

릴레이 기반 선내 무선통신 시스템의 성능 분석

주 양 익*, 김 범 무*, 정 민 아**, 이 성 로^o

Performance Analysis of Relay-Based Shipboard Wireless Communication Systems

Yang-Ick Joo*, Beom-mu Kim*, Min-A Jeong**, Seong Ro Lee^o

요 약

선박 안의 각종 센서와 전기전자장비를 구성하고 원격제어를 수행하기 위해 선내 무선 네트워크의 구성이 필요하다. 선내에서는 공간적 제약으로 인해 직접 통신이 어려운 상황이 발생하기 쉬운 환경이므로 무선통신 모듈 간 원활한 연결을 위해 릴레이 기능을 포함하는 무선통신 프로토콜이 적합하다. 이 논문에서는 선내 무선통신 시스템의 데이터 전송률을 높이기 위한 릴레이 기반 선내 무선통신 프로토콜을 적용하여 성능 분석을 수행한다. 제안된 방식은 전송효율의 향상뿐만 아니라 릴레이 기능 수행을 위한 각 단말의 에너지 소모를 함께 고려하여 단말의 배터리 소모로 인한 통신단절을 최소화할 수 있도록 하였다. 성능 분석 결과 릴레이 기반 선내 무선통신을 통해 선내 무선 네트워크의 신뢰성이 향상됨을 확인하였다.

Key Words : shipboard communication, ship integrated network, WiMedia, D-MAC

ABSTRACT

A wireless ship area network is required to configure and control various sensors and electrical instruments embedded or boarded in a ship. In such environment, wireless communication protocol adopting relaying function is needed because direct link or communication between two nodes is hardly guaranteed due to spatial constraints in a ship. In this study, we introduce and analyze a WiMedia Distributed MAC (D-MAC) based approach considering throughput and energy constraint of wireless communication module. Performance evaluation results demonstrate that the relay-based wireless communication protocol improves reliability of wireless communication network in a ship.

I. 서 론

최근 다양한 무선통신 기술이 해양통신 시스템에

적용되고 있으며, 조선업의 경쟁력 강화를 위해 선박 통신 및 정보통신기술 기반 스마트 선박(smart ship)에 대한 관심이 증가되고 있다^[1]. 이러한 스마트 선박

※ 본 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2013R1A1A1008098)과 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828) 및 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1009)의 연구결과로 수행되었음

• First Author : Korea Maritime and Ocean University Division of Electrical and Electronics Engineering, yijoo@kmou.ac.kr, 종신회원
o Corresponding Author : Department of Information & Electronics Engineering, Mokpo National University, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

* Department of Electronics Engineering, Mokpo National University, ktiger1907@mokpo.ac.kr

** Department of Computer Engineering, Mokpo National University, majung@mokpo.ac.kr

논문번호 : KICS2014-10-400, Received October 8, 2014; Revised November 8, 2014; Accepted January 14, 2015

을 위한 선박 네트워크 기술은 선박 네트워크에 연결된 기관 및 항해관련 제어장치를 선박 내에서 통합적으로 모니터링을 가능하도록 하고, 육상에서는 인공위성을 통해 선박 내 전자 및 정보통신 장치에 대한 원격제어가 가능하도록 한다. 이는 조선 산업에 첨단 정보통신기술을 접목해 선박장치 통합제어를 기반으로 지능화 및 자동화된 항해정보 시스템을 개발하고 무선통신 및 각종 센서연동 기술을 기반으로 선박 항해를 실시간으로 모니터링해서 선박의 각종 센서 및 장치들을 원격에서 유지보수하고 제어할 수 있는 기술을 의미한다^[2].

국제전자공학위원회(International Electronics Committee (IEC))에서는 선박의 네트워크 표준을 IEC 61162-1, 2, 3, 4로 규정하고 있다. IEC 61162-1은 시간, 위치, 방위 등의 전송을 위한 규격인 국제해양전자공학회(National Marine Electronics Association (NMEA)) 규격 0183으로 1980년대부터 공통적으로 장착한 4.8 kbps의 일대일(single talker/single listener) 직렬 통신이며, IEC 61162-2는 NMEA 0183 고속전송(High Speed) 표준으로 38.4 kbps의 일대다(single talker/multi listener) 직렬 통신이다. NMEA 2000은 다대다(multi talker/multi listener/multi master) 통신 방식이며 IEC 61162-3으로 표준화되어 선박에서는 250 kbps를 지원한다. 그리고 IEC 61162-4는 이더넷 기반의 해상정보통신표준(Maritime Information Technology Standards (MITS)) 프로토콜로 노르웨이에서 시작된 선박 제어 네트워크(shipboard control network)의 표준으로 사용되고 있다^[3].

이러한 선박 네트워크 표준 기술과 더불어 다양한 무선통신 기술이 해양 및 선박통신을 위해 적용되고 있으며, 선내 각종 센서와 전기전자장비를 제어하고 필요한 정보를 전달하기 위해서는 무선지역망(Wireless Local Area Network (WLAN)) 및 무선개인망(Wireless Personal Area Network (WPAN)) 등의 기술이 고려되고 있다. 이 논문에서는 효율적인 고속 데이터 전송이 가능한 와이미디어(WiMedia) 통신 기술을 고려한 선내 릴레이 통신방식에 대한 성능을 분석한다.

와이미디어 표준은 기존 중앙집중형(centralized) MAC 방식의 피코넷(piconet) 중첩 문제 및 피코넷 코디네이터의 이동으로 인한 서비스 품질(Quality of Service (QoS)) 지원 문제 등을 해결하기 위해 분산적(distributed) MAC (D-MAC) 프로토콜을 정의하였다^[4]. 중앙집중형 MAC 기술과 달리 D-MAC 기술은 모든 단말이 분산적으로 네트워크를 구성하는 DRP

(Distributed Reservation Protocol) 프로토콜을 정의한다. DRP 프로토콜에서는 통신자원의 예약과 제어 정보를 각 단말의 DRP 정보 원소 (Information Element (IE))와 DRP Availability 정보 원소를 통해 각 단말들 간에 공유하여 네트워크가 구성된다. 따라서 중앙집중형 MAC 방식의 피코넷 코디네이터의 이동성이나 피코넷 중첩 등의 문제가 D-MAC 기술을 통해 해결될 수 있다.

하지만, 이러한 분산적인 MAC 프로토콜이 적용되더라도 선박 내 좁은 공간적 특성과 최근 이슈가 되고 있는 안전에 관련된 정보의 전송을 위해서는 데이터 전송의 신뢰성을 더욱 향상시켜야 한다. 따라서 이 논문에서는 현재 와이미디어 D-MAC 표준 기술에 협력적 릴레이 통신 방안을 적용하고 그에 대한 성능을 분석하고자 한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 기존 와이미디어 DRP 표준과 이 논문에서 제안하는 DRP-R (DRP supporting Relay) 프로토콜 및 관련된 성능의 분석 방법에 대해 설명되며, III 장에서는 기존 방식과 제안된 방식에 대한 컴퓨터 실험 결과를 제시하여 그 성능을 비교 분석하고, 끝으로 IV 장에서 결론을 맺는다.

II. 와이미디어 기반 분산적 MAC 프로토콜

2.1 와이미디어 DRP

현재 와이미디어 D-MAC 표준에서는 DRP 정보 원소와 DRP Availability 정보 원소를 이용하여 데이터 전송을 위한 자원인 MAS (Medium Access Slot)을 예약한다. 그림 1에 DRP 정보 원소를 도시하였으며, 여러 영역들 중 DRP Control 영역은 DRP 블록들 간의 충돌(conflict)을 감지하고 해결하기 위한 정보를 포함하며, 예약된 MAS를 통해 전송되는 스트림(stream)을 명시한다. Target/Owner DevAddr 영역은 해당 단말의 주소를 표시하는데, 해당 DRP 정보 원소를 전송하는 단말이 예약 주체(reservation owner)인 경우 예약 대상 단말의 주소로 설정하고, 반대의 경우

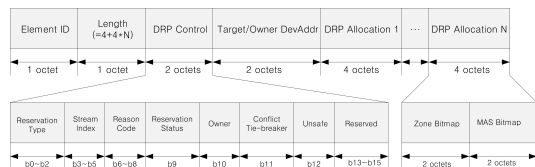


그림 1. DRP 정보 원소 형식
Fig. 1. Format of the DRP IE

예약 주체 단말의 주소로 설정한다. Reservation Type 영역은 완전 배타적 예약 (Hard reservation), 부분 배타적 예약 (Soft reservation) 등의 자원 예약의 종류를 나타내고, Stream Index 영역은 해당 예약 자원을 통해 전송될 데이터 스트림을 나타낸다. Reason Code 영역은 예약 대상 단말이 해당 DRP 예약이 성공적인지 여부를 표시하는데 사용된다. 이 중 'Accepted'는 예약 주체 단말이 DRP 정보 원소를 전송할 때에도 사용될 수 있다. Reservation Status 영역은 '0'인 경우 DRP 예약과정이 진행 중이거나 충돌이 발생한 것을 나타내며, '1'인 경우 DRP 예약을 승인하거나 기존 예약된 자원을 유지함을 나타낸다. 그리고, Owner 영역은 DRP 정보 원소를 전송하는 단말이 예약 주체인지 여부를 나타내며, Conflict Tie-breaker 영역은 DRP 예약 요청 시 '0' 또는 '1' 중 한 값을 임의로 선택하여, 충돌 발생 시 이를 해결하는 데에 사용된다. Unsafe 영역은 DRP Allocation 영역 내 표시된 MAS가 예약 한도를 초과할 것으로 판단되는 경우 '1'로 설정된다.

이 영역들 중 Reason Code 영역은 '0: Accepted'인 경우 DRP 예약 요청이 승인된 경우를, '1: Conflict'는 예약 충돌 상황을 나타내고, '2: Pending'은 DRP 예약 요청을 처리 중임을, '3: Denied'는 DRP 예약 요청이 거절되거나 기존 예약이 더 이상 유효하지 않음을 나타낸다. 그리고 '4: Modified'는 DRP 예약이 유효하지만 일부 수정된 경우를 나타내며, 나머지 '5'에서 '7'의 값은 현재 reserved 상태로 지정되지 않은 예약비트이다.

하지만 현재 와이미디어 DRP 표준으로서는 선박 내 통신을 위해 적용되기에는 데이터 전송의 안정성 측면에서 서비스 품질 요구사항을 충족시킬 수 없으므로, 데이터 전송의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 협력적 릴레이 통신 방안이 필요하다.

2.2 DRP-R

본 절에서 기술될 DRP-R (DRP supporting Relay) 방식은 선배 데이터 전송에 대한 신뢰성 향상을 위해 기존 와이미디어 DRP 기술에 협력적 릴레이 전송 기능을 추가한 기술이다. 하지만 새로운 기능을 추가할 때 기존 와이미디어 표준을 준수하면서 고안된 방식이므로 현재 개발된 와이미디어 기기와의 호환성을 보장할 수 있다. 본 절에서 설명될 DRP-R은 참고문헌 [5]의 릴레이 전송 방식과 유사하지만, 각 단말별 에너지 소모량과 지원 가능한 데이터 전송률에 대한 정확도를 향상시켜서 성능을 개선하였다.

기존 와이미디어 DRP 프로토콜에 릴레이 전송 기능을 추가하기 위해 DRP-R 방식에서는 DRP 정보 원소의 Reason Code 영역의 예약비트를 이용한다. 추가로 사용될 세 개의 Reason Code는 '5: Relay Req', '6: Relay Ntf', '7: Relay Accepted' 이다. Relay Req는 예약주체 단말(S 단말)이 릴레이 단말(R 단말)에게 데이터를 전달하기 위한 MAS 예약을 요청하기 위해 전송하는 Reason Code이며, Relay Ntf는 Relay Req를 통해 요청된 자원이 릴레이 단말에 의해 승인될 경우 예약주체 단말이 타겟 단말(T 단말)에게 릴레이 단말을 통해 데이터가 릴레이 전송될 것을 통보하기 위해 사용한다. Relay Req를 수신한 릴레이 단말과 Relay Ntf를 수신한 타겟 단말이 해당 릴레이 전송을 승인하는 경우 Relay Accepted Reason Code를 전송하며, 두 단말 모두 Relay Accepted로 전송한 경우에만 릴레이 전송이 이루어질 수 있다⁵⁾.

그림 2와 그림 3에 S 단말의 DRP-R 자원 예약 과정을 기술하였다. S 단말은 그림 2의 과정에 의해 DRP 정보 원소를 생성하고 전송하게 된다. 다른 단말의 비컨을 통해 DRP Availability 정보 원소를 수신하면, S 단말은 T 단말과의 통신을 위한 MAS (MAS S-T)의 사용 가능 여부를 확인한다. 만약 가용한 MAS가 존재하는 경우, S 단말은 S 단말과 T 단말 간 링크의 예측 전송률과 S 단말과 R 단말 간 링크의 예측 전송률을 비교하여 릴레이 전송 여부를 결정한다. S 단말에서 T 단말로의 직접 전송 시 예상되는 데이터 전송률에 비해 S 단말-R 단말-T 단말의 릴레이 전송 시 예상되는 데이터 전송률이 큰 경우 릴레이 전송

```

Algorithm 1: DRP IE transmission by S node
Read DRP Availability IEs
if(MAS S-T is available)
    if(the estimated data rate between S-T < that between S-R)
        if(both MAS S-R and MAS R-T are available) → Case 1-1
            Send DRP IEs for MAS S-R to R node with Reason Code of Relay Req
            Send DRP IEs for MAS R-T to T node with Reason Code of Relay Ntf
            Send DRP IEs for MAS S-T to T node with Reason Code of Relay Accepted
        else
            Direct transmission to T node using MAS S-T
        end
    else
        Direct transmission to T node using MAS S-T
    end
else
    if(both MAS S-R and R-T are available) → Case 1-2
        Send DRP IEs for MAS S-R to R node with Reason Code of Relay Req
        Send DRP IEs for MAS R-T to T node with Reason Code of Relay Ntf
    else
        Read the next DRP Availability IEs
    end
end
end
    
```

그림 2. DRP-R 자원 예약을 위한 S 단말의 DRP 정보 원소 전송 과정
 Fig. 2. DRP IE transmission procedure in S node for DRP-R resource reservation

Algorithm 2: DRP IE reception by S node
Case 1-1
<pre> Read DRP IE if(Reason Code from T node == Accepted) Direct transmission to T node using MAS S-T else if(Reason Code from R node == Relay Accepted && Reason Code from T node == Relay Accepted) S-R-T relay transmission using MAS S-R and MAS R-T else Read the next DRP Availability IEs end end </pre>
Case 1-2
<pre> Read DRP IE if(Reason Code from R node == Relay Accepted && Reason Code from T node == Relay Accepted) S-R-T relay transmission using MAS S-R and MAS R-T else Read the next DRP Availability IEs end </pre>

그림 3. DRP-R 자원 예약을 위한 S 단말의 DRP 정보 원소 수신 과정
 Fig. 3. DRP IE reception procedure in S node for DRP-R resource reservation

을 실시할 것이므로 이러한 링크 간 전송률 예측 과정이 필요하다. 하지만 S 단말의 관점에서는 R 단말과 T 단말 간 링크의 예측 전송률을 알 수 없으므로, 릴레이 전송 여부에 대한 최종적인 판단은 T 단말에서 이루어진다. 그리고 일반적인 통신시스템 표준에서는 채널 측정과 추정이 가능한 방안을 지원하고 있으므로 데이터 전송률에 대한 예측은 가능하며, 현재 와이미디어 DRP 표준에서도 Link Feedback 정보 원소, Link Indication 정보 원소 등의 정보 원소와 관련된 LQI (Link Quality Indicator), RSSI (Received Signal Strength Indication) 등의 정보를 이용하여 충분히 데이터 전송률에 대한 예측이 가능하다. 만약 MAS S-T가 사용 불가하거나 직접 전송에 대한 예상 전송률이 예측된 릴레이 전송 시 전송률에 비해 낮다면, 릴레이 전송을 선택해야하므로 S 단말은 DRP Availability 정보 원소를 통해 MAS S-R과 MAS R-T가 사용 가능한지 확인하고, 사용 가능한 경우 S 단말은 동일한 stream index로 R 단말에게는 MAS S-R에 대한 Relay Req의 Reason Code를 포함한 DRP 정보 원소를 전송하고, T 단말에게는 MAS R-T에 대한 Relay Ntf의 Reason Code를 포함한 DRP 정보 원소를 전송한다. 이 경우 만약 MAS S-T가 사용 가능한 경우라면 MAS S-T에 대한 Accepted의 Reason Code를 포함한 DRP 정보 원소도 T 단말로 전송한다. 이는 T 단말이 직접 전송과 릴레이 전송 중 적합한 경로를 결정할 수 있도록 하기 위해 MAS S-T에 대한 DRP 정보 원소를 함께 전송하는 것이다.

비전을 통해 DRP 정보 원소를 전송한 후 S 단말은 R 단말과 T 단말로부터의 응답을 기다리게 되며, 수신된 응답에 대한 처리 과정을 그림 3에 도시하였다. 만약 T 단말로부터 수신된 DRP 정보 원소의 Reason Code가 Accepted로 수신되었다면, 이는 T 단말이 판단하기에 직접 전송이 릴레이 전송에 비해 효율적이라는 것을 의미하므로 S 단말은 T 단말에게 직접 전송을 통해 데이터를 전송하게 된다. R 단말과 T 단말로부터 수신된 DRP 정보 원소의 Reason Code가 모두 Relay Accepted라면 S 단말은 R 단말을 이용한 릴레이 전송으로 T 단말에게 데이터를 전송한다. 그리고 그 외 Reason Code에 대해서는 현재 와이미디어 DRP 표준에 따라 동작한다.

S 단말에서 전송한 DRP-R 방식의 DRP 정보 원소를 수신한 R 단말의 동작은 다음과 같다. 만약 DRP-R 방식의 DRP 정보 원소를 수신한 R 단말이 DRP-R 방식을 지원하지 않고 현재 와이미디어 DRP만을 지원하는 단말이라면 Reason Code의 예약비트를 확인하고 부적절한 DRP 정보 원소를 수신한 것으로 판단하여 Denied Reason Code로 DRP 정보 원소를 전송하므로 현재 와이미디어 표준만을 따르는 단말에게는 전혀 영향을 미치지 않는다. 그리고 DRP-R 방식을 지원하는 R 단말이 T 단말로 전달될 데이터의 릴레이 전송을 위한 에너지가 충분하지 않은 경우에도 S 단말로부터의 Relay Req Reason Code 수신 시 Denied의 Reason Code로 DRP 정보 원소를 전송하도록 하여 자신의 배터리 소모량을 조절할 수 있다. R 단말이 S 단말로부터 DRP 정보 원소를 수신하면, R 단말 자신의 통신을 위해 예약한 MAS와 S 단말이 R 단말과 T 단말로 전송한 DRP 정보 원소를 통해 확인한 MAS S-R과 MAS R-T가 서로 중첩되지 않는지 확인하고, 중첩되지 않는 경우 릴레이 전송을 위해 MAS R-T 정보를 저장하고 Relay Accepted의 Reason Code로 DRP 정보 원소를 전송한다. 만약 확인된 MAS 정보가 서로 중첩된다면 Conflict의 Reason Code로 DRP 정보 원소를 전송하여 S 단말에게 릴레이 전송이 불가함을 전달하게 된다. R 단말의 관점에서 릴레이 전송이 가능한 경우라 할지라도, T 단말로부터 Relay Accepted Reason Code의 DRP 정보 원소가 확인되지 않는다면 릴레이 전송을 위해 저장한 MAS S-R과 MAS R-T 정보를 삭제한다.

Relay Ntf의 Reason Code로 DRP 정보 원소를 수신한 T 단말 역시, DRP-R 방식을 지원하지 않는 단말이라면 Reason Code의 해당 예약비트를 확인하고 Denied Reason Code로 DRP 정보 원소를 전송하

로 현재 와이미디어 표준만을 따르는 단말에게는 전혀 영향을 미치지 않는다. S 단말로부터 Accepted의 Reason Code로 MAS S-T에 대한 자원 예약 요청이 수신되었고, MAS S-T와 MAS R-T의 예약 요청이 모두 가능한 상황이라면, S 단말과 T 단말 간 예상되는 데이터 전송률과 R 단말과 T 단말 간 예상되는 데이터 전송률을 비교한다. 비교 결과 R 단말과 T 단말 간 예상되는 데이터 전송률이 더 크다면, S 단말-R 단말-T 단말을 통한 릴레이 전송이 S 단말과 T 단말 간 직접 전송에 비해 더욱 효율적일 것이므로 R 단말을 통한 릴레이 전송이 수행된다. 이 과정 역시 S 단말에서의 과정과 마찬가지로 현재 와이미디어 표준에 정의된 Link Feedback 정보 원소, Link Indication 정보 원소 등을 이용하여 데이터 전송률 예측이 이루어질 수 있다.

2.3 지연 성능 분석

II절에 기술된 방안에 대한 성능 평가 시 지연 성능을 반영하기 위해 그림 4에 도시한 바와 같이 무선 채널 상황을 고려한 마코프 체인 모델(Markov chain model)을 고려하였다⁶⁾. 그림 4의 (m, n) 의 상태에 대해 m 은 매 슈퍼프레임(superframe)의 m 번째 패킷 서비스 시작시점을 나타내며, 한 슈퍼프레임 내에서 최대 M 개의 패킷이 전송될 수 있음을 가정하였다. 그리고 n 은 패킷 전송 시점에서의 패킷의 수를 나타내며 최대 N 개의 패킷을 가정하였다. 패킷의 크기는 고정된 것으로 하고 패킷의 도착은 포아송(Poisson) 분포를 띠는 것으로 가정하였으며, 전송된 패킷은 PER(Packet Error Rate)의 확률로 버려지는 것으로 가정하였다. 그리고 참고문헌⁶⁾과 같이 패킷 서비스 시작 시점 역시 고정된 것으로 가정하였다.

$$\Pr(m, n) = \begin{cases} \sum_{i=0}^1 [(1-PER) \cdot \Pr(m-1, i) \cdot \sum_{j=0}^{1-i} P_m(j) + PER \cdot \Pr(m-1, 0) \cdot P_m(0)], & n=0 \\ \sum_{i=0}^{n+1} [(1-PER) \cdot \Pr(m-1, i) \cdot P_m(1+n-i)], & 0 < n < N-1 \\ \sum_{i=0}^n [(1-PER) \cdot \Pr(m-1, i) \cdot \sum_{j=N-i}^{\infty} P_m(j)], & n=N-1 \end{cases} \quad (1)$$

이러한 가정을 바탕으로 마코프 체인의 정상상태(steady state) 확률, $\Pr(m, n)$ 은 식(1)과 같이 기술될

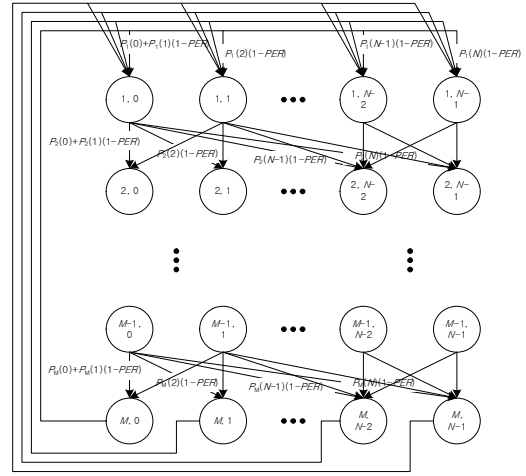


그림 4. 무선 채널 상황을 고려한 마코프 체인 모델
Fig. 4. Markov chain model considering wireless channel condition

수 있다. 여기서 포아송 분포 $P_m(j)$ 는 식(2)와 같이 정의되며, $\Pr(m-1, i)$ 는 m 이 1인 경우 $\Pr(M, i)$ 로 정의된다.

$$P_m(j) = (\lambda t_m)^j \exp(-\lambda t_m) / j! \quad (2)$$

그리고 식(1)은 식(3)과 같은 특징을 갖는다.

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=0}^{N-1} \Pr(m, n) = 1 \quad (3)$$

따라서 이러한 분석 결과와 단말 별 버퍼의 크기 등을 고려한 지연 성능을 반영하여 다음 절에서는 DRP-R 방식에 대한 성능을 평가하고자 한다.

III. 성능 평가

본 절에서는 컴퓨터 실험을 통해 DRP-R 방식과 기존 DRP 방식의 성능을 비교 평가하였다. 선박 내 환경을 고려하기 위해 20 m * 10 m의 공간에 임의로 분포된 단말을 가정하였고, 선박 내 구분된 벽면에 의한 단말 간 채널 감쇄효과를 다르게 설정하였다. 컴퓨터 실험을 위해 사용된 와이미디어 표준 매개변수는 표 1과 같다.

그림 5에서는 주어진 환경에서 와이미디어 단말 수를 변경하면서 측정된 수율 성능을 나타내었다. 주어진 공간 내 벽면이 없이 모두 연결된 환경(not separated)에서는 단말 수에 관계없이 일정한 수율이

표 1. 와이미디어 표준 매개변수
Table 1. WiMedia parameters

Parameters	Values
T_{SYM}	312.5 ns
T_{sync}	9.375 μ s
T_{hdr}	3.75 μ s
p_{MIFS}	1.875 μ s
p_{SIFS}	10 μ s
$mMAXFramePayloadSize$	4.95 octets
$mMAXBPLength$	96 beacon slots
$mBeaconSlotLength$	85 μ s
$mSuperframeLength$	$256 * mMASLength$
$mMASLength$	256 μ s
$mBPEExtension$	8 beacon slots
$mTotalMASLimit$	112 MASs

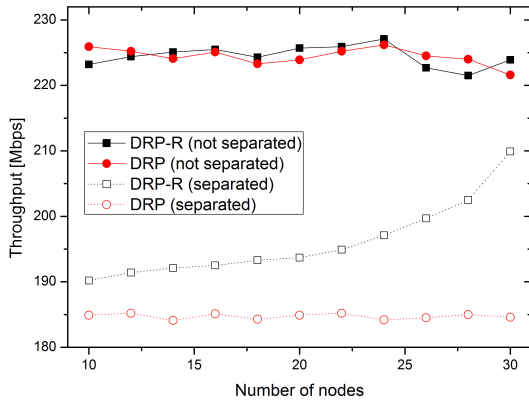


그림 5. 단말 수에 따른 수율
Fig. 5. Throughput performance with varying number of nodes

관찰되었지만, 공간이 벽면으로 분리된 경우 (separated) 직접 통신 시 수율에 대한 채널의 영향이 커지므로 상대적으로 성능이 저하되었고, DRP-R 방식의 적용을 통해 성능을 개선할 수 있었다. 다만 DRP-R 방식에서는 컴퓨터 실험 시간이 길어짐에 따라 에너지 소모량에 대한 고려로 인해 단말의 밀도가 일정 수준 이상이 되기 전에는 성능의 향상 정도가 크지 않다. 이는 현재 컴퓨터 실험이 릴레이 역할 수행 빈도에 따라 에너지 소모량에 대한 기준을 결정하도록 설정되어 있기 때문이며, 이는 절대적인 에너지 소모량을 기준으로 측정할 경우 좀 더 적은 수의 단말에 서도 수율 성능의 향상이 클 것으로 예상된다.

DRP-R 방식과 DRP 방식의 단말 수에 따른 에너지 소모량의 비를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에 보이는 바와 같이 DRP-R 방식이 기존 와이미디어 DRP 방식에 비해 에너지 소모 측면에서도 우수한 성능을

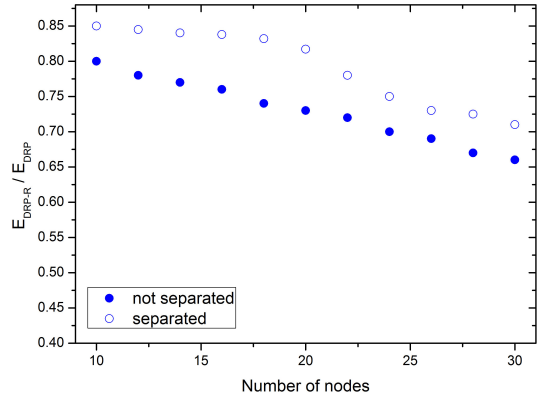


그림 6. 단말 수에 따른 에너지 소모량
Fig. 6. Energy consumption with varying number of nodes

보이며, 단말 수의 증가에 따라 DRP-R 방식의 에너지 효율이 개선됨을 알 수 있다. 그리고 그림 5와 마찬가지로 분리된 공간의 경우 특정 단말 수 이상으로 증가함에 따라 에너지 효율성의 개선 정도가 커짐을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

이 논문에서는 선박 내 무선통신 시스템의 데이터 전송률을 향상시키기 위한 릴레이 기반 선내 무선통신 프로토콜, DRP-R을 적용하여 성능 분석을 수행하였다. 성능 분석 결과, DRP-R 방식은 전송 효율의 향상뿐만 아니라 각 단말의 에너지 소모를 함께 고려하여 단말의 배터리 소모로 인한 통신단절을 최소화할 수 있음을 확인하였다. 선내에서는 공간적 제약으로 인해 직접 통신이 어려운 상황이 발생하기 쉽고, 최근 이슈가 되고 있는 선박 내 안전을 지원하기 위한 장비들의 데이터 전송 신뢰성에 대한 요구가 높은 상황이므로, DRP-R과 같이 에너지 효율적이며 협력적 릴레이 전송이 가능한 방안의 적용이 필요하며, 이는 비교적 적은 오버헤드의 추가를 통해 기존 와이미디어 D-MAC 기술에 적용 가능하므로 효과적인 선박 내 무선통신 방안으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] D. Lee, S. R. Lee, and J. So, "An opportunistic subchannel allocation scheme in relay-based marine communication networks," *J. KICS*, vol. 39C, no. 7, pp. 546-551, Jul. 2014.

- [2] K. Hur, M.-A. Jeong, and S. R. Lee, "Performance analysis of WiMedia D-MAC communications for a shipboard wireless bridge," *J. KICS*, vol. 39C, no. 7, pp. 597-607, Jul. 2014.
- [3] O. -S. Park and J. -M. Ahn, "Implementation algorithms and performance analysis of maritime VHF data system based on filtered multi-tone modulation," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 254-262, Mar. 2013.
- [4] WiMedia Alliance, *Distributed medium access control (MAC) for wireless networks*, WiMedia MAC specification release 1.5, Dec. 2009.
- [5] Y.-I. Joo and K. Hur, "Relay cooperative transmission scheme for distributed MAC protocol-based logistic applications," *J. Korea Multimedia Soc.*, vol. 14, no. 3, pp. 423-432, Mar. 2011.
- [6] H. Wu, Y. Xiz, and Q. Zhang, "Delay analysis of DRP in MBOA UWB MAC," in *Proc. IEEE ICC*, pp. 229-233, Istanbul, Turkey, Jun. 2006.
- [7] R. W. Wolff, "Poisson arrivals see time average," *Operations Res.*, vol. 30, no. 2, pp. 223-231, Apr. 1982.

주 양 익 (Yang-Ick Joo)



1998년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업
 2000년 8월 : 고려대학교 전자공학과 석사
 2004년 8월 : 고려대학교 전자공학과 박사
 2004년 9월~2012년 2월 : 삼성

전자 DMC 연구소 책임연구원
 2012년 3월~현재 : 한국해양대학교 전기전자공학부 조교수
 <관심분야> 무선자원관리, RFID, WPAN, 해양통신, VANET

김 범 무 (Beom-mu Kim)



2012년 2월 : 목포대학교 정보전자공학과 학사(공학인증)
 2014년 2월 : 목포대학교 전자공학과 석사
 2014년 3월~현재 : 목포대학교 전자공학과 박사과정
 <관심분야> LBS, WSN, IoT

정 민 아 (Min-A Jeong)



1992년 2월 : 전남대학교 이학사
 1994년 2월 : 전남대학교 이학석사
 2002년 2월 : 전남대학교 이학박사
 2002년 4월~2003년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 Post-Doc

2003년 4월~2005년 2월 : 전남대학교 전자통신기술연구소 Post-Doc
 2011년 9월~2013년 2월 : Cleveland Clinic Research
 2005년 3월~현재 : 목포대학교 컴퓨터공학과 부교수
 <관심분야> 데이터베이스/데이터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야, 임베디드시스템

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학사
 1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1996년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
 1997년 9월~현재 : 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레미틱스응용분야, 임베디드시스템