

차세대 이동통신시스템을 위한 패킷 스케줄링 알고리즘과 효율적인 프레임 구성 방법 및 성능 분석*

백장현** · 김동회***

A Packet Scheduling Algorithm and Efficient Framing Method for Next Generation Wireless Communication System and its Performance*

Jang Hyun Baek** · Dong Hoi Kim***

■ Abstract ■

In this research, we propose packet scheduling algorithm considering different QoS characteristics of real-time traffic and non-real-time traffic in the next generation wireless communication system serving the multimedia traffic and a new efficient framing method cooperated with this packet scheduler. When the selected traffic classes of the selected users are transmitted, our proposed framing method can increase the number of serviced traffic classes by mixing the many different traffic classes within one frame considering data rate decided by the allocated AMC (Adaptive Modulation and Coding) option. Using this proposed method, the fairness among the traffic classes can be achieved and the system performance for total throughput and delay can be enhanced. Simulations are performed to analyze the performance of the proposed framing method. Our proposed packet scheduler and framing method will be applied to the next generation multimedia wireless communication system serving many traffic classes.

Keyword : Packet Scheduling, Framing, Quality of Service, Multimedia Traffic

논문접수일 : 2004년 3월 22일 논문게재확정일 : 2005년 1월 28일

* 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-002-D00203).

** 전북대학교 산업정보시스템공학과

*** 한국전자통신연구원 이동통신연구단

1. 서론

무선채널에서의 스케줄링은 기존의 유선 스케줄링과 차별화되는 몇 가지 특성을 가지고 있다. 첫째로, 무선채널은 유선과는 달리 정확한 전송에 대한 보장이 어렵고 따라서 에러가 수반될 수 있는 곳이다. 이러한 특성으로 인하여 무선채널에서 정확하고 효율적인 패킷 전송을 위해서는 무선채널 환경을 적절히 반영하는 우수한 스케줄링 기법이 필요하게 된다. 두 번째로, 무선채널의 상태는 시간에 따라 랜덤하게 변한다는 것이다. 이러한 무선채널의 상태 변화로 인하여 각 이용자의 SIR(Signal to Interference Ratio) 값도 시간에 따라 랜덤하게 변하게 된다. 빠른 페이딩(fast fading)에 의해 급격하게 채널 상태가 변화하는 경우 채널 상태가 양호한 이용자에게 우선권을 주어 시스템의 용량을 높여야 한다. 반면에 채널의 변화가 느린 경우에는 채널 상태의 변화를 인지하는데 긴 시간이 요구되므로 이용자의 위치와 간섭의 레벨에 따라서는 평균적인 채널의 상태가 크게 달라질 수 있다. 좋은 스케줄링 방법은 이러한 무선채널의 특성을 정확히 반영하여 무선채널의 수율을 최대화할 수 있어야 한다.

차세대 멀티미디어 이동통신시스템에서는 서로 다른 QoS(Quality of Service)를 갖는 다양한 멀티미디어 트래픽을 지원해야 한다. 한정된 자원을 사용하여 실시간 트래픽과 비실시간 패킷 트래픽을 동시에 서비스하면서도 실시간 트래픽에 대해서는 지연시간(delay)을 감소시키고 비실시간 트래픽 사용자들에게는 수율(throughput)을 증가시키는 효율적인 알고리즘이 필요하다. 수율과 지연시간의 정의는 다음과 같다.

- 수율(throughput) : 사용자의 평균 데이터 전송율이다. 따라서 실제 받은 데이터양을 시간으로 나누어 구할 수 있다.
- 지연시간(delay) : 사용자가 서비스를 요청한 후 실제 서비스를 받기 시작할 때까지 걸리는 시간

본 논문에서는 각종 QoS에 대한 시스템 성능을 향상시키기 위한 패킷 스케줄링 알고리즘 및 이러한 패킷 스케줄러와 연동할 수 있는 효율적인 프레임 구성 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 대상 시스템에 관해 간단히 살펴보고 3장에서는 기존의 패킷 스케줄링 알고리즘과 제안하는 방식에 대하여 자세히 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션 및 성능분석에 대하여 설명하고 5장에서는 그에 따른 시뮬레이션 결과를 기술한다. 마지막으로 6장에서 본 논문의 결론을 기술한다.

2. 대상 시스템 및 스케줄링 알고리즘 개요

2.1 대상 시스템

본 연구에서는 최고 10Mbps의 전송속도를 제공하는 HSDPA 시스템을 대상으로 패킷 스케줄링 방법 및 프레임 구성 방법을 제안하고자 한다.

IMT-2000의 관련 기술은 3GPP와 3GPP2에서 표준화를 주도하고 있는데, 이들 양대 기구는 WCDMA와 cdma2000의 두 가지 표준을 제정한 이후 급증하는 무선이동 환경에서의 고속 패킷데이터 서비스 요구에 부응하기 위해 보다 더 높은 데이터율의 패킷데이터 전송을 가능하게 하는 표준 개발을 시작하였다. 그러한 표준 개발의 결과로 3GPP에서는 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)를, 3GPP2에서는 1x EV-DV(EVolution Data and Voice)를 제안하였다. 아래 표는 IMT-2000 이후 패킷 데이터의 전송을 위하여 개발, 또는 개발중인 시스템을 나타내고 있다. 이러한 시스템들 중 본 연구에서는 HSDPA 시스템을 대상으로 패킷 스케줄링 방법 및 프레임 구성 방법을 제안하고자 한다. 표를 참고하면 IMT-2000 기반 시스템들 사이에서 HSDPA 시스템이 차지하는 대략적인 위치를 파악할 수가 있다.

HSDPA 시스템은 최고 10Mbps의 전송속도를 목

	cdma2000 1x (Release A)	EV-DO(HDR)	1x EV-DV	HSDPA
제공트래픽	음성+데이터	데이터	음성+데이터	음성+데이터
칩 레이트	1.2288Mbps	1.2288Mbps	1.2288Mbps	3.84Mbps
최대 데이터 전송 용량	614.4Mbps	2.4Mbps	3.0912Mbps	10Mbps
호환성	지원	RF만 호환	지원	지원
시스템구성	Upgrade	Upgrade	New	New

표로 하고 있다. HSDPA 시스템은 IMT-2000의 WCDMA 서비스와 동일한 반송파를 사용하여 공존하는 것을 가정하므로 사용자전용 물리채널(Dedicated Physical CHannel, DPCH) 사용자와 공존이 가능하다. 또한 IMT-2000 시스템의 순방향 공통채널(Downlink Shared CHannel, DSCH)을 강화한 고속 순방향 공통채널(High Speed Downlink Shared CHannel, HS-DSCH)을 사용한다[1]. 패킷 스케줄러는 Node-B에 위치하며, 링크 상황에 따라서 변복조 방식과 코딩 방식을 달리하는 기술인 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기능을 제어하고[2], 기존의 ARQ 기법에 전진 오류 정정(forward error correction) 기법을 결합하여 combining 효과를 가지는 복합 자동 재전송 요구(Hybrid Automatic Repeat reQuest, H-ARQ) 기능과 연동한다.

본 연구에서 HSDPA 시스템을 대상으로 제안하는 패킷 스케줄러는, 시간 축으로는 2ms의 프레임을 가지며 코드 축으로는 16개의 확산 코드(Spreading Factor, SF) 중 12개의 코드를 사용하여 12명의 사용자까지 코드 다중화할 수 있다고 가정한 후[3] 모의 실험을 수행하고자 한다.

2.2 무선채널을 위한 스케줄링 알고리즘

스케줄링 알고리즘은 일반적으로 주어진 자원을 여러 사용자들이 공유하기 위해 필요한 전송순서를 결정하는 것으로 사용자의 QoS와 시스템 수율을 결정하는 중요한 절차이다. 기존의 대표적인 스케줄링 알고리즘에는 FIFO(first in first out), round robin, max SIR, PF(proportionally fair)[4],

M-LWDF(modified largest weight delay first)[5] 등이 있다. 그밖에도 WFQ(Weighted Fair Queueing), WF²Q(Worst-case Weighted Fair Queueing), SCFQ(Self-Clocked Fair Queueing), Delay EDD(Earliest Due Date) 등의 여러 스케줄링 기법들이 제안되어 있으나[6, 7], 그 근간이 되는 개념은 기존의 스케줄링 방법과 크게 다르지 않다.

본 연구에서는 기존의 대표적인 스케줄링 알고리즘인 PF와 M-LWDF를 트래픽의 종류에 따라 적절히 병합하는 패킷 스케줄링 방법을 제안하고자 한다. 먼저 대표적인 스케줄링 방법들을 간단히 살펴보자. 가장 간단한 스케줄링 방안으로 round robin 방식과 max SIR 방식을 들 수 있다. Round robin 방식은 순차적으로 기지국에게 데이터를 전송하는 것으로 공평성의 관점에서 바람직하다고 볼 수 있으나 무선 채널 상태를 무시하고 있기 때문에 수율 측면에서 상당한 문제가 있다. 반면에 Max SIR 방식은 가장 좋은 SIR를 가지는 사용자에게 전송 권한을 주는 방안으로 시스템 관점에서는 수율을 최대화 하는 방안으로 볼 수 있으나 큰 SIR 값을 갖는 기지국 인근의 사용자들에게만 무선자원이 할당되는 문제점이 있다. 즉, 채널 상태가 좋은 사용자를 우선적으로 할당하게 되면 시스템 전체 수율은 극대화될 수 있으나 사용자간의 공정성이 확보될 수 없다는 문제점이 있다.

PF 방식은 모든 사용자에게 현재 제공 가능한 전송률과 지금까지 할당 받은 평균 전송률의 비율 계산하고 이 비율이 가장 큰 사용자를 우선적으로 고려하는 방식이다. 이를 수식으로 표현하면 다음의 조건을 갖는 사용자에게 우선권을 주어 전송

하게 된다[4].

$$\mu_i(t) = \arg \max_i \left\{ \frac{r_i(t)}{\bar{r}_i(t)} \right\} \quad (1)$$

여기에서 $r_i(t)$ 는 기지국에서 현재 전송 가능한 전송률이고 $\bar{r}_i(t)$ 는 슬롯 t 에서 각각의 사용자가 서비스받은 전송률의 평균값이다. 모든 사용자들로부터 산출한 $r_i(t)/\bar{r}_i(t)$ 의 값 중에서 가장 큰 값을 갖는 사용자가 데이터를 전송할 수 있다. 평균 전송률은 각 사용자 i 에 대하여 $\bar{r}_i(t+1) = (1-1/T_c) \cdot \bar{r}_i(t) + 1/T_c \cdot b_i(t)$ 와 같은 절차를 통하여 매 슬롯(slot)마다 갱신된다. 여기에서 $b_i(t)$ 는 시간 t 에서 사용자 i 의 현재 전송률이고 T_c 값에 의해 수율과 공정성간의 득실관계가 제어된다.

M-LWDF 알고리즘에서는 사용자 i 의 지연시간 요구사항을 다음과 같이 정의한다[5].

$$\Pr\{W_i > T_i\} \leq \delta_i \quad (2)$$

사용자가 실시간 패킷 사용자일 때, 데이터 패킷 대부분은 지연시간이 특정 기준값 이하로 유지되어야 할 필요가 있다. 여기에서 W_i 는 사용자 i 에 대한 패킷 지연이고, 파라메타 T_i 와 δ_i 는 지연 기준값과 QoS를 만족하기 위한 허용가능한 최대 확률값이다. M-LWDF 알고리즘은 다음 식의 값이 가장 큰 이용자에게 우선적으로 서비스를 수행한다.

$$\mu_i(t) = a_i W_i \frac{R_i(t)}{\bar{R}_i} \quad (3)$$

위에서 파라메타 a_i 는 $-(\log \delta_i)/T_i$ 이고 $R_i(t)$ 와 \bar{R}_i 는 각각 사용자 i 에 관한 현재 시간 t 에서의 채널 전송률과 평균 채널 전송률이다. 만약 모든 사용자가 동일한 지연값 T_i 를 가지고 초과 확률 δ_i 가 동일하다면 위 식은 다음과 같이 재정의된다.

$$\mu_i(t) = a_i W_i \frac{R_i(t)}{\bar{R}_i} \quad (4)$$

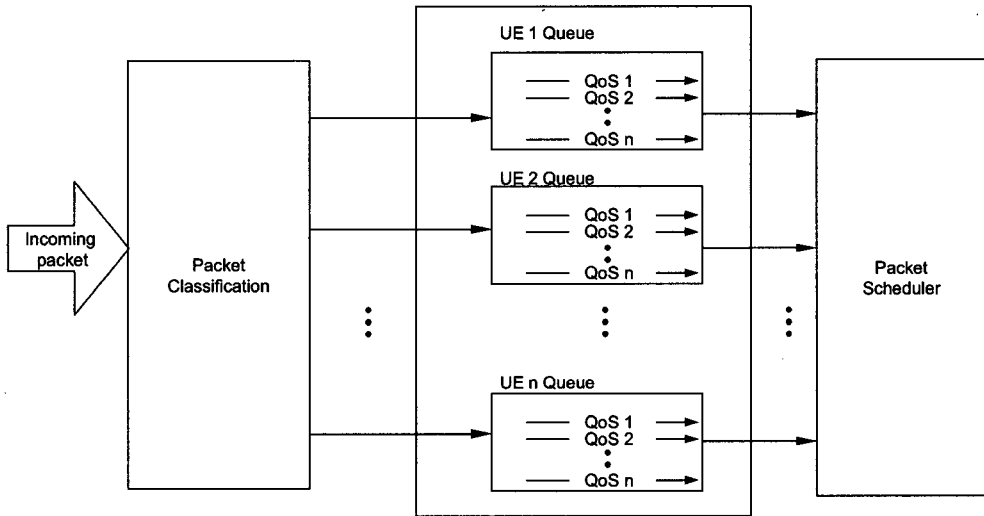
이러한 기존의 방법들에서 알 수 있듯이 효율적인 스케줄링 알고리즘은 시스템의 수율과 사용자간의 공정성을 동시에 고려하면서 이 두 항목간의 관계를 유연하게 제어할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽이 혼재하는 차세대 이동통신시스템에서 선택된 사용자들의 트래픽 클래스들을 전송할 때 PF 방식과 M-LWDF 방식을 적절히 이용하고 또한 한 개의 프레임에 다수의 이중 트래픽 클래스들을 함께 전송함으로써 서비스되는 트래픽 클래스들의 수를 증가시키는 방법을 제안하고자 한다. 제안하는 방법을 이용하면 트래픽 클래스간 공정성을 증가시키면서 또한 수율과 지연시간 관점에서 시스템 성능을 향상시킬 수가 있다.

3. 제안하는 패킷 스케줄러 및 프레임 구성 방법

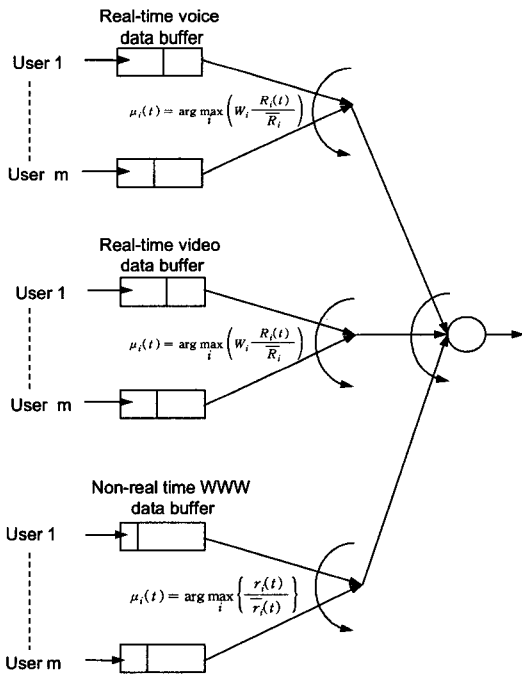
3.1 QoS에 의한 트래픽 클래스간 동적 패킷 스케줄링 방법

[그림 2]는 패킷 스케줄러의 구성도를 보여주고 있다. 인터넷을 통하여 입력되는 IP 패킷들은 패킷 분류(packet classification) 과정을 통하여 각 사용자별로 구분되고 다시 각 사용자 내부에서 QoS에 따른 트래픽 클래스로 구분되어 각각의 해당 버퍼에 저장된다. 이러한 버퍼들은 서로 다른 우선권을 가지며 패킷 스케줄러에 의한 스케줄링 작업의 대상이 된다.

트래픽 클래스간 우선순위를 고려한 스케줄링은 다음과 같이 동작된다. 제안하는 스케줄링 알고리즘은 일차적으로 실시간 패킷 트래픽 서비스에 우선권을 주어 먼저 서비스하게 하고 서비스할 실시간 패킷 트래픽이 없을 경우에만 비실시간 트래픽을 서비스하게 된다. 또한 실시간 트래픽에서도 QoS가 다른 여러 가지 트래픽 클래스가 존재하는 경우에는 지연에 민감한 트래픽 클래스를 우선적으



[그림 1] 패킷 스케줄러의 구성도



[그림 2] 멀티미디어 트래픽에서 제안하는 패킷 스케줄러의 구성도

실시간 WWW 트래픽이 혼재해 있는 멀티미디어 트래픽에서 제안하는 패킷 스케줄러의 단순한 구성도를 설명하는 그림이다. m 명의 사용자에게 해당하는 멀티미디어 트래픽이 실시간 음성 데이터 버퍼와 실시간 비디오 버퍼에 쌓이게 되고 그와 동시에 비실시간 WWW 버퍼에 저장되는 것을 가정한다.

본 논문에서는 OVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor) 코드의 수를 최대 12까지 설정한다. 그림에서 보여주듯이 실시간 음성 트래픽의 경우에는 M-LWDF 방식으로 스케줄링을 수행하여 가장 큰 값을 가지는 사용자에게 대해 서비스를 수행하며 실시간 음성 트래픽에 대한 패킷 스케줄링을 수행하다가 서비스할 실시간 음성 데이터가 없을 경우에 실시간 비디오 트래픽에 대한 패킷 스케줄링을 수행한다. 실시간 비디오 트래픽에 대한 스케줄링이 종료되면 비실시간 WWW 트래픽을 스케줄링하여 서비스하게 된다. 비실시간 WWW 트래픽의 경우에는 PF 방식을 이용하여 스케줄링을 수행한다.

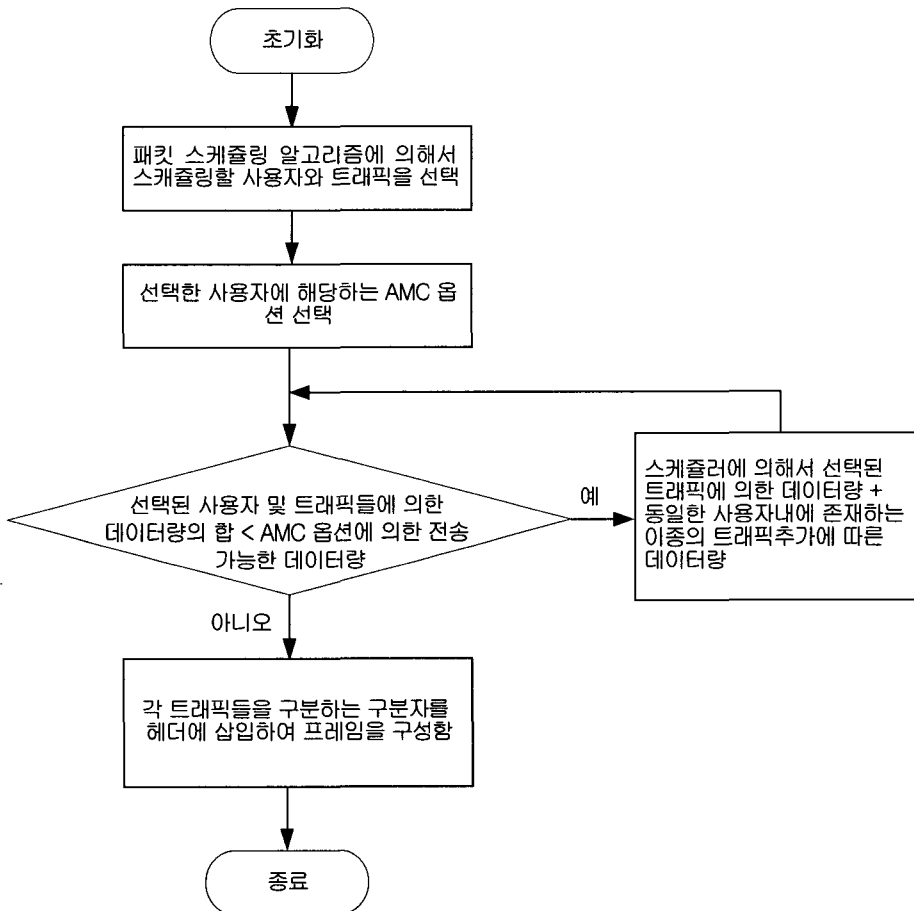
3.2 제안하는 프레임 구성 방법

로 서비스하도록 한다. [그림 2]는 실시간 음성 트래픽과 실시간 비디오 스트리밍 트래픽 그리고 비

[그림 3]은 본 연구에서 제안하는 프레임 구성 방법에 대한 순서도이다. 먼저 패킷 스케줄링 알고리

중에서는 버퍼에서의 각종 정보와 채널 정보 그리고 각각의 사용자와 트래픽 클래스에 대한 QoS를 기준으로 총 사용자중에서 특정 사용자와 트래픽 클래스를 선택하게 된다. 그 다음 선택된 사용자와 트래픽 클래스들에 대한 데이터율과 선택된 AMC 옵션에 따라 전송가능한 데이터율을 서로 비교한다, 비교 결과, AMC 옵션에 따른 전송 가능한 데이터율이 선택된 사용자와 그에 따른 트래픽 클래스들에 의한 데이터율보다 크면 동일 사용자에 있는 다른 트래픽 클래스 중에서 지연에 민감한 트래픽 클래스의 순서로 해당 트래픽이 프레임에 추가하게 된다, 상기와 같이 추가된 트래픽 클래스에 의한 전송 데이터율과 기존에 선택된 트래픽 클래스에 의

한 전송 데이터율을 합한 후에 AMC 옵션에 따른 전송 가능한 데이터율과 다시 비교하는 과정을 반복적으로 수행하게 된다. 상기 과정을 반복하여 선택된 트래픽 클래스에 의해 전송가능한 데이터율의 합이 AMC 옵션에 따른 전송가능한 데이터율보다 크게 되면 각각의 트래픽 클래스를 구분하는 구분자를 포함하는 헤더정보를 각각의 트래픽 클래스에 추가한 후에 믹싱하여 프레임에 구성한다. 상기와 같이 한 개의 프레임에 다수의 트래픽 클래스를 믹싱할 때 트래픽 클래스들을 구분하는 정보는 각각의 섹션 등의 헤더에 추가하여 송신하고 수신측에서는 이 헤더를 디코딩하여 이종의 트래픽 클래스들을 구별하게 된다.



[그림 3] 제안한 프레임 구성 방법에 따른 순서도

본 알고리즘을 이용하면, 서비스되는 트래픽 클래스들의 수가 증가하면서 또한 사용자간, 트래픽에서 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

3.3 사용한 AMC option과 제안하는 프레임 구성 방법

물리채널은 기지국과 사용자 터미널 사이의 RF 신호 감쇄에 따른 적응 변조 및 코딩 그리고 전력 레벨 제어를 수행해야 한다. 무선 접속 구간은 패킷 오류율(packet error rate)을 보장하기 위하여 적절한 자동 반복 요구(ARQ)를 사용할 수도 있다. 본 논문에서는 기지국이 완벽한 채널 정보(perfect channel knowledge)를 가진다고 가정하고 자동 반복 요구는 고려하지 않는다. 본 논문에서 사용한 convolutionally coded modulation을 갖는 AMC 방법을 <표 1>에 나타내었다. <표 1>의 AMC 범주는 0.01의 패킷 오류율을 만족하는 SIR을 목표로 설정하였다. 예를 들어 수신된 SIR의 값이 7.0와 11.0dB 사이일 경우에는 AMC 옵션 3단계가 선택

되어 QPSK 변조방식과 3/4 코딩율(coding rate)을 사용하며 이 경우에 전송 가능한 데이터율은 360 bps이다.

<표 2>는 <표 1>의 AMC 표에 근거하여 제안하는 알고리즘을 수행하는 예를 보여준다. <표 2>의 예에서 다수의 사용자 및 트래픽 클래스에 대한 패킷 스케줄링 수행 후에 최종 선택된 사용자 ID는 10이고 이에 대응하는 트래픽 클래스는 실시간 음성 트래픽이다. 이 경우에 선택된 AMC 옵션은 3단계이고 전송 가능한 데이터율은 360bps인데 비하여 실시간 음성 트래픽만 전송했을 때 전송 가능한 데이터율은 100bps가 된다. 따라서 제안한 프레임을 사용하지 않고 기존의 방법을 이용할 경우에는 260 bps의 자원이 낭비되는 결과를 초래하게 된다. 반면에 제안한 방법을 이용하면 총 전송 데이터율이 전송가능한 360bps보다 작기 때문에 실시간 음성 트래픽과 실시간 비디오 트래픽을 프레임에 추가하여 총 350bps의 데이터율까지 전송이 가능하게 되어 10bps의 자원만을 낭비하게 된다.

<표 1> convolutionally coded modulation를 가지는 전송 모드

AMC option	수신된 SIR 값(dB)	변조방식	Coding Rate	Transmission 데이터율
1단계	0.0~4.0	BPSK	1/2	120
2단계	4.0~7.0	QPSK	1/2	240
3단계	7.0~11.0	QPSK	3/4	360
4단계	11.0~13.5	16 QAM	9/16	540
5단계	13.5~18.5	16 QAM	3/4	540
6단계	18.5~	64 QAM	3/4	1080

<표 2> AMC 표를 이용한 수행 예

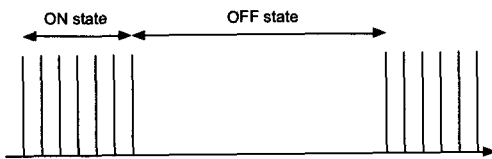
선택된 User ID	트래픽 클래스 (상용 데이터율)	추가 할당된 트래픽 클래스들 (지연에 민감한 순서)	추가 할당된 트래픽 클래스에 따른 데이터율	Framing에 적용여부
10	실시간 음성 (100bps)	실시간 비디오	250bps	○
		비실시간 WWW	100bps	×
총 전송 데이터율				350bps

4. 시뮬레이션 및 성능 분석

4.1 트래픽 모델

4.1.1 실시간 음성 패킷 트래픽

[그림 4]는 음성 트래픽의 버스티(bursty) 특성을 설명하기 위한 ON-OFF 모델을 보여주고 있다. 여기에서 ON 구간에는 데이터가 발생하고 OFF 구간에는 데이터가 발생되지 않는다. <표 3>의 파라메타 값에 따라 ON 구간 동안 패킷은 20ms의 프레임마다 발생하며 전체 데이터율은 32kbps가 되도록 발생한다[9, 10].



[그림 4] 실시간 음성 트래픽을 위한 트래픽 모델

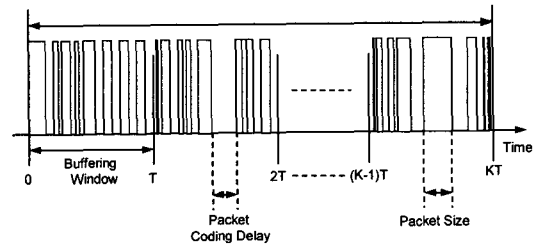
<표 3> 음성 트래픽 모델 파라메타

Information types	Mean
Average ON duration	1.0sec
Average OFF duration	1.35sec
Voice active factor	0.43
Voice coding rate	32Kbps

4.1.2 실시간 비디오 트래픽

[그림 5]는 실시간 비디오 트래픽 모델을 보여주고 있다. 간격 T는 고정된 프레임의 주기를 나타내며 본 논문에서는 간격 T를 버퍼링 윈도우 주기로

정의한다. [그림 5]에서 보는 바와 같이 각각의 프레임은 고정된 수의 패킷들로 구성되고 각각의 패킷들의 크기는 비디오 화면의 변화에 따라 버스티(bursty) 특성을 가지게 된다. 이러한 패킷 크기와 하나의 프레임 내에 있는 패킷들의 도착 시간은 절단된 파레토(truncated Pareto) 분포로 정의한다. 32 kbps의 속도를 가지는 소스 비디오 트래픽에 대한 상세한 모델 파라메타는 <표 4>에 기술하였다[11]. <표 4>와 <표 5>에서 k 와 m 는 최소 허용된 패킷 크기와 최대 허용된 패킷 크기이다. 또한 α 는 패킷 크기의 PDF 모양을 나타낸다.



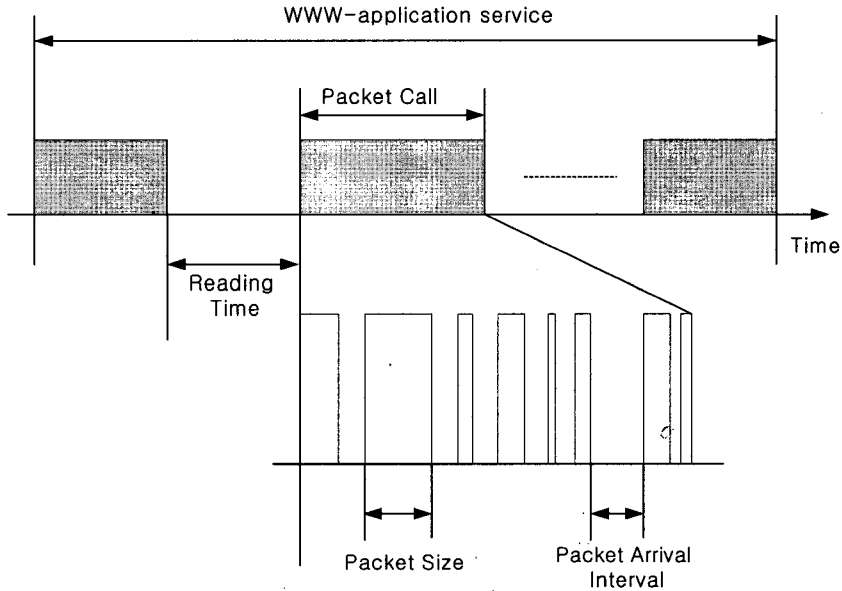
[그림 5] 실시간 비디오 트래픽을 위한 트래픽 모델

4.1.3 비 실시간 WWW 트래픽

비 실시간 WWW 트래픽 모델은 [그림 6]과 같은 구조로 되어 있다. WWW 응용 서비스에서 패킷 크기는 파레토 분포로 모델링이 될 수 있다. 각각의 패킷 간격과 패킷 호의 간격은 지수 분포를 따른다. UDD(unconstrained delay data) 144kbps인 WWW 트래픽 모델에 대한 특정 파라메타들을 <표 5>에 나타내었다[12]. <표 5>에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 시간을 줄이기 위하여 패킷 호 사이의 간격은 2.6592sec로 정의하였다.

<표 4> 비디오 스트리밍 트래픽 모델 파라메타

Information types	Distribution	Parameters
Inter-arrival time between the beginning of each frame	Deterministic (Based on 10fps)	100ms
Number of packets in a frame	Deterministic	8
Packet size	Truncated Pareto	$k = 20\text{byte}$, $m = 125\text{byte}$, $\alpha = 1.2$
Inter-arrival time between packets in a frame	Truncated Pareto	$k = 2.5\text{ms}$, $m = 12.5\text{ms}$, $\alpha = 1.2$



[그림 6] 비실시간 WWW 패킷 서비스를 위한 트래픽 모델

<표 5> WWW 응용 트래픽 모델에 대한 파라메타

Information types	Distribution	Distribution Parameters
Number of packet calls per Session	Poisson	5
Reading time between packets calls	Exponential	2.6592sec
Number of datagrams within a packet call	Poisson	25
Inter-arrival time between datagrams (within a packet call)	Exponential	0.0277sec
Size of a datagram	Truncated Pareto	$k = 81.5\text{byte}$, $m = 66666\text{byte}$, $\alpha = 1.1$

4.2 시스템 모델

4.2.1 기지국과 이동국 모델

빠른 시뮬레이션 수행을 위해 총 7개의 전방향 안테나를 가진 셀이 고려되었으며 시스템 성능 측정은 가운데 셀에서 행해진다. <표 6>과 같이 이동국은 각 셀에 균등 분포하며 초기 이동 속도는 [minimum velocity, maximum velocity]에 균등 분포하며 또한 이동 방향은 매 슬롯마다 [minimum degree, maximum degree]에 균등 분포하는 것으로 가정한다[13]. 분석의 편의상 하나의 이용자당 3가지 트래픽이 똑같은 비율로 발생한다고 가정한다. 또한 무선 채널의 경로손실을 다음과 같이 가정한다.

다. R 은 기지국으로부터 사용자 터미널까지의 거리이다.

$$L = 128.1 + 37.6 \text{Log}_{10}(R), R \text{ in km}$$

<표 6> 시뮬레이션 환경

Parameter	Value
User distribution	Uniform
User speed	3~100km/s
Cell layout	Hexagonal grid, 1st tier
Path loss model	$d^{-\alpha}$, $\alpha = 4$
BS total Tx power	12 W

4.2.2 SIR 계산

수신된 하향링크의 신호 대 간섭비(SIR) 값은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$SIR = \frac{P_{jm} \cdot C_{jm}}{\beta \left(\sum_{n=1}^{N_j} P_{jn} \right) C_{jm} + \sum_{i=1, i \neq j}^B \left(\sum_{n=1}^{N_i} P_{in} \cdot C_{in} \right)}$$

여기에서 P_{in} 와 C_{in} 값은 각각 i 번째 기지국에 있는 n 번째 사용자의 하향링크 송신 전력과 채널을 나타낸다. 또한 N_i 는 i 번째 기지국의 총 사용자 수를 의미하고 B 는 시스템 내에 있는 기지국의 수를 나타낸다. 또한 β 는 하향링크 직교계수를 의미한다. White noise는 interference 값에 비하여 상당히 작기 때문에 본 연구에서는 고려하지 않으며, 또한 pilot signal이 전체 전력의 20%를 차지한다고 가정한다.

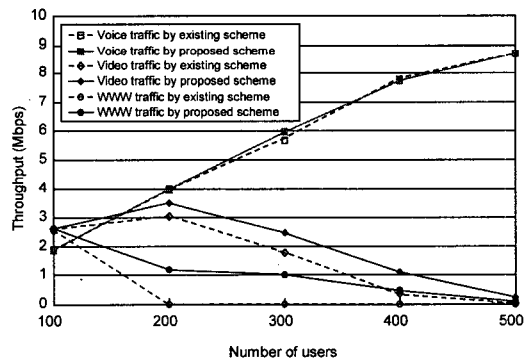
5. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 제안한 스케줄링 방법 하에서 프레임 구성 방법에 따른 성능 변화를 관찰하기 위하여 시뮬레이션을 수행하여 제안된 방법과 기존 방식의 성능을 비교하였다. 기존 방식은 선택된 사용자의 한 가지 트래픽에 대해서만 MAC 프레임을 구성하는 기존의 프레임 구성 방법을 이용하는 것을 가리키며 제안된 방식은 하나의 프레임 내에 여러 가지 트래픽이 함께 제공될 수 있도록 프레임을 구성하는 것을 가리킨다. 두 가지 방식 모두 패킷 스케줄링 방법은 본 논문에서 제안한 방법을 이용하였다. 본 논문에서 제안한 스케줄링 알고리즘은 기존에 이미 존재하는 알고리즘을 병합한 것이기 때문에 기존 방식과의 차이가 명확하지 않다. 따라서 본 연구에서는 기존에 존재하는 알고리즘을 병합한 패킷 스케줄링 부분보다는 새로운 프레임 구성 방법에 초점을 맞추어 성능을 비교하고자 한다.

[그림 7]의 결과를 보면 제안하는 방법과 기존 방법 모두 사용자가 증가하게 되면 실시간 음성 사용자에 대한 수율은 증가하지만 다른 트래픽 클래스

들에 대한 수율은 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 사용자 수의 증가에 따른 수율을 살펴보면 실시간 비디오 트래픽과 비실시간 WWW 트래픽의 경우에는 기존 방식보다는 제안한 방식에서의 수율이 상당 부분 우수함을 알 수 있다.

사용자의 수가 매우 커지면 우선권이 높은 실시간 음성 트래픽만 서비스하게 되므로 실시간 비디오 트래픽과 비실시간 WWW 트래픽은 거의 서비스 받지 못하는 현상이 발생한다. 예를 들어, 사용자의 수가 500명인 경우에는 실시간 음성 사용자의 수율은 8.7Mbps까지 증가하지만 실시간 비디오 사용자와 비실시간 WWW 사용자의 경우에는 0.5 Mbps 이하로 떨어진다. 이는 실시간 음성 트래픽을 우선적으로 처리함에 따른 불가피한 현상이지만 만약 우선권이 낮은 트래픽 클래스들에 대한 수율을 일정값 이상으로 유지하고자 한다면 사용자의 수에 제한을 두는 방안을 고려할 필요가 있다.

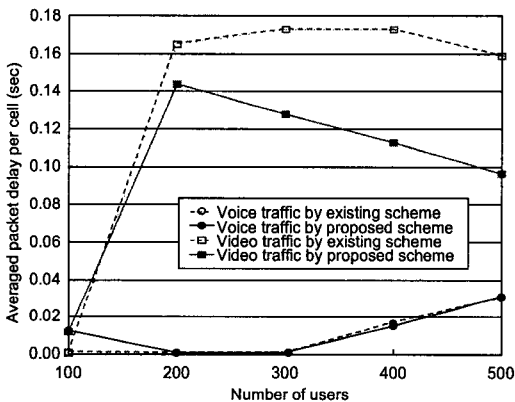


[그림 7] 사용자 증가에 따른 수율의 변화

셀당 평균 패킷 지연은 셀 내의 모든 사용자들에 대한 누적된 지연값을 서비스된 총 패킷의 수로 나눈 값으로 정의된다[13]. 또한 본 논문의 시뮬레이션에서 사용한 최대 지연 요구값은 실시간 음성 트래픽의 경우에는 40msec, 그리고 실시간 비디오 트래픽의 경우에는 200msec로 가정하였고 그 이상의 지연이 발생한 패킷들은 손실된다고 가정하였다.

[그림 8]을 보면 실시간 음성 트래픽의 경우에는 제안하는 방법과 기존의 방법이 별 차이가 없지만

실시간 비디오 트래픽의 경우에는 셀당 평균 지연이 기존 방식보다는 제안된 방식이 훨씬 작게 나타남을 알 수 있다. 예를 들어 사용자의 수가 400명인 경우 실시간 비디오 서비스의 지연시간을 살펴보면 기존 방식을 이용할 경우 177msec인 반면 제안한 방식을 이용하면 118msec로 훨씬 작게 나타난다. 따라서 실시간 비디오 트래픽의 지연에 대한 QoS를 만족시키기가 용이하게 된다.



[그림 8] 사용자의 증가에 따른 셀당 평균 패킷 지연

[그림 7]과 [그림 8]의 결과로부터 제안하는 프레임 구성 방법이 멀티미디어 트래픽에 대한 수율과 지연시간 측면에서 볼 때 우수한 성능을 가진다는 것을 알 수 있다. 특히 우선순위가 낮은 실시간 비디오 트래픽과 비실시간 WWW 트래픽의 수율과 지연시간이 기존 방식에 비하여 우수하게 나타나기 때문에 트래픽 클래스간 공정성 측면에서도 우수하다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 멀티미디어 트래픽을 서비스하는 차세대 이동통신시스템을 대상으로 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽의 서로 다른 QoS 특성을 고려한 패킷 스케줄링 알고리즘 및 또한 이러한 패킷 스케줄러와 연동하는 프레임 구성 방법을 제안하

였다.

제안하는 패킷 스케줄링 알고리즘에서는 실시간 트래픽에 대해서는 M-LWDF 방식을 사용하고 비실시간 트래픽에 대해서는 PF 방식을 사용하였다. 또한 선택된 사용자들의 트래픽을 전송할 때, AMC 옵션에 의해서 결정된 데이터율을 고려하여 한 개의 프레임에 다수의 이종 트래픽 클래스들을 함께 전송할 수 있는 새로운 프레임 구성 방법을 이용함으로써 서비스되는 트래픽 클래스들의 수를 증가시킬 수가 있었다. 제안하는 프레임 구성 방법의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 수율과 지연시간의 관점에서 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 제안한 방법은 다수의 멀티미디어 트래픽이 혼재하는 차세대 이동통신시스템에 적용할 예정이며 제안한 방법을 이용할 경우 트래픽 클래스간 공정성을 증가시키고 수율과 지연시간 관점에서 시스템 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP, *Technical Specification High Speed Downlink Packet Access (HSDPA): Overall Description, Stage 2*, TR 25.338 V5.1.0, 2001.
- [2] 3GPP, *Technical Specification Group Radio Access Network : UTRA High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) : Overall description, Stage 2, (Release 5)*, TR 25.308 V5.2.0, 2002.
- [3] 3GPP, *Technical Specification Group Radio Access Network : High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) : Physical Layer Aspects, (Release 5)*, TR 25.848, V5.0.0, 2002.
- [4] Jalali A., R. Padovani and R. Pankaj, "Data Throughput of CDMA-HDR a High Efficiency-High Data Rate Personal Communi-

- cation Wireless System," *VTC 2000-Spring*, Vol.3(2000), pp.1854-1858.
- [5] Andrews M., K. Kumaran, K. Ramanan, A. Stolyar, P. Whiting, and R. Vijayakumar, "Providing Quality of Service over a Shared Wireless Link," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 39(2001), pp.150-154.
- [6] Lu S. and V. Bharghavan, "Fair Scheduling in wireless packet networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.7, No.4(1999), pp. 473-489.
- [7] Cao Y. and V.O.K. Li, "Scheduling Algorithms in Broadband Wireless Networks," *IEEE Proc. of the IEEE*, Vol.89, No.1(2001).
- [8] Liu Q., S. Zhou, and G.B. Giannakis, "Cross-Layer Combining of Adaptive Modulation and Coding with Truncated ARQ over Wireless Links," *IEEE Transactions on wireless Communications*, Vol.3, No.5(2004), pp.1746-1755.
- [9] Goodman D.J., R.A. Valenzuela, K.T. Gayliard, and B. Ramamurthi, "Packet reservation multiple access for local wireless communications," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.37, No.8(1989), pp.885-890.
- [10] Brady P., "A model for generating On-Off Speech Patterns in Two-Way Conversations," *Bell Syst. Tch. Journal*, Vol.48, No.7 (1969), pp.2245-2272.
- [11] 3GPP/3GPP2, *1xEV-DV Evaluation Methodology Addendum (V6)*, WG5 Evaluation AHG, 2001.
- [12] Castro J.P., *The UMTS Network and Radio Access Technology*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2001.
- [13] 3GPP, *Feasibility Study for OFDM for UTRAN enhancement (Release 6)*, 3G TR 25.892 V0.2.0, 2003.