

IEEE 802.16j MMR 네트워크에서 Non-transparent 모드의 커버리지 확대

Coverage Extension of Non-transparent Mode in IEEE 802.16j Mobile Multi-hop Relay Networks

이 주 호* 이 구 연** 정 충 교***
Lee, Ju-Ho Lee, Goo-Yeon Jeong, Choong-Kyo

Abstract

In IEEE 802.16j standard document, 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 also affects data throughput. We analyze data throughput on various RS topology and their extended coverage area in non-transparent mode. From the analysis, we see that higher throughput can be obtained when MR-BS and RS are located distantly.

키워드 : IEEE 802.16j, MMR, Non-transparent, 커버리지 확장
Keywords : IEEE 802.16j, MMR, Non-transparent, Coverage extension

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[1] 표준을 제정하였다. MMR 기술은 RS(Relay Station)을 도입하여 전송 속도를 향상시키고 전송 커버리지를 확대하는데 그 목적이 있다. RS는 MR-BS(Multi-hop Relay Base Station)로부터 수신한 신호를 MS(Mobile Station) 혹은 RS에

게 전달하고 MS 혹은 RS로부터의 상향 신호를 수신하여 MR-BS에게 전달한다. IEEE 802.16j MMR에서는 음영지역을 해소하여 데이터 전송률을 향상시키기 위한 Transparent Relay 모드와 커버리지 확장을 위한 Non-transparent 중계 모드를 제안하였다.

커버리지 확장을 위해 제안된 Non-transparent 중계 모드는 여러 RS를 설치함으로써 운영되는데, 이렇게 설치된 RS는 네트워크의 데이터 전송률에도 영향을 끼치게 된다. 그러므로 이러한 과정을 통해 증대되는 커버리지 면적에 따른 시스템 전송률 변화를 분석하여 RS 배치의 효율성을 확인할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 OFDMA-TDD 기반의 IEEE 802.16j 시스템 중 Non-transparent 중계 모드에서 RS의 배치 개수, 위치, 커버리지 반경을 달리하여 RS 배치에 따른 데이터 전송률의 변화를 분석한다.

셀룰러 네트워크에서 MS의 데이터 전송 속도는 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨에 의해 정해지고, MCS 레벨은 각 MS의 SINR(Signal

* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정
** 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수, 교신저자
*** 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

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

to Interference plus Noise Ratio) 값에 비례한다. 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 송·수신 불능(Outage)으로까지 이어질 수 있다. 본 논문에서는 직교 분할 방식에 비해 효율적인 주파수 중첩 할당 방식만을 고려하여 서술한다.

2. 배경 연구

IEEE 802.16j 시스템 Transparent Relay 모드와 Non-transparent중계 모드 및 RS 배치에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다.

[2]에서는 IEEE 802.16j 시스템 Transparent 중계 모드와 802.16e 시스템의 성능을 비교 분석하였고, 시그널링 부하로 인해 그 성능 향상 폭이 상대적으로 작다는 것을 증명하였다. 또한 박경미 등은 기존의 광중계기(Repeater)의 효율과 Transparent 중계 모드 RS 배치에 따른 효율을 비교하였고 광중계기의 경우 RS와 달리 비선택적으로 신호를 증폭하기 때문에 신호 간섭으로 인한 성능 감소가 발생하는 것을 증명하였다[3]. Christian Hoymann 은 [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 [5]에서 릴레이 통신의 기본 개념에 대한 설명과 실제 셀룰러 광대역 이동망에서 릴레이 시스템 운용시 고려해야 할 실용적인 측면들에 대해서 다루고 있다. [6]에서는 IEEE 802.16j 참신한 하향 링크 대역폭 할당 기법을 제안하였으나, OFDMA 방식이 고려되지 않았다. Shiang-Jiun Lin등은 MR-BS 커버리지 내에서 전체 시스템 전송률을 최대화하기 위한 최적의 RS 위치를 구하기 위한 수식을 제안하였으나, TDMA/CDMA 방식을 그 기반으로 하였다[7]. [8]에서는 일반적으로 MR-BS<->RS 링크에서 LOS(Line-of-Sight)가 보장되는 경우에, 주로 RS<->MS 링크에 의해 전송률이 결정된다는 것을 증명하였다.

그러나 커버리지 증대를 위해 설치된 RS가 네트워크의 데이터 전송률에 미치는 영향을 분석하는 연구는 아직 수행되고 있지 않다. 그러므로 본 논문에서는 802.16j Non-transparent 중계모드에서의 RS 와 데이터의 전송률과의 관계를 분석하고자 한다.

3. 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 Relay 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 Access Zone 그리고 MR-BS와 RS가 통신하는 Relay Zone으로 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.

4. IEEE 802.16j non-transparent 중계모드에서의 데이터 전송 수율 분석

4.1 SINR과 셀 커버리지

OFDMA 방식을 사용하는 IEEE 802.16j 시스템에서 최대 데이터 속도는 다음과 같은 공식으로 구해진다.

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

AMC 2x3 부반송파 운용방식을 사용하는 시스템에서 No의 값은 3을 갖는다. 또한 표 1은 본 논문에서 사용한 MCS 테이블[9]이다. MCS 레벨에 따른 최대 데이터 속도는 수식 (1)을 통하여 구하였다. [4]로부터 우리는 잡음(N) 및 데이터 송·수신 사이의 경로 손실(LF)을 구할 수 있다.

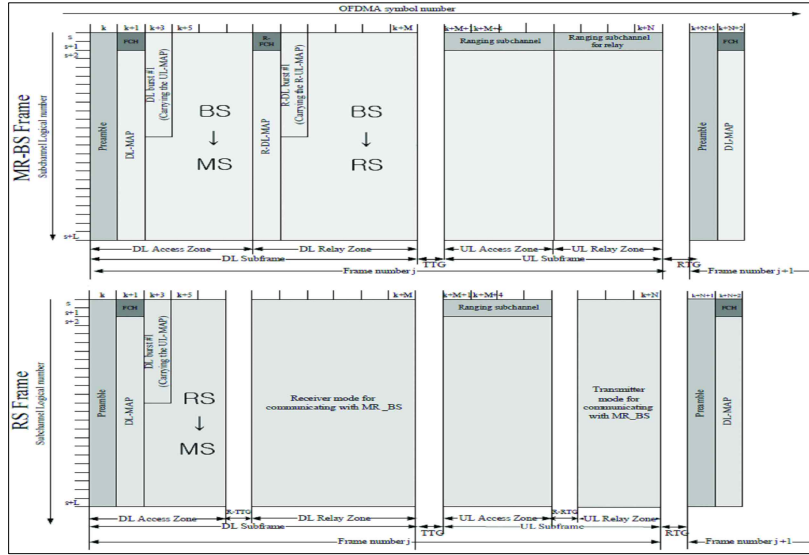


그림 1. Non-transparent 프레임 구조

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

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

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

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

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

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

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.

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

셀 내에서 사용하는 최소 MCS 레벨을 QPSK1/2로 하여 커버리지 반경을 구할 경우, QPSK1/2을 적용하기 위한 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 1Km, RS 커버리지 반경을 각각 250m, 500m로 하고 셀 내 최소 MCS 레벨을 QPSK 1/2로 하여 전송 전력을 구하였다.

4.2 간섭 신호와 SINR

MS가 MR-BS로부터 데이터를 수신할 경우 RS 들로부터의 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. 커버리지가 증가하는 반면에, MR-BS의 셀 경계에 위치한 MS들은 더 낮은 MCS 레벨을 갖게 되었고 몇몇 MS들은

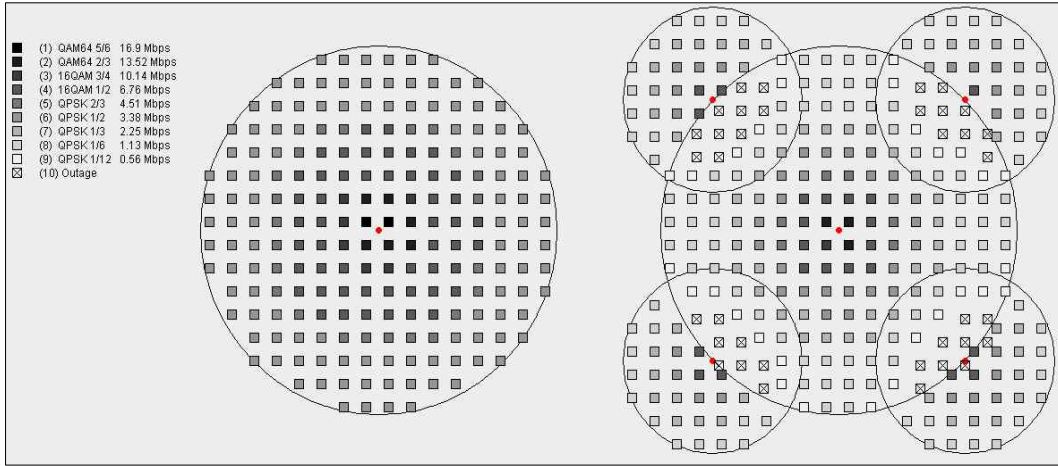


그림 2. RS의 간섭이 MS의 SINR 값에 미치는 영향

서비스 불능 상태가 되었다.

4.3 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 2과 같이 균등하게 배치하였다. RS와 MR-BS는 안테나 수신 이득(Gain)을 통해 높은 속도(QAM64 5/6)로 통신한다고 가정하였다.

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	500m, 250m
안테나	Omnidirectional

RS 커버리지 반경은 250m와 500m로 각각 설정하였고, RS를 MR-BS 셀 경계에서부터 거리를 증가시켜 위치하였다. RS의 수는 0~5개로 하였다.

그래프의 가로축은 MR-BS와 RS간 거리를 표기하였고, 세로축은 RS 배치에 따른 효율성을 나타낸다. RS 배치에 따른 효율성 E는 다음과 같이 정의한다.

$$RS \text{ 배치에 따른 효율성}(E) = (T'/T) * (S'/S)$$

위에서 S'는 증가된 커버리지 면적을 나타내고 S는 기존의 커버리지 면적을 나타낸다. T'는 S' 커버리지 면적에서 측정된 전송률을 나타내고 T는 S 커버리지 면적에서 측정된 전송률을 나타낸다. 예를 들어 면적이 2배 증가하였을 때 전송률이 1/2로 감소한 경우 E는 1이다. 1보다 클수록 효율이 높다고 볼 수 있다.

그림 3과 그림 4는 각각 500m 커버리지 반경의 RS, 250m 커버리지 반경의 RS를 배치하여 실험한 결과이다. MR-BS 커버리지 반경을 r, RS 커버리지 반경을 r'라고 했을 때 두 결과 모두 r+r' 거리에 RS를 배치하였을 때 r 거리에 배치되었을 때보다 큰 효율을 보인다.

RS의 개수가 클수록 잡음 신호의 세기가 커지지만, 주파수 중첩 할당 방식을 통해 높은 효율을 달성할 수 있다. 또한 RS의 커버리지가 클수록 증대되는 면적이 커버리지 반경에 비해 비례하기 때문에 더 높은 효율을 보인다. r 거리에 RS를 배치하였을 경우 간섭 신호로 인해 서비스 불능 상태에 이르는 MS들을 나타낸다. 아래의 그림 5는 r 거리에 RS를 배치하였을 때 서비스 불능의 비율을 나타낸다.

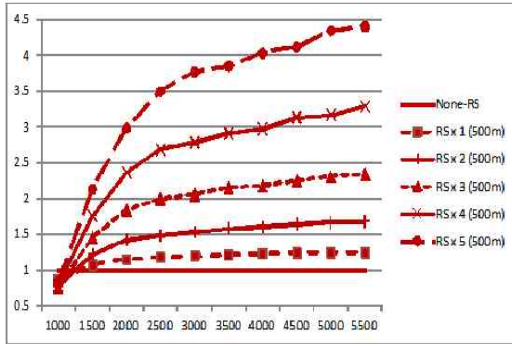


그림 3. 500m 커버리지 RS

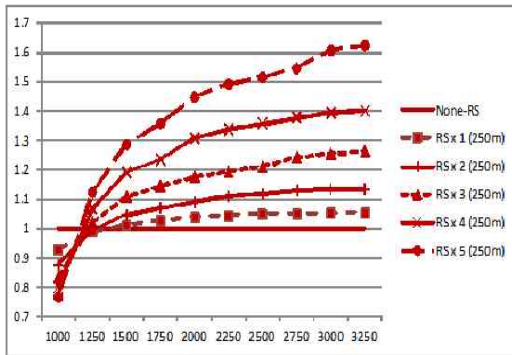


그림 4. 250m 커버리지 RS

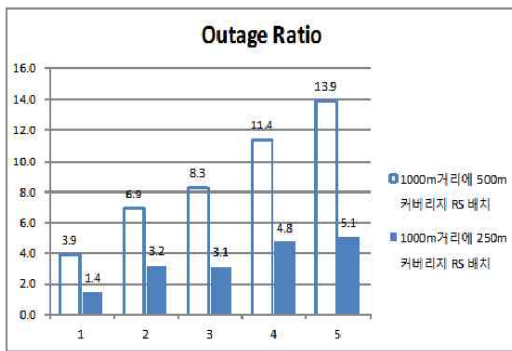


그림 5. 서비스 불능 비율

위의 분석 결과로부터 우리는 RS가 MR-BS로부터 먼 곳에 위치할수록 높은 성능을 나타낼 수 있다. 하지만 이 경우에 RS는 다른 인접 셀과 또 다른 간섭을 야기할 수 있다. 그러므로 IEEE 802.16j 네트워크를 설계할 때 RS 개수, 위치, 커버리지 환경 외에도 인접 셀 환경과 지형이 함께 고려되어야 한다.

5. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.16j MMR 네트워크에서 Non-transparent 모드의 커버리지 영역 확대에 따른 데이터 전송률을 분석하였다. MR-BS와 먼 거리에 RS를 배치하였을 때 간섭 신호의 세기가 줄어들기 때문에 높은 효율을 얻을 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 RS의 수를 늘릴수록 더 많은 간섭 신호가 발생할 수 있으나 주파수 자원을 중첩해서 사용하는 효과를 얻을 수 있고, 증대되는 커버리지 영역은 RS 커버리지 환경에 제곱 비례한다는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [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, Seungcho 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, 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, 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 Aïssa, "End-to-End Performance of Dual-Hop Semi-Blind Relaying Systems with Partial Relay Selection", *IEEE Transactions on Wireless Communications*. Vol.8, No.8, pp.4306-4315, Aug. 2009.
- [9] TTAS.Ko-06.0064/R1, Specification for 2.3 GHz Band Portable Internet Service (WiBro) -Physical Layer, Telecommunications.