
나카가미 페이딩 채널에서 합성변조 기법을 채용한 다중반송파 DS/CDMA 시스템 성능 분석

양원일*, 강희조**

Performance Analysis of Multicarrier DS/CDMA System Employing
Combined Modulation techniques in a Nakagami Fading Channel

Won-Il Yang, Heau-Jo Kang

요 약

본 논문에서는 나카가미 페이딩 환경에서 다중 반송파 MFSK-DPSK/DS-CDMA 합성 변조기법을 제안하였다. 또한, 다중경로 페이딩에 강한 특성과 주파수 이용 효율이 높은 다중반송파 DS-CDMA 합성변조 방식을 같이 사용하여 분석하였다. 고려한 변조방식은 비동기식 MFSK와 MFSK에 기반한 DPSK를 이용한 결합 주파수 위상 합성변조 방식이다. 결과로부터 전력효율과 대역폭 효율이 일반적인 통신 시스템보다 다중캐리어 합성 변조시스템이 효율을 개선시킬 수 있음을 알았다.

ABSTRACT

In this paper proposes a multi-carrier MFSK-DPSK/DS-CDMA combined modulation techniques in Nakagami fading environment. Also, multi-carrier DS-CDMA combined system is a promising technique for mobile communications systems, since it has a strong immunity to multipath fading and increasing bandwidth efficiency. The modulations under consideration are noncoherent M-ary frequency shift keying (MFSK) and an MFSK based joint frequency phase modulation utilizing differential phase shift keying (DPSK). With the result, performance improvement of power efficiency and bandwidth efficiency combined system in multicarrier MFSK-DPSK/DS-CDMA are better than conventional communication system.

* 조선대학교 전자정보통신공학부

** 동신대학교 전기전자공학과

접수일자: 2000. 7. 31

I. 서 론

오늘날 음성, 영상, 데이터 등 기존의 미디어들이 통합된 멀티미디어 시대가 급속히 펼쳐지면서 정보의 양이 기하 급수적으로 증가하고, 여기에 따르는 멀티미디어 통신 서비스를 제공하는 네트워크에 대한 기대가 한층 높아지고 있다. 그러므로 이들 멀티미디어 정보를 전송하기 위해서는 효율적이고, 다양한 전송품질을 갖는 고속 디지털 전송 시스템이 필요하다. 주파수 대역의 효율적 이용과 에러성능 향상을 위한 여러 가지 변조 방식에 관한 연구가 진행되어 왔다. 또한 여러 변조방식을 조합한 변조 방법도 고려할 수 있다.[1,2] DS-CDMA 통신 시스템에서는 전력효율과 대역폭 효율에 많은 영향을 받으며, 이에 대하여 MFSK/DS-CDMA 변조시스템은 MPSK/DS-CDMA 변조시스템보다 높은 대역폭 효율을 갖는 것으로 알려져 있다.[3]

지금까지는 MDPSK DS-CDMA는 동기 또는 차분검파와 함께 폭 넓게 고려되어 왔으며, MFSK DS-CDMA 시스템은 비동기 검파를 이용하여 왔었다. Geraniotis[3]가 동기와 비동기의 성능을 랜덤계열에 대하여 해석한 결과 MFSK DS-CDMA가 MPSK DS-CDMA 보다 에러 성능면에서 더 낮은 확률을 보여주었다. DS-CDMA시스템에서는 전력효율과 대역폭 효율에 깊은 관련이 있으며[4], 이에 대하여 MFSK DS-CDMA는 MPSK DS-CDMA보다 높은 대역폭 효율을 갖는 것으로 알려져 있다. 이를 위하여 MFSK와 MDPSK변조 기법을 합성한 새로운 시스템을 알아본다. 참고문헌[5]에서 이의 특별한 경우를 고려하였는데, 이는 MFSK-BPSK DS-CDMA 시스템의 경우이다. 본 논문에서는 나카가미 페이딩 통신로환경에서 다중반송파 합성변조기법을 채용한 통신시스템을 제안하고 제안시스템의 성능을 해석하여 분석하고, 또한, 제안 시스템의 성능개선 기법으로 다이버시티 기법을 사용하여 시스템의 성능을 보상한다. 또한, 우수한 전송품질을 갖는 고속 디지털 전송 시스템을 제안하기 위해 MFSK와 MDPSK를 합성한 변조 방식을 채용한, DS-CDMA 방식과 다중반송파를 이용하는 DS-CDMA 방식을 사용하여, 두 시스템의 성능을 비교 분석한다.

II. 합성변조 DS-CDMA 시스템

본 논문에서는 비동기 CDMA 시스템을 고려하기로 한다. 시스템은 균등하게 이용되도록 K명의 동일한 사용자가 제공된다. 각 신호는 부가적 가우시안 잡음(AWGN), 다중접속 간섭(MAI)과 페이딩을 받게 된다. 수신기는 모든 입력 신호가 균등하거나 하나의 신호로 보이게 되며 오직 요구된 신호만이 기지국에 수신된다고 한다. 그림 1은 송신기의 블록 다이어그램이다.

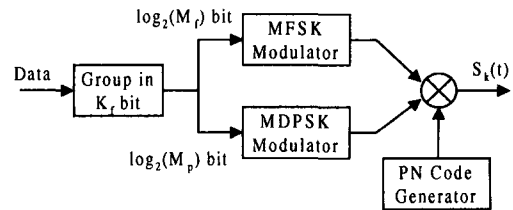


그림 1. 송신기의 블록 다이어그램
Fig. 1 Block diagram to transmitter

두 개의 합성변조 시스템에서 MFSK의 주파수 tone 수는 M_f 개가 이용되며, MDPSK는 차동위상에 대하여 M_p 개가 이용된다. 입력 데이터는 같은 확률을 갖는 +1 또는 -1의 이진 비트 열이다. 이 비트 열들은 $\log_2(M_f M_p)$ 비트로써 $\log_2 M_f$ 비트는 M_f 개의 주파수 톤 중 하나를 선택하며, $\log_2 M_p$ 비트는 각 주파수 톤을 선택한 것 중에서 M_p 개의 차동위상중 하나를 선택한다. MFSK변조기는 주파수 톤중에서 $\log_2 M_f$ 의 입력 비트를 선택하면, MDPSK 변조기의 주파수 톤은 $\log_2 M_p$ 개의 입력 비트에 따라서 차동 위상변조를 한다. MDPSK변조기의 출력단에서는 PN부호열과 곱을 하게 된다. K명의 사용자에 대하여 전송될 신호는 $S_k(t)$ 로 한다. DPSK DS-CDMA를 위한 차등검파기는 그림 2에 보여진다.[3]

그림 2에서 두 개의 가지 중 하나의 가지는 T_s 초만큼의 채용을 사용한다. 각 가지에서는 두 개의 부가지가 있고 I와 Q채널이 있다. 네 개의 출력들은 U_Q, U_I, U_{aI}, U_{aQ} 로 표시된다. 이 단일 톤 DPSK 검파기 사용으로 MFSK-DPSK DS-CDMA 기법을 위한 수신기를 만들 수 있다.

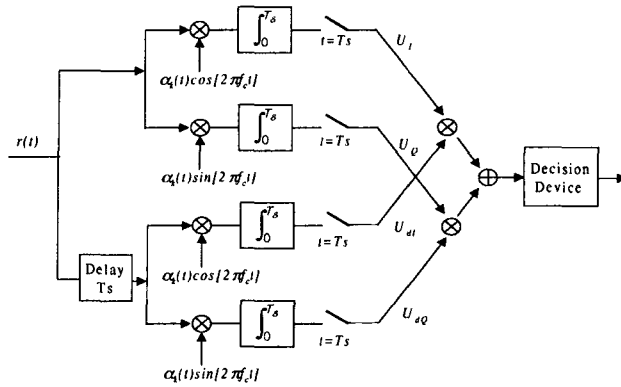


그림 2. DPSK DS-CDMA 시스템에서 DPSK 검파기의 구조
 Fig. 2 Structure of the DPSK detector in a DPSK DS-CDMA system

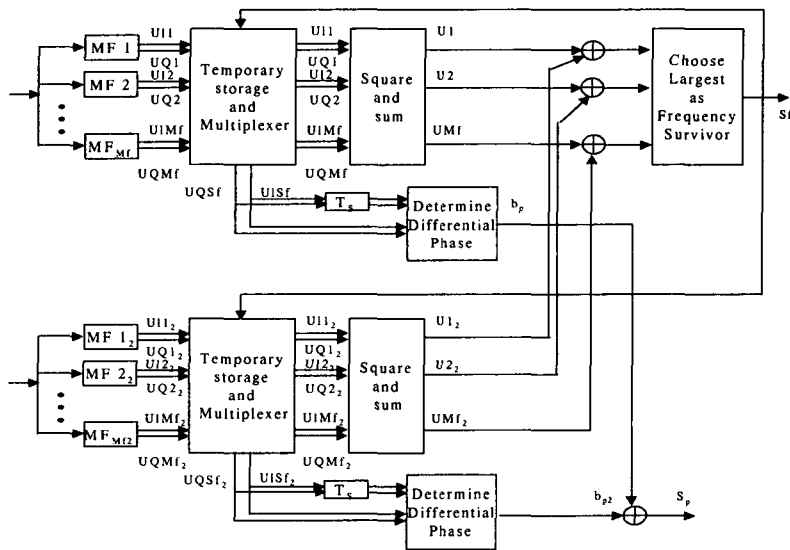


그림 3. MFSK-MDPSK DS-CDMA 수신기의 블록 다이어그램
 Fig. 3 Block diagram of the MFSK-MDPSK DS-CDMA receiver

MFSK-DPSK DS-CDMA 기법의 수신기는 그림 3에서 보여준다. 여기서 정합필터(MF)는 주파수 톤 M_f 와 관계가 있다. 각 정합필터는 U_I 와 U_Q 가 있는 그림 2에서 하나의 M_f 톤과 관계가 있는 주파수를 가진 위쪽 가지에 구성되어 있다. 각 정합필터로부터 두 가지 출력은 각각의 I-채널과 Q-채널로부터 샘플 값이고, U_{Im} , U_{Qm} 으로 표시된다($m=1, 2, \dots, M_f$). 이

때, 비트 에러는 R_b 와 비트 에너지는 E_b 는 다음과 같다.[3]

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

$$E_s = \log_2(M_f M_p) E_b \dots\dots\dots (2)$$

각 심볼은 PN 부호열의 전체 주기를 갖는 것으로

가정한다. PN 칩률은 $R_c=NR_s$ 이고, N은 PN 열의 길이이며, 칩에너지는 $E_c=E_sN$ 이 된다. 비트 에너지대 잡음 전력 밀도 비는 $\gamma_b=E_b/N_0$, 심볼 에너지대 잡음 전력 밀도비는 $\gamma_s=E_s/N_0$ 이다. 만약 Raised Cosine 필터기의 롤-오프 계수 α 를 이용하면 전체 신호 대역폭 W는 다음과 같다.

$$W = (1+\alpha)M_f R_c = (1+\alpha)M_f N R_s \\ = \frac{(1+\alpha)M_f N R_b}{\log_2(M_f M_p)} \dots\dots (3)$$

MFSK-DPSK/DS-CDMA 시스템은 AWGN 채널에서 먼저 고려한다. 신호는 열잡음과 다중접속 간섭에 의하여 열화되며, 다중접속 간섭은 등가적인 가우스 잡음으로 접근된다. 불규칙한 신호들에 대한 동기 DPSK DS/CDMA 시스템의 효율적인 비트 에너지 대 잡음 스펙트럼 밀도비는 다음과 같다.[6]

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

K : 사용자수.

DPSK/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_b 로 하면 시스템 용량은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{K R_b}{W} \simeq \frac{3}{2} \frac{\gamma_b - \gamma_s'}{\gamma_b \gamma_s'} \dots\dots (5)$$

만약 $\gamma_b \rightarrow \infty$ 이면, 비대칭적인 용량을 갖게 되는 데 이는 식 (6)이 되며, 이 때 비대칭적인 용량을 역으로 하면 비례적인 γ_b' 가 된다.

$$\eta_{max} = \frac{3}{2\gamma_s'} \dots\dots (6)$$

MFSK/DS-CDMA 시스템의 효율적인 비트 에너지 대 잡음 스펙트럼 밀도 비는 다음과 같다.[3]

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

식 (3)에서 $M_p=1$ 이면, $W/R=M_f N/\log_2(M_f)$ 가 되며, 식 (4)와 (7)로부터 γ_b' 는 다중접속 간섭과 γ_b 를 갖도록 한다. MFSK-DPSK/DS-CDMA 시스템에 관하여 γ_b' 에 대하여 같은 식으로써 존재하게 된다. MFSK-DPSK/DS-CDMA 시스템의 수신기는 두 개

의 복조 단을 필요로 하므로, 첫번째 검파(MFSK)단에서의 에러확률을 P_f , 두번째 검파(DPSK)단에서의 에러확률인 P_p 를 갖게 된다. 이 때 심볼 에러의 전체 확률은 다음과 같다.

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

P_f 와 P_p 는 참고문헌 [6], [7]에서 정의하였다.

$$P_f = \sum_{n=1}^{M_f-1} (-1)^{n+1} \binom{M_f-1}{n} \frac{1}{n+1} e^{-\gamma_s' n/(n+1)} \\ \dots\dots (9)$$

$$P_p = \text{erfc} \left(\sqrt{2\gamma_s' \sin \frac{\pi}{2M_p}} \right) \dots\dots (10)$$

각 심볼이 $\log_2(M_f M_p)$ 로 된다고 하다면, 비트 에러 확률은 다음과 같다.

$$P_b \simeq \frac{2^{\lfloor \log_2(M_f M_p) \rfloor - 1}}{2^{\log_2(M_f M_p)} - 1} P_s \dots\dots (11)$$

III. 다중반송파 합성변조 DS-CDMA 시스템

DS-CDMA의 성능은 사용자의 수가 증가하면 오율특성이 급격하게 떨어지게 된다. 이러한 경우 심볼 전송률을 줄이는 기술이 필수적이므로, 고속의 데이터를 전송하기 위해서는 신호의 지속시간을 줄여야 한다. 그러나 채널에서 발생하는 지연확산에 의해 인접 심볼 간섭이 발생하기 때문에 무작정 신호의 지속시간을 줄일 수는 없다. 이러한 문제를 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 사용하므로 해결할 수 있다.[8]

OFDM과 CDMA 방식을 결합한 다중반송파 DS-CDMA 시스템의 반송파 수는 확산코드의 길이와 같거나 그 이상이 되어야 하며, 직렬에서 병렬로 변환된 데이터 열을 시간 영역에서 주어진 확산 코드를 이용하여 확산시킨다. 다중반송파 DS-CDMA 시스템의 수신 전력 평균치 \bar{E} 는 다음 식 (12)으로 주어진다.

$$\bar{E} = \sigma_D^2 + \sigma_I^2 + \sigma_n^2 \dots\dots (12)$$

단, σ_D^2 : 희망 신호 전력, σ_I^2 : 간섭 전력, σ_n^2 : 잡음 전력.

여기서, 나카가미 페이딩 채널에서 관하여 희망 신호 성분의 전력 (σ_D^2)과 간섭에 의한 비희망 신호 성분의 전력 (σ_I^2)을 식 (12)으로부터 구하면 다음과 같다.

$$\sigma_D^2 = \sum_{l=1}^{M_1+M_2} p_l = p_1 + \sum_{l=2}^{M_1+M_2} p_l \quad \dots\dots\dots (13)$$

단, p_l : l 번째 수신 경로를 통해 들어온 신호전력 위 식 (13)을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\sum_{l=1}^{M_1+M_2} p_l = p_1 + \sum_{l=2}^{M_1} p_l + \sum_{l=M_1+1}^{M_1+M_2} (\alpha_l^2) p_l \quad \dots\dots\dots (14)$$

단, $\alpha_l = \left(\frac{t_s - \tau_l + t_g}{t_s} \right)$, ($\tau_l > t_g$, ($l = M_1, \dots, M_2$)), τ_l : l 번째 경로의 전파 지연

식 (14)의 우변에 대한 첫 번째 항은 직접파 성분 (P_1) 그리고 두 번째 항과 세 번째 항은 희망 신호의 반사파 성분 ($P_2 + P_3$)이다. 마찬가지로 비 희망 신호의 간섭 전력은 다음과 같다.

$$\sigma_I^2 = \sum_{l=M_1+1}^{M_1+M_2} (1 - \alpha_l)^2 \beta p_l \quad \dots\dots\dots (15)$$

단,

$$\beta = \left\{ \sum_{k=0, k \neq m}^{N-1} \sin c \left(\frac{\pi(k-m)(\tau_l - t_g)}{t_s} \right) - \frac{1}{2} \right\},$$

$$N: \text{캐리어 수}, (1 - \alpha_l)^2 = \left(\frac{\tau_l - t_g}{t_s} \right)^2,$$

$$t_g < \tau_l < T_s, (l = M_1 + 1, \dots, M_1 + M_2).$$

여기서, 희망 신호 전력은 식 (13)에서 다음과 같이 구해진다.

$$\sigma_D^2 = P_1 + P_2 + \alpha_l^2 P_3 \quad \dots\dots\dots (16)$$

단, $P_1 = p_1$, $P_2 = \sum_{l=2}^{M_1} p_l$, $P_3 = \sum_{l=M_1+1}^{M_1+M_2} p_l$.

또한 비 희망 신호 전력 (σ_I^2)은 다음과 같다.

$$\sigma_I^2 = (1 - \alpha_l)^2 P_3 \beta \quad \dots\dots\dots (17)$$

따라서, DUR (Desired wave power-to-Undesired wave delayed power Ratio)은 다음과 같이 구해진다.

$$DUR = \frac{\sigma_D^2}{\sigma_I^2} = \frac{P_1 + P_2 + \alpha^2 P_3}{(1 - \alpha)^2 P_3 \beta} \quad \dots\dots\dots (18)$$

식 (13)은 식 (18)로부터 AWGN이 부가된 경우의 희망 신호 대 비희망 신호의 전력비는 다음과 같이 구해진다.

$$\sigma^2 = \left\{ \left(\frac{\sigma_D^2}{\sigma_n^2} \right)^{-1} + \left(\frac{\sigma_D^2}{\sigma_I^2} \right)^{-1} \right\}^{-1} \quad \dots\dots\dots (19)$$

IV. 나카가미 페이딩 채널에서 다중반송파 DS-CDMA 합성변조 방식의 성능개선 방법

페이딩으로 인한 열악한 채널 환경을 개선을 위하여 다이버시티 효과가 가장 우수한 최대비 합성 다이버시티를 채용하여 다중반송파 DS-CDMA 합성변조 시스템의 성능을 보상한다. 다이버시티의 가지의 수가 L 개인 MRC 다이버시티 출력단의 SNR, γ_D 는 다음과 같다.[9]

$$\gamma_D = \sum_{l=1}^L \gamma_l \quad \dots\dots\dots (20)$$

각 다이버시티 가지에서의 페이딩과 잡음의 영향이 독립적이라면, 나카가미 페이딩 채널에서 수신 신호 γ 의 순시 SNR에 대한 확률밀도 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p_L(\gamma_D) = \frac{m^{mL} \gamma_D^{mL-1}}{\Gamma(mL) R^{mL}} e^{-\frac{m\gamma_D}{R}} \quad \dots\dots\dots (21)$$

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

V. 계산 결과 및 검토

앞에서 유도한 비트 오류율을 이용하여 수치 계산한 오율 성능을 비트 에너지 대 잡음 전력 밀도비 (E_b/N_0), 사용자 수(K), 심볼 수(M_p, M_f), 다이버시티 가지 수(L) 등을 함수로 하여 그림 4~7에 나타냈다.

그림 4에서는 나카가미 페이딩 채널에서 합성변조 시스템에 대하여 $M_p=4, M_f=4$ 인 경우, 나카가미 페이딩 지수값의 변화에 따른 그래프이다. 페이딩 지수값이 커질수록 페이딩의 영향이 줄어들어 $m=3$ 이상에서 10^3 이하의 오율 성능이 보였다. 또한, 합성변조 다중 반송파 DS-CDMA 시스템이 합성변조 DS-CDMA

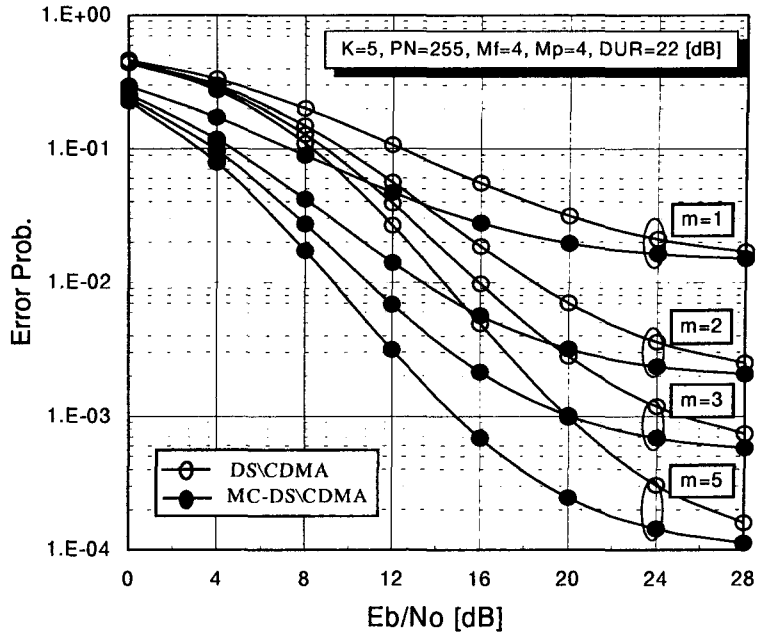


그림 4. 나카가미 페이딩 채널에서 페이딩 지수값 변화에 따른 시스템 오율 특성
Fig. 4 Error performance of system with a variation of fading index in Nakagami fading channel.

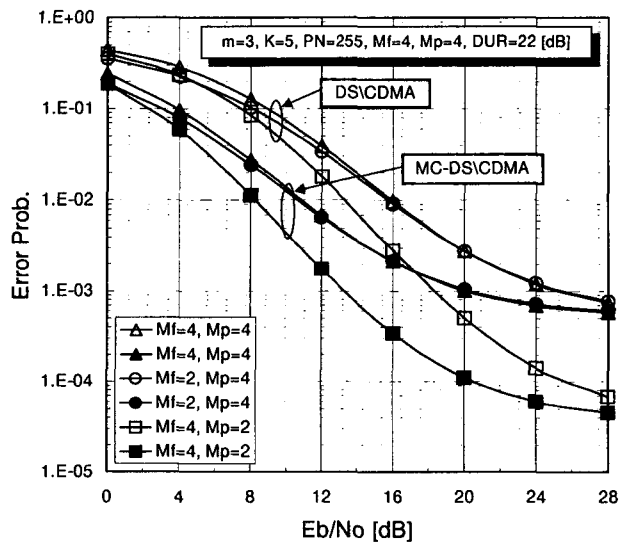


그림 5. 나카가미 페이딩 채널에서 M_f, M_p 의 변화에 따른 시스템 오율 특성
Fig. 5 Error performance of system with variation of M_f, M_p in Nakagami fading channel.

시스템보다 성능이 좋음을 알 수 있었다.

그림 5에서는 페이딩 지수 $m=3$ 일 때, $M_f=4$, $M_p=2$ 인 경우 가장 오율 성능이 좋았으며, $M_f=2$, $M_p=4$ 일 때와 $M_f=4$, $M_p=4$ 인 경우는 오율 성능이 거의 같음을 알 수 있었다.

그림 6에서는 페이딩 지수 $m=3$ 일 때 $M_f=4$, $M_p=2$ 인 경우 나카가미 페이딩 채널에서 합성변조 시스템에 대하여 사용자 수에 따른 오율 성능을 보여주고 있다. 오율 성능 10^{-3} 을 만족하는 사용자 수는 합성변조 DS-CDMA 시스템은 8명, 그리고 합성변조 다중반송파 DS-CDMA 시스템은 12명까지 수용할 수 있었다.

그림 7에서는 페이딩 지수 $m=2$ 인 나카가미 페이딩 채널에서 합성변조 시스템에 대하여 MRC 다이버시티 합성법을 이용하여, 가지 수에 따른 오율 성능을 보여주고 있다. 다이버시티 기법을 사용하지 않은 경우, 28dB 내에서는 10^{-3} 을 미치지 못하였지만, 다이버시티 가지 수가 2일 때 합성변조 DS-CDMA 시스템은 22dB에서 그리고 합성변조 다중반송파 DS-CDMA 시스템은 17dB에서 10^{-3} 의 오율 성능을 만족하였다.

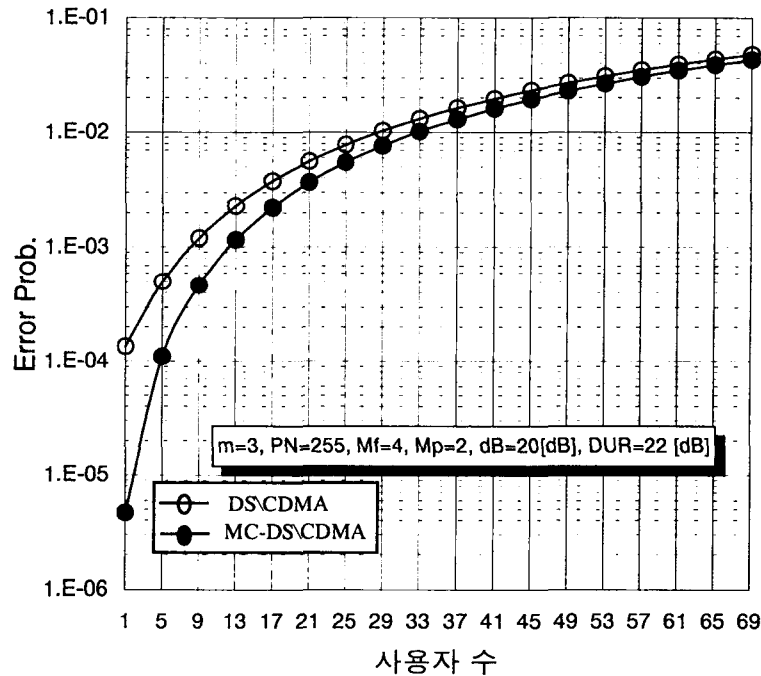


그림 6. 나카가미 페이딩 채널에서 사용자 수 변화에 따른 시스템 오율 특성
 Fig. 6 Error performance of system with a variation number of user in a Nakagami fading channel.

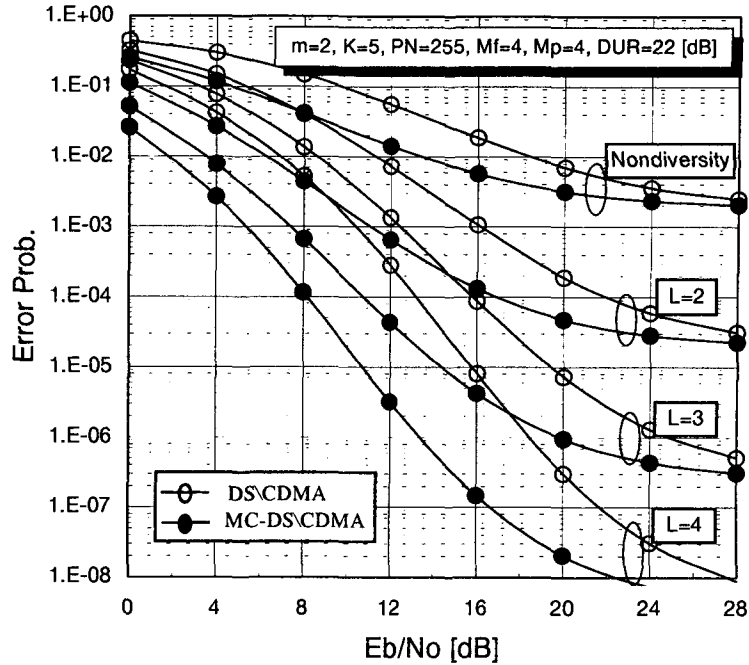


그림 7. 나카가미 페이딩 채널에서 다이버시티 가지 변화에 따른 시스템 오율 특성
 Fig. 7 Error performance of system with a variation number of diversity branch in Nakagami fading channel.

에서 10^{-3} 의 오율 성능을 만족하였다.

VI. 결론

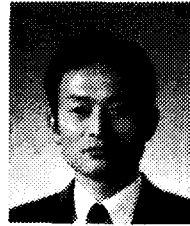
본 논문에서는 나카가미 페이딩 전송로 환경에서 멀티캐리어 DS-CDMA 합성변조 기법을 고려하여 제안시스템의 성능을 해석하여 분석하였으며, 제안시스템에 성능개선 기법을 도입하였을 경우, 에러 오율 성능 개선 정도를 비교 분석하였다. 일반적으로 주파수의 수를 늘릴수록 기본함수의 수를 늘릴 수 있고 이에 따라 오율 성능의 향상을 얻을 수 있으나 이에 대한 상충관계로 대역폭이 증가한다.

본 논문에서 고려된 다중반송파 합성변조 시스템 분석 결과, 다중반송파 DS-CDMA 합성변조 시스템은 나카가미 페이딩 지수 $m=3$ 이상에서 10^{-3} 이하의 오율 성능을 보였고, 페이딩 지수 $m=3$ 일 때 $M_f=4$, $M_p=2$ 인 경우가 가장 오율 성능이 좋았으며, 사용자수에 따른 오율 성능은 10^{-3} 을 만족하는 경우 12명까지 수용할 수 있었다. 제안시스템에 성능 보상 기법을 채용한 경우, 다이버시티 가지 수가 2일 때 17dB

참고문헌

- [1] R. A. Khalona, G. E. Atkin, and J. L. Lciero, "On the performance of a Hybrid frequency and phase shift keying modulation technique," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 41, pp. 655-659, May 1993.
- [2] J. P. Fonseka, "Nonlinear PSK and nonlinear PSK/FSK modulation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, pp. 2060-2069, June 1995.
- [3] E. A. Geraniotis, "Performance of noncoherent direct sequence multiple-access communications," *IEEE J. Select. Area Commun.*, vol. SAC-3, pp. 687-694, Sep. 1985.
- [4] B. Sklar, "Defining, designing, and evaluating digital communication systems," *IEEE Commun. Magazine*, Nov. 1993.

- [5] J. Wang and A. Yongaçoğlu, "MFSK modulated PSK direct sequence CDMA," *16th Biennial Symposium on Communications*, Kingston, Canada, May 27-29, 1992.
- [6] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase coded spread-spectrum multiple-access communication-Part I: system analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, no. 8, pp. 795-799, Aug. 1977.
- [7] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill: New York, 1989.
- [8] M. Okada, S. Hara and N. Morinaga, "Bit error rate performance of orthogonal multicarrier modulation radio transmission systems," *IEICE Trans. Commun.*, vol E76-B, no. 2, pp. 113-119, Feb. 1993.
- [9] 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.



양원일(Won-il Yang)

1972년 2월 조선대학교 전기공학부(공학사)

1982년 2월 조선대학교 전기공학과(공학석사)

2000년 현재 동신대학교 전기전자공학과 박사과정 재학중

1983년 3월~현재 조선대학교 전자정보통신공학부 교수

※주관심분야 : 무선통신시스템, 이동통신, 위성통신, 멀티미디어통신, EMI/EMC



강희조(Heau-jo Kang)

1986년 2월 원광대학교 전자공학과(공학사)

1988년 2월 숭실대학교 전자공학과(공학석사)

1994년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과(공학박사)

1994년 7월~1995년 1월 전자

통신연구원 위성망연구소 초빙연구원

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

1998년 3월~현재 한국전자파학회 호남지부 지부장

2000년 1월~현재 한국멀티미디어학회 논문지 편집위원

1990년 3월~현재 동신대학교 전기전자공학부 부교수

※주관심분야 : 무선통신시스템, 이동통신 및 위성통신, 멀티미디어통신, EM/EMC, 무선광통신, 밀리미터파, PEL 평판 디스플레이