

논문 2017-54-4-1

수중통신망에서 노드 이동성을 고려한 에너지 효율적인 매체접속제어 프로토콜 연구

(Study on Energy Efficient Mobility-MAC Protocol for Underwater Networks)

손 응*, 장 윤 선**

(Woong Son and Youn-Seon Jang[©])

요 약

수중환경에서는 전력 공급이 어렵기 때문에 통신 프로토콜 설계에 있어서 전력 효율은 중요한 고려사항들 중 하나이다. 본 논문에서는 UUV(Unmanned Underwater Vehicle)와 AUV(Autonomous Underwater Vehicle) 같은 이동 노드를 갖는 수중통신망에 대해 에너지 효율적인 매체접속제어(MAC: Medium Access Control) 프로토콜을 연구하였다. 이동 노드간의 통신에서는 데이터 교환 중에 노드 이동으로 인해 서로의 전파 반경을 벗어나 전송 중인 데이터를 완료하지 못하고 에너지만 낭비하는 경우가 발생할 수 있다. 특히, 수중 통신 채널 환경에서는 지상보다 약 10^5 배의 느린 전파 지연을 가지므로 데이터의 전송 완료 전에 서로의 전파 반경을 벗어날 확률이 지상보다 커서 이로 인한 에너지 낭비가 더 많게 된다. 제안한 mobility-MAC 프로토콜은 수신노드의 위치와 노드의 이동 속도를 고려하여 Dropping Zone을 정의하고 데이터 전송 시도를 제어한다. 데이터 전송 시도는 Dropping Zone에서 무조건 데이터 전송을 드롭(drop)을 하는 것이 아니라, 데이터 전송 중 노드가 전파 반경을 이탈할 확률을 예측하여 드롭하는 방법이다. 결과적으로, 조건적 드롭을 통해 잘못된 드롭을 감소시켜 전송지연과 통신수율의 향상을 가져왔고 유효한 데이터 드롭으로 에너지 낭비를 방지하여 에너지 효율도 증가되었다.

Abstract

Due to difficulties of continuous electric power provision to underwater communication nodes, the efficient power usage is highly required in underwater network protocol. In this paper, we studied the energy efficient MAC(Medium Access Control) protocol for underwater network supporting mobile nodes such as UUV(Unmanned Underwater Vehicle) and AUV(Autonomous Underwater Vehicle). The mobile nodes could waste the electric power in vain when the receiver moves out of the radio propagation coverage during the data exchange and thus the transmitted data fails in reaching the receiver. Expecially, such a failure is much more obvious in underwater acoustic channels since the propagation delay is about 10^5 times slower than in terrestrial radio channels. This proposed mobility-MAC controls the data dropping stochastically in the Dropping Zone by considering the receiver's location and moving velocity. In conclusion, this selective dropping method not only improves latency and throughput by reducing invalid droppings but also boosts power efficiency by valid droppings.

Keywords : Underwater Communication(수중통신), MAC(매체접속제어), Mobility(이동성), Energy Efficiency (에너지효율성)

* 학생회원, ** 정회원, 충남대학교 전자공학과
(Department of Electronics Engineering Chungnam
National University)

© Corresponding Author(E-mail : jangys@cnu.ac.kr)

※ 이 연구는 2016년도 충남대학교 학술연구비에 의해
지원되었음.

Received : February 1, 2017 Revised : March 3, 2017

Accepted : March 16, 2017

I. 서 론

수중통신은 해양 자원의 개발, 해양 정보 수집 및 해양 방위 등 여러 분야에서 이용되고 있다. 수중환경에서는 전파의 손실이 커서 음파를 이용하여 통신을 하기 때문에 상대적으로 낮은 전송률과 긴 전파 지연을 갖는

등 수중 통신 채널 특성이 지상과 크게 달라 지상의 통신 기술들을 그대로 적용하기는 어렵고 수중 환경에 적합한 기술들이 따로 연구되어야 한다. 본 논문은 이동형 노드를 갖는 수중 통신망에 적합한 매체접속제어(MAC: Medium Access Control) 프로토콜에 대해 연구하였다.^[1,5]

수중환경에서는 전력을 공급하기가 어렵기 때문에 전력 효율은 통신 소자나 통신 프로토콜 설계에 중요한 고려사항 중 하나이다. UUV(Unmanned Underwater Vehicle)와 AUV(Autonomous Underwater Vehicle) 같은 이동형 노드를 갖는 통신망을 위한 MAC 프로토콜에서, 에너지 효율을 높이기 위해서는 데이터 교환 중에 노드의 이동으로 인해 서로의 전파 반경을 벗어나 발생하는 데이터 전송 실패를 줄여서 에너지 낭비를 막는 것이 중요하다. 특히, 수중 통신 채널 환경에서는 지상보다 약 10^5 배의 느린 전파 지연을 가지므로 데이터의 전송 완료 전에 서로의 전파 반경을 벗어날 확률이 지상보다 커서 이로 인한 에너지 소모가 더 많게 된다. 따라서, 본 논문은 수신노드의 위치와 노드의 이동 속도에 따라 데이터 전송 시도를 확률적으로 제어하여 에너지 및 전송 효율을 높이는 이동성을 고려한 MAC 프로토콜을 제안하였다.

노드의 이동성을 고려한 기존의 지상 MAC 프로토콜 기술을 살펴보면 다음과 같다.

S-MAC(Sensor-Media Access Control) 기반의 MS-MAC^[2](Mobility-Aware Media Access Control Protocol for Sensor Networks)은 시간 동기화 기반의 MAC 프로토콜이다. Listen-Sleep 동작 주기를 갖기 때문에 Overhearing, Idle Listening을 방지하여 에너지 효율성 측면에서 좋은 이점을 가지고 있다. 또한, 노드 간 동기가 같은 virtual clustering 구역을 정의하였고, 노드의 이동 속도를 고려하여 속도가 빨라질수록 동기화 주기가 짧아지도록 설계하여 다른 클러스터로 이동할 때, 새로 합류할 클러스터의 동기화를 빠르게 수용할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 이 방법은 노드 간 링크를 관리 하는 것이 아닌 속도에 따라 동기화 주기를 바꾸는 방식이므로 데이터 전송 중 노드의 전파 반경 이탈로 인한 전송 실패를 효율적으로 방지하지는 못하므로 에너지 낭비 문제는 그대로 존재하게 된다.

기존 M-MAC^[3]은 송신노드의 전파 반경 내부에 존재하는 이웃노드들과 제어 및 데이터 패킷 교환 중 측정된 RSSI(Received Signal Strength Indicator)^[4]를 이용하여 노드 간 거리를 측정하고 저장한다. 이 방법은

전파 반경 내에 존재하는 모든 이웃노드들의 RSSI를 측정하여 RSSI History Table에 저장하기 때문에 데이터 처리량과 메모리 공간을 많이 필요로 한다. 또한, 프레임 드롭(drop)을 위해 SNR(Signal to Noise Ratio)이 감소하는 고정 임계값을 정하여 측정된 RSSI 값이 임계값을 벗어나면 패킷 전송을 포기하고 있는데, 이동노드에서 고정된 임계값으로 프레임 드롭을 결정하는 것은 노드의 이동 속도를 고려하지 않고 있기 때문에 에너지 효율이 떨어지는 단점이 있다.

본 논문에서는 2장에서는 제안한 프로토콜을 설명하고, 3장에서는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 성능을 분석하였고 4장에서 결론을 정리 하였다.

II. 본 론

제안한 mobility-MAC 프로토콜은 노드의 이동 속도에 따라 전송포기영역(Dropping Zone)을 정의하고, 파악된 수신노드가 Dropping Zone 내에 위치하면 데이터 교환 중 전파 반경을 벗어나 데이터 전송에 실패할 확률이 있으므로 미리 데이터 전송을 드롭시켜 에너지 낭비를 방지한다. 또한, Dropping Zone내에서 무조건 데이터 전송을 포기하는 것이 아니라 실패 확률을 고려하여 조건적 드롭을 수행해서 전송 성능을 향상시킨다.

이동 노드의 위치는 수신된 신호의 세기를 측정하거나 신호의 전파 지연 등을 측정하여 파악할 수 있다. 수중환경에서는 전파 세기와 전파 속도 등에 영향을 주는 요인이 많아 지상처럼 정확한 위치 측정을 하기 어렵다. 하지만, 이동성이 존재하는 네트워크에서 위치 측정은 필수적인 과정이므로 본 논문에서는 송신노드와 수신노드가 서로 교환하는 제어 프레임(Control Frame)과 TOA(Time of Arrival)를 이용하여 위치 정보를 계산하였다.^[6]

데이터 드롭 방법을 설명하면 다음과 같다. 송신노드가 파악한 수신노드가 Dropping Zone 내에 위치할 경우는 데이터 전송 중 전파 반경 밖으로 벗어날 확률이 있으므로 에너지 절약 차원에서 데이터 전송을 미리 포기하게 된다. Dropping Zone은 노드의 최대 이동 속도를 이용하여 계산되며 그림 1과 같이 전파 반경 가장 자리에 위치한다. 하지만, Dropping Zone은 최악의 경우를 기준으로 설정한 것이므로 Dropping Zone내에 위치하더라도 노드의 이동 방향이나 속도 변화에 따라 전파 반경을 벗어나지 않고 데이터 전송이 완료될 수도 있다. 이런 경우, 에너지 절약 차원에서는 데이터 드롭

이 만족스럽지만 통신효율 측면에서는 데이터 전송을 완료할 수 있는 노드로 전송을 불필요하게 드롭함으로써 전송 지연을 초래하게 된다. 그러므로, 본 논문은 수신노드의 위치에 따라 적절한 드롭 확률을 계산하여 조건적으로 전송을 시도하는 방법을 제안하였다. 그 결과, 에너지 효율성 향상과 함께 전송 효율도 높였다.

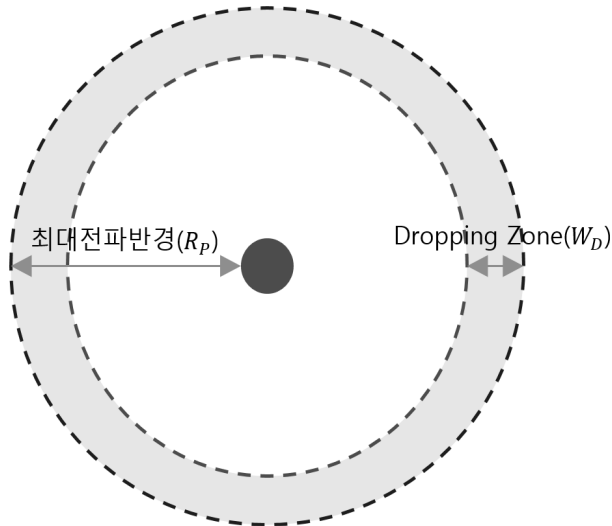


그림 1. 전파 반경 내의 Dropping Zone
Fig. 1. Dropping Zone in propagation area.

1. TOA를 이용한 노드 간 거리 계산

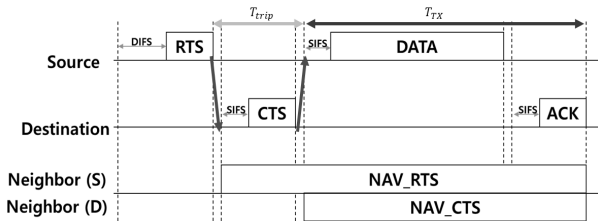


그림 2. 4-handshaking CSMA/CA 기반 MAC 프로토콜
Fig. 2. 4-handshaking CSMA/CA MAC protocol.

제안하는 MAC 프로토콜의 동작은 그림 2와 같이 4-handshaking CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance)를 기반으로 한다. 이동 노드 간의 거리는 송신노드와 수신노드 사이에 처음 주고받는 RTS(Request To Send)와 CTS(Clear To Send)를 사용하여 계산된다. 송신노드는 RTS를 전송한 시간부터 수신노드로부터 CTS를 수신할 때까지 걸리는 시간, T_{trip} 을 측정하여, 전파 지연, $T_{prop-delay}$ 을 계산한다.

$$T_{prop-delay} = \frac{T_{trip} - (T_{SIFS} + T_{CTS})}{2} \quad (1)$$

노드간 거리, d 는 전파지연, $T_{prop-delay}$ 를 음파 속도로 나누면 계산할 수 있다.

$$d = \frac{T_{prop-delay}}{0.67s/km} \quad (2)$$

2. 전송 포기 영역 (Dropping Zone)

송신노드와 수신노드가 서로 RTS, CTS를 교환한 후, 데이터 전송을 완료하기 까지 요구되는 시간, T_{TX} 는 식 (3)과 같다.

$$T_{TX} = 2 \times T_{SIFS} + T_{DATA} + T_{ACK} + 2 \times T_{prop-delay} \quad (3)$$

이동하는 노드의 최대 이동 속도를 v_{MAX} 라고 가정하면, 송신노드에서 본 수신노드의 상대적 이동 속도는 서로 멀어지는 경우 최대 $+2v_{MAX}$ 로 측정된다. T_{TX} 시간 동안 송신노드와 수신노드 간 이동한 최대 거리 Δd_{MAX} 는 다음과 같다.

$$\Delta d_{MAX} = 2 \times v_{MAX} \times T_{TX} \quad (4)$$

최악의 조건인 Δd_{MAX} 로 전파 반경 밖을 향해 곧장 이동하는 경우를 고려하면, RTS와 CTS로 처음 파악한 수신노드의 거리 d 로부터 데이터 전송이 완료된 시점에서 수신노드 위치가 송신노드의 전파 반경, R_p 영역 밖에 존재 하면 데이터 전송은 실패한 경우가 된다.

$$d + \Delta d_{MAX} > R_p \quad (5)$$

그러므로, 최악의 경우를 기준으로 Dropping Zone을 정의하면 그림 1과 같이 전파 반경의 가장자리로부터 폭, W_D 를 갖는 도넛 모양이 된다.

$$W_D = \Delta d_{MAX} \quad (6)$$

즉, 송신노드 기준으로 수신노드의 위치가 Dropping Zone 내에 위치하면 데이터 전송 완료 전에 전파 반경을 벗어나 데이터 전송을 실패한 경우가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 이로 인한 에너지 낭비를 미리 방지하려면 Dropping Zone에 위치한 수신노드로는 데이터를 드롭해서 보내지 않아야 된다.

그러나, 식 (6)에 정의된 Dropping Zone의 폭을 기준

으로 데이터의 드롭을 결정한다면 이것은 최악의 경우를 기준으로 정해진 값이므로, 사실상 Dropping Zone내에 위치하더라도 이동 속도와 이동 방향에 따라서 데이터 전송 완료시까지 전파 반경을 벗어나지 않을 수도 있는데 강제로 데이터가 드롭되는 경우도 생기게 된다. 이런 경우는 성공할 수 있는 데이터를 드롭시켜 오히려 전송 지연만 초래하게 되는데, 이러한 경우를 Invalid Drop이라고 정의한다. Dropping Zone에서 이루어진 데이터 드롭이 실패할 데이터를 제대로 드롭한 Valid Drop 인지 불필요하게 드롭한 Invalid Drop이 될지는 실시간으로 바뀌는 노드의 이동 방향과 속도에 따라 정해지므로 드롭을 결정하는 시기에 정확히 판단하기는 어렵다. 그러므로, 본 논문에서는 확률적 값을 추가하여 확률적으로 드롭을 결정하도록 하여 에너지 효율은 높이면서 Invalid Drop으로 인한 전송 성능 감소를 줄였다.

3. 전송포기 확률 (Dropping Probability)

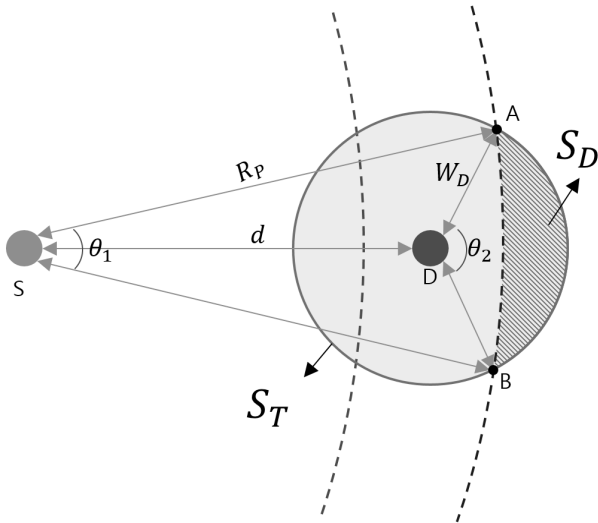


그림 3. 드롭 확률 모델(S: source node, D: destination node)

Fig. 3. Probability model of Dropping(S: source node, D: destination node)

Dropping Zone에 위치한 수신노드에 대해서 무조건 드롭을 수행하면 에너지 효율 측면에서는 문제가 없으며, 'Invalid Drop'으로 인해 통신성능 저하가 초래된다. 그러므로 데이터 전송 완료시에 가능한 수신노드의 위치를 고려하여 데이터 전송실패 확률을 계산하여 조건적으로 드롭을 수행한다. 그림 3과 같이, 송신노드와 수신노드가 위치할 때, 수신노드는 랜덤한 방향으로 최고 속도 v_{MAX} 이하의 랜덤한 속도로 이동한다고 가정하

면 데이터 전송 완료 후 수신노드의 위치는 W_D 를 반경으로 하는 S_T 원 안에 있다. 이 중에서 실제로 데이터 전송 실패를 초래하는 영역은 전파 반경을 벗어난 면적 S_D 부분이 된다.

그러므로 수신노드가 전파 반경 내부에 존재할 경우, 데이터 전송 중 전파 반경 밖으로 이탈하여 데이터 전송 실패가 일어날 확률, P_D 는 식 (7)과 같이 정의할 수 있다.

$$P_D = \begin{cases} 0 & (0 \leq d \leq R_p - W_D) \\ \frac{S_D}{S_T} & (R_p - W_D < d \leq R_p) \end{cases} \quad (7)$$

확률 P_D 는 수신노드가 Dropping Zone에 존재할 경우에만 값을 가지며, 송신노드와 수신노드 간 거리 d 에 따라 변한다. d 가 클수록 전파 반경 가장자리에 가까워져 드롭 확률은 커지게 된다.

T_{TX} 의 시간이 경과한 무렵, 수신노드가 이동하여 송신노드 전파 반경 기준으로 존재할 수 있는 원의 면적 S_T 를 계산하면 식 (8)과 같다.

$$S_T = \pi \times W_D^2 = \pi \times (2 \times v_{MAX} \times T_{TX})^2 \quad (8)$$

또한, T_{TX} 동안 수신노드가 전파 반경 밖으로 반드시 이탈한다고 가정할 때, 존재할 수 있는 면적 S_D 는 다음과 같이 계산한다.

$$S_D = S_2 - (S_1 - 2 \times S_{SAD}) \quad (9)$$

세 변이 각각 R_p , d 그리고 W_D 로 이루어진 삼각형 SAD의 면적 S_{SAD} 는 Heron's Formula를 이용하여 아래와 같이 계산할 수 있다.^[11]

$$a = \frac{1}{2}(R_p + d + W_D) \quad (10)$$

$$S_{SAD} = \sqrt{a(a - R_p)(a - d)(a - W_D)} \\ = \frac{1}{4} \sqrt{(4R_p^2 d^2 - (R_p^2 + d^2 + W_D^2))^2} \quad (11)$$

각 θ_1 , 반경 R_p 로 이루어진 부채꼴 SAB의 면적 S_1 은 다음과 같다.

$$S_1 = \frac{1}{2} \times \theta_1 \times R_p^2 \quad (12)$$

식 (11)에서 구한 S_{SAD} 을 이용하여, 식 (13) 관계식으로 부터 각 θ_1 은 식 (14)와 같이 정리된다.

$$S_{SAD} = \frac{1}{2} \times d \times R_P \times \sin \frac{\theta_1}{2} \quad (13)$$

$$\theta_1 = 2 \times \sin^{-1} \left(\frac{2 \times S_{SAD}}{d \times R_P} \right) \quad (14)$$

한편, 각 θ_2 , 반경 W_D 로 이루어진 부채꼴 DAB의 면적 S_2 는 다음과 같다.

$$S_2 = \frac{1}{2} \times \theta_2 \times W_D^2 \quad (15)$$

각 θ_2 는 식 (16)의 관계식으로부터 식 (17)과 같이 정리된다.

$$R_P \times \sin \frac{\theta_1}{2} = W_D \times \sin \frac{\theta_2}{2} \quad (16)$$

$$\theta_2 = 2 \times \sin^{-1} \left(\frac{R_P \sin \frac{\theta_1}{2}}{W_D} \right) \quad (17)$$

결론적으로 송신노드는 전파 반경 내에 존재하는 수신노드와의 거리 d 에 따라 S_D 및 S_T 면적을 이용하여 드롭 확률 P_D 를 계산하고, 이 값에 따라 데이터 드롭이 수행된다.

III. 실험

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table1. Simulation parameters.

파라미터	값
트래픽 발생 간격	27 s
전송률	660 bps
Channel Bandwidth	0.1 kHz
전파반경(m)	2500 m
Payload	1023 bytes
RTS	16 + 20 bytes
CTS, ACK	16 + 14 bytes
DIFS, SIFS	0.1 s
최대 전파 지연	3.3 s

제안하는 MAC 프로토콜의 동작 성능 검증을 위한 시뮬레이션 틀은 MATLAB을 사용하였고, 사용한 파라미터는 표 1에 정리하였다.^[1, 7~10]

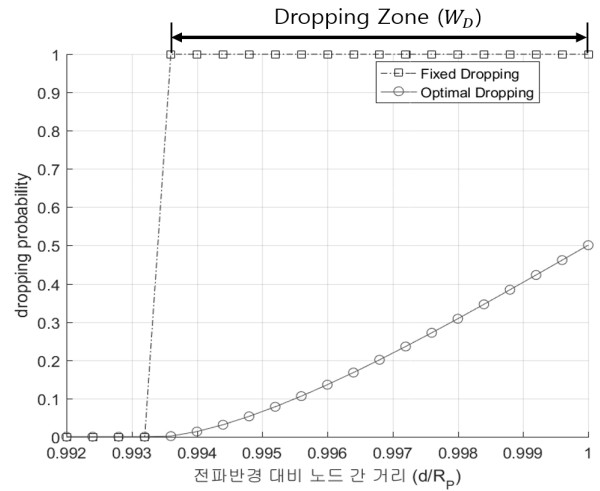


그림 4. Dropping Zone 안에서 드롭 확률
Fig. 4. The dropping probability in Dropping Zone.

그림 4는 드롭 확률, P_D 를 적용하여 Invalid Drop 을 감소시킨 'Optimal Dropping' 경우와 Dropping Zone 에서 무조건 드롭한 'Fixed Dropping' 경우를 비교하였다. 노드 최대 이동 속도는 $v_{MAX} = 30km/h$ 로 가정하였고, 전파 반경으로 수신노드의 위치를 정규화하여 각 위치에서 드롭 확률을 계산하였다. 전파 반경 가장 자리에 가까울수록 데이터 전송 완료 후 전파 반경을 벗어나게 되어 전송 중 전송 실패할 확률이 크기 때문에 'Optimal Dropping'의 경우 d 에 따라 드롭 확률, P_D 가 증가됨을 알 수 있다.

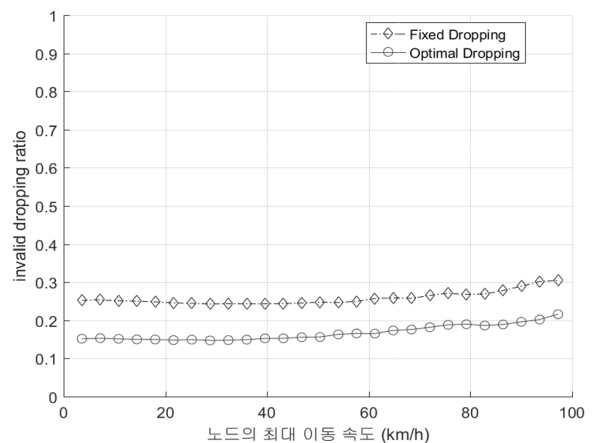


그림 5. 노드 최고 속도에 따른 Invalid Dropping 비율
Fig. 5. Invalid Dropping ratio vs. maximum node velocity.

'Fixed Dropping'의 경우, Dropping Zone 내부에 존재하는 노드로 전송하는 전송 패킷을 무조건 드롭하는 반면에, 'Optimal Dropping'의 경우, 거리에 따라 전파

반경 밖으로 이탈할 확률, P_D 를 이용하여 드롭한다. 그러므로, 'Optimal Dropping'의 경우는 그림 5와 같이 상대적으로 Invalid Dropping이 감소한다. 'Fixed Dropping'을 적용하면 Dropping Zone에 위치하는 수신노드에 대해서는 이동 속도와 이동 방향에 관계없이 무조건 드롭하므로 이동 속도가 최고 속도보다 느리거나 이동 방향이 전파 반경 안쪽으로 움직여 데이터 전송에 성공할 것으로 예상되는 전송 시도조차 드롭되기도 한다. 이러한 Invalid Dropping이 증가되면 재전송을 위해 불필요하게 전송 대기해야 하는 시간이 늘어나 지연 시간이 증가하게 된다. 따라서, Invalid Dropping를 감소시켜 전송지연과 수율 성능을 향상시키는 것이 중요하다.

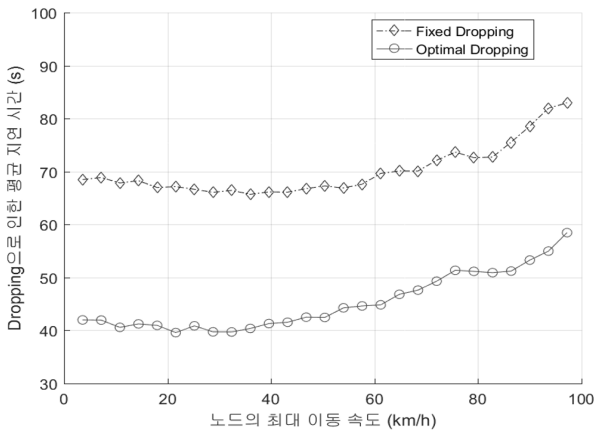


그림 6. 드롭으로 인한 평균 전송 지연
Fig. 6. Average latency through dropping.

그림 6은 'Optimal Dropping'의 경우, 'Fixed Dropping'하는 경우보다 드롭으로 인한 평균 전송지연이 작음을 알 수 있다. 이것은 드롭 확률을 추가하여 Invalid Dropping을 줄였기 때문이다.

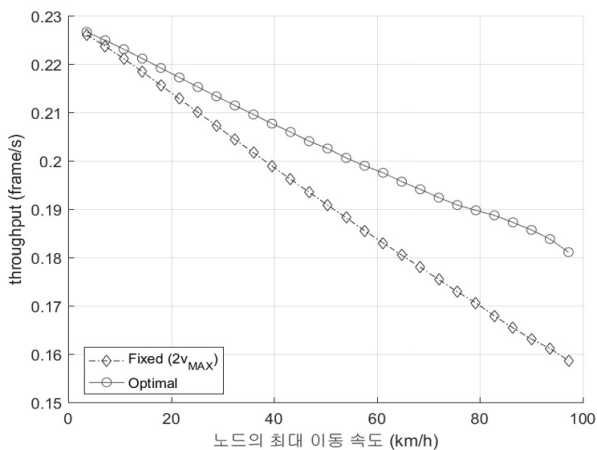


그림 7. 노드 최고 속도에 따른 수율
Fig. 7. Throughput vs. maximum node velocity.

그림 7은 노드의 최고 속도에 따른 수율을 비교한 것이다. 속도가 증가할수록 이동성이 커지는 노드로 인한 망의 형상 변화를 따라가지 못해서 수율은 노드의 이동 속도에 증가에 따라 감소 추세를 보인다. 'Fixed Dropping'을 하는 경우에는 Invalid Dropping이 많기 때문에 'Optimal Dropping'에 비해 상대적으로 수율이 나쁘다.

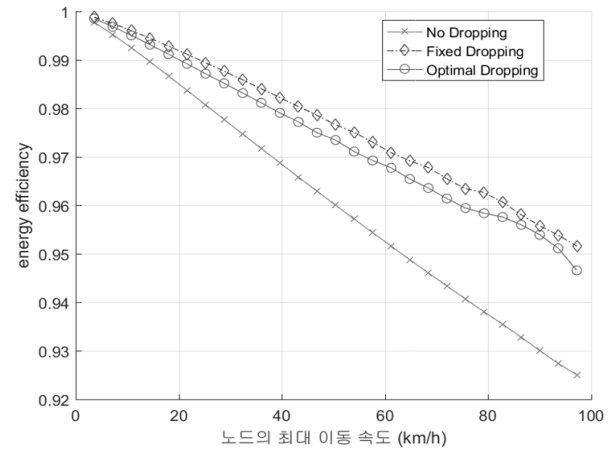


그림 8. 에너지 효율성 비교
Fig. 8. Energy efficiency.

그림 8은 각 드롭 방법에 대해 에너지 효율을 비교한 것이다. 'No Dropping'은 전송 전 드롭 여부를 판단하지 않고 무조건 전송 시도하는 것으로 전송 실패율이 크고 이로 인해 에너지 효율이 나쁘다. 특히, 노드의 속도가 빠를수록 데이터 전송 실패로 인한 에너지 낭비가 심각하게 된다. 'Fixed Dropping'의 경우는 Dropping Zone 내에 위치하는 수신노드에 대해서는 무조건 드롭을 수행하므로 전송 실패 확률이 없기 때문에 에너지 효율 측면에서만 보면 제일 좋다. 그러나, 앞의 결과에서 설명했듯이 많은 Invalid Dropping을 초래하여 전송 성능 감소를 야기한다. 결과적으로, 본 논문에서 제안한 'Optimal Dropping'은 Invalid Dropping의 확률을 낮추어 전송 성능도 향상도 가져왔고, 드롭으로 인해 전송 실패율도 낮추었기 때문에 에너지 효율도 좋은 결과를 가져왔다.

IV. 결론

전력 공급이 어려운 수중 환경에서 배터리 사용으로 에너지가 제한되므로 통신 프로토콜에서 에너지 효율을 중요한 설계 조건이다. 본 논문은 이동성을 갖는 노드로 구성된 수중 통신망에서 노드의 이동 속도를 고려해 데이터 전송 시도를 확률적으로 제어함으로써 에너지

효율을 높이고 전송지연과 수율의 성능을 높이는 방법을 제안하였다.

제한한 'Optimal Dropping' 방법은 단순하게 적용할 수 있는 'Fixed Dropping'이 갖는 Invalid Dropping의 단점을 보완하기 위한 것이다. 전송 중 노드가 전파 반경을 이탈할 확률을 예측하여 Dropping Zone에서 무조건 드롭을 하는 것이 아닌, 데이터 전송 실패 확률을 한번 더 고려하여 드롭하는 방법이다. 결과적으로, Invalid Dropping의 발생을 감소시켜 전송지연과 수율 성능 향상을 가져왔다. 또한, 드롭으로 데이터 실패로 인한 에너지 낭비를 미리 방지하여 에너지 효율성도 증가시킬 수 있다.

REFERENCES

- [1] AKYILDIZ, Ian F.; POMPILI, Dario; MELODIA, Tommaso. Underwater acoustic sensor networks: research challenges. *Ad hoc networks*, 2005, 3:3: 257-279.
- [2] Pham, Huan, and Sanjay Jha. "An adaptive mobility-aware MAC protocol for sensor networks (MS-MAC)." *Mobile Ad-hoc and Sensor Systems*, 2004 IEEE International Conference on. IEEE, 2004.
- [3] Choi, Lynn, Sang Hoon Lee, and Hyohyun Choi. "M-mac: mobility-based link management protocol for mobile sensor networks." *Future Dependable Distributed Systems*, 2009 Software Technologies for. IEEE, 2009.
- [4] Friis, Harald T. "A note on a simple transmission formula." *Proceedings of the IRE* 34.5 (1946): 254-256.
- [5] Syed, Affan A., and John S. Heidemann. "Time Synchronization for High Latency Acoustic Networks." *INFOCOM*. 2006.
- [6] Syed, Affan A., and John S. Heidemann. "Time Synchronization for High Latency Acoustic Networks." *INFOCOM*. 2006.
- [7] M. Stojanovic and J. Preisig, "Underwater acoustic communication channels: propagation models and statistical characterization," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, pp. 84-89, 2009.
- [8] D. Pompili and I. F. Akyildiz, "Overview of networking protocols for underwater wireless communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, pp. 97-102, 2009.
- [9] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*,

vol. 18, no. 3, pp. 535-547, 2000.

- [10] G. Bianchi and I. Tinnirello, "Remarks on IEEE 802.11 DCF performance analysis," *IEEE Communications Letters*, vol. 9, no. 8, pp. 765-767, 2005.
- [11] Weisstein, Eric W. "Heron's formula." (2003).

저 자 소 개



손 응 (학생회원)

2015년 충남대학교 전자공학과 학사 졸업.

2017년 충남대학교 전자공학과 석사 졸업.

2017년 충남대학교 전자공학과 박사 과정(현).

<주관심분야: MIMO, IA, MAC Protocol, Wireless Network>



장 윤 선 (정회원)-교신저자

1992년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.

1994년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.

1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.

1999년 한국 전자통신연구원 선임연구원.

2006년 충남대학교 전자공학과 부교수(현).

<주관심분야: 광통신 전송시스템, 무선인지 기술, 수중통신망>