
수중통신채널에서 FSK, BPSK, DPSK의 성능비교

박 지 현 · 백 승 관 · 노 용 주 · 윤 종 략
부경대학교 정보통신공학과

The Performance Comparison Of FSK, BPSK, DPSK In Underwater Communication Channel

Park Ji Hyun · Back, Seung-Kwan · Ro, Yong-Ju · Yoon, Jong-Rak
Pukyong National University Dept. of Telematics Engineering

E-mail : bathyun@mail.pknu.ac.kr , skback@mail.pknu.ac.kr
royju@woongbi.pknu.ac.k, jryoon@dolphin.pknu.ac.kr

요 약

수중통신시스템은 과거 AM, FM 변·복조방식을 이용한 아날로그시스템이 개발되어 왔고, 최근에는 디지털 하드웨어 기술의 발전으로 디지털 변·복조 방식을 이용한 디지털통신시스템이 개발 이용되고 있다.

수중통신에 있어서 손실, 배경 잡음, 다중경로 등의 해양 환경 특성을 극복하는 것은 신뢰성 있는 통신 환경을 이룩하는데 중요하다. 특히 해면과 해저로 경계 지워진 천해 환경에서 다중경로에 의한 영향은 수중통신시스템의 성능을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나이다. 이런 다중경로의 통신채널은 일반적으로 수직 채널과 수평채널로 구분 짓고 있으며, 수직채널은 직접 파와 반사 파의 경로차이가 크고, 수평채널은 직접 파와 반사 파의 경로차이가 수직채널에 비해 상대적으로 적게 나타난다.

본 논문에서는 수치모의 실험을 통해 세 가지 디지털 변·복조 방식인 FSK, BPSK, DPSK의 수직·수평 다중경로 통신채널에 대한 성능을 비교 검토하였다.

ABSTRACT

Analog communication systems using AM, FM modem have been developed. Digital communication systems using digital modems, which is by expansion of digital hardware skill have been recently developed.

In order to accomplish a reliable communication it is important to overcome ocean environmental channel characteristics such as transmission loss, ambient noise and multipath effect etc.

Specially, the effect of multipath is the most important element that determines the performance of underwater communication system in shallow water. Multipath channel can be divided a vertical and horizontal channel. the former is defined the channel to have large path-delay times between a direct wave and reflected waves. The latter shows relatively small path-delay times between a direct and reflected waves in compared with a vertical channel.

In this paper, The performance of FSK, PSK and DPSK modem with respect to the vertical and horizontal multipath communication channels is described and compared.

1. 서 론

수중에서 전파는 급격한 감쇠 특성을 갖기 때문에 전파를 이용한 원거리통신은 부적절하다. 따라서 수중무선통신에서는 음파를 이용한 통신 시스템이 개발·이용되고 있다.

최근에는 디지털 하드웨어 기술의 발전으로 다양한 변·복조 방식의 통신장비가 개발되고 있으며, [1-4] 이런 디지털 변복조 시스템의 성능은 해양환경 특성에 따라 다르게 나타나기 때문에 좋은 통신 성능을 구현하기 위해서는 해양 환경 특성에 맞는 시스템을 구성하는 것이 신뢰성 있는 통신 환경을 이룩하는데 중요하다. 특히 해면과 해저로 경계 지워진 천해 환경에서 다중경로에 의한 영향은 수중통신시스템의 성능을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나이다.

수중통신채널은 일반적으로 수직채널과 수평채널로 나눌 수 있으며, 수직채널은 직접파와 반사파의 경로차가 크고, 수평채널은 직접파와 반사파의 경로차가 수직채널에 비해 상대적으로 작다. [5-6] [7]

수중통신에서 일반적으로 사용되는 디지털 변복조방식은 FSK, BPSK, DPSK 등이 있으며, 근래에는 MFSK, M-DPSK, QPSK도 사용되고 있다. [8]

본 논문에서는 수치모의 실험을 통해 세 가지 변·복조 방식인 FSK, BPSK, DPSK의 수직·수평 수중통신채널에 대한 성능을 BER(Bit Error Rate)로 나타내어 비교, 검토하였다.

II. 수중통신환경 및 통신방식

II.1 수중통신환경

수중통신환경에서 고려되어야 할 특성은 손실과 배경잡음 그리고 다중경로 등을 들 수 있다. 손실은 크게 전달손실과 흡수손실이 있는데 흡수손실은 음파의 전파중에 음파에너지가 수중에서 열에너지로 빼앗긴 손실을 말하고 주파수에 따라 좌우되며 고주파수 일수록 크게 된다. March등에 의하면 수심 40m, 등음속 구조인 천해에서 약 5km 이내의 거리에서 총경로 손실 TL은 식(1)으로 주어진다. [9]

$$TL = 20 \log r + ar \quad (1)$$

여기서, a 는 주파수에 따른 kyd 당 흡수 손실이다.

해양의 배경잡음은 다양한 요인에 의해 결정되는데, 심해에서는 통행 선박과 해상 상태에 의해 배경잡음 크기가 결정되고, 천해에서는 육상의 산

업시설에 의한 수중 전파 음과 천해의 다양한 해양생물에 의한 소음에 의해서 배경잡음 크기가 결정된다.

수중통신에서 통신성능에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 다중경로는 해면, 해저의 경계면에 의한 반사, 수중 부유물등의 방해물에 의한 반사등에 의해 발생된다.

해면의 반사손실을 정확히 정의하기는 어렵지만 식(2)와 같이 주어진다.

$$\alpha_s = 10 \log_{10} [1 - 0.0234 (fH)^{3/2}] \quad (2)$$

여기서 f : 신호 주파수 [kHz], H : 평균 파고 [ft] 이다.

또한, 바닥의 반사 손실은 식 (3)과 같다. [10]

$$\alpha_b = -20 \log_{10} R_b \quad (3)$$

$$R_b = \frac{(Z_2/Z_1) \sin \theta_i - \sin \theta_t}{(Z_2/Z_1) \sin \theta_i + \sin \theta_t}$$

여기서, R_b 은 해저반사계수, Z_2/Z_1 은 바닥상 태물질과 물의 특성임피던스 비, θ_i 는 입사각, θ_t 는 투과 각이다.

II.2 수중통신 방식

수중에서의 손실, 다중경로, 배경잡음의 영향을 고려하여 통신방식을 선택하는 것은 신뢰성 있는 통신을 이룩하는데 중요한 요인이 된다.

FSK 변조방식은 비트 준위에 따라 서로 다른 반송 주파수 갖는 변조방식이다. 근래의 수중통신 시스템에서는 FSK의 변형인 MFSK를 주로 사용하고 있으나, 이 변조기술 또한 대역폭과 하드웨어의 낭비가 많아 DPSK 기술을 많이 사용하고 있는 추세이다.

BPSK 변조방식은 비트 준위에 따라 위상차가 180° 를 갖도록 하는 경우이다. BPSK 방식은 FSK에 비해 대역폭도 절반이고 수신기에서 반송파 재생 작업도 상대적으로 용이하나 피변조 신호의 위상을 상대적으로 판단하므로 피변조 신호를 완전히 반대로 판단 할 위험성이 있다.

DPSK 변조방식은 연속된 두 비트간의 차이에 대한 정보를 부호화하여 변조하는 방식으로 수중통신에서 많이 사용되고 있는 방식중의 하나이다.

복조된 데이터가 원래의 부호와 반전된 것인지 아닌지에 대한 모호함을 제거하는 장점이 있다. 아울러 복조기에서 반송파를 재생시킬 필요가 없고 초기 위상동기를 요구하지 않는다. 그러나 비트의 판정오만이 쌍으로 일어날 수 있다는 단점이 있다. [11]

MDPSK는 MFSK의 fading과 ISI(Inter

symbol Interferenc)에 의한 문제를 해결할 수 있는 변·복조 방식으로 알려져 있으며,[8] 최근에는 QPSK 변복조방식을 이용한 수중통신시스템이 개발되고 있다.

III. 수치모의 실험

수치모의실험에서는 수직·수평 통신채널 각각의 경우에서 대해 첫 번째 반사 파가 도착하는 시간 전후의 전송 데이터 비트 수를 조정하고 그때의 BER을 계산하여 각 변조방식에 따른 다중경로의 영향을 비교하였다.

음파전달 경로는 음원 영상법을 이용하여 해면, 해저, 해면-해저, 해저-해면의 4가지 다중경로만을 고려하였다. 수심(h)은 100m, 송신기의 깊이는 해면에서 5m, 수신기의 깊이는 해면에서 97m로 두었고 송신기와 수신기간의 수평거리(r)는 수직 채널상태를 50m로 수평 채널을 500m로 하여 수치 모의 실험을 수행하였다. 음속은 깊이에 따라 일정하게 두었고, 경로 손실은 식(1)을 사용하였으나 주파수에 따른 흡수 손실은 고려하지 않았다. 해면의 반사손실은 식(2)에서 평균 파고가 0.2ft인 파도가 잔잔한 해상 상태를 고려하여 결정하였고 해저의 반사손실은 해저 바닥을 모래로 가정하여 설정하였다. 다중경로의 영향을 분석하기 위해 신호 대 잡음비는 40dB로 하여 배경잡음이 거의 없는 조건으로 하였다.

표 1은 수직 채널에서의 각 변복조방식에 따른 통신 성능을 나타낸다. 여기서 직접파와 해저 반사파의 경로차 지연시간은 3.54msec이고 해면 반사파의 경우는 5.93msec 였다. 표 2는 수평채널의 경우이며 직접파와 해저·해면 반사파의 지연시간은 각각 0.75, 1.27msec로 나타났다.

FSK방식에서 에러가 발생하는 전송 비트수는 각 채널에서 직접파와 해면 반사파의 지연시간에 따라 결정되는 것으로 확인되었다. 이것은 해저 반사파의 경우 해저면의 손실이 커서 상대적으로 그 영향이 통신성능을 크게 좌우하지 않는 것으로 판단된다. 반면에 BPSK와 DPSK방식은 반사파의 영향에 상관없이 상대적으로 FSK보다 나은 통신성능을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 방식은 반사파들에 의한 다중경로의 영향을 적게 받아 신뢰성 있는 통신 성능을 보장하면서 연속적인 비트전송이 가능함을 알 수 있다. 약 만개 이상의 많은 데이터 비트를 전송할 경우 BPSK와 DPSK의 BER은 각각 0.11과 0.18 정도로 FSK에 비해 상대적으로 낮게 나타났으나 여전히 신뢰성 있는 통신을 보장하기는 어렵다.

표. 1. 수직채널에서 Bits 데이터 전송 BER

변조방식 Bit 수	FSK	BPSK	DPSK
17	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
18	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
⋮	⋮	⋮	⋮
29	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
30	46.0×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
31	86.9×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
32	166.7×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
33	210.0×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
34	218.1×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
35	258.7×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
36	299.8×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
37	304.3×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$

표. 2. 수평채널에서 Bits 데이터 전송 BER

변조방식 Bit 수	FSK	BPSK	DPSK
3 bits	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
4 bits	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
⋮	⋮	⋮	⋮
9 bits	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
10 bits	26.0×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
11 bits	26.0×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
12 bits	26.0×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$
13 bits	29.0×10^{-4}	$< 1 \times 10^{-4}$	$< 1 \times 10^{-4}$

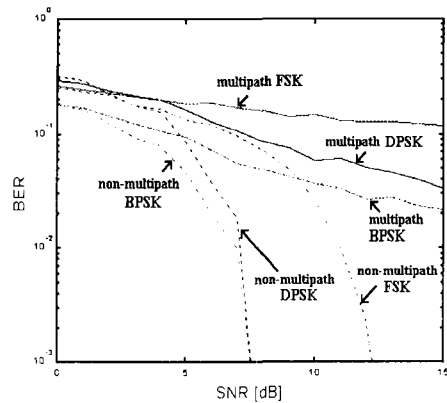


그림 1. 수직채널에 대한 각 변조방식의 에러확률

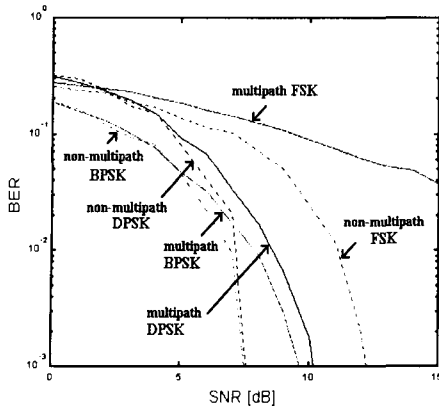


그림 3. 수평채널에 대한 각 변조방식의 에러확률

그림 1과 2는 수중 통신 환경의 수직·수평 채널에 대한 각 변조방식의 성능을 연속적인 비트 전송에 대해 신호대잡음비에 따른 BER을 보여준다. 수직·수평채널에서 세 가지 변조방식 모두 다중경로가 존재할 경우 SNR이 감소할수록 더 높은 BER 특성을 보인다.

수직채널이 수평채널보다 높은 SNR에서 다중경로의 영향이 더 크게 나타난다. 이는 수직채널에서는 반사 파들이 직접 파보다 큰 지연시간을 가지고 중첩되어 수신신호를 더 크게 왜곡시키는 것으로 판단된다. 세 가지 변조방식 중 다중경로가 없을 때와 마찬가지로 FSK가 가장 나쁜 성능을 나타내었으며 BPSK와 DPSK는 수직채널에서는 FSK와 유사한 특성을 보이지만, 수평채널에서는 다중경로가 없을 때의 FSK보다 더 나은 성능을 보였다.

V. 결 론

수중에서 해면·해저에 의한 반사파들에 의해 발생하는 다중경로 영향은 수중통신시스템의 성능을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나로 알려져 있다. 수치모의실험 결과에서 수중데이터통신에 주로 사용되는 3가지 변·복조 방식 중 FSK가 다중경로의 영향에 가장 민감하고, 상대적으로 BPSK, DPSK는 다중경로의 영향에 강인한 것으로 나타났다. 특히 BPSK와 DPSK 방식은 수직·수평채널 모두에 있어 동일한 신호대잡음비에서 FSK에 비해 낮은 에러확률을 보였으며 수평채널에서는 다중경로가 없는 직접파 환경에서 FSK의 보다 낮은 에러확률을 나타냈다. 그리고 세가지 변·복조방식 중에서 BPSK 방식이 다중경로의 영향에 가장 강인함을 수치모의 실험으로 확인하였다. 따라서 BPSK와 DPSK방식은 연속적인 데이터 통신이 가능하지만 여전히 높은 에러확률을 감안할 때 신뢰성 있는 수중 무선 통신을 가능하게 하기 위해서는 실제 해양환경에서의 변복조방

식에 대한 통신성능 비교·분석 등의 다중경로의 영향을 극복하기 위한 통신 시스템 개발의 연구가 지속적으로 수행되어야 한다.

참고문헌

[1] Daniel B. Kilfoyle and Arthur B. Baggeroer, "The state of th Art in Underwater Acoustic Telemetry", IEEE journal of oceanic engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 4-27, 2000
 [2] David Porta, "Underwater Acoustic Communications", Sea Technology, pp.49-55, February 1998
 [3] Milica Stojanovic, "Recent Advance in High Speed Underwater", IEEE Journal of Oceanic engineering, Vol. 21, No. 2, pp.125-136, 1996
 [4] H. Pollings, "Addressing the multipath problem in underwater daata acoustic communications", UDT, pp.471-481, 1992
 [5] O. R. Hinton, G. S. Howe, A. E. Adams and A. G. J. Holt, "An underwater acoustic telemetry link operating at 10k baud using DPSK modulation", UDT, pp.464-470, 1992
 [6] R. Galvin and R. F. W. Coates, "Analysis of The Performance of an Underwater Acoustic Communications System and Comparison with a Stochastic Model", Proc. IEEE OCEANS 94', pp.478-482, 1994
 [7] D. Billon and B. Quellec, "Performance of High Data Rate Acoustic Underwater Communication Systems Using Adaptive Beamforming and Equalizing", Proc. IEEE OCEANS 94', pp.507~512, 1994
 [8] Jones, J.C.; di Meglio, A.; Aid, N.; Sanxchez, A.; Wang, L.S. " The use of digital signal processors in underwater communication systems ", IEE Colloquium on , Digest No: 1997/300 , pp. 9/1 -9/5, 1997
 [9] 손근영, 노용주, 윤종락 "수중 데이터 통신을 위한 변조방식의 성능비교" 한국음향학회 하계학술발표대회 ,제19권 제1(s)호, pp.429-432, 2000
 [10] Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens and James V. Sanders, "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons, INC., 1982
 [11] R. E. Ziemer and W. H. Tranter, "Principles of Communications (Systems, Modulation, and Noise)" , Fourth Edition, John Wiley & Sons, 1995.