

수중 다중 매체 통신의 흐름제어를 위한 단편화 기법 구현

유동선[†], 신동현^{**}, 임승수^{***}, 전성현^{****}, 김창화^{*****}

Implementation of a Fragmentation Method for Flow Control in Underwater Multi-media Communication

Dongsun You[†], DongHyun Shin^{**}, Seungsoo Lim^{***},
Seonghyun Jeon^{****}, Changhwa Kim^{*****}

ABSTRACT

Underwater communication is necessarily useful for various application domains such as saving of human lives from underwater disasters, marine resource exploration, underwater military fields, underwater environment or ecosystem monitoring, fish farm monitoring and management, etc. Even though the acoustic wave has been the main underwater communication media until now, several media such as optical waves, VLF/ELF waves, magnetic fields, and infrared rays also began to be treated as possible media for underwater communication. If these underwater communicate-possible media are used mixing together, the underwater communication can be much more reliable and efficient through complementing the disadvantages of each communication media with advantages of other communication media. In fact, mixing and using multi-media for underwater communication requires the data flow control in the connection process of different media due to their communication speed gaps and bandwidth differences, and, specially, in the flow control, the appropriate message fragmentation technique is required inevitably. For this reason, this paper presents a fragmentation framework and technique necessary to the flow control in the underwater multi-media communication. In addition, through its implementation and experiments, this paper shows the feasibility on the realization of the multi-media based underwater communication.

Key words: Underwater Communication, Multi-Media Underwater Communication, Underwater MAC, Underwater Integrated MAC

1. 서 론

수중통신은 주로 음파를 사용하며 해양 자원 탐사

및 채굴, 수중 군사 분야, 해양 재난 재해 분야, 수중 오염 및 생태계 모니터링 등 다양한 분야에 활용되고 있다[1,2,3]. 음파는 지상에서 주로 사용되는 RF(Radio

※ Corresponding Author: Changhwa Kim, Address: (26403) Namwon-ro 150, Heungeop-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea, TEL: +82-33-760-8663, FAX: +82-33-760-8718, E-mail: kch@gwnu.ac.kr
Receipt date: Feb. 28, 2020, Revision date: Jul. 2, 2020
Approval date: Jul. 6, 2020

[†] Department of Biomedical Convergence Engineering, Graduate School, Gangneung-Wonju National University (E-mail: dyou@cs.gwnu.ac.kr)

^{**} Department of Computer Science & Engineering, Gangneung-Wonju National University (E-mail: dhshin@cs.gwnu.ac.kr)

^{***} Department of Computer Science & Engineering, Gangneung-Wonju National University (E-mail: smkongdo@gmail.com)

^{****} Department of Computer Science & Engineering, Gangneung-Wonju National University (E-mail: tjdskaqkr@naver.com)

^{*****} Department of Computer Science & Engineering, Gangneung-Wonju National University

※ This research was a part of the project titled "Development of the wide-band underwater mobile communication systems" funded by the ministry of Oceans and Fisheries, Korea.

Frequency)에 비해 낮은 대역폭, 높은 채널 점유율, 낮은 전파지연 등의 단점이 있음에도 수중 환경에서 주로 사용되는데, 이는 RF를 수중에서 사용하면 높은 감쇠현상을 보이기 때문이다[4]. 그러나 음파는 수온, 염도, 수압뿐만 아니라 파도, 난류, 선박 등에 의해 발생하는 소음에 민감하게 영향을 받기 때문에 지상 통신에 비해 통신 장애 빈도가 높아 수중에서 음파 통신만을 사용하기에는 비효율적일 수 있다.

한편, 음파 외에 함께 사용할 수 있는 통신은 크게 광, 자기장, VLF/ELF통신 등이 있다. 광 통신은 빛을 이용하여 통신을 하며, 음파 통신에 비해 빠른 전송속도와 낮은 에너지를 소모하는 한편 빛의 산란과 탁도에 영향을 받고 유기물에 의해 빛이 흡수되는 등 주변 환경에 영향을 받는다[5]. 자기장 통신은 자기장을 이용한 무선 통신으로 물, 흙, 금속 등 극한의 상황에서의 통신이 가능하지만 통신거리가 매우 짧다[6]. VLF/ELF 통신은 저주파 통신으로 지상과 수중 사이의 수백 km의 통신거리를 갖는다[7]. 하지만 낮은 주파수에서 통신하기 위해 필요한 안테나 설치 규모와 비용이 막대하기 때문에 주로 지상에서 송신용으로만 사용되고 있다.

보다 효율적인 수중 통신을 위해 음파, 광, RF, 자기장 등의 매체를 2가지 이상 복합적으로 활용하여 통신한다면 각 매체가 가진 장·단점을 상호 보완할 수 있다. 예를 들어, 짧은 거리의 통신에서는 음파보다 속도가 빠르고 대역폭이 높은 광 또는 자기장 통신을 사용하고, 탁도가 높고 통신 거리가 길면 오히려 음파를 사용한 통신이 더 효율적일 수 있다. 또한, 지상에서 수중으로 데이터를 송신하기 위해서는 통신거리가 긴 VLF/ELF를 사용하여 지상, 수중 간 통신을 가능하게 한다.

그러나 지금까지는 하나의 매체를 이용하여 통신하는 방법과 관련된 연구가 주되었으며, 다중 매체를 사용하여 수중 통신하기 위한 방법은 거의 연구되지 않았다. 최근 들어 다중 매체 통신을 위한 방법이 연구된 것들이 있는데, 대표적으로 통합 MAC을 이용하여 다중 매체 기반 수중통신을 위한 계층의 설계 방법과 장·단점에 대한 연구, 데이터링크층을 확장하여 가시광 통신, 적외선 통신, 음파 통신만을 고려한 수중 적합 계층을 제안한 연구가 진행되었다. 하지만 기존 연구들은 아이디어 수준에서 연구되었으며, 매체의 종류와 개수를 고정한 프로토콜 스택의 사용으

로 매체의 확장성이 매우 낮은 단점이 있다[9,10].

실제로 수중 다중 매체 통신을 구현하기 위해서는 흐름제어를 위한 단편화 기법이 특히 중요하다. 다중 매체 통신에서는 하나의 노드가 여러 개의 통신 매체를 가지며, 통신 중에 매체를 변경하여 통신할 수 있는데, 이때 매체 간 통신 속도, 대역폭 등이 달라 데이터 전송 속도의 조절이나 데이터 단편화 등의 조치가 필수적이기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 각 매체의 고유한 성질을 상호·보완하여 수중 통신의 신뢰성을 높일 수 있는 다중 매체 통신을 위해 다중 매체 수중 통신의 흐름제어를 위한 단편화 기법을 제안하고 구현결과를 통해 그 가능성을 보이고자 한다.

2. 통합 MAC 설계 접근방법

음파, RF, 자기장, 광 등 여러 매체를 복합적으로 사용하여 통신할 때 매체 간 물리적 특성으로 인해 발생할 수 있는 문제점들을 해결하기 위해서는 흐름 제어 기법이 필수적이다. 특히, 흐름 제어 중 단편화 기법을 구현하기 위해서는 이를 지원하는 통합 MAC 구조와 그 기능이 정의되어야 한다. 따라서 본 절에서는 다중 매체 통신을 위해 요구되는 통합 MAC 설계 접근방법과 이를 지원하기 위한 프로토콜 스택, 통합 MAC 구조에 대한 내용을 다룬다.

2.1 통합 MAC 설계 접근 방법

통합 MAC을 설계할 수 있는 방법에는 크게 세 가지로 생각할 수 있다. 첫째, 하향식 설계이다. 하향식 설계는 통합 MAC의 상위 계층부터 설계하는 방법으로 공통 인터페이스 먼저 설계 후 하위 계층을 공통 인터페이스에 맞춰 설계하는 방법이다. 이 방법은 공통 인터페이스에 맞춰 매체의 공통 특징에 적합한 하위 계층이 설계가 되므로 구현 방법이 간단할 수 있으나, 각 매체의 고유한 특징을 모두 반영할 수 없는 단점이 있다. 둘째, 상향식 설계이다. 상향식 설계는 하위 계층부터 설계하는 방식으로 수중 통신 매체별 물리적 특성을 최대한 반영하여 설계할 수 있기 때문에 통신장애 발생 시 각 매체가 가진 단점을 상호·보완하여 신뢰성 높은 통신을 할 수 있다. 그러나 경우에 따라 어댑터를 추가로 구현해야 하는 등 하향식 방식에 비해 구현 비용이 높고 구현에 어려움이 클 수 있다. 셋째, 혼합 방식이다. 이 방식은

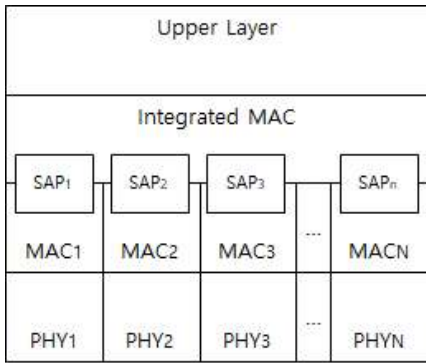


Fig. 1. Bottom-up Integrated MAC Logical Design.

계층의 일부는 상향식, 일부는 하향식을 사용하는 방법으로 상·하향식 설계의 장점을 모두 가질 수 있지만 하향식 방식과 마찬가지로 공통 인터페이스를 사용하므로 매체의 물리적 특성을 모두 반영할 수 없는 단점이 있다.

불안정한 수중 환경에 적합한 통신은 수중 환경에 따라 각 매체의 고유한 특징을 반영한 통신이 요구되므로 수중 통신 매체의 단점을 상호·보완하여 통신의 신뢰성을 높일 수 있는 상향식 설계가 더 적합하다.

2.2 상향식 통합 MAC 설계를 위한 프로토콜 스택

다중 매체 통신을 위해 사용되는 상향식 통합 MAC의 논리적 구조는 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. PHY와 MAC 계층은 물리매체별 각각 존재하며, 통합 MAC과 개별 MAC 사이에는 SAP(Service Access Point)를 통해 상이한 매체들의 제어를 위한 인터페이스를 둔다. 통합 MAC은 상이한 매체의 MAC기능을 통합 관리하여 통신장애 발생 시 대체할 링크를 설정하거나, 상위 계층과 하위 계층의 통신 등을 가능하게 한다.

상향식 방식은 어댑터로 인해 통신 속도가 느려지고, 매체가 추가될 경우 구현이 어려워질 수 있다.

그러나 어댑터를 물리적으로 모듈화하면 어댑터의 교체 및 재활용이 쉽고 재설계가 필요하지 않다.

2.3 통합 MAC의 프레임과 MIB 구조

2.3.1 통합 MAC 프레임

노드는 다중 매체 통신을 위해 여러 매체를 가지고 있기 때문에 통신환경에 적합한 매체를 사용하여 통신하기 위해 통합 MAC 프레임에는 매체 타입에 대한 정보도 함께 가지고 있어야한다. 통합 MAC 프레임은 Frame Length, Frame Type, Media Type 등 Fig. 2와 같이 8가지 항목을 가지고 있으며, 이에 대한 자세한 설명은 아래와 같다.

- **(Frame Length)** 헤더를 포함한 프레임의 총 길이
- **(Frame Type)** 데이터 타입(0x00), ACK 타입(0x01)을 구분해주는 필드
- **(Source Address)** 노드의 출발지 통합 MAC 주소
- **(Dest. Address)** 노드의 목적지 통합 MAC 주소
- **(Media Type)** 광, RF, 음파, 자기장 등의 매체 타입
- **(SEQ Number)** 프레임의 순서를 나타내며 단편화 처리 시 사용
- **(ACK)** 데이터 송·수신 관련 ACK 수신 여부
- **(PAYLOAD)** 상위 계층에서 넘어온 패킷

2.3.2 통합 MAC MIB(Management Information Base)

통합 MAC의 구현을 위해 노드가 갖는 정보의 집합인 MIB를 Table 1과 같이 정의한다. 라우팅을 고려한 통합 MAC MIB는 라우팅 및 매체 선택을 위해 에너지 소모, 통신 거리 등 다양한 요소가 요구된다. 그러나 본 논문에서는 흐름제어를 위한 단편화 기법

2	1	6	6	1	1
Frame Length	Frame Type	Source Address	Dest. Address	Media Type	SEQ Number
1	Variable				
ACK	PAYLOAD				

Fig. 2. Integrated MAC frame.

Table 1. Bottom-up Integrated MAC MIB

Elements	Explanation
Current_Media_Type	Type information of current media
Current_Transmission_Cycle	The transmission cycle of the current media
Current_Payload_Length	Mean payload length of current media
Media _n _Type	Mean Media _n Type Information
Media _n _Transmission_Cycle	Mean the transmission cycle of Media _n
Media _n _Payload_Length	Mean payload length of Media _n
Media _n _Search_Cycle	Mean the search cycle of Media _n
Integrated_MAC_Address	own integrated MAC address

의 구현을 통해 다중 매체 통신의 실제 구현 가능성을 보는 것에 또 하나의 목적이 있으므로 다중 매체 통신을 위한 통합 MAC에 필수적인 요소들만으로 구성한다.

2.3.3 통합 MAC Address Table

통신을 위한 MAC 주소는 일반적으로 하나를 갖는다. 그러나 다중 매체 통신을 위해 각 노드는 여러 매체를 갖기 때문에 적어도 하나 이상의 MAC 주소를 갖게 된다. 이 경우 매체의 특성에 따라 MAC 주소의 길이 및 형태 등이 상이할 수 있으며, 노드가 가진 매체 중 어느 매체를 목적지로하는지 혼란을 야기할 수 있다. 따라서 표준화된 통합 MAC의 주소가 요구되며, 통합 MAC 주소 관리를 위한 테이블을 관리해야 한다.

테이블 구조는 Table 2와 같이 정의하며, 다중 매체를 갖는 노드의 개별 MAC의 주소 형태는 모두 상이할 수 있으므로 매체별 주소 유형을 구분하는 필드가 요구된다.

3. 수중 다중 매체 통신에서 흐름제어를 위한 단편화 기법 프레임워크

다중 매체 통신에서 흐름제어 기법을 설계하고 구현하는데 있어 수행해야 할 역할에 대한 프레임워크 설계가 선행되어야 한다. 본 논문에서 제시하는 흐름제어를 위한 단편화 기법 프레임워크는 Fig. 3과 같

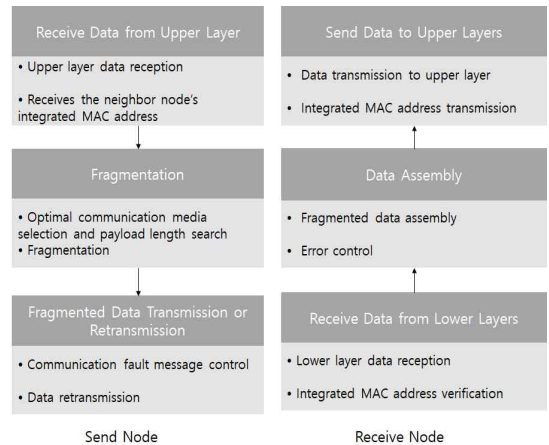


Fig. 3. Fragmentation Method Framework for Flow Control.

Table 2. Integrated MAC Address Table Elements

Elements	Explanation
Integrated MAC	Mean integrated MAC address
Media Type	Mean each media type
Media Address	Mean MAC address for each media type
Media Address Type	Mean the address type for each MAC address
Status	Means the connection status of the media

이 제안하며, 송신노드와 수신노드 측면에서의 다중 매체 통신을 위한 수행 절차는 다음과 같다.

송신노드측면 1단계) 상위 계층으로부터의 패킷 수신

송신노드측면 2단계) 단편화 진행

송신노드측면 3단계) 데이터 전송 및 통신 장애에 따른 데이터 재전송

수신노드측면 1단계) 하위계층으로부터 데이터 수신

수신노드측면 2단계) 단편화된 데이터 조립

수신노드측면 3단계) 상위계층으로 데이터 송신

프레임워크의 각 단계별 기법은 4절에서 자세하게 다룬다.

4. 수중 다중 매체 통신에서 흐름제어를 위한 단편화 기법

단편화를 할 때에는 단편화 길이, 단편화 데이터 수 등이 중요하다. 따라서 본 절에서는 3절에서 제안한 프레임워크를 지원하기 위해 단편화를 위해 정의되어야 할 수식들과 단편화 및 조립 기법 등에 대해 자세하게 다룬다.

4.1 흐름제어를 위한 단편화 기법

다중 매체 기반 데이터 송·수신 시 통신 장애 등으로 매체가 변경된 경우 매체별 상이한 통신 대역폭, 전파지연 처리할 수 있는 패킷 크기가 변경되기 때문에 단편화 작업은 필수적이다. 다음 노드의 통신 매체가 광이고, 현재 노드의 통신 매체가 음파일 경우 광은 음파 대비 빠른 통신 속도와 높은 대역폭을 가지므로 단편화를 고려할 필요가 없을 수 있지만 그 반대의 경우 음파의 느린 통신 속도와 낮은 대역폭을 고려한 단편화 작업이 수행되어야 한다.

통합 MAC에서의 패킷 단편화를 위해서는 상위 계층으로부터 수신된 패킷에 통합 MAC Header를 통해 패킷 길이와 단편화할 개수를 구한다. 단편화된 프레임은 단편화된 순서인 Fragment Number와 단편화된 통합 MAC 프레임의 위치를 나타내는 Fragment Offset을 단편화된 통합 MAC 프레임에 붙여 전송함으로써 단편화된 패킷을 조립할 수 있도록 한다. 이 패킷 구조는 Fig. 4와 같이 표현되며 프레임 길이, 단편화 수, 단편화된 데이터 길이는 수식(1),

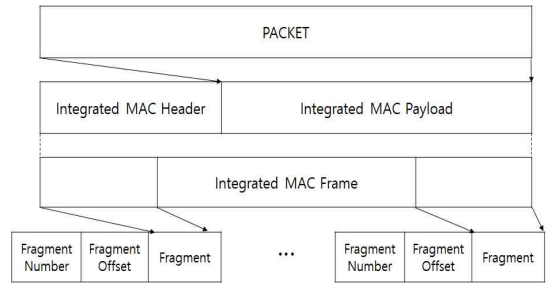


Fig. 4. Fragmentation Packet.

수식(2), 수식(3)과 같이 구할 수 있다.

FrameLength는 통합 MAC의 헤더와 패킷을 합친 통합 MAC 패킷의 총 길이를 의미하며 수식(1)과 같다.

$$FrameLength = PacketLength + IntegMACHeaderLength \quad (1)$$

FragmentCount는 단편화 개수를 의미하며 PacketLength에서 FragmentOffset를 제외한 페이로드 길이 Media_nPayloadLength로 나눈 것으로 수식(2)와 같다. FragmentOffset을 빼는 이유는 통신 중간 매체가 변경된 경우 전송이 완료된 후의 데이터만 전송하여 동일 데이터에 대한 중복전송을 방지하기 위함이다.

$$FragmentCount = \frac{PacketLength - FragmentOffset}{Media_nPayloadLength} \quad (2)$$

FragmentLength는 단편화된 데이터의 길이를 의미하며 단편화된 프레임마다 프레임 조립을 위한 데이터 위치를 나타내는 FragmentOffset과 단편화 순서번호를 의미하는 FragmentNumber가 포함되어야 한다. 따라서 매체의 페이로드 길이에서 FragmentNumber와 FragmentOffset를 빼준다. 각각의 길이는 1byte를 가지며 상황에 따라 사용자가 유동적으로 설정해 사용할 수 있다. 이는 수식(3)과 같이 표현한다.

$$FragmentLength = Media_nPayloadLength - FragmentOffsetLength - FragmentNumberLength \quad (3)$$

단편화를 위한 자세한 과정은 Fig. 5와 같다. 여기서 사용되는 Status는 통합 MAC Address Table의 Status, Status는 통합 MAC 주소에 해당하는 개별 MAC의 연결 상태를 각각 의미한다. Status는 통신이

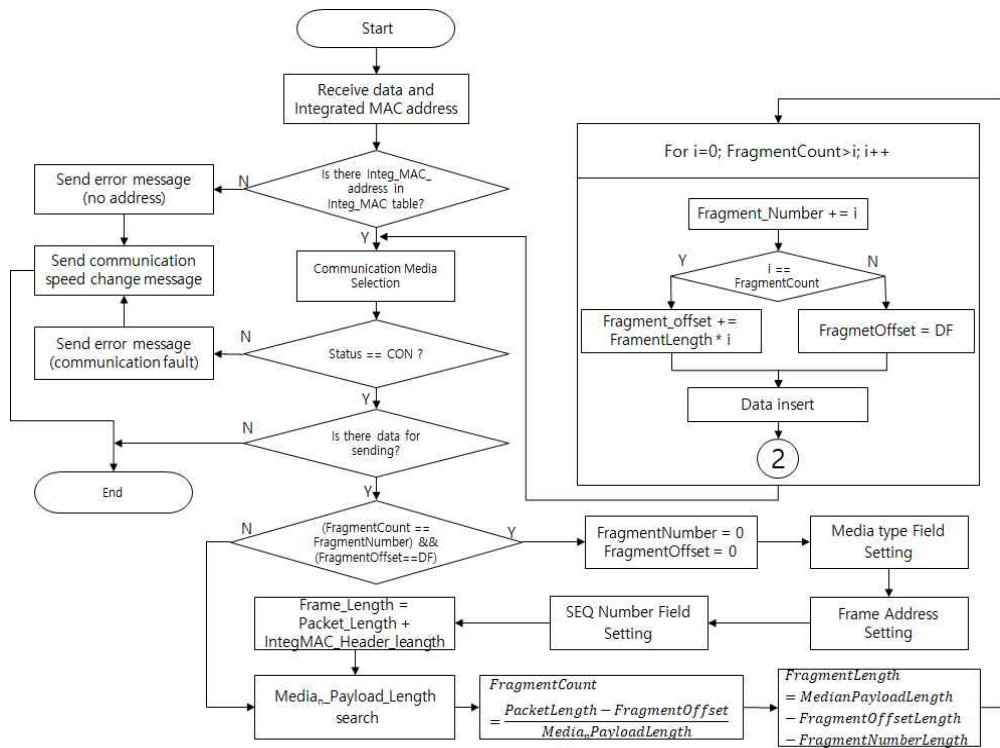


Fig. 5. Integrated MAC Fragmentation Flowchart.

가능한 경우 CON, 통신이 불가능한 경우 DISCON의 값을 갖는다. DF는 마지막 프레임의 의미한다.

단편화 순서에 대한 절차는 다음과 같다.

단계1) 상위 계층에서부터 데이터 패킷 및 이웃노드의 통합 MAC 주소 수신

단계2) 통합 MAC address 테이블에서 그 이웃노드의 주소가 없으면 상위 계층으로 장애 상황 보고

단계3) 우선순위를 통해 노드에서 통신 가능한 최적의 매체 선택

단계4) 모든 매체가 연결 상태가 아닌 경우 현재 매체가 최적의 매체로 선택될 수 있으므로 통합 MAC 테이블에서 Status가 CON인지 확인

단계5) DISCON인 경우 상위 계층에 해당 통합 MAC 주소의 이웃노드와 통신이 불가능함을 알림

단계6) 대체 통신을 위한 매체의 특징을 고려하여 자신의 처리 속도와 통신속도 변경 메시지가 담긴 패킷을 상위 노드로 전송

단계7) FragmentCount, FragmentNumber, FragmentOffset, DF여부를 고려하여 통합 MAC 헤더의 필드 값 설정

단계8) 통합 MAC 프레임의 길이와 MIB의 해당 매체 페이로드의 길이 값을 검색

단계9) 단편화 개수와 단편화 길이 계산

단계10) 단편화 개수만큼 단편화 프레임 구성

단계11) 단계 2) 수행

4.2 단편화 데이터 송·수신 및 오류 제어

다중 매체를 사용하여 통신 시 수중 환경에 의해 사용하던 매체로 통신이 불가능할 경우 대체 매체를 사용해야 한다. 이때 통신 불가상황을 판단할 수 있어야 대체 매체를 선택할 수 있으며, 통신 불가상황을 판단하기 위한 절차는 Fig. 6과 같다. 이 절차는 Fig. 5의 ②에 해당하는 절차이다.

단계1) 통합 MAC에서 개별 MAC에 단편화된 데이터 전송

단계2) 타이머에 설정된 시간동안 ACK 대기

단계3) ACK 수신된 경우 종료, 수신되지 않으면 오류횟수 증가 후 **단계1)** 이동

단계4) 오류 횟수가 N까지 증가한 경우 해당 매체

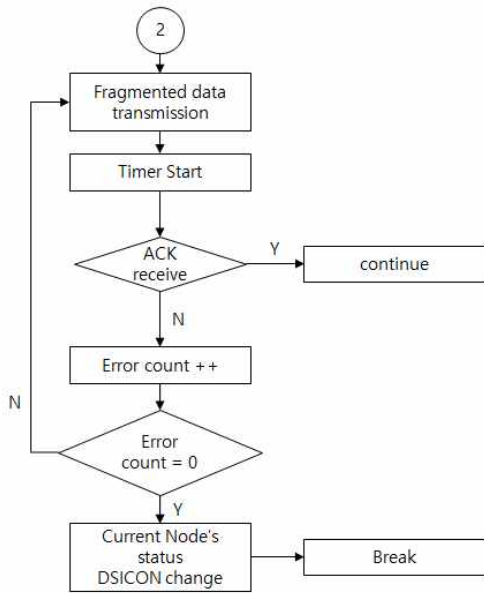


Fig. 6. Integrated MAC Transmission and Re-transmission Flowchart.

의 Status를 DISICON상태로 변경

단계5) 대체 매체 선택 후 통신 시도

4.3 단편화 데이터 조립

노드는 통신 매체별 특성에 의해 단편화된 데이터를 수신 받은 경우 단편화된 데이터를 조립할 수 있어야 한다. 단편화된 데이터 조립 과정은 Fig. 7과 같으며, 자세한 내용은 다음과 같다.

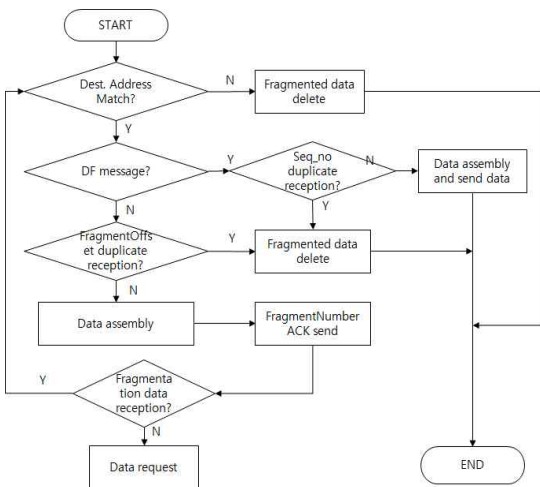


Fig. 7. Integrated MAC Fragmentation Data Assembly Flow Chart.

단계1) 노드가 데이터를 수신하면 본인의 주소와 일치여부를 확인하고, 일치하지 않으면 버림

단계2) DF(마지막 메시지)가 아닌 경우 FragmentOffset 중복여부 확인 후 중복되지 않은 경우 해당 위치에 데이터를 조립하고 단계3)으로 이동, DF인 경우 마지막 데이터 조립 후 조립된 데이터 전송

단계3) 해당 FragmentNumber ACK 송신 후 다음 데이터 수신

단계4) 다음 데이터 수신 후 단계2) 이동

5. 수중 다중매체 통신을 위한 상향식 통합 MAC 과 흐름제어 구현

본 절에서는 수중 환경에서 다중 매체 통신을 위한 통합 MAC의 구현 가능성을 보이기 위해 상향식 통합 MAC의 물리적 구조를 설계한다. 또한, 설계된 상향식 통합 MAC의 물리적 구조를 기반으로 다중 매체 통신의 송수신 과정, 오류제어 과정 및 단편화 과정의 가능성을 입증한다.

5.1 상향식 통합 MAC 물리적 구조

상향식 통합 MAC 물리적 설계는 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있다. 점선으로 표시된 박스는 논리적 개념을 의미하며 실선으로 표시된 박스는 물리적 모듈을 의미한다. 이때, 통합 MAC은 상이한 매체들을 통합·관리할 수 있어야하기 때문에 각 매체의 MAC 과 통합 MAC간의 별도의 입출력 장치(I/O)가 필요하다. 실험을 위해 설계한 통합 MAC은 개별 MAC 들의 프로토콜과 인터페이스 정보를 가지고 있으며,

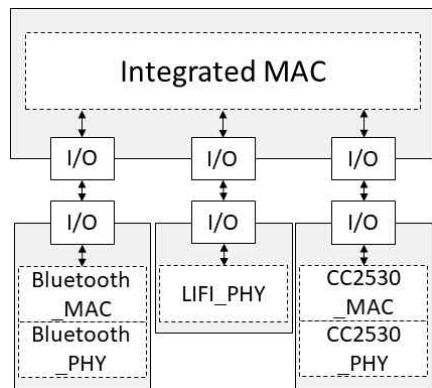


Fig. 8. Bottom-up Integrated MAC Physical Design.

Table 3. Implementation Environment

MCU	Cortex-M4 2MB Flash Memory
Tool	IAR Embedded 7.80
Communication Modules	Bluetooth, CC2530, LIFI
Data Type	JPG
Data Size	1739 Bytes

새로운 매체가 추가될 경우 추가된 매체에 적합한 I/O는 별도로 설계해야 한다.

5.2 구현환경

흐름제어를 위한 단편화 기법의 구현을 위해 다중 매체 통신 모듈을 가진 통합 MAC 노드 2대를 통해 1:1통신을 진행하였으며 통신이 진행되는 과정을 PC에서 시리얼 모니터를 통해 확인하였다. 또한, 각 모듈에 오류가 발생하는 경우를 만들어 매체가 변경되는 상황을 부여해 오류제어와 송수신 과정을 구현하였다. 단편화 과정은 JPG 파일을 통해 단편화를 진행하고 단편화된 프레임들을 조립하는 과정을 구현했다.

통신 모듈은 Table 3과 같이 Bluetooth는 HM-10 모듈, CC2530EM 모듈, RDL LIFI 모듈을 사용하였으며 IAR 툴을 이용해 구현하였다 각 모듈별 보낼 수 있는 프레임크기는 각각 42, 92, 28 bytes이다.

5.3 다중 매체 통신의 송·수신 및 장애상황 판단방법 구현

단편화 데이터를 송, 수신 하고 장애상황 시 매체의 전환이 이루어지는지 확인하기 위해 MAC 레벨에서의 1:1 통신을 구현했다. 매체 선택을 위한 우선 순위는 전파지연이 빠른 LI-FI, Bluetooth, Zigbee 순서이다. 장애상황 판단은 현재 사용 중인 매체의 통신 실패가 3회가 될 때까지 전송을 시도하며 ACK가 수신 될 때까지 기다린 후에 대기시간 만료 후 ACK가 수신 안 될 경우 데이터 송신 실패로 간주하게 된다. 이 횟수가 3회가 됐을 때 Fig. 9, 10, 11과 같이 시리얼 모니터 화면에 매체 통신 매체 이름과 NEIGHBOR 사이에 x 표시를 두어 통신이 실패한 것을 나타내주고 통신 매체 정보와 시퀀스 번호와 그에 해당하는 데이터 크기 그리고 현재 송수신 중인 매체의 주소 등을 시리얼로 표현한다.

Fig. 9에서는 Zigbee와 연결되어 통신이 이루어지

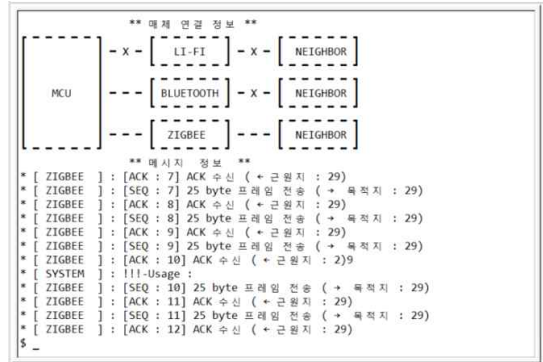


Fig. 9. Integrated MAC Transmission Phase 1.

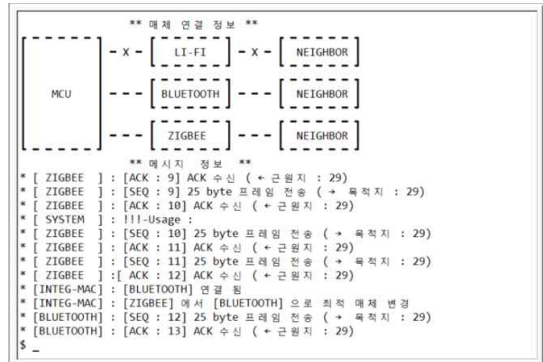


Fig. 10. Integrated MAC Transmission Phase 2.

고 있다. 그러나 Fig. 10과 같이 통신장애가 발생하고 대체 매체인 Bluetooth와 연결되어 통신이 이루어짐을 알 수 있다. 마찬가지로 Fig. 11에서도 통신장애가 발생되어 Zigbee와 연결되고, Fig. 12에서는 다시 Bluetooth로 연결된 것을 볼 수 있다. 이로써 다중 통신장애가 발생 시 매체 간 전환을 통해 통신을 계

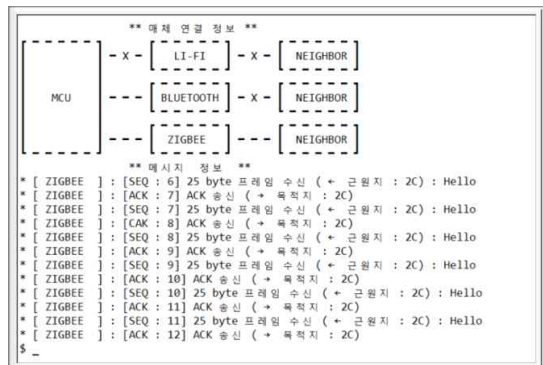


Fig. 11. Integrated MAC Transmission Phase 3.

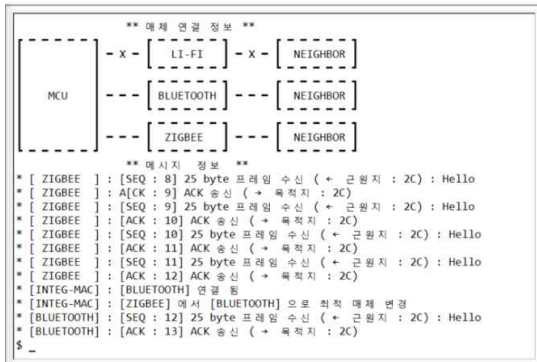


Fig. 12. Integrated MAC Transmission Phase 4.

속 이어갈 수 있음을 입증할 수 있다.

5.4 단편화 데이터의 송·수신 및 흐름제어 구현

다중 매체 통신 단편화 과정을 확인하기 위해 실험에서는 사진 파일을 송·수신하였다. LIFI 모듈, Bluetooth, CC2530 모듈은 각각 데이터를 보내는 페이로드가 한정되어 있으며 각 모듈의 최대 페이로드는 28bytes, 44bytes, 92 bytes이다. 사진파일은 HEXD를 통해 16진 값으로 표현 후 데이터를 단편화해서 보내고, 노드에서 수신된 데이터를 PC로 보내 최종 데이터가 출력된다. 단편화된 데이터를 조립하는 과정은 데이터를 송신하는 과정에서 딜레이를 주어 최종 파일까지 만드는 과정을 보인다.

Fig. 13은 단편화 데이터를 전송하는 과정을 나타낸다. 최초 Bluetooth를 통해 데이터를 전송하고, 통신장애가 발생하여 Zigbee를 통해 데이터를 전송하는 과정을 보이고 있다. 데이터 전송 후 데이터 조립 결과는 Fig. 14와 같이 확인할 수 있다. 왼쪽 상단부터 시계방향으로 단편화 데이터 조립 결과를 보이며,

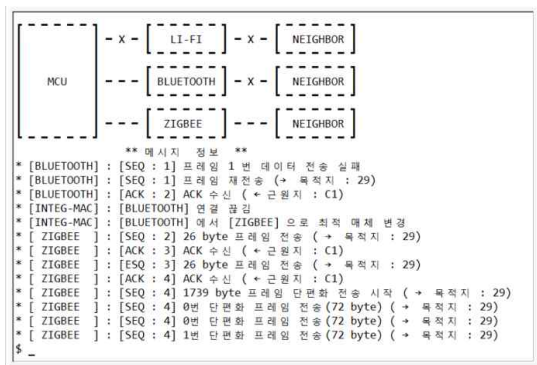


Fig. 13. Fragmentation sending process.

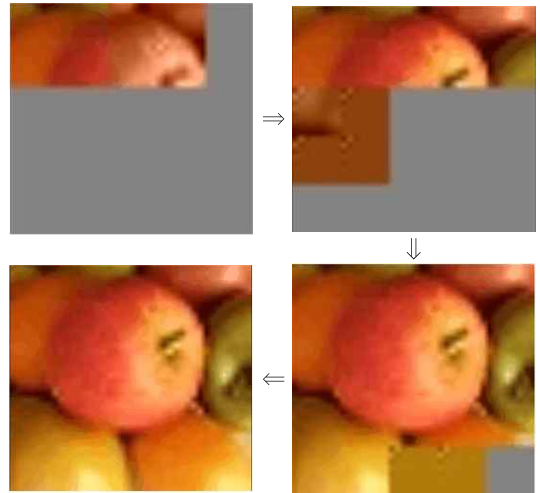


Fig. 14. Data Assembly Process.

5.3절 실험 결과와 5.4절 실험결과를 통해 다중 매체 통신을 통해 매체의 물리적 특성에 의한 단편화 현상을 제어함을 알 수 있다.

6. 결 론

수중환경에서 음파를 사용하여 통신하는 경우 전파지연, 통신거리, 데이터 전송률 등의 물리적 특성으로 인해 효율적인 통신이 어려우며 주변 환경의 간섭으로 인한 통신 장애가 빈번하다. 하지만 수중환경에서 여러 매체를 복합적으로 사용하는 경우 각 매체가 가진 장점으로 상호·보완하여 안정적인 통신이 가능하다.

다중 매체를 사용한 수중 통신을 위해 본 논문에서는 흐름제어를 위한 단편화 기법을 제안하고 구현하였다. 단편화 데이터 송·수신, 오류 상황 판단 및 최적의 매체 선택, 단편화 데이터 조립의 실험을 통해 다중 매체를 사용한 통신의 가능성을 보였으며, 통신장애가 빈번하게 발생하는 수중 환경에 실제 적용할 경우 음파 사용으로 인해 발생되었던 한계점을 극복할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서 제시한 통합 MAC 설계 접근방법, 단편화 기법을 위한 프레임워크, 흐름제어를 위한 단편화 기법은 다중 매체를 사용한 통신을 위한 전체 프로토콜 스택의 주요 기능 중 하나이지만 MAC 레벨에서의 통신은 1:1만 지원하기 때문에 완전한 통신을 위해서는 여러 기능들이 요구된다. 따라서 향후

연구에서는 출발 노드에서 최종 노드로 통신하기 위해 통합 MAC 상위의 라우팅 계층에 대하여 연구하고자 한다.

REFERENCE

- [1] K.Y. Kim, J.H. Kim, S.Y. Kim, C.M. Hyuk, I.T. Ho, and K.H. Lim, "Analysis of Underwater Channel Characteristics at South Sea of Korea," *Proceedings of the Korean Institute of Communication Sciences Conference*, pp. 1222-1223, 2019.
- [2] H.G. Kim and H.S. Cho, "A Sensor-node Searching Schem for Initial Cell Configuration in Underwater Cellular Network," *Journal of the Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 44, No. 1, pp. 68-71, 2019.
- [3] T.G. Jung, H.L. Ko, Y.H. Cho, and I.T. Ho, "Underwater Communication System Implementation," *Proceedings of the Korean Institute of Commuication Sciences Conference*, pp. 1241-1242, 2019.
- [4] D.H. Shin, S.J. Park, and C.H. Kim, "Underwater Acoustic Communication Technology and Trends," *Journal of Electronics Engineering*, Vol. 45, No. 5, pp. 32-48, 2018.
- [5] H.J. Son, J.I. Kang, T.Q.M. Nhat, S.G Kim, and H.S. Choi, "A Study on Underwater Optical Communication System for Video Communication," *Journal of the Korean Society of Ocean Engineers*, Vol. 32, No. 2, pp. 143-150, 2018.
- [6] Y.J. Won, "Magnetic Field Fusion Communication Technology," *Journal of Electronics Engineering*, Vol. 45, No. 5, pp. 67-75, 2018.
- [7] J.W. Park, J.H Lee, S.G. Kim, C.H. Yun, and Y.K. Lim, "Underwater Extremely Low Frequency Communication Technology Trends," *Journal of Electronics Engineering*, Vol. 45, No. 5, pp. 57-66, 2018.
- [8] D.S. You and C.H. Kim, "Approaches to the Design and Modularization for Implementing Multimedia-based Underwater Communication to Use Integrated MAC," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 22, No. 11, pp. 1259-1268, 2019.
- [9] S.H. Yeom, J.I. Namgung, S.Y. Shin and S.H. Park, "Research of Network Communication System Supporting Human Advanced Underwater Activities," *Proceedings of the Institute of Electronics and Information Engineers*, pp. 376-379, 2018.
- [10] D.R. Kim, S.H. Yum, E. Ko, S.Y. Shin, J.I. Namgung, and S.H. Park, "Multi-media and Multi-band Based Adaptation Layer Techniques for Underwater Sensor Networks," *Journal of Applied Sciences*, Vol. 9, No. 15, pp. 1-24, 2019.



유 동 선

2018년 강릉원주대학교 컴퓨터 공학 공학사
 2020년 강릉원주대학교 의료기기 융복합학 공학석사
 관심분야: Underwater Communication, IoT/IoUT, Embedded System



전 성 현

2020년 강릉원주대학교 컴퓨터 공학 공학사
 관심분야: Underwater Communication, IoT/IoUT, Embedded System



신 동 현

2014년 강릉원주대학교 컴퓨터 공학 공학사
 2014년~2016년 강릉원주대학교 컴퓨터공학 공학석사
 2016년~현재 강릉원주대학교 컴퓨터공학 박사과정



김 창 화

1985년 고려대학교 수학교육과 이학사
 1987년 고려대학교 전산학전공 이학석사
 1990년 고려대학교 전산학전공 이학박사

2018년~현재 건강보험심사평가원
 관심분야: Underwater Communication, IoT/IoUT, WSN (Wireless Sensor Network), Data Mining

1994년~1995년 University of Toronto, Enterprise Integration Lab. Post-Doc. & Visiting Professor

2002년~2004 미국 Texas A&M대학 Visiting Scholar
 1989년~현재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수
 2005년~현재 강릉원주대학교 해양센서네트워크시스템 기술연구센터 센터장

관심분야: Underwater Communication and Sensor Network, IoT/IoUT, Distributed System, Intelligent System



임 승 수

2020년 강릉원주대학교 컴퓨터 공학 공학사
 관심분야: Underwater Communication, IoT/IoUT, Embedded System