

OFDMA 방식을 사용하는 MMR시스템의 최적화된 커버리지 확장

준회원 김승연*, 김세진**, 정회원 류승완***°, 이형우*, 종신회원 조충호**

Optimization of Coverage Extension in OFDMA Based MMR System

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

요약

본 논문에서는 OFDMA 방식을 사용하는 MMR (Mobile Multi-hop Relay) 시스템에서 RS (Relay Station)를 사용하여 커버리지 확장을 위한 최적화 방법을 제안하고 이에 대한 성능을 분석한다. 최적화 방법으로 최대 처리량을 만들기 위한 두 개의 주파수 할당 방법을 제안하고 각각의 할당 방법에 따른 BS의 처리량과 프레임 효율로 성능을 분석한다. 마지막으로 주파수 할당 방법에 따라 주어진 BS (Base Station)의 총 처리 용량(capacity)에서 RS의 최대 홉 수를 분석한다. 결과를 통해 제안된 주파수 할당 방법이 커버리지 확장에 효율적이고, BS의 처리량도 증가 시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 트래픽 밀도가 낮을 경우 MMR 시스템이 효율적임을 알 수 있다. 본 논문의 결과를 통해 향후 릴레이를 사용하여 휴대인터넷 서비스 지역과, 셀룰러 망을 넓히는데 있어 참고할 만한 가이드라인이 될 수 있을 것이다.

Key Words : Multi-hop relays, Maximum coverage, Frame-efficiency, Frequency assignment.

ABSTRACT

In this paper, we propose an optimal coverage extension scheme in the OFDMA based mobile multi-hop relay system. First, we propose an optimal frequency and time assignment scheme for maximizing system throughput and analyze the frame efficiency of schemes. Then, under the given BS capacity, we find the maximum number of relay hops that can be used to estimate the maximum coverage area of a BS in a multi-hop relay system. Analytical results show that the proposed scheme is efficient in coverage extension and throughput maximization in OFDMA based multi-hop relay system. Our work may be a rough guideline to control the parameters for multi-hop relay system optimization.

※ 본 연구는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-313-D00503)

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

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

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

논문번호 : KICS2008-02-074, 접수일자 : 2008년 2월 11일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 14일

I. 서 론

현재 표준화가 진행 중인 3G LTE, IEEE 등 다수의 차세대 이동통신 시스템 802.16, 802.20의 공통적인 개발 목표는 향상된 데이터 전송 속도이다^[1]. 이를 구현하기 위해 OFDM, MIMO, 스마트 안테나 등의 최신기술 등을 도입하고 있다. 그러나 차세대 이동 통신 시스템은 도심의 고층 건물들로 인한 신호 감쇄와 음영 지역이 적지 않게 발생하여 현재 데이터 전송률을 향상시키려는 연구가 필요한 실정이다. 차세대 이동 통신에서는 이 문제를 해결하는 가장 좋은 방법으로 중계기를 배치하는 것으로 생각하고 있으며, 최근 이와 같은 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서 하나가 MMR (Mobile Multi-hop Relay) 기술이다.

그림 1은 MMR 기술이 상용화되면 다양한 측면에서 사용될 수 있음을 나타내는 그림이다. MMR 시스템은 송신단과 수신단 사이에 분산적으로 존재하는 한 개 또는 다수 개의 RS (Relay Station) 를 이용하여 전송 신뢰도를 높이거나 다중화 이득을 확보함으로써 대역 효율성을 극대화하기 위하여 최근 활발히 연구되고 있다^{[2][3]}. 다중 홉 릴레이를 갖는 이동통신망의 경우에는 BS (Base Station) 와 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^{[4][5][6]}.

MMR 시스템은 트랜스패런트(transparent)와 난-트랜스패런트(non-transparent) 릴레이 시스템으로 구분된다. 트랜스패런트 릴레이 시스템은 RS와 연관된 MS가 MR(Multi-hop Relay)-BS의 커버리지 내에 존재하는 경우를, 난-트랜스패런트 릴레이 시

스템은 MR-BS의 커버리지 밖에 MS가 존재하는 경우를 나타낸다. 또한, 셀 내의 특정 위치에 FRS 를 설치한 경우 BS와 RS 또는 다수개의 RS를 이용하여 상호협력(cooperative) 다이버시티 이득을 얻는 시스템을 상호협력 MMR 시스템이라고 한다^{[7][8][9]}.

본 논문에서는 OFDMA 방식을 사용하는 난-트랜스패런트 MMR 시스템으로 BS와 RS가 여러 개의 서브 캐리어를 사용하는 환경을 가정하여 두 가지의 주파수 할당 방법을 제안하고 성능을 분석한다. 두 가지의 주파수 할당 방법의 차이는 RS의 수신과 송신 동작 동안에 낭비 될 수 있는 주파수 블록에 대한 사용 여부인데, 이 차이는 스케줄링의 복잡도와 연결될 수 있다. 다음은 BS가 처리할 수 있는 총 용량(capacity)을 MS 뿐만 아니라 RS도 사용함으로써 커버리지 확장(BS의 파워의 한계로 커버리지 안에서 총 용량을 모두 사용하지 못하고 남은 용량을 RS를 추가함으로써 사용 가능하게 함)이 가능한 최적의 RS의 홉 수와 개수를 단위 면적당 발생하는 트래픽의 양에 따라 알아본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 OFDMA 방식의 두 가지 주파수 할당 방법을 제안하고 성능을 분석한다. 그리고 III장에서는 주어진 BS의 총 처리 용량에서 단위 면적당 발생하는 트래픽의 양에 따라 최대 RS의 홉 수와 전체 커버리지를 찾는다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 주파수 할당 방법

본 장에서는 OFDMA 시스템에서 멀티 홉 RS를 사용하여 두 가지의 주파수 할당 방법을 제안한다. 그림 2와 같이 첫 번째 tier RS를 가지고 있는 MMR 시스템 환경을 가정한다. 또한 시스템은 서로 다른 주파수 ($f_0, f_1, f_2, \dots, f_{N1}$)를 사용하고 있

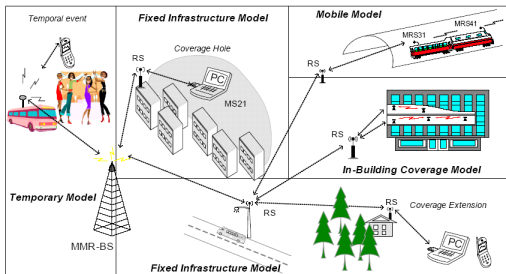


그림 1. MMR 사용 시나리오

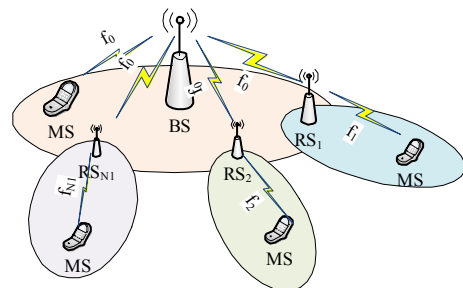


그림 2. MMR 시스템 토폴로지

다고 가정한다. N1은 첫 번째 tier RS의 개수를 나타내고, BS는 f_0 주파수를 통해 자신에게 속한 MS와 RS에 데이터를 전송한다. 그리고 RS₁, RS₂, ..., RS_{N1}은 각각 주파수 f_1, f_2, \dots, f_{N1} 을 사용한다. 그래서 BS와 각각의 MS, RS는 채널 간의 간섭 효과를 줄이도록 하였다.

2.1 주파수 할당에 따른 프레임 구조

그림 3은 하향 링크 프레임에서 주파수 할당 방법을 보여준다. BS는 주파수 f_0 를 사용하여 t_0 시간 동안 자신에게 속한 MS에 데이터를 전송한다. RS₁과 RS₂는 각각 주파수 f_1 과 f_2 를 사용하여 t_0 시간 동안 자신에게 속한 MS에 데이터를 전송한다. BS는 각각 t_1 과 t_2 시간 동안 자신에게 속한 RS에 데이터를 전송한다. 그리고 BS가 RS들에게 전송하는 시간 동안 RS들은 듣고만 있게 된다. 이것을 프레임의 블록으로 표현하면, $t_1 \times f_0$ 의 주파수 블록 (BS가 RS₁에 전송하는 블록)과 $t_0 \times f_1$ (RS₁이 자신의 MS에게 전송하는 블록)의 주파수 블록의 크기는 서로 같게 되고, $t_1 \times (f_1 + f_2)$ 와 $t_2 \times (f_1 + f_2)$ 의 블록 (BS가 RS에 전송하는 동안 RS는 듣고만 있는 블록)은 홀 (wasted) 이 생기게 된다 (t_{N1}, f_{N1} 은 추가적인 N1번째 RS의 사용 시간, 주파수를 말한다).

이와 같은 주파수 할당 방법에서 RS의 사용 주파수(f_1, f_2, \dots, f_{N1})와 사용 시간 (t_1, t_2, \dots, t_{N1})이 모두 같다고 가정하면, 전체 프레임 시간(t_{total})에서 BS가 차지하는 시간 (t_0)의 비율, μ_t 와 전체 프레임 밴드(f_{total})에서 BS가 차지하는 프레임 밴드 (f_0)의 비율, μ_f 은 각각 식 (1)과 식 (2)로 표현된다.

$$\mu_t = \frac{t_0}{t_{total}} = \frac{t_0}{t_0 + N1 \times t_1} = \frac{u}{N1 + u} \quad (1)$$

$$\mu_f = \frac{f_0}{f_{total}} = \frac{f_0}{f_0 + N1 \times f_1} = \frac{u}{N1 + u} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에서, N1은 첫 번째 tier에 있는 RS의 개수를 나타내고, u 은 $t_0/t_1, f_0/f_1$ 의 비율 값으로 BS의 커버리지와 RS의 커버리지의 비율로 표현하여 식 (3)과 같이 된다.

$$u = \frac{A_B}{A_R} = \frac{f_0 \times t_0}{f_0 \times t_1} = \frac{f_0 \times t_0}{f_1 \times t_0} = \frac{t_0}{t_1} = \frac{f_0}{f_1} \quad (3)$$

A_B 와 A_R 은 각각 BS와 커버리지와 RS의 커버리지를 나타낸다 (커버리지만큼 프레임 블록을 갖는다고 가정).

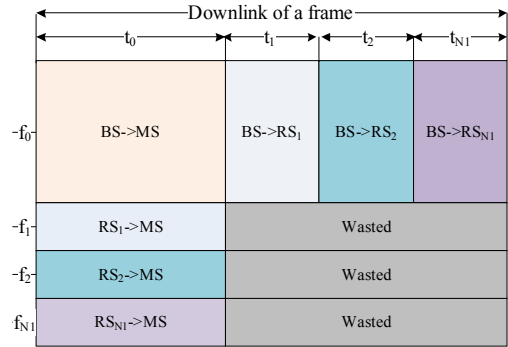


그림 3. 홀을 가진 BS/RS의 주파수 할당 방법

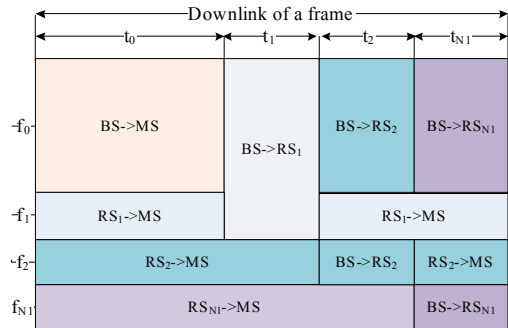


그림 4. 홀이 없는 BS/RS의 주파수 할당 방법

그림 4는 다른 주파수 할당 방법을 보여준다. 이 경우는 그림 3에서 낭비되었던 블록을 BS가 RS의 주파수 대역까지 사용하여 데이터를 전송하게 된다. 예를 들어 BS가 RS₁에게 데이터를 전송할 때 그 시간 동안 사용하지 않는 RS₁의 주파수 대역까지 사용한다. 그리고 BS가 RS₂에게 데이터를 전송하는 동안 RS₁ 자신에게 속한 MS에게 데이터를 전송하게 된다. 다른 RS들 역시 가능하다. 이것을 프레임의 블록으로 표현하면, RS의 사용 주파수 (f_1, f_2, \dots, f_{N1})와 사용 시간 (t_1, t_2, \dots, t_{N1})은 모두 같다는 가정 하에 $t_1 \times (f_0 + (f_1 \times (N1 - 1)))$ 의 주파수 블록과 $(t_0 + (N1 - 1) \times t_1) \times f_1$ 의 주파수 블록의 크기는 서로 같게 된다. 전체 프레임 시간(t_{total})에서 BS가 차지하는 프레임 시간(t_0)의 비율, μ_t 와 전체 프레임 밴드 (f_{total})에서 BS가 차지하는 프레임 밴드(f_0)의 비율, μ_f 은 각각 식 (4)와 식 (5)로 표현된다.

$$\mu_t = \frac{t_0}{t_{total}} = \frac{t_0}{t_0 + N1 \times t_1} = \frac{\xi}{N1 + \xi} \quad (4)$$

$$\mu_f = \frac{f_0}{f_{total}} = \frac{f_0}{f_0 + N1 \times f_1} = \frac{N1 - 2 + \xi}{2N1 - 2 + \xi} \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)에서 ξ 는 식 (6)과 같다.

$$\xi = -\frac{1}{2}(M-1-u-2) + \sqrt{\frac{1}{4}(M-1-u-2)^2 + (M-1)u} \quad (6)$$

그리고 식 (6)의 유도 과정은 다음과 같다.

ξ 을 t_0/ t_1 의 비율 값으로 정의하면, 식 (7)과 같이 BS와 RS의 프레임 사용 시간과 주파수 그리고 u 로 표현할 수 있다.

$$\xi = \frac{t_0}{t_1} = u + \frac{f_0}{f_1}u = u + \frac{u}{\xi + M - 2} \quad (7)$$

u 는 앞에서처럼 BS의 커버리지 와 RS의 커버리지의 비율로서 식 (8)에서 얻을 수 있다.

$$u = \frac{A_B}{A_R} = \frac{f_0 \times t_0}{(f_0 + t_1) \times t_1} = \xi \times \frac{1}{1 + \frac{f_1}{f_0}} \quad (8)$$

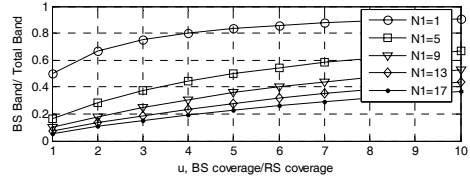
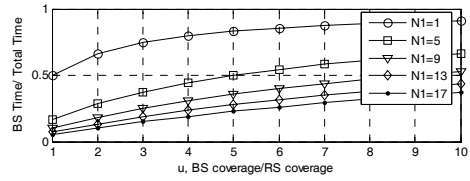
식 (8)에서 f_0/f_1 의 비율 값은 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{f_0}{f_1} = \frac{t_0}{t_1} + (M-2) = \xi + (M-2) \quad (9)$$

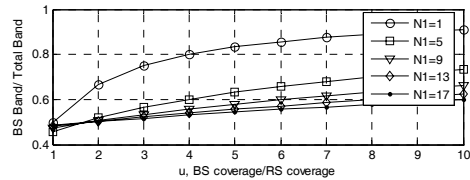
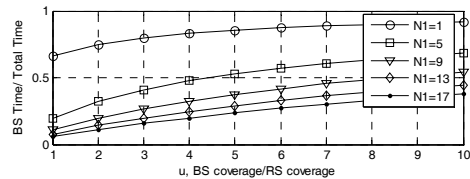
식 (7)에서 ξ 에 대한 2차 방정식을 풀게 되면 식 (6)을 유도할 수 있다.

다음은 첫 번째 tier 에 있는 RS의 개수만을 고려하여 앞에서 제안한 두 가지 주파수 할당 방법에 따른 성능을 전체 시간과 주파수에서 BS가 차지하는 시간과 주파수의 비율로 분석한다.

그림 5는 u 의 변화에 따른 μ_t (전체 프레임 시간 (t_{total})에서 BS가 차지하는 프레임 시간(t_0)의 비율)와 μ_f (전체 프레임 밴드(f_{total})에서 BS가 차지하는 프레임 밴드(f_0)의 비율)를 통해 홀의 효과를 나타낸다. (a)는 홀을 가지고 있는 주파수 할당 방법이고 (b)는 홀이 없는 주파수 할당 방법이다. 결과를 통해 u 가 증가함에 따라 각각의 주파수 할당 방법에 따른 μ_t , μ_f 가 모두 증가함을 알 수 있다. 그러나 $N1$ (첫 번째 tier RS의 수)이 증가함에 따라 각각의 주파수 할당 방법에 따른 μ_t , μ_f 가 모두 줄어들음을 알 수 있다. 그리고 홀이 있는 주파수 할당 방법보다 홀이 없는 주파수 할당 방법의 경우의 μ_t , μ_f 가 모두 큼을 알 수 있다. 이는 MMR 시스템에서 같은 개수의RS를 가질 때 홀이 없는 경우 더 많은



(a) 홀이 있는 경우의 μ_t (상), μ_f (하)



(b) 홀이 없는 경우의 μ_t (상), μ_f (하)

그림 5. 주파수 할당 방법에 따른 홀의 효과

MS를 BS가 가질 수 있어서 시스템의 총 처리량을 증가시킬 수 있다. 그러나 u 값이 증가하면서 홀의 유무에 따른 μ_t , μ_f 의 차이가 줄어들음을 볼 수 있다. 이는 홀이 있는 주파수 할당 방법에서 u 값이 커져 홀의 크기가 상대적으로 작아지기 때문이다. 예를 들어 BS 커버리지가 RS의 커버리지 보다 4배 이상이 되면 μ_t , μ_f 의 차이는 거의 없어짐을 알 수 있다.

2.2 주파수 할당 방법에 따른 프레임 효율 분석

주파수 할당 방법에 따른 프레임의 효율을 분석하기 위해 전체(total) 프레임 블록과 가용(available) 프레임 블록을 정의한다. 앞 절의 가정처럼 주파수 할당 방법에서 RS의 사용 주파수(f_1, f_2, \dots, f_{N1})와 사용 시간 (t_1, t_2, \dots, t_{N1})이 모두 같으면, 전체 (total) 프레임 블록은 주어진 전체 프레임 블록(하향 링크 프레임)으로 $(t_0 + M \times t_1) \times (f_0 + M \times f_1)$ 값이 된다. 그리고 가용 프레임블록은 그림 3에서 생

기는 홀을 전체 프레임 블록에서 뺀 나머지로

$$(t_0 + M \times t_1) \times (f_0 + M \times f_1) - (M \times t_1) \times (M \times f_1)$$

가 된다. 홀이 없는 경우 가용 프레임 블록이 전체 프레임 블록과 같다.

정의된 프레임 블록을 가지고 홀이 있는 프레임 효율 (U_w) 와 홀이 없는 프레임 효율(U_{w0})을 각각 식 (10)과 식 (11)로 나타낸다.

$$U_w = \frac{(t_0 + M \times t_1) \times (f_0 + M \times f_1)}{(t_0 + M \times t_1) \times (f_0 + M \times f_1) - (M \times t_1) \times (M \times f_1)} \quad (10)$$

$$= \frac{u \times (u \times t_1) + u \times t_1}{(u + M) \times (u + M)}$$

$$U_{w0} = \frac{(t_0 + M \times t_1) \times (f_0 + M \times f_1)}{(t_0 + M \times t_1) \times (f_0 + M \times f_1)} = 1 \quad (11)$$

식 (10)과 식 (11)에서 u 은 BS의 커버리지와 RS의 커버리지의 비율이다.

다음은 첫 번째 tier 에 있는 RS의 개수만을 고려하여 앞에서 제안한 두 주파수 할당 방법에 따른 성능을 프레임의 효율로 분석한다.

그림 6은 u 의 변화에 따른 프레임의 효율을 나타낸다. 점선은 홀이 없는 주파수 할당 방법의 프레임 효율을 나타내고 나머지 선들은 홀이 있는 주파수 할당 방법에서 $N1$ 을 증가시키길 때의 프레임 효율을 나타낸다. 그림 6을 통해 홀이 없는 경우 전체 프레임 블록을 사용하기 때문에 식 (11)에서 알 수 있듯이 u 값이 변하여도 프레임 효율이 1이 됨을 알 수 있다. 홀이 있는 주파수 할당 방법의 경우 u 값이 증가함에 따라 프레임의 효율이 증가하게 되는데

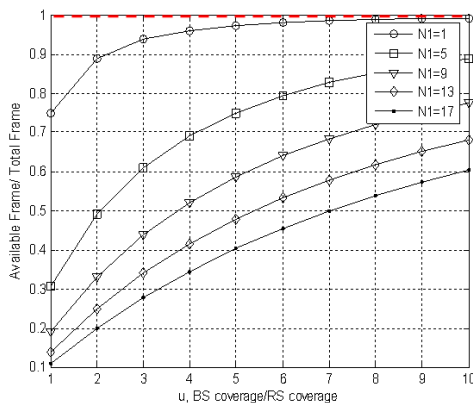


그림 6. 주파수 할당 방법의 프레임 효율

이는 RS에 비해 BS의 커버리지가 커짐에 따라 하향 링크에서 BS가 MS에게 데이터를 전송하는 블록이 커지고 상대적으로 BS으로부터 RS가 전송 받는 시간이 줄게 되어 홀의 크기도 작아졌기 때문이다. 또한 첫 번째 tier RS개수가 증가할수록 BS가 RS에 전송하는 시간이 길어지고 그만큼 홀의 크기도 증가하게 되어 프레임 효율이 떨어지게 된다.

III. MMR 시스템의 최대 RS홀 수

본 장에서는 홀이 없는 경우의 주파수 할당 방법을 가지고 난-트랜스퍼런트 MMR 시스템의 최대 RS홀 수를 찾는다. BS가 처리할 수 있는 총 용량 (C:bps)을 MS 뿐만 아니라 RS도 사용 (BS의 파워의 한계로 커버리지 안에서 총 용량을 모두 사용하지 못하고 남은 용량을 RS를 추가함으로써 사용 가능) 함으로써 커버리지 확장이 가능한 최적의 RS의 홀 수와 개수를 단위 면적당 발생하는 트래픽의 양 (단위면적당 사용하는 용량)에 따라 알아본다.

분석을 위해 다음과 같은 시스템을 가정한다.

- 주파수 재사용과 채널 간의 간섭은 없다.
- AMC (adaptive modulation and coding)를 사용하지 않았다.
- 경계 효과 (Boundary effect)는 없다.
- 트래픽은 균일하게 분포한다. (pbps/m²).
- BS의 반경(r_B)은 RS의 반경(r_R) 보다 길다.

MMS 시스템에서 RS는 BS 커버리지의 경계에 설치하고 각각의 RS는 반원 형태의 커버리지를 갖게 된다. 첫 번째 tier 에 있는 RS는 BS와 RS, RS와 RS 간의 겹침 (overlap)이 발생하게 되는데, 이 점을 고려하면 각 RS의 커버리지는 사다리꼴 형태가 된다. 그리고 그림 7에서와 같이 근사 화를 통해 RS의 커버리지를 직사각형의 형태로 작은 변을 h , 긴 변을 $2h$ 로 가정하여 RS의 커버리지를 r^2R ($=2h^2$)로 정한다.

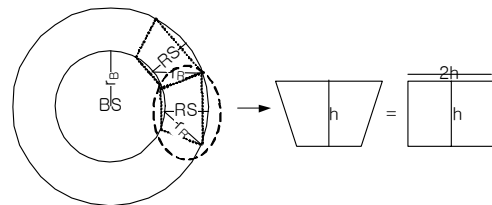


그림 7. BS 커버리지와 RS 커버리지의 근사화

다음은 k번째 tier (k^{th} tier) 안에 있는 최대 RS의 개수를 찾는 과정을 보인다.

먼저 첫 번째 tier의 최대 RS의 개수는 식 (12)와 같다.

$$\frac{\pi[(r_B+h)^2-r_B^2]}{r_R^2} = \pi\left[\left(\frac{r_B}{r_R} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 - \left(\frac{r_B}{r_R}\right)^2\right] \quad (12)$$

$$= \pi\left[\left(\frac{2r_B}{r_R} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\right]$$

식 (12)에서 h 는 $r_R/\sqrt{2}$ 와 같다.

그리고 두 번째 tier의 최대 RS의 개수는 식 (13)과 같다.

$$\frac{\pi[(r_B+2h)^2-(r_B+h)^2]}{r_R^2} \quad (13)$$

$$= \pi\left[\left(\frac{2r_B}{r_R} + \frac{2}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\right]$$

식 (12)와 식 (13)의 과정을 통해 k^{th} tier 안에 있는 최대 RS의 수는 다음과 같이 식 (14)로 일반화할 수 있다.

$$n_{R,k^{\text{th}}} = \pi\left[\left(\frac{2r_B}{r_R} + \frac{k}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\right] \quad (14)$$

주파수 재사용이 없을 때, BS에서 RS에 속한 MS에 데이터를 전송할 경우 주어진 BS의 총 용량 (BS가 처리할 수 있는 총 용량)을 한번 이상 사용하게 되는데, 예를 들어 BS가 두 번째 tier RS에 속한 MS에 데이터를 전송하게 되면 먼저 BS는 첫 번째 tier RS에 데이터를 전송하게 되는데 이때 BS의 총 용량의 일부를 사용하게 된다. 그리고 첫 번째 tier RS에서 두 번째 tier RS에 데이터를 전송할 경우 BS의 총 용량의 일부를 다시 사용하게 되고 마지막으로 두 번째 tier RS에서 MS에 데이터를 전송할 때 BS의 총 용량의 일부를 또다시 사용하게 되어 같은 양의 용량을 총 3번 사용하게 된다. 이를 수식으로 정의하면 식 (15)와 같이 표현된다.

$$C \gg \rho A_{BS} + 2\rho A_{RS} \cdot n_{R,1^{\text{st}}} + 3\rho A_{RS} \cdot n_{R,2^{\text{nd}}} \quad (15)$$

$$+ \dots + (k+1)\rho A_{RS} \cdot n_{R,k^{\text{th}}}$$

$$= \rho\left(A_{BS} + A_{RS} \sum_{k=1}^{k_{\text{max}}} (k+1)n_{R,k^{\text{th}}}\right)$$

식 (15)에서, C :(bps)는 주어진 BS의 총 용량이고, ρ 은 트래픽 밀도(traffic density)이다.

분석에서는 다양한 트래픽 밀도에서 MMR 시스템이 가질 수 있는 RS와 최대 홉 수를 찾는다.

그림 8은 주어진 BS 총 처리 용량 (50 Mbps)에서 트래픽 밀도에 따른 최대 커버리지를 보여 준다 (BS의 반경은 1Km이고 RS의 반경은 600m 이다). 그림에서 All RS reuse선이 나타내는 것은 모든 RS가 BS의 사용 채널을 재사용 (주파수 재사용)하는 경우이고, max coverage선은 모든 RS가 서로 다른 주파수를 사용하여 주파수 재사용을 하지 않는 경우를 나타낸다. Tier 경계 (threshold of tier)는 RS의 tier수를 나타내고, 트래픽 밀도 (traffic density)는 단위 면적당 사용되는 용량을 나타낸다. 분석 결과를 보면 트래픽 밀도가 줄어들수록 주어진 용량 사용에 따른 RS의 개수가 증가함을 알 수 있다. 이것은 트래픽 밀도가 클 경우 단위 면적당 사용되는 용량이 크기 때문에 작은 커버리지에서도 BS총 처리 용량을 다 사용하게 되고, 트래픽 밀도가 작을 경우 BS의 커버리지 이외에 각각의 tier에 RS를 추가하여도 BS 처리 용량이 남아있기 때문에 계속해서 tier를 늘려가면서 RS를 추가 시킬 수 있기 때문이다. All RS reuse선을 보면, max coverage선보다 높는데 이것은 주파수를 재사용하지 않을 경우 홉에 따른 사용 용량이 증가 하는 반면, 주파수를 재사용하게 되면 홉에 따른 추가적인 사용 용량이 발생하지 않기 때문에 더 많은 tier의 RS를 추가할 수 있기 때문이다 (식 15에서 설명). 결과 값을 통해 트래픽 밀도에 따른 최대 홉 수와 RS의 개수를 구할 수 있는데, 예를 들어, "a"는 BS의 최대 커버리지를 나타낸다 (트래픽 밀도: 1.6). 그리고 첫 번째 tier의 RS는 남은 BS의 처리 용량을 사용하므로 커버리지 확장을 할 수 있다. "b"는 첫 번째 tier

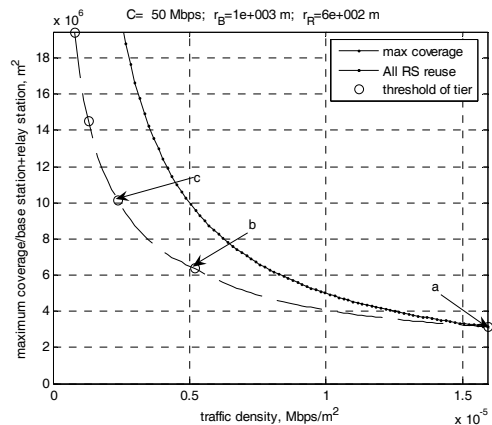


그림 8. 트래픽 밀도에 따른 최대 커버리지

RS의 최대 커버리지를 나타낸다. 만약 BS 용량이 남는다면, 두 번째 tier RS를 사용할 수 있다. 또한 $\{(b-a)/c\}$ 개의 RS 커버리지를 통해서 첫 번째 tier RS의 개수를 계산할 수 있다. "c"는 두 번째 tier RS를 나타낸다. 표 1은 결과의 예를 보여준다.

표 1. 최대 커버리지의 예

트래픽 밀도 ($\times 10^5$ Mbps)	포인트	최대 커버리지 ($\times 10^6$ m ²)	BS 개수	RS 개수	tier 개수
1.6	a	3.14	1	0	0
0.51	b	6.1	1	8	1
0.25	c	10.1	1	19	2

IV. 결 론

본 논문에서는 OFDMA 방식을 사용하는 MMR 시스템에서 RS를 사용하여 커버리지 확장을 위한 최적화 방법을 제안 하였다. 최적화 방법으로 홀의 유무에 따른 두 개의 주파수할당 방법을 제안하고 성능을 분석하였다. BS 커버리지와 RS 커버리지의 비율이 낮을 때는 홀 영향이 컸으나 비율이 커짐에 따라 그 영향이 작아졌다. 그러나 프레임의 효율 면에서는 홀이 없는 경우가 높았다. 마지막으로 홀이 없는 주파수 할당 방법에 따라 주어진 BS 총 처리 용량에서 RS의 최대 홉 수를 분석하였다. 결과를 통해 트래픽 밀도가 낮을 경우 MMR 시스템이 효율적임을 알 수 있었다.

본 논문의 결과를 통해 향후 릴레이를 사용하여 휴대인터넷 서비스지역과, 셀룰러 망을 넓히는데 있어 참고할 만한 가이드라인이 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Recommendation ITU-R, "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," International Telecommunication Union, June 2003.

[2] R. Pabst et. al., "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," IEEE Commun. Mag., Vol.42, pp.80-89, Sept. 2004.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] Chang-Hoi Koo, Yong-Woo Chung, "Dynamic Cell Coverage Control for Power Saving in IEEE802.16 Mobile Multihop Relay Systems," Systems and Networks Communication, 2006. ICSNC '06. International Conference on, pp.60, Oct. 2006.

[8] 김영일, 안동현, 김현재, 이용수, 채수창, "Wibro 용 Mobile Multi-hop Relay 기술", 정보과학회지 25권 4호, 4월 2007, pp.28-37.

[9] 김영일, 안동현, 채수창, 김현재, 이용수, "WiBro 기반 Mobile Multi-hop Relay 표준 기술 동향", 전자통신동향분석 제23권 제3호, 6월 2008, pp.40-52.

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

김 세 진 (Se-Jin Kim)

준회원



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

1993~2004년 한국전자통신연구원 이동통신연구단 (선임연구원)

2004년~현재 중앙대학교 정보시스템학과 교수

<관심분야> 이동통신시스템 설계 및 성능 분석, 무선 MAC 프로토콜, 컴퓨터 네트워크

이 형 우 (Hyong-Woo Lee)

정회원



1979년 Univ. of British Columbia Electrical Engineering (학사)
1983년 Univ. of Waterloo, Electrical Engineering (박사)
1983~1991년 Carleton Univ., System and Computer Engineering 조교수

1992~1995년 Univ. of Waterloo, Electrical and Computer Engineering 조교수

1995~현재 고려대학교 전자 및 정보공학부 교수

<관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, 트래픽 제어, MAC 프로토콜

조 총 호 (Choong-Ho Cho)

종신회원



1981년 2월 고려대학교 산업공학과 졸업

1993년 2월 고려대학교 산업공학과 석사

1986년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(석사)

1989년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(박사)

1990~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수

1994~현재 고려대학교 전산학과 교수

<관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스