무선 ATM 네트워크에서의 동적 대역 할당을 위한 묵시적 스케쥴링 알고리즘

정회원 황 민 재*, 강 충 구**, 김 용 진***

Implicit Scheduling Algorithm for Dynamic Slot Assignment in Wireless ATM Networks

Min-Jae Hwang*, Chung-Gu Kang**, Yong-Jin Kim*** *Regular Members*

요 약

무선 ATM의 매체 접근 제어 프로토콜에서의 통계적 다중화를 실현하기 위해서는 중앙의 무선 ATM 액세스점(Wireless ATM Access Point)에 의해 동적 슬롯 할당을 수행할 수 있는 스케쥴링 기능이 제공되어야 한다. 그러므로 AP에서는 이동국으로부터 전송된 동적 파라미터(Dynamic Parameter)를 이용해 중앙 집중식 스케쥴링 기법을 적용하는 동적 대역 할당 매체 접근 제어 프로토콜이 요구된다. 본 논문에서는 묵시적인 방법에 의한 간접적인 동적 파라미터의 전송을 통해 동적 슬롯 할당이 가능한 새로운 스케쥴링 알고리즘을 제안한다. 제안된 방식을 알고리즘의 적시성과 정확성 측면에서 동적 파라미터 전송을 사용하는 기존의 동적 슬롯 할당 스케쥴링 알고리즘과의 비교를 통해 적시성 측면에서 우수한 성능을 보이는 것을 확인함으로써 동적 파라미터에 전적으로 의존하지 않고 효율적인 스케쥴링이 수행될 수 있음을 보인다.

ABSTRACT

To maximize the statistical multiplexing gain in wireless ATM MAC, a centralized scheduling function must be provided for the dynamic slot assignment in the wireless ATM access point. Exploiting the dynamic parameters received in the wireless ATM access point, the centralized scheduler will execute a dynamic slot assignment to determine bandwidth required for individual wireless terminal. In this paper, we propose a new scheduling algorithm, which can effectively reduce a burden of the explicit signaling requirement of transmitting the dynamic parameters in a timely manner. We have demonstrated that the proposed approach outperforms the existing schemes in terms of the timeliness of transmitting the dynamic parameters, which is a critical factor to the performance of delay-sensitive service classes, and works as an effective means of dynamic slot assignment without heavily relying on the dynamic parameters in the wireless ATM networks.

I. 서 론

다양한 환경에서의 멀티미디어 응용 서비스에 대한 수요는 ATM 전송방식을 기반으로 하는 초고속 정보통신망의 출현과 더불어 급증할 것이 예상된다.

이와 같은 멀티미디어 서비스의 출현에 따라 밀리미터파 대역의 새로운 가용 주파수 자원의 개발을 통해 무선 방식으로 155Mbps급의 데이터 전송률을 지원하면서 이동 환경에서 유선 ATM 망과 호환적인 접속이 가능한 새로운 기술로서 무선 ATM개념이 출현하였다.

* 현대전자 통신연구소(mjhwang@hei.co.kr),
** 고려대학교 전기전자전파공학부(ccgkang@kuccnx.korea.ac.kr),
*** 한국전자통신연구원 표준연구센터(yjkim@pec.etri.re.kr)
논문번호: 98370-0826, 접수일자 : 1998년 8월 26일
※ 본 연구는 1995년도 한국학술진흥재단의 신진교수과제 연구비에 의해 수행된 것임.

무선 ATM 기술 표준화의 한 형태는 유럽의 ETSI에서 BRAN 프로젝트를 통해 향후 ATM 기반의 HIPERLAN type-2 및 HIPERACCESS 규격을 통한 표준화를 추진하고 있으며[1], 미국에서는 HIPERLAN과 호환성을 가지는 SUPERNet (high-speed Shared Unliscenced Personal Radio Network)의 개발을 위해 5 GHz 대역에서의 무선 ATM에 대한 논의가 시작되었다. 현재 ATM Forum에서는 WATM-WG이 활동 중이며, 일본의 경우에는 1996년 12월에 결성된 MMAC-PC (Multimedia Mobile Access Communication Systems Promotion Council)에서 현재 약 120여개의 업체가 참여하여 이동 멀티미디어 서비스에 적합한 광대역 무선 액세스 시스템 및 초고속 무선 ATM LAN의 표준 규격안을 도출하기 위한 연구가 진행 중이며 2002년 서비스 도입을 목표로 하고 있다. 또한 유럽의 ACTS 프로젝트인 Magic WAND 및 MEDIAN, AT&T Bell Lab이 추진하는 SWAN 및 BAHAMA, Olivetti Research Lab의 ORATM 등의 연구도 대표적인 관련 사례로 들 수 있다.

무선 ATM은 유무선 전 영역에 거쳐 ATM 셀 단위로 프로토콜 처리 및 교환 기능이 수행되기 위해 망 전체의 전송 구조를 ATM 통신망 프로토콜 체계 하에 이동 단말 지원을 위한 기능과 무선 접속 기능을 요구하고 있다. 이와 같은 관점에서 무선 ATM은 Radio ATM과 Mobile ATM의 개념으로 구분된다. Radio ATM은 무선 채널상에서 전송 속도 및 서비스 품질등을 구현하기 위해 매체 상의 전송 기능, 매체 접근 제어 기능, 그리고 데이터 링크 제어 기능 등이 포함되며, Mobile ATM은 단말기의 이동성을 지원하는 부분으로서 핸드오버 및 경로 재설정, 로밍 및 위치 관리 등의 기능을 포함된다.

무선 ATM에서는 기존의 매체 접근 제어 방식과는 달리 모든 ATM 트래픽 클래스에 대한 지원, 독립적으로 분산된 이동 ATM 단말에 대한 경쟁 상황을 고려해야 하므로 다양한 트래픽 발생 특성에 적합한 동적 대역 할당과 QoS를 보장할 수 있는 수단으로서의 매체 접근 제어 프로토콜이 구현되어야 한다.

지금까지 무선 ATM에 적합한 매체 접근 제어 프로토콜들이 다양한 형태로 제시되어 왔는데, 일반적으로 동적 예약 기반의 TDMA (Dynamic Reservation TDMA) 방식을 사용한 중앙 집중형 프로토콜이 고려되고 있다. 이러한 프로토콜은 각 트래픽의 요구에 따라 동적으로 슬롯을 할당해 주므로 버스트 트래픽들에 대해 효과적이며 유연하게 자원을 할당함으로서 ATM에서 요구하는 다양한 수준의 QoS를 보장할 수 있는 것이 장점이다. 이 때 제한된 자원과 다양한 서비스 트래픽들의 다중화 이득을 극대화하기 위해서는 무선 ATM 액세스점(Wireless ATM Access Point)에서의 대역 할당 스케줄링이 매우 중요한 역할을 차지하게 된다.

기존에 제안된 대부분의 스케줄링 기법들은, 각 이동국이 자신의 동적 대역 할당을 위한 기초 정보로서 트래픽 발생률, 버퍼에서의 대기 행렬 상태 등과 같은 동적 파라미터에 기반을 두고 있다. 동적 파라미터 전송은 대역내 신호 방식(In-band signaling) 이나 대역외 신호 방식(Out-of-band signaling), 혹은 두가지 방식 모두를 사용하여 각 이동국들의 대역 요구량과 지연 상황을 확인하고, 이를 기반으로 하여 무선 ATM 액세스점에서 특정 스케줄링 알고리즘을 사용하여 동적 대역 슬롯 할당을 수행한다.

본 논문에서는 기존의 동적 파라미터를 사용한 스케줄링에서 벗어나 묵시적인 방법(Implicit Scheme)으로 이동국의 대역 요구량을 확인하여 동적 대역 할당을 수행함으로써, 동적 파라미터 전송의 적시성과 정확성 측면에 대한 다른 접근을 시도하려고 한다.

본 논문의 2절에서는 무선 ATM에서의 매체 접근 제어 프로토콜의 개요를 살펴본 뒤, 3절에서는 본 논문에서 제안하는 묵시적 스케줄링 알고리즘 기법에 대해 설명한다. 4절에서는 기존의 동적 파라미터를 사용한 스케줄링 알고리즘과 묵시적 스케줄링 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 통한 비교를 수행하였다.

Ⅱ. 무선 ATM에서의 매체 접근 제어(MAC)

2.1. MAC 프로토콜의 개요

무선 ATM에서의 MAC 프로토콜은 물리 계층에서의 무선 접속 방식(CDMA/TDMA/FDMA)에 따라 채널 공유 방식, 슬롯 할당 구조 및 절차 등이 달라질 수 있다. 또한 이중화(duplexing) 방식에 따라 MAC 프레임 구조와 슬롯 할당 방식이 달라질 수 있지만, 가장 기본적인 골격은 패킷 다원 접속 방식이 된다.

무선 매체에서의 일반적인 접근 제어 방식은 분산 방식과 중앙 집중 방식으로 구분할 수 있다. 분

산식 매체 접근 제어는 일반적으로 경쟁 기반으로서 ALOHA 프로토콜, 무선 LAN의 CSMA/CA [2] 및 HIPERLAN-1의 EY-NPMA [3] 프로토콜 등을 예로 들 수 있다. 분산 방식에서는 각 이동국이 독립적으로 매체 접근을 시도하므로 무선 ATM 액세스점 중심의 프로토콜에 비해 상대적으로 구현이 용이한 면이 있으나, 실시간 트래픽 등을 포함한 멀티미디어 서비스의 지원 측면에서는 지연 시간 등의 엄격한 QoS를 보장 문제가 제한 요인이 될 수 있으므로 무선 ATM에서는 부적합한 것으로 판단된다.

한편, 중앙 집중식 매체 접근 제어 방식의 대표적인 예로 Reservation ALOHA와 PRMA [4], RAMA [5] 등을 들 수 있다. 무선 ATM에서는 중앙 집중 방식에 의한 매체 접근 제어가 무선 ATM 액세스점 중심의 제어를 통해 각 이동국들의 분산성을 극복하고 중앙에서 총체적으로 채널을 관리함으로써 모든 이동국들에 대한 채널 사용률을 향상시키는데 그 특징이 있다. 따라서, 이 방식에서는 효율적인 슬롯 할당을 위한 스케줄링 기법이 필요하며 이에 따른 부가적인 신호 트래픽과 구현상의 복잡도가 수반된다. 기존 개발된 무선 ATM 프로토타입 시스템에서 적용된 MAC 방식들인 DSA, Dynamic PRMA, MASCARA, DQRUMA, MDR-TDMA 등이 이와 같은 중앙 집중 방식에 기반을 두고 있다 [6,7,8,9,10].

지금까지 제안된 다양한 매체 접근 제어 프로토콜들은 슬롯 할당 방식, 프레임 구조 및 시그널링 형태 등에서 약간의 차이가 있으나, 기본적으로 동적 예약 방식 TDMA라는 동일한 개념에 기초를 두고 있다. 또한, 상하향 링크간의 비대칭적인 트래픽 부하에 따라 상하향간 프레임 경계를 적응적으로 결정하는 TDD방식을 적용하는 것이 가장 일반적인 형태이다. 따라서 지금까지 제안된 여러 유사한 프로토콜 간의 성능과 구현상의 차별화는 슬롯 할당 방식의 구현 형태에 의해 결정된다고 할 수 있다.

2.2. 동적 파라미터를 사용한 대역 할당

무선 ATM에서는 동적 예약 기반의 매체 접근 제어 알고리즘을 통해 유선 ATM 망에서 정의된 QoS 및 전송률 요구 사항이 다양한 트래픽 서비스들에 대해 bandwidth-on-demand를 실현하기 위한 통계적 다중화를 구현할 수 있어야 한다. 그러나, 분산된 단말국으로부터의 트래픽 발생 상황을 직접 파악할 수 없기 때문에 실질적인 통계적 다중화가 이루어질 수 없다. 따라서 무선 구간의 통계적 다중화를 실현하기 위해서는 중앙의 액세스점을 통해 동적 슬롯 할당을 수행할 수 있는 스케줄링 기능이 제공되어야 한다.

동적 슬롯 할당을 구현하기 위해서는 각 단말기들의 트래픽 상황을 나타내는 파라미터와 이에 관련된 제어 정보를 주고 받을 수 있는 그림 1과 같은 시그널링 체계를 사용하여 대기 행렬 길이와 잔여 수명등의 변화를 나타내는 동적 파라미터를 통해 자신의 대역 요구 상황을 무선 ATM 액세스점에 알려주어 동적 슬롯 할당 알고리즘에 따라 이동국에 대역을 할당한다. 따라서 이와 같은 동적 파라미터를 전송하기 위한 효과적인 신호 방식이 요구되며, 이는 크게 대역내 신호 방식(In-band signaling)과 대역외 신호 방식(Out-of-band signaling)으로 구분할 수 있다.

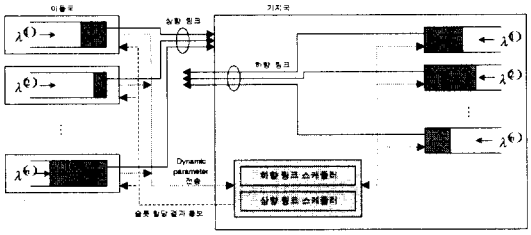

그림 1. 동적 슬롯 할당을 위한 시그널링 체계

대역내 신호 방식은 매 프레임마다 상향 링크로 전송되는 무선 ATM 셀 헤더에 GFC 필드를 사용하여 동적 파라미터를 전송하거나, 혹은 무선 ATM 셀 자체에 추가 신호 비트를 통해 전송 한다 [14]. 대역내 신호 방식은 동적 파라미터 전송을 위한 추가 슬롯이 필요하지 않으나 무선 ATM셀의 오버헤드를 고려할 때 전송될 수 있는 정보의 양이 극히 제한되어야 한다.

한편 대역외 신호 방식은 매 프레임마다 특정 슬롯을 사용하여 자신의 동적 파라미터를 전송하는 방식이다 [5,14]. 그러므로 대역외 신호 방식은 추가의 대역이 필요하나 좀 더 많은 정보를 전송할 수 있으므로 보다 정확한 요구 슬롯수의 예측이 가능하다. 그러나 경쟁에 따른 지연으로 적시에 정보를 전송할 수 없는 단점이 있을 수 있다. 특히 이동국들의 부하가 클 경우 각 이동국들로부터의 랜덤 접속 지연 시간에 의한 슬롯 할당 요청 정보의 부정확성으로 인해 전반적인 스케줄링 성능이 하락할 수 있는 반면, 대역내 신호 방식에 의한 제한된 시

그널링의 경우에는 높은 부하에도 스케줄링 성능을 적정 수준만큼 유지할 수 있을 것이다.

이상에서 살펴본 바와 같이 동적 대역 할당의 성능은 동적 파라미터 전송의 적시성과 정확성, 그리고 이를 위한 신호구조에 의해 직접적으로 영향을 받음을 알 수 있다. 즉 각 서비스 별 트래픽 발생 특성과 QoS 요구 사항을 기반으로 대역 할당이 수행되어야 한다는 관점에서 각 이동국의 트래픽 발생률과 버퍼의 대기 행렬 상태 등과 같은 대역 할당에 필요한 동적 파라미터의 내역을 결정하고, 이를 대역내 신호 방식 또는 대역외 신호 방식으로 전송할 것인지를 결정하여 동적 대역 할당 스케줄링 알고리즘이 구현되어야 한다.

Ⅲ. 동적 예약식 매체 접근 제어를 위한 묵시적 스케줄링 알고리즘

본 논문에서 고려하는 MAC 프로토콜은 기본적으로 FDD/TDMA 방식으로서, 상향링크의 RACH (Random Access Channel)의 부슬롯을 통해 이동국들이 랜덤 접속 방식으로 예약 요청을 시도하는 구조를 갖는다.

본 절에서는 일반적인 MAC 프로토콜의 구조인 예약형 랜덤 접속 방식과 중앙 집중적인 스케줄링은 그대로 유지하면서 동적 파라미터의 전송에 의존하지 않고 묵시적으로 동적 슬롯 할당이 가능한 방식을 제안한다. 따라서, 동적 파라미터의 전송에 필요한 추가적인 신호 구조가 불필요하며, 동적 파리미터가 성능에 미치는 영향을 극소화할 수 있다. 즉, 기본적인 틀은 기존의 MAC 프로토콜들과 유사하지만 동적 파라미터 전송에 의존하던 기존 방식을 탈피하여 동적 파라미터에 대한 스케줄러의 의존도를 최소화하는 묵시적 스케줄링 기법을 사용한다.

동적 파라미터의 묵시적 전송이란 다음과 같은 두 가지 상황에 대해 수행되는 전송을 의미한다. 첫째는 이동국 자신에게 할당된 슬롯이 QoS를 보장받기 위해 필요한 최소의 슬롯 수를 기준으로, 그것보다 실제 할당된 슬롯 수가 부족할 경우 할당된 슬롯을 모두 사용하여 무선 ATM 액세스점에게 다음 프레임에서 요구하는 대역을 증가시켜 줄 것을 묵시적으로 요구하는 경우이다. 둘째는 이동국이 필요한 최소의 슬롯 수보다 실제 할당된 슬롯 수가 많을 경우 할당된 슬롯 중 마지막 슬롯을 제어 신호용으로 사용하여, 즉 자신의 최소 요구 슬롯을 그 슬롯을 통해 무선 ATM 액세스점에게 통보하여 다음 프레임에서 요구하는 대역을 감소시켜 줄 것을 묵시적으로 요구하는 경우이다. 즉 이동국에서 자체적으로 요구 슬롯 수를 계산하여 묵시적으로 동적 파라미터를 전송한 뒤 무선 ATM 액세스점의 스케줄러는 통보 받은 대역 요구 상황과 적절한 대역 분할(Proration)을 통해 모든 이동국에게 요구 슬롯을 할당해 준다.

무선 ATM 액세스점의 스케줄러에는 resource table과 각 사용자별로 allocation table을 두게 되며, resource table은 각 슬롯이 할당된 이동국의 주소를 기록하고 allocation table에는 각 사용자 별로 할당된 총 슬롯의 수 및 그 슬롯들의 번호를 기록한다. 이와 같은 두 개의 table을 이용하여 슬롯 할당을 동적으로 관리하며, 이 때 이동국에 할당되는 상향링크의 슬롯 수는 각 이동국에서 묵시적으로 통보하는 요구 슬롯의 수와 프레임당 가용한 슬롯의 수를 동시에 고려하여 결정된다.

$(i-1)$번째 프레임동안, 각 이동국 j가 산출한 상향 링크에서 할당 받아야 할 최소의 슬롯 수를 $a_{\min}^{(j)}(i-1)$이라 하자. 이동국은 i번째 프레임동안 실제로 할당된 슬롯의 수 $\hat{a}^{(j)}(i)$와 $a_{\min}^{(j)}(i-1)$를 비교하여 다음과 같은 규칙에 의해 실제로 사용하는 슬롯의 수 $c^{(j)}(i)$를 묵시적으로 슬롯 요구 상황을 통보하게 된다.

$$\text{if} \quad \hat{a}^{(j)}(i) < a_{\min}^{(j)}(i-1)$$

$$\text{then} \quad c^{(j)}(j) = \min(\widehat{a^{(j)}}(j), L^{(j)}(j))$$

$$\text{else} \quad c^{(j)}(j) = \min(\widehat{a^{(j)}}(j) - 1, L^{(j)}(j))$$

여기서, $L^{(j)}(i)$는 $(i+1)$번째 프레임 직전에 이동국 j에서의 대기 행렬 길이를 나타낸다. 위의 규칙은 만일 실제 할당된 슬롯의 수가 품질을 유지하기 위해 필요로 하는 슬롯의 수보다 작을 경우에는 할당된 모든 슬롯을 사용하고, 그렇지 않은 경우에는 마지막 슬롯 한 개를 제외하고 나머지 슬롯을 모두 사용함을 의미한다. 할당된 슬롯 수가 최소 요구 슬롯 수보다 많을 경우에 사용되지 않는 마지막 슬롯은 제어 신호 슬롯으로서 사용되며, 이를 통해 현재 이동국이 다음 프레임에서 요구하는 최소 슬롯의 수, $a_{\min}^{(j)}(i-1)$를 통보함으로써 과다하게 설정된 대역을 무선 ATM 액세스점의 스케줄러가 재조정할 수 있도록 한다.

한편, 무선 ATM 액세스점에서는 각 이동국들 $a_{\min}^{(j)}(i-1)$을 통보하면 상향 링크의 다음 프레임에서 이에 해당하는 수의 슬롯을 할당하고, 할당 받은 모든 슬롯을 사용한 경우에는 트래픽 증가를 묵시적으로 통보한 것으로 보고 일정한 비율로 슬롯 할당량을 증가시킨다. 즉, 무선 ATM 액세스점의 스케줄러는 다음과 같은 규칙에 따라 다음 프레임에서 할당된 대역을 결정한다.이 실제로 사용한 슬롯의 수를 감시하여 만일 할당된 슬롯 중에서 마지막 슬롯을 이용하여

if ($a_{\min}^{(j)}(i-1)$ received)

then $\hat{a}^{(j)}(i+1) = \hat{a}_{\min}^{(j)}(i-1)$

else $\hat{a}^{(j)}(i+1) = \hat{a}^{(j)}(i) + \Delta_{i+1}$

위 식에서 Δ_{i+1}는 재조정을 위해 $(i+1)$번째 프레임에서 추가될 할당 슬롯의 수를 나타낸다. 즉 QoS를 만족하기 위해 필요한 대역 요구량이 부족한 경우, 이를 재조정하기 위한 슬롯의 수를 Δ_{i+1} 만큼추가 할당한다. 이와 같이 추가 슬롯의 수를 결정하는 방법에는 매번 일정 수를 증가시키는 산술적 증가 정책(예를 들어, $\Delta_{i+1} = \text{constant}$)과 추가 슬롯 수를 지수적으로 증가시키는 기하 급수적 증가 정책(예를 들어, $\Delta_{i+1} = 2^k, k = 0,1,2,\cdots$) 등을 사용할 수도 있다.

무엇보다도 묵시적 방식 스케줄링이 안정적으로 수행되기 위해서는 이동국에서 QoS를 보정하기 위해 할당받아야 할 최소의 슬롯 수인 $a_{\min}^{(j)}(i)$를 정확히 산출할 수 있어야 한다. 예를 들어, 대기 행렬 길이 (l)와 현재 비퍼에서의 셀도착률(λ)을 사용하거나[14], 또는 이동국에서 등가대역(equivalent capacity)을 계산하여 자신의 필요한 최소 슬롯 수를 통보하도록 할 수 있다. 또한 이동국에서 셀의 폭주시 이동국과 무선 ATM 액세스점 간의 상호 제어가 불가능한 경우 추가 슬롯 할당을 대역외 제어 신호를 통해 요구할 수 있어야 한다.

Ⅳ. 성능 분석

4.1. 트래픽 모델링

다양한 ATM 트래픽 클래스들 중 CBR의 경우에는 일정한 대역 할당을 수행하며, ABR/UBR의 경우는 VBR, CBR 보다 대역 할당의 우선권이 낮으므로 시뮬레이션 대상에서 제외되었다. 그러므로 본 시뮬레이션에서는 VBR 트래픽만을 고려한 묵시적 스케줄링 알고리즘의 통계적 다중화 이득 측면에서의 성능을 분석하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 여기서 고려한 VBR 정보 소스는 전형적인 화상 회의 응용에 따른 트래픽으로서, 다수 개의 동일한 ON/OFF 소스 모델로 모델링 할 수 있다 [15]. 본 시뮬레이션에서는 각 비디오 소스를 총 15개의 미니 소스(mini-source) 모델로 구성하였다. 각 미니 소스 모델은 ON 상태에서 최대 비트율을 가지고 트래픽을 발생시키며, OFF 상태에서는 트래픽을 발생시키지 않는다. 소스 모델에서 사용된 값들은 참고문헌 [14] 및 [15]에 제시된 소스 모델의 파라미터 값을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 자세한 트래픽 파라미터 값들은 표 1에 제시되어 있다.

표 1 트래픽 모델링 파라미터

	정 의	설정값
R_p	최대 데이터 발생률(Peak Data Rate)	2.95Mbps
τ_{on}	ON 상태의 평균길이 (Average Duration of ON State)	33msec
τ_{off}	OFF 상태의 평균 길이 (Average Duration of OFF State)	67msec
γ	활성률(Activity Ratio)	0.33
b	Burstiness	3
M	ON/OFF 미니 소스의 수 (Number of ON/OFF Mini-source)	15
L_{max}	최대 허용 손실률(Loss)	10^{-4}
D_{max}	최대 허용 지연 시간(Maximum Delay)	150mess

4.2. 프레임 구조와 시스템 파라미터

본 시뮬레이션에서는 FDD/TDMA 방식을 가정하였고, 매 프레임 주기마다 RACH 채널을 지정하여 이동국들의 예약 요청을 랜덤 접속을 통해 가능하게 하였다. 다수의 사용자들에 의한 랜덤 접속은 RACH를 통해 slotted ALOHA 방식으로 수행된다.

MAC 패킷은 참조문헌 [14]에서 사용된 구조를 적용하였다. 하향 링크는 프레임 선두의 시그널링 버스트(signaling burst)를 통해 모든 이동국들에게 각종 정보를 전송하며, 상향 링크에서는 다수개의 RACH 슬롯을 이용하여 각 이동국들의 예약 요청을 수행하고, 대역외 신호 방식의 경우 공정한 비교를 위해 폴링과 경쟁 방식 모두 동일한 개수의 DP 슬롯을 사용하여 이동국들 자신의 동적 파라미터를 전송한다. 무선 ATM 액세스점의 스케줄러는 프레임 단위로 슬롯 할당을 수행하고, 슬롯 할당 결과를

매 프레임마다 시그널링 버스트를 통해 통보한다. 상향 링크와 하향 링크간의 오프셋은 무시하며 각 이동국으로부터 무선 ATM 액세스점으로 전송된 묵시적 정보를 포함한 각종 정보들은 즉시 슬롯 할당에 반영될 수 있는 것으로 가정하였다.

한편 본 시뮬레이션에서 사용된 각종 파라미터의 값은 표 2에 제시되어 있다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Parameters	적용값
채널속도(channel bit rate)	25Mbps
프레임 길이(frame length)	2msec
프레임당 슬롯수(slots per frame)	111
RACH슬롯수(RACH slots)	6
DP 전송 슬롯수(DP slots)	3
MAC 패킷 크기(MAC packet size)	448bits

4.3. 시뮬레이션 시나리오

본 시뮬레이션에서는 스케줄링 기법에 따른 효과만을 서로 비교 분석하기 위해 수행하였으므로 기본적인 MAC 프레임 구조와 예약 경쟁 방식은 모두 동일하게 설정하였으며, 단지 무선 ATM 액세스점에서의 스케줄링 기법에 따라 각종 파라미터를 수정하며 비교 분석을 수행하였다. 또한 채널상의 에러는 고려하지 않았으며, 각 이동국들은 앞에서 언급한 트래픽 모델에 따라 독립적으로 데이터를 발생하여 매 프레임마다 슬롯을 할당 받아 자신의 패킷을 전송하는 방식을 기본으로 하였다. 본 시뮬레이션에서는 묵시적 스케줄링, 대역내 동적 파라미터 전송 방식(DP-Inband), 폴링을 이용한 주기적 동적 파라미터 전송 방식(DP-polling), 대역외 동적 파라미터 전송 방식(DP-contention), ideal 스케줄링 등의 5가지 스케줄링 방식을 고려하였다.

묵시적 스케줄링(DP-Implicit)의 경우, 각 이동국은 매 프레임 단위로 버퍼의 대기 행렬 길이(l)와 현재 버퍼로 들어오는 셀 도착률(λ)을 사용하여 해당 프레임의 최소 요구 할당 슬롯 수를 $\lambda+1$로 설정하였다. (즉, i번째 프레임에서의 셀 도착률과 대기 행렬의 길이를 각각 λ_i와 l_i라 했을 때 $a_{\min}(i)=\lambda_i+l_i$). 이와 같이 산출된 $a_{\min}(i)$과 산술적 증가 정책 $\Delta_{i+1}=1,2,4\,\forall i$)과 기하 급수적 증가 정책 $\Delta_{i+1}=2^k, k=0,1,2,\cdots$)을 사용하여 본 논문의 3절에서 제시된 스케줄링 절차를 구현하였다.

동적 파라미터를 전송하여 스케줄링을 수행하는 경우는 앞에서 언급한 바와 같이 대역내 방식과 대역외 방식 두 가지가 있는데 대역내 방식(DP-Inband)은 참고문헌 [14]에서 언급한 방식을 그대로 적용하였다. 대역외 방식은 3개의 DP슬롯을 사용하여 매 프레임마다 6개의 이동국으로부터 DP를 전송 받아 새로운 DP를 사용하여 다음 할당 슬롯 수를 계산하여 할당하는 방식인 폴링(DP-Polling)과 매 프레임마다 3개의 DP 슬롯을 사용한 경쟁을 통해 자신의 DP를 전송하도록 하는 경쟁 방식(DP-Contention)에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 대역외 방식의 경우 폴링과 경쟁 방식 공정한 비교를 위해 모두 동등한 3개의 DP 슬롯을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

한편, 무선 ATM 액세스점의 스케줄러에서 모든 이동국에 대한 정보를 완벽하게 알고 있다는 가정하에서 수행되는 이상적인 슬롯 할당 방식(ideal 스케줄링)을 고려함으로써, 제안된 접근 방식의 통계적 다중화 이득을 상대적으로 비교할 수 있도록 하였다.

4.4. 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 2와 3은 각각 묵시적 스케줄링 알고리즘의 Δ_{i+1}를 2와 6으로 고정하여 할당 슬롯 수를 증가시킬 경우 임의의 큐의 대기 행렬과 셀 도착률의 합과 실제로 할당된 슬롯의 수를 추적한 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이 Δ_{i+1}값이 6일 경우는 Δ_{i+1}값이 2일 경우보다 슬롯 할당이 조정되는 폭이 더 커짐으로써 순시적으로 과다 할당되는 폭이 증가하는 경향이 있다. 한편 그림 2의 경우 $(\lambda+l)$이 급격히 증가하나, 할당된 슬롯 수가 그 추이를 따라가지 못하는 이유는 모든 이동국에 대한 대역 분할(proration)로 인한 할당 대역의 감소 때문이다.

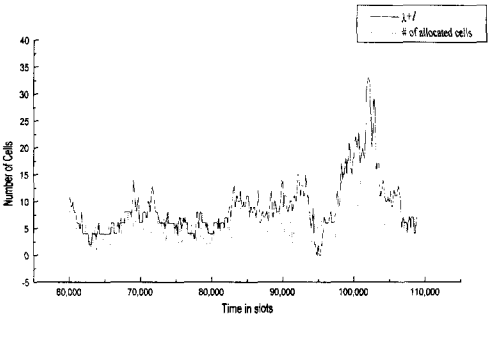

그림 2. 묵시적 스케줄링 기법의 슬롯 할당의 예(Δ_{i+1}=2)

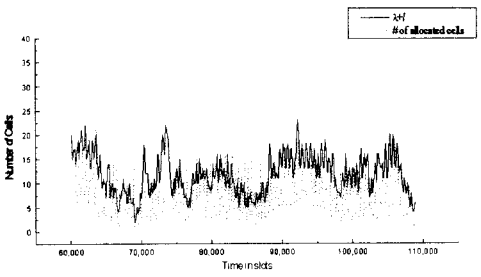

그림 2. 묵시적 스케줄링 기법의 슬롯 할당의 예(Δ_{i+1}=6)

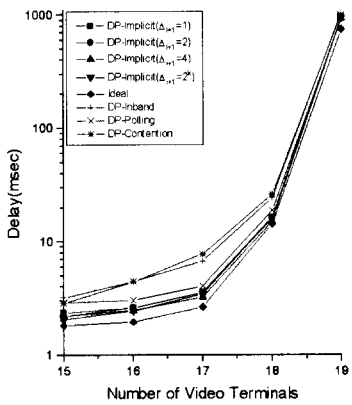

그림 4. 이동국 수의 변화에 따른 지연 시간 분포

그림 4는 4는 각 이동국들의 버퍼 크기를 무한대로 설정하고, 이동국 수의 변화에 따른 지연 시간을 보여주는 그래프로서, 사용자의 증가에 따라 지연 시간이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이동국의 수가 비교적 적을 때에는 묵시적 스케줄링 방식(DP-Implicit)의 경우 1~2 msec 내외의 차이로 가장 낮은 지연 시간을 보이고 있다. 그래프에서 보는 바와 같이 지연 시간의 상대적인 성능 차이가 대역외 경쟁 방식과 대역내 신호 방식에서 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 트래픽의 부하가 낮을 때에는 (그림 5에서 이동국의 수가 15개 이하일 때) 대역외 경쟁 방식의 예약 지연 시간이 작지만, 부하가 커질수록 랜덤 접속 과정에서의 충돌이 증가하여 대역내 방식보다 예약 지연 성능의 열화가 나타난다. 이는 참조문헌 [14]에서의 결과와 일치하는 것이다. 또한 묵시적 스케줄링의 Δ_{i+1} 변화에 따른 추이를 살펴보면 먼저 산술적 증가 정책의 경우 트래픽의 부하가 낮을 때에는 Δ_{i+1}가 클수록 지연 시간이 작으며, 트래픽의 부하 높을 때에도 Δ_{i+1}가 큰 경우 (Δ_{i+1}=2,4)가 지연 시간이 작지만 그 값은 Δ_{i+1}가 1인 경우와 거의 비슷해진다. 그 이유는 대역 분할(proration)의 효과로 인해 추가 할당에 대한 이득이 사라지기 때문이다. 그리고 기하 급수적 증가 정책의 경우 트래픽의 부하가 낮을 때에는 묵시적 스케줄링 기법 중 가장 낮은 지연 시간을 보이지만, 트래픽 부하가 높을 때 역시 대역 분할로 인한 이득이 사라지므로 지연 시간 증가 추이가 산술적 증가 정책의 경우와 유사하고 그것보다 지연 시간이 1 msec 내외 정도 더 증가하였다.

한편, 묵시적 스케줄링이 지연 시간 측면에서 우수한 성능을 보이는 것은 슬롯 증가 정책에 따라 발생하는 순시적인 과다 슬롯 할당(over-allocation)에 기인한 것으로 판단된다.

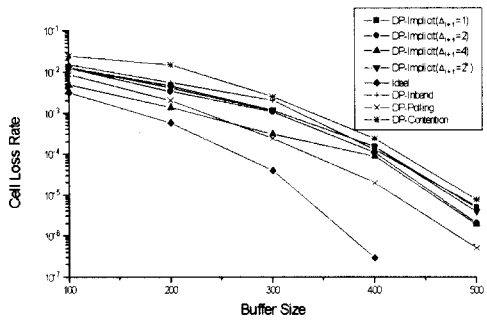

그림 5. 버퍼 크기에 따른 손실률의 분포

그림 5는 18개의 이동국을 다중화하여 이동국의 버퍼 크기에 따른 평균 셀 손실률을 보여주는 그래프로서, 이를 통해 실제 요구치인 10^{-4}에 대한 적정 버퍼 크기를 추정할 수 있다. 이 그래프에 따르면 묵시적 스케줄링 기법의 셀 손실률은 폴링에 의한 스케줄링 기법보다 더 높은 셀 손실률을 보인다. 그 이유는 트래픽 변화율이 급격히 변하는 상황에서 슬롯 요구량을 추적하는 정확성 측면이 폴링 방식보다 성능이 떨어지므로 각 이동국에서의 버퍼 과잉(overflow)에 따라 셀 손실률이 높아지기 때문이다. 즉 묵시적 스케줄링 기법이 VBR의 트래픽 발생률 변화에 따른 신속한 적응성은 더 우수하나, 이동국에게 할당되는 할당 슬롯 수에 대한 적응성이 빠른 속도로 증가하는 트래픽 발생률을 추적하는 경우 폴링 방식보다 성능이 열악하다. 그로 인한 결과가 셀 손실률의 증가로 나타난 것이다. 또한 묵시적 스케줄링의 경우 지연 시간 비교 그래프의 결과에서와 마찬가지로 또한 기하 급수적 증가 정책의 경우와 산술적 증가 정책의 Δ_{i+1}가2, 4일 경우가

Δ_{i+1}가 1일 경우보다 셀 손실률 측면에서 더 우수한 성능을 보인다. 그러므로 묵시적 스케줄링에서는 Δ_{i+1}가 클수록 대역 할당량이 증가하므로 셀 손실률이나 지연 시간 측면에서 다소 우수한 성능을 보이나 전체 트래픽의 부하가 많을 경우에는 대역 분할로 인해 그 효과가 줄어들게 됨을 알 수 있다.

한편 대역내 신호 방식과 경쟁에 의한 스케줄링 기법은 18개의 이동국의 다중화로 인한 전체 트래픽의 부하가 많은 상황이므로 경쟁에 의한 동적 파라미터 전송 기법이 가장 열악한 성능을 보이고 있으며, 그 결과도 또한 참조문헌 [14]와 일치하는 것이다.

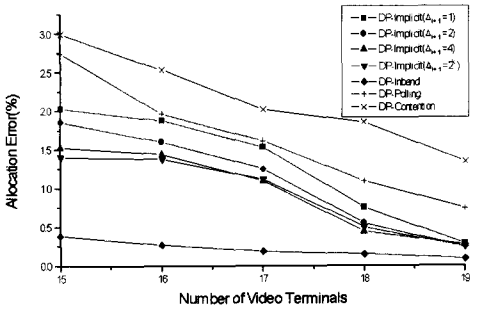

그림 6. 이동국 수의 변화에 따른 평균 할당 오차률 분포

그림 6은 이동국 수에 따른 평균 할당 오차율(allocation error rate)을 보여주는 그래프로서, 이 값은 ideal 스케줄링에 의해 할당된 슬롯 수와 각 스케줄링 방식에 의해 결정된 할당 슬롯수의 차이에 대한 rms 값을 의미한다. 각 스케줄링 방식들의 동적 파라미터 전송의 적시성과 정확성 측면 중에서 급격한 트래픽 발생률의 변화에 순시적인 대응을 필요로 하는 적시성 측면이 그림 6과 같은 평균 할당 오차율 그래프에 반영이 된다. 그림 6의 그래프에서 이동국의 수가 증가함에 따라 할당 오류율이 감소하는 이유는 ideal 스케줄링의 경우 모든 사용 가능한 슬롯을 모든 이동국에게 분배하여 할당해 주는 반면, 다른 스케줄링 방식에서는 각 이동국들의 요구 슬롯 만큼만을 할당해 주기 때문이다. 따라서 이동국이 늘어남에 따라 각 이동국에 대한 할당 슬롯 수가 줄어들게 되므로 할당 오차율이 감소하는 것으로 나타난다. 또한 묵시적 스케줄링의 경우에는 산술적 증가 정책, 기하 급수적 증가 정책 모두 변화 추이는 일정하게 유지되고 있으며 Δ_{i+1}가 적으며 트래픽의 부하가 낮을수록 할당 오차율은 커지게 된다. 즉 할당 증가량이 많으며 트래픽의 부하가 낮을 경우에는 대역 할당이 많아지므로 할당 오차율이 감소하게 되며 반면에 트래픽의 부하가 높을 경우에는 할당 증가량 Δ_{i+1}에 관계 없이 서로 비슷한 할당 오차율을 보이게 된다.

그러나 그림 6의 그래프에 대한 분석의 핵심은 각 스케줄링 방식에 따른 할당 오차율의 상대적인 비교로서, 그래프에서는 대역내 신호 방식, 묵시적 스케줄링, 폴링 방식, 경쟁 방식 순으로 오차 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉 경쟁 방식은 파라미터 전송을 위해 경쟁을 시도하여 적시에 전송하지 못하는 경우 슬롯 할당에 큰 오차가 발생할 수 있으며, 폴링 방식 역시 폴링 순서에 따른 지연 효과로 인해 각 이동국들에 대한 오차 값들은 상대적으로 다른 스케줄링에 비해 증가함을 알 수 있다. 한편, 대역내 신호 방식은 다소 적은 정보만으로 스케줄링을 수행하지만, 매 프레임마다 할당 받는 즉시 정보가 전송되므로 어느 정도 자신의 요구 슬롯량을 지속적으로 예측 가능하기 때문에 가장 적은 오차가 나타난다. 한편 묵시적 스케줄링은 매 프레임마다 자신에게 할당된 슬롯을 통해 묵시적으로 항상 자신의 할당 요구량을 통보할 수 있으므로 대역내 신호 방식과 대역외 신호 방식의 중간 정도 수준의 오차를 보임을 알 수 있다. 즉, 정확한 정보를 얼마나 자주 전송 하느냐는 측면에서는 대역내 신호 방식과 대역외 신호 방식의 중간 정도 수준에 해당하는 성능을 보이므로, 적시성 측면에서의 성능을 유추할 수 있다.

또한, 그림 6의 그래프에서 보는 바와 같이 대역내 신호 방식의 경우 적시성 측면에서는 가장 우수하지만, 그림 4 및 5의 지연 시간과 셀 손실률에 대한 성능은 열악하다. 그러므로 동적 파라미터 전송의 정확성 또한 스케줄링 성능에 미치는 영향이 매우 크다는 사실을 유추할 수 있다.

시뮬레이션을 통한 비교 분석에 의해 스케줄링에 대한 성능은 동적 파라미터 전송의 적시성과 정확성 두가지의 측면을 고려해 볼 수 있다. 그림 6의 평균 할당 오차율을 통해 동적 파라미터 전송의 적시성 측면에서 대역내 신호 방식의 우수성과 여타 대역외 신호 방식들보다 우수한 묵시적 스케줄링 기법을 확인할 수 있고, 지연 시간과 셀 손실률의 그래프를 통해 전체적인 성능에 영향을 미치는 적시성, 정확성 모두 다른 신호 방식과 비슷한 수준을 유지하는 것을 알 수 있다. 즉 VBR과 같은 트래픽 발생률이 매우 가변적인 서비스 클래스에 대한 동

적 대역 할당에서는 동적 파라미터 전송의 적시성과 정확성 모두 고려되어야 하므로 대역외 전송 방식보다는 적시성 측면이 우수하며, 대역내 신호 방식보다는 정확성 측면이 우수한 묵시적 방식이 유용한 스케줄링 기법으로 적용 가능한 것을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 ATM 매체 접근 제어 프로토콜 중 동적 대역 할당을 위한 스케줄링 알고리즘으로서 묵시적 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 기존에 제안된 매체 접근 제어 프로토콜들이 동적 파라미터에 전적으로 의존하는 스케줄링 알고리즘임에 비해, 묵시적 스케줄링 알고리즘은 동적 파라미터를 직접 전송하지 않고 묵시적으로 무선 ATM 액세스점으로 알려주며, 이동국 자신이 필요한 대역을 산출하여 대역을 요구, 할당 받는 알고리즘이다. 기존의 동적 파라미터를 사용한 알고리즘과의 적시성과 정확성 측면의 비교를 통해 대역내 신호 방식보다는 정확성 측면이, 대역외 신호 방식보다는 적시성 측면에서 우수한 성능을 보이므로, 묵시적 스케줄링 기법 또한 동적 대역 할당이라는 면에서의 스케줄링 기법으로 적합한 알고리즘임을 알 수 있다. 그러나 묵시적 스케줄링 알고리즘에서 이동국 자신이 요구하는 최소의 슬롯 수를 정확하게 산출할 수 있어야 하며, 무선 ATM 액세스점의 추가 할당 슬롯 결정 알고리즘에 대한 연구를 통해 더욱 효율적인 대역 할당을 수행할 수 있어야 한다. 또한 트래픽별 QoS 보장을 고려한 슬롯 할당 알고리즘에 대한 연구와 동적 파라미터 전송에 따른 전력과 대역 효율성을 동시에 고려한 동적 슬롯 할당의 구현 방안, 실제 채널 환경에서의 동적 파라미터 손실 및 오류에 따른 대응 방안 및 관련 성능 분석도 향후 연구 과제가 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] Broadband Radio Access Networks (BRAN) ; Requirements and architectures for wireless broadband access and interconnection, DTR/ BRAN 01002 v0.0.1, Technical Report

[2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, 445 Hoes Lane, P.O. Box 1331, Piscataway, NJ, 08855, USA. IEEE P802.11 Draft Standard for Wireless LAN:Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, draft p802.11d5.0 edition, July 1996.

[3] ETSI TC-RES, Radio Equipment and Systems (RES): High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN): Functional Specifications, ETSI. 06921 draft pr ETS 300 652, July 1995.

[4] D. J. Goodman, Celluar Packet Communications, IEEE Transactions on Communication, Vol. 38, No. 8, August 1990.

[5] N. Amitay and L. Greenstein, Resource Auction Multiple Access in the Cellular Environment, IEEE Transactions on Vehicular Technology, pps. 1101-1111, November 1994.

[6] D. Petras, Medium Access Control Protocol for Wireless, Transparent ATM Access, Proceedings of IEEE Wireless Communication Systems Symposium, Nov. 1995.

[7] MEDIAN Project AC006, Draft System Design, March 1996.

[8] J. Mikkonen, The Magic WAND : Overview, Wireless ATM Workshop, Espoo, Finland, Sep. 2-3, 1996.

[9] K. Y. Eng et. al., BAHAMA : A Broadband Ad-Hoc Wireless ATM Local-Area Network, Proceedings of IEEE ICUPC, 1995.

[10] L. French, WATMnet : A Protype Wireless ATM System for Multimedia Personal Communications, Wireless ATM Workshop, Espoo, Finland, Sep. 2-3, 1996.

[11] P. Agrawal and et al., SWAN : A Mobile Multimedia Wireless Network, IEEE Personal Communications Magazine, 3(2), April 1996.

[12] Gang Wu, Yoshihiro Hase, Kazumasa Taira and Ken Iwasaki, A Wireless ATM Oriented MAC Protocol for High-Speed Wireless LAN, Proceedings of IEEE PIMRC 97, pp. 199-203, 1997.

[13] Yong Jin Kim and et al., Extended Dynamic Slot Assignment Protocol for Wireless ATM, Proceedings of the International Workshop 4th MoMuC 97, pp 526-529, Sep., 1997.

[14] S.K. Biswas, D. Reininger and D. Raychaud-

huri, UPC Based Bandwidth Allocation for VBR Video in Wireless ATM Links, Proceedings of IEEE INFOCOM 97, pp.1073-1079, 1997.

[15] Xiaowen Wu, et al., Dynamic Slot Allocation Multiple Access Protocol for Wireless ATM Networks, Proceedings of IEEE ICC 97, pp.1560-1565, June 1997.

[16] D. Raychaudhuri, et. Al., ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Networks, IEEE JSAC, pp.1401-1414, Oct. 1994.

황 민 재(Min-Jae Hwang) 정회원

1997년 2월 : 고려대학교 전파공학과 졸업
1999년 2월 : 고려대학교 전파공학과 석사
1999년 3월~현재 : 현대전자 통신연구소
<주관심 분야> IMT-2000, ATM Network

강 충 구(Chung-Gu Kang) 정회원

제24권 제4A호 참조

김 용 진(Yong-Jin Kim) 정회원

1982년 6월 : 연세대학교 전자공학과 공학사
1989년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
1997년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
1983년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 (ETRI) 표준기획연구팀장