

선내 무선 브릿지용 와이미디어 D-MAC 통신의 성능분석

허 경*, 정민아*, 이성로^o

Performance Analysis of WiMedia D-MAC Communications for a Shipboard Wireless Bridge

Kyeong Hur*, Min-A Jeong*, Seong Ro Lee^o

요 약

선내 통합유무선 네트워크에서는 선내의 각종 센서와 제어기를 자율적으로 구성관리하고 원격제어를 제공하는 기능을 수행한다. 특히 센서장비에 장착되는 무선통신 모듈은 선내 통합유무선 네트워크와의 원활한 연결을 위하여 무선 게이트웨이 기능을 수행하는 브릿지(bridge)를 통한 데이터 전송방식이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 선내 통합유무선 네트워크를 위한 무선 브릿지로 와이미디어기반 통신방식구조를 제안한다. 제안한 무선 브릿지구조에서 선내 제어 유선네트워크의 정보를 효과적으로 전송할 수 있는 방안으로 분산적인 MAC 기반의 와이미디어 통신 방안을 적용하여 성능을 분석한다. 제안한 방식을 시뮬레이션한 결과, 선내 디바이스의 2홉 이동성에서는 신뢰성 있는 통신 성능이 보장됨을 나타내었다.

Key Words : Ship Integrated Network, WiMedia, Wireless bridge

ABSTRACT

An integrated ship area network has functionality of remote control and autonomous management of various sensors and instruments embedded or boarded in a ship. For such environment, a wireless bridge is essential to transmit control and/or managing information to sensors or instruments from a central integrated ship area network station. In this paper, one of reliable schemes of wireless bridge using WiMedia distributed MAC (D-MAC) protocol is proposed to increase a communication reliability. Simulation results show that the proposed wireless bridge using WiMedia D-MAC protocol guarantees reliable communications between 2-hop devices.

1. 서 론

최근 국내에서는 ETRI와 현대중공업이 공동으로 스마트쉽을 만들기 위해 IT기반 선박용 통합모니터링 인프라 기술인 선박 네트워크(Ship Area Network)를 개발하고 있다^{1,2)}.

선박용 부가 서비스 지원 선박 네트워크 구조기술

은 선박 네트워크모델을 제시하고 선박 네트워크에 연결된 기관감시제어장치, 항해기록저장장치, 통합항해장치를 선박 내에서 통합적으로 모니터링을 가능하도록 한다. 그리고 육상에서는 인공위성을 통해 선박 내 IT기자재에 대한 원격제어가 가능하다. 이는 조선 산업에 첨단 IT기술을 접목해 선박장치 통합제어를 기반으로 지능화 및 자동화된 항해정보 시스템을 개

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

♦ First Author : Gyeongin National University of Education Department of Computer Education, khur@ginue.ac.kr, 종신회원

° Corresponding Author : Mokpo National University Department of Electronics Engineering, srlee@mkpu.ac.kr, 정희원

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

논문번호 : KICS2014-05-181, Received May 2 2014; Revised July 9, 2014; Accepted July 9, 2014

발하고 광대역 유무선 네트워크 및 각종 센서연동 기술을 기반으로 선박 항해를 실시간으로 모니터링해서 선박의 각종 센서 및 장치들을 원격에서 유지보수하고 제어할 수 있는 기술을 의미한다.

또한 선박의 표준네트워크는 IEC(International Electronics Committee)에서 IEC 61162-1, 2, 3, 4로 규정하고 있다. IEC 61162-1은 NMEA 0183으로서 1980년대부터 주로 선박의 항해장비가 공통적으로 장착한 4,800bps의 single talker, single listener 시리얼 데이터 통신이며, IEC 61162-2는 NMEA 0183 High Speed 버전으로 38.4 kbps의 single talker, multi listener, 전기적신호는 RS422인 직렬통신이다. NMEA 2000은 multi-talk, multi-listen, multi master, PnP이며 물리계층은 CAN 2.0B를 사용하고 IEC 61162-3으로 표준화되어 선박에서는 200m, 250 kbps를 사용한다. NMEA 2000은 SAE J 1939의 single packet와 multi packet외에 fast packet 프로토콜을 추가하여 선박에서 실시간으로 제어하여야 하는 instrument level network에 맞도록 수정하였다. 또한 IEC 61162-4는 ethernet base의 MiTS(Maritime Information Technology Standards) 프로토콜로서 노르웨이에서 시작한 것으로 shipboard control network의 표준으로 사용하고 있다³⁾.

따라서, 이러한 선박 표준네트워크와 선박내 네트워크를 통합하는 통합유무선네트워크 기술의 연구는 필요한 상황이다. 특히 선박내 센서들과 장치들의 정보를 수집하여 전송하는 브릿지(bridge) 기능을 수행하는 게이트웨이의 무선화가 필요하다. 무선화 방식으로 다양한 무선통신방식을 고려할 수 있는데, 본 논문에서는 효율적인 처리가 가능하고 고속데이터 전송을 고려한 와이미디어(WiMedia) 통신방식을 적용한 구성방식을 제안한다.

와이미디어 방식을 적용하기 위해서 고려하는 중앙 집중식(centralized) MAC 프로토콜은 클러스터 헤더 노드가 이동하거나 주변 채널환경이 악화되어 정상적인 통신이 불가능하게 되는 경우, 해당 클러스터에 속한 노드들에 대한 정보는 물류 시스템 서버에 전달될 수 없고 새로운 클러스터 헤더가 결정되는 데에 시간 및 에너지가 소모되는 문제가 예상된다⁴⁾.

또한 무선 브릿지의 리더(reader) 노드간 통신을 위한 인증된 규격이 존재하지 않으므로, 보다 유연한 설계가 가능한 분산적(distributed) MAC 프로토콜을 고려하여 적용한다^{5,6)}. 따라서 본 논문에서는 이러한 선내 통합유무선 네트워크를 위한 무선 브릿지로 와이미디어기반 통신방식구조를 제안한다. 제안한 무선 브

릿지구조에서 선내 제어 유선네트워크의 정보를 효과적으로 전송할 수 있는 방안으로 분산적인 MAC 기반의 와이미디어 통신 방안을 적용하여 성능을 분석하고자 한다⁷⁾.

본 논문의 2장에서는 제안된 무선 브릿지 구성모델과 시스템 모델을 제안하고, 적용하는 와이미디어 분산적 MAC 프로토콜 방식을 설명한다. 3장에서는 제안된 구성방식을 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하고, 4장에서 결론을 맺는다.

II. 선내 통합유무선 네트워크용 와이미디어 기반 무선 브릿지

2.1 와이미디어 기반 무선 브릿지 구성방식

기존의 선내 유선네트워크와 NMEA 네트워크의 구성은 그림 1과 같이 선내 제어 네트워크(이더넷기반의 MiTS)에 게이트웨이가 연결되어있고, 그 하부에는 각 장치들이 연결되어 있는 NMEA 장치네트워크(instrument network)로 구성되어진다. 본 논문에서 그림 2에 보인 것과 같이 와이미디어를 게이트웨이(gateway) 역할을 담당하도록 하는 선내 통합네트워크용 무선 브릿지 구성방식을 제안한다.

그림 2와 같이 와이미디어 기반 무선 브릿지는 선내 제어유선네트워크의 게이트웨이역할을 수행하는 와이미디어 PNC(piconet network coordinator), 각 장치들에 부착된 와이미디어 디바이스로 구성되고, 경우에 따라 인프라 노드를 추가하여 보다 효율적이고 안정적인 네트워크를 보장할 수 있다. 와이미디어 디바이스는 장치들을 비롯한 기타 정보전송이 필요한 장치들로부터 관련 정보를 수집하고 이를 무선 브릿지에 전달한다. 특히 와이미디어 디바이스와 무선 브릿지간의 에너지 효율적이며 신뢰성있는 통신이 보장되

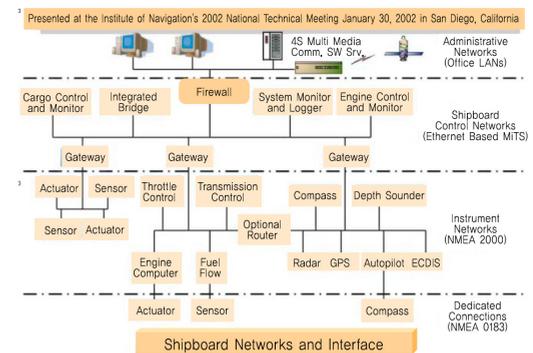


그림 1. 기존의 선내 유선네트워크(MiTS), NMEA 네트워크
Fig. 1. Ship Integrated Network(MiTS), NMEA Network

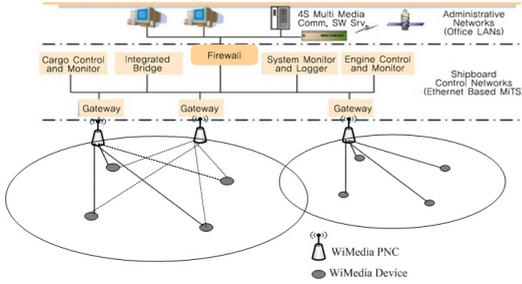


그림 2. 제안하는 선내 통합네트워크용 와이미디어 무선 브릿지 구성방식
 Fig. 2. Proposed WiMedia D-MAC Communications for a Shipboard Wireless Bridge

어야 하고, 경우에 따라 대량의 정보를 전송하는 것도 가능해야한다.

와이미디어 통신방식을 활용한 무선 브릿지의 경우, 이에 대한 국제 규격이 별도로 존재하지 않는 실정이고, 구현 환경에 따라 서로 다른 프로토콜이 적용될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 기존의 와이미디어 규격을 활용하며 보다 효율적이고 에너지 절약적인 분산적인 MAC 프로토콜을 선택하였으며, 무선 브릿지로서의 노드간의 계층구조는 그림 3과 같다.



그림 3. 와이미디어 분산적 MAC 프로토콜을 적용한 무선 브릿지의 계층구조
 Fig. 3. Hierarchical structure of wireless bridge using Distributed MAC protocol

2.2 와이미디어 기반 무선 브릿지 구성방식

현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서는, 등시성을 갖는 트래픽의 QoS를 지원하기 위해 예약이 보장

된 슬롯들을 사용하는 경쟁방식이 아닌 채널 접근 기법으로 DRP 프로토콜을 사용한다. 슈퍼프레임 시간 내에서 여러 MAS 슬롯들을 예약한다는 것은, 송신 디바이스인 DRP 예약 Owner가 그 시간 구간 동안의 매체를 독점적으로 사용하여 데이터를 전송할 수 있음을 의미한다. 이러한 DRP 예약을 필요로 하는 송신 디바이스는 수신 디바이스와의 통신 채널 시간 구간을 설정하기 위해, DRP 예약 협상을 시작한다. 현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서는 이러한 예약 절차를 제어하는 중앙 디바이스가 없기 때문에, DRP 예약에서 송신 디바이스인 DRP Owner가 현재 다른 DRP 예약들에서 예약되지 않은 MAS 블록들의 예약만을 설정할 수 있다. 현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서의 DRP 예약 협상시 사용되는 DRP IE와 DRP Control 필드 포맷은 그림 4에 설명되어 있다.

DRP 예약 과정은 언제나, 데이터 송신 디바이스인 DRP Owner에 의해 개시된다. 반면에 DRP 예약 협상을 요청받는 수신디바이스를 DRP Target이라 한다. 하나의 DRP 예약을 협상할 때, DRP Owner는 DRP IE 내의 Target/Owner DevAddr 필드를 DRP Target 디바이스의 DevAddr로 설정한다. 그리고 DRP IE의 Reservation Status bit를 0으로, Reason Code bit를 'Accepted'로 설정한다. 그 후 DRP IE의 Target/Owner DevAddr 필드가 자신의 DevAddr로 설정된 비컨 프레임을 수신한 DRP Target 디바이스는 자신의 DRP IE 내 Target/Owner DevAddr 필드를 DRP Owner 디바이스의 DevAddr로 설정한다. 만약 그 예약 시간 구간에 대한 예약이 허용되면, DRP Target 디바이스는 DRP IE의 Reservation Status bit를 1로, Reason Code bit를 'Accepted'로 설정한다. 반대로, 요청된 DRP 시간 구간이 허용되지 않는다면, DRP Target 디바이스는 DRP IE의 Reservation Status bit를 0으로 설정한다. 만약, 요청된 DRP 예약 구간이 자신 또는 1홉 이용디바이스들의 기존 DRP 예약 구간들과의 충돌로 인해, 허용되지 않는 경우에

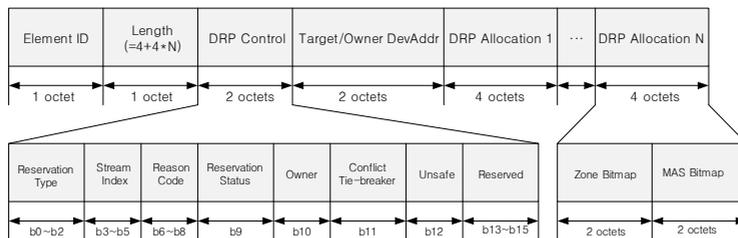


그림 4. DRP IE와 DRP Control 필드 포맷
 Fig. 4. Format of DRP IE and DRP Control Field

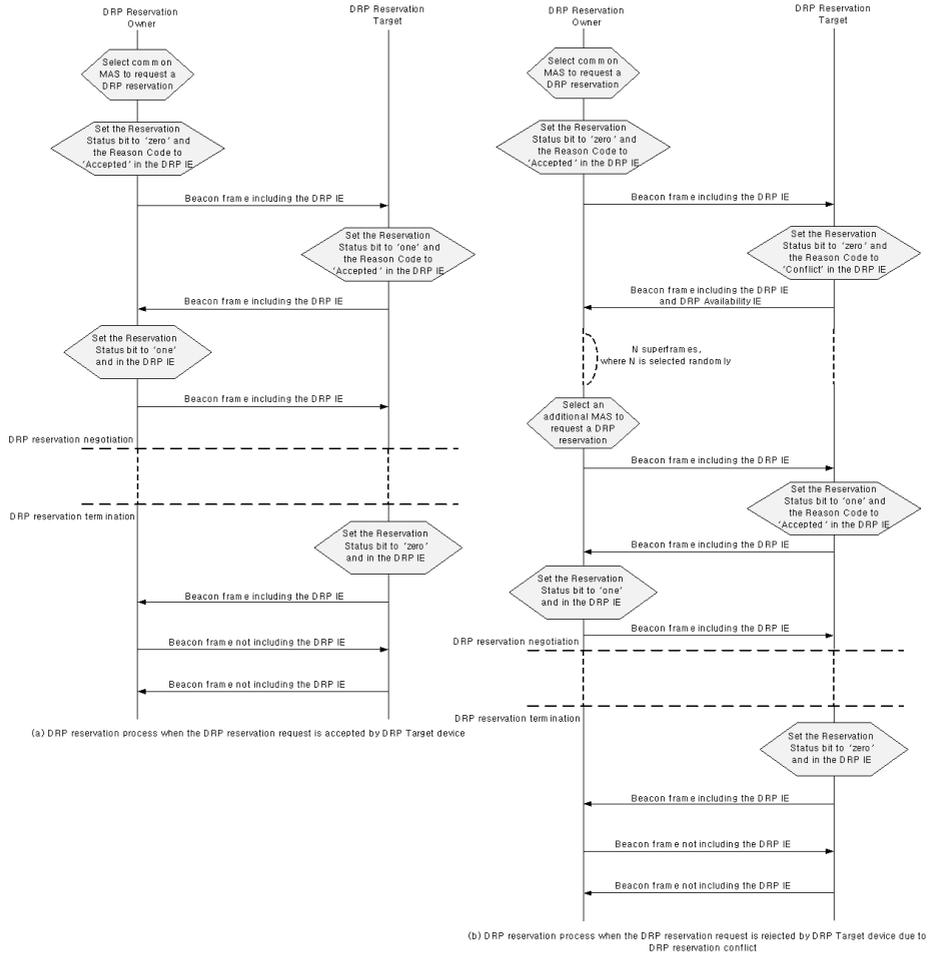


그림 5. 표준 DRP 예약 협상과정
Fig. 5. Process of standard DRP reservation negotiation

는, DRP Target 디바이스가 표 1과 같이 Reason Code bit를 'Conflict'로 설정한다. 한편, 성공적인 DRP 예약 절차를 종료하기 위해서 DRP Owner 디바

표 1. 예약상태코드 (Reason Code)
Table 1. DRP conflict Reason Code

value	code	meaning
0	Accepted	DRP request is accepted
1	Conflict	DRP request collides with other DRP reservation
2	Pending	DRP request is under processing
3	Denied	DRP request is rejected or unavailable
4	Modified	DRP request is available but modified
5-7	Reserved	Reserved bit fields

이스는 DRP Target 디바이스로부터 Reservation Status bit가 1로 설정된 DRP IE를 포함한 비컨을 수신한 후, 자신의 비컨 내 DRP IE의 Reservation Status bit를 1로 설정하여 비컨 프레임을 전송한다. 만약 예약 구간의 충돌이 발생한 경우, DRP Owner 디바이스는 Reservation Status bit를 1로 설정하지 않는다.

그리고, 이 경우에 대한 예약 협상을 종료하기 위해 DRP Target 디바이스는 DRP IE의 Reservation Status bit를 0으로 설정하고, Reason Code bit를 적절한 값으로 설정한다. 그리고, DRP Owner 디바이스는 자신의 비컨 프레임 내의 해당 DRP IE를 삭제한다.

그림 6은 현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서 정의된 2홉 범위의 DRP 충돌 해결 방식을 설명하고 있다. 그림 6(a)에서는 DRP 예약 구간 DRP DB가

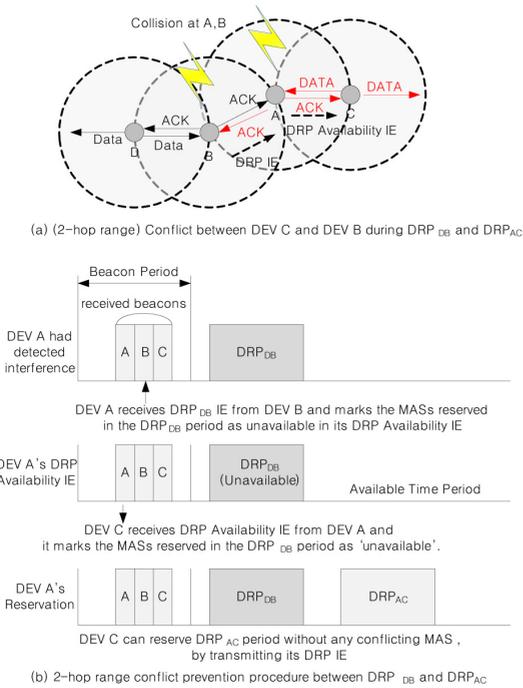


그림 6. WiMedia D-MAC 표준 기술의 2홉 범위 DRP 예약 충돌 해결 상황 예시
Fig. 6. Example of 2-hop DRP conflict resolution according to WiMedia D-MAC standard

DEV D와 DEV B간에 설정되어 있다. 그리고 DEV D가 DEV B에게 DRP DB구간 동안 데이터 프레임 을 전송하고 있다. 만약 DEV C가 DEV A에게, DRP DB구간과 중첩되는 MAS 슬롯들이 있는 DRP AC구간에서 데이터 프레임 을 전송하기 위해 DRP 예약 협 상을 시작한다면, DRP DB와 DRP AC구간 간에 DRP 충돌이 발생하게 된다. 현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서는 DRP IE와 DRP Availability IE를 이용하여 이 문제를 해결하고 있다. 그림 6(b)는 현재 의 2홉 범위의 DRP 충돌 해결 과정을 보이고 있다. 만약 DEV D와 DEV B가 DRP DB구간의 예약 협 상을 성공적으로 완료 했다면, DEV B는 DRP DB구간 의 예약 정보를 자신의 DRP IE를 이용하여 브로드캐 스트한다. 수신된 DEV B의 DRP IE 정보로부터 DEV A는 DRP DB구간을 자신의 DRP Availability IE 내에 예약할 수 없는 구간으로 표기하게 된다. 그림 7은 DRP Availability IE의 포맷을 나타내며, 이러 한 DRP Availability IE는 현재 슈퍼프레임에서 모든 1홉 거리 이웃 디바이스들이 예약하여 사용하고 있는 MAS 슬롯들의 상황을 나타낸다. DRP Availability IE의 비트맵 필드는 256 비트의 길이를 갖고, 1 비트

Element ID	Length (=N)	DRP Availability Bitmap
1 octet	1 octet	N octets (0~32)

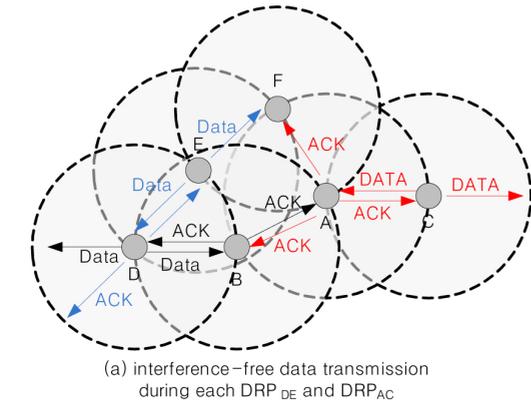
그림 7. DRP Availability IE 포맷
Fig. 7. Format of DRP Availability IE

는 하나의 MAS 슬롯을 나타낸다. 만약 임의의 MAS 슬롯이 자신의 디바이스로부터 1홉 범위 내에 있는 DRP 예약에서 예약 가능하면 해당 비트를 1로 설정 하며, 그렇지 않으면, 0으로 설정한다. 이러한 DRP Availability IE는 자신과 1홉 거리의 모든 이웃 디바 이스들로부터 수신된 DRP IE들을 결합하여 생성한 다. 만약 DEV C가 DEV A로부터 이러한 DRP Availability IE를 수신하면, DEV C는 DRP DB구간 이 DEV A에게 예약 불가한 시간 구간임을 알게 되 고, 예약하려는 DRP AC구간에서 DRP DB구간과 중 첩되고, MAS 슬롯들을 제외할 수 있게 된다. 따라서, DEV B와 DEV C와 같은 2홉 범위의 Hidden 디바이 스들 간의 DRP 예약 충돌은 DRP Availability IE를 전송함으로써 방지된다. 그림 6(a)에서 DEV C가 DEV A로부터 DRP Availability IE를 수신하는 경우 는 DEV C가 자신으로부터 2홉 범위 내 디바이스들 의 DRP 예약 상황 정보를 수신하는 것을 의미한다.

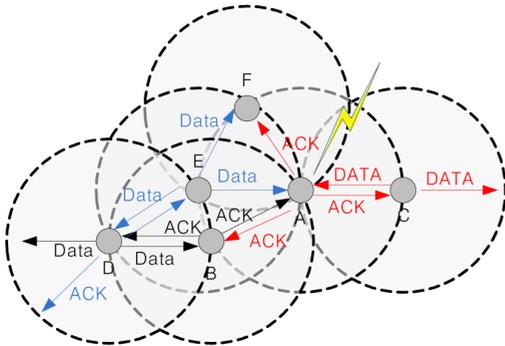
2.3 현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서 DRP 예약 방식의 문제점

현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서는 2홉 거리 간격을 갖는 디바이스들 간에는 DRP 예약 충돌이 없 다. 그러나, 3홉 거리 간격을 갖는 디바이스들 간의 DRP 예약 충돌은 고려되어 있지 않다. 그림 8에서 DRP AC구간의 DEV C라는 DRP Owner에 의해 임 의의 MAS 슬롯들이 예약되었고, DRP DE구간에서 DEV C와 3홉 거리를 갖는 DEV E가 또한 그 슬롯들 을 다시 예약하여 사용하고 있다. 그러나, 이 상황에 서 만약, DEV E가 DEV A의 1홉 전송 범위 내로 이 동하여 들어온다면, DEV E에 의해 예약되어 사용 중 인 그 MAS 슬롯들은 DRP AC구간의 예약된 MAS 들과 중첩될 수 있고, 이는 3홉 범위의 Hidden DRP 예약 충돌 문제를 일으키는 것이다. 그림 8은 이러한 3홉 범위의 Hidden DRP 예약 충돌 상황을 설명하고 있다.

그림 8(a)에서 DEV E는 DEV B와 DEV F의 1홉 이웃 디바이스이고, DEV B와 DEV F는 DEV A의 이웃 디바이스들이다. 따라서 DEV E는 DEV C와 3



(a) interference-free data transmission during each DRP_{DE} and DRP_{AC}



(b) a 3-hop range DRP conflict due to the mobility of DEV E

그림 8. 디바이스의 이동성으로 인한 3홉 범위 디바이스들 간의 DRP 예약 충돌 현상
Fig. 8. 3-hop range DRP conflict due to device mobility

홉의 거리를 갖고 있다. 그래서, DRP AC구간은 DRP DE구간과 중첩되는 동일한 MAS를 예약하여 사용할 수 있다. 그 이유는 각 DRP 데이터 전송은 각각 1홉 전송 범위 밖이어서, DEV A, C, D, E의 4개 디바이스들은 서로 간섭 없이 데이터 프레임을 송수신한다. 그러나, 그림 8(b)에서 DEV E가 DEV A의 1홉 범위로 이동한 경우, DRP DE구간과 DRP AC구간은 DRP 예약 충돌을 겪게 된다. 그림 9는 이러한 상황을 설명하고 있다. 이러한 3홉 범위의 DRP 충돌이 발생하게 되면, 충돌을 겪는 모든 DRP 예약 구간들 중 단지 하나의 DRP 예약 구간만이 예약된 DRP 구간을 유지하고, 나머지 DRP 예약들은 DRP 예약이 종료되어, DRP 예약 협상을 다시 시작해야 한다. 따라서, 현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서는 이동 디바이스 환경에서 이러한 3홉 범위의 빈번한 DRP 예약 충돌로 인해 채널 타임슬롯들을 낭비할 수 있고, 추가적인 송수신 전력을 DRP 예약 재협상 과정에서 소모할 수 있다. 이는 DRP 전송 시의 QoS 성능을 악화시킨다. 그러나, 현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서는 이

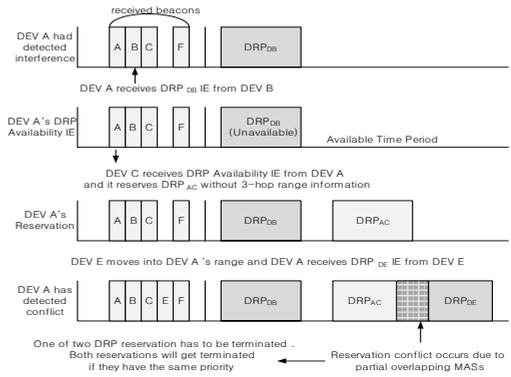


그림 9. 그림 8에서 DRPDE구간과 DRPAC구간 간에 중첩되는 DRP 예약구간에서
Fig. 9. Overlapped DRP reservation period between DRPDE period and DRPAC period in Fig. 8

러한 3홉 범위의 충돌을 방지하기 위한 3홉 범위의 Hidden DRP 예약 정보를 브로드 캐스트하는 방법이 정의되어 있지 않다. 그림 8(b)에서 DEV E가 DEV A의 1홉 범위로 이동한 경우, 비컨 슬롯 충돌이 발생하지 않으므로, 이러한 3홉 범위의 DRP 예약 충돌 문제는 반드시 해결해야 할 문제이다.

III. 시뮬레이션결과 및 분석

제안된 기술의 효율성을 분석하기 위해, Theoretical Maximum Throughput (TMT) 개념을 소개한다. 그리고 다음 7 가지 가정을 설정한다. (1) Bit error rate (BER)은 0이다. (2) 충돌로 인한 손실은 발생하지 않는다. (3) 수신 노드에서 버퍼 오버 플로우로 인한 패킷 손실은 발생하지 않는다. (4) 송신 노드는 전송할 패킷들을 충분히 갖고 있다. (5) MAC 계층은 fragmentation을 사용하지 않는다. (6) 비컨과 association 프레임들은 고려하지 않는다. (7) DRP 모드의 TMT 값은 식(1)에 나타내었다. 식 (1)에서, N_{MSDU}는 DRP 예약 블록에서 완전하게 전송가능한 MSDU의 전체 수를 나타내고, L_{MSDU}는 최대 4096 바이트에 이르는 MSDU(MAC Service Data Unit)의 길이를 나타낸다. 그리고, T_{DRP}는 그러한 MSDU들을 성공적으로 전송하기 위해 필요한 실제 시간을 나타낸다. L_{DTP}는 DTP(Data Transmission Period)의 길이이며, mSuperframeLength는 WiMedia 기술규격에서 정의된 슈퍼프레임의 길이를 나타낸다.

$$TMT_{DRP} = \frac{8 \times N_{MSDU} \times L_{MSDU}}{T_{DRP}} \times \frac{L_{DTP}}{mSuperframeLength} \quad (1)$$

식 (1)에서, L_{DTP} 는 $mTotalMASLimit$ MAS들의 최대 수를 초과할 수 없다. 데이터 프레임들은 BP (Beacon Period) 구간에서 전송될 수 없기 때문에, 슈퍼프레임에서 BP 길이의 비율을 고려해야 한다. BP의 길이는 비컨그룹 내의 디바이스 개수에 의해 결정된다. 따라서, L_{DTP} 는 식 (2)와 같이 계산되고, 식 (2)에서 $mBeaconSlotLength$ 는 각 비컨 슬롯의 길이를 나타낸다.

$$L_{DTP} = mSuperframeLength - mBeaconSlotLength \times (2 + N_{devices} + mBPEExtension) \quad (2)$$

식 (2)에서, $N_{devices}$ 는 비컨 그룹에 속한 디바이스 개수를 나타내고, $mBPEExtension$ 는 비컨 그룹 확장을 위해 준비한 여분의 비컨 슬롯 수를 나타낸다. BP의 길이가 $mMaxBPLength$ 를 초과하지 못하기 때문에, L_{DTP} 는 224 MAS보다 많은 MAS 들을 포함한다. WiMedia D-MAC에서, 일반적인 PPDU(PLCP Protocol Data Unit) 구조와 달리, MSDU는 PPDU의 데이터 페이로드를 구성한다. WiMedia D-MAC 헤더를 포함한 PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 헤더의 길이는 무시될 수 있다. 그 이유는 이 값이 PSDU(PHY Service Data Unit)의 길이와 비교하여 매우 짧기 때문이다. 따라서, DRP 예약 블록들에서, N_{MSDU} 는 PPDU의 개수와 동일하다.

$$N_{MSDU} = N_{PSDU} = N_{PPDU} \quad (3)$$

그림 10은 각 Ack 정책에 따른 일부 프레임 트랜잭션들을 나타낸다. 그림 10에 나타낸 바와 같이, 하나의 DRP 예약 블록에서 MSDU의 개수는 ACK 정책에 의해 결정된다. No ACK 또는 B-ACK (Block-ACK) 정책에서는, 그림 10에 나타낸 바와 같이, 마지막 프레임을 제외한 버스트에서, 프레임들 사이에는 MIFS(Minimum Interframe Spacing) 구간들이 있다. 또한, 모든 프레임들은 SIFS 구간에 의해 구분된다. SIFS(Short Interframe Spacing)와 MIFS의 길이는 pSIFS와 pMIFS 파라미터들에 의해 주어진다. 그리고 그 값들은 WiMedia 기술 규격에 정의되어 있다. 따라서, N_{MSDU} 는 다음과 같이, Ack 정책에 따라 서로 다르게 계산된다. No-ACK 정책에서는, 하나의 DRP 예약 블록에서, MSDU의 개수는 식 (4)와 같이 계산된다. 식 (4)에서, T_{frame} 은 PSDU의 구간 길이와 같고, 식 (5)로부터 유도된다. T_{SYM} 은 WiMedia 기술 규격에서 정의되어 있다.

$$N_{MSDU} = \frac{T_{DRP} + pMIFS - pSIFS}{T_{frame}} \quad (4)$$

$$T_{frame} = 6 \times \left[\frac{8 \times L_{MSDU} + 38}{N_{IBP6S}} \right] \times T_{SYM} \quad (5)$$

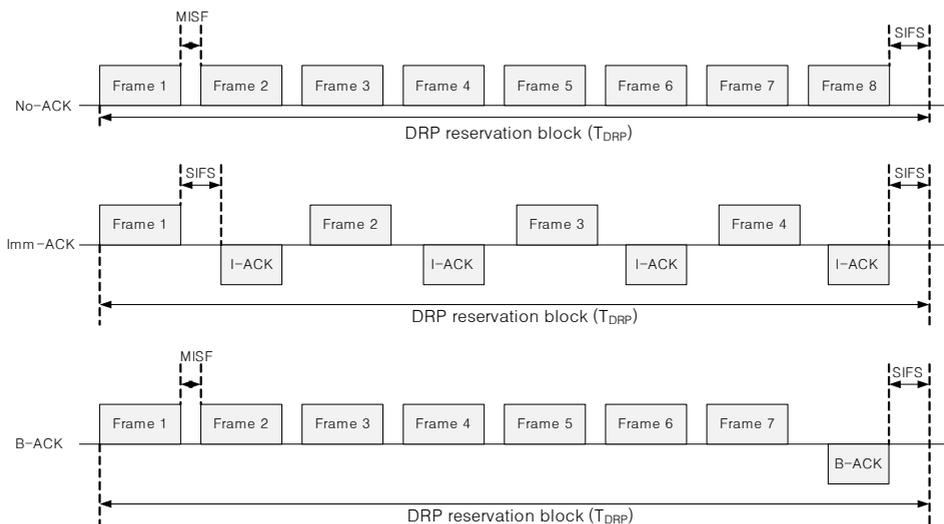


그림 10. 각 ACK 정책에 따른 일부 프레임 트랜잭션 사례
Fig. 10. Transaction examples at each ACK policy

Imm-ACK 정책에서는, 하나의 DRP 예약 블록 내 MSDU의 개수는 식 (6)과 같이 계산된다. 식 (6)에서 $T_{Imm-ACK}$ 는 Imm-ACK 프레임에 대한 시간 구간 길이와 같다. WiMedia 기술 규격에 따라, Imm-ACK 프레임은 데이터 페이로드 없이 MAC 헤더만 포함된다. 따라서, $T_{Imm-ACK}$ 는 식 (7)로부터 도출된다. 식 (7)에서, T_{sync} 는 PLCP 프리앰블의 길이이고, T_{hdr} 는 PLCP 헤더의 길이를 나타낸다.

$$N_{MSDU} = \frac{T_{DRP}}{T_{frame} + T_{Imm-ACK} - 2pSIFS} \quad (6)$$

$$T_{Imm-ACK} = T_{sync} + T_{hdr} \quad (7)$$

B-ACK 정책에서, 하나의 DRP 예약 블록 내 MSDU들의 개수는 식 (8)과 같이 계산된다. 식 (8)에서 T_{B-ACK} 는 B-ACK 프레임의 길이를 나타내고, 식 (9)로부터 도출된다. WiMedia PHY/MAC 파라미터와 PSDU 데이터 전송률 기반 변조 파라미터는 표 2와 표 3에 각각 제시되어 있다.

$$N_{MSDU} = \frac{T_{DRP} - T_{B-ACK} + pMIFS - 2pSIFS}{T_{frame} + pMIFS} \quad (8)$$

$$T_{B-ACK} = T_{sync} + T_{hdr} + T_{frame} \quad (9)$$

기준 디바이스에서의 3홉 범위 DRP 예약 충돌 확률을 계산하기 위해, 3가지 종류의 DRP 예약이 반드시 고려되어야 한다. 이러한 DRP 예약은 기준 디바이스에서의 1홉 범위 DRP, 2홉 범위 DRP와 3홉 범위 DRP 예약으로 분류된다. 슈퍼프레임 내 하나의 DTP에서의 MAS 개수는 N_{DTP} 로 표시된다. 1홉 이웃디바

표 2. WiMedia PHY/MAC 변수값
Table 2. WiMedia PHY/MAC parameter values

Parameter	Value
T_{SYM}	312.5ns
T_{sync}	Standard Preamble: 9.375 μ s
T_{hdr}	3.75 μ s
pMIFS	1.875 μ s
pSIFS	10 μ s
mMAXFramePayloadSize	4,095 octets
mMAXBPLength	96 beacon slots
mBeaconSlotLength	85 μ s
mSuperframeLength	256*mMASLength
mMASLength	256 μ s
mBPExtension	8 beacon slots
mTotalMASLimit	112 MASs

표 3. PSDU 데이터 전송률 기반 변수값
Table 3. Parameter values based on PSDU Data rates

Data rate(Mbps)	Info Bits / 6 OFDM Symbol
53.3	100
80	150
106.7	200
160	300
200	375
320	600
400	750
480	900

이스들이 예약한 DTP 구간에서 MAS 개수, 2홉 거리 디바이스들과 3홉 거리 Hidden 디바이스들은 N_{1-hop} , N_{2-hop} 그리고 N_{3-hop} 으로 각각 표시한다. 각 디바이스는 m_{in} 과 m_{out} 이라는 2종류의 이동성을 갖는다. m_{in} 은 기준 디바이스와 1홉 더 가까이 이동하는 확률이고, m_{out} 은 기준 디바이스와 1홉 더 멀리 이동하는 확률이다. 이러한 정의에 따라, 3홉 범위 DRP 충돌 $P_{conflict}$ 값은 식 (10)과 같이 도출된다.

$$P_{conflict} = \sum_{c=1}^{\min(DRP_{own}, m_{in} \cdot N_{3-hop})} P(c) = \sum_{c=1}^{\min(DRP_{own}, m_{in} \cdot N_{3-hop})} \left(\sum_{k=1}^{m_{in} \cdot N_{3-hop} - c} P(c/k) P(k) \right) \\ = \sum_{c=1}^{\min(DRP_{own}, m_{in} \cdot N_{3-hop})} \left\{ \sum_{k=1}^{m_{in} \cdot N_{3-hop} - c} \left(\frac{k}{m_{in} \cdot N_{3-hop} - c} \right) \cdot \left(\frac{k}{N_{DTP} - N_{1-hop} - N_{2-hop} \times (1 - m_{out})} \right) \right\} \quad (10)$$

식 (10)에서, c 는 기준 디바이스 자신이 예약한 DRP 예약과 3홉 Hidden DRP 예약 간 중첩된 MAS들의 수를 나타낸다. 그리고, DRP_{own} 은 기준 디바이스에 의해 예약된 MAS 수를 나타낸다. 따라서, 3홉 범위 DRP 충돌 확률은 c 개의 중첩된 MAS들의 발생 확률을 모두 더하여 계산된다. 식 (10)에서 $(N_{DTP} - N_{1-hop} - N_{2-hop} \times (1 - m_{out}))$ 은 현재 슈퍼프레임에서, DRP 예약에 대한 가용한 MAS들의 수를 나타낸다. 그리고, 3홉 거리의 Hidden DRP 예약과 중첩된 c 개의 MAS들이 존재하는 경우, 1에서 $m_{in} \cdot N_{3-hop} - c$ 개의 범위에 속하는 추가적인 MAS들이 반드시 존재한다. 따라서, 현재 슈퍼프레임에서, 하나의 DRP에 대한 $(N-1)$ 개의 유효한 MAS들에 대해 3홉거리 Hidden DRP 예약으로부터, $m_{in} \cdot N_{3-hop} - c$ 개의 새로 진입하는 MAS들이 존재한다. 식 (11)과 같이, TMT를 나타내는 식 (1)과 $P_{conflict}$ 를 나타내는 식 (10)을 결합하여, 3홉 범위 DRP 충돌이 WiMedia MAC을 통해 얼마나 수율 성능에 영향을 가하는가를 분석할 수 있다. 그리고, 제안한 3홉 범위 DRP 충돌해결 자원예약기술

이 실시간 트래픽에 대해, 얼마나 Seamless QoS 수율을 향상시키는 가를 나타낼 수 있다.

$$TMT_{DRP,conflict-free} = (1 - P_{conflict}) \times TMT_{DRP} \quad (11)$$

제안한 기술의 성능은 NS2시물레이션을 통해 평가된다. 표 4는 본 논문에서 사용된 시물레이션 파라미터들을 나타낸다. 네트워크 크기는 10m*10m이며, 최대 20개의 디바이스들이 이 네트워크 상에 랜덤하게 위치한다. 본 시물레이션에서, 기존 선내 WiMedia 디바이스의 DRP 예약에 포함된 MAS들의 개수를 DRP_{own} 으로 표기한다. 그리고, 기존 선내 WiMedia 디바이스의 1홉 범위 이웃 디바이스들이 예약한 DRP 예약 구간에 포함된 MAS들의 개수를 L_{1-hop} 으로 표기하고, 기존 선내 WiMedia 디바이스와 2홉 거리에 위치한 디바이스들에 의해 예약된 DRP 구간에 포함된 MAS들의 개수는 L_{2-hop} 으로 표기한다. 또한, 그 기존 디바이스와 3홉 거리를 갖는 Hidden 디바이스들이 예약한 DRP 구간에 포함된 MAS들의 개수는 L_{3-hop} 으로 표기한다. 한편, 각 디바이스는 m_{in} 과 m_{out} 이라는 2종류의 이동성을 갖는다. m_{in} 은 임의의 선내 WiMedia 디바이스가 3홉 거리 범위에서 2홉 거리 범위로 이동하는 것과 같이, 기존 디바이스와 1홉 더 가까운 범위로 이동하는 확률을 나타낸다. 그리고 m_{out} 은 임의의 선내 WiMedia 디바이스가 2홉 거리 범위에서 3홉 거리 범위로 기존 디바이스로부터 멀어지는 것과 같이, 1홉 더 먼 거리 범위로 이동하는 확률을 나타낸다.

그림 11은 각 m_{in} 확률값에 대해 각 UWB/PHY 데이터 전송률에 따른 디바이스의 수율값을 나타낸다. 그림 11에서, 비컨 그룹 내의 디바이스들에 의해, 전송된 프레임 크기는 4095바이트로 고정되어 있다. 이러한 결과는 m_{in} 확률값이 증가함에 따라 수율이 점차 감소함을 나타낸다. 이러한 결과는 그림 12에서 설명한 바와 같이, m_{in} 확률의 증가가 더 많은 3홉 Hidden DRP 예약 시의 충돌을 발생시키기 때문이다. 즉, 이

표 4. 시물레이션 파라미터값
Table 4. Simulation parameter values

Parameter	Value
L_{1-hop}	30MASs
L_{2-hop}	30MASs
L_{3-hop}	20MASs
DRP_{own}	20MASs
m_{out}	0.2

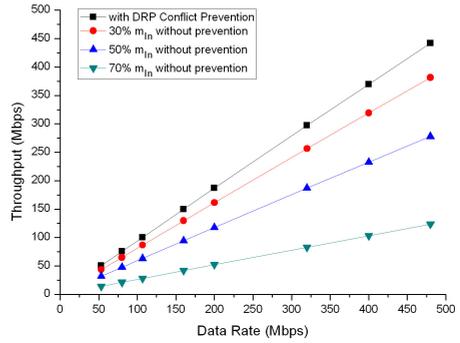


그림 11. UWB PHY 데이터 전송률에 따른 선내 WiMedia 디바이스의 수율
Fig. 11. Throughputs of WiMedia Device in Ship according to UWB PHY data rates

러한 결과는 3홉범위 DRP 충돌 방지 방안이 디바이스의 수율을 얼마나 증가시키는 가를 보여준다. 그리고 그림 12는 디바이스의 수율과 전송된 프레임 크기의 관계를 나타낸다. 그림 12에서 UWB PHY 전송률은 480Mbps로 고정되어 있다. 그림 12에 나타낸 바와 같이, 디바이스의 수율은 프레임 크기가 어떤 문턱값을 넘은 후에는 전송 프레임 크기에 따라 크게 변하지 않는다. DRP 예약 블록에서의 전송이 경쟁없이 수행되기 때문에, 전송 프레임 크기의 증가는 프레임 간 충돌의 확률을 증가시키지 않는다. 그러나, 디바이스의 수율은 디바이스들의 1홉 안쪽으로 이동이 3홉 범위의 DRP 예약 충돌을 간접적으로 발생시키기 때문에, m_{in} 확률값에 따라 비례하여 급격하게 감소한다.

그림 13은 3홉 Hidden DRP 예약의 L_{3-hop} 양에 따른 3홉 범위 DRP 예약 충돌 확률값을 나타낸다. 그림 13에서, L_{3-hop} 양이 증가할수록 3홉 Hidden DRP 예약 충돌 확률은 급격하게 증가한다. 만약, 일반적인 m_{in} 확률값을 30%로 가정한다면, 본 그림은 3홉 Hidden DRP 충돌 확률이 L_{3-hop} 양이 크지 않음에도 불구하고,

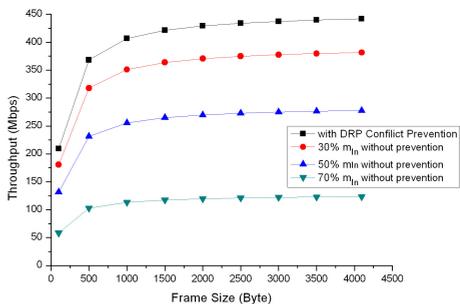


그림 12. UWB PHY 프레임 크기에 따른 선내 WiMedia 디바이스의 수율
Fig. 12. Throughputs of WiMedia Device in Ship according to UWB PHY frame sizes

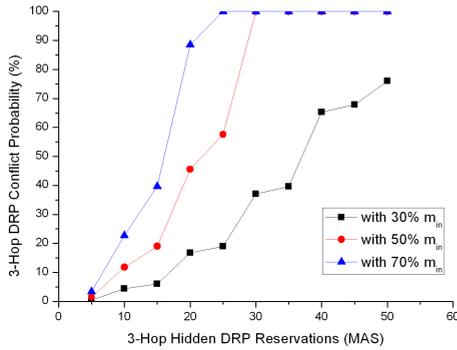


그림 13. 3홉 Hidden DRP 예약 량에 따른 3홉 DRP 예약 충돌 확률값
 Fig. 13. 3-hop range DRP conflict probability according to the amount of 3-hop hidden DRP reservation

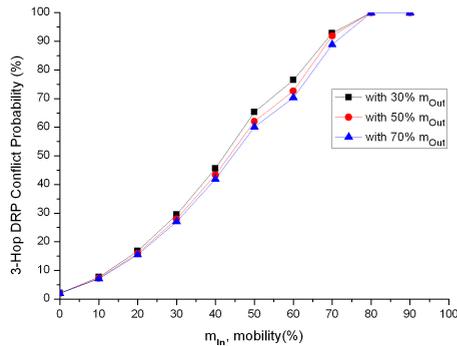


그림 14. 각 m_{in} 확률값에 따른 3홉 DRP 충돌 확률
 Fig. 14. 3-hop range DRP conflict probability according to the amount of m_{in}

L_{3-hop} 양에 따라 크게 영향 받음을 나타낸다. 따라서, 이러한 3홉 Hidden DRP 예약 충돌 문제는 D-MAC 기술 개발에 있어 심각하게 고려되어야 한다. 마지막으로, 그림 14는 각 m_{in} 확률값에서 m_{Out} 확률값에 따라 변화하는 3홉 DRP 충돌 확률값의 관계를 나타낸다. 그림 14에 나타난 바와 같이, m_{Out} 확률값은 3홉 DRP 충돌 확률에 크게 영향을 미치지 않는다. 그 이유는 디바이스의 1홉 안쪽에서의 이동이 그림 8에서와 같이, 자신의 DRP 예약과 3홉 범위 DRP 예약 충돌을 주로 일으키기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 와이미디어 분산 MAC을 기반으로 하는 선내 통합유무선 네트워크를 위한 무선 브릿지로서 와이미디어기반 통신방식구조를 제안하였다. 제안

한 무선 브릿지구조에서 선내 제어 유선네트워크의 정보를 신뢰성 있고 안정적인 정보를 전송할 수 있는 방안으로 분산적인 MAC 기반의 와이미디어 통신 방안을 적용하여 성능을 평가하였다. 제안한 방식을 시뮬레이션한 결과, 선내 디바이스의 2홉 이동성에서는 신뢰성 있는 고속 무선 통신 성능이 보장됨을 나타내었다. 이를 통하여 선내 통합유무선 네트워크에서 사용되는 선내의 각종 센서와 제어기를 2홉 거리 내에서 자율적으로 구성관리하고 원격제어를 제공하는 고속 무선 브릿지로서 와이미디어 방식을 적용할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] S. Park and S. R. Lee, "Marine disasters prediction system model using marine environment monitoring," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 263-270, Mar. 2013.
- [2] S.-H. Lee, J.-H. Kim, K.-D. Moon, K. Lee, and J. H. Park, "Performance analysis on integrated ship area network," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 247-253, Mar. 2013.
- [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] IEEE 802.15.3, "Wireless medium access control and physical layer specification for high rate wireless personal area networks," 2003, <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/restricted/802.15.3-2003.pdf>.
- [5] WiMedia alliance, "Distributed medium access control for wireless networks," WiMedia MAC Release Spec. 1.01, Dec. 2006.
- [6] Jd. P. Pavon, S. Shankar N, V. Gaddam, K. Challapali, and C.-T. Chou, "The MBOA-WiMedia specification for ultra wideband distributed networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, no. 6, pp. 128-134, Jun. 2006.
- [7] J. Jun, P. Peddabachagari and M. Sichitiu, "Theoretical maximum throughput of IEEE 802.11 and its applications," *IEEE Int. Symp. Netw. Comput. Appl.*, pp. 246-256, Apr. 2003.

허 경 (Kyeong Hur)



1998년 2월 : 고려대학교 전자
공학과 졸업
2000년 2월 : 고려대학교 전자
공학과 석사
2004년 8월 : 고려대학교 전자
공학과 공학박사
2004년 8월~2005년 8월 : 삼성

종합기술원(SAIT) 전문연구원

2005년 9월~현재 : 경인교육대학교 컴퓨터교육과 부
교수

<관심분야> 유무선통신시스템설계, 상황인지기술, 컴
퓨터교육

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 : 고려대학교 전자
공학과 공학사
1990년 2월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 공학석사
1996년 8월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 공학박사
1997년 9월~현재 : 목포대학교

공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시
스템, USN/텔레메틱스응용분야, 임베디드시스템

정 민 아 (Min-A Jeong)



1992년 2월 : 전남대학교 이학사
1994년 2월 : 전남대학교 이학
석사
2002년 2월 : 전남대학교 이학
박사
2002년 4월~2003년 2월 : 광주
과학기술원정보통신공학과
Post-Doc

2003년 4월~2005년 2월 : 전남대학교 전자통신기술
연구소 Post-Doc

2011년 9월~2013년 2월 : Cleveland Clinic Research

2005년 3월~현재 : 목포대학교 컴퓨터공학과 부교수

<관심분야> 데이터베이스/데이터마이닝, 생체인식시
스템, 무선통신응용분야, 임베디드시스템