

# 나카가미 감쇄에서 MC DS-CDMA/MPSK와 DS-CDMA/MPSK 시스템 비교 분석

Comparison and Analysis of the MC DS-CDMA/MPSK  
and DS-CDMA/MPSK Systems in Nakagami Fading

이정도 · 강희조

Jeong-Do Lee · Heau-Jo Kang

## 요 약

다반송파 변조방식, 또는 직교 주파수 분할 다중접속 방식은 적응등화기를 사용하지 않으면서도 다중간섭 제거 능력이 탁월하다고 알려졌다. 이 논문에서는 이러한 MC DS-CDMA/MPSK와 DS-CDMA/MPSK를 적용하여, 나카가미 감쇄 채널 환경에서 오율 특성을 분석하였다. 그 결과 동일한 대역폭에서는 반송파수가 증가함에 따라 처리이득이 커지므로 DS-CDMA/MPSK 신호보다 MC DS-CDMA/MPSK 신호가 오율 특성이 우수함을 알 수 있었다.

## Abstract

Multicarrier modulation or orthogonal frequency division multiplexing(OFDM) is a promising technique for mobile communications systems, since it has a strong immunity to multipath fading without employing complicated adaptive equalization. In this paper, performance of MC DS-CDMA/MPSK(multi-carrier direct sequence-code division multiple access/many phase shift keying) and DS-CDMA/MPSK(direct sequence-code division multiple access/many phase shift keying) with coherent detection for a CDMA system over Nakagami fading channel analysis. For a given bandwidth, it is shown that MC DS-CDMA/MPSK eventually outperforms DS-CDMA MPSK with random sequences.

## I. 서 론

무선 디지털 전송 시스템에서 무선 전화, 데이터 전송, 영상 정보와 같은 멀티미디어 통신을 하기 위해서는 높은 대역폭 효율을 가지고 고속으로 실현하는 무선 전송 시스템이 필요하다. 최근에는 디

지털 통신에 대한 기술 개발이 급격히 발전되어 다수의 사용자에게 사전에 할당된 의사 잡음 부호를 이용하여, 동일한 주파수 대역을 다수의 사용자가 공유하는 DS-CDMA 시스템을 사용하고 있으나, 사용자 수가 증가하거나 간섭 신호가 큰 경우에는 시스템 성능이 급격히 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 또한, 이동 무선 채널에서 높은 비트율

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

·논문 번호 : 990702-056

·수정완료일자 : 1999년 9월 6일

로 동작할 때 주파수 선택성 감쇄를 받음으로서 심볼간 간섭이 발생하게 되어 시스템 오율 성능을 떨어뜨리게 된다. 이러한 주파수 선택성 감쇄 대책으로 육상 이동 무선 통신에서는 적응등화기 적용이 검토되고 있으나, 수 Mbps를 넘는 고속 디지털 전송에 적응등화기를 사용하게 되면 회로 규모가 매우 크게되어 현실적으로 사용이 불가능하다. 이에 비해 MC DS-CDMA 변조 방식은 1채널당 전송속도를 주파수 선택성 페이딩이 발생하지 않을 정도로 억압하고, 복수개의 채널을 사용하여 전송을 행함으로써, 고속의 디지털 전송을 실현할 수 있다. 또한 MC DS-CDMA 시스템은 대역 효율 및 채널에서 발생하는 다중접속간섭, 페이딩 간섭을 극복하는 특성이 우수하여, 같은 조건에서 더 많은 사용자들에게 서비스를 받을 수 있게 하고, 채널용량을 극대화할 수 있는 장점을 가지고 있다

[1]~[3]

이 논문에서는 이동통신과 위성통신에 적용할 수 있는 나카가미 감쇄 환경에서 MC DS-CDMA 와 DS-CDMA 시스템을 사용하여, MPSK 신호의 오율 성능을 유도한 오율식을 비트 에너지 대 잡음 전력비( $E_b/N_o$ ), 다중 접속 사용자수( $K$ ), 처리이득( $G_{DS}$ ,  $G_{MC}$ ) 등을 함수를 사용하여 두 시스템 성능을 비교 분석한다.

## II. DS-CDMA 시스템

직접대역확산 방식은 정보의 전송 속도 보다 전송 속도가 높은 의사 잡음 부호 코드와 정보 비트를 곱함으로써 주파수 대역폭이 넓어지는 방식이다. 이러한 DS-CDMA 시스템은 송신단에서  $k$  번째 사용자의 정보신호가  $b_k(t)$  일 때, 이 보다 높은 칩률을 갖는 PN코드  $c_k(t)$ 가 곱해져 대역이 확산된다. 여기서 각 사용자의 신호를 확산하는데 사용된  $c_k(t)$ 들 사이의 교차상관 값이 0이라 가정하면 다음 식이 성립된다.

$$\frac{1}{N} \int_0^T c_i(t) c_j(t) dt = \begin{cases} 1, & i=j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad (1)$$

수신 신호  $r(t)$ 는 다른 사용자에 의한 간섭신호와 기대신호의 합으로 수신되므로 다음과 같이 표현된다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^K a_k c_k(t) b_k(t) \quad (2)$$

$a_k$ 는  $k$  번째 사용자의 채널에서의 감쇄계수이다.

CDMA 시스템에서 기저 대역폭에 대한 확산 대역폭의 비가 충분히 크다고 가정하면, 수신단에서 낮은 신호 대 잡음비에서도 원하는 사용자가 전송한 정보 신호를 복원할 수 있다. 기저대역폭에 대한 확산 대역폭의 비를 처리이득( $G_{DS}$ )이라 하며 다음과 같이 정의된다<sup>[4],[5]</sup>.

$$G_{DS} = \frac{1/T_c}{1/T_b} = \frac{T_b}{T_c} \quad (3)$$

$T_c$ 는 PN 코드의 칩 주기이고,  $T_b$ 는 전송신호의 비트 주기이다.

## III. MC DS-CDMA 시스템

DS-CDMA는 채널 지연이 심볼 전송시간을 초과하는 경우 심각한 심볼사이 간섭을 받게되어 이용할 수 없게 된다. 이러한 경우 심볼 전송률을 줄이는 기술이 필수적이다. 그러나 무선 채널을 통하여 고속의 데이터를 전송하기 위해서는 신호의 지속 시간을 줄여야 한다. 곧 심볼률을 크게 해야 한다. 그러나 채널에서 발생하는 지연 페짐에 의한 인접 심볼 간섭이 발생하기 때문에 무작정 지속 시간을 줄일 수 없다. 이러한 문제를 MC DS-CDMA방식을 사용하여 해결 할 수 있다. MC DS-CDMA방식은 반송파 변조 방식은 직렬 데이터의 전체 신호 대역폭을 다수의 협대역 부채널로 분할하여 전송하는 방식으로, 데이터의 직렬 전

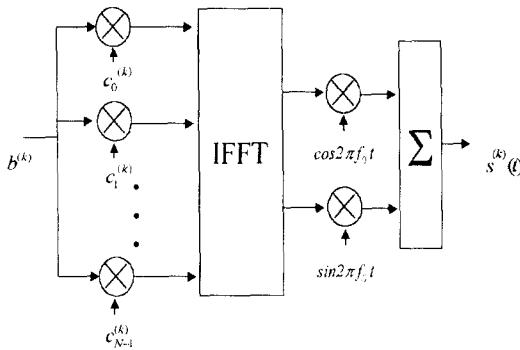


그림 1. MC DS-CDMA 송신기

Fig. 1. MC DS-CDMA transmitter.

환시 심볼 간격이 증가하므로 인접 심볼 간섭을 제거할 수 있다. 또한, 이산 푸리에 변환을 사용하여 등가신호를 발생시킬 수 있고, 채널 등화기가 간단하며, 페이딩 현상을 잘 극복할 수 있는 변조 방식이다<sup>[6],[7]</sup>.

그림 1은  $k$ 번째 사용자의 MC DS-CDMA 송신기 모델이다. 여기서  $b_k$ 는  $k$ 번째 정보신호이고,  $c_k$ 는  $k$ 번째 의사 잡음 부호이다. 이때  $k$ 번째 사용자의  $m$ 번째 심볼 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$s_m^{(k)}(t) = \sqrt{\frac{E_s}{NT_s}} \cdot b_m^{(k)} \sum_{l=0}^{N-1} c_l^{(k)} e^{j2\pi\frac{l}{T_s}t} \cdot f(t - mT_s) \quad (4)$$

여기서  $f(t)$ 는 각각 심볼 펄스 파형이며, 다음과 같다.

$$f(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < T_s, \\ 0, & \text{기타,} \end{cases}$$

또한,  $T_s$ 는 심볼 주기이고,  $E_s$ 는 심볼 에너지이다.

그림 2와 같은 채널을 통과한 수신 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

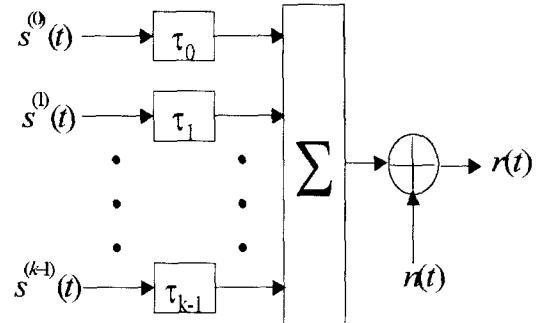


그림 2. MC DS-CDMA 채널

Fig. 2. MC DS-CDMA channel.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{K-1} s_m^{(k)}(t - \tau_k) + n(t) \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} s_m^{(0)}(t) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^{K-1} s_m^{(k)}(t - \tau_k) \\ &\quad + n(t) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $n(t)$ 는 양측 전력 스펙트럼밀도가  $N_0/2$ 인 백색 정규 잡음이고,  $\tau_k$ 는  $0 \leq \tau_k < T_s$  ( $k = 1, 2, 3, \dots, K-1$ )에서 균일한 분포를 갖고, 서로 독립인 확률 변수이며,  $k$ 번째 사용자의 지연 시간이다. 여기서  $\tau_0 = 0$ 으로 가정하면, 0번째 사용자의  $m$ 번째 심볼에 대한 상관기 출력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} z_m^{(0)} &= \sqrt{E_s} b_m^{(0)} + \sqrt{E_s/N} \sum_{k=1}^{K-1} I_{m-1}^{(k)} \\ &\quad + \sqrt{E_s/N} \sum_{k=1}^{K-1} I_m^{(k)} + n_W \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $n_W$ 는 백색 정규 잡음 성분이며,  $I_{m-1}^{(k)}$ 와  $I_m^{(k)}$ 는 다중접속 간섭 성분이다. 이것을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_{m-1}^{(k)} &= b_{m-1}^{(k)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} c_l^{(0)} c_n^{(k)} e^{-j2\pi\frac{l}{T_s}\tau_k} \\ &\quad \cdot \frac{1}{T_s} \int_0^{\tau_k} e^{j2\pi\frac{(l-n)}{T_s}t} dt \end{aligned} \quad (7)$$

$$I_m^{(k)} = b_m^{(k)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} c_l^{(0)} c_n^{(k)} e^{-j2\pi \frac{l}{T_s} \tau_k} \cdot \frac{1}{T_s} \int_{\tau_k}^{T_s} e^{j2\pi \frac{(l-n)}{T_s} t} dt \quad (8)$$

정보신호가  $T_b$  간격으로 직렬 전송되는 경우  $N$  개의 병렬 가지로 변환되므로 심볼간격은  $T_s = N \cdot T_b$  가 되고, 병렬 변환된 칩 간격은  $T_c$ 라고 하면,  $T_s = N \cdot T_b = G_{MC} \cdot T_c$ 가 된다.

MC DS-CDMA 시스템의 점유대역폭( $B_{MC}$ )은 다음과 같다.

$$B_{MC} = 1/T_c = \frac{G_{MC}}{T_s} \quad (9)$$

여기서  $G_{MC}$ 는 MC DS-CDMA의 처리이득이고,  $N$ 은 부반송파 숫자이다.

DS-CDMA 시스템의 점유대역폭( $B_{DS}$ )은 다음과 같다.

$$B_{DS} = 2R \cdot G_{DS} = \frac{2G_{DS}}{T_s} \quad (10)$$

여기서 전송률  $R = 1/T_s$ 이다.

MC DS-CDMA 신호는 같은 대역폭을 사용하는 심볼과 서로 겹치기 때문에 DS-CDMA 보다 처리이득이 약 2배 정도 크다<sup>[8]</sup>.

#### IV. DS-CDMA와 MC DS-CDMA 시스템 성능 비교 분석

백색 정규 잡음 환경에서 MC DS-CDMA 오율 성능을 알아보기 위해식 (5)에서  $\tau_k$  ( $k=1, 2, \dots, K-1$ )를  $\tau_0 = 0$ 을 대입하고,  $S_k = s_m^{(k)}(t - \tau_k)$ 라고 가정하면, 백색 정규 잡음의 평균값은 0이고, 분산은  $E_s/T_s$ 이므로, 잡음의 총 합은  $\sum_{k=1}^{K-1} S_k + n_w$ 이다. 여기서  $n_w$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} n_w &= (K-1) \frac{E_s}{T_s \cdot B_{MC}} + N_0 \\ &= (K-1) \frac{E_s}{N+1} + N_0 \end{aligned} \quad (11)$$

그러므로 BPSK와 QPSK의 비트에러율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

BPSK :

$$\begin{aligned} P_{eMC} &= Q\left[\sqrt{\frac{E_s}{n_w/2}}\right] \\ &\simeq Q\left[\left\{\frac{(K-1)}{2(G_{MC}+1)} + \frac{N_0}{2E_b}\right\}^{-1/2}\right] \end{aligned} \quad (12)$$

QPSK :

$$\begin{aligned} P_{eMC} &= Q\left[\sqrt{\frac{E_s}{n_w}}\right] \\ &\simeq Q\left[\left\{\frac{(K-1)}{(G_{MC}+1)} + \frac{N_0}{2E_b}\right\}^{-1/2}\right] \end{aligned} \quad (13)$$

여기서  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-\frac{u^2}{2}) du$ 이다.

백색 정규 잡음 환경에서 DS-CDMA 오율 성능은 참고문헌 [9]에서 사용된 오율식을 바탕으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

BPSK :

$$P_{eDS} \simeq Q\left[\left\{\frac{(K-1)}{3G_{DS}} + \frac{N_0}{2E_b}\right\}^{-1/2}\right] \quad (14)$$

QPSK :

$$P_{eDS} \simeq Q\left[\left\{\frac{2(K-1)}{3G_{DS}} + \frac{N_0}{2E_b}\right\}^{-1/2}\right] \quad (15)$$

#### V. 나카가미 페이딩에서 시스템 성능 비교 분석

나카가미 감쇄형은 나카가미 교수에 의해 단파 대에서 대규모 실험을 통하여 찾아낸 것으로, 심도 지표라고 부르는 매개변수  $m$ 값에 의해 중단파에

서 마이크로파대에 이르는 무선통신로에서 발생하는 여러 가지 형태의 포락선 변동을 기술할 수 있다. 나카가미 감쇄는 레일리 감쇄와 라이시안 감쇄 등을 모두 포함하고, 그 지수값에 따라 쉽게 레일리 감쇄와 라이시안 감쇄로 변환할 수 있고, 실내 외 무선 환경 모델을 나타낼 수 있을 뿐만 아니라, 이동통신과 위성통신에 적용할 수 있는 감쇄 모델이다. 이러한 나카가미 감쇄를 받은 수신 신호 순서 진폭에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다<sup>[10]</sup>.

$$p_N(R) = \frac{2m^m}{\Gamma(m)} \frac{R^{2m-1}}{\Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right). \quad (16)$$

단,  $\Gamma(\cdot)$ 은 감마 함수이고  $\Omega/2$ 는 수신 평균 전력이다.

신호가 직교 신호계에서의 비트 오율과 심별 오율 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다<sup>[11]</sup>.

$$P_b = \frac{M}{2(M-1)} = \frac{2^{n-1}}{2^n - 1} P_e, \quad (P_e \ll 1). \quad (17)$$

단,  $P_b$ 는 비트 오율식이고,  $P_e$ 는 심별 오율식이다.

신호가 비직교 신호계에서의 비트 오율과 심별 오율 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다<sup>[11]</sup>.

$$P_b \approx \frac{P_e}{\log_2 M}, \quad (P_e \ll 1). \quad (18)$$

나카가미 페이딩 채널에서의 MPSK 심별 오율식은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} P_{eF-N} &= \int_0^\infty P_{eG} \cdot p_N(R) dR, \\ &= 1 - \sqrt{\frac{4 \sin^2(\pi/M)r}{\pi m}} \cdot \frac{\Gamma(m+1/2)}{\Gamma(m+1)} \\ &\quad \cdot \left[ 1 + \frac{\sin^2(\pi/M)r}{m} \right]^{-(m+1/2)} \end{aligned}$$

$$\cdot {}_2F_1\left[ 1, m+1/2 : 3/2 ; \frac{\sin^2(\pi/M)r}{m + \sin^2(\pi/M)r} \right] \quad (19)$$

여기서,  $P_{eG}$ 는 백색 정규 잡음만 있는 경우 오율식이다.

이 논문에서는 위의 시스템 성능을 개선하기 위해 부호화 기법을 사용하여 성능 개선을 유도한다. 이에 사용되는 BCH 부호화 기법은 다수의 에러정정을 하는 해밍 부호의 일반화된 부호 방식으로 넓은 범위의 부호길이와 뛰어난 에러정정 능력을 갖고 있으며 부호장이 수천 이하의 경우, 같은 정도의 부호장과 에러정정 능력을 갖는 부호 중에서 용장도가 제일 작은 우수한 부호로 알려졌다<sup>[11]</sup>.

## VII. 계산 결과 및 분석

이 논문에서는 서로 같은 대역폭을 사용한다는 조건에 MPSK 변조신호를 사용한 DS-CDMA 시스템과 MC DS-CDMA 시스템 성능을 비교했다.

앞 절에서 유도한 오율식을 비트 에너지 대 잡음 전력비 ( $E_b/N_o$ ), 다중 접속 사용자수 ( $K$ ), 처리이득 ( $G_{DS}$ ,  $G_{MC}$ ) 등을 함수로 하여 계산한 결과를 그림 3~8로 나타냈다.

그림 3은 나카가미 감쇄 지수  $m=1$ , 곧 레일리 감쇄 환경에서의 처리이득에 따라 오율 성능을 나타냈다. 사용자 수가  $K=5$  일 때 DS-CDMA/MPSK 보다 MC DS-CDMA/MPSK가 오율 성능이 우수하다는 것을 알 수 있었다. 또한 처리 이득이 증가해도 두 성능의 차이는 거의 일정함을 알 수 있었다.

그림 4는 나카가미 감쇄 지수  $m=3$ 인 환경에서의 처리이득에 따라 오율 성능을 나타냈다. 위의 그래프와 마찬가지로 사용자 수가  $K=5$  일 때 DS-CDMA/MPSK 보다 MC DS-CDMA/MPSK가 오율 성능이 우수하다는 것을 알 수 있었다. 그러나 처리 이득이 증가하면 두 성능의 차이는 점점 더 벌어져 MC DS-CDMA/MPSK가 오율 성능이

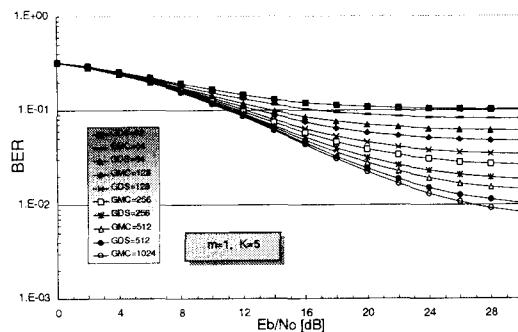


그림 3. DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 신호 오율 특성( $m=1, K=5, M=4$ )

Fig. 3. Error performance of DS-CDMA/MPSK and MC DS-CDMA/MPSK signals( $m=1, K=5, M=4$ ).

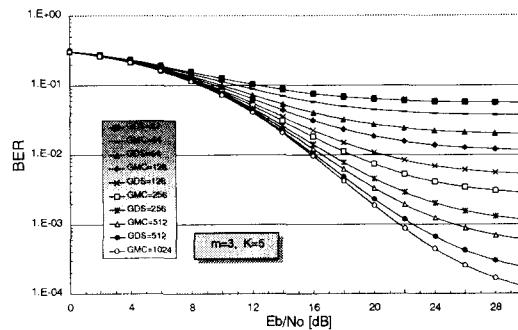


그림 4. DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 신호 오율 특성( $m=3, K=5, M=4$ )

Fig. 4. Error performance of DS-CDMA/MPSK and MC DS-CDMA/MPSK signals( $m=3, K=5, M=4$ ).

점점 더 좋아짐을 알 수 있었다.

그림 5는 나카가미 감쇄 지수  $m=1$ 인 환경에서  $E_b/N_o = 20$  dB인 경우 사용자수 따라 오율 성능을 나타냈다. 그 결과 사용자수가 증가하면 오율 성능이 떨어지지만, DS-CDMA/MPSK 보다 MC DS-CDMA/MPSK가 오율 성능 우수하다는 것을 알 수 있었다.

그림 6는 나카가미 감쇄 지수  $m=3$ 인 환경에

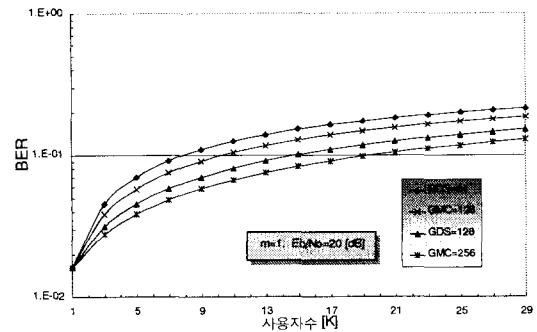


그림 5. 사용자수에 따른 DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 신호 오율 특성 ( $m=1, E_b/N_o = 20$  dB,  $M=4$ )

Fig. 5. Error performance of DS-CDMA/MPSK and MC DS-CDMA/MPSK signals with a number of user( $m=1, E_b/N_o = 20$  dB,  $M=4$ )

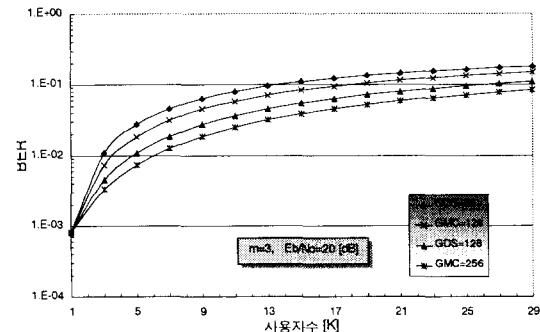


그림 6. 사용자수에 따른 DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 신호 오율 특성( $m=3, E_b/N_o = 20$  dB,  $M=4$ )

Fig. 6. Error performance of DS-CDMA/MPSK and MC DS-CDMA/MPSK signals with a number of user( $m=3, E_b/N_o = 20$  dB,  $M=4$ ).

서  $E_b/N_o = 20$  dB인 경우, 마찬가지로 사용자수가 증가하면 오율 성능이 떨어지고, DS-CDMA/MPSK 보다 MC DS-CDMA/MPSK가 오율 성능이 우수하다는 것을 여전히 알 수 있었다.

그림 7은 그림 4의 그래프를 BCH(15, 7) 부호를 사용하여 오율 성능 개선하였다. 그 결과 처리

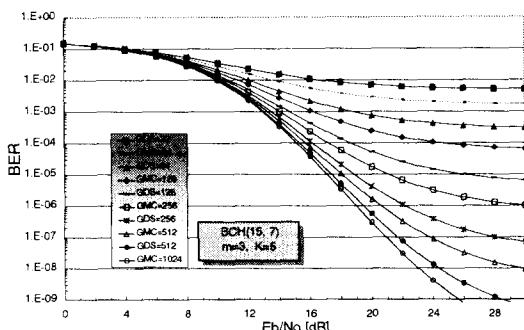


그림 7.  $\text{BCH}(15, 7)$  부호화 기법을 적용한, DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 신호 오율 특성( $m=3, K=5, M=4$ )

Fig. 7. Error performance  $\text{BCH}(15, 7)$  coded of DS-CDMA/MPSK and MC DS-CDMA/MPSK signals( $m=3, K=5, M=4$ ).

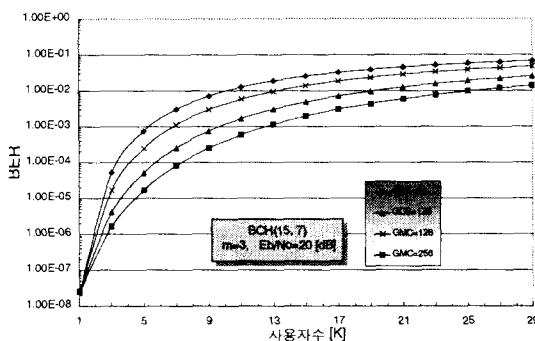


그림 8.  $\text{BCH}(15, 7)$  부호화 기법을 적용한, 사용자수에 따른 DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 신호 오율 특성( $m=3, E_b/N_o = 20 \text{ dB}, M=4$ )

Fig. 8. Error performance  $\text{BCH}(15, 7)$  coded of DS-CDMA/MPSK and MC DS-CDMA/MPSK signals with a number of user ( $m=3, E_b/N_o = 20 \text{ dB}, M=4$ ).

이득,  $G_{DS} = 512, G_{MC} = 1024$ 인 경우, 오율 성능을  $1 \times 10^{-3}$ 으로 유지하면, 약  $E_b/N_o = 9 \text{ dB}$  정도 부호 이득을 얻어지며, 처리이득이 작을수록 부호이득이 큼을 알 수 있었다.

그림 8은 그림 6의 그래프를  $\text{BCH}(15, 7)$  부호를 사용하여 오율 성능 개선하였다. 그 결과 그림 6의 경우, 사용자수가 1명의 경우만 오율 성능을  $1 \times 10^{-3}$ 으로 유지되지만, 부호화 한 경우, 처리이득  $G_{DS} = 64$ 인 경우 5명까지 수용할 수 있었다.

## VII. 결 론

이 논문에서는 나카가미 감쇄 환경에서 DS-CDMA와 MC DS-CDMA를 적용한 MPSK 신호의 오율 성능을 서로 비교하였다.

그 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다. 반송파수가 증가함에 따라 처리이득이 커지므로 DS-CDMA/MPSK 신호 보다 MC DS-CDMA/MPSK 신호가 오율 특성이 좋음을 알 수 있었고, 비트에너지대 잡음 전력비( $E_b/N_o$ ) 보다는 다중접속 사용자 간섭의 영향이 오율 성능에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 또한, 그림 4와 같이 나카가미 감쇄에서는 처리 이득이 증가하면 두 성능의 차이는 점점 더 벌어져 MC DS-CDMA/MPSK가 오율 성능이 점점 더 좋아짐을 알 수 있었다. 또한 그림 5, 6과 같이 사용자수가 증가하면 오율 성능이 떨어지고, DS-CDMA/MPSK 보다 MC DS-CDMA/MPSK가 오율 성능 우수하다는 것을 여전히 알 수 있었다.

그림 3~6의 오율 성능을 개선하기 위해  $\text{BCH}(15, 7)$  부호화 기법을 사용한 결과, 그림 7과 같이, 처리이득  $G_{DS} = 512, G_{MC} = 1024$ 인 경우, 약  $E_b/N_o = 9 \text{ dB}$  정도 부호 이득을 얻을 수 있었으며, 그림 8과 같이 처리이득  $G_{DS} = 64$ 인 경우, 사용자수는 최소 5명 이상 더 수용할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. B. Weinstein and P. M. Ebert, "Data transmission by frequency-division multiple-  
xing using the discrete fourier transform,"

- IEEE Trans. Commun.*, vol. 19, no. 5, pp. 628-634, Oct., 1971.
- [2] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come," *IEEE Commun. Magazine*, vol. 28, no. 3, pp. 5-14, May, 1990.
- [3] K. Fazel, "Performance of CDMA/OFDM for mobile communication system," *Proc. ICUPC*, Ottawa, Canada, pp. 975-979, Oct., 1993.
- [4] R. C. Dixon, *Spread Spectrum Systems*, Wiley-interscience, 1976.
- [5] G. R. Cooper, C. D. McGillem, *Modern Communication and Spread Spectrum*, New York: McGraw-Hill, 1986.
- [6] S. Hara and R. Prasad, "DS-CDMA, MC-CDMA and MT-CDMA for mobile multimedia communications," *Proc. IEEE VTC*, Atlanta, USA, pp. 1106-1110, Apr., 1996.
- [7] S. Kondo and L. B. Milstein, "Performance of multicarrier DS CDMA systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 2, pp. 238-246; Feb., 1996.
- [8] B. M. Popovic, "Synthesis of power efficient multitone signal with flat amplitude spectrum," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, no. 7, pp. 1031-1033, July, 1991.
- [9] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread-spectrum multiple-access communication part I: System analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 25, no. 8, pp. 795-799, Aug., 1977.
- [10] M. Nakagami, "The m-distribution a general formular of intensity distribution of rapid fading," In *Statistical Methods of Radio Wave Propagation*, W. C. Hoffman Ed., New York: Pergamon Press, pp. 3-36, 1960.
- [11] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1989.

### 이 정 도



1967년 5월 3일생  
1994년 2월: 동신대학교 전자공학  
과(공학사)  
1995년 8월~1999년 8월: 순천 제  
일대 조교  
1996년 2월: 동신대학교 대학원 전  
자공학과(공학석사)

1997년 3월~현재: 동신대학교 대학원 전기전자공학과  
(박사과정 재학중)

[주 관심분야] 디지털 통신시스템, EMI/EMC, 이동통  
신, 위성통신

### 강 희 조



1961년 1월 26일 생  
1986년 2월: 원광대학교 전자공학  
과(공학사)  
1988년 2월: 승설대학교 대학원 반  
도체공학과(공학석사)  
1994년 2월: 한국항공대학교 대학  
원 항공전자공학과(공학박사)  
1994년 7월~1995년 12월: 한국전자통신연구소 위성망연  
구소 초빙연구원  
1996년 8월~1997년 8월: 오사카대학교 공학부 통신공학  
과 객원교수  
1998년 3월~현재: 한국전자파학회 호남지부 부지부장  
1990년 3월~현재: 동신대학교 전기전자공학과 부교수  
[주 관심분야] 통신시스템, 대역확산통신, 이동통신, 위  
성통신, EMI/EMC, 밀리미터파, 무선광통신, EL 디스  
플레이