

지향성 안테나를 사용하는 IEEE802.16j 멀티 홉 릴레이 시스템의 용량 분석

준회원 김 승 연*, 유 창 진**, 정회원 김 세 진**,
 종신회원 류 승 완***°, 조 충 호**, 정회원 이 형 우*

Capacity Analysis of IEEE802.16j MMR System Using Directional Antenna

Seung-Yeon Kim*, Chang-Jin Yoo** *Associate Members*,
 Se-Jin Kim** *Regular Member*, Seung-Wan Ryu***°, Choong-Ho Cho** *Lifelong Members*
 Hyong-Woo Lee* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 본 논문에서는 BS(Base Station, 기지국)와 RS(Relay Station, 중계기)가 지향성 안테나를 갖는 multi-tier 기반의 NBTC (Narrow-Beam Trisector Cell)와 WBTC (Wide-Beam Trisector Cell) 구조를 제안하고, 두 시스템에서 동일 채널 간섭 (Co-channel interference)에 의한 용량을 두 개의 채널 모델을 적용하여 분석하였다. 분석을 통해 2nd tier로 구성된 한 클러스터에서 발생하는 총 용량은 LOS(Line of Sight)의 존재 여부에 따라 NBTC 구조 셀과 WBTC 구조 셀의 총 용량이 달라짐을 알 수 있었다.

본 논문의 결과는 향후 차세대 이동통신 및 와이브로 시스템에서 간섭을 고려한 멀티 홉 RS 도입 시에 참고할 만한 가이드라인을 제시할 수 있을 것이다.

Key Words : IEEE 802.16j, Multi-hop relays, Directional Antenna, Co-channel Interference, Capacity.

ABSTRACT

In this paper, we propose the structures of the NBTC (Narrow-Beam Trisector Cell) and the WBTC(Wide-Beam Trisector Cell) in which directional antennas both at the base station and at the relay station are used. We analyze and compare total capacity of the both systems taking the co-channel interference into consideration for two channel models. Through analysis, we find the effect of LOS (Lind of Sight) path to the total capacity of NBTC structure and that of WBTC structure. Our work may be useful as a guideline to control the interference for the next generation mobile communication and WiBro systems using multi-hop relays.

I. 서 론

최근 MMR 시스템을 통해 송신단과 수신단 사

이에 분산적으로 존재하는 한 개 또는 다수 개의 RS를 이용하여 전송 신뢰도를 높이거나 다중화 이득을 확보함으로써 대역 효율성을 극대화하기 위한

※ 본 연구는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-521-D00315)

* 고려대학교 전자및정보공학과 B-ISDN 연구실 (kimsy8011, hwlee@korea.ac.kr)

** 고려대학교 컴퓨터정보학과 BCN 연구실 (kimsejin, sharpwoo, chcho@korea.ac.kr)

*** 중앙대학교 정보시스템학과 (rush2384@cau.ac.kr) (°:교신저자)

논문번호 : KICS2008-09-382, 접수일자 : 2008년 9월 1일, 최종논문접수일자 : 2008년 12월 16일

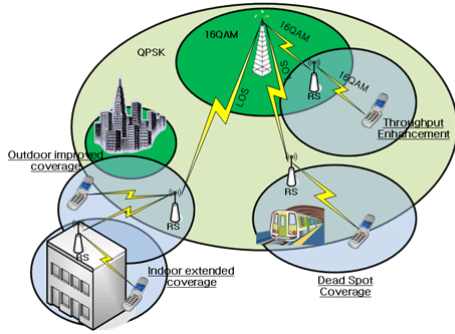


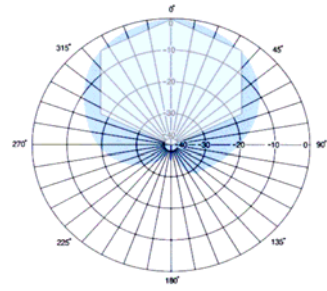
그림 1. IEEE 802.16j 개념도

연구가 진행되고 있다^{[1][2]}. 다중 홉 릴레이를 갖는 이동통신망의 경우에는 BS와 MS (Mobile Station) 간에 직접 통신도 가능하지만, 셀 경계에 있거나 전파 음영지역에 있는 MS들은 Fixed RS (Fixed Relay Station; FRS) 의 중계를 거쳐 BS와 통신하게 된다. 이와 같은 FRS의 중계 기능을 통해 서비스 불능 지역 또는 셀 커버리지를 확대하거나 수율을 향상시킬 수 있다^{[3][4][5][6]}.

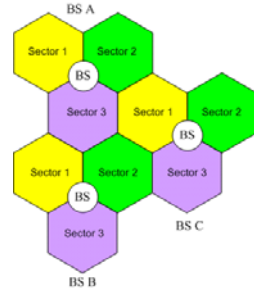
그림 1은 IEEE 802.16j의 개념을 보여준다. RS에 의한 멀티 홉 중계 전송은 셀 경계와 coverage hole에서의 신호 품질을 향상시켜 coverage를 확장시키는데 효과적인 기술이다. 반면, 기존의 단일 홉 시스템과 달리 멀티 홉 시스템에서는 각 홉의 전송을 위해서 각각의 자원을 할당하여 다음 홉으로 중계를 해주는 방식이기 때문에 채널 재사용에 따른 인접 셀 간의 동일 채널 간섭이 발생하여 중계 및 서비스하는 신호의 품질을 떨어뜨릴 수 있다. 그런데 기존의 무선 네트워크에서 쓰는 전방향 안테나와 달리 지향성 안테나를 사용할 경우 같은 전력을 한 곳으로 집중해서 송출할 수 있는 안테나 특성으로 여러 이득을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

따라서 본 논문에서는 RS를 도입한 IEEE802.16j 기반의 와이브로 시스템에서 BS와 RS에 지향성 안테나를 사용함으로써 얻는 성능 향상과 멀티 홉 시스템에서 채널 재사용에 따라 발생하는 동일 채널 간섭에 대한 영향을 분석한다. 특히, 와이브로 MMR망에서 BS와 RS에 사용될 지향성 안테나로 논의되고 있는 NBTC와 WBTC의 안테나 특성에 따른 지향성 안테나 배치와 동일 채널 간섭에 따른 간섭의 양과 셀 용량에 대한 영향에 대해 분석한다.

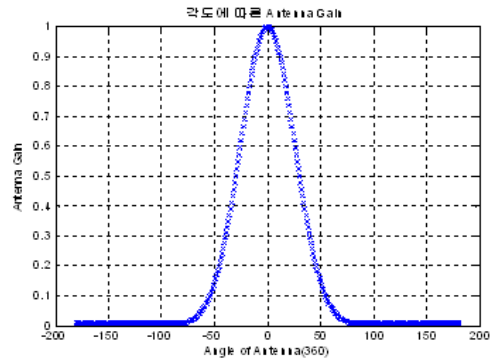
본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구로 3섹터 시스템에 사용되는 지향성 안테나인



(a) Narrow beam (the hexagon radiation pattern)



(b) Coverage area of a base station



(c) Narrow beam pattern

그림 2. NBTC 구조

NBTC, WBTC 안테나 특성에 대해 설명한다. III장에서는 지향성 안테나의 도입에 따른 안테나 배치를 제안하고, IV장과 V장에서는 각각 안테나 배치에 따른 성능 분석과 그 결과를 보인다. 마지막으로 VI장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2.1 NBTC

NBTC의 구조는 그림 2-(a), (c)와 같이 전파의

방사 패턴 폭이 좁은 60°의 지향성 안테나 3개로 하나의 BS를 서비스한다. 하나의 지향성 안테나에서 방사되는 전파는 그림 2-(a)와 같이 셀 안에서 육각형의 모양을 가지며, 그림 2-(b)와 같이 하나의 BS에서 세 개의 육각형 모양을 이룬다.

2.2 WBTC

WBTC의 구조는 그림 3-(a), (c)와 같이 전파의 방사 패턴 폭이 넓은 120°의 지향성 안테나 3개로 하나의 BS를 서비스한다. 1개의 지향성 안테나에서 방사되는 전파는 그림 3-(a)와 같이 마름모 형태를 이루며, 3개의 지향성 안테나로 구성된 하나의 BS는 그림 3-(b)와 같이 육각형의 모양을 이룬다. WBTC의 경우 셀 섹터 양쪽 끝 경계 부분에는 빔의 방사 패턴이 닿지 않아 완벽하게 서비스하지 못하는 단점이 있다.

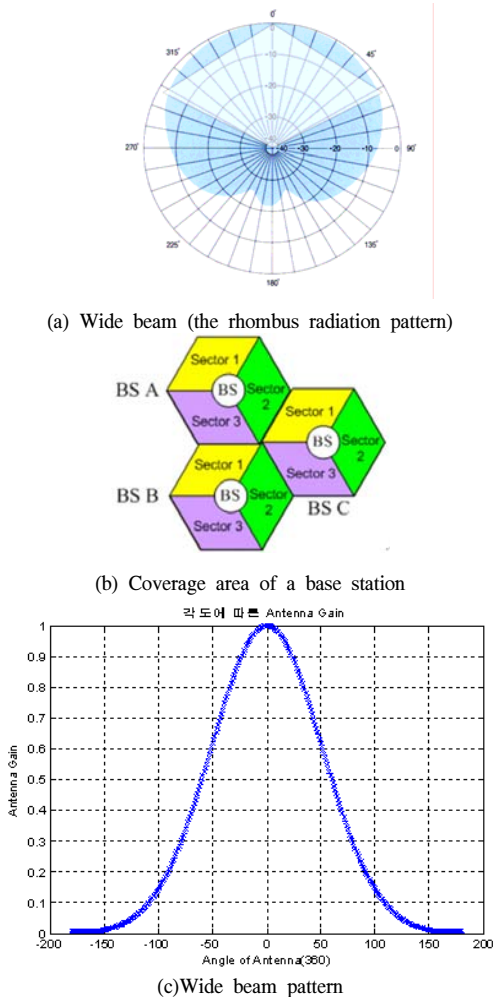


그림 3. WBTC 구조

III. RS셀을 도입한 3섹터 환경에서 지향성 안테나 배치

본 장에서는 앞 장에서 살펴보았던 NBTC와 WBTC 방식에서 전파의 방사 패턴을 고려하여 중계기를 도입한 멀티 홉 구조를 제안하였다. 시스템 분석의 편의성을 위해 주파수 재사용을 3으로 하고, 최대 멀티 홉 RS셀은 2nd tier까지만 고려하였다

3.1 멀티 홉 기반의 NBTC 구조

그림 4는 NBTC 환경에서 RS셀을 도입 할 경우를 나타낸다. 1st tier에 위치한 RS 셀은 BS 셀에서 전송한 데이터를 수신하여 자신의 커버리지 안에 있는 단말에게 서비스를 제공하고 2nd tier에 위치하는 RS에 데이터를 중계해준다. 또한 인접 셀 간의 간섭을 피하고 효율성을 높이기 위해 BS 셀뿐만 아니라 RS 셀에도 지향성 안테나인 Narrow-beam 형태의 안테나를 도입하였다.

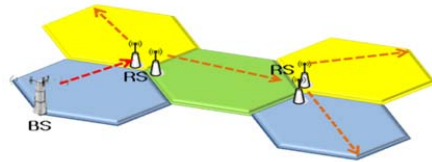


그림 4. NBTC를 사용하는 RS 셀을 도입한 구조의 예

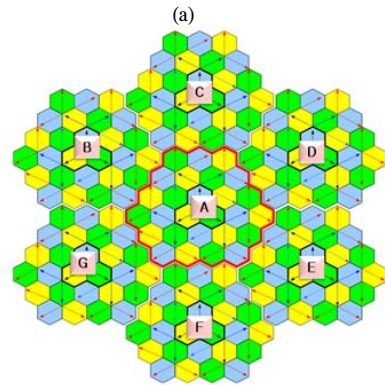
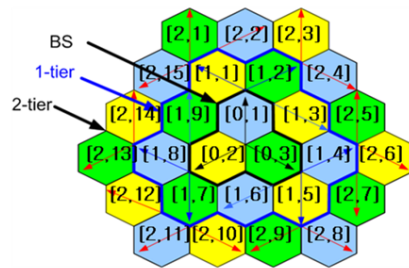


그림 5. NBTC를 사용하는 RS 셀을 도입한 2-tier 구조

그림 5와 같이 NBTC 형태의 BS 섹터 셀을 중심으로 BS 섹터 간의 공평성을 고려하여 BS 섹터 셀에서 송신하는 빔의 중심으로부터 중계 반도록 RS 셀을 배치하였고, 그에 따라 안테나 빔 방향을 정했다. 또한, BS나 RS의 빔 중심으로부터 중계 받지 못하는 위치에 있는 RS 셀들은 시계방향(1st tier)에서 3, 6, 9번 RS 셀, 2nd tier에서 2, 7, 12번 RS 셀)으로 안테나 빔 방향을 구성하였다. 멀티 홉 RS 셀은 2nd tier까지 가정하였고, BS를 중심으로 최대 2nd tier의 구조를 갖는 셀들을 클러스터라 하였다. 그림 5와 같이 동일 채널을 갖는 인접 셀에서의 간섭을 측정하기 위해 4개의 클러스터를 인접하여 배치하였다. 각각의 클러스터 안의 셀들은 같은 패턴의 안테나 방향으로 위치하고 있다. 채널 재사용 수가 3이기 때문에 같은 채널을 사용하는 각 셀들은 서로에게 간섭을 주고, 안테나 방향에 따른 안테나 이득과 안테나와의 거리에 따라 간섭 크기가 달라진다.

3.2 멀티 홉 기반의 WBTC 구조

그림 6은 WBTC 환경에서 Wide-beam 형태의 지향성 안테나를 갖는 RS 셀을 도입할 경우를 나타낸다. NBTC 환경에서와 같이 RS 셀은 2nd tier까지 배치하고 지향성 안테나의 빔 방향을 정했다. 그림 7과 같이 동일 채널을 갖는 인접 셀에서의 간섭을 측정하기 위해 6개의 클러스터를 인접하여 배치하였고, 각각의 클러스터 안의 셀들은 같은 패턴의 안테나 방향을 갖고 있다.

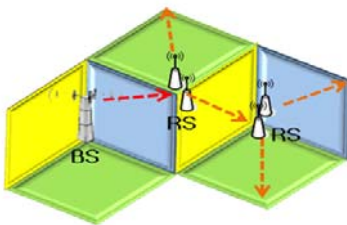


그림 6. WBTC를 사용하는 RS 셀을 도입한 구조의 예

IV. 지향성 안테나 환경에서 인접 셀 간의 간섭

MMR 환경에서 그림 8과 같이 BS 셀과 RS 셀에 지향성 안테나를 사용할 경우 채널 재사용 등에 의해 다른 셀에서 쓰이는 채널이 간섭으로 작용하여 동일 채널 간섭이 발생한다. 본 장에서는 안테나 패턴에 따른 동일 채널 간섭에 의한 성능을 분석한다.

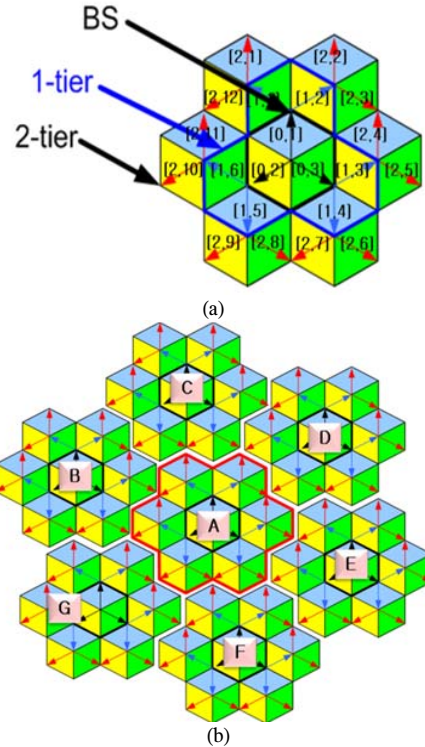


그림 7. WBTC를 사용하는 RS 셀을 도입한 2-tier 구조

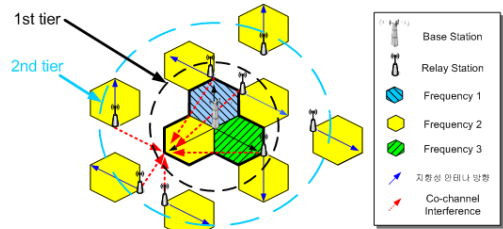


그림 8. 멀티 홉에서 동일 채널 간섭의 예

4.1 성능 모델

본 논문에서는 시스템의 성능을 나타내기 위해 셀의 용량을 구하였다. 셀 용량은 인접한 BS, RS 셀의 지향성 안테나 각도에 따른 안테나 이득, 주파수, 거리, 높이 등에 의해 감쇄된 신호가 측정하고자 하는 셀에 간섭으로 작용해 성능 저하를 가져온다. BS, RS 셀의 용량을 계산하기 위해 샤논 용량 법칙(Shannon Capacity)을 사용하였다. 측정하고자 하는 기준 셀(target cell) 주변에 간섭으로 작용하는 모든 셀들의 간섭들을 이용하여 한 셀의 용량 (C_{cell})을 구할 수 있는데 식 (1)과 같다.

$$C_{cell} = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N + \sum_{m=1}^M I_m} \right) \quad (1)$$

식 (1)에서 C 는 용량, B 는 주파수 대역(Hz), S 는 신호의 크기, N 은 잡음, I_m 은 간섭을 나타낸다. 그리고 M 은 간섭으로 작용하는 모든 셀들의 개수를 말한다.

앞서 구한 각 셀들의 용량 값을 식 (2)을 이용하여 한 클러스터의 총 용량을 구할 수 있다.

$$Total C_{-cell} = \sum_{i=1}^n C_{-cell_i}, \quad (2)$$

여기서의 n 값을 한 클러스터에 존재하는 모든 BS, RS 셀들의 개수를 말한다.

4.2 셀 간의 거리 측정⁹⁾

본 논문에서 제시한 지향성 안테나를 사용한 셀 구조에서는 같은 채널을 사용하는 인접한 셀에서는 서로에게 간섭을 주게 된다. 이러한 간섭은 빔의 방향에 따른 안테나 이득 세기와 거리에 따라 간섭의 크기가 달라진다. 간섭의 크기를 측정하기 위해 셀의 반경을 R 이라고 하고, 기준이 되는 셀과 간섭의 영향을 주는 외부 셀 간의 거리를 $d(n, i)$ 라 하면 식 (3)과 같이 셀 간의 거리를 구할 수 있다.

$$d(n,i) = \sqrt{3} \times R \sqrt{n^2 + i^2} - n \times i \quad (3)$$

여기서 n 과 i 는 각각 n 번째 tier 셀과, i 번째 위치를 나타낸다.

그림 9는 셀 구조에서 기준 셀과 간섭의 영향을 주는 외부 셀 간의 거리를 나타내고 있다. 기준이 되는 셀로부터 1st tier에 위치한 셀은 모두 같은 거

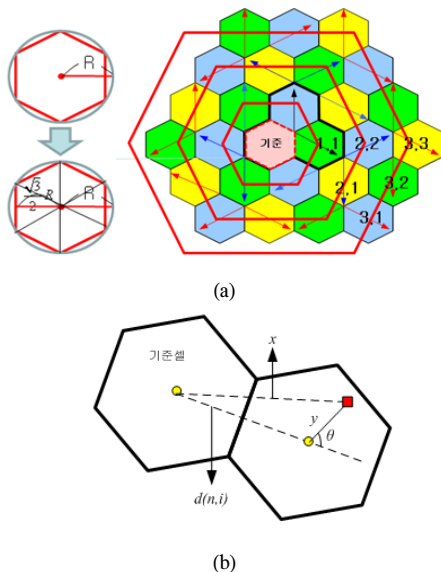


그림 9. 셀 구조에서 기준 셀과 외부 셀 간의 거리

리에 위치하고 있고, 2nd tier 거리에 위치한 셀은 i 값이 1, 2인 두 가지 거리 타입이 존재하며, 3rd tier 거리에 위치한 셀은 3가지의 거리 타입이 존재하게 되어, 일반화가 가능하다.

또한 셀 중심과 중심 간의 거리가 아닌 셀 안의 다른 지점과의 거리를 계산하기 위해서는 식 (4)를 이용하여 거리를 계산할 수 있다.

$$x = \sqrt{d(n,i)^2 + y^2 - 2 \times d(n,i) \times y \times \cos \theta}, \quad (4)$$

여기서 $d(n, i)$ 값은 앞서 언급했던 식 (3)을 이용하여 셀 중심 간의 거리를 말한다. θ 값은 셀 중심 사이의 연장선과 측정하고자 하는 위치의 각도를 나타내고, y 값은 측정하고자 하는 위치까지의 거리를 나타낸다. 이렇게 구해진 값을 식 (4)를 통하여 측정하고자 하는 거리 x 값을 구할 수 있다.

거리에 의한 셀 간의 경로 손실은 두 가지 모델을 사용하였다. 첫 번째는 BS 셀과 RS 셀, RS 셀과 RS 셀 사이에 LOS(line-of-sight)가 존재하는 모델로 IEEE 802.16j에서 제시한 Type D 모델, 그리고 두 번째로 BS 셀과 RS 셀, RS 셀과 RS 셀 사이에 LOS가 존재하지 않은 Type E 모델을 사용하였다¹⁰⁾.

4.3 셀 구조에서 안테나 패턴 모델

지향성 안테나를 사용한 셀 구조에서는 안테나의 빔 방향에 따라 간섭의 크기가 다르므로 안테나 이득도 달라진다. 식 (5)를 사용하여 지향성 안테나 특징에 따른 안테나 이득을 계산 할 수 있다.

$$A(\theta) = -\min \left[12 \times \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right] dB, \quad (5)$$

여기서 θ 는 안테나의 빔 중심 위치에서 측정하고자 하는 곳까지의 각도를 나타낸다. 안테나는 $-180^\circ < \theta < 180^\circ$ 의 범위를 가지며, θ_{3dB} 는 가장 이득이 높은 중간 지점보다 이득이 3dB만큼 낮아지는 지점의 각도로서, 일반적으로 빔의 넓이라고 볼 수 있다. A_m 은 3섹터 안테나에서의 최대 감쇄 비율(Front-to-back ratio)을 나타낸다.

본 논문에서는 Narrow beam 안테나는 $\theta_{3dB}=60^\circ$, Wide beam 안테나는 $\theta_{3dB}=120^\circ$, A_m 은 20dB로 가정하였다¹⁰⁾.

또한, 안테나의 이득에 의한 신호 크기 값을 얻기 위해 식 (6)을 이용하였다.

$$A_G(\theta) = 10^{A(\theta)dB/10} \quad (6)$$

V. 분석 결과

분석을 위한 구성 모델은 그림 10과 같이 측정하고자 하는 섹터 셀 안테나의 커버리지 안에서 거리가 가장 먼 점들인 A, B, C점 중에서 B를 Worst Case라 가정하고 Worst Case가 받는 간섭 량을 분석하였다. BS, RS셀 각각은 같은 크기의 파워로 신호를 송출하고 잡음은 동일 채널 간섭에 의한 값을 고려하였다. 그림 10에서 왼쪽 편 BS 셀이나 RS 셀에서 점 B에 신호를 송출하고 있을 때 점 B까지의 거리를 d_0 라 한다. 동일 채널 간섭에 따른 간섭의 영향을 주는 오른쪽 BS 셀이나 RS 셀에서 신호가 송출되는 중심점과 측정하고자 하는 점 B까지의 각도를 θ 라 하고, 점 B까지의 거리를 d 라 한다. 그리고 RS의 최대 홉 수를 2nd tier까지 가정하였는데 이것은 실제 와이브로에 사용된 MMR환경에서 신호 품질의 저하와 효율성의 이유로 인한 2nd tier이상의 중계는 자제하고 있기 때문이다.

그림 11은 앞 절의 그림 5와 7에서 보는 것처럼 NBTC를 사용하는 RS셀 2nd tier 모델과 WBTC를 사용하는 RS셀 2nd tier 모델에서 섹터 셀들을 각각 [Tier 번호, 섹터 셀 번호]로 표시하였을 때, [0, 1~3]를 1~3로, [1, 1~9]를 4~12로, 그리고 [2, 1~15]를 13~27로 섹터 셀을 구분하여 각각의 셀이

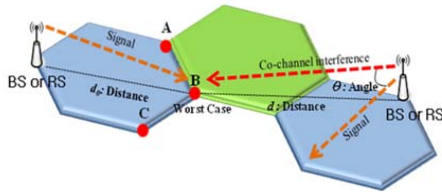


그림 10. 분석 구성 모델

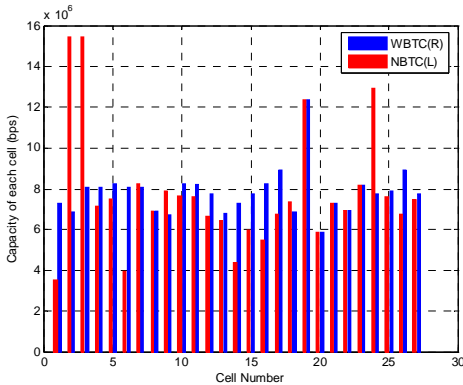


그림 11. NBTC 사용 셀(좌측 막대)과 WBTC 사용 셀(우측 막대)의 용량 (Type D)

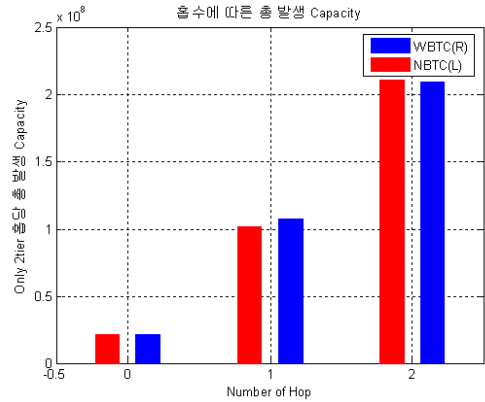


그림 12. NBTC 사용 셀 클러스터(좌측 막대)와 WBTC 사용 셀 클러스터(우측막대)의 총 용량 (Type D)

갖는 용량(capacity)을 Type D 경로 손실 모델을 사용하여 계산하였다. 용량의 경우, 셀의 위치에 따라 빔의 형태가 다르고 상대적으로 받는 간섭의 양도 다르기 때문에 셀의 위치에 따라 그 크기가 다르지만 대체적으로 NBTC 사용 셀과 WBTC 사용 셀이 비슷한 값을 갖게 됨을 알 수 있다.

그림 12는 Type D 모델에서 tier에 따른 한 클러스터의 총 용량을 나타낸다. RS 셀의 홉 수에 따라 용량이 약간의 차이는 있지만 대체적으로 두 안테나 패턴이 비슷한 양의 용량을 갖게 됨을 알 수 있다. 안테나 빔의 패턴에 따라 전송 신호의 세기와 간섭의 양이 달라서 성능이 달라질 수 있지만 LOS가 존재하는 경우 간섭을 받는 만큼 기준 셀의 전송 신호 또한 커서 상대적으로 안테나의 빔 패턴의 영향을 덜 받아 총 용량은 비슷한 값을 얻을 수 있다.

그림 13은 Type E 경로 손실 모델을 사용하여 각 셀이 갖는 용량을 계산하였다. LOS가 존재하지 않는 Type E 경로 손실 모델의 경우, LOS가 존재하는 Type D 경로 손실 모델의 경우와 다르게 셀의 위치에 따라 그 차이는 다르지만 대체적으로 NBTC 사용 셀이 WBTC 사용 셀에 비해 큰 용량 값을 가짐을 알 수 있다. 이것은 경로 손실에 의해 신호가 감쇄할 때 WBTC 사용 셀보다 NBTC 사용 셀은 중심으로 향하는 신호가 크기 때문에 NBTC를 사용하는 기준 셀의 전송 신호의 크기가 WBTC 사용 셀보다 크게 되어 더 많은 용량을 얻었기 때문이다.

그림 14는 Type E 모델에서 tier에 따른 한 클러스터의 총 용량을 나타낸다. 그림 13의 결과에서 짐작할 수 있듯이 NBTC 사용 셀의 총 용량이 WBTC 사용 셀의 총 용량보다 큼을 알 수 있는데 RS 셀의 홉 수에 따라 그 차이는 더 크게 된다.

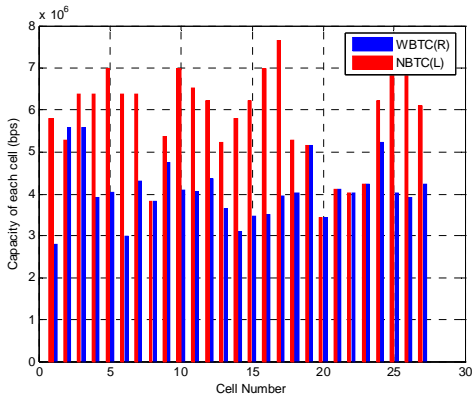


그림 13. NBTC 사용 셀(좌측 막대)과 WBTC 사용 셀(우측 막대)의 용량 (Type E)

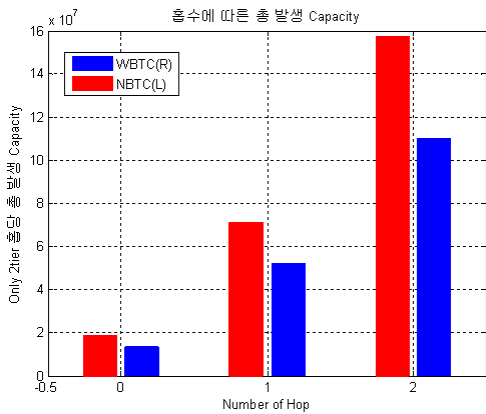


그림 14. NBTC 셀 클러스터(좌측 막대)와 WBTC 셀 클러스터(우측 막대)의 총 용량 (Type E)

경로 손실 모델로 Type D와 Type E를 사용하여 나온 결과를 통해 LOS가 존재할 경우 NBTC 사용 셀과 WBTC 사용 셀의 용량의 차이는 없으나 LOS가 존재하지 않을 경우 NBTC 사용 셀이 WBTC 사용 셀보다 큰 용량을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.16j MMR 환경에서 중계기를 도입한 3섹터 시스템에서 NBTC 안테나, WBTC 안테나를 사용하여 주파수 재사용을 하였을 때 동일 채널을 사용하는 인접한 BS, RS 셀로부터 발생하는 간섭이 성능에 어떤 영향을 미치는가에 대해 분석하였다.

분석 결과 2nd tier로 구성된 한 클러스터에서 발생하는 총 용량은 LOS가 존재하는 Type D의 경우 대체적으로 NBTC 사용 셀과 WBTC 사용 셀이 비

슷한 양을 가짐을 알 수 있었다. 그러나 LOS가 존재하지 않는 Type E의 경우 WBTC 사용 셀보다 NBTC 사용 셀의 총 용량이 큼을 알 수 있었다.

향후에는 지향성 안테나를 이용하는 중계기를 NBTC와 WBTC 방식의 기지국에 Multi-tier로 배치하는 구조를 주어진 크기의 면적에서 단위면적당 발생하는 트래픽 양에 따라 최적의 기지국과 중계기의 홉 수를 최적화 모델과 같은 채널을 사용하는 기지국과 중계기 간의 신호 간섭뿐만 아니라 이웃한 기지국의 중계기 사이의 신호간섭을 고려하여 최적화 된 기지국과 중계기의 수를 분석할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌


- [1] R. Pabst et. al., "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.42, pp.80-89, Sept., 2004.
- [2] H. Wu, C. Qiao, S. De, and O. Tonguz, "Integrated Cellular and Ad Hoc Relaying Systems: iCAR," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.19, pp.2105-2115, Oct. 2001.
- [3] J. Cho and Z.J. Haas, "On the throughput enhancement of the downstream channel in cellular radio networks through multihop relaying," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.22, pp.1206-1219, Sept., 2004.
- [4] N. Esseling, B.H. Walke, and R. Pabst, "Performance Evaluation of a Fixed Relay Concept for Next Generation Wireless Systems," *PIMRC*, Vol.2, pp.744-751, Sept., 2004.
- [5] K.M. Park, C.G. Kang, D.Y. Chang, S.H. Song, J.G.Ahn and J.T. Ihm, "Relay Enhance Cellular Performance of OFDMA-TDD System for Mobile Wireless Broadband Services," *ICCCN*, Aug., 2007, pp.435-435.
- [6] 김승연, 김세진, 유장진, 류승완, 이형우, 조충호, "IEEE802.16j Mobile Multi-hop Relay (MMR) 시스템에서 Single-Frame 방식과 Multi-Frame 방식의 성능 분석," *한국통신학회논문지* 제33권 제6호, 2008. 6, pp.403-410.
- [7] Li-Chun Wang, Chawla, K. Greenstein, L.J, "Performance Studies of Narrow-Beam Tri-sector Cellular Systems", Springer :

International Journal of Wireless Information Networks, Vol.4 pp.89-102, 1998.

- [8] Li-Chun Wang, Shi-Yen Huang, Yu-Chee Tseng, "Interference analysis and resource allocation for TDD-CDMA systems to support asymmetric services by using directional antennas," *Vehicular Technology on IEEE Transactions*, Vol.54, pp.1056-1069, May, 2005.
- [9] David Lee and Ce Xu, "The effect of Narrowbeam Antenna and Multiple Tierson System Capacity in CDMA Wireless Local Loop" *IEEE Commun. Mag.*, pp.110-114, Sept.1997.
- [10] IEEE 802.16j-06/013r3, "Multihop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric)", February, 2007.

김 승 연 (Seung-Yeon Kim) 준회원

 2005년 2월 고려대학교 전자 및 정보공학부 졸업
 2007년 2월 고려대학교 전자정보공학과 석사
 2007년 3월~현재 고려대학교 전자정보공학과 박사과정
 <관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, MAC 프로토콜

유 창 진 (Chang-Jin Yoo) 준회원

 2006년 8월 고려대학교 전산학과 (학사)
 2008년 8월 고려대학교 전산학과 (석사)
 <관심분야> 무선통신, 휴대인터넷, 홈네트워크

김 세 진 (Se-Jin Kim) 정회원


 2004년 2월 조선대학교 전산학과 (학사)
 2004년 2월 고려대학교 전산학과 (석사)
 2006년 3월~현재 고려대학교 전산학과 (박사과정)
 <관심분야> 이동통신, 멀티홉, 휴대인터넷, 스케줄링

류 승 완 (Seung-Wan Ryu) 정회원

 1988년 고려대학교 산업 공학과 학사
 1991년 고려대학교 산업 공학과 석사
 2003년 뉴욕주립대 (SUNY at Buffalo) 산업공학과 박사
 1991~1993년 LG전자 영상미디어연구소 (주임연구원)
 1993년~2004년 한국전자통신연구원 이동통신연구원 (선임연구원)
 2004년~현재 중앙대학교 정보시스템학과 교수
 <관심분야> 이동통신시스템 설계 및 성능 분석, 무선 MAC 프로토콜, 컴퓨터 네트워크

조 충 호 (Choong-Ho Cho) 정회원

 1981년 2월 고려대학교 산업공학과 졸업
 1993년 2월 고려대학교 산업공학과 석사
 1986년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(석사)
 1989년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(박사)
 1990년~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수
 1994년~현재 고려대학교 전산학과 교수
 <관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스

이 형 우 (Hyong-Yoo Lee) 정회원

 1979년 University of British Columbia Electrical Engineering (학사)
 1983년 University of Waterloo, Electrical Engineering (박사)
 1983~1991년 Carleton University, System and Computer Engineering 조교수
 1992~1995년 University of Waterloo, Electrical and Computer Engineering 조교수
 1995~현재 고려대학교 전자 및 정보공학부 교수
 <관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, 트래픽 제어, MAC 프로토콜