

<수중무선디지털통신을 위한 접속제어 프로토콜의 설계>

<이호성, 이승민, 김용태, 이홍호>  
 <충남대학교 전기공학과>

<A Design of the Protocol for a Underwater Wireless Digital Communication System>

<Hyo-Sung Lee, Seung-Min Lee, Yong-Tae Kim Heng-Ho Lee >  
 <Dept. of Electrical Eng. Chungnam National Univ.>

**Abstract** - The underwater system autonomously is navigated by using the wireless communication system, which receives the control signal from surface ship. The study proposes the new media access control protocol for underwater vehicles network in the view of communication distance and as CSMA(Carrier Sense Multiple Access) for the existing networks is intended to communication network using the high speed media such as electric signal or microwave signal, and thus it may introduce the reduction in throughput when applying the protocols to underwater communication network.

1. 서 론

수중과 육지간 또는 수중과 수중간의 정보교환 수단으로 수중에서도 육상과 같이 실시간적 이면서도 효율이 좋은 통신장비의 개발이 필요하다. 그리고 이러한 통신장비들은 한정적인 물리적 환경아래 전송 에러율을 최대한 감소시킴으로 가능할 것이고, 이는 효율이 좋은 접속제어 프로토콜의 구현이 최대 과제로 대두된다. 수중에서의 다중 통신망의 구현을 위해서는 초음파의 물리적 특성 중 초음파의 전송속도와 다중경로에 의한 접속오류를 제어하여야 한다. 그리고 육상에서의 다중 접속 통신망 모델을 분석할 필요가 있으며, 수중에서의 다중접속 프로토콜 설계시 이를 반영하여야 할 것이다.

2. 본 론

2.1 수중시스템 통신망

해저탐사 및 수중작업을 위한 수중시스템의 통신망은 다음과 같이 크게 3가지로 나누어진다.

- ①모선과 한대의 수중시스템 사이의 1:1 통신망
- ②한대의 모선과 여러 대의 수중시스템으로 구성된 1:N 통신망
- ③수중시스템들 사이의 Fully connected peer to peer 형태의 통신망

모선에서 수중 시스템으로 전송하는 정보들은 대부분 수중 시스템의 동작을 제어하기 위한 신호들로서 실시간 전송은 요구하지 않지만 정확히 목적하는 수중 시스템에 전달이 되어야 한다. 수중 시스템에서 모선으로 전달되는 정보들은 수중 시스템의 종류에 따라 여러 가지 형태를 갖는데, AUV 및 수중로봇 등과 같은 수중작업 시스템에서는 해저의 영상정보 및 센서를 통해 계속되는 각종 계측정보들을 모선으로 송신해야 한다. 지속적으로 생성되는 이러한 정보들은 실시간에 모선에 전달되어야 하지만 일부의 정보들은 손실되더라도 수중작업에는 크게 문제가 되지는 않는다.

2.2 수중통신망의 물리적 제약조건

수중 초음파 통신을 위한 대부분의 트랜스듀서들은 수

Khz에서 수십 Khz 사이의 주파수를 주로 사용하고 있다. 따라서 대역폭이 수십 Khz 이내로 한정되고 실제 사용 가능한 데이터 전송 속도는 수 Kbps에서 수십 Kbps 이내이다. 이 정도의 데이터 전송속도는 유선 근거리통신망 또는 무선 근거리 통신망에서 사용되는 수 Mbps에서 수십 Mbps의 전송속도에 비하면 훨씬 낮은 속도이다. 따라서 수중통신망의 접속제어 알고리즘의 설계 시 저속의 전송속도를 갖는 채널을 기반으로 하는 통신서비스들을 만족할 수 있도록 하여야 한다.

전파지연 시간이 통상적으로 근거리 통신망의 접속제어 프로토콜에서 패킷의 크기를 결정하는 주요요소가 된다. 패킷의 전파지연시간이 T, 패킷의 전송시간이 Tp 일 때 일반적으로  $Tp \gg T$  인 조건을 만족하도록 패킷의 크기를 결정해야 한다.

W-LAN에서 사용하는 기존의 CSMA 접속제어 알고리즘에서 채널의 효율적인 이용을 위해서는  $a(a=T/Tp)$ 를 약 0.01정도의 값이 되도록 패킷의 크기를 정해야 한다. 수중 초음파 채널의 경우 통신망의 최대 거리를 1Km, 전송속도를 1500bps, a의 값은 W-LAN에서와 같이 0.01로 가정했을때 패킷의 크기는  $1 \times 10^5$  정도가 된다. 이정도 패킷의 크기로는 수중에서 초음파로의 데이터 전송시 예견되는 오류발생율을 고려하면 도저히 사용이 불가능하다. 결국 수중통신망의 접속제어 프로토콜에 기존의 W-LAN에서 사용되는 방식의 접속제어 프로토콜의 사용은 불가능하고 수천 비트 이내의 패킷크기, 즉 a의 값이 1 이상의 큰 값에서도 수중 초음파 채널을 효율적으로 사용할 수 있도록 접속제어 프로토콜을 설계해야 한다. 수중통신망의 응용계층 서비스들은 주로 수중 시스템의 제어신호 전달, 해저의 영상정보 전송 및 센서의 계측정보 전송 등으로 구성된다. 수중 통신망의 물리계층에서 사용되는 초음파 트랜스듀서들은 수 Kbps 혹은 수십 Kbps 정도의 저속의 전송속도를 지원하고 있으므로 이러한 저속의 전송속도를 이용해 영상정보의 실시간 전송과 제어신호 및 계측정보들의 전송을 모두 처리하기에는 한계가 있다. 따라서 응용계층에서 요구되는 각종 서비스들을 저속의 통신채널을 통해 처리하기 위해서는 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 다수의 통신채널을 이용해야 한다.

2.3 접속제어 프로토콜의 설계

1:1 통신망 형태는 가장 단순한 수중 통신망으로서 현재 실용되고 있는 대부분의 수중 시스템방식이다. 1:N이나 Fully connected peer to peer 형태의 통신망은 다수의 수중 시스템을 이용하여 동시에 수중작업을 하고자 할때 필요한 통신망의 구조로서 현재 간단한 응용분야에 제한적으로 적용되고 있다. 앞으로 다수의 수중 시스템들 사이에서 여러 종류의 서비스를 지원하기 위해서는 모선과 수중시스템들, 수중시스템들 상호간 직접적인 통신이 가능한 Fully connected peer to peer 토폴로지의 통신망 구조가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 수중 통신망의 토폴로지를 Fully connected peer to peer 토폴로지로 정의하였으며, 이에 적합한 접속제어 프로토콜을

설계한다.

### 2.3.1 접속제어 프로토콜의 프레임 형식

접속제어 프로토콜은 OSI참조모델의 두 번째 계층인 데이터링크 계층의 부계층으로서 물리계층과 상위의 논리적 링크계층 부계층 사이에서 물리계층을 통한 프레임의 실질적인 송수신 기능을 수행한다.

수중통신망의 구현을 위해서는 응용계층에서 요구되는 각종 서비스의 종류에 따라 하위계층인 데이터링크 계층의 상위계층에 대한 서비스가 정의되어야 하고 논리적 링크계층과 접속제어를 위한 두 부계층의 기능이 정의되어야 한다.

데이터 링크계층의 부계층인 논리적 링크 제어 부계층에서는 논리적인 채널의 연결과 해제 및 전송오류의 복구 위한 흐름제어 등을 수행하고 논리적 링크계층 부계층의 하위계층인 접속제어 프로토콜에서는 논리적 링크계층 부계층으로부터 프레임을 물리계층을 통해 목적지 스테이션에 전달하고, 물리계층으로부터 수신된 프레임을 논리적 링크계층 부계층에 전달하여야 한다. 이때 공동매체를 여러 스테이션에서 공유하여 사용하기 위한 접속제어 기능과 수신된 프레임의 오류 유무를 판단하기 위한 기능이 있어야 한다.

접속제어 프로토콜의 기본적인 기능은 상위의 논리적 링크계층 부계층으로부터 프레임을 목적지까지 전달하는 것이다. 이 과정에서 서로 다른 스테이션들과 공동으로 전송채널을 사용하기 위한 접속제어 기능과, 다른 스테이션들과의 충돌 또는 전송채널에 의해 발생하는 에러의 검출기능이 필요하다. 이를 위해서는 논리적 링크계층 부계층에서 생성된 프레임에 에러검출을 위한 CRC 비트패턴과 프레임의 시작과 종료를 나타내기 위한 구분자를 첨가하여야 한다.

접속제어 프로토콜의 프레임 형식 설계시 고려해야 할 사항으로는 프레임의 시작과 종료구분자는 프레임 내의 정보들과 구분되어야 하며, 간헐적인 데이터 및 연속적인 실시간 정보의 전달을 위해서는 가변 길이의 프레임이어야 하며, 하드웨어의 구현이 용이하여야 한다.

### 2.3.2 다중 수중 초음파 전송채널의 접속제어

초음파의 전파지연 시간과 전송속도로 인한 프로토콜의 제약조건 등을 해결하기 위한 방안으로서 초음파의 전파지연 시간에 무관하게 일정수준의 최대수율을 보장하고, 다중의 초음파 전송채널을 사용하여 고속의 데이터 전송이 가능한 접속제어 프로토콜에 관하여 논한다.

스테이션들 사이의 직접적인 Fully connected peer to peer 통신을 위해서는, 각 스테이션들이 송수신을 위해 장착하고 있는 트랜스듀서에 관한 정보를 모든 스테이션들이 알고 있어야 한다. 이러한 정보들을 이용하여 상대측 스테이션과 송수신이 가능한 전송채널을 선택할 수 있다. 전송채널의 선택시, 각 스테이션들은 다수의 트랜스듀서를 장착하고 있기 때문에 선택 가능한 전송채널이 여러 개 존재할 수 있다. 이 경우 여러 전송채널들의 균형 있는 이용을 위한 별도의 프로토콜이 있어야 한다. 본 연구에서는 간단한 방법으로 선택 가능한 후보 전송채널들 중 가장 오랫동안 'idle'상태에 있는 채널을 우선적으로 선택하였다. 이를 위해서 각 스테이션들은 자신이 장착하고 있는 트랜스듀서를 통해 전송채널의 사용여부를 계속적으로 감시하고 'idle'기간 중의 시간에 관한 정보를 누적하고 있어야 한다. 수중초음파 단일 전송채널의 접속제어는 전송을 원하는 스테이션이 다중전송채널들 중에서 하나의 채널을 선택하면 선택된 단일채널을 이용하여 프레임의 전송을 시도한다. 이때 W-LAN에서와 마찬가지로 다른 스테이션들과의 충돌이 발생할 수 있다.

W-LAN에서 주로 사용하는 CSMA 접속제어 방식에서는 스테이션들 사이의 충돌을 줄이기 위한 방법으로 1-persistent CSMA, non-persistent CSMA,

p-persistent CSMA 등 여러 가지 방식을 사용하고 있지만 이 방식들은 전파지연이 작은 경우에 한하여 높은 수율을 제공하고 있지만, 패킷의 크기와 통신망의 최대거리가 일정한 조건에서 전파지연시간이 길어지면 전송채널의 최대수율이 급격히 저하되는 단점이 있다. CSMA 방식에서는 채널의 'idle' 여부를 판정하기 위하여 전송채널의 상태를 감시하는 과정에서 실제 캐리어가 존재하지 않더라도 전파지연시간에 의한 충돌을 방지하기 위해 충분한 시간적 여유를 두고 전송을 시도한다. 이때의 시간적 여유는 통신망 내의 최대거리까지의 전파지연 시간을 고려하여 결정한다. 따라서 전파지연시간이 큰 경우 충돌방지를 위해 소비되는 대기 시간이 커짐으로 최대수율이 급격히 감소한다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하는 방법으로 전파지연시간에 무관하게 일정 크기 이상의 최대수율을 보장할 수 있도록 접속제어 프로토콜을 설계하였다. 설계된 접속제어 프로토콜에서는 CSMA 방식과 달리 전송을 원하는 스테이션은 채널이 'idle' 상태일때 전파지연시간을 고려하지 않고 즉시 전송을 시도한다.

이 경우 다른 스테이션과의 충돌에 의한 에러율은 높아진다. 그러나 CSMA 방식에서는 충돌의 방지를 위해 전파지연시간 동안만큼의 소비하는 대기시간을 고려하면 충돌이 발생하더라도 전체적인 수율의 향상을 기대할 수 있다.

### 2.3.3 다중 전송채널을 이용한 프레임 전송절차

초음파 다중 전송채널 중 실제 전송에 사용하기 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 단일채널이 선택됨과 동시에 프레임 전송이 이루어진다. 프레임 전송을 위한 절차는 다음 그림과 같다.

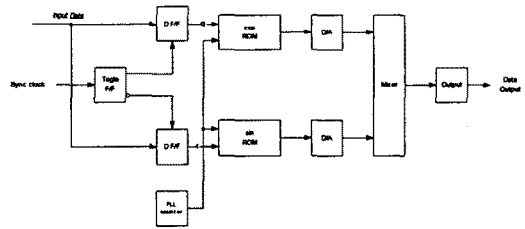


그림 1. 프레임 전송 절차

그림에서 스테이션들은 정상상태에서 항상 사용가능한 모든 송신채널들에 대한 감시를 연속적으로 수행하고 'idle'상태의 채널들에 대해 'idle' 기간을 누적시킨다. 이때 수신된 프레임이 있으면 상위 부계층으로부터 정보를 전달하고 다른 스테이션으로부터 송신하기 위한 요구가 발생하면 상대측과 교신이 가능한 전송채널들을 검색한다.

이 과정은 시스템의 초기화 과정에서 사전에 보관하고 있는 각 스테이션별로 장착하고 있는 트랜스듀서에 관한 정보로부터 자신의 스테이션과 교신이 가능한 채널을 검색한다. 만일 교신이 가능한 송신채널의 검색에 실패하면, 두 스테이션 사이에는 직접적인 Fully connected peer to peer 통신을 할 수 없으므로 송신을 포기한다. 대부분의 경우에는 다수의 교신 가능한 후보채널들이 검색된다. 이 여러 후보송신채널들중의 하나를 선택하기 위해 각 채널별로 누적된 'idle' 기간을 비교한다. 그중 가장 오랜 시간동안 'idle'한 채널을 선택하여 프레임을 송신하고 'idle' 기간을 '0'으로 세트시킨다. 이 접속제어 방식은 앞에서 설명한 세 가지의 통신망 구조에 모두 적용할 수 있다.

**2.3.4 수중초음파 다중전송채널을 이용한 송수신 절차**  
수중통신망에는 다수의 스테이션들과 이들 스테이션들이 사용 가능한 다수의 초음파 전송채널들이 존재한다. 통신망 내의 각 스테이션들은 이 다수의 전송채널중의 하나를 이용해 상대측에 프레임의 전송을 할 수 있어야 한다. 이를 위해 전송을 원하는 스테이션은 우선 상대 스테이션의 수신 가능한 주파수 대역과 자신이 장착하고 있는 트랜스듀서의 주파수 대역을 알아야 한다. 즉, 스테이션들 사이의 직접적인 peer to peer 통신을 위해서는 각 스테이션들이 송수신을 위해 장착하고 있는 트랜스듀서에 관한 정보를 모든 스테이션들이 알고 있어야 한다. 이 정보를 이용해 스테이션 상호간 송수신이 가능한 전송채널을 선택하여 송신을 할 수 있다.  
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.

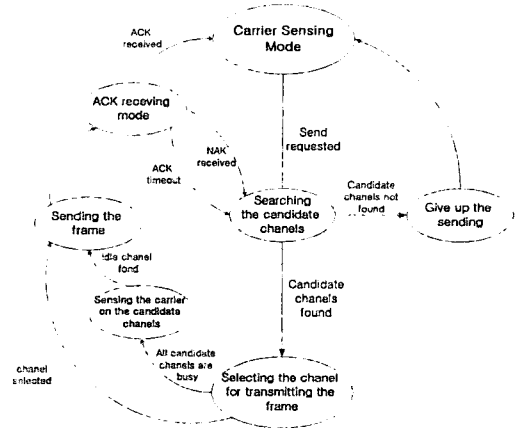


그림 3. 프레임 송신 상태 천이도

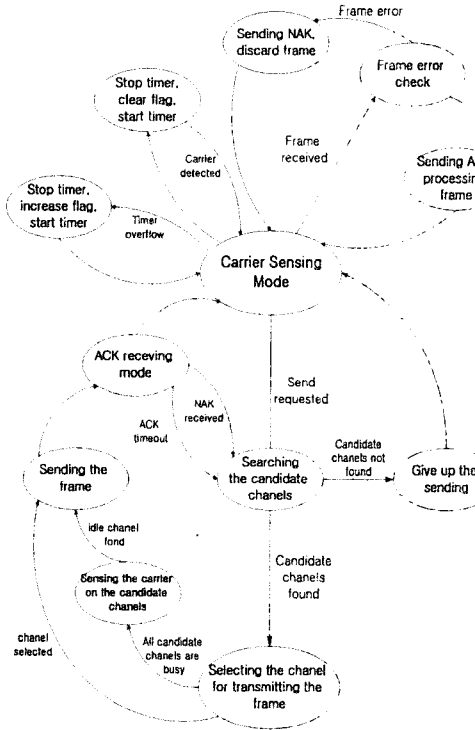


그림 2. 접속 제어 프로토콜의 상태 천이도

본 논문에서는 간단한 방법으로 선택 가능한 후보 전송채널들 중 가장 오랫동안 'idle' 상태에 있는 채널을 우선적으로 선택하였다. 이를 위하여 각 스테이션들은 자신이 장착하고 있는 트랜스듀서를 통해 전송채널의 사용여부를 계속적으로 감시하고 'idle' 기간 중의 시간을 누적하고 있어야 한다.

본 논문에서 제안하는 접속제어 프로토콜은 초음파 다중전송채널을 사용하여 프레임의 전송을 할 수 있고, 수신채널로부터 프레임의 수신한다. 설계된 프로토콜의 전체적인 상태도, 프레임 송신 상태천이도 그리고 프레임 수신 상태천이도는 그림과 같다.

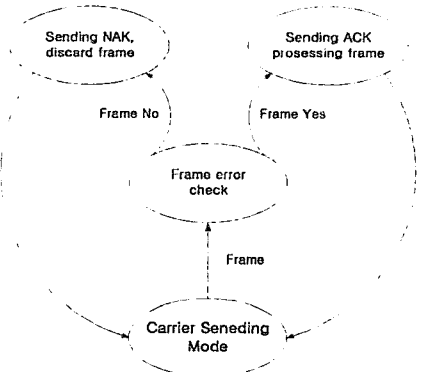


그림 4. 프레임 수신 상태 천이도

### 3. 결 론

본 논문에서는 수중 이동체의 통신망을 위한 접속제어 프로토콜을 설계하였다. 제한한 접속제어 프로토콜은 수중에서의 초음파의 물리적인 특성을 고려하여 전파지연 시간이 큰 경우에도 통신망의 최대수용을 일정수준으로 유지할 수 있고, 다중 초음파 전송채널을 이용하여 수중에서 고속 데이터 전송을 할 수 있도록 설계하였다. 제안한 접속제어 프로토콜은 향후의 복잡한 형태의 수중작업 체계에서 여러 형태의 수중 통신망을 구성하기 위한 프로토콜로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### [참 고 문 헌]

[1] J. A. Catipovic, D. Brady S. Echemendy, "Development of Underwater Acoustic Modems and Network", IEEE Journal of Oceanographic Engineering, Vol. 6, No. 3, 112-119, 1993  
[2] 임용곤, 박종원 외, "Multipath를 고려한 수중 초음파 통신 시스템의 구현", 한국 해양 정보통신 학회, Vol. 1, No. 1, 95-104, 1997.  
[3] Johnson, M. A. and Freitag, L. E., "Towards and Autonomous Receiver for Underwater Acoustic Communication", Proc. IEEE Ocean '96, 1996.