

장거리 통신을 위한 수중음향 네트워크 실험역 실증 연구

조아라*, 김승근*, 윤창호*, 윤남열*, 최영철°

Sea-Experiment Test of an Underwater Acoustic Network for Long-Range Communications

A-ra Cho*, Seung-Geun Kim*, Changho Yun*, Nam-Yeol Yun*, Youngchol Choi°

요약

수중에서도 다양한 무선 통신 어플리케이션의 요구가 증대됨에 따라, 수중음향네트워크 기술의 중요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 수중 먼 거리에서도 통신이 가능하도록 홉 간 통신 거리가 최대 30 km인 장거리 수중음향 네트워크 실증 시험 결과에 대하여 논한다. 장거리 수중음향 네트워크는 데이터링크 계층, 네트워크 계층, 응용 계층 프로토콜과 이를 통합·연동하기 위한 인터페이스로 구성되며, 리눅스 기반 소프트웨어로 운영된다. 실험역 시험 전에 채널 시뮬레이터를 이용하여 네트워크 기능을 검증함으로써 실험역 시험의 위험 요소를 최소화한다. 남해안 실험역 시험을 통하여 매체접속제어 스케줄링, 노드 위치지도 형성 및 갱신, 상/하향링크 경로 설정, 연속 데이터 송수신 등의 기능 들을 검증한다.

Key Words : Underwater acoustic networks, Sea experiment, Medium access control, Routing, Long-range underwater communications

ABSTRACT

As the demand for the applications of underwater wireless communications increases, the importance of the underwater acoustic network (UANet) technology is emerging. In this paper, we discuss the experimental results for a long-range underwater acoustic communication network (LR-UANet) with a hop-to-hop communication range of up to 30 km. The LR-UANet runs on the linux operating system and consists of a data link layer, a network layer, an application layer, and the interfaces interconnecting and integrating each different layer. The risk of sea-test is minimized by using the real-time channel simulator to verify the essential features of the LR-UANet before sea-tests. In the sea-trials of South sea, we verify several functionalities of the LR-UANet, including medium access control scheduling, constructing and updating a geometric map for nodes, routing for uplink and downlink paths, and transmitting and receiving continual data.

1. 서론

해양에 대한 관심이 증대되면서 해양 탐사 및 해양 개발에 대한 수요가 더욱 증가하고 있으며, 이에 따라

수중에서 보다 복잡하고 다양한 작업이 요구되고 있다. 수중에서 여러 노드들과 장비들이 협업하여 작업을 수행하기 위해서는 수중 통신 시스템과 네트워크 기술이 필수적이다. 이 기술들을 통해 실시간 해양환경

※ 본 연구는 해양수산부의 국가연구개발사업인 “수중 광역 이동통신 시스템 기술개발”에 의해 수행되었습니다(PMS4330).

• First Author : Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), zoazoa@kriso.re.kr, 선임기술원, 정희원

° Corresponding Author : KRISO, ycchoi@kriso.re.kr, 책임연구원, 정희원

* KRISO, sgkim@kriso.re.kr, 중신회원; sgn0178@kriso.re.kr, 정희원; yunny@kriso.re.kr

논문번호 : 202001-016-D-RN, Received January 19, 2020; Revised January 31, 2020; Accepted January 31, 2020

경 관측, 수중 환경 감시체계, 지진 및 쓰나미 관측, 심해 해저 플랜트 통신, 해저 자원 개발 통신, 수중 방사능 정보 취득 등 다양한 수중 어플리케이션들을 구현할 수 있다²⁻⁵⁾.

육상에서 주로 사용하는 전자파는 수중에서 급격한 감쇠로 수 미터 이내의 통신만 가능하며, 빛을 이용하는 광통신은 탁도가 매우 낮은 수중환경에서만 가능하다. 이러한 이유로 수중에서는 주로 음향 통신을 사용한다. 음파를 통신 매체로 사용하는 음향통신은 전자기파의 약 이십만 분의 일인 평균 1500 m/s의 전파속도를 가진다. 이는 매우 긴 전파지연 시간을 초래한다. 또한 수중에서는 통신거리에 따른 주파수 사용의 제약으로 가용 대역폭이 협소하여 데이터 전송속도가 수백 bps~ 수백 kbps 정도이다. 또한, 해류의 영향으로 인해 시간에 따라 변화하는 다중경로와 도플러 효과가 존재하며, 수중 생물 및 환경에 따른 주변소음이 상대적으로 커서 높은 패킷 손실율이 발생하게 된다. 이러한 긴 전파지연 시간과 낮은 데이터 전송속도, 높은 패킷 손실율은 네트워크의 중단간 지연시간 증가와 네트워크 수율을 낮추는 가장 큰 요인이다. 이와 같은 수중 네트워크의 제약 조건을 극복하여 어플리케이션의 요구 조건을 만족시킬 수 있는 수중 네트워크 연구가 활발히 진행 중이다²⁻⁵⁾.

한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소에서는 2012년부터 해양수산부의 지원으로 “수중 광역 이동통신 시스템 개발” 연구 사업을 수행 중이다. 특히, 장거리 수중 네트워크 관련하여 노드 간 30 km의 거리에서 100 bps 통신이 가능한 수중통신 모델⁶⁾을 개발하였으며, 관련 수중채널특성 분석⁷⁾, 위치기반 시분할방식의 매체접속제어⁸⁾, 홉간 최대거리를 최소화하는 라우팅⁹⁾, 단방향 방식의 장거리 동기화¹⁰⁾, 수중 채널을 모사한 장거리 수중채널 시뮬레이터 등의 연구가 진행되었다. 2017년에는 장거리 수중 네트워크를 위해 계층별로 연구된 프로토콜^{6,8-10)}을 통합연동하기 위한 인터페이스를 설계하고 이를 운용하기 위한 장거리 수중 네트워크 GUI 및 어플리케이션 구현에 관한 연구¹¹⁾가 수행되었다. 2018년에는 구현된 장거리 수중 네트워크 시스템을 이용하여 물리계층의 수중통신 모델과 네트워크 프로그램을 연동한 실험실증 시험을 남해 육지도 부근에서 수행하여 각 계층별 기능을 검증하였다¹¹⁾. 그러나 2018년 실험실 시험에서는 노드 2대를 이용한 일대일 통신을 통한 네트워크 기능검증 시험으로 한계가 있었다.

본 논문에서는 장거리 수중 네트워크 기술의 가용성을 확인하기 위해, 통신범위를 스케일 다운하여 3개

의 노드로 구성된 장거리 수중 네트워크 실험을 수행하여 네트워크 기능을 검증한다. 장거리 수중 채널 시뮬레이터를 적용하여 토폴로지에 따른 각 계층별 네트워크 기능시험을 수행함으로써 실험실 시험의 위험 요소를 최소화하고, 실험실에서 링크 설정을 통한 매체접속제어 스케줄링 기능, 노드 위치 갱신 및 위치지도 형성 기능, 상/하향링크 라우팅, 연속 데이터 전송 어플리케이션 기능 등을 확인하여 장거리 수중 네트워크의 가용성을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 장거리 수중 통신 시스템과 계층별 네트워크 프로토콜에 대해 간략히 설명한다. 제3장에서는 장거리 수중 네트워크 시험 방법과 실험실증 결과를 분석하며, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

II. 장거리 수중 네트워크 개요

2.1 장거리 수중 네트워크 구조

본 논문에서 고려하는 장거리 수중 네트워크 구조는 다음과 같다. 장거리 수중 네트워크는 클러스터 기반 네트워크 구조로 1대의 클러스터 헤더와 여러 대의 일반노드로 구성된다. 클러스터 헤더와 일반노드 간 최대 전송거리는 30 km, 데이터 전송속도는 100 bps이며, 최대 3-홉까지 통신이 가능하다.

클러스터 헤더는 해수면에 위치하여 수중음향 통신과 해상 전자파 통신이 가능하다. 클러스터 헤더는 GPS(Global Positioning System)와 연동하여 자신의 위치 정보와 시각 정보를 갱신한다. 또한, 클러스터 헤더는 주기적으로 비콘을 브로드캐스팅하여 일반노드에 클럭 정보와 스케줄링 정보를 전달한다. 일반노드는 수중의 이동노드로 클러스터 헤더와 음파통신을 이용하여 주기적으로 자신의 상태정보를 전송하고, 클러스터 헤더와 통신범위에서 벗어나면 다중 홉 통신으로 경로설정을 통해 클러스터 헤더에 상태정보를 전송한다.

2.2 장거리 수중통신 모델 네트워크 개요

2.2.1 장거리 수중통신 모델

그림 1은 구현한 장거리 수중통신 모델⁶⁾을 나타낸다. 장거리 수중통신 모델은 초음파 센서, 송수신 증폭기, 신호처리부 등으로 구성되며 상세사양은 표 1과 같다. 초음파 센서는 수평방향으로 무지향성을 갖는 4개의 배열 센서를 사용하고 있으며, 송신 시 신호의 출력력을 수평방향으로 높이기 위해 동일한 위상의 신

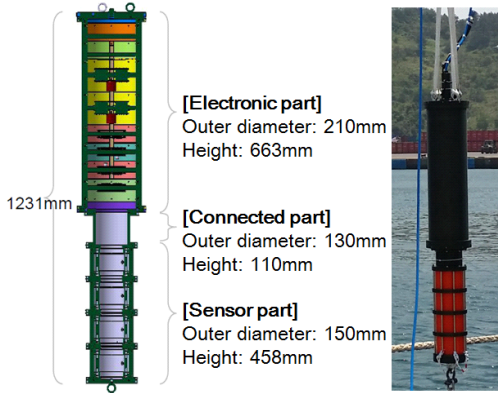


그림 1. 장거리 수중통신 모델 구성도 및 시제품
Fig. 1. The configuration diagram and the prototype for a long range underwater acoustic modem.

표 1. 장거리 수중통신 모델 사양
Table 1. The specification of a long range underwater acoustic modem.

Item	Specification
Dimension	210(Φ)×1231(L)mm
Modulation Type	Spreaded DQPSK
Carrier Frequency	6.25kHz
Symbol Rate	~97 Hz
Transmission Distance	> 30km
Doppler	20 knot

호가 동시에 송신한다. 송신 증폭기는 송신처리 단계에서 생성하는 변조대역의 아날로그 신호를 증폭하여 초음파 센서로 신호를 출력한다. 수신 증폭기는 초음파 센서에서 수신한 작은 신호를 필터링하고 증폭하여 수신기의 ADC (Analog to Digital Converter)의 입력으로 전환하는 기능을 수행하며, 수신 증폭기의 수신이득은 33 ~ 75 dB 범위이다. 신호 처리부는 TI사의 L137 프로세서를 기반으로 제작하였으며, 송신할 데이터를 확산, 심볼 매핑, 펄스성형 필터링, 변조 순서로 송신 신호를 생성하고 DAC (Digital to Analog Converter)를 통하여 아날로그 변조 신호를 생성한다. 또한, ADC 입력 신호를 수신 신호 처리하여 수신 데이터를 결정하여 상위 계층에 전달하는 기능을 수행한다.

2.2.2 장거리 수중 네트워크

장거리 수중 네트워크는 그림 2와 같이 계층 별로 응용 계층, 네트워크 계층, 데이터링크 계층, 물리 계층으로 구현되었다^[1]. 응용 계층에서는 연속된 메시지

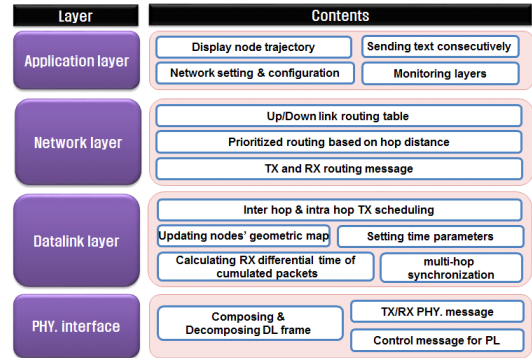


그림 2. UANet 프로그램의 계층별 구현 내용[1]
Fig. 2. The implemented S/W contents according to layers[1].

의 자동 송수신 기능과 노드별 위치이력 정보, 계층별 모니터링 정보를 제공한다. 네트워크 계층에서는 홉 간의 거리정보를 토대로 홉 간 최대거리가 가장 작은 경로를 우선순위로 두고 경로를 결정하는 라우팅^[9]을 포함한다. 데이터링크 계층에서는 GSR-TDMA (Geometric Spatial Reuse-Time Division Multiple Access)^[8] 매체접속제어 기능과 데이터링크 계층 프레임 생성과 처리 기능을 담당한다. 물리 계층과 데이터링크 계층이 각자 다른 프로세서로 동작하게 되는데, 두 계층 간 데이터 교환을 위해 공통으로 접근 가능한 메모리 영역 (DPRAM)에 두 개의 프로세서가 공통으로 알고 있는 데이터구조를 사용하고 송수신 데이터와 제어 메시지를 교환한다.

III. 장거리 수중 네트워크 실험실 시험

3.1 수중통신 모델/네트워크 연동 실험실 시험

그림 3은 장거리 수중통신 신호처리 시스템 내 OMAP L137보드에 구현된 수중 네트워크 S/W의 ARM 프로세서와 수중통신 모델의 DSP (Digital Signal Processing) 프로세서 간 연결도이다. 수중통신 모델과 네트워크 연동 실험실 시험을 위해 그림 3에서와 같이 GPS 서버를 추가 제작하여 노드가 자신의 위치와 시간 정보를 동기화할 수 있도록 하였다. GPS 서버는 GPS 모듈에서 NMEA 규격으로 생성하는 어플리케이션 메시지를 시리얼포트(RS-232)를 통해 수신하고, 수신 메시지의 내용을 출력하여 GPS 모듈의 동작 여부를 확인하는 기능을 수행한다.

장거리 수중통신 모델과 네트워크 S/W 연동 실험실 시험을 위해, 먼저 실내시험을 통해 신호처리 시스템의 송신단과 수신단을 직접 연결하여 수중 네트워크

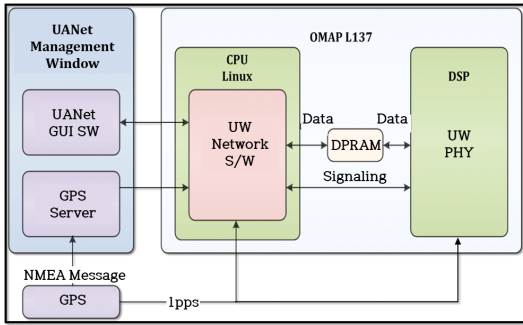


그림 3. 장거리 수중 네트워크 S/W와 통신모뎀 연결 구성도
Fig. 3. The configuration diagram for the UANet S/W and the communication modem.

크 프로그램이 안정적으로 동작하는 지를 확인하였다. 실험역 시험은 스케일 다운된 환경에서 예비시험을 수행 후, 본시험을 2018년도 3월에 수행하였다. 그림 4는 실험역 예비시험과 본시험 장소를 나타내며, 예비 시험은 칠천도 부근 통신 거리 2.8 km에서 어선을 이용하여 수행하였고, 본시험은 남해 육지도 부근에서 한국해양과학기술원의 연구선 온누리호와 이어도호를 이용하여 통신거리 2.8 km, 5.2 km, 8.8 km, 14.4 km 에서 시험을 수행하였다.

그림 5는 실험역 본시험 환경으로 장거리 수중 모뎀과 이를 모니터링 하는 GUI 시스템, 수중 네트워크 운용 GUI, 수중 통신 신호처리시스템이 구축된 연구선 2 척으로 일대일 장거리 수중통신 모뎀/네트워크 연동시험을 수행하였다. 이를 통해, 수중 장거리 네트워크 프로그램에서 물리 계층의 수신신호를 네트워크 계층에서 안정적으로 연동하여 동작하는 것을 확인하였으며, 수중 장거리 네트워크 각 계층별 프로토콜 기본 기능을 검증하였다.



그림 4. 실험역 예비 시험 및 본시험 장소
Fig. 4. The sites for preliminary test and real-sea experiment.



그림 5. 실험역 본시험 환경
Fig. 5. The experimental set-up.

3.2 장거리 수중 네트워크 채널시뮬레이터 연동 시험

수중의 여러 환경변화에 따른 장거리 수중 네트워크 기능 검증을 위해 장거리 수중채널 시뮬레이터를 연동하여 실내시험을 수행하였다. 장거리 수중채널 시뮬레이터는 백색 가우시안 채널환경을 모사하고, 최대 통신거리가 30 km까지의 시간지연이 가능하며, 아날로그 입출력 신호에 대한 디지털 신호 샘플률이 1 Mhz이상인 AD/DA 하드웨어 모듈이 장착되어 있다. 그림 6은 장거리 수중 채널 시뮬레이터를 연동한 시험 구성도와 시험환경을 나타낸다. 실내 시험에서는 증폭기 및 트랜스듀서를 제외한 3대의 수중통신 모뎀/네트워크 플랫폼을 구성하여 장거리 수중 네트워크 운용 GUI 프로그램을 연동하고, 채널 시뮬레이터의 DAQ 모듈을 통해 각 통신 플랫폼의 아날로그 신호를 입력받고 채널 시뮬레이터에서 디지털 신호로 변환된 아날로그 출력신호를 각 통신 플랫폼의 수신신호로 입력된다. 채널시뮬레이터 연동 실내 시험을 통해 네트워크 토폴로지 변화에 따른 매체접속제어의 스케줄링 및 geometric map, 라우팅 프로토콜의 상향 및 하향 라우팅 테이블 형성, 연속 메시지 송수신 어플리케이션을 이용한 응용 계층 기능 등을 검증하였다.

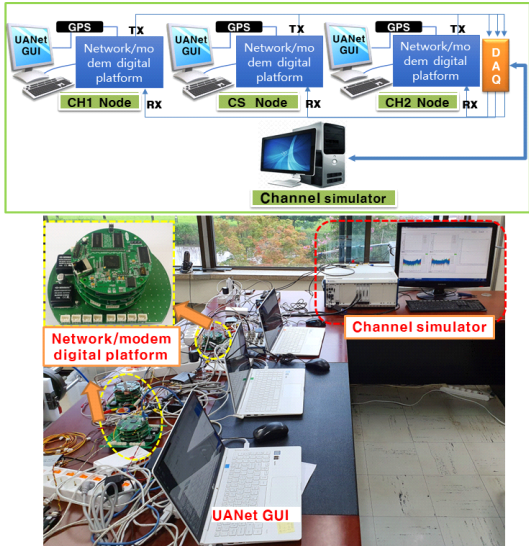


그림 6. 장거리 수중 네트워크 실내 기능시험 환경
Fig. 6. The indoor test set-up for the LR-UANet.

3.3 3대의 노드로 구성된 장거리 수중 네트워크 실험역 시험

3.3.1 시험 장치 및 시험 방법

2019년 8월, 9월, 11월 경상남도 진해만 해역에서 3대의 노드로 구성된 장거리 수중 네트워크 실험역 시험을 총 3회 수행하였다. 실험역 시험에서는 장거리 수중모뎀 센서와 수중통신 신호처리 시스템, 네트워크 운용 GUI를 연동하였다. 네트워크는 마스터 노드인 CS 노드와 슬레이브 노드인 CH1, CH2 노드로 구성되며, 통신 거리는 스케일 다운하여 노드간 거리를 1~3 km로 구성하였다.

장거리 수중 네트워크 실험역 실험을 통해 검증할 항목은 매체접속제어 스케줄링 기능, 경로 설정 기능, 노드위치 갱신 기능, 연속 데이터 송수신 기능이며, 다음과 같이 검증하였다.

- 매체접속제어 스케줄링 기능: 초기화 단계에서 CS 노드는 CH1과 CH2 노드의 위치정보를 수집하여 위치 지도 정보를 형성하고, CH 노드들의 위치와 거리에 따라 전송 스케줄을 결정한다. 전송 스케줄에 따라 CH 노드들의 전송 대기시간과 전송주기가 설정되며, 이에 대한 결과를 확인한다.
- 노드위치 갱신 기능: 초기화 단계를 거쳐 CS 노드가 CH 노드로부터 수신한 위치정보를 토대로 노드 위치 지도를 형성 또는 갱신 여부를 확인한다.
- 경로 설정 기능: CS 노드와 각 CH1, CH2 노드는 1홉 통신을 수행하며, 라우팅 유효시간은 500 초이

다. CH 노드들은 초기화 단계를 통해 CS 노드의 초기화 비콘을 수신하여 상향링크 라우팅 테이블을 생성하고, CS 노드는 CH 노드들로부터 수신한 초기화 응답 패킷을 통해 하향링크 라우팅 테이블을 생성한다. 이에 따라 일반단계에서 각 노드의 라우팅 테이블 갱신 여부를 확인한다.

- 연속 데이터 송수신 기능: 일반 단계에서 CH1과 CH2 노드가 주기적으로 데이터를 전송하고, CS 노드에서 CH1과 CH2 노드가 전송한 데이터를 지속적으로 수신 가능한지 여부를 확인한다.

1차 시험에서는 어선 2척을 이용하여 CS 노드 1대와 CH1, CH2 노드 2대를 각 어선에 구축하여 네트워크를 구성하였다. 그림 7은 1차 실험역 시험 환경과 2대의 CH 노드에서 수행된 시험 결과를 나타낸다. 1차 실험역 시험을 통해, 3개의 노드 간 링크설정을 통한 매체접속제어 스케줄링 기능과 라우팅 기능을 점검하고, 네트워크 실험역 시험 중 발생된 문제에 대한 개선방안을 도출하고자 하였다.

2차 시험에서는 어선 3척을 이용하여 노드 3대를

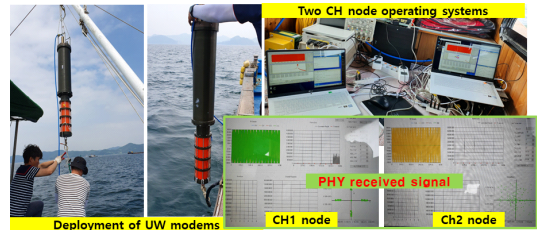


그림 7. 장거리 수중 네트워크 1차 실험역 시험 환경 및 시험결과
Fig. 7. The experimental set-up and results in the 1st sea test.

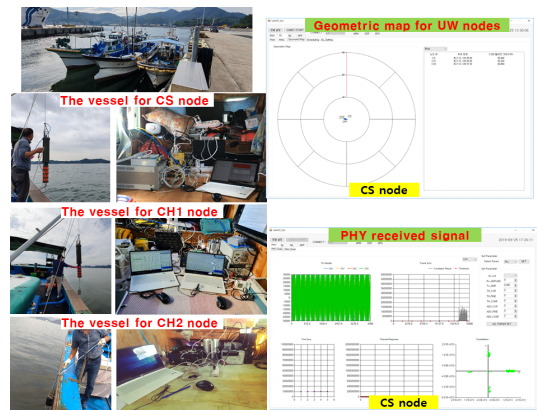


그림 8. 장거리 수중 네트워크 2차 실험역 시험 환경 및 시험결과
Fig. 8. The experimental set-up and results in the 2nd sea test.

구성하였으며, 그림 8은 2차 실험역 시험환경과 CS 노드에서 수행된 시험결과를 나타낸다. 2차 실험역 시험을 통해, 3개 노드 간 링크설정을 통한 매체접속제어 스케줄링 기능, 상/하향 라우팅 기능, 노드 위치 갱신 기능을 검증하였다. 실험역 시험 기능 검증 과정에서 수중모뎀 시스템의 손상으로 네트워크 초기화 단계에서의 기능검증만 가능하였다.

3차 시험에서는 1차 시험에서와 마찬가지로 어선 2척을 이용하여 노드 3대인 네트워크를 구성하였다. 그림 9는 3차 실험역 시험환경으로 CH1과 CH2 노드의 위치는 동일하며, CS와 노드 간 통신 거리는 600 m ~ 1 km로 설정하였다. 3차 실험역 시험을 통해, 노드 간 링크설정을 통한 매체접속제어 스케줄링 기능, 상/하향 라우팅 기능, 노드 위치 갱신 기능 뿐 아니라 응용 계층에서의 연속 데이터 자동 송수신 기능까지 검증하였다.

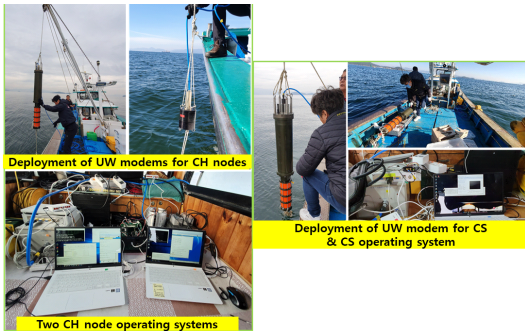


그림 9. 장거리 수중 네트워크 3차 실험역 시험 환경
Fig. 9. The experimental set-up in the 3rd sea test.

3.3.2 3차 실험역 시험 결과 및 분석

그림 10은 매체접속제어 전송 스케줄링 결과를 CS 노드에서 UANet GUI를 캡처한 것으로 노드 ID에 따른 노드 별 스케줄링 정보를 보여준다. 노드 ID 0은 CS 노드로 전송대기 시간이 0 초이며, 전송 순서에 따라 대기 시간이 CH1 노드는 12.47 초, CH2 노드는 24.94 초이다. 다음 전송주기 시작 시간은 26.39 초이며, 이는 장거리 수중 통신네트워크 최대 통신거리인

Time	Node ID	HOP/SubHOP	Start time for TX cycle	WaitTime(μs)
2019-11-13 11:57:54	0 → CS	0/0	263930000	0
2019-11-13 11:57:54	1 → CH1	1/1	263930000	12470000
2019-11-13 11:57:54	2 → CH2	1/1	263930000	24940000

Wait time for TX

그림 10. 매체접속제어 계층에서 전송 스케줄링 결과
Fig. 10. Test result of transmission scheduling in MAC layer.

30 km를 기준으로 최대 전파지연 시간을 20 초로 설정하고, 이에 따른 가드 타임이 고려되어 도출된 값이다.

그림 11은 노드들의 위치 갱신 기능 검증 결과를 CS 노드의 UANet GUI에서 캡처한 것으로 각 노드 별 위치의 위도와 경도 정보를 도, 분, 초로 나타낸다. CS 노드는 CH1과 CH2로부터 수신한 데이터로 위치 정보를 알아내고, 이를 토대로 자신과 떨어진 거리를 계산하여 위치 지도를 형성하고, 관련 정보를 표시한다. 그림 11에서 CH1과 CH2의 노드 위치가 동일하고, CS 노드와 거리가 600 m인 것을 확인할 수 있다.

그림 12는 경로 설정 기능 결과를 나타낸다. CH1과 CH2 노드는 CS 노드로 전송하기 위한 상향링크 라우팅 테이블을 생성하고 라우팅 유효시간이 지속적으로 갱신된다. CS 노드는 CH 노드들에게 전송하기 위한 하향링크 라우팅 테이블을 생성하고 각 노드 별 목적지 주소와 홉 수가 상이한 것을 볼 수 있다. 또한 라우팅 유효시간이 갱신되는 것을 확인하였다.

그림 13은 연속 데이터 자동 전송 기능 결과를 나타낸다. CH1 노드는 'test'라는 문자 메시지를 60 초

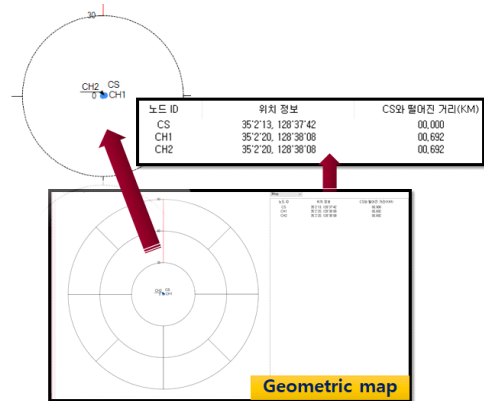


그림 11. 노드 위치 갱신 결과
Fig. 11. Test result of geometric map.

DOWNLINK 라우팅 테이블						
Routing table for CS				Destination Addr.	Next hop Addr.	Valid time for route
No.	Time	Dest Address	Next HOP Address	HOP Count	ET	remain_VTime(ms)
1	2019-11-13 11:59:39	2	2	1	500	205690
2	2019-11-13 11:59:39	1	1	1	500	455390

UPLINK 라우팅 테이블						
Routing table for CH1				Next hop Addr.	Valid time for route	
No.	Time	Next HOP Address	HOP Count	ET	Priority	remain_VTime(ms)
1	2019-11-13 12:13:01	0	1	15	500	466000

UPLINK 라우팅 테이블						
Routing table for CH2				Next hop Addr.	Valid time for route	
No.	Time	Next HOP Address	HOP Count	ET	Priority	remain_VTime(ms)
1	2019-11-13 10:41:01	0	1	15	500	315390

그림 12. 경로 설정 결과
Fig. 12. Test results of routing.

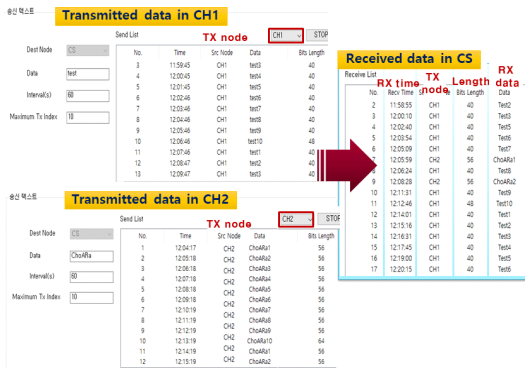


그림 13. 연속 데이터 송수신 결과
Fig. 13. Test results of continual data transmission.

주기로 연속해서 보내며, 인덱스는 데이터를 전송할 때마다 1에서부터 10까지 1씩 증가한다. CH2 노드는 ‘ChoARA’ 라는 문자 메시지를 CH1 노드와 동일한 방식으로 전송한다. CH1과 CH2 노드의 전송 목록에는 응용 계층에서 송신한 시각, 송신 노드, 송신 데이터, 데이터 크기를 보여준다. CS 노드는 CH1과 CH2 노드들로부터 전송된 데이터를 수신하며, 수신 데이터 시각, 송신 노드, 수신 데이터, 데이터 크기를 수신 목록에서 보여준다. 60 초 주기로 CH1과 CH2 노드에서 송신된 데이터는 CS 노드에서 거의 2 분 간격으로 데이터가 수신되는 것을 확인할 수 있다. 이는 CH1과 CH2 송신 노드에서 데이터 전송을 위해 버퍼링된 데이터가 쌓여 있으며, 데이터 패킷 이외 주기적으로 전송되는 패킷이 존재하기 때문에 각 노드에 따라 전송된 데이터의 수신 시각 간격 차이가 생긴다.

IV. 결 론

본 논문에서는 실험역 실증을 통해 장거리 통신 시스템의 네트워크 기능을 각 계층별로 검증하였다. 이를 위해, 실험역에서 노드 간 일 대일 장거리 수중통신 시험을 통해, 물리계층 통신시스템과 수중 네트워크 프로그램의 안정적 연동과 네트워크 기본 기능을 확인하였다. 또한, 장거리 수중채널 시뮬레이터와 수중통신 모뎀-네트워크 플랫폼을 연동하여 토폴로지에 따른 네트워크 핵심 기능 검증을 수행하였다. 최종적으로 통신범위를 스케일 다운하여 장거리 수중 네트워크 통신시스템이 연동된 노드 3대로 네트워크를 구성하여 실험역에서 3회에 걸쳐 네트워크 기능들을 검증하였다. 그 결과로 CS-CH1-CH2 노드로 구성된 네트워크에서 매체접속제어 전송 스케줄링 기능, CS 노

드에서 위치 지도 생성 및 갱신, 노드 별 상/하향링크 라우팅 생성 및 갱신, 응용 계층에서의 연속 데이터 자동 송수신 기능들이 성공적으로 동작되는 것을 확인하였다. 구현된 장거리 수중 통신 시스템과 네트워크 기술은 해양탐사, 해양자원개발, 해양방위 및 해난 사고의 구난 작업 등의 효율성을 증대시킬 수 있으며, 수중 무선통신 인프라로 활용 가능할 것이다.

References

- [1] A. R. Cho, C. Yun, S. G. Kim, Y. K. Lim, S. Seo, and Y. Choi, "Implementation of a long-range underwater acoustic network protocol," *J. KICS*, vol. 43, no. 2, pp. 397-407, 2018.
- [2] J. Heidemann, M. Stojanovic, and M. Zorzi, "Underwater sensor networks: applications, advances and challenges," *Phil. Trans. R. Soc. A*, vol. 370, no. 1958, pp. 158-175, 2012.
- [3] 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.
- [4] S. Climent, A. Sanchez, J. V. Capella, N. Meratnia, and J. J. Serrano, "Underwater acoustic wireless sensor networks: advances and future trends in physical, MAC and routing layers," *Sensors*, vol. 14, no. 1, pp. 795-833, 2014.
- [5] J. Partan, J. Kurose, and B. N. Levine, "A survey of practical issues in underwater networks," *ACM SIGMOBILE Mob. Comput. and Commun. Rev.*, vol. 11, no. 4, pp. 23-33, 2007.
- [6] S. G. Kim, S. S. Sung, N. Yun, C. Yun, and Y. K. Lim, "An implementation of signal processing platform for long-range underwater acoustic modem," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 490-491, Jeju Island, Korea, Jun. 2015.
- [7] S. H. Byun, S. M. Kim, and Y. K. Lim, "Long-range sound transmission characteristics in shallow-water channel with thermocline," *The J. Acoust. Soc. Korea*, vol. 33, no. 5, pp. 273-281, 2014.
- [8] C. Yun and Y. K. Lim, "GSR-TDMA: A

geometric spatial reuse-time division multiple access MAC protocol for multihop underwater acoustic sensor networks,” *J. Sensors*, vol. 2016, 2016.

- [9] Y. Choi and Y. K. Lim, “A study on a routing metric for underwater ad-hoc network,” in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 367-368, Jeju Island, Korea, Jun. 2015.
- [10] A. R. Cho, “Synchronizing to packet trains for underwater acoustic networks,” in *Proc. KIICE Conf.*, Busan, Korea, Jun. 2017.
- [11] A. R. Cho, S. G. Kim, S. Sung, Y. K. Lim, and Y. Choi, “Sea-experiment test of a long-range underwater acoustic network,” in *Proc. KICS Int. Conf. Commun.*, pp. 617-618, Jeju Island, Korea, Jun. 2018.

조 아 라 (A-ra Cho)



2002년 2월 : 경희대학교 전자공학과 학사
 2012년 2월 : 과학기술연합대학원대학교(UST) 해양정보통신공학과 박사
 2012년~현재 : 한국해양과학기술원 선박플랜트 연구소(KRISO) 선임기술원

<관심분야> 수중음향 네트워크, 해상통신 네트워크

김 승 근 (Seung-Geun Kim)



1995년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
 1997년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
 2002년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
 2002년 10월~현재 : 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원

2004년 3월~2015년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신공학과 겸임교원 (부교수)

2015년 3월~현재 : 과학기술연합대학원대학교 해양시스템공학과 겸임교원 (교수)

<관심분야> 수중음향통신 시스템 개발, 해상 VHF 디지털 통신 시스템 개발, 선박 항해통신 장치 및 서비스

윤 창 호 (Changho Yun)



1999년 2월 : 창원대학교 메카트로닉스학과 학사
 2004년 2월 : 광주과학기술원(GIST) 정보통신공학과석사
 2007년 8월 : 광주과학기술원(GIST) 정보통신공학과박사

2007년 11월~2008년 12월 : North Carolina State Univ. 전산학과 박사후과정

2008년 12월~현재 : 한국해양과학기술원 선박플랜트 연구소(KRISO) 책임연구원

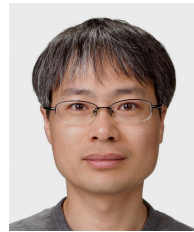
윤 남 열 (Nam-Yeol Yun)



2003년 2월 : 안동대학교 정보통신공학과 졸업
 2009년 2월 : 국민대학교 비즈니스정보통신전공 석사
 2014년 2월 : 국민대학교 비즈니스IT전공 박사
 2015년 9월~현재 : 선박해양플랜트연구소 해양ICT연구본부 재직

<관심분야> 정보통신, 수중통신, 해양ICT
 [ORCID:0000-0002-9013-1850]

최 영 철 (Youngchol Choi)



1998년 2월 : KAIST 전기및전자공학과(공학사)
 2000년 2월 : KAIST 전기및전자공학과(공학석사)
 2011년 8월 : KAIST 전기및전자공학과(공학박사)
 2000년 3월~현재 : 선박해양플랜트연구소 책임연구원

<관심분야> 해양정보통신 네트워크, 수중 통신 네트워크 및 신호처리