

하향링크 MIMO 시스템을 위한 공간분할 다중접속 기술

임 민 중*

A Space Division Multiple Access Technique for Downlink MIMO Systems

Minjoong Rim*

요 약

차세대 이동 및 무선통신 시스템은 현재보다 매우 큰 고속의 데이터 전송과 시스템 용량을 요구하고 있으며 이러한 요구를 충족시키기 위해서 복수의 안테나를 사용하여 송수신을 하는 MIMO(multiple input, multiple output) 기술이 널리 연구되고 있다. 이 논문은 다수의 안테나를 가지고 있는 기지국, 소수의 안테나를 가지고 있는 단말기의 하향 링크에서 스케터링과 변동이 적으며 평탄한 페이딩 채널을 가정한다. 단일 사용자 MIMO 시스템에서 기지국이 채널상태정보를 가지고 있다면 SVD(singular value decomposition) 와 water filling을 사용한 MIMO 기술이 최대의 채널용량을 이룬다. 그러나 복수 사용자 시스템의 경우에는 공간분할 다중접속 기술을 이용하여, 보다 큰 전체 채널용량을 얻는 것이 가능하다. 이 논문은 복수 사용자 시스템에서 각 사용자에게 복수의 데이터 스트림을 전송하는 MIMO 공간분할 다중접속 기술을 제안한다. 제안하는 기술은 SVD 기반의 MIMO 기술이나 스마트 안테나를 사용한 공간분할 다중접속 기술보다 더 큰 전체 채널용량을 얻을 수 있다.

ABSTRACT

The next generation cellular radio systems require high data rate transmission and large system capacity. In order to meet these requirements, multiple antennas can be used at the base and mobile stations, forming MIMO(multiple-input, multiple-output) channels. This paper considers a downlink MIMO system assuming a large number of base station antennas, a small number of mobile station antennas, and rich-scattering, quasi-stationary, and flat-fading channel environments. When the channel state information is given at the base station in a single user system, a MIMO technique with SVD(singular value decomposition) and water-filling can achieve the maximal downlink channel capacity. In multi-user environments, however, SDMA(space division multiple access) technique can be used to further increase the total channel capacity supported by the base station. This paper proposes a MIMO SDMA technique which can transmit parallel data streams to each of multiple users. The proposed method can achieve higher total channel capacity than SVD-based MIMO techniques or conventional SDMA using smart antennas.

Key words : MIMO, Smart Antenna, Channel Capacity, SDMA, Wireless

1. 서론

차세대 이동 및 무선통신 시스템은 현재보다 매우 큰 고속 데이터 전송과 시스템 용량을 요구하고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 복수의 안테

나를 사용하여 송신과 수신을 하는 MIMO(multiple-input, multiple-output) 기술들이 널리 연구되고 있다[1]. 무선을 통한 데이터 서비스의 경우 상향링크보다 하향링크가 큰 용량을 요구하며[2] 하향링크 용량을 증대시키기 위해서는 단말

* 동국대학교 정보통신공학과 조교수
논문번호 : 030004-0103, 접수일자 2003년 1월 3일

기의 안테나 수를 증대시키는 것이 효과적이지만 단말기의 경우 전력, 크기, 무게, 가격의 제약 때문에 많은 수의 안테나를 두는 것은 현실적이지 않다. 이에 반해서 기지국은 그러한 제약이 상대적으로 적으므로 그 대안으로 기지국의 안테나 수를 증가시키는 방법을 택할 수 있다. 이 논문은 다수의 안테나를 가지는 기지국과 소수의 안테나를 가지는 단말기를 가정하여 하향링크에 초점을 맞추어 논한다. 이 논문에서 가정하는 채널환경은 스퀘터링(scattering)과 변동이 적으며(quasi-stationary) 평탄한 페이딩(flat-fading)을 가지는 채널이다. 채널의 변화가 적음으로써 TDD(time-division duplexing) 방식을 사용할 경우 상향링크 채널상태를 이용하여, FDD(frequency-division duplexing) 방식을 사용할 경우에는 단말기로부터 채널상태를 받음으로써 기지국에서 송신 채널의 상태를 알 수 있다고 가정한다.

기지국의 안테나의 수가 M 이고 단말기의 안테나의 수가 N 이며 M 이 N 에 비해서 크다고 할 때 기지국은 N 개의 데이터 스트림(stream)을 동시에 전송함으로써 차세대 무선 통신에서 요구하는 고속 데이터 전송을 가능하게 한다[3-4]. 단일사용자를 위한 MIMO 시스템에서 기지국이 하향링크 채널의 상태를 알고 있다면 기지국은 SVD(singular value decomposition)를 이용하여 빔포밍(beamforming)을 함으로써 병렬 데이터 스트림 전송의 이득과 함께 수신 SNR(signal-to-noise ratio)의 증가로 인한 채널용량의 증대를 이룰 수 있다[5-7].

보다 현실적인, 복수사용자를 위한 MIMO 시스템에서 M 이 N 에 비해서 매우 크고 기지국이 하향링크 채널의 상태를 알고 있다면, N 이 1인 경우에 상용되었던, 즉 단일 데이터 스트림을 전송하는 스마트 안테나[8] 기술을 확장시켜 사용자간의 간섭을 고려한 데이터 전송을 할 수 있다. 이 논문에서는 MIMO 기술과 스마트 안테나 기술을 접합하여 multi-stream beamforming이라고 부르는, 병렬 데이터 스트림을 전송하는 MIMO 스마트 안테나 기술을 제안한다. Multi-stream beamforming이 일반적인 MIMO 기술들과 구별되는 것은 다수사용자 환경에서 사용자간 간섭을 고려하여 스마트 안테나 기술을 응용한다는 것이며 SBM(smart antennas at base and mobile stations)[9-11] 등의 MIMO 스마트 안테나와 구별되는 점은 SBM이 송수신 안테나를 각각 스마트 안테나로 사용하여 단일 데이터 스트림을 전송하는 데 반해서, multi-stream beamforming은 MIMO 기술을 응용하여 복수의 데

이터 스트림을 병렬로 전송함으로써 스마트 안테나로는 이룰 수 없는 고속 데이터 전송이 가능하다는 점이다. 이 논문에서는 채널용량 측면에서 SVD를 사용한 MIMO 기술과 비교하기 위해 하나의 기지국과 다수의 단말기가 존재하는 복수사용자 환경에서 multi-stream beamforming의 공간분할 다중접속에 대해서 논한다. Multi-stream beamforming의 공간분할 다중접속을 할 때 기지국에서 전송하는 데이터의 양은 SVD를 이용한 MIMO 기술이나 스마트 안테나의 공간분할 다중접속[12]에 비해서 큰 용량 증대를 이루는 것이 가능하다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 단일사용자 환경에서 최대의 채널용량을 얻을 수 있는 방법인 SVD 기반의 MIMO 기술에서 대해서 논한다. 3절에서는 다수사용자 환경에서 용량 증대를 이루기 위해서 Multi-stream beamforming의 공간분할 다중접속에 대해서 논한다. 4절에서는 실험 결과에 대하여 논하고 5절에서 결론을 맺는다.

II. 단일사용자 MIMO 시스템

송신기(기지국)의 안테나 수가 M 이고 수신기(단말기)의 안테나 수가 N 이며 M 이 N 에 비해서 클 때 수신기에서는 최대 N 개의 데이터 스트림을 동시에 수신할 수 있으므로 송신기에서는 다음과 같이 최대 N 개의 데이터 스트림을 동시에 전송하게 된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{t} &= \mathbf{G}\mathbf{x} \\ \mathbf{r} &= \mathbf{H}\mathbf{t} + \mathbf{n} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 \mathbf{x} 는 $(N \times 1)$ 의 전송하고자 하는 데이터 벡터, \mathbf{G} 는 N 개의 데이터 스트림을 M 개의 송신 안테나에 매핑시키는 $(M \times N)$ 빔포밍 행렬, \mathbf{t} 는 $(M \times 1)$ 송신신호 벡터, \mathbf{H} 는 $(N \times M)$ 채널행렬, \mathbf{n} 은 $\sigma^2 \mathbf{I}_N$ 은 $(N \times N)$ 항등행렬의 covariance 행렬을 가지는 $(N \times 1)$ 백색잡음, \mathbf{y} 은 $(N \times 1)$ 수신신호 벡터이다. 전송되는 N 개의 병렬 데이터 스트림은 $(N \times N)$ 의사채널행렬 $\tilde{\mathbf{H}} = \mathbf{H}\mathbf{G}$ 을 통해서 전송된다고 생각할 수 있다.

먼저, 송신기에서 채널 상태 정보를 사용하지 않는 개루프 MIMO 시스템을 생각해 보자. 간단한 G 의 선택은 N 개의 병렬 데이터 전송을 위해서 N 개의 송신 안테나를 사용하는 것이며 예를 들어서 G

는 다음과 같이 선택될 수 있다.

$$\mathbf{G} = \mathbf{E}_N \quad (2)$$

식 (2)에서 \mathbf{E}_N 는 주대각선만 1이고 나머지는 0인 ($M \times N$) 행렬이다.

만일 송신기에 채널 상태 정보가 있다면 채널 용량 증대를 위해서 SVD 기반의 MIMO 시스템은 다음과 같이 \mathbf{G} 를 선택한다

$$\mathbf{G} = \mathbf{V}\mathbf{E}_N\mathbf{W} \quad (3)$$

식 (3)에서 \mathbf{V} 는 SVD, $\mathbf{H}=\mathbf{U}\mathbf{S}\mathbf{V}'$ (\mathbf{V}' 는 \mathbf{V} 의 복소 전치행렬)에 의한 ($M \times M$) unitary 행렬이며 \mathbf{W} 는 ($N \times N$) 대각선 행렬로서 water-filling에 의해서 결정된다 [5-7]. M 이 N 에 비해서 매우 클 경우에는 singular value들의 분산이 작아지게 되어 water-filling에 대한 효과는 줄어들게 되므로 식 (3)은 다음과 같이 근사화될 수 있다 [7].

$$\mathbf{G} \approx \mathbf{V}\mathbf{E}_N \quad (4)$$

III. 복수사용자 MIMO 시스템

SVD 기반의 MIMO 기술은 단일사용자 MIMO 시스템에서는 최대의 성능을 얻을 수 있지만 복수 사용자 환경에서는 간섭을 고려한 MIMO 기술이 필요하다. 이 논문에서는 II절에서 설명한 MIMO 기술처럼 병렬 데이터 스트림을 전송하면서, 단일 데이터 스트림 전송에서 사용되던 스마트 안테나 기술을 응용한, 병렬 데이터 스트림 전송 MIMO 스마트 안테나를 제안한다. 제안된 기술을 일반적인 스마트 안테나와 구별하기 위해 이 논문에서는 multi-stream beamforming이라고 부른다.

Multi-stream beamforming은 식 (1)과 비슷한 방법으로 병렬 데이터 스트림 전송을 하지만 복수 사용자 환경을 고려하여 사용자 간섭에 따른 \mathbf{G} 를 결정한다. M 개의 안테나를 가지는 하나의 기지국과 각각 N 개의 안테나를 가지는 다수의 단말기가 있는 환경을 고려할 경우 II절에서의 MIMO 시스템은, 한 순간에 K 명의 사용자를 시분할 다중접속을 사용하여 지원할 때, 각 사용자를 위한 채널용량은 K 분의 1로 줄어든다. 만일 기지국에 다수의 안테나가

존재하며 기지국이 복수사용자들의 채널상태를 알고 있다면 기지국은 스마트 안테나에서 사용하였던 공간분할 다중접속 기술을 응용함으로써 채널 용량을 증대시킬 수 있다. $K \leq M/N$ 이라고 할 때 기지국은 다음과 같은 방법으로 K 명의 사용자에게 각각 N 개의 데이터 스트림을 동시에 전송한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{t} &= \sum_{i=1}^K \mathbf{G}_i \mathbf{x}_i \\ \mathbf{r}_k &= \mathbf{H}_k \mathbf{t} + \mathbf{n}_k, \quad k=1, \dots, K \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 \mathbf{X}_i 는 i 번째 사용자를 위한 ($N \times 1$)의 전송하고자 하는 데이터벡터, \mathbf{G}_i 는 i 번째 사용자를 위한 ($M \times N$) 빔포밍행렬, \mathbf{t} 는 ($M \times 1$) 전송신호벡터, \mathbf{H}_k 는 k 번째 사용자를 위한 ($N \times M$) 채널행렬, \mathbf{n}_k 는 k 번째 사용자를 위한 ($N \times 1$) 백색 잡음벡터, \mathbf{r}_k 는 k 번째 사용자가 수신하는 ($N \times 1$) 수신신호벡터이다. k 번째 사용자를 위한 빔포밍행렬 \mathbf{G}_k 는 데이터가 k 번째 사용자를 제외한 다른 사용자에게 간섭으로 작용하지 않도록, $((K-1)N \times M)$ 채널행렬 $\mathbf{H}_k \equiv [\mathbf{H}_1' \dots \mathbf{H}_{k-1}' \mathbf{H}_{k+1}' \dots \mathbf{H}_K']$ 에 직교하여야 한다. 직교성 $\mathbf{H}_k \mathbf{G}_k = \mathbf{0}$ 을 만족시키기 위해서 식 (4)의 단일 사용자를 위한 빔포밍행렬 $\mathbf{V}_k \mathbf{E}_N$ (\mathbf{V}_k 는 SVD, $\mathbf{H}_k = \mathbf{U}_k \mathbf{S}_k \mathbf{V}_k'$ 에 의한 unitary 행렬)을 \mathbf{H}_k 와 직교를 이루는 스페이스에 투사시켜 다음과 같은 빔포밍행렬을 얻을 수 있다.

$$\mathbf{G}_k = \mathbf{V}_k \mathbf{E}_N - \mathbf{H}_k' (\mathbf{H}_k \mathbf{H}_k')^{-1} \mathbf{H}_k' \mathbf{V}_k \mathbf{E}_N \quad (6)$$

따라서 식 (6)은 다음과 같은 직교성을 만족한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_k \mathbf{G}_k &= \mathbf{H}_k \mathbf{V}_k \mathbf{E}_N - \mathbf{H}_k \mathbf{H}_k' (\mathbf{H}_k \mathbf{H}_k')^{-1} \mathbf{H}_k \mathbf{V}_k \mathbf{E}_N \\ &= \mathbf{H}_k \mathbf{V}_k \mathbf{E}_N - \mathbf{H}_k \mathbf{V}_k \mathbf{E}_N = \mathbf{0} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)에 의해서 k 와 i 가 다를 때 $\mathbf{H}_k \mathbf{G}_i = \mathbf{0}$ 이 성립하므로 식 (5)에서 k 번째 수신신호벡터는 다음과 같이 쓰여질 수 있다.

$$\mathbf{r}_k = \mathbf{H}_k \sum_{i=1}^K \mathbf{G}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{n}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{G}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{n}_k \quad (8)$$

기지국은 KN 개의 병렬 데이터 스트림을 동시에 전

송하지만 각 단말기에서는 N개의 병렬 데이터 스트림만이 수신되며 나머지 (K-1)N 데이터 스트림은 원치 않는 간섭신호이지만 빔포밍행렬에 의해서 제거된다. 송신기에서는 \mathbf{x}_k 에 훈련열이나 파일럿을 삽입하여 $(N \times \alpha N)$ 의사채널행렬 $\tilde{\mathbf{H}}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{G}_k$ 을 추정할 수 있으며 따라서 식 (8)은 일반적인 MIMO 송수신과 같아진다.

IV. 시뮬레이션 및 토의

IV.1 MIMO 기술의 채널용량

식 (1)의 MIMO 시스템의 채널용량은 다음과 같이 표현될 수 있다 [3-4].

$$C = \log_2 \left[\det \left(\mathbf{I}_V + \frac{1}{\sigma^2} \mathbf{H} \mathbf{G} E\{\mathbf{x}\mathbf{x}'\} \mathbf{G}' \mathbf{H}' \right) \right] \quad (9)$$

전송전력이 P_T 로 제한되어 있고 \mathbf{x} 가 균일전력분포를 가진다고 가정하면

$$E\{\mathbf{x}\mathbf{x}'\} = P_T / \text{trace}\{\mathbf{G}\mathbf{G}'\} \mathbf{I}_V \quad (10)$$

이며 따라서 채널용량은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} C &= \log_2 \left[\det \left(\mathbf{I}_V + \frac{P_T}{\sigma^2 \text{trace}\{\mathbf{G}\mathbf{G}'\}} \mathbf{H} \mathbf{G} \mathbf{G}' \mathbf{H}' \right) \right] \\ &= \log_2 \left[\det \left(\mathbf{I}_N + \frac{\rho}{|h|^2 \text{trace}\{\mathbf{G}\mathbf{G}'\}} \mathbf{H} \mathbf{G} \mathbf{G}' \mathbf{H}' \right) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)에서 $|h|^2$ 는 SISO(single input, single output) 채널에서의 평균채널이득의 절대값이며 $\rho = P_T |h|^2 / \sigma^2$ 는 SISO 채널에서의 수신 안테나의 평균 SNR이다. 빔포밍 행렬 \mathbf{G} 를 식 (3)과 같이 정하면 빔포밍 효과에 의한 SNR 증대를 얻게 된다. 특 M이 N보다 클 때 SNR 증대 효과가 커지므로 식 (2)에 비해 큰 채널용량 증가효과를 얻을 수 있다[7].

Multi-stream beamforming에서는 K명의 사용자를 위하여 KN개의 데이터 스트림을 병렬로 전송한다. 전송전력이 P_T 로 제한되어 있고 \mathbf{x}_k 가 균일전력 분포를 가지고 있으며 각 사용자를 위해서 전송전력을 같은 양으로 분배한다면

$$E\{\mathbf{x}_k \mathbf{x}_k'\} = P_T / (K \text{trace}\{\mathbf{G}_k \mathbf{G}_k'\}) \mathbf{I}_N \quad (12)$$

이 성립한다. 따라서 하나의 기지국의 전체 채널용량은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} C &= \sum_{i=1}^K \log_2 \left[\det \left(\mathbf{I}_V + \frac{1}{\sigma^2} \mathbf{H}_i \mathbf{G}_i E\{\mathbf{x}_i \mathbf{x}_i'\} \mathbf{G}_i' \mathbf{H}_i' \right) \right] \\ &= \sum_{i=1}^K \log_2 \left[\det \left(\mathbf{I}_V + \frac{\rho}{K |h_i|^2 \text{trace}\{\mathbf{G}_i \mathbf{G}_i'\}} \mathbf{H}_i \mathbf{G}_i \mathbf{G}_i' \mathbf{H}_i' \right) \right] \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)을 식 (12)와 비교하였을 때 각 데이터 스트림은 전송전력의 분배로 인한 송신 신호의 감소와 식 (6)에서 볼 수 있는 사용 가능한 차원의 감소로 인한 빔포밍 효과의 감소로 인해 수신 SNR의 감소를 겪게 된다. 그러나 식 (12)가 N개의 데이터 스트림을 전송하는 데 반해 식 (13)은 KN개의 데이터 스트림이 동시에 전송된다. 동시에 지원하는 사용자 수를 늘림에 따라 SNR의 감소와 데이터 스트림의 증가를 얻게 됨으로 전체 채널용량을 최대화시키기 위해서는 적절한 K의 선택이 필요하다.

IV.2 시뮬레이션 결과

제안된 Multi-stream beamforming을 채널용량 측면에서 기존의 MIMO 기술들과 비교하였다. 그림 1은 여러 가지 MIMO 기술들의 채널 용량을 비교한 것이다. X 축은 1Hz의 대역폭당 기지국이 지원할 수 있는 전체 채널용량(다수 사용자의 채널용량의 합)을 나타낸 것이며 Y축은 백분율 채널 용량을 로그 스케일로 표시한 것이다. 그림에서 왼쪽부터 SISO, 개루프 MIMO (M = 4, N = 4), SVD 기반의 MIMO (M = 16, N = 4), multi-stream beamforming (M = 16, N = 4)의 K = 2인 경우와 3인 경우를 나타낸다. 모든 경우에 대해서 동일한 송신 전력을 가정하였으며 SISO SNR ρ 는 10dB이다. MIMO 기술을 사용할 때 송신 안테나의 수가 크고 채널 정보를 알 수 있다면 그렇지 않은 경우에 비해서 매우 큰 용량 증가가 일어나는 것을 볼 수 있다. 그러나 이러한 경우에는 공간분할 다중접속을 사용한다면 보다 큰 용량증가를 이룰 수 있음을 볼 수 있다. 그림 2는 20dB의 경우에 대해서 같은 실험을 해 본 것이다. 그림 2의 경우처럼 채널 상태가 좋을 때는 그림 1의 경우보다 공간분할 다중접속으로 인한 효과가 더 극대화되어 일반적인 MIMO 기술보다 매우 큰 용량증대를 이룰 수 있는 것을 볼 수 있다.

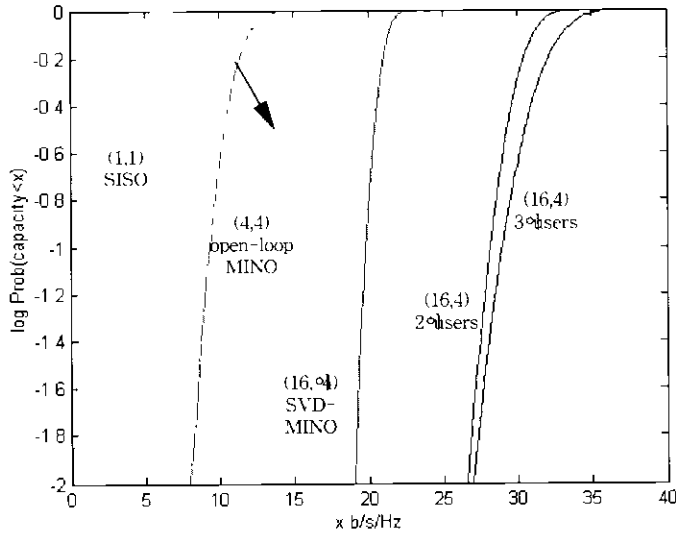


그림 1. 여러 MIMO 기술들의 전체 채널용량 (전체 송신 전력은 모든 경우에 동일, SISO SNR = 10dB)

그림 3은 KN이 8과 12일 때 (M,N)이 (16,4)인 multi-stream beamforming과 (16,1)인 스마트 안테나를 사용한 공간분할 다중접속을 10dB의 SNR에서 비교한 실험이다. Multi-stream beamforming과 스마트 안테나의 두 경우에 동일한 전체 전송전력을 사용하였으며 각 경우에 사용자마다 균등하게 전력을 분배하였다. 동일하게 8개나 12개의 데이터

스트림을 전송하더라도 각 사용자를 위해서 병렬 데이터 스트림을 전송할 수 있는 multi-stream beamforming의 경우가 더 큰 전체 채널용량을 보이는 것을 알 수 있다. 기지국은 각 사용자간 간섭이 일어나지 않도록 보장해 주어야 하며 이는 사용할 수 있는 차원의 감소로 인한 수신 SNR의 감소를 일으킨다. 스마트 안테나의 경우 각 데이터 스

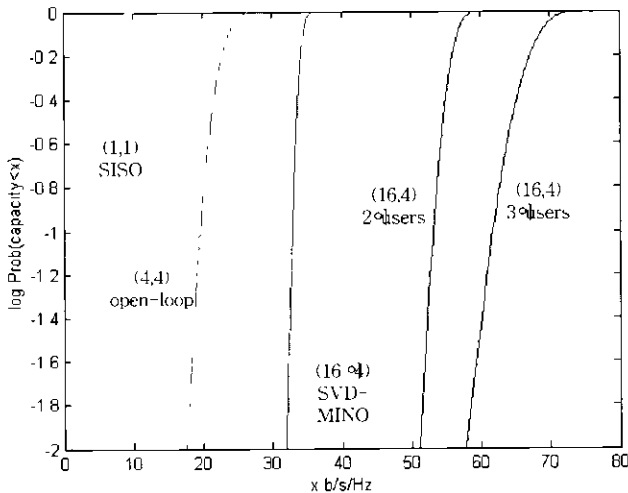


그림 2 여러 MIMO 기술들의 전체 채널용량 (전체 송신 전력은 모든 경우에 동일, SISO SNR = 20dB)

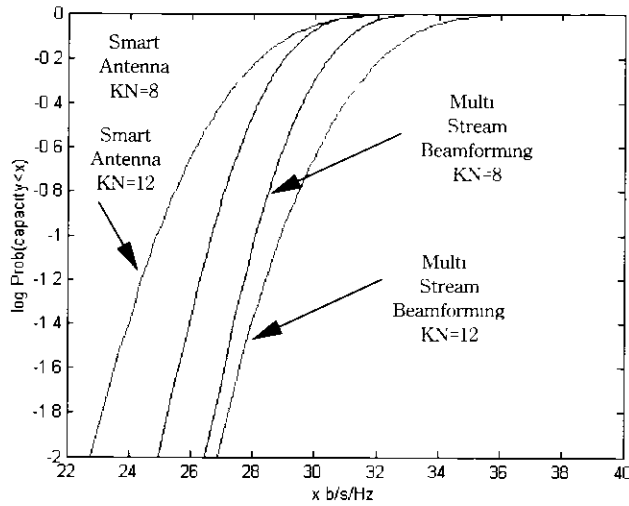


그림 3. KN = 8 와 12일 때 스마트 안테나 (M=16,N=1) 와 multi-stream beamforming (M=16,N=4) 의 비교

트림 사이에 간섭이 일어나지 않도록 보장해 주어야 하지만 multi-stream beamforming의 경우에는 같은 사용자로 가는 데이터 스트림의 간섭은 수신 측에서 간섭제거를 함으로써 해결하므로 사용 가능 차원의 감소로 인한 SNR의 감소가 상대적으로 적다. 스마트 안테나 기법은 각 사용자를 위해서 고속의 데이터 전송이 가능하지 않을 뿐만 아니라 전체 채널용량 측면에서도 multi-stream beamforming

에 비해서 열등하다. 그림 4는 (16,4)의 multi-stream beamforming과 (16,1)의 스마트 안테나를 병렬 데이터 스트림의 수를 변화시키면서 비교한 것이다. X축은 기지국이 지원하는 전체 채널용량의 5 퍼센트 백분율 채널용량이며 Y축은 병렬 데이터 스트림의 수를 나타낸다. 그림에서 multi-stream beamforming이 이룰 수 있는 채널용량은 스마트 안테나의 경우보다 큰 것을 알 수 있

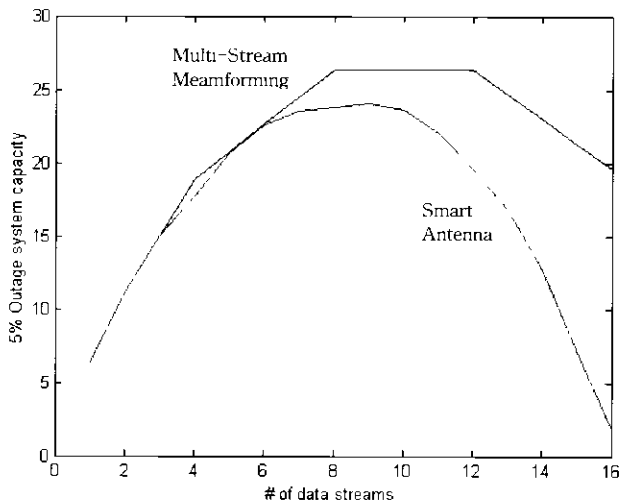


그림 4. 병렬 데이터 스트림 수의 변화에 따른 스마트 안테나 (M=16,N=1) 와 multi-stream beamforming (M=16,N=4) 의 비

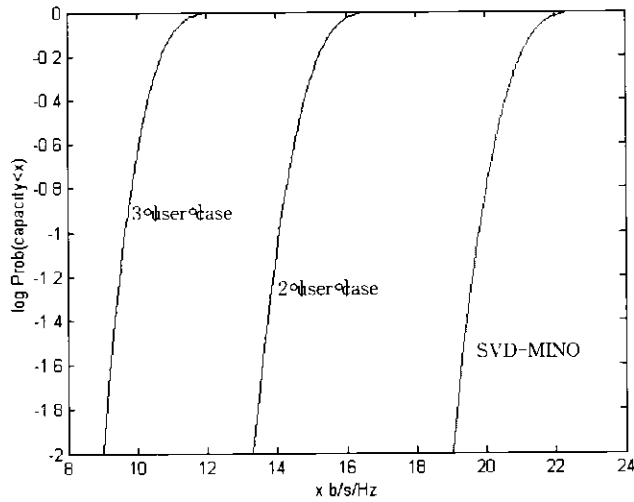


그림 5. SVD 기반의 MIMO 기술과 multi-stream beamforming 의 각 사용자당 백분율 채널 용량 (SNR = 10dB)

다.

그림 5는 송수신 안테나의 수가 각각 16과 4일 때 SVD를 이용한 MIMO 시스템의 채널 용량과 multi-stream beamforming으로 공간분할 다중접속을 했을 때의 각 사용자당 채널 용량을 비교한 것이다. 그림은 백분율 채널용량을 로그 스케일로 표시하였으며 SISO 채널의 경우를 가정했을 때의 SNR은 10dB이고 전체 전송전력은 모든 경우에 동일하다. 사용자의 수가 증가함에 따라 각 사용자당

채널 용량은 전송전력의 분배와 사용할 수 있는 차원의 감소로 인해 사용자 수의 증가에 따라 감소하게 된다. SVD를 이용한 MIMO 시스템의 경우, 2명이나 3명의 사용자를 시분할 다중접속 방법을 사용하여 동시에 지원한다면 각 사용자당 채널용량은 1/2, 1/3로 줄어드는 데 반해서 공간분할 다중접속을 한 경우에는 그 감소폭이 크지 않다. 그림 6은 (16,4)의 multi-stream beamforming과 (16,1)의 스마트 안테나에서의 각 사용자당 채널 용량을 NK가

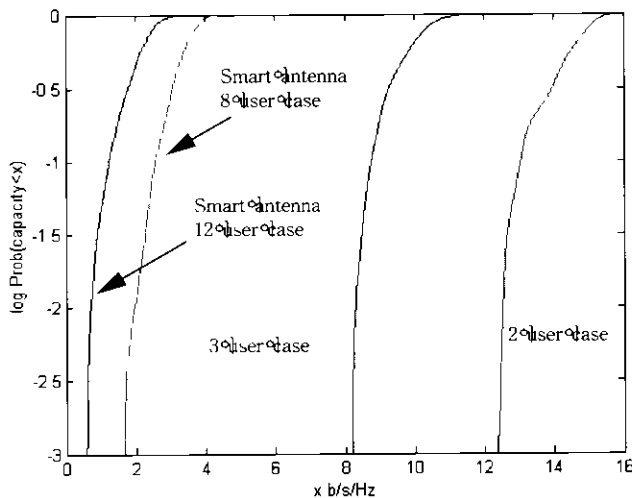


그림 6. 스마트 안테나와 multi-stream beamforming 의 각 사용자당 백분율 채널 용량 (SNR = 10dB)

각각 8과 12일 때에 대해서 비교한 것이다. 스마트 안테나의 경우 전체 채널용량은 증대시킬 수 있으나 각 사용자당 채널 용량은 차세대 무선통신시스템이 요구하는 고속 데이터 전송을 만족시키기 힘들다. SVD 기반의 MIMO 기술은 시스템 용량을 증대시키는 데 효과적이지 못하며 스마트 안테나는 고속 데이터 전송을 가능하게 하지 못한다. 실험 결과는 차세대 무선통신 시스템이 요구하는 고속 데이터 전송과 큰 시스템 용량은 multi-stream beamforming을 통해서만 가능하다는 것을 보여준다.

V. 결론

이 논문은 다수의 안테나를 가지고 있는 기지국, 소수의 안테나를 가지고 있는 단말기, 스캐터링 및 변동이 적은 평탄한 페이딩 채널을 가정하여 하향링크에 적용될 수 있는 MIMO 기술에 대해서 논하였다. 단일사용자 환경에서는 SVD를 이용했을 때 채널용량을 극대화시킬 수 있지만 다수의 단말기가 존재하는 복수사용자 환경에서는 공간분할 다중접속 기술을 이용하여 전체 채널용량을 보다 증대시킬 수 있다. 이 논문에서는 multi-stream beamforming이라고 부르는 병렬 데이터 스트림을 전송하는 MIMO 스마트 안테나 기술을 제안하였다. 일반적인 공간분할 다중접속 기술이 복수의 사용자에게 각각 단일 데이터 스트림을 동시에 전송하는 데 반해서 multi-stream beamforming을 이용한 공간분할 다중접속은 복수의 사용자에게 각각 복수의 데이터 스트림을 동시에 전송한다. 시뮬레이션 결과는 multi-stream beamforming을 사용함으로써 SVD를 이용한 MIMO 기술이나 스마트 안테나의 경우보다 더 큰 전체 채널용량을 얻는 것이 가능함을 보여주었다. SVD 기반의 MIMO 기술은 시스템 용량을 증대시키는 데 효과적이지 못하며 스마트 안테나는 고속 데이터 전송이 가능하지 않은 반면, multi-stream beamforming은 차세대 무선통신 시스템이 요구하는 고속 데이터 전송과 큰 시스템 용량을 만족시킬 수 있는 가능성을 가지고 있음을 볼 수 있다.

Acknowledgement

이 논문은 한국과학재단 특정기초 연구과제 [R01-2001-000-00349-0]의 지원결과입니다.

References

- [1] A. Lozano, F.R. Farrokhi, R.A. Valenzuela, "Lifting the Limits on High Speed Wireless Data Access Using Antenna Arrays," *IEEE Communications Magazine*, pp. 156-162, September 2001.
- [2] P. Bender et. al. CDMA/HDR: A Bandwidth-Efficient High-Speed Wireless Data Service for Nomadic Users," *IEEE Communications Magazine*, pp 70-77, July 2000
- [3] G. J. Foschini, "Layered Space-Time Architecture for Wireless Communications in a Fading Environment When Using Multi-element Antennas," *Bell Labs Technical Journal*, pp. 41-59, 1996.
- [4] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On the Limits of Wireless Communications in a Fading Environment When Using Multiple Antennas," *Wireless Personal Communication*, pp. 315-335, 1998.
- [5] G. G. Raleigh and J. M. Cioffi, "Spatio-Temporal Coding for Wireless Communications," *IEEE Trans. Commun.*, Mar. 1998, pp 357-366.
- [6] F. R. Farrokhi, G. J. Foschini, A. Lozano, and R. A. Valenzuela, "Link-Optimal Space-Time Processing with Multiple Transmit and Receive Antennas," *IEEE Commun. Letters*, pp 85-87, March 2001.
- [7] J. B. Andersen, Array Gain and Capacity for Known Random Channels with Multiplex Element Arrays at Both Ends," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp.2172-2178, November 2000.
- [8] M. Chryssomallis, "Smart Antennas," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, pp.129-136, June 2000.
- [9] K.K. Wong, R.S.K. Cheng, K.B. Letaief, R.D. Murch, "Adaptive Antennas at the Mobile and Base Stations in an OFDM/TDMA System," *IEEE Transactions on Communications*, pp.195-206, January 2001.
- [10] K.K. Wong, R.D. Murch, K.B. Letaief, "Optimizing Time and Space MIMO Antenna

System for Frequency Selective Fading Channels," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp.1395-1407, July 2001.

- [11] J. Li, K.B. Letaief, Z. Ma, Z. Cao, "Spatial Multiuser Access With MIMO Smart Antennas for OFDM Systems," *Vehicular Technology Conference*, pp.1553-1557, 2001.
- [12] C. Farsakh, J.A. Nossek, "Spatial Covariance Based Downlink Beamforming in an SDMA Mobile Radio System," *IEEE Trans. on Communications*, pp.1497-1506, November 1998.

任 敏 中 (正會員)



1987년: 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사).

1993년: University of Wisconsin-Madison, Electrical and Computer Engineering (공학박사).

1993년 ~ 2000년: 삼성전자 선
임연구원.

2000년 ~ 현재: 동국대학교 정보통신공학과 조교수.
<주관심분야> 이동통신, 무선통신, 통신 VLSI, 통신 소프트웨어.