
Multipath를 고려한 수중 초음파 통신시스템의 구현

임용곤*, 박종원*, 김천석**, 이영철***

An Implementation of Modulation/ Demodulation System Based on the Multipath Analyses for the Acoustic-based Communication

Yong-Kon Lim*, Jong-Won Park*, Chun-Suk Kim**, Young-Chul Lee***

Key Word : Multipath, 화상통신, 변조, 복조, AUV(Autonomous Underwater Vehicle), QPSK

요 약

본 논문은 수중에서 초음파를 이용하여 데이터를 전송할 때, 전체 성능에 영향을 주는 Multipath를 수학적
으로 분석하였고, 분석된 결과를 이용하여 Multipath의 영향을 고려한 수중 초음파 통신시스템을 구현하였다.

표면이나 해저면, 반사물등에 의한 신호의 반사로 인한 Multipath를 이상적인 채널을 가정하여 각 신호에
대하여 수학적으로 모델링하였으며, multipath에 의한 영향을 살펴보기 위해 SMR(Signal to Multipath Ratio)
파라미터를 도입하였으며 MATLAB을 이용하여 모의실험하였다.

주파수 대역폭의 심한 제약을 가지고 있는 수중 초음파 환경에서 보다 효율적인 데이터 전송을 위하여 $\pi/4$
QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변복조 방식을 도입하였고, 이 변복조 방식을 이용하여 수중 초음파 환
경에서 보다 효율적인 시스템을 구현하였다.

Abstract

This paper deals with an analysis of multipath which affect a transmission performance in underwater
acoustic channel. For the test of autonomous underwater vehicle(AUV), underwater acoustic channel with
multipath structure is introduced to mathematical modelling for a basin environment. In this paper, SMR(Signal
to Multipath Ratio) which is defined as a parameter of multipath's effect is presented as a mathematical
equation, and the equation of SMR is simulated by MATLAB program.

* 한국기계연구원 선박해양공학연구센터

** 국립 여수수산대학교 전자통신공학과

*** 경남대학교 전자공학과

접수일자 : 1997년 9월 9일

대하여 수학적으로 모델링하였으며, multipath에 의한 영향을 살펴보기 위해 SMR(Signal to Multipath Ratio) 파라미터를 도입하였으며 MATLAB을 이용하여 모의실험하였다.

주파수 대역폭의 심한 제약을 가지고 있는 수중 초음파 환경에서 보다 효율적인 데이터 전송을 위하여 $\pi/4$ QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변복조 방식을 도입하였고, 이 변복조 방식을 이용하여 수중 초음파 환경에서 보다 효율적인 시스템을 구현하였다.

1. 서 언

심해저 개발에 대한 관심이 선진국을 중심으로 높아져 가는 현 시점에서 자원개발, 해양오염원 제거, 인양작업 등의 심해저 작업을 위해서 수중 로봇 시스템의 개발이 활발히 진행중에 있다. 특히 원할한 해저 탐사를 위해서는 Umbilical Cable이 없어 유연한 업무수행이 가능한 Autonomous Underwater Vehicle(AUV)의 개발이 필수적이다.

수중에서의 작업이나 탐사를 위해서는 수중 시스템이 갖고 있는 계측데이터, 화상 데이터, 시스템의 상태 데이터 및 항해 데이터등을 취득하여 처리할 수 있어야 하며, 이 처리된 데이터를 모선에 전달하여 모선에서 수중의 작업현황이나 해저의 모습을 알수 있게 하여야 한다.

한편, 고주파나 광학에너지 등을 이용한 수중에서의 전송방법은 신호의 심한 감쇄현상으로 인해 원거리 전송이 불가능하기 때문에 수중통신은 수중에서 전파특성이 우수한 초음파를 전달매체로서 사용한다. 하지만, 깊이가 낮은 천해역이나 일반적인 수조와 같은 좁은 수중환경에서는 물의 표면이나 바닥 및 커다란 물체로부터 발생하는 초음파의 반사로 인해 다중경로 구조를 갖기 때문에 전송성능에 커다란 영향을 주게 된다[4].

따라서, 수중 초음파 통신에서의 다중경로의 영향을 살펴보기 위해 다중경로 구조를 갖는 채널을 수학적으로 모델링하여 다중경로의 영향이 전송에 어떤 영향을 주는지 살펴보았으며, MATLAB 프로그램을 이용하여 이를 시뮬레이션 해보았다.

또한, 초음파 신호는 고주파나 전기 에너지 등의 신호들과는 다르게 수중에서 전파특성이 좋아 원거리 전송이 가능하지만, 주파수 대역의 제약이 따른다는 단점을 가지고 있다[1][2]. 따라서 제한된 주파수 대역을 갖는 초음파 통신에 있어서 주파수 대

역폭의 효율이 높은 $\pi/4$ QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변·복조 방식을 사용하여 시스템을 구현하였다[3].

II. Multipath 해석 및 시뮬레이션

1. 수중채널의 Multipath 해석

수중 채널에서는 물체나 채널 경계면에서의 반사로 인한 multipath가 존재한다. 천해역의 채널이 그림 1과 같은 채널 구조를 갖는다고 가정하고, 물의 깊이(h)와 음속(c)가 일정하다고 가정한다[5].

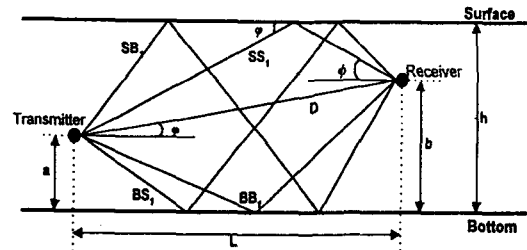


그림 1. Multipath를 갖는 채널의 Geometry
Fig. 1. A Geometry of the multipath channel

그림에서 D는 반사없이 수신기로 직접오는 신호 경로이며, SSn는 표면에서 반사되는 경로이고, SBn는 표면에서 반사된 신호가 해저에서 재반사되는 경로이며, BSn은 해저에서 반사된 신호가 표면에서 재반사되는 경로이고, BBn는 해저에서 반사되는 경로를 나타낸다.

천해역에서 경로의 길이는 채널의 길이가 깊이보다 매우 길기 때문에 Binomial Expansion에 의해 다음과 같이 근사화할 수가 있다.

$$D = \sqrt{L^2 + (b-a)^2} \approx L + \frac{1}{2L} (b-a)^2$$

$$\begin{aligned}
 SSn &= \sqrt{L^2 + (2nh - (a+b))^2} \\
 &\simeq L + \frac{1}{2L} (2nh - (a+b))^2 \\
 SBn &= \sqrt{L^2 + (2nh - (a-b))^2} \\
 &\simeq L + \frac{1}{2L} (2nh - (a-b))^2 \\
 BSn &= \sqrt{L^2 + (2nh + (a-b))^2} \\
 &\simeq L + \frac{1}{2L} (2nh + (a-b))^2 \\
 BBn &= \sqrt{L^2 + (2(n-1)h + (a+b))^2} \\
 &\simeq L + \frac{1}{2L} (2(n-1)h + (a+b))^2
 \end{aligned}$$

한편 송신기로부터 표면이나 해저에 반사되는 것이 없는 경로와 multipath와의 신호도착의 차이는 다음과 같이 나타내어진다.

$$\begin{aligned}
 \tau_{SSn} &= t_{SSn} - t_D \simeq \frac{2}{Lc} [n^2 h^2 - nh(a+b) + ab] \\
 \tau_{SBn} &= t_{SBn} - t_D \simeq \frac{2}{Lc} [n^2 h^2 + nh(b-a)] \\
 \tau_{BSn} &= t_{BSn} - t_D \simeq \frac{2}{Lc} [n^2 h^2 + nh(a-b)] \\
 \tau_{BBn} &= t_{BBn} - t_D \\
 &\simeq \frac{2}{Lc} [(n-1)^2 h^2 + (n-1)h(a+b) + ab]
 \end{aligned}$$

각 반사로 인해 감소하는 수중 초음파의 압력은 표면과 해저의 압력 반사계수에 의해 결정되는데, 표면 반사계수는 **Benchmann Spezzichino Model**에 의해 계산될 수 있다[5].

$$\left| \tilde{r}_s \right| = \sqrt{\frac{1 + (f/f_1)^2}{1 + (f/f_2)^2}}, f_2 \simeq 378\omega^{-2}, f_1 = \sqrt{10}f_2$$

해저에서의 180도 반사를 고려할 때, 반복된 표면과 해저의 반사에 의한 압력 손실은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 R_{SSn} &\simeq - \left| \tilde{r}_s \right|^n, R_{SBn} \simeq \left| \tilde{r}_s \right|^n \\
 R_{BSn} &\simeq \left| \tilde{r}_s \right|^n, R_{BBn} \simeq - \left| \tilde{r}_s \right|^{n-1}
 \end{aligned}$$

i번째 경로를 거쳐 수신된 신호크기(α_i)는 위에서 구해진 반사계수와 압력손실로서 표현이 되며, 수신된 신호는 i번째 경로를 거쳐서 들어온 신호의 크기와 direct path의 신호와 반사된 신호사이의 도착시간의 차이(τ_i)로서 표현된다.

$$\begin{aligned}
 r(t) &= \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i x(t - \tau_i) \\
 &= \frac{e^{ju(t-t_D)}}{D} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{R_{SSn}}{SSn} e^{ju(t-t_{SSn})} + \frac{R_{SBn}}{SBn} e^{ju(t-t_{SBn})} + \frac{R_{BSn}}{BSn} e^{ju(t-t_{BSn})} + \frac{R_{BBn}}{BBn} e^{ju(t-t_{BBn})} \right]
 \end{aligned}$$

Direct path 신호에 의해 Normalize된 수신된 신호의 표현은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 r(t) &= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_{SSn} e^{ju(t-t_{SSn})} + \alpha_{SBn} e^{ju(t-t_{SBn})} \\
 &\quad + \alpha_{BSn} e^{ju(t-t_{BSn})} + \alpha_{BBn} e^{ju(t-t_{BBn})} \\
 \alpha_{SSn} &= \frac{D}{SSn} R_{SSn}, \alpha_{SBn} = \frac{D}{SBn} R_{SBn}, \\
 \alpha_{BSn} &= \frac{D}{BSn} R_{BSn}, \alpha_{BBn} = \frac{D}{BBn} R_{BBn}
 \end{aligned}$$

수신된 신호는 현재의 direct path 심볼이 반사됨에 따라 발생하는 self-multipath interference와 현재의 direct path 신호에 앞서서 전송된 심볼들에 의해 발생하는 cross cross multipath interference를 갖게된다.

전체 신호의 세기 S는 아래와 같이 multipath 신호의 크기와 observation window에 채워지는 시간에 비례하게 된다. r은 self multipath가 갖는 interferer의 수를 나타낸다.

$$S = \left| \sum_{i=1}^r \left(1 - \frac{\tau_i}{T_s} \right) S_i \right|$$

한편 multipath 신호의 세기 M은 아래식과 같이 표현되는데, 첫 번째 부분은 관찰 윈도우의 앞부분의 다중경로 신호의 존재에 의한 것이며, 두 번째 부분은 신호 폭(T_s)보다 큰 지연을 갖는 이전에 전송된 모든 신호요소에 의한 표현이다.

$$M_s = \left| \sum_{i=2}^L \frac{\tau_i}{T_s} S_i \right| + \sum_{i=1}^{\infty} |S_i|$$

잡음이 심한 통신환경에서 전송성능을 비교하기 위해 SNR(Signal to Noise Ratio)이라는 파라미터를 정의하여 사용한다. 이와 유사하게 초음파의 다중경로가 통신의 전송성능에 얼마나 영향을 주는지 알기 위해 SMR(Signal-to-Multipath Ratio)이라는 파라미터를 사용한다. SMR은 신호세기 S와 다중경로의 세기 M의 비로서 정의되며, 아래의 식에 의해 표현된다.

$$SMR = \frac{|S|}{|M|}$$

SMR 파라미터는 송신신호가 다중경로에 의해 어떻게 영향을 받는지 알 수 있는 척도가 되며, 특히 자율무인잠수정(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)의 제어 및 알고리즘을 테스트하기 위한 Test-Bed AUV의 수조환경에서의 전송성능을 알아보기 위해 다음절에서 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션을 하였다.

2. Multipath 시뮬레이션

한국기계연구원이 보유하고 있는 길이 200m, 깊이가 20m 그리고 폭이 8m인 수조에서의 SMR 시뮬레이션을 하였다. 수조에서의 시뮬레이션을 위한

시스템의 파라미터 및 환경변수들의 파라미터들의 값은 표 1과 같다.

표 1. 수조환경에 대한 파라미터 값

Table 1. The parameter value at the basin environment

(a) system parameters	
carrier frequency	50 khz
channel bandwidth	4.0 khz
signalling rate	4.0 ksymbol/s
(b) channel parameters	
channel depth	20 m
channel length	200 m
wind speed	20 knots
sound speed	1500 m/s

Operating frequency가 50kHz이고 대역폭이 4Khz 인 Furuno에서 만든 초음파 센서를 이용하였으며, 길이가 200m, 깊이가 20m인 수조에서의 신호에 대한 Multipath의 영향을 살펴보고자 한다. 신호에 대한 Multipath의 영향은 MathWorks사에서 C로 개발한 MATLAB(MATrix LABoratory) 프로그램을 사용하여 시뮬레이션을 하였는데, 표 1을 이용한 시뮬레이션 결과는 그림 2와 같고, 시뮬레이션의 결과치는 표 2와 같다. 그림은 수신기의 높이가 각각 8m, 10m, 12m일 때, 송신기의 높이에 따른 SMR

표 2. 수신기의 높이가 8m, 10m, 12m일때의 Simulation 결과치

Table 2. The result value of simulation at a receiver has 8m, 10m, 12m height

(a) 수신기의 높이가 8m일 때(a receiver height = 8 m)

	송신기의 높이(m)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SMR	0.029	0.050	0.074	0.098	0.120	0.140	0.156	0.170	0.181	0.188	0.191
S	1.193	2.033	3.056	4.077	5.042	5.920	6.691	7.340	7.854	8.227	8.454
M	40.57	40.95	41.32	41.69	42.05	42.41	42.77	43.12	43.47	43.82	44.16
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
SMR	0.192	0.189	0.184	0.177	0.168	0.159	0.150	0.144	0.141	0.142	
S	8.539	8.487	8.313	8.038	7.694	7.322	6.976	6.723	6.628	6.745	
M	44.50	44.84	45.17	45.50	45.83	46.15	46.46	46.78	47.09	47.40	

(b) 수신기의 높이가 10m일때(a receiver height = 10m)

	송신기의 높이(m)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SMR	0.029	0.050	0.074	0.098	0.120	0.140	0.156	0.170	0.181	0.188	0.191
S	1.166	2.270	3.421	4.526	5.550	6.471	7.270	7.945	8.452	8.823	9.040
M	40.49	40.96	41.43	41.89	42.36	42.81	43.27	43.72	44.16	44.61	45.05
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
SMR	0.192	0.189	0.184	0.177	0.168	0.159	0.150	0.144	0.141	0.142	
S	9.110	9.044	8.860	8.585	8.256	7.920	7.639	7.476	7.493	7.728	
M	45.48	45.91	46.34	46.77	47.19	47.60	48.02	48.43	48.83	49.23	

(c) 수신기의 높이가 12m일때(a receiver height = 12m)

	송신기의 높이(m)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SMR	0.028	0.058	0.085	0.110	0.133	0.152	0.168	0.180	0.189	0.195	0.197
S	1.140	2.356	3.533	4.641	5.656	6.562	7.343	7.987	8.487	8.839	9.044
M	40.39	40.96	41.052	42.09	42.65	43.20	43.75	44.30	44.84	45.38	45.91
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
SMR	0.196	0.193	0.187	0.180	0.173	0.165	0.160	0.157	0.158	0.163	
S	9.110	9.050	8.885	8.645	8.371	8.111	7.924	7.866	7.987	8.311	
M	46.44	46.97	47.50	48.01	48.53	49.04	49.55	50.05	50.55	51.05	

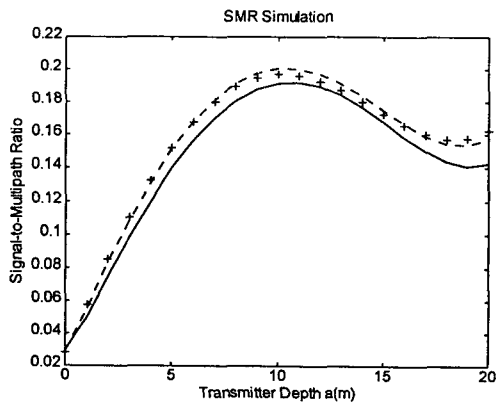


그림 2. 수신기의 높이가 각각 8m, 10m, 12m일 때, 송신기의 높이에 따른 SMR의 변화

Fig. 2. The SMR change of the transmitter height at the receiver height 8m, 10m, 12m(Signal to

Multipath Ratio)을 나타내고 있으며, 표는 각각의 수신기의 높이에 대한 SMR과 Signal Strength(S)와 Multipath(M)의 계산치를 보여주고 있다(a는 송신기의 높이를 나타내며, b는 수신기의 높이를 나타

낸다). 그림 2에서 라인으로 그려진 그래프는 수신기의 높이가 8m일때의 SMR을 나타내며, 점으로 표시된 그래프는 수신기의 높이가 10m일때의 SMR을 나타내고 있다. 또한, '+'로 표시된 그래프는 수신기의 높이가 12m일때의 SMR을 나타내고 있다. 그림 2의 결과로부터 송신기의 높이가 중앙보다 높으면 수신기의 높이는 중앙보다 낮아야 Multipath의 영향을 덜 받음을 알수가 있다.

반대로 송신기의 높이가 중앙보다 낮으면 송신기의 높이가 중앙보다 높아야 Multipath의 영향을 덜 받는다는 것을 알수가 있다. 따라서 Multipath의 영향을 가장 적게 받기 위해서는 수신기와 송신기의 높이가 중앙에 위치해야 함을 알수가 있었다.

또한 수신기의 높이가 8m, 10m, 12m일때의 각각의 Signal Strength(S)와 Multipath(M)의 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같은데, 선으로 표시된 그래프는 수신기의 높이가 8m일때의 S 그래프를 나타내고, 점으로 표시된 그래프는 수신기의 높이가 10m일때의 S 그래프를 나타내며, '+'로 표시된 그래프는 수신기의 높이가 12m일때의 S 그래프를 나타낸

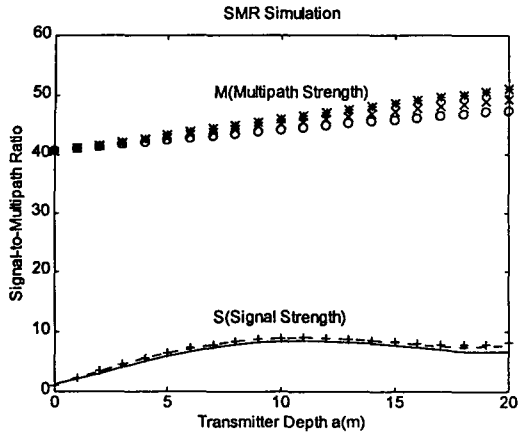


그림 3. 수신기의 높이가 8m, 10m, 12m일 때, 송신기의 높이에 따른 S와 M의 변화
 Fig. 3. The change of S and M along a transmitter height at a receiver has 8m, 10m, 12m height.

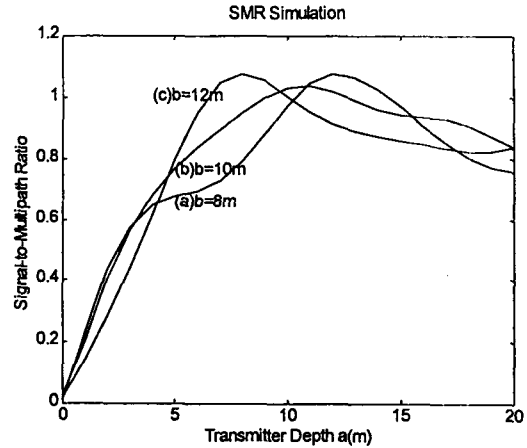


그림 4. 길이가 10 km인 수조하에서의 수신기의 높이가 8m, 10m, 12m일때의 SMR의 변화
 Fig. 4. The change of SMR along a transmitter has 8m, 10m, 12m height in a basin with 10km length

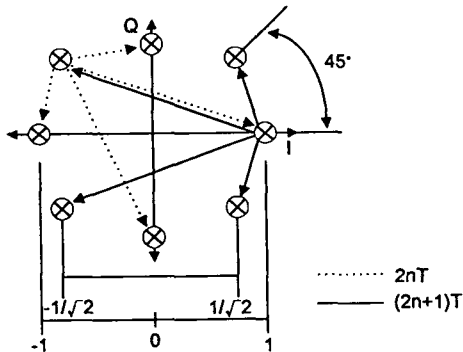


그림 5. $\pi/4$ shift QPSK 성상도
 Fig. 5. Signal Constellation for $\pi/4$ shift QPSK

다. 또한 'o'로 표시된 그래프는 수신기의 높이가 8m의 M 그래프를 나타내고, 'x'로 표시된 그래프는 수신기의 높이가 10m의 M 그래프를 나타내며, '*'로 표시된 그래프는 수신기의 높이가 12m의 M 그래프를 나타낸다.

실제 수조환경에대한 시뮬레이션의 결과 SMR값이 약 0.2정도 되어 Multipath의 영향이 심각함을 알 수가 있었다. 그리고, Multipath의 영향을 더 고려해 보기 위해 길이가 10 km인 수조를 가정하고, 나머지 파라미터를 그대로 사용한 시뮬레이션을 하였다.

10km의 수조환경을 가정한 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다. 그림 4는 수신기의 깊이를 8m, 10m, 12m로 설정했을 때, 각 송신기의 깊이에 따른 SMR의 변화를 보여주는 그래프이며, 이 결과로부터 SMR이 1 보다 큰 값이 나온 것을 알 수 있으며, 길이가 10 km인 수조환경이 길이가 200 m인 수조환경보다 Multipath의 영향을 적게 받는다는 것을 알 수 있다.

III. $\frac{\pi}{4}$ QPSK 알고리즘

제한된 주파수대역을 갖는 초음파 통신에 있어서 주파수 대역폭 효율이 높은 장점을 가지고 있는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조방식은 아주 효과적이다. $\pi/4$ QPSK 변조방식은 그림 5에서 볼 수 있듯이 데이터의 첫 번째 심볼구간 ($2nT$)에서 비트쌍(digit)이 표 3에 나타난 Gray 코드에 의해 QPSK 변조되어 신호 이동이 이루어진다. 다음 심볼구간인 $(2nT+1)$ 에서 신호의 이동을 위해서 반시계 방향으로 45° 이동된 새로운 축으로 하여 표 3에 의해 QPSK 변조한 후 다음 심볼구간을 위해 45° 더 이동하면 첫 번째 심볼구간의 신호 이동

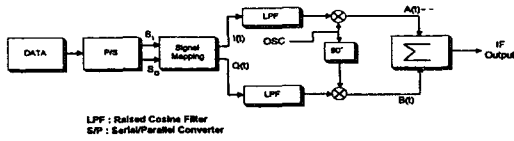


그림 6. $\pi/4$ -shift QPSK 변조기 블록도
Fig. 6. A block diagram of $\pi/4$ shift QPSK Modulator

도가 되어 이들 두 신호축이 반복하게 된다. 따라서 전체 신호 성상도는 그림 5의 $\pi/4$ -QPSK 성상도에서와 같이 외견상 8-PSK 처럼 보이며 I 축을 현재의 위상축으로 하면 송신측에서 차등부호화 하여 송신할 경우 연속된 심볼의 상대적인 위상차는 45° 가 된다.

진폭의 변화량은 원점을 통과하지 않으므로 QPSK 보다는 작게 되어 동상채널로의 투영치는 위의 그림에서와 같이 첫 번째 심볼구간 ($2nT$)에서는 $-1/\sqrt{2}$, $1/\sqrt{2}$ 중의 한 값이고, 두 번째 심볼구간 ($2nT+1$)에서는 $-1, 0, 1$ 중의 한값을 취하게 되어 두 심볼마다 이들 값이 반복되게 된다.

표 3. 비트쌍에 대한 위상 편이량
table 3. Phase Variance by the two bits

비트쌍	QPSK	$\pi/4$ -shift QPSK
b1k b2k	$\Delta \varphi_k$	$\Delta \varphi_k + \pi/4$
0 0	0	$0 + \pi/4 = \pi/4$
1 1	$\Delta \varphi_k/2$	$\pi/2 + \pi/4 = 3\pi/4$
0 1	π	$\pi + \pi/4 = -3\pi/4$
1 0	$-\pi/2$	$-\pi/2 + \pi/4 = -\pi/4$

송신기의 구성은 그림 6과 같이 구성되는데, 우선 생성된 데이터원은 비트쌍을 형성하기 위하여 직/병렬 변환을 한후 표 3에 따라 인접 심볼간 편이량 $\Delta \varphi_k$ 를 결정한다. 따라서 I_k 와 Q_k 는 아래의 식과 같이 표현된다.

$$I_k + jQ_k = (I_{k-1} + jQ_{k-1}) \cdot \exp(\Delta \varphi_k)$$

$$I_k = I_{k-1} \cdot \cos(\Delta \varphi_k) - Q_{k-1} \cdot \sin(\Delta \varphi_k)$$

$$Q_k = I_{k-1} \cdot \sin(\Delta \varphi_k) + Q_{k-1} \cdot \cos(\Delta \varphi_k)$$

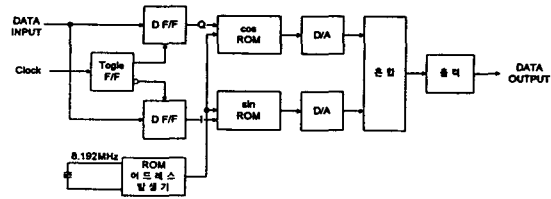


그림 7. $\pi/4$ QPSK 변조회로
Fig. 7. A circuit of $\pi/4$ QPSK Modulation

φ_k 를 f번째 심볼에 대한 절대 위상값이라고 하면 I_k 와 Q_k 의 식은 아래의 식과 같이 표현된다.

$$I_k = \cos(\varphi_k) = \cos(\varphi_{k-1} + \Delta \varphi_k)$$

$$Q_k = \sin(\varphi_k) = \sin(\varphi_{k-1} + \Delta \varphi_k)$$

이 값들은 그림 5의 성상도와 같이 정규화된 $\pm 1/\sqrt{2}, 0, \pm 1$ 중의 한 값을 취하게 되어, 송신 펄스가 완전히 대역에 의해 제한된다면 변조신호는 위상변조 신호라기 보다 진폭변조 신호에 가깝게 된다.

IV. 변조·복조 시스템의 구현 및 실험결과

압축된 화상정보나 계측 정보, 상태정보 등의 디지털 데이터는 $\pi/4$ QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조 기법을 사용하여 전송하게 된다. QPSK 변조방식은 연속하는 '0'과 '1'의 디지털 신호를 2비트씩 구절되어 나온 비트열이 다른 4가지 상태에 각각 90도의 위상차를 가진 반송파의 상태를 할당하는 방법으로, 수신측에서는 반송파의 위상을 판정하여 원래의 데이터 신호로 복원하게 된다. $\pi/4$ QPSK 변조회로는 그림 7과 같이 구성되어 있다.

Clock은 Toggle 플립플롭에 의해 1/2로 분주되어 위상이 각각 반전된 홀수 클럭과 짝수 클럭으로 나뉘게 된다. 입력된 데이터는 D 타입의 플립플롭에 의해 홀수 클럭과 짝수 클럭파형의 상승에지에서 수납되며, 위상이 1클럭 벗어난 홀수 데이터 I와 짝수 데이터 Q로 2분할된다. 짝수 데이터 Q는 코사인 위상을 갖는 반송파와 홀수 데이터 I는 90도 위상차가 있는 사인파의 위상을 갖는 반송파가 곱해지게 된다. 여기서의 곱셈은 데이터가 '1'일 때에

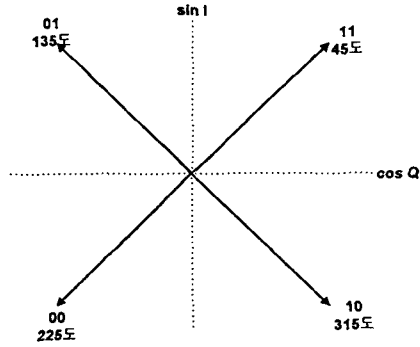


그림 8. $\pi/4$ QPSK의 반송파 위상과 데이터
Fig. 8. A phase and data of $\pi/4$ QPSK

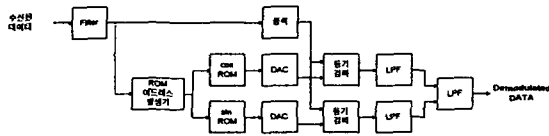


그림 9. $\pi/4$ QPSK의 복조회로의 구성
Fig. 9. A configuration of $\pi/4$ QPSK Modulation circuit

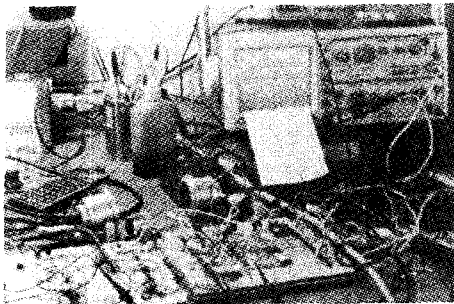
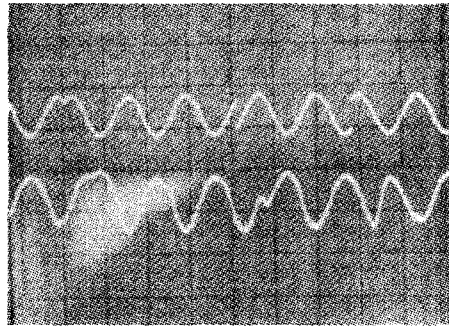
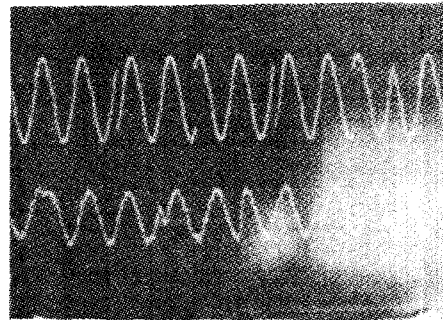


그림 10. 구현된 변·복조 시스템
Fig. 10. Implemented Modulation and Demodulation System

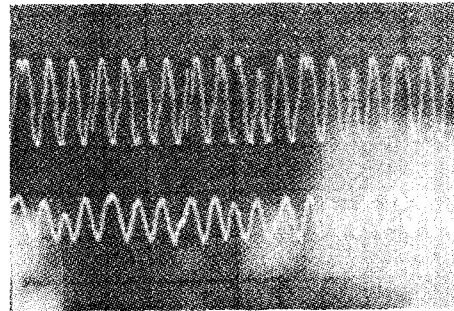
는 반송파의 위상은 그대로, 데이터가 '0'일 때에는 반송파의 위상을 반전시켜 180도 바꾸어 주는 것을 말한다. 변조를 받은 사인파의 위상을 갖는 반송파는 원래의 90도 위상에 더해지고, 변조 데이터가 '0'일 때에는 반전된 270도 위상을 갖게 된다. 변조를 받은 코사인 반송파의 위상은 변조 데이터가 '1'



(a) Center Freq. = 83 KHz
Data Transmission Rate = 900 bps
Distance in air = 12 cm



(b) Center Freq. = 83 KHz
Data Transmission Rate = 600 bps
Distance in air = 55 cm



(c) Center Freq. = 83 KHz
Data Transmission Rate = 2000 bps
Distance in air 55 cm

그림 11. 변복조 시스템의 실험결과
Fig. 11. A experimental result of Modulation and Demodulation system.

일 때에는 0도, '0'일 때에는 180도이다. 이 두가지 변조된 반송파가 합성되어 하나의 변조된 데이터로 바뀌게 되는데, 최후의 변조된 위상은 그림 5에서 나타낸 바와 같이 0도와 90도가 더해졌을때는 중간인 45도, 90도와 180도의 경우는 135도, 마찬가지로 225도와 315도로 더해진 결과를 발생한다. 반송파의 근원이 되는 ROM 어드레스 발생기의 주파수는 8.192 MHz로 하고, 이것을 1/1024로 분주하여 반송파의 주파수를 8 KHz로 한다.

QPSK의 복조회로는 그림 9와 같이 구성되는데, 변조된 파형에서 코사인인 위상을 갖는 반송파와 90도 회전한 사인인 위상을 갖는 반송파를 만들어 낸다. 이 두 반송파와 입력된 신호를 곱하여 원래의 Q신호와 I신호를 복원한다. 최후에 I와 Q로 분리되어 있는 데이터를 하나로 합하여 원래의 데이터로 복조하게 된다. 회로의 LPF(Low Pass Filter)는 적분기로서 사용되는데, 적분기를 넣음으로서 잡음에 강한 복조회로가 된다.

ROM 어드레스 발생기의 회로는 필터를 거쳐 잡음이 제거된 신호를 구형파로 정형하고, 상승과 하강에지에서 미세한 펄스로 만든후 이 에지신호를 근거로 하여 사인과 코사인의 위상을 갖진 두 반송파를 재생하는데 사용된다.

$\pi/4$ QPSK 변조·복조 회로를 구현한 사진은 그림 10과 같고, 이 시스템을 이용하여 나온 변조신호의 출력파형은 그림 11과 같다. 실험에 사용된 트랜스듀서의 중심주파수는 83KHz이고 센서간의 거리는 12cm와 55cm일때의 공기중에서의 통신실험을 수행하였다.

V. 결 언

수중에서 초음파를 이용한 통신에서 전송성능에 심각한 영향을 끼치는 다중경로를 고려하여 수중 통신시스템을 설계하기 위하여, 다중경로 구조를 갖는 수중채널을 수학적으로 모델링하였다. 수학적으로 모델링한 결과를 이용하여 수조 모델에서의 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과로부터 수조가 다중경로에 의해 전송성능에 많은 영향을 갖음을 알수가 있었다. 또한, 시뮬레이션 결과로부터 송신기와 수신기의 위치에 따라 다중경로의

영향을 다르게 받는다는 것을 알 수 있었으며, 수중환경에서의 다중경로에 관한 시뮬레이션은 다중경로에 의해 영향을 덜 받는 수중 통신 시스템(AUV)의 위치선정을 가능하게 할 수 있다.

또한, 주파수 대역의 한계를 갖는 초음파를 이용한 통신에서 주파수 대역폭의 효율이 좋은 $\pi/4$ QPSK 변·복조 알고리즘을 도입하여 화상통신 시스템을 위한 변·복조 시스템을 구성하여, 중심주파수가 83KHz인 초음파 센서를 이용하여 각각 거리가 12cm, 55cm에 대한 공기중 실험을 통해 변복조 시스템을 구현하였다. 본 논문에서 구현된 $\pi/4$ QPSK 변·복조 시스템은 공기중에서 센서의 거리가 55cm 떨어져 있을때 최대 2000bps정도의 성능을 가지고 있으며, AUV내의 화상통신 시스템에서 압축된 데이터를 처리하기 위한 아날로그 보드로서 사용될 수가 있다.

후 기

본 연구결과는 과기처의 출연연 기관고유 사업의 일환으로 수행된 "200m급 탐사용 AUV(III)" 연구 결과의 일부임을 밝혀 둔다.

참 고 문 헌

- [1] Willam S. Burdic, *Underwater Acoustic System Anaysis*, 2nd Edition, Prentice Hall, 1991
- [2] R. Kennedy, *Fading Dispersive Communications Channels*, Wiley, 1969
- [3] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1983
- [4] Josko A. Catipovic, "Performance Limitations in Underwater Acoustic Telemetry", *IEEE Oceanic Eng.*, vol. 15, no. 3, July 1990
- [5] Adam Zielinski, Young-Hoon Yoon and Lixue Wu, "Performance Analysis of Digital Acoustic Communication in a Shallow Water Channel", *IEEE Oceanic Eng.*, vol. 20, no. 4, Oct. 1995
- [6] 이판목외, 해양장비 핵심기술개발 "200m급 탐사용 AUV 개발 III", 한국기계연구원 KRISO 연구보고서 BCN010-1585·D, 1996

- [7] 임용곤, 박종원, “초음파 화상통신 시스템의 변
보 및 복조 시스템의 구현”, 한국해양공학회 춘
계학술대회 논문집, 1997. 5
- [8] 임용곤, 박종원, “AUV용 수중 초음파의 통신
환경의 Multipath 해석”, 한국해양공학회 춘계
학술대회 논문집, 1997.5
- [9] KDD, “무삭식 수중 로봇용 수중 화상 초음파
전송시스템의 개발”, 1995

임 용 곤(Yong-Kon Lim)

소 속 : 한국기계연구원 선박해양공학연구센터 해양
기술연구부

직 위 : 선임 연구원

전 화 : 042-868-7530

학 력 : 1979년 충남대학교 전기공학 학사, 1984년
충남대학교 전력전자 석사, 1994년 아주대
학교 전자공학 박사.

경 력 : 1980. 7. 1 ~ 현재 한국기계연구원

주요연구분야 : 초음파 통신, ISDN 네트워크, 선박
및 유인잠수정 전장 설계

박 종 원(Jong-Won Park)

소 속 : 한국기계연구원 선박해양공학연구센터 해양
기술연구부

직 위 : 연구원

전 화 : 042-868-7537

학 력 : 1995년 아주대학교 전자공학 학사, 1997년
아주대학교 전자공학 석사

경 력 : 1997. 3.1~현재 한국기계연구원 선박해양
공학연구센터 해양기술연구부 근무

주요연구분야 : 초음파 통신, 화상통신, DSP, 마이
크로 프로세서 응용

김 천 석(Chun-Suk Kim)

소 속 : 여수수산대학교 전자통신공학과 교수

이 영 철(Young-Chul Lee)

소 속 : 경남대학교 전자공학과 교수