

서해 수중 환경에서 다른 파일럿 간격을 가진 직교 주파수 분할 다중화 시스템의 성능 분석

조 용 호*, 김 준 호*, 고 학 립^o

Performance Analysis of Underwater OFDM Systems with Different Pilot Spacings in Western Sea of Korea

Yong-Ho Cho*, Jun-Ho Kim*, Hak-Lim Ko^o

요 약

최근 수중에서 고속 데이터 전송을 위해 OFDM을 기반으로 하는 통신 방식에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. OFDM 시스템은 특정 부반송파에 파일럿 심볼을 전송하고, 이를 이용해 채널 추정 및 등화 과정을 수행한다. 안정적인 통신 성능을 보장하기 위해선 정확한 채널 추정이 요구되는데, 채널 추정의 성능은 파일럿 심볼 배치 방식에 크게 좌우된다. 특히 전파로 통신하는 육상통신과는 달리 수중 음향 통신은 바닷물을 매질로 음파를 전달하는 특성 때문에 채널의 시변성과 시간 및 주파수 선택성이 크고, 그로 인해 정확히 채널을 추정하기가 어렵다. 본 논문에서는 시간 및 주파수 도메인에서 다양한 파일럿 심볼 간격을 갖는 수중 OFDM 시스템의 성능을 서해 실험역 실측을 통해 분석하였다. 성능 분석 결과를 통해 수중 OFDM 시스템에서 낮은 비트에러율과 높은 전송률을 동시에 만족하는 파일럿 심볼 간격을 도출하였다.

Key Words : communication, signal processing, Neutral systems, Communication Sciences, Network

ABSTRACT

Recently, underwater acoustic OFDM communications have been actively studied for high-speed data transmission. In the OFDM systems, pilot symbols are allocated to dedicated subcarriers, with which channel estimation and equalization are performed. Accurate channel estimation is required to ensure stable communication performance, and its performance largely depends on the pilot symbol allocation scheme. Since underwater communications, unlike the communications using radio frequency in terrestrial, uses acoustic sound to transmit data through sea water, the underwater channel exhibits severe selectivity both in time and frequency domains. In this paper, we analyze the performance of underwater OFDM systems with various pilot allocation methods, each having different spacing between pilot symbols in time and frequency domain based on the experiments conducted at the western sea of Korea. Performance analysis suggests suitable pilot spacings in time and frequency domains satisfying low bit error rate and high data rate, simultaneously.

※ 본 연구는 2017년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(분산형 수중 관측·제어망 개발)

♦ First Author : Hoseo University Oceanic IT Convergence Research Center, yhcho@hoseo.edu, 정희원

° Corresponding Author : Hoseo University Department of Information and Telecommunication Eng., hlko@hoseo.edu, 정희원

* Hoseo University Department of Information and Telecommunication Eng., katurablue@naver.com, 학생회원

논문번호 : KICS2017-04-130, Received April 30, 2017; Revised November 24, 2017; Accepted November 27, 2017

I. 서론

최근 해양에서의 환경 관측과 재해 감시 및 해양 방위 체계 구축, 해저 자원 개발 등에 대한 필요성이 대두되면서 수중 통신 기법 및 수중 통신 모델 개발에 대한 연구가 전 세계적으로 이뤄지고 있다¹⁻⁷. 특히 수중에서 고속 데이터 전송에 대한 요구가 증가함에 따라 OFDM을 기반으로 하는 수중 통신 시스템 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다⁸⁻¹⁰. 논문 [8]에서는 수중 OFDM 시스템에서 변조 방식과 송신 파워를 채널 상황을 고려해 적응적으로 변화시키는 기법을 제안하였으며, 논문 [9]에서는 수중 OFDM 시스템을 위한 적응적 변조 및 코딩 기법을 제안하였다. 논문 [10]은 수중 OFDM 시스템에서 도플러 효과 보상을 위한 수신기 구조를 제안하였다.

수중 음향 통신은 전파로 통신하는 육상통신과는 달리 바닷물을 매질로 음파를 전달하기 때문에, 채널의 시변성이 매우 크고 빠르다. 또한 음파의 낮은 속도와 주변 환경에 의한 많은 반사파로 인해 주파수 선택적 페이딩 현상이 빈번히 일어나게 된다. 이런 수중 음향 채널의 특징으로 인해 채널 등화기의 구현 복잡도가 매우 높아지게 된다. 채널 등화기의 복잡도 감소와 다중 경로 채널에서의 강인함을 확보하기 위해 하나의 반송파 대역을 여러개의 직교하는 부반송파 대역으로 나눠 전송하는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. OFDM 시스템은 각 OFDM 심볼 앞에 삽입되는 cyclic prefix의 도움으로 심한 주파수 선택적 특징을 갖는 수중 채널을 주파수 비 선택적 페이딩 채널로 변환 할 수 있기 때문에, 수중 채널 환경에서 기존 싱글 캐리어 (single carrier) 변조 방식 대비 등화기의 복잡도를 낮추면서 등화 성능을 향상시킬 수 있어 더 안정적인 통신 성능을 기대할 수 있다.

OFDM 시스템에서는 부반송파에 배치된 파일럿 (pilot) 심볼을 이용하여 채널을 추정하고, 추정된 채널을 이용해 등화를 수행한다. 이 때 파일럿 심볼의 개수를 증가시킬수록, 즉 파일럿 심볼간 간격이 좁아질수록 채널 추정 성능이 증가하고 이는 곧 비트 에러율 (Bit Error Rate; BER) 감소로 이어진다. 하지만 파일럿 심볼의 수가 많을수록 전송률의 손실이 발생한다. 따라서 수중 OFDM 시스템 개발에 있어 실제 수중 채널 환경을 고려한 파일럿 심볼의 배치 간격에 대한 연구가 필수적이다¹¹⁻¹⁵. 본 논문에서는 시간과 주파수축에서 다양한 파일럿 심볼 간격을 갖는 수중 OFDM 시스템을 고려한다. 실제 수중 채널에서 다양한 파일럿 심볼 간

격에 따른 성능 분석을 통해 2016년 8월 충청남도 당진시 장고항 인근 해역에서 실측 실험을 수행하였다.

II. OFDM 시스템 모델

본 논문에서는 대역폭 B 에서 N_f 개의 부반송파를 갖는 OFDM 시스템을 고려한다. 이 때 N_f 개의 부반송파 중 $N_u (< N_f)$ 개의 부반송파는 데이터 및 파일럿 심볼 전송에 사용된다. 한 개의 프레임은 N_p 개의 프리앰블과 N_s 개의 OFDM 심볼로 구성되며, OFDM 시스템의 프레임 구조를 그림 1에 나타내었다. 송신단에서는 그림 2와 같이 빗살 (comb) 형태의 파일럿 할당 방식을 사용하였다. 파일럿 심볼은 주파수 도메인에서 총 N_u 개의 부반송파 중 균일 간격 L_f 개의 부반송파마다 총 $D (= \lfloor N_s/L_f \rfloor)$ 개가 배치되며, 시간 도메인에서는 총 N_s 개의 OFDM 심볼에 균일 간격 L_t 심볼마다 총 $K (= \lfloor N_s/L_t \rfloor)$ 개가 배치된다.

실제 수중 음향 채널은 음파의 낮은 속도와 주변 환

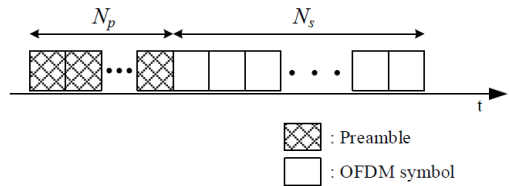


그림 1. 수중 OFDM 시스템 프레임 구조
Fig. 1. Frame structure of the considered underwater OFDM system

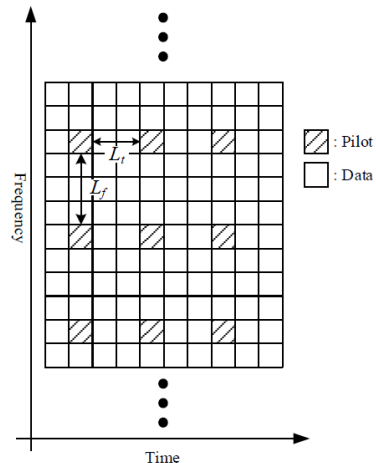


그림 2. 수중 OFDM 시스템의 파일럿 할당 구조
Fig. 2. Pilot allocation scheme for the underwater OFDM system

경에 의한 많은 반사파로 인해 심한 주파수 선택적 페이딩 특징을 갖는다. 본 논문에서는 수중 채널환경에서 낮은 비트 오류율(Bit Error Rate; BER)을 확보하기 위해 한 프레임내 가용 부반송파를 γ 개의 세그먼트로 분할하여 각 세그먼트에 동일한 비트 데이터를 할당하는 주파수 다이버시티 (diversity) 기법을 적용하였다. 시간 도메인에서 송신 OFDM 심볼 $x(n)$ 은 다음과 같다.

$$x(n) = \frac{1}{\sqrt{N_f}} \sum_{k=0}^{N_f-1} s_k e^{j\frac{2\pi}{N_f}kn} \quad (1)$$

여기서 s_k 는 k 번째 부반송파의 심볼을 뜻한다. 시간 도메인에서 OFDM 심볼은 전송되기 앞서 길이 N_g 의 CP (cyclic-prefix)가 삽입된 후 전송된다. CP가 추가된 후, 펄스 성형 필터를 통과한 시간 도메인에서의 심볼들은 펄스 성형된 기저대역 신호 $\sum_{n=-N_g}^{N_f-1} x[n]p(t-nT_s)$ 로 변형된다. 여기서 $p(t)$ 는 펄스 성형 필터를 의미하며 T_s 는 샘플링 주기를 의미한다. 수신측에서는 주파수 하향 변화와 정합 필터를 거친 수신 신호가 샘플링 주기 T_s 로 펄스 성형 필터를 통과하여 기저대역 신호로 변형된다. 기저대역 수신 신호는 아래 식과 같이 표현할 수 있다.

$$y[n] = \sum_{l=0}^{L-1} h[n,l]x[n-l] + w[n] \quad (2)$$

여기서 $h[n,l]$ 은 T_s 의 주기로 관찰된 시변 채널의 임펄스 응답 (channel impulse response; CIR)을 뜻하며, $w[n]$ 은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 백색 가우시안 잡음을 뜻한다.

수신단에서는 주파수 및 시간 도메인에 할당된 파일럿 심볼을 이용하여 두 단계로 채널을 추정한다. 첫째로 주파수 도메인에서 부반송파에 할당된 파일럿 심볼을 이용하여 LS (least-square) 기법을 적용하여 채널의 주파수 응답 (channel frequency response; CFR)을 다음 식과 같이 추정한다.

$$\hat{H}(k,n) = \frac{Y(k,n)}{X_p(k,n)} \quad (3)$$

여기서 $\hat{H}(k,n)$ 과 $Y(k,n)$, $X_p(k,n)$ 은 각각 n 번째

OFDM 심볼에서 k 번째 부반송파에서 추정된 채널의 주파수 응답과 수신신호, 파일럿 심볼을 뜻한다. 식 (3)에서 얻은 CFR에 1차원 선형보간기법을 적용하여 전체 부반송파 대역의 채널을 추정한다. 1차원 선형보간기법을 이용해 파일럿 심볼이 전송되지 않는 k ($k_0 < k < k_1$)번째 부반송파의 CFR은 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{H}(k,n) = \frac{k-k_0}{k_1-k_0}(\hat{H}(k_1,n) - \hat{H}(k_0,n)) + \hat{H}(k_0,n) \quad (4)$$

본 논문에서 사용된 OFDM 시스템에서는 주파수 도메인과 시간 도메인에서 각각 파일럿 간격이 이격되어 있기 때문에 시간 도메인에서의 채널 추정 또한 필요하다. 주파수 도메인에서 추정한 CFR을 시간 도메인에서 1차원 선형보간기법을 다시 적용하면 파일럿 심볼이 전송되지 않는 OFDM 심볼에서의 CFR을 얻을 수 있다. 하지만 실시간(real-time) 시스템 구현시 시간 도메인에서의 선형보간기법을 적용한다면 채널 등화 과정에서 시간 지연이 발생할 수 있기 때문에 이로 인한 전체 복조 과정의 지연을 고려해야 한다. 이렇게 두 단계 채널 추정 방식을 거치면 모든 OFDM 심볼에서의 CFR을 추정할 수 있고, 이렇게 추정된 채널을 이용하여 채널 등화 및 복조 과정을 수행한다.

그림 3에 수중 OFDM 시스템의 블록 다이어그램을 나타내었다.

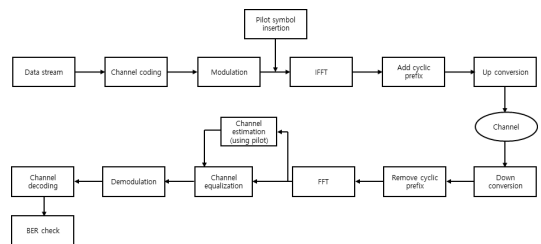


그림 3. 수중 OFDM 시스템의 블록 다이어그램
Fig. 3. Block diagram of underwater OFDM system

III. 실험적 측정

실험적 측정에서는 5.5kHz, 12kHz, 18kHz, 65kHz 을 중심 주파수로 갖는 4개의 주파수 대역에서 수중 OFDM 시스템의 성능을 분석하였다. 모든 대역에서의 OFDM 시스템은 동일한 부반송파 간격을 갖도록 설계 하였으며, 각 대역별 대역폭은 각각 5kHz, 4kHz,

4kHz, 10kHz를 갖는다. 모든 대역에서 OFDM 심볼 길이와 CP 길이는 각각 0.1024초와 0.0226초로 동일하며, 오류의 정정을 위해 채널 코딩은 $C(23,33)$ 의 생성 다항식과 1/2의 코딩률을 가지는 컨볼루션 코딩을 사용하였다. 변조 방식은 QPSK 방식을 사용하였으며, 주파수 다이버시티 기법에서 다이버시티 계수 γ 는 8로 설정하였다. 수중 OFDM 성능 분석을 위한 성능 척도는 코딩된 BER을 사용하였다. 각 대역별 OFDM

시스템의 파라미터를 표 1에 나타내었다⁵⁾.

실해역 측정은 충청남도 당진시 장고항 인근 해역에서 수행되었다. 측정 당시 송신 선박의 GPS 좌표는 37°02'41.29", 126°33'00.04, 수신 선박의 좌표는 37°02'28.15, 126°33'39.12"였으며, 송수신 선박 사이의 거리를 1km로 이동 후 닻을 내려 선박의 위치를 고정하였다. 실해역 측정시 송신용 트랜스듀서와 수신 하이드로폰은 각각 수심 10m와 3m에 고정하였다. 해역의 수심은 15~20m로 측정되었다. 그림 4에 상기 측정 환경을 나타내었다.

표 1. OFDM 파라미터
Table 1. OFDM parameter

Parameter	5.5kHz	12kHz	18kHz	65kHz
bandwidth	5kHz	5kHz	5kHz	10kHz
FFT size	512	512	512	1024
useful subcarrier	496	400	400	992
DC subcarrier	3	3	3	3
guardband	6(left), 7(right)	54(left), 55(right)	54(left), 55(right)	14(left), 15(right)
OFDM symbol length	0.1024sec			
CP length	0.0226sec			
Channel coding	Convolutional coding			
Coding rate	1/2			
Modulation	QPSK			

IV. 실험 결과

표 2와 그림 5에 각 주파수 대역별 수신 SNR과 파일럿 심볼 할당 간격에 따른 수중 OFDM의 성능을 코딩된 BER을 나타내었다. 각 주파수 대역별로 왼쪽 결과는 시간 도메인의 파일럿 심볼 간격을 $L_t = 1$ 로 고정하고 주파수 도메인의 파일럿 심볼 간격을 $L_f = [2, 4, 6, 8]$ 로 변화시켰을 때의 성능을 나타내며, 오른쪽 결과는 주파수 도메인의 파일럿 심볼 간격을 $L_f = 2$ 로 고정하고 시간 도메인의 파일럿 심볼 간격을 $L_t = [2, 3, 4, 6]$ 로 변화시켰을 때의 성능을 나타낸다.

상기 성능 분석 결과 주파수 대역이 증가할수록 수중에서의 흡음 손실이 증가하여 BER 성능이 낮아짐을 보였다¹⁶⁾. 또한, 전반적으로 모든 대역에서 시간 및 주파수 도메인에서의 파일럿 심볼 간격이 증가하면, 코딩된 비트에러율 역시 증가하는 경향을 보였다. 특히 시간 및 주파수 도메인에서 파일럿 심볼 간격이 각각 6과 8인 경우 비트에러율이 비교적 매우 크게 증가함을 보였다.

분석 결과와 같이 파일럿 심볼 간격이 감소할수록 통신 성능을 높일 수 있다. 하지만 수중 OFDM 설계시 파일럿 심볼 간격을 지나치게 좁게 설계하게 되면, 한정된 수중 음향 대역에서 큰 전송률 손실을 초래하게 된다. 따라서 수중 환경에 적합한 파일럿 심볼 배치 방식을 도출하기 위해 파일럿 심볼 간격에 따른

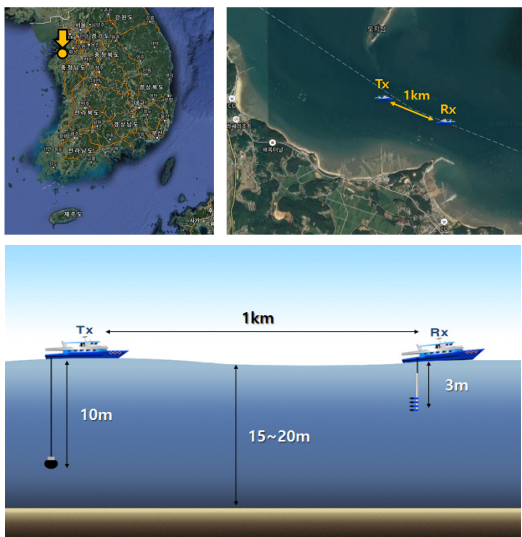
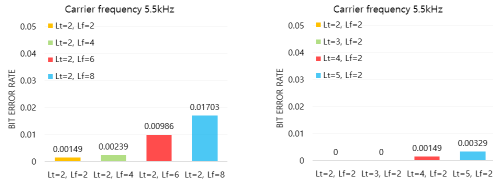


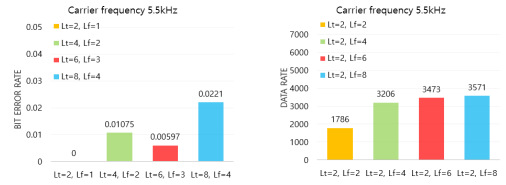
그림 4. 측정 환경
Fig. 4. Measurement environment

표 2. 각 대역별 측정 데이터의 SNR
Table 2. SNR of the measured data for each band

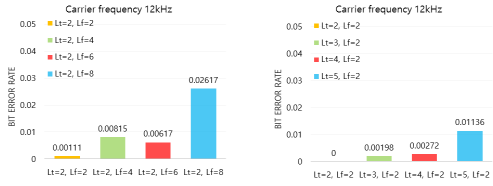
Band	SNR
5.5kHz	4.81dB
12kHz	4.24dB
18kHz	3.84dB
65kHz	6.08dB



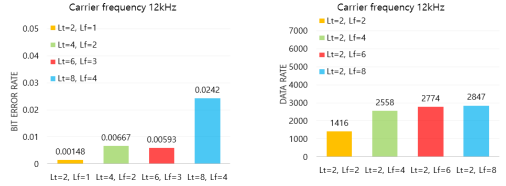
(a) 5.5kHz 대역에서의 파일럿 간격별 BER



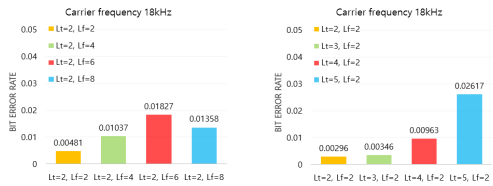
(a) 5.5kHz 대역에서의 파일럿 간격별 BER과 전송률



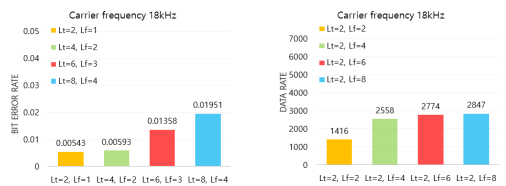
(b) 12kHz 대역에서의 파일럿 간격별 BER



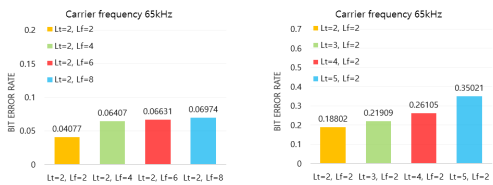
(b) 12kHz 대역에서의 파일럿 간격별 BER과 전송률



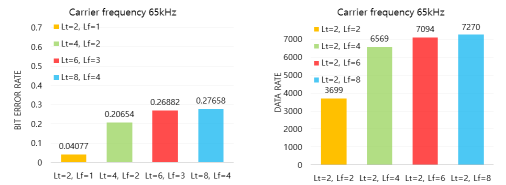
(c) 18kHz 대역에서의 파일럿 간격별 BER



(c) 18kHz 대역에서의 파일럿 간격별 BER과 전송률



(d) 65kHz 대역에서의 파일럿 간격별 BER



(d) 65kHz 대역에서의 파일럿 간격별 BER과 전송률

그림 5. 서로 다른 파일럿 간격별 코딩된 비트에러율
Fig. 5. Coded BER for different pilot allocation schemes

그림 6. 서로 다른 파일럿 심볼 간격에 따른 코딩된 비트에러율 및 전송률
Fig. 6. Coded BER and data rate for different pilot allocation schemes

수중 OFDM 시스템의 BER과 성능과 데이터 전송률을 분석하였다. 이 때 시간 및 주파수 도메인에서의 파일럿 심볼 간격을 $[L_f, L_t] = [2, 1], [4, 2], [6, 3], [8, 4]$ 의 4가지 경우에서 성능 분석을 수행하였다. 그림 6에 각 주파수 대역별 코딩된 비트에러율 과 전송률을 나타내었다.

그림 6을 살펴보면 전반적으로 모든 대역에서 시간 및 주파수 도메인에서의 파일럿 심볼 간격이 증가하면, 코딩된 비트에러율 역시 증가하는 경향을 보였다. 파일럿 심볼 간격이 $[L_f, L_t] = [2, 1]$ 일 경우 가장 낮은 BER을 보이지만 전송율 역시 제일 작다.

파일럿 심볼 간격이 $[L_f, L_t] = [2, 1]$ 에서 $[L_f, L_t] = [4, 2]$ 로 증가하면 비트에러율은 5.5kHz, 12kHz, 18kHz, 65kHz 대역에서 각각 1.075%, 0.519%, 0.05%, 16.577%만큼 증가하였다. 파일럿 심

볼 간격이 $[L_f, L_t] = [4, 2]$ 에서 $[L_f, L_t] = [6, 3]$ 로 증가하면 비트에러율은 5.5kHz 대역과 12kHz 대역에서 각각 0.478%와 0.074% 감소한 반면, 18kHz 대역과 65kHz 대역에서 각각 0.765%와 6.228% 증가하였다. 마지막으로 $[L_f, L_t] = [6, 3]$ 에서 $[L_f, L_t] = [8, 4]$ 로 증가함에 따라 비트에러율은 5.5kHz 대역에서 1.613% 증가하였으며, 12kHz 대역에서는 1.827% 감소하였고, 18kHz 대역에서 0.593%, 65kHz에서 0.776% 증가하였다.

성능 분석 결과 $[L_f, L_t] = [4, 2], [6, 3], [8, 4]$ 일 경우 $[L_f, L_t] = [2, 1]$ 일 경우보다 상대적으로 높은 전송률을 보이지만 비트에러율 또한 증가함을 확인할 수 있다. 특히 파일럿 심볼 간격이 $[L_f, L_t] = [8, 4]$ 일 경우 전송률 증가폭 대비 비트에러율이 증가량이 매우

큰 것을 확인할 수 있다. 따라서 서해 실험역 환경에서 파일럿 심볼 간격이 $[L_f, L_t] = [4, 2], [6, 3]$ 인 경우가 높은 전송률과 낮은 비트에러율을 동시에 만족하기에 적합하다.

V. 결 론

본 논문은 파일럿 기반 수중 OFDM 시스템 개발을 위해 실험역 측정을 수행하였으며, 측정 데이터를 기반으로 주파수 및 시간 도메인에서의 다양한 파일럿 심볼 할당 간격에 따른 수중 OFDM 시스템의 성능을 분석하였다. 본 연구 결과가 향후 수중 OFDM 시스템시 파일럿 심볼 전송 방식 설계에 좋은 가이드라인이 될 것으로 예상된다.

References

- [1] D. S. Lee, S. M. Lee, and S. J. Park, "DSP-Based micro-modem for underwater acoustic communications," *J. KICS*, vol. 39C, no. 3, pp. 275-281, Mar. 2015.
- [2] <http://acomms.who.edu>
- [3] <http://www.tritech.co.uk>
- [4] H. Yan, L. Wan, S. Zhou, Z. Shi, J.-H. Cui, J. Huang, and H. Zhou, "DSP based receiver implementation for OFDM acoustic modems," *Physical Commun.*, vol. 5, no. 1, pp. 22-32, Mar. 2012.
- [5] J.-H. Jeon and S.-J. Park, "Design and implementation of an acoustic modem for small underwater devices operating at shallow water," *J. IEK*, vol. 49, no. 11, pp. 110-117, Nov. 2012.
- [6] J.-H. Jeon, S.-J. Park, and S.-J. Park, "Design and implementation of OFDM modem prototype for underwater convergence systems," *J. KICS*, vol. 42, no. 6, pp. 1249-1255, Jun. 2017.
- [7] M.-S. Kim, D.-Y. Cho, H.-L. Ko, D.-K. Hong, S.-G. Kim, and T.-H. Im, "Design and implementation of OFDM modem prototype for underwater convergence systems," *J. KICS*, vol. 42, no. 6, pp. 1249-1255, Jun. 2017.
- [8] A. Radosevic, R. Ahmed, T. M. Duman, J. G. Proakis, and M. Stojanovic, "Adaptive OFDM modulation for underwater acoustic communications: Design considerations and experimental results," in *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 39, no. 2, pp. 357-370, Apr. 2014.
- [9] L. Wan, et al., "Adaptive modulation and coding for underwater acoustic OFDM," in *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 40, no. 2, pp. 327-336, Apr. 2015.
- [10] K. Tu, T. M. Duman, M. Stojanovic, and J. G. Proakis, "Multiple-resampling receiver design for OFDM over doppler-distorted underwater acoustic channels," in *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 38, no. 2, pp. 333-346, Apr. 2013.
- [11] C. R. Berger, J. Gomes, and J. M. Moura, "Study of pilot designs for cyclic-prefix OFDM on time-varying and sparse underwater acoustic channels," in *OCEANS 2011 Spain*, pp. 1-8, 2011.
- [12] C. Rezgoui and K. Grayaa, "An enhanced channel estimation technique with adaptive pilot spacing for OFDM system," *ISNCC*, pp. 1-4, 2016.
- [13] S. Coleri, M. Ergen, A. Puri, and A. Bahai, "Channel estimation techniques based on pilot arrangement in OFDM systems," *IEEE Trans. Broadcasting*, pp. 223-229, Sept. 2002.
- [14] S. Coleri, M. Ergen, A. Puri, and A. Bahai, "A study of channel estimation in OFDM systems," in *Proc. VTC'02*, pp. 894-898, 2002.
- [15] M. Hsieh and C. Wei, "Channel estimation for OFDM systems based on comb-type pilot arrangement in frequency selective fading channels," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, pp. 217-225, Feb. 1998.
- [16] W. H. Thorp, "Analytic description of the low-frequency attenuation coefficient," *The J. Acoustical Soc. Am.*, vol. 42, no. 1, pp. 270-270, 1967.

조 용 호 (Yong-Ho Cho)



2004년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과 졸업
2006년 2월 : KAIST 전기 및
전자공학과 석사
2013년 8월 : KAIST 전기 및
전자공학과 박사
2013년 9월~2016년 2월 : 삼성
전자 DMC 연구소 책임연구원

2016년 3월~현재 : 호서대학교 해양IT융합기술연구소
조교수

<관심분야> 이동통신, 수중통신, 해양통신, 사물인터넷

고 학 림 (Hak-Lim Ko)



1983년 2월 : 숭실대학교 전자
공학과 공학사
1986년 2월 : Fairleigh Dickinson
Univ. 전기 및 컴퓨터공학과
공학석사
1995년 2월 : North Carolina
state Univ. 전기 및 컴퓨터
공학과 공학박사

1996년~현재 : 호서대학교 정보통신공학과 정교수

<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 이동통신, 수중통신, 해양통신

김 준 호 (Jun-Ho Kim)



2014년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 졸업
2016년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 석사
2016년 3월~현재 : 호서대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 수중통신, 이동통신, 배열 신호 처리, 스마트 안테나 시스템