
수중 센서 네트워크를 위한 경쟁 기반 매체 접근 제어 프로토콜 성능 분석 연구

정한나* · 윤창호** · 조아라* · 임용곤**

*과학기술연합대학원대학교 · **한국해양연구원

Performance Analysis of Contention-based Medium Access Control Protocols for Underwater Sensor Networks

Hanna Chung* · Changho Yun** · A-Ra Cho* · Yong-Kon Lim**

*University of Science and Technology · **Korea Ocean Research & Development Institute

E-mail : smile5@moeri.re.kr

요 약

본 논문에서는 수중 센서 네트워크를 위한 경쟁 기반 매체 접근 제어 (MAC) 프로토콜들의 성능을 분석한다. 다양한 수중 네트워크 환경을 모사한 Qualnet 기반의 수중 네트워크 시뮬레이터를 이용하여, ALOHA, CSMA, CSMA-RTS-CTS 및 CSMA-RTS-CTS-ACK 프로토콜 등의 성능을 수신 패킷의 수와 종단간 전송 시간 측면에서 비교한다. 시뮬레이션 결과를 이용하여, 향후 수중 네트워크 개발 시 경쟁 기반 MAC 프로토콜을 선택하는데 참고할 수 있는 지표를 제시한다.

ABSTRACT

The paper deals with the performance of contention-based medium access control (MAC) protocols for underwater sensor networks. We extensively analyze the number of received-packets and the end-to-end delay of ALOHA, CSMA, CSMA-RTS-CTS and CSMA-RTS-CTS-ACK protocols using a Qualnet underwater network simulator which accommodates diverse underwater acoustic channel environments. Using simulation results, we support an engineering table to determine an adequate contention-based MAC protocol for underwater sensor networks.

키워드

수중 센서 네트워크, 매체 접근 제어, 프로토콜, 경쟁기반, ALOHA, CSMA, 수중 음향 통신

1. 서 론

수중에 대한 관심이 증가함에 따라, 수중 모니터링, 감시, 해저 탐사 및 수중 레저 등 다방면에서 음파를 이용한 수중 센서 네트워크 기술이 사용되고 있다[1][2]. 수중 센서 네트워크의 다양한 응용성에도 불구하고, 수중 통신 환경은 극도로 제한된 대역폭, 긴 전파지연 시간 그리고 제한적인 배터리 파워 등의 특징을 갖고 있다[3]. 특히, 제한된 대역폭 때문에 센서 노드들은 네트워크 자원을 서로 공유해야 한다. 센서 노드들은 medium access control (MAC) 프로토콜을 이용

하여 데이터 전송 순서를 정하고 네트워크 자원을 보다 효율적으로 공유할 수 있다.

MAC 프로토콜은 크게 비경쟁 기반과 경쟁 기반으로 구분된다. 비경쟁 기반 MAC 프로토콜은 주파수 분할 다중 접속, 시간 분할 다중 접속 및 코드 분할 다중 접속으로 구성되고, 경쟁 기반 MAC 프로토콜은 ALOHA, carrier sense multiple access (CSMA), CSMA - request-to-send(RTS) - clear-to-send (CTS), CSMA-RTS-CTS-acknowledgement (ACK) 등으로 구성된다. 경쟁 기반 MAC 프로토콜은 비경쟁 기반 MAC 프로토콜에 비해 동기화와 복잡한 코드

가 필요하지 않고 모든 대역폭을 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 수중 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜로 경쟁 기반을 주로 사용하고 있다[4][5][6].

본 논문에서는 시뮬레이션을 이용해 수중 센서 네트워크에 적합한 경쟁 기반 MAC 프로토콜을 알아보려 한다. 이를 위해, 다양한 수중 네트워크 환경을 모사한 Qualnet 기반의 수중 네트워크 시뮬레이터를 구현하여, 경쟁 기반 MAC 프로토콜들의 수신 패킷의 수와 종단간 전송 시간의 성능을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 경쟁 기반의 기본 MAC 프로토콜을 소개하고, 3장에서는 수중 센서 네트워크를 간략히 설명한 후, 4장에서는 시뮬레이션 조건 및 결과를 제시하고 5장에서는 본 연구의 결론을 맺는다.

II. 경쟁 기반 MAC 프로토콜

수중 센서 네트워크에서 센서 노드들은 데이터 전송을 위해 채널을 점유하려고 한다. 경쟁 기반 MAC 프로토콜은 각각의 센서 노드에게 자원을 미리 할당하지 않고 노드의 요청이 있을 때 자원을 할당한다.

a. ALOHA

ALOHA 프로토콜은 노드가 원하면 언제든지 데이터를 전송할 수 있다. 데이터 간 충돌이 발생하면 노드는 재전송을 시도하는데 그로 인해 패킷 충돌 횟수가 증가하여 수율이 감소한다[4].

b. CSMA

CSMA 프로토콜은 데이터를 전송하기 전에 채널 상태를 확인한 후, 채널이 유효 상태일 때 데이터를 전송할 수 있다[4]. 만약 충돌이 발생하면, 노드는 랜덤 시간(back-off)을 기다린 후에 데이터 전송을 위해 채널 상태를 확인해야 한다. CSMA 프로토콜은 충돌 가능성은 줄였지만 여전히 hidden/exposed terminal 문제가 남아 있다.

c. CSMA-RTS-CTS

CSMA-RTS-CTS 프로토콜은 채널 상태를 감지한 후 RTS와 CTS라는 제어 패킷을 사용하여 기존의 CSMA 프로토콜의 문제점을 해소시킨다[4]. 하지만 CSMA-RTS-CTS 프로토콜은 automatic repeat request (ARQ) 기능이 없기 때문에 신뢰성 있는 전송을 보장하지는 않는다.

d. CSMA-RTS-CTS-ACK

CSMA-RTS-CTS-ACK 프로토콜은 CSMA-RTS-CTS 프로토콜의 확장된 형태로서, 성공적인 데이터 전송 후에 ACK 패킷을 전송하여 신뢰성 높은 데이터 전송을 보장한다[7].

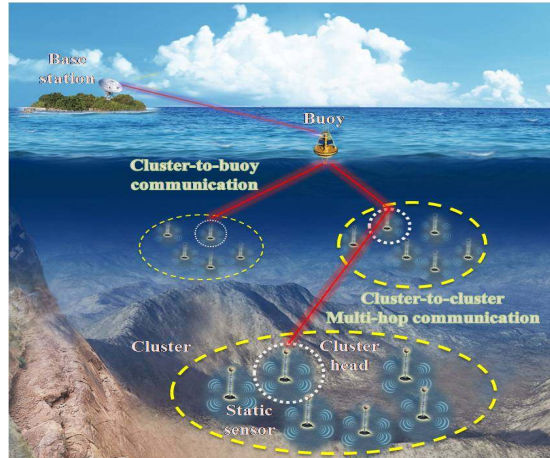


그림 1. 수중 센서 네트워크 구조

III. 수중 센서 네트워크

수중 센서 네트워크는 정적이거나 동적인 센서 노드를 이용하여 데이터 수집 및 전달하는 네트워크이다[9]. 그림 1에서와 같이, 센서 노드들은 수중 음향 통신 링크로 연결되어 있고, 센서 노드는 목표 물체를 감지하여 육상으로 데이터를 전달한다. 이러한 센서 노드들의 집합을 클러스터(cluster)라고 하고 클러스터에는 하나의 클러스터 헤드(cluster head)가 존재한다. 클러스터 헤드는 나머지 노드들로부터 전달받은 데이터를 주변의 다른 클러스터 헤드로 전달하는 다중 홉(multi-hop) 통신을 하거나 부표(buoy)로 직접 전달하는 원 홉(one-hop) 통신을 한다. 부표는 전달받은 데이터를 기지국(base station)으로 송신한다.

센서 노드의 통신 방식은 중앙집권형(centralize-d)와 분권형(decentralized)으로 나뉜다. 중앙집권형의 경우, 부표나 클러스터 헤드와 같은 중앙 관리자가 노드 간의 통신을 제어한다. 그 반면, 분권형은 중앙 관리자 없이 노드가 동등 계층(peer-to-peer) 통신이나 다중 홉 통신을 한다[8].

IV. 시뮬레이션

우리는 수중 센서 네트워크 시뮬레이션을 위해 음향 신호의 감쇠와 수중 음향 전파 지연을 고려하여 Qualnet 기반 수중 음향 채널 라이브러리를 구현하였다[10]. 4장에서는 시뮬레이션 조건을 설명하고 시뮬레이션 결과를 제시한다. 수중 시뮬레이션 환경은 부표와 센서 노드와의 원 홉 통신으로 설정하고, 시뮬레이션 조건은 표 1과 같이 구성하였다.

아래의 조건을 바탕으로 트래픽 간격, 송신 패킷 수 및 활성 노드 수를 변화시켜 시뮬레이션을 수행했고 그림 2와 같은 결과를 도출했다.

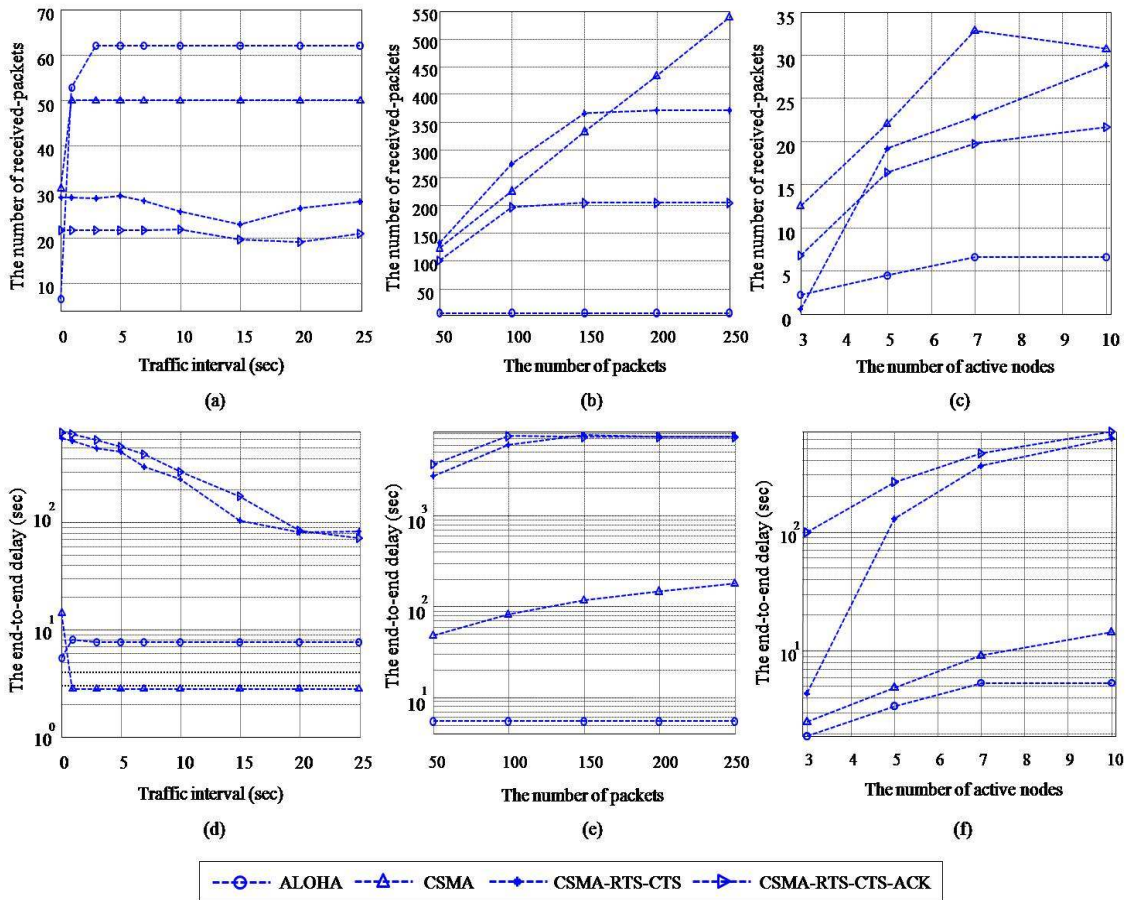


그림 2. 수중 센서 네트워크를 위한 경쟁 기반 MAC 프로토콜의 성능 비교
 (a) 트래픽 간격에 따른 수신 패킷의 수 (b) 송신 패킷 수에 따른 수신 패킷의 수
 (c) 활성 노드 수에 따른 수신 패킷의 수 (d) 트래픽 간격에 따른 종단간 전송 시간
 (e) 송신 패킷 수에 따른 종단간 전송 시간 (f) 활성 노드 수에 따른 종단간 전송 시간

표 1. 시뮬레이션 조건

요소	값
네트워크 사이즈	1.5km x 1.5km
노드	10개
패킷 사이즈	64 바이트
트래픽	일정한 비트율 (CBR)
데이터율	9600 bps
수중 채널 대역폭	10 KHz
채널 주파수	20 KHz
변조 방식	QPSK
안테나 종류	무지향성 안테나
트래픽 간격	0.1, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25초
송신 패킷 수	50, 100, 150, 200, 250개
활성 노드 수	3, 5, 7, 10개

트래픽 간격 측면에서 보면, 트래픽 간격이 커

질수록 센서 노드 간의 경쟁이 심화되지 않기 때문에 충돌 가능성이 작아지므로 수신 패킷의 수는 증가하고 종단간 전송 시간은 감소하게 된다. 반면에, 트래픽 간격이 커질수록 종단간 전송 시간이 증가하게 되는데, 이는 센서 노드들이 패킷을 모두 전송하는 시간이 길어지기 때문이다. 그림 2 (a)와 (d)에서 보듯이, 트래픽 간격이 커져 경쟁이 심하지 않은 환경에서는 ALOHA 프로토콜이 보다 나은 성능을 보였고, CSMA 프로토콜은 트래픽 간격의 변화에 크게 상관없이 좋은 성능을 보였으며 종단간 전송 시간도 낮았다. 하지만 CSMA-RTS-CTS와 CSMA-RTS-CTS-ACK 프로토콜의 경우에는 제어 패킷을 교환하기 때문에 전파 지연 시간이 긴 수중 환경 특성으로 인해 종단간 전송 시간도 길고, 수신 패킷의 수도 낮게 나왔다.

그림 2 (b)와 (e)에서 보듯이, 송신 패킷 수가 증가함에 따라 수신 패킷의 수가 증가하지만, 종단간 전송 시간도 같이 증가한다. ALOHA 프로토콜의 경우에는 송신 패킷 수가 증가할수록 모

든 센서 노드들이 동시에 패킷을 많이 전송하므로, 경쟁이 심화되어 패킷 전송이 거의 되지 않아 수신 패킷의 수가 가장 낮게 나왔으며, 종단간 전송 시간 또한 가장 낮은 결과를 보였다. 반면, CSMA 프로토콜은 수신 패킷의 수와 종단간 전송 시간 측면에서 다른 MAC 프로토콜들보다 우수한 성능을 보였다.

마지막으로, 그림 2 (c)와 (f)에서 보듯이 활성 노드 수가 증가할수록 수신 패킷의 수가 증가하지만 종단간 전송 시간 또한 증가함을 볼 수 있었다. CSMA 프로토콜이 수신 패킷의 수 측면에서 다른 MAC 프로토콜들보다 성능이 가장 좋았으며, 종단간 전송 시간은 ALOHA 프로토콜 다음으로 좋은 성능을 보였다.

결과적으로, 이상의 시뮬레이션 결과를 통해 경쟁 기반 MAC 프로토콜 중에서 CSMA 프로토콜이 수신 패킷의 수와 종단간 전송 시간 측면에서 ALOHA, CSMA-RTS-CTS, CSMA-RTS-CTS-ACK 프로토콜보다 나은 성능을 보임을 알 수 있었다. 더불어, 경쟁이 심하지 않아 네트워크 부하가 낮은 환경에서는 수신 패킷의 수와 종단간 전송 시간 측면에서 ALOHA 프로토콜이 가장 좋은 성능을 제공하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 수중 센서 네트워크에 가장 적합한 경쟁 기반 MAC 프로토콜을 선택하기 위해, ALOHA, CSMA, CSMA-RTS-CTS 및 CSMA-RTS-CTS-ACK 프로토콜의 성능을 수신 패킷의 수와 종단간 전송 시간 측면에서 분석하였다. 이를 위해, 다양한 수중 네트워크 환경을 모사한 Qualnet 기반의 수중 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 수중 음향 채널 라이브러리를 구현하였고, 트래픽 간격, 송신 패킷 수 및 활성 노드 수를 포함한 다양한 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 결과적으로 CSMA 프로토콜이 수신 패킷의 수와 종단간 전송 시간 측면에서 다른 MAC 프로토콜들보다 우수한 성능을 제공하였으므로, CSMA 프로토콜을 수중 센서 네트워크를 위한 경쟁 기반 MAC 프로토콜로 적용할 수 있을 것이다.

향후, 도출된 결과를 더 보완하기 위해서 수중 이동 네트워크, 수중 하이브리드 네트워크 등의 보다 확장된 네트워크 구조와 다양한 네트워크 환경을 고려한 시뮬레이션 작업이 필요할 것이며, 그 결과는 향후 수중 네트워크 개발 시 가장 적합한 경쟁 기반 MAC 프로토콜을 선택하는데 참고할 수 있는 지표가 될 것이다.

후 기

본 연구결과는 국토해양부 "수중무선통신 시스템 개발" 과제로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Akyildiz, I. F., Pompili, D., and Melodia, T., State-of-the-art in protocol research for underwater acoustic sensor network, ACM Mobile Computing and Communication Review, vol.11, no.4, 2007.
- [2] Chitre, M., Shahabudeen, S., and Stojanovic, M., Underwater acoustic communications and networking: recent advances and future challenges, Marine technology society journal, vol.42, no.1, pp.103-116, 2008.
- [3] Jiang, Z., Underwater acoustic networks - issues and solutions, International Journal of Intelligent Control and Systems, vol.13, no.3, pp.152-161, 2008.
- [4] Sozer, E. M., Stojanovic, M., and Proakis, J. G., Underwater acoustic networks, IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol.25, no.1, pp.72-83, 2000.
- [5] Casari, P., and Zorzi, M., Protocol design issues in underwater acoustic networks, Computer Communications, vol.34, no.17, pp.2013-2025, 2011.
- [6] Nguyen, H. T., Shin, S. Y., and Park, S. H., State-of-the-art in MAC protocols for underwater acoustics sensor networks, EUC Workshops, pp.482-493, 2007.
- [7] Bharghavan, V., Demers, A., Shenker, S., and Zhang, L., MACAW: a media access protocol for wireless LANs, ACM SIGCOMM, pp.212-225, 1994.
- [8] Nasri, N., Kachouri, A., Andrieux, L., and Samet, M., Surveys of design considerations for underwater networks, SETIT 2009, pp.1-5, 2009.
- [9] Akyildiz, I. F., Pompili, D., and Melodia, T., Underwater acoustic sensor networks: research challenges, Ad Hoc Networks(Elsevier), vol.3, no.3, pp.257-279, 2005
- [10] Harris, A. F. and Zorzi, M., Modeling the underwater acoustic channel in ns2, NSTools 2007, 2007