

WiBro Uplink 시스템에서의 Beamforming 기술에 대한 성능 연구

안성수*, 김진철**, 이동영*

*명지전문대학 정보통신과

**명지전문대학 교양

e-mail : ssan@mjc.ac.kr*, dylee@mjc.ac.kr*, jj9636@yahoo.co.kr**

A Study on the Performance of Beamforming Technique in WiBro Uplink System

Sung-Soo Ahn*, Jin-Chul Kim**, Dong Young Lee*

*Dept. of Information Technology and Communication, Myongji College

**Dept. of General Course, Myongji College

요 약

휴대인터넷 시스템인 WiBro 환경에서 Uplink Beamforming 기술을 적용하였을 때의 성능을 확인하였다. 빔형성 알고리즘은 라그랑제 포플러를 사용하였고 SISO(Single Input Single Output) 시스템을 적용하였을 때와 여러 환경에서 비교 분석하였다. 다양한 실험 결과 WiBro 환경에서 Beamforming 기술이 우수한 성능을 제시하는 것을 확인하였다.

1. 서론

이동통신 시스템은 한정된 무선채널 대역폭에서 고속화 및 대용량화를 통한 통신용량의 증대 및 통신 품질 향상을 위해 지속적으로 진화되어왔다. 본 논문에서는 WiBro[1] 이동통신 환경에서 위와 같은 목표를 만족시키기 위한 기술 중 하나인 Downlink Beamforming 시스템[2]에 대한 성능을 분석하였다. 스마트 안테나 시스템에서 적용되는 Beamforming 기술은 원하는 신호방향으로 최적의 빔을 제공한다. 최적의 빔은 웨이트 벡터에 의해 결정되며 이러한 값은 라그랑제 빔형성 알고리즘[3]을 적용하여 구하였다. 본 논문에서는 기존의 SISO(Single Input Single Output) 방법과 Beamforming 방법을 다양한 방법으로 비교하여 성능을 비교 분석 하였다.

2. 빔형성 알고리즘

기지국 시스템의 용량을 증대시키고, 전송율을 높이는 방법 중 하나가 스마트 안테나(Smart Antenna)[4]를 사용하는 것이다. 스마트 안테나는 각 안테나간 수신 신호의 크기와 위상을 보정하여 빔포밍(Beamforming) 이득을 얻는다. 수신 신호를 빔포밍 함으로써 원하는 신호에 대해서는 최적의 빔을 형성해 주고 원치 않는 신호에는 널을 형성한다. 스마트 안테나에서의 핵심은 최적의 빔을 형성해 주는 웨이트 벡터를 계산하는 알고리즘이다. 본 절에서는 본 논문에서 사용하는 라그랑제 빔포밍 알고리즘에 대해서 설명한다. 배열 안테나의 출력을 다음과 같이 정의한다.

$$\underline{y} = \underline{w}^H \cdot \underline{x} \quad (1)$$

\underline{y} 는 배열 안테나의 출력 벡터, \underline{w} 는 웨이트 벡터, \underline{x} 는 수신 신호 벡터이다. 정규화된 라그랑제 알고리즘은 배열 안테나의 출력 전력을 최대화하는 웨이트 벡터(\underline{w})를 구하는 것이다.

$$\max E \left[\left| \underline{y} \right|^2 \right] = \max E \left[\left| \underline{w}^H \underline{x} \right|^2 \right] = \underline{w}^H \underline{R}_{xx} \underline{w} \quad (2)$$

류! 지정한 스타일은 사용되지 않습니다.)

\underline{R}_{xx} 는 입력 신호의 자기 상관 행렬(Auto-covariance matrix)이다. 식 (2)의 값을 λ 라고 하면, 아래의 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\underline{w}^H \underline{R}_{xx} \underline{w} = \lambda \quad (3)$$

만약, $\underline{w}^H \underline{w} = 1$ 의 제한 조건만 만족하면, 식 (4)와 같은 정규 고유치 문제(Ordinary Eigen Problem)의 최대 고유치에 해당하는 고유 벡터를 구하는 것이 된다.

$$\underline{R}_{xx} \underline{w} = \lambda \underline{w} \quad (4)$$

결론적으로, 배열 안테나에서 안테나 출력 신호의 전력을 최대화하기 위한 최적의 웨이트 벡터는 식 (3)의 정규 고유치 문제의 최대 고유치에 해당하는 고유 벡터를 구하면 된다.

식 (3)과 (4)는 수신 신호의 자기 상관 행렬을 업데이트하는 방법과 웨이트 벡터를 업데이트 하는 방법에 관한 식이다.

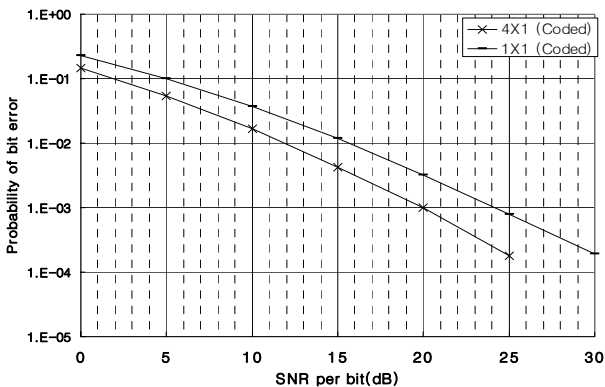
$$\underline{R}_{xx}(k+1) = f \underline{R}_{xx}(k) + \underline{x}(k)\underline{x}^H(k) \quad (5)$$

$$\underline{w}(k+1) = \underline{w}(k) + \mu [\underline{R}_{xx}(k)\underline{w}(k) - \gamma(k)\underline{w}(k)] \quad (6)$$

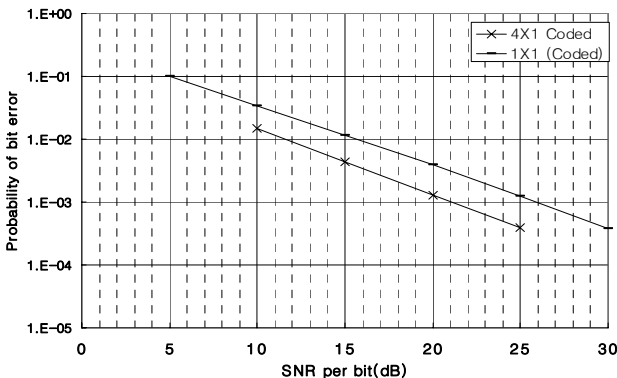
여기서 f 는 망각 계수(forgetting factor), γ 는 라그랑제 승수(lagrange multiplier), μ 는 스텝 폭(step size)를 의미한다.

3. 성능분석

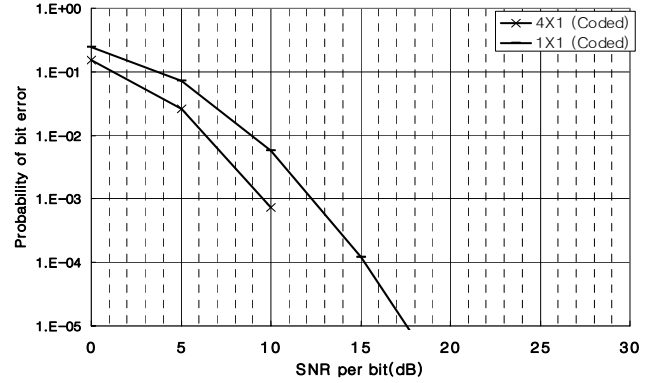
본 절에서는 일반적인 SISO 시스템과 BF 시스템에 대한 성능을 비교하여 분석한다. 그림 1은 단말이 차량의 이동 속도로 움직이는 상황에서의 성능 그래프이며, 그림 2와 그림 3은 단말이 보행자의 이동 속도로 움직일 때의 성능 그래프이다. 그림 1과 그림 2는 수신신호의 전파가 단일경로를 통과하여 수신한 상황이며, 그림 3은 ITU-R에서 권고하는 6개의 다중 경로 채널 모델을 가정한 성능 그래프이다. 본절에서 성능 그래프를 분석함에 있어 다음과 같은 사항에 중점을 두어 분석하였다.



(그림 1) 빔포밍 Vehicular 1Path 성능 그래프



(그림 2) 빔포밍 Pedestrian 1Path 성능 그래프



(그림 3) 빔포밍 Pedestrian 6Path 성능 그래프

그림 1,2,3에 대한 성능결과는 다음과 같다. 우선 1x1 SISO 시스템에서의 이동 속도에 따른 성능의 차이를 본다. 그림 1,2에서의 1x1 (Coded) 그래프를 보면 단말의 이동속도가 빠른 경우에 BER 성능이 더 좋다. 이는 인터리빙의 효과 때문으로 설명되는데, 동일 시간구간에서 채널의 변화정도는 단말의 이동속도에 비례하게 되어 인터리빙의 효과가 커지게 된다. 일반적으로 복조시 필요한 채널 정보의 추정 오차는 단말의 이동속도가 빠른 경우에 상대적으로 커지게 되는데, 해당 그래프에서는 인터리빙의 효과가 채널 추정의 오차보다 더 큰 영향을 보이고 있다.

이번에는 1x1 SISO 시스템에서의 다중경로 개수에 따른 성능의 차이를 비교해 본다. 그림 2,3에서 1x1 (Coded) 그래프에서 나와 있는 것과 같이, 다중경로의 개수가 많은 상황에서 BER 성능이 더 좋다. 이는 다중경로를 겪은 신호는 수신단의 FFT를 겪은 후, 주파수선택적(frequency selective) 특성을 가지게 된다. 이는 주파수 다이버시티의 효과를 가져오게 되어 다중경로에서의 BER 성능이 단일경로에서의 BER 성능보다 좋아지게 된다. 일반적으로 복조시 필요한 채널 정보의 추정 오차는 단일경로 모델보다는 다중경로의 모델의 경우에 커지게 된다. 해당 그래프에서는 주파수 다이버시티의 효과가 채널 추정의 오차보다 더 큰 영향을 보이고 있다. 채널 추정의 오차가 없는 상황을 가정하면 성능 차이는 더욱 커지게 된다.

마지막으로 단일경로 모델에서의 빔포밍 이득과 다중경로 모델에서의 빔포밍 이득을 확인해 본다. 본절에서 분석한 Beamforming 시스템은 요소 안테나의 개수가 4개인 상황을 가정하였다. 따라서 이상적인 SNR 이득은 약 6dB임을 알 수 있다. 그림 2,3에서 4x1 (Coded)를 보면 시뮬레이션에 의한 Beamforming 시스템의 SNR 이득은 BER 10⁻³기준으로 약 4.9dB 정도 됨을 알 수 있는데, 이상적인 SNR 이득과의 차이는 채널 추정의 오차에 기인한다 SNR 이득은 2.9dB 정도임을 알 수 있다. 다중경로 모델에서의 빔포밍에 의한 이득이 단일경로 모델에서의 빔포밍 이득보다 작은 이유는, 요소 안테나의 개수는 4개인 상황에서 트래킹해야 하는 방향성분은 다중경로의 개수인 6개이기 때문에 모든 다중경로에 대해 트래킹을 할 수 없는 없는 상황이기 때문이다.

4. 결론

본 논문에서는 WiBro 이동통신 환경에서 Downlink Beamforming 시스템에 대한 성능을 분석하였다. 1 개 경로 및 다중경로에 대해 실험한 결과 SISO 보다 Beamforming 방법에 대한 성능이 우수하였다. 1x1 SISO 시스템에서는 다중경로 개수가 많을수록 다이버시티 효과에 의해 성능이 우수하였으며, Beamforming 방법은 경로수가 적을수록 성능이 우수함을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] S. P. Alex and L. M. A. Jalloul, "Performance evaluation of mimo in IEEE 802.16e/WiMAX," *IEEE J. Selected Topics in Signal Processing*, vol. 2, No. 2, pp.181-190, Apr. 2008.
- [2] T. Yoo, N. Jindal, and A. Goldsmith, "Multi-Antenna Downlink Channels with Limited Feedback and User Selection," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on Volume 25, Issue 7, September 2007* Page(s):1478 - 1491
- [3] S. Choi and D. Shim, "A novel adaptive beamforming algorithm for a smart antenna system in a CDMA mobile communication environment," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, Vol. 49, no. 5, pp. 1793-1806, Sep. 2000.
- [4] P. W. Wolniansky, G. J. Foschini, G. D. Golden, and R. A. Valenzuela, "VBLAST: an architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel," in *Proc. IEEE ISSSE'98, Pisa, Italy*, pp. 295-300, 1998.