

# Dynamic Resource Allocation Scheme for Interference Mitigation in Multi-Hop Relay Networks

Kwanghoon An<sup>†</sup> · Taejoon Kim<sup>††</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we propose a resource allocation scheme that guarantees transmission rate for each mobile stations by mitigating interference between a base station-to-mobile station link and a relay station-to-mobile station link. Specifically, we dynamically adjust the boundary between access zone and relay zone using signal to interference plus noise ratio. Moreover, we cluster the mobile stations under sever interference and manage the channel quality of these mobile stations by allocating additional radio resource. Our simulation results show that the proposed scheme can improve the efficiency of radio resources and ensure fairness among mobile stations.

**Keywords :** Multi-Hop Relay System, Resource Allocation, OFDMA, Interference Management

## 멀티 홉 릴레이 네트워크에서 간섭을 완화하는 동적 자원 할당 기법

안 광 훈<sup>†</sup> · 김 태 준<sup>††</sup>

## 요 약

본 논문에서는 멀티 홉 릴레이 네트워크에서 기지국(base station), 중계국(relay station)과 각 단말(mobile station)간의 전송률(throughput)을 향상시킬 수 있는 자원 할당 방법과 간섭을 겪는 단말들의 간섭을 최소화하여 모든 단말의 전송률을 보장하는 방법을 제안하고 있다. 멀티 홉 릴레이 시스템에서 기지국과 릴레이가 주파수 자원을 공유할 수 있으므로 간섭에 취약한 단말들이 생길 수 있다. 본 논문에서는 각 단말의 신호대 잡음 간섭 비(signal to interference plus noise ratio)를 이용하여 액세스 영역(access zone)과 릴레이 영역(relay zone)의 경계를 동적으로 조절하는 기법과 함께 간섭에 취약한 단말을 분류하고 이를 관리하는 기법을 제안한다. 성능 평가를 통해 제안하는 기법이 무선자원 사용의 효율성을 향상하고 각 단말들의 공평성을 보장하며 네트워크 전체 성능을 향상시키는 것을 확인하였다.

**키워드 :** 멀티홉 릴레이 시스템, 자원 할당, OFDMA, 간섭관리

## 1. 서 론

멀티 홉 릴레이 시스템은 시스템 전송률 향상과 셀 영역(cell coverage) 확대에 장점이 있으며 이런 이유로 많은 연구가 이루어지고 있다. 멀티 홉 릴레이 시스템은 기지국(base station: BS)과 단말(mobile station: MS)이 직접 통신하는

싱글 홉 시스템에 추가적으로 중계국(relay station: RS)을 설치하여 성능을 향상시키는 통신시스템이다[1-2]. 릴레이를 이용하는 경우 추가적인 기지국의 설치 없이 낮은 비용으로 셀 커버리지를 확장시킬 수 있으며, 홉 간 전송신호의 품질을 개선시켜 전체 네트워크의 성능을 증대시킬 수 있다.

멀티 홉 릴레이 시스템에서는 BS를 통하여 서비스를 받는 MS와 RS를 통하여 서비스를 받는 MS로 나누어진다. 이 경우 각 MS들의 데이터 요구량 및 BS와 RS의 큐의 크기를 모두 고려한 스케줄링이 이루어져야 하며, 전송률을 최대화하면서 모든 MS들을 공평하게 서비스해야 한다[3].

멀티 홉 릴레이 시스템에서 스케줄링 및 자원관리 방법은 크게 중앙 집중형 스케줄링 방식과 분산형 스케줄링 방식으로 구분할 수 있다. 중앙 집중형 스케줄링 방식에서 BS는

※ 이 논문은 2014학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 2015년도 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(NO. 20144030200450).

<sup>†</sup> 준 회 원 : 충북대학교 정보통신공학부 석사과정

<sup>††</sup> 정 회 원 : 충북대학교 정보통신공학부 조교수

Manuscript Received : March 28, 2016

First Revision : May 9, 2016

Accepted : May 9, 2016

\* Corresponding Author : Taejoon Kim(ktjcc@chungbuk.ac.kr)

하위 RS로부터 스케줄링에 필요한 정보를 수집하고, 이 정보를 바탕으로 셀 내의 위치한 MS의 자원 할당 및 스케줄링을 수행 한다[4]. 분산형 스케줄링 방식은 BS 대신에 RS가 직접 자신의 하위 MS들에 대한 스케줄링을 담당한다. BS는 하위 RS로부터 필요한 정보를 수집하고, 이 값을 바탕으로 각 RS의 스케줄링 방식을 결정한다[5]. 각 RS는 하위 MS들로부터 받은 정보를 바탕으로 하위 MS의 자원 할당 및 스케줄링을 수행한다. 따라서 멀티 홉 릴레이 시스템에서 RS는 기존 싱글 홉 시스템의 BS가 처리하는 자원관리 및 스케줄링 등의 기능을 수행할 수 있다.

멀티 홉 릴레이 시스템에서는 데이터의 전송이 여러 홉으로 전송될 수 있으며 이에 따른 추가적인 자원이 필요할 수 있다. 따라서 기존 프레임과 달리 멀티 홉 릴레이 시스템의 프레임은 BS 및 RS가 MS와 직접 통신하는 액세스 영역(access zone: AZ)과 BS와 RS사이의 통신을 위한 릴레이 영역(relay zone: RZ)으로 나누어진다. 실제 통신에 사용되는 자원은 한정되어 있기 때문에 최적의 성능을 낼 수 있는 AZ과 RZ의 비율을 결정하는 것이 중요하다.

BS와 RS의 AZ은 동일한 자원을 공유하여 사용할 수도 있고 서로 자원을 분할하여 사용할 수도 있다. 그러므로 BS와 RS가 자원을 공유하는 경우 BS 및 RS에 접속된 MS들은 간섭을 겪을 수 있다. 간섭을 겪는 MS들은 필요한 데이터 요구량을 보장받지 못할 수 있다. 따라서 간섭에 취약한 MS들은 간섭 정도를 최소화 할 필요가 있으며 간섭의 영향을 줄이기 위한 여러 가지 연구들이 이루어지고 있다[6-8]. 대부분의 연구들은 전체 주파수 대역을 여러 개의 대역으로 나누어 할당함으로써 셀 내부 간섭과 셀 외부 간섭을 줄이는 방법을 사용하고 있다. 이러한 연구들은 전체 주파수 대역을 나누어서 할당하기 때문에 간섭을 최소화할 수 있지만 전체 주파수 대역을 사용하는 것에 비하여 비효율적이다. 이러한 단점을 해결하기 위하여 주파수를 재사용하는 기법들에 대한 연구도 진행되고 있다[9-10]. 효율적인 간섭관리가 이런 주파수 재사용 기법의 성능을 결정하는 핵심기술이다.

본 논문에서는 전체 주파수 대역을 사용하면서 간섭의 영향을 최소화할 수 있는 방법에 대하여 다루고 있다. 각 MS들의 데이터 요구량을 바탕으로 AZ와 RZ를 동적으로 할당하고 간섭에 취약한 MS의 전송률을 보장하여 전체 네트워크의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 1개의 BS와 1개의 RS 및  $K(K=N+M)$ 개의 MS( $N$ 개는 BS에 등록,  $M$ 개는 RS에 등록)로 이루어진 멀티 홉 네트워크 환경을 구성하였다.

각각의 무선 링크는 레일리 페이딩 채널(Rayleigh fading channel)을 가정하였으며 OFDMA 방식에서 하향링크 트래픽만을 고려하였다. 이에 따른 IEEE 802.16j 기반의 BS 및 RS 프레임 구조는 Fig. 2에 표현되어 있다. BS 및 RS는 각

각 자신의 하위 MS에 비례공정(proportional fair: PF) 알고리즘을 이용하여 서비스한다. 이 PF 알고리즘은 현재 채널 상태에서 달성 가능한 전송률을 일정 시간 동안의 실제 전송률(long term throughput)로 나누어 각 MS들의 전송 순위를 정한다. 본 논문에서 전송률(throughput)은 프레임 레벨에서 단위시간에 전달된 데이터의 양을 의미한다. RS의 하위 MS같은 경우 BS-RS-MS의 2 홉 데이터 전송을 통하여 드롭이나 에러가 없이 유효하게 전달된 데이터의 양을 의미한다.

본 논문의 멀티 홉 릴레이 시스템에서는 Fig. 2와 같이 BS 프레임과 RS 프레임이 동일한 자원을 이용하므로 BS의 하위 MS와 RS의 하위 MS들은 각각 RS와 BS 신호의 간섭을 받을 수 있다. BS와 RS사이의 간섭을 심하게 겪는 MS들은 간섭 MS로 분류하여 관리한다. 간섭 MS의 선택 기준은 preamble 신호를 이용하여 결정하는데 각각의 MS들이 BS와 RS에서 수신한 preamble 신호들의 파워를 측정하고 서로의 비율을 계산한다. 즉 BS에 등록된 MS는 BS preamble 신호의 파워를 RS preamble 신호의 파워로 나눈다. 이 비율이 미리 정해진 기준 값 이하이면 간섭 MS로 분류한다.

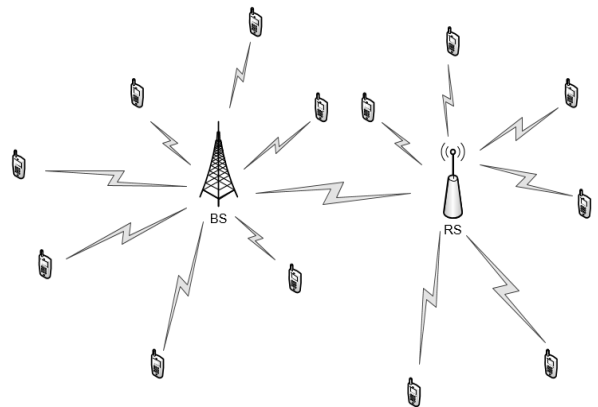


Fig. 1. IEEE 802.16j network model

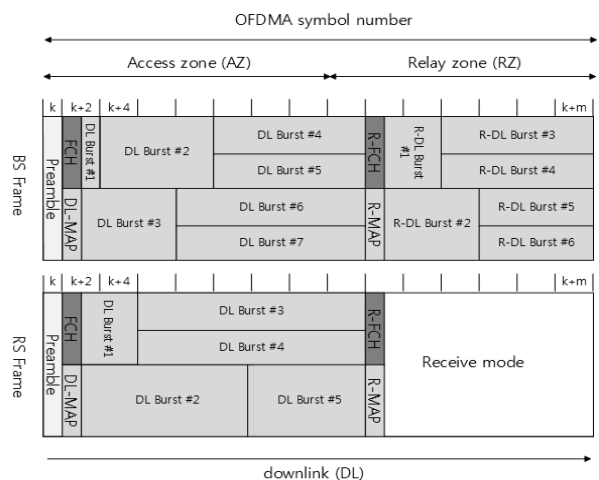


Fig. 2. IEEE 802.16j based frame structure

### 3. Access zone/Relay zone 경계 조절

BS에 등록된  $i$ 번째( $i=1,2,\dots,N$ ) MS의 데이터 전송 용량을  $C_i$  bps, 신호 대 간섭 잡음비(signal to interference plus noise ratio: SINR)을  $\gamma_i$ , 할당된 부반송파(subcarrier)의 수를  $R_i$ 라고 하면 Shannon의 정리는 다음과 같은 식으로 쓸 수 있다.

$$C_i = R_i \times \log_2(1 + \gamma_i) \quad (1)$$

각 MS는 PF 알고리즘을 이용하여 서비스를 받게 된다. PF 알고리즘이란 현재 채널 상태를 일정 시간 동안 전송받은 데이터의 양으로 나누어 각 MS들의 우선순위를 정하고 이에 따라 데이터를 전송함으로써 각 MS 사이의 공정성을 보장하고 전체 네트워크의  $\sum_i \log T_i$ ( $T_i$ 는 MS  $i$ 의 throughput) 최대가 되게 하는 스케줄링 기법이다[11]. 하지만 이 PF 알고리즘의 스케줄링 기준은 수학적 분석이 어려우므로 본 논문에서는 단순화된 PF 알고리즘의 개념으로 정규화(normalized)된 SINR을 소개한다.  $i$ 번째 MS의 정규화 된 SINR을  $\Gamma_i(t)$ 라고 가정하면

$$\Gamma_i(t) = \frac{\gamma_i(t)}{\bar{\gamma}_i} \quad (2)$$

로 표현할 수 있다.  $\gamma_i(t)$ 는  $t$ 번째 프레임에서  $i$ 번째 MS의 SINR이 되고  $\bar{\gamma}_i$ 는  $i$ 번째 MS의 평균 SINR이 된다. 레일리 페이딩 채널에서 각 MS들의 확률 밀도 함수(probability density function: pdf)는 다음과 같다.

$$f(\gamma) = \frac{1}{\gamma} e^{-\frac{\gamma}{\gamma}} \quad (3)$$

따라서  $x = \frac{\gamma}{\gamma}$ 로 치환하여 정규화 된 SINR의 pdf를 구하면 각 MS들은 모두

$$f(x) = e^{-x} \quad (4)$$

의 분포를 갖게 된다.  $i$ 번째 MS가 가장 높은 정규화 된 SINR인  $s$ 를 갖는 경우  $i$ 번째 MS를 제외한 MS들의 정규화 된 SINR은  $s$ 보다 낮아야 하며 이 때 각 MS의 정규화 된 SINR이  $s$ 보다 낮을 확률은 누적 분포 함수(cumulative density function: cdf)를 이용하여 구할 수 있으며 Equation (5)와 같다.

$$\int_0^s e^{-x} dx = 1 - e^{-s} \quad (5)$$

그러므로  $i$ 번째 MS가 가장 높은 정규화 된 SINR로 선택될 확률은 다음과 같다.

$$P\{\max(\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_k) = \Gamma_i \leq x\} = \int_0^x (1 - e^{-s})^{k-1} e^{-s} ds \quad (6)$$

따라서 가장 높은 정규화 된 SINR을 갖는 MS  $i$ 의 pdf는 Equation (6)을 미분하여 다음과 같이 얻는다.

$$f(x) = (1 - e^{-x})^{k-1} e^{-x} \quad (7)$$

따라서 Shannon의 정리는 Equation (8)과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$C_i = R_i \int_0^\infty \log_2(1 + \bar{\gamma}_i x) f(x) dx \quad (8)$$

그러므로  $R_i$  값을 조절하여 MS들의 데이터 요구량을 맞추도록 한다. 각 MS의 데이터 요구량을  $D_i$  bps라 하면 이를 보장해 주기 위해서는  $C_i \geq D_i$ 를 만족해야 한다. 따라서

$$R_i \int_0^\infty \log_2(1 + \bar{\gamma}_i x) f(x) dx \geq D_i \quad (9)$$

$$R_i \geq \frac{D_i}{\int_0^\infty \log_2(1 + \bar{\gamma}_i x) f(x) dx} = R_i^{BS} \quad (10)$$

을 만족하는  $R_i$  값을 구한다. 그러므로 위 Equation (10)의  $R_i^{BS}$ 가  $D_i$  bps를 만족시키는 최소한의 자원이다. 마찬가지로 RS의  $j$ 번째 MS에서 할당된 부반송파의 수를  $R_j^{RS}$ 로 표현하면

$$R_j^{RS} = \frac{D_j}{\int_0^\infty \log_2(1 + \bar{\gamma}_j^{RS} x) f(x) dx}, \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (11)$$

이 되고  $M$ 은 RS에 등록된 MS의 개수이다. 간섭 MS 그룹에서  $l$ 번째 MS에서  $R$ 값을  $R_l^I$ 라 표현하면

$$R_l^I = \frac{D_l}{\int_0^\infty \log_2(1 + \bar{\gamma}_l^I x) f(x) dx}, \quad l = 1, 2, \dots, K \quad (12)$$

가 되며  $K$ 는 간섭 MS의 개수이다. 따라서 BS에 등록된 MS의 전체 자원 요구량은

$$R^{BS} = \sum_i^N R_i^{BS}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (13)$$

RS에 등록된 MS의 전체 자원 요구량은

$$R^{RS} = \sum_j^M R_j^{RS}, j = 1, 2, \dots, M \quad (14)$$

간접 MS의 전체 자원 요구량은

$$R^I = \sum_l^K R_l^I, l = 1, 2, \dots, K \quad (15)$$

가 된다. 간접이 심한 MS를 따로 분류했기 때문에 BS-MS와 RS-MS간에는 간섭이 최소화 되었고 BS와 RS는  $R^{BS}$ 와  $R^{RS}$ 만큼의 자원을 공유할 수 있다. 이때 AZ에서는  $R^{BS}$ ,  $R^{RS}$ ,  $R^I$ 만큼의 자원 요구량을 수용할 수 있어야 한다. 한편, 간접 MS를 위한 자원 량을  $R^I$ 로 분류했기 때문에 AZ의 필요한 자원량은

$$R_{AZ} = \max(R^{BS}, R^{RS}) + R^I \quad (16)$$

가 된다.

RS는 MS를 서비스를 하기 위해서 RZ를 사용하여 BS로부터 데이터를 전달 받는다. 따라서 추가적인 RZ의 자원이 필요하다. 간접 MS를 RS가 서비스를 하기 위한 데이터를 추가로 받게 되면 이를 위한 추가 자원이 RZ에 할당되어야 한다. BS 및 RS 어디에 등록되어도 간접 MS의 SINR은 열악하므로 간접 MS는 BS에서 서비스를 하는 것이 효율적이다. 따라서 BS-RS 사이의 SINR을  $\gamma_{BS-RS}$ 라고 하면 BS-RS 사이의 전송 용량은

$$C_{RZ} = R_{RZ} \times \log_2(1 + \gamma_{BS-RS}) \quad (17)$$

가 되고  $C_{RZ}$ 는 RS가 서비스하는 총 MS의 데이터 요구량보다 커야 한다. 이 때 BS-RS 사이의 링크는 BS가 하나의 RS를 스케줄링 하므로 PF 스케줄링을 고려하지 않는다. RS MS의 전체 데이터 요구량을  $D_{RS}$  ( $D_{RS} = \sum_i^M D_i$ )라고 하면

$$R_{RZ} \times \log_2(1 + \gamma_{BS-RS}) \geq D_{RS} \quad (18)$$

가 되고  $R$ 에 대하여 다시 쓰면

$$R_{RZ} \geq \frac{D_{RS}}{\log_2(1 + \gamma_{BS-RS})} \quad (19)$$

을 만족하는 최소  $R_{RZ}$ 값이 RZ에 할당되어야 한다.  $R_{total}$ 을 전체 부반송파의 숫자라고 하면

$$R_{total} \geq R_{AZ} + R_{RZ} \quad (20)$$

위 Equation (20)과 같이 전체 부반송파의 수가 충분하다면 AZ와 RZ의 값을 위에서 구한 값으로 할당하면 되지만 그렇

지 않다면 AZ와 RZ의 비율을 Equation (21)과 같이 필요한 무선 자원량에 비례하여 할당하는 방식을 제안한다.

$$AZ: RZ = R_{AZ}: R_{RZ} \quad (21)$$

이 때  $R_{AZ}$ 에서는  $\max(R^{BS}, R^{RS})$ 와  $R^I$ 의 비율로 다시 나누어 간접 MS 만을 위한 자원을 할당한다. 따라서 프레임 구조는 Fig. 3과 같이 정해진다. Fig. 3과 같이 간접 MS를 위한 자원을 할당하고 BS가 서비스하기 때문에 RS는 이 자원을 제외하고 남은 자원으로 서비스를 한다.

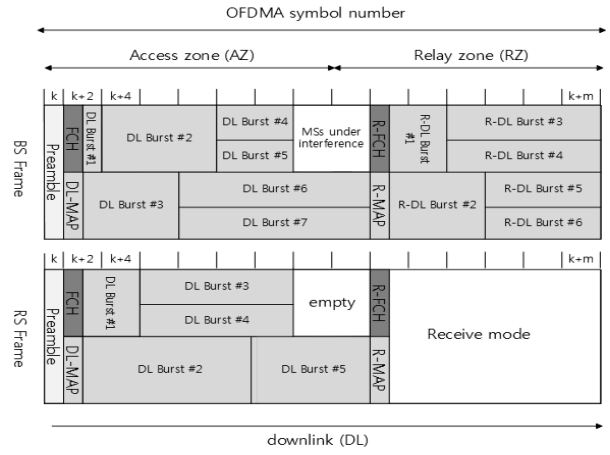


Fig. 3. Proposed frame structure

#### 4. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 기법의 유용성을 증명하기 위하여 Fig. 1의 네트워크 모델에서 시뮬레이션을 수행하였다. 각 채널은 레일리 페이딩 채널로 가정하였다. 시뮬레이션에 사용한 변수들과 값은 Table 1과 같고, SINR에 따른 변조 및 부호화(modulation and coding scheme: MCS) 레벨은 Table 2와 같으며 BS와 RS는 PF 알고리즘을 이용하여 MS들을 서비스한다. 또한 RS의 큐의 크기는 한 프레임에서 가장 높은 MCS 레벨로 전송 가능한 패킷 수의 약 2배 정도로 가정하였다.

Fig. 4는 AZ와 RZ의 비율을 1 : 28부터 28 : 1까지 조절 하면서 전송률을 비교한 결과이다. AZ와 RZ의 비율이 17 : 12인 경우 가장 높은 전송률을 갖는 것을 볼 수 있다. AZ와 RZ의 비율이 17 : 12까지는 증가하고 그 이후로는 감소하는 국부 최대값이 1개인 불룩한(unimodal) 형태의 특성을 갖기 때문에 고정된 비율을 이용하는 경우 가장 전송률이 높은 AZ와 RZ의 비율이 17 : 12인 경우와 비교하여 시뮬레이션을 진행하였다. 고정된 비율을 이용하는 경우와 제안하는 방법을 이용하여 서비스를 하는 경우를 나누어 전체 전송률을 비교하였고 그 결과를 Fig. 5에 표시하였다. 이 그림에서 확인할 수 있듯이 제안하는 방법을 사용하는 경우 더 높은 전송률을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1. Parameters for simulations

Parameter	Value
Frame duration	5 ms
Number of symbols per frame	29
Number of subcarrier per symbol	720
Number of BS-MS	50
Number of RS-MS	60
Number of under interference MS	10
AZ/RZ boundary ratio	Dynamic
Simulation time	50 s

Table 2. MCS level according to SINR

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

Fig. 6은 Fig. 5의 AZ와 RZ의 경우 전체 전송률을 BS와 RS, 간섭을 겪는 MS들의 각각의 전송률로 나타낸 그림이다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 제안된 기법이 고정된 비율에 비해 BS와 RS의 하위 MS 및 간섭 MS들의 전송률이 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 7은 BS에 등록된 MS의 수를 줄이고 간섭을 겪는 MS를 증가시켰을 때 각각의 전송률이다. BS에 등록된 MS의 수는 40개이며 RS에 등록된 MS의 수는 60개, 간섭을 겪는 MS의 수는 20개이다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 간섭을 겪는 MS의 수가 증가하여도 AZ와 RZ의 고정된 비율을 사용하는 방법보다 제안하는 기법이 더 높은 전송률을 보장하는 것을 확인할 수 있다.

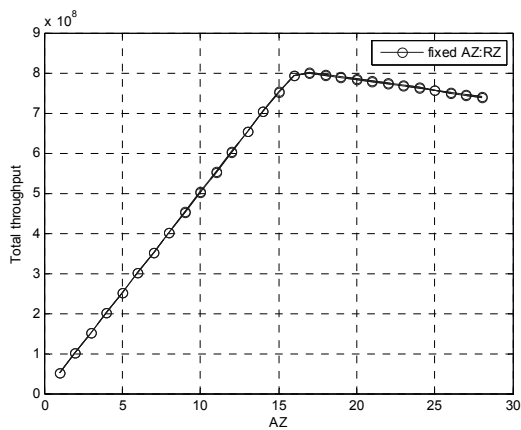


Fig. 4. Total throughput with varying AZ to RZ ratio

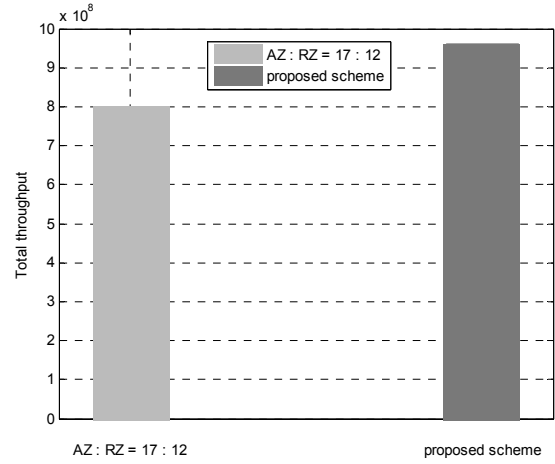


Fig. 5. Total throughput

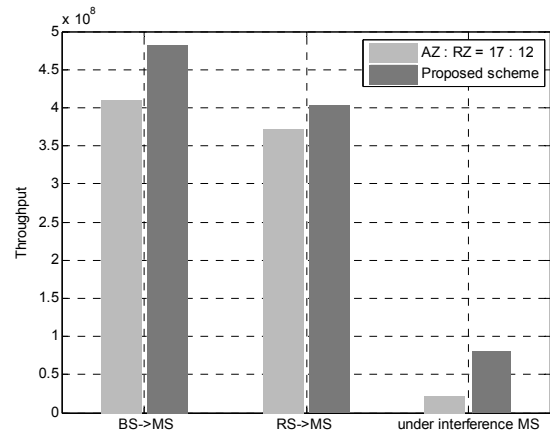


Fig. 6. Throughput comparison among MSs with different categories

마찬가지로 Fig. 8은 RS에 등록된 MS의 수를 줄이고 간섭을 겪는 MS를 증가시켰을 때 각각의 전송률이다. BS와 RS에 각각 등록된 MS의 수는 50개이며 간섭을 겪는 MS의 수는 20개이다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 제안하는 기법에서 간섭을 겪는 MS의 전송률을 보장하는 것을 확인할 수 있다.

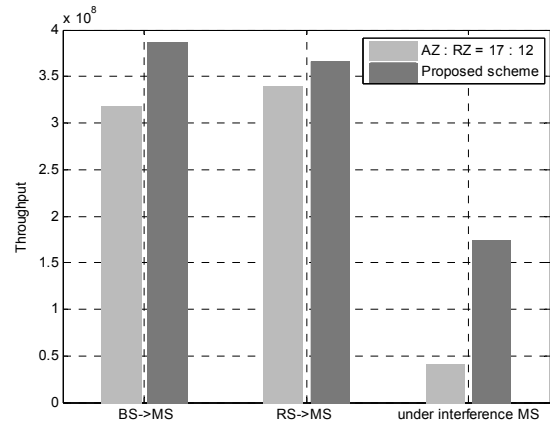


Fig. 7. Throughput comparison among MSs with different categories

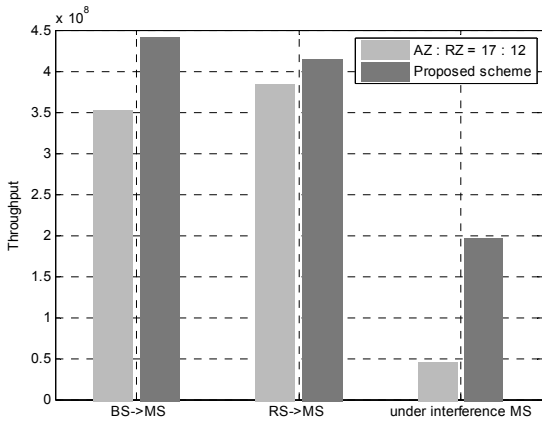


Fig. 8. Throughput comparison among MSs with different categories

### 5. 결 론

IEEE 802.16j 멀티 홉 네트워크에서 AZ과 RZ의 비율을 고정하여 사용하는 경우 무선 자원의 부족 또는 낭비를 야기할 수 있고 이는 전체 네트워크의 성능이 저하되는 문제로 이어진다. 또한 BS와 RS의 AZ은 동일한 자원을 공유하므로 이 때 간섭을 겪는 MS들은 데이터 요구량을 보장받지 못한다.

성능 평가에서 보는 바와 같이 AZ과 RZ을 동적으로 조절하면서 간섭 MS를 위한 자원 할당 기법을 적용하여 BS와 RS의 하위 MS 및 간섭을 겪는 MS들의 전송률이 기존의 방법보다 크게 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이는 전체 네트워크의 성능 향상으로 이어진다.

### References

[1] IEEE Standard 802.16j-2009, "Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Multiple Relay Specification," June, 2009.

[2] G. Vasken, M. Sean, Y. Yang, and M. John, "IEEE 802.16j relay-based wireless access networks: An Overview," *IEEE Wireless Communications*, pp.56-63, October, 2008.

[3] J. Hajipour, A. Mohamed, and V. C. M. Leung, "Efficient and fair throughput-optimal scheduling in buffer-aided relay-based cellular networks," *IEEE Communications Letters*, Vol.19, Issue.8, pp.1390-1393, August, 2015.

[4] D. W. K. Ng and R. Schober, "Cross-Layer scheduling for OFDMA amplify-and-forward relay networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.59, Issue.3, pp. 1443-1458, March, 2010.

[5] L. Huang, R. Mengtain, W. Lan, X. Yisheng, and E. Schulz, "Resource allocation for OFDMA based relay enhanced cellular networks," *Vehicular Technology Conference*, 2007, VTC2007-Spring, IEEE 65th, pp.3160-3164, April, 2007.

[6] Y. Zhao, X. Fang, R. Huang, and Y. Fang, "Joint interference coordination and load balancing for OFDMA multihop cellular networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.13, No.1, pp.89-101, January, 2014.

[7] T. C. Y. Ng, W. Yu, J. Zhang, and A. Reid, "Joint optimization of relay strategies and resource allocations in cooperative cellular networks," *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, Vol.25, No.2, pp.328-339, 2007.

[8] Y. Kim, W. Lim, and S. Cho, "Interference aware cost effective coverage extension in multihop relay networks," *The Journal Of Korea Information And Communications Society*, Vol.37, No.12, pp.1138-1147, December, 2012.

[9] P. Li, M. Rong, Y. Xue, and E. Schulz, "Reuse one frequency planning for two-hop cellular system with fixed relay nodes," in *Proc. IEEE WCNC*, pp.2253-2258, March, 2007.

[10] W. H. Park and S. Bahk, "Resource management policies for fixed relay in cellular networks," *Computer Communications*, Vol.32, No.4, pp.703-711, March, 2009.

[11] H. Kim and Y. Han, "A proportional fair scheduling for multicarrier transmission systems," *IEEE Communications Letters*, Vol.9, Issue.3, pp.210-212, March, 2005.

[12] B. Bae, B. Shin, and D. Hong, "A Decesion scheme of amount of required resources for adaptive resource reuse in wireless multi-hop systems," *The Journal Of Korea Information And Communications Society*, Vol.23, No.3, pp.229-234, February, 2009.



### 안 광 훈

e-mail : wdwf990@cbnu.ac.kr

2015년 충북대학교 정보통신공학부(학사)

2015년~현 재 충북대학교 정보통신공학부 석사과정

관심분야: 멀티 홉 릴레이 시스템, 이동통신공학



### 김 태 준

e-mail : ktjcc@cbnu.ac.kr

2003년 연세대학교 전자공학과(학사)

2011년 한국과학기술원 전기전자공학과 (박사)

2011년~2013년 한국전자통신연구원 연구원  
2013년~현 재 충북대학교 정보통신공학부 조교수

관심분야: 센서 네트워크, 이동형 릴레이 시스템