

수중네트워크를 위한 수중패킷 흐름제어기법

신수영[†], 박수현^{**}

Underwater Packet Flow Control for Underwater Networks

Soo Young Shin[†], Soo Hyun Park^{**}

ABSTRACT

In this paper, Various network adaptive MAC scheduling technique is proposed to effectively overcome limits of narrow bandwidth and low transmission speed in underwater. UPFC(Underwater Packet Flow Control) is a technique to reduce both the number of transmission and transmission time using three types (Normal, Blocked, Parallel) of data transmission. In this technique, the load information, in which a transmission node have, is transmitted to destination node using marginal bit in reserved header. Then the transmitted information is referred to determine weighting factor. According to the weighting factor, scheduling is dynamically changed adaptively. The performance of UPFC is analyzed and flow control technique which can be applied to Cluster Based Network and Ad Hoc network as well.

Key words: Underwater Networks, MAC, Flow Control

1. 서 론

최근 다양한 수중 사물인터넷(IoUT : Internet of Underwater Things) 서비스에 대한 시나리오가 제안되면서 이를 위한 기반 기술로 수중 통신망에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다.[1] 미국은 1998년도부터 장시간 해양환경관측(AOSN), 연안감시(Seeweb, FRONT), 수중이동체간 통신(PLUSNet)등의 연구가 수행되었고, 유럽은 해저관측을 위한 유무선 통신망(GEOSTAR), 수중통신망(UAN), 수중이동체간 통신(AUTONAUTUS) 등의 연구가 수행되었으며, 일본은 지진 및 쓰나미 관측을 위한 통신망이 연구되었다 [5]. 중국은 최근 해저관측 과 수중통신에 대한 기술 개발을 적극 지원하고 있다. 또한 유럽연합의 지원으로 수중 사물인터넷 서비스를 위해서 다양한 수중

센서 네트워크 간 호환이 가능한 게이트웨이를 개발하는 SUNRISE(sensing, monitoring and actuating on the underwater world through a federated research infrastructure extending the future internet) 프로젝트가 2013년도부터 수행되고 있다.[6] SUNRISE 프로젝트에서는 이 기종의 수중 네트워크를 SUNRISE GATE를 통해 육상과 연계시킴으로써 다양한 수중 네트워크의 효율적인 관리와 표준화에 목적이 있다 [6].

수중에서는 긴 전송지연시간과 물리적 제약 때문에 효율적인 전송방법을 찾는 연구[2~4]가 계속되고 있으나 전송 패킷의 길이에 따라 적응적으로 변화하며 효과적으로 전송효율을 증가시키는 방법에 대한 연구가 필요한 상태이다. 본 논문에서는 송신자의 수요를 반영하고 여러 개의 데이터를 통합하여 하나의

※ Corresponding Author : Soo Hyun Park, Address: 77 Jeongneung-Ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02707, Korea, TEL : +82-2-910-4559, FAX : +82-2-910-4519, E-mail : shpark21@kookmin.ac.kr

Receipt date : Feb. 5, 2016, Revision date : Apr. 27, 2016
Approval date : May 10, 2016

[†] Special Communication Research Center, Kookmin University (E-mail : sy-shin@kookmin.ac.kr)

^{**} Dept. of Information System, Kookmin University

※ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2013R1A1A2012461)

데이터로 전송할 때, 혹은 큰 데이터를 나누어 전송할 때 모두 유용한 기법을 제안하였다.

2장에서는 수중의 흐름제어 개념에 대해서 설명하고 3장에서는 최적화 된 수중데이터의 전송처리 방법을 다룬다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 UPFC (Underwater Packet Flow Control) 기법과 전송모형을 정의하고 5장에서 성능분석을 수행한다.

2. 수중 흐름제어(Underwater Flow Control)

흐름제어와 관련하여 기존에 수행되거나 수행 중인 연구들은 특수한 목적을 위한 애드혹 네트워크 기반 센서 네트워크로써 서로 다른 네트워크 간 호환성이 부족하며 효율적인 자원 관리가 어렵다[1-4, 7-9]. 그리고 수상과 수중의 근원적인 환경 차이와 함께 빈번한 라우팅 정보의 변경과 멀티 홉 통신에 의한 큰 지연이 발생할 수 있다[6]. 그러므로 인터넷 연결을 위한 효율적인 자원 관리 시스템의 연구가 필요하다. 본 논문에서는 제한적인 주파수 자원 및 음파의 휘어짐과 해수면의 산란, 해류의 이동 등 수많은 제약조건들이 존재하는 수중음향통신 환경에서 수상과 수중망간의 물리적 대역의 차이를 극복할 수 있는 방법을 제안한다.

Fig. 1에서 수중 네트워크의 구성을 살펴보면 다양한 이기종 망과 디바이스의 연결과 통신을 전제로 이러한 기술적 구현이 가능한 것을 확인할 수 있다.[10] 광대역인 지상통신과 협대역인 수중통신의

물리적 간격을 보완하기 위한 연구가 앞으로 절실한 상태이다. 수중에서 가장 심각한 제약사항은 긴 지연 시간과 높은 전송 에러율을 들 수 있다. 수중 네트워크의 전송효율을 위해서는 전송회수를 최소화하기 위해 최대한 데이터의 압축과 결합전송 방법이 꾸준히 시도되고 있다. 각각 송신자와 수신자간의 링크가 갖고 있는 전송환경에 따라 적응적으로 지원할 수 있는 혼잡제어 및 흐름제어가 채널 효율을 위한 대안이 될 수 있으며 본 논문에서 패킷의 적응적 전송대안인 UPFC를 제안하였다.

3. 수중데이터의 결합 및 병렬전송 방식

수중 MAC 프레임의 구조상 사용하지 않는 헤더의 여유비트를 전용해서 다양한 전송패킷의 종류를 규정할 수 있다. 이는 실제로 기존의 규격을 수정하지 않고 쓸 수 있는 방법이 될 수 있으며 네트워크 트래픽의 부하가 불균형한 상태일 때 효과적으로 적용할 수 있다. 또한 적절한 전송 리스트 수정 간격을 결정하는 것도 중요한 부분이다. 슈퍼프레임 단위로 전송리스트의 수정이 이루어진다면 매번 송신측의 전송대기량을 반영한 스케줄링이 가능하다. UPFC 기법의 프로세스를 수행하는 CH는 변동이 많은 수중 환경에 실시간 적응적인 스케줄링을 수행할 수 있다.

전송대기열에 적재중인 패킷의 갯수와 Max-Payload_Length 길이를 기준으로 다음과 같은 싱글, 결합, 병렬결합 패킷의 패턴을 생성할 수 있다. Fig.

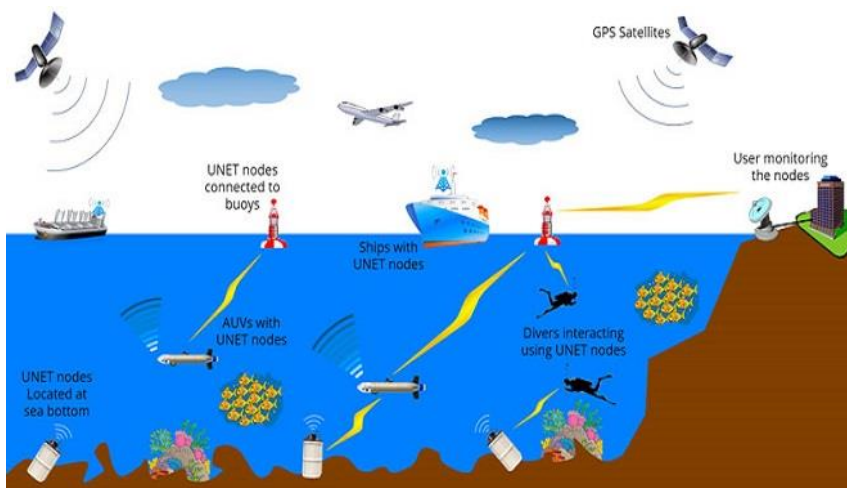


Fig. 1. Underwater Networks.

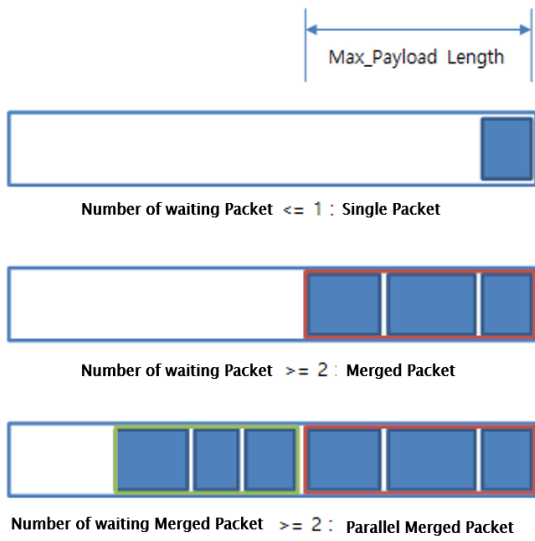


Fig. 2. Transmission type of packet.

2에서 보는 바와 같이 패킷이 한개 이하일 때는 싱글 패킷, 두개 이상 일 때 최대 페이로드 길이를 넘지 않는 범위에서 결합패킷, 최대 페이로드 길이를 넘을 경우 두번째 결합패킷을 생성하여 병렬전송하게 되는 병렬결합패킷이 있다.

3.1 결합 절차

패킷의 결합 절차는 크게 다음 세가지 단계의 프로세스를 거쳐 동작하게 된다.

1. 전송 큐에 적재된 패킷이 한개(싱글패킷)를 초과할 때.
2. 각 패킷의 페이로드의 길이를 측정하여 한번 전송으로 보낼 수 있는 최대 페이로드의 길이보다 작거나 더 이상 적재되어 있는 전송대기 패킷이 존재하는 동안 결합을 시행한다. (결합패킷 생성)
3. 다시 전송큐에 적재된 패킷이 존재할 경우 절차

2번을 반복 수행한다. (병렬결합 패킷 생성)

3.2 병렬전송 절차

패킷의 병렬전송 절차는 크게 다음 두 가지 단계의 프로세스를 거쳐 동작하게 된다.

1. 싱글패킷이거나 결합과정을 거친 패킷이 하나일 경우 단순 전송을 한다.
2. 결합과정을 거친 패킷이 둘 일 경우 하나의 패킷을 먼저 전송하고 SIFS(Short Interframe Space)-대기시간(Guard time)을 기다려 두번째 패킷의 병렬 전송을 수행한다.

3.3 수신 절차

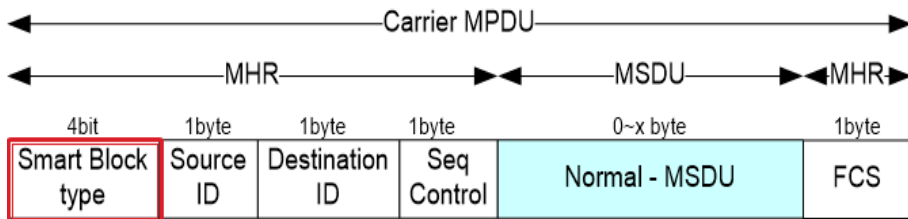
패킷의 수신시 송신자는 다음과 같은 절차에 의해 패킷을 수신하게 된다.

1. 수신 시 MAC 헤더의 패킷 타입을 파악하여 싱글인지 결합인지 병렬전송인지를 파악한다.
2. 병렬전송 순서에 따라 패킷을 재배열한다.
3. 각 패킷의 페이로드 내 결합과정을 해제 한다.
4. 패킷 수신처리를 수행한다.

SBMAC[2]에서 제시된 프레임 포맷에 적용할 수 있는 UPFC 구현 예를 통해 좀더 자세한 수행과정을 설명할 할 것이다. Fig. 3은 일반 데이터 전송을 위한 프레임이고 Fig. 4는 Smart Block Type에는 가용할 수 있는 여분의 영역에 대한 정의를 보여준다.

송신자가 두개의 데이터 패킷의 페이로드 길이를 측정하여 결합 시킬 수 있는지를 점검한다. 임계치보다 짧을 경우 결합패킷으로, 길 경우 두개의 나누어진 병렬결합패킷으로 전송한다.

병렬전송으로 분류되어 두개의 패킷으로 전송 시 다른 전송스케줄을 잡을 필요 없이 SIFS를 기다려



x : Maximum Payload size

Fig. 3. Single Transmission Packet.

Smart Block type	Definition
0000	Beacon frame with Blocked Selective Ack (Master)
0001	Beacon frame with Normal Ack (Master)
0010	Beacon frame with No Ack (Master)
0011	Data frame (Master/Slave)
0100	Data frame with On-demand (Master/Slave)
0101	Blocked Data frame (Master/Slave)
0110	Blocked Data frame with On-demand (Master/Slave)
0111	Parallel Data frame (Master/Slave)
1000	Parallel Data frame with On-demand (Master/Slave)
1001	Init. Request frame with sync. (Master)
1010	Init. Response frame with mac address (Slave)
1011	Init. Confirm frame with unique ID mapping list (Master)

Fig. 4. SBT Definitions.

연속적으로 전송하여 효율성을 높인다. 이는 수중환경에서 고려할 수 있는 효과적인 방법으로 수중의 긴 전송지연시간을 고려하여 한번의 전송기회를 두번의 전송으로 활용함으로써 전송효율을 높인 방법이다.

위 패킷의 세가지 포맷을 살펴보면 동기화 된 센서 네트워크 시스템에서 주기적으로 발송하는 제어 정보를 포함하여 Source Address(Source ID) 및 Destination Address(Destination ID)의 경우는 센서 네트워크의 일반적인 Short Address로 각각 1Byte 씩으로 정의하였다.

4. 성능분석

4.1 UPFC 모델

수중 전송에 영향을 끼칠 수 있는 요인으로는 채널과 버퍼의 상태 네트워크 반경에 따른 전송지연시간, 노드의 수, 에러율, 온도, 염도 등 여러 가지 요인을 들 수 있겠으나 본 논문에서는 그 주요 요인을 버퍼 즉 큐에 적재되어 있는 패킷의 수에 두었다. 이는 수중환경 하에서 이중망간의 통합을 통해서만 강건한 전송 모델의 성립이 가능하고 이는 주어진 조건에서 가장 효과적으로 채널 사용성을 증가시킬 수 있는 기법이기 때문이다. 다양한 전송요인인 입력정보를 활용하여 적응적인 전송기준을 도출하여 수시로 변동되는 수중환경에 적응적인 통신이 가능할 수 있도록 제안된 SBMAC[2]기법은 이미 소개된 바 있

Table 1. Definitions

notation	definition
C	Network Bandwidth
R	Data Rate
B	Number of Blocking Acks
$Data$	Data Frame with control information
SET	BA control Frame
$BEACON$	Master driven periodic Broadcasting Frame
ACK	ACK Frame
L_{total}	Length of total frame (Data frame + Ack frame)
L_{data}	Length of data
$L_{payload}$	Length of MSDU(Payload)
$L_{control}$	Length of control
L_{ack}	Length of ACK
L_{beacon}	Length of Beacon
$\Sigma L_{control}$	Total length of ACK on link
N_{total}	Number of total Tx
N_{data}	Number of data Tx
N_{ack}	Number of ACK
N_{beacon}	Number of Beacon
$N_{control}$	Number of control Tx (BA association + disassociation)
$Len()$	Function of frame length
$int()$	Function of integer
$BEACON()$	Function of Beacon length

으며 향후 본 논문의 기법과 통합 실험환경을 구축할 예정이다.

제시된 수학적 모델은 전송 타입에 따른 부하량과 효율성 비교를 위한 것으로 이 모델을 바탕으로 성능 분석을 수행, 전송 총량 및 에너지 소모율을 산출하였다.

채널의 사용성은 프레임 전송률인 R 을 전체 Bandwidth C 로 나눈 $\frac{R}{C}$ 로 표현할 수 있다. 또한 이미 사용하고 있는 채널의 효율성은 전체 전송 프레임에서 순수한 데이터의 길이가 차지하는 비율을 말하는데 이는 프레임의 사용 비트의 개수인 $L(Length)$ 로 환산하여 $\frac{L_{payload}}{L_{total}} = \frac{L_{total} - L_{control}}{L_{total}} = \frac{L_{total} - (L_{ack} + L_{beacon})}{L_{total}}$ 로 표현 가능하다. 전체 전송 프레임의 길이는 순수한 데이터인 페이로드의 길이와 그 외 제어를 위한 정보들의 길이의 합이 되며 제어정보 길이인 $L_{control}$ 은 데이터 프레임에서 페이로드를 뺀 길이와 Beacon, Ack 전송을 위해 사용되는 길이의 합이 된다. (수식 (1)~(2))

$$L_{total} = L_{payload} + L_{control} \quad (1)$$

$$L_{control} = (L_{data} - L_{payload}) + L_{ack} + L_{beacon} \quad (2)$$

다음은 Ack와 Beacon 전송횟수를 정의하고 이로부터 산출된 제어 정보의 총 길이를 표현한 것이다. 식 (3)~(4)는 싱글전송기법, 식 (5)~(6)는 결합전송기법, 식 (7)~(8)은 병렬결합전송에 대한 부분이다.

$$N_{ack_ARQ} = N_{data_Single} \quad (3)$$

$$\Sigma L_{control_Single} = Len(ACK_{Single}) \times N_{ack_Single} + Len(BEACON_{Single}) \times N_{beacon} \quad (4)$$

N_{data}/B 는 데이터의 전송 횟수를 결합된 Ack의 개수인 B 로 나누어 준 것으로, 결합 혹은 병렬 전송 횟수 계산을 위한 식이며 $int()$ 를 통해 전송 횟수를 정수화 하였다. 이유는 전송의 회수는 실수화 될 수 없기 때문이다. 식 (5)에서 전송 횟수가 증가되는 이유는 결합패킷 전송 시에 SET_{Merge} , 시작과 종료를 위한 두개의 프레임 추가 때문이다.

$$N_{ack_Merge} = 3 \cdot int\left(\frac{N_{data_Merge}}{B}\right) \quad (5)$$

$$\Sigma L_{control_Merge} = Len(ACK_{Merge}) \times int\left(\frac{N_{data_Merge}}{B}\right) + 2 \cdot Len(SET_{Merge}) \cdot int\left(\frac{N_{data_Merge}}{B}\right) + Len(BEACON) \times N_{beacon} \quad (6)$$

결합전송과 비교할 때 병렬전송은 그 효율이 큰 쪽으로 증가하게 된다. 한번의 셋으로 두 배의 전송이 가능하기 때문이다.

$$N_{ack_Parallel} = int\left(\frac{N_{data_Parallel}}{B}\right) \quad (7)$$

$$\Sigma L_{control_Parallel} = Len(ACK_{Parallel}) \times int\left(\frac{N_{data_Parallel}}{B}\right) + Len(BEACON) \times N_{beacon} \quad (8)$$

4.2 시뮬레이션 결과

전송 데이터 프레임의 길이는 싱글, 결합, 병렬패킷의 전송 시 각각 다르며 이는 같은 시간과 전력스모에 비해 효율성의 증가로 볼 수 있다. 이는 데이터 전송 시 세가지 전송방식에 따라 데이터의 량은 변동되나 Ack 패킷과 제어 정보의 전송부하가 동일하거나 큰 차이를 보이지 않는 상황에서 전송타입의 변화는 채널의 효율성을 결정한다는 의미가 된다. 다음은 유도된 수식에 근거하여 제어 패킷 및 전체 네트워크 패킷의 전송 횟수 및 패킷의 길이 및 네트워크 사용의 효율성을 비교하여 분석하였다.

시뮬레이션은 아래 Table 2의 환경을 적용하여 상용 시뮬레이터 매트랩으로 수행되었으며 수중환경을 반영하였다.

수중의 전송지연시간을 산출하기 위해 1500m/sec의 wave speed를 적용하였고 현재 상용 수중모뎀의 성능을 고려하여 10~100Kbps의 처리율을 반영하였다. 페이로드의 길이는 가변한다고 가정하였으며 타임슬롯은 20μs로 고정하였다. 채널은 송신과 수신을 위해 두 개다.

Fig. 7은 제어 패킷의 전송횟수를 비교한 것으로 가장 작은 갯수는 병렬기법, 가장 큰 개수는 싱글기법으로 나타났다. 결합의 경우는 결합 수가 없을 때 절차에 기인한 오버헤드가 발생하므로 제어 패킷이 가장 많이 발생 하지만 항상 두개 이상이 결합되므로 싱글과 비교하여 효율적인 것으로 분석되었다. 병렬의 경우 모든 상황에서 가장 효율적인 수치를 유지하였다. Fig. 8은 총 전송 패킷 개수를 비교한 것이다. 이 또한 효율성이 가장 높은 것이 병렬이고 가장 낮은 것은 싱글이었다.

Fig. 9는 채널효율성을 (0.~1) 비교한 것이고 Fig. 10과 11은 전송량 증가에 따른 제어패킷과 전체패킷

Table 2. Simulation Environments

environment factor	value	environment factor	value
Time	300 sec	Tx interval	0.001~3 sec
Node	3~50	Payload size	5~20 byte
CH	2	Super Frame size	300 TU
Bandwidth	10~100Kbps	Limits	500*500 units
Buffer size	20	Slot size	20μs
BER	0.2	Wave Speed	1500m/sec

* TU : Time Units (1 TU = 1024μs)

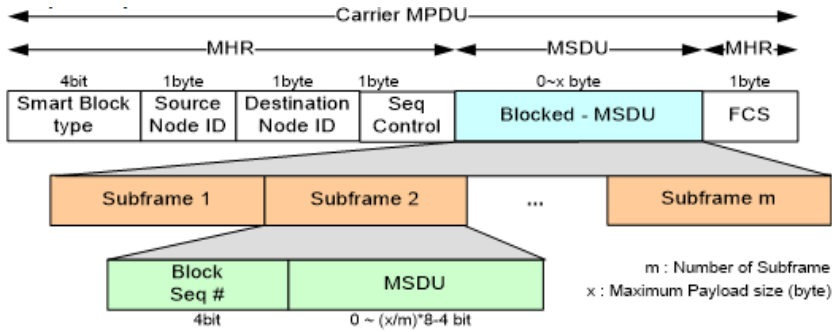


Fig. 5. Merged Transmission Packet.

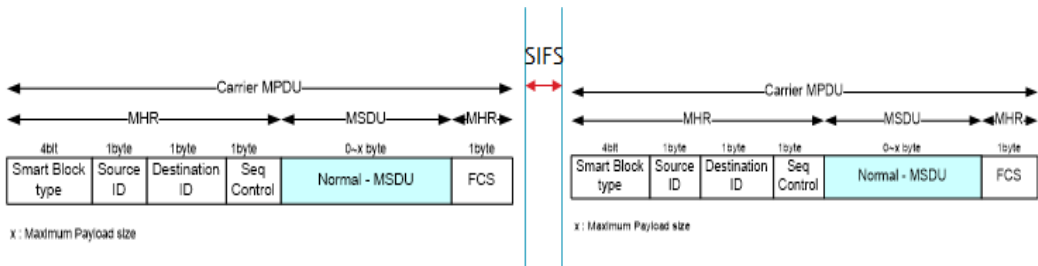


Fig. 6. Parallel Transmission Packet.

의 전송 총 길이(량)를 bit 단위로 환산한 것으로 오버헤드를 포함한 제어 정보의 총 길이가 싱글 패킷일 때 현저히 높게 나타났고 역시 가장 효율적인 기법은 병렬전송 기법이였다.

5. 결 론

본 논문에서는 수중 MAC 프레임의 구조상 사용

하지 않는 헤더의 여유비트를 전용해서 다양한 전송 패킷의 타입의 전송을 제공하므로 네트워크 트래픽의 부하가 불균형한 상태일 때 효과적으로 적용할 수 있는 기법을 제안하였다. 각 송신자는 전송대기열에 적재중인 패킷의 개수와 Max-Payload_Length 길이를 기준으로 싱글, 결합, 병렬결합 패킷의 패턴을 생성하였고 패킷이 한개 이하일 때는 싱글패킷, 두개이상일 때 최대 페이로드 길이를 넘지 않는 범위

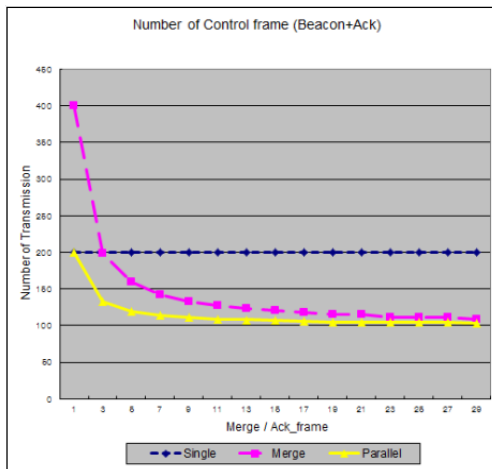


Fig. 7. Number of Control Frame.

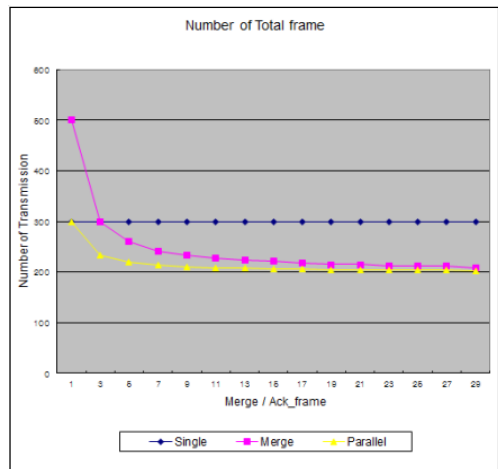


Fig. 8. Number of Total Frame.

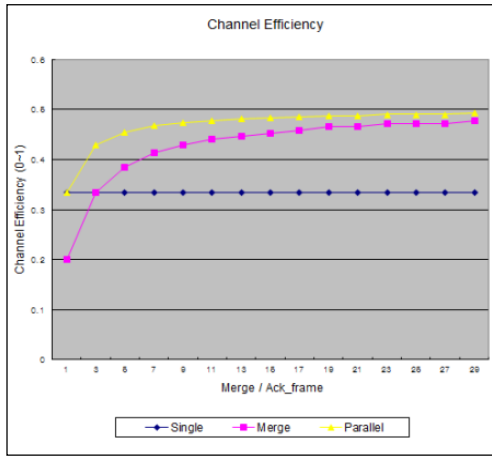


Fig. 9. Channel Efficiency.

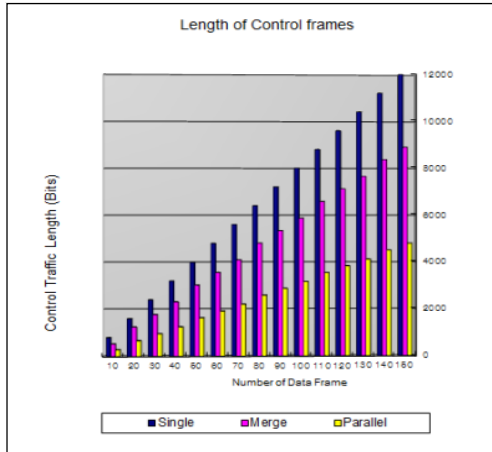


Fig. 10. Length of Control Frame.

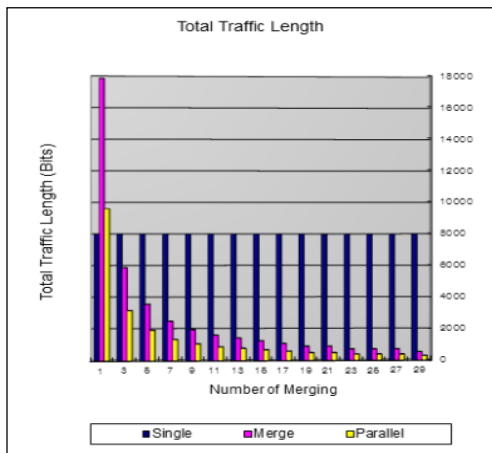


Fig. 11. Total Traffic Length.

에서 결합패킷, 최대 페이로드 길이를 넘을 경우 두 번째 결합패킷을 생성하여 병렬전송하게 되는 병렬 결합패킷으로 분류하여 트래픽 부하에 따른 전송량, 총길이와 전송회수등을 산출하였으며 제안된 기법이 효율적인 것을 검증하였다.

향후 다양한 전송요인인 입력정보를 활용하여 적응적인 전송기준을 도출하여 수시로 변동되는 수중 환경에 적응적인 통신이 가능할 수 있도록 기존 SBMAC 시스템과 통합 실험환경을 구축하여 성능 분석을 수행할 예정이다.

REFERENCES

- [1] X Guo, M.R. Frater, and M.J. Ryan, "Design of a Propagation-Delay-Tolerant MAC Protocol for Underwater Acoustic Sensor Networks," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 34, No. 2, pp. 170-180, 2009.
- [2] S.Y. Shin, J.I. Namgung, and S.H. Park, "SBMAC: Smart Blocking MAC Mechanism for Variable UW-ASN (Underwater Acoustic Sensor Network) Environment," *Journal of Sensors (Basel)*, Vol. 10, No. 1, pp. 501-525, 2010.
- [3] R. Jurdak, P. Baldi, and C.V. Lopes, "Software-driven Sensor Networks for Short-range Shallow Water CHplications," *Journal of Ad Hoc Networks*, Vol. 7, No. 5, pp. 837-848, 2009.
- [4] S.Y. Shin and S.H. Park, "Knowledge Based Underwater Acoustic Communication Smart Decision Block Mechanism," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 17, No. 5, pp. 631-639, 2014.
- [5] M. Stojanovic and L. Freitag, "Recent Trends in Underwater Acoustic Communications," *Marine Technology Society Journal*, Vol. 47, No. 5, pp. 45-50, 2013.
- [6] C. Petrioli, R. Petroccia, D. Spaccini, A. Vitaletti, T. Arzilli, D. Lamanna, A. Galizia, and E. Renzi, "The SUNRISE GATE: Accessing the SUNRISE Federation of Facilities to Test Solutions for the Internet of Underwater

Things," *Proceedings of UCOMMS 2014*, pp. 1-4, 2014.

[7] T.W. Kuo, W.R. Yang, and K.J. Lin, "A Class of Rate-based Real-time Scheduling Algorithms," *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 51, No. 6, pp. 708-720, 2002.

[8] IEEE, *IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1999.

[9] M.R. Jeong, H. Morikawa, and T. Aoyama, "Wireless Packet Scheduler for Fair Service Allocation," *Proceeding of APCC/OECC '99 Fifth Asia-Pacific Conference on Communications*, Vol. 1, pp. 794-797, 1999.

[10] D.C. Stephens, J.C.R. Bennett, and H. Zhang, "Implementing Scheduling Algorithms in High-speed Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 17, pp. 1145-1158, 1999.



신수영

1998년 한국방송통신대학교 교육학 학사
 2002년 덕성여자대학교 정보통신 전공 석사
 2007년 국민대학교 비즈니스IT (정보통신 전공) 박사

2007년~현재 국민대학교 전임연구교수
 2015년~현재 국민대학교 특수통신연구센터 부센터장
 관심분야 : 유비쿼터스 시스템, 무선(수중음파) MAC, 통신표준



박수현

1988년 고려대학교 컴퓨터학과 학사
 1990년 고려대학교 전산학과 석사
 1998년 고려대학교 컴퓨터학과 박사

2002년~현재 국민대학교 정보시스템전공 교수
 관심분야 : 유비쿼터스 네트워크, Underwater, Sensor Network, Underwater IoT