

나카가미 페이딩 환경하에서 다이버시티기법과 에러 정정 부호화 기법을 채용한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 성능 분석

Performance Analysis of MFSK-MDPSK/DS-CDMA System Employing Diversity Techniques and Error Coding Techniques in Nakagami Fading Environment

양원일* · 강희조**

Won-il Yang · Heau-Jo Kang

요 약

본 논문에서는 DS-CDMA 시스템의 성능 열화의 주요 원인인 다중 경로 페이딩이 존재하는 이동통신 채널 환경에서 성능 개선 기법으로 MRC 다이버시티 기법과 에러 정정 부호화 기법을 채용한 경우의 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 성능 개선을 수치해석에 의해 정량적으로 분석하였다. 고려한 변조방식은 비동기식 MFSK와 MFSK에 기반한 MDPSK를 이용한 결합주파수 위상변조 방식이다. 결과에 의하면, MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템과 기존의 MFSK/DS-CDMA와 MDPSK/DS-CDMA 시스템을 비교하면 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 성능이 우수함을 알았다. 또한, 나카가미 페이딩 환경하에서 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템은 다이버시티 가지수의 증가와 부호화의 이득에 의해 에러 성능이 향상되었다.

Abstract

In this thesis, mobile communication channel with multi-path fading which is major factor of performance degradation of DS-CDMA system has been considered. An MRC diversity and error correcting coding technique have been used to improve performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system. The MFSK-MDPSK/DS-CDMA system performance has been obtained quantitatively by the numerical analysis. The modulations under consideration are noncoherent M-ary frequency shift keying(MFSK) and an MFSK based joint frequency phase modulation utilizing differential M-ary shift keying(MDPSK). With the result, compared to the conventional MFSK/DS-CDMA and MDPSK/DS-CDMA systems, the MFSK-MDPSK/DS-CDMA system obtain a better performance. Also, the error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system in Nakagami fading environments is improved by increasing the number of diversity branch and coding gain.

「본 연구는 정보통신부 대학 S/W 연구센터 지원사업 연구비에 의하여 연구되었음」

* 조선대학교 전자정보통신공학부(Dept. of Electronic & Information Communication Eng., Chosun Univ.)

** 동신대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.)

· 논문 번호 : 991220-119

· 수정완료일자 : 2000년 3월 28일

I. 서 론

현대사회가 고도 정보화 사회로 진전되면서 다양한 시스템의 개발과 환경의 변화에 따라 이를 개선 시키고자 하게 되었다. 본 논문에서는 CDMA 방식 중에서도 DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access)방식을 대역폭 효율면에서 개선하기로 한다. DS-CDMA시스템에서 MDPSK 또는 MFSK변조를 채용하는 방식을 MDPSK/DS-CDMA 또는 MFSK/DS-CDMA이라 부른다. DPSK/DS-CDMA는 동기 또는 차분검파와 함께 폭 넓게 고려되어 왔다. MFSK/DS-CDMA시스템에서도 비동기 검파를 이용하여 왔었다. Geraniotis^[1]가 동기과 비동기의 성능을 랜덤계열에 대하여 해석하였다. 이것은 MFSK/DS-CDMA가 MPSK/DS-CDMA보다 여러 성능면에서 더 낮은 확률을 보여주었다.

DS-CDMA시스템에서는 전력 효율과 대역폭 효율에 깊은 관련이 있으며^[2], 이에 대하여 MFSK/DS-CDMA는 PSK/DS-CDMA보다 높은 대역폭 효율을 갖는 것으로 알려져 있다. 이를 위하여 MFSK와 MPSK변조 기법을 합성한 새로운 시스템을 알아본다. 이를 MFSK-MPSK/DS-CDMA이라 한다. 참고문헌 [3]에서 이의 특별한 경우를 고려하였는데, 이는 MFSK-BPSK/DS-CDMA시스템의 경우이다. 또한 Wang과 Yongaçoğlu^[4]은 M-ary로 확장한 MFSK-MPSK/DS-CDMA 시스템을 일반적인 경우로써 AWGN 채널 환경에서 해석하였으며, 결과

적으로 해석하고자 한 시스템은 BPSK/DS-CDMA와 MFSK/DS-CDMA 시스템보다 더 좋은 성능을 성취하였음을 밝힌 바 있다. 본 논문에서는 이를 더 확장하여, 다중접속 환경과 나카가미 페이딩에서 합성변조기법의 성능을 분석하고 이러한 시스템의 성능개선기법으로 다이버시티 기법과 여러 정정 부호화기법을 사용하여 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 성능을 분석하였다.

본 논문에서는 II장에서 일반적인 시스템 모델을 보이고, III장에서는 MFSK-MDPSK/DS-CDMA시스템과 IV장과 V장에서는 나카가미 페이딩 환경에서 성능개선 기법으로는 공간다이버시티 기법과 여러 정정 부호화 기법에 대하여 나타내었다. VI장에서 계산 결과와 및 검토를, VII장에서는 결론을 나타낸다.

II. 시스템 모델

여기에서는 비동기 CDMA시스템을 고려하기로 한다. 시스템은 균등하게 이용되도록 K 명의 동일한 사용자가 제공된다. PN 부호열은 불규칙 계열을 사용되는 것으로 가정한다. 각 신호는 부가적 가우시안 잡음(AWGN), 다중접속 간섭(MAI)과 페이딩을 받게 된다. 수신기는 모든 입력 신호가 균등하거나 하나의 신호로 보이게 되며 오직 요구된 신호만이 기지국에 수신된다고 한다. 전자의 경우 스타망에 적합하며, 후자의 경우는 분산망에 적합하다. 스타망의 경우, 기지국은 P 개의 병렬형 수신기를 채용

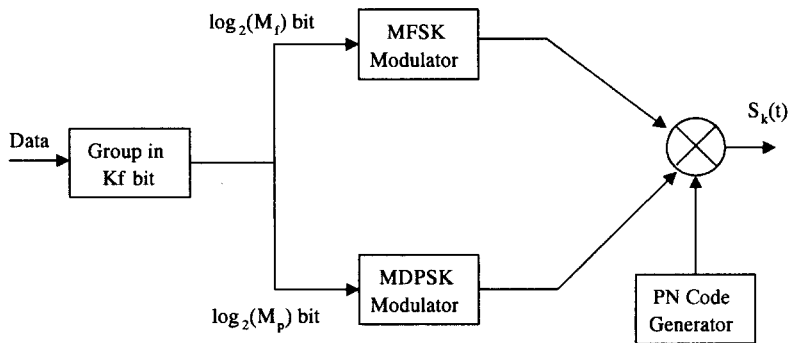


그림 1. 송신기의 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram to transmitter.

하게 된다. 이의 경우로써 여기에서는 하나의 수신기 성능만을 보기로 한다. 여기에서는 변조기와 채널 모델에 대하여 일반적인 경우만을 보기로 한다.

두 개의 합성변조시스템에 대하여 일반적인 변조기를 그림 1에 보여주고 있다^[4]. MFSK에서의 주파수 tone의 수는 M_f 개가 이용되며, MDPSK에서는 차동위상에 대하여 M_p 개가 이용된다. 입력 데이터는 같은 확률을 갖는 +1 또는 -1의 이진 비트열이다. 이 비트 열들은 $\log_2(M_f M_p)$ 비트로써 $\log_2 M_f$ 비트는 M_f 개의 주파수 톤 중 하나를 선택하며, $\log_2 M_p$ 비트는 각 주파수 톤을 선택한 것 중에서 M_p 개의 차동위상중 하나를 선택한다. M_f 와 M_p 는 2의 정수승으로 가정을 한다. MFSK변조기는 주파수 톤중에서 $\log_2 M_f$ 의 입력비트를 선택한다. MDPSK 변조기의 주파수 톤은 $\log_2 M_p$ 개의 입력비트에 따라서 차동 위상변조를 한다.

MDPSK변조기의 출력단에서는 PN부호열과 곱을 하게 된다. K 명의 사용자에 대하여 전송될 신호는 $S_k(t)$ 로 한다.

DPSK/DS-CDMA를 위한 차등검파기는 그림 2에 보여진다^[1]. 두 개의 가지가 있는 것을 알 수 있는데 그 중 하나의 가지는 T_s 초만큼의 지연시간을

갖는다. 각 가지에서는 두 개의 부 가지가 있고 I 와 Q 채널이 있다. 네 개의 출력들은 U_Q, U_I, U_{dI}, U_{dQ} 로 표시된다. 결과들은 이러한 출력 샘플들을 근거로하여 만들어진다. 자세한 내용은 [12]와 [13]에 주어져 있다. 이 단일 톤 DPSK 검파기 사용으로 MFSK-DPSK/DS-CDMA기법을 위한 수신기를 만들 수 있다. 후에 나오는 것처럼 $M_p=2, 4$ 를 위한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 성능은 AWGN 채널에서는 거의 같다.

MFSK-MDPSK/DS-CDMA 기법의 수신기는 그림 3에서 보여준다. 여기서 정합필터(MF) M_f 는 주파수 톤 M_f 와 관계가 있다. 각 정합필터는 U_I 와 U_Q 가 있는 그림 2에서 하나의 M_f 톤과 관계가 있는 주파수를 가진 위쪽 가지에 구성되어 있다. 각 정합필터로부터 두 가지 출력은 각각의 I-채널과 Q-채널로부터 샘플값이고, U_{Im}, U_{Qm} 으로 표시된다($m=1, 2, \dots, M_f$). 알고리즘이 수행되는 심볼 결과 과정은 다음과 같다^[4].

(1) $2M_f$ 입력(정합필터 M_f 로 부터)은 $2M_f$ 임시버퍼에 저장되어 있고, 남아있는 톤에 의해 계속된다. 이러한 데이터들은 단 하나의 심볼간격을 유지한다.

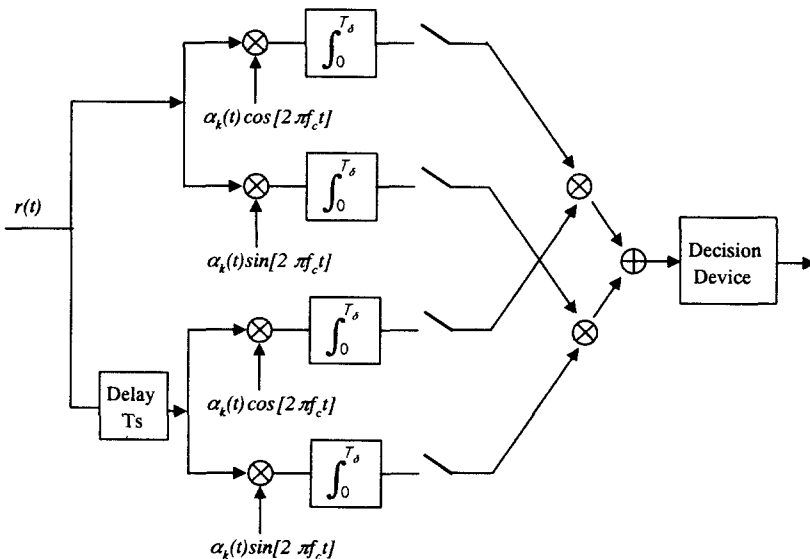


그림 2. DPSK/DS-CDMA 시스템에서 DPSK 검파기의 구조 ($a_k(t)$ 는 PN시퀀스의 파형)

Fig. 2. Structure of the DPSK detector in a DPSK/DS-CDMA system ($a_k(t)$ is the waveform of a PN sequence).

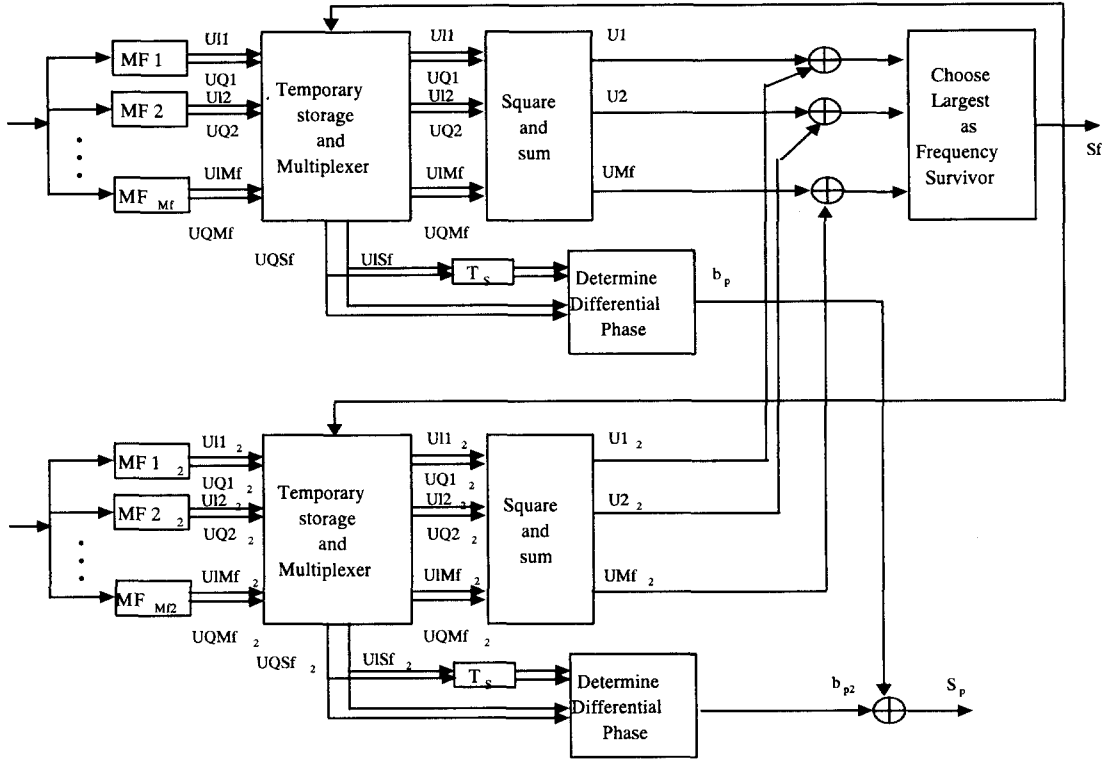


그림 3. MFSK-MDPSK/DS-CDMA 다이버시티 수신기의 블록 다이어그램
 Fig. 3. Block diagram of the MFSK-MDPSK/DS-CDMA diversity receiver.

2) Squared Sum 구조는 각 I와 Q입력형식으로 되어 있다. $\therefore U_m^2 = U_{Im}^2 + U_{Qm}^2$, ($m=1, 2, \dots, M_f$). 그러므로 M_f 출력은 M_f 정합필터와 관계가 있다.

3) M_f 데이터 U_m^2 ($M=1, 2, \dots, M_f$)를 비교하여 가장 큰 것을 택하여 S_f 에 저장한다.

4) 저장된 S_f 는 임시버퍼에 있는 U_{ISf} , U_{QSf} 데이터를 선택하여 사용된다. 데이터로 인해 지연된 하나의 심볼의 사용으로 위상차는 그림 3에서 처럼 결정된다. 결과는 S_p 로 표시된다.

5) MFSK S_f 와 차등 검파기 출력결과 S_f 는 모두 심볼 결과 형식이다.

위의 알고리즘에서 모든 구조는 기저대역과 DSP 회로에 의해 만들 수 있다. BER성능과 이 시스템의 효율적인 대역폭은 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 방식과 유사하게 분석된다. 비트 에러는 R_b 이고 비트 에너지는 E_b 로 한다.

심볼 에러율은

$$R_s = \frac{R_b}{\log_2(M_f M_p)} \quad (1)$$

이다. 또한 심볼 에너지는

$$E_s = \log_2(M_f M_p) E_b \quad (2)$$

이다. 각 심볼은 PN부호열의 전체 주기를 갖는 것으로 가정한다. PN칩율은 $R_c = NR_s$ 으로 한다. N 은 PN열의 길이이며, 칩에너지는 $E_c = E_s N$ 이 된다. 비트 에너지대 잡음 전력 밀도 비는 $\gamma_b = E_b/N_0$, 심볼 에너지대 잡음전력 밀도비는 $\gamma_s = E_s/N_0$ 이다. 만약 Raised Cosine 필터기의 롤-오프 계수 α 를 이용한다면, 전체 신호 대역폭 W 는

$$\begin{aligned} W &= (1 + \alpha) M_f R_c = (1 + \alpha) M_f N R_s \\ &= \frac{(1 + \alpha) M_f N R_b}{\log_2(M_f M_p)} \quad (3) \end{aligned}$$

가 된다. 여기에서는 롤-오프 계수를 $\alpha = 0$ 으로 갖는다고 가정한다.

III. MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템

MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템은 부호화 하지 않은 시스템을 AWGN 채널에서 먼저 고려한다. 신호는 열잡음과 다중접속 간섭에 의하여 열화되며, 다중접속 간섭은 등가적인 가우스 잡음으로 접근된다고 한다. 불규칙한 신호들에 대한 동기 DPSK/DS-CDMA 시스템의 효율적인 비트 에너지 대 잡음 스펙트럼 밀도비는

$$\gamma_s' = \left[\gamma_b^{-1} + \left(\frac{3N}{2(K-1)} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (4)$$

N : PN 부호열의 길이

K : 사용자수

와 같고, Pursley^[7]가 유도하였다. 이의 가우스 근사치는 작은 K 에 대하여 거의 최적치가 된다. 개선된 가우스 근사치를 참고문헌 [8]에서 제안하였다. 큰 K 에 대해서도 위의 식은 근사치로서 실질적인 해석을 하는데 합당하다 하겠다. CDMA 시스템에서 다중접속 간섭의 제한을 명확하게 한다 하겠다. 다중접속 간섭이 에러영역에서 CDMA 시스템에 존재하게 된다.

MDPSK/DS-CDMA 시스템에 대하여, 식 (3)에서 $M_f = 1$ 그리고 $M_p = 2$ 로 갖는다고 하고, 여기에서 대역폭은 $W = NR_b$ 이 된다. 식 (4)에서 N 을 W/R_b 로 대체한다면 시스템 용량(bit/sec/Hz)은 다음과 같이 정의된다.

$$\eta = \frac{KR_b}{W} \simeq \frac{3}{2} \frac{\gamma_b - \gamma_s'}{\gamma_b \gamma_s'} \quad (5)$$

만약 $\gamma_b \rightarrow \infty$ 이면, 비대칭적인 용량을 갖게 되는데 이는

$$\eta_{\max} = \frac{3}{2\gamma_s'} \quad (6)$$

이며, 그 때 비대칭적인 용량을 역으로 한다면 비례적인 γ_b' 가 된다.

MFSK/DS-CDMA 시스템의 효율적인 비트 에너

지대 잡음 스펙트럼 밀도 비는 참고문헌 [1]에서 주어지며

$$\gamma_b' = \left[\gamma_b^{-1} + \left(\frac{3M_f N}{2(K-1)\log_2 M_f} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (7)$$

가 된다. 식 (3)에서 $M_p = 1$ 을 가지면, $W/R = M_f N / \log_2(M_f)$ 가 된다. 위의 식에서 이를 대체하게 되면 식 (5)에서 주어진 것과 같은 대역폭 효율에 대한 같은 표현식을 얻게 된다. 식 (4)와 (7)로부터 γ_b' 는 다중접속 간섭과 γ_b 를 갖도록 한다. MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에 관하여 γ_b' 에 대하여 같은 식으로써 존재하게 된다. 대역폭 효율에 대한 위의 결과를 또한 적용하게 된다. 이의 목적하고자 하는 작은 γ_b' 에서 주어진 비트 에러율 P_b 를 얻을 수 있다. MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 수신기에서, 두 개의 복조단을 필요로 하고, 첫번째 검파(MFSK)단에서의 에러 확률을 P_f , 두번째 검파(MDPSK)단에서의 에러확률인 P_p 를 갖게 된다. 그때 심볼에러의 전체 확률을^[4]

$$\begin{aligned} P_s &= 1 - (1 - P_f)(1 - P_p) \\ &= P_f + P_p - P_f P_p \simeq P_f + P_p \end{aligned} \quad (8)$$

을 얻게 된다. P_f 는 참고문헌 [7]에서 정의한다.

$$\begin{aligned} P_f &= \sum_{n=1}^{M_f-1} (-1)^{n+1} \binom{M_f-1}{n} \\ &\cdot \frac{1}{n+1} e^{-\gamma_b' n / (n+1)} \end{aligned} \quad (9)$$

여기에서 $\gamma_s' = E_s/N_0'$ 로써 식 (2)에서 주어진 다. P_p 는 참고문헌 [9]에서 정의한다. ($\gamma_s' \gg 1$)

$$P_p = Q\left(\sqrt{2\gamma_s'} \sin \frac{\pi}{2M_p}\right) \quad (10)$$

각 심볼이 $\log(M_f M_p)$ 로 된다고 하다면, 비트 에러 확률은

$$P_b \simeq \frac{2}{2} \frac{[\log_2(M_f M_p) - 1]}{\log_2(M_f M_p) - 1} P_s \quad (11)$$

이 된다.

IV. 페이딩 환경하에서의 MRC 다이버시티 기법을 채용한 MFSK-MDPSK/DS CDMA 시스템

본 논문에서는 페이딩에 관하여 페이딩 지수 m 값에 의하여 레일리 페이딩($m=1$)과 라이시안 페이딩($m \geq 2$)을 포함하는 나카가미 페이딩을 이용하며, 이의 개선을 위하여 다이버시티 효과가 가장 우수한 최대비 합성 다이버시티를 채용하여 페이딩에 의한 성능 저하를 보상한다. 다이버시티의 가지의 수가 L 개인 MRC다이버시티 출력단의 SNR, γ_D 는 다음과 같다^[10].

$$\gamma_D = \sum_{i=1}^L \gamma_i \quad (12)$$

채널 상관 수신기에는 서로 다른 L 개의 정보가 수신하게 되며, γ_i 는 각 다이버시티 가지의 SNR이 된다. 각 다이버시티 가지에서의 페이딩과 잡음의 영향이 독립적이라면, 나카가미 페이딩 환경에서 수신 신호 γ 의 순시 SNR에 대한 확률밀도 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p_L(\gamma_D) = \frac{m^m \gamma_D^{m-1}}{\Gamma(m)L R^m} e^{-\frac{m\gamma_D}{R}} \quad (13)$$

$\Gamma(\cdot)$: 감마함수, γ_D : 순시 SNR,
 R : 평균 SNR, $m \geq 1/2$: 페이딩 지수,
 L : 다이버시티 가지의 수.

나카가미 페이딩 채널에서 MRC 다이버시티 수신시 MFSK 신호의 심벌 오류식은 다음과 같이 구한다.

$$P_{eFL} = \int_0^\infty P_f \cdot p_L(\gamma_D) d\gamma_D \\ = \sum_{j=1}^{M-1} \binom{M-1}{j} \frac{(-1)^{j+1}}{j+1} \\ \cdot \left[1 + \frac{1}{j+1} \frac{\gamma_b' j}{m} \right]^{-mL} \quad (14)$$

또한 위의 관계에 의하여 MDPSK신호의 심벌 오류식도 다음과 같이 구한다.

$$P_{ePL} = \int_0^\infty P_p \cdot p_L(\gamma_D) d\gamma_D \\ = 1 - \frac{2 \sin \frac{\pi}{2M_p}}{\sqrt{\pi}} \frac{\Gamma\left(mL + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(mL)} \left(\frac{m}{\gamma_s'}\right)^{\frac{1}{2}} \\ \cdot {}_2F_1\left[\frac{1}{2}, 2 - mL; \frac{3}{2}; \frac{\gamma_s' \sin^2 \frac{\pi}{2M_p}}{m + \gamma_s' \sin^2 \frac{\pi}{2M_p}}\right] \quad (15)$$

V. 페이딩 환경하에서 에러 정정 부호화 기법을 채용한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템

5-1 BCH 부호화 기법을 채용

BCH 부호는 순환부호 중 가장 중요한 부호로서 이 부호는 에러 정정 부호로서 가장 중요한 부호 중의 하나이다. BCH 부호는 넓은 범위의 부호장과 에러 정정 능력을 갖고 있으며 부호장이 수천 이하의 경우 같은 정도의 부호장과 에러 정정 능력을 갖는 부호중 용장도가 제일 적은 부호이다. 일반적으로 부호화 기법을 도입하면 오류의 성능은 개선되나 대역폭이 넓어지므로 주어진 대역폭내에서 전송가능한 전송속도는 떨어지게 되는데 본 논문에서는 부호화를 행하더라도 정보전송을 하기 충분한 전송 대역폭이 확보될 수 있다는 가정하에 해석한다. BCH 부호화를 할 경우의 수신측에서의 비트 오류식은 다음과 같이 구한다^{[11],[12]}.

$$P_{BCH} = \frac{M}{2(M-1)} \frac{1}{n} \sum_{i=r+1}^n i \binom{n}{i} \\ \cdot P_e^i (1 - P_e)^{n-i} \quad (16)$$

단, P_e : 변조신호의 오류($E_b/N_0 = r_1 \cdot E_b/N_0$),
 $r_1 (=k/n)$: 부호율,
 $t = [(d-1)/2]$: 채널의 비트 에러 수 즉, 에러 정정 능력,
 d : 부호의 최소거리, n : 블록의 최소거리

5-2 RS(Reed-Solomon) 부호화 기법을 채용

고속 전송에서 발생하는 짧은 잡음은 다수의 비트에 영향을 미치어 집중적 형태의 에러를 발생시키

고 있으며, 자연적으로 발생하는 번개나 회로망에서 열에 의하여 발생하는 잡음은 여러 개의 전송 비트에 발생하게 되는데 이러한 현상을 연접 에러(burst error)라고 한다. 그래서 통신 시스템에서는 불규칙(random) 단일 에러 정정 부호를 사용하여 연접 에러를 정정하기 위한 특별한 에러 정정 부호가 필요하다. 이러한 이유에서 데이터 통신 서비스를 대상으로 연접 에러에 강한 Reed-Solomon 부호기의 복호시의 비트 오류율은 P_{RS} 는 다음과 같이 구해진다^[13].

$$P_{RS} = \sum_{i=r+1}^n \frac{i}{n} \binom{n}{i} P_Q^i (1 - P_Q)^{n-i} \quad (17)$$

단, $P_Q = 1 - (1 - P_e)^m$: 심볼 에러 확률

5-3 컨벌루션 부호화 기법을 채용

(n, k) 컨벌루션 부호기와 연접 판정 Viterbi 복호기는 우수한 에러 정정 능력을 가지고 있기 때문에 위성 통신과 디지털 셀룰라 시스템 등에서 널리 사용되고 있다. 부호율이 1/2, 부호장이 7인 컨벌루션 부호의 비트 오류율은 다음과 같다^[14].

$$M=2, \\ P_{ec} \leq \frac{1}{2} (36D^{10} + 211D^{12} + 1404D^{14} + 11,633D^{16} + \dots). \quad (18)$$

$$M=4, \\ P_{ec} \leq \frac{1}{2} (7D^7 + 39D^8 + 104D^9 + 352D^{10} + \dots). \quad (19)$$

$$M=8, \\ P_{ec} \leq \frac{1}{2} (D^7 + 4D^9 + 49D^{10} + 92D^{11} + \dots). \quad (20)$$

여기서 D 는 Bhattachayya의 상한식(upper bound)으로서 다음과 같이 나타내진다^{[14],[15]}.

$$D = 2\sqrt{\frac{P_e(1-P_e)}{M-1}} + \left(\frac{M-2}{M-1}\right) \cdot P_e \quad (21)$$

단, P_e : 변조신호의 오류 ($P_{eFL} + P_{ePL}$).

VI. 계산 결과 및 검토

앞에서 유도한 비트 오류율을 이용하여 수치 계산한 오류 성능을 비트 에너지 대 잡음 전력 밀도비(E_b/N_0), 페이딩 심도 지수(m) 그리고 다이버시티 가지 수(L), 사용자 수(K), 심볼 수(M_p, M_f), PN 부호열의 길이(N), 부호화 이득 등을 함수로 하여 그림 4~10에 나타내었다.

그림 4에서는 기존의 변조 기법 DS-CDMA과 합성변조기법 DS-CDMA 시스템에 대하여 M_p, M_f 를 각각 4-ary로 한 경우, AWGN 환경에서의 오류 성능과 나카가미 페이딩 지수 값에 따른 오류 성능을 해석하였다. 레일리 페이딩에서 합성변조기법이 기존의 변조기법보다 성능이 좋음을 알 수 있으며, 페이딩 지수가 5일 때는 합성변조 기법에서는 E_b/N_0 가 약 15.5 dB에서, 기존의 변조기법 $M_f=8$ 인 경우 E_b/N_0 가 약 16.5 dB에서, $M_p=8$ 인 경우 E_b/N_0 가 19 dB에서 음성통신 기준에 만족함을 알았다. 또한 AWGN만이 존재하는 채널 환경에서도 페이딩 환경에서와 마찬가지로 합성변조기법이 기존의 변조기법보다 성능이 좋음을 알 수 있다.

그림 5에서는 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에 대하여 $M_f, M_p=4$ 로 고정을 시킨 경우, 나카가미 페이딩에 대하여 페이딩 심도 지수에 따른 오류 성능을 나타내고 있다. 나카가미 페이딩 심도 지수의 값이 커질수록 좋은 성능을 보여주고 있다. 또한, 페이딩 심도 지수에 따른 E_b/N_0 값을 살펴보면, $m=3$ 일 때 10^{-3} 을 약 28 dB에서 $m=5$ 일 때 약 16 dB/26 dB, $m=10$ 일 때 약 14 dB/18 dB에서 10^{-3} 및 10^{-5} 을 만족함을 알 수 있다.

그림 6에서는 나카가미 페이딩 환경하에서 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에 대하여 페이딩 심도 지수가 3인 경우, 성능을 향상시키기 위해 공간 다이버시티 수신기법 중 성능이 가장 좋은 최대비 합성법을 이용하여, 가지 수에 따른 오류 성능을 보여주고 있다. 가지 수가 늘어날수록 더 좋은 성능을 보이고 있으며, 가지가 2개인 경우에 다른 가지 수에 비해 큰 성능 향상 폭을 보이고 있다. 다이버시티 가지수가 2일 때 이동통신에 적용할 수 있으며 10^{-3} 일 때 전력값은 다이버시티 가지수에 따라 다르지만

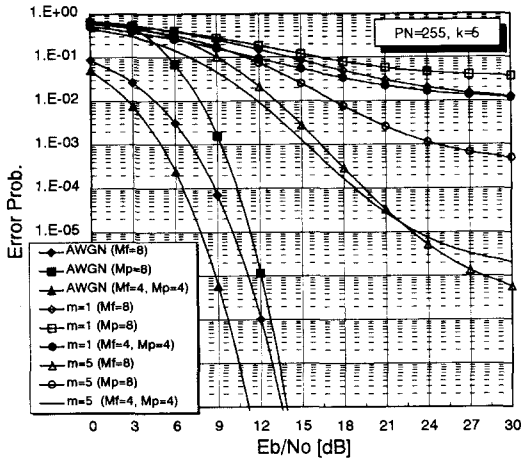


그림 4. AWGN과 나카가미 페이딩 환경하에서 MFSK, MDPSK 그리고 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 오율 특성

Fig. 4. Error performance of MFSK, MDPSK and MFSK-MDPSK/DS-CDMA system in AWGN and Nakagami fading Environment.

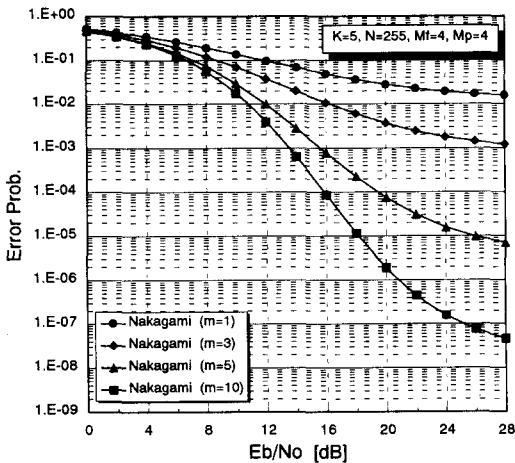


그림 5. 나카가미 페이딩 환경하에서 $M_f=4$, $M_p=4$ 그리고 m 값에 따른 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 오율 특성

Fig. 5. Error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with a variation of m for $M_f=4$, $M_p=4$ in Nakagami fading Environment.

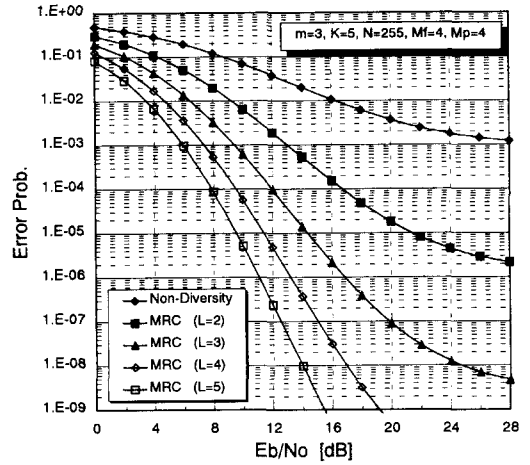


그림 6. 나카가미 페이딩 환경하에서 $M_f=4$, $M_p=4$ 그리고 $m=3$ 인 경우, 다이버시티 기법을 채용하여 가지 수에 따른 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 오율 특성

Fig. 6. Error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with a variation number of diversity branch adopting MRC diversity for $M_f=4$, $M_p=4$ and $m=3$ in Nakagami fading Environment.

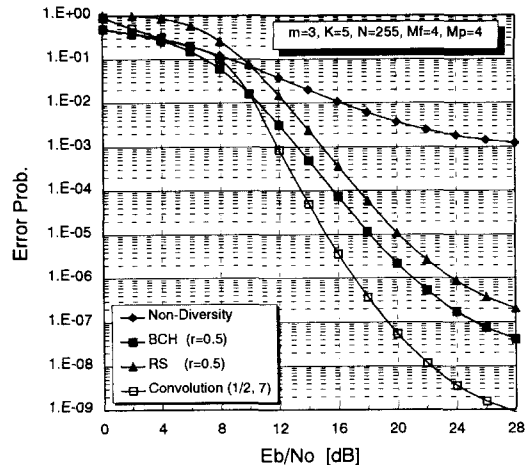


그림 7. 나카가미 페이딩 환경하에서 여러 정정 부호화 기법에 따른 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 오율 특성

Fig. 7. Error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with error correcting code techniques in Nakagami fading Environment.

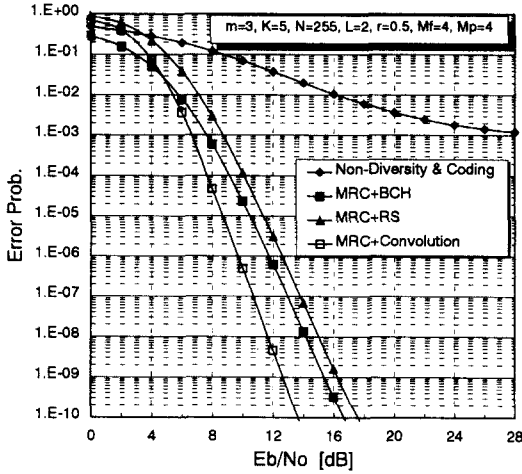


그림 8. 나카가미 페이딩 환경하에서 에러 정정 부호화 기법과 MRC 다이버시티 기법에 따르는 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 오율 특성

Fig. 8. Error performance of MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with error correcting code and MRC diversity techniques in Nakagami fading Environment

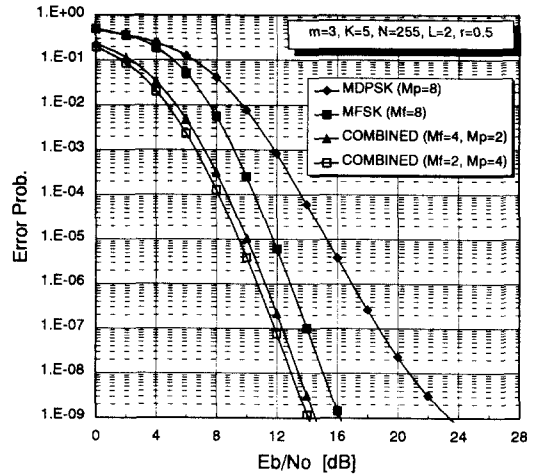


그림 10. 나카가미 페이딩 환경하에서 $m=3$ 인 경우, BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티 기법을 채용하였을 경우, MFSK, MDPSK, 그리고 MFSK-MDPSK/DS-CDMA의 오율 특성

Fig. 10. Error performance of MFSK, MDPSK, and MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with BCH code and MRC diversity techniques for $m=3$ in Nakagami fading Environment.

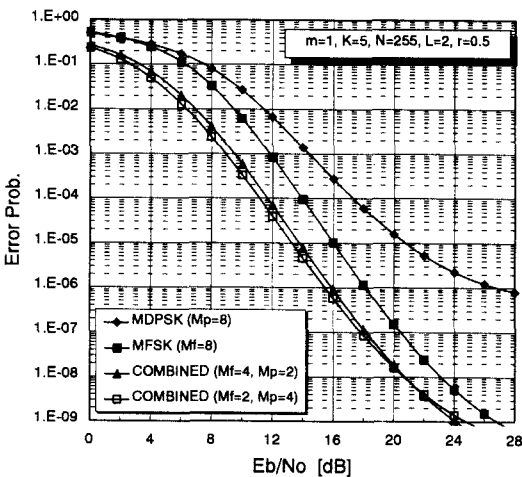


그림 9. 나카가미 페이딩 환경하에서 $m=1$ 인 경우, BCH 부호화 기법과 MRC 다이버시티기법을 채용하였을 경우, MFSK, MDPSK, 그리고 MFSK-MDPSK/DS-CDMA의 오율 특성

Fig. 9. Error performance of MFSK, MDPSK, and MFSK-MDPSK/DS-CDMA system with BCH code and MRC diversity techniques for $m=1$ in Nakagami fading Environment.

대략 6 ~ 13 dB 값을 필요로 한다. 또한 다이버시티의 가지수를 적절히 선택하여 스펙트럼 효율을 증가함을 알 수 있다.

그림 7에서는 나카가미 페이딩 환경하에서 MFSK-MDPSK/DS-CDMA시스템에 대하여 에러 정정 부호화 기법을 채용하였을 경우의 시스템의 오율 성능을 나타내고 있다. 채용한 에러 정정 부호의 부호율은 0.5, 페이딩 심도 지수는 3일 때 $M_f, M_p = 4$ 일 경우, 컨볼루션 기법이 RS, BCH 기법보다 10^{-5} 을 기준으로 할 때 약 6 dB의 성능폭을 보이고 있다.

그림 8은 나카가미 페이딩 환경하에서 MFSK-MDPSK/DS-CDMA시스템에 에러 정정 부호기법과 MRC다이버시티 기법을 함께 채용하였을 때 컨볼루션 부호화를 채용할 경우 RS, BCH기법에 비해 오율 성능이 좋았고, $\gamma = 1/2, k=7$ 이고, $M_f, M_p = 4$ 일 경우, 10^{-3} 을 기준으로 할 때 성능 개선 기법을 채용하지 않은 MFSK-MDPSK/DS-CDMA시스템의 오율 성능에 비해 약 21 dB가 개선됨을 알 수 있다.

그림 9, 10은 나카가미 페이딩 환경하에서 MFSK, MDPSK 그리고 MFSK-MDPSK/DS-CDMA시스템에 $M_f, M_p=8$ 로하고, 페이딩지수값 $m=1$ 과 $m=3$ 인경우 BCH 부호기법과 MRC 다이버시티 기법을 함께 채용하였을 때 합성한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA시스템의 오율 성능이 좋았고, 특히 MFSK-MDPSK/DS-CDMA시스템에 $M_f=2, M_p=4$ 로 하였을 때 $M_f=4, M_p=2$ 로 하였을 때 보다 약 0.5 dB 이 개선됨을 알 수 있다.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 다중경로 페이딩이 존재하는 이동 통신 채널 환경에서 성능개선 기법을 도입한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템의 성능 개선 정도를 이론 및 수치해석을 통하여 정량적으로 분석하였다. 성능개선 기법으로는 MRC 다이버시티 기법과 에러 정정 부호화 기법을 채용하였다.

첫째로 고려되어진 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템은 MFSK/DS-CDMA 시스템 및 MDPSK/DS-CDMA 시스템보다 전반적인 오율 성능이 우수함을 알 수 있었다. 또한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템에서 $M_f=2, M_p=4$ 로 하였을 때 $M_f=4, M_p=2$ 로 하였을 때 보다 약 0.5 dB이 개선됨을 알 수 있다. 둘째로 MFSK-MDPSK/DS-CDMA시스템에 다이버시티 기법을 채용하여 다이버시티 가지 수에 따른 오율의 성능을 알아보았으며, 이 경우에 있어서는 가지 수가 증가할수록 더 좋은 성능을 보였고, 가지가 2개인 경우가 가장 큰 폭으로 성능 향상을 보여 주었다. 셋째로는 에러 정정 부호화 기법을 적용하였다. 이 경우 동일한 부호율($r=0.5$)에서 컨벌루션 부호가 고려되어진 채널 환경에서 가장 큰 폭의 오율 성능 개선을 보였다. 마지막으로는 다이버시티 기법과 에러 정정 부호화 기법을 함께 채용하였을 때의 오율의 개선 정도를 보았으며 이 경우 컨벌루션 부호화 기법을 이용하였을 경우 고려되어진 채널 환경에서 다른 기법에 비해 오율 성능이 큰 폭으로 개선되었다.

상기의 결과로부터 본 논문에서 고려한 MFSK-MDPSK/DS-CDMA 시스템은 비록 복잡한 하드웨어 구조를 갖는 단점이 있으나 기존의 MFSK 및

MDPSK/DS-CDMA 시스템보다 우수한 오율 성능을 보였으며, MRC 다이버시티 기법 및 부호화 기법을 채용하였을 경우 효과적으로 다중경로 페이딩에 의한 성능 열화를 보상할 수 있으므로 향후의 이동 통신 시스템에 적용 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] E. A. Geraniotis, "Performance of noncoherent direct sequence multiple-access communications," *IEEE J. Select. Area Commun.*, vol. SAC-3, pp. 687-694, Sep., 1985.
- [2] B. Sklar, "Defining, designing, and evaluating digital communication systems," *IEEE Commun. Magazine*, Nov., 1993.
- [3] J. Wang and A. Yongaçoglu, "MFSK modulated PSK direct sequence CDMA," *16th Biennial Symposium on Communications*, Kingston, Canada, May, 27-29, 1992.
- [4] J. Wang and A. Yongaçoglu, "Direct sequence CDMA employing combined modulation schemes," *IEEE, GLOBECOM 93*, pp. 1729-1733, Nov., 1993.
- [5] R. W. Lucky, J. Salz and E. J. Weldon, *Principles of Data Communications*, New York : McGraw-Hill, 1968.
- [6] S. Stein, *Communication System and Techniques*, Part III, New York : McGraw-Hill, 1966.
- [7] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase coded spread-spectrum multiple-access communication-Part I: system analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-25, no. 8, pp. 795-799, Aug., 1977.
- [8] R. K. Morrow, Jr. and J. S. Lehnert, "Bit-to-bit error dependence in slotted DS/SSMA packet systems with random signature sequences," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-37, no. 10, pp. 1052-1061, Oct., 1989.
- [9] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill : New York, 1989.

- [10] Arnold M. Michelson, Allen H. Levesque, *Error-Control Techniques for Digital Communication*, Wiley-interscience, 1984.
- [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.
- [12] Carlson, A. B., *Communication System*. McGraw-Hill, 1986.
- [13] S. H. Jamali and T. Le-Ngoc, *Coded Modulation Techniques for Fading Channels*, Norwell, MA : Kluwer, 1994.
- [14] 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.
- [15] P. J. Crepeau, "Uncoded and coded performance of DPSK in Nakagami fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, no. 3, pp. 483-487, Mar., 1992.
- [16] Viterbi, A. J., "Error bounds for convolution codes and asymptotically optimum decoding algorithm," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-13, no. 4, pp. 260-269, Apr., 1967.
- [17] Viterbi, A. J., "Convolutional codes and their performance in communication system," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-19, pp. 751-772, Oct., 1971.

부 록 [1]

1. 식 (14)의 유도

$$\begin{aligned}
 P_{eFL-MFSK} &= \int_0^\infty P_{eG} \cdot p_L(\gamma_D) d\gamma_D \\
 &= \int_0^\infty \sum_{j=1}^{M-1} \frac{(-1)^{j+1}}{j+1} \binom{M-1}{j} \exp \\
 &\quad \cdot \left(-\frac{j \cdot \gamma}{j+1}\right) \cdot \frac{m^{mL} \gamma_D^{mL-1}}{\Gamma(mL) R^{mL}} e^{-\frac{m\gamma_D}{R}} d\gamma_D \\
 &= \sum_{j=1}^{M-1} \frac{(-1)^{j+1}}{j+1} \binom{M-1}{j} \frac{m^{mL}}{\Gamma(mL) R^{mL}} \\
 &\quad \cdot \int_0^\infty \gamma_D^{mL-1} \exp\left(-\frac{j \cdot \gamma}{j+1}\right) \exp\left(-\frac{m\gamma_D}{R}\right) d\gamma_D \\
 &= "A"
 \end{aligned}$$

단, $R =$ 평균 S/N비, $\gamma_D =$ 순시 CNR,

$L =$ 다이버시티 가지수

A식에 다음의 공식을 적용하면

$$\begin{aligned}
 &\int_0^\infty X^{v-1} \exp(-\mu X^p) dX \\
 &= \frac{1}{|p|} \mu^{-v/p} \cdot \Gamma(v/p)
 \end{aligned}$$

A에서 $v = mL$, $\mu = \frac{m}{R} + \frac{j}{j+1}$, $x = \gamma$,
 $p=1$ 이므로

$$\begin{aligned}
 P_{eFL-MFSK} &= \int_0^\infty P_{eG} \cdot p_L(\gamma_D) d\gamma_D \\
 &= \sum_{j=1}^{M-1} \frac{(-1)^{j+1}}{j+1} \binom{M-1}{j} \left(\frac{m}{R}\right)^{mL} \\
 &\quad \cdot \left(\frac{m}{R} + \frac{j}{j+1}\right)^{-mL} \\
 &= \sum_{j=1}^{M-1} \binom{M-1}{j} \frac{(-1)^{j+1}}{j+1} \left[1 + \frac{1}{j+1} \frac{Rj}{m}\right]^{-mL}
 \end{aligned}$$

: 식 (14)

단, $R = \gamma_b'$

2. 식 (15)의 유도

$$P_{eFL-MDPSK} = \int_0^\infty P_{eG} \cdot p_L(\gamma_D) d\gamma_D$$

$$(1) P_{eG} = \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\gamma_D} \cdot \sin \frac{\pi}{2M}\right)$$

$$(2) p_L(\gamma_D) = \frac{m^{mL} \gamma_D^{mL-1}}{\Gamma(mL) R^{mL}} e^{-\frac{m\gamma_D}{R}}$$

단, $R =$ 평균 S/N비, $\gamma_D =$ 순시 CNR,

$L =$ 다이버시티 가지수

$$\begin{aligned}
 P_{eLF-MDPSK} &= \int_0^\infty \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\beta \frac{R^2}{2N}}\right) \\
 &\quad \cdot \frac{m^{mL} \gamma_D^{mL-1}}{\Gamma(mL) R^{mL}} e^{-\frac{m\gamma_D}{R}} d\gamma_D
 \end{aligned}$$

