

수중 통신시 다중경로 적응 BISMO (Bi-Switch Modulation)알고리즘 설계

Design of Multipath Adaptive BISMO-Algorithm in the Underwater Communication

임 병 욱*, 심 태 보*
(Byungook Im*, Taebo Shim*)

*송실대학교 정보통신공학과 수중음향통신연구실
(접수일자: 2008년 5월 24일; 수정일자: 2008년 7월 15일; 채택일자: 2008년 8월 20일)

수중통신 시 다중 음파 경로의 생성은 명확한 메시지전송을 어렵게하는 원인중 하나이다. 본 논문에서는 이러한 문제점의 해결을 위하여 각기 다른 경로에 따라 형성된 다중 경로간의 지연 시간을 계산하여 변조주파수변환구간을 생성하는 방법을 제안하였다. 송신단에서는 생성된 변조주파수변환구간의 크기에 따라 메시지를 분할하여 두 개의 주파수를 사용하여 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)방식을 교대로 호핑하여 메시지를 전송 하였다. 이에 대응하여 수신단에서는 수신된 메시지를 알고리즘 설계 시 구축한 프로토콜에 의하여 복조하여 원신호로 복원하는 적응 BISMO 알고리즘을 제안 하였고 모의실험을 통하여 적응적 변조주파수변환구간, 추정 오류율을 계산하였다.

핵심용어: 수중음향통신, 다중경로, PSK (Phase Shift Keying), 변조주파수변환구간

투고분야: 수중음향 분야 (5,6)

Multipath makes clear message transfer difficult in the underwater communication. To solve this problem, we propose a new method producing proper MFSP (Modulation Frequency Shift Period) which could be obtained by calculating time delay caused by different path from a transmitter to a receiver. At the transmitter end, messages were divided according to the size of the MFSP and transmitted accordingly alternating Frequency. At the receiver end, the received messages were demodulated in order to recover the original message by the adaptive BISMO algorithm which is constructed at the algorithm design stage. Adaptive MFSP and estimated BER (Bit Error Rate) were calculated through simulation test.

Keywords: Underwater Acoustic Communication, Multipath, PSK (Phase Shift Keying), Modulation Frequency Shift Period

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5,6)

I. 서론

해저에 분포되어 있는 광물자원 혹은 해저지형을 탐사하여 개발하고 심해에서 잠수정간 통신, 부인잠수체 통제, 수중 다이버간 통신을 위하여 수중음향통신은 매우 중요하다.

최근 수중음향통신은 한국해양연구원에서 전송속도 10,000 bps로 전송거리 10 km 실험역 이미지 전송 성공과

관련연구의 활발한 진행이 보고되었다.

또한 수중통신채널에서 FSK (Frequency Shift Keying), BPSK (Binary Phase Shift Keying), DPSK (Differential Phase Shift Keying)등의 성능비교를 통한 각 변조방식 별 BER에 대한 연구 [1]도 진행되었으며, 더욱 향상된 통신 성능을 위한 등화기와 변조 기법 [2][3]에 대한 연구도 활발히 진행 중이다.

이러한 연구들은 수중음향통신의 특성이 공기 중의 전파통신과 채널 환경이 다르다는 점에 기인한 것들이다.

실제 수중음향통신채널은 해저 경사면 [4]이나 거리에 따른 채널용량 [5]과 해수면이나 해저면을 통한 다중경로

책임저자: 심 태 보 (tbshim@ssu.ac.kr)
156-746 서울시 동작구 상도5동
송실대학교 해양공학과 050625호 수중음향통신연구실
(전화: 02-825-0918; 팩스: 02-821-7653)

[6] 등과 같은 여러 가지 제한된 환경의 영향을 받게 된다. 또한 여러 제한 환경중 비균질성 경계면 산향음 [7]은 일반적으로 천해 수중환경에서 지배적이며, 주파수에 따른 음파의 전송손실은 수십 kHz의 반송 주파수를 사용할 경우 퇴적물의 종류에 따른 감쇠 [8]가 주요하게 된다.

이중 천해나 해저면에서 생성된 다중경로는 연속적인 메시지전송을 필요로 하는 수중음향통신성능에 다중경로 페이딩을 일으켜 깨끗한 메시지 신호 전송에 영향을 주며 통신을 어렵게 하는 요인이 된다. 특히 수중에서는 처음도달신호보다 지연신호의 세기가 더 강한경우가 발생하므로 다중경로 페이딩의 영향이 크다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다중경로를 통한 처음 도달 신호와 지연신호 상호간의 신호 간섭으로 인한 전송 저해 영향을 줄이기 위하여 세 개의 주파수를 사용하는 QPSK기반의 적응 BISMO 통신방법을 제안하였고, 모의실험을 통해 변조주파수변환구간과 추정 BER을 구하였다.

본 논문의 II장에서는 다중경로에 대해 기술하고, III장에서는 적응 BISMO알고리즘을 제안하였다. IV장에서 적응 BISMO알고리즘의 모의실험을 통해 신호 대 잡음비에 대한 BER (Bit Error Rate)을 구하고, V장에서 결론을 맺었다.

II. 다중경로 해석

수중통신채널에는 물체나 채널 경계면에서의 반사로 인한 다중경로가 존재한다. 천해역의 채널이 그림 1과 같이 물의 깊이 (h)와 음속 (c)이 일정한 채널 구조를 갖는다고 가정하였다.

그림 1에서 D는 반사없이 수신기로 직접오는 신호 경로, S는 해수면에서 반사되는 경로, SB는 해수면에서 반사된 신호가 해저면에서 재반사되는 경로, BS는 해저면에서 반사된 신호가 해수면에서 재반사되는 경로, B는 해저면에서 반사되는 경로를 나타내며, a는 해저면으로

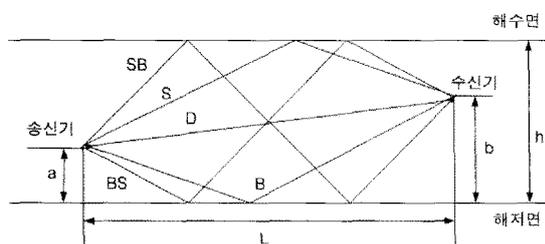


그림 1. 천해 음파 전달 모델
Fig. 1. Shallow water acoustic propagation model.

부터 송신기까지의 높이, b는 해저면으로부터 수신기까지의 높이, L은 송수신기간의 거리를 나타낸다.

그림 1의 D와 S, SB, BS, B의 신호도착 시간의 차는 각각 식 1부터 4와 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{ds} = \frac{2}{Lc} [n^2 h^2 - nh(a+b) + ab] \quad (1)$$

$$t_{dsb} = \frac{2}{Lc} [n^2 h^2 - nh(b-a)] \quad (2)$$

$$t_{dsb} = \frac{2}{Lc} [n^2 h^2 - nh(a-b)] \quad (3)$$

$$t_{db} = \frac{2}{Lc} [(n-1)^2 h^2 + (n-1)h(a+b) + ab] \quad (4)$$

또한 거리와 바닥반사에 따른 음파의 전달손실은 식 5와 같다 [9].

$$TL = 10 \log r_0 + 10 \log r + 10^{-3} \left(\alpha_a + 15 \alpha_b \sqrt{\frac{-g}{h}} \right) r \quad (5)$$

여기서 r_0 는 과도거리, r은 송수신기간 거리, α_a 는 흡수손실, α_b 는 바닥-반사손실, g는 음속기울기, h는 수심을 나타낸다.

III. 적응 BISMO (Bi-Switch Modulation)알고리즘

수중채널에서 처음도달신호의 수신강도보다 지연신호의 수신강도가 더 높은 경우가 발생하기도 하는데 이렇게 심한 다중경로 페이딩이 존재하는 상황에서, 기존 FSK나 PSK 변조방식 중 하나만 이용한 단일 통신방식은 다중경로 페이딩을 피할 수 없는 것이 문제점이었다. 이러한 다중경로 페이딩 문제를 해결하기 위하여 적응 BISMO알고리즘을 제안한다.

3.1. 적응 BISMO 알고리즘 개념

다중경로의 영향을 줄이기 위한 방법으로 구성된 BISMO 알고리즘의 흐름도는 그림 2와 같다.

적응 BISMO알고리즘은 아래와 같은 절차를 통하여 동작하게 된다.

통신 개시 시 송신단은 다중경로로 인한 신호의 지연시간을 알아내기 위하여 10 bit의 파일럿 펄스 (Pilot pulse)를 수신단을 향하여 보낸다.

수신단은 가장 먼저 도착한 파일럿 펄스부터 시작하여

지연된 신호 중 처음도달신호세기의 1/50이상인 신호가 들어올 때까지 기다린다. 만약 지연신호가 처음도달신호세기의 1/50이 되지 않으면 다중경로 페이딩의 영향이 적다고 간주하고 단일 QPSK 방식만을 사용하여 통신한다. 지연신호의 세기가 1/50이상이면 처음도달신호와 지연신호사이의 지연시간을 구한다. 이렇게 구한 시간구간을 변조주파수변환구간 (MFSP : Modulation Frequency Shift Period)이라 정의하며 이 정보를 송신단에도 보내 주어 같은 MFSP을 공유하게 된다.

송신단은 수신단으로부터 받은 MFSP정보를 통하여 메시지를 분할하여 프레임형태로 만들고, 이를 TDM (Time Division Multiplexing)과 FDM (Frequency Division Multiplexing) [10]을 기반으로 f_1, f_2 의 두 가지 주파수를 사용하여 QPSK방식으로 변환하여 보내게 된다. 이는 처음도달신호를 지연된 신호가 간섭하는 것을 피하기 위한 것으로 MFSP만큼의 휴지기를 두어 간섭을 완화 할 수 있다.

수신단은 수신신호를 통하여 MFSP를 다시 구하며 이 정보를 f_3 를 통하여 QPSK 방식으로 송신단으로 보내어

다시 정보를 공유하게 된다. 또한 수신단은 정해진 MFSP에 맞게 수신 메시지를 분할하여 각 특성에 맞는 복조를 수행한 이후 연속된 메시지로 재조합하여 원신호로 복원하게 된다.

3.2. 적응BISMO 알고리즘 구성을 위한 모의실험

3.2.1. 변조주파수변환구간 모의실험

모의실험은 한국해양자료센터 2006년 6월 남해 (수심 100 m)자료를 사용하였으며, 송신기와 수신기의 깊이는 각각 70 m, 거리는 500 m로 하였고, 바닥은 진흙으로 가정하였다.

그림 3은 깊이별 음속과 이를 통한 음선 기법을 사용한 것이다.

그림 4는 음선 기법 결과에서 수신단 도착 시간이 가장 빠른 고유 음선과 지연된 4개의 고유 음선을 나타낸 것이다.

표 1은 송신음파의 송신각과 수신 음파의 도착시간과 해저면 손실을 가정한 수신강도를 정규화한 것이다.

그림 5는 수신단에서 도착시간에 따른 정규화된 수신 강도를 그림으로 나타낸 것이다.

표 1의 정보를 기반으로 하여 모의실험을 위한 채널을 구성하였으며, 채널 구성은 AWGN (Additive White Gaussian Noise)과 Rayleigh fading, I Q impairments Doppler

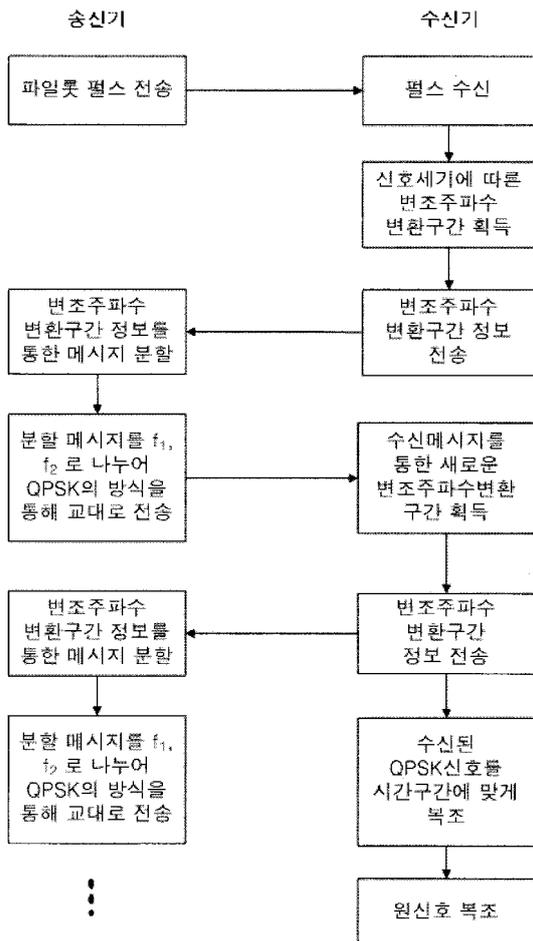


그림 2. BISMO알고리즘 흐름도
Fig. 2. Flowchart of BISMO Algorithm.

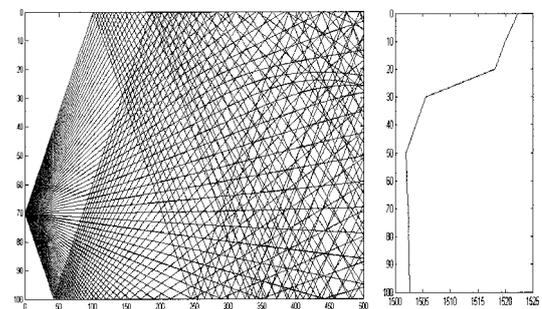


그림 3. 깊이별 음속과 음선 기법 결과
Fig. 3. Vertical Sound speed profile and Ray diagram.

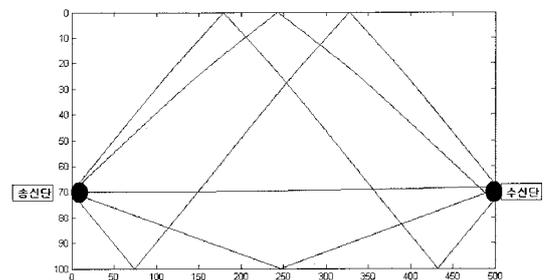


그림 4. 고유음선
Fig. 4. Eigen ray.

Spread를 가정하였으며, 이때 도플러 주파수는 20 Hz로 가정하였다.

모의실험에서 QPSK 파라미터는 송신주파수 10 kHz, Raised Cosine필터를 사용하였다.

그림 6은 모의실험을 통한 QPSK 송수신 그래프이다.

그림 6의 송신 성상도를 수신 성상도와 비교해 보면, 심한 노이즈로 인해 원 신호의 손상이 많이 이루어 졌음을 알 수 있다. 각각의 아이디어그램 또한 시각적으로 분석이 힘들 정도로 손상이되었음을 볼 수 있다.

표 2는 모의실험 결과를 나타내며, QPSK의 신호 대

표 1. 송 수신음파 정보

Table 1. Infomation of transmitting and receiving acoustic wave.

송신각	음파 도착시간 [s]	정규화된 수신강도
0	0.33282317	1
-0.12217	0.335226088	0.009999979
0.296706	0.344850947	0.999975823
-0.38397	0.356612837	0.009999429
0.383972	0.356635485	0.009999503

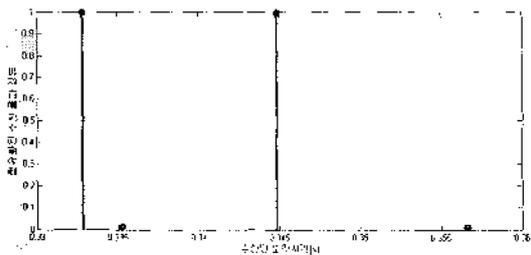


그림 5. 도달시간에 따른 정규화된 수신강도
Fig. 5. Arrival normalizing intensity along to arrival time.

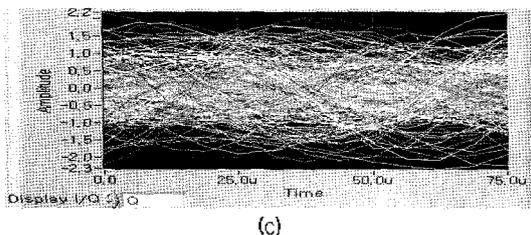
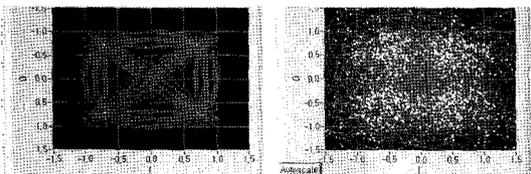


그림 6. QPSK 송,수신 그래프 (a)송신 성상도, (b)수신 성상도, (c) 수신 아이 다이어그램

Fig. 6. Transmission and reception diagram of QPSK (a) Transmission constellation graph. (b) Reception constellation graph (c) Reception eye diagram

잡음비에 따른 추정 BER을 나타낸다.

모의실험의 결과 QPSK의 경우 S/N이 17 dB에서 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 의 BER값을 가진다.

오류율이 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 정도면 음성통신 및 간단한 데이터 통신이 가능하다고 하였을때 [11] 수신신호 비교 문턱값을 기준신호보다 17 dB 작은 값에서 정해야 함을 알 수 있다.

그림 7은 문턱값을 정한 이후 MFSP를 구한 그림이다.

그림 7을 보면, 송신단에 처음도달신호제기를 기준으로 두 번째 도달신호제기가 1/50 이하 이므로 이는 문턱값 아래의 값이 되며, MFSP에 영향을 주지 않게 된다. 세 번째로 도착한 신호는 도달신호제기가 문턱값 이상 이므로 첫 번째 도달 신호와 세 번째 도달신호 사이의 시간 지연차를 MFSP로 정할 수 있다.

본 모의실험에서 MFSP는 약 12 ms임을 알 수 있다.

f_1 을 10 kHz로 사용한다면 수신단의 약 1 m 범위에서 도플러 주파수를 약 7 Hz로 가정할 수 있으며, f_1, f_2, f_3 사이의 충분한 보호대역을 위하여 1 kHz의 주파수 간격을 주어 f_2 를 9 kHz f_3 는 8 kHz로 사용할 수 있다. 송신단은 f_1 주파수를 사용한 QPSK통신 이후 MFSP (약 12 ms)의 f_1 사용 휴지기가 생기며 이 휴지기 동안 f_2 를 사용한 QPSK 통신방식을 이용할 수 있게 된다.

수신단은 f_1 과 f_2 를 이용한 메시지 수신과 동시에 f_3 를 사용하여 2*MFSP의 기간 동안 현재의 MFSP정보를 QPSK 방식을 사용하여 송신단으로 전송하게 된다. 이때 MFSP 공유정보는 데이터 량은 작고 할당된 전송시간은 2*MFSP로 길기 때문에 현재와 직전 2개의 순차정보와 MFSP정보

표 2. QPSK의 S/N 와 추정 BER

Table 2. S/N and estimated BER of QPSK.

	중심 주파수 [KHz]	S/N [dB]	추정 BER
QPSK	10	17	$10^{-2} \sim 10^{-3}$
	9	17	$10^{-2} \sim 10^{-3}$
	8	17	$10^{-2} \sim 10^{-3}$

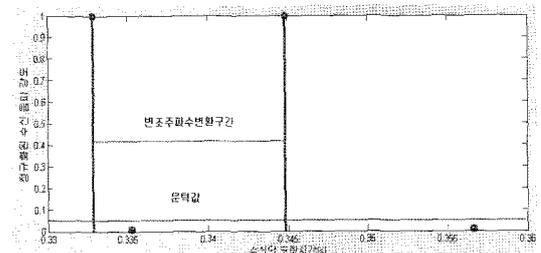


그림 7. 문턱값과 변조주파수변환구간

Fig. 7. Threshold value and Modulation frequency transfer period.

표 3. 패킷순서 및 MFSP정보를 위한 헤더사항
Table 3. Headers for sequence of packet and MFSP information.

MFSP정보 헤더 사항 (송신단 → 수신단)					
N번 순서 정보	N번 MFSP 정보	N-1번 순서 정보	N-1번 MFSP 정보	N-2번 순서 정보	N-2번 MFSP 정보
MFSP정보 헤더 사항 (수신단 → 송신단)					
N번 순서정보			N번 MFSP 정보		

를 같이 보냄으로써 채널에서 유실될지 모르는 순차적 MFSP정보를 유지할 수 있도록 한다. 이는 송신단에서 수신단으로 보내는 패킷에 3비트를 할당하여 총 8개의 데이터 수신 순서를 정하고 순차에 맞는 MFSP정보를 뒤에 표시하여 순차적 재배열과 현재 적용된 정확한 MFSP 정보를 통한 복조가 가능하게 하기 위함이다.

표 3은 MFSP정보 공유를 위해 각 패킷에 들어가는 헤더사항이다.

3.2.2. 다양한 다중경로 모의실험

다양한 다중경로의 영향을 보기위하여 3.2.1절에서 구한 음속구조를 기반으로 MFSP를 구하였다. 송수신기간 최대거리를 1000 m로 하고, 송수신기 깊이를 30, 50, 70 m로 하여 모의실험을 수행하였다. 그림 8은 모의실험 송, 수신기 위치를 나타낸다.

표 4는 그림 8의 모의실험 결과로서, 각 송수신기 깊이 별 MFSP를 나타낸다.

모의실험결과 송신기깊이 30 m일 경우 송수신기 거리 150 m, 수신기 깊이 70 m에서, 송신기깊이 50 m일 경우 송수신기 거리 150 m, 수신기 깊이 50 m에서, 송신기 깊이 70 m일 경우 송수신기 거리 250 m, 수신기 깊이 70 m에서 최대 MFSP가 나타남을 확인할 수 있었다.

수신단이 약 2 knot의 속도로 움직인다고 가정하면 송수신기간은 약 1 m/s의 거리변이를 일으킨다. 초당 MFSP의 변이를 알기 위하여 MFSP의 변이가 가장 큰 곳을 중심

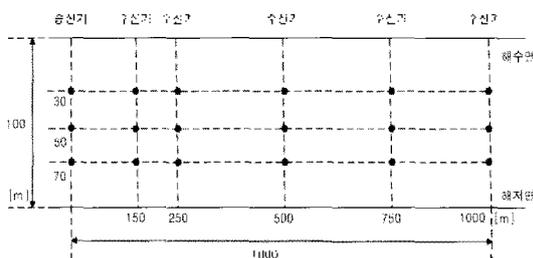


그림 8. 송신기 깊이와 수신기 깊이에 따른 모의실험
Fig. 8. Simulations for depths of transmitter and receiver.

으로 깊이, 거리 변화를 1 m로 주어 총 5 m씩 MFSP를 구하여 표 4에 나타내었다.

모의실험결과 송신기 깊이 70 m, 송수신기간 거리 250 m, 수신기 깊이가 74 ~ 75 m로 변화 할때 0.00204 (Sec)의 최대 MFSP 변이를 보임을 알 수 있다. 또한 수신기 깊이가 75 m에서 최대 MFSP가 나타남을 볼 수 있다.

그림 9는 수신단에서 수신 메시지를 이용한 MFSP를 적극적으로 구하는 적응 BISMO알고리즘의 동작 그림이다.

첫 파인릿 펄스로부터 MFSP (T_0)를 구한 수신단은 실제 데이터를 T_0 구간에 보내며, MFSP에 따른 지연시간 변화 (δ_0)의 시간만큼 휴지기를 T_0 뒤에 붙인다.

δ_0 는 T_0 의 시간만큼에서 변할 수 있는 최대 MFSP 변이를 나타내므로, T_0 의 끝부분에 $\pm \delta_0$ 구간을 두게 되면 사된 메시지는 ΔT 의 변이로 $\pm \delta_0$ 구간 안에 들어오게 된다. 수신단은 $T_0 \pm \Delta T$ 의 구간정보를 이용해 다시 시간 변이에 대하여 조정된 T_1 과 δ_1 을 구하여, 송신단으로 T정보 송신메시지를 보낸다. 각 전송데이터 패킷의 앞부분에 3비트의 순서정보를 할당하여 총 8개의 순차적인 T의

표 4. 송수신기 깊이/거리별 변조주파수변환구간 (a) 송신기깊이 30 m (b) 송신기깊이 50 m (c) 송신기깊이 70 m
Table 4. Each modulation frequency transfer periods depends on depth/distance. (a) transmitter depth 30 m (b) transmitter depth 50 m (c) transmitter depth 70 m

(a) 변조주파수변환구간 (단위 : ms)

송수신기간 거리(m)	150	250	500	750	1000
수신기 깊이(m)					
30	6.93	3.12	0.64	1.05	0.11
50	11.93	1.16	1.16	0.81	0.16
70	16.11	3.98	3.98	1.36	-

(b) 변조주파수변환구간 (단위 : ms)

송수신기간 거리(m)	150	250	500	750	1000
수신기 깊이(m)					
30	11.66	6.31	2.05	0.98	0.17
50	19.01	12.0	3.71	0.97	0.66
70	12.2	7.84	7.6	1.17	0.64

(c) 변조주파수변환구간 (단위 : ms)

송수신기간 거리(m)	150	250	500	750	1000
수신기 깊이(m)					
30	15.62	10.1	3.02	0.93	1.35
50	12.2	16.32	7.64	1.33	0.14
70	7.8	24.06	12.02	5.64	2.04

표 5. 송, 수신기 깊이/거리별 변조주파수변환구간 (a),(b) 송신기깊이 30 m, (c),(d) 송신기깊이 50 m, (e),(f) 송신기깊이 70 m
 Table 5. Each modulation frequency transfer periods depends on depth/distance. (a),(b) transmitter depth 30 m, (c),(d) transmitter depth 50 m, (e),(f) transmitter depth 70 m.

(a) 변조주파수변환구간 (단위 : ms)

수신기 깊이 (m)	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
송수신기간거리 (m)											
150	15.12	15.12	15.12	16.11	16.11	16.11	15.64	17.15	16.48	-	-

(b) 변조주파수변환구간 (단위 : ms)

수신기 깊이 (m)	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
송수신기간거리 (m)											
70	16.11	16.23	16.35	16.46	15.12	15.23	15.34	15.45	15.59	15.66	14.31

(c) 변조주파수변환구간 (단위 : ms)

수신기 깊이 (m)	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
송수신기간거리 (m)											
150	17.54	17.54	17.58	19.00	19.01	19.01	19.13	19.11	19.11	19.11	17.75

(d) 변조주파수변환구간 (단위 : ms)

수신기 깊이 (m)	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
송수신기간거리 (m)											
50	19.01	19.14	19.28	19.42	19.55	18.23	18.36	18.48	18.61	18.74	18.87

(e) 변조주파수변환구간 (단위 : ms)

수신기 깊이 (m)	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
송수신기간거리 (m)											
250	22.08	22.08	22.08	22.12	24.06	24.06	24.06	24.05	24.05	24.05	26.09

(f) 변조주파수변환구간 (단위 : ms)

수신기 깊이 (m)	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255
송수신기간거리 (m)											
70	23.55	23.65	23.76	23.86	23.96	24.06	24.17	24.27	22.4	22.5	22.59

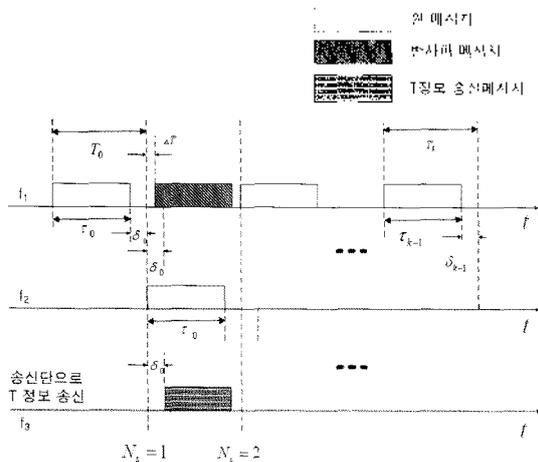


그림 9. 적응BISMO알고리즘 관계도
 Fig. 9. Diagram of adaptive BISMO algorithm.

변환사실을 인지하도록 하며 이와 함께 MFSP를 비교하

여 송, 수신단간에 MFSP의 일치 및 데이터 유실 사실을 인지하도록 한다.

식 6은 첫 번째 MFSP이며 식 7은 2번째 MFSP이다.

$$T_0 - \tau_0 + \delta_0 \tag{6}$$

τ_0 는 첫 Data 전송 시간이며, $\delta_0 = T_0\alpha$ 는 첫 MFSP에 따른 지연시간 변화를 나타낸다.

N_j 는 변조 방식 변환 횟수이며, α 는 모의실험결과를 통해 구한 1초 동안 최대 MFSP변이량 (0.00204 Sec)이다.

$$T_1 = (T_0 \pm \Delta T_0) \tag{7}$$

ΔT_1 는 거리 변화에 따른 지연 시간 변화이며, 두 번째

MFSP에 따른 지연시간 변화는 식 8과 같다.

$$\delta_1 = (T_0 \pm \Delta T)\alpha \tag{8}$$

결과 k+1번째 T는 식 9와 같으며 MFSP에 따른 지연시간 변화는 식 10과 같다.

$$T_k = (T_{k-1} \pm \Delta T_{k-1}) \tag{9}$$

$$\delta_k = (T_{k-1} \pm \Delta T_{k-1})\alpha \tag{10}$$

적용 BISMO알고리즘의 전체 throughput은 통신개시 시 1회의 파일럿 펄스 왕복시간의 데이터 전송량이 작다고 가정하면 식 11과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Throughput} &= (T - T\alpha) (f_1\text{주파수에서 QPSK의 bps} \\ &\quad + f_2\text{주파수에서 QPSK의 bps})/2T \\ &= (1-\alpha) (f_1\text{주파수에서 QPSK의 bps} + \\ &\quad f_2\text{주파수에서 QPSK의 bps})/2 \\ &\approx 0.99796 (f_1\text{주파수에서 QPSK의 bps} + \\ &\quad f_2\text{주파수에서 QPSK의 bps})/2 \end{aligned} \tag{11}$$

IV. 적용 BISMO알고리즘 모의실험

제안한 적용 BISMO알고리즘에 대한 모의실험으로 3.2.1절의 모의실험자료를 이용하였으며, f_1 은 20 kbps, f_2 는 18 kbps의 데이터 속도를 사용하였다.

그림 10은 QPSK와 적용 BISMO알고리즘의 BER (Bit Error Rate) 성능을 나타내었다.

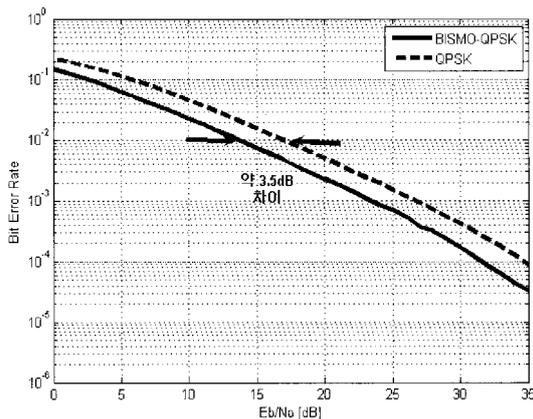


그림 10. QPSK와 적용BISMO알고리즘 BER 비교
Fig. 10. Comparison of QPSK and adaptive BISMO algorithm.

모의실험결과를 통해 수중에서 단일주파수를 이용하는 QPSK 통신방식보다 2개의 주파수를 사용하는 적용 BISMO 알고리즘 통신방식이 같은 비트오류율에서 약 3.5 dB의 낮은 S/N을 갖는 것을 확인할 수 있다.

또한 전체 throughput은 18,961 bps가 나옴을 알고리즘 계산을 통하여 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 수중음향통신 시 다중경로 페이딩을 회피하기위한 적용 BISMO알고리즘을 제안하였고, 다양한 다중경로 모의실험을 통해 MFSP를 구하였다. 통신을 위한 최소 MFSP를 10 ms로 정한다면 모의실험 결과 MFSP가 10 ms 이상되는 구간은 송수신기 깊이 30 m 이상, 송수신기간 거리 약 250 m 이내라고 할 수 있다. 그러므로 적용 BISMO알고리즘은 원거리 통신보다 UUV 운용 등의 근거리 해저통신에 적합하다고 할 수 있다.

또한 적용 BISMO알고리즘의 모의실험을 수행하여 단일 주파수를 사용하는 QPSK방식과 적용 BISMO 알고리즘의 BER을 비교하였다. 모의실험결과 같은 비트오류율에서 단일주파수를 이용하는 QPSK 통신방식보다 두 개의 주파수를 사용하는 적용 BISMO 알고리즘 통신방식이 더 넓은 대역폭을 사용하지만, 같은 비트오류율에서 약 3.5 dB의 낮은 E_b/N_0 를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 QPSK방식에 TDM방식의 혼합으로 3.5 dB의 E_b/N_0 이득을 얻는 것은 전송손실이 심한 수중에서 송신파위 절감으로 그 효용성이 있다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

참고 문헌

1. 박지현, 백승관, 노용주, 윤종락, "수중통신채널에서 FSK, BPSK, DPSK의 성능비교" 한국해양정보통신학회 춘계종합학술대회지, 5(1), 359-362, 2001.
2. M.B. van Gijzen and P.A van Walree "Shallow-Water Acoustic Communication with High Bit Rate BPSK Signals" Oceans 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition, 3, 1621-1624, 2000.

3. Jin-Woo Jung and Taebo shim "Performance Analysis of and Underwater Acoustic Communication System Combining AMC and STBC Techniques" The Journal of The Acoustical Society of Korea, 26(3E), 97-103, 2007.
4. 조진수, 정승백, 심태보, "PSK 변조방식이 수중통신에 미치는 영향에 관한 연구" 한국음향학회지, 26(7), 366-374, 2007.
5. Guoqing ZHOU, Jinsoo GHO, and Taebo SHIM, "Underwater Acoustic Communication Channel Capacity In The Sloping Condition" Joint Conference on Acoustic, 135-138, 2007.
6. Adam Zielinski "Performance Analysis of Digital Acoustic Communication in a Shallow Water Channel" IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, 20(4), 293-299, 1995.
7. P. Faure, "Theoretical model of reverberation noise." J, Acoust, Soc, Am, 36, 259-266, 1964.
8. 박순식, 조진석, 윤관섭, 나정열, 석동우, 주진용 "주파수 종속성을 갖는 고주파 해저면 반사손실 모델" 한국음향학회지 23(5) 362-369, 2004.
9. w. burdic, Underwater Acoustic System Analysis (Prentice hall, New Jersey, 2003), Chap. 5, pp.127-138.
10. W. Stallings, Data & computer communication (Prentice hall, 2006) Chap. 7-8.
11. R.S.Hstepanian, M.Stojanovic, Underwater Acoustic Digital Signal Processing and Communication Systems (Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002), Chap. 1, pp.3-12.

저자 약력

• 임 병 욱 (Byungook Im)



2007년 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업 (공학사)
2007~ 현재 : 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정

• 심 태 보 (Taebo Shim)



1974년 : 서울대학교 물리대 졸업
1980년 : 서울대학교 문리대 대학원 졸업 (물리 해양학 석사)
1986년 : 미국 Louisiana 주립대학교 졸업 (물리 해양학 박사)
1986~2005년 : 국방과학연구소 해양/음향 연구실장, 해양기술부장, 해군무기체계 개발본부 본부장 역임
2005년~ 현재 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
※관심분야 : 수중음향 모델링, 수중음향 신호처리, 수중음향 통신, 수중음향 영상처리