

비용 효율적 커버리지 확장을 위한 IEEE 802.16j 모바일 멀티-홉 릴레이 시스템

이주호*, 이구연**, 정충교***

요약

어디에서나 이동통신서비스를 이용할 수 있도록 하기 위해서는 유휴지역을 해소해야 하지만 인구밀집도가 낮은 지역에 기지국(BS: Base Station)을 설치하는 것은 그 자원 이용률이 낮아 경제적이지 못하다. 이 연구에서는 기지국보다 비용이 적은 중계국(RS: Relay Station)을 설치할 때의 설계 기법을 제시하고 이 방식이 타당성을 갖는 조건을 찾아낸다. 제시한 설계기법은 RS들 간의 신호 간섭으로 인한 전송률 저하를 최소화하면서 병렬 전송 효과를 높이도록 주파수 및 시간 자원을 할당한다. BS의 최대전송능력의 20.32%보다 작은 트래픽이 예상되는 경우에는 제시한 방식을 적용함으로써 비용이득을 얻을 수 있음을 모의실험을 통해 보였다. 제시한 방식은 IEEE 802.16j에 부합하도록 설계되었으므로 다중구간(multi-hop)으로 확장할 수도 있다.

키워드 : 802.16j, 멀티-홉 릴레이, 중첩 할당

IEEE 802.16j MMR System for cost-efficient coverage extension

Ju-Ho Lee*, Goo-Yeon Lee**, Choong-Kyo Jeong***

Abstract

To complete the "anywhere" mobile service there should not be shaded areas. However, it is never economical to deploy BS's (Base Stations) in a low population density area due to the low resource utilization. We propose a design technique to install RS's(Relay Stations) which are cheaper than BS's and find the condition in which the proposed technique is acceptable. The proposed design technique aims to allocate the frequency and time resources to RS's to minimize the transmission rate degradation due to interferences between RS's as well as to maximize the parallelism in transmission. We showed by simulation that the proposed technique achieves cost benefits when the expected traffic is less than 20.32 percent of the total BS capacity. The proposed technique is compatible with the IEEE 802.16j, thus can be extended to multi-hop configuration.

Keywords : 802.16j, MMR, Non-transparent, overlapped allocation

1. 서론

※ 교신저자(Corresponding Author): Choong-Kyo Jeong
접수일:2013년 05월 20일, 수정일:2013년 06월 10일
완료일:2013년 06월 18일

* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정

** 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

*** 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

Tel: +82-33-250-6325, Fax: +82-33-252-6390

email: ckjeong@kangwon.ac.kr

■ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2012-0004625)

IEEE 802.16e 이동통신망에서 BS(기지국)들은 서비스 접근성 향상을 목적으로 각지에 고르게 설치되지만, 서비스를 사용하는 사용자의 분포는 자연적 요인과 사회 경제적 요인 등에 의해서 양극화 되어있다. 데이터 트래픽은 인구 밀집도에 비례하므로 인구 밀집도가 낮은 지역에 BS를 설치하는 것은 그 자원 이용률이 낮아서 경제적이지 못하다. 이에, 이 연구에서는 BS에 비해 비용이 적은 RS(중계국)를 설치 할 때의

설계 기법을 제시하고 이 방식이 타당성을 갖는 조건을 찾기 위한 연구를 수행하였다.

MMR 기술은 음영 지역에 RS를 설치하여 데이터 전송률 향상 및 커버리지 확장을 도모하는 기술이다. RS는 무선으로 연결되어 데이터를 중계하므로 BS와 달리 선로 작업을 필요로 하지 않는다. 따라서 BS 대신 RS를 설치할 경우 경제적 비용 측면에서 효과를 얻을 수 있다.

최근 IEEE에서는 IEEE 802.16e 표준에 MMR 기술을 적용한 IEEE 802.16j[1] 표준을 제정하였다. MMR 시스템의 RS는 음영지역에 설치되어 데이터를 중계하는데, 그 동작 방식에 따라 전송률 향상을 위한 Transparent 모드와 커버리지 확장을 위한 Non-transparent 모드로 나뉜다. MMR 시스템에서 주파수 자원 할당 스킴은 동일 주파수 대역을 재사용하는 중첩 할당 방식과 모든 주파수 대역을 상호 간섭 없이 할당하는 직교 분할 방식으로 나뉜다. 중첩 할당 방식은 주파수 자원을 최대한 사용하지만 신호 간섭 문제가 야기될 수 있다. 직교 분할 방식은 신호 간섭 문제가 발생하지는 않지만 주파수 대역을 분할하여 사용하므로 비효율적이다.

제안한 시스템은 MR-BS(Mobile Relay Base Station) 중심으로 설치한 RS들이 데이터를 중계하여 커버리지를 확장할 수 있도록 Non-transparent 모드를 사용하고 직교 분할 방식에 비해 효율적인 주파수 중첩 할당 방식을 사용한다. 커버리지 확장을 위한 Non-transparent 중계 모드는 여러 RS를 설치함으로써 운영되는데, 이렇게 설치된 RS들은 신호 간섭을 야기함과 동시에 주파수 중첩 사용으로 인한 병렬 전송 효과를 갖는다. 협소한 음영 지역을 해소하기 위해서 배치되는 RS의 경우에는 작은 신호 간섭만을 야기하지만, RS가 중계하는 영역이 커질수록 많은 신호 간섭을 야기한다. 이에, 이 연구에서는 신호 간섭 영향을 줄이고 주파수 중첩 사용으로 인한 병렬 전송 효과를 높일 수 있는 자원할당 알고리즘을 제안하고 이를 실험에 적용하였다.

이 논문의 이후의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구들에 대해서 논의하고, 3장에서는 IEEE 802.16j Non-transparent 중계 모드에 대한 설명과 성능 분석을 위한 수식들을 나타낸다. 4장에서 제안한 시스템 모델에 대해서 설명하고,

5장에서는 실험을 통해 성능을 분석한다. 끝으로, 6장에서는 본 연구의 결론을 기술한다.

2. 관련 연구

IEEE 802.16j MMR 네트워크 관련 많은 연구가 수행되어 왔다. Christian는 IEEE 802.16 시스템의 MAC(medium access control) 계층과 물리 계층에 대해 자세히 설명하였고, 성능 분석에 기초가 되는 이론 및 수식들을 정리하였다 [2]. H-S. Ryu 등은 릴레이 통신의 기본 개념에 대한 설명과 실제 셀룰러 광대역 이동통신망에서 릴레이 시스템 운용 시 고려해야 할 실용적인 측면들에 대해서 다루었다[3]. 연구 [4-7]는 RS 배치 위치에 관련한 연구를 수행하였다. H. Lu 등은 RS 위치에 따른 영향을 분석하였고 [4], B. Lin 등은 각각 1개의 RS 그리고 2개의 RS가 배치되는 최적의 위치에 관련한 연구를 수행하였다 [5,6]. I-Kang Fu 등은 맨하탄과 같은 환경에서 RS 배치 위치를 연구하였고 다양한 라디오 주파수 재사용 스킴을 사용하여 셀 수율을 분석하였다[7]. 연구 S-Y. Kim 등은 Non-transparent 모드에서 시스템 수율을 효율적으로 사용하기 위해 트래픽 밀도(Traffic density)와 MS의 수에 따른 최대 RS의 흡을 구하였다. 그러나 하향링크 시스템의 용량 분석에서 주파수간 간섭에 대한 영향은 고려하지 않았다. H. Min 등과 S. Berger 등은 각각 연구 [9, 10]에서 MMR 시스템에 접목될 수 있는 다중 안테나 기술들에 관련한 연구를 AF 프로토콜(AF: Amplify and Forward)을 기반으로 하여 수행하였다. K-S Kong은 무선 셀룰러 네트워크와 Mobile IP 기반의 네트워크를 위해 제안되었던 기존의 다양한 위치 관리 기법들에 대한 광범위한 소개 및 분류법을 제시하였다[11].

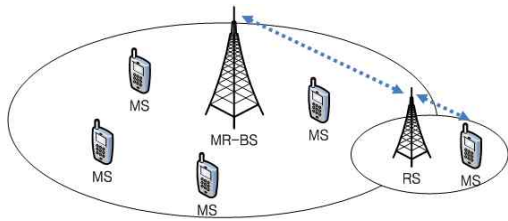
3. 커버리지 확장을 위한 Non-transparent 중계 모드

3.1 Non-transparent 중계 모드

Non-transparent 중계 모드에서 RS는 MR-BS로부터 수신한 하향 신호를

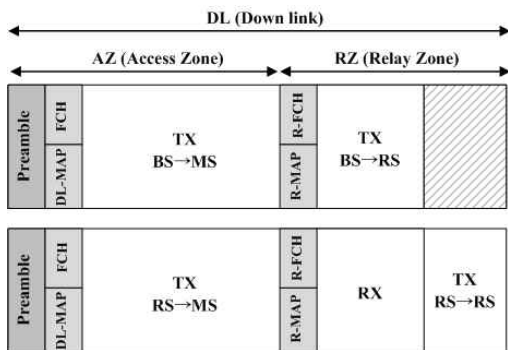
MS(Mobile Station) 혹은 하위 RS에게 중계하고, MS 혹은 RS로부터의 상향 신호를 수신하여 MR-BS에게 중계한다. (그림 1)은 음영 지역에 RS를 설치하여 커버리지를 확장하는 예시를 나타낸다.

(그림 1) Non-transparent 중계 모드



(Figure 1) The non-transparent relay mode

(그림 2) Non-transparent 하향 링크 프레임 구조



(Figure 2) Non-transparent mode downlink frame structure

(그림 2)는 Non-transparent 중계 모드에서 사용하는 하향 링크 프레임 구조를 나타낸다. 하나의 프레임은 DL(Down link) 구간과 UL(Uplink) 구간으로 분할되어 있고, 각 구간은 MR-BS 혹은 RS가 MS와 직접 통신하는 AZ(Access Zone) 그리고 MR-BS와 RS가 통신하는 RZ(Relay Zone)으로 분할된다. RS는 상위 MR-BS와 인접 RS들 사이에서 서로 다른 프레임 제어 정보를 가지며 프레임의 DL 구간 시작 부분에 RS 고유의 preamble과 MAP 정보를 전송한다.

3.2 관련 수식

<표 1>은 본 연구에서 사용한 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨 테이블이다. 각 MCS 레벨에 따른 최소 요구 SINR 값은 연구 [12]를 참고하였고, 최대 DL 전송률은 수식 (1)을 사용하여 구하였다.

$$Throughput = N_{data_subcarriers} \times N_{symbols} \times N_{info_bits} / T_{frame} \quad (1)$$

수식 (1)에서 $N_{data_subcarriers}$ 는 프레임 당 데이터 부반송파의 수이고, $N_{symbols}$ 는 프레임 당 OFDMA 심벌의 수이다. N_{info_bits} 는 심벌 당 인포메이션 비트의 수이고, T_{frame} 은 프레임 지속 시간이다.

<표 1> MCS 테이블

MCS	Required SINR (dB)	DL (Mbps)
QAM64 5/6	24.8	16.90
QAM64 2/3	18.45	13.52
16QAM 3/4	15.8	10.14
16QAM 1/2	9.3	6.76
QPSK 2/3	7.95	4.51
QPSK 1/2	4.3	3.38
QPSK 1/3	1.5	2.25
QPSK 1/6	-1.65	1.13
QPSK 1/12	-3.95	0.56

<Table 1> MCS Table

본 연구에서는 QPSK^{1/2} MCS 레벨로 전송 가능한 최대 거리를 커버리지 반경으로 하였다. 이 경우 BS 혹은 RS의 송신전력은 수식 (2)에 의해 결정된다.

$$P_i [dBm] = SINR [dB] + L [dB] + N [dBm] + I [dBm] \quad (2)$$

수식 2에서 SINR은 커버리지의 언저리에 있는 MS가 QPSK^{1/2} MCS 레벨로 수신하기 위해 필요한 SINR로서 표 1에 제시되어 있다. N은 잡음으로서 수식 (3)에 의해 구해진다.

$$N = System-Bandwidth \times \frac{4.0 \times pW}{GHz} \quad (3)$$

L 는 간섭신호로서 BS 혹은 이웃 RS로부터 수신되는 신호의 합이다. L_F 는 경로 감쇄로서 FSPL(Free-space path loss) 모델을 적용하면 커버리지 반경이 d 일 때 수식 (4)와 같다.

$$L_F = 20 \times \text{Log} \frac{4\pi d}{\lambda} [dB] \quad (4)$$

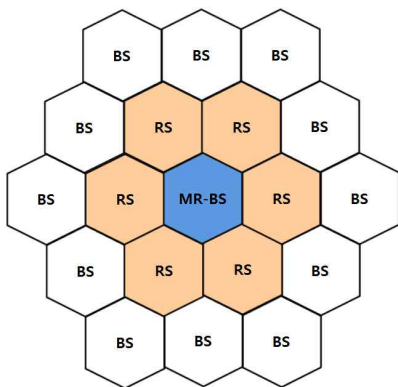
BS와 RS의 송신 전력이 정해지면 각 MS의 SINR은 송신기로부터의 거리에 따른 감쇄, 잡음, 이웃 송신기들로부터의 간섭 신호에 의해 정해지며, 표 1에 따라 전송률(C_{MS})이 결정된다.

4. 시스템 디자인

(그림 3)은 6각 네트워크 토폴로지 모델에서 제안한 시스템의 배치 구조를 나타낸다. 제안한 시스템은 인접한 7개의 BS 셀을 대체하기 위해 1개의 MR-BS를 중심으로 6개의 RS를 배치한다. BS는 커버리지 반경을 1Km로 한다. 제안한 시스템의 MR-BS와 RS의 커버리지 반경은 각각 2Km, 1Km로 한다.

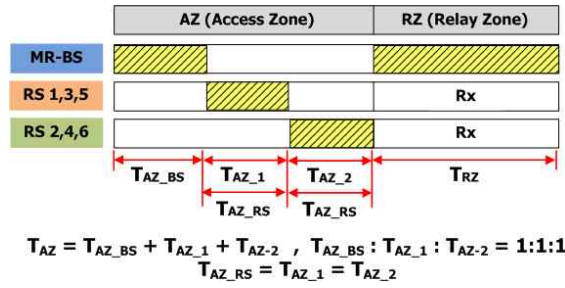
(그림 4)는 제안한 시스템에서 사용하는 DL 프레임의 구간 분할을 나타낸다. 제안한 시스템은 AZ 구간을 T_{AZ_BS} , T_{AZ_1} , T_{AZ_2} 구간으로 분할하여 사용한다. 이러한 분할은 주파수 중첩 사용 효과를 감소시키기는 하지만, MR-BS와 RS들 간의 신호 간섭 영향을 감소시키고 MR-BS 전송 전력을 증대시킨다.

(그림 3) 네트워크 토폴로지 모델



(Figure 3) The network topology model

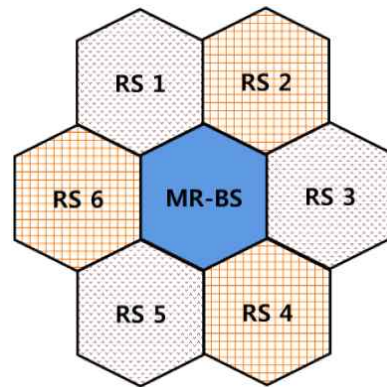
(그림 4) 하향 링크 프레임 구간 분할



(Figure 4) Allocation of access zone and relay zone to sub-cell clusters

(그림 5)는 제안한 시스템의 셀 구성을 나타내며, 각각의 색과 무늬는 동시에 데이터를 전송하는 하나의 집합을 나타낸다. 가령, MR-BS는 T_{AZ_BS} 구간에 데이터를 전송하고, RS-1, RS-3, 그리고 RS-5는 T_{AZ_1} 구간에 동시에 데이터를 전송한다. RS와 RS 간의 거리가 가까울 경우 많은 신호 간섭이 발생하기 때문에, 최대한 서로 멀리 떨어진 RS들을 하나의 집합으로 묶었다. AZ의 구간 배분은 셀에서 담당하는 면적에 비례하도록 1:1:1($T_{AZ_BS} : T_{AZ_1} : T_{AZ_2}$)로 하였다.

(그림 5) 제안 시스템



(Figure 5) The proposed system

AZ 구간과 RZ 구간의 분할은 AZ 구간에서 모든 RS들이 MS들에게 전달한 데이터양이 RZ 구간에서 MR-BS가 RS들에게 전달한 데이터양과 같다는 관계를 통해서 아래의 수식 (5)-(8)을 사용하여 구하고, 시스템 전송률은 수식 (9)를 사용하여 구한다. 수식 (5-6)에서 N 은 해당 셀

내에 위치하는 MS의 수를 의미한다. RZ 구간에서 MR-BS와 RS 간에 그리고 RS와 RS 간에 통신하는 전송 속도는 QAM64^{5/6} MCS 레벨의 속도로 가정하였는데, 이는 안테나 수신 이득을 통해 달성할 수 있다고 가정하였다.

$$C_{MR-BS} = \left(\sum_{MS \in MR-BS}^N C_{MS} \right) / N \quad (5)$$

$$C_{RS(1 \leq i \leq 6)} = \left(\sum_{MS \in RS_i}^N C_{MS} \right) / N \quad (6)$$

$$\begin{aligned} T_{AZ} &= T_{AZ-BS} + T_{AZ-1} + T_{AZ-2} \\ T_{AZ} &= T_{AZ-BS} + 2 \times T_{AZ-RS} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^6 (C_{RS_i} \times T_{AZ-RS}) = C_{QAM64^{5/6}} \times T_{RZ} \quad (8)$$

$$C_{System} = \frac{C_{MR-BS} \times T_{AZ-BS} + \sum_{i=1}^6 (C_{RS_i} \times T_{AZ-RS})}{T_{AZ}} \quad (9)$$

5. 성능 분석

<표 2>는 실험에서 사용한 시스템 파라미터들이다. 사용자 선택은 Round-Robin 스케줄링을 적용하여 균등하게 자원을 할당하였다. 지형은 평지 모델을 사용하였고 MS들은 10m 간격으로 균등하게 배치하였다. RZ 구간에서 MR-BS와 RS는 QAM64^{5/6} MCS 레벨로 통신한다고 가정하였다.

<표 2> 시스템 파라미터

다중 접속 방식	OFDMA
Duplexing 방식	TDD
대역폭	8.75 MHz
주파수 대역	2.3 GHz
Frame Duration	5 ms
DL : UL (ratio)	27 : 15
OFDMA symbols for DL data	22
OFDMA symbols for UL data	12
MR-BS 커버리지 반경	2 Km
RS 커버리지 반경	1 Km
안테나	Omni-Directional

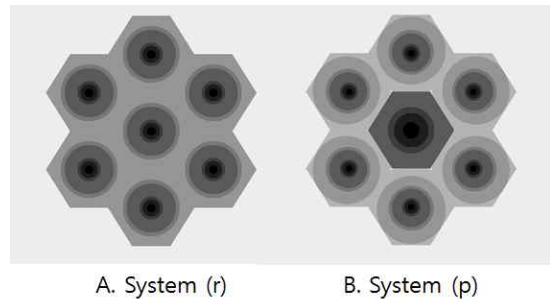
<Table 2> System parameters

성능의 비교를 위해서 기존의 BS 시스템과

제안한 시스템의 성능을 비교하였다. 이후부터 제안한 시스템은 시스템(p)로, 성능 비교를 위한 기존의 시스템은 시스템(r)로 표기한다. (그림 6)은 시스템(p)와 시스템(r)의 MCS 레벨의 영역별 분포를 나타내고, <표 3>은 그 비율을 나타낸다.

(그림 6)에서 진한 검은색일수록 높은 MCS 레벨로 통신이 가능한 영역임을 나타내고 흰색은 서비스 불가능 영역을 나타낸다. 제안한 시스템(p)의 비율 분포는 기존의 시스템에 비해서 상대적으로 양극화되어 있는데, 이는 MR-BS와 RS 부근의 MS들은 높은 MCS 레벨을 가지게 되고, 신호 간섭이 발생하는 영역의 MS들은 낮은 MCS 레벨을 가지게 되기 때문이다.

(그림 6) 영역별 MS 전송률 분포



A. System (r) B. System (p)

(Figure 6) Geographic distribution of transmission rate

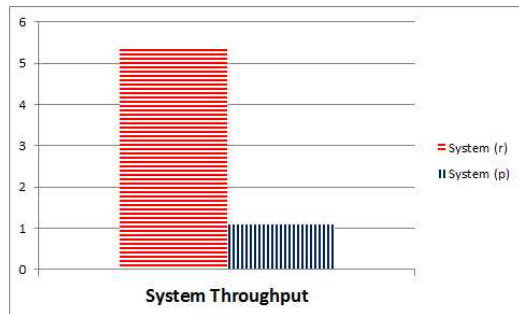
<표 3> 각 MCS 레벨의 수신 가능 영역 비율

MCS 레벨	시스템(r)	시스템(p)
QAM64_5/6	1.19%	1.22%
QAM64_2/3	3.67%	4.10%
QAM16_3/4	4.06%	4.41%
QAM16_1/2	30.82%	25.22%
QPSK_2/3	13.59%	7.52%
QPSK_1/2	46.67%	36.99%
QPSK_1/3	0.00%	20.42%
QPSK_1/6	0.00%	0.12%
QPSK_1/12	0.00%	0.00%
Outage	0.00%	0.00%

<Table 3> Ratio of the areas with each modulation and coding scheme.

(그림 7)은 본 연구에서 제안한 시스템(p)과 기존 시스템(r)의 시스템 전송률을 비교하여 나타낸다. 그래프 좌측은 MB/Sec 단위의 전송률을 나타낸다. 제안한 시스템은 1.09 MB/sec의 시스템 전송률을 갖으며, 기존의 BS 시스템의 시스템 전송률에 비교하였을 때 20.32%에 이른다.

(그림 7) 시스템 전송률



(Figure 7) System throughput

실험 결과를 통해 BS 최대 전송률의 20.32%보다 작은 트래픽이 예상되는 경우에는 제안한 시스템을 적용하여 비용 이득을 얻을 수 있음을 확인하였다.

6. 결과

이 논문에서는 BS보다 비용이 적은 RS를 설치할 때의 설계 기법을 제시하고, 이러한 시스템이 적용되기 위한 타당한 조건을 찾기 위한 연구를 수행하였다. 제안한 시스템은 6각 네트워크 토폴로지 모델에서 인접한 7개의 BS 셀을 1개의 MR-BS와 6개의 RS를 사용하여 구성하였고 RS들 간의 신호 간섭으로 인한 전송률 저하를 최소화하면서 병렬 전송 효과를 높이도록 자원 할당 알고리즘을 적용하였다. 모의실험에서 제안한 시스템의 전송률은 BS 시스템 전송률의 20.32%로 나타났다. 이러한 결과를 통해 BS 최대 전송 능력의 20.32%보다 작은 트래픽이 예상되는 경우에는 제안한 시스템을 적용함으로써 비용 이득을 얻을 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] IEEE 802.16j MMR Work group, <http://www.ieee802.org/16/relay>
- [2] Christian Hoymann. "Analysis and performance evaluation of the OFDM-based metropolitan area network IEEE 802.16," *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*. Volume 49 Issue 3, 19 October 2005
- [3] H. S. Ryu, J. S. Lee, Y. H. Lee, C. G. Kang, "Relay System Technologies for Cellular Broadband Mobile Services," *SK Telecommunications Review*, Vol.20, No.3, pp.445-471. June 2010.
- [4] H. Lu, W. Liao, and F. Lin, "Relay station placement strategy in IEEE 802.16j WiMAX networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 1, pp. 151 - 158, Jan. 2011.
- [5] B. Lin, P.-H. Ho, L.-L. Xie, and X. Chen, "Optimal relay station placement in IEEE 802.16j networks," in *Proc. IEEE International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing*, Honolulu, Hawaii, USA, Aug. 2007, pp. 25 - 30.
- [6] B. Lin, P.-H. Ho, L. L. Xie, and X. Chen, "Relay station placement in IEEE 802.16j dual-relay MMR networks," in *Proc. IEEE International Conference on Communications*, May 2008, pp. 3437 - 3441.
- [7] I-Kang Fu, Wern-Ho Sheen and Fang-Ching Ren, "Deployment and Radio Resource Reuse in IEEE 802.16j Multi-hop Relay Network in Manhattan-like Environment," *2007 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing (ICICS 2007)*, Dec. 10-13, 2007.
- [8] S. Y. Kim, S. J. Kim, C. J. Yoo, S. W. Ryu, H. W. Lee, C. H. Cho, "Performance analysis of Single-Frame mode and Multi-Frame mode in IEEE802.16j MMR System," *PIMRC*, Sept.2008.
- [9] H. Min, S. Lee, K. Kwak, and D. Hong, "Effect of Multiple Antennas at Source on Outage Probability"

ty for Amplify-and-Forward Relaying Systems," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol.8, No.2, Feb. 2009, pp.633-37.

[10] S. Berger, M. Kuhn, A. Wittneben, T. Unger, and A. Klein, "Recent Advances in Amplify-and-Forward Two-Hop Relaying," IEEE Commun. Mag., Vol. 47, No. 7, Jul. 2009, pp. 50-56.

[11] Ki-Sik Kong, "A Survey of Location Management Techniques in Wireless Mobile Networks," Journal of Digital Contents Society Vol. 11 No. 4 Dec. 2010 (pp. 433~443)

[12] TTAS.Ko-06.0064/R1, Specification for 2.3 GHz Band Portable Internet Service (WiBro)-Physical Layer, Telecommunications.

이 주 호



2005년 : 강원대학교 전기전자정보통신공학부 (학사)

2007년 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 (석사)

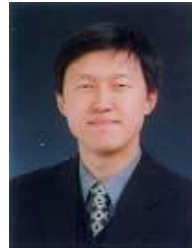
2007년~2009년 : 기산텔레콤

2009년~2011년 : 건아정보기술

2011년~ 현재 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 (박사과정)

관심분야 : 이동통신, 빅데이터, Cloud Computing, VoIP, Embedded Linux

이 구 연



1986년 : 서울대학교 전자공학과 (학사)

1988년 : KAIST 전기및전자공학과 (석사)

1993년 : KAIST 전기및전자공학과 (박사)

1993년~1996년 : 디지털정보통신연구소

1996년 : 삼성전자

1997년~ 현재 : 강원대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : 이동통신, 네트워크보안, 초고속통신망, ad-hoc 네트워크

정 충 교



1982년: 서울대학교 전기공학과 (학사)

1984년: KAIST 전기및전자공학과 (석사)

1989년: KAIST 전기및전자공학과 (박사)

1989년~1995년 : LG정보통신(주)

1995년~ 현재 : 강원대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : 인터넷, 통신망성능분석, 시스템프로그래밍, 소프트웨어품질