

---

# 다중 서비스 지원을 위한 WiMAX 채널할당기법

이주현\* · 박형근\*\*

WiMAX Channel Allocation Scheme for Heterogeneous Service

Juhyeon Lee\* · Hyung-Kun Park\*\*

## 요 약

Mobile WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)는 IEEE 802.16 표준을 기반으로 하는 원거리 무선 접속을 통신 기술로써, 데이터, 음성 및 비디오 등 다양한 QoS(Quality of Service) 조건을 가진 서비스들을 제공하고 있으며, 이러한 서비스들의 QoS를 제공하는 것이 중요한 문제가 되고 있다.

지금까지 OFDMA 환경에서 실시간 및 비실시간 패킷의 QoS를 보장하기 위한 패킷 스케줄링 방법은 많이 연구되었으나, 이를 WiMAX 시스템에 적용하기 위해서는 시스템의 특성을 고려해야 할 필요가 있다. 특히 WiMAX에서는 여러 가지 QoS 제한조건을 가진 5가지 서비스 클래스를 지원하므로 각각의 클래스들의 특성을 고려하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 WiMAX 시스템에서 제공하는 서비스들의 QoS 제한조건을 고려하여 다양한 서비스들을 효율적으로 제공하는 스케줄링 기법을 제안하고자 한다.

## ABSTRACT

Mobile WiMAX system provides broadband wireless access with a variety of services such as voice, video and data communications and providing QoS for each of these services become an important issue.

In Mobile WiMAX system, it is important to allocate resources appropriately in order to support the efficient utilization of resources among various real-time and non real-time services. Although many packet scheduling schemes for real-time services in OFDMA system have been proposed, it need to be modified to apply to Mobile WiMAX system. Since Mobile WiMAX supports five types of service classes, QoS constraints of each class should be taken into consideration. In this paper, we propose an efficient packet scheduling scheme to support various services by considering the QoS constraints of each class.

## 키워드

와이맥스, 패킷 스케줄링, QoS, 다중 서비스

## Key word

WiMAX, Packet Scheduling, QoS, Multiple service

---

\* 한국기술교육대학교 전기전자공학과 박사과정  
\*\* 한국기술교육대학교 전기전자공학과 부교수  
(교신저자, hkpark@kut.ac.kr)

접수일자 : 2010. 03. 10  
심사완료일자 : 2010. 04. 05

## I. 서 론

최근 무선망에서 보다 넓은 서비스 지역, 높은 속도의 인터넷 서비스 및 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증가됨에 따라, Mobile WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)와 같은 빠른 속도, 큰 용량 등의 장점을 가진 광대역 무선 접속(Broadband Wireless Access)서비스가 많이 사용되고 있다. Mobile WiMAX는 IEEE 802.16 표준을 기반으로 하는, 모바일 셀룰러 및 점대점 통신 등과 같은 다양한 방식으로 원거리 무선 접속을 제공하는 통신 기술로써, 광대역 무선 접속에 대한 요구가 증가하는 상황에서 모바일 데이터 사용자들에게 높은 전송속도 및 넓은 전송반경을 제공해줄 것으로 기대되는 기술이다.

특히 이러한 WiMAX 시스템의 경우 데이터, 음성 및 비디오 등 다양한 실시간 및 비실시간 서비스를 지원하고 있으며, 효율적인 서비스 지원을 위해서는 QoS(Quality of Service)등을 고려한 적절한 자원 할당이 중요하다[1]. WiMAX에서도 여러 종류의 서비스들을 지원하기 위하여 MAC 계층에 여러 가지 QoS 메커니즘을 제공하고 있는데, IEEE 표준에서는 이러한 QoS를 보장할 수 있는 스케줄러의 세부적인 디자인이 정의되어 있지 않고 설계자나 서비스 제공자의 몫으로 남아있다[2].

지금까지 OFDMA 시스템에서 QoS를 제공하는 패킷 스케줄링 기법이 많이 제안되었다. [3]과 [4]에서는 OFDMA 시스템에서 실시간 및 비실시간 서비스를 동시에 효율적으로 스케줄링 하는 방법을 제안하였다. 하지만 이를 WiMAX 시스템에 적용하기 위해서는 WiMAX에서 제공하는 여러 가지 형태의 서비스를 고려해야 한다. [5]에서는 OFDMA 시스템에서 다중 서비스를 위한 스케줄러 구조를 제안하였다. 여기서 제안한 구조에서 각 클래스는 긴급도 따라 구분되어 있으며, 만약 상위 클래스에 항상 패킷이 있을 경우 하위 클래스는 자원 할당의 기회가 거의 없게 된다. 이러한 문제의 해결을 위해 joint 알고리즘을 함께 제시하였지만, 이 경우에도 각 클래스별 QoS 특징을 고려하지는 않았다.

따라서 본 논문에서는 Mobile WiMAX 시스템에서 제

공하는 서비스들의 QoS 조건을 고려하여 다양한 서비스들을 효율적으로 제공하는 스케줄링 기법을 제안하고자 한다. 제안한 방법에서는 먼저 각 클래스들의 여러 가지 QoS 요구조건을 고려하여 서비스 클래스를 선택한 뒤 선택된 클래스 안에서 채널 및 기타 QoS 조건을 고려하여 최종 사용자를 선택하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 Mobile WiMAX 시스템에서 사용되는 스케줄링 메커니즘 및 QoS 클래스 종류에 대해 설명하고, 제3장에서는 각 서비스 클래스의 특성을 고려한 스케줄링 기법을 제안한다. 제4장에서는 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하고, 제5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. Mobile WiMAX 시스템

### 1. 스케줄러 구조

IEEE 802.16 시스템은 그림 1.에서 보는 바와 같이 BS에서 수행하는 DL 및 UL 스케줄링, MS에서 수행하는 UL 스케줄링 등 3개의 스케줄링 프로세스를 가지고 있다.

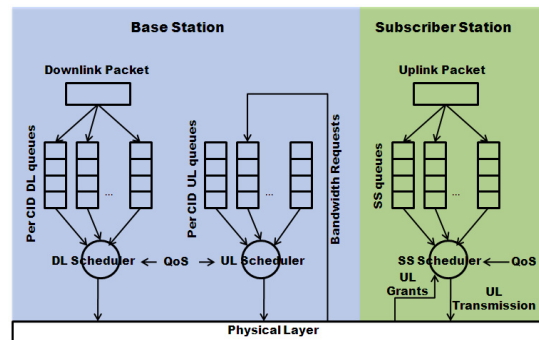


그림 1. BS 및 MS에서의 스케줄러 구조  
Fig. 1 Scheduler Mechanism of BS and MS

BS 스케줄링의 경우, 먼저 상위 계층에서 온 패킷들은 각각 사용자 및 클래스 정보로 정의된 CID별로 큐에 들어가게 된다. 다음 각 QoS 파라미터 및 채널 상태 등과 같은 정보들을 고려하여 어떤 큐를 선택할 지를 결정하게 된다.

또한 BS는 MS의 채널 접근을 제어하기 때문에, MS에서 보내온 Bandwidth request 정보 및 QoS 파라미터를 참조하여 UL의 채널 할당을 결정하게 된다. MS 스케줄러의 BS로부터 할당 받은 채널을 어떤 큐에 할당할 지를 결정한다[1]. 본 논문에서는 BS-DL 스케줄링 만을 고려하였다.

### 2. QoS 클래스 종류

WiMAX 시스템에서 표 1.과 같은 5가지 서비스 클래스들을 제공한다. 각 클래스는 UGS, rtPS 및 ertPS와 같은 실시간 클래스, nrtPS와 같은 비실시간 클래스 및 Best effort 클래스인 BE 클래스 등으로 구성되어 있다[6]. 각 서비스 클래스별 특징은 아래와 같다.

- UGS(The unsolicited grant service): 주기적으로 발생하는 고정된 크기의 데이터 패킷의 형태를 가진 실시간 서비스 플로우를 지원하기 위한 서비스 클래스이다.
- rtPS(The real-time polling services): 주기적으로 발생하는 가변적인 크기의 데이터 패킷의 형태를 가진 실시간 서비스 플로우를 지원하기 위한 서비스 클래스이다.
- ertPS(The extended real-time polling service): UGS 및 rtPS의 효율성을 증대하기 위해 IEEE 802.16e에서 추가된 클래스로, 이 경우 해당 MS(Mobile station)에 주기적으로 UL 슬롯이 할당되고, MS에서는 이는 데이터 전송 혹은 추가적인 대역폭 요구를 위해 사용할 수 있다.
- nrtPS(The non-real-time polling services): 최소 요구 데이터율을 가진 가변적인 크기의 패킷을 생성하고, 지연시간에 민감하지 않은 비실시간 서비스를 지원하기 위한 서비스 클래스이다.
- BE(The best-effort service): QoS 제공이 거의 없는 클래스로써, 다른 스케줄링 서비스 클래스에서 사용하지 않는 잉여 자원이 있을 경우에 자원이 할당되는 서비스 클래스이다.

표 1. WiMAX QoS 클래스  
Table. 1 WiMAX QoS Classes

QoS Class	Applications	QoS Specifications
UGS	VoIP, Video conference	Maximum sustained rate Maximum latency tolerance Jitter tolerance
rtPS	Streaming Audio, Video	Minimum Reserved Rate Maximum Sustained Rate Maximum Latency Tolerance Traffic Priority
ErtPS	Voice with Activity Detection	Minimum Reserved Rate Maximum Sustained Rate Maximum Latency Tolerance Jitter Tolerance Traffic Priority
nrtPS	FTP	Minimum Reserved Rate Maximum Sustained Rate Traffic Priority
BE	Data Transfer, Web Browsing	Maximum Sustained Rate Traffic Priority

### III. 다중 서비스 지원 스케줄링 기법

본 논문에서는 WiMAX 시스템의 5가지 서비스 클래스의 QoS 특성에 부합하는 멀티클래스 스케줄러를 제안하고자 한다. 제안된 스케줄링 기법은 아래와 같은 3단계의 절차로 진행된다.

- STEP 1: QoS 요구사항을 고려하여 적절할 서비스 클래스 선택
- STEP 2: 선택된 서비스 클래스 내에서 가장 우선도가 높은 사용자 선택
- STEP 3: 채널 할당

먼저 첫 번째 단계로 스케줄러는 각 프레임 시작마다 자원을 할당할 서비스 클래스를 선택한다. 이때 클래스 선택 기준으로써는 각 클래스에서 제시하는 QoS 요구사항을 반영한다. 서비스 클래스가 결정되면 해당 클래스 내의 사용자 중 채널 및 QoS 요소를 고려하여 가장 우선순위가 높은 사용자를 최종적으로 선택하고, 마지막 단계에서 채널을 할당한다. 제안하는 스케줄링 기법을

그림으로 표현하면 그림 2.와 같다.

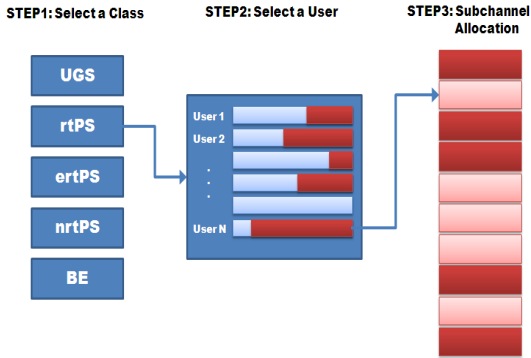


그림 2. 3단계 스케줄링 절차  
Fig. 2 Scheduling Procedure

**1. STEP 1: 서비스 클래스 선택**

STEP 1에서 스케줄러는 매 스케줄링 구간마다 스케줄링 할 서비스 클래스를 선택한다. 이때 각 서비스 클래스별로 다른 QoS 요구사항을 고려하여 결정하기 위해, 표 2.의 클래스 파라미터 및 선택 조건을 참조하여 선택 조건에 충족하는 클래스를 선택한다.

먼저 실시간 클래스에 속하는 UGS, rtPS, ertPS에 대하여 클래스 파라미터로 Urgency metric인  $U$ 를 사용하였다. 각 클래스의  $U$ 값은 클래스별 최대 허용 대기시간 및 각 클래스 내 HOL 패킷 중 최대 대기시간 값을 가지는 패킷의 대기시간 값으로 결정되며 아래와 같다.

$$U_{UGS} = MD_{UGS} - \max(WT(j \in UGS)) \quad (1)$$

$$U_{rtPS} = MD_{rtPS} - \max(WT(j \in rtPS)) \quad (2)$$

$$U_{ertPS} = MD_{ertPS} - \max(WT(j \in ertPS)) \quad (3)$$

$$U = \min(U_{UGS}, U_{rtPS}, U_{ertPS}) \quad (4)$$

여기서 클래스별  $MD_{class}$ 는 해당 클래스의 최대 허용 대기시간을 나타내며,  $WT(j \in class)$ 는 해당 클래스 내 사용자  $j$ 의 HOL 패킷 대기시간을 나타낸다. 예를 들면  $MD_{UGS}$ 는 UGS 클래스의 최대 허용 대기시간을 나타내며,  $\max(WT(j \in rtPS))$ 는 rtPS 클래스 큐에 있는 각 사용자

들의 패킷 중 가장 HOL 패킷 대기시간이 큰 사용자  $j$ 의 HOL 대기시간 값을 의미한다.

비실시간 클래스인 nrtPS의 클래스 파라미터  $R$ 은 최소 요구 데이터율에 대한 평균 전송 데이터율의 비율로 결정되며 아래와 같다.

$$R = \max(AR(j \in nrtPS)/MR) \quad (5)$$

여기서  $MR$ 는 nrtPS 클래스의 최소 요구 데이터율을 의미하며,  $AR(j)$ 는 사용자  $j$ 의 평균 전송 데이터율을 의미한다.

마지막으로 BE 클래스의 클래스 파라미터인  $Q$ 는 전체 큐 길이에 대한 현재 큐 길이의 비율로 결정되며 아래와 같다.

$$Q = \max(QL(j \in BE)/MQL) \quad (6)$$

여기서  $MQL$ 은 전체 큐 길이,  $QL(j)$ 는 BE 클래스 사용자  $j$ 의 현재 큐 길이를 나타낸다.

표 2. 클래스 선택 조건  
Table. 2 Conditions for Class Selection

서비스 클래스	클래스 파라미터	클래스 선택 조건
UGS	$U_{UGS}$	$((R > 1) \ \&\& \ (Q < 1)) \ \parallel \ (U < x)$
rtPS	$U_{rtPS}$	
ertPS	$U_{ertPS}$	
nrtPS	$R$	$(R < 1) \ \&\& \ (U > x)$
BE	$Q$	$(Q = 1) \ \&\& \ (U > x)$

여기서  $x$ 는 실시간 클래스들의 긴급도에 대한 임계치로, 비실시간 클래스 및 BE 클래스는 실시간 클래스들의 긴급도  $U$ 가 임계치  $x$ 보다 클 경우에만 선택이 가능하다. 이러한 임계치의 경우 시스템 내의 사용자 수, 실시간 클래스들의 최대 허용 대기시간 등의 요소를 고려하여 결정한다.

실시간 클래스들의 경우 지연시간 제한이 중요한 QoS 요구사항이므로, 현재까지 HOL 대기시간이 클래스별 최대 허용 지연시간에 비해 클 경우 선택한다. 반면 비실시간 클래스인 nrtPS는 지연시간에 민감하지 않은 대신 QoS 요구사항으로 최소 요구 데이터율

(Minimum Reserved Rate) 조건이 있다. 따라서 nrtPS의 경우 평균 전송 데이터율이 최소 요구 데이터율에 비해 적을 경우 선택되도록 하였다. 이때 실시간 패킷들의 잔여 대기시간  $U$ 가 설정한 임계값  $x$ 이상일 경우에만 선택되도록 하여, 실시간 패킷들의 긴급도가 높을 경우 QoS를 보장할 수 있도록 하였다. 마지막으로 BE 클래스의 경우 기본적으로 다른 클래스의 패킷들이 모두 할당되고 여유 서브채널을 있을 경우 할당하되, 오랫동안 자원을 할당받지 못해 큐의 오버플로우가 예상될 경우 실시간 패킷들의 긴급도가 높지 않은 선에서 우선적으로 할당될 수 있도록 하였다. 만약 nrtPS와 BE 클래스의 선택조건이 동시에 충족될 경우 nrtPS를 우선적으로 선택하도록 하였다.

제한한 클래스 선택 알고리즘을 그림으로 나타내면 그림 3.과 같다.

```

At each scheduling instance {
  while (number of subchannel > 0) {
    for every user  $j$  {
      update  $U, R, Q, QL$  }

    if (  $QL(j) \in \{UGS, rtPS, ertPS, nrtPS\} < 0$  )
      select BE class

    else if (  $R < 1 \ \&\& \ U > x$  )
      select nrtPS class

    else if (  $Q = 1 \ \&\& \ U > x$  )
      select BE class

    else
      select class of  $U$ 

    user selection
    subchannel allocation }
  }

```

그림 3. 클래스 선택 알고리즘  
Fig. 3 Class Selection Algorithm

## 2. STEP 2: 최종 사용자 선택

STEP1에서 적절한 클래스를 선택한 후, STEP 2에서는 선택된 서비스 클래스에서 아래와 같은 우선도에 따

라 최대값을 가지는 사용자를 최종적으로 선택한다. 최종 사용자  $SM$ 은 각 클래스별로 아래와 같은 방식에 의해 선택된다.

### 1) UGS

$$SM = \arg \max_j (C(j)/AC(j)*WT(j)/MD_{UGS}) \quad (7)$$

### 2) rtPS

$$SM = \arg \max_j (C(j)/AC(j)*WT(j)/MD_{rtPS}) \quad (8)$$

### 3) ertPS

$$SM = \arg \max_j (C(j)/AC(j)*WT(j)/MD_{ertPS}) \quad (9)$$

### 4) nrtPS

$$SM = \arg \max_j (C(j)/AC(j)*MR/AR(j)) \quad (10)$$

### 5) BE

$$SM = \arg \max_j (C(j)/AR(j)) \quad (11)$$

여기서  $j$ 를 사용자라고 할 때,  $C(j)$ 는 사용자  $j$ 의 현재 채널 상태(bits),  $AC(j)$ 는 사용자  $j$ 의 평균 채널 상태(bits)를 의미한다.

먼저 UGS, rtPS 및 ertPS의 경우 실시간 서비스 클래스로써 최대 허용 지연 시간 제한이 있다. 따라서 실시간 클래스들의 경우 채널 상태 및 각 최대 허용 지연 시간에 대한 현재까지 대기 시간을 스케줄링 요소로 하여 우선도를 결정하였다. 제안하는 기법에서는 기존의 방식 중 지연시간 및 채널상태를 동시에 고려하여 효율적으로 QoS를 제공하는 MLWDF[7] 방식을 변형하여 사용하였다. nrtPS의 경우 비실시간 서비스 클래스로서 최소 요구 데이터율 제한이 있으므로, 채널 상태 및 평균 전송 데이터율에 대한 최소 요구 데이터율을 바탕으로 우선도를 결정하였다. 마지막으로 Best effort 클래스인 BE 클래스의 경우 QoS 요구조건은 까다롭지 않은 반면 사용자간의 공평한 자원 할당이 중요하므로[1] 기존의 스케줄링 방식인 PF[8] 방식으로 우선도를 결정하였다.

본 단계에서는 선택한 클래스에서 위의 우선도 계산 방식에 따라 클래스에 속한 사용자들의 우선도를 계산한 후 최대값을 가지는 사용자를 최종적으로 선택한다.

3. STEP 3: 채널할당

마지막으로 STEP 3에서는 최종적으로 선택된 사용자의 채널 용량을 고려하여 선택한다. 이때 남은 잔여 부채널 중 해당 사용자에 대한 상태가 가장 좋은 부채널을 선택하여 채널 용량을 계산한 뒤 사용자 큐에서 선택한 채널 용량만큼의 비트를 부채널에 할당한다.

IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

시뮬레이션을 위해 하나의 hexagonal cells 안에서 균등하게 분포된 모바일 사용자들을 가정하였다. 채널 모델은 mobility 60km/h, path loss exponent 4의 Rayleigh fading 채널을 가정하고, 대역폭 10MHz, 부반송파수 1024개의 IEEE 802.16e 시스템 모델을 바탕으로 하였다. 해당 시스템의 프레임 길이는 5ms, 하향 링크를 위해 심볼 개수는 총 24개로 한 프레임은 인접한 부반송파로 구성된 24개의 AMC 부채널로 이루어져 있다. 관련 파라미터들은 표 3.과 같다. 각 클래스의 발생 트래픽은 표 4.와 같으며 BE 패킷의 경우 최대 30 패킷까지 큐에 대기할 수 있다.

표 3. 시뮬레이션 파라미터  
Table. 3 Simulation Parameters

Parameter	Value
cell radius	1,000m
simulation time	10,000frame
number of Nodes	5 - 50
Bandwidth	10MHz
Total number of subcarriers	1024
Number of subcarriers for data transmission	768
Subcarrier permutation	Band AMC
number of subchannels	24
number of OFDM symbols	24
Frame length	5ms

표 4. 발생 트래픽 종류  
Table. 4 Traffic Types

Service Class	Traffic Type	Data rate	QoS Requirement
UGS	Interactive Gaming	50kbps	Maximum latency : 25 ms
rtPS	Streaming Media	5kbps - 2Mbps	Maximum latency: 150 ms
ertPS	VoIP	32kbps	Maximum latency: 40ms
nrtPS	WWW	10kbps - 2Mbps	Minimum Reserved Rate: 250kbps
BE	Email	10kbps - 2Mbps	N/A

성능분석을 위해 전체 시스템 수용, loss rate, nrtPS 평균 데이터율, BE 트래픽 수용에 대해 제안한 알고리즘을 기존에 제안한 방식중의 하나인 Multiclass MLWDF 방식과 비교해보았다.

그림 4. 및 그림 5.는 각 클래스별 사용자 수를 5에서 50까지 같은 비율로 증가시켰을 때의 전체 시스템의 평균 수용 및 실시간 트래픽의 Loss rate를 기존의 방식과 비교한 것이다. 여기서 Loss rate는 전체 전송된 실시간 패킷수에 대한 Loss된 패킷 수의 비율로 계산하였다.

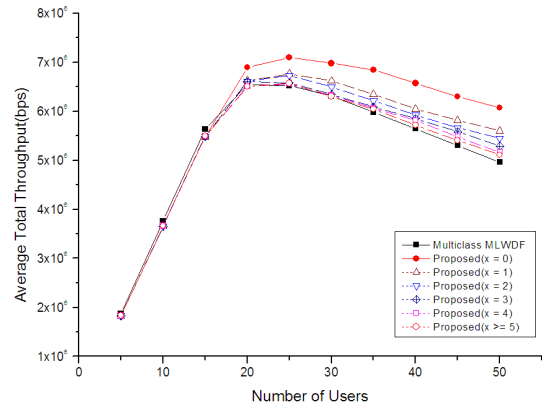


그림 4. 사용자수 증가에 따른 전체 시스템 평균 수용

Fig. 4 Average Total Throughput with Increasing Number of Users

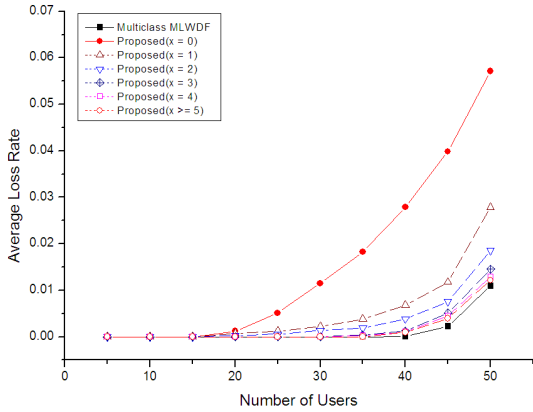


그림 5. 사용자수 증가에 따른 평균 Loss Rate  
Fig. 5 Average Loss Rate with Increasing Number of Users

그림 4.에서 처음에는 두 가지 방식의 성능에 큰 차이가 없으나 사용자 수가 20을 넘어서기 시작하면 전반적으로 제안한 방식이 기존의 방식에 비해 높은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 사용자 수가 적을 때는 전체 채널의 용량에 비해 요구되는 자원 할당량이 적어 스케줄링 기법과 상관없이 대부분의 사용자에서 자원할당이 이루어지지만, 사용자 수가 증가할수록 우선도 높은 클래스 순서로 자원 할당이 이루어지는 기존의 방식에서는 패킷 사이즈가 적은 실시간 클래스에 대한 자원 할당이 더 많이 이루어지기 때문이다. 반면 제안한 방식은 특정한 선택조건이 충족되었을 경우, 실시간 클래스의 큐에 데이터가 있더라도 해당 클래스에 자원 할당이 이루어지므로 비교적 높은 성능을 나타내게 된다.

한편 사용자수가 증가할수록 수율이 감소하는 경향을 보이는데 이는 실시간 사용자의 개수가 증가함에 따라 상대적으로 데이터율이 낮은 실시간 사용자의 자원 할당 비율이 높아지기 때문이다.

그림에서 실시간 클래스의 긴급도 수준을 나타내는 임계값  $x$  값에 따른 변화도 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있듯이 임계값  $x$ 가 증가할수록 전체 시스템 수율이 감소하는 것을 알 수 있는데, 이는 제안한 알고리즘에서 임계값  $x$ 가 클수록 비실시간 및 BE 클래스에 대한 자원할당 비율이 줄어들게 되기 때문이다. 이를 통해 임계값  $x$ 가 사실상 실시간 클래스들의 **weighting factor**

로 작용한다는 것을 알 수 있다. 전반적인 시스템 수율은 임계값  $x$ 가 5ms를 넘어갈 경우 거의 비슷한 값을 나타내었다.

한편 그림 5.에서는 기존의 방식이 제안된 방식에 비해 근소한 차이로 더 좋은 성능을 나타내는 것을 알 수 있는데 이는 선택조건에 만족할 경우 비실시간 또는 BE 클래스에도 자원 할당을 하는 제안한 방식과는 달리, 기존의 방식에서는 실시간 클래스의 큐에 패킷이 있을 경우 다른 클래스보다 우선적으로 자원을 할당함으로써 실시간 클래스 패킷에 대한 자원 할당 비율이 상대적으로 높기 때문이다.

본 실험에서도 마찬가지로 임계값  $x$ 값의 변화에 대한 결과를 비교해보았다. 결과에서 확인할 수 있듯이 임계값  $x$ 값이 늘어날수록 Loss rate 또한 줄어드는 것을 알 수 있는데, 이는  $x$ 값이 증가할수록 실시간 클래스의 자원할당 기회가 증가하기 때문이다.  $x$ 값이 0일 경우에는 실시간 클래스의 긴급도를 고려하지 않기 때문에 다른 어떤 경우보다 더 높은 Loss rate를 나타내었다.

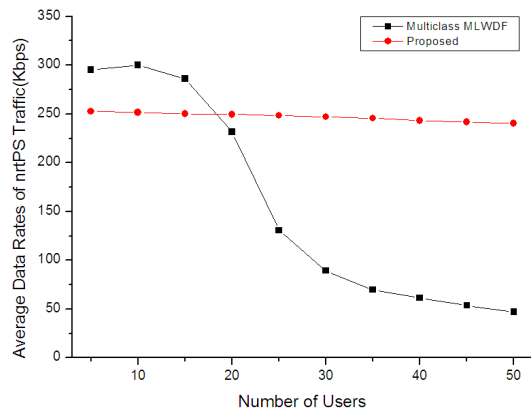


그림 6. 사용자수 증가에 따른 NrtPS 트래픽 평균 데이터율  
Fig. 6 Average Data Rate of NrtPS Traffic with Increasing Number of Users

그림 6.은 각 클래스별 사용자의 수를 5에서 50까지 같은 비율로 증가시켰을 때의 nrtPS 사용자의 수에 따른 nrtPS 트래픽의 평균 데이터율을 기존의 방식과 비교해본 것이다.

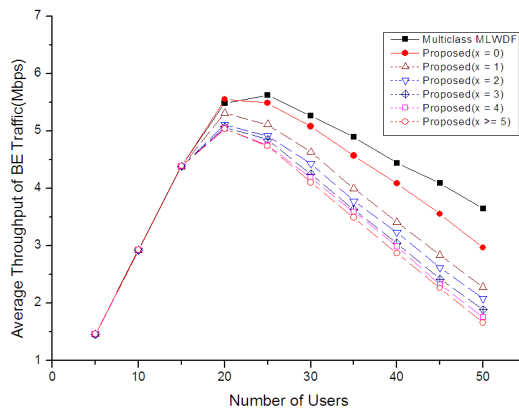


그림 7. 사용자수 증가에 따른 BE 트래픽 평균 수율  
Fig. 7 Average Throughput of BE Traffic with Increasing Number of Users

그림에서 기존의 방식은 사용자수가 적을 때는 높은 데이터율을 나타내지만 사용자수가 늘어날수록 데이터율이 급격하게 떨어져 최소 요구 데이터율을 만족시키지 못하는 것을 확인할 수 있다. 반면 제안한 방식은 사용자수와 상관없이 비교적 안정적으로 최소 요구 데이터율을 만족시키는 것을 확인할 수 있는데, 이는 nrtPS 클래스의 전송 데이터율이 최소 요구 데이터율을 만족시키지 못할 경우 실시간 클래스들의 긴급도가 높지 않은 선에서 자원할당이 가능하도록 하였기 때문이다.

이 결과에서는 임계값  $x$ 에 따른 결과의 차이가 없었기 때문에 본 실험 결과에 나타내지 않았다. 이를 통해 임계값  $x$ 는 nrtPS 트래픽에는 큰 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다.

그림 7.은 각 클래스별 사용자의 수를 5에서 50까지 같은 비율로 증가시켰을 때의 사용자의 수에 따른 BE 트래픽 수율을 비교한 것이다.

여기서 사용자수가 20 이상일 경우 기존의 방식이 더 높은 BE 트래픽 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는 제안한 방식에서는 사용자 수가 증가할수록 QoS 조건이 있는 다른 클래스에 더 많은 자원할당을 함으로써 QoS 요구사항을 충족시키기 때문이다. 본 실험에서도 임계값  $x$ 에 따른 결과를 비교하였고, 다른 결과들과 유사하게 임계값  $x$ 가 증가할수록 실시간 클래스들의 자원할당 비중이 커지므로 BE 트래픽의 수율은 감소하는

것을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

WiMAX 시스템에서의 효율적인 자원할당을 위해서는 WiMAX에서 제공하는 여러 가지 형태의 서비스를 고려해야 한다.

따라서 본 논문에서는 WiMAX 시스템에서 제공하는 5가지 서비스 클래스들의 QoS 제한조건을 고려하여 다양한 서비스들을 효율적으로 제공하는 스케줄링 기법을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 방법에서는 먼저 실시간 클래스들의 여러 가지 QoS 요구조건을 고려하여 서비스 클래스를 선택한 뒤 선택된 클래스 안에서 채널 및 기타 QoS 조건을 고려하여 최종 사용자를 선택하였다.

성능분석을 위해 전체 시스템 수율, loss rate, nrtPS 트래픽 평균 데이터율, BT 트래픽 수율 등의 측면에서 제안한 알고리즘을 기존에 제안한 방식중의 하나인 Multiclass MLWDF 방식과 비교해보았으며, 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 방식이 QoS 요구조건이 있는 실시간 및 nrtPS 클래스의 QoS를 만족시키면서 전체적인 시스템 수율은 향상시킨다는 것을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] Chakchai So-In, Jain, R, Tamimi, A.-K., "Scheduling in IEEE 802.16e mobile WiMAX networks: key issues and a survey," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 27, no. 2, pp.156-171, Feb. 2009.
- [2] IEEE Std 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Feb. 2006.
- [3] S. Ryu, B. Ryu, H. Seo, and M. Shi, "Urgency and efficiency based wireless downlink packet scheduling algorithm in OFDMA system," *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp.1456-1462. June



2005.

- [4] Jun Shen, Na Yi, An Liu, Haige Xiang, "Opportunistic Scheduling for Heterogeneous Services in Downlink OFDMA System," *Proc. 2009 WRI International Conference on Communications and Mobile Computing*, vol. 1, pp.260-264, Jan. 2009.
- [5] W. Park, S. Cho, and S. Bahk, "Scheduler Design for Multiple Traffic Classes in OFDMA Networks," *Proc. IEEE International Conference on Communications*, vol. 2, pp. 790-795, June 2006.
- [6] Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall, pp. 39-333, Feb. 2007.
- [7] M. Andrews, K. Kumaran, K. Ramanan, A. Stolyar, P. Whiting, and R. Vijayakumar, "Providing quality of service over a shared wireless link," *IEEE Communication Magazine*, vol. 39, pp. 150-154, Feb. 2001.
- [8] P. Bender et al., "CDMA/HDR: A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users," *IEEE Communication Magazine*, vol. 38, pp.70-77, Jul. 2000.



**박형근(Hyung-Kun Park)**

1995년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학사)  
1997년 2월 고려대학교 전자공학과 (공학석사)

2000년 8월 고려대학교 전자공학과 (공학박사)  
2000년 9월~2001년 8월: University of Colorado at Colorado Springs, Postdoc.  
2001년 9월~2004년 2월: 현대시스콤, 선임연구원  
2004년 3월~현재: 한국기술교육대학교  
정보기술공학부 부교수  
※ 관심분야: 4세대 이동통신, OFDM, 무선자원관리

저자소개



**이주현(Juhyeon Lee)**

2006년 2월 한국기술교육대학교  
정보기술공학부 (공학사)  
2010년 2월 한국기술교육대학교  
전기전자공학과 (공학석사)

2010년 3월~현재: 한국기술교육대학교  
전기전자공학과 박사과정  
※ 관심분야: 4세대 이동통신, 무선자원관리