

OFDMA 기반 Relay 시스템에서 Relay의 Capability에 따른 VoIP 성능 분석

준회원 안성보*, 정회원 최호영*, 종신회원 홍대형*, 정회원 임재찬*

Effect of Relay Capability on VoIP Performance in OFDMA based Relay Systems

Sungbo Ahn* Associate Member, Hoyoung Choi* Regular Member,
Daehyoung Hong* Lifelong Member, Jaechan Lim* Regular Member

요약

본 논문에서는 OFDMA 기반 relay 시스템에서 사용자에게 VoIP 서비스를 제공할 경우, relay station (RS)의 capability에 따른 시스템의 성능 차이를 분석하였다. Relay 시스템은, relay의 스케줄링 수행 여부에 따라 mid-capability (MC)와 high-capability (HC) relay를 적용한 시스템으로 구분할 수 있다. HC relay를 적용한 시스템의 경우, base station (BS) 뿐만 아니라 RS도 직접 스케줄링을 수행한다. 반면에 MC relay를 적용한 시스템의 경우, 각 RS로부터 mobile station (MS) 들의 수신 SINR, 발생 traffic양 등의 정보를 BS에서 수집하여, BS가 단독으로 스케줄링을 수행한다. 이 경우 MS의 정보 수집 및 RS로의 스케줄링 정보 전달을 위해 control 오버헤드는 커지지만, BS가 모든 MS에 대한 정보를 알고 있으므로 효율적인 자원 할당 및 스케줄링이 가능하다. 따라서 RS의 capability에 따라 전체 시스템의 성능이 달라질 수 있고, 이에 대한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 모의 실험을 통해 VoIP traffic 환경에서 RS의 capability에 따른 평균 packet delay, good packet ratio, cell goodput 등을 도출하였다. 선정한 VoIP 성능 지표에 의하면, MC relay를 적용한 시스템이 HC relay를 적용한 시스템에 비해 성능이 우수함을 확인하였다.

Key Words : Relay; Multi-hop; Capability; Scheduling; VoIP

ABSTRACT

In this paper, we evaluate the performance of VoIP in OFDMA-based relay systems with various capabilities of relays. We classify relays according to capability as “mid-capability (MC)” and “high-capability (HC)” relay. In system with HC relays, not only base station (BS) but also relay station (RS) performs scheduling at its own, whereas only BS performs scheduling in system with MC relays using the information reported by MS (i.e. the received signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR) of mobile station (MS), the amount of MS traffic, etc). In system with MC relays, the controlling overhead of BS is larger than that of system with HC relays. However, since BS has all MS information, efficient resource allocation and scheduling is possible. We derived the “average packet delay,” “good packet ratio,” and “cell goodput” in a VoIP environment. The simulation results demonstrate that the system with MC relays has better VoIP performance over that with HC relays.

* 본 연구의 일부는 Joint Conference on Communications and Information (JCCI) 2008에 발표되었고, 본 논문에 내용이 추가된 논문이 JCCI 2009에 제출되었음.

* 서강대학교 통신시스템 연구실 (ahncliver@sogang.ac.kr, hychoi@ieee.org, dhong@sogang.ac.kr, jaechan@gmail.com)
논문번호 : KICS2008-11-518, 접수일자 : 2008년 11월 20일, 최종논문접수일자 : 2009년 2월 27일

I. 서론

최근 사용자에게 시간과 장소에 구애받지 않는 인터넷 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있는 휴대 인터넷 시스템이 상용화 되었다. 이러한 휴대 인터넷 시스템에서는 사용자에게 보다 우수한 성능으로 서비스를 제공하기 위하여 다양한 성능 증대 기술의 개발이 요구되고 있다. 그 한 방편으로, base station (BS)의 일부 기능을 수행하는 relay station (RS)을 설치하여 시스템을 구축하는 relay 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1][2]}. 일반적으로 relay 시스템 구축을 통해 음영 지역이나 셀 경계 지역 사용자의 수신 신호 품질을 향상시켜 셀 커버리지를 확장시킬 수 있으며, 전체 시스템의 capacity를 증대시킬 수 있다. 그러한 relay 시스템을 구축하는 경우, RS가 BS와 비교하여 어떤 일부 기능들을 수행할 것인지를 결정할 필요가 있다. 특히 각각의 RS가 직접 스케줄링을 수행할 수 있는지, 또는 RS가 스케줄링을 수행하지 않고 BS가 중앙 집중적으로 스케줄링을 수행하는지에 따라 전체 시스템의 성능이 달라질 수 있다^[1].

이와 관련하여, [3]에서는 RS의 스케줄링 수행 정도, 혹은 여부에 따라 high capability (HC) relay와 mid/low capability (MC, LC) relay로 구분해서, 그에 따라 요구되는 control 메시지 신호의 차이에 대해서 비교분석했다. 참고 문헌 [4]에서도 [3]과 비슷한 형태로 RS를 구분했는데, 스케줄링 수행 여부에 따라 RS의 type을 구분하고, 서로 다른 type의 RS를 혼합하여 네트워크를 구성하는 방법을 제안하고 있다. 또 OFDMA기반 relay시스템에서 cell throughput과 spectrum efficiency와 같은 시스템 성능 분석에 관한 연구^{[5][6]}에서도 RS의 capability를 고려하여 성능을 도출하였다. 참고문헌 [5]에서는 중앙 집중적으로 BS만이 스케줄링을 수행할 수 있고, RS는 단지 BS의 결정에 따라 스케줄링을 수행하는 것으로 가정하였다. 참고문헌 [6]에서는 broadband wireless access (BWA) 네트워크에 relay를 적용하기 위한 새로운 MAC 구조를 제안하고, RS의 스케줄링 수행 여부에 따라 중앙 집중형 시스템과 분산형 시스템으로 구분하고 중앙 집중형 시스템에서 성능을 분석했다.

본 논문에서는 relay 시스템을 RS의 스케줄링 수행 여부에 따라 HC relay를 적용한 시스템과 MC relay를 적용한 시스템으로 구분하고^[3], 각 시스템 아래에서 그 성능을 비교하였다. 모의실험을 통해 VoIP traffic 환경에서 각 시스템 별로 평균 packet delay,

good packet ratio, cell goodput 성능을 도출하여 분석하였다. 이를 통해 RS의 capability에 따른 성능 차이를 비교하였다.

II. Capability에 따른 Relay의 구분

RS는 구분 기준에 따라 다양하게 분류할 수 있다. 본 절에서는 RS의 종류에 대해서 상세히 기술하고, 특히 RS는 스케줄링 수행 여부에 따라 capability가 달라지는데, 그에 따른 기능적 특징 차이에 대해서 설명한다. 구분 기준에 따른 RS의 종류를 요약하면 표 1과 같다^[7]. 본 논문에서는 fixed, infrastructure, decoded-and-forward, store-and-forward 방식의 RS를 모델로 해서, mid-capability RS와 high-capability RS의 두 경우 모두에 대하여 성능을 도출하고 비교 분석하였다.

MC relay를 적용한 시스템과 HC relay를 적용한 시스템의 downlink frame 구조의 차이를 그림 1에 나타내었다^{[1][9]}. 특히 각 시스템의 스케줄링 수행 주체에 따라 frame 구조가 달라지는데, MC relay를 적용한 시스템의 경우, BS가 직접 또는 RS를 통해서 모든 mobile station (MS)의 수신 SINR과 발생 traffic양 등의 정보를 수집하여 채널 상황에 따라 유동적으로 BS/RS-MS link frame과 BS-RS link frame 간의 크기 비율을 결정한다^[1]. 달리 표현하면, BS가 모든 자원을 관리하여 스케줄링을 수행하기 때문에 각 RS에 할당되는 자원의 크기는 BS에 의해 유동적으로 결정된다. RS에 자원 할당량이 결정 되고나서 BS가 RS에 연결된 MS에 대한 스케줄링 정보를 RS에게 전송하면, RS는 BS로부터 받은 정보를 바탕으로 MAP을 작성하고 자신에게 연결된 MS에게 채널 할당을 한다. 여기서 MAP 메시지는 매 frame 앞에 위치하여 하향 링크 및 상향 링크에서 각 MS별로 동적으로 할당될 채널의 위치와 수

표 1. 구분 기준 별 RS의 종류

구분 기준	RS의 종류
capability	Mid-capability
	High-capability
이동성	Fixed
	Nomadic
	Mobile
구성 방법	infrastructure
	client
기능	Amplify-and-forward
	Decoded-and-forward
Buffer 유무	Cut-through
	Store-and-forward

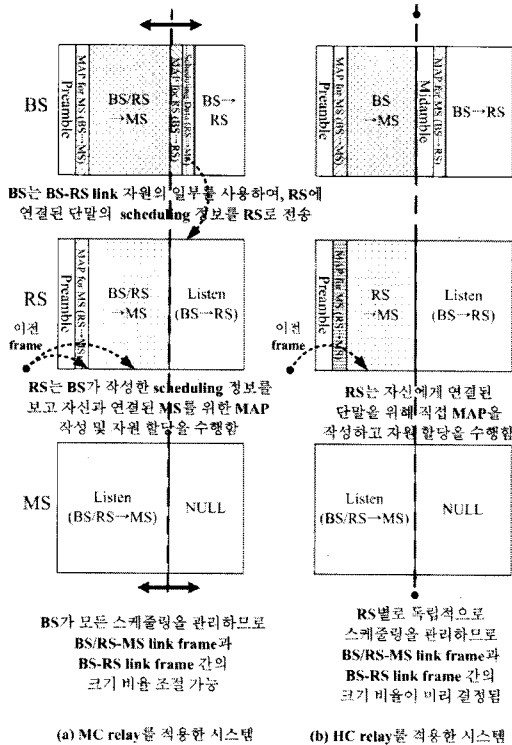


그림 1. RS의 capability에 따른 downlink frame 구조의 차이

를 지정하는 역할을 한다. 반면 HC relay가 적용된 시스템의 경우, BS와 RS는 각각 자신에게 연결된 MS들에 대해서만 독립적으로 정보를 수집한다. 각각의 RS가 모두 독립적으로 스케줄링을 수행하기 때문에 frame 상에서 BS/RS-MS link frame과 BS-RS link frame의 크기 비율이 미리 정해진다^[11](이 때 BS는 RS에 연결된 MS들의 정보를 알 수 없으므로 각 RS가 사용할 자원을 균등하게 할당한다). 각 RS는 자신에게 연결된 MS의 정보를 수집한 후 직접 MAP을 작성하고, BS로부터 이미 할당받은 자원을 사용하여 MS에게 채널을 할당하게 된다. RS capability에 따른 기능적 특징의 차이를 요약하면 표 2와 같다.

III. 성능 분석 모델 및 지표

3.1 성능 분석 모델

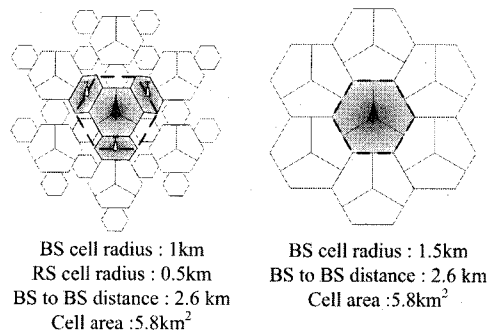
본 논문에서 성능 분석을 위하여 적용한 시스템 모델은 다음과 같다. Relay가 적용된 OFDMA 시스템을 고려하였다. MS는 BS와 RS 중 수신 신호 세기가 큰 쪽에 연결 되는 것을 가정하였고, 하향 링크의 성능을 분석하였다. 그림 2-(a)에 relay 시스템의 cell layout을 나타내었다. 매크로셀에서 2-tier로

표 2. RS의 capability에 따른 기능적 특징

Feature	Mid-capability	High-capability
BS-RS link의 preamble	사용 안 함	사용함
스케줄링 수행 여부	수행하지 않음	수행
BS/RS-MS link frame과 BS-RS link frame의 크기 비율	유동적	고정적

형성된 총 19셀이 존재하는 환경을 고려하였으며, 각 셀은 3 sector로 구성하였다. 각 sector 안테나 beam의 중심과 일직선에 RS를 하나씩 위치한다. 성능 비교를 위해 그림 2-(b)와 같이 셀 면적이 동일한 single-hop 시스템을 고려하였다. MS는 중심 셀 내에 uniform하게 분포한다고 가정하였다. 모의 실험에 사용한 시스템 파라미터는 표 3과 같으며 기본 OFDMA 파라미터는 IEEE 802.16e 시스템 규격에 정의된 것을 사용하였다^[8]. Traffic model로는 VoIP traffic을 고려하였으며, VoIP traffic 모델 파라미터는 표 4와 같다^[10]. 한 사용자의 통화시간은 exponential 분포를 가지며, 통화시간 동안에는 일정한 rate의 packet이 발생한다.

Pathloss model과 shadowing model은 IEEE 802.16 Relay TG에서 정한 Evaluation Methodology의 baseline document에서 제시한 model을 사용하였다^[11]. Frequency selective fading을 모델링하기 위해서 BS-MS, RS-MS 링크에서는 ITU Ped. A를 사용하였고, BS-RS 링크에서는 AWGN 채널 모델을 사용하였다. Adaptive modulation and coding(AMC) 기법을 고려하여 QPSK, 16-QAM, 64-QAM의 세 가지 변복조 방법을 사용하는 것으로 가정하였다. 이와 함께 오류 정정을 위한 부호화율에 따라 표 5와 같



(a) Relay 시스템 (b) Single-hop (no relay) 시스템

그림 2. 각 시스템의 cell layout

표 3. 시스템 파라미터

Parameters	Values
Multiple Access	OFDMA
BS Cell layout	19 cell (2-tier), 3 sector-cell
RS Cell layout	RS/sector (3 RS/cell)
Center Frequency	2.3 GHz
System Bandwidth	10 MHz
Tx Power	43 dBm (BS)
	30 dBm (RS)
Frame Duration	5 msec
Antenna Gain/height	14dBi / 32m(BS)
	17dBi / 12.5m(RS)
	0dBi / 1.5m(MS)
# of channels per frame	384개
Thermal Noise Level	-174 dBm/Hz
Simulation Time	10 min
MS Velocity	3 km/h
Buffer Size	3 Mbits

표 4. VoIP 파라미터

Parameters	Values
Activity	50 %
Mean call duration	120 sec
Mean active phase T_on	3 sec
Mean silent phase T_off	3 sec
Payload of IP packet	60 bytes
	(ITU G.711, 64kbps)
IP Framing Overhead	8 bytes
Voice packet generation	0.02 sec

이 총 9개의 AMC 레벨을 사용하는 것으로 가정하였다. 성능 도출 시, 전송 실패로 인한 재전송은 고려하지 않았다.

본 연구에서 MAP 을 작성하는 방법은 [14]를 참고하였다. MC relay가 적용된 시스템의 경우는 centralized MAP에서 partial instruction 방식을, HC relay가 적용된 시스템의 경우는 distributed MAP방식을 사용하였다. MAP 메시지를 구성하고 있는 구체적인 정보는 [15]를 근거로 하였다. Access link(BS-MS, RS-MS)의 MAP 메시지는 기존의 IEEE 802.16e 시스템에서 정의하고 있는 compressed MAP 포맷을 사용하고, relay link(BS-RS)의 MAP 메시지는 [15]에서 제안하고 있는 R-MAP 메시지 포맷을 따랐다. 이는 compressed MAP에서 불필요한 정보를 제거한 형식이다.

2. 성능 분석 지표

본 논문에서는 VoIP 서비스의 성능을 평가할 수 있는 지표로 평균 packet delay를 고려하였다^[13]. 또

표 5. 하향 링크 AMC 레벨에서 1% FER을 만족하는 SNR

AMC level	Modulation	Rate	SNR(1% FER)
1	QPSK	1/12	-6.48
2	QPSK	1/6	-3.47
3	QPSK	1/2	1.3
4	QPSK	3/4	4.36
5	16QAM	1/2	6.35
6	64QAM	1/2	9.42
7	64QAM	2/3	12.3
8	64QAM	3/4	14.03
9	64QAM	5/6	18.3

한 delay bound를 만족 시키는 packet의 비율과 전송률을 나타내는 지표로 각각 good packet ratio와 cell goodput값을 계산하였다.

Packet delay는 packet이 발생한 순간부터 그 packet이 MS까지 전송이 완료되어 하나의 packet으로 재구성될 때까지 소요되는 시간으로 정의하였다. 본 모의 실험에서는 delay bound를 100 msec로 정하였으며 packet delay가 delay bound 이하인 packet에 대해서만 good packet으로 처리하였다^[12].

다음으로 QoS requirement를 만족하는 traffic에 대한 성능을 나타내는 지표로서, 식 1에 나타난 것과 같이, 전체 전송된 packet 중에서 QoS requirement를 만족하는 packet의 비율을 good packet ratio라고 정의하였다.

$$Good\ packet\ ratio = \frac{Number\ of\ packets\ satisfying\ delay\ bound}{Number\ of\ total\ transmitted\ packets} \quad (1)$$

Good packet ratio로부터 시스템에 수용 가능한 최대 사용자 수를 도출하였다. Good packet ratio 0.98이상을 만족하는 최대 사용자 수를 시스템에 수용 가능한 VoIP 사용자 수로 정의하였다.

마지막으로 cell goodput을 도출하였다. Cell goodput은 QoS 요구 조건을 만족하면서 성공적으로 수신된 데이터에 대한 전송률이다. 본 모의 실험에서는 식 2와 같이 사용자들이 QoS 요구 조건인 delay bound를 만족시키면서 성공적으로 수신한 총 데이터의 양을 총 모의 실험 수행 시간으로 나누어 cell goodput을 도출하였다.

$$Cell\ goodput = \sum_{n=1}^N \frac{(successfully\ transmitted\ data)_n}{simulation\ time} \quad (2)$$

N : total number of users in one cell

마지막으로 성능 차이의 원인을 분석하기 위해 자원 사용 효율 및 스케줄링 overhead 비교 지표를

정의한다. 전체 채널 대비 MS들에게 서비스를 제공하기 위해 사용된 채널, 데이터를 보내기 위해 사용된 채널, 스케줄링을 위해 사용된 overhead 채널의 비율을 각각 resource, data, overhead utilization ratio라고 정의한다.

IV. 모의실험 결과

본 절에서는 RS의 capability 모델에 따른 시스템 성능을 비교 분석하고, 또 relay를 적용하지 않은 single-hop 시스템과도 함께 비교한다. HC relay를 적용한 시스템의 경우 우선 BS/RS-MS link frame 과 BS-RS link frame 간의 크기 비율을 2:1, 3:1, 또는 5:1로 설정하고 실험한 뒤, 그 중 성능이 가장 우수하게 도출된 5:1의 경우를 추후 분석에 사용하였다. 시스템의 성능 비교는 MC relay를 적용한 시스템에서 good packet ratio가 0.98 이상을 만족하는 사용자 수가 30명인 지점에서 수행하였다.

사용자 수를 증가시키며 평균 packet delay를 도출하고 그 결과를 그림 3에 도시하였다. MC relay를 적용한 시스템이 HC relay를 적용한 시스템에 비해 사용자 수 증가에 따른 평균 packet delay의 증가 폭이 더 작은 것을 확인할 수 있다. 또 single-hop 시스템에 비해서도 증가 폭이 작다. 사용자 수가 30명일 경우, MC relay를 적용한 시스템의 평균 packet delay는 HC relay를 적용한 시스템보다 약 43%의 작은 것을 확인하였고, single-hop 시스템에 비해서는 약 47% 작았다. 이는 MC relay를 적용한 시스템의 경우, BS가 모든 MS의 정보 수집 및 RS로의 스케줄링 정보 전달을 위한 자원 사용량 오버헤드는 크지만, RS가 스케줄링을 수행하지 않고 BS 단독으로 스케줄링을 수행하므로 네트워크

상황에 따라 BS가 RS에게 효과적으로 자원 할당을 할 수 있기 때문이다. 반면 HC relay를 적용한 시스템의 경우, RS가 스케줄링 기능까지 수행 가능하여 스케줄링 정보 전달에 대한 오버헤드는 없지만, RS가 스케줄링을 수행하기 위해서는 자원이 MS들의 정보와 무관하게 미리 할당되어 있어야 한다. 따라서 네트워크 상황에 따른 효율적인 자원 할당을 할 수 없게 되어 자원 사용 효율이 MC relay가 적용된 시스템에 비해 낮아지게 되고, 이렇게 결정된 자원 할당 결과에 따라 packet delay, good packet ratio, cell goodput 등의 성능이 저하된다.

다음으로 사용자 수의 증가에 따른 good packet ratio를 실험으로 도출하고 그 결과를 그림 4에 도시하였다. 사용자가 증가함에 따라 good packet ratio가 작아지게 된다. 이 경우 MC relay를 적용한 시스템이 HC relay를 적용한 시스템보다 good packet ratio가 큰 것을 확인할 수 있고, single-hop 시스템에 비해서도 크다. 사용자 수가 30명일 경우 MC relay를 적용한 시스템의 good packet ratio는 HC relay를 적용한 시스템보다 약 6%, single-hop 시스템보다 약 8%큰 것을 확인하였다. 또한 good packet ratio를 기준으로 시스템에 수용 가능한 최대 사용자 수를 도출하였다. Good packet ratio 0.98 이상을 만족하는 최대 사용자 수를 시스템에 수용 가능한 VoIP 사용자 수라고 정의하는 경우 MC relay를 적용한 시스템에서는 약 30명, HC relay를 적용한 시스템의 경우 약 22명, single-hop 시스템의 경우 약 20명까지 수용 가능한 것을 볼 수 있다.

마지막으로 사용자 수의 증가에 따른 cell goodput을 실험으로 도출하고 그 결과를 그림 5에 도시하였다. 사용자가 증가할수록 cell goodput은 거의 비례하여 커지다가 20명보다 많아지게 되면 커지는 폭

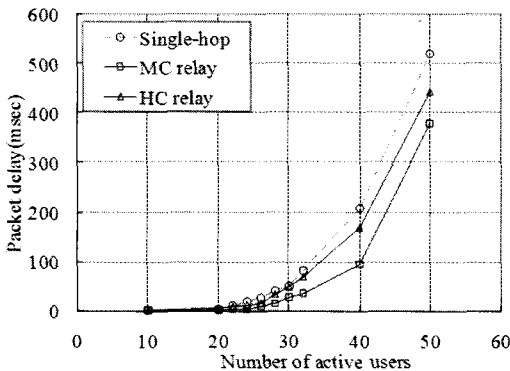


그림 3. Relay의 capability에 따른 평균 packet delay 성능

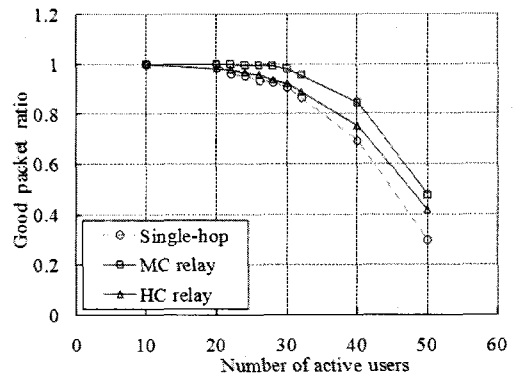


그림 4. Relay의 capability에 따른 good packet ratio

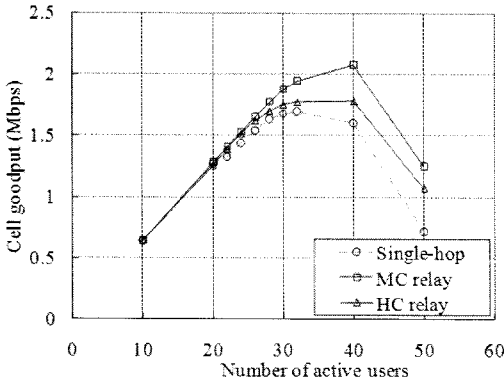


그림 5. Relay의 capability에 따른 cell goodput 성능

이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 사용자가 더 증가하게 되면 cell goodput이 오히려 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는, 사용자 수가 20명 이하일 때는 그림 4에서 확인할 수 있듯이 good packet ratio가 높기 때문에 사용자 수가 증가함에 따라 cell goodput이 거의 비례하여 증가하게 되지만, 사용자가 더 증가하게 되면 good packet ratio가 낮아지고 cell goodput의 증가 폭도 점점 작아지다가 결국에는 성능이 오히려 감소하게 되기 때문이다. 사용자가 30명일 경우 cell goodput은 MC relay를 적용한 시스템이 HC relay를 적용한 시스템에 비해 약 7%, single-hop 시스템에 비해서는 약 12% 높은 것을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 OFDMA 기반 relay 시스템에서 VoIP 서비스를 제공 할 경우, RS의 capability에 따른 평균 packet delay, good packet ratio, cell goodput을 성능으로 도출하고 비교하였다.

RS가 스케줄링에 관여하지 않는 MC relay를 적용한 시스템의 경우 BS가 모든 MS에 대해 자원 할당 및 스케줄링을 수행하고 이를 RS에게 전달해야 하기 때문에 BS의 그에 대한 자원 사용량의 오버헤드가 크다. 그러나 BS가 유동적으로 RS에게 자원을 할당할 수 있기 때문에, MS들의 요구 정보량과 무관하게 RS에게 자원이 미리 할당되어 있어야 하는 HC relay를 적용한 시스템에 비해서 더 효율적인 자원 할당 및 스케줄링이 되는 것을 확인하였다. 사용자가 30명일 때 MC relay를 적용한 시스템이 HC relay를 적용한 시스템에 비해 평균 packet delay는 약 43% 작아지고, good packet

ratio는 약 6% 크고, cell goodput은 약 7% 크고, 또 최대 수용 사용자 수는 약 36% 많게 되는 것을 확인하였다.

하지만 사용자가 많아서 네트워크의 크기가 큰 경우에는 BS의 스케줄링 부하(정보 수집량, 계산의 복잡도, 네트워크 정보 저장 공간 등)가 너무 커지게 되어서, distributed 스케줄링 시스템의 형태인 HC relay를 적용한 시스템이 필수적으로 요구된다 (이 때 RS의 스케줄링 부하는 네트워크의 크기와 무관하게 거의 독립적이다). 그러므로 HC relay의 활용과 동시에 시스템의 성능 저하를 막기 위해서는, RS가 스케줄링을 수행할 시 사용할 자원을 RS의 자원 요구량에 따라 BS가 유동적으로 할당해 주는 기법이 연구될 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] V. Genc, S. Murphy, Y. Yu and J. Murphy, "IEEE 802.16j relay-based wireless access networks: an overview," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 15, Issue 5, pp 56-63, Oct. 2008.
- [2] IEEE Draft Standard P802.16j/D7, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems – Multihop Relay Specification," Oct. 2008.
- [3] H. Kang, J. Cho, S. Lee et al, "Proposed Functional Requirements for IEEE 802.16 TGj : IEEE C802.16j-06/022r1," *IEEE 802. 16j meeting #43*, Tel Aviv, Israel, May 2006.
- [4] A. Zhang, Shangzheng et al, "Recommendations on 802.16j technical requirements : IEEE C802.16j-06/053," *IEEE 802. 16j meeting #44*, San Diego, USA, July 2006.
- [5] K. Park and C. Kang, "Relay-enhanced Cellular Performance of OFDMA-TDD System for Mobile Wireless Broadband Services," in *Proc. of IEEE ICCCN 2007*, pp.430-435, Aug. 2007.
- [6] Y. Liu, F. Liu et al, "Relay Enhanced Architecture for Broadband Wireless Access Network," in *Proc. of IEEE IWCLD 2007*, pp.91-95, Sep. 2007.
- [7] M. Nohara, K. Saito et al, "Mobile Multi-hop Relay Networking in IEEE 802.16 : IEEE

- C802.16-05/013," *IEEE 802.16 meeting #38*, San Francisco, USA, Nov. 2005.
- [8] IEEE Std. 802.16eTM-2005 and IEEE Std. 802.16TM-2004/cor1-2005, Part16: Air interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Feb. 2006.
 - [9] C. Zhu, D. Viorel et al, "Frame Structure to Support Relay Node Operation : IEEE C802.16j-06/233r8," *IEEE 802.16j meeting #46*, Dallas, USA, Nov. 2006.
 - [10] ITU-T Rec. G.711, "Pulse Code Modulation of Voice Frequencies," ITU Geneva, Nov. 1988.
 - [11] G. Senarath, W. Tong et al, "Multi-hop Relay System Evaluation Methodology [Channel Model and Performance Metric]," *EMD of 802.16 Relay TG*, Feb. 2007.
 - [12] ITU-T G.1010, Series G: Transmission systems and media digital systems and networks-Quality of service and performance, Nov 2001.
 - [13] Goode, B. "Voice Over Internet Protocol (VoIP)," *Proceedings of The IEEE*, Vol. 90, No. 9, pp. 1495-1517, Sep. 2002.
 - [14] M. Mollah and M. Asa, "MAP construction and transmission for a relay station : IEEE C802.16j-06/157r1," *IEEE 802.16 Session #47*, London, UK, Jan. 2007.
 - [15] H. Zhang et al., "Format of R-MAP within RS-Zone : IEEE C802.16j-07/090r7," *IEEE 802.16 Session #49*, Portland, USA, May 2007.

안 성 보 (Sungbo Ahn)

준회원



2007년 2월 서강대학교 전자공학
학과 졸업
2007년 3월~현재 서강대학교 전자
공학 석사과정
<관심분야> 이종 네트워크, 다중
홉 시스템, 무선 자원 관리

최 호 영 (Hoyoung Choi)

정회원



1996년 2월 서강대학교 전자공
학과 졸업
1998년 2월 서강대학교 전자공
학과 석사
1998년~2003년 삼성전자 정보
통신 총괄 선임연구원
2008년 2월 서강대학교 전자공

학과 박사

2008년~현재 : 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원
<관심분야> CDMA/OFDMA 시스템, 자원관리 기
술, 데이터통신, 무선자원 제어 기법

홍 대 형 (Daehyoung Hong)

중신회원



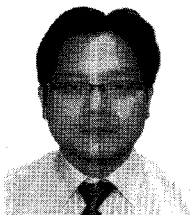
1977년 서울대학교 전자공학과
졸업
1982년 State University of
New York at Stony Brook,
Electrical Engineering 석사
1986년 State University of
New York at Stony Brook,

Electrical Engineering 박사

1977년~1981년 공군 사관학교 교수부
1986년~1992년 (미)Motorola 연구소, Senior Staff
Research Engineer
1992년~현재 서강대학교 전자공학과 정교수
<관심분야> 무선통신 시스템, 무선망 설계 및 성능
분석, 무선망 운용 및 제어기술

임 재 찬 (Jaechan Lim)

정회원



1996년 고려대학교 물리학과
졸업
1999년 Stony Brook University,
Electrical Engineering 석사
2007년 Stony Brook University,
Electrical Engineering 박사
2007년~2008년 전자공학과,

University of Bridgeport, CT US 겸임교수
2008년~현재 서강대학교 전자공학과 연구교수
<관심분야> Methodology in signal processing,
Detection & estimation of signal, Statistical
filtering methodology, 무선통신 시스템.