

수중 음파 센서 네트워크를 위한 매체접근제어 프로토콜

(A MAC Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks)

장길웅^{*}

(Kil-Woong Jang)

요약 음파를 이용한 수중 센서 네트워크는 지상에서의 무선 네트워크 환경과 다르게 긴 전파 지연과 낮은 전송 속도를 가진다. 따라서 기존의 무선 네트워크에서 사용되는 프로토콜을 수중 센서 네트워크에 적용될 경우 매우 제한적이며 비효율적으로 사용될 수 있다. 본 논문에서는 수중 센서 네트워크에서 에너지 효율과 처리율 향상을 위한 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 슬롯 기반의 경쟁 기법을 사용하며 데이터 패킷을 전송하기 위해 사전에 슬롯을 예약하게 된다. 제안된 프로토콜에서는 경쟁방식에 의하여 노드 간의 충돌이 발생할 수 있으나 예약방식에 의하여 인접 노드의 채널을 미리 인지함으로써 충돌을 최소화하고 노드의 불필요한 에너지 소모를 줄임과 동시에 처리율 향상을 가져온다. 제안된 프로토콜에 대한 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하며 소모된 에너지, 충돌횟수, 채널효율, 처리율과 전송지연시간에 대하여 평가한다. 또한 기존의 MAC 프로토콜과 비교함으로써 제안된 프로토콜이 기존의 프로토콜에 비해 성능이 우수함을 보인다.

키워드 : 매체접근제어 프로토콜, 수중 음파 센서 네트워크, 예약, 경쟁

Abstract Underwater acoustic sensor networks exhibit characteristics such as high propagation delay and low data rates, which are different from those of terrestrial wireless networks. Therefore, the conventional protocols used in wireless networks can be restrictive and inefficient when applied to underwater acoustic sensor networks. In this paper, we propose a medium access control protocol (MAC) to enhance the energy efficiency and throughput in underwater acoustic sensor networks. The proposed protocol employs a slot-based competition mechanism that reserves a time slot to send a data packet in advance. In the proposed protocol, collision between nodes can occur due to competition to obtain a slot. However, the proposed protocol minimizes the collisions between nodes because the nodes store the reservation information of the neighboring nodes, this reduces unnecessary energy consumption and increases throughput. We perform a simulation to evaluate the performance of the proposed protocol with regard to the energy consumption, the number of collision, channel utilization, throughput and transmission delay. We compare the proposed protocol with the conventional protocol, and the performance results show that the proposed protocol outperforms the conventional protocol.

Key words : medium access control protocol, underwater acoustic sensor network, reservation, competition

· 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-311-D00786)

* 종신회원 : 한국해양대학교 나노데이터시스템학부 교수
jangkw@hhu.ac.kr

논문접수 : 2007년 12월 10일
심사완료 : 2008년 4월 21일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제35권 제4호(2008.8)

1. 서론

센서 네트워크는 산업, 과학, 군사 등 많은 분야에 적용할 수 있는 기술로써 주로 지상에서 온도, 습도, 압력과 같은 환경을 감시하는 목적으로 많이 연구가 되고 있다[1]. 반면에 수중환경에서 재해 방지, 오염 측정 등과 같은 용도로 사용할 수 있는 수중 센서 네트워크 기술은 초기 연구단계에 머무르고 있다[2].

수중 음파 센서 네트워크는 현재 많이 사용되고 있는 지상에서의 무선 네트워크와는 많은 점에서 다른 특성

을 가진다. 수중 음파 센서 네트워크에서 사용되는 매체는 제한된 무선 대역폭, 높은 전송 에너지 비용, 긴 전파 지연을 가진다[2]. 이런 특성들은 수중에서 음파가 낮은 속도를 가지기 때문에 발생한다. 수중 음파 센서 네트워크의 특성에 의하여 기존의 무선 네트워크에서 사용되는 MAC(Medium Access Control) 프로토콜을 그대로 적용할 경우 매우 비효율적인 결과를 가져올 수 있다. 따라서 수중 음파를 이용한 네트워크를 구성하기 위해서는 새로운 MAC 프로토콜이 필요하다.

무선 네트워크에서 사용되는 무선 전송매체는 전송 범위내의 모든 이웃 노드들이 동시에 전송 신호를 수신할 수 있는 브로드캐스트 전파 특성을 가진다. 이러한 특성을 가진 전송 매체를 네트워크상에 존재하는 노드가 공유함으로써 충돌이 발생할 수 있다. 또한, 무선 트랜스미터는 하나의 채널을 이용하여 동시에 송수신을 하는 반이중 모드로 동작을 하기 때문에 패킷 송신 중에는 수신을 할 수 없다. 이로 인해 무선 네트워크의 노드는 패킷 송수신 중에 충돌을 감지할 수 없다. 따라서 무선 네트워크의 MAC 프로토콜은 채널 충돌을 감지하지 못하기 때문에 가능한 한 채널 충돌이 발생하지 않도록 설계되어야 한다.

본 논문에서는 수중 환경에서 무선으로 패킷을 전송하는 수중 음파 센서 네트워크에 적합한 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 노드 간에 발생하는 긴 전파 지연과 충돌을 고려한 프로토콜로서 노드 간의 충돌을 줄임과 동시에 불필요한 노드의 동작을 줄임으로써 노드의 에너지 소모를 최소화한다.

2. 관련 연구

지금까지 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜이 많이 연구되어 왔다. PEDAMACS[3]은 모든 노드가 하나의 기지국에 의해 동기화됨으로써 에너지 효율을 높이는 MAC 프로토콜이다. 이 프로토콜은 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식을 사용하여 중앙집중식 구조를 가짐으로 인하여 높은 채널 효율과 에너지 효율을 가진다. S-MAC[4]은 기존의 802.11 DCF[5] 방식을 향상시킨 프로토콜이다. S-MAC은 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 기반의 경쟁을 수행하기 위해 인접 노드의 수신 구간을 동기화한다. S-MAC 역시 PEDAMACS와 마찬가지로 지상 환경에서의 센서 네트워크에서 높은 에너지 효율을 가진다. 하지만 앞서 기술한 MAC 프로토콜은 수중 음파 센서 네트워크에 적용하기에는 수중 환경의 특수성에 의해 어려움이 있다. 즉, 수중에서는 전파속도가 느려 전송 지연이 높으며 대역폭이 작아지는 특성을 가짐으로 인하여 전송 효율이 떨어진다.

최근 들어 수중 환경에 적합한 MAC 프로토콜이 연구되고 있다. Rodoplu *et al.*[6]은 수중 네트워크에서 노드의 에너지 효율을 높이기 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 데이터를 전송하기 위해 모든 노드는 채널을 미리 확보하여 주어진 시간에 데이터를 전송한다. 채널을 확보하기 위해 초기 설정단계에서 임의의 시간에 설정 메시지를 전송하여 인접한 노드에게 자신의 채널 사용시간을 알림으로써 각 노드의 전송채널을 설정한다. 이 프로토콜은 채널을 미리 설정하기 때문에 보낼 데이터가 없는 경우에는 채널 낭비가 발생할 수 있으며 많은 노드가 사용될 경우에는 채널 충돌에 의한 전송지연 및 에너지 낭비가 발생할 수 있다. Molins *et al.*[7]은 기존의 FAMA(Floor Acquisition Multiple Access)[9] 프로토콜을 이용하여 전송 지연 및 처리율을 높일 수 있는 slotted FAMA 프로토콜을 제안하였다. 기존의 FAMA 프로토콜은 데이터 전송 시 다른 노드와 충돌을 피하기 위하여 전송매체를 감지한 후 채널이 비어 있을 경우에 RTS/CTS 패킷을 전송하여 채널을 확보한다. 제안된 slotted FAMA 프로토콜은 기존의 FAMA 프로토콜의 기능에서 슬롯 타임을 사용하여 제어 및 데이터 패킷을 전송한다. 하지만, 이 프로토콜에서 에너지 효율을 높이기 위한 방법은 제시되지 않았다. Syed *et al.*[8]은 채널 효율과 에너지 효율을 높이기 위한 Tone-Lohi 프로토콜을 제안하였다. 이 프로토콜은 채널을 예약하기 위한 예약구간과 데이터를 전송하는 데이터 구간으로 구성된 프레임에 가진다. 데이터를 보내고자 하는 노드는 예약 간에서 짧은 신호(Tone)를 전송하며 그 중 하나의 노드만 채널을 예약한다. 채널을 예약한 노드는 데이터 구간에서 데이터를 전송하고 다시 경쟁구간으로 들어간다. 이 프로토콜에서는 짧은 신호를 사용하기 위해 송수신기에 전송 및 탐지를 위한 별도의 장치를 구현하였으며, 하나의 프레임 구간에서 하나의 노드에서만 데이터를 전송할 수 있다.

3. 제안된 MAC 프로토콜

앞서 언급한 바와 같이 무선 매체를 이용하여 데이터를 전송할 경우 충돌을 감지할 수 없는 매체 특성과 수중 환경에서 발생하는 높은 전파 지연으로 인하여 에너지 소비가 증가하고 데이터 처리율이 떨어지게 된다. 이를 향상시키기 위하여 본 논문에서 제안된 MAC 프로토콜에서는 데이터 충돌과 높은 전파 지연을 고려하여 설계되었다.

제안된 프로토콜은 경쟁방식에 의하여 슬롯을 획득하여 인접 노드로 데이터를 전송하게 된다. 경쟁방식을 사용하기 때문에 충돌이 발생할 수 있으며 무선 매체 특성상 탐지를 할 수 없다. 충돌을 줄일 수 있는 한 가지

방법으로 데이터를 전송하는 구간을 슬롯으로 나누어 전송하는 방식을 사용한다. 일반적으로 슬롯 방식은 비슬롯 방식에 비해 충돌 확률을 줄일 수 있다. 슬롯 방식과 비슬롯 방식을 사용할 경우 발생하는 충돌 확률을 비교하면 다음과 같다. 각 노드가 특정구간 $[0, T]$ 에서 패킷 길이가 t 인 데이터를 독립적으로 발생할 경우 적어도 하나의 다른 노드 패킷과 충돌할 확률 P_c 는 다음과 같다.

$$P_c = \begin{cases} 1 - (1 - t/T)^n & : \text{슬롯방식} \\ 1 - (1 - 2t/T)^n & : \text{비슬롯방식} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 n 은 노드의 수를 의미한다. 만약 각 노드가 데이터를 전송하는데 필요한 에너지가 같다면 충돌에 의해 소모되는 에너지 E_w 는 다음과 같다.

$$E_w = nP_c E_t \quad (2)$$

여기서 E_t 는 데이터 전송 시 소모되는 에너지이다. 따라서 충돌이 많이 발생할수록 소모되는 에너지는 증가하게 된다. 따라서 에너지 소모를 줄이기 위해 제안된 프로토콜을 슬롯 방식에서 동작한다. 제안된 프로토콜에서 사용되는 타임 슬롯은 수중 전파 지연을 고려하여 타임 슬롯 길이는 다른 노드가 인접 타임 슬롯을 이용하여 패킷을 전송할 경우 충돌이 일어나지 않을 만큼 충분히 긴 시간을 설정한다. 일반적으로 수중에서 100 m 떨어진 노드 간 최대 전송 지연이 약 67 msec이므로 제안된 슬롯의 길이는 송신 노드에서 하나의 슬롯을 사용하여 다른 노드로 슬롯 예약 및 데이터 전송 시에 다른 슬롯에 영향을 미치지 않도록 시간을 설정한다.

제안된 MAC 프로토콜에서 사용되는 전송 사이클은 그림 1과 같이 슬롯 예약 구간과 데이터 전송 구간으로 구성된다. 슬롯 예약 구간은 실제 데이터를 전송하기 위해 필요한 슬롯을 예약하기 위해 사용되는 구간이며, 데이터 전송 구간은 데이터를 전송하기 위해 필요한 슬롯이 있는 구간이다. 제안된 MAC 프로토콜에서 각 노드의 시간 동기화는 기지국이나 이전에 미리 이루어진 것으로 가정하고 있으며 시간 동기화에 대한 내용은 본 논문에서는 다루지 않는다.

본 논문에서는 전송 사이클 구간에서 슬롯 예약 구간의 슬롯을 예약 슬롯, 데이터 전송 구간의 슬롯을 데이

타 슬롯이라고 칭한다. 모든 노드는 슬롯 예약 구간에서는 활성(active) 상태를 유지한다. 슬롯 예약 구간에서는 전송할 데이터가 있는 노드는 예약 슬롯을 무작위로 하나 선택하고, 전송할 데이터가 없는 경우에는 인접 노드로부터 들어오는 예약 메시지를 청취한다. 예약 슬롯을 선택한 노드는 예약 슬롯 시간에 인접한 노드로 예약 메시지를 전송한다. 예약 메시지는 전송할 노드의 아이디와 데이터 슬롯 번호를 포함한다. 앞서 기술한 바와 같이 하나의 슬롯 길이는 예약 메시지가 인접한 노드로 전송되어 수신할 때까지의 시간을 충분히 고려하여 설정된다. 따라서 다음 슬롯에서 다른 노드가 예약 메시지를 전송하더라도 메시지 충돌이 발생하지 않는다. 그러나 같은 전송범위내의 노드가 같은 예약 슬롯을 사용하여 메시지를 전송하게 되면 충돌이 발생하게 된다. 예약 메시지를 수신한 인접 노드는 전송한 노드의 아이디와 데이터 슬롯 번호를 저장한다. 데이터 슬롯의 충돌을 줄이기 위해 제안된 프로토콜에서는 데이터 슬롯 번호를 선택할 경우 다른 노드가 미리 예약한 데이터 슬롯 번호를 제외하고 무작위로 선택한다. 이것은 예약 구간에서 모든 노드는 다른 노드의 예약 메시지를 청취하고 있기 때문에 자신이 예약 메시지를 전송하기 전까지의 데이터 슬롯의 예약 정보를 알 수 있기 때문에 가능하다.

슬롯 예약 구간이 끝나면 바로 데이터 전송 구간이 시작된다. 이 구간에서 노드는 비활성(idle) 상태를 유지한다. 만약 전송할 데이터가 있는 경우이거나 인접한 노드가 전송할 경우에만 활성 상태로 바뀐다. 예약 슬롯과 마찬가지로 데이터 슬롯에서도 인접한 노드 간에 충돌이 발생할 수 있으며, 하나의 슬롯에서 보내지는 데이터는 다음 슬롯에 영향을 주지 않기 위해 인접 노드가 수신할 수 있는 시간을 고려하여 설정한다. 센서네트워크에서 사용되는 데이터는 다른 네트워크와는 달리 상대적으로 적은 길이의 데이터를 사용하므로 다른 네트워크에 비해 전송 시간이 짧다. 또한 예약 메시지는 데이터보다 더 짧은 길이의 메시지를 사용하기 때문에 예약 슬롯은 데이터 슬롯보다 더 짧은 길이의 슬롯으로 구성할 수 있다.

제안된 프로토콜 동작을 좀 더 쉽게 기술하기 위해

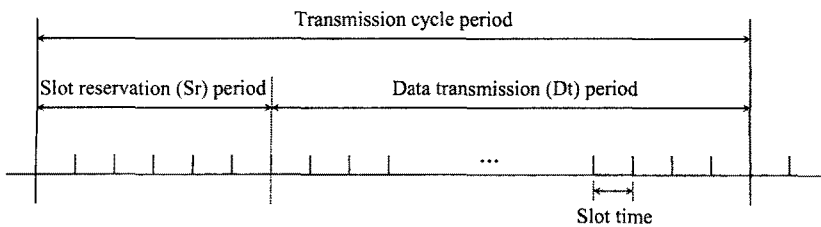
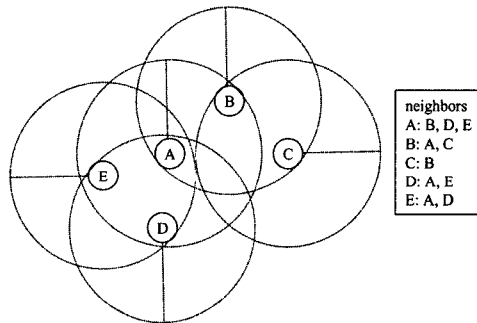


그림 1 제안된 프로토콜의 전송 사이클

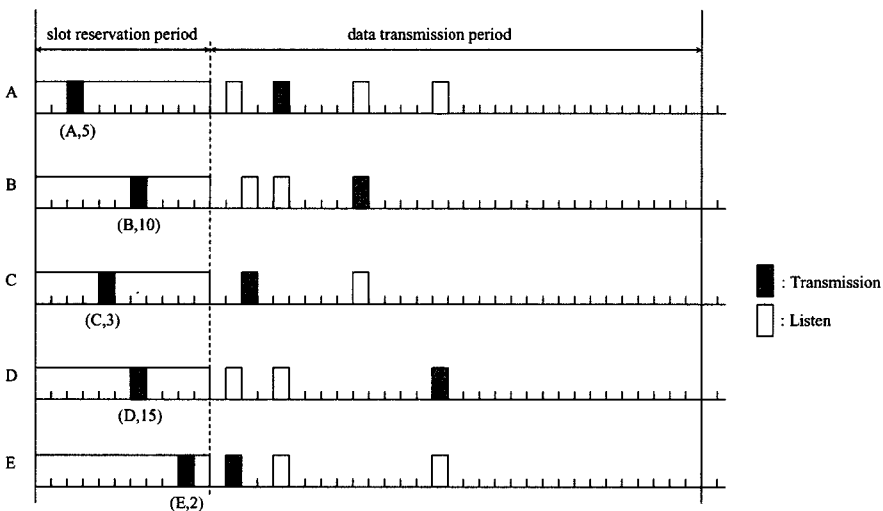
하나의 예를 이용한다. 그림 2(a)에서와 같이 5개의 노드가 존재하고 각 노드의 전송 범위를 표시하였다. 모든 노드의 전송 범위는 동일하고 전송 범위내의 노드 간에는 데이터를 전송할 수 있다고 가정한다. 슬롯 예약 구간에서는 모든 노드는 활성 상태를 유지한다. 전송 사이클 구간에서 노드가 전송할 데이터가 있으면 각 노드는 임의의 예약 슬롯을 선택한다. 노드 A는 노드 B, D, E로 데이터를 전송할 수 있으며 그림 2(b)와 같이 데이터 슬롯 5번을 선택하였다. 노드 B, D, E는 노드 A의 예약 메시지를 수신하게 되면 데이터 슬롯 5번은 사용할 수 없음을 알 수 있다. 따라서 데이터 슬롯 예약 시에 미리 예약된 슬롯은 제외하고 다른 슬롯을 예약함으로써 충돌을 막을 수 있다. 그러나 만약 노드 A와 인접한 노드가 같은 예약 슬롯을 사용하여 예약 메시지를 전송하게 되면 충돌이 발생하여 슬롯 예약을 할 수 없게 된다. 그러나 서로 인접하지 않는 노드 간의 예약 슬롯의 선택은 예약 슬롯의 충돌이 발생하지 않는다. 예를

들어, 노드 B와 D는 인접하지 않는 노드이며 그림 2(b)에서와 같이 같은 예약 슬롯을 사용하여 예약 메시지를 전송하고 있다. 이럴 경우에는 노드 A와 같이 두 노드로부터 메시지를 수신하는 경우에는 충돌에 의해 수신할 수 없는 상황이지만 노드 C와 E는 충돌 없이 메시지를 성공적으로 수신할 수 있다.

제안된 프로토콜은 슬롯 예약 구간에서는 모두 노드가 활성 상태를 유지하여 인접 노드의 슬롯 예약을 감지하여 데이터 전송 슬롯을 미리 예약한다. 데이터 전송 구간에서는 예약된 데이터 슬롯에서만 활성 상태를 유지하고 나머지는 비활성 상태를 유지함으로써 노드의 에너지 소모를 줄일 수 있다. 하지만 제안된 프로토콜은 충돌을 감지할 수 없는 환경으로 인하여 예약 슬롯 구간에서 같은 전송 범위내의 노드 간 충돌, 데이터 전송 구간에서 인접하지 않는 노드에서 전송한 데이터에 의한 데이터 충돌이 발생할 수 있으며, 슬롯 예약 구간에서 충돌이 발생할 경우 이를 감지하지 못하여 데이터



(a) 네트워크 구조



(b) 전송 사이클

그림 2 제안된 프로토콜의 동작 예

전송 구간에서 데이터를 전송함으로써 에너지 손실을 볼 수 있다. 이러한 문제점을 최소화하기 위해 다양한 평가 요소를 사용한 성능평가를 수행하여 제안된 프로토콜에 적합한 조건을 찾는다.

4. 성능평가

제안된 프로토콜은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 성능평가를 수행하였다. 성능평가에서는 전송 사이클에서 슬롯 예약 구간과 데이터 전송 구간과의 비율에 따라 하나의 노드에서 발생하는 소모 에너지, 충돌 횟수, 채널 효율, 처리율, 전송지연시간에 대하여 수행하였다.

본 논문에서 수행된 시뮬레이션은 다음과 같은 평가 요소를 사용하여 수행하였다. 수중에 놓여진 모든 노드는 $10 \times 10 \text{ km}$ 범위에 위치한다. 수중 환경의 낮은 대역폭을 고려하여 전송 범위는 1 km 이며 데이터 전송률은 1 kbps 인 음파 모뎀을 사용하였다. 노드에서 전송되는 예약 메시지 패킷은 100 비트 , 데이터 패킷은 3000 비트 를 사용한다. 본 논문에서 제안된 프로토콜의 타임 슬롯은 예약 슬롯과 데이터 슬롯으로 구분된다. 수중에서의 긴 전송지연과 데이터 전송률을 고려하여 각 슬롯의 길이를 설정한다. 일반적으로 수중에서 100 m 떨어진 노드 간 최대 전송 지연이 약 67 msec 이므로 시뮬레이션에서도 그대로 적용하였다. 따라서 전송 패킷의 크기와 전송 지연을 고려하여 예약 슬롯은 1 sec , 데이터 슬롯은 4 sec 으로 설정하였으며, 하나의 전송 사이클은 200 sec 으로 설정하였다.

네트워크상에서 노드의 에너지 소비를 측정하기 위해 기존의 제시된 에너지 소비 모델을 이용하였다[10]. 제안된 프로토콜은 송신 노드에서 수신 노드로 직접 패킷을 전달하는 방식을 사용한다. 따라서 거리가 r 만큼 떨어진 수신 노드에서 요구하는 수신 에너지, P_{θ} , 을 만족하기 위해서는 전송 노드는 다음과 같은 전송 에너지, E_t , 가 필요하다.

$$E_t = P_0 T_p r^k a^r \quad (3)$$

여기서 T_p 는 하나의 패킷을 전송하는데 걸리는 시간이며 k 는 에너지 확장 요소를 의미한다. a 는 흡수 계수인 $\alpha(f)$ 에서 얻어진 주파수 의존 조건이며 다음과 같은 식을 가진다.

$$a = 10^{\alpha(f)/10} \quad (4)$$

$\alpha(f)$ 는 Thorp의 표현식[11]에 의해 계산된다.

$$\alpha(f) = 0.11 \frac{f^2}{1+f^2} + 44 \frac{f^2}{4100+f^2} + 2.75 \times 10^{-4} f^2 + 0.003 \quad (5)$$

여기서 f 의 단위는 kHz 이며 $\alpha(f)$ 는 dB/km 단위를 가진다. 본 논문에서 수행된 시뮬레이션에서는 $P_0=1$, $f=25$

와 $k=1.5$ 를 사용하였다. 본 논문에서 측정한 소모 에너지는 슬롯 예약 구간에서 예약 메시지를 위한 전송 에너지와 수신 에너지, 센서에서 사용되는 센싱 에너지가 포함되며 데이터 전송 구간에서의 데이터 패킷 전송 에너지와 수신 에너지의 합으로 이루어진다. 여기서 센싱 에너지는 송수신 에너지에 비해 상대적으로 아주 작은 값을 가지므로 시뮬레이션 상의 소모 에너지에 포함시키지 않았다.

수행된 시뮬레이션에서는 각 노드가 전송 사이클마다 매번 센싱 데이터를 전송하는 것으로 가정한다. 즉, 본 논문에서 제안된 프로토콜은 예약 메시지 충돌을 감지할 수 없기 때문에 충돌에 의한 재전송을 수행하지 않고 전송 사이클 주기마다 센싱 데이터를 전송하는 것으로 가정한다. 본 논문에서는 제안된 프로토콜에 대하여 슬롯 예약 구간과 데이터 슬롯 구간의 비를 조절하여 성능 평가를 수행하였다. 즉, 전송 사이클에서 슬롯 예약 구간이 차지하는 비율을 10% 에서 40% 까지 두고 노드에서 소모되는 에너지와 충돌 횟수, 채널 효율, 처리율, 전송지연시간 등을 비교 평가하였다. 또한, 기존의 프로토콜과 비교하기 위해 본 논문에서 제안한 프로토콜과 유사한 전송 사이클을 가진 Rodoplu *et al.* [3]이 제안한 프로토콜과 비교하였다.

그림 3은 하나의 노드가 하나의 사이클 동안 소모되는 평균 에너지 소모량을 나타낸다. 하나의 노드에서 소모되는 에너지는 패킷을 전송하는데 소모되는 에너지와 인접 노드로부터 데이터를 수신하는데 필요한 에너지를 합한 것이다. 네트워크상의 노드가 많을수록 전체적으로 소모되는 에너지량은 증가됨을 볼 수 있다. 이것은 같은 크기의 네트워크상에 노드가 많아질수록 인접 노드가 많아지게 되고 이에 따라 수신 에너지가 증가하게 된다. 따라서 노드가 소모하는 에너지는 증가하게 된다. 슬롯 예약 구간이 증가함에 따라 소모되는 에너지는 조금 증가함을 볼 수 있다. 이것은 슬롯 예약 구간이 작을 경우 이 구간에서 충돌이 발생하게 되고 인접 노드는 충돌 노드에 대한 데이터 수신을 하지 않기 때문에 소모 에너지는 줄어들게 된다. 기존의 프로토콜과 비교하였을 때 제안된 프로토콜이 상대적으로 적은 에너지가 소모됨을 볼 수 있다. 제안된 프로토콜은 송수신이 필요한 구간에서만 활성상태를 이루기 때문에 불필요한 에너지 소모를 줄이게 된다.

그림 4는 네트워크상의 노드 수에 따른 모든 노드의 충돌 횟수를 나타낸 그림이다. 노드의 수가 증가함에 따라 인접 노드의 수가 증가하게 되고 충돌의 횟수도 증가함을 알 수 있다. 그림 3의 소모 에너지량과 마찬가지로 슬롯 예약 구간이 차지하는 비가 증가함에 따라 충돌의 횟수가 줄어들음을 볼 수 있다. 이는 예약 구간에서

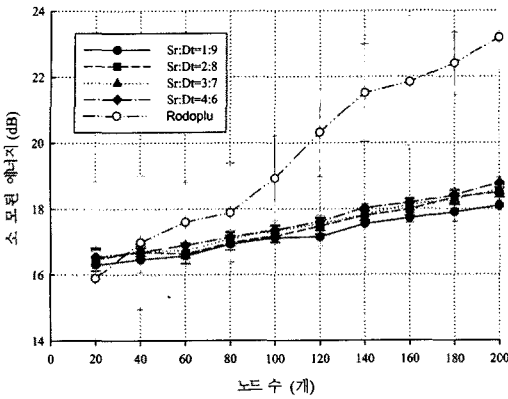


그림 3 소모된 에너지
(Sr: 슬롯예약구간, Dt: 데이터전송구간)

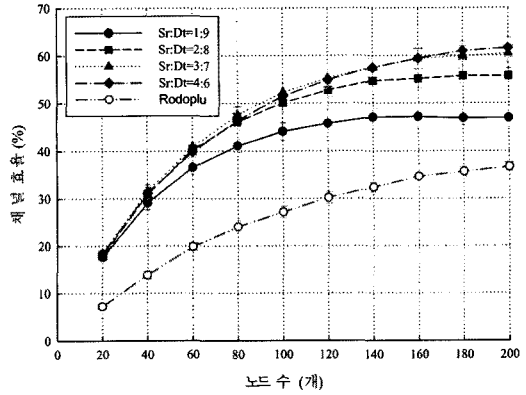


그림 5 채널 효율
(Sr: 슬롯예약구간, Dt: 데이터전송구간)

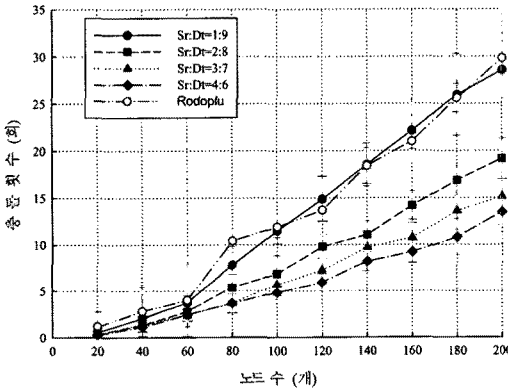


그림 4 충돌횟수(Sr: 슬롯예약구간, Dt: 데이터전송구간)

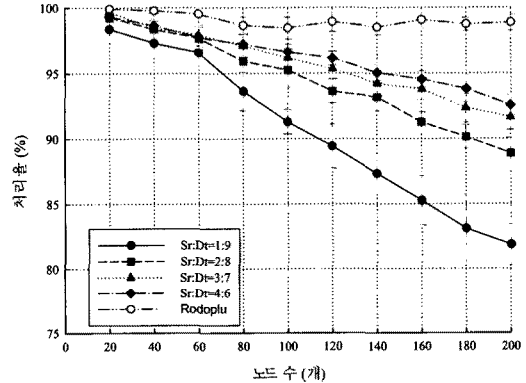


그림 6 처리율(Sr: 슬롯예약구간, Dt: 데이터전송구간)

의 충돌이 줄어들에 따라 전체적으로 충돌이 줄어들게 됨을 의미한다.

그림 5는 노드 수에 따른 채널 효율을 나타낸 그림이다. 채널 효율은 한 사이클에 존재하는 모든 슬롯과 실제 데이터를 보내기 위해 사용된 슬롯의 비율 나타낸다. 슬롯 예약 구간이 증가함에 따라 전반적으로 채널 효율이 증가하지만 슬롯 구간이 30~40%인 경우에는 거의 비슷한 채널 효율을 가진다. 이것은 그림 4에서 나타나듯이 이 구간에서는 충돌 횟수의 차이가 많이 발생하지 않음에 따라 채널 효율도 비슷하게 나타나고 있다. 그림 5에서 나타나지 않지만 슬롯 예약 구간이 50%이상일 경우에는 오히려 채널 효율은 점점 감소하게 된다. 이것은 데이터 슬롯의 수가 감소함에 따라 데이터 슬롯에서의 충돌에 의하여 채널 효율이 떨어지게 된다. 기존의 프로토콜과 비교했을 때 채널 효율 면에서 우수함을 볼 수 있다. 이 결과에서 제안된 프로토콜이 기존의 프로토콜에 비해 가용한 채널을 효과적으로 사용되고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 실제 사용된 슬롯의 수와 충돌 없이 정상적으로 패킷을 전송한 슬롯의 비율 나타낸 것이다. 이것은 제안된 프로토콜을 사용하여 데이터를 전송할 경우 발생할 수 있는 충돌이 얼마만큼의 비중을 차지하는 지를 볼 수 있으며 본 논문에서는 이것을 처리율이라고 정의한다. 그림에서 슬롯 예약 구간의 비가 30% 이상일 경우에는 한 사이클에서 모든 노드가 데이터를 전송하더라도 200개의 노드가 존재하는 밀집 구간에서도 92% 이상의 전송을 보장할 수 있음을 보여준다. 이 그림에서 기존의 프로토콜은 초기 설정 후 매 사이클 마다 데이터 패킷을 전송할 경우의 그림이다. 따라서 초기 설정 단계를 제외하고 각 노드에 대한 채널 할당이 이루어진 이후에는 거의 충돌이 없이 데이터 전송이 이루어짐을 볼 수 있다. 그러나 실험 환경과 다르게 매 사이클 마다 데이터 전송이 이루어지지 않을 경우 급격하게 처리율이 떨어짐을 생각할 수 있다.

그림 7은 노드 수에 따른 전송지연을 나타낸 것이다. 본 논문에서 측정된 제안된 프로토콜의 전송지연은 각

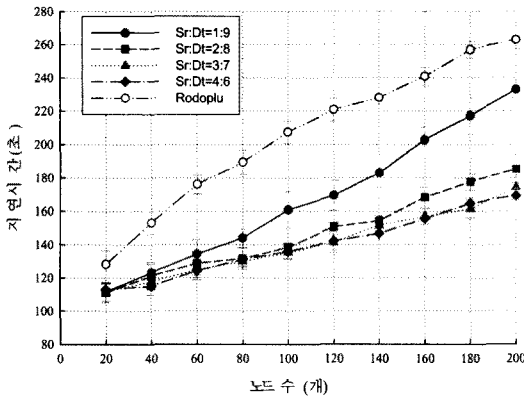


그림 7 지연시간(Sr: 슬롯예약구간, Dt: 데이터전송구간)

노드에서 전송할 데이터가 있을 경우 예약 메시지를 전송한 시점에서 데이터 패킷을 전송한 시점까지의 시간을 측정하였다. 또한 기존 프로토콜의 전송지연은 최초 설정시점에서부터 데이터를 전송하기까지의 시간을 측정하였다. 두 프로토콜은 같은 전송 사이클을 가지며 시뮬레이션에 사용된 전송 사이클은 200초로 설정하였다. 그림에서 나타나듯이 전송 지연은 충돌 횟수와 상관관계가 있다. 그림 4에서 충돌 횟수는 슬롯 예약 구간의 비가 증가할수록 줄어들음을 알 수 있다. 따라서 그림 7에서 슬롯 예약 구간의 비가 증가할수록 충돌 횟수가 줄고 전송지연도 같이 줄어들음을 알 수 있다. 반면 기존의 방식은 항상 일정한 채널에서 데이터를 전송하기 때문에 노드의 수가 적을 경우에는 충돌이 거의 발생하지 않기 때문에 전송 사이클만큼 전송지연이 발생하지만 노드의 수가 많아질수록 충돌에 의하여 지연시간이 늘어남을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 수중 음파 센서 네트워크에 적합한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 무선 환경의 특수성에 의해 충돌이 발생하게 되며, 이를 최소화하기 위한 방법을 제시하고 수중환경에서의 높은 전송지연과 낮은 대역폭을 고려하여 에너지 소모를 최소화하고 처리율을 최대화하는데 중점을 두었다. 제안된 프로토콜에서는 데이터를 전송하기에 앞서 미리 타임 슬롯을 예약하고 불필요한 수신을 막기 위해 인접 노드의 전송 시점에서만 수신한다. 제안된 프로토콜의 성능을 평가하고 충돌의 횟수와 처리율의 최적화를 위해 슬롯 예약 구간과 데이터 전송 구간의 비를 조정하면서 시뮬레이션을 수행하였다. 성능평가에서 슬롯 예약 구간과 데이터 전송 구간의 비율을 조절하여 소모된 에너지와 충돌횟수, 채널 효율, 처리율, 전송지연을 측정하였다.

며 기존의 MAC 프로토콜과 성능 비교하였다. 성능평가 결과에서 제안된 프로토콜은 노드의 수가 많을 경우 채널 효율이 50%이상을 유지하며 기존의 MAC 프로토콜에 비교하였을 때 2배 이상의 낮은 에너지 소모와 짧은 전송지연이 발생함을 볼 수 있었다.

본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜은 높은 전송지연과 낮은 대역폭을 가진 수중환경에서 전송효율을 높이기 위해 다수의 노드들이 동시에 데이터 패킷을 전송할 수 있도록 설계되었다. 그러나 전송 패킷 간에 충돌이 발생할 수 있으며 충돌에 의한 전송 지연 및 에너지 소모가 증가할 수 있기 때문에 향후 패킷 충돌 확률을 낮추기 위한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian and E. Cayiraci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, No.38, pp. 393-422, 2002.
- [2] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," *Ad Hoc Networks(Elsevier)*, Vol.3, No.3, pp. 257-279, May 2005.
- [3] J. Shu and P. Variaya, "PEDAMACS: Power efficient and delay aware medium access protocol for sensor networks," *Information Research Frontiers*, Vol.5, pp. 29-37, 2003.
- [4] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks," in *Proceedings of the IEEE INFORCOM*, pp. 1567-1576, Jun. 2002.
- [5] IEEE Standard 802.11 for Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications, Aug. 1999.
- [6] V. Rodoplu, and M. K. Park, "An energy-efficient MAC protocol for underwater wireless acoustic networks," In *Proceedings of the IEEE OCEANS'05 Conference*, Sep. 2005.
- [7] M. Molins and M. Stojanovic, "Slotted FAMA: a MAC protocol for underwater acoustic network," In *Proceedings of the IEEE OCEANS'06 Asia Conference*, May 2006.
- [8] Affan A. Syed, Wei Ye, and John Heidemann. "T-Lohi: A New Class of MAC Protocols for Underwater Acoustic Sensor Networks," Technical Report ISI-TR-638, USC/Information Sciences Institute, April, 2007.
- [9] C. L. Fullmer and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Floor acquisition multiple access (FAMA) for packet-radio networks," June 07 1995.
- [10] E. M. Sozer, M. Stojanovic, and J. G. Proakis, "Underwater acoustic networks," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol.25, pp. 72-83, Jan. 2000.
- [11] L. Berkhovskikh and Y. Lysanov, *Fundamentals of Ocean Acoustics*, New York: Springer, 1982.



장길웅

1997년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학사
1999년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학석
사. 2002년 경북대학교 컴퓨터공학과 공
학박사. 2003년 3월~현재 한국해양대학
교 나노데이터시스템학부 조교수. 관심분
야는 이동통신, 네트워크 프로토콜