

유사성 모델 기반의 수중 다중매체 통신 라우팅 프로토콜스택 선택방법

신동현[†], 김창화^{**}

A Method for the Selection of Underwater Multimedia Routing Protocol Stack based on the Similarity Model

DongHyun Shin[†], Changhwa Kim^{**}

ABSTRACT

When communication such as light, radio wave, or magnetic field is used underwater, the communication distance is very short, so sound waves are mainly used. However, by combining the strengths of each medium and communicating, stable communication may be possible. Underwater multi-media communication requires a protocol stack that supports it, which is very complex. To this end, this paper proposes a standard protocol stack and modeling technique to enable easy protocol stack modeling for the purpose. In fact, in this paper, a random model was created and analyzed through the proposal of modeling elements and similarity measurement methods, and as a result, it was analyzed that it was very helpful in creating a new model based on a standard model.

Key words: Underwater Protocol Stack Modeling, Underwater Multi-media Communication, Complex Communication, Underwater Multi-media Protocol Stack

1. 서 론

수중 환경에서의 전파를 통해 통신할 경우 굴절 현상 등으로 통신거리가 매우 짧은 단점이 있기 때문에 통신거리가 비교적 긴 음파를 주로 사용한다. 그러나 음파는 수중의 탁도, 염도 등 환경에 민감한 영향을 받기 때문에 빈번한 통신장애가 발생하는 단점이 있다. 한편, 광, 자기장 등의 통신 매체는 대역폭이 넓고 전파 속도가 빠른 등의 장점을 가지고 있다. 이러한 매체들은 수중 환경에서 단일 매체로 사용할 경우 각 매체가 가진 단점으로 인해 통신에 부적합할 수 있지만 짧은 거리에서는 광, 자기장 등의 매체를

사용하고 긴 거리에서는 음파를 사용하는 등 각 매체의 장점을 결합하여 매체를 복합적으로 사용할 경우 안정적인 통신이 가능해질 수 있다.

하지만 여러 매체를 복합적으로 사용하여 통신하기 위해서는 복합 매체를 사용한 통신이 지원되는 프로토콜 스택이 요구되지만 기존에는 통신을 위한 프로토콜 스택은 하나의 매체만을 위해 주로 논의되었으며, 다중 매체를 위한 스택은 이제 연구가 시작되는 단계로 실제 적용하기에 한계점이 존재한다. 다중 매체 통신을 고려한 프로토콜 스택 설계는 단일 매체를 사용하는 경우보다 고려해야 할 것이 많고, 복잡하지만 본 논문에서 제안하는 표준 프로토콜 스

※ Corresponding Author: Changhwa Kim, Address: (26403) Namwon-ro 150, Heungop-myeon, Wonju-si, Gangwon-do, Korea, TEL: +82-33-760-8663, FAX: +82-33-760-8718, E-mail: kch@gwnu.ac.kr
Receipt date: Nov. 21, 2021, Revision date: Jan. 12, 2022
Approval date: Jan. 18, 2022

[†] 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

택과 모델링 기법을 통해 아래와 같은 장점을 가질 수 있다.

첫째, 상향식, 하향식, 혼합식 등의 모델과 설계하고자하는 모델의 유사성을 통해 가장 적합한 수중 다중매체 프로토콜 스택(표준모델) 기반으로 모델링을 함으로써 효과적 모델 설계가 가능하다. 둘째, 프로토콜 스택 설계를 위한 요소 제공을 통해 목적에 맞는 모델 설계를 돕는다. 셋째, 모델의 사례가 다양해질수록 더욱 견고한 프로토콜 스택을 설계할 수 있다. 넷째, 모델의 사례가 다양해질수록 더욱 견고한 프로토콜 스택을 설계할 수 있다.

논문에서 제안하는 표준 프로토콜은 일반적으로 프로토콜 스택을 설계하기 위해 고려되는 요소와 다중 매체의 특성을 활용하기 위해 고려되는 요소들을 모델화하여 수중 다중 매체 통신을 위한 프로토콜 설계 및 개발비용 절감, 수중 다중 매체 통신의 실용화를 위한 발판 마련 등의 장점을 가질 수 있다.

본 논문에서는 2절에서 관련연구, 3절에서 수중 다중매체 통신의 개념, 4절에서 다중매체 통신 프로토콜 스택과 아키텍처, 5절에서 수중 다중매체 통신 프로토콜 스택과 모델링, 6절에서 표준 프로토콜 스택과 유사성, 7절에서 결론으로 마무리 짓는다.

2. 관련 연구

수중 다중 매체를 활용한 통신 기법은 최근에서야 연구되기 시작하였으며, 기존에는 주로 음파를 통한 통신 기법이 연구되었다[1]. 수중 다중 매체 통신은 각 매체가 가진 물리적 특성의 장점을 결합하여 통신함으로써 기존의 수중 음파 통신의 단점을 보완할 수 있는 장점 때문에 실제 응용 분야의 적용은 매우 중요하다[2,3].

현재까지 연구된 내용 중 대표적으로 통합 MAC을 이용한 다중 매체 기반 수중 통신을 위한 계층의 설계 방법[4,5,6]과 장, 단점에 대한 연구[5], 데이터 링크 계층을 확장한 가시광 통신, 적외선 통신, 음파 통신을 고려한 수중 적합 계층을 제안한 연구[7]가 진행되었으며, 이 연구들은 아이디어 수준에서 연구되거나 매체의 종류와 개수를 고정한 프로토콜 스택 설계로 확장성이 매우 낮은 단점이 있다.

이와 같은 문제점을 보완하여 최근에는 수중 다중 매체 통신 구현을 위해 흐름제어를 위한 단편화 기법[8]이 연구되기도 하였으며, 이 연구는 다중 매체 통

신에서 하나의 노드가 여러 개의 통신 매체를 이용하여 통신할 때 매체 간 통신 속도, 대역폭 등의 차이로 발생할 수 있는 문제 해결을 위한 데이터 단편화 기법을 제안한다. 그러나 실제 통신을 위해서는 다중 매체 통신을 지원하는 프로토콜 스택의 설계가 선행되어야 하지만, 다중 매체 통신을 지원하는 프로토콜 스택에 관한 내용은 부족한 실정이다. 또한, 다중 매체를 활용한 통신은 단일 매체를 활용한 통신에 비해 그 복잡성이 높기 때문에 고려해야 할 점이 많고 어렵기 때문에 쉽게 접근하기 어렵다.

3. 수중 다중매체 통신

3.1 수중 다중매체 통신의 개념

최근 해양환경 탐사, 해양 재난·재해 방지와 복구 및 인명구조, 해양자원 채굴, 국방, 레저 등 여러 분야에서 요구사항이 많아짐에 따라 수중 무선 통신 기술에 대한 응용 요구와 개발이 국제적으로 활발히 진행되기 시작했다.

지상에서의 무선 통신 기술은 거의 모두 전파를 기반으로 개발되어온 반면 최근까지 진행되어온 수중 통신 기술은 주로 음파를 매체로 개발되어왔다. 그 이유는 전파는 물을 매체로 하는 수중에서 높은 통신 오류율로 인해 통신이 어려운 반면, 음파는 수중에서 주파수, 음파 강도, 수중 환경에 따라 장거리까지 전달되기 때문이다. 그럼에도 음파는 수중 무선 통신에서 지상의 전파에 비해 높은 전파지연, 높은 에러율, 매우 낮은 전송률, 높은 에너지 소모 등의 극복하기 어려운 문제점을 갖는다. 게다가 음파는 수중 무선 통신에서 시시각각으로 변하는 수중환경에 민감하여 전송률 변화가 매우 심하고 자주 통신이 끊기는 등의 취약점을 갖는다.

한편, 광파는 음파에 비해 통신거리는 매우 짧고 혼탁한 수중에서 정보 전달의 한계를 갖지만, 음파에 비해 매우 짧은 전파지연, 높은 전송률, 낮은 에너지 소모 등의 장점이 있어 최근 레이저를 이용하는 수중 무선 통신 기술이 연구 및 개발되어 왔다. 자기장을 이용한 통신 또한 통신 거리가 매우 짧지만 전파지연, 전송률, 에너지 소모 측면에서 음파에 비해 장점을 갖는다. 낮은 전파 대역인 초장파(VLF)나 극초장파(ELF)와 같은 장파를 이용하여 지상에서 수백 미터 수심까지 장거리로 데이터를 전송할 수 있는 단방향 기술이 예전부터 사용되어왔다. 하지만 이 기술은

양방향의 수중 무선 통신에 도입되지 못했다. 그 이유는 송신을 위해 수 km에서 수십 km에 이르는 거대하고 막대한 비용의 송신 시설 규모가 요구되어 수중 무선 송신 장치로서 사용할 수 없기 때문이다. 그럼에도 이 기술은 지상에서 수중으로 데이터 전달에 활용할 수 있는 기술이란 점을 부인할 수 없다.

지금까지 소개한 광파, 자기장, LF/VLF/ELF 매체를 이용하는 통신 기술들은 수중에서 서로 개별적으로 개발되어 왔지만 음파와 함께 사용한다면 수중 무선 통신의 성능과 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 또한 동일한 유형의 수중 무선 통신 매체라 하더라도 여러 주파수 대역 채널을 사용한다면 동일한 유형의 수중 무선 통신 매체를 사용하는 수중 노드들 사이에서 송수신 시 데이터 충돌을 피할 수 있을 뿐만 아니라 수중 음파 통신의 경우 통신 환경이 나쁠 때 낮은 주파수 대역을 사용함으로써 높은 주파수 대역에 비해 데이터를 안정적으로 보낼 수도 있다.

3.2 수중 다중매체 통신의 활용

다중매체 기반의 수중 통신 네트워크 시스템은 수중에서 음파, 광파, 자기장 등의 다중 매체를 사용하고, 한 매체에서도 여러 개의 대역을 사용할 수 있는 시스템이다. 다중 매체 수중 통신 네트워크 시스템에서 각 수중 노드들은 다중매체 통신이 가능하고, 이 매체들을 복합적으로 이용하여 통신한다. 수중 노드는 음파, 광파, 자기장 등과 같은 가용한 통신 매체들 중에서 성능이나 신뢰성 측면에서 가장 최적의 통신 매체를 선택하고, 통신 환경이 변화하면 적응적으로 가장 적합한 통신 매체로 변경할 수 있는 기능을 갖는다. 그러므로 수중 노드의 통신 장치는 통신 매체 유형에 따른 물리적 장치가 수반되어야 한다.

다중매체 수중 통신 시스템에서 수중 노드마다 가용한 다중 통신 매체의 종류가 서로 다를 수 있는데, 예를 들어 어떤 수중 노드는 음파 수중 통신 매체와 광파를 사용할 수 있는 반면, 다른 수중 노드는 광파와 자기장을 사용할 수도 있고, 또 다른 수중 노드는 음파, 광파, 자기장 등의 세 가지 통신 매체를 모두 사용할 수도 있다.

3.3 수중 다중매체 통신 활용을 위한 프로토콜 스택 설계 접근방법

기존 통신 환경에서는 주로 단일 매체 통신을 위

한 인프라가 갖추어져있으며, 다중매체 통신 활용을 위한 인프라는 전무한 상황이다. 수중 다중매체 통신 활용을 위해 고려해야 할 여러 요소 중 통신 프로토콜 스택은 수중 다중매체 통신을 위해 가장 기본이 되는 요소 중 하나이다.

다중 매체 수중 통신을 위한 통신 프로토콜 스택을 설계하는 방법은 크게 상향식, 하향식, 혼합식 모델로 구분할 수 있으며, 각 접근 방법에 대한 내용은 다음과 같다.

① 상향식 접근방법

상향식 접근방법에서는 통합 MAC이 개별 MAC들의 프로토콜 정보와 인터페이스를 가지며 표준 인터페이스가 없거나 있더라도 그 역할이 미미하다. 이로 인해 통합 MAC은 개별 MAC들의 인터페이스 구조에 맞춰 제어하는 기능을 가진다. 따라서 통합 MAC의 패킷 사이즈는 다른 접근 방법에 비해 비교적 클 수 있으며 모델 설계 후 새로운 개별 MAC이 추가되는 경우 통합 MAC의 재설계가 필요하지만 개별 MAC의 기능을 극대화하여 활용하기에는 가장 적합하다.

② 하향식 접근방법

하향식 접근방법은 상위 계층부터 설계하고, 개별 MAC과 통합MAC의 통신이 표준 인터페이스를 통해 이루어지는 방식이다. 이 방식은 표준 인터페이스에 맞춰 개별MAC 계층이 설계되기 때문에 새로운 매체가 추가되더라도 인터페이스의 재설계 없이 쉽게 통신할 수 있지만 표준 인터페이스는 물리 매체들의 공통적인 특성 기반으로 만들어지기 때문에 개별 MAC이 가진 물리 특성을 모두 활용할 수 없는 단점이 있다.

③ 혼합식 접근방법

혼합식 접근방법에서는 상향식 접근방법과 하향식 접근방법이 혼합된 방법으로 통합 MAC과 표준 인터페이스가 함께 존재할 수 있다. 유사한 물리적 특성을 가진 매체들 간에는 표준 인터페이스를 통해 통신하고, 그렇지 않은 경우에는 어댑터를 사용하거나 하향식 방법에 준하여 설계 및 통신할 수 있다. 이 방법은 상향식 방법과 하향식 방법의 장점을 모두 활용할 수 있지만 비용이 커질 수 있는 단점이 있다.

4. 다중매체 통신 프로토콜 스택과 아키텍처[9]

4.1 통합된 매체 데이터 링크 기반의 다중 매체 라우팅 프로토콜 계층 모델

통합된 매체 데이터 링크 기반의 다중 매체 라우팅 프로토콜 계층 모델은 상위 계층, 네트워크 계층, MM-DLL, M-PHY로 구성된다. 이들 계층 간에는 인터페이스가 존재하며 각 인터페이스를 통해 계층 간 서비스 요청과 정보 전달 및 교환이 이루어진다.

IM-DLL 다중매체 라우팅 프로토콜 계층 모델은 MM-DLL과 MS-PHY간의 인터페이스 방법에 따라 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 구분 된다. Fig. 1은 IM-DLL과 MS-PHY 사이에서 정보를 교환하는 인터페이스가 MS-PHY마다 다르기 때문에 IM-DLL 은 모든 MS-PHY와의 인터페이스를 가져야 한다. 반면

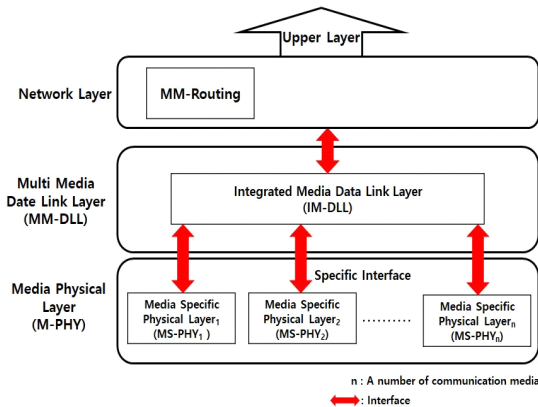


Fig. 1. Model Using Individual Interface based on IM-DLL.

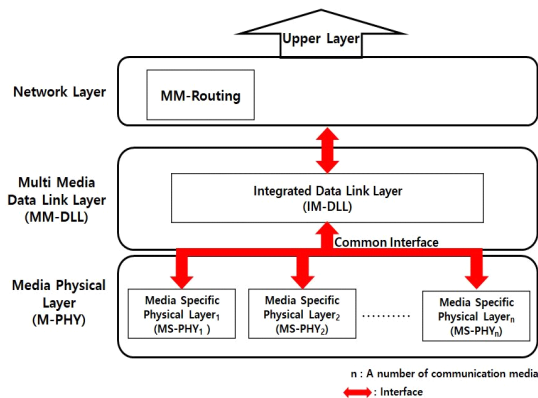


Fig. 2. Model Using Common Interface based on IM-DLL.

Fig. 2는 IM-DLL과 모든 MS-PHY 사이에 하나의 공통 인터페이스를 두어 IM-DLL과 모든 MS-PHY가 단일의 공통 인터페이스를 공유하면서 정보를 교환하는 모델이다.

개별 인터페이스를 갖는 모델은 IM-DLL과 무관하게 MS-PHY기능과 인터페이스가 먼저 만들어진 상태에서 IM-DLL을 설계해야 하는 상향식 설계 방식에 유용하다. 반면 공통 인터페이스를 갖는 모델은 IM-DLL의 기능과 인터페이스를 먼저 정의하고 이에 맞춰 MS-PHY를 설계하는 하향식 설계 방법에서 유용한 모델이다.

4.2 다중 매체 링크 제어기 기반의 다중 매체 라우팅 프로토콜 계층 모델

다중 매체 링크 제어기 기반의 다중 매체 라우팅 프로토콜 계층은 Fig. 3과 같다. 이 계층 모델을 이루는 구조를 상위 계층부터 차례로 나열하면 네트워크 계층의 상위계층, 네트워크 계층, 다중 매체 링크 제어기 M-DLL(Medium Data Link Layer), 그리고 M-PHY로 이루어진다. 이 모델에서 MM-DLL은 다중 매체 링크 제어기와 M-MAC으로 구성된다. 이 모델의 가장 큰 특징인 MM-링크 제어기의 주 기능은 네트워크 계층에서 인터페이스를 통해 요청한 이웃 노드로의 메시지 전송을 수행하고, MS-DLL로부터 수신한 메시지를 네트워크 계층으로 전달하는데 있다. 따라서 네트워크 계층과의 인터페이스는 물론 각각의 MS-DLL과도 인터페이스를 갖는다. 하지만 이 모델은 다중 매체 링크 제어기의 기능이 통신 매

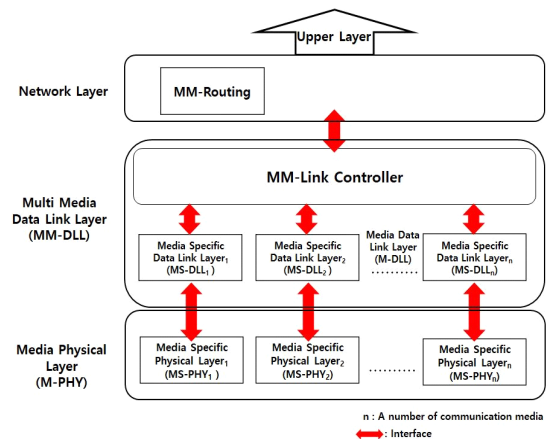


Fig. 3. Model using MM-Link Controller.

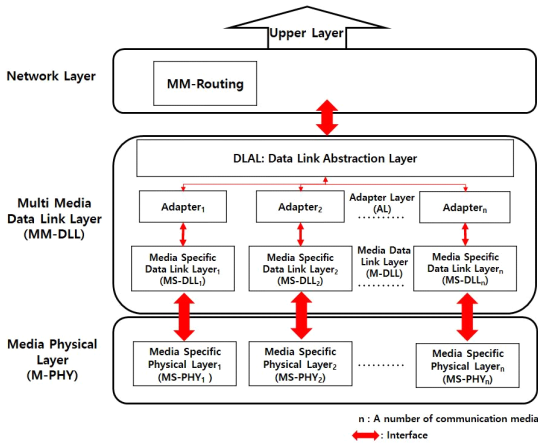


Fig. 4. Model based on Data Link Abstraction Layer.

체의 종류와 특성에 종속하기 때문에 확장성이 없다.

4.3 데이터 링크 추상 계층 기반의 다중 매체 라우팅 프로토콜 계층 모델

데이터 링크 추상 계층 기반의 다중 매체 라우팅 프로토콜 계층 모델은 Fig. 4와 같다. 이 계층 모델은 네트워크 계층의 상위 계층, 네트워크 계층, 데이터 링크 추상 계층, 어댑터 계층, M-DLL, M-PHY로 구성된다. 이 모델에서 MM-DLL은 데이터링크 추상계층, 어댑터 계층, M-DLL로 구성된다. 데이터 링크 추상계층의 주 기능은 네트워크 계층에서 인터페이스를 통해 요청한 이웃 노드로의 메시지 전송을 수행하고, MS-DLL로부터 어댑터를 통해 수신한 메시지를 네트워크 계층으로 전달하는데 있다. 이 모델

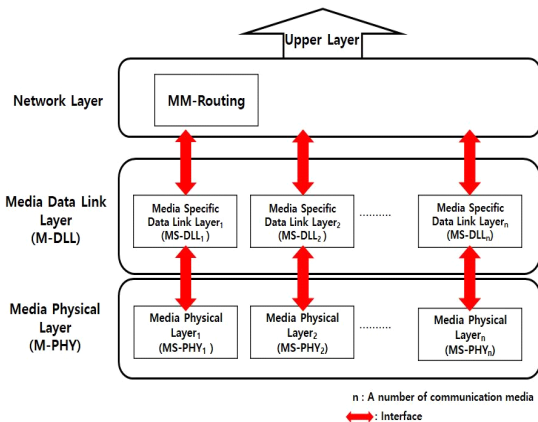


Fig. 5. Model based on MS-DLL.

은 데이터링크 추상계층의 기능이 통신 매체의 종류와 특성에 독립적이기 때문에 확장성을 갖는다.

4.4 다중 MS-DLL 기반의 다중 매체 라우팅 프로토콜 계층 모델

다중 MS-DLL 기반의 다중 매체 라우팅 프로토콜 계층은 Fig. 5와 같다. IM-DLL, MM-라우팅 프로토콜 계층 모델과 같이, 상위계층, 네트워크 계층, M-DLL, M-PHY로 구성된다.

이 모델은 MS-DLL들 사이에서 최적 매체 링크 선택 및 관리, 통신 매체 간 흐름제어, 통신 매체 간 프레임 제어 및 관리를 담당하는 계층이 MM-DLL 내에 없고 네트워크 계층이 이 기능들을 담당하기 때문에 네트워크 계층이 다른 모델에 비해 비대해진다. MS-DLL은 인터페이스를 통해 전달받은 이웃 노드로의 메시지 프레임 전달 요청 서비스를 MS-PHY를 통해 실제로 수행하고, 그 결과를 전달한다. 이 모델은 네트워크 계층의 기능이 통신 매체의 종류와 특성에 종속되기 때문에 확장성이 없다.

5. 수중 다중 매체 통신 프로토콜 스택 모델링과 유사도 결정

4절에서 제안한 다중매체 통신 프로토콜 표준 스택을 보면 공통 인터페이스 사용 유무, 어댑터 사용 유무, MAC 제어 장치 계층 등 프로토콜 스택을 구성하는 여러 요소들이 나타나있다. 5절에서는 이러한 요소와 함께 프로토콜 스택을 구성하는데 있어 요구되는 모델링을 위한 요소를 식별하고, 수중 다중매체 통신 지원을 위한 프로토콜 스택의 쉬운 모델링을 위한 유사도 결정 방법을 제안한다.

5.1 수중 다중 매체 통신 프로토콜 스택 모델링을 위한 요소

수중 다중 매체 통신 프로토콜 스택의 쉬운 모델링을 위한 요소로 표준 모델 기반으로 10가지를 추출할 수 있다. 어댑터 사용 유무, 인터페이스 사용 유무, 확장성, 매체 특성의 활용, 링크제어기 사용 등이 있으며, 이에 대한 설명은 Table 1에 잘 나타나 있다.

이때, 구분이 10에 유사할수록 상향식 접근방법에, 구분이 0에 유사할수록 하향식 접근방법에 가까우며, 범위에 따라 구분된다.

Table 1. Elements for Protocol Stack Modeling.

Modeling Elements	Range	Explanation
Necessity of PHY-MAC adaptor	10	If you need a protocol converter device between every PHY and MAC
	5	If about 50% of the protocol converter device is needed between PHY and MAC
	0	If you do not need a protocol converter device
Necessity of MAC-NWK adaptor	10	If you need a protocol converter device between every MAC and NWK
	5	If about 50% of the protocol converter device is needed between MAC and NWK
	0	If you do not need a protocol converter device
Necessity of PHY-MAC interface	10	If you need a individual interface between every PHY and MAC
	5	If about 50% of the individual interface is needed between PHY and MAC
	0	If you need a common interface between every PHY and MAC
Necessity of MAC-NWK interface	10	If you need a individual interface between every MAC and NWK
	5	If about 50% of the individual interface is needed between MAC and NWK
	0	If you need a common interface between every MAC and NWK
Necessity of integrated MAC	10	When not using integrated MAC between PHY-MAC
	5	If about 50% of the integrated MAC is needed between PHY and MAC
	0	If you need a integrated MAC between PHY and MAC
Scalability of underwater communication media	10	When the communication media does not have a MAC layer and requires an additional device such as an adapter, or when an individual interface is utilized
	5	When the communication media has a MAC but does not utilize a common interface
	0	Communication media has MAC, and when communicating between upper and lower layers through a common interface
Utilization degree of media characteristics	10	When it is necessary to utilize most of the unique characteristics of the communication media
	5	When it is more important to easily add a communication media than the unique characteristics of the communication media
	0	When it is most important to easily add a communication media
Necessity of link controller	10	When a link controller is used, but an interface exists in each MAC and upper layer
	5	In case of using link controller and interface together
	0	When not using link controller
Possibility of to increase the number of underwater communication media	10	If there is clearly a medium to be added in the future
	5	If there is a possibility that media to be added in the future exist
	0	When there is no possibility that media to be added in the future exist
Degree of importance in the utilization of underwater communication specific characteristics for future additional underwater communication media	10	When the unique characteristics of the communication media to be added in the future are very important
	5	When it is important to utilize the unique characteristics of communication media to be added in the future, but it is not necessary to utilize all characteristics
	0	When media scalability is more important than the use of unique characteristics of communication media
Layer to control MAC	10	When an individual MAC controls itself or is controlled by a high layer
	5	When the unique characteristics of the communication media to be added in the future are important, but is it not necessary to utilize all characteristics
	0	When the integrated MAC controls related functions

Table 2. Descriptions of Elements for $M_i = (m_{i,1}, m_{i,2}, m_{i,3}, \dots, m_{i,n})$

No.	Elements	Descriptions
1	$m_{i,1}$	Whether an PHY-MAC adaptor is used to or not
2	$m_{i,2}$	Whether an MAC-NWK adaptor is used to or not
3	$m_{i,3}$	Whether an PHY-MAC interface is used to or not
4	$m_{i,4}$	Whether an MAC-NWK interface is used to or not
5	$m_{i,5}$	Whether an integrated MAC is used to or not
6	$m_{i,6}$	Scalability
7	$m_{i,7}$	Utilization degree of media characteristics
8	$m_{i,8}$	Whether an link controller is used to or not
9	$m_{i,9}$	Possibility of to increase the number of underwater communication media
10	$m_{i,10}$	Importance of utilizing unique characteristics of communication media
11	$m_{i,11}$	Layer to control MAC

5.2 수중 다중 매체 통신 프로토콜 스택 모델링과 유사도 판단 방법

수중 다중매체 통신 프로토콜 스택 모델링을 위한 요소에 가중치를 부여하고, 모델 간 유사도를 판단할 수 있다. 이때, 가중치가 부여된 요소를 벡터 형태로 표현할 수 있는데, 프로토콜 모델 스킴 $M = (M_1, M_2, \dots, M_5)$ 의 요소는 식 (1)과 같이 표현하고, 각 모델의 유사도는 유클리드 거리(Euclidean distance)를 기반으로 계산한다. 모델 M_i 와 새로 제안되는 모델 M_j 의 유사도 $Similarity(M_i, M_j) = S_{i,j}$ 는 식 (2)를 따른다.

$$M = (M_1, M_2, \dots, M_5), \text{ where } M_i = (m_{i,1}, m_{i,2}, \dots, m_{i,n})$$

$$\text{and } i = 1, 2, \dots, 5 \tag{1}$$

$$S_{i,j} = \sqrt{(m_{i,1} - m_{j,1})^2 + (m_{i,2} - m_{j,2})^2 + \dots + (m_{i,n} - m_{j,n})^2}$$

$$\text{for } n = 1, 2, \dots, 11 \tag{2}$$

6. 표준 프로토콜 스택 간 유사성

본 절에서는 표준 프로토콜 스택과 임의의 모델 간 유사성 분석 방법을 제안한다. 본 절에서 제안한

유사성 방법을 기반으로 새로운 프로토콜 스택 생성 시 유사성 분석을 통한 가장 가까운 표준 프로토콜 스택 기반으로 모델을 쉽게 생성할 수 있다.

6.1 표준 프로토콜 스택 간 유사성 분석

본 절에서는 5절에서 제시한 유사도 판단 기법을 사용하여 표준 프로토콜 스택 간 유사도를 판단한다. 유사도 판단을 통해 본 논문에서 제시한 유사도 계산 방법의 정확도를 판단할 수 있으며, 5가지 표준 모델에 대한 유사도를 판단하기 위한 요소 값 $M = (m_1, m_2, \dots, m_9)$ 는 Table 3과 같다.

- (모델 1) IM-DLL과 MS-PHY 사이에 개별 인터페이스를 갖는 모델
- (모델 2) IM-DLL과 모든 MS-PHY 사이에 단일의 공통(표준) 인터페이스를 갖는 모델
- (모델 3) MM-LC MM-라우팅 프로토콜 계층 모델
- (모델 4) DLAL MM-라우팅 프로토콜 계층 모델
- (모델 5) MMS-DLL MM-라우팅 프로토콜 계

Table 3. Vector Element Values by Model.

Model	$m_{i,1}$	$m_{i,2}$	$m_{i,3}$	$m_{i,4}$	$m_{i,5}$	$m_{i,6}$	$m_{i,7}$	$m_{i,8}$	$m_{i,9}$	$m_{i,10}$	$m_{i,11}$
1	0	0	10	0	0	5	10	0	0	5	0
2	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0
3	0	0	10	10	10	5	10	10	0	5	0
4	0	10	10	5	10	0	10	3	0	5	0
5	0	0	10	10	10	10	10	0	0	5	10

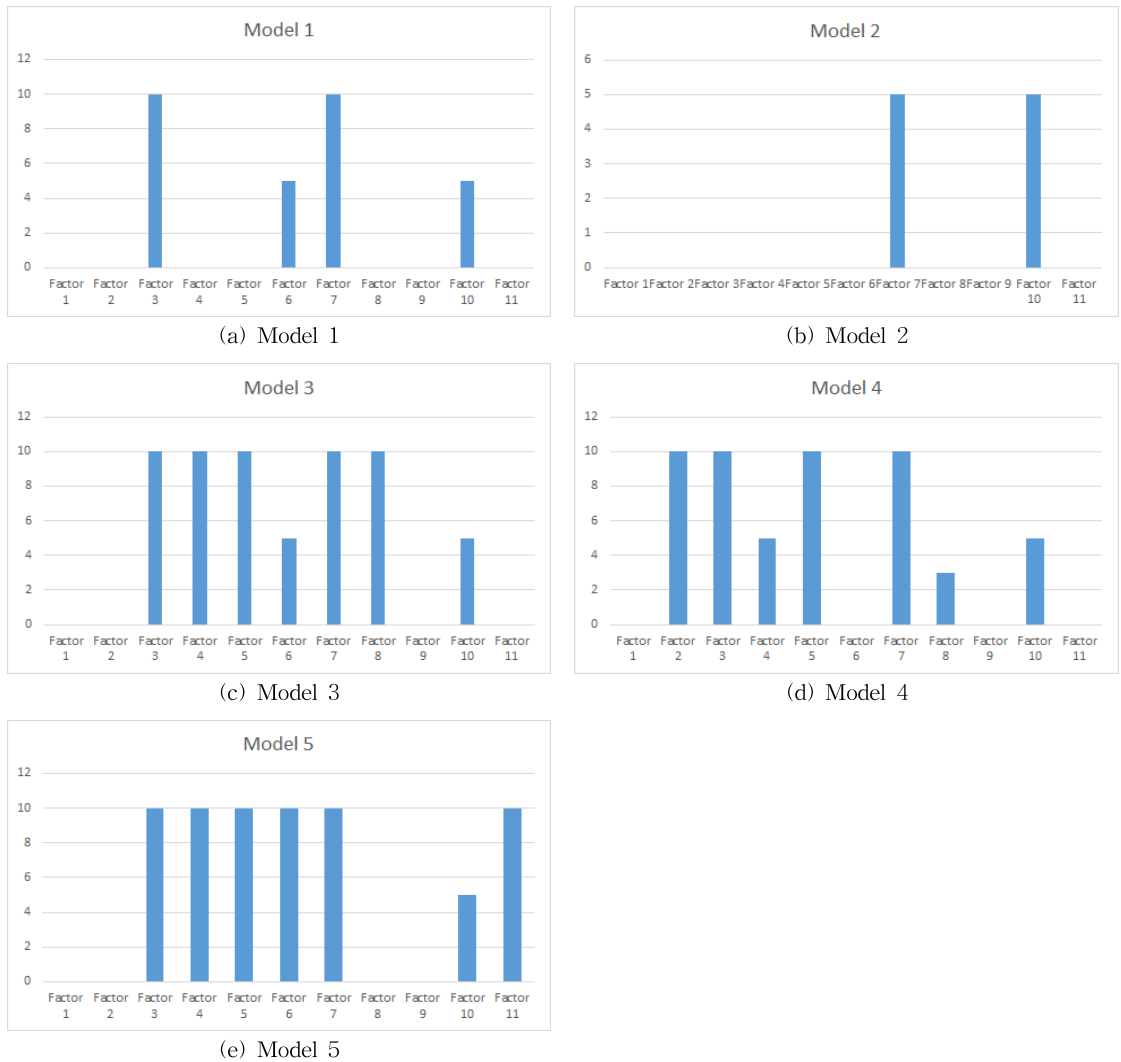


Fig. 6. Similarity between Models (Graph).

Table 4. Similarity between Models (Numerical).

Distance	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Model 1	0				
Model 2	12.25	0			
Model 3	17.32	21.21	0		
Model 4	16.09	18.95	14.11	0	
Model 5	18.03	22.91	15.00	18.28	0

층 모델

유사도 판단 기법을 적용하여 각 모델간 유사도를

(Fig. 6), Table 4와 같이 도출해낸 결과 모델 1은 모델 2, 모델 3은 모델 1, 모델 4는 모델 3, 모델 5는 모델 3과 가장 유사도가 높게 측정되었다. 모델 1과

Table 5. Vector Element Values by Model (2).

모델	$m_{i,1}$	$m_{i,2}$	$m_{i,3}$	$m_{i,4}$	$m_{i,5}$	$m_{i,6}$	$m_{i,7}$	$m_{i,8}$	$m_{i,9}$	$m_{i,10}$	$m_{i,11}$
6	10	10	10	10	10	10	10	5	0	10	10
7	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0

모델 2는 PHY-MAC 계층간 인터페이스를 제외한 모든 부분이 동일하였으며, 실제로도 타 모델들에 비해 유사성이 가장 높았다. 또한 모델 3은 모델 1의 PHY-MAC간 개별 인터페이스를 사용하는 특징 때문에 유사도가 가장 높았고, 모델 5는 상향식에 가장 가까운 모델로, 모델 1~5중 가장 상향식에 가까운 모델 3과 유사하였다.

6.2 신규 프로토콜 스택을 위한 유사성 분석 활용

본 절에서는 신규 프로토콜 스택 생성을 위해 요구사항을 분석하고, 표준 프로토콜 스택 중 어떠한 스택을 따르는 것이 합리적인지 분석하고자 한다. 신규 프로토콜 스택을 위한 요구사항이 다음과 같다고 하자.

① 모델6 요구사항

PHY-MAC 및 MAC-NWK간 프로토콜 변환 장치가 필요하고, 개별 인터페이스를 사용한다. 또한, 각 계층 간 개별 인터페이스를 사용하기 때문에 통합 MAC을 사용하지 않으며 각 매체가 가진 고유한 특성이 매우 중요하다. 향후 통신 매체는 2~3가지 더 추가될 예정이고 추가될 매체의 고유 특성 또한 중요하다.

② 모델 7 요구사항

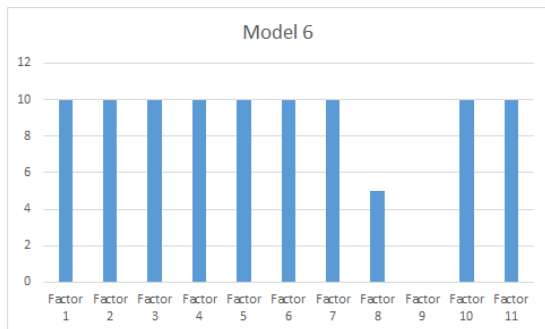
모델7은 모델6과 달리 최대한 공통 인터페이스를 통해 통신할 예정으로, 프로토콜 변환 장치는 중요하지 않다. 통합 MAC 등 공통 인터페이스를 최대한 활용하고 향후 매체가 추가될 가능성이 없기 때문에 확장성은 중요하지 않다.

모델 6과 모델 7의 요구사항을 본 논문에서 제안한 요소 값으로 변환하였을 때 Table 5, Fig. 7과 같이 표현할 수 있으며, 각 모델과의 유사도를 측정하였을 때 Table 6과 같이 표현할 수 있다.

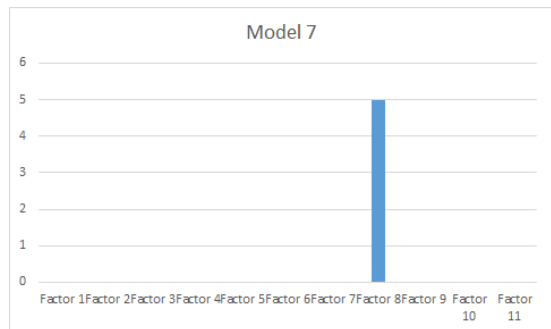
유사도 측정 결과, 모델 6은 모델 5와 모델 7은 모델2와 가장 유사하게 측정되었다. 모델 6의 경우 표준 모델에서 모든 계층 간 개별 인터페이스를 사용하는 모델 5번의 특징으로 가장 유사한 것으로 분석되며, 모델 7의 경우 공통 인터페이스를 활용하는 표준 모델 중 2번 모델의 특징으로 가장 유사한 것으로

Table 6. Similarity between Models (Numerical)(2).

Distance	Model 6	Model 7
Model 1	23.98	16.58
Model 2	27.84	8.66
Model 3	19.36	21.79
Model 4	18.81	21.31
Model 5	15.81	25.49



(a) Model 6



(b) Model 7

Fig. 7. Similarity between Models (Graph).

분석된다.

실제 본 논문에서 제안한 모델링을 위한 요소들 기반으로 표준 프로토콜 스택과의 유사도를 판단하였을 때, 모델 6은 모델 5번을 기반으로, 모델 7은 모델 2를 기반으로 프로토콜 스택 모델링을 진행할 수 있다.

8. 결 론

본 논문에서는 표준 프로토콜 스택을 제안하고 새로운 모델 설계를 위한 요소 식별 및 모델링을 위한 방법을 제안하였다. 기존 수중 음파통신의 단점을 보완하기 위한 복합 통신 매체를 지원하는 프로토콜 스택 설계는 단일 통신 매체를 지원하는 프로토콜 스택을 설계하는 것 보다 복잡하다. 그러나 본 논문에서 제시한 상향, 하향 등의 특징을 지는 다양한 표준 프로토콜 스택과 이를 기반으로 한 프로토콜 스택 모델링을 위한 요소 식별 등을 통해 쉬운 모델링이 가능할 수 있다. 또한, 이 기법은 테스트 케이스가 쌓일수록 더욱 정교해지는 특징을 가지며, 수중 다중 매체 통신이 가능하도록 하는데 가까워지도록 기여할 수 있다.

실제로 임의의 모델 6과 7의 요구사항을 토대로 요소 값을 설정하고 본 논문에서 제안한 표준모델과의 유사도를 측정된 결과 각 표준모델이 가진 특징과 가장 유사한 모델과의 거리가 가깝게 측정되었다. 이를 통해 본 논문에서 제안한 표준 모델과의 유사도 측정 방법을 통해 새로운 모델을 설계할 때 가장 적합한 표준 모델을 기반으로 쉬운 모델링을 할 수 있을 것으로 볼 수 있다.

향후 연구로, 본 논문에서 제안한 기법을 기반으로 더욱 견고한 프로토콜 스택 모델링이 가능한 방법을 제안하고, 실제 수중 다중 매체 통신을 위한 프로토콜 스택의 프로토타입을 만들어 성능을 입증하고자 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 Scheme 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] 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.
- [4] D.S. You, D.H. Shin, S.S. Lim, S.H. Jeon, and C.H. KIM, "Implementation of a Fragmentation Method for Flow Control in Underwater Multi-media Communication", *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 23, No. 7, pp. 819-829, 2020.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] D.R. K M, S.-H. Yum, E. Ko, S.-Y. Shin, J.-I. Namgung, 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.
- [8] D.S. You, D.H. Shin, S.S. Lim, S.H. Jeon, and C.H. Kim, "Implementation of a Fragmentation Method for Flow Control in Underwater Multi-Media Communication", *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 23, No. 7, pp. 819-829, 2020.
- [9] TTAK.KO-06.0528, "Protocol Layer Models and Core Requirements for Multi-Medium Routing in Underwater Multi-Media Wireless Communication Networks", TTA Standard, 2020.



신 동 현

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

관심분야: Underwater Communication, IoT/IoUT, WSN
(Wireless Sensor Network), Data Mining



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