

# IRIG 106-23 텔레메트리 표준 기반 LDPC 복호기의 반복 조기 종료 알고리즘

이재훈, 정현우, 홍예권, 정지원, 이태진\*

한국해양대학교, \*한국항공우주연구원

bear9907@g.kmou.ac.kr, gusdn0930@g.kmou.ac.kr, cl170625@g.kmou.ac.kr,

jwjung@kmou.ac.kr, \*leetj0101@kari.re.kr

## Repetition Early Stop Algorithm for IRIG 106-23 Telemetry Standard-Based LDPC Decoders

Lee Jae Hun, Jeong Hyun Woo, Hong Ye Gwon, Jung Ji Won, Lee Tae Jin\*

Korea Maritime and Ocean Univ., Korea Aerospace Research Institute\*

### 요약

LDPC 부호와 같은 반복 부호는 복호 시 반복을 통하여 성능을 향상하나, 일정한 반복 이상일 때는 성능 변화가 없다. 따라서 본 논문은 텔레메트리 시스템을 정의하는 IRIG-106 표준으로 채택된  $(N, K)$  LDPC의 많은 반복 횟수와 계산량을 줄이기 위해 강판정된 현재의  $N$  비트의 복호 비트와 이전 반복 시 복호기 입력 비트를 비교하여 일정 조건을 만족할 시 반복을 멈추어 큰 성능 열화 없이 반복 횟수가 감소함을 확인하였다.

### I. 서론

우주 항공분야에서 텔레메트리(Telemetry) 시스템은 우주선, 위성, 로켓 등 비행체에서 수집된 정보를 지구 관제센터로 전송하기 위해 사용하는데, 이는 실시간 비행 위치와 동작 상태를 파악하기 위한 시스템으로 발사 임무 수행 및 비행안전 통제를 위해서 필요하다. 이러한 텔레메트리 시스템에 적용되는 통신 기술을 정의하는 IRIG-106 표준(Inter-Range Instrumentation Group-106 Standard)[1]에서는 채널부호화 기법으로 새년의 한계에 근접하는 LDPC(Low Density Parity Check)[2]가 채택되어 많은 연구가 진행 중이다. 그러나 LDPC가 새년의 한계에 근접하기 위해서는 큰 블록 크기의 LDPC 부호와 많은 반복 횟수, 계산량을 요구한다. 따라서 본 논문에서는 HDA(Hard Decision Aided) 알고리즘을 이용하여 LDPC 복호의 반복 횟수와 계산량을 줄이는 반복 조기 종료 알고리즘을 제시한다. HDA는 그전의 복호 비트와 현재의 복호 비트를 비교하여 변화가 없으면 더 이상 반복을 하지 않은 방식이다[3]. 본 논문에서는 최대 복호 반복 횟수를 30회로 설정하였을 때 HDA 반복 조기 종료 알고리즘 적용하여  $K = 1024$ , 부호율  $R=1/2$ 일 때 성능 변화 및 반복 횟수 감소에 관한 모의실험을 진행하였다.

### II. 본론

#### 1. LDPC 복호 알고리즘

LDPC 부호의 복호는 비트 노드와 체크 노드 값을 belief propagation 알고리즘에 따라 반복 복호하는 방식을 사용한다[4]. 먼저  $m$ 번째 비트 노드에서  $n$ 번째 체크 노드로 전달되는 값,  $Lq_{m'n}$ 를  $m$ 번째 수신 신호인  $y_m$ 로 초기화 한다. 이후  $n$ 번째 체크 노드에서  $m$ 번째 비트 노드로 값을  $Lr_{m'n}$  식 (1)에 따라 계산한다. 본 논문에서는 식 (1)과 등가인 sub-optimal 알고리즘을 사용하였으며, 함수  $F(\alpha, \beta)$ 의 반복 연산을 통

하여 나타낼 수 있다. 함수  $F(\alpha, \beta)$ 는 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$Lr_{m'n} = 2 \tanh^{-1} \left( \prod \tanh \frac{Lq_{m'n}}{2} \right) \quad (1)$$

$$F(\alpha, \beta) = \text{sgn}(\alpha) * \text{sgn}(\beta) * \min(|\alpha|, |\beta|) + \ln \left( \frac{e^{-|\alpha+\beta|} + 1}{e^{-|\alpha-\beta|} + 1} \right) \quad (2)$$

$n$ 번째 체크 노드에 연결된 비트 노드 두 값을  $F(\alpha, \beta)$ 에 입력 후, 출력 값과 나머지 연결된 비트 노드 값을 다시  $F(\alpha, \beta)$ 에 입력한다. 이와 같은 과정을 반복하여  $n$ 번째 체크 노드에 연결된 모든 비트 노드 값이 참조된 출력 값은 식 (1)과 등가인  $Lr_{m'n}$  값이다. 이후 식 (3)과 같이 비트 노드 값을 갱신하여 비트 노드와 체크 노드를 반복 복호한다.

$$Lq_{m'n} = y_m + \sum Lr_{n'm} \quad (3)$$

최대 반복 이후 최종적인 복호 값은 식 (4)와 같다.

$$LQ_n = y_m + \sum Lr_{m'n} \quad (4)$$

#### 2. Hard Decision Aided 알고리즘

LDPC와 같은 반복 부호는 일정한 반복 후에는 더 이상 성능이 개선되지 않는 현상이 있고 이때, 불필요한 반복을 계속하게 되면 복호 속도 저하를 초래한다. 따라서 각 반복 후 얻은 값을 강판정하여 얻은 비트와 이전 복호 비트와 비교하는 HDA 알고리즘을 사용하여 불필요한 반복을 줄여 복호 속도를 빠르게 하는 반복 조기 종료 알고리즘을 제시한다. HDA란  $i$ 번째 반복에서 부호어의 길이  $N$ 개의  $LQ$  값을 강판정된 복호 비트열  $\hat{a}_k^i = [\hat{a}_1^i, \hat{a}_2^i, \dots, \hat{a}_N^i]$ 과 직전 반복의 복호 비트열

$\hat{a}_k^{i-1} = [\hat{a}_1^{i-1}, \hat{a}_2^{i-1}, \dots, \hat{a}_N^{i-1}]$ 을 다음 식 (6)을 통해 계산하고 계산된 값  $d_k^i$ 와  $d_k^{i-1}$ 의 합  $D^i$ 을 식 (7)을 통해 계산한다. 이때,  $D^i$ 와  $D^{i-1}$ 간에 변화가 없다면 복호를 종료하는 알고리즘이다.  $i_{\max}$ 는 LDPC 최대 복호 반복 횟수를 나타낸다.

$$d_k^i = \begin{cases} 1 & \text{if } \hat{a}_k^i \neq \hat{a}_k^{i-1} \quad (i = 2, 3, \dots, i_{\max}) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$D^i = \sum_{k=1}^N d_k^i \quad (6)$$

### 3. 모의실험 결과

모의실험은  $10^6$ 회 진행하였으며 표 1은 모의실험 파라미터를 나타낸다. 채널부호화기법은 LDPC를 사용하였다. 변조방식은 IRIG-106 표준을 기반으로 한 SQPSK-TG(Shaped Offset Quadrature Phase Shift Keying - Telemetry Group)을 사용하였으며 복조기법은 Max-Log MAP(Maximum A Posteriori)을 사용하였다. LDPC의 최대 복호 반복횟수는 30회로 설정하였으며 채널환경은 AWGN(Additive White Gaussian Noise)로 설정하여 모의실험을 하였다.

표 1. 모의실험 파라미터

Table 1. Simulation parameter

정보 비트 수( $K$ )	1024
부호율( $R$ )	1/2
채널부호화 기법	LDPC
변조방식	SQPSK-TG
LDPC 최대 반복횟수( $i_{\max}$ )	30
채널 환경	AWGN

그림 1은 HDA 알고리즘 적용 여부에 따른 BER(Bit Error Rate) 그래프를 나타낸다.

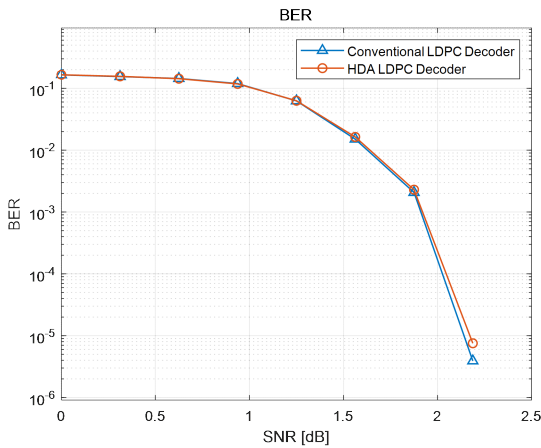


그림 1. BER 성능

Fig 1. BER performance

HDA를 적용한 복호기의 성능은  $10^{-4}$ 에서 기존 복호기와 매우 유사한 성능을 확인했다. 그림 2는 HDA 조기 종료 알고리즘을 적용해 각 SNR

에서의 평균 반복 횟수를 나타낸다.

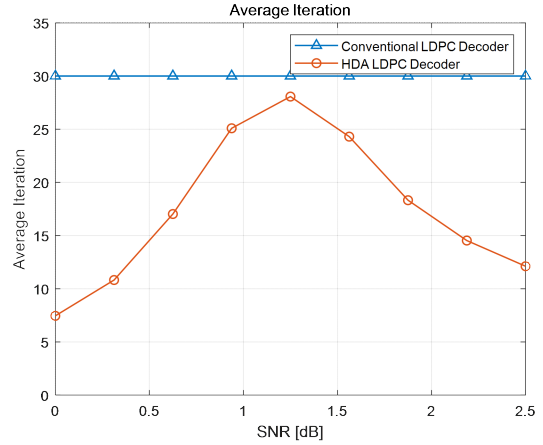


그림 2. 평균 반복 횟수 ( $K=1024, R=1/2$ )

Fig 2. Average iteration number ( $K=1024, R=1/2$ )

LDPC가 오류를 정정하기 힘든 낮은 SNR에서는 빠르게 반복을 끝내 반복 횟수를 줄였고 2 dB에서 평균 16.8회로 기존 복호기 대비 43.98% 감소가 있는 것을 확인했다.

### III. 결론

IRIG-106 표준에서 채널 부호화 기법으로 채택된 LDPC는 좋은 성능을 위해 많은 복호 반복 횟수와 계산량이 필요하다. 이런 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 HDA 방식의 반복 조기 종료 알고리즘을 IRIG-106 표준 기반 LDPC 복호기에 적용하여  $K=1024, R=1/2$ 일 때 성능을 비교해 본 결과, 2 dB에서 기존 복호기 대비 43.98% 반복 횟수 감소가 있고 약 0.02 dB의 성능 열화를 확인하였다. 다른 정보비트 크기와 부호율에서도 복호 시간을 단축하지만, 성능 열화는 거의 없을 것으로 예상된다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 한국항공우주연구원의 우주센터 선진화사업의 지원을 받아 수행된 연구임

### 참고 문헌

- [1] Telemetry Standards, IRIG-106 Standard 106-23 Chapter 2, July 2023.
- [2] R. Gallager, "Low-density parity-check codes," IEEE Transactions on Information Theory, vol. 8, no. 1. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), pp. 21 - 28, Jan-1962.
- [3] 김철승, 김민혁, 박태두, and 정지원, "무선 랜 규격에서의 고속 알고리즘을 이용한 LDPC 복호기 구현," 한국정보통신학회논문지, vol. 14, no. 12, pp. 2783-2790, 2010.
- [4] 구영모, 김성중, and 김복기, "HLS를 이용한 텔레메트리 표준 106-17 LDPC 복호기 설계," 한국항공우주학회지, vol. 49, no. 4, pp. 335-342, 2021.