

# 4세대 이동통신시스템을 위한 우선순위 기반 지능적 상향링크 랜덤 접속 방법 및 표준화

정회원 문정민\*, 종신회원 이호원\*\*, 조동호\*\*\*

## Priority-based Intelligent Uplink Random Access Scheme for Fourth-generation Cellular Systems and Its Standardization

Jung-Min Moon\* *Regular Member*, Howon Lee\*\*, Dong-Ho Cho\*\*\* *Lifelong Members*

### 요 약

4세대 이동통신시스템에서는 사용자가 이용하는 서비스 종류 및 가입한 요금제, 서비스 이용 형태 등에 따라 서로 다른 품질의 서비스를 제공하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 단말이 상향링크 자원 요청을 위해서 수행하는 random access 과정을 개선하여 각 사용자 별 서비스 품질 차별화를 도모하였다. 구체적으로 bandwidth request 채널의 구조를 primary 영역과 secondary 영역으로 구분하였고 각 영역을 이용하여 random access를 수행할 수 있는 사용자의 등급을 영역 별로 제한하였다. 이러한 제안 기술을 이용하면 서로 다른 등급의 사용자 사이에 발생하는 불필요한 random access 경쟁을 방지할 수 있기 때문에 전체적인 사용자의 random access 성공 확률을 유지하면서 primary 영역을 이용하여 random access를 시도하는 사용자의 성공 확률을 증가시킬 수 있다. 제안 기술은 2010년 3월 IEEE 802.16 Session #66 회의에서 발표되었고 제안 기술의 개념 및 필요한 메시지가 802.16m 표준에 채택되는 성과를 거두었다.

**Key Words** : Random Access Control, Bandwidth Request, Minimum Access Class, IEEE 802.16m

### ABSTRACT

Fourth-generation (4G) cellular communication systems must provide different quality-of-service (QoS) to users according to the service type, membership class, and usage case of each user. For the purpose of user's QoS differentiation, we propose an enhanced uplink random access scheme for bandwidth request. More specifically, we divide a bandwidth request channel into two parts: One is a primary region and the other is a secondary region. Then, each region has a unique minimum access class that allows only specific users to perform random access through that region. By doing so, we can reduce collision probability and increase the success probability of bandwidth request. From the perspective of standardization, we presented this scheme in the IEEE 802.16m Session #66 held on March 2010. As a result, the concept of the proposed scheme and required messages were defined in the 802.16m standard.

### I. 서 론

4세대 이동통신시스템이란 ITU-R에서 정의한

IMT-Advanced의 요구 사항을 만족하는 시스템으로 이동성이 높은 사용자에게 최대 100Mbps, 이동성이 낮은 사용자에게 최대 1Gbps의 데이터 전송률을 제

※ 본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음 (KCA-2011-08913-04001)

\* KAIST 전기 및 전자공학과 통신정보시스템 연구실 (jmoon@comis.kaist.ac.kr)

\*\* KAIST IT 융합연구소 (hwlee@itc.kaist.ac.kr), (° : 교신저자)

\*\*\* KAIST 전기 및 전자공학과 (dhcho@kaist.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-07-292, 접수일자 : 2011년 7월 14일, 최종논문접수일자 : 2011년 10월 31일

공하는 것을 목표로 한다<sup>[1]</sup>. 4세대 이동통신시스템에 속하는 대표적인 시스템으로는 3GPP에서 논의를 주도해 온 LTE-Advanced 시스템과 IEEE에서 논의를 주도해 온 802.16m 시스템이 존재한다. 3GPP에서는 2008년 3월 LTE-Advanced study item을 생성하여 이에 대한 연구를 시작하였고 2011년 3월 LTE 기술과 일부 LTE-Advanced 기술이 함께 포함된 3GPP release 10 표준을 완료하였다. 또한 현재 LTE-Advanced study item에서는 논의되었으나 release 10 표준에 포함되지 않은 LTE-Advanced 기술에 대한 논의를 활발히 진행하고 있다<sup>[2]</sup>. IEEE 802.16m 시스템은 2007년 4월 시스템 요구 사항에 대한 논의를 시작하였고 2008년 11월 구체적인 표준 기술을 포함하는 802.16m amendment working document 작성을 시작하였다. 그 결과 2011년 3월 IEEE standards association에 최종 규격을 제출함으로써 802.16m 시스템에 대한 표준화 작업은 마무리되었다<sup>[3]</sup>.

기술적인 측면에서 LTE-Advanced 시스템과 802.16m 시스템은 매우 유사하다. 두 시스템 모두 TDD와 FDD를 지원한다. 또한 100MHz 대역폭을 지원하며 하향링크의 경우에는 8x8, 상향링크의 경우에는 4x4의 MIMO 안테나를 지원한다. 차이점으로는 하향링크에서는 두 시스템 모두 OFDMA를 사용하지만 상향링크에서는 802.16m의 경우에는 OFDMA, LTE-Advanced의 경우에는 SC-FDMA를 적용한다는 점이다. 또한 3GPP release 10 표준에는 포함되지 않았지만 LTE-Advanced에서는 CoMP 기술 및 이를 이용한 heterogeneous 환경에서의 셀 간 간섭제어 기술이 추가적으로 논의되고 있는 점 역시 차이점에 해당한다<sup>[4]</sup>.

4세대 이동통신시스템에서는 LTE-Advanced 및 802.16m에서 정의하고 있는 단말 및 네트워크뿐만 아니라 사용자의 서비스 형태에도 큰 변화가 있다. 무엇보다도 기존의 주요 서비스였던 음성 통화 및 텍스트 전송에서 벗어나 무선 네트워크를 통한 대용량 데이터 전송, 멀티미디어 스트리밍, 소셜 네트워크, 실시간 게임 등 다양한 서비스가 이루어진다. 또한 사용자는 웹툰과 같이 특정 사용자 그룹만 이용 가능한 셀을 가정 혹은 사무실에 스스로 설치하여 고품질의 서비스를 우선적으로 제공받을 수 있다. 따라서 이러한 4세대 이동통신시스템에서는 사용자가 이용하는 서비스 종류 및 가입한 요금제, 서비스 이용 형태 등에 따라서 각 사용자에게 서로 다른 품질의 서비스, 즉 QoS 차별화를 효율적으로

제공하는 것이 매우 중요하다<sup>[4]</sup>. 즉, 고가의 요금제를 이용하거나 자신만의 셀을 구축한 사용자, 또는 높은 전송률과 짧은 지연 시간을 요구하는 서비스를 이용하는 사용자에게는 보통의 사용자보다 더 나은 품질의 서비스를 제공해야 한다. 따라서 사용자 등급에 따른 QoS 차별화를 위한 기본적인 기술 규격은 시스템 표준에 반드시 정의되어야 한다.

이를 위해서 본 논문에서는 단말이 기지국에게 데이터를 전송하기 위해서 자원을 요청할 때 활용할 수 있는 사용자 등급 별 QoS 차별화 기술을 제안하였다. 우선 단말이 자원을 요청할 때 사용하는 random access 채널을 높은 등급의 사용자가 이용할 수 있는 primary 영역과 그보다 낮은 등급의 사용자가 이용할 수 있는 secondary 영역으로 분류하였다. 또한 현재 사용자들이 이용하는 서비스의 QoS 분포에 따라서 각 영역을 통해서 자원을 요청할 수 있는 사용자 등급을 적응적으로 변화시킬 수 있도록 하였고 802.16m 시스템의 슈퍼프레임 구조를 활용하여 미래의 시점에 적용될 사용자 등급을 미리 알려주는 방안을 제안하였다. 따라서 제안 기술을 이용할 경우 전체 사용자에 대한 random access 성공 확률을 유지하면서 높은 등급의 사용자에 대한 random access 성공 확률을 크게 향상시키는 효과를 얻을 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저 2장에서는 본 논문의 주제 및 관련된 기술 현황에 대해서 알아본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 사용자 등급 별 QoS 차별화 기술에 대해서 자세히 알아보고 4장에서는 이에 대한 성능 평가를 수행한다. 5장에서는 제안 기술이 802.16m 시스템 표준에 어떻게 반영되었는지를 알아보고 6장에서 결론을 맺도록 한다.

## II. 사용자 별 QoS 차별화 기술 동향

본 논문에서는 사용자의 등급에 따른 상향링크 QoS 차별화 기술을 고려한다. 여기서 말하는 QoS 차별화란 상향링크 자원을 사용자의 등급에 따라서 차별적으로 할당함을 말한다. 일반적으로 상향링크 자원 할당은 단말이 전송할 데이터가 발생했을 때 BR(bandwidth request) 채널을 통해서 기지국에게 자원 요청 메시지를 전달한다. 이 때 자원 요청 메시지는 random access 방식을 통해서 전달된다. 따라서 만약 사용자의 등급에 따라서 random access 기회를 적절히 제어한다면 상향링크에 대한 QoS

차별화를 달성할 수 있다. 이와 관련된 기술로는 아래와 같은 4가지 기술이 존재한다.

### 2.1 Minimum access class 기반 random access 방안

Minimum access class 기반 random access 방안은 상향링크 자원 요청을 위해서 BR 채널에 random access를 시도할 수 있는 사용자 등급을 minimum access class를 기준으로 분류하는 기술이다<sup>[6]</sup>. 즉, minimum access class 이상의 등급을 갖는 사용자는 BR 채널을 통해서 상향링크 자원 요청을 위한 random access를 시도할 수 있고 minimum access class 미만의 등급을 갖는 사용자는 BR 채널에 대한 random access를 시도할 수 없다. 이러한 동작을 위해서 기지국은 UCD(uplink channel descriptor) 메시지를 주기적으로 방송하여 사용자에게 현재 기지국에서 설정한 minimum access class를 알려주고 사용자는 현재 기지국에서 설정한 minimum access class와 자신의 등급을 비교하여 최종적으로 BR 채널에 대한 random access 시도 여부를 결정한다.

이와 같은 기술을 이용하면 BR 채널의 크기가 한정된 상황에서 minimum access class 미만의 등급을 갖는 사용자는 random access를 시도하지 않기 때문에 minimum access class 이상의 등급을 갖는 사용자가 random access에 성공할 확률, 즉 충돌이 발생하지 않을 확률이 증가하는 장점이 있다. 하지만 minimum access class 기반 random access 방안은 다음과 같은 두 가지 단점을 갖는다. 첫째, minimum access class 변경 주기에 따른 문제점이 존재한다. 이 기술은 UCD 메시지를 주기적으로 방

송하여 사용자에게 minimum access class를 알려주는데 일반적으로 UCD 메시지의 전송 주기는 최소 20ms 이상으로 정의되어 있다. 이 때 UCD 메시지를 통해서 알려진 minimum access class는 다음 UCD 메시지가 전송될 때까지 유지되는데 이러한 경우 UCD 메시지를 통해서 minimum access class가 변경되기 이전에는 BR 채널을 유동적으로 사용할 수 없다는 문제점이 발생한다. 둘째, BR 채널에 대한 random access를 시도할 수 있는 사용자가 하나의 minimum access class를 기준으로 분류된다는 문제점이 존재한다. 실제로 minimum access class가 가장 높게 설정되지 않는 이상 가장 높은 등급을 갖는 사용자 역시 random access를 위한 경쟁을 하게 된다. 또한 minimum access class가 너무 높게 설정된 경우에는 낮은 등급을 갖는 사용자들의 random access 기회가 급감하고 minimum access class가 너무 낮게 설정된 경우에는 사용자 등급에 따른 random access 기회가 차별화되지 않는다는 문제점이 발생한다.

### 2.2 다수의 access class 기반 random access 방안

다수의 access class 기반 random access 방안은 앞에서 설명한 minimum access class 기반 random access 방안의 확장된 형태로서 3GPP WCDMA 시스템에 정의된 ASC(access service class) 개념을 활용한 것이다<sup>[11]</sup>. WCDMA 시스템에서는 MAC (medium access control) 또는 RRC(radio resource control) 계층에서 각각의 random access 채널에서 서로 다른 ASC을 할당할 수 있다. 이 때 ASC는 random access 채널의 식별자  $i$ 와 해당 채널에 대한 random access 시도 확률인  $P_i$ 로 나타내는데 ASC0인 random access 채널은 emergency call과 같이 우선순위가 가장 높은 데이터를 전송할 때 사용되고 ASC7인 random access 채널은 우선순위가 가장 낮은 데이터를 전송할 때 사용된다. 표 1은 각각의 ASC에 대한 random access 수행 확률로써  $N$ 은 모든 ASC에 대한 random access 수행 확률을 제어하는 값이고  $s_i$ 은 각 ASC에 대한 random access 수행 확률을 제어하는 값이다.

이 기술을 이용하면 minimum access class 기반 random access 방안에서 random access를 시도할 수 있는 사용자가 하나의 minimum access class를 기준으로 분류되는 문제점을 해결할 수 있다. 즉, 다양한 ASC가 존재하고 각각의 random access 채

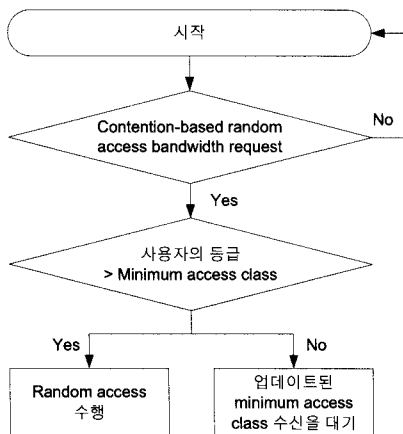


그림 1. Minimum access class 기반 random access 방안

표 1. 각 ASC 별 random access 수행 확률

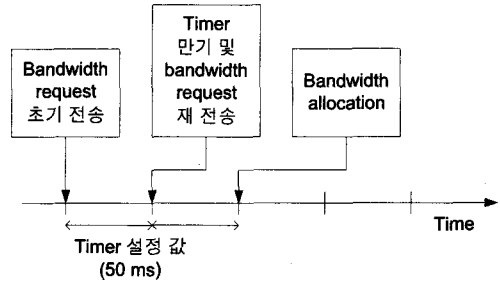
ASC #i	Transmission probability (Pi)
i = 0	Pi = 1
i = 1	Pi = P(N) = 2 <sup>-(N-1)</sup>
i = 2 ~ 7	Pi = si × P(N) = si × 2 <sup>-(N-1)</sup>

널에 서로 다른 ASC을 할당할 수 있기 때문에 다수의 사용자들에게 보다 유동적으로 random access 기회를 제공할 수 있다. 하지만 이 기술의 단점은 다음과 같다. WCDMA 시스템에는 특정 시점 혹은 특정 시간 구간 동안 다수의 random access 채널에 ASC을 설정하는 과정은 정의되어 있으나 시스템에 존재하는 사용자의 서비스 분포를 기반으로 random access 채널에 대한 ASC을 적응적으로 변경하는 과정 및 이를 위한 전체적인 틀은 정의되어 있지 않다. 또한 미래의 시점에 적용되는 ASC을 알려줄 수 있는 방법이 제공되지 않기 때문에 사용자들은 기회가 있을 때마다 매 번 random access을 시도할 것이고 이는 결국 전체 사용자에 대한 평균적인 random access 성공 확률을 낮출 것이다.

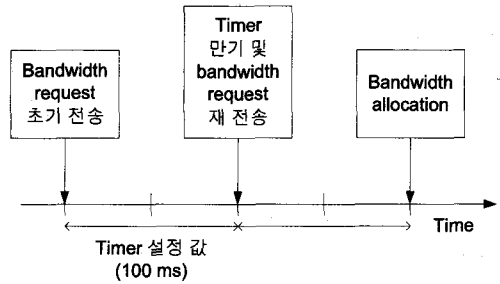
2.3 사용자 등급에 따른 back-off timeout 적용 방안

사용자 등급에 따른 back-off timeout 적용 방안은 재전송이 이루어지는 시간 간격을 사용자 등급에 따라서 조절함으로써 서로 다른 등급의 사용자에게 차별화된 random access 기회를 제공하는 기술이다 [7]. 즉, 초기 전송에서는 모든 사용자가 BR 채널에 대한 random access을 시도할 수 있고, 만약 초기 전송에서 random access을 실패한 경우에는 높은 등급을 갖는 사용자는 짧은 시간마다 재전송을 수행하고 낮은 등급을 갖는 사용자는 긴 시간마다 재전송을 수행한다. 이렇게 재전송 사이의 시간 간격을 사용자 등급에 따라서 다르게 설정함으로써 일정한 시간 동안 높은 등급의 사용자에게 낮은 등급의 사용자보다 더 많은 random access 기회를 제공한다.

이와 같은 사용자 등급에 따른 back-off timeout 적용 방안은 초기 전송이 실패한 후 이루어지는 재전송 사이의 시간 간격을 사용자 등급에 따라서 조절하기 때문에 이 기술을 이용하더라도 초기 전송에서는 사용자 등급에 따른 차별화된 random access 전송 기회를 제공하지 못한다. 재전송이 발생하는지 여부는 초기 전송에서 random access 시도 시 충돌이 얼마나 발생하는지에 크게 의존한다.



(a) 등급이 높은 사용자의 random access 과정을 통한 자원 요청



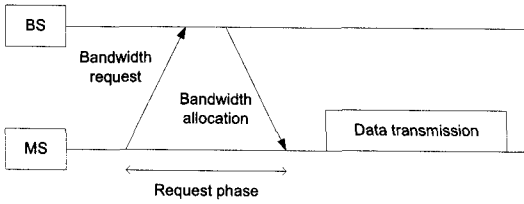
(b) 등급이 낮은 사용자의 random access 과정을 통한 자원 요청

그림 2. 사용자 등급에 따른 back-off timeout 적용 방안

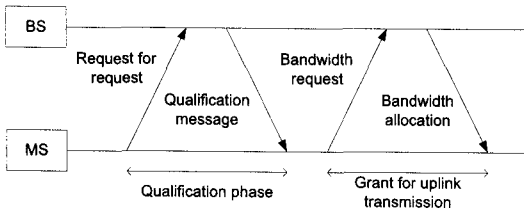
따라서 재전송에서의 사용자 등급 별 random access 차별화뿐만 아니라 초기 전송에서의 사용자 등급 별 random access 차별화 역시 반드시 고려되어야 한다.

2.4 사용자 등급에 따른 multi-phase 적용 방안

사용자 등급에 따른 multi-phase 적용 방안은 사용자 등급에 따라서 서로 다른 상향링크 자원 요청 과정을 적용하는 기술이다 [8]. 사용자 등급을 두 가지 등급, 즉 high class 사용자 및 low class 사용자로 분류하였을 때, high class 사용자는 우선 random access request를 전송하고 만약 기지국이 이를 성공적으로 수신하면 random access response를 사용자에게 전송한다. 그리고 random access response를 성공적으로 수신한 단말은 random access를 수행한다. 반면, low class 사용자는 high class 사용자와 달리 우선적으로 random access request를 전송하는 것이 아니라 random access request를 전송하기 위한 별도의 request를 기지국에게 전송하는 과정이 추가된다. 이를 request for request라고 한다. 따라서 low class 사용자는 request for request를 전송하고 기지국이 이를 성공적으로 수신하면 사용자에게 qualification 메시지를 전송한다. 이를 성공적으로 수신한 사용자는 high class 사용자와 동일한 과



(a) 등급이 높은 사용자의 random access 과정을 통한 자원 요청



(b) 등급이 낮은 사용자의 random access 과정을 통한 자원 요청

그림 3. 사용자 등급에 따른 multi-phase 적용 방안

정을 통해서 BR 채널에 대한 random access를 시도하게 된다.

이 기술을 이용하면 low class 사용자에게 추가적인 경쟁 과정이 도입되어 high class 사용자의 random access 기회가 증가하게 된다. 하지만 low class 사용자가 random access request를 전송하기 위한 request 과정, 즉 request for request 과정에 의한 복잡도가 증가하는 문제점이 존재한다. 이는 request for request 과정에서 사용자의 ID 및 class 정보가 기지국에게 전송되어야 하고 기지국은 이를 수신한 후 request for request가 성공적으로 수신되었음을 알리는 qualification 메시지를 사용자에게 알려주어야 하기 때문이다. 또한 request for request 과정은 성공했으나 그 후의 random access request에서 충돌이 발생하면 앞에서 성공했던 request for request 과정이 무효화되므로 비효율적이다.

### III. 우선순위 기반 상향링크 랜덤 접속 방안

본 논문에서 제안하는 기술은 각 사용자에게 차별화된 전송 기회를 제공하는 상향링크 random access 방안이다. 이와 관련된 기존 기술은 II장에서 설명하였으며 특히 제안 기술은 minimum access class 및 다수의 access class 기반 random access 방안을 발전시킨 것이다. 이러한 방안을 대표적인 기존 기술로 설정한 이유는 802.16m 및 WCDMA 시스템에서의 상향링크 자원 요청 방식이 이를 기반으로 동작하기 때문이다<sup>[9]</sup>. 따라서 본 논문에서

제안하는 기술 역시 실제 시스템에 적용될 수 있도록 802.16m 시스템의 표준을 기반으로 설계되었다.

#### 3.1 제안 기술의 배경

본 논문에서는 다수의 사용자가 상향링크 random access를 수행하는 상황을 고려한다. 이 때 사용자가 random access를 수행하는 이유는 상향링크 데이터 전송을 위해서 기지국에 자원을 요청하기 위함이다. 802.16m 시스템은 다음과 같은 네 가지의 자원 요청 및 할당 방식을 지원한다<sup>[9]</sup>.

- 1) Contention-based random access bandwidth request
- 2) Standalone bandwidth request
- 3) Piggybacked bandwidth request
- 4) Bandwidth request using fast feedback channel

본 논문에서는 위의 자원 요청 및 할당 방식 중 contention-based random access bandwidth request 방식을 고려한다. 이 방식의 동작 과정은 그림 4에 나타나 있다. 이 방식은 II장에서 설명한 것처럼 자원 요청을 위해서 random access에 참여하는 사용자를 minimum access class를 기준으로 분류하고 minimum access class 이상의 사용자 등급을 갖는 사용자는 BR 채널에 random access를 시도할 수 있고 minimum access class 미만의 사용자 등급을 갖는 사용자는 BR 채널에 random access를 시도하지 못하도록 하여 높은 사용자 등급을 갖는 사용자의 random access 성공 확률을 높여준다. 이 때 기지국은 minimum access class를 주기적으로 재설정하여 일정한 시간 간격으로 전송되는 UCD 메시지를 통해서 사용자에게 알려준다.

Minimum access class 기반 random access 방안의 단점은 그림 5에 나타나 있다. 먼저 사용자의

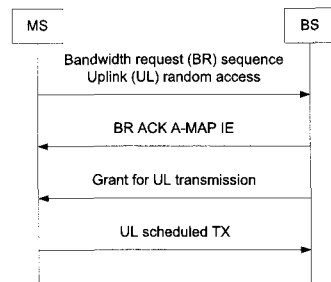
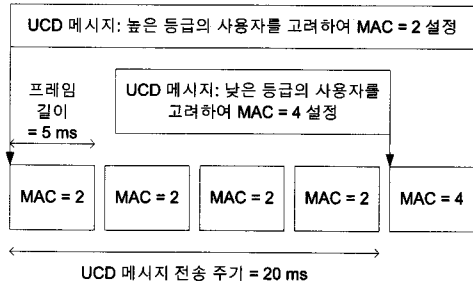
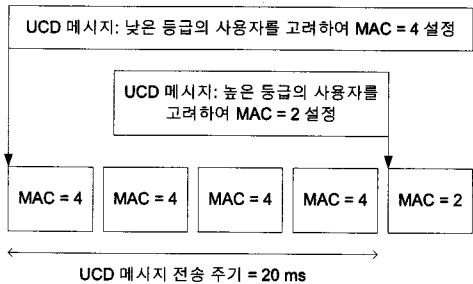


그림 4. Contention-based random access bandwidth request의 동작 과정



(a) 등급이 낮은 사용자의 random access가 연속적으로 제한되는 경우



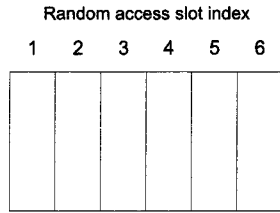
(b) 등급이 높은 사용자의 random access를 차별화하지 못하는 경우

그림 5. Minimum access class 기반 random access 방안의 단점

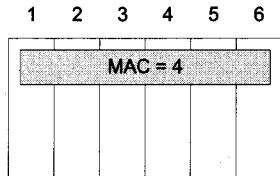
등급이 1(가장 높음) ~ 4(가장 낮음)로 정의되고 minimum access class 정보를 포함하고 있는 UCD 메시지의 전송 주기가 20ms, 즉 4 프레임인 경우를 생각해 보자. 만약 높은 등급의 사용자의 random access 성공 확률을 높이기 위해서 minimum access class를 2로 설정한 경우에는 사용자 등급이 3 ~ 4에 해당하는 사용자들은 4 프레임 동안 random access 시도가 불가능하다. 반면 낮은 등급의 사용자의 random access 성공 확률을 높이기 위해서 minimum access class를 4로 설정한 경우에는 4 프레임 동안 높은 등급의 사용자가 낮은 등급의 사용자와 동일한 상태에서 경쟁을 하게 된다. 따라서 사용자 등급에 따른 QoS 차별화가 이루어지지 않는다.

### 3.2 제안 기술의 bandwidth request 채널 구성

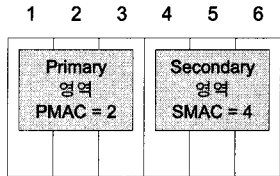
그림 6은 제안 기술에서 BR 채널이 어떻게 구성되는지에 대한 예를 보여주고 있다. 먼저 전체 BR 채널은 6개의 슬롯으로 구성되어 있고, 첫 3개로 이루어진 primary 영역과 나머지 3개로 이루어진 secondary 영역으로 분류된다. 또한 primary 영역에 적용되는 minimum access class인 PMAC(primary



(a) Bandwidth request 채널 구성  
6개의 time slot으로 구성된 경우를 고려함



(b) 기존 기술의 bandwidth request 채널 구성



(c) 제안 기술의 bandwidth request 채널 구성

그림 6. 제안한 bandwidth request 채널의 구성

minimum access class)은 2로 설정되어 있으며 secondary 영역에 적용되는 minimum access class인 SMAC(secondary minimum access class)은 4로 설정되어 있다. 따라서 등급이 PMAC = 2보다 높은 사용자는 primary 영역의 random access 자원을 이용하여 random access를 시도하고 등급이 PMAC = 2보다 낮으면서 SMAC = 4보다 높은 사용자는 secondary 영역의 random access 자원을 이용하여 random access를 시도한다.

### 3.3 제안한 bandwidth request 채널의 장점

이렇게 BR 채널을 primary 영역과 secondary 영역으로 구분한 후 각각의 영역에 서로 다른 minimum access class, 즉 PMAC과 SMAC을 적용하면 다음과 같은 장점이 있다. 첫째, 기존의 minimum access class 기반 random access 방안보다 유동적인 random access 제어가 가능하다. 기존의 기술에서는 사용자 등급 별 QoS 차별화를 위해서 도입된 것이 오직 하나의 값으로 정의된 minimum access class 정보였다. 하지만 제안된 BR 채널 구조에서는 사용자 등급 측면에서는 PMAC 및 SMAC 정보를

각각 제어할 수 있으며 random access 자원 측면에서는 primary 영역과 secondary 영역의 크기를 각각 제어할 수 있다. 이렇게 사용자 등급 측면에서의 차별화와 random access 자원 측면에서의 차별화를 동시에 수행함으로써 제안 기술은 높은 등급의 사용자에 대한 random access를 일정 수준 보장해주는 동시에 낮은 등급의 사용자에 대한 random access가 무조건적으로 피해를 입는 경우를 피할 수 있다. 또한 UCD 메시지의 전송 주기에 의해서 제한되는 minimum access class 변경 문제를 개선할 수 있다. 기존의 기술에서는 특정 시점에 minimum access class가 설정되면 그 다음 UCD 메시지가 전송될 때까지 minimum access class 미만의 사용자는 random access를 시도할 수 없다. 하지만 제안 기술을 이용할 경우에는 PMAC과 SMAC을 별도로 관리함으로써 새로운 PMAC 및 SMAC이 설정되기 이전에도 등급이 낮은 사용자들이 secondary 영역을 통해서 random access를 시도할 수 있다.

### 3.4 제안 기술의 제어 메시지 구성

본 제안 방안을 실제 시스템에 적용할 경우 기지국은 BR 채널의 primary 영역 및 secondary 영역, PMAC 및 SMAC에 관련된 정보를 사용자에게 알려주어야 한다. 이 때 필요한 정보를 요약하면 표 2와 같다.

표 2에서 볼 수 있듯이 case 1은 가장 일반적인

표 2. 제안 기술을 위한 제어 메시지 구성

	정보	의미
1	(1) PMAC (2) SMAC (3) Primary 영역 인덱스	PMAC 이상의 사용자는 primary 영역에서 random access를 시도하고 PMAC 미만 SMAC 이상의 사용자는 secondary 영역에서 random access를 시도함
2	(1) PMAC (2) Primary 영역 인덱스	PMAC 이상의 사용자는 primary 영역에서 random access를 시도하고 나머지 모든 사용자가 남은 모든 BR 채널에서 random access를 시도함
3	PMAC	PMAC 이상의 사용자가 전체 BR 채널에서 random access를 시도함
4	None	모든 사용자가 전체 BR 채널에서 random access를 시도함

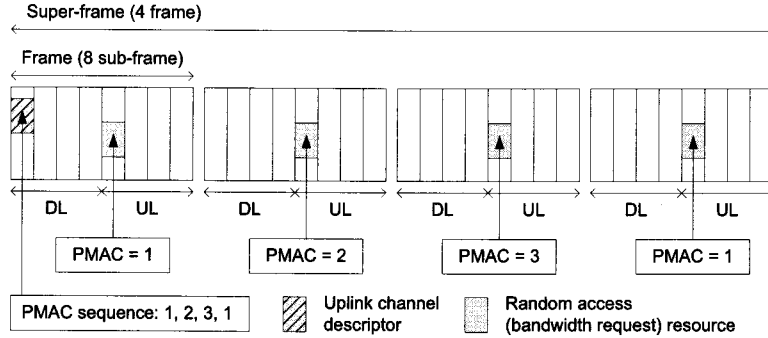
경우로 제안된 BR 채널의 primary 영역 및 secondary 영역, PMAC 및 SMAC 등 가능한 모든 변수를 이용하여 사용자의 random access를 제어한다. Case 2는 SMAC이 가장 낮은 사용자 등급으로 자동적으로 설정된 경우이며 case 3은 기존의 minimum access class 기반 random access 방안과 동일한 경우이다. Case 4는 기지국이 설정한 minimum access class와 상관없이 모든 사용자가 random access를 시도할 수 있는 경우이다. 따라서 본 제안 방안은 기존의 minimum access class 기반 random access 방안을 포함하는 보다 일반적인 방안으로 볼 수 있다.

### 3.5 제안 기술의 IEEE 802.16m 적용

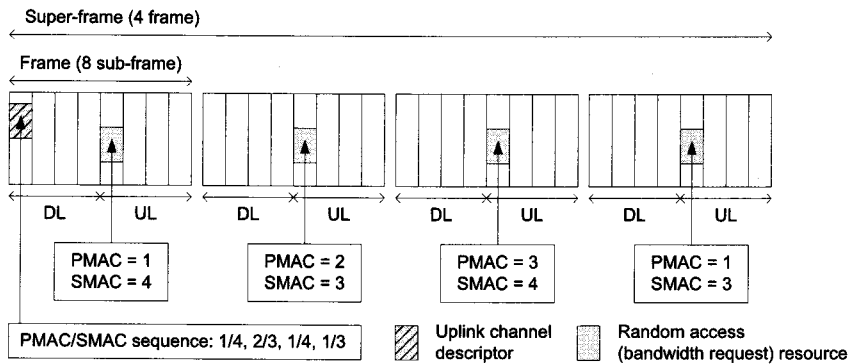
#### 3.5.1 PMAC 정보를 이용하는 경우 (동작 방안 1)

802.16m 시스템의 슈퍼프레임(20ms)은 4개의 프레임(5ms)으로 구성되며 각 프레임은 8개의 서브프레임으로 구성된다. 그림 7(a)은 random access 자원이 각 프레임의 첫 번째 서브프레임에만 존재하는 경우를 보여준다. 또한 하나의 random access 자원에 대해서는 primary 영역 및 secondary 영역을 구분하지 않고 서로 다른 서브프레임에 존재하는 random access 자원은 서로 다른 PMAC을 갖는 경우이다. 이 때 기지국은 슈퍼프레임의 첫 번째 서브프레임에서 현재의 슈퍼프레임에 존재하는 모든 random access 자원에 대한 PMAC 정보를 일괄적으로 방송한다. 따라서 이러한 정보를 수신한 사용자는 자신의 등급과 기지국에서 설정한 PMAC을 비교하여 random access 시도 여부를 결정한다. 이렇게 802.16m 시스템의 프레임 구조를 이용하면 기지국은 연속된 random access 자원에 대한 PMAC을 일시에 사용자에게 알려줄 수 있고 사용자는 자신이 이용하고 있는 서비스의 최대 지연 허용 시간을 고려하여 어떤 서브프레임에서 random access를 시도하는 것이 가장 유리한 것인지를 판단할 수 있다.

그림 7(a)은 AAI-SCD(advanced air interface-system configuration descriptor)와 같은 MAC 제어 메시지 혹은 SFH(superframe header) subpacket에 random access 자원에 대한 PMAC이 프레임 순서대로 1, 2, 3, 1로 설정된 경우를 보여주고 있다. 예를 들어, 자신의 등급이 2에 해당되는 사용자는 두 번째 및 세 번째 프레임에서 random access를 시도할 수 있고 만약 자신이 이용하는 서비스의 최



(a) 제안 기술의 동작 방안 1: PMAC 정보만 적용한 경우



(b) 제안 기술의 동작 방안 2: PMAC 및 SMAC 정보를 모두 적용한 경우

그림 7. 제안 기술의 802.16m 적용 예

대 지연 허용 시간이 두 프레임인 경우에는 반드시 두 번째 프레임에서 random access를 시도하도록 한다.

3.5.2 PMAC 및 SMAC 정보를 모두 이용하는 경우 (동작 방안 2)

그림 7(b)은 적용 방안 1과 마찬가지로 random access 자원이 프레임의 첫 번째 서브프레임에만 존재하는 경우이다. 하지만 각 random access 자원은 primary 영역과 secondary 영역으로 구분된다. 이러한 경우에는 적용 방안 1과 달리 PMAC보다 등급이 낮은 사용자 역시 random access 자원의 secondary 영역을 이용하여 random access를 시도함으로써 기존의 기술에서 발생하는 불필요한 지연 시간을 감소시킬 수 있다. 따라서 다양한 등급의 사용자가 기지국이 설정한 PMAC 및 SMAC에 따라서 매 프레임마다 random access를 시도할 수 있다.

그림 7(b)은 AAI-SCD와 같은 MAC 제어 메시

지 혹은 SFH subpacket에 random access 자원에 대한 PMAC 및 SMAC이 프레임 순서대로 PMAC/SMAC = 1/4, 2/3, 1/4, 1/3으로 설정된 경우를 보여주고 있다. 예를 들어, 첫 번째 random access 자원의 primary 영역은 PMAC = 1 이상의 등급을 갖는 사용자가 random access를 시도할 수 있고 secondary 영역은 PMAC = 1 미만 SMAC = 4 이상의 등급을 갖는 사용자가 random access를 시도할 수 있다.

3.5.3 WCDMA 시스템과의 비교

II장에서 설명하였듯이 WCDMA 시스템에서는 각각의 random access 채널에 서로 다른 ASC를 할당할 수 있다. 이는 minimum access class 기반 random access 방안의 단점을 보완한 것으로 각 사용자에 대한 random access 제어가 보다 효율적으로 이루어질 수 있다. 하지만 미래의 시점에 적용되는 ASC를 미리 알려줄 수 있는 방법이 없기 때문



에 사용자들은 기회가 있을 때마다 매 번 random access을 시도할 것이다. 이는 전체 사용자에 대한 평균적인 random access 성공 확률을 낮추게 된다.

하지만 802.16m 시스템의 슈퍼프레임 구조를 활용한 제안 기술에서는 슈퍼프레임 헤더 혹은 MAC 제어 메시지를 통해서 하나의 슈퍼프레임에 존재하는 연속된 다수의 random access 자원에 대한 PMAC 및 SMAC을 미리 알려줄 수 있다. 따라서 random access 성공 확률을 향상시키기 위한 보다 지능적인 동작이 가능하다. 예를 들면 단말은 전송해야 할 데이터의 최대 지연 허용 시간 및 앞으로의 PMAC과 SMAC을 고려하여 현재 프레임에 random access을 시도하는 것이 유리한지 아니면 다음 프레임에 random access을 시도하는 것이 유리한지를 판단할 수 있다.

### 3.6 제안 기술의 동작 순서

#### 3.6.1 단말의 동작 순서

그림 8은 제안 기술이 적용되었을 때 단말의 동작 과정을 보여준다. 우선 단말은 기지국이 방송하는 MAC 제어 메시지 혹은 SFH subpacket를 통해서 BR 채널에 대한 정보를 파악한다. 만약 단말이 상향링크로 전송할 데이터를 가지고 있다면 미리 파악하고 있는 PMAC 및 SMAC 정보를 기반으로 어떤 random access 자원에 random access를 시도할 지 여부를 결정한다. 이 때 적용 방안 1이 이용된 경우에는 모든 프레임에 동일한 PMAC이 적용

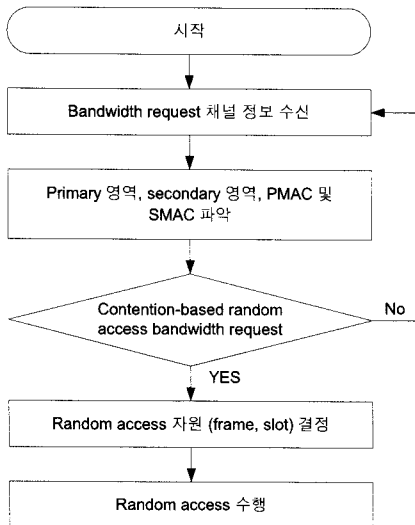


그림 8. 단말의 동작 순서도

되었음을 고려하여 random access 자원을 결정한다. 반면 적용 방안 2가 이용된 경우에는 각 프레임에서 primary 영역 및 secondary 영역이 구분되는 경계 슬롯을 고려하고 minimum access class 조건을 만족하는 슬롯을 확인한 후 random access 자원을 결정한다. 최종적으로 단말은 결정된 random access 자원을 통해서 random access를 시도한다.

#### 3.6.2 기지국의 동작 순서도

그림 9는 제안 기술이 적용되었을 때 기지국의 동작 과정을 보여준다. 기지국은 일반적인 동작을 수행하면서 주기적으로 BR 채널의 정보를 방송한다. 만약 사용자의 초기 접속 요청이 발생하였다면 기지국은 해당 사용자의 등급을 파악한다. 이 때 사용자의 등급이 요금제 등에 의해서 이미 결정된 경우에는 해당 등급을 그대로 수용한다. 반면 사용자의 등급이 사용자가 이용하는 서비스의 종류에 의해서 결정되는 경우에는 초기 접속 요청 시 임의의 혹은 가장 낮은 등급을 임시로 할당하고 해당 사용자가 실제로 서비스를 요청했을 때 적절한 등급을 부여한다. 사용자의 등급을 파악한 기지국은 사용자 등급의 분포에 따라서 슈퍼프레임 내의 연속된 BR 채널에 대한 primary 영역 및 secondary 영역, PMAC 및 SMAC 등을 조절한다. 이를 반영하여 AAI-SCD와 같은 MAC 제어 메시지 및 SFH subpacket에 포함된 BR 채널 정보를 업데이트하고 이를 주기적으로 방송한다.

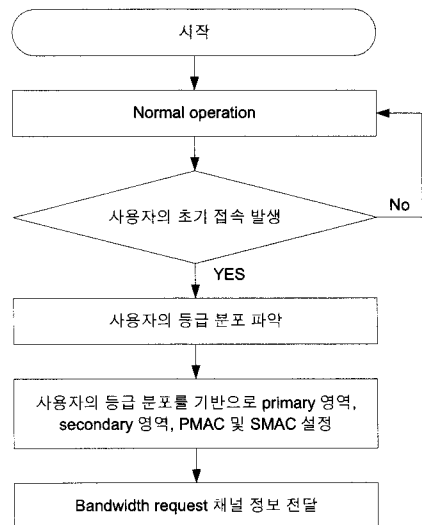


그림 9. 기지국의 동작 순서도

### IV. 성능 평가

본 논문에서는 제안 기술의 성능을 관찰하고자 모의 실험을 수행하였다. 비교 대상은 기존의 minimum access class 기반 random access 방안이며 실험 환경은 다음의 표 3과 같다.

표 2에 나타난 BR 채널의 전체 random access 슬롯 수는 802.16m 표준을 고려하여 설정하였다. 802.16m에서는 한 프레임에 최대 4개의 BR 채널을 지원한다. 각각의 BR 채널은 4개(혹은 6개)의 subcarrier 및 6개의 symbol로 구성된 연속된 tile 3개로 이루어진다. 하나의 random access 슬롯은 보통 2개의 symbol로 구성되기 때문에 한 프레임 내에는 최대 36개의 random access 슬롯이 존재할 수 있다<sup>[12]</sup>. 따라서 한 프레임에 2개의 BR 채널이 존재하는 경우를 가정하면 약 20개의 random access 슬롯이 존재하는 것이다.

본 모의 실험의 성능 지표는 사용자의 random access 성공 확률로 설정하였다. 이 때 기지국이 수신한 단말의 random access 신호는 모두 동일한 신호 품질(SINR)을 갖는다고 가정하였고 만약 두 사용자 이상이 동일한 슬롯을 선택하여 random access를 수행할 경우 해당 사용자 모두의 자원 요청 메시지는 서로 충돌하여 기지국에서 수신이 실패한다고 가정하였다.

그림 10은 primary 영역 및 secondary 영역의 슬롯 수가 각각 5개 및 15개인 경우의 실험 결과이다. 제안 기술의 경우 primary 영역을 이용해서 random access를 수행하는 사용자의 성공 확률이 기존 기술보다 평균 13% 개선됨을 볼 수 있다. 또한 secondary 영역을 이용해서 random access를 수행하는 사용자의 성공 확률 역시 소폭 증가하여 전체적인 성공 확률이 5% 개선됨을 볼 수 있다. 이러한

표 3. 성능 평가를 위한 모의 실험 설정

내용	값
BR 채널의 전체 random access 슬롯 수	20개
Primary/secondary 영역의 슬롯 수	(a) P/S = 5개/15개 (b) P/S = 8개/12개
총 사용자 수	5 ~ 20명
PMAC 이상의 등급을 갖는 사용자의 비율	25%
SMAC 이상의 등급을 갖는 사용자의 비율	75%

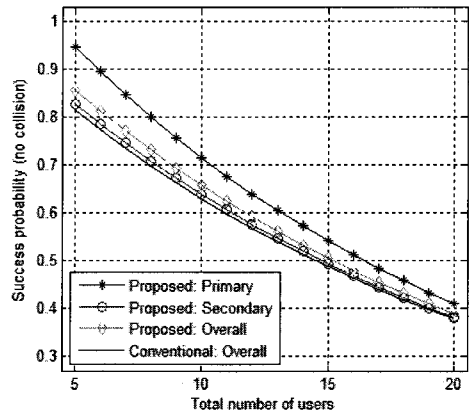


그림 10. 총 사용자 수에 따른 random access 성공 확률 (P/S = 5개/15개)

개선 효과는 random access 채널을 primary 영역과 secondary 영역으로 구분하여 서로 다른 등급을 갖는 사용자 사이의 불필요한 경쟁을 최대한 억제하였기 때문에 얻을 수 있다.

그림 11은 primary 영역 및 secondary 영역의 슬롯 수가 각각 8개 및 12개인 경우의 실험 결과이다. 이 경우에는 primary 영역을 이용해서 random access를 수행하는 사용자의 성공 확률이 기존 방안 대비 33%으로 크게 향상되었다. 하지만 secondary 영역을 이용해서 random access를 수행하는 사용자의 성공 확률은 기존 방안보다 11% 감소하였으며 전체적인 성공 확률은 기존 방안과 동일함을 알 수 있다. 이러한 결과는 primary 영역 및 secondary 영역의 슬롯 수가 PMAC 이상인 사용자의 성공 확률을 획기적으로 높이는 방향으로 설정되었기 때문이

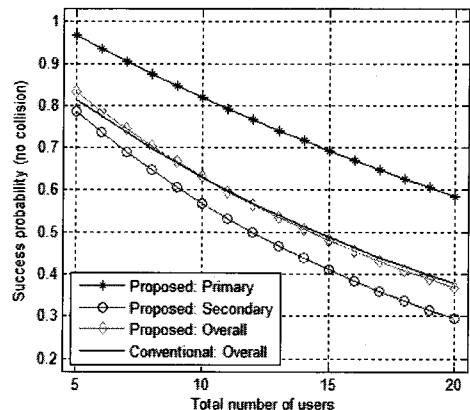


그림 11. 총 사용자 수에 따른 random access 성공 확률 (P/S = 8개/12개)

다. 따라서 본 제안 기술은 현재 사용자의 등급 분포를 고려하여 primary 영역 및 secondary 영역, PMAC 및 SMAC을 조절하여 사용자의 등급에 따른 QoS 차별화를 손쉽게 달성할 수 있다는 장점이 있다.

### V. 802.16m 표준화 성과

본 논문에서 제안한 기술은 2010년 3월 미국 워렌도에서 개최된 IEEE 802.16 Session #66 표준화 회의에서 발표되었다 [5]. 그 결과 제안 기술이 802.16m 시스템에서 동작될 수 있도록 제안 기술의 개념 및 동작에 필요한 메시지가 표준 문서에 정의되는 성과를 거두었다 [9]. 보다 구체적으로 802.16m 표준 문서의 16.2.11 Bandwidth request and allocation mechanism 항목의 16.2.11.1 Contention-based random access bandwidth request 항목을 새롭게 정의하였다. 기존의 표준 문서에는 본 논문의 II.1절에서 논의한 것처럼 하나의 값으로 설정된 minimum access class에 따라서 각 사용자의 random access 허용 여부가 결정되도록 정의되어 있었다. 표준화 회의에서 기존 기술의 단점을 극복하고자 본 논문의 III장에서 논의한 제안 기술의 적용 방안 1, 즉 하나의 슈퍼프레임에 존재하는 다수의 연속된 random access 자원에 대한 minimum access class을 각각 정의하고 이를 적절한 제어 메시지를 통해서 기지국이 단말에게 미리 알려주는 기능이 매우 유용함을 주장하였다. 그 결과 몇 차례 토의를 거쳐서 최종적으로 제안 기술의 개념이 표준 문서에 포함되었다. 또한 제안 기술의 동작을 위해서 필요한 정보, 즉 하나의 슈퍼프레임에 존재하는 다수의 연속된 random access 자원에 대한 minimum access class 정보를 기지국이 단말에게 미리 알려줄 수 있도록 관련 정보를 AAI-SCD (advanced air interface-system configuration descriptor) 메시지에 포함시켰다. AAI-SCD 메시지는 기지국이 시스템의 구성을 제어하기 위해서 주기적으로 방송하는 메시지이다. 여기에는 ranging, synchronization, HARQ feedback, channel measurement, bandwidth request 등과 관련된 주요 시스템 parameter가 포함되어 있다.

참고로 802.16m 표준에 반영된 제안 기술의 핵심 내용 및 이를 위한 AAI-SCD 메시지는 아래의 표 4 및 5에 나타나 있다 (세부 내용은 기고문 C80216m-10-0299 [5] 참고).

표 4. 802.16m 표준에 포함된 제안 기술의 개념

16.2.11.1.1 Contention-based random access bandwidth request
The ABS may advertise a sequence of minimum access classes in the BR Channel Configuration MIN Access Class elements within the AAI-SCD for each frame in a superframe. This sequence of minimum access classes is maintained until another advertisement with the AAI-SCD. Based on the sequence of minimum access classes, the AMS can select the frame used for the contention-based random access in order to minimize collision. If no minimum access classes are advertised in the AAI-SCD, it means that all access classes are allowed.

표 5. 802.16m 표준에 포함된 제안 기술을 위한 제어 메시지 (AAI-SCD 메시지)

Attribute/Array of attributes	Size (bits)	Value/Note
T_ReTx_Interval	3	0 - 8
BR_channel Configuration MIN Access Class of the (i+0)-th frame	3	INTEGER (0..4)
BR_channel Configuration MIN Access Class of the (i+0)-th frame	3	INTEGER (0..4)
BR_channel Configuration MIN Access Class of the (i+0)-th frame	3	INTEGER (0..4)
BR_channel Configuration MIN Access Class of the (i+0)-th frame	3	INTEGER (0..4)

### VI. 결 론

본 논문에서는 사용자가 이용하는 서비스의 종류 및 가입한 요금제, 서비스 이용 형태 등에 따라서 사용자에게 서로 다른 수준의 서비스 품질을 제공하는 기술을 제안하였다. 특히 단말이 기지국에게 자원을 요청하기 위해서 수행하는 random access 과정에 초점을 맞추었다. 제안 기술은 자원 요청 시 사용되는 BR 채널을 primary 영역과 secondary 영역으로 구분하였으며 각각의 영역에 서로 다른 minimum access class, 즉 PMAC과 SMAC을 설정하여 서로 다른 등급의 사용자들이 random access 시 불필요한 경쟁을 피할 수 있도록 하였다. 또한

기지국은 현재 사용자들의 등급 분포를 바탕으로 primary 영역의 크기와 secondary 영역의 크기, PMAC과 SMAC을 적응적으로 설정할 수 있도록 하여 기존의 기술보다 더욱 유동적으로 사용자 등급 별로 QoS 차별화를 달성할 수 있도록 하였다. 또한 이 기술은 IEEE 802.16 Session #66 표준화 회의에서 발표되었고 제안 기술의 개념과 동작에 필요한 메시지가 802.16m 표준에 채택되는 성과를 거두었다.

향후 기지국이 전체적인 사용자의 등급 분포를 고려하여 primary 영역 및 secondary 영역의 크기, PMAC 및 SMAC 등을 결정하는 구체적인 알고리즘을 연구할 계획이다. 이 때 전체 등급에 대한 random access 성공 확률을 일정 수준 이상으로 유지하면서 특정 등급에 대한 random access 성공 확률을 최대화하는 방안을 고려할 수 있다. 이를 통해서 전체 시스템 관점에서 사용자 등급 별 QoS 차별화를 최적으로 달성할 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

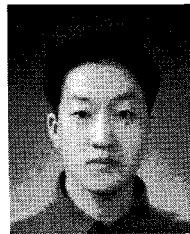
- [1] 임재진, 김우재, 김병석, 이대우, 박동수, "WiMAX 와 LTE 4G 이동 통신 진화 및 비교, 연동 구조", 한국통신학회지, 27(6), pp.3-9, 2010년 5월.
- [2] 윤영우, "LTE-Advanced 표준 기술 (REL-10 동향 및 REL-11 전망)", 한국통신학회지, 28(6), pp.35-42, 2011년 5월.
- [3] 박윤옥, 홍연영, 권동승, "4세대 이동통신 핵심기술 WiBro-Advanced 시스템 개발", 한국통신학회지, 28(6), pp.84-90, 2011년 5월.
- [4] S. Frattasi, H. Fathi, F. H. P. Fitzek, R. Prasad, and M. D. Katz, "Defining 4G technology from the users perspective", IEEE Networks, 20(1), pp.35-41, Jan., 2006.
- [5] IEEE C802.16m-10/0299, "Priority Based Uplink Random Access Strategy", IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, Mar., 2010.
- [6] IEEE 802.16m-09/0012, "Blocking before Network Access based on QoS", IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, Mar., 2009.
- [7] IEEE C802.16m-09/0620, "Differentiated Random Access Schemes", IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group,

Mar., 2009.

- [8] T. Kwon and D. Cho, "A Novel Two-phase Access Priority Scheme in Wireless Communication Systems", IEEE Communications Letters, 9(3), pp.216-218, Mar., 2005.
- [9] P802.16m/D12, "DRAFT Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Network-Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems", Feb., 2011.
- [10] 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, "Medium Access Control (MAC) Protocol Specification", TS 25.321 V9.3.0, June, 2000.
- [11] J. He, K. Guild, K. Yang, and H. Chen, "Modeling Contention Based Bandwidth Request Scheme for IEEE 802.16 Networks", IEEE Communications Letters, 11(8), pp.698-700, Aug., 2007.

문 정 민 (Jung-Min Moon)

정회원



2007년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 학사  
 2007년 3월~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 석박사 통합과정  
 <관심분야> 차세대 이동통신시스템, 협력통신

이 호 원 (Howon Lee)

종신회원



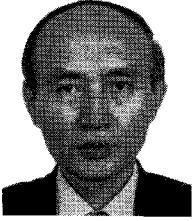
2003년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 학사  
 2009년 8월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
 2009년 8월~2010년 2월 KAIST IT융합연구소 미래통신팀 선임연구원

2010년 3월~현재 KAIST IT융합연구소 지식융합팀 팀장

2010년 7월~현재 KAIST IT융합연구소 연구 조교수  
 <관심분야> 차세대 이동통신시스템, 지식융합기술, 차세대 N스크린 서비스, USN, 무선인지기술

조 동 호 (Dong-Ho Cho)

중신회원



1979년 2월 서울대학교 전자공학과 전자전공 학사

1981년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 통신전공 석사

1985년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 통신전공 박사

1987년 3월~1998년 1월 경희

대학교 전자계산공학과 교수

1998년 2월~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 교수

2007년 1월~2011년 8월 KAIST IT 융합연구소 연구소장

2010년 10월~현재 KAIST 조천식 녹색교통대학원 원장

2011년 7월~현재 KAIST 정보과학기술대학 학장

2011년 7월~현재 KAIST 정보전자연구소 소장

2011년 7월~현재 KAIST ICC 부총장

<관심분야> 유무선 통신 네트워크 및 프로토콜, 무선전력전송기반 온라인전기자동차 시스템, 건설IT 융합, 바이오IT융합