

CDMA 시스템의 페이딩 채널에서 빔포밍의 성능 분석

최재명* · 강희조* · 성 경*

*목원대학교

Performance Analysis of Beamforming in Fading Channels for CDMA Systems

Jae-myeong Choi* · Heau-jo Kang* · Kyung Sung*

*Mokwon University

E-mail : jmchoi@mokwon.ac.kr

요 약

적응형 어레이는 다중 접속 간섭(MAI, Multiple Access Interference)을 감소시키는 효과적인 방법을 제안하고 현재와 미래의 무선 커뮤니케이션 시스템의 성능을 개선한다. 본 논문에서는 페이딩 환경 안에서 기본 위치(BS, Base Station) 어레이 안테나와 함께 IS-95에 근거한 CDMA(Code Division Multiple Access) 시스템의 이론적인 평균 비트 오류율을 분석하기 위해서 제안한 분석법을 적용한다. 사용자의 수, 안테나의 수와 잡음 레벨의 기능에 따른 SINR(Signal Interference plus Noise Ratio)을 위해 수정된 식을 제안한다. 또한 다른 사용자와 채널 시나리오를 고려한 시뮬레이션의 결과를 증명한다.

ABSTRACT

Adaptive arrays have been proposed as an effective means of mitigating Multiple Access Interference (MAI) and improving the performance of existing and future wireless communication systems. In this paper, we apply the analytical method proposed to analyse the theoretical Mean Bit Error Rate (BER) of an uncoded IS-95 based CDMA system with an array antenna at the BS in a Ricean fading environment. We present a modified expression for the Signal to Interference plus Noise (SINR) ratio as a function of the number of users, number of antennas and noise levels. We also verify the analytical results by means of simulations by considering different user and channel scenarios.

키워드

CDMA, Beamforming, Adaptive arrays antenna, Bit error rate

1. 서 론

최근 CDMA 시스템의 중심은 스마트 또는 적응형 어레이 안테나의 사용이다[1]. CDMA 시스템에서 MAI는 성능저하의 주요 원인이 된다. 게다가, 현재까지의 멀티패스 페이딩은 상향링크 또는 역방향 링크의 성능을 상당히 저하시킨다. Rake 수신(2D-Rake receiver)에 안테나 어레이를 결합하면 많은 성능 향상을 이룰 수 있다.

대부분의 CDMA 시스템에서 빔포밍의 성능에 관한 연구는 컴퓨터 시뮬레이션으로 제한된다. 멀티 안테나와 빔포밍이 있는 CDMA 시스템의 오류율의 정확한 분석적인 평가는 아직도 풀어야 할 문제이다[2]. 최근 2D-Rake receiver의 평균 비트

오류율을 위해 폐쇄적 형태 표현에 도달하기 위해 제안된다. 새로운 방법의 타당성은 레일리 페이딩 환경의 BS에서의 다중 안테나와 더불어 단순화되었던 DS-SS-CDMA 시스템을 고려하는 것으로 설명된다.

여기서 라이시안 페이딩 환경에서 BS에 적합한 어레이 안테나와 함께 CDMA 시스템의 MBER (Mean Bit Error Rate) 성능을 분석하기 위해 [1]에서 제안된 방법을 적용한다. 여기서 사용자 수와 안테나 수, 잡음 레벨의 기능에 따른 SINR을 제안한다. 우리는 시스템 성능에 라이시안 계수의 특성을 지닌 LOS(Line of Sight)구성요소에 추가된 힘의 효과를 연구한다. 또한 확인된 시뮬레이션 결과와 분석된 결과의 타당성을 증명한다.

II. 시스템 모델

이 장에서는 빔포밍을 위한 베이스밴드 모델을 보여준다. BS가 N개의 안테나 소자를 포함하고 있는 ULA(Uniform Linear Array)를 갖추고 있는 상황을 고려한다. 각각의 안테나 소자는 $d = \lambda/2$ 의 요소 사이 간격과 더불어, 방위각으로 전방향성을 갖는다.

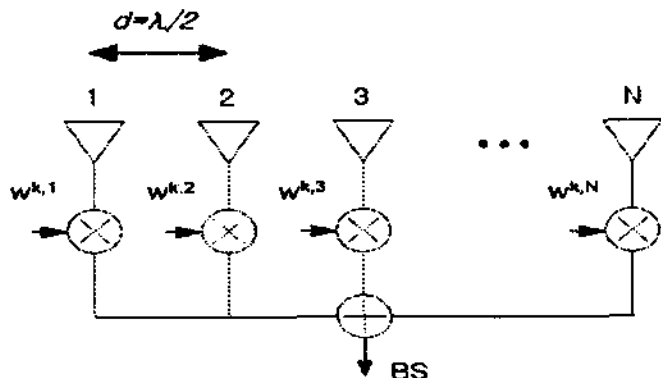


그림 1. N개의 요소를 갖는 ULA 안테나 블록 다이어그램

A. 싱글 모델

CDMA 시스템의 역방향 링크(MS에서 BS까지)에 초점을 둔다. MS 송신기는 IS-95 CDMA 역방향 링크의 규정을 따른다[3]. k번째 사용자의 $S^k(t)$ 에 보내어졌던 신호는

$$s^k(t) = W_m^*(t)a_I^k(t)\cos(\omega_c t) + W_m^*(t)a_Q^k(t)\sin(\omega_c t) \quad (1)$$

$W_m^*(t)$ 는 k번째 사용자의 m번째 M-ary Walsh 심볼이고 $a_I^k(t) = a^k(t)a_I(t)$ 와 $a_Q^k(t) = a^k(t)a_Q(t)$ 는 사용자의 PN 시퀀스의 결과와 I와 Q 채널의 PN 코드이다. $a^k(t)$ 는 k번째 사용자의 룡 코드 시퀀스이고 $\omega_c = 2\pi f_c$ 와 f_c 는 캐리어 주파수이다. 각 사용자의 전송되는 힘은 일관성을 갖는다.

B. 라이시안 채널 모델

여기서 MS의 싱글 안테나와 BS의 ULA 사이에서 무선 채널의 특성을 부여한 벡터 모델의 매개변수를 고려한다[4].

n개의 안테나에서 k번째 사용자를 위한 채널 임펄스 응답은

$$h^{k,n}(t) = \sqrt{\frac{K_R}{1+K_R}} h_{LOS}^{k,n}(t) + \sqrt{\frac{1}{1+K_R}} h_{NLOS}^{k,n}(t) \quad (2)$$

에서 얻어진다.

K_R 은 라이시안 계수, $h_{LOS}^{k,n}(t)$ 와 $h_{NLOS}^{k,n}(t)$ 는 반사와 퍼지 성분이다.

$$h_{LOS}^{k,n}(t) = e^{[j(\phi_0^k + 2\pi f_D t \cos \theta^k)]} e^{-jKd(n-1)\sin \theta^k} \quad (3)$$

$$h_{NLOS}^{k,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{S}} \sum_{s=1}^S e^{[j(\phi_s^k + 2\pi f_D t \cos \psi_s^k)]} e^{-jKd(n-1)\sin \theta^k} \quad (4)$$

여기서 $k = 1, 2, \dots, K$ 는 사용자 인덱스이고, $n = 1, 2, \dots, N$ 는 안테나 인덱스이며 S 는 서브패

스계수, $K = 2\pi/\lambda$ 는 파형의 수, d 는 inter-element 차이, f_D 는 이동속도 v 와 파장의 비율인 도플러 주파수의 최대값, ϕ_0^k 와 ϕ_s^k 는 $[0, 2\pi]$ 에서 위상을 고르게 랜덤 분배한다. θ^k 는 MAOA(the Mean Angle of Arrival)이고 ψ_s^k 는 각각의 서브 패스의 모바일 모션에 관한 AOD (Angle of Departure)이다.

(2)를 다시 정의하면,

$$h^{k,n}(t) = \beta^{k,n}(t)e^{-j\varphi^{k,n}(t)} \quad (5)$$

를 얻을 수 있다.

$\beta^{k,n}(t) = |h^{k,n}(t)|$ 는 복합적 라이시안 채널 진폭의 계수이고, $\varphi^{k,n} = \arg\{h^{k,n}(t)\}$ 는 n번째 안테나에 k번째 사용자의 캐리어 각도이고 패스트 페이딩의 영향을 포함하고, 안테나 사이의 전파 지연의 차이, 수신기와 송신기 캐리어의 위상 차이이다.

벡터 기법에서 k번째 사용자를 위한 공간의 서명 또는 채널 응답 벡터는 $N \times 1$ 벡터로 표시하고 $N \times 1$ 은

$$h^k(t) = [h^{k,1} h^{k,2} \dots h^{k,N}]^T \quad (6)$$

로 표시한다.

$(\cdot)^T$ 는 전치 행렬 연산을 의미한다.

III. 수신기 모델

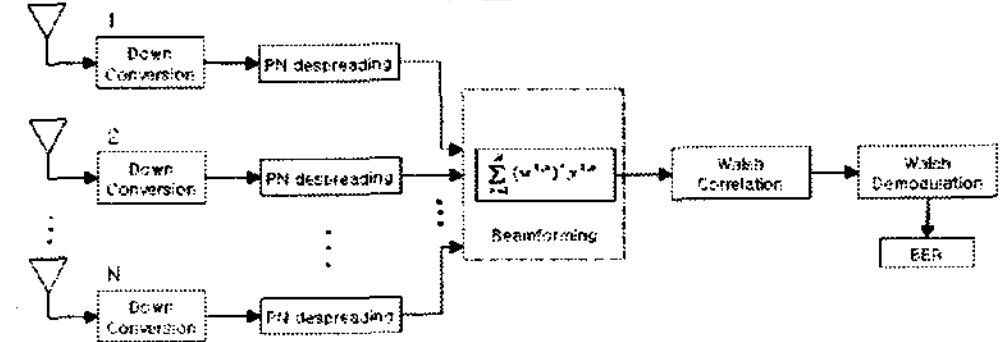


그림 2. 수신기 블록 다이어그램

ULA를 통합한 수신기의 단순화한 블록 다이어그램은 그림 2에서 보여준다. n번째 안테나에서 전체 받은 신호는

$$x^n(t) = \sum_{k=1}^K [\beta^{k,n} W_m^*(t-\tau^k) a_I^k(t-\tau^k) \cos(\omega_c t + \varphi^{k,n}) + \beta^{k,n} W_m^*(t-\tau^k) a_Q^k(t-\tau^k) \sin(\omega_c t + \varphi^{k,n})] + \eta^n(t) \quad (7)$$

에서 구해진다. $s^k(t)$ 는 식 (1)에서 구한 k번째 사용자의 송신한 신호, τ^k 는 경로지연이고 $\eta(t)$ 는 AWGN 간섭이다.

PN 역확산 신호는

$$y^k = [y^{k,1} y^{k,2} \dots y^{k,N}]^T \quad (8)$$

로서 벡터 기법으로 표시한다.

다음 빔포머를 만들고 빔포밍 출력은

$$z^k = (w^k)^H y^k \quad (9)$$

로 정해진다. w^k 는 빔포밍 벡터 세기이고 $(\cdot)^H$ 는 Hermitian 전치 행렬 연산을 의미한다. 여기서 sub-optimal을 가정하지만 단순한 MSNR (Maximum Signal to Noise Ratio)를 계산한 빔포밍은 [2]에서 실행됐다. 이와 같이 세기는 $w^k = h^k$ 로 설정한다. 여기서 벡터 채널 계수를 정확하게 알고 있다고 가정한다. 이것은 시스템 효율에서의 상계를 제공한다.

마지막으로 빔포머 출력은 Walsh랑 관련이 있다. q 번째 Walsh 상관기 ($q = 1, 2, \dots, M = 64$)의 출력은

$$Z_I^k(q) = \begin{cases} \beta^k \cos \varphi^k + M_I^k + N_I^k & ; \text{if } q = m \\ M_I^k + N_I^k & ; \text{else} \end{cases} \quad (10)$$

$$Z_Q^k(q) = \begin{cases} \beta^k \sin \varphi^k + M_Q^k + N_Q^k & ; \text{if } q = m \\ M_Q^k + N_Q^k & ; \text{else} \end{cases} \quad (11)$$

로 정해진다. N_I^k 와 N_Q^k 는 잡음이고 M_I^k 와 M_Q^k 는 MAI로 각각 보여준다.

IV. 성능 분석

시스템의 성능을 분석적으로 결정하고 [1]과 [5]에서 제안된 어림과정을 따른다. 어림은 배열 안테나 시스템에 하나의 안테나 실행 경계를 잡음과 MAI를 설명하는 싱글 안테나 수신기의 오류율 공식을 개선하여 적용시킬 것이다. 그 과정은 간섭의 종류를 두 가지(in-beam, out-beam)로 나눌 수 있다.

라이시안 페이딩의 1D-RAKE 수신기(빔포밍이 없는 싱글 안테나)의 평균 비트 오류율은[6]

$$P_b^{1D}(e) = \frac{M/2}{M-1} \sum_{q=1}^{M-1} \binom{M-1}{q} \frac{(-1)^{q+1}}{(1+q+q\delta_1)} \times \exp\left(\frac{-\delta_1}{1+q+q\delta_2}\right) \quad (12)$$

에서 구할 수 있다. 변수 δ_1 과 δ_2

$$\delta_1 = \frac{\rho}{1 + \frac{1}{K_R}} \quad (13)$$

$$\delta_2 = \frac{\rho}{1 + K_R} \quad (14)$$

로 구할 수 있다. ρ 는 SINR이고 K_R 은 라이시안 계수이다.

A. 다중 안테나를 위한 수정된 변수

잡음과 MAI의 수정된 변수는 각각 $\overline{\sigma_N^2}$ 와 $\overline{\sigma_M^2}$

에 따라 정의된다.

안테나 어레이의 출력에 잡음은 N 번 감소한다. N 은 안테나의 수이다. 따라서,

$$\overline{\sigma_N^2} = \frac{N_0}{2N} \quad (15)$$

κ 는 in-beam 간섭 수로 나타낸다. out-of-beam 간섭 수는 $K - \kappa - 1$. 따라서

$$\overline{\sigma_M^2} = \left\{ \alpha_0 \frac{E_s}{3N_c} (K - \kappa - 1) \right\} + \left\{ f \frac{E_s}{3N_c} \kappa \right\} \quad (16)$$

를 얻을 수 있다. α_0 는 out-of-beam 간섭을 위한 감쇠 계수이고 $N_c = 256$ 은 스프레딩 계수, $f = 3/4$ 는 in-beam 간섭을 위한 교정 계수이다[5].

SINR 식은

$$\rho = \frac{E_s}{2\sigma_T^2}$$

로 구할 수 있다. $\overline{\sigma_T^2} = \overline{\sigma_N^2} + \overline{\sigma_M^2}$ 은 변수 합이다.

값과 단순화 대신,

$$\rho = \frac{\gamma}{\left(\frac{1}{N} + f \frac{2}{3N_c} \gamma \kappa + \alpha_0 \frac{2}{3N_c} \gamma (K - \kappa - 1) \right)} \quad (17)$$

를 얻을 수 있다. $\gamma = \frac{E_s}{N_0} = \log_2(M) \frac{E_b}{N_0}$.

표 1. 빔포밍 파라미터

안테나의 수 N	4	6	8
α_0 (dB)	-12	-14	-16
$2\theta_{BW}$ (degs.)	30°	20°	15°

B. BER 어림

식 (17)과 (12)와 섹터에 간섭의 규칙적인 분배를 가정을 통해 2D-RAKE 수신기(빔포머와 RAKE 수신기의 결합)의 평균 비트 에러율을

$$P_b^{2D}(e) = \sum_{\kappa=0}^{K-1} \chi \eta^\kappa \binom{K-1}{\kappa} P_b^{1D} \quad (18)$$

로 얻을 수 있다. P_b^{1D} 는 식 (12), ρ 는 식 (17)에서 주어졌고, χ 와 in-beam 간섭자 η 의 확률은 [1], [5]에서 정의됐다.

$$\eta = \frac{(2\theta_{BW})}{\nabla\theta} \quad (19)$$

$$\chi = (1 - \eta)^{K - \kappa - 1} \quad (20)$$

$\Delta\theta = 120^\circ$ 는 섹터의 종합 적용 범위의 위상

이고 $2\theta_{BW}$ 는 요구하는 사용자 쪽으로 종합 빔폭이다. 본 논문에서 사용되는 똑같은 빔포밍 파라미터 $2\theta_{BW}$ 와 α_0 의 값들은 표 1을 참조한다[1].

V. 결론

시뮬레이션은 비트 오류율 모델의 정확성을 검증하기 위해 사용되었다.

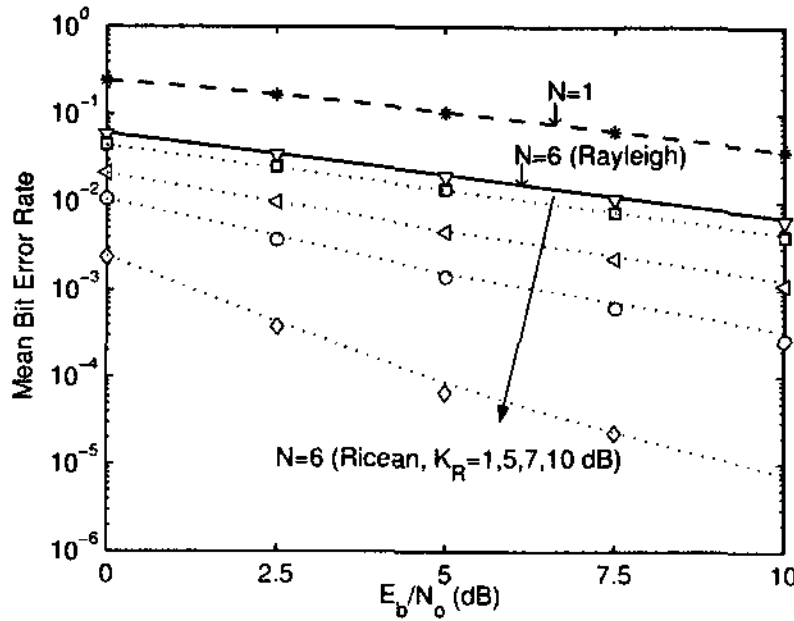


그림 3. N=6 안테나, K=1 사용자일 때 MBER 대 E_b/N_0 (dB)

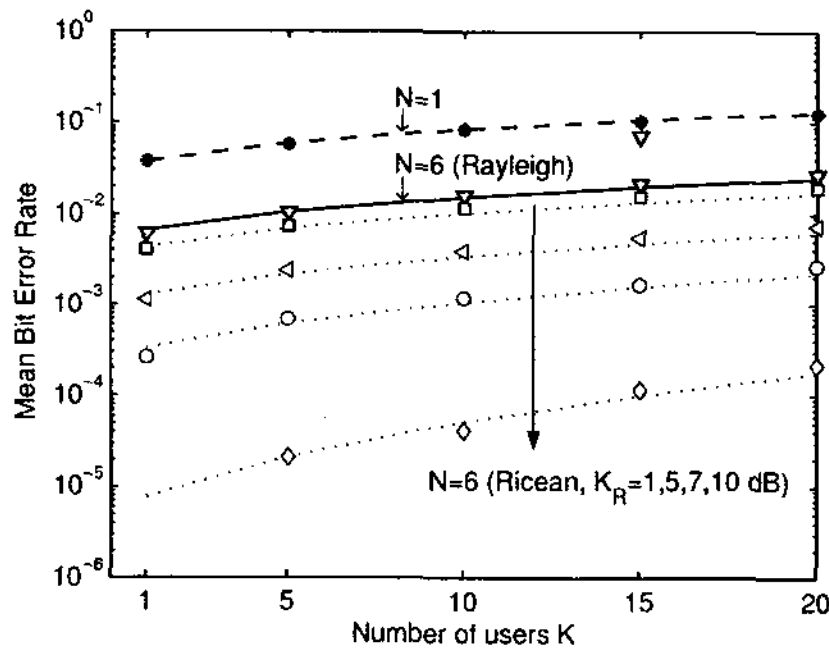


그림 4. $E_b/N_0=10$ dB, N=6 안테나일 때 MBER 대 K 사용자 수

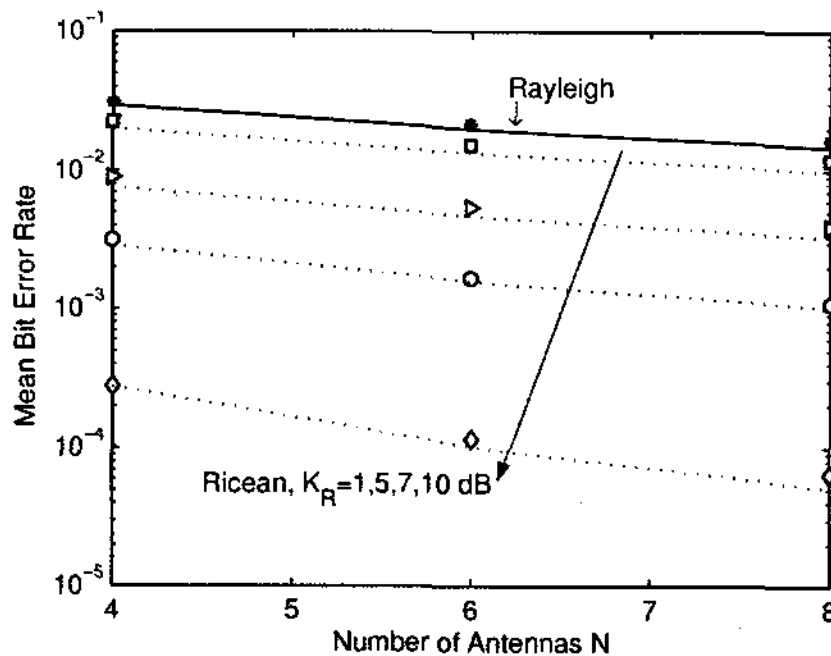


그림 5. $E_b/N_0=10$ dB, K=15 사용자일 때 MBER 대 N 안테나 수

그림 3은 단일 사용자일 때 평균 비트 오류율 대 E_b/N_0 (dB)를 보여준다. 라이시안 계수의 낮은

값들은 그 성능이 레일리 페이딩의 성능에 매우 가깝다. 그러나 더 큰 라이시안 계수는 평균 비트 오류율에서 엄청난 진보가 있다. 시뮬레이션 결과는 이론과의 우수한 일치성을 보여준다.

그림 4에서는 사용자의 수를 바꾼 예를 본다. 싱글 안테나와 라이시안 페이딩을 위한 참고 커브들은 또한 그림에서 보여주게 된다. 비트 오류율 모델은 다중 사용자의 시나리오를 위한 시뮬레이션 결과와 잘 맞게 되는 것을 볼 수 있다.

그림 5에서는 시뮬레이션 결과가 이론 어림과 잘 일치하는 것을 다시 볼 수 있다. 이와 같이 단순한 어림은 적당하게 정확한 단계의 다른 라이시안 페이딩 환경에서의 복잡한 시스템의 성능을 예측하기 위해 사용될 수 있다.

여러 사용자와 채널 시나리오에서의 시뮬레이션 결과는 유효성과 분석적인 결과의 정확성을 증명한다. 또한 레일리(Non Line of Sight) 페이딩의 가정이 시스템의 최악의 성능을 주는 것을 보여주게 되었다. 라이시안(Line of Sight) 페이딩의 가정에서는 시스템 성능은 LOS 성분의 파워에 따라 개선된다.

참고문헌

- [1] A. Poloni and U. Spagnolini, "A simple method to calculate the error probability for 2D RAKE receivers," in Proc. IEEE VTC '01, vol. 1, May 2001, pp. 590-594.
- [2] Y. S. Song, H. M. Kwon, and B. J. Min, "Computationally efficient smart antennas for CDMA wireless communications," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 50, no. 6, pp. 1613-1628, Nov. 2001.
- [3] J. S. Lee and L. E. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook. Artech House, 1998.
- [4] Third Generation Partnership Project Two (3GPP2), "Spatial Channel Model Text Description (SCM Text v2.3)," Jan. 30, 2003.
- [5] U. Spagnolini, "A simplified model for probability in error in DS-SS systems with adaptive antenna arrays," in Proc. IEEE ICC'01, June 2001, pp. 2271-2275.
- [6] P. J. Crepeau, "Uncoded and coded performance of MFSK and DPSK in nakagami fading channels," IEEE Trans. Commun., vol. 40, no. 3, pp. 487-493, Mar. 1992.