

통합 MAC을 이용하는 다중 매체 기반 수중 통신 구현을 위한 설계 및 모듈화 접근방법

유동선[†], 김창화^{††}

Approaches to the Design and Modularization for Implementing Multimedia-based Underwater Communication to Use Integrated MAC

Dongsun You[†], Changhwa Kim^{††}

ABSTRACT

Recently, Communication media have been developed for the underwater communication in underwater environments where the underwater communication failures occur frequently. Although the underwater communication by one medium is not stable due to the influence of the underwater environment, the use of various communication media can complement each other and so this makes the underwater communication more stable. For this reason, this paper proposes approaches to the design and implementation of integrated MAC for complementing individual unstable underwater communications. In addition this paper presents the comparison and analysis on each of the proposed approaches so to be able to provide guidelines to designers and implementers of integrated MAC.

Key words: Underwater Communication, Multi Media Underwater Communication, Integrated MAC, Design of Integrated MAC, Underwater MAC

1. 서 론

현재 수중환경에서의 통신을 위한 기술들이 개발되고 있으며 이를 통한 군사, 자원탐사, 환경 모니터링 등 다양하게 수중에서 통신을 활용하기 위해 연구가 진행되고 있다[1,2]. 하지만 수중환경은 지상환경과 다르게 굉장히 열악한 통신 환경을 가지고 있으며 그 이유는 수중 환경은 매질이 물이며 수심 깊이가 따라 온도, 밀도, 탁도 등이 급격하게 변화하기 때문이

다. 이에 지상에서 사용하는 RF 통신은 수심이 깊어짐에 따라 신호의 감도가 낮아져 통신 거리가 짧아지며 오류율도 증가하게 되어 이를 해결하기 위해서 먼 거리를 통신하기 위한 음파통신이 개발되어져 왔지만 수중 음파통신은 지상에서 사용되는 RF 통신에 비해 낮은 대역폭을 가지며 높은 전파지연과 주변 환경에 영향을 받는다[3]. 이를 해결하기 위한 광, 자기장, VLF/ELF 통신이 개발되었다.

광 통신은 음파 통신에 비해 높은 데이터 전송률

※ Corresponding Author : Changhwa Kim, Address: 150, Namwon-ro, Heungeop-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea, (26403) TEL : +82-33-760-8663, FAX : +82-33-760-8718, E-mail : kch@gwnu.ac.kr
Receipt date : Sep. 26, 2019, Revision date : Oct. 25, 2019
Approval date : Nov. 1, 2019

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

^{††} Dept. of Computer Science & Eng., 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

과 낮은 전파 지연을 갖지만 빛의 산란과 탁도에 영향을 받으며 유기물에 의해 빛이 흡수되는 등 주변 환경에 영향을 받는다[4]. 자기장 통신은 수중 환경에 영향을 받지 않아 신뢰성이 높은 통신이 가능하고 수 Kbps의 데이터 전송률이며 통신거리가 최대 10m로 다른 매체들에 비해 짧다[6]. VLF/ELF 통신의 경우 지상과 수중사이의 수백 km의 통신거리를 갖지만 수중에서는 수신만 가능하며 수백 bps의 데이터 전송률을 가진다[7,8]. 이러한 통신매체들의 장단점은 서로 상호보완이 가능해 수중 환경에서 신뢰성 있는 통신을 위해서 다중 매체를 사용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 다중 매체 통신을 위해서 각 매체가 가지는 물리적 특성으로 인해 각기 다른 데이터 전송률과 오류율에 따라 제어해야하며 매체들의 링크 상태를 관리할 수 있어야한다. 이를 위해서 각 매체들의 MAC의 상위 계층에 통합 MAC이라는 계층을 두어 각 매체들의 MAC을 통합적으로 관리하고자 한다. 이에 통합 MAC의 구현을 위해서 논리적 설계와 물리적 설계를 모색한다. 논문의 구성은 2절에서는 수중 통신 매체와 기존 수중 다중 매체 통신 연구에 대한 관련연구들을 소개하고 3절 통합 MAC의 기능과 통합 MAC 설계에서 사용되는 기호 표기법을 정의하고 4절에서는 통합 MAC 설계 접근방법을 제시하고 5절에서는 통합 MAC 구현을 위한 모듈화 방법을 제시하고 6절에서는 제시한 통합MAC 설계 접근방법들을 요소별로 비교 분석하며 8절에서는 결론으로 마무리 짓는다.

2. 관련 연구

광 통신은 LED와 레이저 등을 사용하는 무선 광 통신이다. 그 예로 청색광을 통한 수중 무선 광통신은 음파통신에 비해 해수면에서 발생하는 선박 엔진 소음에 관련된 잡음에 영향을 받지 않으며 해수의 온도 변화와 분포 영향에 무관하다. 수중 전파속도가 빨라 반사와 굴절에 의한 간섭이 없으며 데이터 전송 속도가 최대 Gbps까지 전송이 가능하다[4]. 하지만 염록소, 유기물, 염분 등에 의해 빛이 흡수되거나 산란되는 성질이 있어 신호의 세기가 줄어들 수 있어 이에 따른 통신거리가 짧다[5].

VLF/ELF(Very Low Frequency/Extremely Low

Frequency) 통신은 저주파 통신이라고도 불리며 낮은 주파수대의 전자기파가 장거리 통신이 가능하며 수심까지 바다 속을 통과할 수 있는 특성을 이용해 육상에 설치된 통신 송신소에서 수심으로 데이터를 전송하며 수심에서는 데이터를 수신만 할 수 있는 특징을 가지고 있다[7]. VLF통신은 3~30 KHz의 주파수 대역폭을 가지고 통신거리는 수심 약 20 m까지 가능하며 낮은 주파수 대역폭으로 인해 데이터 전송률은 300 bit/s를 가지며 ELF통신은 3~300 Hz의 주파수 대역폭을 가지며 매우 낮은 신호 대 잡음 비율로 메시지를 보낼 수 있다[8]. 하지만 낮은 주파수 대역을 사용하기 위한 안테나 설치비용이 굉장히 비싸며 수심에서는 수신만 가능하다는 단점을 가지고 있다.

수중에서의 자기장 통신은 수중 환경에 영향을 받지 않아 이로 인해 신호의 큰 감쇠 없이 통신이 가능하다는 장점을 가지며 코일에 의해 극소량의 에너지를 사용하여 통신을 하며 수질의 탁도 등의 수질의 요인과 잡음에 대한 영향을 받지 않는다. 전자파를 통한 통신의 주파수보다 낮은 주파수 대역(30~300 KHz)에서 통신이 가능하다[6]. 음파 통신은 매질의 진동을 통한 통신을 이용하고 광 통신의 경우는 빛을 이용한 시각적인 통신이지만 자기장 통신은 파동과 시각적인 통신을 사용하지 않아 은밀한 통신이 가능하다. 자기장 통신의 통신거리가 다른 수중 매체 통신들에 비해 짧은 한계를 가진다[9].

다중 매체 기반 수중 통신을 위한 연구들은 다중 매체 통신을 위한 프로토콜 스택, 다중 매체 통신을 위한 Seamless DTN 프로토콜 스택, 다중 매체와 다중 대역을 기반으로 한 수중 적합 계층이 연구되었다.

다중 매체 통신을 위한 프로토콜 스택의 연구에서는 수중 환경에서 다중 매체 통신을 위한 프로토콜 스택과 통합 MAC의 기능을 링크 유형 결정, 링크 수 관리, 미디어 우선순위 결정으로 제시하였다[10]. 통합 MAC의 기능과 프로토콜 스택의 이 연구는 기존 매체들의 프로토콜들을 사용하는 설계 방안이며 이는 5.2.1절에서 제시한 사항식과 유사한 설계방안이다.

다중 매체 통신을 위한 Seamless DTN 프로토콜이 제안됐으며 이는 수중 매체별 특성을 비교 했을 때 상호보완이 가능하지만 각 매체별 프로토콜로 인해 호환성이 좋지 않아 사용역영의 제한이 발생하여

Seamless DTN을 통해 광 통신과 음파 통신의 프로토콜 호환성을 높여 안정적이고 신뢰성을 높이기 위한 프로토콜로 제안되었다[11]. 이 연구는 라우팅에 대한 기술의 언급이 없으며 통신거리 차이로 인해 라우팅이 원활하지 않을 수 있고 이 연구의 설계 방식은 5.2.1절에서 제시한 상향식 설계 방식으로 설계되었다.

다중 매체와 다중 대역을 기반으로 한 수중 적합 계층이 제안됐으며 적합 계층은 데이터링크 계층의 확장 계층으로 가시광 통신, 적외선 통신, 음파 통신을 고려해 실험 수준으로 개발되었다[12]. 이 연구는 데이터 링크 계층에서 다중 매체를 제어하기 위한 매체 선택기능과 각 매체의 통신거리가 달라 이러한 이유로 노드 간의 거리 계산 기능이 추가적으로 포함되어 있다. 이 연구는 각 기존의 매체들의 프로토콜을 사용하는 방식으로 본 논문에서 5.2.1절에 제시한 상향식 방식으로 설계 되었다.

기존 수중 다중 매체 통신을 위한 연구들은 상향식을 통해서 설계되었다. 하지만 다중 매체 통신을 위한 설계 방안과 모듈 설계 방안들은 상향식 방식이 외에도 여러 가지 방안들이 있으며 이러한 방안들은 각각 다른 특성과 장단점을 가진다. 본 논문에서 각 설계 방안과 그 구현을 위한 모듈화 방식들을 제시하며 이를 통해 다중 매체 통신을 설계하는 가이드라인을 제공한다.

3. 다중 매체 통신을 위한 통합 MAC의 기능

다중 매체 통신을 위한 통합 MAC의 프로토콜 선택과 사용되는 기호에 대해 설명하고 통합 MAC의 기능을 제시한다.

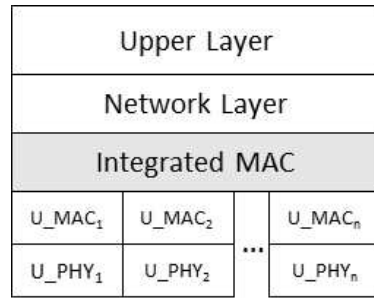


Fig. 1. Integrated MAC Protocol Stack for Multimedia Communications.

3.1 기호 표기법

통합 MAC 설계 구조에서 사용되는 기호의 설명은 Table 1과 같다.

3.2 통합 MAC의 기능

통합 MAC의 프로토콜 스택은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. 다중 매체 통신은 각기 다른 매체를 활용한 통신이기 때문에 각 매체마다 가지는 물리적 특성에 의해 데이터 전송률, 데이터 오류율, 통신 에너지 소모율, 전파 지연율이 다르다. 이렇듯 다른 특성을 가진 매체를 관리하기 위해 통합 MAC의 기능은 아래와 같으며 상위 계층에서 받은 데이터 패킷을 각 매체의 특성에 맞게 제어해서 하위 레이어로 전달해야한다.

- 흐름제어 : 전송 매체들의 물리적 특성으로 인해 데이터 전송률이 서로 다르며 이러한 데이터 전송률 차이로 인해 최대 프레임 크기가 서로 상이할 수 있다. 통합 MAC에서 서로 다른 최대 프레임 크기를

Table 1. The Meaning of the Symbol

Symbol	Explanation
U_PHY _i	It refers to the i-th physical layer for underwater communication
U_MAC _i	It refers to the i-th MAC layer for underwater communication. It is a upper layer of U_PHY _i .
L_SAP _i	It refers to an individual service access point.
Adaptor _i	It refers to the i-th adaptor which the integrated MAC and U_MAC can interwork with each other
Standard SAP	It refers to standard service access point between the integrated MAC and either the U_MAC or U_PHY.
I/O	It refers to the physical input/output port to serve to send and receive data between physical modules.

사용하기 위해서 통합 MAC 기준 프레임 가진다. 전송 매체가 기준 프레임보다 큰 프레임의 송신이 가능하면 조립화하며 전송 매체가 기준 프레임보다 작은 프레임을 송신할 경우에는 파편화를 진행한다.

- 순서제어 : 서로 다른 프레임 크기로 인해 파편화를 진행했지만 데이터들의 순서를 모르게 되면 데이터 조립 후에도 데이터의 의미를 모르게 된다. 이를 방지하기 위해 순서번호 부여가 필요하다. 다중 매체의 통신의 경우 파편화의 크기보다 더 큰 데이터를 보낼 수 있는 경우 조립화가 진행되며 이 경우와 반대의 경우에도 순서번호를 부여할 수 있어야 한다.

- 링크 관리 : 수중환경에서 통신 가능한 매체들이 변경될 수 있기 때문에 이를 위해서 각 매체의 링크를 관리할 수 있어야하며 매체 링크별 데이터 오류율, 데이터 전송률, 전파지연, 다른 노드와 연결된 매체 정보를 관리하고 노드 간의 초기링크 설정을 한다. 초기 링크 설정은 단 하나의 전송 매체에만 링크를 설정하고 문제가 발생 시에 다른 매체를 선택하는 방식과 모든 전송 매체에 링크를 설정하는 방법이 있다.

- 매체선택제어 : 다양하게 변화하는 수중환경에서 다중 매체 통신을 효율적으로 사용하기 위해서는 각 매체 링크의 상태, 매체의 데이터 전송률, 에너지 소모량 등의 매체 정보를 이용한 우선순위를 정해야하며 이를 통한 매체 선택을 할 수 있어야 한다.

4. 통합 MAC 설계 접근방법

다중 매체 통신을 위한 통합 MAC의 설계 접근방법은 각 계층들 간의 관계를 통해서 설계가 되며 설계되는 순서에 의해 하향식 상향식, 혼합식으로 나뉜다. 하향식 설계 방안은 전체적인 구조를 설계 후에 점차 구체화되며 세분화되는 것을 말하며 이는 통합 MAC의 설계된 후에 이 인터페이스에 맞추어 개별 매체들의 MAC이 설계되는 방안이다. 상향식 설계 방안은 하향식과는 반대의 설계 방안이며 부분적인 설계 후에 전체적으로 설계되는 것을 말하며 이미 기존에 개발된 개별 MAC들의 인터페이스에 맞추어 설계되는 방안이다. 혼합식 설계 방안은 하향식과 상향식이 혼합된 설계를 말하며 기존의 개발된

개별 MAC과 통합 MAC의 인터페이스에 맞추어 설계된 개별 MAC간의 혼합되어 설계하는 방안이다.

4.1 하향식 설계 방안

하향식 설계 방안은 통합 MAC의 설계 후에 세분화의 정도에 따라 설계하는 방법이 달라지며 2가지 방안으로 설계된다.

4.1.1 통합 MAC에 따른 U_PHY 설계 (하향식 I)

Fig. 2와 같이 통합 MAC이 설계된 후에 통합 MAC의 표준인터페이스에 맞추어서 하위 계층인 U_PHY_i들이 설계된다. 각 매체의 특성을 고려한 표준인터페이스이기 때문에 새로운 매체를 추가할 때에 매체의 특성을 고려한 인터페이스의 재설계가 필요하다. 통합 MAC은 U_PHY_i들을 제어하기 위한 프로토콜과 여러 매체들의 관리 및 접근제어가 필요하다. 이로 인해 각 매체 MAC의 활용도가 높지만 통합 MAC에서 코드의 크기가 커지게 된다.

4.1.2 통합 MAC에 따른 U_MAC 설계 (하향식 II)

Fig. 3과 같이 통합 MAC의 설계 후에 U_MAC이 통합 MAC 표준인터페이스에 맞추어 설계된다. 표준인터페이스를 함으로써 데이터를 서로 다른 매체

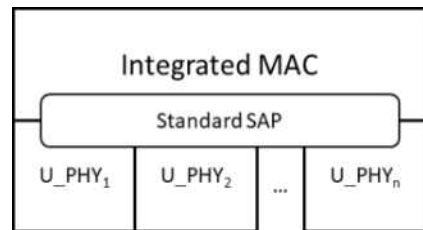


Fig. 2. U_PHY Design According to Integrated MAC.

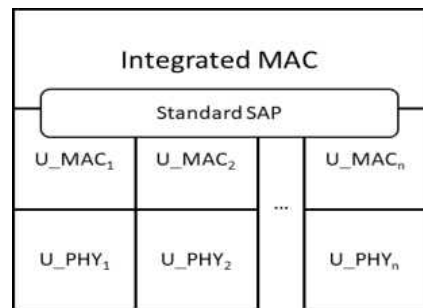


Fig. 3. U_MAC Design According to Integrated MAC.

의 데이터를 효율적으로 주고받을 수 있게 된다. 그렇기 때문에 표준인터페이스에 맞추어 개별 U_MAC 간의 공통적인 기능이 필요로 하다. 이 설계 방안은 표준인터페이스를 사용하기 때문에 다른 매체들의 추가적으로 사용을 할 때 통합 MAC의 재설계가 필요하지 않다.

4.2 상향식 설계 방안

상향식 설계 방안은 이미 기존에 설계된 개별 MAC의 인터페이스를 기준으로 설계되는 방안이며 개별 인터페이스를 가지며 설계되는 방안과 통합 MAC의 표준인터페이스에 맞추어 설계되는 방안이 있다.

4.2.1 U_MAC에 따른 통합 MAC 설계 (상향식 I)

Fig. 4의 통합 MAC은 U_MAC들의 프로토콜 정보와 인터페이스를 가지며 이에 따라 표준인터페이스가 없다. 이로 인해 통합 MAC은 각 U_MAC의 인터페이스 구조에 맞추어 제어하는 기능을 가진다. 이로 인해 통합 MAC의 코드의 크기는 크고 설계 후에 새로운 U_MAC이 추가 시에 통합 MAC의 논리적 모듈의 재설계가 필요하지만 개별 MAC들의 기능들을 사용할 수가 있어서 개별 MAC의 활용도가 다른 설계 방안들에 비해 높다.

4.2.2 Adaptor를 이용한 통합 MAC 설계 (상향식 II)

Adaptor를 이용한 통합 MAC 설계 구조는 Fig. 5와 같이 표현되며 U_MAC에 따른 통합 MAC설계 방안과의 차이점은 통합 MAC이 U_MAC들의 인터페이스와 프로토콜 정보를 가지고 있는 것이 아니라 Adaptor가 가지며 이를 통해 통합 MAC과 U_MAC

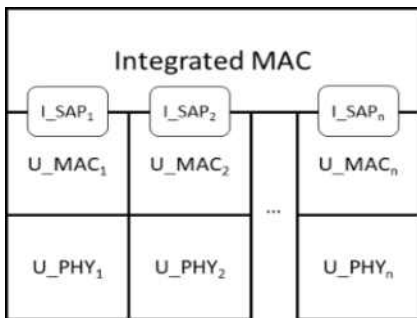


Fig. 4. Integrated MAC Design According to U_MAC.

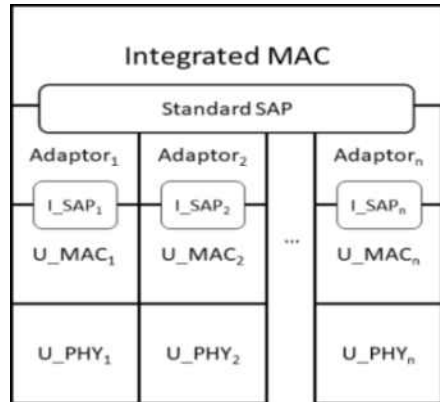


Fig. 5. Integrated MAC Design Using Adapters.

의 인터페이스를 제어한다. Adaptor는 통합 MAC과 U_MAC 간의 기능을 호환해주는 역할을 한다. 이로 인해 설계 후에도 U_MAC을 추가할 수 있다. 하지만 서로 상이한 U_MAC간의 기능 사용여부의 연구가 필요하다.

4.3 혼합식 설계 방안

혼합식 설계 방안은 통합 MAC에 따른 U_MAC 설계 방안과 Adaptor를 이용한 통합 MAC 설계를 혼합한 방안이며 Fig. 6과 같이 표현된다. 이 방안을 통해서 설계 후에도 여러 매체들을 추가해서 사용 가능하며 기존에 개발된 U_MAC과 통합 MAC 인터페이스에 맞추어 개발된 U_MAC을 같이 사용 가능하다. 하지만 서로 상이한 U_MAC간의 기능 사용여부는 연구가 필요하다.

5. 통합 MAC 구현을 위한 모듈화 방법

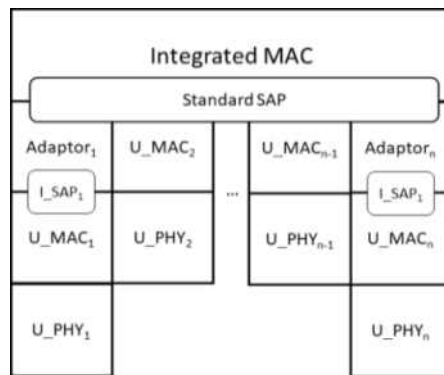


Fig. 6. Hybrid Integrated MAC Design.

다중매체 통신을 위한 논리적 설계 접근방법을 하향식, 상향식, 혼합식을 제시하였다. 논리적 설계 후에 모듈화를 위한 방법은 이미 만들어진 통신 모듈을 사용하는 경우와 통신 모듈을 새로 설계 사용하는 경우로 나뉜다.

5.1 하향식 설계 접근방법에 따른 통합 MAC 모듈화 방법

하향식을 통한 논리적 설계방식의 공통적인 특징은 표준인터페이스가 사용된다는 것인데 이를 통해 통합 MAC에 개별 매체의 MAC이 포함된 모듈화가 가능하다. 물리 계층인 U_PHY와 통합 MAC이 같이 모듈화가 안 되는 이유는 매체의 물리적 특성을 고려한 U_PHY이기 때문에 통합 MAC과 같은 모듈일 경우 새로운 매체가 추가될 시에 기존에 사용하던 U_PHY까지 전부 재설계해야하기 때문이다.

5.1.1 하향식 I 을 통한 모듈화 설계 접근방법 (하향식 I - I)

Fig. 7은 하향식 I 에 따른 물리적 설계 구조를 나타낸다. 회색 바탕의 검은 실선은 물리적인 모듈을 나타내며 흰 바탕의 점선은 논리적 모듈을 나타낸다. 물리적 모듈은 통합 MAC과 각 물리적 매체의 신호를 받을 수 있는 송수신기 모듈로 나뉘어져 있다. 이는 통합 MAC 모듈의 소형화를 위함이며 새로운 매체가 추가될 경우 물리적 통합 MAC 모듈을 재설계하는 번거로움을 줄이기 위함이기도 하다. 새로운 물리적 매체의 송수신기가 추가될 경우 송수신기 특성에 맞추어 논리적 모듈인 통합MAC의 재수정이 필요하다.

5.1.2 하향식 II의 개별 MAC을 포함한 통합 MAC

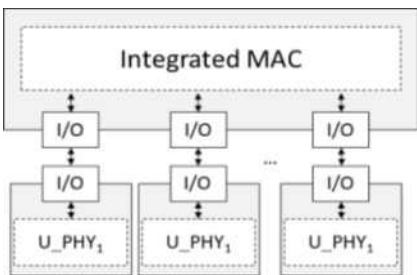


Fig. 7. Modular Design Approach Using Top-down I.

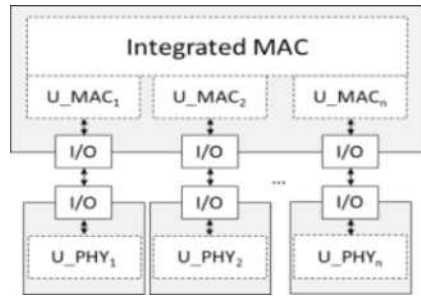


Fig. 8. Integrated MAC module design with individual MAC.

모듈 설계 접근방법 (하향식 II - I)

Fig 8은 논리적 모듈인 통합 MAC과 개별 MAC이 포함된 물리적 모듈과 각 매체의 송수신기의 기능의 물리적 모듈로 이루어진 구조이다. 표준인터페이스를 사용하기 때문에 가능한 구조이다. 하지만 새로운 매체가 추가 될 때마다 개별 MAC이 필요해 통합 MAC 논리적인 모듈은 매체 관리를 위한 기능의 재수정이 필요하며 추가되는 개별 MAC의 기능을 포함해야하는 I/O의 기능 수정이 필요하다.

5.1.3 통합 MAC 모듈과 개별 MAC 모듈 설계 접근 방법 (하향식 II - II)

Fig 9는 통합 MAC의 모듈과 개별 MAC으로 구성된 모듈로 이루어져 있는 구조이다. Fig. 8의 구조와 비교했을 때 개별 MAC의 논리적 모듈이 분리되어 있어 새로운 매체를 추가 했을 때 통합 MAC의 모듈의 재수정이 필요하지 않다. 하지만 이를 위해서는 새로운 모듈이 추가될 때마다 모듈이 정보를 통합 MAC으로 전달해주는 기능이 있어야한다.

5.2 상향식 설계 접근방법에 따른 통합 MAC 모듈화 방법

상향식 설계 접근 방법의 특징은 기존에 설계된 인터페이스에 맞추어 통합 MAC이 설계되는 방식이기 때문에 모듈화 방식도 마찬가지로 기존에 설계된 모듈에 맞추어서 통합 MAC 모듈이 설계된다. 하지만 Adaptor를 사용할 경우에는 통합 MAC과 같은 인터페이스를 사용하기 때문에 통합 MAC과 같이 설계될 수 있다.

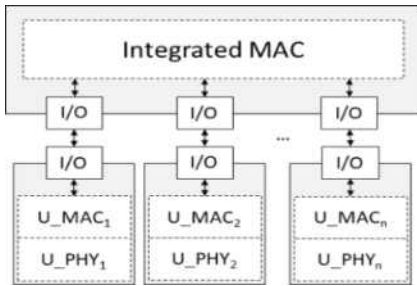


Fig. 9. An Approach to Design of Integrated MAC Modules and Individual MAC Modules.

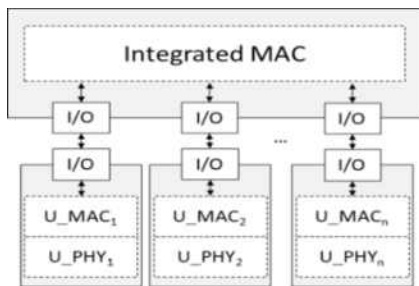


Fig. 10. Modular Design Approach According to Bottom-Up I.

5.2.1 상향식 I 에 따른 모듈화 설계 접근방법 (상향식 I - I)

Fig. 10은 위의 Fig. 9와 물리적 설계 방안의 구조는 같지만 통합 MAC의 기능이 기존의 개발된 개별 MAC들의 프로토콜과 인터페이스 정보를 가지고 있어 통합 MAC 코드의 크기가 커 Fig.9와 비교했을 때 더 큰 메모리 공간이 필요로 하다. 새로운 매체가 추가될 때마다 통합 MAC 모듈의 재수정이 필요하다.

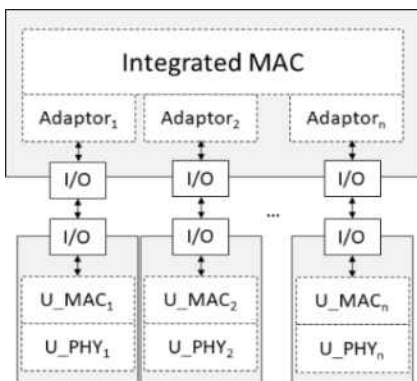


Fig. 11. Integrated MAC Module Design with Adapter.

5.2.2 기존 개별 MAC 모듈과 Adaptor가 포함된 통합 MAC 모듈 설계 방안 (상향식 II - I)

Fig. 11은 통합 MAC 모듈에 Adaptor의 기능이 포함되고 기존 개별 MAC의 모듈로 이루어진 구조이다. 이로 인해 기존에 개발된 매체들이 추가될 때마다 Adaptor의 기능을 통합 MAC 모듈에 논리적으로 추가해주어야 한다. 6.2.3절의 구조에 비해 전송횟수가 적어 처리속도가 빠르고 비용이 적게 들지만 매체가 추가될 때마다 논리적 기능을 수정하기 때문에 6.2.3절에 비해 유지관리가 어렵다.

5.2.3 Adaptor 모듈을 이용한 통합 MAC 모듈화 설계 접근방법(상향식 II - II)

Fig. 12는 통합 MAC 모듈과 Adaptor 모듈 통합 MAC 모듈로 이루어진 구조이다. 이로 인해 모듈 간의 데이터를 주고받는 횟수가 많아 다른 모듈 설계 방안에 비해 처리속도가 늦다. 하지만 Adaptor를 물리적 모듈화를 했을 경우 기존 개발 MAC 모듈의 교체가 쉽고 Adaptor의 모듈의 재활용이 가능해 유지보수가 쉬워지며 각 모듈간의 재설계가 필요로 하지 않다.

5.3 혼합식에 따른 통합 MAC 모듈화 접근 방법 (혼합식 II - I)

Fig 13은 표준인터페이스에 맞추어 개발된 하향식 II - I 과 하향식 II - II의 설계와 상향식 II - I 과 상향식 II - II의 설계 방안 두 가지를 혼합하여 설계된 방안이다. 이러한 구조는 물리적 설계 후에 각 모

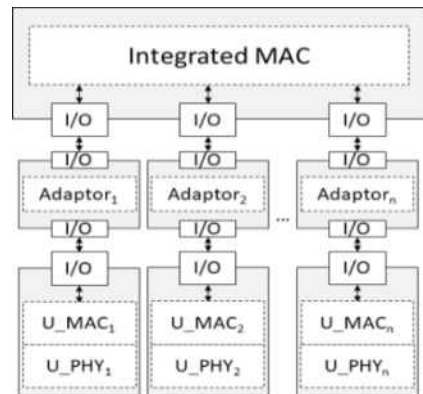


Fig. 12. Integrated MAC Modular Design Using Adapter Module.

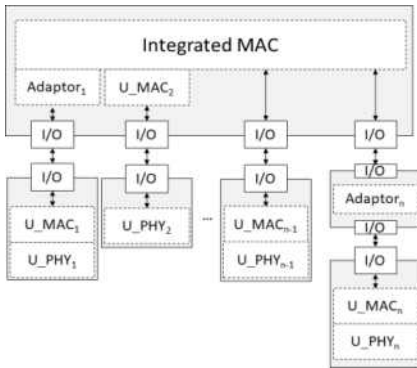


Fig. 13. Integrated MAC Module Design According to Hybrid.

들들의 재설계가 필요하지 않다. 이러한 구조를 통해 기존에 설계된 개별 매체의 MAC 물리적 모듈과 통합 MAC의 인터페이스 맞추어 설계된 MAC 모듈을 사용할 수 있다.

6. 통합 MAC 설계 접근방법들의 비교 분석

Table 2와 같이 각 요소별로 설계 접근방법들을 비교분석하며 요소별 설명은 다음과 같다[13].

- 표준인터페이스 : 다중 매체의 사용으로 인해 통합 MAC에서 매체들의 데이터를 효율적으로 상호 교환하기 위해서는 표준인터페이스가 필요하다. 통합 MAC은 상위 계층과는 표준인터페이스로 이루어져 있지만 상향식 I은 표준인터페이스가 아닌 개별 MAC의 인터페이스를 갖는다.
- 매체 확장성 : 표준 인터페이스를 사용하는 U-MAC일 경우에 새로운 매체를 추가해도 재설계가 필요하지 않아 매체 확장성을 가진다. 하지만 하향식 I과 상향식 I은 매체 확장성을 갖지 못하는데 먼저 하향식 I의 경우에 U-PHY는 표준인터페이스를 사

용하지만 새로운 매체가 추가될 경우에 매체의 물리적 특성을 고려한 인터페이스가 요구되기 때문에 재설계가 필요로 하다. 상향식 I은 새로운 매체가 추가될 때에 그 U-MAC의 인터페이스가 통합 MAC에 추가되어야하기 때문에 재설계가 필요로 하다.

- 처리속도 : 사용되는 매체의 수가 같을 경우에 설계 구조에 의해 처리속도가 다를 수 있다. 하향식 I은 설계 구조가 통합 MAC과 개별 PHY의 구조를 가져 다른 설계 구조에 비해 처리속도가 빠를 수 있다. 두 번 째로 처리속도가 빠른 구조는 하향식II 통합 MAC과 개별 MAC으로 이루어진 하향식II와 상향식 I이다. 가장 처리속도가 늦은 설계 구조는 상향식II이며 이유는 그 구조가 통합 MAC, Adaptor, 개별 MAC으로 이루어져 있기 때문이다.
- 개별 MAC의 특성 반영 기준 : 효율적으로 데이터를 주고받기 위한 표준인터페이스를 사용함에 따라 개별 MAC의 특성을 공통적인 부분만을 사용하여야한다. 이로 인해 표준인터페이스를 갖는 설계구조들은 개별 MAC의 공통적인 특성을 반영해야하지만 하향식 I의 경우 물리적인 특성을 고려한 통합 MAC의 설계이기 때문에 개별 MAC의 특성을 반영할 수 있다.
- 통합 MAC 코드 크기 : 물리적 특성을 고려한 통합 MAC 설계인 하향식 I과 개별 MAC의 프로토콜과 인터페이스를 가지고 있는 상향식 I은 다른 설계 방식의 통합 MAC보다 복잡성을 지닌다. 이러한 이유로 통합 MAC의 코드 크기는 하향식 I과 상향식 I이 크다. 하향식 I은 각 매체의 접근제어의 기능까지 가지기 때문에 상향식 I보다 더 큰 크기의 코드를 갖는다.
- Adaptor의 필요 여부 : Adaptor는 표준인터페이스인 통합 MAC과 기존에 설계된 개별 MAC의 인터페이스와 그 기능을 연동하기 위해서 사용한다.

Table 2. Comparative Analysis of Module Design Approaches

	Standard Interface	media extensibility	Processing speed (priority)	characteristics of individual MACs	Integrated MAC Code Size	Adaptor required	Individual MAC Function Utilization
Top down I	need	×	1	All	large(1)	×	N/A
Top down II	need	○	2	common	small(3)	×	low
Bottom up I	needless	×	2	All	large(2)	×	high
Bottom up II	need	○	5	common	small(3)	○	low
Hybrid	need	○	4	common	small(3)	○	low

상향식Ⅱ는 기존에 설계된 개별 MAC의 인터페이스와 통합 MAC 표준인터페이스를 사용하기 때문에 Adaptor가 필요하며 새로 개발된 개별 MAC과 기존에 개발된 개별 MAC을 사용하는 혼합식에서 기존 개별 MAC에 Adaptor를 이용해 표준인터페이스를 통해 효율적으로 데이터를 주고받기 위해 기존 개별 MAC과 통합 MAC 사이에 Adaptor가 필요하다.

• 개별 MAC 기능 활용도 : 하향식 I 은 각 매체의 물리적 특성을 고려한 통합 MAC이 설계되어지기 때문에 개별 MAC 기능이 적용되지 않는다. 상향식 I 의 경우에는 개별 MAC의 인터페이스와 프로토콜 정보를 통합 MAC에서 가지고 있어 개별 MAC의 기능 활용도가 높다. 하지만 다른 설계방안들은 표준 인터페이스를 사용하기 때문에 개별 MAC들의 공통적인 기능들을 사용하거나 개별 MAC의 기능이 제한적이다.

7. 결 론

수중환경에서의 단일 매체를 사용하는 통신은 각 물리적 특성으로 인해 전파지연, 통신거리, 데이터 전송률, 데이터 오류율 등으로 인해 효율적인 통신이 힘들고 주변 환경의 간섭으로 인해 안정적인 통신이 힘들다. 하지만 수중환경에서 사용되는 서로 다른 매체들의 장단점은 서로 상호보완이 가능하여 안정적인 통신이 가능하다.

본 논문에서는 다중 매체 통신을 위해서 각기 다른 데이터 전송률과 각 매체들의 링크상태를 관리하는 통합 MAC을 제안하며 이를 구현하기 위한 논리적 설계 접근 방안으로 하향식, 상향식, 혼합식을 통해 모색하였으며 논리적 설계 방안을 토대로 물리적 설계 방안들을 제시하며 논리적 설계 접근 방법을 각 요소별로 비교분석을 하였다. 이를 통해 통합 MAC을 설계자에게 가이드라인을 제시한다.

본 논문에서 제시한 통합 MAC과 설계 방안들은 네트워크를 구성하기 위한 일부분에 불과하다. 다중 매체 통신은 물리적 특성으로 인해 통신거리, 데이터 전송률, 데이터 오류율 등이 다르기 때문에 다중 매체 통신을 이용한 라우팅이 필요하다. 이에 따라, 향후 연구로서 다중 매체 통신을 이용해서 네트워크를 구성하기 위한 라우팅 방법에 대한 연구를 진행하고자한다.

REFERENCE

[1] N.Y. Yun, J.I. Namgung, H.M. Park, S.H. Park, and C.H. Kim, "The Underwater Environment Monitoring System based on Ocean Oriented WSN(Wireless Sensor Network)," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol 13, No. 1, pp 122-132, 2010.

[2] 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.

[3] D.H. Shin and C.H. Kim, "Requirements for Underwater Communications Based on Multiple Wireless Underwater Communication Media," *Proceedings of the Korean Institute of Communication Sciences Conference*, pp. 621-622, 2018.

[4] H.J. Son, J.I. Kang, Thieu Quang Minh 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.

[5] D.S. Kwon, "Trends in Underwater Wireless Optical Communication Technology," *Journal of the Institute of Electronics Engineers*, Vol. 45, No. 5, pp.49-56, 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] Communication with Submarines, https://en.wikipedia.org/wiki/Communication_with_submarines (accessed August 17, 2019).

[9] I.F. Akyildiz, P. Wang, and Z. Sun, "Realizing Underwater Communication through Magnetic Induction," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 53, pp. 42-48, 2015.

- [10] D.H. Shin and C.H. Kim, "Protocol Stack for Using Multiple Wireless Communication Media in Underwater Environment," *Proceeding of The 6th Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Science 2018*, pp. 1-6, 2018.
- [11] 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.
- [12] D.R. K. M, 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," *Applied Sciences*, Vol. 9, No. 15, pp. 1-24, 2019.
- [13] D.S. You and C.H. Kim, "Comparison Analysis of Integrated MAC Design Approaches for Multiple Media Communication in Underwater Environments," *Proceedings of the Korean Institute of Communication Sciences Conference*, pp. 1218-1219, 2019.
- [14] J.S. Park and H.Y. Kang, "A Study on System Modeling Methodology by Combining Bottom-Up Approach and Top-Down Approach," *Proceedings of Korea Database Association Joint Conference*, pp. 409-433, 1995.



유 동 선

2018년 강릉원주대학교 정보통신 공학사
2018년~현재 강릉원주대학교 의료기기융복합학 석사과정

관심분야 : Underwater Communication Network, IoT/IoUT, Embedded System



김 창 화

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

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

2002년~2004년 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