

---

# 다수의 게이트웨이를 갖는 수중 센서네트워크환경에서 QoS향상을 위한 MAC 프로토콜

이동원\* · 김선명\*

국립금오공과대학교

## A QoS Improved MAC Protocol for UWASN with Multi-Gateway

Dongwon Lee\* · Sunmyeng Kim\*\*

Kumoh National Institute of Technology

E-mail : prolinuxer@gmail.com\* · sunmyeng@kumoh.ac.kr\*\*

### 요 약

오늘날 해양자원 개발 및 연구에 대한 중요성이 크게 증대됨에 따라 수중센서네트 관련 분야에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다. 그러나 대부분의 연구가 단일 게이트웨이(Gateway)를 갖는 토폴로지(Topology)를 고려하여 진행되고 있다. 그러나 실제 수중센서 네트워크의 모델을 살펴보면 신뢰성을 보장하기 위해 다수의 게이트웨이가 존재한다. 본 논문에서는 기존의 연구와 달리 복수의 게이트웨이를 갖는 보다 실제적인 수중센서 네트워크 환경에서 효율적인 통신을 위하여 각 노드들 간의 데이터 충돌을 최소화하고 수중센서 네트워크의 QoS(Quality of Service)를 보장할 수 있는 MAC(Media Access Control) 프로토콜을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜과 기존 수중센서 네트워크를 위한 MAC과의 성능을 비교하고 평가한다.

### ABSTRACT

Underwater sensor network has attracted more and more attention from the networking research community recently. Most of traditional studies focus on the topology with a single gateway. Underwater sensor network consists of a variable number of sensors and multi-gateway to ensure the reliability of the network. In this paper, we propose a new MAC protocol that can reduce collisions among sensor nodes and improve QoS(Quality of Service) for underwater sensor network with multi-gateway. We evaluate the performance of the proposed scheme through simulation. Simulation results show that the proposed scheme outperforms the existing MAC protocol.

### 키워드

수중센서네트워크, 수중통신, MAC, UWASN, QoS

### 1. 서 론

오늘날 환경오염과 식량 및 자원 고갈 등의 문제로 해양자원의 개발을 위한 인류의 관심이 크게 증대되었다. 수중센서 네트워크는 해양 및 수중 자원의 개발과 탐구를 위한 기반 기술로 인식되고 있으며, 이러한 배경으로 수중센서 네트워크

관련 분야에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다 [1][2][3]. 그러나 대부분의 연구가 단일 게이트웨이를 갖는 토폴로지를 고려하여 진행되고 있다. 실제 수중센서 네트워크의 모델을 살펴보면 시스템의 신뢰성을 보장하기 위해 다수의 게이트웨이가 공존하는 형태를 갖는다[3]. 단일 게이트웨이를 갖는 시스템에 비해 다수의 게이트웨이를 갖

는 시스템에서는 데이터의 흐름이 보다 복잡하며 이로 인하여 시스템 성능의 저하를 가져오게 된다. 수중통신 채널 환경은 높은 BER(Bit Error Ratio)과 긴 전파 지연시간으로 인해 데이터 패킷(Data Packet)의 충돌이 빈번히 발생하게 된다. 이러한 현상은 각 노드의 빈번한 데이터 재전송 요청을 발생시키며 각 노드의 채널을 선점하기 위한 경쟁시간을 증가시켜 결국 시스템 전체의 성능을 크게 감소시키는 원인이 된다[1][2][3]. 특히 다수의 게이트웨이를 갖는 시스템에서의 성능 저하는 더욱 심각하게 발생한다.

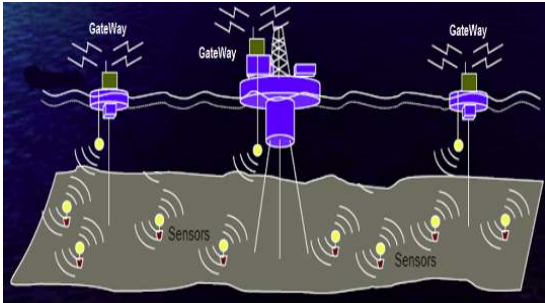


그림 1. 수중센서네트워크의 시스템구성 예

본 논문에서는 그림 1과 같이 복수의 게이트웨이를 갖는 수중센서 네트워크 환경에서 효율적인 통신을 위하여 각 노드들이 전송한 데이터의 충돌을 최소화하여 수중센서 네트워크에서의 QoS를 보장하기위한 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 프로토콜의 전체적인 동작 방법에 대하여 기술하고, 3장에서는 각 노드간의 거리측정 방법을 기술한다. 4장에서는 제안된 프로토콜의 충돌 회피 기법을 자세히 기술하고, 마지막 5장에서는 제안된 프로토콜과 기존 수중 센서네트워크를 위한 MAC과의 시뮬레이션을 통해 성능을 비교하고 평가한다. 마지막 6장에서는 결론을 맺는다.

## II. 기본 동작원리

본 논문에서 제안하는 프로토콜에서는 최초 노드 배치 후 각 노드는 이웃하고 있는 노드들 간의 거리를 측정한다. 각 노드는 최초 1회 거리를 측정하며 측정이 종료된 후 노드가 수명이 다할 때 까지 통신 기능만을 수행한다.

각 노드들은 각 목적노드별로 하나의 송신큐(Queue)를 갖는다. 각 노드가 데이터를 수신하면 그 데이터가 자신을 목적노드로 하는지를 검사하고 그렇지 않은 경우 해당 목적 노드용 송신큐에 데이터를 저장한다. 목적 노드용 송신큐가 없는 경우는 해당 큐를 새롭게 생성한 후 데이터를 저장한다. 각 노드는 주기적으로 큐의 내부에 데이터의 존재를 검사하고 존재하는 경우 데이터 송신을 위한 채널 경쟁에 들어간다. 대부분의 무선

통신에서는 각기 하나의 소스노드와 목적노드간의 RTS, CTS를 이용해서 채널이 예약된다. 그러나 제안하는 프로토콜에서는 그림 2의 RTS와 같이 패킷 내부에 다수의 목적노드 ID와, 각 목적노드의 RTS 수신 후 CTS 응답까지의 지연시간을 기록하여 전송한다. 이러한 방법을 이용 한번의 RTS전송과 CTS응답을 통해 1대 다간의 채널예약이 동시에 이루어진다.

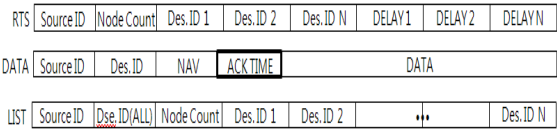


그림 2. 주요 패킷구조

RTS전송 노드는 각 목적노드가 전송하는 CTS 간의 충돌 없는 수신을 위해 앞서 측정된 각 노드간의 거리 정보를 이용 응답지연시간을 산출하고 그 정보를 이용해서 CTS의 응답시간을 스케줄링(Scheduling)한다. CTS응답을 통해 채널을 얻게 되면 송신 노드는 목적 노드로의 데이터 전송 순서를 결정하고 그 순서에 따라 데이터를 전송한다. 제안하는 프로토콜은 한 번의 채널점유를 통해 다수의 목적지로 데이터를 전송함으로써 각 노드들 간의 경쟁 횟수를 줄이고 QoS를 보장한다. 또한 다른 물리적 방위를 갖는 각 노드들로 데이터를 전달할 수 있어 전체 통신 성능을 크게 향상시킨다.

## III. 노드간 거리측정

지상에서의 센서 네트워크에서는 GPS(Global Positioning System)를 이용 손쉽게 위치정보를 얻을 수 있고 이를 이용 노드간 거리의 측정이 가능하다. 그러나 수중에서는 전파가 수중으로 흡수되어 GPS를 이용할 수 없다. 일반적으로 수중에서의 위치인식은 RSSI (Received Signal Strength Indicator)와 RTT(Round Trip Time)를 이용하여 각 노드간의 상대적 위치를 추정할 수 있다 [4].

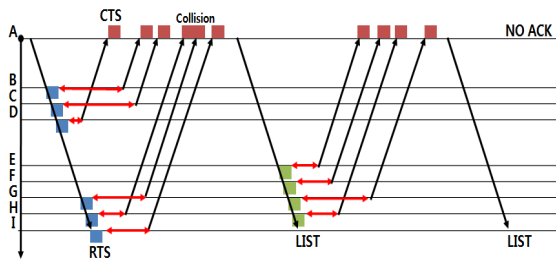


그림 3. 노드간 거리 측정방법

제안하는 프로토콜에서는 한번의 RTS전송을 통해 여러 노드와의 채널 예약을 충돌 없이 진행하기 위해 노드간의 거리 정보를 이용한다. 각 노

드들은 자신과 이웃하는 노드들 간의 거리를 얻기 위해 최초 수중에 배치 후 RTS를 전송하고 CTS 응답이 돌아오기까지의 시간을 측정한다. 이때 이용되는 RTS는 모든 노드들로 방송되며 소스 노드의 ID만을 데이터로 갖는다. RTS를 수신한 각 노드는 비슷한 거리의 노드들과의 충돌을 피하기 위해 랜덤하게 생성된 시간 이후 CTS를 전송한다. 이때 생성된 랜덤시간 값은 CTS 패킷에 실어 전송하게 된다.

$$RTT = \text{패킷왕복시간} + \text{랜덤시간} \quad (1)$$

$$\text{전파지연시간} = (RTT - \text{랜덤시간}) / 2 \quad (2)$$

$$\text{노드간 거리} = \text{수중음속} \times \text{전파지연시간} \quad (3)$$

CTS를 수신한 노드는 식(1),(2),(3)을 이용해서 노드간의 거리를 얻을 수 있다. 그림 3은 A노드가 각 노드와의 거리를 결정하는 과정을 보여주고 있다. 거리 측정을 원하는 A노드는 RTS전송 후 CTS를 대기한다. CTS를 수신한 A노드는 수신된 각 노드의 ID정보를 그림 2의 LIST 패킷을 이용 송신한다. LIST를 수신한 노드가 자신의 ID가 LIST내에 존재하지 않는 경우 CTS를 전송하고 그 외의 경우 일정시간 수신 대기 후 이웃과의 거리 측정을 위한 상태로 천이한다.

A노드는 모든 이웃하고 있는 노드와의 거리가 모두 측정될 때 까지 LIST 전송을 반복하고 모든 노드간의 거리측정이 완료되면 수신 대기상태로 들어간다. 각 노드들은 이러한 과정을 통해 이웃하고 있는 각 노드와의 거리를 측정하고 이 정보를 저장 후 거리측정 상태를 벗어난다.

#### IV. 충돌회피 방법

본장에서는 노드간의 거리정보를 가지고 있는 각 노드들의 통신방법과 충돌회피 방법을 살펴본다.

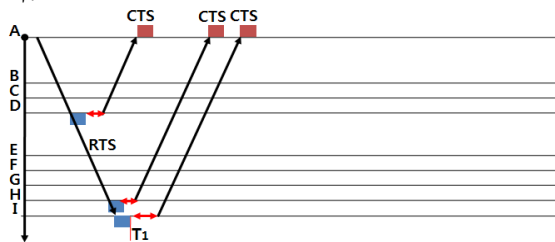


그림 4. 채널예약 방법

각 노드들은 자신의 송신큐의 데이터 존재 여부를 확인한다. 송신큐 내부에 전송대기 데이터가 검출되면 채널 점유를 위해 RTS를 전송한다. 이때 그림 2의 RTS 패킷을 이용한다. RTS 패킷에는 각 전송큐의 목적노드 ID와 각 목적노드들간의 충돌 없는 응답을 위해 CTS응답지연시간을 DELAY 필드에 실어 전송한다. 응답지연시간은 비슷한 거리에 있는 노드들이 동시에 CTS를 전송함

으로써 발생하는 충돌을 예방하기 위해 사용되며 이것은 각 노드와의 거리를 알고 있기 때문에 가능하다. 즉 충돌예상 거리에 있는 각 노드들에게 각기 일정 지연시간 이후에 응답하게 함으로써 CTS응답의 충돌을 회피한다. 그림 4와 같이 9개의 노드가 배치되어 있고 A노드는 각기 C, H, I 노드를 목적노드로 갖는 네트워크가 있다고 가정한다. 이때 RTS에 대하여 각 노드가 지연시간 없이 CTS를 전송한다면 H와 I노드의 CTS는 충돌에 의해 A노드에서 정상적으로 수신할 수 없다. 이 경우 그림 4,5에서와 같이 마지막 노드로 RTS가 완전히 전달된 시간  $T_1$ 을 기준으로 각 노드들을 정렬하고, 각 노드별로 CTS 응답 지연값을 계산 후 전송한다.

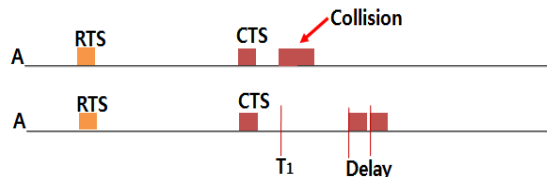


그림 5. CTS 충돌회피 방법의 예

CTS를 수신한 노드는 가까운 거리의 노드 순으로 DATA를 전송한다. 이 때 NAV(Network Allocation Vector)값과 ACK TIME 값을 설정하여 전송한다. ACK TIME은 각 노드가 데이터를 수신 후 충돌 없이 ACK를 전송하기 위한 ACK 응답지연시간을 의미하며 충돌이 예상되는 노드들은 그림 6,7에서와 같이 마지막 DATA가 목적노드로 완전히 전달되는 시간  $T_1$ 을 기준으로 각 노드들을 정렬하고, 각 노드별로 ACK 응답 지연값을 계산 후 ACK TIME으로 제공한다.

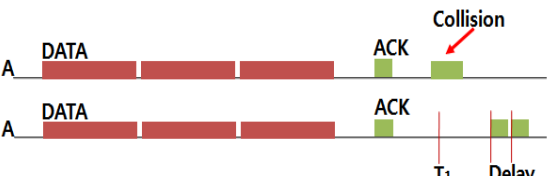


그림 6. ACK 충돌회피 방법의 예

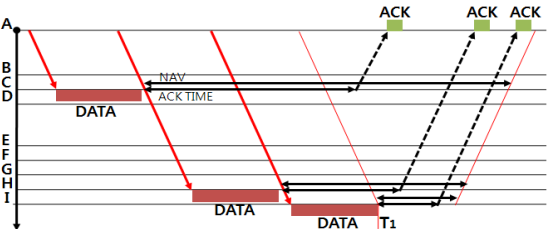


그림 7. 데이터 전송방법

하나의 노드로 DATA 전송이 종료되면 연속해서 다음으로 인접 목적 노드로 데이터를 전송한다. 마지막 DATA를 전송한 후 일정시간(마지막 NAV + 전파지연시간)동안 ACK 수신을 대기하고 그 후 수신 대기상태로 들어간다. ACK를 정상적으로 수신한 경우 A노드의 해당 송신큐에서

데이터를 삭제하고 ACK가 없는 경우에는 송신큐의 데이터를 보존하여 다음 채널 점유 시 데이터를 전송한다. DATA를 수신한 각 노드는 ACK TIME 이 후 ACK를 전송하며 주어진 NAV시간이 후 송신큐를 검사하고 전송할 데이터가 존재하는 경우 채널 점유를 위한 경쟁을 시작한다. 송신큐에 어떠한 데이터도 존재하지 않을 경우 해당 노드는 수신 대기상태로 들어간다.

### V. 실험 및 평가

본 논문에서 NS2를 이용하여 제안된 프로토콜을 구현하고 그 성능을 평가하였으며 이때 이용된 수중 초음파 통신 채널의 모델은 [5]의 논문에서 제안된 Underwater Miracle을 이용하였다.

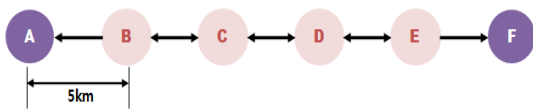


그림 8. 실험을 위한 노드 배치

제안하는 프로토콜의 성능 실험을 위해 6개의 노드를 5Km 간격으로 배치하고 A, F노드를 목적 노드로 갖는 노드 B, C, D, E를 그림 8과 같이 배치하였다. 각 노드의 전송속도는 9600bps를 이용하였으며 좌우로 배치된 인접한 노드와의 통신만 가능하며 각 노드는 고정된 라우팅(Routing)경로를 갖는다. B, C, D, E 노드는 각기 랜덤하게 A와 F방향으로 125Byte 크기의 패킷을 전달하며 이때 A노드에서의 시간당 데이터 수신량을 관찰하였다. 성능의 비교대상으로 Aloha알고리즘을 제안하는 알고리즘과 동일 조건으로 실험하였다.

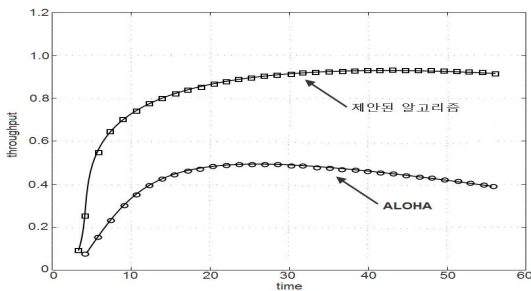


그림 9. 통신 처리량

그림 9는 제안된 알고리즘과 Aloha알고리즘의 통신 처리량을 보여주고 있으며 제안된 알고리즘이 Aloha 알고리즘에 비해 우수한 통신 처리 성능을 보여 주고 있음을 알 수 있다. 이때 통신 처리량은 식(4)을 이용해 계산하였다.

$$\text{통신 처리량} = \text{수신량} \div (9600 \times \text{수신시간}) \quad (4)$$

### VI. 결 론

본 논문에서는 다수의 게이트웨이가 존재하는 실제적인 수중센서네트워크에서 효율적으로 QoS를 보장하기위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 프로토콜은 여러 목적노드로 동시에 데이터를 전송하기 위해 각 노드는 다채널 송신큐를 갖는다. 또한 최초 배치 후 이웃하는 노드들과의 거리정보를 수집하고 그 정보를 이용 다수의 노드들로부터 수신되는 각종 응답(CTS, ACK)의 충돌을 예측하고, 각 노드가 충돌 없이 응답할 수 있는 지연값을 제공함으로써 1대 다 통신 가능하게 하였다. 또한 NS2를 이용하여 제안된 MAC 프로토콜과 기존 Aloha방식의 성능을 비교하였고 그 성능의 우수성을 검증하였다. 본 연구의 결과를 기존의 수중센서 네트워크에 적용한다면 기존의 MAC 프로토콜에 비해 보다 우수한 QoS를 보장 받을 수 있으며 이를 통해 효율적인 통신이 가능함을 확인할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Jim Partan<sup>1,2</sup>, Jim Kurose<sup>1</sup>, and Brian Neil Levine<sup>1</sup>, "A Survey of Practical Issues in Underwater Networks", Special section on ACM WUWNet 2006, pp.23-33, 2006
- [2] Ghalib A. Shah, "A Survey on Medium Access Control in Underwater Acoustic Sensor Networks", 2009 International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2009
- [3] Wenli Lin, Deshi Li, Ying Tan, Jian Chen, Tao Sun, "Architecture of Underwater Acoustic Sensor Networks :A Survey", First International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems
- [4] Vijay Chandrasekhar, Winston KG Seah, Yoo Sang Choo, and How Voon Ee, "Localization in Underwater Sensor Networks - Survey and Challenges", Proceedings of the 1st ACM international workshop on Underwater network, pp.33-40, 2006
- [5] Albert F. Harris III, and Michele Zorzi, "Modeling the underwater acoustic channel in ns2", Proceedings of the 2nd international conference on Performance evaluation methodologies and tools, Article NO:18, 2007