

MBS의 전송률 증대 알고리즘 및 시스템 레벨 성능평가

준회원 서성영*, 정회원 박동찬*, 종신회원 김석찬*^o, 김영일**

System Level Performance Evaluation and Throughput Enhancement Algorithm of MBS

Seong Young Seo* *Associate Member*, Dong Chan Park* *Regular Member*,
Suk Chan Kim*^o, Young Il Kim** *Lifelong Members*

요약

DMB 2.0, Mobile IPTV 등 방송과 통신을 융합하는 서비스에 대한 관심이 최근 급증하고 있다. 유니캐스트는 수용량 제한 및 열악한 수신환경으로 인해 방송서비스를 하기 힘들기 때문에 WiBro는 MBS(Multicast Broadcast Service)를 제공하여 방송서비스를 지원한다. MBS는 MBS 존에 속한 모든 기지국이 방송서비스를 요구하는 모든 사용자에게 동일한 콘텐츠를 동시에 전송하는 방식이다. 단말은 다수의 기지국으로부터 자원을 받기 때문에 Macro diversity로 인해 SINR을 높일 수 있지만 존 외곽 셀의 경우 간섭으로 인해 여전히 SINR이 매우 낮으므로 보완책이 필요하다. 본 논문에서는 MBS 존의 내부와 외부의 성능차이를 줄이면서 전체적으로는 높은 MCS를 사용하여 전송률을 높이는 방안으로 MIMO(Multiple Input Multiple Output) STBC(Space Time Block Coding), Relay, FFR(Fractional Frequency Reuse)을 도입한다. 기본적인 시뮬레이션 환경은 SISO(Single Input Single Output)로 가정하고 transparent 중계기, MBS에서 적용가능한 FFR로 시나리오를 나누어 SISO와 MIMO STBC 환경에서 각각 성능을 평가하고 비교 분석한다.

Key Words : WiBro, MBS, FFR, Relay, MIMO

ABSTRACT

It has been growing interests that convergence services of broadcasting and telecommunication services such as DMB 2.0 and Mobile IPTV etc. Unicast type is difficult to service broadcasting due to limits of capacity and poor receiving environments, WiBro supports broadcast service with MBS. MBS is transmission method that base stations belong to same the MBS zone transmit the all users who request broadcasting service. Terminals are received resources from all base station in the MBS zone and SINR can be improved because of macro diversity. If terminals are located at edge of the MBS zone, complement algorithm are needed because received SINR is very low. In this paper, MIMO STBC, Relay and FFR are introduced to improve the throughputs using high MCS. The basic simulation environment is assumed to be SISO. Transparent relay and FFR applicable on MBS are divided by SISO and MIMO STBC environment and evaluate the performance.

1. 서론

이동 중에도 방송서비스를 시청하려는 사용자가

늘어남에 따라 DMB 2.0, Mobile IPTV 등 방송과 통신을 융합하는 서비스에 대한 관심이 급증하고

※ 본 논문은 한국전자통신연구원 정보통신 산업원천기술개발사업의 위탁연구과제에 의하여 연구되었음.

* 부산대학교 전자전기공학과 통신시스템 연구실(ssy@pusan.ac.kr, skim@pusan.ac.kr), (° : 교신저자)

** 한국 전자통신연구원 모바일 서비스 구조 연구팀(yikim@etri.re.kr)

논문번호 : #KICS2009-12-651, 접수일자 : 2009년 12월 30일, 최종논문접수일자 : 2010년 2월 3일

있다. 무선 채널은 대역폭이 제한적이고 간섭 및 전송손실이 유선의 경우보다 상당히 크기 때문에 방송서비스를 무선 통신 환경에서 제공하기 위해서는 보완이 필요하다. 이에 IEEE 802.16e 및 WiBro 시스템은 MBS를 제공한다^{[1],[2]}. MBS는 일대다 전송 방식으로 하나의 기지국이 다수의 사용자에게 동시에 전송하는 방식이다. MBS 존은 효율적인 방송서비스를 위해서 동일한 콘텐츠를 동시에 전송하는 하나의 그룹으로서 MBS 존에 속한 모든 단말은 다수의 기지국으로부터 자원을 제공받을 수 있고 그로 인해 존 내부에 위치한 셀 외곽은 SINR을 높일 수 있다. 하지만 존 외곽의 경우 Macro diversity 효과가 줄어들고 다른 MBS 존의 간섭으로 인해 여전히 SINR이 좋지 못하고 셀 내부와의 차이가 매우 심하다.

본 논문에서는 transparent 중계기와 MBS에서 적용가능한 FFR을 도입하고, SISO와 MIMO STBC로 나누어 각각 성능을 평가한다.

II. MBS 존에서 SINR 계산 및 간섭 모델

Link Adaptaion은 EESM(Exponential-Effective SINR Mapping)을 사용하고 EESM에서 SINR을 계산하는 식은 다음과 같다^[6].

$$SINR_{eff} = -\beta \ln \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \exp \left(\frac{-SINR_n}{\beta} \right) \right) \quad (1)$$

여기서 n은 부반송파의 인덱스를 말하며, β는 인코딩 블록과 MCS에 따라 달라지는 파라미터이다. 그리고 SISO에서 각 부반송파의 SINR을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$SINR(n) = \frac{\sum_{i=0}^{N_s-1} P_{tx}^{(i)} P_{loss}^{(i)} |H^{(i)}(n)|^2}{\sigma^2 + \sum_{j=1}^{N_f} P_{tx}^{(j)} P_{loss}^{(j)} |H^{(j)}(n)|^2} \quad (2)$$

N_s는 MBS 존에 속한 기지국의 수이고, P_{tx}^(j)는 j번째 기지국에서의 송신전력을 말한다. H는 다중경로 채널의 주파수 응답이며 σ²는 잡음의 전력이다. H⁽ⁱ⁾(n)은 단말이 i 기지국과 이루는 채널의 n번째 서브캐리어에 대한 주파수 응답을 의미한다. P_{loss}는 다중경로 페이딩을 제외한 경로손실, 음영 페이딩, 안테나 패턴등 간섭으로 인한 손실률을 말하며, 이 값

은 1보다 작거나 같다. N_f는 간섭자의 수를 말한다.

MIMO STBC의 경우 MRC 결합으로 수신을 한다고 가정하였고 따라서 MIMO 방식에서의 부반송파와 SINR을 계산하는 식은 다음과 같다^{[6],[7]}.

$$SINR(n) = \frac{P_s}{P_N + P_{I_{STBC}} + P_{I_{NoSTBC}}}, \quad (3)$$

$$P_S = P_{tx}^{(0)} P_{loss}^{(0)} \sigma_0^2 \left(\sum_{t=0}^1 \sum_{r=0}^{N_R-1} |H_{t,r}^{(0)}(n)|^2 \right)^2 + \sum_{\substack{j \neq 0 \\ j \in MBSzone}} P_{tx}^{(j)} P_{loss}^{(j)} \sigma_j^2 \left\{ \sum_{r=0}^{N_R-1} H_{0,r}^{(j)}(n) * H_{0,r}^{(j)}(n) + H_{1,r}^{(j)}(n) H_{1,r}^{(j)}(n) * \right\} + \left[\sum_{r=0}^{N_R-1} H_{1,r}^{(j)}(n) H_{0,r}^{(j)}(n) * - H_{0,r}^{(j)*}(n) H_{1,r}^{(j)}(n) \right]^2$$

$$P_N = \left(\sum_{t=0}^1 \sum_{r=0}^{N_R-1} |H_{t,r}^{(0)}(n)|^2 \right) \sigma^2,$$

$$P_{I_{STBC}} = \sum_{\substack{j \neq 0 \\ j \in MBSzone}} P_{tx}^{(j)} P_{loss}^{(j)} \sigma_j^2 \left\{ \sum_{r=0}^{N_R-1} H_{0,r}^{(j)}(n) * H_{0,r}^{(j)}(n) + H_{1,r}^{(j)}(n) H_{1,r}^{(j)}(n) * \right\} + \left[\sum_{r=0}^{N_R-1} H_{1,r}^{(j)}(n) H_{0,r}^{(j)}(n) * - H_{0,r}^{(j)*}(n) H_{1,r}^{(j)}(n) \right]^2$$

P_S는 신호성분, P_N은 잡음성분, N_R은 수신 안테나 수, (0)는 서빙 기지국, P_{I_{STBC}}는 STBC를 사용하는 기지국으로부터 간섭을 말하며, P_{I_{NoSTBC}}는 STBC 방식을 사용하지 않는 기지국으로부터 간섭을 말한다. 본 논문에서는 MIMO의 경우 모든 기지국이 STBC 방식을 사용한다고 가정하였으므로, P_{I_{NoSTBC}}는 존재하지 않는다. H_{t,r}⁽ⁱ⁾(n)은 i번째 기지국의 송신안테나 t와 단말의 수신 안테나 r 사이의 채널의 서브캐리어 n에 대한 주파수 응답이다.

FFR을 적용하면 해당 기지국이 사용하는 주파수 대역을 사용하는 간섭자에게만 간섭을 받으므로 간섭자(N_f)가 줄어들고 중계기에게 서비스 받는 단말의 경우 기지국 대신에 중계기가 전력의 파라미터로 들어간다.

III. 제안하는 MBS 시스템 모델

3.1 중계기 모델^{[3],[6]}

중계기는 프레임 제어정보가 기지국에 동기화되어 단말과 중계기가 공유하는 transparent 방식과 독립적인 제어정보를 가지고 운용하는 non-transparent 방식으로 나누어진다. non-transparent의 제어정보는 간섭의 요인이 되므로 본 논문에서 도입되는 중계기는 transparent 방식으로 동작한다고 가정한다. 중계기 모델의 기본 파라미터는 IEEE 802.16m의 EMD 문서의 ART 시나리오를 적용하였다. 즉, 기



그림 1-(a). no RS and FFR 시스템의 기지국 하향링크 프레임

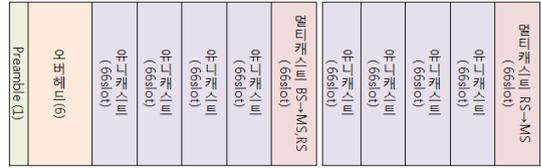


그림 1-(b). 중계기가 있는 시스템의 기지국 하향링크 프레임



그림 1-(c). FFR을 사용하는 기지국의 하향링크 프레임

지국간의 거리의 3/8, 메인로브 방향의 26°에 섹터마다 2개씩 배치한다. MS Association은 기지국과 중계기와 단말간의 SINR을 비교하여 높은 것을 선택하도록 하였다.

기지국과 중계기에게 방송서비스를 받는 단말간의 자원의 양이 동일해야 하므로 기지국으로부터 서비스 받는 단말과 중계기로부터 서비스 받는 단말의 자원할당 크기는 동일하게 분배하였다.

본 논문에서 사용한 중계기가 있는 시스템의 기지국 하향링크 프레임 구조는 그림 1-(b)처럼 중계기가 멀티캐스트 자원을 기지국으로부터 방송서비스 받는 단말과 동시에 받도록 하였다. 따라서 중계기가 도입된 경우 MBS의 전송률은 절반이 된다. U는 유니캐스트, M은 멀티캐스트를 의미한다.

3.2 MBS에서의 FFR 모델

MBS에서의 FFR은 유니캐스트의 방식과 달라야 한다. 유니캐스트의 방식에서는 섹터간의 간섭을 줄이기 위하여 섹터마다 다른 주파수 대역을 사용하지만 MBS는 섹터간의 간섭이 아니라 존 간의 간섭을 줄이기는 것이 목적이므로, 존의 영역을 구분하여 주파수 대역을 사용해야 한다.

따라서 제안하는 FFR 모델은 그림 2처럼 점선으로 표시된 MBS 존을 3개의 주파수 대역으로 나누었다. 첫 번째 대역은 그림 2에 빨간색으로 표시해 두었고, 두 번째와 세 번째는 각각 초록색과 파란색으로 표시해 두었다. 0,1,2는 나누어진 주파수 대역의 인덱스를 의미하고 3은 Macro diversity를 획득하기 위하여 동일한 내용을 3개의 주파수 대역을 통하여 모두를 전송하는 셀을 의미한다. 주파수 대역은 균등하게 3개로 나누었고, 따라서 FFR의 경우

자원할당 크기가 1/3이 된다.

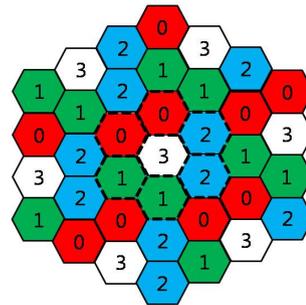


그림 2. FFR에서 시물레이션 layout

IV. 모의실험 가정

FFR 시스템의 시물레이션을 제외하고는 Wrap around 방식의 시물레이션 평면에 7개의 클러스터를 고려하였고, 클러스터당 19셀을 배치하였다. FFR은 간섭모델을 균일하게 하기 위해 7개의 셀을 1개의 존으로 하여 그림 2처럼 3개의 구역으로 나누어 37셀에 균등하게 배치하였다. 점선으로 표시된 부분이 시물레이션 대상이 되는 MBS 존이고 실선은 간섭이 되는 셀이다. 단말은 시물레이션 대상이 되는 중앙 셀과 주변 6셀에 균등하게 drop 시켰고 중계기가 있는 시스템에서 MS association은 BS와 RS로부터 SINR을 비교하여 큰 것으로 하였다.

모의실험은 SISO와 MIMO STBC로 구분하고 MIMO는 2x2를 사용하였다. 각각 중계기 및 FFR을 사용하지 않는 시스템과 transparent 중계기를 사용하는 시스템, FFR를 사용하는 시스템으로 나누어져 있다. 경로손실은 Urban Macrocell를 사용하였

고 수식은 아래와 같다.

$$Pathloss_{dB} = 35.2 + 35\log_{10}(d) + 26\log_{10}(f/2) \quad (4)$$

여기서 d 는 m단위로 기지국이나 중계기로부터의 거리이고, f 는 Ghz 단위로 Center frequency를 의미한다. Shadow fading도 Urban Macrocell을 사용하였고, 표준편차는 8dB, 상관거리는 50m이다.

채널모델은 ITU-R Pedestrian B와 Vehicular A를 사용하였고, 단말의 속도는 3km(30%), 30km(30%), 60km(30%), 120km(10%)로 정하였다. 변조방식은 QPSK, 16QAM, 64QAM을 사용하며, QPSK의 경우 Repetition을 2,4,6으로 나누어 총 MCS Level은 11개이며, 이는 그림8과 9에서 인덱스로 사용된다. 그 외 파라미터는 표 1에 정리해 두었다.

표 1. 모의실험 가정

Parameters	value
Center Frequency	2.5 Ghz
Inter Site Distance(ISD)	1.5 km
RS Location	ISD의 3/8
number of users / sector	20명
Pathloss type	Urban Macro
Shadow fading	σ -8dB, 50m
Channel Model	ITU Ped B 3km/h(60%), ITU Veh A 30m/h(30%), Veh A 120km/h(10%)
Antenna Structure	1x1(SISO), 2x2(MIMO)
Scheduling	Round Robin
DL:UL Ratio	29(7):18(3) ()는 오버헤드
유니캐스트/멀티캐스트 비율 (자원할당)	4:1
MCS Level	QPSK 1/2 with repetition 1/2/4/6, QPSK 3/4, 16QAM 1/2, 16QAM 3/4, 64QAM 1/2, 2/3, 3/4, 5/6
Link Adaptation	EESM
Traffic Model	Full buffer
Subchannelization	PUSC

V. 모의실험 결과

모의실험은 크게 SISO와 MIMO STBC로 나뉜다. 그림3에서 8까지의 우측 바는 수식 (1) 또는

(2)로 계산된 값에 Pilot loss를 고려한 SINR을 의미하며 값의 범위는 -10 ~ 30dB로 한정하였다. 그림 3부터 5는 SISO에서 SINR를 도시한 것이고, 그림 6부터 8까지는 MIMO STBC 환경에서의 SINR를 도시한 것이다. 그림 3은 중계기 및 FFR을 사용하지 않는 시스템의 SINR를 도시한 것이다. MBS 존의 내부인 가운데 셀의 경우 셀 외곽 및 내부의 SINR 차이가 심하지 않지만, MBS 존 외곽 셀에서는 내부와 외곽의 SINR 차이가 심하게 났다. 95%의 Coverage를 보장하는 MCS를 사용하려면 외곽의 MCS에 맞춰져야 하는데 외곽의 MCS가 매우 낮아 비효율적인 방송서비스를 할 수 밖에 없다.

그림 4는 중계기를 도입한 시스템이다. 중계기가 위치한 곳에서의 SINR이 매우 높아졌으나 여전히

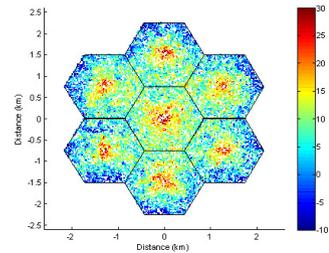


그림 3. SISO, no RS and FFR

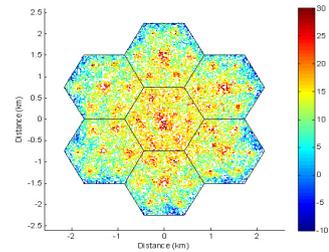


그림 4. SISO, transparent RS

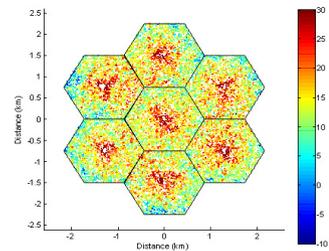


그림 5. SISO, FFR

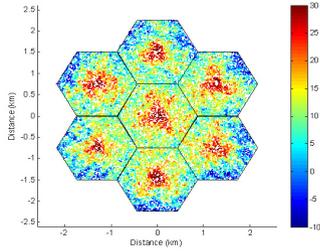


그림 6. MIMO, no RS and FFR

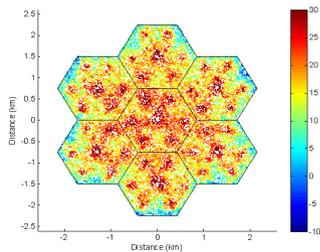


그림 7. MIMO, transparent RS

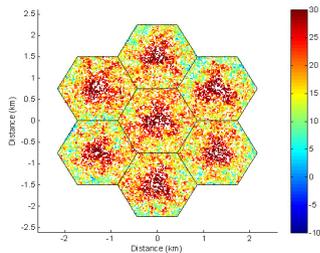


그림 8. MIMO, FFR

셀 외곽은 외부 MBS 존에 의한 간섭으로 인해 간섭이 꽤 강하였다. 그림 5는 FFR를 도입한 시스템의 SINR을 도시한 것이다. SINR의 분포를 보면 그림 2와 비슷하게 MBS 존이 3개의 셀로 이루어진 작은 MBS 존이 3개 겹쳐져 있는 모습을 띄고 있다.

MIMO STBC의 경우 SISO 시스템보다 전체적으로 SINR이 높아졌음을 알 수 있다. STBC의 경우 High SINR보다 Low SINR에서 성능이 좋은 것으로 알려져있다. Low SINR에 해당하는 하늘색 및 파랑색 계열이 많이 사라지고 노랑색과 파랑색 계열의 비교적 높은 SINR로 바뀌었음을 알 수 있다.

각 시스템에서 멀티캐스트에 대한 자원할당이 균일하다고 보면 전송률은 최대 MBS 전송률에 의해 결정된다. 최대 MBS 전송률은 PER(packet Error

Rate)가 0.1% 이내이고 95%의 커버리지를 보장하는 전송률로 정의하고 있다. 본 논문에서는 단말을 셀에 균일하게 충분히 드롭 시키므로 95%의 커버리지는 그림 9의 SINR의 cdf의 0.05에 해당하는 값을 의미한다. 표 2는 각 시스템에서 95% 커버리지를 보장하는 SINR 값과 해당 SINR로 사용가능한 최대 MCS Level을 정리해 둔 것이다.

그림 10과 11는 각 시스템에서 MCS별 Outage를 나타낸 것이다. 여기서 Outage는 각 MCS에서 요구되는 SINR을 충족하지 못하여 서비스를 제공받을 수 없는 지역을 나타낸다. SISO에서 중계기와 FFR을 사용하지 않는 시스템의 경우 95%의 커버리지를 보장하는 SINR에 해당하는 MCS 레벨은 QPSK 1/2 x6이다. 그림 10을 보면 해당 시스템의 QPSK 1/2 x6에서 Outage가 5%정도인 것을 알 수 있다. 나머지 시스템 역시 표2에 정리된 결과와 일치하였다. MIMO 시스템의 경우 해당 SINR의 값에서 Outage가 5%보다 꽤 적은데, 이는 Outage가 5%를 초과하지 않는 최대 MCS 레벨을 기준으로 하였기 때문이다. 전송률의 경우 그림 12에 정리되

표 2. Maximum data rate를 위한 SINR과 MCS Level

		95% SINR	MCS Level
SISO	no RS and FFR	-4.74 dB	QPSK 1/2 x6
	transparent RS	1.82 dB	QPSK 1/2
	FFR	5.64 dB	QPSK 3/4
MIMO	no RS and FFR	-2.51 dB	QPSK 1/2 x4
	transparent RS	5.68 dB	QPSK3/4
	FFR	8.3 dB	16QAM 1/2

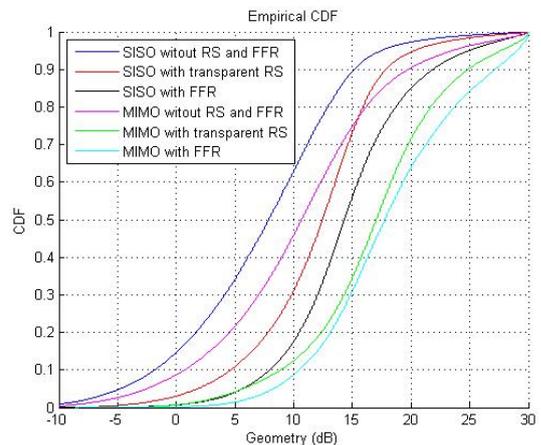


그림 9. SINR의 CDF

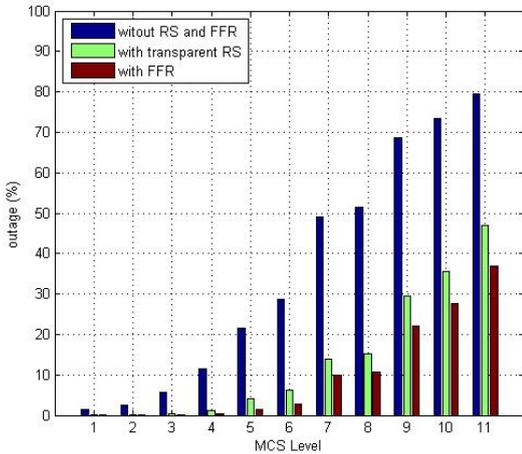


그림 10. MIMO에서 MCS Level에 따른 outage

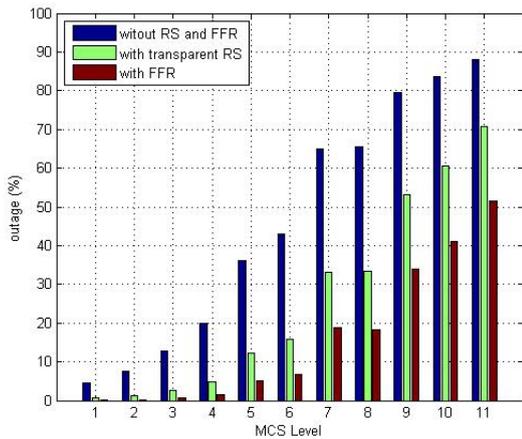


그림 11. SISO에서 MCS Level에 따른 outage

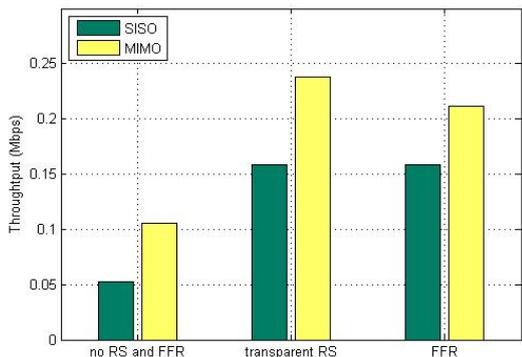


그림 12. 전송률

어 있듯이 SISO 환경의 경우 중계기 및 FFR을 사용하지 않는 시스템에 비해 중계기 또는 FFR을 사

용하는 시스템이 3배정도 높았으며, MIMO STBC 환경에서는 2배에서 2.3배 정도 상승하였다.

VI. 결 론

본 논문은 WiBro 시스템에서 효과적인 대용량 멀티캐스트 전송방식에 대해 논의하였다. MBS의 전송률 증대를 위해 MIMO STBC, transparent 중계기, MBS 존에서 적용 가능한 FFR을 도입하였다. 3가지 방식 모두 MBS 존의 내부와 외부의 성능차이를 줄이고 전체적으로는 높은 MCS를 사용할 수 있어 전송률을 높일 수 있었다.

중계기 및 FFR을 도입하지 않는 시스템에 비해 중계기 또는 FFR을 도입한 시스템의 전송률이 SISO는 3배, MIMO STBC에서는 약 2배정도 상승하였다. SISO는 중계기에 비해 FFR을 사용하는 시스템이 SINR은 좋았으나, FFR을 사용하는 시스템이 중계기를 사용하는 시스템에 비해 자원할당 크기가 2/3이므로 전송률은 동일하였다. 그리고 MIMO STBC 시스템에서는 중계기를 사용하는 시스템이 MBS에서의 FFR을 사용하는 시스템에 비해 전송률이 약 10% 정도 높았다.

중계기를 사용하는 방식이 MBS에서의 FFR 방식보다 약간 나은 성능을 보인다고 할 수 있으나, FFR 방식은 중계기라는 추가적인 장비가 필요 없으므로 중계기를 지원하지 않는 시스템에서 효율적으로 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP TS 22.146 V8.1.0 (2006-09), "Multimedia Broadcast / Multicast Service," Release 8
- [2] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. 2005.
- [3] Tao. Z, Koon, Teo K.H, and Zhang. J, "Aggregation and Concatenation in IEEE 802.16j Mobile Multihop Relay (MMR) Networks," in Proc. IEEE Mobile WiMAX Symposium, pp.85-90, Mar. 2007.
- [4] Erwu. L, Dongyao. W, Jimin. L, Shen Gang and

