
수중 초음파 디지털 이동통신을 위한 프로토콜 설계 및 구현에 관한 연구

朴 沈 植*, 林 宰 弘**

A Study on the Protocol Design and Implementation for an Underwater Acoustic Multi-channel Digital Communication

Yeoun-sik Park, Jae-hong Yim

요 약

최근 들어 심해개발에 대한 관심이 고조됨에 따라 AUV 또는 수중 로봇과 같은 수중 무인작업선의 개발을 위하여 많은 노력을 하였다.

본 논문은 초음파의 전송지연을 고려하지 않고 최대 처리량의 일정수준을 확보하고 다중 초음파 통신 채널을 통하여 고속의 데이터 전송이 가능한 새로운 고효율의 음향 기반 수중 영상 통신시스템을 제시한다.

제시된 시스템은 중심주파수가 136Khz이고 10Khz의 밴드 폭에서 동작하는 음향 트랜스듀서, 전단중폭기, $\pi/4$ QPSK 변복조 방식, JPEG 기술을 사용한 영상 압축방식과 수정된 Stop & Wait 프로토콜로 구성한다.

실험 결과는 수조 테스트에서 고효율의 수중영상 전송이 가능하였고, 또한 그 결과는 기존에 개발된 시스템과 타당한 전송성능을 비교 입증하였고, 해양에서 실용 가능성을 연구 검토하였다.

Abstract

Recently, due to the increasing interests in deep sea development, all possible efforts to the development of underwater unmanned working vehicles such as AUV(Autonomous Underwater Vehicle) or underwater robot are exerted.

This paper proposes a new efficient acoustic-based underwater image data communication system, which

* 경상대학교 정보통신공학과, 해양산업연구소

** 한국해양대학교

접수일자 : 1999년 12월 31일

ensures a certain level of maximum throughput regardless of the propagation delay of ultrasonic and allows fast data transmission through the multiple ultrasonic communication channel.

Proposed system consists of an acoustic transducer which operates at 136kHz center frequency and it's 10kHz bandwidth, pre-amplifier, $\pi/4$ QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) modulation/demodulation method, image compressing method using JPEG technique and modified Stop & Wait protocol.

The experimental result of the system make it possible to transfer the underwater image as a high throughput at the basin test. The results of test are also verified which allows to desirable transmission performance compared with the existing developed system and the possibility to put the practical use of survey and investigation in the water.

I. 서론

근래에 이르러 해양 개발, 탐사 또는 군사적 목적을 위하여 수많은 잠수정들이 개발되었고, 이로 인하여 수중과 육지간 또는 수중과 수중간의 정보 교환 수단으로 수중에서도 육상과 동일하게 실시간적이면서도 효율이 좋은 통신장비의 개발을 필요로 하게 되었다.

그러나, 이러한 통신장비들은 한정적인 물리적 환경 아래 전송효율을 최대한 증대시켜야 하는데 이를 위해서는 전송 오류율을 최대한으로 감소시킬 필요가 있고, 전송효율을 높일 수 있는 접속 제어 프로토콜(Protocol)이 요구된다[1].

국제적인 추세는 미국의 WHOI(Woods Hole Oceanographic Institution), 일본의 쓰꾸바 연구소, 프랑스의 ORCA, IFREMER 등 선진국들은 그 중요성을 인식하고 이 분야에 대하여 체계적으로 연구를 해 왔었기 때문에 현재 실용화 단계의 제품들이 개발되었고, 또 이를 적용한 수중 자율 이동체(AUV; Autonomous Underwater Vehicle)를 이용한 해양 개발 및 탐사가 활발히 이루어지고 있는 중이다[2].

우리 나라의 경우에는 근래 들어 한국해양연구소의 해양개발시스템 연구센터나 일부 학술단체 등에서 부분적으로 그 연구가 진행중에 있다. 그러나 수중 초음파 송수신 시스템의 구현 등 수중통신에 관한 일반적인 연구만 진행되었으며, 보다 구체적인 연구가 제대로 기반을 잡고 있지 못한 실정인 것으로 수산정보의 활용, 해양개발, 탐사 및 군사적 목적등을 위하여 이 분야의 연구가 지속적으로 수행되어야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 수중에서 초음파를 이용한 통신로

의 설정으로 파생되는 물리적인 특성과 수중이동체의 이동성의 제약점과 전송지연 등에 관한 대책을 위하여, 수중 무선통신로의 초음파 특성을 고찰하여 접속 제어 프로토콜을 구현하고, 기존 육상통신망에서의 프로토콜과 비교 분석한 후, 수중에서 발생하는 멀티패스를 이론적인 모델링(Modelling)에 의해 시뮬레이션(Simulation)을 행한 결과를 이용하여 수중에서의 수율을 향상시킬 수 있는 프로토콜을 설계하여, 시스템을 구현하고 그 성능실험을 통하여 설계의 타당성을 입증한다.

II. 수중 통신채널의 물리적 특성

2.1 수중에서 초음파의 전파속도 및 전달손실

지구 대기중 증류수의 경우 초음파의 전파속도는 온도에 영향을 받지만, 해상에서는 깊이에 따른 온도 및 염도 변화에 영향을 받는다. 이에 의한 전파속도의 변화는 식(2-1)과 같다[3],[4].

$$C = 1449 + 4.6t - 0.055t^2 + 0.0003t^3 + (1.39 - 0.012t)(S - 35) + 0.017d \dots\dots\dots (2-1)$$

여기서 C는 전파속도(m/s), t는 온도(°C), S는 염도, d는 깊이(m)이다. 식 (2-1)에서 전파속도는 임의의 온도·염도 및 압력 하에서 1 m/s 이내의 오차를 가지므로, 염도가 35/1000인 경우 초음파의 전파속도는 온도가 섭씨 0도인 경우 1449 m/s이며, 온도와 압력이 동일한 조건 아래 증류수내에서의 초음파 전파속도는 1403 m/s가 된다.

해수의 온도가 5°C일 때 주파수별 흡음상수는 표 2.1과 같다.

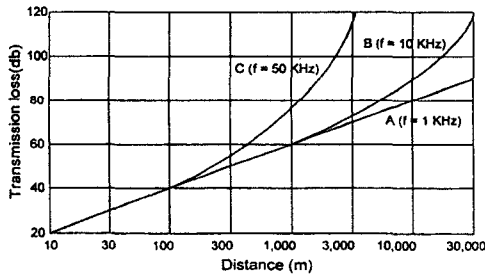
〈표 2.1〉 5°C일 때의 주파수별 흡음상수
Table 2.1 Absorption constants for various frequencies at 5°C

frequency	absorption constant
1 kHz	0.00001 dB/m
10 kHz	0.001 dB/m
50 kHz	0.015 dB/m

그림 2.1에서 곡선 A는 1kHz와 같이 낮은 주파수에서의 전달손실 곡선이며, 주파수의 범위가 증가한 B와 C곡선은 흡음 손실이 점점 커지는 것을 나타낸다. 그러므로 초음파 에너지의 원거리 전달을 위해서는 낮은 주파수를 사용해야 한다.

해상에서 초음파의 전달손실을 측정하면, 수식에서 예측되는 값과 상당한 차이가 생기는데, 이러한 차이는 해저와 해면에서 초음파의 굴절, 발산, 수렴, 그리고 반사를 비롯하여 전파경로에 관계되는 회절과 확산 및 상호간섭 등이 원인이 된다. 수중에서의 초음파 에너지 전달은 여러 가지 요인에 의해 제한되지만, 많은 종류의 전자파에 비하면 훨씬 유리한 전달특성을 지니고 있다[5].

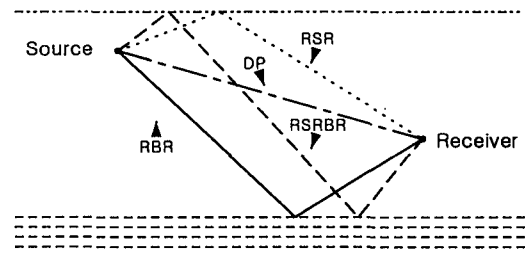
이상과 같이 수중에서 초음파는 다중경로를 가지며 수중 채널에서의 이산 특성과 빠른 시변 특성에 의해 수중 초음파 통신은 많은 제약을 받게 된다[6]. 그림 2.2는 전형적인 4개의 다중경로를 나타내고 있다.



〈그림 2.1〉 주파수와 거리에 의한 음향 전달손실
Fig. 2.1 Acoustic transmission loss dependency on frequencies and distance

이러한 다중경로 발생을 크게 두 가지 관점에서 살펴보면, 첫째는 해수표면의 반사에서 나타나는 현상으로 전방산란과 반사에 의한 손실, 주파수 효과와 영상간섭, 거품층에 의한 감쇠, 표면 기상 상태에 의한 잡음발생, 표면의 반향과 후방산란 등이 있다.

둘째로 해양의 바닥에서 반사하면서 나타나는 현상으로 깊이가 얇은 해역이나 또는 수조와 같은 수중 환경에서도 이와 같은 멀티패스 (Multipath) 구조를 갖기 때문에 전송성능에 커다란 영향을 주게 된다.



- DP(Direct Path) ; 송신기와 수신기가 직접 연결되는 경로
- RSR(Refracted Surface Reflection) ; 해수의 표면에서 반사되어 수신기에 전달되는 경로
- RBR(Refracted Bottom Reflection) ; 해양의 바닥에서 반사되어 수신기에 도달하는 경로
- RSRBR(Refracted Surface Reflected Bottom Reflection); 해수의 표면과 해면의 바닥을 반사하여 수신기에 도달하는 경로

〈그림 2.2〉 멀티패스 모델
Fig. 2.2 Multipath models

Ⅲ. 접속제어 프로토콜

수중 통신망은 지역적으로 수 km이내의 근거리 에 위치한 단말기들 사이의 정보교환이라는 관점에서 보면 기존의 근거리 통신망과 유사한 점이 있다. 그러나 수중 통신망은 초음파를 매체로 사용하기 때문에 물리 계층의 특성 또한 기존 근거리 통신망과는 매우 다르다.

특히 전파속도, 전송속도 및 에러율 등은 접속제어 프로토콜의 설계시에 고려해야 할 중요한 물리적인 특성이므로, 기존 근거리 통신망에서의 전기

신호와 고주파를 매체로 사용했을 경우와 비교해보면 불리한 특성을 가지고 있다[7].

3.1 근거리 통신망의 접속제어 프로토콜

유선 근거리 통신망에서 버스 토폴로지(Bus topology) 경우 하나의 전송선로에 여러 개의 스테이션(Station)들이 연결된 형태로 통신망이 구성되며, 접속제어 프로토콜은 CSMA/CD와 토큰패싱의 두 가지 방식이 있다. 그리고, 통신망의 연결 형태로는 성형 토폴로지와 링 토폴로지로 구성된다.

수중 이동채간 초음파에 의한 통신망방식과 고주파수의 전파를 이용한 무선 근거리 통신망(W-LAN ; Wireless Local Area Network)방식은 방송매체를 사용하여 무선으로 단말기들 사이에 통신을 수행한다는 측면에서 수중 통신망과 서로 유사한 특징이 많고, 접속제어 프로토콜의 설계시 고려해야 할 공통점이 많다. 그리고, W-LAN은 방송매체를 사용한다.

무선통신망의 효율적인 운용과 우수한 성능을 유지하기 위해서는 다수의 사용자들이 전송채널을 공유하고 액세스(Access)하기 위한 접속제어 방법이 필수적으로 요구된다. W-LAN을 위한 접속제어 방법은 크게 고정배정(Fixed assignment), 랜덤 액세스(Random access), 제어 랜덤 액세스(Controlled random access) 방식으로 구분된다.

Fixed assignment 방식은 음성과 같이 일정한 비트율의 전송을 요구하는 경우에 적합한 방식으로서 시분할, 주파수분할 및 혼합된 방법으로 채널의 자원을 사용자들에게 할당하는 방법이다.

Random access 방식은 일반 데이터 전송과 같이 간헐적인 정보의 전송시 채널을 효과적으로 사용하기 위한 접속제어 방식이다.

Controlled random access 방식은 Random access 접속제어방식의 수율을 높이기 위해 제안된 제어 방식이다.

3.2 수중 통신망 접속제어 프로토콜 설계

해저 탐사 및 수중 작업을 위한 수중시스템의 통신망은 다음과 같이 크게 3개로 나누어진다.

- ① 모선과 한 대의 수중 시스템 사이의 1:1 통

신망

- ② 한 대의 모선과 여러 대의 수중 시스템으로 구성된 1:N 통신망
- ③ 수중 시스템들 사이의 Fully connected peer-to-peer 형태의 통신망

①의 경우 모선에서 수중 시스템으로 제어신호를 전송하고, 수중 시스템으로부터 모선은 각종 상태 정보들을 전송 받을 수 있어야 한다. 그러나 모선에서 수중 시스템으로 전송되는 제어 신호는 간헐적으로 발생되고, 수중 시스템에서 모선으로 전송되는 상태정보들은 지속적으로 데이터가 발생될 것이다. 그러므로 전송채널의 대부분을 상태 정보들의 전송에 사용하고, 각종 제어신호의 전송은 전송채널의 일부분을 사용할 수 있게 해야 한다.

②에서도 1:1 통신망과 같이 모선에서 각 수중 시스템을 제어하기 위한 신호를 해당 수중 시스템으로 전송하고, 수중 시스템들로부터 상태정보들을 전송 받을 수 있어야 한다. 또한 각 수중시스템들과 모선 사이에 서로 다른 주파수 대역을 사용하여 다중전송채널을 구성하는 것이 적합하다.

③은 모선과 각 수중 시스템들 사이에 별도의 전송채널을 이용하여 정보를 교환하고, 수중 시스템들 사이의 정보교환은 모선을 통하지 않고 직접 수행되어야 한다. 수중 시스템들 사이의 통신을 위해서는 사용 주파수대가 서로 다른 트랜스듀서(Transducer)를 사용하여야 한다.

수중 시스템들 사이의 정보 교환은 향후에 본격적인 해저 탐사 및 개발에 각종 수중 시스템들이 동시에 사용될 경우 필요하게 되는데, 데이터의 형태는 앞에서 설명한 제어신호, 화상정보 및 각종 계측정보들로써 다양한 종류의 통신 서비스를 요구한다. 수중 시스템들 사이의 직접적인 데이터 교환을 위해 접속제어 프로토콜이 필요하다.

수중 통신망의 응용 계층 서비스들은 주로 수중 시스템의 제어신호 전달, 해저의 화상정보 전송 및 센서의 계측정보 전송 등으로 구성된다.

응용 계층에서 요구되는 각종 서비스들을 저속의 통신 채널을 통해 처리하기 위해서는 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 다중 통신 채널을 이용하여야 한다.

3.3 접속제어 프로토콜의 설계

본 연구에서는 수중 통신망의 토폴로지를 Fully connected peer-to-peer 토폴로지로 설정하여, 이에 적합한 접속제어 프로토콜을 설계한다.

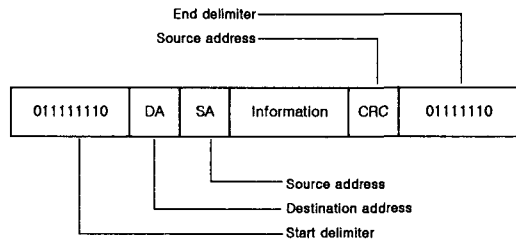
접속제어 프로토콜은 국제 표준화 기구(ISO ; International Standards Organization) 개방형 시스템 상호 접속(OSI ; Open Systems Interconnection) 참조 모델의 두 번째 계층인 데이터 링크 계층의 부계층(Sublayer)으로서 물리 계층과 상위 논리적 링크 제어(LLC: Logical Link Control) 부계층 사이에서 물리 계층을 통한 프레임(Frame)의 실질적인 송·수신 기능을 수행한다[8].

수중 초음파 다중 채널을 이용하여 프레임을 전달하기 위해서는 송신을 하기 전에 전송채널을 선택하기 위한 기능이 요구된다.

따라서 제안하는 수중 초음파 통신망에서의 접속제어 프로토콜의 상위계층, 즉 논리적 링크 제어 부계층에 대한 서비스를 다음과 같이 정의하였다.

- ① 논리적 링크 제어 부계층으로부터 프레임을 목적지 스테이션으로 송신
- ② 프레임 송신시 다중 초음파 송신 채널을 이용하여 프레임을 송신하고 상위 계층인 논리적 링크 제어 부계층에 전송채널의 투명성을 보장
- ③ 수신된 프레임을 상위 논리적 링크 제어 부계층으로 전달
- ④ 수신된 프레임의 오류 제어

이상의 조건들을 만족시키기 위하여 설계된 접속제어 프로토콜의 프레임 형식은 그림 3.1과 같다. 초음파 다중 전송채널 중 실제 전송에 사용하기

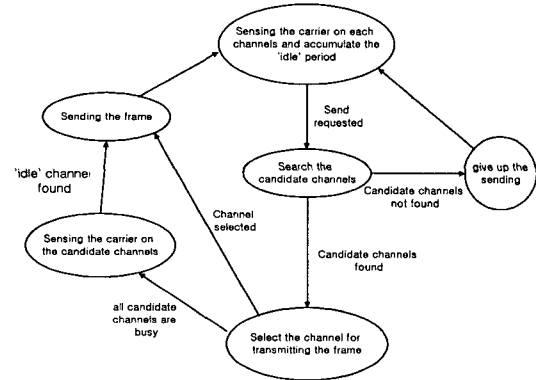


〈그림 3.1〉 접속제어 프로토콜의 프레임 형식
Fig. 3.1 Frame format of MAC protocol

위한 채널의 선택과 단일 채널에서의 접속제어 프로토콜의 과정은 동시에 이루어지는데, 이 중에서 전송채널의 'idle'상태를 감시하는 과정은 송신이 가능한 모든 전송채널들을 상대로 동시에 이루어지며, 전송에 사용될 단일 채널이 선택됨과 동시에 프레임의 전송이 이루어진다.

그림 3.2는 프레임 전송을 위한 절차로 스테이션들은 정상 상태에서 항상 사용 가능한 모든 송신 채널들에 대한 감시를 연속적으로 수행하고 'idle'상태의 채널들에 대해 'idle'기간을 누적시킨다. 이때 수신된 프레임이 있으면 상위 부계층으로 정보를 전달하고 다른 스테이션으로 송신하기 위한 요구가 발생하면 상대측과 교신이 가능한 전송채널들을 검색한다.

여러 후보 송신 채널 중의 하나를 선택하기 위해 각 채널 별로 누적된 'idle'기간을 비교한다. 그중 가장 장시간 동안 'idle'한 채널을 선택하여 프레임을 송신하고 'idle'기간을 '0'으로 세트(Set)시킨다. 그러나 후보 채널 모두가 'busy'상태인 경우에는 후보 채널들을 연속적으로 감시하고 그중 하나의 채널이 'idle' 상태가 되면 즉시 프레임을 전송하고 'idle'기간을 '0'으로 세트시킨다.



〈그림 3.2〉 프레임 전송 절차
Fig. 3.2 Procedure of frame transmission

수중 통신망에는 통신망 내의 각 스테이션들이 다수의 전송채널중의 하나를 이용해 상대측에 프레임을 전송할 수 있어야 한다. 이를 위해 전송을 원하는 스테이션은 우선 상대 스테이션의 수신 가

능한 주파수대역과 자신이 장착하고 있는 트랜스듀서의 주파수대역을 알아야 한다.

각 스테이션들이 다수의 트랜스듀서를 장착하고 있기 때문에 선택할 수 있는 전송채널이 여러 개 존재할 수 있다. 이 경우 여러 전송채널들의 균형 있는 이용을 위해 별도의 알고리즘이 있어야 한다.

본 연구에서는 간단한 방법으로서 선택 가능한 후보 전송채널들 중 가장 오래 동안 'idle'상태에 있는 채널을 우선적으로 선택하였다. 이를 위하여 각 스테이션들은 자신이 장착하고 있는 트랜스듀서를 통해 전송채널의 사용 여부를 계속적으로 감시하고 'idle'기간중의 시간을 누적하고 있어야 한다.

본 논문에서 제안하는 접속제어 프로토콜은 초음파 다중 전송채널을 사용하여 프레임 전송할 수 있고, 수신 채널로부터 프레임을 수신한다. 설계된 프로토콜의 전체적인 상태도는 그림 3.3과 같다.

(1) 캐리어 감지

모든 스테이션들은 초기 상태에서 항상 캐리어 감지 모드로서 동작하며 프레임 송신을 위한 요구와 프레임의 수신을 대기한다. 또한 다중 전송채널에서 접속제어를 위해 각 전송채널의 사용 여부를 지속적으로 감시하고 채널별 'idle' 시간을 누적시킨다.

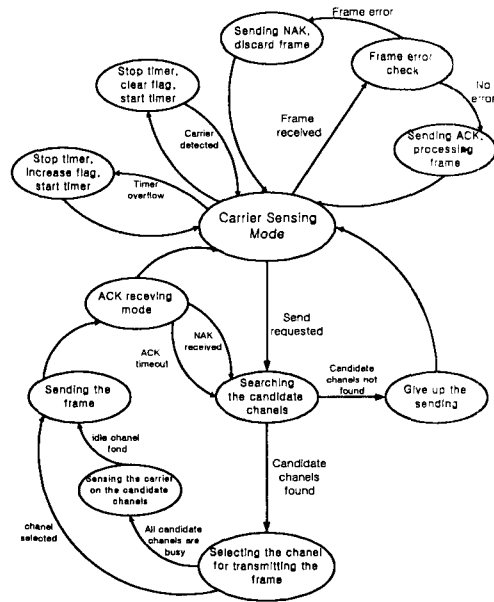
(2) 프레임 수신

캐리어 감지 모드에서, 프레임이 수신되면 수신된 프레임의 오류 유·무 판정 결과에 따라 오류가 없으면 프레임을 송신한 상대측 스테이션에 ACK 신호를 송신하고 수신된 프레임을 처리한 후 캐리어 감지 모드로 되돌아간다. 만일 수신된 프레임에 오류가 있으면 상대측 스테이션에 NAK 신호를 송신하고 수신된 프레임을 버린 후 캐리어 감지 모드로 되돌아간다.

(3) 프레임 송신

캐리어 감지 모드에서 프레임 송신을 위한 요구가 있을 때는 절차에 따라 프레임을 송신한다. 목적지 스테이션에 프레임을 전송하기 위해서는 다수의 초음파 전송채널 중 실제 전송에 사용하기 위한 하나의 전송채널을 선택하여야 한다. 이를 위

한 첫 단계로서 목적지 스테이션에서 수신이 가능하고 자신의 스테이션이 송신 가능한 후보 채널 등을 검색한다.



〈그림 3.3〉 접속제어 프로토콜의 상태 천이도
Fig. 3.3 The procedure state transition diagram

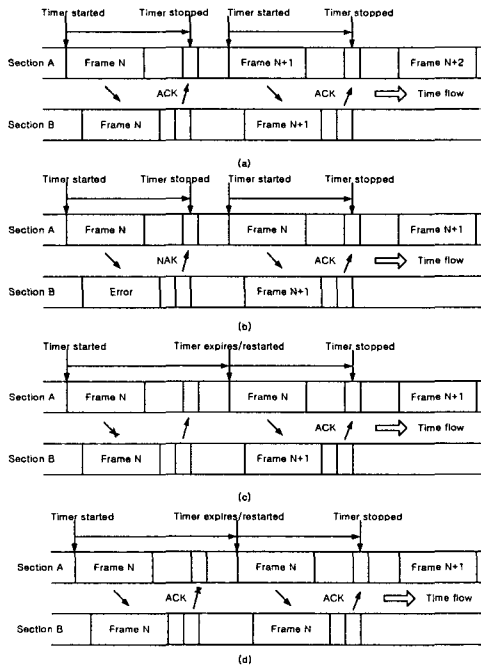
(4) 오류 제어

접속제어 프로토콜에서는 오류 제어를 위해 정지대기(Stop-and-wait) 자동 반복 요청(ARQ ; Automatic repeat request) 방식을 사용하였다.

스테이션 A에서 스테이션 B로 프레임의 송신시 오류가 없으면 그림 3.4 (a)와 같이 프레임의 송·수신과 그에 대한 응답인 ACK의 송·수신이 이루어진다.

그림 3.4 (b)는 프레임은 수신되었지만 수신된 프레임의 데이터에 오류가 발생한 경우로 NAK 응답과 프레임의 재 송신이 이루어진다.

그림 3.4 (c)는 프레임이 송신 도중 유실된 경우이고 그리고 그림 3.4 (d)는 프레임은 수신되었지만 그 응답이 유실된 경우로서 두 가지 경우 모두 타임아웃(timeout)에 의해 프레임의 재 송신이 이루어진다.



〈그림 3.4〉 다중 접속제어 프로토콜의 오류제어
Fig. 3.4 Error control in the MAC protocol

IV. 수중 다중 디지털 통신시스템의 설계

4.1 변·복조 시스템

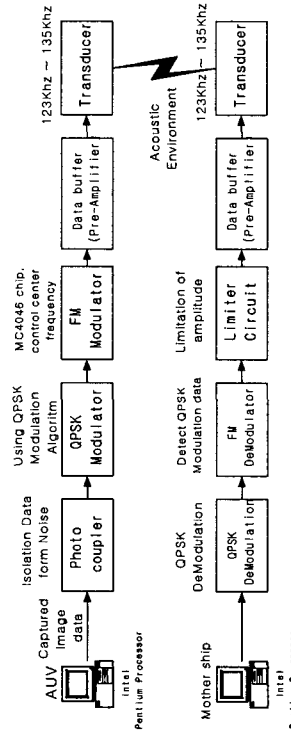
수중에서의 데이터 전송을 위해서는 신호의 전송손실이 적은 초음파를 이용하여야 한다. 그러나, 데이터 전송에 초음파 트랜스듀서의 대역폭이 제한되어 있고 데이터를 전송하는데 걸리는 시간이 일반적인 통신에서 사용되는 매체보다는 길기 때문에 제한된 주파수 대역폭에서 높은 전송성능을 갖는 $\pi/4$ QPSK 변·복조 방식을 사용하여 시스템을 구성하는 것이 바람직하다[9].

$\pi/4$ QPSK 알고리즘을 이용한 변·복조 시스템의 전체 구성도는 그림 4.1과 같이 구성된다.

QPSK 변조된 신호는 주파수변조(FM; Frequency Modulation)를 통하여 잡음에 강한 센서의 중심주파수에 적합한 신호가 된다. FM 회로는 일반적인 FM 회로에 사용되는 MC4046 VCO(Voltage Controlled Oscillator)/FM Modulation 칩을 이용하였다.

QPSK 변조기와 FM 변조기를 거친 데이터는 전

단 증폭기를 거쳐 123kHz에서 135kHz까지로 약 12kHz의 대역폭을 갖는 초음파 트랜스듀서를 거쳐 수상의 모션으로 전송하게 된다.



〈그림 4.1〉 변복조기의 블록 다이어그램
Fig. 4.1 Block diagram of modulator and demodulator

QPSK를 이용한 복조 시스템은 초음파 트랜스듀서를 통해 들어오는 신호는 반사로 인한 멀티패스의 영향과 주변잡음 등으로 인해 AM성분이 발생한다.

AM성분을 제거하기 위해 리미터(Limiter)회로를 이용하는데, 리미터 회로는 일반 증폭기를 이용하여 구성되며, 1단으로 얻을 수 있는 이득이 낮기 때문에 5단으로 구성된 리미터 회로를 사용하였다. 또한 AM성분이 제거된 신호로부터 QPSK 변조 신호 검출을 위하여 FM 복조기(Demodulator)를 이용하여 FM 신호를 제거하는데 복조회로에서도 변조회로와 동일한 MC4046칩을 사용하여 구현하였다.

4.2 부호화 기법

데이터의 대부분을 차지하는 수중의 영상은 일반 영상과는 달리 픽셀(Pixel)들간의 유사성이 매우 심하기 때문에 연속하여 같은 값이 나오는 데이터에 한하여 가장 간단하고 구현하기가 쉬운 런랭스(Run length) 부호화를 이용하여 데이터의 부호화를 수행하였다.

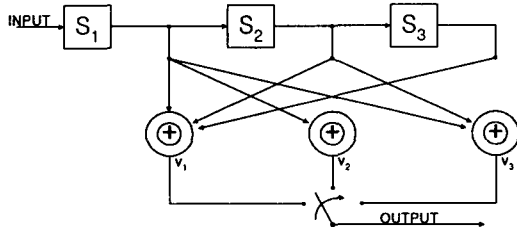
수중 초음파 디지털 다중통신은 정보전송 손실의 원인이 되는 멀티패스, 거품층에 의한 반사, 선박에 의한 물의 산란, 파도 등의 열악한 수중환경하에 정보를 전송하여야 하므로, 이를 극복하고 신뢰성있는 통신을 하기위한 시스템을 구현하기 위하여 버터비 코딩(Viterbi Coding) 기법을 활용한다[10].

버터비 알고리즘은 일반적인 콘볼루션 부호화 방법의 일종으로서 소프트웨어적으로 구성하기가 용이한 장점을 가지고 있다.

콘볼루션의 일반적인 사용으로는 제한된 길이가 3인 1/3 콘볼루션 인코더(Encoder)가 있는데 이 인코더의 구성은 그림 4.2과 같다.

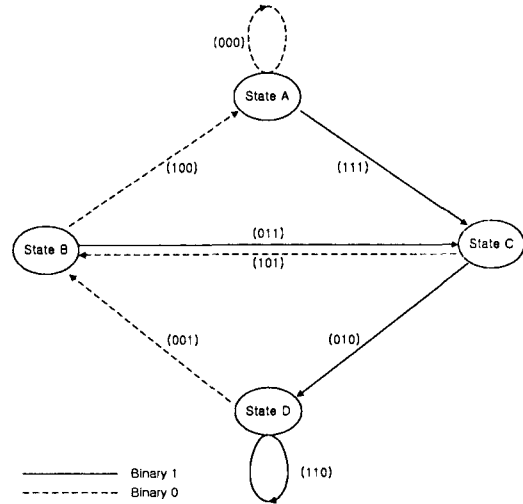
그림에서 S는 상태를 나타내는 레지스터(Register)로 구성하는데 데이터는 S₁로 들어오게 되며, S₁에 있는 데이터는 S₂로 이동하게 된다.

S₁, S₂, S₃의 조합으로 새로운 데이터에 대한 정보심볼이 만들어지며 이 새로운 데이터 심볼은 v₁, v₂, v₃의 형태로 구성된다.

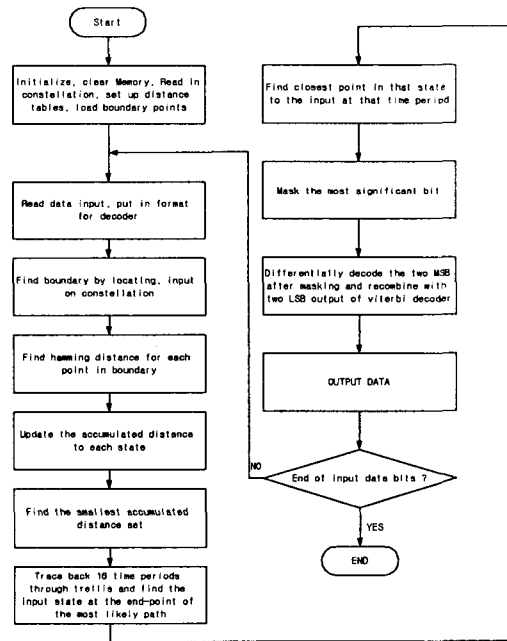


〈그림 4.2〉 1/3 콘볼루션 부호화기
Fig. 4.2 1/3 Convolutional encoder

이때 콘볼루션 인코더에 대한 수학적 표현은 다음의 식과 같다. 이 식에 의해서 입력데이터가 101001이라고 했을 때 인코더를 거쳐 나오는 데이터는 1111010111001111이 된다.



〈그림 4.3〉 콘볼루션 인코더의 상태도
Fig. 4.3 State Diagram of convolutional Encoder



〈그림 4.4〉 버터비 알고리즘을 이용한 디코더의 흐름도

Fig. 4.4 Flowchart for Viterbi algorithm

$$v_1 = S_1 \oplus S_2 \oplus S_3$$

$$v_2 = S_1$$

$$v_3 = S_1 \oplus S_2$$

콘스트레인트 길이가 3인 콘볼루션 엔코더의 상태 다이어그램은 그림 4.3과 같다.

그림 4.3에서 입력데이터가 1인 경우는 실선으로 표시되고, 0인 경우는 점선으로 표시된다. 상태 다이어그램을 이용하여 입력되는 데이터를 그 시간에 대응시켜 표시한다.

AUV에서 모선으로 영상데이터를 보낼 때 발생하는 수많은 데이터의 오류를 복원하기 위하여 영상데이터는 트렐리스 다이어그램을 이용하여 인코딩한다. 이 코딩된 데이터는 수상의 모선에서 다시 비터비 알고리즘을 이용하여 디코딩 하게 된다.

데이터의 인코딩과 디코딩은 실 시간적인 처리를 위해 수치연산 전용으로 사용하는 DSP(Digital Signal Processor)보드에서 소프트웨어적으로 수행하게 되는데[11], 이때 사용한 DSP는 모토라에서 나오는 DSP56001을 이용하여 처리하였다.

그림 4.4은 DSP56001 보드를 이용한 비터비 디코딩 알고리즘을 처리하기 위한 흐름도 이다[12].

V. 실험 및 결과

초음파 영상신호를 전송하기 위하여 잡음에 강한 시스템 구성으로 포토키퍼러를 변복조 보드에 추가하였고, 송·수신시 데이터간의 동기를 위하여 동기회로를 추가하여 두 시스템간의 동기를 수행하였다.

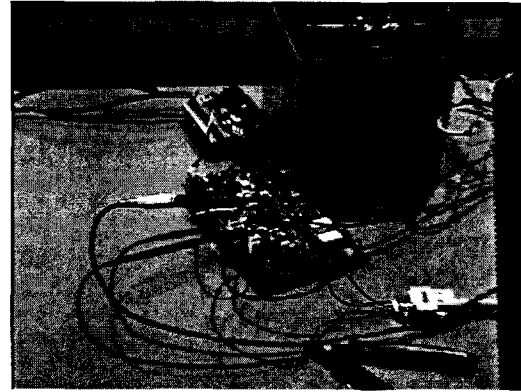
수신된 영상 데이터나 계측데이터를 초음파로 송신하기 위해서는 변조과정을 거쳐야 한다.

위상 및 주파수 변조된 피 변조 데이터 신호는 초음파 트랜스듀서를 통하여 수신되며, 전단증폭기를 통해 감쇠된 신호의 진폭을 증폭시키고, 증폭된 신호에 대해 잡음을 제거하기 위하여 포락선 검파기(Envelope detector)를 통해 데이터 신호를 추출한다.

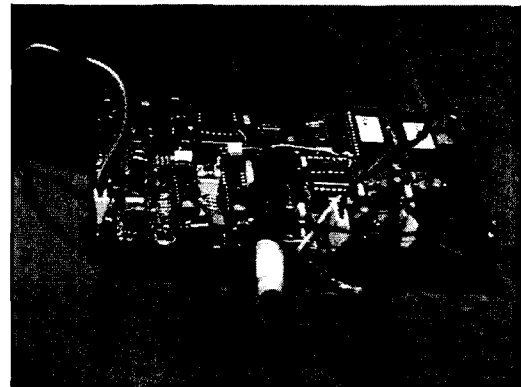
개발된 초음파 영상전송 시스템은 수조에서 실험하였고, 그 결과 9600bps의 데이터 전송성능을 얻을 수 있었다. 그림 5.1, 5.2는 개발된 수중초음파 영상전송 시스템의 송·수신 변복조 보드의 실험사진이다.

수중영상전송 시스템의 운용 소프트웨어는 C++ Language 로 코딩하였고, 구성요소로는 초음파 트

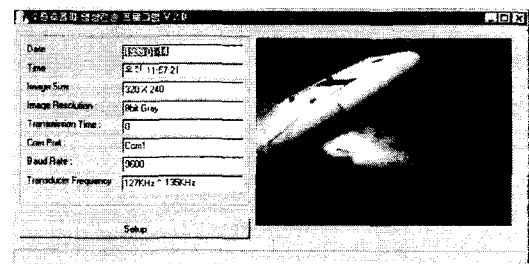
랜스듀서를 통해 수신된 영상신호의 정보(크기, Resolution)와 트랜스듀서의 주파수 정보, 날짜, 시



〈그림 5.1〉 수신기 변복조 보드의 사진
Fig. 5.1 Picture of receiver modem PCB.



〈그림 5.2〉 송신기 변복조 보드의 사진
Fig. 5.2 Picture of transmitter modem PCB.



〈그림 5.3〉 수신된 초음파 영상정보의 사용자 환경
Fig. 5.3 User interface of received acoustical image-data

간, 전송시간, 시스템과 PC간의 직렬통신 환경설정 등으로 구성되어 있다.

트랜스듀서를 통해 수신된 영상정보를 신호 처리한 수신화면은 그림 5.3과 같으며, 순수한 영상 정보만 수신하여 표시할 수 있도록 화면구성이 되어 있다.

VI. 결 론

해저 탐사 및 개발을 위해 활용되는 모선과 수중 시스템들 상호, 각종 제어 신호와 수중에서의 상태 정보들을 송·수신하기 위하여 수중 통신망의 구현이 필수적으로 요구된다.

본 논문에서는 수중 이동체 통신망을 위한 접속 제어 프로토콜을 설계하고, 프로토콜의 정상적인 동작 여부를 측정하기 위하여 수중 초음파 모델과 접속제어 장치를 구현하였다.

제안한 접속제어 프로토콜은 수중에서의 초음파의 물리적인 특성을 고려하여 전파 지연 시간이 큰 경우에도 통신망의 최대 수율을 일정 수준으로 유지할 수 있었고, 다중 초음파 전송 채널을 이용하여 수중에서 고속 데이터 전송을 할 수 있도록 설계하였다.

이 접속제어 프로토콜은 1:1 통신망, 중앙 집중식 통신망 및 Fully connected peer-to-peer통신망에 모두 적용할 수 있다.

따라서, 본 연구에서 제안한 접속제어 프로토콜은 향후의 복잡한 형태의 수중 작업 체계에서 여러 형태의 수중 통신망을 구성하기 위한 프로토콜로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구, 보완되어야 할 사항은 수중에서의 멀티패스, 반향소음에 강인한 화상처리를 위하여 적응 등화기(Adaptive equalizer)에 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하는 방안의 연구와, 실제해양에서의 AUV의 활용을 위하여 Doppler shift 현상을 하드웨어적으로 보완되어야 하며, 전송속도를 10kbps 이상으로 향상시킬 필요가 있다고 사료된다.

또한 실제해양에서의 반향소음 및 멀티패스 잡음(Multipath noise)을 억제할 수 있도록 지속적인 기술개발과 개발된 기술의 시스템 적용 등이 남아 있으며, 이들 기술을 실제해양에서의 시험을 통하

여 실용화 시킬 수 있어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] J. A. Catipovic, D. Brady S. Etchemendy, "Development of Underwater Acoustic Modems and Network", IEEE Journal of Oceanographic Engineering, Vol. 6, No. 3, pp. 112-119, 1993
- [2] 임용곤 외 3인, "Multipath를 고려한 수중 초음파 통신시스템의 구현", 한국해양정보통신학회지, pp. 95-104, No. 1, Sep. 1997
- [3] T. Curtin, J. Bellingham, J. Catopovic and D. Webb, "Autonomous Oceanographic Sampling Networks", Oceanography, Vol. 6, No. 3, 1983
- [4] R. J. Urick, "Principles of Underwater Sound for Engineers", N.Y. McGraw-Hill, 1965
- [5] J. A. Catipovic, "performance Limitations in Underwater Acoustic Telemetry", IEEE Oceanic Eng., Vol. 15, No. 3, pp. 205-216, jul. 1990
- [6] M. Feder and J. A. Catipovic, "Algorithms For Joint Channel Estimation and Data Recovery - Application to Equalization on in Underwater Communications", IEEE Oceanic Eng., Vol. 16, No. 1, pp. 45-52, Jan. 1991
- [7] M. A. Johnson, and L. E. Freitag, "Towards an Autonomous Receiver for Underwater Acoustic Communications", Proc. IEEE Oceans '96, Sep. 1996
- [8] F. M. Burg, "Of local networks, protocols, and the OSI reference model", Data Communications, Nov. 1984
- [9] 해양연구소, 해양장비 핵심기술 개발 "200m급 탐사용 AUV 개발Ⅲ", 3차년도 최종보고서, 1996.12
- [10] A. J. Viterbi, J. K. Omura, "Principles of Digital Communication and Coding", McGraw-Hill, 1979
- [11] DSP56000 / DSP56001 Digital Signal

Processor User's Manual,(DSP56000 UM / AD), Motorola Inc., 1989

- [12] Convolutional Encoding and Viterbi Decoding Using the DSP56001 with a V.32 Modem Trellis Example, DSP56001/DSP56002 Application Notes, APP6/D, Motorola Inc., 1989



박연식(Yeoun-Sik Park)
경상대학교 정보통신공학과, 해양산업연구소
(Gyeong-Sang National University
Dept of Information and Communication
Engineering Major, The Institute of Marine Industry)

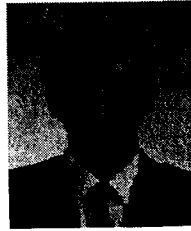
관심분야 : 수중화상통신

연구세부분야 : 컴퓨터 네트워크

650-160 경남 통영시 인평동 445

경상대학교 해양과학대학 정보통신공학과

(0557-640-3137 011-886-3137)



임재홍(Jae-Hong Yim)

1986년 2월: 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 8월: 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1995년 2월: 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1995년 3월 ~ 1997년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 전임강사

1997년 3월 ~ 현재: 한국해양대학교 전자통신공학과 조교수

* 관심분야: 컴퓨터네트워크, 분산 컴퓨팅, 그룹웨어