

# 처프 확산 대역 시스템에서 다중 접속 간섭의 감소를 위한 처프율 할당 기법

김 광 열\*, 이승 우\*, 김 용 신\*\*, 이 재 생\*\*, 김 진 영\*\*\*, 신 요 안\*

## A Chirp Rate Allocation Scheme for Multiple Access Interference Reduction in Chirp Spread Spectrum Systems

Kwang-Yul Kim\*, Seung-Woo Lee\*, Yong-Sin Kim\*\*, Jae-Seang Lee\*\*, Jin-Young Kim\*\*\*, Yoan Shin\*

### 요 약

처프 확산 대역 시스템의 다중 사용자 전송을 위해서는 서로 다른 사용자마다 직교성이 보장된 처프율을 할당해야 한다. 본 논문은 다중 접속 간섭을 감소시키기 위해 상호 상관 계수 기반 처프율 할당 기법을 제안하였다. 모의실험 결과, 제안된 기법의 전송 성능이 기존의 기법보다 우수한 것을 확인하였다.

**Key Words** : chirp spread spectrum, multiple chirp rate allocation, cross-correlation coefficient, multiple access interference, orthogonality

### ABSTRACT

In order to guarantee the multiuser transmission performance of a chirp spread spectrum system, the cross-correlation coefficient (CCC) among multiple users should be carefully considered. In this paper,

we propose a chirp rate allocation scheme for reducing the multiple access interference based on the cross-correlation coefficient. The simulation results show that the proposed scheme can improve the multiple access interference performance.

### I. 서 론

처프 확산 대역 (Chirp Spread Spectrum; CSS) 시스템의 다중 사용자 전송을 위해서는 다중 접속 간섭 (Multiple Access Interference: MAI)을 반드시 고려해야 한다<sup>[1]</sup>. 우리는 기존의 연구에서 단일 사용자를 위한 최적의 처프율을 연구하였으며<sup>[2]</sup>, 본 논문은 이를 확장시켜 다중 사용자 전송을 위한 상호 상관 계수 (Cross-Correlation Coefficient; CCC) 기반의 처프율 할당 기법을 제안하였다. 제안된 기법의 MAI 성능을 비교하기 위해 단일 선형 처프 (Single Linear Chirp; SLC)와 다중 선형 처프 (Multiple Linear Chirp; MLC)에서의 처프율 할당 기법<sup>[3]</sup>을 고려하였다.

### II. CSS 시스템 모델

그림 1은 BOK (Binary Orthogonal Keying)-CSS 전송 기법을 도시한 것으로<sup>[2]</sup>, 본 연구는 다중 접속을 고려하기 때문에 총  $M$ 개의 BOK-CSS 송수신기가 있다고 가정하였다. 이 때  $d_k(t)$ 는  $k \in \{1, \dots, M\}$ 번째 사용자의 처프 신호로서, 송신 신호  $s_k^i(t)$ 는 비트  $i \in \{0, 1\}$ 에 따라 “ $i = 1$ ”이면 업-처프  $u_k^1(t)$ , “ $i = 0$ ”이면 다운-처프  $u_k^0(t)$ 로 전송된다. 식 (1)은 SLC 방식의 통과대역 신호 모델을 표현한 것이다<sup>[3]</sup>.

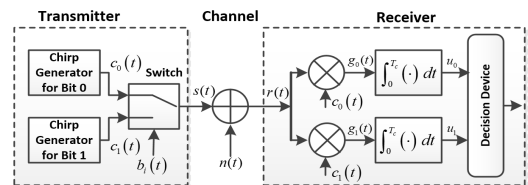


그림 1. 일반적인 BOK-CSS 전송 기법 [2]  
 Fig. 1. Conventional BOK-CSS transmission scheme

※ 본 연구는 국방과학연구소 핵심SW 과제의 지원을 받아 수행되었음 (UD140076ED).

\* First Author: School of Electronic Engineering, Soongsil University, kky1117@ssu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author: School of Electronic Engineering, Soongsil University, yashin@ssu.ac.kr, 종신회원

\* School of Electronic Engineering, Soongsil University, fla1117@ssu.ac.kr, 학생회원

\*\* The 2nd R&D Institute-1, Agency for Defense Development, {dragon, jslee15}@add.re.kr

\*\*\* Department of Electronics Convergence Engineering, Kwangwoon University, jinyoung@kw.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2016-10-322, Received October 20, 2016; Revised November 3, 2016; Accepted November 3, 2016

$$c_k^i(t) = \cos [2\pi f_0 t - (-1)^i \pi \mu_k t^2], \quad (1)$$

여기서  $0 \leq t \leq T_c$ 이며,  $f_0$ 는 처프 신호의 시작 주파수이며,  $\mu_k$ 는  $k$ 번째 사용자의 처프울로 식 (2)와 같다<sup>3)</sup>.

$$\mu_k = (M+1-k)B/(M \cdot T_c), \quad (2)$$

여기서  $B$ 는 처프 신호의 대역폭이며,  $T_c$ 는 처프 지속 시간이다. 따라서, SLC 방식은 사용자마다 서로 다른 대역폭이 할당되어 형평성 문제가 발생하게 된다.

이를 보완하기 위해 처프 시간을 균등하게 분할하여 사용하는 MLC 방식이 고려되었다. 식 (3)은 MLC 방식의 일반적인 신호 모델을 표현한 것이다<sup>3)</sup>.

$$c_k^i(t) = c_{f,k}^i(t_1) + c_{b,k}^i(t_2), \quad (3)$$

여기서  $c_{f,k}^i(t_1)$ 와  $c_{b,k}^i(t_2)$ 은 각각 Front와 Back 처프를 의미한다. 이 때  $0 \leq t_1 \leq T_c/2$ ,  $T_c/2 \leq t_2 \leq T_c$ 이다. 식 (4)는 각 처프의 통과대역 신호 모델을 표현한 것이다.

$$\begin{aligned} c_{f,k}^i(t_1) &= \cos [2\pi f_0 t_1 + \pi \mu_{f,k}^i t_1^2], \\ c_{b,k}^i(t_2) &= \cos [2\pi (f_0 + \alpha_k^i f_\Delta)(t_2 - T_r) + \pi \mu_{b,k}^i (t_2 - T_r)^2], \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $T_r$ 은 처프 신호의 실제 시작 시간으로  $T_c/2$ 이다. 이 때  $\alpha_k^i = (-1)^i \cdot (M+1-k)$ 이고,  $f_\Delta$ 을 주파수 간격이라고 할 때 Front 처프울  $\mu_{f,k}^i$ 과 Back 처프울  $\mu_{b,k}^i$ 은 식 (5)와 같다<sup>3)</sup>.

$$\begin{aligned} \mu_{f,k}^i &= (-1)^i \cdot \frac{(M+1-k)}{T_c/2} \cdot f_\Delta, \\ \mu_{b,k}^i &= (-1)^i \cdot \frac{k \cdot f_\Delta}{T_c/2}. \end{aligned} \quad (5)$$

따라서 MLC의 대역폭  $B = (M+1) \cdot f_\Delta$ 이며, 사용자는 주어진 대역폭 내에서 각각의 처프울을 균등하게 할당받아 사용하게 된다. 그림 2는 SLC와 MLC의 시간-주파수 관계를 도기한 것이다.

CSS 시스템의 MAI를 감소시키고 전송 성능을 보장하기 위해서는 서로 다른 사용자 사이의 CCC  $\rho_{jk}$ 를 고려하여 각 사용자마다 직교성이 보장된 처프울을 할당해야 한다. 식 (6)은 서로 다른 사용자 사이의 CCC  $\rho_{jk}$ 를 표현한 것이다.

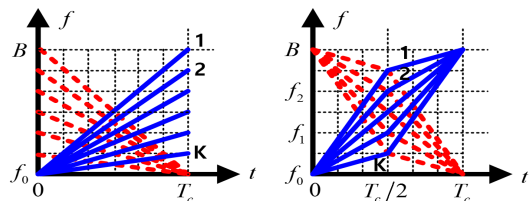


그림 2. SLC와 MLC의 시간-주파수 관계 [3]  
Fig. 2. Time-frequency relationship of SLC and MLC

$$\rho_{jk} = \frac{1}{E} \int_0^{T_c} c_j^i(t) \cdot c_k^i(t) dt, \quad (6)$$

여기서  $E$ 는 처프의 에너지이다.

### III. 제안된 처프울 할당 기법

#### 3.1 1단계: 직교성을 보장하는 대역폭 간격

본 논문에서는 제안된 처프울 할당 기법의 이해를 돕기 위해 Front 처프를 기준으로 설명한다. 다중 사용자에게 균등한 대역폭을 할당하기 위해, 우선 전체 대역폭의 절반  $B_h = B/2$ 을 기준으로  $j$ 번째 사용자의  $l \in \{1, \dots, L\}$ 번째 대역폭  $B_{j,l} > B_h$ 과  $k$ 번째 사용자의  $l$ 번째 대역폭  $B_{k,l} < B_h$ 의 차이인 대역폭 간격  $B_{\Delta,l} = |B_{j,l} - B_{k,l}|$ 을 점차 증가시키면서 CCC를 계산하였다. 여기서  $L$ 은 분할 개수이다. 이 때 서로 다른 사용자의 CCC  $\rho_{jk,l}$ 를 도출하기 위해 식 (4)를 식 (6)에 대입하면 식 (7)과 같이 정리된다.

$$\rho_{jk,l} = \frac{1}{E} \int_0^{T_c/2} \cos [\pi \mu_{\Delta,l} t^2] dt, \quad (7)$$

여기서  $\mu_{\Delta,l} = |\mu_{j,l} - \mu_{k,l}|$ 이다. 결과적으로 CCC  $\rho_{jk,l}$ 가 최소로 되는 대역폭 간격  $B_0$ 이 직교성을 최대로 보장하는 처프울  $\mu_0$ 이 된다.

#### 3.2 2단계: MAI 감소를 위한 초기 대역폭 간격

MAI 감소를 위해서는 처프울을 다중 사용자에게 최적으로 할당하기 위한 기준이 필요하다. 여기서는  $j$ 번째 사용자의 업-처프울을  $\mu_0$ 로 고정시켜 놓고,  $k$ 번째 사용자의  $l$ 번째 업-처프울  $\mu_{k,l}$ 은  $B_h$ 를 기준으로 점차 감소시키면서 CCC  $\rho_{ok,l}$ 를 계산한다.

$$\rho_{ok,l} = \frac{1}{E} \int_0^{T_c/2} \cos [\pi \mu_0 t^2] \cdot \cos [\pi \mu_{k,l} t^2] dt. \quad (8)$$

이 때  $\rho_{jk,l}$ 와  $\rho_{ok,l}$ 가 교차하는 지점을 MAI 감소를 위한 초기 대역폭 간격  $B_s$ 으로 설정하여 처음 2명의 사용자에게 할당한다.

#### 3.3 3단계: MAI 감소를 위한 대역폭 간격

나머지  $M-2$ 명의 사용자에게도 직교성을 보장하는 처프울의 할당이 필요하다. 여기서는 2단계에서와 반대로,  $k$ 번째 사용자의 업-처프울을  $\mu_0$ 로 고정시켜 놓고  $j$ 번째 사용자의  $l$ 번째 업-처프울  $\mu_{j,l}$ 은  $B_h$ 를 기준으로 점차 증가시키면서 CCC  $\rho_{oj,l}$ 를 계산한다. 이 때  $\rho_{jk,l}$ 와  $\rho_{oj,l}$ 의 교차점을 MAI 감소를 위한 대역폭 간격  $B_r$ 으로 고려한다.

3.4 4단계: 다중 처프울 할당

식 (9)는 MAI 감소를 위해 제안된 처프울 할당 기법을 표현한 것이다.

$$\begin{aligned} \mu_{f,k}^i &= \{B_h - (-1)^i \cdot (B_s + B_r(k-1))/2\} / (T_c/2), \\ \mu_{b,k}^i &= \{B - (B_h - (-1)^i \cdot (B_s + B_r(k-1))/2)\} / (T_c/2). \end{aligned} \quad (9)$$

IV. 모의실험 결과 및 결론

제안된 처프울 할당 기법의 MAI 성능을 평가하기 위해 그림 1의 BOK-CSS 전송 기법을 고려하였으며, 처프울 할당은 식 (2), 식 (5), 그리고 식 (9)를 이용하였다. 표 1은 모의실험 파라미터를 정리한 것이다.

그림 3은 대역폭 간격에 따른 상호 상관 계수를 도시한 것이다. 1단계를 통해  $\rho_{j_k,l}$ 가 최소인 대역폭 간격은 2.4 [MHz]이며, 2단계를 통해 초기 처프울을 위한 대역폭 간격  $B_s$  (실선 동그라미)은 8 [MHz]이고, 3단계를 통해 다중 사용자 간 대역폭 간격  $B_r$  (점선 동그라미)은 6.8 [MHz]임을 확인하였다.

그림 4는 제안된 처프울 할당 기법의 MAI 성능을 측정하는 것이다. 그림에서 4명의 사용자가 동시에 전송하는 경우, 제안된 MLC 방식의 MAI 성능은 비트오율 (Bit Error Rate; BER)  $10^{-3}$ 에서 SLC 기법보다 약 4 [dB], 기존의 MLC 기법보다는 약 2 [dB] 정도 향상되었다. 그리고 8명의 경우에는 BER  $10^{-3}$ 에서 SLC 기법보다 약 8 [dB] 이상, 기존의 MLC 기법보다는 약 4 [dB] 정도 향상되었다. 모의실험 결과를 통해, 제안된 처프울 할당 기법의 MAI 성능이 기존의 처프울 할당 기법보다 직교성을 더욱 보장함으로써 MAI를 감소시켰다고 할 수 있다.

모의실험 결과, CCC를 고려함으로써 MAI를 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 앞으로는 제안된 기법의 이론적인 성능을 수식적으로 도출하고, 다중 사용자 사이의 CCC가 교차하는 의미를 물리적, 수학적으로 분석하는 연구를 수행하고자 한다.

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

Parameter	Value
Chirp duration $T_c$	1 [ $\mu\text{sec}$ ]
Chirp bandwidth $B$	40, 72 [MHz]
Number of user $N$	4, 8
Initial bandwidth separation $B_s$	8 [MHz]
Bandwidth separation interval $B_r$	6.8 [MHz]
Channel	AWGN
Number of simulations	1,000,000

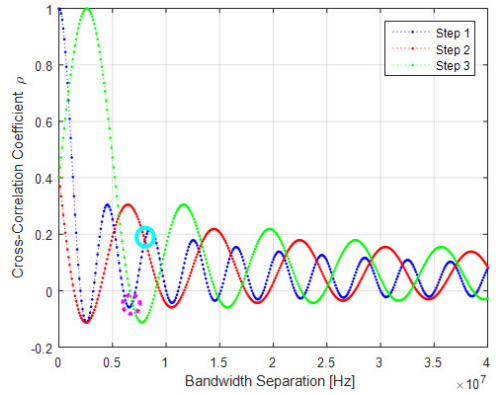


그림 3. 대역폭 간격에 따른 상호 상관 계수 결과  
Fig. 3. Simulation results of various cross-correlation coefficients according to bandwidth separation

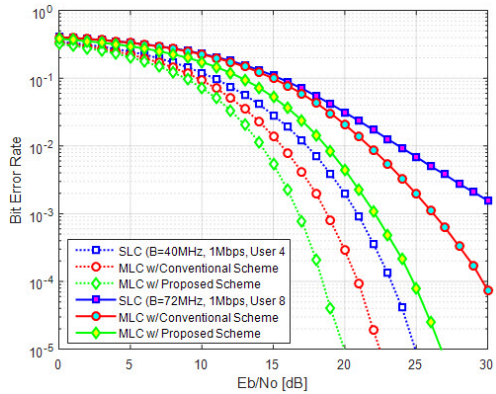


그림 4. 기존 기법과 제안된 기법의 MAI 성능 비교  
Fig. 4. Transmission performance comparison between the conventional schemes and the proposed scheme

References

- [1] S. E. El-Khamy, S. E. Shaaban, and E. A. Thabet, "Efficient multiple-access communication using multiple-user chirp modulation signals," in *Proc. IEEE SSSTA 1996*, pp. 1209-1213, Mainz, Germany, Sept. 1996.
- [2] K.-Y. Kim, S.-W. Lee, Y.-S. Kim, J.-S. Lee, J.-Y. Kim, and Y. Shin, "Multiple linear chirp based transmission scheme for IEEE 802.15.4a chirp spread spectrum," *J. KICS*, vol. 40, no. 10, pp. 1937-1939, Oct. 2015.
- [3] E. Cheng, S. Chen, and F. Yuan, "Design and detection of multilinear chirp signals for underwater acoustic sensor networks," *Int. J. Distrib. Sensor Net.*, Article ID. 371579, pp. 1-13, 2015.