
수중음향통신망을 위한 하이브리드 MAC 프로토콜 설계

박종원* · 고헌림** · 조아라* · 윤창호* · 최영철* · 임용곤*

Hybrid MAC Protocol Design for an Underwater Acoustic Network

Jong-Won Park* · Hak-Lim Ko** · A-Ra Cho* · Chang-Ho Yun* · YoungChol Choi* · Yong-Kon Lim*

이 논문은 국토해양부 국가연구개발사업 연구비를 지원받았음

요 약

본 논문은 수중음향통신망을 위한 TDMA(Time Division Multiple Access) 기반의 비경쟁모드 방식의 MAC 프로토콜과 경쟁모드 방식의 MAC 프로토콜을 동시에 사용하는 하이브리드 MAC 프로토콜을 제안하고 있다. 제안된 MAC 프로토콜은 네트워크 전반적인 관리를 위한 비콘 패킷, 시간슬롯 사이의 충돌방지를 위한 Guard Period, 시간 태그(time tag)를 이용한 마스터 노드와의 전송지연 계산, 노드간 시간동기, 네트워크 진입 및 탈퇴, 노드간 통신방식 등의 기능을 제공한다. 수중음향통신망의 대표적 이동노드인 자율무인잠수정(AUV)을 대상으로 제안된 하이브리드 MAC 프로토콜을 적용하였고, 제안된 MAC 프로토콜이 실제 수중음향통신망 환경에서 적용 가능함을 검증하였다.

ABSTRACT

This paper deals with hybrid MAC protocol design for underwater acoustic networks. The proposed MAC protocol has the cluster structure with a master node and slave nodes, and the hybrid network structure that combines a contention free period based on TDMA(Time Division Multiple Access) with a contention period. The suggested MAC protocol has a beacon packet for supervising network, a guard period between time slots for packet collision, time tag for estimation of propagation delay with a master node, the time synchronization of nodes, entering and leaving of network, and the communication method among nodes. In this paper, we adapt the proposed hybrid MAC protocol to AUV network, that is the representative mobile device of underwater acoustic network, and verify this protocol is applicable in real underwater acoustic network environment.

키워드

Underwater Acoustic Network, Underwater Acoustic MAC, Hybrid MAC Protocol, TDMA

* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 해양시스템연구부
** 호서대학교 정보통신공학과

접수일자 : 2009. 04. 14
심사완료일자 : 2009. 05. 07

I. 서 론

해양 생물자원, 해저 광물자원 및 해양 유전자 연구 등과 같이 해양에 대한 관심이 점차 늘어나면서 수중 탐사에 대한 요구가 증대되고 있으며, 최근 정보통신 기술의 발달에 힘입어 기존의 단순한 탐사 작업보다는 복잡하고 다양한 임무를 갖는 수중 작업을 요구하고 있다. 이에 따라 수중 통신과 관련된 연구도 1990년 후반의 일대일 수중통신 모델에서 최근에는 수중통신 네트워크에 대한 연구로 진행되고 있으며, 주기적인 해양 데이터 수집, 해양 오염 감시, 해저 탐사 및 수중작업, 해양 재난 방지, 항해나 군사적 이용 등과 같은 다양한 목적을 위한 수중통신 네트워크 연구가 전 세계적으로 추진되고 있다.[1]. 수중통신 네트워크 프로젝트는 미국이 가장 많은 연구를 수행하고 있으며, 관련 대형 프로젝트로는 해양환경 데이터 수집을 위한 AOSN (Autonomous Ocean Sampling Network) 프로젝트[2], 연안·항만 감시 체계를 목적으로 개발된 SEAWEB 프로젝트[3][4], SEAWEB의 실험적 프로젝트인 FRONT (Front Resolving Observational Network with Technology)가 2000년대 초반까지 연구되었고 최근 펜실베이니아 주립대학을 중심으로 PLUSNet 프로젝트가 2005년도부터 진행되었다[5].

일반적으로 무선통신을 위해 사용되고 있는 전자파는 수중에서 급격한 감쇄특성으로 가지고 있어 수중에서는 음파가 유일한 전달매체로서 사용되고 있다. 수중에서 음파는 매우 느린 전달속도(1,500m/s)를 가지고 있어 육상의 전자파에 비해 2×10^5 배만큼의 긴 전송 지연특성을 가지고 있으며, 이 특성은 일반적인 무선통신에서 사용하고 있는 MAC 프로토콜을 수중 통신환경에 직접 적용하지 못하게 하는 주된 요인이 되고 있다.

일반적으로 경쟁방식에 의한 네트워크 프로토콜은 ALOHA, Slotted-ALOHA, IEEE 802.11 DCF (Distributed Coordination Function), CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance) 등이 있으며, 최근 수중음향통신환경에서 ALOHA 프로토콜에 대한 성능분석에 대한 연구가 수행되었다[6][7]. 또한 비경쟁방식에 의한 MAC 프로토콜과 관련하여 Freitag은 싱글 홉과 스타 토폴로지를 갖는 기뢰 대응 운용을 목적으로 하는 자율무인잠수정(AUV, Autonomous Underwater Vehicle) 네트워크에서 중앙 게이트웨이 부이가 여러 대의 자율무인

잠수정 원격 운용제어를 수행하기 위해서 낮은 전송속도의 제어명령을 TDMA (Time Division Multiple Access) 프로토콜을 이용하여 데이터 통신을 수행하였다[8]. AÇar 등은 적응형 데이터 전송율과 전력제어를 지원하는 중앙 집중형 TDMA 프로토콜을 사용하는 ACMENet에 대한 연구를 수행하였고[9], Salvá-Garau 등은 내부 클러스터에서는 TDMA를 이용한 통신을 수행하고 클러스터간에는 CDMA를 이용한 통신을 수행하는 TDMA-DMA 클러스터 구조의 MAC 프로토콜에 대한 연구를 수행하였다[10].

지금까지 수중환경에서 연구되어온 TDMA 프로토콜은 마스터 노드와 슬레이브 노드들로 구성되는 클러스터 네트워크 구조를 가지고 있으며 주기적으로 마스터 노드로 데이터를 전송하는 해양환경 감시를 목적으로 연구되어 오고 있다. 따라서 TDMA 기반의 MAC 프로토콜은 네트워크를 구성하는 노드들에 대해서 잘 알고 있는 수중 통신망에서 사용되면서 네트워크를 구성하는 노드들에게 안정적인 네트워크 통신을 지원한다는 장점을 제공하고 있으나, 자율무인잠수정과 같이 움직임이 높은 운용환경에 대해서 적용할 수 있는 노드수가 제한되며 슬레이브 노드들간의 데이터 통신에 제약을 가지고 있다는 단점을 가지고 있다. 한편, 자율무인잠수정과 같은 이동 노드들간의 자유로운 통신을 위해 수중통신 환경에서도 경쟁방식을 기반으로 하는 프로토콜 연구가 진행되어 오고 있으나, 긴 전송지연과 충돌방지를 위한 백오프(Back-off) 등과 같은 구조로 인해 네트워크의 성능(Throughput, 지연)이 매우 열악하고 구현이 어렵다는 제약을 가지고 있다[11].

본 논문은 TDMA 기반의 수중 네트워크 운용환경을 개선하기 위해서 네트워크 클러스터 구조의 노드간 자유로운 통신 및 네트워크 관리 등의 다양한 기능을 수행할 수 있도록 TDMA 기반의 비경쟁모드 방식과 채널 점유방식에 기반한 경쟁모드 방식이 혼합된 새로운 하이브리드형 MAC 프로토콜을 제안하였고, 수중 통신망의 대표적인 이동노드인 자율무인잠수정(AUV)의 운용환경을 적용하여 설계 결과를 분석하였다. 제안된 하이브리드 MAC 프로토콜은 비경쟁모드에서 TDMA를 기반으로 마스터노드와 슬레이브 노드들간의 해양환경 감시를 위한 주기적 데이터 통신을 수행하고, 비경쟁모드에서는 채널점유방식을 기반으로 노드들과의 데이터 통신 기능을 수행할 수 있도록 한다. 또한, 주

기적인 비콘(비콘) 패킷 구조를 적용하여 네트워크 운영관리 기능을 수행할 수 있도록 하며, 전달하는 패킷 충돌과 이동노드의 움직임 보상을 위한 가드 시간(Guard Time), 비콘(비콘) 패킷에 포함된 시간정보를 이용하여 마스터 노드로부터의 전송 지연 추정, 노드들간의 시간 동기, 네트워크 진입/탈퇴, 노드들간의 통신 등의 기능을 제공한다.

II. 수중음향 통신망 제약조건 및 특성분석

육상과 달리 수중에서 전자기파는 산란과 감쇄가 심해서 전송 거리가 매우 제한되고 있어 전송거리가 수백 m의 범위 이상에서 사용할 수 있는 범용의 수중 통신에 있어 초음파가 유일한 통신 전달매체로서 사용되고 있다. 육상에서 빛의 속도로 전파되는 전자기파(3×10^8 m/s, $3.33 \mu\text{s}/\text{km}$)와 달리 수중에서 음파는 $1,500$ m/s의 속도로 전파되어 전파 지연 시간은 약 $0.67\text{s}/\text{km}$ 가 되고, 이 값은 육상에서의 전파 지연 시간에 비해 약 2×10^5 배나 긴 시간 값을 갖는다[12][13]. 수중 통신이 일반적으로 사용되는 목적(수중환경 관측, 수중 이동체간 통신 등)을 고려할 때 약 $1 \sim 4$ km의 전송거리가 요구되고 있으며, 전송속도가 수 kbps ~ 수십 kbps(상용 일대일 통신모뎀의 경우 4km 전송거리에서 4800bps 전송속도)로 육상의 통신 시스템에 비해 매우 낮은 전송속도를 갖는 특징을 가지고 있다[14][15]. 또한, 수중통신은 초음파를 이용하기 때문에 해저면과 해수면의 반사에 의해 직접파와 반사파가 공존하는 다중경로 효과, 수중 이동체의 이동에 따른 도플러(Doppler) 효과, 파도에 의한 산란 등과 같은 특징을 가지고 있으며, 이들은 수중통신의 성능을 열악하게 하는 주요 요인이 되고 있다. 따라서 수중음향 통신이 가지고 있는 낮은 전송속도, 긴 전송지연, 열악한 통신환경 등은 육상의 무선통신 네트워크에서 사용하는 프로토콜 및 통신기술을 수중통신 네트워크에 그대로 적용하지 못하게 하는 직접적인 요인이 된다.

수중음향 통신 네트워크에 사용되는 단말노드는 자율무인잠수정(AUV), 수중작업로봇(ROV, Remoely Operated Vehicle), 글라이더(Glider), 잠수함, 수중 계측

센서인 ACTD(Acoustic Doppler Current Profiler)와 CTD(Conductivity, Temperature, Depth) 등으로 구성되며, 대부분 고가의 시스템으로 구성된다는 점에서 수중음향 통신 네트워크는 최대 수십 개의 노드로 구성되는 소규모 네트워크 구성을 갖게 된다는 특징을 갖는다(SEAWEB 2004, 40개 중계노드)[4]. 또한, 수중에서는 통신 거리가 길고 수신 단에서 육상에서 보다 복잡한 신호처리 과정을 거치기 때문에 전력 소비가 크다는 특징을 가지고 있으며, 더욱이 수중에 배치된 센서인 경우 태양 에너지 사용이 어렵고 배터리 소진 시 장비 회수에 들어가는 비용이 크기 때문에 전력 소비 관리가 더욱 중요한 요소가 된다.

일반적인 무선통신 네트워크는 통신채널을 점유하는 방식에 의해 고유한 주파수 대역을 사용하는 주파수 분할다중접속방식(Frequency Division Multiple Access, FDMA), 통신채널을 특정 시간영역을 할당하여 사용하는 시분할다중접속방식(Time Division Multiple Access, TDMA), 노드에 특정 코드를 할당하여 사용하는 코드분할다중접속방식(Code Division Multiple Access, CDMA) 등이 있다[16]. 수중에서는 수중통신을 위해 사용되는 음향 센서의 주파수가 수십 kHz 대역으로 일반적인 주파수 대역폭이 매우 좁기 때문에 FDMA의 통신접속 방식은 사용할 수 있는 노드의 제한을 갖는다는 단점을 가지고 있으며, 수중에서 음파의 전달속도는 $1,500$ m/s로 매우 느리기 때문에 시간영역을 할당하는 방식은 긴 전송지연과 시간동기의 문제로 사용하기가 어렵다는 제약을 갖는다. 또한, CDMA 방식을 이용한 수중음향 통신망에 대한 연구가 미국 SEAWEB 프로젝트를 통해 일부 이루어졌으나, 하드웨어가 복잡해지는 단점이 있다[17]. 따라서 최근의 수중무선 네트워크에서는 네트워크를 구성하는 노드수가 극히 제한적이라는 이유로 소규모의 노드로 구성되는 통신망에서는 FDMA, TDMA, CDMA와 같은 통신채널을 점유하는 MAC 프로토콜 사용이 효율적이나, 수중통신에 사용되는 주파수 대역이 저주파 대역(수십 kHz)에서 운용되고 있어 FDMA 방식은 현실적으로 적용하기가 어렵다. 미국 SEAWEB 프로젝트에서는 클러스터 네트워크 내부에서는 TDMA 방식을 사용하고 클러스터의 마스터 노드들 사이에는 CDMA 방식을 사용하는 MAC이 연구되었다[18].

III. 수중음향통신망을 위한 새로운 하이브리드 MAC 프로토콜 구조

3.1 프로토콜 기본구조

수중음향 통신망은 일반적으로 수중 환경계측을 위한 ADCP, CTD 등과 같은 고정 노드들과 잠수함, 자율무인잠수정(AUV), 글라이더(Glider), 다이버 등과 같은 이동 노드들로 구성된다. 수중음향 통신망 연구의 대표적 프로젝트인 미국의 SEAWEB에 의하면 수중음향통신망이 2004년도 실험역 시험에 40개의 리피터 노드가 사용되었는데, 이는 각 노드를 구성하는 통신모듈과 시스템이 고가 장비로 구성되어 있어 소규모의 네트워크를 이루고 있기 때문이다. 수중통신 네트워크는 수중의 노드들의 정보를 실시간으로 수집하여 해상에 표류하는 부이(게이트웨이)를 통해 육상으로 전달하는 네트워크 운영구조를 가지고 있어, 대부분의 수중에서 사용되고 있는 네트워크는 수집된 정보를 게이트웨이에 전송하는 마스터 노드(혹은 게이트웨이가 마스터 노드로 운영)와 수중에서 지속적으로 정보를 수집하는 슬레이브 노드들로 운용되고 있다.

본 논문에서는 TDMA 방식을 기반으로 각 노드들에게 통신채널의 시간슬롯을 할당하여 마스터 노드와 슬레이브 노드들 사이의 주기적 데이터 교환을 하는 비경쟁모드와 통신채널을 감시하여 채널이 유향상태인 경우 노드들간 데이터 교환 및 네트워크 진입요청을 수행할 수 있는 경쟁모드를 갖는 하이브리드형 MAC 프로토콜을 제안한다. 그림 1은 논문에서 제안하는 TDMA 기반의 비경쟁모드와 경쟁모드를 갖는 하이브리드형 MAC 프로토콜의 기본 구조를 보여준다.

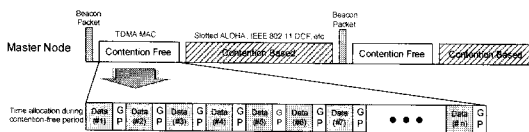


그림 1. 새로운 하이브리드 MAC 프로토콜 구조
Fig. 1 Structure of a new hybrid MAC protocol

마스터 노드는 주기적으로 시간, 명령, 운용관련 정보를 포함하는 비콘(비콘) 패킷을 전송하며, 하나의 비콘 전송주기 내에 비경쟁모드와 경쟁모드가 포함된다. 이

때, 모든 노드들은 비콘이 발생하는 기준 시간과 비콘의 주기를 안다고 가정한다. TDMA 기반의 비경쟁모드의 주기, 경쟁모드의 주기 및 비콘의 주기는 네트워크의 노드구성에 따라 정의되며, 노드의 수가 많은 경우에는 비콘의 주기가 길어지고 노드의 수가 적은 경우에는 비콘의 주기가 짧게 설정하여 운용한다.

모든 노드들은 설치되기 전에 수동으로 시간을 정확하게 동기 시킨다고 가정하며, 모든 노드들의 시간은 자체적으로 가지고 있는 시스템 시간으로 운용되어진다. 이는 DGPS의 1 PPS(pulse per second) 신호를 이용하여 모든 노드들의 정확한 시간 동기를 시킬 수 있고, 실제 수중통신 네트워크는 배터리를 가지는 노드들로 운용되기 때문에 생존기간이 매우 짧아 시간 오차가 발생하지 않는다는 위의 가정은 현실적이다.

또한, 비경쟁모드의 시간슬롯 사이에는 Guard Period(GP)를 두어 통신채널 상태에 따른 지연에 의한 데이터 충돌을 방지할 수 있도록 하며, 모든 노드들은 마스터 노드에서 전송되는 비콘 패킷을 분석하여 비콘 주기, 각 노드별로 할당된 시간슬롯 정보, 시간슬롯 간격, GP 간격, 최대 전송지연 시간 등의 정보를 추출할 수 있다.

3.2 비경쟁모드에서의 MAC 프로토콜

비경쟁모드 주기에서 각 노드들은 TDMA 방식에 의하여 할당받은 시간슬롯을 점유하여 마스터 노드와의 주기적인 데이터(위치, 상태, 데이터 등) 통신을 수행하게 된다. 마스터 노드에서는 모든 노드들에게 비콘 패킷을 전송하고, 전송범위내의 모든 노드들에게 도착될 수 있도록 최대 전송거리를 고려한 최대 전송지연시간만큼 기다린다. 그 후 각 노드들에게 할당된 시간슬롯동안 데이터를 수신하여 네트워크 내의 모든 노드들로부터 주기적 데이터를 수신하여 갱신하게 된다.

각 노드에서는 마스터 노드에서 주기적으로 전송되는 비콘 패킷을 수신하여, 알고 있는 비콘의 발생 기준 시간과 자신의 시간정보를 비교하여 마스터 노드와 자기 노드사이의 전송지연 시간을 계산하게 된다. 이때 추출된 전송지연 시간이 α 라고 하고 노드에 할당된 시간슬롯의 기준시간이 β 라고 한다면, 노드에서 β 라는 시간에 데이터를 전송하게 되면 마스터 노드에는 β 슬롯 기준 시간보다 α 만큼 늦게 도착하게 된다. 따라서 모든 노드들은 자신이 할당받은 슬롯의 기준시간보다 계산된 전

송지연 α 만큼 먼저 전송하여 마스터 노드에 정확한 기준 시간에 도착하도록 한다. 이에 대한 개념이 그림 2에 나타나 있다. 그림에서 최대 네트워크 범위를 1.5 km, 시간 슬롯간의 데이터 충돌을 방지하기 위한 GP를 최대전송지연을 고려하여 1초, 노드별 할당된 시간슬롯은 2초로 가정하였다.

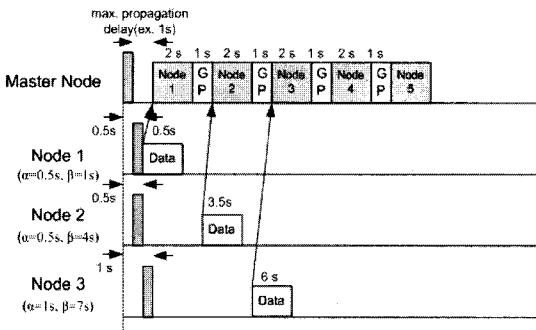


그림 2. TDMA 기반 비경쟁모드의 데이터 전송 개념
Fig. 2 Concept of the data transmission based on TDMA based contention-free mode

위의 그림에서 노드 1은 비콘의 발생 기준시간보다 0.5초 후에 비콘 신호를 받았으며, 할당받은 첫 번째 시간슬롯인 1초에 마스터 노드로 데이터가 도착하여야 한다. 이를 위해서 노드 1은 할당받은 첫 번째 시간슬롯의 기준시간 1초(β)보다 계산된 전송지연인 0.5초(α)만큼 먼저 데이터를 보내고 있음을 설명하고 있다. 그림에서 노드 2도 비콘 기준시간보다 0.5초(α) 후에 비콘 신호를 받았고, 할당받은 시간슬롯 기준시간 4초(최대전송지연 + 시간슬롯 + GP, β)에 마스터 노드에 전송하기 위해 시간슬롯의 기준시간 4초(β)보다 전송지연 0.5초 앞선 3.5초에 데이터를 전송하고 있음을 설명하고 있다. 노드 3도 비콘 기준시간보다 1초(α) 후에 비콘 신호를 받았고, 할당받은 시간슬롯 기준시간 7초(β)에 정확한 데이터 전송을 위해서 기준시간 7초보다 1초 앞선 6초에 데이터를 전송하고 있는 구조를 설명하고 있다.

만약, 마스터 노드에서 가장 멀리 떨어진 노드가 있고 이 노드가 마스터 노드에 의해 첫 시간슬롯을 할당받았다면, 가장 멀리 떨어진 노드는 최대 전송지연 시간에서 비콘 신호를 받게 되며 바로 데이터를 전송한다고 하더라도 처음 할당된 시간슬롯에 맞게 데이터를 보내는 것

은 불가능하다. 따라서 마스터 노드에서는 슬레이브 노드에서 주기적으로 전송하는 데이터를 분석하여 노드와의 시간지연 값을 지속적으로 갱신하여, 마스터 노드로부터 가까운 거리의 노드 순서로 시간슬롯 순서를 할당하도록 설계되어야 한다.

3.3 경쟁모드에서의 MAC 프로토콜

일반적인 경쟁모드 방식의 MAC 프로토콜은 ALOHA, Slotted ALOHA, CSMA/CA, IEEE 802.11 DCF 방식 등이 있으며, 경쟁모드 주기에서는 기존의 경쟁방식 MAC 프로토콜을 적용하여 노드간의 데이터 전송 및 비주기적 데이터(영상, 텍스트 파일 등) 전송을 수행하게 된다.

네트워크에 새로운 노드가 들어오는 경우 마스터 노드에서 발생하는 비콘 패킷을 수신하여 비콘의 주기, 비경쟁모드 및 경쟁모드의 주기 등의 정보를 획득하고 다음 비콘 패킷을 기다리게 된다. 다음 비콘 패킷이 발생하면 경쟁모드 기간 동안에 마스터노드에게 자신의 ID와 네트워크 진입 요청을 하게 된다. 경쟁모드 동안에 마스터 노드는 새로운 노드로부터의 네트워크 진입요청에 대한 응답을 하게 되며, 다음 비콘 패킷에 새로운 노드에게 시간슬롯을 할당하여 지정함으로써 새로운 노드가 할당된 시간슬롯 기간 동안 주기적 데이터를 전송할 수 있도록 한다. 또한, 비경쟁모드에서 할당된 시간슬롯 기간 동안 데이터 수신이 지속적으로 수행되지 않으며, 경쟁모드 기간 동안 마스터 노드가 해당되는 노드에게 "HELLO" 메시지 전송을 통해 노드가 활성상태인지 확인을 하고, 아무런 응답이 없는 경우 네트워크 구성에서 배제를 하는 기능을 수행하게 된다.

일반적인 경쟁모드 방식에서 사용할 수 있는 MAC 프로토콜에서 802.11 DCF 방식(CSMA/CA)을 수중 통신환경에 그대로 적용하는 경우 8%의 네트워크 Throughput 과 수백초의 전송지연을 갖게 되며, 이는 수중에서의 긴 전송지연과 낮은 전송속도가 육상 무선통신 환경에 적합한 충돌방지(임의 백오프 방식 등)를 위한 구조에 의해 매우 낮은 네트워크 성능을 가지게 되기 때문이다 [11]. 이를 통해서 가장 단순한 ALOHA와 같은 MAC 프로토콜이 수중에서는 더욱 우수한 성능을 가지고 있다고 판단할 수 있으며, 본 논문에서 시간동기가 되어 있다는 가정에 의해 Slotted ALOHA 프로토콜을 경쟁모드의

MAC 프로토콜로 제안하고자 한다.

3.4 새로운 MAC 프로토콜 적용 예

이번 절에서는 TDMA 기반의 비경쟁모드와 경쟁모드를 갖는 수중음향 통신망을 위한 하이브리드형 MAC 프로토콜에 대해 실제 수중음향통신망 환경을 고려하여 파라미터 적용 예를 살펴보고자 한다. 표 1은 새로운 MAC 프로토콜을 적용할 수중음향통신망의 파라미터를 보여준다.

표 1. 수중음향통신망 환경의 파라미터 정의
Table 1. Parameters definition of underwater acoustic network

구분	파라미터값
네트워크 운용범위	최대 1.5km
음속(Sound velocity)	1500 m/s
전달지연(Propagation delay)	최대 1s
이동노드의 이동속도	1 m/s
패킷 길이	50 bytes
데이터 전송율	4800 bps
비콘 주기	10 s
비경쟁 모드 주기	5 s
경쟁모드 주기	5 s
Guard period 시간 간격	15 ms
할당된 시간슬롯 간격	0.1 s

표 1에서 대표적인 이동노드인 자율무인잠수정(AUV)은 탐사 작업을 하는 경우 배터리의 소모와 움직임에 따른 저항을 고려하여 0.5~1 m/s의 속도로 움직인다. 자율무인잠수정(AUV)이 최대 1 m/s의 속도로 네트워크 내에서 이동한다고 할 때, 비콘 주기의 10초 동안 자율무인잠수정(AUV)은 최대 10m를 이동할 수 있다. 10m의 거리는 수중에서 음파가 6.7ms의 전달시간에 해당되어, 비콘 신호로부터 계산된 전송지연시간과 최대 6.7ms의 시간오차를 발생하게 된다. 위의 표에서는 ± 6.7ms의 시간오차를 고려하여 Guard Period (GP)는 최대 15 ms로 설정하였다.

주기적인 전송 데이터 패킷은 노드 ID, 위치, 상태정보, 데이터 등을 가지고 있으며 50바이트로 가정한다. 데이터 패킷에 대한 순수한 전송시간은 약 83ms로 각 노드당 할당되는 시간슬롯은 0.1초로 설정할 수 있다.

GP를 포함한 전체 시간슬롯의 시간은 0.115초이며, 이 자율무인잠수정(AUV) 네트워크는 비경쟁모드의 시간과 최대전송지연시간의 시간차이인 4초 동안에 최대 34 노드가 시간슬롯을 할당받아 주기적으로 50바이트의 데이터 전송이 가능함을 알 수 있다. 표 1의 파라미터를 자율무인잠수정(AUV) 네트워크 환경에서 적용하게 되면 마스터 노드는 매 10초마다 비콘신호를 발생하게 되고, 비경쟁 구간(5초)에서는 각 노드에게 시간슬롯을 할당하여 TDMA 기반의 주기적 데이터 통신(해양환경 계측정보 제공)을 수행하고, 비경쟁구간 이후의 경쟁구간(5초)에서는 채널점유를 통해서 자유로운 데이터 통신을 수행할 수 있는 운용환경을 제공하게 된다. 그림 3은 표 1의 파라미터를 새로운 하이브리드 MAC 프로토콜에 적용한 비경쟁모드에서의 사용 예를 보여준다.

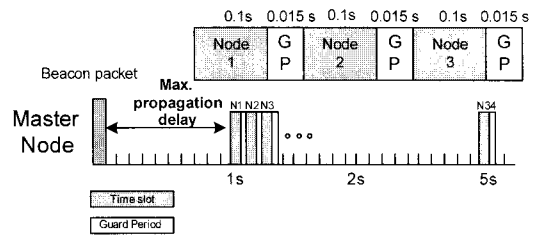


그림 3. 새로운 MAC 프로토콜의 비경쟁모드 사용 예
Fig. 3 Example of a new hybrid MAC protocol in contention-free mode

다음은 수중음향 자율무인잠수정(AUV) 네트워크 환경에서 표 2와 같이 다른 파라미터를 갖는 응용에 대한 적용 예를 살펴보고자 하며, 표 2는 더 빈번한 주기적 데이터 전송환경을 고려하여 비콘 주기, 비경쟁모드의 주기, 경쟁모드의 주기를 변경하였다. 위에서 GP를 포함한 전체 시간슬롯은 0.115초를 가지고 있기 때문에, 표 2의 환경에서 자율무인잠수정(AUV) 네트워크는 최대전송지연시간과 비경쟁모드의 시간차이인 2초동안에 최대 17개의 노드를 구성할 수 있게 된다. 그림 4는 표2의 파라미터를 새로운 하이브리드 MAC 프로토콜에 적용한 비경쟁모드에서의 사용 예를 보여준다.

표 2. 수중음향 네트워크에서의 다른 파라미터 정의
Table 2. Definition of other parameter for underwater acoustic network

구분	파라미터 값
네트워크 운용범위	최대 1.5km
음속(Sound velocity)	1500 m/s
전달지연(Propagation delay)	최대 1s
이동노드의 이동속도	1 m/s
패킷 길이	50 bytes
데이터 전송율	4800 bps
비콘 주기	5 s
비경쟁 모드 주기	3 s
경쟁모드 주기	2 s
Guard period 시간 간격	50 ms
할당된 시간슬롯 간격	0.1 s

두 가지 수중음향 자율무인잠수정(AUV) 네트워크 환경에서 제안된 하이브리드 MAC 프로토콜을 적용하였으며, 제안된 프로토콜의 수중음향 자율무인잠수정(AUV) 네트워크 환경에서 잘 적용될 수 있음을 알 수 있었다. 특히 제안된 MAC 프로토콜은 비경쟁 모드에서 마스터 노드와 슬레이브 노드들로 구성되는 클러스터 네트워크 구조에서 주기적 데이터 데이터 전송과 경쟁모드에서 노드들 사이의 자유로운 데이터 전송을 동시에 지원한다는 장점을 가지고 있다.

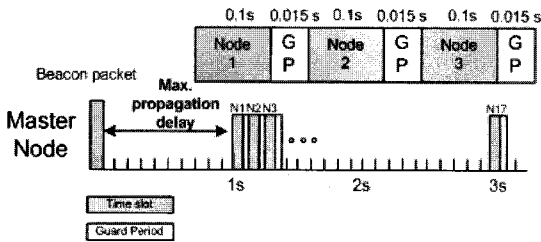


그림 4. 새로운 하이브리드 MAC 프로토콜의 비경쟁모드의 사용 예(비경쟁구간 = 3초)
Fig. 4 Example of new hybrid MAC protocol in contention-free mode(period of contention-free mode=3s)

IV. 결론

본 논문에서는 수중음향통신망 설계를 위해 수중통신망의 제약조건 및 특성분석을 하였고, 이를 기반으로 수중음향통신망을 위한 TDMA 기반의 비경쟁모드의 MAC 프로토콜과 경쟁모드의 MAC 프로토콜을 갖는 하이브리드형 MAC 프로토콜을 제안하였다.

제안된 MAC 프로토콜은 네트워크 전반적인관리를 위한 비콘 패킷, 시간슬롯사이의 충돌방지를 위한 Guard Period, 시간 태그를 이용한 마스터 노드와의 전송지연 계산, 노드간 시간동기 문제, 네트워크 진입 및 탈퇴 처리, 노드간 통신방식 등의 기능을 제공하고 있다. 새로운 하이브리드 MAC 프로토콜을 대표적인 이동노드인 자율무인잠수정(AUV)을 대상으로 하여 프로토콜을 적용함으로써, 자율무인잠수정(AUV)의 이동환경을 갖는 수중음향통신망에서 비경쟁모드에서 마스터노드와 슬레이브 노드들 간의 주기적 데이터 전송과 경쟁모드에서 자유로운 데이터 전송을 동시에 제공하는 장점을 갖는 것을 알 수 있었다.

향후, 비경쟁모드와 경쟁모드를 갖는 새로운 MAC 프로토콜에 대한 네트워크 Throughput에 대한 모델링 및 분석을 수행하고, 제안한 MAC 프로토콜이 잘 적용되는 지를 시험을 통해 검증하는 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 "수중무선 통신 시스템 개발" 사업과 호서대학교 교내연구비의 연구결과로 관계부처의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia. "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," Ad Hoc Networks, Vol. 3, No.3, pp.257-279, 2005.
- [2] <http://www.mbari.org/aosn>
- [3] Rice, J. A., R. K. Creber, C. L. Fletcher, P. A. Baxley, D. C. Davison, and K. E. Rogers. "Seaweb Undersea Acoustic Nets", Biennial Review 2001, pp.234-250, 2001.

[4] Joseph Rice, "SEAWEB Acoustic Communication and Navigation Networks," Proceedings of International Conference Underwater Acoustic Measurements : Technologies & Results, pp.1-7, 2005

[5] Stewart, M., "A means to networked persistent undersea surveillance," Proceedings, Submarine Technology Symposium, pp.16-18, 2006

[6] X. Guo, M. R. Frater, M. J. Ryan, "A Propagation-delay-tolerant Collision Avoidance Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks," OCEANS 2006-Asia Pacific, pp.1-6, 2007

[7] N. Chirdchoo, W-S. Soh, K. C. Chua, "Aloha-based MAC protocols with collision avoidance for underwater acoustic networks," INFOCOM 2007-26th IEEE International Conference on Computer Communications, pp.2271-2275, 2007

[8] Freitag L, Grund M, Alt CV, Stokey R, and Austin T, "A Shallow Water Acoustic Network for Mine Countermeasures Operations with Autonomous Underwater Vehicles," In Underwater Defense Technology(UDT), pp.1-6, 2005

[9] AÇar G and Adams AE, "ACMENet: an underwater acoustic sensor network for real-time environmental monitoring in coastal areas," IEE Proc. Radar, Sonar, and Nav., 153(4), pp.365-380, 2006

[10] Salvá-Garau F and Stojanovic M (2003), "Multi-cluster Protocol for Ad Hoc Mobile Underwater Acoustic Networks," Proc. of OCEANS 2003, pp.91-98, 2003

[11] 박종원, 조아라, 고헌림, 임용곤, "수중음향 통신망에서 IEEE 802.11 DCF MAC 성능분석", 선박해양 기술, 45권, pp.25~33, 2008

[12] Xavier Lurton, *An Introduction to Underwater Acoustics*, Springer, 2002

[13] L. Berkhovskikh and Y. Lysanov, *Fundamentals of ocean acoustics*, New York: Springer, 1982

[14] www.benthos.com

[15] www.link-quest.com

[16] B. Sklar, *Digital Communications - Fundamentals and Applications 2nd ed.*, Prentice Hall PTR, 2001

[17] 한국해양연구원, 수중음향 이동통신망 시스템 개발을 위한 기획·조사 연구 보고서(UCM00480-

2427), 2003

[18] J. A. Rice, R. K. Creber, C. L. Fletcher, P. A. Baxley, K. E. Rogers, and D. C. Davison, "Seaweb Underwater Acoustic Nets," Communication systems technologies, pp.234-250, 2001

저자소개

박종원(Jong-Won Park)



2006.9 : 아주대학교 전자공학과 (공학박사)
1997.2 : 아주대학교 전자공학과 (공학석사)

1997.3 ~ 현재 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 선임연구원
2006.3 ~ 현재 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신공학과 조교수
※ 관심분야 : 수중통신, 수중통신 네트워크, 해양통신, 선박 IT-융합 시스템, 합정 자동화 체계 등

고학림(Hak-Lim Ko)



1995.8 : North Carolina State Univ. (공학박사)
1997.2 : Fairleigh Dickinson Univ. (공학석사)

1996.3~현재 호서대학교 정보통신공학과 교수
2007.3~현재 신호처리시스템 학회 학술위원
※ 관심분야 : 수중통신, 수중통신 네트워크, 해양통신, 배열신호처리, 이동통신시스템 등

조아라(A-Ra Cho)



2002.2 : 경희대 전자공학과 (공학박사)
2009.3 : 과학기술연합대학원대학교 (박사 수료)

2004.3 ~ 현재 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신공학과 석박사 통합과정
2009.3 ~ 현재 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연구원
※ 관심분야 : 수중통신, 수중통신 네트워크, 해양통신, 수중 및 해양 MAC 프로토콜 등



윤창호(Changho Yun)

2007. 8 : 광주과학기술원
정보통신공학과 (공학박사)
2004. 2 : 광주과학기술원
정보통신공학과 (공학석사)

2007. 10 ~ 2008. 12 North Carolina State Univ. Post-doc 연구원
2008. 12 ~ 현재 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 선임연구원
2009. 9 ~ 현재 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신공학과 조교수
※ 관심분야: 수중통신, 수중통신 네트워크, 광 통신 네트워크 프로토콜 설계, NGN, IMS



최영철(Youngchol Choi)

1998년 KAIST 전기및전자공학과 (공학사)
2000년 KAIST 전기및전자공학과 (공학석사)

2000.3 ~ 현재 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 선임연구원
※ 관심분야: 수중음향통신 및 신호처리



임용곤(Jong-Won Park)

1994.2 : 아주대학교 전자공학과 (공학박사)
1984.2 : 충남대학교 전력전자공학 (공학석사)

1980. 7 ~ 현재 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 책임연구원/소장
2004. 3 ~ 현재 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신공학과 정교수/겸임교수
2008.11~ 현재 한국과학기술원 겸직교수(정교수)
2007.10~ 현재 한국해양정보통신학회 이사/지부장
2008.1~현재 한국조선해양IT학회 회장
※ 관심분야: 수중통신 및 네트워크, 해양통신, 선박 IT-융합 시스템, 해운 물류 등