

수중 통신에 적합한 CSMA기반 매체접근제어 프로토콜 연구

Performance analysis of CSMA based MAC protocols for underwater communications

송민제*, 장윤선**★

Min-Je Song*, Youn-Seon Jang**★

Abstract

In underwater communications, there are many challenges due to energy limitations, long propagation delay, low data rate, and high power loss, unlike terrestrial RF communications. Especially, the propagation delay of underwater acoustic channel is five orders of magnitude higher than in electro-magnetic terrestrial channels due to the low speed of sound(1,500m/s). Thus, the MAC protocols for terrestrial communications are not suitable for underwater network. In this paper, we studied the considerations for MAC protocol in underwater acoustic channel. Here, we concentrated on CSMA based MAC protocols. From the results, we confirmed that the number of control packets has an important effect on the performance in underwater environment. These results would be useful in designing MAC protocols for underwater acoustic communications.

요약

지상의 무선 통신 환경과 비교하여 수중 환경은 전력제한, 긴 전파지연, 낮은 전송율, 큰 전파손실 등 통신에 불리한 많은 제약적인 특성들이 존재한다. 전파의 신호 감쇠가 심하여 상대적으로 전송 손실이 낮은 음파를 이용하여 통신하게 되는데 음파의 수중 속도는 약 1,500m/s로 지상의 전파속도에 비해 매우 느린 속도를 가진다. 따라서, 지상 통신을 위해 제안된 기존의 MAC 프로토콜들은 바로 수중 통신에 적용될 수 없고 수중 환경에 적합하게 새로운 설계가 필요하다. 본 논문은 무선망의 대표적인 CSMA 기반 MAC 프로토콜들에 대해 수중 환경에서 그 성능을 비교 분석하여 수중통신에 적합한 MAC 프로토콜 설계를 위한 중요 고려 사항들을 제시하였다. 분석결과, 수중환경에서는 제어 패킷의 개수가 MAC 프로토콜의 성능에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었고, 이 결과는 수중 통신에 최적적인 새로운 MAC 프로토콜을 제안하는 연구들에 기초 자료로 이용될 수 있을 것이다.

Key words : sensor network, MAC(Media Access Control) protocol, CSMA(Carrier Sensing Multiple Access), underwater communication, acoustic wave

* Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

** Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University

★ Corresponding author

E-mail : jangys@cnu.ac.kr, Tel : +82-42-821-6586

※ Acknowledgment

This work was supported by research fund of Chungnam National University

Manuscript received Dec. 7, 2018; revised Dec. 16, 2018; accepted Dec. 20, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

수중 통신은 해양 정보 수집, 해양 자원 개발, 인명 구조, 해양 방위 등의 목적으로 여러 분야에서 활발하게 연구되고 있다. 수중 통신 기술은 명확한 국제 표준이 제정되어 있지 않기 때문에 국제적으로 안정화 되어 있지 않다. 그러므로 수중 통신망 기술에 대해 원천 기술을 선점한다면, 해양 개발 기술의 해외 의존도를 줄여 국가 경쟁력을 높일 뿐만 아니라 지식 기반의 고부가가치 창출이 가능할 것으로 전망된다.

본 논문은 수중 통신을 위한 매체접속제어(MAC : Media Access Control) 프로토콜에 대한 연구이다. 통신망에서 여러 노드가 통신 매체를 공유할 때 데이터 충돌 없이 매체를 효율적으로 사용하는데 필요한 제어 프로토콜을 MAC 프로토콜이라 하며 크게 경쟁 기반과 비경쟁 기반으로 분류된다. 미리 채널이 할당되는 비경쟁기반에 비해 경쟁기반은 데이터 충돌이 발생되기 때문에 충돌을 줄이기 위해 노드간의 제어 패킷이 요구된다. 전파속도가 빠른 지상에서는 제어 패킷의 전송시간으로 인해 성능에 미치는 영향이 없지만, 수중환경에서는 음파속도가 약 $1500m/s$ 로 지상에서 비해 상당히 긴 전파 지연을 갖게 되므로 수중 MAC 프로토콜에서 사용되는 제어 패킷들은 전송지연이나 수율 같은 통신 성능에 영향을 미친다. 그러므로, 본 논문에서는 제어 패킷의 개수를 고려하여 경쟁 기반 MAC 프로토콜 중에서 가장 대표적인 CSMA(Carrier Sense with Multiple Access)를 기반으로 하는 기존의 몇 가지 MAC 프로토콜들을 대상으로 수중 통신에 적용했을 경우 전송지연이나 수율의 측면에서 성능을 비교 및 분석하여 수중 환경에 적용가능성을 제시하고자 한다.

II. 본론

1. 고려한 CSMA 기반 MAC 프로토콜

수중 환경에서는 동기화 문제, 좁은 대역폭 등의 제한 사항들로 인해 비경쟁 방식 보다는 경쟁 방식 MAC 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 CSMA를 기반으로 하는 경쟁 방식 중에서 기본 Non-persistent CSMA 프로토콜 [1]과 무선의 대표적 MAC 프로토콜인 IEEE 802.11

DCF (Distributed Coordination Function)[2], 그리고 제어 패킷을 줄인 MACA-BI (Multiple Access Collision Avoidance-By Invitation) 프로토콜[3]을 중심으로 성능을 비교하여 제어 패킷의 영향을 연구하였다. 여기서 사용된 backoff time은 slot time을 기반으로 한 이산시간(discrete-time)을 가진다.

2. 성능 비교 결과

2차원 마르코프 체인 모델을 사용하여 MAC 프로토콜의 전송지연과 수율에 대한 성능을 분석하였다. 정규화된 수율(Normalized Throughput)은 패킷 전송 시 채널이 비어있는 시간과 전송 성공 시 소요되는 시간 그리고 전송 실패로 인해 낭비되는 시간을 모두 포함한 시간 대비 실제 데이터 패킷의 전송에 소요되는 시간의 비로 표현되며 Eq. (1)로 나타낼 수 있다[4].

$$\begin{aligned} \text{Throughput} &= \frac{E[\text{Successful transmitted data length}]}{E[\text{time interval}]} \\ &= \frac{P_{tr} P_s E[P]}{(1-P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1-P_s) T_c} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 P_{tr} 은 slot time동안 최소 1개 이상의 전송이 이루어질 확률, P_s 는 전송이 성공할 확률, σ 는 idle time duration, T_s 는 충돌 없이 데이터가 전송에 성공하는 동안의 busy time duration, T_c 는 데이터 충돌 동안의 busy time duration, 그리고 $E[P]$ 는 데이터 패킷의 평균 길이이다.

각 프로토콜의 패킷발생부터 패킷전송 성공때 까지 평균 전송 지연(End-to-End delay)을 확인하기 위하여 Kang의 중단 간 지연 계산 모델을 사용하였다[5]. 노드에서 평균 전송 지연은 다음과 같이 정의한다.

$$T_{\text{EndtoEnddelay}} = \frac{T_{\text{wait}} + S T_{tx}}{1 + S} \quad (2)$$

여기서 T_{wait} 는 한 노드가 백오프 대기로 인해 패킷을 전송하는데 소요되는 평균 지연 시간, S 는 백오프 대기 없이 즉시 패킷을 전송하는 횟수, T_{tx} 는 패킷 전송 시간이다.

CSMA, MACA-BI, IEEE 802.11 Basic, IEEE 802.11 RTS/CTS에 대해 T_s 와 T_c 를 Fig. 1을 참고로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{cases}
 T_s^{CSMA} = H + E[P] + \delta \\
 T_c^{CSMA} = H + E[P] + \delta \\
 T_s^{MACA-BI} = RTR + \delta + H + E[P] + \delta \\
 T_c^{MACA-BI} = RTR + \delta \\
 T_s^{Bas} = H + E[P] + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta \\
 T_c^{Bas} = H + E[P] + EIFS + \delta \\
 T_s^{RTS} = RTS + SIFS + \delta + CTS + SIFS + \delta \\
 \quad + H + E[P] + SIFS + \delta + ACK \\
 T_c^{RTS} = RTS + EIFS + \delta
 \end{cases} \quad (3)$$

여기서 T^{Bas} 는 IEEE 802.11 Basic, T^{RTS} 는 IEEE 802.11 RTS/CTS를 의미한다. H 는 패킷의 헤더이며 $PHY_{header} + MAC_{header}$ 이다. δ 은 전파 지연이고 RTR, RTS, CTS, ACK 는 각 제어 패킷의 길이를 나타낸다. IEEE 802.11에서는 충돌 회피를 위하여 IFS (Inter-Frame Space)를 사용한다.

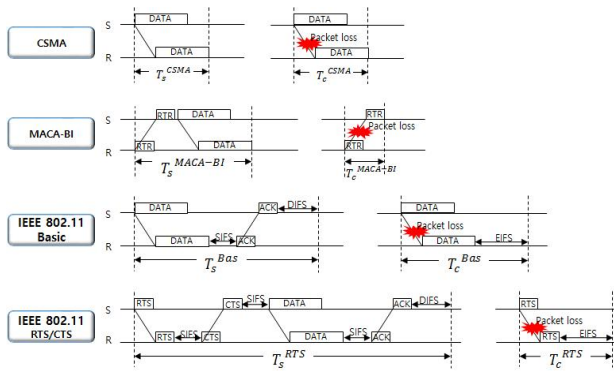


Fig. 1. T_s and T_c in each protocol mechanism. 그림 1. 각 프로토콜 별 T_s and T_c

정리한 수식을 이용하여 주어진 경쟁 기반 MAC 프로토콜들의 수율과 전송 지연을 구한 후 성능을 비교 분석하였다.

성능 계산에서 수중 통신의 전송 속도는 4800bps, 최대 백오프 스테이지는 3, 최소 경쟁 윈도우의 크기는 32로 설정하였으며 시뮬레이션에 사용한 값들은 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Parameters for simulation. 표 1. 시뮬레이션에 사용된 값

Parameters	Value
PHY header	128 bits
MAC header	272 bits
RTS	160+128 bits
CTS	112+128 bits

Parameters	Value
RTR	160+128 bits
DATA payload	8184 bits
ACK	112+128 bits
Max Propagation Delay	0.68 sec
Slot time (MACA-BI, RTS / CSMA, Basic)	0.7133 / 2.3867 sec

여기서 MACA-BI나 IEEE 802.11 RTS/CTS와 같이 제어 패킷을 사용하는 경우는 슬롯타임을 전파 지연과 제어 패킷 길이의 합으로 정의하고, CSMA와 IEEE 802.11 Basic처럼 제어 패킷이 없는 경우는 전파 지연과 데이터 길이의 합으로 정의한다. 각 IFS를 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 SIFS &= 0.56 \times Slot\ time \\
 DIFS &= 2 \times Slot\ time + SIFS \\
 EIFS &= SIFS + ACK + DIFS
 \end{aligned} \quad (4)$$

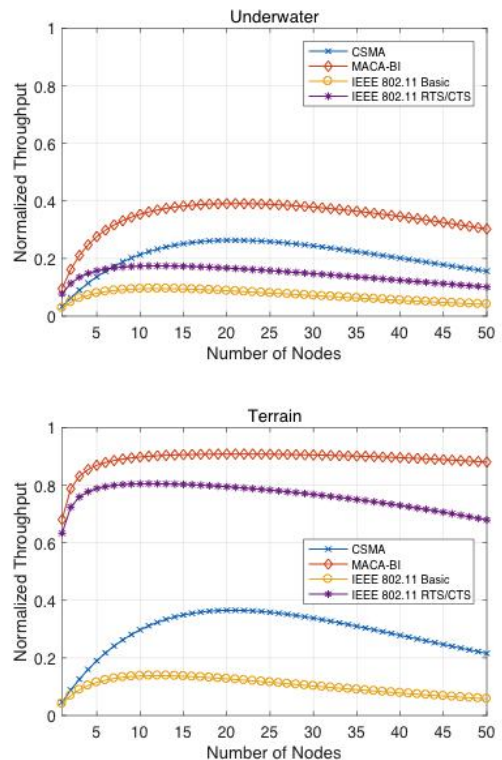


Fig. 2. Normalized throughput. 그림 2. 정규화 수율 비교

식(1)~(4)를 사용하여 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같다. Fig. 2의 수중과 지상에서 각 MAC 프로토콜의 수율을 나타낸 그래프이다. 지상의 결과

는 각 프로토콜이 가지는 충돌 특성 등을 고려한 일반적인 결과를 보인다. 그러나, 수중 환경에서는 IEEE 802.11 RTS/CTS가 가지는 채널 예약특성으로 인해 충돌 회피 효과가 있음에도 불구하고 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이것은 수중의 전파 속도가 느려서 제어 패킷의 개수가 늘어날수록 낭비되는 시간이 많기 때문이다. 그러므로 수중에서는 충돌 회피도 중요하지만 MACA-BI처럼 제어 패킷 개수를 줄여야 하는 것도 중요한 고려사항이라는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 지상과 수중환경에서 각 MAC 프로토콜의 중단 간 지연을 보여준다. Fig. 3의 지상 결과에서 MACA-BI와 IEEE 802.11 RTS/CTS의 중단 간 지연이 상대적으로 짧다. 그러나, 수중에서는 MACA-BI는 상대적으로 짧지만 IEEE 802.11 RTS/CTS는 지연 성능이 떨어진다. 즉, 수중 환경에서는 MAC 프로토콜의 제어 패킷이 중단 간 지연에 큰 영향이 있음을 알 수 있다.

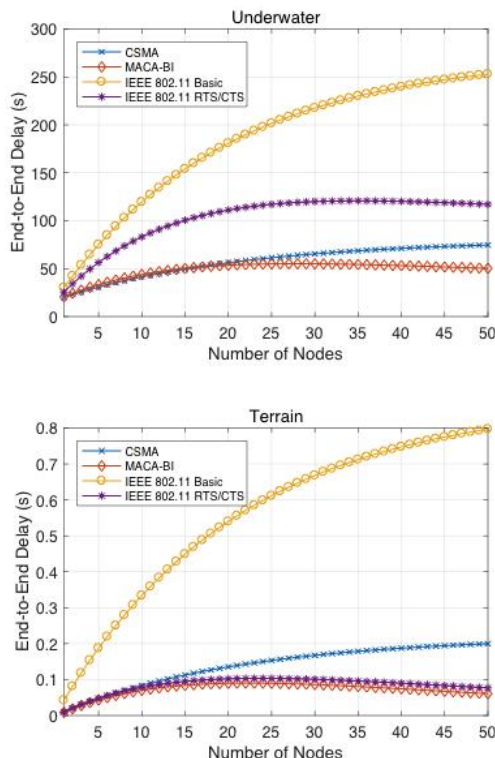


Fig. 3. End-to-End delay.
그림 3. 중단간 전송 지연 비교

III. 결론

지상 통신환경에 적합한 MAC 프로토콜에 대한

연구는 수십 년간 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그러나 지상과 다른 수중 환경의 전파특성으로 인해 이 연구결과들이 직접 수중 통신환경에 적용될 수는 없다. 본 논문에서는 전파 지연이 긴 수중 환경에서 대표적인 경쟁 기반 MAC 프로토콜들의 수중 통신 적용 가능성에 대해 분석하였다.

시뮬레이션 결과, 수중 무선 통신에서 MACA-BI가 CSMA, IEEE 802.11 Basic, IEEE 802.11 RTS/CTS에 비해 수율과 중단 간 지연 측면에서 우수한 성능을 가진다는 것을 알 수 있었다. 그리고, IEEE 802.11 RTS/CTS가 지상환경에 비해 수중환경에서는 그 성능이 나빠지는 것을 알 수 있었다. RTS-CTS를 사용한 채널예약 효과로 인해 충돌율을 줄이지만 음파의 긴 전파지연으로 인해 제어 패킷 수의 증가는 채널 효율을 저하시키기 때문이다. 결론적으로, 수중 통신에 사용되는 MAC 프로토콜을 설계할 때는 충돌회피 뿐 만 아니라 사용되는 제어 패킷의 개수도 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

이 결과를 바탕으로 수중 통신에 적합한 MAC 프로토콜은 제어 패킷의 수를 줄이면서 충돌율을 낮출 수 있는 방향으로 설계되어야 함을 알 수 있다. 이후 연구에서는 MACA-BI의 전송 메커니즘을 개선하여 수중 환경에서 전파 지연이 적으며 전송 신뢰도가 높은 수신자 기반 MAC 프로토콜을 연구 할 예정이다.

References

[1] L. Kleinrock and F. A. Tobagi, "Packet Switching in Radio Channels: Part I - Carrier Sense Multiple-Access Modes and their Throughput-Delay Characteristics," *IEEE Transactions on Communications*, vol.COM-23, no.12, pp.1400-1416, 1975. DOI:10.1109/TCOM.1975.1092768

[2] *IEEE Std. 802.11-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, Reference number ISO/IEC 8802- 11:1999(E), IEEE Std. 802.11, 1999 edition, 1999.

[3] F. Talucci, M. Gerla, and L. Fratta, "MACA-BI (MACA By Invitation) A Receiver Oriented Access Protocol for Wireless Multihop Networks," *IEEE*

Proceedings of ICUPC 97 - 6th International Conference on Universal Personal Communications, pp.435-439, 1997. DOI:10.1109/PIMRC.1997.630970

[4] G.Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE Journal on selected areas in Communications*, vol.18, no.3, pp.535-547, 2000.

DOI:10.1109/49.840210

[5] K. Kang, X. Lin and H. Hu, "An accurate MAC delay model for IEEE 802.11 DCF," *IEEE International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications*, pp.654-657, 2007.

DOI:10.1109/ICTMICC.2007.4448566