

다중경로 레일리 페이딩 채널에서 터보 코드를 사용하여 짧은 프레임을 전송하는 비동기 DS/CDMA 시스템의 성능 분석

정회원 강희곡*, 김영철*, 박기식*, 조성언**, 오창헌***, 조성준*

Performance Analysis of Asynchronous DS/CDMA System with Turbo Code for Short Frame in a Multipath Rayleigh Fading Channel

Hee-Gok Kang*, Young-Cheol Kim*, Ki-Sik Park*, Sung-Eon Cho**, Chang-Heon Oh***, and
Sung-Joon Cho* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 터보 코드를 사용하는 비동기 DS/CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 분석된 환경은 단일 셀인 경우로 채널 사이드 정보가 완벽하게 주어진다 가정하였고, 음성 통신이 가능한 영역에서 처리이득, 사용자수, 그리고 인터리버 길이를 파라미터로 하였다. 성능 분석시 낮은 신호 대 잡음비에서는 시뮬레이션에 의했고, 높은 신호대 잡음비에서는 이론식에 의한 수치 계산에 의했다. 그 결과, 터보 복호기의 반복 수가 5 정도 되면 성능 향상이 거의 이루어지지 않았고, E_b/N_0 가 5 dB, 인터리버 길이가 200, 처리이득이 64이면 음성통신이 가능하였다. 터보 코드는 AWGN 채널의 DS/CDMA 시스템에서 우수한 성능을 나타내었으나, 다중경로 레일리 페이딩 환경에서는 다중경로 페이딩과 다중사용자 간섭의 영향이 커서 성능 개선의 정도가 AWGN 환경에 비해서 크게 줄어들었다. 또한 다중경로 레일리 페이딩의 경우, 낮은 E_b/N_0 에서 성능 향상의 대부분이 이루어져서, E_b/N_0 가 높아지더라도 큰 성능 향상은 이루어지지 않았다.

ABSTRACT

The performance analysis of asynchronous DS/CDMA system with turbo code in multipath Rayleigh fading channel was investigated. A single cell scenario was adopted where there is perfect channel side information. We used the parameters, that is, the different values of processing gain, the number of users, and the length of interleaver, acceptable to voice service. The performance analysis was investigated by simulation in the low signal-to-noise ratio region and by theoretical equation(that is, lower bound) in the high signal-to-noise ratio region. From the results, when the number of iterations of the turbo decoding are about 5, there was no more performance improvement. If E_b/N_0 was about 5 dB, even though the length of interleaver was short as many as 200 and the processing gain was 64, we could know that voice communication was available. The turbo code represented excellent performance in DS/CDMA system at AWGN channel. In multipath Rayleigh fading channel, performance improvement decreased very much compared with AWGN, because the effect of multipath fading and multiuser interference was large in a DS/CDMA system. Most performance improvement in case of multipath Rayleigh fading channel was achieved in low E_b/N_0 . Although E_b/N_0 was increased, there was no more large performance improvement.

* 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 통신시스템연구실(hgkang@mail.hankong.ac.kr)

** 순천대학교 정보통신공학과 *** 한국기술교육대학교 정보통신공학과

논문번호: 00367-0921, 접수일자: 2000년 9월 21일

I. 서론

최근에 이동통신 시스템에서 음성, 텍스트 데이터, 영상 정보와 같은 멀티미디어 전송에 대한 요구가 꾸준히 증대되고 있다^[1]. 또한 미래에 도래할 시스템에서는 더욱 통화품질이 우수한 음성, 데이터, 영상 서비스가 기대된다. 이러한 요구를 만족시키기 위해서 2000년 초에 전 세계적으로 IMT-2000 서비스가 실시될 예정이다. 이러한 IMT-2000 시스템에서는 광대역 비동기 DS/CDMA 방식이 큰 지지를 받고 있다.

DS/CDMA 시스템은 여러 장점들을 가지고 있기 때문에 많은 관심을 받아왔다. 그러나 이러한 DS/CDMA 시스템의 성능은 다중경로 페이딩(multipath fading), 다중접속 간섭(multiple-access interference) 등에 의해서 제한을 받게 된다. 이러한 제한을 극복하기 위해서 다이버시티 기법이나 채널 부호화 기법, 간섭제거기법 등이 다각적으로 연구되고 있다. 특히, IMT-2000 시스템에서는 높은 서비스 품질을 제공하기 위하여 채널부호화 기법으로써 컨볼루션 코드와 터보 코드가 채택되었다^[2].

터보 코드는 Berrow et al.에 의해서 처음으로 소개되었고^[3], 최근에 그 놀라운 성능을 인정받게 되어 여러 응용시스템에서 사용될 예정이다. 터보 코드는 두 개의 RSC(Recursive Systematic Convolutional code)를 병렬로 연결하고 시간 다이버시티(time diversity) 효과를 얻기 위하여 그 사이에 인터리버가 위치하고 있다. Berrow et al.이 발표한 논문에서 의하면 인터리버 길이를 65535 비트로 할 경우 샤논의 한계(Shannon-limit error correction performance)에 근접하는 우수한 성능을 보여주었다. 그러나, 인터리버의 길이가 크게 되면 처리상의 지연이 크게 발생하여 실시간을 요구하는 시스템에서는 사용이 불가능하기 때문에 적절한 인터리버 길이로 제한할 필요가 있다.

현재 CDMA 시스템에서 터보 코드의 성능에 관한 연구는 여러 연구자들에 의해서 진행되고 있다^[4-6]. 문헌 [4]와 [5]에서는 AWGN 채널과 주파수 비선택성 레일리 페이딩 채널에서 동기식 CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 그러나, 이동통신 시스템에서 송신단에서 보낸 정보는 다중 경로를 통해서 수신되므로 주파수 선택성 레일리 페이딩을 고려하는 것이 타당하다. 문헌 [6]에서는 시뮬레이션에 의하여 비동기식 CDMA 시스템의 성능을 분

석하였다. 그러나, 시뮬레이션에 의한 성능 분석이 낮은 BER 영역에서는 샘플수가 크게 증가하여 대상 시스템의 전반적인 성능을 살펴보는 것이 어렵기 때문에, 높은 신호 대 잡음비 영역에서는 이론식에 의한 분석이 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 다중경로 주파수 선택성 레일리 페이딩 채널에서 터보 코드를 적용한 DS/CDMA 시스템의 성능을 실시간 음성 통신이 가능한 범위내에서 인터리버 길이를 고려하여 시뮬레이션과 이론적 해석을 통하여 분석한다. 분석을 위해서 사용자 수, 처리 이득, 인터리버 길이, 복호기의 반복 수 등을 파라미터로 하여 음성 통신이 가능한 최소 크기의 인터리버 길이 및 복호기의 반복수 등을 구한다.

II. 시스템 모델

1. 송신기

그림 1은 터보 코드를 채용하는 비동기식 DS/CDMA BPSK 시스템의 해석 모델을 나타낸다^[7]. N 명의 CDMA 사용자가 동시에 통화 중이라고 가정한다. k번째 사용자의 2진 데이터 시퀀스 $d_k(t)$ 는 가장 간단한 구조인 부호율이 $R_c=1/2$, 구속장이 $K=3$, 생성다항식이 $G=(g_1, g_2)=(5, 7)$ 인 터보 부호기를 거쳐서 코드 시퀀스 $b_k(t)$ 를 발생시킨다. 그 후, 코드 시퀀스 $b_k(t)$ 는 스프레딩 시퀀스 $c_k(t)$ 로 확산되고 BPSK로 변조된다. 복조 및 복호 과정은 변조 및 대응하는 부호화 과정을 역으로 수행함으로써 이루어진다.

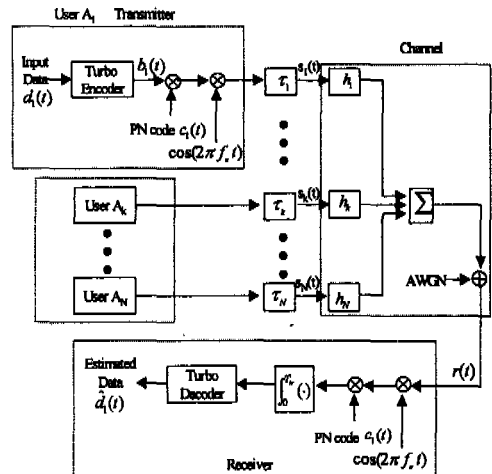


그림 1. 해석 모델

k 번째 사용자의 정보 데이터 및 스프레딩 시퀀스 (spreading sequence)는 각각 $d_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} d_j^{(k)}$

$\cdot p_{T_b}(t-jT_b)$ 와 $c_k(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_j^{(k)} \cdot p_{T_c}(t-jT_c)$ 로 주어진다. 여기서, T_c 와 T_b 는 각각 칩 구간(chip duration)과 데이터 구간(data duration)이며 $0 < y < x$ 에서 $p_x(y) = 1$ 이고, 그 외의 영역에서는 $p_x(y) = 0$ 이다. 터보 코드의 부호율이 1/2이면, 부호화된 부호 비트 $b_k(t)$ 는 데이터 비트 구간(data bit duration) $d_k(t)$ 의 반이 된다. 즉, $T_b = 2T_c$ 이고 여기서, T_c 는 터보 부호화된 비트 구간이다. $d_j^{(k)}$ 와 $c_j^{(k)}$ 는 각각 동일한 확률을 가지며 0 또는 1, -1 또는 +1의 값을 취하는 독립적인 랜덤 변수로써 모델링 된다. 또한 부호화된 비트에 M 개의 스프레딩 시퀀스 칩이 들어간다면 스프레딩 시퀀스의 주기는 T_c 가 된다. 다시 말해서, $T_c = MT_c$ 이며 모든 $-\infty < \chi < \infty$ 에 대하여 $c_j^{(k)} = c_{j+N}^{(k)}$ 이다.

이때 k 번째 사용자의 송신 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$s_k(t) = \sqrt{2P} b_k(t - \tau_k) c_k(t - \tau_k) \cdot \text{Re}[\exp(j(2\pi f_c t + \theta_k))] \quad (1)$$

여기서, 송신 전력 P , 반송파 주파수 f_c 는 모든 사용자에게 공통으로 사용되고, θ_k 는 k 번째 사용자의 위상을 나타낸다. τ_k 는 희망 사용자에게 대한 k 번째 사용자의 시간 지연을 나타내며, k 번째 사용자의 터보 부호화된 시퀀스 $b_k(t)$ 는 뒤에서 자세히 다룰 것이다. 이 때 N 명의 사용자에게 대한 송신 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$s(t) = \sum_{k=1}^N s_k(t) \quad (2)$$

2. 채널 모델

k 번째 사용자에게 대한 채널을 등가 복소 저역 통과 필터로써 모델링하면 다음과 같이 주어진다^[8].

$$h_k(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \beta_{kl} \delta(t - \tau_{kl}) \exp^{j\eta_{kl}} \quad (3)$$

여기서, 랜덤 변수 β_{kl} , τ_{kl} , η_{kl} 는 각각 l 번째 경로에서 k 번째 사용자의 경로 이득, 시간 지연, 위상을 나타낸다. l 번째 경로에 대한 경로 이득 계수

β_{kl} 는 $a_l A_l$ 로 주어지고, 여기서 a_l^2 는 페이딩을 받지 않은 0번째 경로의 성분과 비교한 l 번째 산란 경로에 대한 상대 전력을 나타내고, A_l 는 정규화된 전력이 $E[A_l^2] = 1$ 인 레일리 분포를 따르는 랜덤 변수이다. 또한 채널에 대하여는 다음과 같이 가정한다. 1) 각각의 링크에서 서로 다른 사용자와 경로에 대하여 랜덤 변수 $\{\beta_{kl}\}$, $\{\tau_{kl}\}$, $\{\eta_{kl}\}$ 는 통계적으로 모두 독립이다. 2) 랜덤 위상 $\{\eta_{kl}\}$ 는 $[0, 2\pi)$ 구간에서 일양하게 분포하며, 시간 지연 $\{\tau_{kl}\}$ 는 $[0, T_c]$ 에서 일양하게 분포한다. 3) 각 사용자는 L 개의 경로를 가지며 각 경로는 T_c 구간 이상 떨어져 있다.

3. 수신기

N 개의 송신기에서 전송된 모든 송신 신호 $s(t)$ 는 다중경로 레일리 페이딩을 받고 양측파대 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이 다른 사용자 신호와 함께 부가되어 수신된다. 그러므로, 수신된 신호 $r(t)$ 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^N \sum_{l=0}^{L-1} s_k(t) * h_{kl}(t) + n(t) \quad (4)$$

희망 사용자 신호를 $s_1(t)$ 라고 가정하면, 이때 수신기는 수신 신호 $r(t)$ 와 $c_1(t) \cos(2\pi f_c t)$ 를 곱하여 $[0, T_c]$ 구간에서 적분함으로써 상관 수신되므로 상관기의 출력은 다음과 같이 하여 구한다.

$$Z = \int_0^{T_c} r(t) c_1(t) \cos(2\pi f_c t) dt \quad (5)$$

그 후, 역확산된 심볼은 터보 복호기를 통과해서 정보 데이터를 추정하게 된다.

III. 터보 코드

1. 부호기와 복호기

그림 2는 터보 코드의 블록 다이어그램을 보여준다. 문헌 [3]에서 소개된 터보 코드는 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

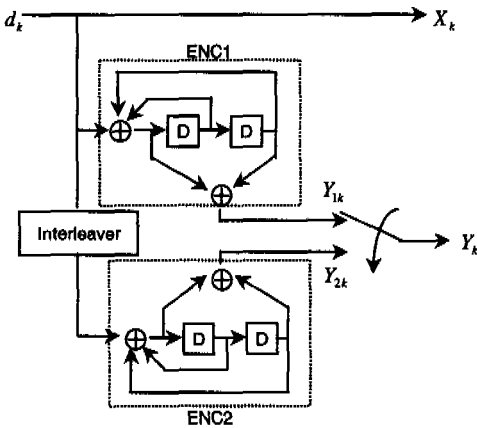


그림 2. 터보 부호기의 블록 다이어그램

메모리가 v 인 두 개의 RSC로 이루어진 블록 코드로서 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 시스템매틱 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 2의 터보 부호기의 부호율 $R_c = 1/2$ 이 된다. 그림 2에서 $b_k = (X_k, Y_k)$ 이고 이들은 시간 k 인 순간에 터보 부호기에서 발생된 시스템매틱 시퀀스와 패리티 시퀀스에 각각 대응하여 수신된다.

터보 코드에서 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. 따라서 본 논문에서는 실시간 음성 통신을 고려하기 위해서 모든 시뮬레이션시 인터리버 길이 n 을 최고 400 비트까지 고려한다.

시뮬레이션시 터보 복호기는 Log-MAP 알고리즘을 사용한다. Log-MAP 알고리즘은 하드웨어 구현이 용이할 뿐만 아니라 MAP 알고리즘과 비교해서도 성능상의 차이가 거의 없기 때문에 최근에 많이 사용되고 있다.

2. 비트 에러 확률

비동기식 DS/CDMA BPSK 시스템을 다중경로

레이리 페이딩 채널에서 고려할 때 디코딩 에러 확률은 다음과 같이 주어진다^{[10],[11]}.

$$P_2 = \int_0^\infty Q(\sqrt{2\gamma_s \cdot d_{free}}) \cdot p(\gamma_s) d\gamma_s \tag{6}$$

$$= \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{d_{free}}{\frac{1}{\gamma_s} + d_{free}}} \right)$$

여기서, d_{free} 는 자유거리(free distance)이고, $p(\gamma_s)$ 은 레일리 랜덤 변수의 확률밀도함수이며, $Q(\cdot)$ 는 다음과 같이 정의되는 Q 함수이다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \tag{7}$$

또한, 다중경로 환경의 CDMA 시스템에서 평균 신호 대 잡음 비(\bar{E}_s/N_0)인 $\bar{\gamma}_s$ 는 다음과 같이 주어진다^[12].

$$\bar{\gamma}_s = \frac{\alpha^2}{\frac{N_0}{E_s} + \frac{2(K-1)}{3PG} \alpha^2 + \frac{2K}{3PG} \sum_{i=2}^L \alpha_i^2} \tag{8}$$

여기서, E_s 는 심볼 당 에너지이고, K 는 사용자 수, PG 는 처리이득, α_i 는 i 번째 경로 이득을 의미한다. 위에서 설명된 터보 코드에 대하여 심볼 당 에너지를 다음과 같이 비트 당 에너지로 바꿀 수 있다.

$$E_s = E_b R_c \frac{n-v}{n} \tag{9}$$

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 코드의 에러 확률에 관한 하한(lower bound)은 다음과 같이 주어진다^[13].

$$P_b \geq \frac{2}{n-v} P_2 = \frac{1}{n-v} \left(1 - \sqrt{\frac{d_{free}}{\frac{1}{\gamma_s} + d_{free}}} \right)$$

$$= \frac{1}{n-v} \left(1 - \sqrt{\frac{d_{free}}{\frac{A+B+C}{a_0^2} + d_{free}}} \right) \tag{10}$$

여기서, $A = \frac{N_0}{E_b R_c \frac{n-v}{n}}$, $B = \frac{2(K-1)}{3PG} a_0^2$,

$$C = \frac{2K}{3PG} \sum_{i=1}^L \alpha_i^2 \text{ 이다.}$$

IV. 수치 계산 및 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 시뮬레이션시 사용자 수(K), 처리 이득(PG), 터보 부호기의 반복 수(iteration), 인터리버 길이(n) 등을 고려하였다. 사용된 부호기의 구조는 시뮬레이션의 편의를 위해서 생성다항식이 $G=(7,5)$ 인 두 개의 RSC 병렬연접 형태로 구성되고, 대역폭 효율을 위해서 부호율 $R_c=1/2$ 로 펄처링(puncturing) 하였다. ENC1과 ENC2에서 출력되는 시퀀스 사이의 상관성을 줄이기 위해서 랜덤 인터리버를 사용하고, 실시간 음성 통신을 위하여 짧은 프레임 전송이 가능한 인터리버의 길이로 100, 200, 300, 400을 고려하였다. 채널에서 다중경로의 수는 3개 ($L=3$)로 서로 다른 독립적인 레일리 페이딩을 받는 MIP(Multipath Intensity Profile) 모델로 가정 하였다. 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해서 터보 코드의 하한식(lower bound)을 사용하여 이론적 성능 분석을 수행하였다. 성능 분석시 낮은 E_b/N_0 에서는 시뮬레이션에 의했고, 높은 E_b/N_0 에서는 이론식의 수치 계산에 의했다.

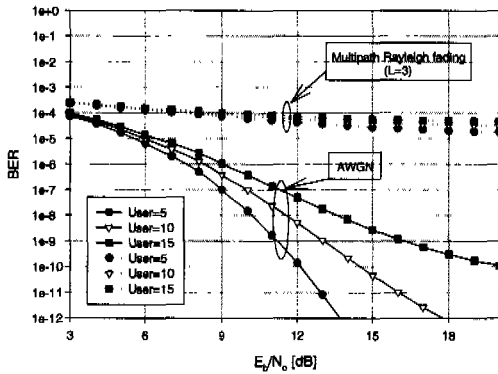


그림 3. 터보 코드를 사용한 DS/CDMA BPSK 시스템의 이론 성능($n=400$, PG=64)

그림 3에서는 AWGN 채널과 다중경로 레일리 페이딩 채널의 DS/CDMA BPSK 시스템에서 터보 코드를 사용하였을 때의 이론적 성능을 나타내었다. 낮은 E_b/N_0 에서 AWGN과 다중경로 레일리 페이딩 채널에서의 성능 차는 크지 않지만, E_b/N_0 가 증가할수록 성능 차가 크게 나타났다. 특히, $E_b/N_0=12$ dB를 기준으로 할 때 AWGN 채널에서는 사용자

수에 따라 BER 성능이 $10^{-7} \sim 10^{-10}$ 대로 크게 변화 하지만, 다중경로 레일리 페이딩 채널에서는 BER 성능이 10^{-4} 대로 성능 차가 크지 않았다.

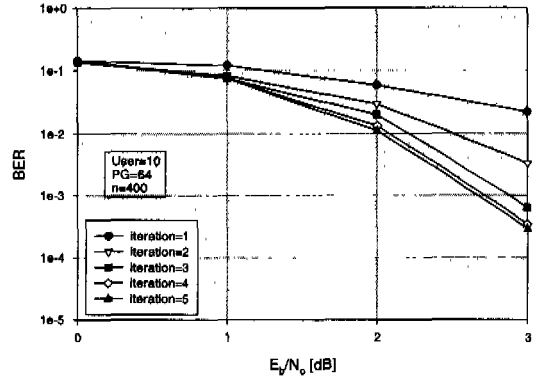


그림 4. AWGN 채널에서 부호기의 반복 수에 따른 시뮬레이션 결과

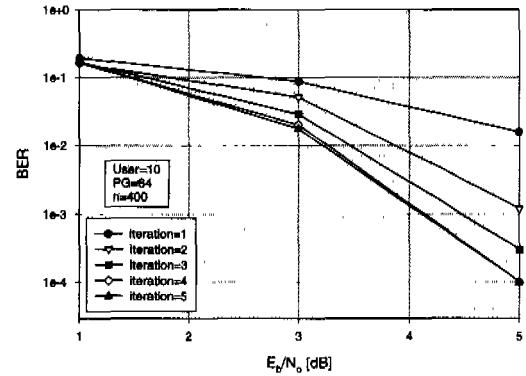


그림 5. 다중경로 레일리 페이딩 채널 ($L=3$)에서 부호기의 반복 수에 따른 시뮬레이션 결과

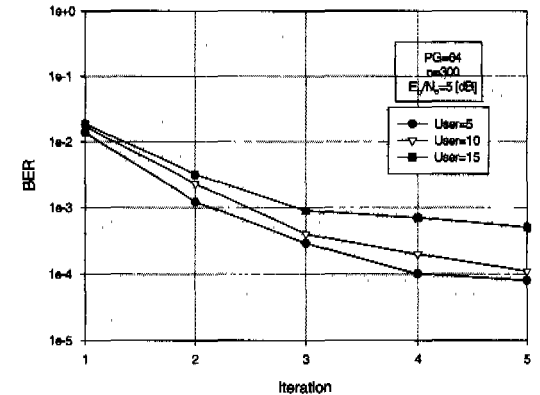


그림 6. 다중경로 레일리 페이딩 채널 ($L=3$)에서 사용자 수와 부호기의 반복 수에 대한 시뮬레이션 결과

그림 4와 5에서는 각각 AWGN 채널과 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 복호기의 반복 수에 따른 시뮬레이션 결과를 나타내었다. BER = 10^{-3} 을 달성하기 위해서 다중경로 레일리 페이딩 채널이 AWGN 채널보다 1 dB 정도 더 필요함을 알 수 있다. 또한 터보 복호기의 반복 수가 1에서 2로 변화할 때 성능 개선의 정도가 가장 크게 나타났다. 그러나, 그림 6으로부터 복호기 반복 수가 5이면 더 이상의 성능 개선이 이루어지지 않았다.

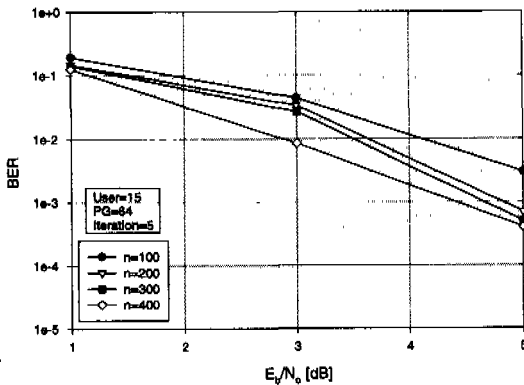


그림 7. 다중경로 레일리 페이딩 채널 ($L=3$)에서 인터리버 길이 (n)에 대한 시뮬레이션 결과

그림 7에서는 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 인터리버 길이에 따른 성능을 보여준다. 인터리버 길이가 400에서 100으로 작아지면 대략 1 dB 정도의 성능 열화가 나타났다. E_b/N_0 가 5 dB, 인터리버 길이가 200, 처리이득이 64이면 음성통신이 가능한 BER = 10^{-3} 이 달성된다.

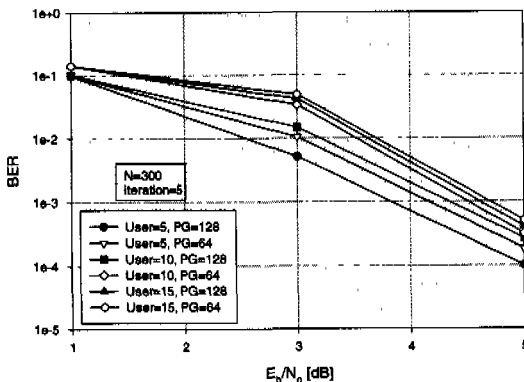


그림 8. 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 사용자수와 처리이득에 의한 시뮬레이션 결과 ($L=3$)

그림 8과 9에서는 사용자 수와 확산에 따른 처리이득에 의한 성능을 시뮬레이션과 이론식을 통해서 각각 나타내었다. 그림 8로부터 낮은 E_b/N_0 에서 BER = 10^{-3} 을 달성하는데 필요한 E_b/N_0 는 사용자 수나 처리이득이 변화해도 대략 1 dB 정도의 차를 가진다. 그리고 그림 9를 보면 E_b/N_0 가 크게 증가 하더라도 성능 개선은 BER = 10^{-5} 에서 거의 수렴된다. AWGN 채널에서 강력한 채널 부호인 터보 코드를 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 사용하면 페이딩과 다중사용자 간섭의 영향으로 성능 개선의 정도가 크지 않았다.

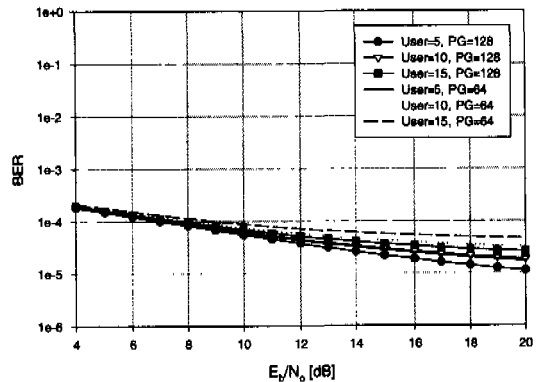


그림 9. 다중경로 레일리 페이딩 채널 ($L=3$)에서 사용자수와 처리이득에 따른 DS/CDMA BPSK 시스템의 이론 성능 ($L=400$)

V. 결론

본 논문에서는 비동기 DS/CDMA BPSK 시스템에서 터보 코드를 사용할 때 시뮬레이션 및 이론식을 통하여 BER 성능을 분석하였다. 단일 셀인 경우, 채널의 사이드 정보는 완벽하게 알 수 있다고 가정하였다. 성능 분석을 위해서 사용자 수, 처리이득, 인터리버 길이, 복호기의 반복 수를 고려하였고, AWGN 채널과 다중경로 레일리 페이딩 채널을 고려하였다. 터보 코드를 사용시 낮은 E_b/N_0 에서의 이론값은 적절하지 못하기 때문에 낮은 E_b/N_0 에서는 시뮬레이션을 통해 성능을 구하였다. 결과를 보면 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 복호기의 반복 수가 1에서 2로 될 때 성능 향상이 가장 크게 이루어졌다. 복호기 반복 수가 증가함에 따라 성능 향상 폭은 적어졌으며 복호기 반복 수가 5 정도가 되면 성능 향상은 거의 이루어지지 않았다. 음성 통신이 가능하기 위한 최대 인터리버 길이는 인터리

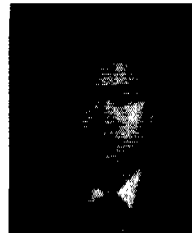
버의 처리상의 지연을 고려했을 때 400 이지만, 5 dB 이내의 E_b/N_0 영역에서는 이보다 작은 인터리버 길이에서도 음성통신이 가능함을 알 수 있었다. 터보 코드는 AWGN 환경의 DS/CDMA 시스템에서 E_b/N_0 가 증가하게 되면 이에 비례하여 우수한 성능을 나타내었다. 그러나, 다중경로 페이딩 환경에서는 낮은 E_b/N_0 에서 성능 향상이 컸으나, E_b/N_0 를 증가시키더라도 더 이상의 큰 성능 향상은 이루어지지 않았다. 또한 AWGN 채널에서 강력한 채널 부호인 터보 코드를 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 사용하면 페이딩과 다중사용자 간섭의 영향으로 성능 개선의 정도가 크지 않음을 알 수 있었다. 따라서 이러한 환경에서 성능을 향상시키기 위해서 터보 코드와 더불어 다중경로를 효과적으로 이용할 수 있는 다이버시티 수신 기법을 함께 사용하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

- [1] H. W. Lee, C. S. Park, and D. K. Kim, "Performance of turbo codes in WB-CDMA system," *APCC/ICCS'98*, pp. 69-73, 1998.
- [2] 3GPP, "Technical specification group radio access network; multiplexing and channel coding(FDD)," *3G TS 25.212 V3.2.0*, Mar. 2000.
- [3] 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.
- [4] B. Unal, "Performance of turbo-codes in time-synchronous BPSK/CDMA systems and Rayleigh fading channels," *VTC '99*, vol. 3, pp. 1575-1579, Sep. 1999.
- [5] P. Jung, and M. Naβ han, "Results on turbo-codes for speech transmission in a joint detection CDMA mobile radio system with coherent receiver antenna diversity," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 46, no. 4, pp. 862-870, Nov. 1997.
- [6] M. Wang, Z. S. Wang, D. R. Chen, J. R. Lin, "The performance of turbo-codes in asynchronous DS-CDMA," *IEEE GLOBECOM '97*, vol. 3, pp. 1548-1551, Nov. 1997.
- [7] K. B. Letaief, and M. Hamdi, "Efficient simulation of CDMA systems in wireless mobile communications," *IEEE GLOBECOM '95*, pp. 1799-1803, Nov. 1995.
- [8] Y. Huang, and T. T Ng, "DS-CDMA with power control error using weighted despreading sequences over a multipath Rayleigh fading channel," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 48, no. 4, pp. 1067-1079, July 1999.
- [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] S. G. Wilson, *Digital Modulation and Coding*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1995.
- [11] E. A. Geraniotis, and M. B. Pursley, "Performance of coherent direct-sequence spread-spectrum communications over specular multipath fading channels," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. COM-33, no. 6, June 1985.
- [12] J. W. Seo, J. M. Kwak, C. H. Oh, and S. J. Cho, "Analysis for multi-user interference and multi-path interference effects on forward/reverse link of IS-95 CDMA systems," *KEES*, vol. 9, no. 1, Nov. 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.

강희곡(Hee-Gok Kang)

정희원



1998년 2월 : 충북대학교

전자공학과 졸업

1999년 8월 : 한국항공대학교

대학원 항공통신정보

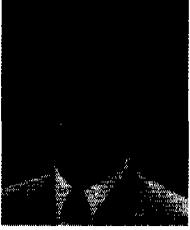
공학과 석사

1999년 9월~현재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 박사과정

<주관심 분야> 이동통신, IMT-2000, 채널 부호화 기법, EMI/EMC

김 영 철(Young-Cheol Kim)

정회원



1993년 2월 : 동신대학교 공과
대학 정보통신공학과
졸업
1995년 2월 : 동신대학교 대학원
전자공학과 석사

1995년 2월~현재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신
정보공학과 박사수료

<주관심 분야> 무선통신, 이동통신, 정보이론, 지능형
교통시스템

박 기 식(Ki-Sik Park)

정회원



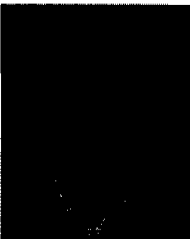
1991년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
졸업
1996년 8월 : 한국항공대학교
대학원 항공통신정보
공학과 석사

2000년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보
공학과 박사

<주관심 분야> 무선통신, WATM, 환경전자공학, 무
선 광통신

조 성 언(Sung-Eun Cho)

정회원



1989년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과 졸업
1991년 2월 : 한국항공대학교
대학원 항공통신정보
공학과 석사

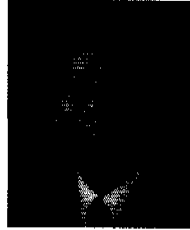
1997년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학
과 박사

1997년 3월~현재 : (국립) 순천대학교 정보통신공학
과 조교수

<주관심 분야> 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경
전자공학

오 창 현(Chang-Heon Oh)

정회원



1988년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
졸업
1990년 2월 : 한국항공대학교
대학원 항공통신정보
공학과 석사

1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과
박사

1993년~1999년 2월 : 삼성전자 CDMA 개발팀

1999년 3월~현재 : 한국기술교육대학교 정보통신공
학과 전임강사

<주관심 분야> 무선통신, 이동통신, IMT-2000

조 성 준(Sung-Joon Cho)

종신회원



1969년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과
졸업

1975년 2월 : 한양대학교 대학원
졸업 석사

1981년 3월 : 일본 오사카대학교
대학원 통신공학과 박사

1972년 8월~현재 : 한국항공대학교 항공통신정보공
학과 교수

<주관심 분야> 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전
자공학