

수중 Multiple AUV를 위한 MAC 프로토콜 설계

조아라* · 박종원** · 김승근** · 최영철** · 임용곤**

*과학기술 연합대학원 대학교, 수중음향통신공학과

**한국해양연구원 해양시스템안전연구소

New Approach to MAC Protocol for Multiple AUV

A-ra Cho* · Jong-won Park** · Seung-geun Kim** · Young-chol Choi** · Yong-kon Lim**

*University of Science and Technology

**Maritime and Ocean Engineering Research Institute(MOERI)/KORDI

E-mail : zoazoa@moeri.re.kr

요 약

본 논문은 수중에서 여러 대의 자율무인잠수정(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)간의 통신을 위한 수중음향 통신 네트워크 기법중에서 효율적인 전력 사용으로 에너지 소비를 줄이고 수중의 긴 전파 지연에서도 원활한 통신이 가능한 수중 접속제어 프로토콜(Media Access Control, MAC)을 제시하고자 한다. 제안된 접속제어 프로토콜은 스타 토폴로지를 채택하여 네트워크를 구성하는 한 노드가 마스터가 되어 멤버 노드들의 오버헤드를 최소화하고자 했으며 수중의 긴 전파 지연을 고려하여 지역 동기화(localized synchronization)방식을 사용하여 동기화를 용이하게 하였다. 또한, 멤버 노드들은 슬립 모드를 이용하여 노드들의 전력수명을 최대화하였다.

ABSTRACT

The paper deals with a approach to underwater acoustic based Ad-hoc communication, which allows major design strategies for Media Access Control (MAC) within a group of the autonomous underwater vehicles(AUV). The proposed MAC aims at deploying AUV-centric star topology, which minimizes overhead of sensor nodes and improves energy-efficiency. Furthermore, that is also well under long and unknown propagation delays of the underwater acoustic medium. The implemented MAC protocol makes it easier to achieve frame synchronization than TDMA due to deploying localized schedule time, in addition to saving energy consumption by letting nodes sleep. It is also superior to MACA and MACAW in terms of propagation delay. This scalable centralized protocol has the potential to serve as a primer for development of MAC protocol for future underwater acoustic based ad-hoc networks.

키워드

Underwater Acoustic Ad-Hoc Networks, AUV, MAC, Energy efficient, Star Topology

1. 서 론

통신매체로 주로 사용되고 있는 전자기파는 육상과 달리 수중에서 산란과 감쇄가 심해서 전송 거리가 제한되는 특성을 가지고 있으며(433MHz에서 송신거리 120cm)[1], 전송거리가 수백 m의 범위 이상에서 사용할 수 있는 범용의 수중 통신을 위해서는 초음파가 유일한 통신 전달매체로서 사용되고 있다. 수중 채널에서 초음파의 속도는 육상의 전자기파에 비해 10^5 배나

느리고[2], 제한된 주파수 대역폭, 초음파의 반사로 인한 다중경로, 도플러 효과 등과 같은 수중 채널의 고유 특성으로 인해 데이터 전송 수율이 낮다. 또한, 음향 네트워크 노드들은 일반적으로 배터리 전력으로 운용되고 있어 배터리 소진 시 장비 회수에 들어가는 비용이 크기 때문에 낮은 전력 효율은 수중 통신 프로토콜을 설계하는데 있어 반드시 고려되어야 할 사항이다.

수중에서의 제한된 대역폭, 매우 큰 전파 지연, 전력소비, 음파의 산란(scattering)과 흡수효

과, 도플러(Doppler) 현상, 다중경로(Multi-path) 등은[3] 수중 통신 환경을 더욱 열악하게 만든다. 따라서 기존 육상에서 사용되는 프로토콜을 직접적으로 수중 네트워크에 적용시키는 것은 수중 통신환경의 차이와 제약으로 인한 한계가 있기 때문에 수중 환경에 적합한 프로토콜 설계가 요구된다.

수중 음향 네트워크는 네트워크 운용환경에 따라 수중환경 계측센서와 같은 고정노드를 중심으로 하는 네트워크와 AUV와 같은 이동노드를 중심으로 하는 네트워크로 구분하여 설계할 수 있다. 수중의 AUV 운용환경은 육상과 멀리 떨어져 있어 기존의 네트워크 인프라가 구축되어 있지 않으며, 높은 이동성을 가지고 있어 유동적 네트워크 구성이 이루어져야 한다. 본 논문에서는 유선망을 구성하기 어려운 수중 환경에서의 네트워크 구성에 적합하며 이동의 제약이 없고 유선망과 기지국(Base Station)이 필요 없으므로 빠른 네트워크 구성과 저렴한 비용의 장점이 있는 수중음향 Ad-hoc 네트워크를 고려하여 설계하였다.

본 논문에서는 다중 AUV간 수중음향 Ad-hoc 네트워크를 기반으로 효율적인 전력 사용으로 에너지 소비를 줄이고 수중의 긴 전파 지연에서도 원활한 통신이 가능한 수중 접속제어 프로토콜(MAC, Medium Access Control)을 제시하고자 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 그동안 제시되었던 수중 MAC 현황을 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 새로운 수중 MAC 프로토콜에 대해 자세히 설명하고자 한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺고자 한다.

II. 수중 음향 네트워크에서의 접속제어 프로토콜 개발 현황

최근에는 수중 채널의 물리적 특성을 고려하여 MAC 설계 연구가 진행되고 있으나 AUV와 같이 이동성이 있는 네트워크 환경에서 이동성 보장, 에너지 효율성 등을 고려한 연구는 미흡한 편이다.

2000년 항만감시를 위한 SeaWeb 연구 프로젝트에서 Sozer[4]는 MACA(Multiple Access with Collision Avoidance)[5] 방식을 기반으로 RTS-CTS-DATA-ACK 교환을 통한 접속제어 방식을 채택하고 전송전력 조절을 통해 에너지를 절약하고자 하였다. 그러나 RTS-CTS 핸드셰이킹 방식은 수중과 같이 전파 지연 시간이 긴 채널에서는 각 데이터 패킷에 대한 전체 전송 시간을 급격히 증가시켜 통신 성능을 저하시킨다.

Xie[6]가 제안한 게이트웨이 중심의 집중형(Cluster-based) 네트워크 방식은 마스터 노드가 토폴로지와 라우팅을 유지하고 멤버 노드에게

음향 채널 접근을 할당하는 기능을 담당한다. 이 방식에서는 메시지 지연을 최소화하기 위해 핸드셰이킹을 생략하고, 마스터 노드는 주기적으로 TDM (Topology Discovery Message)이라는 제어 메시지를 통해 토폴로지를 형성하고 전력제어를 수행한다. TDM 메시지에는 CDMA(Code Division Multiple Access)방식을 사용하여 각 클러스터간의 간섭을 최소화하였다. 이와 같이 CDMA방식을 이용한 수중 MAC은 클러스터링을 통한 CDMA/TDMA 방식[7]으로 이어져 클러스터 간에는 서로 다른 확산코드를 할당하여 인접 클러스터 간 간섭을 줄이고 각 클러스터 내부에는 TDMA 방식을 이용하여 전파 지연을 극복하고자 했다.

참고문헌 [8]에서 저자가 제시한 MAC 방식은 RTS-CTS 사용 없이 각 노드들이 자신의 synch 패킷을 브로드캐스팅한 후 슬립(Sleep) 모드로 들어가서 일정 시간 후 깨어나 데이터 전송을 하는 방식이다. 따라서 각 노드들은 네트워크 전체의 동기를 맞출 필요 없이 언제 깨어나서 데이터 전송이 일어나는지만 알면 되므로 전파 지연 시간을 알지 못해도 데이터 전송이 가능하며, 슬립 모드를 사용하여 에너지 효율성을 높였다. 그러나 각 노드들이 synch 패킷 전송 시 전송 시작 시간을 결정할 때 0에서 T_0 (초기화 시간) 사이 중 임의로 정하기 때문에 T_0 가 작아질수록, 노드 수가 증가 할수록 노드 간 패킷 충돌 가능성은 커진다는 문제가 존재한다.

III. 제안하는 수중 접속제어 프로토콜

이번 장에서는 본 논문에서 제안하는 새로운 수중 MAC 프로토콜에 대해 자세히 살펴보고자 한다. 본 논문에서 제시한 수중음향 네트워크 접속제어 프로토콜의 기본 아이디어는 크게 3가지이다. 첫째, 수중의 긴 전파 지연 속에서도 통신이 원활히 이루어질 수 있도록 지역 동기화(localized synchronization)[8] 방식을 사용하였다. 둘째, AUV가 마스터 노드의 역할을 수행하며 수중 센서들과 토폴로지를 형성하여 멤버 노드들의 오버헤드를 최소화 시키고자 했다. 따라서 그림 1에서 나타난 것과 같이 스타 토폴로지를 형성하여 통신을 수행하게 된다. 셋째, 멤버 노드들은 슬립 모드를 이용하여 센서 노드들의 전력 수명을 최대화하고자 하였다.

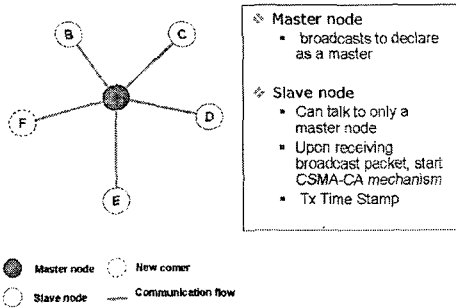


그림 1. 네트워크 토폴로지

3.1 초기화 단계

그림 1에서 보여진 스타 토폴로지를 토대로 초기화 단계를 살펴보면, AUV 노드인 A는 자신이 마스터임을 알리기 위해 각 노드들에게 DATA Request 또는 DATA Send 메시지를 브로드캐스팅 한다. 이 때 브로드캐스팅된 메시지에는 마스터 노드가 데이터를 전송/수신 할지 여부를 알려준다. DATArequest/DATASend를 받자마자 노드들은 802.15.4[9]의 un-slotted CSMA(Carrier Sensing Multiple Access)방식과 유사하게 그림 2와 같은 절차에 의해 채널을 점유하게 된다.

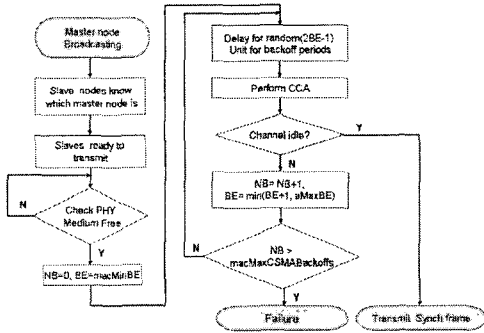


그림 2. 제안된 MAC의 un-slotted CSMA

그림 3의 예에서 보듯이 채널이 'Idle' 상태이면, 멤버 노드 C는 즉시 자신의 synch 패킷을 마스터 노드 A에게 전송한 후 Sleep한다. 마찬가지로 나머지 멤버 노드 (B, D, F)도 CSMA 알고리즘을 거친 후 그림 3에서와 같은 차례로 자신의 synch 패킷을 전송 후 Sleep한다. 이 때 synch 패킷은 전송 사이클 기간 Time Stamp(TSec)를 포함하여 다음 사이클에서 언제 깨어나 데이터를 전송/수신 할지 알려준다. 따라서 정확한 전파 지연 시간을 알 필요가 없이 멤버노드는 자신이 보낸 TSec에 기록된 시간 Tsec만 알고 있으면, sleep한 후 TSec 후에 깨어나서 데이터를 전송 하게 된다.

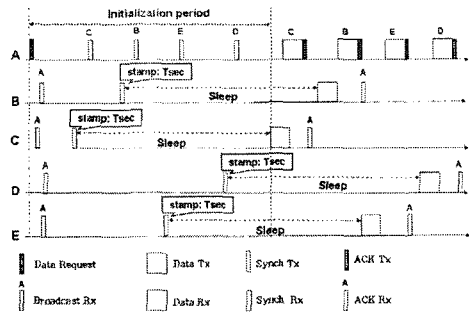


그림 3. 제안된 MAC의 초기화와 데이터 전송

이와 같은 초기화 단계를 거치면, synch 패킷의 디코딩을 통해 마스터 노드는 멤버 노드들의 슬립 스케줄을 알게 되고, 각 멤버 노드들의 데이터 전송/수신 순서를 알게 된다. 이처럼 멤버 노드들은 자신과 마스터간의 동기만 맞추면 되므로 네트워크 전체 시간(global time)의 동기화가 필요 없게 된다. 더욱이, 네트워크 전체 기준이 되는 시간 정보가 없기 때문에 멤버 노드들의 타이머를 조절하기 위한 스케줄링 알고리즘도 필요 없게 된다.

3.2 데이터 전송

초기화 단계를 거친 후 각 Slave 노드들은 마스터 노드가 누구인지, 언제 깨어나 데이터를 송·수신 할지 알게 된다. 그림 3의 예에서 나타난 바와 같이 초기화 단계에서 마스터로부터 DATA Request 메시지를 받았다면, 각 노드들은 자신의 synch 패킷을 보낸 시점에서 T 시간 후에 깨어나 데이터를 전송한다. 그림 3에서 노드 C, B, E, D 순서로 synch를 보냈으므로 각자 T 시간 후에 데이터를 전송하는 순서도 C, B, E, D로 동일하게 된다. 데이터를 받자마자 마스터 노드는 ACK를 보내어 데이터가 성공적으로 전송되었음을 알린다. ACK를 받지 못한 노드는 자신의 다음 전송 사이클에서 메시지를 재전송 하게 된다.

반대로 마스터 노드가 DATA Send 메시지를 보냈다면, 멤버 노드들의 synch 패킷 도착 순서에 따라 패킷을 받은 시점에서 T 시간 후 마스터 노드가 멤버 노드에게 데이터를 전송하고 수신 후 바로 멤버 노드는 ACK를 보낸다. ACK를 전송 또는 수신한 멤버 노드들은 바로 sleep 상태가 되어 전력 사용을 줄인다. 본 논문에서는 초기화 단계를 열 번의 전송 사이클마다 한 번 씩으로 가정하여 열 번의 사이클 동안은 초기화 단계 없이 synch 패킷 전달 순서(C, B, E, D)대로 데이터 교환이 이루어지도록 했다. 이 때 초기화 사이클을 얼마나 자주 반복시킬 것인가는 노드의 이동성을 고려하여 적절한 값을 정해야 한다.

3.3 새로운 노드의 네트워크 참여

그림 1에서와 같이 새로운 노드 F가 네트워크

에 참여 시, 노드 F는 다른 노드들의 데이터 전송 사이클이 끝나고 초기화 사이클이 될 때까지 기다렸다가 네트워크의 통신에 참여한다. 그림 4는 새로운 노드 F가 네트워크 참여시 초기화 과정을 보여준다. 마스터 노드의 브로드캐스팅 패킷을 받자마자 노드 F는 바로 마스터 노드에게 Hello 패킷을 전송하여 자신의 존재를 알린다. 새로운 노드가 join된 것을 알게 된 마스터 노드는 Hello 패킷을 받은 즉시 멤버 노드들에게 TS request 패킷을 전달한다. TS request는 멤버 노드들의 TimeStamp의 길이 조절을 요구하는 패킷으로, 새로운 노드의 참여로 인해 초기화 단계시 채널 경쟁에서 요구되는 시간을 보장하기 위함이다. TS request 패킷을 수신한 멤버 노드들은 자신의 TS 길이를 T에서 T+t 시간으로 늘리고, un-slotted CSMA 방식의 채널 점유를 통해 자신의 Synch 패킷을 마스터 노드에게 전송한다.

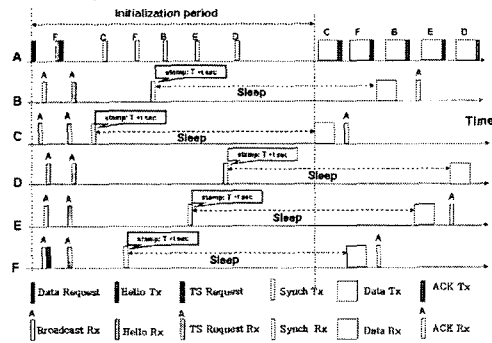


그림 4. 새로운 노드의 네트워크 참여 시 초기화 과정

IV. 결 론

본 논문에서는 수중 음향 채널의 특성과 제약 조건들을 살펴보고 이러한 특성을 고려하여 전파 지연이 큰 수중에서도 에너지를 효율적으로 사용하면서 수중 센서 노드의 오버헤드를 최소화 할 수 있는 접속 제어 프로토콜을 제안하였다. 제안한 MAC 방식은 전체 네트워크의 global time 동기화가 필요 없으므로 TDMA에 비해 동기화가 용이하고, 주기적인 초기화 과정을 통해 새로운 노드의 네트워크 참여를 허용하였다. 또한 Sleep 모드를 사용하여 TDMA나 MACA 방식에 비해 에너지 효율성을 높이고 RTS-CTS 생략으로 MACA 방식보다 노드 간 지연 시간을 줄였다. 따라서 네트워크의 확장성을 보장하는 수중탐사 선단 중심의 프로토콜은 수중 협력 작업체계에서 수중의 여러 센서 노드들과 AUV 간 네트워크를 구성하기 위한 프로토콜로써 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후, 시뮬레이션을 통한 제시된 MAC의 성능

검증과 네트워크의 성능을 최대화 시킬 수 있는 초기화 단계의 적절한 반복 사이클 수를 결정하기 위한 연구를 진행할 계획이다.

후 기

본 연구결과는 한국해양연구원의 기본연구사업인 “수중 탐사선단의 스마트 네트워크 및 운용기술 개발” 과제, “수중 3차원 퓨전영상 생성·탐지 및 전송기술 개발” 과제, 해양수산부의 “수중 무선통신 시스템 개발” 과제에서 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," *Ad Hoc Networks*, 3(3):257-279, 2005.
- [2] R. J. Urick. "Principles of underwater sound," McGraw-Hill, 3d edition, 1983.
- [3] M. Cardei, "Energy-Efficient Scheduling and Hybrid Communication Architecture for Underwater Littoral Surveillance," *Computer Communications Journal (Elsevier)*, vol. 29, no. 17, pp. 3354-3365, March, 2006.
- [4] E. M. Sozer, M. Stojanovic, and J. G. Proakis, "Underwater acoustic networks," *IEEE journal of oceanic engineering*, vol. 25, no. 1, pp. 72-83, January 2000.
- [5] A. Tanenbaum, "Computer Networks," Prentice Hall, 4th edition, 2003.
- [6] G. Xie and J. Gibson, "A networking protocol for underwater acoustic networks," Technical report TR-CS-00-02, CS Department, Naval Postgraduate School, December 2000.
- [7] F. Salva-Garau and M. Stojanovic, "Multi-cluster protocol for ad hoc underwater acoustic networks," *Proceedings of the IEEE OCEANS'03 Conference*, vol. 1, pp. 91-98, September 2003.
- [8] M. K. Park and V. Rodopl. "UWAN-MAC: An energy-Efficient MAC protocol for underwater acoustic wireless sensor networks," *IEEE journal of oceanic engineering*, March 2006.
- [9] IEEE-TG15.4, "Part 15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs)," *IEEE standard for Information Technology*, 2003.