

순환천이변조 주파수도약대역확산/시분할다중접속 시스템의 성능 개선에 관한 연구

Study on Performance Enhancement for a Cyclic Code Shift Keying Frequency Hopping Spread Spectrum/Time Division Multiple Access System

김 은 철*, 김 승 춘*, 이 형 근***

Eun Cheol Kim*, Seung-Chun Kim*, Hyungkeun Lee***

Abstract

In this paper, we propose to employ a ternary sequence as a cyclic code shift keying (CCSK) modulation sequence. And we simulate the performance in a frequency hopping spread spectrum/time division multiple access (FHSS/TDMA) system with CCSK. Wireless channel is modeled as Rayleigh fading channel. From the simulation results, it is demonstrated that the system adopting the ternary sequence as a CCSK sequence has higher performance than that with a random sequence.

요 약

본 논문에서는 순환천이변조 (CCSK: cyclic code shift keying) 시퀀스로 삼진 시퀀스를 적용하는 것을 제안하였다. 그리고 순환천이변조를 적용한 주파수도약대역확산/시분할다중접속 (FHSS/TDMA: frequency hopping spread spectrum/time division multiple access) 시스템에서 성능을 모의실험 하였다. 실험에서 무선 채널은 레일리 (Rayleigh) 페이딩 채널로 모델링하였다. 모의 실험 결과로부터 순환천이변조 시퀀스로 무작위 시퀀스를 사용한 시스템보다 삼진 시퀀스를 적용한 시스템이 더 높은 성능을 보이는 것이 증명되었다.

Key words : Cyclic code shift keying (CCSK), frequency hopping spread spectrum/time division multiple access (FHSS/TDMA) system, ternary sequence

1. 서론

순환부호천이변조 (CCSK: cyclic code shift keying)는 이동통신 채널에서 M진 시그널링의 한 형

태로써, 비직교 시그널링 개념이다 [1, 2]. 순환부호천이변조는 하드웨어 구조가 간단하다는 특징을 가지고 있다. 일단 기본 순환부호천이변조 시퀀스가 선택되면 나머지 시퀀스는 기본 순환부호천이변조 시퀀스를 한 비트씩 순환하여 만들 수 있다. 기본 순환부호천이변조 시퀀스는 최대 길이 시퀀스 (MLS: maximal-length sequence) [3], 변형된 최대 길이 시퀀스 (MMLS: modified maximal-length sequence) [4], 무작위 시퀀스 (RS: random sequence)를 이용한다. 그런데 이와 같은 시퀀스는 위상 차이가 0인 경우 최대 자기상관 값을 가지기는 하지만, 위상 차이가 0이 아닌 경우 자기 상관 값이 0이 아닌 임의의 작은 값이 나타날 수 있다. 따라서 이를 통신 시스템에 적용한 경우 채널에서 간섭 신호와 부가 백색 가

* 삼성탈레스 통신연구소 무선통신그룹
(Wireless Communications Group, Communication R&D Center, Samsung Thales)

** 광운대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Engineering, Kwangwoon University)

★ 교신저자 (Corresponding author)

※ 이 논문은 2009년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었음.

接受日:2012年 03月 07日, 修正完了日: 2012年 03月 12日
掲載確定日: 2012年 03月 15日

우시안 잡음 (AWGN : additive white Gaussian noise)이 송신 신호에 영향을 주면, 위상이 0이 아닌 위치에서 Sidelobe가 위상이 0인 위치의 Mainlobe와 구분할 수 없을 수도 있으므로, 수신기에서 순환부호천이변조에 사용된 시퀀스를 찾을 수 없게 된다.

따라서 본 논문에서는 자기상관 특성이 우수한 3진 시퀀스 [5]를 순환부호천이변조를 이용한 주파수도약대역확산/시분할다중접속 (FHSS/TDMA: frequency hopping spread spectrum/time division multiple access) 시스템의 기본 순환부호천이변조 시퀀스에 적용하여 시스템 성능이 향상됨을 확인하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 본 논문에서 고려한 주파수도약대역확산/시분할다중접속 시스템 모델을 제시한다. 그리고 제 III장에서는 주파수도약대역확산/시분할다중접속 방식의 무선통신 시스템에서 발생할 수 있는 간섭 시나리오를 언급한다. 제 IV장에서는 모의 실험 결과를 제시하고, 본 논문의 결론을 제 V장에서 기술한다.

II. 시스템 모델

1. 송신기 모델

그림 1은 본 논문에서 고려한 주파수도약대역확산/시분할다중접속 시스템의 송신기 모델을 나타낸다.

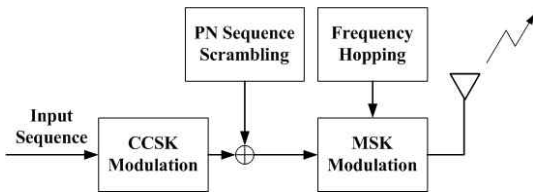


Fig. 1. Transmitter model of a FHSS/TDMA system
그림 1. 주파수도약대역확산/시분할다중접속 시스템 송신기 모델

입력 데이터는 5 비트가 하나의 심볼을 이루게 된다. 따라서 순환부호천이변조기에서 5 비트 심볼은 32 칩 심볼로 순환부호천이변조된다. 그리고 순환부호천이변조기 출력은 32 칩 의사난수 (PN: pseudorandom noise) 시퀀스와 배타적 논리합 (XOR: exclusive OR) 방식으로 스크램블링 된다. 스크램블링된 32 칩 시퀀스는 최소 천이 변조 (MSK: minimum shift keying) 방식으로 Pulse Shaping 된 후, 주파수 도약 과정에서 N개의 반송파중 하나에 실려서 안테나를 통해 송신된다.

2. 채널 모델

본 논문에서의 무선 채널은 레일리 (Rayleigh) 페이딩 채널로 모델링 하였다. 식 (1)은 레일리 확률밀도함수 (PDF: probability density function) [6]를 나타낸다.

$$f_X(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

3. 수신기 모델

그림 2는 본 논문에서 고려한 주파수도약대역확산/시분할다중접속 시스템의 수신기 모델을 나타낸다.

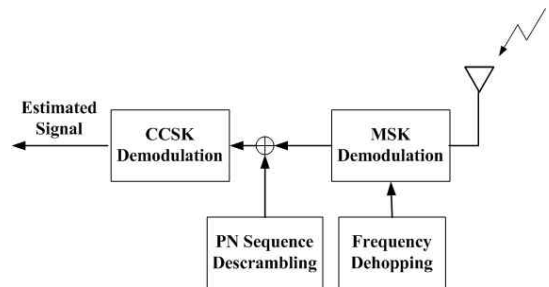


Fig. 2. Receiver model of a FHSS/TDMA system
그림 2. 주파수도약대역확산/시분할다중접속 시스템 수신기 모델

수신된 신호는 주파수 역 도약되고, 최소 천이 복조되며, 송신기에서 스크램블링에 사용된 의사난수 시퀀스와 동일한 시퀀스를 이용하여 역 스크램블링된 후, 순환부호천이복조 과정을 거쳐 5 비트 심볼이 복원된다. 순환부호천이복조는 수신 신호와 모든 가능한 32칩 시퀀스와의 상호상관 (cross-correlation)을 통하여 이루어진다.

III. 간섭 시나리오

그림 3은 본 논문에서 고려한 주파수도약대역확산/시분할다중접속 방식의 시스템에서 발생 가능한 간섭 시나리오를 나타낸다. System A는 Net i에서 데이터를 주고받는 상태이고 데이터 송·수신이 주파수 도약 패턴에 따라 주파수 도약 주기가 끝나면 Net k로 도약하여 통신을 수행한다. System B는 Net j에서 통신을 수행하다가 주파수 도약 주기가 끝나서 Net i의 주파수로 도약한다. 이 때 System A의 송·수신기는 System B의 송·수신기보다 상대적으로 거리가 멀리 떨어져 있어서 더 많은 전파지연 시간, T_D 이 소모된

다. 따라서 Net i 에서 System A의 통신이 끝나지 않은 상태에서 System B가 Net i 의 주파수를 할당받아 동일한 Net에서 두 시스템이 동작하여 심볼간 간섭이 발생한다.

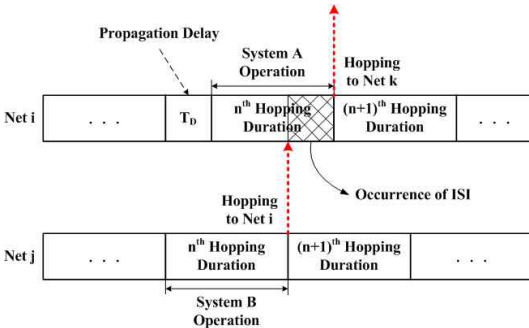


Fig. 3. Interference scenario
그림 3. 간섭 시나리오

본 논문에서는 이러한 심볼간 간섭 및 채널상의 잡음으로 인해 심볼의 일부분을 복원할 수 없는 경우 시스템 성능을 모의실험 하였다.

IV. 모의 실험 결과

본 논문에서 순환부호천이변조를 위해 사용된 기존의 32 칩 시퀀스 S0와 3진 32칩 시퀀스 T0는 표 1에 나타나 있다.

그림 4와 그림 5는 각각 기존의 랜덤한 기본 순환부호천이변조 시퀀스 S0와 본 논문에서 고려한 3진 기본 순환부호천이변조 시퀀스 T0의 자기 상관 특성이다.

Table 1. Fundamental CCSK sequences
표 1. 기본 순환부호천이변조 시퀀스

기본 순환부호천이변조 시퀀스	
S0	01111100111010010000101011101100
T0	1111000011-1-10000-11-110000-111-10000

그림 6은 본 논문에서 고려한 심볼간 간섭이 존재하는 경우, 시퀀스 종류에 따른 시스템 오류율 (BER: bit error rate) 성능이다. 실험에서 신호대 잡음비는 편의상 0 dB, 9dB, 18dB 인 경우만 선별하여 실험을 시행하였다. 실험결과로부터 심볼간 간섭으로 인해

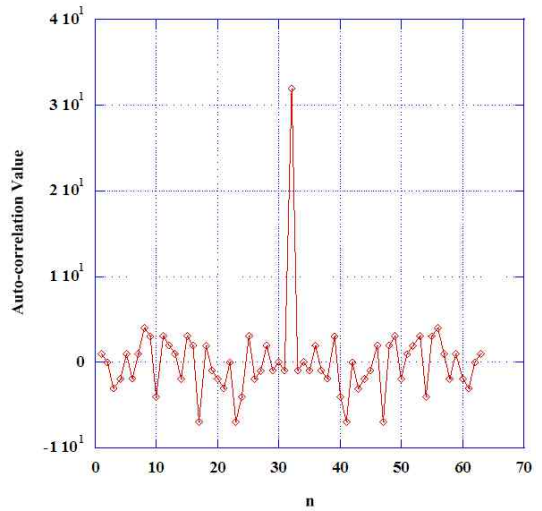


Fig. 4. Auto-correlation characteristic of sequence S0
그림 4. 시퀀스 S0의 자기상관 특성

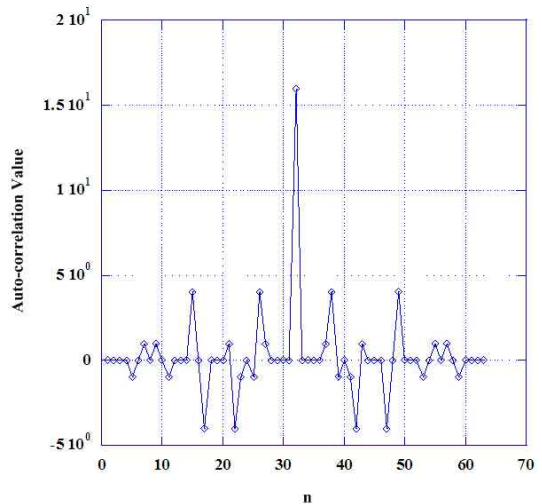


Fig. 5. Auto-correlation characteristic of sequence T0
그림 5. 시퀀스 T0의 자기상관 특성

오류가 발생한 비트 수가 증가할수록 시스템 성능이 열화되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 신호대 잡음비 (SNR: signal to noise ratio)에 상관없이 심볼간 간섭에 대해 본 논문에서 고려한 3진 시퀀스가 기존의 랜덤 시퀀스를 순환부호천이변조에 적용한 경우보다 더 뛰어난 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 4와 그림 5에서 확인할 수 있는 것처럼 자기상

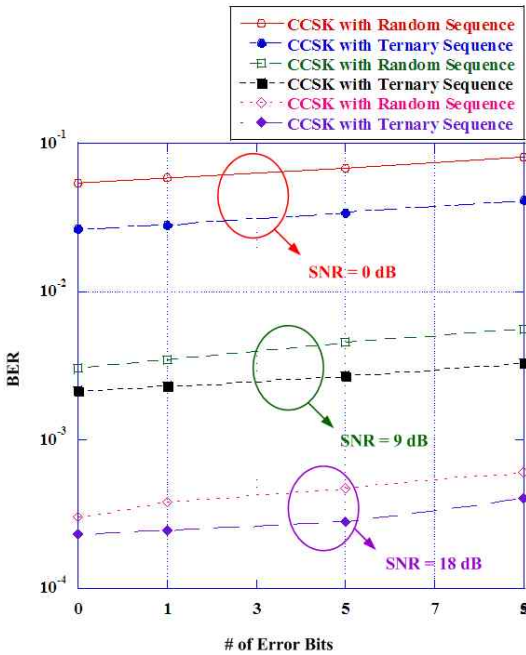


Fig. 6. BER performance of the system with random and ternary sequences for CCSK in the case of existing interference symbol interference

그림 6. 심볼간 간섭이 존재하는 경우 순환부호천이변·복조에서 랜덤 시퀀스와 3진 시퀀스를 적용한 경우 비트오류율 성능

관값이 0이 되는 구간이 3진 시퀀스에서 더 많이 존재하기 때문에, 잡음이나 간섭 신호에 의한 시퀀스의 변화 정도가 상대적으로 더 작기 때문인 것으로 판단된다. 또한 신호대 잡음비가 증가할수록 성능차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이는 신호의 에너지가 충분히 크기 때문에 심볼간 간섭의 영향이 상대적으로 작기 때문인 것으로 판단된다.

V. 결론

본 논문에서는 순환부호천이변조를 심볼 변조 방식으로 이용하는 주파수도약대역확산/시분할다중접속 시스템에서 순환부호천이변조에 사용되는 시퀀스에 따른 시스템 성능을 모의 실험을 통해 확인하였다. 기존의 시퀀스는 랜덤 시퀀스이고 본 논문에서 적용을 제안한 시퀀스는 3진 시퀀스이다. 모의 실험 결과로부터 3진 시퀀스를 순환부호천이변조에 적용한 시스템에 기존의 랜덤 시퀀스를 적용한 시스템에 비해 심볼간 간섭이 존재하는 경우를 포함하여 모든 경우

에 뛰어난 성능을 나타내는 것을 확인하였다. 본 논문의 결과는 순환부호천이변조방식을 적용한 주파수도약대역확산/시분할다중접속 시스템을 구현하는 데 참고자료로 활용될 수 있다.

참고문헌

- [1] J. D. Endsley and R. A. Dean, "Multi-access properties of transform domain spread spectrum systems," *In Proc. of Tactical Commun. Conf.*, vol. 1, pp. 505-506, May 1994.
- [2] G. M. Dillard, M. Reuter, J. Zeidler, and B. Zeidler, "Cyclic code shift keying: A low probability of intercept communication technique," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Sys.*, vol. 39, no. 3, pp. 786-798, July 2003.
- [3] R. C. Dixon, *Spread Spectrum Systems with Commercial Applications*, 3rd ed., New York: Wiley, 1994.
- [4] U. C. G. Fiebig and M. Schnell, "Correlation properties of extended m-sequences," *IEEE Electron. Lett.*, vol. 29, no. 20, pp. 1753-1755, Sep. 1993.
- [5] D. Wu, P. Spasojevic, and I. Seskar, "Ternary zero correlation zone sequences for multiple code UWB," *in Proc. of the 37th Annual Conf Inform. Science and Sys. (CISS 2003)*, Baltimore, MD, Mar. 2003.
- [6] A. L. Garcia, *Probability and Random Processes for Electrical Engineering*, 2nd ed., Addison Wesley, 1994.

저 자 소 개

김 은 철 (비회원)



2003년 : 광운대학교 전자공학부 졸업 (공학사)
 2005년 : 광운대학교 대학원 전과 공학과 (공학석사)
 2010년 : 광운대학교 대학원 전과 공학과 (공학박사)
 2010년 4월~현재 : 삼성탈레스 통신연구소 무선통신그룹 전문연구원
 <주관심분야> 디지털통신, 채널부호화, 인지라디오, 양립성 분석

김 승 춘(비회원)



2003년 : 한남대학교 대학원 정보
통신학과 (공학석사)
2011년 : 광운대학교 대학원 방위
사업학과 (공학박사)
2009년 : 방위사업청 체계통합사
업팀 육군 대령 예편
2010년 1월~현재 : 삼성탈레스

(주) 통신연구소 수석연구원

<주관심분야> 전술데이터링크, 통신단말기, KVMF

이 형 근(정회원)



1987년 : 연세대학교 전자공학과
(공학사)

1998년 : Syracuse University
컴퓨터공학과 (공학석사)

2002년 : Syracuse University
컴퓨터공학과 (공학박사)

2003년 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨

터공학과 부교수

<주관심분야> 무선센서네트워크, 멀티홉 무선통신,
전술데이터링크, KVMF