

# OFDM 기반 위성 신호에 대한 블라인드 검출 방법

이승주\*, 김유민\*, 제갈홍<sup>+</sup>, 문재민<sup>°</sup>, 황재성<sup>°</sup>, 공규열<sup>°</sup>, 이현석<sup>+</sup>, 김태형<sup>\*</sup>  
국민대학교<sup>\*</sup>, 세종대학교<sup>+</sup>, 한성대학교<sup>°</sup>

\*gjxor17a@kookmin.ac.kr, \*kym0739@kookmin.ac.kr, +jagrhong@sju.ac.kr,  
°bigirane1234@hansung.ac.kr, °2091299@hansung.ac.kr, °gykong@hansung.ac.kr,  
+hyunsuk@sejong.ac.kr, \*th.kim@kookmin.ac.kr

## Blind Detection Method for OFDM-based Satellite Signal

Seung-Ju Lee\*, Yumin Kim\*, Hong Je-Gal<sup>+</sup>, Jaemin Moon<sup>°</sup>, Jaeseong Hwang<sup>°</sup>, Gyuyeol Kong<sup>°</sup>,  
Hyun-Suk Lee<sup>+</sup>, Taehyoung Kim<sup>\*</sup>  
<sup>\*</sup>Kookmin Univ., <sup>+</sup>Sejong Univ., <sup>°</sup>Hansung Univ.

### 요약

본 논문에서는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반 저궤도 위성 통신 신호에 대한 블라인드 신호 검출 기술을 제안한다. 제안 기술은 수신 신호에 대한 자기상관 연산을 통해 알려지지 않은 OFDM 파형에 대한 심볼 길이, CP(Cyclic Prefix) 길이, FFT(Fast Fourier Transform) 크기 등의 신호 제원을 추정하여 프레임 구조를 파악한다.

### I. 서론

최근 저궤도(Low Earth Orbit, LEO) 위성을 기반으로 하는 비지상 네트워크(Non-Terrestrial Network, NTN)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1][2]</sup>. 고속 데이터 전송을 위한 위성 통신의 파형(waveform)으로써 높은 주파수 효율성과 다중경로 환경에 대한 강인성으로 인해 직교 주파수 분할 다중 접속(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 기술이 물리 계층의 유력한 후보로 자리잡고 있다.

한편, OFDM 기술은 주로 지상망에서 연구되고 표준화되어 왔으며, 위성 통신에 적용되는 OFDM 신호는 대부분 비공개적이며 불투명한 구조를 가지고 있어 이에 대한 분석은 매우 제한적이다<sup>[3][4]</sup>. 특히, 상용 위성 시스템에서 송신되는 OFDM 신호는 구체적인 변조 방식, 프레임 구조, 동기화 시퀀스 등에 대한 정보가 공개되지 않으며, 이는 신호 해석 및 활용에 큰 제약이 된다.

본 논문에서는 사전 정보 없이 OFDM 기반 위성 신호의 구조를 추정하는 블라인드(Blind) 신호 검출 기술을 제안한다. 제안하는 방법은 수신 신호에 대한 자기상관 연산을 통해 심볼 길이, CP(Cyclic Prefix) 길이, FFT(Fast Fourier Transform) 크기 등의 OFDM의 세부 제원을 추정한다. 이를 통해, 향후 전체적인 물리계층 프레임 구조를 추정하는데 활용한다.

### II. 본론

본 논문에서는 실제 단말을 통해 캡처된 위성 신호 샘플을 이용하여 OFDM 신호 제원을 추정하는 연구를

표 1. 위성 데이터 파라미터

Parameters	Value
Sample rate	245.76 Msps
Duration	100 ms
Format	sc16(16-bit signed complex)

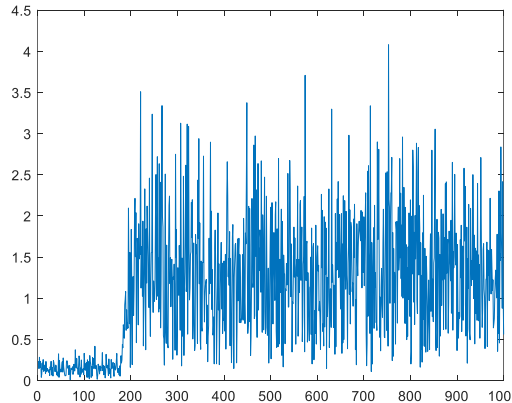


그림 1. OFDM 위성 신호 샘플

진행한다. 표 1은 위성 신호 데이터에 대한 파라미터를 나타내고, 그림 1은 본 연구에서 사용한 OFDM 위성 신호 샘플을 보여준다.

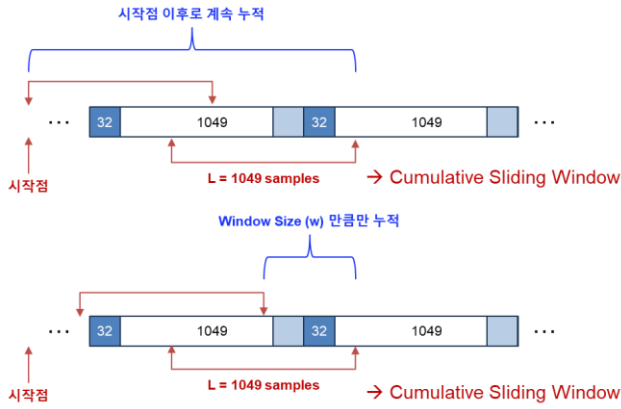


그림 2. Cumulative sliding window 기반 자기상관

그림 2는 본 연구에서 고려한 자기상관 방법을 보여준다. 수신한 전체 데이터 샘플에 대하여 시간 도메인에서 자기상관 연산을 수행한다. 이 때, 채널에 의한 왜곡 현상으로 인해 상관값의 피크(peak)가 불명확하게 관측되는 문제를 해결하기 위하여 전체 데이터 샘플에 대하여 상관값을 지속적으로 누적하는 누적 슬라이드 윈도우 기법을 적용하였다.

먼저 CP를 제외한 OFDM 신호 길이를 추정한다. 상기 누적 슬라이드 윈도우 기반 상관 연산을 수행할 경우, OFDM 신호의 CP에 의하여 자기상관 연산값을 취하는 시점에 따라 최대 3개의 피크가 관측될 수 있고, 해당 피크들 사이의 샘플 간격으로 CP를 제외한 OFDM 신호의 길이를 추정한다. 그림 3은 상기 방법에 기반하여 OFDM 신호 길이를 추정한 결과이다. 앞서 설명한 바와 같이, 최대 3개의 큰 피크값이 관측되었고, 이를 통해 OFDM 신호 길이를 약 1049 샘플로 추정하였다. FFT 크기는 일반적으로  $2^n$ 으로 표현되는 것을 고려하였을 때, FFT 크기가 1024인 것으로 판단된다.

다음으로, CP 길이를 포함하는 전체 OFDM 신호 길이를 추정하기 위하여, 그림 2에서와 같이 CP에 해당하는 샘플을 포함하는 영역에서 윈도우(window)를 취해 자기상관 연산을 수행한다. 자기 상관을 수행하는 윈도우의 크기가 CP 길이와 동일할 경우 피크가 발생하게 되고 이를 통해 CP를 포함한 OFDM 심볼 길이를 추정할 수 있다. 그림 4와 5는 상기 방법을 통해 추정된 전체 OFDM 길이 추정 결과를 보여준다. 실험 결과 전체 OFDM 신호 길이는 1081 샘플로 추정되었으며, 이에 따라 CP 길이가 32 샘플로 추정되었다.

본 연구를 통해 OFDM 신호의 구조적 특성을 활용하여 사전 정보 없는 OFDM 신호에 대한 신호 제원을 블라인드로 파악하는 것이 가능하다는 것이 확인되었다. 이를 통해 향후 위성 통신 신호에 대한 전체적인 물리계층 프레임 구조를 파악하는데 활용이 가능하다.

### III. 결론

본 논문에서는 OFDM 기반 위성 신호에 대한 블라인드 검출 기술을 제안하였다. 제안 기술은 누적 슬라이딩 윈도우 기반 자기 상관 연산을 통해 알려지지 않은 OFDM 신호에 대한 세부 제원을 추정하였다. 실제 캡처된 위성 신호를 이용하여 OFDM 신호 길이, CP 길이 및 FFT 크기를 추정하였다. 향후 후속 연구를 통해 위성 신호에 대한 전체적인 물리계층 프레임 구조를 파악한다.

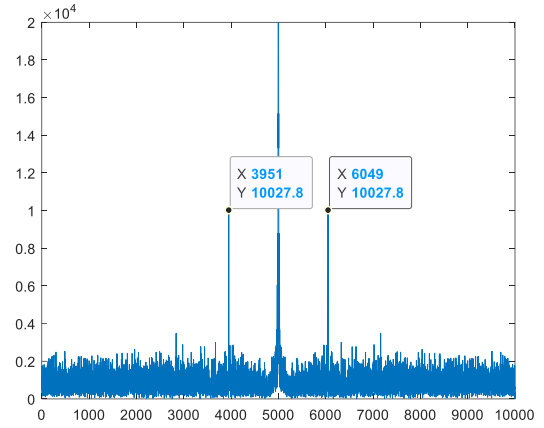


그림 3. CP 제외 OFDM 신호 길이 추정 결과

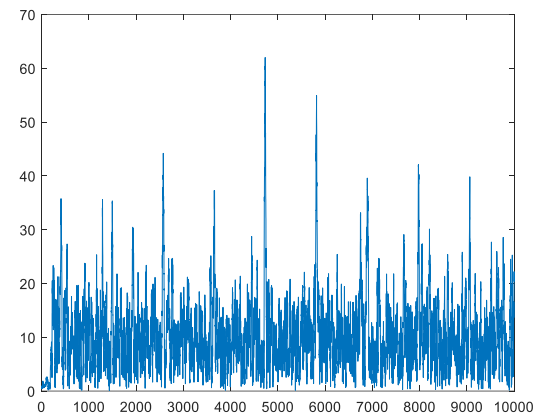


그림 4. 전체 OFDM 길이 추정 결과

### 참 고 문 헌

- [1] T. Kim, M. Jung, and H. Son, "Joint User Scheduling and Phase Shift Optimization for STAR-RIS-Assisted Multicast Satellite Communications," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 60, no. 5, Oct. 2024.
- [2] H. Son, T. Kim and M. Jung, "Joint Phase Shift and Receive Combiner Design for RIS-Based Satellite Communications," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 61, no. 2, pp. 5367–5376, April 2025.
- [3] T. E. Humphreys, P. A. Iannucci, Z. M. Komodromos and A. M. Graff, "Signal Structure of the Starlink Ku-Band Downlink," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 59, no. 5, pp. 6016–6030, Oct. 2023.
- [4] M. Neinavaie and Z. M. Kassas, "Unveiling Starlink LEO Satellite OFDM-Like Signal Structure Enabling Precise Positioning," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 60, no. 2, pp. 2486–2489, April 2024.