

처프 기반 2경로 연속 중계 프로토콜을 위한 중첩 전송 기법

김 광 열*, 신 요 안[○]

An Overlap Transmission Scheme for Chirp-Based Two-Path Successive Relaying Protocol

Kwang-Yul Kim*, Yoan Shin[○]

요 약

2경로 연속 중계 (Two-Path Successive Relaying; TPSR) 기법은 두 개의 중계기가 교차적으로 데이터를 수신하고 전송하기 때문에 대역 효율성을 높일 수 있는 기법이지만 직교 전송 시간으로 인해 데이터 전송률이 제한받게 된다. 이에 본 논문에서는 처프 기반 TPSR 프로토콜을 위한 중첩 전송 기법을 제안한다. 중첩 전송 기법의 전송 성능을 분석하기 위해 송신기에서의 중첩 시간과 중계기에서 발생하는 지연 시간에 따른 전송 성능을 분석한다. 모의실험을 통해 제안된 기법이 중첩 전송을 통해 데이터 전송률을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Key Words : two-path successive relaying, overlap transmission, inter-symbol interference, chirp, inter-relay interference

ABSTRACT

A two-path successive relaying (TPSR) scheme is a technique that can increase bandwidth efficiency since two relays alternately receive and transmit data, however data transmission rate is limited due to orthogonal transmission time in source node. In this

paper, we propose an overlap transmission scheme for the chirp-based TPSR protocol. In order to analyze the transmission performance of the proposed overlap transmission scheme, we analyze the transmission performance according to the overlap time in the transmitter and the delay time generated in each relay. Simulation results show that the data rate can be improved by the proposed overlap transmission scheme.

I. 서 론

무선통신 시스템의 대역 효율성을 높이기 위한 방법으로 2경로 연속 중계 (Two-Path Successive Relaying; TPSR) 프로토콜이 제안되었다^[1]. TPSR 프로토콜은 중계기가 교차적으로 데이터를 수신하고 중계함으로써 중계기에서 발생하는 직교 중계 시간을 극복하고 대역 효율성을 향상시킬 수 있는 기법이다. 한편, TPSR 프로토콜은 직교 중계 시간은 줄일 수 있으나, 소스 노드에서의 직교 전송 시간으로 인해 데이터 전송률이 제한받을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다중 선형 처프 (Multiple Linear Chirp; MLC)^[2] 기반의 중첩 전송 기법을 제안한다. 기존의 중첩 연구는 심볼간 간섭 (Inter-Symbol Interference; ISI) 영향을 제거하기 위해 단일 선형 처프 (Single Linear Chirp; SLC)의 상향 처프만 고려하였으며, 처프의 중첩 개수에 따른 비트오율 (Bit Error Rate; BER) 성능이 분석되었다^[3]. 그러나 본 논문에서는 SLC의 상향 처프와 하향 처프 간 중첩과 MLC 간 중첩을 고려하며, 중첩과 지연 시간에 따른 BER 성능을 분석한다.

II. 시스템 모델

2.1 TPSR 프로토콜

TPSR 프로토콜의 핵심은 소스 노드가 중계기 1로 데이터를 전송할 때 중계기 2가 자신의 목적 노드에 데이터를 중계하고, 소스 노드가 중계기 2로 데이터를 전송할 때 중계기 1이 자신의 목적 노드로 데이터를 중계하는 것이다^[4]. 따라서 TPSR 프로토콜은 중계기

* 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (2016R1A2B2014497)과 2017년도 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017-0-00724, 셀룰러 기반 산업 자동화 시스템 구축을 위한 5G 성능 한계 극복 저지연, 고신뢰, 초연결 통합 핵심기술 개발).

• First Author : (ORCID:0000-0003-1728-3230)School of Electronic Engineering, Soongsil University, kky1117@ssu.ac.kr, 정희원

○ Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-4722-6387)School of Electronic Engineering, Soongsil University, yashin@ssu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 201905-064-A-RE, Received May 1, 2019; Revised June 25, 2019; Accepted June 25, 2019

의 연속적인 중계로 인해 중계기 시스템의 대역 효율성을 높일 수 있다. 하지만, 소스 노드가 중계기 1로 데이터 전송을 완료한 이후에 중계기 2에 데이터를 전송하기 때문에 데이터 전송률이 저하될 수 있으며, 각 슬롯마다 하나의 중계기가 전송할 때 다른 중계기에서 전송한 신호도 수신되기 때문에 중계기 간 간섭(Inter-Relay Interference; IRI)이 발생하게 된다⁴⁾. 이에, 본 논문에서는 TPSR 프로토콜의 데이터 전송률을 향상시키기 위해 처프 중첩 전송 기술을 고려한다.

2.2 처프 전송 모델

그림 1은 본 논문에서 고려하는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 채널 하의 처프 전송 모델을 도시한 것으로, SLC 방식의 통과대역 신호 모델은 다음 식과 같이 표현된다⁵⁾.

$$c_i(t) = A \cos(2\pi f_0 t - (-1)^i \pi \mu t^2). \quad (1)$$

여기서 $A = \sqrt{E_b/T_c}$, $0 \leq t \leq T_c$, $i \in \{0,1\}$ 는 비트, f_0 는 처프 신호의 중심 주파수, $\mu = B/T_c$ 는 처프율로 B 는 처프 신호의 확산 대역폭, T_c 는 처프 지속 시간이다. 그리고 $y(t) = s(t) + n(t)$ 은 수신 신호, $n(t)$ 는 AWGN, u_i 는 상관기 출력값이다. 이 때 그림 1의 SLC 기반 처프 전송 시스템의 BER 성능은 다음 식을 통해 얻을 수 있다.

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{E_b(1-\rho)}{N_0} G}\right). \quad (2)$$

여기서 $Q(x) \triangleq \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$, E_b 는 비트 에너지, N_0 는 잡음 전력 스펙트럼 밀도, $G = B/R$ 는 처리 이득(Processing Gain)으로 R 은 비트율을 의미한다. 또한, ρ 는 상호상관계수로서 SLC 기법의 상호상관계수는 다음 식과 같이 표현할 수 있다⁶⁾.

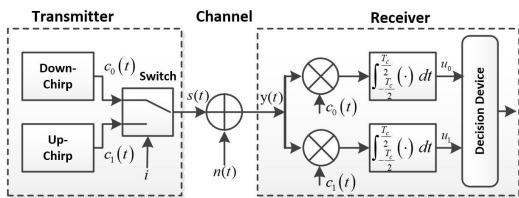


그림 1. 처프 전송 모델⁵⁾
Fig. 1. Chirp transmission model⁵⁾

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{T_c B}} C(\sqrt{T_c B}). \quad (3)$$

여기서 $C(x) \triangleq \int_0^x \cos\left(\pi \frac{v^2}{2}\right) dv$ 은 프레넬 코사인 적분이다⁵⁾. 식 (3)을 통해 상호상관계수는 시간-대역폭 곱 $T_c B$ 에 따라 변화됨을 알 수 있으며, $T_c B$ 가 커질수록 상호상관계수가 작아짐을 알 수 있다. 그러나 일반적으로 $T_c B$ 를 크게 하는 것에는 물리적인 한계가 있으며, SLC 방식은 $T_c B$ 를 충분히 크게 해도 직교성을 얻을 수 없다는 단점이 있다⁵⁾. 따라서 MLC 방식을 이용하여 직교성을 얻는 연구가 진행된 바 있다⁶⁾

III. 제안된 중첩 전송 모델

MLC 방식은 처프 지속 시간을 분할하고, 분할된 시간마다 서로 다른 처프율로 데이터를 확산시키는 방식을 의미한다. 단, MLC 방식의 전체 대역폭은 SLC 방식의 대역폭과 동일하기 때문에 $T_c B$ 는 동일하다. 다음 식은 MLC 방식을 표현한 것이다²⁾.

$$c_{f,i}(t_f) = A \cos(2\pi f_c t_f + \pi \mu_{f,i} t_f^2), \quad (4)$$

$$c_{b,i}(t_b) = A \cos(2\pi(f_c + B_{f,i})(t_b - T_r) + \pi \mu_{b,i}(t_b - T_r)^2). \quad (5)$$

여기서 $T_r = T_c/2$, $0 \leq t_f \leq T_c/2$ 과 $T_c/2 \leq t_b \leq T_c$ 는 각각 Front 처프의 지속 시간과 Back 처프의 지속 시간, $\mu_{f,i} = B_i/(T_c/2)$ 와 $\mu_{b,i} = (B - B_i)/(T_c/2)$ 는 각각 Front와 Back 처프율을 의미한다. 그리고 참고문헌 [5]를 통해 MLC 방식은 분할 대역폭 B_Δ 에 따라 직교성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 2는 데이터 전송률 향상을 위해 제안된 중첩 기법으로 SLC와 MLC의 시간-주파수 관계를 도시한 것이다. 제안된 방식은 소스 노드에 2개의 처프 신호

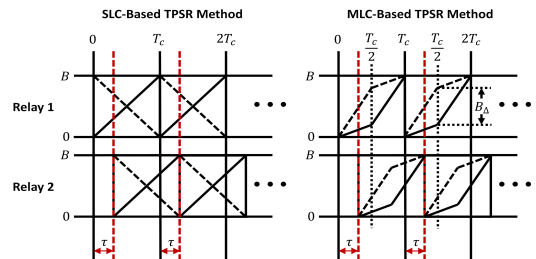


그림 2. SLC (좌)와 MLC (우)의 시간-주파수 관계
Fig. 2. Time-frequency relationship of SLC and MLC

발생기가 있다고 가정하며, 소스 노드가 처프 시간 동안 중계기 1에 데이터를 전송하면서 동시에 중첩 시간 τ 마다 중계기 2에 데이터를 전송한다고 가정한다. 따라서 소스 노드는 중첩 전송을 통해 각각의 중계기에 데이터를 연속적으로 전송함으로써 직교 전송 시간으로 인해 발생하는 데이터 전송률을 향상시킬 수 있다. 여기서 중첩 시간에 따라 $k \in \{1,2\}$ 번째 중계기가 전송하는 처프 신호를 $c_{i,k}(t)$ 라고 할 때 k 번째 중계기에서 수신하는 신호 $r_k(t)$ 는 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$r_1(t) = c_{i,1}(t) + c_{i,2}(t - \tau) + c_{i,2}(t + T_c - \tau) + n_1(t). \quad (6)$$

$$r_2(t) = c_{i,2}(t) + c_{i,1}(t + \tau) + c_{i,1}(t - T_c + \tau) + n_2(t). \quad (7)$$

여기서 $n_k(t)$ 는 k 번째 중계기에서의 AWGN이다. 이 때 k 번째 중계기에서 i 번째 비트에 대한 상관기의 결과값은 다음 식과 같이 표현된다.

$$u_{i,k} = \int_0^{T_c} r_k(t) c_{i,k}(t) dt. \quad (8)$$

따라서 식 (8)의 출력으로 전송된 비트를 판정한다. 한편, 그림 2를 통해 알 수 있는 것은 SLC-Overlap 기법은 전송되는 비트에 따라 교차 (Crossing)가 발생한다는 것이며, MLC-Overlap 기법은 교차가 발생되지 않는다는 것이다. 따라서 MLC-Overlap 기법이 간섭의 영향이 적을 것으로 기대할 수 있다.

IV. 모의실험 결과 및 결론

모의실험을 위해 처프 지속 시간 $T_c=1\mu s$, 처프 확산 대역폭 $B=20MHz$, MLC의 분할 대역폭 B_Δ 은 BER 전송 성능을 보장할 수 있는 2.6MHz으로 설정하였다. 각 중계기에서의 채널은 AWGN이며, 모의실험은 각 중첩 시간에 따라 1,000,000번씩 수행하였다.

그림 3은 E_b/N_0 가 10dB 일 때 중첩 시간에 따른 BER 성능을 도시한 것이다. 그림의 결과를 통해, 특정한 중첩 시간에서 ISI 영향을 배제시킴으로써 SLC와 MLC의 BER 성능이 이론적인 성능에 근접한 것을 볼 수 있다. 하지만, 각 중계기에서 데이터를 수신할 때 지연 시간이 $0.15\mu s$ 까지 발생하게 된다면 ISI가 발생되어 BER 성능이 급격하게 저하된다. 따라서 시스템적으로 MLC의 중첩 시간을 조절함으로써 BER 성능을 향상시킬 수 있으며, 동일한 E_b/N_0 환경과

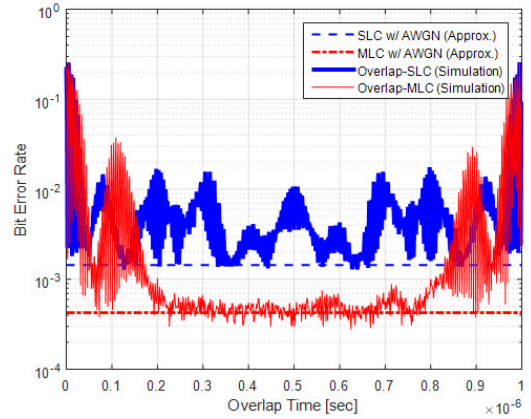


그림 3. 중첩 시간에 따른 BER 성능
Fig. 3. BER performance according to overlap time

BER 성능을 고려할 때 식 (2)에 의해 데이터 전송률을 향상시킬 수 있다.

그림 4는 지연이 발생될 때의 BER 성능을 도시한 것이다. 중계기간 상호 최대 지연 시간은 최적의 중첩 시간으로부터 $\pm 0.25\mu s$ 만큼 무작위로 지연된다고 고려했다. 그림의 결과를 통해, 제안된 MLC-Overlap 기법이 SLC-Overlap 기법보다 BER 10^{-3} 에서 약 3dB 정도 향상된 것을 볼 수 있다. 따라서 제안된 기법이 지연 시간에 보다 강한 특성이 있다고 할 수 있다.

본 논문에서는 처프 기반 2경로 연속 중계 프로토콜에서 중첩 전송 기법을 제안하고 중첩 시간에 따른 BER 성능을 분석하였다. 먼저 데이터 전송 측면에서 최적의 중첩 시간을 고려할 때 ISI 영향이 없이 전송이 가능함을 보였다. 그리고 지연 시간 측면에서 제안된 MLC-Overlap 기법이 SLC-Overlap 기법보다 지

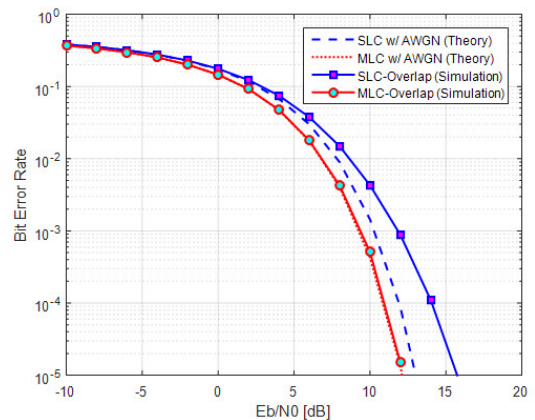


그림 4. 지연이 발생될 때의 BER 성능
Fig. 4. BER performance when the delay has occurred

연 시간에 강인하다는 것을 보였다. 결과적으로 제안된 기법이 중첩 전송에 따른 지연 시간에 강인한 특성을 보임으로써, 처프 기반의 연속 중계 시스템을 보다 안정적으로 만들 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] B. Rankov and A. Wittneben, "Spectral efficient protocols for half-duplex fading relay channels," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 379-389, Feb. 2007.
- [2] E. Cheng, S. Chen, and F. Yuan, "Design and detection of multilinear chirp signals for underwater acoustic sensor networks," *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, Article ID 371579, pp. 1-13, 2015.
- [3] J. Kim, Y. Lee, I. Song, and S. 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, J. Kim, and Y. Shin, "Parallelised relaying protocol with opportunistic priority assignment for enhanced spectral efficiency in cross-relay interference," *IET Commun.*, vol. 13, no. 7, pp. 934-938, Apr. 2019.
- [5] J. Pinkney, "Low complexity indoor wireless data links using chirp spread spectrum," Ph. D. Dissertation, Dept. of Elect. & Comp. Eng., Univ. of Calgary, Calgary, Canada, 2003.
- [6] K.-Y. Kim, S.-W. Lee, Y.-M. Hwang, Y.-S. Kim, J.-S. Lee, J.-Y. Kim, and Y. Shin, "Correlation-based optimal chirp rate allocation for chirp spread spectrum using multiple linear chirps," *IEICE Trans. Fundamentals*, vol. E100-A, no. 4, pp. 1088-1091, Apr. 2017.