

수중채널 환경에서 센서 간의 간격에 의한 수신 신호의 상관 특성 분석

Performance Analysis of the Spatial Correlation for Underwater Channel Environments

고학림 · 이승구 · 김민상 · 조대영 · 김길용 · 박병훈* · 박종원** · 임용곤**

(Hak-Lim Ko, Seung-Goo Lee, Min-Sang Kim, Dae-Young Cho, Kil-Yong Kim,
Byeong-Hoon Park*, Jong-Won Park**, and Yong-Gon Lim**)

호서대학교 정보통신공학과, *인덕대학교 컴퓨터전자과, **한국해양연구원 대덕분원

(접수일자: 2011년 11월 1일; 수정일자: 2011년 12월 12일; 채택일자: 2012년 2월 9일)

초 록: 본 연구에서는 수중 채널환경에서 측정을 수행하고 측정 데이터를 분석하여 수중 채널의 공간 다이버시티 특성을 연구하였다. 측정 데이터 분석 결과 정지채널의 경우 페이딩에 의한 영향은 크지 않았으며, 서로 이격된 센서에 수신된 신호의 페이딩 특성은 송신단과 수신단의 거리에 의한 영향도 적어서 수신 센서의 간격이 반송파의 10파장이 상 이격하여야 최적의 공간 다이버시티이득을 얻을 수 있었다. 그리고 이동 채널 환경의 경우에는 센서 간의 거리가 8파장이상일 때 공간 상관계수 값이 0.3 보다 작아서 최적의 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다. 향후 이 연구결과를 바탕으로 수중 이동 채널 환경에서의 MIMO 채널 모델링 및 성능 분석을 할 예정이다.

핵심용어: 수중 채널, 수중 통신, 공간 다이버시티, 공간 상관 계수, 수중 MIMO

투고분야: 수중음향 분야(5)

ABSTRACT: In this paper, we have analyzed the performance of space diversity technologies using experimental data in order to analyze the usability of space diversity techniques in underwater channel environments. After analyzing the experimental data we found out that high diversity gain should not be expected when using a stationary transmitter with a stationary receivers in swallow underwater channel. And we also find out that the distance between sensors should be at least 8 wavelengths apart to take advantage of diversity gain in underwater moving channel environments.

Key words: Underwater channel, Underwater communications, space diversity, spatial correlation coefficient, Underwater MIMO

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5)

1. 서 론

수중에서의 초음파전달 채널환경은 수심이나 염분 등에 의해서 신호의 전달속도가 다르고, 신호의 산란과 해면이나 해저 반사파 등에 의한 다중경로에 의해 페이딩의 영향이 매우 크다. 따라서 현재 수중 채널 환경에서 페이딩에 의한 영향을 최소화 시켜

통신 시스템의 성능을 향상시키고 한정된 대역폭을 이용하여 더 많은 정보를 전송하기 위하여 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 를 적용하는 연구가 활발히 진행 중이다^[1-3]. 수중 MIMO 시스템은 공간적으로 이격된 복수개의 송신 센서를 이용하여 신호를 전송하고, 복수개의 수신 센서로 전송된 신호를 수신하여 통신 품질 및 채널 용량을 향상시키는 방식이다. 이 때 서로 다른 복수개의 센서로 송수신되는 신호들은 서로 독립적인 통계적 특성을 갖아야 성능

*Corresponding author: 고학림 (hlko@hoseo.edu)
336-795 충남 아산시 배방읍 세출리 165
호서대학교 New IT 공과대학 정보통신공학전공
(전화: 042-540-5691; 팩스: 041-540-5693)

향상을 기대할 수 있으므로 수중 채널 환경에 MIMO를 적용하기 위해서는 각각 다른 센서로 송수신되는 신호들은 서로 독립적인 채널 특성이 보장되어야 한다.

일반적으로 지상의 이동통신에서 독립적인 채널 특성을 얻기 위해서는 안테나 간격이 변조 주파수의 10파장 이상으로 알려져 있다. 하지만 실제의 수중 채널 환경에서 이와 관련된 연구가 부족하며 또한 독립적인 채널환경을 위해 센서 간의 거리를 충분히 크게 할 경우에는 수중에 노출되는 센서부의 부피가 커져서 특히 심해에서는 수압 및 이동시 물의 큰 저항 등에 의한 문제가 발생할 수 있다.

따라서 현재 수중 채널 환경에 MIMO를 적용하기 위한 채널 특성 분석에 대한 연구가 많이 진행 중이며^[4,5], 특히 논문^[4]에서는 swallow water 다중경로 수중 채널 환경에서 기하학 기반의 (geometry-based) 수중 MIMO 채널을 모델링을 수행하였으며, 논문^[5]에서는 측정데이터를 이용하여 서로 다른 송신기와 수신기의 거리에서 시간 함수에 대한 채널 상관 계수 (channel correlation coefficient)를 분석하였다. 하지만 센서간의 간격을 이격시켜 각 센서에서 수신한 신호 간의 상호 상관계수를 이용한 수중 채널 환경에서의 다이버시티 이득에 대한 분석 결과는 아직 미비하다.

따라서 본 연구에서는 수중 센서가 정지한 상황 및 이동 상황에서 실제의 수중 채널 특성을 측정하고 분석함으로써 수중 무선통신에 다이버시티 기법의 적용가능성과 실제 다이버시티 이득을 얻기 위한 센서 간격에 대한 연구를 수행하였다.

II. 본 론

2.1 측정 환경 및 방법

본 연구에서 수중채널 측정은 그림 1에서 보이는 바와 같이 한국 해양연구소 남해기지가 위치하고 있는 거제도 앞 바다에서 수행하였다. 이 곳은 육지에서 멀리 떨어지지 않은 연근해로서 수심이 대략 40~50 m 정도의 분포이며 반사파가 일어나지 않을 정도로 육지나 섬으로부터 충분한 해역에서 측정하였다. 그림 2는 수중 채널 측정 환경을 보여주는 그림이다.

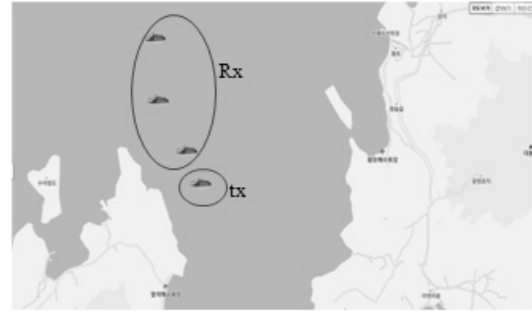


그림 1. 측정 지역 지도

Fig. 1. Geographical map of where the data collection experiments took place.

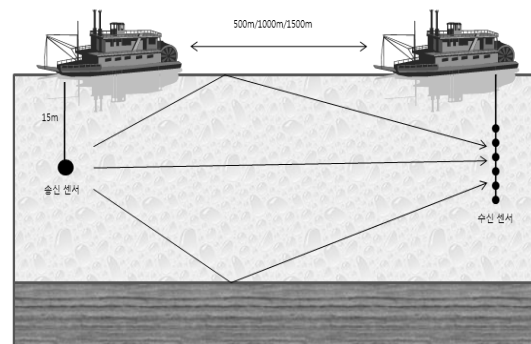


그림 2. 수중 다이버시티 채널 환경 측정

Fig. 2. Overview of experiments with pictorial view of ships used in our experiments.

먼저 1개의 수중 센서를 이용하여 송신한 변조 신호를 6개의 센서가 배열된 수신단 센서를 통하여 수신되는 6채널의 신호를 저장하여 분석하였다. 수신단의 배열 센서 간격은 각각 반송파 주파수의 0.5파장, 1파장 및 2파장으로 하여 측정을 반복하였다. 즉, 센서 간격을 0.5파장으로 한 경우 가장 좌측 센서와 가장 우측 센서 간의 거리는 2.5파장이고, 센서 간의 거리를 1파장으로 한 경우 가장 좌측 센서와 가장 우측 센서 간의 거리는 5파장이며, 센서 간의 거리를 2파장으로 한 경우, 가장 좌측 센서와 가장 우측 센서 간의 거리는 10파장이다. 센서는 크기가 반경이 약 0.5 cm 길이가 약 4 cm의 크기를 갖으며, 센서는 수면으로부터 15m 정도에 설치하였고 정지 채널 측정은 송수신 센서의 거리는 100~1000 m로 간격을 변화시키면서 측정하였으며 이동 채널 환경 측정은 송신 센서를 탑재한 선박을 1노트의 속도로 수신 선박의 방향으로 이동하면서 채널 측정을 수행하였다. 그림

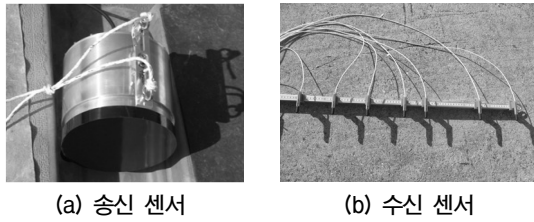


그림 3. 본 측정에서 사용한 수중 통신용 배열 수신 센서
Fig. 3. Transmitter/Receiver used in the experiments.
(a) Transmitter, (b) receiving array.

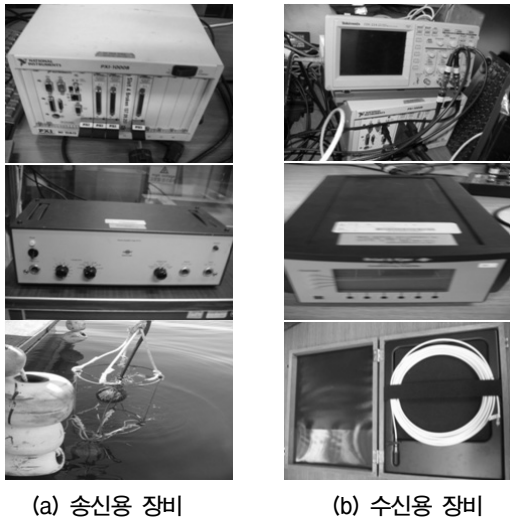


그림 4. 본 측정에서 사용한 송신 및 수신용 장비
Fig. 4. Transmitting equipments and receiving equipments used in the experiments. (a) transmitting equipments, (b) receiving equipments.

표 1. 송신 파라미터
Table 1. Transmitting parameters.

	BPSK	QPSK
Carrier frequency	25 kHz	25 kHz
Symbol rate	5 kHz	5 kHz
Symbol length	1023	1023
Pulse shaping filter length	20	20
Roll-off factor	0.35	0.35

3은 측정에 사용한 수중 송신 센서와 수신 배열 센서이며 그림 4는 본 측정에 사용된 송신 장비를 보여주고 있다.

측정에 사용한 신호는 각각 BPSK 변조 신호와 QPSK 변조 신호를 사용하였다. 표 1에 본 측정에서 사용한 송신신호의 파라미터가 나타나 있다.

표 1에서 보이는 바와 같이 본 측정에서는 BPSK

를 이용하여 신호를 변조한 경우, 5 Kbps의 데이터를 25 KHz의 반송 주파수를 이용하여 BPSK 변조하였으며, 수신된 신호는 A/D에서 200 Ksps로 디지털 데이터로 변화시킨 (40배 오버 샘플링) 후에 이를 이용하여 수신한 신호의 페이딩 특성을 분석하였다.

2.2 측정 데이터 분석

수중 채널 환경을 통해 수신된 신호는 다중경로 페이딩의 영향을 받으며, 이에 의해 수신된 신호의 포락선이 변화된다. 따라서 본 연구에서는 각 센서에 수신된 신호의 포락선을 이용하여 신호의 페이딩 특성을 분석하였으며, 이를 위해 각 센서에 수신된 신호의 순시 전력을 다음과 같이 추정하였다.

$$P_m(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=(n-1)N+1}^{nN} r_m^2(k) \quad (1)$$

식 (1)에서 $r_m(t)$ 는 m 번째 센서에서 수신한 정규화된 신호이고, N 은 순시 전력을 추정하는 구간으로, 본 연구에서는 N 은 3000 샘플로 하였으며, 이는 본 측정에서의 샘플간의 간격은 5×10^{-6} 초이기 때문에 매 15 ms 마다의 순시 전력을 구한 것과 같다. 또한, 수신한 신호의 순시 전력의 제공근은 수신 신호의 포락선 같으며, 수신 신호의 포락선이 신호의 페이딩 특성을 나타낸다. 따라서 수신한 신호의 포락선은 다음과 같다.

$$f_m(n) = \sqrt{P_m(n)} \quad (2)$$

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

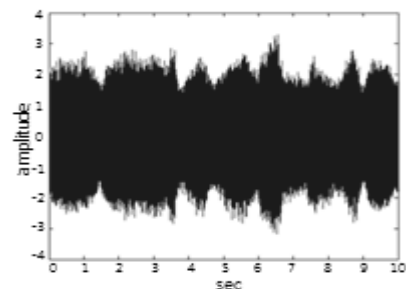
$$\rho = \frac{E[f_1 f_m] - E[f_1] E[f_m]}{\sqrt{(E[f_1^2] - E[f_1]^2)(E[f_m^2] - E[f_m]^2)}} \quad (3)$$

여기서 $E[\cdot]$ 는 기대값을 나타내고, f_1 은 첫 번째 센서에서 수신된 신호의 추정된 페이딩이고, f_m 은 m 번째 센서에 수신된 신호의 추정된 페이딩이다. 일반적으로 공간상관계수가 0.3 이하이면 두 신호가 서로 독립적인 페이딩 환경으로 수신되었다고 가정한다^[6].

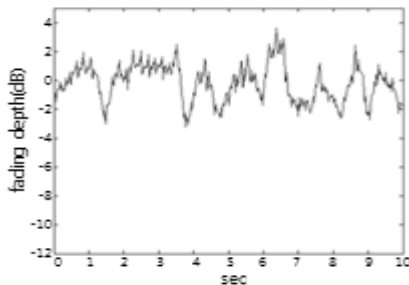
2.3 측정 데이터 분석 결과

그림 5에 수신한 데이터 및 이를 이용한 페이딩 특성 분석 과정이 보인다. 그림 5(a)와 같이 측정된 수신신호로부터 식 (1)을 이용하여 그림 5(b)와 같은 수신 신호의 페이딩 특성을 추정하였다. 그리고 6개로 배열된 각 센서에서 추정된 수신 신호의 페이딩 특성을 식 (3)를 이용하여 각 센서에서 수신된 신호의 공간 상관 계수를 추정하고 분석함으로써, 수중 채널 환경에서 다이버시티의 적용 가능성 및 다이버시티 적용 시 요구되는 최적의 센서간의 간격에 대한 연구를 수행하였다.

그림 6은 센서 6개의 배열 센서로 수신한 신호들



(a) 수신 신호



(b) 수신 신호의 페이딩 특성

그림 5. 수신 신호를 이용한 페이딩 특성 분석 과정
Fig. 5. Fading characteristics estimation using the received signal. (a) received signal, (b) estimated fading characteristics.

을 앞에서 설명한 분석과정을 통하여 추정한 페이딩 특성이다. 이 때 센서 간격은 반송파의 0.5 파장이며 송신단과 수신단의 거리는 100 m이다. 또한 상기의 채널 환경에서 송신단의 배는 수신단의 배 방향으로 1 노트의 속도로 이동 중에 10초 동안 측정된 페이딩 특성이다.

이 그림 6의 좌측 상단의 결과가 첫 번째 센서에서 수신된 신호의 페이딩 특성이며 그 오른쪽 결과는 첫 번째 센서에서 0.5파장 이격된 센서, 그리고 하단 우측이 첫 번째 센서에서 2.5파장 이격된 센서에서 수신한 신호를 이용하여 추정된 페이딩 특성이다.

이와 같은 페이딩 특성으로부터 식 (3)을 이용하여 추정된 공간상관계수는 첫 번째 센서를 기준으로 0.9801, 0.9324, 0.8352, 0.8420, 0.7987이다. 즉 센서 간격이 2.5 파장인 경우에도 두 센서에서 수신한 신호간의 공간 상관 계수 값이 0.3 이상이 되어 큰 다이버시티 이득을 기대할 수 없다.

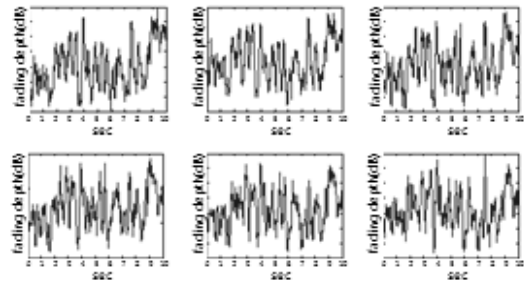


그림 6. 센서간의 간격이 0.5 파장인 경우 여섯 개의 센서를 이용하여 수신한 신호의 페이딩 특성
Fig. 6. Fading characteristics that are estimated from the received signal when the distance between receivers are 0.5 wavelengths.

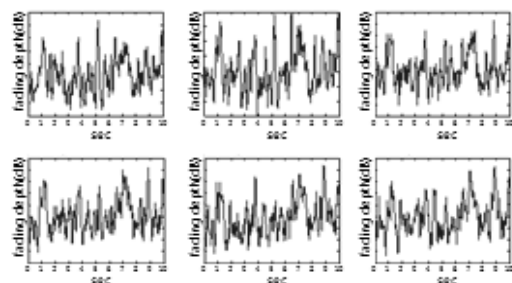


그림 7. 센서간의 간격이 1파장인 경우 여섯 개의 센서를 이용하여 수신한 신호의 페이딩 특성
Fig. 7. Fading characteristics that are estimated from the received signal when the distance between receivers are 1 wavelength.

그림 7은 동일한 측정환경에서 센서 간격이 반송파의 1 파장인 경우에 대한 배열 센서에서 수신한 신호의 페이딩 특성이다.

이와 같은 페이딩 특성을 이용하여 추정한 공간상관계수는 첫 번째 센서를 기준으로 0.8817, 0.7607, 0.6939, 0.5740, 0.5311이다. 따라서 센서 간격이 0.5 파

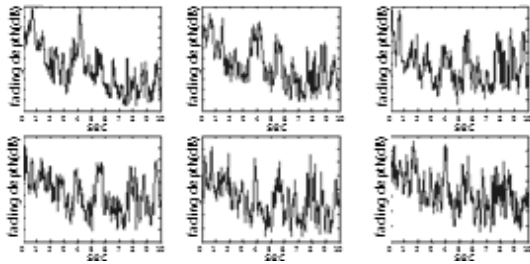


그림 8. 센서간의 간격이 2파장인 경우 여섯 개의 센서를 이용하여 수신한 신호의 페이딩 특성
Fig. 8. Fading characteristics that are estimated from the received signal when the distance between receivers are 2 wavelengths.

표 2. 공간 상관 계수 10회 평균값 (이동속도: 1노트, 송수신거리: 100 m)
Table 2. Correlations of fading characteristics with first sensor (moving channel, the distance between the transmitting ship and the receiving ship was 100 m).

수신 센서의 위치	correlation (0.5파장)	correlation (1파장)	correlation (2파장)
2	0.880762	0.860949	0.549730
3	0.701979	0.697444	0.480275
4	0.730931	0.550849	0.371025
5	0.680213	0.452179	0.282702
6	0.608879	0.421953	0.259374

표 3. 공간 상관 계수 10회 평균값 (정지 상태, 송수신단거리: 300 m)
Table 3. Correlations of fading characteristics with first sensor (stationary channel, the distance between the transmitting ship and the receiving ship was 300 m).

수신 센서의 위치	correlation (0.5파장)	correlation (1파장)	correlation (2파장)
2	0.949992	0.852561	0.736624
3	0.822017	0.780331	0.670271
4	0.810171	0.728391	0.562052
5	0.740351	0.729550	0.483914
6	0.623195	0.692461	0.448722

장인 경우에 비해 첫 번째 센서에 대한 공간상관계수가 감소하지만 크게 변화가 없었다.

그리고 그림 8은 앞에서와 동일한 측정환경에서 센서 간격이 반송파의 2 파장인 경우에 대한 배열 센서에서 수신한 신호의 페이딩 특성이며 이 결과로 추정된 공간상관계수는 첫 번째 센서를 기준으로 0.6762, 0.4541, 0.3503, 0.3115, 0.2090이다. 이와 같은 방법으로 10회를 측정한 페이딩 특성으로부터 추정된 공간 상관 계수를 평균한 결과가 표 2에 나타나 있다. 이 결과에 의하면 저속 이동채널에서 센서를 8파장 이상 이격하면 공간상관계수가 0.3 이하가 되어 최적의 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그리고 앞에서와 같이 1노트의 속도로 이동시 송수신단의 거리에 의한 영향을 알아보기 위해 송수신단 거리가 300 m일 때 페이딩 특성을 측정하였다. 표 3은 10회 측정하여 추정된 공간상관계수의 평균값을 보여주고 있다.

표 2와 3의 결과를 살펴보면 송수신단 거리 100 m일 때 보다 그보다 먼 300 m일 때 공간상관계수 값이 더 크다는 것을 알 수 있다.

다음은 송수신단은 정지 상태에서 바닷물의 유속이 있는 환경에서 페이딩 특성을 측정하였다. 이때 유속은 0.8노트이었다. 그리고 송수신단 거리가 100 m, 300 m, 500 m 그리고 1000 m일 때 각각 10회 측정한 총 40회의 페이딩 특성으로부터 추정된 공간 상관 계수 평균값은 표 4와 같다.

정지 상태에 측정한 표 4의 결과에 따르면 수중에

표 4. 공간상관계수 40회 평균값 (정지 상태, 송수신단거리: 100~1000 m)
Table 4. Correlations of fading characteristics with first sensor (stationary channel, the distance between the transmitting ship and the receiving ship was 100 m - 1,000 m).

수신 센서의 위치	correlation (0.5파장)	correlation (1파장)	correlation (2파장)
2	0.936128	0.946797	0.853901
3	0.910699	0.839522	0.675203
4	0.815754	0.736679	0.541957
5	0.803964	0.712046	0.505064
6	0.675489	0.635117	0.378135

설치되는 센서 네트워크의 경우와 같이 swallow water 만이 존재하는 수중 통신환경에서는 반송파의 10파장 간격의 다중 센서로 수신된 신호의 공간 상관 계수는 0.378135로써 어느 정도의 다이버시티 이득을 얻을 수 있으나, 최적의 공간 다이버시티 이득을 얻기 위해서는 10파장 이상의 센서 간 간격이 요구됨을 알 수 있다.

III. 결 론

본 연구에서는 수심이 40~50 m이인 수중 채널을 측정하고 데이터를 분석하여 수중 채널의 공간 다이버시티 특성을 연구하였다. 측정은 수신 단에 수중 센서 6개로 이루어진 배열 센서를 이용하여 0.8노트의 유속이 있는 정지채널과 1노트 속도의 이동채널을 각각 측정하였다. 측정 데이터 분석 결과 정지채널과 이동채널 모두 전송신호의 변조 방식에 따라 차이는 없었다. 그리고 정지채널의 경우 센서 간의 간격이 증가할수록 공간 상관 계수 값이 감소하여 어느 정도의 다이버시티 이득을 기대할 수 있으나, 최적의 다이버시티 이득을 위해서는 센서 간의 간격이 10 파장 이상이 되어야함을 알 수 있었다. 특히 본 논문에서 측정을 수행한 지역의 수신 신호에 대한 상호 상관 계수 분석 결과가 예상보다 크게 나왔으며, 이는 본 측정 지역에서의 angle-delay profile을 분석해본 결과 해저 바닥면의 반사파가 수신되지 않은 경우가 많이 존재했기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 이동 채널의 경우에는 송수신단 거리가 100 m 이내의 근거리에서는 센서 간의 거리가 8파장 이상 일 때 공간 상관 계수 값이 0.3 보다 작아서 최적의 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.

수중 채널 환경은 측정 지역, 년도, 계절 및 날짜와 시간에 의해 그 특성이 일정하지 않은 특성을 갖는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서 수행한 측정은 이와 같이 변화가 큰 수중 채널환경의 일부의 경우에 지나지 않는다. 또한 본 측정의 경우를 분석한 결과로는 수중 정지 채널인 경우는 센서 간의 간격이 10파장 이상 이격되어야만 최적의 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 것으로 분석되었으며, AUV와

의 통신과 같은 수중 이동 채널 환경에서는 센서 간의 간격이 8파장 이상이면 최적의 다이버시티 이득을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 본 연구에서 하나의 센서로 구성된 송신기와 복수개의 배열 센서로 구성된 수신기를 이용하여 측정된 데이터를 분석한 결과이므로 수중 MIMO 통신 시스템도 이와 같은 채널에 대한 연구결과를 고려하여 설계하여야 할 것이다.

후 기

본 연구결과는 국토해양부의 “수중 무선통신시스템 개발”과 “U-기반 해운 물류 체계 구축을 위한 기반기술 연구” 과제에서 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. S. Roy, T. M. Duman, V. McDonald, and J. G. Proakis, “High rate communication for underwater acoustic channels using multiple transmitters and space-time coding : receiver structures and experimental results,” *IEEE J. of Ocean. Eng.*, vol. 32, no. 3. pp. 663-688, Jul. 2007.
2. J. Tao, Y. R. Zheng, C. Xiao, and T. C. Yang, “Robust MIMO underwater acoustic communications using turbo block decision-feedback equalization,” *IEEE J. of Ocean. Eng.*, vol. 35, no. 4. pp. 948-960, Oct. 2010.
3. J. Tao, Y. R. Zheng, C. Xiao, T. C. Yang, and W. B. Yang, “Time-domain receiver design for MIMO underwater acoustic communications,” in *Proc. of OCEANS’2008*, pp. 1-6, 2008.
4. A. Z. Zajic, “Statistical Space-Time-Frequency Characterization of MIMO Shallow Water Acoustic channels,” in *Proc. of OCEANS’2009*, Biloxi, Oct. 2009.
5. B. Tomasi, G. Zappa, Kim McCoy, P. Casari, and M. Zorzi, “Experimental Study of Space-Time Properties of Acoustic Channels for Underwater Communications,” in *Proc. of OCEANS’2010*, Sydney, May 2010.
6. J. P. Kermoal, L. Schumacher, K. I. Pedersen, “A Stochastic MIMO Radio Channel Model With Experimental Validation”, *IEEE J. on Selected areas in comm.*, vol. 20, no. 6, Aug. 2002.

저자 약력

▶ 고 학 림 (Hak-Lim Ko)



1983년: 송실대학교 전자공학과 (학사)
1986년: Fairleigh Dickinson Univ. 전
기공학과 (석사)
1995년: North Carolina State Univ. 전
기 및 컴퓨터 공학과 (박사)
1996년 ~ 현재: 호서대학교 정보통신
공학과 교수
<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 이동
통신, 수중통신, 해양통신

▶ 박 병 훈 (Byeong-Hoon Park)



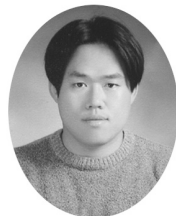
1986년: 연세대학교 전기공학과 (학사)
1988년: 연세대학교 전기공학과 (석사)
1994년: 연세대학교 전기컴퓨터공학과
(박사)
1989년 ~ 1994년: 삼성종합기술원 선임
연구원
2000년 ~ 현재: 인덕대학 컴퓨터전자과
부교수
<관심분야> 스마트안테나 시스템, 이동
통신

▶ 이 승 구 (Seung-Goo Lee)



2005년: 호서대학교 정보통신공학과
(학사)
2007년: 호서대학교 정보통신공학과
(석사)
2012년: 호서대학교 정보통신공학과
(박사)
<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 4G,
이동통신, MIMO

▶ 박 종 원 (Jong-Won Park)



1995년: 아주대학교 전자공학과 학사
1997년: 아주대학교 전자공학과 석사
2006년: 아주대학교 전자공학과 박사
1997년 ~ 현재: 한국해양연구원 해양시
스템연구부 선임연구원
2006년 ~ 현재: 과학기술연합대학원대
학교 해양정보통신공학과 겸임교원
/조교수
<관심분야> 수중통신, 수중통신 네트워
크, 해상통신, 선박 IT-융합 시스템, 해
운물류시스템, 항정 자동차 체계 등

▶ 김 민 상 (Min-Sang Kim)



2008년: 호서대학교 정보통신공학과
(학사)
2010년: 호서대학교 정보통신공학과
(석사)
2010년 ~ 현재: 호서대학교 정보통신공
학과 박사과정
<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 4G,
수중통신, MIMO

▶ 임 용 곤 (Yong-Gon Lim)



1979년: 충남대학교 전기공학과 학사
1984년: 충남대학교, 전력전자공학과
석사
1994년: 아주대학교 전자공학과 박사
1980년 ~ 현재: 한국해양연구원 해양시
스템연구부 책임연구원
2008년 ~ 2011년: 한국해양연구원 해양
시스템안전연구소 소장
2004년 ~ 현재: 과학기술연합대학원대
학교 해양정보통신공학과 정교수
<관심분야> 수중통신 및 네트워크, 해양
통신, 선박 IT-융합 시스템, 해운 물
류 등

▶ 조 대 영 (Dae-Young Cho)



2009년: 호서대학교 정보통신공학과
(학사)
2011년: 호서대학교 정보통신공학과
(석사)
2011년 ~ 현재: 호서대학교 정보통신공
학과 박사과정
<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 4G,
수중통신, MIMO

▶ 김 길 용 (Kil-Yong Kim)



2009년: 호서대학교 정보통신공학과
(학사)
2010년 ~ 현재: 호서대학교 정보통신공
학과 석사과정
<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 4G,
수중통신, MIMO