

---

# 휴대 인터넷에서 QoS를 고려한 스케줄링 방식 연구

## Scheduling Method for QoS Support in High-Speed Portable Internet System

---

김경희\*, 국광호\*\*, 임석구\*\*\*, 김경수\*\*\*\*

전북대학교 산업공학과\*, 서울산업대학교 산업공학과\*\*, 천안대학교 정보통신학부\*\*\*, 한국전자통신연구원\*\*\*\*

Kyung-Hee Kim(sofree@chonbuk.ac.kr)\*, Kwang-Ho Kook(khkook@snut.ac.kr)\*\*  
Seog-Ku Lim(sklim@infocom.cheonan.ac.kr)\*\*\*, Kyung-Soo Kim(kskim@etri.re.kr)\*\*\*\*

---

### 요약

60km 정도까지 중속으로 이동하는 단말들에게 1-3 Mbps의 고속의 전송속도를 제공하는 휴대 인터넷 시스템이 곧 상용화될 예정이다. 휴대 인터넷 시스템은 서로 다른 QoS를 요구하는 rtPS, nrtPS, BE 서비스들을 제공하므로, QoS를 고려한 효율적인 스케줄링 기법을 필요로 한다. 본 논문은 상향링크 스케줄링 시 QoS를 고려하여 rtPS, nrtPS, BE 서비스 순으로 우선권을 부여하지만 무조건적으로 우선권을 부여하는 대신에 하위의 우선순위 서비스들에게도 일정량의 대역폭을 보장해 주는 스케줄링 방식이 휴대 인터넷 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 보인다. 시뮬레이션에 의한 분석결과 nrtPS 서비스들에게는 평균 전송율 만큼의 대역폭을 보장해 주는 것이 좋고 BE 단말들에게는 전체 BE 단말들이 전송하는 평균 트래픽 보다 약간 많은(1.5배 정도) 대역폭을 전체 BE 단말들이 사용할 수 있도록 보장해 주는 방법이 상향링크의 성능을 향상시킬 수 있음을 볼 수 있다.

■ 중심어 : | 매체접근제어 | 스케줄링 | 광대역 무선 액세스 | 휴대 인터넷 시스템 |

### Abstract

HPI system provides 1-3 Mbps data transmission speed to terminals moving up to 60 km/sec. Since HPI supports rtPS, nrtPS, and BE services requiring different QoS, it needs an efficient scheduling method based on those different QoSs. This paper suggests an uplink scheduling method which gives priority to services in the order of rtPS, nrtPS and BE services but which reserves some bandwidth for the low priority services before it allocates the bandwidth to higher priority services. Simulation results show that it can improve the uplink performance by reserving mean transmission rate to each nrtPS terminal and by reserving bandwidth, which amounts to about 1.5 times the mean transmission rate of the whole BE terminals, to the whole BE terminals.

■ Keyword : | Medium Access Control | Scheduling | Broadband Wireless Access | Portable Internet System |

## I. 서론

무선 데이터 서비스 요구의 빠른 증가와 멀티미디어 서비스 수요의 증가로 인해 미래에는 광대역 무선망이 통신망의 중추적인 역할을 담당할 것이다. 현재 활발히 연구가 진행 중인 4세대 무선통신시스템은 250 km 까지 고속으로 이동하는 단말들에게 100 Mbps 까지의 고속의 데이터 전송 서비스 제공을 목표로 함으로써 이동 중인 단말들에게도 풍부하고 다양한 서비스를 제공하는 것이 가능하지만, 이는 2010년 이후에나 널리 사용될 수 있을 것이다. 따라서 그 중간단계로서 60km 정도까지 중속으로 이동하는 단말들에게 1-3 Mbps의 고속의 전송속도를 제공함으로써 현재 유선에서 제공되고 있는 인터넷 서비스를 이동 중인 단말 들에게도 원활히 제공하기 위해서 IEEE 802.16을 근간으로 하는 휴대 인터넷 시스템이 개발 중에 있고 2005년부터 상용화를 시작할 예정이다.

공유되는 무선 매체를 통해 서비스를 제공하기 위해서는 MAC(Medium Access Control)이 필요한 데, 휴대 인터넷 시스템은 서로 다른 QoS (Quality of Service)를 요구하는 rtPS(real time Polling Service), nrtPS(non-real time Polling Service), BE(Best Effort) 서비스들을 제공하므로 이들 상이한 QoS를 고려한 효율적인 MAC 기법이 필요하다. FQ(Fair Queueing)[1], VC(Virtual Clock)[2], EDD(Earliest Due Date)[3]와 같은 많은 스케줄링 기법들이 유선망을 위해서 제안되었고, 무선망에서는 CSDPS(Channel State Dependent Packet Scheduling), IWFQ(Idealized Wireless Fair Queueing), CIF-Q(Channel-condition Independent Fair Queueing), WFS(Wireless Fair Service) 등과 같은 스케줄링 기법들이 제안되었는데, 이들은 무선 환경에서 발생하는 높은 에러율과 연속성 에러(bursty error)를 고려하여 유선망에서 채택된 스케줄링 기법을 변형한 형태를 갖는다[4]-[7]. 또한 광대역 무선망에 사용될 수 있는 패킷 스케줄링 기법들을 비교 분석하였다[8].

IEEE 802.16 표준안이 무선 MAN(Metropolitan

Area Networks)을 위한 BWA(Broadband Wireless Access) 시스템의 MAC과 PHY(Physical) 계층을 위해 2002년에 제안되었는데[9] 이는 케이블 등의 설치 없이 적은 비용으로 단기간 내에 광대역 서비스 시스템을 실현할 수 있는 장점을 가지고 있으며 가정이나 기업의 고객들에게 음성, 데이터, 비디오와 같은 서비스를 제공한다. BWA 시스템은 보통 기지국(base station)과 가입자(subscriber)들로 구성되는 점 대 다점(point-to-multipoint) 구조를 지원하는 데, 이는 이동통신시스템과 유사하며 2002년 3월부터 IEEE 802.16은 이동 무선 MAN을 위한 연구를 진행 중에 있다. 현재 BWA 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 MAC 방법에 대한 연구들이 활발히 진행 중이다.([10]-[13])

본 논문에서는 휴대 인터넷 시스템이 각 서비스들에게 이들이 요구하는 QoS(Quality of Service)를 만족시키면서 효율적으로 서비스를 제공할 수 있는 상향링크(Up Link) 스케줄링 방법에 대해 연구하고자 한다. 서론에 이어 II장에서는 휴대 인터넷 시스템의 시스템 모델과 본 논문에서 사용한 서비스별 트래픽 모델을 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 스케줄링 기법에 대해 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 수행결과를 기술하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 휴대 인터넷 시스템 개요

### 1. 시스템 모델

휴대 인터넷 시스템은 기지국과 가입자들로 구성되는 점 대 다점(point-to-multipoint) 구조를 가지며 하향링크(Down Link)와 상향링크는 TDD(Time Division Duplex) 방식으로 구현된다.

휴대 인터넷 시스템은 rtPS, nrtPS, BE 서비스를 제공한다. rtPS 서비스는 MPEG 비디오와 같이 주기적으로 가변 크기의 데이터 패킷들을 생성하는 실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스이다. nrtPS 서비스는 높은 대역폭을 요구하는 FTP와 같은 주기적으로 가변 크기

의 데이터 패킷들을 생성하는 비실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스이다. 또한 BE 서비스는 TCP와 유사한 최선형 서비스(Best Effort Service)를 효율적으로 제공하기 위한 서비스를 의미한다.

휴대 인터넷 시스템은 연결지향형 MAC 프로토콜을 사용하며 가입자들은 상향링크상의 전송기회를 할당받기 위해서 unicast 폴링(Polling), 경쟁(contention) 또는 피기백(Piggy-back) 방식을 사용하여 대역폭을 요청한다. Unicast 폴링은 rtPS 서비스들에게 실시간 서비스를 제공하기 위해서 특정 rtPS 가입자에게만 대역폭을 요청할 수 있는 기회를 제공한다. 경쟁방식은 데이터 전송을 원하는 가입자들이 주어진 경쟁구간 동안에만 대역폭 요청을 하도록 하는 방식으로서 경쟁 해결 기법으로는 binary truncated exponential backoff 기법을 사용한다. 피기백 방식은 데이터 전송시 필요한 대역폭을 함께 요청하는 방식으로서 nrtPS 서비스와 BE 서비스들은 경쟁 또는 피기백 방식을 사용하여 대역폭을 요청한다. 이때 기지국은 가입자들에게 전송기회를 할당해 주고 그러한 예약을 할 수 있도록 경쟁구간을 할당하는 책임을 갖는다.

휴대 인터넷 시스템은 프레임에 기초한 전송을 수행한다. 5msec 길이의 각 프레임은 하향링크 상의 DL(Down Link)-subframe과 상향링크 상의 UL(Up Link)- subframe으로 구성되며 DL-subframe이 항상 UL- subframe을 선행한다. DL-subframe내의 FCH(Frame Control Header)는 DL 채널의 액세스를 정의하는 DL-MAP과 UL채널의 액세스를 할당하는 UP-MAP을 포함한다. UL-subfram은 새로운 호시도의 initial ranging을 위한 경쟁구간과 대역폭 요청을 위한 경쟁구간을 포함한다.

MAC-PDU(Protocol Data Unit)는 고정된 길이의 MAC 헤더와 가변길이의 페이로드(payload) 그리고 선택적인 CRC(Cyclic Redundancy Check)로 구성된다. CS(Convergence Sublayer) 데이터는 하나의 MAC-PDU 페이로드가 될 수도 있고 대역폭을 효율적으로 사용하기 위해서 packing이나 fragmentation 될 수도 있다. Fragmentation은 MAC-SDU(Service

Data Unit)를 하나 이상의 MAC-PDU로 나누는 것을 말하며 packing은 여러 개의 MAC-SDU를 하나의 MAC-PDU로 만드는 것을 의미한다.

휴대 인터넷 시스템은 무선 채널의 상태에 따라 서로 다른 변조방식을 선택하는 데 가입자가 기지국의 중심으로부터 멀리 있으면 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 방식을 사용하고 중심에 가까이 있으면 16 QAM, 64 QAM 방식을 선택적으로 사용한다. 사용하는 변조방식에 따라 하나의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 심볼이 전송하는 바이트 수가 달라진다.

휴대 인터넷 시스템은 FSN(Fragment Sequence Number)에 기초한 bitmap-based ARQ(Automatic Repeat Request) 기법을 연결에 따라 선택적으로 사용한다. ARQ 방식으로는 selective repeat, cumulative, cumulative with selective repeat 방식을 사용한다.

## 2. 트래픽 모델

휴대 인터넷 시스템은 rtPS, nrtPS, BE 서비스를 제공하는 데 본 논문에서는 각 서비스들이 IEEE 802.16 TG3에서 MAC/PHY 계층의 시뮬레이션 수행 시 사용하도록 권고한 다음의 트래픽 모델을 따른다고 가정한다[14].

### 2.1 rtPS 트래픽과 nrtPS 트래픽

Streaming 비디오 트래픽은 on과 off 시간이 각각 매개변수  $\alpha_1$ 과  $\alpha_2$ 인 파레토 분포를 갖는 2개의 IRP(Interrupted Renewal Process)의 중첩된 형태를 따르며 on 시간동안 패킷의 도착 시간간격은 지수분포를 따른다([14]). MPEG과 같은 rtPS 트래픽과 스트리밍(streaming) 비디오와 같은 nrtPS 트래픽은 상향링크 쪽으로 평균 0.19 Mbps인 트래픽을 발생시킨다고 가정하며 이때의 트래픽 매개변수는 표 1에서 보는 바와 같다. 이때 rtPS 트래픽과 nrtPS 트래픽의 패킷들은 평균이 188바이트이고 최소 64바이트, 최대 1518바이트인 파레토 분포를 따른다고 가정한다.

표 1. rtPS, nrtPS 서비스의 트래픽 매개변수

IRP#	패킷 도착률(패킷/초)	$\alpha_1$	$\alpha_2$
IRP1	112.38	1.14	1.22
IRP2	154.75	1.54	1.28

2.2 BE 트래픽

인터넷 트래픽은 on과 off 시간이 각각 on에서 off로의 전이율  $R_{on-off}$ 와 off에서 on으로의 전이율  $R_{off-on}$ 인 지수분포를 갖는 IPP(Interrupted Poisson Process) 형태를 따르며 on 시간동안 패킷 도착 시간간격은 지수 분포를 따른다([14]). 인터넷과 같은 BE 트래픽은 상향 링크 쪽으로 평균 1.5 Kbps인 트래픽을 발생시킨다고 가정하며 이때의 트래픽 매개변수는 표 2에서 보는 바와 같다. 이때 BE 트래픽의 패킷들은 평균이 192바이트이고 최소 64바이트, 최대 1518바이트인 파레토 분포를 따른다고 가정한다.

표 2. BE 서비스의 트래픽 매개변수

IPP#	패킷 도착률(패킷/초)	$R_{on-off}$	$R_{off-on}$
IPP1	2.279	0.0194	0.01455

III. 스케줄링 방법

무선 매체는 공유매체이므로 여러 서비스들의 전송을 조정할 MAC 기법을 필요로 한다. 무선 매체 자원은 트래픽의 특성과 요구하는 QoS에 따라서 스케줄 되어야 하는 데 스케줄링은 기지국에서 가입자로의 하향링크 스케줄링과 가입자에서 기지국으로의 상향링크 스케줄링으로 구분될 수 있다. 휴대 인터넷 시스템의 하향링크에서는 기지국에서 각 단말로 전송되기를 기다리는 MAC-PDU의 수, 각 MAC-PDU가 기지국에서 기다린 시간 등의 상세한 정보를 알고 있으며 또한 이들이 단순히 멀티플렉스 되기 때문에 VC(Virtual Clock), WFQ(Weighted Fair Queueing), SCFQ(Self Clocked Fair Queueing), Delay-EDD(Earliest Due Date) 등

의 표준 스케줄링 기법들이 사용될 수 있다.

휴대 인터넷 시스템에서는 상향링크 스케줄링도 기지국에서 수행되어야 하는 데 기지국은 각 단말에서 기지국으로 전송되기를 기다리는 MAC\_PDU들이 단말에 도착한 시간 등의 상세한 정보를 가지지 못한다. 따라서 대부분의 FFQ(Fluid Fair Queueing) 기법들은 상향 링크 스케줄링에 직접 적용될 수 없다. 한편 휴대 인터넷 시스템은 rtPS, nrtPS, BE 서비스와 같이 상이한 QoS를 요구하는 서비스들을 제공하여야 하므로 이들을 고려한 스케줄링 기법을 필요로 한다. 휴대 인터넷 시스템이 기반을 두고 있는 BWA 시스템의 상향링크 스케줄링을 위해 VWRR(Virtual Weighted Round Robin)과 VVT(Virtual Virtual Time) 기법이 동일한 서비스 그룹 내의 스케줄링 기법으로 제안되었으며([15]), UGS, rtPS, nrtPS, BE 서비스들이 함께 존재할 때 트래픽 특성과 QoS를 고려하여 스케줄링 하는 기법이 Hawa에 의해 제안되었다([11]).

휴대 인터넷 시스템의 상향링크 스케줄링시 각 서비스별 QoS를 고려하여 rtPS, nrtPS, BE 트래픽 순으로 우선권을 주는 것을 생각할 수 있다. 그러나 무조건적으로 이와 같이 우선권을 부여하면 상위 우선순위 서비스들에게 요구하는 QoS를 제공해 주기 어렵게 되므로 하위의 우선순위를 갖는 서비스들에게도 미리 적절한 대역폭을 할당해 주는 것이 나올 수도 있다. 따라서 기지국내의 각 서비스들의 트래픽을 고려하여 각 서비스 클래스 별로 적절한 대역폭을 미리 할당해 주고 동일한 서비스 클래스 내의 연결(Connection)들은 연결의 버퍼 정보, 무선 상태 채널정보, 지연 제한사항(Delay Constraint), 우선순위 정보 등을 고려하여 스케줄링 하는 방법을 생각해 볼 수 있다.

본 논문은 휴대 인터넷 시스템의 상향링크 스케줄링시 각 서비스 클래스들에게 어느 정도의 대역폭을 미리 할당해 주는 것이 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는지를 분석한다. 이때 동일한 서비스 클래스내의 연결들은 라운드 로빈(round robin) 방식에 의해서 스케줄링 된다고 가정한다.

## IV. 시뮬레이션 모델

### 1. 시뮬레이션 수행 환경

휴대 인터넷 시스템의 상향링크 스케줄링 방식을 연구하기 위해서 다음과 같은 시뮬레이션 수행 환경을 가정한다.

- ① 상향링크는 5msec 주기의 프레임으로 구성되며 각 프레임에서 1536 OFDM 심볼이 데이터 전송을 위해서 사용된다.
- ② 데이터 전송을 위한 기본 단위는 3 OFDM 심볼로 데이터는 3 OFDM 심볼의 배수의 크기로 전송된다.
- ③ 하나의 OFDM 심볼은 12바이트의 데이터를 전송한다.
- ④ 전송 중에 에러는 발생하지 않는다.
- ⑤ rtPS 단말은 unicast 폴링에 의해서 대역폭을 요청하는 데 각 rtPS 단말당 unicast 슬롯은 30 msec마다 하나씩 할당된다.
- ⑥ nrtPS 단말과 BE 단말은 경쟁구간(Contention Interval) 동안 binary truncated exponential backoff 기법의 경쟁요구(Contention Request) 방식에 의해 대역폭을 요청한다.
- ⑦ rtPS, nrtPS, BE 단말들은 MAC-PDU를 전송할 때 큐에 남아 있는 MAC-PDU의 개수만큼 피기백 방식에 의해 대역폭을 요청한다.
- ⑧ MAC-SDU는 108 바이트의 MAC-PDU로 나누어 전송된다. 각 MAC-PDU들은 6바이트의 Generic MAC 헤더를 가지며 여러 개의 MAC-PDU로 나누어지는 경우 1 바이트의 Fragmentation 헤더가 첨가되고 피기백 방식의 대역폭 요청을 하는 경우 2 바이트의 Grant Management 헤더가 첨가된다. 108바이트 보다 적은 경우에는 108 바이트에 맞게 패딩된다.
- ⑨ 항상 일정수의 rtPS, nrtPS, BE 서비스 가입자들이 3절에서 기술한 트래픽을 발생시킨다. 이때 rtPS와 nrtPS는 100Kbps의 최소 예약 트래픽 (Minimum Reserved Traffic Rate)을 갖는다.

### 2. 상향링크 용량 평가 방법

상향링크 스케줄링 기법의 성능은 각 스케줄링 기법

적용시의 상향링크 용량으로 평가할 수 있다. 참고문헌 [14]에서는 상향링크 용량을 nrtPS 서비스의 (N+1)번째 가입자가 다음 부등식을 처음으로 만족하는 시점으로 평가하였다([14]).

$$(N+1) \text{ 가입자들의 평균 지연시간} > 4 \times (N \text{ 가입자들의 평균지연시간})$$

또는

$$\text{nrtPS 평균지연시간} > 100 \text{ msec}$$

또한 상향링크 용량은 각 서비스 클래스별로 요구되는 QoS를 고려하여 평가 할 수 있다. 비디오 서비스 패킷의 최대지연시간은 200msec이고 비디오 서비스의 FER(Frame Error Rate)은 1% 이내가 되어야 한다 ([16], [17]). 또한 웹(Web) 페이지의 전송지연시간은 4 초 이내가 되어야 한다([16]). 이들을 토대로 상향링크 용량을 다음과 같이 평가한다.

- rtPS 서비스의 데이터 패킷이 200msec 이상 지연되어 패킷이 손실될 확률이 0.5% 이상이 될 때의 가입자 수로 평가한다.

- nrtPS 서비스의 (N+1)번째 가입자가 다음 부등식을 처음으로 만족하는 시점의 가입자 수로 평가한다.  
 $(N+1) \text{ 가입자들의 평균 지연시간} > 4 \times (N \text{ 가입자들의 평균지연시간})$

또는

$$\text{nrtPS 평균지연시간} > 100 \text{ msec}$$

- BE 서비스의 지연시간이 1초를 초과할 확률이 5% 이상이 될 때의 가입자 수로 평가한다.

### 3. 시뮬레이션 결과

상향링크 스케줄링시 각 서비스 클래스들에게 어느 정도의 대역폭을 미리 할당해 주는 것이 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 지를 분석하기 위해서 각 서비스들의 조합에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 하나의 셀에는 rtPS, nrtPS, BE 서비스의 가입자 수가 1 : 1.89 : 7.55의 비율로 존재한다고 가정한다([18]).

#### 3.1 rtPS 가입자와 BE 가입자만 있는 경우

하나의 셀에 rtPS 가입자와 BE 가입자가 1 : 2.61(=(1+1.89) : 7.55)의 비율로 존재하고 상향링크 용

량의 80% 정도까지 사용하며 경쟁구간으로서 100개의 OFDM 심볼을 가정한다면 하나의 셀이 수용할 수 있는 rtPS 가입자와 BE 가입자는 각각 120 가입자와 314 가입자 정도가 된다. 따라서 BE 가입자의 수를 310으로 고정하고 rtPS 가입자의 수를 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 전체 310 BE 가입자의 평균 전송속도는 465Kbps(=310×1.5)이고, 매 프레임마다 108바이트의 MAC-PDU를 한 개씩 할당해 주는 경우 전송속도는 172.8Kbps(=108×8×200)/1000)가 되므로, 각 BE 가입자들에게 평균 전송속도를 보장해 주기 위해서는 매 프레임마다 전체 310개의 BE 가입자들이 사용할 수 있도록 2.69(=465/172.8)개의 MAC-PDU를 미리 할당해 주는 것이 필요하다.

이를 고려하여 j 개의 MAC-PDU를 전체 BE 가입자들이 사용할 수 있도록 먼저 할당해 주고 나머지 대역에 대해서는 rtPS 가입자에게 BE 가입자보다 높은 우선권을 주어 먼저 서비스하는 rtPS\_BE\_j 방법을 비교하였다. 즉 BE 가입자에게 미리 대역폭을 할당해 주지 않는 경우, 2개, 3개, 4개의 MAC-PDU를 미리 할당해 주는 rtPS\_BE\_0, rtPS\_BE\_2, rtPS\_BE\_3, rtPS\_BE\_4 방법을 고려하였는데 이때 전체 BE 가입자들의 큐에서 기다리는 MAC-PDU의 개수가 2개, 3개, 4개가 되지 않을 때에는 실제 큐에서 기다리는 개수만큼의 MAC-PDU만 전체 BE 가입자들이 사용할 수 있도록 미리 할당해 준다.

rtPS 가입자의 수가 변화할 때 rtPS 가입자와 BE 가입자의 평균지연시간은 그림 1, 그림 2에서 보는 바와 같다.

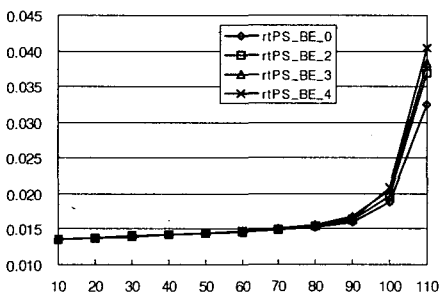


그림 1. rtPS 가입자의 평균 지연시간

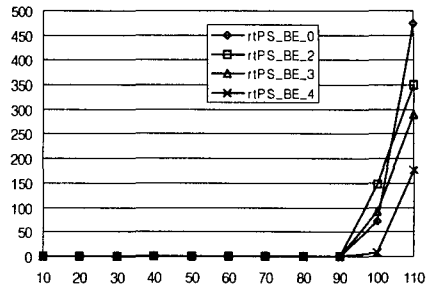


그림 2. BE 가입자의 평균 지연시간

그림 1, 그림 2로부터 rtPS 가입자의 평균 지연시간은 4가지 방법 모두 비슷함을 알 수 있으나 BE 가입자의 평균 지연시간은 rtPS 가입자의 수가 90 이상이 되면 rtPS\_BE\_0, rtPS\_BE\_2, rtPS\_BE\_3, rtPS\_BE\_4의 순으로 현저하게 좋아짐을 알 수 있다.

다음 표 3은 rtPS MAC-PDU의 지연시간이 200msec를 초과하여 손실(Loss)이 발생할 확률이 0.5% 이상이 되기 시작할 때와 BE의 지연시간이 1초를 초과할 확률이 5% 이상이 되기 시작할 때의 가입자 수로 평가한 rtPS 가입자와 BE 가입자만 존재할 때의 상향링크 용량을 나타낸다.

표 3. rtPS, BE 가입자만 존재할 경우의 상향링크 용량

		rtPS_BE_0	rtPS_BE_2	rtPS_BE_3	rtPS_BE_4
Pr(rtPS 지연시간) > 0.005	rtPS	110	108	103	102
	BE	310	310	310	310
Pr(BE 지연시간) > 1초 > 0.05	rtPS	93	93	93	93
	BE	310	310	310	310
셀의 용량	rtPS	93	93	93	93
	BE	310	310	310	310

표 3으로부터 각 방법의 상향링크 용량은 동일하다고 평가되며, rtPS의 지연시간에는 거의 변화를 주지 않지만 BE의 지연시간은 상당히 감소시켜 주는 매 프레임마다 4개의 PDU를 전체 BE 가입자들이 사용할 수 있도록 미리 할당해 주는 방법인 rtPS\_BE\_4의 성능이 가장 좋음을 알 수 있다.

### 3.2 rtPS 가입자와 nrtPS 가입자만 있는 경우

하나의 셀에 rtPS 가입자와 nrtPS 가입자가 1 : 1.89

의 비율로 존재하도록 rtPS 가입자와 nrtPS 가입자의 수를 (10, 19), (20, 38), (30, 57), (40, 76)....으로 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 매 프레임마다 108바이트인 MAC-PDU 한 개를 할당해 주는 경우 전송속도는 172.8Kbps가 되므로 각 nrtPS 가입자에게 최소 예약 트래픽인 100Kbps의 전송속도를 보장해 주기 위해서는 5 프레임 동안 3개의 MAC-PDU 할당이 필요하게 된다.

이를 고려하여  $j$  개의 MAC-PDU를 각 nrtPS 가입자들이 사용할 수 있도록 먼저 할당해 주고 나머지 대역에 대해서는 rtPS 가입자에게 nrtPS 가입자보다 높은 우선권을 주어 먼저 서비스하는 rtPS\_nrtPS $_j$  방법을 비교하였다. 즉, 각 nrtPS 가입자에게 미리 대역폭을 할당해 주지 않는 경우, 5 프레임동안 3개의 MAC-PDU를 미리 할당하는 경우, 매 프레임마다 1개의 MAC-PDU를 미리 할당해 주는 경우인 rtPS\_nrtPS $_0$ , rtPS\_nrtPS $_3/5$ , rtPS\_nrtPS $_1$  방법을 고려하였는데 이때 각 nrtPS 가입자의 큐에서 기다리는 MAC-PDU가 없을 때에는 해당 nrtPS 가입자에게는 MAC-PDU를 할당하지 않는다.

rtPS 가입자와 nrtPS 가입자의 수가 변화할 때 rtPS 가입자와 nrtPS 가입자의 평균지연시간은 그림 3, 그림 4에서 보는 바와 같다. 그림 3, 그림 4로부터 rtPS 가입자의 평균 지연시간은 3가지 방법 모두 거의 차이가 없음을 알 수 있으나 nrtPS 가입자의 평균 지연시간은 rtPS 가입자의 수가 33 이상이 되면 rtPS\_nrtPS $_0$ , rtPS\_nrtPS $_3/5$ , rtPS\_nrtPS $_1$ 의 순으로 약간 좋아짐을 알 수 있다.

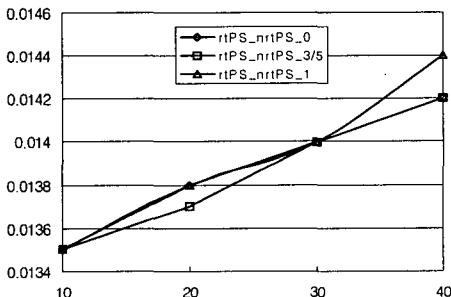


그림 3. rtPS 가입자의 평균 지연시간(1 : 1.89 유지시)

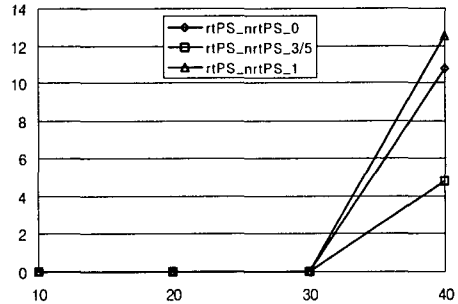


그림 4. nrtPS 가입자의 평균 지연시간(1 : 1.89 유지시)

다음 표 4는 rtPS MAC-PDU의 지연시간이 200msec를 초과하여 손실이 발생할 확률이 0.5% 이상이 되기 시작할 때와 nrtPS의 평균지연시간이 100msec를 초과할 때의 가입자 수로 평가한 rtPS 가입자와 nrtPS 가입자만 존재할 때의 상향링크 용량을 나타낸다.

표 4. rtPS, nrtPS 가입자만 존재할 경우의 상향링크 용량 (1 : 1.89 유지시)

		rtPS_nrtPS $_0$	rtPS_nrtPS $_3/5$	rtPS_nrtPS $_1$
Pr(rtPS 지연시간) > 200msec) 0.005	rtPS	40	40	40
	nrtPS	76	76	76
nrtPS PDU 평균 지연시간) 100msec	rtPS	37	37	37
	nrtPS	70	70	70
셀의 용량	rtPS	37	37	37
	nrtPS	70	70	70

표 4로부터 각 방법의 상향링크 용량은 동일하다고 평가되며, rtPS의 지연시간에는 거의 변화를 주지 않지만 nrtPS의 지연시간은 약간 감소시켜 주는 매 프레임마다 1개의 PDU를 각 nrtPS 가입자들이 사용할 수 있도록 미리 할당해 주는 방법인 rtPS\_nrtPS $_1$ 의 성능이 다소 좋음을 알 수 있다.

위 결과는 rtPS 가입자와 nrtPS 가입자의 비율을 1 : 1.89로 유지시킴으로써 상대적으로 rtPS 가입자의 비율이 적어 nrtPS 가입자의 QoS에 영향을 적게 미치기 때문으로 생각된다. 상대적으로 rtPS 가입자의 비율이 높은 경우를 고려하기 위해서 nrtPS 가입자의 수를 20으로 고정시키고 rtPS 가입자의 수를 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.

rtPS 가입자의 수가 변화할 때 rtPS 가입자와 nrtPS 가입자의 평균지연시간을 그림 5~그림 6에 나타내었다.

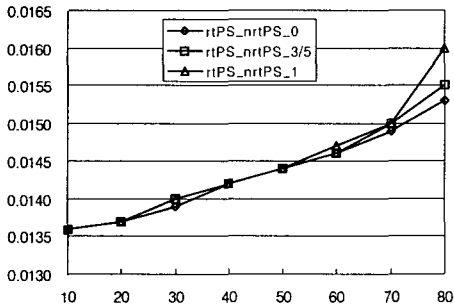


그림 5. rtPS 가입자의 평균 지연시간 (nrtPS 가입자 수가 20)

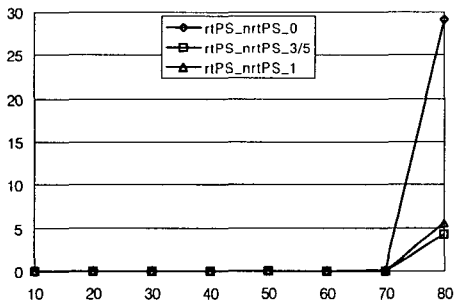


그림 6. nrtPS 가입자의 평균 지연시간 (rtPS 가입자 수가 20)

그림 5, 그림 6으로부터 rtPS 가입자의 평균 지연시간은 3가지 방법 모두 거의 차이가 없음을 알 수 있으나 nrtPS 가입자의 평균 지연시간은 rtPS 가입자의 수가 70 이상이 되면 rtPS\_nrtPS\_0, rtPS\_nrtPS\_3/5, rtPS\_nrtPS\_1의 순으로 현저하게 좋아짐을 알 수 있다.

다음 표 5는 rtPS MAC-PDU의 지연시간이 200msec를 초과하여 손실이 발생할 확률이 0.5% 이상이 되기 시작할 때와 nrtPS의 평균지연시간이 100msec를 초과할 때의 가입자 수로 평가한 rtPS 가입자와 nrtPS 가입자만 존재할 때의 상향링크 용량을 나타낸다.

표 5. rtPS, nrtPS 가입자만 존재할 경우의 상향링크 용량 (nrtPS 가입자 수가 20일 때)

		rtPS_nrtPS_0	rtPS_nrtPS_3/5	rtPS_nrtPS_1
Pr(rtPS 지연시간 > 200msec) > 0.005	rtPS	80	80	80
	nrtPS	20	20	20
nrtPS PDU 평균 지연시간)100msec	rtPS	69	70	71
	nrtPS	20	20	20
셀의 용량	rtPS	69	70	71
	nrtPS	20	20	20

표 5로부터 rtPS\_nrtPS\_1 방법의 상향링크 용량이 가장 크므로 rtPS\_nrtPS\_1의 성능이 가장 뛰어나음을 알 수 있다.

### 3.3 nrtPS 가입자와 BE 가입자만 있는 경우

본 논문에서는 nrtPS 가입자의 트래픽을 rtPS 가입자의 트래픽과 동일하다고 가정하므로 하나의 셀에 rtPS 가입자와 BE 가입자만 있는 경우와 동일하게 BE 가입자의 수를 310으로 고정하고 nrtPS 가입자의 수를 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.

그리고 rtPS 가입자와 BE 가입자만 있는 경우와 유사하게 j개의 MAC-PDU를 전체 BE 가입자들이 사용할 수 있도록 먼저 할당해 주고 나머지 대역에 대해서는 nrtPS 가입자에게 BE 가입자보다 높은 우선권을 주어 먼저 서비스하는 nrtPS\_BE\_j 방법을 비교하였다. 즉 BE 가입자에게 미리 대역폭을 할당해 주지 않는 경우, 2개, 3개, 4개의 MAC-PDU를 미리 할당해 주는 nrtPS\_BE\_0, nrtPS\_BE\_2, nrtPS\_BE\_3, nrtPS\_BE\_4 방법을 고려하였는데 이때 전체 BE 가입자들의 큐에서 기다리는 MAC-PDU의 개수가 2개, 3개, 4개가 되지 않을 때에는 실제 큐에서 기다리는 개수만큼의 MAC-PDU만 전체 BE 가입자들이 사용할 수 있도록 미리 할당해 준다.

nrtPS 가입자의 수가 변화할 때 nrtPS 가입자와 BE 가입자의 평균지연시간은 그림 7, 그림 8에서 보는 바와 같다.



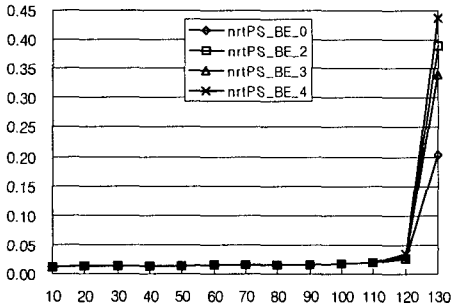


그림 7. nrtPS 가입자의 평균 지연시간

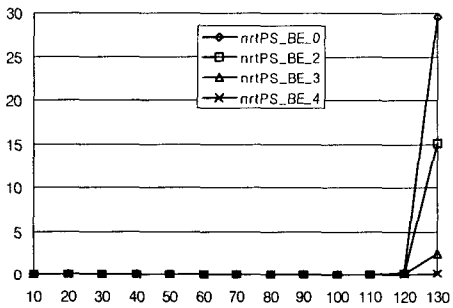


그림 8. BE 가입자의 평균 지연시간

그림 7, 그림 8로부터 nrtPS 가입자의 평균 지연시간은 4가지 방법 모두 비슷함을 알 수 있으나 BE 가입자의 평균 지연시간은 nrtPS 가입자의 수가 110 이상이 되면 nrtPS\_BE\_0, nrtPS\_BE\_2, nrtPS\_BE\_3, nrtPS\_BE\_4의 순으로 현저하게 좋아짐을 알 수 있다.

다음 표 6은 nrtPS의 평균 지연시간이 100msec를 초과할 때와 BE의 지연시간이 1초를 초과할 확률이 5% 이상이 되기 시작할 때의 가입자 수로 평가한 nrtPS 가입자와 BE 가입자만 존재할 때의 상향링크 용량을 나타낸다.

표 6. nrtPS, BE 가입자만 존재할 경우의 상향링크 용량

		nrtPS_BE_0	nrtPS_BE_2	nrtPS_BE_3	nrtPS_BE_4
nrtPS PDU 평균 지연시간 > 100msec	nrtPS	127	126	126	125
	BE	310	310	310	310
Pr(BE 지연시간 > 1초) > 0.05	nrtPS	120	121	123	130
	BE	310	310	310	310
셀의 용량	nrtPS	120	121	123	125
	BE	310	310	310	310

표 6으로부터 nrtPS\_BE\_4의 상향링크 용량이 가장 크므로 nrtPS\_BE\_4의 성능이 가장 좋을 수 있다.

## V. 결론

본 논문은 현대 인터넷 시스템의 상향링크 스케줄링 기법에 대해 연구하였다. 상향링크 스케줄링시 각 서비스별 QoS를 고려하여 rtPS, nrtPS, BE 트래픽 순으로 우선권을 주는 방법을 생각할 수 있는 데 무조건적으로 이와 같이 우선권을 부여하면 상위의 우선순위 서비스가 많이 존재하는 경우에는 하위의 우선순위 서비스들이 많이 지연되게 되어 하위의 우선순위 서비스들에게 요구하는 QoS를 보장해 주는 것이 어렵게 된다. 따라서 하위의 우선순위 서비스들에게도 적절한 대역폭을 보장해 주는 스케줄링 방식이 현대 인터넷 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 지에 대해 연구하였다. 시뮬레이션에 의한 분석결과 nrtPS 서비스들에게는 평균 전송을 만큼의 대역폭을 미리 할당해 주는 것이 좋고, BE 단말들에게는 전체 BE 단말들이 전송하는 평균 트래픽 보다 약간 많은(1.5배 정도) 대역폭을 전체 BE 단말들이 사용할 수 있도록 미리 할당해 주는 방법이 효율적으로 성능을 향상시킬 수 있음을 분석하였다.

본 연구에서는 각 서비스 클래스 별로 대역폭을 할당한 후에는 동일한 서비스 클래스에 속하는 각 연결들을 동일하게 취급하여 라운드 로빈 방식으로 스케줄링 하는 방법을 택하였는데 향후에는 각 연결의 버퍼 정보나, 무선 채널 상태정보, 지연 제한사항, 우선순위 정보 등을 고려하여 각 연결들을 스케줄링 하는 방법을 연구하는 것이 필요하리라 생각된다.

## 참고문헌

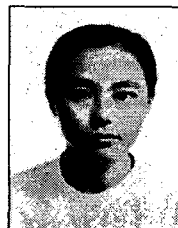
[1] A. Demers, S. Keshav and S. Shenker, "Analysis and simulation of a fair queuing algorithm," in Proc. ACM SIGCOMM'89, pp. 3-12, 1989.

- [2] L. Zhang, "Virtual clock: A new traffic control algorithm for packet switching networks," in Proc. ACM SIGCOMM'90, pp. 19-29, 1989.
- [3] D. Kandlur, K. Shin and D. Ferrari, "Real-time communication in multi-hop networks," in Proc. 11th Conf. Distributed Computer System, pp. 300-307, 1991.
- [4] A Solana and F. Palacio, "Scheduling and quality of service in W-CDMA," Proc. of ACT'99, pp. 795-800, 1999.
- [5] K. Lee and M. El Zarki, "Scheduling real-time traffic in IP-based cellular networks," Proc. PIMRC'2000, pp. 1202-1206, 2000.
- [6] M. Dillinger, J. Luo and E. Schulz, "Radio resource scheduling algorithms for mixed VoIP and HTTP traffic in HIPERLAN/2 system," Proc. IST'2001, pp. 469-474, 2001.
- [7] S. Lu, V. Bharghavan and R. Srikant, "Fair scheduling in wireless packet networks," IEEE Trans. on Networking, Vol.7, No.4, pp. 473-489, 1999.
- [8] Y. Cao and V. O. K. Li, "Scheduling algorithms in broad-band wireless networks," IEEE Prod. of the IEEE, Vol.89, No.1, pp. 76-87, 2001.
- [9] IEEE 802.16-2001, "IEEE Standard for local and metropolitan area networks part 16 : Air interface for fixed broadband wireless access systems," 2002.
- [10] K. Cho, J. Ko and J. Lee, "Performance Evaluation of the IEEE 802.16.1 MAC protocol according to the structure of a MAP message," Proc. CSCC, 2001.
- [11] M. Hawa and D. W. Petr, "Quality of service scheduling in cable and broadband wireless access system," 10th International Workshop on Quality of Service, pp. 247-255, 2002.
- [12] S. Ramachandran, C. W. Bostian and S. F. Midkiff, "Performance Evaluation of IEEE 802.16 for broadband wireless access," Proc. of OPNETWORK 2002, 2002.
- [13] J. Luo, M. Dillinger, E. Schulz, E. Mohyeldin, M. Weckerle and B. Walke, "Efficient radio resource management scheme for multimedia services in broadband mobile networks," Proc. PIMRC'2002, pp. 931-935, 2000.
- [14] IEEE 802.16.3C-01/30r1, "Traffic Models for 802.16 TG3 MAC/PHY Simulations," 2001.
- [15] J. Bostie and G. Kandus, "MAC scheduling for fixed broadband wireless access systems," COST263\_v0\_0.doc
- [16] IEEE Std 802.16sc-99/28, "Quality of service(QoS) classes for BWA," 1999.
- [17] M. H. Ahmed, H. Yanikomeroğlu, S. Mahmoud, and D. Falconer, "Scheduling of multimedia traffic in interference-limited broadband wireless access networks,"
- [18] 국광호, 이강원, "휴대 인터넷 무선자원 할당 연구", 한국전자통신연구원 위탁연구보고서, 2003.

저자 소개

김 경 희(Kyung-Hee Kim)

정회원



- 1996년 : 전북대학교 산업공학과 (공학사)
- 1999년 : 전북대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2002년~현재 : 전북대학교 산업 시스템공학과 박사과정

<관심분야> : 통신시스템, 최적화

국 광 호(Kwang-Ho Kook)

정회원



- 1979년 : 서울대학교 산업공학과 (공학사)
- 1981년 : 서울대학교 산업공학과 (공학석사)
- 1989년 : 미국 Georgia 공대 산업공학과(공학박사)

- 1989년~1993년: 한국전자통신연구원
  - 1993년~현재 : 서울산업대학교 산업정보시스템공학과 정교수
- <관심분야> : 통신시스템 성능분석

임 석 구(Seog-Ku Lim)

정회원



- 1983년 : 한국항공대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 : 서울대학교 전자공학과(공학석사)
- 1999년 : 한국항공대학교 전자공학과(공학박사)

- 1987년~1992년 : LG전자 중앙연구소
  - 1992년~ 1994년 : 한국전자통신연구원
  - 1994년~2001년 : 주성대학
  - 2001년~현재 : 천안대학교 정보통신학부
- <관심분야> : 트래픽 엔지니어링, 시뮬레이션, 이동통신시스템 성능분석, 광 네트워크

김 경 수(Kyung-Soo Kim)

정회원



- 1980년 2월 : 충남대학교 전자공학과(공학사)
  - 1985년~현재 : 한국전자통신연구원 기지국소프트웨어연구팀장
- <관심분야> : 이동통신, 트래픽 처리, 호제어 소프트웨어, 무선자원관리