
FDD에서 하향링크 CDMA 신호의 빔패턴 비교 연구

김상준* · 손경수** · 하주영*** · 이성목** · 장원우**

Comparison Study of Beam Pattern for FDD downlink CDMA Signals

Sangchoon Kim* · Kyoungsoo Son** · Jooyoung Ha*** · Sungmok Lee** · Wonwoo Jang**

요 약

본 논문에서는 DS-CDMA(direct sequence code division multiple access) 통신시스템에서 다중안테나를 이용한 송신 빔형성이 하향 링크의 성능에 미치는 영향을 빔 패턴을 통하여 연구하고자 한다. FDD(frequency division duplex) 시스템에서 상향 링크와 하향 링크는 반송파 주파수를 다르게 사용한다. 하향 링크가 상향 링크와 일치하는 빔형성 가중치들을 사용한다면, 하향 링크의 안테나 빔은 다소의 DOA(direction of arrival) 차이 때문에 빔형성 이득에 있어서 영향을 받게 된다. 따라서 서로 다른 반송파 주파수가 하향 링크의 빔형성 성능에 미치는 영향을 분석한다. 주파수 조정 처리 방법은 상향 링크의 빔형성 가중치로부터 하향 링크의 가중치로 변환을 가능하게 한다. 이 방법을 이용하여 상향 링크와 하향 링크의 주파수 차이에 의한 하향 링크의 성능 저하를 감소시킬 수 있다. 주파수 선택적 채널에서 상향 링크는 경로마다 하나의 가중치를 이용하여 PPPW(per path per weight) 빔형성을 만들고, 반면에 하향 링크는 사용자당 가중치를 한 개만 사용하는 PUPW(per user per weight) 벡터를 이용한다. 상향 링크 PPPW 가중치들로부터 하향 링크 PUPW를 위한 하나의 빔패턴을 형성하기 위해서 세가지 방법을 고려한다. 첫째는 신호의 세기가 가장 큰 경로만을 이용한다. 둘째는 모든 경로들에게 각각의 크기에 비례하는 가중치를 할당하여 다중 빔들을 결합하여 하나의 빔을 형성한다. 셋째는 모든 경로들에게 같은 크기의 가중치를 할당하여 다중 빔들을 결합한다.

ABSTRACT

In this paper, the effects of transmit beamforming on downlink performance in DS-CDMA communication systems are investigated. The uplink and downlink in FDD systems use different carrier frequencies. If the downlink uses the same weighting vectors as the uplink, the antenna beam for downlink is formed with certain DOA shift and it thus affects the beamforming gain. So, the impacts of different frequencies on the downlink beam patterns are studied. One possible algorithm to convert uplink beamforming weights to downlink, which is called frequency-calibrated processing, is also evaluated to reduce the degradation of downlink performance due to different frequencies. Under frequency selective channels, the downlink chooses a PUPW beamforming scheme when the uplink employs a PPPW vectors. To form a beam pattern for a PUPW after combining the downlink PPPWs converted from the uplink PPPWs, three approaches are studied. One method is to consider only one dominant path and thus obtain a single main-beam. In the others, multiple-beams weighted with the magnitudes of all paths and equally weighted with all paths are constructed.

키워드

direct sequence code division multiple access (DS-CDMA), beamforming techniques,
frequency division duplex (FDD), frequency calibration

* 동아대학교 전자공학과 전임강사
** 동아대학교 전자공학과 석사과정
*** 동아대학교 전자공학과 박사과정

I. 서론

다중안테나는 상향링크나 하향링크에서 특정 방향으로 빔 패턴을 형성하기 위해 사용될 수 있다. 그리하여 희망하는 신호 성분은 향상시키고 반면에 원하지 않는 간섭 신호는 감소시킬 수가 있다. 이러한 빔 형성 기술들은 SINR(signal to interference plus noise ratio)를 개선하기 위하여 희망하는 사용자에게 배열 안테나의 에너지를 집중시킬 수가 있다. 무선 통신 시스템의 공간적인 차원을 활용하는 다중안테나는 서비스의 품질 개선, 서비스 지역의 확대와 용량 증대를 위해서 상당한 관심을 받고 있다. 상향 링크와 하향 링크의 빔 형성을 위한 수신기의 구조, 용량 평가 및 효율적인 알고리즘에 대하여 많은 공간적인 처리 기술들이 연구되어 왔다[1-16]. DS-CDMA(direct sequence code division multiple access) 통신시스템에서 PPPW(per path per weight)와 PUPW(per user per weight)와 같은 두 개의 빔 형성 구조를 고려할 수 있다 [11]. PPPW 구조에서는 구별 가능한 경로마다 다른 가중치 벡터가 사용된다. 반면에 PUPW 빔 형성기는 동일 사용자의 모든 경로에 대하여 동일한 한 개의 빔 형성을 위한 가중치 벡터가 제공된다.

하향 링크의 빔 형성을 위한 많은 기술들을 참고문헌에서 찾아 볼 수 있다[7-16]. 하향 링크의 빔 형성 가중치 벡터들을 계산하는 전형적인 방법들은 순시적인 혹은 통계적인 하향 링크 채널 정보를 필요로 한다. 상향 링크와 하향 링크의 채널 반응은 TDD(time division duplex) 시스템에서는 상호 교환적으로 사용할 수 있지만, FDD(frequency division duplex) 시스템에서는 다른 반송 주파수가 상향 링크와 하향 링크에서 사용되기 때문에 각각의 전송 채널은 독립적이다. 그리하여 FDD 시스템에서 기지국에서의 하향 링크의 채널 반응 정보를 직접 얻는 것은 쉽지 않다. 하향 링크의 채널 추정을 위하여 탐침-궤환 방법을 사용할 수도 있다[8]. 상향 링크 신호의 DOA(direction of arrival) 정보는 하향 링크의 전송 채널에서 변하지 않고 그대로 유지될 수 있기 때문에 DOA 기반의 방법^[9]을 사용하여 희망하는 사용자 신호의 DOA 정보를 추정하고 하향 링크의 채널 정보를 얻을 수 있다. 참고문헌 [11]와 [12]에서 하향 링크의 채널 공분산 행렬은 주파수 조정 처리 과정을 통하여 상향 링크의 채널 공분산 행렬과 연관 지을 수도 있음을 보였다. FC(frequency calibrated) 처리 방법은 상향 링크 채널 정보

로부터 통계적인 하향 링크 채널 정보를 얻기 위해서 사용되었다.

무선 인터넷과 멀티미디어 서비스를 지원하는 무선 통신 시스템에서는 하향 링크의 성능 개선이 중요한 부분이다. 하향 링크의 전송시 모든 사용자 신호들 사이에 직교성을 유지하기 위하여 직교 확산 순열을 사용한다 [17,19]. 이러한 과정을 직교 확산이라 한다. 하향 채널에서 주파수 선택적 다중 경로 페이딩이 존재하면 다중 경로 지연 성분에 의한 경로 간의 간섭 신호 때문에 직교성은 부분적으로 손상을 당하게 된다[17,20]. 전력 지연 율곽에 대한 형태와 수신기가 구별 가능한 경로의 수는 하향 링크의 직교성의 손실에 영향을 미친다. 한편 Rake 결합 기술은 다중 경로 성분들의 에너지를 효과적으로 활용하여 다중 경로 페이딩에 의한 영향을 감소시키고 희망하는 신호 성분의 크기를 향상시킨다. 수신기가 구별할 수 있는 경로의 수가 증가하면 경로 다양성 때문에 페이딩 효과는 감소될 수 있다. 그리하여 직교 하향 링크의 성능은 반드시 줄어드는 것은 아니다. 참고문헌 [17]에서 한 개의 안테나 DS-CDMA 시스템에서 Rake 복합기를 사용하여 직교 확산에 의한 전송 성능이 다중 경로 페이딩 채널 하에서 평가되었다. [18]에서는 기지국이 다중 안테나를 이용하여 하향 링크 빔 형성을 수행할 때 Rake 결합 후의 출력에 대한 SINR에 대한 공식 유도과 평균 BER(bit error rate) 성능을 보여주었다.

이 논문은 안테나 배열 DS-CDMA 시스템에서 하향 링크의 전송 빔 형성이 성능에 미치는 영향을 빔 패턴을 통하여 연구한다. FDD 시스템에서 상향 링크와 하향 링크는 서로 다른 반송 주파수를 사용하고 있기 때문에 하향 링크가 상향 링크의 빔 형성 가중치 벡터를 그대로 사용한다면 하향 링크의 안테나 빔은 DOA 변이를 가지고 형성된다. 그리하여 빔 형성에 의한 이득이 영향을 받게 될 것이다. 따라서 서로 다른 반송 주파수가 하향 링크 빔 형성 성능에 미치는 영향을 검토하고자 한다. 또한 상향 링크의 빔 형성 가중치 벡터를 하향 링크의 가중치 벡터로 변환할 수 있는 FC 처리 알고리즘을 고려한다면 서로 다른 주파수 때문에 발생하는 하향 링크의 성능 저하가 감소될 수 있음을 보인다. 주파수 선택적 채널에서 하향 링크는 PUPW 빔 형성 구조를 사용하고 상향 링크는 PPPW 빔 형성 방법을 고려한다. 우선 상향 링크 각각의 경로에 해당하는 PPPW 벡터로부터 해당하는 경로들에 대해 각각의 하향 링크 PPPW 벡터들을 얻는다. 이렇게

언어진 하향 링크 PPPW 벡터들로부터 한 개의 하향 링크 PUPW 벡터를 만들기 위해 다음과 같은 세 가지 결합 방법들을 사용한다. 첫째 방법은 가장 신호의 세기가 강한 경로만을 고려하여 빔을 형성한다. 두 번째는 모든 경로 성분들을 해당 경로의 크기로 가중치를 주어 결합하는 다중 빔을 형성한다. 마지막으로는 모든 경로를 동일한 가중치를 주어 결합하여 다중 빔을 형성하는 방법이다.

이 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성한다. II 절은 빔 형성을 위한 하향 링크 빔 형성 모델을 묘사한다. III 절에서는 주파수 보정 처리 알고리즘을 설명한다. IV 절은 하향 링크 PPPW 벡터를 결합하는 PUPW 빔 형성 방법에 대하여 다룬다. V 절은 실험 결과들을 포함하고 마지막 절에서 결론을 도출한다. 본 논문에서 $(\cdot)^H$ 는 공액 복소수 전치 행렬을 나타내고, $(\cdot)^T$ 는 전치 행렬을 의미한다.

II. 하향 링크 빔 형성 모델

K 명의 단말 사용자들이 동일한 섹터를 공유하고 있다고 가정한다. 또한 기지국은 각 섹터에서 동일한 안테나 간격을 가진 P 개의 안테나로 이루어진 ULA(uniform linear array)를 사용하고 있다고 가정한다. DOA $\theta_{U,k}$ 방향으로부터 도달하는 k 번째 사용자의 q 번째 경로 신호에 대한 상향 링크의 배열 반응 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{a}_U(\theta_{k,q}) = [1 e^{j2\pi z \sin\theta_{k,q}/\lambda_U} \dots e^{j2\pi(P-1)z \sin\theta_{k,q}/\lambda_U}]^T \quad (1)$$

여기서 z 는 인접하는 안테나 사이의 간격이고, λ_U 는 상향 링크 반송파의 파장을 나타낸다.

하향 링크의 빔 패턴을 평가하기 위해서 상향 링크와 하향 링크 전송 채널에 관하여 상호 교환 법칙이 성립됨을 가정한다. 즉 상향 링크와 하향 링크에서 채널의 빠른 변화 속도나 서로 다른 반송 주파수 사용 때문에 다중 경로 각각의 크기는 다름에도 불구하고 다중 경로의 수는 상향 링크와 하향 링크에 대해서 동일하고, 단말기 사용자의 DOA들은 FDD 시스템에서도 양쪽 링크 채널에서

변화하지 않고 그대로 유지한다[10].

DS-CDMA 시스템에서 상향 링크 빔 형성을 위하여 서로 다른 가중치 벡터들을 서로 다른 경로에 할당이 되도록 하는 PPPW 구조를 고려한다. 한편 DS-CDMA 시스템에서 한 명의 사용자가 수신하는 모든 경로 성분에 동일한 빔 형성 가중치 벡터를 사용하는 PUPW 구조는 하향 링크 빔 형성을 위하여 사용한다. k 번째 사용자의 하향 링크 빔 형성에서 사용되는 가중치 벡터는 $\mathbf{w}_{D,k} = [w_{D,k}^{(1)} w_{D,k}^{(2)} \dots w_{D,k}^{(P)}]^T$ 로 정의된다. 여기서 $w_{D,k}^{(p)}$ 는 가중치 벡터의 p 번째 성분이다. 하향 링크의 빔 형성을 위한 하나의 PUPW 벡터를 얻기 위해서 상향 링크의 빔 형성을 위한 PPPW 벡터들을 활용하고자 한다. 우선 상향 링크 빔 형성을 위한 PPPW 벡터들은 하향 링크 PPPW 벡터들로 직접 사용하거나 혹은 서로 다른 반송 주파수를 반영한 하향 링크 PPPW 벡터들로 변환하여 이용한다. 하향 링크 PPPW 벡터들을 얻은 후에 이 벡터들을 서로 다르게 결합함으로써 하나의 하향 링크 PUPW 빔 패턴을 결정할 수 있다. 하향 링크 빔 형성에 필요한 가중치 벡터 갱신 절차를 위한 블록 다이어그램은 그림 1에서 볼 수 있다.

상향 링크 빔 형성 가중치 벡터들을 구하기 위한 많은 연구 결과들이 다른 논문들에서 발표되었고^[11-6], 본 논문에서는 이 문제가 주요한 이슈가 아니기 때문에 상향 링크의 빔 형성을 위한 가중치 벡터를 추정하는 문제는 따로 다루지 않는다. 그 대신에 상향 링크의 희망하는 신호 성분들에 대한 빔 형성을 위한 완전히 알고 있는 가중치 벡터를 적용한 하향 링크 빔 형성이 하향 링크 신호 수신에 미치는 영향을 분석할 때 성능 벤치마크로 이용한다. 간섭 신호와 잡음 과정이 공간적으로 백색이면 안테나 배열 반응에 대한 정보를 이용하여 만들어진 가중치 벡터는 최적이라고 할 수 있다[4]. 따라서 k 번째 사용자의 q 번째 경로 신호에 대한 상향 링크 빔 형성을 위한 가중치 벡터 $\mathbf{w}_{U,k,q}$ 는 이상적인 상향 링크 배열 반응 벡터에 의해 주어진다. 즉 $\mathbf{w}_{U,k,q} = \mathbf{a}_U(\theta_{k,q})$ 이다. TDD 시스템에서 수신 채널과 송신 채널은 서로 상호 교환적이다. 그리하여 하향 링크 배열 반응 벡터는 상향 링크 배열 반응 벡터와 동일하다. 즉 $\mathbf{a}_D(\theta_{k,q}) = \mathbf{a}_U(\theta_{k,q})$ 이다. FDD 시스템에서는 상향 링크와 하향 링크가 서로 다른 반송 주파수를 사용하고 있기 때문에 양쪽 링크의 전송 채널은 서로 독립적이다. 그러나 상향 링크와 하향 링크는 동일

한 수의 다중 경로 성분을 포함하고 있는 것으로 가정한다. FDD 시스템에서 상향 링크의 빔 형성 가중치 벡터가 하향 링크의 빔 형성을 위해 그대로 사용한다면 제일 중요한 빔은 DOA 차이만큼 희망하는 신호와 다른 방향으로 빔이 형성될 것이다.

III. 주파수 조정 알고리즘

상향 링크 빔 형성 가중치 벡터로부터 하향 링크 빔 형성 가중치 벡터를 추정하기 위하여 주파수 조정 (FC: frequency calibrated) 알고리즘^[12]을 고려한다. FC 알고리즘은 다음과 같이 간략히 요약할 수 있다.

단계 1: 상향 링크 가중치 공분산 행렬을

$$\Phi_{U,k,q} = \mathbf{w}_{U,k,q} \mathbf{w}_{U,k,q}^H \text{로 표현한다}$$

단계 2: 행렬 $\Phi_{U,k,q}$ 의 첫 번째 열의 실수 부분과 첫 번째 열의 허수 부분(첫 번째 요소는 제외함)은 $\mathbf{q}_{U,k,q}^{(r)}$ 와 $\mathbf{q}_{U,k,q}^{(i)}$ 로 각각 나타낸다. 그 다음에는 하향 링크의 가중치 벡터의 공분산 행렬 $\Phi_{D,k,q}$ 의 첫 번째 열의 실수 부분 $\mathbf{q}_{D,k,q}^{(r)}$ 과 첫 번째 열의 허수 부분(첫 번째 요소는 제외함) $\mathbf{q}_{D,k,q}^{(i)}$ 은 다음과 같이 계산한다.

$$\mathbf{q}_{D,k,q}^{(r)} = \mathbf{F}_r \mathbf{q}_{U,k,q}^{(r)} \quad (2)$$

$$\mathbf{q}_{D,k,q}^{(i)} = \mathbf{F}_i \mathbf{q}_{U,k,q}^{(i)} \quad (3)$$

여기서 상수 값으로 구성된 FC 행렬 \mathbf{F}_r 와 \mathbf{F}_i 는 상향 링크와 하향 링크의 반송 주파수와 기지국 안테나 배열 기하학적 구성 그리고 셀 구역화(cell sectorization)에 의해 결정된다. $f_U = 1.8 \text{ GHz}$ 와 $f_D = 2 \text{ GHz}$ 및 3개의섹터를 사용하는 ULA를 장착한 기지국에서 행렬 \mathbf{F}_r 와 \mathbf{F}_i 의 이론적인 값들이 4개의 안테나와 6개의 안테나에 대해 참고문헌 [11]에 주어져 있다.

단계 3: 위에서 구한 $\mathbf{q}_{D,k,q}^{(r)}$ 와 $\mathbf{q}_{D,k,q}^{(i)}$ 를 사용하여 하향 링크 가중치 벡터의 공분산 행렬 $\Phi_{D,k,q}$ 를 계산한다. 이 행렬은 Toeplitz 행렬이다.

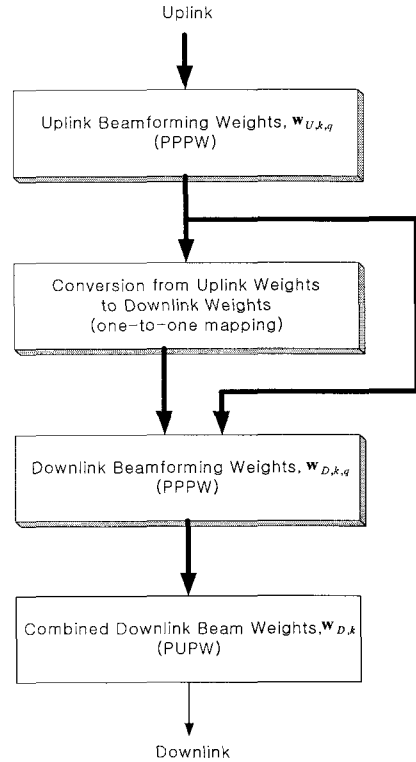


그림 1. 하향 링크 빔 형성을 위한 가중치 벡터 갱신 절차에 관한 블록 다이어그램

Fig. 1. Block diagram of weight update procedure for downlink beamforming

단계 4: $\Phi_{D,k,q}$ 의 제 1의 고유벡터를 계산하여 구한 후 하향 링크 빔 형성 가중치 벡터 $\mathbf{w}_{D,k,q}$ 로서 사용한다.

하향 링크 배열 반응 벡터를 구하기 위해 DOA 기반의 접근 방법을 사용할 수도 있다. 여기서는 그 대신에 완전한 하향 링크 배열 반응 벡터를 하향 링크 빔 형성 가중치 벡터로 그대로 사용한다. 즉 $\mathbf{w}_{D,k,q} = \mathbf{a}_D(\theta_{k,q})$ 이고 성능 평가의 벤치마크로 이용한다. 따라서 k 번째 사용자의 q 번째 경로에 대한 하향 링크 빔 형성 가중치 벡터는 상향 링크 빔 형성 가중치 벡터를 사용하여 다음과 같은 새 가지 방법에 의해 얻어진다. 첫째 상향 링크의 배열 반응 벡터를 하향 링크 빔 형성 가중치 벡터로 $\mathbf{w}_{D,k,q} = \mathbf{a}_U(\theta_{k,q})$ 와 같이 그대로 사용한다. 두 번째 방법에서는 FC 알고리즘을 상향 링크 배열 반응 벡터에 적용함으로써 하향 링크 빔 형성 가중치 벡터들을 계산한다.

마지막으로 하향 링크의 배열 반응 벡터를 하향 링크의 빔 형성 가중치 벡터로서 $w_{D,k,q} = a_D(\theta_{k,q})$ 와 같이 사용한다.

IV. 하향 링크 빔 결합 방법

위에서 언급된 세 가지 방법들에 의해 얻어진 하향 링크 빔 형성 PPPW 벡터들로부터 하나의 하향 링크 PUPW 빔 패턴을 어떻게 만들 수가 있을까? 상향 링크의 신호 수신을 위한 빔 형성 가중치 벡터들은 하향 링크의 빔 형성을 위해 다음과 같이 세 가지 결합 방법들을 이용할 수 있다. 첫째 상향 링크 채널에서 가장 신호의 세기가 큰 경로만을 사용한 빔에 해당하는 하향 링크 가중치 벡터를 만든다. 여기서는 가장 먼저 도달하는 경로 신호를 가장 세기가 큰 신호라 가정한다. 이 방법은 선택적 결합(selection combining)에 해당한다고 볼 수 있다. 하향 링크 가중치 벡터를 구하는 두 번째 방법은 모든 경로 성분들을 고려하는데 해당 경로 신호의 크기에 비례하도록 가중치를 각각의 경로에 주어 결합하여 다중 빔을 이용한 하나의 빔 패턴을 형성한다. 세 번째는 다중 빔을 형성하기 위해서 모든 경로에 동일한 가중치를 주어 결합한다. 그러므로 하향 링크의 빔 형성을 위한 가중치 벡터들은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\widetilde{w}_{D,k} = \begin{cases} w_{D,k,1} & \text{single-beam} \\ \sum_{q=1}^{Q_k} \sqrt{E[|\beta_{D,k,q}|^2]} w_{D,k,q} & \text{maximal-ratio multiple-beam} \\ \sum_{q=1}^{Q_k} w_{D,k,q} & \text{equal-gain multiple-beam} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 Q_k 는 k 번째 단말기 사용자의 수신기가 구별 가능한 자연 경로들의 수를 나타내고, $\beta_{D,k,q}$ 는 k 번째 사용자의 q 번째 경로의 채널 계수로서 대역 데이터 심볼 시간 구간 동안에는 상수라고 가정한다. 또한 경로 이득 파라미터의 시간에 대한 의존성은 여기서 생략한다. 또한 가중치 벡터들은 정규화가 되어 기지국에서 전체적인 방사 전력이 다른 빔 형성 구조에 대해서도 일정하도록 한다. 정규화가 된 가중치 벡터는 다음과 같다.

$$w_{D,k} = \frac{\widetilde{w}_{D,k}}{\sqrt{\sum_{p=1}^P |\widetilde{w}_{D,k}^{(p)}|^2}} \quad (5)$$

여기서 $\widetilde{w}_{D,k}^{(p)}$ 는 벡터 $\widetilde{w}_{D,k}$ 의 p 번째 성분이다.

V. 실험 결과

이 절에서는 주파수 선택적 다중 경로 페이딩 채널에서 세 개의 빔 형성 방법에 의해 얻어진 하향 링크 빔 패턴들을 살펴보고 비교한다. 세 개의 색터를 가진 각 셀의 기지국에서 각각의 색터는 ULA를 사용하고, DOA (DOD: direction of departure)는 $[-\pi/3, \pi/3]$ 에서 균일하게 분포되어 있다고 가정한다. 안테나 간격은 상향 링크 반송 주파수 f_0 에서 반파장으로 고정한다. 실험 결과를 나타내는 그림에서 UL(uplink)과 DL(downlink)는 각각 상향 링크 배열 반응 벡터와 하향 링크 배열 반응 벡터를 하향 링크 배열 반응 벡터로 사용하고 있음을 의미한다. FC는 FC 알고리즘을 사용하여 상향 링크 빔 형성 가중치 벡터로부터 하향 링크 빔 형성 가중치 벡터를 얻고 있다는 것을 나타낸다. 게다가 방정식 (5)에서처럼 최대비와 동일 이득 결합에 의한 결정되는 다중 빔은 MRC(maximal ratio combining)와 EGC(equal gain combining)로 각각 표시한다.

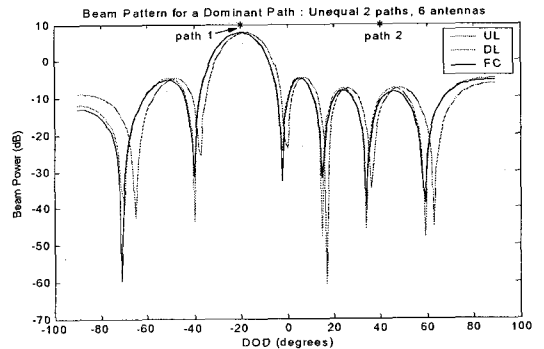


그림 2. 신호의 세기가 가장 큰 경로를 이용한 한 개의 빔에 의한 하향 링크의 빔패턴
Fig. 2. Downlink beam patterns by single-beam for a dominant path

다른 반송 주파수가 빔 패턴에 미치는 영향을 그림 2, 3, 4에서 볼 수 있다. 표 1은 세 가지 결합 방법에 의한 빔 패턴에서 -20° 와 40° 방향에서의 각 경로의 상대적인 전력 크기를 보여주고 있다. 두 개의 경로는 각각 DOA가 -20° 와 40° 에 위치해 있다. 상대적인 경로 세기는 각각 1 (0 dB)과 0.7080 (-3 dB)로 가정한다. 그림 2는 가장 세기가 큰 경로만을 고려한 경우 하향 링크 빔 패턴의 결과이고, 신호의 세기가 가장 큰 경로만을 고려하면 두 번째 경로에 대해서는 활용도가 떨어짐을 알 수 있다. 대신에 신호의 세기가 가장 큰 경로에 대해서는 원래의 신호 세기를 그대로 이용할 수 있다. 그림 3은 MRC에 의한 다중 빔, 그리고 그림 4는 EGC에 의한 경우를 보여주고 있다. MRC의 경우 신호의 세기가 가장 큰 경로뿐만 아니라 두 번째 경로에 대해서도 원래의 크기에 비례하여 활용할 수 있음을 알 수 있다. 반면에 EGC의 경우는 신호의 세

표 1. 빔의 상대적인 전력 크기
Table. 2 Relative Power of Beam

	Path 1	Path 2
Dominant Path만을 고려한 빔	7 dB	-10 dB
MRC	7 dB	2 dB
EGC	5 dB	5 dB

기가 가장 큰 경로는 약간 감소되고 두 번째 경로는 약간 크게 되어 두 경로에 대해 똑같은 크기로 결합하게 한다.

상향 링크의 빔 형성 가중치가 수정 없이 하향 링크의 빔 형성을 위해서 사용한다면 상향 링크와 하향 링크 사이의 반송 주파수 차이 때문에 빔이 약간의 변이가 발생했음을 알 수 있다. 이 현상은 FDD 시스템에서 하향링크의 전송 빔형성을 위해서 상향 링크에서 결정된 빔형성 가중치 벡터를 그대로 사용하면 단말기가 수신하는 신호의 SINR이 약간 감소함을 알 수 있다. 한편 FC 알고리즘은 하향 링크 빔 형성 가중치를 이상적인 하향 링크 배열 반응 벡터에 유사한 빔 패턴을 만들고 있다는 것을 확인할 수 있다. 그리하여 FC 알고리즘은 반송 주파수 차이 때문에 발생하는 빔 차이를 보정해줄 수 있다. 따라서 FDD 하향링크의 빔형성을 위해서 상향링크의 배열 반응 벡터에 FC 알고리즘을 사용하면 하향링크의 반응 벡터를 사용하는 이상적인 경우의 SINR을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

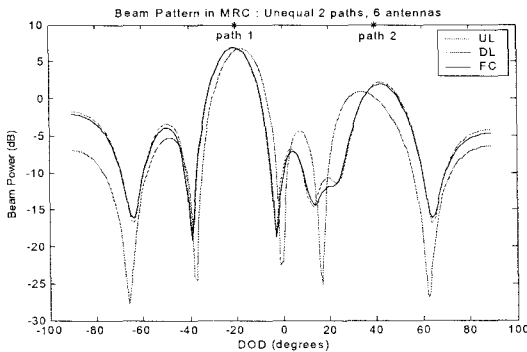


그림 3. 다중 빔을 MRC하여 형성된 하향 링크의 빔패턴
Fig. 3. Downlink beam patterns by multiple-beam with MRC

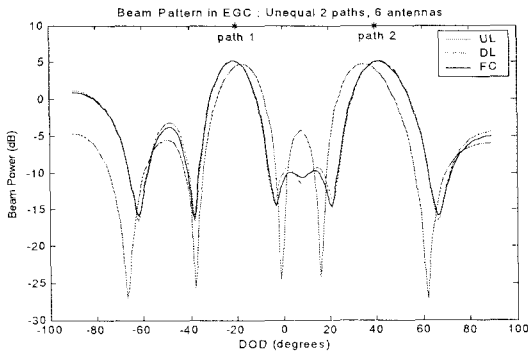


그림 4. 다중 빔을 EGC하여 형성된 하향 링크의 빔패턴
Fig. 4. Downlink beam patterns by multiple-beam with EGC

VI. 결 론

본 논문에서 DS-CDMA 통신시스템에서 세 가지 하향 링크 빔 형성 방법들을 기지국의 안테나 배열에 적용했을 때 하향 링크의 성능에 미치는 영향을 빔 패턴을 통하여 비교하였다. MRC의 경우가 모든 경로 성분을 크기에 비례하여 활용하고 있다. FDD 시스템에서는 서로 다른 반송 주파수가 상향 링크와 하향 링크에서 사용되고 있기 때문에 양쪽 링크에서의 안테나 빔 패턴은 DOA 차이만큼 서로 다르다. 그러나 상향 링크와 동일한 가중치 벡터를 하향 링크에서 사용할 경우 이상적인 경우와 비교해보면 빔 형성 이득의 감소는 그렇게 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이러한 하향 링크의 성능 감소는 상향 링크 채널 벡터로부터 하향 링크 채널 벡터로 변환하는 FC

알고리즘에 의해 줄일 수 있다. FDD 시스템에서 하향링크 신호의 빔형성은 전송은 상향링크를 통해 얻어진 배열 반응 벡터에 FC 알고리즘을 적용하면 이상적인 경우와 비슷한 SINR 성능을 얻을 수 있다.

참고문헌

- [1] A. F. Naguib, "Adaptive antennas for CDMA wireless networks," Ph.D. dissertation, Stanford Univ., CA, Aug. 1996
- [2] R. Kohno, "Spatial and temporal communication theory using adaptive antenna array," *IEEE Personal Commun. Mag.*, vol. 5, pp. 28-35, Feb. 1998
- [3] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, *Smart antennas for wireless communications: 1S-95 and Third generation CDMA Applications*. Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, 1999
- [4] M. Dell'Anna and A. H. Aghvami, "Performance of optimum and suboptimum combining at the antenna array of a W-CDMA system," *IEEE JSAC*, vol. 17, no. 12, pp. 2123-2137, Dec. 1999
- [5] R. M. Buehrer, A. G. Kogiantis, S. Liu, J. Tsai and D. Uptegrove, "Intelligent antennas for wireless communications-uplink," *Bell Labs Technical Journal*, pp. 73-103, July-Sept. 1999
- [6] S. Tanaka, A. Harada, M. Sawahashi and F. Adachi, "Experiments on coherent adaptive antenna array diversity for wideband DS-CDMA mobile radio," *IEEE JSAC*, vol. 18, no. 8, pp. 1495-1504, Aug. 2000
- [7] A. F. Naguib, A. Paulraj, and T. Kailath, "Capacity improvement with base station antenna array in cellular CDMA," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 691-698, Aug. 1994
- [8] D. Gerlach and A. Paulraj, "Adaptive transmitting antenna arrays with feedback," *IEEE Signal Processing Lett.*, vol. 1, pp. 150-152, Oct. 1994
- [9] G. Xu and H. Liu, "An efficient transmission beamforming scheme for frequency-division- duplex digital wireless communication systems," *Proc. Int. Conf. ASSP, Detroit, MI, May 1995*, pp. 1729-1732
- [10] Y.-C. Liang, F. Chin and K. J. R. Liu, "Downlink beamforming for DS-CDMA mobile radio with multimedia services," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, no. 7, pp. 1288-1298, July 2001
- [11] Y.-C. Liang and F. Chin, "Downlink channel covariance matrix (DCCM) estimation and its applications in wireless DS-CDMA systems," *IEEE JSAC*, vol. 19, no. 2, pp. 222-232, Feb. 2001
- [12] Y.-C. Liang and F. Chin, "Two suboptimal algorithms for downlink beamforming in FDD DS-CDMA mobile radio," *IEEE JSAC*, vol. 19, no. 7, pp. 1264-1275, July 2001
- [13] H.-J. Li and T.-Y. Liu, "Comparison of beamforming techniques for W-CDMA communications systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 52, no. 4, pp. 752-760, July 2003
- [14] K. S. Kim, I. Song, S. C. Bang and T.-J. Kim, "Performance analysis of forward link beamforming techniques for DS/CDMA systems using base station antenna arrays," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 48, no. 3, pp. 862-865, March 2000
- [15] H. Taoka, S. Tanaka, T. Ihara and M. Sawahashi, "Adaptive antenna array transmit diversity in FDD forward link for W-CDMA and broadband packet wireless access," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 9, issue 2, pp. 34-41, April 2002
- [16] K. I. Pedersen, P. E. Mogensen and J. Ramiro-Moreno, "Application and performance of downlink beamforming techniques in UMTS," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 41, issue:10, pp. 134-143, Oct. 2003
- [17] F. Adachi, "Effects of orthogonal spreading and Rake combining on DS-CDMA forward link in mobile radio," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E80-B, no. 11, pp. 1703-1712, Nov. 1997
- [18] S. Kim, Y. Kwon and B. Kang, "Performance analysis of downlink beamforming in FDD DS-CDMA systems," accepted as a letter in *IEICE Trans. Commun.*, Nov. 2006
- [19] M.-H. Fong, V. K. Bhargava and Q. Wang, "Concatenated orthogonal/PN spreading sequences and their application to cellular DS-CDMA systems

with integrated traffic," IEEE JSAC, vol. 14, no. 3, pp. 547-558, April 1996

- [20] O. Awoniyi, N. B. Mehta and L. J. Greenstein, "Characterizing the orthogonality factor in W-CDMA downlinks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 2, no. 4, pp. 621-625, July 2003
- [21] M. Shokair and Y. Akaiwa, "Performance of feedback-type adaptive array antenna in FDD system with rake receiver," IEICE Trans. Commun., vol. E89-B, no. 2, pp. 539-544, Feb. 2006
- [22] K. Huang, F. Adachi and Y. H. Chew, "A more accurate analysis of interference for Rake combining on DS-SS forward link in mobile radio," IEICE Trans. Commun., vol. E88-B, no. 2, pp. 654-663, Feb. 2005

저자소개



김 상 준(Sangchoon Kim)

1991년 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1995년 미국 University of Florida 전기 공학과 (공학석사)

1999년 미국 University of Florida 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)

2000년~2005년 LG전자 책임연구원

2005년~현재 동아대학교 전자공학과 전임강사

※ 관심분야: 통신 및 신호처리



손 경 수(Kyungsoo Son)

2006년 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자전공 졸업 (공학사)

2006년~현재 동아대학교 대학원 전자공학과 석사과정

※ 관심분야: 신호처리 및 통신



하 주 영(Jooyoung Ha)

2003년 동아대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

2003년~2005년 동아대학교 대학원 전자공학과 석사 졸업

2005년~현재 동아대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※ 관심분야: 신호처리 및 통신



이 성 목(Sungmok Lee)

2005년 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자전공 졸업 (공학사)

2005년~현재 동아대학교 대학원 전자공학과 석사과정

※ 관심분야: 신호처리 및 통신



장 원 우(Wonwoo Jang)

2005년 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자전공 졸업 (공학사)

2005년~현재 동아대학교 대학원 전자공학과 석사과정

※ 관심분야: 신호처리 및 통신