

# 임펄스 잡음과 페이딩 채널 환경에서 멀티코드 DS-CDMA 시스템의 성능 개선

김지웅\* · 강희조\*\* · 이권현\*

\*전남도립담양대학 인터넷정보통신과 · \*\*목원대학교 IT공학부

## Performance Improvement of Multicode DS/CDMA Systems in Impulse Noise and Fading Channel Environment

Ji-Woong Kim\* · Heau-Jo Kang\*\* · Kwon-Hyun Lee\*

\* Internet Information and Communication Eng., Provincial College of Damyang

\*\* Dept. of IT Eng., Mokwon Univ.

E-mail : kjwcomm@korea.com

### ABSTRACT

본 논문에서는 임펄스 잡음과 실내 무선 페이딩, 그리고 다중 사용자 간섭 환경에서 멀티코드 DS/CDMA-BPSK 통신 시스템의 BER 성능을 분석하였다.

분석 결과 멀티코드의 수가 증가함에 따라서 하나의 사용자에게 점유되는 채널의 수가 증가하여 시스템의 성능은 열화 되나 반면에 시스템에서 제공할 수 있는 서비스의 속도는 멀티코드의 수에 비례하여 증가함을 알 수 있었다. 또한, 성능개선기법으로 Turbo Code와 다이버시티 기법을 적용함으로써 전력선에서 방출되는 임펄스 잡음 파라미터인  $A=0.2$ ,  $\Gamma=0.22$ 에서 전송속도에 따라 5.5, 7, 16dB의 신호전력 이상에서  $10^{-5}$  이하의 BER 성능을 얻을 수 있었다.

### I. 서 론

현재 차세대 이동통신 시스템의 표준화 관련 활동은 유럽과 일본에서 활발히 진행되고 있으며, 우리나라의 경우도 ITU-R 무선접속규격 및 무선전송 관련 집중 그룹의 일원으로 활동하고 있다. 특히 IMT-2000 시스템 물리계층의 핵심부분인 무선접속규격으로 멀티코드 DS/CDMA 시스템의 성능을 분석하는 것은 이미 협대역 CDMA로 디지털 이동통신 시스템이 구축되어 있는 국내의 경우 앞으로 개발될 IMT-2000 시스템이 기존의 기반 구조를 활용할 수 있어서 투자의 효율성 및 가입자 서비스 측면에서 매우 유리할 것이다 [1]-[3].

따라서, 본 논문에서는 무선 통신 기기의 발달로 전자기기에서 방출되는 임펄스성 잡음과 페이딩 채널에서 고속의 데이터 전송을 실현하기 위한 멀티코드 DS/CDMA 시스템을 대상으로 이 시스템의 BER 성능과 채널 용량을 분석하고 Turbo Code와 다이버시티 기법을 이용하여 성능을 개선하였다. 이러한 무선 채널 모델에서 데이터의 전송속도와 다중접속 사용자에게 의한 간섭 영향을 분석하는 것은 향후의 실내 무선 멀티미디어 시스템을 설계하는데 필요한 사항이다.

### II. 멀티코드 DS/CDMA-BPSK 시스템의 성능 분석

본 장에서는 IMT-2000 시스템의 서비스 요구사항 중에서 기존의 IS-95를 유지하면서 고속의 데이터를 전송할 수 있는 멀티코드 DS/CDMA 시스템의 성능을 분석한다.

#### 2.1 임펄스 잡음과 다중 사용자 간섭 및 무선 페이딩 채널에서 멀티코드 DS/CDMA-BPSK 시스템의 BER 성능

그림 1은 임펄스 잡음과 다중 사용자 간섭 및 실내 무선 페이딩의 영향 해석을 위해 논문에서 설정한 멀티코드 DS/CDMA-BPSK 시스템의 성능 분석을 위한 해석 모델이다. 무선채널은 임펄스 잡음과 U명의 다중 사용자 간섭, AWGN 및 실내 무선 페이딩으로 가정한다. 그리고 수신단에서는 전력제어가 완전하게 이루어졌다고 가정한다.

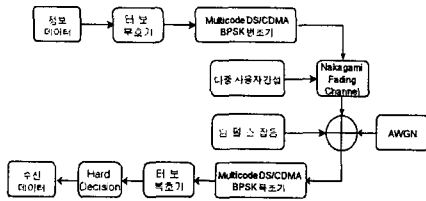


그림 1. 임펄스 잡음과 페이딩의 영향 해석을 위한 모델

잡음과 다중 사용자 간섭이 존재하는 무선채널에서 멀티코드 DS/SS BPSK 시스템의 BER 성능은 다음과 같다.

$$P_e = Q[\sqrt{2 \text{SNR}^\circ}] \quad (1)$$

여기서,  $Q(\cdot)$ 는 Q 함수이고, 등가 신호 전력 대 잡음 전력비  $\text{SNR}^\circ$ 는 다음과 같이 잡음전력과  $U-1$  명의 다중 사용자 간섭 전력, 병렬가지의 처리이득  $PG_P$ 으로 구성된다.

$$\text{SNR}^\circ = \left[ \left( \frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} + \frac{2(U-1)MC}{3PG_P} \right]^{-1} \quad (2)$$

여기서,  $E_b/N_0 (= \gamma)$ 는 비트 에너지 대 잡음 전력비,  $PG_P$ 는 병렬가지에서 데이터의 속도 ( $T_R$ )과 PN chip율( $T_C$ )에 의한 처리이득 ( $T_C/T_R$ ),  $U$ 는 전체 사용자의 수, 그리고  $MC$ 는 멀티코드의 수이다.

또한, 임펄스 잡음의 통계적 모델 중에서 본 논문에서 고려한 Middleton의 A급 임펄스 잡음은 무선 통신 시스템의 성능 평가에 있어서 취급하기 쉽고, 거의 모든 종류의 실제 임펄스 잡음을 표현하는데 사용되는 정량화된 방법이다[4].

A급 임펄스 잡음의 결합확률밀도함수(p.d.f.)는 다음과 같다.

$$p_1(\gamma) = e^{-A} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{A^i}{i! 2\pi W \sigma_i^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2W \sigma_i^2}\right) \quad (3)$$

여기서,  $\sigma_i^2 = \frac{i(A+\Gamma')}{1+\Gamma'}$ ,  $\Gamma' = \sigma_c^2/\sigma_a^2$ 는 가우스 잡음 전력 대 임펄스 잡음 전력비,  $A$ 는 임펄스 지수(단위 시간당 임펄스 성분이 차지하는 비율),  $W = \sigma_c^2 + \sigma_a^2$ 는 전체 잡음 전력을 나타낸다[4].

결과적으로 임펄스 잡음과 다중 사용자 간섭 채널에서  $MC$ 개의 병렬가지를 가지는 멀티코드 DS/SS BPSK 신호의 오율식은 다음과 같이 얻어진다.

$$P_e(\gamma) = \int_0^{\infty} P_e \cdot p_1(\gamma) d\gamma \quad (3)$$

그림 2는 회망신호와 다중 사용자 간섭 및 다양한 임펄스 잡음 채널에서의 신호 파형을 나타내고 있다.

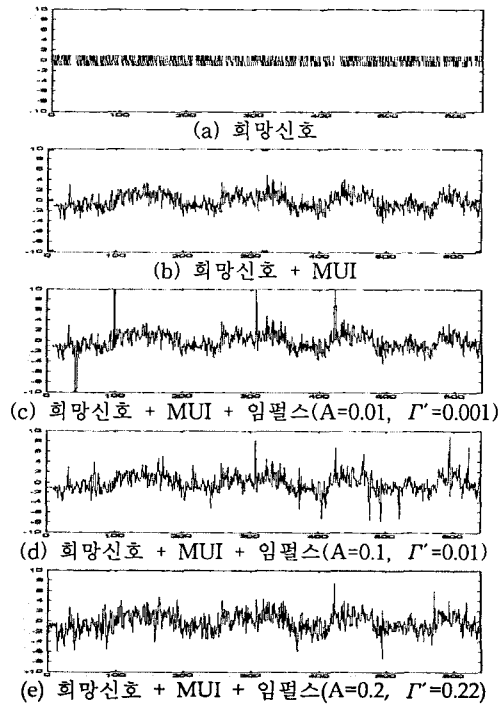


그림 2. 다양한 임펄스 채널에서의 신호 파형 (Signal Waveform under Various Impulsive Channels)

### 2.2. 임펄스 잡음과 페이딩 채널에서 멀티코드 DS/SS BPSK 시스템의 성능

나카가미 페이딩 채널 모델에서 페이딩 지수  $m$ 은 범위  $1/2 \leq m \leq \infty$ 이며,  $m$ 의 값이 1인 경우는 도심지의 채널 환경을 나타내는 레일리 페이딩에 해당하며  $m$ 이 커질수록 약한 페이딩 채널을 나타낸다.

Nakagami 페이딩 채널에서  $E_b/N_0 (= \gamma)$ 의 확률밀도함수  $f(\gamma)$ 는 다음과 같다[5],[6].

$$f(\gamma) = \frac{m^m \gamma^{(m-1)}}{\Gamma(m) \gamma_a^m} \exp\left(-\frac{m\gamma}{\gamma_a}\right) \quad (4)$$

여기서,  $m$ 은 Nakagami 페이딩 채널의 페이딩 지수(fading index)이며  $\gamma$ 는 순시 비트 에너지 대 잡음 전력비,  $\gamma_a$ 는 평균 비트 에너지 대 잡음 전력비를 나타낸다.

결과적으로 임펄스 잡음과 Nakagami 페이딩

채널에서 멀티코드 DS/CDMA-BPSK 시스템의 BER 성능은 다음과 같이 임펄스 잡음 채널에서의 오율식  $P_e(\gamma)$  과 Nakagami 페이딩 채널에서 수신된 회망신호의 신호전력대 잡음전력비  $\gamma$  에 대한 적분을 통하여 얻을 수 있다.

$$P_{ef} = \int_0^{\infty} P_e(\gamma) \cdot f(\gamma) d\gamma \quad (5)$$

### III. Turbo Code를 이용한 멀티코드 DS/CDMA-BPSK 성능 개선

#### 3.1 Turbo Code 기법

그림 3은 터보 부호기의 블록 다이어그램을 보여준다.

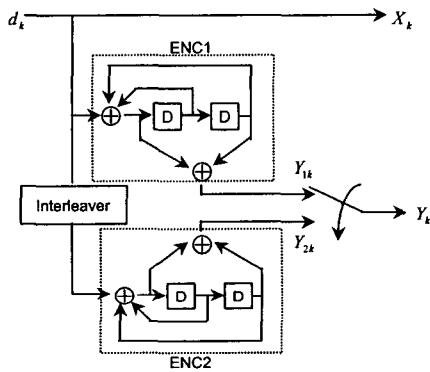


그림 3. 터보 부호기의 블록 다이어그램

문헌 [7]에서 소개된 터보 부호는 단순히 두 개의 RSC (Recursive Systematic Convolutional)를 병렬로 연결하고, 두 부호기 (ENC1과 ENC2)의 출력 시퀀스를 다르게 하기 위해서 두 부호기를 인터리버로 나누어 놓은 형태를 취하고 있다. 데이터 시퀀스가 프레임 단위로 전송된다면 터보 부호기는 메모리가  $v$ 인 두 개의 RSC로 이루어진 블록 코드로써 생각할 수 있다. 또한, RSC 부호기 (ENC1)의 모든 상태를 0으로 만들기 위해서  $v$ 개의 정보 비트를 한 프레임 끝에 붙인다. 따라서 두 개의 RSC 사이에 놓인 인터리버  $n$ 은 데이터 프레임과 테일 비트 (tail bit)  $v$ 가 더해진 길이이다. 이 때, 터보 부호기에서는 시스템틱 시퀀스 (systematic sequence)와 패리티 시퀀스 (parity sequence)로 구성된 부호 시퀀스로 부호화된다. 또한, 대역 효율을 위해서 패리티 프레임 (parity frame)을 펀처링 (puncturing)한다. 따라서 그림 3의 터보 부호기는 부호율  $R_c = 1/2$ 이 된다. 그림 3에서  $d_k = (X_k, Y_k)$ 이고 이들은 시간

$k$ 인 순간에 터보 부호기에서 발생된 시스템틱 시퀀스와 패리티 시퀀스에 각각 대응하여 수신된다[8].

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[9]. 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.

$$E_s = E_b R_c \frac{n-v}{n} \quad (12)$$

여기서,  $R_c$ 는 부호율이고,  $(n-v)/n$ 는 부호기를 종료시키기 위해서  $v$ 개의 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[10].

$$P_b \geq \frac{2}{n-v} P_e \quad (13)$$

#### 3.2 성능 해석 및 검토

본 논문에서는 임펄스 잡음과 페이딩, 다중 사용자 간섭 환경에서 멀티코드 DS/CDMA-BPSK 시스템의 오율 성능을 구하였다. 성능 해석에는 현재 디지털 셀룰라 시스템에 사용중인 파라미터의 값을 사용하였다. CDMA 시스템의 PN chip율은 1.2288Mcps를 적용하였고, 데이터 전송속도는 8Kbps의 음성부호화기를 기준으로 하였을 경우에 부가비트를 고려한 9.6Kbps를 설정하였다. 특히, 임펄스 잡음의 파라미터로는  $A=0.2$ ,  $\Gamma=0.22$ 인 전력선에서 방출되는 A급 임펄스 잡음의 실제 파라미터를 고려하였다[11].

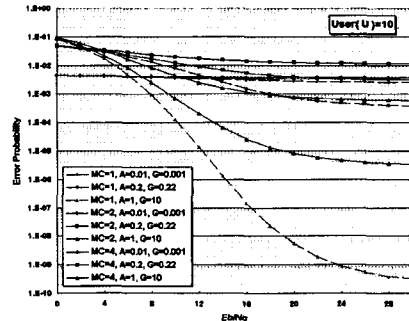


그림 4. 임펄스 잡음 채널에서 다중부호의 수에 따른 Multicode CDMA-BPSK 신호의 오율 특성 ( $G = \Gamma$ )

그림 4는 다중 사용자 수가 10인 임펄스 잡음 채널에서 멀티코드의 수에 따른 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율 성능을 나타낸다. 멀티코드의 수가 2, 4로 증가함에 따라서 한명의 사용자가 점유하는 채널의 수는 2배, 4배로 증가한다. 따라서 채널에서의 간섭의 수 또한 증가하게 되어 신호의 오율 성능이 열화하게 된다. 그러나 강한 임펄스 잡음( $A=0.01, \Gamma=0.001$ ) 환경에서는 간섭의 증가보다는 임펄스 잡음에 의해 시스템의 성능이 크게 열화함을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6은 임펄스 잡음과 페이딩 널에서 멀티코드 수의 변화에 따른 시스템 성능을 나타내고 있다.  $A=0.01, \Gamma=0.001$ 인 강한 임펄스 잡음에서는 m값과 멀티코드 수의 변화와는 무관하게 임펄스 잡음에 의해 일정한 성능열화를 보여주고  $A=0.2, \Gamma=0.22$ 인 약한 임펄스 잡음에서는 10dB 이상에서 멀티코드와 m값의 변화에 따라 뚜렷한 성능 차이를 보임을 알 수 있다.

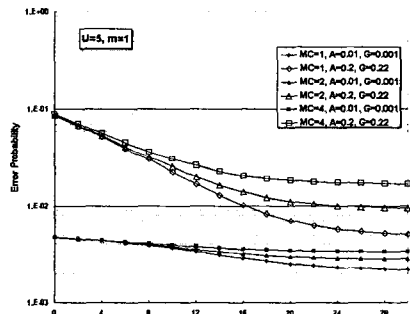


그림 5. 임펄스 잡음과 페이딩 채널에서 다중 부호의 수에 따른 Multicode CDMA-BPSK 신호의 오율특성(m=1)

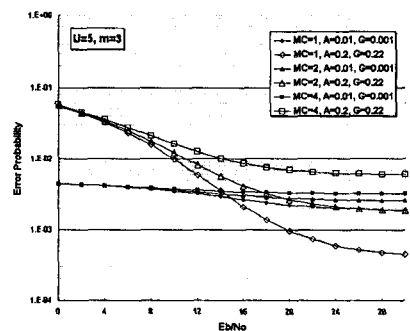


그림 6. 임펄스 잡음과 페이딩 채널에서 다중 부호의 수에 따른 Multicode CDMA-BPSK 신호의 오율특성(m=3)

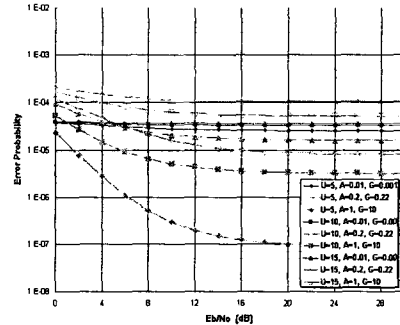


그림 7. 임펄스 잡음과 페이딩 채널에서 Turbo Code와 다이버시티 기법을 적용하였을 때 다중 사용자 수에 따른 Multicode CDMA-BPSK 신호의 오율특성(m=3, MC=4, L=2)

그림 7은 페이딩에 의해 열화된 시스템 성능을 보상하기 위해 Turbo Code와 다이버시티 기법을 적용하였을 때 다중사용자의 수에 따른 MC=4인 멀티코드 DS/CDMA-BPSK 신호의 오율 성능을 나타낸다. MC=4인 경우는 직렬 변환기를 거친 후의 가지가 4개인 경우이다. 병렬가지의 데이터 전송속도가 9.6Kbps이므로 직렬가지의 데이터 전송속도는 9.6Kbps×4에 해당하는 38.4Kbps로 전송하게 된다. 다중사용자수가 5명, 10명, 15명으로 증가함에 따라 오율성능은 저하되는 현상을 볼 수 있으나 강력한 오류정정부호인 Turbo Code를 적용함으로써  $10^{-4}$ 이하의 BER을 달성함을 알 수 있다. 강한 임펄스 잡음( $A=0.01, \Gamma=0.001$ )하에서는 다중 사용자 수와는 무관하게 일정한 error floor구간이 형성됨을 알 수 있다.

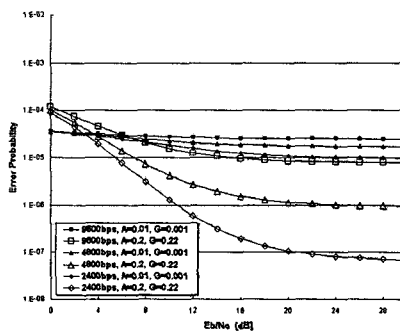


그림 8. 임펄스 잡음과 페이딩 채널에서 Turbo Code와 다이버시티 기법을 적용하였을 때 전송속도에 따른 Multicode CDMA-BPSK 신호의 오율특성(m=3, MC=4, L=2, U=5)

그림 8은 병렬가지의 전송속도에 따른 MC=4인 멀티코드 DS/CDMA-BPSK 신호에서 Turbo Code와 다이버시티를 적용한 오율 성능을 나타낸다. 직렬가지의 전송속도는 MC의 수와 병렬가지

의 전송속도를 곱하면 되므로 결국 9600bps에서 부터 38400bps의 속도까지 데이터를 전송하게 된다. 실내 라이시안 페이딩 환경과 전력선에서 측정되는 임펄스 잡음 파라미터에서 병렬가지의 전송속도( $T_R$ )가 9600, 4800, 2400bps인 경우에 각각 16, 7, 5.5dB에서 MC=4인 멀티코드 DS/CDMA A-BPSK 신호의 오율성능은  $1 \times 10^{-5}$ 을 만족할 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 이미 구축된 CDMA 망을 활용하여 임펄스 잡음과 실내 무선 페이딩, 그리고 다중 사용자 간섭 환경에서 고속 무선 멀티미디어 전송을 위한 방안을 연구하였다.

멀티코드 DS/CDMA를 적용한 시스템의 성능 분석 결과 멀티코드의 수가 증가함에 따라서 하나의 사용자에 점유되는 채널의 수가 증가하여 무선채널 상에서 많은 간섭이 존재하게 된다. 이 때문에 시스템의 성능은 열화 되나 반면에 시스템에서 제공할 수 있는 서비스의 속도는 멀티코드의 수에 비례하여 증가함을 알 수 있었다. 또한, 임펄스 잡음과 페이딩 환경하에서는 강한 임펄스 잡음의 영향이 지배적이었고, 열화된 성능을 개선하기 위해 Turbo Code와 다이버시티 기법을 적용함으로써 전력선에서 방출되는 임펄스 잡음 파라미터인  $A=0.2$ ,  $\Gamma=0.22$ 에서 전송속도에 따라 5.5dB, 7dB, 16dB의 신호전력 이상에서  $10^{-5}$  이하의 BER 성능을 얻을 수 있었다. 그러나, 데이터 통신에 활용하기 위해서는 강력한 임펄스 잡음을 극복할 수 있는 추가적인 억압기법이 도입되어야 할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

- [1] W. C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems : Analog and Digital Systems*, New York, McGRAW Hill, 1995.
- [2] J. G. Proakis, *Digital Communications : New York, McGraw-Hill*, 1983.
- [3] 이한섭 외, "한국통신의 IMT-2000 개발현황," *한국통신학회지*, 제14권, 1997년11월.
- [4] 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.
- [5] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, pp. 673-680, July 1977.
- [6] U. Charash, "Reception through Nakagami fading multipath channel with random delays," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, pp. 657-670, Apr. 1979.
- [7] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near shannon limit error-correcting coding and decoding : Turbo. codes," in *proc. IEEE ICC 1993*, pp. 1064-1070, 1993.
- [8] G. H. Park, S. H. Yoon, and C. E. Kang, "Implementation of a turbo-code decoder using a block-wire algorithm," *한국통신학회논문지*, vol. 26, no. 2B, Feb. 2001.
- [9] 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.
- [10] W. J. Blackert, E. K. Hall, and S. G. Wilson, "An upper bound on turbo code free distance," *IEEE ICC*, vol. 2, June 1996.
- [11] K. Yamauchi, N. Takahasi and M. Maeda "Parameter measurement of class A interference on power line," *Trans. on IEICE, E72*, 1, pp. 7-9, Jan. 1989.