

# NBTC와 WBTC 구조를 갖는 WiBro 시스템에서 멀티홉 중계기를 이용한 커버리지 확장과 최소 설치비용 연구

정회원 김 세 진\*, 준회원 김 승 연\*\*,  
정회원 이 병 북\*\*\*, 종신회원 류 승 완\*\*\*\*°, 정회원 이 형 우\*\*, 종신회원 조 충 호\*

## A Study of Coverage Extension and Minimum Deployment Cost in NBTC and WBTC Structures based WiBro System Using Multi-hop Relay

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

### 요 약

본 논문에서는 방향성 안테나를 이용하여 3섹터 구조를 갖는 Narrow-Beam Trisector Cell (NBTC)과 Wide-Beam Trisector Cell (WBTC) 구조의 WiBro 시스템에 IEEE802.16j 기반의 멀티홉 중계기를 도입하여 커버리지를 확장하는 새로운 형태의 NBTC와 WBTC 구조를 제안한다. 제안한 구조는 최적화 모델을 통해 트래픽 분포에 따른 최적 배치된 기지국과 멀티홉 중계기의 수, 각 기지국의 확장되는 커버리지, 그리고 설치비용 등을 기지국만 배치하는 기존의 전형적인 구조와 비교 분석하였다. 분석 결과를 통해 주어진 전체면적에 중계기를 효율적으로 배치한다면 절약되는 설치비용을 알 수 있었고, 제안하는 멀티홉 중계기가 도입된 NBTC와 WBTC 방식 중에서 트래픽 분포가 높은 지역에서는 WBTC 방법을 이용하고, 트래픽 분포가 적은 지역에서는 NBTC 방법을 이용한다면 커버리지 확장과 설치비용 절약 측면에서 보다 효율적임을 알 수 있었다.

**Key Words** : Multi-hop relays, Maximum coverage, Frame-efficiency, Frequency assignment

### ABSTRACT

In this paper, we propose new cell structures using multi-hop Relay Station(RS) based on IEEE802.16j in Narrow-Beam Trisector Cell (NBTC) and Wide-Beam Trisector Cell (WBTC), which are two methods for cell sectorization using 3-sector directional antennas. Then, we analyze our proposed structures compared with the existing system which does not use any RS about the numbers of optimized Base Station (BS) and multi-hop relay, the extended BS coverage, and the deployment cost according to the traffic density using optimization model. According to the results, we know the reduction of total deployment cost of the proposed systems and that WBTC is suitable when the traffic density is high and NBTC is suitable when the traffic density is low in our proposed multi-hop based NBTC and WBTC structures.

\* 본 연구는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-313-D00503)

\* 고려대학교 컴퓨터정보학과 BCN 연구실 (kimsejin@korea.ac.kr), \*\* 고려대학교 전자및정보공학과 B-ISDN 연구실

\*\*\* 한국전자통신연구원(ETRI) RFID/USN 연구단, \*\*\*\* 중앙대학교 정보시스템학과 (rush2384@cau.ac.kr) (°:교신저자)

논문번호 : KICS2008-06-273, 접수일자 : 2008년 6월 16일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 23일

## I. 서 론

최근 우리나라는 IEEE802.16e 기반의 휴대인터넷 시스템인 WiBro를 세계 최초로 개발하여 상용화하였다<sup>1,2)</sup>. WiBro 시스템은 셀 반경 1Km 정도의 무선 커버리지와 최대 시속 60Km 내외의 이동성을 지원하면서 고품질의 데이터 서비스를 제공하기 위하여 2.3GHz 주파수 대역과 직교 주파수 분할 다중접속 기술 및 모든 셀에서 동일한 주파수를 사용하는 점을 특징으로 한다. 그러나 이와 같은 고주파수 대역은 전형적인 도심지의 비가시선 전파환경에서 상대적으로 취약하며 고품질 데이터 서비스는 높은 송수신 전력 레벨을 요구하는 단점이 있다. 따라서 WiBro와 같은 휴대인터넷 시스템이나 향후 개발되는 고주파수 대역을 이용하는 시스템은 기존의 이동통신시스템에 비하여 무선 커버리지가 축소될 수 있을 뿐만 아니라 동일한 주파수를 사용함으로써 발생하는 주변 셀과의 간섭문제는 해결해야 될 중요한 문제로 남아있다.

현재 셀룰러 이동통신에서는 이웃한 셀과의 간섭을 줄이기 위해 셀을 섹터로 나누어 사용하고 있으며, 음영지역을 해소하기 위해 단순히 데이터를 재전송 해주는 중계기(Repeater)를 사용하고 있다. 또한, WiBro 시스템에서도 현재 중계기를 이용하여 셀 경계부분의 낮은 데이터 전송률과 음영지역을 해결하고, 기지국 커버리지를 확장하는데 중계기를 이용하려는 규격에 대한 논의가 IEEE 802.16j 에서 진행되고 있다<sup>3,4)</sup>. 따라서 본 논문에서는 고주파수 대역을 사용하여 셀 커버리지가 작은 WiBro나 차세대 이동통신 시스템에서 섹터로 분할된 기지국에 멀티홉 중계기를 효율적으로 배치하여 커버리지를 확장시킬 뿐만 아니라 트래픽 분포도에 따른 기지국과 멀티홉 중계기의 설치 비용을 최소화하는 방법을 연구한다.

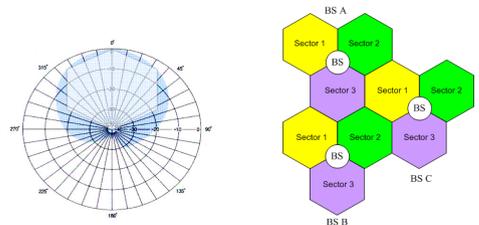
논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 셀을 섹터화하는 NBTC와 WBTC 구조를 소개하고, III장에서는 II장에서 소개한 셀 섹터화 방법에 멀티홉 중계기를 도입한 셀 구조 및 기지국과 중계기의 전체비용을 최소화하는 최적화 모델을 소개한다. 한편 IV장에서는 최적화 모델로 얻은 제안된 멀티홉 셀 구조를 다양한 측면에서 분석하며, 마지막으로 V장에서 결론을 맺고 향후 연구 방향에 대해서 알아본다.

## II. Cell Sectorization

실제 셀룰러 이동통신에서 각 기지국의 커버리지는 고층건물이 없을 때, 원 모양을 이루지만 일반적으로 중첩지역의 복잡한 표현을 줄이기 위해 육각셀 모양으로 표현되고 있으며, 대부분 옴니(Omni) 셀과 섹터(Sector) 셀의 2가지로 구분된다. “옴니”란 단어는 “전방향”을 의미하며, 기지국에서 1개의 안테나를 이용하여 360도 전방향을 향해 전파가 전달되는 것을 말한다. 반면에 “섹터”란 단어는 “부채꼴 모양”이란 뜻으로 옴니 기지국과는 달리 기지국에서 전파가 전달될 때 특정 방향으로만 전달되는 것을 의미한다. 현재 셀룰러 이동통신에서는 주파수 간섭을 줄이고, 동시에 서비스를 제공받는 사용자 수를 높이기 위한 방법으로 육각형 모양의 셀을 몇 개의 섹터로 나누는 방식을 사용한다. 안테나의 전파 방향은 안테나 특성에 따라 60° 또는 120° 방향으로 전달되는 안테나를 주로 사용한다. [5]는 방향성 안테나를 이용한 전형적인 셀룰러 시스템을 NBTC와 WBTC 구조로 구성하여 분석한 내용이며 본 논문에서는 이 논문을 참고하여 멀티홉 기반의 NBTC와 WBTC의 구조를 새롭게 제안하고 분석한다.

### 2.1 NBTC

NBTC는 그림 1과 같이 전파의 방사 패턴 폭이 좁은 60°의 방향성 안테나 3개로 하나의 기지국을 서비스한다. 하나의 방향성 안테나에서 방사되는 전파는 그림 1의 (a)와 같이 셀 안에서 육각형의 모양을 갖으며, (b)와 같이 하나의 기지국에서 세 개의 육각형 모양의 클로버 잎 모양을 이룬다.



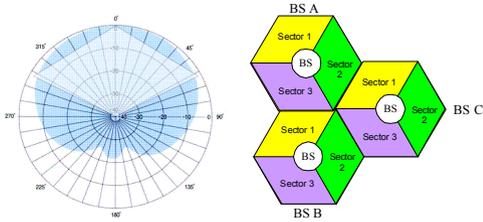
(a) Narrow beam pattern

(b) Coverage area of a base station

그림 1. NBTC 셀 구조

### 2.2 WBTC

WBTC는 그림 2와 같이 전파의 방사 패턴 폭이 넓은 120°의 방향성 안테나 3개로 하나의 기지국



(a) Wide beam pattern (b) Coverage area of a base station

그림 2. WBTC 셀 구조

을 서비스한다. 1개의 지향성 안테나에서 방사되는 전파는 그림 2의 (a)와 같이 마름모 형태를 이루며, 3개의 방향성 안테나로 구성된 하나의 기지국은 그림 2의 (b)와 같이 육각형의 셀 모양을 이룬다.

### III. 제안하는 멀티홉 구조와 최적화 모델

이 장에서는 먼저 앞에서 소개한 NBTC와 WBTC 방식에 멀티홉 중계기가 도입된 새로운 셀 구조를 제안한다. 다음으로 트래픽 분포도에 따라 주어진 전체면적에서 서비스를 제공하기 위해 필요한 최적 배치된 기지국과 멀티홉 중계기의 수를 Linear Programming을 이용하여 최소화된 전체비용을 구하는 최적화 모델을 소개한다.

#### 3.1 NBTC와 WBTC에 멀티홉 중계기를 도입한 셀 구조

그림 3은 NBTC에 멀티홉 중계기를 도입한 셀 구조를 나타내며, 중계기들은 기지국으로부터 떨어진 홉 수에 따라 각 tier를 구성한다.  $S_i$ 는 기지국을 구성하는 섹터이며,  $i$ 는 각 섹터의 번호이다.  $R_{i,j}$ 는 각 tier를 구성하는 중계기를 의미하고,  $i$ 는  $i$

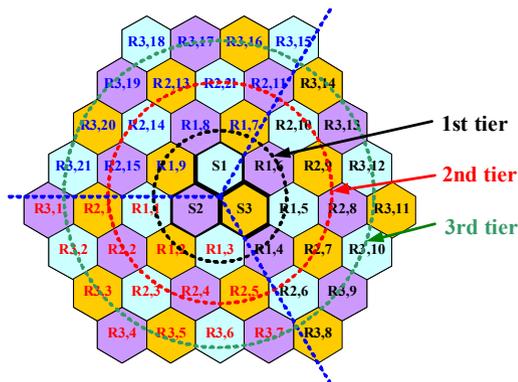


그림 3. 멀티홉 중계기를 이용한 NBTC 구조

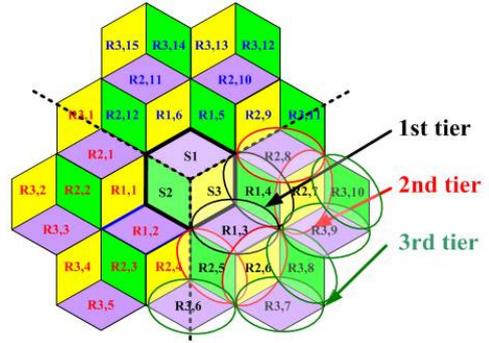


그림 4. 멀티홉 중계기를 이용한 WBTC 구조

번째 tier를,  $j$ 는 각 tier에서  $j$ 번째 중계기를 나타낸다. 따라서 NBTC에서는 각 섹터마다 1-tier에 3개(총 9개), 2-tier에 5개(총 15개), 그리고 3-tier에 7개(총 21개)의 멀티홉 중계기를 갖게 된다.

반면, 그림 4는 WBTC에 멀티홉 중계기를 도입한 셀 구조를 나타낸다. 따라서 WBTC에서는 각 섹터마다 1-tier에 2개(총 6개), 2-tier에 4개(총 12개), 그리고 3-tier에 5개(총 15개)의 중계기를 갖게 된다.

#### 3.2 최적화 모델

본 논문에서는 제안하는 멀티홉 중계기가 도입된 NBTC와 WBTC 구조의 성능 분석을 위해 최적화 모델을 이용한다. 주어진 전체면적에 기지국과 멀티홉 중계기를 최적 배치하기 위해, 설치비용의 최소화를 목적 함수로 하고, 전체 기지국의 커버리지, 전체 기지국 용량, 각 tier당 갖는 멀티홉 중계기의 수, 그리고 멀티홉 중계기의 최소 개수를 제약조건(Constraint)으로 한다. 다음의 식(1)은 설치비용을 최소화하기 위한 목적함수를 나타낸다.

$$\text{Minimize } C_T = C_{BS} X_{BS} + C_{RS} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^I X_{RS,i,j} \quad (1)$$

$C_T$ 는 전체비용이고,  $C_{BS}$ 와  $C_{RS}$ 는 각각 기지국과 멀티홉 중계기의 단가이다. 그리고  $X_{BS}$ 는 기지국의 수이며,  $X_{RS,i,j}$ 는  $i$ 번째 tier에서  $j$ 번째 중계기들로 구성되는 전체 멀티홉 중계기의 수를 나타낸다. 다음은 최소 설치비용을 얻기 위한 네 가지 제약조건이다.

**조건 1)** 기지국과 멀티홉 중계기가 커버해야 할 최대 커버리지에 대한 제약조건

$$A_{BS} X_{BS} + A_{RS} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^I X_{RS,i,j} \geq A_T \quad (2)$$

식 (2)는 기지국의 커버리지에 대한 제약조건은

로 기지국과 각 tier를 구성하는 모든 멀티홉 중계기들의 커버리지가 주어진 전체면적보다는 커야 함을 나타낸다.  $A_{BS}$ 와  $A_{RS}$ 는 기지국과 중계기의 커버리지며,  $A_T$ 는 서비스 제공을 위해 주어지는 전체면적이다.

**조건 2)** 기지국과 멀티홉 중계기가 커버해야 할 최대 커버리지에 대한 제약조건

$$T_{BS} X_{BS} \geq T \cdot X_{BS} + T \left( \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^l X_{RS_{i,j}} \right) \quad (3)$$

식 (3)은 기지국의 자원으로 단위면적 당 발생하는 트래픽을 서비스한 후, 남아있는 자원을 이용하여 멀티홉 중계기로 커버리지를 확장하는 제약조건을 나타낸다.  $T_{BS}$ 는 기지국의 전체용량이고,  $T$ 는 단위면적 당 발생하는 트래픽의 양이다

**조건 3)** 기지국의 각 섹터 안테나가 각 tier당 갖는 최대 멀티홉 중계기의 수에 대한 제약조건

$$\left. \begin{aligned} X_{RS_{i,1}} - N_1 \cdot X_{BS_i} &\leq 0, \\ N_1 \cdot X_{RS_{i,2}} - N_2 \cdot X_{RS_{i,1}} &\leq 0, \\ N_2 \cdot X_{RS_{i,3}} - N_3 \cdot X_{RS_{i,2}} &\leq 0 \end{aligned} \right\} \text{for } \forall i \in \{1,2,3\} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} X_{BS} - (X_{RS_{1,0}} + X_{RS_{2,0}} + X_{RS_{3,0}}) &\leq 0, \\ 3X_{BS} - (X_{RS_{1,0}} + X_{RS_{2,0}} + X_{RS_{3,0}}) &\geq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} X_{BS} - X_{RS_{1,0}} &\leq 0, \\ X_{BS} - X_{RS_{1,0}} &\geq 0 \end{aligned} \right\} \Leftarrow X_{BS} = X_{RS_{1,0}} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} X_{RS_{1,0}} - X_{RS_{2,0}} &\geq 0, \\ X_{RS_{2,0}} - X_{RS_{3,0}} &\geq 0 \end{aligned} \right\} \Leftarrow X_{RS_{1,0}} \geq X_{RS_{2,0}} \geq X_{RS_{3,0}} \quad (7)$$

식 (4)~(7)은 기지국이 자신의 커버리지 안에 위치한 단말들에게 서비스를 제공한 후, 남은 용량을 멀티홉 중계기를 도입하여 기지국 커버리지를 확장하는데, 멀티홉 중계기가 각 tier를 구성하는 제약 조건이다. 단, 앞의 식에서는 멀티홉 중계기를 3-tier까지만 고려한다. 식 (4)는 하나의 기지국이 갖는  $i$ 번째 섹터 안테나,  $X_{BS_i}$ 와  $i$ 번째 섹터 안테나에서  $j$ 번째 tier를 구성하는 중계기의 수,  $X_{RS_{i,j}}$ 이며  $N_1$ ,  $N_2$ , 그리고  $N_3$ 은 각 tier가 갖는 중계기의 수를 결정하는 상수이다(표2 참고). 그리고 식 (5)는 하나의 기지국이 3개의 방향성 안테나를 이용하여 3섹터를 나누고 있음을 나타낸다. 또한, 식 (6)은 각 기지국에 최소 하나의 방향성 안테나가 설치됨을 나타내고, 식(7)은 기지국의 방향성 안테나가 1번부터 3번의 순서로 설치됨을 나타낸다.

**조건 4)** 기지국과 멀티홉 중계기의 최소 개수에 대한 제약조건

$$\begin{aligned} X_{BS} &\in \{1,2,3,\dots\}, \\ X_{RS_{i,j}} &\in \{0,1,2,\dots\} \text{ for } \forall i,j \in \{1,2,3\} \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)은 기지국의 수가 최소 1개 이상이고, 각 tier에서 중계기는 0개 이상이어야 함을 나타낸다.

#### IV. 성능 분석 및 결과

본 장에서는 최적화 모델을 이용하여 제안하는 멀티홉 중계기가 도입된 NBTC와 WBTC 셀 구조를 트래픽 분포에 따라 기지국과 멀티홉 중계기를 적절하게 배치하여 전체 설치비용을 최소화하면서 커버리지를 확장하는 방법을 실험을 통해 분석한다. 실험에서는 멀티홉 중계기를 최대 3-tier까지만 고려하며, 중계기를 이용한 커버리지 확장은 각 기지국의 남은 용량에 따라 각 tier의 중계기 수가 모두 구성되었을 경우에 안쪽 tier에서 바깥쪽 tier로 확장된다. 또한, 트래픽은 유니폼하게 분포되었다고 가정하며, 1m<sup>2</sup>의 단위 면적에서 0.1~15.9bps 사이로 트래픽 분포도를 변화시키며 실험하였다. 기지국은 고가/고성능의 기지국 장비와 유선망과의 연결, 그리고 3개의 방향성 안테나를 배치하지만, 중계기는 방향성 안테나와 저가의 중계 장치를 설치하므로 중계기의 단가는 기지국 단가의 10%, 20%, 그리고 30% 로 가정하였고, AMC (Adaptive Modulation Coding)는 고려하지 않았으며, 나머지 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 최적화 모델에서 사용하는 파라미터

Parameter	Value
Total area ( $A_T$ )	300 Km <sup>2</sup>
BS coverage ( $A_{BS}$ )	3 Km <sup>2</sup> (using 3-sector antenna, each sector : 1 Km <sup>2</sup> )
RS coverage ( $A_{RS}$ )	1 Km <sup>2</sup> (using a sector antenna)
Traffic density ( $\rho$ )	0.1~15.9 bps/m <sup>2</sup> (0.1~15.9 Mbps/Km <sup>2</sup> )
BS cost ( $C_{BS}$ )	1,000,000 won
RS cost ( $C_{RS}$ )	10%, 20%, 30% of BS cost / RS
BS total capacity (C)	60 Mbps (each sector : 20 Mbps)

표 2. 멀티홉 중계기의 수를 결정하는 파라미터

셀 구조	$N_1$	$N_2$	$N_3$
NBTC	3	5	7
WBTC	2	4	5

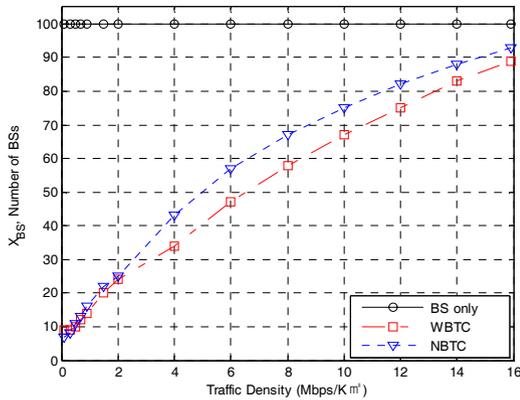
표 2는 제안하는 최적화 모델의 식 (4)에서 이용하는 중계기를 도입한 NBTC와 WBTC 구조에서 기지국의 각 섹터안테나에 배치되는 각 tier에서 멀티홉 중계기의 수를 결정하는데 필요한 상수 값 ( $N_1$ ,  $N_2$ , 그리고  $N_3$ )을 나타낸다.

그림 5는 트래픽 분포에 따른 제안하는 NBTC와 WBTC의 기지국 수의 차이를 비교한 결과로, (b)는 (a)에서 트래픽 분포가 0.1~2 Mbps/km<sup>2</sup> 인 구간을 확대한 그림이다. 기존의 기지국만 설치하는 전형적인 방법은 3 km<sup>2</sup>의 커버리지를 갖기 때문에 (a)에서 볼 수 있듯이 트래픽 분포에 관계없이 주어진 전체영역에 100개의 기지국을 설치해야 하지만, 제안하는 NBTC와 WBTC구조는 멀티홉 중계기를 이용

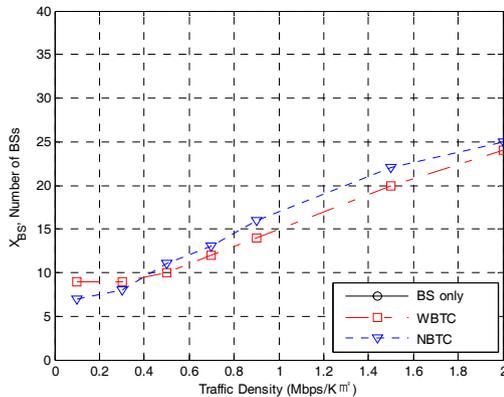
하기 때문에 배치된 기지국 수를 줄일 수 있다. 또한, 트래픽 분포가 2Mbps 이하의 경우에는 제안하는 NBTC와 WBTC 구조에서 큰 차이가 없지만, 그 이상에서는 NBTC가 WBTC보다 더 많은 기지국 수의 배치를 필요로 한다.

그림 6은 트래픽 분포에 따른 제안하는 NBTC와 WBTC의 멀티홉 중계기 수의 차이를 비교한 결과로, (b)는 (a)에서 트래픽 분포가 0.1~2 Mbps/km<sup>2</sup> 인 구간을 확대한 그림이다. 결과에서 트래픽 분포가 2Mbps 이하의 경우에는 두 구조에서 큰 차이가 없지만, 그 이상에서는 WBTC가 NBTC보다 더 많은 중계기 수의 배치를 필요로 한다.

그림 7은 트래픽 분포에 따른 제안하는 NBTC와 WBTC방법의 커버리지를 비교한 결과로, (b)는 (a)에서 트래픽 분포가 0.1~2 Mbps/km<sup>2</sup> 인 구간을 확대한 그림이다. 결과에서 트래픽 분포가 0.4Mbps 이하의 경우에는 NBTC가 WBTC 보다 넓은 커버

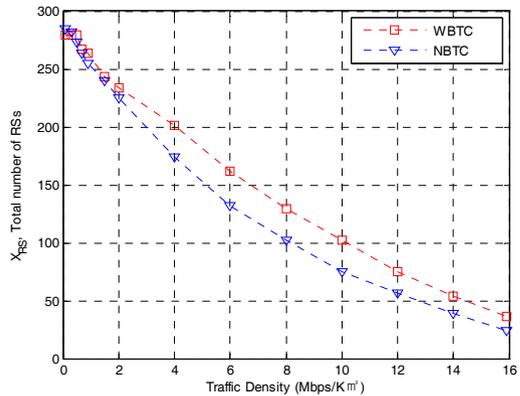


(a) 트래픽 분포가 0.1~15.9 Mbps/Km<sup>2</sup> 일 경우

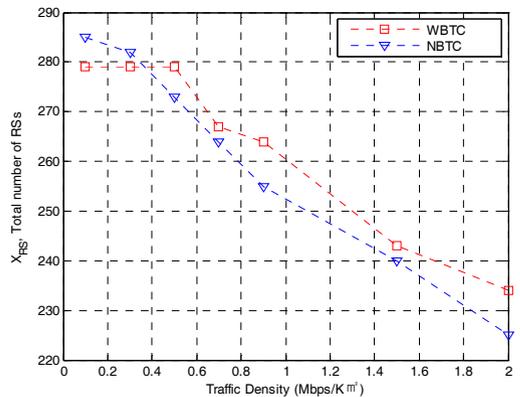


(b) 트래픽 분포가 0.1~2 Mbps/Km<sup>2</sup> 일 경우

그림 5. 트래픽 분포에 따른 제안하는 NBTC와 WBTC의 기지국 배치 수 비교

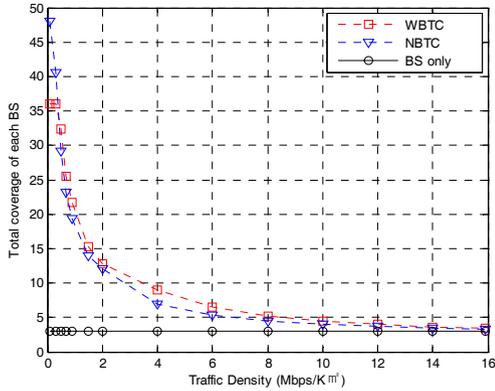


(a) 트래픽 분포가 0.1~15.9 Mbps/Km<sup>2</sup> 일 경우

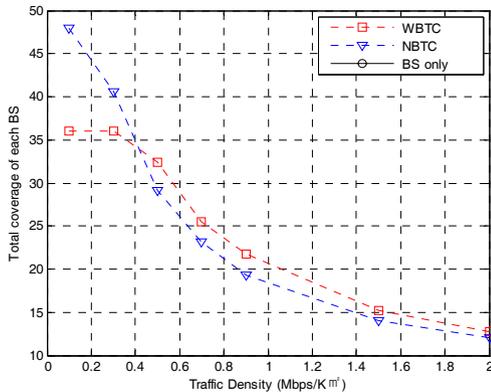


(b) 트래픽 분포가 0.1~2 Mbps/Km<sup>2</sup> 일 경우

그림 6. 트래픽 분포에 따른 제안하는 NBTC와 WBTC의 멀티홉 중계기 배치 수 비교



(a) 트래픽 분포가 0.1~15.9 Mbps/Km<sup>2</sup> 일 경우



(b) 트래픽 분포가 0.1~2 Mbps/Km<sup>2</sup> 일 경우

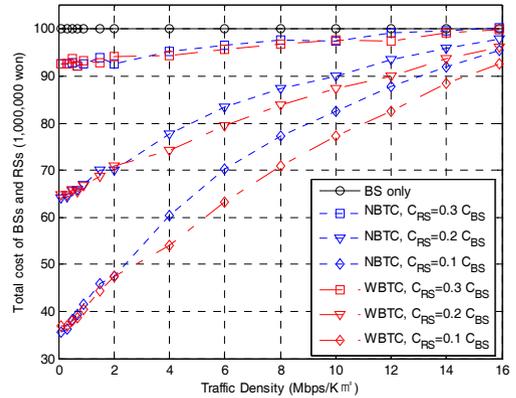
그림 7. 트래픽 분포에 따른 제안하는 NBTC와 WBTC의 각 기지국 커버리지 비교

리지를 갖지만, 그 이상에서는 WBTC가 NBTC보다 넓은 커버리지를 갖게 된다.

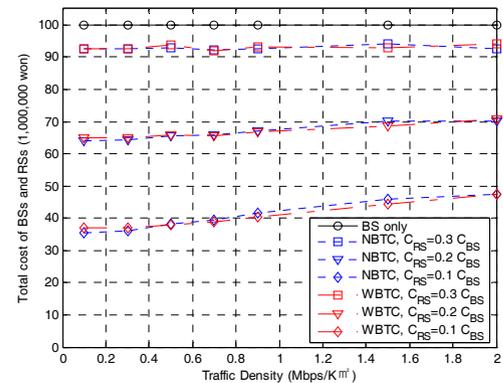
표 3은 트래픽 분포에 따른 최적 배치된 기지국과 멀티홉 중계기의 수, 각 기지국의 확장 가능한

표 3. 멀티홉 중계기를 도입한 NBTC와 WBTC방법 비교

Traffic density (bps/m <sup>2</sup> )	BS only		NBTC								WBTC									
	# of BSs	Cover. of each BS(km <sup>2</sup> )	# of BSs	# of RS						# of tiers	Cover. of each BS(km <sup>2</sup> )	# of BSs	# of RS						# of tiers	Cover. of each BS(km <sup>2</sup> )
				1-tier		2-tier		3-tier					1-tier		2-tier		3-tier			
				each	total	each	total	each	total				each	total	each	total	each	total		
0.1	100	3	7	3.0	57	5	96	7	132	3	48.0	9	2.0	51	4	102	5	126	3	36.01
0.3	100	3	8	3.0	69	5	111	4.5	102	3	40.59	9	2	51	4	102	5	126	3	36.01
0.5	100	3	11	3.0	93	5	156	0.7	24	3	29.15	10	2.0	57	4	114	3.8	108	3	32.42
0.7	100	3	13	3.0	117	3.7	147	0	0	2	23.14	12	2	72	4	141	1.5	54	3	25.55
0.9	100	3	16	3.0	141	2.4	114	0	0	2	19.34	14	2	84	4	168	0.2	12	3	21.73
1.5	100	3	22	3.0	195	0.7	45	0	0	2	14.0	20	2	120	2.1	123	0	0	2	15.25
2	100	3	25	3.0	225	0	0	0	0	1	12.0	24	2.0	144	1.3	90	0	0	2	12.76
4	100	3	43	1.3	174	0	0	0	0	1	7.0	34	2.0	201	0	0	0	0	1	9.0
6	100	3	57	0.8	132	0	0	0	0	1	5.33	47	1.2	162	0	0	0	0	1	6.5
8	100	3	67	0.5	102	0	0	0	0	1	4.5	58	0.7	129	0	0	0	0	1	5.25
10	100	3	75	0.3	75	0	0	0	0	1	4.0	67	0.5	102	0	0	0	0	1	4.5
12	100	3	82	0.2	57	0	0	0	0	1	3.67	75	0.3	75	0	0	0	0	1	4.0
14	100	3	88	0.1	39	0	0	0	0	1	3.43	83	0.2	54	0	0	0	0	1	3.64
15.9	100	3	93	0.1	24	0	0	0	0	1	3.26	89	0.1	36	0	0	0	0	1	3.39



(a) 트래픽 분포가 0.1~15.9 Mbps/Km<sup>2</sup> 일 경우



(b) 트래픽 분포가 0.1~2 Mbps/Km<sup>2</sup> 일 경우

그림 8. 트래픽 분포에 따른 제안하는 NBTC와 WBTC의 전체 설치비용 비교

멀티홉중계기의 tier 수, 그리고 멀티홉 중계기를 이용하여 확장되는 각 기지국의 커버리지를 수치로 나타낸다.

그림 8은 트래픽 분포에 따른 기지국과 멀티홉

표 4. 중계기 단가에 따른 설치비용 비교

Traffic density (bps/m <sup>2</sup> )	BS only	NBTC			WBTC		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%
0.1	100	35.5	64	93	36.9	64.8	93
0.3	100	36.2	64.4	93	36.9	64.8	93
0.5	100	38.3	65.6	93	37.9	65.8	94
0.7	100	39.4	65.8	92	38.7	65.4	92
0.9	100	41.5	67	93	40.4	66.8	93
1.5	100	46	70	94	44.3	68.6	93
2	100	47.5	70	93	47.4	70.8	94
4	100	60.4	77.8	95	54.1	74.2	94
6	100	70.2	83.4	97	63.2	79.4	96
8	100	77.2	87.4	98	70.9	83.8	97
10	100	82.5	90	98	77.2	87.4	98
12	100	87.7	93.4	99	82.5	90	98
14	100	91.9	95.8	100	88.4	93.8	99
15.9	100	95.4	97.8	100	92.6	96.2	100

중계기의 최적 셀 배치로 인한 전체 설치비용의 영향을 알아본 결과로, (b)는 (a)에서 트래픽 분포가 0.1~2 Mbps/km<sup>2</sup> 인 구간을 확대한 그림이다. 기지국만 설치하는 기존의 전형적인 방법은 트래픽 분포와 관계없이 일정한 비용을 나타내고 있지만, 멀티홉 중계기를 이용한 NBTC와 WBTC는 저렴한 설치비용으로 서비스 제공이 가능함을 알 수 있다. 중계기의 가격이 30% 이하인 경우에 제안하는 NBTC와 WBTC 구조는 기존의 기지국만 배치하는 전형적인 구조보다 비용측면에서 효율적임을 알 수 있다. 또한, 트래픽 분포가 0.4Mbps/km<sup>2</sup> 이하에서는 NBTC가 WBTC보다 저렴한 비용으로 셀 배치가 가능할 뿐만 아니라 그림 7에서 알 수 듯이 커버리지도 넓음을 알 수 있다. 하지만, 0.4Mbps/km<sup>2</sup> 이상에서는 WBTC가 NBTC 보다 저렴하면서 넓은 커버리지를 확보함을 알 수 있다. 이는 앞의 결과에서 알 수 있듯이 WBTC가 더 적은 수의 기지국과 더 많은 수의 중계기를 배치하기 때문이다. 따라서, 제안하는 멀티홉 중계기가 도입된 NBTC와 WBTC 방식 중에서 트래픽 분포가 높은 지역에서는 WBTC 방법을 이용하고, 트래픽 분포가 적은 지역에서는 NBTC 방법을 이용한다면 각 기지국의 커버리지 확장과 저렴한 설치 비용에서 효율적임을 알 수 있었다. 표 4는 멀티홉 중계기를 도입한 NBTC와 WBTC 구조의 설치 비용에 대한 결과를 수치로 나타낸다.

### V. 결 론

본 논문에서는 방향성 안테나를 이용하여 3섹터

구조를 갖는 NBTC와 WBTC 구조의 WiBro 시스템에 IEEE802.16j 기반의 멀티홉 중계기를 도입하여 커버리지를 확장하는 새로운 형태의 NBTC와 WBTC 구조를 제안하고, 최적화 모델을 통해 트래픽 분포에 따른 최적 배치된 기지국과 멀티홉 중계기의 수와 각 기지국의 확장되는 커버리지, 그리고 설치 비용을 알아보았다. 분석 결과를 통해 주어진 전체면적에 최적화된 기지국과 중계기의 수를 배치한다면 중계기를 도입하지 않은 기존의 전형적인 방법보다 저렴한 비용으로 서비스를 제공할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 제안하는 멀티홉 중계기가 도입된 NBTC와 WBTC 방식 중에서 트래픽 분포가 높은 지역에서는 WBTC 방법을 이용하고, 트래픽 분포가 적은 지역에서는 NBTC 방법을 이용한다면 각 기지국의 커버리지 확장과 저렴한 설치비용에서 효율적임을 알 수 있었다. 본 연구결과는 향후 WiBro 시스템이나 차세대 이동통신 시스템에서 멀티홉 중계기를 도입하여 서비스 지역을 확장할 때, 트래픽 분포에 따라 적절한 기지국과 멀티홉 중계기 수의 배치방법을 제시할 뿐만 아니라 멀티홉 중계기의 단가에 따른 전체 설치비용을 미리 예측할 수 있을 것으로 예상된다. 향후에는 제안하는 NBTC와 WBTC의 구조에서 이웃한 기지국이나 멀티홉 중계기로부터 오는 간섭 (Co-channel Interference)과 각 중계기의 최대 전송률 및 최악위 위치(Worst case)에 존재하는 단말들의 전송률에 대한 연구를 진행하고, 전체 설치비용을 계산하는데 일정기간 동안의 시스템 유지 비용까지 고려하려 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEEE Standard 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Feb. 2006.
- [2] <http://www.wimaxforum.org>
- [3] <http://grouper.ieee.org/groups/802/16/relay>, IEEE802.16 TGj PAR
- [4] IEEE 802.16j-06/026r4, "Baseline Document for Draft standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," June. 2007.

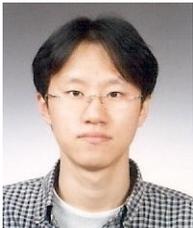
- [5] Sun-Kuk Noh, "A Study on the WBTC and NBTC for CDMA Mobile Communications Networks", ICCSA 2006, LNCS 3981, pp.582-590, 2006.
- [6] Chang-Hoi Koo, Yong-Woo Chung, "Dynamic Cell Coverage Control for Power Saving in IEEE802.16 Mobile Multihop Relay Systems," Systems and Networks Communication 2006, ICSNC '06, pp.60, Oct. 2006.
- [7] IST WINNER II, D3.5.1 v1.0.
- [8] IST FIREWORKS Project(<http://fireworks.intranet.gr>)
- [9] IST ROMANTIK Project(<http://www.ist-romantik.org>)

김 세 진 (Se-Jin Kim) 정회원



2004년 2월 조선대학교 전산학과 (학사)  
 2006년 2월 고려대학교 전산학과 (석사)  
 2006년 3월~현재 고려대학교 전산학과(박사과정)  
 <관심분야> 이동통신, 멀티홈, 휴대인터넷, 스케줄링

김 승 연 (Seung-Yeon Kim) 준회원



2005년 2월 고려대학교 전자 및 정보공학부(학사)  
 2007년 2월 고려대학교 전자정보공학과 (석사)  
 2007년 3월~현재 고려대학교 전자정보공학과(박사과정)  
 <관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, MAC 프로토콜

이 병 복 (Byung-Bog Lee) 정회원



1991년 2월 호원대학교 전자계산학과(학사)  
 1993년 7월 전북대학교 전자계산학과(석사)  
 1993년 7월~현재 한국전자통신연구원 근무  
 2005년 3월~현재 고려대학교 전산학과 (박사과정)

<관심분야> 이동통신 단말기 시스템, 임베디드 시스템 개발 및 실행 환경, 무선 센서네트워크 전송기술

류 승 완 (Seung-Wan Ryu) 중신회원

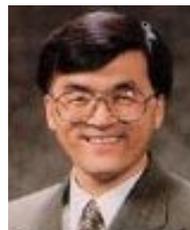


1988년 고려대학교 산업 공학과 (학사)  
 1991년 고려대학교 산업 공학과 (석사)  
 2003년 뉴욕주립대 (SUNY at Buffalo) 산업공학과 (박사)  
 1991년~1993년 LG전자 영상미디어연구소 (주임연구원)

1993년~2004년 한국전자통신연구원 이동통신연구단 (선임연구원)

2004년~현재 중앙대학교 정보시스템학과 교수  
 <관심분야> 이동통신시스템 설계 및 성능 분석, 무선 MAC 프로토콜, 컴퓨터 네트워크

이 형 우 (Hyong-Woo Lee) 정회원



1979년 Univ. of British Columbia Electrical Engineering(학사)  
 1983년 Univ. of Waterloo, Electrical Engineering (박사)  
 1983년~1991년 Carleton Univ., System and Computer Engineering 조교수

1992년~1995년 Univ. of Waterloo, Electrical and Computer Engineering 조교수

1995년~현재 고려대학교 전자 및 정보공학부 교수  
 <관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, 트래픽 제어, MAC 프로토콜

조 총 호 (Choong-Ho Cho) 중신회원



1981년 2월 고려대학교 산업공학과 (학사)  
 1993년 2월 고려대학교 산업공학과 (석사)  
 1986년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과 (석사)  
 1989년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(박사)

1990년~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수  
 1994년~현재 고려대학교 전산학과 교수

<관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스