

# IEEE802.16j MMR 시스템에서 Single-Frame 방식과 Multi-Frame 방식의 성능 분석

준회원 김승연\*, 김세진\*\*, 유창진\*\*, 정회원 류승완\*\*\*°, 이형우\*,  
종신회원 조충호\*\*

## Performance Analysis of Single-Frame Mode and Multi-Frame Mode in IEEE802.16j MMR System

Seung-Yeon Kim\*, Se-Jin Kim\*\*, Chang-Jin Yoo\*\* *Associate Members*

Seung-Wan Ryu\*\*\*°, Hyong-Woo Lee\* *Regular Members*

Choong-Ho Cho\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 Non-transparent 모드 MMR 시스템의 성능을 분석한다. Non-transparent MMR 시스템은 Single-frame(in band)와 Multi-frame(out band) 두 가지의 전송 방식을 갖는데 모드에 따라 프레임 구조가 다르기 때문에 그에 따른 성능 또한 달라질 수 있다. 성능 분석은 각 모드에 따른 지연, 프레임의 효율, RS (Relay Station) 를 사용한 최대 홉 수로 나타났다. 지연과 프레임 효율의 경우 BS (Base Station) 의 커버리지와 RS의 커버리지의 비율 값, RS의 개수를 변화시키면서 성능을 분석한다. 그리고 분석을 위해 BS, MS (Mobile Station), 그리고 RS 간의 채널 간섭은 없고 각각의 커버리지는 원으로 가정한다. 결과를 통해 single-frame 방식이 multi-frame 방식보다 효율적임을 알 수 있다. 향후 IEEE802.16j MMR 환경뿐만 아니라 차세대 이동통신망에서 릴레이를 사용하여 휴대 인터넷 서비스 지역과, 셀룰러 망을 넓히는데 있어 참고할 만한 가이드라인이 될 수 있을 것이다.

**Key Words** : IEEE 802.16j, Multi-hop relays, Single-frame(in band), Multi-frame(out band), Maximum coverage, Frame-efficiency

### ABSTRACT

In this paper, we investigate the performance of MMR system in Non-transparent mode. The IEEE 802.16j MMR system has two node of operation, Single-frame (in band) and Multi-frame (out band) mode. In the analysis, we assume that channel interference between MR-BS and RS, or between RSs anywhere in the given area is ignored. The performance is presented in terms of the delay and the frame efficiency by varying number of RS and BS coverage to RS coverage ratio and the maximum coverage area of a BS by varying traffic density. Analytical results show that the Single-frame is more efficient than Multi-frame in frame efficiency and coverage extension.

※ 본 연구는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-521-D00315)

\* 고려대학교 전자 및 정보공학과 B-ISDN 연구실 (kimsy8011, hwlee@korea.ac.kr)

\*\* 고려대학교 컴퓨터정보학과 BCN 연구실 (kimsejin, sharpyyoo, chcho@korea.ac.kr)

\*\*\* 중앙대학교 정보시스템학과 (rush2384@cau.ac.kr)(°:교신저자)

논문번호 : KICS2008-02-075, 접수일자 : 2008년 2월 11일, 최종논문접수일자 : 2008년 5월 30일

## I. 서론

이동통신 시스템의 성능 및 용량은 경로 손실, 다중경로 페이딩, 지연확산, 도플러 확산 및 음영현상 등의 무선 전파 채널 특성에 따른 성능 저하 요소가 발생하고 있다. 현재 표준화가 진행 중인 3G LTE, IEEE 802.16, 802.20 등 다수의 차세대 이동통신 시스템 무선 채널 환경에서는 다양한 멀티미디어 데이터의 고속 송수신을 위한 여러 기술들이 연구되고 있다<sup>[1]</sup>. 또한 기존의 이동통신 시스템과 달리 2~6GHz의 고주파 대역의 사용이 예상 되는 도심 지역에 음영 지역이 증가될 것이다. 이를 극복하기 위하여 최근 차세대 이동통신 등의 표준화를 다루는 IEEE 802, 3GPP, WWRF, mITF, FuTURE 등의 국제 표준화 기구에서 Multi-hop Relay에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>[2][3]</sup>. MMR (Mobile Multi-hop Relay)은 기지국 (Base Station)과 단말(Mobile Station) 사이에 분산적으로 존재하는 한 개 또는 다수 개의 릴레이 (Relay Station)를 이용하여 전송 신뢰도를 높이거나 다중화 이득을 확보함으로써 대역 효율성을 향상시키기 위하여 이동통신시스템의 확장용으로 많이 연구되고 있다. 특히 MMR RS는 기존의 중계기처럼 물리신호의 증폭과 잡음제거방식보다 더 적극적으로 기지국 신호를 디지털 신호 수준에서 복조 및 재 변조하여 재 송신하는 것 보다 적극적인 방법을 사용한다<sup>[4][5][6][7]</sup>. 그림 1은 IEEE 802.16j의 개념을 보여준다. 최근에는 IEEE802.16j에서 mobile WiMAX 또는 Wibro 시스템과의 상호 호환성을 바탕으로 둔 MMR 표준화 작업이 진행 중이다. 이에 따라 프레임 구조, 이동성 관리 등 8개의 애드 혹 (Ad-hoc) 그룹을 결성하여 각 그룹에서 Technical contribution을 정리하고 있다. 이와 관련하여 현재 IEEE802.16j MMR 시스템은 BS에서 하위 RS에게 데이터를 전송하는 프레임 구조를 Single-frame 방식 (in band)과 Multi-frame 방식 (out band) 두 가지 형태의 프레임 전송 방식으로 제안되고 있다<sup>[8][9][10][11]</sup>.

본 논문에서는 Single-frame과 Multi-frame의 특성을 살펴보고, 이와 관련하여 특성에 따른 지연 및 프레임의 효율, RS를 사용한 최대 홉 수를 분석한다. 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구로 IEEE 802.16j의 릴레이 시스템, Single-frame 방식과 Multi-frame 방식의 특성을 살펴본다. III장에서는 그 특성에 따른 성능을 분석한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

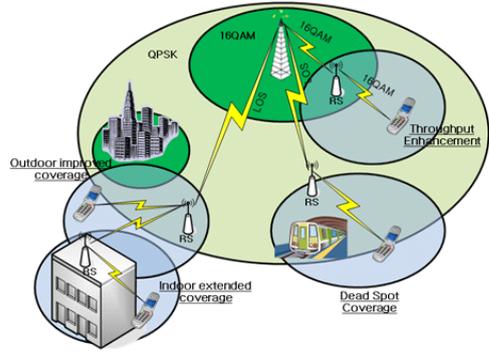


그림 1. IEEE 802.16j MMR 개념도

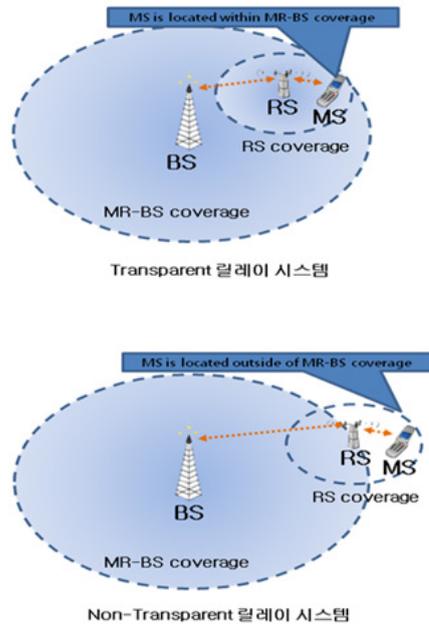


그림 2. Transparent 릴레이 시스템(상)과 Non-Transparent 릴레이 시스템(하)의 구성

## II. 관련연구

### 2.1 릴레이 시스템의 구분

IEEE802.16j에서 고려되고 있는 MMR 시스템은 그림 2와 같이 Transparent와 Non-transparent 릴레이 시스템으로 크게 구분 할 수 있다. Transparent 릴레이 시스템은 RS와 연관된 MS가 MR-BS의 커버리지 내에 존재하고, MR-BS로부터 제어 신호를 RS의 릴레이 (relaying) 없이 직접 수신할 수 있는 경우를 나타낸다. Non-transparent 릴레이 시스템은 MR-BS의 커버리지 밖에 MS가 존재하고, MS는 RS

를 하나의 BS로 인식하며, RS는 하향 링크 부프레임 (Downlink subframe)의 첫 부분에 프리앰블과 맵 (MAP)을 전송해야 하는 경우를 나타낸다. 본 논문에서는 Non-transparent 릴레이 시스템을만 고려하였다.

2.2 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식

IEEE802.16j MMR 시스템에서는 BS커버리지 안에 여러 개의 멀티 홉 RS들이 위치한다. 이들 RS에게 데이터를 전송할 때는 인접한 BS와 RS들이 같은 주파수를 사용할 경우 주파수간의 충돌로 간섭이 발생한다. 이렇게 발생이 되는 간섭을 피하기 위해 인접한 BS는 프레임 내에 각각의 RS에게 전송하는 데이터 버스트 (Data burst)의 위치를 시간과 주파수에 따라 다르게 위치시켜 스케줄링을 한다. 이에 따라 현재 IEEE802.16j MMR 시스템에서는 BS에서 각각의 RS들에게 전송되는 프레임 구조를 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식 두 가지 형태의 프레임 전송형태로 제안하고 있다.

그림 3은 MMR 시스템의 토폴로지의 한 예를 보여 준다. 주어진 면적에서 BS와 모든 RS는 같은 주파수  $f_0$ 를 사용한다. BS의 커버리지는  $A_{BS}$ 로 RS의 커버리지는  $A_{RS}$ 로 나타낸다. 그리고 모든 RS의 커버리지는 동일하다. 1 tier에 있는 RS는  $RS_{1n}$ 로 표현하고 2 tier에 있는 RS는  $RS_{2n}$ 로 표현한다.

BS에서  $RS_{21}$ 로 data를 전송하는 순서를 예로 들면 BS에서  $RS_{12}$ 로 data를 전송하고  $RS_{12}$ 에서  $RS_{21}$ 로 data를 전송하게 된다.

그림 4 와 그림 5는 각각 주어진 그림 3의 MMR 시스템의 토폴로지에서 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식에 따른 프레임의 형태를 보여준다.

그림 4의 Single-frame 방식 MMR 시스템의 전송 순서를 보면 BS는  $t_0$  시간 동안에 자신에게 속한

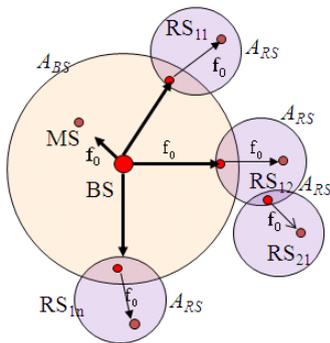


그림 3. MMR 시스템의 토폴로지

Single-Frame (In-Band)

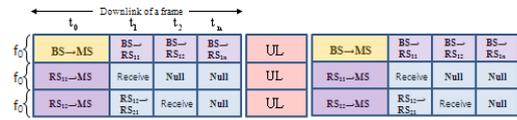


그림 4. Single-frame 방식 (in band) 의 전송과정

Multi-Frame (Out-Band)

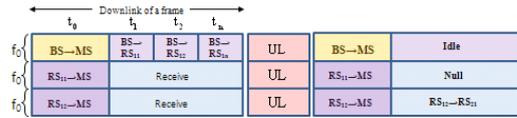


그림 5. Multi-frame 방식 (out band) 의 전송과정

MS에 데이터를 전송한다. 그리고  $t_1$ 시간 동안  $RS_{11}$ 에 데이터를 전송하고  $t_2$ 시간 동안  $RS_{12}$ 에 데이터를 전송한다. 마지막으로  $t_n$ 시간 동안  $RS_{1n}$ 에 데이터를 전송한다.  $RS_{11}$ 을 보면  $t_0$ 시간 동안 자신에게 속한 MS에 데이터를 전송한다.  $t_1$ 시간 동안 BS로부터 데이터를 받게 된다.  $RS_{11}$ 은 다음 홉의 RS를 갖고 있지 않아서  $t_2, t_n$  시간 동안 널 (Null) 상태로 있게 된다.  $RS_{12}$ 의 경우  $t_0$ 시간 동안 자신에게 속한 MS에 데이터를 전송한다.  $t_1$ 시간 동안 자신에게 속한 다음 홉의 RS에 데이터를 전송하고,  $t_2$ 시간 동안 BS로부터 데이터를 받게 된다. 그리고  $t_n$  시간 동안 널 상태로 있게 된다. 상향 링크 후에 다시 같은 전송 순서를 갖게 된다.

그림 5의 Multi-frame 방식 MMR 시스템의 프레임 전송 순서를 보면 BS는  $t_0$  시간 동안에 자신에게 속한 MS에 데이터를 전송한다. 그리고  $t_1$ 시간 동안  $RS_{11}$ 에 데이터를 전송하고  $t_2$ 시간 동안  $RS_{12}$ 에 데이터를 전송한다. 마지막으로  $t_n$ 시간 동안  $RS_{1n}$ 에 데이터를 전송한다.  $RS_{11}$ 을 보면  $t_0$ 시간 동안 자신에게 속한 MS에 데이터를 전송한다. 그런데  $t_1, t_2, t_n$  시간 동안 수신 (Receive) 상태로 BS로부터 데이터를 전송 받게 된다. 1 tier에 있는 모든 RS의 경우 모두  $t_0$  시간 이후  $t_1, t_2, t_n$  시간 동안 수신 상태로 있게 된다. 상향 링크 후에  $t_0$  시간 동안에 BS와 모든 RS는 자신에게 속한 MS에게 데이터를 전송하게 된다. 그런데  $t_1, t_2, t_n$  시간 동안 BS는 아이들 (Idle) 상태가 되고 RS의 경우 다음 홉의 RS가 있을 경우 그 RS에 데이터를 전송하지만 다음 홉의 RS가 없을 경우 널 상태가 된다. 그리고 상향 링크 후 앞의 두 과정이 반복 된다.

### Ⅲ. Single-frame 방식과 Multi-frame 방식의 성능 분석

#### 3.1 MMR 시스템의 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식의 지연

본 절에서는 앞 장에서 소개된 MMR 시스템의 전송 방식에 따른 순서에서 1 tier RS에 데이터를 전송하는 BS 프레임만을 고려하여 지연을 분석한다.

그림 6과 그림 7은 각각 MMR 시스템의 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식의 지연을 정의한다. 프레임 사이즈를 하향 링크 + 상향 링크로 정의하고 지연을 하나의 RS가 BS로부터 데이터를 모두 받는 시간부터 그 RS가 다시 BS로부터 데이터를 모두 전송을 받을 때까지의 시간으로 정의한다.

Single-frame 방식의 MMR 시스템에서 RS<sub>11</sub>의 지연을 보면 그림 6에서 보는 것과 같이 하나의 프레임 크기만큼 지연이 된다.

Multi-frame 방식의 MMR 시스템에서 RS<sub>11</sub>의 지연은 그림 7에서 보는 것과 같이 아이들 시간이 존재하게 된다. 아이들 시간이 한 프레임 안에서 발생하고 그 다음 프레임에서 다시 데이터를 받기 때문에 이를 포함한 두 개의 프레임 크기만큼 지연이 발생한다.

IEEE 802.16j의 프레임 사이즈는 5ms가 되는데 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식의 지연의 차이는 큐잉 (Queuing) 지연을 고려하지 않고 한 프레임 사이즈 5ms가 된다.

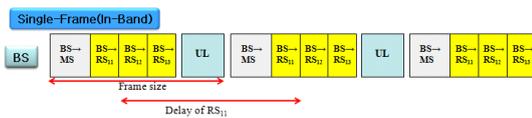


그림 6. MMR 시스템의 Single-frame 방식의 지연

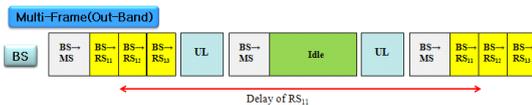


그림 7. MMR 시스템의 Multi-frame 방식의 지연

#### 3.2 MMR 시스템의 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식의 프레임 효율 분석

본 절에서는 프레임의 효율을 분석하기 위해 앞에서 설명된 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식의 프레임 구조에서 BS 프레임만을 고려한다.

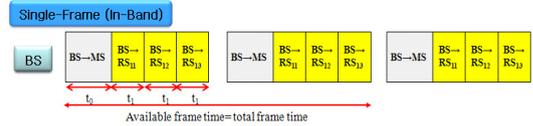


그림 8. Single-frame 방식 MMR 시스템의 프레임 효율 정의

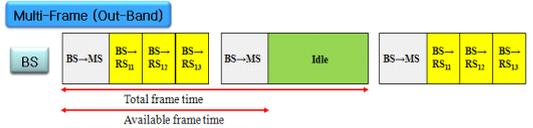


그림 9. Multi-frame 방식 MMR 시스템의 프레임 효율 정의

BS가 MS에 데이터를 전송하는 시간을  $t_0$ , BS가 RS에 데이터를 전송하는 시간을  $t_1$ 로 나타내고 RS에 데이터를 전송하는 시간을  $t_1$ 로 모두 같다고 가정하면 Single-frame 방식의 프레임 효율을 보면 그림 8에서 전체 프레임 시간 (total frame time)은  $2 \times (t_0 + N_1 \times t_1)$ 가 되고 가용 프레임 시간 (available frame time)도  $2 \times (t_0 + N_1 \times t_1)$ 로 표현할 수 있다. ( $N_1$ 은 1tier에 있는 RS의 개수)

Multi-frame 방식의 프레임 효율을 보면 그림 9에서 프레임 효율을 가용 프레임 시간 / 전체 프레임 시간으로 정의하고 식 (1) 과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} \text{프레임 효율} &= \frac{\text{가용 프레임}}{\text{전체 프레임}} \quad (1) \\ &= \frac{2t_0 + N_1 \times t_1}{2(t_0 + N_1 \times t_1)} = \frac{2 + N_1 \times \frac{t_1}{t_0}}{2 + 2N_1 \times \frac{t_1}{t_0}} = \frac{2u + N_1}{2(u + N_1)} \end{aligned}$$

식 (1) 에서  $u$ 는 (BS 커버리지/ RS 커버리지)이고 하향 링크 총 시간은  $t_0 + N_1 \times t_1$  와 같다.

그림 10은 앞에서 표현된 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식의 프레임 효율을  $u$ 의 변화에 따른 프레임의 효율을 나타낸다. 점선은 Single-frame 방식의 프레임 효율을 나타내고 나머지 선들은 Multi-frame 방식에서 1 tier RS의 수를 증가시키길 때의 프레임 효율을 나타낸다. 그림 10을 통해 Single-frame 방식의 경우 전체 프레임 시간과 가용 프레임 시간이 같기 때문에  $u$  값이 변하여도 프레임 효율이 1이 됨을 알 수 있다. Multi-frame 방식의 경우  $u$  값이 증가함에 따라 프레임의 효율이 증가하게 되는데 이는 RS에 비해 BS의 커버리지가 커짐에 따라 하향 링크에서 BS가 MS에게 데이터를 전송하는  $t_0$ 가 커지고 상대적으로 BS으로부터 RS가

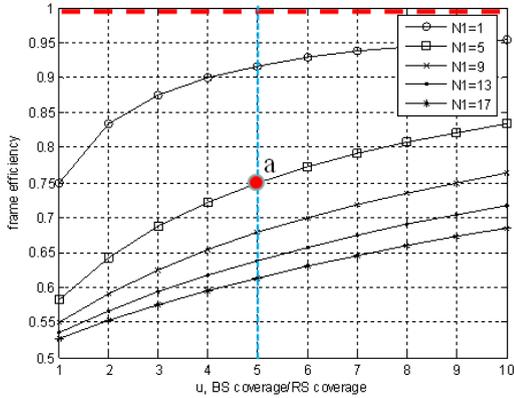


그림 10. MMR 시스템의 프레임 효율

전송 받는 시간이 줄게 되어 아이들 시간 ( $t_1 + t_2 + t_0$ )도 작아진다. 또한 1 tier RS개수가 증가할수록 BS가 RS에 전송하는 시간이 길어지고 그만큼 아이들 시간도 증가하게 되어 프레임 효율이 떨어지게 된다. 예를 들어 a라는 수직선을 보면 BS의 커버리지는 RS의 커버리지의 5배 ( $u=5$ )가 된다. Single-frame 방식의 경우 효율이 1이다. Multi-frame 방식의 경우 1 tier RS가 1개일 때 효율은 약 0.9가 되고 1 tier RS개수가 증가함에 따라 효율이 떨어짐을 알 수 있다.

### 3.3 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식을 사용하는 MMR 시스템의 최대 홉 수 분석

본 절에서는 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식을 사용하는 MMR 시스템의 최대 홉 수를 찾고 성능을 비교한다.

분석을 위해 다음과 같은 시스템을 가정한다.

- 채널 간 간섭은 없다.
- AMC (adaptive modulation and coding)를 사용하지 않았다.
- 경계 효과 (Boundary effect)는 없다.
- 트래픽은 균일하게 분포한다. ( $\lambda$ bps/m<sup>2</sup>).
- BS의 반경( $r_B$ )은 RS의 반경( $r_R$ ) 보다 길다.

다음은  $k^{\text{th}}$  tier 안에 있는 RS의 수를 찾는 과정을 보인다.

그림 11과 같이 근사화를 통해 RS의 커버리지는  $r_R^2$  가 되고  $k^{\text{th}}$  tier 안에 있는 RS의 수를 찾는 과정은 각 tier에서 최대 RS의 개수에 대한 반복으로 일반형을 찾을 수 있다.

첫 번째 tier의 최대 RS의 개수는 식 (3)과 같다.

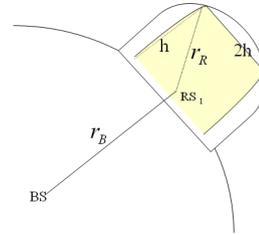


그림 11. BS 커버리지와 RS 커버리지의 근사화

$$\frac{\pi[(r_B+h)^2 - r_R^2]}{r_R^2} = \pi \left[ \left( \frac{r_B}{r_R} + \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^2 - \left( \frac{r_B}{r_R} \right)^2 \right] \quad (3)$$

$$= \pi \left[ \left( \frac{2r_B}{r_R} + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

식 (3)에서  $h$ 는  $r_R/\sqrt{2}$ 와 같다.

그리고 두 번째 tier의 최대 RS의 개수는 식 (4)와 같다.

$$\frac{\pi[(r_B+2h)^2 - (r_B+h)^2]}{r_R^2} \quad (4)$$

$$= \pi \left[ \left( \frac{2r_B}{r_R} + \frac{2}{\sqrt{2}} \right) \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

식 (3)과 (4)의 반복을 통해  $k^{\text{th}}$  tier 안에 있는 최대 RS의 수는 다음과 같이 식 (5)로 일반화 할 수 있다.

$$n_{R,k^{sr}} = \pi \left[ \left( \frac{2r_B}{r_R} + \frac{k}{\sqrt{2}} \right) \left( \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (5)$$

주파수를 재사용하고 채널간이 간섭이 없다면 주어진 BS의 용량 (capacity)에 대해 RS도 용량을 재사용하게 된다. Single-frame 방식인 경우 그림 8에서 보는 것과 같이 BS에서 RS에 속한 MS에 데이터를 전송할 경우 BS의 용량을 한번 사용하게 된다. 예를 들어 BS가 1 tier RS에 속한 MS에 데이터를 전송하게 되면 먼저 BS는 1 tier RS에 데이터를 전송한다. 이때 용량을 사용하게 된다. 그리고 1 tier RS에서 MS에 데이터를 전송할 때 용량을 사용하게 되는데 이때 주파수를 재사용하고 채널 간 간섭이 없기 때문에 용량 또한 재사용할 수 있어 한번의 용량을 사용하게 된다. 이를 수식으로 정의하면 식 (6)과 같이 표현된다.

$$C \gg \rho \left( A_{BS} + A_{RS} \sum_{n=1}^k n_{R,n^{sr}} \right) \quad (6)$$

식 (6)에서  $C$ 는 BS의 처리용량을 나타내고,  $\rho$ 는 트래픽 밀도를 나타낸다.

식 (6)의 유도 과정은 다음과 같다.

주어진 BS의 용량 ( $C$ :bps)에서 각각의 tier에 대한 트래픽 밀도 ( $\rho_0, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k$ )에서 다음을 만족한다.

$$\begin{aligned} \rho_0 &\ll \frac{C}{A_{BS}}, \rho_1 \ll \frac{C}{A_{BS} + A_{RS} \cdot n_{R,tier}}, \\ \rho_2 &\ll \frac{C}{A_{BS} + A_{RS} \cdot n_{R,tier} + A_{RS} \cdot n_{R,tier}}, \\ \rho_k &\ll \frac{C}{A_{BS} + A_{RS} \sum_{n=1}^k \cdot n_{R,tier}} \end{aligned}$$

Multi-frame 방식인 경우 그림 9에서 보는 것과 같이 BS에서 RS에 속한 MS에 데이터를 전송할 경우 BS의 용량을 한번 사용하게 되는데 그 다음 프레임에서는 BS에서 RS에 데이터를 전송하는 시간이 아이들 시간이 존재한다. 이는 주파수 낭비가 되는데 용량의 낭비와 같은 결과를 갖는다. 예를 들어 BS가 1 tier RS에 속한 MS에 데이터를 전송하게 되면 먼저 BS는 1 tier RS에 데이터를 전송한다. 이때 용량을 사용하게 된다. 그리고 1 tier RS에서 MS에 데이터를 전송할 때 용량을 사용하게 되는데 이때 주파수를 재사용하고 채널 간 간섭이 없기 때문에 용량 또한 재사용할 수 있어 한번의 용량을 사용하게 된다. 그러나 아이들 시간으로 인해 두 번의 용량을 사용하는 결과가 된다. 이를 수식으로 정의하면 식 (7)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} C &\gg \rho A_{BS} + 2\rho \left( A_{RS} \sum_{n=1}^k n_{R,n^{tier}} \right) \\ &= \rho \left( A_{BS} + 2A_{RS} \sum_{n=1}^k n_{R,n^{tier}} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)의 유도 과정은 다음과 같다.

주어진 BS의 용량 ( $C$ :bps)에서 각각의 tier에 대한 트래픽 밀도 ( $\rho_0, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_k$ )에서 다음을 만족한다.

$$\begin{aligned} \rho_0 &\ll \frac{C}{A_{BS}}, \rho_1 \ll \frac{C}{A_{BS} + 2A_{RS} \cdot n_{R,tier}}, \\ \rho_2 &\ll \frac{C}{A_{BS} + 2A_{RS} \cdot n_{R,tier} + 2A_{RS} \cdot n_{R,tier}}, \\ \rho_k &\ll \frac{C}{A_{BS} + 2A_{RS} \sum_{n=1}^k \cdot n_{R,tier}} \end{aligned}$$

그림 12는 Single-frame 방식 (in band)과 Multi-frame 방식 (out band) 에서 주어진 BS 용량 (50 Mbps)에서 트래픽 밀도(traffic density)에 따른 최대 커버리지를 각각 보여준다 (BS의 반경은 1Km 이고 RS의 반경은 600m 이다). 트래픽 밀도 ( $\rho$  bps/m<sup>2</sup>) 가 크면 그만큼 좁은 면적에서 용량을 모두 사용하기 때문에 최대 커버리지가 작다. 그러나 트래픽 밀도가 작아지면 용량을 적게 사용하기 때문에 RS를 통해서 커버리지를 넓일 수 있다.

그림을 보면 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식 모두 트래픽 밀도가 작아질수록 커버리지가 증가하게 된다. 그림의 동그란 점과 별 점은 각각 Single-frame 방식의 흡과 Multi-frame 방식의 흡의 경계를 나타낸다. 각각의 값은 표 1에서 보여주는데 Single-frame 방식의 커버리지가 Multi-frame 방식의 커버리지보다 큼을 알 수 있다. 이는 Multi-frame 방식의 경우 용량을 두 번 사용하기 때문에 BS 용량이 두 번 사용되어 Single-frame 방식보다 작은 커

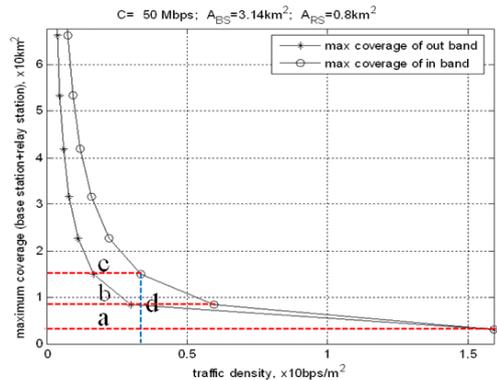


그림 12. 트래픽 밀도에 따른 Single-frame 방식 (in band)과 Multi-frame 방식(out band) 의 최대 흡수

표 1. Single-frame(in-band) 방식(상)과 Multi-frame(out-band) 방식(하)의 예

트래픽 밀도 (bps/m <sup>2</sup> )	선 (line)	최대 커버리지 (Km <sup>2</sup> )	BS개수	RS 개수	tier 수
15.9	a	3.14	1	0	0
2.98	b	8.38	1	7	1
1.68	c	14.8	1	16	2

트래픽 밀도 (bps/m <sup>2</sup> )	선 (line)	최대 커버리지 (Km <sup>2</sup> )	BS개수	RS 개수	tier 수
15.9	a	3.14	1	0	0
5.9	b	8.38	1	7	1
3.6	c	14.8	1	16	2

버리지를 갖게 된다. 수직선 (d)은 같은 트래픽 밀도 3.36bps/m<sup>2</sup>에서 볼 때 Single-frame 방식의 경우 최대 커버리지 2 tier RS에 도달했지만 Multi-frame 방식의 경우 1 tier RS에 있게 된다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 IEEE802.16j Non-transparent MMR 시스템에서 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식의 성능을 분석하였다. 성능 분석은 각 전송 방식에 따른 지연, 프레임 효율 그리고 RS를 사용한 최대 홉 수로 나타냈다. 지연의 경우 Single-frame 방식은 한 프레임 시간, Multi-frame 방식은 두 프레임 시간으로 Single-frame 방식과 Multi-frame 방식은 서로 한 프레임 시간의 차이를 보였다. 프레임 효율의 경우 Single-frame 방식이 Multi-frame 방식보다 효율이 높은 것을 알 수 있었다. RS를 사용한 최대 홉 수의 경우 Single-frame 방식에서 사용되는 용량이 Multi-frame 방식에서 사용되는 용량보다 적기 때문에 트래픽 밀도가 작아질수록 더 많은 RS를 사용해서 홉 수를 늘려갈 수 있다.

본 논문의 결과를 통해 Multi-frame 방식에 비해 Single-frame 방식의 MMR 시스템이 효율적임을 알 수 있다. 하지만 Multi-frame 방식에 비해 Single-frame 방식은 복잡한 스케줄링을 하기 때문에 RS의 개수가 증가함에 따라 복잡도가 증가할 것이다. 향후 RS개수에 따른 복잡도를 포함한 최적의 전송 방식의 연구가 필요할 것이다.

#### 참 고 문 헌

[1] Recommendation ITU-R, "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," International Telecommunication Union, June 2003.

[2] "P802.16j Baseline Document," IEEE 802.16j-06/026r4.

[3] Assessment of relay based deployment concepts and detailed description of multi-hop capable RAN protocols as input for the concept group work, IST-4-027756 WINNER II D3.5.2 v1.0.

[4] D. Schultz, R. Rabst and T. Irnich, "Multi-hop Radio Network Deployment for Efficient Broadband Radio Coverage," Proc. of WPMC, Vol.2, pp.377-381, Oct. 2003.

[5] N. Esseling, B. Walke, R. Pabst, "Performance evaluation of a fixed relay concept for next generation wireless systems," Proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol.2, pp.744- 751, Sept. 2004.

[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. International Conference on, pp.60, Oct. 2006.

[7] K.M. Park, C.G. Kang, D.Y. Chang, S.H. Song, J.G.Ahn and J.T. Ihm, "Relay Enhance Cellular Performance of OFDMA-TDD System for Mobile Wireless Broadband Services," ICCCN, Aug. 2007, pp. 435-435.

[8] IEEE 802.16j-06/026r4, "Baseline Document for Draftstandard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," June. 2007

[9] IST WINNER II, D3.5.1 v1.0.

[10] IST FIREWORKS Project (<http://fireworks.intranet.gr>)

[11] IST ROMANTIK Project (<http://www.ist-romantik.org>)

김 승 연 (Seung-Yeon Kim)

준회원



2005년 2월 고려대학교 전자 및 정보공학부 졸업  
2007년 2월 고려대학교 전자정보공학과 석사  
2007년 3월~현재 고려대학교 전자정보공학과 박사과정

<관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, MAC 프로토콜

김 세 진 (Se-Jin Kim)

준회원



2004년 2월 조선대학교 전산학과 (학사)  
2004년 2월 고려대학교 (석사)  
2006년 3월~현재 고려대학교 전산학과 (박사과정)

<관심분야> 이 동통신, 멀티홉, 휴대인터넷, 스케줄링

유 창 진 (Chang-Jin Yoo)

준회원



2006년 8월 고려대학교 전산학과 (학사)  
2006년 9월~현재 고려대학교 전산학과 (석사과정)  
<관심분야> 무선통신, 휴대인터넷, 홈네트워크

류 승 완 (Seung-Wan Ryu)

정회원



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

1993~2004년 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 University of British Columbia Electrical Engineering (학사)  
1983년 University of Waterloo, Electrical Engineering (박사)  
1983~1991년 Carleton University, System and Computer Engineering 조교수

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

1995~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 졸업  
1993년 2월 고려대학교 산업공학과 석사  
1986년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(석사)  
1989년 프랑스 INSA de Lyon 전산학과(박사)

1990~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수

1994~현재 고려대학교 전산학과 교수

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