

방해전파 신호에 따른 CSS 시스템의 성능 분석

준희원 이영포*, 정다해*, 송정헌*, 종신회원 송익호**, 윤석호*

Performance Analysis of a CSS System in the Presence of Jamming Signals

Youngpo Lee*, Dahae Chong*, Chonghan Song* *Associate Members*,
Iickho Song**, Seokho Yoon*^o *Lifelong Members*

요약

처프 확산 대역 (chirp spread spectrum: CSS) 기술은 방해전파 신호에 강인한 특성으로 인하여 무선 통신 분야에서 크게 주목받고 있다. 하지만 방해전파 신호에 따른 CSS 시스템의 성능에 대한 구체적인 연구는 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 광대역 및 톤 (tone) 방해전파 신호에 따른 CSS 시스템의 성능을 분석한다. 구체적으로는 CSS 기반 M 진 위상 편이 방식 (M -ary phase shift keying: MPSK) 시스템의 심볼 오류율 수식을 유도하고 Monte Carlo 방법에 기반한 모의실험 결과와 비교한다. 이를 통하여, 본 논문에서 유도한 심볼 오류율 수식이 모의실험 결과와 일치함을 확인한다.

Key Words : CSS, DM, MPSK, SER, jamming, broadband jamming, tone jamming

ABSTRACT

Due to its capability to resist jamming signals, chirp spread spectrum (CSS) technique has attracted much attention in the field of wireless communications. However, there has been little rigorous analysis for the performance of CSS systems in the presence of jamming signals. In this paper, thus, we present analytic results on the performance of a CSS system: specifically, symbol error rate (SER) expressions are derived for a CSS M -ary phase shift keying (MPSK) system in the presence of broadband and tone jamming signals, respectively. The numerical results show that the empirical SER closely agree with the analytic result.

I. 서론

처프 확산 대역은 (chirp spread spectrum: CSS) 데이터 신호를 처프 신호를 통하여 더 넓은 주파수 대역으로 확산시키는 기술이다. 이러한 CSS는 방해전파 (jamming) 신호에 강인한 특성으로 인하여 무선 통신 분야에서 크게 주목 받고 있으며^[1], 최근에는 전기전자기술자협회에서 (institute of electrical and electronics engineers: IEEE) 저속 무선 사설망 (wireless personal area network: WPAN) 시스템을

위한 표준인 IEEE 802.15.4a의 물리 계층 표준 기술 중 하나로 CSS를 채택하였다^[2].

CSS 기술은 변조 과정에서 처프 신호를 어떻게 사용하는가에 따라 binary orthogonal keying (BOK) 방식과 direct modulation (DM) 방식의 두 가지로 분류될 수 있다^[3]. BOK는 데이터를 표현함에 있어 처프 신호를 사용하는 방식이다. 예를 들어 비트 '0'과 '1'을 전송하는 경우 각각 양과 음의 순간주파수 변화율을 가지는 처프 신호를 전송할 수 있다. 반면 DM은 확산 기능을 담당하는 부호로 처프 신호

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2009-C1090-0902-0005)

* 성균관대학교 정보통신공학부(° : 교신저자, syoon@skku.edu), ** 한국과학기술원 전자전산학과

논문번호 : KICS2008-10-464, 접수일자 : 2008년 10월 20일, 최종논문접수일자 : 2009년 2월 10일

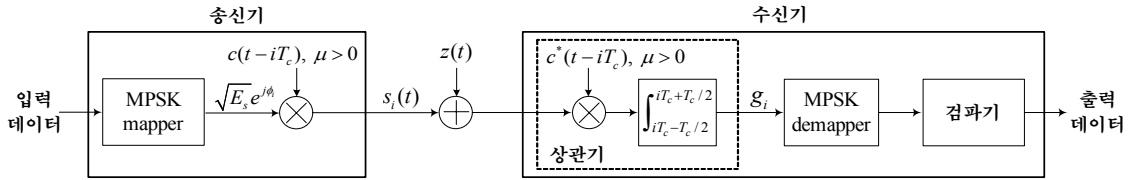


그림 1. DM-MPSK 시스템의 복소 기저대역 등가 모형.

호를 사용하는 방식이다. 따라서 처프 처리 과정이 데이터 변복조 과정과 분리되어 독립적으로 수행되며, 다양한 데이터 변조 기법을 적용할 수 있다.

본 논문에서는 M 진 위상 편이 방식을 (M -ary phase shift keying: MPSK) 데이터 변조 방식으로 채택한 DM 방식의 CSS를 (DM-MPSK) 시스템 모델로 하여, 광대역 및 톤 (tone) 방해전파 신호에 따른 DM-MPSK의 심볼 오류율 (symbol error rate: SER) 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II 장에서는 DM-MPSK 시스템 모델을 설명한다. III 장에서는 방해전파 신호 모델을 소개하고 광대역 및 톤 방해전파 신호에 따른 DM-MPSK의 심볼 오류율 수식을 유도한다. IV 장에서는 유도된 수식과 모의실험 결과를 비교·분석하고, 마지막으로 V 장에서 결론을 내린다.

II. 시스템 모델

처프 신호의 복소 기저대역 등가 형태 $c(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c(t) = \sqrt{\frac{1}{T_c}} \exp(j\pi\mu t^2), \quad |t| < \frac{T_c}{2}, \quad (1)$$

여기서 T_c 는 처프 신호 구간을 의미하고, 0이 아닌 상수 μ 는 처프 신호의 순간주파수 변화율을 (처프율) 나타내며, 이에 따라 CSS 대역폭 B 는 다음과 같이 정의된다.

$$B = |\mu|T_c. \quad (2)$$

$\mu > 0$ 인 경우 ($\mu < 0$), 처프 신호의 순간주파수는 시간에 따라 증가하며 (감소하며) 이를 업-처프 (다운-처프) 신호라 한다.

그림 1은 DM-MPSK 시스템의 복소 기저대역 등가 모형을 나타낸다. i 번째 DM-MPSK 심볼 $s_i(t)$ 는 입력 데이터를 MPSK 성좌도에 맵핑시키고 업-처프 신호 $c(t-iT_c)$ 와 곱함으로써 $i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

에 대하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$s_i(t) = \sqrt{E_s} e^{j\phi_i} c(t-iT_c), \quad |t-iT_c| < \frac{T_c}{2}, \quad (3)$$

여기서 E_s 는 심볼 에너지를 나타내고, ϕ_i 는 i 번째 데이터로서 $\left\{0, \frac{2\pi}{M}, \dots, \frac{2\pi(M-1)}{M}\right\}$ 중 하나의 값을 동일한 확률로 가진다. 이러한 DM-MPSK 심볼 $s_i(t)$ 는 전송되는 동안 방해전파 신호 $z(t)$ 와 더해져 수신기의 입력이 된다. 본 논문에서는 방해전파 신호 $z(t)$ 의 전력이 일반적으로 열잡음의 전력에 비해 매우 크다는^[4] 것에 착안하여, 잡음의 영향을 최소로 하는 MPSK 복조기를 사용함으로써 [5]에서와 같이 잡음의 영향을 고려하지 않는다.

수신기에서는 수신된 DM-MPSK 심볼을 상관기의 입력으로 하여 다운-처프 신호 $c^*(t-iT_c)$ 와의 상관값 g_i 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} g_i &= \int_{iT_c - \frac{T_c}{2}}^{iT_c + \frac{T_c}{2}} \{s_i(t) + z(t)\} c^*(t-iT_c) dt \\ &= \sqrt{E_s} e^{j\phi_i} + \int_{iT_c - \frac{T_c}{2}}^{iT_c + \frac{T_c}{2}} z(t) c^*(t-iT_c) dt. \end{aligned} \quad (4)$$

이후, 상관기 출력 g_i 를 복조하고 검파함으로써 출력 데이터를 얻는다.

III. 방해전파 신호에 따른 성능 분석

본 논문에서는 광대역 및 톤 방해전파 신호 모델을 고려하였다^{[4], [6]}. 전자는 상대방 전송 신호의 전체 대역폭을 방해하고, 후자는 상대방 전송 신호의 특정 주파수를 (주로 중심주파수) 방해함으로써 통신의 신뢰성을 떨어뜨린다.

3.1 광대역 방해전파 신호의 영향

광대역 방해전파 신호는 전체 CSS 대역폭에 평평한 전력 스펙트럼 밀도를 가지는 가우시안 잡음 과정으로 모델링 될 수 있다^[4]. 따라서 광대역 방해

전파 신호에 따른 DM-MPSK의 심볼 오류율은 덧셈 백색 가우시안 잡음 (additive white Gaussian noise: AWGN) 채널에서의 DM-MPSK의 심볼 오류율 성능과 일치한다. 또한 DM 방식에서와 같이 처프 신호가 AWGN 채널 환경에서 확산 코드로만 사용되는 경우, CSS는 오류율 성능에 영향을 미치지 않는다^[3]. 따라서 AWGN 채널에서의 MPSK 심볼 오류율 수식으로부터^[4], 아래와 같이 광대역 방해전파 신호에 따른 DM-MPSK의 심볼 오류율 P_{BJ} 를 얻을 수 있다.

$$P_{BJ} = \begin{cases} Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{J_0}}\right), & \text{for } M = 2 \\ 2Q\left(\sqrt{2k\frac{E_b}{J_0}\sin\frac{\pi}{M}}\right), & \text{for } M > 2, \end{cases} \quad (5)$$

여기서 k 는 ($\triangleq \log_2 M$) MPSK 심볼 내의 비트 수를 의미하고, E_b 와 J_0 는 각각 비트 에너지 E_s/k 와 방해전파 신호의 전력 밀도를 나타내며, $Q(x)$ 는 ($= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$) 가우시안 Q 함수이다^[4].

3.2 톤 방해전파 신호의 영향

중심주파수 f_c 를 가지는 통신 시스템에 대한 톤 방해전파 신호는 $\text{Re}\{\sqrt{J}e^{j\theta}e^{j2\pi f_c t}\}$ 와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $\text{Re}\{\cdot\}$ 는 실수 부분을 의미하고 $J = J_0 B$ 는 방해전파 신호의 전력을 나타내며, θ 는 $[0, 2\pi)$ 에 존재하는 균일 분포 불규칙변수를 의미한다^[6]. 이러한 톤 방해전파 신호의 복소 기저대역 등가 모형 $z(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있으며,

$$z(t) = \sqrt{J} \exp(j\theta), \quad (6)$$

일반성을 잃지 않고, $i = 0$ 인 경우의 톤 방해전파 신호에 따른 상관기 출력 g_0 을 (4)로부터 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} g_0 &= \sqrt{E_s} e^{j\phi_0} + \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} z(t) c^*(t) dt \\ &= \sqrt{E_s} e^{j\phi_0} + \sqrt{\frac{J}{T_c}} e^{j\theta} \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} e^{-j\pi\mu t^2} dt. \end{aligned} \quad (7)$$

이때, (7)의 적분식이 아래와 같이 정의된 Fresnel 적분과^[7] 유사한 형태를 가지는 것을 확인

할 수 있다.

$$\begin{aligned} F(v) &= \int_0^v \exp\left(\frac{j\pi\tau^2}{2}\right) d\tau \\ &= \int_0^v \cos\left(\frac{\pi}{2}\tau^2\right) d\tau + j \int_0^v \sin\left(\frac{\pi}{2}\tau^2\right) d\tau \\ &= X(v) + jY(v). \end{aligned} \quad (8)$$

이에 착안하여, (7)을 다시 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} g_0 &= \sqrt{E_s} e^{j\phi_0} + \sqrt{2J_0} e^{j\theta} \left\{ X\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right) - jY\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right) \right\} \\ &= \sqrt{E_s} e^{j\phi_0} + \sqrt{2J_0} \left\{ X\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right)^2 + Y\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right)^2 \right\} e^{j\psi}, \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 ψ 는 ($\triangleq \theta + \angle\left\{X\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right) - jY\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right)\right\}$) $[0, 2\pi)$ 에 존재하는 균일 분포 불규칙변수이고, G_p 는 처리 이득 BT_c 를 ($= \mu T_c^2$) 나타낸다. (9)로부터, g_0 를 신호 공간에서 심볼 벡터와 방해전파 벡터의 합으로 나타낼 수 있으며, $\phi_0 = 0$ 인 경우의 예를 그림 2와 그림 3에서 나타내었다. 그림에서 점선은 방해전파 벡터에 의한 g_0 의 자취를 나타낸다.

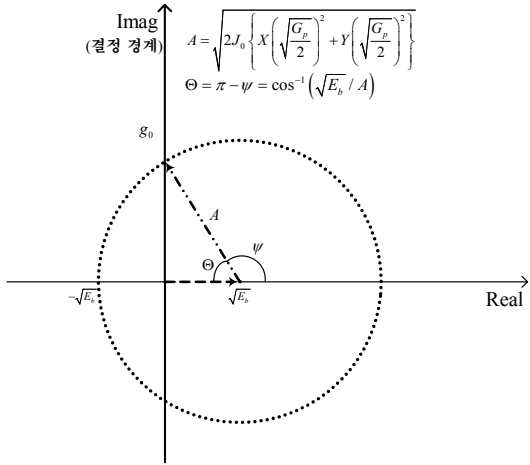
그림 2는 $M=2$ 인 경우의 (DM-BPSK) 신호 공간 표현을 각각 $E_b/J_0 \leq 2\{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2\}$ 와 $E_b/J_0 > 2\{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2\}$ 의 경우에 대하여 나타낸다. 그림 2(a)에서, g_0 가 Imag축의 (BPSK의 결정 경계) 왼쪽에 존재하는 경우 심볼 에러가 발생함을 알 수 있다. 이를 통하여 $E_b/J_0 \leq 2\{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2\}$ 인 경우에 대하여 DM-BPSK의 심볼 오류율 $P_{TJ}^{\text{DM-BPSK}}$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{TJ}^{\text{DM-BPSK}} &= \frac{\Theta}{\pi} \\ &= \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left[\sqrt{\frac{1}{2} \frac{E_b}{J_0} \frac{1}{X\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right)^2 + Y\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right)^2}} \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

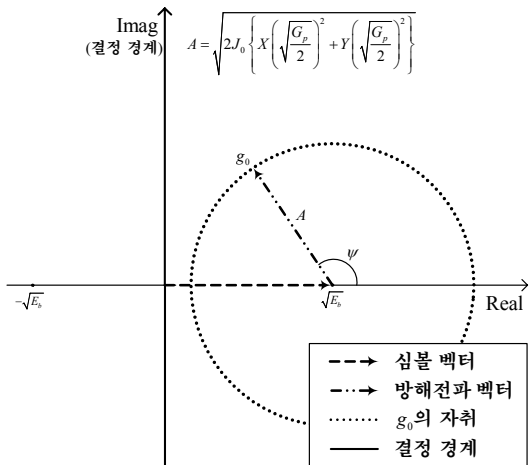
반면, 그림 2(b)와 같이 $E_b/J_0 > 2\{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2\}$ 인 경우, g_0 의 자취는 항상 결정 경계 오른쪽에 존재하며 심볼 에러가 발생하지 않아 심볼 오류율은 0이 된다. 따라서 톤 방해전파 신호에

따른 DM-BPSK의 심볼 오류율 $P_{TJ}^{DM-BPSK}$ 를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$P_{TJ}^{DM-BPSK} = \begin{cases} \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left[\frac{1}{\sqrt{\frac{E_b}{2J_0} \left\{ X \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 + Y \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 \right\}}} \right], \\ \text{for } \frac{E_b}{J_0} \leq 2 \left\{ X \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 + Y \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 \right\} \\ 0, \text{ otherwise.} \end{cases} \quad (11)$$

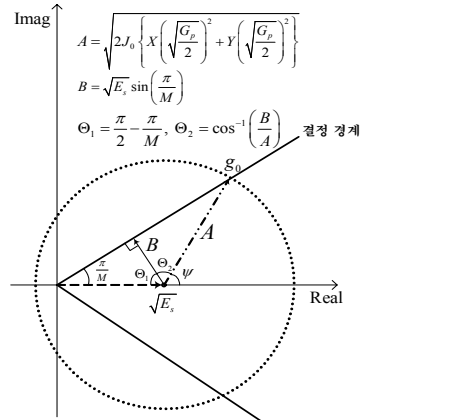


(a) $\frac{E_b}{J_0} \leq 2 \left\{ X \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 + Y \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 \right\}$ 인 경우

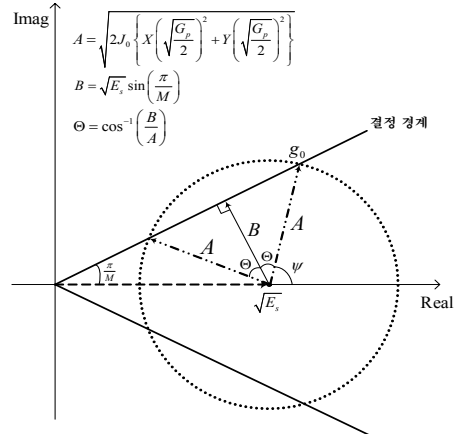


(b) $\frac{E_b}{J_0} > 2 \left\{ X \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 + Y \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 \right\}$ 인 경우

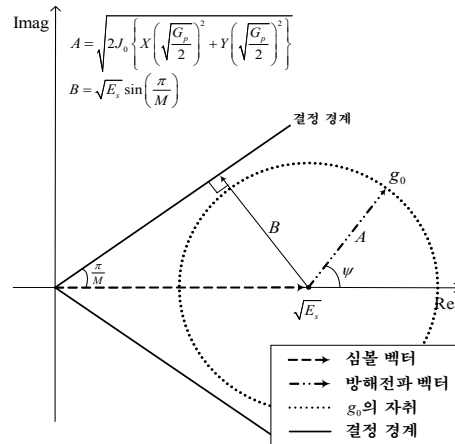
그림 2. 톤 방해전파와 신호에 따른 DM-BPSK의 ($M=2$) 상관기 출력 g_0 의 신호 공간 표현 ($\phi_0=0$).



(a) $\frac{E_b}{J_0} \leq \frac{2}{k} \left\{ X \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 + Y \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 \right\}$ 인 경우



(b) $\frac{2}{k} \left\{ X \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 + Y \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 \right\} < \frac{E_b}{J_0} \leq \frac{2}{k} \frac{\left\{ X \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 + Y \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 \right\}}{\sin^2(\pi/M)}$ 인 경우



(c) $\frac{2}{k} \frac{\left\{ X \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 + Y \left(\sqrt{\frac{G_p}{2}} \right)^2 \right\}}{\sin^2(\pi/M)} < \frac{E_b}{J_0}$ 인 경우

그림 3. 톤 방해전파와 신호에 따른 DM-MPSK의 ($M>2$) 상관기 출력 g_0 의 신호 공간 표현 ($\phi_0=0$).

DM-MPSK의 ($M > 2$) 경우, (10)의 유도 과정과 동일한 접근 방식을 통하여 그림 3으로부터 심볼 오류율 수식을 구할 수 있다. 그림 3(a)는 $E_b/J_0 \leq 2/k\{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2\}$ 인 경우의 g_0 의 자취를 나타내며 이 경우에 대한 DM-MPSK의 심볼 오류율 $P_{TJ}^{DM-MPSK}$ 를 아래와 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{TJ}^{DM-MPSK} &= \frac{(\Theta_1 + \Theta_2)}{\pi} \\
 &= \frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{M} \right) \\
 &\quad + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left[\sqrt{\frac{k E_b}{2 J_0} \frac{1}{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \right] \\
 &= \frac{M-2}{2M} \\
 &\quad + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left[\sqrt{\frac{k E_b}{2 J_0} \frac{1}{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \right].
 \end{aligned} \tag{12}$$

반면에 그림 3(b)에서 나타내는 바와 같이 $\frac{2}{k} \left\{ X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2 \right\} < \frac{E_b}{J_0} \leq \frac{2}{k} \frac{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}{\sin^2(\pi/M)}$

인 경우 DM-MPSK의 심볼 오류율 $P_{TJ}^{DM-MPSK}$ 는 $\frac{2\Theta}{\pi} = \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left[\sqrt{\frac{k E_b}{2 J_0} \frac{1}{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \right]$ 로 구할 수 있다. 마지막으로 그림 3(c)와 같이 $\frac{2}{k} \frac{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}{\sin^2(\pi/M)} < \frac{E_b}{J_0}$ 인 경우 g_0 의 자취가 모두 결정 경계 내에 존재하므로 심볼 오류율은 0이 된다. 따라서 톤 방해전파 신호에 따른 DM-MPSK의 ($M > 2$) 심볼 오류율 $P_{TJ}^{DM-MPSK}$ 를 아래의 (13)과 같이 정리할 수 있다.

IV. 모의실험 결과

이번 장에서는 III장에서 유도한 방해전파 신호에 따른 DM-MPSK의 심볼 오류율 수식들을 Monte Carlo 방법에 기반한 모의실험 결과와 비교하였다. 모의실험에는 처프 신호 구간이 (T_c) $0.5 \mu s$ 이고, 처프율은 (μ) $400 \text{ MHz}/\mu s$ 이며, 처리 이득이 (G_p) 100이고, CSS 대역폭은 (B) 200 MHz 인 처프 신호가 사용되었으며, 변조 기법으로는 DM-BPSK ($M=2$), DM-QPSK ($M=4$), 그리고 DM-8PSK ($M=8$) 채택하였다.

그림 4는 광대역 방해전파 신호에 따른 DM-MPSK 시스템의 이론적인 심볼 오류율 및 모의실험을 통한 심볼 오류율 곡선을 보여준다. 여기서 DM-MPSK 시스템의 이론적인 심볼 오류율 곡선은 III.1장에서 유도한 (5)를 이용하여 나타내었으며, 그림으로부터 모의실험 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 톤 방해전파 신호에 따른 DM-MPSK 시스템의 이론적인 심볼 오류율과 모의실험 결과를 비교한 그래프이다. 여기서 이론적인 심볼 오류율 곡선은 III.2장에서 유도된 (11)과 (13)을 이용하여 나타내었다. 그림으로부터, 본 논문에서 유도한 심볼 오류율 수식이 모의실험을 통한 심볼 오류율 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있다. 또한, $\frac{2}{k} \frac{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}{\sin^2(\pi/M)} < \frac{E_b}{J_0}$ 인 경우, 그림 2(b)와 그림 3(c)를 통해 분석한 바와 같이 심볼 에러가 발생하지 않음을 확인할 수 있다. $G_p = 100$ 에 대하여, 심볼 오류율이 0이 되기 시작하는 E_b/J_0 의 문턱값 $\frac{2}{k} \frac{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}{\sin^2(\pi/M)}$ 은 $10 \log \left(\frac{1.0946}{k \sin^2(\pi/M)} \right) \text{ dB}$ 로 주어지고, $M=2, 4, 8$ 인 경우에 대하여 각각 0.392 dB , 0.392 dB , 3.965 dB 로 계산되며, 그림 5에서 확인할 수 있다.

$$P_{TJ}^{DM-MPSK (M>2)} = \begin{cases} \frac{M-2}{2M} + \frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left[\sqrt{\frac{k E_b}{2 J_0} \frac{1}{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \right], & \text{for } \frac{E_b}{J_0} \leq \frac{2}{k} \left\{ X\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right)^2 + Y\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right)^2 \right\} \\ \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left[\sqrt{\frac{k E_b}{2 J_0} \frac{1}{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \right], & \text{for } \frac{2}{k} \left\{ X\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right)^2 + Y\left(\sqrt{\frac{G_p}{2}}\right)^2 \right\} < \frac{E_b}{J_0} \leq \frac{2}{k} \frac{X(\sqrt{G_p/2})^2 + Y(\sqrt{G_p/2})^2}{\sin^2(\pi/M)} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{13}$$

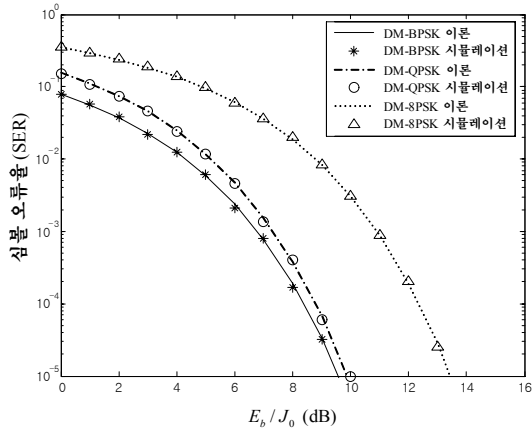


그림 4. 광대역 방해전파와 신호에 따른 DM-MPSK의 심볼 오류율 ($G_p = 100$).

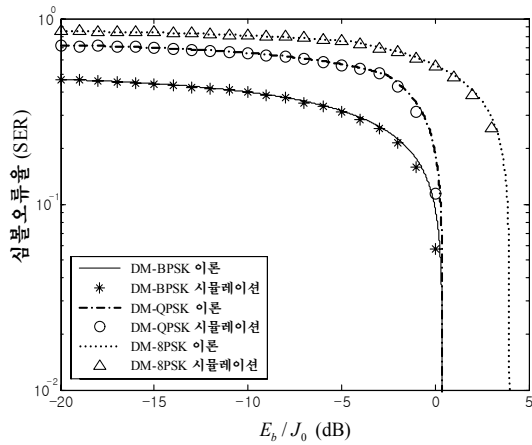


그림 5. 톤 방해전파와 신호에 따른 DM-MPSK의 심볼 오류율 ($G_p = 100$).

V. 결 론

본 논문에서는 광대역 및 톤 방해전파와 신호에 따른 DM-MPSK 시스템의 심볼 오류율 성능을 분석하였다. 먼저, 광대역 방해전파와 신호를 가우시안 과정으로 모델링하여 광대역 방해전파와 신호에 따른 DM-MPSK 시스템의 심볼 오류율 수식을 구하였다. 또한 수신기의 상관기 출력을 신호 공간에서 기하학적으로 분석함으로써, 톤 방해전파와 신호에 따른 심볼 오류율 수식을 유도하였다. 마지막으로, 본 논문에서 유도한 심볼 오류율 수식과 Monte Carlo 방법에 기반한 모의실험 결과가 일치함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] H. Shen and A. Papandreou-Suppappola, "Diversity and channel estimation using time-varying signals and time-frequency techniques," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 54, no. 9, pp. 3400-3413, Sep. 2006.
- [2] IEEE Std. 802.15.4a-2007, *Wireless MAC and PHY Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, IEEE, 2007.
- [3] J. Pinkney, *Low Complexity Indoor Wireless Data Links Using Chirp Spread Spectrum*, Ph. D. Dissertation, Dept. Elect. Comput. Engineer., University of Calgary, Calgary, Canada, 2003.
- [4] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. Prentice-Hall, 2001.
- [5] M. K. Simon, "The performance of M-ary FH-DPSK in the presence of partial-band multitone jamming," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 28, no. 5, pp. 953-958, May 1982.
- [6] D. L. Schilling, L. B. Milstein, R. L. Pickholtz, and R. W. Brown, "Optimization of the processing gain of an M-ary direct sequence spread spectrum communication system," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 28, no. 8, pp. 1389-1398, Aug. 1980.
- [7] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis Design*. John Wiley & Sons, 2005.

이 영 포 (Youngpo Lee)

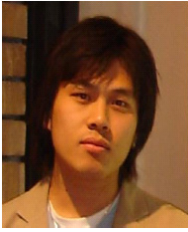
준회원



2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
 2008년 3월~현재 성균관대학교 휴대전화과 석사과정
 2008년 11월 한국통신학회 하계종합학술발표회 우수논문상 받음 <관심분야> 통신 이론, 무선 통신, 통계학적 신호 처리

정 다 해 (Dahae Chong)

준회원



2006년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
 2008년 2월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 공학석사
 2008년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정
 <관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 통계학적 신호 처리

송 정 한 (Chonghan Song)

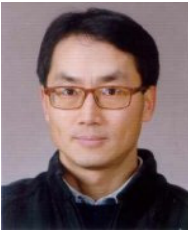
준회원



2009년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
 2009년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 석사과정
 <관심분야> OFDM, 통계학적 신호 처리, 추정 및 검파

송 익 호 (Ickho Song)

종신회원



1982년 2월, 1984년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사 (준최우등), 공학석사
 1985년 8월, 1987년 5월 펜실베니아대학교 전기공학과공학 석사/박사
 1987년 3월~1988년 2월 벨 통신

연구소 연구원

1988년 3월~현재 한국과학기술원 전자전산학과 조교수, 부교수, 교수
 1995년 1월~현재 한국통신학회 논문지 편집위원
 1991년 11월, 1996년 11월 한국통신학회 학술상
 1993년 11월 한국음향학회 우수연구상
 1998년 11월 한국통신학회 LG 학술상
 1999년 11월 대한전자공학회 해동논문상
 2000년 3월 젊은 과학자상
 2000년 11월 한국통신학회 모토롤라학술상, 대한전자공학회, 한국음향학회, 한국통신학회 종신회원, IET 석학회원, IEEE 석학회원
 <관심분야> 통계학적 신호처리와 통신이론, 신호검파와 추정, 이동통신

윤 석 호 (Seokho Yoon)

종신회원



1997년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학사 (최우등)
 1999년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학석사
 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사
 2002년 4월~2002년 6월 MIT 박사후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 하버드대학교 박사후 연구원
 2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수

2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 받음

2007년 Marquis Who's Who in Asia에 등재

2007년 IEEE 준석학회원

2008년 Marquis Who's Who in World에 등재

<관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 통계학적 신호 처리