

SANETconf: 선박 애드혹 네트워크를 위한 IP 할당 프로토콜

윤창호*

SANETconf: an IP configuration protocol for a shipborne ad-hoc network (SANET)

Changho Yun*

*Senior research scientist, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), 32, Yuseong-daero 1312 beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon, 34103 Korea

요 약

해상 초단파 대역 데이터 링크의 과부하를 경감시키고, 디지털 데이터 교환에 사용하기 위해 추가적으로 주파수가 할당되었다. 이어서 이 주파수 대역에 적용할 수 있는 선박용 애드혹 네트워크 기술 (shipborne ad-hoc network; SANET)이 제안되었다. SANET은 고가의 위성 통신을 대신하여 해상에서도 선박국에 다양한 IP 기반의 데이터 서비스를 제공하기 위해 개발되었다. SANET에서는 육상 국으로의 IP 연결성 (connectivity)을 제공하기 위해, 선박국이 자신의 IP 주소를 할당받는 것이 우선적이다. 본 논문에서는 선박국들이 스스로 자신의 IP 주소를 할당할 수 있는 SANET configuration (SANETconf) 프로토콜을 제안한다. SANETconf는 중복되지 않는 다수의 IP 주소들을 육상국에서 선박국들에 이어지는 트리 형태로 네트워크 전반에 전파한다. 선박국은 IP 주소를 할당할 수 있는 자신의 이웃과 간단한 요청(Request) 및 응답(Response) 메시지 교환을 통해 자신의 IP 주소를 할당한다. 따라서 SANETconf는 IP 충돌 방지 (Duplicate Address Detection) 과정과 선박국의 이동에 의해 발생하는 네트워크의 분리나 통합에 따른 처리 과정을 완전히 배제할 수 있다. 이 프로토콜의 SANET의 적용가능성을 검증하기 위해 다양한 모의시험을 수행하였다. 모의시험 결과, SANETconf를 이용하여 네트워크의 85퍼센트의 선박국들이 한 프레임 (1분) 내에 자신의 IP 주소를 결정할 수 있음을 확인하였다. 또한, 선박국들은 자신의 IP 주소를 할당하는데 네트워크 리소스의 0.024 퍼센트만 사용하여 SANETconf가 네트워크 리소스의 효율성이 높음이 확인되었다.

ABSTRACT

Additional frequencies are allocated in maritime digital data exchange to alleviate overload of the VHF data link. The shipborne ad-hoc network (SANET) for this frequencies was subsequently proposed, which provides various IP-based services to ships on behalf of satellite communications. In SANET, a ship should determine its own IP address to achieve IP connectivity to the shore. Accordingly, this paper proposes a SANET configuration (SANETconf) protocol as an IP configuration protocol. SANETconf propagates non-overlapping IP addresses across the network from the shore to ships. A ship obtains its IP address by exchanging Request and Response messages with its neighbors. Therefore, SANETconf eliminates the process of DAD and managing the movement of ships. Extensive simulations were performed to verify the applicability of SANETconf. Based on results, 85% of the ships can determine their own IP address within one frame. Also, SANETconf has a high resource efficiency by using 0.024 percent of resources for IP configuration.

키워드 : 애드혹, IP 자동 할당, 해상, 초단파대역 데이터 교환

Key word : Ad-hoc, IP configuration, Maritime, VDE

Received 17 December 2018, Revised 31 December 2018, Accepted 20 January 2019

* Corresponding Author Changho Yun (E-mail:sgn0178@kriso.re.kr, Tel:+82-42-866-3834)

Senior research scientist, KRISO, 32, Yuseong-daero 1312 beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon, 34103 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.2.179>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

오늘날 선박은 위치식별 및 충돌 방지를 위해 의무적으로 자동식별 장치 (Automatic Identification System; AIS)를 탑재한다 [1]. 그러나 AIS가 운용되는 해상 초단파 대역 데이터 링크 (VHF Data Link; VDL)는 다양한 해상 어플리케이션의 등장으로 인해 링크 과부하가 발생하는 실정이다 [2]. VDL의 과부하 문제를 해결하고 초단파 대역에서 디지털 데이터 교환 (VHF data exchange; VDE)을 목적으로, 2012년 세계 전파회의에서 1.2 MHz 대역의 주파수가 새로이 할당되었다 [3]. 이어서, 국제 전기통신 연합에서는 VDE에 사용할 장비의 기술적 특성을 권고하였다 [4-6].

일반적으로 수십 킬로미터인 초단파 대역 통신의 제한된 전송거리로 인해, 선박국은 자신의 전송거리를 벗어난 선박국 또는 육상 국에게 메시지나 데이터를 교환할 수 없다 [7]. 따라서 VDE는 주로 육상 국 대 선박국, 선박국 대 육상 국, 선박국 대 선박국 등 완전히 연결된 두 노드들 사이의 점 대 점 (point-to-point) 통신에만 적용된다. 대신, 한 선박국이 자신의 전송거리 밖의 목적지로 데이터를 보내려면 AIS 중계기를 사용하여 데이터를 플러딩 (flooding) 한다 [8]. 일반적으로, 플러딩은 네트워크 전반의 메시지 오버헤드를 증가시켜, 상당한 네트워크 리소스 (예를 들어, 프레임 당 슬롯)의 소비를 초래한다. 해상에서 전송거리를 증가시킬 수 있는 또 다른 접근 방법은 초단파 통신이 아닌 전송의 고신뢰성과 광범위한 전송 거리를 보장하는 상업용 위성을 통해 데이터를 중계하는 것이다 [9]. 그러나 위성 통신은 높은 설치비용과 사용료로 인한 고비용을 초래할 수 있다. 예를 들어, C밴드 위성 통신의 일반적인 설치 및 월 사용료는 각각 11,000과 3,000 달러이다 [10].

이러한 상황에서, VDE 기술을 적용하여 저비용으로 좀 더 먼 곳으로 데이터 교환을 할 수 있도록 선박용 애드혹 네트워크 (SANET)라는 해상 네트워크 기술이 제안되었다 [11-14]. SANET은 지상 이동 애드혹 네트워크 (Mobile Ad-hoc Network; MANET)를 기반으로 애드혹 통신을 이용하여 한 스테이션 (선박국 또는 육상국)이 자신의 전송거리 밖에 있는 스테이션까지의 데이터를 전송하여 도달거리를 증가시킬 수 있다. 특히, 인터넷 기반의 백본 네트워크 에지(edge)인 육상국과 직접적으로 연결할 수 없는 선박국은 SANET을 통해 위성

통신을 대체하여 저비용으로 다양한 IP 기반 데이터 서비스를 이용할 수도 있다 [9].

선박국들은 채널 접속, IP 할당, 육상국과의 경로 설정의 세 가지 절차를 통해 SANET에 접속할 수 있다. 네트워크 기술 측면에서, 지금까지 채널 접속과 경로 설정을 위해 각각 시간 분할 다중 접속기반의 매체접속제어 프로토콜들 [9,15]과 AODV (ad-hoc on-demand distance vector) 기반의 라우팅 프로토콜 [16]이 설계되었다. 그리고 2016년 개발된 프로토콜의 기능들은 2016년 실험 시험을 통해 각각 검증되었다 [17].

SANET의 IP 주소 할당과 관련하여, 육상국은 백본 네트워크의 에지로서 자신의 서브 넷을 구성할 수 있다. 반면에 선박국은 자신의 현재 위치와 상관없이 고정된 IP 주소를 할당받기는 어려운 실정이다. 이는 선박국들은 해로를 따라 항해하며 SANET을 통한 데이터 통신을 위해서는 가장 가까운 육상 국으로 접속해야하기 때문이다. 따라서 선박국은 MANET과 같이 IP 주소를 할당해줄 수 있는 자신의 이웃들에게 IP 주소를 요청하여 자신의 IP 주소를 결정하는 것이 더 적합하다. 본 논문에서는 선박국들이 스스로 중복되지 않는 IP 주소를 할당하는 프로토콜 설계하는데 중점을 둔다.

MANET에는 크게 상태 저장 (stateful)과 상태 비저장 (stateless)의 두 종류의 프로토콜 유형이 있다. 이 두 프로토콜 유형에서 네트워크 노드들이 자신의 IP 주소를 결정하는 방법은 유사하다. 노드들의 IP 주소 결정 방법을 설명을 위해, IP 주소를 할당해줄 수 있는 노드를 initiator라 정의한다. 두 프로토콜 유형에서 만약 한 노드가 네트워크 진입 단계에서 initiator를 발견하지 못하면, 그 노드는 스스로 자신의 IP 주소를 할당하고 initiator가 된다. 반대의 경우, 자신으로부터 가장 가까운 initiator에게 IP 주소를 할당받는다. 이 두 프로토콜 유형의 차이점은 할당된 IP 주소의 중복성 회피 방법에 있다.

상태 저장 프로토콜 유형에서는 IP 주소의 중복성 회피를 위해 노드들은 IP 주소 테이블을 이용한다. IP 주소를 결정한 노드는 다른 노드들로부터 수신한 IP 주소 테이블을 이용하여 IP 중복성을 검토한다. 만약 IP 주소의 충돌이 없으면, 자신의 IP 주소가 업데이트된 IP 주소 테이블을 방송한다. 또한, IP 주소 테이블을 수신할 때마다 이를 업데이트하여 주기적으로 방송한다. 예를 들어 [18]에서는, 노드들이 IP 주소 테이블의 주기적 전송에 따른 메시지 오버 헤드를 줄이기 위해 콤팩트 필터 (즉,

블룸 필터 및 시퀀스 필터)를 사용하여 IP 주소 테이블을 브로드 캐스트하고 IP 주소 충돌을 검사한다. [19]에서는, initiator가 하나의 IP가 아닌 다수의 IP 주소들로 구성된 IP 주소 블록을 스스로 결정하고, 주기적으로 IP 주소 테이블을 방송한다. 방송된 IP 주소 테이블을 수신한 노드는 그 initiator가 가진 IP 주소의 절반을 요청한다. 그런 다음 그 노드는 할당받은 IP 주소 블록 중 자신의 IP 주소를 결정하고, 자신의 IP 주소 테이블을 생성하여 방송한다.

상태 비저장 프로토콜 유형에서, 노드는 IP 주소를 사용하기 전에 IP 주소 중복성 검사 (Duplicate Address Detection; DAD) 프로세스를 통해 IP 주소의 중복성을 검사를 한다. DAD에서는 한 노드가 자신의 IP 중복을 확인하기 위해 네트워크 전체에 IP 주소 중복성 질의 메시지를 방송한다. 방송된 메시지를 수신한 노드들 중 IP 주소의 중복을 발견하면 해당 노드에게 응답 메시지를 방송한다. [20]에서 제안한 프로토콜의 경우, 한 노드는 자신이 initiator가 아니더라도 자신의 임시 IP 주소를 결정하고, IP 주소의 중복성을 체크하기 위해 중복성 질의 메시지를 플러딩 하여 DAD를 수행한다. 만약, 노드가 어떠한 응답 메시지를 수신하지 않으면, 임시 IP 주소를 자신의 IP 주소로 확정한다. 만약 중복이 발견되면, IP 주소의 충돌이 발생하지 않을 때까지 DAD를 수행한다. [21]에서는 노드가 가장 가까운 initiator에게 IP 주소를 요청하고, 그 initiator가 DAD를 수행한다. 즉, initiator는 요청한 노드를 위해 임시 IP 주소를 먼저 결정하고, 네트워크의 다른 initiator들에게 의뢰하여 IP 주소의 중복을 검사한다.

모든 노드들이 완전히 서로 연결되어 (fully-connected) 서로 송신한 메시지를 수신할 수 있으면, 이 두 프로토콜 유형을 그대로 사용해도 IP 주소 충돌 현상을 완벽하게 배제할 수 있다. 그러나 SANET과 같이 멀티 홉 네트워크의 경우, 두 프로토콜 유형은 노드의 이동성으로 인한 네트워크 분할 및 병합뿐만 아니라 hidden-terminal 문제로 인해 IP 주소 충돌이 발생할 수 있다. 이러한 IP 주소 충돌로 인해 IP 주소를 재설정하고, IP 주소 변경으로 인한 경로를 재설정하는 데에 상당한 네트워크 리소스를 낭비할 수 있다. 이러한 상황들은 기존의 IP 할당 프로토콜 유형이 SANET에 그대로 적용하기 어려움을 여실히 보여준다.

따라서 멀티 홉 통신을 하는 SANET의 특성을 반영

하고, [19]에서와 같이 다수의 IP 주소를 블록 단위로 할당하는 개념을 고려한 SANET configuration (SANETconf) 프로토콜이 새로이 소개되었다 [22]. 그림 1에서 보듯이, 선박국들은 해안으로 가까워질수록 밀집되어 있고, 멀어질수록 퍼져있는 분포를 가진다. SANETconf는 SANET의 이러한 특성을 이용하여 해안의 육상 국으로부터 해상의 선박국들로 중복되지 않는 IP 주소들을 전파한다.

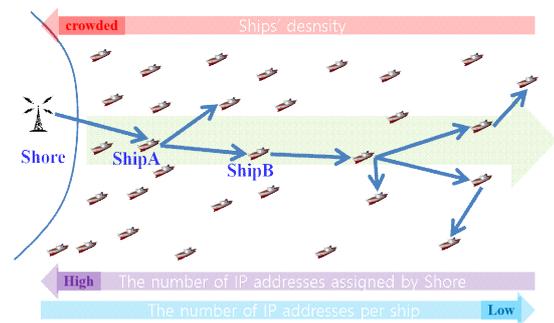


Fig. 1 The concept of the SANETconf.

보다 구체적인 설명을 위해, 그림 1의 육상국과 직접 연결이 가능한 선박국 A와 육상국과 직접 연결이 불가능한 선박국 B를 고려하자. 두 선박국은 서로 통신이 가능한 이웃 들이다. SANETconf는 IP 주소를 할당받아야 하는 스테이션과 IP 주소를 할당할 수 있는 스테이션 사이에서 선 요청-후 할당 플로우로 구성된다. 선박국 A가 육상 국에게 IP 주소를 요청한 후, 육상 국으로부터 IP 주소 블록을 받으면, 선박국 A는 자신이 할당받은 IP 주소 블록의 일부를 이웃인 선박국 B에 제공 할 수 있다. 선박국 A와 마찬가지로 선박국 B는 자신의 모든 IP 주소가 소진될 때까지 선박국 A로부터 할당받은 IP 주소 들을 자신의 이웃들에게 할당한다. 이러한 방식으로 SANET의 대부분의 선박국들은 트리 토폴로지와 같은 IP 주소 분배를 통해 충돌 없이 IP 주소를 점진적으로 결정할 수 있다. 또한, SANETconf는 IP 충돌이나 선박국의 이동성으로 인한 네트워크 병합 및 분할 관리로 인해 빈번한 IP 주소가 변경을 방지 할 수 있다. 따라서 새로운 IP 주소를 결정하기 위한 메시지 오버 헤드가 현저하게 감소 할 것으로 예상된다.

그러나 [22]는 SANETconf의 기본 개념을 전달하는 데에만 국한되어 있다. SANETconf를 실제 해상에서

적용하기 위해서는, 보다 구체적인 프로토콜의 설계가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같이 SANETconf를 실제 해상에서 적용할 수 있도록 구체적으로 제안한다.

- SANETconf 메시지 구조 및 헤더 정의
- 스테이션 (선박국 또는 육상국) 유형과 역할 (요청자 (requester) 또는 공급자 (provider))에 따른 SANETconf 절차. 여기서 요청자는 IP 주소를 요청하는 스테이션을 말하며, 공급자는 IP 주소를 요청자에게 할당하는 스테이션을 의미한다.
- 요청자와 공급자를 결정하는 우선순위 방식. 요청자를 결정하는 우선순위 방식은 공급자가 다수의 요청자로부터 IP 주소 할당을 요청받을 때 적용한다. 공급자를 결정하는 우선순위 방식은 한 요청자가 다수의 공급자 후보들 중 가장 적합한 공급자를 선택할 때 적용한다.
- SANET의 특성을 기반으로 IP 주소 블록의 크기를 결정하는 방법

또한, SANETconf가 SANET에 그대로 적용할 수 있는지를 다양한 네트워크 조건을 고려한 모의시험을 통해 검증한다. 이를 위해, 모의시험 결과를 이용하여 SANETconf의 IP 주소 할당 비율, IP 주소 할당 시간, 네트워크 리소스의 효율성을 각각 분석한다.

본 논문은 아래와 같이 구성된다. 2장에서는 SANET의 특성을 설명한다. 3장에서는 SANETconf 메시지, 절차 및 우선순위 규칙을 포함하는 SANETconf 프로토콜에 대해 설명한다. 4장에서는 모의시험을 통해 SANETconf의 성능을 분석하여 이 프로토콜의 적용 가능성을 확인한다. 마지막으로, 5장에서 이 논문의 결론을 맺는다.

II. SANET

직격 선박에만 설치할 수 있는 AIS와 달리 해상의 모든 선박들은 사용량, 톤수 및 위치와 상관없이 SANET의 노드가 될 수 있다 [15,23]. 그림 2와 같이, SANET은 하나의 육상국과 수백 척의 선박국들로 구성되어 있다. SANET의 토폴로지는 선박국들의 위치와 항해 방향에 대한 불확실성 때문에 그 토폴로지 역시 랜덤하다 [15]. 실제로 선박국들의 밀집도는 그림 1과 같이 해안에 가

까워질수록 밀집하고, 멀어질수록 분산된다.

육상국은 VDL의 엔드 스테이션이자 지상 IP 백본 네트워크의 에지다. 따라서 육상국은 선박국으로부터 수신하는 상향 메시지 (예를 들어, 요청, 응답 또는 데이터)를 백본 네트워크로 중계하고, 또한 백본 네트워크에서 수신한 하향 메시지를 선박국으로 전송한다. 선박국은 VDL의 엔드 스테이션 또는 중계 스테이션이 될 수 있다. 엔드 스테이션으로서 선박국은 육상국에 경로를 설정한 후 다양한 VDE 서비스를 사용할 수 있다. 이미 육상국과 연결된 중계 스테이션으로써, 선박국은 이웃 선박국들로부터 수신한 데이터 및 메시지를 육상국으로 전달한다.

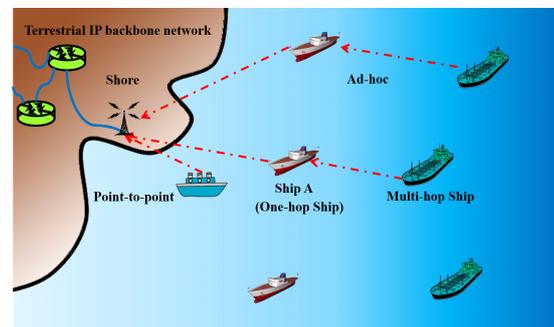


Fig. 2 SANET architecture [14].

선박국의 전송거리는 선박 마스트 (mast)의 길이에 의해 결정된다. 예를 들어, 마스트의 길이가 5 미터 미만인 경우 전송 거리는 20 ~ 30 킬로미터가 되며, 마스트의 길이가 12 ~ 30 미터인 경우 전송거리는 55 ~ 120 킬로미터이다 [24]. 그림 2와 같이, 육상국의 가시선 (Line-Of-Sight; LOS) 내에 존재하여 중계 스테이션이 없이 육상국으로 직접 연결이 가능한 선박국을 원 홉 (one-hop) 선박국으로 정의한다. 또한, 육상국의 LOS 밖에 존재하여 애드혹 통신을 통해 간접적으로 연결해야 하는 선박국을 멀티 홉 (multi-hop) 선박국이라 정의한다.

선박국이 SANET에 접속하는 절차는 다음과 같이 간략하게 설명된다 [11,15].

1. 선박국은 우선적으로 채널 상태와 이웃 선박국들의 존재 여부를 확인한다. 이를 위해, GPS 정보를 이용하여 프레임과 슬롯의 동기를 맞추고, 1 분간 수신 모드를 유지한다.

2. 1분 후, 선박국은 슬롯 상태를 반영한 채널 상태 테이블을 작성한다.
3. 선박국이 이웃 선박국을 찾을 수 있는 경우, self-organizing 기반의 매체접속제어 프로토콜을 사용하여 자신의 슬롯을 할당 한다 [8].
4. 슬롯을 할당 한 후, 선박국은 주어진 IP 할당 프로토콜을 이용하여 자신의 IP 주소를 결정한다.
5. 선박국이 IP 주소를 결정하면, AODV와 같은 라우팅 프로토콜을 이용하여 육상 국으로 경로를 설정한다.
6. 육상국은 경로를 설정한 선박국에게 백본 네트워크로부터 제공되는 다양한 IP 기반 서비스를 제공한다.
7. 선박국이 육상 국에 직접적 또는 간접적으로 연결될 수 없으면 위성 통신과 같은 또 다른 해상 통신을 찾아야 한다.

- 공급자 후보 (provider candidate): 요청자가 잠재적인 공급자로 선택할 수 있는 이웃 스테이션.

육상국은 공급자의 역할만 하는 반면, 선박국은 IP 주소 보유 상태에 따라 요청자 또는 공급자가 될 수 있다. 따라서 SANETconf의 절차는 선박국이 요청자일 때의 절차, 육상국이 공급자일 때의 절차, 선박국이 공급자일 때의 절차 등 세 가지의 절차들로 구분하여 차례로 설명한다. 또한, 이 절차들을 설명하기 위해 표 1과 같이 SANETconf에 사용되는 주요 파라미터들을 정의하였다.

3.1. SANETconf 메시지

SANETconf에는 비콘 (Beacon), IP 주소 요청 (Address REQuest; AREQ) 및 IP 주소 요청 응답 (Address REsPonse; AREP)을 포함하여 세 가지 메시지가 사용된다. 논문에서는 세 메시지를 간단하게 Beacon, AREQ, AREP로 각각 명명한다. 이 메시지들은 데이터 링크 계층에서 생성되고 처리되며, MAC 프레임의 페이로드에 포함되어 처리된다. 이는 매체접속제어 프로토콜과 상관없이 호환적으로 사용하기 위함이다.

첫째, Beacon은 공급자의 현재 IP 주소 보유 상태를 다른 스테이션들에게 알리기 위해 공급자가 주기적으로 방송하는 메시지이다. Beacon은 다음과 같이 네 개의 헤더들로 구성된다.

- 공급자의 위치. 이 헤더는 선박국이 Beacon을 전송하는 공급자에게 도달 가능성을 체크할 때 사용된다. 이를 확인하기 위해, 선박국은 자신의 현재 위치를 사용하여 공급자로부터 거리를 계산한다. 공급자와의 거리가 자신의 전송 거리보다 작으면, 선박국은 해당 스테이션을 공급자 후보로 포함시킨다.
- 육상국의 서브넷 정보. 이 헤더는 IP 백본 네트워크에 접속할 때 사용된다. 이 정보는 육상 국으로부터 생성되어 네트워크 전체에서 공급자들에 의해 전파된다.
- IP 주소 만료 시간 (T_{IP}). 이 헤더는 공급자가 소유한 할당 가능한 IP 주소의 남은 수명을 요청자에게 제공한다. 이 헤더의 값은 육상국이 원 흡 선박국에게 IP 주소를 할당할 때 처음 결정된다.
- 할당 가능한 IP 주소의 수 (n_{IABp}). 이 헤더는 공급자가 할당 가능한 IP 주소의 수를 요청자에게 알려준다.

Table. 1 SANETconf parameters description.

Parameters	Description
r	The index of a requester
p	The index of a provider
n_{IABr}	The size of an IAB allocated to a requester
n_{try}	The number of trials to obtain IP addresses
n_{pro}	The number of provider candidates
n_{IABp}	The number of allocable IP addresses owned by a provider
N_{AREQ}	The number of requesters
T_{IP}	The IP expiration time
T_{AREP}	The waiting time for an AREP

III. SANETconf

이 장에서는 SANETconf에 사용되는 메시지들을 정의하고, 육상 국 및 선박국의 IP 주소 할당에 관련된 절차들을 상세히 기술한다. SANETconf를 설명하기 위해 자주 사용되는 용어를 아래와 같이 정의한다.

- 요청자 (requester): IP 주소를 제공해줄 수 있는 이웃 스테이션 중 하나에 IP 주소를 요청하는 스테이션.
- 공급자 (provider): 추가적인 IP 주소들을 보유하여, 요청자에게 IP 주소를 제공해줄 수 있는 스테이션.

여기서 'IP 주소 만료 시간' 및 '할당 가능한 IP 주소의 수' 헤더들은 선박국이 공급자인 경우에만 사용되며, 육상국이 Beacon을 전송할 때에는 이 두 헤더의 값을 'NULL'로 유지한다.

둘째, AREQ는 요청자가 자신의 공급자 후보 중 하나를 공급자로 선정하여 IP 주소 요청을 위해 보내는 메시지이다. AREQ는 다음과 같은 세 개의 헤더들로 구성된다.

- 공급자 후보의 수 (n_{pro}). 이 헤더는 요청자가 AREQ를 수신한 공급자에게 자신에게 IP 주소를 할당해 줄 수 있는 공급자 후보의 수를 알려준다.
- 요청자의 수 (N_{AREQ}). 이 헤더는 공급자에게 해당 요청자에게 IP 주소 할당을 요청한 요청자들의 수를 알려준다. 이 헤더는 선박국 공급자가 주위의 요청자들에게 IP 주소를 모두 할당해주어 재할당을 하거나, 자신이 가진 IP 주소가 만료되어 재 할당될 때 적용이 된다.
- IP 주소 할당 시도 횟수 (n_{try}). 이 헤더는 요청자가 IP 주소를 할당 받기 전까지 IP 주소를 할당받기 위해 전송한 AREQ 수를 의미한다.

AREQ에서 공급자 후보의 수와 IP 주소 할당 시도 횟수 헤더들은 공급자가 다수의 요청자들로부터 AREQ를 수신한 후 보유한 IP 주소의 부족으로 모두에게 IP 주소를 할당할 수 없을 때, IP 주소를 할당받을 요청자를 선택하는 기준으로 사용된다. 따라서 요청자는 네트워크를 나가기 전까지 이상의 두 헤더의 파라미터들을 지속적으로 업데이트 한다.

셋째, AREP는 공급자가 IP 주소 할당의 결과로 요청자에게 보내는 응답 메시지이다. AREP는 공급자의 위치, 육상국의 서브넷 정보, IP 주소 만료 시간, 할당 가능한 IP 주소의 수, IP 주소 할당 정보를 포함한 다섯 개의 헤더들로 구성된다. IP 주소 할당 정보를 제외한 AREP의 헤더들은 Beacon의 헤더들과 동일하다. 이렇게 네 개의 헤더들을 Beacon 뿐만 아니라 AREP에도 중복 사용하는 이유는 가용한 공급자의 정보를 네트워크 전반에 자주 전파시키기 위함이다. 즉, Beacon과 마찬가지로 AREP는 요청자가 여러 공급자 후보 중 공급자를 결정할 때에 참고 메시지로 사용될 수 있다. IP 주소 할당 정보는 아래와 같이 네 개의 필드로 구성된다.

- 요청자의 MAC 주소
- IP 주소 할당 결과 ('ACK' 또는 'NACK')

- IP 주소 블록의 크기
- 시작 IP 주소

할당 결과가 'ACK'이면 요청자는 시작 IP 주소에서 IP 주소 블록의 크기만큼 IP 주소를 할당한다. 할당 결과가 'NACK'인 경우 IP 주소 블록의 크기와 시작 IP 주소 필드의 값은 'NULL'로 지정된다.

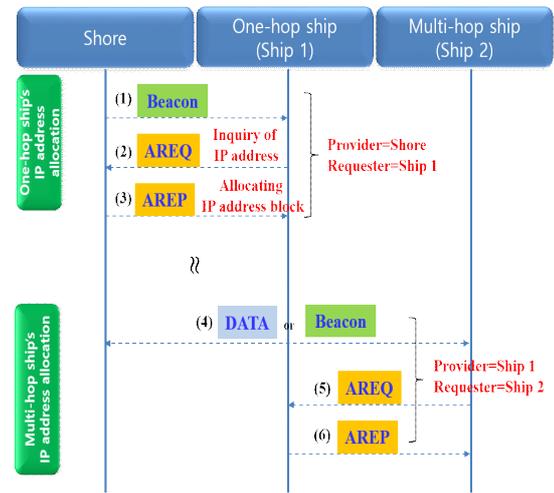


Fig. 3 The procedures of the SANETconf.

3.2. 선박국이 요청자일 때의 절차

선박국은 SANETconf 메시지 (즉, Beacon 또는 AREP) 또는 비 SANETconf 메시지 (즉, 데이터 또는 라우팅 메시지)를 수신함으로써 이웃 스테이션들 중에서 공급자 후보를 찾을 수 있다. SANET에서 스테이션은 IP 주소를 할당받은 이후에야 경로 설정 또는 데이터 전송을 위해 비 SANETconf 메시지를 전송할 수 있으므로, 요청자는 비 SANETconf 메시지를 보내는 스테이션도 공급자 후보로 간주한다. 선박국은 공급자 후보를 발견할 때마다 지속적으로 공급자 후보 테이블을 업데이트하며, 네트워크를 종료하기 전까지 이 업데이트를 지속한다.

그림 3의 (1)에 도시한 것과 같이, 선박국이 원 홈 선박국이면, 다음과 같은 작업을 수행한다,

1. 선박국은 다른 공급자 후보의 존재에 상관없이 육상국을 공급자로 결정한다.
2. 선박국은 AREQ를 육상국으로 보내고 그림 3의 (2)와 같이 육상국으로부터 AREP 수신을 위해 대기한다.

3. 선박국이 육상 국으로부터 AREP를 수신하면, 시작 IP 주소를 자신의 IP 주소로 결정한다.
4. 자신의 IP 주소를 결정한 후, 선박국은 공급자가 되어 주기적으로 Beacon을 방송한다.

멀티 홉 선박국의 경우, 그림 3의 (4)와 같이 SANETconf 메시지 또는 비 SANETconf 메시지를 수신하여 공급자를 결정한다. 멀티 홉 선박국이 다수의 공급자 후보자가 있는 경우, 아래의 공급자를 결정하는 우선 순위 방식에 의거하여 적절한 공급자를 결정한다.

- 공급자 후보들 중 SANETconf 메시지를 보낸 공급자 후보가 비 SANETconf를 전송한 공급자 후보보다 우선한다. 이는 비 SANETconf 메시지에는 IP 주소 할당에 관련된 정보가 없기 때문이다.
- 만약, SANETconf 메시지를 보내는 공급자 후보가 두 개 이상인 경우, Beacon (또는 AREP)의 세 개의 헤더들 (즉, n_{IABp} , T_{IP} , 공급자의 위치)을 공급자를 선택하는 첫 조건으로 사용된다.
- 가능한 더 많은 IP 주소를 얻기 위해, n_{IABp} 가 가장 큰 공급자 후보가 우선적으로 공급자로 선택된다.
- 만약, 가장 큰 n_{IABp} 를 가지는 공급자 후보가 두 개 이상이면, T_{IP} 가 가장 긴 공급자 후보를 공급자로 선택한다.
- 만약, 가장 큰 n_{IABp} 와 가장 긴 T_{IP} 를 동시에 만족하는 공급자 후보가 두 개 이상이면, 요청자로부터 최단 거리를 지원하는 공급자 후보를 전력 효율성을 향상시키기 위해 공급자로 결정한다.
- 만약, 가장 큰 n_{IABp} , 가장 긴 T_{IP} , 요청자와 최단 거리를 동시에 만족하는 공급자 후보가 두 개 이상이면, 그 중에서 무작위로 공급자를 결정한다.
- 비 SANETconf 메시지를 보낸 공급자 후보만 존재하면, 그 중에서 무작위로 공급자를 선택한다.

공급자를 결정한 후, AREQ를 생성하여 공급자에게 전송하고, 그림 3의 (5)와 같이 AREP를 기다린다. IP 주소 할당 결과가 'ACK'인 AREP를 수신한 선박국은 자신의 IP 주소 (그림 3의 (6))를 결정하고, 스스로 공급자가 되어 주기적으로 Beacon을 방송한다. 반면, IP 주소 할당 결과가 'NACK'인 AREP를 수신하거나, 공급자로부터 AREP 수신 대기 시간 (T_{AREP}) 동안 AREP를 수신 못한 경우, 선박국은 IP 주소 할당을 실패한 것이다. 이

경우, 선박국은 해당 공급자를 공급자 후보 테이블에서 제외시킴으로써 공급자 후보 테이블을 갱신하고, IP 주소 할당 시도 횟수 (n_{try}) 값을 1만큼 증가시킨다. 그런 다음, 선박국은 우선순위 방식을 고려하여 공급자를 다시 결정하고, AREQ를 새로운 공급자에게 전송한다.

3.3. 육상 국이 공급자일 때의 절차

육상국은 공급자로서 두 가지 작업을 수행한다. 첫째, 육상국은 주기적으로 Beacon을 방송하여 그림 3의 (1)과 같이 선박국들에게 자신의 위치와 서브넷 정보를 알려준다.

둘째, 원 홉 선박국에게 IP 주소 할당 요청이 들어오면, 그들에게 IP 주소 블록을 할당한다. 원 홉 선박국으로부터 AREQ를 수신하면, 요청자의 수 (N_{AREQ}) 헤더 값을 고려하여 요청자의 IP 주소 블록의 크기를 결정한다. 선박국이 처음으로 육상 국에게 IP 주소를 요청하는 경우에는 해당 선박국에게 IP 주소를 요청하는 이웃들이 없다 (즉, $N_{AREQ} = 0$). 이 경우 원 홉 선박국은 요청자의 수 헤더 값을 '0'으로 지정한다. 이 원 홉 선박국이 공급자가 되어 이웃 선박국들에게 IP 주소를 공유하게 되면 요청자의 수 헤더 값은 '0'보다 크게 된다. 만약, 이 선박국이 할당한 IP 주소가 만료되거나, 자신이 가진 IP 주소를 모두 소진한 경우에는 육상 국에게 IP 주소를 재요청해야한다. 이때, 육상국은 원 홉 선박국의 요청자의 수 헤더 값에 비례하도록 IP 주소 블록의 크기를 설정해준다. 따라서 원 홉 선박국의 IP 주소 블록의 크기는 $n_{IABr} = \omega \times (N_{AREQ} + 1)$ 로 표현된다. 여기서 ω 는 IP 주소 할당 계수이며, 네트워크 환경에 따라 결정된다.

n_{IABr} 의 값을 결정한 후, IP 할당 테이블을 참고하여 시작 IP 주소를 정한 후, IP 주소 할당 정보를 완성한다. 그런 다음 육상국은 그림 3의 (3)과 같이 AREP를 요청자 (즉, 해당 원 홉 선박국)에게 전송한다. 또한, 육상국은 할당된 IP 주소 블록을 'Used'로 표시하여 IP 할당 테이블을 업데이트한다. 할당된 IP 주소의 사용이 만료되면 육상국은 IP 할당 테이블을 'Free'로 표시하여 IP 할당 테이블을 업데이트한다.

3.4. 선박국이 공급자일 때의 절차

육상국과 같이 선박국도 공급자로서 주기적으로 Beacon을 방송한다. 또한, 일정 시간동안 대기하여 다

수의 요청자들로부터 수신한 IP 할당 요청을 주기적으로 처리한다. 이를 위해, 주어진 매체접속제어의 결과를 통해 전송이 가능한 슬롯시간까지 대기하고 그 동안 수신한 AREQ는 큐에 저장한다. IP 주소를 할당할 때, 선박국은 큐를 확인하여 수신한 AREQ의 수 (N_{AREQ})를 계산한다. 육상국과 비교하여, 선박국은 요청자들에게 항상 IP 주소를 할당해줄 수 없다. 즉, 보유한 IP 주소들에 비해 요청이 많으면 ($n_{IABp} < N_{AREQ}$), 일부의 요청들에게만 IP 주소를 할당할 수 있게 된다. 따라서 선박국이 공급자일 때의 IP 주소 할당 규칙은 다음과 같이 육상국의 IP 주소 할당 규칙과 차이가 있다.

- 보유 IP 주소들의 수가 요청자의 수보다 많거나 같을 경우 ($n_{IABp} \geq N_{AREQ}$), $\left\lfloor \frac{n_{IABp}}{N_{AREQ}+1} \right\rfloor$ 만큼의 IP 주소를 모든 요청자들에게 할당한다. 예를 들어, $N_{AREQ} = 1$ 인 경우 요청자는 공급자가 보유한 IP 주소들의 절반을 얻을 수 있다.
- 보유 IP 주소들의 수가 요청자의 수보다 적을 경우 ($n_{IABp} < N_{AREQ}$), 요청자 중 일부만 하나의 IP 주소를 얻을 수 있다. 다수의 요청자들 중, IP 주소를 할당해줄 요청자를 선택하는 기준은 그들이 전송한 AREQ 메시지의 공급자 후보의 수 (n_{pro})와 IP 주소 할당 시도 횟수 (n_{try}) 헤더들이다.
- n_{pro} 의 값이 가장 작은 순서대로 n_{IABp} 의 요청자들이 선택된다.
- n_{pro} 의 값이 동등인 요청자들이 발생한 경우 n_{try} 의 값이 가장 큰 요청자를 선택한다.
- n_{pro}, n_{try} 가 동등인 요청자들이 발생한 경우 이들 중 무작위로 선택한다.

해당 요청자들과 n_{IABp} 의 값을 결정한 후에는 육상국과 동일한 방법으로 IP 주소 할당 정보를 완성한다. 그 다음 요청자들에게 각각 AREP를 전송하고, IP 할당 테이블을 업데이트 한다. 보유한 IP 주소들을 모두 소진하였거나, IP 주소가 만료되었으면 3.2장의 IP 주소를 다시 요청하는 절차를 수행한다.

IV. 모의시험

이 장에서는 모의시험을 이용한 SANETconf 성능 분석을 통해 SANET의 적용 가능성을 알아본다. 이를 위해 우선적으로 다음과 같이 성능 파라미터를 정의한다.

- IP 주소 할당 비율. 이 성능 파라미터는 모든 선박국의 수 대비 IP 주소를 할당한 선박국의 수의 비율이다. 이 파라미터를 통해 SANETconf를 적용하여 육상국으로부터 네트워크 전체에 IP 주소가 얼마나 널리 전파되는지를 확인할 수 있다.
- IP 주소 할당 시간. 이 성능 파라미터는 요청자가 공급자로부터 IP 주소를 할당받는데 소요되는 시간을 의미한다.
- 메시지 오버헤드. 이 성능 파라미터는 선박국이 모의 시험 동안 IP 주소를 할당하기 위해 사용한 SANETconf 메시지의 수이다. SANETconf 메시지는 한 슬롯에 하나씩 전송되므로 메시지 슬롯 동안 SANETconf 메시지가 전송되므로 메시지 오버헤드는 SANETconf를 실행하기 위해 선박국에서 사용하는 슬롯 수와 같다. 따라서 전체 모의시험 시간 (전체 슬롯의 수) 대비 메시지 오버헤드 값의 비율로 네트워크 리소스 효율성을 도출할 수 있다.

또한, 이 장에서는 모의시험의 조건과 방법을 설명하고, 모의시험의 결과를 정의된 성능 파라미터들의 측면에서 분석한다.

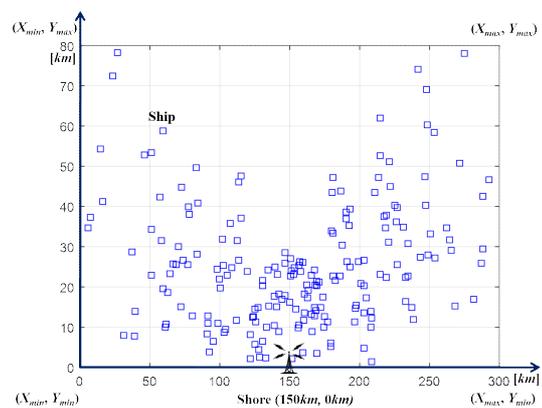


Fig. 4 The SANET topology for simulations.

4.1. 모의시험 조건

첫째, 모의시험에서 사용되는 SANET 토폴로지, 선박국의 이동성, 전송 거리는 다음과 같이 주어진다.

- SANET은 그림 4와 같이 하나의 육상국과 N 개의 선박국들로 구성된다. 여기서 N 은 네트워크 선박국들의 수로서 모의시험 변수이다. N 의 값은 $N=50 : 50 : 200$ 로 주어진다.
- 스테이션의 위치는 X-Y 좌표계로 표현된다. 육상국의 위치는 (150, 0) 킬로미터로 고정이며, 선박국의 초기 위치는 (300×90) 킬로미터의 지역에 무작위로 분포한다. 선박국들은 육상 국에 가까울수록 밀도가 높게 존재한다.
- 선박국의 이동 속도는 [8]에서와 같이 14~23 노트(knot)의 범위에서 무작위로 설정되며, 1 노트는 초당 약 0.514 미터이다 [25]. 선박국의 X와 Y 좌표는 속도에 따라 증가 또는 감소한다.
- 육상국의 전송 거리는 50 해리이며, 선박국은 10~50 해리의 범위 내에서 랜덤하게 설정된다. 여기서 1 해리는 대략 1.852 킬로미터이다 [24, 26].

둘째, 모의시험에서 사용된 프로토콜들은 다음과 같이 주어진다.

- SANET의 채널 접속은 TDMA를 기반으로 하기 때문에, 육상국과 선박국은 2,250 개의 슬롯으로 구성된 1분 길이의 프레임틀을 기반으로 메시지를 송수신한다.
- 육상국은 주기적으로 프레임 당 200 개의 고정 슬롯을 할당한다. 선박은 [15]에서 제안된 매체접속제어 프로토콜을 적용하여 기본적으로 프레임 당 10 개의 슬롯을 할당한다. 만약 메시지를 중계해주어야 할 이웃들이 있는 경우 그 이웃들의 수에 비례하여 추가적으로 슬롯을 할당 한다 [15].
- 라우팅 프로토콜로서 [27]의 AODV가 사용된다. AODV 파라미터의 값은 표 2에 주어진 바와 같이 SANET 환경에 맞도록 수정 적용되었다. 특히, 경로 설정 유지 시간인 My_Route_Timeout의 값은 12 프레임으로 설정되었다. 이 값은 가장 빠르게 등속도로 (23 노트) 서로 반대 방향으로 이동하는 두 스테이션의 거리가 최소 전송거리의 절반 (즉, 0.5*10 해리) 보다 작아야 되는 조건을 반영하여 설정하였다.

- SANETconf에서 IP 주소 만료 시간 (T_{IP})은 모의시험 변수이며, 그 값은 $T_{IP} = 50 : 50 : 200$ 프레임으로 주어진다. T_{IP} 는 IP 주소가 변경에 따른 잦은 재라우팅을 피하기 위해 My_Route_Timeout보다 크게 설정한다. AREP 수신 대기 시간 (T_{AREP})은 1 프레임이다. IP 주소 할당 계수 ω 도 모의시험 변수이고, 그 값은 $\omega = 10 : 10 : 50$ 으로 주어진다.
- 모의시험에서 최대 $2^{16} - 1$ 개의 IP 주소를 수용하는 IPv4 클래스B가 사용된다.
- 선박국은 육상 국으로 경로를 설정한 후, 프레임 당 목적지가 육상국인 5 개의 데이터를 생성한다.
- 모든 스테이션의 큐의 길이는 3,000 (즉, 3,000개의 메시지 버퍼링)로 고정되어 있으며, 큐잉 규칙은 FIFO [15]이다.
- 각 모의시험 시간은 200 프레임이다. 각각의 조건 (즉, N, T_{IP}, ω 세트)에서, 성능 파라미터의 평균을 얻기 위해 100회의 모의시험이 실행된다.

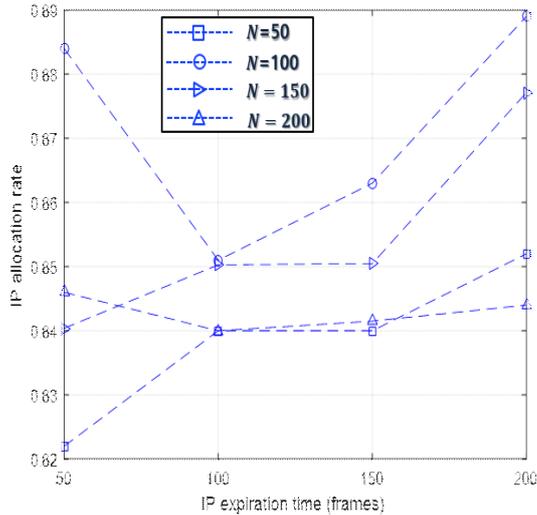
Table. 2 AODV parameters values.

Parameters	Values
Node_Traversal_Time	0.2 frame
Active_Route_Timeout	6 frames
My_Route_Timeout	12 frames
NET_Diameter	5
NET_Traversal_Time	2 frames
Next_Hop_Wait	2 frames
Path_Discovery_Time	4 frames
RERR_RateLimit	10
RREQ_RateLimit	10
Delete_Period	30 frames
Gratuitious_RREP_Flag	1 (use)
Destination_Only_Flag	0 (no use)
ACK_Required_Flag	0 (no use)
Wait_Time	2 frames

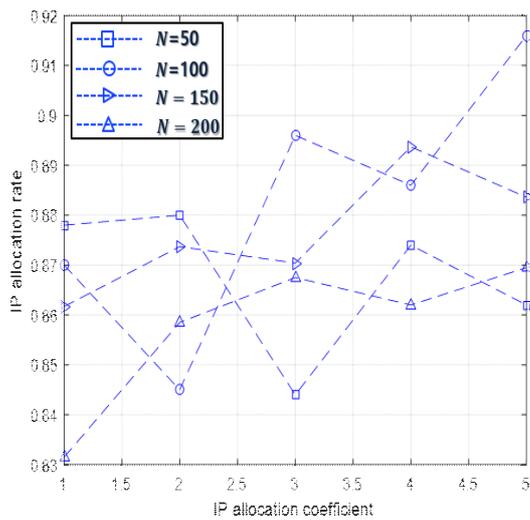
4.2. 모의시험 결과

이 장에서는 SANETconf의 SANET에 적용 가능성을 확인하기 위해, IP 주소 할당 비율, IP 주소 할당 시간 및 메시지 오버 헤드 측면에서 모의시험 결과를 분석한다.

첫째, IP 할당 비율 결과를 다음과 같이 분석한다.



(a)



(b)

Fig. 5 The IP allocation rate of the SANETconf.
 (a) The IP allocation rate according to T_{IP} .
 (b) The IP allocation rate according to ω .

- 모의시험 결과, IP 할당 비율은 N , T_{IP} , ω 의 값에 관계없이 표준 편차가 2%, 80~90%의 범위에 존재한다. 또한, 매 모의시험마다 평균적으로 약 85%의 선박국들이 IP 주소를 할당받는 것으로 나타났다. 이것은 SANETconf가 육상 국에서 선박국들로의 트리 토폴로지 기반 IP 주소 분배시키는 구조로 인해 네트워크 전체에 IP 주소를 보급하는데 효율적이라는 것을 의미한다.
- T_{IP} 와 ω 에 따른 IP 할당 비율은 그림 5.a와 5.b에서 도식된 것과 같이 일정한 패턴이 없이 랜덤하게 변동한다. 이 성능 패턴의 결과는 T_{IP} 와 ω 의 변화가 IP 할당 비율에 거의 영향을 미치지 않음을 의미한다. 대신 선박국이 자신의 IP 주소를 할당할 가능성은 공급자의 존재 여부에 따라 향상 될 수 있다. 이 공급자의 존재는 주로 선박국의 위치 및 이동성(즉, 속도 및 방향)에 의해 영향을 받는다. 결과적으로, IP 할당 비율 패턴의 무작위성은 선박국의 랜덤한 초기 위치와 이동성에 기인한다고 결론지을 수 있다.

둘째, IP 주소 할당 시간 결과는 다음과 같이 정리한다.

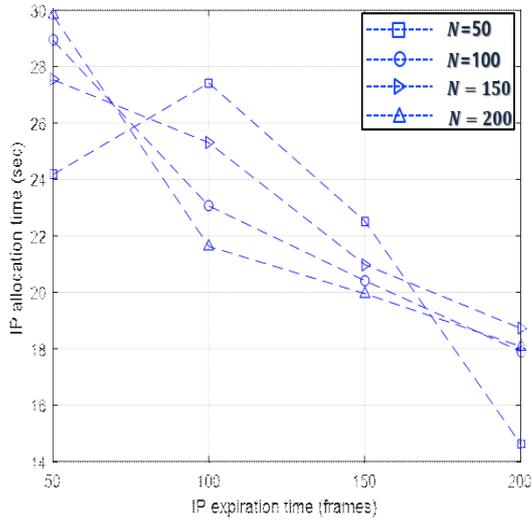
- 모의시험 결과, 주어진 네트워크 환경에서 선박국이 SANETconf를 사용하여 IP 주소를 얻는 데는 평균적으로 20초가 소요된다. IP 주소 할당 시간 결과는 N , T_{IP} , ω 의 조건에 관계없이, 표준 편차가 3 초이며, 10~30초 범위에 존재한다. 이 결과는 SANETconf에서 IP 주소를 할당받기위해서 복잡한 절차 대신에 단순히 요청자와 공급자 간의 AREQ-AREP 교환만 수행하기 때문이다. IP 주소 할당 시간 결과를 통해, IP 자동할당 프로토콜로서 SANETconf의 민첩성을 확인할 수 있다.
- 직관적으로, T_{IP} 값의 증가에 따라 IP 할당 시간이 감소 할 것으로 예상된다. 선박국이 T_{IP} 의 증가로 인해 장시간 동안 여분의 IP 주소를 보유하면, 선박국은 공급자의 자격을 그만큼 유지할 수 있고, 네트워크 전반에 IP 주소를 할당할 수 있는 공급자들이 충분할 수 있음을 의미한다. 따라서 네트워크에 충분한 공급자들로 인해, 요청자들 간의 IP 주소 할당의 경쟁을 완화시키고, 공급자가 IP 주소 요청에 빠르게 응답할 수 있어 결과적으로 IP 할당 시간이 감소한다. 이것은 그림 6.a에 도시 된 바와 같이 확인할 수 있다. 따라서 육상국

은 자신의 서브넷에 접근하는 평균 선박국의 수와 최대 호스트 수를 고려하여 가능한 한 길게 T_{IP} 를 설정하는 것이 바람직하다. 이로 인해 선박국이 IP 주소를 재설정하여, IP 주소 변경에 따른 육상 국으로 경로를 재설정해야하는 빈도가 줄어들 수 있다.

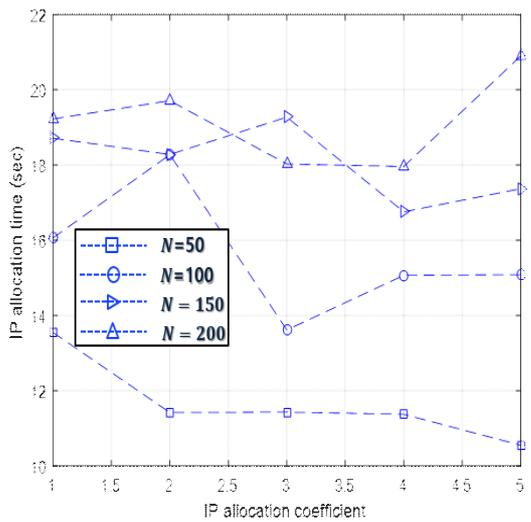
- 반면에, 그림 6.b에 도시 된 바와 같이, ω 에 따른 IP 할당 시간은 랜덤하게 변동한다. ω 값의 증가는 공급자가 육상 국으로 할당받는 IP 블록의 크기를 증가시킨다. 이는 공급자가 요청자들에게 충분한 IP 주소를 지원할 준비가 되어 있음을 의미하지만, 공급자를 찾을 수 없는 선박국에는 여전히 유용하지 않다. 결과적으로, 선박국의 랜덤한 위치로 인해 공급자를 찾을 수 없는 선박국들이 많으면, 평균 IP 주소 할당 시간 성능은 일정한 패턴 없이 변동성이 높을 수 있다. 전술 한 바와 같이, 공급자의 존재는 주로 선박국의 위치 및 이동성에 의존한다. 따라서 IP 주소 만료 시간을 고정하면, IP 주소 할당 비율 성능과 같은 이유로 ω 값에 의한 IP 주소 할당 시간이 랜덤하게 된다.

셋째, 메시지 오버헤드 결과를 다음과 같이 설명한다.

- SANETconf를 이용하면 주어진 모의시험 조건에서 평균적으로 IP 주소를 얻기 위해 110개의 메시지가 소요된다. 메시지 오버헤드 결과는 N , T_{IP} , ω 의 조건에 관계없이 15개의 표준 편차와 함께 80~135개 범위에서 존재한다. 모의시험 조건에서 한 슬롯에 하나의 메시지만 전송하므로 선박국은 SANETconf를 수행하는데 110개의 슬롯이 사용하였음을 알 수 있다. 총 모의시험 시간은 한 프레임이 2,250 슬롯으로 구성된 200 프레임이므로 450,000 슬롯으로 표현된다. 따라서 선박국은 SANETconf를 적용하기 위해 평균적으로 0.024 퍼센트의 프레임을 소비하는 것이다. 이 결과는 IP 주소 할당, 라우팅 또는 데이터 전송과 같은 여러 프로세스가 동시에 실행되는 SANET에서, SANETconf는 프레임당 극소량의 리소스만 사용함을 알 수 있다.
- 그림 7.a에 도시 된 바와 같이, 메시지 오버헤드 성능은 T_{IP} 값과 무관하게 랜덤한 패턴을 보인다. T_{IP} 가 증가하면 현재 IP 주소의 만료로 인해 IP 주소를 재할당 빈도가 줄어들어, IP 주소 요청과 할당에 관련된 메시지 수가 줄어들 수 있다. 반대로, T_{IP} 가 길면 공급자는 요청자들에게 IP 주소를 더 할당해줄 수 있어 IP 주소가 다 소진될 수 있다. 따라서 공급자는 IP 주소를 재할당해야 하며 결국 메시지 오버헤드가 증가한다. 또한, 랜덤한 초기위치 및 이동성으로 인해 공급자를 거의 찾지 못하는 요청자는 IP 주소를 얻기 위해 지속적으로 IP 주소 요청을 시도할 수 있다. 이러한 다양한 이



(a)



(b)

Fig. 6 The IP allocation time of the SANETconf.
 (a) The IP allocation time according to T_{IP} .
 (b) The IP allocation time according to ω .

유로 인해, T_{IP} 에 따른 메시지 오버헤드의 성능 패턴은 일정하지 않다고 분석한다.

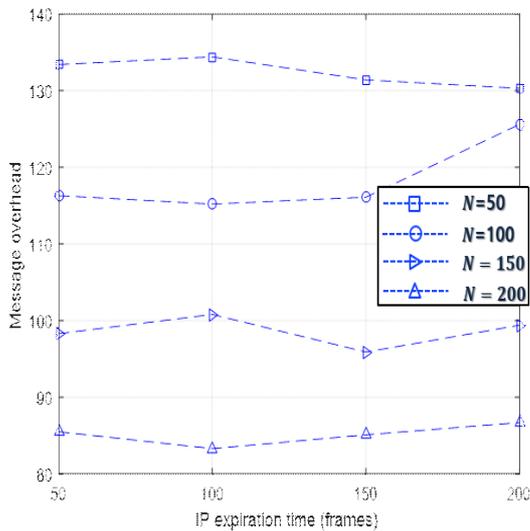
- T_{IP} 에 따른 성능 패턴과 동일하게, ω 에 따른 메시지 오버헤드 패턴도 그림 7.b에 도시된 바와 같이 일정하지 않다. 결과적으로, T_{IP} , ω , N 의 조건과 무관한 메

시지 오버헤드의 무작위성은 IP 주소 할당 비율과 IP 주소 할당 시간과 같은 선박국의 위치 및 이동성에 의한 것으로 예측된다.

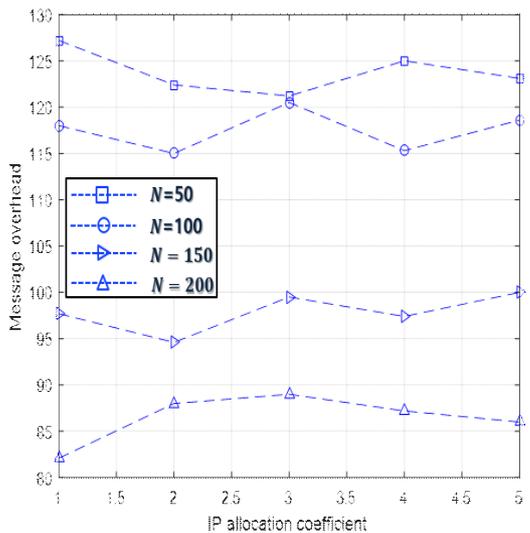
V. 결론

본 논문에서는 SANET을 통해 IP 기반 서비스를 선박에 제공하기 위해, 선박국들에게 IP 주소를 효율적으로 할당해줄 수 있는 SANETconf 프로토콜을 제안하였다. 해상 초단파 통신을 기반으로 하는 SANET의 협대역 특성으로 인해, SANETconf는 네트워크 리소스(예: 프레임 당 슬롯 수)를 절약하도록 설계되었다. 이를 위해 SANETconf는 IP 주소의 중복을 확인하거나 선박국의 이동성으로 인해 네트워크 병합 및 분할을 처리하는 프로세스를 미연에 방지하여 네트워크 리소스를 절약한다. 대신 요청자와 공급자 간의 간단한 AREQ-AREP 메시지 교환을 통해 육상 국에서 선박국들까지 트리 구조로 중복되지 않은 IP 주소 블록을 전파하는데 기반을 둔다.

이러한 SANETconf의 SANET에 적용 가능성을 광범위한 모의시험을 통해 확인하였다. 모의시험 결과에 따르면 SANETconf의 성능은 주로 공급자의 존재에 영향을 미치는 선박국의 위치와 이동성에 큰 영향을 받음을 확인하였다. 선박국의 랜덤한 위치 분포와 이동 방향 및 속도에 의해, 대부분의 성능 패턴은 증가 또는 감소의 일정한 패턴이 아니라, 랜덤하게 변경됨을 확인하였다. 모의시험 결과, SANETconf를 적용하면, 대다수의 선박국이 한 프레임 내에서 IP 주소를 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한, SANETconf는 한 프레임당 극소량의 리소스만 소비하여, 네트워크 리소스의 효율성이 높음을 보여 주었다. 결론적으로, SANETconf가 선박국이 SANET에서 자신의 IP 주소를 할당받을 수 있는 적합한 프로토콜임을 확인하였다. 또한, 차기 연구를 통해 모의시험을 보다 확장하여 기존 프로토콜들과의 성능 비교를 수행할 예정이며, SANETconf를 실제 초단파 대역 모델에 구현하여 실험에서 기능을 검증할 예정이다.



(a)



(b)

Fig. 7 The message overhead of the SANETconf.
 (a) The message overhead according to T_{IP} .
 (b) The message overhead according to ω .

ACKNOWLEDGEMENT

This research was a part of the project titled ‘Research on fundamental core technology for ubiquitous shipping and logistics (PMS3792)’ funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.

References

- [1] J. Kim, “Standardization of VDES as a communication infrastructure for e-navigation,” *Journal of Telecommunications Technology Association*, vol. 154, no. 1, pp. 66-71, 2014.
- [2] J. Lee, M. Kim, and G. Park, “A study on real-time message analysis for AIS VDL load management,” *Journal of the Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 256-261, Jun. 2013.
- [3] Y. Lee, “World Radio-Communication Conference-2012 (WRC-12),” *Journal of Telecommunications Technology Association*, vol. 140, pp. 113-117, 2012.
- [4] C. Yun, S. Kim, A. Cho, and Y. Lim, “Performance analysis of multiple access protocol for maritime VHF data exchange system (VDES),” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 12, pp. 2839-2846, Dec. 2014.
- [5] Rec. ITU-R M. 1842-1, *Characteristics of VHF radio systems and equipment for the exchange of data and electronic mail in the maritime mobile service RR Appendix 18 channels*, ITU, 2009.
- [6] Rec. ITU-R M. 2092, *Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band*, ITU, 2015.
- [7] Wikipedia. Very high frequency [Internet]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/VHF>.
- [8] Rec. ITU-R M.1371-5, *Technical characteristics for a universal ship borne automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile band*, ITU, 2014.
- [9] C. Yun, and Y. Lim, “ASO-TDMA: ad-hoc self-organizing TDMA protocol for shipborne ad-hoc networks,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 12, no. 10, pp. 1-16, Oct. 2012.
- [10] iDIRECT. The Maritime VSAT Advantage: A cost analysis of VSAT broadband versus L-band pay-per-use service [Internet]. Available: http://www.groundcontrol.com/Maritime_VSAT/Marine_VSAT_Comparison.pdf.
- [11] C. Yun, A. Cho, S. Kim, J. Park, and Y. Lim, “Design of multiband maritime network for ships and its applications,” *Journal of Information and Convergence Communication Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 314-322, Jan. 2009.
- [12] IMO FAL-38 INF.2, *A study of a data communication network at sea for efficient maritime logistics*, IMO, 2013.
- [13] IMO FAL-39 INF.5, *A study on enhancing maritime logistics efficiency utilizing maritime VHF digital communication technology and facilitation method*, IMO, 2014.
- [14] IMO NCSR-2 INF.9, *A study on enhancing maritime logistics efficiency utilizing maritime VHF digital communication technology and facilitation method*, IMO, 2015.
- [15] C. Yun, and Y. Lim, “EASO-TDMA: enhanced ad-hoc self-organizing TDMA protocol for shipborne ad-hoc networks,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2015, no. 1, pp. 1-12, Mar. 2015.
- [16] Y. Choi, and Y. Lim, “Geographical AODV protocol for multi-hop maritime communications,” in *proceeding of IEEE Oceans*, pp. 1-3, 2013.
- [17] C. Yun, S. Kim, A. Cho, and Y. Lim, “Sea-experiment test of a shipborne ad-hoc network (SANET) for maritime VHF digital data communications,” *Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 41, no. 6, pp. 681-698, Jun. 2016.
- [18] N. Fernandes, M. Moreira, and O. Duarte, “An efficient and robust addressing protocol for node autoconfiguration in ad hoc networks,” *IEEE transaction on networking*, vol. 21, no.3, pp. 845-856, Jan. 2013.
- [19] M. Mohsin, and R. Prakash, “IP address assignment in a mobile ad hoc network,” in *proceeding of international conference for military communications*, 2002.
- [20] Z. Fan, and S. Subramani, “An address autoconfiguration protocol for IPv6 hosts in a mobile ad hoc network,” *Journal of Computer Communication*, vol. 28, no. 4, pp. 339-350, Mar. 2005.
- [21] S. Nesargi, and R. Prakash, “MANETconf: Configuration of hosts in a mobile ad hoc network,” in *proceeding of IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 1059-1068, 2002.
- [22] C. Yun, S. Kim, J. Park, A. Cho, S. Seo, and Y. Lim, “IP Auto-Configuration for Ship-borne Ad-ho Networks (SANETs),” in *proceeding of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp. 1-2, 2015.

- [23] SOLAS convention, *International convention for the safety*, SOLAS, 1974.
- [24] COLREGS convention, *International Regulations for Preventing Collisions at Sea*, COLREGS, 1972.
- [25] Wikipedia. Knot (unit) [Internet]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Knot_\(unit\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Knot_(unit)).
- [26] Wikipedia. Nautical mile (unit) [Internet]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Nautical_mile.
- [27] RFC 3561, *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*, RFC, 2003.



윤창호(Changho Yun)

1999년 창원대학교 전자공학과 학사
2004년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
2007년 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
2007년~2008년 노스캐롤라이나 주립대학교 박사후 연구원
2009년~2016년 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신공학과 조교수
2008년~현재 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원
※관심분야: 수중 및 해상 통신 네트워크, 사물인터넷