다른 단말들은 빈 슬롯으로 간주하여 예약을 시도할 수 있다. 따라서 예약된 슬롯임에도 불구하고 충돌을 피할 수 없게 된다. 기지국은 이러한 사실을 모르고 단말로부터 정상적인 패킷의 전송이 없는 것으로 오해하게 되고, 따라서 기지국은 연결을 해제하고 해당 슬롯을 빈 것으로 모든 단말들에게 알리게 된다. 이 때도 역시 해당 단말의 입장에서는 연결을 너무 빨리 해제 당하여 메시지의 전송 도중에 패킷의 손실이 생기게 되고, 다시 예약을 하기 위한 추가적인 노력이 필요해진다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 DTDD/PS 프로토콜에서는 기지국에서 폴링에 의해 상향 데이터 전송용 슬롯을 할당하고, 이 때 단말 ID를 같이 방송하므로 해당 단말만이 전송할 권한을 갖는다. 만일 상향링크에서 오류가 발생하여 패킷이 정상적으로 수신되지 않거나, 폴링 명령에 오류가 발생하여 해당 단말이 상향패킷을 전송하지 않으면, 기지국에서는 그림 8과 같이 즉시 재전송 알고리즘을 수행하게 된다. 이 때 재전송 제한 회수 r_T 이내에 전송이 성공적으로 이루어지지 않으면, 기지국은 해당 단말에 대한 이전의 동적 매개변수를 이용하여 UTQ를 스케줄링 하게 된다. 따라서 예약은 유지가 되고 단말 큐의 선두 패킷 하나만이 폐기되게 된다.

하향링크에서 오류가 발생한 경우에는 어느 단말도 제어용 미니패킷을 수신하지 못하고, 따라서 모든 단말은 자신과 관계가 없는 슬롯으로 간주하여 아무런 동작도 취하지 않는다. 결과적으로 기지국은 아무 것도 수신하지 못하고 즉시 재전송 알고리즘

을 수행하게 된다.

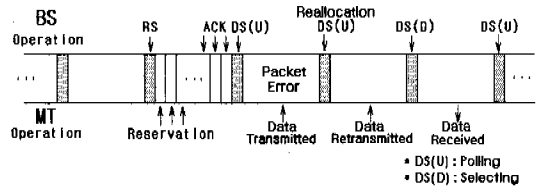


그림 8. DTDD/PS 프로토콜의 즉시 재전송 알고리즘

III. 시뮬레이션에 의한 성능평가

3.1 트래픽의 형태

3.1.1 음성 트래픽

여기서 사용하는 음성 트래픽은 PRMA^[10]에서 사용한 것과 동일한 모델을 사용한다. 음성 소스는 발음(talkspurt)과 묵음(silence)을 반복한다. 따라서 음성 트래픽은 발음은 ON으로 묵음은 OFF로 하는 그림 9와 같은 2-상태 마코프 체인으로 모델링할 수 있다. ON 상태에서는 음성 패킷이 생성되고, OFF 상태에서는 음성 패킷이 생성되지 않는다. 각 상태의 유지시간은 OFF 상태에서는 평균값을 $\alpha^{-1}=1.35$ 초, ON 상태에서는 $\beta^{-1}=1.0$ 초로 하는 지수분포를 한다. 음성 소스는 ON 상태에서는 예약이 유지되어야 하고, OFF 상태에서는 예약을 해제한다. 음성 패킷은 실시간으로 전송되어야 하며, 따라서 허용 지연 시간이 넘는 패킷은 폐기한다. ATM 표준에서는 음성 트래픽의 경우 셀 손실율을 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ 으로 셀의 지연시간을 10-150 ms 이내로 하고 있다. 그러나 여기서는 무선 패킷 망에서 가장 많이 인용되는 PRMA와의 비교를 위해 음성 패킷의 허용지연시간은 40ms로 하고, 음성 서비스가 유지될 수 있는 패킷의 폐기율을 1%로 한다.

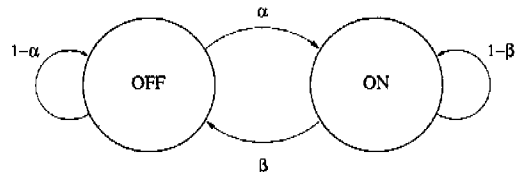


그림 9. 음성 트래픽 모델

3.1.2 비디오회의 트래픽

비디오회의 트래픽에 사용하는 모델은 Heyman 등[12]에 의해서 연구된 것을 기초로 한다. 실제 비

디오회의 트래픽을 다룬 이 논문에서 비디오 프레임(VF)는 주기적으로 생성되고 각 프레임이 갖는 셀의 수는 가변된다. 비디오 프레임의 셀 수는 음의 이항분포에 의해 근사적으로 나타낼 수 있다. 비디오 회의 트래픽에 대한 마코프체인 모델에서 상태전이 매트릭스는 다음의 식을 이용해 계산될 수 있다.

$$P = \rho_a I + (1 - \rho_a) Q$$

여기서 I 는 identity 매트릭스이고, ρ_a 는 autocorrelation coefficient이고, Q 매트릭스의 각 행은 확률(f_0, \dots, f_K, F_K)에 의해 구성된다. f_k 는 음의 이항분포를 갖고, k 개의 셀이 하나의 프레임에 들어 있을 확률을 나타낸다. Q 매트릭스에서 K 의 값은 최대 셀을 나타내고, $F_K = \sum_{k=K} f_k$ 이다. 이 모델에 대한 마코프체인은 그림 10과 같다.

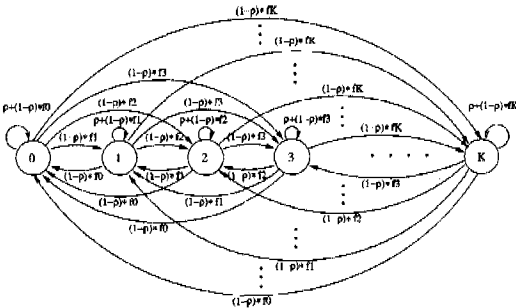


그림 10. 비디오 트래픽에 대한 마코프체인 모델

비디오회의에 대한 통계는 [12]에서 얻어졌고, 220셀/VF의 최대 셀생성율과 104.8셀/VF의 평균 셀생성율을 갖는다. 여기서 셀의 크기는 48byte이고 ATM 셀의 페이로드와 같다. 새로운 VF가 40ms마다 도착하고 따라서 셀은 $220/0.04 = 5500$ 셀/sec의 최대 셀율로 생성된다. 음성처럼 비디오 트래픽도 어느 시간 안에 전달되어야 한다. ATM 표준의 경우 비디오 회의 트래픽의 셀 손실율은 10^{-9} 으로 셀 지연 시간은 150-350 ms으로 정하고 있다. 본 연구에서는 PRMA와의 비교를 위해 최대 전송지연은 40ms로 설정하고 있고, 이 한계를 넘으면 패킷은 폐기된다. 허용 패킷 폐기율은 0.01%로 정한다.

3.2 전송 채널

시뮬레이션을 위한 채널의 속도는 9.045Mbps로 선택한다. 이 채널에서의 전달 지연은 본 논문에서는 무시한다. 채널은 ATM 셀 크기 53Byte로 나누

어진다. 헤더의 5Byte는 MAC 프로토콜과 관련된 오버헤드를 포함하기 위해 변경된다^[8]. 이것은 ATM 헤더의 VCI와 VPI 필드가 하나의 무선 셀 내에서 몇 개의 활성사용자를 나타내는데 필요한 것보다 길다고 판단되므로 타당한 가정이 된다. 그러므로 DTDD/PS 프로토콜에서 더 이상의 패킷오버헤드는 필요하지 않다. PRMA를 위해서 프레임의 크기는 프레임 내에서 하나의 슬롯의 예약이 35.333kbps (페이로드에서 32kbps)를 제공하도록 정한다. 이것은 음성 트래픽의 전송율에 정확히 맞는다. 그러므로 음성 사용자는 프레임당 하나의 슬롯의 예약을 필요로 한다. 이것을 달성하기 위해 채널은 256 슬롯으로 구성되는 프레임으로 나누어진다. 프레임의 길이는 12ms이다. 시스템의 파라메타는 표2에 있다.

표 2. 기본적인 시스템의 파라메타

| | |
|--|-------|
| Channel capacity (Mbps) | 9.045 |
| Frame length (ms) | 12 |
| Slots per frame | 256 |
| Slot size (byte) | 53 |
| Average time spend in ON state for voice (s) | 1.0 |
| Average time spend in OFF state for voice (s) | 1.35 |
| Video frame length (ms) | 40 |
| Peak cell generation rate for video (cells/VF) | 220 |
| Average arrival transmission delay for voice(ms) | 40 |
| Average arrival transmission delay for video(ms) | 40 |
| Max allowed cell dropping probability for voice | 10-2 |
| Max allowed cell dropping probability for video | 10-4 |

3.3 MPRMA

DTDD/PS를 디자인하는데 기초를 삼은 것은 PRMA이고, 따라서 PRMA와 DTDD/PS의 성능을 비교하는 것이 필요하다. 그러나 PRMA는 멀티미디어 트래픽을 서비스할 수 없으므로, 멀티미디어 네트워크에 맞게 프로토콜의 변형을 시도한다. 변형된 PRMA를 MPRMA(Modified PRMA)라 한다.

MPRMA는 한 프레임에서 여러 개의 슬롯을 한 사용자가 예약할 수 있도록 함으로서 VBR 사용자를 서비스할 수 있다. 사용자는 자신이 요구하는 슬롯의 수와 현재 예약하고 있는 슬롯의 수를 모니터 해야한다. 이 사용자는 각 슬롯에서 경쟁해야하고, 사용자의 예약 요구에 대한 기지국과 단말간의 통신은 없다. 매번 사용자는 슬롯의 예약을 얻기 위해 경쟁해야 하고, 획득한 예약은 연속되는 프레임에서 같은 슬롯으로 할당된다. 더욱이 사용자는 이전 프

레이에서 예약을 얻은 모든 슬롯에 대해 예약을 유지한다. 사용자가 예약한 슬롯의 수를 줄이려면 적당한 수의 슬롯을 빈 것으로 남겨두면 된다. 빈 슬롯은 사용자의 전체 예약이 해제되었다는 것을 인식하는 것이 아니라 단지 하나의 슬롯만을 해제하였다는 것이다. 사용자가 모든 슬롯을 해제하기를 원하면 모든 슬롯을 빈 슬롯으로 두면 된다.

MPRMA 프로토콜은 단말이 자신의 예약 요구를 결정하는 것을 요구한다. MPRMA 사용자는 전송율이 증가되면, 적당한 수의 슬롯 예약이 성공적으로 수행되기까지 경쟁할 것이다. 전송율이 감소되면 사용자는 예약된 슬롯 중에서 적당한 수의 슬롯을 해제하여 전송을 그칠 것이다.

MPRMA 프로토콜은 몇 가지 중요한 부분에서 DTDD/PS와 다르다. MPRMA에서 기지국은 슬롯의 예약에 아무런 제어를 하지 않는다. 그러므로 서로 다른 트래픽에 우선순위를 줄 수 없다. 또한 MPRMA 시스템은 데이터 사용자가 예약을 하는 것을 허용하지 않고, 모든 다른 사용자들은 다중 슬롯 예약을 위해 경쟁해야만 한다. 그러나 모든 DTDD/PS 사용자는 경쟁이 없는 방법으로 기지국으로 전송을 요구를 전송하는 것으로 추가적인 예약이 가능하다.

3.4 음성만의 시스템에서 성능 비교

기존의 PRMA와 DTDD/PS의 음성 서비스에 대한 성능을 비교하기 위해, PRMA와 동일한 환경에서 시뮬레이션을 행한다. 여기서 PRMA에서 채널의 속도는 상/하향 각각 720kbps이다. 따라서 DTDD/PS의 전체 채널의 속도는 PRMA의 상/하향 채널 속도를 합한 값으로 1.44Mbps가 된다.

그림 11에서 볼 수 있는 것처럼 DTDD/PS의 패킷 폐기율 1%를 만족하는 동시통화 음성 단말의 수가 PRMA의 37개^[11]에 비해 39개로 증가한 것을 볼 수 있다. 이것은 한 슬롯 당 PRMA가 1.85개의 음성 단말을 서비스 할 수 있는 것이 비해서 DTDD/PS 프로토콜은 약 1.95개의 음성 단말을 서비스하여 DTDD/PS가 PRMA에 비해서 우수한 다중화 효과를 갖는 것을 알 수 있다. 이것은 DTDD/PS 프로토콜의 스케줄 알고리즘에 의한 동적 슬롯의 할당과 예약을 위한 미니 패킷의 사용 그리고 빠른 충돌 해결 알고리즘의 사용으로 인해 얻은 효과이다.

또한, DTDD/PS에서는 하향 트래픽의 부하 λ_d 가 작아질수록 1%의 패킷 폐기율을 만족하는 동시통화

음성 단말의 수가 증가하는 것을 볼 수 있다. $\lambda_d = 0.001$ 인 경우에는 DTDD/PS 프로토콜은 PRMA에 비해서 두 배 이상의 단말을 서비스하는 것으로 나타난다. 따라서 TDD 방식에 의해서 시스템 전체의 처리율이 증가하는 것을 알 수 있다.

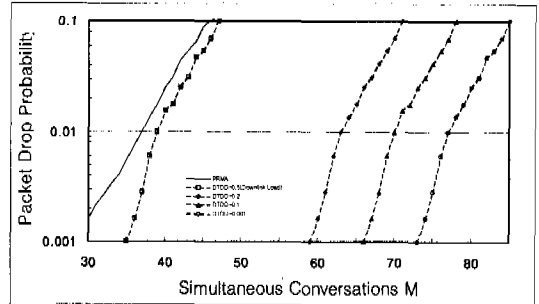


그림 11. 동시통화 단말 수의 변화에 따른 패킷 폐기율

3.5 음성/비디오 혼합 시스템에서의 성능 비교

DTDD/PS에서는 한번 예약에 성공하면 경쟁이 없이 추가적인 예약을 piggybacked 방식으로 할 수 있다. 따라서 DTDD/PS에서 비디오 사용자의 전송 확률 P_{bc} 과 음성 사용자의 전송확률 P_v 는 필요없는 파라메타이다.

MPRMA 프로토콜에서는 DTDD/PS와 달리 P_{bc} 에 대해 선택된 값이 시스템의 성능에 큰 영향을 주게 된다. 이 현상은 MPRMA의 비디오회의 사용자가 전송율이 높아질 때마다 새로운 슬롯을 위해 경쟁해야하기 때문이다. MPRMA에서 $P_{bc}=0.3$ 으로 가정한다. 이 값은 PRMA에서 최대 성능을 나타내는 음성 사용자의 전송확률 P_v 와 같다.

DTDD/PS와 MPRMA의 결과 비교는 그림 12와 13에 있다. 그림 12에서 시스템에서 허용되는 음성 사용자의 최대 수는 P_v 의 함수로 그려진다. 이 그림으로부터 비디오회의 사용자가 늘어날수록 DTDD/PS의 장점이 명백해진다. 즉, DTDD/PS 프로토콜이 시스템에 접속되는 음성 사용자의 수를 MPRMA보다 더 많이 허용한다. MPRMA는 4개의 비디오회의 사용자에서 약 95 음성 사용자의 제한된 성능을 나타낸다. 이에 비해 DTDD/PS는 5개의 비디오회의 사용자에서 약 75 음성 사용자를 허용한다.

MPRMA 시스템의 낮은 성능에 대한 이유는 그림 13에서 명백히 볼 수 있다. 이 그림은 시스템 내에서 낭비되는 슬롯의 비율을 보여준다. 이 낭비

는 다음 두 가지 때문이다. ① 사용자가 더 이상 전송할 패킷이 없어서 비워두므로 생기는 슬롯의 낭비. ② 경쟁 사용자의 충돌에 의해 낭비되는 슬롯. 당연히, 이들은 시스템이 최대 용량으로 동작될 때 낭비되는 슬롯의 비율로 알 수 있다. MPRMA 프로토콜에서 하나 적은 슬롯의 예약을 유지하려는 사용자는 하나의 슬롯을 빈 것으로 남겨둔다. 그러므로 각 시간마다 전송율이 감소하면 이 사용자는 프레임 내에서 여러 개의 슬롯을 빈 것으로 남겨두게 된다. DTDD/PS 시스템에서 사용자는 감소하는 전송율 정보를 기지국에 제공하고, 따라서 기지국은 요구되지 않는 슬롯을 다른 사용자에게 재 할당하게 되므로 낭비의 요소를 없게 된다.

그림 13은 MPRMA 시스템에서 많은 슬롯이 위의 두 가지 원인에 의해서 낭비되는 것을 보여준다. MPRMA에서는 22% 이상이 4개의 비디오회의 사용자가 있을 때 낭비된다. 그러나 DTDD/PS는 단지 1.5%의 슬롯만이 낭비되는 훨씬 효과적인 프로토콜이다.

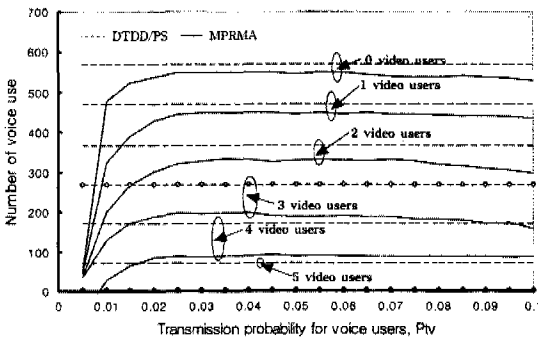


그림 12. P_{tv} 에 대한 음성 사용자의 수 $P_{vdrop}=0.01$, $P_{vdrop}=0.0001$, $P_{vc}=0.3$

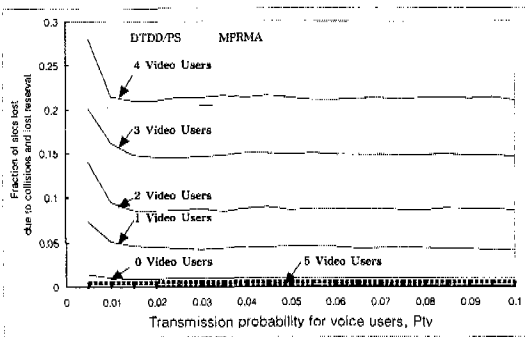


그림 13. P_{tv} 에 대한 슬롯 낭비의 비율 $P_{vdrop}=0.01$, $P_{vdrop}=0.0001$, $P_{vc}=0.3$

IV. 결론

본 논문에서는 무선 ATM의 MAC 프로토콜로 DTDD/PS 방식을 제안한다. DTDD/PS 프로토콜에서 기지국의 MAC 제어기는 각 단말의 QoS를 만족시키기 위해 각 단말의 순간적인 대역요구의 수 용에 초점을 둔다. 이를 위해 기지국에서는 각 단말로부터 동적 매개변수를 받아 이것을 이용하여 각 단말들의 접속 상태를 통제하고 대역을 슬롯 단위로 동적으로 할당한다. 따라서 유선 ATM 보다 낮은 전송률을 갖는 무선 ATM에서 실시간 서비스의 QoS를 만족시킬 수 있게된다.

또한 DTDD/PS 프로토콜의 성능을 평가하기 위해서 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 DTDD/PS 프로토콜이 음성, 비디오회의의 트래픽이 혼합된 시스템에서 잘 동작되는 것을 알 수 있다. 또한 변형된 PRMA 프로토콜보다 좋은 성능을 제공하는 것을 알 수 있다.

앞으로 DTDD/PS 프로토콜에 대한 시뮬레이션과 수학적 해석을 통해 무선 패킷 망의 멀티미디어 트래픽의 처리능력 및 무선 환경의 높은 BER을 고려한 재전송 구조의 성능 등에 관한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] D. Petras, A. Kramling, A. Hettich, "Design Principles for a MAC Protocol of an ATM Air Interface", available at <http://www.comnet.rwth-aachen.de/~petras>
- [2] RACE II Project MBS (R2067), <http://www.comnets.rwth-aachen.de/project/mbs>.
- [3] D. Petras, A. Kramling, A. Hettich, "MAC protocol for Wireless ATM: contention free versus contention based transmission of reservation requests", PIMRC'96, Taipei, Taiwan, October 1996.
- [4] Magic WAND: Wireless ATM Network Demonstrator, <http://www.tik.ee.ethz.ch/~wand/contents.html>
- [5] E. Hyden et. al., "SWAN : An Indoor Wireless ATM Network", *Proceedings of ICUPC '95*, 1995.
- [6] K. Y. Eng, et. al., "BAHAMA: A Broadband

Ad-Hoc Wireless ATM Local-Area Network.”, *Proceedings of the IEEE ICC '95*, pp. 1216-1223, Seattle, USA, June 1995.

- [7] M. Karol, Z. Haas, C. Woodworth, “Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks”, In *ICC'95*, pp. 1224- 1231, Seattle, USA, June 1995.
- [8] D. Raychaudhuri, et. al., “WATMnet : A Prototype Wireless ATM System for Multimedia Personal Communication”, *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 1, pp. 83-95. January 1997.
- [9] J. Porter, “ORL Radio ATM”, *Proceedings of Wireless ATM Workshop*, Espoo, Finland, Sep. 2-3. 1996.
- [10] S. Nanda, D. J. Goodman, U. Timor, “Performance of PRMA : A Packet Voice Protocol for Cellular Systems”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, pp. 584-598, 1991.
- [11] D. J. Goodman, R. A. Valenzuela, K. T. Gayliard, and B. Ramamurth, “Packet reservation multiple access for local wireless communications”, *IEEE Trans. Comm.* vol. 37, no. 8, pp. 885-890, Aug. 1989.
- [12] D. Heyman, et al, “Modeling teleconference traffic from VBR video coders”, *Proc. Int. Conf. on Comm.* '94, Vol. 3(1994), pp. 1744-1748

김 점 구(Jeom-Goo Kim)

정회원



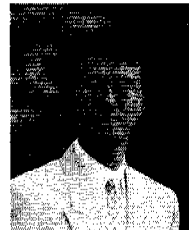
1990년 광운대학교 전자계산학과 (이학사)
 1994년 광운대학교 전자계산학과 (이학석사)
 1999년 한남대학교 컴퓨터공학과 박사수료
 1990년~1994년 (주)제성프로젝트 연구원

1995년~1998년 (주)시사컴퓨터피아 연구원

1999년 현재 남서울대학교 컴퓨터학과 전임강사
 <주관심 분야> 컴퓨터 네트워크, 정보통신, 정보보호

정 환 익(Hwan-Ik Chung)

정회원



1985년 숭실대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1987년 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1987년~1991년 (주)금성전기기술연구소 주임 연구원

1991년~1993년 2월 (주)LG정밀 연구소 주임 연구원
 1993년 3월~현재 경북대학 사부자동화과 조교수
 <주관심 분야> 무선이동통신망, 무선 ATM, RF신호처리 등

임 재 환(Jae-Hawn Lim)

정회원



1991년 숭실대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 숭실대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1998년 숭실대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 1999년 현재 남서울대학교

멀티미디어학과 전임강사
 <주관심 분야> 멀티미디어 통신, 네트워크 성능평가