論文 96-8-2-07

나카가미 페이딩 환경하에서 MRC 다이버시티기법과 컨벌루션 부호화 기법을 채용한 MFSK-MDPSK / DS-CDMA 시스템의 성능 개선

Performance Improvement of MFSK-MDPSK/DS-CDMA System Employing MRC Diversity Techniques and Convolution Coding Techniques in Nakagami Fading Environment

朴亨皓* · 金暎哲** · 姜熙照* · 李權鉉* · 趙成俊**

Hyoung-Ho Park* · Young-Chul Kim** · Heau-Jo Kang* · Kwon-Hyun Lee*
Sung-Joon Cho**

요 약

대부분의 DS-CDMA 시스템에 단순히 한가지 변조방식만을 채용하여 이용 되었다. 본 논문에서는 합성변조기법인 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템을 이용하였으며 MRC 다이버시티 수신 기법과 컨벌루션 부호화 기법을 채용하여 오율 성능을 유도하였다. 나카가미 페이딩 환경하에서 합성변조기법인 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에서 다이버시티 가지수와 부호화 이득이 증가 할수록 성능이 향상됨을 알았다. 또한, 전력 효율과 대역폭 효율이 일반적인 방식인 MFSK/DS-CDMA, MDPSK/DS-CDMA 시스템보다 합성변조기법인 MFSK-MDPSK/DS-CDMA의 효율을 개선시킬 수 있음을 알았다.

Abstract

In most DS-CDMA systems, the modulation scheme used is a simple one. In this paper, the error performance of DS-CDMA system employing a MFSK-MDPSK combined modulation techniques in adopting MRC diversity reception and convolution coding technique are evaluated. The obtained result show that the error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system in Nakagami fading environments is improved by increasing the number of diversity branch and coding gain. Also the power efficiency and bandwidth efficiency combined system in MFSK/DS-CDMA, MDPSK/DS-CDMA are better than conventional MFSK-MDPSK/DS-CDMA systems.

I. 서 론

현대사회가 고도 정보화 사회로 진전되면서 다양한 시스템의 개발과 환경의 변화에 따라 이를 개선시키고자 하게 되었다. 본 논문에서는 CDMA

*東新大學校 電氣電子工學科(Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.)
**韓國航空大學校 通信情報工學科(Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Hankuk Aviation Univ.)
· 논 문 번 호 : 970101-002
· 수정완료일자 : 1997년 4월 2일

(Code Division Multiple Access) 방식 중에서도 DS-CDMA(Direct Sequence-CDMA) 방식을 대역폭 효율면에서 개선하기로 한다.

DS-CDMA 시스템에서 MDPSK(M-ary Differential Phase Shift Keying) 또는 MFSK (M-ary Frequency Shift Keying) 변조를 채용하는 방식을 MDPSK/DS-CDMA 또는 MFSK/DS-CDMA 시스템이라 부른다. DPSK/DS-CDMA는 동기 또는 지연검파와 함께 폭 넓게 고려되어 왔다. MFSK/DS-CDMA 시스템에서도 비동기 검파를 이용하여 왔었다. Geraniotis[1]가 동기와 비동기 검파의 성능을 해석하였으며 또한, 불규칙 계열에 대하여서도 해석하였다. 이것은 MFSK/DS-CDMA가 MPSK/DS-CDMA 보다 에러 성능면에서 더 낳음을 보여주었다.

DS-CDMA 시스템에서는 전력 효율과 대역폭 효율에 많은 영향을 받으며[2], 이에 대하여 MFSK/DS-CDMA는 MPSK/DS-CDMA 보다 높은 대역폭 효율을 갖는 것으로 알려져 있다. 이를 위하여 MFSK와 MPSK 변조 기법을 합성한 DS-CDMA 시스템을 알아본다. 이를 합성변조기법 DS-CDMA 시스템이라 한다.

문헌 [3]에서는 MFSK/DS-CDMA 변조방식과 BPSK/DS-CDMA 시스템의 성능을 해석하였다. 또한 Wang과 Yongaçoğlu는 문헌 [4]에서 M-ary로 확장한 MFSK-MPSK/DS-CDMA 시스템을 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널 환경에서 해석하였다. 본 논문에서는 Geraniotis의 연구와 Wang과 Yongaçoğlu의 연구를 확장하는 입장에서 레일리 페이딩과 라이시안 페이딩 등을 모두 포함할 수 있고 이동통신과 위성통신에서도 적용할 수 있는 페이딩 모델로서 나카가미 페이딩 모델을 도입하여 합성변조기법인 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에 있어서의 오율특성을 구한다. 또한, MRC(Maximal Ratio Combining) 다이버시티 기법과 컨벌루션 부호화 기법을 함께 채용할 때의 오율식을 유도하고, 이 식들을 수치계산하여 그 결과를 그림으로 나타내고, 성능을 분석한다.

Ⅱ. 시스템 모델

본 논문에서는 비동기 합성변조 MFSK-MPSK/DS-CDMA 시스템을 고려하기로 한다. 본 시스템에서는 K명이 균등하게 사용하고, PN 부호열은 불규칙 계열을 사용되는 것으로 가정한다. 각 신호는 부가적 가우스 잡음(AWGN), 다중접속 간섭(MAI : Multiple Access Interference)과 페이딩을 받게된다. 수신기는 모든 입력 신호가 균등하거나 하나의 신호로 나타나며 오직 요구된 신호만이 기지국에 수신된다고 가정한다. 그림 1에 합성변조기법 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 변조부의 블록다이어그램을 나타낸다[4].

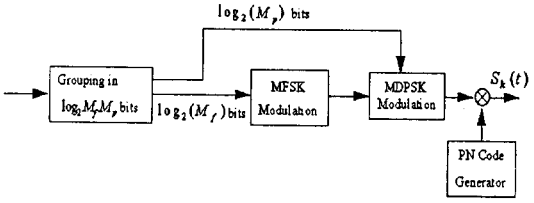


그림 1. 변조부의 블록 다이어그램

Fig. 1. Block diagram to transmitter.

MFSK 변조에서의 주파수 tone의 수는 M_f개가 이용 되며, MDPSK 변조에서는 차동위상에 대하여 M_p개가 이용된다. 입력 데이터는 같은 확률을 갖는 +1 또는 −1의 이진 비트열이다. 이 비트 열들은 $\log_2(M_fM_p)$비트로써 $\log_2M_f$비트는 M_f개의 주파수 톤 중 하나를 선택하며, $\log_2M_p$비트는 각 주파수 톤을 선택한 것 중에서 M_p개의 차동위상 중 하나를 선택한다. M_f와 M_p는 2의 정수 승으로 가정을 한다. MFSK 변조기는 주파수 톤중에서 $\log_2M_f$의 입력비트를 선택한다. MDPSK 변조기의 주파수 톤은 $\log_2M_p$개의 입력비트에 따라서 차동 위상변조를 한다.

MDPSK 변조기의 출력단에서는 PN 부호열과

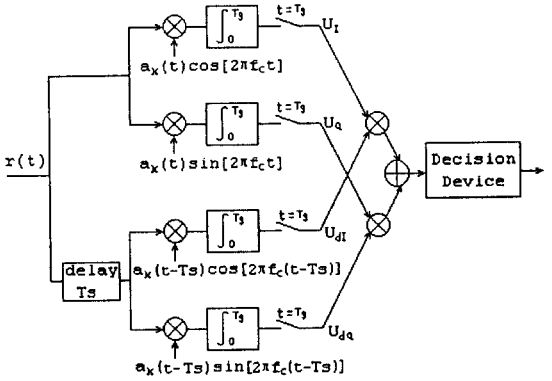


그림 2. DPSK /DS-CDMA 시스템에서 DPSK 검파기의 구조 ($a_k(t)$는 PN시퀀스의 파형)

Fig. 2. Structure of the DPSK detector in a DPSK /DS-CDMA system. ($a_k(t)$ is the waveform of a PN sequence)

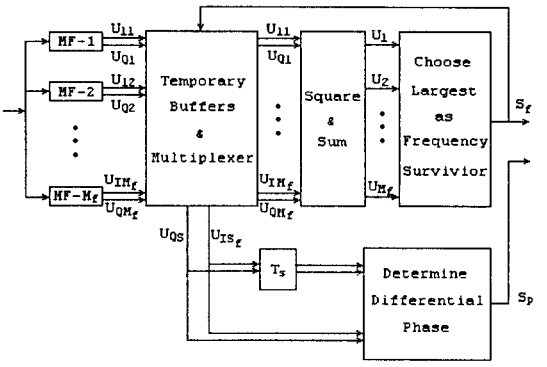


그림 3. MFSK-MDPSK /DS-CDMA 수신기의 블록 다이어그램

Fig. 3. Block diagram of the MFSK-MDPSK/DS-CDMA Receiver.

승적을 하게 된다. K명의 사용자에 대하여 전송될 신호는 $S_k(t)$로 한다.

DPSK/DS-CDMA를 위한 지연검파기는 그림 2에 보여진다[1]. 두 개의 가지가 있는 것을 알 수 있는데 그 중 하나의 가지는 T_S초 만큼의 채용을 사용한다. 각 가지에서는 두 개의 부 가지가 있고 I와 Q 채널이 있다. 네 개의 출력들은 U_I, U_Q, U_{dI}, U_{dQ}로 표시된다. 결과들은 이러한 출력 샘플들을 근거로 하여 만들어진다. 자세한 내용은 [5]과 [6]에 주어져있다. 이 단일 톤 DPSK 검파기 사용으로 MFSK-DPSK/DS-CDMA 기법을 위한 수신기를 만들 수 있다. 후에 나오는 것처럼 M_p=2, 4를 위한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 성능은 AWGN 채널에서는 거의 같다.

MFSK-MDPSK /DS-CDMA 기법의 수신기는 그림 3에서 보여준다. 여기서 정합필터(MF) M_f는 주파수 톤 M_f와 관계가 있다. 각 정합필터는 U_I와 U_Q가 있는 그림 2에서 하나의 M_f 톤과 관계가 있는 주파수를 가진 위쪽 가지에 구성되어 있다. 각 정합필터로 부터의 두가지 출력은 각각의 I-채널과 Q-채널로 부터의 샘플값이고, U_{Im}, U_{Qm}으로 표시된다 (m=1, 2,…, M_f). 알고리즘이 수행되는 심볼 결과 과정은 다음과 같다.

(1) $2M_f$입력(정합필터 M_f로 부터)은 $2M_f$ temporary buffer에 저장되어있고, 남아있는 톤에 의해 계속된다. 이러한 데이터들은 단 하나의 심볼간격을 유지한다.

(2) Squared sum 구조는 각 I와 Q의 입력형식으로 되어있다. : $U_m^2=U_{Im}^2+U_{Qm}^2$, (m=1, 2, …, M_f). 그러므로 M_f 출력은 M_f 정합필터와 관계가 있다.

(3) M_f 데이터 U_m^2(M=1, 2, …, M_f)를 비교하여 가장 큰 것을 택하여 S_f에 저장한다.

(4) 저장된 S_f는 temporary buffer에 있는 U_{ISf}, U_{QSf} 데이터를 선택하여 사용된다. 데이터로 인해 지연된 하나의 심볼의 사용으로 위상차는 그림 3에서처럼 결정된다. 결과는 S_p로 표시 된다.

(5) MFSK S_f와 지연 검파기 출력결과 S_f는 모두 심볼 결과 형식이다.

위의 알고리즘에서 모든 구조는 baseband와 DSP회로에 의해 만들 수 있다. BER성능과 이 시스템의 효율적인 대역폭은 MFSK-MDPSK/DS-

-CDMA시스템의 방식과 유사하게 분석된다. 비트 에러는 R_b이고 비트 에너지는 E_b로 한다. 심볼 에러율은

$$R_s = \frac{R_b}{\log_2(M_f M_p)} \tag{1}$$

이다. 또한 심볼 에너지는

$$E_s = \log_2(M_f M_p) E_b \tag{2}$$

이다. 각 심볼은 PN부호열의 전체 주기를 갖는 것으로 가정한다. PN칩율은 $R_c = NR_s$으로 한다. N은 PN열의 길이이며, 칩에너지는 $E_c = E_s N$이 된다. 비트 에너지대 잡음 전력 밀도비는 $\gamma_b = E_b/N_0$, 심볼 에너지대 잡음전력 밀도비는 $\gamma_s = E_s/N_0$이다. 만약 Raised Cosine 필터기의 롤-오프 팩터 α를 이용한다면, 전체 신호 대역폭 W는

$$\begin{aligned} W &= (1+\alpha) M_f R_c = (1+\alpha) M_f N R_s \\ &= \frac{(1+\alpha) M_f N R_b}{\log_2(M_f M_p)} \end{aligned} \tag{3}$$

가 된다. 여기에서는 롤-오프 팩터를 $\alpha = 0$ 으로 갖는다고 가정한다.

Ⅲ. MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템

MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템은 부호화하지 않은 시스템을 AWGN 채널에서 먼저 고려한다. 신호는 열잡음과 다중접속 간섭에 의하여 열화되며, 다중접속 간섭은 등가적인 가우스 잡음으로 접근된다고 한다. 불규칙한 서명열들에 대한 동기 DPSK/DS-CDMA 시스템에서 잘 알려진 근사식은

$$\gamma_s' = \left[\gamma_b^{-1} + \left(\frac{3N}{2(K-1)}\right)^{-1}\right]^{-1} \tag{4}$$

N : PN 부호열의 길이
K : 사용자수

으로서, 효율적인 비트에너지 대 잡음 스펙트럼 밀도비로써 Pursley[7]가 유도하였다. 이의 가우스 근사치는 작은 K에 대하여 거의 최적치가 된다. 개선된 가우스 근사치를 참고문헌 [8]에서 제안하였다. 큰 K에 대해서도 위의 식은 근사치로서 실질적인 해석을 하는데 합당하다 하겠다. 따라서, CDMA 시스템에서 다중접속 간섭의 제한을 명확하게 한다 하겠다. 이는 다중접속 간섭이 에러영역에서 CDMA 시스템에 존재하게 된다.

MDPSK/DS-CDMA 시스템에 대하여, 식 (3)에서 $M_f = 1$ 그리고 $M_P = 2$로 갖는다고 하고, 여기에서 대역폭은 $W = NR_b$이 된다. 식 (4)에서 N을 W/R_b로 대체한다면 시스템 용량*(bit/sec/Hz)*은 다음과 같이 정의된다.

$$\eta = \frac{KR_b}{W} \simeq \frac{3}{2} \frac{\gamma_b - \gamma_s'}{\gamma_b \gamma_s'} \tag{5}$$

만약 $\gamma_b \to \infty$이면, 비대칭적인 용량을 갖게되는데 이는

$$\eta_{max} = \frac{3}{2\gamma_s'} \tag{6}$$

이며, 그 때 비대칭적인 용량을 역으로 한다면 비례적인 γ_b'가 된다.

MFSK/DS-CDMA 시스템에 관하여, 효율적인 비트 에너지대 잡음 스펙트럼 밀도 비는 참고 문헌 [1]에서 주어지며

$$\gamma_b' = \left[\gamma_b^{-1} + \left(\frac{3M_f N}{2(K-1)\log_2 M_f}\right)^{-1}\right]^{-1} \tag{7}$$

가 된다. 식 (3)에서 $M_P = 1$을 갖으면, $W/R = M_f N/\log_2(M_f)$가 된다. 위의 식에서 이를 대체하게

되면 식 (5)에서 주어진 것과 같은 대역폭 효율에 대한 같은 표현식을 얻게 된다. 식 (4)와 (7)로 부터 γ_b'는 다중접속 간섭과 γ_b를 갖도록 한다.

MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에 관하여 γ_b'에 대하여 같은 식으로써 존재하게 된다. 대역폭 효율에 대한 위의 결과를 또한 적용하게 된다. 이의 목적하고자 하는 작은 γ_b'에서 주어진 비트 에러율 P_b를 얻을 수 있다.

MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 수신기에서, 두 개의 검파단을 필요로하고, 첫번째 검파(MFSK)단에서의 에러 확률을 P_f, 두번째 검파(MDPSK)단에서의 에러 확률인 P_p를 갖게 된다. 그 때 심볼에러의 전체 확률을 나타내면 다음과 같다.

$$P_s = 1-(1-P_f)(1-P_p) = P_f + P_p - P_f P_p \simeq P_f + P_p \quad (8)$$

을 얻게 된다. P_f는 참고문헌 [9]에서 다음과 같이 나타난다.

$$P_f = \sum_{n=1}^{M_f-1}(-1)^{n+1}\left(\frac{M_f-1}{n}\right)\frac{1}{n+1}\, e^{-\gamma_b n/(n+1)} \quad (9)$$

여기에서 $\gamma_s' = E_s/N_0'$로써 식 (2)에서 주어진다. P_p는 참고문헌 [9]에서 다음과 같이 나타난다 ($\gamma_s' \gg 1$).

$$P_p = Q\left(\sqrt{2\gamma_s'}\, \sin\frac{\pi}{2M_p}\right) \quad (10)$$

각 심볼이 $\log(M_f M_p)$로 된다고 한다면, 비트 에러 확률은

$$P_b \simeq \frac{2^{[\log_2(M_f M_p)-1]}}{2^{\log_2(M_f M_p)}-1}\, P_s \quad (11)$$

이 된다.

Ⅳ. 페이딩 환경하에서의 MRC 다이버시티 기법을 채용한 MFSK-MDPSK/ DS-CDMA 시스템

본 논문에서는 페이딩에 관하여 페이딩 지수 m 값에 의하여 레일리 페이딩($m = 1$)과 라이시안 페이딩($m \geq 2$)을 포함하는 나카가미 페이딩을 이용하며, 이의 개선을 위하여 다이버시티 효과가 가장 우수한 최대비 합성(MRC : Maximal Ratio Combining) 다이버시티를 채용하여 페이딩에 의한 성능 저하를 보상한다. 다이버시티의 가지의 수가 L개인 MRC 다이버시티 출력단의 SNR(Signal-to-Noise Ratio), γ_D는 다음과 같다[10].

$$\gamma_D = \sum_{l=1}^{L}\gamma_l \quad (12)$$

채널 상관 수신기에는 서로 다른 L개의 정보가 수신하게 되며, γ_l는 각 다이버시티 가지의 SNR이 된다. 각 다이버시티 가지에서의 페이딩과 잡음의 영향이 독립적이라면, 나카가미 페이딩 환경에서 수신 신호 γ의 순시 SNR에 대한 확률밀도 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p_L(\gamma_D) = \frac{m^{mL}\gamma_D^{mL-1}}{\Gamma(mL)R^{mL}} e^{-\frac{m\gamma_D}{R}} \quad (13)$$

단, $\Gamma(\cdot)$: 감마함수,
γ_D : 순시 SNR,
R : 평균 SNR,
$m \geq 1/2$: 페이딩 지수,
L : 다이버시티 가지의 수.

나카가미 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티 수신시 MFSK 신호의 심벌 오율식은 다음과 같이 구한다.

$$P_{eFL} = \int_0^\infty P_f \cdot p_L(\gamma_D) d\gamma_D$$
$$= \sum_{j=1}^{M-1} \left(\frac{M-1}{j}\right) \frac{(-1)^{j+1}}{j+1} \left[1+\frac{1}{j+1}\ \frac{\gamma_b j}{m}\right]^{-mL} \quad (14)$$

또한 위의 관계에 의하여 MDPSK신호의 심벌 오율식도 다음과 같이 구한다.

$$P_{ePL} = \int_0^\infty P_p \cdot p_L(\gamma_D') d\gamma_D'$$
$$= 1 - \frac{2\sin\frac{\pi}{2M_p}}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma\left(mL+\frac{1}{2}\right)}{\Gamma(mL)} \left(\frac{m}{\gamma_s}\right)^{\frac{1}{2}}$$
$${}_2F_1 \left\{ \frac{1}{2}, 2-mL; \frac{3}{2}; \frac{\gamma_s \sin^2 \frac{\pi}{2M_p}}{m+\gamma_s \sin^2 \frac{\pi}{2M_p}} \right\} \quad (15)$$

V. 페이딩 환경하에서 컨벌루션 부호화 기법을 채용한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템

에러검출 및 정정을 위한 부호화 기법에는 크게 선형블럭 부호화와 컨벌루션 부호화가 있다. 블록 부호화와 컨벌루션 부호에 대한 근본적인 차이는 기억 장치의 유무에 있으며 블록부호의 부호기는 k 비트의 정보를 n비트의 부호어로 만들어 내는 무기억 장치인 반면에 컨벌루션 부호의 부호기는 출력 계열에 의해서도 결정되므로 기억이 있는 장치로 간주된다. 본 논문에서는 부호율이 1/2, 부호장 7과 부호율이 1/3, 부호장이 7인 컨벌루션 부호화 기법을 나타내면 다음과 같이 나타낸다.

부호율이 1/2, 부호장이 7인 컨벌루션 부호의 비트 오율식은 다음과 같다[11].

$M=2,$

$$P_{eC} \le \frac{1}{2}(36D^{10}+211D^{12}+1404D^{14}+11{,}633D^{16}+\cdots). \quad (16)$$

$M=4,$

$$P_{eC} \le \frac{1}{2}(7D^7+39D^8+104D^9+352D^{10}+\cdots). \quad (17)$$

$M=8,$

$$P_{eC} \le \frac{1}{2}(D^7+4D^9+49D^{10}+92D^{11}+\cdots). \quad (18)$$

부호율이 1/3, 부호장이 7인 컨벌루션 부호의 비트 오율식은 다음과 같다.

$M=2,$

$$P_{eC} \le \frac{1}{2}(D^{14}+20D^{16}+53D^{18}+\cdots). \quad (19)$$

$M=8,$

$$P_{eC} \le \frac{1}{2}(D^7+4D^8+8D^9+49D^{10}+\cdots). \quad (20)$$

여기서 D는 Bhattachayya의 상한식(upper bound)으로서 다음과 같이 나타내진다[12],[13].

$$D = 2\sqrt{\frac{P_e(1-P_e)}{M-1}} + \left(\frac{M-2}{M-1}\right) \cdot P_e \quad (21)$$

단, P_e ; 변조신호의 오율 ($P_{eFL} + P_{ePL}$).

VI. 수치계산 결과와 검토

앞에서 유도한 비트 오율식을 이용하여 수치계산한 오율성능을 SNR, 페이딩 지수(m) 그리고 다이버시티 가지 수(L), 사용자 수(K), 심볼 수(M_p, M_f), 부호화 이득 등을 함수로 하여 그림 4~그림 12에 나타내었다.

그림 4에서는 가우스 잡음(AWGN) 환경하에서 MFSK을 8-ary로 고정 시키고, M_p를 변화시키는 경우에 대하여 ary가 커짐으로써 오율이 현저하게 저하됨을 알 수 있다. 이는 같은 오율상에서 MPSK를 M-ary로 확장시킴으로써, 대역폭 효율면에서는 좋지만, 전력 효율면에서 좋지 않음을 볼 수 있다.

그림 5에서는 가우스 잡음(AWGN) 환경하에서

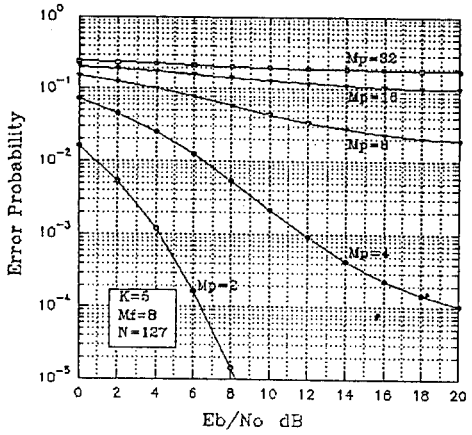


그림 4. AWGN 환경하에서 M_f=8 이고 M_p=2, 4, 8, 16, 32 인 경우 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 오율성능

Fig. 4. Error performance of MFSK-MPSK/DS-CDMA system for M_f=8 and M_p=2, 4, 8, 16, 32 in AWGN Environment.

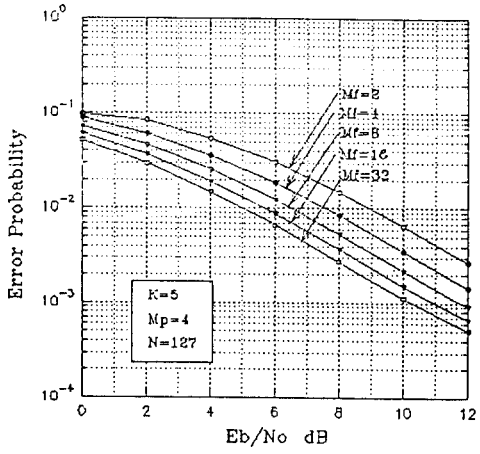


그림 5. AWGN 환경하에서 M_P=4 이고 M_f=2, 4, 8, 16, 32 인 경우 MFSK-MDPSK /DS-CDMA 시스템의 오율성능

Fig. 5. Error performance of MFSK-MPSK /DS-CDMA system for M_p = 4 and M_f = 2, 4, 8, 16, 32 in AWGN Environment.

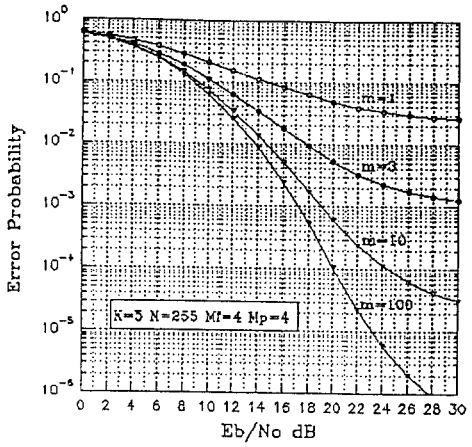


그림 6. 나카가미 페이딩 환경하에서 M_f=4, M_p= 4 이며 m값에 따른 MFSK-MDPSK /DS-CDMA 시스템의 오율성능

Fig. 6. Error performance of MFSK-MDPSK /DS-CDMA system with a variation of m for M_f=4, M_p=4 in Nakagami fading Environment.

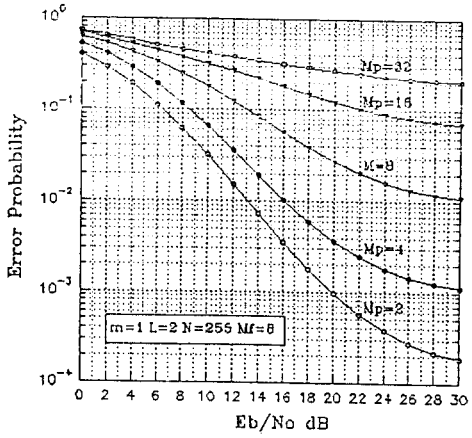


그림 7. 레일리 페이딩 환경하에서 M_f=8 이고 M_p=2, 4, 8, 16, 32 일 때 MRC 다이버시티 기법을 채용한 MFSK-MDPSK / DS-CDMA 시스템의 오율성능

Fig. 7. Error performance of MFSK-MDPSK /DS-CDMA system adopting MRC Diversity for M_f=8 and M_p= 2, 4, 8, 16, 32 in Rayleigh fading Environment.

4-ary DPSK에 대하여 FSK의 M_f를 변화시킨 경우를 보이고 있다. 이 경우 ary수가 증가할수록, 1 내지 2 [dB]의 성능 개선을 보여주고 있다.

그림 6에서는 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에 대하여 M_f, M_p=4로 고정을 시킨 경우, 나카가미 페이딩에 대하여 페이딩의 지수 값 m에 따른 오율 성능을 나타내고 있다. 나카가미 페이딩의 지수 값 m이 커질수록 페이딩의 영향이 줄어들어, 가우스 잡음(AWGN) 환경에 근사화 됨을 알 수 있다.

그림 7에서는 레일리 페이딩 환경하에서 합성 변조 기법인 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 성능 향상을 위하여 공간 다이버시티 기법 중, 최대비 합성 다이버시티 기법을 이용하였으며, 다이버시티 가지 수 (L=2)를 적용하였을 때 M_p의 값에 따른 오율의 성능을 보였다.

그림 8에서는 페이딩의 지수 값 (m=3)인 경우, 최대비 합성 다이버시티 기법을 이용하여, 가지 수에 따른 변화를 보여주고 있다. 가지 수가 늘어날수록 더 좋은 성능을 보이고 있으며, 가지가 2개인 경우에서 다른 가지 수에 비해 성능 개선폭이 큼을 알 수 있었다. 또한 다이버시티 가지수가 2일 때, 음성 통신에 필요한 오율 (10^{-3})을 15.5 [dB]에서 적용 가능하며, 데이터 통신에 필요한 오율 (10^{-5})은 27 [dB] 부근에서 얻을 수 있었다.

그림 9에서는 사용자 수에 따른 성능을 보여주고 있으며, 음성 통신에 필요한 오율 (10^{-3})에 대하여 M_p=2 일 경우 41명의 사용자를, Mp=4 일 경우 11명의 사용자가 사용 가능하며, 이는 다중접속 간섭에 대한 영향이 큼을 알 수 있다.

그림 10에서는 레일리 페이딩 환경하에서 MFSK-MDPSK/DS-CDMA에 대하여 컨벌루션 부호화 기법을 채용하였다. 음성 통신에 필요한 오율 (10^{-3}) 의 경우, 부호율과 부호장 그리고 M_f, M_p에 따라 다르지만 대략, 12~20 [dB] 부근을 필요로

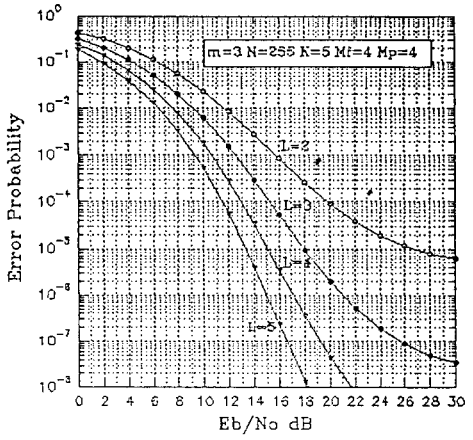


그림 8. 나카가미 페이딩 환경하에서 M_f=4, M_p=4 그리고 m=3 인 경우, MRC 다이버시티 기법을 채용하여 가지수에 따른 MFSK-MDPSK /DS-CDMA 시스템의 오율성능

Fig. 8. Error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with a variation number of diversity branch adopting MRC diversity for M_f=4, M_p=4 and m=3 in Nakagami fading Environment.

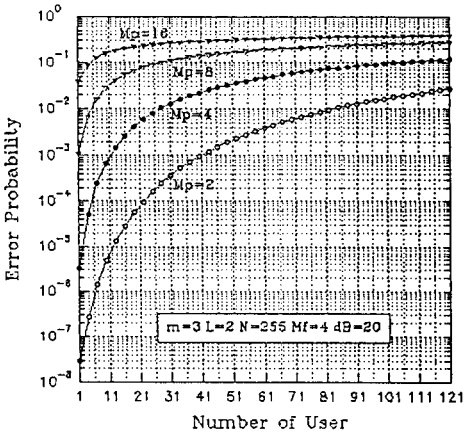


그림 9. 나카가미 페이딩 환경하에서 M_f=4, L=2 그리고 m=3인 경우, 사용자 수에 따른 MFSK-MPSK /DS-CDMA 시스템의 오율성능

Fig. 9. Error performance of MFSK-MPSK/DS-CDMA system with a variation number of active user for M_f=4, L=2 and m=3 in Nakagami fading Environment.

한다. 그림 7과 비교해 보면 오율 (10^{-2})을 기준으로 컨벌루션 부호화 기법을 채용한 8-ary FSK-8-ary DPSK/DS-CDMA에 대하여 약 14 [dB] 정도가 개선 됨을 알 수 있었다.

그림 11에서는 나카가미 페이딩 환경하에서 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에 대하여 컨벌루션 부호화 기법을 채용하고 m=3으로 고정시킨 경우를 보이고 있다. 데이터 통신에서 필요로한 오율 (10^{-5})의 경우, M_fM_p=2에서는 부호율(1/3)보다는 부호율(1/2)이 3 [dB]정도 성능이 좋으며, M_fM_p=8에서는 성능에 차가 거의 없음을 알 수 있다.

그림 12는 나카가미 페이딩 환경하에서 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에 컨벌루션 부호화 기법과 MRC 다이버시티 기법을 함께 채용하였을 경우로써, 그림 11과 비교해 볼 때, 데이터 통신에 필요한 오율 (10^{-5})에서, 부호율 (1/2)인 경우

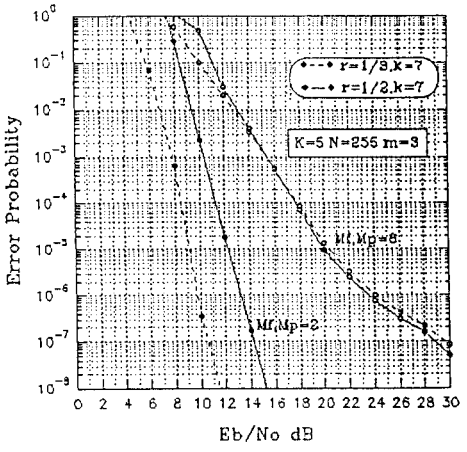


그림 10. 레일리 페이딩 환경하에서 컨벌루션 부호화 기법 한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 오율성능

Fig. 10. Error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with convolutional coding techniques in Rayleigh fading Evironment.

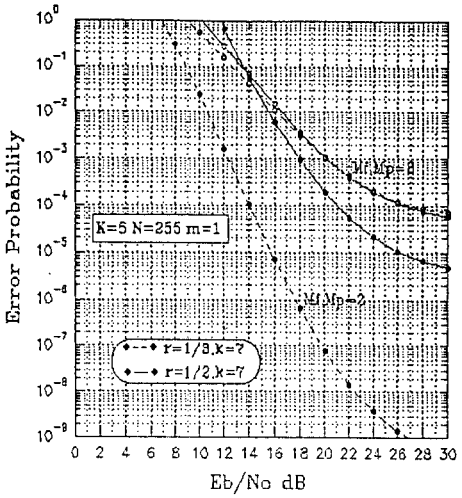


그림 11. 나카가미 페이딩 환경하에서 컨벌루션 부호화 기법에 따른 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 오율성능

Fig. 11. Error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with convolutional coding techniques in Nakagami fading Environment.

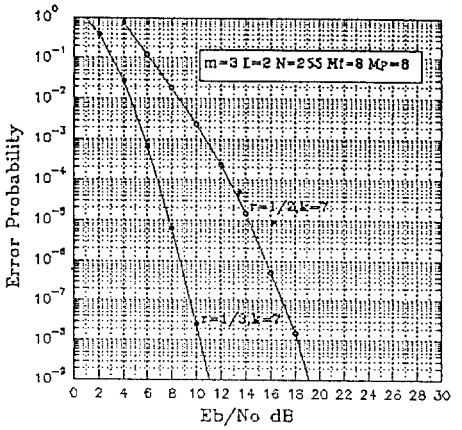


그림 12. 나카가미 페이딩 환경하에서 컨벌루션 부호화 기법과 MRC 다이버시티 기법을 함께 한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 오율성능

Fig. 12. Error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with convolutional coding and MRC diversity techniques in Nakagami fading Environment.

는 6 [dB]의 성능 개선이 있으며, 부호율 (1/3)인 경우는 12.5 [dB]의 성능 개선이 있었다.

Ⅶ. 결 론

레일리 페이딩과 라이시안 페이딩 등을 모두 포함할 수 있고 이동통신과 위성통신에서도 적용할 수 있는 페이딩 모델로서 나카가미 페이딩 모델을 도입하여 합성변조기법인 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에 있어서 오율을 평가하였다. 페이딩에 열화된 시스템의 성능 향상을 위하여, MRC 다이버시티 기법과 컨벌루션 부호화 기법을 함께 채용할 때의 오율을 구하였으며, 그 결과를 이용해 수치 계산 및 분석을 하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫번째로는 MRC 다이버시티 기법을 이용하여 가지 수에 따른 오율의 성능을 알아보았으며, 이 경우에 있어서는 가지 수가 증가할수록 더 좋은 성능을 보였고, 가지 수가 2개인 경우가 성능 개선에서 가장 컸음을 보여 주었다. 두번째로는 컨벌루션 부호화 기법을 적용하였는데, 부호장이 7인 경우에서 부호율 (1/2, 1/3)을 각각 적용하였다. 마지막으로는 MRC 다이버시티 기법과 컨벌루션 부호화 기법을 함께 채용하였을 때, 오율의 개선 정도를 보았다. 이 경우 (m=3)에서 데이터 통신에 필요한 오율 (10^{-5})을 다이버시티 가지 수 (=2)와 부호율 (1/3, 1/2)이 각각인 8-ary FSK- 8-ary DPSK / DS-CDMA 시스템에서 7.5 [dB]와 12.5 [dB] 부근에서 얻었다.

참 고 문 헌

[1] E. A. Geraniotis, "Performance of noncoherent direct sequence multiple-access communications," *IEEE J. Select. Area Commun.*, vol. SAC-3, pp. 687-694, Sept. 1985.

[2] B. Sklar, "Defining, designing, and evaluating digital communication systems," *IEEE Commun.*, Magazine, Nov. 1993.

[3] J. Wang and A. Yongaçoğlu, "MFSK modulated PSK direct sequence CDMA," *16th Biennial Symposium on Communications*, Kingston, Canada, May 27-29, 1992.

[4] J. Wang and A. Yongaçoğlu, "Direct sequence CDMA employing combined modulation schemes," *IEEE*, 1993.

[5] R. W. Lucky, J. Salz and E. J. Weldon, *Principles of Data Communications*, New York : McGraw-Hill, 1968.

[6] S. Stein, *Communication System and Techniques*, Part Ⅲ, New York : McGraw-Hill, 1966.

[7] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase coded spread-spectrum multiple-access communication-Part Ⅰ: system analysis," *IEEE Trans. Commum.*, vol. COM-25, pp. 795-799, Aug. 1977.

[8] R. K. Morrow, Jr. and J. S. Lehnert, "Bit-to-bit error dependence in slotted DS/SSMA packet systems with random signature sequences," *IEEE Trans. Commun*, vol. COM-37, pp. 1052-1061, Oct. 1989.

[9] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill : New York, 1989.

[10] E. Al-Hussaini and A. Al-Bassiouni, "Performance of MRC diversity systems for the detection of signals with Nakagami fading," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, no. 12, pp. 1315-1319, Dec. 1985.

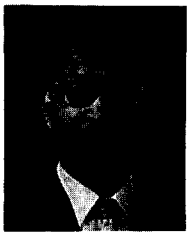
[11] Arnold M. Michelson, Allen H. Levesque, *Error-Control Techniques for Digital Communication*, wiley-interscience, 1984.

[12] Viterbi, A. J., "Error bounds for convol-

ution codes and asymptically optimum decoding algorithm," *IEEE Trans.* Inform. Theory, vol. IT-13, no. 4, pp. 260-269, Apr. 1967.

[13] Viterbi, A. J., "Convolutional codes and their performance in communication system," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-19, pp. 751-772, Oct. 1971.

조 성 준



1946년 1월 9일생

1965년 3월~1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업(공학사)

1973년 3월~1975년 2월 : 한양대학교 대학원 졸업(공학석사)

1977년 3월~1981년 2월 : 일본 오사카대학교 통신공학과 졸업(공학박사)

1969년 3월~1972년 7월 : 해군 기술장교

1972년 8월~현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교수

[주관심분야] 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자공학

이 권 현

1950년 4월 24일생

1972년 2월 : 조선대학교 공과대학교 전기전자공학과(공학사)

1976년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1985년 8월 : 서독 Duisburg대학교 대학원(공학박사)

1985년 9월~1986년 5월 현대중전기(주) 기술연구소(책임연구원)

1986년 6월~1987년 2월 삼성전기(주) 종합기술연구소(연구부장)

1990년 6월~1990년 8월 서독 Duisburg대학교 메카트로닉 연구소(객원교수)

1990년 9월~1991년 9월 서독 Aachen대학교 통신기기연구소(객원교수)

1994년 7월~1994년 8월 일본 Musashi공업대 전기기기연구소(객원교수)

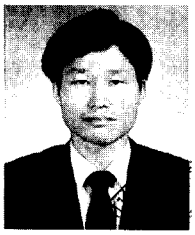
1995년 7월~1995년 8월 서독 Imech연구소(객원교수)

1996년 5월~현재 : 한국전자파학회 호남지부 지부장

1987년 3월~현재 : 동신대학교 공과대학 전기전자공학과 교수

[주관심분야] 기계기구설계, 측정시스템, 특수전기기기

강 희 조



1961년 1월 26일생

1986년 2월 원광대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 2월 숭실대학교 대학원 전기전자공학과(공학석사)

1994년 2월 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학박사)

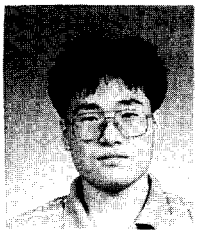
1994년 7월~1995년 12월 한국전자통신연구소 위성망연구소 초빙연구원

1996년 8월~현재 오사카 대학교 공학부 통신공학과, POST-DOC 중

1990년 3월~현재 동신대학교 공과대학 전기전자공학과 부교수

[주관심분야] 대역확산통신, 이동통신, 위성통신, EMI /EMC

김 영 철



1969년 12월 15일생

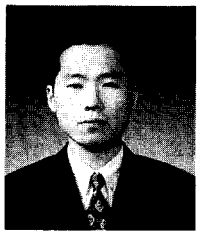
1993년 2월 동신대학교 정보통신공학과(공학사)

1995년 2월 동신대학교 공과대학 전자공학과(공학석사)

1995년 3월~현재 : 한국항공대학교대학원 항공통신정보공학과(박사과정)

[주관심분야] 이동통신, 위성통신, 암호학, EMI /EMC

박 형 호



1973년 3월 5일생

1996년 3월 동신대학교 공과대학 정보통신공학과(공학사)

1996년~현재 : 동신대학교 공과대학 전기전자공학과(석사과정)

[주관심분야] 이동통신, 부호화, 위성통신