

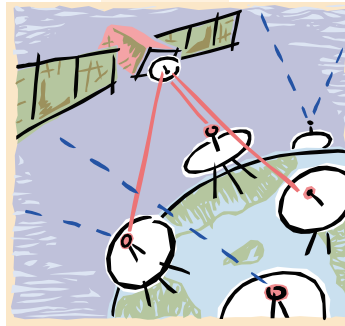
스마트 안테나

머리말

무선 통신환경에서의 전파전파는 다중경로에 의해 직접파뿐만 아니라 다수의 반사파와 회절파가 수신되며 이로 인해 페이딩이 발생된다. 이동통신 시스템의 경우 성능 및 용량이 동일채널 간섭, 경로손실, 다중경로 페이딩, 도플러 확산 및 음영현상 등의 무선 전파채널 특성에 의해 제한된다. 또한, 기존의 안테나는 빔 패턴이 고정되어 있어 안테나에 의해 정해진 방향에 있는 모든 사용자에게 동일한 이득을 제공한다. 따라서, 안테나 방향에 있는 간섭신호도 증폭되어 간섭량이 증가되는 문제가 발생한다. 이러한 무선 전파환경과 간섭문제를 극복하기 위하여 스마트 안테나 기술이 이용되고 있다.

스마트 안테나 기술은 여러 개의 안테나 소자를 배열하여 예리한 지향성을 얻으며 지향성 빔을 조절하여 원하는 방향으로는 최대의 이득을 제공하고 다른 방향으로는 상대적으로 훨씬 작은 이득을 줌으로써 간섭을 억제하는 효과를 얻는다. 즉, 스마트 안테나 시스템은 배열 안테나와 첨단 고성능 디지털 신호처리 기술을 이용하여 RF 신호 환경의 변화에 따른 적응적 안테나 빔 패턴 제어에 의해 송수신 성능 및 용량의 극대화를 가능케 하는 기술이다. 이런 장점으로 인해 차세대 이동통신(4G)의 핵심기술로 채택됐고, 와이브로, 무선랜, GPS, 디지털 TV 등 거의 모든 무선통신분야에서 연구개발 및 상용화되고 있다.

스마트 안테나는 1950년대 중반에 적응 안테나 개념으로 시작되어 1960, 70년대에는 레이더, 소나 및 항공기에 탑재한 적응 안테나 시스템 위주로 개발됐다. 1980년대에 스마트 안테나의 이론과 실제가 정리됐고, 1990년대 초부터 이동통신 기지국 및 단말기 등에 적용되기 시작했다.



무선 전파 환경

전자기파는 전파를 포함하여 적외선, 가시광선, 자외선, X선, γ선, 우주선 등을 총칭한다. 이중 전파는 주파수 3KHz에서 300GHz까지의 전파를 말한다.

전파의 전파특성은 직진성이 있으며, 전파구간에 산이나 언덕, 인공구조물 등의 장애물이 있으면 반사, 회절, 굴절, 산란 등의 현상이 일어난다. 자유공간에서의 전파손실은 다음과 같다.

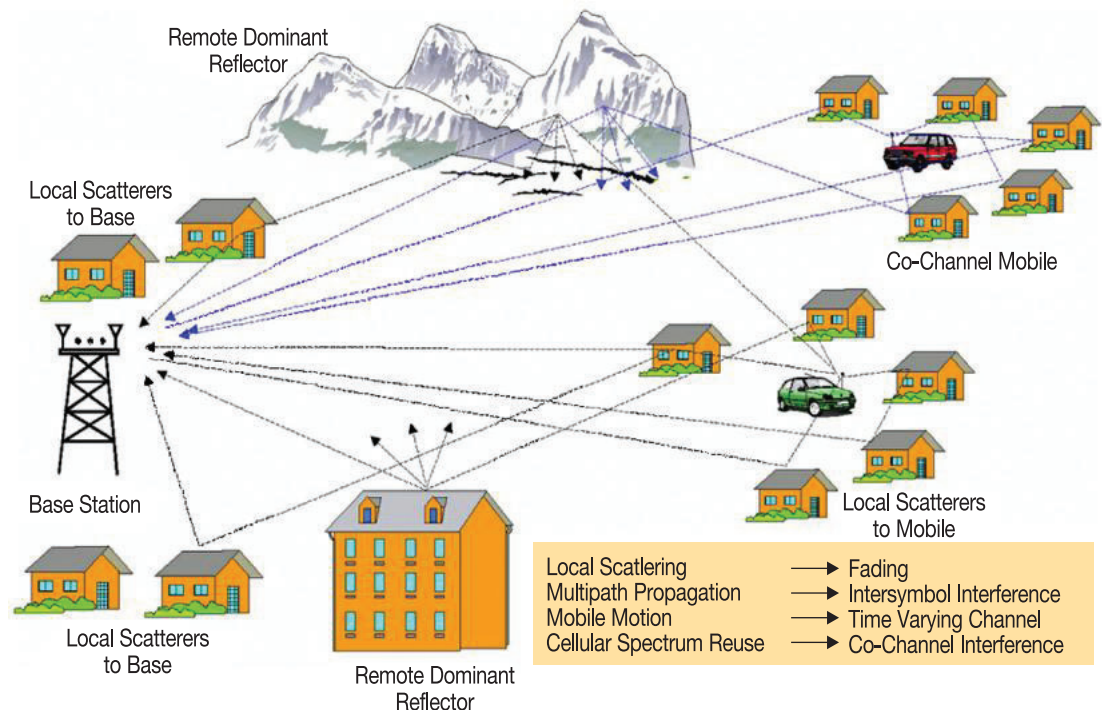
$$Pr = Pt \times Gt \times Gr \times \lambda^2 / (4\pi d)^2$$

(Pr:수신전력, Pt:송신전력, Gt/Gr:송수신 안테나 이득, d:송신기기 간 거리)

직진파에 의한 통신은 주로 위성통신에 적용되고 지상에서의 전파통신은 직진경로만으로 이루어지는 경우는 드물다. 지구는 둥글고 평원도 있지만 산이나 언덕, 구릉, 인공구조물 등의 장애물로 인해 전파의 반사나 회절이 생기며, 이로 인해 전파의 수신세기는 거리의 3~5승에 반비례하여 전파 수신 범위는 크게 줄어든다.

지형에 따른 전파특성 외에도 주파수에 따라 전파의 특성이 달라진다. 주파수가 낮은 전파는 지표면을 따라 잘 전파되는 특징이 있어 비교적 먼 거리까지 전파될 수 있다. 장·중파는 지표파와 전리층 반사파로 전파된다. 단파의 경우 지표파는 감쇠가 심하고 전리층 반사파로 전파되며 F층 반사로 인해 원거리 통신이 가능하다. 초단파대 이상의 주파수는 직접파를 기본으로 한다. 초단파대 이상의 주파수를 이용하는 무선 통신환경에서의 전파전파는 송신기로부터 수신기까지 전파가 도달하는 동안 수많은 경로를 거치게 되므로 직접파뿐만 아니라 다수의 반사파와 회절파가 수신된다.

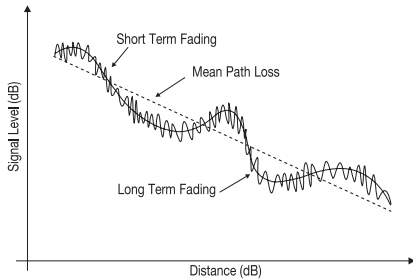
이들 신호는 수신안테나에서 벡터적으로 더해지며 이렇게 더해진 신호는 각 입사신호의 위상차 및 위상지연 분포에 따른 보강간섭이나 상쇄간섭이 발생한다. 그러므로, 어떤 한 지점의 신호크기는 조금 떨어진 다른 지점의 신호크기와 수십 dB 정도의 차이가 있을 수 있다. 이와 같이 신호의 크기가 변화하는 현상을 페이딩이라고 한다.



[그림 1] 무선 전파 환경

페이딩에는 다중경로에 의해서 나타나 짧은 구간 동안에 신호가 변화하는 Short-term fading(Multi path fading)과 지형에 의해서 나타나는 비교적 긴 구간 동안에 신호가 변화하는 Long-term fading이 있다.

송신기로부터 송신되는 전파는 다중경로를 거치면서 각 경로를 통해 도달하는 전파의 시간적 차이에 의해 지연확산이 발생하며 송신기나 수신기가 이동 중일 경우 수신하는 신호의 주파수가 변화한다. 이러한 주파수 변화를 도플러 효과라 한다.

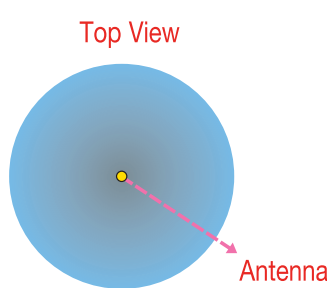


[그림 2] 페이딩

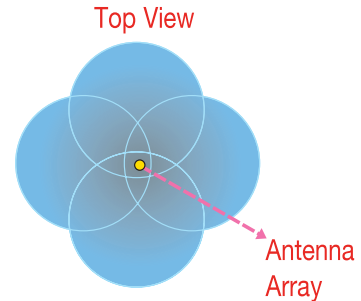
안테나 종류

안테나라는 말은 곤충의 촉각이란 라틴어에서 유래된 것으로 전기적 신호를 전파로 바꾸거나 반대로 전파를 전기적 신호로 바꾸는 장치이다. 안테나는 방사패턴에 따라 무지향성 안테나와 지향성 안테나로 구분할 수 있고, 안테나 배열형태에 따라 섹터 안테나, 다이버시티 안테나, 스마트 안테나로 구분할 수 있다.

무지향성 안테나는 수평면 방사패턴이 원형에 가까운 전방향성을 띠는 것으로 신호 송신시 수신기에는 송신전력의 극히 일부분만이 전달된다. 지향성 안테나는 특정 방향으로 안테나 이득을 증가시킨 안테나로 이동통신의 경우 360도 전방향을 커버하기위해 120도씩 3부분으로 나누며, 각 부분에는 지향성 안테나를 설치한다. 이를 섹터 안테나라 하며 이렇게 함으로써 전방향성 안테나에 비해 안테나 이득을 높일 수 있다.



[그림 3] 무지향성 안테나



[그림 4] 섹터 안테나

다이버시티 안테나는 공간, 시간, 편파 다이버시티 등이 있는데 공간 다이버시티는 송수신 안테나를 복수개 설치하여 구현하며 송신국과 수신국 사이의 전파전파시 공간적으로 다양한 경로에 의해 도달하는 신호를 구분해서 수신하여 수신특성을 개선한다. 수신 신호 합성 방법에는 selective 합성, Equal gain 합성, Maximal rate 합성 방법 등이 있다.

시간 다이버시티는 시간적으로 반복하여 같은 신호를 전송함으로써 수신기에서 반복 수신에 의한 오류 확률을 줄이도록 하는 방식이다.

편파 다이버시티는 복수개의 안테나를 이용하지 않고 한 개의 안테나에서 송수신되는 신호 파장의 위상을 직교로 배열하여 송수신함으로써 두 신호 간에 간섭을 최소화하여 마치 간섭이 없는 두 개의 안테나와 같은 효과를 발휘하도록 하는 방식이다.

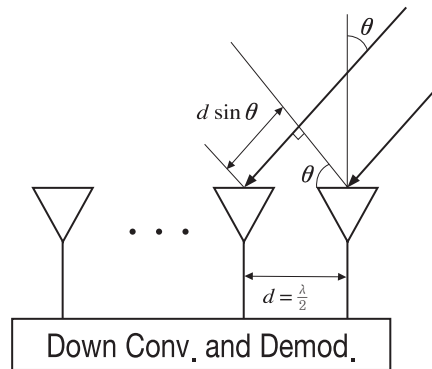
스마트 안테나와 공간 다이버시티 안테나를 비교해보자. 공간 다이버시티는 다수의 안테나가 독립적인 경로를 겪도록 안테나의 간격을 떨어뜨림으로써 한 안테나의 경로 신호가 감쇄되더라도 다른 안테나의 동일 신호와 결합함으로써 수신 전력을 일정하게 유지하도록 안테나 간의 상관성을 낮게 한다. 하지만, 스마트 안테나는 안테나 간의 상관성을 높게 하여 동일한 전파 환경을 겪도록 한다. 일반적으로 스마트 안테나는 안테나 간의 간격을 $\lambda/2$ 로, 다이버시티 안테나는 안테나 간의 간격을 10λ 이상으로 한다.

스마트 안테나 기술

가. 스마트 안테나의 원리

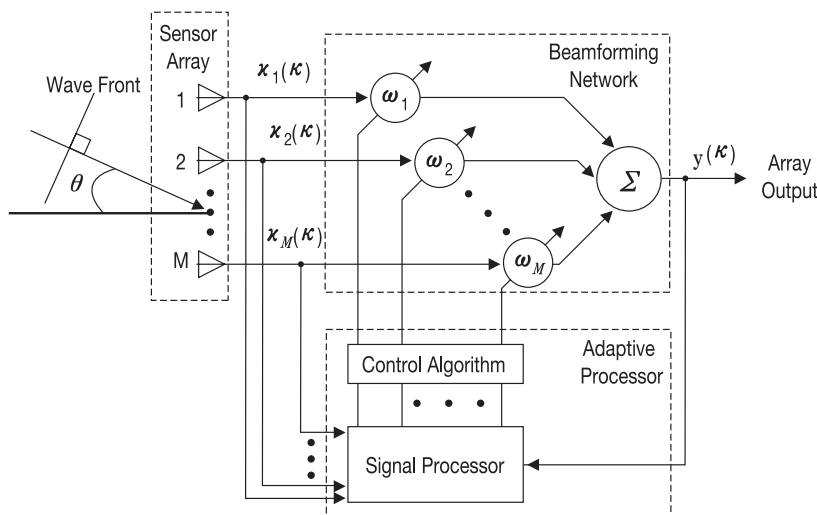
다이버시티 안테나와 같이 하나의 소자로 구성된 안테나는 일반적으로 전파복사 범위가 넓고 이득이 적다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 여러 개의 소자를 배열한 것을 어레이 안테나라고 하며 이러한 안테나는 각각의 소자에서 복사되는 전파가 방향에 따라서 합성되거나 상쇄되기 때문에 예리한 지향성을 갖게 된다. 어레이 안테나의 지향성은 어레이에 사용된 소자를 하나의 안테나로 사용시 나타나는 지향성과 무지향성 복사체를 어레이 한 경우에 나타나는 지향성의 곱으로 나타나며, 이것을 지향성 적의 원리라 한다. 스마트 안테나는 이를 이용한 것이다.

[그림 5]는 여러 개의 안테나가 일정한 간격으로 떨어져 배열되어 있는 선형 안테나로 각각의 안테나 소자는 등방성 안테나이며, 신호원은 원거리 평면파로 가정한다. 신호가 θ 각도 방향으로 모든 안테나에 입사하게 되면 동시에 같은 시간으로 도착하지 않으며, 스마트 안테나에서는 이러한 위상차를 제거하기 위해 웨이트 값을 제공하게 된다.



[그림 5] 스마트 안테나 원리

[그림 6]은 스마트 안테나로 수신한 신호 x 에 대해 웨이트 값 w 를 곱해주는 과정을 보여주고 있다. 각 안테나 소자로 입사된 신호는 서로 다른 위상 값을 갖게 되며, 위상 값 제거를 위해 위상 값 상쇄치에 가까운 웨이트 값을 수신신호에 곱하게 된다. 이러한 웨이트 값은 스마트 안테나의 빔 형성기에 구하게 되며, 빔 형성 알고리즘을 통해 웨이트 값의 정확도가 결정된다. 따라서, 스마트 안테나에서는 어떠한 빔 형성 알고리즘을 사용하느냐에 따라 스마트 안테나의 성능이 크게 좌우된다.

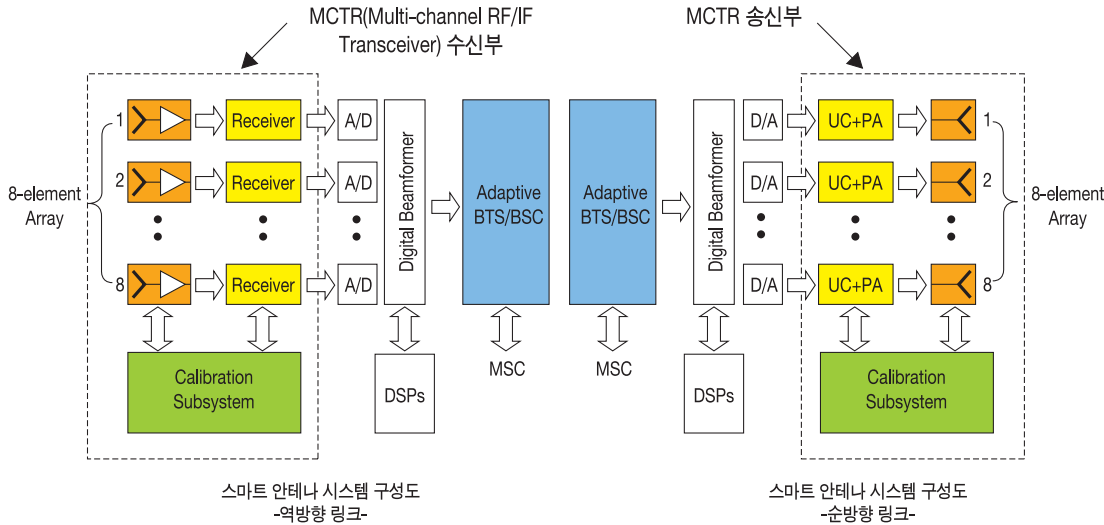


[그림 6] 스마트 안테나

나. 스마트 안테나 구성

스마트 안테나는 안테나 배열, 무선 송수신기, 빔 형성기, 적응 알고리즘, 캘리브레이션 등의 부분으로 구성된다. [그림 7]은 스마트 안테나 시스템의 전체적인 세부 구성도이며, 단말기에서 송신된 신호가 스마트 안테나 기지국으로 수신되어 신호 복원을 거쳐 기지국이 다시 해당 단말기로 신호를 전송하는 과정을 보여주고 있다.

- 안테나 배열은 다수의 안테나 소자들을 안테나 성능 향상을 위하여 어떤 특정한 형태로 배열하는 기술이다. 안테나 소자들의 배열 형태에 따라 안테나 특성과 성능이 달라지므로 안테나 배열을 어떠한 형태로 할 것인가는 시스템 성능향상에 중요한 요소가 된다. 일반적으로 안테나 수가 증가할수록 빔 패턴이 좁아져서 성능이 향상되지만 시스템이 복잡해진다. 안테나 배열에는 선형, 평면, 원형, 위상 배열 등이 있다.
- 무선송수신기는 각 배열 안테나로부터 입력된 RF 입출력 신호에 대한 주파수 변환, 필터링, 신호 증폭 등의 기능을 갖는 장치이다.
- 디지털 빔 형성기는 스마트 안테나 시스템에서 가장 중요한 부분으로 디지털 빔 형성기를 통해 원하는 방향으로 최적의 빔을 제공하게 된다. 빔 형성 방식에 따라 고정형 빔 형성기와 적응 빔 형성기로 구분된다.
- 적응 알고리즘은 스마트 안테나 시스템의 응답을 추정하는 방법으로 적응 빔 형성 방식을 위한 가중치 벡터를 구한다. 적응 알고리즘은 원하는 신호와 간섭 신호를 분리하여 각 사용자로부터 수신되는 고유벡터를 계산하여 위상 배열 안테나의 위상을 조절하여 배열 안테나는 신호원이 있는 방향으로 독립적인 빔이 형성되도록 해준다. 적응 알고리즘은 블라인드 적응알고리즘, 널블라인드 적응 알고리즘, DOA 추정 알고리즘 등이 있다.
- 캘리브레이션은 멀티채널 수신기와 각 배열 안테나 간 미세한 소자 특성의 차이가 고주파 캐리어의 진폭과 위상에 큰 변화를 주어 빔 형성기의 성능을 저하시키는 원인이 된다. 그러므로 안테나 소자의 특성 차이를 보상하고 배열 안테나 간의 RF 채널 송수신기의 진폭과 위상차를 보정하는 시스템이다. 수신기에서는 위상 잡음에 의한 영향을 보정해주기 위해 위상보정 기술을 사용하며 원하지 않는 신호인 잡음을 제거하기 위한 잡음제거 기술도 사용된다. 이러한 위상보정과 잡음제거 기술도 캘리브레이션 기술에 포함된다.



[그림 7] 스마트 안테나 구성도

다. 스마트 안테나 종류

무선통신에서 원하는 가입자가 있는 곳에서는 보강간섭이 일어나도록 하고 원하지 않는 가입자는 간섭신호로 작용되도록 하여 상쇄간섭이 일어나도록 하는 장치가 빔 형성기이다. 스마트 안테나는 빔 형성방법에 따라 고정된 빔을 사용하는 고정 빔 제공 스마트 안테나와 적응 빔을 제공하는 적응 빔 제공 스마트 안테나로 분류할 수 있다.

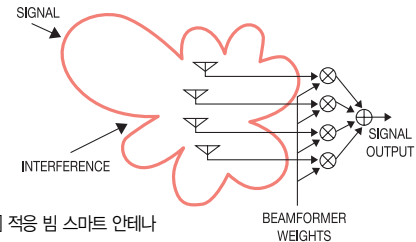
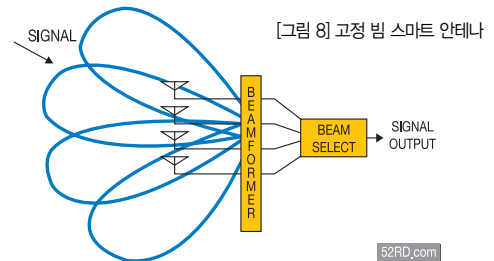
고정 빔 형성기는 한정된 수의 패턴 또는 빔을 형성하여 특정 신호를 수신할 때 신호 품질이 최적인 빔을 선택하는 빔 형성기이며, 구현이 비교적 간단하다.

[그림 8]은 고정 빔 제공 스마트 안테나를 보여주고 있으며, 수신 전력에 따라 최고의 성능을 줄 수 있는 빔 패턴을 선택하여 수신하는 방식이다. 이 방식은 무지향성 안테나에 비해 공간선택으로 인한 수신 전력의 이득을 얻을 수 있으나, 간섭신호를 능동적으로 제어할 수 없어 성능향상이 제한된다.

[그림 9]는 적응 빔 제공 스마트 안테나로 안테나 패턴을 동적으로 변화시켜서 잡음, 간섭 및 다중경로를 조절해 준다. 적응 빔 형성기는 신호 대 간섭비를 최대로 하기위해 사용자의 위치에 따라 가중치 벡터를 계속 갱신하여 빔을 형성하는 장치이다. 적응 빔 형성을 위한 벡터의 실시간 계산을 위하여 고도의 DSP 처리기술이 요구된다. 또한, 사용자의 신호를 증폭시키고 간섭신호를 제거함으로써 셀 용량을 향상시킨다.

[표 1] 고정 빔 스마트 안테나와 적응 빔 스마트 안테나 비교

구분	고정 빔 스마트 안테나	적응 빔 스마트 안테나
비용	구현이 비교적 쉽고 저가	구현이 어렵고 고가
커버리지	기존 안테나 보다는 넓지만 적응 빔 안테나보다는 좁음	고정 빔 안테나보다 넓음
혼신제거	수신신호와 잡음신호를 구분하기 어려움	혼신을 효과적으로 제거 가능



라. 기술적 특징

기존의 안테나는 모든 방향으로 전파가 방사되거나 지향성 안테나의 빔 패턴이 고정되어 불필요한 잡음이 유입되어 간섭이 많이 발생되어 신호 품질이 저하된다. 그리고, 송신기에서 송출한 총 송신전력대 수신기의 수신전력비가 매우 적어진다.

반면, 스마트 안테나는 배열 안테나 각 소자에 입사하는 신호의 도래 방향에 기초하여 신호를 증대시키거나 제거시킬 수 있다. 그리고, 안테나 빔 지향 제어에 의해 수신 신호를 적응적으로 최적 결합하여 간섭신호 레벨을 크게 줄임으로써 가입자에게 최적의 수신신호 전력을 제공하는 시스템이다.

배열 안테나로 입력되는 각각의 신호를 합성함으로써 멀티패스 페이딩을 억제하고 신호품질을 향상시킨다. 그리고, 송수신 환경변화에 따라 적응적으로 안테나 빔 패턴을 제어함으로써 신뢰도를 높이고 소모전력을 줄일 수 있다.

[표 2] 스마트 안테나 특징

분류	특징
Signal gain	송수신 안테나의 이득을 증가시킴으로써 송신기의 커버리지를 확대시키거나 수신신호의 품질을 향상시킨다
interference rejection	안테나 패턴을 동적으로 변화시켜서 잡음 및 간섭을 억제시킨다
spatial diversity	배열안테나 각각의 신호를 합성함으로써 멀티패스페이딩을 억제하고 신호품질을 향상시킨다
power efficiency	RF 신호 환경 변화에 따른 적응적 안테나 빔 패턴 제어로 송신출력, 소모 전력을 줄이고 신뢰도를 향상시킨다

마. 적용분야

스마트 안테나 시스템은 사용자의 방향으로는 최대의 이득을 제공하고, 다른 사용자의 방향으로는 이득을 최소화한다. 통신용량 증가, 커버리지 확대, 품질향상, 단말기 배터리 소모 최소화 등의 장점으로 인하여 이동통신 분야에서 많은 연구개발 및 상용화 제품이 출시됐다. 스마트 안테나는 차세대 이동통신의 핵심기술로 와이브로와 무선랜(802.11n)의 경우 표준으로 채택됐다. 또한, GPS 수신 안테나 등에서도 상용제품이 출시되는 등 거의 모든 무선통신분야에서 연구개발 및 상용화되고 있다.

디지털 TV의 경우, 전자기전협회(CEA)에서는 스마트 안테나 관련 표준을 마련하고 테스트도 실시했으며, 멀티패스 페이딩 환경에서 특히 효과적이고 DTV 수신 성능을 약 12dB 정도 향상시킬 수 있는 결과를 얻었다. 또한, TV 수신기나 셋톱박스에 장착할 수 있는 스마트 안테나 시스템이 미국에서 상용화됐다.

맺음말

최근 무선통신 시스템의 비약적인 발전으로 주파수 부족 현상이 심화되고 있으며, 이를 극복하고 채널용량 및 신호품질을 향상시키기 위한 기술이 스마트 안테나 시스템이다. 스마트 안테나 시스템은 송수신 안테나 모두에 사용이 가능하며, 이동통신 시스템은 물론 디지털 TV 및 DMB 안테나 등에도 적용이 가능하다.

디지털 TV의 경우 전국의 85% 정도가 수신 가능지역이지만 일부 지역의 경우 주변 건축물 및 지형에 의한 페이딩, 경로손실, 신호의 지연 등으로 인해 TV 수신에 문제가 되고 있다. 또한, 각 채널별 주파수 및 출력 차이로 인해 전파 수신환경이 달라 전파 환경이 나쁜 경우 수신 안테나를 채널에 따라 각각 조정해 주어야하는 등의 문제가 있어 TV 수신에 장애가 되고 있다. 그러나, 스마트 안테나 시스템이 적용될 경우 수신 성능이 획기적으로 향상되어 실내·외 수신율도 많이 높아질 것이며, 아울러 송신 커버리지도 확대될 것으로 예상된다. 다만 스마트 안테나 시스템은 배열 안테나와 디지털 신호처리 기술을 사용함으로써 비용이 많이 드는 단점이 있다. 하지만, 내수시장은 물론 수출시장에 대한 파급효과를 고려하여 핵심기술을 개발하고 상용화 및 홍보 등을 통해 대량 생산을 유도한다면 가격 경쟁력도 높아질 것이다.



[그림 10] HDTV용 스마트 안테나(Sylvania사)