

논문 2012-50-4-13

수중 환경의 MANET을 고려한 매체 접근 제어 프로토콜

(Media Access Control Protocol Considering MANET of Underwater Environment)

신 승 원*, 윤 남 열*, 이 진 영*, 이 승 주**, 박 수 현***

(Seung-Won Shin, Nam-Yeol Yun, Jin-Young Lee, Seung-joo Lee, and Soo-Hyun Park)

요 약

수중무선통신시스템은 AUV간 수중 무선통신, 해양환경 모니터링, 양식장 관리, 항만 감시, 자원 탐사 및 개발, 지형 및 지질 조사 등 다양한 산업에 활용 가능하다. 하지만 수중 무선 통신은 지상 무선 통신과는 달리 물이 가지고 있는 매질의 특성 때문에 전력손실, 주위 잡음 및 인위 잡음, 멀티패스 등으로 인한 높은 에러율 그리고 긴 전송지연 등과 같은 요소들을 고려하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 ALOHA 기반의 Media Access Control(MAC) 프로토콜과 CSMA/CA 기반의 MAC 프로토콜을 혼합하여 수중 환경에 적합한 MAC 프로토콜을 제안한다. 성능을 평가하기 위해 수학적 분석 모델을 제시하고, 구현을 통해 기존 MAC 프로토콜과 비교함으로써 성능의 개선점을 검증한다.

Abstract

Underwater wireless communication systems can be useful for underwater environment observation, catastrophe prevention, ocean resources exploration, ocean organism research, vessel sinking exploration, and so on. However, unlike terrestrial wireless communication, underwater wireless communication should consider factors such as long propagation delay, limited transmission capacity, high bit-error rate due to potential loss in power, ambient noise, man-made noise, multi-path, etc., because of the inherent characteristics of water. Thus, in this paper, we propose a suitable media access control(MAC) protocol that applies a combination of the ALOHA MAC protocol and the CSMA/CA MAC protocol to underwater environment. We further propose a mathematical analysis model to evaluate performance. We also verify performance improvement in the proposed scheme in comparison with existing MAC protocols.

Keywords : Underwater Communication, MANET(Mobile Ad-hoc Network), MAC(Media Access Control)

I. 서 론

최근 지상 환경에서는 사용자가 네트워크나 컴퓨터를 의식하지 않고 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크

에 접속할 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous)시대를 맞이하여 많은 응용 기술들이 개발되고 있다. 특히 지상 무선 통신 분야는 유비쿼터스시대의 핵심 기술로서 의료, 군대, 홈 네트워크, 스마트 오피스, 생태계 감지, 지능화 가로등과 같은 다양한 응용 분야에 활용되고 있다.

* 학생회원, ** 정회원, *** 평생회원, 국민대학교 비즈니스IT전문대학원

(Graduate School of Business IT, Kookmin University)

※ 본 연구는 국토해양부의 지원으로 수행하는 수중 광역 이동통신 시스템 개발 사업과 산업기술연구회의 협동연구사업 연구결과로 수행되었음

[B551179-10-02-00, 생체모방형 로봇시스템 개발]

접수일자: 2013년1월31일, 수정완료일: 2013년3월18일

요즘 이와 같은 기술이 해양에서도 접목되어 수중 무선 통신이라는 새로운 영역이 연구되고 있으며, 이 기술은 다양한 수중 환경 분야에 활용될 수 있다. 첫째, 수중에서 계측된 관측 정보를 육상으로 전송하여 육상에서 광범위하게 해양 환경을 실시간으로 관리할 수 있어, 바다 온난화 관측, 수중 해류변화 관측, 수중 환경 감시체계 구축, 지진해일 관측 등에 발 빠르게 대응할

수 있고, 그 피해를 최대한 줄일 수 있다. 둘째, 수중 탐사로봇 간 통신, 해저 플랜트와 탐사로봇·모선 간 통신 등 수중에서의 자유로운 통신수단을 제공할 수 있어서 심해 해저 플랜트 통신망, 수중 구난작업용 통신망, 해저 자원개발용 통신망, 수중관측기지 통신망 등에 활용될 수 있다. 셋째, 주요 항만에서 잠수함, 함정 등의 움직임을 탐지하는 센서를 설치하여 그 정보를 실시간으로 관리함으로써 적으로부터의 공격을 사전에 탐지할 수 있다. 뿐만 아니라 항만 연안감시, 군사 분야 등에서 남보다 한발 앞서가는 위치를 점할 수 있다. 끝으로 양식장 수중 정보를 육상으로 전송하여 바다목장 및 외해 가두리 양식장의 원격 제어를 가능케 함으로써 효율적으로 양식장을 관리할 수 있으며, 수산업 종사자들의 생활에도 큰 영향을 주어, 수산 농가의 소득 향상에 영향을 미칠 수 있다^[1~3, 8].

지상에서 사용하는 무선 통신은 세계 어느 곳과도 연결이 가능하지만 수중에서는 물이 가지고 있는 매질의 특성 때문에 지상에서 사용하는 전파는 사용될 수 없다. 단지 음파만 수중에서 사용될 수 있지만 속도가 전파의 20만분의 1에 불과하여 전송 지연 시간이 발생하며, 다중 경로(Multi Path)로 인한 오류 또는 음파와 함께 섞이는 잡음 수준도 상당히 정보를 교환하는데 많은 어려움이 있다. 또한, 수중에서는 배터리 교체가 용이하지 않으므로 전력 소모를 줄여야 하는 문제점이 있으며, 끝으로 지상과는 달리 매우 제한적인 대역폭을 사용할 수밖에 없으므로 수중 무선 통신 네트워크를 구축하기 위해서는 수중 환경의 특성을 고려한 MAC 프로토콜의 연구가 중요하다^[1~3, 8].

또한, 무선 통신 네트워크를 구축할 때는 환경뿐만 아니라 효율적 망 관리를 위한 망의 특성도 고려해야 한다. Infra-Structure 망은 구축 시 높은 비용이 소요되고 중계기로 인한 확장성에 많은 제약이 따르므로 최근에는 특정 AP나 Base Station과 같은 중계기가 없더라도 각 무선 노드들 간 자유로운 네트워크를 구성하는 Ad-hoc 망을 지향하는 추세이며, 현재 많은 연구가 진행되고 있다^[12].

Ad-hoc 네트워크에서 한 단계 더 나아가 항상 노드들이 움직인다는 전제하의 Mobile Ad-hoc Network (MANET)에서는 항상 노드들이 움직이므로 하나의 네트워크 안에서 수시로 노드의 수가 유동적일 수밖에 없어 그에 따른 트래픽 양도 가변적일 수밖에 없다. 따라

서 가변적 트래픽 양을 고려한 MAC 프로토콜의 연구가 필요하다.

본 논문은 Aloha & Handshaking Union (AHU) MAC 프로토콜^[14]을 기반으로 하여 실제 수중과 동일한 테스트베드를 구축하여 수중음파통신을 구현하였다. 이를 통해, 기존 MAC 프로토콜과 함께 제안된 MAC 프로토콜을 비교·분석하여 성능을 평가하였다.

본 논문의 구성은 I 장의 서론에 이어 II 장에서는 관련 연구인 기존 무선 통신 네트워크와 기존 무선 통신 기반의 MAC 프로토콜에 대하여 살펴본다. III 장에서는 제안된 MAC 프로토콜에 대해 설명하고 IV 장에서는 실험 결과를 통해 기존 MAC 프로토콜과 함께 비교·분석함으로써 성능의 개선점을 검증한다. 마지막으로 V 장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 서술한다.

II. 관련 연구

1. 무선 통신 네트워크

무선 통신 네트워크에는 수많은 종류들이 있지만 크게 Infra-Structure 네트워크와 Ad-hoc 네트워크로 구분할 수 있다.

특정 AP를 거쳐서 이루어지는 Infra-Structure 망 기술은 노드들을 통합 관리할 수 있는 장점이 있지만 구축 시 높은 비용이 소모되고, 노드들의 자유로운 움직임 및 연결성 면에서 많은 문제점을 가지고 있다. 또한, IEEE 802.11 Infra-Structure WLAN 기술 같은 경우에는 디바이스의 무선 통신 범위가 하나의 AP를 중심으로 1-hop 이내로 한정되어지기 때문에 네트워크 규모를 확장하거나 다른 장소에 새로운 네트워크를 설치할 경우에는 많은 제한점이 따른다.

이에 비해 특정 AP나 Base Station 없이도 주변에 존재하는 노드들이 서로 협업하여 자유로운 망을 형성하는 Ad-hoc 통신 기법은 여러 지역에 배치되어 자유롭게 통신할 수 있는 장점이 있다.

2. 무선 통신 기반의 MAC 프로토콜

여러 노드가 채널을 사용할 때는 채널에 접근하는 것을 조율하기 위한 다중 접근 프로토콜이 필요하며, 크게 세 가지 영역으로 나뉠 수 있다.

우선, 채널화(Channelization) 방식^[11]은 링크의 가용 대역폭을 노드들 사이에서 주파수상으로, 시간적으로

또는 코딩을 통해 다중 접근하는 방식으로서, 주파수 분할 다중 접근(FDMA, Frequency Division Multiple Access), 시간 분할 다중 접근(TDMA, Time Division Multiple Access), 코드 분할 다중 접근(CDMA, Code Division Multiple Access)이 있다. 지상 환경에서의 FDMA는 각 노드에 다른 대역폭을 할당하므로 같은 시간대에 프레임 충돌 없이 동시에 데이터를 보내는 장점이 있지만 수중 환경에서는 제한적 대역폭 때문에 적합하지 않다. TDMA 방식은 충돌을 방지하기 위해 각 노드에게 전송할 수 있는 시간 구간을 할당하는 방식이지만 동기화가 어렵고 노드 수가 많아질수록 대기하는 시간이 길다는 단점이 있다. CDMA 방식은 동시간대에 다수의 노드가 전송 가능한 기술이지만 TDMA 방식과 같이 수중 환경에서는 동기화가 어려우므로 적합하지 않은 기술이다.

두 번째로 제어 접근(Controlled access) 방식^[11]은 노드들이 서로 상의하여 어느 노드가 전송할 권리를 갖는지를 찾는 방식으로서 권리를 가진 노드만이 프레임을 전송할 수 있으며, 권리를 갖지 못한 다른 노드들은 권리를 인정받을 때까지 대기해야 한다. 여기에는 예약(Reservation), 폴링(Polling), 토큰 패싱(Token passing) 등이 포함된다. 예약 방식은 각 노드가 데이터를 전송하기 전에 예약을 하는 방식으로 TDMA 방식과 마찬가지로 동기화가 어렵다는 단점이 있다. 폴링 방식은 Infra-Structure 네트워크에서 많이 사용하는 방식으로 하나의 마스터(Master)와 다수의 슬레이브(Slave)가 존재한다. 하나의 마스터는 슬레이브들에게 보낼 데이터가 있는지 체크하는 방식으로 노드 수가 많아질수록 마스터가 체크해야 할 슬레이브가 많아지므로 대기 시간이 길어지는 단점이 있다. 토큰 패싱 방식은 토큰이라 불리는 특별한 패킷이 각 노드들에게 전달되며, 토큰을 할당 받은 노드가 채널 접근 권한을 갖게 되고 데이터를 전송할 수 있다. 이 방법 역시 노드 수가 많아질수록 대기 시간이 길어지는 단점을 가지고 있다.

끝으로, 임의 접근(Random access) 방식^[11]은 각 노드가 다른 노드의 간섭을 받지 않고 매체에 접근하는 방식으로서 ALOHA, MACA(Multiple Access Collision Avoidance), CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance) 등이 있다. 이 방식들은 경쟁방식이므로 두 개 이상의 노드가 동시에 데이터를 전송하려고 하면 데이터 충돌이 발생하여 프레임



그림 1. Pure ALOHA의 전송 주기
Fig. 1. Transmission period of pure ALOHA scheme.

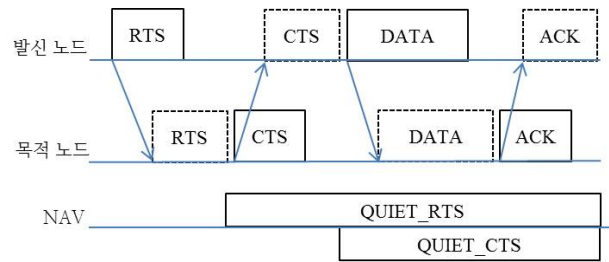


그림 2. CSMA/CA의 전송 주기
Fig. 2. Transmission period of CSMA/CA scheme.

이 손상되거나 변형되므로 충돌을 해소하기 위한 방법이 필요하다. ALOHA 방식은 1970년대 하와이 대학에서 처음 개발된 것으로서 각 노드 간 동기화를 하지 않으며 데이터 전송 전 통신 채널의 상태를 감지하지 않는 간단한 MAC 프로토콜이다. ALOHA 프로토콜의 시초인 Pure ALOHA는 각 노드가 전송할 프레임이 있으면 언제든지 전송한다는 것이 기본 아이디어이다.

Pure ALOHA는 다른 MAC 프로토콜과 비교했을 때 오버헤드나 대기 시간을 발생 시키지 않는 장점이 있기 때문에 트래픽의 양이 많을 때보다 트래픽의 양이 적어 충돌 가능성이 낮을 경우에 사용하면 데이터 처리 효율을 높일 수 있다. 하지만 트래픽의 양이 많을 경우에 프레임의 길이가 긴 데이터 프레임은 프레임 간 충돌 가능성이 높으며, 그에 따른 데이터 처리 효율이 급격히 떨어지는 단점이 있다.

MACA와 CSMA/CA 방식은 데이터 전송 전에 데이터 프레임 길이보다 짧은 RTS(Request To Send) 프레임과 CTS(Clear To Send) 프레임을 주고받음으로써 데이터 프레임의 충돌을 방지하는 방법이다. 트래픽의 양이 많을 경우 프레임 길이가 긴 데이터 프레임을 보내기 전 프레임 길이가 짧은 'RTS-CTS'를 보내기 때문에 Pure ALOHA 프로토콜보다 프레임 간 충돌 가능성이 낮으므로 데이터 처리 효율이 높다. 하지만 트래픽의 양이 적어 충돌 가능성이 낮은 경우에는 오히려 'RTS-CTS'로 인한 오버헤드가 발생하므로 Pure



그림 3. 제안된 MAC 프로토콜의 기본 전송주기
 Fig. 3. Basic transmission period of proposed MAC protocol.

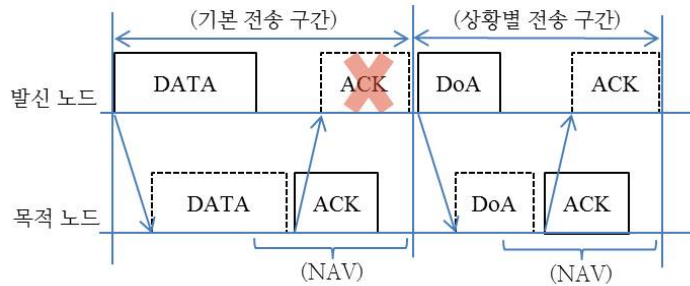


그림 4. 목적 노드에서 보낸 ACK에 오류가 발생한 경우의 전송주기
 Fig. 4. Transmission period when occurred ACK error from receiver.

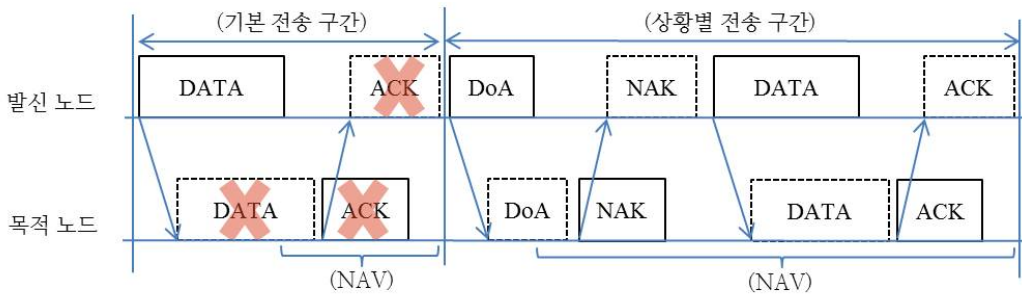


그림 5. 발신 노드에서 보낸 DATA에 오류가 발생한 경우의 전송주기
 Fig. 5. Transmission period when occurred DATA error from sender.

ALOHA 프로토콜보다 데이터 처리 효율이 떨어지는 단점이 있다.

III. 본 론

본 논문의 목적은 수중 환경의 Mobile Ad-hoc Networks를 고려한 MAC 프로토콜을 개발함으로써 데이터 프레임의 안전하고 신속하게 전송하는데 있다.

이미 앞 장에서 언급한 채널화 접근 방식은 수중 환경의 특성으로 인해 대역폭의 제한과 시간 동기화 등의 많은 제약사항이 있으며, 구현 또한 쉽지 않다. 또한, 제어 접근 방식은 노드의 수가 증가할 경우 대기 시간이 늘어나 실시간성을 보장하지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 구현이 쉬우면서 제약사항과 실시간

성을 보장할 수 있는 기존의 임의 접근 방식을 보완한 MAC 프로토콜을 제안한다.

제안된 MAC 프로토콜의 진행 과정은 시간의 흐름에 따라 단계별로 아래와 같이 설명한다. 기본 전송주기는 그림 3과 같으며, 그림 3에서 통신이 제대로 이루어지지 않을 경우 어느 프레임에서 오류가 발생했는지에 따라 그림 4~5와 같이 전송 주기를 변형하여 적용시킨다.

step 1 : 수중 환경에서의 음파 속도는 지상 환경에서의 전파 속도에 비해 매우 느리기 때문에 최대한 오버헤드를 줄여 데이터 전송률을 높여야 한다. 따라서 제안된 MAC 프로토콜에서는 그림 3과 같이 DATA 프레임을 보내고 확인 응답(ACK) 프레임을 받는 방식을

사용한다.

- 무선 통신에서는 발신 노드에서 목적 노드에 데이터가 잘 도착했는지 알 수 있는 수단이 없기 때문에 확인 응답이 필요하다.
- 보낼 프레임이 있을 경우 목적 노드의 상태 확인 없이 프레임을 즉시 보낸다면 프레임 간 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 제안된 MAC 프로토콜에서는 NAV(Network Allocation Vector) 설정을 추가하여 충돌을 방지한다. 즉, NAV는 프레임을 보내고자 하는 노드가 프레임을 보낼 때마다 프레임을 전송하기 전에 얼마만큼 Quiet 모드를 유지해야 하는지를 알려준다. Quiet 모드는 목적 노드로 보낼 데이터가 있더라도 다른 노드가 이미 채널을 사용 중이라면 프레임 충돌을 방지하기 위해 통신이 완료될 때까지 기다리는 상태를 의미 한다.

step 2 : 발신 노드가 DATA 프레임을 보내고 ACK 프레임을 제대로 받았다면 발신 노드에서 보낸 데이터가 제대로 전달되었기 때문에 통신이 종료된다. 하지만 문제가 발생하여 정해진 시간 동안 발신 노드가 ACK 프레임을 받지 못한 경우에는 그림 4~5와 같이 DoA(Data or ACK) 제어 프레임을 랜덤 백오프 시간(Random back-off) 이후 전송한다.

- 랜덤 백오프 시간을 사용하지 않고 DATA 프레임을 바로 전송할 경우 이전에 프레임을 전송한 각 노드는 동일한 시간 간격에 의해 프레임을 재전송하게 되므로 재 충돌 가능성이 발생할 수 있다. 따라서 랜덤 백오프 시간을 선택해야 한다.
- DoA 제어 프레임은 ACK 프레임과 같이 DATA 프레임보다 프레임 길이가 짧다. 프레임 길이가 긴 데이터 프레임을 재전송한다면 프레임을 전송하는데 걸리는 긴 지연시간으로 인해 프레임 간 재 충돌 가능성이 있으므로 프레임 길이가 짧은 제어 프레임을 전송하여 채널을 확보함으로써 프레임 간 충돌 확률을 낮춘다.
- 뿐만 아니라 DoA 제어 프레임은 DATA 프레임에서 오류가 발생했는지 또는 ACK 프레임에서 오류가 발생했는지 확인이 가능하며, 그에 따른 전송주기도 달라짐으로써 지연시간도 줄일 수 있다.

step 3-1 : DoA 프레임을 전송받은 목적 노드는 항상 DATA 프레임을 받기 위한 시퀀스 번호를 저장해야

하며, DoA 프레임을 받은 경우 DoA 프레임의 시퀀스 번호와 저장된 DATA 프레임의 시퀀스 번호를 비교하여 어디에서 오류가 발생했는지 확인할 수 있다.

목적 노드는 DATA 프레임의 시퀀스 번호와 DoA 프레임의 시퀀스 번호가 같다면 그림 4와 같이 ACK 프레임에서 오류가 발생한 것으로 간주되어 ACK 프레임을 재전송하여 이전에 보낸 DATA 프레임의 전송 성공 여부를 확인한다.

- 기존 MAC 프로토콜에서 ACK 프레임에 오류가 발생했을 경우 'DATA-ACK', 'RTS-CTS-DATA-ACK'의 전송주기를 처음부터 다시 수행하기 때문에 중복된 시간을 소요함으로써 지연 시간이 길어지게 되고, 데이터 처리 효율도 떨어지게 된다. 하지만 제안된 MAC 프로토콜에서는 'DoA-ACK'만을 수행하여 시간의 중복을 허용치 않으므로써, 기존 MAC 프로토콜보다 지연 시간을 현저히 줄일 수 있다.

step 3-2 : 반대로 DATA 프레임의 시퀀스 번호와 DoA 프레임의 시퀀스 번호가 다르다면 그림 5와 같이 목적 노드는 DATA 프레임에서 오류가 발생하여 이전에 받은 데이터가 없기 때문에 부정 응답(NAK) 제어 프레임을 보내 DATA 프레임의 재전송을 요청하고 DATA 프레임을 기다린다.

발신 노드는 NAK 프레임을 받은 후 DATA 프레임을 재전송하고 ACK 프레임을 기다린다.

- 발신 노드에서 정해진 시간 동안 NAK나 ACK 프레임이 도착하지 않는다면 DoA 프레임을 재전송하고 DATA나 ACK 프레임을 기다린다.

IV. 성능 평가 및 분석

본 논문의 기본 아이디어는 기존의 임의 접근 방식에 기반을 둔 응용 MAC 프로토콜이다.

이번 장에서는 기존의 MAC 프로토콜인 임의 접근 방식의 ALOHA와 CSMA/CA를 제안된 MAC 프로토콜과 비교·분석하여 그 효율성을 검증한다.

또한, 본 논문에서는 실제 수중 환경에서 실험하기에 앞서 수중 환경과 유사한 테스트베드(Test-bed)에서의 구현을 통해 향후 실제 수중에서의 시험 가능성을 가늠해 보았다.

1. 실험 환경

수중 환경에서는 대역폭의 제약으로 인해 실제 구현에서는 싱글 채널을 이용하는 모뎀을 사용하였으며, 모뎀의 최대 전송 범위는 실제 350m까지 가능하지만 구현에서의 전송범위는 테스트베드의 크기에 맞춘 가로, 세로 1.8m × 1.8m로 한다. 또한, 모뎀의 최대 데이터 처리 속도는 2kbps이지만 테스트베드의 공간이 좁기 때문에 그대로 사용할 경우 다중 경로로 인한 오류가 많이 발생할 것을 고려해 처리 속도를 200bps로 낮춰서 실험을 진행하였다.

지상 환경에서 사용하는 무선 안테나의 경우 비교적 저렴하게 구입하여 다수의 노드로 실험이 가능하지만 수중 환경에서 음파 통신을 하는 트랜스듀서의 가격이 매우 고가이므로 현재 연구실에서 구입한 트랜스듀서 3개를 가지고 실험을 실시하였으며, 추후에 트랜스듀서를 구입하여 노드의 수를 늘려가면서 실험할 예정이다. 현재 실험 가능한 노드의 수가 적기 때문에 최대한 트래픽의 양을 높여 데이터 충돌 빈도를 높여서 실험을 실시하였다.

수중 환경의 음파 속도를 1,500m/s로 적용하여 실험을 진행하였으며, 데이터 프레임의 길이를 51bytes와 제어 프레임의 길이를 12bytes로 설정하였다. 프레임 구조에 대한 상세한 설명은 IV장 4절에서 다루도록 한다.

2. MAC base board

그림 6은 실제 실험에서 사용된 MAC base board로서 MCU는 저가형 응용프로그램에 최적화된 임베디드 프로세서 계열에 적합하게 설계된 Cortex-M3^[13]를 사용하였으며, 운영체제로는 저렴하고 편리하게 구현할

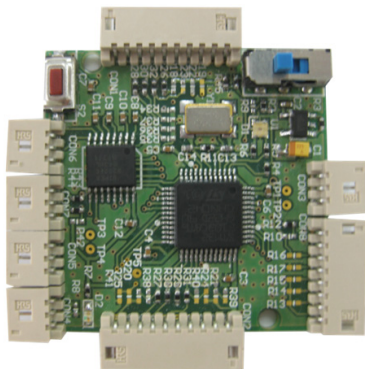


그림 6. MAC 베이스 보드
Fig. 6. MAC base board.

수 있는 펌웨어를 이용하였다. 디바이스의 크기는 3cm × 3cm로서 최소화하였으며, 전력은 3.3V를 사용한다.

MAC base board는 모뎀과 SPI 통신이 가능하며, USART 통신을 통해 디버깅(Debugging)이 가능하다. 또한, JTAG를 통해 포팅이 가능하다.

3. 수중 모뎀

그림 7과 그림 8은 실험에서 사용된 모뎀과 트랜스듀서이다. 모뎀은 MAC base board와 같이 Cortex-M3와 펌웨어를 사용하고 있으며, 현재까지 개발된 모뎀의 스펙은 최대 통신 범위가 350m이고, 최대 데이터 처리율은 2kbps이다. 하지만 실제 구현에서는 테스트베드의 협소한 공간으로 인해 200bps로 제한 적용하였다.

모뎀의 주된 목적은 MAC base board로부터 받은 패킷 PSDU(PHY Service Data Unit)에 PHY Header을 붙여 PPDU(Packet Protocol Data Unit)으로 변환한 후 아날로그 신호를 생성하거나 아날로그 신호로부터 PPDU를 검출하여 PPDU에서 PHY Header를 분리하여 PSDU로 변환한 후 MAC base board로 전달하는 기능을 가진다.

트랜스듀서의 주된 목적은 모뎀의 전기신호 또는 아날로그 신호를 음파 신호로 변환하여 수중 채널을 통해 브로드 캐스팅하거나 수신된 음파 신호를 전기신호나 아날로그 신호로 변환하는 기능을 수행한다. 이 제품은

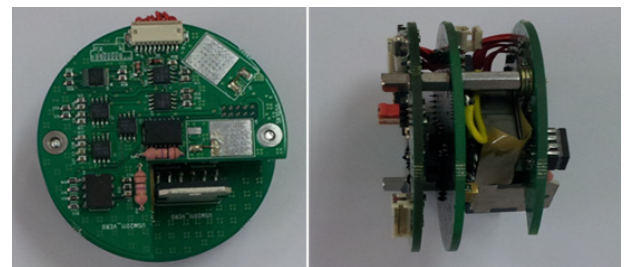


그림 7. 수중 모뎀
Fig. 7. Underwater modem.



그림 8. 트랜스듀서
Fig. 8. Transducer.

현재 지상 환경에서 사용하는 무선 안테나에 비해서 매우 고가인 제품이다.

4. 프레임 구조

구현에 사용된 프레임 유형에는 RTS, CTS, DoA, ACK, NAK에서 사용하는 제어 프레임과 DATA에서 사용하는 데이터 프레임으로 나뉜다.

그림 9와 같이 제어 프레임 길이는 총 12bytes이고 데이터 프레임 길이는 총 51bytes이다. 두 프레임 모두 PHY 계층에서 총 6bytes를 사용하고 있으며 MAC 계층에서 총 5bytes를 사용하고 있다. 제어 프레임의 애플리케이션 계층에서는 1byte를 사용하고 있으며, 데이터 프레임의 애플리케이션 계층에서는 40bytes를 사용한다.

MAC Header의 첫 번째 1byte는 시퀀스 번호로 이전에 받은 데이터 프레임이 있는지 확인하기 위해 필요한 정보로서 데이터 프레임의 시퀀스 번호가 DoA 프레임의 시퀀스 번호와 같다면 이전에 받은 데이터 프레임이 있다는 의미이며, 만약 없다면 이전에 받은 데이터 프레임이 없다는 의미이다.

MAC Header의 두 번째 1byte는 송신자 주소로서 프레임이 어디서 왔는지 알 수 있는 정보로서 응답 프레임을 보낼 때 필요하다.

MAC Header의 세 번째 1byte는 수신자 주소로서 목적노드를 위한 프레임인지 또는 아닌지를 구별할 수 있는 정보이다. 만약 목적노드를 위한 프레임이라면 그

표 1. 프레임 유형
Table 1. Frame type.

프레임 유형	값
DoA, RTS	0x01
NAK, CTS	0x02
DATA	0x03
ACK	0x04

프레임에 맞는 응답 프레임을 전송하지만 만약 다른 노드를 위한 프레임이라면 프레임 간 충돌을 방지하기 위해 프레임 유형에 따라 알맞은 NAV 설정을 한다.

MAC Header의 네 번째 1byte는 프레임을 구별하기 위해 필요한 정보로서 프레임 유형을 표 1과 같이 설정하였다.

MAC Footer의 1byte는 프레임의 오류를 확인하기 위해 CRC를 사용하고 있다. CRC 알고리즘은 다음과 같다.

step 1 : 제어 프레임의 MAC Header 4bytes와 데이터 1byte 또는 데이터 프레임의 MAC Header의 4bytes와 데이터 40bytes에 대해 CRC 계산을 한다.

step 2 : 계산된 결과를 MAC Footer에 저장하여 전송한다.

step 3 : 수신된 프레임을 통해 <step 1>과 같은 방식으로 MAC Header와 데이터에 대해 CRC 계산을

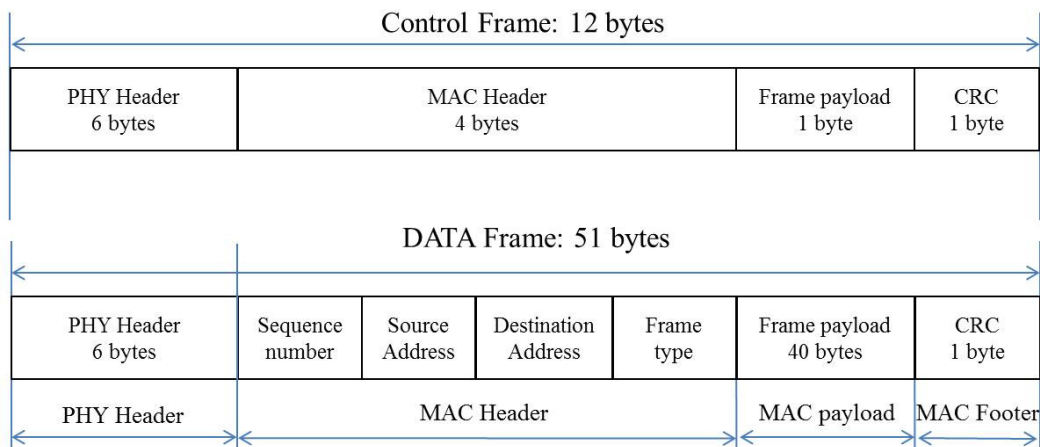


그림 9. 프레임 구조
Fig. 9. Frame format.

한다.

step 4 : 계산된 결과를 MAC Footer에 저장된 값과 비교하여 오류 여부를 확인한다. 만약 같으면 오류가 없다는 의미이고, 다르다면 전송 중에 문제가 발생하여 오류가 있다는 의미이다.

5. 수식 모델

이번 절에서는 성능을 검증하기 위해 수식에 사용한 수식 기호와 수식에 대해서 설명한다. 수식 모델에 사용된 기호는 표 2와 같다.

$$Pd = Max_tr / As \tag{1}$$

수식 (1)은 Propagation delay에 관련된 수식 모델이

표 2. 수식 기호
Table 2. Formula notation.

수식 기호	설명
Max_tr	Maximum transmission range
As	Acoustic speed
Pd	Propagation delay
Max_dr	Maximum data bit rate
Cl	Control frame length
Dl	Data frame length
C_td	Control frame transmission delay
D_td	Data frame transmission delay
T_cd	Total control frame delay
T_dd	Total data frame delay
N_ce	The number of control frame error
N_de	The number of data frame error
Nr_ACK	The number of receiving ACK
Ns_DoA	The number of sending DoA
Ns_RTS	The number of sending RTS
Ns_DATA	The number of sending DATA
Ns_DATA1	The number of sending DATA in the beginning cycle of new MAC
Ns_C	The number of sending control frame
Ns_D	The number of sending data frame

다. Propagation delay는 특정 신호가 통신 매체에서 얼마나 빨리 전달되는지를 알려주는 것으로서 통신 매체와 신호 종류에 따라 지연 시간이 달라질 수 있다.

수중 환경에서의 Propagation delay는 수중에서 음파 신호가 발신 노드로부터 목적 노드까지 도달하는데 소요되는 시간을 의미한다.

$$C_td = Cl / Max_dr \tag{2}$$

$$D_td = Dl / Max_dr \tag{3}$$

수식 (2)와 수식 (3)은 제어 프레임과 데이터 프레임을 보낼 때 걸리는 Transmission delay에 관련된 수식 모델이다. Transmission delay는 주어진 프레임을 처리하는데 걸리는 시간을 의미하며, 프레임 길이와 데이터 처리 속도에 따라 달라진다. 다시 말해서, 프레임 길이가 길수록 Transmission delay는 늘어나고, 데이터 처리 속도가 높을수록 Transmission delay는 짧아진다.

$$T_cd = Pd + C_td \tag{4}$$

$$T_dd = Pd + D_td \tag{5}$$

수식 (4)와 수식 (5)는 제어 프레임과 데이터 프레임이 수중에서 음파를 통해 발신 노드로부터 목적 노드까지 도달하는데 소요되는 총 지연 시간에 관련된 수식 모델이다.

$$(Ns_DATA1 + Ns_DoA) / Nr_ACK \tag{6}$$

수식 (6)은 경쟁방식에서 제안된 MAC 프로토콜의 프레임 전송 성공 확률에 관련된 수식 모델이다. 발신 노드의 전송주기에서 맨 처음 전송되는 DATA 프레임과 DoA 프레임 전송 시 경쟁방식으로 이루어지기 때문에 전송주기에서 맨 처음 전송되는 DATA 프레임과 DoA 프레임의 전송 횟수에 대한 발신 노드의 ACK 프레임 수신 횟수를 나눔으로써 프레임 전송 성공률을 구하였다.

$$Ns_DATA / Nr_ACK \tag{7}$$

수식 (7)은 경쟁방식에서 ALOHA 프로토콜의 프레임 전송 성공 확률에 관련된 수식 모델이다. 발신 노드의 DATA 프레임 전송 시 다른 노드와 경쟁방식으로 이루어지기 때문에 DATA 프레임의 전송 횟수에 대한

발신 노드의 ACK 프레임 수신 횟수를 나눔으로써 프레임 전송 성공률을 구하였다.

$$N_s_RTS/N_r_ACK \quad (8)$$

수식 (8)은 경쟁방식에서 CSMA/CA 프로토콜의 프레임 전송 성공 확률에 관련된 수식 모델이다. 발신 노드의 RTS 프레임 전송 시 다른 노드와 경쟁방식으로 이루어지기 때문에 DATA 프레임의 전송 횟수에 대한 발신 노드의 ACK 프레임 수신 횟수를 나눔으로써 프레임 전송 성공률을 구하였다.

$$N_r_ACK \times 408 \quad (9)$$

수식 (9)는 모든 프로토콜의 데이터 처리량과 관련된 수식 모델이다. 발신 노드의 ACK 프레임 수신 횟수에 데이터 프레임 길이를 곱함으로써 데이터 처리량을 구하였으며, 데이터 처리량의 단위는 bit가 적용되었다.

$$(N_s_D \times 2448) + (N_s_C \times 576) \quad (10)$$

수식 (10)은 에너지 소비량과 관련된 수식 모델로서 에너지 소비량을 mj로 나타낸 것이다. 에너지 소비 원인은 프레임 송신, 프레임 수신, idle 모드, sleep 모드 등 다양한 구간에서 발생한다. 프레임 송신은 각 프레임 길이의 1byte 당 48mj의 에너지를 소비하지만 다른 모드일 경우에는 에너지 소비가 거의 0mj에 가깝다. 따라서 수식 (10)은 프레임 송신에 대해서만 에너지 소비량을 구한 수식이다.

6. 실험 결과 및 분석

수중 무선 네트워크에서는 일반적으로 데이터 처리량도 중요하지만 배터리 교체가 용이하지 않으므로 에너지 소비의 효율성에 대해서도 고려해야 한다. 또한, 수중 환경에서는 전송 지연 시간이 길기 때문에 오류로 인한 재전송을 줄여야 하므로 프레임 길이에 따른 프레임 전송 성공률에 대해서 고려해야 한다.

따라서 제한된 시간 동안 전송 가능한 노드 수에 따른 프레임 전송 성공률, 데이터 처리량, 에너지 소비량에 대해서 보기 쉽게 그래프로 표현하였으며, 기존 MAC 프로토콜과 함께 제안된 MAC 프로토콜을 비교·분석하여 성능을 검증한다.

현재 전송 가능한 노드가 3개이므로 각 프로토콜 당 전송 가능한 노드 수를 1, 2, 3개로 나눠서 실시하여

트래픽 양을 조절하였으며, 각 실험 시간을 2분으로 설정한 후 실험을 진행하였다.

그림 10은 전송 가능한 노드 수에 대한 프레임 전송 성공률을 나타낸 것으로서 한 노드에서 전송할 경우 세 개의 프로토콜 모두 오류가 발생하지 않아 100%의 프레임 전송 성공률을 보여주지만, 전송 가능한 노드의 수가 늘어나 트래픽 양이 많아질 경우 프레임 길이가 긴 DATA 프레임을 바로 보내는 ALOHA와 제안된 프로토콜보다 짧은 제어 프레임을 보낸 후 DATA 프레임을 보내는 CSMA/CA 프로토콜이 상대적으로 오류가 훨씬 적음을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

그림 11은 전송 가능한 노드 수에 대한 데이터 처리량을 bits로 나타낸 것이다. 하나의 노드에서 프레임을 전송을 할 경우 프레임 충돌에 대한 오류가 발생하지 않기 때문에 오버헤드가 없는 Pure ALOHA와 제안된 MAC 프로토콜의 데이터 처리량이 CSMA/CA보다 높게 나타났다.

하지만 전송 가능한 노드 수가 늘어나 트래픽의 양이 많아질 경우 DATA 프레임보다 프레임 길이가 짧은 제

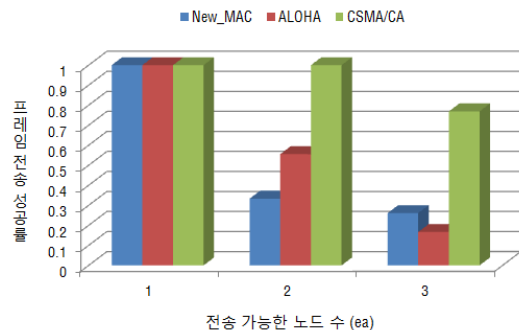


그림 10. 프레임 전송 성공률
Fig. 10. Success rate of frame transmission.

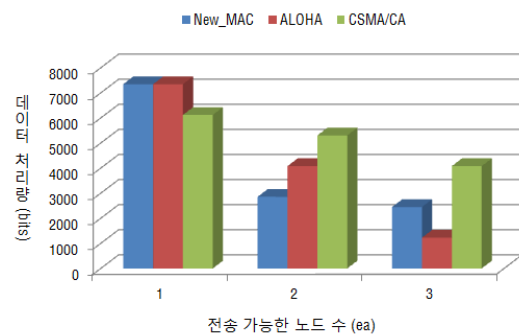


그림 11. 데이터 처리량
Fig. 11. Throughput.

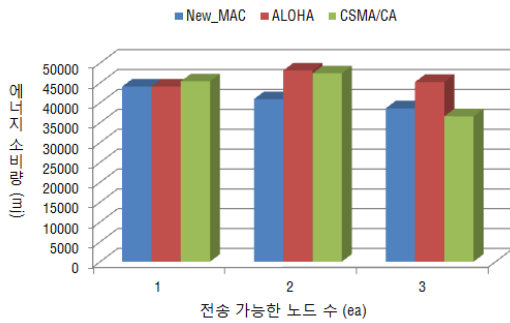


그림 12. 에너지 소비량

Fig. 12. Energy consumption.

어 프레임을 사용하는 CSMA/CA와 제안된 MAC 프로토콜의 데이터 처리량이 DATA 프레임을 바로 보내는 Pure ALOHA 프로토콜보다 높게 나타났다.

그림 12는 에너지 소비량을 나타낸 그래프이다. 전송 가능한 노드 수가 1개일 경우에는 오류가 발생하지 않기 때문에 세 프로토콜의 에너지 소비량이 비슷하게 나타났다. 하지만 전송 가능한 노드 수가 많아져 트래픽의 양이 늘어날 경우 데이터 처리량의 결과와 마찬가지로 프레임 길이가 짧은 제어 프레임을 사용하여 충돌을 회피하는 CSMA/CA와 제안된 MAC 프로토콜의 에너지 소비량이 Pure ALOHA보다 훨씬 낮게 나타났다.

V. 결 론

특정 AP나 Base Station과 같은 중계기가 없더라도 각 무선 노드들 간에 자유로운 네트워크를 구성하는 Mobile Ad-hoc Networks에서는 항상 노드들이 움직이므로 실시간으로 네트워크를 구성하는 노드의 수가 하나의 네트워크 안에서 가변적일 수 있다.

노드의 수가 적을 경우에는 트래픽의 양이 적어 트래픽의 양이 많을 때보다 오류 발생 가능성이 낮을 수 있지만 노드의 수가 많을 경우에는 트래픽의 양이 많아져 트래픽의 양이 적을 때보다 오류 발생 가능성이 높을 수 있다.

따라서 본 논문에서는 수중 환경과 MANET의 특성을 고려하여 트래픽의 양이 적을 때는 오버헤드를 줄여 데이터 처리량을 높이고, 트래픽의 양이 많을 때는 데이터 프레임보다 짧은 제어 프레임을 사용하여 데이터 처리량을 높일 수 있도록 기존 MAC 프로토콜의 단점을 보완한 MAC 프로토콜을 제안하였다.

성능을 검증하기 위해 수식 모델을 도출하였으며, 수중 환경과 유사한 테스트베드에서 구현을 통해 기존 MAC 프로토콜과 함께 제안된 MAC 프로토콜을 비교·분석하여 성능을 평가하였다. 성능 측정 결과 제안된 MAC 프로토콜이 트래픽의 양에 상관없이 성능이 개선되었음을 그래프를 통해 확인하였다.

향후에는 실제 수중 환경에서도 테스트베드와 같은 결과를 보이는지 확인하기 위해 실제 수중 환경에서 테스트할 예정이다. 또한, 트랜스듀서의 추가 확보를 통해 노드의 수를 늘려서 실험을 실시할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks : research challenges," *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, Vol. 3, no. 4, pp. 257-279, May 2005.
- [2] J. Heidemann, W. Ye, J. Wills, A. Syed, and Y. Li, "Research challenges and applications for underwater sensor networking," *IEEE WCNC*, 2006.
- [3] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks," *ACM SIGBED Review*, Vol. 1, no. 1, pp. 3-8, July 2004.
- [4] Nitthita Chirdchoo, Wee-Seng Soh, and Kee Chaing Chua, "Aloha-based MAC Protocols with Collision Avoidance for Underwater Acoustic Networks," *26th IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 2271-2275, INFOCOM 2007.
- [5] Borja Peleato and Milica Stojanovic, "A MAC Protocol for Ad-Hoc Underwater Acoustic Sensor Networks," *WUWNet'06 Proceedings of the 1st ACM international workshop on Underwater networks*, pp. 113-115, 2006.
- [6] Dong Fang, Yu Li, Haining Huang, and Li Yin, "A CSMA/CA-based MAC Protocol for Underwater Acoustic Networks," *6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, pp. 1-4, 2010.
- [7] Vaduvur Bharghavan, Alan Demers, Scott Shenker, and Lixia Zhang, "MACAW: a media access protocol for wireless LAN's," *SIGCOMM '94 Proceedings of the conference on*

Communications architectures, protocols and applications, Vol. 24, No. 4, pp. 212-225, 1994.

[8] 박성준, 박수현, 김상경, 김창화, “수중통신과 해양 센서네트워크 기술,” 정보과학회지 제28권 제7호, pp. 79-88, 2010.7

[9] S. Y. Shin, J. I. Namgung and S. H. Park, “SBMAC: Smart Blocking MAC Mechanism for Variable UW-ASN(Underwater Acoustic Sensor Network) Environment,” Sensors, Jan 2010.

[10] 신승원, 윤남열, 김지연, 박수현, “너울로 형성된 주위 잡음이 수중 음파 통신에 미치는 영향 분석,” 대한전자공학회 하계학술대회 2012.

[11] Forouzan, “Data Communications and Networking (Fourth Edition),” Mc Graw Hill, 2007.

[12] 한백전자 기술연구소, “ZigbeX를 이용한 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템 (3rd Edition),” ITC, 2008.

[13] Crazy Embedded Laboratory, “Cortex-M3 완전정복”.

[14] Seung-Won Shin, Nam-Yeol Yun, Jin-Young Lee, Soo-Hyun Park Changhwa Kim, “AHU(ALOHA & Handshaking Union): A MAC Protocol for Underwater MANETs,” in Proc. The sixth IEEE/IFIP International Workshop on Ubiquitous UnderWater Sensor Network (UUWSN), Paphos, Cyprus, December 2012.

저 자 소 개



신 승 원(학생회원)
2010년 성공회대학교 글로벌IT
학사 졸업.
2013년 국민대학교 비즈니스IT
석사 졸업.

<주관심분야 : 유비쿼터스 시스템, 임베디드 소프트웨어, 무선네트워크>



이 승 주(정회원)
1997년 광운대학교 정보통신학과
석사 졸업.
2008년 국민대학교 일반대학원
정보관리학과 정보시스템
박사 졸업.
2011년~현재 국민대학교
정보기술 연구소 연구원.

<주관심분야 : 네트워크 라우팅 알고리즘, 근거리 무선네트워크>



윤 남 열(학생회원)
2003년 안동대학교 정보통신공학
학사 졸업.
2009년 국민대학교 비즈니스IT
석사 졸업.
2009년~현재 국민대학교
비즈니스IT 박사 과정.

<주관심분야 : 센서네트워크, 수중통신>



박 수 현(평생회원)-교신저자
1988년 고려대학교 컴퓨터학과
학사 졸업.
1990년 고려대학교 전산학
석사 졸업.
1998년 고려대학교 컴퓨터학과
박사 졸업.

1990년~1999년 LG전자(주) 중앙연구소
선임연구원.

1999년~2002년 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공
학과 조교수.

2002년~현재 국민대학교 경영정보학부 교수.

<주관심분야 : 유비쿼터스 시스템, 수중음파통신>



이 진 영(학생회원)
2011년 국민대학교 비즈니스IT
학사 졸업.
2011년~현재 국민대학교
비즈니스IT 석사 과정.

<주관심분야 : 유비쿼터스 시스템, 임베디드 소프트웨어, 수중통신>