

WiBro Evolution 을 위한 MIMO/Beamforming 기술 적용 방안 연구

A Research on the Application of MIMO/Beamforming Technologies for WiBro Evolution

정재호*, 차용주, 노재훈
(Jaeho Chung, Yongju Tcha, and Jae-Hoon Roh)

Abstract: Multiple Antenna Technologies such as Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) and Beamforming provide the increase of channel capacity and the reliability of wireless link. To obtain these advantages, WiBro, Mobile WiMAX and 4th Generation System are employing multiple antenna technologies. There exist, however, many technical issues in considering the application of the technologies or the providing of services using them. In this paper, various technical topics are discussed and simple solutions are proposed. Beamforming has several technical issues which include coverage imbalance, difficulties in providing Multicast-Broadcast Service (MBS). In Addition, network planning is a critical point from a cell extension and initial network entry point of view. In case of MIMO, network deployment is discussed in that cellular data network such as WiBro has many repeaters. MIMO mode selection for maximizing the cell capacity is also covered.

Keywords: IEEE 802.16e, WiBro, MIMO, Beamforming, WiBro Evolution, MBS

I. 서론

KT 의 와이브로 서비스는 2007 년 상용화를 시작한 세계 최초의 광대역 이동통신 데이터 서비스라는 점에서 매우 큰 의미를 가지고 있다. 이동 중에도 휴대용 단말을 통해 고속의 무선 데이터 서비스를 지원하는 와이브로 시스템은 현재 IEEE 802.16e 의 기본적인 사양들만으로 구현되어 있으며 향후 시스템의 성능 향상과 이로 인한 서비스 품질 개선, 그리고 경쟁 서비스에 대한 차별화 방안으로서 다중 안테나 기술의 도입은 필수적이라고 할 수 있다. 1 단계 WiBro 시스템의 안정화 이후 서비스 품질 개선 및 고속 데이터 서비스를 저렴하게 제공하기 위한 기술 후보로서 송신 출력이나 대역폭 확장 없이 무선 통신 링크의 Reliability 향상과 주파수 효율 극대화를 제공하는 다중 안테나 기술의 도입이 적극적으로 검토되고 있는 상황이다.

MIMO 와 Beamforming 으로 대표되는 다중 안테나 기술은 무선 통신 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 차세대 핵심기술로서 각광을 받고 있으나 이를 적용하여 Network 에 Deploy 하고 이동통신 서비스를 제공하기 위해서는 극복해야 할 여러 가지 기술적 이슈들이 존재한다.

본 논문에서는 차세대 광대역 이동통신의 핵심 주제이며 WiBro 의 경쟁 규격인 IEEE 802.20, HSPA, 4G 표준 등에서도 채택하고 있는 다중 안테나 기술을 WiBro 시스템에 적용할 경우 고려해야 할 기술적 이슈들에 대하여 논하고자 한다. 본 논문의 II 장에서는 IEEE 802.16e 에서 제공하는 다중 안테나 기술을 간략하게 소개하며, III 장에서는 다중 안테나 기술 적용 시 고려해야 할 여러 가지 고려사항들을 제시한다. 마지막으로 IV 장에서는 결론과 함께 본 논문을 마무리 하고자

한다.

II. IEEE 802.16e 의 다중 안테나 기술

IEEE 802.16e 규격 [1]은 WiBro 기지국의 성능 즉, Cell Capacity 와 Coverage 를 증대시킬 수 있는 다양한 다중 안테나 기술을 포함하고 있다. 이 기법들은 다시 Beamforming 을 의미하는 Adaptive Beamforming 과 MIMO (Multi-Input Multi-Output)로 구분될 수 있으며 본 장에서 소개하고자 한다.

1. Beamforming

Beamforming 기법은 TDD Reciprocity 특성의 채택 여부에 따라서 Codebook-Based Beamforming 과 TDD reciprocity 를 이용하는 Beamforming 으로 분류될 수 있다. Codebook-Based Beamforming 에서는 단말이 하향 링크의 다중 안테나 채널을 측정하고 최적의 성능을 낼 수 있는 codebook vector 혹은 matrix 를 선택한 후 해당 vector/matrix index 를 상향링크 방향으로 올려 보내면 기지국은 이 정보를 이용하여 Beamforming 에 이용할 가중치를 계산한다. TDD reciprocity 를 이용하는 Beamforming 기법에서는 상향링크를 통해서 얻어진 채널 응답 정보 (Channel Response Information)를 이용하여 하향링크용 Beamforming 가중치를 계산한다. 한편 다중 사용자를 위한 Multi-Stream Beamforming 은 SDMA(Space Division Multiple Access)으로 구분된다.

2. MIMO (Multi-Input Multi-Output)

Link Reliability 를 높이고 주파수 효율을 증대시키기 위한 MIMO 기술은 다양하게 분류될 수 있다. 본 논문에서는 Open-Loop MIMO 와 Closed-Loop MIMO 로 분류하여 소개한다. Open-Loop MIMO 는 다시 Alamouti Code 를 이용해서 Transmit Diversity 효과를 얻는 구조와 Data Rate 증가를 꾀하는 Spatial Multiplexing 구조 [2] 그리고 이 두 가지 구조의 장점만을 취한

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 7. 28., 채택확정 : 2007. 7. 30.

정재호, 차용주, 노재훈 : KT 인프라 연구소

({jaechochung,yjtcha,yjroh}@kt.co.kr)

Hybrid 구조로 구분될 수 있다. 1998 년 Alamouti 에 의해 Full Rate Full Diversity 를 얻을 수 있는 두 개의 송신 안테나용 Orthogonal Code [3]가 소개된 이후 Giannakis 와 Jafarkhani [4]등은 3 개 이상의 송신 안테나를 사용하면서도 Full Rate 을 얻을 수 있는 code 를 개발하였다. Closed-Loop MIMO 기술은 Antenna Grouping, Antenna Selection 기법 및 Codebook-based Precoding 기법으로 구분될 수 있다. 특히, Codebook-based precoding 에서 Spatial Rate 이 Unity 일 경우 Adaptive Beamforming 기법이 된다. 표 1 은 802.16 에서 정의하고 있는 하향링크 (DL) MIMO 기술들을 보여주고 있다.

표 1. 하향링크 MIMO 기술

Number of TX Antennas @ BS		2	3	4
Open-Loop	Transmit Diversity (TD, Matrix A)	○	○	○
	TD + SM (Matrix B)	○	○	○
	Spatial Multiplexing (SM, Matrix C)	○	○	○
Closed-Loop	Antenna Grouping/Selection	○	○	○
	Precoding		○	

Transmit diversity scheme 의 spatial rate 은 matrix A,B,C 를 사용할 때 각각 1,2, 송신안테나 개수가 된다. 표 2 에는 802.16e 에서 정의하고 있는 상향링크 (UL) MIMO 기술이 나타나 있다.

표 2. 상향링크 MIMO 기술

Number of TX Antennas @ SS		2	2 with single TX
Open-Loop	TD	○	X
	SM	○	○

상향링크 MIMO 에서 SM 은 한 개의 안테나를 갖춘 2 개의 단말이 협력하여 Spatial Multiplexing Diversity 를 구현하는 구조를 의미한다.

III. 다중 안테나 기술 적용 시 고려 사항

1. Beamforming Delay

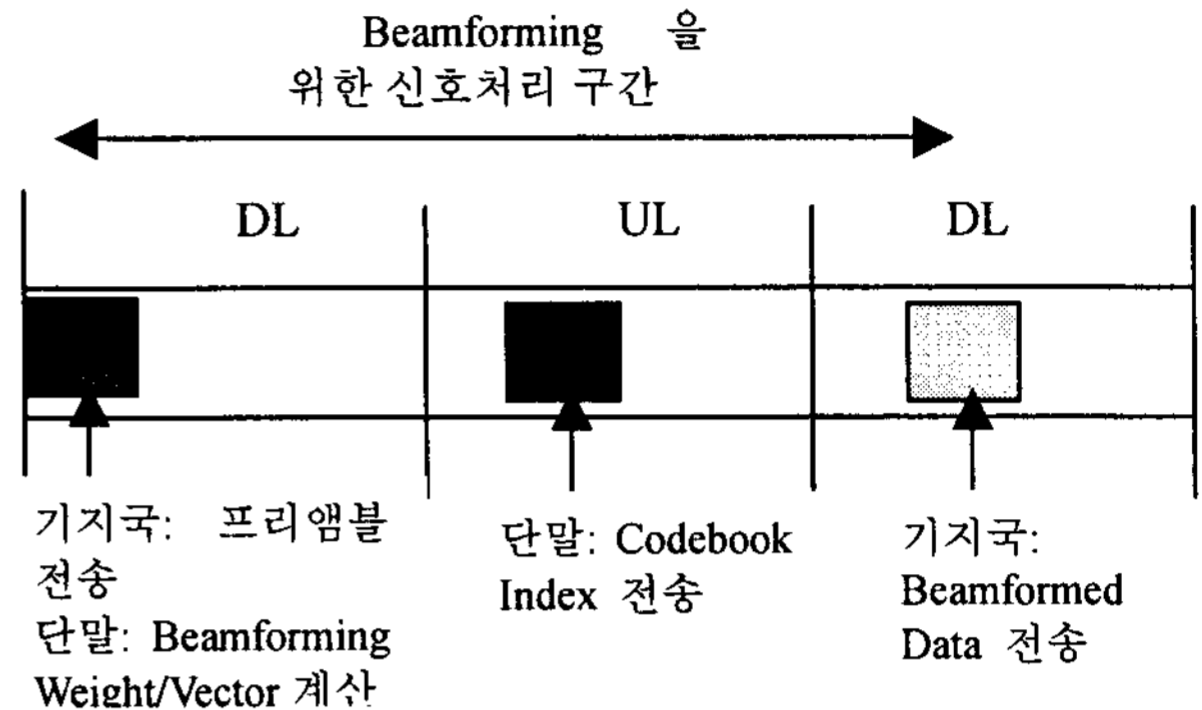
Adaptive Beamforming 은 정밀한 수준의 Calibration 기술이 요구될 뿐만 아니라 Channel 의 시변 특성에 매우 민감한 기술이다. TDD 방식의 WiBro 시스템에서는 하향링크 Beamforming 용 가중치 벡터 (Weight Vector)는 상향링크로부터 얻어지지만 어떤 Signaling 을 사용하느냐에 따라 현저한 성능차이가 발생할 수 있다.

그림 [1]은 이에 대한 예로서 Codebook-Based Beamforming 과 TDD Reciprocity 를 이용한 Beamforming 과의 성능차이 가능성을 보여주고 있다. 그림 1 에서 보여지는 바와 같이 Codebook-based Beamforming 기술은 단말에서 추정된 채널정보로부터 기지국 신호처리를 거쳐 Beamforming 에 적용될 때는 이미 한 개의 TDD Frame

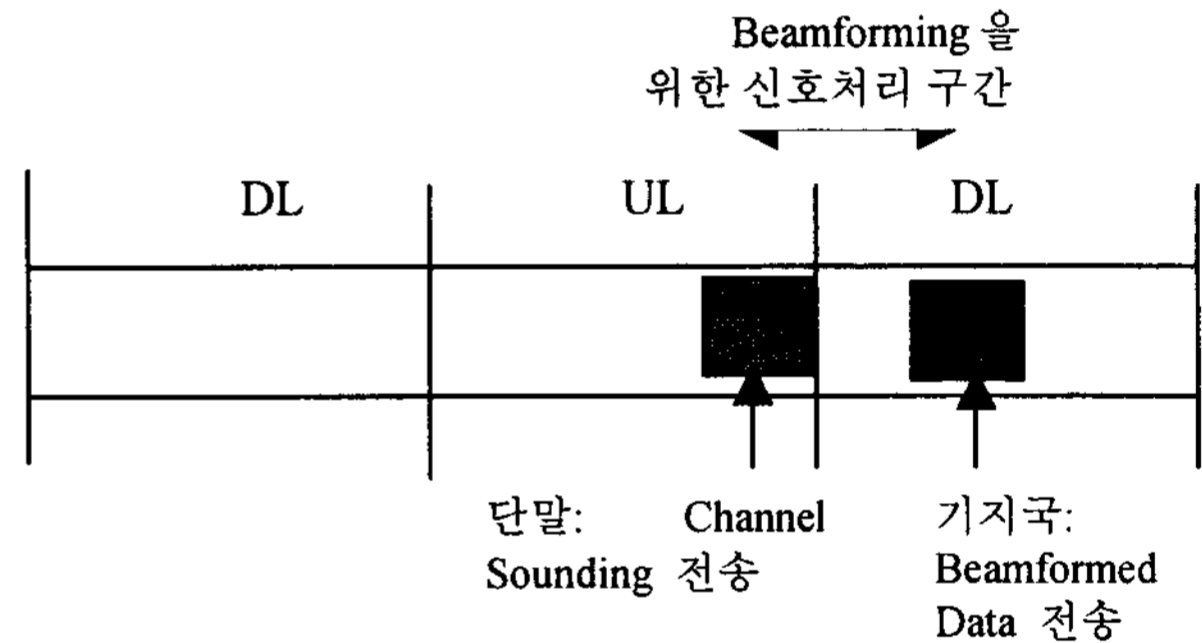
이상의 지연이 발생한 후 이므로 성능 저하의 원인이 된다.

반면, 상향링크로의 Channel Sounding Waveform 을 이용한 TDD Reciprocity 기법은 이러한 지연을 감소시킬 수 있어 성능 저하를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 표 3 은 위에서 언급한 Beamforming 기술 별로 가능한 최소, 최대 신호처리 시간을 보여주고 있다.

이와 같은 결과는 Closed-Loop MIMO 방식에서도 동일하게 적용되는 내용이다.



(a) Codebook-Based Beamforming



(b) TDD Reciprocity Beamforming

그림 1. WiBro 를 위한 Beamforming 기술

표 3. Beamforming 기술 별 신호처리 지연 비교

Beamforming Techniques	Minimum Delay	Maximum Delay
Codebook-based	UL	2DL + UL
TDD Reciprocity-based	A few OFDM Symbols	UL + DL

2. Unbalanced Coverage

WiBro 규격에서는 무선자원 할당 정보가 MAP 의 형태로 Downlink (DL) Link 를 통해 단말들에게 Broadcasting 되며 MAP 정보에 대한 Reliable Delivery 를 보장하기 위해서 강인한 변조와 채널부호화 기법을 적용한다 (QPSK, 1/2). 그러나 이러한 기법은 Beamforming 기법 적용시 Coverage 의 제한을 일으킬 수 있다. 즉, Beamformed Data 를 수신하고 있는 단말은 Cell 내의 확장된 거리에 위치할 수 있으며 이 경우 Broadcasted DL MAP 정보의 수신은 보장받을 수 없게 된다.

그림 2 에서 보여지는 바와 같이 DL Coverage 는 DL MAP Coverage 로 한정되며 Beamforming 기술이 제공하는 Coverage 확장과 상충하는 결과를 가져온다. 이를 해결하기 위한 방안으로서는 단말에서의 다중 안테나 수신을 통해 diversity 이득을 얻음으로써 Coverage

mismatch 를 해결할 수는 있을 것으로 보인다. 또한, DL MAP 정보에 대한 Repetition 전송등의 방법등이 가능할 것으로 판단된다.

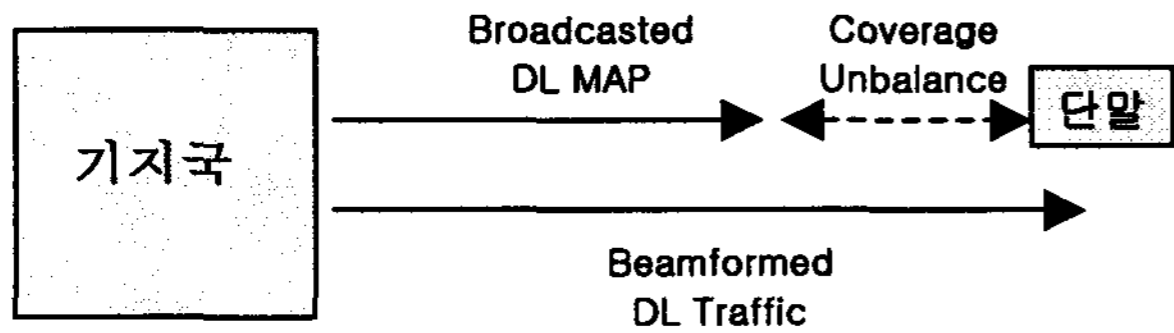


그림 2. Beamforming 기술과 Coverage Unbalance

3. MBS with Beamforming

Multicast Broadcast Service (MBS)는 방송 서비스처럼 다수의 사용자들에게 동일한 서비스를 동시에 제공하기 위한 차세대 WiBro 서비스의 핵심이며, 현재 IEEE 802.16e-2005 에 정의된 PHY/MAC 규격을 바탕으로 WiMAX Forum 에서 end-to-end 네트워크 구조에 대한 표준화 활동이 활발하게 진행되고 있다.

WiBro 에서는 기지국이 사용자에게 자원할당 정보를 알려주기 위하여 MAP 메시지를 전송하는데, 이것은 자원이 할당되는 프레임마다 사용자에게 MAP 메시지를 전송해서 사용자의 자원 할당 영역과 할당 시간 정보를 알려준다. 그러나 자원할당이 사용자 및 서비스마다 다른 유니캐스트 방식과 달리, 동일한 자원을 다수의 사용자가 공유하는 MBS 의 경우에는 한 기지국 내에서 동일한 자원할당 영역과 할당 시간에 해당하는 MBS 버스트에 대한 정보를 다수의 사용자들에게 알려주어야 한다.

MBS 서비스의 특징은 다수의 사용자들이 서로 공유하는 하향링크 상의 MBS 버스트에 대한 정보 수신이기 때문에 특정 사용자의 채널 상태에 따른 무선 파라미터 값들의 변경이 어렵고 MBS 버스트도 주기적으로 나타나므로, MBS 서비스만을 수신하는 단말은 매 프레임마다 MAP 을 해석하지 않고도 동기만 맞추면 MBS 서비스를 제공 받을 수 있다. 즉, Idle 모드에서도 MBS 서비스를 제공 받을 수 있다. 이를 위해 MBS MAP 을 정의하였다

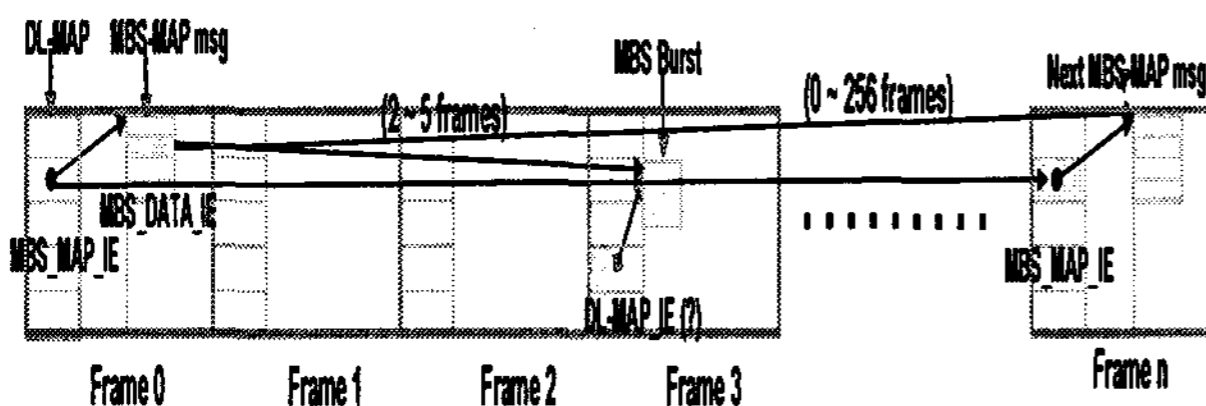


그림 3. OFDMA 프레임 내의 MBS 버스트 할당

WiBro 에서 MBS 전송은 그림 3 과 같이 MBS MAP 메시지에 의해 할당되는데, 한 프레임에서 하향링크의 자원위치를 알려주는 DL-MAP 상에 있는 MBS_MAP_IE 가 MBS-MAP 메시지의 위치를 알려준다. MBS-MAP 메시지는 단말이 2-5 frame 이후에 수신할 MBS 버스트 무선자원에 대한 액세스 정보를 제공하며, 최대 256 frame 이후에 수신할 Next MBS-MAP 메시지에 대한 정보를 제공한다.

MBS 서비스가 제공중인 동안 단말은 상향링크 (Uplink, UL)로의 채널정보 송신이 제한될 것이며 이에

따라 Beamforming 에 필요한 Weight Vector 계산의 부정확성으로 인하여 Beamforming 성능이 열화될 수 있다.

4. Network Deployment

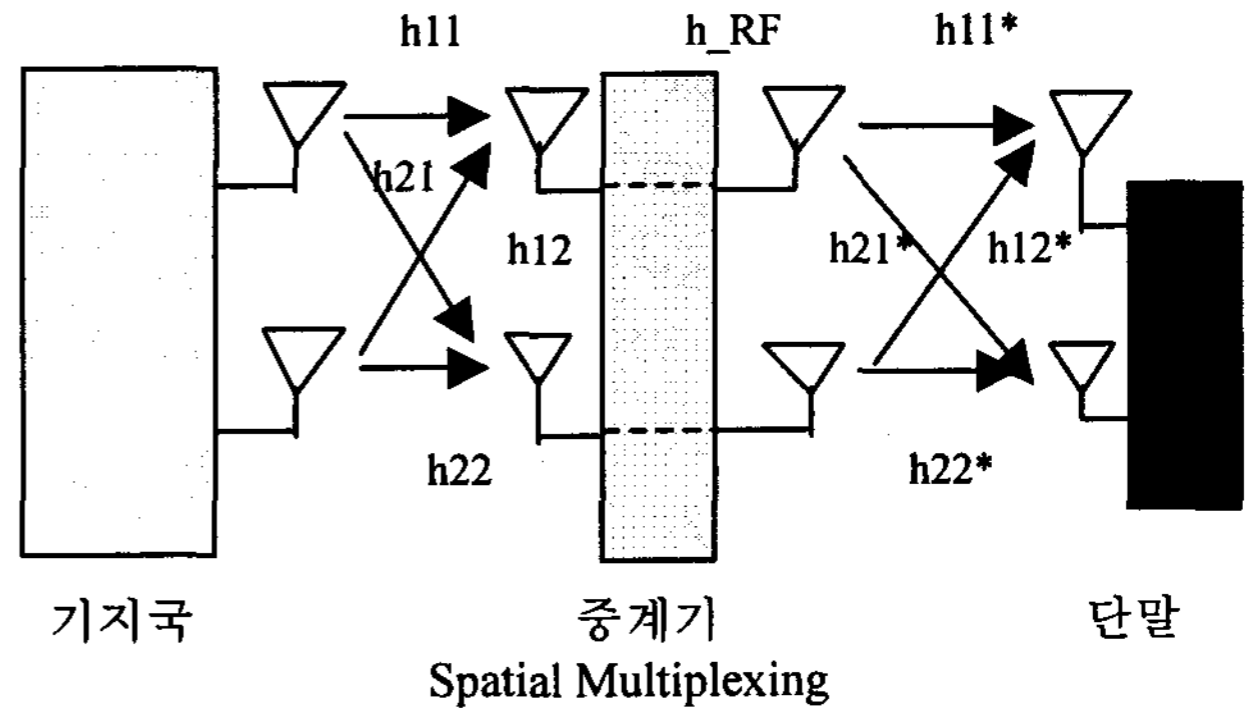


그림 4. 기지국-중계기 혼용망에서의 MIMO 기술

그림 4 는 RF 중계기가 설치된 WiBro 네트워크에서 Spatial Multiplexing 기술이 사용될 경우를 보여주고 있으며 주파수 영역에서의 시스템 모델 표현은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11}^* & h_{12}^* \\ h_{21}^* & h_{22}^* \end{bmatrix} \left[h_{RF} \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} \right] \quad (3)$$

여기서 r 은 단말의 안테나에서 받아지는 수신신호 벡터이며 η 는 백색잡음 벡터를 나타낸다. h 는 안테나 간 채널 계수를 의미한다. 이상에서 살펴본 바와 같이 Data Rate 증가를 위해 사용될 Spatial Multiplexing 기법은 중계기의 RF Chain, 안테나의 복수화를 요구한다. 그러나 이와 같은 scheme 은 중계기 장비의 새로운 개발을 요구할 뿐만 아니라 잡음 성분의 증가에 의한 Spatial Multiplexing 기술의 성능 저하 등이 기술적 이슈로 제기될 것으로 보인다.

5. MIMO Mode Selection

MIMO mode 선택은 Link Reliability 를 높이기 위한 Space-Time Block Coding (STBC)계열과 Data Rate 을 높이기 위한 Spatial Multiplexing (SM) 기술의 선택 문제로 좁혀진다. STBC 구조는 Signal diversity 효과를 통해 Link Reliability 는 높일 수 있지만 SM 기법에 비해 Data Rate 증가는 꺾이기 어렵다. 반면, SM 기법은 각 송신 안테나를 통해 동시에 많은 데이터를 보낼 수 있어 DATA RATE 을 증가시킬 수 있으나, LOS (Line of Sight) 성분이 큰 Rician Fading Channel 환경 하에서는 Rank Deficiency 발생에 의해 심각한 성능저하를 겪을 수 있다. 따라서 채널 상황을 반영하여 위에서 설명한 두 가지 기술의 장점을 고려한 Adaptive Switch Scheme 구조가 적절한 방안이 될 수 있을 것이다. 또한 실질적인 채널 환경인 Partially Correlated Channel 환경을 고려할 때, Adaptive Beamforming 방식과 MIMO 방식을 결합한 통합 구조에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.16e 에서 제공하고 있는

MIMO 와 Adaptive Beamforming 기술을 간단히 소개하고 WiBro 시스템에 적용할 경우에 고려해야 할 다양한 측면의 이슈들에 대해 논하였다. 다중 안테나 기술은 무선 채널 용량의 증대와 커버리지의 확대라는 장점을 제공하며 4 세대 이동통신의 기반 기술로 인정받고 있다. 또한 CDMA2000 1x EV-DO 나 WCDMA, HSDPA 와 같은 기술과의 경쟁 우위를 확보하고, 차세대 이동통신 기술을 선도할 수 있다는 점에서 WiBro 시스템에서 다중 안테나 기술은 선택이라기 보다는 필수라고 볼 수 있다. 그러나 WiBro 시스템에 대한 다중 안테나 기술의 적용은 해결해야 할 많은 고려 사항들을 남겨놓고 있는 상태이다. Beamforming 기술을 적용 할 경우 DL 에서의 Coverage 비대칭 문제, Mobile 채널에서의 Beamforming Delay, MBS 서비스를 제공할 경우 생길 수 있는 Beamforming 성능 열화 등은 반드시 고려되어야 할 issue 라고 여겨진다. 또한, 중계기가 혼용되는 Network 에서의 MIMO 시스템 적용 문제와 Cell Capacity 를 극대화 시키기 위한 smart switching 방법등이 고안되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] IEEE 802.16e "Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," Standard, IEEE, August, 2005.
 [2] G.J.Foschini and M.J.Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Pers. Commun.*, vol. 6, pp. 311-335, 1988
 [3] S.M Alamouti, " A simple transmit diversity technique for wireless communications," *IEEE J. Selec. Areas Commun.*, vol. 16, pp.1451-1458, Oct. 1998
 [4] H. Jafarkhani, "A quasi-orthogonal space-time block code," *IEEE Trans. Comm.* vol. 49, pp.1-4, Jan., 2001



정재호

1994년 중앙대학교 전자공학과 (공학사). 2001년 University of Minnesota at Twin Cities 전기 및 컴퓨터공학과 (공학석사). 2001 ~ 2005 삼성전자 디지털 미디어연구소. 2005 ~ 현재 KT 인프라연구소 재직 중. 관심분야는

MIMO, OFDM, 이동통신 시스템 등.



차용주

1989년 강원대학교 전자공학과 (공학사). 1992년 강원대학교 전자공학과 (공학석사). 2002년 강원대학교 전자공학과 (공학박사). 1992년~현재 KT 인프라연구소 재직중. 관심분야는 휴대인터넷,

멀티캐스트.



노재훈

1994년 순천향대학교 전산통계학 (이학사). 2000년 고려대학교 대학원 전산학 (공학석사). 2006년 LG-Nortel 연구소. 2006년~현재, KT 인프라연구소 재직 중. 관심분야는 WiBro,

Handover, MAC Protocol.