

선박 내 Relay-based WUSB/DRD/WLP 연동 프로토콜 설계

이 승 범*, 정 민 아*, 권 장 우**, 이 성 로^o

Relay-Based WUSB/DRD/WLP Cooperative Protocol Design in Ship Area

Seung Beom Lee*, Min-A Jeong*, Jang-Woo Kwon**, Seong Ro Lee^o

요 약

본 논문에서는 선박 내 WiMedia 환경의 WSS에서 릴레이 기반 WUSB/DRD와 WLP 디바이스의 통신을 위한 연동 프로토콜을 제안한다. 이를 위해 릴레이 기반 협력 통신에 사용되는 RNT 테이블 구성과 RNS 릴레이 노드 알고리즘에 대해 알아본다. 또, WLP 네트워크를 구성하는 디바이스를 알아보고 WUSB/DRD/WLP 디바이스의 통신을 위한 연동 프로토콜을 제안한다. 제안하는 WLP 연동 프로토콜을 이용하면, 기존의 표준 DRP 예약과 WUSB 프로토콜의 DRP 예약을 이용하여 WUSB/DRD/WLP 디바이스의 통신이 가능하게 된다.

Key Words : WiMedia, WUSB(Wireless USB), WLP(WiMedia logical link control protocol), relay-based cooperative communication

ABSTRACT

In this paper, we propose a cooperative protocol of relay-based WUSB/DRD and WLP device in WSS of ship area WiMedia environment. For this purpose, we investigate a RNT table configuration and algorithm of RNS relay node used in relay-based cooperative communication. Then, we describe a device that makes up WLP network and propose a cooperative protocol for WUSB/DRD/WLP device communication. The proposed cooperative protocol can communicate with WUSB/DRD/WLP devices by using standard DRP reservation and WUSB DRP reservation.

I. 서 론

최근 조선업계의 IT 융합기술에 대한 요구는 점차 늘어나고 있다. 선박은 대형화, 특수화 되고 효율성을

높이기 위해 내부 공간 설계 및 많은 센서 등을 사용하여 운영의 효율화를 모색하고 있다. 또한 선박에 승선한 승무원 및 승객들에게 육상에서와 같은 편리함과 부가적인 오락을 제공하여 선박 생활의 만족도를

※ 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 : Institute Research of Information Science and Engineering, Mokpo National University, rikioh75@gmail.com, 정희원

◦ Corresponding Author : Department of Information Electronics Engineering, Mokpo National University, srlee@mokpo.ac.kr, 정희원

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

** Inha University Department of Computer Science & Information Technology, jwkwon@inha.ac.kr

논문번호 : KICS2014-05-167, Received May 2, 2014; Revised September 12, 2014; Accepted September 12, 2014

높여가고 있다. 그리고, IT 기술을 활용한 맞춤형 정보를 제공함으로써 사고 방지는 물론 근무환경과 이용환경의 효율을 높일 수 있다. 이러한 서비스에 대한 요구가 점차 증대되면서 고품질 멀티미디어 서비스를 제공하는 와이미디어(WiMedia) 기술에 대한 필요성이 나타나게 되었다.

와이미디어 연합(WiMedia Alliance)^[1]은 170개 이상의 회사들이 모여 UWB(Ultra Wide Band) 기반의 물리 계층과 무선 USB, 무선 1394, 무선 IP, 블루투스과 같은 다양한 어플리케이션의 적용을 가능하게 하는 와이미디어 D-MAC(Distributed-MAC)의 표준을 발표하였다. 와이미디어 D-MAC은 분산적 매체 접근 방식을 지원한다^[2].

멀티 레이트 무선 네트워크에서는 릴레이 전송이 수율을 향상시키고 에너지 소모를 줄일 수 있다. 왜냐하면 낮은 속도의 링크를 통해 직접 전송하는 것에 비해 빠른 속도의 링크를 통해 릴레이 전송을 실행하는 것이 전송 시간을 줄일 수 있기 때문이다. 릴레이 전송을 가능하게 하기 위해 여러 relay-based MAC 프로토콜들^[3]이 제시되고 있다. CoopMAC^[4]은 IEEE 802.11에서의 relay-based cooperative MAC 프로토콜이며, 여기에서는 Helper(또는 Relay)가 RTS/CTS 교환 과정에서 릴레이 전송을 지원하게 된다. 그러나 CoopMAC은 RTS/CTS 교환을 필요로 하고 이는 Control Overhead를 야기하여, 지연에 민감한 멀티미디어 응용에 있어서 적합하지 않다. IEEE 802.15.3^[5]에서는 릴레이 전송을 지원하는, UWB PAN을 위한 Centralized MAC 프로토콜을 제안하고 있다. 이 relay-based MAC 프로토콜은 수율과 에너지 효율 면에서 향상된 성능을 보이나, Centralized MAC 프로토콜은 확장성과 유연성 면에서 단점을 갖고 있다^[6].

무선 USB(WUSB) 기술은 유선 USB 기술의 보편적 사용에 따라 UWB 기반의 무선 기술과 유선 USB 기술을 결합한 것이다. 이러한 무선 USB 기술은 유선 USB의 성능과 보안 기능에 무선의 편리함을 추가한 기술로서, 무선 USB의 호스트와 디바이스의 관계는 점대점으로 직접 연결되는 스타형 토폴로지이다. 무선 USB는 무선 전송 매체로서 WiMedia UWB를 이용하는데, UWB 전송 기술은 초고속 근거리 무선 네트워크를 실현 시킬 수 있는 기술로서 10m 거리 내에 있는 이웃 디바이스들과 최대 480Mbps 속도로 통신이 가능하다^[7]. 소비전력이 낮으며, 도청이 어렵고, 보안성이 우수하며, 정확한 위치 인식이 가능하다는 특징이 있기 때문에 다양한 어플리케이션에서 사용이 가능하다.

이러한 UWB 기반의 와이미디어 디바이스들과 무선 USB 네트워크는 어플리케이션에 따라 같은 무선 환경에서 공존이 가능하며, 이들 네트워크간 통신이 필요한 경우도 있다. 이를 위하여, 와이미디어 연합은 WiMedia radio platform 상으로 network 계층의 패킷을 전송하기 위한 프레임 포맷과 요구사항을 정의한 WLP(WiMedia logical link control protocol) 규격을 정의하였다^[8]. 이 규격은 디바이스들 간의 보안설정 뿐만 아니라 WLP 프로토콜과 이더넷 프로토콜, 또는 다른 유사한 네트워크 프로토콜 간의 프레임들을 중계하기 위한 지원방안을 정의하였다.

모든 WLP 디바이스들은 한 개 이상의 WSS(WLP Service Set)에 속한다^[9]. 임의의 두 WLP 디바이스들은 데이터 프레임을 교환하기 전에 서로의 존재를 발견한 후 WSS에 등록하고 활성화시켜 연결을 설정한다. 디바이스는 언제든지 새로운 WSS를 설정하거나 기존의 WSS에 등록할 수 있다. 일단 디바이스가 WSS를 생성, 등록하면 디바이스는 WSS에 등록된 다른 디바이스와 통신하기 위해 WSS를 활성화 시킨다. WSS를 활성화시킨 디바이스는 같은 WSS의 모든 디바이스와 연결이 가능하다.

선박 내에는 다양한 장치들이 존재한다. 예를 들어, 항해 및 통신을 위한 레이더, 속도계, 측심기, 위성항법 장치 및 승무원, 승객들이 이용할 수 있는 컴퓨터, 텔레비전, 프린터, 스마트폰 등이 있다. 이러한 장치들에 UWB 기반의 WiMedia 기술^[10]을 적용하면 고속 통신이 가능해진다. 승무원 및 승객들은 특정 장치에 신경 쓸 필요없이 육상에서 사용하는 것과 같은 편리한 통신 서비스가 가능해진다. 이러한 다양한 장치에 필요에 따라 WUSB/DRD^[11] 프로토콜을 올릴 수 있고, WLP 디바이스 장치로 이용할 수 있다. 이때 어플리케이션에 따라 같은 무선 환경에서 공존이 가능하며, 이들 네트워크간 통신이 필요한 경우도 있다.

선박 내의 다양한 장치들을 통해 통신을 할 수 있기 때문에 모든 장치들이 통신에 참여할 필요 없이 최소의 장치들로 구성된 통신도 가능하다. 이런 장치에 필요에 따라 WUSB/DRD 프로토콜을 이용할 수도 있고 WLP 프로토콜을 이용하여 장치를 이용할 수도 있다. 통신에 참여한 장치들 간의 아무런 장애가 없는 경우는 통신이 원활하지만, 사람들의 움직임이나 장비의 이동으로 인한 채널 환경의 변화로 통신 상태가 좋지 않은 경우 직접 통신을 하는 것보다 채널 상태가 상대적으로 양호한 릴레이 노드를 통해 데이터를 송수신하는 것이 시간적으로나 전력 소비 측면에서 이득일 수 있다.

본 논문에서는 선박 내 WiMedia 환경의 WSS에서 릴레이 기반 WUSB/DRD^[12]와 WLP 디바이스의 통신을 위한 연동 프로토콜을 제안한다. 이를 위해 릴레이 기반 협력 통신에 사용되는 RNT 테이블 구성과 RNS 릴레이 노드 알고리즘에 대해 알아보고, WLP 네트워크를 구성하는 디바이스와 기능에 대해 살펴본 후, WUSB/DRD/WLP 디바이스 통신을 위한 연동 프로토콜을 제안한다.

II. RNT table 구성 및 RNS relay node Decision 알고리즘

2.1 RNT 테이블 구성과 RNS 릴레이 노드 Decision 알고리즘

릴레이 기반 협력통신은 예약 주체 노드(S node: Source node)와 예약 대상 노드(T node: Target node) 사이의 채널 상태가 좋지 않은 경우, 예약 주체 노드가 예약 대상 노드와 직접 통신하는 것보다 채널 상태가 상대적으로 양호한 릴레이 노드(R node: Relay node)를 거쳐서 데이터를 송수신하는 것이 시간적으로나 전력 소비 측면에서 이득이 있는 방법이다. 최근 들어, 비용 혹은 전력 소비 측면에서 구현 상 제약이 존재하는 디바이스들의 효율적인 통신을 위해, 이들 디바이스 간의 멀티홉(multi-hop) 릴레이 협력통신 방안이 제안되었다. 이 중 CoopMAC 방식이 제안되어 무선랜(WLAN) 시스템에서 효율적인 릴레이 통신을 통한 수율 성능 향상을 증명하였다. 하지만 CoopMAC 방식은 CSMA 방식의 특성 상 Helper Station의 릴레이 참여 여부를 전달하기 위한 HTS(Helper ready To Send) 시그널링에 대한 오버헤드가 추가적으로 요구되며, 또한 이 알고리즘은 무선랜 시스템을 위해 제안되었으므로 부적합하다.

릴레이 기반 협력통신의 원리는 그림 1과 같이 예약 주체 노드(S node)와 예약 대상 노드(T node) 사이의 채널 상태가 좋지 않은 경우, 예약 주체 노드가 예약 대상 노드와 직접 통신하는 것보다 채널 상태가 상대적으로 양호한 릴레이 노드(R node)를 거쳐서 데이터를 송수신하는 것으로, 이러한 릴레이 기반 협력통신은 전송지연시간 측면과 전력 소비 측면에서 이득을 발생시킨다.

WiMedia MAC 프로토콜에는 Link Feedback Information Element(IE)가 정의되어 있다. Link Feedback IE에는 최적의 PHY 데이터 전송률과 송신 전력 정보가 있고, 수신 디바이스로부터 송신 디바이스로 전달된다. 결과적으로, 임의의 디바이스에 대한

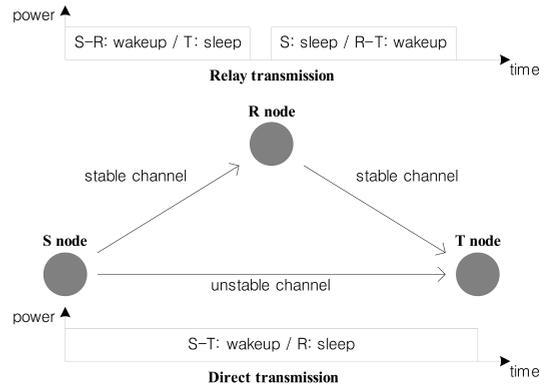


그림 1. 릴레이 기반 협력통신
Fig. 1. Relay-based cooperative communication

모든 링크 피드백 정보는 하나의 Link Feedback IE에 실려 전송될 수 있다. Link Feedback IE의 포맷과 Link 필드 포맷은 다음 그림 2, 그림 3, 그림 4와 같다. Link Feedback IE 내 Link 필드 포맷에서 DevAddr 필드는 피드백을 제공하는 소스 송신 디바이스의 디바이스 주소를 나타낸다.

WiMedia 디바이스들 간의 링크 피드백 정보를 이용하여 최소의 지연시간과 최대 데이터 전송률을 지원하는 전송 송신 경로를 지능적으로 선택할 수 있다. 이를 위해 WiMedia MAC 표준에서 제공하는 DRP 프로토콜에 추가되는 DRP Control 필드 내 새로운

octets:1	1	3		3
Element ID	Length (=3xN)	Link 1	...	Link N

그림 2. Link Feedback IE 포맷
Fig. 2. Link Feedback IE format

bits: b23-b20	b19-b16	b15-b0
Data Rate	Transmit Power Level Change	DevAddr

그림 3. Link Feedback IE 내 Link 필드 포맷
Fig. 3. Link field format in Link Feedback IE

Value	PHY Data Rate	Value	PHY Data Rate
0	53.3 Mbps(=RPHY-MIN)	5	320 Mbps
1	80 Mbps	6	400 Mbps
2	106.7 Mbps	7	480 Mbps
3	160 Mbps	8-15	Reserved
4	200 Mbps		

그림 4. Data Rate 필드 포맷
Fig. 4. Data Rate field format

Reason code들을 전송하고, 모든 WiMedia MAC 디바이스는 분산적인 DRP 예약 협상 과정을 실행하여 더 높은 데이터 전송률을 지원하는 전송 경로를 선택할 수 있다. 분산적인 협력 D-MAC 기술은 새로운 RNT(Relay Node Table) 테이블과 Reason code들을 사용한다. 그리고 새로운 협력적인 릴레이 DRP 협상 과정을 필요로 한다.

WiMedia 비컨 그룹 내에 속한 모든 디바이스들은 데이터 릴레이 전송을 위해 필요한 잠재적인 릴레이 디바이스를 선택하기 위해 RNT를 구성하고 유지해야 한다. RNT의 형성과 갱신은 매 슈퍼프레임마다 이웃 디바이스들이 전송한 비컨들 내에 담긴 Link Feedback IE들을 수신함으로써 이루어진다. Link Feedback IE에는 송신자가 송신한 데이터 프레임이 성공적으로 수신할 수 있는 최적의 데이터 전송률 정보가 담겨 있다.

수신된 Link Feedback IE에 담긴 이웃디바이스의 데이터 전송률 정보는 RNT에 저장된다. 표 1 에 나타낸 바와 같이, RNT는 Source-DEVAddr, PHY Data rate, Dest-DEVAddr의 3가지 필드로 구성된다. DEVAddr 필드는 자신도 포함되는 해당 이웃 디바이스의 주소를 나타내며, PHY Data rate 필드는 Source-DEVAddr와 Dest-DEVAddr 간의 최적 PHY 전송률을 나타낸다. Dest-DEVAddr 필드는 Source-DEVAddr에 해당하는 디바이스가 직접적으로 전송하려는 1홉 목적지 디바이스 주소를 나타낸다. 데이터 전송을 위한 매체 접근 슬롯 MAS(Medium Access Slot)^[2]는 프레임 교환을 위한 기본구조인 슈퍼프레임(superframe)의 일부분을 나타낸다. 데이터 전송을 위해 MAS들을 예약하는 디바이스는 우선적으로 RNT를 체크한다.

이웃 디바이스들에 대한 정보를 얻은 후에, RNT 테이블 정보로부터 최소의 릴레이 전송 시간을 제공하는 최적의 이웃 디바이스를 결정할 필요가 있다. 이를 위해 이용 가능한 경로(direct path와 relay path)에서의 전송지연시간을 계산해야 한다. 표 2는 경로별 전송지연시간을 계산하는 데 사용되는 수식에 대해 설명한다. 여기서 MAC header와 ACK frame은 기본 data rate로 전송된다^[13]. Direct transmission의 경우, source와 target 디바이스이어야 하며 source와 target

디바이스 간 PHY 데이터 전송률이 사용되어야 한다. 반면에 릴레이 전송 시간은 T_{S-R} 과 T_{R-T} 의 합이 된다. 만약 Relay 전송시간이 Direct 전송시간보다 짧다면, source 디바이스는 수율 극대화 관점에서 relay transmission이 적합하다고 판단하여 relay transmission을 실행한다. 이때, Imm-ACK 방식에서 예상되는 T_{relay} , T_{direct} 값들이 식(1)과 같이 도출되며, $T_{relay} < T_{direct}$ 조건을 만족하도록 식(2)를 정리하면 식(3)과 같이 릴레이노드를 선택하는 RNS(Relay Node Selection) 기준이 도출된다.

Imm-ACK

$$T_{direct} = \frac{N_f \cdot 2L_h}{R_{min}} + \frac{N_f \cdot L_p}{R_{S-T}} + 2 \cdot N_f \cdot T_{SIFS} \quad (1)$$

$$T_{relay} = 2 \frac{N_f \cdot 2L_h}{R_{min}} + \frac{N_f \cdot L_p}{R_{S-R}} + \frac{N_f \cdot L_p}{R_{R-T}} + 4 \cdot N_f \cdot T_{SIFS}$$

$$T_{direct} = T_{S-T}$$

$$T_{relay} = T_{S-R} + T_{R-T} \quad (2)$$

$$T_{relay} < T_{direct}$$

Relay Node Selection (RNS) Criterion

$$R_{S-T} \cdot R_{R-T} + R_{S-R} \cdot R_{S-T} < R_{S-R} \cdot R_{R-T} \quad (3)$$

표 2. RNS 수식 구성

Table 2. Configuration of RNS formula

Value	Meaning
T_{direct}	Direct transmission delay time between source node and target node
T_{relay}	Transmission delay time in the relay transmission
T_{S-R}	Transmission delay time between source node and relay node
T_{R-T}	Transmission delay time between relay node and target node
R_{S-R}	Data rate between source node and relay node
R_{R-T}	Data rate between relay node and target node
R_{S-T}	Data rate between source node and target node
T_{SIFS}	Time interval of SIFS
R_{min}	Data rate of minimum WiMedia PHY
N_f	Number of transmitted data frames
L_h	Length of MAC header
L_p	Length of MAC frame payload

표 1. RNT 테이블 구성

Table 1. Configuration of RNS table

Source-DEVAddr	PHY Data rate	Dest-DEVAddr

2.2 RNS 릴레이 전송을 위한 DRP 설정

WiMedia D-MAC 디바이스의 비콘 내 DRP IE에서 DRP 제어(control) 필드는 DRP 블록들 간의 충돌을 감지하고 해결하기 위한 정보를 포함한다. 디바이스는 이웃 디바이스가 전송한 DRP IE를 수신한 후 다른 디바이스와 중첩된 MAS를 포함하고 있는 지 확인하고 표 3에 나온 값을 이용하여 예약상세상태코드를 변경한다. DRP 충돌이 발생하면, 그 충돌에 연관된 여러 DRP 예약들 중 하나의 예약만이 기존의 MAS를 유지하게 된다. 다른 DRP 예약들은 일부 MAS가 중첩되었다 하더라도 종료되어야 하고, 예약을 위한 협상을 다시 시작해야 한다.

릴레이 기반 DRP는 기존 WiMedia D-MAC과 호환되기 위해 WiMedia D-MAC 프로토콜을 준수한다. 릴레이 DRP는 예약상세상태코드(Reason Code) 중 세 개의 예비(reserved) 코드를 이용하여 WiMedia D-MAC 프로토콜에서의 릴레이 협력 통신을 지원한다. 추가로 사용될 세 개의 예약상세상태코드는 표 4와 같다. 릴레이요청('Relay Req') 예약상세상태코드는 예약 주체 노드가 릴레이 노드에게 DRP 예약을

표 3. D-MAC 표준 예약상세상태코드(Reason Code)
Table 3. Reason Code of D-MAC Control Standard

Value	Code	Meaning
0	Accepted	The DRP reservation request is granted
1	Conflict	The DRP reservation request is in conflict with existing DRP reservations
2	Pending	The DRP reservation request is being processed
3	Denied	The DRP reservation request is rejected
4	Modified	The DRP reservation is modified
5-7	Reserved	Reserved

표 4. 추가된 예약상세상태코드(Reason Code)
Table 4. Added Reason Code

Value	Code	Meaning
5	Relay Req	Request the relay transmission to the relay node
6	Relay Ntf	Notification the relay transmission to the target device via the relay node
7	Relay Accepted	The DRP reservation request via corresponding relay device is granted

요청하기 위해 전송하며, 릴레이통보('Relay Ntf') 예약상세상태코드는 릴레이요청('Relay Req') 예약상세상태코드를 통해 요청한 자원이 릴레이 노드에 의해 승인될 경우, 예약 주체 노드가 예약 대상 노드에게 릴레이 노드를 통해 예약 대상 노드로 데이터가 릴레이 전송될 것을 통보하기 위해 사용한다. 릴레이요청('Relay Req') 예약상세상태코드를 수신한 릴레이 디바이스와 릴레이통보('Relay Ntf') 예약상세상태코드를 수신한 예약 대상 디바이스가 해당 릴레이 전송을 승인하는 경우 릴레이승인('Relay Accepted') 예약상세상태코드를 전송하며, 두 노드 모두 릴레이승인('Relay Accepted') 예약상세상태코드로 전송한 경우에만 요청한 릴레이 전송이 이루어질 수 있다.

실시간 전송을 요구하는 멀티미디어 서비스는 가장 짧은 지연 시간을 갖는 채널을 통하여 통신을 해야 한다. 가장 가까운 노드 간의 통신 상태가 좋지 않은 경우는 상대적으로 채널 상태가 양호한 인접 노드를 통해 릴레이 기반으로 통신을 하는 것이 상대적으로 지연 시간을 줄일 수 있는 방법이다. 이 때, Relay Req 코드 등의 사용으로 지연 시간의 증가는 이루어질 수 있으나, 채널 상태가 좋지 않아 릴레이를 통한 통신이 상대적으로 지연 시간을 줄일 수 있는 경우라면 큰 문제가 되지 않는다.

그림 5, 그림 6, 그림 7에 각각 이러한 릴레이 전송을 위한 예약 주체 노드(S node), 릴레이 노드(R node), 예약 대상 노드(T node)의 동작을 기술하였다. 예약 주체 노드는 그림 5에 도시한 바와 같이 식 (2), (3)을 이용하여 RNS Criterion을 만족하는 릴레이 노드 후보들을 선택한다. 만약 RNS 기준을 충족하는 디바이스가 없는 경우, MAS S-T 구간을 예약하여 통신

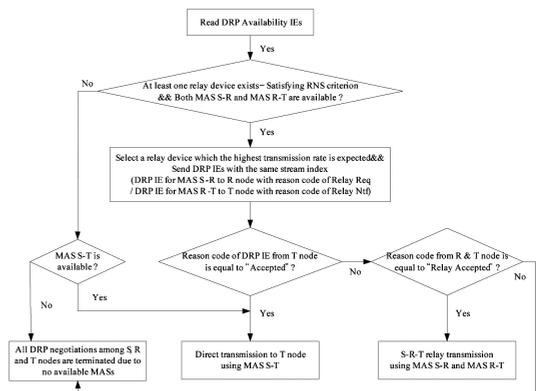


그림 5. RNS 릴레이 전송을 위한 예약주체 노드(S node) 동작
Fig. 5. Operation of source node(S node) for a RNS relay transmission

한다. 릴레이노드를 선택 가능한 경우, 릴레이 노드와 예약 대상 수신노드의 DRP Availability IE를 수신하여, 예약 주체 노드와 릴레이 노드 간의 통신을 위한 MAS, MAS S-R과 릴레이 노드와 예약 대상 노드 간의 통신을 위한 MAS, MAS R-T가 예약 가능함을 확인한다. 예약 가능한 경우, 그 릴레이노드 후보들 중에서 Link Feedback IE를 통해 가장 높은 데이터 전송률이 예상되는 릴레이 노드를 선택한다. 릴레이 전송을 위해 릴레이 노드에게는 MAS S-R에 대한 DRP IE의 예약상세상태코드를 릴레이요청('Relay Req')로 설정하여 전송하고, 예약 대상 노드에게는 MAS R-T에 대한 DRP IE의 예약상세상태코드를 릴레이통보('Relay Ntf')로 설정하여 전송한다. 이 때 두 DRP IE의 스트림 인덱스('Stream Index')는 동일하게 설정한다. 릴레이 노드 및 예약 대상 노드로부터 수신된 DRP IE의 예약상세상태코드가 모두 릴레이승인('Relay Accepted')인 경우, 해당 릴레이 노드를 통한 릴레이 전송이 이루어진다.

릴레이요청('Relay Req')의 예약상세상태코드로 설정된 DRP IE를 예약 주체 노드로부터 수신한 노드는 그림 6과 같은 과정을 통해 릴레이 노드의 역할을 수행할지 판단하고 그에 대한 지원 예약을 수행한다.

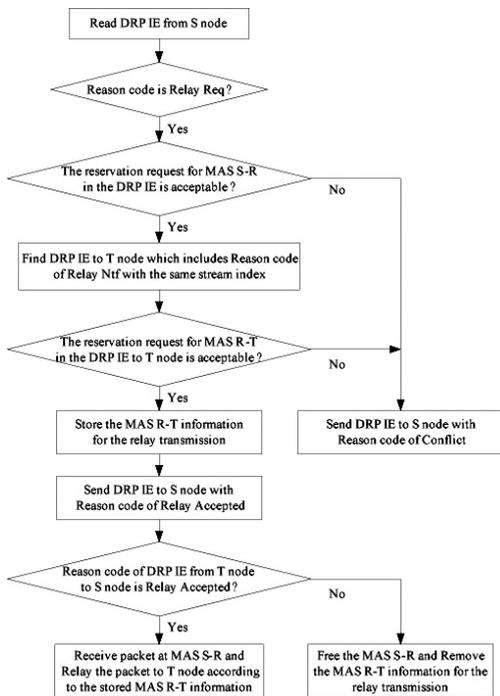


그림 6. RNS 릴레이 전송을 위한 릴레이 노드(R node) 동작
Fig. 6. Operation of relay node(R node) for a RNS relay transmission

예약 주체 노드의 DRP IE에 포함된 MAS S-R을 통한 데이터 송수신이 가능하다면, 릴레이통보('Relay Ntf')의 예약상세상태코드로 설정된 예약 대상 노드에 대한 DRP IE를 확인하여 해당 MAS R-T를 통한 데이터 송수신이 가능한지를 판단한다. 해당 릴레이 노드가 MAS S-R과 MAS R-T 모두 이용 가능하다면 릴레이 전송을 위한 MAS R-T 정보를 저장하고 릴레이 승인('Relay Accepted') 예약상세상태코드로 설정된 DRP IE를 예약 주체 노드에게 전송한다. 만약 예약 대상 노드가 예약 주체 노드에게 전송한 DRP IE의 예약상세상태코드가 릴레이승인('Relay Accepted')라면 저장된 MAS R-T 정보를 이용하여 릴레이 전송을 수행하고, 그렇지 않은 경우 MAS S-R 및 MAS R-T에 대한 정보를 삭제한다.

그림 7에는 릴레이 전송을 위한 예약 대상 노드의 동작을 도시하였다. 릴레이통보('Relay Ntf')의 예약상세상태코드를 포함한 DRP IE를 수신한 예약 대상 노드는 MAS R-T 자원에 대한 허용 여부를 판단하여 이용 가능한 경우 릴레이승인('Relay Accepted') 예약상세상태코드로 설정된 DRP IE를 예약 주체 노드에게 전송한다. 릴레이 노드로부터 전송된 DRP IE의 예약상세상태코드가 릴레이승인('Relay Accepted')인 경우 MAS R-T를 통한 데이터 패킷의 수신을 준비하고, 그렇지 않은 경우 MAS R-T에 대한 정보를 삭제한다. 그림 6과 그림 7에서 예약 주체 노드의 DRP IE를 수신한 릴레이 노드 혹은 예약 대상 노드가 릴레이 DRP를 지원하지 않는 기존 DRP 적용 디바이스(Legacy node)라서 표 4에서 제안된 예약상세상태코

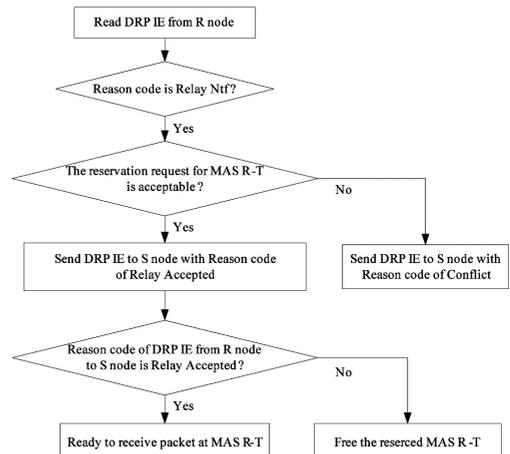


그림 7. RNS 릴레이 전송을 위한 예약대상 노드(T node) 동작
Fig. 7. Operation of target node(T node) for a RNS relay transmission

드를 해석하지 못하는 경우, 해당 DRP IE를 통한 자원 예약 요청을 무시하게 되므로 제안한 RNS 릴레이 방식은 기존 시스템과의 호환성(Backward Compatibility)이 보장된다.

2.3 WLP 네트워크 구성과 WLP IE

WUSB/DRD/WLP DRP 자원 예약 프로토콜을 설명하기 위해서 먼저 WLP에서 사용하고 있는 디바이스에 대해 알아본다. WLP에서 사용하는 디바이스 기능은 3가지로 정의할 수 있다. 클라이언트 디바이스, 클라이언트 브릿지, 리모트 브릿지이다⁸⁾.

클라이언트 디바이스(Client Device)는 WLP 프레임을 이용하여 전송되는 최초 출발지 디바이스 또는 최종 도착지 디바이스이다. 같은 WSS에 속해 있으면 다른 클라이언트 디바이스와 직접 통신이 된다. 또, 클라이언트 브릿지를 이용하면 다른 곳에 있는 클라이언트 브릿지나 이더넷 스테이션(Ethernet Station)과 같은 노드와도 통신이 가능하다.

클라이언트 브릿지(Client Bridge)는 브릿지 서비스를 요청한 클라이언트 디바이스와 프레임 송수신이 가능하다. 또 클라이언트 디바이스가 직접 전송이 불가능할 때 클라이언트 브릿지를 이용하여 프레임 송신을 할 수 있다. 이러한 브릿지 서비스를 이용하기 위해서는 클라이언트 디바이스와 클라이언트 브릿지는 같은 WSS에 있어야 한다.

리모트 브릿지(Remote Bridge)는 네트워크 세그먼트(network segment) 사이의 연결을 제공하고 다른 리모트 브릿지를 통해서 프레임을 송수신 한다. 중계 메커니즘을 수행하기 위해 IEEE 802.1D를 구현하고, 필터 테이블을 이용하여 프레임을 전달할 목적지를 결정한다. 네트워크 전반에 발생할 수 있는 중복 경로를 제거하기 위해 spanning tree protocol을 구현한다.

그림 8은 클라이언트 디바이스, 클라이언트 브릿지, 리모트 브릿지로 구성된 네트워크의 예를 보여준다.

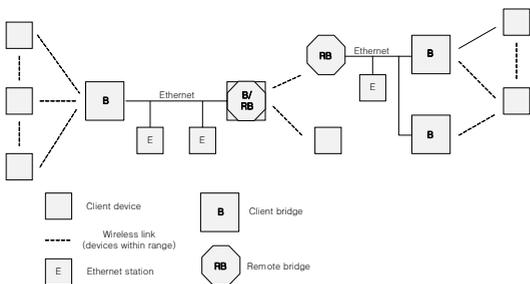


그림 8. WLP 네트워크 구성
Fig. 8. WLP network topology

몇몇 디바이스는 한 가지 기능만을 수행하고, 몇몇 디바이스는 여러 가지 기능을 수행한다. 예를 들어, 그림 8에서 맨 왼쪽의 클라이언트 디바이스는 클라이언트 브릿지와 연결되어 이더넷과 통신이 가능하고, 다른 WSS에 있는 클라이언트 디바이스와의 통신이 가능해진다.

WLP와 유선 이더넷 프로토콜 또는 WLP와 다른 유사한 네트워크 프로토콜 사이의 프레임 교환에 브릿지가 사용된다. 브릿지는 WLP IE에 있는 bridge capabilities로 광고를 한다. 이웃 디바이스는 브릿지를 통해 전송이 가능한 노드에게 프레임을 보내기 위해 브릿지에게 브릿지 서비스를 요청한다. 브릿지는 다른 클라이언트 디바이스나 노드에게 연결을 제공할 수 있다. 브릿지 서비스를 등록하지 않은 디바이스와는 프레임 송수신을 하지 않고 오직 등록된 디바이스와 프레임 송수신을 한다. 또, 브릿지는 클라이언트 디바이스로부터의 request에 의한 DRP 예약 지원을 제공한다. WLP IE의 값을 이용하면 되는데 필드값에는 트래픽을 예측하기 위한 TSPEC 정보와 filtering parameter도 있다.

모든 WLP 디바이스는 WSS(WLP service set) 내에서 사용자에게 의해 조절 가능한 멤버십에 기초하여 트래픽을 구분하기 위해 한 개 이상의 WSS에 속한다. WSS는 다양한 공격으로부터 보호받을 수 있는 트래픽을 허용하기 위해 Secure 모드에서 동작하거나 프레임의 도착이나 거절 프레임을 구분하지 않고 트래픽을 분리하기 위해 Non-secure 모드로 동작할 수 있다. 두 디바이스가 데이터 프레임을 교환하기 전에, 디바이스는 서로 존재를 발견하고 WSS 특성을 이용하여 WSS에 등록하고 활성화 시키며 연결을 설정한다. 디바이스는 언제든지 새로운 WSS를 설정하거나 기존의 WSS에 등록할 수 있다. 일단 디바이스가 WSS를 생성하거나 등록한다면 디바이스는 WSS에 등록된 다른 디바이스와 통신하기 위해 WSS를 활성화 시킨다. WSS를 활성화 시킨 디바이스는 같은

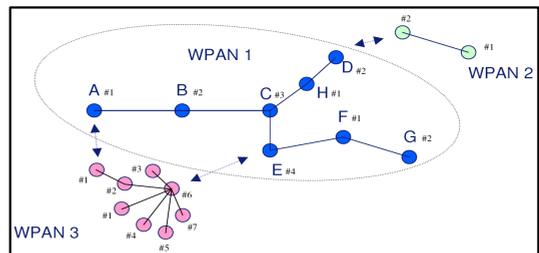


그림 9. WSS에 따른 다중홉 WPAN 구성
Fig. 9. Multi-hop WPAN configuration with WSS

WSS를 활성화 시킨 모든 디바이스와 연결이 가능하다. 그림 9는 WSS로 이루어진 네트워크의 예를 보여 준다. WPAN(Wireless Personal Area Network)은 10m 이내의 짧은 거리에 존재하는 장치들(컴퓨터, 주변기기, 휴대폰 등)을 무선으로 연결하여 이들 기기 간의 통신을 지원함으로써 다양한 응용서비스를 하게 하는 무선 네트워크를 말한다. 그림 9에서 각각의 디바이스들은 통신을 위해 WPAN을 형성하는데, WLP 디바이스로 구성되어 있어 WPAN1, WPAN2, WPAN3과 같은 크기의 WSS1, WSS2, WSS3을 가질 수 있다.

모든 디바이스의 비콘에는 WLP IE가 포함되어 있다. WLP IE는 디바이스에 대한 정보와 디바이스가 참여하고 있는 WSS에 대한 정보를 제공한다. WLP IE의 포맷은 그림 10과 같다. 여기서 Element ID는 [2]에서 WiMedia를 위해 할당된 값 중(250~254) 맨 처음 값으로, 250을 갖는다. 미리 규정된 250이라는 값을 통해 WLP IE 포맷임을 알 수 있다.

WLP IE 필드 중 Capabilities 필드를 그림 11에 나타냈다.

DRP Establishment 비트는 디바이스가 브릿지 디바이스이고 클라이언트 디바이스로부터 DRP reservation request를 받을 수 있다면 1로 설정하고 그렇지 않다면 0으로 설정한다. Client Bridge 비트는 디바이스가 클라이언트 디바이스에게 브릿지 서비스를 제공할 수 있다면 1로 설정한다. Client Device 비트는 디바이스가 클라이언트 디바이스로 작동하면 1로 설정한다.

octets: 1	1	2	2
Element ID (=250)	Length (=6+(0 or 10)+M+N)	Capabilities	Cycle Parameters
2	0 or 10	M	N
ACW/AnchorAddr	Bridge Information	WSSID Hash List	Broadcast Traffic Indications

그림 10. WLP IE 포맷
Fig. 10. WLP IE format

bits: b15-b12	b11-b8	b7-b5	b4
WSSID Hash List Length	Broadcast Traffic Indication Count	Reserved	Discoverable
b3	b2	b1	b0
DRP Establishment	Remote Bridge	Client Bridge	Client Device

그림 11. Capabilities 필드 포맷
Fig. 11. Capabilities field format

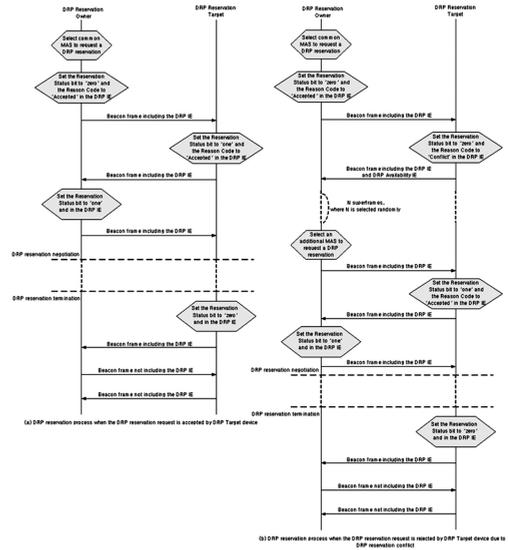


그림 12. 표준 DRP 예약 협상과정
Fig. 12. Standard DRP reservation negotiation

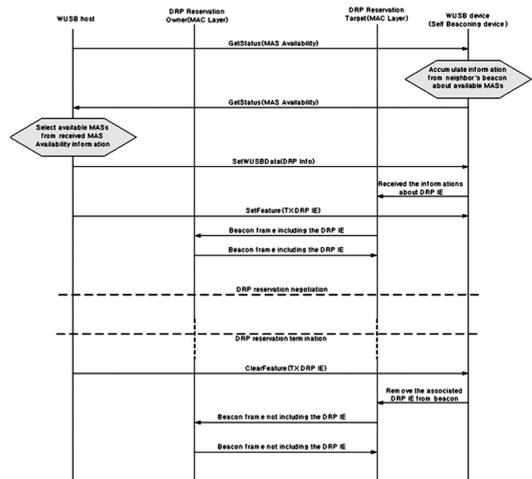


그림 13. WUSB 프로토콜에서의 DRP 예약 협상과정
Fig. 13. WUSB DRP reservation negotiation

III. WUSB/DRD/WLP 연동 DRP 자원예약 프로토콜 설계

그림 12와 그림 13은 표준 DRP 예약 협상과정^[2]과 WUSB 프로토콜에서의 DRP 예약 협상과정^[12]을 나타내고 있다. 각각의 프로토콜 상에서 DRP 예약 협상 과정은 그림을 통해 설명하고 있으나, WUSB/DRD/WLP와 같은 연동 프로토콜에 대해서는 명확하게 규정한 것이 없다.

2.3절에서 설명한 WLP 프로토콜을 보면 같은

WSS내에 있는 클라이언트 디바이스들은 프레임 교환이 가능하고, 다른 프로토콜을 사용하는 디바이스는 클라이언트 브릿지를 이용하여 프레임 교환이 가능하다. 즉, WUSB/DRD와 WLP는 같은 WSS내에 있을 때, 클라이언트 디바이스와 클라이언트 브릿지를 이용하여 통신을 할 수 있다. 같은 WSS가 아닌 다른 네트워크에 있는 경우는 리모트 브릿지를 이용하여 통신하면 문제를 해결할 수 있다. 그림 12와 그림 13의 DRP 예약 협상과정은 WLP 프로토콜을 이용하여 제안하는 WUSB/DRD/WLP에서 DRP 예약 협상과정으로 설명할 수 있고 그림 14에 나타냈다.

WUSB/DRD와 WLP가 같은 WSS내에 있을 때, 클라이언트 디바이스와 클라이언트 브릿지를 이용하여 통신을 할 수 있다. WSS에 있는 다른 디바이스에 연결하기 위해서는 먼저 WSS를 활성화해야 한다. WSS를 활성화하기 전에 디바이스는 WSS에 등록을 해야 한다. WSS를 활성화하려면 디바이스는 슈퍼프레임 내에 있는 비컨의 WLP IE에 있는 WSS hash를 포함해야 한다. WSS hash를 제거하면 디바이스는 WSS에서 비활성화 된다. 기존 WSS에 등록하기 위해서, 디바이스는 등록하려 하는 WSS에 있는 다른 디바이스의 존재를 먼저 발견해야 한다. 이웃 디바이스의 WLP IE로부터 알 수 있는 WSS에 대한 정보를

얻기 위해 D1과 D2 프레임 교환을 사용 한다. 기존 WSS에 이미 등록되어 있는 디바이스를 registrar라 하고, 등록하려고 하는 디바이스를 enrollee 라 한다. 이러한 역할은 일시적이지만 enrollment 세션동안 유지된다. 즉, 디바이스는 registrar로 작동할 수도 있고 enrollee로 작동할 수도 있다. 이웃 디바이스에 의해 활성화 된 WSS를 알기 위해, 디바이스는 D1 association 프레임을 이웃 디바이스에게 보낸다. 이웃 디바이스로부터 받은 최근 WLP IE에 있는 Discoverable 비트가 1로 설정되어 있지 않다면, 디바이스는 D1 프레임을 이웃 디바이스에게 보내지 않는다. D1 association 프레임을 받은 디바이스는 디바이스 정보와 WSS 정보를 포함하고 있는 D2 association 프레임으로 응답한다. 응답을 받을 수 없는 상황에서는 F0 association 프레임을 전송한다.

디바이스는 브릿지에게 Bridge Services Request control 프레임을 보내 다른 노드와 송수신을 할 수 있다. 디바이스는 프로토콜 또는 멀티캐스트 포워딩 필터를 업데이트 하거나 종료하려고 할 때 Bridge Services Request control 프레임을 또한 전송할 수 있다. 브릿지는 디바이스로부터 Bridge Services Request control 프레임을 받을 때마다 전에 있던 정보는 버리고 요청 받은 정보를 사용한다. 브릿지는 Bridge Services Request control 프레임을 받으면, Bridge Services Response control 프레임으로 응답한다.

브릿지가 WLP IE에 있는 DRP establishment로 DRP 지원을 알린다면, 클라이언트 디바이스는 DRP 예약을 설정하기 위해 브릿지에게 요청을 할 수 있다. DRP establishment를 지원하고 DRP Reservation Request control 프레임을 받은 브릿지는 TSPEC 필드에 따라 예약을 설정한다. 예약 설정을 받으면 DRP Reservation Response control 프레임으로 응답한다. 응답을 받으면 DRP 예약을 하게 되고, 디바이스간 통신이 끝나거나 DRP 예약이 종료 되면 클라이언트 디바이스는 WSS hash를 제거한 비컨을 송신하여 WSS를 비활성화 한다.

WiMedia 환경의 WSS에서 릴레이 기반 WUSB/DRD와 WLP 디바이스의 통신을 위한 연동 프로토콜 기술을 제안하여 무선 USB 기반 디바이스와 WLP를 사용하는 일반 WPAN 주변 디바이스 간의 통신에 있어 호환성을 제공하고, 통신 범위를 확장시켰다. 제안하는 연동 프로토콜을 이용하면, 기존의 표준 DRP 예약과 WUSB 프로토콜의 DRP 예약을 이용하여 무선 USB 기반 디바이스와 WLP 디바이스 간의 통신이 가능하게 되어, 같은 무선 환경에서 공존이 필요한 어플

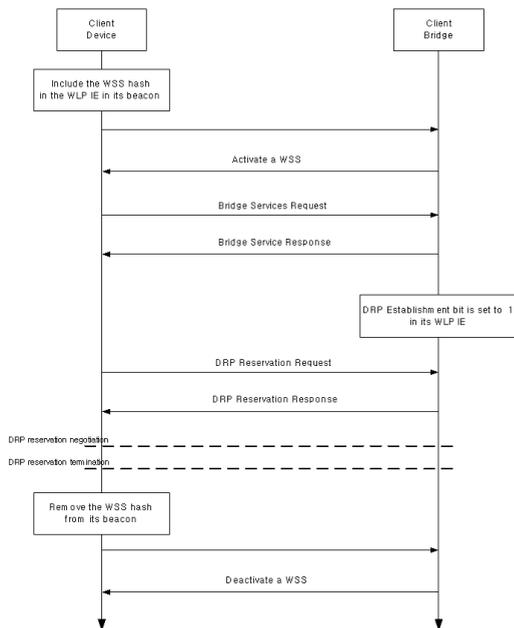


그림 14. 제안하는 WUSB/DRD/WLP DRP 예약 협상과정
Fig. 14. Proposed DRP reservation negotiation of WUSB/DRD/WLP

리케이션에 사용할 수 있게 된다.

IV. 성능 분석

RNS 릴레이 DRP 방식의 성능 분석을 위해 다음과 같은 ns-2 시뮬레이션 환경을 고려하였다^[14]. 10m x 10m의 범위 내에 랜덤하게 분포한 디바이스들을 가정하고, 2048 byte 크기의 패킷 전송을 고려한다. 그림 15는 노드 수에 따른 수율 성능의 변화를 나타낸다. 릴레이 DRP의 성능이 기존 DRP 방식에 비해 우수한 성능을 보이며, 노드 수의 증가에 따라 보다 향상된 성능을 보인다. 이는 노드의 수가 증가하고 채널 환경에 따라 각 노드 간 통신에 장애가 발생하는 경우 릴레이 DRP를 통한 릴레이 전송을 수행하여 각 노드 간 송수신 수율을 향상시키는 것으로 판단된다.

그림 16은 20개의 노드가 존재하는 경우 채널 환경

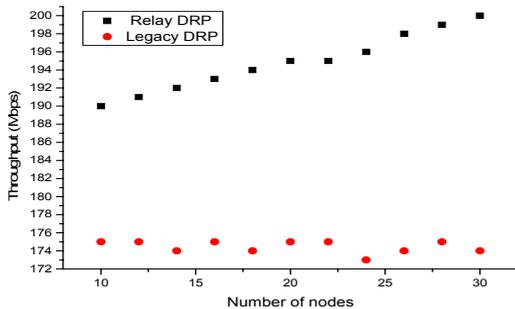


그림 15. 노드 수에 따른 RNS 수율
Fig. 15. RNS throughput according to a number of nodes

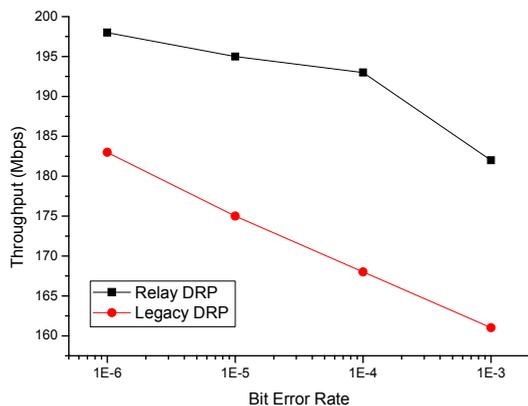


그림 16. 채널 환경에 따른 RNS 수율 성능
Fig. 16. RNS throughput according to a channel environment

에 따른 수율의 변화를 보여준다. 채널 환경이 악화됨에 따라 수율 성능은 저하되지만, 릴레이 DRP의 경우 기존 DRP 방식에 비해 성능 저하 정도가 덜하다. 릴레이 DRP 방식에 대한 성능의 BER(Bit Error Rate) $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 구간을 살펴보면, 이전 구간에 비해 성능 저하의 정도가 다소 심해짐을 관찰할 수 있다. 이는 모든 디바이스들 간의 채널 환경의 변화로 릴레이 전송을 통해서도 안정적인 채널을 획득하지 못하게 되고, 이로 인해 릴레이 DRP 방식의 수율도 기존 DRP 방식과 유사하게 저하되는 것이다.

V. 결론

본 논문은 선박 내 WiMedia 환경의 WSS에서 릴레이 기반 WUSB/DRD와 WLP 디바이스의 통신을 위한 연동 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 WUSB/DRD/WLP 연동 프로토콜을 이용하면, 기존의 표준 DRP 예약과 WUSB 프로토콜의 DRP 예약을 이용하여 WUSB/DRD와 WLP 디바이스의 통신이 가능하게 된다. 시뮬레이션에서는 제안한 프로토콜을 이용하여 UWB 기반 WiMedia 환경에서 릴레이 전송을 하였고, 수율을 향상시키고 에너지 소모를 줄일 수 있다는 것을 성능분석을 통해 확인하였다.

References

- [1] WiMedia Alliance, 2011, from <http://www.wimedia.org>.
- [2] WiMedia MAC Release Spec. 1.5, *Distributed Medium Access Control (MAC) for Wireless Networks*, Dec. 2009.
- [3] K. Hur, "UWB link-adaptive relay transmission protocol for WiMedia distributed MAC systems," *J. KICS*, vol. 37A, no. 3, pp. 141-150, Mar. 2012.
- [4] P. Liu, Z. Tao, S. Narayanan, T. Korakis, and S. Panwar, "CoopMAC: A cooperative MAC for wireless LANs," *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 340-354, Feb. 2007.
- [5] IEEE 802.15.3, *Wireless medium access control and physical layer specification for high rate wireless personal area networks*, 2003.
- [6] C.-T. Chou, J. del P. Pavon, and N. S.

Shankar, "Mobility support enhancements for the WiMedia UWB MAC protocol," in *Proc. 2nd Int. Conf. Broadband Networks*, vol. 2, pp. 163-142, Boston, USA, Oct. 2005.

[7] Jd. P. Pavon, S. N. Sai, 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.

[8] WiMedia, *WiMedia logical link control protocol (WLP)*, WiMedia WLP Specification Draft 1.0, 2007.

[9] V. M. Vishnevsky, A. I. Lyakhov, A. A. Safonov, S. S. Mo, and A. D. Gelman, "Study of beaconing in multihop wireless PAN with distributed control," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 7, no. 1, pp. 113-126, Jan. 2008.

[10] K. Hur, M.-A Jeong, 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.

[11] B. Kim, K. Hur, Y. Lee, and S. R. Lee, "Research for applying WUSB over WBAN Technology to Indoor Localization and Personal Communications in a Ship," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 318-326, Mar. 2013.

[12] Wireless USB Key Developers technical working groups, *Wireless Universal Serial Bus Specification, Revision 1.1*, 2010.

[13] J Jun, P. Pushkin, M. Sichitiu, "Theoretical maximum throughput of IEEE 802.11 and its applications," *IEEE Int. Symp. Network Computing and Appl.*, pp. 249-256, Cambridge, USA, Apr. 2003.

[14] *The network simulator ns-2*, Information sciences institute, from <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

이 승 범 (Seung Beom Lee)



2004년 2월 : 고려대학교 전자
컴퓨터공학과 석사
2012년 2월 : 고려대학교 전자
컴퓨터공학과 박사
2013년 7월~현재 : 목포대학교
연구원
<관심분야> WiMedia, WUSB,
MAC, QoS

정 민 아 (Min-A Jeong)



1992년 2월 : 전남대학교 이학
사
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

권 장 우 (Jang-Woo Kwon)



1990년 2월 : 인하대학교 전자
공학과 공학사
1992년 2월 : 인하대학교 전자
공학과 공학석사
1996년 8월 : 인하대학교 전자
공학과 공학박사
1996년~1998년 특허청 사무관
1998년~2009년 동명대학교 컴퓨터공학과 부교수
2006년~2012년 정보통신산업진흥원 인재양성단장
2012년~현재 : 인하대학교 컴퓨터공학과 교수
<관심분야> HCI, 생체신호처리, 지능형 시스템

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월: 고려대학교 전자
공학과 학사

1990년 2월: 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 석사

1996년 8월: 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 박사

1997년~현재: 목포대학교 정보
전자공학과 교수

<관심분야> Digital Communication System, 위성
통신, 해양텔레매틱스, USN