# 임펄스성 잡음이 존재하는 실내 무선 환경에서 Multi-Carrier CDMA 시스템의 성능 분석

# Performance Analysis of Multi-Carrier CDMA Systems under Indoor Wireless Environment with Impulsive Noise

이영춘*, 박기식**, 조성준*

Young-Choon Lee*, Ki-Sik Park**, and Sung-Joon Cho*

## 요 약

본 논문에서는 Middleton이 제안한 A급 임펄스성 잡음이 존재하는 실내 무선 환경에서 MC (Multi-Carrier) CDMA 시스템의 BER (Bit Error Rate) 성능을 분석하였고, 임펄스성이 약한 환경에서부터 강한 환경까지 성능을 평가하였다. 그리고 임펄스성 잡음에 대한 보상 방법으로 Turbo 부호기를 사용하여 성능 개선 정도를 평가하였다. 성능 해석 결과, 임펄스성 잡음 환경에서는 강력한 성능 개선 기법이 시스템에 반드시 필요함을 알 수 있었다. 그리고 임펄스성 잡음 환경에서 터보 부호를 적용하면 BER면에서 약 $10^{-2}$ 정도 개선됨을 알 수 있었고, AWGN 환경에 근접할수록 터보 부호에 의한 성능 개선 효과가 뚜렷이 나타남을 알 수 있었다.

## ABSTRACT

In this paper, we have analyzed the BER (Bit Error Rate) performance of MC-CDMA systems under indoor wireless environment with class A impulsive noise suggested by Middleton. For the performance evaluation, we considered from strong to weak impulsive noise characteristics. And we have evaluated the degree of performance improvement by using turbo code as a compensation technique to impulsive noise. From the result of analysis, it is found powerful performance improvement scheme must be adopted in the system under impulsive noise environment, and when turbo code scheme is adopted, system BER performance is improved by the $10^{-2}$. As the impulsive noise characteristics approaches AWGN characteristics, the degree of performance improvement by adopting turbo code become larger.

## I. 서 론

최근 정보화 사회가 진전됨에 따라 무선 채널을 통한 고속 및 양질의 음성, 데이터, 영상을 동시에 수용할 수 있는 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 급속히 확대되어 가고 있다. 이러한 요구에 부응하여 급속히 진전되는 무선 통신의 기술 발전에 힘입어, 종래의 음성 위주의 무선 통신은 데이터 및 영상을 포함하는 고속의 무선 멀티미디어 통신 시스템으

* 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부(The Schools of Eletronics, Telecommunication, and Computer Engineering, Hankuk Aviation University)

** 인하공업전문대학 정보통신과(Department of Information & Communication Engineering, Inha College of Tecnology)

· 논문번호 : 2003-1-5

· 접수일자 : 2003년 4월 1일

로 발전하고 있다. 미래 이동 통신 시스템은 멀티미디어 통신과 높은 데이터율 (data rate)의 전송 등 다양한 조건을 요구하기 때문에 DS CDMA (Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템을 대체하는 새로운 방식의 시스템이 필요하게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 MC (Multi-Carrier) CDMA 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. MC CDMA 시스템은 다중 반송파를 이용하여 주파수 축에서 신호를 확산시켜서 주파수 다이버시티를 얻는 통신 시스템으로서 낮은 비트 오류 확률을 유지하며 높은 전송율로 전송할 수 있는 통신 시스템이다. 또한 주파수 선택적인 느린 페이딩 채널에 강하며 주파수 효율이 매우 우수하기 때문에 차세대 멀티미디어 통신 시스템으로 이용하기 위해 활발한 연구가 이루어지고 있다[1]~[3]. 그러나 실내 전파 환경에서 점점 전자파 환경이 복잡해짐에 따라 전력선, 마이크로웨이브 오븐, 실내 기자재 및 기기로부터 발생되는 임펄스성 잡음의 영향을 받을 수 있고, 이러한 잡음의 통계학적 특성은 가우스 잡음과 상당한 차이를 보이는 것으로 알려져 있다[4]-[6]. 그리고 시스템의 오율 특성에 대한 기존의 연구는 가우스 잡음 환경에서 대부분 분석되었기 때문에 기존 연구에서 사용되었던 방식의 기술을 그대로 사용한다면 임펄스성 잡음 환경으로 인해 성능 열화를 피할 수 없을 것이다. 따라서 이러한 실내 무선 환경에서 임펄스성 잡음을 보상하기 위한 기술이 반드시 필요하게 될 것이다.

본 논문에서는 기존의 가우스 잡음 환경이 아닌 임펄스성 잡음이 존재하는 실내 무선 환경에서 MC CDMA 시스템의 BER (Bit Error Rate) 성능을 분석하고, 임펄스성이 약한 환경에서부터 강한 환경까지 성능을 평가하고자 한다. 그리고 강한 임펄스성 잡음에 대한 보상 방법으로 Turbo 부호기를 사용하여 성능 개선 정도를 평가하고자 한다.

## Ⅱ. MC (Multi-Carrier) CDMA 시스템 구조 및 채널 모델

그림 1은 $k$ 번째 사용자의 MC CDMA 송신기 구조를 나타낸다. 여기서, $b^{(k)}$와 $C_l^{(k)}$는 각각 $k$ 번째

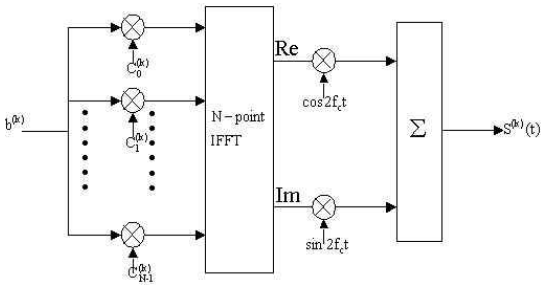


그림 1. MC CDMA 송신기 구조
Fig. 1. MC CDMA transmitter model.

사용자의 정보 심볼과 $k$ 번째 사용자의 코드 길이가 N인 l 번째 확산 부호를 나타내며, 만일 QPSK 변조 방식이 적용된다면 $l$=0, 1, …, N−1, $b^{(k)}\in\{-1, -j, +1, +j\}$일 때 k=0, 1,…, K−1, $C_l^{(k)}\in\{-1, -j, +1, +j\}$이다. N 개의 직교 부호를 사용함으로써 최대 사용자 수 K는 N과 같아진다.

$k$ 번째 사용자의 m 번째 신호에 대한 복소 기저 신호는 다음과 같이 주어진다[7].

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

이때, f(t)는 각 심볼의 파형을 나타내며 다음과 같다.

$$f(t)=\begin{cases}1 & 0\le t\le T_s\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \quad (2)$$

여기서, $T_s$는 심볼 주기이고 Es는 심볼 당 전송된 에너지이다.

본 논문에서의 시스템의 채널 모델은 그림 2와 같다.

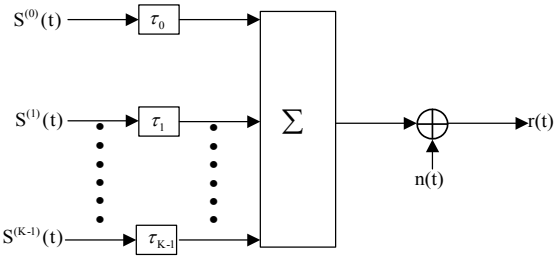


그림 2. 시스템 채널 모델
Fig. 2. System channel model.

기지국에서 수신된 신호 $r(t)$는 다음과 같이 표현된다[7].

$$r(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{K-1} s_m^{(k)}(t-\tau_k) + n(t)$$
$$= \sum_{m=-\infty}^{\infty} s_m^{(0)}(t) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^{K-1} s_m^{(k)}(t-\tau_k) + n(t) \quad (3)$$

여기서, n(t)는 양측 전력 스펙트럼밀도 $N_0/2$인 AWGN을 나타내고 $\tau_k$는 k번째 사용자 신호의 지연이다. 본 논문에서는 $k=1,2,\cdots,K-1$에 대해 $\tau_0 \equiv 0$이고 $0 \le \tau_k < T_s$이며, $\tau_k$는 iid (independent identically distributed) 랜덤 변수로 가정한다.

## Ⅲ. AWGN 환경에서 MC CDMA 시스템의 성능 해석

본 논문에서는 $k=1,2,\cdots,K-1$에 대해 $S_k \equiv s_m^{(k)}(t-\tau_k)$를 iid 랜덤 변수로 가정한다. 멀티캐리어(MC) 신호는 분산 $\sigma^2 = (\sqrt{E_s/NT_s})^2$인 N개의 파형의 합으로 구성되어 있기 때문에, N이 증가하면 파형은 평균이 0이고 분산이 $N\sigma^2$인 가우스 분포 형태로 근접한다. 즉, 비동기 MC CDMA 시스템에 대해 다른 사용자의 간섭은 평균이 0이고 분산이 $E_s/T_s$인 가우시안 잡음으로 근사화할 수 있다. 총 잡음 밀도는 다음과 같이 나타내진다[7].

$$N' = (K-1) \cdot \frac{E_s}{T_s \cdot W} + N_0$$
$$= (K-1) \cdot \frac{E_s}{N+1} + N_0 \quad (4)$$

여기서, $W = (N+1)/T_s$는 총 대역폭이다.

한편, AWGN 환경에서 MC CDMA 신호의 비트 오율 식은 다음과 같이 주어진다[7].

$$P_{e|MC\ CDMA/QPSK} = \frac{1}{2}\,\mathrm{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{2(K-1)}{G_{MC}} + \frac{1}{E_b/N_0}}}\right) \quad (5)$$

여기서, $E_b$는 전송 비트 당 에너지이고, $G_{MC} \equiv N$은 캐리어의 수를 나타내는데 처리 이득과 동일한 값이다.

## Ⅳ. 임펄스성 잡음 환경에서 MC-CDMA 시스템의 성능 해석

실내 전파 환경에서 점점 전자파 환경이 복잡해짐에 따라 전력선, 마이크로웨이브 오븐, 실내 기자재 및 기기로부터 발생되는 임펄스성 잡음의 영향을 받을 수 있고, 이러한 잡음의 통계학적 특성은 가우스 잡음과 상당한 차이를 보이는 것으로 알려져 있다[4]~[6]. 그러므로 이러한 임펄스성 잡음에 대한 통계학적 특징을 아는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 임펄스 무선 잡음의 통계적 물리적 모델 중에서 Middleton의 Class A 임펄스 잡음은 무선 통신 시스템의 성능 평가에 있어서 취급하기 쉽고, 거의 모든 종류의 실제 임펄스 잡음을 표현하는데 사용되는 정량화된 방법이다[8]. 일반적으로 협대역 잡음 $n(t)$를 동상 성분과 직교 성분으로 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다[9],[10].

$$n(t) = x(t)\cos w_c t - y(t)\sin w_c t \quad (6)$$

여기에서 $w_c$는 협대역 잡음의 중심 각 주파수이다. 잡음 $n(t)$는 A급 임펄스 잡음으로 가정하고, 이에 대한 정규화된 결합 확률 밀도 함수(p.d.f.)는 다음과 같다[8].

$$p(x,y) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m!\,2\pi\sigma_m^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (7)$$

이때 Jacobian 정리를 사용하여 각 직교, 동상 성분을 구해내면 다음 식들과 같다.

$$p(x) = e^{-A}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{A^m}{m!\sqrt{2\pi\sigma_m^2}}\exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (8)$$

$$p(y) = e^{-A}\sum_{m=0}^{\infty}\frac{A^m}{m!\sqrt{2\pi\sigma_m^2}}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (9)$$

단, $\sigma_m^2 = \frac{m/A+\Gamma'}{1+\Gamma'}$,

$\Gamma' = \sigma_G^2/\Omega_{2A}$ : 가우스 잡음 전력 대 임펄스 잡음 전력비,

$A$ : 임펄스 지수.

위에서 정의한 임펄스성 잡음에 대해 정규화된 확률 밀도 함수는 그림 3과 같다.

이것은 임펄스성이 약한 환경은 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값이 점점 작아지는 반면, 임펄스 성이 강한 환경으로 갈수록 0에 근접한 진폭 성분이 많으며 진폭이 큰 성분에 대한 확률 값이 일정하다는 것을 나타내고 있다. 이에 대한 예로 본 논문에서 고려한 임펄스성 잡음은 그림 4와 같다. 그림 4에서 $A$가 0.01, $\Gamma'$가 0.001인 환경은 임펄스성이 강한 환경을 나타내고, $A$가 1이고, $\Gamma'$가 10인 환경은 가우스 잡음 환경과 비슷한 환경이다[8].

임펄스성 잡음 환경의 SNR (Signal to Noise Power Ratio)과 AWGN 환경의 SNR은 다음 관계식이 성립한다.

$$SNR_{Impulse} = \frac{\Gamma'}{1+\Gamma'}SNR_{AWGN} \quad (10)$$

그리고 위의 식을 MC-CDMA 시스템에 적용하면 SNR 식이 다음 식과 같이 변형된다.

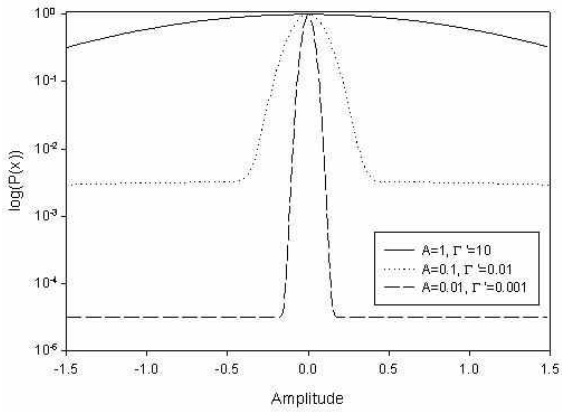


그림 3. $A$, $\Gamma'$에 따른 정규화된 임펄스성 잡음의 확률 밀도 함수

Fig. 3. Probability density function normalized impulsive noise according to $A$, $\Gamma'$.

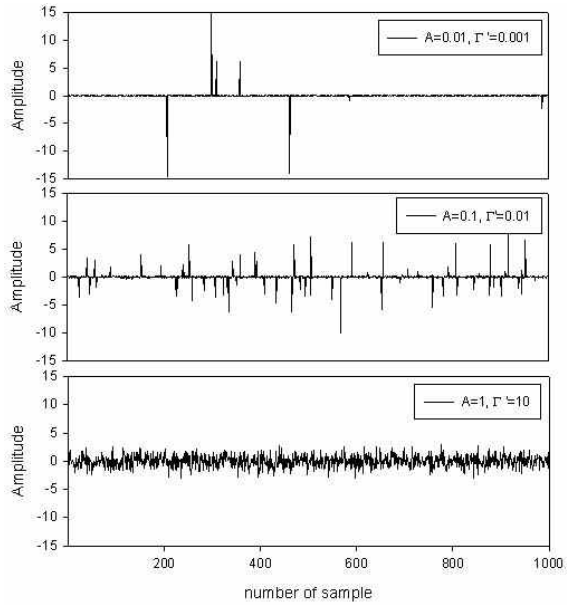


그림 4. $A$, $\Gamma'$에 따른 임펄스성 잡음의 시간적 모양

Fig. 4. Timing shape of impulsive noise according to $A$, $\Gamma'$.

$$SNR_{MC} = \frac{1}{\frac{8(K-1)}{G_{MC}} + \frac{1}{SNR_{Impulse}}} \quad (11)$$

한편, MC-CDMA 시스템은 MUI (Multi-User Interference) 환경이기 때문에 임펄스 파라미터 $\sigma_m^2$이 바뀌게 되는데 다음과 같다.

$$\sigma_m^2 = \frac{m/A+\Gamma'+\frac{8(K-1)}{G_{MC}}\frac{\overline{E_b}}{N_0}\Gamma'}{1+\Gamma'+\frac{8(K-1)}{G_{MC}}\frac{\overline{E_b}}{N_0}\Gamma'} \quad (12)$$

최종적으로 임펄스성 잡음 환경에서 MC CDMA 신호의 비트 오율 식은 다음과 같이 구해진다.

$$P_{e|MC\ CDMA/QPSK} = \frac{1}{2}\mathrm{erfc} \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{\frac{8(K-1)}{G_{MC}} + \frac{1}{\frac{\Gamma'}{1+\Gamma'} SNR_{AWGN}}}} \right) \quad (13)$$

## V. Turbo 부호화 기법

본 논문에서는 강한 임펄스성 잡음이 존재하는 가장 열악한 실내 무선 환경을 고려하기 때문에 기존의 부호화 기법보다 성능 개선 효과가 가장 뚜렷하다고 알려진 Turbo 부호화 기법을 적용한다. 그림 5는 터보 부호기의 블록 다이어그램을 보여준다.

터보 부호는 단순히 두 개의 RSC (Recursive Systematic Convolutional)를 병렬로 연접하고, 두 부호기 (ENC1과 ENC2)의 출력 시퀀스를 다르게 하기 위해서 두 부호기를 인터리버로 나누어 놓은 형태를 취하고 있다[11]. 데이터 시퀀스가 프레임 단위로 전송된다면 터보 부호기는 메모리가 v인 두 개의 RSC로 이루어진 블록 코드로써 생각할 수 있다. 또한, RSC 부호기(ENC1)의 모든 상태를 0으로 만들기 위해서 v개의 정보 비트를 한 프레임 끝에 붙인다. 따라서 두 개의 RSC 사이에 놓인 인터리버 n은 데이터 프레임과 테일 비트(tail bit) v가 더해진 길이이다. 이 때, 터보 부호기에서는 시스티매틱 시퀀스(systematic sequence)와 패리티 시퀀스(parity sequence)로 구성된 부호 시퀀스로 부호화된다. 또한, 대역 효율을 위해서 패리티 프레임(parity frame)을 펑쳐링(puncturing)한다. 따라서 그림 5의 터보 부호기의 부호율 $R_c$= 1/2이 된다. 그림 5에서 $b_k$=( $X_k$, $Y_k$)이고 이들은 시간 k인 순간에 터보 부호기에서 발생된 시스티매틱 시퀀스와 패리티 시퀀스에 각각 대응하여 수신된다.

터보 부호에서 대부분의 시간 지연은 인터리버에서 발생되며, 모든 시간 지연이 100 ms 이내이면 실시간 음성 통신이 가능하다. 9.6 kbps의 데이터율에서 인터리버 길이가 400 비트이면 약 83.3 ms의 시간 지연이 발생된다. 이러한 시간 지연은 송·수신기의 처리 지연까지 고려할 때 음성통신까지도 가능하다. 터보 부호에 대하여 심볼 당 에너지를 다음과 같이 비트 당 에너지로 바꿀 수 있다.

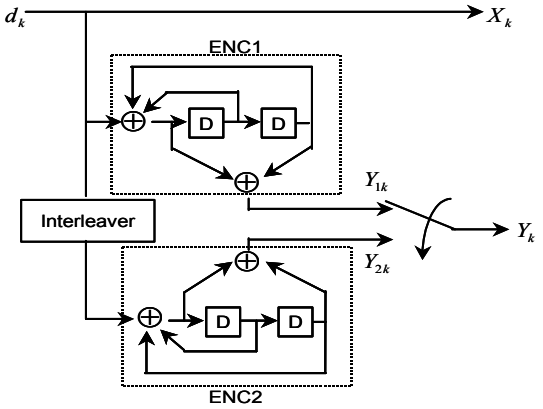


그림 5. 터보 부호기의 블록 다이어그램

Fig. 5. Block diagram of turbo encoder.

$$E_s = E_b R_c \frac{n-v}{n} \quad (14)$$

여기서, $R_c$는 부호율이고, $(n-v)/n$ 는 부호기를 종료시키기 위해서 v개의 테일 비트를 사용한 것을 고려하기 위해 곱해지는 상수이다. 모두 0인 시퀀스가 보내어져서 그 중 잘못된 부호어(codeword)를 복호할 때 적어도 2 비트의 정보에 에러가 발생하게 된다. 그러므로 터보 부호의 에러 확률에 관한 하한 (lower bound)은 다음과 같이 주어진다[12],[13].

$$P_b \geq \frac{2}{n-v} P_{MC\,|\,Impulse} \quad (15)$$

## VI. 수치 계산 및 검토

그림 6은 AWGN 환경 ( A =1, Γ′=10)에서 $E_b/N_o$에 따른 MC-CDMA 시스템의 BER 성능을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 사용자 수 (K)가 10명을 넘으면 $E_b/N_o$를 크게 높여도 BER=$10^{-3}$을 달성하기 어렵기 때문에 시스템에 채널 부호화가 반드시 필요함을 알 수 있다.

그림 7은 AWGN과 임펄스성 잡음 환경 ( A <1, Γ ′<10 )에서 사용자 수가 5명일 때 터보 부호를 적용한 MC-CDMA 시스템의 BER 성능을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 임펄스성 잡음 환경에서는 강력한 성능 개선 기법이 시스템에 반드시 필요함을 알 수 있다. 한편 임펄스성 잡음 환경에서 터보 부호를 적용하면 BER면에서 약 $10^{-2}$ 정도 개선됨을 알 수 있고, AWGN 환경에 근접할수록 터보 부호에 의한 성능 개선 효과가 뚜렷이 나타남을 알 수 있다.

그림 8은 AWGN 환경에서 사용자 수에 따른 MC-CDMA 시스템의 BER 성능을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 사용자 수 (K)가 10명 이상이 되면 BER=$10^{-3}$을 달성하기 어렵기 때문에 시스템에 채널 부호화가 반드시 필요함을 알 수 있다.

그림 9는 AWGN과 임펄스성 잡음 환경에서 $E_b/N_o$가 5 dB일 때 터보 부호를 적용한 MC-CDMA 시스템의 BER 성능을 나타낸 그림이다. 임펄스성 잡음 환경에서 터보 부호를 적용하면 BER면에서 약 $10^{-2}$ 정도 개선됨을 알 수 있고, AWGN 환경에서는 터보 부호를 적용하면 약 $10^{-7}$ 정도의 매우 큰 개선 효과가 나타남을 알 수 있다.

## Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 임펄스성 잡음이 존재하는 실내

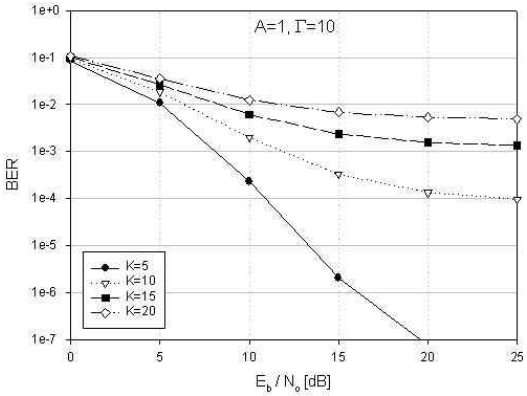


그림 6. AWGN 환경에서 $E_b/N_o$에 따른 MC-CDMA 시스템의 BER 성능

Fig. 6. BER performance of MC-CDMA system according to $E_b/N_o$ under AWGN environments.

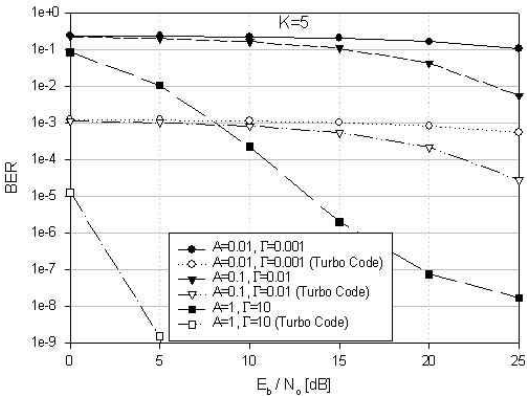


그림 7. AWGN과 임펄스성 잡음 환경에서 터보 부호를 적용한 MC-CDMA 시스템의 BER 성능

Fig. 7. BER performance of MC-CDMA system using turbo code under AWGN and impulsive noise.

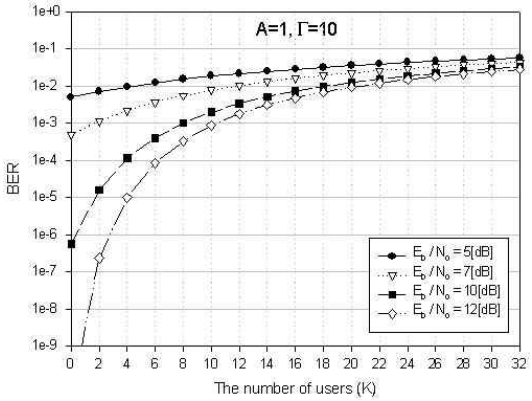


그림 8. AWGN 환경에서 사용자 수에 따른 MC-CDMA 시스템의 BER 성능

Fig. 8. BER performance of MC-CDMA system according to the number of users under AWGN environments.

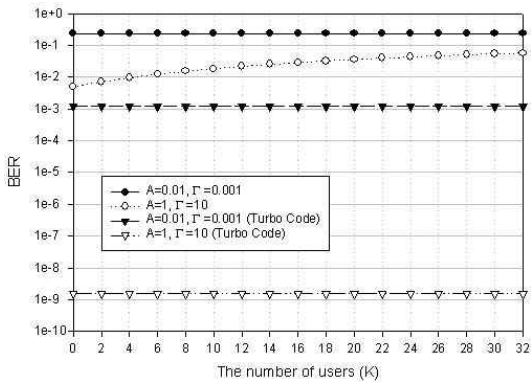


그림 9. AWGN과 임펄스성 잡음 환경에서 터보 부호를 적용한 MC-CDMA 시스템의 BER 성능

Fig. 9. BER performance of MC-CDMA system using

turbo code under AWGN and impulsive noise environments.

무선 환경에서 MC CDMA 시스템의 BER (Bit Error Rate) 성능을 분석하였고, 임펄스성이 약한 환경에서부터 강한 환경까지 성능을 평가하였다. 그리고 임펄스성 잡음에 대한 보상 방법으로 Turbo 부호기를 사용하여 성능 개선 정도를 평가하였다.

성능 해석 결과, 임펄스성 잡음 환경에서는 강력한 성능 개선 기법이 시스템에 반드시 필요함을 알 수 있었다. 그리고 임펄스성 잡음 환경에서 터보 부호를 적용하면 BER면에서 약 $10^{-2}$ 정도 개선됨을 알 수 있었고, AWGN 환경에 근접할수록 터보 부호에 의한 성능 개선 효과가 뚜렷이 나타남을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

[1] E. Sourour and M. Nakagawa, "Performance of orthogonal multicarrier CDMA in a multipath fading channel", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 3, pp. 356-367, Mar. 1996.

[2] K. Fazel, S. Kaiser, and M. Schnell, "A flexible and high performance cellular mobile communications system based on orthogonal multicarrier SSMA", *Wireless Personal Communications.*, vol. 2, pp. 121-144, 1995.

[3] N. Yee, J. Linnartz and G. Fettweis, "Multi-Carrier CDMA in Indoor Wireless Radio Networks", *Proc. PIMRC'93*, pp. 109-113, 1993.

[4] K. Yamauch, N. Takahasi, and M. Meada, "Parameter measurement of class A interference on power line", *IEICE Trans.*, vol. E72 no. 1, pp. 7-9, Jan. 1989.

[5] S. Miyamoto, Y. Yamanaka, T. Shinozuka, and N. Morinaga, "A study on the effect of microwave oven interference to the performance of digital radio communication systems", *IEICE Trans.*, vol. J79-B-II, no. 11, pp. 835-844, Nov. 1996.

[6] D. Middleton, "Statistical-physical models of electromagnetic interference", *IEEE Trans. on Electromag. Compat.*, vol. EMC-19, no. 3, pp. 106-127, Aug. 1977.

[7] P. Fettweis, Multi-Carrier Spread-Spectrum, Kluwer Academic Publishers, 1997.

[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] A. L. Garcia, Probability and Random Processes for Electrical Engineering, pp. 280-287, 1994.

[10] J. G. Proakis, M. Salehi, *Contemporary communication systems using* MATLAB, PWS Publishing Com., pp. 45-74, pp. 371-387, 1997.

[11] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajashima, "Near Shannon limit error-correction coding and decoding : turbo coding", *in International Conference on Communications*, pp. 1064-1070, 1993.

[12] V. Kuhn, "Evaluation the performance of turbo codes and turbo-coded modulation in a DS-CDMA environment", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 12, pp. 2138-2147, Dec. 1999.

[13] W. J. Blackert, E. K. Hall, and S. G. Wilson, "An upper bound on turbo code free distance", *IEEE ICC*, vol. 2, June 1996.

### 이 영 춘(李榮春)

1996 2월 : 한국방송통신대학교 전자계산학과 (공학사)
1998년 8월 : 한국항공대학교 항공산업대학원 전파공학과 (공학석사)
1999년 2월 ~ 현재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사과정 재학중
관심분야 : 무선통신, 이동통신, 광통신, Wireless ATM

### 박 기 식(朴機植)

1991년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)
1996년 8월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학석사)
2000년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학박사)
2001년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 정보통신과 조교수
관심분야 : 디지털이동통신, 부호이론, 무선광통신

### 조 성 준(趙成俊)

1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학 (공학사)
1975년 2월 : 한양대학교 대학원 (공학석사)
1981년 3월 : 일본 오사카대학교 대학원 통신공학과 (공학박사)
1972년 8월 현재 : 한국항공대학교 전자 · 정보통신 · 컴퓨터공학부 교수
관심 분야 : 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자공학