

# 리스트 연속 제거 복호의 순환중복검사를 이용한 부분 대역 재밍 탐지 기법

안형배, 노종선, 안재하\*

서울대학교 전기·정보공학부 뉴미디어통신공동연구소, \*국방과학연구소

ahb0429@ccl.snu.ac.kr, jsno@snu.ac.kr, \*anjaha@add.re.kr

## Jamming Detection Scheme using Cyclic-Redundancy-Check of the Successive-Cancellation List Decoding under Partial Band Jamming Channels

Hyoungbae Ahn, Jong-Seon No, Jaeha Ahn\*

Seoul National Univ. INMC, \*Agency for Defense Development

### 요약

본 논문은 가산성 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise, AWGN)과 부분 대역 재밍(partial band jamming, PBJ)이 존재하는 채널에서 극 부호의 리스트 연속 제거 복호(list successive-cancellation decoding) 과정에서 사용하는 순환중복검사(cyclic-redundancy-check, CRC) 결과를 이용한 재밍 탐지 기법을 제안한다. 이 기법을 활용하여 내부 극 부호의 복호 과정에서 CRC 를 만족하지 않는 경우 소실 삽입(erasure insertion)을 하는 길이  $2^{13}$ , 부호율 0.328 의 연결 극 부호를 설계하였다. 신호 대 잡음비  $E_b/N_0 = 5$  dB, 신호 대 재밍비  $E_b/N_j = 0$  dB, 대역비(fractional bandwidth)  $\rho = 0.1$ 인 환경에서 연결 극 부호의 비트 당 오류율(bit error rate, BER)은  $2.892 \times 10^{-4}$ 을 달성하였다.

### I. 서론

리스트 연속 제거 복호는 2008 년 E.Arikan[1]이 제안한 연속 제거 복호 기법에 리스트 복호 기법을 보다 효율적으로 적용한 복호 기법으로 2012 년에 I.Tal 과 A.Vardy[2]가 제안하였다. [2]에서는 정보 비트에 CRC 비트를 추가한 뒤 최종적으로 복호 경로를 선택하는 과정에서 해당 검사를 만족하는 경로를 이용한 복호 기법을 추가로 제안하였고, 이러한 기법을 적용한 극 부호는 오류 정정 및 탐지 성능이 뛰어나 최근에는 5G 무선 통신의 한 시나리오인 eMBB(enhanced mobile broad-band)의 컨트럴 채널의 부호로 채택되었다.

부분 대역 재밍은 일부의 대역에만 에너지를 집중하여 해당 대역을 효율적으로 공략하며, 비트 당 신호 대 재밍의 세기를 나타내는  $E_b/N_j$ 와 전체 대역 중 재밍의 영향을 받는 대역의 크기의 비를 나타내는 대역비  $\rho$ 로 묘사된다. 이러한 재밍을 극복하기 위한 방법으로 주파수 도약 대역 확산(frequency hopping spread spectrum, FHSS) 통신 시스템, 소실 삽입 기법 그리고 RS 연결 부호[3], LDPC 부호[4] 등 다양한 기법들이 활용된다.

본 논문에서는 리스트 연속 제거 복호 과정에서 사용되는 CRC 결과를 활용한 재밍 탐지 기법의 성능을 확인하고, 이 결과를 활용하여 소실 삽입을 하는 연결 극 부호의 성능을 확인한다.

### II. 본론

본 논문에 사용되는 시스템 모델은 그림 1 과 같다. 채널에는  $E_b/N_0$ 가 일정한 AWGN 과 다양한  $E_b/N_j$  와  $\rho$  를 갖는 PBJ 가 가산된다고 가정한다. 이때, 송신단과 수신단 모두 어떠한 흡에 재밍이 걸리는지의 여부를 알 수 없다고 가정한다.

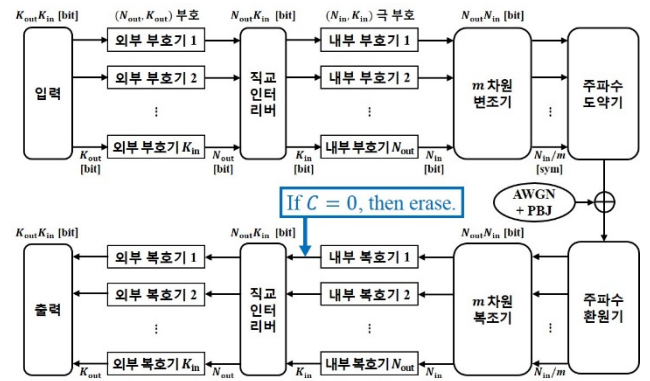


그림 1. 항 재밍 연결 극 부호 시스템 모델

연접 부호는 부호와 메시지의 길이가  $(N_{out}, K_{out})$ 인 외부 부호  $K_{in}$  개와 부호와 메시지의 길이가  $(N_{in}, K_{in})$ 인 내부 극 부호  $N_{out}$  개의 product 구조로 구성되며, 직교 인터리버(interleaver)에 의해 외부 부호로 부호화된  $K_{in}$  개의 메시지가  $N_{out}$  개의 내부 부호의 메시지로 배열된다. 이때, 내부 극 부호의 CRC 비트 길이를  $n_{CRC,in}$ , 리스트 길이를  $L_{in}$  라고 정의한다. 하나의 흡은 하나의 내부 부호이고  $N_{out}$  개의 흡이 모여서 하나의 연결 부호를 구성한다고 가정한다. 이 경우 흡의 길이는  $N_{in}$ 이며 전체 부호율은  $K_{out}K_{in}/N_{out}N_{in}$ 이다.

외부 부호는 오류와 소실 모두 복호 가능한 복호기를 사용한다고 가정하고, 내부 극 부호는 CRC 를 사용하는 리스트 연속 제거 복호 과정을 거친다고 가정한다. 도약 채널을 통해 수신된 신호가 재밍의 영향을 받았다고 판정되는 경우 해당 흡, 즉 해당 내부 부호를 복호하지 않고 전부 소실(erasure)로 처리한다. 소실로 처리된 비트열은 역인터리빙(deinterleaving)되어 외부 부호 복호 과정에서 소실 비트로 작용한다.

기존 재밍 탐지 기법들이 수신 신호의 복조 과정에서 재밍을 탐지하였다면, 제안하는 기법에서는 복조는 정상 진행하고 내부 극 부호를 복호하는 과정에서 리스트 내에 CRC 를 만족하는 경로가 없을 때 소실로 처리한다. 확률변수  $H$ 와  $C$ 를 다음과 같이 정의할 때,

$$H = \begin{cases} 0 & \text{실제로 도약 채널에 재밍이 존재} \\ 1 & \text{실제로 도약 채널에 재밍이 부재} \end{cases}$$

$$C = \begin{cases} 0 & \text{리스트 내에 CRC 를 만족하는 경로 부재} \\ 1 & \text{리스트 내에 CRC 를 만족하는 경로 존재} \end{cases}$$

재밍이 존재함에도 불구하고 탐지를 실패하는 거짓 양성 확률  $P_0$  은 다음과 같이 정의된다.

$$P_0 = \Pr\{C = 1|H = 0\} \quad (1)$$

재밍이 존재할 때 이를 탐지해낼 확률  $P_D$ 은 다음과 같다.

$$P_D = \Pr\{C = 0|H = 0\} = 1 - P_0 \quad (2)$$

$E_b/N_0 = 5$  dB 인 잡음과  $\rho = 0.1$  인 PBJ 가 존재하는 환경에서 BPSK 와 (128, 64) 극 부호를 사용하는 경우  $E_b/N_j$ 에 따른  $P_D$ 의 그래프는 그림 2 와 같다.

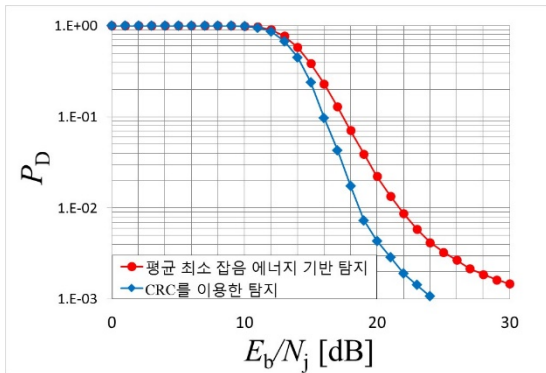


그림 2.  $E_b/N_j$ 에 따른  $P_D$ 의 성능 ( $n_{CRC} = 16, L = 8$ )

[5]에서 제안한 평균 최소 잡음 에너지 기반 재밍 탐지 기법과 성능을 비교한 결과, 재밍이 실제로 존재할 때 이를 탐지하는 성능은 [5]의 기법이 더 우수하다. 그러나 CRC 를 이용한 탐지 기법은 재밍이 존재하지 않는 환경에서도 복호에 실패하는 경우도 탐지한다. 이는 탐지된 홉을 소실 처리하는 연접 부호의 관점에서는 외부 부호의 복호 거리를 경감시켜 전체 부호 성능에 도움이 된다.

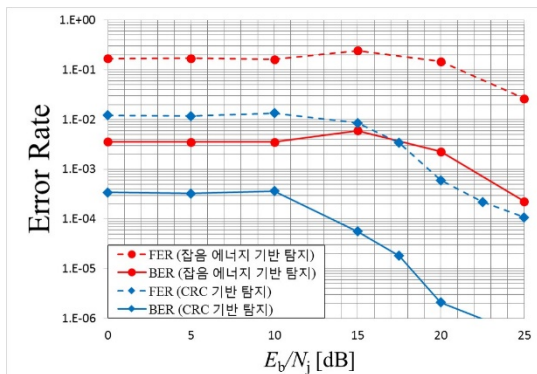


그림 3.  $E_b/N_j$ 에 따른 연접 부호의 성능 비교

그림 3 은 탐지 기법 별로  $E_b/N_j$ 에 따른 프레임 당 오류율(frame error rate, FER)과 BER 을 나타낸 그래프이다. 이때 연접 부호의 내부 부호는  $n_{CRC,in} = 16, L_{in} = 8$  의 (128, 64) 극 부호를 사용하고, 외부 부호는  $n_{CRC,out} = 8, L_{out} = 8$  의 (64, 42)의 극 부호를 사용하여 전체 부호율은 0.328 이다.  $P_D$ 의 관점에서는 CRC 기반 재밍 탐지의 성능이 조금 열등하지만, 재밍이 존재하지 않을 때 CRC 기반 재밍 탐지가 가져다 주는 외부 부호의 복호 이득 덕분에 연접 부호 전체의 성능은 더 우수함을 확인하였다.

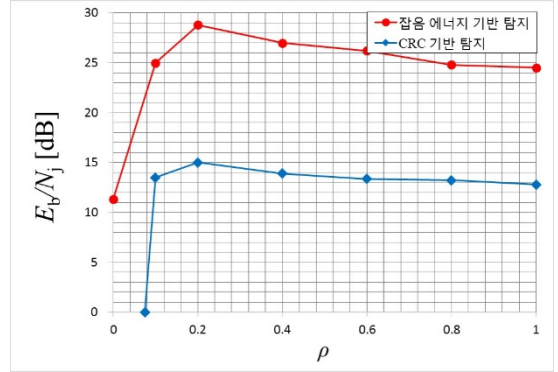


그림 4.  $\rho$ 에 따른  $BER \leq 10^{-4}$ 을 달성하는  $E_b/N_j$

그림 4 는 탐지 기법 별로  $BER \leq 10^{-4}$ 을 달성하도록 하는  $E_b/N_j$ 의 값을  $\rho$ 에 따라 그린 그래프이다.  $\rho = 0.1$ 일 때 뿐만 아니라 다양한  $\rho$ 값에 대해서도 CRC 기반 재밍 탐지의 성능이 우수함을 확인하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] E. Arıkan, "Channel Polarization- A Method for Constructing Capacity-Achieving Codes for Symmetric Binary-Input Memoryless Channels," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 55, No. 7 pp. 3051-3073, Jul. 2009
- [2] I. Tal and A. Vardy, "List Decoding of Polar Codes," Wireless Communications and Signal Processing, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 61, No. 5 pp. 2213-2226, May. 2015
- [3] Yu T. Su and Li-Der Jeng, "Antijam Capability Analysis of RS-Coded Slow Frequency-Hopped Systems, IEEE Transactions on Communications, Vol. 48, No. 2 pp.270-280, Feb. 2000
- [4] K. Yang, B. Zhang, H. Wang, and D. Guo, "The Performance Analysis of LDPC Coded SFH/BPSK Anti-Jamming System," Wireless Communications and Signal Processing, 2015 International Conference, Dec. 2015
- [5] H. Ahn, C. Kim, J.-S. No, J. S. Park, H.-Y. Song, and S. W. Han "The Higher-Order-Modulated Slow-Frequency-Hopping Spread-Spectrum System over AWGN under Partial-Band Jamming," in Proc. Symp.KICS, pp. 14-24, Jan. 2017.