

IEEE802.16j 기반 WiBro MMR 네트워크의 효율적 구축 및 운용에 관한 연구

류승완¹ · 최고봉¹ · 명광식^{1*} · 박세권¹ · 조충호² · 이형우³

¹중앙대학교 정보시스템학과 / ²고려대학교 컴퓨터정보학과 / ³고려대학교 전자정보공학과

Cost-Effective Deployment and Operation of the IEEE802.16j based WiBro MMR Network

Seungwan Ryu¹ · Go-Bong Choi¹ · Kwangsik Myung¹ · Seikwon Park¹ · Choong-Ho Cho² · Hyong-Woo Lee³

¹Dept. of Information Systems, Chung-Ang University, Anseong 456-756, Korea

²Dept. of Computer and Information, Korea University, Seoul 136-701, Korea

³Dept. of Electronics and Information Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

Mobile multi-hop relaying (MMR) technology is being considered as a promising solution capable to enhance coverage, user throughput, and system capacity of the current wired backbone dependent wireless access networks. Since the relaying nodes do not need a wired backbone access, MMR technology offers easy and low-cost deployment, flexible cell planning, and adaptive traffic handling performance. In this paper, we investigate performance and cost effectiveness of the MMR technology deployment in the IEEE802.16j based WiBro/WiMAX systems. We first introduce standardization activities and research issues of MMR WiBro/WiMAX systems. Since the coverage extension problem may occur in metropolitan areas as well as suburban or rural areas where user density is relatively low or moderate, we introduce several MMR topologies and analyze cost-effectiveness of MMR based coverage extension with respect to the user traffic density. Then, we argue cost effect on MMR technology deployment and throughput performance. Finally, we introduce further study issues including sectorized base station based MMR deployment approaches and the single and multi-frame structure MMR approaches.

Keywords: 802.16 MMR, Cost Analysis, Efficient Frequency Assignment

1. 서론

현재 표준화가 진행 중인 차세대 이동통신 시스템인 3GPP-LTE(Third Generation Partnership Project long-term evolution), IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)의 802.16, 802.20, 그리고 ITU-R 의 IMT-Advanced 등의 공통적인 개발 목표는 향상된 데이터 전송 속도이다(IEEE(2006), WiMAX Forum

(2008), IEEE802.16 TGj PAR, ITU-R Recommendation(2003). 향상된 무선 전송속도 구현을 위해서는 직교분할다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) 전송기술, 다중안테나 시스템인(Multiple input multiple output(MIMO), 스마트 안테나 등 고속 무선 전송을 위한 최신기술 등을 도입하고 있다. 그러나 차세대이동통신 시스템은 도심의 고층 건물들로 인한 신호 감쇄와 음영 지역이 적지 않게 발생하여 현재 데이터

본 연구는 중앙대학교 연구 기금의 일부 지원 하에 수행되었음.

* 연락저자 : 명광식, 456-756 경기도 안성시 대덕면 내리 72-1 중앙대학교 산업과학대학 정보시스템학과, E-mail : mks45@cau.ac.kr
2008년 02월 접수; 2008년 04월 수정본 접수; 2008년 05월 게재 확정.

전송률을 향상시키려는 연구가 필요한 실정이다. 이러한 전송 속도저하를 방지하기 위한 해결 방안으로는 다수의 기지국을 증설하여 음영지역을 해소하고 전송률을 높일 수는 있다. 그러나 이러한 기지국 증설을 통한 해결 방법은 고가의 기지국 장비 및 설치 비용 등으로 인해 투입 비용 대비 효율성은 매우 낮은 편이다.

따라서 최소의 비용으로 네트워크의 커버리지를 확대하고 전송률을 높이는 방안으로 중계기를 설치하여 기지국 내 음영지역을 해소하고 전송 속도를 확장하는 한편 기지국의 커버리지를 확장할 수 있는 다중홉 중계(Mobile Multi-hop Relay (MMR) 네트워크를 구축하는 방안이 도입되고 있다. 이와 관련하여 유럽에서는 차세대 이동통신에서의 MMR 기술 적용을 위해 IST(Information Society Technology) 프로젝트의 일환인 Winner 프로젝트나 FIREWORKS (FlexIble Relay Wireless OFDM-based netwoRKS) 등의 MMR 관련 연구를 진행하고 있으며, IEEE에서는 IEEE802.16j에서 관련 연구와 표준화를 진행하고 있다 (IST Winner II(2007), IST FIREWORKS (2003), Walke, B.(2003), IEEE 802.16j-06/026r4(2006)).

특히, 최근 IEEE에서는 기존의 mobile WiMAX 표준인 IEEE 802.16e에 중계기 (Relay Station(RS))를 도입하여 커버리지 확장과 처리율을 향상시키기 위해 MMR 기술을 적용하는 IEEE 802.16j 표준화를 추진하고 있다. IEEE802.16에서는 MMR 기술 적용을 위한 SG (Study Group)가 2005년 7월에 승인되었고, 2006년 3월에는 IEEE802.16j TG가 결성되어 MMR 기술 도입에 대한 연구와 표준화 작업이 진행되고 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.16e 기반 WiBro 기술의 표준화 동향과 WiBro 기지국 커버리지 확대와 전송속도 향상을 위해 제안되고 있는 IEEE 802.16j 기반의 WiBro MMR 기술의 개요 및 표준화 현황을 살펴본다. WiBro MMR에서의 중계기의 기능은 기지국 커버리지 확대를 위한 Non-transparent mode와 기지국 커버리지 내의 음영지역 해소를 통한 전송률 향상을 위한 transparent mode가 제안되고 있다. 특히 본 논문에서는 WiBro MMR 시스템에서 Non-transparent mode 다중홉 중계기를 도입하여 최소의 비용으로 서비스 대상 지역을 커버하는 최적화된 기지국 커버리지 확장과 중계기 도입에 따른 다양한 셀 배치 기법을 살펴본 후 중계기가 없는 기존의 셀 배치방법과 비교함으로써 중계기 도입의 적합성을 논의한다. 중계기 도입에 따른 셀 배치 방법은 도심형과 교외형의 다양한 네트워크 topology에서 단위 면적당 발생하는 트래픽에 따라 최소의 비용으로 WiBro 다중홉 네트워크를 구성하는 Non-transparent 중계기 기지국의 수를 살펴본 후, 이에 따른 적절한 중계기 도입 시나리오를 제시한다. 또한 중계기를 설치에 의해 발생할 수 있는 트래픽 병목현상을 예방하기 위한 효율적인 주파수 할당 기법을 제안한다. 마지막으로 향후의 연구과제로서 제한된 주파수자원의 효율적 이용과 기지국 용량 증대를 위해 제안되고 있는 섹터화된 기지국 도입 시의 효율적 WiBro MMR 네트워크 구성방안과 single-frame mode와 Multi-frame mode에서

의 효율적 전송 방안을 논의한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 IEEE802.16e 기반의 WiBro 기술과 현재 표준화 및 기술개발이 진행되고 있는 IEEE 802.16j 기반 WiBro MMR 기술에 대해 간단히 살펴본다. 제 3장에서는 최소의 비용으로 기지국 커버리지를 확장하는 다양한 WiBro MMR 네트워크 구성 방안을 제시하고 분석한다. 또한 가입자 밀도에 따른 단계적 WiBro MMR 네트워크 구축 방안을 제안한다. 제 4장에서는 도심지역에서의 WiBro MMR 네트워크 구성을 네트워크 비용과 throughput 관점에서 분석한 후 효율적인 주파수 할당 기법을 제안하고 분석한다. 제 5장에서는 향후 연구과제로서 섹터화된 기지국 도입 시의 효율적 WiBro MMR 네트워크 구축 방안과 single 및 multi-frame mode에서의 효율적 전송 방안을 논의한 후 결론을 제시한다.

2. WiBro 개요와 IEEE 802.16j 표준화 현황

2.1 WiBro 개요

WiBro 기술은 IEEE802.16e(Mobile WiMAX) 표준을 기반으로 하여 2.3GHz 주파수 대역을 이용하여 셀 반경 1Km 이내, 이 동시 최소 60Km/H 이상에서도 끊기지 않는 무선 인터넷 서비스를 보장하고, 보다 저렴하게 무선 인터넷 서비스를 제공하는 것을 목표로 2004년 12월에 우리나라에서 개발되었으며, 2005년 12월 IEEE로부터 공식 표준으로 승인되었다(IEEE Standard 802.16e-2005, (2006), Lee, S., *et al.* (2006)).

기존의 무선인터넷이 기지국이 설치된 Hot Spot 지역 중심으로 이용하는 반면, WiBro는 사용자가 이동 중에도 끊김 없는 인터넷 서비스를 지원받는 통화절체(Handover) 기능을 제공한다. 그러나 WiBro는 2.3GHz의 높은 대역을 이용하고 셀 반경이 약 1Km 정도이므로 끊김없는 서비스 커버리지 제공을 위해서는 서비스 이용자의 수와는 관계없이 상당히 많은 수의 기지국 배치가 필수적이다. 또한, 고비용의 다수의 기지국 설치 후에도 도심 지역의 고층건물이나 장애물로 인해 낮은 전송률을 제공하는 음영지역이 존재하고, 기지국의 작은 커버리지로 인해 교외지역에 기지국을 배치하는데 높은 네트워크 구성 비용이 예상된다. 따라서 서비스 이용자의 분포에 따른 적합한 수의 중계기 도입으로 기지국의 커버리지를 확장하고 주어진 전체면적에 서비스를 제공하기 위해 기지국과 중계기의 최적 배치와 셀 배치 비용을 최소화하는 연구가 필요한 실정이다.

2.2 IEEE802.16j MMR 기술 개발 및 표준화 현황

2.2.1 MMR 기술 개요

최근 IEEE802.16에서는 최소의 비용으로 네트워크의 커버리지를 확대하고 전송률을 높이는 방안으로 중계기를 설치하여 기지국 내 음영지역을 해소하고 전송 속도를 확장하는 한

편 기지국의 커버리지를 확장할 수 있는 다중홉 중계(MMR) 네트워크를 구축하는 방안이 연구되고 있다.

중계기는 중계 특성에 따라 네 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 이동성에 따른 분류로서 고정형 중계기인 Fixed Relay Station, 일시적인 사용량 증가 지역에 임시 설치에 적합한 Nomadic Relay Station, 그리고 차량이나 기차 등 이동 수단에 설치하여 이동수단 내부의 서비스를 제공하는 Mobile Relay Station으로 분류할 수 있다. 두 번째는 전달 방식에 따른 분류로서 수신된 신호를 단순 증폭 전달하는 Amplify and Forward (AF) 방식과 오류검정 및 복호화 기능을 제공하는 Decoding and Forward (DF) 방식으로 구분할 수 있다. 세 번째는 다이버시티 이득의 유무에 따라 단순(simple) 중계기와 상호협력 (Cooperative) 중계기로 구분된다. 상호협력 전송은 기지국과 중계기 혹은 다수의 중계기가 협력하여 트래픽을 다른 중계기 혹은 가입자 단말에 전송하는 방식으로 다이버시티 이득을 통한 전송률 향상의 효과를 제공하는 방식이다. 마지막으로는 무선 접속 방식에 따른 분류로서 Homogeneous 방식과 Heterogeneous 방식으로 구분된다. Homogeneous 방식은 기지국과 중계기, 중계기와 단말기간의 무선 접속 방식이 동일한 경우이며, Heterogeneous 방식은 기지국과 중계기간 단말기간의 무선 접속 방식이 다른 경우를 나타낸다.

2.2.2 IEEE802.16j MMR 기술 개발 및 표준화 동향

IEEE802.16e(Mobile WiMAX)에 중계기능을 도입하기 위한 IEEE802.16 Relay TG는 2005년 8월부터 2006년 3월까지 8개월간의 Study Group의 활동을 통해서 IEEE802.16e시스템에 중계기를 도입하여 멀티홉 통신을 지원하는 방안에 대한 기술적인 가능성, 장단점 등에 대한 논의를 거쳐 2006년 5월부터 정식인 IEEE802.16 Project로 승인되어 표준화 작업이 시작되었다(IEEE802.16 TGj PAR). IEEE802.16j TG에서 연구되는 주요 기술적 이슈들은 다음과 같다.

- Relay concepts
- Security
- Frame structure
- Network entry
- BW request
- Construction and transmission of MAC PDUs
- Measurement and reporting
- Routing and path management
- RRM, scheduling & interference control
- PHY

IEEE802.16j TG에서는 2007년 1월에 중계기 도입에 따른 주요 기술적 사항들인 프레임 구조, 단말기/중계기 네트워크 엔트리 과정, 채널 설정, BW 요구절차, ARQ 방식, Ranging 및 출력제어 등을 포함하는 Draft Baseline document (IEEE802.

16j-06/026r2(2006))를 완성하였다.

2.2.3 WiBro MMR 기술 개발 동향

WiBro MMR시스템은 IEEE802.16j MMR 기술표준을 기반으로 개발되고 있다. IEEE802.16j TG의 표준화는 우선 중계기를 통해서 기지국의 커버리지를 확장하여 넓은 영역 혹은 음영 지역에서 단말에게 서비스를 제공 가능하도록 하는 것과 기지국 커버리지 내의 단말의 서비스 품질 향상을 목적으로 한다. 따라서 WiBro에서의 MMR 기술 도입 내용은 상기의 IEEE802.16j 기술 표준에 부합하면서 기존 IEEE802.16e 기반 WiBro 기술에 맞추어 다음과 같이 결정하였다(Son, 2007, Woo, 2007).

- 동일 허가대역
- OFDMA 모드 동작
- 물리 계층 및 매체접근제어 계층의 표준화
- Mesh Topology 배제
- 기존 IEEE802.16 단말은 변경하지 않음

허가대역 및 OFDMA 모드 동작은 기존 IEEE802.16e 기반 WiBro 시스템과의 호환성을 유지하기 위한 것이며, Mesh Topology의 배제는 기존 WiBro 시스템의 재활용을 최대화하기 위해 모든 중계기의 제어 및 통신을 기지국에서 제어하도록 하기 위함이다. 또한, 기존 WiBro 단말의 재활용을 가능하도록 하여 중계기 도입의 목적을 WiBro 기지국의 커버리지 확장과 성능 개선에 주안점을 두도록 하였다.

3. 최소비용 WiBro MMR 네트워크 구성

본 논문에서는 우선 WiBro MMR 시스템에서 Non-transparent mode 다중홉 중계기를 도입하여 최소의 비용으로 서비스 대상 지역을 커버하는 최적화된 기지국 커버리지 확장 방안과 중계기 도입에 따른 다양한 셀 배치 기법을 제시한다. 중계기 도입에 따른 셀 배치 방법은 도심형과 교외형의 다양한 네트워크 topology에서 단위 면적당 발생하는 트래픽에 따라 최소의 비용으로 WiBro MMR 네트워크를 구성하는 Non-transparent 중계기와 기지국의 수와 이에 따른 네트워크 설치 비용을 분석한다. 또한 중계기가 없는 기존의 셀 배치방법과 비교함으로써 중계기 도입의 적합성을 논의한다. 이와 더불어 제안되는 최적 WiBro MMR 네트워크 구축 연구 결과를 기반으로 향후 가입자 밀도 증가 추세에 따른 적절한 중계기 도입 시나리오를 제시한다.

최소비용 최적 WiBro MMR 구축 연구는 가입자 밀도가 높고 사각의 그리드 형태의 셀 모양을 가지는 도심형 구조와 가입자 밀도가 높지 않고 장애물이 적어서 육각형 형태의 셀 모양을 제공하는 교외형의 두 가지의 경우로 나누어 분석하고

최적 구성 방안을 제안한다.

3.1 WiBro MMR 네트워크 Topology

3.1.1 도심형(Metropolitan Area) Topology

도심형은 고층건물이 많아 신호간섭이 크기 때문에 셀의 모양은 일반적으로 정사각형 형태의 그리드 모형을 가정한다. 본 연구에서는 이러한 그리드 형태의 도심형 모델에서의 최소 비용 WiBro MMR 네트워크 구축 방안을 제시하고 분석한다. <Figure 1>은 하나의 기지국에 중계기가 1~4계층 (tier)까지 배치된 다양한 도심형 멀티홉 셀 구조를 보여준다.

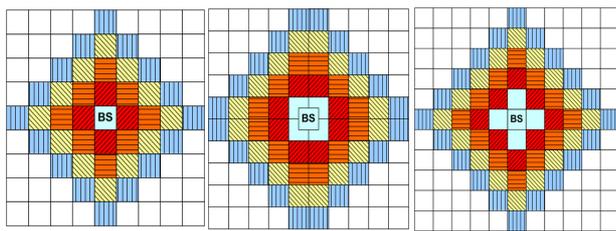


Figure 1. Metropolitan area MMR topologies(A type (Left), B type (Center), C type(Right))

Table 1. Maximum possible number of relay stations at each tier in the metropolitan area MMR topologies

구 성	A type	B type	C type
기지국 커버리지	1	4	5
1 계층 중계기 수	4	8	8
2 계층 중계기 수	8	12	12
3 계층 중계기 수	12	16	16
4 계층 중계기 수	16	20	20

<Figure 1>의 A type은 기지국 안테나의 전송전력과 중계기 안테나의 전송전력이 같은 경우로서, 이 경우 하나의 기지국 커버리지는 중계기의 커버리지와 같게 된다. B와 C type은 기지국의 안테나 전송 전력이 중계기 안테나의 전송 전력보다 큰 경우로서, 이 경우 기지국 커버리지는 각각 4개의 그리드 혹은 5개의 그리드 형태로 가정할 수 있다.

하나의 기지국이 관리하는 중계기의 수와 계층 수는 기지국의 전체용량과 단위면적인 그리드 사각형 하나에서 발생하는 트래픽의 양에 따라 결정된다. 예를 들어, 트래픽이 적게 발생될 때는 기지국의 무선자원이 여유가 있으므로 멀티홉 중계기를 3~4계층까지 넓혀 커버리지 확장이 가능하며, 트래픽이 많이 발생할 때는 멀티홉 중계기를 1~2계층까지 확장하거나 중계기를 배치하지 못할 경우도 있다. <Table 1>은 도심형 구조에서 하나의 기지국에 연결 가능한 각 계층에 존재 가능한 최대 중계기 수를 나타낸다.

3.1.2 교외형(Rural Area) Topology

교외형은 고층건물이 적은 평지가 많기 때문에 일반적으로 육각형 모양의 셀 모양을 가정한다. <Figure 2>는 하나의 기지국에 중계기가 1~4계층까지 배치된 다양한 교외형 셀 구조를 보여준다. 하나의 기지국은 다수의 육각형을 커버리지로 갖을 수 있지만, 중계기는 하나의 육각형만을 커버리지로 갖는다. <Figure 2>의 교외형 MMR topology의 경우 <Figure 1>의 경우와 같이 기지국과 중계기 안테나들의 전송 전력 차이를 가정하였으며, D, E 및 F type의 경우 하나의 기지국이 각각 1개, 7개, 3개의 육각형 면적을 커버리지 영역으로 갖는 것을 가정하였다. <Table 2>는 교외형 구조에서 기지국과 멀티홉 중계기 각각 계층에 존재 가능한 최대 중계기의 수를 나타낸다.

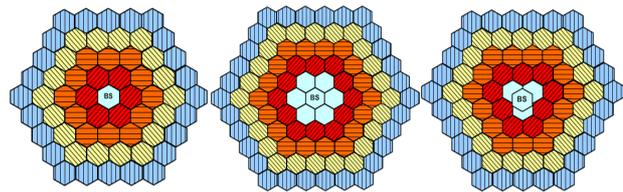


Figure 2. Rural area MMR topologies(A type(Left), B type (Center), C type(Right))

Table 2. Maximum possible number of relay stations at each tier in the rural area MMR topologies

구 성	D type	E type	F type
기지국 커버리지	1	7	3
1 계층 중계기 수	6	12	9
2 계층 중계기 수	12	18	15
3 계층 중계기 수	18	24	21
4 계층 중계기 수	24	30	27

3.2 최소비용 MMR 모델 설계

3.2.1 최적화 모델 설계

주어진 서비스 면적에 대해 최소 비용으로 최적의 WiBro MMR 네트워크를 구성하는 방안은 주어진 면적을 끊임없이 (Seamless)하게 커버할 수 있는 최소 기지국의 수와 중계기의 수를 구하는 최적화 문제로 정형화할 수 있다. 최적화 문제는 <Figure 1>과 <Figure 2>에서 제시한도심형 및 교외형 모델에 모두 적용하여 분석할 수 있다. 이러한 최적화 문제를 적용한 네트워크 설계 문제 정형화 및 분석을 위한 기본 가정은 다음과 같다. 첫 번째로, 중계기의 단위 가격은 기지국의 단위 가격보다 저렴하다. 두 번째로는, 무선 채널간의 간섭 효과는 고려하지 않는다. 마지막으로는 채널 상태에 따른 적응형 변조 및 부호화(Adaptive Modulation and Coding (AMC)) option은 적용하지 않는다.

최적화 문제의 목적함수는 주어진 서비스 영역을 커버하는 비용의 최소화로서 다음과 같이 표현된다.

$$\text{Min } C_T = C_{BS}X_{BS} + C_{RS}\sum_{i=1}^N X_{RSi}, \quad (1)$$

이 경우 C_T 는 전체비용이고, C_{BS} 와 C_{RS} 는 각각 기지국과 중계기의 단위 가격이며, X_{BS} 와 X_{RS} 는 기지국의 수와 i 번째 계층에 있는 중계기의 수를 각각 나타내며, N 는 최대 중계기 계층 수를 나타낸다.

또한 제약 조건은 1) 커버리지 제약조건, 2) 기지국 용량 제약조건, 3) 각 계층(tier)별 최대 가능 중계기 수, 그리고 4) 정수 개의 기지국과 중계기 수의 제약조건이 된다. 커버리지 제약 조건은 기지국과 각 계층을 구성하는 모든 중계기들이 서비스 하는 커버리지의 합이 주어진 전체 서비스 대상 면적보다는 커야함을 나타내며 다음의 식으로 표현된다.

$$A_{BS}X_{BS} + A_{RS}\sum_{i=1}^N X_{RSi} \geq A_T, \quad (2)$$

이 경우 A_{BS} 와 A_{RS} 는 각각 하나의 기지국과 중계기가 커버 하는 면적을 의미하며, A_T 는 주어진 전체 서비스 면적이다.

기지국 용량 제약조건은 기지국 커버리지 내의 가입자 트래픽과 기지국에 연결된 각 계층 중계기들의 커버리지에서 발생 되는 모든 트래픽의 합은 하나의 기지국이 수용할 수 있는 가입자 트래픽 용량보다는 작아야 한다는 것이며 다음의 식으로 표현된다.

$$(C - \rho A_{BS})X_{BS} - \rho A_{RS}\sum_{i=1}^N X_{RSi} \geq 0, \quad (3)$$

이 경우 C 는 단위 기지국의 트래픽 용량이며, ρ 는 단위 면적당 발생 트래픽 양이다.

마지막으로 각 계층별 최대 가능 중계기 수의 제약 조건은 도심형과 교외형의 경우 각각 각 계층에 존재할 수 있는 최대 중계기의 수가 있으므로 <Table 1>과 <Table 2> 이를 고려한 계층별 중계기 수에 대한 제약조건은 다음과 같이 표현된다.

$$X_{RS1} - N_1 X_{BS} \leq 0, \quad (4-1)$$

$$N_i X_{RS(i+1)} - N_{(i+1)} X_{RS} \leq 0, \quad (4-2)$$

$$i \in 1, \dots, N-1$$

이 경우 N_i 는 i 계층에 존재 가능한 최대 중계기의 수이다. 예를 들어 <Figure 1>의 도심형 C type의 경우 <Table 1>에서 제시하는 것처럼 N_i , $i = 1, \dots, 5$ 의 값은 각각 5, 8, 12, 16, 20이 된다.

마지막으로는 정수 개의 기지국과 중계기가 존재한다는 조

건으로서 다음과 같이 표현된다.

$$X_{BS} \in \{1, 2, \dots\}, X_{RS} \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (5)$$

따라서 주어진 서비스 영역 A_T 를 최소의 비용으로 끊임없이 커버하는 최적의 WiBro MMR 네트워크 구성 문제는 다음의 최적화 정수계획법으로 정형화할 수 있다.

• 목적 함수 :

$$\text{Min } C_T = C_{BS}X_{BS} + C_{RS}\sum_{i=1}^N X_{RSi},$$

• 제약 조건 :

$$A_{BS}X_{BS} + A_{RS}\sum_{i=1}^N X_{RSi} \geq A_T,$$

$$(C - \rho A_{BS})X_{BS} - \rho A_{RS}\sum_{i=1}^N X_{RSi} \geq 0,$$

$$X_{RS1} - N_1 X_{BS} \leq 0,$$

$$N_i X_{RS(i+1)} - N_{(i+1)} X_{RS} \leq 0,$$

$$i \in 1, \dots, N-1$$

$$X_{BS} \in \{1, 2, \dots\}, X_{RS} \in \{0, 1, 2, \dots\}$$

상기의 최적화 문제를 도심형과 교외형의 각 경우에 대해서 그리고 여러 경우의 단위 면적당 발생 트래픽 양(ρ)에 대해 적용하면 각각의 경우에 대한 최적의 WiBro MMR 네트워크 구성 방안을 얻게 된다. 최적 네트워크 구성 방안은 주어진 네트워크 topology와 트래픽 양에 대한 최소 요구 기지국과 중계기 수 그리고 이를 고려한 네트워크 구축비용으로 나타난다.

3.3 최적화 성능 분석

앞서 제안한 최적화 모델을 도심형과 교외형 네트워크 Topology에 대해 적용하여 필요 기지국과 중계기 수 그리고 네트워크 구축 비용을 구한 후 비교 분석을 수행하였다. 최적화 모델의 해를 구하기 위해 CPLEX를 이용했고, 멀티홉 중계기는 3계층까지만 고려하였다. 또한, 트래픽은 모든 지역에 균등하게 분포되었다고 가정하였으며, $1m^2$ 의 단위 면적에서 0.1 ~ 10bps사이로 트래픽이 발생하도록 변화시키며 실험하였다. 마지막으로 전파 환경에 따른 AMC Option은 고려하지 않았으며, 중계기 단위 가격은 기지국 단위 가격의 10%, 20%, 그리고 30%로 가정하였다. <Table 3>은 성능 분석에 사용된 파라미터 값들을 나타낸다.

<Figure 3>~<Figure 5>와 <Figure 6>은 주어진 전체 면적을 서비스하는데 필요한 기지국과 중계기의 전체 셀 배치비용을 단위면적 당 발생하는 트래픽을 변화시키며 알아본 결과이다. 기존의 중계기를 도입하지 않은 셀 배치방법은 각 셀 배치구조에 따라 일정한 비용에서 발생하는 트래픽과 무관하게 같은 비용을 나타내고 있다. 하지만 멀티홉 중계기를 이용한 구조

는 기존의 방법보다 비용측면에서 효율적임을 알 수 있다.

<Figure 3>과 <Figure 4>는 도심형의 구조들을 비교한 결과이다. 도심형 각 Topology에서는기지국만 사용하는 경우에 비해 저렴한 네트워크 구축 비용을 제시함을 알 수 있다. 그러나 B 와 C type은 중계기 비용이 각각 기지국의 30% 와 20% 이상일 때 중계기를 사용하지 않는 방법이 더 효율적임을 보여준다. 이 경우는 중계기의 커버리지가 각각 기지국의 1/4과 1/5 이므로 단위 면적당 중계기의 비용이 기지국의 단위 면적당 비용보다 크기 때문이다.

Table 3. Performance evaluation parameters

Parameter	Value
A_T	300 Km ²
A_{BS}	셀 모양에 따라 다름 <Table 1>과 <Table 2>
A_{RS}	1 km ²
ρ	0.1~10bps/m ² (0.1~10Mbps/km ²)
BS 비용	1,000,000 Won
RS 비용	10%, 20%, 30% of BS cost
C	50 Mbps

<Figure 4>는 도심형의 경우 발생하는 트래픽이 4bps/m² 이 하인 중간 이하의 트래픽 밀도의 경우에서의 네트워크 구성비용을 보여준다. 이 경우에도 중계기의 단위 면적당 비용이 기지국보다 작은 경우, 즉 Atype은 10%, 20%, 30% 모두, B type은 10%와 20%, C type은 10%의 경우, 중계기를 도입하는 것이 기지국만 사용하는 것보다 저렴한 네트워크 구축비용을 요구한다는 것을 알 수 있다.

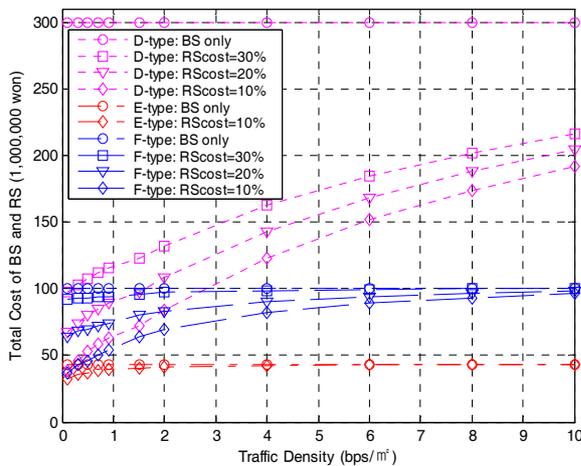


Figure 3. Minimum deployment cost for the metropolitan area MMR network under various traffic densities ($0 \leq \rho \leq 10(bps/m^2)$)

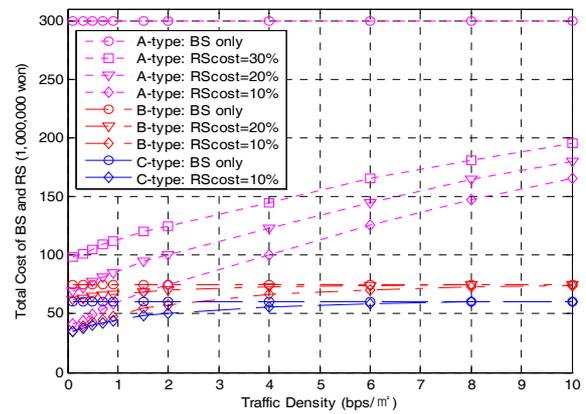


Figure 4. Minimum deployment cost for the metropolitan area MMR network under various traffic densities ($0 \leq \rho \leq 4(bps/m^2)$)

<Figure 5>와 <Figure 6>은 교외형 중계기 도입 topology들에 대해 트래픽 양이 $0 \leq \rho \leq 10(bps/m^2)$ 인 경우와 $0 \leq \rho \leq 4(bps/m^2)$ 인 경우에 대해 최소 네트워크 구축 비용을 비교한 결과이다. 도심형의 경우와 같이 E type에서는 중계기의 비용이 기지국의 20% 이상일 때, 중계기를 사용하지 않는 방법이 더 효율적임을 알 수 있다. 특히, 도심형과 마찬가지로 발생하는 트래픽이 4(bps/m²) 이하일 때 중계기를 배치하여야 셀 배치비용에서 효율적임을 알 수 있다.

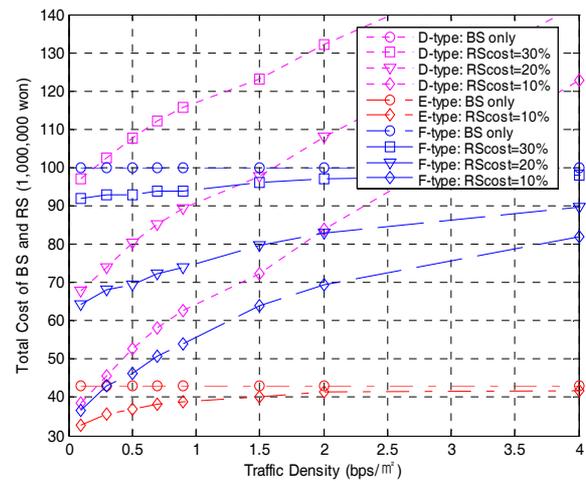


Figure 5. Minimum deployment cost for the rural area MMR network under various traffic densities($0 \leq \rho \leq 10(bps/m^2)$)

<Table 4>와 <Table 6>은 각각 도심형과 교외형의 다양한 셀 배치구조에서 발생하는 트래픽에 따른 최적화된 기지국과 중계기의 수를 제시하고 있으며, <Table 5>과 <Table 7>은 각각 도심형과 교외형의 최소 셀 배치비용을 제시하고 있다. <Table 4>~<Table 6>과 <Table 7>에서 제시하는 바와 같이 A 와 D type은 기지국과 중계기의 커버리지가 같기 때문에 중계기를

Table 4. Maximum coverage area and corresponding number of RS tiers in the metropolitan area MMR networks

ρ	A 형							B 형							C 형						
	BS수 (BS only)	BS수	중계기수/기지국 (계층별)			계층 수	BS 커버리지 (km2)	BS수 (BS only)	BS 수	중계기수/기지국 (계층별)			계층 수	BS 커버리지 (km2)	BS수 (BS only)	BS수	중계기수/기지국 (계층별)			계층 수	BS 커버리지 (km2)
			1	2	3					1	2	3					1	2	3		
0.1	300	12	4.0	8	12	3	25.0	75	8	8.0	12	16	3	40	60	8	8.0	12	16	3	41.03
0.3	300	15	4.0	8	7.1	3	20.15	75	15	8.0	8.2	0	2	20.23	60	15	8.0	3.5	4.7	3	21.14
0.5	300	21	4.0	8	1.6	3	14.58	75	21	8.0	2.7	0	2	14.67	60	20	8.0	2.6	0	2	15.58
0.7	300	26	4.0	6.8	0	2	11.81	75	25	8.0	0.3	0	2	12.29	60	23	8.0	0.2	0	2	13.2
0.9	300	31	4.0	4.8	0	2	9.82	75	29	6.4	0	0	1	10.44	60	27	6.3	0	0	1	11.32
1.5	300	43	4.0	2	0	2	7.04	75	40	3.7	0	0	1	7.67	60	36	3.5	0	0	1	8.54
2	300	50	4.0	1	0	2	6.0	75	46	2.6	0	0	1	6.63	60	40	2.5	0	0	1	7.5
4	300	78	2.9	0	0	1	3.88	75	60	1.1	0	0	1	5.06	60	51	0.9	0	0	1	5.94
6	300	106	1.8	0	0	1	2.83	75	67	0.5	0	0	1	4.54	60	56	0.4	0	0	1	5.42
8	300	130	1.3	0	0	1	2.31	75	71	0.3	0	0	1	4.28	60	59	0.2	0	0	1	5.16
10	300	150	1.0	0	0	1	2.0	75	73	0.1	0	0	1	4.13	60	60	0.0	0	0	0	5

Table 5. Deployment cost of the metropolitan area MMR networks for various traffic densities (Unit : 1M won)

ρ	A 형				B 형				C 형			
	BS only	10%	20%	30%	BS only	10%	20%	30%	BS only	10%	20%	30%
0.1	300	40.8	69.6	98	75	35	62	75	60	34.5	60	60
0.3	300	43.7	72.4	101	75	39.1	63.2	75	60	38	60	60
0.5	300	49.1	77.2	105	75	42.9	64.8	75	60	40.5	60	60
0.7	300	53.5	81	109	75	45.3	65.6	75	60	41.7	60	60
0.9	300	58.1	85.2	112	75	47.6	66.2	75	60	43.8	60	60
1.5	300	68.8	94.6	120	75	54.4	68.8	75	60	48.5	60	60
2	300	75	100	125	75	57.9	69.8	75	60	50	60	60
4	300	100.3	122.6	145	75	66.3	72.6	75	60	55.8	60	60
6	300	125.5	145	165	75	70.6	74.2	75	60	58.4	60	60
8	300	147.1	164.2	181	75	73	75	75	60	60	60	60
10	300	165	180	195	75	74	75	75	60	60	60	60

Table 6. Maximum coverage area and corresponding number of RS tiers in the rural area MMR networks

ρ	A 형							B 형							C 형						
	BS수 (BS only)	BS수	중계기수/기지국 (계층별)			계층 수	BS 커버리지 (km2)	BS수 (BS only)	BS수	중계기수/기지국 (계층별)			계층 수	BS 커버리지 (km2)	BS수 (BS only)	BS수	중계기수/기지국 (계층별)			계층 수	BS 커버리지 (km2)
			1	2	3					1	2	3					1	2	3		
0.1	300	9	6	12	17.7	3	36.76	43	8	12	18	1	3	38.06	100	9	9	15	9.1	3	36.1
0.3	300	17	6	10.8	0	2	17.81	43	16	12	0.9	0	2	19.88	100	18	9	5.5	0	2	17.51
0.5	300	25	6	5.3	0	2	12.25	43	21	7.8	0	0	1	14.75	100	23	9	1.1	0	2	13.07
0.7	300	31	6	2.9	0	2	9.87	43	25	5.4	0	0	1	12.37	100	29	7.6	0	0	1	10.6
10	300	180	0.7	0	0	1	1.67	43	43	0	0	0	1	7.0	100	94	0.2	0	0	1	3.22

Table 7. Deployment cost of the rural area MMR networks for various traffic densities (Unit : 1M won)

ρ	D 형				E 형				F 형			
	BS only	10%	20%	30%	BS only	10%	20%	30%	BS only	10%	20%	30%
0.1	300	38.4	67.8	97.2	43	32.6	43	43	100	36.6	64.2	92
0.3	300	45.5	74	102.5	43	35.6	43	43	100	43	68	93
0.5	300	52.6	80.2	107.8	43	36.8	43	43	100	46.2	69.4	93
0.7	300	58.1	85.2	112.3	43	38.1	43	43	100	50.6	72.2	94
0.9	300	62.6	89.2	115.8	43	39	43	43	100	53.9	73.8	94
1.5	300	72.4	97.8	123.2	43	40.2	43	43	100	63.9	79.8	96
2	300	84	108	132	43	41.3	43	43	100	69.5	83	97
4	300	122.8	142.6	162.4	43	41.9	43	43	100	81.9	89.8	98
6	300	151.5	168	184.5	43	43.5	43	43	100	89	94	99
8	300	174	188	202	43	73	43	43	100	93.3	96.6	100
10	300	192	204	216	43	74	43	43	100	96.1	98.2	100

많이 사용할수록 중계기를 사용하지 않는 기존의 방식에 비해 전체비용이 크게 낮아짐을 알 수 있다.

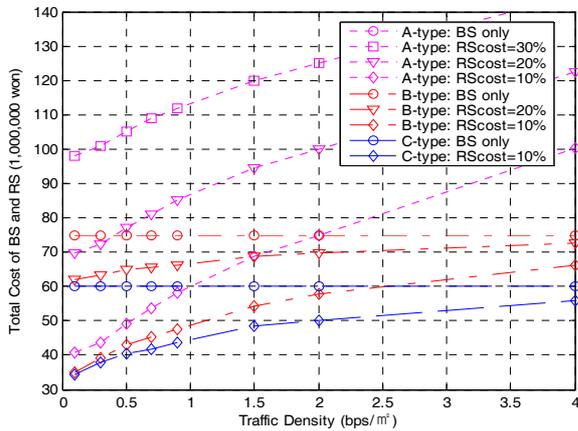


Figure 6. Minimum deployment cost for the rural area MMR network under various traffic densities ($0 \leq \rho \leq 4(\text{bps}/\text{m}^2)$)

3.4 중계기 도입 방안

실험결과를 통해 최소 비용을 제공하는 효율적인 WiBro MMR 네트워크 구성의 단계별 적용 방안을 제시할 수 있다. 우선 WiBro MMR 기술의 상용화 초기인 1단계에서는 단위 면적당 트래픽 밀도, 즉 단위 면적당 사용자가 적을 때는 기지국에 3~4계층의 중계기를 배치하여 넓은 범위를 커버하면서 서비스를 제공하고, 사용자 수가 점차 증가하면 2단계에서 하나의 기지국에 1~2계층의 중계기를 배치하는 네트워크를 구성하고, 기존 1단계의 3~4계층 중계기가 커버하던 범위는 1~2계층의 중계기를 갖는 새로운 기지국을 도입한다. 사용자 수가 거의 포화상태까지 이르는 3단계에서는 기지국을 중심으로 사용자 트래픽을 수용하고 음영 지역 등 특수한 지역에 중계기를 배치하여 기지국 커버리지 내의 전송 용량 증대에 주력하는 네트워크를 구성하는 것이 바람직하다.

4. MMR 도입에 따른 비용과 Throughput 효과 분석

본 장에서는 Non-transparent mode WiBro MMR을 도입할 경우 기지국만으로 구성되는 WiBro 네트워크를 구축하였을 경우와 비용과 throughput 관점의 효용성을 분석한다. 본 장에서는 도심지역을 대상으로 분석결과를 제시하며, 교외 지역의 경우도 유사한 분석을 수행할 수 있을 것이다.

4.1 도심지 Topology 별 비용 이득 분석

중계기의 가격은 기지국보다 저렴하지만 중계기의 종류와 기능에 따라 그 가격은 다양한 가격을 제공한다. 본 논문에서

는 중계기의 가격을 기지국에 대비하여 10%, 20% 그리고 30%의 경우로 구분하고 각각의 경우에 대한 비용분석을 수행하였다. 하나의 기지국과 기지국에 속한 중계기가 서비스 할 수 있는 서비스 지역의 넓이는 <Figure 1>의 C type 경우 다음과 같이 표현 된다.

$$A_{Cell} = A(n + 2N(N+3)) \quad (6)$$

A 는 하나의 정사각형 그리드 셀의 크기, N 은 계층 수, 그리고 n 은 기지국이 서비스하는 그리드 셀의 개수를 의미한다. 식 (6)을 이용하면 주어진 지역 전체를 커버하기 위한 최소의 기지국과 중계기의 수를 구할 수 있다. 또한 하나의 기지국과 기지국에 연결된 중계기에 의해 커버되는 지역 (A_{Cell})에 중계기를 설치하는 비용은 다음과 같이 표현된다.

$$C_T = A_T C_{BS} \rho_{BS} (1 + \alpha 2N(N+3)) \quad (7)$$

이 경우 α 는 중계기 가격의 기지국에 대한 가격비율이며 ρ_{BS} 는 기지국의 분포 밀도이다. 따라서 <Table 8>과 같이 네트워크 구성을 위한 파라메타가 주어진다면 각각의 도심지 Topology별 설치비용은 식 (6)과 식 (7)을 이용하여 추정 할 수 있다.

<Figure 7>은 기지국만 이용하여 설치한 네트워크와 중계기를 도입한 WiBro MMR 네트워크의 구성 비용을 중계기 계층의 변화에 따라 나타내고 있다. <Figure 7>에서 보여지는 바와 같이 중계기를 2계층으로 구성한다면 기지국만으로 구성된 네트워크 설치의 경우보다 중계기 가격이 기지국 가격의 10%, 20%, 30% 일 때 각각 25%, 40%, 50% 정도의 비용으로 동일한 지역을 서비스하는 네트워크를 구성할 수 있다.

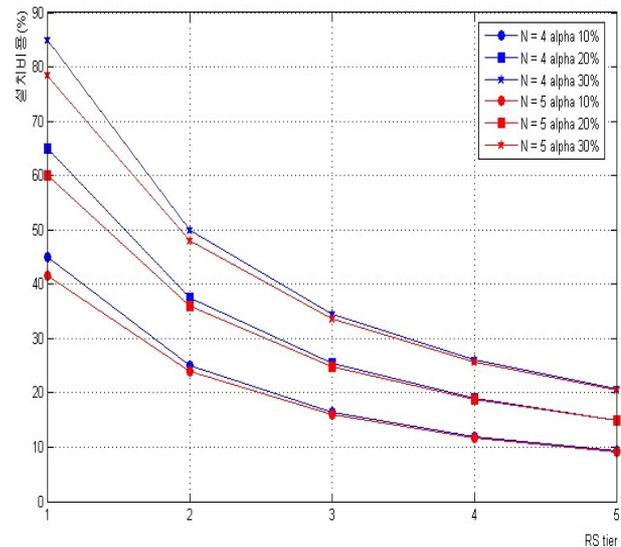


Figure 7. Deployment cost analysis of 2-tier metropolitan area MMR networks

4.2 Topology 별 Throughput 분석

중계기를 도입한 WiBro MMR 네트워크에서 중계기의 계층에 따른 Throughput의 변화량을 분석한다. 앞선 가정에서 모든 트래픽은 균일하게 분포한다고 가정하였으므로 하나의 기지국이 처리하는 트래픽은 기지국과 중계기가 서비스하는 지역의 크기에 비례하며 다음과 같이 표현된다.

$$T_{BS} = T(2N(N+3)) + n, \quad (8)$$

여기서 T 는 하나의 그리드 셀에서 발생하는 트래픽양이고, T_{BS} 는 하나의 WiBro MMR 기지국이 처리할 수 있는 트래픽 양이다. 이와 반대로 기지국만으로 구성된 네트워크에서의 트래픽 발생량은 기지국이 서비스하는 지역의 크기와 비례하게 된다.

중계기를 도입한 네트워크의 경우, 하나의 기지국이 담당하는 지역에서 발생하는 트래픽은 전체 그리드 셀에서 균일하게 발생하더라도 가장 외곽 계층의 중계기 범위에서 발생한 트래픽은 기지국방향으로 중계기를 통해 전달된다. 따라서 하나의 기지국과 이와 연결된 각 계층의 중계기에서 발생하는 트래픽은 기지국과 각각의 중계기 범위 내에서 발생한 트래픽과 전달되는 트래픽의 합으로 나타난다. 만일 한명의 사용자가 요구하는 최소 트래픽양이 T_u (bps/m²)이라면, 하나의 기지국 영역의 하나의 중계기 영역에서 지원 가능한 사용자의 수는 다음과 같이 표현된다.

$$A_{RS} \rho_u T_u = \frac{T_{BS}}{\left(\sum_{i=1}^N 4(i+1) \right) + \left(\left(\sum_{i=1}^N 4(i+1) \right) + n \right)}, \quad (9)$$

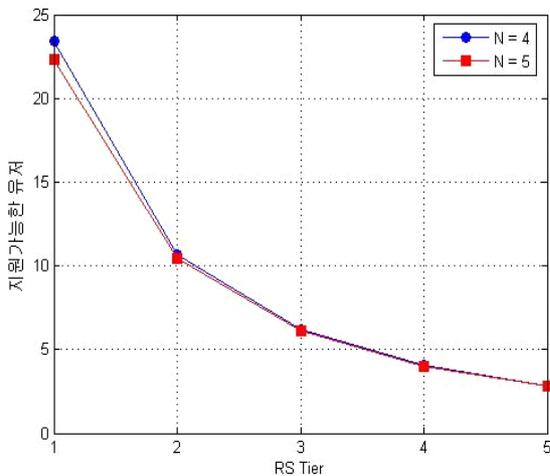


Figure 8. Maximum number of supportable users in the C type metropolitan area MMR networks

이 경우 ρ_u 는 사용자의 단위 면적당 분포 밀도이다. 예를 들

어 도심형 C type의 경우 하나의 중계기가 지원 가능한 사용자의 수는 $T_u=64$ kbps일 경우 식 (9)을 이용하여 <Figure 8>과 같이 얻을 수 있다.

4.3 효율적인 주파수 분배

중계 네트워크에서는 기지국에 근접한 중계기일수록 트래픽 부하 집중에 따른 병목 현상이 발생하므로 이의 해결을 위한 기지국과 중계기간 혹은 중계기 계층간의 효율적 주파수 할당 기법이 필요하다. 본 논문에서는 각 기지국 및 중계기가 처리하는 트래픽 양에 비례하는 주파수 할당 방법을 제안한다. 본 논문에서는 분석의 편의와 페이지 제약으로 도심형 A, B 및 C type WiBro MMR 네트워크에 대한 분석을 수행한다. 그러나 본 논문에서 제안하는 두 가지 주파수 분배 방안은 교외형 WiBro MMR 네트워크에 적용 가능하다.

4.3.1 처리 트래픽 양에 비례한 주파수 분배

하나의 기지국이 관장하는 커버리지에서 기지국 및 각 중계기에 주파수를 할당하는 방법으로는 할당가능 주파수를 커버리지 영역에 존재하는 그리드 셀의 수로 나누어 균등하게 할당하는 방법을 적용할 수 있다. 예를 들어, N계층을 갖는 도심형 네트워크의 경우 하나의 기지국이 관장하는 커버리지 내의 그리드 셀의 수 (G_N)는 식 (6)으로부터 A type의 경우는 $2N(N+1)$ 이 되고, B와 C type의 경우: $(n+2N(N+3))$ 이 된다. 또한 기지국과 각 중계기에 할당되는 주파수 비율을 각각 $P_{BS} = n/G_N$ 와 $P_{RS} = 1/G_N$ 이 된다. 이때, A, B 그리고 C type의 경우 n 값은 각각 1, 4 그리고 5이다.

그러나 이러한 주파수 균등 할당 방법을 적용할 경우 중계기의 계층에 관계없이 모든 중계기에 동일한 주파수 자원을 할당하게 되므로 기지국에 근접되어있는 중계기일수록 하위 계층의 중계기에 대한 중계 트래픽에 의한 트래픽 병목현상은 가중되고 시스템의 성능은 저하된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 중계기에서의 트래픽 병목현상을 해결하는 방안으로 각 중계기에서 처리하는 트래픽 양에 비례하여 전체 주파수를 각 중계기에 할당하는 방안을 제안한다.

멀티홉 중계망의 경우 각 중계기가 처리하는 트래픽의 양은 해당 중계기에 연결된 하위계층 중계기의 수에 비례한다. 따라서 제안하는 주파수 할당 방안에서는 트래픽 병목 현상을 해소 위해 중계 트래픽이 많은 기지국에 근접한 중계기에 보다 많은 주파수자원을 할당하기 위해 기지국과 각 계층의 중계기에 연결된 하위계층 중계기 수에 비례하여 주파수를 할당한다. 하나의 기지국이 관장하는 커버리지 영역에서 기지국 자체 커버리지인 n 개의 그리드 셀을 제외한 중계기들이 담당하는 그리드 셀의 수가 k 개일 경우, 기지국에 할당되는 주파수 비율 (P_{BS})과 각 계층 중계기에 할당되는 주파수 비율 (P_{RS})은 다음과 같다.

$$P_{BS} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N 4(i+1)\right) + n}{\left(\sum_{i=1}^N 4(i+1)\right) + \left(\sum_{i=1}^N 4(i+1) + n\right)},$$

$$P_{RS} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N 4(i+1)\right) + n}{\left(\sum_{i=1}^N 4(i+1)\right) + \left(\sum_{i=1}^N 4(i+1) + n\right)} \frac{1}{4(k+1)}$$
(10)

4.3.2 주파수 분배 기법의 성능 분석

본 절에서는 제안된 효율적인 주파수 할당 방법과 균등 주파수 할당 방법의 비교 분석을 수행한다. 분석의 편의를 위해 앞선 경우와 같이 2계층까지의 중계기가 설치된 도심형 C type 네트워크에서 대한 성능을 비교 하였다.

멀티홉 네트워크의 성능은 하나의 기지국이 처리 할 수 있는 트래픽 양과 이러한 기지국의 수와 밀접한 관계를 가지고 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$T_{System} = T_{BS} \rho_{BS} A_T \quad (11)$$

또한 식 (7)과 식 (8)을 이용하면 멀티홉 네트워크의 성능과 설치비용의 관계는 다음의 식으로 유도된다.

$$T_{System} = \frac{T_{BS} C}{C_{BS}(1 + \alpha 2N(N+3))} \quad (12)$$

식 (11)과 같이 멀티홉 네트워크 시스템의 성능은 기지국의 분포밀도인 ρ_{BS} 와 하나의 기지국의 트래픽 처리 용량인 T_{BS} 와 비례한다. 그러나 본 절의 분석에서는 2계층의 중계기로 구성된 도심형 C type 네트워크를 가정하므로 ρ_{BS} 와 A_T 는 상수로 주어지므로 주파수 분배방법에 따른 시스템 성능은 T_{BS} 에 의해 결정된다. 주파수 균등 분배 방안과 처리 트래픽 양에 비례한 주파수 할당 방안에 따른 기지국에 할당되는 주파수 자원의 비율을 각각 T_{System} 와 T_{FA} 라 정의하면 도심형 C type의 경우는 각각의 주파수 할당방안에 의해 기지국에 할당되는 주파수 비율은 다음과 같다.

$$T_{System} = \frac{n}{(2N(N+3) + n)} = \frac{5}{25}, \quad (13)$$

$$T_{FA} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N 4(i+1)\right) + n}{\left(\sum_{i=1}^N 4(i+1)\right) + \left(\sum_{i=1}^N 4(i+1) + n\right)} = \frac{5}{9}.$$

식 (13)에서 얻어진 바와 같이 도심형 C type WiBro MMR 네트워크에서 처리 트래픽 양에 비례한 주파수 할당 방법을 적

용할 경우 동일 네트워크 구성 환경(도심형 C type) 하에서 기지국에 할당되는 주파수가 균등 분배의 경우보다 219% 정도 더 많이 할당될 수 있다. 이는 제안하는 주파수 할당 방식이 <Figure 8>에서 제시한 주파수 균등 할당 방법 적용 시의 서비스 가능 사용자 수인 11명 보다 많은 22명 정도의 사용자를 서비스할 수 있음을 의미한다. 따라서, 제안하는 주파수 할당 방법을 적용할 경우 주파수 균등 할당 방법과 동일한 네트워크 환경에서 동일한 네트워크 구축비용으로 약 2배 정도의 네트워크 성능 향상을 실현할 수 있다.

5. 향후 연구 내용 및 결론

5.1 향후 연구 내용

5.1.1 섹터화된 기지국에서의 다중홉 네트워크

이동통신 환경에서는 일반적으로 고층건물 등의 장애물이 없을 경우나 교외형을 가정하여 기지국이 전방향 안테나 (Omni-Directional Antenna)를 사용하는 원형 혹은 육각형 셀 모형을 가정한다. 본 논문에서도 전방향 안테나를 사용하는 환경에서의 WiBro MMR 네트워크 구성 방안을 제시하였다. 그러나 실제의 이동통신 환경에서는 주파수 간섭을 줄이는 동시에 서비스를 제공받는 동시 사용자 수를 높이기 위한 방법으로 하나의 셀을 몇 개의 섹터로 나누는 섹터화된 기지국을 사용한다. 섹터화된 기지국의 경우 기지국의 모양은 안테나의 전파 특성에 따라 달라지는데 보통 방사 패턴이 60 도인 NBTC (Narrow-Beam Tri-Sector) 혹은 120 도인 WBTC (Wide-Beam Tri-sector) 지향성 안테나를 사용한다 (Noh, S. (2006)).

NBTC는 <Figure 9>와 같이 전파의 방사 패턴 폭이 좁은 60 도의 지향성 안테나 3 개로 하나의 기지국을 구성한다. 이 경우 각 섹터는 <Figure 9>의 좌측과 같이 육각형의 형태로 가정할 수 있으며, 기지국은 세 개의 육각형 모양이 존재하는 <Figure 9>의 우측과 같은 클로버 잎 모양을 이룬다.

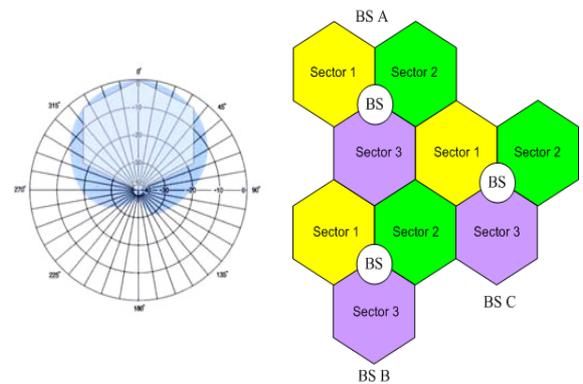


Figure 9. Antenna radiation pattern(Left) and the shape of a cell coverage in the NBTC system

WBTC는 <Figure 10>과 같이 전파의 방사 패턴 폭이 넓은 120도의 3개의 지향성 안테나로 하나의 기지국을 구성한다. 따라서 WBTC에서는 1개의 지향성 안테나에서 방사되는 전파는 <Figure 10>의 왼쪽과 같이 마름모 형태를 가정하며, 하나의 기지국은 세 개의 마름모 형태의 섹터가 존재하는 <Figure 10>의 오른쪽과 같은 육각형의 형태가 된다.

이러한 섹터화된 기지국이 존재하는 WiBro MMR 네트워크 구성을 위해서는 중계기 역시 각 섹터와 동일한 모양의 커버리지를 갖는다는 가정을 하게 된다. 따라서 섹터화된 기지국이 있는 WiBro MMR 네트워크의 최적 구성을 위해서는 앞서 제시한 최소 비용의 네트워크 구성 방법과, 기지국과 중계기의 전송효율, 그리고 트래픽 전송을 위한 프레임 구조도 달라지게 된다. 본 연구팀에서는 현재 섹터화된 기지국이 존재하는 WiBro MMR 네트워크의 최적 구성 및 전송효율 증대 연구를 수행하고 있다.

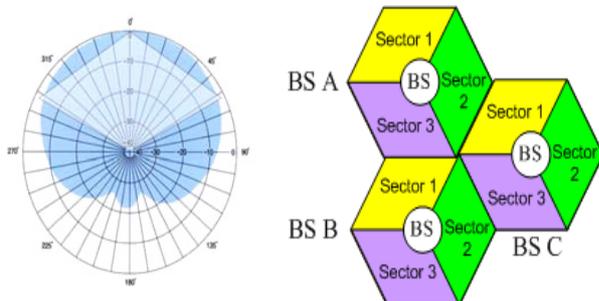


Figure 10. Antenna radiation pattern(Left) and the shape of a cell coverage in the WBTC system

5.1.2 Single-Frame 및 Multi-Frame mode의 적용

IEEE802.16j MMR 시스템에서는 기지국 커버리지 안에 여러 개의 멀티 홉 중계기들이 위치한다. 이들 중계기들에게 데이터를 전송할 경우 인접한 기지국과 중계기들이 동일 주파수를 사용할 경우 주파수간의 충돌로 인해 간섭현상이 발생한다. 이러한 주파수간 간섭으로 인한 전송 효율 감소를 피하기 위해 인접한 기지국은 전송 Frame 내에 각각의 중계기에게 전송하는 데이터 burst의 위치를 시간(Time)과 주파수(Frequency)를 다르게 위치시키게 된다. 현재 IEEE802.16j MMR 시스템에서는 이와 같이 기지국에서 각각의 중계기들에게 전송되는 Frame구조를 Single-frame mode와 Multi-frame mode 두 가지 형태의 Frame 전송형태로 제안하고 있다. <Figure 11>은 하나의 기지국에 세 개의 1계층 중계기(R_{11} , R_{12} 및 R_{13})가 연결되어 있고, R_{11} 에는 두 개의 2계층 중계기 (R_{21} 과 R_{22})가, R_{12} 에는 하나의 2계층 중계기(R_{23})가, 그리고 R_{13} 에는 2계층 중계기가 연결되어있지 않은 경우의 Single-frame mode와 Multi-frame mode의 Frame전송형태를 예시하고 있다.

Single-frame mode에서는 <Figure 11>에서 예시하는 바와 같이 기지국에서 각각의 중계기에게 전송하는 모든 Data burst가

하나의 Frame내에 위치하도록 한다. 따라서 기지국에서 각각의 1계층 중계기들에게 첫 번째 Frame을 보내는 동안 1계층의 3개의 중계기들은 자신의 순서에 해당하는 Data burst 시간 동안 데이터를 받게 된다. 그리고 자신의 순서가 아닌 Data burst 시간 동안에는 자신에게 종속되어 있는 다음 홉의 중계기나 혹은 자신의 영역 내에 있는 사용자 단말들에게 데이터를 전송하게 된다.

이와 반대로 Multi-frame mode에서는 기지국이 Single-frame mode의 예와 같이 하나의 Frame내에 각각의 중계기에게 전송하는 Data burst가 모두 위치한다. 그러나 각각의 중계기는 Single-frame mode와는 다르게 첫 번째 Frame 동안 모두 자신의 순서가 아닌 시간에 다른 중계기나 자신에게 속한 사용자 단말에 Data burst를 보내지 않고, 기지국에서 보내는 Data burst를 수신하는 상태로 대기 하고 있다. 기지국에서 보내는 두 번째 Frame에서는 기지국이 각각의 1계층 중계기들에게 보내는 Data burst는 휴지(idle)상태로 있고, 동시에 각각의 1계층 중계기들은 자신에게 종속되어 있는 다음 홉의 중계기나 자신의 영역 내에 있는 사용자 단말들에게 Data burst 를 보낸다.

WiBro MMR 네트워크를 구성할 경우, 이와 같이 IEEE802.16j에서 제안하는 Frame 구성 방식을 따라야할 것이며, 이러한 두 가지 전송 frame 방식의 효율성도 추가적으로 연구되어야 할 것이다.

5.2 결론

본 논문에서는 IEEE802.16j 기반의 WiBro MMR 네트워크의 최적 구성 방안을 연구하였다. 특히 본 연구에서는 도심지 혹은 교외에서 구성할 수 있는 다양한 WiBro MMR 네트워크를 최소의 비용으로 구성할 수 있는 최적화 모델을 제시하고 분석하였다. 또한 이러한 분석 결과를 기반으로, 다양한 트래픽 조건에서의 단계적 WiBro MMR 네트워크 구성 시나리오를 제시하였다.

이와 더불어 제한된 주파수 자원을 효율적으로 이용하여 구성된 WiBro MMR 시스템의 전송 효율을 높이기 위한 방안으로 기지국과 중계기 간의 처리 트래픽 양에 비례하는 효율적인 주파수 자원 할당 방안을 제시하고 시스템의 성능 향상을 분석하였다.

마지막으로는 향후 해결해야할 연구과제로서 실제적인 WiBro MMR 네트워크 구성을 위해 고려해야할 사항인 섹터화된 기지국을 도입하는 경우의 고려 사항과 IEEE802.16j MMR에서 제안되고 있는 single-Frame mode와 Multi-frame mode를 소개하고 이의 해결방안을 논의하였다.

본 연구에서 제안하는 WiBro MMR 네트워크 구성 및 운용 방안은 현재 개발 중인 WiBro MMR 네트워크의 최적 구성 및 효율적 운용에 많은 도움을 줄 것으로 기대된다.



Figure 11. Frame transmission examples in the single-Frame Mode(Upper) and the multi-Frame Mode(Lower)

참고문헌

IEEE Standard 802.16e-2005 (2006), IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems.
 WiMAX Forum (2008), <http://www.wimaxforum.org>
 IEEE802.16 TGj PAR, <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/relay>
 ITU-R Recommendation (2003), Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000, International Telecommunication Union.
 IST Winner II Project (2007), <https://www.ist-winner.org/>.
 IST Fireworks (2003), <http://fireworks.intranet.gr/>.
 Walke, B., Habetha, J., Herwono, I., Pabst, R. and Schultz, D. (2003), The Wireless Media System : A Mobile Broadband System with Invisible Infrastructure and low Radio Exposure of Humans

IEEE 802.16j-06/026r4, (2006), Baseline Document for Draft standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems,
 IEEE Standard 802.16e-2005, (2006), IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems,
 Lee, S., Park, S., Cho, C., Lee, H. and Ryu, S. (2006) The Wireless Broadband (WiBro) System for Broadband Wireless Internet Services, *IEEE Communications Magazine*, **44**(7), 106-112.
 Son, J., Ju, P. and Lee, H. (2007), IEEE802.16 Relay Standard Status *Information & Communications Magazine*, **24**(5), 7-14.
 Woo, K., Yu, H., Kim, Y. and Jo, Y. (2007), Physical Layer Technology Tendency of Multi-hop Rrelay, *Information & Communications Magazine*, **24**(5), 27-36.
 Noh, S. (2006), A Study on the WBTC and NBTC for CDMA Mobile Communications Networks, ICCSA 2006, LNCS 3981, 582-590.