

# 대한민국 동해 해역에서 광대역 OFDM 통신 성능 분석

채광영<sup>1</sup>, 조친치<sup>1</sup>, 명판진<sup>1</sup>, 차민혁<sup>2</sup>, 이호준<sup>3</sup>, 고학림<sup>3</sup>, 임태호<sup>3</sup>

<sup>1</sup>호서대학교 정보통신공학과 박사과정

<sup>2</sup>호서대학교 해양IT융합기술연구소 팀장

<sup>3</sup>호서대학교 정보통신공학과 교수

rhkddud0822@naver.com

## Wideband OFDM Communication Performance Analysis in the East Sea of Korea

Kwang-Young Chae<sup>1</sup>, Zhao Tzan Chi<sup>1</sup>, Meng Fan Jin<sup>1</sup>, Min-Hyuk Cha<sup>2</sup>,  
Ho-Jun Lee<sup>3</sup>, Hak-Lim Ko<sup>3</sup>, Tae-Ho Im<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. Information and of Communication Engineering, Hoseo University

<sup>2</sup>Oceanic IT Convergence Technology Research center, Hoseo University

<sup>3</sup>Dept. of Information and Communication Engineering, Hoseo University

### 요약

광대역(Wideband) 통신은 신호 대역폭이 채널의 상관 대역폭(Coherence Bandwidth)를 크게 초과하는 시스템을 나타낸다. 이때, 큰 대역폭을 갖을수록 반송 주파수대역과 사용대역의 최대 및 최소 주파수 간 차이가 커지며, 통신 시스템이 겪는 채널의 주파수 선택적 페이딩 또한 커지게 된다. 수중에서 광대역 통신을 성능을 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 실험환경으로는 송·수신기 간 수평 이격거리는 약 10m, 수직 이격거리는 약 190m로 설정하였다. 광대역 신호의 성능을 확인하기 위하여 14kHz와 30kHz의 주파수 대역과 협대역신호와의 비교를 위해 16kHz와 4kHz 대역폭 등 파라메타를 달리하여 설정하였다. x축을 Repetition Freq.와 Repetition Time의 조합으로 설정하였으며, y축을 BER(Bit Error Rate)로 성능결과를 나타내었다.

### 1. 서론

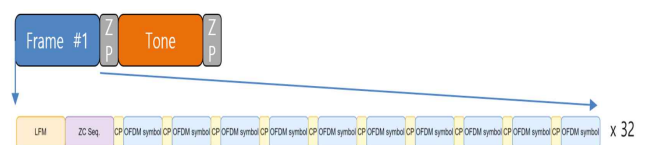
수중 음향 통신은 육상 통신과 비교하여 대역폭 사용이 제한되며 낮은 주파수 대역을 사용한다. 이러한 낮은 주파수대역의 사용으로 고속의 통신을 달성하기 위해서는 광대역(Wideband) 통신이 필요하다. 광대역 신호의 사용으로 대역폭은 반송 주파수와 최대 및 최소 주파수 간 차이가 커지게 되는데, 통신 시스템이 겪는 채널의 주파수 선택적 페이딩이 커지게 된다[1]. 또한, 수중에서의 물속을 매질로 한 음파는 약 1500m/s의 전달속도로 육상 통신 대비 매우 느린 특성을 갖는다. 위와 같은 특성들로 수중에서 직교하는 부반송파를 사용하는 OFDM 시스템 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 대한민국 동해 해역에서 송·수신기 간 수평 이격거리 약 10m, 수직 이격거리 약 190m 실험환경을 구성하였다. 수중에서 데이터 전송량을 높이기 위해 광대역 통신 실험을 수행하였으며, 중심주파수는 12kHz대역의 Frame #1과 Frame #2,

30kHz대역의 Frame #3와 Frame #4으로 크게 구분된다. 각 Frame의 파라메타는 광대역신호와 협대역신호 또는 광대역 신호에서의 Doppler 영향을 확인하기 위하여 파라메타를 설정하였으며, 실험 결과를 통해 성능을 비교 분석하였다.

### 2. 본론

본 논문에서 사용된 프레임 구조는 그림 1으로 나타낸다. Frame은 시간동기화를 위한 LFM 신호와 변·복조 시 Modulation, Coding rate, Repetition Freq. 및 Repetition Time 등의 파라메타 확인을 위한 Zadoff\_chu 신호, CP(Cyclic Prefix) 그리고 10개의 OFDM symbol로 구성된다. 이러한 Frame을 Modulation, Coding rate, Repetition Freq. 및 Time을 다르게 설정하여 48개의 조합으로 구성하였다.



(그림 1) TxFrame structure

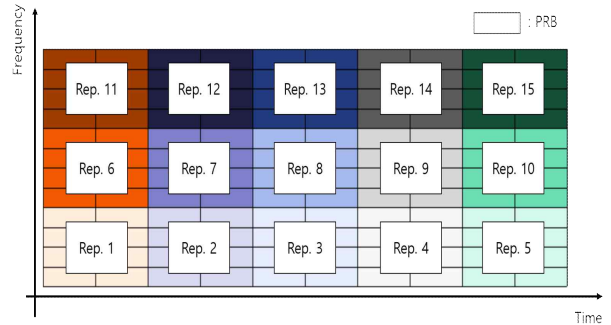
표 1은 본 실험에서 사용된 파라메타를 나타낸다. 중심주파수 기준으로 14kHz의 Frame #1과 Frame #2, 30kHz의 Frame #3와 Frame #4로 나뉜다. Frame #1과 Frame #2의 대역폭은 12kHz이다. 각각 FFT size는 1024와 2048로 Subcarrier Spacing을 11.71Hz, 5.85Hz로 설정하였다. Subcarrier Spacing의 차이를 통해 Doppler 영향에 따른 차이를 확인할 수 있다. CP Length는 21.4ms로 동일하게 설정하였다. Symbol Length는 각각 85.3ms와 170.7ms로 설정하였다. 다음으로, Frame #3과 Frame #4의 대역폭은 각 16kHz와 4kHz로 광대역과 협대역의 비교를 위해 파라메타를 설정하였다. Frame #3의 FFT size는 1024로 Subcarrier Spacing 15.62Hz, Frame #4의 FFT size는 512로 Subcarrier Spacing은 7.81Hz로 설정하였다. CP Length는 22.6ms로 동일하게 설정하였다, Symbol Length는 각각 64ms와 128ms이다. Frame #1, #2, #3, #4에서 공통적으로 설정된 파라메타는 Modulation은 BPSK, QPSK를 사용하였으며, Sampling frequency는 200kHz이다. Repetition은 Freq. 축에서 1, 2, 4, 8 Time 축에서 1, 2로 설정하였다.

<표 1> 실험에서 사용된 Frame 별 파라메타

	Frame #1	Frame #2	Frame #3	Frame #4
Center Freq.	14	14	30	30
Bandwidth	12	12	16	4
FFT size	1024	2048	1024	512
Subcarrier Spacing	11.71	5.85	15.62	7.81
CP Length	21.4	21.4	22.6	22.6
Symbol Length	85.3	170.7	64	128
Modulation	BPSK QPSK	BPSK QPSK	BPSK QPSK	BPSK QPSK
Sampling freq.	200	200	200	200

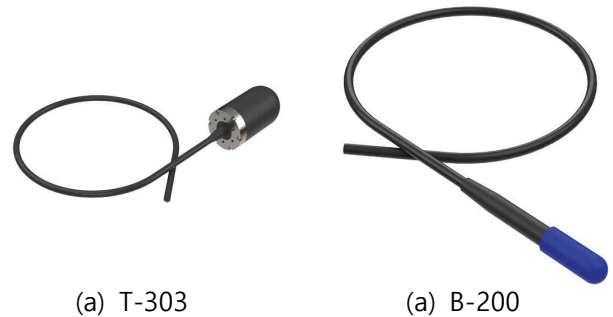
Repetition이란, OFDM의 대역폭을 부반송파로 나누어 신호를 전송하는 과정에서 성능향상을 위한 방법으로 시간 영역과 주파수 영역에서의 자원을 반복하여 전송하는 기법을 나타낸다. 다이버시티의 기본 개념으로 송신 또는 수신된 복수개의 부반송파에서 강한 페이딩이 발생한 경우와 약한 페이딩이 발생할 경우가 발생할 때 페이딩 신호가 약한 쪽을 선택하여 통신 성능을 향상시킨다[2]. 그림 2는 Repetition에 대한 이해를 위하여 (4,2)의 Repetition을 나타내었다. 주파수 축과 시간 축 관계에서 데이터를 할당하는 단위는 PRB(Physical Resource Block)로 시간

과 주파수 축에서 데이터를 반복 전송하는 방법이다.



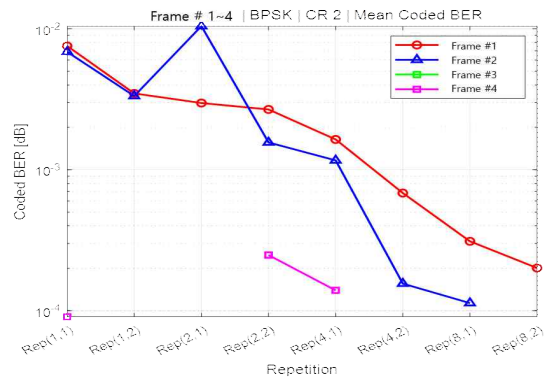
(그림 2) Structural diagram of Repetition (4,2)

그림 3은 해당 실험역 실험에서 사용된 트랜스듀서와 하이드로폰을 나타낸다. 트랜스듀서는 neptune T-303을 사용하였으며 Useful Operating Band 21kHz ~ 47kHz, Transmit Sensitivity 152 dB re 1uPa/V @ 1m의 장비사양을 갖는다. 하이드로폰은 neptune B-200을 사용하였으며 Useful Frequency Range 10Hz ~ 180kHz, Receive Sensitivity -212 dB RE 1V/uPa의 장비사양을 갖는다.



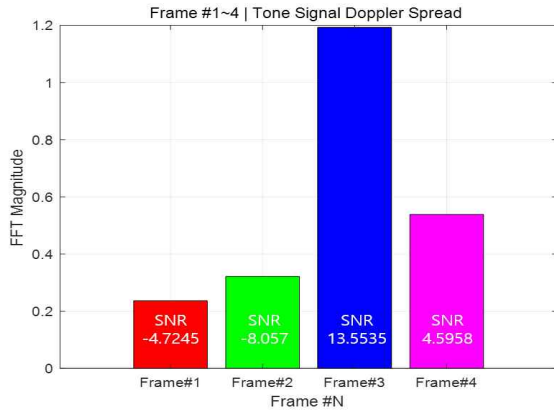
(그림 3) Transmitting and receiving sensors used in real-sea experiments

### 3. 실험결과

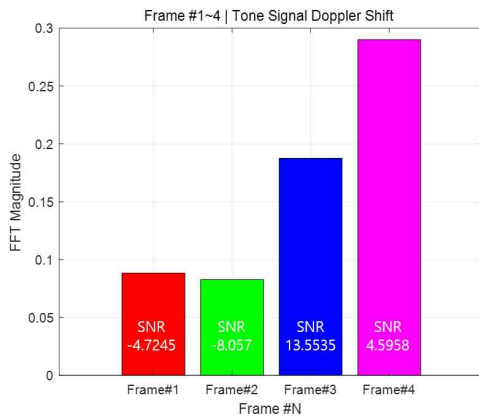


(그림 4) Repetition to Coded BER

그림 4은 Frame #1부터 Frame #4번까지의 Repetition에 따른 BER(Bit Error Rate)결과를 나타낸다. X축을 Repetition으로, Y축을 BER로 설정하였다. 결과적으로, Frame #3과 Frame #4가 Frame #1과 Frame #2보다 모든 Repetition에서 우수한 성능을 보임을 확인하였다.



(그림 5) Tone signal Doppler Spread & SNR



(그림 6) Tone signal Doppler Shift & SNR

그림 5와 그림 6는 각 Frame 별 Doppler Spread와 Shift를 나타내며, 평균 SNR(Signal to Noise Ratio)을 동시에 표기하였다. Doppler와 BER 관점에서는 BER 결과에 대한 상관성을 보이지 않음을 확인하였으나, SNR과 BER 관점에서는 Frame #3과 Frame #4에서 SNR이 Frame #1과 Frame #2보다 높음을 확인하였다.

#### 4. 결론

수중 음향 통신에서 광대역 통신을 위해 Frame #1, Frame #2, Frame #3, Frame #4 신호를 송·수신하는 실험을 수행하였다. Frame #1과 Frame #2은 중심주파수 12kHz로 Subcarrier Spacing의 차이에

따른 광대역신호의 Doppler 영향을 확인하였다. Frame #3과 Frame #4는 중심주파수 30kHz에서 각각 16kHz 대역폭과 4kHz 대역폭을 갖는 광대역과 협대역의 성능차이를 확인하였다. Repetition 및 SNR 관점에서 Frame #3과 Frame #4가 높은 SNR을 갖으며, Frame #3가 가장 우수한 BER을 갖음을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

“이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-실시간 해저재해 감시 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임” (2022M3J9A107887612)

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2023-2018-0-01417)

#### 참고문헌

- [1] J. H. Kim, T. G. Chung, Xiaorui Zhao, Y. H. Cho and H. L. Ko, “A Study on the transmit beamformer based on underwater wide band OFDM systems,” Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, Yongpyong, (2019), pp.1058-1059
- [2] K. W. Chae, H. L. Ko, M. S. Kim, Y. H. Cho, T. H. Im, “Performance Analysis of OFDM-based Underwater Acoustic Communication System by Repeated Transmit Diversity Technique,” The Korea Institute of Information and Commucation Engineering, vol. 23, no. 11, pp. 1434-1442 (2019)