

# IEEE 802.16j 네트워크 기반에서 상향링크에서의 간섭을 최소화한 자원 할당 알고리즘

김원선<sup>0</sup>, 장주욱

서강대학교 전자 공학과, 실시간 인터넷 연구실

## Resource allocation algorithm for uplink to minimize the interference in IEEE 802.16j networks

Won Sun Kim<sup>0</sup>, Ju Wook Jang

Department of Electronics Engineering, Sogang University

ultrabbo@eececa1.sogang.ac.kr, jjang@sogang.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 802.16j 기반의 UL(Uplink)에서의 중첩 자원 할당 방식(overlapped resource allocation scheme)으로 발생하는 간섭을 줄이는 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 중첩 자원 할당 방식은 각각의 MS(Mobile Station)가 동일한 주파수 대역을 사용하여 전송할 수 있도록 허락되는 방식으로 주파수 재사용으로 인한 스루풋 향상을 기대할 수 있다. 하지만 동일한 주파수 대역의 사용은 서로간의 간섭을 야기 하게 되며, 특히 셀 경계에 위치한 MS 들은 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)이 더 작게 되어 서비스 불능을 초래 하게 되어 공정성(fairness)와 QoS 를 만족시키기 어렵게 된다. 이를 해결 하기 위해 간섭이 큰 MS 들의 그룹을 생성하고 서로간의 간섭이 최소화 하도록 동시 전송 MS 를 선택하는 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘을 통한 시뮬레이션 결과에서 서비스 불능률에서 76%, 공정성에서 39%의 성능 향상을 확인하였다.

### 1. 서론

서버에서 일방적으로 정보를 받던 과거와는 달리 최근 UCC 등의 발달로 상향링크 트래픽의 요구가 지속적으로 증가 하고 있으나[1] 상향링크에 대한 연구가 많지 않은 실정이다.[2][3][4]

[2]에서는 BE(Best Effort) traffic 하에서의 효율적인 대역폭 할당 메커니즘을 제안하고 있다. 대역폭 요청-승인 메커니즘은 불필요한 추가적인 상향링크 대역폭 할당 요청을 필요로 하게 된다. 네트워크에서 연결(connection)의 수가 증가하는 만큼 대역폭 요청이 늘어나게 되어 충돌이 증가하게 되고 이에 따른 재전송은 지연(latency)를 유발하게 된다. 이를 위하여 실시간으로 트래픽의 흐름의 측정, 예측하여 대역폭은 할당하는 방법으로 이를 해결하고 있다.

[3]에서는 RS(Relay Station)을 거쳐 BS(Base Station)으로 가는 MS에서 생성된 트래픽의 특성이

실시간성, 비 실시간성인지에 따라 그룹으로 분류한 후 두 그룹간의 스케줄링 방식을 달리 한다. 비 실시간 서비스 트래픽의 경우 RS의 큐에 넣고 BS에 트래픽을 요청하여 차례로 처리 하는 알고리즘을 적용하게 되는데 이는 일괄적인 스케줄링으로 트래픽 요청-승인에 걸리는 오버헤드를 줄임으로 스루풋 향상을 기대할 수 있다. 실시간 서비스 트래픽의 경우 큐에 대기 하지 않고 RS에서 곧바로 BS에 전송을 시도 함으로써 지연을 최소화 하게 된다.

본 논문에서는 앞서 언급된 연구와는 달리 상향링크 관점에서 IEEE 802.16j 모바일 멀티 홉 릴레이 네트워크에서의 공정성과 QoS에 관해 기술 하였다. 중첩 자원 할당 방식은 다른 RS의 커버리지의 MS들이 같은 주파수 대역을 재사용하여 통신을 함으로써 스루풋 향상을 꾀하고 있다. 하지만 셀 경계에 위치한 MS들의 경우 RS에 상향 링크 데이터를 전송할 경우 RS는 이웃 커버리지에 위치한 MS의 신호로 인해 자신이 서비스해야 할 MS의 신호를 제대로 전달받지 못하게 된다. 이렇게 발생하는 간섭으로 인해 커버리지 경계의 MS는 서비스 불능 상태가 되므로 전체 네트워크 측면에서 스루풋 향상

---

“본 논문은 서울시가 시행하고 서울시립대학교 지능형 도시 사업단이 주관하는 서울시 산학연 협력 사업에서 지원을 받았습니다”

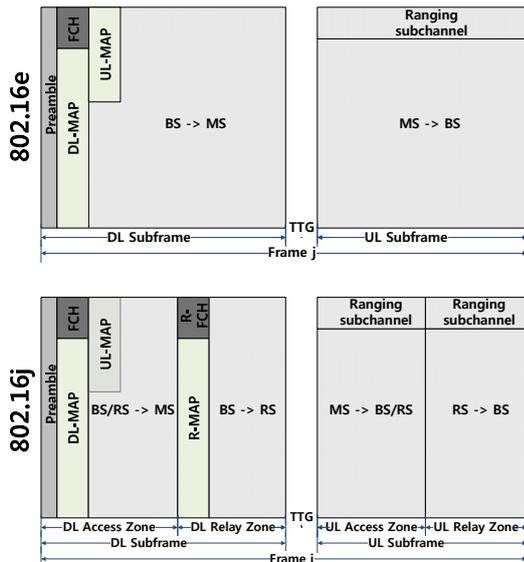


그림 1. IEEE802.16e, IEEE802.16j 의 프레임 구조

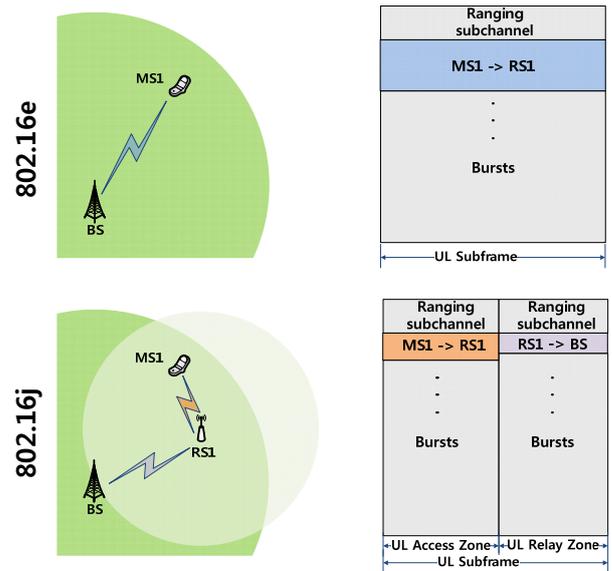


그림 2. IEEE 802.16e 와 IEEE 802.16j 상향 링크 전송

을 이룬다 하더라도 공정성이나 커버리지 측면에서 나빠지게 되므로 이를 보완해야 할 필요가 있다.

이에 본 논문은 중첩 자원 할당 방식에 따라 발생하는 간섭을 최소화 하는 알고리즘을 제안한다. 중첩 자원 할당 방식에서의 간섭의 최소화는 상향링크 스케줄링이 하향링크에서의 스케줄링보다 더 효과적이다. 그 이유는 상향링크에서는 전송의 주체가 셀에 속한 MS 모두가 되기 때문에 주파수를 재사용하여 동시 전송하는 MS 들의 조합을 바꿀 때마다 RS 가 받는 간섭의 정도가 계속 바뀌게 되므로 간섭이 최소화 되는 동시 전송 MS 들의 조합을 찾아 낼 수 있게 되지만 하향링크의 경우 전송의 주체가 RS 와 BS 이며 상향링크에서 MS 의 쌍을 정할 수 있는 것과는 달리 RS, BS 가 모두 동시 전송을 하게 되므로 항상 같은 양의 간섭을 겪게 되기 때문이다. 이러한 상향링크에서의 특성을 이용 하여 중첩 자원 할당 방식에서 발생하는 간섭문제를 동시 전송 MS 를 그루핑 하는 알고리즘으로 해결하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 본 논문의 기반 네트워크 시스템인 IEEE 802.16e 와 IEEE 802.16j 의 프레임구조와 토폴로지를 간략히 요약하고 3 장에서는 상향링크에서의 코-채널 간섭 문제를 언급하고 4 장에서는 간섭 문제를 해결 하기 위한 알고리즘을 제안한다. 5 장에서는 기존 방식과 제안하는 알고리즘을 이용한 방식을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 6 장에서는 시뮬레이션으로 얻어진 결과를 바탕으로 제안 알고리즘으로 얻어지는 효과를 알아 보게 된다.

## 2. 관련 이론

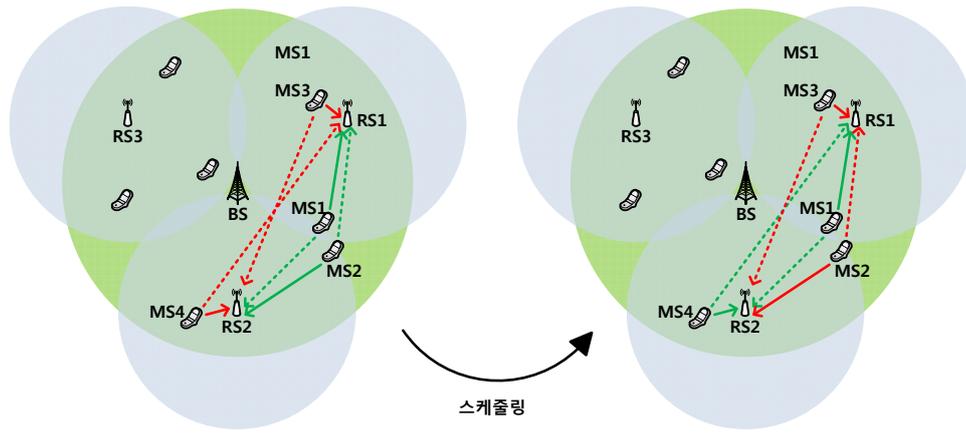
IEEE 802.16e[5] 시스템은 BS 와 MS 로 구성되며, BS 는 커버리지 내의 모든 MS 상태를 보고 받으며

전송에 대한 전반적인 제어가 가능하다. 11GHz 이하의 주파수 대역에서 NLOS(Non Line Of Sight) 전송을 위한 OFDMA(Orthogonal Frequency Domain Multiple Access)가 사용 된다. OFDMA 프레임은 상향링크와 하향링크를 위한 두 개의 서브프레임으로 시간축으로 나뉜다. 하향링크 서브프레임에서는 BS 에서 MS 로의 전송이 이루어 지며 BS 는 각각의 MS 가 사용할 시간, 주파수 영역을 MAP 을 통해 전송하여 BS 가 MS 를 제어 하게 된다.

IEEE 802.16j[6][7][8] 시스템은 커버리지 확대와 스투트 향상을 목적으로 기존 IEEE 802.16j 시스템에 RS 를 도입하여 현재 표준화가 진행중에 있다. 그림 1 에서 볼 수 있듯이 802.16j 의 프레임구조는 RS 가 도입됨으로 해서 802.16e 의 구조에서 변화가 있게 되었으며, 하향링크 서브프레임과 상향링크 서브프레임에서 액세스 존과 릴레이 존으로 좀더 세분화 되었다. 여기서 액세스 존은 BS-MS 혹은 RS-MS 간의 통신이 이루어지는 구간이며, 릴레이 존은 BS-RS 간 통신이 이루어지는 구간이다. 그림 1, 그림 2 는 자세한 TDD(Time Division Duplex) 모드에서의 802.16e 와 802.16j 의 프레임 구조를 나타내고 있다.

## 3. 상향링크에서의 코-채널 간섭 문제

중첩 자원 할당 방식은 같은 셀 안의 MS 들이 같은 주파수 자원을 재사용하여 BS/RS 에게 전송이 가능한 자원 할당 방식이기 때문에 자원 활용이 극대화 된다. 하지만 MS 들에 의해 동시 전송된 상향링크 트래픽은 서로 다른 MS 들에게 간섭신호로 작용하게 된다. 특히 RS 커버리지 경계에 위치한 MS 들은 거리에 따른 경로 손실이 커짐과 동시에 간섭신호의 영향까지 받게 되므로 심한 경우 서비스 불능을 겪게 된다.



(a) 기존 중첩 전송 자원 할당 방식 (코-채널 간섭) (b) 제안 알고리즘 적용

그림 3. 중첩 전송 자원 할당 방식

그림 3(a)는 상향링크 트래픽에서의 중첩 자원 할당 방식으로 인한 심각한 간섭이 발생하고 있는 것을 나타내고 있다. 실선은 RS/BS가 받아야 하는 데이터 신호를, 점선은 인근 RS/BS 커버리지의 MS로부터 전송되는 간섭신호를 의미 하며, 같은 색의 선은 동시 전송을 의미 한다. MS1과 MS2는 상향링크 데이터를 동시에 각각 RS1과 RS2에 전송하게 되면 RS1은 MS1의 데이터뿐 아니라 MS2로부터 전송되는 신호를 간섭신호로 받게 된다. 게다가 MS1은 RS1의 커버리지 외각 지역에 위치 하고 있기 때문에 경로손실로 인해 수신 신호 세기가 약해지게 된다. 또한 RS1이 RS2로부터 전송 받은 간섭 신호는 MS1이 전송한 데이터와 비슷한 크기게 되므로 RS1에서의 SINR은 매우 낮게 되므로 MS1은 서비스 불능 상태가 된다. 이와 유사하게 RS2의 입장에서도 MS2 역시 서비스 불능 상태가 된다.

#### 4. 제안 알고리즘

##### 4.1 간단한 예시

그림 3(b)는 제안 하는 알고리즘의 기본적인 예를 보여 주고 있다. 여기서 MS1과 MS2는 RS1과 RS2 커버리지 경계에 위치 하므로 동시 전송이 불가능한 그룹으로 분류 하였다. 따라서 어떠한 경우라도 MS1과 MS2는 같은 주파수를 이용하여 동시 전송이 불가능하게 되므로 MS1은 RS2 커버리지에 위치한 다른 MS인 MS4와 동시 전송을 시도하게 된다. 이때 발생하는 코-채널 간섭을 살펴 보면 RS1과 MS4 사이의 거리는 RS1과 MS2 사이의 거리보다 크게 되므로 경로 손실은 더욱 커지게 되므로 RS1에서 받는 코-채널 간섭의 세기는 작아지게 되므로 SINR 값을 기존보다 증가 하게 되므로 간섭의 영향은 여전히 받게 되긴 하지만 서비스 불능에서 벗어날 수 있게 한다. 하지만 MS가 셀 외각에 너무 가까운 경우 아주 작은 간섭으로도 서비스 불능이 될 수 있게 되는데 이렇게 셀 외각에 가까운 MS들은 동시 전송 MS를 잘 선택 한다 하더라도

서비스 불능이 되므로 이 경우 부분적으로 동시 전송을 제한 하는 알고리즘을 사용 해야 한다. 이렇게 간단한 예시에서 언급된 동시 전송이 불가능한 MS 그룹을 생성하고 동시 전송하는 MS를 선택하고 부분적으로 동시 전송을 제한 한다면 셀 경계의 서비스 불능률을 줄일 수 있게 된다.

##### 4.2 상향 링크 전송 스케줄링 알고리즘

알고리즘 1은 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 나타내고 있다. 서비스 불능 MS는 커버리지 외각에서 주로 발생하므로 먼저 MS가 셀 외각에 있는 지를 먼저 알 수 있어야 한다. 이를 판단 하기 위해 해당 RS에 수신된 신호의 세기를 이용한다. 즉, RS에서 수신된 신호의 세기가 미약한 경우 신호를 송신한 MS는 커버리지 경계에 있다고 판단 할 수 있다. 표준화가 진행중인 IEEE 802.16j에서는 네트워크 진입 과정(network entry procedure), 핸드오버 과정(handover procedure)등에서 주기적으로 수신 신호 세기를 알 수 있게 되므로[7] 과정을 이용하여 1번 줄에서와 같이 MS 마다의 수신 신호 세기를 갱신하게 된다.

2-8 줄에서는 앞서 갱신된 수신 신호 세기 값과 미리 정한 간섭 임계 값과 비교 하여 서비스 받는 RS 이외에 다른 RS에게 일정 임계치 이상의 간섭이 일어나는지 판단하여 두 RS 사이의 경계인지를 판단하고 이에 해당하는 MS를 그룹핑 한다.

9-13 줄에서는 RS가 받는 수신 신호 세기를 임계 신호 세기와 비교 하여 커버리지 외각에 위치한 MS인지를 판단한다. 수신 신호 세기가 임계 신호 세기보다 낮은 경우 셀 외각에 있는 MS로 판단하여 해당 MS를 그룹핑 한다.

9-13 줄에서는 앞서 그룹핑한 두 그룹의 MS가 동시 전송을 시도 할지 하지 않을지를 결정하게 된다.

이러한 과정을 가지는 알고리즘을 통하여 간섭이 많이 발생하는 MS간의 주파수 재사용을 막음으로써 SINR을 높일 수 있는 효과와 더불어 서비스 불

능률을 낮추게 된다.

## 알고리즘 1

### 동시 전송 그룹 선택 알고리즘

---

**: 간섭 그룹 생성**

- 1: **Update**  $serv[i]$  and  $pow[j][i]$
- 2: **for**  $i = 1$  to  $n$  **do**
- 3:     **for**  $j = 0$  to  $N$  **do**
- 4:         **if**  $serv[i] \neq j$  and  $power[j][i] \geq threshold1$  **then**
- 5:             Add a MSi to  $G$
- 6:         **end if**
- 7:     **end for**
- 8: **end for**

**: 커버리지 외각 MS 그룹 생성**

- 9: **for**  $i = 1$  to  $n$  **do**
- 10:     **if**  $power[j][i] \leq threshold2$  **then**
- 11:         Add a MSi to  $L$
- 12:     **end if**
- 13: **end for**

**: 동시 전송 가능 여부 확인**

- 14: Each MS which belongs to  $L$  is not allowed to be simultaneous transmitted
- 15: Each MS which belongs to  $G$  is not allowed to be transmitted at the same

---

16:  $serv[i]$  : a serving node of MSi  
 17:  $pow[j][i]$  : received power of RSj from MSi  
 18:  $threshold1$  : minimum interference indicator which determine MS locates on the neighboring coverage or not  
 19:  $threshold2$  : minimum power indicator which determine MS locates on the coverage boundary or not  
 20:  $G$  : sets of MSs being served by RS and interfering in other RS  
 21:  $L$  : a set of MSs locates on the coverage boundary or not  
 22:  $N, n$  : the number of RSs and MSs, respectively  
 23: RS0 denotes BS

---

## 5. 시뮬레이션

### 5.1 시뮬레이션 환경

단일 셀, 단일 홉의 IEEE 802.16j TDD-OFDMA 셀룰라 무선 릴레이 네트워크 시스템을 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. 중앙에 위치한 BS를 중심으로 주변에 3개의 RS가 720m 떨어진 위치에 120도 각도로 배치되어 있다. 또한 MS는 균일 분포(uniform distribution)로 임의로 생성되어 셀 커버리지에 배치되어 있다. 또한 MS에서 생성된 데이터가 BS로 전달되는 상향링크 트래픽만을 고려하였으며, 자세한 시뮬레이션 파라미터는 표 1에 나타내었다.

### 5.2 간섭 고려

본 논문에서는 단일 셀 환경에서 시뮬레이션 하였으므로 셀 내 간섭만을 고려하였다. 또한  $RS_i$ 가 받는 간섭의 정도를 나타내는  $SINR_i$ 는 아래와 같이 계산된다.

$$SINR_i = \frac{P_i}{\sum_{k=1, k \neq i}^n P_k + N}$$

여기서  $P_i$ 는 현재  $RS_i$ 에 의해 서비스 받고 있는 MS에게 전달 받은 신호의 세기를 나타내며,  $P_k$ 는  $RS_k$ 에 의해 서비스 받고 있는 MS로부터 전달 받은 신호의 세기를 나타낸다( $k \neq i$ ).  $N$ 은 잡음 신호를 나타내며,  $n$ 은 BS, RS들의 개수를 나타낸다. (여기서  $n$ 은 4가 된다.)

### 5.3 전달 모델(propagation model)

본 논문에서 BS와 RS 사이의 릴레이 링크 상태가 매우 안정적이라는 가정을 하기 때문에 릴레이 전송시 가장 높은 MCS 레벨인 64QAM 1/2을 사용하였다. BS/RS와 MS 사이의 링크인 액세스 링크에서의 환경은 대부분 NLOS(Non Line Of Sight)이기 때문에 시뮬레이션에 사용되는 경로손실 모델로 modified IEEE 802.16 terrain type B 모델을[9][10] 이용하였으며 그 식은 아래와 같다.

$$PL = A + 10 \cdot \gamma \cdot \log_{10}(d / d_0) + \Delta PL_f + \Delta PL_h \text{ (dB)}$$

여기서  $d_0$ ,  $d$ ,  $A$ ,  $\gamma$ 는 각각 100m, MS와 BS/RS 사이의 거리  $20 \cdot \log_{10}(4\pi d_0 / \lambda)$ ,  $(a - b \cdot h_b + c / h_b)$ 를 나타내며,  $\lambda$ 와  $h_b$ 는 미터 단위의 파장과 BS/RS 안테나의 높이(10m와 80m 사이의 값)을 나타낸다. 또한 중심 주파수 정정 인자(correction factor for carrier frequency)인  $\Delta PL_f$ 와 수신 안테나 높이 인자인  $\Delta PL_h$ 는 아래와 같이 나타내어진다.

$$\Delta PL_f = 6 \cdot \log_{10}(f / 2000) \text{ dB}$$

$$\Delta PL_h = -10.8 \cdot \log_{10}(h / 2) \text{ dB}$$

여기서  $f$ 는 MHz 단위의 중심 주파수를 나타내며,  $h$ 는 MS/RS 안테나의 높이를 나타낸다. 여기서 릴레이 링크는 안정적이라는 가정을 하였기 때문에 가장 높은 AMC 모드를 사용하여도 코딩 에러를 무시할 수 있기 때문에 액세스 링크에 관해서만 SINR을 고려하여 링크간 전송률을 결정하면 된다.

## 6. 결론

시뮬레이션은 802.16e, 802.16j 환경에서 직교 자원 할당 방식, 중첩 자원 할당 방식, 제안된 알고리즘을 이용한 중첩 자원 방식의 4가지 방식으로 이루어졌다. 그림 4는 4가지 방식의 스루풋 비교를 위한 그래프이다. 802.16e에 비해 802.16j의 스루풋이 높음을 알 수 있으며 주파수 자원 활용을 극대화하는 중첩 자원 할당 방식이 직교 자원 할당 방식에 비해 더 높은 스루풋을 보임을 알 수 있다. 제안 알고리즘은 기존의 방식보다 스루풋이 떨어지는 양상을 보이게 되는데 이는 셀 외각지역의 MS는 동시 전송을 하지 못하게 되므로 이로 인해 발생하는 주파수 낭비에 의한 것이다. 하지만 스루풋의 감소율은 5%에 그치는 것을 확인하였다. 제안 알고리

증 역시 기존의 중첩 자원 할당 방식과 비슷한 스루풋 향상을 유지 하는 것을 알 수 있다. 그림 5 는 앞에서 언급한 4 가지 방식에 대한 서비스 불능률을 나타내는 그래프이다. 802.16e 와 직교 자원 할당 방식의 경우 코-채널 간섭이 발생하지 않기 때문에 서비스 불능 MS 가 발생하지 않게 된다. 하지만 중첩 자원 할당 방식의 경우 액세스 링크에서 BS/RS 커버리지에 속한 MS 들이 동시 전송 하기 때문에 코-채널 간섭으로 인해 SINR 값이 -3.95dB 보다 낮은 MS 가 발생하게 되므로 이로 인한 서비스 불능률이 약 13.82% 발생하게 된다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용하여 동시 전송 MS 를 정할 경우 서비스 불능률은 2.12%로 줄게 되어 약 76%의 향상이 이루어 진 것을 확인 할 수 있었다. 그림 6 은 4 가지 방식에 대한 공평성을 나타내는 그래프이다. 여기서 공평성의 척도로 Jain fairness index[12]로 하여 평가 하였다. 기존 중첩 할당의 경우 서비스 불능 MS 의 발생으로 인해 공평성이 떨어지는 것을 확인하였고 제안 알고리즘을 적용한 경우 서비스 불능의 개선과 더불어 스루풋 향상으로 공평성이 802.16e 나 직교 할당과 비슷한 수준으로 높아짐을 확인하였다.

시뮬레이션 결과를 보면 스루풋 측면에서 중첩 자원 할당방식이 더 나은 성능을 보여주는 반면 서비스 불능률이 13.82%나 발생하기 때문에 공정성과 QoS 를 만족하기 힘들어지게 된다. 하지만 본 논문에서 제안하는 동시 전송 MS 를 선택하여 전송하게 되면 스루풋 향상은 유지하는 동시에 서비스 불능률을 2.12%로 낮출 수 있을 뿐 아니라 공평성에서 기존 중첩할당과 비교 하여 39%의 성능 향상을 보임으로써 제안 알고리즘이 기존 방식에 비해 더 나은 성능을 보이는 것으로 판단 할 수 있다

## 7. 참고 문헌

[1] Organization for Economic Co-operation and Development, "Participative Web and User-created Content: Web 2.0, Wikis and Social Networking", [Online] Available: <http://www.oecd.org>

[2] Seungwoon Kim and Ikjun Yeom, "TCP-Aware Uplink Scheduling for IEEE 802.16", IEEE Commun. Letters, VOL. 11, NO. 2, Feb. 2007.

[3] Ohyun Jo, Dong-ho Cho, "Traffic adaptive uplink scheduling scheme for relay station in IEEE 802.16 based multi-hop system", VTC-2007 Fall, Oct. 2007

[4] Deog-Su Han, Young-Min Seung, Ji-Hoon Lee, Sung-Joon Cho, "Performance Analysis of System Architecture using Wireless Relay Station and Virtual MIMO in WiBro Uplink", ICACT, Feb, 2008

[5] IEEE Standard 802.16e standard, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16 : Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access System", Feb. 2006.

[6] IEEE 802.16 Working Group's Relay Task Group, [Online] Available: <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/relay/index.html>

[7] IEEE 802.16 Working Group's Relay Task Group, Part 16 : Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems – Multihop Relay Specification, Aug. 2007.

[8] Vinko Erceg, Larry J. Greenstein, Sony Y. Tjangdra, Seth R. Parkoff, et al., "An Empirically Based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments", IEEE J. Select. Areas Commun, VOL. 17, JULY 1999

[9] IEEE 802.16 Working Group's Relay Task Group, IEEE 802.16j-06/013r1, Oct. 2006.

[10] Jamil Sultan, M. Ismail, N. Misran and K. Jumari, "Spectral Efficiency Evaluation of Downlink Mobile Multihop Relay Systems Employing Macro Diversity Handover Technique", IJCSNS, VOL.8 No.5, May. 2008

[11] Yan Zhang, Hsiao-Hwa Chen, "Mobile WiMAX : Toward Broadband Wireless Metropolitan Area Networks", CRC Press, 2007

[12] Mehrdad Dianati, Xuebin Shen, and Sagar Naik, "A New Fairness Index for Radio Resource Allocation in Wireless Networks", WCNC, 2008

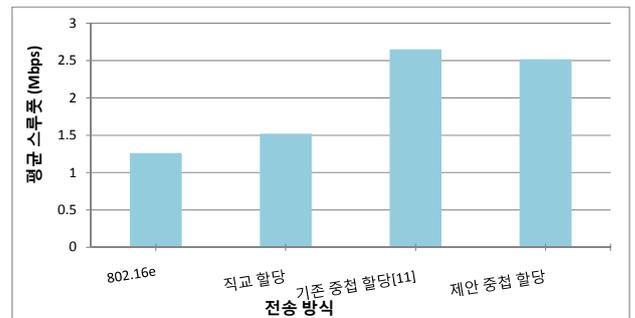


그림. 4. 평균 스루풋 결과

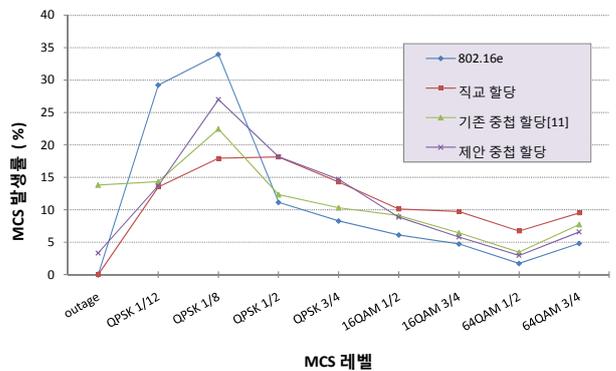


그림. 5. MCS 레벨 및 서비스 불능률 분포

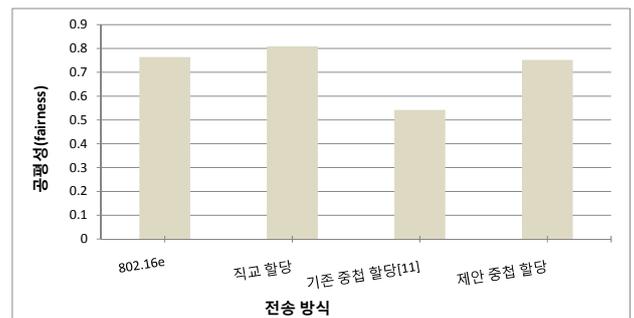


그림. 6. 공평성 결과