차세대 이동통신에서의 스마트 안테나 기술

홍준표 · 염재흥 · 이효진

LG 텔레콤 기술연구소

요 약

차세대 이동 통신은 기존의 음성 서비스뿐만 아니라 훨씬 높은 용량을 필요로 하는 고품질 멀티미디어 서비스를 제공하여야 하므로 기지국의 용량을 획기적으로 증가시키는 스마트 안테나 기술이 요구되고 있다. 스마트 안테나에 대한 논의가 IMT-2000 표준화에서 활발히 이루어지고 있으며 실시간 적응 알고리즘을 장착한 스마트 안테나 제품들이 상용화되어 출시되고 있는 시점이다. 본고에서는 차세대 이동 통신 기술로 각광 받고 있는 스마트 안테나 기술의 개념, 스마트 안테나의 종류, 적응 신호 처리 알고리즘, 스마트 안테나의 IMT-2000 표준화 동향 그리고 적용 사례들을 기술하고자 한다.

Ⅰ. 서 론

안테나 송수신 패턴을 변경하는 기술은 1950년대 중반에 적응 안테나(Adaptive Antennas) 개념으로 시작되어 1960, 70년대에는 레이더, 소나 및 항공기에 탑재된 적응 안테나 시스템으로 발전되어 왔다. 이러한 기술들이 무선 용량 및 품질 개선을 위하여 무선 이동통신 기술과 접목되면서 스마트 안테나로 불리어졌다.

이동통신시스템의 성능 및 용량은 신호의 경로 손실, 다중경로 페이딩, 시간 지연, 도플러 확산 및 음영현상 등의 무선 전파채널 특성과 동일채널 간섭신호에 의해 근본적으로 제한된다. 또한 기존의 이동통신 기지국에서는 각 섹터마다 고정된 방향성 빔 안테나를 이용함으로써 동일 섹터 영역에 있는 모든 사용 가입자들이 상호 큰 간섭을 받게 된다. 이러한 점을 개선하기 위하여 스마트 안테나 기본 개념이 탄생되었다. 고정된 방향으로 방사 빔을 형성하는 대신 배열 안테나에 입사하는 신호의 도래 방향에 기초하여 해당 가입자에게만 지향성의 빔을 방사한다. 따라서 동일 섹터 내에서 서비스를 받고 있는 전 가입자에게 간섭의 효과를 최소화함으로써 통신 품질과 시스템 채널 용량을 높일 수 있다.

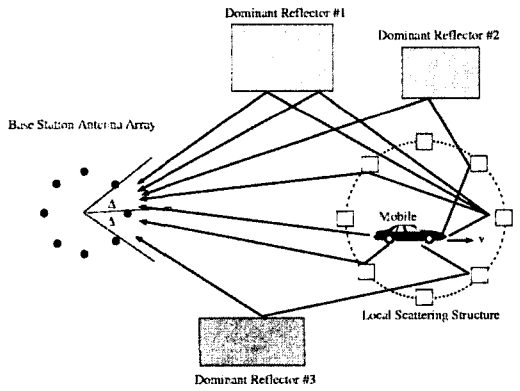
차세대 이동통신시스템의 경우 기존의 개인휴대통신과 달리 높은 무선 용량을 필요로 하는 고품질의 멀티미디어 통신 서비스 제공을 요구 받고 있으며, 음성서비스 조차도 고품질이 요구되고 있다. 또한 차세대 이동통신에서는 음성 서비스, 저속 및 고속 데이터 그리고 실시간 및 비실시간 데이터 등 여러 가지 형태의 서비스 신호가 혼재하게 되는 특성이 있다. 고속의 멀티미디어 서비스는 높은 송신 출력과 전송 대역폭을 요구하게 되고, 따라서 개인휴대통신 서비스에 비하여 상대적으로 서비스 불가지역이 커지게 될 가능성이 높다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 송수신 안테나의 방향성을 높여주어 신호 품질을 개선하여야 한다. 그러나 이는 다른 서비스 사용자에 큰 간섭신호로 작용하게 되므로 해당 서비스 사용자에게는 방향성을 높이고 다른 서비스 사용자에게는 간섭을 최소화시키는 방안이 필수적이다. 이러한 요구사항에 대한 해결책으로 스마트 안테나의 연구, 개발 및 상용화가 진행되고 있다.

Ⅱ. 스마트 안테나 기술

2-1 이동 통신 채널 환경

사용자의 이동과 주변 지형 지물에 의하여 무선 전파환경이 계속적으로 변하게 된다. 일반적으로 무선전파특성은 기지국으로부터 거리에 따라 감소하는 경로 손실(Path Loss), 지형 지물에 의하여 가려져서 발생하는 음영(Log Normal Slow Fading)과 이동체의 이동과 주변 지형의 반사에 의해서 빠르게 변화하는 다중경로 페이딩(Multi-Path Fast Fading)으로 나눌 수 있다. 다중경로의 각 성분들은 지형 지물의 반사에 의한 지연 시간을 가지면서 수신되는데 각 경로 성분은 여러 각도를 갖는 신호들로 이루어진다. [그림 1]은 다중 경로 중 한 경로의 신호가 평균각(θ)에서 일정한 범위의 각 퍼짐(Δ)을 가지고 수신되는 것을 보여주고 있다[1]. 이러한 무선전파 환경은 셀용량을 근본적으로 제한하게 된다. 따라서 현재 이동통신 시스템은 무선전파환경에 의한 성능 및 용량 제한현상에 대한 보상기술로 전력제어, 채널 코딩, RAKE 수신, 다이버시티 안테나, 셀의 섹터화의 기술을 이용하고 있다.

이동통신시스템은 무선전파환경에 의해서 성능저하가 일어날 뿐만 아니라 동일채널 간섭과 타사용자의 간섭에 의해서도 셀 용량의 한계를 가져온다. CDMA방식의 순방향 링크에서 동일 주파수를 갖는 모든 이웃 셀의 송신 전력이 사용자에게 간섭으로 작용하고 동일 셀의 다중 경로 중 다른 지연경로의 성분들이 사용자에게 간섭으로 작용하게 된다. 역방향 링크에서는 PN코드를 이용하여 사용자를 구분하므로 동일 주파수의 이웃 셀과 동일 셀의 모든 사용자가 간섭으로 작용하게 된다. 이러한 무선전파환경과 간섭 신호로 인한 셀 용량의 한계를 극복하기 위하여 스마트 안테나 기술이 이용되고 있다.

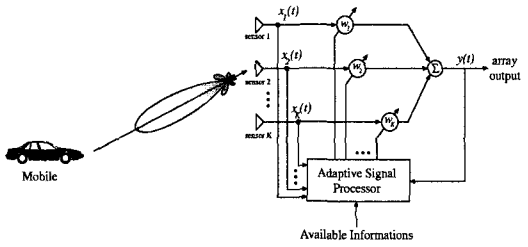


[그림 1] 무선 전파 환경

2-2 스마트 안테나 개념

섹터 안테나와 다이버시티 안테나는 빔 패턴이 고정되어 있어 안테나에 의해 정해진 방향에 있는 모든 사용에게 빔 이득을 제공한다. 따라서 안테나의 방향에 있는 간섭신호도 증폭되어 간섭량이 증가되는 문제가 발생된다. 스마트 안테나는 기저대역의 적응신호처리기를 이용하여 원하는 신호 방향으로는 최대 이득의 빔을 형성하고 간섭신호 방향으로는 Null을 형성하도록 사용자마다 다른 빔 패턴을 제공하는 기술이다. 스마트 안테나는 배열 안테나로 들어오는 신호들을 입력으로 받아서 적응신호처리기가 각 사용자에 해당하는 최적의 웨이트 벡터를 스냅샷마다 갱신하여 송수신 신호에 곱하여 처리한다. 스마트 안테나가 동작하기 위해서는 적응신호처리기가 실시간으로 최적의 웨이트를 찾을 수 있어야 하고 안테나마다 RF처리부가 장착되어 있어야 한다. [그림 2]는 스마트 안테나 시스템이 배열 안테나의 입력 신호에 빔형성 웨이트를 곱하여서 사용자의 이동 방향으로 빔을 형성하는 것을 보여주고 있다.

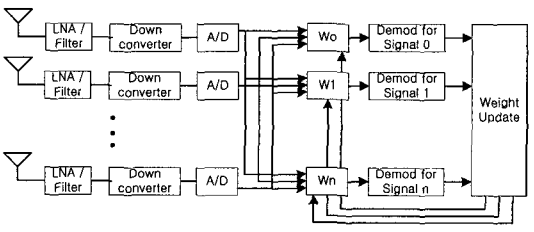
다중경로 페이딩인 경우에는 각 성분들이 독립적 페이딩을 겪으면서 일정한 각도 퍼짐를 가지고 수신되므로 Beamformer가 RAKE 수신기의 각 Finger



[그림 2] 스마트 안테나의 개념도

마다 설치되어서 빔을 형성하여야 한다[2],[3].

음성서비스 사용자가 많은 통신 환경에서는 역방향 링크가 셀용량의 한계를 결정하게 되므로 수신 스마트 안테나는 타사용자 간섭 신호제거에 의한 셀용량 확장을 가져올 수 있다. 수신 스마트 안테나는 역방향 링크의 수신기에 적용되어 사용자마다 최적의 빔형성 웨이트를 계산하여 수신 신호에 곱하여줌으로써, SINR을 향상시켜 주는 방법이다. [그림 3]은 수신 스마트 안테나의 구조를 보이고 있다. 역방향 신호들은 배열 안테나로 입력되어 LNA에서 증폭된 후에 주파수 Down Converting되고 기저대역의 디지털 신호로 변환된다. 이어서 입력 신호들은 스마트 안테나 모듈에 입력되어 적응신호처리기에서 구하여진 빔형성 웨이트와 곱하여진 후에 Finger 모듈로 들어가서 복조가 이루어진다. 수신 스마트 안테나 시스템은 셀용량 증대의 효과를 가져오지만 수신 안테나마다 LNA, Down Converter 등의 RF 부품들을 필요로 하므로 기존 기지국 시스템보다 비용이 증가하게 된다.



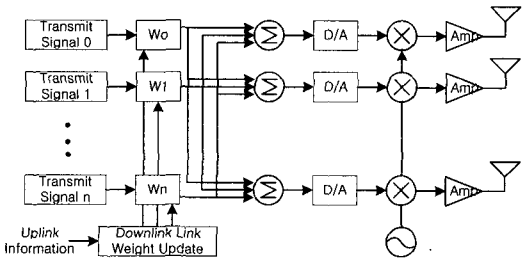
[그림 3] 수신 스마트 안테나 구조도

차세대 이동통신에서 무선 멀티미디어 서비스의 증가에 따라 동일 채널 간섭의 증가와 통화품질의 저하로 인하여 전력을 효율적으로 사용할 필요가 대두되었다. 이를 극복하고자 송신 스마트 안테나를 사용하는 추세가 되고 있다. 송신 스마트 안테나 처리 과정을 살펴보면 적응신호처리기는 각 사용자의 빔형성 웨이트 벡터를 구하여 송신 신호에 곱하고 이후 웨이트 벡터가 곱하여진 신호들은 섹터별로 더하여져서 RF 신호로 변조된 후에 Power Amplifier를 통하여 전송된다.

빔형성 웨이트를 구하는 방식에 따라서 2가지 방법으로 나뉜다.

첫째, 순방향 링크의 무선전파환경이 역방향 링크와 동일하다고 가정하고 역방향 링크에서 구한 웨이트 벡터를 송신 스마트 안테나에도 동일하게 적용하는 방식인데 TDD에서는 가능하나 FDD에서는 정확성이 떨어진다.

둘째, 역방향 링크로 웨이트 벡터에 관한 정보를 Feedback 받은 후에 FBI(Feedback Information)을 이용하여 송신단에서 빔형성 웨이트 벡터를 만드는 방법이다. 이 방법은 물리계층 채널에 정의되어 있어야 적용할 수 있으므로 구현에 제한이 따른다. 3GPP 표준에서는 FBI에 관하여 물리계층에서 정의를 하고 있다. 송신 스마트 안테나도 안테나마다 RF 처리부와 Power Amp.가 요구되므로 비용 증가가 발생한다. [그림 4]는 FBI 정보를 이용한 송신 스마



[그림 4] 송신 스마트 안테나 구조도

트 안테나의 구조를 보이고 있다.

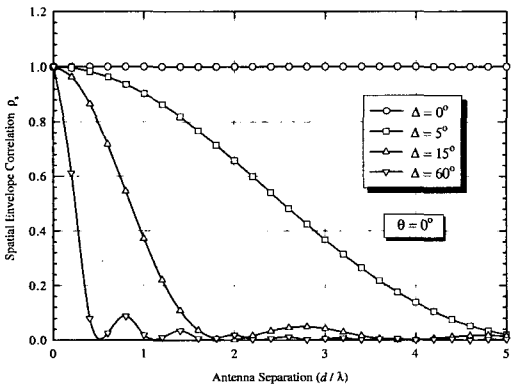
2-3 스마트 안테나와 다이버시티 안테나의 비교

공간 다이버시티는 다수의 안테나가 서로 독립 경로를 겪게 함으로써 한 안테나의 경로 신호가 감쇄되더라도 다른 안테나의 동일 신호와 결합함으로써 수신 전력을 일정하게 유지하는 방식이다.

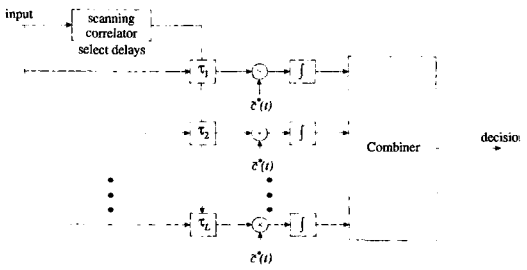
공간 다이버시티는 독립적인 경로를 겪도록 안테나의 간격을 떨어뜨림으로써 안테나간의 상관성을 낮게 하지만 스마트 안테나는 안테나간의 상관성을 높게 하여 동일한 전파 환경을 겪도록 한다. [그림 5]는 수신 각도 퍼짐과 안테나간의 거리에 따른 안테나간의 상관성을 보여주고 있는데 안테나간의 거리가 멀어질수록 안테나 신호의 상관성이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 스마트 안테나는 일반적으로 안테나간의 간격을 $\lambda/2$로, 다이버시티 안테나는 안테나간의 간격을 10λ 이상으로 사용한다.

2-4 Beamformer RAKE 수신기

기존의 CDMA 시스템의 RAKE 수신기는 다중 경로를 겪은 신호 성분을 칩 해상도로 분해해서 지



[그림 5] 안테나 간격과 안테나간의 상관성



[그림 6] 기존 다중 경로 CDMA RAKE수신기

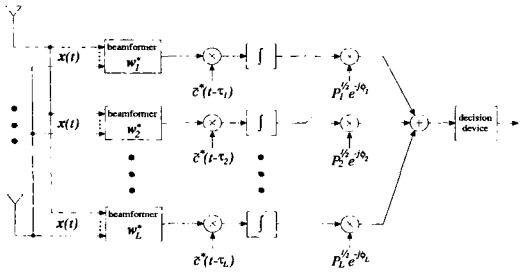
연 시간을 구하여 역확산을 하고 각 경로 성분을 결합하여 Maximal Ratio Combining이득을 얻는다. 즉 기존의 RAKE 수신기는 지연 시간으로 다중 경로를 나누어서 복조하는 시분할 방식이었다.

[그림 6]은 기존의 시분할 방식 RAKE 수신기의 동작을 보여준다[4]~[7].

Beamformer-RAKE 수신기는 시간적으로 다중 경로 성분을 나누는 시분할 RAKE 수신기 뿐만 아니라 수신 각도에 의해서도 공간적으로 사용자를 구분하는 공간 RAKE 수신기를 추가하고 있다. Finger마다 입사하는 신호의 지연 시간과 각도가 다르므로 Beamformer-RAKE 수신기는 Finger 마다 빔 형성 웨이트 벡터를 곱해서 빔 패턴을 형성하고 Finger에 의한 복조후에 각 성분들을 Combining 하는 장치이다. Beamformer는 실시간 적응 빔 형성 웨이트 벡터를 계산하기 위하여 계산량이 적고 Training 신호가 불필요한 Blind 빔 형성 알고리즘을 이용하여야 한다. Beamformer-RAKE 수신기는 적응 배열 안테나의 빔 형성에 의한 이득과 시분할 RAKE 수신기의 MRC 이득을 동시에 얻을 수 있다. [그림 7]은 QPSK 신호에 대한 Beamformer-RAKE 수신기 구조를 보여주고 있다.

2-5 스마트 안테나 알고리즘

고정빔 스마트 안테나 알고리즘은 신호가 강한



[그림 7] Coherent Combining을 갖는 QPSK Beamformer-RAKE 수신기

방향을 찾아 그 방향의 빔을 선택하는 것이므로 복잡한 알고리즘이 필요 없지만 적응빔 스마트 안테나 알고리즘은 적응 신호처리 알고리즘을 이용하여 발전하여 왔다.

첫째, DOA에 기반을 둔 알고리즘은 신호의 입사방향을 입사각 추정 알고리즘(MUSIC, ESPRIT, WSF)에 의해서 DOA를 찾은 후에 최대 SINR 빔형성 방법, ML 빔형성 방법, MMSE 빔형성 방법을 통해서 원하는 입사각으로는 최대 이득의 빔을 형성하고 이외의 신호에는 Null을 형성하는 방법이다. DOA에 기반을 둔 알고리즘은 좋은 성능을 보이지만 DOA를 찾는 알고리즘이 복잡하여 실시간 구현의 문제가 있고 안테나의 개수가 신호원보다 많아야 하므로 적용상의 어려움이 있다[8]~[10].

둘째, Training 신호를 이용하는 알고리즘으로 빔형성기의 출력과 Training 신호의 MSE가 최소가 되는 웨이트 벡터를 구하는 방식(Wiener-Hopf)이다. 송신기에서 Training 신호를 계속 전송해야 된다는 단점이 있다[11],[12].

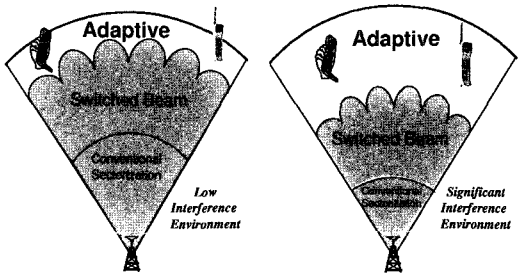
셋째, Blind 스마트 알고리즘은 입사각도를 찾지 않고 Training 신호의 정보없이 사용자 신호의 각도로는 최대 이득의 빔을 형성하고 간섭 신호들에는 Null을 형성하는 방법이다. CDMA시스템에서는 역확산하기 전에 모든 신호들이 작은 신호 세기를 갖지만 역확산 후에는 사용자의 신호가 다른 간섭신호보다 큰 신호세기를 갖는 성질을 이용하여 웨이트 벡터가 구해질 수 있다. 즉 역확산 이전의 자기상관 행렬과 역확산 이후의 자기 상관행렬을 이용하여 사용자의 입사각으로는 빔을 형성하고 간섭신호방향으로는 Null을 형성하는 최적의 웨이트 벡터를 구하는 방식이다[13]~[15].

2-6 스마트 안테나 종류

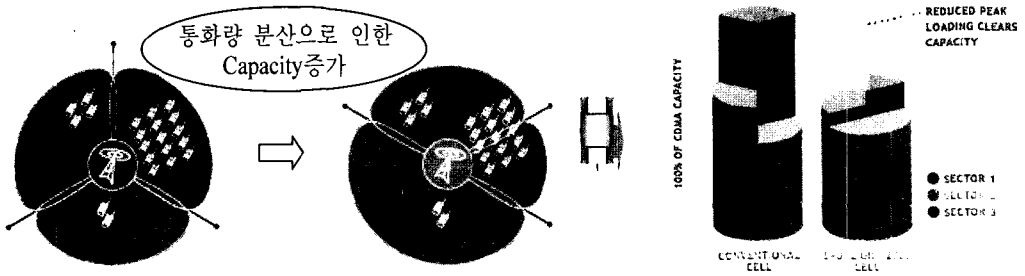
스마트 안테나의 종류는 고정빔 스마트 안테나, 적응빔 스마트 안테나와 응용된 고정빔 스마트 안테나로 나눌 수 있다[16].

고정빔 스마트 안테나는 수신 신호의 각도를 구한 후에 미리 정하여진 빔 중에서 하나의 빔으로 송수신하게 된다. 적응 빔 스마트안테나는 각 사용자마다 위에서 언급한 빔 형성 알고리즘을 이용하여 웨이트 벡터를 구해야 하나 고정 빔 안테나는 미리 정하여진 웨이트 벡터에서 하나를 선택하는 방식이므로 알고리즘은 간단하여 실시간 구현이 가능하다. 그러나 사용자에게 정확한 빔 형성을 할 수 없고 빔 사이를 지나갈 때 빔 이득이 줄어들고 간섭 신호를 정확하게 Nulling을 할 수 없는 문제점들이 있다.

적응 빔 스마트 안테나는 사용자마다 복잡한 빔 형성 알고리즘이 사용되나 사용자의 신호를 증폭시키고 간섭 신호를 Nulling함으로써 셀 용량을 향상시킨다.



[그림 8] 고정 빔 안테나와 적응 빔 안테나의 용량 비교



[그림 9] 고정 빔 스마트 안테나의 응용

[그림 8]은 고정빔 스마트 안테나와 적응빔 스마트 안테나의 용량을 보여주고 있는데 간섭량이 적은 경우에는 고정빔 스마트 안테나는 사용자의 위치로 정확한 빔을 형성하지 못하므로 적응빔 스마트 안테나에 비해 약간 용량이 작게 나타나지만 간섭량이 많은 경우에는 고정 빔 스마트 안테나는 간섭 신호를 Nulling하지 못하므로 셀 용량이 크게 줄어드는 것을 볼 수 있다.

[그림 9]는 고정 빔 스마트 안테나의 응용된 형태로 기존 고정 빔 형태에서 섹터간에 빔을 Switching함으로써 섹터간의 통화량 분산으로 인하여 호용량을 분배하는 방식이다. 특정 섹터에 Traffic이 많을 경우 섹터 안테나 빔의 일부를 다른 섹터로 Switching함으로써 섹터간의 통화량을 분산함으로써 용량을 증가시킬 수 있다. [그림 9]의 왼쪽 그림은 섹터간의 불균형 호를 안테나의 섹터 각도 변화에 의하여 섹터간 호 균형을 이룬 상태를 보이고 있으며, 오른쪽 그림은 호용량 분배에 따라 특정 섹터의 과다한 Loading이 감소된 형태를 보이고 있다.

Ⅲ. 스마트 안테나 적용

3-1 스마트 안테나의 표준화 동향

* 3GPP2

동기식 IMT-2000표준화 기구인 3GPP2에서는 현재 스마트 안테나 관련기술이 표준에 명시되어 있지 않지만 CDG(CDMA Development Group)에서는 활발히 논의되고 있다. 단, 가입자가 밀집된 지역이나 고속 데이터 통신이 빈번한 특정 지역에서 고정 빔 스마트 안테나를 적용할 수 있도록 Auxiliary Pilot 채널이 명시되어 있다. 단말기에 수신 다이버시티 기능 적용할 경우에 생기는 복잡성, 전력 소모의 증가 등의 문제들로 인해 송신 다이버시티 기술이 표준화에 명시되었다. OTD(Orthogonal Transmit Diversity)방식과 STS(Space Time Spreading) 방식이 표준화에 명시되어 있는데 OTD는 두 안테나간에 다른 심볼을 직교하게 보냄으로써 심볼들간의 공간 다이버시티 이득을 얻는 방식이고 STS는 두 안테나에 동일 심볼들을 보내면서도 심볼들간에 직교성을 갖게 전송하는 방식으로 공간 다이버시티 이득과 시간 다이버시티 이득을 동시에 얻을 수 있는 방식이다.

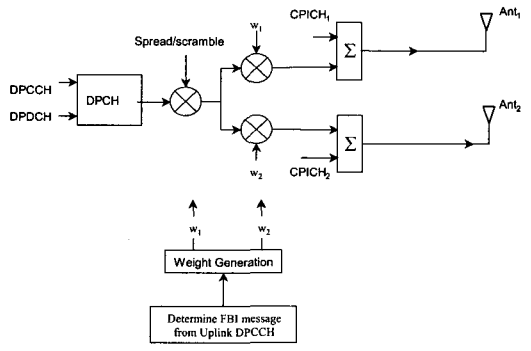
* 3GPP

비동기 표준화 기구인 3GPP에서는 개방루프 모드와 폐루프 모드의 송신 다이버시티 기술이 표준에 명시하고 있다[17]. 개방루프 송신 다이버시티인 STTD(Space Time Transmit Diversity)는 Space Coding기법을 이용하여 심볼간의 직교성을 이용하여 동일 심볼을 다른 안테나와 다른 시간에 전송함

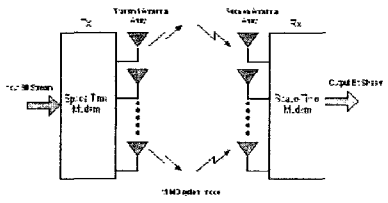
으로 시간 다이버시티 이득과 공간 다이버시티 이득을 얻는 방식으로 업링크로 피드백이 요구하지 않는다.

폐루프 송신 다이버시티인 TxAA(Transmit Adaptive Array)는 기지국의 Pilot 채널과 사용자의 Pilot 심볼을 이용하여 최대 수신 SINR를 갖는 웨이트를 계산하여 업링크로 피드백시켜 주고 기지국은 FBI (Feedback Information)에 실려 있는 정보로 사용자의 웨이트를 계산하여 송신신호에 곱하여 준다. [그림 10]은 폐루프 송신 다이버시티의 구조를 보여주고 있는데 FBI를 이용해서 웨이트를 발생시켜서 곱하여주고 있다. 수신 스마트 안테나를 이용하는 경우에 수신기에서 최적의 웨이트를 구할 수 있지만 송신 스마트 안테나는 다운 링크에 대한 정보를 갖고 있지 못하기에 업링크로 FBI 정보가 요구되어진다. 송신 다이버시티는 다중경로 Fast Fading으로 인해 FBI를 빠르게 갱신시켜 주는 것이 성능을 좌우하게 된다. TxAA는 1500 Hz로 FBI 수신하여 최적의 웨이트를 계산한다.

MIMO(Multiple Input Multiple Output)는 현재 표준화에서 활발하게 진행 중에 있는 기술이다. MIMO는 Hertz당 가용 용량은 송신 안테나와 수신 안테나의 개수가 동일한 경우에 안테나의 개수의 증



[그림 10] DPCH 전송을 위한 폐쇄형 송신 다이버시티 구조



[그림 11] MIMO의 개념도

가에 의하여 선형적으로 증가한다는 샤논 이론에 근거하고 있다. 고속 데이터 전송을 위해서는 주파수 효율적인 변조 방식이 사용되어야 하는데 그러기 위해서는 수신 성능이 향상되어야 한다. MIMO는 여러 개의 송신 안테나를 사용하여 추가적인 대역폭 증가와 전력 증가없이 고속 데이터 전송이 가능하도록 심볼을 코딩하여 전송하고 수신단에서도 여러 개의 안테나를 사용하여 수신 SINR을 향상시키는 방식이다. 송신 안테나의 웨이트 벡터와 수신 안테나의 웨이트 벡터의 조합을 통하여 간섭 신호를 제거하므로 SINR을 향상시킬 수 있다. [그림 11]은 MIMO의 개념도를 보이고 있다.

3-2 스마트 안테나 상용화 사례

Metawave사는 고정빔 스마트 안테나의 응용된 형태인 Spot Light(섹터 각도 변화에 의한 용량 조절 방식) 방식과 적응빔 스마트 안테나인 Smart Beam Synthesis(for 3G BTS) 방식을 개발중에 있다. Spot-Light 방식은 이미 개발 완료되어 모토로라, 루슨트 등의 장비에 이미 적용했으며, 3섹터로 구현했을 경우 50 %, 6섹터로 구현했을 경우 80 %의 효용량 증대 효과를 나타내고 있다.

Smart Beam Synthesis 방식은 Traffic 각각에 대한 Weight 벡터 부과를 요구하는 알고리즘 소프트웨어 및 송신 다이버시티 방식의 모델 개발 중에 있다.

ArrayComm은 적응빔 스마트 안테나의 형태로 Dense Urban Site와 Light Urban Site에서의 시험한

결과에 따르면 Dense Urban은 2.7배, Light Urban에서는 3.7배의 용량 증대를 나타내고 있다고 발표한 바 있다[18].

Ⅳ. 결 론

본고에서는 고속 패킷 데이터 서비스와 가입자 수요의 증가로 인한 셀 용량의 한계를 극복할 수 있는 스마트 안테나 기술에 대하여 살펴보았다. CDMA 시스템에서 실시간으로 구현할 수 있는 Blind 스마트 안테나 알고리즘들이 발표되었고, 스마트 안테나 시스템은 Beamformer와 RAKE 수신기를 결합하여 빔형성으로 인한 이득과 MRC로 인한 이득을 동시에 얻을 수 있음을 보았다. 순방향 링크에서는 고속 패킷 데이터 서비스를 가능하게 하는 방향으로 전개되고 역방향 링크에서는 신호대 간섭비를 향상시켜서 사용자의 용량을 향상시키는 방향으로 스마트 안테나 기술이 적용되고 있다.

미리 정하여진 빔 중에서 원하는 각도의 빔을 선택하는 고정 빔 스마트 안테나 방식과 사용자마다 웨이트 벡터를 갖게 하여 빔을 형성하는 적응빔 스마트 안테나 방식을 비교하여 적응 빔 스마트 안테나가 구현상의 어려움은 있지만 정확한 빔 형성으로 사용자 신호 증폭과 간섭 신호 제거로 인한 더 높은 셀 용량을 갖게 됨을 보았다.

3GPP2에서는 Spot Beam를 위한 Auxiliary Pilot을 정의하고 CDG에서 스마트 안테나에 관한 논의가 진행 중이고 3GPP에서는 폐루프 송신 다이버시티인 TxAA를 명시하였고 MIMO기술의 표준화가 활발하게 진행 중에 있다.

현재 고정빔 스마트 안테나 제품들은 출시되고 있으나 배열 안테나의 설치로 인한 비용 증가로 인해서 상용망에 적용하는 데 어려움을 겪고 있다. 비용 증가의 문제가 해결되고 스마트 안테나 기술의 안정성이 확보된다면 차세대 이동 통신에서 스마트 안테나의 상용화가 더욱 가속화 될 것으로 예측된다.

참 고 문 헌

[1] J. Salz, J. H. Winters, "Effect of Fading Correlation on Adaptive Arrays in Digital Mobile Radio", *IEEE Trans. Veh.*, vol. VT-43(4).

[2] B. Suard, A. Naguib, G. Xu and A. Paulraj, "Performance Analysis of CDMA Mobile Communication Systems using Antenna Arrays", *in Proc. ICASSP'93*, vol. VI, (Minneapolis, MN), pp. 153-156, April 1993.

[3] A. Naguib, A. Paulraj, "Performance of CDMA Cellular Networks with Base Station Antenna Arrays", *in Proc. International Zurich Seminar on Digital Communications*, (Zurich, Switzerland), pp. 87-100, March 1994.

[4] M. Kavehrad, P. McLane, "Performance of Low Complexity Channel Coding and Diversity for Spread Spectrum in Indoor Wireless Communications", *AT&T Technical Journal*, vol. 64, pp. 1927-1964, October 1985.

[5] U. Grob, A. L. Welti, Z. Zollinger, R. Kung and H. Kaufmann, "Micro-Cellular Direct-Sequence Spread-Spectrum Radio System Using N-path RAKE receiver", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. JSAC-8(5), pp. 772-780, May 1990.

[6] R. E. Kane, K. S. Gong and R. R. Kurth, "Performance of a RAKE Demodulator with Pre-decision Multipath Thresholding", *in Proc. MILCOM'90*, pp. 1025-1029, May 1990.

[7] A. Higashi, T. Matsumoto, "Combined Adap-

tive RAKE diversity (ARD) and Coding for DPSK DS/CDMA mobile Radio", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. JSAC-1(7), pp. 1076-1084, September 1993.

[8] S. Anderson, M. Millnert, M. Viberg and B. Wahlberg, "An Adaptive Array for Mobile Communication Systems", *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. VT-40(1), pp. 230-236, February 1991.

[9] T. Ohgane, T. Shimura, N. Matsuzawa and H. Sasaoka, "An Implementation of a CMA Adaptive Array for High Speed GMSK Transmission in Mobile Communications", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-42(3), pp. 282-288, August 1993.

[10] R. O. Schmidt, *A Signal Subspace Approach to Multiple Emitter Location and Spectral Estimation.* Ph. D thesis, Stanford University, Stanford, CA94305, 1981.

[11] J. H. Winters, "Signal Acquisition and Tracking with Adaptive Arrays in Wireless Systems", *in Proc. 43rd Vehicular Technology Conf.*, vol. I, pp. 85-88, November 1993.

[12] J. H. Winters, "Signal Acquisition and Tracking with Adaptive Arrays in Digital Mobile Radio System IS?4 with Flat Fading", *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. VT-2(4), pp. 377-384, July 1993.

[13] S. U. Pillai, *Array Signal Processing.* New York, NY: Springer Verlag, 1989.

[14] S. Verdu, "Minimum Probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple Access Channels", *IEEE Trans. Inform.* Theory, vol. 32(1), pp. 85-96, January 1986.

[15] S. Verdu, "Multiuser Detection", *in Advances in Signal Processing* (H. V. Poor and J. B. Thomas, eds.), vol. 2:Signal Detection, pp. 369-409, Greenwich, CT: JAI Press, 1992.

[16] David Nowicki, Jill Roumeliotos, ArrayComm, "Smart Antenna Srategies", *As seen in Mobile Communications Int'l,* April 1995.

[17] 3GPP TS 25.214 v3, "Physical layer procedures(FDD)".

[18] *2001 Wireless Technology Forum*, 2001 In Vancover, 30 April.

≡필자소개≡

홍 준 표

1997년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월~현재: LG 텔레콤 기술연구소
[주 관심분야] 스마트 안테나, CDMA RF 기술

염 재 흥

1995년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
1997년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
1997년 2월~2001년 12월: 삼성전자 통신 연구소
2002년 1월~현재: LG텔레콤 기술연구소
[주 관심분야] 이동통신시스템기술, 적응 신호처리

이 효 진

1983년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1984년 2월: 한국과학기술원 통신공학과 (공학석사)
1989년 2월: 한국과학기술원 통신공학과 (공학박사)
1984년 9월~1986년 7월: 금성전기
1986년 8월~1996년 7월: LG정보통신
1996년 8월~현재: LG텔레콤 기술연구소장
[주 관심분야] 이동통신시스템기술