

# IEEE 802.16j MMR 네트워크 전송율 모델링

현도원<sup>o</sup>, 장주욱

서강대학교 전자공학과

## Modeling the Throughput for IEEE 802.16j MMR Network

Dowon Hyun<sup>o</sup>, Juwook Jang

Department of Electronics Engineering, Sogang University

snatcher@eecal.sogang.ac.kr, jjang@sogang.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.16j 네트워크에서 전송율에 영향을 미치는 핵심적인 파라미터를 정의하였다. 기존의 연구들은 전송율에 영향을 미치는 주요 파라미터의 일부분만을 다루고 있다. 제안된 모델링은 간결하면서도 핵심 파라미터를 포함하기 때문에 IEEE 802.16j 시스템의 전송율을 예측하는데 있어 유용하다. 제안된 모델링이 세부까지 정확하다고 보장할 수는 없으나, 모델링이 네트워크 설계 및 구현의 초기 단계에서 전송율을 예측하는데 유용하다고 할 수 있다.

### 1. 개요

IEEE 802.16j[1]는 멀티홉 릴레이 네트워크에서 전송율(전송율)과 전송거리 확장을 위해서 Multihop Relay Base Station(MR-BS)와 Relay Station(RS)간의 동시전송을 지원한다. 이를 위해, IEEE 802.16j의 프레임 구조는 그림 2와 같이 DL과 UL이 각각 access zone과 relay zone으로 나뉘어져 있다. Access zone에서는 MR-BS 또는 access RS에 직접 연결되어 있는 Mobile Station(MS)들에게 데이터를 동시에 전송하는 구간이고, relay zone은 MR-BS와 RS 또는 RS와 RS간 데이터를 전송하는 구간이다. Access zone에서의 동시 전송은 IEEE 802.16j의 성능을 향상시키는 특징이지만, 릴레이 통신을 위해 R-MAP과 같은 추가적인 오버헤드(overhead)가 발생하여 성능을 감소시키는 단점이 있다.

기본적으로 IEEE 802.16e[2] 네트워크의 성능을 평가한 기존 연구들은 MS가 Base Station(BS)로부터 수신한 신호 세기를 바탕으로 성능을 평가하였다 [3][4][5][6]. MS가 수신한 신호세기는 BS로부터의 거리, 경로 손실(pathloss), 음영(shadowing) 그리고 주변의 간섭 신호 등에 의해 결정된다. MS의 수신

신호 세기가 결정되면 모듈레이션 방식이 결정되고, 모듈레이션 방식에 따라 한 심볼당 전송할 수 있는 bit 수가 결정되어 성능을 평가할 수 있다.

최근에 IEEE 802.16j와 유사한 환경 또는 멀티홉 릴레이 네트워크 환경에서 전송율 모델링에 대한 연구들이 진행되어 왔다[7][8][9]. 그러나 이들 연구들은 전송율에 영향을 미치는 주요 파라미터의 일부분만을 다루고 있다. [7]은 WiMAX에 relay station을 도입한 시스템의 성능을 평가하였다. 하지만 현재의 IEEE 802.16j와는 다른 프레임 구조를 사용하여 모뎀 전송이 Time Division Multiple(TDM) 방식으로 이루어져 동시전송에 대한 고려가 없기 때문에 IEEE 802.16j의 성능과 다른 결과를 보여주고 있다. RS 도입으로 인한 relay 오버헤드에 대한 고려는 되어 있지만, 이 역시 오버헤드의 위치상 IEEE 802.16j에서의 오버헤드와는 조금 다른 의미를 가진다. 또한 access link와 relay link의 데이터 비율에 대한 고려가 없다. [8]은 전송율을 사용하여 멀티 홉 시스템의 용량에 대해서 성능을 평가하였다. 그림 4와 같이 Time Division Multiple Access(TDMA) 시스템 기반이기 때문에 동시 전송 및 access link와 relay link의 데이터 비율에 대한 고려가 없다. 또한 RS 도입에 따른 오버헤드에 대한 고려가 존재하지 않는다. [9]는 멀티 홉 네트워크의 성능을 분석하였다. 동시 전송에 대한 고려는 있으나, chain 토폴로지를 사용하였기 때문에 access link와 relay link의 데이터 전송

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

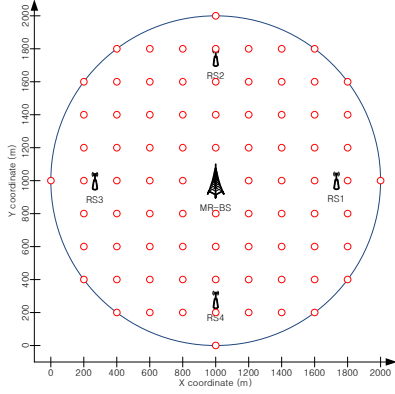


그림 1. 시스템 토폴로지

비율에 대한 고려가 없다. 또한 RS 도입에 따른 오버헤드에 대한 고려도 없다

본 논문에서 제안하는 모델링은 IEEE 802.16j 의 모든 내용은 다루지 않는다. 하지만 우리는 IEEE 802.16j 의 주요한 특징인 access link 에서의 동시 전송, access link 와 relay link 의 데이터 비율, RS 의 수, 그리고 RS 의 도입으로 인한 relay 오버헤드에 대해 파라미터화 하여 성능을 평가할 수 있는 모델링을 제안한다. 또한 모델링에서 사용한 파라미터들을 가지고 IEEE 802.16j 의 성능을 향상시킬 수 있는 기법들에 대해 소개한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 절에서는 본 논문에서 사용한 시스템 환경 및 전송을 계산 방법에 대해서 설명한다. 3 절에서는 제안하는 IEEE 802.16j 제안 모델링에 대해 설명하고 기존의 연구와의 차이점에 대해서 설명한다. 4 절에서는 3 절에서 사용된 파라미터들을 통해 IEEE 802.16j 의 성능을 향상 시키기 위한 다양한 기법에 대해서 설명한다. 5 절에서는 IEEE 802.16e 와 IEEE 802.16j 의 성능을 시뮬레이션을 통해 알아보고 마지막으로 6 절에서는 결론 및 추후과제에 대해 논한다.

## 2. 시스템 환경

### 2.1. 시스템 토폴로지

우리는 IEEE 802.16j 의 성능을 평가하기 위해 그림 1 과 같이 Manhattan 시나리오[10]를 가정하여 1-cell 시스템에서 downlink 의 성능을 평가하였다. RS 들은 MR-BS 로부터 750m 떨어진 거리에 위치하며 MR-BS 의 오른쪽부터 90 도씩 반시계 방향으로 위치한다. MS 들은 200m 간격으로 균일하게 분포한다.

MR-BS 와 RS 들은 Line Of Sight(LOS) 환경에서 Above Roof Top(ART)과 무지향성 안테나를 사용한다고 가정하였다. MS 들은 Non Line Of Sight(NLOS) 환경에서 Below Roof Top(BRT)과 무지향성 안테나를 사용한다고 가정하였고 모든 단말들은 같은 주파수 대역을 사용하여 전송한다고 가정하였다. 본 논문에서 사용한 시스템 파라미터는 표 1 과 같다.

### 2.2. Path loss 모델 및 전송을 계산

본 논문에서는 경로 손실  $PL$  을 구하기 위해서 (1)과 같이 IEEE 802.16j 에서 사용한 경로 손실 모델[11]

표 1. 시스템 파라미터

파라미터 $s$	Value
Carrier frequency	2.3 GHz
System Bandwidth	10Mhz
Frame Duration	5 ms
Number of symbols in a frame (DL : UL)	47 (29:18)
MR-BS transmit power	20 W
MR-BS antenna gain	25 dBi
MR-BS antenna height	32 m
RS transmit power	15 W
RS antenna gain	16 dBi
RS antenna height	15 m
MS antenna height	1.5 m
MS antenna gain	1 dBi

을 사용하였다.

$$PL = \begin{cases} 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) & \text{for } d \leq d'_0 \\ A + 10\gamma\log\left(\frac{d}{d_0}\right) + \Delta PL_f + \Delta PL_{ht} & \text{for } d > d'_0 \end{cases} \quad (1)$$

여기서,  $A = 20\log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right)$ ,  $d_0 = 100m$ ,  $d'_0 = d_0 10^{\left(\frac{\Delta PL_f + \Delta PL_{ht}}{10\gamma}\right)}$ ,

$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b}$  이다.  $d$  는 송신 단말기와 수신 단말기 사이의 거리를 나타낸다.  $\Delta PL_f$  과  $\Delta PL_{ht}$  은 (2)와 (3) 과 같이 정의된다.

$$\Delta PL_f = 6\log\left(\frac{f(\text{MHz})}{2000}\right) \quad (2)$$

$$\Delta PL_{ht} = \begin{cases} -10\log\left(\frac{h_t}{3}\right) & \text{for } h_t \leq 3m \\ -20\log\left(\frac{h_t}{3}\right) & \text{for } h_t > 3m \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $f$ ,  $h_b$  그리고  $h_t$  는 캐리어 주파수, 전송 안테나 높이 그리고 수신 안테나 높이를 각각 나타낸다.  $\gamma$  는 경로 손실 계수를 나타내며, LOS 환경에서는  $a = 3.6$ ,  $b = 0.005$ , 그리고  $c = 20$  으로 사용하였으며 NLOS 환경에서는  $a = 4$ ,  $b = 0.065$ , 그리고  $c = 17.1$  을 사용하였다.

각 단말의 수신 신호 SNR 은 (4)를 이용하여 구하였다.

$$SNR = 10\log_{10}\left(\frac{P_i \times G_i \times \frac{1}{PL}}{\left(\sum_i P_i \times G_i \times \frac{1}{PL}\right) + P_n}\right) \quad (4)$$

여기서,  $P_i$ ,  $G_i$ ,  $P_i$ ,  $G_i$ ,  $i$ ,  $P_n$  그리고  $PL$  은 전송 신호 세기, 송수신 안테나 이득의 곱, 간섭 신호 세기, 간섭 송수신 안테나 이득의 곱, 간섭 단말의 수,

간접 신호 세기 그리고 (1)에서 구한 경로 손실을 각각 나타낸다.

신호 세기에 따른 모듈레이션 방식과 모듈레이션에 따른 데이터 전송속도는 [12]에서 사용한 것을 사용하였다.

### 2.3. IEEE 802.16j 프레임 구조 및 전송 방식

IEEE 802.16j 의 프레임 구조는 access link 과 relay link 로의 전송을 지원하기 위해 그림 2 와 같이 access zone 과 relay zone 으로 나누어져 있다. Access zone 에서는 MR-BS 또는 access RS 에 직접 연결되어 있는 MS 와 통신하고, relay zone 에서는 MR-BS 와 RS 또는 RS 와 RS 간의 통신이 이루어진다. 또한 relay 통신을 위한 R-FCH 와 R-MAP 과 같은 오버헤드가 추가 되었다.

## 3. 제안 모델링

### 3.1 IEEE 802.16j 제안 모델링

우리는 IEEE 802.16j 전송율에 영향을 끼치는 파라미터에 대해서 정의한다.  $R_{BS-MS-RELAY}$ ,  $R_{BS-RS}$  그리고  $R_{RS-MS}$  는 MR-BS 와 MS, MR-BS 와 RS 그리고 RS 와 MS 사이의 전송율로 두었다. 전송율은 각 단말의 거리와 무선 환경에 따라 변화한다. MS 는 (4)에 의해 수신 신호 세기가 큰 단말에 연결된다.

IEEE 802.16j 프레임 구조는 그림 2 와 같이 access zone 과 relay zone 으로 나뉜다. 이와 같은 IEEE 802.16j 의 프레임 구조를 바탕으로 IEEE 802.16j 의 전송을 시간축에서 나타내면 그림 3 과 같이 나타낼 수 있다.

우리는 MR-BS 가 직접 전송하는 데이터 비율을 나타내는 파라미터  $\alpha$  를 추가 하였다.  $\alpha$  의 범위는  $0 \leq \alpha \leq 1$  이다. 만약 전송하고자 하는 전체 데이터의 양이  $N$  이라면,  $\alpha N$  은 MR-BS 가 직접 전송하는 데이터의 양이고  $(1-\alpha)N$  은 RS 를 거쳐 전송하는 데이터의 양이 된다.

릴레이 전송을 위해 IEEE 802.16j 에는 R-MAP 과 같은 오버헤드가 추가된다. 우리는 이런 오버헤드를  $\beta$  로 하고 이것은 RS 를 거쳐 전송되는 데이터의 양에 비례한다.

RS 의 수는 병렬 전송의 척도가 되기 때문에 중요한 역할을 한다. RS 동시 전송에 의한 주파수 재사용은 간섭을 수반한다. 모든 주파수 재사용을 다루기 어렵기 때문에 [13], 우리는 모델링 파라미터로서 단지 RS 의 수  $k$  만은 선택하여 추가하였다.

예를 들면, IEEE 802.16j 전송 scheme 에 따른 4 RS 를 사용한 2-hop 동시 전송은 <그림 3>과 같다. 여

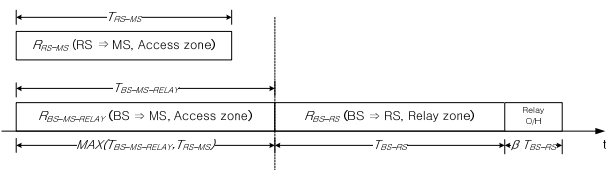


그림 2 IEEE 802.16j 전송 방식

표 2 제안 모델링과 기존 모델링의 파라미터 비교

	제안 모델링	[7]	[8]	[9]
전송 시간	$T_{RELAY}$	$T_{Pavel}$	$T_{Tim}$	$T_{Jaewon}$
MR-BS 와 MS 간 전송율	$R_{BS-MS-RELAY}$	$BR_{BS-MS-RELAY}$	$TP$	$R_{R,1}$
MR-BS 와 RS 간 전송율	$R_{BS-RS}$	$BR_{BS-RS}$	$TP_{hop1}$	$R_{R,2}$
RS 와 MS 간 전송율	$R_{RS-MS}$	$BR_{RS-MS}$	$TP_{hop2}$	$R_{R,3}$
전송 패킷 크기	$N$	$N$	$5P$	$N$
데이터 비율	$\alpha$	-	-	-
Relay 오버헤드	$\beta$	$\beta$	-	-
RS 의 개수	$k$	$k$	$k$	-

기서 동시전송은 access link 에서만 일어난다. 전송 시간은 전송율로부터 구할 수 있다.

$T_{BS-MS-RELAY} = 1/R_{BS-MS-RELAY}$ ,  $T_{BS-RS} = 1/R_{BS-RS}$  그리고  $T_{RS-MS} = 1/R_{RS-MS}$  는 각 링크의 전송시간을 나타낸다. 따라서 전송하고자 하는 데이터의 양이  $N$  일 경우, 위에서 언급한 파라미터를 이용하여 전송시간은 (5) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 T_{RELAY}(\alpha, \beta, k, N, R_{BS-MS-RELAY}, R_{BS-RS}, R_{RS-MS}) \\
 &= \text{MAX}(T_{BS-MS-RELAY}, T_{RS-MS}) + T_{BS-RS} + \beta \cdot T_{BS-RS} \\
 &= \text{MAX}\left(\frac{\alpha N}{R_{BS-MS-RELAY}}, \frac{(1-\alpha)N/k}{R_{RS-MS}}\right) + \frac{(1-\alpha)N}{R_{BS-RS}} + \frac{(1-\alpha)N}{R_{BS-RS}} \beta
 \end{aligned} \quad (5)$$

MAX 함수는 MR-BS 와 MS 간의 직접 전송과 RS 를 거쳐 MS 에게 전송되는 동시 전송을 나타낸다. 우리의 모델은 기존의 모델링에서 다루는 파라미터 들을보다 광범위하다. [7]은 MAX 함수와  $\alpha$  가, [8]은 MAX 함수,  $\alpha$ , 그리고  $\beta$  가 그리고 [9]는  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $k$  가 우리의 모델링에 비해 부족하다. <표 2>는 우리의 모델링과 기존의 모델링에서 사용된 파라미터들 간의 관계를 보여준다.

### 3.2 기존 모델링과의 관계

기존 연구 중에서 [8]과 본 모델링과의 관계에 대해서 알아본다. [8]은 릴레이 네트워크에서의 성능을 평가하였다. 우리의 모델링에 비해 MAX 함수,  $\alpha$  그리고  $\beta$  파라미터가 부족하다.

$TP$  를 BS 와 MS 사이의 전송율로 두면 패킷  $P$  의 전송시간은  $t_1 = P/TP$  이다.  $TP_{hop1}$  과  $TP_{hop2}$  를 BS 와 RS, RS 와 MS 간의 전송율로 두면, 패킷  $P$  의 전송시간은 각각  $t_{hop1} = P/TP_{hop1}$  과  $t_{hop2} = P/TP_{hop2}$  이다. 따라서 전체 전송시간은  $t_2 = t_{hop1} + t_{hop2}$  이고, 시스템 전송율은 (6)과 같이 계산된다.



그림 3 [8]의 전송 방식

$$TP_{FRS} = \frac{P}{t_2} = \left( \frac{1}{TP_{hop1}} + \frac{1}{TP_{hop2}} \right)^{-1} \quad (6)$$

하나의 RS 를 통해 전송되는 데이터의 양과 BS 가 직접 MS 에게 전송하는 데이터의 양이 모두  $P$  일 경우 RS 가 4 개이므로 총 전송하고자 하는 데이터의 양은  $5P$ 가 된다. 전송 방식은 그림 4 와 같이 시간축에서 각 RS 에게 순차적으로 전송하기 때문에 데이터  $5P$ 를 전송하는데 걸리는 시간은 (7)과 같다

$$t = t_1 + 4 \cdot t_2 = \frac{P}{TP} + 4 \cdot \frac{P}{TP_{FRS}} = \frac{P}{TP} + 4 \cdot \left( \frac{P}{TP_{hop1}} + \frac{P}{TP_{hop2}} \right) \quad (7)$$

(7)을 우리의 모델링 표기로 변환하면 (8)와 같다.

$$T_{Tim-RELAY} = T_{BS-MS-RELAY} + k \cdot (T_{BS-RS} + T_{RS-MS}) \\ = \frac{N/(k+1)}{R_{BS-MS-RELAY}} + k \cdot \left( \frac{N/(k+1)}{R_{BS-RS}} + \frac{N/(k+1)}{R_{RS-MS}} \right) \quad (8)$$

(12)에서 볼 수 있듯이, 제안 모델링에 비해 동시 전송을 나타내는 MAX 함수, access link 와 relay link 의 데이터 비율을 나타내는  $\alpha$ , RS 도입으로 인한 오버헤드  $\beta$ 가 부족하다는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 제안 모델링 예시

본 절에서는 제안한 모델링에서 사용된 파라미터를 사용하여 IEEE 802.16j 의 성능의 향상 기법에 대해서 살펴본다. 이 중에서  $R$  과  $k$  의 효과에 대해 알아본다.

##### 4.1 전송율 $R$ 의 효과

MR-BS 와 RS 가 무지향성 안테나를 사용하고, frequency full reuse 를 하면 access zone 전송에서 co-channel interference 가 발생하게 되어 전송율이 낮아지게 된다.

IEEE 802.16j 의 전송율을 향상 시키기 위해 본 논문에서는 간섭을 감지하는 프레임 구조를 제안한다. DL relay zone 에서 MR-BS 가 RS 들에게 Time Division Multiplexing(TDM)방식으로 전송한다면, 모든 RS 들은 그림 5 와 같이 idle 한 상태를 가진다. Idle 상태의 길이는 MS 의 요구량, 채널 상태 등에

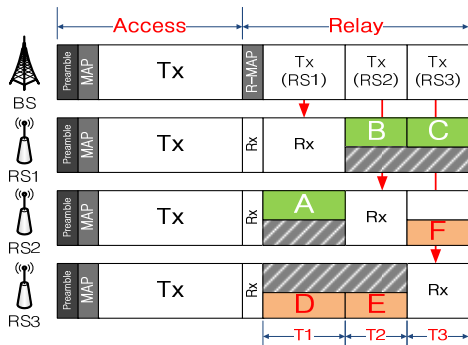


그림 4 제안 IEEE 802.16j 프레임 구조 예시

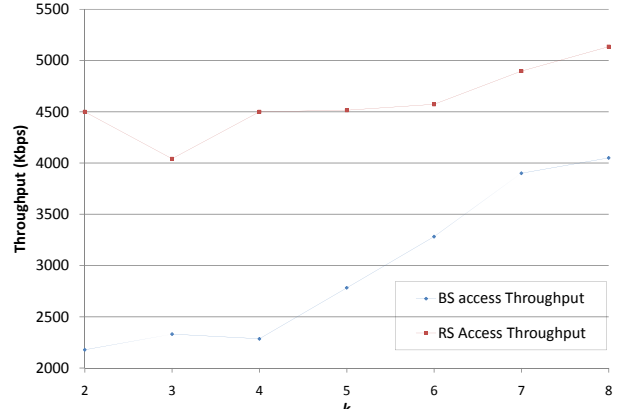


그림 5  $k$  에 따른 전송율 변화

따라 변화한다. 하지만 모든 idle 상태는 RS 의 매 프레임에서 보장된다. 우리는 이러한 idle 상태를 RS 에 직접 연결되어 있는 MS 에게 데이터를 전송하기 위해 사용하는 기법에 대해서 제안한다.

그림 5 와 같이 relay zone 을 T1, T2 그리고 T3 의 구간으로 나눈다. T1 에서 RS1 은 수신 모드이고 RS2 와 RS3 은 idle 상태이다. 주파수를 2 부분으로 나누고 이것을 RS2 와 RS3 에 할당한다. 이로부터 그림 5 와 같이 6 개의 구간(A~F)에서 MS 들에게 데이터의 전송이 가능하다. 그러므로 각 RS 는 idle 상태에서 간섭 지역의 MS 들에게 데이터를 전송할 수 있기 때문에 전송율을 향상 시킬 수 있다.

##### 4.2 RS 의 수 $k$ 의 효과

RS 의 수가 증가하면 병렬 효과에 의해 IEEE 802.16j 의 성능이 증가하지만 동일 채널(co-channel) 간섭도 같이 증가하기 때문에 반드시 성능이 향상된다고 볼 수 없다. 따라서 RS 의 수인  $k$  의 증가로 인한 성능의 변화에 대해서 살펴본다.

$k$  를 2 부터 8 까지 MR-BS 의 오른쪽을 기준점으로  $360/k$  도 만큼 반 시계방향으로 증가시켰다. 그림 6 과 같이  $k$  가 증가할수록 BS-access 와 RS-access 의 전송율이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 RS, 즉  $k$  가 증가할수록 RS 에 인한 interference 의 증가에 대한 영향보다 RS 의 수가 더 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. RS 로부터 서비스 받는 MS 는  $k$  가 증가할수록 RS 가 서비스 하는 면적은 작아지고 따라서 수신 신호 세기가 증가하여 RS-access 의 link 전송율이 증가하는 것을 볼 수 있고 따라서 IEEE 802.16j 의 성능이 향상될 수 있음을 확인할 수 있다.

#### 5. 성능 평가

기존 IEEE 802.16e 와 IEEE 802.16j 의 성능을 평가하였다. 시뮬레이션은 MATLAB 을 사용하였다.

IEEE 802.16e 는 NLOS 환경에서 BS 는 ART 안테나를 MS 는 BRT 안테나를 사용하였다. 이때 전송율  $R_{BS-MS-NORELAY}$  은 4560.9kbps 이다. 전송하고자 하는 데이터의 양인  $N$  이 100Mbit 일 경우 전송하는데 걸리는 시간은 다음과 같다.

$$T_{NORELAY} = \frac{N}{R_{BS-MS-NORELAY}} = 22.45s$$

IEEE 802.16j 는 그림 1 과 같은 토폴로지에서 성능을 평가하였다. MS 는 MR-BS 또는 RS 들 중에서 수신신호가 가장 큰 단말에서 데이터를 수신한다고 가정하였다. MR-BS 와 RS 들간의 변조 방식은 64QAM 5/6 이다.  $\alpha=0.2$ ,  $\beta=0.1$ ,  $k=4$  로 두고 실험하였다. IEEE 802.16e 와 마찬가지로 전송하고자 하는 데이터의 양인  $N$  이 100Mbit 일 경우 전송하는데 걸리는 시간은 다음과 같다.

$$T_{RELAY} = \frac{N}{R_{BS-MS-RELAY}} = 19.65s$$

IEEE 802.16e 와 IEEE 802.16j 의 성능을 비교하기 위해 우리는 RS Gain 을 (9)와 같이 정의하였다.

$$RS\ Gain = \frac{T_{NORELAY}}{T_{RELAY}} \quad (9)$$

RS Gain 을 이용하여 위의 결과로 성능을 평가하면 약 14%정도 IEEE 802.16j 의 성능이 좋음을 확인할 수 있다.

## 6. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 IEEE 802.16j 네트워크에서 전송율에 영향을 미치는 핵심적인 파라미터를 정의하였고 이러한 소수의 핵심 파라미터를 기반으로 모델링을 하였다. IEEE 802.16j 의 모든 내용을 다루지는 않지만 초기 단계에서 전송율을 예측하는데 유용하다고 생각한다.

본 모델링을 사용하여 전송율 관점에서 IEEE 802.16j 의 성능을 비교하였을 경우 기존 IEEE 802.16e 에 비해 RS gain 기준으로 약 14~18%의 성능 향상이 있음을 확인할 수 있었다.본 연구 결과는 IEEE 802.16m 또는 LTE 와 같은 차세대 네트워크에서의 릴레이 시스템의 성능 평가에도 적용이 가능하다고 생각된다. 추후 좀 더 다양한 파라미터를 사용하고 실제적으로 성능을 예측할 수 있는 모델링에 대한 연구가 필요하다.

표 3 RS 거리에 따른 IEEE 802.16j 의 성능 평가

	RS Location from MR-BS			
	650m	750m	850m	950m
$R_{BS-MS-RELAY}$ (kbps)	2296.9	2284	2420.5	2451.9
$R_{BS-RS}$ (kbps)	8437.5	8437.5	8437.5	8437.5
$R_{RS-MS}$ (kbps)	3687.5	4500	4333.3	4500
$T_{RELAY}$ (s)	19.60	19.65	19.14	19.03
RS Gain	1.15	1.14	1.17	1.18

## 7.참고 문헌

- [1] IEEE 802.16j-06/D3, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Feb. 2008.
- [2] IEEE 802.16Rev2/D0d, "Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems," Aug. 2007
- [3] Christian Hoymann, "Analysis and performance evaluation of the OFDM-based metropolitan area network IEEE 802.16," Selected Papers from the European Wireless 2004 Conference, Vol. 49, Issue 3, pp. 341-363, Oct. 2005.
- [4] P. March, R. Bestak, "WiMAX Performance Evaluation," Networking 2007., ICN '07 Sixth International Conference on, pp.17-17, Apr. 2007.
- [5] WiMAX Forum, "Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation", 2006.
- [6] H. Jia, Z. Zhang, G. Yu, P. Cheng, and S. Li, "On the Performance of IEEE 802.16 OFDMA System Under Different Frequency Reuse and Subcarrier Permutation Patterns," ICC '07, IEEE International Conference on, pp. 5720-5725, Jun. 2007.
- [7] P. Mach and R. Bestak, "WiMAX throughput evaluation of conventional relaying," Telecommunication Systems, vol. 38, no. 1-2, pp. 11-17, Jun. 2008.
- [8] T. Irnich, D.C. Schultz, R. Pabst and P. Wienert, "Capacity of a Relaying Infrastructure for Broadband Radio Coverage of Urban Areas," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. 2003 Fall, Orlando Florida, USA, Oct. 2003, pp. 2886-2890.
- [9] J. Cho and Z. J. Hass, "On the Throughput Enhancement of the Downstream Channel in Cellular Radio Networks Through Multihop Relaying," IEEE Journal On Selected Areas in Communications, Vol. 22, No. 7, pp. 1206-1219, Sept. 2004.
- [10] ETSI and 3GPP, "Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the Universal Mobile Telecommunication System UMTS (UMTS 30.03, 3G RT 101 112)," European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France, Technical Report, Apr. 1998.
- [11] IEEE 802.16j-06/-13r3, "Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric)," Feb. 2007.
- [12] TTAR-0016#, "Evaluation Criteria of Radio Access Technology for 2.3GHz Portable Internet," Aug. 2004.
- [13] W. H. Park and S. Bahk, "Resource management policies for fixed relays in cellular networks," in Proc. IEEE Globecom'06, Nov. 2006.