

주파수 도약 시스템에서의 항재밍 순환 LDPC 부호 및 병렬 복호화 기법

김찬기, 안형배, 노종선, 박진수*, 송홍엽*, 안재하**

서울대학교 전기정보공학부, *연세대학교 전기전자공학부, **국방과학연구소

Anti-Jamming Cyclic LDPC Codes and Parallel Decoding Scheme under Frequency Hopping Spread Spectrum System

Chanki Kim, Hyoung-Bae Ahn, Jong-Seon No, *Jin Soo Park, *Hong-Yeop Song, **Jaeha Ahn

Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University; *School of Electrical

and Electronic Engineering, Yonsei University; **Agency for Defense Development

{carisis, ahb0429}@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, *{js.park09, hysong}@yonsei.ac.kr,

**anjaha@add.re.kr

요 약

본 논문은 순환 LDPC 부호 및 병렬 복호화 기법이 주파수 도약 환경의 부분 대역 재밍 환경에서 항재밍 성능을 지닐 수 있음을 보여준다. 먼저, 순환 LDPC 부호의 기존 설계 및 새로운 설계 기법을 소개한다. 또한 순환 부호의 성질에 의해 보장되는 인터리빙 기법을 이용한 새로운 병렬 복호화 기법을 소개한다. 제안된 순환 LDPC 부호 및 병렬 복호화 기법은, 재밍 환경과 같이 높은 SNR 에도 채널 오류율이 일정 수준 이상인 환경에서 높은 성능을 지니고 있다. 이를 보이기 위해 재밍 환경에서 기존 통신 규격인 802.16e 규격의 LDPC 부호와 비교하였다.

1. 서론

전술통신은 군사적 목적으로 설계된 통신 체계로서, 기존 상용 통신 대비 열악한 통신 환경을 가정한다. 전술 통신의 가장 대표적인 특징 중 하나는 재밍의 존재로, 재밍은 재머가 의도적으로 방해 전파를 통해 정상적인 통신을 방해하는 것을 의미한다. 이러한 재밍 기법은 전자전 연구의 핵심 주제 중 하나로, 최근 발전된 통신 기술을 이용하여 더욱 효율적이며 위협적인 방식으로 변화하고 있다.

재밍 효과를 상쇄하는 항재밍 기법 또한 많은 기술이 있으며, 그 중 하나는 주파수 도약 시스템이다. 주파수 도약을 통해 사용 대역에서 재밍에 영향을 받을 확률을 낮출 수 있으나, 최근 추적 재밍과 같은 발전된 재밍 환경은 주파수 도약을 무력화하기도 한다.

부호 기법은 본래 통신 채널의 오류를 정정하여, 물리 계층의 신뢰도를 높이는 목적으로 개발되었으나, 항재밍 기법으로 활용이 가능하다. 항재밍 방법으로서 RS 부호 [1] 및 Turbo 부호가 [2] 연구된 바 있으며, 이 경우 기존 대비 강력한 성능의 부호를 필요로 한다. 이 논문에서의 주제인 순환

LDPC 부호 또한 기존 LDPC 부호 대비 높은 성능을 지니고자 고안되었으며, 그 대신 높은 복잡도의 복호기를 사용해야 한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 시스템 모델에서는 주파수 도약 시스템 및 부분 대역 재밍 환경에 대해서 설명하고, 부호화 기법 중 순환 LDPC 부호 및 병렬 복호화 기법에 대해 설명한다. 마지막으로, 모의 실험을 통한 항재밍 성능을 검증한다.

2. 본론

A. 시스템 모델

이 논문의 시스템 모델은 Fig. 1 과 같다. 송신 전에 주파수 도약기에 의해 같은 대역을 사용하는 100~200 비트 사이의 홉이 형성되며, 각 홉당 채널 중 ρ 의 확률로 재밍이 삽입된다. 따라서 AWGN 에 의한 비트 단위의 오류 외에도 홉 단위의 오류가 발생한다. 홉 단위의 오류를 무작위화하기 위해 인터리버가 사용된다. LDPC 복호기는 무작위화된 재밍 및 오류를 바탕으로 BP 복호화를 수행한다.



Fig 1. 시스템 모델

B. 순환 LDPC 부호 및 병렬 BP 복호화

순환 LDPC 부호는 대수적 성질에 의해 설계되며, 또한 높은 부호 최소 거리를 확보할 수 있는 장점이 있으나, 설계 방법이 제한되어 있다는 점과 BP 복호화에서의 성능이 우수하지 않다는 단점이 있다.

이를 극복하기 위해, 먼저 이 논문은 기존 설계법인 EG-LDPC 및 $n|2^m+1$ 을 만족하는 n 에 대한 설계 [3]의 방법을 제시한다. 논문 [3]에서 제시한 $(n, n-1)$ 의사순환 (pseudo-cyclic) MDS (maximum separable distance) 부호를 이용한 방법을 위해 순환 부호의 해가 $n-1$ 개가 모두 연속적인 관계에 있어야 한다. 그런데 일반적으로 $n|2^m+1$ 의 경우처럼 반드시 두 개의 해로서 기약 다항식으로만 나누어지지 않는 경우라도, 결과적인 해의 위치가 하나를 제외하며 모두 연속적인 경우 MDS 성질은 문제없이 성립한다. 따라서 새로운 설계는 기존 조건에서 완화되어 $GF(2^m)$ 상에서 $x^n=a$ 를 만족하는 해가 하나 이상 존재하는 모든 경우에 대해서 만족한다.

또한 병렬 복호화는 순환 부호의 $(n/2 \times 2)$ 의 블록 인터리빙에도 같은 부호어를 반환하는 특징에 의해 얻어진다.

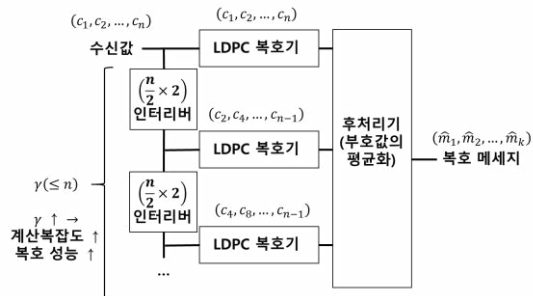


Fig 2. 병렬 BP 복호화 기법

Fig. 2 와 같은 병렬 복호화에서 인터리빙 후의 복호화 결과로부터 기존 BP 복호화에서 실패했던 오류를 추가적으로 복구할 수 있으며, 병렬 수신 y 를 높일수록 복호 성능을 비약적으로 향상시킬 수 있다.

C. 모의 실험

모의 실험을 위해 (2304,1920) 802.16e 규격의 LDPC 부호와 (2555,2050) 순환 LDPC 부호를 이용하였다. BPSK 변복조화 기법 및 부분 대역 재밍 환경을 가정하였으며, 재밍이 없는 경우는 SNR 에 따른 비트 오류율 (BER)의 결과를, 재밍이 존재하는 경우는 SNR 이 4[dB]인 상황에서 흡과 재밍이 만날 확률인 ρ 값에 따른 비트 오류율의 변화를 측정하였다

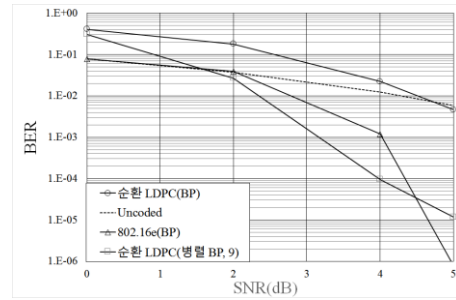


Fig 3. 재밍이 없을 때의 부호 성능

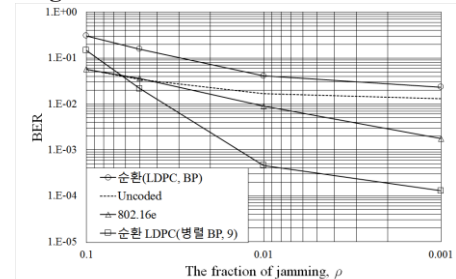


Fig 4. 재밍 비율에 따른 부호 성능

Fig. 3 및 4 에서 얻은 시뮬레이션 결과, 재밍이 없을 경우 순환 LDPC 및 병렬 복호화에서 802.16e 의 LDPC 부호보다 우수한 역전 구간이 나타났다. 또한 재밍 환경에서는 넓은 재밍 비율에서 순환 LDPC 부호 및 병렬 복호화의 성능이 우수하였다. 이는 SNR 을 높여도 유사하게 나타나는데, 이유는 재밍의 존재로 채널 오류율이 일정 이하로 감소하지 않으므로, SNR 값과 관계없이 재밍이 없었을 때의 역전 구간안에 존재하기 때문이다.

3. 결론

이 논문에서는 순환 LDPC 부호의 새로운 설계 및 병렬 복호화 기법을 제안하였다. 또한 제안된 기법이 부분 대역 재밍 환경에서 우수한 성능을 보임을 모의 실험을 통해 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

4. 참고 문헌

[1] C. D. Frank and M. B. Pursley, "Concatenated coding for frequency-hop spread-spectrum with partial-band interference," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, pp. 377-387, Mar. 1996.
 [2] Q. Zhang and T. Le-Ngoc, "Turbo product codes for FH-SS with partial-band interference," *IEEE Trans. Wireless. Commun.*, vol. 1, pp. 513-520, Jul. 2002.
 [3] C. Chen, B. Bai, X. Yang, L. Li, and Y. Yang, "Enhancing iterative decoding of cyclic LDPC codes using their automorphism groups," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, pp. 2128-2137, Jun. 2013.