DBpia

논문 14-39C-06-01 The Journal of Korea Information and Communications Society '14-06 Vol.39C No.06
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2014.39C.6.457

상용 모뎀 제어를 통한 수중 CSMA/CA 프로토콜 시험

조 준 호◆, 이 상 국*, 신 정 채**, 이 태 진**, 조 호 신°

Underwater Experiment on CSMA/CA Protocol Using Commercial Modems

Junho Cho◆, Sang-kug Lee*, Jungchae Shin**, Tae-Jin Lee**, Ho-Shin Cho°

요 약

본 논문에서는 수중음향센서네트워크의 수중 통신 프로토콜 시험을 위해 구축한 해상시험환경을 소개하고 상용 모뎀을 이용하여 실시한 및 매체접속제어기법(Medium Access Control: MAC)의 시험결과를 제시한다. 본 시험에서는 패킷 충돌을 회피하기 위해 기존 지상환경에서 많이 사용되는 반송파감지기반의 충돌회피기법(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance: CSMA/CA)을 사용하였으며 수중 통신 프로토콜로서의 가용성을 검증하였다. 시험에 사용된 네트워크 노드는 Benthos사의 상용 수중 모뎀과 ATmega2560 제어보드를 이용하여 구성하였다. 시험의 체계적 관리와 시험과정 관찰을 용이하게 하기 위해 각 노드가 GPS신호를 수신하여 자신의 위치를 파악할 수 있도록 하였으며 라디오주파수(Radio Frequency: RF) 인터페이스를 통해 위치정보 및 수중채널을 통해 송수신되는 패킷의 정보를 지상으로 보고할 수 있도록 했다. CSMA/CA 프로토콜을 수중환경에 적용하기 위해 4-way 핸드셰이킹동작에 사용되는 네 종류의 제어패킷 RTS(Request To Send), CTS(Clear to Send), DATA, ACK(Acknowledgement)을 수중환경에 맞게 설계했다. 시험을 통해 CSMA/CA 프로토콜의 실제 수중환경에서의 가용성을 검증할 수 있었다.

Key Words : underwater communication, underwater sensor network, MAC protocol

ABSTRACT

This paper introduces a test bed for communication protocol schemes of underwater acoustic sensor network, and also shows experimental results obtained from the test bed. As a testing protocol, carrier sense multiple access/collision avoidance (CSMA/CA) is evaluated on underwater acoustic channel. A sensor node is equipped with a DSP control board of ATmega2560 and a commercial underwater modem produced by Benthos. The control board not only manipulates a GPS signal to acquire the information of location and time, but also controls the underwater modem to operate according to the procedure designed for a given testing protocol. Whenever any event takes place such as exchanging control/data packets between underwater modems and acquiring location and timing information, each sensor node reports them through radio frequency (RF) air

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다. (계약번호 UD130007DD)
※ 본 연구의 일부는 2014년 ㈜한화의 지원으로 수행한 위탁연구과제 "자율형 수중 통신망 설계 기술"의 결과이며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다(R2-1A1303.02)
◆ First Author : School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, jh_cho@ee.knu.ac.kr, 학생회원
° Corresponding Author : School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, hscho@ee.knu.ac.kr, 종신회원
* Agency for Defense Development, lsk91@add.re.kr
** Hanwha Corporation, jcshin@hanwha.co.kr, leetj101@hanwha.com
논문번호 : KICS2013-12-536, Received December 13, 2013; Revised March 5, 2014; Accepted May 30, 2014

www.dbpia.co.kr

interface to a central station located on the ground. The four kinds of packets for CSMA/CA, RTS(Request To Send), CTS(Clear to Send), DATA, ACK(Acknowledgement) are designed according to the underwater communication environment and are analyzed through the lake experiment from the point of feasibility of CSMA/CA in underwater acoustic communications.

Ⅰ. 서 론

최근 해양자원에 대한 관심이 증가하면서 해양탐사 및 환경감시를 위하여 잠수정 및 수중센서네트워크를 이용한 연구가 활발히 진행되고 기술적 수요가 증가하고 있으며[1], 또한 군 전술분야에서는 현대화된 네트워크전의 개념이 해양으로 확대되면서 수중 센서 노드 간 통신 방식 및 다중 노드의 네트워크 구성에 대한 중요성이 더욱 커지고 있다[2].

기존 지상에서 사용되는 전자파, 광파를 이용한 통신은 매우 큰 경로감쇠로 인하여 수중환경에 적용하기 힘들기 때문에 수중에서는 음파를 이용하여 통신을 한다. 일반적으로 음파를 이용한 수중 통신 환경은 지상환경에 비해 제한된 대역폭 및 1500m/s 정도의 낮은 전파속도, 높은 비트 오류율, 다중경로, 높은 페이딩 효과와 같은 특성을 고려해야 하며 수중의 채널 상태는 해저면의 재질, 수온, 염도 등에 영향을 받기 때문에 지상환경의 채널에 비해 매우 복잡한 특성을 지닌다[3].

수중 통신을 위해서는 이러한 수중 음향채널의 특성을 고려한 통신프로토콜 개발이 중요하며 이에 대해 현재까지 각국에서의 많은 연구 결과로 다양한 프로토콜들이 제안되고 있다.[4-6] 하지만 이러한 수중 통신 프로토콜들을 실제 수중환경에서 시험한 사례는 많지 않다. 국외에서는 수중 통신 시험을 위한 환경을 구축하여 여러 시험을 수행하고 있다[7-11]. U.S Navy의 Seaweb 프로젝트[12-13]를 비롯하여 여러 국가에서 수중 통신 프로토콜을 위한 프로젝트를 수행하고 있고 다양한 수중 시험 사례가 있지만[14-15] 국내에는 시험사례가 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 실제 수중환경에서 통신 프로토콜 시험을 위해 해상 시험환경을 구축하고 무선센서네트워크에서의 가장 대표적인 매체접속제어기법인 CSMA/CA 프로토콜을 시험하여 해당 프로토콜이 실제 수중환경에서 제대로 동작하는지를 검증하였다. 네트워크 노드는 Benthos사의 상용 수중 모뎀과 ATmega2560을 활용한 제어보드를 이용하여 구성하였다. 또한 프로토콜의 동작과정을 지상에서 쉽게 파악할 수 있도록 지상 제어국을 설치하고 각 노드가 GPS 수신신호로부터 계산한 위치정보와 수중의 패킷 전송상황을 RF통신을 통해 실시간으로 보고하도록 하였다. 지상 제어국에서 이를 GUI 기반의 프로그램으로 확인할 수 있는 환경을 구축하였다. 이러한 시험환경은 앞으로 개발될 다양한 수중 통신 프로토콜 및 라우팅 기법을 시험하는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅱ. 시험구성

수중센서네트워크 시험환경의 구성도는 그림 1과 같다. 노드는 수중 모뎀과 모뎀을 제어하는 제어보드로 구성된다. 제어보드는 GPS를 수신할 수 있는 GPS 모듈과 지상 제어국과 연동 가능한 zigbee 인터페이스의 RF 모듈을 포함한다. 배치가 완료된 각 노드는 GPS를 이용하여 자신의 위치정보 및 현재 시간정보를 파악한다. 파악된 위치정보는 RF통신을 통해 지상 제어국으로 보고되어 지상에서 모든 노드의 위치를 파악할 수 있도록 하였다. 배치 및 위치정보 보고가 끝난 각 노드는 수중 모뎀을 제어하여 시험하고자하는 MAC 프로토콜에 따라 제어패킷을 전송한다. 모든 노드가 주고받는 패킷정보를 RF통신을 통해 지상 제어국에 보고함으로써 지상에서 시험 진행상황을 파악할 수 있도록 하였다.

본 시험은 2013년 11월 29일에 대구광역시 동구 봉무동에 위치한 단산저수지에서 수행되었으며 그림

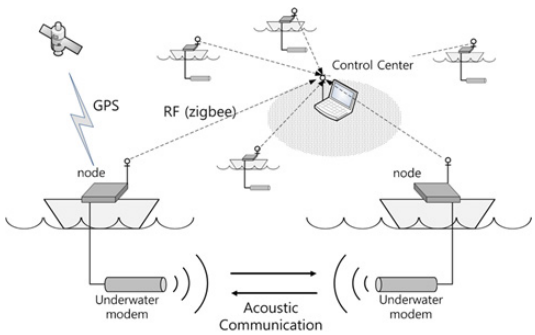

그림 1. 수중 MAC 프로토콜 시험을 위한 시험환경 구성도
Fig. 1. Test bed for underwater MAC protocol experiment

www.dbpia.co.kr

2에서 보듯이 3기의 노드(노드1, 2, 3)가 일렬로 배치되었다. 저수지의 수심은 약 10m 이다. 노드1과 노드2 사이의 거리는 약 60m, 노드2와 노드3 사이의 거리는 약 40m로 배치되었으며 지상 제어국은 저수지 연안에 위치하였다. 이와 같은 시험환경에서 기존 지상환경에서의 무선센서네트워크에서 많이 사용되는 CSMA/CA 프로토콜의 4-way 핸드셰이킹 동작을 시험하였다. 데이터를 주고받을 두 노드가 RTS, CTS, DATA, ACK패킷을 차례로 교환하는 동안 나머지 노드가 NAV(Network Allocation Vector)를 통해 적절한 시간 동안 패킷을 송신하지 않음으로써 충돌을 회피할 수 있는지 여부를 시험하였다.

시험에 사용된 노드의 상세한 구성 및 제어보드의 구현 및 동작방식, 지상 제어국의 구성은 다음과 같다.

그림 2. 노드 및 지상 제어국 배치
Fig. 2. Deployment of nodes and control center

2.1 노드구성

노드의 구성은 그림 3과 같다. 노드는 음향신호를 송수신하는 수중 모뎀과 모뎀을 제어하는 ATmega2560 기반의 제어보드로 이루어져 있다. ATmega2560 제어보드는 LK Embedded사의 LK-AVR2560M 모델을 사용하였다. 해당 보드는 주변기기를 위한 4개의 UART 인터페이스를 지원하며 실시간 시간생성이 가능한 RTC(Real Time Clock)칩을 포함하고 있다. 제어보드에는 노드의 위치파악 및 현재 시간정보 획득을 위해 GPS모듈을 장착하였다. GPS 모듈은 우리로봇기술사의 UST-SNR-GPS 모델을 사용하였다. 또한 지상 제어국과의 RF통신을 위해 chipsen사의 zigbee 인터페이스를 이용한 ProBee- ZS10 모델을 사용하였다.

해당 RF모듈은 1.6km의 커버리지를 지원한다. 노드는 무선환경으로 구축되므로 외부전원 없이 배터리

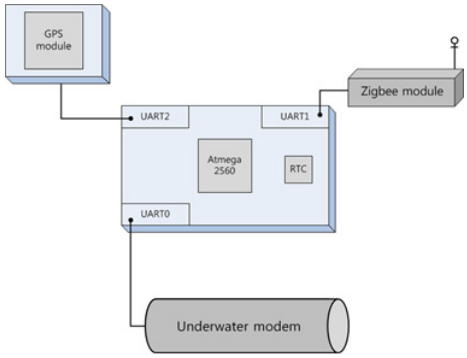

그림 3. 노드의 구성
Fig. 3. Node composition

로 동작한다. 노드의 실제 구성모습은 그림 4와 같다.

수중 모뎀으로는 Benthos사의 ATM-903 모델을 사용하였다. 본 모뎀은 PSK 및 MFSK 변조기법을 사용한다. 9-14KHz 대역에서 수 km 반경으로 최대 15,360bps로 송신이 가능하며 수신시에는 최대 2400bps로 수신이 가능하다. 본 시험에서는 수중 채널의 환경을 고려하여 800bps의 전송속도를 사용하였다. 모뎀의 실제 모습은 그림 5와 같다. 또한 수신한 패킷의 오

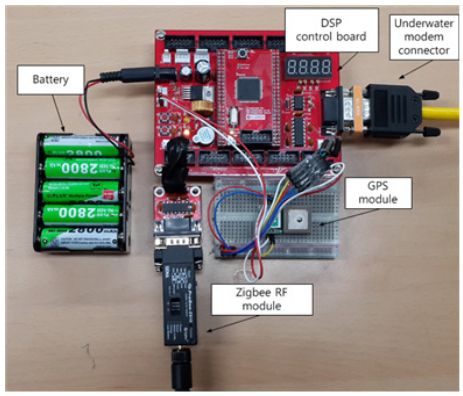

그림 4. 노드의 구성 (사진)
Fig. 4. Node composition (picture)

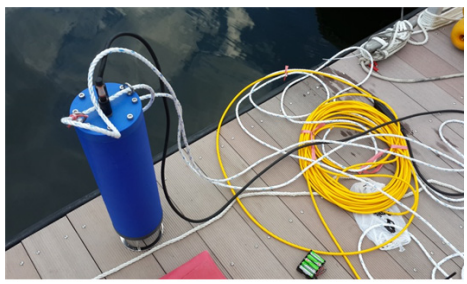

그림 5. Benthos ATM-903 수중 모뎀
Fig. 5. Benthos ATM-903 underwater modem

www.dbpia.co.kr

류정정을 위한 FEC(Forward Error Correction) 기법으로 1/2 부호율의 길쌈부호화(Convolutional Coding)를 제공한다[16].

2.2 제어보드 구현 및 동작방식

ATmega2560기반의 제어보드는 수중 모뎀을 제어하여 노드 간 제어 및 데이터패킷을 송수신하거나 GPS정보 수신, RF통신을 이용한 지상 제어국으로의 진행상황 보고 등의 기능을 수행한다. 제어보드의 동작과정은 그림 6과 같다. 배치가 완료된 각 노드의 제어보드는 먼저 GPS 모듈을 통해 위성으로부터 노드의 위, 경도정보 및 현재시간정보를 수신한다. 제어보드는 GPS로부터 수신한 정보를 바탕으로 노드의 위치를 파악하고 RTC칩을 이용하여 현재시간을 실시간으로 생성한다. 그리고 노드의 배치가 완료되었음을 RF통신을 통해 지상 제어국으로 보고한다. 이후 모뎀 제어를 통해 MAC 프로토콜 동작을 수행하고 해당 상황을 RF통신을 통해 지상 제어국으로 실시간 보고한다. 지상 제어국으로 보고하는 RF메시지는 송수신된 패킷의 종류, 노드ID, 현재시간 정보를 포함한다.

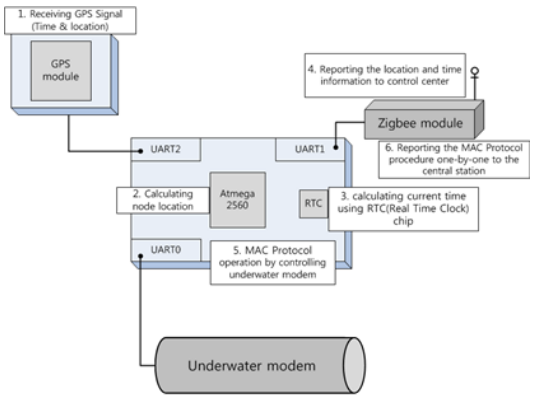

그림 6. 제어보드의 동작과정
Fig. 6. DSP control board operation procedure

2.3 지상 제어국 구성

본 시험에서는 각 노드의 위치 및 MAC 프로토콜 동작상황을 용이하게 파악하기 위해 지상 제어국을 설치하였다. 지상 제어국은 그림 7과 같이 Windows 기반의 노트북 시스템 상에 MATLAB 기반의 GUI(Graphic User Interface: GUI) 프로그램으로 구현했다. GUI 프로그램의 구성은 그림 8과 같다. GUI 프로그램에는 시험환경의 지도를 표시하여 각 노드의 위치를 표시할 수 있도록 하였으며 각 노드가 패킷을 송수신 하는 동작을 실시간 애니메이션으로 표현할

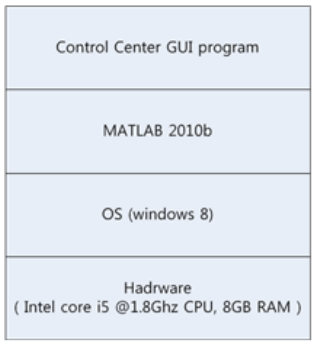

그림 7. 지상 제어국의 구성
Fig. 7. Control center composition

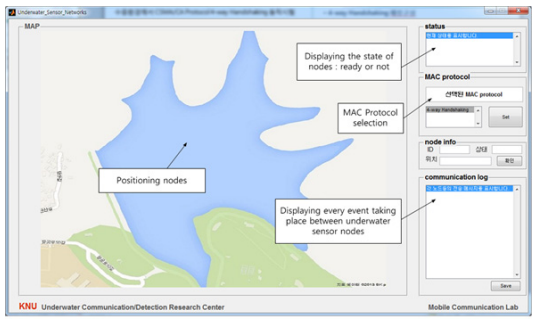

그림 8. 지상 제어국 GUI 프로그램의 구성
Fig. 8. Control center GUI program

수 있도록 했다. 또한 추후 다양한 MAC 프로토콜의 시험에 대비하여 시험할 프로토콜을 선택할 수 있도록 하였으며 현재 진행상태 및 각 노드의 패킷 송수신 기록을 확인할 수 있는 창을 두어 전체적인 시험 동작 상황을 용이하게 파악할 수 있도록 하였다.

Ⅲ. 시험내용 및 결과

3.1 CSMA/CA 동작

CSMA/CA 프로토콜은 다수의 노드가 데이터를 주고받는 네트워크 환경에서 패킷 충돌을 회피하기 위한 MAC 프로토콜이다. CSMA/CA 프로토콜은 기존 CSMA 방식의 MAC 프로토콜을 무선환경에서 사용했을 때 발생할 수 있는 은닉 노드 문제(hidden node problem)를 해결하기 위해 RTS, CTS 기반의 4-way 핸드셰이킹 기법을 사용한다. RTS, CTS, DATA, ACK패킷을 차례로 주고받는 4-way 핸드셰이킹 동작을 그림 9에 나타내었으며 상세한 동작과정은 다음과 같다. 그림에서 A노드가 B노드에게 보낼 데이터가 있는 경우 먼저 A노드가 RTS패킷을 B노드에게 전송함으로써 데이터를 보내기 위한 채널예약을 요청한다.

www.dbpia.co.kr

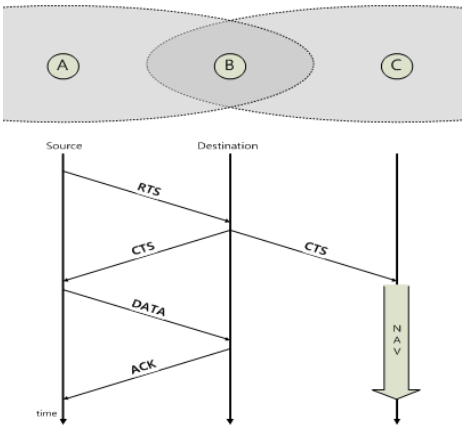

그림 9. CSMA/CA 프로토콜의 4-way 핸드셰이킹 동작 예시
Fig. 9. Example of CSMA/CA protocol 4-way handshaking

RTS패킷을 받은 B노드는 RTS에 대한 응답으로 CTS 패킷을 A노드에게 다시 전달함으로써 채널예약요청을 승인한다. 이때 CTS패킷을 B노드 주위의 다른 노드들이 엿들음(Overhearing)으로써 현재 B노드는 다른 노드와 일정 시간 동안 통신을 할 예정임 알게 된다. 그림에서 CTS패킷을 수신한 C노드는 A노드와 B노드가 통신하는 동안 자신의 신호가 패킷 충돌을 야기할 수 있으므로 이를 회피하기 위해 해당시간 동안 패킷을 전송하지 않는 NAV 상태로 들어간다. 이후 A노드는 CTS패킷을 수신한 후 DATA패킷을 전송하고 이를 수신한 B노드가 데이터가 제대로 도착하였음을 알리는 ACK 메시지를 보내는 과정을 통해 데이터를 전송한다. 이러한 4-way 핸드셰이킹 과정을 통해 A와 B의 통신과정에서 패킷 충돌을 야기할 수 있는 주위의 다른 노드(노드 C)들을 NAV 상태로 만들어 패킷 충돌을 회피함으로써 무선환경에서 은닉 노드 문제를 피할 수 있다.

그림 10은 4-way 핸드셰이킹 동작에서 각 패킷의 송,수신 시점을 IFS(Inter-Frame Space)를 포함하여 나타내었다. 먼저 데이터를 보낼 노드(Source 노드)는 DIFS(DCF Inter Frame Space)만큼 대기한 후 RTS 패킷을 전송한다. RTS패킷을 수신한 노드는 (Destination 노드) SIFS(Short Inter Frame Space)만큼 대기한 후 CTS패킷을 전송한다. Source 노드가 CTS패킷을 수신하면 다시 SIFS만큼 대기한 후 DATA패킷을 전송하고 이를 Destination 노드가 수신하여 SIFS 만큼 대기한 후 ACK패킷을 전송한다.

3.2 본 시험의 MAC 프로토콜 동작과정

본 시험에서는 3개의 노드를 이용하여 CSMA/CA 프로토콜을 수중환경에 적합하도록 개선하여 해당 프로토콜의 수중환경에서의 가용성을 시험하였다. 4-way 핸드셰이킹과정에서 사용된 패킷의 구성은 그림 11과 같이 설계하였으며 수중환경의 특성을 고려하여 DIFS 시간은 3초, SIFS 시간은 2초로 설정하였다. 전송속도가 수십Mbps 이상의 고속전송이 가능한 지상환경에서는 802.11 규격의 경우 DIFS 및 SIFS 시간이 수십μs로 설정되어있으나 전송 대역폭이 협소한 수중환경에서는 수백 bps의 전송속도를 사용하므로 패킷시간이 상대적으로 길어짐을 고려하여 DIFS 및 SIFS 시간을 충분히 크게 설정하였다. 또한 CTS패킷을 엿들은 노드가 일정시간 동안 NAV로 들어가도록 하기 위해 듀레이션(Duration) 필드에 해당 시간을 15초로 설정하였다. 이 또한 802.11 규격의 경우 NAV를 위한 듀레이션 필드값이 *2SIFS+DATA+ACK*로 설정되어있으나 본 실험에서는 전파지연시간이 상대적으로 큰 수중환경을 고려하여 충돌을 회피할 수

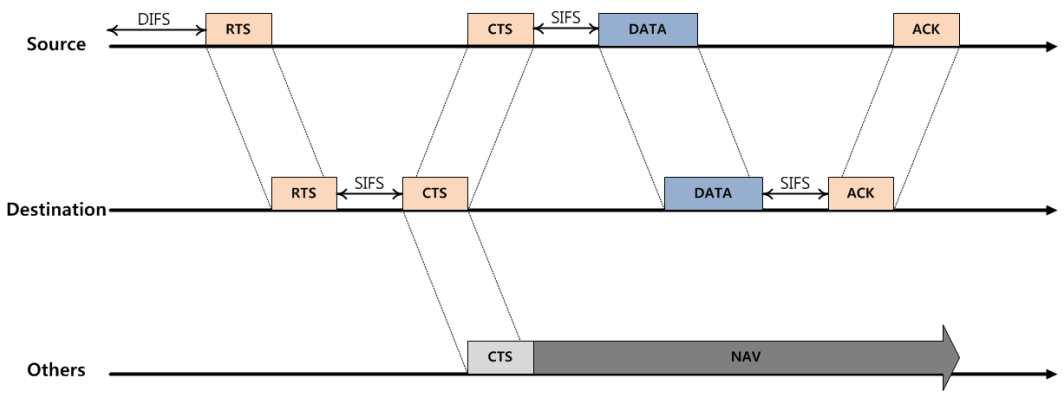

그림 10. 4-way 핸드셰이킹 동작과정에서 각 패킷의 송수신 시점
Fig. 10. Packet sending/receiving time in 4-way handshaking

www.dbpia.co.kr

그림 11. 4-way 핸드셰이킹에 사용되는 패킷의 형태
Fig. 11. Packets form for 4-way handshaking

있도록 NAV 시간을 충분히 길게 설정하였다.

각 패킷에 포함되어 있는 필드의 역할은 아래와 같다.

- 타입 필드는 제어패킷 및 데이터의 종류를 나타내며 이 필드를 통해 수신한 패킷이 RTS, CTS, DATA, ACK 중 어떤 것인지 확인할 수 있다.
- 듀레이션 필드는 해당 패킷을 받은 순간부터 얼마간의 시간 동안 채널을 사용할 것인지에 대한 정보를 담고 있다. 각 노드는 패킷을 수신한 후 해당 패킷의 수신지가 자신이 아닌 경우, 패킷 충돌을 피하기 위해 듀레이션 필드의 값을 참조하여 해당 시간 동안 패킷을 보내지 않는 NAV 상태로 들어간다.
- 송신지/수신지 주소 필드는 패킷을 보내는 노드와 수신할 노드의 주소를 포함한다.
- 데이터 필드는 전송하고자 하는 데이터를 포함한다. 본 시험에서는 13byte의 문자열을 포함시켰다.

각 패킷은 오류정정을 위해 수중모뎀에서 1/2 부호율의 길쌈부호화 과정을 거쳐 페이로드(Payload)로 변환된다. 또한 다중 경로 문제를 해결하기 위해 패킷의 앞부분에 공백시간인 0.0125초길이의 가드 시간(Guard Time)과 1.2초 길이의 획득과정을 위한 프리앰블 및 헤더를 추가하여 그림 11과 같은 형태의 최종적인 패킷이 생성된다. 따라서 수중 모뎀을 통해 전송되는 패킷의 길이는 페이로드의 시간에 1.2125초가 더해진다. 이러한 가드 시간, 프리앰블 및 헤더는 본 실험에 사용한 상용 모뎀에서 기본으로 제공하는 설정 값이다. 최종패킷은 음향신호로 변환된 후 수중 음향 채널을 송수신된다. 본 실험에서는 수중 채널의 환경을 고려하여 전송속도를 800bps로 설정하였다.

3.3 시험결과

3기의 노드(노드1, 2, 3)을 일렬로 배치하였으며 노드1-노드2 사이의 거리는 60m 노드2-노드3 사이의 거리는 40m가 되도록 배치하였다. 시험환경의 여건상 노드1-노드3 사이에 은닉 노드 문제가 발생하지 않으므로 소프트웨어적 처리를 통해 노드1-노드3 사이의 패킷을 무시하도록 처리함으로써 은닉 노드 환경을 조성하였다. 지상 제어국에 보고된 통신기록을 바탕으로 확인한 패킷 송수신 기록을 그림 12에 정리하였다. 측정된 각 패킷의 송수신 시점은 패킷이 송신되기 시작한 시점, 패킷 수신이 완료된 시점이다.

노드3-노드2 사이의 4-way 핸드셰이킹 동작에 따른 패킷 송수신동작과 노드1이 충돌회피를 위해 NAV로 들어가는 동작을 그림 13에 나타내었다.

그림 12, 그림 13에서 나타낸 송수신 시점의 시간은 각 노드에서 1초단위로 측정한 결과이므로 실제 시간과 1초미만의 오차가 발생할 수 있으며 송수신 시점의 측정은 각각의 노드에 따로 장착된 GPS 모듈

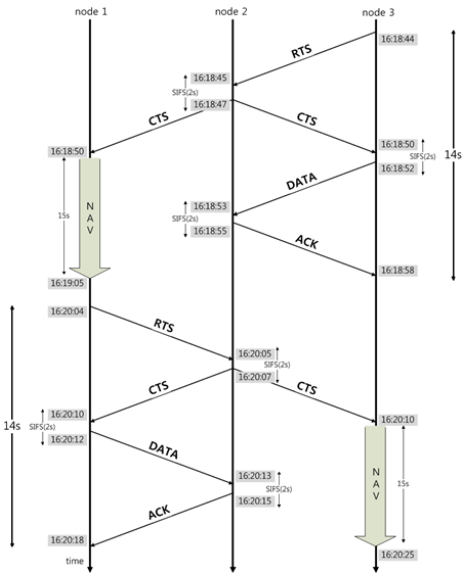

그림 12. 패킷 송수신 기록
Fig. 12. Packet sending/receiving log

www.dbpia.co.kr

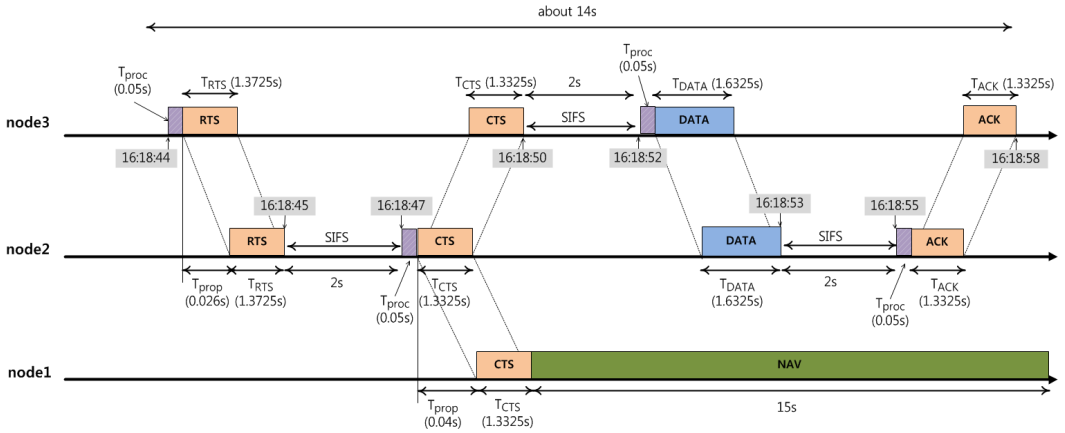

그림 13. 노드2-노드3 사이의 4-way 핸드셰이킹 동작 및 노드1의 NAV 동작
Fig. 13. 4-way handshaking in node2-node3 and node1's NAV operation

을 이용하므로 노드 사이에 정밀한 시간동기가 맞지 않음에 따른 오차가 발생할 수 있다.

그림 13에서 각 노드는 패킷을 송신하기 전에 처리 시간을 갖는 것을 확인할 수 있다. 이는 모뎀의 특성상 신호를 송신하기 전에 0.05초의 처리시간이 소요되기 때문이며 이를 T_{proc}로 나타내었다. 또한 수중 음향 채널에서의 음파속도가 약 1500m/s 임을 고려할 때 노드2-노드3 사이의 거리가 약 40m 이므로 전파지연시간은 약 0.026초, 노드1-노드2 사이의 거리가 약 60m 이므로 전파지연시간은 약 0.04초로 예상할 수 있으며 이를 T_{prop}로 나타내었다. 그리고 RTS, CTS, DATA, ACK패킷의 시간을 계산하여 각각 T_{RTS}, T_{CTS}, T_{DATA}, T_{ACK}로 나타내었다. 이와 같은 상황에서 노드가 처음 RTS패킷을 전송한 후 CTS, DATA, ACK를 주고받는 4-way 핸드셰이킹 과정을 마치는데 까지 걸리는 시간을 T라고 했을 때 T는 수식 (1)과 같이 예상할 수 있다.

$$T=T_{proc}+T_{prop}+T_{RTS}+SIFS+T_{proc}+T_{CTS}+T_{prop}+SIFS+T_{proc}+T_{prop}+T_{DATA}+SIFS+T_{proc}+T_{ACK}+T_{prop} \quad (1)$$

수식 (1)을 이용한 계산결과는 약 11.974초이지만 실제 통신기록 분석결과 약 14초가 걸린 것으로 측정되었다. 이는 수식 (1)에는 각 노드에서 프로토콜 동작에 소요되는 연산시간이 제외되어 있으며 또한 통신기록의 시간단위가 초단위로 측정되어 발생할 수 있는 오차가 더해져 발생한 결과로 생각된다.

본 시험을 통해 4-way 핸드셰이킹 프로토콜이 수중환경에서 원활하게 동작할 수 있음을 확인하였다. 또한 수중환경에서 발생할 수 있는 은닉 노드 환경에서 서로를 인지하지 못해 발생할 수 있는 충돌에 대해 제어패킷을 엿들은 노드가 적절한 NAV설정을 통해 충돌을 회피함으로써 은닉 노드 문제를 해결할 수 있음을 확인하였다.

Ⅳ. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 실제 수중환경에서 수중 통신 프로토콜을 시험할 수 있는 환경을 구축하고 무선환경에서 사용되고 있는 대표적인 MAC 프로토콜인 CSMA/CA 프로토콜의 핸드셰이킹 과정을 수중환경에 맞게 개선하여 시험하였으며 그 결과를 제시하였다. 시험결과 수중환경의 긴 전파지연시간을 고려하여 CSMA/CA 프로토콜에 사용되는 각 패킷의 파라미터를 조정하여 듀레이션 필드에 NAV 설정을 위한 시간을 충분히 설정하고 DIFS, SIFS 시간을 수중환경에 맞게 적절히 조정하였을 때 해당 프로토콜을 수중환경에 적용가능 함을 확인하였다. 본 시험을 통해 4-way 핸드셰이킹 과정의 RTS패킷을 통한 채널예약, CTS패킷을 엿들음으로써 NAV로 들어가는 동작을 통한 충돌 회피 과정이 제대로 이루어졌으며 이를 통해 충돌 없이 DATA패킷과 ACK패킷을 주고받음으로써 해당 프로토콜이 수중환경에서 은닉 노드 문제를 해결할 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후에는 더 많은 노드를 확보하여 다수의 노드가 배치될 수 있는 시험환경을 구성한 뒤 CSMA/CA 프로토콜 외에도 다양한 스케쥴링 기반 및 경쟁기반의 MAC 프로토콜을 수중환경에서 시험하여 성능을 검

www.dbpia.co.kr

증하고 수중센서네트워크를 구축하는데 적합한 MAC 프로토콜을 제안하여 직접 시험을 통해 결과를 도출할 예정이다.

References

[1] K.-M. Kim and J.-W. Han, "Design of OFDM system for high speed data transmission in underwater," in *Proc. IEEK summer Conf.*, pp 85-88, Pyungchang, Korea, Jun. 2008.

[2] J.-P. Kim, J.-W. Lee, Y.-S. Jang, K. Son, and H.-S. Cho, "A CDMA-based MAC protocol in tree-topology for underwater acoustic sensor networks," in *Proc. IEEE WAINA*, pp. 1166-1171, Bradford, UK, May 2009.

[3] M. Stojanovic and J. Preisig, "Underwater acoustic communication channels: propagation models and statistical characterization," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 1, pp. 84-89, Jan. 2009.

[4] X. Guo, M. R. Frater, and N. J. Ryan, "An adaptive propagation-delay-tolerant mac protocol for underwater acoustic sensor networks," in *Proc. MTS/IEEE OCEANS,* pp. 1-5, Aberdeen, Scotland, Jun. 2007.

[5] D.-S. Shin and D.-K. Kim, "A dynamic NAV determination protocol in 802.11 based underwater networks," in *Proc. IEEE ISWCS*, pp. 401-405, Reykjavik, Iceland, Oct. 2008.

[6] D. Fang, Y. Li, H. Huang, and L, Yin, "A CSMA/CA-based MAC protocol for underwater acoustic networks," in *Proc. IEEE WiCOM*, pp. 1-4, Chengdu, China, Sept. 2010.

[7] Z. Peng, J.-H. Cui, B . Wang, K. Ball, and L. Freitag, "An underwater sensor network testbed: Design, implementation, and measurement," in *Proc. WUWNet*, pp. 65-72, Montreal, Canada, Sept. 2007.

[8] A. Goodney, Y. H. Cho, J. Heidemann, and J. Wroclawski, "An underwater communication and sensing testbed in marina del rey," in *Proc. ACM WUWNet*, Wood Hole, USA, Sept. 2010.

[9] B. Chen and D. Pompili, "A testbed for performance evaluation of underwater vehicle team formation and steering algorithms," in *Proc. IEEE SECON*, pp. 1-4, Boston, USA, Jun. 2010.

[10] J. Alves, J. Potter, G. Zappa, P. Guerrini, and R. Been, "A testbed for collaborative development of underwater communications and networking," in *Proc. IEEE MILCOM*, pp. 1-8, Orlando, USA, Oct. 2012.

[11] C. Petrioli and R. Petroccia, "SUNSET: Simulation, emulation and reallife testing of underwater wireless sensor networks," in *Proc. IEEE UComms*, pp. 1-12, Sestri Levante, Italy, Sept. 2012.

[12] J. Rice, B. Creber, C. Fletcher, P. Baxley, K. Rogers, K. McDonald, D. Rees, M. Wolf, S. Merriam, R. Mehio, J. Proakis, K. Scussel, D. Porta, J. Baker, J. Hardiman, and D. Green, "Evolution of seaweb underwater acoustic networking," in *Proc. OCEANS 2000 MTS/IEEE*, vol. 3, pp. 2007-2017, Providence, USA, Sept. 2000.

[13] J. Rice and D. Green, "Underwater acoustic communications and networks for the US Navy's seaweb program," in *Proc. SENSORCOMM '08*, pp. 715-722, Cap Esterel, France, Aug. 2008.

[14] G. Toso, R. Masiero, P. Casari, O. Kebkal, M. Komar, and M. Zorzi, "Field experiments for dynamic source routing: S2c evologics modems run the SUN protocol using the desert underwater libraries," in *Proc MTS/IEEE OCEANS*, pp. 1-10, Hampton Roads, USA, Oct. 2012.

[15] A. Caiti, V. Calabro, L. Fusini, A. Munafo, K. Grythe, J. M. Hovem, and A. L. T. A. Reinen, "Underwater acoustic network performance: Results from the UAN11 sea trial," in *Proc. MTS/IEEE OCEANS*, pp. 1-8, Hampton Roads, USA, Oct. 2012.

[16] Benthos Modem Brochure, Retrieved Dec. 9, 2013, from http://www.benthos.com/_doc/main/Brochures_Datasheets/Modems_brochure_2013_lo_4_pg_1.pdf

www.dbpia.co.kr

조 준 호 (Junho Cho)

2013년 2월 : 경북대학교 전자공학부 공학사
2013년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학부 석사과정
<관심분야> 이동통신시스템, 수중음향센서네트워크

이 상 국 (Sang-kug Lee)

1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
1991년~현재 : 국방과학연구소 연구원
<관심분야> 수중통신, 수중음향탐지

신 정 채 (Jungchae Shin)

2002년 8월 : 경북대학교 전자전기공학부 공학사
2004년 8월 : 경북대학교 대학원 정보통신학과 공학석사
2010년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 공학박사
2010년 8월~현재 : (주)한화/화약 구미사업장 개발3팀 선임연구원
<관심분야> 이동통신시스템, 수중음향신호처리, 수중음탐기

이 태 진 (Tae-Jin Lee)

2010년 8월 : 한국해양대학교 전파공학과 공학사
2012년 8월 : 한국해양대학교 대학원 전파공학과 공학석사
2013년 1월~현재 : (주)한화/화약 구미사업장 개발3팀 선임연구원
<관심분야> 디지털신호처리, 수중음향신호처리, 수중음탐기

조 호 신 (Ho-Shin Cho)

1992년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사
1994년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
1999년 3월~2001년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
2001년 3월~2003년 2월 : 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부 전임강사
2010년 1월~2011년 1월 : 미국코넷티컷대학교 방문교수
2003년 3월~현재 : 경북대학교 IT 대학 전자공학부 교수
<관심분야> 이동통신시스템, 무선자원관리, 트래픽 제어, 수중음향센서네트워크

www.dbpia.co.kr