

# m-분포 페이딩과 라이시안 페이딩 환경 하에서의 다이버시티 수신된 DS-CDMA / MDPSK 신호의 성능 분석

## Performance Analysis of Diversity Received DS-CDMA/MDPSK Signals in m-distribution and Rician Fading Environments

이 정 도 · 강 희 조

Jeong-Do Lee · Heau-Jo Kang

### 요 약

본 논문에서는 대역확산 방식인 DS-CDMA/MDPSK 신호를 m-분포 페이딩과 라이시안 페이딩 환경 하에서 유도한 후, 페이딩으로 인한 경감된 오율성능을 개선하기 위해 MRC(Maximal Ratio Combining) 다이버시티 기법을 사용하여 두 환경에서 비교 분석하였다. 라이시안 페이딩 모델은 m-분포 페이딩 모델에 알맞은 값을 선택하여, PN 코드 길이(N), 사용자 수(U), 다중 경로수(P), 페이딩 지수(m), 라이시안 지수(K), 다이버시티 가지수(L), 그리고 비트에너지 대 잡음전력비( $E_b/N_o$ )를 함수로 하여 오율특성을 구했다. 그 결과 레일리 페이딩 상태에서는 두 결과는 완전히 일치하였으며, 페이딩이 약할수록, 사용자 수가 많을수록, 다중 경로수가 많을수록 그리고, PN 코드 길이가 작을 수록 결과는 점점 더 일치해감을 알 수 있었다.

### Abstract

The error rate equation of DS-CDMA / MDPSK signal has been derived in m-distribution and Rician fading channels. Predetection multipath MRC(Maximal Ratio Combining) diversity technique is employed for improving the bit error rate performance. The suitability of modeling a Rician fading environment by a properly chosen m-distribution model is examined. Using the derived equation the error performance has been evaluated and shown in figures as a function of PN code sequence length(N), user number(U), multipath number(P), fading index(m), Rician factor(K), number of diversity branches(L) and  $E_b/N_o$ . The results show that the error performance in Rician fading agrees well with that in m-distribution fading as fading becomes weak and as user number(U) increases and as multipath number(P) increases and diversity number(L) increases.

### I. 서 론

일반적으로 이동통신 채널 특성은 수신된 신호가

장구간(long-term) 페이딩과 단구간(short-term) 페이딩이 결합된 형태로 나타난다. 장구간 페이딩은 주로 지형에 의한 shadowing에 의해 발생하며 Log-Normal 분포 특성을 가진다. 단구간 페이딩은

동신대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.)

· 논문 번호 : 971202-085

· 수정완료일자 : 1998년 3월 3일

국부 산란과 건물에 의한 반사 등으로 인한 다중 경로와 수신기 자체의 움직임으로 인한 도플러 효과 (Doppler effect) 등에 의해 발생하며 레일리 분포 (Rayleigh distribution) 특성을 가진다. 이러한 단구간 페이딩의 주기가 반송파의 반파장이므로 이동국의 작은 이동에도 수십 dB 가량의 깊고 빠른 페이딩(Fast fading)이 발생한다. 이러한 빠른 페이딩은 기지국으로부터 직접파나 강한 반사파가 존재하는 경우에는 라이시안 분포(Rician distribution)를 따르고, 가시선(Line of Sight)이 존재하지 않고 순수 산란파만이 이동국에 수신되는 일반적인 시가지환경에서는 레일리 분포를 따르는 것으로 알려져 있다. 또한, m값 변화에 의해 페이딩 강도를 나타내는 m-분포(m-distribution)는 무선 통신로에서 발생하는 여러 가지 포락선 변동을 나타내며, 레일리 분포와 라이시안 분포를 동시에 표현할 수 있는 편리성도 갖고 있어 무선통신 환경에 많이 이용되고 있다[1]~[4].

본 논문에서는 m-분포 페이딩과 라이시안 페이딩 환경에서의 DS-CDMA /MDPSK 변조신호를 사용자 수(U), 다중 경로 수(P), PN 코드 길이(N), 다이버시티 가지 수(L), 그리고 비트에너지 대 잡음전력비( $E_b/N_b$ ) 등으로 성능을 비교 분석하고, 송신전력을 증가시키지 않고도 짧은 주기의 페이딩 영향을 효과적으로 줄일 수 있는 MRC 다이버시티 기법을 사용하여 오율성능을 향상시키고자 한다. 이러한 결과를 바탕으로 하여 MRC 다이버시티 수신된 DS-CDMA /MDPSK의 오율특성이 m-분포 페이딩과 라이시안 페이딩 하에서 서로 일치하는 정도를 알아본다.

II. 해석모델

본 논문에서는 가우스 잡음(AWGN)과 다중접속간섭(MPI : Multi-Path Interference, MUI : Multi-User Interference) 그리고 m-분포페이딩과 라이시안 페이딩 환경을 모델링하여 하였다. 각각의 채널상에서 U명의 사용자가 동시에 존재하

며, 각 사용자의 신호는 다중 경로 수 P개의 경로를 갖는다고 가정한다. 따라서 전체 다중 접속 간섭은  $P(U - 1) + (P - 1)$ 이 되는데, 이러한 다중간섭은 가우스 랜덤 변수로 변환하여 해석한다. 또한, 본 논문에서 사용하는 DS-CDMA /DPSK 수신기 모델은 그림 1과 같다. 복조기는 T만큼의 시간차를 갖는 2경로로 구분되며 각각의 경로는 다시 동상과 역상성분을 갖는다. 신호는 동상성분과 역상성분에서 각각  $a_i(t) \cos(2\pi f_c t)$ 와  $a_i(t) \sin(2\pi f_c t)$ 가 곱해진다.

$b_i^0$  데이터가 수신된다고 가정하면 i번째 사용자 신호에 정합된 수신기의 2경로의 동상성분 출력은 다음과 같다.

$$Z_c = \int_0^T r(t) a_i(t) \cos(2\pi f_c t) dt. \tag{1}$$

$$Z_{c,d} = \int_0^T r(t - T) a_i(t) \cos(2\pi f_c t) dt. \tag{2}$$

2경로의 역상성분 출력은 식 (1)과 식 (2)의 cos(·) 항을 sin(·) 항으로 바꾸므로써 얻어진다.

$$Z_s = \int_0^T r(t) a_i(t) \sin(2\pi f_c t) dt. \tag{3}$$

$$Z_{s,d} = \int_0^T r(t - T) a_i(t) \sin(2\pi f_c t) dt. \tag{4}$$

수신기는  $Z_c Z_{c,d} + Z_s Z_{s,d}$  값을 스레쉬홀드 값과

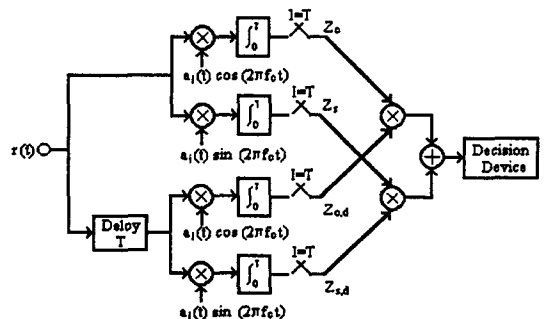


그림 1. DS-CDMA /DPSK 수신기  
Fig. 1. DS-CDMA /DPSK receiver.

비교하여  $\hat{b}_i^0$ 를 차동 복조한다.

### 2-1 m-분포 페이딩

m-분포는 나카가미 교수에 의해 단파대에 있어서 대규모 실험을 통하여 찾아낸 것으로 심도 지표라고 부르는 파라미터 m값에 의해 중단파로부터 마이크로파에 이르는 무선통신로에서 발생하는 여러 가지 형태의 포락선 변동을 기술할 수 있다. m-분포 페이딩을 받은 수신 신호의 순시 진폭 R에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다<sup>[5]</sup>.

$$p_N(R) = \frac{2m^n R^{2m-1}}{\Gamma(m) \Omega^n} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right), \quad (5)$$

단,  $\Gamma(\cdot)$  ; 감마 함수,  $\Omega/2$  ; 수신 평균 전력.

### 2-2 라이시안 페이딩 통신로

위성과 항공기간, 위성과 지상 이동체간의 통신은 라이시안 페이딩 통신로를 모델링하여 많은 연구가 행해지고 있는데, 이와 같은 라이시안 페이딩 통신로를 통해 수신되는 신호는 가시거리 성분인 직접파 성분과 전송로에 인접한 물체로부터 반사되어 시간지연을 갖고 도달하는 반사파 성분으로 구성된다. 반사파 성분은 직접파와 같은 형태를 지니지만 진폭은 레일리 분포를 하고 위상은 랜덤 분포(random distribution)를 한다. 수신신호 진폭을 실효치로 정규화 시킨 진폭의 변동을  $\rho$ 라고 하면 이  $\rho$ 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다<sup>[6]</sup>.

$$p_R(\rho) = 2\rho(K+1) \cdot \exp[-K - \rho^2(K+1)] \cdot I_0[2\rho\sqrt{K(K+1)}], \quad (\rho \geq 0), \quad (6)$$

단,  $\rho = R / \sqrt{R^2}$ ,

$I_0(\cdot)$  ; 0차의 변형 베셀함수,

K ; 직접파 대 반사파 전력비.

그리고, m-분포와 라이시안 분포는 다음과 같은 관계를 갖는다<sup>[7]</sup>.

$$K = \frac{\sqrt{1-1/m}}{1 - \sqrt{1-1/m}}. \quad (7)$$

## III. DS-CDMA / MDPSK 신호의 오류

### 3-1 잡음만의 영향을 받는 경우

잡음만의 영향에 의한 DS-CDMA / MDPSK 신호를 잘못 판정할 확률  $P_{eG}$ 는 다음과 같다<sup>[8],[9]</sup>.

$$P_{eG} = \text{erfc}\left[\sqrt{\gamma} \cdot \sin\frac{\pi}{2M}\right], \quad M \geq 4, \quad (8)$$

$$\text{단, } \gamma = \left[ \left(\frac{E_b}{N_0}\right)^{-1} + \frac{2[P \cdot U + (P-1)]}{3N} \right]^{-1},$$

P ; 다중 경로 수, U ; 사용자 수,

N ; PN 코드 길이.

### 3-2 m-분포 페이딩의 영향을 받는 경우

m-분포 페이딩을 받는 경우 M-ary DPSK 신호의 심벌 오류식은 다음과 같이 구한다.

$$P_{eF-N} = \int_0^{\infty} P_{eG} \cdot p_N(R) dR. \quad (9)$$

$P_{eG}$ 는  $\gamma \gg 1$ 이고,  $M \geq 4$ 일 때이다.

### 3-3 라이시안 페이딩의 영향을 받는 경우

라이시안 페이딩을 받는 경우 식 (6)의 라이시안 페이딩의 확률밀도함수를 수신반송파대 잡음전력비를 함수로 하여 나타내면 다음과 같다<sup>[10]</sup>.

$$p_R(\gamma) = \frac{(K+1)}{\gamma_0} \exp\left[-K - \frac{\gamma(K+1)}{\gamma_0}\right] \cdot I_0\left[2\sqrt{\frac{\gamma K(K+1)}{\gamma_0}}\right] \quad (10)$$

여기서  $\gamma$ 는 순시 수신반송파대 잡음전력비,  $\gamma_0$ 는 평균 수신반송파대 잡음전력비이다. 따라서, 라이시안 페이딩 환경 하에서 M-ary DPSK 신호의 심벌 오류식은 다음과 같이 구한다.

$$P_{eF-R} = \int_0^\infty P_{eG} \cdot p_R(\gamma) d\gamma \quad (11)$$

신호가 비직교(nonorthogonal) 신호계에서의 비트 오류와 심벌 오류 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다[6].

$$P_b \simeq \frac{P_{eF}}{\log_2 M}, \quad (P_{eF} \ll 1), \quad (12)$$

단,  $P_b$  ; 비트 오류식,  $P_{eF}$  ; 심벌 오류식.

#### IV. 다이버시티 기법을 채용한 경우 오류

신호 대 잡음비(SNR)  $\gamma$ 는 MRC 다이버시티 수  $L$ 개의 다이버시티 가지(branch)의 출력과 다 음의 관계가 있다[11].

$$\gamma = \sum_{k=1}^L \gamma_k \quad (13)$$

여기서  $\gamma_k$ 는 각 다이버시티 가지의 SNR이다.

##### 4-1 m-분포 페이딩에서 MRC 다이버시티 기법

각 다이버시티 가지에서의 페이딩과 잡음의 영향이 독립적이라면, m-분포 페이딩 환경에서 수신신호  $\gamma$ 의 순시 SNR에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다[11].

$$p_{L-N}(\gamma) = \frac{m^{mL} \gamma^{mL-1}}{\Gamma(mL) R^{mL}} \exp\left(-\frac{m\gamma}{R}\right), \quad (14)$$

단,  $\Gamma(\cdot)$  ; 감마 함수,  $\gamma$  ; 순시 SNR,  $R$  ; 평균 SNR,  $L$  ; 다이버시티 가지의 수.

m-분포 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티 수신시 MDPSK 신호의 심벌 오류식은 다음과 같다[12].

$$P_{L-N} = \int_0^\infty P_{eG} \cdot p_{L-N}(\gamma) d\gamma = 1 - \frac{2D}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma(mL+1/2)}{\Gamma(mL)} \cdot \left(\frac{m+D^2R}{R}\right)^{-1/2} \cdot {}_2F_1\left(\frac{1}{2}, 1-mL; \frac{3}{2}; \frac{D^2R}{m+D^2R}\right), \quad (15)$$

$$\text{단, } D = \sin \frac{\pi}{2M}.$$

##### 4-2 라이시안 페이딩에서 MRC 다이버시티 기법

라이시안 페이딩 환경에서 MRC 다이버시티 가지  $L$ 의 수신신호  $\gamma$ 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다[13].

$$p_{L-R}(\gamma) = \frac{(1+K)\gamma^{\frac{L-1}{2}}}{\gamma_0} \left(\frac{(1+K)}{KLY_0}\right)^{\frac{L-1}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{KLY_0 + (1+K)\gamma}{\gamma_0}\right) \cdot I_{L-1}\left(2\sqrt{\frac{(K+K^2)L\gamma}{\gamma_0}}\right), \quad (16)$$

$\gamma$  ; 순시 SNR,  $\gamma_0$  ; 평균 SNR,  $L$  ; 다이버시티 가지의 수

라이시안 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티 수신시 MDPSK 신호의 심벌 오류식을 구하면 다음

과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_{L-R} &= \int_0^{\infty} P_{eG} \cdot p_{L-R}(\gamma) d\gamma \\
 &= 1 - \frac{(1+K)}{\gamma_0} \left( \frac{(1+K)}{KL\gamma_0} \right)^{\frac{L-1}{2}} \cdot \exp(-KL) \\
 &\cdot \frac{2D}{\sqrt{\pi}} \cdot \left[ \sum_{a=0}^{\infty} \frac{1}{a! \Gamma(L+a)} \cdot \left( \sqrt{\frac{(K+K^2)L}{\gamma_0}} \right)^{L+2a-1} \right. \\
 &\cdot \Gamma(L+a+0.5) \cdot \left( D^2 + \frac{1+K}{\gamma_0} \right)^{-(L+a+0.5)} \\
 &\left. \cdot {}_2F_1 \left( 1, L+a+0.5; 1.5; \frac{D^2}{D^2 + (1+K)/\gamma_0} \right) \right], \quad (17)
 \end{aligned}$$

단,  $D = \sin \frac{\pi}{2M}$ .

### V. 수치계산 결과 및 결론

유도한 식을 이용하여 페이딩 지수(m), 직접파

대 반사파 전력비(K), 사용자 수(U), 다중 경로수(P), PN 코드 길이(N), 다이버시티 가지 수(L), 그리고 비트에너지 대 잡음전력비( $E_b/N_0$ )를 함수로 하여 m-분포 페이딩과 라이시안 페이딩 환경 하에서 직접확산 방식을 도입한 다이버시티 수신시의 오율특성을 비교하여 수치계산한 결과를 그림 2~그림 6에 나타냈다.

그림 2는 DS-CDMA / 4DPSK 신호를 다이버시티 수신시 오율특성을 나타낸 것이다. 다이버시티 기법으로 수신한 경우, 하지 않은 경우와 비교해서 오율특성이 현저히 개선됨을 알 수 있었고, 페이딩 지수에 따라, MRC 다이버시티 기법을 사용한 경우, 오율특성의 경우  $m=1, K=0$ 인 즉, 레일리 페이딩 상태에서는 m-분포 페이딩과 라이시안 페이딩 오율특성은 완전히 일치하였고 또한, 페이딩 지수가 커질수록 일치해감을 알 수 있다. 그러므로, 두 페이딩 환경에서 주어진 레일리 페이딩 환경 조건에서는 수식의 결과값이 동일함을 알 수 있었다.

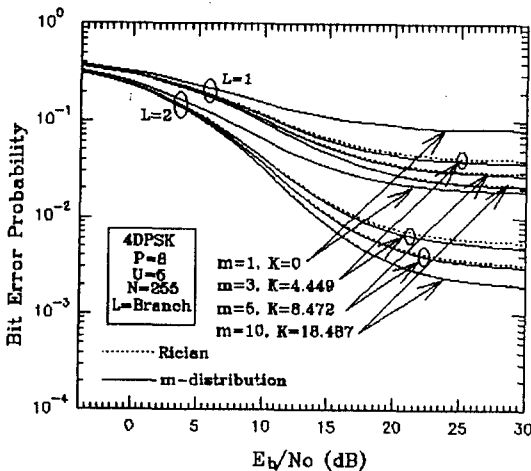


그림 2. m-분포 페이딩과 라이시안 환경 하에서 MRC 다이버시티 기법을 채용한 DS-CDMA / 4DPSK 신호의 오율특성

Fig. 2. Error performance of DS-CDMA / 4DPSK signal adopting MRC diversity technique in m-distribution and Rician fading environments.

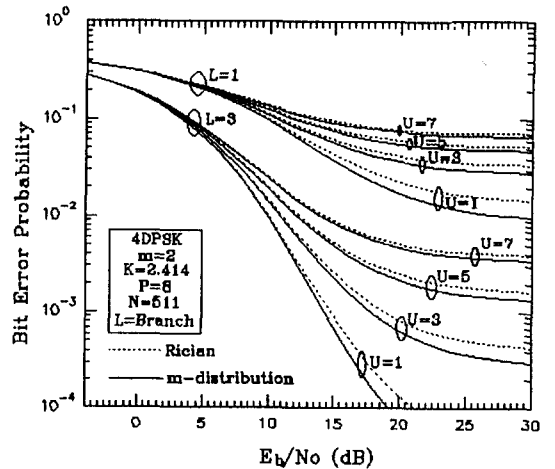


그림 3. m-분포 페이딩과 라이시안 환경 하에서 MRC 다이버시티 기법을 채용한 DS-CDMA / 4DPSK 신호의 오율특성

Fig. 3. Error performance of DS-CDMA / 4DPSK signal adopting MRC diversity technique in m-distribution and Rician fading environments.

그림 3은 기준 사용자 이외의 다른 사용자 수에 의한 서로의 간섭이 많을수록 오율특성이 열악해지지만, 두 환경에서의 오율특성은 점점 일치해감을 알 수 있었고, 그림 4는 DS-CDMA /4DPSK 신호에서 DS시스템의 확산에 의한 처리이득값에 의한 영향은 오율을 크게 개선되지 않았다. 또한, PN 코드 길이(N)가 클수록 즉, 처리이득 값이 큰 경우(N=1023) 오율특성은 약간의 차이가 있으나, PN 코드 길이가 작을수록(N=127) 오율특성이 거의 일치해감을 알 수 있었다. 그림 5는 DS-CDMA /4DPSK 신호를 다중 경로 수(P)에 따른 오율 특성 그래프로, 경로수에 따른 두 오율특성이 다른 그래프보다 가장 큰 차이를 나타냄을 알 수 있고, 경로 수가 많아질수록 일치해 갔다. 그림 6은 DS-CDMA /4DPSK 신호를 M-ary 수에 따라 다이버시티 가짓 수가 3일 때 나타낸 오율 특성 그래프로, ary 수가 클수록 오율 특성은 일치해져 16-ary인 경우 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

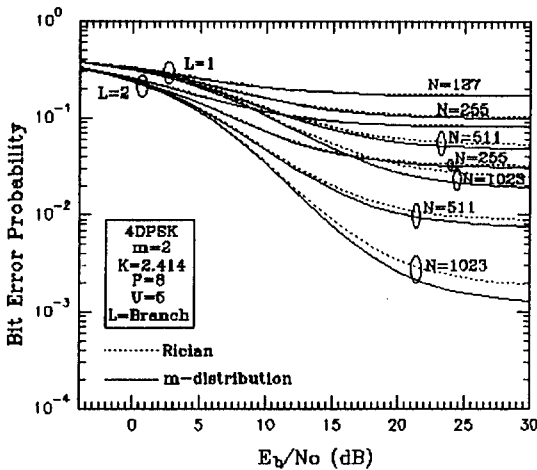


그림 4. m-분포 페이딩과 라이시안 환경 하에서 MRC 다이버시티 기법을 채용한 DS-CDMA /4DPSK 신호의 오율 특성

Fig. 4. Error performance of DS-CDMA /4DPSK signal adopting MRC diversity technique in m-distribution and Rician fading environments.

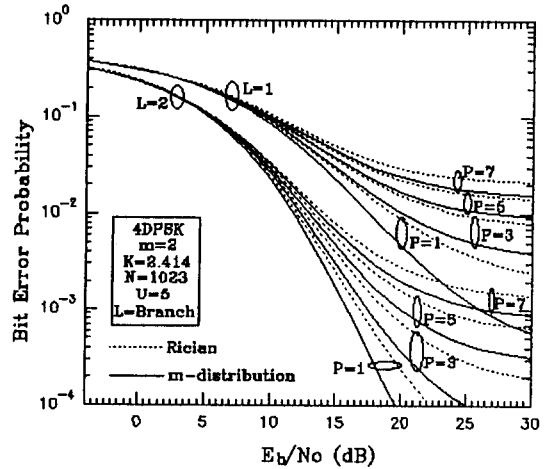


그림 5. m-분포 페이딩과 라이시안 환경 하에서 MRC 다이버시티 기법을 채용한 DS-CDMA /4DPSK 신호의 오율 특성

Fig. 5. Error performance of DS-CDMA /4DPSK signal adopting MRC diversity technique in m-distribution and Rician fading environments.

이와 같은 결과 MRC 다이버시티 기법을 사용한 DS-CDMA /4DPSK 신호의 오율 특성의 경우  $m = 1, K = 0$ 인 즉, 레일리 페이딩 상태에서는 m-분포 페이딩과 라이시안 페이딩 오율 특성은 완전히 일치함을 알 수 있었고, 페이딩 지수가 큰 경우 즉,  $m = 10, K = 18.487$ 인 경우도 거의 일치해감을 알 수 있었다. 또한, 사용자 수( $U = 7$ )가 많은 경우, PN 코드 길이( $N = 127$ )가 작은 경우, 다중 경로 수( $P = 7$ )가 많은 경우 각각 m-분포 페이딩과 라이시안 페이딩 환경에서의 오율 성능은 서로 점점 일치해감을 알 수 있었다.

이런 결과, 이므로 정립된 라이시안 페이딩 환경과 실제 측정에 의해 정립된 m-분포 페이딩 환경의 두 수식의 결과 페이딩 지수가  $m = 1, K = 0$  또는  $m = 10, K = 18.487$  이상인 경우, 사용자 수( $U = 7$ )가 많은 경우, PN 코드 길이( $N = 127$ )가 작은 경우, 다중 경로 수( $P = 7$ )가 많은 경우, M-ary

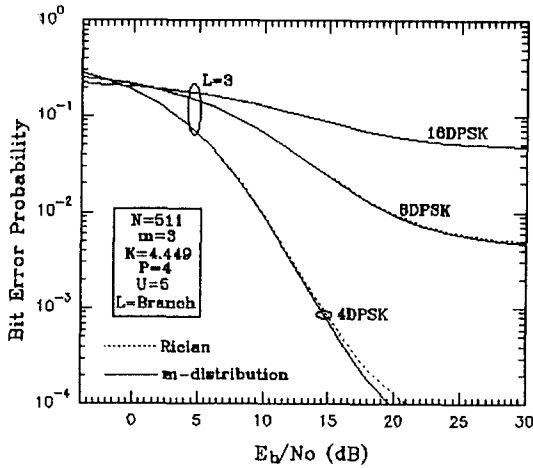


그림 6. m-분포 페이딩과 라이시안 환경 하에서 MRC 다이버시티 기법을 채용한 DS-CDMA /4DPSK 신호의 오율특성

Fig. 6. Error performance of DS-CDMA /4DPSK signal adopting MRC diversity technique in m-distribution and Rician fading environments.

수가 큰 경우, 각각의 수식 결과값은 거의 차이가 없었다. 그러므로 일반적으로 수식이 쉽게 유도되는 m-분포 페이딩으로 라이시안 페이딩 환경을 대체할 수 있다는 결론을 내렸다.

### 참고 문헌

[1] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, Halsled Press, 1992.  
 [2] William C. Y. Lee, *Mobile Communications Fundamentals*, Wiley-Interscience, 1992.  
 [3] 성태경, 차균현, 셀룰라 이동전화시스템, 생능출판사, 1993.  
 [4] 김재평, 이동통신의 기초, 기전연구소, 1993.  
 [5] Nakagami, *The m-distribution a General For-*

*mular of Intensity distribution of Rapid Fading, Instatistical methods of Radio Wave Propagation*, W. C. Hoffman Ed., New York : Pergamon Press, pp. 3-36, 1960. no. 3, pp. 487-483, March 1992.

[6] 滑川敏彦, 奥井重彦, *通信方式*, (日本) 森北出版株式會社, 1990.  
 [7] P. J. Crepeau, "Uncoded and Coded Performance of MFSK and DPSK in Nakagami Fading Channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40.  
 [8] Sklar, B., *Digital Communications*: Prentice-Hall, 1988.  
 [9] E. A. Geraniotis, "Performance of noncoherent direct-sequence spread-spectrum multiple-access communications." *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-3, no. 5, pp. 687-694. Sept. 1985.  
 [10] MASON, L. J., "Error Probability Evaluation for Signals Employing Differential Detection in a Rician Fast Fading Environment and Gaussian Noise", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-35, no. 1, pp. 39-46, Jan. 1987.  
 [11] 이희덕, "페이딩 환경 하에서 디지털 무선통신 시스템의 성능 해석 및 다이버시티 수신기법과 부호화 기법에 의한 성능 개선에 관한 연구," 한국항공대학 공학석사논문, 1994년 8월.  
 [12] 강희조, 이권현, 조성준, "간섭과 페이딩 환경에서 스펙트럼 확산(SS) 통신 신호의 다이버시티 수신 특성에 관한 연구," 한국통신학회 논문지, 19권 5호, pp. 901-911, 1994년 5월.  
 [13] M. Schwartz, *Communication System and Techniques*, New York : McGraw-Hill, 1966.

강 희 조



1961년 1월 26일생  
1986년 2월 : 원광대학교 전자공학과  
(공학사)  
1988년 2월 : 숭실대학교 대학원 전  
자공학과(공학석사)  
1994년 2월 : 한국항공대학교 대학원

항공전자공학과(공학박사)

1994년 7월~1995년 12월 : 한국전자통신연구소 위성망 연구  
소 초빙연구원

1996년 8월~1997년 8월 : 오사카대학교 공학부 통신공학과  
객원교수

1996년 5월~현재 : 한국전자파학회 호남지부 총무

1990년 3월~현재 : 동신대학교 전기전자공학과 부교수

[주관심 분야] 통신시스템, 대역확산통신, 이동통신, 위성  
통신, EMI /EMC

이 정 도



1967년 5월 3일생  
1994년 2월 : 동신대학교 전자공학  
과(공학사)  
1996년 2월 : 동신대학교 대학원  
전자공학과(공학석사)  
1997년 3월~현재 : 동신대학교 대

학원 전기전자공학과(박사과정)

[주관심 분야] 통신시스템, 대역확산통신, 이동통신, 위성  
통신, 부호화