

동적 타임 슬롯 할당에 기반한 수중 모바일 Ad-hoc 네트워크에서의 매체접근제어 프로토콜

신승원¹ · 김영표¹ · 윤남열¹ · 박수현^{1†}

Media Access Control Protocol based on Dynamic Time Slot Assignment in Underwater Mobile Ad-hoc Network

Seung-Won Shin · Yung-Pyo Kim · Nam-Yeol Yun · Soo-Hyun Park

ABSTRACT

Underwater wireless network can be useful in various fields such as underwater environment observation, catastrophe prevention, ocean resources exploration, ocean organism research, and vessel sinking exploration. We need to develop an efficient design for Medium Access Control (MAC) protocol to improve multiple data communication in underwater environment. Aloha protocol is one of the basic and simple protocols, but it has disadvantage such as collision occurs oftenly in communication. If there is collision occurred in RF communication, problem can be solved by re-sending the data, but using low frequency in underwater, the re-transmission has difficulties due to slow bit-rate. So, Time Division Multiple Access (TDMA) based MAC protocol is going to be used to avoid collisions, but if there is no data to send in existing TDMA, time slot should not be used. Therefore, this paper proposes dynamic TDMA protocol mechanism with reducing the time slots by sending short "I Have No Data" (IHND) message, if there is no data to transmit. Also, this paper presents mathematic analysis model in relation to data throughput, channel efficiency and verifies performance superiority by comparing the existing TDMA protocols.

Key words : Underwater Mobile Ad-Hoc Network, IHND Message, Dynamic TDMA Protocol

요약

수중 모바일 ad-hoc 네트워크는 수중환경 감시, 재난방지, 해양자원 탐사, 해양생명체 탐구, 그리고 침몰선박 탐색과 같은 수중환경의 다양한 분야에서 유용하다. 수중 환경에서 다중 데이터 통신을 하기 위해서는 효율적인 Medium Access Control (MAC) 프로토콜의 설계가 필요하다. Aloha 프로토콜은 기본적으로 간단한 프로토콜의 하나지만, 충돌이 자주 발생하는 단점이 있다. 만약 RF 통신에서 충돌이 발생한다면, 재전송을 하여 이 문제를 해결할 수 있지만, 저주파를 사용하는 수중에서는 전송 속도가 느리기 때문에 재전송에 많은 어려움이 따른다. 따라서 충돌을 피하기 위해 MAC 프로토콜 기반의 Time Division Multiple Access(TDMA)가 사용되고 있지만, 기존 TDMA는 보낼 데이터가 없을 경우, 타임 슬롯을 쓰지 않는 문제점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 보낼 데이터가 없을 경우, 짧은 "I Have No Data"(IHND)를 보냄으로써 타임 슬롯을 단축시키는 동적 TDMA 프로토콜 방식을 제안한다. 또한, 본 논문에서는 데이터 처리량과 채널 효율에 관련된 수학적 분석 모델을 제시하고 기존 TDMA 프로토콜과 비교함으로써 성능의 우수성을 검증한다.

주요어 : 수중 Mobile Ad-Hoc 무선 네트워크, IHND 메시지, 동적 TDMA 프로토콜

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

접수일(2011년 10월 24일), 심사일(1차 : 2011년 12월 2일), 게재 확정일(2011년 12월 5일)

¹⁾ 국민대학교 BIT전문대학원 유비쿼터스 시스템

주 저 자 : 신승원

교신저자 : 박수현

E-mail : shpark21@kookmin.ac.kr

1. 서론

수중에서 음파를 이용하여 실시간으로 디지털 데이터를 다중으로 송수신할 수 있는 수중무선통신 네트워크는 항만방어체계, 해양레저, 해양조사 등 다양한 산업에서 활용가능하다. 첫째, 수중에서 계속된 바다 온난화 관측, 수

중 해류변화 관측, 수중 환경 감시체계, 지진 및 쓰나미 관측정보를 육상으로 전송하여 지상에서 해양환경을 실시간으로 관리가 가능하다. 둘째, 수중 탐사로봇간 통신, 해저 플랜트와 탐사로봇/모선과의 통신 등을 이용하여 심해 해저 플랜트, 수중 구난작업용, 해저 자원개발용, 수중 관측기지 등의 통신망 구축이 가능하다. 셋째, 주요 항만 수중에 잠수함, 함정 등의 움직임을 탐지하는 센서를 설치하고 그 정보를 실시간으로 관리하여 연안 항만감시 체계, 수중 군사전술분야 등에서 사용 가능하다. 마지막으로, 양식장 수중 정보를 육상으로 전송하여 효율적으로 양식장을 관리함으로써 바다모장 원격 제어관리 체계, 외해 가두리 양식장 원격제어가 가능하다^{1,2)}.

현재 위와 관련된 연구들은 국내외 기업 및 연구소 등에서 활발히 진행 중이지만 수중환경의 다양한 요소로 인해 이동성을 고려한 수중통신을 구현하기 위해서는 많은 어려움이 있으며, 아직 지상의 무선통신에 비해 초기 단계에 머물러 있는 상태이다^{3,4)}.

지상의 경우 데이터 충돌로 인하여 데이터가 손실되더라도 전송속도가 수중에 비해 매우 빠르기 때문에 데이터를 재전송 하더라도 네트워크상에 아무런 문제가 되지 않지만 수중 환경에서는 저주파를 사용하기 때문에 지상에 비해 데이터 전송속도가 매우 느리다^{3,4)}. 만약 충돌로 인해 데이터 손실이 일어날 경우 데이터를 재전송하는데 큰 어려움이 따르므로, 충돌을 피하는 기법을 사용해야 한다.

충돌을 피하는 기법 중 여러 노드가 접속한 토폴로지 안에서 각 노드에게 주어진 타임 슬롯을 제공함으로써 노드들 간 데이터 충돌 없이 데이터를 송수신할 수 있는 TDMA 프로토콜이 있다. 하지만 기존 TDMA 기반의 MAC 프로토콜은 정적 데이터 전송 구간을 가지는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 노드의 이동성에 따른 토폴로지 변화에 유연하며, 기존 TDMA 기반의 MAC 프로토콜이 가지고 있는 정적 데이터 전송 구간을 동적 데이터 전송 구간으로 변화시킴으로써 해당 노드에 할당된 시간을 단축시키고, 데이터 전송량을 증가시키는 동적 TDMA 기반의 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안한 MAC 프로토콜과 관련된 연구에 대하여 살펴보고, 3장에서는 제안한 MAC 프로토콜의 구조 및 상황에 따른 동작 과정 그리고 기존 TDMA 기반의 MAC 프로토콜과 제안한 MAC 프로토콜의 차이점을 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제안된 MAC 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 수학적 모델을 적용하여 검증을 하며, 마지막 장에서는 결

론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

현재 국내외에서 통신 프로토콜과 관련된 연구들이 활발히 이루어지고 있다³⁻⁵⁾. 이들 중에서 가장 기본적인 통신 방법으로는 Pure ALOHA⁶⁾ 프로토콜이 있으며, 이 프로토콜은 각 노드간 동기화를 하지 않고 전송 전 통신 채널의 상태를 감지하지 않는 간단한 MAC 프로토콜이다. 다시 말해서, 각 노드에서 전송할 프레임이 생기면 바로 전송하는 방식이다. Max round trip time + α 시간 동안 확인 메시지를 기다린 후 메시지가 오면 성공, 그렇지 않으면 재전송한다. Backoff limit에 이를 때까지 재전송이 반복되면, 프레임 전송을 포기한다.

Pure ALOHA 프로토콜을 보완한 무선 통신 프로토콜은 Slotted ALOHA⁷⁾ 프로토콜이다. 이 프로토콜은 반송파를 감지하지 않는 점은 Pure ALOHA와 동일하지만 각 노드간 동기화 기법을 적용하여 ALOHA 네트워크의 데이터 처리량을 2배로 증가시키는 기법이다. 다시 말해서, 프레임 전송 타임을 길이로 가지는 동일한 슬롯들을 인식하고 있는 노드들은 각 슬롯의 시작 경계에서 전송을 시작한다. 각 노드들은 새롭게 전송할 프레임이 생기면 다음 슬롯의 시작경계까지 기다린 후, 전송을 시작한다. 전송될 프레임 패킷들은 각 패킷의 슬롯에 맞춰서 보내지며, 한 슬롯 안에 두 개의 패킷이 존재하면 충돌이 발생하게 된다. 충돌이 발생한 두 패킷은 랜덤(random) 시간만큼 기다린 후 다시 타임 슬롯에 맞춰서 패킷을 보내게 된다.

대부분의 ALOHA 프로토콜 기법들은 충돌이 발생하면 데이터 프레임을 재전송한다는 단점이 있다. 그래서 이를 보완한 방식이 TDMA 방식이다. TDMA 방식은 유무선 환경뿐만 아니라 여러 응용분야에서 널리 사용되고 있는 매체 접근 방법이다. Mobile ad-hoc 네트워크 환경에서의 TDMA 방식은 노드 간에 충돌 없는 전송을 제공하며 동일 주파수대를 시간으로 분할하여 신호가 겹치지 않게 상호통신을 제공하는 시분할다중접속 방식이다. 그러나 TDMA 방식에서는 보낼 데이터가 없어도 노드에게 일정한 타임 슬롯을 할당함으로써 타임 슬롯의 낭비가 발생한다. 본 논문에서는 타임 슬롯의 낭비를 줄여 다른 노드가 더 빨리 타임 슬롯을 확보하여 데이터 처리량을 증가시킬 수 있는 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문에서는 노드들의 스케줄 관리를 위해 스케줄 노드가 필요하며, 스케줄 노드를 선정하기 위해 본 논문에서 사용한 방식은 다음과 같다. 무선 Ad-hoc 네트워크

를 설계하는데 있어서 고려하여야 할 주요 사항들 중의 하나는 각 노드들이 에너지를 효율적으로 사용하여 에너지 소비를 최소화함으로써 노드들의 수명을 최대화하는 것이다. 노드들의 에너지 효율을 높이기 위한 매우 다양한 방법들이 제안되었으며, 이들 중에서 Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy(LEACH)^[8]는 센서망의 에너지 효율성에 중점을 두고 고안된 프로토콜이다. 그러나 LEACH에서는 확률적인 방법으로 클러스터 헤드를 선출하므로 모든 노드들이 항상 에너지를 효율적으로 사용하도록 클러스터 형태가 만들어지지 못한다. 이를 해결하기 위하여 LEACH-Centralized(LEACH-C)^[9,10]가 제안되었다. LEACH-C에서 기지국은 각 노드들로부터 이들의 위치와 남아있는 에너지 정보를 받아서, 이 정보를 바탕으로 가장 적합한 형태의 클러스터를 형성하고, 이 정보를 모든 노드에게 알려주므로 LEACH보다 효율적인 형태로 클러스터를 구성할 수 있게 한다. 따라서 본 논문에서는 스케줄 노드를 선정하기 위해 LEACH-C 기법을 적용하였다.

3. 제안된 MAC 프로토콜

3.1 제안한 MAC 프로토콜의 구조 및 동작 과정

본 논문의 목적은 각 노드들 간 데이터 충돌없이 데이터를 송·수신하는 데 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 무선랜을 구성하는 장치인 Access Point(AP)가 없이 노드들이 흩어져 있고 무선으로 통신이 가능한 노드들끼리 서로 통신을 하는 수중 Ad-hoc 무선 네트워크를 구성한다. 이 구조에서는 중간에서 제어하는 노드가 없으므로 각 노드들은 자신이 가질 수가 있는 정보를 최대한 활용하여 네트워크에서 통신이 가능하도록 해야 한다. 이러한 통신 특성 때문에 네트워크에서의 노드들 간의 무선 통신은 Ad-hoc 통신에 의해 이루어지게 된다. 즉, Ad-hoc 네트워크의 경우는 이동 노드들이 유선 환경에 기반을 둔 기지국이나 AP를 중심으로 구성되는 인프라(Infrastructure)

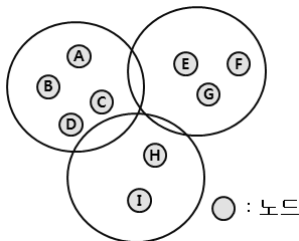


그림 1. 무선 Ad-hoc 네트워크 토폴로지

가 있는 네트워크와는 달리 기지국이나 AP의 도움 없이 순수하게 이동 노드들로 구성된 인프라가 없는 네트워크로 무선 네트워크 시스템에서 각 노드들이 네트워크를 구성할 때 사용되는 네트워크 방식이다. 이러한 Ad-hoc 네트워크는 다음과 같은 주요한 특징을 가지고 있다. 첫째, 유선 기반 망 없이 무선 이동 호스트로만 구성한다. 둘째, 유선망을 구성하기 어렵거나, 단기간 사용에 적합하다. 셋째, 호스트의 이동에 제약이 없다. 넷째, 빠른 망 구성과 비용이 저렴하다. 마지막으로 긴급구조 상황 및 전쟁 등에서 사용될 수 있다.

그림 2는 제안한 MAC 프로토콜의 전송 주기를 나타내며, 프로토콜의 전송 주기는 크게 초기화 구간(Initialization period)과 프레임 전송 구간(Superframe period)으로 구성이 된다.

1) 초기화 구간(Initialization period)

초기화 구간에서는 노드간 데이터 전송을 위한 토폴로지 형성 및 시간 동기화 작업을 수행한다. 또한, 각 노드는 스케줄 노드에 Join Message(JM)을 보내며, 그 메시지를 통해 타임 슬롯을 할당 받는다.

- 프리앰블 구간(Preamble-period) : 스케줄 노드는 조인되지 않은 각 노드에게 JM을 보낼 수 있도록 동기화를 알리는 구간이다. 이 구간동안 스케줄 노드는 Initial Message(IM)을 생성하여 각 노드에게 브로드캐스팅 한다.
- 조인 구간(Join-period) : IM을 수신한 각 노드들은 랜덤 백오프 시간(random backoff time) 이후, 스케줄 노드에게 자신이 있다는 것을 알리고, 데이터 전송 구간을 할당받기 위해 JM을 스케줄 노드에게 전송한다. 조인구간에서는 업데이트 방식을 택함으로써 바로 이전 주기의 SM에 포함되었던 노드는 스케줄 노드에게 JM을 다시 보낼 필요는 없다.
- 스케줄 구간(Schedule-period) : JM을 받은 스케줄 노드는 이를 바탕으로 노드간 데이터 전송 시 다른 노드와 데이터 충돌을 막기 위해 각 노드에게 할당된 구간을 알리는 Schedule Message(SM)을 작성한 후, 각 노드에게 브로드캐스팅 한다. 여기서 할당할 수

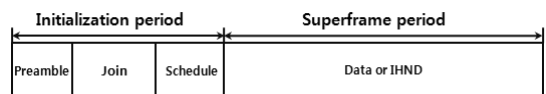


그림 2. 제안한 MAC 프로토콜의 전송 주기

있는 타임 슬롯의 수는 가변적이며, 정책적으로 최대 노드 수를 설정해 놓는다. 노드 수를 미리 설정해 놓는 이유는 제한 없이 많은 수의 타임 슬롯을 할당하게 된다면 많은 시간을 데이터 수신에 할당하게 되어 실시간성을 보장할 수 없게 된다. 각 노드는 SM을 통해 가입 승인 여부를 확인할 수 있으며, 이 구간 동안 충돌과 같은 다양한 오류로 인해 가입되지 않은 노드는 다음 조인 구간에서 다시 가입할 수 있다.

2)프레임 전송 구간(Superframe period)

프레임 전송 구간은 데이터 프레임 또는 IHND의 프레임 송수신하기 위한 구간이며, 초기화 구간과 마찬가지로 시간 동기화 작업을 수행한다.

- **데이터 전송 구간(Data-transmission-period)** : SM에 포함된 노드들은 할당된 타임 슬롯에서 데이터를 전송한다. 할당된 타임 슬롯에서 데이터가 전송되지 않을 경우 스케줄 노드는 그 노드를 고아(Orphan) 노드로 두고, 다음 SM에 포함시키지 않는다.
- **IHND 전송 구간(IHND-transmission-period)** : 자신에게 할당된 구간 동안 보낼 데이터가 없다면 데이터 프레임보다 짧은 IHND를 보냄으로써 원래 주어진 시간을 단축시킬 수 있다. IHND를 받은 각 노드들은 시간 동기화 작업을 통해 타임 슬롯을 앞당기게 된다.

3.2 기존 TDMA와 제안한 MAC 프로토콜의 비교

그림 3은 Superframe period에서 기존 TDMA 기반의 MAC 프로토콜과 제안한 MAC 프로토콜과의 차이점을 보여준다. TDMA의 그림에서 보는 바와 같이 N3 노드의

타임 슬롯 구간동안 N3 노드에서 보낼 데이터 프레임이 없다면 아무런 동작을 하지 않은 채 할당된 시간을 사용하게 된다. 하지만 제안한 MAC 프로토콜에서는 짧은 IHND 프레임을 보냄으로써 할당된 타임 슬롯 시간을 단축시켜 다른 노드가 더 빨리 타임 슬롯을 확보하여 데이터 처리량을 증가시킬 수 있다.

기존 네트워크 토폴로지에서 벗어난 고아 노드에 대해서도 문제가 되는 부분이다. 할당된 타임 슬롯동안 아무런 데이터 프레임을 보내지 않는다면 스케줄 노드 N1은 그 노드를 고아 노드로 두어야 할지 아니면 실제 보낼 데이터가 없어서 안 보내는 건지에 대한 구분이 어렵다. 하지만, 제안한 MAC 프로토콜에서는 보낼 데이터가 없을 시 IHND 프레임을 보냄으로써 고아 노드인지 실제 보낼 데이터가 없는지에 대한 구분이 가능하다.

그림 4는 N3 노드가 기존의 네트워크 토폴로지에서 나와 다른 네트워크 토폴로지에 진입하는 과정을 나타낸다. 그림 5는 그림 4에 대한 프로토콜의 동작 예를 보여준다. 그림 5의 N3은 기존 네트워크 토폴로지에 위치한 노드를 나타내며, N3은 기존 네트워크 토폴로지에서 새로운 네트워크 토폴로지에 진입한 노드를 말한다.

- 1) N3의 경우 주어진 타임 슬롯 동안 아무런 데이터를 보내지 않으므로 스케줄 노드 N1은 N3을 고아 노드로 둔다.
- 2) 스케줄 노드 N1은 다음 스케줄에 고아 노드 N3을 포함시키지 않는다.
- 3) N3의 경우 N1이나 N2가 아닌 N8과 N9로부터 메시지를 받게 되므로 원래 포함되었던 토폴로지에서 고아 노드가 됐음을 인지한다.

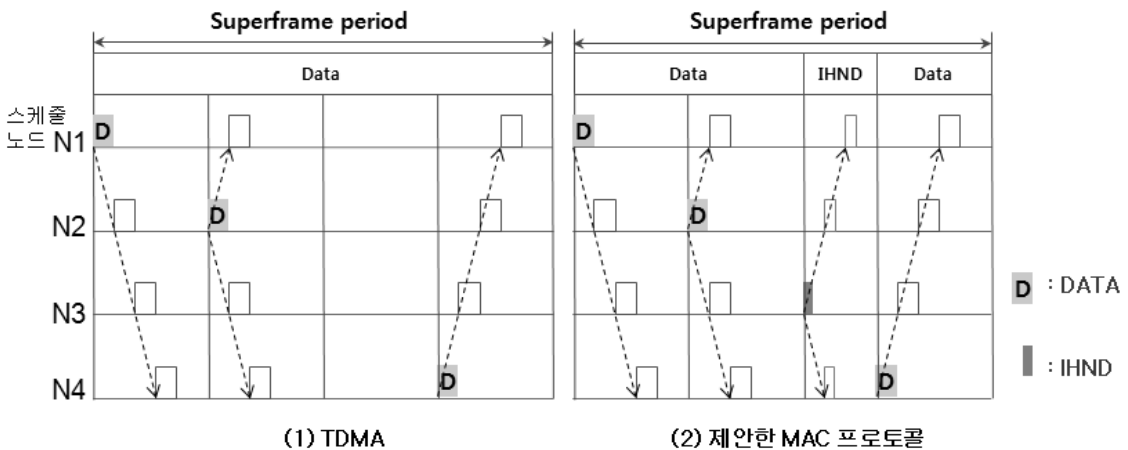


그림 3. 기존 TDMA 기반의 MAC 프로토콜과 제안한 MAC 프로토콜의 비교

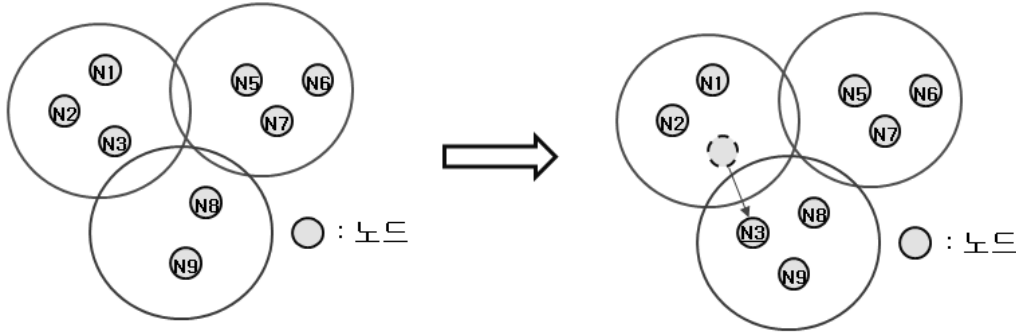


그림 4. 새로운 노드 진입 시 네트워크 토폴로지 예

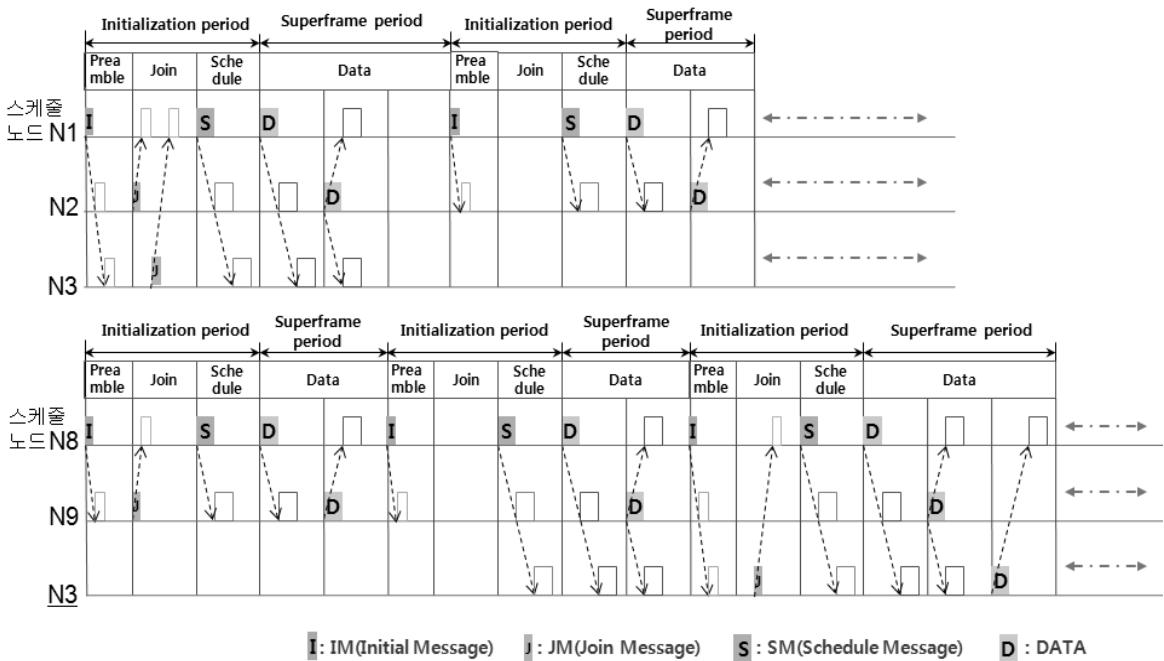


그림 5. 새로운 노드의 진입 시 프로토콜의 동작 예

- 4) N3은 다른 노드와의 데이터 충돌을 막기 위해 자신이 가지고 있던 스케줄을 초기화 시킨다.
- 5) N3은 새로 진입한 네트워크 토폴로지의 스케줄 노드 N8로부터 IM을 받을 때까지 대기 상태로 유지한다.
- 6) 스케줄 노드 N8로부터 IM을 받은 N3은 JM을 N8에 보냄으로써 N8의 스케줄에 포함하게 된다. 따라서, N3은 새로운 타임 슬롯을 할당받게 된다.

4. 성능 평가 및 분석

제안된 MAC 프로토콜의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서 제안한 프로토콜과 함께 기존 수중 환경에서 대표적인 TDMA 기반 MAC 프로토콜과 비교하여 수학적 분석 모델을 제시하고 Matlab 시뮬레이션을 이용하여 성능을 평가하였다. 본 시뮬레이션에서는 수중 네트워크의 범위를 500 m × 500 m로 설정하고, 테스트 기준에 따라 노드 개수를 다르게 사용하였다. 또한 수중에서의 전송 지연과 데이터 프레임의 크기를 수식 (2)에 적용한 결과 타

임 슬롯 사이즈는 1초로 설정되었다. 실험에서 사용된 모델은 기존의 상용화된 WHOI micro-modem^[11]의 성능을 적용하여 데이터 전송을 최대 1 kbps, 데이터 프레임 사이즈 400 bits로 설정하였다. 수식 모델에 사용된 기호에 대한 설명은 다음 표 1과 같다.

수행된 시뮬레이션에서는 전체 사이클을 기준으로 성능을 평가하였다. 수식 (1)은 수중 환경에서 발생하는 전송 지연에 관련된 수식 모델이다. 수식 (2)는 하나의 노드에서 브로드 캐스팅할 때 데이터 프레임을 충돌 없이 보낼 수 있는 타임 슬롯 시간을 구하는 수식이며, 수식 (3)은 하나의 노드에서 브로드 캐스팅 할 때 IHND 프레임 충돌 없이 보낼 수 있는 한 노드에 할당된 타임 슬롯 시간

을 구하는 수식이다. 수식 (4)는 데이터 프레임을 처리하는 데 걸리는 시간이다.

$$P_Delay = D / V \tag{1}$$

$$Ts_Data = P_Delay + L_Data / R + G \tag{2}$$

$$Ts_IHND = P_Delay + L_IHND / R + G \tag{3}$$

$$L_Packet = L_Data / R \tag{4}$$

수식 (5)는 제안한 MAC 프로토콜 Dynamic TDMA (DT)의 데이터 처리량 수식 모델이며, 수식 (6)은 기존 TDMA의 데이터 처리량을 구하는 수식이다.

$$DT\ 처리량 = L_Data * |T / Ts_Data - [T / (Ts_Data * N) * N_IHND * Ts_IHND]| \tag{5}$$

$$TDMA\ 처리량 = L_Data * |T / Ts_Data - [T / (Ts_Data * N) * N_IHND * Ts_Data]| \tag{6}$$

수식 (7)과 (8)은 한 사이클에서 측정되는 채널 효율에 관련된 수식 모델이며, 노드 개수와 데이터 전송 속도에 따른 채널 효율에 대한 수식이다. 수식 (9)는 제안한 MAC 프로토콜 채널 효율에 대한 기존 TDMA 채널 효율을 비율로 나타낸 수식이다.

$$DT\ 채널\ 효율 = (N - N_IHND) * L_Packet / [(N - N_IHND) * Ts_Data + (N_IHND * Ts_IHND)] \tag{7}$$

표 1. 수식 모델에 사용된 기호

Symbol	Descriptions
D	Max Distance of node
N	Number of nodes
L_Data	Length of data
L_IHND	Length of IHND
V	Sound wave speed
R	Data bit rate
G	Guard time
N_IHND	Number of IHND
T	Total offered time
P_Delay	Propagation delay
Ts_Data	Time slot of data
Ts_IHND	Time slot of IHND
L_Packet	Packet length

표 2. 시뮬레이션에 사용된 세부적인 네트워크 환경

Parameter	Values (데이터 처리량)	Values (노드 수에 따른 채널 효율)	Values (전송속도에 따른 채널 효율)
D	500 * 500 m	500 * 500 m	500 * 500 m
N	10 ea	(5, 10, 15, 20) ea	10 ea
L_Data	400 bits	400 bits	400 bits
L_IHND	40 bits	40 bits	40 bits
V	1500 m/s	1500 m/s	1500 m/s
R	1000 bps	1000 bps	1000 ~ 4000 bps
G	0.2667 sec	0.2667 sec	0.2667 sec
N_IHND	(0, 1, 4) ea	0 ~ 9 ea	0 ~ 9 ea
T	(10, 40, 90, 160, 250) sec	—	—

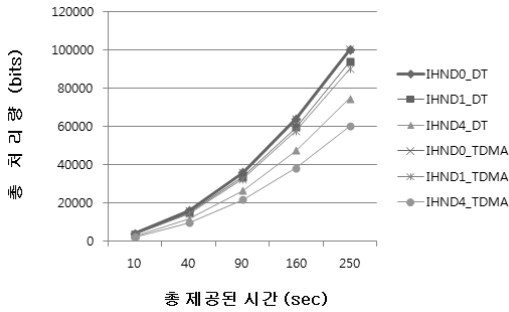


그림 6. 데이터 처리량 비교

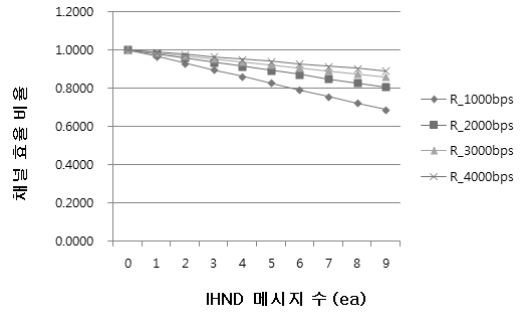


그림 8. 데이터 전송속도에 따른 채널 효율 비교

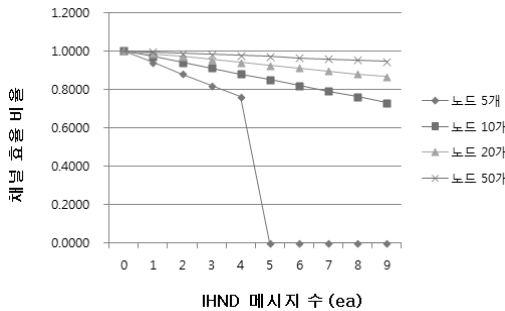


그림 7. 노드 수에 따른 채널 효율 비교

$$TDMA \text{ 채널 효율} = (N - N_{IHND}) * L_{Packet} / (N * T_{s_Data}) \quad (8)$$

$$\text{채널 효율 비율} = \frac{TDMA \text{의 채널 효율}}{DT \text{의 채널 효율}} \quad (9)$$

표 2는 데이터 처리량과 채널 효율에 대해서 시뮬레이션에 사용된 세부적인 네트워크 환경을 나타낸다.

수식 (5)와 (6)에 대한 데이터 처리량 결과는 그림 6과 같다. 데이터 처리량에서는 IHND의 개수와 제공된 시간을 변화시키면서 성능을 평가한 결과 IHND의 수가 많을수록 DT가 기존 TDMA보다 더 많은 데이터를 처리할 수 있음을 보여준다. IHND가 0일 때 제안한 MAC 프로토콜 DT의 총 데이터 처리량은 기존 TDMA와 같다. 하지만, IHND가 1일 때는 DT가 기존 TDMA 보다 최대 약 3,000 bits 더 많은 데이터를 처리할 수 있으며, 4일 때는 최대 약 14,000 bits 더 많은 데이터를 처리한다.

그림 7의 채널 효율은 노드 수와 IHND의 수를 변화시키면서 성능을 평가하였다. 이 그림은 제안한 MAC 프로토콜의 채널 효율에 대한 TDMA 채널 효율의 비율이기 때문에 1보다 작으면 DT가 기존 TDMA보다 채널의 낭

비가 적다고 볼 수 있으며, 성능결과 DT가 기존 TDMA에 비해 약 0.7의 최대 채널 효율을 가진다. 그리고 노드 수가 5개 일 때 0으로 떨어지는 이유는 IHND 수가 노드 수에 비해 크기가 같을 수가 없기 때문이다.

그림 8은 데이터 전송 속도와 IHND의 수를 변화시키면서 채널 효율의 성능을 평가한 결과이다. DT가 기존 TDMA방식보다 최대 채널 효율이 약 0.6 좋음을 확인할 수 있었다. 여기서 주의할 점은, 데이터 전송속도가 높을수록 채널 효율이 떨어진다는 점이다. 그 이유는 정해진 타임 슬롯 구간동안 데이터 전송속도를 높여 데이터를 빨리 처리한다면 그 만큼 채널을 사용하지 않고 낭비하는 시간이 많아지기 때문이다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 효율적 타임 슬롯을 할당하기 위해 기존 정적 타임 슬롯을 단축시키는 동적 TDMA 기반의 MAC 프로토콜을 제안하였다. 기존 수중환경에서의 TDMA 방식은 보낼 데이터가 없어도 항상 정해진 타임 슬롯을 가지지만 제안된 프로토콜은 전송되는 데이터보다 짧은 길이의 IHND를 보냄으로써 타임 슬롯을 단축시키는 동적 TDMA방식이다. 또한, 이 방식에서는 IHND를 받은 각 노드들은 새로운 시간 동기화를 맞춘다는 장점이 있다.

본 논문에서는 제안된 프로토콜의 성능을 분석하기 위해 데이터 처리량과 채널 효율에 관한 수학적 모델을 도출하여 비교 분석 하였다. 성능 평가 결과 제안된 MAC 프로토콜은 기존의 TDMA 기반의 MAC 프로토콜과 비교하여 데이터 처리량과 채널 효율에 대해 높은 성능을 가지고 있는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있었다.

제안된 MAC 프로토콜을 바탕으로 실제 수중환경과 유사한 테스트 베드를 구축하여 최적의 가드타임을 선정

함으로써 데이터 전송속도의 향상으로 인한 채널 효율의 감소에 대한 문제를 해결할 것이다. 또한, IHND를 보냄으로써 기존 TDMA 방식보다 에너지 효율이 떨어지는 문제에 대한 해결 방안 연구를 진행할 예정이다.

참고 문헌

1. I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia (2005), "Underwater acoustic sensor networks : research challenges", *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, Vol. 3, No. 4, pp. 257-279.
2. J. Heidemann, W. Ye, J. Wills, A. Syed, and Y. Li (2006), "Research challenges and applications for underwater sensor networking", *IEEE WCNC*.
3. Soo-Young Shin, Jung-Il Namgung, and Soo-Hyun Park (2010), "SBMAC: Smart Blocking MAC mechanism for Variable UW-ASN (UnderWater Acoustic Sensor Network) Environment", *Sensors*, Vol. 10, No. 1, pp. 501-525.
4. Yung-Pyo Kim, Jung-Il Namgung, Nam-Yeol Yun, Hui-Jin Cho, Imtiaz Ahmed Khan, and Soo-Hyun Park (2010), "Design and Implementation of the Test-bed for Underwater Acoustic Sensor Network based on ARM9 Processor", *EUC 2010 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, pp. 302-306.
5. 남궁정일, 윤남열, 박수현(2009), "P-MAC: 수중 음파 센서 네트워크를 위한 수중 환경정보 기반의 적응적 MAC 프로토콜", *대한전자공학회 2009년 하계종합학술대회*, pp. 673-674.
6. Nitthita Chirdchoo, Wee-Seng Soh, and Kee Chaing Chua (2007), "Aloha-based MAC Protocols with Collision Avoidance for Underwater Acoustic Networks", *In Proceedings of the IEEE INFOCOM*.
7. E. Altman, R. E. Azouzi, and T. Jimnez (2004), "Slotted Aloha as a game with partial information", *The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, Vol. 45, No. 6, pp. 701-713.
8. D.W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan (2000), "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", *In Proceedings of the Hawaii Conference on System Sciences*.
9. Wendi Beth Heinzelman (2000), *Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks*, PhD thesis, MIT.
10. W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan (2002), "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks", *IEEE Transactions on Wireless Communication*.
11. WHOI Acoustic Communications: Micro-Modem, <http://acomms.whoi.edu/umodem>.



신 승 원 (pubssw02@kookmin.ac.kr)

2010 성공회대학교 글로컬IT학과 학사
2011~현재 국민대학교 BIT학과 석사과정
2011~현재 해양센서네트워크 기술 연구센터 연구원

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



김 영 표 (kuniv003@kookmin.ac.kr)

2010 국민대학교 수학과 학사
2010~현재 국민대학교 BIT학과 석사과정
2010~현재 해양센서네트워크 기술 연구센터 연구원

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



윤 남 열 (anuce@kookmin.ac.kr)

2003 안동대학교 정보통신공학과 공학사
2009 국민대학교 BIT 비즈니스 정보통신 이학석사
2009~현재 국민대학교 비즈니스 IT 박사과정
2007~현재 해양센서네트워크 기술 연구센터 연구원

관심분야 : USN, UW-ASN 통신 프로토콜, 임베디드 시스템



박 수 현 (shpark21@kookmin.ac.kr)

1988 고려대학교 컴퓨터학과 이학사
1990 고려대학교 전산학과 이학석사
1998 고려대학교 컴퓨터학과 이학박사
1990 (주)LG 전자 중앙연구소 선임연구원
1999~2001 동의대학교 공과대학 컴퓨터·소프트웨어 조교수
2002~현재 국민대학교 비즈니스 IT학부 정보시스템전공 교수

관심분야 : 유비쿼터스 네트워크, Underwater Sensor Network