

Nakagami 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티와 채널 부호화 기법을 사용한 DS/CDMA BPSK 시스템의 블록 오류 성능 개선

정희원 강희조*, 노재성**, 조성준***

Block Error Performance Improvement of the DS/CDMA BPSK System with MRC Diversity and Channel Coding Techniques in Nakagami Fading Channel

Heau-Jo Kang*, Jae-Sung Roh**, Sung-Joon Cho*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 Nakagami 페이딩 채널에서 DS/CDMA BPSK 시스템의 성능 개선을 위해 MRC(Maximum Ratio Combine) 다이버시티, (23, 12) Golay 부호, (7, 5) Reed-Solomon 부호, (5, 1) 다수결 선택 부호를 채택하였다. 그리고 MRC 다이버시티와 다양한 부호화 기법과의 결합을 제안하고, 결합기법에 따른 DS/CDMA BPSK 시스템의 블록 오류 성능을 비교, 분석하였다. 또한 데이터 통신을 위한 서비스 품질(BER = 10^{-5})을 만족하기 위해 다중접속 사용자 수에 따른 요구 E_b/N_0 의 값을 결합기법에 따라서 구하였다.

결과로부터 각각의 성능 개선 기법을 단독으로 DS/CDMA BPSK 시스템에 적용하였을 경우, 부호화를 적용한 시스템이 MRC 다이버시티를 적용한 시스템보다 더 효과적인 성능 개선 기법임을 알 수 있었다. 특히, 비교된 기법 중에서 Golay 부호가 다른 기법보다 좋은 성능을 나타내었고, MRC 다이버시티와 Golay 부호화 기법을 결합하여 사용한 경우가 다른 결합구조보다 좋은 성능을 나타내었다. 데이터 통신을 위한 서비스 품질(BER = 10^{-5})을 만족하기 위한 다중접속 사용자 수에 따른 요구 E_b/N_0 값은 MRC 다이버시티만을 단독으로 사용된 경우에는 다중접속 사용자 수는 8명까지 가능하였다. 그리고 부호화를 단독으로 사용한 경우에는 Golay 부호, 다수결 선택 부호, Reed-Solomon 부호는 각각 14, 12, 10명까지 가능하였다. 그러나 MRC 다이버시티와 부호화 기법의 결합은 다중접속 사용자에 대한 제한을 줄이고 있음을 알 수 있었다. 하지만 이러한 성능 개선 기법의 결합은 제공하려는 서비스의 종류 및 전송 품질에 합당하도록 선택되는 것이 바람직하다.

ABSTRACT

In this paper, MRC(Maximum Ratio Combine) diversity, (23, 12) Golay code, (7, 5) Reed-Solomon code, and (5, 1) majority selection code are employed to improve the performance of DS/CDMA BPSK in Nakagami fading channel. And MRC diversity combined with other coding techniques is suggested, with which, the performance of DS/CDMA BPSK is compared and analyzed. Also, system required E_b/N_0 to meet BER = 10^{-5} for multi user data communication is obtained according to each techniques.

* 동신대학교 전기전자공학부 (hjkang@dongshinu.ac.kr)

** 강원도립대학 정보통신과 (jsroh@kangwonpu.ac.kr)

*** 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학과 (sjcho@mail.hankong.ac.kr)

논문번호 : 99232-0607, 접수일자 : 1999년 6월 7일

From the results, when each techniques is employed to DS/CDMA BPSK system, coding employed system shows better performance than diversity employed system. Especially, Golay code shows better performance than other codes, also MRC diversity combined with Golay code shows better performance than other combined techniques. When only MRC diversity is employed, the number of multiple access user to meet data communication requirement of $BER=10^{-5}$ can accommodate up to 8 users. And when each code is employed, Golay code, majority selection code, and Reed-Solomon code shows the capacity of 14, 12, and 10 user respectively. But MRC diversity combined with coding techniques can reduce restriction of multiple access user. However, it is desirable these combined techniques are employed according to service types and requirements provided.

I. 서론

CDMA 통신 방식은 다수의 사용자에게 서로 다른 PN 부호를 할당하여 다중접속을 수행하며, 신호의 스펙트럼은 통신채널에서 확산되어 통신을 하게 된다. 스펙트럼 확산된 신호는 광대역을 점유하기 때문에 충분한 대역폭 할당이 가능한 주파수 대역에서 전송이 이루어진다. 종래의 협대역 신호가 무선 전송 특성의 열화구간에 존재하면 수신측에서는 오류가 발생한 열화된 신호를 수신하게 된다. 그러나 스펙트럼 확산된 신호는 이러한 전송 특성의 영향을 받더라도 스펙트럼의 대역폭이 매우 넓기 때문에 제한된 부분의 영향만을 받는다. 결과적으로 수신신호의 열화는 매우 작아서 양질의 수신이 가능하다. 그러므로 직접확산 CDMA 시스템은 다중 경로 페이딩에 강할 뿐만 아니라 용량면에서 무선 통신이나 셀룰러 이동통신에서 각광을 받고 있다^[1].

다양하게 변화하는 무선 채널에서의 정보 전송은 페이딩을 수반하게 된다. 그리고 페이딩 채널에서의 디지털 전송은 시간에 따라 변화하는 신호 강도와 연접성 오류에 의하여 시스템의 성능은 열화된다. 페이딩 환경에서 균질 차광 통신이나 데이터 통신과 같은 통신 시스템의 오류율은 시스템 성능을 평가하는데 중요한 지표가 되며, 특히 데이터 통신에서는 블록 데이터의 전송 성능을 평가하는 것이 필요하다. 이러한 시스템은 일반적으로 오류 제어(즉, 오류 검출 및 정정 블록 부호) 기법의 도입을 필요로 한다. 따라서, 페이딩 환경에서 시스템의 성능 평가는 전송된 부호 블록의 오류 수에 대한 확률 분포를 분석함으로써 수행된다.

지금까지 무선 데이터 통신 시스템에서 블록 오류율 개선을 위한 다이버시티 기법에 대한 연구가 다양한 페이딩 채널 즉, Rayleigh^{[2],[4]}, Rician^[5],

Nakagami^[6] 페이딩 등을 대상으로 연구가 진행되었다. 특히, Nakagami 페이딩은 특정한 경우에 Rayleigh 페이딩 및 Rician 페이딩을 표현할 수 있기 때문에 다양한 페이딩 채널을 나타내는데 유용하다. 또한 참고문헌 [7],[8]에서는 Nakagami 페이딩은 다양한 페이딩 환경을 페이딩 지수의 변화로써 표현이 가능하며, Rayleigh나 Rician 페이딩 모델 보다 실험 데이터에 더 근사함을 발표하였다.

본 논문에서는 데이터 통신을 위한 블록 오류 성능을 향상시키기 위하여 성능 개선 기법으로 MRC 다이버시티 수신 기법, (2, 1) Golay 부호, (7, 5) Reed-Solomon 부호, (5, 1) 다수결 선택 부호를 적용하였다.

이때, Nakagami 페이딩 채널에서 오류 성능 개선을 위해 제시된 성능 개선 기법들이 어떠한 방식으로 결합되었을 때, 좋은 오류 성능을 나타내는지의 여부를 DS/CDMA BPSK 시스템을 대상으로 오류 성능을 비교, 분석한다. 그리고 데이터 통신을 위한 서비스 품질($BER=10^{-5}$)을 만족하기 위해 다중접속 사용자 수에 따라 요구되는 E_b/N_0 의 값을 구한다.

II. Nakagami 페이딩 채널에서 DS/CDMA BPSK 시스템의 성능 분석

본 절에서는 Nakagami 페이딩을 받는 DS/CDMA 통신 시스템의 오류 성능을 계산한다. 그림 1은 K 명의 사용자가 동시 접속하는 DS/CDMA BPSK 시스템을 나타낸다. 각각의 사용자는 PN 시퀀스로 직접 확산된 후 BPSK로 변조된다.

k 번째 사용자는 초당 $1/T$ 비트율로 데이터 비트를 발생시킨다. 이때 이진 데이터 신호 $b_k(t)$ 와 PN 부호열 $a_k(t)$ 는 다음과 같이 주어진다^[9],

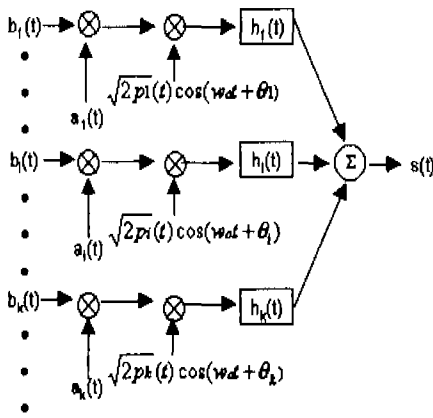


그림 1. DS/CDMA BPSK 시스템 모델

$$b_k(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i^{(k)} p_T(t - iT) \quad (1)$$

$$a_k(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i^{(k)} p_{T_c}(t - iT_c) \quad (2)$$

여기서, $p_r(t)$ 는 $[0, \tau)$ 구간에서의 구형과 펄스, $b_i^{(k)}$ 는 k 번째 송신 신호의 심볼, $a_i^{(k)}$ 는 k 번째 사용자와 PN 부호열이다. 이러한 심볼들은 $\{-1, 1\}$ 의 값을 가지고 모든 i 와 k 에 대하여 $a_i^{(k)} = a_{i+PN}^{(k)}$ 이다. 여기서 $PN(=T/T_c)$ 은 임의의 정수, T 는 비트 주기, T_c 는 칩 주기이다. BPSK 변조된 k 명의 정보 신호는 더해져서 채널을 통해 전송되며 무선 채널상에서 페이딩에 의해서 수신된 신호는 왜곡을 받게 된다.

Nakagami 분포를 따르는 페이딩 채널은 페이딩의 정도를 나타내는 파라미터인 페이딩 지수 m 에 따라 다양한 형태의 페이딩을 모델링 할 수 있다. 수신 신호의 포락선을 나타내는 랜덤 변수 R 에 대한 Nakagami 확률 밀도 함수(pdf)는 다음과 같다^[10].

$$p(R) = \frac{2m^m R^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} \exp\left(-\frac{mR^2}{\Omega}\right) \quad (3)$$

여기서, $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수, $\Omega/2 = \overline{R^2}/2$ 는 페이딩을 받은 신호의 포락선에 대한 평균 전력, $m(= \Omega^2 / (R^2 - \Omega) \geq 1/2)$ 은 Nakagami 페이딩 지수이다. 식 (3)을 순시 신호 전력 대 잡음 전력비 $\gamma(=R^2/2N)$ 로 표현하면 식 (3)은 다음과 같다.

$$p_{fade}(\gamma | \gamma_0) = \frac{m^m \gamma^{m-1}}{\Gamma(m)\gamma_0^m} \exp\left(-\frac{m\gamma}{\gamma_0}\right) \quad (4)$$

여기서, $\gamma_0 = \Omega/2N$ 는 평균 신호 전력 대 잡음 전력비이다. 특히, 식 (4)는 m 에 따라서 다양한 페이딩을 나타내며 $m=0.5, 1, \infty$ 이면, 각각 반 가우스 채널, Rayleigh 페이딩 채널, AWGN 채널을 나타낸다. 그리고 DS/CDMA 시스템의 평균 신호 전력 대 잡음 전력비는 다중경로 채널 수 (L), 다중접속 사용자 수 (K), CDMA 시스템의 처리이득 (PN) 으로 구성되며 다음과 같다^[9].

$$\gamma_0 = \left(\frac{2(L \cdot K - 1)}{3PN} + \frac{N_0}{2E_b} \right)^{-1} \quad (5)$$

AWGN 채널에서 순시 신호 전력 대 잡음 전력비 γ 에 대한 BPSK 신호의 오류식은 다음과 같다.

$$P_{eg}(\gamma) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\gamma}) \quad (6)$$

그리고 Nakagami 페이딩 채널을 통해 전송되는 DS/CDMA BPSK 신호의 평균 비트 오류율은 다음과 같이 순시 신호 전력 대 잡음 전력비 γ 에 대한 적분을 통하여 구할 수 있다.

$$P_{ef} = \int_0^{\infty} P_{eg}(\gamma) p_{fade}(\gamma | \gamma_0) d\gamma \quad (7)$$

II. Nakagami 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티와 채널 부호화를 적용한 DS/CDMA 시스템의 성능 개선

1. MRC 다이버시티 기법

L 개의 가지를 사용하는 MRC 다이버시티는 각 가지에서 수신된 신호 전력 대 잡음 전력비에 비례하는 가중치를 가하여 신호 전력 대 잡음 전력비가 클수록 크게 기여하는 합성 방식이다. 따라서 Nakagami 페이딩 채널을 통해 MRC 다이버시티로 수신된 신호의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$p_{mrc}(\gamma | \gamma_0) = \frac{\gamma^{mL-1}}{\Gamma(mL)} \left(\frac{m}{\gamma_0}\right)^{mL} \exp\left(-\frac{m\gamma}{\gamma_0}\right) \quad (8)$$

여기서 L 은 MRC 다이버시티의 가지수, m 은 Nakagami 페이딩 파라미터, γ_0 는 DS/CDMA 시스템의 평균 신호 전력 대 잡음 전력비, 그리고 γ 는 순시 신호 전력 대 잡음 전력비이다.

따라서, Nakagami 페이딩 채널을 통해 수신된 DS/CDMA BPSK 변조된 신호를 MRC 다이버시티

수신기로 수신하였을 경우의 평균 오류율은 다음과 같이 순시 신호 전력 대 잡음 전력비 γ 에 대한 적분을 통하여 구할 수 있다.

$$P_{\text{div}} = \int_0^{\infty} P_{\text{div}}(\gamma) P_{\text{mrc}}(\gamma | \gamma_0) d\gamma \quad (9)$$

여기서 $P_{\text{div}}(\gamma)$ 는 AWGN 채널에서 순시 신호 전력 대 잡음 전력비 γ 에 대한 BPSK 신호의 오류율이다.

2. 다수결 선택 부호

반복 전송은 하나의 정보 비트를 홀수번 반복하여 송신하고, 수신시에는 다수결 선택에 의해 원래의 정보 비트를 판정한다. 따라서, 반복 전송은 부호화 방식의 일종으로 취급될 수 있으며, 다수결 선택 부호라고도 부른다. 만약 하나의 비트를 s 번 반복하여 송신단에서 보내어졌다고 하면, 이때 비트 판정은 수신된 부호어에서 $(s+1)/2$ 개의 비트수에 따라 다수결로 원래의 정보 비트를 결정한다.

$(s, 1)$ 로 표현되는 다수결 선택은 최소 해밍 거리가 s 이다. 그러므로 다수결 선택은 s 번 반복되어 전송된 부호어에서 $(s-1)/2$ 개의 오류 비트를 정정할 수 있고 부호율 R_c 은 $1/s$ 이 된다.

단일 비트를 s 번 반복하여 전송된 비트 오류 (P_{TB})은 $(s+1)/2$ 개 이상의 부호화된 비트가 원래의 비트와 다를 경우 오류가 발생한다. 그러므로 오류가 발생할 확률은 적어도 $(s+1)/2$ 개 이상에서 오류가 발생할 확률과 같다. 다수결 선택 부호에서 단일 비트를 s 번 반복하여 전송된 비트 오류율은 다음과 같다.

$$P_{\text{TB}} = \sum_{i=(s+1)/2}^s \binom{s}{i} (P)^i (1-P)^{s-i} \quad (10)$$

여기서 P 는 변조 방식에 따른 오류율로써, $P=P_{\text{div}}$ 인 경우는 Nakagami 페이딩 채널을 통해 수신된 DS/CDMA BPSK 변조 신호를 MRC 다이버시티 수신기로 수신하였을 경우의 평균 오류율을 의미한다. 그리고 N 개의 비트 정보 블록에서 적어도 j 개의 비트가 잘못될 확률은 다음과 같다.

$$P_{\text{TB}}(N, j) = \binom{N}{j} (1-P_{\text{TB}})^{N-j} (P_{\text{TB}})^j \quad (11)$$

Nakagami 페이딩 채널에서 DS/CDMA BPSK 변조된 신호를 MRC 다이버시티 수신기로 수신했을

때, 오류가 t 비트 이상 발생할 경우의 정보 메시지 오류 확률은 식 (9), 식 (10), 식 (11)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{\text{em}} = 1 - \sum_{j=0}^t P_{\text{TB}}(N, j) \quad (12)$$

3. 오류 정정 부호

k 개의 정보 비트와 $N-k$ 개의 용장 비트를 가지는 선형 블록 부호는 (N, k) 로 표현되며, 부호율 R_c 은 k/N 이다. 이러한 부호의 최소 해밍 거리를 d_{min} 으로 표기하며, N 비트의 부호어에서 t ($= (d_{\text{min}} - 1)/2$) 비트의 오류를 정정할 수 있다. 본 논문에서는 블록 부호로써 (23,12) Golay 부호와 (7,5) Reed-Solomon 부호를 고려한다.

(23,12) Golay 부호는 부호어 길이 N 은 23 비트이고, 정보 길이 k 는 12 비트이며, 최소 해밍 거리 d_{min} 은 7로써, 하나의 부호화된 메시지 블록에서 3 비트 오류까지 정정할 수 있다.

t 비트까지 정정할 수 있는 부호의 블록 오류 확률은 다음과 같다.

$$P_{\text{em}} = 1 - \sum_{j=0}^t P(N, j) \quad (13)$$

$$P(N, j) = \binom{N}{j} (1-P)^{N-j} P^j \quad (14)$$

여기서 $P(N, j)$ 는 N 비트 부호어 중에서 정확히 j 비트 오류가 발생할 확률이며, P 는 변조 방식에 따른 오류율로써 Nakagami 페이딩 채널을 통해 수신된 DS/CDMA BPSK 변조 신호를 MRC 다이버시티 수신기로 수신하였을 경우에는 $P=P_{\text{div}}$ 이다.

식 (14)에서 사용된 블록 오류 확률은 변조 방식에 따라 변화한다. 그리고 동일한 송신 전력을 유지하기 위해서, 부호화된 메시지의 비트당 평균 신호 전력 대 잡음 전력비는 부호율 $R_c (=k/N)$ 만큼 곱해져야 한다. 그러므로 DS/CDMA 시스템에서 부호화된 메시지의 비트 당 평균 신호 전력 대 잡음 전력비는 $(k/N)\gamma_0$ 이다.

또 다른 오류 정정 부호로써 BCH의 특별한 종류인 Reed-Solomon 부호는 비이진 심볼 오류 정정에 유용하다. Reed-Solomon 부호는 동일한 부호기 입력과 부호기 출력 블록 길이를 가지며 다른 어떤 선형부호보다도 큰 최소 해밍 거리를 가진다. 또한 Reed-Solomon 부호는 연접 오류 정정에 유용한 부

호방식이며, 입력 심볼이 큰 채널에서 유용하다. 비이진 부호에서 두 부호어 사이의 거리는 그 시퀀스 사이의 서로 다른 비이진 심볼들의 수로써 정의된다. Reed-Solomon 부호의 최소 해밍 거리는 다음과 같다.

$$d_{\min} = n - k + 1 \quad (15)$$

여기서 k 는 정보 심볼의 수이고, n 은 부호화된 블록에서 부호 심볼의 총 수이다. 이러한 부호어는 오류 정정 능력 t 이하의 심볼을 정정할 수 있으며 다음과 같다.

$$t = \frac{d_{\min} - 1}{2} = \frac{n - k}{2} \quad (16)$$

2^m 의 심볼로 구성된 t 중 오류 정정 Reed-Solomon 부호에서 부호화된 부호어의 심볼 길이는 n 은 $2^m - 1$ 이고, 정보 심볼 길이 k 는 $2^m - 1 - 2t$ 이다. 여기서 m 은 2, 3, ...인 양의 정수이다.

부호된 Reed-Solomon 부호의 심볼 오류율 (P_E)은 DS/CDMA BPSK 신호의 심볼 오류율을 사용한 채널의 심볼 오류율 (P_s)의 함을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다^[10].

$$P_E = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n j \binom{n}{j} P_s^j (1 - P_s)^{n-j} \quad (17)$$

여기서 P_s 는 DS/CDMA BPSK 신호의 심볼 오류율로써 Nakagami 페이딩 채널을 통해 전송되는 BPSK 신호의 평균 비트 오류율은 식 (7)의 결과를 이용하여 구한다. 또한 Nakagami 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티를 적용한 경우에는 식 (9)의 결과물 식 (17)에 대입하여 Reed-Solomon 부호의 심볼 오류율을 구한다.

IV. 수치 해석 결과

본 논문에서는 Nakagami 페이딩 채널에서 DS/CDMA BPSK 시스템의 블록 오류율 성능을 분석한다. 성능 개선 기법으로써, MRC 다이버시티, Golay 부호, Reed-Solomon 부호, 다수결 선택 부호를 적용하였고, 이들 기법들을 상호 조합하여 CDMA 시스템의 성능을 비교, 분석하였다.

다양한 부호화 방식을 비교하기 위해서, (23, 12) Golay 부호, (7, 5) Reed-Solomon 부호, (5, 1) 다수결 선택 부호를 적용하여 오류 정정 능력을 동일

하게 3 비트로 정하였다. 그리고 다이버시티는 가지수가 2개인 MRC 다이버시티를 선택하였다. 또한 DS/CDMA 시스템의 PN chip rate은 127이고, 다중 경로의 수는 2로 고정하여 다중접속 사용자 수의 변화에 따른 DS/CDMA BPSK 시스템의 블록 오류율 성능을 분석하였다.

그림 2는 Nakagami 페이딩의 지수(m)가 3 일 때 다중접속 사용자 수(K)에 따른 MRC 다이버시티를 적용한 경우와 MRC 다이버시티를 적용하지 않은 경우의 오류율 성능을 나타낸다. 다중접속 사용자 수가 5명에서 20명으로 증가함에 따라서 성능 곡선 사이의 간격이 줄어들었다. 즉, 다중접속 사용자가 증가하면서 오류율 성능의 차이가 줄어들고 있음을 알 수 있었다. 이것은 CDMA 시스템의 성능이 다중접속 사용자 간섭에 의하여 지배되기 때문이다. 이 시스템이 음성 서비스를 제공하는 경우, MRC 다이버시티를 사용하지 않는 경우는 $E_b/N_0 = -12$ dB 이상에서 5명 이하의 사용자 수를 수용할 수 있지만, MRC 다이버시티를 사용한 경우에는 음성 통신을 위한 서비스 품질기준(오류 1×10^{-3} 이하)을 만족하는 음성 서비스는 $E_b/N_0 = -10$ dB 이상에서 20명까지 수용 가능하였다. 또한 DS/CDMA 시스템이 데이터 통신 서비스를 제공할 경우, 데이터 통신을 위한 서비스 품질기준(오류 1×10^{-5} 이하)을 만족하는 데이터 서비스는 $E_b/N_0 = -11$ dB 이상에서 동시에 5명까지 가능함을 알 수 있었다.

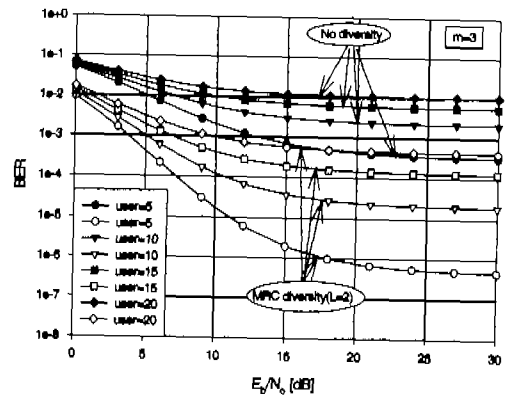


그림 2. MRC 다이버시티의 가지수와 다중 접속 사용자 수에 따른 DS/CDMA BPSK 시스템의 BER 성능 ($L=2, m=3$)

그림 3은 다중 경로수가 2개인 Nakagami 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티를 사용한 경우와 다이버시티를 사용하지 않은 경우에 DS/CDMA BPSK 시

스펙의 BER 성능을 비교하였다. Nakagami 페이딩 지수 m 과 다중접속 사용자 수 K 에 대한 오율 성능에서 $m=0.5$ 와 같은 페이딩이 심한 경우, 다이버시티에 의한 성능 개선의 정도는 적었고, 다중접속 사용자의 증가에 따른 오율 성능의 차이는 거의 없었다. 반면, $m=3$ 과 같이 페이딩이 심하지 않은 경우에는 다이버시티에 의한 성능 개선의 효과는 크며, 다중접속 사용자의 수에 민감하게 오율 성능이 변화하였다.

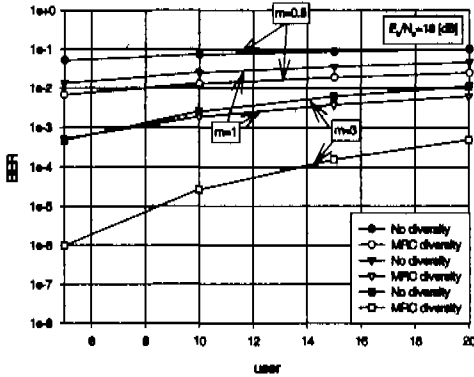


그림 3. MRC 다이버시티를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우, 다중 접속 사용자 수 K 와 페이딩 지수 m 에 따른 DS/CDMA BPSK 시스템의 BER 성능 ($L=2$)

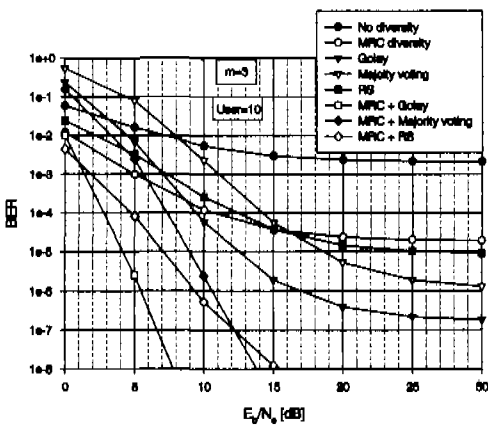


그림 4. MRC 다이버시티와 Golay 부호, Reed-Solomon 부호, 다수결 선택 부호를 결합한 DS/CDMA BPSK 시스템의 BER 성능 ($K=10, m=3$)

그림 4는 CDMA 다중접속 사용자 수가 10명이고 Nakagami 페이딩 지수 m 이 3인 경우, 여러 가지 기법 (MRC 다이버시티, Golay 부호화, Reed-Solomon 부호화, 다수결 선택 부호)에 따른 성능 개선 정도를 나타낸다. 각각의 성능 개선 기법을 단독으로 사용하였을 경우에는 Golay 부호가 다른 기

법보다는 좋은 성능을 나타내었다. 그리고 MRC 다이버시티와 Golay 부호, Reed-Solomon 부호, 다수결 선택 부호를 결합하여 사용한 경우도 역시 MRC 다이버시티와 Golay 부호를 결합하여 사용한 경우가 좋은 성능을 나타내었다. 예를 들어, MRC 다이버시티와 Golay 부호를 결합하여 사용한 경우에는 $E_b/N_0 = 4$ dB 이상부터 데이터 통신을 위한 서비스 품질기준(오율 1×10^{-5} 이하)을 만족할 수 있었으며, MRC 다이버시티와 Reed-Solomon 부호를 결합하여 사용한 경우에는 $E_b/N_0 = 7$ dB 이상부터 오율 1×10^{-5} 이하를 만족할 수 있었다.

그림 5는 다중접속 사용자 수에 따라서 데이터 통신을 위한 서비스 품질($BER=10^{-5}$)을 만족하기 위해 요구되는 E_b/N_0 의 값을 나타낸다. MRC 다이버시티만을 사용한 경우, 다중접속 사용자 수를 8명까지 수용하기 위하여 $E_b/N_0 = 17.5$ dB가 요구된다. 그리고 Golay 부호, 다수결 선택 부호, Reed-Solomon 부호를 단독으로 사용한 경우에는 요구되는 E_b/N_0 의 값을 증가시켜도 최대 14, 12, 10명까지 수용 가능하였다. 그러나 다이버시티와 Golay 부호, 다수결 선택 부호, Reed-Solomon 부호를 결합하여 사용한 경우에는 $E_b/N_0 = 10$ dB이하에서 3가지 결합 방식 모두 16명까지 다중접속 사용자 수를 수용할 수 있었다.

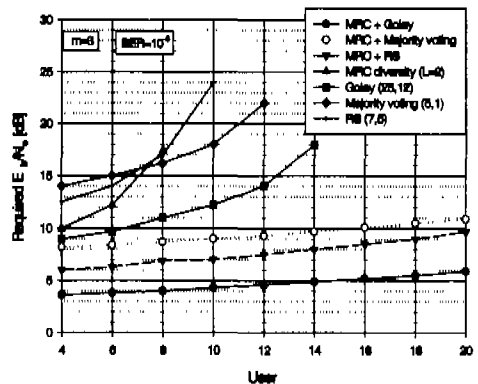


그림 5. MRC 다이버시티와 Golay 부호, Reed-Solomon 부호, 다수결 선택 부호를 결합한 경우 데이터 서비스 ($BER=10^{-5}$)를 달성하는데 요구되는 E_b/N_0 ($m=3$)

V. 결 론

본 논문에서는 다중경로 Nakagami 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티, Golay 부호, 다수결 선택,

Reed-Solomon 부호화를 결합한 DS/CDMA BPSK 시스템의 블록 오류 성능을 비교, 분석하였다. 그리고 데이터 통신을 위한 서비스 품질(BER = 10^{-5})을 만족하기 위해 다중접속 사용자 수에 따라 요구되는 E_b/N_0 값을 구하였다. 계산을 통하여 얻어진 결과로부터 부호화를 적용한 시스템이 MRC 다이버시티를 적용한 시스템보다 더 효과적인 성능 개선 기법임을 알 수 있었다. 특히, 비교된 기법 중에서 각각의 성능 개선 기법을 단독으로 DS/CDMA 시스템에 적용하였을 경우, Golay 부호가 다른 기법보다 좋은 성능을 나타내었다. 그리고 MRC 다이버시티와 각각의 부호화를 결합하여 사용하였을 경우에는 탁월한 성능 향상을 나타내었다. 그리고 Nakagami 페이딩 지수 m 과 다중접속 사용자 수 K 에 따른 오류 성능에서 $m=0.5$ 와 같은 페이딩이 심한 경우, MRC 다이버시티에 의한 성능 개선의 정도는 적었고, 다중접속 사용자의 증가에 따른 오류 성능의 차이는 거의 없었다. 반면, $m=3$ 과 같이 페이딩이 심하지 않은 경우에는 MRC 다이버시티에 의한 성능 개선의 효과는 크며, 다중접속 사용자 수에 민감하게 오류 성능이 변화하였다.

그러므로 이러한 성능 개선 기법을 결합하여 사용하는 것은 경제적인 측면을 고려해야 하므로 제공하려는 서비스의 종류 및 전송 품질에 합당하도록 적절히 결합하여 사용하는 것이 바람직하다.

참고 문헌

[1] A. Ogawa, et al., "DS/SS/GMSK with differential detection over multipath Rayleigh fading channels," *IEEE ISSSTA '96*, pp. 399-403, Sep. 1996.

[2] R. E. Eaves and A. H. Levesque, "Probability of block error for very slow Rayleigh fading in Gaussian noise," *IEEE Trans., on Commun.*, vol. COM-25, pp. 368-373, Mar. 1977.

[3] C. E. Sundberg, "Block error probability for noncoherent FSK with diversity for very slow Rayleigh fading in Gaussian noise," *IEEE Trans., on Commun.*, vol. COM-29, pp. 57-60, Jan. 1981.

[4] B. Maranda and C. Leung, "Block error performance of noncoherent FSK modulation Rayleigh fading channels," *IEEE Trans., on*

Commun., vol. COM-32, pp. 206-209, Feb. 1984.

[5] F. Adachi and K. Ohno, "Block error probability for noncoherent FSK with diversity reception in mobile radio," *Electron. Letter.*, vol. 24, pp. 1523-1525, Nov. 1988.

[6] Y. D. Yao, T. Le-NGOC and U. H. Sheik, "Block error probabilities in a Nakagami fading channel," *IEEE Trans., on Commun.*, vol. COM-29, pp. 130-133, 1993.

[7] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, pp. 673-680, July 1977.

[8] U. Charash, "Reception through Nakagami fading multipath channel with random delays," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, pp. 657-670, Apr. 1979.

[9] K. B. Letaief and M. Hamdi, "Efficient simulation of CDMA systems in wireless mobile communications," *IEEE GLOBECOM '95*, pp. 1799-1803, Nov. 1995.

[10] J. G. Proakis, *Digital Communications* : New York, McGraw-Hill, 1983.

강희조(Heau-Jo Kang)

정회원



1986년 2월 : 원광대학교
전자공학과(공학사)

1988년 2월 : 숭실대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)

1994년 2월 : 한국항공대학교
대학원 항공전자공학과
(공학박사)

1994년 7월~1995년 12월 : 한국전자통신연구소 위성
망연구소 초빙연구원

1996년 8월~1997년 8월 : 오사카대학교 공학부 통
신공학과 객원교수

1998년 3월~현재 : 한국전자통신연구소 위성망연구
소 초빙연구원

1996년 5월~현재 : 한국전자파학회 호남지부 총무

1990년 3월~현재 : 동신대학교 전기전자공학과 부
교수

<주관심 분야> 통신시스템, 대역확산통신, 이동통신,
위성통신, EMI/EMC

노재성(Jae-Sung Roh)

정회원



1990년 2월 : 한국항공대학교
항공통신정보공학과 졸업
(공학사)
1992년 2월 : 한국항공대학교
대학원 항공통신정보공학
과 졸업 (공학석사)

1990년 1월~1997년 5월 : (주) 한화정보통신 무선
가입자망 연구그룹

1997년 8월~현재 : 한국항공대학교 대학원 항공통신
정보공학과 박사과정 재학중

1999년 3월~현재 : 강원도립대학 정보통신과 전임강
사

<주관심 분야> 무선채널 모델링, 이동전파전파, 이동
통신 시스템 성능 분석, EMI/EMC.

조성준(Sung-Joon Cho)

종신회원



1969년 2월 : 한국항공대학교
졸업 (공학사)
1975년 2월 : 한양대학교 대학원
졸업 (공학석사)
1981년 2월 : 오사카대학교 졸업
(공학박사)

1972년 8월~현재 : 한국항공대학교 전자·정보통
신·컴퓨터공학부 교수

<주관심 분야> 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경
전자공학