

지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크의 상호연결을 위한 가상 주소 매핑 방법

김창화[†]

A Virtual Address Mapping Method for Interconnection between Terrestrial Communication Network and Underwater Acoustic Communication Network

Changhwa Kim[†]

ABSTRACT

The terrestrial communication network and the underwater acoustic communication network have very different communication characteristics each other in operational environments, communication media, propagation delay, frequency bandwidth, transmission speed, bit error rate, and so on. These different characteristics cause some different address schemes and different maximum transmission units and, as a result, these differences must form certainly obstacles to the intercommunication between a terrestrial communication network and an underwater acoustic communication network. In this paper, we presents a method to use the virtual addresses to resolve the interconnection problem caused by different address schemes between a terrestrial communication network and an underwater acoustic communication network, and, through a mathematical modeling, we analyze the performance on the message transceiving delay time in the underwater environment.

Key words : Underwater acoustic communication, Interconnection, Virtual address

요 약

지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크는 동작 환경, 통신 매체, 전파 지연 속도, 주파수 대역폭, 통신 속도, 비트 에러율 등에서 매우 다른 통신 특성을 갖는다. 이러한 다른 특성들로 인해 이들 두 통신 네트워크는 주소체계와 최대 패킷 크기에서 차이가 생기며, 결과적으로, 이 차이는 두 통신 네트워크를 상호연결 하는데 장애가 될 수밖에 없다. 본 논문은 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크 사이에서 서로 다른 주소체계로 인해 발생하는 상호연결 문제를 해결하기 위해 가상 주소를 이용하는 방법을 제시하고 수학적 모델링을 통해 수중 환경에서의 메시지 송수신 지연 시간에 대한 성능을 분석한다.

주요어 : 수중음파 통신, 상호연결, 가상 주소

1. 서론

지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크는 서로 다른 통신 특성을 갖는다. 그 이유는 두 통신 네트워크는 통신 매체와 동작 환경이 매우 다르기 때문이다. 지상 통신 네트워크의 노드들은 지상 환경에서 유선이나 전파(Radio Frequency)를 사용하는 반면 수중음파 통신 네트워크의 노드들은 수중 환경에서 음파를 사용한다.

* 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.

Received: 6 August 2018, **Revised:** 1 November 2018,
Accepted: 6 November 2018

[†] **Corresponding Author:** Changhwa Kim

E-mail: kch@gwnu.ac.kr

Dept. of Computer Sci. & Eng., Gangneung-Wonju
National University, Wonju, Korea

특히, 전파와 음파는 상이한 통신 특성을 갖는다. 수중 음파 통신 네트워크에서 사용하는 음파의 전파 속도는 $1.5 \times 10^3 m/s$ 로 지상 통신 네트워크에서 사용하는 전파 통신에 비해 약 2×10^5 배 느리며, 비트 에러율은 지상 전파 통신의 경우 $10^{-8} \sim 10^{-6}$, 수중음파의 경우 10^{-3} 로 수중음파 통신은 전파 통신에 비해 $10^3 \sim 10^5$ 배 높아 패킷 크기가 클 경우 패킷 손실이 많아진다(Akyil et al., 2005; Kim and Kim, 2016; Park et al., 2010). 따라서 수중음파 통신 네트워크는 지상 통신 네트워크에 비해 최대 패킷 크기가 매우 작게 설계될 수밖에 없으며 결과적으로 지상의 IP 주소와 유사한 길이나 구조의 주소 체계를 갖는데 큰 한계가 있다(Kim and Kim, 2016; TTA.KO-06.0453, 2017).

상이한 주소체계는 두 통신 네트워크 사이에 메시지를 송수신할 경우 서로 간에 주소체계를 인식하지 못하여 메시지가 전달되지 못하는 문제를 유발한다. 이 때 다른 통신 네트워크로 진입하는 메시지는 더 이상 라우팅이 되지 못한 채 손실되거나 혹은 근원지 노드로 반환된다.

서로 다른 주소체계에서 두 통신 네트워크 간의 연동을 쉽게 구현하기 위해 대부분 응용 계층에서 한 쪽 통신 네트워크에서의 근원지 노드 주소와 다른 쪽 통신 네트워크에서의 목적지 노드 주소를 데이터와 함께 게이트웨이로 전송하는 방법을 사용한다(Jo et al., 2010; Na et al., 2011; Lee et al., 2015; Seong and Kim, 2016; Shin and Kim, 2016).

이 때 수중음파 통신 네트워크는 앞에서 언급한 것처럼 패킷 크기가 작기 때문에 응용 계층의 메시지가 근원지 노드 주소와 목적지 노드 주소를 모두 포함하여 데이터와 함께 전송할 경우, 한 번에 전송해야 할 순수 데이터 크기가 작아져서 전송 횟수가 더 많아지고 에러율이 높아지며 이로 인해 에너지가 소비되는 등의 오버헤드를 발생시킨다. 수중음파 통신 네트워크에서 노드간 거리가 수십 km 장거리인 경우 전송율이 수백 bps 내외이고, 수 km의 경우 수 kbps 내외인 것을 감안한다면 하나의 응용 메시지에 순수 전송 데이터를 실는 것조차 부담일 수밖에 없다.

또 다른 방법으로는 IPv6-to-IPv4 연동에서처럼 한 쪽 통신 네트워크의 주소체계가 다른 통신 네트워크 주소 체계를 포함하도록 설계하여 주소 변환이 쉽도록 하는 방법이 있을 수 있다(Nakajima and Kobayashi, 2004; Nordmark, 2000; Tsirtsis and Srisuresh, 2000; Yu and Carpenter, 2012). 하지만 두 통신 네트워크에서 목적지

노드의 주소체계가 근원지 노드의 주소체계를 포함하는 경우, 근원지 노드가 목적지 노드로 초기 연결을 행할 때 마다 근원지 노드의 네트워크 계층 패킷은 목적지 노드의 주소체계를 수용할 수 없기 때문에 네이밍 서버를 통하여 목적지 주소를 찾고 이 목적지 주소에 근원지 네트워크 주소체계의 주소를 할당해야하는 오버헤드가 발생한다(Nakajima and Kobayashi, 2004).

이러한 이유 때문에 본 논문은 지상 노드와 수중 노드 사이에서 두 통신 네트워크를 연결할 때는 목적지 노드의 주소를 응용 메시지에 담아서 게이트웨이를 경유하여 전송하지만, 일단 게이트웨이에 처음 도착한 후에는 네트워크 계층의 상위 계층은 순수 데이터만 전송하고 각 네트워크 계층에서 각자의 네트워크 주소체계를 이용하여 통신할 수 있는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서 주소체계 연동을 위한 기존 방법들을 살펴본 후 3절에서 본 논문에서 제안하는 방법에 기반이 되는 주소체계 연동 아키텍처와 프로토콜 스택을 제시한다. 4절에서는 주소체계 연동 방법과 절차에 기반이 되는 연동 장치(게이트웨이)에 요구되는 필수 기능과 연동 시나리오 그리고 가상 주소 테이블 구조와 연산을 제안한다. 5절에서는 4절 내용을 기반으로 하는 주소체계 연동 방법과 절차에 대해 소개한다. 그리고 6절에서 제안한 방법의 성능 분석을 위해 메시지 송수신 지연 시간에 대한 수학적 모델링에 대해 소개하고 이 모델을 통해 얻은 결과를 가지고 이 지연 시간에 대한 성능을 분석한 다음, 7절에서 결론을 맺는다.

2. 기존 방법

서로 다른 두 통신 네트워크의 주소체계 연동은 대부분 지상 통신 네트워크 중심, 특히, IPv6와 IPv4 연동 중심으로 많은 연구와 개발이 이루어져왔다. 연동 방식으로는 이중 스택(dual stack) 방식, 터널링(tunnelling) 방식, 주소변환(address translation) 방식으로 크게 나눌 수 있으며(Sha et al., 2017; Nakajima and Kobayashi, 2004) 이 절에서는 이들 각 방식에 대해 살펴본다.

2.1 이중 스택

이중 스택(dual stack)은 매우 쉬운 연동 방법으로 노드가 두 통신 네트워크 프로토콜 스택을 모두 갖추고 해당 통신 네트워크에 맞는 프로토콜을 선택하여 사용할 수 있는 방식이다(Sha et al., 2017; Soliman, 2009). 따

라서, 이중 스택 노드는 양쪽 통신 네트워크 주소를 가져야 하는데, IPv4와 IPv6 연동의 경우, IPv6 노드에서 IPv4 주소는 DHCP와 같은 방식을 통해 얻고 IPv6 주소는 자신의 전용 주소를 사용할 수 있다. 기존 PC나 이동통신 단말에서 IPv4와 IPv6를 모두 지원하기 위해 이 방식의 기술개발이 이루어져 왔다(Lee et al., 2011). 그 이유는 IPv6 네트워크와 IPv4 네트워크와의 연동은 활용성이 매우 높기 때문인데 이동통신 단말이나 PC 부문에서 새로 개발되는 노드는 대부분 이중 스택을 지원한다. 또한, 기존에 단일 스택을 사용하고 있다하더라도 이중 스택을 지원하는 모듈을 재설치하고 환경을 재설정함으로써 어렵지 않게 IPv6-to-IPv4 연동을 지원받을 수 있다. 하지만, 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크와의 연동에서 수중음파 통신 노드는 거의 대부분 수중에 있기 때문에 이중 스택으로의 변경은 수중에서 노드를 수거해서 이중 스택 지원 모듈을 다시 설치해야 하는 등의 많은 비용과 시간을 소요하므로 비현실적인 작업이다.

2.2 터널링

터널링(Tunnelling)은 서로 둘 이상의 격리된 동종의 통신 네트워크 내의 종단 노드들이 이질성의 중간 통신 네트워크를 통해서 통신하고자 할 때 이용되는 방식이다(Sha et al., 2017; Steffann, 2013). 터널이란 격리된 통신 네트워크로부터 전송 패킷을 처음 받은 중간 통신 네트워크와의 경계 라우터(입구 라우터)에서부터 출구 라우터까지의 라우팅 경로를 말한다. 이 방식에서 격리된 한 쪽 통신 네트워크의 근원지 노드가 전송 메시지 패킷을 중간 통신 네트워크의 터널 입구 라우터로 보내면 입구 라우터는 이 터널 통신 네트워크에서 사용하는 주소 체계를 갖는 자신의 주소(터널의 근원지 주소)와 출구 라우터의 주소(터널의 목적지 주소)를 포함시킨 헤더에 수신한 패킷을 페이로드로 캡슐화한 새로운 패킷을 가지고 출구 라우터로 라우팅 된다(Kim, 2017). 이 새로운 패킷을 수신한 출구 라우터는 패킷에 포함된 캡슐화된 패킷을 추출하여 헤더와 메시지 부분으로 분리하고 이 헤더를 이용하여 다른 통신 네트워크의 목적지 노드로 메시지를 라우팅한다. 터널링 방식에서 입구 라우터와 출구 라우터는 격리된 통신 네트워크와 터널 통신 네트워크 사이에서 두 프로토콜을 모두 지원해야 한다. 이 방식에서 입구 라우터에서 지정한 출구 라우터의 주소를 가지고 터널이 사전에 설정된 경우 터널 내의 라우팅을 위한 주소변환이 필요 없다. 하지만, 터널이 미리 지정되어 있지 않고 격리된 두 통신 네트워크의 근원지 노드에서 목

적지 주소를 패킷에 명시하여 라우팅을 통해 터널링할 경우 서로 다른 주소체계에 대한 연동 문제를 해결해야 한다.

두 지상 통신 네트워크를 연결하는 수중음파 통신 네트워크의 경우, 서론에서 이미 설명했듯이, 패킷 최대 크기가 매우 작아서 페이로드에 근원지 주소와 목적지 주소가 모두 포함된 지상 통신 네트워크 패킷을 한 번에 실을 수 없을 가능성이 높기 때문에 터널링 방식은 부적합하다. 반대인 경우, 즉, 두 격리된 수중음파 통신 네트워크가 지상 통신 네트워크를 통해 통신하는 경우, 고정된 터널을 사용하거나 혹은 터널링을 위한 적절한 주소변환 방법도 도입된다면 터널링 방식은 도입할만한 방법이다. 그럼에도 불구하고, 수중음파 통신 네트워크와 지상 통신 네트워크의 둘 사이의 연동에서는 격리된 통신 네트워크들이 다른 통신 네트워크를 사이에 두고 상호 연결하는 것이 아니므로 터널링 방식은 도입 대상이 되지 않는다.

2.3 주소변환

주소변환 방식은 체계가 다른 두 통신 네트워크의 주소를 라우팅을 위한 통신 네트워크 주소체계에 맞추어 상호변환 혹은 매핑하는 방법이다(Sha et al., 2017; Hagino and Yamamoto, 2001; Nakajima and Kobayashi, 2004). 이 방식은 주로 IPv4 네트워크와 IPv6 네트워크의 연동을 위해 RFC 표준들에서 이미 제안되었고(Hagino and Yamamoto, 2001; Nordmark, 2000; Tsirtsis and Srisuresh, 2000), 이 표준들을 기반으로 업체들에 의해 여러 연동기술이 개발되어 왔다. RFC 표준들은 주로 IPv6으로부터 IPv4로의 연동 초기화(IPv6-to-IPv4 연동) 방법을 제시한다. 표준들이 제시한 IPv6-to-IPv4 주소변환에서 IPv4 체계의 목적지 주소는 IPv4 주소체계와 IPv6 주소체계와의 연관성을 이용하여 IPv6 체계의 주소로 변환하고 근원지 주소는 IPv4 주소 풀의 주소를 IPv6 주소와 매핑하는 방법을 이용한다. IPv6 주소체계는 IPv4-translated address라 부르는 IPv6 범주를 포함한다. 이 범주를 갖는 128비트의 IPv6 주소에서 우측 32비트는 IPv4 주소체계를 갖는다(즉, IPv6 주소체계는 IPv4 주소체계를 수용한다). 따라서 IPv6 헤더의 목적지 주소는 128비트 중 우측 32비트를 IPv4 목적지 주소로 하고 나머지 좌측 96비트는 IPv4-translated address 범주의 PREFIX로 채워서 IPv6 주소체계로 표현할 수 있다. IPv6 노드는 IPv6 주소체계인 자신인 근원지 주소와 IPv4 주소로 변환 가능한 목적지 주소로 하는 패킷을 라우터로 보내면 라우터는 목적지 주소로부터 PREFIX를 제외한 IPv4 주

소 부분을 목적지 주소로 하고 IPv6 체계의 근원지 주소는 라우터가 가지고 있는 IPv4 주소 풀에서 IPv4 주소 하나를 임의로 매칭시키고 헤더 나머지 부분을 변환하여 IPv4 네트워크의 목적지 노드로 전송한다. 이렇게 하면 IPv4 주소는 다시 우측 32비트로 하고 96비트의 해당 PREFIX를 좌측에 추가하면 IPv6 주소로 변환 가능하고 근원지 노드의 IPv6 주소에는 임의로 매칭된 IPv4 주소가 대응하므로 IPv6-only 네트워크와 IPv4-only 네트워크간의 주소체계 연동이 가능하게 된다(Hagino and Yamamoto, 2001; Nordmark, 2000; Tsirtsis and Srisuresh, 2000).

하지만 IPv4로부터 IPv6로의 연동 초기화(IPv4-to-IPv6 연동)는 상황이 다르다. IPv4 네트워크의 근원지 주소는 IPv6로 변환 가능한 주소로서 IPv4 헤더에 포함할 수 있지만 IPv6 네트워크의 목적지 주소는 IPv4 주소체계로 수용할 수 없는 주소이기 때문에 바로 IPv4 헤더에 포함시킬 수 없다. 이를 해결하기 위해 IPv4 네트워크의 근원지 노드는 라우터의 네이밍 및 주소 매칭 서비스를 이용한다(Nakajima and Kobayashi, 2003). IPv4 네트워크의 근원지 노드가 목적지 노드의 네임을 라우터로 보내면 라우터는 IPv6 네이밍 서버로 그 네임을 보내고 그 네임에 해당하는 IPv6 주소를 받아온다. 라우터는 자신의 IPv4 풀에서 IPv4 주소 하나를 네이밍 서버로부터 받은 IPv6 주소에 매칭하여 이 정보를 유지하고 이 IPv4 주소를 IPv4 네트워크의 근원지 노드로 전송하면 이 노드는 목적지 주소로 IPv6 주소 대신 이 IPv4 주소를 사용한다. 이렇게 해서 IPv4 네트워크 노드는 IPv4 주소체계의 근원지 주소와 목적지 주소를 이용할 수 있게 되고 라우터는 이들 주소에 대해 각각 IPv6 주소로의 변환과 매핑 정보에 의한 IPv6 주소 식별이 가능하므로 두 통신 네트워크간의 연동이 가능하게 된다.

RFC가 표준으로 제안한 IPv6와 IPv4 간 연동에서 네트워크 계층에서 주소를 변환하는 방법으로 SIIT (Nordmark, 2000)와 NAT-PT(Tsirtsis and Srisuresh, 2000)가 제안되었고 트랜스포트 계층에서 변환하는 방법으로 TRT(Hagino and Yamamoto, 2001)가 제안되었다. 이 중에서 SIIT 방식은 앞에서 설명한 IPv6-to-IPv4 방식을 지원하며 NAT-PT 방식은 SIIT 방식을 기반으로 네이밍과 주소 매칭 서비스와 연계하는 주소 변환을 진행한다. TRT는 IPv6 노드와 라우터, 라우터와 IPv4 노드의 연결(connection)을 확립하는 과정에서 주소 변환을 수행하며 연결이 확립 후에는 라우터가 두 연결 정보를 유지하는 가운데 두 IP 네트워크간의 주소 연동이 이루어진다(Shanmugaraja, 2013;

Tsirtsis and Srisuresh, 2000).

매우 잘 알려진 것처럼 IPv6는 IPv4에서의 주소 고갈 문제 때문에 제안되었으며 이러한 이유 때문에 IPv6는 프로토콜 설계 시작부터 IPv4 주소체계를 수용할 수 있도록 고안되었다. 따라서, IPv6-translated address 범주를 이용하는 IPv6와 IPv4 사이의 주소변환은 이들 간의 연관성을 이용할 수 있는 특수한 경우에 해당한다. 많은 경우 이질의 통신 네트워크들 사이에는 주소체계 사이에 연관성이 없는 경우들이 대부분이며 따라서 주소체계 연관성에 의한 주소변환은 일반적 방법이 아니다.

3. 주소체계 연동 아키텍처와 프로토콜 스택

이 절에서는 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크 사이에서 상호연결이 이루어지는 네트워크 환경을 소개한다. 또한, 논문내용 이해에 필요한 두 통신 네트워크의 각 프로토콜 계층의 명칭을 소개하고 주소체계 변환을 위해 필요한 게이트웨이의 프로토콜 스택 구조를 제시한다.

3.1 연동 네트워크 환경

지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크를 연동하기 위한 환경은 Figure 1과 같다. 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크는 서로 다른 주소체계와 서로 다른 통신 매체를 사용하므로 직접 통신할 수 없다. 따라서 두 통신 네트워크를 연동하기 위한 방법으로 게이트웨이를 이용한다. 이때, 지상, 수면, 선박 등에 위치한 게이트웨이가 그 역할을 수행할 수 있다.

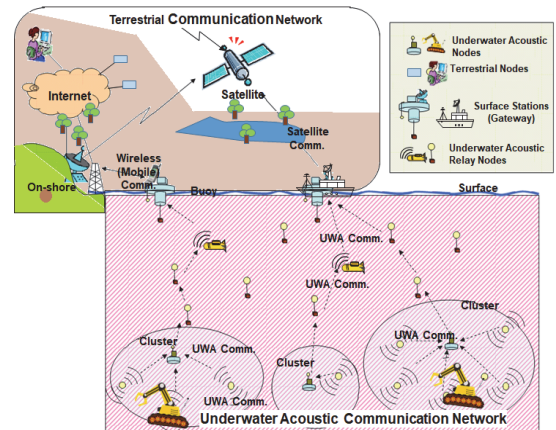


Fig. 1. Environment for the intercommunication between terrestrial network and UWA Network

그러므로 지상 통신 네트워크에서 수중음파 통신 네트워크로의 데이터 전송 시, 이러한 종류의 게이트웨이를 통해 데이터를 전송하여 최종적으로 수중의 목적지 노드로 전송할 수 있고, 반대로 수중 통신 네트워크에서 지상 통신 네트워크로 데이터를 전송하기 위해서도 게이트웨이를 통해 지상 노드로 데이터를 전송할 수 있다. 이렇게 수집된 데이터는 지상과 수중을 아우르는 위험 영역 감시, 재난 감지, 가두리 양식, 지진 해일 감지, 해저 지형 탐사, 군사, 재난 구호 등 지상과 수중의 연동을 통한 모니터링과 관제가 필요한 다양한 분야에서 활용할 수 있다.

3.2 프로토콜 계층 명칭과 기능

지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크에서 사용하는 프로토콜을 구분하기 위해 두 통신 네트워크의 각 프로토콜 계층에 대해 Table 1에 제시된 명칭을 사용하고자 한다.

Table 1. Naming of the TR and UWA communication network protocol layers corresponding to network protocol layers (TR: TeRrestrial, UWA: UnderWater Acoustic, Comm.: Communication)

General Protocol Layers	TR Comm. Layers	UWA Comm. Layers
UPP (Upper Layer)	TR-UPP (Terrestrial UPP)	UWA-UPP (UWA UPP)
NWK (Network Layer)	TR-NWK (Terrestrial NWK)	UWA-NWK (UWA NWK)
MAC (MAC Layer)	TR-MAC (Terrestrial MAC)	UWA-MAC (UWA MAC)
PHY (PHY Layer)	TR-PHY (Terrestrial PHY)	UWA-PHY (UWA PHY)

Table 1에서와 같이 일반적으로 사용하는 프로토콜 명칭에 대해 지상 통신 네트워크에서 사용하는 프로토콜 명칭은 일반 프로토콜 명칭 앞에 TR 다음에 하이픈('-')을 붙여 명명하고자 한다. 또한, 수중음파 통신 네트워크에서 사용하는 프로토콜 명칭도 일반 프로토콜 명칭 앞에 UWA 다음에 하이픈('-')을 붙여 명명한다. 여기에서 TR과 UWA는 각각 'TeRrestrial'와 'UnderWater Acoustic'을 의미하는 것에서 의도되었다.

TR-UPP와 UWA-UPP, TR-NWK와 UWA-NWK, TR-MAC과 UWA-MAC, 그리고 TR-PHY와 UWA-PHY는 각각 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크의 다른 특성 차이에 따라 통신 방식과 인터페이스가 서로

다른 프로토콜이지만 'TR-'과 'UWA-'를 제외한 각각 UPP(Upper layer), NWK, MAC, PHY 기능을 갖는다. 즉, 이들 프로토콜 계층 쌍들은 각각 자신이 속한 통신 네트워크 내에서 일반적인 UPP, NWK, MAC, PHY의 프로토콜 기능을 수행한다.

한편, 본 논문에서 Table 1의 UPP는 프로토콜 스택에서 NWK의 상위 계층으로서 자신의 고유 기능을 수행하기 위해 직접 NWK의 인터페이스를 통해 NWK 기능을 이용하며, 따라서, UPP는 응용 계층(Application Layer)이 될 수도 있고 혹은 트랜스포트 계층(Transport Layer)이 될 수도 있으며, 또는 NWK 기능을 이용하는 다른 기능의 계층일 수도 있다. 이와 마찬가지로 TR-UPP와 UWA-UPP는 각각 TR-NWK와 UWA-NWK의 인터페이스를 통해 자신들의 고유 기능을 수행하기 위해 각각 이 두 계층의 기능을 사용하는 프로토콜 계층이다.

3.3 연동 프로토콜 스택

지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크를 연동하기 위한 프로토콜 스택 체계는 Figure 2와 같다. Figure 2와 같이 게이트웨이의 프로토콜 스택은 양 통신 네트워크 연동을 위해 TR-PHY, TR-MAC, TR-NWK들로 이루어진 지상 통신 네트워크의 프로토콜 스택과 UWA-PHY, UWA-MAC, UWA-NWK들로 구성된 수중음파 통신 네트워크의 프로토콜 스택을 포함하며, TR-NWK와 UWA-NWK의 공통 상위 계층으로서 연동 계층인 ITR-CONN(InTeRCONNecTion Layer)을 갖는다. 게이트웨이의 TR-NWK는 Figure 2에서와 같이 지상 통신 네트워크의 프로토콜을 이용하여 지상 노드와 메시지를 상호 교환하며, UWA-NWK는 수중음파 통신 네트워크의 프로토콜을 이용하여 수중 노드와 메시지를 상호 교환한다. 게이트웨이의 ITR-CONN은 이들 양쪽 통신 네트워크 사이에서 연동을 위한 통신 프로토콜 변환을 수행한다. 이 변환에서 ITR-CONN은 두 통신 네트워크 사이에서 상이한 주소체

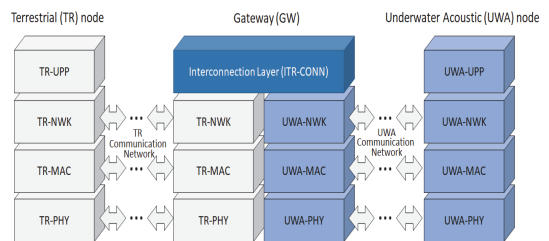


Fig. 2. Protocol stack for interworking between terrestrial network and UWA network

계에 대한 상호연계를 행한다. 두 통신 네트워크 사이의 주소체계 연동 방법과 절차에 대해서는 4절과 5절에서 자세히 다룬다.

4. 주소체계 연동 시나리오와 가상 테이블

이 절에서는 주소체계 연동 방법과 절차의 기반이 되는 연동 장치(게이트웨이)에 요구되는 필수 기능과 연동 시나리오 그리고 가상 주소 테이블 구조와 연산을 소개한다.

4.1 연동 장치의 필수 기능

지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크 사이의 주소체계 연동을 위해 게이트웨이는 갖추어야 할 필수 기능들이 요구되는데, 그 기능들을 제시하면 다음과 같다.

- (1) 게이트웨이는 지상 통신 네트워크에서 일정 범위 내의 네트워크 주소(즉, 가상 지상 주소)들을 생성하고 관리하는 기능을 갖는다. 이 범위 내에서 생성한 네트워크 주소체계는 지상 통신 네트워크에서 사용하는 주소체계와 동일하며 게이트웨이 외에는 이 범위의 주소들을 지상 통신 네트워크 내에서 생성할 수 없다.
- (2) 게이트웨이는, 또한, 수중음파 통신 네트워크에서도 일정 범위 내의 네트워크 주소(즉, 가상 수중 주소)들을 생성하고 관리하는 기능을 갖는다. 이 범위 내에서 생성한 네트워크 주소체계는 수중음파 통신 네트워크에서 사용하는 주소체계와 동일하며 게이트웨이 외에는 이 범위의 주소들을 수중음파 통신 네트워크 내에서 생성할 수 없다.
- (3) 앞의 기능들에 따라 게이트웨이가 생성한 통신 네트워크 주소는 더 이상 필요가 없을 때 회수 가능하며 회수된 주소는 게이트웨이가 재활용한다.
- (4) 게이트웨이는 각 통신 네트워크에서 사용하는 지상 주소와 수중 주소를 최소한 한 개씩 가지며 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크가 처음 연결될 때 이 주소를 이용하여 게이트웨이와 접속한다.
- (5) 게이트웨이의 UWA-NWK는 수중음파 통신 네트워크에서 수중 노드의 UWA-NWK와 동일한 프로토콜을 사용하지만 이 외에도 ITR-CONN이 전달한 근원지 주소, 목적지 주소, 전송 메시지를 인터페이스를 통해 받아서 UWA-NWK 패킷의 근원지 주소, 목적지 주소, 페이로드로 설정할 수 있다. 또한,

게이트웨이의 UWA-NWK는 수중 노드의 UWA-NWK로부터 받은 패킷에서 근원지 주소, 목적지 주소, 페이로드를 게이트웨이의 ITR-CONN으로 전달할 수 있다.

- (6) 게이트웨이의 TR-NWK는 지상 통신 네트워크에서 지상 노드의 TR-NWK와 동일한 프로토콜을 사용하지만 이 이외에도 ITR-CONN이 전달한 근원지 주소, 목적지 주소, 전송 메시지를 인터페이스를 통해 받아서 TR-NWK 패킷의 근원지 주소, 목적지 주소, 페이로드로 설정할 수 있다. 또한, 게이트웨이의 TR-NWK는 지상 노드의 TR-NWK로부터 받은 패킷에서 근원지 주소, 목적지 주소, 페이로드를 게이트웨이의 ITR-CONN으로 전달할 수 있다.
- (7) 게이트웨이가 생성한 가상 지상 주소로의 라우팅은 지상 통신 네트워크 내에서 궁극적으로 게이트웨이로 이루어진다.
- (8) 게이트웨이가 생성한 가상 수중 주소로의 라우팅은 수중음파 통신 네트워크 내에서 궁극적으로 게이트웨이로 이루어진다.

요구 기능 (1)에서 생성되는 가상 지상 주소는 실제 지상 노드와 송신 혹은 수신에 참여하는 (수중음파 통신 네트워크 내의) 수중 노드에 부여되며, 지상 통신 네트워크의 주소체계를 갖는다. 또한, 요구 기능 (2)에서 생성되는 가상 수중 주소도, 역시, 실제 수중 노드와 송신 혹은 수신에 참여하는 (지상 통신 네트워크 내의) 지상 노드에 부여되며, 수중음파 통신 네트워크의 주소 체계를 갖는다. 지상 주소, 이 지상 주소에 대응하는 가상 수중 주소, 수중 주소, 그리고 이 수중 주소에 대응하는 가상 지상 주소는 지상 통신 네트워크와 게이트웨이 사이에서는 지상 통신 네트워크 프로토콜을 사용하고 게이트웨이와 수중음파 통신 네트워크 사이에는 수중음파 통신 네트워크 프로토콜을 사용하면서 두 통신 네트워크 간의 연동을 가능하게 한다.

한편, 요구 기능 (5)와 (6)에서 게이트웨이의 TR-NWK와 ITR-CONN 사이의 인터페이스는 지상 노드의 TR-NWK와 TR-UPP 사이의 데이터 전달을 위한 인터페이스와 다를 수 있으며, 마찬가지로 게이트웨이의 UWA-NWK와 ITR-CONN 사이의 인터페이스도 수중 노드의 UWA-NWK와 UWA-UPP 사이의 인터페이스와 다를 수 있음을 의미한다. 그 이유는 근원지 노드에서 근원지 주소 설정은 NWK의 고유 기능이어서 NWK 외에는 다른 계층

에서 지정할 수 없거나, 혹은, 목적지 노드에서 NWK가 상위 노드로 데이터를 전달하는 인터페이스에는 목적지 주소인 자신의 주소를 포함하지 않을 수도 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 이 논문에서 지상 노드와 게이트웨이, 게이트웨이와 수중 노드 사이에서 동일한 프로토콜 명칭을 사용하는 이유는 인터페이스를 제외하고는 수행하는 기능이 동일해서 서로 데이터를 교환하는 데는 전혀 문제가 없기 때문이다.

하지만, 요구 기능 (5)나 (6)에서 게이트웨이의 ITR-CONN과 TR-NWK 사이, 혹은, ITR-CONN과 UWA-NWK 사이에 앞에서 설명한 인터페이스 문제가 발생하는 경우에는 요구 기능 (5) 혹은 (6)이 만족되도록 게이트웨이의 TR-NWK 혹은 UWA-NWK를 변경하거나 개발해야 한다.

4.2 메시지 송수신 시나리오

Figure 3은 지상 노드로부터 수중 노드로 연결을 시도하고 데이터를 교환한 후 연결을 해제하는 시나리오 두 가지를 보여준다.

Figure 3a는 근원지 노드가 메시지를 목적지 노드로 보내면 그 메시지를 게이트웨이가 받아서 목적지 노드로 전달한 후 목적지 노드로부터 받은 응답 메시지를 다시 근원지 노드로 전달하는 시나리오를 보여준다. 이 시나리오에서 근원지 노드는 게이트웨이를 통해 목적지 노드로부터의 응답이 올 때까지 기다려야 한다.

반면, Figure 3b는 근원지 노드가 메시지를 보내면 게이트웨이가 목적지 노드 대신 응답 메시지를 바로 보내고 게이트웨이는 다시 목적지 노드로 메시지를 보낸 후 응답 메시지를 받는 시나리오를 나타낸다. 이 시나리오에서 근원지 노드의 응답 대기시간은 매우 짧지만 게이트웨이는 목적지 노드와의 연결, 데이터 전송, 연결해제에 대한 오류를 제어해야 한다.

한편, 수중 노드로부터 지상 노드로의 연결, 데이터 교환, 연결 해제 또한 역할만 바뀔 뿐 시나리오는 동일하다.

시나리오 A든 시나리오 B든 메시지 송수신 시나리오의 각 단계에서 행하는 일들은 순서만 다를 뿐 동일하며 이에 대해 설명하면 다음과 같다.

① 연결 요청 메시지 송신과 연결 응답 메시지 수신
지상 노드 또는 수중 노드가 게이트웨이를 통해 각각 수중 노드 또는 지상 노드로 메시지를 송수신하기 위해 연결을 요청하고 연결 응답을 송수신하는 과정이다.

② 데이터 메시지 송수신

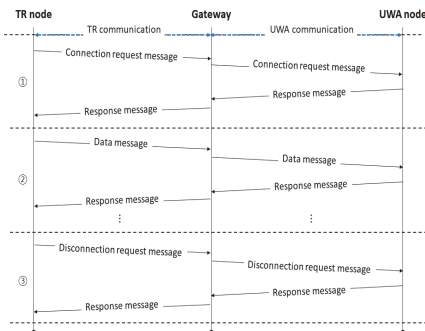
연결이 수립 된 후 지상 노드 또는 수중 노드가 데이터 혹은 제어 메시지를 상호 교환하는 과정이다.

③ 연결 해제 메시지 송신과 연결 해제 응답 메시지 수신

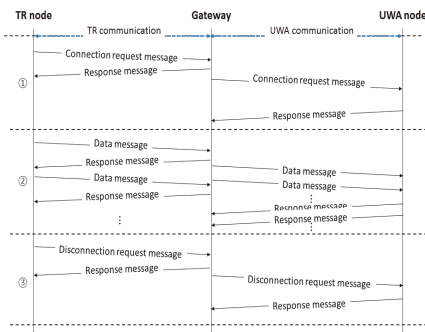
지상 노드와 수중 노드 간의 데이터 송수신을 종료하기 위해 연결 해제 메시지와 응답 메시지를 송수신하는 과정이다.

앞의 각 단계에서 단계 유형별 메시지를 수신한 게이트웨이는 지상 노드 또는 수중 노드로부터 도착한 NWK 메시지의 주소체계를 연동하기 위해 4.3절에서 소개되는 가상 주소 테이블을 이용한다.

수중음파 통신 네트워크에서의 느린 전파 지연과 전송 속도로 인해 응답 시간 지연이 문제가 되는 경우나 혹은 다른 필요에 따라 지상 노드, 게이트웨이, 수중 노드 사이에서의 응답 메시지 전송 절차는 생략할 수 있다.



(a) Scenario A



(b) Scenario B

Fig. 3. Message passing scenarios among a TR network, a gateway, and an UWA network

4.3 가상 주소 테이블 구조와 연산

이 절에서는 두 통신 네트워크 연동 시 상호간의 주소 체계를 변환하기 위해 사용되는 게이트웨이의 가상 주소 테이블 구조와 연산에 대해 소개한다.

4.3.1 가상 주소 테이블 구조

상이한 통신 네트워크의 연동을 위해 게이트웨이가 사용하는 가상 주소 테이블에 필요한 속성(필드)들은 Table 2와 같고 각 속성에 대한 설명은 Table 3과 같다.

Table 2. Main attributes of the virtual address table

TR Address (지상 주소)	UWA Address (수중 주소)	Virtual TR Address (가상 지상 주소)	Virtual UWA Address (가상 수중 주소)	Time to Live (만료 시간)	Other Attributes (기타 속성들)
-----------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------	------------------------------

Table 3. Description of main attributes of the virtual address table

Attributes	Description
TR Address	Real address of TR node.
UWA Address	Real address of UWA node.
Virtual TR Address	The TR network address (TR address) corresponding to the UWA network address (UWA address) of an UWA node, at the time of the interconnection between a TR network and an UWA network. This address is assigned by the gateway and the gateway saves into the virtual address table the virtual address record including this address plus other attribute values in Table.2.
Virtual UWA Address	The UWA network address corresponding to the TR network address of a TR node, at the time of the interconnection between a TR network and an UWA network. This address is assigned by the gateway (i.e., ITR-CONN) and the gateway saves into the virtual address table the virtual address record including this address plus other attribute values in Table.2.
Time to Live	'Time to live' of the virtual address record. This value is newly updated, whenever this value is used through search or update operations, and the virtual address record is discarded by the gateway (i.e. IT-CONN) as soon as the time is elapsed after this time.
Other Attributes	Other attributes besides the above attributes. Specially, they include connection informations between the gateway and the TR communication network and UWA communication network.

4.3.2 가상 주소 테이블 연산

Figure 4는 주소체계 연동을 위해 게이트웨이의 ITR-CONN이 가상주소 테이블을 대상으로 수행하는 연산으로 그 종류와 수행 내용은 다음과 같다.

(1) 레코드 추가(삽입)

게이트웨이는 지상 통신 네트워크 또는 수중음파 통신 네트워크로부터 연결 요청 메시지를 수신할 때 그 메시지의 근원지 주소, 목적지 주소, 그리고 이들에 각각 대응하는 가상 주소들을 생성하고, 만료시간과 기타 속성 값들을 생성한 후, 이들 정보를 담은 가상 주소 레코드를 가상 주소 테이블에 삽입하는 연산이다.

(2) 레코드 검색

두 통신 네트워크 간의 최초 연결 시에는 근원지 주소와 목적지 주소를 가지고 가상 주소 테이블에 존재하는지를 검사하는 연산이며, 존재하지 않을 경우, 가상 주소 레코드 추가 연산이 행해진다. 이미 존재하는 경우에는 적절한 오류 메시지를 근원지 노드로 전달한다. 연결이 확립된 이후의 검색은 게이트웨이가 근원지 네트워크에서 보내 온 패킷의 근원지 주소와 목적지 노드의 가상 주소를 이용하여 각각에 대한 가상 주소와 실제 주소를 찾기 위한 연산이다. 이 연산은 가상 주소 레코드의 갱신이나 삭제 시에도 사용된다.

(3) 레코드 갱신

게이트웨이를 통해 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크 간의 메시지 교환이 이루어 질 때마다 가상 주소 테이블에서 해당 레코드의 만료시간을 갱신하는 연산이다.

(4) 레코드 삭제

연동 되어있는 양 통신 네트워크의 두 노드 중 한 노드가 연결 해제 메시지를 송신하면 게이트웨이는 이 메시지를 목적지 노드로 전달하고 목적지 노드로부터 응답 메시지가 도착하면 그 응답 메시지를 근원지 노드로 전달 한 후 해당하는 가상 주소 레코드를 가상 주소 테이블로부터 삭제함으로써 두 노드간의 연결을 해제하는 연산이다. 또한, 이 연산은 게이트웨이가 가상주소 테이블을 주기적으로 체크하여 만료시간이 지난 레코드들을 삭제할 때에도 수행된다.

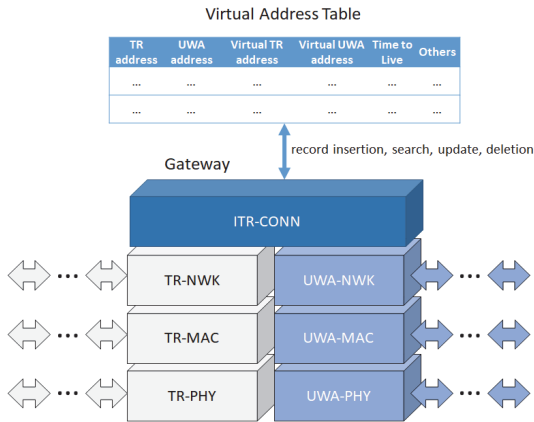


Fig. 4. Virtual address table operations

5. 주소체계 연동 방법과 절차

이 절은 4.3절에서 소개한 가상 주소 테이블 구조와 연산을 이용하여 4.2절의 시나리오 각 단계에서 주소체계를 연동하는 방법과 절차를 지상 노드로부터 수중 노드의 메시지 전송 과정을 중심으로 소개한다. 수중 노드로부터 지상 노드로의 주소체계 연동 방법과 절차는 근원지 노드와 목적지 노드만 바뀔 뿐 소개하는 방법 절차와 동일하므로 설명은 생략한다.

5.1 연동 방법과 절차 설명을 위한 예

주소체계 연동 방법과 절차를 4.2절의 시나리오 A의 단계 별로 예를 들어 설명하고자 한다. 이를 위해 지상 통신 네트워크로부터 수중음파 통신 네트워크로의 연동 과정 단계에 대한 예를 앞으로 그림으로 표현하고 설명하고자 한다. 예를 소개하기 전에 필요한 가정들을 소개하면 다음과 같다.

Table 4. Notations used from Figure 5 to Figure 8

Notation	Description
TR301.01	Address of TR node
U.10	Address of UWA node
T100.00	TR address of gateway
U.00	UWA address of gateway
GW	Gateway
C-Msg	Connection request message
C-Msg0	Payload including C-Msg and UWA address
G-Msg	General message
R-Msg	Response message </td
D-Msg	Disconnection request message
addr	Address

지상 주소는 T301.01과 같이 처음에 T로 시작하고 000~999의 세 자리 수자, 그 다음에는 도트와 두 자리 수자로 이루어지는 체계라 하고 수중 주소는 U.10과 같이 처음에 U로 시작하고 그 다음에는 도트와 두 자리 수자로 구성되는 체계라 하자. 이 때 지상 주소 T301.01을 갖는 지상 노드가 수중 주소 U.10을 갖는 수중 노드로 연결을 요청하는 과정을 예를 통해 단계 별로 보이고자 한다. Figure 5 ~ Figure 8까지 사용하는 기호들이 Table 4에서 제시된다.

5.2 연결 요청에서의 주소 연계

연결 요청 단계에서의 주소 연계 방법과 절차를 단계 별로 소개하면 다음과 같고 그림들에서 예로 소개된다.

단계 1. 지상 노드로부터 게이트웨이로 연결 요청 메시지 전송(지상노드 → 게이트웨이)

지상 노드의 TR-UPP는 UWA-connect 함수를 이용하여 함수 인자로 받은 목적지 주소인 수중 주소(U.10), 게이트웨이의 지상 주소(T100.00), 그리고 연결 요청을 포함하는 연결 요청 메시지(C-Msg)를 TR-NWK로 넘긴다(Figure 5의 ①). 지상 노드의 TR-NWK는 목적지 주소인 수중 주소와 연결 요청 메시지(C-Msg)를 합친 메시지(C-Msg0)를 페이로드로 하고, 자신의 지상주소(T301.01)를 근원지 주소로 하여, 이들과 함께 게이트웨이 지상주소(T100.00)를 헤더에 포함시켜서(Figure 5의 ②) 게이트웨이의 TR-NWK로 라우팅 한다(Figure 5의 ③).

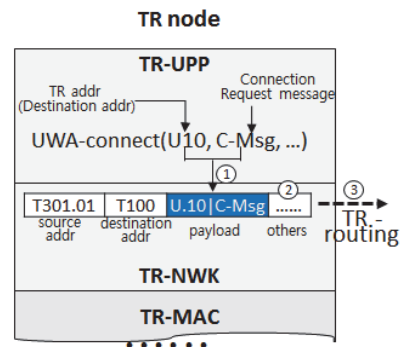


Fig. 5. Stepwise procedure in connection request message transmission phase (Phase 1)

단계 2. 연동 레코드 생성과 가상 주소 테이블에 레코드 등록(게이트웨이)

단계 1에서 NWK 메시지를 수신한 게이트웨이의 TR-NWK는 헤더에 포함된 지상 주소(근원지 주소 T301.01)와 페이로드(C-Msg0)를 ITR-CONN으로 넘긴다(Figure 6의 ①). ITR-CONN은 이 지상 주소(T301.01)(Figure 6의 ②)와 페이로드에 포함된 수중 주소(U.10)(Figure 6의 ③)을 이용하여 지상 주소(T301.01)에 해당하는 가상 수중 주소(U.01)(Figure 6의 ④), 수중 주소(U.10)에 대응하는 가상 지상 주소(T100.01)(Figure 6의 ⑤), 만료시간과 기타 속성 값들을 생성하여(Figure 6의 ⑥) 이들을 포함하는 가상 주소 레코드를 가상 주소 테이블에 등록(추가)한다(Figure 6의 ⑦).

단계 3. 게이트웨이로부터 수중 노드로의 연결 요청 메시지 전송(게이트웨이 → 수중노드)

게이트웨이 ITR-CONN이 단계 2에서 생성한 레코드로부터 지상 주소 T301.01에 대응하는 가상 수중 주소(U.01)(Figure 6의 ⑧)를 근원지 주소(Figure 6의 ⑪)로, 수중 주소(U.10)(Figure 6의 ⑨)를 목적지 주소로 하고(Figure 6의 ⑫), 연결 요청 메시지(C-Msg)(Figure 6의 ⑩)를 게이트웨이의 UWA-NWK로 넘겨서 이 주소들을 헤더에 포함시키고 요청 메시지를 페이로드로 하는(Figure 6의 ⑬) UWA-NWK 메시지(Figure 6의 ⑭)를 게이트웨이의 UWA-NWK로부터 목적지 노드인 수중 노드(U.10)의 UWA-NWK로 라우팅 한다(Figure 6의 ⑮).

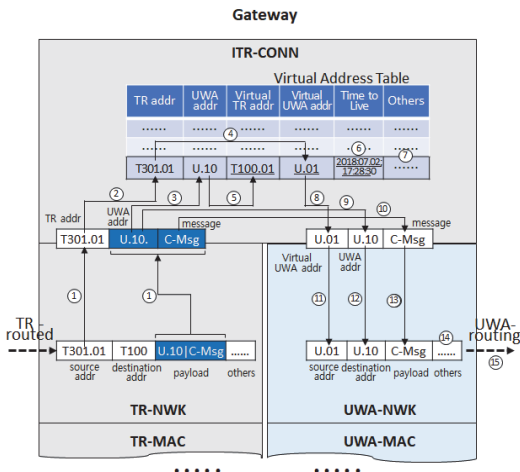


Fig. 6. Stepwise procedure in the phase of a virtual address record generation and insertion to the virtual address table (Phase 2) and in the phase of the connection request message transmission to UWA node (Phase 3)

단계 4. 수중 노드로부터 게이트웨이로 응답 메시지 전송(수중노드 → 게이트웨이)

단계 3에서 게이트웨이 UWA-NWK로부터의 메시지를 수신한 수중 노드의 UWA-NWK는 근원지 주소인 가상 수중 주소(U.01)와 페이로드(C-Msg)를 수중 노드의 UWA-UPP로 보내면(Figure 7의 ①) UWA-UPP는 연결 요청 메시지임을 확인한다(Figure 7의 ②). 이에 대한 응답 메시지(R-Msg)를 보내기 위해 UWA-NWK로부터 전달받은 가상 수중 주소(U.01)를 목적지 주소로 하여 응답 메시지(R-Msg)와 함께 수중 노드의 UWA-NWK로 전달한다(Figure 7의 ③). 수중 노드는 자신의 수중 주소(U.10)를 근원지 주소로 하여 목적지 주소와 함께 헤더에 포함시키고 응답 메시지를 페이로드로 하여 형성한 NWK 메시지 패킷(Figure 7의 ④)을 게이트웨이 UWA-NWK로 라우팅 한다(Figure 7의 ⑤).

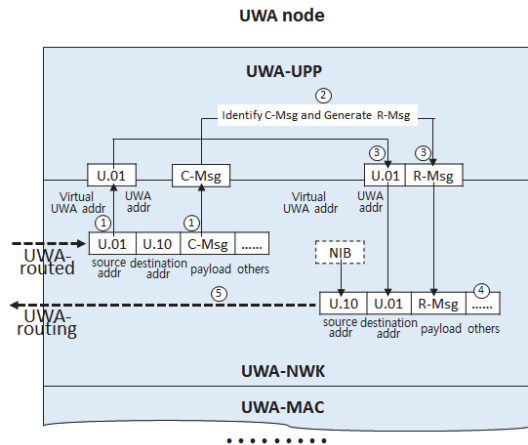


Fig. 7. Stepwise procedure in the phase of the connection request message processing and response message transmission to TR node via the gateway (Phase 4)

단계 5. 게이트웨이에서의 검색과 처리(게이트웨이)

수중 노드(U.10)의 UWA-NWK로부터 메시지를 수신한 게이트웨이의 UWA-NWK는 UWA-NWK 메시지로부터 근원지 주소인 수중 주소(U.10), 목적지 주소인 가상 수중 주소(U.01), 응답 메시지(R-Msg)를 게이트웨이의 ITR-CONN으로 전달한다(Figure 8의 ①). ITR-CONN은 이들 수중 주소(U.10)와 가상 수중 주소(U.01)에 해당하는 레코드를 가상 주소 테이블로부터 검색하여 수중 주소(U.10)에 대응하는(Figure 8의 ②) 가상 지상 주소

(T100.01)를, 가상 수중 주소(U.01)에 대응하는(Figure 8의 ④) 지상 주소(T301.01)를 각각 구하여(Figure 8의 ③과 Figure 8의 ⑤) 응답 메시지(R-Msg)(Figure 8의 ⑥)와 함께 TR-NWK로 전달한다.

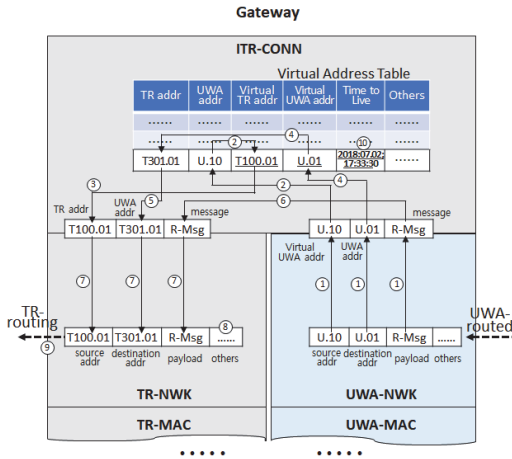


Fig. 8. Stepwise procedure in the phase of the interconnection of two different address schemes by using the virtual address table (Phase 5) and in the phase of the response message transmission to TR node (Phase 6)

단계 6. 게이트웨이로부터 지상 노드로 응답 메시지 전달(게이트웨이 → 지상노드)

게이트웨이 TR-NWK는 단계 5에서 전달받은 주소를 각각 근원지 주소와 목적지 주소로 메시지 헤더에 포함시키고(Figure 8의 ⑦) 응답 메시지를 페이로드로 하는 NWK 메시지 패킷을 형성한다(Figure 8의 ⑧). TR-NWK는 이 메시지를 지상 통신 네트워크를 통해 지상 노드의 TR-NWK로 라우팅 하여(Figure 8의 ⑨), 결국, 이들 주소와 응답 메시지를 지상 노드의 TR-UPP로 전달하고 레코드의 만료시간을 갱신함으로써(Figure 8의 ⑩) 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크간의 연결이 이루어진다.

5.3 메시지 송수신에서의 주소 연계

연결 이후 모든 메시지 송수신은 근원지 주소, 근원지 주소의 가상 주소, 목적지 주소, 목적지 주소의 가상 주소를 사용하면서 이루어진다.

5.2절의 연결 과정 완료 후 목적지 노드의 UPP는 근원지 노드에 대한 가상 주소를, 근원지 노드의 UPP는 목적지 노드에 대한 가상 주소를 각각 받게 된다.

즉, 5.2절의 예에서 목적지 노드인 수중 노드(UWA node)의 UWA-UPP는 단계 4에서 근원지 노드의 가상 수중 주소인 U.01을 받게 되며, 근원지 노드인 지상 노드(TR node)의 TR-UPP는 단계 6 이후에 TR-NWK를 거쳐 목적지 주소의 가상 지상 주소인 T100.01을 받는다.

따라서, 서로 다른 네트워크에서 데이터 송수신에 임하는 두 노드는 게이트웨이를 중심으로 각 노드와 게이트웨이 사이에서는 동종의 통신 네트워크에서 자신과 동일한 주소체계를 갖는 가상 주소를 이용하여 NWK를 통해 라우팅 한다.

이 때, 게이트웨이는 5.2절의 단계 5와 단계 6에서처럼 가상 주소 테이블을 검색하여 그 노드의 실제 주소와 가상 주소를 각각 다른 통신 네트워크에서 사용하는 가상 주소와 실제 주소로 연계함으로써 다른 통신 네트워크에서도 주소체계 연계가 이루어져 라우팅이 가능해진다.

한편, 게이트웨이는 이와 같이 연계를 행할 때마다 만료시간을 갱신함으로써 두 통신 네트워크간의 연계가능 시간을 연장한다.

5.4 연결 해제에서의 주소 연계

연결 해제는 TR-UPP 혹은 UWA-UPP에서 UWA-disconnect 혹은 TR-disconnect 함수를 사용하여 연결 해제를 요청하는 함으로써 시작된다. 지상 노드가 연결해제를 하고자 할 때에는 UWA-disconnect 함수를 사용하고 수중 노드가 연동 해제를 할 경우에는 TR-disconnect 함수를 사용한다.

두 함수는 5.3절의 메시지 송수신과 마찬가지로 근원지 노드의 실제 주소, 목적지 노드에 대한 가상 주소, 연결 해제 요청 메시지를 매개 변수로 사용한다.

이들은 NWK로 전달되어 각각 근원지 주소와 목적지 주소는 헤더에 반영되고 메시지는 페이로드로 패킷화되어 게이트웨이로 전송된다.

이 때, 게이트웨이 ITR-CONN은 이 두 주소를 이용하여 가상 주소 테이블로부터 근원지 주소에 해당하는 가상 주소와 목적지 주소에 해당하는 실제 주소를 찾아 연결 해제 요청 메시지와 함께 NWK로 전달하여 이들을 각각 근원지 주소, 목적지 주소, 페이로드로 하는 패킷을 구성하고 이 패킷을 목적지 노드로 라우팅한다.

연결 해제 요청을 받은 목적지 노드의 UPP부터는 5.2절의 단계 4, 단계 5, 단계 6과 동일한 주소체계 연동 과정을 거쳐 응답 메시지 패킷을 근원지 노드로 전송한다(여기에서, 연결 해제 요청에 대한 응답 메시지의 내용과 구조는 연결 요청 응답 메시지와 다를 수 있다). 패킷 전

송 후 게이트웨이 ITR-CONN은 주소체계 연동 과정에서 찾은 가상 주소 레코드를 가상 주소 테이블로부터 삭제한다.

ITR-CONN에 의한 이 가상 주소 레코드의 삭제 시점은 앞에서 소개한 것처럼 연결 해제 요청 노드로 응답 메시지를 전송한 직후일 수 있지만, 연결 해제 요청 노드로부터 전송된 연결 해제 요청 메시지가 게이트웨이에서 주소체계 연동을 거쳐 목적지 노드로 전송된 직후 일 수도 있다. 가상 주소 레코드를 삭제하자마자 게이트웨이 ITR-CONN은 자신의 응답 메시지를 만들어 연결 해제 요청 노드로 바로 전송할 수도 있다.

연결 해제에 또 다른 경우는 가상 주소 레코드의 만료 시간이 경과할 때이다. 게이트웨이는 주기적으로 만료시간을 넘긴 가상 주소 레코드들을 찾아 삭제함으로써 더 이상 양단간의 통신이 없는 정보를 삭제하고 이 가상 주소 자원을 재활용한다.

6. 메시지 송수신 지연 시간 성능 분석

지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크 사이에서 메시지 송수신 지연 시간은 수중음파 통신에서의 느린 전파 속도(propagation delay) 및 전송율로 인해 게이트웨이와 수중음파 통신 네트워크의 중단 수중 노드 사이에서의 메시지 송수신 지연 시간이 거의 대부분을 차지한다. 이러한 이유로 이 절에서는 본 논문에서 제안한 방법에 대해 게이트웨이와 수중음파 통신 네트워크의 중단 수중 노드 사이에서의 주소체계 연동을 포함한 메시지 송수신 지연 시간 모델을 제시하고 이 모델을 통해 그 지연 시간을 분석한다.

6.1 메시지 송수신 지연 시간 성능 모델

Figure 9는 지상 노드와 수중 노드 사이의 통신 과정을 나타낸다. 특히, 이 그림에서 점선 사각형으로 표시한 영역은 이 통신에서 게이트웨이(GW)와 수중음파 통신 네트워크의 중단 수중 노드(The end UWA node) 사이의 메시지 송수신 과정을 보여준다. 이 영역의 메시지 송수신 과정은 지상 노드와 수중 노드와의 메시지 송수신 과정에서 지상 통신 네트워크에서 이루어지는 통신을 제외한 과정으로서 중단 수중 노드가 근원지 노드이거나 목적지 노드인 모든 경우에 해당하는 과정을 나타낸다. 이 절에서는 논문에서 제안한 방법에 대해 이 과정에서의 메시지 송수신 지연 시간 분석을 위한 수식 모델을 제시하고자 하며 이 모델링을 위해 사용하는 기호들이 Table

5에서 제시된다.

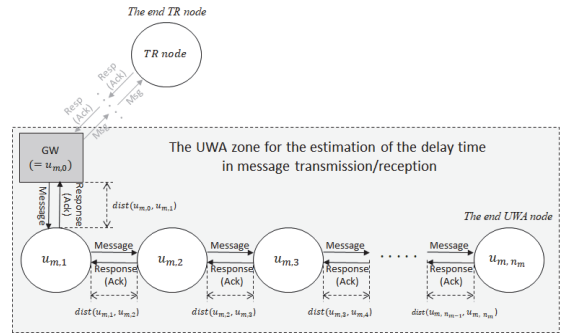


Fig. 9. Message transceiving process in UWA communication area

Table 5. Modeling parameter notations

Notations	Descriptions
m	A request message
n_m	The number of UWA nodes on the routing path between the gateway and the end UWA node of the request message m
GW	The gateway
e_m	The end UWA node with respect to the message m , this is, either the source or destination node of the message m
$u_{m,k}$ ($k = 0, 1, 2, \dots, n_m$)	The k -th UWA node from the gateway on the routing path between the gateway and the end UWA node e_m , where $u_{m,0} = GW$ and $u_{m,n_m} = e_m$ for a message, m
$dist(u_i, u_j)$	The distance between two UWA nodes u_i and u_j , where the distance unit is km
T_{sr}	Either sending or receiving time of the message at the gateway or the UWA node
P_{GW}	The processing time for the interconnection at the gateway
P_u	The processing time for the message transmission (routing) at an UWA node, u

Figure 9와 Table 5의 모델 파라메타 표기법을 중심으로 게이트웨이와 수중음파 통신 네트워크의 중단 수중

노드 사이의 메시지 송수신 지연 시간 모델이 다음의 이 문들을 통해 제시된다.

Lemma 1. 게이트웨이로부터 종단 노드 $e_m = u_{m,n_m}$ 까지의 메시지 m 의 라우팅 지연 시간을 $D_{GW \rightarrow e_m}$ 라 할 때 $D_{GW \rightarrow e_m}$ 는 다음과 같다.

$$D_{GW \rightarrow e_m} = P_{GW} + (n_m - 1)P_u + n_m \cdot T_{sr} + \sum_{i=0}^{n_m-1} \text{dist}(u_{m,i}, u_{m,i+1}) / 1.5 \times 1,000 \quad (1)$$

(증명)

메시지 m 에 대한 라우팅 경로 상 게이트웨이(즉, $u_{m,0}$)에서 종단 수중 노드 $u_{m,1}$ 로의 전송지연 시간은 다음과 같다.

$$P_{GW} + \text{dist}(u_{m,0}, u_{m,1}) / 1.5 \times 1,000 + T_{sr} \quad (2)$$

메시지 m 에 대한 라우팅 경로 상의 각 UWA 노드 $u_{m,i}$ 에서 $u_{m,i+1}$ 의 전송지연 시간 또한 다음과 같다.

$$P_u + \text{dist}(u_{m,i}, u_{m,i+1}) / 1.5 \times 1,000 + T_{sr} \quad (3)$$

따라서, 수식 (2)와 (3)으로부터 다음이 도출된다.

$$\begin{aligned} D_{GW \rightarrow e_m} &= (P_{GW} + \text{dist}(u_{m,0}, u_{m,1}) / 1.5 \times 1,000 + T_{sr}) + \\ &\quad \sum_{i=1}^{n_m-1} (P_u + \text{dist}(u_{m,i}, u_{m,i+1}) / 1.5 \times 1,000 + T_{sr}) \\ &= P_{GW} + \text{dist}(u_{m,0}, u_{m,1}) / 1.5 \times 1,000 + T_{sr} + \\ &\quad (n_m - 1)(P_u + T_{sr}) + \sum_{i=1}^{n_m-1} \text{dist}(u_{m,i}, u_{m,i+1}) / 1.5 \\ &\quad \times 1,000 \\ &= P_{GW} + (n_m - 1)P_u + n_m \cdot T_{sr} + \\ &\quad \sum_{i=0}^{n_m-1} \text{dist}(u_{m,i}, u_{m,i+1}) / 1.5 \times 1,000 \end{aligned}$$

Lemma 2. 종단 노드로부터 게이트웨이까지의 지연 시간을 $D_{e_m \rightarrow GW}$ 라 할 때

$$D_{e_m \rightarrow GW} = D_{GW \rightarrow e_m} \quad (4)$$

(증명)

$$\begin{aligned} D_{e_m \rightarrow GW} &= \sum_{i=n_m}^2 (P_u + \text{dist}(u_{m,i}, u_{m,i-1}) / 1.5 \times 1,000 + T_{sr}) + \\ &\quad (P_{GW} + \text{dist}(u_{m,1}, u_{m,0}) / 1.5 \times 1,000 + T_{sr}) \\ &= P_{GW} + (n_m - 1)P_u + n_m \cdot T_{sr} + \\ &\quad \sum_{i=n_m}^1 \text{dist}(u_{m,i}, u_{m,i-1}) / 1.5 \times 1,000 \\ &= P_{GW} + (n_m - 1)P_u + n_m \cdot T_{sr} + \\ &\quad \sum_{i=1}^{n_m} \text{dist}(u_{m,i}, u_{m,i-1}) / 1.5 \times 1,000 \end{aligned} \quad (5)$$

$\text{dist}(u_m, u_{m-1}) = \text{dist}(u_{m-1}, u_m)$ 이므로

$$\begin{aligned} \text{수식 (5)} &= P_{GW} + (n_m - 1)P_u + n_m \cdot T_{sr} + \\ &\quad \sum_{i=1}^{n_m} \text{dist}(u_{m,i-1}, u_{m,i}) / 1.5 \times 1,000 \\ &= P_{GW} + (n_m - 1)P_u + n_m \cdot T_{sr} + \\ &\quad \sum_{i=0}^{n_m-1} \text{dist}(u_{m,i-1}, u_{m,i}) / 1.5 \times 1,000 \end{aligned}$$

Lemma 1과 Lemma 2로부터 다음 Theorem 1이 성립하며 증명은 쉬우므로 생략한다.

Theorem 1. 게이트웨이와 종단 노드 $e_m = u_{m,n_m}$ 사이의 지연 시간을 $D_{GW \leftrightarrow e_m}$ 이라 할 때

$$\begin{aligned} D_{GW \leftrightarrow e_m} &= 2 \cdot D_{GW \rightarrow e_m} \\ &= 2P_{GW} + 2(n_m - 1)P_u + 2n_m \cdot T_{sr} + \\ &\quad 2 \sum_{i=0}^{n_m-1} \text{dist}(u_{m,i-1}, u_{m,i}) / 1.5 \times 1,000 \end{aligned} \quad (6)$$

Corollary 1. 게이트웨이와 종단 수중 노드 $e_m = u_{m,n_m}$ 사이의 라우팅 경로 상에서 인접 노드간의 평균 거리를 dist_{avg} 라 할 때,

$$\begin{aligned} D_{GW \leftrightarrow e_m} &= 2P_{GW} + 2(n_m - 1)P_u \\ &\quad + 2n_m(T_{sr} + \text{dist}_{avg} / 1.5 \times 1,000) \end{aligned} \quad (7)$$

(증명)

$$\text{dist}_{avg} = \frac{\sum_{i=0}^{n_m-1} \text{dist}(u_{m,i-1}, u_{m,i})}{n_m} \text{이므로 수식 (6)에서}$$

$$\begin{aligned}
 D_{GW \leftrightarrow e_m} &= 2P_{GW} + 2(n_m - 1)P_u + 2n_m \cdot T_{sr} + \\
 &\quad 2 \cdot \sum_{i=0}^{n_m-1} \text{dist}(u_{m,i-1}, u_{m,i}) / 1.5 \times 1,000 \\
 &= 2P_{GW} + 2(n_m - 1)P_u + 2n_m \cdot T_{sr} + \\
 &\quad 2 \cdot \sum_{i=0}^{n_m-1} \text{dist}(u_{m,i-1}, u_{m,i}) \cdot \frac{n_m}{n_m} / 1.5 \times 1,000 \\
 &= 2P_{GW} + 2(n_m - 1)P_u + 2n_m \cdot T_{sr} + \\
 &\quad 2 \cdot \frac{\sum_{i=0}^{n_m-1} \text{dist}(u_{m,i-1}, u_{m,i})}{n_m} \cdot n_m / 1.5 \times 1,000 \\
 &= 2P_{GW} + 2(n_m - 1)P_u + 2n_m \cdot T_{sr} + \\
 &\quad 2 \cdot \text{dist}_{avg} \cdot n_m / 1.5 \times 1,000 \\
 &= 2P_{GW} + 2(n_m - 1)P_u + \\
 &\quad 2n_m (T_{sr} + \text{dist}_{avg} / 1.5 \times 1,000)
 \end{aligned}$$

6.2 지연 시간 성능 분석

수식 (6)과 (7)에서 P_{GW} , P_u , T_{sr} 에 대한 실제 실험 데이터를 얻기 위해 게이트웨이로 Intel(R) Core(TM) i7-2600(3.40GHz) 프로세서, RAM 8GB 기억장치, HDD 저장장치, Windows 10 Education x64 운영체제 사양의 실제 시스템을 사용하고 수중 노드는 MCU로서 Cortex-M3 STM32 보드를 사용하였으며 이를 통해 얻은 결과는 Table 5와 같다. 특히, P_{GW} 는 연결 요청, 데이터 송수신, 연결 해제 요청을 위한 게이트웨이의 주소체계 연동에서 각각 14ms, 14.5ms, 15ms로서 근소한 차이를 보이므로 이들 모두 공통으로 14.5ms로 정했다.

Table 6. Model parameter values estimated from real system environments

Parameters	Values
P_{GW}	14.5ms
P_u	1ms
T_{sr}	6ms

Table 6의 측정 파라메타 값들과 일반적인 수중 음속 1.5km/s를 중심으로 n_m 을 1부터 6까지 $\text{dist}(u_i, u_{i+1})$ ($i = 0, 1, 2, \dots, n_m - 1$)의 평균값(즉, dist_{avg})을 0.5km에서 0.5km 씩 5km까지 변화시켜가며 Theorem 1의 수식 (7)에 적용하여 얻은 결과가 Figure 10의 그래프에서 나타난다. 또한, n_m 과 dist_{avg} 의 km에 따른 상세한 지연 시간에 대한 데이터가 Table 7에서 제시된다.

Figure 10과 Table 7에서 보이듯이 송수신 지연 시간은 평균 dist_{avg} 시간에 비례하며 같은 평균 거리의 경우 라

우팅 경로 상의 노드 수가 많을수록 비례함을 알 수 있다. 사실, 이러한 단순한 비례 관계는 직관적으로도 추측이 가능하다. 하지만, Figure 10과 Table 7은 직관으로는 알기 어려운 구체적이고 상세한 수치 데이터들을 보여주며 향후 수중 통신에 대한 지연 시간 예측에도 활용될 수 있다.

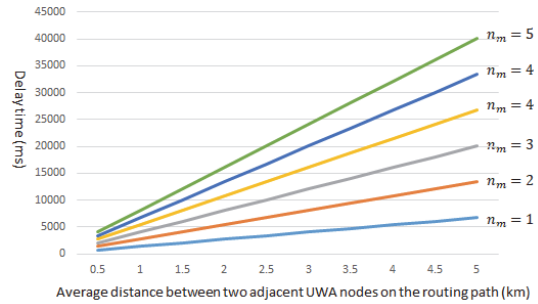


Fig. 10. Delay time (ms) according to n_m and dist_{avg} between the gateway and the end UWA node

Table 7. Detailed delay time (ms) according to n_m and dist_{avg}

$\text{dist}(u_i, u_j)$	1 km	2 km	3 km	4 km	5 km
$n_m = 1$	1362.3	2695.7	4029.0	5362.3	6695.7
$n_m = 2$	2697.7	5364.3	8031.0	10697.7	13364.3
$n_m = 3$	4033.0	8033.0	12033.0	16033.0	20033.0
$n_m = 4$	5368.3	10701.7	16035.0	21368.3	26701.7
$n_m = 5$	6703.7	13370.3	20037.0	26703.7	33370.3
$n_m = 6$	8039.0	16039.0	24039.0	32039.0	40039.0

6.3 IPv6-IPv4 연동 도입 방식과의 성능 비교 분석

지상 통신 네트워크의 연동 방법들 중 이중 스택 방식과 터널링 방식은 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크의 연동에서 도입하기 어렵거나 도입할 수 없는 방법임을 2절에서 이미 언급한 바 있다. 2절에서 소개한 IPv6-IPv4 주소변환 방식은 포함관계를 갖지 않는 상이한 주소체계를 갖는 두 통신 네트워크에서는 도입할 수 없는 방식으로 일반적 방법은 아니다. 하지만, 수중음파 통신 네트워크 주소체계를 처음 개발하고자 할 때 지상 통신 네트워크 주소체계에 포함되도록 설계한다면 연동을 위해 도입 가능한 방법이 될 수 있다. 이 방법에서 지상 통신 네트워크는 수중음파 통신 네트워크에 비해 전파 지연이 훨씬 짧고 전송율이 훨씬 높기 때문에 수중음파 통신 네트워크 주소체계가 지상 통신 네트워크 주소체계에 포함되도록 설계하는 것이 바람직하다. 이 때,

IPv6와 IPv4의 주소체계가 각각 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 주소체계가 다를지라도 IPv6 주소체계가 IPv4 주소체계를 포함하듯이 지상 주소체계가 수중 주소 체계를 포함하도록 하고, IPv6 주소를 지상 주소로 IPv4 주소를 수중 주소에 대응시켜서 IPv6-IPv4의 연동 방법을 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크에 도입한 방법을 TR-UWA 방법이라 하자(여기에서, 'TR'은 지상 통신 네트워크를 'UWA'는 수중음파 통신 네트워크를 의미한다). 여기에서 IPv6-to-IPv4가 IPv6 네트워크로부터 IPv4로의 연동을 의미하고 하듯이 TR-to-UWA는 IPv6-to-IPv4 연동 방법을 도입한 지상 통신 네트워크로부터 수중음파 통신 네트워크로의 연동 방법을 의미하는 것으로 한다. 이와 마찬가지로 IPv4-to-IPv6가 IPv4 네트워크로부터 IPv6로의 연동을 의미하듯이 UWA-to-TR 또한 수중음파 통신 네트워크에서 지상 통신 네트워크로의 연동을 의미하는 것으로 한다.

이 때, 다음의 Theorem 2와 Theorem 3이 성립하며 이에 대한 증명은 부록 A, 부록 B에서 각각 제시된다.

Theorem 2. 연결 중심의 TR-to-UWA 연동에서 게이트웨이와 수중음파 통신 네트워크 종단 노드 사이의 메시지 송수신 지연 시간은 Theorem 1의 수식 (6)과 같다. 즉, 가상 주소 매핑 방법(본 논문에서 제안한 방법)과 동일한 송수신 지연 시간을 갖는다.

Theorem 3. 수중음파 통신 네트워크로부터 지상 통신 네트워크로의 연동에서 연결 중심의 UWA-to-TR 연동은 본 논문에서 제안한 가상 주소 매핑 방법보다 다음의 메시지 송수신 지연 시간이 더 소요된다. 여기에서 P_{NS} 는 지상통신 네트워크에서 네이밍 서버가 주어진 네임에 해당하는 지상 주소를 찾는 데 소요되는 시간이다.

$$2(D_{e_m \rightarrow GW} + D_{GW \rightarrow NS}) + P_{NS} \quad (8)$$

한편, 네임에 의한 주소 획득 이후의 메시지 송수신은 종단 수중 노드 주소를 지상 주소로 확장(이 시간은 매우 빠르므로 무시)하는 것을 제외하고 논문에서 제안한 가상 주소 매핑 방법과 동일하다. 따라서, 다음의 Theorem 4가 성립하며 이에 대한 증명은 생략한다.

Theorem 4. 연결 중심의 UWA-to-TR 연동에서 연결 이후 게이트웨이와 수중음파 통신 네트워크 종단 노드 사이의 메시지 송수신 지연 시간은 가상 주소 매핑 방법

의 메시지 송수신 시간과 같다.

TR-to-UWA 연동에서 Theorem 2는 본 논문에서 제안한 가상 주소 매핑 방법의 메시지 송수신 지연시간이 TR-to-UWA 연동 방법에서의 메시지 송수신 지연 시간과 같음을 보여준다. 즉, 이 Theorem 2는 연결 중심의 연동에서 지상 노드와 수중 노드 사이의 연결과 데이터 메시지 교환을 위한 메시지 송수신 지연 시간은 두 방법이 모두 동일함으로 의미한다.

그러나, UWA-to-TR 연동에서는 수중 노드가 지상 노드로 연결하기 전에 네임을 이용하여 게이트웨이와 지상 통신 네트워크의 네이밍 서버를 통해 그 네임의 지상 주소를 찾고 이 지상 주소에 대응하는 가상 수중 주소를 게이트웨이로부터 받아오는데 걸리는 시간이 더 소요되는데 그 시간이 바로 Theorem 3의 수식 (8)이다. 수식 (8)에서

$$\begin{aligned} & 2(D_{e_m \rightarrow GW} + D_{GW \rightarrow NS}) + P_{NS} \\ &= 2 \cdot D_{e_m \leftrightarrow GW} + 2 \cdot D_{GW \rightarrow NS} + P_{NS} > 2 \cdot D_{e_m \rightarrow GW} = D_{e_m \leftrightarrow GW} \end{aligned}$$

이므로 이 시간은 수중 노드로부터 게이트웨이 사이의 왕복 라우팅 지연 시간보다 더 많은 시간을 소요한다.

UWA-to-TR 연동에서 네임을 통한 지상 주소와 수중 주소 획득과 이를 이용한 연결 이후에는 논문에서 제안한 가상 주소 매핑 방법과 같은 메시지 지연 시간이 소요됨을 Theorem 4를 통해 알 수 있다.

7. 결론

수중 환경과 지상 환경을 연계하여 마치 하나의 환경처럼 통합적으로 모니터링하고 관제하기 위해서는 수중음파 통신 네트워크와 지상 통신 네트워크의 연동이 꼭 이루어져야 하며 이 연동에서 주소 체계 연동은 해결해야 할 핵심 요소 중 하나이다.

하지만, 수중음파 통신 네트워크 환경은 지상 통신 네트워크 환경에 비해 훨씬 열악하다. 수중음파 통신은 긴 전파지연(propagation delay), 낮은 데이터 전송률, 높은 에러율, 시변적 채널 특성 등으로 인해 지상 통신 네트워크보다 매우 긴 통신 시간, 매우 짧은 MTU(Maximum Transmission Unit) 길이, 높은 패킷 손실, 높은 에너지 소모를 수반한다(Akyil et al., 2005; Park et al., 2010). 이로 인해 두 통신 네트워크의 연동은 불필요한 데이터를 제거하여 꼭 필요한 내용의 짧은 길이 패킷을 갖도록 하고 수중음파 통신 네트워크 내에서 불필요한 통신을

제거하여 통신 횟수를 줄이도록 하는 기술을 필요로 한다(Kim and Kim, 2016; TTA.KO-06.0453, 2017).

이를 따라 본 논문에서는 지상 통신 네트워크와 수중 음파 통신 네트워크에서 서로 다른 주소체계를 갖는 두 종단 노드간의 연결을 초기화할 때 한 종단 노드의 NWK 상위 계층에서 다른 종단 노드의 주소를 포함하는 데이터를 한번만 게이트웨이로 전송하면 게이트웨이가 각 종단 노드 주소에 대응하는 상대 쪽 주소체계의 가상 주소를 매칭함으로써 연동이 이루어지는 방법을 제안했다.

본 논문에서 제안한 방법은 메시지를 보낼 때마다 다른 주소체계로 인해 자신의 NWK 패킷에 목적지 주소를 반영하지 못하고 매 번 응용데이터에 포함하여 보냄으로써 야기되는 불필요한 데이터 전송을 피할 수 있도록 한다. 또한, 다른 주소체계를 갖는 목적지 주소에 대해 자신의 통신 네트워크 주소체계에 대응하는 주소를 얻거나 혹은 상대편 통신 네트워크에서의 라우팅을 위해 근원지 주소를 상대편 통신 네트워크 주소체계로 대응하는 작업에서 수반되는 불필요한 통신 횟수도 줄일 수 있다.

본 논문에서 다른 주소체계 연동은 지상 통신 네트워크와 수중음파 통신 네트워크의 연동에서 고려해야 할 여러 연동 요소들 중 하나에 불과하다. 두 통신 네트워크에서 사실 상의 연동은 이들 간의 매우 다른 특성 차이를 고려할 때 결코 쉬운 일이 아니다. 이에 따라, 향후 연구로서 두 통신 네트워크의 특성 차이로 인해 문제를 야기시키는 연동 요소들의 식별과 이들에 대한 일반적 해결 방법에 대한 연구들을 진행하고자 한다.

References

- Akyil, I.F., D. Pompili and T. Melodia (2005) "Underwater acoustic sensor networks: research challenges", *Ad Hoc Networks*, 3(3), 257-279.
- Hagino, J. and K. Yamamoto (2001) "An IPv6-to-IPv4 Transport Relay Translator", *RFC 3142*, 1-11.
- Jo, Y., H. Shin, H. Nam, S. Ahn and S. An (2010), "The architecture of surface gateway for underwater acoustic sensor networks", *2010 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, Hong Kong, China, 307-310.
- Kim, P.J. and C.H. Kim (2016) "Requirements for the interoperability between the terrestrial network and the underwater sensor network", *Proceedings of the 2016 Autumn Conference and Regular General Meeting of the Korea Society for Simulation*, Seoul, Korea, 335-355.
- (김판준, 김창화 (2016) "지상 및 수중 센서네트워크 연동을 위한 고려사항", 한국시물레이션학회 2016년도 추계학술대회 및 정기총회, 서울, 한국, 335-355).
- Kim P.S. (2017) "Analysis and comparison of tunneling based IPv6 transition mechanisms", *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(6), 894-897.
- Lee, J.H., J.W. Park, J.Y. Park, S.J. Seo and Y.K. Lim (2015) "Development of a gateway system between underwater and land network and real-sea performance test", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 40(6), 1200-1207.
- (이정희, 박종원, 박진영, 서수진, 임용곤 (2015) "수중-육상 네트워크 연계용 게이트웨이 부이시스템 개발 및 실 해역 성능 검증", 한국통신학회논문지, 40(6), 1200-1207).
- Lee, K.H., S. Lee, H.W. Lee and Y.H. Han (2011), "A next-generation mobility management scheme for an IPv4/IPv6 dual-stack terminal", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 36(10), 1182-1191.
- (이정희, 이성근, 이현우, 한연희 (2011) "듀얼스택 단말을 지원하는 차세대 이동성 지원 기술 연구", 한국통신학회논문지, 36(10), 1182-1191).
- Na, K., H. Nam and S. AN (2011) "The architecture of surface gateway and its base station for underwater wireless sensor network", *2011 IFIP 9th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, Melbourne, VIC, Australia, 442-445.
- Nakajima, M. and N. Kobayashi (2004) "IPv4/IPv6 translation technology", *Fujitsu Science & Technical Journal*, 40(1), 159-169.
- Nordmark, E. (2000) "Stateless IP/ICMP Translation algorithm (SIIT)", *RFC 2765*, 1-26.
- Park, S.J, S.H. Park, S.K. Kim and C.H. Kim (2010) "Underwater communication and marine sensor network technologies", *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 28(7), 79-88.
- (박성준, 박수현, 김상경, 김창화 (2010) "수중통신과 해양센서네트워크 기술", 정보과학회지, 28(7), 79-88).

Seong, C.J. and C.H. Kim (2016) “State transition model-based design of wireless gateway types to connect between a sub-network of things and mobile internet and their performance evaluations”, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 25(3), 1-14.
 (성철제, 김창화 (2016) “사물 서버 망과 모바일 인터넷을 연계하는 무선 게이트웨이 타입들의 상태전이 모델 기반 설계와 성능 평가”, *한국시뮬레이션학회 논문지*, 25(3), 1-14).

Sha, F., X. Chen, R. Ye, M. Wu, Z. Zhang and W. Cai (2017) “A communication method between IPv4 server and IPv6 network in virtual machine environment”, *2017 IEEE/ACIS 16th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, Wuhan, China, 885-888.

Shanmugaraja, P., S. Vasanthi, D. Balamurugan and S. Chandrasekar (2013) “Design and implementation of transport relay translator and its security mitigations”, *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 5(4), 3439-3442.

Shin, D.H. and C.H. Kim (2016) “Sensor Network System for Littoral Sea Cage Culture Monitoring”, *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, 5(9), 247-260.
 (신동현, 김창화 (2016) “연근해 가두리 양식장 모니터링을 위한 센서네트워크 시스템”, *정보처리학회 논문지/컴퓨터 및 통신 시스템*, 5(9), 247-260).

Soliman, H. (2009) “Mobile IPv6 Support for Dual Stack Hosts and Routers”, *RFC 5555*, 1-41. Steffann, S, I.V. Beijnum, R.V. Rein (2013) “A comparison of IPv6-over-IPv4 tunnel mechanisms”, *RFC 7059*, 1-41.

Tsirtsis, G. and P. Srisuresh (2000) “Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)”, *RFC 2766*, 1-21.

TTAK.KO-06.0453 (2017) *Requirements for Interconnection between Terrestrial RF-based Communication Network and Underwater Communication Network*, TTA Standard, Telecommunication Technology Association.

Yu, S. and E.E. Carpenter (2012) “Measuring IPv4-IPv6 translation techniques”, *Technical Report 2012-01*, Dept. of Computer Science, The University of Auckland.

〈부록 A〉 Theorem 2에 대한 증명

TR-to-UWA 연동 방식은 지상 통신 네트워크 주소체가 수중음파 통신 네트워크 주소체계를 포함하고 지상 노드(근원지 노드)가 수중 노드(목적지 노드)로 처음 메시지 전송을 시도할 때 다음과 같이 IPv6-to-IPv4 연동과 같은 방식을 따를 수 있다.

단계 1. 아래의 근원지 주소, 목적지 주소, 요청 메시지를 포함하는 패킷을 지상 통신 네트워크를 통해 게이트웨이로 라우팅한다.

- 근원지 주소 : 메시지를 송신하는 지상 노드의 지상 주소
- 목적지 주소 : 목적지 노드인 수중 노드의 주소를 확장한 지상 주소
- 페이로드 : 요청 메시지

단계 2. 게이트웨이는 수신한 패킷에서 근원지 주소가 지상 주소로서 수중음파 통신 네트워크 주소 체계에 맞지 않으므로 근원지 지상 주소에 대응하는 수중 가상 주소를 생성하여 근원지 지상 주소와 함께 저장한다.

단계 3. 게이트웨이는 수중음파 통신 네트워크 체계에 맞게 다음의 근원지 주소, 목적지 주소, 페이로드를 포함하는 수중음파 통신 네트워크 패킷으로 변환하여 목적지 노드인 수중 노드로 라우팅한다.

- 근원지 주소 : 단계 2에서 생성한 수중 가상 주소
- 목적지 주소 : 단계 2에서 수신한 패킷의 목적지 지상 주소로부터 추출한 수중 주소
- 페이로드 : 단계 2에서 수신한 패킷의 페이로드(요청 메시지)

단계 4. 수신한 패킷에 대해 수중 노드는 다음과 같이 근원지 주소, 목적지 주소, 응답 메시지를 포함하는 패킷을 게이트웨이로 라우팅한다.

- 근원지 주소 : 수신한 패킷에서의 목적지 주소(수중 주소)
- 목적지 주소 : 수신한 패킷에서의 근원지 주소(가

상 수중 주소)

- 페이로드 : 응답 메시지

단계 5. 게이트웨이는 단계 4에서 수신한 패킷으로부터 다음의 근원지 주소, 목적지 주소, 페이로드를 포함하는 패킷으로 변환하여 지상 통신 네트워크를 통해 지상 노드로 라우팅 한다.

- 근원지 주소 : 수신한 패킷의 근원지 주소(수중 주소)를 확장한 지상 주소
- 목적지 주소 : 수신한 패킷의 목적지 주소(가상 수중 주소)를 가지고 단계 2에서 저장한 대응하는 지상 주소
- 페이로드 : 수신한 패킷의 페이로드(즉, 응답 메시지)

위 단계에서 게이트웨이와 종단 수중 노드 사이에서 메시지 송수신 지연 시간에 관여하는 단계들은 단계 2, 단계 3, 단계 4로서 Lemma 1과 Lemma 2에 의해 다음 식이 도출된다.

메시지 송수신 지연 시간

= (단계 2와 단계 3) 게이트웨이가 수중 노드로의 라우팅 지연 시간 + (단계 4) 수중 노드가 게이트웨이로의 라우팅 지연 시간

$$= D_{GW \rightarrow e_m} + D_{e_m \rightarrow GW} = D_{GW \rightarrow e_m}$$

따라서, 이 결과는 Theorem 1의 수식 (6)과 같다. ■

〈부록 B〉 Theorem 3에 대한 증명

IPv4-to-IPv6 연동 방식을 UWA-to-TR 연동(즉, 수중 음파 통신 네트워크로부터 지상 통신 네트워크로의 연동)으로 대응시킬 때 근원지 노드인 수중 노드와 게이트웨이 사이에 다음과 같은 작업이 차례로 수행된다.

단계 1. 근원지 노드인 수중 노드는 목적지 노드인 지상 노드의 네임을 게이트웨이로 전송(라우팅) 하여 네임에 해당하는 지상 노드의 가상 수중 주소를 요청한다.

단계 2. 게이트웨이는 목적지 노드의 네임을 지상 통신 네트워크의 네이밍 서버로 보내서 이 네임에 해당하는 지상 노드의 주소를 받는다.

단계 3. 게이트웨이는 단계 2로부터 받은 지상 노드 주소에 대응하는 가상 수중 주소를 생성하고 이 대응 정보를 저장한 후 이 가상 수중 주소를 근원지 노드인 수중 노드로 전송한다.

단계 4. 근원지 노드인 수중 노드는 단계 3에서 받은 가상 수중 주소를 목적지 주소로 사용하여 전송 메시지를 게이트웨이로 보낸다.

단계 5. 게이트웨이는 단계 3에서 저장한 정보로부터 이 메시지에 포함된 목적지 주소인 가상 수중 주소에 대응하는 지상 주소를 목적지 주소로 하고, 근원지 주소인 수중 주소체계를 포함하여 변환한 지상 주소를 근원지 주소로 하여 목적지 노드인 지상 노드로 메시지를 전송한다.

단계 6. 단계 5 이후의 연결 및 데이터 메시지 송수신은 본 논문에서 제안한 가상주소 매핑 방법에서 연결 및 데이터 메시지 송수신 절차와 동일하다.

UWA-to-TR 연동에서 두 통신 네트워크의 처음 연결을 위해 앞의 단계 1, 단계 2, 단계 3 작업이 제안한 가상 주소 매핑 방법에 비해 별도로 소요된다. 따라서, $D_{GW \rightarrow NS}$, P_{NS} , $D_{NS \rightarrow GW}$ 를 각각 단계 2에서 게이트웨이로부터 지상 네이밍 서버로의 네임 라우팅 시간, 단계 2에서 네이밍 서버에서 지상 주소 검색 처리 시간, 단계 2에서 네임에 대응하는 지상 주소를 게이트웨이로의 라우팅 시간이라 할 때 추가적인 지연 시간은 다음과 같다.

추가 지연 시간

= (단계 1) 수중 노드로부터 게이트웨이로 네임 라우팅 시간

+ (단계 2) 게이트웨이로부터 지상 네이밍 서버로의 네임 라우팅 시간

+ (단계 2) 네이밍 서버에서 지상 주소 검색 처리 시간

+ (단계 2) 네임에 대응하는 지상 주소를 게이트웨이로의 라우팅 시간

+ (단계 3) 지상 주소에 대응하는 가상 수중 주소 생성 및 처리 시간

+ (단계 3) 가상 수중 주소를 수중 노드로의 라우팅 시간

$$= (D_{e_m \rightarrow GW} - P_{GW}) + D_{GW \rightarrow NS} + P_{NS} + D_{NS \rightarrow GW} + P_{GW} + D_{GW \rightarrow e_m} \quad (9)$$

$$D_{e_m \rightarrow GW} = D_{GW \rightarrow e_m} \text{ 이고 } D_{GW \rightarrow NS} = D_{NS \rightarrow GW} \text{ 이므로,}$$

$$\text{수식 (9)} = 2(D_{e_m \rightarrow GW} + D_{GW \rightarrow NS}) + P_{NW}$$

■



김 창 화 (kch@gwnu.ac.kr)

- 1985 고려대학교 수학교육과 이학사
- 1987 고려대학교 전산학전공 이학석사
- 1990 고려대학교 전산학전공 이학박사
- 1994~ 1995 University of Toronto, Enterprise Integration Lab., Post-Doc. & Visiting Professor
- 2002~ 2004 미국 Texas A&M 대학, Dept. of Computer Science&Engineering, Visiting Scholar
- 2005~ 현재 강릉원주대학교 해양센서네트워크시스템기술연구센터 소장
- 1989~ 현재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : Underwater Communication Network, IoT/IoUT, Distributed System, Smart System