

IEEE802.16j 기반의 2-홉 셀룰러 중계시스템에서 하향링크 접근영역과 중계영역에 대한 최적 무선자원 할당방법 연구

A Study on the Optimal Wireless Resource Allocation for the Access and Relay Zones of Downlink in a 2-hop Cellular Relay System based on IEEE802.16j

이 인 환* 김 세 진** 조 성 호***
In Hwan Lee Se-Jin Kim Sung Ho Cho

요 약

본 논문에서는 OFDMA-TDD 구조를 갖는 IEEE802.16j 기반의 2-홉 셀룰러 중계시스템에서 non-transparent 방식의 무선 중계기를 이용하여 서비스 영역을 확장할 때, 시스템 전송률 및 하향링크 접근영역(Access zone)과 중계영역(Relay zone)에 대한 최적 무선자원 할당방법을 연구한다. 분석을 위해 먼저 non-transparent 방식의 MAC (Media Access Control) 프레임 구조를 알아보고, 접근영역과 중계영역에서 단말과 중계기 등의 네트워크 구성요소들에 대한 간섭요소들을 조사한다. 모의실험을 통하여 기지국과 중계기의 거리에 따라 확장되는 2-홉 셀 커버리지 크기와 전송률을 분석하고, 분석된 결과를 이용하여 하향링크 접근영역과 중계영역에 대한 최적 무선자원 할당량을 제시한다.

ABSTRACT

In this paper, we evaluate the system throughput and the method of optimal wireless resource allocation for the access zone (AZ) and relay zone (RZ) in downlink when the cell coverage is extended using the non-transparent Relay Station (RS) in a 2-hop cellular relay system based on IEEE802.16j, which uses the OFDMA-TDD structure. For the analyses, we first introduce the MAC (Media Access Control) frame structure in the non-transparent mode, then we investigate the interfering elements in both AZ and RZ for the network devices such as the Mobile Station (MS) and RS. Through computer simulation, we analyze the cell coverage extension and system throughput in terms of the distance between Base Station (BS) and RS, then we present the amount of the optimal allocation of wireless resource for the AZ and RZ in downlink using our results.

☞ KeyWords : IEEE802.16j, OFDMA-TDD, Multi-hop Relay, Coverage Extension, Resource Allocation IEEE 802.16j, OFDMA-TDD, 다중홉 중계기, 커버리지 확장, 자원할당

1. 서 론

최근 직교주파수분할 다중접속방식 (Orthogonal Frequency Division Multiple Access: OFDMA) 을

이용하는 도시권 통신망 (Metropolitan Area Network: MAN) 기술인 IEEE802.16 표준과 모바일 와이맥스 시스템 개발을 위해 다양한 연구가 진행되었다 [1-2]. 그러나, 2.3GHz 의 고주파수 대역을 사용하는 와이브로 시스템은 전형적인 도심지의 비가시선 전파환경에서 상대적으로 취약하여, 기존의 이동통신시스템에 비교해 무선 커버리지가 축소될 수 있을 뿐만 아니라 동일한 주파수를 사용함으로써 발생하는 주변 셀과의 간섭문제는 해결해야 될 중요한 문제로 남아있다.

모바일 와이맥스 시스템에서 이와 같은 단점을 보완하며 성능향상 및 커버리지 확장을 위한 연

* 정 회 원 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정
한국전자통신연구원(ETRI) 팀장/책임연구원
ihlee@etri.re.kr

** 정 회 원 : 고려대학교 전산학과 박사과정
kimsejin@korea.ac.kr

*** 정 회 원 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 교수
dragon@hangyang.ac.kr

[2009/11/23 투고 - 2009/12/07 심사(2010/03/05 2차 - 2010/03/26 3차) - 2010/05/04 심사완료]

구로 다중홉 중계기(Multi-hop relay station)를 도입하는 IEEE802.16j 표준이 진행되어 2009년 6월에 완성되었다 [3]. IEEE802.16j 시스템은 단말에게 싱글홉 서비스를 제공하지만, IEEE802.16j 시스템은 시스템 성능 향상을 목적으로 하는 Transparent 방식과 셀 커버리지 확장을 목표로 하는 Non-transparent 방식을 위해 프레임 구조를 변형시켜 싱글홉(Single-hop) 또는 2-홉 이상의 다중홉 서비스를 제공한다. 이로 인해 기지국과 중계기 사이에 다양한 간섭이 발생하게 되고, 무선자원을 단말에게 서비스하기 위한 영역과 중계기에 중계를 위한 영역으로 분할하게 된다. 따라서, 시스템 성능을 최대로 향상시킬 수 있는 자원할당 방법에 대한 연구가 필요하다.

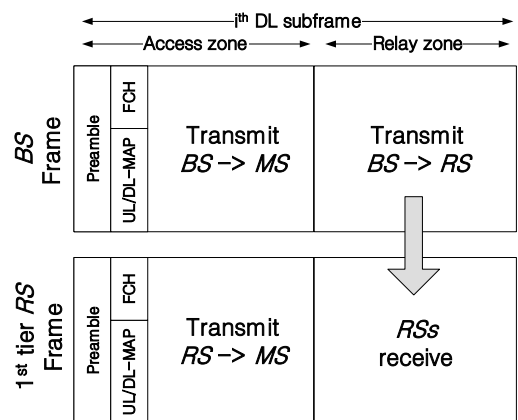
IEEE802.16j 기반의 모바일 와이맥스 시스템에서 다중홉 중계기를 도입하여 시스템 성능 향상 및 커버리지 확장을 위한 연구가 최근 다수 연구되었다. [8]은 Transparent 방식에서 주파수 재사용과 다양한 경로선택 시나리오에 대한 최대 시스템 용량을 분석하였다. 하지만, 동일 셀에 위치한 중계기 사이의 간섭만 고려하고 이웃한 셀의 기지국과 중계기로부터 오는 간섭은 고려하지 않았으며, 각 프레임의 접근영역(Access zone: AZ)과 중계영역(Relay zone: RZ)에 필요한 최적 자원 할당량에 대한 구체적인 분석 결과를 제시하지 않았다. [9]는 Non-transparent 방식에서 저자들이 제안하는 2가지 자원 할당방법에 대한 신호 대 간섭비 (Signal to Noise Ratio: SINR)와 각 방법에 대한 최대 시스템 용량을 분석하였다. 그러나 AZ에 대한 자원할당 방법만 고려하고 RZ에 대한 자원은 고려하지 않았다.

본 논문에서는 OFDMA-TDD 구조를 갖는 IEEE802.16j 기반의 2-홉 셀룰러 중계시스템에서 non-transparent 방식의 무선 중계기를 이용하여 서비스 영역을 확장할 때, 하향링크 (Downlink: DL) 접근영역과 중계영역에 대한 최적 무선자원 할당 방법을 연구한다. 분석을 위해 먼저 non-transparent 방식의 MAC 프레임 구조를 알아

보고, 접근영역과 중계영역에서 단말과 중계기 등의 네트워크 구성요소들에 대한 간섭요소들을 조사한다. 모의실험을 통하여 기지국과 중계기의 거리에 따라 확장되는 2-홉 셀 커버리지 크기와 전송률을 분석하고, 분석된 결과를 이용하여 하향링크 접근영역과 중계영역에 대한 최적 무선자원 할당량을 제시한다.

2. OFDMA-TDD 기반 IEEE802.16j 시스템의 MAC 프레임 구조

IEEE802.16e 시스템에서 TTR 방식의 MAC 프레임은 RTG (Receive/transmit transition gap)를 경계로 나누어지며, 각 프레임은 TTG (Transmit/receive transition gap)를 경계로 다시 하향링크와 상향링크로 나누어진다. IEEE802.16j 표준의 TTR 프레임구조는 셀 커버리지 외곽지역의 전송률 향상을 위한 Transparent 방식과 셀 커버리지 확장 및 음영지역 해소를 위한 Non-transparent 방식의 두 가지 프레임 구조를 제시하고 있으며, 그 구조는 상향과 하향링크 자원을 접근영역과 중계영역으로 다시 분할한다 [10]. 그림 1은 Non-transparent 방식의 프레임 구조를 나타낸다.



(그림 1) IEEE802.16j 시스템의 Non-transparent 하향링크 프레임 구조

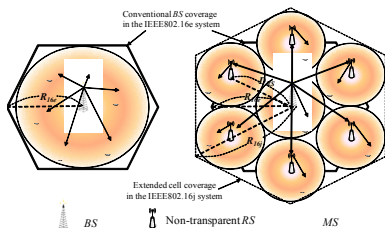
Non-transparent 방식은 중계기가 기지국으로부터

터 수신한 정보를 이용하여 프리앰블과 상·하향 링크 맵을 생성하여 자신이 서비스 중인 단말에게 전송하기 때문에 커버리지 확장과 음영지역 해소를 주요 목적으로 한다. 트래픽 밀도가 낮은 지역은 사용되지 않는 무선자원을 중계영역으로 할당하여 셀 커버리지 외곽지역에 배치된 중계기에게 데이터를 중계하고, 접근영역을 이용하여 단말에게 서비스를 제공함으로써 확장된 셀 커버리지에 서비스를 제공하게 된다. 기지국과 중계기는 하향링크 접근영역을 이용하여 자신이 서비스를 제공하는 단말들에게 동시에 데이터를 전송하기 때문에 간섭의 영향이 크다. 그리고 기지국은 하향링크 중계영역을 이용하여 자신의 중계기들에게 중계를 위한 데이터를 전송하며, 중계기는 수신한 데이터를 자신이 서비스하는 단말들에게 다음 프레임의 하향링크 접근영역을 이용하여 중계한다.

3. 시스템 모델

3.1 시스템 토폴로지

IEEE802.16e 시스템은 일반적인 셀룰러 시스템과 같은 구조로서 모델의 단순성을 위해 그림2-(a)와 같이 육각셀 모양을 가정한다. IEEE802.16j 시스템은 그림2-(b)와 같이 하나의 기지국 주변에 6개의 non-transparent 중계기가 배치되는 2-홉 토폴로지를 가정한다. 기지국은 육각셀의 중앙에 위치하며, 각 중계기 커버리지 중앙에 non-transparent 중계기가 위치한다.



(a) IEEE 802.16e 시스템 (b) IEEE 802.16j 시스템
(그림 2) IEEE802.16e와 IEEE802.16j 시스템의 토폴로지와 서비스 방식
IEEE802.16e 시스템의 기지국 반경(R16e)과

IEEE802.16j 시스템에서 기지국과 중계기 사이의 거리(D_{RS})가 주어지면, IEEE802.16e와 16j 시스템의 셀 커버리지, C_{16e} 와 C_{16j} ,는 식(1)과 (2)로 계산된다.

$$C_{16e} = 6 \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} R_{16e}^2 \quad (1)$$

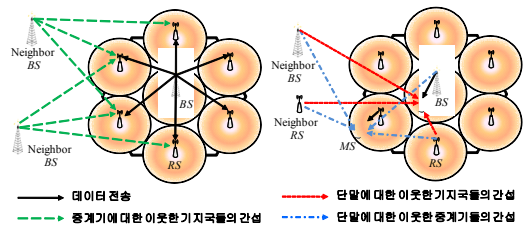
$$C_{16j} = 6 \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} R_{16j}^2 \quad (2)$$

여기에서, R_{16j} 는 중계기를 이용하여 확장된 2-홉 시스템의 셀 토폴로지 반경을 나타내며,

$$R_{16j} = \frac{D_{RS}}{\sqrt{3}} \cdot (1 + \sqrt{3}) \quad \text{로 계산된다.}$$

3.2 신호간섭 모델

신호간섭 모델은 기지국의 전송률 분석을 위한 중요한 요소 중의 하나이며, IEEE802.16j 시스템에서는 다양한 간섭요소를 고려하여 분석해야 한다. 그림3은 기지국과 중계기가 주파수 재사용 계수(Frequency reuse factor, FRF) 1을 사용할 때, 2-홉 토폴로지에서도 데이터를 수신하는 네트워크 구성요소에 따라 하향링크에 대한 간섭요소를 나타낸다. 중계기에 대한 간섭은 기지국이 중계영역 자원을 이용하여 중계기로 데이터를 전송할 때 발생하며, 간섭요소는 이웃한 셀들의 모든 기지국이다. 단말에 대한 간섭은 기지국과 중계기가 접근영역을 이용하여 단말에게 데이터를 전송할 때 발생하며, 간섭요소는 단말이 서비스 받는 기지국 또는 중계기 이외에 모든 기지국과 중계기이다.



(그림 3) 중계기에 대한 간섭요소(좌)와 단말에 대한 간섭요소(우) 분석

단말 (or 중계기)이 기지국 (or 중계기) α 로부터 받는 신호의 세기(S_α) 에 대한 간섭량은 식 (6)과 같다.

$$\text{SINR} = \frac{S_\alpha}{N_0 + I_{intra}^{zone} + I_{inter}^{zone}} \quad (6)$$

여기에서, N_0 는 백색잡음이고, I_{intra}^{zone} 와 I_{inter}^{zone} 는 동일한 셀에서 받는 간섭량 (Intra-cell interference)과 주변 셀에서 받는 간섭량 (Inter-cell interference)을 나타낸다. 단말과 중계기에 대한 간섭량이 다르기 때문에 윗 침자인 ZONE에 AZ와 RZ를 표현하여 접근영역과 중계영역에 대한 신호 대 간섭비를 분석한다. 따라서, 주어진 전체 서비스 영역에 M 개의 2-홉 시스템이 존재하고 각 시스템에는 N 개의 중계기가 존재할 때, 접근영역에 대한 I_{intra}^{AZ} 와 I_{inter}^{AZ} 는 각각 식(7)과 (8)로 계산된다.

$$I_{intra}^{AZ} = \begin{cases} \sum_{n=1}^N \psi_{RS_{i,n}}, & \text{if } \alpha = BS_i \\ \psi_{BS_i} + \sum_{n=1, n \neq j}^N \psi_{RS_{i,n}}, & \text{if } \alpha = RS_{i,j} \end{cases} \quad (7)$$

$$I_{inter}^{AZ} = \sum_{m=1, m \neq i}^M \psi_{BS_m} + \sum_{m=1, m \neq i}^M \sum_{n=1}^N \psi_{RS_{m,n}}, \text{ if } \alpha = BS_i \text{ or } RS_{i,j} \quad (8)$$

BS_i 는 i 번째($1 \leq i \leq M$) 셀의 기지국으로부터, $RS_{i,j}$ 는 i 번째 셀의 j 번째($1 \leq j \leq N$) 중계기로부터 각각 단말이 서비스 받는 것을 의미한다. 단말이 i 번째 셀에 위치한 기지국으로부터 서비스 받을 때 $\psi_{RS_{i,n}}$ 은 i 번째 셀에 위치한 n 번째 중계기를 나타내며, N 개의 중계기로부터 받는 간섭신호 세

기의 합으로 I_{intra}^{AZ} 가 계산된다. 하지만, 단말이 i 번째 셀에 위치한 하나의 중계기로부터 서비스 받을 때는 i 번째 셀의 기지국으로부터 받는 간섭신호의 세기인 ψ_{BS_i} 와 $N-1$ 개의 이웃한 중계기로부터 받는 간섭신호 세기의 합으로 I_{intra}^{AZ} 가 계산된다. i 번째 셀의 기지국 또는 중계기로부터 서비스 받을 때, I_{inter}^{AZ} 는 $M-1$ 개의 이웃한 셀에 위치한 기지국과 각 셀에 위치한 N 개의 중계기들로부터 받는 간섭신호 세기의 합으로 계산된다.

반면, 중계영역에 대한 I_{intra}^{RZ} 와 I_{inter}^{RZ} 는 식(9)와 (10)으로 계산된다.

$$I_{intra}^{RZ} = 0, \quad \text{if } \alpha = BS_i \text{ or } RS_{i,j} \quad (9)$$

$$I_{inter}^{RZ} = \sum_{m=1, m \neq i}^M \psi_{BS_m}, \quad \text{if } \alpha = BS_i \text{ or } RS_{i,j} \quad (10)$$

i 번째 셀에 위치한 기지국으로부터 중계기가 서비스 받을 때, 중계기가 받는 I_{intra}^{RZ} 는 없다. 하지만, I_{inter}^{RZ} 는 $M-1$ 개의 이웃한 셀에 위치한 기지국들로부터 받는 간섭신호 세기의 합으로 계산된다.

3.3 자원 할당 방법과 및 전송률

각 셀에서 접근영역과 중계영역에 할당되는 자원량은 D_{RS} 와 트래픽 밀도(ρ)에 따라 다른 결과를 갖는다. 따라서, 접근영역의 부반송파 수(ξ_{AZ}^i)와 중계영역의 부반송파 수(ξ_{RZ}^i)를 D_{RS} 와 ρ 를 변화시키며 분석한다. FRF 1 을 사용하는 접근영역에서 기지국이 요구하는 부반송파 수($\xi_{AZ_BS}^i$)와 각 중계기가 요구하는 부반송파의 수($\xi_{AZ_RS}^i$)를 식 (11)과 같이 계산한다.

$$\xi_{AZ_BS}^i = \rho \cdot \sum_{k=1}^K \frac{A_{BS,k}^i}{R_{AZ,k}}, \quad \xi_{AZ_RS}^i = \rho \cdot \sum_{k=1}^K \frac{A_{RS,n,k}^i}{R_{AZ,k}}, \quad (11)$$

여기에서, K 는 시스템에서 제공하는 변조와 채널코딩방식(Modulation and Coding Scheme: MCS) 단계의 수를 나타내며, $A_{BS,k}^i$ 와 $A_{RS,n,k}^i$ 는 i 번째 셀의 기지국과 i 번째 셀에 위치한 n 번째 중계기가 갖는 k 번째 MCS 단계의 서비스 면적을 나타낸다. 그리고 $R_{AZ,k}$ 는 접근영역에서 k 번째 MCS 단계의 bit 당 전송률(bits/sub-carrier)을 나타낸다.

ξ_{AZ}^i 는 기지국과 각 중계기들이 요구하는 부반송파의 수 중에서 큰 값으로 결정되기 때문에 식 (12)와 같이 표현된다.

$$\xi_{AZ}^i = \max(\xi_{AZ_BS}^i, \xi_{AZ_RS}^i). \quad (12)$$

기지국에서 중계기로 데이터를 전송할 때 요구하는 자원량인 ξ_{RZ}^i 는 식 (13)과 같이 표현된다.

$$\xi_{RZ}^i = \frac{\rho \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{A_{RS,n,k}^i}{R_{AZ,k}}}{R_{RZ}}. \quad (13)$$

여기에서, R_{RZ} 는 중계링크에 대한 MCS 단계의 bit 당 전송률을 의미한다.

따라서, 주어진 ρ 를 서비스하기 위해 i 번째 셀이 사용하는 부반송파의 수(ξ_r^i)는 식 (14)와 같다.

$$\xi_r^i = \xi_{AZ}^i + \xi_{RZ}^i, \quad \xi_r^i \leq \xi_t^i, \quad (14)$$

최종적으로, 주어진 ρ 에 대한 i 번째 셀의 시스템 용량(T_c^i)은 식 (15)와 같이 표현된다.

$$T_c^i = \rho \cdot \left(\sum_{k=1}^K A_{BS,k}^i + \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K A_{RS,n,k}^i \right). \quad (15)$$

4. 성능 분석 및 결과

본 장에서는 D_{RS} 의 변화에 따른 2-홉 시스템의 확장되는 셀 커버리지를 알아보고, Matlab을 이용한 Monte Carlo 시뮬레이션으로 접근영역과 중계영역에 대한 SINR 분포를 분석한다. 그리고 확장된 셀 커버리지에서 트래픽 밀도에 따른 시스템 용량을 분석하며, 마지막으로 하향링크의 접근영역과 중계영역에서 요구하는 최적 무선자원량을 알아본다. 실험은 37개의 동일한 2-홉 토폴로지를 고려하며, 중앙에 배치된 1개 셀을 중심으로 6개, 12개, 18개의 셀을 1st tier, 2nd tier, 3rd tier로 배치한다. 그리고 분석은 중앙에 위치한 셀에 대한 커버리지와 SINR을 분석한다. 분석 방법은 셀 커버리지에 단말들이 위치할 수 있는 다수의 점을 분포시키고, 각 점에서 기지국과 중계기로부터 오는 SINR을 분석하여 높은 SINR값을 갖는 기지국 또는 중계기의 커버리지를 결정한다. 기지국의 반경은 1km이고 D_{RS} 는 800m~1200m에서 분석하며, 트래픽은 균등하게 분포하는 것을 가정한다. 기지국은 2.3GHz 대역에서 10MHz의 주파수를 사용하고, 데이터 전송을 위한 하향링크와 상향링크의 심볼 수는 2:1 비율로 한다. 따라서, 하향링크 데이터 전송을 위한 부반송파 수는 심볼당 데이터 부반송파 수(768) x 프레임당 하향링크 심볼수(24) x 초당 프레임 수(200)로 계산하며, 3.6864 Msub-carrier/sec이다. 부반송파의 할당 방법은 각 MCS 단계가 서비스하는 면적에서 발생하는 트래픽 양에 전송률(bit/sub-carrier)로 나누어 계산하고, 기지국과 중계기의 전송파워는 각각 20W와 5W로 한다. 채널모델은 IEEE802.16에서 제시하는 모델을 사용하며, 접근영역에서 기지국과 중계기는 Type-B를 사용하고 중계영역에서 기지국은 Type-D를 사용한다. 단, 분석의 단순화를 위해

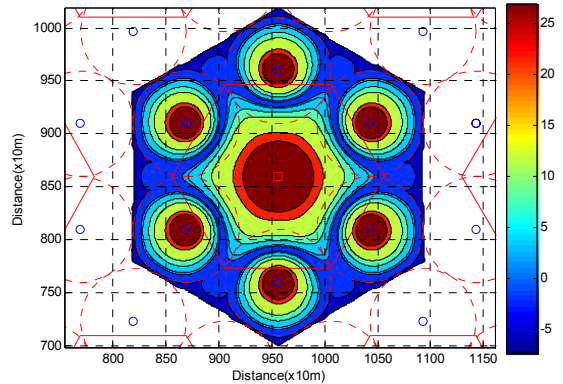
Shadow fading은 고려하지 않으며, 기지국과 중계기의 서비스 커버리지는 단말의 위치에 따른 서비스 스테이션 결정을 의미하며, 서비스 스테이션 결정은 기지국과 중계기 중에서 SINR 이 높은 쪽에서 서비스를 제공받는 것으로 한다. 본 연구에서 사용된 주요 시스템 파라미터는 표 3과 같으며, 채널상태에 따른 MCS 단계는 비트 오류율을 10^{-3} 이하[12]로 한다(표4 참고).

(표 3) 시스템 파라미터

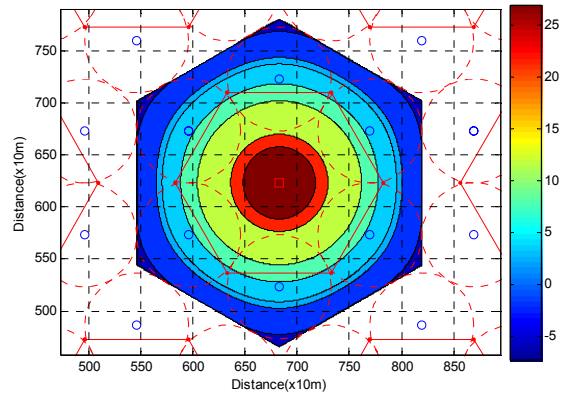
| 파라미터 | 값 |
|---------------------|-----------------------------|
| Cell layout | 37 개의 2-홉 토폴로지 |
| R_{ice} | 1km |
| 셀 당 중계기의 수 | 6 |
| D_{RS} | 800m ~ 1200m |
| Duplex mode | TDD |
| frequency | 2.3 GHz |
| Bandwidth | 10 MHz |
| 주파수 재사용 계수 | 1 |
| 프레임 길이 | 5ms |
| DL: UL | 2:1 |
| 하향링크 데이터 심볼 수 / 프레임 | 24 |
| 부반송파 수 / 심볼 | 768 |
| 프레임 수 / 초 | 200 |
| 안테나 종류 | 전방향 안테나 |
| 안테나 높이 | 기지국:30m 중계기:10m 단말:2m |
| 전송 파워 | 기지국:20W, 중계기:5W |
| 백색잡음 세기 | -174 dBm/Hz |

(표 4) Modulation and coding scheme

| Modulation | Coding rate | Bits/subcarrier | SINR(dB) |
|------------|-------------|-----------------|-------------|
| QPSK | 1/2 (6x) | 1 | -7.5 < SINR |
| | 1/2 (4x) | 1 | -5.5 < SINR |
| | 1/2 (2x) | 1 | -2.0 < SINR |
| | 1/2 (1x) | 1 | 3.7 < SINR |
| | 3/4 | 3/2 | 5.5 < SINR |
| 16 QAM | 1/2 | 2 | 7.7 < SINR |
| | 3/4 | 3 | 11.6 < SINR |
| 64 QAM | 2/3 | 4 | 21.7 < SINR |
| | 5/6 | 5 | 27.2 < SINR |



(그림 4) 접근영역에 대한 기하학적 SINR 분포

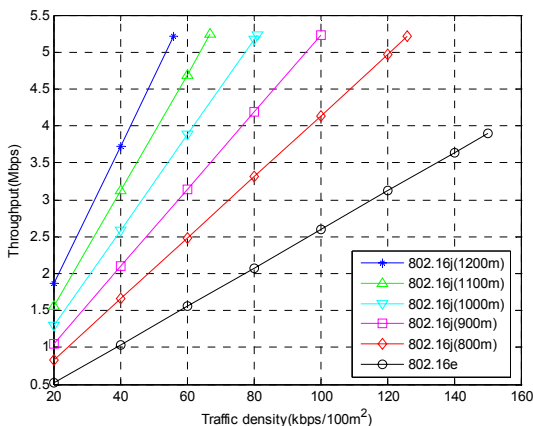


(그림 5) 중계영역의 기하학적 SINR 분포

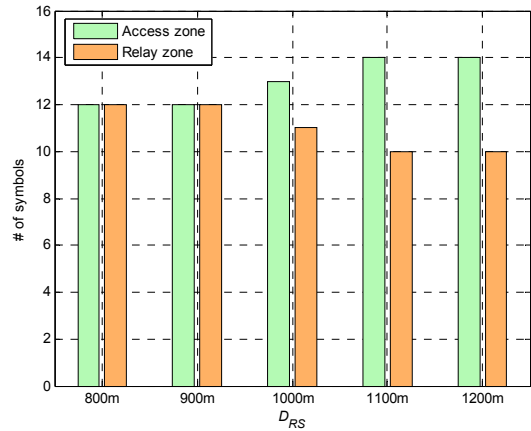
그림4는 IEEE802.16j 기반의 2-홉 시스템(D_{RS} =

1km)에 대한 접근영역의 SINR 분석 결과를 기하학적으로 표현한 것이다. Non-transparent 중계기를 이용하여 확장된 IEEE802.16j 시스템의 셀 커버리지와 간섭영향에 대한 결과이며, 안쪽의 붉은 선으로 구성된 육각형은 전형적인 셀룰러 시스템의 기지국 커버리지를 의미한다. 셀의 중앙에 위치한 작고 붉은 사각형은 기지국의 위치를, 중계기 커버리지의 중앙에 위치한 작고 푸른 원은 중계기의 위치를 나타낸다. 중계기 주변의 점선으로 구성된 붉은 원은 SINR을 고려하지 않았을 때 예상되는 가상적인 중계기의 커버리지를 나타낸다.

그림5는 IEEE802.16j 시스템의 D_{RS} 가 1km일 때, 중계영역에 대한 기하학적 SINR 분포를 나타낸다. 기지국이 중계영역의 자원을 이용하여 데이터를 전송할 때, 간섭요소는 이웃한 기지국들이기 때문에 SINR이 접근영역의 결과와 비교해 넓게 퍼짐을 알 수 있다. 중계영역에서도 D_{RS} 를 800~1200m로 변화시키며 MCS 수준의 변화를 분석해 보았지만 동일한 결과를 보였으며, 이유는 D_{RS} 가 변함에 따라 간섭량도 일정한 비율로 증가 또는 감소하기 때문이다. 따라서, 기지국이 중계기로 전송하는 데이터는 D_{RS} 의 변화에 관계없이 QPSK 3/4의 MCS 단계를 이용한다.



(그림 6) 시스템 용량 분석



(그림 7) D_{RS} 의 변화에 따른 하향링크 최적 자원 할당량

그림6은 ρ 의 변화에 따른 IEEE802.16j 시스템의 확장 가능한 셀 커버리지와 전송률을 분석하여 IEEE802.16e 시스템과 비교한 결과이다. D_{RS} 가 증가하면 셀 커버리지는 증가하지만, ρ 와는 반비례 관계임을 알 수 있다. 즉, ρ 가 증가할수록 서비스를 제공하는 시스템 커버리지는 감소한다. D_{RS} 의 변화에 따라 시스템의 최대 전송률이 다른 이유는 접근영역과 중계영역에 자원을 할당할 때, 총 24개 심볼의 하향링크 자원을 심볼단위로 할당하기 때문이다. 특정한 ρ 의 값에서 중계영역에 할당된 심볼이 모두 사용되었을 때는 접근영역의 자원이 낭비될 수 있으며, 반대로 접근영역에 할당된 심볼이 모두 사용되었을 때는 중계영역의 자원이 낭비될 수 있기 때문이다. IEEE802.16e 시스템은 하향링크 자원을 모두 접근영역에서 사용하여 ρ 가 105kbps/100m²이상의 경우에도 서비스가 가능하지만, 커버리지가 작고 채널상태가 좋지 않은 이유로 전송률은 낮다.

그림7은 IEEE802.16j 시스템에서 D_{RS} 의 변화에 따라 하향링크 프레임 당 접근영역과 중계영역의 무선자원 할당량을 분석한 결과이다. 기지국의 커버리지가 중계기의 커버리지 보다 넓기 때문에 접근영역에서 요구하는 자원량은 기지국의 전송률에 따라 결정된다. 따라서, 접근영역에 자원이 할당된 후, 6개의 중계기로 데이터를 중계하기 위

해 중계영역 자원을 할당하는 방법으로 무선자원 할당량을 분석하였다. 결론적으로, D_{RS} 가 800m와 900m일 경우에는 총 24개의 하향링크 심볼을 접근영역과 중계영역에 각각 12개씩 할당한다. 하지만, D_{RS} 가 1000m 일 경우는 기지국 커버리지가 증가하여 접근영역과 중계영역에 13개와 11개를 할당해야 하며, D_{RS} 가 1100m 이상일 경우에는 접근영역과 중계영역에 14개와 10개를 할당해야 한다.

5. 결론

본 논문은 IEEE802.16j 시스템에서 Non-transparent 프레임 구조를 이용할 때, 기지국과 중계기의 거리에 따른 확장 가능한 셀 커버리지, 접근영역과 중계영역에 대한 자원할당량, 서비스 가능한 트래픽 밀도, 그리고 최대 시스템 용량을 비교·분석하였다 (표 5). 먼저 접근영역과 중계영역에 대한 SINR 을 분석한 후, 최대 시스템 용량을 위한 접근영역과 중계영역에 자원 할당방법을 제시하였다. IEEE802.16e 기반의 전형적인 셀룰러 시스템과 비교한 분석결과를 통해 IEEE802.16j 시스템의 확장되는 셀 커버리지 및 시스템 성능의 향상되는 정도를 알 수 있었다.

감사의글

본 연구는 국토해양부 지능형국토정보 기술혁신사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] IEEE Standard 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Feb. 2006.
- [2] WiMAX Forum. Available: <http://www.wimaxforum.org>.
- [3] IEEE 802.16m-07/002r8, "IEEE 802.16m System Requirements," January 2009.
- [4] IEEE802.16j TG, "Guideline documents: Usage Models," IEEE802.16j-06/015.
- [5] IEEE802.16 TGj PAR. <http://wirelessman.org/relay>.
- [6] IEEE802.16 TGm PAR. <http://wirelessman.org/tgm>.
- [7] V.Genc, S. Murphy, Y. Yu, and J. Murphy, "IEEE 802.16j Relay-based Wireless Access Networks: An Overview", IEEE Wireless Communications, Vol.15, No.5, pp.56-63, 2008.
- [8] W.-H. Park, S. Bahk, "Resource Management Policies for Fixed Relays in Cellular Networks", Proc. IEEE Globecom, December 2006.
- [9] L.Guan, J. Zhang, J. Li, G. Liu, P. Zhang, "Spectral Efficient Frequency Allocation scheme in Multihop Cellular Network", Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, pp.1446-1450, Oct. 2007.
- [10] IEEE Draft Standard P802.16j/D7 Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Multihop Relay

(표 5) D_{RS} 의 변화에 따른 2-홉 셀 커버리지

| D_{RS} | 800m | 900 m | 1000 m | 1100 m | 1200 m |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| 셀 커버리지 | 4.13 km ² | 5.23 km ² | 6.46 km ² | 7.82 km ² | 9.3 km ² |
| AZ와 RZ 자원할당량 (심볼 수) | 12:12 | 12:12 | 13:11 | 14:10 | 14:10 |
| 서비스 가능한 ρ (per 100m ²) | 124 kbps | 100 kbps | 81 kbps | 65 kbps | 56 kbps |
| 최대 시스템 용량 | 약 5.2 Mbps | | | | |

Specification, Octo. 2006.

- [11] IEEE 802.16j-06/013r3, "Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric)", 2007.
- [12] D. Yoon; K. Cho; J. Lee, "Bit Error Probability of M-ary Quadrature Amplitude Modulation," IEEE VTS-Fall, Vol.5, pp2422-27, Sept. 2000.

- [13] 윤석호, 김세진, 서시오, 류승완, 이형우, 조충호, "IEEE802.16j 기반의 2-홉 셀룰러 중계시스템에서 최적 무선자원 할당방법 연구," 한국통신학회 동계학술대회 2010, 2010년 2월.

● 저 자 소 개 ●



이 인 환 (In Hwan Lee)

1985년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사)
1990년 한양대학교 전기공학과 졸업(석사)
2007년 - 현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (박사과정)
1990년-1993년 (주)동아전기 연구소 연구원
1993년 - 현재 한국전자통신연구원(ETRI) 팀장/책임연구원
관심분야 : 무선통신, RFID, WSN Application 등
e-mail : ihlee@etri.re.kr



김 세 진 (Se-Jin Kim)

2004년 조선대학교 전산학과 졸업(학사)
2006년 고려대학교 전산학과 졸업(석사)
2006년 - 현재 고려대학교 전산학과 (박사과정)
관심분야 : 이동통신 시스템 설계 및 성능분석, 차세대 무선 MAC 프로토콜, 간섭제어, 멀티미디어 스케줄링, 멀티홉 시스템 등
e-mail : kimsejin@korea.ac.kr



조 성 호 (Sung Ho Cho)

1982년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
1984년 University of Iowa 컴퓨터공학과 졸업(석사)
1989년 University of Utah 컴퓨터공학과 졸업(박사)
1989년 - 1992년 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
1992년 - 현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 교수
관심분야 : 무선통신, RFID, WSN, DSP/FPGA Application
e-mail : dragon@hangyang.ac.kr