

수중음파 센서네트워크를 위한 계층별 프로토콜의 설계 및 성능 평가

김지연¹ · 윤남열¹ · 김영표¹ · 신수영¹ · 박수현^{1†} · 전준호² · 박성준² · 김상경² · 김창화²

Design and Performance Evaluation of Hierarchical Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks

Ji-Eon Kim · Nam-Yeol Yun · Yung-Pyo Kim · Soo-Young Shin · Soo-Hyun Park
Jun-Ho Jeon · Sung-Joon Park · Sang kyung Kim · Chang-Hwa Kim

ABSTRACT

As underwater environment monitoring system's interest has increased, the research is proceeding about underwater acoustic sensor network. Underwater sensor network can be applicable to many fields, such as underwater environment monitoring, underwater resource exploration, oceanic data collection, military purposes, etc. It is essential to define the PHY-MAC protocol for revitalization of the underwater acoustic sensor network which is available utilization in a variety of fields. However, underwater acoustic sensor network has to implement by consideration of underwater environmental characteristics, such as limited bandwidth, multi-path, fading, long propagation delay caused by low acoustic speed. In this paper, we define frequency of adjusted PHY protocol, network topology, MAC protocol, PHY-MAC interface, data frame format by consideration of underwater environmental characteristics. We also present system configuration of our implementation and evaluate performance based on our implementation with test in real underwater field.

Key words : Underwater acoustic sensor network, PHY-MAC protocol, PHY-MAC interface, data frame format

요약

최근 수중 환경 모니터링 시스템에 대한 관심이 높아지면서 수중음파센서네트워크에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 수중음파센서네트워크는 수중환경 모니터링, 수중자원탐사, 해양 데이터 수집, 군사 목적 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 이러한 다양한 분야에서 활용 가능한 수중음파센서네트워크의 활성화를 위해서는 PHY-MAC 프로토콜의 정의가 필수적이다. 하지만, 수중음파센서네트워크는 제한된 대역폭, 다중경로 및 페이딩현상, 지상 무선통신에 비해서 낮은 음파 속도로 인한 전송 지연시간 등 수중환경의 특수성에 고려해서 구현을 해야 한다. 본 논문에서는 수중환경과 관련된 제약사항을 고려하여 적응적인 PHY 프로토콜의 주파수, 네트워크 토폴로지, MAC 프로토콜, PHY-MAC 인터페이스, 데이터 프레임 포맷을 정의하고, 구현한 시스템의 구성에 대해서 설명하며, 수중환경에서의 실제 실험을 통한 데이터를 기반으로 성능 평가를 하였다.

주요어 : 수중음파 센서네트워크, PHY-MAC 프로토콜, PHY-MAC 인터페이스, 데이터 프레임 포맷

*본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C1090-1121-0001).

접수일(2011년 11월 30일), 심사일(1차 : 2011년 12월 21일), 게재 확정일(2011년 12월 22일)

¹⁾ 국민대학교 비즈니스IT 전문대학원 유비쿼터스 시스템 연구실

²⁾ 강릉원주대학교 해양센서네트워크시스템 연구센터

주 저 자 : 김지연

교신저자 : 박수현

E-mail: shpark21@kookmin.ac.kr

1. 서 론

최근 환경오염에 의한 수질관리, 해양자원탐사 및 군사적 목적의 수중감시체계와 같은 수중관련 시스템에 대한 관심이 높아지면서, 수중음파센서네트워크의 필요성이 대두되고 있다. 수중음파통신은 수중환경 모니터링, 수중 자원의 탐사 기능, 해양 데이터 수집, 해저 탐사 및 개발, 재난 방지, 군사적인 목적 등 다양한 분야에서 활용되고 있다^[1,2]. 수중네트워크는 물이라는 특수한 환경에서 동작을 하므로 지상에서의 네트워크 통신에 비해 많은 제약사항이 존재한다. 첫째, 지상에서 사용되는 RF(Radio Frequency) 통신은 수중에서 전자파가 급속하게 감쇄되는 현상과 사용가능한 대역폭이 제한되어 있어 어려움이 따른다. 그러므로 음파를 이용한 제한적인 통신을 사용해야만 한다^[3]. 둘째, RF통신 전송속도는 약 3.0×10^8 m/s인 반면에 수중 통신 전송속도는 약 1500 m/s정도이다. 즉, 수중통신 전송속도는 RF통신에 비해서 10^5 배 이상 낮다. 셋째, 전송 지연이 시간이 길고 낮은 전송 속도로 인하여 전송할 수 있는 데이터양이 제한적이다. 넷째, 멀티패스가 쉽게 발생하며, 전송 도중에 쉽게 변조되는 단점으로 인해서 수중 채널을 손상 시킬 수 있다. 마지막으로 패킷 충돌로 인한 배터리 소모에 대한 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점으로 인해 수중음파센서네트워크 연구는 미흡한 단계에 머물러 있다.

본 논문은 위와 같은 여러 가지의 제약사항을 고려하여 수중환경에 적응적인 수중 PHY 프로토콜의 주파수, 네트워크 토폴로지, Sync-MAC, PHY-MAC 인터페이스, 데이터 프레임 포맷에 대해서 정의하고, 수중환경에서의 실험을 통해서 성능 분석 및 평가를 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 수중 PHY-MAC 프로토콜에 대해서 정의하고, 3장에서는 시스템구성에 대해서 설명을 하며, 4장에서는 수중 PHY-MAC 프로토콜을 기반으로 실험을 통해서 실제 데이터를 활용하여 성능 분석 및 평가를 한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해서 제시한다.

2. 수중 PHY-MAC 프로토콜

본 장에서는 수중 PHY 특성에 대해서 기술하고, 수중 음파센서네트워크에서 사용하는 네트워크 토폴로지, 직접 구현한 MAC 프로토콜 시나리오, PHY-MAC 인터페이스, 데이터 프레임 포맷에 대해서 설명한다.

2.1 수중 PHY 특성

서론에서 언급한 것과 같이 수중에서는 통신을 위한 반송파로 음파가 사용되며, 일반적으로 수중통신을 위해 사용되는 음파의 공진 주파수는 100 kHz 이하로 대역폭이 매우 협소하다.

그림 1은 거리 및 주파수에 따른 전달 손실(TL: transmission loss)의 정도를 나타낸다^[4]. 그림을 보면 저주파를 사용하는 것이 전달 손실이 적음을 알 수 있는데, 이는 낮은 주파수의 음파를 사용할수록 신호를 더 멀리 전달할 수 있음을 의미한다. 이러한 이유로 전기신호를 음파로, 음파를 전기신호로 변환해주는 기능을 수행하는 트랜스듀서는 통상 20~80 kHz 범위 내의 공진주파수를 갖도록 제작된다.

그림 2는 PHY 계층에서 송신하는 전송 심볼의 구조를 나타낸다. 각 전송 심볼은 전송 신호와 보호 구간으로 구성되는데, 전송 심볼 구성에 있어서 전송 신호 후단에 보호 구간을 삽입하여 수중 채널에서 심하게 발생하는 다중 경로신호에 의한 신호 간섭 및 이에 따른 수신성능 열화를 줄이고자 하였다. 상기 보호 구간의 길이를 수중 채널에 따라 변경시킴으로써 수신 오류율을 낮추거나 전송 속도를 높일 수 있다. 또한, 데이터 수신 시 트랜스듀서에서 변환된 전기 신호는 수 mV 이하의 매우 미약한 신호이다. 따라서 수신부에 이러한 신호의 추출이 가능하도록 저 잡음 증폭기를 설계하였다.

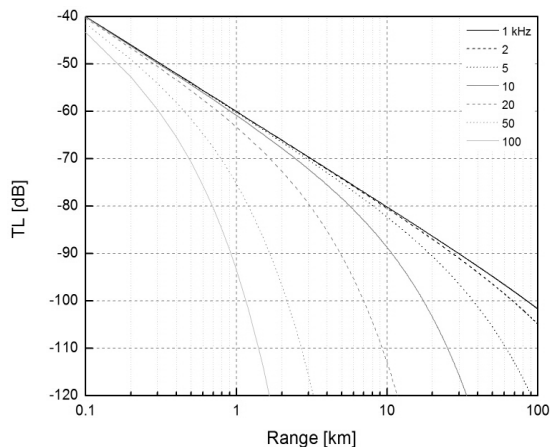


그림 1. 거리 및 주파수에 따른 전달 손실



그림 2. 전송 심볼 구조

2.2 네트워크 토폴로지

수중음파센서네트워크의 토폴로지의 기본적인 구조는 그림 3에서 볼 수 있으며, 크게 클러스터링 방식과 애드혹 방식으로 나뉜다.

수중 센서 네트워크에서 에너지 소비를 줄이기 위한 효과적인 방법 중 하나인 클러스터링 기반의 네트워크 구성은 클러스터 헤드(Cluster head)가 클러스터라는 일정한 범위 안에 있으며, 각 클러스터 마다 헤드를 선정한 뒤 클러스터 헤드가 클러스터 멤버노드를 제어하는 방식이다. 또한 클러스터 헤드 노드가 클러스터 멤버 노드의 데이터를 합쳐서 싱크(Sink)노드로 전송함으로써 노드의 통신 트래픽을 감소시킬 수 있다¹⁵⁾.

반면에, 애드혹 기법은 이동 노드들이 고정된 기반시설이 없어 노드들이 자유롭게 이동이 가능하며, 다수의 홉으로 네트워크를 구성함으로써 네트워크의 독립성과 융통성을 높일 수 있다¹⁶⁾.

2.3 수중 MAC 프로토콜

수중 음파채널은 물리적인 특성으로 인해 높은 비트 에러를 야기하고 긴 전파지연과 같은 문제점 때문에 전송 효율과 에너지 효율이 매우 떨어진다. 따라서 수중에서의

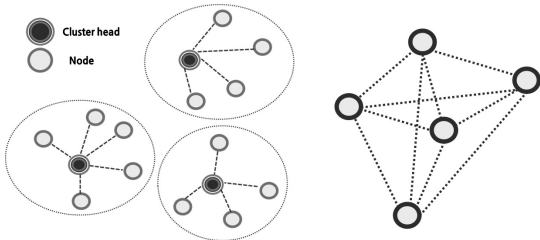


그림 3. 클러스터링 방식과 애드혹 방식

데이터 전송을 위한 MAC 프로토콜의 설계는 위와 같은 다양한 특성을 고려하여 설계되어야 한다¹⁷⁾.

본 논문에서는 수중 환경에서 이동성을 지원하고 에러에 강건한 동기화 방식의 Sync-MAC 프로토콜¹⁸⁾을 채택하였다. 그림 4는 Sync-MAC 프로토콜의 전송주기를 보여준다. Sync-MAC 프로토콜은 게이트웨이에서 수중 노드로 제어 메시지를 전송할 수 있는 Tc 구간과 수중 노드가 데이터를 수집하여 게이트웨이로 전송할 수 있는 Ts 구간으로 구성된다. Tc 구간과 Ts 구간이 번갈아가며 동작하게 되고 10 cycle이 반복된 후 동기화 메시지를 전송하여 주기적으로 동기화를 하게 된다. 또한 데이터의 충돌을 방지하기 위해서 Tc 구간과 Ts 구간에 가드타임을 준다. 효율적인 가드 타임의 설정은 전체 네트워크 성능의 향상에 큰 영향을 미친다.

Sync-MAC 프로토콜의 전송 순서는 그림 5와 같다.

- 1) 초기화 구간: 게이트웨이가 프리엠블 메시지를 각 로봡 노드들에게 브로드 캐스팅하고 메시지를 받은 로봡 노드들은 현재의 위치 정보를 게이트웨이로 전송한다.
- 2) 동기화 구간: 게이트웨이는 범위 내의 수중 노드들에게 동기화 메시지를 전송하여 전체 동기화를 수행한다.
- 3) 데이터 전송 구간: 데이터 전송 구간이 시작되면 수중 노드들은 미리 정해진 순서대로 환경 정보 데이터와 위치 정보를 게이트웨이로 전송하게 된다. 수중 A노드가 데이터를 게이트웨이로 전송하기 위해 클러스터 내의 모든 노드들에게 데이터를 브로드캐스팅하게 되고, 수중 B노드는 A노드가 전송한 데이터를 확인한 후 자신의 순서가 왔음을 감지하게 된다.

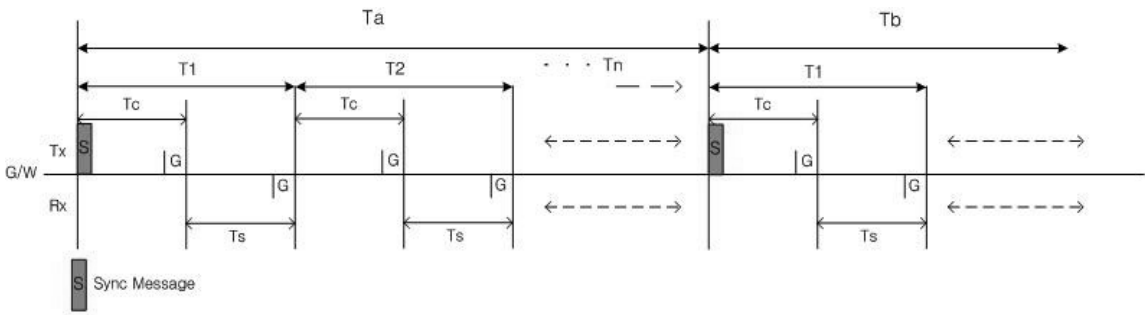


그림 4. Sync-MAC 프로토콜 전송 구간의 구조

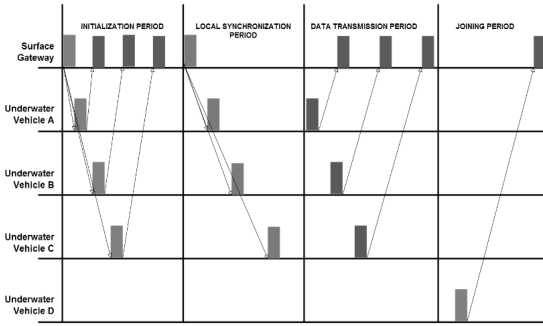


그림 5. Sync-MAC 프로토콜의 생명 주기

4) 가입 구간: 기존의 게이트웨이 범위 내에 새로운 수중 노드가 진입할 시 새로 진입한 노드는 가입 구간 내에서 가입 메시지를 게이트웨이로 전달함으로써 가입 절차를 진행하게 된다. 이 경우 기존의 수중 노드들은 슬립 상태를 유지하며 에너지 소모를 방지하게 된다.

2.4 PHY-MAC 인터페이스

MAC 계층은 상위 계층(Higher layer)과 PHY 계층 사이에 위치하며 양쪽 계층과 인터페이스하며 다음과 같은 역할을 수행한다. 상위 계층으로부터 request 프리미티브를 받아 분석하여 프리미티브의 종류와 내용에 따라 적절한 프레임을 구성하여 PHY 계층에 전달한다.

수중 PHY-MAC 인터페이스의 구조는 그림 6과 같다. 수중 PHY-MAC 간의 인터페이스는 데이터 서비스를 제공하는 PD-SAP(Physical Data Service Access Point)과 관리 서비스를 제공하는 PLME-SAP(Physical Layer Management Entity Service Access Point)같이 상위 MAC 계층에서 접근할 수 있는 2개의 SAP을 제공한다.

PD-SAP에서는 MAC 부 계층 개체 간에 MPDU(MAC Protocol Data Unit)의 전송을 제공하고 PLME-SAP에서는 MLME(MAC Layer Management Entity)와 PLME 간의 관리 명령을 하는 기능을 갖는다⁹⁾.

그림 7은 수중의 데이터 PHY-MAC 전송 흐름도를 나타낸다.

Step 1. 상위 계층에서 데이터를 받은 MAC 계층은 PLME-SET-TRX-STATE.request를 송신함으로써 PHY 계층에 TX_ON 모드로 작동 상태 변경을 요청하고, PHY 계층 PLME-SET-TRX-STATE.confirm을 MAC 계층으로 송신하여 TX_ON 모드로의 변경 완료를 보고한다.

Step 2. TX_ON 모드로 변경된 후, MAC 계층은 PHY

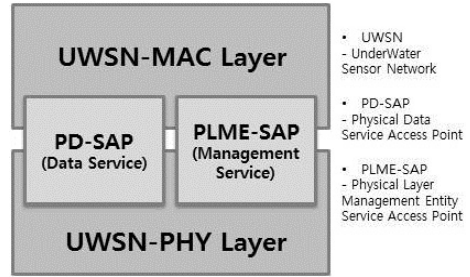


그림 6. PHY-MAC 참조모델

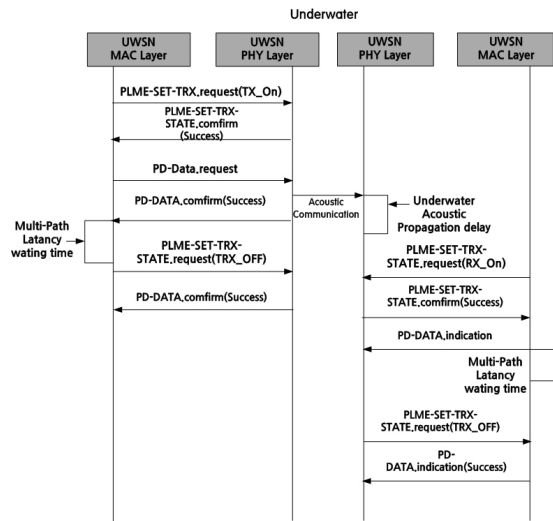


그림 7. 수중 음파를 이용한 데이터 전송 흐름

계층으로 PD-DATA.request를 송신한 후 데이터를 전송하게 되고, PHY 계층은 PD-DATA.confirm을 MAC 계층으로 전송함으로써 데이터의 전송이 완료되었음을 보고한다.

Step 3. 수중환경의 멀티패스를 고려하여 설정된 가드타임 이후에 MAC 계층은 PHY 계층으로 PLME-SET-TRX-STATE.request를 송신하여 TRX_OFF 모드로의 변경 요청을 한다.

Step 4. PHY 계층은 SET-TRX-STATE.confirm을 MAC 계층으로 전송하여 TRX_OFF 모드로 변경되었음을 알린다.

Step 5. Step2에서 MAC 계층으로부터 데이터를 전달 받은 PHY 계층은 수중 음파를 이용하여 또 다른 PHY 계층에 데이터를 보낸다.

수중환경에서의 전송지연이 일어난 후 MAC 계층은 PLME-SET-TRX-STATE.request를 PHY 계층으로 송

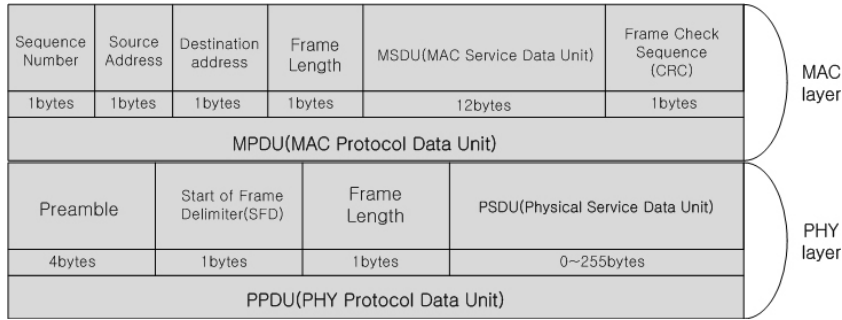


그림 8. 수중 PHY-MAC 데이터 프레임 포맷

신하여 RX_ON 모드로 변경 요청을 한다(송신측에서 데이터를 전송하기 이전에 수신측은 RX_ON상태를 유지하고 있어야 한다).

Step 6. PHY계층은 PLME-SET-TRX-STATE. confirm을 송신하여 RX_ON모드로 변경이 완료되었음을 알린다.

Step 7. PHY 계층은 PD-DATA.indication를 전송함으로써 MAC 계층에 수신 데이터를 전송하고 데이터 전송이 완료된 후 MAC 계층은 설정된 가드 타임 이후에 데이터를 상위 계층으로 전달한다.

Step 8. MAC 계층에서 상위 계층으로의 데이터 전송이 완료된 후 PHY 계층으로 PLME-SET-TRX-STATE.request를 송신하여 TRX_OFF 모드로의 변경 요청을 한다. PHY계층은 TRX_OFF 모드가 완료된 후 MAC 계층으로 PD-DATA.confirm을 보냄으로써 TRX_OFF 상태로의 변경 완료를 알린다.

2.5 데이터 프레임 포맷

그림 8은 PHY-MAC의 데이터 프레임 구성을 나타낸 것으로, 수중의 낮은 전송율과 긴 전송지연, 잡음 채널을 고려하여 데이터 프레임의 크기를 작게 구성하였다.

PHY계층의 PPDU(PHY Protocol Data Unit)는 다음과 같이 구성되어 있다.

- Preamble: 트랜시버에서 입력되는 메시지의 동기화를 위해 사용된다.
- Start Frame Delimiter(SFD): Preamble 필드의 종료와 패킷 데이터의 시작을 나타내는 필드이다.
- Frame Length: PSDU에 포함된 전체 octet의 개수를 규정하고 1바이트로 구성되어 있다.
- Physical Service Data Unit(PSDU): PSDU 필드는 0~255 byte로 구성되어 있으며 PHY 패킷 데이터를 전달한다.

MAC 계층의 MPDU는 다음과 같이 구성되어 있다.

- Sequence Number: 1바이트로 구성되어 있으며, 프레임의 ID를 규정한다.
- Source Address: 1바이트로 구성되어 있으며, 프레임 송신측의 주소를 규정한다.
- Destination Address: 1바이트로 구성되어 있으며, 프레임이 전달될 수신측의 주소를 규정한다.
- Frame Length: MSDU에 포함된 전체 octet의 개수를 규정하고 1바이트로 구성되어 있다.
- MAC Service Data Unit(MSDU): MAC 계층의 데이터 페이로드를 말하며, 프레임 타입을 규정하는 정보가 포함된다.
- Frame Check Sequence(CRC): 프레임 끝의 1바이트로 구성되어 있으며, 수신 오류를 검출할 수 있다^[10].

3. 시스템 구성

3.1 하드웨어

본 연구에서는 수중 센서 네트워크를 구성하기 위하여 MAC, PHY 계층 간 별도의 디바이스를 개발하고 두 계층 간의 통신은 SPI를 이용하였다. 개발된 MAC 계층의 베이스 보드는 저 전력 통신을 위한 Cortex-M3 MCU를 사용하여 에너지 효율성을 높이고, 디바이스의 크기를 30 mm × 30 mm로 최소화하여 수중 노드의 소형화를 가능하게 하였다. 또한, PHY 계층에서는 음향 신호 방사 및 취득을 위해 공진주파수가 70 kHz인 무지향성 특성을 갖는 트랜스듀서를 사용하였고, 공진주파수를 고려하여 모듈 송수신부를 설계하였다. 또한 센서네트워크에서 요구되는 낮은 전력 소모를 지원하기 위해 이진진폭편이 변조 방식을 채택하였으며, 그 결과 단순화된 회로 구조의 저 전력 설계가 가능하였다. 그림 9는 수중 네트워크 시스템 구성을 위해 개발된 디바이스를 보여준다.

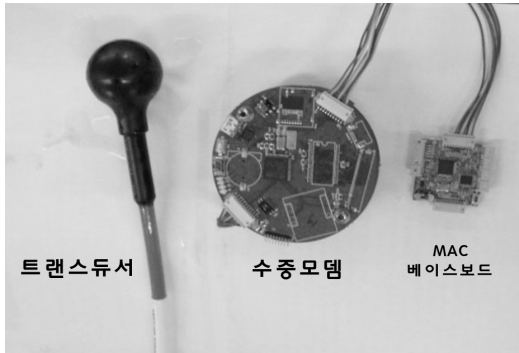


그림 9. 수중 네트워크 시스템을 위한 디바이스



그림 10. 실제 실험환경

표 1. MAC 베이스 보드 사양

시스템정보	설명
MCU	Cortex-M3 (STM32F103CB)
Operating System	Firmware
PC-MAC Interface	UART
MAC-PHY Interface	SPI
Size	30 mm × 30 mm
Power	3.3 V or 5 V

표 2. 수중 모뎀 사양

시스템정보	설명
MCU	Cortex-M3
Operating frequency	70 kHz
Battery	± 14.8 V, 8.8 AH Li-ion
Max. data rate	200 bps
Max. operating range	50 m
Dimensions	70 × 40 mm (ø × H)

수중 모뎀은 MAC 베이스보드로부터 받은 PSDU를 PPDU로 변환한 후 아날로그 신호를 생성하거나 아날로그 신호로부터 PPDU를 검출하여 PSDU를 MAC 베이스 보드로 전달하는 기능을 갖고 있고, 트랜스듀서는 전기신호를 음파 신호로 변환하여 수중 채널을 통해 브로드캐스팅하거나 음파 신호를 전기신호로 변환하는 기능을 수행한다^{11,12)}. 표 1와 2에서는 MAC 베이스 보드와 수중 모뎀의 사양을 보여준다.

3.2 실험 환경 구성

그림 10은 실제 수중 실험의 모습이며, 그림 11은 실제 환경에서 수행한 실험환경의 아키텍처를 보여준다.

Device = MAC Baseboard + Underwater Modem

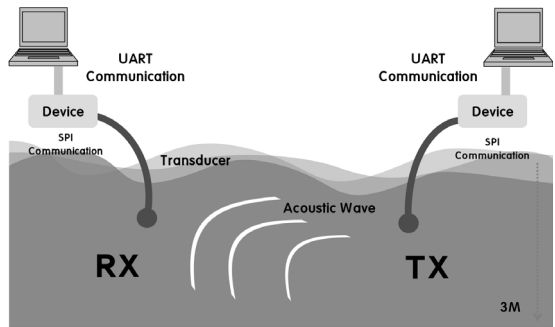


그림 11. 실험환경 아키텍처

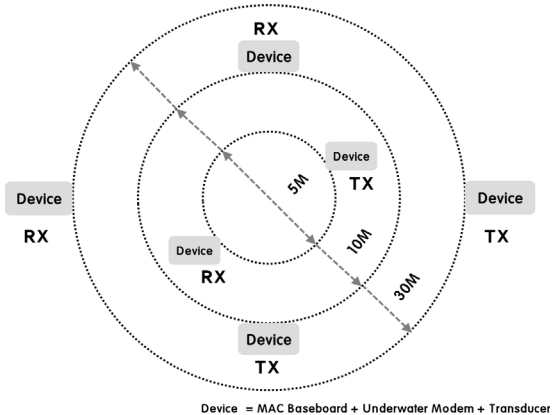


그림 12. 실험 설정 범위

송신측과 수신측은 동일하게 MAC 베이스보드- 수중 모뎀 - 트랜스듀서로 구성되고 관제실 역할을 하는 PC와 디바이스 사이의 인터페이스는 UART 통신을 사용하였다. 본 실험에서는 수심이 3m인 환경에서 송신측과 수신측 사이의 거리를 5 m, 10 m, 30 m로 변화시키며 RSSI

(Received Signal Strength Indication) 값을 측정하였고 수심의 변화에 따른 신호의 세기를 분석하기 위해 수중 노드의 깊이를 변화시키며 실험을 진행하였다. 또한 노드의 이동성이 RSSI값에 미치는 영향을 분석하기 위해서 고정 노드뿐만 아니라 노드를 이동시키며 RSSI값을 측정하였다.

4. 실험결과 및 평가

본 논문에서는 수중 센서네트워크를 위하여 구성된 시스템의 성능을 평가하기 위해 실측 데이터를 이용하여 성능을 분석하였다. 본 실험에서의 수심은 3 m로 고정되어 있으며, 트랜스듀서의 수심의 깊이를 변화시키며 실험을 진행하였다.

그림 13은 수중 노드의 깊이를 1.5 m로 고정하고 송신 측과 수신측의 거리를 변화시켜, 신호의 세기를 측정할 결과를 보여준다. 측정 결과 노드 사이의 거리가 멀어질수록 음파 신호의 세기가 약하게 측정되는 모습을 확인할 수 있었다.

그림 14~17는 수심의 변화에 따른 수신측 RSSI값을 보여준다. 수중 노드의 수심이 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m

로 변화시키며 전송횟수에 따른 RSSI값의 변화를 측정하였다. 송수신 노드의 거리는 5 m로 고정하였으며 gain value값을 증가시키며 RSSI값의 변화를 관찰하였다. 그 결과 gain value가 높을수록 안정적인 신호의 수신이 가능하고, 해수면이나 해면 바닥으로 갈수록 반사파에 의해서 노이즈가 심해져 불안정한 값을 얻는 결과를 확인할 수 있었다. 실험 결과 총 수심인 3 m의 가운데 지점인 1.0 m~1.5 m일 경우의 RSSI값이 최상으로 나타났다.

그림 18은 노드가 이동성을 가질 때 RSSI값의 변화를 나타낸다. 동일한 수심과 거리를 설정하고 고정 노드의 신호 세기와 이동 노드의 신호 세기를 측정할 결과 노드가 이동성을 가질수록 RSSI값이 낮게 검출되었다. 또한,

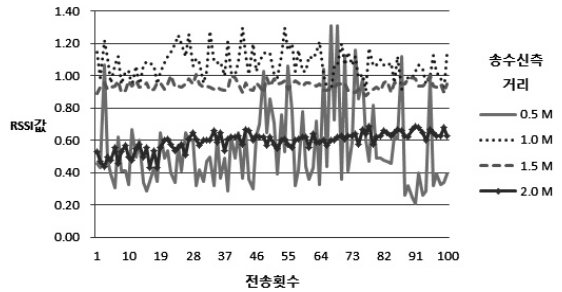


그림 15. Gain Value = 0.1

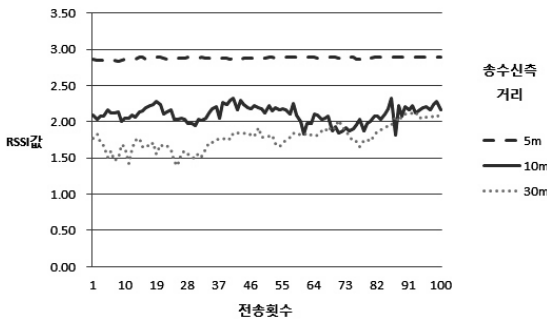


그림 13. 노드 간 거리 변화 시 신호의 세기

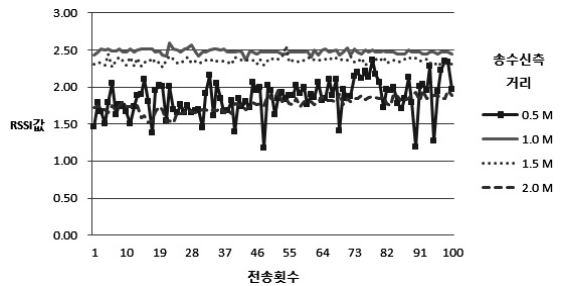


그림 16. Gain Value = 0.3

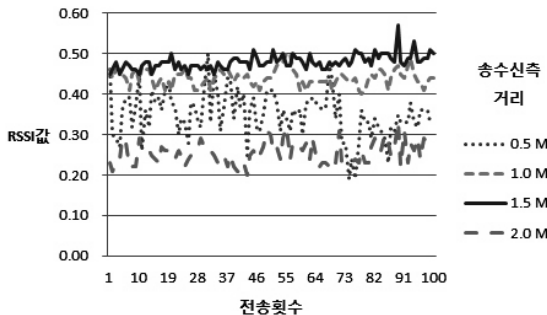


그림 14. Gain Value = 0.05

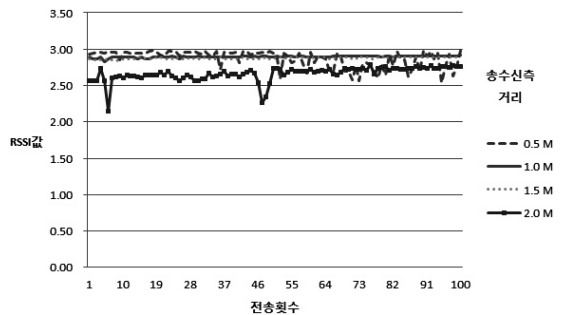


그림 17. Gain Value = 0.7

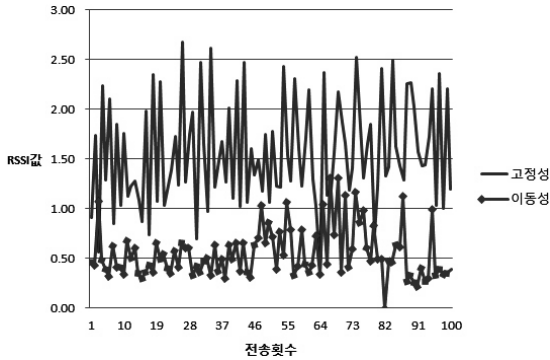


그림 18. 노드의 이동성에 따른 신호 세기의 변화

이동 노드는 고정 노드에 비해서 안정적인 신호 세기를 나타내는 결과를 보여 준다.

5. 결 론

무한한 자원의 보고인 해양에 대한 관심이 늘어가면서 수중센서네트워크에 대한 연구의 필요성이 점차 증대되고 있다. 하지만 수중 환경에서의 통신은 물이라는 특수성으로 인해 다양한 제약사항이 존재하고 그 때문에 지상에서의 통신에 비해 미흡한 단계에 머물러 있었다. 또한, 수중 환경에서의 이론적인 프로토콜의 메커니즘에 관련된 연구가 주를 이루고, 실제 환경에 적용시켜 성능을 검증한 논문들은 거의 찾아볼 수 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 수중 환경의 제약사항을 고려한 PHY-MAC 프로토콜을 정의하고, 수중 네트워크 시스템 구성에 필수적인 PHY, MAC 계층의 디바이스를 개발하였다. 또한, 정의된 PHY-MAC 프로토콜과 개발된 디바이스를 통합하여 시스템을 구성하고 실제 환경에서 통신 검증을 실시하였다.

수행된 실험에서는 수심의 변화와 거리 정도에 따른 RSSI값을 측정하고 노드의 이동성이 통신 환경에 미치는 영향을 분석하기 위해 고정 노드와 이동 노드를 구분하여 실험을 진행하였다. 실험 결과 수중 노드의 깊이를 고정하고 송신측과 수신측의 깊이의 변화를 주며 신호의 세기를 측정한 경우는 노드 사이의 거리가 멀어질수록 신호의 세기가 약해지는 모습을 볼 수 있었다. 또한 수중 노드가 이동할수록 수신 RSSI값의 크기가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서의 실험은 수중음파센서네트워크의 프로토콜을 정의하고 실제 환경에서의 검증을 통해 MAC-PHY

프로토콜 인터페이스를 최초로 구현한 것에 의의를 가진다. MAC-PHY간 물리적 인터페이스의 구현을 통해 실험적인 데이터로 획득한 RSSI 값들은 이동성을 고려한 Ad-hoc 토폴로지 기반의 MAC 프로토콜 개발과 수중 모뎀 향상을 위해 유용하게 활용될 수 있는 결과물이다. 향후 수중 통신에서 중요한 요소인 에너지 효율성과 에러율을 개선할 수 있는 PHY-MAC 프로토콜에 대한 지속적인 연구와 다수의 수중 노드를 효과적으로 관리 할 수 있는 수중 음파 시스템을 구성하고 실험 할 예정이다.

참 고 문 헌

1. I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia (2005), "Underwater acoustic sensor networks: research challenges", *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, pp. 257-279.
2. J. Heidemann, W. Ye, J. Wills, A. Syed, and Y. Li (2006), "Research challenges and applications for underwater sensor networking", *Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Las Vegas, pp. 228-235.
3. Yung-Pyo Kim, Jung-Il Namgung, Nam-Yeol Yun, Hui-Jin Cho, Intiaz Ahmed Khan, and Soo-Hyun Park (2010), "Design and Implementation of the Test-bed for Underwater Acoustic Sensor Network based on ARM9 Processor", *Proc. of IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, Hong kong, pp. 302-306.
4. Yung-Pyo Kim and Soo-Hyun Park (2011), "M2-MAC (Message Merging): 수중음파통신 기반의 실시간 로봇 제어 시스템을 위한 MAC 프로토콜", *대한전자공학회 논문지 CI편*, Vol. 48, No. 6, pp. 88-96.
5. Jun-Ho Jeon and Sung-Joon Park (2011), "수중 환경 및 생태 실시간 모니터링을 위한 초소형 수중 음향통신 모듈 개발", *대한전자공학회 논문지 CI편*, Vol. 48, No. 6, pp. 97-103.
6. Borja Peleato and Milica Stojanovic (2007), "Distance Aware Collision Avoidance Protocol for Ad-Hoc Underwater Acoustic Sensor Networks", *Proc. of IEEE Communications Letters*, Vol. 11, No. 12, pp. 1025-1027.
7. 박성준, 박수현, 김상경, 김창화 (2010) "Underwater Communication and Ocean Sensor Network Technology", *경보과학회지* 제28권, 제7호, pp. 79-88.
8. Nam-Yeol Yun, Yung-Pyo Kim, Sardorbek Muminov, Jin-Young Lee, Soo-Young Shin, and Soo-Hyun Park (2011), "Sync MAC Protocol to control Underwater Vehicle based on Underwater Acoustic Communication", *Proc. of IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, Melbourne, pp. 452-456.

9. IEEE802.15.4 Part 15.4 (2003) : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN).
10. J. S. Lee (2006), "Performance evaluation of IEEE 802.15.4 for low-rate wireless personal area networks", *Proc. of IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 52, No. 3, pp. 742-749.
11. S. Pandya, J. Engel, J. Chen, Z. Fan and C. Liu (2005), "CORAL: miniature acoustic communication subsystem architecture for underwater wireless sensor networks", *Proc. of IEEE Sensors*, Irvine, pp. 163-166.
12. J. H. Jeon and S. J. Park (2010), "Implementation of a low-power acoustic modem for underwater wireless sensor networks", *Proc. of IEEE SECON*, Boston, MA.



김 지 언 (un1730@kookmin.ac.kr)

2008 송의여자대학 인터넷정보과 전문 공학사
2011 삼육대학교 컴퓨터시스템 학사
2011~현재 국민대학교 비즈니스IT 전문대학원 석사과정

관심분야 : Underwater MAC 프로토콜, 유비쿼터스 네트워크, Underwater Sensor Network



윤 남 열 (anuice@kookmin.ac.kr)

2003 안동대학교 정보통신공학과 공학사
2009 국민대학교 비즈니스정보통신 이학석사
2009~현재 국민대학교 비즈니스IT 전문대학원 박사과정

관심분야 : Underwater MAC 프로토콜, 유비쿼터스 네트워크, Underwater Sensor Network



김 영 표 (kuniv003@kookmin.ac.kr)

2010 국민대학교 수학과 학사
2010~현재 국민대학교 비즈니스IT 전문대학원 석사과정

관심분야 : Underwater MAC 프로토콜, 유비쿼터스 네트워크, Underwater Sensor Network



신 수 영 (sy-shin@kookmin.ac.kr)

1998 방송통신대학교 교육학사
2002 덕성여자대학교 정보통신 이학석사
2007 국민대학교 비즈니스IT 전문대학원 이학박사
2007~현재 국민대학교 비즈니스IT 전문대학원 계약교수

관심분야 : 무선-수중 MAC 프로토콜, USN, 유비쿼터스 시스템



박 수 현 (shpark21@kookmin.ac.kr)

1988 고려대학교 컴퓨터학과 학사
1990 고려대학교 전산학과 석사
1998 고려대학교 컴퓨터학과 박사
2002~현재 국민대학교 정보시스템전공 교수

관심분야 : 유비쿼터스 네트워크, Underwater Sensor Network



전 준 호 (jjh@ultra30.gwnu.ac.kr)

2007 강릉원주대학교 전자공학과 학사
2009 강릉원주대학교 전자공학과 석사
2009~현재 강릉원주대학교 해양센서네트워크시스템기술연구센터 전임연구원

관심분야 : 수중 음향통신, 수중 모뎀 설계 및 구현, 무선 센서네트워크시스템



박 성 준 (psj@ieee.org)

1996 연세대학교 전파공학과 학사
1998 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
2004 한국과학기술원 전자전산학과 박사
2003~2005 삼성전자 정보통신연구소 책임연구원
2005~현재 강릉원주대학교 전자공학과 부교수

관심분야 : 무선 통신, 수중 음향통신, 통신 시스템 설계 및 구현, 무선 센서네트워크시스템



김 상 경 (skkim98@gwnu.ac.kr)

1985 고려대학교 전파공학과 학사
1987 고려대학교 전자공학과 석사
2002 고려대학교 전자공학과 박사
1989~2004 주식회사 케이티 선임연구원(부장)
2004~현재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 부교수

관심분야 : 컴퓨터네트워크, 수중센서네트워크, 무선네트워크



김 창 화 (kch@gwnu.ac.kr)

1985 고려대학교 수학교육과 이학사
1987 고려대학교 전산학과 석사
1990 고려대학교 전산학과 박사
1994~1995 캐나다 University of Toronto, Enterprise Integration Lab. Post-Doc. & Visiting Professor 교수
2002~2004 미국 Texas A&M 대학 Visiting Scholar
1989~현재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수
2009~현재 강릉원주대학교 정보전산원장
2005~현재 강릉원주대학교 ITRC(해양센서네트워크시스템기술연구센터) 센터장

관심분야 : 무선 통신, 수중 음향통신, 통신 시스템 설계 및 구현, 무선 센서네트워크시스템