

# 처프 대역 확산 시스템에서 단일 선형 처프 기반 통신 유사 재밍 기법의 성능 비교 분석

김병성\*, 신요안\*

## Comparative Performance Analysis of Single Linear Chirp Based Communication-Like Jamming Schemes in Chirp Spread Spectrum Systems

Byung-Seong Kim\*, Yoan Shin\*

### 요약

본 논문에서는 통신과 재밍을 하나의 신호로 동시에 수행하는 통신 유사 재밍 기법에서 아군의 통신 성능을 향상하기 위해 스펙트럼 효율성을 높이는 부호화 기법을 제시한다. 제안하는 기법은 기존의 통신 유사 재밍 기법과 거의 동일한 비트오율 성능을 유지하면서도 향상된 스펙트럼 효율을 보인다.

**Key Words** : Communication-Like Jamming, 8-Bi-Orthogonal Code, Spectral Efficiency

### ABSTRACT

In this paper, we present a scheme to improve spectral efficiency of ally in a communication-like jamming technique that simultaneously performs communication and jamming as a single signal. The proposed coded scheme shows improved spectral efficiency with the same bit error rate as the existing communication-like jamming technique.

## 1. 서론

전자전 (Electronic Warfare)에서 한정된 전자 자원으로 효율적인 전자 공격과 전자 방어를 수행하는 것은 중요한 문제이다<sup>[1]</sup>. 한정된 자원으로 효율적인 전자 공격, 즉 재밍 (Jamming)을 수행하기 위해 자동 변조 식별 (Automatic Modulation Classification; AMC) 기술을 통해 전송된 적군 변조 신호를 먼저 식별하고 이에 대한 최적의 펄스 지속시간과 펄스 변조 신호로 재밍을 수행하는 기술 등이 제안된 바 있다<sup>[2]</sup>.

처프 확산 스펙트럼 (Chirp Spread Spectrum; CSS) 기술은 변조 과정에서 처프 신호를 어떻게 이용하는가에 따라 Binary Orthogonal Keying (BOK) 방식과 Direct Modulation (DM) 방식 두 가지로 분류할 수 있다<sup>[3]</sup>. BOK 방식은 서로 다른 처프 신호를 사용하여 디지털 데이터를 표현하는 방식으로, 비트 “0”과 “1”을 전송하기 위하여 각각 양과 음의 순간 주파수 변화율을 갖는 서로 다른 처프 신호를 전송하는 방식이다. 반면에 DM 방식은 처프 신호를 스펙트럼 확산 기능을 담당하는 부호로만 사용하고, 처프 신호에 Phase Shift Keying (PSK), Quadrature Amplitude Modulation (QAM) 등 데이터 변조된 신호를 곱하여 전송한다.

통신 유사 재밍 (Communication-Like Jamming; CLJ)<sup>[4]</sup> 기법은 아군 통신 신호를 통해 아군 통신과 적군에 대한 재밍을 하나의 신호로 동시에 수행하는 기법이다. 이 때 앞서 설명한 바와 같이, 적군 통신 정보를 바탕으로 아군 통신 신호를 생성한다면 적군 통신 대역에서 아군 통신 변조 방식, 대역폭, 전력 및 신호 특성을 적절히 활용하여 효율적인 재밍 성능과 아군 통신 성능 도출이 가능하다.

본 논문에서는 AMC 기술을 통하여 적 통신 시스템에 대한 정보를 획득한 후, 그 기반으로 적 통신 시스템이 SLC (Single Linear Chirp) 기반 BOK-CSS 시스템 또는 DM-CSS로 식별되었을 때를 가정한다. 이 때 CLJ의 특성상 아군 통신 성능과 적군 통신 성능 열화 간 절충관계가 필요하며, 적군에 대한 최대 재밍을 수행하면서 스펙트럼 효율 증대를 통한 아군 통신 성능 향상을 위한 부호화 기법을 제안하고 모의

\* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다. (UD190033ED)

• First Author : (ORCID:0000-0002-1018-0602)Soongsil University, School of Electronic Engineering, rlaqudtjd1013@soongsil.ac.kr, 학생(석사과정), 학생회원

\* (ORCID:0000-0002-4722-6387)Soongsil University, School of Electronic Engineering, yashin@ssu.ac.kr, 정교수, 종신회원  
논문번호 : 202103-059-A-LU, Received March 11, 2021; Revised March 15, 2021; Accepted March 15, 2021

실험을 통해 평가한다.

## II. 제안된 Coded SLC-CLJ

본 논문에서 적군 통신 신호는 업-처프 (Up-Chirp)의 단일 선형 처프 (Single Linear Chirp; SLC)로만 이루어진 DM-SLC로 가정하며, 비트  $i \in \{0, 1\}$ 에 따른 DM-SLC는 다음과 같이 표현할 수 있다<sup>5)</sup>.

$$c_i(t) = A_i \cos(2\pi f_c t + \pi \mu t^2), |t| \leq \frac{T_c}{2}, \quad (1)$$

여기서,  $A_i = -(-1)^i \sqrt{2E_b/T_c}$ ,  $E_b$ 는 비트 에너지,  $T_c$  [sec]는 처프 지속 시간,  $f_c$  [Hz]는 중심 주파수,  $\mu = B/T_c$  [Hz/sec]는 처프율로서  $B$  [Hz]는 처프 신호의 전송 대역폭이다. 이 때 두 SLC는 Antipodal 특성 ( $c_1(t) = -c_0(t)$ )을 만족함을 알 수 있다.

한편, 아군은 아군 통신 및 적군에 대한 재밍을 동일할 신호로 이용하는 CSS-CLJ 시스템을 고려하며, 이 때 SLC를 다음과 같이 아군의 3개 CSS-CLJ 시스템에 다른 방식으로 적용한다. 첫번째로, 앞서 설명한 DM-SLC-CLJ이다. 두번째로, BOK-SLC-CLJ는 식 (2)와 같이 비트  $i \in \{0, 1\}$ 에 따라  $i = 1$ 이면 업-처프  $c_1(t)$ ,  $i = 0$ 이면 다운-처프  $c_0(t)$ 로 전송된다<sup>6)</sup>.

$$c_i(t) = A \cos(2\pi f_c t - (-1)^i \pi \mu t^2), |t| \leq \frac{T_c}{2}, \quad (2)$$

여기서,  $A = \sqrt{2E_b/T_c}$ 이다. DM-SLC-CLJ와 다르게 BOK-SLC-CLJ는 하나의 처프 지속 시간에 2개의 비트를 보낼 수 있다. 그림 1은 DM-SLC-CLJ, BOK-SLC-CLJ인 경우 처프 신호의 시간-주파수 관

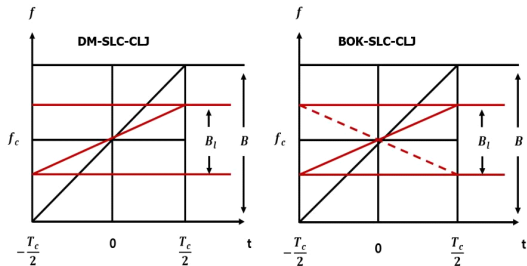


그림 1. DM-SLC-CLJ (좌)와 BOK-SLC-CLJ (우)의 시간-주파수 관계  
Fig. 1. Time-frequency relationship of DM-SLC-CLJ (left) and BOK-SLC-CLJ (right)

계를 도시한다.

세 번째로 고려한 방식은 본 논문에서 사용을 제안하는 Coded SLC-CLJ이다. 무선통신 시스템에서 스펙트럼 효율 향상의 주요 아이디어는 시스템이 동시에 더 많은 비트를 전송하는 것이다. 일반적인 CSS 통신을 위해 이전에 저자들에 의해 제안된 Coded-SLC<sup>7)</sup>는 하나의 처프 지속 시간에 3개 비트를 4개 부호어를 통해 보냄으로써 DM-SLC와 BOK-SLC에 비해 스펙트럼 효율이 높아짐을 알 수 있다. 하지만, 1개 처프에 2개 심벌을 전송하게 되면 처프 에너지가 절반으로 줄어들기 때문에, 저자들은 부호율이 3/4인 8-BOC (8-ary Bi-Orthogonal Code)를 이용하여 성능 저하를 극복하는 방안을 이전에 역시 제안하였다<sup>8)</sup>. Coded-SLC는 비트를 부호어로 매핑하는 부호화 과정과 이어서 2개 SLC의 중첩을 사용하여 4개 부호를 전송하는 처프 매핑 과정으로 이루어져 있다. 8-BOC을 이용하여 3개 비트를 4개 부호어로 변환한 후, 직렬 병렬 변환기로 4개 부호어 중 업-처프에  $q_u = \{q_1, q_2\}$ , 다운-처프 (Down-Chirp)에  $q_d = \{q_3, q_4\}$ 를 나눈다. 또한, 하나의 처프 지속 시간을 앞-처프 (Front-Chirp)와 뒷-처프 (Back-Chirp) 동일하게 나누어 총 4개 부호어를 그림 3과 같이 전송한다. 이 때 부호어가 할당된 신호는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$c_{1,f}(t_f) = q_1 \sqrt{2E_b/T_c} \cos(2\pi f_c t_f + \pi \mu t_f^2), \quad (3-1)$$

$$c_{1,b}(t_b) = q_2 \sqrt{2E_b/T_c} \cos(2\pi f_c t_b + \pi \mu t_b^2), \quad (3-2)$$

$$c_{0,f}(t_f) = q_3 \sqrt{2E_b/T_c} \cos(2\pi f_c t_f - \pi \mu t_f^2), \quad (3-3)$$

$$c_{0,b}(t_b) = q_4 \sqrt{2E_b/T_c} \cos(2\pi f_c t_b - \pi \mu t_b^2). \quad (3-4)$$

여기서,  $c_{k,f}$ 와  $c_{k,b}$ 에서  $k$ 는 비트 “0” 또는 “1”을 나타

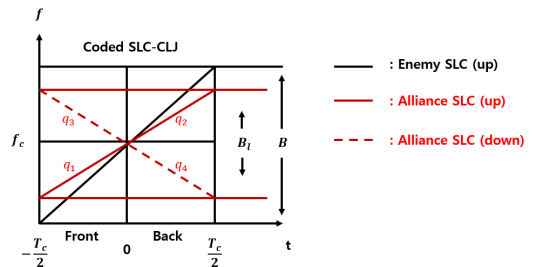


그림 2. Coded SLC-CLJ의 시간-주파수 관계  
Fig. 2. Time-frequency relationship of coded SLC-CLJ

내며, 앞 시간  $-T_c/2 \leq t_f \leq 0$ 와 뒤 시간  $0 \leq t_f \leq T_c/2$ 에 따른 앞-처프와 뒤-처프 신호를 나타낸다. 이를 통해 3개 비트를 하나 처프 지속 시간에 전송할 수 있다.

본 논문에서는 위에서 설명된 일반적인 통신을 위한 Coded SLC를 CLJ에 적용하는 Coded SLC-CLJ를 제안하며, 이를 통해 적군에 대한 재밍 효과를 유지하면서도 아군 통신의 스펙트럼 효율은 향상하는 방안을 꾀한다.

### III. 모의실험 결과 및 결론

모의실험은 비트오율 (Bit Error Rate; BER)을 성능지표로 하여, 아군 CLJ를 통한 적군 통신 신호에 대한 재밍 성능 및 아군 통신 자체 성능을 동시에 평가하였다. 모의실험을 위해 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널을 가정하였으며, 아군 또는 적군 통신시  $E_b/N_0$ 는 -10~15 [dB] 내외, 아군 CLJ의 재밍시  $E_b/N_j$ 는 6 [dB]로 설정하였다. 표 1은 모의실험을 위한 주요 파라미터를 정리한다.

제안된 Coded SLC-CLJ를 적용할 때 적군 통신에 대한 재밍 성능 및 아군 통신 성능은 그림 3, 그림 4와

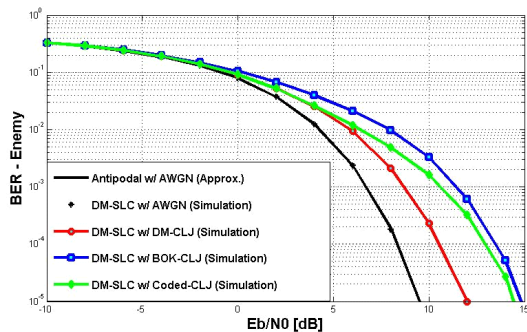


그림 3. 적군 통신 신호의  $E_b/N_0$ 에 따른 적군 BER 성능 Fig. 3. Enemy BER performance according to enemy signal  $E_b/N_0$

표 1. 모의실험을 위한 주요 파라미터 Table 1. Main parameters for simulations

Parameter	Value
Chirp duration, $T_c$	1 $\mu$ sec
Enemy spreading bandwidth, $B$	20 MHz
Ally spreading bandwidth, $B_l$	7 MHz
Number of simulations	1,000,000

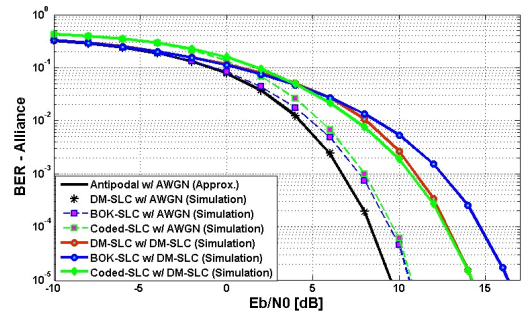


그림 4. 아군 통신 신호의  $E_b/N_0$ 에 따른 아군 BER 성능 Fig. 4. Ally BER performance according to ally signal  $E_b/N_0$

같다. 그림 3에서 제안된 “Coded-SLC”는 “BOK-SLC”와는 유사하고 “DM-SLC”보다는 우수한 재밍 성능을 보이며 (즉, 적군 통신 BER을 좀 더 악화시킴), 그림 4로부터 제안된 “Coded-SLC”는 “DM-SLC”와 유사하나 “BOK-SLC” 보다는 우수한 아군 통신 성능을 유지함을 알 수 있다. 결국, 3가지 기법을 비교했을 때, 제안된 Coded SLC-CLJ는 아군 통신 성능은 DM-SLC-CLJ와 비슷하게 가장 좋고, 재밍 성능은 BOK-SLC-CLJ와 비슷하게 가장 좋으며, 동시에 아군 통신에 대한 스펙트럼 효율은 기존 두 기법보다 향상되는 우수한 특성을 가짐을 알 수 있다.

### References

- [1] R. Poisel, *Modern Communications Jamming: Principles and Techniques*, Ch. 1, Artech House, 2011.
- [2] S. Amuru and R. M. Buehrer, “Optimal jamming against digital modulation,” *IEEE Trans. Info. Forensics & Secur.*, vol. 10, no. 10, pp. 2212-2224, Oct. 2015.
- [3] J.-H. Kim, Y.-P. Lee, L.-H. Song, and S.-H. Yoon, “Analysis of intersymbol interference due to overlap in overlap-based DM-BPSK CSS systems,” *J. KICS*, vol. 36, no. 2, pp. 99-104, Feb. 2011.
- [4] K.-Y. Kim and Y. Shin, “Single linear chirp-based communication like jamming in chirp spread spectrum systems,” *J. KICS*, vol. 44, no. 4, pp. 685-692, Apr. 2019.
- [5] Y. Lee, T. Yoon, I. Song, Y. H. Kim, T. H. Han, and S. Yoon, “Symbol error rate of the

DM-MPSK under the influence of jamming signals,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 13, no. 7, pp. 468-470, Jul. 2009.

- [6] Q. Wang, “Non-linear chirp spread spectrum communication systems of binary orthogonal keying mode,” Ph.D. Dissertation, Dept. of Elect. & Comput. Eng., Univ. of Western Ontario, Ontario, Canada, 2015.
- [7] K.-Y. Kim, S.-Y. Lee, and Y. Shin, “Spectral efficiency improvement of chirp spread spectrum systems,” in *Proc. ICTC 2019*, pp. 1085-1087, Jeju, Korea, Oct. 2019.
- [8] K.-Y. Kim and Y. Shin, “Data rate improvement scheme for chirp communication systems,” in *Proc. JCCI 2019*, Gangneung, Korea, May 2019.