

수중 셀룰러 네트워크를 위한 전력 절감형 매체 접속 제어 프로토콜 구현

조 준 호*, 조 호 신^o

Implementation of Power Saving Medium Access Control Protocol for Underwater Cellular Networks

Junho Cho*, Ho-Shin Cho^o

요 약

본 논문에서는 수중 셀룰러 네트워크를 위한 저전력 통신 매체 접속 제어(Medium Access Control: MAC) 프로토콜을 제안한다. 수중기지국과 센서노드로 구성되는 수중 셀룰러 네트워크에서 센서노드의 에너지 효율을 향상시키기 위해 슬립(Sleep) 기능을 활용한다. 센서노드의 슬립으로 인해 상대적으로 적은 하향링크 프레임 전송기회를 보완하기 위해 주기적인 EMPTY 프레임 전송 및 프레임 Pending 기능을 사용한다. 상용 제어보드를 이용하여 수중 셀룰러 네트워크 시스템을 구성하고 이를 이용하여 실시한 제안기법의 성능분석 결과를 제시한다

Key Words : Underwater Communication, Underwater Cellular Network, Medium Access Control Protocol

ABSTRACT

In this paper, we propose a power saving medium access control(MAC) protocol for underwater cellular networks. The proposed scheme employ a sleep state to improve energy efficiency of sensor node in underwater cellular network consisting of base stations and sensor nodes. A periodic transmission of EMPTY frame and a frame pending are used to make up for lack of opportunity of downlink transmission induced by the sleep of sensor node. We built the underwater cellular network with commercial DSP boards on which the proposed scheme was evaluated.

I. 서 론

최근 해양자원에 관한 관심이 증가하면서 해양탐사 및 환경감시를 위한 수중 센서 네트워크를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 전자기파의 큰 경로감쇄로 인해 음파를 사용하는 수중 음향 네트워크 환경에서는 좁은 가용 대역폭, 느린 전파속도로 인한 긴 전파지연, 다중경로, 높은 페이딩 효과 및 도플러 효과

로 인한 높은 비트 에러율과 같은 열악한 채널특성을 갖는다^[2]. 가용주파수가 극히 제한적인 수중환경에서 네트워크 자원을 효율적으로 관리할 수 있는 수중 통신망 구축을 위해 셀룰러 기반의 수중 무선통신망에 대한 연구개발이 진행되고 있다^[3]. 수중기지국과 센서노드가 제한된 배터리로 동작하며 교체가 어려운 수중 네트워크 환경에서는 매체 접속 제어(Medium Access Control: MAC) 프로토콜의 에너지 소모가 네트워크 수명에 큰 영향을 미친다. 이러한 수중 네트워

* 본 연구는 2019년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었습니다(분산형 수중 관측 제어망 개발)

• First Author : School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, jh_cho@ee.knu.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, hscho@ee.knu.ac.kr, 중신회원

논문번호 : 201905-092-D-RN, Received May 27, 2019; Revised August 16, 2019; Accepted August 17, 2019

크 환경에서 에너지를 절감하여 네트워크 수명을 향상시키기 위한 매체 접속 제어 프로토콜들이 제안되었다^{4,9)}. 본 논문에서는 수중 셀룰러 네트워크 환경에서 네트워크 수명을 향상시키기 위한 저전력 매체 접속 제어 프로토콜을 제안한다. 또한 상용 제어보드를 이용하여 제안기법을 적용한 수중 셀룰러 네트워크 시스템을 구현하고 이를 이용한 시험결과를 제시한다. 해당 시험을 통해 제안기법의 네트워크 처리율, 평균 전송지연, 프레임 충돌율 성능을 분석하였다.

II. 수중 셀룰러 네트워크를 위한 전력 절감형 매체 접속 제어 프로토콜

2.1 네트워크 구조

본 논문에서 가정하는 네트워크의 구성은 그림 1과 같다. 수중 셀룰러 네트워크는 수중기지국제어국(Underwater Base Station Controller: UBSC), 수중기지국(Underwater Base Station: UBS), 센서노드(Sensor Node: SN)로 구성된다. 수중에 임의 배치된 다수의 센서노드는 네트워크 초기화 과정을 통해 가장 적합한 하나의 수중기지국으로 연결되며 수중기지국은 수중기지국제어국에 연결된다. 이후 데이터 전송 과정을 통해 센서노드가 수집한 데이터를 수중기지국, 수중기지국제어국을 거쳐 지상으로 전달한다.

수중기지국은 네트워크 초기화 과정에서 상향링크 및 하향링크 주파수 자원을 할당한다. 본 네트워크에서 사용하는 상·하향링크 전송 주파수대역은 그림 2와 같다.

하향링크전송은 가장 낮은 주파수대역(DL)을 사용하며 상향링크전송을 위한 3개의 주파수대역 (UL0, UL1, UL2) 은 수중기지국을 중심으로 쉘 영역을 3개의 링(Ring)으로 나누고 거리에 따라 각각 하나씩 할당한다(그림 3). 이 때 주파수가 높을수록 감쇄가 크

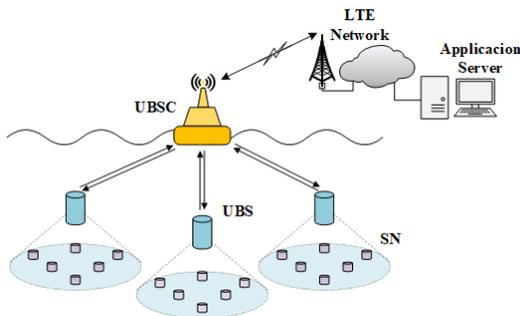


그림 1. 수중 셀룰러 네트워크 구조
Fig. 1. Architecture of underwater cellular networks

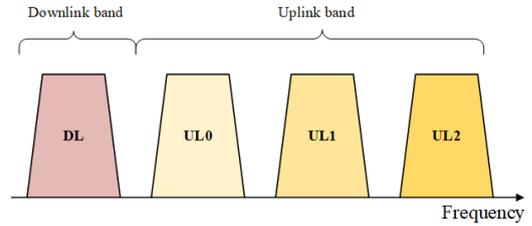


그림 2. 상·하향링크 전송 주파수 대역
Fig. 2. Frequency bands for up and downlink transmission

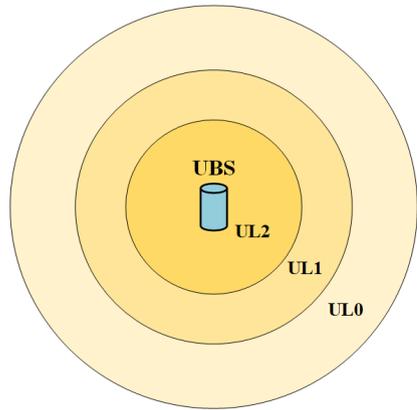


그림 3. 상향링크 전송 주파수 대역 할당 예시
Fig. 3. Example of uplink transmission frequency allocation

므로 안쪽 링에 할당된다. 동일한 링에 속한 센서노드들은 해당 링에 할당된 주파수 대역을 공유한다.

2.2 제안기법의 동작

제안기법의 상·하향 트래픽 전송 동작은 그림 4와 같다. 네트워크 초기화 과정이 완료된 후 모든 센서노드는 슬립(Sleep)상태로 천이한다(그림4-①). 슬립상태에서는 에너지 소모를 줄이기 위해 트랜시버(Transceiver)의 전원을 차단하므로 상향링크 프레임의 송신 및 하향링크 프레임의 수신 불가능하다. 슬립상태에서 상향링크 트래픽이 발생할 경우 즉시 슬립상태를 종료하고 상향링크 DATA 프레임을 전송한다(그림4-②). 이후 상향링크 DATA 프레임 전송에 대한 Acknowledgement(ACK) 프레임을 수신하기 위해 T_{WIN} 시간 동안 수신윈도우(RX window)를 개방한다(그림4-③). 수신윈도우가 개방되면 개방시간 동안 트랜시버의 수신부 전원을 인가하여 하향링크 프레임을 수신할 수 있다. T_{WIN} 의 길이는 수중기지국과 i 번째 링 사이의 최대전파지연($T_{PROP.}(i)$)

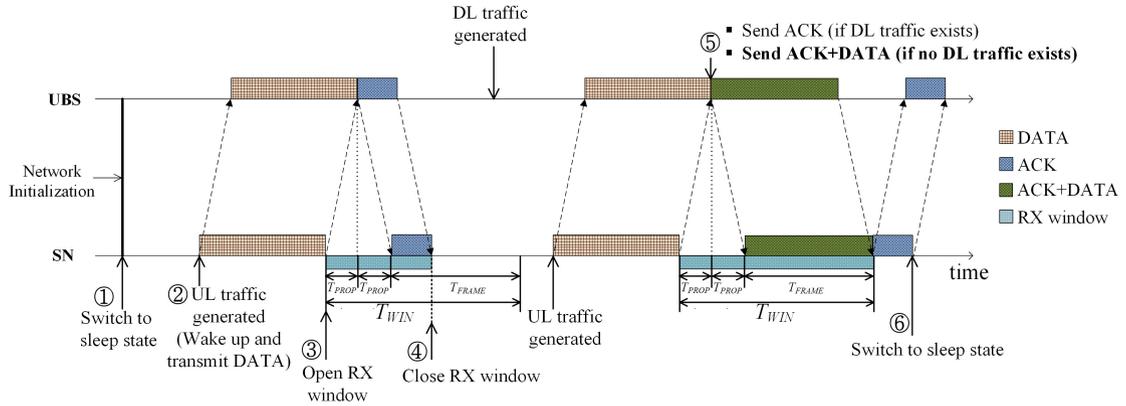


그림 4. 상·하향링크 트래픽 전송 예시
Fig. 4. Example of up and downlink traffic transmission

및 하향링크 프레임크기(T_{FRAME})를 고려하여 식 1과 같이 설정한다.

$$T_{WIN} = 2T_{PROP}(i) + T_{FRAME} \quad (1)$$

수신윈도우 개방시간 내에 ACK 프레임의 수신 완료되면 센서노드는 상향링크 트래픽의 전송이 성공적으로 완료되었음을 인지하고 즉시 수신윈도우를 종료한 후 슬립상태로 천이한다(그림4-④).

반면 수중기지국은 하향링크 트래픽이 발생하더라도 해당 센서노드의 수신윈도우가 개방되어있지 않으면 하향링크 프레임을 전송할 수 없으므로 수신윈도우 개방시점까지 전송을 유예한다. 이후 해당 센서노드의 상향링크 프레임을 수신하면 수신윈도우가 개방되었음을 인지하고 하향링크 프레임을 전송한다(그림 4-⑤). 이때 전송하는 하향링크 프레임은 해당 센서노드에 대한 하향링크 트래픽이 존재하지 않을 경우, ACK 프레임을 전송하며 만약 하향링크 트래픽이 존재하면 해당 데이터를 ACK 프레임에 피기백킹(Piggybacking)한 형태인 ACK+DATA 프레임을 전송한다. 센서노드는 ACK+DATA 프레임을 수신하면 하향링크 DATA 프레임 전송에 대한 ACK 프레임을 전송한 후 슬립상태로 천이한다(그림4-⑥).

만약 상·하향링크 트래픽 전송에 실패하면 센서노드와 수중기지국은 각각 전송에 실패한 트래픽의 재전송을 시도하며 해당 동작은 그림 5와 같다. 센서노드는 수신윈도우 개방시간 내에 ACK 또는 DATA+ACK 프레임 수신하지 못하면(그림5(a)-①) 상향링크 DATA 프레임이 충돌 또는 유실에 의해 전송에 실패하였음을 인지하고 충돌 회피를 위한 랜덤

백오프(Random Back-off) 시간 이후(그림5(a)-②) 즉시 상향링크 DATA 프레임의 재전송을 시도한다(그림5(a)-③). 반면 수중기지국은 하향링크 DATA 프레임 전송 이후 ACK 프레임의 수신을 기다리는 시간인 T_{WFAACK} 시간 이내에 ACK 프레임이 도착하지 않아(그림5(b)-①) 하향링크 DATA 프레임의 전송실패를 인지하더라도 센서노드의 다음 수신윈도우 개방시점까지 해당 프레임의 재전송을 유예한다(그림5(b)-②).

센서노드는 상향링크 트래픽이 생성되면 즉시 슬립상태에서 깨어나 전송이 가능한 반면 수중기지국은 하향링크 트래픽이 생성되더라도 센서노드의 수신윈도우 개방 시점까지 전송을 유예하므로 하향링크 트래픽의 전송지연이 상향링크에 비해 상대적으로 크게 발생한다. 이처럼 상대적으로 부족한 하향링크 트래픽 전송기회를 보완하기 위해 제안기법은 EMPTY 프레

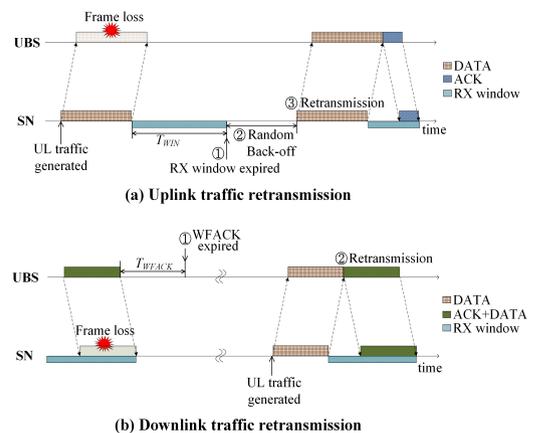


그림 5. 상·하향링크 프레임 재전송 예시
Fig. 5. Example of up and downlink frame retransmission

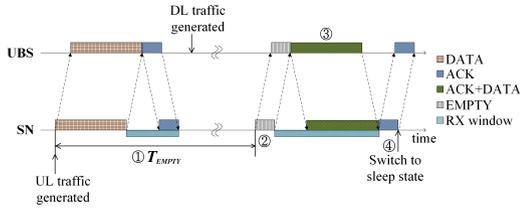


그림 6. EMPTY 프레임 전송 예시
Fig. 6. Example of EMPTY frame transmission

임 전송을 사용한다. EMPTY 프레임 전송 동작의 예시를 그림 6에 나타내었다. 센서노드는 T_{EMPTY} 시간 동안 하향링크 트래픽 전송을 시도하지 않는 경우 (그림6-①), EMPTY 프레임을 전송한다(그림6-②). EMPTY 프레임은 데이터를 포함하지 않는 빈 프레임으로써 센서노드가 해당 프레임을 전송한 후 수신원 도우를 개방하여 하향링크 트래픽 전송기회를 부여하기 위해 사용된다. EMPTY 프레임을 수신한 수중기지국은 하향링크 트래픽이 존재할 경우 DATA 프레임을 전송하며(그림6-③) 이후 수신원도우 개방시간 내에 DATA 프레임을 수신한 센서노드는 ACK 프레임 전송 후 슬립상태로 천이한다(그림6-④).

T_{EMPTY} 시간은 네트워크 초기화 시 시스템 파라미터로 설정할 수 있으며 해당 시간이 짧을수록 네트워크 내의 하향링크 트래픽의 전송유예로 인한 지연을 단축시킬 수 있지만 잦은 EMPTY 프레임 전송 및 수신원도우 개방으로 인해 센서노드의 에너지 효율을 감소시켜 네트워크 수명(Network Lifetime)을 단축시킬 수 있다.

만약 수중기지국의 하향링크 트래픽 크기가 큰 경우, 이를 다수의 프레임으로 나누어 개별적으로 전송하면 불충분한 하향링크 트래픽 전송기회로 인해 해당 트래픽의 전송지연이 크게 발생할 수 있다. 제안기법에서는 이를 완화하기 위해 하향링크 트래픽 전송의 프레임 Pending 기능을 이용하여 연속적인 하향링크 트래픽 전송을 지원한다. 프레임 Pending 기능을 통한 하향링크 트래픽 연속전송 동작의 예시는 그림 7과 같다. 수중기지국은 하향링크 트래픽 전송 시 추가로 전송할 잔여 하향링크 트래픽의 존재 여부에 따라 하향링크 DATA 프레임 내의 Pending 필드를 Set 또는 Clear 상태로 설정하여 전송한다(그림7-①). 센서노드는 수신한 DATA 프레임의 Pending 필드가 Set 상태인 경우, 잔여 하향링크 트래픽이 있음을 인지하여 ACK 프레임 송신 후 슬립상태로 천이하지 않고 수신원도우를 추가로 개방한다(그림7-②). 이후 ACK

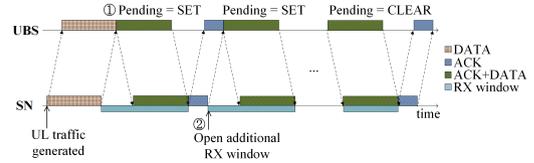


그림 7. 프레임 Pending 예시
Fig. 7. Example of frame pending

프레임을 수신한 수중기지국은 잔여 하향링크 트래픽을 전송하며 해당 과정을 하향링크 트래픽이 모두 소진될 때까지 반복한다.

수중환경에서는 열악한 수중채널특성으로 인해 프레임 유실이 빈번하게 발생하므로 하향링크 DATA 프레임의 유실로 인해 연속전송이 중단될 수 있다. 센서노드가 이를 인지하면 EMPTY 프레임 전송을 통해 유실된 프레임의 재전송을 요청함으로써 연속전송을 재개한다. 해당 동작의 예시를 그림 8에 나타내었다. 만약 하향링크 트래픽 연속전송 상태에서 센서노드가 수신하는 DATA 프레임의 Pending 필드가 Set 상태에서 Clear 상태로 전환되기 전에 추가적인 DATA 프레임이 수신되지 않고 연속전송이 만료되는 경우(그림8-①), 센서노드는 하향링크 DATA 프레임의 유실이 발생했음을 인지한다. 이 경우, 센서노드는 EMPTY 프레임을 전송함으로써(그림8-②) 유실된 DATA 프레임의 재전송 기회를 부여하고 잔여 하향링크 트래픽을 수신한다.

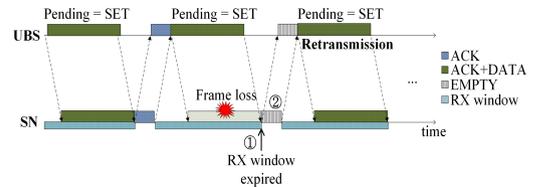


그림 8. 프레임 Pending 재전송 예시
Fig. 8. Example of frame pending retransmission

III. 시스템 구성

제안기법의 성능을 분석하기 위해 상용 플랫폼을 이용하여 프로토콜을 구현하고 모의실험을 수행하였다. 하드웨어 플랫폼은 ARM 기반의 리눅스 시스템으로 동작하는 라즈베리파이 DSP보드를 활용했으며 수중환경을 모사한 물리계층과 제안하는 매체 접속 제어 프로토콜로 구성된 통신 프로토콜 스택을 구현하여 수중 셀룰러 통신 시스템을 구성하였다. 해당 시스

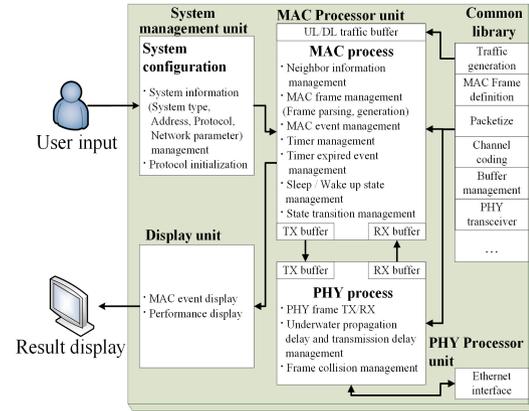


그림 9. 수중 셀룰러 통신 시스템 구성도
Fig. 9. Underwater cellular communication system diagram

템의 구성도는 그림 9와 같다. 제안 시스템은 시스템 관리, 출력, MAC 프로세서, PHY 프로세서유닛 및 공통 라이브러리로 구성된다. 시스템 관리유닛은 사용자로부터 입력받은 시스템 설정값과 자체 파라미터를 이용하여 시스템 타입(수중기지국/센서노드), 주소, 프로토콜, 네트워크 파라미터 등을 설정한 후 시스템을 초기화하고 MAC 프로세서유닛을 동작시킨다. MAC 프로세서유닛은 데이터링크 계층으로서 매체 접속 제어 프로토콜 구동에 필요한 동작을 수행한다. 프레임 송수신에 따른 MAC 이벤트 관리, 시스템 상태천이, 타이머 동작, 슬립제어 등 MAC 프로토콜에 정의된 프로시저(Procedure)를 수행하고 상·하향 트래픽 및 이웃정보를 관리한다. 또한 중요 MAC 이벤트(프레임 송·수신, 타이머 만료 등)가 발생하거나 및 성능분석 결과가 갱신될 때마다 이를 출력유닛을 통해 실시간으로 출력한다. PHY 프로세서유닛은 수중환경을 모사한 물리계층의 동작을 수행한다. MAC 프로세서에서 생성한 프레임을 물리계층 프레임으로 변환하여 Ethernet 인터페이스를 통해 송신하거나 수신한 물리계층 프레임을 데이터링크 계층 프레임으로 변환하여 MAC 프로세서유닛으로 전달한다. 이때 송·수신되는 물리계층 프레임은 수중환경의 제한된 대역폭에 따른 낮은 비트전송률로 인한 긴 프레임 크기를 반영하여 적용한다. 또한 수중환경의 느린 전파속도로 인한 전파지연시간을 함께 반영하여 프레임의 충돌 여부를 적용한다. MAC 프로세서 및 PHY 프로세서에서 필요로 하는 세부기능은 공통 라이브러리에 저장되어 각 유닛으로 호출된다.

3개의 링 형태로 구성되는 수중기지국-센서노드 간 1:N 네트워크 구성을 위해 각 링에 대해 그림 10과

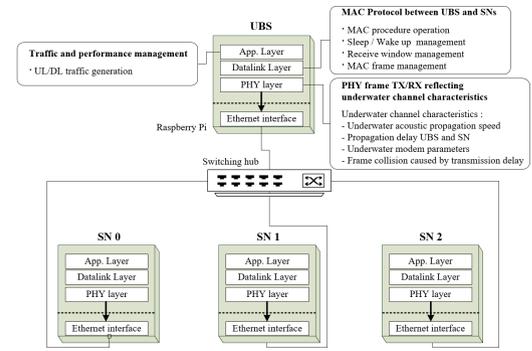


그림 10. 수중 셀룰러 네트워크 구성도
Fig. 10. Underwater cellular network diagram

같이 1개의 수중기지국과 3개의 센서노드로 구성되는 Ethernet 기반의 유선 네트워크를 구축하였다. 수중기지국과 센서노드는 스위칭허브(Switching hub)를 이용하여 연결하였으며 모든 센서노드는 충돌 도메인(Collision domain)을 공유한다. 수중기지국과 센서노드는 물리, 데이터링크, 응용계층으로 구성된 프로토콜 스택 가진다. 응용 계층은 상·하향 트래픽을 생성하며 이를 데이터링크 계층에서 제안 MAC 프로토콜의 동작에 따라 전송한다. 전송된 모든 프레임은 수중 채널특성이 반영된 물리계층을 거쳐 Ethernet 인터페이스를 통해 전달된다.

제안 시스템의 PHY 프로세서유닛 및 Ethernet 인터페이스 기반의 물리계층은 수중모델로 대체되어 추후 제안 시스템이 실제 수중환경에서 동작하는 수중기지국 및 센서노드로서 활용될 수 있도록 설계되었으며 이를 이용하여 수중 셀룰러 네트워크를 구축할 수 있다.

IV. 실험 결과

제안기법의 성능을 분석하기 위해 III장에서 구현한 수중 셀룰러 통신 시스템을 이용하여 수중 셀룰러 네트워크를 구성하였다. 그림 11과 같이 수중기지국을 중심으로 각 3.5, 6.5, 10km 반경을 가지는 3개의 링을 구성하고 각 링에 1km 간격으로 3개의 센서노드가 배치된 네트워크 환경을 구성하였다. 해당 네트워크 환경에서 수행한 실험 파라미터는 표 1과 같다.

상·하향 트래픽의 발생은 푸아송 분포(Poisson distribution)를 따른다. 상·하향 트래픽의 초당 평균 프레임 발생률을 동일하게 0.01에서 0.07까지 증가시키며 네트워크 처리율, 평균 전송지연, 프레임 충돌율 성능을 분석하였다. 또한 EMPTY 프레임 전송과 프

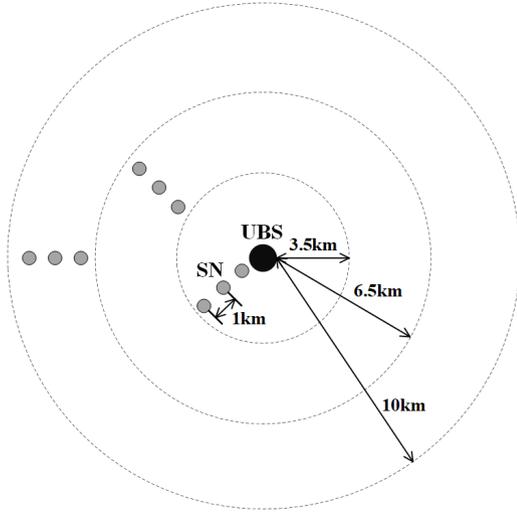


그림 11. 수중 네트워크 토폴로지
Fig. 11. Underwater network topology

레이م Pending 기능의 적용 유무에 따른 네트워크 성능을 비교하기 위해 상향링크 프레임 발생률이 매우 적은 환경에서의 네트워크 성능을 분석하였다. 이를 위해 상향 트래픽의 초당 평균 프레임 발생률이 0.001에서 0.007, 하향 트래픽의 초당 평균 프레임 발생률이 0.01에서 0.07인 비대칭적 트래픽 발생 환경에서 네트워크 처리율, 평균 전송지연, 프레임 충돌율 성능을 분석하였다. 네트워크 처리율은 단위 시간당 성공적으로 전송된 데이터의 총량으로 정의되며 평균 전송지연은 전송된 모든 프레임에 대해 프레임이 생성된 시점부터 성공적으로 전송이 완료된 시점까지 걸린 시간의 평균으로 정의된다. 프레임 충돌율은 송신된 모든 프레임 중 충돌이 발생한 프레임의 비율로 정

표 1. 실험 파라미터
Table 1. Experiment parameter

Parameter	Value
Acoustic propagation speed	1500 m/s
Radius of each ring	3.5, 6.5, 10 km
Bitrate	10 kbps
Data size	30 kb
Traffic load (Symmetric)	0.01 - 0.07 frames/s
Uplink Traffic load (Asymmetric)	0.001 - 0.007 frames/s
Downlink Traffic load (Asymmetric)	0.01 - 0.07 frames/s
Number of continuous data transmission	10
TEMPTY	100 s

의된다.

먼저, 상·하향 트래픽 발생률이 동일한 환경에서 제안기법의 네트워크 처리율, 평균 전송지연, 프레임 충돌율 측정결과는 그림 12와 같다. 생성 즉시 전송이 가능한 상향링크 트래픽의 네트워크 처리율이 생성된 후 센서노드의 수신원도우 개방 시점까지 전송이 유예되는 하향링크 트래픽의 네트워크 처리율에 비해 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 상향링크 트래픽은 낮은 트래픽로드(Traffic load) 상황에서 트래픽로드가 증가함에 따른 전송시도 횟수의 증가로 인해 네트워크 처리율이 증가하는 추세를 보이지만 높은 트래픽로드 환경에서는 트래픽 로드 증가에 따른 프레임 충돌의 증가로 인해 네트워크 처리율이 감소하는 추세를 보인다. 하향링크 트래픽의 네트워크 처리율은 낮은 트래픽로드 상황에서 트래픽 로드가 증가함에

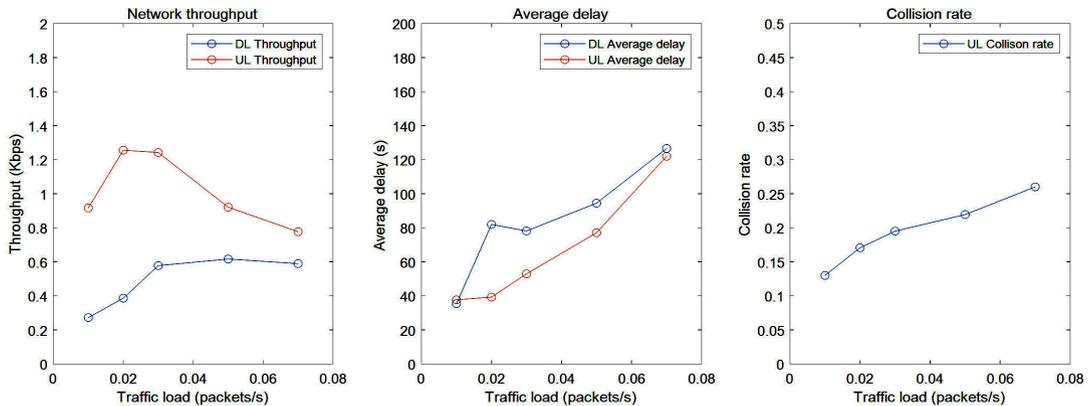


그림 12. 대칭적 트래픽 환경에서 제안기법의 네트워크 처리율, 평균 전송지연, 프레임 충돌율
Fig. 12. Network throughput, average delay and frame collision rate of proposed scheme in symmetric traffic environment

따른 수신원도우 개방빈도의 증가로 인해 네트워크 처리율이 증가하지만 이후 상향링크 프레임 충돌의 증가로 인해 하향링크 트래픽의 전송횟수가 정체됨에 따라 네트워크 처리율이 포화됨을 확인하였다. 평균 전송지연은 트래픽로드가 증가함에 따라 상향링크 트래픽 전송의 충돌에 따른 큐잉지연(Queuing delay) 및 하향링크 트래픽 전송의 수신원도우 개방시점까지 유예함 따른 큐잉지연이 증가하므로 트래픽로드의 증가에 비례하는 추세를 보인다. 트래픽 충돌율은 트래픽로드의 증가에 따른 상향링크 DATA 프레임 간 충돌횟수의 증가로 인해 증가하는 추세를 보인다.

상·하향 트래픽 발생률이 비대칭적인 환경에서 EMPTY 프레임 및 프레임 Pending 기능 적용 유무에 따른 네트워크 처리율, 평균 전송지연, 프레임 충돌율 측정결과는 그림 13과 같다. 상향링크 트래픽이 현저히 낮은 환경에서 EMPTY 프레임 및 프레임 Pending 기능은 하향링크 프레임의 전송기회를 보장해주는 역할을 한다. 따라서 네트워크 처리율 성능의 경우 EMPTY 프레임 및 Pending 기능을 사용했을 때의 하향링크 트래픽 처리율이 그렇지 않았을 때보다 높음을 확인할 수 있다. 또한 EMPTY 프레임 및 Pending 기능을 사용하지 않는 경우 하향링크 전송기회는 매 상향링크 전송에 대해 한 번만 주어지므로 상·하향 처리율이 동일하게 나타난다. 평균 전송지연 성능의 경우 EMPTY 프레임 및 Pending 기능을 사용하지 않았을 때 하향링크 전송기회가 충분히 보장되지 않아 하향링크 트래픽의 정체 현상이 발생하므로 하향링크 트래픽의 평균 전송지연이 EMPTY 프레임 및 Pending 기능을 사용했을 때에 비해 매우 높게 나타나는 것을 확인하였다. 또한 EMPTY 프레임 및

Pending 기능을 사용하지 않는 경우 하향링크 트래픽의 큐잉지연은 상향링크 전송빈도에 반비례하므로 상향링크 트래픽로드가 증가함에 따라 감소하는 추세를 보인다. 트래픽 충돌율은 트래픽로드의 증가에 따른 상향링크 DATA 프레임 간 충돌횟수의 증가로 인해 증가하는 추세를 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 수중 셀룰러 네트워크 환경에서 네트워크 수명을 향상시키기 위한 저전력 매체 접속 제어 프로토콜을 제안하였다. 수중기지국과 센서노드로 구성되는 수중 셀룰러 네트워크에서 센서노드의 에너지 효율을 향상시키기 위해 슬립기능을 활용하고 센서노드의 슬립으로 인한 상대적으로 적은 하향링크 트래픽 전송기회를 보완하기 위해 주기적인 EMPTY 프레임 전송 및 프레임 Pending 기능을 활용하였다. 상용 제어보드를 이용하여 수중환경을 모사한 물리계층 및 제안하는 매체 접속 제어 프로토콜로 구성되는 수중 셀룰러 통신 시스템을 구현하여 성능을 분석하였다. 3개의 링으로 구성되는 수중 셀룰러 네트워크를 구성하고 제안기법의 성능분석 실험을 수행하였으며 네트워크 처리율, 평균 전송지연, 프레임 충돌율 결과를 제시하였다.

References

[1] K. M. Kim and J. W. Han, "Design of OFDM system for High speed Data Transmission in Underwater," in *Proc. IEEK Summer Conf.*,

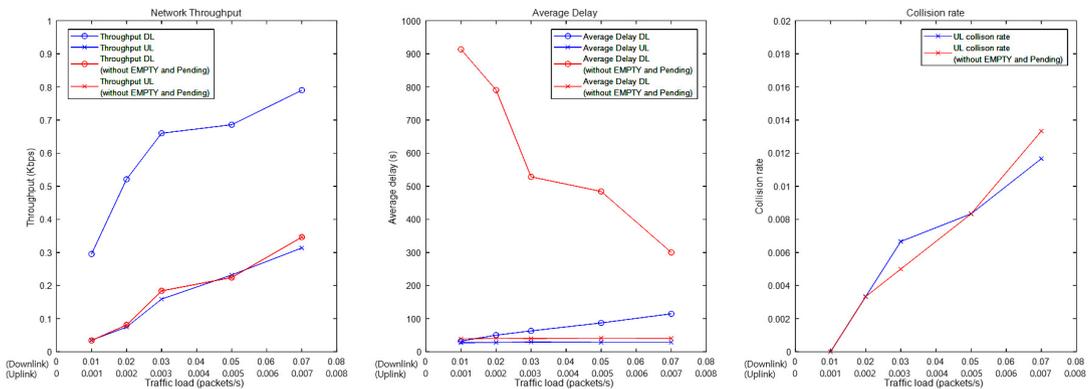


그림 13. 비대칭 트래픽 환경에서 제안기법의 네트워크 처리율, 평균 전송지연, 프레임 충돌율
 Fig. 13. Network throughput, average delay and frame collision rate of proposed scheme in asymmetric traffic environment

pp. 85-88, Pyungchang, Korea, Jun. 2008.

[2] M. Stojanovic and J. Preisig, "Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 1, pp. 84-89, Jan. 2009.

[3] C. Yun, J. W. Park, and S. Choi, "Backhaul resource allocation protocol for underwater cellular communication networks," *J. KICS*, vol. 42, no. 2, pp. 393-402, Feb. 2017.

[4] M. K. Park and V. Rodoplu, "UWAN-MAC: An energy-efficient MAC protocol for underwater acoustic wireless sensor networks," *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 32, no. 3, pp. 710-720, Jul. 2007.

[5] P. Xie and J. Cui, "R-MAC: An energy-efficient MAC protocol for underwater sensor networks," in *Proc. WASA 2007*, pp. 187-198, Chicago, USA, Aug. 2007.

[6] V. Rodoplu and M. K. Park, "An energy-efficient MAC protocol for underwater wireless acoustic networks," in *Proc. OCEANS 2005 MTS/IEEE*, pp. 1198-1203, Washington D.C., USA, Sep. 2005.

[7] A. A. Syed, W. Ye, and J. Heidemann, "T-Lohi: A new class of MAC protocols for underwater acoustic sensor networks," in *Proc. IEEE INFOCOM 2008*, pp. 231-235, Phoenix, USA, Apr. 2008.

[8] Y. Noh, U. Lee, S. Han, P. Wang, D. Torres, J. Kim, and M. Gerla, "DOTS: A propagation delay-aware opportunistic MAC protocol for mobile underwater networks," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 13, no. 4, pp. 766-782, Apr. 2014.

[9] M. K. Watfa, S. Selman, and H. Denkilian, "UW-MAC: An underwater sensor network MAC protocol," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 23, no. 4, pp. 485-506, Apr. 2010.

조 준 호 (Junho Cho)



2013년 2월 : 경북대학교 전자공학부 공학사
 2013년 3월 : 경북대학교 전자공학부 공학석사
 2015년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학부 박사과정

<관심분야> 이동통신시스템, 수중음향센서네트워크, 매체접속제어 프로토콜

[ORCID:0000-0002-7946-6123]

조 호 신 (Ho-Shin Cho)



1992년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학사
 1994년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
 1999년 3월~2001년 2월 : 한국

전자통신연구원 선임연구원
 2001년 3월~2003년 2월 : 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부 교수

2003년 3월~현재 : 경북대학교 IT 대학 전자공학부 교수

<관심분야> 이동통신시스템, 무선자원관리, 트래픽 제어, 수중음향센서네트워크

[ORCID:0000-0002-6949-0904]