
수중 센서 네트워크에서 다중 채널 예약방법

이동원* · 김선명**

* **국립금오공과대학교

Multi channel reservation scheme for underwater sensor network

Dongwon Lee* · Sunmyeng Kim**

* **Kumoh National Institute of Technology

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

요 약

실시간 위치 인식 및 추적 시스템에서 다수의 이동노드가 존재하는 경우 매우 복잡한 데이터 흐름이 발생한다. 단일 게이트웨이가 존재하는 네트워크에서 센서 노드가 수집한 각종 데이터는 시간이 경과함에 따라 일정한 경로를 따라 전송된다. 멀티게이트웨이가 존재하는 네트워크 구성에서는 수집된 데이터가 단순한 경로가 아닌 다양한 경로를 따라 전송된다. 이러한 데이터는 많은 노드에서 혼잡을 발생시켜 네트워크 성능을 크게 저하 시킨다. 본 논문에서는 기존의 연구와 달리 멀티 게이트웨이를 갖는 수중센서 네트워크 환경에서 효율적인 통신을 위하여 각 노드들 간의 데이터 충돌을 최소화하고 QoS(Quality of Service)를 보장할 수 있는 MAC(Media Access Control) 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜에서 데이터 전송을 원하는 소스 노드는 하나의 RTS 패킷을 이용하여 다수의 목적 노드와 한번에 채널 예약을 한다. 소스 노드는 이웃 노드와의 측정된 전파지연 정보를 이용하여 CTS 응답 시간을 스케줄링(Scheduling) 함으로써 충돌 없이 채널을 예약한다. 예약이 완료된 후 소스 노드는 여러 목적 노드에서 순차적으로 DATA 패킷을 충돌 없이 전송한다. 제안된 프로토콜은 시뮬레이션을 통해 기존 연구에서 제안된 방법과 성능을 비교하고 결과를 분석 및 평가한다. 성능 비교 분석결과, 제안된 방법이 더 좋은 효율과 지연 등의 성능을 가짐을 확인하였다.

ABSTRACT

In the RTLS(Real Time Location Based System), in case of existing a number of moving target, extremely complicated data flow is can be occurred. In the network where single gateway exists, various data which was collected from sensor node is transmitted along the simple route as time goes by. In case of multi-gateway configuration, the collected data is transmitted through diverse routes rather than simple route. This kind of data causes jams on nodes and this brings down the performance of the network. Different from existing studies, in this thesis, MAC (Media Access Control) protocol which minimizes data collision between nodes and guarantees QoS(Quality of Service) is suggested, in order to communicate efficiently in multi-gateway underwater sensor network environment. In the suggested protocol, source node which wants to transmit data makes a channel reservation to a number of destination node using a RTS packet. Source node reserves a channel without collision, by scheduling CTS response time using expected delay information from neighbor nodes. Once the reservation is made, source node transmit data packet without collision. This protocol analyzes/estimates the performance compared to a method provided from existing studies via simulation. As a results of the analysis, it was confirmed that the suggested method has better performance, such as efficiency and delay.

키워드

수중 센서 네트워크, 수중통신, MAC, QoS, Collision resolution

I. 서 론

수중 센서 네트워크는 해양 및 수중 자원의 개

발과 탐구를 위한 기반 기술로 인식되고 있으며, 이러한 배경으로 수중 센서 네트워크관련 분야에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다[1]. 과거에 진

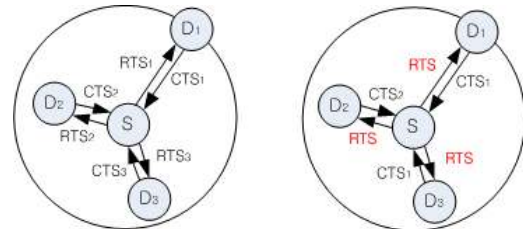
행된 수중 통신 관련 연구는 두 통신 단말기간의 통신에 집중되었다. 그러나 최근 관심 받고 있는 수중 센서 네트워크는 근거리 배치된 다수의 통신노드를 이용하여 다양한 정보를 수집하고, 수집된 정보를 여러 경로를 통해 전송한다. 이러한 근거리 기반의 멀티 홉 통신에서는 다음과 같은 장점을 갖는다. 첫째로 근거리 통신의 경우 멀티패스(Multipath)를 발생시키는 전송 구간의 길이가 짧아진다. 이러한 이유로 원거리 통신에 비해 멀티패스의 영향으로 발생하는 내부 심볼간섭(ISI: Inter Symbol Interference)을 줄일 수 있어 보다 신뢰성 있는 통신이 가능하다[2]. 둘째로 수중에서 이용되는 음파대역의 신호는 전파신호(Radio Signal)에 비하여 약 10^5 배의 속도차를 갖는다[4]. 이러한 특성은 시공간 불확실성(Space-Time Uncertainty)의 문제를 발생시키며 MAC프로토콜의 설계에 어려움을 준다[2]. 그러나 수중 센서 네트워크에서는 노드간의 거리를 줄임으로써 시공간 불확실성으로 인한 문제점을 줄일 수 있다. 셋째로 근거리 통신은 원거리 통신에 비해 낮은 송신 출력을 요구하여 노드의 에너지 소비를 줄임으로써 노드의 수명을 보다 길어지게 한다[3].

오늘날 음파대역의 신호를 이용한 수중 센서 네트워크를 구성을 위해 새로운 MAC 프로토콜에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 수중 센서 네트워크의 구성의 예를 살펴보면 3차원 공간에 배치된 센서 노드들과 해수면에 존재하는 게이트웨이로 구성된다[4]. 수중 센서 네트워크에서의 게이트웨이(Gateway)는 수중 센서 노드로부터 수집된 정보를 지상의 데이터 수집 장치로 전송을 하는 역할을 한다[1]. 이러한 게이트웨이의 파손 및 유실은 네트워크 내에서 발생한 데이터의 수집을 불가능하게 만든다. 따라서 수중 센서 네트워크의 구성 시 게이트웨이의 유실로 인한 데이터의 손실로부터 네트워크 연결성을 보장하기 위해 다수의 게이트웨이가 공존하는 토폴로지 형태의 네트워크를 구성하여 중복성(Redundancy)을 확보한다[4]. 그러나 하나의 게이트웨이를 갖는 시스템에 비해 다수의 게이트웨이가 존재하는 네트워크의 경우 데이터 흐름이 보다 복잡하여 데이터 흐름의 교차 구간이 빈번히 발생하게 된다. 이러한 현상이 발생하는 구간은 병목현상에 의해 네트워크 전체의 전송 지연시간이 크게 증가한다. 본 논문에서는 이러한 현상이 발생하는 수중 센서 네트워크 환경에서의 효율적인 통신을 위하여 각 노드들이 전송할 데이터의 충돌을 최소화하여 QoS를 보장하기 위한 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다.

II. 본 론

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 서로 다른 방향의 데이터 흐름을 갖는 다수의 이웃 노드들과의 경쟁을 효과적으로 줄임으로써 QoS를

보장한다.



(a) 기존 MAC (b) MR-MAC
그림 1. 예약방식의 비교

기존 연구에서 제안된 MAC 프로토콜에서는 그림 1(a)와 같이 이웃하고 있는 노드들 D1, D2, D3와의 최소 3회 이상의 채널 예약을 위한 경쟁이 필요하고 이를 통해서만 데이터 패킷을 전송할 수 있다. 제안하는 MAC 프로토콜은 그림 1(b)와 같이 한번의 RTS 전송을 통해 S노드의 통신 반경 내부에 존재하는 다수의 이웃 노드와 채널을 예약하여 채널 예약 시간을 줄이고 이웃 노드와의 채널 경쟁을 줄여 QoS를 향상시킨다.

제안하는 MAC 프로토콜에서 각 노드는 이웃 노드 수만큼의 큐를 가지며 패킷을 수신하여 패킷의 제어정보를 해석한 후 이웃 노드로 전송하기 위해 해당 노드의 큐에 패킷을 저장한다. 그림 1(b)의 노드 S와 같이 소스 노드는 주기적으로 자신의 전송 큐를 검사하고 전송할 데이터가 존재하는 큐의 이웃 노드들과의 채널예약을 수행한다. 그림 1(b)에서 노드 S가 이웃 노드 D1과 D2에게 전송할 데이터가 존재하면 노드 S는 백오프를 통해 이웃 노드들과 경쟁하고 RTS 패킷을 D1과 D2에게 전송한다.

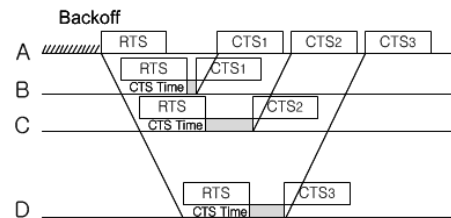


그림 2. CTS 패킷의 충돌회피 방법

제안하는 MAC에서는 이용되는 RTS 패킷은 기존 연구에서 사용되는 것과 달리 여러 목적지 주소들을 가지며, CTS Time 값을 포함한다. 그림 2와 같이 CTS Time값은 다수의 이웃 노드와 충돌 없는 채널 예약을 위해 노드 S에 의해 계산된 값으로 각 노드별 CTS 패킷의 응답시간이다. RTS 패킷을 수신한 이웃 노드 D1과 D2는 해당하는 CTS Time에 CTS 패킷을 전송한다. 이때 이웃한 노드 D3는 기존 프로토콜처럼 NAV(Network Allocation Vector) 값을 설정하고 채널 경쟁 및 전송을 멈춘다. 노드 S는 이웃 노드들로부터 수신된 CTS 패킷들을 통해 이웃 노드들과의 채널 예약 유무를

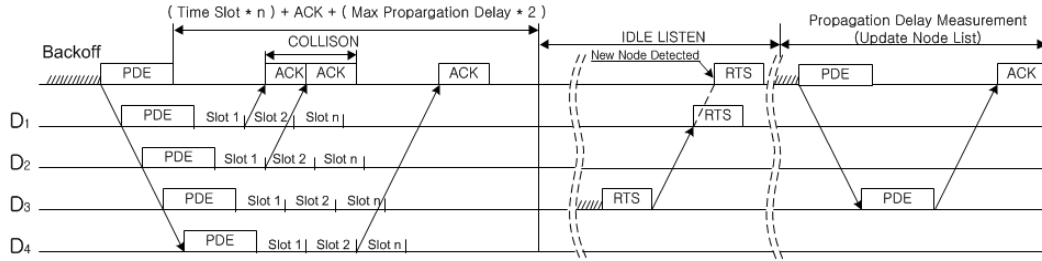


그림 3. 전파지연시간 측정방법

판단한다. 정상적으로 CTS 패키지가 수신되면 노드 S는 해당 전송큐의 데이터를 이웃 노드에게 연속적으로 전송한다. 이때 사용되는 DATA 패키지에는 기존 방법과는 달리 그림 4와 같이 ACK Time 정보를 포함한다. ACK Time은 노드 S에 의해 충돌 없이 ACK 패키지가 수신 가능하도록 계산된 값이다. DATA 패키지를 수신한 이웃 노드는 ACK Time 경과 후 ACK 패키지를 전송한다.

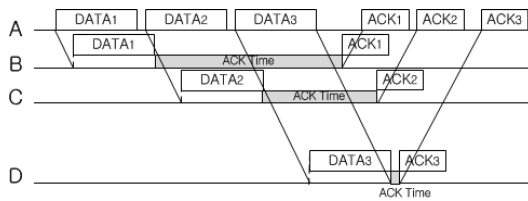


그림 4. ACK 패키지의 충돌회피 방법

소스노드 S는 ACK 패키지를 수신하면 전송 큐에 존재하는 전송된 데이터를 삭제한다. 만약 S노드가 이웃 노드로부터 ACK 패키지를 수신하지 못 할 경우 전송한 DATA 패키지가 정상적으로 전달되지 않은 것으로 간주하여 전송큐에 해당 데이터를 남겨 두고 재전송 과정을 수행한다. 각 노드는 자신의 전송 큐를 검사하고 전송할 데이터가 존재하는 경우 앞서 설명된 방법과 같이 전송을 위한 채널 경쟁과 주어진 알고리즘을 이용하여 데이터를 전송한다.

제안된 알고리즘의 정상적인 동작을 위해서는 노드의 배치 이후 그림 3과 같이 이웃하는 각 노드와의 전파지연시간 측정을 위한 과정을 주기적으로 수행한다. 노드는 PDE(Propagation Delay Estimation) 패키지를 모든 이웃 노드들에게 브로드캐스팅한다. PDE 패키지를 수신한 이웃 노드들은 Slotted Aloha 방식을 이용하여 임의로 하나의 타임슬롯(Time Slot)을 선택하고 ACK 패키지를 전송한다. 만약 노드 S가 이웃하고 있는 노드들로부터 단 하나의 ACK 패키지도 받지 못한 경우 다시 PDE 패키지를 전송한다. 만약 이웃 노드들로부터 최소 하나 이상의 ACK 패키지가 수신되는 경우 각 노드의 주소와 전파지연시간 값을 이웃 노드 리스트에서 저장하고 수신 대기 모드로 진입한다. 수신 대기 모드에서는 이웃하는 노드들의 전송 패킷을 엿듣게 된다. 이러한 방법을 이용하여 자신

의 이웃 노드 리스트에 존재하지 않는 이웃 노드의 주소 정보를 얻을 수 있으며 새로운 이웃 노드의 주소를 얻게 되면 노드 자신의 이웃 노드 리스트에서 해당 노드의 주소정보를 등록한다. 각 노드는 주기적으로 자신의 이웃 노드 리스트를 확인하고 각 이웃 노드로의 전파지연시간 정보의 존재를 확인한다. 만약 해당 노드로의 전파지연시간 정보가 존재하지 않는 경우 전파지연시간 측정을 위해 PDE 패키지를 전송한다. 이때 PDE 패키지는 브로드캐스팅되지 않고 해당 노드의 주소를 직접 전송한다. PDE 패키지를 수신한 목적 노드는 ACK 패키지를 전송하고 수신 대기 모드로 들어간다. 모든 수신 대기 모드의 노드는 이웃하는 노드가 전송하는 패킷을 엿듣고 자신의 이웃노드 리스트와 지속적으로 비교하고, 새로운 노드가 추가되거나 발견될 경우 전파지연시간을 측정하기 위한 PDE 패키지를 전송하는 과정을 반복하게 된다. 이러한 방법으로 네트워크 내의 각 노드들은 최초 배치 후 이웃 노드들과의 전파지연시간 정보를 얻을 수 있으며, 긴 시간 동안의 네트워크 운영을 통해 이웃하는 모든 노드의 주소와 각 노드로의 전파지연시간 정보를 알아낸다. 또한 제안된 알고리즘을 통해 손쉽게 네트워크가 확장됨을 알 수 있다.

IV. 실험 및 평가

본 논문에서는 NS2를 이용하여 제안하는 MAC과 MACA-U의 성능을 비교 하였다.

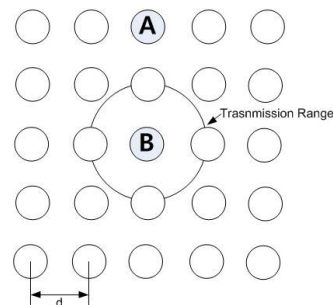


그림 5 노드 배치

성능 평가를 위해 25개의 노드를 그림 5와 같

이 5×5의 격자 형태로 배치하였다. 배치된 각 노드들은 고유의 트래픽(Traffic)을 주기적으로 생성하며 배치된 노드들 중 가장자리의 노드들을 목적노드로 하는 패킷을 생성한다. 이때 각 노드는 무작위로 목적 노드를 선택한다. 생성된 패킷의 목적 노드로의 전달을 위해서는 Fixed Routing 방식을 이용한다. 성능평가는 패킷 길이의 변화에 따른 성능 비교 실험하였다. 전송 속도는 2400bps를 이용하고, 노드간 거리를 1km로 배치하여 노드의 통신 반경을 1홉 거리인 1km로 제한하였다. 패킷 길이는 100byte에서 1000byte까지 각기 100byte간격으로 증가하며, 처리량(throughput)과 각 노드에서의 충돌 발생 횟수를 측정 하였다. 이때 처리량은 식 (1)을 이용하여 계산되며 측정은 그림 5의 A노드에서 측정한다. 충돌 횟수는 그림 5의 B노드에서 측정한다.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Total Received Bits}}{\text{Simulation Time}} [\text{bps}] \quad (1)$$

노드의 처리량은 그림 6과 같이 패킷 길이가 증가함에 따라 급격히 감소함을 볼 수 있었다. 또한 그림 7과 같이 충돌 횟수는 패킷 길이의 증가에 따라 충돌 횟수가 증가함을 볼 수 있었다. 제안하는 MAC과 MACA-U의 성능을 비교해보면 제안하는 MAC은 한 번의 채널 예약으로 다수의 노드와의 채널 예약이 이루어져 MACA-U에 비하여 낮은 충돌 횟수를 보임을 알 수 있다. 또한 낮은 충돌 횟수는 노드의 처리량에 영향을 주어 보다 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

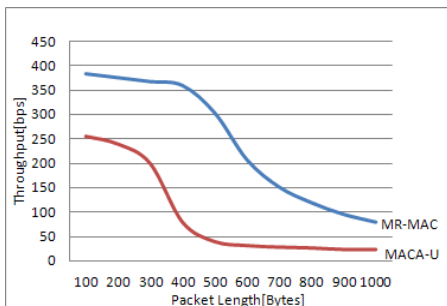


그림 6 Throughput vs. Packet Length

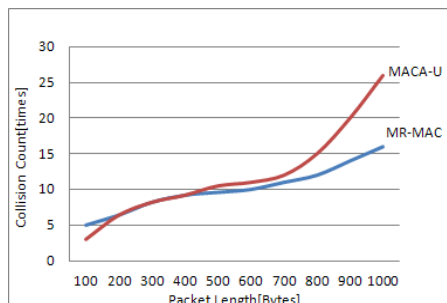


그림 7 Collision vs. Packet Length

V. 결론

본 논문에서는 수중 센서 네트워크의 멀티게이 트웨이 환경에서 패킷 충돌을 해결하기 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 MAC 프로토콜은 이웃한 노드들과의 전파 지연 시간을 측정하고 측정된 값을 이용하여 이웃 노드들이 전송하는 패킷들의 충돌을 스케줄링한다. 제안된 MAC은 하나의 RTS 패킷으로 다수의 목적노드와 채널 예약을 수행한다. 이때 다수의 목적노드에서 발생하는 CTS 패킷은 패킷간의 충돌로 인하여 정상적인 채널 예약을 어렵게 한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 CTS Time를 이용하여 CTS 패킷간의 충돌을 해결한다. 이웃하는 노드들과 채널 예약이 정상적으로 이루어지면 각 목적 노드로 DATA 패킷을 전송한다. DATA 패킷을 수신한 각 목적노드는 ACK 패킷을 이용하여 정상적인 DATA 패킷의 수신 여부를 소스노드로 전달한다. 본 논문에서는 이러한 노드들의 구체적인 동작방법을 제안하고 NS2를 기반으로 MACA-U와의 성능을 비교하였다. 본 논문에서 제안된 MAC을 이용 시 수중 센서 네트워크 환경에서 기존 연구된 MAC 프로토콜에 비해 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

감사의 글

※ 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," *Ad Hoc Netw.*, vol. 3, no.3, pp.257-279, Feb. 2005.
- [2] Jim Partan^{1,2}, Jim Kurose¹, and Brian Neil Levine¹, "A Survey of Practical Issues in Underwater Networks", Special section on ACM WUWNet 2006, pp.23-33, 2006
- [3] J. G. Proakis, E. M. Sozer, J. A. Rice, and M. Stojanovic, "Shallow water acoustic networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol.39, no.11, pp.114-119, Nov. 2001.
- [4] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Challenges for efficient communication in underwater acoustic sensor networks," *ACM SIGBED Rev.*, vol.1, no.2, pp.3-8, Jul. 2004