

# 휴대인터넷에서 상향링크 스케줄링 방법의 개선 및 성능 평가

김경희<sup>1\*</sup> · 백장현<sup>2</sup>

## Improvement and Performance Evaluation of Uplink Scheduling Method for the High-speed Portable Internet System

Kyung-Hee Kim · Jang-Hyun Baek

### ABSTRACT

The high-speed portable internet service will be served in Korea sooner or later. However, the scheduling method for the packets of various service classes has not been determined clearly yet. An effective packet scheduling for various service classes requiring different QoS is necessary to increase the efficiency of radio channels that are the limiting resource. This paper proposes an improved uplink scheduling method to accommodate more calls and enhance channel efficiency. Suggested scheduling method reflects different channel conditions considering terminal's location within a cell to increase the transmission rate and utility of the channels. According to our simulation results, our proposed scheduling method shows a good performance in the aspect of throughput and capacity of uplink channels.

**Key words** : High-speed portable internet, Packet scheduling, Channel condition

### 요약

휴대인터넷 서비스가 조만간 제공될 예정이다. 하지만 아직까지 다양한 서비스 유형의 패킷에 대한 스케줄링 방법은 명확하게 결정되지 못하고 있다. 한정된 자원인 무선 채널의 효율을 높여려면 서로 다른 QoS를 요구하는 다양한 서비스 유형에 대한 패킷 스케줄링이 필요하다. 본 연구에서는 보다 많은 호를 수용하고 채널 효율을 향상시키기 위하여 개선된 상향링크 스케줄링 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 채널의 전송률과 효율을 높이기 위하여 단말의 셀내 위치에 따른 채널 상태를 반영한다. 시뮬레이션 결과에 따르면 제안하는 방법이 상향링크의 수율과 용량 측면에서 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

**주요어** : 휴대인터넷, 패킷 스케줄링, 채널 상태

## 1. 서론

우리나라가 주도적으로 시스템과 서비스 개념을 정립하고 세계 최초로 실험실 수준의 시제품을 개발한 2.3 GHz 휴대인터넷 서비스는 성장이 둔화되고 있는 국내·외 통신시장에서 새로운 수익을 창출해 낼 수 있는 상당한 잠재력을 가지고 있다. 휴대인터넷 시스템은 60km 정도의 속도로 이동하는 단말들에게 1-3 Mbps의 고속 인터넷 서비스를 제공할 수 있다. 실험실 수준에서는 이미 개

발이 완료되었으며 상용(commercial) 서비스 제공을 목표로 성능과 용량 등의 다각적인 측면에서 수정 및 보완이 진행되고 있다. 중장기적으로는 향후 지속적인 기술개발을 통해 전송속도를 보다 향상시킨 50Mbps급 휴대인터넷 시제품도 개발할 예정이다(김경희, 2005).

이러한 휴대인터넷 시스템이 제공하고자 하는 데이터 트래픽은 비대칭(asymmetric), 비연속적인 버스티(bursty) 특성을 가지고 있으므로 휴대인터넷 기지국의 성능을 최적화하기 위해서는 우선적으로 MAC(Medium Access Control) 계층의 패킷 스케줄링 방법이 효율적으로 작동되어야 한다. MAC 계층의 패킷 스케줄링은 가입자에서 기지국으로의 상향링크 스케줄링과 기지국에서 가입자로의 하향링크 스케줄링으로 구분할 수 있는데, 다양한 표준 스케줄링 기법이 사용될 수 있는 하향링크와는 달리 상향링크의 경우에는 각 단말에서 기지국으로 전송

2006년 6월 2일 접수, 2006년 6월 13일 채택

<sup>1)</sup> 동부정보기술 컨설팅사업부

<sup>2)</sup> 전북대학교 산업정보시스템공학과

주 저 자 : 김경희

교신저자 : 백장현

E mail: jbaek@chonbuk.ac.kr

되기 위해 대기중인 데이터들의 상태에 대한 상세한 정보를 가지지 못하므로 적절한 스케줄링 방법을 설계하기가 어려운 실정이다. 휴대 인터넷 시스템이 기반으로 두고 있는 BWA(broadband wireless access) 시스템의 상향링크 스케줄링을 위해 VWRR(virtual weighted round robin)과 VVT(virtual virtual time) 등이 제안(Bostic, 2001)되었으나 이 방법들은 상향링크 스케줄러가 패킷 도착시간을 알고 있다고 가정하고 있어 실제 시스템에서는 적용이 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 (Kitti, 2003)에서는 패킷 도착시간을 근사화시켜 이를 스케줄링에 이용하는 방법을 제안하였다.

본 연구에서는 휴대인터넷 시스템이 각 서비스들의 요구 QoS(Quality of Service)를 만족시키면서 효율적으로 서비스를 제공할 수 있는 MAC 계층의 패킷 스케줄링 방법에 대해 연구하고 그 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하고자 한다. 먼저 2장에서는 휴대인터넷의 근간이 되는 IEEE 802.16 시스템을 소개하고, 이어서 본 연구에서 채택한 트래픽 모형과 채널 상태의 변화에 따른 변조방식의 분포에 대해 기술한다. 3장에서는 기존의 스케줄링 방법을 개선한 패킷 스케줄링 방법을 새로 제안하고 4장에서는 제안한 스케줄링 방법의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 모형을 제시한다. 끝으로 시뮬레이션 수행 결과를 제시하여 제안하는 패킷 스케줄링 방법의 우수성을 보인다.

## 2. 휴대인터넷 시스템

### 2.1 IEEE 802.16 BWA 시스템과 휴대인터넷

본 연구는 휴대인터넷 시스템을 대상으로 가입자에서 기지국으로의 자원할당을 담당하는 상향링크 스케줄링 방법에 대하여 연구한다. 먼저 휴대인터넷 시스템의 근간이 되는 IEEE 802.16 BWA 시스템을 중심으로 휴대인터넷의 기본적인 사항들을 살펴보자.

휴대인터넷 시스템은 IEEE 802.16 BWA 시스템의

802.16/16a 규격을 기본으로 하고 있고, 상향링크 스케줄링(uplink scheduling) 서비스와 대역 요구 및 할당 메커니즘은 802.16/16a와 동일하다. 특히, 802.16a에서는 물리계층에 따라 3가지 규격이 따로 작성되어 있는데, 휴대인터넷 시스템은 그 중 그림 1과 같이 다수의 가입자가 각기 다른 부반송파를 사용함으로써 가입자전력을 최대로 사용할 수 있기 때문에 접속반경 확보에 유리하며 주파수분배 측면에서도 편리한 구조를 가지고 있는 OFDMA(orthogonal frequency division modulation/ multiplexing access) 방식을 따른다. 따라서 휴대 인터넷 시스템에서 사용하는 프레임 구조는 그림 1과 같이 크게 DL(downlink) subframe과 UL(uplink) subframe으로 나뉘진다. 그림 1에서 가로축은 시간축을 OFDM 심볼 구간단위로 표시하고, 세로축은 주파수영역을 부채널단위로 나타낸다. 그리고 DL subframe은 각 영역의 복조 및 위치정보를 가지고 있는 DL\_MAP과 UL\_MAP을 포함한다.

또한 휴대 인터넷 시스템은 그림 2와 같이 5ms의 고정된 길이의 프레임의 구조를 가지며, 해당 프레임의 구성 정보는 프레임 상부에 MAP메시지를 통해 방송된다. 스케줄링 해야 하는 패킷의 정보는 임의의 시점에 기지국에 도착하게 되지만, 스케줄링은 프레임의 구조상 5ms 프레임 단위로 한 번씩 스케줄링이 수행되어야 한다. 다시 말하면,  $i$ 번째 프레임에 대역을 할당하기 위해  $i-1$ 번째 프레임 시점까지 수집된 패킷 정보를 이용해야 한다.

IEEE 802.16 MAC에서 제안하는 4가지 서비스는 다음과 같다.

- UGS(Unsolicited Grant Service): 정해진 크기의 패킷들을 생성하는 실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스
- rtPS(realtime Polling Service): MPEG 비디오와 같이 주기적으로 가변 크기의 데이터 패킷을 생성하는 실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스
- nrtPS(non-real time Polling Service): 높은 대역폭

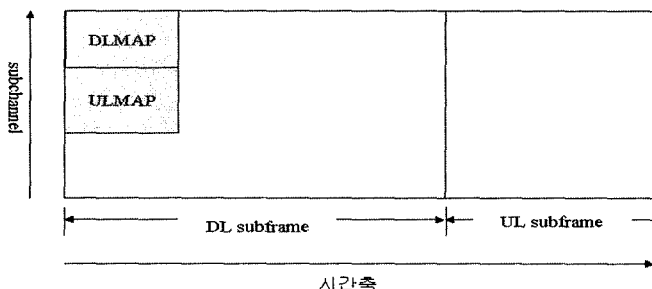


그림 1. OFDMA 구조

을 요구하는 FTP와 같이 주기적으로 가변 크기의 데이터 패킷을 생성하는 비실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스

- BE(Best Effort): TCP와 유사한 최선형 서비스(Best Effort Service)를 효율적으로 제공하기 위한 서비스

현대 인터넷 시스템은 연결지향형 MAC 프로토콜을 사용하며 가입자들은 상향링크상의 전송기회를 할당 받기 위해서 unicast 폴링(polling), 경쟁(contention) 또는 피기백(piggy-back) 방식을 사용하여 대역폭을 요청한다. Unicast 폴링은 rPS 서비스들에게 실시간 서비스를 제공하기 위해서 특정 rPS 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 전송 시 필요한 대역폭을 함께 요청하는 방식으로서 nrtPS 서비스와 BE 서비스들은 경쟁 또는 피기백 방식을 사용하여 대역폭을 요청한다.

이러한 서비스들에게 효율적으로 서비스를 제공하기

위해서는 각 서비스들이 요구하는 QoS를 정의하는 것이 필요하다. (IEEE Std 802.16sc-99, 1999)에서는 UGS의 경우 전송시간이 짧아야 하며, 정보요소간의 전송시간 분산이 작아야 한다는 QoS를 제안하고 있다. 그러나 rPS는 전송 지연시간은 큰 제약이 없으나 정보요소간의 전송 시간 분산이 작아야 하며, BE의 경우에는 전송 지연시간에는 민감하지 않지만 낮은 에러율을 필요로 하는 서비스이다.

### 2.2. 트래픽 모델

각 서비스 트래픽은 그림 3과 같이 ON&OFF 형태로 도착한다. 각 서비스 그룹을 스케줄링 하기 위해서는 ON 구간의 길이인 burst duration과 OFF 구간의 길이인 burst interarrival time, ON 구간 내에서 SDU(service data unit)의 도착 간격인 SDU inter\_duration, 그리고 SDU의 크기인 SDU\_size가 필요하다.

이러한 서비스 트래픽의 시간변수를 계산하기 위해서 본 논문에서는 UGS, rPS, nrtPS, BE의 각 서비스들이 IEEE 802.16 TG3에서 MAC/PHY 계층의 시뮬레이션 수행 시 사용하도록 권고한 다음의 트래픽 모델(IEEE

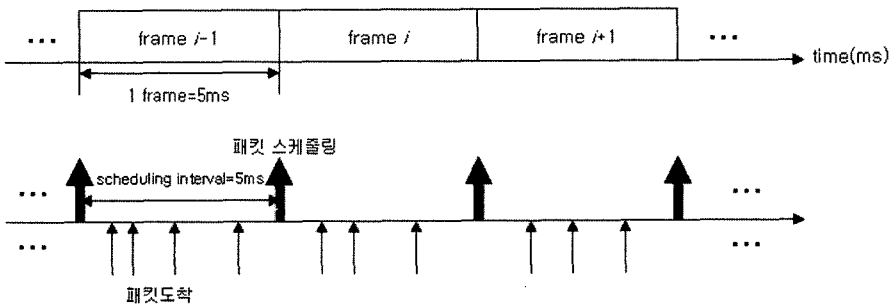


그림 2. 현대 인터넷 시스템 프레임 구조

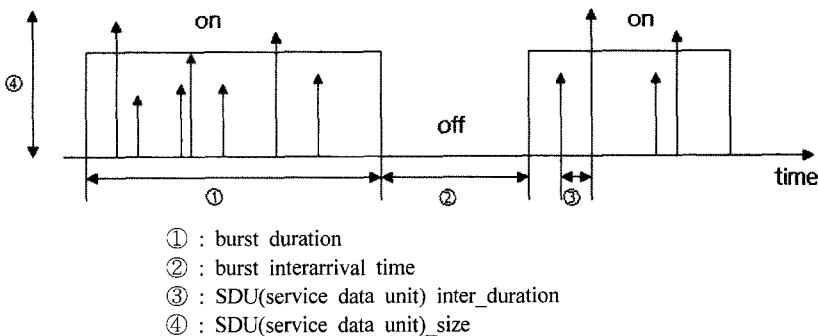


그림 3. 서비스 트래픽의 ON&OFF 구간

표 1. UGS 사용자에게 대한 IDP 모델

source	$\lambda_i$ (pkts/sec)	$C_1$	$C_2$	Average (pkts/sec)
IDP	50.0	2.841	1.538	17.561

표 2. rtPS, nrtPS 사용자에게 대한 IRP 모델

source_j	$\lambda_i$ (pkts/sec)	$\alpha_{1i}$	$\alpha_{2i}$	Average (pkts/sec)
IRP#1	112.38	1.14	1.22	66.849
IRP#2	154.74	1.54	1.28	59.451
2IRP Average				126.30

802.16.3C-01/30r1, 2001)을 따른다고 가정한다.

UGS는 IDP(Interrupted Deterministic Process)에 기반을 두고 있다. 한 IDP는 한 패킷 음성원을 나타내며 허브와 가입자 사이에 트래픽을 발생시킨다. IDP 모델은 ON time 동안 패킷 도착 간격이 고정되어 있다. 즉, 말을 하는 동안에는 매 20ms 간격으로 66byte 의 패킷이 도착하고 침묵하는 동안에는 패킷이 발생하지 않게 되어 8kbps 의 데이터 전송율을 갖는다. 기본 모델은 (Leland 1991)에서 유도되었다.

다음 표 1에 있는 파라미터들은 UGS 사용자에게 대한 IDP 모델을 정의한다. 이 파라미터들은 352ms와 650ms 의 ON 과 OFF 구간을 갖는 음성모델과 잘 일치하도록 선정되었다. ON 구간 동안에 패킷은 매 일정 구간마다 발생되고 ON 과 OFF 시간은 지수분포를 따른다.

rtPS와 nrtPS 모델은 2개의 IRP(Interrupted Renewal Process)에 기초를 두고 있다. 2IRP가 하나의 패킷 비디오 원을 나타내고 허브와 가입자 사이에 트래픽을 발생시킨다. 2IRP 모델의 체류시간은 파레토 분포를 따른다. 제안된 모델은 (Subramanian, 1995)과 영화 “Star Wars”의 17100 MPEG 프레임으로부터 유도되었다.

표 2에 있는 파라미터 들은 rtPS, nrtPS 사용자에게 대한 2IRP 모델을 정의한다. 이 파라미터들은 과거 10년 사이에 가장 많이 이용된 비디오인 2시간 분의 “Star Wars” 영화와 일치되도록 선정되었다.

체류시간은 파레토 분포를 따르며 평균 체류 시간은  $a_{ij} / (a_{ij} - 1)$  이다. On 시간동안 패킷 도착 시간간격은 지수 분포를 따른다.

BE 모델은 IPP(Interrupted Poisson Process)에 기초를 두고 있다. IPP는 한 사용자의 Internet Source를 나타내며 각 IPP는 허브와 가입자 사이에 트래픽을 발생시킨다. 기본적인 가정은 개별적인 사용자가 상향링크 트래픽

표 3. BE 사용자에게 대한 IPP 모델

source	$\lambda_i$ (pkts/sec)	$C_1$	$C_2$	Averaged (pkts/sec)
IPP	2.279	0.0194	0.0146	0.977

$\lambda_i$ : IPP in ON Time

$C_1$ : transition rate from ON to OFF(transitions/unit-of-time)

$C_2$ : transition rate from OFF to ON(transitions/unit-of-time)

표 4. 변조방식 분포

변조방식	전송바이트	변조방식 비율(%)
64QAM-5/6	30	7.9
64QAM-2/3	24	11.5
QAM-2/3	16	16.6
QAM-1/2	12	21.7
QPSK-2/3	8	12.8
QPSK-1/2	6	29.4

보다 훨씬 많은 하향링크 트래픽이 있는 여러 가지의 인터넷 응용기법과 통신 할 수 있다는 것이다.

다음 표 3은 BE 사용자에게 대한 IPP 모델을 나타낸다.

하나의 셀에 존재하는 여러 서비스 단말들의 비율을 정하기 위해 ETSI 트래픽 모델(ETSI, 1997)을 참조하였다. 이에 따라 셀에 존재하는 UGS, rtPS, nrtPS, BE 단말의 비율을 계산하면 7.43 : 1 : 1.89 : 7.55이 산출되는데 이러한 값이 하나의 참고자료일 뿐 절대적인 기준은 아니므로 본 연구에서는 분석의 편의상 각 구성 비율 값을 반올림하여 7 : 1 : 2 : 8이 된다고 가정한다.

### 2.3 변조방식 분포

휴대 인터넷 시스템은 변조방식으로서 QPSK, 16 QAM, 64QAM을 사용하고 있으며 각 단말이 사용하는 변조방식은 무선채널의 상태에 따라 결정된다. 사용자가 셀의 중심으로부터 멀리 있으면 QPSK 방식을 사용하고 상대적으로 중심에 가까이 있으면 16QAM, 64QAM 방식을 사용할 수 있다.

본 연구에서는 변조방식의 변화를 반영하여 시뮬레이션을 수행한다. 표 4는 단말의 이동에 따른 변조방식의 변화를 고려할 경우 본 연구에서 사용한 각 변조방식의 비율을 나타낸다.

## 3. 스케줄링 방법

현대인터넷 시스템에서는 시스템이 각 서비스 유형들

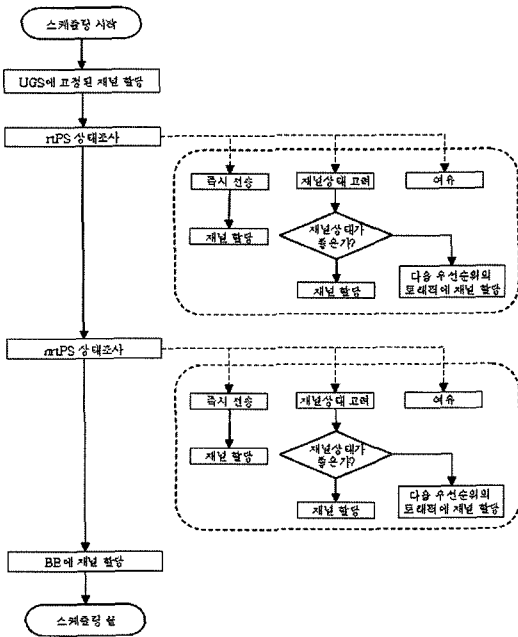


그림 4. 지연시간과 채널상태를 고려한 스케줄링 방법(CCon)

에게 이들이 요구하는 QoS를 효율적으로 만족시키면서 패킷을 제공하기 위해서는 효율적인 MAC/패킷 스케줄링을 필요로 한다. 휴대인터넷의 상향링크 스케줄링 시 각 서비스별 QoS를 고려하여 (Kiti, 2003)에서 제안된 방법과 같이 UGS, rtPS, nrtPS, BE 트래픽 순서로 절대적 우선권을 주는 것을 생각할 수 있다. 그러나 이 경우 상위의 우선순위 트래픽이 상대적으로 많이 존재하는 경우에는 하위의 우선순위 서비스들에게는 요구하는 QoS를 제공하기 어렵게 된다. 따라서 (Kook, 2004)에서는 UGS, rtPS, nrtPS, BE 트래픽 순서로 기본적인 우선권을 주면서 rtPS에 패킷을 할당할 때 손실확률, 데이터 전송률, 패킷 지연 등을 고려하여 nrtPS와 BE에 적절한 대역폭을 미리 할당한 방법을 제안하였다. 이 경우, 같은 서비스 형태간의 채널할당 방법은 라운드로빈(round robin)을 이용하였다.

본 연구에서는 UGS, rtPS, nrtPS, BE에 채널을 할당할 때 각 트래픽의 지연시간을 고려한 스케줄링 방법을 제안한다. 본 연구에서 고려하는 스케줄링 방법에서는 rtPS에 채널을 할당하기 전 nrtPS, BE를 위한 채널을 할당하되 (Kook, 2004)에서와 같이 nrtPS, BE를 위한 채널을 고정적으로 확보하지 않고 각 트래픽의 지연시간에 따라 몇 가지의 상태로 분류하고 그 상태에 따라 채널의 할

당 여부를 결정한다. 또한 전송률을 높이기 위해 각 단말의 위치와 이동성에 따른 채널 상태를 고려한 스케줄링 방법을 제안한다. 즉, rtPS와 nrtPS의 상태를 3단계로 나누어 즉시 전송해야 하는 상태이거나 여유가 있는 상태를 제외한 상태에서는 채널상태를 고려하여 채널상태가 좋으면 채널을 할당하고 그렇지 않으면 채널상태가 좋아질 때까지 기다리는 방법으로 채널상태를 고려하였다. 이를 순서도로 표현하면 그림 4와 같다.

제안하는 스케줄링 방법의 세부적인 내용은 다음과 같다.

- i) 기본적으로는 UGS, rtPS, nrtPS, BE 순서로 패킷을 할당한다.
- ii) rtPS와 nrtPS에 채널을 할당할 때는 각 서비스 트래픽의 상태를 즉시 전송해야 하는 상태, 채널상태에 따라 패킷을 할당해야 하는 상태, 아직 여유가 있는 상태로 나누어서 상태에 따라 패킷을 할당한다. 즉, 서비스 트래픽의 상태가 즉시 전송해야 하는 상태이면 바로 다음 프레임에 패킷을 할당하고, 채널상태에 따라 패킷을 할당해야 하는 상태이면 채널상태가 좋으면 패킷을 할당하고 좋지 않으면 다음 우선순위의 서비스에 할당기회를 준다. 그리고 여유가 있는 상태인 경우도 역시 다음 우선순위의 서비스에게 채널을 할당받을 기회를 준다.
- iii) 서비스 상태를 조사한 결과 같은 상태의 트래픽들 사이에서 서로 경쟁해야 하는 경우 라운드 로빈 (Round Robin)(Chaskar, 2003) 방법에 의해 채널을 할당한다.

rtPS의 경우, rtPS의 지연시간 QoS 기준인 200ms를 참고하여 다음과 같이 단계를 구분한다.

- 즉시전송단계  
:  $100ms \leq \text{현재시각} - \text{패킷도착시각}$
- 채널상태고려단계  
:  $50ms \leq \text{현재시각} - \text{패킷도착시각} < 100ms$
- 여유단계  
:  $\text{현재시각} - \text{패킷도착시각} < 50ms$

그리고, nrtPS의 경우, nrtPS의 지연시간 QoS 기준인 150ms를 참고하여 다음과 같이 단계를 구분한다.

- 즉시전송단계  
:  $60ms \leq \text{현재시각} - \text{패킷도착시각}$
- 채널상태고려단계  
:  $30ms \leq \text{현재시각} - \text{패킷도착시각} < 60ms$

- 여유단계  
: 현재시간-패킷도착시간<30ms

채널상태를 나누는 기준은 각 변조방식의 비율에서 약 50% 지점을 기준으로 하여 변조방식이 64QAM-5/6, 64QAM-2/3, QAM-2/3, QAM-1/2 이면 채널상태를 좋은 것으로 간주하고, 나머지는 좋지 않은 것으로 간주한다.

## 4. 시뮬레이션 모델

### 4.1 시뮬레이션 수행환경

본 연구의 시뮬레이션 수행환경은 다음과 같다.

- 하나의 고립된 셀만을 가정한다.
- 단말로부터 기지국으로 전송되는 상향링크만을 고려한다.
- 각 상향링크 프레임에서 192 OFDM 채널이 데이터 전송을 위해 사용된다.
- rtPS, nrtPS, BE 단말들은 MAC-PDU(protocol data unit)를 전송할 때 큐에 남아 있는 MAC-PDU의 개수만큼 피기백 방식에 의해 대역폭을 요청한다.
- 한 프레임의 길이는 5msec이다.
- 휴대인터넷에서 무선채널의 상태를 결정하는 변조방식인 64QAM-5/6, 64QAM-2/3, QAM -2/3, QAM-1/2, QPSK-2/3, QPSK-1/2을 고려한다.

### 4.2 성능평가척도

휴대인터넷 시스템의 성능평가를 위해서는 다음과 같은 성능평가척도들을 고려한다.

- 패킷 지연시간: 사용자의 단말에 데이터 패킷의 첫 번째 바이트가 도착한 시간으로부터 기지국으로 데이터 패킷의 마지막 바이트가 전송될 때까지의 시간을 말한다.
- 데이터 전송률: 단위시간 동안 기지국으로 전송되는 총 데이터의 양을 말한다.
- 패킷 손실확률: 실시간 서비스를 요구하는 rtPS 단말의 경우 지연시간이 200msec를 초과하여 데이터 패킷이 손실될 확률을 말한다(IEEE Std 802.16sc-99, 1999).
- nrtPS 트래픽의 지연확률: nrtPS 단말의 패킷 지연시간이 150msec 이상이 될 확률을 말한다(IEEE Std 802.16sc-99, 1999).
- BE 트래픽의 지연확률: BE 단말의 패킷 지연시간

이 1초 이상이 될 확률을 말한다(IEEE Std 802.16sc-99, 1999).

### 4.3 상향링크 용량평가 방법

휴대인터넷 시스템의 상향링크 대역이 수용할 수 있는 가입자의 수는 각 가입자들에게 그들이 요구하는 QoS를 만족시켜 주면서 서비스할 수 있는 최대 가입자의 수로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 다음에서 요구하는 각 서비스별 QoS를 만족시키지 못하게 될 때의 가입자의 수로 시스템 용량을 평가한다. 아래 세 가지 값 중 가장 적은 값이 전체 용량을 제한하게 되므로 가장 적은 값으로 시스템 용량을 결정하는 것이 타당할 것이다.

- (IEEE Std 802.16sc-99, 1999)에서 비디오 서비스의 FER(frame error rate)은 1% 이내가 되어야 하므로 rtPS 단말의 데이터 패킷이 200msec 이상 지연되어 패킷이 손실될 확률이 0.5% 이상이 될 때의 가입자 수
- (IEEE 802.16.3C-01/30r1, 2001)로부터 nrtPS의 최대 지연시간이 150 msec를 초과할 확률이 5% 이상이 될 때의 가입자 수
- (IEEE Std 802.16sc-99, 1999)에서 web page의 전송 지연시간이 4초 이내가 되는 것이 바람직함을 알 수 있으므로 BE 지연시간이 1초를 초과할 확률이 5% 이상이 될 때의 가입자 수

## 5. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 휴대인터넷의 4가지 서비스 종류인 UGS, rtPS, nrtPS, BE가 모두 시스템 내에 존재하는 경우를 시뮬레이션을 이용하여 데이터 전송률, 패킷 지연시간, 패킷 손실확률을 고려하여 기존에 (Kook, 2004)에서 제안된 스케줄링 방법과 본 연구에서 제안하는 스케줄링 방법의 성능을 평가한다. (Kook, 2004)에서 제안된 스케줄링 방법은 nrtPS와 BE 트래픽에 대하여 평균 발생량의 일정 비율만큼 채널을 예약하는 방법이므로 CRes(channel reservation)로 명명하고 본 연구에서 제안하는 스케줄링 방법은 지연시간과 채널상태를 고려하는 방법이므로 CCon(channel assignment by delay and channel condition)으로 명명하기로 한다.

표 5는 UGS, rtPS, nrtPS, BE의 단말수가 7 : 1 : 2 : 8의 비율로 증가할 때 초당 데이터 도착량과 데이터 전송량을 기존의 채널예약 방법(CRes)과 본 연구에서 제안된 채널상태를 고려하여 전송하는 방법(CCon)을 비교한

표 5. 패킷 도착량과 패킷 전송량 (단위 : bit/sec)

서비스 종류	(UGS, rtPS, nrtPS, BE) 단말수 데이터량	(7,1,2,8)	(14,2,4,16)	(21,3,6,24)	(28,4,8,32)	(35,5,10,40)
		도착량	187,745	401,529	611,786	793,121
rtPS	전송량_CRes	187,743	401,526	611,785	792,793 (99.96%)	952,570 (97.61%)
	전송량_CCon	187,740	401,495	611,652	792,969 (99.98%)	972,803 (99.68%)
	도착량	404,000	784,409	1,138,960	1,618,010	1,947,930
nrtPS	전송량_CRes	403,996	784,407	1,138,950	1,613,520 (99.72%)	1,782,800 (91.52%)
	전송량_CCon	403,994	784,401	1,138,890	1,614,440 (99.78%)	1,790,200 (91.90%)
	도착량	12,642	25,819	36,281	50,000	59,830
BE	전송량_CRes	12,642	25,819	36,280	48,083 (96.17%)	46,299 (77.38%)
	전송량_CCon	12,642	25,818	36,280	47,712 (95.42%)	43,109 (72.05%)

것이다. (UGS, rtPS, nrtPS, BE)의 수가 (21, 3, 6, 24)까지는 모든 단말에 대해서 두 스케줄링 방법 모두가 패킷 도착량의 대부분을 전송하였으나, (28, 4, 8, 32)부터는 nrtPS와 BE의 경우에 패킷도착량과 패킷전송량 사이에 차이를 보이게 된다.

보다 자세히 살펴보면, 단말의 수가 (28, 4, 8, 32)일 때, 기존의 CRes 스케줄링 방법은 nrtPS의 경우 초당 패킷 도착량 1,618,010 bit의 99.7%에 해당되는 1,613,520 bit를 전송하였으며, 본 연구에서 제안된 CCon 스케줄링 방법은 99.8%에 해당되는 1,614,440 bit를 전송하여 아주 작은 정도의 우위를 보였다. 그러나 BE의 경우에는 단말의 수가 (28, 4, 8, 32)일 때, 기존의 CRes 스케줄링 방법은 초당 패킷 도착량 50,000 bit의 96.2%에 해당되는 48,083 bit를 전송하였으며, 본 연구에서 제안된 CCon 스케줄링 방법은 95.4%에 해당되는 47,712 bit를 전송하여 CRes 방법이 더 나은 결과를 보였다.

(UGS, rtPS, nrtPS, BE)의 수가 (35, 5, 10, 40)이 되면, nrtPS와 BE뿐만 아니라 rtPS의 패킷 상당량이 전송되지 못하였다. 기존의 CRes 스케줄링 방법에서는 rtPS의 경우 초당 패킷 도착량 975,901 bit의 97.6%에 해당되는 952,570 bit를 전송하였으며, 본 연구에서 제안된 CCon 스케줄링 방법은 99.6%에 해당되는 972,803 bit를 전송하였다. 반면에 BE의 경우 두 가지 방법 모두 도착한 패킷의 상당량을 전송하지 못하게 되는데 그 중에서도 본 논문에서 제안하는 방법이 보다 많은 패킷을 전송하지 못하게 되는 것을 알 수 있다. 즉, 본 논문에서 제안하는 방법에 따라 스케줄링을 수행할 경우, 수율(throughput) 관

점에서 볼 때, rtPS나 nrtPS는 약간의 성능 향상을 보게 되나 반면에 BE는 약간의 성능 저하를 보게 된다. 그러나 BE의 경우 도착하는 패킷의 양이 적어 성능 저하에 따른 영향이 미미한 반면, rtPS와 nrtPS의 경우 상대적으로 도착하는 패킷의 양이 훨씬 많다보니 성능 향상에 따른 효과가 전체 성능에는 더 큰 영향을 미치게 된다. 실제로, 본 논문에서 제안하는 방법에 따라 스케줄링을 수행할 경우, (UGS, rtPS, nrtPS, BE)의 수가 (28, 4, 8, 32)인 경우에는 725 bit/sec, (UGS, rtPS, nrtPS, BE)의 수가 (35, 5, 10, 40)인 경우에는 4443 bit/sec의 데이터가 더 전송되는 것을 알 수 있다.

표 6과 그림 5는 셀 내에 존재하는 단말의 수가 증가할 때 각 단말이 전송하고자하는 패킷의 평균 지연시간에 대하여 CRes 방법과 본 연구에서 제안된 CCon 방법을 비교하여 나타낸다. (UGS, rtPS, nrtPS, BE)의 단말수가 (28, 4, 8, 32)일 때, 채널을 확보하는 스케줄링 방법은 rtPS 패킷을 전송할 때 평균 0.0074초가 지연되어 1~2 프레임 안에 패킷이 전송되었으나, 본 연구에서 제안된 CCon 방법은 평균 0.0869초가 지연되어 약 13 프레임이 지나서 패킷이 전송되었다. 이는 본 연구에서 제안된 스케줄링 방법은 50msec 즉 10 프레임이 지연되지 않은 rtPS 패킷에 대해서는 여유상태로 간주하여 즉시 전송을 수행하지 않고 하위의 우선순위에 nrtPS와 BE에 기회를 주고, 패킷 지연정도가 50msec와 140msec 사이에 있는 것은 채널상태를 고려하여 좋으면 전송하고 그렇지 않은 경우는 다음 기회를 기다리기 때문이다.

그러나 nrtPS의 경우 단말의 수가 (28, 4, 8, 32)일때

표 6. 평균 지연시간(단위 : sec)

서비스 종류	스케줄링방법	(UGS, rtPS, nrtPS, BE) 단말수				
		(7,1,2,8)	(14,2,4,16)	(21,3,6,24)	(28,4,8,32)	(35,5,10,40)
rtPS	CRes 방법	0.0052	0.0053	0.0056	0.0074	0.0168
	CCon 방법	0.1009	0.0921	0.1006	0.0869	0.0857
nrtPS	CRes 방법	0.0052	0.0061	0.0137	0.4652	18.5981
	CCon 방법	0.0476	0.0554	0.0581	0.1103	13.4395
BE	CRes 방법	0.0054	0.0083	0.0737	2.8545	48.4136
	CCon 방법	0.0054	0.0083	0.0556	0.8073	138.6310

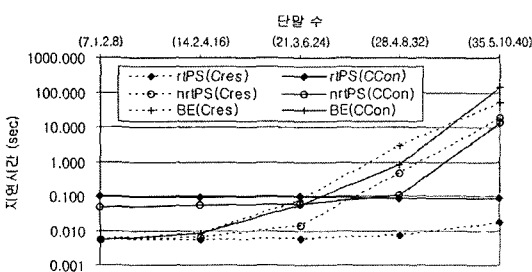


그림 5. 트래픽의 양에 따른 지연시간

nrtPS의 평균 지연시간이 CRes 스케줄링 방법의 경우 0.4652초를 기록하여 nrtPS의 QoS 기준인 150msec를 초과하는 것으로 나타났으나 본 연구에서 제안한 채널상태를 고려하는 스케줄링 방법의 경우는 0.1103초를 기록하여 보다 나은 결과를 나타내었다. BE 역시 CRes 스케줄링 방법의 경우 2.8545초를 기록하여 BE의 QoS 기준인 1000msec를 초과하는 것으로 나타났으나 본 연구에서 제안한 채널상태를 고려하는 스케줄링 방법의 경우는 0.8073초를 나타내었다. 그러나, 채널용량의 약 88%에 해당하는 (35, 5, 10, 40)의 경우에는 두 방법 모두 패킷 지연시간이 급격하여 증가하여 상위 우선순위인 rtPS를 제외한 나머지 서비스 종류에 대해서는 만족할만한 서비스를 수행할 수 없음을 나타내었다. 전반적으로 트래픽이 적을 때는 CCon이 CRes에 비해 지연시간이 크게 나타나지만 CCon의 경우 트래픽 증가에 따른 지연시간의 증가폭이 적어 (28, 4, 8, 32)에 이르러서는 CRes에 비해 오히려 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

표 7은 셀 내에 존재하는 단말의 수가 증가할 때 rtPS의 패킷 지연시간이 200msec를 초과하여 손실될 확률, nrtPS 패킷 지연시간이 150msec를 초과할 확률, BE의

패킷 지연시간이 1000msec를 초과할 확률을 기존의 CRes 방법과 본 연구에서 제안된 CCon 방법을 비교한 것을 나타낸다. 단말 수가 (21, 3, 6, 24)까지는 각 단말의 QoS가 모두 만족되었으며, (28, 4, 8, 32)에서는 CRes 방법의 경우 nrtPS의 패킷 지연이 150msec를 초과할 확률이 7.57%이고, BE의 패킷 지연이 1sec를 초과할 확률이 13.11%로 나타나 요구되는 QoS를 만족시키지 못하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 제안된 CCon 방법의 경우는 단말의 수가 (28, 4, 8, 32)일 때 nrtPS의 패킷 지연이 150msec를 초과할 확률이 2.46%이고, BE의 패킷 지연이 1sec를 초과할 확률이 4.04%로 요구되는 QoS를 만족시키는 결과를 나타내었다. 그러나 전송가능 용량의 약 88%에 해당되는 (35, 5, 10, 40)의 경우 nrtPS의 패킷 지연이 150msec를 초과할 확률이 두 방법 모두 50%를 넘었으며 BE의 패킷 지연이 1sec를 초과할 확률도 두 방법 모두 70%를 넘겨 제대로 된 서비스를 받을 수 없음을 알 수 있다. 반면에 rtPS의 패킷 손실을 보면 CRes에서는 요구사항을 만족하지 못하나 CCon에서는 요구사항을 만족하는 것을 알 수 있으며 따라서 CCon의 경우에는 nrtPS 및 BE의 성능 개선 여지가 남아있음을 짐작할 수 있다.

상향링크의 용량은 rtPS의 패킷 지연시간이 200msec를 초과하여 손실이 발생할 확률이 0.5% 이상이 되기 시작할 때의 가입자 수, nrtPS의 패킷 지연시간이 150msec를 초과할 확률이 5% 이상이 되기 시작할 때의 가입자 수, BE의 지연시간이 1초를 초과할 확률이 5% 이상이 되기 시작할 때의 가입자 수 중 가장 적은 값으로 평가될 것이므로, 시뮬레이션 결과로부터 파악된 최종적인 상향링크의 용량은 채널을 확보하는 스케줄링 방법(CRes)의 경우 (21, 3, 6, 24)이고 채널 상태를 고려하는 스케줄링 방법의 경우 (28, 4, 8, 32)로 평가된다.



표 7. 단말수 증가에 따른 패킷손실(단위: %)

서비스 종류	(UGS, rtPS, nrtPS, BE) 단말수 스케줄링방법	(7,1,2,8)	(14,2,4,16)	(21,3,6,24)	(28,4,8,32)	(35,5,10,40)
		rtPS (200msec)	CRes 방법	0.00	0.00	0.00
	CCon 방법	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nrtPS (150msec)	CRes 방법	0.00	0.00	1.36	7.57	58.77
	CCon 방법	0.00	0.04	1.13	2.46	60.20
BE (1sec)	CRes 방법	0.00	0.00	1.92	13.11	78.31
	CCon 방법	0.00	0.00	0.92	4.04	99.80

본 연구에서는 분석의 편의상 서비스 유형별 호 발생 비율을 ETSI 트래픽 모델을 참고하여 7 : 1 : 2 : 8로 가정하고 상향링크의 용량을 평가하였는데, 실제로 시스템을 운용하게 되면 본 연구에서 가정한 호 발생 비율은 달라질 수 있으므로 그에 따라 상향링크의 용량은 달라질 수 있다. 또한 본 연구에서는 호 발생 비율을 엄격히 유지하면서 용량 평가를 수행하다 보니 용량이 7 : 1 : 2 : 8의 배수로만 증가하고 있는데, 추후 실제 상황에서의 호 발생 비율과 서비스 비율을 얻게 되면 특정 서비스 유형에는 더 많은 채널을 할당하는 등의 보다 다양한 트래픽 상황을 고려하여 보다 정확한 용량 평가를 수행할 필요가 있다.

## 6. 결 론

본 연구는 현대인터넷 시스템이 각 서비스들에게 이들이 요구하는 QoS를 만족시키면서 효율적으로 서비스를 제공할 수 있는 MAC 계층의 패킷 스케줄링 방법에 대해 연구하고 이의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

본 연구에서는 우선순위가 높은 실시간 트래픽이 상대적으로 많이 존재하는 경우에는 우선순위가 낮은 서비스들에게는 요구하는 QoS를 제공하기 어렵게 되는 점을 감안하여 rtPS와 nrtPS에 대역폭을 할당할 때 패킷 지연 정도와 채널상태를 고려하여 단계적으로 채널을 할당하는 방법을 제안하였다. 제안하는 스케줄링 방법을 평가하기 위하여 트래픽을 증가시키면서 각 단말의 평균 지연시간, 데이터 전송률을 분석하고 기지국의 채널 용량을 도출하였다. 분석결과 본 논문에서 제안하는 방법이 우선순위가 낮은 서비스에 일정량의 채널을 예약하는 기존의 방법에 비하여 우수한 성능을 보임을 파악할 수 있었다. 본 연구

는 현대 인터넷 시스템에서의 규격 제안을 위한 기초자료와 기지국 용량 예측자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 각 서비스에 대역폭을 할당할 때, 같은 서비스 클래스에 속하는 단말들은 동일하게 취급하여 라운드 로빈 방식을 이용하여 대역폭을 할당하였으나, 우선 순위 정보 등을 고려한 스케줄링 하는 방법을 계속하여 연구할 필요가 있다.

## 감사의 글

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 지원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R05-2004-000-11569-0)

## 참 고 문 헌

1. 김경희, 국광호, 임석구, 김경수 (2005), "현대인터넷에서 QoS를 고려한 스케줄링 방식 연구", 한국콘텐츠학회논문지, 제5권 제1호, pp.89-99.
2. Bostic, J. and Kandus, G. (2001), *MAC scheduling for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research.
3. Cao, Y. and Li, V-O-K. (2001), "Scheduling Algorithms in Broad-Band Wireless Networks", *Proc. of the IEEE*, pp.76-86.
4. Chang, C. (1994), "Stability, queue length, and delay of deterministic and stochastic queueing networks", *IEEE Trans. Automatic Control*, Vol. 39, No.5, pp.913-931.

5. Chaskar, H-M. and Madhow, U. (2003), "Fair Scheduling with Tunable Latency: A Round-Robin Approach", *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.11, No.4, pp.592-601.
6. ETSI (1997), TR101 112 V.3.1.0.
7. Eugene Ng, T-S., Stoica, I. and Zhang, H. (1998), "Packet Fair Queuing Algorithms for Wireless Network with Location-Dependent Errors", *Proc. of the INFOCOM'98*, pp.1103-1111.
8. Golestani, S. (1994), "A self-clocked fair queuing scheme for broadband applications", *Proc. of the IEEE INFOCOM'94*, Toronto, CA, pp.636-646.
9. IEEE 802.16.3C-01/30r1 (2001), *Traffic Models for 802.16 TG3 MAC/PHY Simulations*.
10. IEEE 802.16-2001 (2001), *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16 : Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*.
11. IEEE Std 802.16sc-99/28 (1999), *Quality of Service(QoS) classed for BWA*, 22.
12. Kitti Wongthavarawat and Aura Ganz (2003), "Packet scheduling for QoS support in IEEE 802.16 broadband wireless access systems", *International Journal of Communication Systems*, Vol.16, pp.81-96.
13. Kook, K-H. and Lee, K-W. (2004), *Study of the radio resource allocation method of the High-speed Portable Internet System*, ETRI.
14. Leland, W-E. and Wilson, D-V. (1991), "High Time-Resolution Measurement and Analysis of LAN Traffic: Implications for LAN Interconnection", *Proc. of the IEEE INFOCOM'91*, pp. 1360-1366.
15. Lu, S. and Bharghavan, V. (1999), "Fair Scheduling in Wireless Packet Networks", *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.7, No.4, pp.473-489.
16. Subramanian, S-N. and Le-Ngoc, T. (1995), "Traffic Modeling in a Multi-Media Environment", *Proc. of the CCECE'95*, Motreal.
17. Zhang, H. (1995), "Service Disciplines for Guaranteed Performance Service in Packet-Switching Networks", *Proc. of the IEEE*, pp.1374-1396.



**김 경 희** (khkim@dongbu.com)

1996 전북대학교 산업공학과 학사  
 1999 전북대학교 산업공학과 석사  
 2006 전북대학교 산업공학과 박사  
 2003~2004 University of California, Riverside 해외공동연구원  
 현재 동부정보기술 컨설팅사업부

관심분야 : 최적화, 시뮬레이션, 차세대 이동통신, RFID 등



**백 장 현** (jbaek@chonbuk.ac.kr)

1986 서울대학교 산업공학과 학사  
 1988 서울대학교 산업공학과 석사  
 1997 서울대학교 산업공학과 박사  
 1998~현재 전북대학교 산업정보시스템공학과 교수  
 1989~2004 한국전자통신연구원 선임연구원, 초빙연구원  
 2004~2005 University of Colorado at Boulder 교환교수

관심분야 : 확률적 모델링, 시뮬레이션, 통신망 설계 및 성능평가 등