

수중 센서 네트워크에서 에너지 효율 향상을 위한 측정 기반 패킷 폐기 MAC 프로토콜

김 선 명*

Measurement-based Packet Dropping MAC Protocol for Improving Energy Efficiency in Underwater Sensor Networks

Sunmyeng Kim*

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2019-104-046)

요 약

수중 센서 네트워크(UWSN)는 수중 환경에서 구축된 센서 네트워크의 한 종류이다. 센서 노드는 배터리 파워를 이용하여 데이터를 수집한다. 수중 환경에서, 센서 노드에 파워를 제공하는 것은 어렵다. 따라서 수중 센서 네트워크의 수명을 늘리기 위해서는 에너지 효율적인 MAC 프로토콜의 설계가 필요하다. 통신 중에 센서 노드의 이동으로 인해 최대 전송 범위를 벗어나면 데이터 전송은 완료되지 못하고 에너지는 낭비된다. 본 논문에서는 최대 전송 범위를 벗어나는 경우 데이터 패킷을 사전에 폐기하여 에너지 낭비를 줄이는 MPD MAC (Measurement-based Packet Dropping MAC) 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜에서 센서 노드는 데이터 패킷 폐기 여부를 결정하기 위해 측정 기반으로 동작한다. 시뮬레이션 결과는 제안된 프로토콜이 기존 프로토콜보다 데이터 패킷 폐기를 더 정확하게 결정하는 것을 보인다.

Abstract

The underwater sensor network (UWSN) is a type of sensor network built in underwater environments. Sensor nodes are battery-powered devices. It is difficult to supply power to the sensor nodes in underwater environments. To increase the lifetime, it is necessary to develop an energy efficient Medium Access Control (MAC) protocol. Due to the movement of nodes during communication, nodes may be out of the maximum transmission range. Therefore, data transmission may not be completed and energy may be wasted. In order to reduce energy waste, we propose a new MAC protocol, called MPD MAC (Measurement-based Packet Dropping MAC), which is based on a measurement model. It uses measurement information of nodes to make dropping decisions. Simulation results show that the proposed MPD MAC protocol outperforms the previous MAC protocol in terms of successful dropping ratio.

Keywords

energy efficiency, MAC, measurement, packet drop, UWSN

* 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6076-6401>

· Received: Apr. 20, 2020, Revised: May 22, 2020, Accepted: May 25, 2020
· Corresponding Author: Sunmyeng Kim
Dept. of Computer Software Engineering, Kumoh National Institute of
Technology, Korea,
Tel.: +82-54-478-7547, Email: sunmyeng@kumoh.ac.kr

1. 서 론

수중 센서 네트워크는 수중 환경에서 구축된 센서 네트워크의 한 종류이다[1]. 수중 센서 네트워크는 낮은 대역폭, 긴 전파지연, 동적 채널과 같은 특징을 갖는다. 따라서 무선 네트워크에서 제안된 MAC(Multiple Access Collision) 프로토콜을 수중 센서 네트워크에 적용하여 사용하는 것은 불가능하다[2]. 따라서 수중 센서 네트워크만의 특징을 고려하여 새로운 MAC 프로토콜을 설계하는 것이 필요하다[3].

열악한 수중 환경의 영향으로 인한 문제를 해결하기 위해 수많은 MAC 프로토콜이 제안되었다[4]-[9]. 대다수 MAC 프로토콜은 경쟁 기반으로 동작한다. 두 개 이상의 센서 노드가 동시에 채널에 접근할 때 경쟁이 발생한다. 채널 경쟁으로 인해 패킷 충돌이 발생할 수 있다. MAC 프로토콜들은 채널 경쟁을 위해 RTS(Request-To-Send), CTS(Clear-To-Send)와 같은 제어 패킷을 이용한다.

MACA-U(MAC Avoidance protocol for Underwater) 프로토콜은 무선 네트워크의 MAC 프로토콜을 수정하여 제안되었다[4]. 송신 노드가 전송할 데이터 패킷이 있을 때, 백오프 절차를 시작한다. 백오프 절차가 완료되면 송신 노드는 RTS 패킷을 수신 노드에게 전송한다. 수신 노드는 RTS 패킷에 대해 CTS 패킷을 전송하여 응답한다. CTS 패킷을 수신한 후에 송신 노드는 데이터 패킷을 전송한다. 마지막으로, 수신 노드는 ACK 패킷을 전송한다. 참고문헌 [5]에서 제안된 GC-MAC 프로토콜은 TDMA와 같은 접근 방법을 이용하여 분산 방식으로 2-홉 내에 있는 모든 이웃 노드들에게 타임 슬롯을 할당한다. 송신 노드와 수신 노드의 데이터 패킷 송수신을 스케줄링한다. 따라서 GC-MAC 프로토콜은 2-홉 이웃에 대한 충돌 없는 동시 전송을 보장하여 성능을 향상시킨다. 충돌 없는 전송을 위해 MC-UWMAC(Multi-Channel MAC) 프로토콜이 제안되었다[6]. 공통 제어 채널에서 제어 패킷 충돌을 피하기 위해 MC-UWMAC 프로토콜은 그리드(Grid) 기반 슬롯 할당 절차를 제안하였다. 데이터 충돌을 줄이기 위해 MC-UWMAC 프로토콜은 모든 센서 노드에게 데이터 채널의 부분집합을 할당한다. 데이터 전송

효율을 향상시키기 위해 동시 양방향 데이터 패킷 교환 방법인 BiC-MAC(Bidirectional-Concurrent MAC) 프로토콜을 제안하였다[7]. BiC-MAC 프로토콜에서 송수신 노드 쌍은 성공적인 핸드셰이킹 절차 후에 서로에게 데이터 패킷을 전송할 수 있다. EM-MC(EM controlled Multi-Channel) MAC 프로토콜은 하나의 EM 채널과 여러 개의 음향 채널을 사용한다[8]. EM 채널은 제어 패킷을 전송하기 위해 사용되고 음향 채널은 데이터 패킷을 전송하기 위해 사용된다. EM 채널은 충돌을 피하기 위해 TDMA 기반으로 동작한다. EM-MC 프로토콜은 센서 노드 구성이 동적으로 변하는 환경에서는 잘 동작하지 않는다. 이는 EM 채널에서 사용되는 타임 슬롯의 수가 고정되어 있기 때문이다.

센서 노드들은 배터리를 사용하여 동작하는 장치이다. 센서 노드의 재충전은 거의 불가능하다[3][10][11]. 수중 통신에서는 지상 통신에 비해 훨씬 더 많은 송수신 전력을 필요로 한다. 에너지를 절약하기 위해 데이터 패킷의 송수신을 최소화해야 한다. 에너지 낭비를 줄이기 위해 Mobility-MAC 프로토콜이 제안되었다[9]. Mobility-MAC 프로토콜은 센서 노드가 최대 전송 범위를 벗어날 확률을 계산하고 데이터 패킷 전송 여부를 결정한다.

Mobility-MAC 프로토콜은 확률을 계산하기 위해 비현실적인 가정에 기반하여 유도된 수학적 모델을 이용한다. 따라서 Mobility-MAC 프로토콜은 부정확한 확률을 계산하여 잘못된 데이터 패킷 폐기를 결정할 수도 있다. 정확한 데이터 패킷 폐기 여부를 결정하기 위해 본 논문에서는 MPD MAC(Measurement based Packet Dropping MAC) 프로토콜을 제안한다. 제안된 MPD MAC 프로토콜은 측정 기반으로 동작한다. 수학적 모델이 아닌 측정된 정보를 기반으로 결정하기 때문에 기존 Mobility-MAC 프로토콜보다 더 정확하게 데이터 패킷 폐기 여부를 결정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제안된 Mobility-MAC 프로토콜에 대해 간단히 설명한다. 3장에서는 제안된 MPD MAC 프로토콜에 대해 자세히 설명하고 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과를 보여준다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대해 기술한다.

II. 관련 연구

Mobility-MAC 프로토콜은 두 단계인 폐기 영역과 폐기 확률로 구성된다: 첫 번째 단계에서 송신 노드는 자기 자신과 수신 노드의 이동 속도에 기반하여 폐기 영역을 계산한다. 수신 노드가 폐기 영역 안에 없으면 송신 노드는 데이터 패킷을 전송한다. 폐기 영역 안에 있으면 두 번째 단계로 넘어간다. 두 번째 단계에서 송신 노드는 수신 노드가 최대 전송 범위를 벗어날 확률을 계산하고 데이터 패킷 폐기 여부를 결정한다.

2.1 폐기 영역

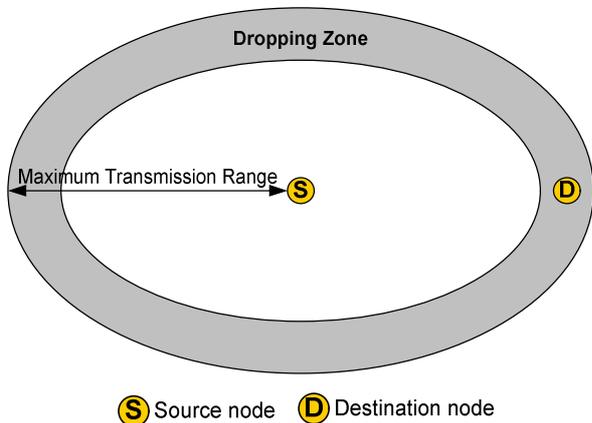
센서 노드는 통신 중에 무작위로 이동할 수도 있다. 노드의 이동으로 인해 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리는 커질 수 있다. 그러면 통신은 방해받을 수 있다.

폐기 영역은 다음과 같이 정의된다. 처음에는 송신 노드와 수신 노드간 통신이 가능하였지만, 노드의 이동으로 인해 더 이상 통신이 불가능해질 수 있는 영역을 의미한다 (그림 1 참고).

송신 노드는 DATA/ACK 패킷 교환 절차에서 소요된 시간(T_{xTime})을 다음과 같이 계산한다.

$$TxTime = T_{DATA} + T_{ACK} + 2 * T_{SIFS} + 2 * PD \quad (1)$$

여기에서 T_{DATA} 와 T_{ACK} 는 DATA와 ACK 패킷의 전송 시간이며, T_{SIFS} 는 SIFS 시간이고 PD 는 전파 지연이다.



● Source node ● Destination node

그림 1. 폐기 영역

Fig. 1. Dropping zone

노드의 최대 이동 속도가 MAX_{sp} 이면, 송신 노드와 수신 노드의 상대적인 최대 이동 속도는 $2 * MAX_{sp}$ 이다. 그러므로 통신 중 최대 이동 거리 (MAX_{move})는 다음과 같다.

$$MAX_{move} = TxTime * 2 * MAX_{sp} \quad (2)$$

다음 조건이 만족되면 송신 노드는 두 번째 단계인 폐기 확률로 넘어간다.

$$d + MAX_{move} > MAX_{TR} \quad (3)$$

여기에서 d 는 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리이고 MAX_{TR} 은 최대 전송 범위이다.

2.2 폐기 확률

센서 노드의 실제 이동 속도나 이동 방향에 따라 수신 노드는 최대 전송 범위를 벗어나지 않을 수도 있다. 이런 상황에서 송신 노드가 데이터 패킷을 데이터 패킷을 폐기하고 전송하지 않으면 네트워크 성능은 저하된다.

성능 저하를 줄이기 위해 Mobility-MAC 프로토콜은 폐기 확률을 계산한 후에 데이터 패킷 전송 여부를 결정한다. 폐기 확률은 그림 2를 이용한다.

송신 노드와 수신 노드는 최대 속도 MAX_{sp} 로 이동하기 때문에 수신 노드는 통신이 완료된 후에 반경 MAX_{move} 을 갖는 원 S_T 안에 위치한다. 수신 노드가 빔근친 S_D 영역에 있는 경우에만 데이터 전송은 실패한다.

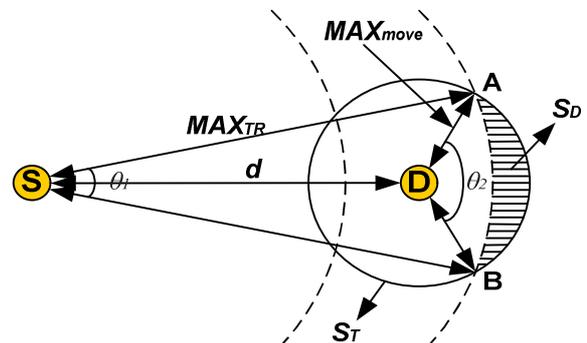


그림 2. 폐기 확률

Fig. 2. Dropping probability

수신 노드가 통신 중에 최대 전송 범위를 벗어날 확률(P_D)은 다음과 같다.

$$P_D = 0, (0 \leq d \leq MAX_{TR} - MAX_{move}) \quad (4)$$

$$P_D = S_D / S_T, (MAX_{TR} - MAX_{move} < d \leq MAX_{TR}) \quad (5)$$

여기에서 S_D 와 S_T 계산 방법은 참고문헌 [9]에 설명되어 있으니 참고하기 바란다.

송신 노드와 수신 노드 사이의 거리가 최대 전송 범위에 근접함에 따라 폐기 확률은 증가한다.

III. 제안된 MPD MAC 프로토콜

제안된 MPD 프로토콜은 평균 거리에 대한 과거 이력을 기반으로 다음 패킷 전송에서 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리를 예측한다. 예측된 거리가 최대 전송 범위보다 크면, 송신 노드는 에너지 낭비를 막기 위해 데이터 패킷을 전송하지 않는다.

송신 노드와 수신 노드 사이의 거리를 계산하기 위해 전파지연과 음향 신호의 속도를 이용한다. 각 송신 노드는 수신 노드와의 전파지연을 측정한다. 전파지연은 RTT(Round Trip Time)를 이용하여 계산된다. 송신 노드는 RTS/CTS와 DATA/ACK 패킷 교환이 이루어질 때마다 RTT를 측정한다.

그림 3은 RTT 측정 예를 보여준다. 그림에서 S는 송신 노드, D는 수신 노드를 의미한다. 송신 노드 S가 수신 노드 D에게 전송 시간 t_0 에 RTS 또는 데이터 패킷을 전송한다.

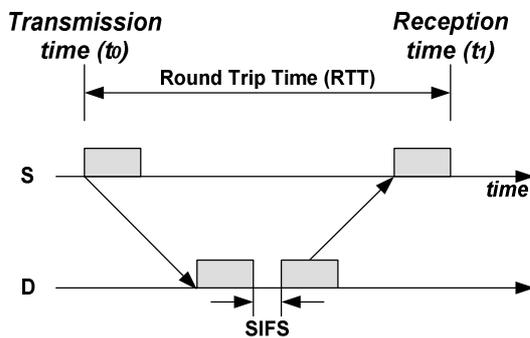


그림 3. RTT 측정

Fig. 3. Measurement of RTT

수신 노드는 RTS 또는 데이터 패킷을 수신하고 SIFS (Short Inter-frame Space) 시간 후에 CTS 또는 ACK 패킷을 전송한다. 송신 노드는 수신 노드가 전송한 패킷을 시간 t_1 에 수신하고 RTT를 다음과 같이 계산한다.

$$RTT = t_1 - t_0 \quad (6)$$

송신 노드는 전파지연(PD)를 계산한다.

$$PD = (RTT - T_{RTS} - T_{CTS} - T_{SIFS}) / 2 \quad (7)$$

$$PD = (RTT - T_{DATA} - T_{ACK} - T_{SIFS}) / 2 \quad (8)$$

여기에서 T_{RTS} , T_{CTS} , T_{DATA} , T_{ACK} 는 RTS, CTS, DATA, ACK 패킷의 전송 시간이다. T_{SIFS} 는 SIFS 시간이다.

송신 노드와 수신 노드 사이의 거리(DI)는 전파지연을 음향 신호의 속도로 나눠서 얻어진다.

$$DI = PD / v \quad (9)$$

여기에서 v 는 음향 신호의 속도로 1,500m/s이다.

RTT_n 과 DI_n 은 n 번째 패킷 전송에서 시간 t_n 에 RTT와 거리이다(그림 4 참고). 송신 노드는 RTT_n 과 DI_n 을 얻은 후에 $(n-1)$ 번째 전송에서 얻은 값과의 거리 차이($VarDI$)와 시간 차이($VarTI$)를 계산한다.

$$VarDI_n = DI_n - DI_{n-1} \quad (10)$$

$$VarTI_n = t_n - t_{n-1} \quad (11)$$

송신 노드는 단위 시간당 이동 거리($SampleDI$)를 계산한다.

$$SampleDI_n = VarDI_n / VarTI_n \quad (12)$$

송신 노드는 $SampleDI$ 에 대한 이동 평균(SSD: Smoothed $SampleDI$)을 계산한다.

$$SSD_n = a \cdot SSD_{n-1} + (1-a) \cdot SampleDI_n \quad (13)$$

여기에서 a 는 $[0, 1]$ 의 값을 갖는 평활 인수이다.

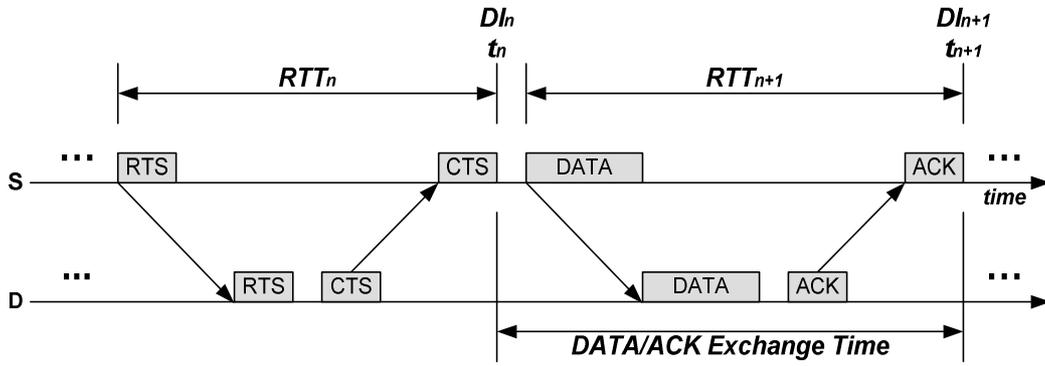


그림 4. RTT와 거리 예
Fig. 4. Example of RTT time and distance

SampleDI의 편차(DevDI)는 EWMA(Exponential Weighted Moving Average)를 이용하여 계산한다.

$$DevDI_n = \beta \cdot DevDI_{n-1} + (1-\beta) \cdot |SSD_n - SampleDI_n| \quad (14)$$

단위 시간당 이동 가능 거리(MovD)는 SSD_n 과 $DevDI_n$ 에 기반하여 계산된다.

$$MovD_n = SSD_n + 4 \cdot DevDI_n \quad (15)$$

평균 거리에 대한 과거 이력을 이용하여 다음 패킷 전송에서 송신 노드가 자기 자신과 수신 노드 사이의 거리를 예측하는 방법에 대해 설명한다.

송신 노드가 전송할 데이터 패킷이 있는 경우, 수신 노드와 RTS/CTS 패킷 교환 절차를 수행한다. CTS 패킷을 수신한 후 송신 노드는 수신 노드와 DATA/ACK 패킷 교환 절차에서 소요될 시간(ExTime)을 계산한다(그림 4 참고).

$$ExTime = T_{DATA} + T_{ACK} + 2 \cdot T_{SIFS} + 2 \cdot PD \quad (16)$$

DATA/ACK 패킷 교환 절차가 완료될 때까지 송신 노드와 수신 노드 사이의 거리는 최대 전송 범위보다 짧을 것이다. 만약 거리가 커지면 데이터 패킷은 전송되지 않고 폐기된다(그림 5 참고).

$$D_n + ExpDI > MAX_{TR} \quad (17)$$

여기에서 MAX_{TR} 은 최대 전송 범위이다.

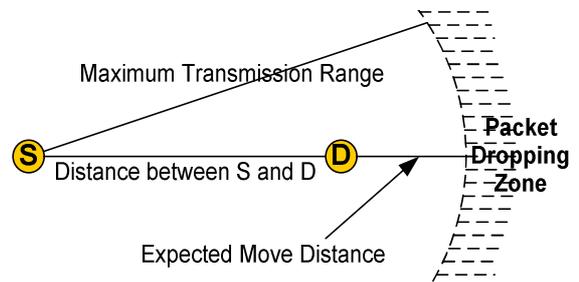


그림 5. 패킷 폐기 영역
Fig. 5. Packet dropping zone

IV. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 MPD MAC 프로토콜이 기존 Mobility-MAC 프로토콜보다 성능이 우수함을 보인다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터를 표 1에 나타내었다. 데이터 패킷과 제어 패킷을 전송하기 위해 1,500bps 전송 속도를 사용하였다. 데이터 패킷의 크기는 256비트이고 RTS/CTS/ACK와 같은 제어 패킷은 40비트이다. 음파의 속도는 1,500m/s이고 최대 전송 범위는 2,500m이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

| Parameters | Value |
|----------------------------|----------|
| RTS | 40 bits |
| CTS | 40 bits |
| DATA | 256 bits |
| ACK | 40 bits |
| SIFS | 200 ms |
| Slot time | 1500 ms |
| Data rate | 1500 bps |
| Sound speed | 1500 m/s |
| Maximum transmission range | 2500 m |

주요 성능 요소는 성공적인 데이터 패킷 폐기율 (Successful dropping ratio)과 에너지 소모량이다. 성공적인 데이터 패킷 폐기율은 수신 노드가 최대 전송 범위를 벗어나게 되어 실패할 수 있는 경우에 송신 노드가 성공적으로 해당 데이터 패킷을 얼마나 잘 폐기하였는지를 나타낸다. 에너지 소모량은 통신 과정에서 모든 송신 노드가 사용한 에너지양을 의미한다.

그림 6은 송신 노드 당 데이터 패킷 수에 따른 성공적인 데이터 패킷 폐기율 결과를 보여준다. 각 송신 노드가 전송하는 데이터 패킷 수는 10개에서 100개로 10개씩 증가한다. 그림을 통해 성공적인 데이터 패킷 폐기율은 송신 노드 당 데이터 패킷 수와 상관 없이 크게 변하지 않는 것을 알 수 있다. 제안된 MPD MAC 프로토콜은 항상 기존 Mobility-MAC 프로토콜보다 더 좋은 성능을 갖는다. MPD MAC 프로토콜은 98.95%의 성공적인 데이터 패킷 폐기율을 보여주고 Mobility-MAC 프로토콜은 89.32%를 보여준다. Mobility-MAC 프로토콜은 데이터 패킷 폐기 여부를 결정하기 위해 수학적 모델을 이용하기 때문에 낮은 성능을 보인다.

Mobility - MAC 프로토콜은 노드가 무작위 방향으로 최대 속도로 이동한다고 가정하였다. 이는 실제 노드의 특징을 반영하지 못한다. 따라서 Mobility - MAC 프로토콜은 부정확한 결정을 할 수 있다. MPD MAC 프로토콜은 노드의 이동을 실제 측정하여 이를 기반으로 결정하기 때문에 더 좋은 성능을 보인다.

그림 7은 노드의 최대 이동 속도에 따른 성공적인 데이터 패킷 폐기율을 보여준다. 각 노드의 최대 이동 속도는 10km/h에서 100km/h로 10km/h씩 증가한다. 그림은 두 프로토콜 모두 최대 이동 속도와 상관없이 성공적인 데이터 패킷 폐기율이 일정함을 보여준다. MPD MAC 프로토콜은 측정 기반으로 동작하기 때문에 이동 속도와 무관하게 항상 거의 정확하게 폐기 여부를 결정한다. MPD MAC 프로토콜은 평균 98.94%의 성공적인 데이터 패킷 폐기율을 보이고 Mobility-MAC 프로토콜은 89.80%을 보인다.

그림 8은 송신 노드 당 데이터 패킷 수에 따른 에너지 소모량을 보여준다. 시뮬레이션에서 전송 파워는 2W이고 수신 파워는 0.75W이다.

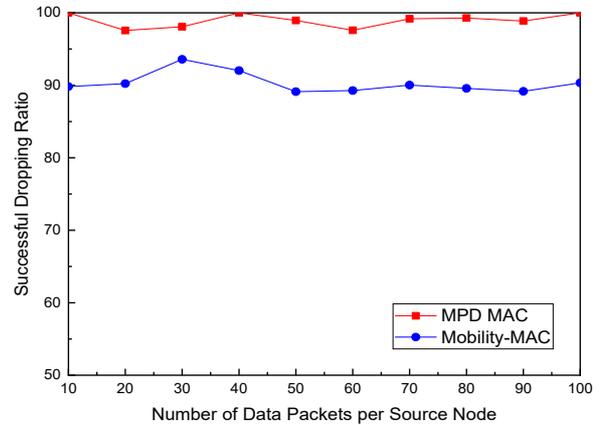


그림 6. 송신 노드 당 데이터 패킷 수에 따른 성공적인 데이터 패킷 폐기율
Fig. 6. Successful dropping ratio according to the number of data packets per source node

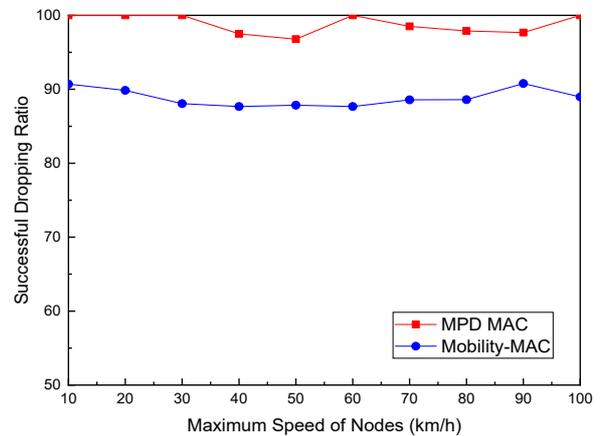


그림 7. 노드의 최대 이동 속도에 따른 성공적인 데이터 패킷 폐기율
Fig. 7. Successful dropping ratio according to the maximum movement speed of nodes

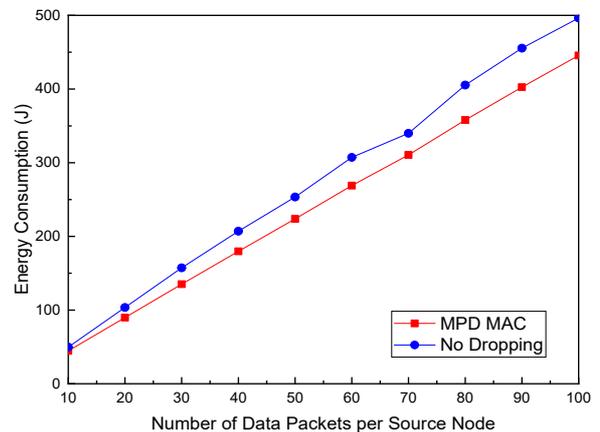


그림 8. 송신 노드 당 데이터 패킷 수에 따른 에너지 소모량
Fig. 8. Energy consumption according to the number of data packets per source node

그림에서 “No Dropping”은 데이터 패킷 전송 전에 폐기 여부를 판단하지 않고 데이터를 전송한다. 이 경우, 수신 노드가 최대 전송 범위를 벗어나 통신할 수 없음에도 불구하고 데이터 패킷을 전송하기 때문에 에너지를 많이 소모한다.

그러나 제안하는 MPD MAC 프로토콜은 최대 전송 범위를 벗어나는 수신 노드에게는 데이터 패킷을 전송하지 않음으로써 에너지 소모량을 줄인다. No Dropping에 비해 제안된 방법은 평균적으로 약 12%의 에너지 소모량이 줄어들음을 보인다.

V. 결 론

수중 센서 네트워크의 노드들은 배터리를 이용하여 수중 환경에 대한 정보를 수집하는 장치이다. 수중 환경에서 센서 노드에 대한 배터리 충전은 거의 불가능하다. 따라서 에너지 효율적인 MAC 프로토콜의 설계는 필수적이다. 본 논문에서는 측정 기반으로 동작하는 MPD MAC 프로토콜을 제안하였다. 송신 노드와 수신 노드의 이동에 따른 거리를 측정한다. 다음 통신에서 노드의 이동 거리를 예측하고 최대 전송 범위를 벗어날 것으로 예상되면 데이터 패킷을 전송하지 않고 폐기한다. 전송 범위를 벗어나지 않을 것으로 예상되면 수신 노드에게 데이터 패킷을 전송한다. 시뮬레이션을 통해 제안된 방법의 성능을 검증하였다.

제안된 방법이 기존 방법보다 송신 노드가 전송할 데이터 패킷 수 또는 노드의 이동 속도와 무관하게 항상 더 좋은 성공적인 데이터 패킷 폐기율을 보였다.

References

- [1] K. M. Awan, P. A. Shah, K. Iqbal, S. Gillani, W. Ahmad, and Y. Nam, "Underwater wireless sensor networks: a review of recent issues and challenges", *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol. 2019, Article ID 6470359, Jan. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6470359>
- [2] Y. Zhu, Z. Peng, J. H. Cui, and H. Chen, "Toward practical MAC design for underwater acoustic networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 14, No. 4, pp. 872-886, Apr. 2015.
- [3] K. Chen, M. Ma, E. Cheng, F. Yuan, and W. Su, "A survey on MAC protocols for underwater wireless sensor networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 16, No. 3, pp. 1433-1447, Mar. 2014.
- [4] H. H. Ng, W. S. Soh, and M. Motani, "MACA-U: a media access protocol for underwater acoustic networks", *IEEE Globecom 2008*, New Orleans, LO, USA, pp. 1-5, Dec. 2008.
- [5] F. A. Alfouzan, A. Shahrabi, S. M. Ghoreyshi, and T. Boutaleb, "A collision-free graph coloring MAC protocol for underwater sensor networks", *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 39862-39878, Mar. 2019.
- [6] F. Bouabdallah, C. zidi, R. Boutaba, and A. Mehaoua, "Collision avoidance energy efficient multi-channel MAC protocol for underwater acoustic sensor networks", *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 18, No. 10, pp. 2298-2314, Oct. 2019.
- [7] H. H. Ng, W. S. Soh, and M. Motani, "A bidirectional-concurrent MAC protocol with packet bursting for underwater acoustic networks", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 38, No. 3, pp. 547-565, Jul. 2013.
- [8] I. Alam and F. Hossain, "A TDMA based EM controlled multi-channel MAC protocol for underwater sensor networks", *International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, Cox's Bazar, Bangladesh, pp. 279-284, Feb. 2017.
- [9] W. Son and Y. S. Jang, "Study on energy efficient Mobility-MAC protocol for underwater networks", *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 54, No. 4, pp. 569-575, Apr. 2017.

- [10] S. Jiang, "State-of-the-art medium access control (MAC) protocols for underwater acoustic networks: a survey based on a MAC reference model", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 20, No. 1, pp. 96-131, Firstquarter 2018.
- [11] Y. B. Cho, S. H. Lee, and S. H. Woo, "An adaptive clustering algorithm of wireless sensor networks for energy efficiency", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 17, No. 1, pp. 99-106, Feb. 28, 2017.

저자소개

김 선 명 (Sunmyeng Kim)



2000년 2월 : 아주대학교
정보및컴퓨터공학부(공학사)
2002년 2월 : 아주대학교
정보통신공학과(공학석사)
2006년 2월 : 아주대학교
정보통신공학과(공학박사)
2008년 3월 ~ 현재 :

금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수
관심분야 : 무선 네트워크