

논문 2015-52-10-18

수중음향 채널에서의 협력통신에 대한 연구

(Study on Cooperative Communication for Underwater Acoustic Channels)

강 희 훈*

(Heehoon Kang[Ⓢ])

요 약

본 논문에서는 수중음향 채널에서의 협력통신 방식에 대한 성능을 분석한다. 협력전송 프로토콜과 동일비율 결합(Equal Ratio Combining:ERC) 방법, 고정비율결합(Fixed Ratio Combining:FRC) 방법, 최대비 결합(Maximum Ratio Combining:MRC), SNRC(Signal to Noise Ratio Combining), ESNRC (Enhanced Signal to Noise Combining) 방법에 대해서 수중음향 채널에서의 성능을 분석함으로써 분석 결과를 통해서 적절한 협력통신 기술을 선택할 수 있다. 이 수중음향 채널에 대한 협력통신의 성능 분석은 컴퓨터 모의실험으로 수행된다.

Abstract

In this paper, we analyze the performance of cooperative communication techniques on an underwater channel. By analyzing the BER performance of cooperative transmission protocol and combining types ERC, FRC, SNRC and ESNRC on underwater channel, through the result, we can choose an a proper cooperative technique for an underwater channel. The analysis of BER performance is achieved by a computer simulation.

Keywords : 협력통신(Cooperative Communication), 수중음향채널(Underwater Acoustic Channel), 협력통신 프로토콜(cooperative protocol), 동일비율 결합(Equal Ratio Combining:ERC) 방법, 고정비율결합(Fixed Ratio Combining:FRC) 방법, 최대비 결합(Maximum Ratio Combining:MRC), SNRC(Signal to Noise Ratio Combining), ESNRC (Enhanced Signal to Noise Combining) 방법

I. 서 론

수중음향통신기술은 대부분의 초창기 군사분야에서 사용되어 왔다. 그러나 최근 민간분야에서의 수중 네트워크에 대한 관심이 증가하고 있다. 도선에 의존하지 않는 수중음향 네트워크들은 배치가 용이하고 주위의 움직이는 물체에 의해서 파손될 위험이 적다. 수중음향 네트워크의 전형적인 민간 분야는 석유채굴탐색과 북

귀, 수중탐색, 쓰나미 알림, 수중 생물 서식지와 오염 감시 등이다. 음파는 수중에서 전자기파보다 전파 거리가 훨씬 길다. 그러나 수중음향통신채널은 제한된 대역폭과 시간과 주파수 영역 모두에서 심각한 신호 분산을 야기할 수 있는 높은 수준의 반향을 가진다. 음파는 흡수와 산란에 의해서 주파수와 연관된 감쇄가 발생한다. 음파의 전파는 바다속의 조건 기울기에 의해서 굴절된다.

동일한 방사기에서 방사된 음파들은 방사된 각도들의 따라서 다양한 경로를 통해서 수신기에 도달한다. 이들 경로에 따른 전송 시간들은 광속에 비해 매우 낮은 전송속도 때문에 매우 다를 수 있다. 다양한 산란원

* 정회원, 여주대학교
(Yeoju Institute of Tech.)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: khh@yit.ac.kr)

Received ; March 28, 2015 Revised ; August 19, 2015

Accepted ; September 24, 2015

과 지리적 경계에 의해서 산란된 음파들은 신호 수신에 있어 추가적인 문제를 야기한다. 게다가, 수중음파의 시변 전파 특성은 수표면 운동과 송수신기의 이동에 의해서 야기되는 도플러 효과에 의해서 발생된다. 수중음향 통신은 수중환경에 대한 탐색 등의 요구가 증가함으로써 급증하고 있다^[1~4]. 이에 따라 수중 음향 통신의 전송율과 신뢰성은 보다 더 개선되어야 할 필요가 있다. 최근 협력 통신^[9~12]는 미래 무선 네트워크에 대한 전송 전략으로 매우 큰 관심을 끌고 있다. 협력 통신의 기본 개념은 중계 노드들이 소스 정보를 복사하여 전송함으로써 소스 노드의 전송을 협력하는데 있다. 협력 통신은 무선매체의 방송특성이라는 장점을 가지며 본래의 공간 다이버시티와 다중 사용자 다이버시티들을 활용한 다. 본 논문에서, 수중음향 환경에서 협력전송의 사용에 대한 가능성과 장점들을 연구한다. 무선 통신에서 사용된 협력 통신 기술이 수중음향 채널에 적용하여도 그 성능이 무선통신에서와 동일한 장점을 나타내는지 평가한다. 수중 음향 협력 통신은 전통적인 직접 전송과 무선에서 사용되는 협력 전송 프로토콜은 무선 네트워크에 대해서 상당한 장점들을 가진다.

II. 수중음향 채널

일반적으로, 수중 음파의 전송도중 에너지 손실은 지리적인 확산, 감쇄, 다른 경로 손실 등에 의해서 야기된다. 감쇄 원인들은 매체 흡수와 산란으로 더 자세히 구분된다. 이들 인자들 사이에, 주어진 영역에서, 흡수에 의해서 야기되는 확산과 감쇄는 주어진 영역에서 비교적 안정적이다^[5]. 전파 범위에 대해서 제곱근에 반비례하는 수중의 특별한 경계에 의존하는 확산 손실은 깊은 바다에 대해서 구형으로 모델링되거나 낮은 바다의 원통형으로 모델링된다. 감쇄는 일반적으로 매체 흡수나 산란에 의해서 발생된다. 두 점 사이의 흡수손실은 식(1)과 같이 표현될 수 있다.

$$I_2 - I_1 = -\alpha d \quad (1)$$

여기서 I_2 과 I_1 은 두 점 사이의 세기로 단위는 [dB]이고 d 는 2점 사이의 거리이고 단위는 [Km]이다. α 는 흡수 계수로 단위는 [dB/Km]이다. 흡수 계수는 음파의 주파수에 따라 증가한다. 이는 물의 밀도와 관련되어 있다. Thorp의 이론^[6~9]은 식(2)로 이를 근사화한다.

$$\alpha = \frac{0.11f^2}{1+f^2} + \frac{44f^2}{4100+f^2} + 2.75 \times 10^{-4}f^2 + 0.003 \quad (2)$$

여기서 f 는 음파 주파수로 단위는 [kHz]이다. 음향은 에너지 손실을 야기하는 음파전파에 따라서 입자들과 물체들에 의해서 산란될 수 있다. 수중에서 산란체들의 양이나 위치들은 주어진 영역에서 시시때때로 변할 수 있다. 무작위 산란 이외에도, 음파는 다른 수중 조건의 경계에서 굴절된다. 음파의 굴절은 매체의 음속을 사용하여 계산될 수 있다. 식(3)은 스넬의 식이다.

$$\frac{\cos\theta_1}{c_1} = \frac{\cos\theta_2}{c_2} \quad (3)$$

여기서 매체 1과 매체2에서 c_1 과 c_2 는 매체에서 음속이다. θ_1 와 θ_2 은 경계에서 입사각과 굴절각이다. 음속의 값은 염도, 온도, 밀도 3가지 인자들에 의존한다. 간단히 말하면, 음속은 3가지 인자들 중 어느 하나가 증가하면 증가한다. 식(4)는 Coppens 방정식을 나타낸다^[10].

$$c_{O,S,T} = c_0 + c_1 T + c_2 T^2 + c_3 T^3 + (c_4 + c_5 T + c_6 T^2)(S - 35) \\ c_{D,S,T} = c_{O,S,T} + (c_7 + c_8 T)D + (c_9 + c_{10} T)D^2 \\ + [c_{11} + c_{12}(S - 35)] \cdot (S - 35) \cdot T \cdot D \quad (4)$$

여기서 D 는 깊이, S 는 염도, 그리고 T 는 수온이다. 바다속에서 음속의 분포는 일반적인 프로파일을 준수한다. 그러나 해안과 하구 근처, 음속의 높은 기울기를 자주 발생할 수 있고^[4], 이는 불규칙한 음향 채널을 야기한다. 음속 분포 및 경계 조건에 대한 지식으로, 소리의 투과 손실은 음향 장의 파동 방정식을 해결함으로써 계산 될 수 있다. 방정식의 수치해 대부분은 선 이론, 정상 모드의 이론, 포물선 방정식 법에 기초한다.

음향 투과 손실을 계산하기 위해 선 이론에 기초한 방법을 사용한다. 에너지 손실 외에, 수중 음향 전파는 일반적으로 시간확산과 도플러 효과를 겪게 되는데 이는 높은 주파수에서 음향 통신 시스템의 중요한 요소이다. 시간 확산 영향은 다중 경로 효과의 범위에 의존하는데, 이는 음향 채널의 구성에 의해서 교대로 영향을 받게 된다. 즉, 송수신기의 깊이, 송수신기간 거리 그리고 해저 바닥면의 형태의 구성에 영향을 받게 된다.

바다 표면과 해저 바닥의 거칠기 정도가 시간확산은 또한 야기할 수 있다. 도플러 효과는 주파수 천이와 주파수 확산으로 분류될 수 있다. 도플러 확산이 바다 표

면의 파동, 표면 근처에서 다양한 처리과정에 의해서 야기되는 반면 도플러 천이는 송수신기간 이동으로 야기된다. 송수신기간 이동은 다중확산 효과를 야기한다. 송신기와 수신기 위치의 작은 변화는 간섭 파동을 야기할 수 있다^[11].

III. 협력 전송 프로토콜

그림 1은 수중음향 채널에서 협력통신에 대한 전송 개념을 나타낸다. 여기서 s는 데이터원 노드, r은 중계노드를 나타낸다.

중계노드와 목적지 노드에 의해서 수신된 신호는 식(5)과 같다.

$$y_{sd} = h_{sd}x_s + n_{sd}$$

$$y_{sr} = h_{sr}x_s + n_{sr}$$
(5)

여기서 x_s 는 채널을 통해서 데이터원 노드가 전송한 심볼이고, n_{sd} 와 n_{sr} 은 단위 분산을 가지는 부가적 백색 가우시언 잡음이다. 또한 h_{sd} 와 h_{sr} 은 채널 이득을 나타낸다. 이와 유사하게 목적지 노드로 전송하여 수신한 신호는 식(6)과 같다.

$$y_{rd} = h_{rd}x_r + n_{rd}$$
(6)

x_r 는 채널을 통해서 중계 노드가 전송한 심볼이고, n_{rd} 는 단위 분산을 가지는 부가적 백색 가우시언 잡음이다. 또한 h_{rd} 는 채널 이득을 나타낸다.

본 논문에서는 분석하는 협력전송 프로토콜은 AAF(Amplify and Forward)과 DAF(Decode and Forward)이다. 협력통신의 성능에 대한 채널의 영향을

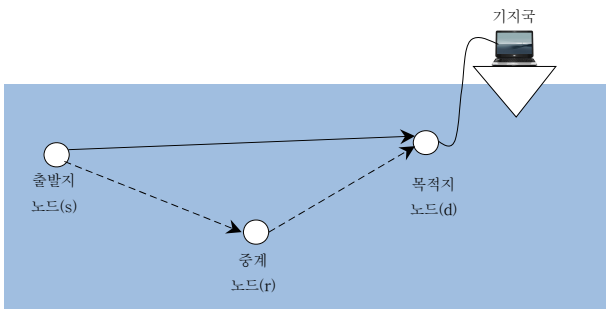


그림 1. 수중음향채널에서 협력전송 시스템
Fig. 1. Underwater acoustic cooperative transmission system.

분석하기 위해서 채널의 특성이 완벽하게 평가될 수 있다고 가정한다.

3.1 AAF

이 방식은 중계노드가 메시지를 복호/부호화할 때 발생하는 가용할 수 있는 연산시간과 전력 또는 시간지연이 제한되어 있을 때 주로 적용된다. 중계노드에 의해서 수신된 신호는 감쇄가 발생되는데 이를 중계전송하기 전에 증폭하는 방식이다. 증폭시 잡음도 동시에 증폭되는 점이 이 방식의 주요 단점이다. 중계노드에서 수신한 전력은 식(7)과 같이 정리할 수 있다.

$$E[|y_r^2|] = E[|h_{sr}|^2] E[|x_s|^2] + E[|z_{sr}|^2] = |h_{sr}|^2 \xi + 2\sigma_{sr}^2$$
(7)

데이터원 노드에서 송신한 신호를 수신노드에서 수신한 경우와 동일한 전력으로 데이터를 전송하기 위해서 중계노드는 식(8)과 같은 이득을 가져야 한다.

$$\beta = \sqrt{\frac{\xi}{|h_{sr}|^2 \xi + 2\sigma_{sr}^2}}$$
(8)

3.2 DAF

이 방식은 중계노드가 수신한 신호는 먼저 복호된 후 다시 부호화하여 중계전송한다. 중계시 복호와 부호화가 다시 이루어지므로 잡음을 증폭하지 않는다. 중계노드는 원 메시지를 완벽하게 복호할 수 있다. 데이터원 노드에서 오류정정부호로 부호화되어 전송되었다면 중계노드에서 오류를 정정하여 목적지 노드로 전송한다. 이는 중계노드에서 연산을 수행하고 이에 대한 전송지연이 야기할 수 있다. 이는 유비쿼터스 센서 네트워크에서는 센서 네트워크의 수명에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 본 논문에서는 중계국이 센서노드가 아니라는 조건하에서 성능분석을 수행하도록 한다.

IV. 결합 유형

하나 이상의 동일한 버스트 데이터를 수신하였을 때 결합하는 방법으로 동일비율 결합(Equal Ratio Combining: ERC) 방법, 고정비율결합(Fixed Ratio Combining: FRC) 방법, 최대비 결합(Maximum Ratio Combining: MRC), 신호대잡음비 결합(Signal to Noise Ratio Combining: SNRC) 방법, 개선 신호대잡음비 결

합 (Enhanced Signal to Noise Combining: ESNRC) 방법이 있는데 이에 대한 수중채널에서의 성능을 분석한다.

4.1 동일비율결합

수신된 신호를 결합시키는 가장 간단한 방법으로 수신된 모든 경로에 대해서 동일한 비율로 결합시키는 방식으로 식(9)와 같다.

$$y_d[n] = y_{sd}[n] + y_{rd}[n] \quad (9)$$

여기서 y_{sd} 는 데이터원 노드로부터 수신된 신호이고 y_{rd} 는 중계노드로부터 수신된 신호이다.

4.2 고정비율결합

각 경로에서 수신된 신호에 일정한 이득을 곱해서 결합시키는 방식으로 식(10)와 같다.

$$y_d[n] = d_{sd}y_{sd}[n] + d_{srd}y_{rd}[n] \quad (10)$$

여기서 d_{sd} 는 직접링크의 가중치이고 d_{srd} 는 중계노드로부터 수신된 신호이다. 다중-홉 링크(multi-hop link) 중 하나에 대한 가중치이다.

4.3 최대비 결합

각 경로로 입력되는 신호를 가장 좋은 비율로 결합시키는 방법으로 해당 복소채널 이득을 곱해서 최대비로 결합시킨다. 이는 식(11)와 같다.

$$y_d[n] = h_{sd}^* y_{sd}[n] + h_{rd}^* y_{rd}[n] \quad (11)$$

여기서 h_{sd}^* 는 직접링크의 복소채널이득이고 h_{rd}^* 는 중계노드와 목적지 노드 간 링크의 복소채널이득이다.

4.4 신호대잡음비 결합

1) AAF를 이용한 SNR 산출

신호대잡음비를 최대로 만들어 결합시키는 방법으로 AAF를 이용하면 중계노드로부터 수신된 신호는 식(12)와 같다.

$$y_{rd}[n] = h_{rd}x_r[n] + h_{rd}\beta(h_{sr}x_s + z_{sr}) \quad (12)$$

여기서 x_s 는 데이터원 노드가 송신한 심볼, x_r 는 중

계노드가 송신한 심볼이고, h_{rd} 와 h_{sr} 은 중계노드 채널 이득과 직접경로 채널 이득을 나타낸다.

그러므로 수신된 신호의 전력은 식(13)과 같다.

$$E[|y_{rd}|] = \beta^2 |h_{rd}|^2 (|h_{sr}|^2 \xi + 2\sigma_{sr}^2) + 2\sigma_{rd}^2 \quad (13)$$

따라서 한 중계 다중 홉 링크의 SNR은 식(14)와 같다.

$$SNR = \frac{\beta^2 |h_{rd}|^2 |h_{sr}|^2 \xi}{\beta^2 |h_{rd}|^2 2\sigma_{sr}^2 + 2\sigma_{rd}^2} \quad (14)$$

2) DAF를 이용한 SNR 산출

DAF를 이용한 다중 홉 링크의 SNR을 계산하기 위해서 먼저 링크의 BER을 구한다. BER은 단거리 수중 음향 채널로 가정한다. 이 단거리 수중음향 채널에서의 한 중계 노드의 다중 홉 링크에 대한 BER을 식(15)와 같다.

$$BER_{srd} = BER_{sr}(1 - BER_{rd}) + (1 - BER_{sr})BER_{rd} \quad (15)$$

여기서 BER_{srd} 는 데이터원 노드에서 송신한 신호가 중계노드를 거쳐서 목적지 노드에서 수신한 신호의 BER, BER_{sr} 는 중계노드에서 수신한 신호의 BER, BER_{rd} 는 중계노드가 송신하여 목적지 노드가 수신한 신호의 BER이다.

SNR을 계산하기 위해서 [12]으로부터 식(16)과 식(17)을 사용한다.

$$\frac{E_b}{N_0} = SNR(r) \times \frac{B_c}{R_b} \quad (16)$$

$$\text{erfc}^{-1}(2 \times BER_{QPSK}^2) = \frac{E_b}{N_0} \quad (17)$$

4.5. 개선 신호대잡음비 결합

이 방법은 원 유입신호와 다른 채널의 유입신호를 비교하여 양질의 신호를 채택하는 방법으로 식(18)과 같다.

$$y_d[n] = \begin{cases} y_{sd}[n] & SNR_{sd}/SNR_{srd} > 10 \\ y_{sd}[n] + y_{srd}[n] & 0.1 < SNR_{sd}/SNR_{srd} \leq 10 \\ y_{srd}[n] & SNR_{sd}/SNR_{srd} \leq 0.1 \end{cases} \quad (18)$$

여기서 SNR_{srd} 는 데이터원 노드에서 송신한 신호가

중계노드를 거쳐서 목적지 노드에서 수신한 신호의 신호대잡음비, $SNR_{s,r}$ 는 중계노드에서 수신한 신호의 SNR. $SNR_{r,d}$ 는 중계노드에서 송신하여 목적지 노드가 수신한 신호의 SNR이다.

V. 모의실험 결과

모의실험을 위해서 하나의 중계노드와 하나의 직접 경로를 가진 통신환경으로 구성하였다. 모의실험은 매트랩 시뮬레이터를 이용하여 각 방식에 대한 신호대잡음비에 대한 비트오류율(Bit Error Rate:BER)을 평가하였다.

그림 2는 AAF 방식에 ERC와 FRC 결합 방법에 대한 신호대잡음비에 대한 BER성능 결과를 나타낸다. AAF 협력전송은 ERC나 FRC나 BER의 성능차이가 크지 않음을 알 수 있다. 그림 3은 ERC, FRC, SNRC, ESNRC의 방식에 대한 신호대잡음비에 대한 BER성능 결과를 나타낸다. SNR 결합 방식이 모두 좋은 성능을

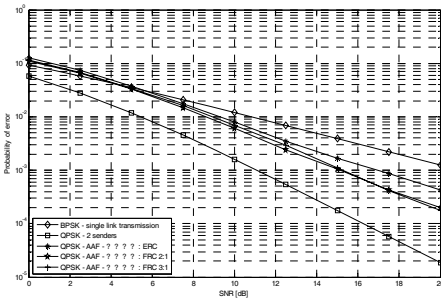


그림 2. AAF-ERC, FRC의 SNR 대 BER 성능
Fig. 2. BER Performance vs SNR for AAF-ERC, FRC.

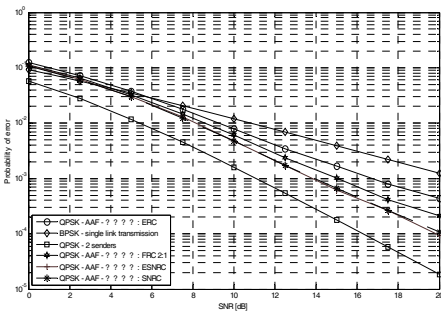


그림 3. AAF-ERC, FRC, SNRC, ESNRC의 SNR 대 BER 성능
Fig. 3. BER Performance vs SNR for DAF-ERC, FRC, SNRC, ESNRC.

보임을 알 수 있다.

그림 4에서는 DAF내 결합방법의 신호대잡음비에 대한 BER성능 결과를 나타낸다. DAF 프로토콜에서는 ERC보다 FRC의 BER 성능이 우수함을 알 수 있다. 그림 5는 ERC, FRC, SNRC, ESNRC의 결합방법의 신호

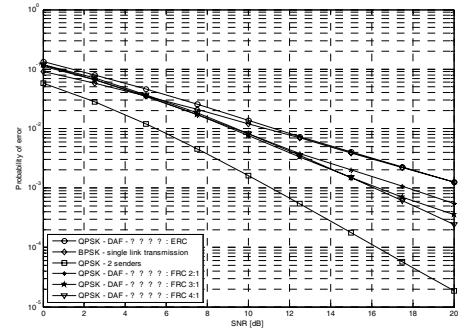


그림 4. DAF-ERC, FRC의 SNR 대 BER 성능
Fig. 4. BER Performance vs SNR for DAF-ERC, FRC.

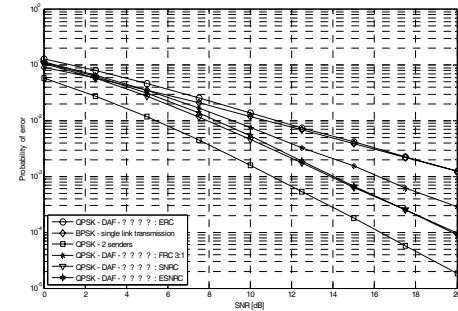


그림 5. DAF-ERC, FRC, SNRC, ESNRC의 SNR 대 BER 성능
Fig. 5. BER Performance vs SNR for DAF-ERC, FRC, SNRC, ESNRC.

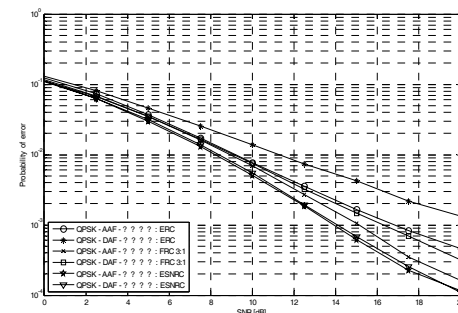


그림 6. AAF와 DAF의 결합유형에 대한 SNR 대 BER 성능(ERC, FRC, SNRC, ESNRC)
Fig. 6. BER Performance vs SNR for AAF and DAF Combining Type(ERC, FRC, SNRC, ESNRC).

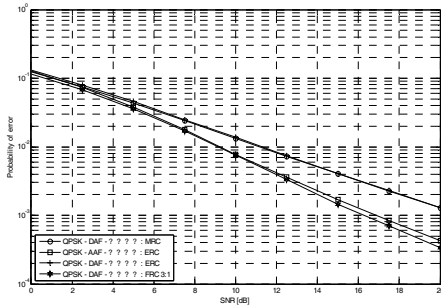


그림 7. AAF와 DAF의 결합유형에 대한 SNR 대 BER 성능(ERC, FRC, MRC)

Fig. 7. BER Performance vs SNR for AAF and DAF Combining Type(ERC, FRC, MRC).

대잡음비에 대한 BER성능 결과를 나타낸다. SNR 방식이 모두 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 6은 AAF와 DAF 방식에 대한 BER 성능 결과를 나타낸다. ERC 방식에서는 AAF가 더 좋은 성능을 나타내었고 FRC에서는 DAF 방식이 AAF 방식보다 성능이 우수함을 알 수 있다. SNRC 방식에서는 거의 동일한 성능을 나타낸다. 그림 7은 MRC 방식이 다른 방식에 비해서 성능이 좋지 못함을 나타낸다.

VI. 결 론

모의실험결과에서 알 수 있듯이 수중 음향채널에서도 협력통신을 적용이 전송 성능을 개선시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. QPSK에 대해서 협력전송을 수행하면 최소한 BER 성능에 있어서 BPSK 전송 수준의 성능을 얻을 수 있다는 것을 알았다. 또한 이를 통해서 수중음향 채널에서도 협력통신을 수행할 수 있다는 것을 확인하였다. 독립적인 2개의 송신기로 동일한 정보를 전송할 경우 성능이 가장 우수하였으나 통신자원을 낭비하게 되므로 다양한 협력통신을 적용하여 성능을 개선할 수 있다. 본 논문에서 수중음향 채널에 적합한 협력통신 방식을 선정하는데 모의실험 결과를 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] D. B. Kilfoyle and A. B. Baggeroer, "The state of the art in underwater acoustic telemetry," IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol.25, no.

1, pp.4-27, January 2000.
[2] A. K. Morozov and J. C. Preisig, "Underwater acoustic communications with multi-carrier modulation", OCEANS 2006, p.p.1-6, September 2006.
[3] M. Stojanovic and L. Freitag, "Multichannel detection for wideband underwater acoustic CDMA communications", IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol.31, no.3, p.p.685-695, July 2006.
[4] R. J. Urick, Principles of underwater sound, 3rd ed., McGraw-Hill, Inc, 1983.
[5] Heehoon Kang, Youngjong Lee, Wanok Han, "Performance Analysis of an OFDM System over an underwater acoustic channel". Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 49, NO. 11, November 2012.
[6] E. M. Sozer, M. Stojanovic, and J. G. Proakis, "Underwater acoustic networks", IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol.25, no.1, p.p.72-83, January 2000.
[7] J. Preisig, "Acoustic propagation considerations for underwater acoustic communications network development", in Proceedings of the 1st ACM international workshop on Underwater networks, p.p.1-5, September 2006.
[8] P. C. Etter, "Underwater acoustic modeling and simulation", 3rd ed., Spon Press, Taylor & Francis Group, 2003.
[9] R. J. Urick, "Principles of underwater sound", 3rd ed., McGraw-Hill, Inc, 1983.[9] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity, Part I: System description," IEEE Transactions on Communications, vol.51, no.11, pp.1927-1938, November 2003.
[10] "Technical guides-speed of sound in seawater," the National Physical Laboratory, <http://www.npl.co.uk/acoustics/techguides/soundseawater/content.html>.
[11] D. B. Kilfoyle, J. C. Preisig, and A. B. Baggeroer, "Spatial modulation experiments in the underwater acoustic channel", IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol.30, no.2, p.p.406-415, April 2005.
[10] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior," IEEE Trans. on Information Theory, vol.50, no.12, pp.3062-3080, December 2004.
[11] M. A. Khojastepour, A. Sabharwal and B.

Aazhang, "On the capacity of "cheap" relay networks," in Proc. 37th Annual Conference on Information Sciences and Systems, Baltimore, MD, March 2003.

- [12] Gunilla Burrowes and Jamil Y. Khan, "Short-Range Underwater Acoustic Communication Networks", The University of Newcastle, Australia.

저 자 소 개



강 희 훈(정회원)

1997년 서울과학기술대학교

전기공학과 학사 졸업.

1999년 광운대학교 전자공학과

석사 졸업.

2003년 광운대학교 전자공학과

박사 졸업.

2002년 3월~현재 여주대학교 교수

<주관심분야 : 통신, 유비쿼터스, IoT, 통신로봇>