

측정 데이터를 이용한 빔형성기의 적용에 의한 수중 채널 환경에서의 상관 대역폭 분석

On the Performance Analysis of Coherent Bandwidth in Underwater Channel Environments Using Beamforming Technologies Based on the Use of Measurement Data

김민상*, 조대영*, 김계원*, 이태석*, 박종원**, 임용곤**, 고헌림***
 Min-Sang Kim*, Dae-Young Cho*, Kye-Won Kim*, Tae-Seok Lee*,
 Jong-Won Park**, Yong-Gon Lim**, Hak-Lim Ko***

요 약

수중 채널 환경에서 고속의 데이터를 신뢰성 있게 전송하기 위한 OFDM 시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 또한, OFDM 통신 시스템에서는 각 부반송파의 대역폭을 채널의 상관 대역폭 보다 작게 설정해야지만 수중 채널 환경에 OFDM 통신의 적용에 의한 성능 향상을 기대할 수 있다. 하지만 실제의 수중 채널 환경에서의 상관 대역폭은 수십 Hz로 매우 작기 때문에, 수중 OFDM 통신 시스템 구성 시에 OFDM을 위한 FFT의 크기가 증가하고, 각 부반송파에 실효 지연 확산 이상의 길이를 갖는 주기적 전치 부호를 추가해야하기 때문에 시스템의 복잡도가 증가하고 데이터의 효율이 저하된다. 따라서 본 연구에서는 수중 채널 환경에서 빔형성기의 적용에 의한 상관 대역폭의 증가를 연구하였다. 이를 위해 실제의 수중 채널 환경에서 측정을 수행하고, 측정 데이터를 분석해 봄으로써 수중 채널 환경에서 빔형성기의 적용에 의한 상관 대역폭의 증가 정도를 분석하였다. 분석 결과 수중 채널 환경에 빔형성기를 적용하는 경우 상관대역폭이 단일 센서를 사용하는 경우에 비해 크게 증가함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The OFDM system have been widely studied for the purpose of increasing data rate with more reliable communications in underwater channel environments. And it is possible only when the sub-carrier's bandwidth is smaller than the coherence bandwidth of channel in the underwater OFDM communication system. However, the size of the FFT for the OFDM system will be increased because the coherence bandwidth is as small as several tens of Hz in real underwater channel environments. Also, It is necessary to add a CP having a length longer than the rms delay spread of a channel. So the complexity of the system is increased and the data efficiency is reduced. Therefore, in this paper, we have studied the increase of the coherence bandwidth by adapting the beamforming technologies. To do this, we have collected data from real underwater channel environments and analyzed the coherence bandwidth when adapting the beamforming technologies. Analyzing the experimental data show that the coherence bandwidth by the beamforming technologies in underwater channel environments was greatly increased compared to that of a single sensor.

Keywords : Underwater Communication, Beamforming, Coherence Bandwidth, rms delay spread

I. 서 론

수중통신 기술은 수중 자원탐사, 수중 관측, 해양 오염 및 환경 감시, 쓰나미 및 지진 등의 해양 재해 감시, 해양 레저

등 다양한 민간 부문에서의 활용뿐만 아니라, 수중 이동체의 탐지, 제어 및 추적, 어뢰 탐지, 주요시설 수중 감시체계 등의 군사적 목적에 활용되어, 최근 그 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 위해 수중에서 신뢰성이 높은 고속의 데이터 통신이 요구되고 있다[1].

하지만 수중에서의 초음파 채널은 감쇄가 심하고, 수면 및 해저면에서의 반사파에 의한 다중경로 페이딩의 영향을 많이 받기 때문에 수신된 신호의 심볼간 간섭이 증가하여 통신 시스템의 성능이 저하된다[2]. 따라서 현재 수중 채널 환경에서

* 호서대학교 ** 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트 연구소
 ***호서대학교(교신저자)
 이 논문은 해양수산부의 “수중 광역 이동통신 시스템개발” 과제에서 수행된 연구결과임.
 투고 일자 : 2014. 7. 19 수정완료일자 : 2014. 9. 29
 게재확정일자 : 2014. 11. 2

OFDM 통신 방식을 적용하여 신뢰성 높은 고 효율의 통신을 수행하는 연구가 활발히 진행 중이다. OFDM 통신 방식은 고속의 데이터를 복수 개의 저속 병렬 데이터로 변환한 후에, 서로 직교의 특성이 있는 복수개의 부반송파를 이용하여 병렬로 변환된 저속의 데이터를 부반송파로 변조하여 전송하는 방식으로 페이딩이 심한 채널 환경에서도 신뢰성 높은 데이터 전송이 가능하며, 통신 시스템의 성능 저하를 방지하기 위하여 OFDM 통신 시스템에서는 각 부반송파의 대역폭을 채널의 상관 대역폭 보다 작게 설정하고 있다[3,4].

하지만 실제 수중 채널 환경에서의 상관 대역폭은 수십 Hz로 매우 작은 경우가 많기 때문에, 같은 양의 데이터를 전송하기 위한 부반송파의 수가 증가하고, 이에 따라 수중 OFDM 통신 시스템 구성 시에 OFDM을 위한 FFT의 크기가 증가하며, 이에 의한 시스템의 복잡도가 증가한다. 또한 OFDM 통신에서는 각 부반송파에 전송되는 채널의 실효 지연 확산(RMS delay spread) 이상의 길이를 갖는 주기적 전치 부호(Cyclic Prefix)를 추가해야지만 채널에 의해 발생하는 심불간 간섭의 영향을 최소화할 수 있기 때문에 이에 의한 데이터의 효율이 크게 저하된다[5].

따라서 본 연구에서는 수중 채널 환경에서 상관대역폭을 증가시켜 각 부반송파의 대역폭을 증가시킴으로써 FFT에 의한 시스템의 복잡도를 완화시키고, 각 부반송파의 주기적 전치 부호를 최소화시켜 OFDM 통신에서의 데이터 효율을 증가시키기 위한 연구를 수행하였으며, 이를 위해 수중채널 환경에서 빔형성 시스템의 적용에 의한 상관 대역폭의 증가 가능성에 대한 연구를 수행하였다.

빔형성 시스템은 복수개의 센서를 이용하여 신호를 송수신하며, 각 센서에 수신된 신호의 진폭 및 위상을 조절하여 줌으로써 원하는 방향에서 수신되는 신호만 수신하고, 원하지 않는 방향으로부터 수신되는 신호를 제거하는 시스템이다 [6]. 따라서 수중 통신 시스템에 빔형성 기법을 적용하면, 원하는 방향의 신호만을 수신하고 빔 이득을 얻을 수 있으며, 다른 방향으로부터 수신되는 다중 경로 간섭을 제거해줌으로써 채널에서의 실효 지연 확산을 줄이고, 이에 의해 채널의 상관 대역폭을 증가시킬 수 있다.

본 논문에서는 실제의 채널 환경에서 측정을 수행하였으며, 정지 및 이동 채널 환경에서 측정된 데이터를 분석하여, 빔형성기의 적용에 의한 수중 채널에서의 상관 대역폭 증가 정도를 분석하였다. 이를 위해 II장에서는 수중 채널에서의 측정 환경에 대해 설명하고, III장에서는 빔형성 시스템에 대해 설명하며, IV장에서는 측정 데이터를 이용한 수중 채널 환경에서 빔형성기의 적용에 의한 상관 대역폭 증가 정도를 분석하고, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 측정 환경

수중 채널 환경에서 빔형성기의 적용에 의한 실효 지연 확산을 분석하기 위해서, 거제도 앞 바다에서 측정을 수행하였다. 그림 1에 본 측정에서 사용된 송수신 선박의 구성도가

보인다.

그림 1에서 보이는 바와 같이 본 측정은 송신 선박에서 단일 센서를 갖는 송신기를 이용하여 신호를 전송하고 수신 선박에서는 네 개로 구성된 배열 센서를 이용하여 신호를 수신하였다.

또한, 본 측정은 수심이 약 30m인 거제 앞바다에서 송신 선박과 수신 선박의 거리가 100m인 환경에서 두 선박이 정지된 환경과 송신 선박이 수신 선박 방향으로 1knot의 속도로 이동하는 환경에 대해 측정을 수행하였다. 그리고 본 측정에서 송신 센서와 수신 센서의 깊이는 15m로 하였는데, 그 이유는 송수신 센서를 측정 해역 수심의 절반의 깊이에 위치시켜 송신 센서에서 전송한 신호의 해저 반사파와 해면 반사파 성분을 분석하기 위함이었다.

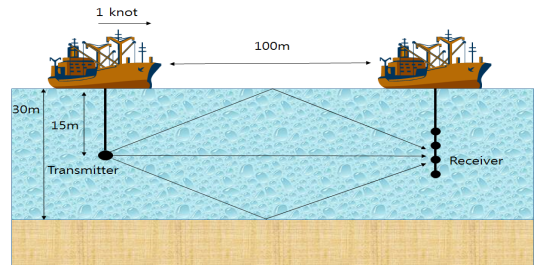
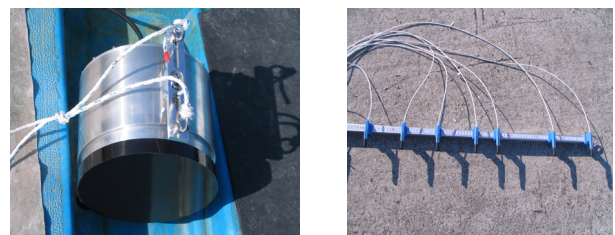


그림 1. 본 측정에서 사용된 송수신 선박의 구성도
Fig.1. Overview of experiments with pictorial view of ships used in our experiments.

그림 2(a)와 그림 2(b)는 각각 본 측정에서 사용된 송신 센서와 수신 배열 센서를 보여준다. 그림에서 보이는 바와 같이 송신 센서는 단일 센서로 구성되어 있으며, 수신 센서는 전송된 반송 주파수의 반 파장 간격으로 이격된 네 개의 센서로 구성된 선형 배열 센서를 사용하였다.



(a) 송신 센서 (b) 수신 배열 센서

그림 2. 측정에 사용된 센서의 구조

Fig.2. Transmitter/Receiver used in the experiments.

그림 3에 측정이 수행된 지역의 지도가 보인다. 본 측정은 거제도 앞바다의 천해역에서 수행되었다.



그림 3. 측정 지역 지도

Fig.3. Geographical map of where the data collection experiments took place.

본 측정에서는 1023개의 길이를 갖는 PN code를 반복하여 BPSK 방식으로 변조한 후에 전송하였으며, 신호 전송 시의 반송 주파수는 25KHz 였고, 데이터의 전송율은 5Kbps 였다. 또한 신호 전송 시에 사용된 pulse shaping 필터의 길이는 20이었고, 필터의 roll-off factor는 0.35이었다. 표 1에 본 측정에서 사용된 송신기의 파라미터가 보인다.

표 1. 송신 파라미터

Table1. Transmitting parameters.

변조방식	BPSK
반송주파수	25KHz
Symbol rate	5Ksps
PN code의 Symbol length	1023
Pulse shaping filter length	20
Roll-off factor	0.35

송신된 신호는 수중 채널을 통과한 후에 네 개의 센서로 구성된 배열 센서에 수신되며, 본 연구에서는 배열 센서로 수신된 신호를 200Ksps의 속도로 샘플링하여 저장하였고, 저장된 신호를 저주파 변환한 후에 송신된 PN code와 같은 코드를 갖는 정합필터의 출력 신호를 이용하여 수중 채널에서의 실패 지연 확산을 추정하였으며, 이를 통해 채널의 상관 대역폭을 추정하였다.

III. 빔형성 시스템

그림 4에 빔형성 시스템의 구조도가 보인다. 빔형성 시스템은 복수개의 센서를 이용하여 신호를 송수신하며, 각 센서 후단에서 수신된 신호의 복소 가중치 벡터를 조절하여 원하는 방향에서 수신되는 신호만을 수신하고, 원하지 않는 방향으로부터 수신되는 신호를 제거하는 시스템이다.

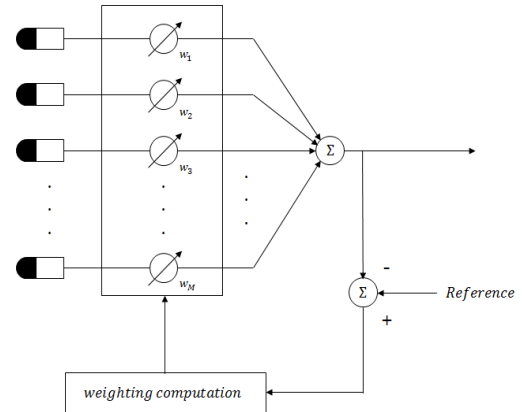


그림 4. 빔 형성기 시스템 구조도

Fig.4. Structure of a beamformer system.

따라서 빔형성기의 출력신호는 배열 센서에 수신된 신호와 복소 가중치 벡터의 곱으로 표현된다[7].

$$y = W^* x \tag{1}$$

여기서 x 는 배열 센서에 수신된 신호 벡터이고 W 는 각 센서의 복소 가중치 벡터이다. 또한, 빔형성기의 복소 가중치 벡터는 빔형성기의 출력 신호와 참고(reference) 신호의 차이를 최소화 시키는 알고리즘에 의해 추정될 수 있다[8].

따라서 수중 통신 시스템에 빔형성 방식을 적용하면, 원하는 방향으로 부터만의 신호를 수신함으로써 원하는 방향에 대한 빔 이득을 얻을 수 있으며, 원하지 않는 방향으로부터 수신되는 다중 경로 간섭을 제거해줌으로써 수중 통신 시스템의 성능 증대를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 수신 신호의 상관 대역폭을 수신 신호에 대한 실패 지연 확산을 이용하여 분석하였으며, 일반적으로 수신신호에 대한 실패 지연 확산은 다음과 같다[9].

$$\tau_s = \sqrt{E[\tau^2] - E[\tau]^2} \tag{2}$$

여기서 지연 시간의 평균값 ($E[\tau]$)과 분산값 ($E[\tau^2]$)은 식(3)및 식(4)와 같다.

$$E[\tau] = \left(\sum_{m=0}^{N-1} a_m \tau_m \right) / \sum_{m=0}^{N-1} a_m \tag{3}$$

$$E[\tau^2] = \left(\sum_{m=0}^{N-1} a_m \tau_m^2 \right) / \sum_{m=0}^{N-1} a_m \tag{4}$$

여기서 a_m 은 m 번째로 수신되는 지연 신호의 크기이고, τ_m 은 지연 시간이다. 식(2)-식(4)에서는 보이는 바와 같이 수중 채널에서의 실패 지연 확산은 다중경로 신호의 수가 많고, 다중경로 신호가 상대적으로 크게 수신되는 경우 증가하는데 비해서, 수중 통신 시스템에 빔형성 기법을 적용하면 원하지 않는 방향으로부터 수신되는 다중경로 성분을 제거하

여 수신된 신호에 대한 실효 지연 확산을 크게 줄일 것으로 기대된다.

IV. 측정 데이터를 이용한 상관대역폭 분석

상관대역폭(B_c)은 주파수적으로 채널이 균일한 특성을 보이는 대역폭으로, 다중경로 신호에 의한 실효 지연 확산(τ_s)의 역으로 정의된다. 또한, 상관대역폭이 주파수 상관함수의 0.5 이상에 걸친 대역폭으로 정의된다면 상관대역폭 B_c 는 다음과 같다[10].

$$B_c \approx \frac{1}{5\tau_s} \quad (5)$$

채널에서의 상관 대역폭을 추정하기 위해서는 수신 신호에 대한 실효 지연 확산을 먼저 추정해야한다. 따라서 본 연구에서는 측정되어 수신된 데이터를 기저대역 신호로 변환시킨 후에, 송신된 PN code와 같은 코드를 갖는 정합필터의 출력 신호를 이용하여, 수신된 신호에 대한 다중경로의 채널 지연 프로파일을 추정하였으며, 식(2)-식(4)를 이용하여 수신된 신호의 실효 지연 확산을 추정하고, 식(5)를 이용하여 수중 채널 환경에서의 상관대역폭을 추정하였다. 또한, 수신된 신호의 실효 지연 확산 추정 시에는, 다중 경로 신호의 전력이 신호전력에 비해 -20dB 이상의 크기를 갖는 신호만을 검출하여 계산하였다.

또한, 빔형성 시스템의 적용에 의한 분석에서는 배열 안테나에서 수신된 신호를 이용하여 수신된 신호에 대한 도달각을 추정한 후에, 수신된 신호 방향으로만 빔형성을 수행하고, 빔형성이 수행된 신호에 대한 정합필터의 출력 신호를 이용하여 실효 지연 확산을 추정하였다.

그림 5에 송신 선박과 수신 선박의 거리가 100m이고, 두 선박이 정지된 환경에서 단일 센서에 수신된 신호의 채널 지연 프로파일이 보인다. 그림 5에서 x축은 시간 지연이고 y축은 채널의 $|H(f)|^2$ 이다. 본 측정데이터 분석에서 채널의 $|H(f)|^2$ 은 정규화 하였다. 또한 그림 5에서 좌측 하단의 그림은 채널 지연 프로파일 중에서 0-20msec의 구간을 확대한 그림이고, 우측 하단의 그림은 채널 지연 프로파일 중에서 -10dB 이하 부분을 확대한 그림이다.

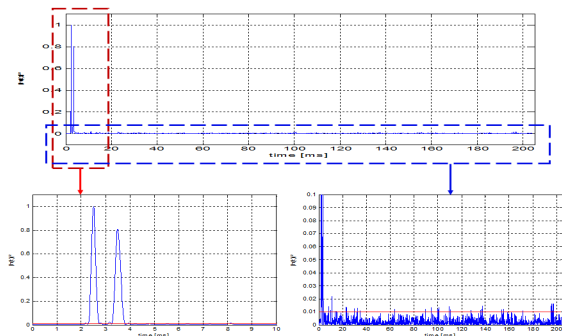


그림 5. 송신기와 수신기의 거리가 100m이고, 송수신기가 정지된 채널환경에서 단일 센서로 수신된 신호의 채널 지연 프로파일

Fig.5. Channel delay profile that are estimated from the received signal when the distance between transmitter and receiver was 100m (Stationary channel environments).

그림 5에서 보이는 바와 같이 해당 환경에서는 약 1msec 후에 다중경로가 크게 수신되고, 약 10msec 부분과 195msec 부분에 작은 크기를 갖는 다중경로 신호가 수신됨을 알 수 있다. 따라서 이러한 채널 환경에서의 실효 지연 확산은 4.1ms 이었고, 상관대역폭을 주파수 상관함수의 0.5 이상에 걸친 대역폭으로 정의한 경우의 상관대역폭은 49.18Hz 이었다.

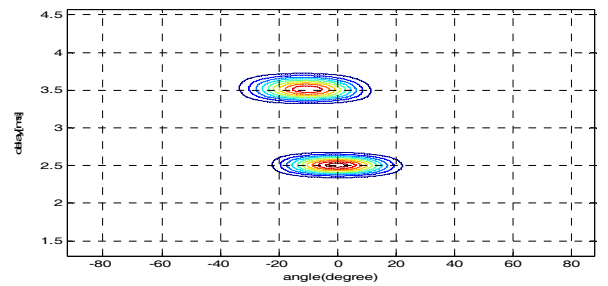


그림 6. 그림 5의 채널 환경에서 수신 신호의 angle-delay 프로파일

Fig.6. Angle-delay profile that are estimated from the received signal in Fig.5.

그림 6에 그림 5의 채널 환경으로 수신된 신호에 대한 angle-delay 프로파일이 보인다. 그림 6에서 보이는 바와 같이 그림 5에서 서로 다른 시간 지연으로 수신되는 신호는 서로 다른 방향으로부터 수신된다. 따라서, 본 연구에서는 원하는 신호의 방향으로만 빔형성을 수행하고, 빔형성이 수행된 신호를 이용한 수신 신호의 채널 지연 프로파일을 분석하였다. 그림 7에 빔형성을 수행한 후의 채널 지연 프로파일이 보인다.

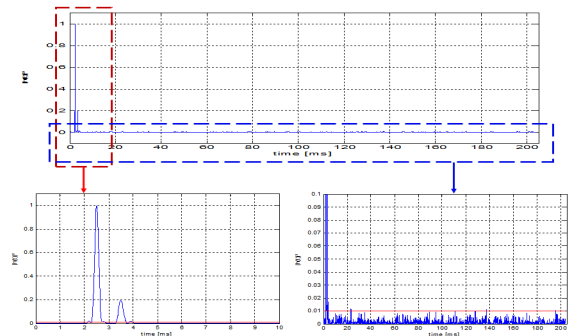


그림 7. 그림 5의 환경에서 빔형성 기법 적용 후의 채널 지연 프로파일

Fig.7. Channel delay profile that are estimated from the beamformed signal using the data in Fig.5.

그림 7에서 보이는 바와 같이 원하는 신호 방향으로만 빔형성을 수행하면 원하지 않는 방향에서 수신되는 다중 경로 간섭 신호 성분의 크기가 크게 감소함을 알 수 있다. 즉, 원 신호에 비해 약 1ms 후에 수신되는 신호의 전력은 약 6dB 감소되었으며, 약 10msec 부분과 195msec 부분에서 수신되었던 다중경로의 전력도 크게 감소되었음을 알 수 있다. 따라서 그림 5의 채널 환경에 빔형성 기법을 적용하는 경우에는 다중 경로 성분이 크게 줄어들음을 알 수 있으며, 이에 의해 실효 지연 확산은 약 0.22ms로 감소되었고, 상관대역폭은 905Hz로 증가되어, 단일 센서를 이용한 경우에 비해 상관 대역폭이 약 18.5배 증가함을 알 수 있었다.

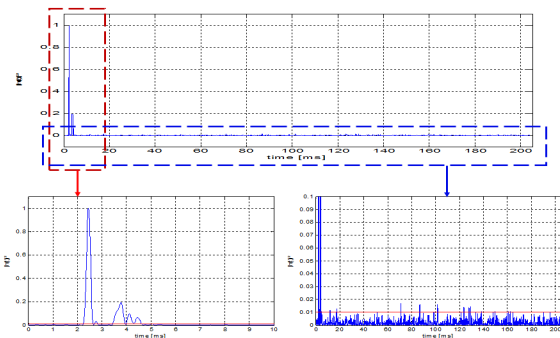


그림 8. 송신기와 수신기의 거리가 100m이고, 송신 선박이 수신 선박의 방향으로 1knot의 속도로 이동하는 채널 환경에서 단일 센서로 수신된 신호의 채널 지연 프로파일
Fig.8. Channel delay profile that are estimated from the received signal when the distance between transmitter and receiver was 100m (the transmitting ship moved towards the receiving ship at the speed of 1 knot).

그림 8에 송신기와 수신기의 거리가 100m이고, 송신기가 탑재된 선박이 수신기가 탑재된 선박의 방향으로 1knot의 속도로 이동하는 채널 환경에서 단일 센서를 이용하여 수신한 신호의 채널 지연 프로파일이 보인다. 그림 8의 채널 환경에서는 원하는 경로 신호보다 약 1.5msec 후부터 다중경로 신호 들이 수신됨을 알 수 있으며, 시간 축에서 약 70msec, 85msec, 100msec 부근에서 원하는 경로 신호에 비해 -20dB 이상의 전력을 갖는 다중 경로 신호가 수신됨을 알 수 있다. 따라서 이러한 채널 환경에서의 실효 지연 확산은 4.8ms 이었고, 상관대역폭은 약 41.6Hz 이었다.

그림 9에 그림 8의 채널 환경에서 빔형성기의 적용한 후의 신호에 대한 채널 지연 프로파일이 보인다. 그림 9에서 보이는 바와 같이 그림 8의 채널 환경에서 원하는 경로 신호의 방향으로만 빔형성을 수행하는 경우에는 약 1.5msec 이후에 수신되었던 다중 경로 신호를 제외하고는 대부분의 다중 경로 신호의 전력이 원하는 경로 신호의 전력에 비해 -20dB 이하로 감소되었으며, 이를 통해 빔형성기의 적용에 의한 실효 지연 확산은 약 0.23ms로 감소되었고, 상관대역폭은 약 868.2Hz로 증가되어, 빔형성기의 적용에 의한 상관 대역폭이 약 21배 증가함을 알 수 있었다.

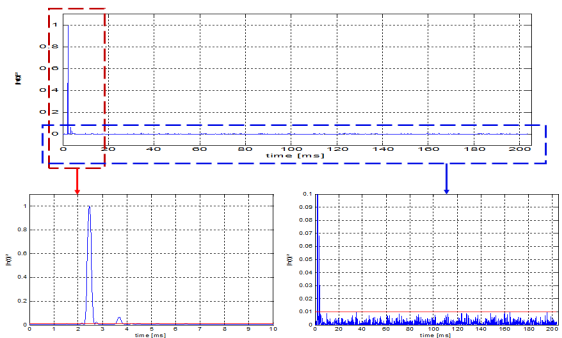


그림 9. 그림 8의 환경에서 빔형성 기법 적용 후의 채널 지연 프로파일

Fig.9. Fig.7. Channel delay profile that are estimated from the beamformed signal using the data in Fig.8.

표 2에 수중 채널 환경에서 송신기와 수신기가 정지한 상태의 채널 환경과 송신기가 수신기의 방향으로 1knot의 속도로 이동하는 환경에서 수신기에 단일 센서를 사용하여 신호를 수신한 경우와 수신기에 배열 센서를 이용하여 신호를 수신한 후에 빔형성을 수행한 경우에 대한 상관 대역폭의 비교가 보인다. 표 2에서는 단일 센서와 빔형성 방식의 경우 각각 15번의 측정 데이터를 분석하여 그 평균을 구하였다.

표 2. 단일 센서 방식과 빔형성 방식에 대한 상관 대역폭 비교

Table2. Comparison of coherence bandwidth.

정지 환경	단일 센서 사용	44.17 Hz
	빔형성 적용	1317.22 Hz
이동 환경	단일 센서 사용	39.18 Hz
	빔형성 적용	803.39 Hz

표 2에서 보이는 바와 같이 수중 채널 환경에서 빔형성 기법을 적용하여 신호를 수신하면, 같은 환경에서도 채널의 상관 대역폭이 크게 증가함을 알 수 있다. 이는 빔형성에 의해 원하지 않는 방향으로부터 수신되는 다중 경로 신호 성분이 많이 제거되어 실효 지연 확산이 크게 줄기 때문이다. 또한, 표 2의 결과에 의하면 거제도 앞바다의 천해역인 경우 빔형성 기법의 적용에 의해 정지 환경에서는 상관 대역폭이 약 29배 증가하였으며, 이동 채널 환경에서는 약 20 배 증가하였다.

또한, 본 연구에서는 네 개의 센서를 갖는 선형 구조의 배열 안테나를 사용하여 빔형성을 수행하였으나, 센서의 수가 증가하면 빔형성기의 빔폭이 감소하여 다중 경로에 의한 실효 지연 확산을 더 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론

본 논문에서는 수중 채널 환경에서 빔형성 방식의 적용에 의한 상관대역폭의 증가 정도를 분석하는 연구를 수행하

였다. 이를 위해, 본 연구에서는 거제도의 천혜역 환경에서 측정을 수행하고, 측정된 데이터를 실험 지면 확산 관점에서 분석하였으며, 이를 통해 단일 센서 사용 시와 빔형성 기법 적용 시의 채널에 의한 상관 대역폭을 비교 분석하였다.

측정 데이터의 분석 결과 빔형성 기법을 적용한 경우에는 실험지면 확산이 정지 채널 환경인 경우에는 약 29배, 이동 채널 환경인 경우에는 약 20배 감소하였으며, 상관 대역폭은 같은 배수 만큼 증가함을 알 수 있었다.

현재 수중 채널에서 신뢰성 높은 고속의 데이터 통신을 위한 수중 OFDM 통신 시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 따라서 수중 통신 시스템에 빔형성 기법을 적용하면 OFDM 통신 시스템에서 상관 대역폭이 증가하여 주기적 전치 부호의 길이를 줄여 데이터 효율을 증가시킬 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Stojanovic, "Recent advances in high-speed underwater acoustic communications", Oceanic Engineering, IEEE Journal, Vol. 21, pp. 125-136, 1996.

[2] Sozer. E.M, Stojanovic. M, Proakis, J.G, "Underwater Acoustic Networks", Oceanic Engineering, IEEE Journal, Vol. 25, pp. 72-83, 2000.

[3] Chuang. J, Sollenberger. N. "Beyond 3G wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment", Communications Magazine, IEEE Journal, Vol. 38, pp. 78-87, 2000.

[4] Stojanovic. M, "OFDM for underwater acoustic communications Adaptive synchronization and sparse channel estimation", Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2008. IEEE International Conference, pp. 5288-5291, 2008.

[5] Jong-Bu Lim, Eung-Sun Kim, Cheol-Jin Park, et al., "Bandwidth-efficient OFDM transmission with iterative cyclic prefix reconstruction", Communications and Networks Journal, Vol. 10, pp. 239-252, 2008.

[6] J. Litva and T.k.Lo, Digital beamforming in wireless Communications. Artech Hous Inc., Norwood, Ma, 1996.

[7] A. P. Rao, N. V. S. N. Sarma "Adaptive Beamforming Algorithms for Smart Antenna Systems", Wseas Transactions on Communications, Volume 13, 2014.

[8] Frank B. Gross, Smart Antennas for Wireless Communications with MATLAB, McGraw-hill, 2005.

[9] Hsiao Lan Chiang, Ping Heng Kuo, Pang An Ting, et al., "Pilot-aided multipath delay spread approximation for MMSE channel estimation in OFDM systems", Signal Processing (ICSP), 2010 IEEE 10th International Conference, pp. 1488-1491, 2010.

[10] Goncalves. J.V.O, Siqueira. G.L, "Delay spread

calculation from coherence bandwidth measurements on a OFDM based mobile communication system", Microwave and Optoelectronics Conference(IMOC), 2009 SBMO/IEEE MTT-S International, pp. 253-256, 2009.



김민상 (Min-Sang Kim)
2008년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학사)
2010년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2012년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학박사)
2012년 ~ 현재 호서대학교 박사후연구원
※주관심분야 : smart antenna, MIMO, 수중통신



조대영 (Dae-Young Cho)
2009년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학사)
2011년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2011년 ~ 현재 호서대학교 정보통신공학과박사과정
※주관심분야 : smart antenna, DSP



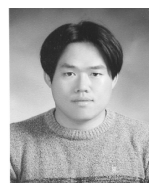
김계원 (Kye-Won Kim)
1997년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학사)
1999년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2011년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학박사)

1999년 3월 ~ 2003년 2월 (주)텔웨이브 전임연구원
2003년 8월 ~ 2009년 8월 코라텍(주) 선임연구원
2009년 9월 ~ 현재 호서대학교 산학협력단
※주관심분야 : smart antenna, MIMO, 차세대이동통신



이태석 (Tae-Seok Lee)
2013년 2월 호서대학교 정보통신공학과 (공학사)
2013년 3월 ~ 현재 호서대학교 정보통신공학과(공학석사)

※주관심분야 : smart antenna, 차세대이동통신, 수중통신



박종원 (Jong-won Park)
1995년 2월 아주대학교 전자공학과(공학사)
1997년 2월 아주대학교 전자공학과(공학석사)
2006년 2월 아주대학교 전자공학과(공학박사)
1997년 3월~현재 선박해양플랜트 연구소

※주관심분야 : 수중통신/네트워크, 해상통신, 선박-IT, 해운물류시스템, 합성자동화 등



임 용 곤 (Yong-kon Lim)

1979년 2월 충남대학교 전기공학과(공학사)
1984년 2월 충남대학교 전력전자공학과
(공학석사)
1994년 2월 아주대학교 전자공학과(공학박사)
1980년 7월~현재 선박해양플랜트 연구소

2004년 3월~현재 : 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신
공학과 전임교수

※주관심분야 : 수중통신/네트워크, 해상통신, 디지털선박,
해운물류 등



고 학 립 (Hak-Lim Ko)

1983년 2월 숭실대학교 전자공학과
(공학사)
1986년 8월 Fairleigh Dickinson Univ.
전기 및 컴퓨터공학과(공학석사)
1995년 8월 North Carolina state Univ.
전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

1996년 3월~현재 호서대학교 정보통신공학과 교수

※주관심분야 : 스마트 안테나 시스템, 이동통신,
수중통신, 해양통신