# 임펄스 간섭과 페이딩 환경에서 MC DS-CDMA와 DS-CDMA 시스템의 성능 비교 분석

* 전 현 미 * 이 양 선 * 강 희 조

* 동신대학교 전기전자공학부

# Performance Comparison and Analysis of the MC DS-CDMA and DS-CDMA System for Impulsive Interference and Fading Environment

* Hyun Mi Jeon * Yang Sun Lee * Heau Jo Kang

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

E-mail : satcom2000@korea.com

## 요 약

본 논문에서는 무선 통신로 환경에서 발생하는 페이딩 현상과 전자기기에서 방출되는 임펄스성 전자간섭파에 따른 MC DS-CDMA와 DS-CDMA 시스템의 성능을 비교 분석하였다. 결과에 의하면, 페이딩과 임펄스 전자간섭파에 의해 시스템에 심각한 영향을 미치게 되는데 특히, 직접파 성분이 존재하는 페이딩 보다는 임펄스 전자간섭파의 발생빈도와 크기에 따라 두 시스템 성능이 크게 좌우됨을 알 수 있었다. 이에대한 성능개선 기법으로 다이버시티 기법과 BCH(15,7) 부호화 기법을 적용하여 직접파가 존재하는 페이딩과 강한 임펄스 간섭 환경에서도 만족할 만한 성능을 얻을 수 있었다.

## Ⅰ. 서 론

디지털 기술이 전기·전자·정보 통신 등의 분야에 핵심 기술로 발전되면서 이에 수반되는 전자기 장해 문제는 단순히 기기나 시스템의 신뢰성 측면뿐만 아니라 전자기 환경 측면에서도 신중히 다루어야 할 사항으로 부각되고 있다[1]. 특히, 무선통신은 전자파를 방사하여 통신의 목적을 달성하기 때문에 공간상의 전파 환경에 대한 규제는 매우 엄격하다. 이와같은 불요 전자간섭파에 의한 영향은 순간적으로 강한 전자파 펄스에 의하여 기기의 고장이나 인접한 통신 선로에 상호결합을 일으켜 정보의 오류나 혼신을 주는 등 전자간섭파에 의한 영향은 매우 다양해진다[2],[3].

따라서, 본 논문에서는 실내무선통신로 환경에서 발생하는 페이딩 현상으로 라이시안 페이딩과 전자기기에서 방출되는 임펄스성 전자간섭파에 따른 DS-CDMA와 MC DS-CDMA 시스템의 성능을 비교 분석하고 이러한 시스템의 성능개선기법으로 다이버시티 기법과 에러 정정 부호화 기법을 적용하여 성능을 개선한다.

## Ⅱ. 시스템 모델

### 2.1 DS-CDMA 시스템

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.

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

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 감쇠계수이다.

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

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

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

### 2.2 MC DS/CDMA 시스템

MC DS-CDMA방식은 직렬 데이터의 전체 신호 대역폭을 다수의 협대역 부채널로 분할하여 전송하는 방식으로, 데이터의 직병렬 전환시 심볼 간격이 증가하므로 인접심볼간의 간섭을 제거할 수 있다. 또한, 이산 푸리에 변환을 사용하여 등가신호를 발생시킬 수 있고, 채널 등화기가 간단하며, 페이딩 현상을 잘 극복할 수 있는 변조 방식이다[6].

$k$번째 사용자의 MC DS-CDMA 시스템에서 $b_k$는 $k$번째 정보신호이고, $c_k$는 $k$번째 의사잡음 부호이다. 이때 $k$번째 사용자의 $m$번째 심볼 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

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

여기서 $f(t)$는 각각 심볼 펄스 파형이며, $T_s$는 심볼 주기이고, $E_s$는 심볼 에너지이다.

채널을 통과한 수신 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

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

여기서 $n(t)$는 양측 전력 스펙트럼밀도가 $N_0/2$인 백색 정규 잡음이고, $\tau_k$는 $0 \le \tau_k < T_s$ $(k=1,2,3,\cdots,K-1)$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.

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

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

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-CDMA시스템의 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-CDMA시스템의 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 2배정도 크다[7].

### 2.3 임펄스 잡음 채널

임펄스 잡음의 통계적 모델 중에서 Middleton의 A급 임펄스 잡음은 무선 통신 시스템의 성능 평가에 있어서 취급하기 쉽고, 거의 모든 종류의 실제 임펄스 잡음을 표현하는데 사용되는 정량화된 방법이다.

일반적으로 협대역 잡음 $n(t)$를 동상 성분과 직교 성분으로 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$n(t) = x(t)\cos w_c t - y(t)\sin w_c t \quad (11)$$

여기서 $w_c$는 협대역 잡음의 중심 각 주파수이다. 잡음 $n(t)$를 A급 임펄스 잡음으로 가정할때 이에 대한 결합확률밀도함수(p.d.f.)는 다음과 같다.

$$p_I(x,y) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m! 2\pi W \sigma_m^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2W\sigma_m^2}\right) \quad (12)$$

여기서, $\sigma_m^2 = \frac{m/A + \Gamma'}{1+\Gamma'}$, $\Gamma' = \sigma_G^2/\sigma_I^2$는 가우스 잡음 전력 대 임펄스 잡음 전력비, $A$는 임펄스 지수(단위 시간당 임펄스 성분이 차지하는 비율), $W = \sigma_G^2 + \sigma_I^2$는 전체 잡음 전력를 나타낸다[8].

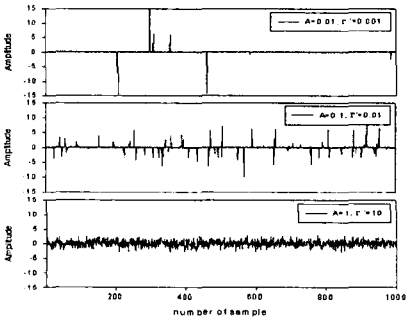


그림 1. 임펄스성 잡음의 시간 파형

식 (12)에서 정의한 임펄스성 잡음에 대하여 정규화된($W=1$) 확률밀도함수의 시간축에서의 파형을 그림 1에서 각각 나타내었다. 임펄스성이 약한 환경은 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값이 서서히 감소하지만, 임펄스 성이 강한 환경에서는 0에 근접한 진폭 성분이 주를 이루며 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값은 일정하게 나타난다. 그림 1에서 $A$가 0.01, $\Gamma'$가 0.001인 환경은 임펄스성이 강한 환경을 나타내고, $A$가 1이고, $\Gamma'$가 10인 환경은 가우스 잡음 환경에 근접하는 환경이다.

## III. 시스템 성능 해석 및 검토

### 3.1 실내 무선 페이딩과 임펄스성 전자간섭파에 의한 오율 성능

백색 정규 잡음 환경에서 MC DS-CDMA 오율 성능을 알아보기 위해 식(5)에서 $\tau_k\,(k=1,2,\cdots,K-1)$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.

$$n_w=(K-1)\frac{E_s}{T_s\cdot B_{MC}}+N_0=(K-1)\frac{E_s}{N+1}+N_0 \quad (13)$$

또한, 식(12)를 이용하여 임펄스성 전자간섭파에 의한 QPSK의 비트에러율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{eMC}=e^{-A}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{A^m}{m!}Q\left[\sqrt{\frac{E_s}{n_w\sigma_m^2}}\right] \simeq Q\left[\frac{1}{\sigma_m^2}\left\{\frac{(K-1)}{(G_{MC}+1)}+\frac{N_0}{2E_b}\right\}^{-1/2}\right] \quad (14)$$

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

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

$$P_{eIS}\simeq e^{-A}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{A^m}{m!}Q\left[\frac{1}{\sigma_m^2}\left\{\frac{2(K-1)}{3G_{IS}}+\frac{N_0}{2E_b}\right\}^{-1/2}\right] \quad (15)$$

따라서, 실내무선 페이딩 환경으로 라이시안 페이딩 채널에서 임펄스 전자간섭파에 의한 시스템의 오율식은 다음과 같이 구할수 있다.

$$P_{IF-MC}=\int_0^{\infty}P_{eMC}\cdot p(x)\,dx \quad (16)$$

$$P_{IF-DS}=\int_0^{\infty}P_{eDS}\cdot p(x)\,dx \quad (17)$$

여기서,

$$p(x)=2x(k+1)\exp[-k-x^2(k+1)]I_0(2x\sqrt{k(k+1)})$$

그림 3과 그림 4는 실내무선 페이딩과 임펄스성 전자간섭 환경에서 DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 시스템의 성능을 나타낸 그림이다.

낮은 수신전력(10dB 이하)에서는 강한 임펄스성 전자간섭파(A=0.01, $\Gamma'$ =0.001)보다 약한 임펄스성 전자간섭파(A=0.2, $\Gamma'$ =0.22)에서 성능이 열화 되는 것을 알 수 있다. 이는 그림 1에서 보는 바와 같이 강한 임펄스성 전자간섭파 환경은 임펄스성 전력은 크지만 빈번하게 발생하지 않고, 약한 임펄스성 전자간섭파 환경은 비록 임펄스성 전력은 상대적으로 작지만 훨씬 빈번하게 발생하므로 낮은 신호 전력에서 BER 성능에 더 큰 영향을 미치기 때문이다. 또한, 임펄스 간섭 환경에 의해 두 시스템 모두 처리이득의 증가에도 불구하고 성능의 변화가 없음을 알 수 있다.

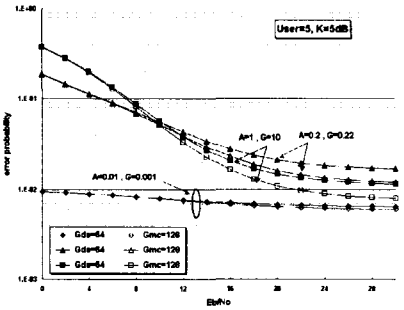


그림 3. 실내무선 페이딩과 임펄스성 전자간섭 환경에서 DS-CDMA와 MC DS-CDMA 시스템 성능( $G=\Gamma'$ , $PG_{DS}=64$, $PG_{MC}=128$)

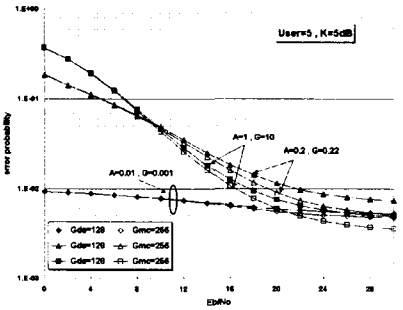


그림 4. 실내무선 페이딩과 임펄스성 전자간섭 환경에서 DS-CDMA와 MC DS-CDMA 시스템 성능( $PG_{DS}=128$, $PG_{MC}=256$)

### 3.2 실내 무선 페이딩과 임펄스성 전자간섭 환경에서 다이버시티와 에러정정 부호화 기법에 의한 오율 성능

본 논문에서는 다이버시티 효과가 가장 우수한 최대비 합성 다이버시티와 에러 정정 부호중 우수한 BCH 부호화 기법을 채용하여 시스템의 성능 저하를 보상한다[10]. 라이시안 페이딩 환경에서 수신 신호 $\gamma$의 순시 SNR에 대한 확률밀도 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p(\gamma)=\frac{(1+K)\gamma^{\frac{L-1}{2}}}{\Lambda}\left(\frac{(1+K)}{KL\Lambda}\right)^{\frac{L-1}{2}} \exp\left(-\frac{KL\Lambda+(1+K)\gamma}{\Lambda}\right) \cdot I_{L-1}\left(2\sqrt{\frac{(K+K^2)L\gamma}{\Lambda}}\right) \quad (18)$$

여기서, $\Lambda$=평균 SNR, $\gamma$=순시 SNR, $L$=branch 수 이다.

따라서, MRC 다이버시티 기법을 적용한 DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 시스템의 오율식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{IF-DS|L}=\int_0^{\infty}P_{eDS}\cdot p(\gamma)\,d\gamma \quad (19)$$

$$P_{IF-MC|L} = \int_0^\infty P_{eMC} \cdot p(\gamma)\, d\gamma \qquad (20)$$

또한, BCH 부호화를 한 경우의 비트 오율식은 다음과 같이 구한다[11].

$$P_{BCH} = \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^{n} i \binom{n}{i} P_e^{\,i} (1-P_e)^{n-1} \qquad (21)$$

단, $P_e$=변조신호의 오율, $t=[(d-1)/2]$ : 채널의 비트 에러수, 에러 정정 능력, $d$ : 부호의 최소거리, $n$ : 블럭의 최소거리

그림 5와 그림 6은 다이버시티 기법과 에러 정정 부호화 기법을 적용한 시스템의 성능을 나타낸 그림이다.

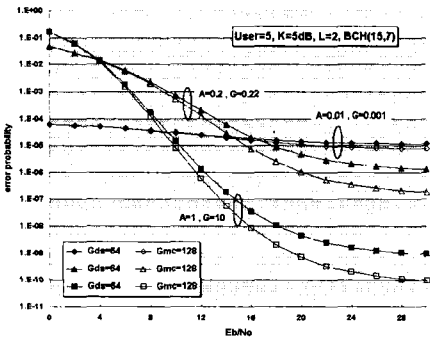


그림 5. 다이버시티기법과 에러 정정 부호화 기법을 채용한 DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 시스템의 성능

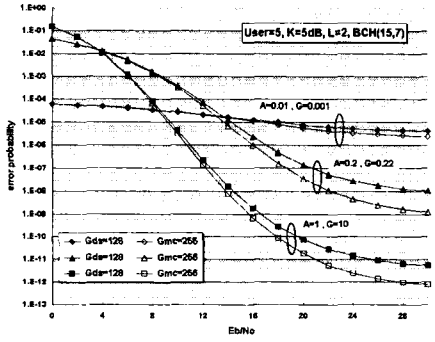


그림 6. 다이버시티기법과 에러 정정 부호화 기법을 채용한 DS-CDMA/MPSK와 MC DS-CDMA/MPSK 시스템의 성능

그림에서 보는바와 같이 다이버시티 기법에 의해 페이딩에 의한 성능 열화를 보상하고 BCH 부호화 기법으로 임펄스 간섭에 의한 에러를 정정함으로써 페이딩과 임펄스 간섭 환경에서 만족할 만한 시스템 성능을 얻을 수 있었다. 그러나, 강한 임펄스 간섭($A=0.01$ , $\Gamma=0.001$)의 크기 때문에 수신전력의 증가에도 불구하고 시스템 성능이 거의 saturation 되는 것을 알 수 있다. 결과적으로, DS-CDMA 보다 MC DS-CDMA 시스템이 12dB 이상에서 2dB 이상의 우수한 성능을 보이며 다이버시티 기법과 부호화 기법을 적용함으로써 페이딩과 강한 임펄스 간섭 환경에서도 음성 서비스를 만족할 수 있음을 알 수 있었다.

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 무선 통신로 환경에서 발생하는 페이딩 현상과 전자기기에서 방출되는 임펄스성 전자간섭파에 따른 MC DS-CDMA와 DS-CDMA 시스템의 성능을 분석하고 성능보상 방안으로 MRC 다이버시티 기법과 BCH 부호화 기법을 적용하여 열화된 시스템의 성능을 개선하였다.

결과에 의하면, 페이딩과 임펄스 전자간섭파에 의해 시스템에 심각한 영향을 미치게 되는데 특히, 직접파 성분이 존재하는 페이딩 보다는 임펄스 전자간섭파의 발생빈도와 크기에 따라 시스템 성능이 크게 좌우됨을 알 수 있었다. 강한 임펄스 간섭($A=0.01$ , $\Gamma=0.001$)하에서는 두 시스템 모두 수신전력의 증가에도 불구하고 낮은 일정한 성능을 보임을 알 수 있다. 따라서 강한 임펄스 간섭환경에서는 보다 더 강력한 에러정정기법이 적용되어야 한다. 또한, DS-CDMA 보다 MC DS-CDMA 시스템이 12dB 이상에서 2dB 이상의 우수한 성능을 보이며 다이버시티 기법과 부호화 기법을 적용함으로써 페이딩과 강한 임펄스 간섭 환경에서도 음성 서비스를 만족할 수 있음을 알 수 있었다.

## Ⅴ. 참고 문헌

[1] 赤尾保男, 環境電磁工學の基礎, 電子情報通信學會, 1991.

[2] 金原 淳 "空電の發生に關する考察", 名大空電研究所報告, 1990.

[3] 酒井 洋 外 2人, ノイズによる誤動作と對策, 日刊工業新聞社, 1990.

[4] R. C. Dixon, *Spread Spectrum Systems*, Willy-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 multi-media communications," Proc. IEEE VTC, Atlanta, USA, pp. 1106-1110, April 1996.

[7] 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.
[8] S. Unawang, S Miyamoto, and N. Morinaga, "A novel receiver design for DS-CDMA systems under impulsive radio noise environments," IEICE Trans. Commun., vol. E82-B, no. 6, pp. 936-943, June 1999.
[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, August 1977.
[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] D. J. Torrieri, "The information bit error rate for block code", *IEEE Trans. Commun.*, vol, COM-32, no. 4, pp. 474-479, Apr. 1984.