

무선 ATM MAC 프로토콜에서 동적 신호 주기 할당 알고리즘

정회원 강 상 옥*, 신 요 안**, 최 승 철**

A Dynamic Signalling Period Allocation Algorithm in Wireless ATM MAC Protocols

Sangwook Kang*, Yoan Shin**, Seungcheol Choi** *Regular Members*

요 약

무선 ATM MAC 프로토콜은 시스템의 처리율 성능을 높이고 이를 안정적으로 유지시킬 수 있어야 한다. 이를 위하여, 본 논문에서는 무선 ATM의 MAC 프로토콜에 사용되는 동적 제어 알고리즘으로써 DSPA (Dynamic Signalling Period Allocation) 알고리즘을 제안하였다. 제안된 DSPA 알고리즘은, 고정된 처리율을 이용하지 않고 단말로부터 전송된 정적 및 동적 매개변수만을 이용하여 제어용 슬롯을 동적으로 발생하는 제어용 슬롯 발생 알고리즘, 시스템의 사용 상황에 따라 기지국이 매번 신호 주기를 동적으로 결정하게 하므로써 매 순간 최적의 신호 주기가 할당되도록 하는 동적 신호 주기 할당 알고리즘, 그리고 슬롯이 할당될 때마다 단말의 우선 순위를 변화시키는 동적 슬롯 할당 알고리즘으로 크게 구성된다. 모의실험을 통한 성능 평가 결과, DSPA 알고리즘은 시스템의 사용 상황을 반영하여 신호 주기를 동적으로 결정하므로써 단말의 평균 대기 시간을 감소시키고 이로부터 서비스 품질을 보장할 수 있는 부하 한계를 향상하며, 안정적인 처리율 성능을 보임을 알 수 있다.

ABSTRACT

MAC protocols in wireless ATM has to increase and maintain the system throughput performance. To achieve these purposes, this paper proposes a dynamic control algorithm called DSPA (Dynamic Signalling Period Allocation) for wireless ATM MAC protocol. The proposed DSPA algorithm consists of the following three algorithms. First, a control slot generation algorithm which generates the control slots by utilizing static and dynamic parameters from the terminals, is proposed. Second, a dynamic signalling period allocation algorithm is proposed for a base station to dynamically determine each signalling period according to current terminal states, and thus allocates the optimal signalling periods. Finally, a dynamic slot allocation algorithm is proposed to dynamically determine priorities of the terminals whenever a slot is allocated. Simulation results indicates that DSPA algorithm decreases average packet delay of the terminals by dynamic allocation of signal periods based on the system utilization, and thus increases the limitation of allowable loads that guarantee quality of services. Also the proposed algorithm is shown to maintain stable throughput even in the case of traffic variations.

I. 서 론

무선 ATM (Asynchronous Transfer Mode)은 무

선 멀티미디어 서비스를 기존의 ATM 기술로 제공하기 위한 차세대 이동 통신망 기술이다. 따라서, 다양한 클래스의 트래픽들이 동시에 지원되어야 하

* (주)현대소프트(taesin1@chollian.net)

** 숭실대학교 정보통신전자공학부(yashin@logos.soongsil.ac.kr)
논문번호 : 98345-0807, 접수일자 : 1998년 8월 7일

므로 대역의 효율성 및 서비스의 품질 보장을 고려하여 사용자의 요구에 따라 대역을 할당하여야 한다. 이는 무선 ATM MAC (Medium Access Control) 계층에서 수행되어야 하는 기능으로서, 이 기능의 개발을 위하여 여러 단계에서 활발한 연구가 진행되고 있다^[1]. 이들 가운데 유럽의 MBS 과제의 일환으로 제안된 DSA++ 프로토콜은, MAC을 위하여 사용할 수 있는 여러 가지 기법들을 병용하고 있는 대표적인 프로토콜이다^[2,3]. 예를 들어, 이 프로토콜에서는 단말의 전력절약 모드를 위한 하향 그룹 시그널링과 분산된 단말의 정보를 수집하기 위한 랜덤 액세스 슬롯 및 폴링 슬롯의 사용, 그리고 서비스 우선 순위를 고려한 동적인 슬롯 할당 원칙이 각 서비스의 요구사항을 충족시키기 위하여 적절히 병용된다.

하지만, DSA++를 포함한 대부분의 프로토콜에서는 시스템의 처리율이 중요하게 고찰되고 있지 않다. 그 이유는 대부분의 무선 ATM 시스템이 LAN의 환경 등을 우선적으로 고려하고 있기 때문에, 한 셀 내에 소수의 단말만이 존재한다고 가정되기 때문이다. 그러나, 무선 ATM 시스템에서는 이동성이 지원되어야 하므로 한 셀 내 단말의 수는 일시적으로 또는 장기적으로 크게 증가할 수 있다. 따라서, 원활한 서비스를 유지하기 위해서는 시스템의 처리율 성능이 중요하게 고려되어야 한다. 즉, 시스템은 높은 허용 부하 한계를 안정적으로 유지하여야 한다. 이를 위해서는 기지국에서의 슬롯 할당 및 신호 주기의 할당이 동적으로 수행되어 시스템의 사용 상황에 따라 최적의 제어가 수행되어야 한다.

본 논문에서는 위와 같은 목적을 위하여 DSPA (Dynamic Signalling Period Allocation) 알고리즘을 제안하고, 모의실험을 통하여 그 성능을 평가하였다. DSPA는 시스템의 사용 상황에 따라 단말과 통신되는 동적 매개변수들을 효율적으로 운용하여, 기지국이 동적으로 신호 주기를 결정하게 한다. 이로부터 인위적으로 고정된 신호 주기를 가질 때 발생할 수 있는 비효율성을 제거할 수 있다. 결과적으로, DSPA는 기지국에서의 동적 제어가 원활히 수행되어 시스템이 수용할 수 있는 최대 부하량을 증가시킬 수 있을 뿐 아니라, 일정한 제공 부하 하에서 트래픽 특성이 변화할 때에도 처리율 성능이 안정적으로 유지되므로 기타의 제어를 효율적으로 수행할 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 DSPA 알고리즘에 대하여 설명하고, 3장에서 시뮬레이션을 통하여 DSPA의 성

능을 평가한다. 그리고 4장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향에 대하여 논의한다.

II. 제안된 Dynamic Signalling Period Allocation 알고리즘

본 논문에서 제안하는 DSPA (Dynamic Signalling Period Allocation) 알고리즘은 크게 세 부분으로 구성된다.

첫째, 제어용 슬롯 발행 알고리즘이다. 일반적으로, 효율적인 대역 사용을 위해서는 예약용 슬롯과 폴링용 슬롯 등의 제어용 슬롯과 데이터 패킷 전송용의 슬롯들은 특정 기준에 입각하여 발행 시기와 그 수가 결정되어야 한다. 기존의 알고리즘들은 대부분 예약용 슬롯 혹은 폴링용 슬롯만을 개별적으로 사용하므로써 단말로부터의 정보를 적시에 전달 받을 수 없으며, 이와는 달리 예약용 및 폴링용 슬롯을 동시에 사용하는 DSA++에서는 예약용 슬롯의 고정된 처리율을 이용하여 제어용 슬롯을 발생하므로써 동적인 처리가 어렵다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 이러한 문제의 해결을 위해, 고정된 처리율을 이용하지 않고 단말로부터 전송된 매개변수만을 이용하여 제어용 슬롯을 동적으로 발생시킨다.

둘째, 동적 신호 주기 할당 알고리즘이다. DSA++에서와 같이 신호의 주기를 고정시킨다면, 시스템의 사용 상황이 변화됨에 따른 적절한 제어가 어렵다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 시스템의 사용 상황에 따라 기지국이 매번 신호 주기를 동적으로 결정하게 하므로써 매 순간 최적의 신호 주기를 가진다.

셋째, 동적인 슬롯 할당 알고리즘이다. 위와 같이 동적인 신호 주기가 결정되면 그 주기 내에서 단말에 할당되어야 하는 슬롯의 수 역시 동적으로 결정되어야 한다. 이 때, 대부분의 프로토콜에서처럼 단말에 고정된 우선 순위를 사용한다면 특정 단말에만 슬롯이 할당되는 문제가 발생할 수 있으므로, 본 논문에서는 슬롯이 할당될 때마다 단말의 우선 순위를 변화시키는 새로운 동적 슬롯 할당 알고리즘을 제안한다.

여기서는 위에서 간략히 언급한 DSPA 알고리즘의 여러 구성 요소를 설명하기 위해, 먼저 2.1 절에서 DSPA의 채널 구조, 동적 매개변수, 그리고 단말 상태를 정의한 후, 2.2 절부터 2.4 절에서 각각 제안된 제어용 슬롯 발행 알고리즘, 동적 신호 주기 할당 알고리즘, 동적 슬롯 할당 알고리즘을 설명하

도록 한다.

1. DSPA의 기본 개념

1) DSPA의 채널 구조

DSPA는 이중화 방식으로는 주파수 분할 이중화(FDD)를, 다원 접속 방식으로는 시분할 다원 접속(TDMA)을 사용하고 있다. 이를 고려한 DSPA의 채널 구조는 그림 1과 같다.

채널을 이루는 하나의 슬롯에는 하나의 ATM 셀만을 포함하는 MAC-PDU (Protocol Data Unit)를 포함한다고 가정한다. 따라서, 한 슬롯 당 하나의 ATM 패킷이 전송된다. 이렇게 ATM 패킷의 전송에 사용되는 슬롯을 전송용 슬롯 (Transmission Slot)이라 한다. 반면에, 크기가 작은 동적 매개변수의 전송용 슬롯으로는 경쟁적으로 사용되는 예약 슬롯 (Random Access Slot)과 비경쟁적으로 사용되는 폴링 슬롯 (Polling Slot)으로 구분된다. 마지막으로, 하향 신호 버스트는 새로운 주기를 시작하는 기준이 되며, 하향의 각종 시그널링 목적으로 사용된다^[4].

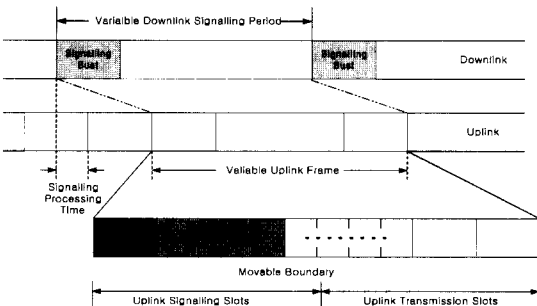


그림 1. DSPA의 채널 구조

하향으로 방송되는 두 시그널링 버스트 사이를 신호 주기 (Signal Period)라 하며, 상향의 신호 주기는 이 길이를 따르게 된다. 이 주기는 이 후 기술될 DSPA 알고리즘에 의해 기지국에서 매번 동적으로 결정하게 된다. 각각의 상향 주기마다 out-of-band 상향 신호를 위한 제어용 슬롯들의 그룹과 상향 패킷 전송용 슬롯들의 그룹으로 이루어지며 그 경계 역시 가변적이다. 제어용 슬롯들의 수 역시 기지국에서 매번 결정하게 된다.

2) 동적 매개변수

기지국은 분산된 단말들에 대한 정보를 이용하여 주기 및 슬롯 할당을 결정하게 된다. 이 때 사용되는 정보를 매개변수라 하며, 이 매개변수에 따라 단

말들과 유기적인 관계를 가지며 동작하게 된다. 단말이 기지국으로 전송하는 동적 매개변수들에는 다음과 같은 것이 있다.

- (1) 단말 큐의 가장 앞 패킷의 잔여 수명 (L_{res})
- (2) 단말 큐에 대기중인 패킷의 수 (N_q)
- (3) 단말의 평균 패킷 전송율 (R_{ave})

반면, 호 설정 시에 얻을 수 있는 매개변수는 정적 매개변수라 볼 수 있으며, 다음과 같은 것들이 있다.

- (1) 트래픽의 서비스 클래스
- (2) 트래픽의 최대 패킷 허용 지연 (D_{max})

또한, 각 기지국은 각 단말들에 대하여 다음과 같은 기지국 정의의 매개변수를 부여한다.

- (1) 단말의 상태 (예약: MT_R 또는 경쟁: MT_C)
- (2) 동적 매개변수 수신 후 경과 시간 (T_{idle})

위에 열거된 각종 매개변수들을 이용하여 기지국에서는 신호 주기를 결정하고, 제어용 슬롯의 발행 및 단말에 패킷 전송용 슬롯 할당을 수행한다.

3) 단말의 상태 정의

그림 2는 DSPA를 이용하는 단말들의 상태를 도시한다. 단말의 상태는, 기지국에 자신의 매개변수를 이미 전송한 예약 상태인 MT_R 과, 기지국으로 자신의 매개변수를 전송할 필요가 없거나 전송하지 못한 경쟁 상태인 MT_C 로 나눌 수 있다. 이 때, 각 상태로의 천이 조건은 그림 2와 같다.

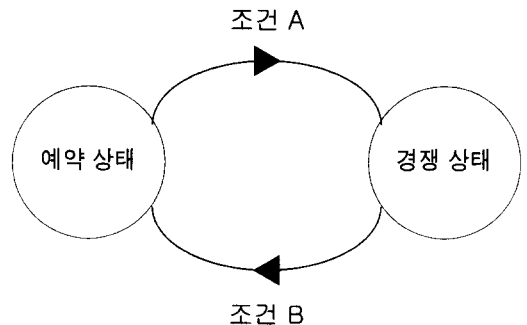


그림 2. DSPA의 단말 상태 천이도

조건 A는 예약 상태인 단말이, 할당된 슬롯을 통하여 패킷을 전송할 때 이 후의 요구 사항을 담은 매개변수를 in-band 시그널링인 피기백 방식으로 전송하는 것이다. 따라서, 기지국에서는 예약 상태에 있는 단말들의 상황에 능동적으로 대처할 수 있다. 하지만, 단말의 큐가 비게 된다면 더 이상의 슬롯 할

당을 요구하지 않게 되므로, 매개변수를 전송함과 동시에 단말은 경쟁 상태로 바뀐다. 이 때 전송되는 매개변수에는 큐의 길이가 0이라는 정보를 포함하므로써 기지국은 이 단말에 더 이상의 슬롯을 할당하지 않는다.

조건 B는 경쟁 상태의 단말들이 전송할 패킷이 발생하면 예약 슬롯을 통하여 경쟁적으로 자신의 매개변수를 기지국에 전송하는 것이다. 매개변수의 전송이 성공되면, 그 단말은 예약상태인 단말로 된다. 또한 기지국은 경쟁 상태 단말들의 과거 매개변수에 기초하여 적절한 시기에 단말을 폴링하므로써, 폴링된 단말이 자신의 동적 매개변수를 전송하게 되어 예약 상태로 바뀔 수 있다.

기지국은 각 단말의 현 상태를 감시하며, 예약 단말에 대해서는 패킷 전송용 슬롯을 할당하고, 경쟁 단말에 대해서는 동적 매개변수 전송용 제어 슬롯을 할당하게 된다.

2. DSPA 제어용 슬롯 발행 알고리즘

DSPA에서는 제어용 슬롯으로 예약용 슬롯과 폴링용 슬롯을 운용한다. 이 제어용 슬롯들은 시스템의 필수적인 오버헤드로서 작용하고 있다. 따라서 제어용 슬롯의 수를 고정적으로 유지하는 것은 시스템의 효율면이나 트래픽 흐름들의 요구 사항 만족 면에서 바람직하지 못하다. 그러므로, 시스템의 사용 상황에 따라 제어용 슬롯들을 동적으로 발행하므로써 시스템을 효율적으로 운용할 수 있다. 또한, 폴링 구조를 함께 사용하는 경우에는 대부분의 경쟁 요인을 폴링으로 수용하게 되므로, 예약 슬롯의 역할은 단지 예기치 않은 단말의 요구 변화와 새로운 예약 요구 등을 위한 사용으로 국한된다.

한편 경쟁 상태에 있는 단말에 예약 요구가 발생하게 되면, 이 단말들은 예약 슬롯 중 임의의 미니슬롯을 사용하여 자신의 동적 매개변수 전송을 시도한다. 이 동작은 slotted-ALOHA와 유사하게 수행되지만 그룹 시그널링으로 인하여 delayed feedback 현상이 존재하며^[4], 특정 미니슬롯에서의 충돌 여부가 다음 미니슬롯에 바로 반영될 수 없다. 결국, 동일한 단말로부터의 전송 시도가 하나의 주기에 2회 이상 반복될 필요가 없으므로, 단지 slotted-ALOHA 원칙만이 적용된다면 미니슬롯의 효율적인 사용을 기대할 수 없다. 따라서, 여러 개로 구성된 미니슬롯을 효율적으로 사용하기 위해서는 병렬 스플리팅 구조로 처리하는 것이 바람직하다. 그러나, 이 경우에도 미니슬롯별로 경쟁 해결

구간의 길이가 일정치 않으므로 비효율적인 사용이 야기될 수 있게 되고, 이러한 문제를 해결하기 위해서 DSPA에서 적용하고 있는 충돌 해결 알고리즘은 다음과 같다.

① 경쟁 상태에 있는 단말에 예약 요구가 발생하면 k 번째 미니슬롯으로 동적 매개변수 전송을 시도한다.

② 이에 따른 피드백 전송에는 ‘충돌’, ‘전송성공’, ‘비사용’의 세 가지가 가능하다. k 번째 미니슬롯으로 전송했던 단말은 다음 시그널링 버스트 방송 시에 1 ~ $(k - 1)$ 번째까지의 미니슬롯의 피드백 응답을 청취한다.

③ 1 ~ $(k - 1)$ 까지의 피드백 응답 가운데 ‘충돌’인 개수 m 을 카운트한다. 만일 k 번째 미니슬롯이 ‘충돌’이면 단말은 다음 식 (1)과 같이 미니슬롯을 선택하여 재전송을 시도한다.

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

여기서, $\text{Random}[A, B]$ 는 A 와 B 중 임의의 한 값을 선택하는 함수이고, k' 은 “다음 주기”의 미니슬롯의 인덱스이다. 따라서, 이런 방법으로 분할 (splitting)된 단말 그룹들은 서로 중복된 미니슬롯을 이용하지 않게 되므로 충돌 확률을 감소시킬 수 있다.

위와 같이 효율적으로 예약 슬롯이 운영되더라도 충돌이 지속되면 분할이 계속되어 필요한 미니슬롯의 수가 증가하게 된다. 이러한 경우, 한 주기에 포함되어야 하는 예약 슬롯의 수가 증가하므로 신호의 주기도 점차 길어질 수 있다. 이러한 문제는 기지국이 폴링 슬롯을 발행하여 해결한다. 즉, 폴링 슬롯은 경쟁 상태의 단말들을 대상으로 한 비경쟁적인 슬롯이다. 따라서, 기지국으로부터 폴링이 결정된 경쟁 상태의 단말은 경쟁을 통하여 예약 슬롯을 점유하지 않더라도 동적 매개변수를 전송할 수 있으며, 이로부터 예약 슬롯 충돌로 인한 대역의 낭비를 줄일 수 있다.

제안하는 제어용 슬롯 발행 알고리즘에서는 상향의 제어용 슬롯인 폴링 슬롯과 예약 슬롯의 수를 효율적으로 관리하기 위하여, 기지국에서는 다음과 같은 제어를 통하여 한 주기 내에 포함되어야 하는 각 제어용 슬롯을 할당한다. 이 때, 기지국은 2.1절에서 정의된 각종 매개변수들을 이용한다.

먼저, 기지국은 경쟁 상태의 j 번째 단말의 우선순위 $\text{Pri}[j]$ 를 식 (2)과 같이 계산한다.

$$Pri[j] = T_{idle}[j] \cdot R_{ave}[j] \quad (2)$$

여기서, 앞서 정의된 대로 $T_{idle}[j]$ 는 j 번째 단말의 최종 동적 매개변수 전송 이후 경과 시간, $R_{ave}[j]$ 는 j 번째 단말의 평균 패킷 전송율이다. 식 (2)는 단말의 평균 전송율이 클수록, 또는 최종 동적 매개변수 전송 이후의 경과 시간이 길수록 높은 우선 순위를 부여하게 됨을 의미한다. 또한, 기지국은 성공적인 폴링을 위하여 경쟁 상태의 j 번째 단말에 패킷이 존재할 확률 $P_{exist}[j]$ 를 산출한다. 이 확률은 트래픽의 클래스에 따라 다음의 식 (3) 또는 식 (4)와 같이 구할 수 있다. 먼저 트래픽을 단순 포아송 도착 과정으로 모델링한 경우, 경쟁 상태인 j 번째 단말에 패킷이 존재하여 성공적인 폴링이 수행될 확률은 $T_{idle}[j]$ 동안 하나의 패킷이 도착할 확률과 동일하다. 즉,

$$\begin{aligned} P_{exist}[j] &= 1 - e^{-R_{ave}[j] \cdot T_{idle}[j]} \\ &= 1 - e^{-Pri[j]} \end{aligned} \quad (3)$$

반면 서비스 클래스가 CBR이나 VBR 등인 트래픽의 경우, 평균 전송율을 해당 트래픽의 등가 대역으로 가정하면 $(R_{ave}[j])^{-1}$ 는 패킷의 평균 도착 시간 간격이 되므로, 마지막 동적 매개변수 전송 이후의 경과 시간 $T_{idle}[j]$ 과 이 값과의 비가 j 번째 단말에 패킷이 도착해 존재할 확률로 고려될 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned} P_{exist}[j] &= T_{idle}[j] / (R_{ave}[j])^{-1} \\ &= T_{idle}[j] \cdot R_{ave}[j] \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)이나 (4)를 이용하여 $P_{exist}[j]$ 가 계산되면, 이를 이용하여 다음 식 (5)을 만족하는 j 번째 단말에 대해서만 폴링이 수행된다.

$$T_{idle}[j] > (1 - P_{exist}[j]) \cdot D_{max}[j] \quad (5)$$

위 식에서, $D_{max}[j]$ 는 j 번째 단말 트래픽의 최대 패킷 허용 지연이다. 이 식으로부터, j 번째 단말 폴링 시 단말의 송신 버퍼에 패킷이 대기 중인 확률인 $P_{exist}[j] = 0$ 일 때는 항상 $T_{idle}[j] < D_{max}[j]$ 가 되어 식 (5)의 조건이 만족되지 않으므로 폴링되지 않는다. 반면, $P_{exist}[j] \approx 1$ 인 경우에는 $T_{idle}[j] > 0$ 이므로 대부분 폴링이 수행된다. 따라서, 식 (5)를 이용하여 $0 \leq P_{exist}[j] \leq 1$ 인 구간에서 동적으로 폴

링 확률이 정해진다.

모든 경쟁 상태의 단말들에 대해 위와 같은 검사 절차가 수행되어 다음 주기에 폴링될 단말들이 결정되며, 이렇게 정해진 단말들의 집합을 MT_P 라 정의하자. 경쟁 상태 단말의 집합을 MT_C 라 하고, 예약 상태 단말의 집합을 MT_R 이라 할 때, 경쟁 상태의 단말 중 다음 주기에 폴링되지 않는 단말, 즉 집합 $MT_C - MT_P$ 에 대해서는 예약용 슬롯을 할당하게 된다. 따라서, 예약용 미니슬롯의 수는 식 (6)의 발행 조건으로 표현할 수 있다.

$$\left[\sum_{j \in MT_C, j \notin MT_P} P_{exist}[j] \right] \quad (6)$$

위 식에서 $\lceil A \rceil$ 는 A 보다 큰 정수 중 가장 작은 값을 의미한다.

3. 동적 신호 주기 할당 알고리즘

일반적으로 MAC 프로토콜에서 사용되는 신호 주기가 길면 하향 시그널링 버스트를 통한 예약이나 알람 메시지들과 그에 해당되는 슬롯들 간의 간격이 커지게 된다. 따라서, 단말의 지연이 길어지고 새로운 긴급 요청을 갖는 단말은 다음 주기까지 기다려야 하기 때문에 최초 액세스 지연이 길어진다. 하지만 하향 링크상의 시그널링 오버헤드는 감소하게 된다. 이와는 달리 만약 신호 주기가 짧다면, 피드백 응답을 신속하게 전달할 수 있으므로 고속의 충돌 해결이 가능하다. 하지만 이 경우에도 하향 시그널링의 오버헤드는 증가하게 된다. 따라서, 그 길이에 대한 절충안으로써 시스템의 상황에 따라 서로 다른 길이를 사용하는 기법이 필요하다. 예를 들어, DSA++ 프로토콜에서는 시스템의 상황을 충돌 해결 상태와 정상적인 상태로 구분하고 각 상태에서 서로 다른 주기를 할당하고 있다. 먼저, 예약용 슬롯에서 충돌이 발생하면 빠른 충돌 해결을 위하여 짧은 주기를 할당한다. 이 짧은 주기는 물리적으로 제한된 최소의 길이로 고정된다. 이로서 피드백 응답이 빠르게 전송되어 충돌의 지속 구간을 줄일 수 있게 된다. 또한 정상 경우에는 주기의 길이를 크게 하여 하향링크의 시그널링 오버헤드를 감소시킬 수 있다. 하지만, 이와 같은 처리에는 다음과 같은 문제점이 발생할 수 있다.

1) 고 부하의 단말 수가 적을 때는 고정된 길이의 주기로 인해 사용되지 않는 슬롯이 많아진다. 따라서 처리율 성능이 저하될 뿐만 아니라 각 단말의 지연이 증가하게 된다.

2) 충돌 시에도 예약용 슬롯의 수와 폴링용 슬롯의 수가 동적으로 결정되는 것이 바람직하므로 고정된 짧은 주기를 사용 할 수 없다.

위와 같은 문제를 해결하기 위해, DSPA에서는 DSA++와 유사하게 예약용 슬롯의 충돌 상태와 정상 상태로 시스템의 상태를 구분하되, 이와는 달리 각각에 고정적인 신호의 주기를 할당하지 않는다. 신호의 주기는 단지 최소 길이와 최대 길이만을 가지며, 그 사이에서 동적으로 변화한다.

DSPA에서 신호 주기의 최소 길이 L_{min} 은 설계된 서비스 영역의 크기에 따라 계산되는 패킷 전송 지연 T_{tran} 과 기지국과 단말 내에서의 시그널링 처리 시간 T_{offset} 를 이용하여 식 (7)과 같이 결정된다.

$$L_{min} = 2(T_{tran} + T_{offset}) \text{ [slot time]} \quad (7)$$

만일 특정 주기에서 예약용 슬롯에 충돌이 발생한다면, 그에 따라 결정된 다음 주기에서의 예약용 슬롯과 폴링용 슬롯의 수를 $N_{control}$ 이라 할 때 다음 주기의 신호 주기 NSP (Next Signalling Period)를 그림 3의 알고리즘을 이용하여 결정한다. 이 알고리즘을 이용할 경우, 충돌 시에도 $N_{control}$ 에 따라 동적인 길이를 가지게 되며, 물리적으로 제한된 주기 길이인 L_{min} 이 하한이 되어 그 이하의 주기는 가질 수는 없다.

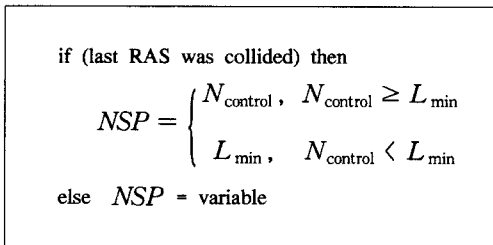


그림 3. 신호 주기 결정 알고리즘

정상 상태에서 신호 주기의 최대 길이는 시그널링 버스트의 잉여 공간에 따라 물리적으로 상한이 제한되지만, 단말들의 예약 상황에 따라 최대값 사이의 동적인 값을 갖게 된다. 그러나 물리적인 제한 범위까지 신호 주기가 증가하도록 둔다면 그림 4와 같은 문제가 발생할 수 있으며, 최대 신호 주기를 제한하는 알고리즘이 요구된다. 만일 한 주기 내에 슬롯 할당이 계속되면 신호 주기가 크게 증가하게 되며, 이 경우 현재 폴링 되기로 예정된 단말들은

실제 패킷 전송 시까지 큰 지연을 겪게된다.

그러므로 현 주기에 결정된 폴링 예정 단말의 패킷 전송을 보장하기 위해서는 최대 신호 주기가 매 주기마다 동적으로 제한되어야 한다. 이 때, 폴링 예정 단말 집합 MT_p 중에 가장 우선 순위가 큰 k 번째 단말의 매개변수를 이용하여 아래 식 (8)과 같이 다음 신호 주기의 최대값 NSP를 결정한다.

$$NSP = \left\lfloor \frac{D_{max}[k] - T_{idle}[k]}{Slot\ Time} \right\rfloor \quad (8)$$

위 식에서 $\lfloor A \rfloor$ 는 A 보다 작은 정수 중 가장 큰 값을 의미한다. NSP는 다음 주기에서 가능한 최대 길이를 의미하므로, 신호 주기는 시스템의 상태에 따라 식 (7)에 의해 물리적으로 제한된 최소 길이와 식 (8)에 의한 최대 길이 사이에서 가변길이를 가진다.

4. 동적 슬롯 할당 알고리즘

슬롯 할당 시, 적은 수의 단말 각각에 높은 부하가 존재할 때에는 시그널링 오버헤드로 인하여 실제 전송 대역이 줄어들게 되고, 이로부터 성능은 크게 감소한다. 하지만, 하나의 주기에 한 단말에 하나씩만의 슬롯을 할당한다는 원칙 하에서는 이 단점을 극복하기 어렵다. 따라서, 예약된 단말들의 매개변수를 적절히 이용하여 단말 당 여러 개의 슬롯을 할당하여 가급적 최대 길이의 주기를 유지시킨다면, 잦은 시그널링으로 인한 부하를 최소화 할 수 있다. 이것이 반복 슬롯 할당 기법이다.

기지국에서 주기 단위로 수행되는 상황슬롯의 할당 시에는, 시그널링 버스트에 그 내용을 담아 방송하게 된다. N 번째 주기에서 할당해 주어야 하는 슬롯들은 다음과 같다.

- 1) 예약용 슬롯과 폴링용 슬롯
- 2) $N-1$ 번째 주기부터 현재까지 예약 상태를 유지하고 있는 단말을 위한 전송용 슬롯

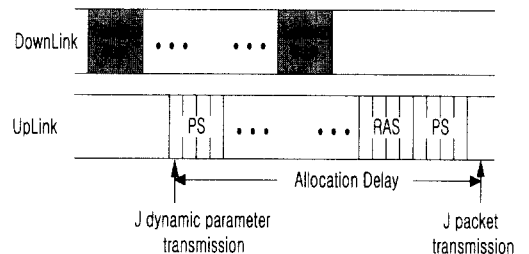


그림 4. 최대 신호 주기 제한의 필요성

3) $N-1$ 번째 주기에서 예약용 슬롯을 통하여 새로이 동적 매개변수를 전송하여 예약 상태로 된 단말을 위한 전송용 슬롯

4) $N-1$ 번째 주기에서 폴링 슬롯을 통하여 매개변수를 전송하여 경쟁 상태에서부터 예약 상태로 된 단말을 위한 전송용 슬롯

기지국에서는 위에 기술된 예약용 단말들과 제어용 슬롯들에 대하여 상향 슬롯을 할당하게 된다. 이때, 2.2 절의 제어용 슬롯 발행 원칙에 의해 제어용 슬롯들을 우선적으로 할당하고 이어 예약 단말들에 대하여 그림 5의 원칙으로 할당을 시도한다.

```

for (all reserved terminal) {
    one slot allocation ;
    if (allocated slots == NSP) then end allocation ;
}
while (allocated slots < NSP&&
Queue_length [all reserved terminal] != 0 ) {
    search a reserved terminal with the highest priority;
    one slot allocation for the terminal;
}
    
```

그림 5. 기지국에서의 슬롯 할당 알고리즘

예약 상태의 단말들은 그들의 잔여 수명이 작을수록 큰 우선 순위를 갖게 된다. 이 절차가 끝난 후에도 계산된 최대 주기까지 여유 슬롯이 있는 경우에는 슬롯 반복 할당이 수행된다. 각 예약 단말에 대하여 전송 받은 동적 매개변수에 근거하여 큐에 대기중인 패킷을 가지고 있는 단말들 중 우선 순위가 가장 높은 예약 단말에 차례로 슬롯을 할당한다. 이 때 우선 순위 갱신 알고리즘 (Priority Update Algorithm ; PUA)의 사용으로 슬롯을 할당받은 단말의 우선 순위는 기지국 내에서 갱신된다. 이로부터 같은 단말의 패킷만을 위하여 슬롯이 연속적으로 할당되는 것을 피할 수 있다. 이를 위한 기지국에서의 우선 순위 갱신 과정은 그림 6과 같다.

그림 6의 알고리즘을 간략히 정리하면 다음과 같다.

1) 예약 상태의 단말들을 대상으로, 가장 작은 잔여 수명을 갖는 단말에 슬롯을 할당한다. 잔여 수명이 같은 단말들에 대해서는, 큐의 크기가 적을수록 우선 순위를 높이고 그 이후의 해결은 선입선출 원칙을 따르도록 한다.

2) 슬롯을 할당받지 못한 단말들의 잔여수명을 슬롯 시간 만큼 감소시키고, 할당 받은 단말의 큐의 길이를 하나 감소시킨다.

3) 제어용 슬롯을 포함하여 할당된 슬롯의 수가 식 (8)에서 계산된 주기 NSP에 이를 때까지 1), 2)의 과정을 반복한다.

```

for (all reserved terminal j) {
    if (Residual_lifetime[j] < Residual_lifetime[k]) {
        if (Queue_length[j] < k = j;
        }
    } else if( Residual_lifetime[j]== Residual_lifetime[k])
    {
        if (Queue_length[j] >= Queue_length[k]) {
            if(!Queue_length[j]) k=j;
        }
    }
    if (k != j) Residual_lifetime[j] -= slot_time;
}
the highest Priority terminal = k ;
Queue_length[k]--;
    
```

그림 6. 기지국에서의 우선 순위 갱신 알고리즘

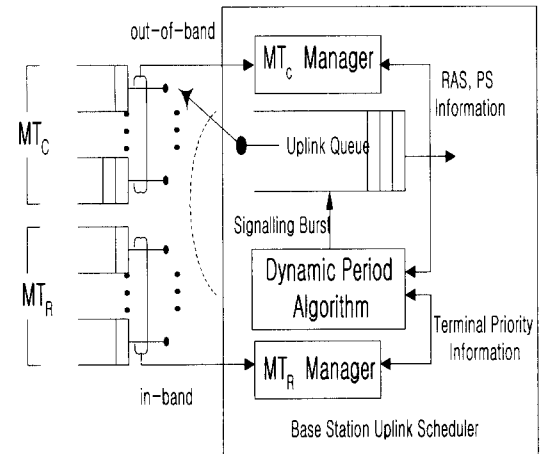


그림 7. 제안된 DSPA 알고리즘을 이용한 기지국 상향 스케줄러의 구성도

그림 7은 DSPA 알고리즘을 이용한 기지국 상향 스케줄러의 전체적인 동작 흐름을 보이고 있다. MT_C 관리자는 제어용 슬롯의 발행을 담당하고 있으며, MT_R 관리자는 예약 상태 단말들의 우선 순

위에 따라 슬롯을 요청하고, 그림 6의 우선 순위 갱신 알고리즘을 동작시킨다. 이들의 정보를 이용하여 DSPA가 동작하여 다음 신호 주기를 결정한다. 이로부터 발생된 시그널링 버스트는 하향으로 방송되고 그 순서대로 단말들의 패킷이 기지국으로 전송된다.

III. 모의실험 및 성능 분석

제안된 DSPA 알고리즘의 성능 평가를 위하여 MIT의 MacDougall 교수 등에 의해 개발된 event-driven 방식의 큐잉 시스템 시뮬레이션 라이브러리인 SMPL을 이용하여, 모의실험을 수행하였다⁵⁾. 성능 평가의 기준과 비교 분석을 위하여 유럽의 MBS 과제의 DSA++ 환경을 원형으로 하여, 이 프로토콜 구조에 DSPA 알고리즘을 적용시켜 여러 측면에서의 성능을 비교 평가하였다. DSA++는 TDMA/FDD 기반으로 설계되었으며, 동적인 슬롯 할당 기법을 사용하고 그룹 시그널링을 이용하고 있으므로 결과에 대한 정량적인 비교가 가능하다. 표 1은 모의실험 사양을 정리하여 보여준다.

표 1. 모의실험 사양

채널 속도 (R_{CH})	34 Mbps
슬롯 시간 (L_{slot})	0.02 msec
패킷의 크기 (P_{size})	85 bytes
패킷 오버헤드 비율 ($P_{overhead}$)	0.4

표 1에서 패킷 오버헤드 비율은 무선 구간의 패킷화 시 요구되는 오버헤드를 나타낸다. 즉, ATM 셀의 전송 속도가 1 Mbps라면 무선 구간의 오버헤드로 인하여 채널에서 그 단말에 제공하여야 하는 속도는 약 1.4 Mbps 정도로 증가한다. 트래픽은 포아송 과정으로 모델링 하였다. 본 논문은 구조적인 효율성 평가에 초점이 맞추어져 있으므로 채널의 오류는 고려하지 않았으며, 과도 지연으로 인한 트래픽의 손실율은 10^{-6} 으로서 이 기준은 AAL 계층의 에러 제어가 수행된 이후의 요구 기준으로 설정하였다⁶⁾.

본 논문에서 제안하고 있는 동적 신호 주기의 효과를 고찰하기 위하여 먼저 신호 주기를 임의의 길이로 고정시켰을 때의 문제점을 파악하고자 하며, 이를 위해 최대 신호 주기에 따른 지연 및 처리율

변화에 대한 실험을 수행하였다. 실험에서 고정된 주기를 갖는 경우란 DSA++의 경우에서의 같이 정상 동작 시에는 임의의 고정된 신호 주기를 가지며, 충돌 시에도 짧게 고정된 신호 주기를 갖는 경우를 의미한다. 반면, 동적인 신호 주기를 갖는 경우란 제안된 DSPA 알고리즘이 적용된 경우를 의미한다. 실험에서는 단말들의 개수를 6 개로 하여 총 부하는 채널 용량의 75 %로 고정되도록 하였다. 또한, 각 패킷이 폐기되기까지의 최대 허용 지연은 4 msec로 하였다. 이를 위해서는 단말 당 3 Mbps의 전송율을 갖게 되며, 패킷의 도착 시간 간격은 0.16 msec로 약 8 슬롯 간격에 해당된다. 실험은 폐기율 10^{-6} 을 만족하는 범위 내에서 수행하였다.

그림 8은 신호 주기가 4에서 20 슬롯으로 고정될 경우 평균 지연(sec)의 변화를 도시하며, 동일 부하에서 주기가 큰 값으로 고정될수록 평균 지연이 증가하게 됨을 알 수 있다. 이는 주기 내에 사용되지 않는 슬롯이 증가하기 때문이다. 반면에, 제안된 DSPA 알고리즘을 사용하는 경우 평균 지연은 2.6×10^{-4} 로 일정하였다.

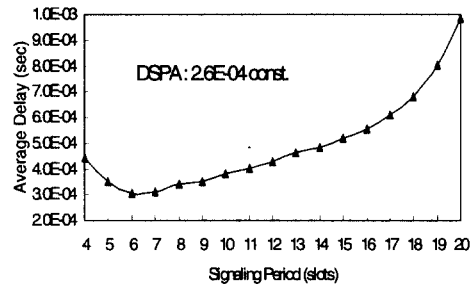


그림 8. 신호 주기 길이에 따른 단말의 평균 지연

그림 9는 고정 신호 주기를 이용할 경우, 사용된 고정 신호 주기에 따른 각 단말의 송신 대기 행렬 상태를 보이고 있다. 여기서도 신호 주기가 증가할수록 평균 대기 행렬의 길이가 증가하며, 이와는 달리 DSPA 알고리즘은 1 (packet)으로 일정하다. 이 결과로부터, 고정적으로 신호 주기를 할당하는 경우에는 단말에 대기 중인 패킷이 있음에도 불구하고 사용되지 않는 슬롯이 발생하게 되어 성능 저하가 초래되는 반면, 동적으로 신호 주기를 할당하는 경우에는 사용되지 않는 슬롯을 모두 패킷 전송에 사용함으로써 효율적으로 채널을 이용함을 알 수 있다.

그림 10은 단말 수를 6 개로 고정하고, 부하를

증가시켰을 때의 평균 지연에 대한 결과를 비교하고 있다. DSPA의 경우 예약 상태 단말들에 하나씩의 슬롯 할당이 끝나면 바로 다음 주기 절차에 들어가거나 슬롯 반복 할당이 수행되므로 사용되지 않는 슬롯으로 인한 지연이 존재하지 않아 각 패킷의 평균 지연이 감소됨을 알 수 있다.

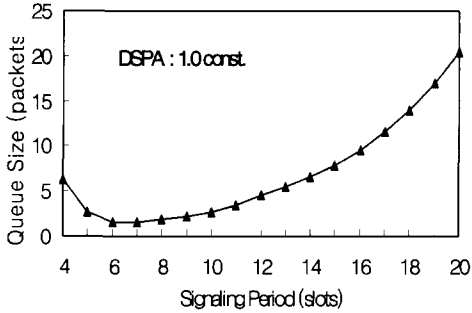


그림 9. 신호 주기 길이에 따른 단말의 평균 대기행렬의 길이

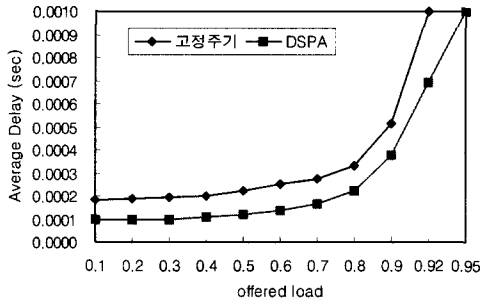


그림 10. 부하 증가에 따른 평균 지연 (6 개 단말)

그림 11은 단말 당 부하가 약 12 % 정도로 고정된 경우, 단말의 수를 변화시키며 수용가능 여부를 살펴본 결과이다. DSPA는 단말의 수가 8 개로 약 95 % 이상에서도 트래픽을 수용할 수 있다. 반면, 고정 주기의 경우에는 85 %의 부하 상황에서도 QoS를 만족시킬 수 없다. 이는 총 부하뿐만 아니라 시스템 내 단말의 수도 시스템 성능에 영향을 미치고 있음을 의미한다. 따라서, 처리율 성능의 증대 외에도 시스템 성능의 안정성 역시 동시에 평가되어야 한다. 여기서 시스템의 안정성은 트래픽 변동에 대한 성능의 불변 정도를 의미하며, 안정성이 보장될 때 시스템은 예측에 의해 기타의 제어를 수행할 수 있다. 이와 관련해서 표 2는 총 부하를 75%

로 고정시킨 상황에서 단말의 수를 변화시켰을 때 각 단말의 트래픽 특성을 정리하여 보여준다.

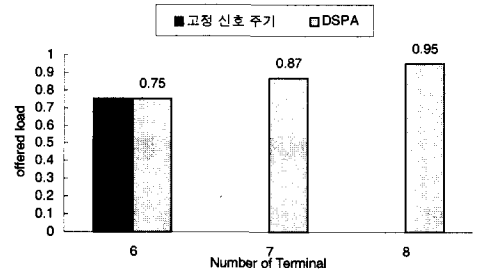


그림 11. 단말 수 변화에 따른 최대 수용 부하

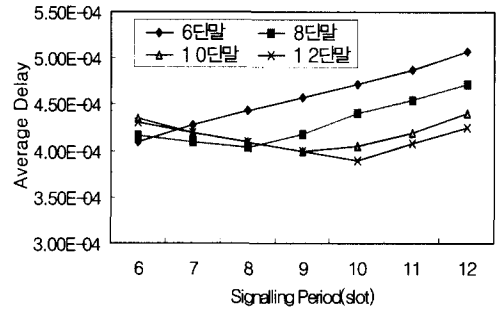


그림 12. 총 부하 고정 시 단말 수 변화에 따른 신호 주기 대 평균 지연

그림 12는 표 2에 따른 신호 주기와 평균 패킷 지연과의 관계를 고찰한 결과이다. 이 결과에서 알 수 있듯이, 총 부하의 양이 같더라도 총 부하를 이루는 단말의 수와 각 단말의 전송율이 다르게 되면 각 경우에 대한 최적의 주기와 그 때의 평균 지연은 각기 다르다. 즉, 주기의 결정이 최적화되지 않으면 같은 부하량에 대해서도 시스템의 트래픽 수용량이 변할 수 있음을 의미한다. 따라서, 주기가 고정된 상황에서는 현재 시스템을 사용 중인 트래픽량 만으로는, QoS를 만족시키며 수용 가능한 최대 부하를 결정할 수 없다.

그림 13은 각각의 단말 개수에 대해 얻을 수 있는 최대 수용 부하에 대한 비교이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, DSPA에서는 동적인 신호 주기가 할당되므로 시스템의 사용 상황이 적절하게 반영될 수 있게 된다. 총 부하량이 일정한 경우에는 총 부하를 이루는 트래픽들의 구성이 어떠한 경우라든

최대 수용 부하에 큰 변화가 없으므로 처리율 성능의 안정도가 높다고 할 수 있다.

표 2. 총 부하를 75 %로 고정할 경우 단말 수 변화에 따른 단말 당 부하

단말 수	단말 전송율 (Mbps)	단말 부하 (%)	단말의 평균 도착 간격 (slot)
6	3.00	12.5	8.0
7	2.57	10.7	9.4
8	2.25	9.38	10.8
9	2.00	8.30	12.1
10	1.80	7.50	13.5
11	1.64	6.82	14.8
12	1.50	6.25	16.2

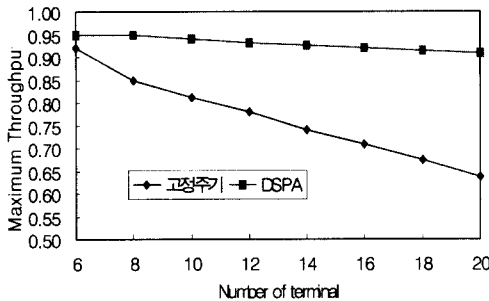


그림 13. 단말 수에 따른 최대 수용 부하

IV. 결론

무선 ATM을 위한 MAC 프로토콜에서는 멀티미디어 트래픽을 통합적으로 수용하기 위하여 동적인 채널 할당 알고리즘이 주로 사용된다. 이 알고리즘으로 무선 환경에서도 ATM에서의 각 서비스 클래스별 요구 사항이 최대한 만족될 수 있다. 동적 할당을 수행할 때에는 단말의 요구 사항 뿐만 아니라 시스템의 상태가 고려되어야만 한다. 동적인 대역 할당을 효과적으로 수행하기 위해서는 할당하는 슬롯의 위치뿐만 아니라 각 단말에 할당하는 슬롯의 수도 가변적이어야 한다. 이렇게 할당된 정보를 그룹지어 처리하기 위해서 기지국에서는 프레임 즉, 신호의 주기를 결정해야한다. 이 때, 한 프레임 내에 할당된 슬롯의 수가 가변적이므로 신호 주기 역시 가변화 되어야 한다. 이를 위하여 기지국에서는

이 신호의 주기를 결정할 때, 매 순간 동적으로 그 길이를 결정하여 시스템을 효율적으로 운용할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이를 지원할 수 있는 DSPA (Dynamic Signalling Period Allocation) 알고리즘을 제안하였다.

DSPA의 특징은 제어 신호간의 상호 관련성을 찾아내어 제어의 양을 조절하므로써 제어의 효율성을 증진시킬 수 있다는 것이다. 이를 검증하기 위하여 고정 신호 주기 알고리즘과 DSPA 알고리즘을 단말의 평균 지연, 시스템의 최대 수용 부하 (즉, 처리율) 측면에서 비교, 고찰하였다. 그 결과는 다음과 같이 정리된다.

고부하 시에 반복 스케줄링이 사용되지 않는다면, 증가된 시그널링의 오버헤드로 인하여 시스템의 처리율 성능이 저하되고, 이로부터 단말의 지연이 증가하게 된다. 반면, 반복 스케줄링이 사용되면, 링크의 상태에 따라 허용되는 한도에서 단말에 대기중인 패킷을 별도 시그널링 없이 신속하게 처리할 수 있으므로, 시스템의 처리율이 상승할 뿐만 아니라 단말의 지연 요구도 만족시킬 수 있다. 따라서, 실시간의 버스티한 트래픽 특성을 갖는 단말의 평균 지연을 감소시킬 수 있으며, 동일한 시스템으로 더 큰 부하 상황을 지원할 수 있다. 이는 매 주기 동적으로 결정되는 가변적인 주기 길이 내에서 수행된다. 이 주기는 이미 슬롯을 할당받은 단말의 적시 전송을 보장할 수 있는 길이로 결정되므로, 큰 부하 상황에서도 서비스 클래스별 요구 사항을 만족시킬 수 있다는 장점을 갖는다. 또한 총 부하를 이루는 단말 수나 단말당 부하의 변화에 대한 시스템의 처리율 변화가 강건하므로 호 수락 제어 등 기타의 제어를 효율적으로 수행할 수 있다.

본 논문에서는 포이송 과정의 트래픽을 기준으로 성능을 고찰하였으나, DSPA의 성능을 보다 정확하게 검증하기 위해서는 향후 ATM이 지원하고 있는 모든 클래스의 트래픽 모델들을 위한 세부 규정과 전체적인 성능 고찰이 요구되며, 추후 이러한 방향으로 연구가 진행될 예정이다.

참고 문헌

[1] Proc. Wireless ATM Workshop, Espoo, Finland, September 1996.
 [2] D. Petras, A. Kramling and A. Hettich, "Design principles for a MAC protocol of an ATM air interface," available at <http://www>.

