

OFDM 기반의 수중음향통신 시스템에서 신뢰성 향상을 위한 협력통신 성능 분석

심성준, 박준호, 김천근, 신현진

STX 엔진(주)

shimsajang27@onestx.com, jjhp@onestx.com, cgk75@onestx.com, boss95@onestx.com

A Performance Analysis of Cooperative Communication for Reliability Improvement in OFDM-Based Underwater Acoustic Communication Systems

Shim Seong Joon, Park Jun Ho, Kim Cheon Geun, Shin Hyun Jin

STX Engine Co.,Ltd.

요 약

본 논문은 수중음향채널 환경에서 합정과 잠수함, 잠수함간 통신에 대해 신뢰성 향상 및 장거리 통신을 위한 협력통신기법을 제안한다. 수중환경에 대해 제한된 대역폭 활용과 다중경로에 의한 페이딩을 억제하기 위해 orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) 변조기법을 사용한다. 또한, 기존의 무선통신에서 활용한 협력통신기법을 적용하여 수중에서의 장거리 통신을 지원한다. 이를 통해, 향상된 bit error rate (BER) 성능과 채널용량을 얻을 수 있다.

I. 서 론

수중음향통신은 기존의 대기 중의 전파를 통해 데이터를 송수신하는 방식과는 달리, 수중에서 저주파를 통해 데이터를 송수신하는 방식을 말한다. 수중에서는 전파가 심각한 감쇄현상을 일으키기 때문에 음파 또는 초음파를 통해 제한적인 통신이 가능하다[1]~[2]. 수중음향통신을 활용할 경우, 민수분야에서는 해양탐사 및 해양자원개발이 가능하고 국방분야에서는 합정과 잠수함, 잠수함간 양방향 통신이 가능하다. 수중환경은 주파수에 따른 흡수손실, 산란손실, 그리고 해수면과 해저면의 반사에 의한 다중경로 손실 등 채널환경의 변동성이 심하다. 이러한 선택적 페이딩의 환경을 극복하기 위해 본 논문에서 OFDM 변조기법이 사용된다[3]. 또한, 수중에서의 장거리 통신을 지원하기 위해 중계기를 활용하는 협력통신기법을 적용한다. 협력통신기법으로 중계기에서 채널정보를 활용하여 데이터를 증폭시키는 amplify and forward (AF)기법과 중계기에서 데이터를 복조한 후 다시 목적지로 전송하는 decode and forward (DF)기법이 있다. 본 논문에서는 수중음향통신에서 협력통신기법을 적용하여 신뢰성 향상 및 장거리 통신을 지원하고 개선된 BER 성능과 채널용량을 얻을 수 있다.

II. 본론

2.1 채널환경모델

수중에서는 수온과 수압, 수심, 전송거리 등 다양한 요인에 의해 제한적인 통신이 가능하다. 또한, 음파는 이동경로에 따른 확산손실과 흡수손실이 발생하고 해수면과 해저면 반사에 의한 다중경로 손실이 발생한다. 확산손실과 흡수손실에 대한 dB수식은 식 (1)과 같다.

$$10 \log A(l, f) = 10k \log l + 10l \log a(f) \quad (1)$$

l 은 전송거리를 나타내고 f 는 음파주파수를 나타낸다. 또한, k 는 확산지수를 나타낸다. 식 (1)에서 첫번째 항은 확산손실에 대한 수식을 나타내고 두번째 항은

흡수손실에 대한 수식을 나타낸다. f 에 따른 흡수손실은 식 (2)와 같다.

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

식 (2)는 100kHz 이상일 때 적용되는 수식이고 100kHz 미만에 대한 수식은 식 (3)과 같다.

$$10 \log a(f) = 0.002 + 0.11 \frac{f^2}{1+f^2} + 0.011 f^2 \quad (3)$$

이와 같이, 음파 전송거리와 주파수에 따라 확산손실과 흡수손실이 생기고 다중경로 손실에 의해 전송 데이터의 왜곡이 발생하게 된다.

2.2 협력통신기법

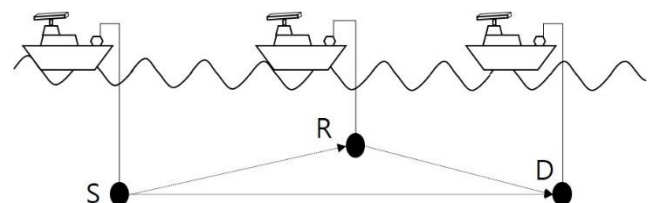


그림 1. 수중에서 적용된 협력통신기법

협력통신기법은 송신단과 수신단 사이의 통신환경에서 거리에 따른 제한과 성능열화를 극복하는 방법이다. 송신단과 수신단 사이에 중계기를 활용하여 가상의 multiple-input multiple-output (MIMO) 시스템을 형성한다. 이를 통해, 다수의 채널경로를 형성하여 다이버시티 이득을 얻음으로써 신뢰성과 성능을 향상시킬 수 있다.

그림 1 은 수중에서 협력통신기법을 적용한 모습을 보여준다. S 노드는 데이터를 송신하는 합정의 트랜스듀서를 나타내고 R 노드는 S 노드에서 전송하는 데이터를 증계하는 합정의 트랜스듀서를 나타낸다. D 노드는 S 노드를 통해 line of sight (LoS)로 들어오는 데이터와 R 노드를 통해 증계하여 들어오는 데이터를 수신하는 하이드로폰을 나타낸다.

2.2.1 AF 기법

S 노드와 R 노드 사이의 채널정보는 $h_{s,r}$, R 노드와 D 노드 사이의 채널정보는 $h_{r,d}$, S 노드와 D 노드 사이의 채널정보는 $h_{s,d}$ 이다. S 노드에서 전송된 데이터는 R 노드에서 증폭계수만큼 증폭되어 수신된다. R 노드로 수신된 신호는 식 (4)와 같다.

$$y_{s,r} = \sqrt{p}h_{s,r}x_s + n_{s,r} \quad (4)$$

$y_{s,r}$ 은 S 노드에서 R 노드로 수신된 데이터를 나타내고 x_s 는 S 노드에서 송신한 데이터를 나타내고 $n_{s,r}$ 은 S 노드에서 R 노드로 전송하면서 생기는 백색잡음이다. p 는 송신전력을 나타낸다. AF 기법은 R 노드에서 $h_{s,r}$ 채널정보를 이용한 증폭계수만큼 데이터를 증폭하여 D 노드로 전송하게 된다. D 노드로 수신되는 데이터를 나타내는 수식은 식 (5)와 식 (6)과 같다.

$$y_{r,d} = \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{p|h_{s,r}|^2 + N_0}} \sqrt{p}h_{r,d}h_{s,r}x_s + n'_{r,d} \quad (5)$$

$$y_{s,d} = \sqrt{p}h_{s,d}x_s + n_{s,d} \quad (6)$$

$n_{s,d}$ 는 S 노드에서 D 노드로 전송하면서 생기는 백색잡음을 나타내고 $n'_{r,d}$ 는 $n_{s,r}$ 에 증폭계수가 곱해진 백색잡음을 나타낸다. D 노드는 수신된 $y_{r,d}$ 와 $y_{s,d}$ 의 결합을 통해 signal-to-noise ratio (SNR)값이 최대가 되는 maximum ratio combining (MRC)기법을 적용한다.

2.2.2 DF 기법

DF 기법은 S 노드에서 R 노드로 전송된 데이터를 복조 후 다시 변조해서 D 노드로 전달한다. S 노드에서 R 노드로 수신된 신호는 식 (4)와 같고 D 노드로 수신되는 데이터를 나타내는 수식은 식 (6)과 식 (7)과 같다.

$$y_{r,d} = \sqrt{p}h_{r,d}\hat{x}_s + n_{r,d} \quad (7)$$

\hat{x}_s 는 S 노드에서 R 노드로 전송된 데이터가 복조된 후 다시 변조하여 D 노드로 전송하는 데이터를 나타낸다. DF 기법도 AF 기법과 마찬가지로, D 노드는 수신된 $y_{r,d}$ 와 $y_{s,d}$ 의 결합을 통해 SNR 값이 최대가 되는 MRC 기법을 적용한다.

2.3. 시뮬레이션 결과

본 연구의 시뮬레이션 파라미터로써, 변조 기법은 QPSK, 반송파 주파수는 10KHz, OFDM 심볼의 전송비트는 254 개이다. 그림 2 는 전송기법에 따른 BER 성능 비교를 나타낸다. S 노드에서 D 노드로 전송할 때의 성능과 증계기를 이용한 AF, DF 기법의 성능을 비교할 때, BER 이 10^{-2} 에서 AF 기법은 약 6dB 의 이득을 얻을 수 있고 DF 기법은 약 3dB 의 이득을 얻을 수 있다. 그림 3 은 전송기법에 따른 Throughput 성능 비교를 나타낸다. 그림 3 에 따라, SNR 30dB 에서 AF 기법이 DF 기법보다 Throughput 성능이 좋다는 것을 알 수 있고 AF, DF 기법이 증계기를 사용하지 않은 SISO 보다 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다.

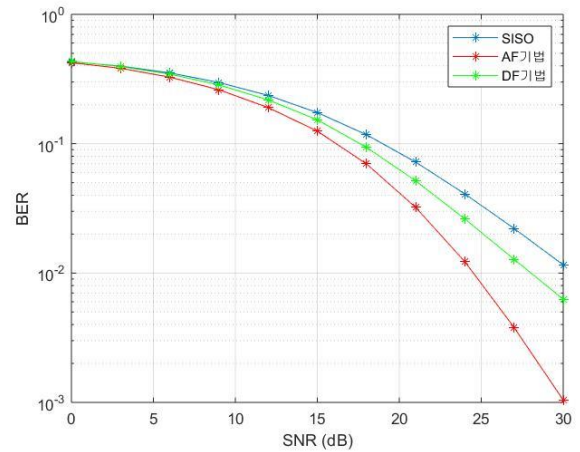


그림 2. 전송기법에 따른 BER 성능 비교

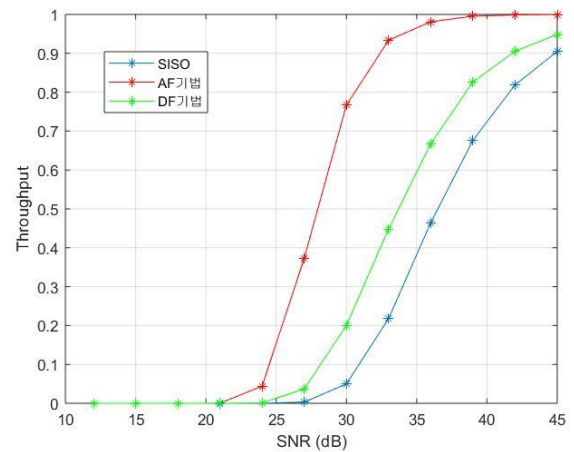


그림 3. 전송기법에 따른 Throughput 성능 비교

III. 결론

본 논문은 수중음향채널 환경에서 선택적 페이딩을 극복하기 위한 OFDM 변조 기법을 적용하고 증계기를 활용하여 장거리 통신을 지원하는 협력통신기법을 적용하였다. 시뮬레이션 결과를 통해, 수중환경에서도 OFDM 변조 기법과 협력통신기법을 적용할 수 있다는 것을 알 수 있고 해당 기법을 통해 개선된 성능을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Gang Q., Zeeshan B., Lu M., Songzuo L., Jinqu W., "MIMO-OFDM underwater acoustic communication systems-A review," Physical Communication, Oct. 2016.
- [2] Lawal B., Azlan A., Syed S. A. A., "Massive MIMO systems for underwater acoustic communication," 2016 IEEE 6th International Conference on Underwater System Technology: Theory & Applications, Apr. 2017.
- [3] Byung-Lok C., Gi-Yoon M., "Alamouti MIMO-OFDM-based analysis in the vertical channel of the underwater communication," 한국산학기술학회논문지, vol. 16, No. 8, pp. 5571-5578, Aug. 2015.