

# 멀티셀 환경에서 Mobile Multi-hop Relay 상향링크 시스템의 성능 분석

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

## Performance Analysis of Mobile Multi-hop Relay Uplink System in Multicell Environments

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

### 요 약

Mobile Multi-hop Relay (MMR) 시스템은 커버리지 확장과 Base Station (BS) 내의 전송률 증대에 의해 무선 액세스 네트워크의 처리량을 증가시킬 수 있다. 난-트랜스퍼런트 모드 (non-transparent mode) Relay Station (RS) 를 갖는 MMR 시스템의 기존 연구에서는 Mobile Station (MS)의 채널 선택 과정, 동일 채널 간섭, 그리고 Multi-hop Relay Base Station (MR-BS)과 RS의 커버리지 비율은 고려하지 않았다. 본 논문에서는 다양한 토폴로지를 갖는 멀티셀 환경에서 MMR 상향링크 시스템의 성능을 분석한다. 성능은 호 발생률에 따른 호 차단 확률, 채널 사용률, outage 확률 그리고 시스템 처리량으로 나타낸다. 결과를 통해 MR-BS와 RS의 커버리지 비율이 7 대 1일 때 시스템 처리량이 가장 높음을 알 수 있다.

Key Words : Multi-hop Relays, Non-transparent Mode RS, Uplink System, Outage Probability, Markov Chain

### ABSTRACT

Mobile Multi-hop Relaying (MMR) system can provide increased system capacity of wireless access network by coverage extension and enhanced transmission rate within the Base Station (BS) coverage area. The previous researches for the MMR system with a non-transparent mode Relay Station (RS) do not consider channel selection procedure of Mobile Station (MS), co-channel interference and Multi-hop Relay Base Station (MR-BS) coverage and RS coverage ratio in MMR system. In this paper, we investigate the performance of MMR uplink system in multicell environments with various topologies. The performance is presented in terms of call blocking probability, channel utilization, outage probability and system throughput by varying offered load. It is found that, for certain system parameters, the MMR uplink system achieve the maximum system throughput when MR-BS coverage to RS coverage ratio is 7.

### 1. 서 론

Relay Station (RS) 은 음영 지역 해소 및 시스템

커버리지 확대를 위해 도입된 것으로, 과거의 방식이 단순히 신호를 증폭해서 보내는 리피터(Repeater)의 기능에 국한되었던 것에 비해 최근에는 보다 지능화

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

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

\*\*\* 중앙대학교 정보시스템학과 (ryu@cau.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-12-638, 접수일자 : 2009년 12월 29일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 24일

된 형태로 발전하고 있다<sup>[1,2]</sup>. 그 예로 트랜스패런트 (Transparent) 모드와 난-트랜스패런트 (Non-transparent) 모드 RS를 사용하는 IEEE 802.16j Mobile Multi-hop Relay (MMR)을 들 수 있다. 트랜스패런트 모드 RS는 Multi-hop Relay Base Station (MR-BS) 커버리지 내에 위치하여 셀 커버리지 외곽 지역의 전송률 향상을 목적으로 하고, 난-트랜스패런트 모드 RS는 MR-BS 커버리지 내 경계에 위치하여 MS가 MR-BS 커버리지 밖에 위치하여 음영지역 해소 및 여분의 자원을 이용하여 셀 커버리지 확장을 목적으로 한다<sup>[3]</sup>.

시스템 용량을 증대시키기 위한 연구에서 트랜스패런트 모드 RS를 사용하는 MMR 시스템에서는 MR-BS와 Mobile Station (MS) 링크, RS와 MS 링크 사이의 수신 Signal to Interference and Noise Ratio (SINR)가 최대가 되도록 MS가 service station을 선택하거나 각각의 링크에 따른 자원 소모량을 비교하여 서비스 Station을 선택함으로써 MR-BS와 RS의 커버리지를 결정하였다<sup>[4,5]</sup>.

난-트랜스패런트 모드 RS를 이용한 MMR 시스템은 [6], [7]에서는 RS의 주파수 재사용과 지향성 안테나를 사용하는 MMR 시스템에서 설치비용을 고려하여 시스템의 용량을 증대시켰다. 그리고 논문 [8]과 [9]에서는 MMR 시스템의 총 용량(total capacity)을 효율적으로 사용하기 위해 트래픽 밀도 (traffic density), MS의 수에 따른 최대 RS의 흡을 구하였다. 그러나 하향링크 시스템의 용량 분석에서 주파수간 간섭과 MR-BS와 RS의 커버리지 크기에 대한 영향은 고려하지 않았다. 난-트랜스패런트 모드 RS를 이용한 MMR 시스템에서 MS를 고려한 상향링크의 경우 주파수 재사용에 의한 동일 채널 간섭으로 시스템의 성능에서 하향링크의 결과와 차이가 발생할 수 있을 뿐만 아니라 토폴로지에서 MR-BS와 RS의 커버리지 비율에 따라 성능이 달라질 수 있다.

따라서 본 논문에서는 난-트랜스패런트 모드 RS를 사용하는 MMR 시스템에서 주파수간 간섭을 고려하여 상향링크 시스템의 처리량을 최대로 만들 수 있는 MR-BS와 RS 커버리지의 비율을 찾는다. 커버리지의 비율을 토폴로지 구성에 있어서 해석상 편의를 위해 육각셀로 나타낼 수 있는 형태를 기반으로 3가지 Type으로 나누고 각각의 Type에 따른 호 차단 확률, 채널 사용률, 그리고 동일 채널 간섭에 의한 outage 확률을 계산하여 시스템의 처리량을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 토폴로지, 상향링크 시스템, 전송 신호, 그리고 트래픽 모델링을 통해 전체적인 MMR 시스템을 모델링 한다. 그

리고 3장에서는 MMR 시스템의 성능 측정을 위해 동일 채널 간섭량을 고려하여 outage 확률과 시스템 처리량을 성능 지표로 제시한다. 4장에서는 측정 결과를 통해 시스템의 성능을 분석하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

### 2.1 시스템 토폴로지

본 장에서는 난-트랜스패런트 모드 RS를 사용하는 MMR 시스템에서 그림 1과 같이 성능 측정을 위한 Target Cluster 와 그 주변에 6개의 Neighbor Cluster 로 이루어진 토폴로지를 가정한다.

각 Cluster는 하나의 MR-BS와 RS로 구성되어, 하나의 RS는 1개의 단위 육각셀을 커버리지로 갖고 MR-BS는 그림 2와 같이 Type에 따라 여러 개의 단위 육각셀로 이루어진 커버리지를 갖는다. Type에 따른 MR-BS와 RS의 커버리지 비율은 1:1, 7:1, 그리고 19:1이고, Cluster의 커버리지는 모두 동일하다. 따라서 하나의 Cluster에서 MR-BS의 커버리지가 증가하게 되면, RS하나의 커버리지는 작아지고 RS의 수는

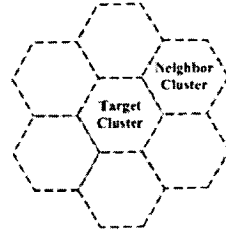


그림 1. MMR 시스템 토폴로지

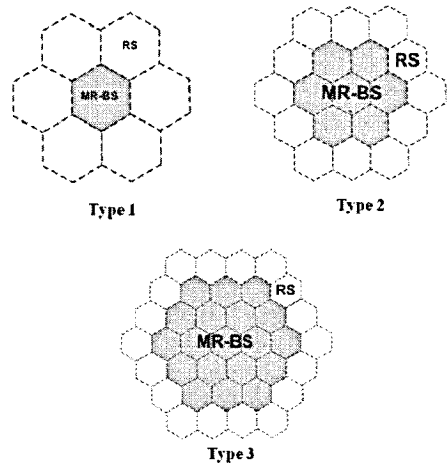


그림 2. Type에 따른 MMR 시스템의 MR-BS와 RS 커버리지

증가하게 되는데, Type 1 일 경우 6개의 RS, Type 2 일 경우 12개의 RS, 그리고 Type 3 일 경우 18개의 RS를 각각 갖게 된다.

2.2 상향 링크 시스템과 전송 신호 모델

MMR 시스템에서 MR-BS와 RS는 동일한 주파수 대역을 사용하며 MS는 랜덤하게 채널을 할당 받는다. 한 개의 채널은 하나의 MS만 할당 받기 때문에 동일한 MR-BS나 RS에서 서비스 받고 있는 MS들 간의 주파수 간섭은 없으며, 이웃한 셀에 동일한 채널을 사용할 경우 동일 채널 간섭(Co-Channel Interference)이 발생하게 된다. 동일 채널 간섭은 Target Cluster내에서 발생하는 Intracell 간섭과 이웃한 6개의 Neighbor Cluster에서 발생하는 Intercell 간섭으로 가정한다. 그리고 MS의 전송 신호의 전력은 거리에 따른 경로 손실(Path loss)을 평균으로 하는 로그 정규 분포(log-normal distribution)를 갖는 섀도잉(shadowing)으로 모델링 한다. 다시 말하면 MS가 거리 r 만큼 떨어진 MR-BS나 RS에서 수신되는 평균 전력  $P_r$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$P_r = P_0 \cdot L \cdot r^{-\alpha} \quad (1)$$

식 (1)에서  $P_0$ 은 단위 거리에 따른 수신 신호 전력,  $\alpha$ 은 경로 손실 지수(Path loss exponent),  $L$ 은 평균이 0이고, 표준 편차가  $\sigma$ 인 로그 정규분포( $L_{dB} = N(0, \sigma_{dB}^2)$ )를 갖는 수신 신호의 섀도잉 영향을 나타낸다. 일반적으로 도시 환경일 경우,  $\alpha$ 는 2.5~5.0 그리고  $\sigma_{dB}$ 는 5~12dB의 범위를 갖는다<sup>[10]</sup>.

2.3 트래픽 모델

MMR 시스템의 상향 링크의 성능을 분석하기 위해 다음과 같이 시스템의 트래픽을 모델링 한다.

통합 호 발생 프로세스 (aggregated call arrival process)는 Cluster 당 발생률  $\lambda$ 를 갖는 포아송 프로세스(Poisson process)를 따른다.

호 지속 시간(call duration)은 평균  $1/\mu$ 초를 갖는 지수 분포(exponential distribution)를 따른다.

MR-BS의 반경과 RS의 반경은 각각  $r_B$ 와  $r_R$ 이다.

Cluster 커버리지에서 MR-BS 커버리지가 차지하는 비율을  $\zeta$ 이라 하고 다음과 같은 값을 갖는다.

$$\zeta = \frac{\pi r_B^2}{\pi(r_B^2 + n_{RS} \cdot r_R^2)} = \frac{r_B^2}{(r_B^2 + n_{RS} \cdot r_R^2)}$$

$n_{RS}$ =RS의 개수.

MS는 Cluster 내에 균일하게 분포한다.

$\lambda_b$ : MR- BS 커버리지에서 발생하는 호 발생률

$$\lambda_b = \zeta \lambda.$$

$\lambda_r$ : RS중 하나의 커버리지에서 발생하는 호 발생률

$$\lambda_r = \frac{(1-\zeta)\lambda}{n_{RS}}.$$

위에서 정리한 모델에 의해 임의의 시각 t 에 할당된 MR-BS 채널과 RS 채널의 개수를 각각  $N_b$  와  $N_r$  로 정의하면, 호의 발생 시간 간격과 지속 시간은 지수 분포를 따르기 때문에  $N_*(^*=b$  MR-BS 또는  $r$  RS)로 정의된 랜덤 벡터는 일차원 마코프 체인(one dimensional Markov chain)으로 표현할 수 있다.

따라서 MR-BS와 각각의 RS에서 사용할 수 있는 총 채널이 C개 일 때,  $N_*$ 에 대한 마코프 체인은 M/M/C 큐(queue) 모델로 그림 3과 같이 나타낼 수 있다<sup>[11]</sup>.

그림 3에서  $\lambda_*$ 은 MR-BS에서 호 발생률( $\lambda_b$ ) 또는 RS에서 호 발생률( $\lambda_r$ )을 나타낸다. 그리고 랜덤 벡터  $N_*$ 의 안정상태 확률밀도함수 (steady state probability mass function)를  $P_*(n) \equiv \Pr(N_* = n)$ 라 정의하면  $0 \leq n \leq C$ 의 범위에서 식 (2)와 같은 balance equation 을 만족시킨다.

$$P_*(n) \cdot (\lambda_* + n \cdot \mu) = P_*(n-1) \cdot \lambda_* + P_*(n+1) \cdot (n+1) \cdot \mu \quad (2)$$

식 (2)에서  $P_*$ 는  $P_b$ 과  $P_r$ 으로 각각 MR-BS의 balance equation일 경우와 RS의 balance equation일 경우를 나타낸다. 그리고 식 (2)로부터 안정상태에서 시스템에 n개의 채널이 점유될 확률인  $P_*(n)$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_*(n) = P_*(0) \cdot \frac{\lambda_*^n}{n! \mu^n} \quad (3)$$

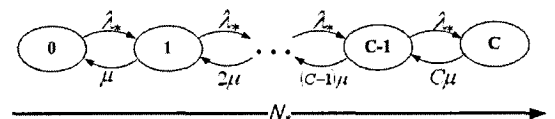


그림 3.  $N_*$ 의 State transition rate diagram

식 (3)에서  $P_*(0)$ 은 정규화 조건(Normalization condition)에 의해 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\sum_{0 \leq n \leq C} P_*(n) = \sum_{0 \leq n \leq C} P_*(0) \cdot \frac{\lambda_*^n}{n! \mu_*^n} = 1$$

$$P_*(0) = \left[ \sum_{n=0}^C \frac{\lambda_*^n}{n! \mu_*^n} \right]^{-1}, \quad (4)$$

MMR 시스템의 트래픽 모델에서 발생한 호에 대한 차단 확률,  $P_{B,*}$ , 은 MR-BS 또는 RS 커버리지에서 호가 발생했을 때, 채널이 없는 경우 호가 차단되는 확률을 나타내며 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$P_{B,*} = P_*(C), \quad * = b \text{ 또는 } r \quad (5)$$

그리고 MR-BS 또는 RS의 채널 사용률은 전체 채널에서 사용한 평균 채널의 수로 식 (6)과 같이 정의하는데, 이것은 동일한 채널을 사용하는 단말이 발생하는 확률로써 3장에서 동일 채널 간섭량을 계산하기 위한 시뮬레이션 파라미터로 사용된다.

$$\rho_* = \frac{\overline{N}_*}{C}, \quad (6)$$

식 (6)에서  $\overline{N}_*$ 은 MR-BS 또는 RS에서 사용한 채널의 평균수를 나타내는데, 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$\overline{N}_* = \sum_{n=0}^C n \cdot P_*(n). \quad (7)$$

### III. 동일 채널 간섭과 시스템 처리량의 분석 모델

#### 3.1 동일 채널 간섭 분석 모델

상향 링크에서 발생하는 동일 채널 간섭은 Target Cluster의 MR-BS 또는 RS에서 서비스 받고 있는 MS 중 Target Cluster 또는 Neighbor Cluster의 MR-BS, RS에서 서비스 받고 있는 MS들과 동일한 채널을 사용할 경우 발생하게 된다. 그리고 동일 채널을 사용할 확률은 각각의 토폴로지 Type에 따른 채널 사용률에 따라 달라진다. 예를 들어, 2장에서 가정된 시스템 토폴로지 Type 2에서 Target Cluster의 MR-BS가 받는 간섭,  $I_{b,2}$ , 은 Neighbor Cluster의 MR-BS에서 서비스 받고 있는 MS에 의한 간섭(간섭 Type(b, 2))과 Target Cluster에 존재하는 RS와 Neighbor Cluster의 RS에서 서비스 받고 있는 MS들에 의한 간섭(간섭 Type(r,

2))으로 각각 6개와 84개이다. 동일한 토폴로지에서 Target Cluster의 RS가 받는 간섭,  $I_r$ ,의 경우, Target Cluster의 MR-BS와 Neighbor Cluster의 MR-BS에서 각각 서비스 받고 있는 MS에 의한 간섭(간섭 Type(b, 2))뿐만 아니라 Target Cluster와 Neighbor Cluster의 RS에서 각각 서비스 받고 있는 MS들에 의한 간섭(간섭 Type(r, 2))으로 각각 7개와 83개이다. 그리고 각각의 간섭의 경우에서 RS에 비해 MR-BS에서 자주 서비스 받는 MS가 발생하기 때문에 그만큼 동일 채널 간섭이 발생할 확률도 달라진다. 따라서 토폴로지 Type에 따른 동일 채널 간섭은 다음과 같이 표현된다.

$$I_* = \sum_{k=b,r} \sum_{n=1}^{n_{k,t}} (i_n | \rho_k), \quad (8)$$

식 (8)에서  $n_{k,t}$ 은 토폴로지에 따른 간섭의 개수를 나타내고,  $i_n$ 은 동일한 채널을 사용하는 MS의 존재 여부(존재할 경우 1, 그렇지 않을 경우 0),  $\rho_k$ 은 채널 사용률을 각각 나타낸다. 표 1은 토폴로지 Type에 따른 식 (8)의 파라미터 값을 정리한 것이다.

표 1. 간섭 파라미터

파라미터		간섭 Type(*, t)			
		(b, t)	(r, 1)	(r, 2)	(r, 3)
$I_b$	$n_{k,t}$	6	42	84	126
	$\rho_*$	$\rho_b$	$\rho_r$		
$I_r$	$n_{k,t}$	7	41	83	125
	$\rho_*$	$\rho_b$	$\rho_r$		

#### 3.2 시스템 처리량 분석 모델

시스템에서 MS가 채널을 할당 받았으나 동일 채널 간섭에 의해 SIR을 만족시키지 못할 경우 그 MS는 outage를 겪게 된다. 따라서 MR-BS 또는 RS에서 서비스를 받고 있는 MS들의 outage 확률은 발생한 전체 MS의 개수 중에서 SIR를 만족시키지 못하는 MS의 개수로 정의할 수 있고 다음과 같이 표현된다.

$$P_{out,*} = \frac{\sum (SIR < \gamma_{th})}{u}, \quad * = b \text{ 또는 } r. \quad (9)$$

식 (9)에서  $u$ 는 MR-BS 또는 RS에서 채널을 할당 받은 MS의 개수,  $\gamma_{th}$ 은 SIR의 경계값을 나타낸다.

다음으로 시스템 처리량,  $T$ ,은 2장에서 정의한 호 차단 확률과 호 outage 확률을 고려하여 MR-BS 혹은

RS에서 채널을 할당 받은 MS가 SIR을 만족할 경우로 정의할 수 있으며, 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = [\lambda_b(1 - P_{B,b})(1 - P_{out,b}) + n_{RS} \cdot \lambda_r(1 - P_{B,r})(1 - P_{out,r})] / \mu / C \quad (10)$$

#### IV. 성능 분석 및 결과

##### 4.1 분석 환경

성능 분석은 각 Type의 MR-BS와 RS의 커버리지 비율에 대한 MMR cluster의 호 차단률, 채널 사용률, outage 확률, 그리고 시스템 처리량 등으로 나타낸다. 표 2는 각 Type에 따라 달라지는 MR-BS와 RS의 호 발생률을 나타낸다.

그리고 시뮬레이션에서  $\mu$ 는 1,  $C$ 는 19,  $\alpha$ 는 도시 환경을 가정하여 4,  $\sigma_{dB}$ 는 8dB, 그리고  $\gamma_{th}$ 은 10으로 가정한다<sup>[12]</sup>.

표 2. Type에 따른 호 발생률

Target Cluster 발생률: $\lambda$	Type 1	Type 2	Type 3
MR-BS	$\frac{1}{7}\lambda$	$\frac{7}{19}\lambda$	$\frac{19}{37}\lambda$
RS	$\frac{1}{7}\lambda$	$\frac{1}{19}\lambda$	$\frac{1}{37}\lambda$

##### 4.2 분석 결과

그림 4와 그림 5는 식 (5)와 식 (6)을 사용하여 채널당 발생하는 offered load의 변화에 따른 Target Cluster의 MR-BS와 RS 1개의 호 차단 확률과 채널

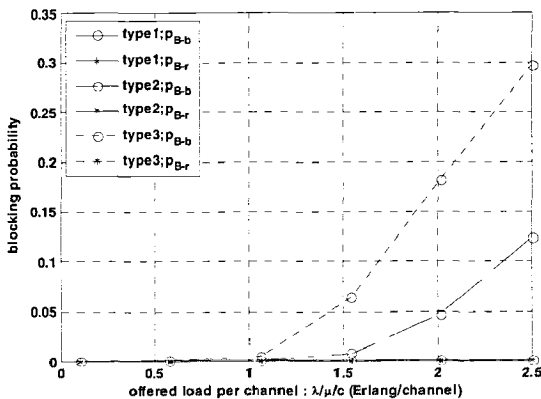


그림 4. 채널 당 offered load에 따른 호 차단 확률

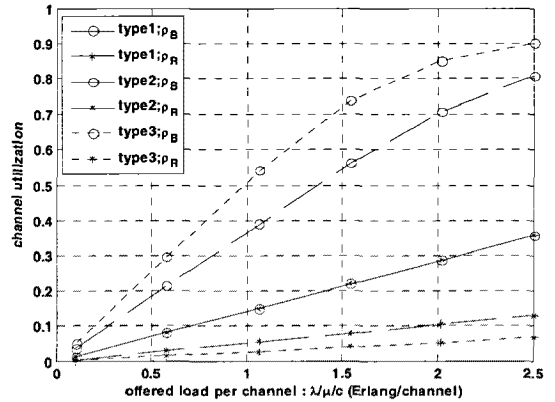


그림 5. 채널 당 offered load에 따른 채널 사용률

사용률을 각각 분석한 결과이다.

그림 4에서 호 차단은 offered load가 1 이하로 낮은 상태에서는 모든 Type의 MR-BS와 RS에 대한 호 차단률이 거의 발생하지 않는다. 그러나 offered load가 증가함에 따라 Type 2와 3의 경우 MR-BS에서 호 차단이 증가하였는데 이것은 RS에 비해 각각 7배와 16배로 호가 많이 발생하기 때문이다. 특히 Type 3의 경우 MR-BS와 RS의 호 차단률의 차이가 크게 나타나고 있다.

그림 5는 offered load에 따른 채널 사용률에 대한 결과로 모든 Type의 MR-BS와 RS에서 채널 사용률이 증가한다. Type 1의 경우 토폴로지 구성에서 MR-BS와 RS의 호 발생률이 같기 때문에 채널 사용률 또한 같다. 그러나 Type 2와 Type 3의 경우, offered load가 증가함에 따라 MR-BS와 RS의 채널 사용률에서 차이를 보이는데, 그 이유는 커버리지 비율에 따른 호의 발생률의 차이 때문이다. Type 3의 경우 MR-BS와 RS의 채널 사용률이 가장 큰 차이를 보이고 있다.

그림 6은 그림 5의 결과를 이용하여 채널당 발생하는 offered load의 변화에 따른 Target Cluster의 MR-BS와 RS 1개의 outage 확률을 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 얻은 결과이다. offered load가 낮은 경우에는 채널 사용률이 낮기 때문에(그림 5 참고) MR-BS와 RS에서 서비스를 받는 MS가 동일 채널을 사용할 확률이 줄어들어 간섭에 의한 outage 확률이 작다. 그러나 offered load가 증가함에 따라 채널의 사용률이 증가하게 되고, 그 만큼 MR-BS와 RS에서 서비스 받는 MS의 동일 채널을 사용할 확률이 증가하여 outage 확률도 증가한다.

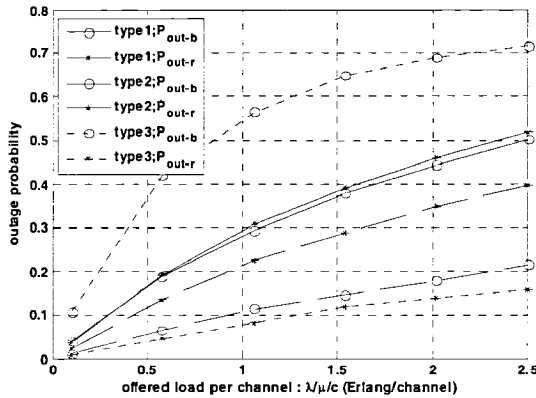


그림 6. 채널 당 offered load에 따른 outage 확률

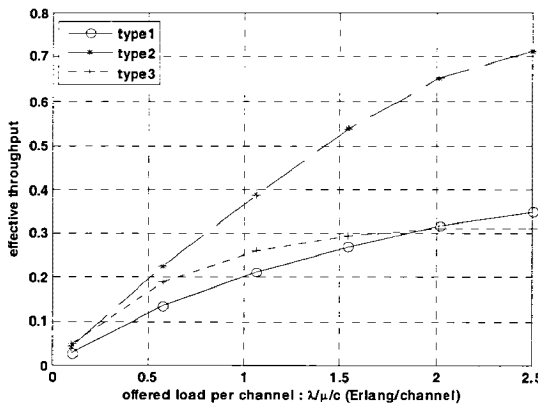


그림 7. 채널 당 offered load에 따른 시스템 처리량

그림 7은 offered load의 변화에 따른 시스템 처리량을 나타낸다. offered load가 증가함에 따라 Type 1과 3은 유사한 성능을 보이지만 Type 2는 가장 높은 시스템 처리량을 보인다. 따라서 MMR 토폴로지의 상향 링크를 고려한 시스템은 MR-BS와 RS의 커버리지 비율이 약 7:1에서 가장 높은 시스템 처리량을 나타낼 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 멀티셀 환경에서 MMR 상향링크 시스템의 성능을 분석하였다. 시스템의 채널 모델을 이용해 호 차단 확률과 채널 사용률을 계산하였고, 그 결과를 이용하여 outage 확률과 시스템 처리량을 분석하였다. 특히, MMR 토폴로지에서 MR-BS와 RS의 커버리지 비율이 1:1, 7:1, 19:1인 각 Type에서 성능을 분석하였다. Type 1의 경우 호 차단은 거의 발생하지 않았지만 동일 채널 간섭으로 인해 outage가 증가

하였다. Type 3의 경우 MR-BS의 채널 사용률은 높았지만 RS의 채널 사용률은 낮았고, 특히 MR-BS와 RS의 outage 확률에서 큰 차이를 보여 각 Station에서 서비스 받는 MS의 공평성(fairness)에 문제가 있음을 알 수 있었다. 하지만 Type 2는 Type 1과 3에 비교하여 모든 측면에서 우수한 성능을 보일 뿐만 아니라 공평성까지 보장하기 때문에 MR-BS와 RS의 커버리지 비율이 7:1 일 때 상향링크 시스템에서 최적임을 알 수 있었다. 차후 연구에서는 MR-BS와 RS의 커버리지 비율에 따른 성능 분석을 위해 수학적 모델을 제시하여 시뮬레이션과 비교하고, 세 가지 Type의 커버리지 비율이 아닌 연속적인 MR-BS와 RS의 커버리지 비율을 고려하여 높은 시스템 처리량을 갖는 비율을 분석하려 한다.

## 참고 문헌

- [1] 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.
- [2] R. Pabst et. al., "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," IEEE Commun. Mag., Sept. 2005.
- [3] V. Genc, S. Murphy, Y. Yu and J. Murphy, "IEEE 802.16j Relay-Based Wireless Access Networks: An Overview," IEEE Commun. Mag., Oct. 2008.
- [4] H. Hu, H. Yanikomeroglu, D. Falconer and S. Periyalwar, "Range extension without capacity penalty in cellular networks with digital fixed relays," Globecom, Dec. 2004, pp.3053-3057.
- [5] S. Wang, H. Yin, and S. Sheu, "An Effective Path Selection Metric for IEEE 802.16-based Multi-hop Relay Networks," ISCC 2007. 12th IEEE Symposium on, pp.1051-1056, 1-4 July 2007.
- [6] 김세진, 김승연, 이병복, 류승완, 이형우, 조충호, "NBTC와 WBTC 구조를 갖는 WiBro 시스템에서 멀티홉 중계기를 이용한 커버리지 확장과 최소 설치비용 연구," 한국통신학회, 한국통신학회 논문지, 제 33권, 제 10호, 2008.10.
- [7] 김승연, 유창진, 김세진, 류승완, 조충호, 이형우, "지향성 안테나를 사용하는 IEEE802.16j 멀티홉 릴레이 시스템의 용량 분석," 한국통신학회,

