

다중 경로 환경에서 IRIG 106 텔레메트리 표준 기반 LDPC 복호기의 최적 채널 신뢰도에 관한 연구

홍예권, 정현우, 이재훈, 정지원, 한정우*

한국해양대학교, *한국항공우주연구원

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

jwjung@kmou.ac.kr, *hjw1002@kari.re.kr

A Study on the Optimal Channel Reliability of an IRIG 106 Telemetry Standard-Based LDPC Decoder in Multipath Environments

Hong Ye Gwon, Jeong Hyun Woo, Lee Jae Hun, Jung Ji Won, Han Jeong woo*

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

요약

LDPC 부호와 같은 반복 복호 방식의 부호는, 복호기 입력 신호에 대한 채널 신뢰도가 반복 복호 과정에서 성능을 좌우하는 중요한 요소이다. 따라서 본 논문에서는 IRIG 106-23 텔레메트리 표준에 적용된 SOQPSK-TG 복조부와 LDPC 복호기가 결합된 구조에서, 정확한 채널 신뢰도를 추정하는 알고리즘을 제시하며, 채널 신뢰도 값에 따른 성능 차이를 분석한다. 기존 방식은 수신 신호에 대한 채널 신뢰도를 구하여 LDPC 복호기로 입력되는데, max-log MAP 방식의 SOQPSK-TG 복조 후 LDPC 복호기 입력 시 채널 신뢰도 값이 바뀌므로 이에 대해 정확히 추정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 제안된 채널 신뢰도 추정 기법을 적용하였을 때 표준에 제시된 정보 비트 크기 ($K=1024$)와 부호화율 ($R=1/2, 2/3, 4/5$)에서 BER 성능이 다중 경로 및 가우시안 잡음 존재 시, 기존 방식에 비해 약 0.2dB~0.3dB 개선됨을 확인하였다.

I. 서론

본 논문에서는 IRIG (Inter-Range Instrumentation Group) 텔레메트리 표준은 지상에서 발사체의 정보를 실시간으로 파악하기 위한 무선 통신 규격으로 이는 SOQPSK-TG(Shaped Offset Quadrature Phase Shift Keying - Telemetry Group) 변조가 적용된 LDPC (Low Density Parity Check) 부호를 적용한다 [1-2]. 표준에 적용된 LDPC 부호와 같은 반복 복호 방식의 부호는, 복호기 입력 신호에 대한 채널 신뢰도가 반복 복호 과정에서 성능을 좌우하는 중요한 요소이므로 본 논문에서는 정확한 채널 신뢰도를 추정하는 알고리즘을 제시한다. 채널 신뢰도 추정 기법에 관한 기존 연구에서는 $+1/-1$ 을 전송하는 antipodal 변조 방식인 BPSK, QPSK와 같은 신호의 복조 모델에서 수신 신호에 대한 잡음 분산을 측정하여 채널 신뢰도를 추정하나, SOQPSK 복조 후의 심볼에 대한 채널 신뢰도 값이 바뀌므로 이에 대해 정확히 추정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 본 논문에서는 지상국과 발사체 간 무선 통신 시 존재하는 다중 경로 채널 또는 LOS 채널에서의 가우시안 잡음만 존재하는 채널에서 제안된 채널 신뢰도 추정 기법을 적용하였을 때 표준에 제시된 정보 비트 크기 ($K=1024$)와 부호화율 ($R=1/2, 2/3, 4/5$)에서 성능을 분석하였다.

II. 본론

본 논문에서는 IRIG 106-23 텔레메트리 표준에 따른 모의실험 모델을 설계하여 모의실험을 통하여 채널 신뢰도 값에 따른 BER 성능을 구한다. K 의 크기를 가지는 정보 비트열을 부호화율 R 에 따라 LDPC 부호화하여 N 개의 비트를 생성 후 SOQPSK-TG 변조한다. 변조된 신호 $S(t)$ 는 다중 경로 및 가우시안 잡음 채널을 통과하여 수신된다.

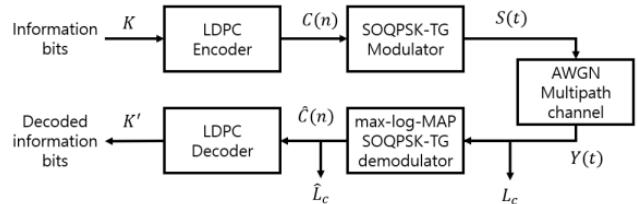


그림 1. 모의실험 모델

Fig 1. Simulation model

송신신호 $S(t)$ 는 N 개의 LDPC 부호화 데이터에 P 개의 파일럿 심볼이 첨가된 심볼열 $C(n)$ 를 변조한 신호이다. 파일럿 심볼열은 $C_p = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_P\}$, 변조된 파일럿 심볼열은 $S_p = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_P\}$ 이다. 수신 신호 $Y(t)$ 는 max-log-MAP (Maximum A Posteriori probability) 방식을 사용하는 SOQPSK-TG 복조기에 입력되며, 복조된 신호 $\hat{C}(n)$ 는 채널 신뢰도가 곱해진 후 LDPC 복호기에 입력된다. 수신 신호 $Y(t)$ 에서 파일럿 신호를 $Y_p = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_P\}$ 라 하면 채널 신뢰도인 L_c 는 아래 식과 같다.

$$L_c = -\frac{2}{\sigma^2} \quad (1)$$

σ^2 은 S_p 와 Y_p 의 차이로 구한 잡음 분산을 나타낸다. 식 (1)의 채널 신뢰도는 LDPC 복호기의 입력 신호인 SOQPSK-TG 복조 심볼에 대한 채널 신뢰도와 다르므로 복호 성능을 열화시킬 수 있다. 따라서 복호기 성능을 향상시키기 위해 복조기의 출력 $\hat{C}(n)$ 대한 정확한 채널 신뢰도를 구하기 위해서 파일럿 심볼을 통한 잡음 분산 추정이 되어야 한다. $\hat{C}(n)$ 의 파일럿 심볼열을 $\hat{C}_p = \{\hat{c}_1, \hat{c}_2, \hat{c}_3, \dots, \hat{c}_P\}$ 라 하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{C}_p = rC_p + w \quad (2)$$

r 은 전송된 심볼 $s(n)$ 대비 $y(n)$ 의 감쇠비율이며, w 는 가우시안 잡음을 나타낸다. r 은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며, 식 (3)을 이용하여 복조 후의 잡음 분산 σ_{SOQPSK}^2 는 식 (4)와 같으며, 이는 파일럿 심볼을 이용해 linear LSE (Least Squares Estimation) 기법을 적용한 채널 추정 방식이며, 최종적으로 LDPC 복호기에 입력되는 채널 신뢰도는 식 (5)와 같다.

$$r = (\hat{C}_p^T C_p) / (C_p^T C_p) \quad (3)$$

$$\sigma_{SOQPSK}^2 = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P (\hat{c}_i - r c_i)^2 \quad (4)$$

$$\hat{L}_c = -\frac{2r}{\sigma_{SOQPSK}^2} \quad (5)$$

이러한 채널 추정 방식은 송수신자가 서로 알고 있는 파일럿 신호를 통해 신호 성분 전력을 도출하기 때문에, 다중 경로 존재 시에도 신뢰성 높은 채널 추정 방식이다. 아래 표 1과 같은 파라메타를 이용하여 모의실험을 하였다.

표 1. 모의실험 파라메타

Table 1. Simulation parameters

Modulation	SOQPSK-TG
Channel coding	LDPC
Coding rate R	1/2, 2/3, 4/5
Information bit size K	1024
Iteration	30
Channel	AWGN + Multipath
Multipath parameters	$K_{factor} = 0.56$ [dB] 0~3 symbol delay
Channel reliability	L_c, \hat{L}_c

모의실험에서 K 는 1024이며, R 은 1/2, 2/3, 4/5이다. LDPC 복호 반복 횟수는 30이다. 채널은 가우시안 잡음 및 다중 경로를 적용하였다. 주 경로 대비 다른 경로의 전력 비율을 K_{factor} 로 나타내었으며, 0~3개 심볼 길이 내에서 랜덤적인 시간지연을 가지는 다중 경로 4개의 전력 합이 0.56 dB의 K_{factor} 를 만족하도록 모의실험을 진행하였다.

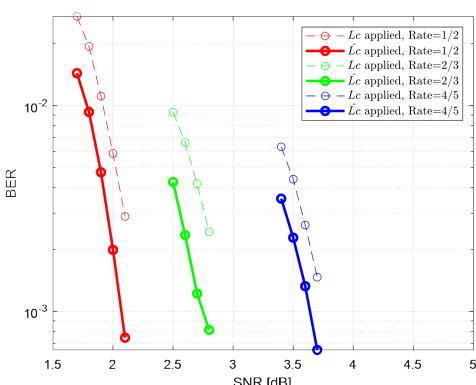


그림 2. BER 성능 (AWGN 채널)
Fig 2. BER Performance (AWGN Channel)

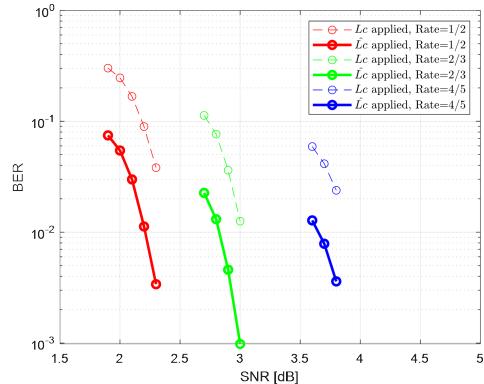


그림 3. BER 성능 (가우시안 잡음 및 다중경로 채널)
Fig 3. BER Performance (AWGN + Multipath Channel)

그림 2는 $K=1024$ 의 경우에 대하여 가우시안 잡음만 존재하는 채널에서의 성능 비교이며, 그림 3은 다중 경로가 존재하는 채널에서 성능을 나타낸 그림이다. 두 채널 모두 세 가지의 부호화율에 대해 기준 방식에 비해 약 0.2dB~0.3dB 개선됨을 확인하였다. 또한 다중 경로가 존재하는 경우 \hat{L}_c 을 적용한 경우 성능 향상 정도가 증가함을 확인하였다. 이는 L_c 보다 \hat{L}_c 이 다중 경로에 채널 신뢰도 추정이 정확함을 의미한다.

III. 결론

본 논문에서는 수신 신호에 대한 잡음 분산을 측정하여 채널 신뢰도를 추정하는 기준의 방식에 비해 SOQPSK 복조 후의 심볼에 대한 채널 신뢰도를 정확히 추정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 본 논문에서는 지상국과 발사 간 무선 통신 시 존재하는 다중 경로 채널 또는 가우시안 잡음만 존재하는 채널에서 제안된 채널 신뢰도 추정 기법을 적용하였을 때 표준에 제시된 정보 비트 크기($K=1024$)와 부호화율($R=1/2, 2/3, 4/5$)에서 성능 향상을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 한국항공우주연구원의 우주센터 선진화사업의 지원을 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] Telemetry Standards, IRIG-106 Standard 106-23 Chapter 2, July 2023.
- [2] CCSDS 131.1-O-2 Experimental Specification, September 2007.