

Array 안테나와 최대비 합성 다이버시티를 채용한 비동기식 IMT-2000 시스템의 수신성능 분석

*왕 용 칠 **우 병 훈 *강 희 조

*통신대학교 전기전자공학과 **진주공업대학 정보통신과

Performance Analysis of the Asynchronous IMT-2000 System Receiver with Array Antenna and MRC-Diversity

*Yong-Chul Wang **Byung-Hoon Woo *Heau-Jo Kang

* Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.

** Dept. of Information & Communication Eng., Jeonju Technical College.

*E-mail : cjfdl98@hanmail.net

요 약

본 논문은 광대역 무선통신환경에서 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에 기반한 비동기 IMT-2000 시스템의 송수신 시스템을 구성하여 기지국의 수신성능을 분석하였다. 적용된 시스템은 이동국과 기지국간의 Uplink 채널 환경을 고려하였으며, 기지국의 수신신호는 다중경로 페이딩(Multi-path Fading)과 다중접속간섭(Mult Access Interference : MAI)의 영향으로 성능이 열화되며 이에 대한 대책으로 Array 안테나를 채용하였을 경우와 MRC-Diversity(Maximal Combining Diversity)를 채용하였을 경우의 수신성능을 동일한 환경에서 비교 분석하였다. 본 논문에서 적용한 Array 안테나는 수신 신호의 방향에 따라 적응적으로 추적하여 수신 SNR(Signal-to-Noise power Ratio)을 최대로 형성하여 시스템의 성능을 개선하는 기법이며, 안테나의 방향성(Directivity : $D=2.67$)을 이용하는 3-element Array 안테나를 채용하였다. 최대비 합성 다이버시티 기법은 다이버시티 기법 중 수신효율이 가장 좋으며 가지수($L=2$)를 합수로 사용하였다. 성능분석 결과 다중경로 페이딩과 다중접속간섭 환경에서 최대비 합성 다이버시티 기법이 Array 안테나보다 약 $E_b/N_0=4[\text{dB}]$ 정도 수신효율이 우수하였다.

1. 서 론

이동전화망은 음성 서비스를 위주로하는 제1세대 아날로그 방식(AMPS)에서 음성·저속 데이터(9.6Kbps, 14.4Kbps)를 제공한 제2세대 디지털 방식(IS-95A, B)으로 발전하였다. 지금은 모든 통신사업자들의 관심 대상인 위성과 육상을 포함하는 IMT-2000이란 제3세대 방식으로 진화해 나가고 있다. 제2세대에서 제3세대로의 이행은 현재의 네트워크 및 주파수를 활용하여 점진적으로 데이터 속도를 높여가는 업그레이드형 접근 방법과 새로운 네트워크 및 고대역 주파수를 활용하여 직접 고도화된 고속 데이터 서비스로 진화하려는 혁신적 접근방법이 있다. 또한, 제4세대망으로 2Mbps의 대역폭 제한이 없는 광대역 멀티미디어 응용과 광대역 무선 인터넷 접속을 가능하게 하는 연구가 계속되고 있다. IMT-2000을 통해 하나의 단말기를 지니고 세계 어느 지역에서나 통화가 가능한 개인 이동성이 실현되고, 지능망인 UPT(Universal Personal Telecommuni-

cation) 서비스를 통해 언제·어디서나·어떠한 단말도 이용할 수 있는 개인 이동성이 실현될 것이다. 완벽한 개인 이동성은 지능망을 기반으로 구축된 이러한 망들이 결합될 때 비로소 이룩된다. 현재 IMT-2000의 고유 서비스로는 위치정보서비스·무선호출서비스·메시지 서비스·트래픽 및 항법서비스 등이 있다. 초기의 IMT-2000은 셀룰러·PCS가 공존하는 상태에서 가능한 서비스가 제공될 것이고, 본 궤도에 이르면 최대 2Mbps 이하의 육상 서비스와 16Kbps의 위성 서비스가 제공될 것이다[1].

이동통신 시스템의 성능과 수용용량에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 다중경로 페이딩과 다중접속 간섭에 의한 성능열화가 주 요인이다. 이동통신에서 전송률을 통과한 다중파는 다중경로 페이딩과 다중경로 간섭을 받게 되므로 수신전력 레벨이불규칙적으로 변동하게 되어, 멀티미디어 디지털 전송 시스템 설계시 고려해야만 한다. 다중경로 페이딩 환경에서는 수신 전계강도 레벨이 수신기의 열잡음 레벨 가까이 열화되고, 고속 디

지털 전송시 지연시간이 길어져 전송대역에 주파수 선택성 페이딩이 발생되어 전송특성이 열화된다. 따라서, 고속 고품질 디지털전송을 실현하기 위해서는 수신전계강도 레벨저하에 대한 열화보상과 다중경로 페이딩 대책이 불가피하다[2].

다중경로 페이딩에 의한 성능 보상 및 수용 용량은 다중 수신 안테나 다이버시티를 이용한 기술, 송신 다이버시티 및 다중 사용자 검출을 포함한 다양한 기술로써 실현할 수 있으며 이것에 대한 연구는 계속적으로 진행되어 왔다.

본 논문에서는 3GPP에 제안된 표준안을 기초로 송수신 시스템을 구성하고, 다중경로 페이딩 환경에서 MAI를 감소시키기 위한 방안으로 기지국 수신단에 방향성(Directivity : $D=2.67$)을 이용하는 3-element Array 안테나 기법과 다중경로 페이딩 환경에서 최대비 합성 다이버시티 기법을 채용하여 동일 조건 하에서 각각의 성능을 비교분석 하였다. 참고로 Adaptive Array 안테나의 빔 방향을 적응 알고리즘에 의해 유동적으로 변화시키지 않고 안테나의 방향성만을 고려하여 분석하였다.

2. 시스템 모델

W-CDMA 시스템의 구조는 일반적으로 그림 1과 같이 대역확산 시스템의 구조를 가지며, 비동기식 IMT-2000 시스템은 무선접속방식으로 W-CDMA 방식을 충족하는 형태이므로, 본 논문에서는 비동기식 DS-SSM/QPSK 시스템의 역방향 링크전송을 가정하며, 채널모델은 송수신간에 하나 이상의 다중경로 채널이 존재하는 무선채널을 고려한다.

2.1 시스템 해석 모델

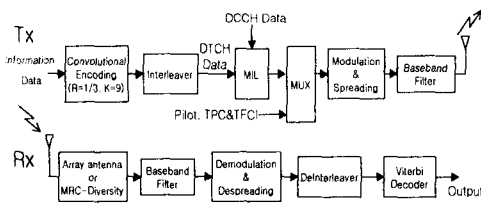


그림 1. W-CDMA 시스템모델

IMT-2000 시스템은 데이터 전송시 데이터를 다중화하여 이용하므로 사용자의 정보 데이터가 물리 채널로 맵핑되는 과정이 다양하게 존재한다. 본 논문에서는 Uplink DPDCH/ DPCCH(32sbps) 채널 송신 모델을

고려하였다. 적용된 시스템은 정보 비트의 오차 확률을 측정하기 위한 입력을 DTCH로부터 받고 컨벌루션 코딩, 인터리빙을 거친 후 DCH 데이터와 멀티플렉싱된 후 2차 인터리빙을 시키게 된다. 이후 물리 채널로의 맵핑시 TPC, TFCI, Pilot 심볼과 규격에서 정해진 패턴으로 멀티플렉싱 한 후 스프레딩 코드와 스크램블링 코드를 이용하여 확산한다. 데이터 변조는 dual channel QPSK 형태로서 I와 Q채널에 해당 channelization 코드로 확산된 신호가 BPSK로 변조되어 들어와서 복소 신호로 변환되며 각 이동 단말을 구별하기 위한 스크램블링 코드로 복소 스크램블링이 수행된 후 베이스 밴드필터를 거친 후 무선채널로 전송된다. 이렇게 변조되어 송신된 신호는 다중경로 페이딩 채널과 다중접속 간섭환경을 거쳐 수신되는데 수신기는 송신기와 반대과정인 복조를 하게된다.

본 논문에서 수신기는 Array 안테나를 채용했을 경우의 시스템과 최대비 합성 다이버시티를 채용했을 경우의 각각의 시스템으로 입력된 후 송신기의 반대과정으로 데이터를 복원하게 된다.

본 논문에서 해석하는 3GPP가 제안한 IMT-2000 시스템의 Layer1과 Layer2 처리를 위한 채널 구조는 기본적인 3가지 채널로 정의된다[3].

- 논리채널 : Layer2/MAC에 의해 상위 Layer로 전달
 - 트랜스포트채널 : Layer1에 의해 Layer2/MAC으로 전달
 - 물리채널 : Layer1에서 다루어지는 채널.
- 논리채널은 전송되는 정보의 종류에 의해 정의된다. 트랜스포트채널은 데이터 특성과 전송방법에 의해 정의되는 채널로서 일반적으로 2 그룹으로 구분된다.
- 공통채널 : 특정 MS로의 정보 전송시 MS의 인증 필요.
 - Dedicated채널 : MS가 물리채널, 즉 코드 혹은 주파수에 의해 확인됨.

물리채널들은 Radio frame, 그리고 Time slot의 Layer 구조로 이루어진다. 물리 채널의 심볼 전송율에 따라 Radio frame과 Time slot의 구성이 바뀐다.

Radio frame은 15개의 Time slot으로 이루어진 처리 단위이다. Time slot은 정보 심볼들의 구성 단위로 Time slot 당 심볼의 수는 물리 채널에 의해 결정된다. 심볼은 다수의 칩들로 구성되는데, 이는 물리 채널의 확산 값과 동일하다. 그림 2는 Uplink의 물리 채널 구조를 나타낸다.

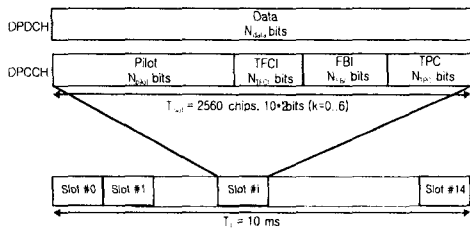


그림 2. Uplink 물리 채널 구조

2.2 컨벌루션 부호화 기법

컨벌루션 부호기는 우수한 에러 정정능력을 가지고 있기 때문에 위성통신과 디지털 셀룰러 시스템 등에서 널리 사용되고 있다. 이 부호의 특징은 부가성 백색 가우시안 통신로에서 에러 정정 능력이 특히 우수하고 연접특성의 에러가 발생하는 채널에서도 인터리버/디인터리버를 이용하여 쉽게 연접에러를 정정할 수 있다.

본 논문은 컨벌루션 부호로는 비동기식 IMT-2000 시스템의 역방향 링크에서 사용되고 있는 부호율이 1/3 이고 구속장이 9인 것을 이용한다. 부호율 1/3이고 구속장 9인 컨벌루션 부호의 구조를 나타내고, 대응되는 전달함수 $T(D)$ 는 다음과 같다[6].

$$T(D) = 5D^{18} + 7D^{20} + 36D^{22} + 85D^{24} + 204D^{26} + 636D^{28} + 1927D^{30} + 5416D^{32} + 15769D^{34} + \dots \quad (1)$$

$$\frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1} = 11D^{18} + 32D^{20} + 195D^{22} + 564D^{24} + 1473D^{26} + 5129D^{28} + 17434D^{30} + 54092D^{32} + 171117D^{34} + \dots \quad (2)$$

2.3 Array 안테나 기법

Adaptive Array 안테나 기법은 방향성을 이용, 희망 신호와 간섭신호의 방향에 따라 적응적인 빔 형성을 통해 희망신호의 이득을 높여줌으로써 수신 신호의 성능을 향상시킨다. 빔 패턴 $A(\theta)$ 는 희망신호의 방향으로 beam-forming되고 간섭신호의 방향으로 null-steering 되도록 안테나 element에 의해 형성되는 beam의 형태를 말한다. 따라서 빔 패턴은 셀 내 희망 신호의 이동과 간섭신호의 분포정도 및 수신 신호의 세기에 따라 순시적으로 변동하게 된다.

본 논문에서는 셀 내에 사용자가 일양하게 분포하고 기지국과 이동국 사이에 전력제어가 완벽하게 이루어진다고 가정한다. 또한, 빔 패턴의 구동은 수평방향만 고려한다. 이때의 빔 패턴은 $0^\circ \sim 360^\circ$ 까지 정규화된

형태로 간주될 수 있다. 정규화된 빔 패턴 $G(\theta)$ 와 그에 따른 방향성 (D)는 다음과 같다[4],[5].

방향성 D 는 안테나의 최대 방사 밀도 방향의 방향이득을 말하며, 본 논문에서는 T. S. Reppaport의 결과[4]와 같이 2.67인 경우를 고려한다.

$$G(\theta) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{|A(\theta)|^2}{M^2} \right\} \text{ [dB]} \quad (3)$$

$$D = \frac{2\pi}{\int_0^{2\pi} G(\theta) d\theta} \quad (4)$$

단, $A(\theta)$: 빔 패턴, M : 안테나 element 수, D : Directivity .

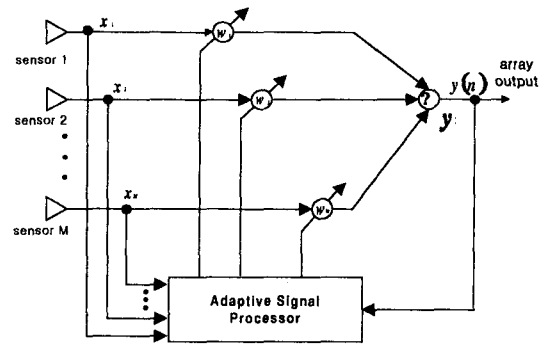


그림 3. M개의 element를 갖는 Array 안테나 구조

2.4 최대비 합성 다이버시티 기법

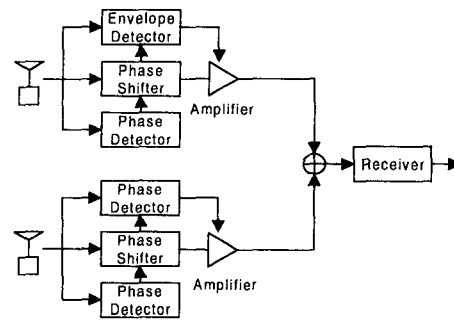


그림 4. 최대비 합성 다이버시티 구조

다이버시티 수신 기법은 동일한 신호를 2개 이상의 가지 (branch)로 수신하여 송신전력을 증가시키지 않으면서도 페이딩의 영향을 효과적으로 줄일 수 있다. 본 논문에서 고려한 최대비 합성 다이버시티 기법은 다이버시티 가지 입력을 모두 동상이 되도록 조정함과 동

시에 각각의 포락선에 비례하여 가중치를 가하여 SNR이 큰 신호일수록 합성 SNR에 크게 기여하는 방식으로 여러 다이버시티 기법중 가장 효과적이다. 그림4는 가지 수가 2인 최대비 합성 다이버시티 구조를 나타낸다. 다중경로 페이딩에 의한 성능보상을 효과적으로 할 수 있는 가지수가 L인 최대비 합성 다이버시티 출력단의 SNR은 다음과 같다.

$$\Gamma = \sum_{k=0}^L \Gamma_k \quad (5)$$

3. 무선통신 채널 환경

3.1 페이딩 채널 환경

페이딩 채널의 임펄스 응답이 존재하는 구간 간격이 한 칩 이내인 경우를 Flat 페이딩이라 하며, 가지거리(LOS : Line of sight) 경로의 존재 여부에 따라 수신 신호의 통계적인 특성은 레일리(Rayleigh), 혹은 라이시안(Rician) 분포로 모델링 된다. 송신측으로부터 경로 신호 중 직접적인 경로가 존재하지 않는 경우, 즉 도시 환경과 같이 송신측과 수신측이 건물에 의해 가려져 직접적인 경로가 없는 경우는 수신 신호의 수신 진폭은 다음 식과 같은 레일리 분포의 통계적 특성을 가진다[7].

$$p(R) = \frac{R}{S} \exp\left(-\frac{R^2}{2S}\right), \quad 0 \leq R \leq \infty \quad (6)$$

단, S : 수신 평균 전력

반면 교외 지역과 같이 송신측과 수신측 사이에 직접적인 경로가 존재하는 경우는 식 (7)과 같은 라이시안 분포로 모델링된다[7].

$$p(R) = \frac{R}{S_f} \exp(-K) \exp\left(-\frac{R^2}{2S_0}\right) I_0\left(R\sqrt{\frac{2K}{S_f}}\right), \quad 0 \leq R \leq \infty \quad (7)$$

식 (7)에서 $I_0(\)$ 는 첫 번째 종류의 0차인 수정된 Bessel 함수이며, K는 S_0 를 신호 성분이 가장 강한 경로의 평균 전력, S_f 를 나머지 경로들의 평균 전력으로 표현했을 때 S_0/S_f 에 해당하는 파라미터이다. 즉 직접파 대 반사파의 비를 나타낸다.

3.3 다중 접속 간섭 채널 환경

기지국과 이동국간에 완벽한 전력제어(power control)와 간섭신호도 기준신호와 같은 크기의 전력제기와 경로 손실을 갖는다고 고려한다면, 기준 사용자 이외의 다른 사용자에 의한 MAI는 가우시안 랜덤 변

수로 간주할 수 있다. 따라서 간섭신호의 전력 스펙트럼 밀도를 N_I 라고 하면 $\sigma_I^2 = N_I/2$ 이므로 하나의 간

섭신호가 MAI에 기여하는 정도는 다음과 같다.

$$MAI = N_I = \frac{2}{3N} E_b \cdot \rho^2, \quad (8)$$

단, ρ : 송신 신호의 순시 진폭.

그러므로 모든 사용자의 간섭을 고려한 DS/CDMA 시스템의 신호 대 잡음비 ($\gamma_s = SNR_{DS}$)는 다음과 같다.

$$SNR_{DS} = \frac{E_b \cdot \rho^2}{\frac{2(U-1)}{3N} E_b \cdot \rho^2 + \frac{N_0}{2}}, \quad (9)$$

단, N : PN 코드 길이, U : 사용자수,

$\frac{N_0}{2}$: AWGN의 전력스펙트럼 밀도.

4. 계산결과 및 검토

본 장에서는 다중경로 페이딩 환경에서 비동기 DS-CDMA/

QPSK 시스템의 성능과 성능개선 기법으로서 Array 안테나를 채용한 경우와 최대비 합성 다이버시티 기법을 채용한 경우의 수신성능을 비교·분석하였다. 표 1은 본 논문의 성능분석을 위한 파라미터를 나타내며 그림 5~6은 각각의 시스템의 성능분석을 비교하였다.

이동 통신 채널 환경은 송신기와 수신기가 서로 가지거리를 확보하는 LOS와 가지 전파 경로를 차단하는 Non-LOS로 모델링 되는데, 레일리 분포특성일 때는 직접파 대 반사파 전력비를 0[dB], 라이시안 분포특성일 때는 6[dB] 로 모델링 하였다.

표 1. 성능분석 파라미터

Modulation	DS-CDMA/QPSK
Bandwidth	5MHz
Length of PN Code (N)	31
convolution coding	R=1/3, k=9
Number of User	4
Racian Factor (K)	0, 6[dB]
MRC-Diversity branch	2
Array Antenna Directivity	2.67

그림 5에서는 직접파 대 반사파 전력비가 K=0, 6[dB] 일 때 사용자수는 4명이고 안테나의 방향성(D=2.67)만을 고려하였다. 페이딩 환경에서의 성능분석을 위해 컨벌루션 부호화를 사용하지 않았으며, 수신신호는 다중

경로 페이딩과 다중 접속 간섭으로 인하여 크게 열화되었으며, 3-element Array 안테나를 채용하였을 경우에도 역시 데이터 서비스 기준인 $BER=10^{-6}$ 을 만족하지 못하였다.

그림 6에서는 라이시안 페이딩 환경에서 동일 조건으로 최대비 합성 다이버시티 기법을 채용하였다. Array 안테나를 채용했을 때 처럼 다중경로 페이딩과 다중 접속 간섭으로 인해 시스템은 열화 되었으나 성능개선 정도는 Array 안테나를 채용했을 경우보다 우수하였다. 하지만 본 시스템도 데이터 서비스 기준인 $BER=10^{-6}$ 을 만족하지 못하였다.

그림 7에서는 IMT-2000의 표준안에 기초하여 컨벌루션 부호화 기법을 각각의 시스템을 채용하였을 경우의 성능분석을 나타내었다. Array 안테나를 채용하였을 경우 $K=0, 6[dB]$ 일 때 약 $E_b/N_0=17, 9[dB]$ 에서 데이터 서비스 기준 $BER=10^{-6}$ 을 만족하였으며 최대비 합성 다이버시티를 채용하였을 경우는 약 $E_b/N_0=7.8[dB], 5.4[dB]$ 에서 데이터 서비스 기준 $BER=10^{-6}$ 을 만족하였다.

결과적으로 IMT-2000 시스템은 수신단에 Array 안테나와 최대비 합성 다이버시티를 채용함으로써 다중경로 페이딩과 다중접속간섭 환경에서 데이터 서비스 기준을 만족함을 알 수 있었다. 특히 컨벌루션 부호화 기법을 채용하였을 경우 수신성능이 좋았으며 각각의 시스템을 비교 분석한 결과 최대비 합성 다이버시티가 약 $E_b/N_0=4[dB] \sim 16[dB]$ 정도 수신성능이 우수하였다. 이는 희망신호와 간섭신호의 방향성만 고려한 Array 안테나 보나 수신신호에 가중치를 가하여 SNR이 큰 신호일수록 합성 SNR이 크게 기여하는 최대비 합성 다이버시티 수신기법이 효과적임을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 IMT-2000 시스템 표준안을 기초로 송수신 시스템을 구성하여 광대역 무선채널 환경 및 다양한 시스템 운용환경에서 시스템 성능을 분석하였다. 수신 성능의 개선을 위하여 다중접속간섭을 감소시키는 방안으로 Array 안테나와 최대비 합성 다이버시티를 채용하여 분석하였으며 표준안에 기초한 컨벌루션 부호화기법을 사용하였다.

Array 안테나와 최대비 합성 다이버시티를 채용함으로써 큰폭의 성능개선을 얻을 수 있었으며, 이는 기존 안테나와 달리 수신 SNR (Signal-to-Noise power Ratio)을 최대로 하는 빔을 형성하고 수신 신호의 방향성을 적용하였으며, 수신신호에 큰 신호일수록 합성 SNR을 크게 하여 시스템의 성능을 개선시킬 수 있었

다. 앞으로의 연구과제로는 각각의 시스템에 간섭제거기를 적용하여 동일 방향으로 입사하는 비 희망신호를 제거하는 기법과 Array 안테나의 빔 방향을 적응 알고리즘에 의해 유동적으로 변화시키는 연구가 실행되어야 할것이다.

< 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (2000-1-30200-009-1)지원으로 수행되었음 >

참고문헌

- [1] 전자신문, "IMT-2000과 통신분야의 변화," 2000년 3월28일.
- [2]이정도, "다중반송파 변조를 이용하는 고속 디지털 전송 시스템에 관한 연구," 동신대학교 전기전자공학과 박사학 위논문, 2000년 2월.
- [3] 3G, TS 25.211 V3.0.2, Mar. 2000.
- [4] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, "Analytical results for capacity improvements in CDMA," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 680-690, Aug. 1994.
- [5]Litva and T. K. Lo, Digital Beamforming in Wireless Communications, Artech House, Inc. 1996.
- [6]L. Jhong Sam and L. E. Miller, CDMA System Engineering Handbook, Boston · London, Artech, 1998.
- [7]Proakis, J. G., Digital Communications, NewYork, McGraw-Hill, 1983.
- [8]3GPP, TS25. 101 UE Radio Transmission and Reception.
- [9]Brenard Sklar, Digital Communications Fundamental and Applications, Prentice-Hall International Editions, 1988.
- [10] 이상근, 방효창,"CDMA 무선기술," 도서출판 세화, 2000년 3월.

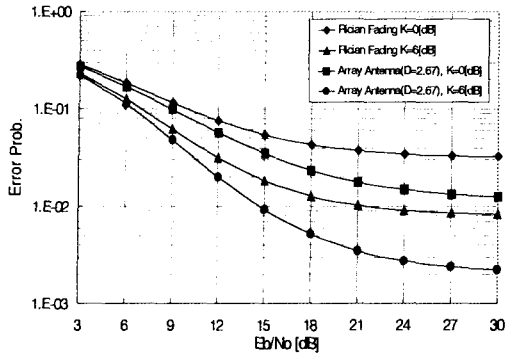


그림 5. 페이딩 환경에서 Array 안테나를 채용하였을 경우의 수신성능분석

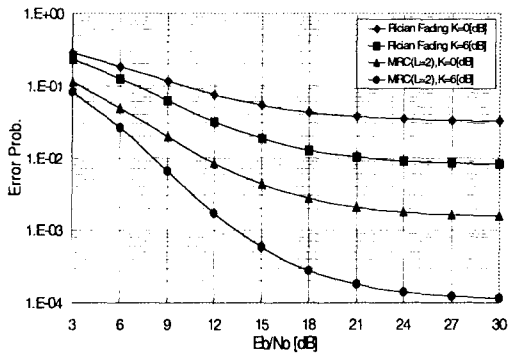


그림 6. 페이딩 환경에서 최대비 합성 다이버시티 기법을 채용하였을 경우의 수신성능분석

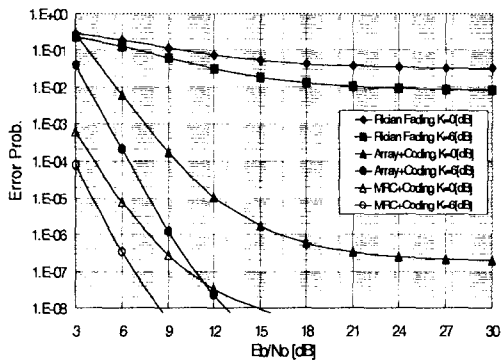


그림 7. Array 안테나와 최대비 합성 다이버시티 기법을 채용하였을 경우의 수신성능분석