

수중 채널 환경에서 전송량 증대를 위한 다중반송파 시스템에 관한 연구

김민상*, 조대영*, 고학림*, 홍대기**, 김승근***, 임태호°

A Study on the Multi-Carrier System for Throughput Enhancement in Underwater Channel Environments

Min-sang Kim*, Dae-young Cho*, Hak-lim Ko*, Dae-Ki Hong**, Seung-geun Kim***, Tae-ho Im°

요약

최근 수중음향통신이 다양한 분야에 활용되면서 고속 데이터 전송의 요구가 증가함에 따라 수중음향통신 시스템에 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 FMT(Filtered Multi-Tone)와 같은 다중반송파 방식을 적용하는 연구가 활발히 진행 중이다. 기존 OFDM 방식은 주파수 영역에서 인접채널에 영향을 주지 않기 위해 삽입하는 가상 반송파(virtual carrier)의 사용과 인접 심볼 간 간섭(Inter Symbol Interference) 및 인접 채널 간 간섭(Inter Channel Interference)의 영향을 줄이기 위해 사용하는 순환전치(cyclic prefix)는 전송량을 감소시킨다. 특히 수중은 육상에 비하여 급격히 변화하는 채널 특성을 갖기 때문에 사용해야 하는 순환전치 길이가 길어지며, 가상 반송파에 더 많은 반송파를 할당해야 하므로 데이터의 전송량이 저하된다. 따라서 본 연구에서는 수중 채널 환경에서 전송량 증대를 위한 OFDM 시스템과 FMT 시스템을 결합한 FMT-OFDM 시스템을 제안하며, 실험역에서 측정된 데이터를 기반으로 채널을 모델링하고 시스템 파라미터를 설정 후 성능을 분석하였다.

Key Words : FMT-OFDM, FMT, OFDM, Underwater communication, Multi-carrier system

ABSTRACT

Studies applying multiple carrier method such as OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) or FMT(Filtered Multi-Tone) to Underwater acoustic communication(UAC) system are actively under way as UAC is utilized in the various fields and the demand of high speed data transmission increases. In the existing OFDM method, the use of virtual carrier, which is inserted not to affect the adjacent channel in the frequency domain, and the cyclic prefix, which is used to reduce the impact of Inter Symbol Interference and Inter Channel Interference, decrease the throughput. In particular, the length of cyclic prefix to be used becomes longer under water since underwater has a rapidly changing channel characteristic, and the data throughput diminishes because it has to allocate more subcarrier on virtual carrier. This study therefore suggests FMT-OFDM system, a combination of OFDM and FMT, for the purpose of enhanced throughput in the underwater channel environment. Besides, in this study, channel is modeled based on data measured in real sea and the performance is analyzed after setting system parameters.

* 본 연구결과는 국토해양부의 "수중 광역 이동통신 시스템 기술개발" 과제에서 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

• First Author : Hoseo University Department of Information and Telecommunication Eng., minsang@hoseo.edu, 정회원

° Corresponding Author : Hoseo University Department of Oceanic IT Eng., taehoim@hoseo.edu, 정회원

* Hoseo University Department of Information and Telecommunication Eng., 정회원

** Sangmyung University Department of Information and Telecommunication Eng., 정회원

*** Korea Research Institute of Ships and Ocean Eng.(KRISO), 종신회원

논문번호 : KICS2015-05-153, Received May 21, 2015; Revised June 16, 2015; Accepted June 16, 2015

I. 서 론

최근 해양 생태계 연구 및 자원탐사, 인명구조, 군사적 목적 등 사람이 직접 작업할 수 없는 환경에서 AUV(Autonomous Unmanned Vehicle)를 활용한 원격 작업이 증가함에 따라 수중음향통신 기술의 중요성이 대두되고 있다^[1]. 따라서 향후 수중에서도 원활한 원격 작업을 위해 음파를 사용한 고속의 데이터 서비스가 요구될 것이며, 이러한 요구를 만족하기 위해 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 FMT(Filtered Multi-Tone)와 같은 다중반송파 전송방식을 수중에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다^[2].

일반적으로 수중 채널 환경은 수온과 수심, 염분 등의 영향으로 인하여 장소와 계절에 따라 급격하게 변화하고, 수중생물 및 해면과 해저면, 해양 생물 등에 의해 발생하는 다중경로 페이딩의 영향으로 신호의 심볼 간 간섭이 증가하여 통신성능의 저하를 초래한다. 따라서 극심한 채널변화를 갖는 수중 채널 환경에서 단일반송파 전송방식을 사용하게 되면 주파수 선택적 채널이 되어 이를 보상하기 위해 복잡한 등화기의 설계가 필요하지만 다중반송파 방식을 사용하면 각 부반송파 단위로 데이터 심볼의 채널 등화를 수행하기 때문에 간단한 등화기를 사용하여 심볼 복원이 가능해진다^[3].

그러나 실제 수중 채널 환경에서 상관대역폭은 불과 수십~수백 Hz로 작기 때문에 OFDM을 적용하기 위해 각 부반송파의 대역폭을 상관대역폭보다 작게 설계하게 되면 부반송파의 개수증가로 FFT 사이즈가 증가하여 시스템의 복잡도가 증가하게 되고, 극심한 채널변화를 갖는 수중 채널 환경은 부반송파 간 인접 채널에 영향을 증가시키므로 인접 채널간의 영향을 줄이기 위해 사용하는 가상 부반송파(virtual carrier) 개수의 증가를 초래하여 데이터 전송량이 감소된다. 따라서 수중 채널 환경에서 신뢰성 있는 고속의 데이터 통신 및 전송량 증대를 위해 기존의 OFDM 시스템과 FMT 시스템을 결합한 FMT-OFDM 시스템을 제안한다.

FMT-OFDM 시스템은 전체 사용 주파수 대역에서 multi-band를 생성하고 각 sub-band에 OFDM을 수행하는 방식으로 OFDM 시스템과 부반송파의 개수는 동일하지만 sub-band 내의 OFDM 부반송파의 개수는 감소하여 FFT 사이즈를 감소시키고 FMT의 사용으로 부반송파 간의 인접 채널 간섭이 감소하므로 가상 부반송파의 개수를 감소시켜 데이터 전송량을 증대시킬

수 있다.

본 논문의 II장에서는 측정환경 설명과 수중 채널 환경에 적합한 FMT-OFDM 시스템 연구를 위해 실해역에서 측정된 데이터를 분석하였으며, III장에서는 FMT-OFDM 시스템의 구조도에 대해 설명한다. IV장에서 FMT-OFDM 시스템의 성능 검증을 위한 시뮬레이션 결과를 보이고, 끝으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 측정 환경 및 수중 채널 분석

그림 1은 측정데이터 측정 장소인 거제도 앞바다와 송신측과 수신측의 위치(35°1'48.43"N - 128°37'28.31"E와 35°2'3.64"N - 128°38' 14.35"E)를 나타낸 그림이다.

그림 2에는 본 측정에 사용한 (a)선박과 (b)선박 내부에 설치한 측정 장비, (c)송신 센서와 (d)수신센서가 보인다.

거제도 앞바다는 수심이 약 40m이며 송수신기의 입수 깊이는 해면 반사파와 해저면 반사파의 반사 거리를 동일하도록 전체 수심의 중간 지점인 20m에 위치시켰고 송수신 선박간의 거리에 따른 수중 채널 특성의 변화를 알아보기 위해 선박과 수신 선박 간의 거리를 100m에서 1500m까지 다르게 하여 데이터를 송수신 하였다.

본 논문에서는 수중 채널 환경에 적합한 FMT-OFDM 시스템의 파라미터 선정과 채널 모델링을 위해 실측데이터 분석을 하였으며, 측정데이터 분석의 신뢰성을 높이기 위해 각 거리별로 9~15회 반복하여 데이터를 수집하였다^[4]. 송신신호는 BPSK 변조 방식을 사용하여 1023개의 PN 코드를 반복해서 전송하였고, 데이터의 전송률은 5kbps였으며, 25kHz의 반송주파수로 데이터를 전송하였다. 그림 3은 거제도 천



그림 1. 실측데이터 측정지역
Fig. 1. Measurement area map

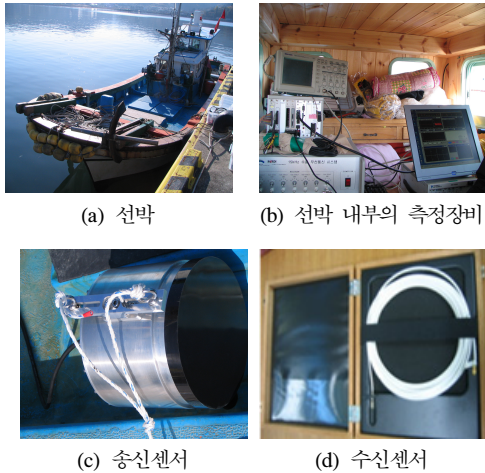
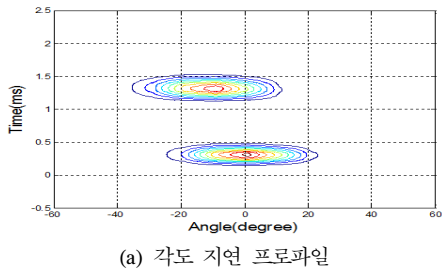
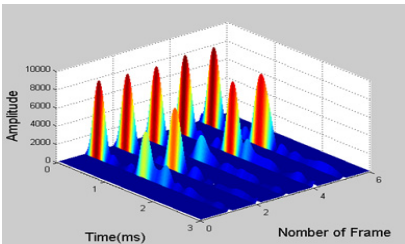


그림 2. 실험역 측정을 위한 선박과 장비
Fig. 2. Ships and equipment for the measurement in real sea environment



(a) 각도 지연 프로파일



(b) 채널 지연 프로파일

그림 3. 송신기와 수신기의 거리가 100m인 경우의 각도 지연 프로파일과 채널 지연 프로파일
Fig. 3. The angle delay profile and channel delay profile in Fig.1. channel environment.

해역에서 수집한 측정데이터의 각도 지연 프로파일과 채널 지연 프로파일을 나타내며, 송신기와 수신기 사이의 거리가 100~1500m의 측정 환경 중 100m인 경우를 표본으로 나타내었다. 송신신호인 1023개의 PN 코드를 200kbps의 속도로 샘플링하여 수집한 데이터와 송신신호와 같은 PN 코드를 사용한 정합필터의 출력 신호이다.

일반적으로 수중통신에서는 수신되는 신호의 세기

는 직접파>해면 반사파>해저면 반사파 순서로 수신되지만⁵⁾, 송신센서와 수신센서의 거리가 100m인 거제도의 수중 채널 환경에서 수집한 데이터를 분석한 결과 평균 1ms정도의 시간 지연을 갖는 두 개의 신호가 수신되었으며, 약 0°에서 수신된 직접파와 -10°에서 수신된 해면 반사파가 존재하였다. 이는 거제도 천해역의 해저면의 대부분이 신호를 흡수하는 점토로 이루어져 있기 때문에 해면 반사파의 신호는 거의 수신되지 않음을 추정할 수 있다.

표 1에는 측정데이터를 통하여 각도 지연 프로파일과 채널 지연 프로파일을 분석하여 실효 지연과 상관 대역폭을 산출한 결과를 거리별로 정리하였다⁶⁾.

수중 측정데이터를 분석한 결과 수중에서의 실효 지연은 약 2ms~6ms인 것을 알 수 있었으며, 수중에서 OFDM을 적용하기 위해서는 보호 구간이 6ms보다 커야 한다는 것을 알 수 있다. 또한 상관 대역폭이 약 164 Hz~375 Hz이므로 부반송파의 대역폭은 164 Hz보다 작게 설정하여야만 수신측에서 간단한 구조의 등화기로 채널 추정이 가능함을 알 수 있다.

표 1. 실험역에서 측정된 데이터의 실효 지연과 상관 대역폭
Table 1. RMS delay spread and coherence bandwidth of receive data in underwater environment.

Tx-Rx distance	Number of Data	RMS delay spread	coherence bandwidth
100m	10	6.1 ms	163.9344 Hz
200m	9	5.45 ms	183.4862 Hz
500m	15	4.1767 ms	239.4235 Hz
1500m	10	2.67 ms	374.5318 Hz

III. FMT-OFDM 시스템

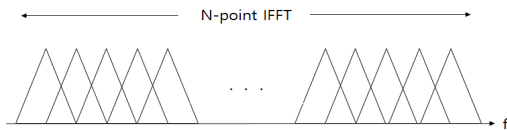
최근 수중 채널 환경에서 고속의 데이터 전송을 목적으로 하는 OFDM 시스템과 MB-OFDM 시스템 등의 다중반송파 연구가 활발히 진행되고 있다⁷⁾. 하지만 수중통신의 경우 음파를 사용한 저속 통신으로 제한된 주파수 자원을 가지며, 고용량의 데이터를 고속으로 전송하기 위해서 OFDM 시스템만으로는 만족스러운 성능을 기대하기 힘들다. 특히 인접 채널 간 간섭(ICI)과 인접 심볼 간 간섭(ISI)의 영향을 줄이기 위해 주기적 순환전치나 가상 부반송파 등의 사용은 데이터의 전송량을 더욱 저하시킨다⁸⁾. 따라서 본 논문에서는 기존의 OFDM 시스템에 FMT 시스템을 결합하여 통신 성능의 향상과 가상 부반송파에 할당된 부반송파에 데이터 전송을 통한 데이터 전송량 증대를

목적으로 하는 FMT-OFDM 시스템을 제안한다.

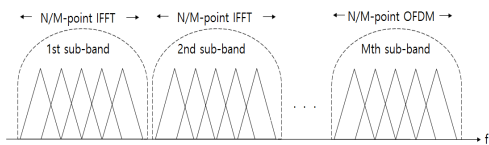
그림 4에는 OFDM 시스템의 주파수 스펙트럼과 본 논문에서 제안한 FMT-OFDM 시스템의 주파수 스펙트럼을 형상화한 것이다. FMT-OFDM 시스템은 기존의 OFDM 시스템과 FMT 시스템의 결합으로 인하여 전체적인 시스템의 복잡도는 증가하지만 M개의 FMT sub-band 구간에서 N/M개의 부반송파를 갖는 구조가 되므로 각 sub-band 내에서의 FFT 사이즈가 감소하며, FMT의 필터링 효과로 인접 sub-band 사이의 채널 간 간섭을 줄이기 위해 사용되는 가상 부반송파의 개수를 감소시켜 데이터의 전송량이 증대된다.

그림 5에는 FMT-OFDM 시스템의 송신기의 구조도를 나타내었다. 변조방식은 QPSK를 사용하였으며, 통신 환경에 따라 PSK/QAM의 변조 방식으로 사용이 가능하다.

M개의 FMT sub-band의 개수만큼 병렬화를 수행한 데이터에서 m번째 sub-band의 심볼 $X_m(k)$ 는



(a) OFDM 시스템의 주파수 스펙트럼



(b) 제안한 FMT-OFDM 시스템의 주파수 스펙트럼

그림 4. (a)OFDM 시스템과 (b)제안한 FMT-OFDM 시스템의 주파수 스펙트럼

Fig. 4. Frequency spectrum of (a)OFDM system & (b)proposed FMT-OFDM system.

N-point IFFT를 통하여 직교화되며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_m(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_m(k) e^{j2\pi \frac{nk}{N}}, \quad \begin{cases} n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ m = 0, 1, 2, \dots, M-1 \end{cases} \quad (1)$$

M개의 sub-band마다 N-point IFFT가 수행된 $x_m(n)$ 은 raised cosine 필터 $h(n)$ 을 사용하여 필터링되며, 이때의 출력 $s_m(n)$ 은 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$s_m(n) = h(n) * x_m(n), \quad m = 0, 1, 2, \dots, M-1 \quad (2)$$

그림 4와 같이 M개의 sub-band를 주파수 천이 후 합한 신호 $y(n)$ 은 식(3)과 같이 표현할 수 있으며, 여기서 i 는 천이 시킨 중심주파수를 의미한다.

$$y(n) = \sum_{i=0}^{M-1} s_m(n) e^{-j2\pi f_i n}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, M-1 \quad (3)$$

반송파와 곱해져서 송신 센서에서 출력되는 신호 $t(n)$ 은 식(4)와 같다.

$$t(n) = y(n) e^{-j2\pi f_c n} \quad (4)$$

그림 6은 FMT-OFDM 시스템의 수신기의 구조도가 보이며, 그림 5 송신기의 역순으로 수신 신호를 복원한다.

수신센서에 수신된 신호 $r(n)$ 은 수중 채널 $c(n)$ 을 통과하면서 잡음과 더해지며, 식(5)와 같이 표현이 가능하다.

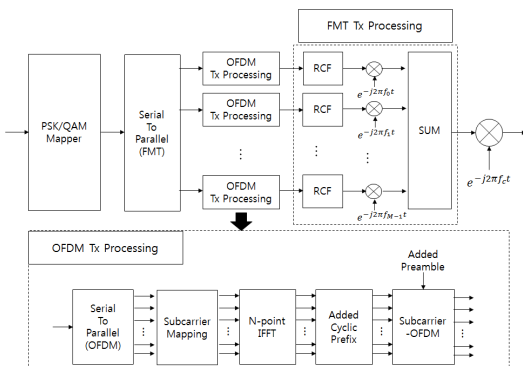


그림 5. FMT-OFDM 시스템의 송신기 구조도
Fig. 5. Transmitter Structure of FMT-OFDM system

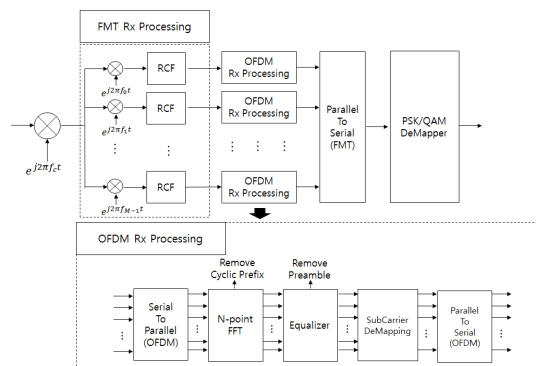


그림 6. FMT-OFDM 시스템의 수신기 구조도
Fig. 6. Receiver Structure of FMT-OFDM system.

$$r(n) = t(n) * c(n) + n \quad (5)$$

$r(n)$ 은 식(6)과 같이 반송파를 제거하여 기저대역으로 주파수를 천이시키며,

$$p(n) = r(n)e^{j2\pi f_c t} \quad (6)$$

M개의 sub-band는 f_i 만큼 천이 되어있는 신호들을 다시 기저대역으로 주파수 천이 한 후 필터 $h(n)$ 를 사용하여 필터링을 수행한다.

$$q_m(n) = (h(n) * p(n))e^{j2\pi f_i t}, m = 0, 1, 2, \dots, M-1 \quad (7)$$

필터를 통과한 신호 $q_m(n)$ 은 OFDM 신호처리를 위한 병렬화 및 N-point FFT를 수행한다.

$$Q_m(k) = \sum_{n=0}^{N-1} q_m(n) e^{-j2\pi \frac{nk}{N}}, \begin{cases} k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ m = 0, 1, 2, \dots, M-1 \end{cases} \quad (8)$$

N-point FFT를 수행한 신호 $Q_m(k)$ 의 프리앰블과 파일럿 신호를 이용하여 채널 추정을 하였으며, 송신기의 역순으로 QPSK 심볼을 복원하였다.

IV. 시뮬레이션

제안한 FMT-OFDM 시스템은 FMT를 사용하여 5kHz의 대역폭을 4개의 FMT sub-band로 나누고 각각의 sub-band를 OFDM 방식으로 32개의 직교하는 부반송파를 생성한다. 따라서 하나의 부반송파가 갖는 대역폭은 본 논문의 II장에서 실측데이터를 분석하여 추정된 상관대역폭인 164Hz보다 충분히 작은 40Hz가 되므로 하나의 부반송파가 겪는 채널환경이 비선형 채널로 근사됨을 알 수 있다.

아직까지 수중에 OFDM 시스템의 표준이 명확하게 정의 되어있지 않기 때문에 FMT-OFDM 시스템의 파라미터와 프레임 포맷은 수중 채널 환경 측정 데이터를 분석 결과와 Wireless LAN Std. 802.11a를 참고 하였으며, OFDM 시스템의 부반송파 할당방식은 802.11n을 참고 하였다^{[9][10]}. 일반적으로 수중 채널은 육상채널에 비하여 극심한 변화를 가지므로 OFDM 시스템의 인접 채널 간 간섭을 피하기 위해 사용하는 가상 부반송파나 채널등화를 위해 필요한 파일럿 부반송파 개수는 본 논문의 시뮬레이션에 사용한 개수보다 증가할 것이다.

그림 7에 FMT-OFDM 시스템과 OFDM 시스템의

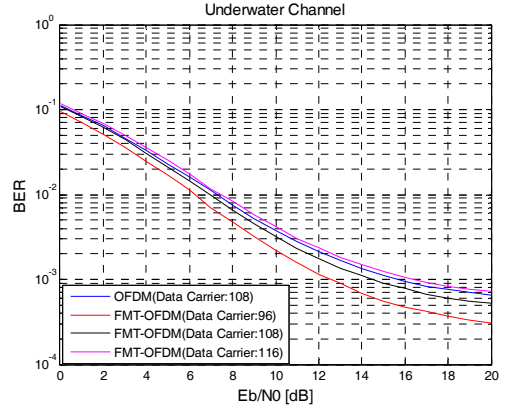


그림 7. 수중 채널 환경에서 데이터 부반송파 개수에 따른 OFDM 시스템과 FMT-OFDM 시스템의 성능
Fig. 7. Performance of OFDM system and FMT-OFDM system according to the number of data carriers in the underwater channel environment.

가상 부반송파 개수에 따른 성능검증 시뮬레이션이 보이며, 표 2에는 각 시스템의 부반송파 할당 방식을 표로 정리하였다.

본 논문의 성능검증을 위한 시뮬레이션에서 제안한 FMT-OFDM 시스템은 4개의 sub-band 각각에 32개 OFDM이 수행되는 구조를 갖기 때문에 각각의 sub-band마다 1개의 DC 부반송파와 2개의 파일럿 부반송파가 할당된다. 따라서 DC 부반송파와 파일럿 부반송파, 가상 부반송파를 제외한 나머지 부반송파가 실제 데이터를 전송할 수 있는 구간이 되며, 성능 검증을 위해 108개의 데이터 부반송파를 갖는 OFDM 시스템과 FMT-OFDM 시스템의 데이터 부반송파 개수가 96, 108, 116개인 경우에 두 시스템의 성능을 비

표 2. OFDM과 FMT-OFDM 시스템의 부반송파 할당 방식
Table 2. Subcarrier allocation method of the OFDM and FMT-OFDM system.

	OFDM	FMT-OFDM		
Number of Data-carriers	108	96	108	116
Number of virtual-carriers	11	20	8	0
Number of Pilot-carriers	6	8	4	8
Number of DC	3	4	8	4
Number of Total carriers	128	128	128	128
Total Data rate(bits/sec)	5184	4608	5184	5568

고하였다. 전체 128개 부반송파에서 DC 부반송파 4개, 파일럿 부반송파 8개, 가상 부반송파 20개를 제외한 96개의 데이터 부반송파를 사용하는 경우 OFDM 시스템에 비하여 BER 10^{-3} 기준으로 약 1.5dB의 통신 성능향상이 있음을 알 수 있지만 사용하는 가상 부반송파의 개수가 증가하여 데이터 전송량이 감소하며, 108개의 동일한 데이터 부반송파를 사용하는 경우 FMT-OFDM 시스템이 OFDM 시스템에 비하여 BER 10^{-3} 기준 약 1dB의 성능 향상이 있음을 알 수 있다. 가상 부반송파를 사용하지 않았을 경우에는 데이터 전송량은 증가하지만 BER 10^{-3} 기준으로 약 0.2dB의 성능저하가 발생함을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었으며, 가상 부반송파를 사용하지 않은 FMT-OFDM 시스템은 총 데이터 전송량에서 단일 OFDM 시스템보다 약 384bit/s의 데이터 전송률이 향상되는 것을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 최근 수중 채널 환경에서 다중반송파를 사용한 통신시스템 연구에 대한 관심이 증가함에 따라 기존의 다중 반송파 방식의 전송 효율을 향상시키기 위해 OFDM 시스템과 FMT 시스템을 결합한 FMT-OFDM 시스템을 제안하였으며, 제안한 시스템을 수중통신에 적용하기 위해 실측데이터를 분석을 하였다. 제안한 시스템의 실효성있는 성능을 검증하기 위하여 실험역 측정을 통해 채널 모델 파라미터와 OFDM 시스템과 FMT-OFDM 시스템의 파라미터를 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다. 일반적으로 수중 채널 환경은 육상에 비해 급격한 채널 변화를 가지기 때문에 인접 채널 간 간섭으로 발생하는 영향이 크게 증가 하고, 수중에서 다중반송파 방식을 사용하여 원활한 통신을 수행하기 위해서는 가상 부반송파에 할당되는 부반송파 개수의 증가로 데이터 전송량이 감소하게 된다. 따라서 본 논문에서 제안한 FMT-OFDM 시스템은 주파수 대역을 복수개의 sub-band로 구분하고 각 sub-band마다 OFDM을 수행한 다음 raised cosine 필터링 함으로써 인접 채널 간의 영향을 제거하여, 가상 부반송파에 할당되었던 부반송파에 데이터 전송이 가능하게 되므로 데이터 전송량이 향상 되는 것을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

시뮬레이션 결과 동일한 데이터 부반송파를 사용하는 경우 FMT-OFDM 시스템이 OFDM 시스템에 비

하여 BER 10^{-3} 기준 약 1dB의 성능 향상이 있음을 확인하였으며, FMT-OFDM 시스템의 경우 가상 부반송파를 제거하여도 OFDM 시스템과 성능 차이가 크지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서 향후 본 논문에서 제안한 FMT-OFDM 시스템의 성능 향상 연구를 통해 기존의 OFDM 시스템과 비교하여 데이터 전송량 증가와 안정된 통신 성능을 갖는 연구가 수행되어야 할 것이다.

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] K. C. Cho, "Performance analysis of the pre-equalizer system for the OFDM system," *J. KICS*, vol. 39B, no. 12, pp. 864-869, Dec. 2014.
- [3] Y. S. Cho, J. K. Kim, and W. Y. Yang, *MIMO-OFDM wireless communications with matlab*, Hongrung publishing company, pp. 179-182, 2012.
- [4] M. S. Kim, D. Y. Cho, and H. L. Ko, "Analysis on the correlation coefficient for the diversity technique combined with beamforming using measurement data in underwater channel environments," *J. KICS*, vol. 37A, pp. 1023-1030, Dec. 2012.
- [5] S. J. Park, S. R. Kim, and Y. H. Yoo, "DTN routing protocol utilizing underwater channel properties in underwater wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 39B, no. 10, pp. 645-653, Oct. 2014.
- [6] D. Y. Cho, "A study on the improvement of performance in beamforming-based low power communication system," Doc. Thesis, Inf. and Telecommun. Eng., Hoseo Univ., Dec. 2014.
- [7] G. Leus, "Covert underwater communications with multiband OFDM," *IEEE OCEANS 2008*, pp. 1-8, Quebec City, Sept. 2008.
- [8] T. L. Fan, H. W. Wu, and H. C. Huang "Channel estimation and interference cancellation for OFDM systems based on total

least squares solution,” *ETP J. Commun.*, vol. 6, no. 8, pp. 1-8, Nov. 2011.

- [9] Part 11: IEEE 802.11a. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications*, IEEE 802.11a-1999, 1999.
- [10] Part 11 : IEEE 802.11n. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE 802.11n-2009, 2009.

김 민 상 (Min-sang Kim)



2008년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 졸업
 2010년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 석사
 2012년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 박사
 2012년~현재 : 호서대학교 박사후 연구원

<관심분야> smart antenna, MIMO, 수중통신

조 대 영 (Dae-young Cho)



2009년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 졸업
 2011년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 석사
 2012년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 박사
 2014년~현재 : (주)산 ENG

<관심분야> smart antenna, DSP

고 학 림 (Hak-lim Ko)



1983년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업
 1986년 8월 : Fairleigh Dickinson Univ. 전기 및 컴퓨터공학과 석사
 1995년 8월 : North Carolina state Univ. 전기 및 컴퓨터공학과 박사

1996년~현재 : 호서대학교 정보통신 공학과 교수
 <관심분야> 스마트 안테나 시스템, 이동통신, 수중통신, 해양통신

홍 대 기 (Dae-Ki Hong)



1997년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 졸업
 1999년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
 2003년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 박사
 2006년 8월 : 전자부품연구원 선임연구원

2006년 9월~현재 : 상명대학교 정보통신공학과 부교수
 <관심분야> 무선통신, 정보통신, 이동통신

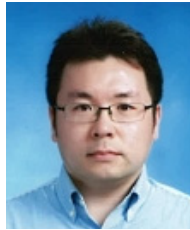
김 승 근 (Seung-geun Kim)



1995년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
 1997년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
 2002년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
 2002년 10월~현재 : 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원

2004년 3월~현재 : 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신공학과 겸임교원(부교수)/전공책임교수
 <관심분야> 수중음향통신 시스템 개발, 해상 VHF 디지털 통신 시스템 개발, 선박 항해통신 장치 및 서비스

임 태 호 (Tae-ho Im)



2006년 2월 : 중앙대학교 전기전기공학부 졸업
 2008년 2월 : 중앙대학교 전기전기공학부 석사
 2012년 8월 : 중앙대학교 전기전기공학부 박사
 2012년 7월~2015년 2월 : 삼성

전자 DMC연구소 책임연구원
 2015년~현재 : 호서대학교 해양IT융합기술연구소 조교수
 <관심분야> 이동통신, 수중통신, 해양통신