논문 2008-6-14

다중 홉 수중 음향 센서네트워크를 위한 MAC 프로토콜 설계

Developing a new MAC Protocol for Multi-hop Underwater Acoustic Sensor Networks

임찬숙*

Chansook Lim

요 약 최근에 제안된 수중 음향 센서 네트워크용 MAC 프로토콜인 T-Lohi는 저가형 음향 모뎀들이 밀집되어 구성된 네트워크에서 사용되도록 설계된 프로토콜이다. 그러나 T-Lohi는 각 노드들이 모든 노드들의 신호를 수신할 수 없어 멀티 홉 라우팅이 필요한 네트워크에서 사용될 때 hidden terminal 문제로 인해 많은 패킷 충돌이 발생한다. 본 논문에서는 T-Lohi처럼 톤을 사용하여 전력 소모에 있어서의 경제성을 추구하면서도 RTS/CTS handshaking을 통해 hidden terminal문제를 해결한 새로운 MAC프로토콜을 제안한다. 모의실험 결과는 새로운 MAC프로토콜이 T-Lohi와 비교했을 때 패킷 손실을 훨씬 줄이면서도 좋은 네트워크 활용률을 달성할 수 있음을 보여준다.

Abstract T-Lohi, a MAC protocol for underwater acoustic sensor networks, has been designed to support dense networks consisting of short-range acoustic modems. However when T-Lohi is applied to large networks in which multi-hop routing is necessary, it suffers a lot of packet collisions due to the hidden terminal problem. To combat this problem, we propose a new MAC protocol which employs RTS/CTS handshaking. To our knowledge, this protocol is the first to adopt both a tone-based approach and RTS/CTS handshaking for dense underwater acoustic sensor networks. Simulation results show that this new protocol drastically reduces packet collisions while achieving good network utilization.

Key Words : 수중음향센서네트워크, MAC프로토콜, RTS/CTS Handshaking, Energy-Efficiency

Ⅰ. 서 론

지상에서 사용되어온 무선 전파는 수중에서 급격한 감쇠 현상을 보이기 때문에 수중 센서 네트워크에서는 음파가 대신 사용된다. 수중 음향 채널의 성질은 지상 전파 채널과는 극히 다른데 대표적인 차이로 (1)극히 긴 전파지연시간 (지상전파의 10만 배 이상) (2)지극히 제한적인 대역폭 (3)심히 높은 BER(bit error rate) (4) shadow zone 현상으로 인한 일시적인 연결 끊김 (5) multipath나 fading 문제로 인한 채널 손상 등을 꼽을 수 있다. [9] 또한 오늘날 사용될 수 있는 음향 모뎀들은 송신 중에는 수신할 수 없는 half duplex의 성질을 갖고 있고 전력소모에 있어서는 수신에 비해 송신이 훨씬 큰 전력을 필요로 한다는 특징을 갖고 있다.

이러한 물리계층 성질에 있어서의 극심한 차이 때문에 지상 무선 전파 네트워크, 특히 지상 센서 네트워크나 Ad hoc 네트워크를 위해 사용되었던 프로토콜들은 그대로 사용할 수 없게 되고 사실상 거의 모든 네트워크 프로토콜 계층에 걸쳐 새로운 문제들의 해결을 요하게 된다. 현재까지의 수중 센서 네트워크에 관한 연구 동향을 살펴볼 때 위치 파악(Localization), MAC 프로토콜, 라우팅 프로토콜 등이 가장 활발하게 연구되어 왔는데 특히 MAC 프로토콜의 설계는 네트워크 성능에 많은 영향을 미치므로 상위 계층 프로토콜에 앞서 해결되어야 할 문제이다.

*정회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
접수일자 2008.9.25, 수정완료 2008.12.7

수중 음향 센서 네트워크용 MAC프로토콜에 관한 연구에는 여러 가지가 있다 [4][5][6][7]. 수중 음향 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜 설계에 있어서의 가장 중요한 관건은 어떻게 하면 긴 전파지연시간의 문제를 극복하고 효율적으로 음향 채널을 활용할 수 있는가에 대한 것이다.

본 연구에서는 특별히 Syed, Ye, Heidemann 등이 최근에 제안한 MAC 프로토콜 중 하나인 T-Lohi[5]에 주목한다. 이 프로토콜은 저가형 단거리(short range) 모뎀을 사용하는 센서 노드들로 구성된 밀집(dense) 네트워크를 목표로 하고 있는데 단거리 모뎀을 사용할 때에는 모뎀 가격 측면에서의 경제성이 좋을 뿐만 아니라 수중 음향 채널이 겪을 수 있는 여러 가지 문제들이 완화되기 때문이다. 그러나 T-Lohi가 목표로 하는 밀집된 네트워크란 사실상 각 노드가 모든 노드의 최대 전송 거리 이내에 있도록 배치된 네트워크를 가리키는 셈이 된다. 왜냐하면 T-Lohi는 hidden terminal 문제에 대한 해결책을 갖고 있지 않기 때문이다. T-Lohi가 최대 전송거리 500m 정도인 단거리 모뎀들로 구성된 네트워크를 목표로 한다는 점을 감안하면 hidden terminal문제에 대한 해결책이 없다는 것은 네트워크 구성에 있어 상당한 제약사항이 될 것임을 암시한다. 실제로 노드들이 좀 더 넓은 지역에 걸쳐 배치되어 서로의 신호를 다 들을 수 없게 될 경우 hidden terminal문제로 인해 많은 패킷들이 충돌하는 것을 확인할 수 있다. 경제적인 전력 소모 측면에서 볼 때 패킷 충돌 및 재전송 방지가 모든 센서 네트워크에서 중요하지만 특히 음향 센서 네트워크에서는 더욱 중요한데 그 이유는 음향 모뎀의 경우 수신에 비해 송신이 훨씬 더 많은 전력을 소모하기 때문이다.

우리는 단거리용 모뎀을 사용하는 네트워크가 멀티 홉 라우팅 사용이 불가피한 토포로지의 네트워크에서도 사용될 가능성이 많다고 전제하고 단거리용 음향 모뎀들로 구성된 큰 네트워크에서도 많은 패킷 충돌 없이 패킷을 전송할 수 있는 새로운 MAC프로토콜을 제안하고자 한다. 이 프로토콜은 T-Lohi의 최대 장점 중 하나, 즉, 톤(tone)을 이용한 에너지 절약의 특징을 살리되 RTS/CTS 교환을 기반으로 hidden terminal문제를 극히 완화시킨다. 모의실험 결과는 새로운 프로토콜이 T-Lohi에 비해 충돌로 인한 패킷 손실을 극적으로 줄일 수 있음을 보여준다.

II. 배경

본 연구에서는 T-Lohi의 문제점을 개선한 MAC 프로토콜 제안이 주목표이기 때문에 이 절에서는 T-Lohi의 특징과 문제점을 간략히 소개한다.

1. T-Lohi

지금까지 제안된 대부분의 MAC 프로토콜들과는 달리 T-Lohi는 단거리(short range) 모뎀을 사용하는 센서 노드들로 구성된 밀집형 네트워크에서의 사용을 목표로 하여 설계되었다. 앞서 언급했듯이 단거리 모뎀들을 사용할 때에는 대개 이러한 모뎀들이 저가형이라는 면에서 이점이 있을 뿐만 아니라 수중 음향 채널이 겪을 수 있는 여러 가지 문제들이 완화되는 장점이 있다.

T-Lohi는 톤(tone)을 보내어 채널을 예약하는 메카니즘을 채택했는데 이 메카니즘은 [5]의 저자들이 시간-공간 불확실성이라고 명명한 현상과 긴 전파 지연시간을 역이용하려는 발상에 기초한다. 시간-공간 불확실성이란 느린 네트워크에서 패킷이 충돌할 지 또는 정상적으로 수신될 지의 여부가 전송시각에뿐 아니라 노드들의 위치에도 의존하는 현상을 의미한다. 이는 어떤 네트워크에서도 존재하는 현상이지만 지연시간이 매우 긴 음향 네트워크에서는 확연하게 관찰된다. 그림 1은 [5]에서 발췌한 그림인데 이를 잘 설명해준다. 그림 1(a)에서는 노드 C와 D가 같은 시각 채널의 상태를 서로 다르게 추정할 것임을 보여준다. 또한 그림 1(b)에서는 노드 A와 E가 보낸 패킷이 C에서 서로 충돌할 것이지만 노드 B와 D에서는 정상적으로 수신될 것임을 보여준다.

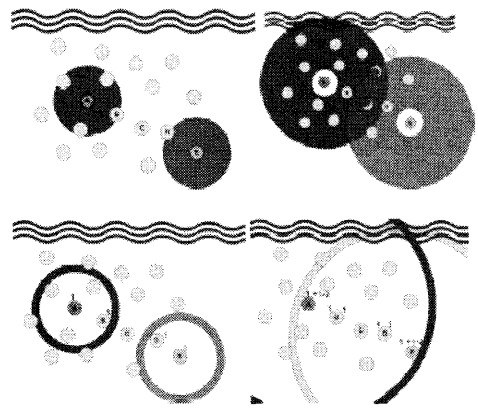

그림 1. 패킷이 시간적 공간적으로 겹치는 현상 (위) 큰 패킷이 전송될 경우 (아래) 작은 패킷이 전송될 경우 ([5]로부터 발췌됨)

이러한 현상은 단점과 동시에 장점을 제공하게 된다. 즉, 긴 전파 지연 시간으로 인해 채널의 상태를 판단하는 데에 어려움도 있지만 반면에 채널을 놓고 경쟁하고 있는 노드의 수를 세기에 용이한 측면 또한 제공한다는 것이다. T-Lohi는 패킷을 전송하기 전 채널의 상태를 판단할 때 전파지연시간에 비례하는 시간만큼 기다릴 뿐만 아니라 수신된 톤의 수를 경쟁자의 수로 간주하여 센 후 이를 바탕으로 backoff timer를 계산함으로써 공평성을 개선하고자 하였다. 따라서 이 프로토콜에서의 톤은 현재 데이터 전송과 관련 없는 노드들을 휴면상태에 보냈다가 깨움으로써 전력소모를 줄이는 목적을 넘어 채널의 상태를 판단하기 위한 주요 수단이 된다.

T-Lohi는 크게 동기화 방식과 비동기화 방식 두 가지로 나누어진다. 우선 동기화 방식(ST-Lohi)에서 모든 노드는 일정한 시각에 경쟁 라운드로 들어가고 경쟁자가 있을 경우 backoff한 뒤 다시 시도하여 오직 하나의 노드만 전송하게 될 수 있을 때까지 데이터를 전송하지 않고 기다리게 되므로 충돌의 가능성이 극히 적어진다. 또한 경쟁 라운드는 대략 '전파지연시간+tone감지시간'만큼으로 설정되는데 시간 동기화가 전제될 때 사용가능하다. 비동기화 방식은 톤을 보내고 나서 경쟁 라운드만큼 기다리는 동안 다른 톤을 감지하지 않을 때 데이터 패킷을 보내는 방식이다. 비동기화 T-Lohi에는 경쟁라운드를 단방향 전파지연시간의 2배로 설정하는 보수적인방식(cUT-Lohi)과 경쟁 라운드의 길이를 단방향 전파지연시간만큼 설정하는 적극적인 방식(aUT-Lohi), 두 가지가 있다.

이 3가지 방식의 T-Lohi의 성능은 모의실험을 통해 비교되었다. 노드들을 400m x 300m 넓이에 Uniform 분포에 따라 배치시킨 후 각 노드는 Poisson분포를 따라 주어진 평균 전송률(즉, offered load)로 패킷을 새로 생성하여 내보내었다. 그 결과 네트워크 활용률이 가장 높은 방식은 적극적인 비동기화 방식(aUT-Lohi)이었으며 패킷 손실이 가장 적은 방식은 동기화 방식(ST-Lohi)이었다. 이 모의실험은 모든 노드들이 서로 500m안에 있어 서로의 신호를 들을 수 있는 환경에 제한되었는데 이는 T-Lohi의 실제적인 적용 범위가 상대적으로 작은 면적에 국한됨을 암시한다.

2. Hidden terminal 문제 해결의 필요성

앞서 언급되었듯이 T-Lohi는 단거리용 음향모뎀을 사용하여 구성되는 네트워크에서의 활용을 목표로 제안되었다. 우리는 이러한 네트워크에서 한 노드로부터 한 홉만을 거쳐 Base station에 데이터를 전송하는 경우 뿐 아니라 멀티 홉을 거쳐 데이터를 전송해야 할 경우가 많이 발생할 수 있다고 전제한다. 그렇지 않으면 네트워크 구성에 있어 심한 제한을 받게 되기 때문이다. 단거리용 음향 모뎀을 사용하여 멀티 홉 네트워크 환경으로 확장된 네트워크를 구성하고자 할 경우 해결해야 할 가장 중요한 문제는 hidden terminal문제이다. T-Lohi를 멀티 홉 라우팅이 필요한 환경에 적용하면 충돌로 인해 많은 데이터 패킷을 잃어버리게 된다. 그 이유는 톤만으로는 그 노드가 신호를 들을 수 있는 범주 내에 패킷을 보내려는 채널 경쟁자가 있는지를 판단할 수 있을 뿐 hidden terminal문제에 대한 해결책을 제공할 수 없기 때문이다. T-Lohi에 있어 패킷 손실은 IV절의 실험 결과가 보여주듯이 offered load가 커질수록 극심해져서 잃어버린 패킷이 제대로 전달된 패킷보다 훨씬 많아지게 된다. 이는 수중 음향 센서 네트워크에서는 치명적인 단점이 되는데 데이터를 전송하는 데에 필요한 에너지가 수신에 필요한 에너지보다 훨씬 커서 데이터 충돌로 인한 손실은 센서 노드의 빠른 에너지 소진으로 이어지기 때문이다.

III. Tone과 handshaking기반의 MAC프로토콜

우리가 새로이 제안하고자 하는 MAC 프로토콜은 단거리용 음향모뎀을 사용하여 구성된 밀집(dense) 음향 센서 네트워크에서 사용되는 것을 목표로 하되 hidden terminal 문제의 해결을 위해 RTS/CTS handshaking방식을 사용한다는 점이 T-Lohi와의 가장 큰 차이점이다.

T-Lohi의 가장 큰 장점 중 하나인 전력소모의 경제성을 우리의 MAC 프로토콜 또한 추구하므로 T-Lohi에서처럼 휴면상태에 있는 노드를 깨우기 위해 톤을 사용하기로 하였다. 그러나 톤의 역할은 T-Lohi에서보다는 많이 축소된다. T-Lohi에서는 각 노드가 tone을 감지하여 자신에게 신호가 미치는 영역 내에서 현재 채널을 사용하려고 경쟁하는 노드의 수를 추측하고 이를 backoff timer 설정에 적용하였다. 우리의 MAC 프로토콜에서도 에너지 절약을 위해 톤을 사용하지만 그 역할은 휴면 상태에 있던 노드들을 깨우는 가장 기본적인 역할로 제한

되게 된다. 그 이유는 RTS나 CTS 패킷을 보내기 전 현재 자고 있을지 모르는 노드들을 깨우기 위해 톤을 먼저 보내야 하는데 한 건의 데이터 전송에 대해 RTS와 CTS를 모두 듣는 노드들은 톤도 두 번 감지하게 되어 정확한 경쟁자 수를 추측하기 어렵게 되기 때문이다.

톤을 이용하여 채널 경쟁자 수를 추측하는 대신 우리의 MAC 프로토콜은 기존의 CSMA/CA방식에서처럼 수신된 RTS와 CTS를 바탕으로 설정한 NAV (Network Allocation Vector)의 정보로 경쟁자의 수를 파악한다. 일반적으로 지상 무선 네트워크에서는 RTS/CTS/ACK순서로 제어 패킷들을 교환하지만 우리의 MAC 프로토콜에서는 ACK 전송을 하지 않는다. ACK 전송을 위해 소요되는 전파지연시간이 종단 간 지연시간을 더욱 길게 만들기 때문에 패킷의 손실 감지 및 재전송은 상위계층의 프로토콜에 의존하도록 한다.

Ⅳ. 성능 평가

우리는 T-Lohi의 모의실험을 위한 프로그램을 확장하여 RTS/CTS교환이 수행되도록 수정하였다. MAC계층에서 T-Lohi는 8개의 상태로 구성된 상태기계(state machine)에 기초하고 있으나 새로 제안된 프로토콜에서는 13개의 상태로 구성된 상태기계를 사용되게 된다. 일반적인 RTS/CTS handshaking방식의 프로토콜에 비해 상태의 수가 많은 편인데 이는 RTS나 CTS에 앞서 톤이 전송되기 때문이다.

모의실험에 사용된 네트워크는 16개의 노드가 가로, 세로 350m간격으로 4행, 4열 형태로 배치된 형태로 구성되었다. 실험 초기 이웃노드 발견 단계에서 자신의 신호가 미칠 수 있는 이웃노드를 찾아 기록해 놓는다. 그 후 100초간 각 노드는 자신의 이웃노드들 중 무작위로 하나를 목적지 노드로 뽑아 데이터를 전송한다. 새로운 데이터의 전송률은 Poisson 분포를 따른다. 데이터 패킷의 길이는 일정하게 650 Bytes로 설정하였고 RTS패킷과 CTS패킷의 길이는 10 Bytes로 설정하였다. 우리는 각 offered load에 대해 500번 수행한 후 평균값을 구하였다. 이 모의실험에서의 패킷 손실은 모두 충돌에 의해 발생한 것으로 가정한다.

새로 제안된 MAC프로토콜의 성능은 T-Lohi와 비교되는데 톤 대신 RTS/CTS교환으로 채널의 사용가능 여부를 판단하는 방식이 주요 차이점일 뿐 다른 특징들은 서로 공유하고 있어 hidden terminal 문제 해소의 효과를 잘 보여주기 때문이다. 두 프로토콜의 성능은 성공적으로 도착한 패킷의 수로 평가한 네트워크 활용률, 손실된 패킷의 수, 그리고 일단 전송을 시도하기 시작한 시점으로부터 패킷이 목적지 노드에 도착한 시점까지의 종단간 지연시간(end-to-end delay) 등 세 가지 측면에서 비교하였다.

그림 2는 네트워크 활용률을 100초 동안 성공적으로 도착한 데이터 패킷의 수로써 두 프로토콜 간에 비교하고 있다. 각 노드에 대한 offered load가 0.5 packets/second 이하인 경우에는 T-Lohi의 네트워크 활용률이 더 높은 반면 그 이상의 Offered load에 대해서는 두 프로토콜 간에 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 두 프로토콜 모두 offered load가 약 0.05 packets/second 일 때 가장 높은 네트워크 활용률을 보인다.

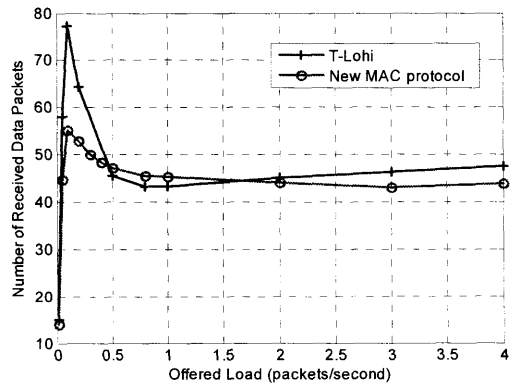

그림 2. Network Utilization 측면에서의 비교
Fig. 2. Network Utilization.

충돌로 인해 손실된 패킷의 수는 그림 3이 보여준다. T-Lohi는 Offered load가 0.05 packets/second를 넘으면 무사히 목적지에 도착한 패킷의 몇 배에 해당하는 패킷들을 충돌로 잃어버리게 된다. RTS/CTS handshaking을 통해 빈 채널을 예약한 후 데이터를 보내도록 한 새로운 MAC프로토콜에 있어서는 패킷의 손실이 대폭 줄어들었다. 여기에서 주목을 끄는 점은 handshaking을 하는 새로운 MAC 프로토콜에 있어서조차도 충돌로 인해 손실된 패킷의 수가 30개를 초과하는 경우가 많이 보인다는 사실이다. 음향 네트워크에서는 음향신호의 긴 전파지연시간 때문에 지상의 무선통신에 비해 RTS, CTS 패킷의 충돌이 많이 발생할 수 있다. 또한 이러한 제어 패킷들의

손실은 데이터 패킷의 손실로까지 이어질 수 있다. 그러나 패킷 충돌의 대부분은 RTS, CTS 패킷들의 충돌이며 데이터 패킷의 충돌은 매우 적다. 그림 3에서는 손실된 데이터 패킷들만의 개수를 따로 보여주고 있는데 최악의 경우에도 8 개를 넘지 않는 것을 볼 수 있다. 손실된 데이터 패킷이 극히 적고 손실된 대부분의 패킷들은 길이가 10Bytes에 불과한 짧은 제어 패킷들이기 때문에 에너지 손실이 극적으로 감소하게 됨을 알 수 있다.

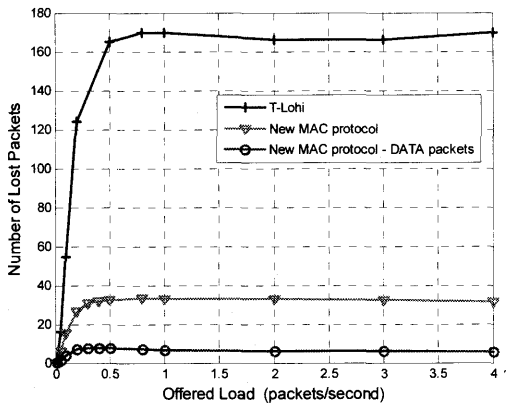

그림 3. Packet Loss 측면에서의 비교
Fig. 3. Packet Loss

세 번째 성능메트릭인 종단 간 지연시간이란 각 패킷이 생성되어 처음 전송이 시도된 때로부터 그 패킷이 무사히 목적지 노드에 도착한 때까지의 시간을 의미한다. 그림 4는 평균 종단간 지연시간 측면에서 두 프로토콜을 비교하고 있다. 우선 주목하게 되는 것은 T-Lohi에 비해 새로 제안된 MAC프로토콜에서는 평균 종단 간 지연시간이 매우 길다는 점이다. 이는 T-Lohi의 경우 채널이 비어있는지 여부를 톤으로만 판단하여 패킷을 내보내므로 충돌의 확률이 크기는 하지만 데이터 패킷이 빠른 시간 내에 전송되는 반면 새로 제안된 MAC프로토콜에서는 RTS/CTS교환과정에서 채널이 사용 중(busy)이라는 사실을 알 때마다 Backoff를 하게 되므로 결국 데이터 패킷이 실제로 네트워크로 나가기까지 긴 시간이 소요되는 경우가 많이 발생하기 때문이다. 또 한 가지 주목할 점은 종단 간 지연시간이 offered load 증가에 따라 계속 증가하다가 Offered load가 3 packets/second를 넘으면서부터는 더 이상 증가하지 않는다는 점이다. 이는 각 노드에서 보낼 데이터가 계속 생성된다 하더라도 큐에 쌓일 뿐 송신노드와 수신노드 간의 handshaking이 완료되어 충돌이 없을 것이 보장되었다는 암시를 받기 전에는 실제 데이터 패킷을 내보낼 수 없기 때문이다.

RTS/CTS handshaking방식은 패킷충돌을 대폭 향상시키지만 Offered load가 지극히 낮을 때조차도 기본적인 지연시간을 증가시킨다. 또한 Offered load가 증가함에 따라 지연시간이 많이 증가하기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다. 특히 이 프로토콜이 목표로 하는 멀티 홉 네트워크에서는 한 패킷이 여러 홉을 거쳐 최종 목적지 노드까지 도달되므로 지연시간이 중요한 관건이 된다. 이 문제를 해결하기 위해서는 상위계층의 라우팅 프로토콜에 맞추어 경로 상에 있는 노드들을 파이프라인(pipeline)방식으로 미리 깨우고 채널이 사용가능 하도록 예약하는 방식을 검토해볼 필요가 있다. 또한 패킷의 길이를 조절하거나 Offered load를 조절하여 패킷 손실과 지연시간을 줄이면서도 적정한 시간당 처리량을 달성하는 것도 한 방법이 될 수 있을 것으로 보인다.

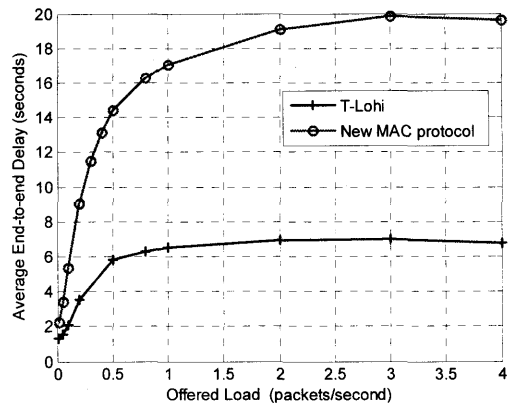

그림 4. 평균 End-to-End Delay 측면에서의 비교
Fig. 4. Average End-to-End Delay

V. 결 론

우리는 밀집된 수중 음향 센서네트워크에서 톤을 활용하여 사용되지 않는 센서노드들이 휴면상태에 있게 함으로써 에너지를 절약할 수 있으면서도 RTS와 CTS 교환을 통해 hidden terminal 문제를 해결할 수 있는 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. 모의실험 결과는 충돌로 인해 손실되는 패킷의 수를 대폭 줄이면서도 좋은 네트워크 활용률을 달성할 수 있음을 보여준다.

성능 개선을 위해 고려될 수 있는 방향은 다음과 같다.

우선 톤 정보 활용의 극대화를 통해 RTS, CTS 패킷의 손실을 최소화할 수 있는 방안을 찾는다. 제어 패킷의 손실은 데이터 패킷의 충돌로 이어질 가능성이 있으므로 최대한 막아야 한다. 둘째, 약간의 정보를 실어 보낼 수 있는 톤 신호 사용의 실용성 검토가 필요하다. 톤 정보를 디코드(decode) 할 수 있는 wakeup 모뎀을 사용할 수 있다면 제어 패킷의 교환을 줄일 수 있다. 마지막으로 노드의 위치 정보를 활용하여 exposed terminal 문제를 완화함으로써 네트워크 활용률을 개선하는 방법을 검토할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Ian F. Akyildiz, Dario Pompili, and Tommaso Melodia, "Underwater acoustic sensor network: research challenges", Elsevier Ad Hoc Networks 3, pp. 257-279, 2005.

[2] John Heidemann, Wei Ye, Jack Wills, Affan Syed, and Yuan Li, "Research Challenges and Applications for Underwater Sensor Networking", In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 228-235. Las Vegas, Nevada, USA, IEEE. April, 2006.

[3] Jim Partan, Jim Kurose, and Brian Neil Levine, "A Survey of Practical Issues in Underwater Networks", In the Proceedings of the First ACM International Workshop on Underwater Networks(WUWNet), September 25, Los Angeles, USA, 2006.

[4] Affan Syed, Wei Ye, Bhaskar Krishnamachari, and John Heidemann, "Understanding Spatio-Temporal Uncertainty in Medium Access with ALOHA Protocols", In the Proceedings of the Second ACM International Workshop on Underwater Networks(WUWNet), 2007.

[5] Affan A. Syed, Wei Ye, 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.

[6] Min Kyoung Park, Volkan Rodoplu, "UWAN-MAC: An Energy-Efficient MAC Protocol for Underwater Acoustic Wireless Sensor Networks", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 32, No. 3, pp. 710-720, 2007.

[7] Borja Peleato and Milica Stojanovic, "Distance Aware Collision Avoidance Protocol for Ad-Hoc Underwater Acoustic Sensor Networks", IEEE Communication Letters, Vol. 11, No. 12, Dec. 2007.

[8] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", IEEE Infocom, 2002.

[9] Dario Pomili, Tommaso Melodia, and Ian F. Akyildiz, "Routing Algorithms for Delay-insensitive and Delay-sensitive Applications in Underwater Sensor Networks", Mobicom 2006.

[10] Tamer Nadeem, and Lusheng Ji, "Location Aware IEEE 802.11 for Spatial Reuse Enhancement", IEEE Transactions on Mobile Computing, 2007.

※ 이 논문은 2008학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음

저자 소개

임 찬 숙(정회원)

- 1985년 서울대학교 계산통계학과 졸업.
- 1999년 New York University 졸업 (MS).
- 2006년 University of Southern California 졸업 (Ph.D.).
- 2008년 현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 전임강사.

<주관심분야: Internet Measurement, Routing, TCP, Wireless Sensor Networks>