

---

# Multipath를 고려한 수중영상 전송 시스템 설계

임용곤\*, 박종원\*, 최영철\*

A Design of Acoustic-based Underwater Image Transmission System  
Based on the Multipath Analysis.

Yong-Kon Lim, Jong-Won Park, Young-Chol Choi

## 요 약

본 논문은 수중에서 초음파를 이용하여 데이터를 전송할 때 전체 전송성능에 영향을 주는 Multipath를 수학적으로 분석하였고, 분석된 결과를 이용하여 다중경로의 영향을 고려한 수중 초음파 영상통신 시스템을 설계하였다. 주파수 제약환경에 강인한  $\pi/4$  QPSK 알고리즘을 채택하였고, 수중 초음파 통신에서 발생하는 신호의 Ringing 효과를 상쇄하기 위하여 FM 변조방식을 가미한 Hybrid 변복조 시스템을 설계하였다. 또한, 다중경로의 영향을 상쇄하기 위하여 적응 등화기를 설계하였으며, Baseline JPEG 기법을 이용하여 수중영상 압축에 대한 연구를 수행하였다.

## ABSTRACT

This paper deals with an analysis of multipath which affect a transmission performance in underwater acoustic channel. 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.

Furthermore, this paper is also dealt with an implementation of modulation and demodulation system for acoustic transmission. Acoustic Transmission is limited by frequency bandwidth, so  $\pi/4$  QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) methods which is very useful at frequency limitation and FM(Frequency Modulation) are used at acoustic communication system. This implemented hybrid modulation/demodulation system is used as an analog board of image transmission system. In this system, adaptive equalization for reducing the multipath effect and baseline JPEG used for an image compressing are also stated.

---

\* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소  
접수일자: 2000. 12. 26

### I. 서론

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

한편, 고주파나 광학에너지 등을 이용한 수중에서의 전송방법은 신호의 심한 감쇄 현상으로 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[1].

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[2][3]. 따라서 제한된 주파수 대역을

갖는 초음파 통신에 있어서 주파수 대역폭의 효율이 높은  $\pi/4$  QPSK( Quadrature Phase Shift Keying) 변·복조 방식을 사용하여 시스템을 설계하였다[4].

수중 초음파 영상통신 시스템에 있어서 물체나 표면 반사로 인해 발생하는 다중경로를 상쇄시키기 위한 Adaptive Equalizer를 설계하여야 하며, 한정된 주파수 범위 내에서는 낮은 전송속도를 갖기 때문에, 높은 전송성능을 갖기 위해서 수중영상 압축/복원 기법을 도입하여 설계하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 이러한 수중 초음파 영상전송 시스템의 핵심기술에 대한 간략한 소개와 이를 이용한 시스템 설계를 수행하였다.

### II. Multipath 해석 및 시뮬레이션

수중 채널에서는 물체나 채널 경계면에서의 반사로 인한 multipath가 존재한다. 천해역의 채널이 그림 2와 같은 채널 구조를 갖는다고 가정하고, 물의 깊이(h)와 음속(c)가 일정하다고 가정한다[5].

그림 2에서 D는 반사없이 수신기로 직접오는 신호 경로이며, SSn는 표면에서 반사되는 경로이고, SBn는 표면에서 반사된 신호가 해저에서 재 반사되는 경로이며, BBn은 해저에서 반사된 신호가 표면에서 재 반사되는 경로이고, BBn는 해저에서 반사되는 경로를 나타낸다.

천해역에서 경로의 길이는 채널의 깊이가 깊이보다 매우 길기 때문에 Binomial Expansion에 의해 다음과

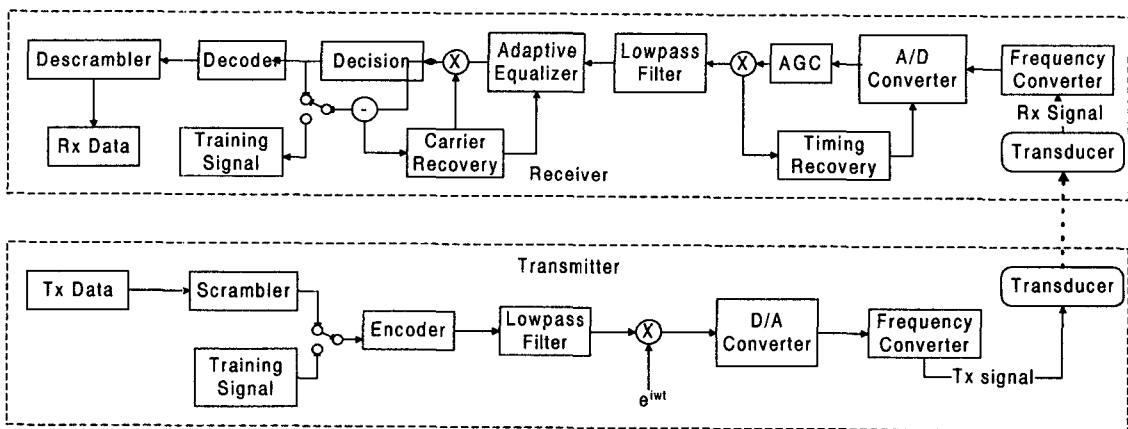


그림 1. 수중 초음파 영상통신 시스템 구성도  
Fig. 1 Configuration of the acoustic-based underwater image transmission system

같이 근사화 할 수가 있다.

$$\begin{aligned}
 D &= \sqrt{L^2 + (b-a)^2} \approx L + \frac{1}{2L} (b-a)^2 \\
 SS_n &= \sqrt{L^2 + (2nh - (a+b))^2} \\
 &\approx L + \frac{1}{2L} (2nh - (a+b))^2 \\
 SB_n &= \sqrt{L^2 + (2nh - (a-b))^2} \\
 &\approx L + \frac{1}{2L} (2nh - (a-b))^2 \\
 BS_n &= \sqrt{L^2 + (2nh + (a-b))^2} \\
 &\approx L + \frac{1}{2L} (2nh + (a-b))^2 \\
 BB_n &= \sqrt{L^2 + (2(n-1)h + (a+b))^2} \\
 &\approx L + \frac{1}{2L} (2(n-1)h + (a+b))^2
 \end{aligned}$$

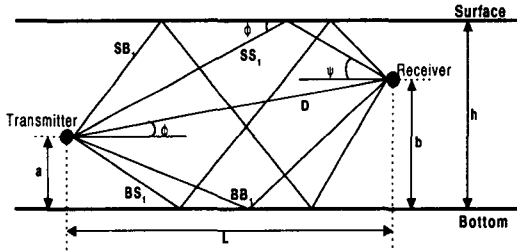


그림 2. Multipath를 갖는 채널의 Geometry  
Fig. 2 Geometry of acoustic channel with a multipath interference

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

$$\begin{aligned}
 \tau_{SS_n} &= t_{SS_n} - t_D \approx \frac{2}{LC} [n^2 h^2 - nh(a+b) + ab] \\
 \tau_{SB_n} &= t_{SB_n} - t_D \approx \frac{2}{LC} [n^2 h^2 + nh(b-a)] \\
 \tau_{BS_n} &= t_{BS_n} - t_D \approx \frac{2}{LC} [n^2 h^2 + nh(a-b)] \\
 \tau_{BB_n} &= t_{BB_n} - t_D
 \end{aligned}$$

$$\approx \frac{2}{LC} [(n-1)^2 h^2 + (n-1)h(a+b) + ab]$$

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

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

$$f_2 = 378w^{-2}, f_1 = \sqrt{10}f_2$$

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

$$\begin{aligned}
 R_{SS_n} &\approx - \left| \tilde{r}_s \right|^n, R_{SB_n} \approx \left| \tilde{r}_s \right|^n \\
 R_{BS_n} &\approx \left| \tilde{r}_s \right|^n, R_{BB_n} \approx - \left| \tilde{r}_s \right|^{n-1}
 \end{aligned}$$

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

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

Direct path 신호에 의해 Normalize된 수신된 신호의 표현은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 r(t) &= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_{SS_n} e^{ju(t-\tau_{SS_n})} + \alpha_{SB_n} e^{ju(t-\tau_{SB_n})} \\
 &\quad + \alpha_{BS_n} e^{ju(t-\tau_{BS_n})} + \alpha_{BB_n} e^{ju(t-\tau_{BB_n})} \\
 \alpha_{SS_n} &= \frac{D}{SS_n} R_{SS_n}, \alpha_{SB_n} = \frac{D}{SB_n} R_{SB_n}, \\
 \alpha_{BS_n} &= \frac{D}{BS_n} R_{BS_n}, \alpha_{BB_n} = \frac{D}{BB_n} R_{BB_n}
 \end{aligned}$$

수신된 신호는 현재의 direct path 심볼이 반사됨에 따라 발생하는 self-multipath interference와 현재의

direct path 신호에 앞서서 전송된 심볼들에 의해 발생되는 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 아래 식과 같이 표현되는데, 첫 번째 부분은 관찰 윈도우의 앞부분의 다중경로 신호의 존재에 의한 것이며, 두 번째 부분은 신호 폭(Ts)보다 큰 지연을 갖는 이전에 전송된 모든 신호요소에 의한 표현이다.

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

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

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

SMR 파라미터는 송신신호가 다중경로에 의해 어떻게 영향을 받는지 알 수 있는 척도가 되며, 특히 수조환경에서의 초음파 영상 신호의 전송성능을 알아보기 위해 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1. 수조환경에 대한 파라미터 값  
Table 1. Parameter value of acoustic environment for the multipath analysis

(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

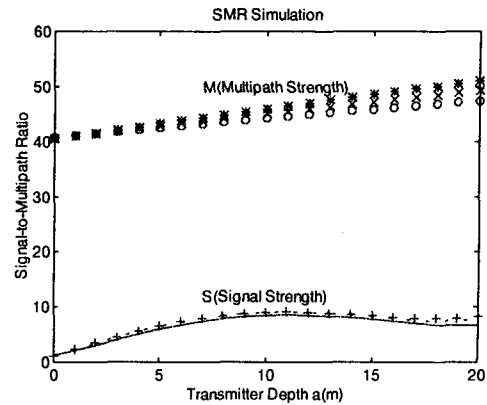


그림 3. 수신기의 높이가 8m, 10m, 12m일 때, 송신기의 높이에 따른 S와 M의 변화  
Fig. 3 Graph of S and M according to the transmitter's height at receiver's height are 8m, 10m, and 12m

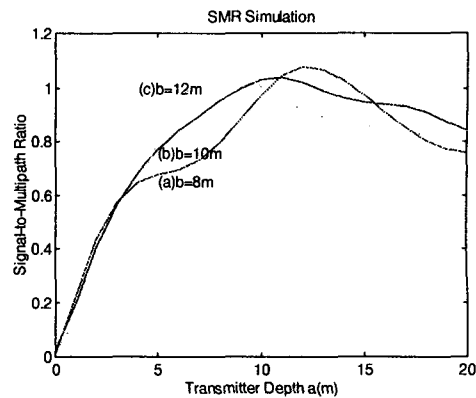


그림 4. 길이가 10 km인 수조하에서의 수신기의 높이가 8m, 10m, 12m일때의 SMR의 변화  
Fig. 4 Graph of SMR at receiver's height are 8m, 10m, and 12m with 10km basin's width

시뮬레이션 결과는 그림 3과 같은데, \* 마크를 갖는 곡선은 수신기의 높이가 8m일 때, x 마크를 갖는 곡선은 수신기의 높이가 10m일 때, o 마크를 갖는 곡선은 수신기의 높이가 12m일 때의 S 곡선, 즉, 신호세기를 나타낸다. 또한, + 마크의 곡선은 수신기의 높이가 8m일 때, 점선의 곡선은 10m일 때, 실선의 곡선은 12m일 때의 multipath에 의한 신호세기를 나타낸다. 위 곡선을 분석해보면 20m 수조에서 송신기의 거리가 10m, 수신기의 깊이가 10m인 위치에서 multipath의 영향이

가장 적음을 알 수가 있으며, 아울러 수조내에서는 multipath에 의한 영향이 신호보다 적어도 4배 이상 큰 값을 가지고 있음을 알 수가 있다.

실제 수조환경에 대한 시뮬레이션의 결과 SMR값이 약 0.2정도 되어 Multipath의 영향이 심각함을 알 수가 있었다. 그리고, Multipath의 영향을 더 고려해보기 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 1보다 큰 값이 나온 것을 알 수 있으며, 길이가 10 km인 수조환경이 길이가 200 m인 수조환경보다 Multipath의 영향을 적게 받는다는 것을 알 수 있다.

### III. 변복조 시스템 설계

수중 초음파 영상전송 시스템의 변복조 시스템은 그림 5와 같이 구성된다. 그림에서 Photo Coupler는 다른 시스템이나 보드에서 유입되는 잡음을 방지하기 위해 사용되며, 시스템과 입력 데이터와의 동기를 위하여 클록 동기회로를 구성하여 변복조 시스템의 클록으로서 사용하고 있다. 클록 동기회로는 입력 데이터의 에지(Edge)를 추출하기 위해 4차 High Pass Filter를 사용하였고, 추출된 데이터의 에지로부터 잡음 에지를 제거하기 위해 전압 비교기를 이용하여 잡음의

낮은 전압의 에지를 제거하였다. 또한, 10MHz의 발진 소자를 바이너리 카운터의 클록으로 사용하여 4800 bps의 시스템 클록을 생성한다. 4800bps의 클록을 생성하기 위해 데이터의 에지와 4800bps의 카운터를 한 그 결과를 이용하여 카운터를 리셋하여 지속적인 데이터 동기 회로를 구성하였다.

수중 초음파를 이용한 영상전송 시스템은 초음파 센서의 주파수 대역폭이 제한되어 있어, 높은 전송 성능을 갖기 위해서는 주파수 대역폭 효율이 우수한 QPSK 변복조 방식을 사용하며, QPSK 변조회로는 연속적인 두 비트의 데이터를 짝수 홀수로 나누어 고유의 위상정보를 주어 전송시켜 주며, 변조회로의 클록은 위 그림에서 생성된 동기 클록을 이용하고 PLL 회로와 카운터를 이용하여 sin/cos의 정보를 가지고 있는 ROM의 값들을 불러온다.

출력 변조된 QPSK 신호는 FM 회로를 통해 센서의 중심주파수를 갖는 신호와 노이즈에 보다 강한 신호가 되며, 회로내부의 가변저항을 조정하여 센서의 중심주파수 및 주파수 편이폭을 조정할 수 있게 설계하였다.

초음파 트랜스듀서를 통해 들어오는 신호는 반사로 인한 다중경로의 영향과 주변잡음 등으로 인해 출렁임이 발생한다. 이 출렁임은 신호 즉 AM성분을 제거하기 위해 리미터 회로를 이용하는데, 리미터 회로는 일반 증폭기를 이용하여 구성되는데 한 단에서 얻는 이득이 낮기 때문에 본 논문에서는 5단으로 구성된 리미터 회로를 사용하였다.

또한 AM성분이 제거된 신호로부터 QPSK 변조된

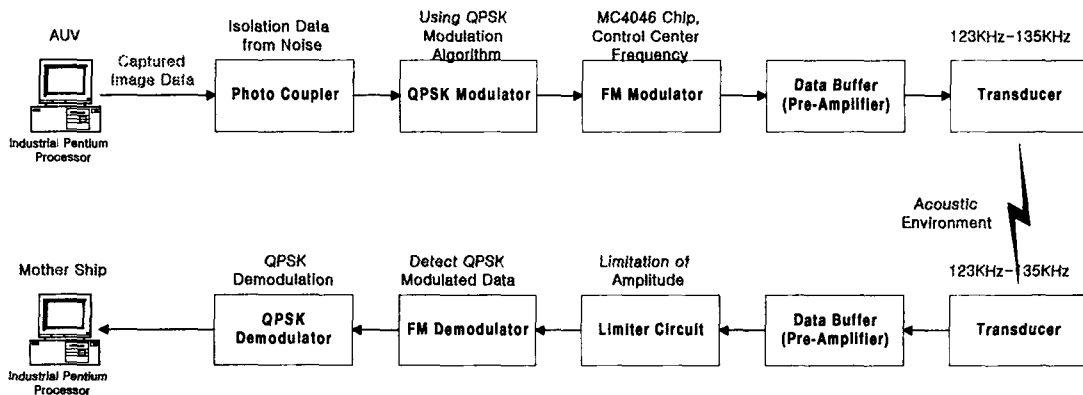


그림 5. 변복조 시스템 구성  
Fig. 5 Configuration of the modulator and demodulator

신호를 검출하기 위해서는 FM 변조된 신호를 제거한 후, QPSK 복조회로를 통해 원 디지털 데이터를 복원한다.

#### IV. 적응 등화기 설계

수중 초음파 통신에서는 물체, 표면, 해저면 등의 반사로 인한 다중경로가 발생하게 된다. 이러한 다중경로에 의한 영향은 시스템 전송성능에 큰 영향을 주므로 다중경로의 영향을 상쇄하기 위하여 적응 등화기(Adaptive Equalization)를 사용하여야 한다. 본 논문에서는 수중 초음파 환경에서의 데이터 및 영상 통신에 사용되고 있는 적응 등화기 알고리즘을 이용하여 설계하였으며, 이 내용은 다음과 같다.

본 논문에서 사용된 적응 등화기 알고리즘은 등화기 계수가 다중경로들의 배수와 그들의 합 이외에서는 거의 무시할 수 있을 정도로 작고, 그 중요도는 점점 감소한다는 점에 착안해서 일반적인 적응 등화기 알고리즘에 비하여 계산량을 감소시켰다. 이 원리는 신호 대 잡음비가 클 경우, 채널의 전달 함수를  $T(z)$ , 등화기의 전달함수를  $H(z)$ 라 할 때, 등화기는  $T(z)H(z) \approx 1$ 의 식을 만족시키려고 하기 때문이다. 채널이 시간에 따라 변화하기 때문에 다중경로도 시간에 따라 변화한다. 따라서 coherence time 보다 작은 적당 한 시간마다 주기적으로 다중경로를 다시 찾아주는 것이 필요하다. 그리고 도플러효과를 보상해 주기 위해서 위상보정을 동시에 했다. 적응 알고리즘을 구현함에 있어 기본적으로 stochastic gradient 알고리즘을 이용한다.

등화기 출력은 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$c_k = Y_k^T H_{k-1} e^{i\phi_{k-1}}$$

여기에서  $Y_k = [y_k, \dots, y_{k-N+1}]^T$ 는 센서에서 수신한 신호 벡터,  $H_k$ 는 등화기 계수 벡터( $N$ 개의 계수 중에서 다중경로들의 배수와 합에서만 0이 아닌 값을 갖는다),  $e^{i\phi_k}$ 는 수신기 위상이다. 필터 계수들은 stochastic gradient 알고리즘을 이용해서 평균 자승오차를 최소화하는 등화기 계수와 위상을 구할 수 있다.

평균 자승오차는 아래의 식과 같이 표현된다.

$$J(H, \phi) = E\{|e_k|^2\}, \quad e_k = a_k - c_k(H, \phi)$$

여기에서  $a_k$ 는 등화기 출력으로부터 결정된 심볼이다. 평균 자승오차를 최소화하는 등화기 계수와 위상에 대한 식은 다음과 같다.

$$H_k = H_{k-1} + \mu Y_k^* e^{i\phi_{k-1}} e_k$$

$$\phi_k = \phi_{k-1} + \gamma \text{Im}(e_k^* c_k)$$

수중 채널은 시간에 따라 변화하는 채널이기 때문에 등화기 계수와 위상의 step size  $\mu, \gamma$ 를 결정해주는 적응 알고리즘이 반드시 필요하다. 등화기 계수와 위상을 결정했던 것과 같은 방법으로 stochastic gradient 알고리즘을 이용해서 평균자승오차  $J$ 를 최소화하는 step size 적응 알고리즘을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\gamma_k = [\gamma_{k-1} - \alpha F_{k-1} \text{Im}(a_k^* c_k)] \begin{matrix} \gamma_{\max} \\ \gamma_{\min} \end{matrix}$$

$$\mu_k = [\mu_{k-1} - \beta \text{Re}(Y_k^T G_{k-1} e^{-i\phi_{k-1}} e_k^*)] \begin{matrix} \mu_{\max} \\ \mu_{\min} \end{matrix}$$

여기에서

$$G_k = \frac{\partial H_k}{\partial \mu}, \quad F_k = \frac{\partial \phi_k}{\partial \gamma}$$

이다. 그리고  $[x]_a^b$ 는  $x > b$ 이면  $b$ ,  $x \in [a, b]$

이면  $x$ ,  $x < a$ 이면  $a$ 이다. 이와 같이하면 알고리즘의 불안정성을 방지할 수 있다. 또  $\alpha, \beta$ 는 알고리즘의 성능에 영향을 주지 않으면서, 적당한 값을 큰 범위 내에서 정해줄 수 있다. 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

$$c_k = Y_k^T H_{k-1} e^{i\phi_{k-1}}$$

$$e_k = a_k - c_k(H, \phi)$$

$$\phi_k = \phi_{k-1} + \gamma_{k-1} \text{Im}(e_k^* c_k)$$

$$\gamma_k = [\gamma_{k-1} - \alpha F_{k-1} \text{Im}(a_k^* c_k)] \begin{matrix} \gamma_{\max} \\ \gamma_{\min} \end{matrix}$$

$$F_k = \text{Im}(a_k^* c_k) + (1 - \gamma_k \text{Re}(a_k^* c_k)) F_{k-1}$$

$$H_k = H_{k-1} + \mu_{k-1} Y_k^* e^{i\phi_{k-1}} e_k$$

$$\mu_k = [\mu_{k-1} - \beta \text{Re}(Y_k^T G_{k-1} e^{-i\phi_{k-1}} e_k^*)] \begin{matrix} \mu_{\max} \\ \mu_{\min} \end{matrix}$$

$$G_k = (I - \mu_k Y_k^* Y_k^T) G_{k-1} + Y_k^* e^{i\phi_k} e_k$$

그림 6은 위 수식을 이용한 알고리즘의 시뮬레이션

결과이며, 적응 등화기의 성능을 검증하기 위해서 반송주파수 50 KHz의 BPSK 변조신호를 10Kb/s 전송 속도를 갖는다는 가정을 하였다. 신호 대 잡음비는 40dB이고, 총 10,000개의 심볼을 사용했다. 채널의 impulse response는 두 개의 경로에 의해 결정되는데, 하나는 직접 경로이고, 다른 하나는 13 심볼(1.3 ms)의 지연이 있다. 아래 그림에서 알 수 있듯이 등화기 알고리즘이 70개의 등화기 계수를 사용한 것이나, 16개의 다중경로의 배수에 해당하는 등화기 계수만 사용한 것이나, 그림의 성상도 분포에서 큰 차이가 없기 때문에 거의 비슷한 성능을 내는 것을 알 수 있다.

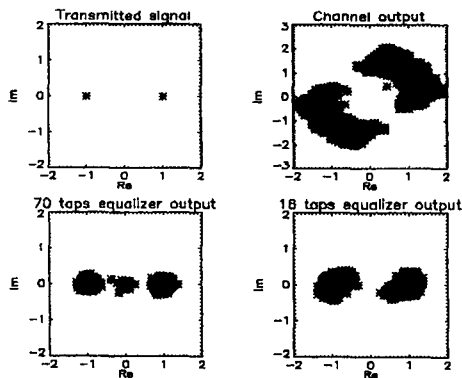


그림 6. 알고리즘 시뮬레이션 결과  
Fig. 6 Simulation result of adaptive equalizer

## V. Baseline JPEG 수중영상 압축시스템 설계

정지영상을 압축하는 Baseline JPEG은 한 개 영상 프레임 안에 데이터중 인간의 시각 특성이 영상의 밝기정보에는 민감하나 색 정보에는 둔감한 점을 이용 정보의 일부를 제거함으로써 높은 압축율을 얻을 수 있는 비가역 부호화 방법이다. Baseline JPEG 영상 압축은 그림 7과 같은 순서로 행해지며 원래 영상에서 어느 정도의 손실을 주고 얼마나 많이 압축시킬 것인가는 Q Factor를 제어함으로써 조절할 수 있다. 다음은 Baseline JPEG 영상압축의 단계별 과정이다.

- ① 영상의 컬러모델을 YIQ 모델로 변환한다.
- ② 각 컬러 성분의 영상을 8×8 크기의 블록으로 나누고 각 블록에 대해 DCT(Discrete Cosine Transform)를 수행한다.
- ③ 각 블록의 DCT 계수를 시각에 미치는 영향에

따라 가중치를 뒤 양자화 한다.

④ 양자화된 DCT 계수를 허프만 부호화(Huffman Coding) 방법에 의해 부호화해서 파일로 저장한다.

### 1. 컬러 모델변환

컬러를 표현하는 데는 여러 가지 방법이 있다. 가장 흔히 사용되는 방법은 빛의 3원색인 적색, 녹색, 청색의 조합으로 색을 표현하는 방법은 RGB 모델로 컴퓨터 모니터는 이 모델을 이용해 색을 표현한다. 빛의 3원색을 두 개씩 조합했을 때 나오는 하늘색, 주황색, 노란색의 조합으로도 모든 색을 표현할 수 있는데, 이들의 조합을 이용해 색을 표현하는 방법을 CMY 모델이라고 하며 컬러프린터는 이 모델로 색을 표현한다. 컬러 TV는 YIQ 모델을 사용해 색을 표현하는데 이는 밝기(Y : Luminance)와 색차(Chrominance : Inphase & Quadrature) 정보의 조합으로 색을 표현하는 방법이다. 이밖에도 색상, 채도, 명도의 색의 3요소로 색을 표현하는 HSI 모델 등 여러 가지 컬러 모델이 있다.

컬러를 표현하기 위한 각종 방법은 모두 RGB, CMY, YIQ, HSI 등의 3개 요소를 이용해 색을 표현하게 되며 어차피 모두 색을 나타내는 방법이기 때문에 적당한 변환식을 이용하면 이들 모델간에 변환이 가능하다. 예를 들면 RGB 모델로 표현된 컬러를 YIQ 모델로 변환하려면 다음과 같은 변환식을 이용하면 된다.

JPEG 압축을 위해서는 일단 컬러 모델을 YIQ 모델로 변환한다. 즉 RGB, CMY, YIQ, HSI 등으로 컬러가 표현되어 있는 영상은 변환식을 이용해 각 화소의 컬러를 YIQ 모델 값으로

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & -0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

변환한다 이렇게 하는 이유는 다른 컬러 모델에서는 컬러를 표현하는 3개의 요소가 시각적으로 균일한 정보를 나타내는데 비해, YIQ 모델의 Y값은 시각적으로 눈에 잘 띄나 I와 Q값이 시각적으로 눈에 잘 띄지 않는 정보를 담고 있어서 Y값은 살려두고 I와 Q값을 손실시키면 눈으로 봤을 때 화질의 차이를 느끼지 않으면서 정보량을 줄일 수 있기 때문이다. 흑백 영상은 그 자체가 Y 값만 가지고 있는 것이고 I와 Q값은 없기

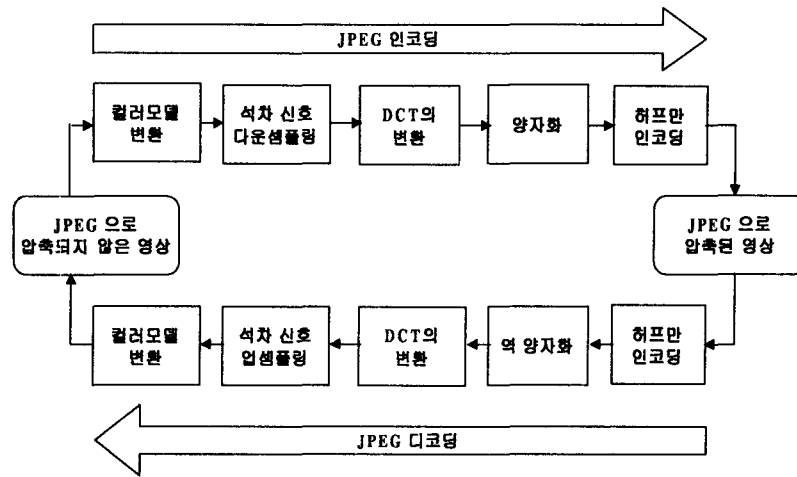


그림 7. Baseline JPEG의 영상 압축과 복원과정  
 Fig. 7 Procedure of an image compression and decompression for the baseline JPEG algorithm

때문에 별도의 컬러 모델 변환이 필요 없다.

## 2. DCT 변환 및 양자화

컬러를 표현하기 위한 각각의 YIQ 성분은 8×8 크기의 블록으로 나뉘고 각 블록에 대해 DCT가 수행된다. DCT는 Discrete Cosine Transform의 약자로 영상 블록을 서로 다른 주파수 성분의 코사인 함수로 분해하는 과정을 말하는 것이다. DCT의 결과로 그 영상 블록에 어떤 주파수 성분이 얼마만큼 포함돼 있는지를 나타내는 8×8 크기의 계수를 얻을 수 있다. 화소간 값의 변화율이 작은 뭉치한 영상은 저주파 성분을 나타내는 계수가 크게 나온다.

영상에 DCT를 적용하는 이유는 영상의 저주파 성분은 시각적으로 큰 정보를 가지고 있고 고주파 성분은 상대적으로 정보량이 적기 때문에 영상을 시각적 정보량이 많은 부분과 적은 부분으로 분리한 후, 시각적 정보량이 적은 부분에 손실을 줘 시각적 손실을 최소화하면서 데이터량을 줄이기 위해서이다.

이론적으로 DCT 자체는 영상에 손실이 일어나지 않으며 DCT 계수를 기억하고 있으면 DCT 역변환을 통해 원 영상을 그대로 복원해 낼 수 있다. 실제로는 영상에 손실을 주며 데이터량을 줄이는 부분은 DCT 계수를 양자화하는 부분이다. 계수 양자화란 여러 개의 값을 하나의 대표값으로 대치하는 과정을 말한다. 예를 들면 0에서 10까지 값은 5로 대치하고 10에서 20

까지의 값은 15로 대치하는 것은 0부터 20까지 연속적으로 분포된 수많은 수들을 5와 15라는 두 개의 값으로 양자화하는 것과 같다.

양자화 과정을 거치고 나면 기억해야 할 수많은 경우의 수가 단지 몇 개의 경우의 수로 축소되기 때문에 비록 데이터에 손실이 일어나지만 데이터량을 크게 줄일 수 있는 이점이 있다. 양자화를 조밀하게 하면 데이터 손실은 적어지는 대신에 데이터량도 그만큼 줄게 되며, 양자화를 성기게 할수록 데이터 손실은 많아지는 대신 데이터량은 그만큼 줄어든다. 따라서 시각 정보가 많이 포함된 저주파 성분의 DCT 계수는 조밀하게 양자화를 수행하고 시각 정보가 적게 포함된 고주파 성분의 DCT 계수는 성기게 양자화를 하면 전체적으로 영상의 손실을 최소화하면서 데이터량 감소는 극대화할 수 있다.

어느 주파수 성분을 얼마만큼의 간격으로 양자화하느냐에 따라 같은 압축율을 가지면서 화질이 좋아질 수도 있고 나빠질 수도 있어 각 주파수 성분마다 양자화 간격을 설정하는 것이 매우 중요하다. 현재는 ISO에서 실험적으로 결정한 양자화 테이블을 이용해 양자화를 수행하고 있다.

영상의 화질과 압축율을 결정하는 변수인 Q Factor가 작용하는 곳도 바로 이 부분으로 Q Factor를 크게 하면 전체적으로 양자화를 조밀하게 하고 손실을 줄여 영상 화질을 좋게 할 수 있다. 또한 Q Factor를 작게



하면 전체적으로 양자화 간격을 넓혀 화질에 손상을 많이 주고 압축율이 높아지도록 조정할 수 있다.

### VI. 결론

본 논문에서 수중 초음파를 이용한 영상통신 시스템에 대한 기본적인 설계와 핵심 시스템에 대하여 다루었다. 특히, 다중경로 환경에서의 영향을 고려하기 위하여 채널 모델링을 통한 신호 대 다중경로의 영향을 시뮬레이션 하였다. 실제 수조상에서 데이터를 전송실험을 하였으나, 수조내의 multipath에 의해 데이터 수신에 불가능하여 이에 대한 정확한 검증에 어려움이 있다.

초음파를 이용하여 데이터를 전송하는데 있어 발생하는 주파수 대역폭의 한계를 극복하기 위하여 QPSK 변복조 알고리즘을 사용하였고, 초음파 센서를 통한 초음파 신호 전송시 발생하는 Ringing 현상을 제거하기 위해 FM 변조를 병행한 Hybrid 변복조 시스템을 설계하여 세부 시스템을 제작하였다. 이 제작된 시스템은 한국해양연구원이 보유하고 있는 해양공학 수조에서 실험을 통한 검증을 수행하였으며, 9600bps 데이터 전송성능을 갖는 것을 확인하였다.

앞서 살펴보았던 다중경로의 영향을 상쇄하기 위해서 적응 등화기 기법을 이용하여 시스템을 구성하였으며, 특히 일반적인 적응 등화기 기법에 비교하여 계산량을 줄이는 알고리즘을 설계하였다.

또한, 수중 영상을 압축하여 전송성능을 높이기 위하여 Baseline JPEG 기법을 도입하여 영상압축을 수행하였으며, 우리나라 연근해 해역에서 촬영된 수중영상에 대하여 최대 60대 1의 압축성능을 갖는 알고리즘을 설계하였다. 특히, 부유물에 의한 압축의 장애요인을 제거하기 위하여 1초당 30프레임중 10 프레임을 메모리에 저장하면서 이 저장된 영상을 AND 연산을 수행하여 부유물에 의한 영상을 제거하는 전처리 알고리즘을 개발하여 고압축 알고리즘을 설계하였다.

그림 8은 Hybrid 변복조 시스템에 대한 실험 결과 그림이다. 상단은 송신되는 변조신호, 하단은 수신되어 복조된 신호에 대한 파형을 보여준다.

현재 한국해양연구원에서는 수중에서 초음파를 이용한 영상정보를 전송하기 위한 시스템 개발에 관련하여 핵심기술과 시스템을 개발하고 있으며, 수중환경에서

최적화된 적응 등화기 기법, 영상 압축기법, 변복조 보드 등의 연구 결과에 대한 상세 결과는 추후 다시 게재할 계획이다. 또한, 다중경로 해석에 있어, 수조내의 시뮬레이션 결과와 실제 수조상에서의 성능비교를 위해 추후 FFT 분석장치를 이용하여 수행할 계획이다.

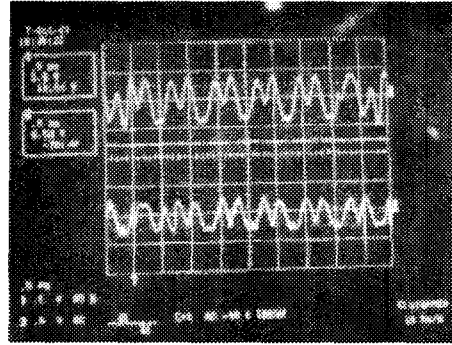


그림 8. QPSK 변복조 실험 데이터  
Fig. 8 Experimental picture of QPSK modulator/demodulator output

그림 9는 Baseline JPEG 압축기법을 이용하여 60대 1로 압축된 영상이다.

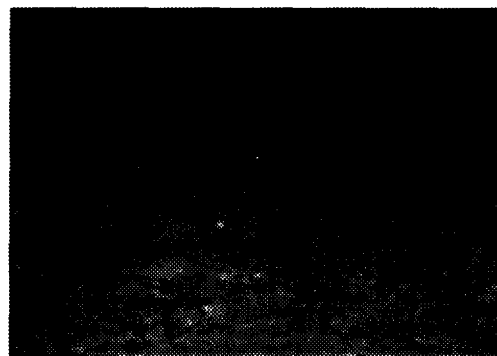


그림 9. Baseline JPEG을 이용한 압축영상  
Fig. 9 Compression image using the baseline JPEG compression algorithm

### 후기

본 연구결과는 산업자원부의 민군겸용기술 과제 “초음파를 이용한 수중영상 전송기법 개발”의 연구결과 의 일부임을 밝혀 둔다

참고문헌

- [1] Willam Burdic, Underwater Acoustic System Analysis, 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 변보 및 복조 시스템의 구현", 한국해양공학회 춘계학술대회 논문집, 1997. 5
- [8] 임용곤, 박종원, "AUV용 수중 초음파의 통신 환경의 Multipath 해석", 한국해양공학회 춘계학술대회 논문집, 1997.5
- [9] KDD, "무사식 수중 로봇용 수중 화상 초음파 전송시스템의 개발", 1995
- [10] B. Geller, et al., "Equalizer for video rate transmission in multipath underwater communication," IEEE J. Oceanic Eng., vol. 21, pp. 150-155, April. 1996.



임용곤(Yong-kon Lim)

1979년 충남대학교 학사-전기공학  
 1984년 충남대학교 석사-전기공학  
 1994년 아주대학교 박사-전자공학  
 1980.7~1999.3 : 한국기계연구원 책임연구원  
 1999.4~현재 : 한국해양연구원 책임연구원

1997.6~2000.12 : 한국해양정보통신학회 이사  
 ※주요관심분야: 수중 초음파 신호처리 및 DSP 신호처리 개발, 선박 설계 및 시험조사선의 종합정보통신망 시스템 개발, 수중 로봇 시스템(AUV, ROV, SAUV, MDV) 개발, ISDN 네트워크 통신망 기법 개발



박종원(Jong-Won Park)

1995년 아주대학교 학사-전자공학  
 1997년 아주대학교 석사-전자공학  
 1997. 3~1999. 3: 한국기계연구원 연구원  
 1999. 4~현재: 한국해양연구원 연구원

※주요관심분야: 수중 초음파 통신 시스템 개발, DSP 신호처리 및 시스템 개발, 시험조사선의 종합정보통신망 시스템 개발



최영철(Young-Chol Choi)

1999년 한국과학기술원 학사-전자공학  
 2000년 한국과학기술원 석사-전자공학  
 2000. 3~현재: 한국해양연구원 연구원

※주요관심분야: 통신 및 디지털 신호처리, 강인 추정이론, 강인 필터이론, 수치 해석