

IEEE 802.16j MMR 네트워크에서 Non-Transparent 중계모드의 전송률 분석

이주호¹ · 이구연^{2†} · 정충교²

Throughput Analysis of Non-Transparent Mode in IEEE 802.16j Mobile Multi-Hop Relay Networks

Ju Ho Lee · Goo Yeon Lee · Choong Kyo Jeong

ABSTRACT

In IEEE 802.16j MMR protocol, two modes about usage of RS are proposed; one is transparent mode to enhance data throughput and the other is non-transparent mode to extend coverage. In this paper, we focus on non-transparent mode and find that the mode can also improve data throughput. Therefore, we analyze data throughput on various RS topology and their extended coverage area by simulation in IEEE 802.16j non-transparent mode. We also compare the simulation results with the single MR-BS system of which coverage is extended by higher transmission power. From the comparisons of simulation results, we see that higher throughput can be obtained in the proposed non-transparent mode.

Key words : IEEE 802.16j, MMR, Non-transparent, Coverage extension, Throughput improvement

요약

MMR(Mobile Multi-hop Relay) 기술을 적용한 IEEE 802.16j 표준에서는 전송률 향상을 위한 transparent 중계 모드와 커버리지 확장을 위한 non-transparent 중계 모드를 지원한다. 이 두 가지의 중계모드는 모두 RS의 추가 설치를 통하여 구현된다. 그러나 커버리지 확장을 위한 non-transparent 중계 모드는 커버리지 확장의 본래의 목적 외에도, RS의 주파수 중첩 사용을 통해 전송률도 향상시킬 수 있는데, 이러한 non-transparent 중계 모드 상에서의 전송률 향상 정도에 대한 연구는 지금까지 거의 이루어지지 않았다. 이에 본 논문에서는 IEEE 802.16j non-transparent 중계 모드 환경에서 커버리지 확장을 위한 전형적인 모델을 제시하였으며, 제시된 모델에서 설치된 RS의 개수, 위치, 그리고 증가된 커버리지 영역에 따른 전송률 향상 정도를 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 동일 면적 대비 전송률 향상 정도의 비교를 위해서 전송 전력의 확대를 통해 커버리지 반경을 확대한 단일 MR-BS 시스템과 비교하였고, 제시된 모델에서의 전송률이 단일 MR-BS 시스템보다 최대 51.8% 이상 높게 나옴을 확인하였다. 이러한 결과는 커버리지 확대를 위한 non-transparent 중계 모드 적용시에 증가된 사용자의 트래픽 수용 용량을 설계하는데 유용하게 활용될 것이다.

주요어 : IEEE 802.16j, MMR, Non-transparent, 커버리지 확장, 전송률 향상

1. 서론

최근 IEEE에서는 광역 무선 도시권 통신망의 범용적인 이용을 위해 개발한 표준 IEEE 802.16에 MMR(Mobile Multi-hop Relay) 기술을 적용한 IEEE 802.16j 표준을 제정하였다^[1]. MMR 기술은 RS(Relay Station)을 도입하여 전송 속도를 향상시키고 전송 커버리지를 확대하는데 그 목적이 있다. RS는 MR-BS (Multi-hop Relay Base

*본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2011-0013951)

접수일(2012년 1월 30일), 심사일(1차 : 2012년 5월 9일), 게재 확정일(2012년 5월 9일)

¹⁾ 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정

²⁾ 강원대학교 컴퓨터학부 교수

주 저 자 : 이주호

교신저자 : 이구연

E-mail; leegyoon@kangwon.ac.kr

Station)로부터 수신한 신호를 MS(Mobile Station) 혹은 RS에게 전달하고 MS 혹은 RS로부터의 상향 신호를 수신하여 MR-BS에게 전달한다. RS는 MR-BS와 달리 별도의 선로 작업을 필요로 하지 않기에 고정식, 이동식 방식을 모두 지원하고, MR-BS에 비해 비용측면에서 저렴하다는 특성을 가지고 있다. IEEE 802.16j MMR에서는 데이터 전송률을 향상시키기 위한 transparent relay 중계 모드와 커버리지 확장을 통해 음영 지역을 해소하기 위한 non-transparent 중계 모드를 제안하였다. 이 두 가지의 중계모드는 모두 RS의 추가 설치를 통하여 구현된다.

커버리지 확장을 위해 제안된 non-transparent 중계 모드는 커버리지 확장의 본래의 목적 외에도, RS의 주파수 중첩 사용을 통해 전송률 또한 향상시킬 수 있는데, 이러한 non-transparent 중계 모드 상에서의 전송률 향상 정도에 대한 연구는 지금까지 거의 이루어지지 않았다. 커버리지 확장을 위해 제안된 non-transparent 중계 모드는 여러 RS를 설치함으로써 운영되는데, 설치된 RS는 신호 간섭을 야기함과 동시에 주파수 중첩 사용으로 인한 효과를 얻으므로, 네트워크의 데이터 전송률에도 영향을 끼치게 된다. 그러므로 증대되는 커버리지 면적에 따른 시스템 전송률 변화를 분석하여 RS 배치의 효율성을 확인할 필요가 있다.

이에 본 논문에서는 IEEE 802.16j non-transparent 중계 모드 환경에서 커버리지 확장을 위한 전형적인 모델을 제시하였으며, 제시된 모델에서 설치된 RS의 개수, 위치, 그리고 증가된 커버리지 영역에 따른 전송률 향상 정도를 시뮬레이션을 통해 분석한다. 제시된 모델에서는 OFDMA-TDD 기반의 IEEE 802.16j non-transparent 중계 모드를 고려하였으며, 또한 동일 면적 대비 전송률 향상 정도의 비교를 위해서 전송 전력의 확대를 통해 커버리지 반경을 확대한 단일 MR-BS 시스템과 비교한다. 이는 셀 커버리지 반경의 확장은 MR-BS의 전송 전력을 증가시켜서도 달성할 수 있음에 기반한다. 비교 분석 결과 제시된 모델에서의 전송률이 단일 MR-BS 시스템보다 최대 51.8% 이상 높게 나옴을 확인하였다. 이러한 비교 분석 결과를 통해, 망 관리자는 non-transparent 중계 모드를 커버리지 확장을 통해 음영 지역을 해소하는 본래의 목적 이외에도, 인근 셀에 MR-BS의 추가 설치가 필요한 경우 혹은 MR-BS의 셀 반경을 확장시킬 필요가 있는 경우, 최소 요구 QoS(Quality of Service)에 따라 non-transparent 중계 모드를 활용할 수 있다. 또한 이동식과 고정식을 모두 지원하는 RS의 특성을 활용하여, RS를 일시적으로도 배치하여 활용할 수도 있다. 어느 경우이나 이러한 분석결과

는 커버리지 확대를 위해 non-transparent 중계 모드 적용 시에 증가된 사용자의 트래픽 수용 용량을 설계하는데 유용하게 활용될 것이다.

제시된 분석 모델에서의 사용된 MR-BS 및 RS, MS의 전송 속도 모델은 IEEE 802.16에서 제시된 규격을 따랐다. 즉 셀룰러 네트워크에서 MS의 데이터 전송 속도는 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨에 의해 정해지고, MCS 레벨은 각 MS의 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio) 값에 비례한다.

또한 제시된 모델에서는 주파수 중첩할당에 대한 신호 간섭 효과를 포함한다. IEEE 802.16j에서는 효율성을 높이기 위해 주파수 중첩 할당 방식을 지원하는데, 이 방식을 적용할 경우 주파수 자원을 공유하여 사용하기 때문에 신호 간섭이 발생할 수 있다. 간섭 신호는 SINR 값에 영향을 미치게 되므로 MS의 전송 속도에 영향을 미친다. 특히, 낮은 레벨의 MCS를 사용하는 MS들에게 간섭신호의 영향은 송수신 불능(Outage)으로까지 이어질 수 있다. 본 논문에서는 직교 분할 방식에 비해 효율적인 주파수 중첩 할당 방식만을 고려하여 서술한다.

2. 관련연구

IEEE 802.16j 시스템의 transparent relay 모드와 non-transparent 모드 및 RS 배치에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다.

논문 [2]에서는 IEEE 802.16j 시스템의 transparent 중계 모드와 802.16e 시스템의 성능을 비교 분석하였고, 시그널링 부하로 인해 그 성능 향상 폭이 상대적으로 작다는 것을 주장하였다. 또한 박경미 등은 기존의 광중계기(Repeater)의 효율과 transparent 중계 모드 RS 배치에 따른 효율을 비교하였고 광중계기의 경우 RS와 달리 비선형적으로 신호를 증폭하기 때문에 신호 간섭으로 인한 성능 감소가 발생함을 보였다^[3]. Christian Hoymann은 논문 [4]에서 IEEE 802.16 시스템의 MAC(media access control) 계층과 물리 계층에 대해 자세히 설명하였고, 성능 분석에 기초가 되는 이론 및 수식들을 정리하였다. 류현석 등은 논문 [5]에서 릴레이 통신의 기본 개념에 대한 설명과 실제 셀룰러 광대역 이동망에서 릴레이 시스템 운용시 고려해야 할 실용적인 측면들에 대해서 다루고 있다. 논문 [6]에서는 IEEE 802.16j에서 OFDMA 방식이 고려되지 않는 상태에서의 독창적인 하향 링크 대역폭 할당 기법을 제안한 바 있다. Shiang-Jiun Lin 등은 MR-BS 커버리지 내에서 전체 시스템 전송률을 최대화하기 위해

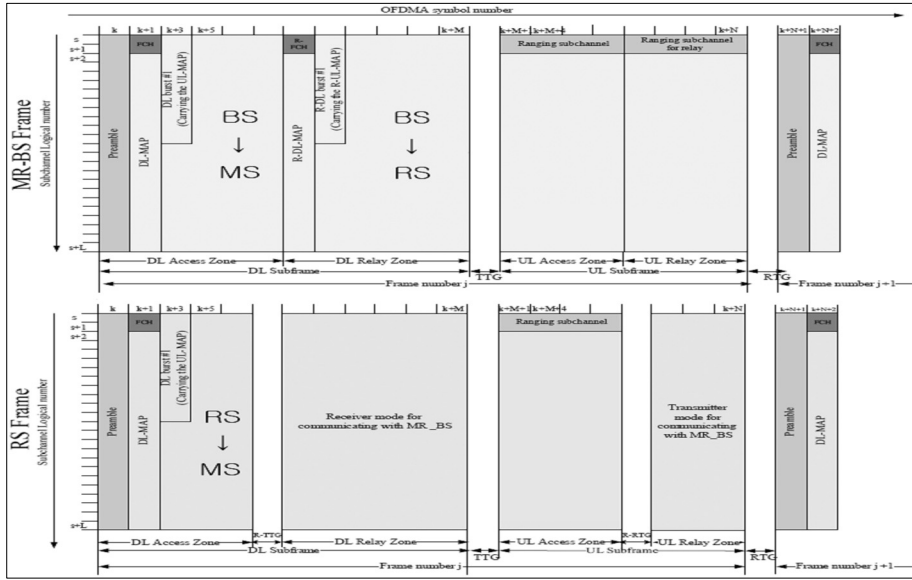


그림 1. Non-transparent 프레임 구조

TDMA/CDMA 방식을 기반으로 한 최적의 RS 위치를 구하기 위한 수식을 제안하였다^[7]. 논문 [8]에서는 일반적으로 MR-BS와 RS 사이의 링크에서 LOS(Line-of-Sight)가 보장되는 경우에, 주로 RS와 MS 사이의 링크에 의해 전송률이 결정된다는 것을 보였다. 논문 [9]에서는 RS수가 증가할수록 다이버시티 효과가 상대적으로 작기 때문에, RS와 최적의 통신경로를 설정함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 기회적 릴레이 선택기법(opportunistic relay selection)을 제안하였다. 논문 [10] 및 [11]에서는 MMR 시스템에 적용될 수 있는 다중 안테나 기술들에 관련한 연구를 AF 프로토콜(AF: Amplify and Forward)을 기반으로 하여 수행하였다.

3. IEEE 802.16j Non-transparent 중계모드에서의 데이터 전송률 분석

3.1 IEEE 802.16j Non-transparent 중계모드

IEEE 802.16j 시스템에서는 다중-홉 중계 시스템을 지원하고 있으며, RS의 동작 방식에 따라 transparent 중계 모드와 non-transparent 중계 모드로 나뉜다. 전송 속도 향상을 위한 transparent 중계 모드에서 MS는 MR-BS로부터 제어 메시지를 수신하고 RS로부터 데이터를 수신한다. 커버리지 확장을 위한 non-transparent 중계 모드에서 MS는 RS로부터 제어 메시지와 데이터를 수신한다.

그림 1에서는 non-transparent 중계 모드에서 사용하는 프레임 구조를 나타낸다. 하나의 프레임은 DL(Down link) 구간과 UL(Up link) 구간으로 분할되어 있고, 각 구간은 MR-BS 혹은 RS가 MS와 직접 통신하는 AZ(Access Zone) 그리고 MR-BS와 RS가 통신하는 RZ(Relay Zone)으로 분할된다. RS는 상위 MR-BS와 인접 RS들 사이에서 서로 다른 프레임 제어 정보를 가지며 프레임의 DL 구간 시작 부분에 RS 고유의 preamble과 MAP 정보를 전송한다. MR-BS↔RS 링크와 RS↔RS 링크들은 동일한 주파수 자원을 공유하여 사용하기 때문에 신호 간섭이 발생할 수 있다.

3.2 분석 토폴로지

본 분석에서는 IEEE 802.16j non-transparent 중계 모드 환경에서 커버리지 확장을 위한 전형적인 모델로서 그림 2의 오른쪽 그림과 같은 토폴로지를 고려한다. 커버리지 확장을 위해서는 설치되는 RS의 커버리지가 MR-BS를 넘어서는 부분을 포함하여야 한다. RS의 개수나 위치는 커버리지를 확대하고자 하는 지역에 따라 결정이 되어야 하지만 본 분석에서는 RS 설치에 의한 전송률 향상 분석에 목적이 있으므로 대칭적으로 RS를 설치하는 것을 가정하였다. 하지만 실제 환경에서는 해당 지역의 특성 및 커버리지 확장 요구 지역의 위치에 따라 RS를 설치할 수 있으며, 어느 경우이나 본 분석에서의 분석 과정을 적

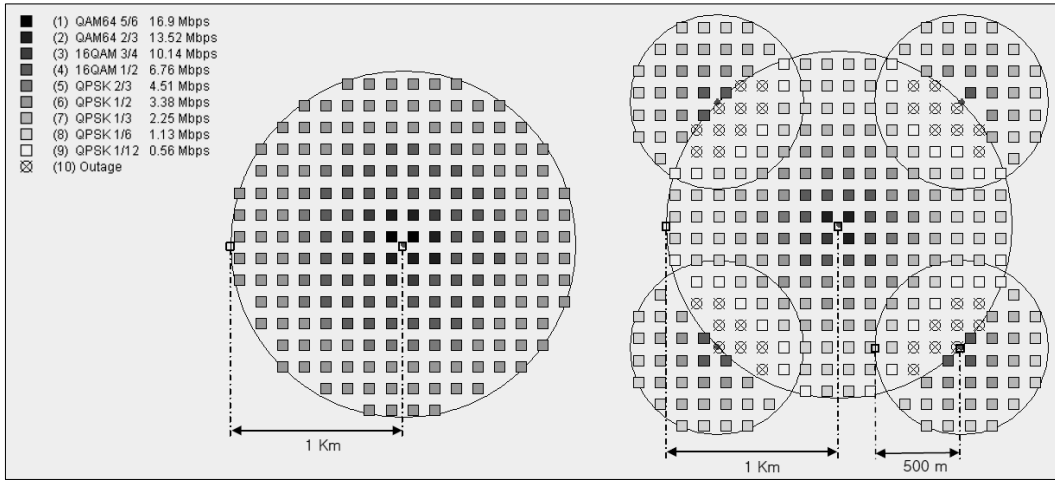


그림 2. RS의 간섭이 MS의 SINR 값에 미치는 영향

용시키면 전송률 향상 정도를 구할 수 있다.

3.3 SINR과 셀 커버리지

OFDMA 방식을 사용하는 IEEE 802.16j 시스템에서 최대 데이터 속도는 다음과 같은 공식으로 구해진다^[4].

최대 데이터 속도 =

$$\begin{aligned} & (\text{Number of data subcarriers per frame}) \cdot \\ & \text{INT}\{(\text{Number of OFDMA symbols per frame})/\text{No}\} \\ & \cdot \text{No} \cdot (\text{Information bits per symbol})/5\text{ms} \quad (1) \end{aligned}$$

AMC 2×3 부반송파 운용방식을 사용하는 시스템에서 No의 값은 3을 갖는다. 또한 표 1은 본 논문에서 사용한 MCS 테이블이다^[12]. MCS 레벨에 따른 최대 데이터 속도는 수식 (1)을 통하여 구하였다.

논문 [4]로부터 우리는 잡음(N) 및 데이터 송수신 사

표 1. MCS 테이블

MCS	DL (Mbps)	Required SINR (dB)
QAM64 5/6	16.90	24.8
QAM64 2/3	13.52	18.45
16QAM 3/4	10.14	15.8
16QAM 1/2	6.76	9.3
QPSK 2/3	4.51	7.95
QPSK 1/2	3.38	4.3
QPSK 1/3	2.25	1.5
QPSK 1/6	1.13	-1.65
QPSK 1/12	0.56	-3.95

이의 경로 손실(LF)을 구할 수 있다.

$$N = \text{System Bandwidth} * \frac{4.0 * p W}{\text{GHz}} \quad (2)$$

$$L_F = 20 * \log \frac{4\pi d}{\lambda} [\text{dB}] \quad (3)$$

마찬가지로 논문 [4]로부터 수신 전력(P_r)과 SNR (Signal to Noise Ratio)을 나타낼 수 있다.

$$P_r [\text{dBm}] = P_t [\text{dBm}] - L_F [\text{dBm}] \quad (4)$$

$$\text{SNR} [\text{dB}] = P_r [\text{dBm}] - N [\text{dBm}] \quad (5)$$

P_r 은 수신 전력을 나타내며, P_t 는 송신 전력을 나타낸다. SNR 수식에서 잡음에 간섭 신호 전력을 더하여 SINR 값을 구할 수 있다.

위의 식으로부터 전송전력에 따른 커버리지 반경 d 를 구하면 다음과 같다.

$$d = \lambda * \frac{10^{\frac{P_t [\text{dBm}] - \text{SNR} [\text{dB}] - N [\text{dBm}]}{20}}}{4\pi} \quad (6)$$

셀 내에서 사용하는 최소 MCS 레벨을 QPSK1/2로 하여 커버리지 반경을 구할 경우, QPSK1/2을 적용하기 위

한 최소 요구 SINR 값을 대입하여 거리를 구한다. 또한 셀 커버리지 반경과 최소 요구 SINR 값을 대입하여 전송 전력을 구할 수 있다.

본 논문의 데이터 전송률 분석에서는 MR-BS 커버리지 반경을 1 km, RS 커버리지 반경을 각각 250 m, 500 m, 750 m, 1000 m로하고 셀 내 최소 MCS 레벨을 QPSK 1/2로 하여 전송 전력을 구하였다.

3.4 간섭 신호와 SINR

MS가 MR-BS로부터 데이터를 수신할 경우 RS들로부터의 수신 전력은 잡음 신호로 작용한다. 또한 특정 RS로부터 수신할 경우에는 MR-BS와 다른 RS로부터의 수신 전력은 잡음 신호로 작용한다. 그림 2에서는 간섭 신호의 영향이 MS의 SINR에 미치는 영향을 나타내었다. 그림 2의 왼쪽 그림은 RS가 없는 경우의 셀 반경 내의 노드들의 MCS 레벨을 나타내고, 오른쪽 그림은 RS가 4개 설치된 경우의 노드들의 MCS 레벨을 나타낸다. 오른쪽 그림에서 보면, 커버리지 면적이 증가하는 반면에, MR-BS의 셀 경계에 위치한 MS들은 더 낮은 MCS 레벨을 갖게 되었고 몇몇 MS들은 서비스 불능 상태가 됨을 알 수 있다. 즉 RS를 배치하였을 때, 간섭 신호의 영향이 주파수 중첩 사용 효과보다 더 큰 경우에는 성능의 하락으로 이어질 수 있게 된다. 이는 이후의 시뮬레이션 실험 결과에서 확인할 수 있다.

3.5 데이터 전송률 분석

표 2는 데이터 전송률 분석에서 사용한 시스템 파라미터들이다. 사용자 선택은 Round-Robin 스케줄링을 적용하여 균등하게 자원을 할당하였다. 지형은 평지 모델을 사용하였고 MS들은 그림 2와 같이 균등하게 배치하였

다. RS와 MR-BS는 안테나 수신 이득(Gain)을 통해 높은 속도(QAM64 5/6)로 통신한다고 가정하였다.

MR-BS의 커버리지 반경(r)은 1000 m로 RS 커버리지 반경(r')은 250 m, 500 m, 750 m, 1000 m로 각각 설정하였다. 또한 MR-BS의 중심과 RS의 중심간의 거리를 변화시키면서 전송률을 측정하였다. RS의 수는 1~6개로 하였다. RS 배치로 인해 커버리지가 확장됨에 따라, 총 커버리지 면적이 증대된다.

동일 면적 대비 전송률 향상 정도의 비교를 위해서 전송 전력의 확대를 통해 커버리지 반경을 확대한 단일 MR-BS 시스템과 비교하였다. 즉 단일 MR-BS의 전송 전력을 증가시켜, 커버리지 반경을 확대시킴으로 면적을 증가시키는 방식을 취하였다. 예를 들어, 1000 m 커버리지 반경 MR-BS에 500 m 커버리지 반경 RS 2개를 MR-BS 커버리지 경계에 배치하였을 때의 총 커버리지는 1225 m 커버리지 반경의 단일 MR-BS의 경우와 같게 되며 이 두 경우의 전송률을 비교하였다.

그림 3~10은 시뮬레이션 분석 결과를 나타낸다. 그림 3 및 4는 RS의 커버리지가 250 m일 경우에, 그림 5 및 6은 RS의 커버리지가 500 m일 경우에, 그림 7 및 8은 RS의 커버리지가 750 m일 경우에, 그림 9 및 10은 RS의 커버리지가 1000 m일 경우에 대한 각각 전송률 및 서비스 불능률을 나타낸다. 그래프의 가로축은 MR-BS와 RS의 중심간 거리를 표기하였고, 그림 3,5,7,9에서 세로축은 동일 면적 대비 전송률의 향상 수치를 나타내며 그림 4,6,8,10에서의 세로축은 서비스 불능률(Outage)을 나타내었다.

위의 결과 그래프로부터, RS가 MR-BS로부터 r 거리에 위치할 때 즉, MR-BS의 커버리지 경계에 위치할 때, 낮은 수치의 전송률과 높은 수치의 서비스 불능률이 나타남을 알 수 있다. 반면에 RS가 MR-BS로부터 $r+r'$ 거리에 위치할 때 즉, MR-BS의 커버리지 경계와 RS 커버리지 경계가 서로 접하는 곳에 위치할 때, 높은 수치의 전송률과 낮은 수치의 서비스 불능률이 나타남을 알 수 있다. 즉 RS가 r 거리에 위치할 때 그리고 $r+r'$ 거리에 위치할 때 서로 반대가 되는 양극화된 결과가 나타나는데, 이는 RS의 개수가 클수록 그리고 RS의 커버리지 반경이 클수록 양극화된 결과는 심해진다. 이러한 결과는, RS가 MR-BS와 인접한 거리에 위치할수록 MR-BS와 RS 그리고 RS와 RS 간에 발생하는 신호 간섭이 크게 나타나고, RS의 개수와 커버리지 반경이 클수록 신호 간섭으로 인한 성능 저하와 주파수 중첩 사용 효과가 분명하게 나타나기 때문이다.

표 2. 시스템 파라미터

다중 접속 방식	OFDMA
Duplexing 방식	TDD
대역폭	8.75 MHz
주파수 대역	2.3 GHz
Frame Duration	5 ms
DL : UL (ratio)	27 : 15
OFDMA symbols for DL data	22
OFDMA symbols for UL data	12
MR-BS 커버리지 반경	1 Km
RS 커버리지 반경	250 m, 500 m, 750 m, 1000 m
안테나	Omni-Directional

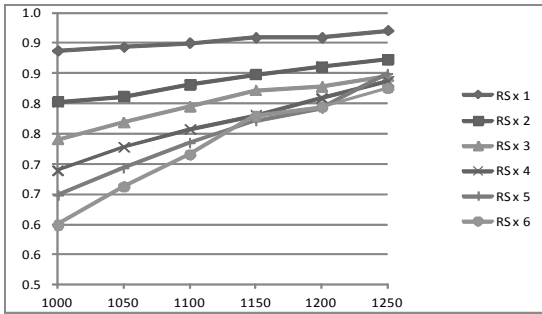


그림 3. RS(250 m 커버리지 반경) 배치에 따른 전송률 비교

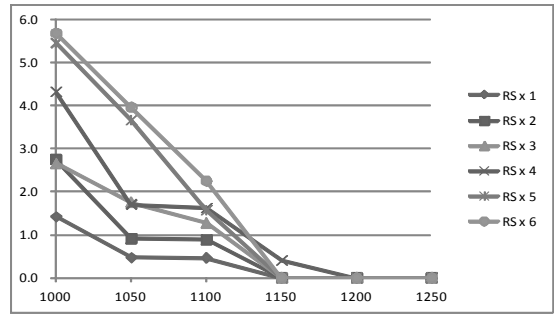


그림 4. RS(250 m 커버리지 반경) 배치에 따른 서비스 불능률

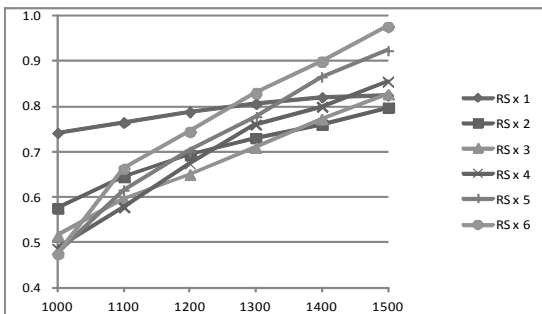


그림 5. RS(500 m 커버리지 반경) 배치에 따른 전송률 비교

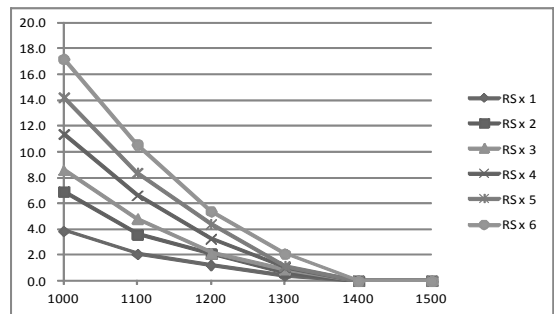


그림 6. RS(500 m 커버리지 반경) 배치에 따른 서비스 불능률

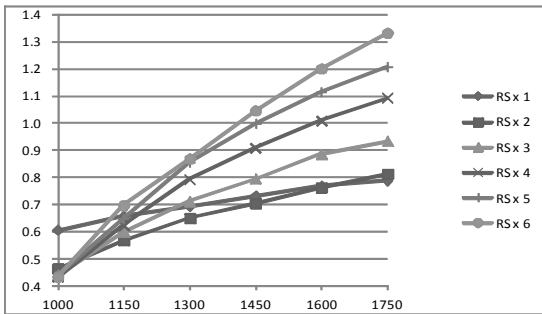


그림 7. RS(750 m 커버리지 반경) 배치에 따른 전송률 비교

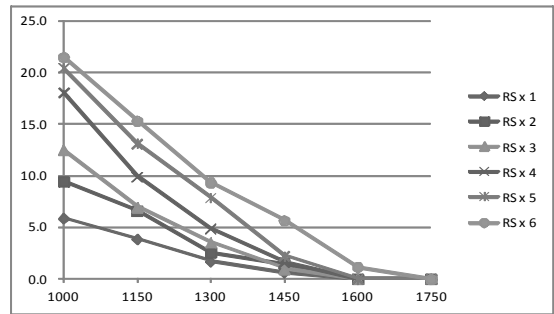


그림 8. RS(750 m 커버리지 반경) 배치에 따른 서비스 불능률

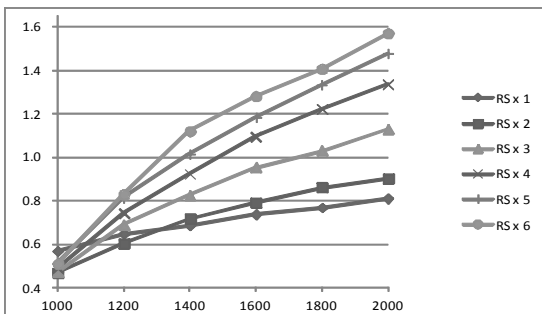


그림 9. RS(1000 m 커버리지 반경) 배치에 따른 전송률 비교

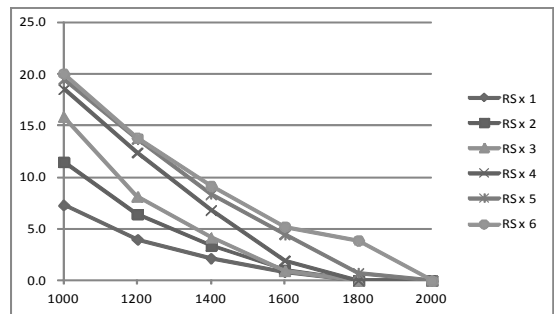


그림 10. RS(1000 m 커버리지 반경) 배치에 따른 서비스 불능률

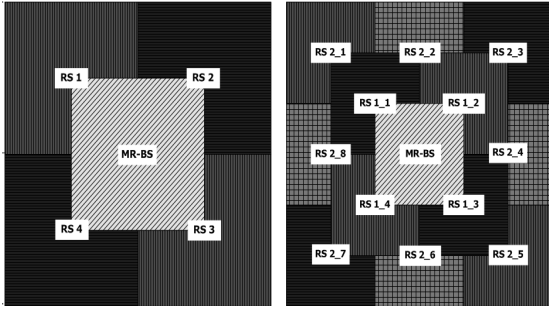


그림 11. RS 배치 구조의 예 : 1-홉 시스템 및 2-홉 시스템

그림 3과 5로부터, RS 커버리지가 250 m 및 500 m의 경우에는 MR-BS와 RS의 거리에 관계없이 전송률 향상 비율이 1보다 작음을 알 수 있다. 이는 RS를 사용하지 않는 경우보다 RS를 사용함으로써 오히려 전송률이 낮아진 것을 의미하며, 신호 간섭의 영향으로 인한 성능 저하의 영향이 주파수 중첩 사용 효과보다 더 큼을 의미한다. 반면 그림 7과 9로부터 RS 커버리지가 750 m 및 1000 m의 경우에는 MR-BS와 RS의 거리에 따라 전송률 향상 비율이 50% 이상까지 증가함을 알 수 있다. 이는 MR-BS와 RS의 거리 및 RS의 개수를 적절하게 선택하면, RS를 사용하지 않는 경우보다 크게 향상된 전송률을 MS에게 제공할 수 있음을 의미한다.

3.6 RS 배치 연구

실제 환경에서의 RS의 개수나 배치 위치는 해당 지역의 특성 및 커버리지 확장 요구 지역의 위치에 따라 정해진다. 그러나 본 논문에서 제시된 알고리즘의 효과를 분석하기 위해서는 다양한 배치 방법에 대한 추가 연구가 진행되어야 한다. 본 논문에서는 1-홉에 대한 RS 배치를 다루었으나 2-홉 이상의 RS의 배치도 연구 대상이다. 이와 같은 연구는 본 논문 연구의 후속 연구로 진행 중이며, 현재 고려중인 배치 구조의 예를 들면 그림 11과 같다.

그림 11에서 MS들은 MR-BS 방향으로 가장 가까운 RS에 접속되도록 RS의 커버리지를 정의하였으며 이를 색깔로서 구분하였다.

4. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.16j MMR 네트워크에서 커버리지 확대를 위해 제안된 non-transparent 모드가 커버리지 확대뿐만 아니라 주파수 중첩 사용으로 인한 전송률

도 향상시킬 수 있다는 사실에 근거하여, 설치된 RS의 수나 개수 및 커버리지 확대에 따른 데이터 전송률 향상 정도를 분석하였다. 또한 이를 같은 커버리지를 갖는 단일 MR-BS 시스템과 비교하였다. 분석 결과 RS가 MR-BS와 인접한 거리에 위치할수록 MR-BS와 RS 그리고 RS와 RS 간에 발생하는 신호 간섭이 크게 나타나고, RS의 개수와 커버리지 반경이 클수록 신호 간섭으로 인한 성능 저하와 주파수 중첩 사용 효과가 분명하게 나타난다는 것을 확인하였다. 시뮬레이션 실험 결과로부터 MR-BS와 RS의 거리 및 RS의 개수를 적절하게 선택하면, 커버리지의 확대 뿐만 아니라, RS를 사용하지 않는 경우보다 크게 향상된 전송률을 MS에게 제공할 수 있음을 알 수 있었으며, 이러한 실험 결과 자료는 커버리지 확대 및 전송률 향상을 위해 효율적으로 RS를 배치하고자 할 때 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. IEEE 802.16j MMR Work group, <http://www.ieee802.org/16/relay>
2. Genc V., Murphy S., Murphy J. "Performance analysis of transparent relays in 802.16j MMR networks", Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks and Workshops, 2008. WiOPT 2008.
3. Kyungmi Park, Hyun S. Ryu, Chung G. Kang, Daeyoung Chang, Seungho Song, Jongguk Ahn, and Jongtae Ihm "The Performance of Relay-Enhanced Cellular OFDMA-TDD Network for Mobile Broadband Wireless Services", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking Volume 2009.
4. Christian Hoymann. "Analysis and performance evaluation of the OFDM-based metropolitan area network IEEE 802.16", Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking. Volume 49 Issue 3, 19 October 2005.
5. 류현석, 이준석, 이용환, 강충구. "셀룰러 광대역 이동 서비스를 위한 릴레이 시스템 기술", SK Telecommunications Review, Vol. 20, No. 3, pp. 445-471. June 2010.
6. L. Erwu, W. Dongyao, L. Jimin, S. Gang, and J. Shan", Performance valuation of Bandwidth Allocation in 802.16j Mobile Multi-hop Relay Networks", VTC2007-Spring, Dublin.
7. Shiang-Jiun Lin, Wern Ho Sheen, I-Kang Fu, and Chia-chi Huang, "Resource scheduling with directional antennas for multi-hop relay networks in Manhattan-like environment", Mobile WiMAX Symposium, 2007.
8. D.B. da Costa and S. Sonia Aissa, "End-to-End Perfor-

- mance of Dual-Hop Semi-Blind Relaying Systems with Partial Relay Selection”, IEEE Transactions on Wireless Communications. Vol. 8, No. 8, Aug. 2009, pp. 4306-4315.
9. A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, “A simple cooperative diversity method based on network path selection”, IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 24, Mar. 2006, pp.659-672.
10. H. Min, S. Lee, K. Kwak, and D. Hong, “Effect of Multiple Antennas at Source on Outage Probability for Amplify-and-Forward Relaying Systems”, IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 8, No. 2, Feb. 2009, pp. 633-37.
11. S. Berger, M. Kuhn, A. Wittneben, T. Unger, and A. Klein, “Recent Advances in Amplify-and-Forward Two-Hop Relaying”, IEEE Commun. Mag., Vol. 47, No. 7, Jul. 2009, pp. 50-56.
12. TTAS.Ko-06.0064/R1, Specification for 2.3 GHz Band Portable Internet Service (WiBro)-Physical Layer, Telecommunications.



이 주 호 (alwaysshiny@gmail.com)

2005 강원대학교 전기전자정보통신공학부 (학사)
2007 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 (석사)
2007.1월~2009.6월 기산텔레콤
2009.7월~2011.6월 건아정보기술
2011.9월~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 (박사과정)

관심분야 : 이동통신, Cloud Computing, VoIP, Embedded Linux



이 구 연 (leegyeon@kangwon.ac.kr)

1986 서울대학교 전자공학과(학사)
1988 KAIST 전기및전자공학과(석사)
1993 KAIST 전기및전자공학과(박사)
1993~1996 디지콤정보통신연구소
1996 삼성전자
1997~현재 강원대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : 이동통신, 네트워크보안, 초고속통신망, ad-hoc 네트워크



정 충 교 (ckjeong@kangwon.ac.kr)

1984 KAIST 전기및전자공학과 석사
1989 KAIST 전기및전자공학과 박사
1989~1995 LG정보통신(주) 책임연구원
1995~현재 강원대학교 컴퓨터학부 교수

주관심분야 : 인터넷, 통신프로토콜, 통신망성능분석