

# SOQPSK-TG 변조를 위한 지도학습 기반의 심볼 시간 오차 추정

이지현, 김기만, 한정우\*, 김동현\*  
국립한국해양대학교, \*한국항공우주연구원

jigui99@naver.com, kimkim@kmou.ac.kr, \*hjw1002@kari.re.kr, \*mattew@kari.re.kr

## Supervised Learning-based Symbol Timing Error Estimation for SOQPSK-TG Modulation

Ji-Hyun Lee, Ki-Man Kim, \*Jeong-Woo Han, \*Dong-Hyun Kim  
Korea Maritime and Ocean University, \*Korea Aerospace Research Institute

### 요약

본 연구에서는 부분 응답 연속 위상 변조 방식 가운데 하나이면서 IRIG-106 원격 계측 표준에 정의된 SOQPSK-TG 변조 신호를 위한 심볼 타이밍 오차 추정 방법을 다룬다. 이를 위해 표준에 정의된 프리앰블의 누적 성상도에 대해 CNN(convolutional neural network) 기법을 적용하였다. 모의실험 결과에서 제안한 방법의 심볼 시간 오차 추정 성능을 보였다.

### I. 서론

SOQPSK-TG (Shaped Offset Quadrature Phase Shift Keying-Telemetry Group) 변조 방식은 원격 계측 분야의 표준으로 정의되어 있으며, 삼항(ternary) 데이터 알파벳을 기반으로 하는 연속 위상 변조 방식의 한 종류로써 대역폭 효율성이 높은 장점을 갖는다[1]. 일반적으로 디지털 통신 시스템이 최적의 복조를 달성하려면 수신기에 들어오는 심볼에 맞춰 정렬해야 하는 심볼 시간 동기화 과정이 필요하다. 기준에 CNN을 활용해 1차원 파워 스펙트럼을 사용해서 심볼 시간 동기화를 수행하는 방식[2]이 있었으나 이는 OFDM 전송을 위한 것이었다. 이 연구에서는 연속 위상 특성을 갖는 SOQPSK-TG 방식을 위해 프리앰블 구간에서의 성상도를 누적하여 도출한 히스토그램을 활용한 심볼 시간 동기화 방식을 연구하였다.

### II. 본론

이 연구에서는 프리앰블 데이터의 누적 성상도 이미지만을 사용하여, 심볼 시간 오차를 추정하였다. 이 때, 사용된 프리앰블 값은 IRIG-106 표준에 정의된 32-bit 길이의 데이터, 'FE6B2840'을 사용하였고, 이를 SOQPSK-TG 방식으로 변조하였다. 심볼 당 샘플 수는 16개로 설정하여 누적 성상도를 나타내어 활용하였다. 누적 성상도를 CNN 입력에 사용하기 위해 이미지 크기를 일정 크기의 픽셀로 고정하여 사용하였고 각 이미지에 대해 정답이라고 부를 수 있는 원본 성상도와 심볼 시간 오차에 의해 틀어진 각도 정보를 입력하여 CNN을 학습시켰다. 학습에 사용된 데이터는 0 dB부터 20 dB까지 0.4 dB 단위로 무작위 SNR(signal-to-noise ratio)을 설정하여 각도 별로 정답이 될 성상도와 SNR이 추가된 데이터를 입력하도록 설정하였다.

학습이 잘 이루어졌는지 확인하기 위해 0 dB부터 20 dB까지 5 dB마다 무작위 잡음을 추가하였고 CNN의 추정값이 정답과 1-샘플 이상 오차가 있을 경우 오답으로 처리하였다. 총 1,000회 반복을 통해 오답률을 기준의 방법[3]과 비교하여 다음의 표 1에 나타내었다. 모의실험 결과에서 기준의 방법은 짧은 프리앰블의 길이로 인하여 SNR의 변화에도 큰 차이를 보이지 않았으나 제안한 방법은 SNR이 증가하면서 성능이 순차적으로 개선

되는 것을 확인하였다.

표 1. 제안한 방법과 기존 방법의 오답률 비교

SNR (dB)	0	5	10	15	20
기존의 방법	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41
제안한 방법	0.93	0.80	0.61	0.43	0.34

### III. 결론

본 연구에서는 원격 계측 분야의 표준에 정의된 SOQPSK-TG 변조 신호를 위한 심볼 시간 동기화 문제를 다루었다. 기존의 방법인 프리앰블 구간을 포함한 모든 데이터의 위상점을 누적하여 구하는 방식에 비해 비교적 짧은 프리앰블 구간만 누적하여 성상도를 표현한 후 CNN을 활용하여 타이밍 오차를 추정하였다. 모의실험을 통해 SNR이 증가하면서 기존의 방법보다 성능이 개선되는 것을 확인하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2025년도 한국항공우주연구원의 우주센터 선진화사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

### 참고문헌

- [1] Telemetry Standards, RCC Standard IRIG-106-23, July 2023.
- [2] Y. Goto, S. Kojima, K. Maruta, and C.J. Ahn, "A preamble-less symbol timing synchronization for OFDM systems using convolutional neural networks," in Proc. Int. Conf. Emerg. Technol. Commun. (ICETC),
- [3] Q. Wang, B. Huang, and Z. Xu, "Non-data-aided timing recovery algorithm for MIL-STD SOQPSK," *IET Electronics Letters*, vol.51, no.5, pp.423-425, March 2015.