

# 해양센서네트워크에서 채널예약방식을 이용한 매체접근제어

중신회원 장길웅\*

## Medium Access Control Using Channel Reservation Scheme in Underwater Acoustic Sensor Networks

Kil-woong Jang\* *Lifelong Member*

### 요약

본 논문에서는 해양센서네트워크에서 에너지 소비를 줄이고 전송효율을 높이기 위한 매체접근제어 프로토콜을 제안한다. 수중환경에서는 지상에 비해 전송지연이 길며 데이터 전송률이 낮은 점을 고려하여 효율적으로 에너지를 관리하며 처리율을 향상시킬 수 있는 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 데이터충돌을 줄이기 위해 채널예약방식을 사용하며, 애드혹 네트워크에서 발생할 수 있는 숨겨진 노드문제와 노출된 노드문제를 제어할 수 있는 매커니즘을 사용한다. 제안된 프로토콜은 슬롯기반의 전송프레임으로 구성되며, 전송프레임은 전송예약을 위한 예약구간을 별도로 두어 노드 간 충돌을 줄인다. 전송예약과정에서 송수신 노드 간에 예약정보를 이용하여 숨겨진 노드문제와 노출된 노드문제를 해결한다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 이용하여 평균에너지 소비량, 충돌횟수비율, 처리율, 평균지연시간 관점에서 제안된 프로토콜의 성능을 평가하였으며, 수중환경의 기존 MAC 프로토콜과 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과에서 제안된 방식이 기존의 방식에 비해 성능이 우수함을 볼 수 있었다.

**Key Words** : Medium Access Control, Underwater Acoustic Sensor Networks, Channel Reservation, Hidden Node Problem, Exposed Node Problem

### ABSTRACT

In this paper, we propose a medium access control(MAC) protocol for reducing the energy efficiency and for improving the transmission efficiency in underwater acoustic sensor networks. In underwater environment, the transmission delay is longer and bandwidth is smaller than terrestrial environment. Considering these points, we propose a new MAC protocol to enhance throughput and to manage efficiently the energy of nodes. The proposed protocol operates as a channel reservation scheme to decrease data collisions, and uses a mechanism to control the hidden node problem and the exposed node problem occurred in ad hoc networks. The proposed protocol consists of the slotted based transmission frame and reduces data collisions between nodes by putting separately the reservation period in the transmission frame. In addition, it is able to solve the hidden node problem and the exposed node problem by reservation information between nodes. We carry out the simulation to evaluate the proposed protocol in terms of the average energy consumption, the ratio of collision, throughput, and the average transmission delay, and compare the proposed protocol to a traditional MAC protocol in the underwater environment. The simulation results show that the proposed protocol outperforms the traditional protocol under a various of network parameters.

※ 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-313-D00877)

\* 한국해양대학교 데이터정보학과 네트워크 연구실(jangkw@hhu.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-05-188, 접수일자 : 2009년 5월 6일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 15일

## I. 서 론

최근 유비쿼터스 네트워킹에 대한 관심이 높아짐에 따라 센서를 이용하여 수집된 정보를 쉽게 이용할 수 있는 무선센서네트워킹에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 무선센서네트워킹은 지상, 지하, 해양 등 다양한 환경에서 인간이 접근하기 힘든 장소에 센서를 이용하여 원하는 정보를 얻기 위해 구성된 네트워크 형태이다. 다양한 환경에서 구성된 센서네트워킹은 산업, 과학, 군사, 환경 등 다양한 서비스를 제공할 수 있는 네트워킹 구조를 가진다<sup>[1]</sup>. 다양한 환경에서 여러 가지 서비스를 제공하기 위한 무선센서네트워킹은 셀룰라와 같은 기존의 무선네트워킹에서 사용된 매체접근제어(media access control, MAC), 라우팅 등 네트워킹을 위한 프로토콜을 그대로 사용하기에 부적절한 면을 가진다. 무선센서네트워킹에서 단말로 사용되는 센서는 기존의 다른 네트워크의 단말과는 달리 작은 규모의 메모리와 배터리를 가지며, 특히 배터리가 에너지를 모두 소비하게 되면 다시 충전을 하거나 교체하기가 어려운 단점을 가진다. 따라서 무선센서네트워킹에서 사용될 네트워킹 프로토콜은 이러한 점을 고려하여야 한다.

최근 몇 년간 무선센서네트워킹에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다. 대부분의 연구는 지상 환경에서 에너지 소비를 최소화하여 노드의 수명을 오래 지속하도록 하는데 중점을 둔 연구들이 대부분이다. 반면 지상과는 달리 수중환경에서 센서 노드를 이용한 네트워킹은 환경 특성의 차이로 인하여 또 다른 형태의 프로토콜이 요구된다. 수중환경에서는 음파를 이용하여 데이터를 전송하게 되는데, 음파는 지상에서 사용되는 전파에 비해 낮은 속도를 가진다<sup>[2]</sup>. 이러한 특성으로 인하여 지상에 비해 전파 지연이 길며, 데이터 전송률이 낮다는 특징을 가진다. 따라서 지상환경을 기반으로 연구된 많은 프로토콜을 수중환경에 적용될 경우 전송 효율 및 노드의 에너지 면에서 비효율적인 결과를 가져올 수 있다.

일반적으로 무선네트워킹에서 사용되는 단말은 제한된 전송범위를 가진 무선매체를 사용하게 된다. 이 무선매체는 전송범위내의 모든 인접한 노드에게 데이터를 동시에 전송하는 브로드캐스팅 방식을 사용하게 된다. 이 방식에서 인접한 노드가 같은 시간에 전송매체를 이용하여 동시에 데이터를 전송할 경우 데이터충돌이 발생할 수 있다. 현재 사용되는 무선네트워킹의 단말은 하나의 채널을 사용한 반이

중모드의 트랜스미터를 사용하기 때문에 데이터전송 중에 충돌을 감지할 수 없는 특성을 가진다. 따라서 무선네트워킹에서 사용되는 MAC 프로토콜은 노드 간에 발생하는 충돌을 고려하여 설계되어야 한다.

본 논문에서는 수중환경에서 노드 간의 충돌을 최소화하여 전송지연 및 에너지 소비를 최소화하기 위한 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 데이터전송을 위해 예약방식을 사용하고 애드혹 네트워크에서 발생할 수 있는 숨겨진 노드문제(hidden node problem)와 노출된 노드문제(exposed node problem)를 제어할 수 있는 매커니즘을 사용한다. 예약 방식을 사용하여 데이터충돌을 줄이며, 숨겨진 노드문제와 노출된 노드문제로 인한 전송문제를 해결함으로써 에너지 소비 감소 및 처리율 향상을 가져올 수 있다.

## II. 관련 연구

지상환경에서 무선센서네트워킹을 위한 MAC 프로토콜은 많이 연구되어 왔다. 대표적인 MAC 프로토콜인 S-MAC<sup>[3]</sup>은 기존의 IEEE 802.11 DCF<sup>[4]</sup> 방식을 향상시킨 프로토콜이다. S-MAC은 노드 간 경쟁방식인 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 방식을 기반으로 주기적인 전송주기동작(periodic listen/sleep)을 이용하여 노드의 에너지 소비를 줄인다. 이 방식은 에너지효율을 높이기 위한 방식으로 설계되었으며, 이 프로토콜을 기반으로 성능을 향상시킨 또 다른 프로토콜도 제안되었다<sup>[5][6]</sup>. 앞서 기술한 MAC 프로토콜들은 지상환경에 적합하도록 설계되었기 때문에 긴 전송지연과 낮은 데이터 전송률이라는 특수성을 가진 수중환경에서는 전송효율이 떨어지는 문제점을 가진다.

최근들어 수중의 특수한 환경을 고려한 MAC 프로토콜이 연구되고 있다. Molins et al.<sup>[7]</sup>은 슬롯방식을 이용하여 전송지연 및 처리율을 향상시키기 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 이 프로토콜은 기존의 FAMA(Floor Acquisition Multiple Access)<sup>[8]</sup> 프로토콜을 이용한 것으로 다른 노드와의 충돌을 피하기 위해 RTS/CTS 채널을 이용하여 채널을 확보한다. 제안된 프로토콜은 FAMA 프로토콜 기능에서 타임슬롯을 이용하여 제어 및 데이터패킷을 전송한다. Rodoplu et al.<sup>[9]</sup>은 수중환경의 센서네트워킹에서 노드의 에너지 소비를 줄이기 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜에서는 네트워크에 참여한 모든 노드가 데이터전송을 위해

초기에 타임슬롯을 미리 확보하여 매 전송주기마다 같은 슬롯을 사용하여 데이터를 전송한다. 초기 설정단계에서 임의의 시간에 설정메시지를 전송함으로써 인접노드에게 자신이 사용하게 될 슬롯을 알린다. 이 방식은 모든 노드가 채널을 미리 설정함으로써 네트워크에 참여한 노드의 수가 적을 경우에는 높은 전송효율을 보인다. 하지만 노드의 수가 많아지면 채널충돌에 의한 전송지연 및 에너지 소비가 높아지는 단점을 가지며, 전송할 데이터가 없을 경우에는 채널낭비가 발생할 수 있다. Syed et al.<sup>[10]</sup>은 에너지효율을 높이기 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 전송권을 획득하기 위한 구간과 데이터전송을 위한 구간으로 구성된 프레임틀을 가진다. 주기적인 프레임에서 전송할 데이터가 있는 노드는 전송권을 획득하기 위해 짧은 신호(tone)를 전송하게 되며 가장 빨리 전송한 하나의 노드만 전송권을 획득하게 된다. 전송권을 획득한 노드는 tone이 발생된 프레임에서 데이터를 전송하게 된다. 프로토콜 상에서 전송권을 획득하기 위해 각 노드에서는 송수신기에 tone 발생용 장치가 별도로 필요하게 된다.

### III. 제안된 프로토콜

이번 장에서는 제안된 프로토콜의 전송프레임 구조와 동작에 대하여 기술한다. 제안된 프로토콜은 타임슬롯으로 이루어진 전송프레임 구조를 가지며, 데이터전송을 위해 미리 채널 예약하는 방식을 사용한다. 제안된 프로토콜에서 사용되는 전송프레임은 그림 1과 같이 타임슬롯으로 이루어지며 하나의 타임슬롯이 하나의 채널로 사용된다. 전송프레임은 예약구간과 데이터구간으로 구성되며 주기적으로 동작한다. 본 논문에서는 예약구간에서 사용되는 타임슬롯을 예약채널, 데이터구간에서 사용되는 타임슬롯을 데이터채널이라고 칭한다. 예약구간이나 데이터구간에서 사용되는 채널은 수중에서 소스노드가 전송범위내의 목적노드까지 패킷을 충분히 전송할 수 있는 시간을 가진 타임슬롯으로 설정한다. 프로토콜을 수행하기 위해서는 네트워크에 배치된 모든 노드 간에 시간동기화가 우선적으로 이루어져야 한다. 에드 혹 네트워크 상에서 시간동기화에 대한 연구는 기존의 많은 연구에서 이루어져 왔다<sup>[11]</sup>. 본 논문에서는 시간동기화에 대한 연구는 다루지 않으며, 기존 연구의 방법을 이용하여 시간동기화가 이루어졌다는 가정 하에 프로토콜의 동작을 기술한다.

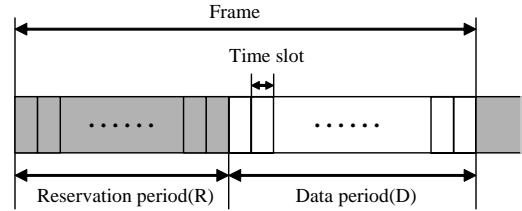


그림 1. 제안된 프로토콜의 전송프레임

제안된 프로토콜을 이용하여 노드가 데이터를 전송하는 과정은 다음과 같이 이루어진다. 모든 노드는 예약구간에서 수신상태를 유지하며 인접노드로부터 전송되는 메시지를 수신할 수 있다. 우선 전송할 데이터가 있는 노드는 예약구간에서 목적노드로 예약메시지(REQ)를 브로드캐스팅한다. 그림 2와 같이 예약메시지는 소스노드의 식별자(SID), 목적노드의 식별자(DID), 예약채널번호(RCH), 데이터채널번호(DCH)를 포함한다.

만약 전송범위내의 다른 노드가 같은 슬롯을 사용하여 예약메시지를 동시에 보낼 경우 충돌이 발생할 수 있다. 소스노드가 예약메시지를 전송할 때 소스노드의 전송범위 내에 존재하는 모든 인접노드는 전송된 예약메시지를 통하여 사용될 데이터채널을 미리 인지하게 된다. 만약 인접노드가 현재 예약된 채널을 모른다면 그 노드가 데이터채널 예약을 위해 예약된 데이터채널을 다시 예약요청을 한다면 채널충돌이 발생하게 된다. 따라서 같은 전송프레임에서 채널을 예약하려는 인접노드는 예약한 채널을 제외한 다른 채널을 선택하여 예약한다. 예약메시지를 수신한 목적노드는 다음 채널을 이용하여 응답메시지(RSP)를 전송한다. 예를 들어, 5번 예약채널을 사용하여 예약메시지를 수신한 노드는 6번 예약채널을 사용하여 응답메시지를 전송한다. 이 때, 목적노드가 아닌 소스노드의 인접노드는 6번 예약채널이 응답메시지 전송용으로 사용됨을 알기 때문에 6번 예약채널을 사용하지 않는다. 만약 인접노드에서 6번 예약채널을 사용하기로 설정되어 있을 경우에는 그 다음 7번 채널로 설정을 변경함으로써 충

REQ:	Frame Control	SID	DID	RCH	DCH	FCS
RSP:	Frame Control	SID	DID	DCH	FCS	
DATA:	Frame Control	SID	DID	data	FCS	

그림 2. 메시지 포맷(REQ, RSP, DATA)

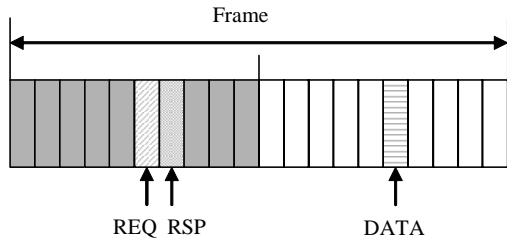


그림 3. 제안된 프로토콜에서 일반적인 데이터전송과정

돌을 방지할 수 있다. 사용되는 응답메시지에는 소스노드의 식별자, 목적노드의 식별자, 데이터채널번호를 포함한다. 응답메시지에서 담고 있는 식별자는 예약메시지와 반대로 설정되며, 데이터채널번호는 그대로 유지되거나 변경될 수 있다. 데이터채널이 변경되는 경우는 숨겨진 노드문제와 노출된 노드문제가 발생한 경우에 일어난다. 이에 대한 설명은 그림 4와 5, 6을 통해 다시 언급한다. 제안된 프로토콜은 예약구간에서 모든 노드가 수신상태를 유지하고 채널예약을 함으로써 인접노드의 송수신상태를 알 수 있으며 이를 통해 채널충돌확률을 줄일 수 있고 데이터전송구간에서 송수신에 필요한 구간에서만 노드의 상태를 활성화함으로써 에너지 소비를 줄일 수 있는 장점을 가진다.

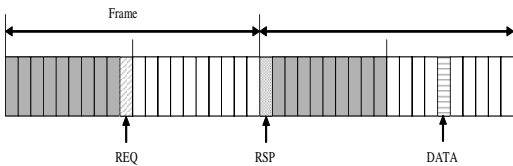
응답메시지를 수신한 소스노드는 같은 전송프레임의 데이터구간에서 응답메시지에 명시된 데이터채널을 이용하여 데이터(DATA)를 전송한다. 데이터구간에서 모든 노드는 일단 휴면 상태를 유지한다. 휴면상태에서 노드가 인접노드로 데이터를 전송하거나 전송받아야 될 채널에서만 활성상태로 전환되며 송신 또는 수신이 끝나면 다시 휴면상태로 돌아간

다. 제안된 프로토콜에서는 전송된 데이터의 확인메시지(ACK)는 전송하지 않는다. 예약된 데이터채널을 사용하기 때문에 충돌이 거의 발생하지 않으며, 확인메시지를 위하여 예약채널을 사용하여 전송할 경우 제한된 예약채널의 수에 비해 많은 제어 메시지로 인해 충돌 발생 확률이 높아지기 때문에 확인메시지를 전송하지 않는다. 그림 3은 제안된 프로토콜을 사용하여 데이터를 전송하는 과정을 나타낸 것이다.

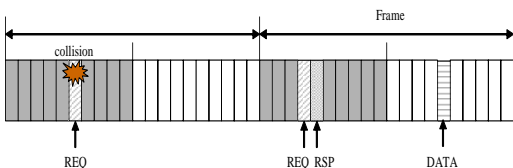
제안된 프로토콜의 동작과정 중에 그림 3과 같은 예외상황이 발생할 수 있다. 그림 4(a)는 전송프레임의 마지막 예약채널을 이용하여 예약메시지가 전송된 경우로써 이 경우에는 응답메시지는 다음 전송프레임의 첫 번째 예약채널을 이용하여 전송한다. 이 경우에 소스노드의 인접노드는 다음 전송프레임의 첫 번째 예약채널은 사용하지 못한다. 그림 4(b)는 같은 예약채널에서 두 개 이상의 요청메시지가 충돌한 경우이다. 요청메시지가 충돌하게 되면 인접한 모든 노드는 충돌된 메시지를 수신할 수 없다. 따라서 충돌에 의하여 어떠한 응답메시지도 전송되지 않기 때문에 소스노드는 그 다음 예약구간에서 다시 요청메시지를 전송하게 된다.

데이터를 전송하는 과정에서 숨겨진 노드문제와 노출된 노드문제가 발생할 수 있다. 만약 전송프레임의 예약구간에서 서로 다른 노드로부터 같은 데이터채널번호를 가진 예약메시지를 받을 경우 데이터 수신 시에 데이터구간에서 충돌이 발생하게 된다. 즉 숨겨진 노드문제가 발생하게 되며, 이를 해결하기 위해서는 데이터채널을 변경하여야만 한다. 따라서 제안된 프로토콜에서는 하나의 전송프레임에서 같은 데이터채널을 사용하는 예약메시지를 수신할 경우 다른 채널로 변경하게 된다. 변경된 채널번호는 응답메시지에 담아 전송하게 된다. 예를 들어, 그림 5와 같이 A 노드와 C 노드가 같은 전송프레임에서 2번 데이터채널을 사용하여 B 노드로 데이터를 전송하고자 한다면 B 노드는 이 중 하나의 노드에게는 데이터채널을 변경하여 응답메시지를 전송한다. 이렇게 함으로써 기존의 방식에서 발생할 수 있는 숨겨진 노드문제를 해결할 수 있다. 그림 5에서 R과 D는 실제 사용되는 예약채널과 데이터채널을 의미한다.

그림 6과 같이 하나의 전송프레임에서 서로 다른 두 노드 간에 데이터 전송이 발생할 경우 기존의 방식에서는 노출된 노드문제가 발생한다. 즉, 동시에 A와 B 노드가 통신을 하고, C와 D 노드가 통



(a) 예약메시지가 마지막 예약채널을 사용한 경우



(b) 예약메시지가 충돌한 경우

그림 4. 제안된 프로토콜의 예외동작 상황

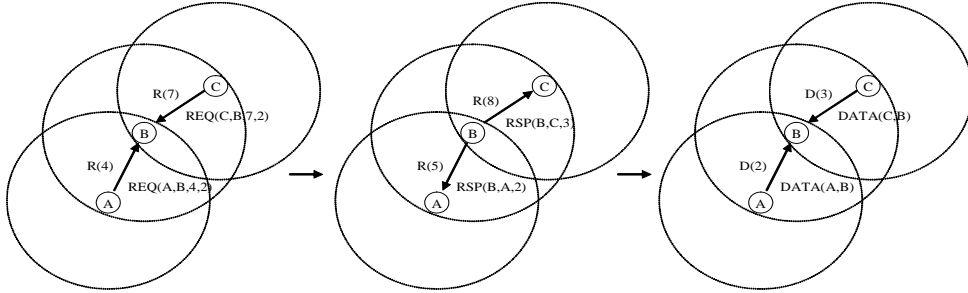


그림 5. 숨겨진 노드문제 예제

신을 하고자 할 경우 A 또는 C 노드에서는 인접노드에서 데이터 전송이 이루어지기 때문에 데이터를 전송할 수 없게 된다. 예를 들어 IEEE 802.11 프로토콜에서는 A 노드가 B 노드와 통신을 하기 위해 먼저 RTS를 전송하게 되면 인접노드인 C 노드가 이를 인식하고 대기 모드로 들어간다. 하지만 실제로는 C와 D 노드 간의 통신에는 전혀 문제가 발생하지 않는다.

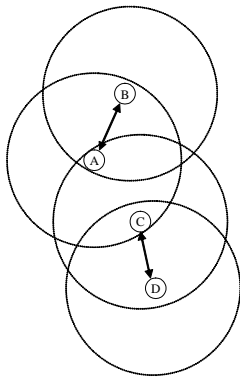


그림 6. 일반적인 노출된 노드문제 예제

반면에 제안된 프로토콜에서는 다음과 같은 2가지의 노출된 노드문제가 발생할 수 있다. 첫 번째 경우는 그림 7과 같이 A 노드가 B 노드에게 데이터를 전송하고 D 노드가 C 노드에게 데이터를 전송하는 경우이다. A 노드가 B 노드에게 2번 데이터 채널을 통해 통신을 하기 위해 예약메시지를 전송하게 되면 A 노드의 인접노드인 C 노드는 다음 전송프레임에서 2번 데이터채널이 사용됨을 알게 된다. 같은 전송프레임에서 C 노드는 인접노드인 D 노드로부터 2번 데이터채널을 위한 예약메시지를 수신하게 되면 C 노드는 2번 데이터채널이 아닌 다른 데이터채널을 선택하여 D 노드에게 응답메시지를 전송하게 된다.

두 번째 경우는 A 노드가 B 노드에게 데이터를 전송하고 C 노드가 D 노드에게 데이터를 전송하는 경우이다. 그림 8과 같이 A와 C 노드는 서로 다른 채널을 예약하였지만 숨겨진 노드문제로 인하여 A 노드에 대한 데이터채널이 변경되어 C 노드와 같은 5번 데이터채널을 사용할 수 있다. 제안된 프로토콜에서는 숨겨진 노드문제 해결 방식에 의해 이러한 상황이 발생할 수 있으나 이 경우에도 A와 C 노드

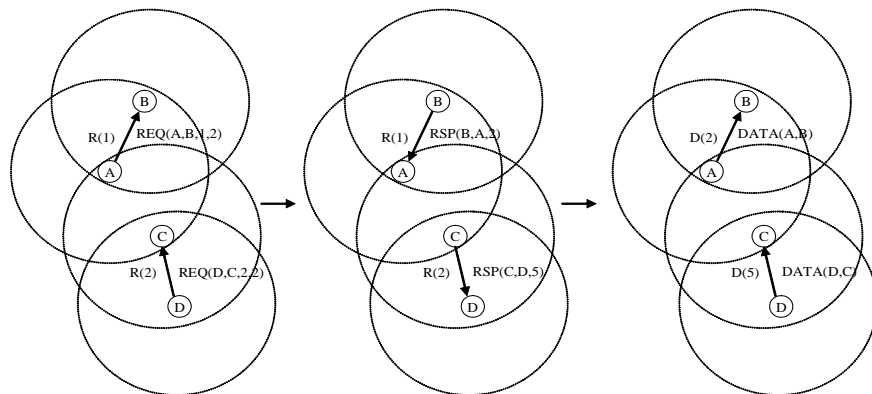


그림 7. 노출된 노드문제 예제 #1

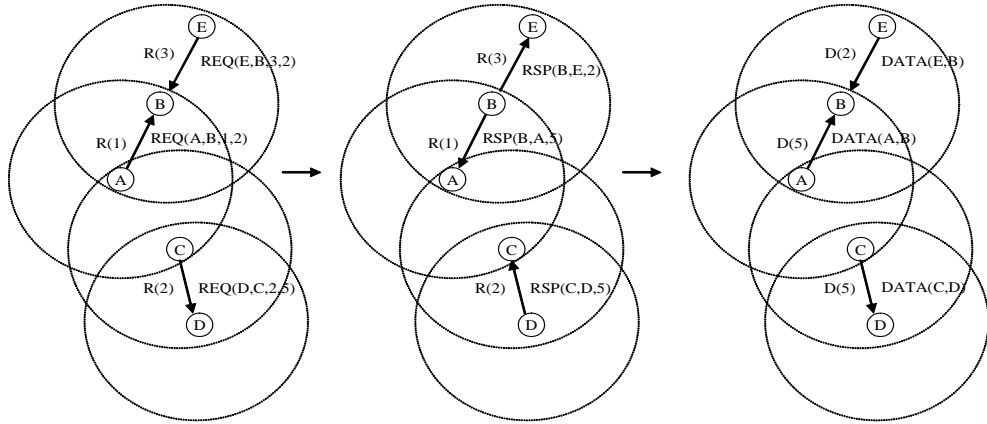


그림 8. 노출된 노드문제 예제 #2

는 데이터를 전송하는 입장이기 때문에 전송충돌 없이 정상적으로 데이터를 전송할 수 있다.

지금까지 제안된 프로토콜의 기본적인 동작과정 및 예외상황에서의 동작과정을 기술하였다. 또한, 무선 애드혹 네트워크에서 발생할 수 있는 숨겨진 노드문제와 노출된 노드문제 발생 시 제안된 프로토콜이 어떻게 해결하는지에 대하여 기술하였다. 다음 장에서는 배치된 노드의 수와 예약구간, 데이터구간의 비를 조정했을 경우 제안된 프로토콜 성능에 어떠한 영향을 주는지 비교 평가한다.

#### IV. 성능평가

본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안된 프로토콜의 성능을 평가하였다. 성능평가는 네트워크에 배치된 노드의 수에 따라 평균에너지 소비량, 충돌횟수비율, 처리율, 평균지연시간 관점에서 수행하였다. 본 논문에서 사용된 4가지 성능평가의 결과요소에 대한 정의는 다음과 같다.

- 평균에너지 소비량: 성공적으로 데이터를 전송했을 때 소비된 평균에너지량
- 충돌횟수비율: 충돌횟수 / 성공적인 전송횟수
- 처리율: 성공적인 전송횟수 / 총 전송횟수
- 평균지연시간: 총 지연시간 / 성공적인 전송횟수

제안된 프로토콜의 성능을 비교분석하기 위해 수중환경에서 제안된 프로토콜과 같은 타임슬롯을 기반으로 제안된 Molins et al.<sup>[6]</sup>의 MAC 프로토콜과 비교하였으며, 본 논문에서는 간단히 Molins MAC 이라고 칭한다. 성능평가 시에 제안된 프로토콜은 예약구간과 데이터구간에서 사용된 채널의 비율을 조절하여 성능평가를 수행하였다.

시뮬레이션에서 사용된 환경요소는 다음과 같다. 모든 노드는 10×10km<sup>2</sup> 크기의 네트워크에 배치된다. 수중환경의 낮은 대역폭을 고려하여 노드의 전송 범위는 1km이며 데이터 전송률은 1kbps인 음파 모뎀을 사용하였다. 노드에서 전송되는 제어패킷 (REQ, RSP)은 100비트, 데이터패킷은 3000비트를 사용하였다. 제안된 프로토콜에서 사용되는 채널은 예약채널과 데이터채널 두 종류로 구분되며, 각 채널의 길이는 수중에서의 긴 전송지연과 데이터 전송률을 고려하여 설정한다. 일반적으로 수중에서 100m 떨어진 노드 간 최대전송지연이 약 67msec이므로 시뮬레이션에서도 그대로 적용하였다. 따라서 전송 패킷의 크기와 전송 지연을 고려하여 예약채널은 1sec, 데이터채널은 4sec으로 설정하였다. 하나의 전송프레임은 100sec으로 설정하였으며, 시뮬레이션 상에서 전체 전송프레임의 수는 200개로 설정하였다. 성능평가는 이러한 환경에서 20번 반복 실험하여 평균값을 결과로 측정하였다.

네트워크 상에서 노드의 에너지 소비를 측정하기 위해 기존에 제시된 에너지 소비모델을 이용하였다<sup>[12]</sup>. 제안된 프로토콜은 소스노드에서 목적노드로 직접 패킷을 전달하는 방식을 사용한다. 따라서 거리가  $r$ 만큼 떨어진 목적노드에서 요구하는 수신에너지,  $P_0$ , 을 만족하기 위해서는 소스노드는 다음과 같은 전송에너지,  $E_t$ , 가 필요하다.

$$E_t = P_0 T_p r^k a^r \tag{1}$$

여기서  $T_p$ 는 하나의 패킷을 전송하는데 걸리는 시간이며  $k$ 는 에너지확장요소를 의미한다.  $a$ 는 흡수 계수인  $\alpha(f)$ 에서 얻어진 주파수의존조건이며 다음과

같은 식을 가진다.

$$\alpha = 10^{\alpha(f)/10} \quad (2)$$

$\alpha(f)$ 는 Thorp의 표현식<sup>[13]</sup>에 의해 계산된다.

$$\alpha(f) = 0.11 \frac{f^2}{1+f^2} + 44 \frac{f^2}{4100+f^2} + 2.75 \times 10^{-4} f^2 + 0.003 \quad (3)$$

여기서  $f$ 의 단위는 kHz이며  $\alpha(f)$ 는 dB/km 단위를 가진다. 본 논문에서 수행된 시뮬레이션에서는  $P_0=1$ ,  $f=25$ 와  $k=1.5$ 를 사용하였다.

그림 9는 네트워크 상에 배치된 노드들이 성공적으로 데이터를 전송했을 때 소비된 평균에너지양을 나타낸 것이다. 하나의 노드가 패킷을 성공적으로 전송하는데 소비되는 에너지는 인접노드로 예약메시지를 전송하기 위한 전송에너지와 인접노드로부터 응답메시지를 수신하는 수신에너지, 데이터를 전송하기 위한 전송에너지의 합으로 계산된다. 그림에서 네트워크 상에 배치된 노드가 많을수록 전체적으로 소비되는 에너지양은 증가됨을 볼 수 있다. 이것은 같은 크기의 네트워크 상에 노드가 증가할수록 인접노드의 수는 증가하게 되고 이에 따라 충돌횟수가 증가함에 따라 성공적으로 데이터를 전송하기 위해 재전송횟수가 증가하기 때문에 에너지가 증가하게 된다. 기존의 프로토콜과 비교하였을 때 제안된 프로토콜이 약 3배정도의 적은 에너지가 소비됨을 알 수 있다. 제안된 프로토콜은 전송채널을 획득하기 위해 예약구간에서만 수신상태를 유지하며, 데이터 전송 및 수신에 대한 정보를 미리 알고 있음으로 인해 데이터구간에서는 송수신상태에서만 활성화되며, 데이터를 확인하기 위한 ACK 메시지를 전

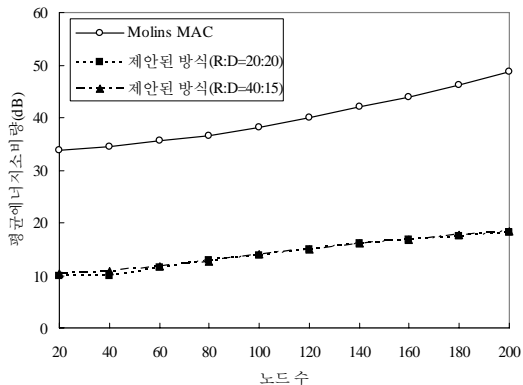


그림 9. 평균에너지 소비량(R: 예약구간 채널 수, D: 데이터구간 채널 수)

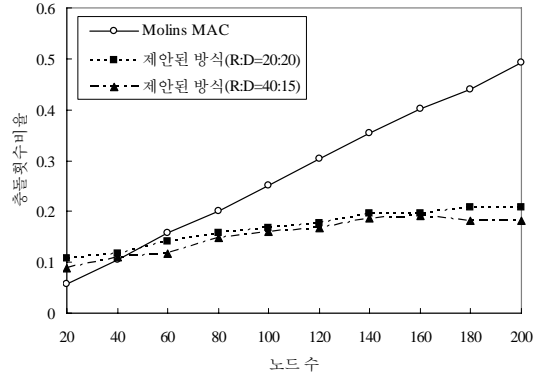


그림 10. 충돌횟수비율

송하지 않기 때문에 기존의 방식에 비해 에너지 소비가 작게 된다.

그림 10은 성공적으로 데이터를 전송하기까지 충돌횟수비율을 나타낸 것이다. 노드의 수가 적을 경우에 기존의 방식이 제안된 방식에 비해 충돌횟수가 적은 반면에 노드의 수가 증가할수록 제안된 방식이 충돌횟수가 적게 된다. 제안된 방식에서는 숨겨진 노드문제와 노출된 노드문제와 같은 채널충돌이 발생할 수 있는 상황에서 채널충돌이 발생하지 않도록 채널조정이 이루어지며, 채널예약방식을 사용함으로써 인접노드의 채널상황을 인지함으로써 충돌횟수를 줄일 수 있다. 특히 노드의 수가 증가하면 이러한 상황은 더 많이 발생하게 되며, 채널충돌의 증가속도는 기존의 방식에 비해 느리게 증가한다. 제안된 프로토콜에서는 주로 채널예약단계에서 채널충돌이 발생하게 된다. 따라서 예약구간의 수를 데이터구간의 수보다 높게 설정했을 때 채널충돌이 적게 발생함을 알 수 있다.

그림 11은 모든 노드가 데이터 전송을 위해 전송한 횟수에서 성공적으로 전송한 횟수인 처리율을

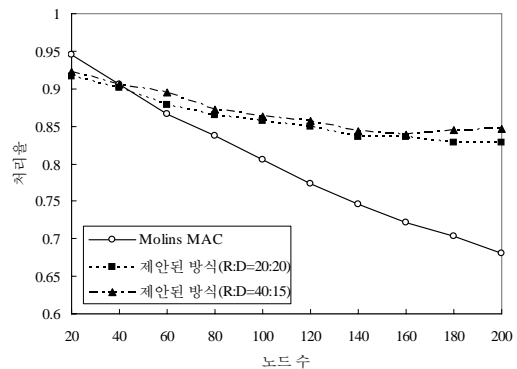


그림 11. 처리율

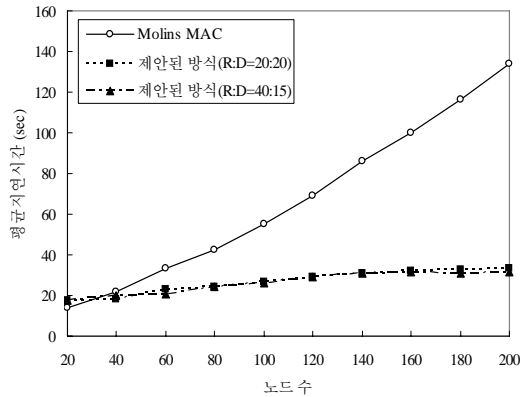


그림 12. 평균지연시간

나타낸 것이다. 충돌횟수와 마찬가지로 노드의 수가 적을 경우에는 기존의 방식이 다소 높지만 노드의 수가 많아질수록 제안된 방식이 처리율이 높음을 알 수 있다. 제안된 방식의 경우 노드의 수가 200일 경우 85%이상 유지하는 반면에 기존의 방식은 70%이하로 떨어짐을 볼 수 있다. 또한, 노드의 수가 증가함에 따라 제안된 방식은 완만히 감소하는 반면에 기존의 방식은 급격히 줄어들음을 볼 수 있다. 이것은 데이터충돌과 연관해서 설명할 수 있다. 충돌횟수가 증가할수록 성공횟수가 줄어들기 때문에 앞선 충돌횟수비율에서 본 바와 같이 기존의 방식이 제안된 방식에 비해 충돌횟수가 급격히 증가함을 볼 수 있었다. 따라서 기존의 방식이 제안된 방식에 비해 처리율이 급격히 감소하게 된다.

그림 12는 성공적으로 데이터를 전송하기 위해 소요되는 평균지연시간을 나타낸 것이다. 지연시간도 충돌횟수와 비례관계를 나타내며, 노드의 수가 증가할수록 기존의 방식은 빠르게 증가하는 반면에 제안된 방식은 느리게 증가한다.

지금까지 성능평가에서 나타난 바와 같이 제안된 프로토콜은 기존의 방식에 비해 전반적으로 성능이 우수함을 볼 수 있었다. 이것은 데이터 전송을 위해 채널예약방식과 숨겨진 노드문제와 노출된 노드문제를 해결할 수 있는 메커니즘을 사용함으로써 데이터 충돌확률이 낮아진 결과로 볼 수 있다. 하지만 전송프레임의 예약구간에서 2개의 제어 메시지 (REQ, RSP)를 사용함으로써 전송 범위 내에 인접 노드가 많고 예약구간이 작을 경우에는 노드 간 충돌이 발생할 확률이 증가하는 단점을 가진다.

## V. 결 론

본 논문에서는 수중음파를 이용한 센서네트워크에서 에너지 효율적이며 처리율 향상을 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 슬롯방식에서 데이터전송을 위한 예약방식을 사용하였으며, 예약구간과 데이터구간으로 구분된 전송프레임 구조로 이루어진다. 예약구간에서 모든 노드는 활성 상태를 유지하며 인접노드로 예약메시지를 송신 또는 수신할 수 있으며, 데이터구간에서는 예약된 데이터를 송신 또는 수신하게 된다. 제안된 프로토콜의 예약방식은 인접노드 간에 데이터충돌을 줄일 수 있으며 에너지효율을 향상시키는 장점을 가진다. 또한 애드혹 네트워크에서 발생할 수 있는 숨겨진 노드문제와 노출된 노드문제를 제어할 수 있는 메커니즘을 제공함으로써 데이터충돌을 줄임과 동시에 재전송으로 발생할 수 있는 전송지연과 에너지 소비를 줄일 수 있다. 본 논문에서는 제안된 프로토콜을 평균에너지소비량, 충돌횟수비율, 처리율, 평균지연시간 관점에서 기존의 프로토콜과 비교분석하였으며, 비교결과에서 기존의 프로토콜에 비해 성능이 우수함을 볼 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, and E. Cayiraci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, no. 38, pp. 393-422, 2002.
- [2] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," *Ad Hoc Networks(Elsevier)*, vol. 3, no. 3, pp. 257-279, May 2005.
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks," in *Proceedings of the IEEE INFORCOM*, pp. 1567-1576, Jun. 2002.
- [4] IEEE Standard 802.11 for Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications, Aug. 1999.
- [5] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks," vol. 12, pp. 493-506, Jun. 2004.
- [6] Y. Li, W. Ye, and J. Heidemann, "Energy and latency



control in low duty cycle MAC protocols," In proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Mar. 2005.

[7] M. Molins and M. Stojanovic, "Slotted FAMA: a MAC protocol for underwater acoustic network," In Proceedings of the IEEE OCEANS'06 Asia Conference, May 2006.

[8] C. L. Fullmer and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Floor acquisition multiple access (FAMA) for packet-radio networks," Jun. 1995.

[9] V. Rodoplu, and M. K. Park, "An energy-efficient MAC protocol for underwater wireless acoustic networks," In Proceedings of the IEEE OCEANS'05 Conference, Sep. 2005.

[10] A. A. Syed, W. Ye, and J. Heidemann. "T-Lohi: A New Class of MAC Protocols for Underwater Acoustic Sensor Networks," Technical Report ISI-TR-638, USC/Information Sciences Institute, Apr. 2007.

[11] K. R. Omer, "Time Synchronization in Ad Hoc Networks," In ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, 2001.

[12] E. M. Sozer, M. Stojanovic, and J. G. Proakis, "Underwater acoustic networks," IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 25, pp. 72-83, Jan. 2000.

[13] L. Berkhovskikh and Y. Lysanov, Fundamentals of Ocean Acoustics. New York: Springer, 1982.

장길웅 (Kil-woong Jang)

중신회원



1997년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 졸업

1999년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사

2002년 8월 경북대학교 컴퓨터 공학과 박사

2003년 3월~현재 한국해양대학교 데이터정보학과 부교수

<관심분야> 네트워크 프로토콜, 센서네트워크, 메쉬 네트워크