

수중 채널 환경에서 측정 데이터를 이용한 빔형성기가 결합된 다이버시티의 상관 계수 분석

김민상*, 조대영*, 박종원**, 임용곤**, 고희림^o

Analysis on the Correlation Coefficient for the Diversity Technique Combined with Beamforming Using Measurement Data in Underwater Channel Environments

Min-sang Kim^{*}, Dae-young Cho^{*}, Jong-won Park^{**}, Yong-kon Lim^{**}, Hak-lim Ko^o

요약

수중 통신 시스템에서 통신 센서간의 간격을 증가시켜 다이버시티 기법을 적용하면 통신 시스템의 성능이 증가한다. 하지만 이 경우 통신 시스템의 크기가 증가하기 때문에 이를 실제의 수중 채널 환경에서 사용하는데 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 수중 통신 시스템에 빔형성기가 결합된 다이버시티 기법의 적용가능성을 검증하기 위하여 측정을 수행하였으며, 측정된 데이터를 이용하여 수신 신호의 상관계수를 분석해 봄으로써 빔형성기가 결합된 다이버시티 시스템의 성능을 검증하였다. 이를 위해 본 연구에서는 수중 채널 환경에서 측정된 데이터를 이용하여 센서에 수신된 신호의 페이딩 특성을 추정하고, 각 센서에서 추정된 페이딩 특성을 이용하여 센서간의 간격과 빔형성에 의한 상관계수를 분석하였으며, 그 결과 수중 채널 환경에서 서로 다른 다중경로 방향으로 빔형성을 수행하고 빔형성이 수행된 신호를 이용하여 다이버시티를 수행하면 센서간의 간격을 줄이면서도 최적의 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

Key Words : MIMO, Beamforming, Underwater Communications, Diversity, Correlation Coefficient

ABSTRACT

The diversity techniques can benefit underwater acoustic communications when the distance between sensors is sufficiently apart, and this leads to the increases in the physical size of the communication system: thus it is very hard to practically use such systems in real-environments. Therefore, in this paper, we have collected data from real underwater channel environments in order to analyze the usability of diversity combined with beamforming techniques. And we have estimated the fading characteristics from the measurement data, and analyzed the correlation coefficients using the estimated fading characteristics. After analyzing the estimated fading characteristics from the measurements data, we found out that by applying diversity techniques on the output signals from beamformers that perform beamforming from different multipath directions, we can reduce the distance between sensors and at the same time benefit from the diversity gain.

※ 본 연구결과는 국토해양부의 “수중 광역 이동통신 시스템 기술개발” 과제에서 수행된 연구결과 중 일부를 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

◆ 주저자 : 호서대학교 정보통신공학과 배열신호처리 연구실, ammo586@naver.com, 정희원

◦ 교신저자 : 호서대학교 정보통신공학과 배열신호처리 연구실, hlko@hoseo.edu, 정희원

* 호서대학교 공과대학 정보통신공학과 배열신호처리 연구실, 정희원

** 한국 해양과학 기술원 해양시스템연구부, 정희원

논문번호 : KICS2012-10-513, 접수일자 : 2012년 10월 30일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 30일

I. 서 론

최근 해양 자원에 대한 중요성이 높아지면서 수중 탐사에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있고, 특히 우리나라의 경우 반도라는 지리적 특성상 해양의 자원 탐사와 해양 생태 조사, 군사 방어 등의 목적을 위해 수중 센서 통신망이나 수중 ad-hoc 네트워크에 대한 수많은 연구가 이루어지고 있다. 국내에서는 무인잠수정(AUV : Autonomous Unmanned Vehicle)이 민간 기업으로 핵심기술이 이전되었고, 심해탐사선에 대한 연구도 활발해 짐에 따라 수중 무선 통신의 기술의 중요성도 함께 증가되고 있다. 하지만 수중통신은 통신 매체의 특성상 음파를 사용하기 때문에 육상 통신에 비해 상대적으로 협소한 대역폭과 거리에 따른 급격한 신호 감쇠, 넓은 음영지역 발생 등의 해결해야 할 문제점 들이 많이 있다. 또한 수온, 염분, 압력과 해류에 의한 도플러 특성이 시간에 따라 빠르게 변하며, 수면과 해저면 등에 의한 다중경로 현상으로 인해 수중에서의 통신환경은 육상에 비해 매우 열악하다^[1,2]. 따라서 최근 수중 채널 환경에서 데이터 전송량의 증가와 고속의 데이터 통신의 신뢰성을 증대시키기 위하여 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템과 빔형성 기법의 적용이 연구 되고 있다^[3,4].

MIMO시스템은 복수개의 송신 센서를 이용하여 신호를 전송하고 복수개의 수신 센서를 이용하여 신호를 수신하기 때문에 하나의 센서를 사용하여 통신하는 방식에 비해 추가적인 주파수가 필요 없이 채널 용량을 센서의 수만큼 증가 시킨다. 하지만 무선 채널 환경에서 MIMO 이득을 얻기 위해서는 센서간의 거리가 크게 이격 되어야 하며 육상 통신에서는 보통 안테나의 간격이 10파장 이상이 되어야 최적의 다이버시티 이득을 기대할 수 있다^[5,6]. 특히 논문[7]에서는 수중 채널 환경에서 측정 데이터를 분석하여 수중 채널 환경에서 센서 간의 간격을 10파장 이상 이격시켜야 다이버시티 이득이 있음을 보였다. 하지만 수중에서는 수심이 깊을수록 수압이 증가되며, 센서 간의 거리가 증가하면 수중 통신 시스템의 크기가 증가되기 때문에 심해에서의 통신 시스템 활용에 어려움이 있다.

일반적으로 수중 채널에서의 다중경로 신호는 주로 직접파, 해면 반사파 및 해저 반사파로 구성되고, 각 다중경로 성분은 서로 다른 방향에서 서로 다른 페이딩 특성으로 수신되기 때문에, 만약 서로 다른 다중경로 성분을 추출하여 다이버시티 결합을

하면 최적의 다이버시티 이득을 기대할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 빔형성기를 이용하여 서로 다른 다중경로 성분을 추출하고, 빔형성기의 출력 신호를 이용하여 다이버시티 결합을 수행하는 빔형성기가 결합된 다이버시티 시스템의 성능을 측정 데이터를 이용하여 분석하였다. 빔형성 시스템은 배열 센서에 수신되는 신호의 위상을 제어하여 원하는 방향만으로 신호 수신이 가능하게 하며, 일반적으로 빔형성 시스템에서의 센서 간의 간격은 반송 주파수의 반 파장으로 구성되기 때문에 빔형성기와 결합된 다이버시티를 수중 통신 시스템에 적용할 경우 센서간의 간격을 줄이면서도 빔 이득과 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 또한, 다이버시티 이득은 상관 계수와 밀접한 상관성이 있으며, 일반적으로 두 신호의 상관 계수가 낮을수록 최적의 다이버시티 이득을 얻을 수 있다^[8]. 따라서 본 논문에서는 수중 채널 환경에서 빔형성기를 사용하는 경우에 대한 예상 다이버시티 이득을 상관 계수를 이용하여 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 수중 채널에서의 측정 환경, 측정 파라미터 및 측정된 데이터를 이용한 수신 신호의 페이딩 분석에 대해 설명하고, III장에서는 수중 채널 환경에 다이버시티 적용 시, 센서간의 간격에 따른 상관 계수 분석에 대해 설명하며, IV장에서는 빔형성 기법이 적용된 경우에 대한 상관 계수를 비교함으로써 빔형성 기법 적용 시에 대한 다이버시티 이득 향상 정도에 대해 설명하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 측정 환경 및 수신 신호의 페이딩 특성 분석

본 연구를 위한 측정은 거제도 앞바다 (35°1'48.43"N - 128°37'28.31"E 와 35°2'3.64"N - 128°38'14.35"E) 에서 2011년 5월에 수행되었다. 본 연구의 측정에서는 송신 선박과 수신 선박을 서로 이격 시킨 후에 송신 선박에 장착된 단일 센서를 이용하여 수중에서 신호를 전송하였고, 수신 선박에 장착된 네 개의 센서로 구성된 선형 배열 센서를 이용하여 전송된 신호를 수신하였다. 또한 수신 단에서 사용한 배열 센서에서는 빔형성기의 성능 측정 시에는 배열 센서 간의 간격을 반송 주파수의 반 파장으로 하였고, 다이버시티 성능 측정 시에는 처음 센서와 두 번째 센서 간의 간격은 반송 주파수의 2파장을 이격시켰고, 세 번째 센서는 4파장 이격 시켰으며, 네 번째 센서는 10파장 이격 시

켜 전송된 신호를 수신하였다. 그림 1에 본 측정에서 사용한 송신용 센서 및 수신용 센서가 보인다.



(A) 송신 센서 (B) 수신 배열 센서

그림 1. 수중 다이버시티 채널 환경 측정
Fig. 1. Transmitting sensor / receiving array sensor used in the experiments

또한, 본 측정은 평균 40m~50m의 수심에서 수행되었으며, 수심의 절반인 20m 깊이에 송신 센서와 수신 배열 센서를 입수시켜 신호를 송수신하였다. 측정에서 송신 시에는 표 1에서 보이는 바와 같이 5Ksps의 데이터를 25KHz의 반송주파수로 BPSK 변조하여 전송하였으며, 데이터 전송 시에는 1023개의 주기를 갖는 PN부호를 반복하여 전송하였고, 수신 시에는 각 배열 센서에서 상기의 신호를 40배 오버 샘플링한 속도로 A/D 변환한 후에 10초 동안 수신한 데이터를 저장하였다.

표 1. 송신 파라미터
Table 1. Transmitting parameters

| | BPSK |
|-----------------------------|-------|
| Carrier frequency | 25KHz |
| Symbol rate | 5Ksps |
| Symbol length | 1023 |
| Pulse shaping filter length | 20 |
| Roll-off factor | 0.35 |

본 연구에서는 선박간의 거리는 100m로 고정하였고, 수신 단에서 센서간의 이격 거리만을 변화시켜 수신한 신호의 포락선을 이용하여 수신 신호의 페이딩 특성을 분석하였다. 또한 수신한 신호에서 송신기와 수신기의 거리에 의한 영향을 제거하고 신호의 포락선 성분만을 추정하기 위해서, 수신한 신호의 평균을 추정해서 수신된 신호에서 빼 주었으며, 매 20msec 마다 상기 신호의 순시 전력을 구

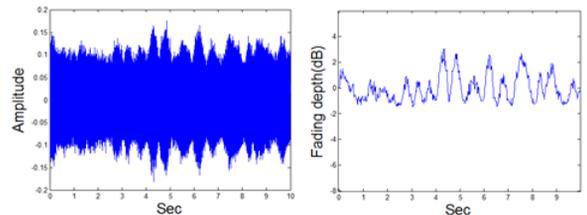
함으로써 수신한 신호의 페이딩을 추정하였다⁹⁾.

또한, 각 센서에서 수신한 신호의 페이딩 특성을 추정한 후에, 본 연구에서는 수중 채널 환경에서 센서 간의 간격에 의한 다이버시티 기법의 사용 가능성을 분석하기 위하여 첫 번째 센서에서 수신한 신호와 공간상으로 이격된 센서에서 수신한 신호에 대한 상관 계수(correlation coefficient)를 다음과 같이 추정하였다.

$$\rho = \frac{E[f_1 f_m] - E[f_1]E[f_m]}{\sqrt{(E[f_1^2] - E[f_1]^2)(E[f_m^2] - E[f_m]^2)}} \quad (1)$$

여기서 $E[\cdot]$ 는 기대값을 나타내고, f_1 은 첫 번째 센서에서 수신된 신호의 추정된 포락선이며, f_m 은 m번째 센서에 수신된 신호의 추정된 포락선이다.

그림 2에 수중채널 환경에서 수신한 데이터를 이용하여 추정한 수신 신호의 페이딩 특성이 보인다. 그림 2(a)는 수중 채널 환경에서 수신한 신호이며, 그림 2(b)는 수신 신호의 추정된 포락선으로, 본 연구에서 추정한 수신 신호의 포락선이, 원래 신호의 포락선과 유사함을 보여준다. 따라서 본 연구에서는 그림 2(b)에 보이는 포락선을 이용하여 각 센서에 수신된 신호의 상관 계수를 식 (1)을 이용하여 추정하였다.



(a) 수신 신호 (b) 수신 신호의 페이딩 특성

그림 2. 수신 신호의 페이딩 특성 추정
Fig. 2. Fading characteristics estimation using the received signal.

III. 센서 간의 간격에 의한 수신 신호의 상관 계수 분석

그림 3은 센서 간의 간격을 반송 주파수의 0.5과 장으로 하고, 송신측 선박과 수신측 선박의 거리를 100m이격 시킨 후 4 개의 센서에서 수신한 신호의 추정된 페이딩 특성이다. 좌측 상단의 그림이 4개의 배열 중 첫 번째 센서에서 수신한 신호를 이용하여 추정한 페이딩 특성이고, 우측 상단의 그림이 첫 번째

째 센서를 기준으로 0.5파장 이격된 센서, 좌측 하단은 1파장 이격된 센서, 우측 하단이 1.5파장 이격된 센서에서 수신된 신호를 이용하여 추정된 페이딩 특성이다.

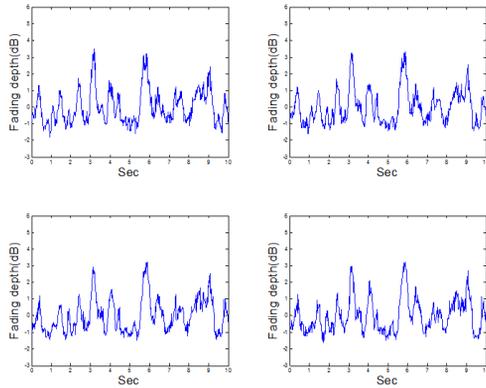


그림 3. 센서간의 간격이 0.5파장인 경우의 4개의 센서에서 수신한 신호의 페이딩 특성
Fig. 3. Fading characteristics that are estimated from the received signal when the distance between receivers are 0.5wavelengths.

그림 3에서 각 센서에 수신한 신호를 이용하여 추정된 페이딩 특성을 식 (1)을 이용하여 수신된 신호의 상관계수를 구해보면, 상관계수가 첫 번째 센서를 기준으로 0.963319, 0.899195, 0.807794이 되어 각 센서에서 수신한 신호의 상관관계가 매우 높음을 알 수 있으며, 따라서 이러한 신호를 이용하여서는 큰 다이버시티 이득을 기대할 수 있었다. 즉, 수중 채널 환경에서 센서 간의 간격이 작으면 높은 다이버시티 이득을 기대하기 어려움을 알 수 있다.

그림 4에 센서 간의 간격을 2파장, 4파장 및 10 파장 이격 시킨 후에, 각 센서에서 수신한 신호를 이용하여 추정된 수신 신호의 페이딩 특성이 보인다. 그림에서 좌측 상단의 그림이 첫 번째 센서에서 수신한 신호를 이용하여 추정된 페이딩 특성이고, 우측 상단의 그림이 첫 번째 센서를 기준으로 2파장 이격된 센서, 좌측 하단은 4파장 이격된 센서, 우측 하단이 10파장 이격된 센서에서 수신된 신호를 이용하여 추정된 페이딩 특성이다. 또한 첫 번째 센서를 기준으로 한 상관 계수는 각각 0.829695, 0.656675, 0.208892이었다. 일반적으로 상관계수가 0.3 이하인 신호를 이용하여 다이버시티를 수행하면 높은 다이버시티 이득이 기대되기 때문에, 그림 4의 채널 환경에서는 센서 간의 간격이 10파장 이격되면 각 센서에 수신되는 신호의 상관성이 낮아 큰

다이버시티 이득이 기대된다. 즉, 수중 채널 환경에서도 센서 간의 간격을 크게 이격시키면, 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 하지만 수중 통신 시스템은 높은 수압을 견뎌야하며, 센서간의 간격이 증가하면 다이버시티 이득을 얻을 수는 있지만 수중 통신 시스템의 크기가 증가하여 해저에서의 작업에 많은 문제가 야기된다.

따라서 본 연구에서는 수중 채널 환경에서 센서 간의 간격을 줄이면서도 다이버시티 이득을 얻기 위하여 다이버시티에 빔형성 방식을 적용하였으며, 이러한 경우의 상관 계수 분석을 측정 데이터를 이용하여 수행하였다.

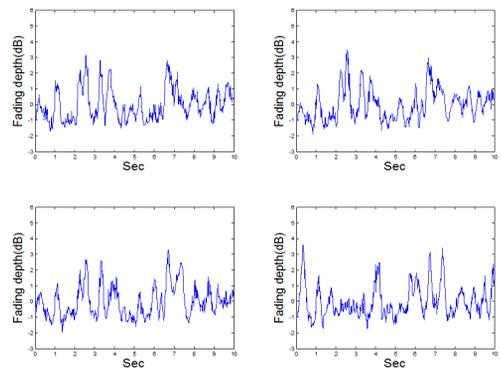


그림 4. 센서간의 간격이 2파장, 4파장 및 10파장인 경우 4개의 센서에서 수신한 신호의 페이딩 특성
Fig. 4. Fading characteristics that are estimated from the received signal when the distance between receivers are 2wavelengths, 4wavelengths, and 10wavelengths

IV. 빔형성이 수행된 신호의 페이딩 특성 분석

그림 5에서 보이는 바와 같이 일반적으로 수중에서 송신된 신호는 직접파, 수면 반사파 및 해저 반사파 등의 다중경로의 합으로 수신되며, 각 다중경로의 페이딩 특성은 상호 상관성이 낮으며 서로 다른 방향에서 수신된다. 따라서 수신된 신호를 서로 다른 다중경로의 방향으로 빔형성을 수행하면 서로 다른 페이딩 특성을 갖는 빔형성 신호가 출력될 것이다. 또한, 일반적으로 빔형성을 위한 센서 간의 간격은 반송 주파수의 반 파장이기 때문에 네 개의 센서의 사용에 의한 배열 센서의 간격은 1.5파장으로 빔형성 기법을 적용하여 다이버시티 결합을 하면, 센서간의 간격이 작으면서도, 서로 다른 다중경로의 방향에 대한 빔형성에 의해 서로 독립적인 신

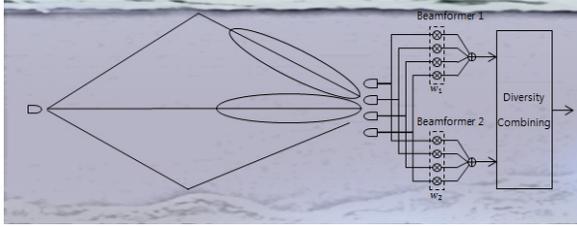


그림 5. 수중 채널 환경에서 빔형성기와 결합된 다이버시티의 블록도
 Fig. 5. Block diagram of a beamforming combined with diversity in underwater channel environments.

호가 출력되어 높은 다이버시티 이득이 기대된다.

그림 5에 본 연구에서 사용한 빔형성기가 결합된 다이버시티의 블록도가 보인다. 그림 5에서 보이는 바와 같이 본 연구의 빔형성기에서는 서로 다른 다중 경로의 방향에 대한 빔형성을 수행하며, 빔형성이 수행된 신호를 이용하여 다이버시티 결합이 수행된다. 즉, 그림 5에서 빔형성기 1은 해면 반사와 방향으로 빔형성을 수행하고, 빔형성기 2는 직접과 방향으로 빔형성을 수행하면 빔형성이 수행된 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_1 &= w_1 * x \\ y_2 &= w_2 * x \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 w_1 은 해면 반사와 방향에 대한 빔형성기의 복소 가중치 벡터이고, w_2 는 직접과 방향에 대한 복소 가중치 벡터이며, x 는 배열 센서에 수신된 신호 벡터이다. 따라서 식 (2)에서 y_1 은 수면에서 반사된 신호 방향으로 빔형성이 수행된 신호이고, y_2 는 송신기 방향으로 빔형성이 수행된 신호로써, 빔형성기의 출력 신호 y_1 과 y_2 의 포락선은 서로 상관성이 낮은 신호로 수신될 것이다. 따라서 본 연구에서는 수중 채널 환경에서 센서 간의 간격을 줄이면서도 최적의 다이버시티 이득을 얻기 위하여, 측정 데이터를 분석하여 빔형성이 수행된 신호에 대한 상관 계수를 분석하였다.

또한 식 (2)에서 서로 다른 빔방향에 대한 복소 가중치 벡터 w_1 과 w_2 는 배열 센서에 수신된 신호의 도래각을 추정하여 결정하였으며, 본 연구에서는 도래각 추정으로는 MUSIC (Multiple Signal Classification) 알고리즘을 사용하였다^[10]. MUSIC 알고리즘에서는 수신된 신호의 공분산 행렬을 생성한 후, 공분산 행렬의 고유 벡터에서 가장 작은 고유치를 결정하고, 작은 고유치에 상응하는 잡음 고유 벡터 행렬인 V_n 을 추정한다. 또한, ϕ 방향에 대

한 방향 벡터인 $a(\phi)$ 와 V_n 의 직교성을 이용하여 식 (3)의 분모를 최소화시키는 도래 각을 추정한다.

$$P_{MUSIC} = \frac{1}{a^H(\phi) V_n V_n^H a(\phi)} \quad (3)$$

그림 6에 그림 3의 채널 환경에서 MUSIC 알고리즘을 이용하여 추정한 도래각이 보인다.

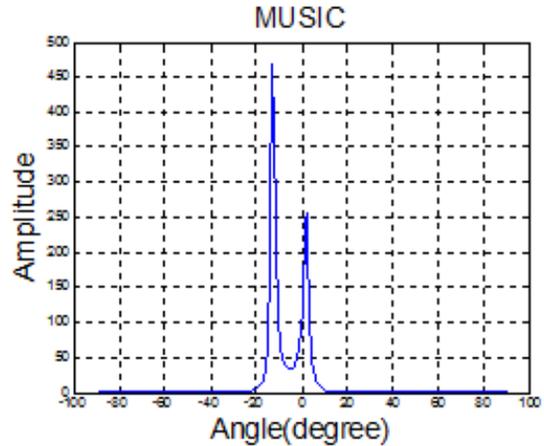


그림 6. MUSIC 알고리즘을 이용한 수신신호의 도래각 추정
 Fig. 6. The angle of arrival estimates of the received signal using the MUSIC algorithm

그림 6에서 보이는 바와 같이 그림 3의 채널 환경에서의 신호는 0°와 -12°의 방향에서 수신되었는데, 이는 두 방향으로만 다중경로 신호가 존재하는 경우로, 그 이유는 본 측정이 수행된 거제도 앞 바다의 해저가 대부분 진흙으로 이루어져 있기 때문에 거의 대부분의 신호가 해저면에 흡수되어 해저면으로 부터 반사되는 신호 성분이 매우 작았던 것으로 판단된다. 그림 6에서 추정된 도래각으로 빔형성이 수행된 두 개의 빔형성 신호를 이용하여 추정한 빔형성 후의 신호에 대한 페이딩 특성이 그림 7에 보인다.

그림 7에서 보이는 바와 같이 서로 다른 다중경로의 방향으로 빔형성이 수행된 신호는 상호 상관성이 매우 낮음을 알 수 있으며, 이 경우 두 빔형성 신호에 대한 상관계수는 0.1503으로 상기의 신호를 이용하여 다이버시티 결합을 하면 매우 높은 다이버시티 이득이 기대됨을 알 수 있다.

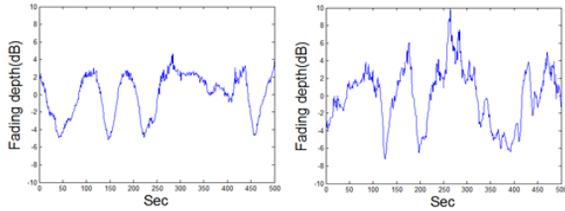


그림 7. 빔형성 기법을 사용하여 수신한 신호의 페이딩 특성
 Fig. 7. Fading characteristics that are estimated from the received signal after beamforming systems.

표 2에 송신단과 수신단의 거리가 100m인 수중 채널 환경에서 센서간의 거리가 0.5파장인 경우(다이버시티 1)와, 센서 간의 거리가 2파장 4파장 및 10파장인 경우(다이버시티 2) 및 빔형성이 수행된 신호를 이용하여 추정된 수신 신호의 상관 계수가 보인다. 표 2에서는 10개의 측정 데이터를 이용하여 각 환경에 대한 상관 계수를 추정한 후에 평균을 구하였다.

표 2. 수신 신호의 상관 계수
 Table 2. Correlation coefficient of received signal

| | | | | |
|--------------------|---|--------|--------|--------|
| diversity scheme 1 | distance from first sensor (wavelength) | 0.5 | 1 | 1.5 |
| | correlation coefficient | 0.9745 | 0.9264 | 0.8604 |
| diversity scheme 2 | distance from first sensor (wavelength) | 2 | 4 | 10 |
| | correlation coefficient | 0.8247 | 0.6574 | 0.2142 |
| beam-forming | distance between sensors (wavelength) | 0.5 | | |
| | correlation coefficient | 0.2105 | | |

표 2에서 보이는 바와 같이 수중 채널 환경에서 센서 간의 간격이 작으면 상관 계수가 커서 원하는 다이버시티 이득을 기대하기 어려우며, 최적의 다이버시티 이득을 얻기 위해서는 약 10파장 정도의 센서 간격이 요구됨을 알 수 있다. 하지만 빔형성 기법을 적용하여 서로 다른 다중경로의 방향으로 빔형성을 수행한 후에 다이버시티 결합을 수행하면,

빔형성이 수행된 신호에 대한 상관 계수가 낮아져서(0.2105) 최적의 다이버시티 이득이 기대된다. 따라서 빔형성이 수행된 신호를 이용하여 다이버시티 결합을 하는 구조로 수중 통신 시스템을 설계하면 센서 간의 간격을 줄이면서도 빔 이득과 다이버시티 이득을 기대할 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 실험실에서 측정된 데이터를 분석하여 수중 채널에서 센서간의 간격에 따른 수신 신호의 상관 계수와 서로 다른 다중경로 방향으로 빔형성을 수행한 후의 상관 계수를 비교 분석하였다. 측정데이터 분석 결과 센서간의 간격이 반송주파수의 0.5파장인 경우에는 첫 번째 센서에서 멀어질수록 상관계수 값이 감소하였지만, 최대 이격 거리에서도 상관 계수가 다이버시티 이득을 기대할 수 없을 정도로 높았다. 하지만 센서간의 간격이 10파장인 경우에는 첫 번째 센서와의 상관계수가 0.3이하의 낮은 수치로 산출 되어 최적의 다이버시티 이득을 기대할 수 있었다. 하지만 이 경우에는 수중 통신 시스템의 크기가 증가되는 문제가 있다. 그리고 수신 신호에 서로 다른 다중경로 방향에 대한 빔형성을 수행한 후에, 서로 다른 빔 방향의 출력 신호에 대한 상관계수는 센서간의 간격을 10파장 이격시킨 경우의 상관계수와 유사하였으며, 결과적으로 수중 채널 환경에서 빔형성 기법이 적용된 다이버시티 방식을 사용하면 센서간의 간격을 크게 증가 시키지 않으면서도 서로 독립적인 페이딩 특성을 갖는 신호를 수신할 수 있어서 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

본 논문에서는 송신기에서는 단일 센서를 사용하고 수신기에서는 복수개의 센서를 사용하여 신호 수신 시의 예상 다이버시티 이득을 상관 계수를 이용하여 분석하였지만, 송신기가 배열 센서이고 수신기가 단일 센서인 역의 환경에서도 유사한 결과가 예상되어, 향후 수중 채널 환경에서의 다이버시티 시스템 구현이나 MIMO 시스템 구현 시에도 빔형성 기법과의 적용을 고려하면 통신 시스템의 크기를 줄이면서도 통신 성능의 향상이 기대된다.

후 기

본 연구결과는 국토해양부의 “수중 광역 이동통신 시스템 기술개발” 과제에서 수행된 연구결과 중

일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] D. Kilfoyle and A. Baggeroer, "The state of the art in underwater acoustic telemetry", *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 4-27, Jan. 2000.

[2] M. Stojanovic, J. Catipovic, and J. Proakis, "Phase-coherent digital communications for underwater acoustic channels", *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 19, no. 1, pp. 100-111, Jan. 1994.

[3] T. C. Yang, "A study of multiplicity and diversity in MIMO underwater acoustic communications", *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 9, no. 1, pp. 595-599, Jan. 2010.

[4] S. Roy, T. M. Duman, and V. K. McDonald, "Error rate improvement in underwater MIMO communications using sparse partial response equalization", *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 34, no. 2, pp. 181-201, Apr. 2009.

[5] D. H. Ha, "A Consideration on polarization diversity method for the future mobile communications", in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 1997 (KICS ICC 1997)*, pp. 137-146, Jan. 1997.

[6] D. Shiu, "Fading correlation and its effect on the capacity of multielement antenna systems", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 48, no. 3, pp. 502-513, Mar. 2000.

[7] H. L. Ko, S. G. Lee, M. S. Kim, D. Y. Cho, K. Y. Kim, B. H. Park, J. W. Park, and Y. K. Lim, "Performance analysis of the spatial correlation for underwater channel environments", *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, vol. 31, no. 2, pp. 107-113, Feb. 2012.

[8] Bin Guo, "Antenna diversity in mobile phone", Antenna Group Department of Signals And Systems, Chalmers University of Technology Gothenburg Sweden, Jan. 2008.

[9] W. Y. C. Lee, "Estimate of local average power of a mobile radio signal", *IEEE Trans. Veh. Techno.*, vol. 34, no. 1, pp. 22-27, Feb. 1985.

[10] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation", *IEEE Trans. Antenn. Propag.*, vol. 34, no. 3, pp. 276-280, Mar. 1986.

김민상 (Min-sang Kim)



2008년 2월 호서대학교 정보통신공학과 졸업
 2010년 2월 호서대학교 정보통신공학과 석사
 2010년 3월~현재 호서대학교 정보통신공학과 박사과정
 <관심분야> smart antenna,

MIMO, 수중통신

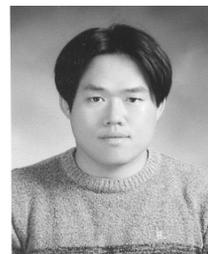
조대영 (Dae-young Cho)



2009년 2월 호서대학교 정보통신공학과 졸업
 2011년 2월 호서대학교 정보통신공학과 석사
 2011년 3월~현재 호서대학교 정보통신공학과 박사과정
 <관심분야> smart antenna,

DSP

박종원 (Jong-won Park)



1995년 2월 아주대학교 전자공학과 졸업
 1997년 2월 아주대학교 전자공학과 석사
 2006년 2월 아주대학교 전자공학과 박사
 1997년 3월~현재 한국해양과

학기술원 해양시스템연구부 책임연구원
 <관심분야> 수중통신/네트워크, 해상통신, 선박-IT, 해운물류시스템, 합정자동화 등

임 용 곤 (Yong-kon Lim)



1979년 2월 충남대학교 전기공
학과 졸업

1984년 2월 충남대학교 전력전
지공학과 석사

1994년 2월 아주대학교 전자공
학과 박사

1980년 7월~현재 한국해양과
학기술원 해양시스템연구부 책임연구원

2004년 3월~현재 과학기술연합대학원대학교 해양
정보통신공학과 전임교수

<관심분야> 수중통신/네트워크, 해상통신, 디지털선
박, 해운물류 등

고 학 림 (Hak-lim Ko)



1983년 2월 숭실대학교 전자공
학과 졸업

1986년 8월 Fairleigh
Dickinson Univ. 전기 및
컴퓨터공학과 석사

1995년 8월 North Carolina
State Univ. 전기 및 컴퓨터

공학과 박사

1996년 3월~현재 호서대학교 정보통신공학과 정교
수

<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 이동통신, 수중
통신, 해양통신