

무선 USB 통신 시스템에서 충돌 회피를 위한 릴레이 통신 기법

김진우*, 김경호*, 이성로^o

Relay Communication Scheme for Conflict Avoidance in Wireless USB System

Jin-Woo Kim*, Kyung-Ho Kim*, Seong Ro Lee^o

요 약

본 논문에서는 UWB 기술 기반 무선 USB(WUSB) 프로토콜에서, 디바이스들의 이동성으로 인해 발생하는 Private Distributed Reservation Protocol (DRP) 예약 충돌 현상을 분석한다. 그리고 Private DRP 예약 충돌 시 발생하는 성능 저하를 감소시키기 위해 Private DRP 릴레이 통신 기술을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 Private DRP 릴레이 통신 프로토콜은 충돌대상 디바이스에게 예약된 자원을 유지할 수 있도록 Direct Link 뿐만 아니라, Private DRP 예약 충돌 시 릴레이 노드를 경유하여 또 다른 Indirect Link 링크를 빠르게 예약할 수 있는 분산적인 자원 예약 프로토콜을 제안한다.

Key Words : Wireless Home Networks, High Rate WPAN (Wireless Personal Area Networks), UWB, Wireless USB, Relay Communications

ABSTRACT

In this paper, firstly, performance degradation due to the Private Distributed Reservation Protocol (DRP) conflict problem caused by devices' mobility is analyzed. And a novel relay transmission protocol combined with Private DRP conflict resolution is proposed to overcome the performance degradation at Private DRP conflicts. In order to give the loser device due to Private DRP conflicts another chance to maintain resources, the proposed relay transmission protocol executed at each device helps the loser device reserve another indirect link maintaining the required resources via a relay node.

I. 서 론

UWB (Ultra Wide-Band) 전송 기술은 초고속 근

거리 무선 네트워크 (High-Rate Wireless Personal Area Network : HR-WPAN)를 실현시킬 수 있는 기술로서, 초고속 WPAN을 구성하는 UWB 디바이스들

※ 본 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2009-0093828)과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1009) 및 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단(No.2011-0029321)의 지원을 받아 수행된 연구임의 연구결과임.

• First Author : Mokpo National University Institute Research of Information Science and Engineering, jjin300@gmail.com, 정희원

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

* Mokpo National University Dept. of Information and Communication Engineering, khkim@mokpo.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2014-05-170, Received May 2, 2014; Revised August 12, 2014; Accepted August 12, 2014

은 10m 거리 내에 있는 이웃디바이스들과 최대 480Mbps 속도로 통신이 가능하다¹¹. 최근 몇 년간, 무선 홈 네트워크 환경에서의 고품질 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 점차 증대되고 있다. 와이미디어 연합은 170개 이상의 회사들이 모여 UWB 기반의 물리 계층과 MAC계층에 대한 표준을 발표하였다¹². 최근에, 와이미디어 연합은 무선 USB(Universal Serial Bus), 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.

무선 USB는 유선 USB의 성공을 기반으로 하여 UWB 기술을 USB 기술과 결합시켜서, 유선 USB와 같은 PAN 뿐만 아니라, WPAN 어플리케이션에도 적용이 가능하도록 하였다. 무선 USB 프로토콜은 기존의 USB 2.0과의 호환을 위해 호스트와 디바이스들 사이의 고속의 통신 링크를 정의하였기 때문에, 유선 USB 어플리케이션에도 쉽게 적용할 수 있다.

이러한 무선 USB의 호환성은 기존의 PC, 노트북, 스마트폰, 태블릿등 다양한 시스템에 손쉽게 적용이 가능하다. 이러한 높은 호환성을 바탕으로 여객선과 같은 선박에서 사용자가 소지하고 있는 기존의 시스템에 선박의 운항정보와 같은 정보를 무선으로 전송하여 제공하는 것이 가능하다. 또한, 멀티미디어 스트리밍 서비스를 승객들에게 제공하는 것도 가능할 것이다.

무선 USB는 ‘hub and spoke’ 모델을 이용하여 무선 USB 호스트와 디바이스들을 연결한다¹⁶. 무선 USB 호스트는 중앙에서 ‘hub’의 역할을 하며, 각각의 무선 USB 디바이스는 ‘spoke’의 종단에 위치한다. 각각의 spoke는 호스트와 디바이스사이의 점대점 연결을 의미한다. 이와 같이, 하나의 호스트와 여러 개의 디바이스에 의해 형성된 네트워크를 무선 USB 클러스터라고 부른다.

모든 무선 USB 클러스터에는 단 하나의 호스트만이 존재하며, 무선 USB 호스트는 무선 USB 클러스터 내에 있는 무선 USB 디바이스들과 데이터를 주고 받는다. 또한, 자신의 클러스터 내에 존재하는 무선 USB 디바이스들에게 타임 슬롯을 할당하며, 무선 USB 디바이스들과의 데이터 교환을 스케줄링한다.

무선의 특성 때문에, 무선 USB 프로토콜은 장치들의 이동성을 고려해야한다. 그러나, 현재 무선 USB 프로토콜은 무선 USB 장치들의 이동성을 지원하지 않는다. 따라서, 무선 USB 장치들로 구성되는 홈 네트워크 환경에서, Private DRP(Distributed Reservation

Protocol) 충돌이 빈번하게 발생할 수 있다. 이러한 Private 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 무선 USB 표준 기술은 이동 디바이스 환경에서 이러한 3홉 범위의 빈번한 Private DRP 예약 충돌로 인해 채널 타임슬롯들을 낭비할 수 있고, 추가적인 송수신 전력을 Private DRP 예약 재협상 과정에서 소모할 수 있다. 이는 DRP 전송 시의 QoS 성능을 악화시킨다. 특히, 사람의 이동이 빈번한 여객선과 같은 환경에서 다수의 승객들이 멀티미디어 데이터 서비스를 이용할 경우, 이러한 데이터 충돌로 인한 QoS 성능 저하는 사용자에게 심각한 불편을 초래할 수 있다. 또한, 선박내의 다양한 모니터링 데이터들이 충돌로 인해 손실된다면, 심각한 결과를 초래할 수 있다. 그러나, 현재 무선 USB 표준 기술에서는 이러한 3홉 범위의 충돌을 방지하기 위한 기술이 정의되어 있지 않다.

본 논문에서는 무선 USB 프로토콜에서, 디바이스들의 이동성으로 인해 발생하는 Private DRP 예약 충돌 현상을 분석한다. 그리고 Private DRP 예약 충돌 시 발생하는 성능 저하를 감소시키기 위해 Private DRP Conflict Resolution 방식과 Private DRP 릴레이 통신 기술을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 Private DRP 릴레이 통신 프로토콜은 충돌대상 디바이스에게 예약된 자원을 유지할 수 있도록 Direct Link 뿐만 아니라, Private DRP 예약 충돌 시 릴레이 노드를 경유하여 또 다른 Indirect Link 링크를 빠르게 예약할 수 있는 분산적인 자원 예약 프로토콜을 제안한다.

II. 무선 USB 표준 기술의 문제점

2.1 무선 USB 표준의 자원 예약 기법

무선 USB는 WiMedia MAC과 PHY 기술을 사용한다. WiMedia MAC은 QoS를 지원하기 위해 TDMA 기반의 DRP 기법을 제공하며, MAC 계층 자원을 이용하기 위한 다양한 기술을 포함하고 있다¹¹. 무선 USB 표준은 WiMedia 표준에서 제공하는 ‘Private DRP’ 예약 블록들을 통해 WiMedia MAC 수퍼 프레임 내에서 캡슐화되는 WUSB 채널을 정의한다. 무선 USB 채널은 MMC (Micro-scheduled Management Commands)라고 불리는 제어 패킷들에 의해 스케줄링된다. MMC 패킷들은 ‘Private DRP’ 예약 블록에서 무선 USB 호스트에 의해 전송된다. MMC는

WUSB 프로토콜을 구성하는 가장 중요한 기본 요소로서, 무선 USB 디바이스들이 무선 USB 클러스터에 대한 정보를 검색하고, 자신의 정보를 전달한다. 또한, 전력을 제어하고 높은 수율을 얻기 위한 효율적인 데이터 전송이 가능하도록 스케줄링하는 역할을 한다. 그림 1은 WiMedia MAC과 무선 USB 표준간의 관계를 나타낸다. 무선 USB 호스트는 WiMedia MAC 프로토콜을 구현하여 WiMedia 디바이스들과 자원을 공유할 수 있다^{5,6)}. 따라서, 무선 USB 호스트는 WiMedia MAC에서 ‘Private DRP’ 기법을 이용하여 필요한 자원을 연속적으로 예약하여 무선 USB 채널들을 설정하고 유지한다. 무선 USB디바이스는 전체 WiMedia MAC 프로토콜을 구현할 수 있다. 그러나, 보통은 무선 USB 프로토콜이 WiMedia MAC 슈퍼프레임 내에서 동작하기 위해 필요한 기능만을 구현하도록 요구되고 있다.

무선 USB 호스트는 반드시 자신의 비컨 프레임 내에 DRP IE를 포함시킴으로써, 다른 WiMedia 디바이스들이 예약한 자원에 접근하지 못하도록 하여, 자신이 설정한 무선 USB 채널을 보호한다. 무선 USB 호스트가 활성화되면, 무선 USB 채널을 설정하기 위해 필요한 무선 자원을 선택한다. 호스트는 선택한 무선 자원을 Private DRP 예약 정보에 포함시킨다. 생성한 Private DRP 예약정보를 비컨에 포함시켜 전송하면, 주변의 무선 USB 디바이스들과 WiMedia 디바이스들은 무선 USB 호스트가 설정한 무선 USB 채널을 인식할 수 있다. 수신한 비컨 프레임에 바탕으로 무선 USB 호스트와 디바이스들은 필요한 자원을 Private DRP 기법을 이용하여 예약할 수 있다. 따라서, 무선 USB 디바이스는 어떤 MAS (Medium Access Slots)

들이 무선 USB 호스트와 통신 시에 예약 가능한 가를 결정할 수 있어야 한다. 무선 USB 클러스터에는 다양한 WiMedia 디바이스들이 존재하기 때문에, 무선 USB 디바이스는 다음과 같은 값들을 읽음으로써, 무선 USB 호스트의 DRP IE임을 확인하게 된다.

- Reservation Type 필드값 : Private
- Stream Index 필드값 : 설정한 무선 USB Channel의 stream index.
- Owner DevAddr 필드값: 설정한 무선 USB Channel의 Broadcast Cluster ID

그림 2는 현재 무선 USB 프로토콜에서의 DRP 예약 동작 절차를 나타낸다. 무선 USB 호스트는 특정 무선 USB 디바이스의 예약 가능한 자원 정보를 얻기 위해 GetStatus(MAS Availability) request를 전송한다. GetStatus(MAS Availability) request를 무선 USB 호스트로부터 수신한 무선 USB 디바이스는 예약 가능한 MAS 들에 대한 정보를 자신의 이웃 디바이스들의 비컨들을 수신하여 그 정보를 수집하게 된다. 무선 USB 디바이스는 GetStatus(MAS Availability) request의 bmMASAvailability (MAS Availability) 필드에 예약가능한 MAS에 관한 정보를 입력하여 무선 USB 호스트에게 응답한다.

그림 3은 GetStatus(MAS Availability) request의 포맷을 나타낸다. bmMASAvailability (MAS Availability) 필드는 256 비트 길이를 갖는다. bmMASAvailability (MAS Availability) 필드의 각 비트는 WiMedia D-MAC 계층의 슈퍼프레임을 구성하는 각각의 MAS 슬롯에 해당하여 그 비트가 ‘1’의

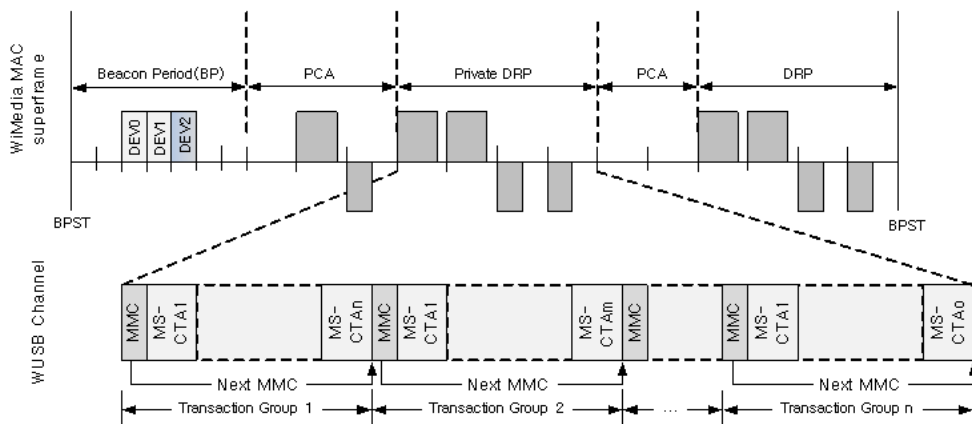


그림 1. WiMedia D-MAC을 통한 WUSB 디바이스들간의 데이터 교환 사례
 Fig. 1. The example of data exchange between wireless USB devices through WiMedia MAC

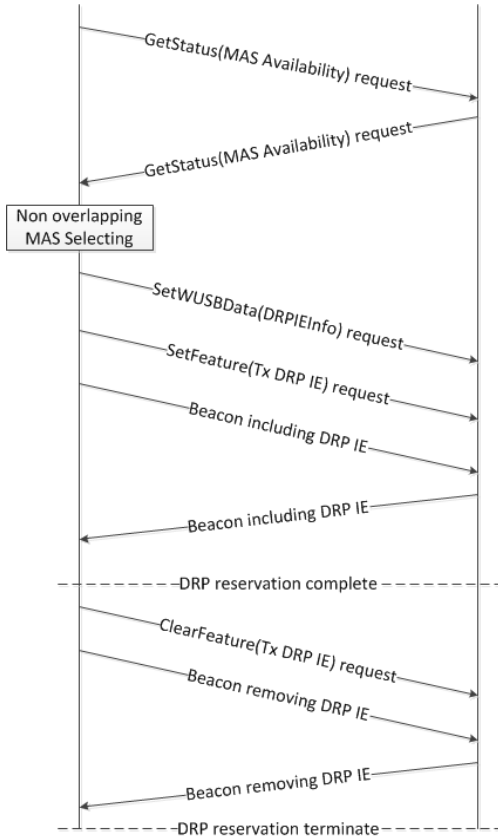


그림 2. 무선 USB 프로토콜의 Private DRP 예약 프로세스
Fig. 2. Private DRP reservation process of wireless USB protocol

값을 갖는 것은 그 디바이스가 해당 MAS 슬롯에서 예약이 가능함을 나타내고, '0'의 값은 해당 MAS 슬롯이 새로이 예약될 수 없음을 나타낸다. 무선 USB 호스트가 무선 USB 디바이스의 응답을 수신하게 되면, 해당 디바이스와 통신 가능한 유효한 MAS들을 선택하게 되고, 그 후 무선 USB 호스트는, SetWUSBData(DRP Info) request를 전송한다. SetWUSBData(DRP Info) request는 해당 무선 USB 디바이스가 자신의 비컨에 담아 전송하게 되는 DRP IE를 구성하기 위해 사용된다.

그림 4는 SetWUSBData(DRP Info) request의 포맷을 나타낸다. BmAttributes 필드 값들은 WiMedia MAC의 DRP IE를 구성하기 위해 사용된다. DRP 예약 요청이 발생한 경우, Conflict Tie-breaker 비트는 0 또는 1의 값으로 랜덤하게 설정하며, DRP 충돌 해결 시에 사용된다. DRP IE Data 필드는 디바이스가 전송하는 DRP IE에 반드시 포함 되어야 하는 DRP 예약 블록들을 나타낸다. 무선 USB 호스트가 SetFeature(TX DRP IE) request를 무선 USB 디바이스에게 전송하면, 무선 USB 디바이스는 DRP IE 정보필드 값들을 포함하는 비컨을 전송하기 시작한다. 그림 5는 SetFeature(TX DRP IE) request의 포맷을 나타낸다. DRP 예약을 종료하기 위해, 무선 USB 호스트는 ClearFeature(TX DRP IE) request를 전송하여 무선 USB 디바이스가 자신의 비컨 내에서 해당 DRP IE를 전송하는 것을 중단하도록 한다,

bm Request Type (=10000000B)	bRequest (=GET_STATUS)	wValue (=0)	wIndex (=0004H)	wLength	bm MAS Availability (only returned by WUSB device)
1 octet	1 octet	2 octets	2 octets	2 octets	32 octets

그림 3. GetStatus(MAS Availability) request의 포맷
Fig. 3. The format of GetStatus(MAS Availability) request

bm Request Type (=00000000B)	bRequest (=SET_WUSB_DATA)	wValue (=0001H)	wIndex (=0)	wLength	DRP IE Information
1 octet	1 octet	2 octets	2 octets	2 octets	variable

bm Attributes		DRPIE data
Reserved	Conflict Tie-Breaker bit	
b1~b7	b0	4*N octets

그림 4. SetWUSBData(DRP Info) request의 포맷
Fig. 4. The format of SetWUSBData(DRP Info) request

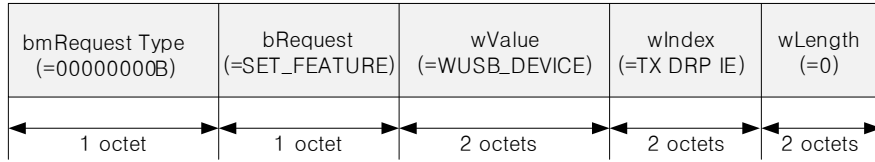


그림 5. SetFeature(TX DRP IE) request의 포맷.
Fig. 5. The format of SetFeature(TX DRP IE) request

2.2 현재 무선 USB 표준 기술에서 private DRP 예약 방식의 문제점

그림 6은 현재 무선 USB 시스템의 2홉 범위의 Private DRP 예약 충돌의 해결 방식의 예제를 나타낸다.

그림 6에서, DRP_{H1}은 무선 USB 호스트 H1과 무선 USB 디바이스 D1 간에 예약되었다. H1은 D1에게 DRP_{H1}구간에서 데이터 프레임들을 전송한다. 만약 무선 USB 호스트 H2가 중첩된 MAS들을 갖는 DRP_{H2} 구간에서 D2에게 데이터 프레임들을 전송하기 위해 무선 USB 디바이스 D2와 MAS들을 예약하게 되면, DRP_{H1}과 DRP_{H2}구간 간에 DRP 충돌이 발생하게 된다. 무선 USB에서 이러한 문제는 bmMASAvailability를 통해 해결된다.

만약, H1과 D1이 DRP_{H1}구간에 대한 MAS 예약을 성공하게 되면 D1은 SetFeature(TX DRP IE)를 전송함으로써, DRP_{H1}구간에 대한 정보를 브로드캐스트한다. 수신된 D1 디바이스의 SetFeature(TX DRP IE) 정보로부터 D2는 DRP_{H1}구간을 자신의 bmMASAvailability

필드에 유효하지 않음을 표시한다. GetSatus(MAS Availability) 내 bmMASAvailability 필드는 현재 수퍼프레임 내에서 1홉 이웃 노드들에 의한 현재 예약 상황정보를 입의의 디바이스가 표기하기 위해 사용된다. 특정 디바이스의 bmMASAvailability 필드는 1홉 범위의 이웃 디바이스들의 SetFeature(TX DRP IE) request들을 수신한 후, 모두 결합함으로써 만들어진다. 만약 H2 호스트가 D2로부터 GetStatus(MAS Availability)를 수신하면, H2 호스트는 DRP_{H1}구간이 D2에게 유효하지 않음을 알 수 있고, DRP_{H2}구간을 예약함에 있어 DRP_{H1}구간에 속하는 중첩된 MAS들을 제외하게 된다.

현재 무선 USB 프로토콜에는 2홉 거리를 갖는 무선 USB 호스트와 디바이스들 간에 DRP 예약 충돌이 없다. 그러나, 3홉 거리를 갖는 무선 USB 호스트와 디바이스들 간의 DRP 예약 충돌에 대한 고려가 되어 있지 않다. 그림 7에서, 무선 USB 클러스터 1에 속한 DRP_{H1}구간을 사용하는 무선 USB 호스트 H1에 의해

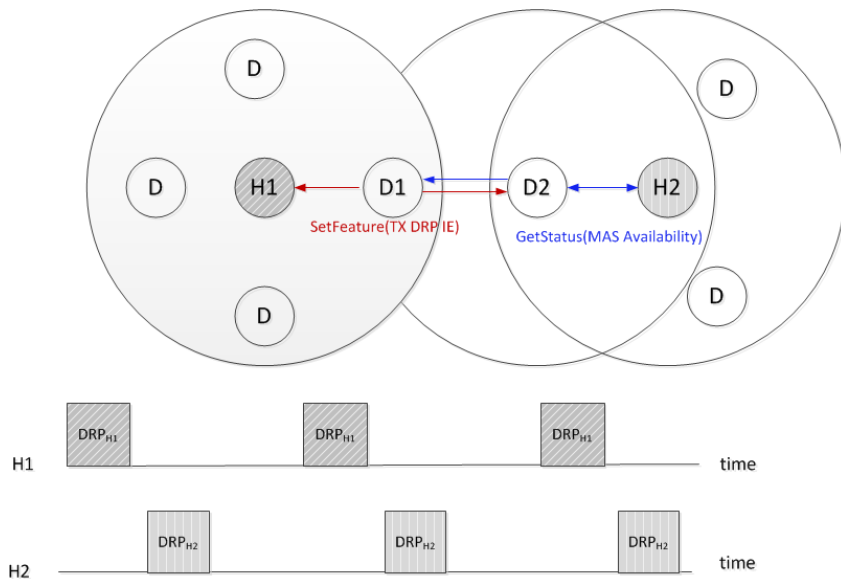


그림 6. 2홉 범위의 DRP 예약 충돌에 대한 현재 해결 방식에 대한 예제
Fig. 6. Example for the current resolution of 2-hop range DRP reservation conflicts

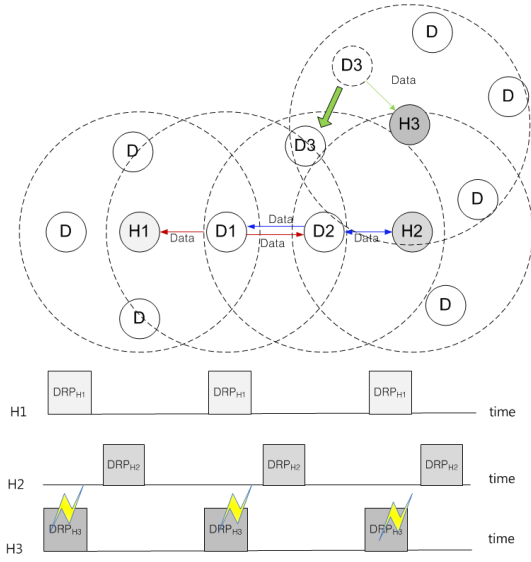


그림 7. D3 디바이스의 이동으로 인한 3홉 범위 DRP 충돌
Fig. 7. A 3-hop range DRP conflict due to the mobility of D3

예약된 MAS 슬롯들이, 무선 USB 호스트 H1과 3홉 거리를 갖는 무선 USB 클러스터 3에 속한 DRP_{H3} 구간을 사용하는 무선 USB 디바이스 D3에 의해 사용되어 질 수 있다. 그러나, 이러한 경우에서, 만약 D3 디바이스가 D1의 1홉 전송 범위로 이동해 들어오면, 새로이 진입하는 D3 (DRP_{H3}) 디바이스에 의해 예약된 MAS들도 H1 호스트(DRP_{H1})에 의해 예약된 MAS들과 중첩될 수 있다. 이러한 것은 3홉 범위의 감춰진 DRP 예약 충돌의 문제를 야기한다.

III. 제안하는 Private DRP 충돌 해결 기술

본 논문에서는 Private DRP 예약 충돌을 회피하기 위해, 릴레이 통신 기술을 적용한 DRP 자원 예약 기술과 릴레이 선택 기법을 제안할 것이다.

3.1 릴레이 선택 기법

릴레이 통신의 원리는 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 것이다. 특히, WiMedia 표준은 채널의 상태에 따라 데이터 전송속도를 조절하는 multi data rate 기법을 지원한다. 따라서, 채널 상태가 좋지 못한 링크의 경우 낮은 데이터 전송속도로 전환되기 때문에, 전체 데이터

를 전송하는데 소비되는 시간과 전력이 증가하게 된다. 또한, 디바이스의 이동으로 인한 예약 구간의 중첩은 대량의 데이터 충돌을 발생시키기 때문에, 재전송으로 인한 전력소모가 크게 증가한다. 제안하는 릴레이 통신은 보다 양호한 채널을 선택하며, 예약 구간의 중첩을 방지하기 때문에, 전송지연시간 측면과 전력 소비 측면에서 이득을 볼 수 있다.

WiMedia 표준은 이웃 노드들의 전송 속도와 전송 파워에 대한 정보를 제공하는 Link Feedback IE를 제공하고 있다. 모든 디바이스들은 자신의 비전에 Link Feedback IE를 포함시키기 때문에, 데이터 프레임을 릴레이할 수 있는 잠재적인 릴레이 노드들 선택하기 위해 Link Feedback IE를 사용할 수 있다. 그림 8은 Link Feedback IE의 포맷을 보여주고 있다.

DevAddr 필드는 링크 정보를 요청하는 소스노드의 주소를 설정한다. The Transmit Power Level Change 필드는 수신 노드가 소스 노드에게 권장하는 전송 파워 레벨이 달라질 경우 그 변화량을 설정한다. Data Rate 필드는 소스 노드가 사용하도록 수신노드가 권장하는 전송 속도를 설정한다. 이웃 디바이스와 타겟 디바이스 사이의 전송속도에 대한 모든 정보를 수집한 후 소스 디바이스는 최단 시간이 걸리는 전송 기법을 선택한다.

전송 기법을 결정하기 위해, 소스 노드는 소스에서 목적지 노드까지 데이터 프레임들을 전송하기 위해 필요한 총 시간을 계산해야 한다. 전송에 필요한 총 시간은 다음과 같이 계산된다.

$$T_{DT} = \frac{N_f \cdot 8L_h}{R_{min}} + \frac{N_f \cdot 8L_p}{R_{direct}} + (N_f - 1) \cdot T_{MISF} + T_{SIFS} \quad (1)$$

$$T_{RT} = 2 \cdot \left(\frac{N_f \cdot 8L_h}{R_{min}} + \frac{N_f \cdot 8L_p}{R_{SR}} + \frac{N_f \cdot 8L_p}{R_{RD}} + 2 \cdot \left\{ (N_f - 1) \cdot T_{MISF} + T_{SIFS} \right\} \right) \quad (2)$$

$$T_{RT} > T_{DT} \quad (3)$$

N_f 는 데이터 프레임의 수를 의미하며, L_h 와 L_p 는 MAC 프레임의 헤더와 페이로스의 크기를 의미한다. 또한 R_{min} 은 WiMedia의 물리 계층에 의해 지원되는 최소의 전송속도를 의미하며, R_{direct} 는 소스와 목적

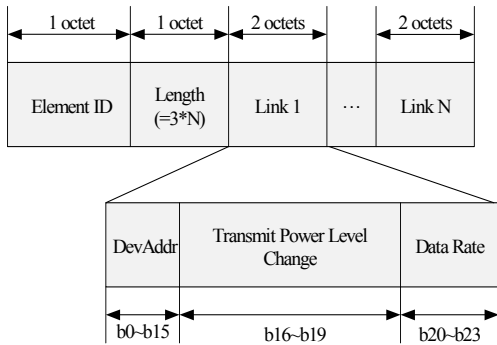


그림 8. Link Feedback IE의 포맷
Fig. 8. The format of Link Feedback IE

지 노드 사이의 직접 통신할 경우의 전송속도를 의미한다. R_{SR} 과 R_{RD} 는 소스와 릴레이, 릴레이와 목적지 노드 사이의 전송속도를 의미한다. T_{SIFS} 와 T_{MSIF} 는 WiMedia 표준에서 정의한 프레임간 시간 간격이다. 식 (3)을 만족하며, 릴레이 통신을 위해 중첩되지 않는 자원을 예약할 수 있는 경우, 릴레이 노드로 선정하여 릴레이 통신을 수행한다.

3.2 릴레이 Private DRP 예약 전송 기술

충돌대상 디바이스(그림 9의 DEV H1)에게 예약된 자원을 유지할 수 있는 추가 기회를 주기 위해, 그림 9에 나타난 바와 같이 Direct Link (MAS H1-D1) 뿐만 아니라 릴레이 디바이스(MAS H1-D3 와 MAS D3-D1)를 경유하여 또 다른 링크를 예약할 수 있는 자원 요청 기술을 제안한다. 무선 USB 프로토콜은 모든 통신이 무선 USB 호스트를 거쳐서 이루어지며, 호스트를 제외한 디바이스간의 통신을 지원하지 않는다. 따라서, 무선 USB 프로토콜에서 릴레이 통신을 가능하게 하기 위해 우리는 무선 USB 표준에서 지원하는

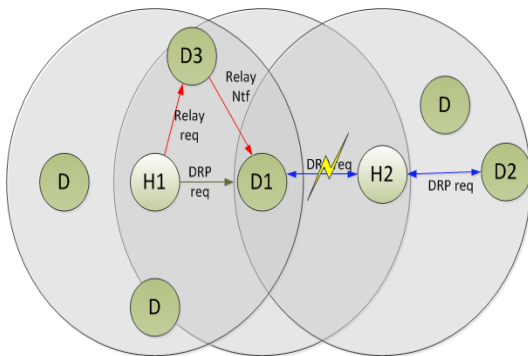


그림 9. 충돌 회피를 위한 Private DRP 릴레이 기법
Fig. 9. Private DRP relay scheme for collision avoidance

DRD (Dual Role Devices)를 이용한다. 그리고 새로운 SetWUSBData(DRPIE Info) request와 새로운 Private DRP 예약 협상 과정을 필요로 한다. 무선 USB는 DRD 디바이스가 단일 송수신기 상에서 무선 USB 호스트와 무선 USB 디바이스로 시간상으로 구분되어 동작하는 것을 허용한다. ‘combination’ 과 ‘point-to-point’ 시나리오들을 포함하여 다양한 서비스 시나리오가 DRD 디바이스들에게 가능하다. ‘combination’ 시나리오에서는 DRD 디바이스가 하나의 무선 USB 호스트에 연결된 무선 USB 디바이스로 동작한다. 시간 상 분리하여, 동일한 DRD가 또한, 다른 무선 USB 디바이스들을 관리하는 무선 USB 호스트로 동작한다. 한편, ‘point-to-point’ 시나리오에서는, 두 DRD들이 무선 USB 호스트와 무선 USB 디바이스 기능을 갖고 서로 다른 시간 영역에서 서로 연결된다. 무선 USB 기술 규격에서는, DRD가 무선 USB 호스트로 동작하는 모드를 DRD-host로, 무선 USB 디바이스로 동작하는 모드를 DRD-device로 명명하였다.

제안된 기술에서는, 무선 USB 호스트가 그림 5의 SetWUSBData(DRPIE Info) request 의 DRP IE 필드 내 (b1-b7) 비트들을 사용하여 Operation Info 정보를 전송한다. DRP IE 정보 필드는 무선 USB 호스트에 의해 전송된다. 무선 USB 호스트로부터 비컨을 통해 Operation Info 비트들을 포함한 DRP IE 정보 필드가 전송된 이후, 무선 USB 호스트의 비컨을 수신한 무선 USB 디바이스들은 지정된 무선 USB 디바이스의 타입과 그 디바이스의 DRP 예약정보를 알 수 있다. 그림 10은 제안된 DRP IE 정보 필드를 설명한다.

그림 10에서 bmAttributes 필드는 WiMedia MAC 계층에서 DRP IE의 DRP 제어 필드를 구성하는 데 사용된다. Conflict Tie-breaker 비트는 예약 요청이 발생한 경우에 0 또는 1의 값으로 랜덤하게 설정된다. 그리고, DRP 충돌 해결을 위해 사용된다. DRP IE 데이터 필드는 DRP IE에 반드시 포함되어야 하는 DRP 할당 블록들을 나타낸다. 제안한 Operation Info 비트들은 WUSB 호스트, WUSB 디바이스, DRP-host, 그리고 DRD-device 4가지 형태들 중 하나를 나타내야 하기 때문에, 적어도 2비트의 길이를 필요로 한다. 표 1은 Operation Info 비트 값들을 분류한 것을 나타낸다.

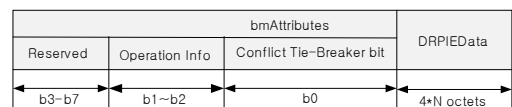


그림 10. 제안된 DRP IE 정보 필드
Fig. 10. Proposed DRP IE Information field

표 1. DRP IE 정보 필드 내 Operation Info 비트값들
Table 1. Operation Info bits in DRP IE Information field

Operation Info	Value
0	WUSB host
1	WUSB device
2	DRD-host
3	DRD-device

만약 DRD가 무선 USB 클러스터 내에서 DRD-host로 동작하는 경우, Operation Info 비트 값은 2로 설정된다. 반대로 DRD가 무선 USB 클러스터에서 DRD-device로 동작하는 경우, Operation Info 비트 값은 3으로 설정된다. SetWUSBData(DRPIE Info) request를 사용하기 위해서는, 무선 USB 시그널링에서 새로운 Private DRP 협상과정이 요구된다.

무선 USB 표준과의 완전한 호환성을 보장하기 위해, 제안된 릴레이 Private DRP 예약 기술은 위에서 기술한 Private DRP 표준 기술을 기본적으로 준수한다. 제안된 기술에서는 표 2에서 나타낸 바와 같이 단지 3개의 Reason Code만을 추가한다. 릴레이요청 ('Relay Req') 예약상세상태코드는 예약 주체 노드 (reservation owner)가 릴레이 노드에게 DRP 예약을 요청하기 위해 두 노드 간에 전송된다. 'Relay Req' Reason Code는 예약 대상 노드 (reservation target device)에게 예약 주체 노드와 릴레이 노드간에 Private DRP 예약 요청이 있음을 간접적으로 알리는 역할을 한다. 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

표 2. 제안된 예약상세상태코드
Table 2. Proposed Reason Code

Value	Code	Description
5	Relay Req	Request relay transmission to relay device
6	Relay Ntf	Inform the relay transmission to reservation target
7	Relay Accepted	approve the DRP reservation request for relay transmission

경우 릴레이승인 ('Relay Accepted') 예약상세상태코드를 예약 주체 노드에게 전송하며, 두 노드 모두 릴레이승인 ('Relay Accepted') 예약상세상태코드를 전송한 경우에만 요청한 릴레이 전송이 이루어질 수 있다.

그림 11, 그림 12, 그림 13에 각각 이러한 릴레이 전송을 위한 예약 주체 노드(S node), 릴레이 노드(R node), 예약 대상 노드(T node)의 동작을 기술하였다. 그림 11에서, 예약주체노드는 이웃 디바이스들로부터 Private DRP Availability IE들을 수신한 후, 예약하고자 하는 자원(MAS_{S-T})이 예약 가능한지 여부를 확인한다. 예약주체노드는 또한 릴레이 노드와 예약대상노드의 비컨들에 담긴 Private DRP Availability IE들을 수신하여, 예약주체노드와 릴레이 노드 간의 통신을 위한 자원(MAS_{S-R})과 릴레이 노드와 예약 대상 노드 간의 통신을 위한 자원(MAS_{R-T})이 예약가능한가를 검사한다.

MAS_{S-R}과 MAS_{R-T} 모두 예약 가능한 경우, DRP 릴레이 전송을 위한 예약을 실시한다. 우선 MAS_{S-T}에 대해 예약대상 수신노드에게 Private DRP IE의 예약상세상태코드를 'Relay Accept'로 설정하여 전송한다. 또한, 릴레이 전송을 위해 릴레이 노드에게는 MAS_{S-R}에 대한 Private DRP IE의 예약상세상태코드를 릴레이요청 ('Relay Req')으로 설정하여 전송하고, 릴레이 노드는 예약 대상노드에게 MAS_{R-T}에 대한 Private

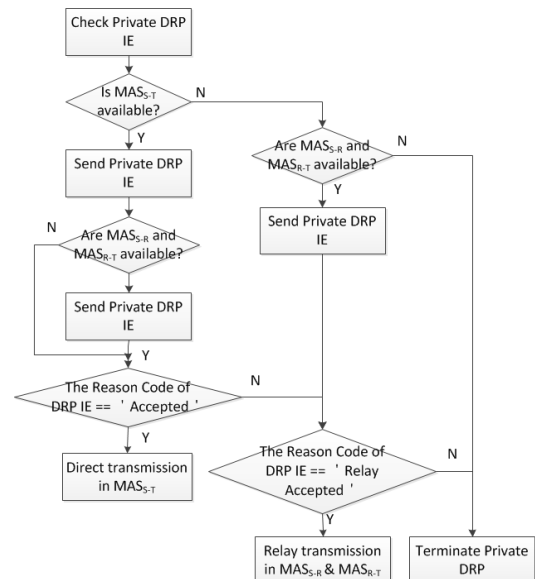


그림 11 제안하는 예약 주체 노드(reservation owner)의 Private DRP 예약 과정
Fig. 11. Proposed Private DRP reservation process of reservation owner

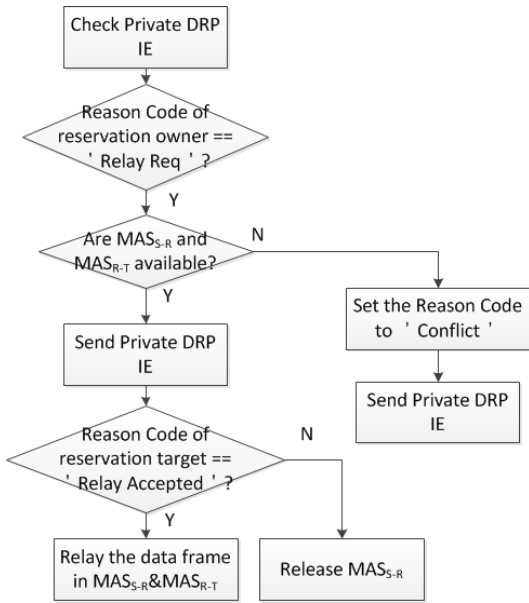


Fig. 12. Proposed Private DRP reservation process of relay node
 그림 12. 제안하는 릴레이노드의 Private DRP 자원 예약 과정.

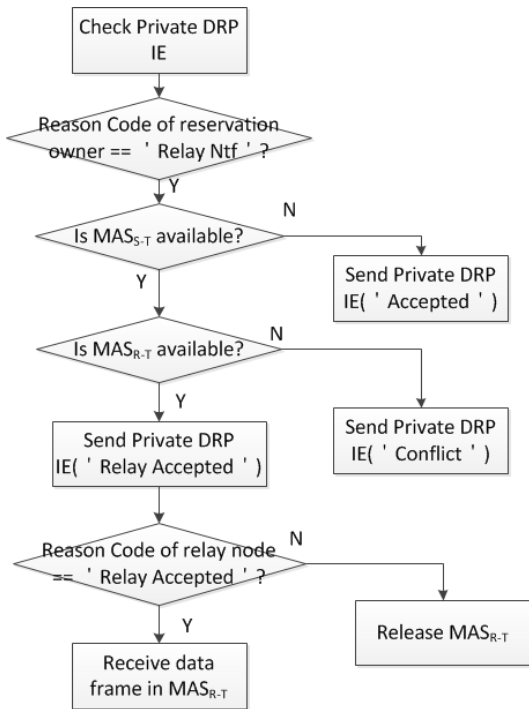


그림 13. 제안하는 예약대상노드의 Private DRP 예약 과정.
 Fig. 13. Proposed Private DRP reservation process of reservation target

Ntf”)로 설정하여 전송한다. 예약대상노드로부터 수신된 Private DRP IE의 예약상세상태코드가 승인(‘Accepted’)인 경우, 송신 노드인 예약주체노드는 데이터를 릴레이 노드를 경유하지 않고 예약대상노드에 직접적으로 전송한다. 한편, 릴레이 노드 및 예약대상 노드로부터 수신된 Private DRP IE의 예약상세상태코드가 모두 릴레이승인(‘Relay Accepted’)인 경우, 해당 릴레이 노드를 통한 릴레이 전송이 이루어진다. 이상에서 설명한 예약상세상태코드 값 외의 값들이 수신된 경우는 기존 무선 USB 표준 내용에 따라 동작한다.

그림 12는 릴레이 노드에 대해 제안된 자원예약과정을 나타낸다. 릴레이 Private DRP를 지원하는 릴레이 노드가 릴레이요청(‘Relay Req’)의 예약상세상태코드로 설정된 Private DRP IE를 예약주체노드로부터 수신한 경우, 예약주체노드의 Private DRP IE에 포함된 MAS_{S-R} 구간에서 데이터 송수신이 가능한가를 검사한다. 그리고 MAS_{S-R}에서 수신이 가능하면, 릴레이통보(‘Relay Ntf’)의 예약상세상태코드로 설정된 예약대상노드에 대한 Private DRP IE를 확인하여 해당 MAS_{R-T}를 통한 데이터 송수신이 가능한지를 판단한다. 해당 릴레이 노드가 MAS_{S-R}과 MAS_{R-T} 모두 이용 가능하다면 릴레이 전송을 위한 MAS_{R-T} 정보를 저장하고 릴레이승인(‘Relay Accepted’) 예약상세상태코드로 설정한 Private DRP IE를 예약주체 노드에게 전송한다. 만약 예약 대상 노드가 예약주체 노드에게 전송한 DRP IE의 예약상세상태코드가 릴레이승인(‘Relay Accepted’)이라면 저장된 MAS_{R-T} 정보를 이용하여 릴레이 전송을 수행하고, 그렇지 않은 경우 MAS_{S-R} 및 MAS_{R-T}에 대한 예약 정보를 삭제한다.

그림 13에는 릴레이 전송을 위한 예약 대상 노드의 동작을 도시하였다. 릴레이노드로부터 릴레이통보(‘Relay Ntf’)의 예약상세상태코드를 포함한 Private DRP IE는 수신하였으나 동일한 스트림 인덱스를 포함한 MAS_{S-T}에 대한 Private DRP IE를 예약주체노드로부터 수신하지 못한 경우, 예약 대상 노드는 MAS_{R-T} 자원에 대한 허용 여부를 판단하여 이용 가능한 경우 릴레이승인(‘Relay Accepted’) 예약상세상태코드로 설정된 Private DRP IE를 예약주체 노드와 릴레이노드에게 브로드캐스트한다. 릴레이 노드로부터 전송된 Private DRP IE의 예약상세상태코드가 릴레이승인(‘Relay Accepted’)인 경우 MAS_{R-T}를 통한 데이터 패킷의 수신을 준비하고, 그렇지 않은 경우 MAS_{R-T}에 대한 정보를 삭제한다. 한편, 동일한 스트림 인덱스를 포함한 MAS_{S-T}에 대한 Private DRP IE

DRP IE의 예약상세상태코드를 릴레이통보(‘Relay

도 예약주체노드로부터 수신한 경우에는 우선적으로 MAS_{S-T} 자원에 대한 허용 여부를 판단하여 예약 가능한 경우, 'Accepted' Reason Code로 설정된 Private DRP IE를 예약 주체 노드와 릴레이노드에게 브로드캐스트하고 MAS_{S-T} 자원에 대해 예약이 불가능한 경우에는 MAS_{R-T} 자원에 대한 위 예약 절차를 실행한다. 반면에 위 MAS_{S-T} 자원 및 MAS_{R-T} 자원에 대한 예약이 모두 불가능한 경우, 예약 대상 노드는 'Conflict' 또는 'Denied'의 Reason Code로 설정된 Private DRP IE를 예약 주체 노드와 릴레이노드에게 브로드캐스트한다. 그림 12와 그림 13에서 예약 주체 노드의 Private DRP IE를 수신한 릴레이 노드 혹은 예약 대상 노드가 릴레이 Private DRP를 지원하지 않는 기존 Private DRP 적용 디바이스(Legacy node)라서 표 3에서 제안된 예약상세상태코드를 해석하지 못하는 경우, 해당 Private DRP IE를 통한 자원 예약 요청을 무시하게 되므로 본 논문에서 제안한 방식은 기존 시스템과의 호환성(Backward Compatibility)이 보장된다.

IV. 실험

표 3은 본 논문에서 사용된 Private DRP 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다. 네트워크 크기는 10제곱미터이며, 최대 30개의 디바이스들이 랜덤하게 위치한다. 본 시뮬레이션에서 기준이 되는 디바이스 자신이 갖는 Private DRP 예약 구간들이 포함하는 MAS들의 수는 DRP_{own}으로, 기준 디바이스와 1홉 거리를 갖는 이웃디바이스들에 의해 예약된 Private DRP구간들이 갖는 MAS들의 수는 R_{1-hop}으로, 그리고 기준 디바이스와 2홉 거리를 갖는 이웃디바이스들에 의해 예약된 DRP구간들이 갖는 MAS들의 수는 R_{2-hop}으로, 그리고 기준 디바이스와 3홉 거리를 갖는 이웃디바이스들에 의해 예약된 DRP구간들이 갖는 MAS들의 수는 R_{3-hop}으로 각각 표기하였다. 한편, 각 디바이스는 m_{In} 및

표 3. 시뮬레이션 파라미터
Table 3. Simulation Parameter

Parameter	Value
Number of Device	30
Simulation Time	10 minute
R1-hop	30 MAS
R2-hop	30 MAS
DRPown	30 MAS
mOut	0.2/minute

m_{Out}과 같은 2 종류의 이동성을 갖는다. m_{In}은 임의의 디바이스가 기준 디바이스로 1홉 더 가까이 이동하는 확률이고, m_{Out}은 기준 디바이스로부터 1홉 더 멀리 이동하는 확률을 나타낸다.

그림 14는 무선 USB 디바이스의 m_{In} 확률과 수율 간의 관계를 나타낸다. 그림 14에서 보인 바와 같이, 무선 USB 디바이스의 m_{In} 확률의 증가가 3홉 Private DRP 예약 충돌을 직접적으로 발생시키기 때문에 m_{In} 확률에 따라 무선 USB 디바이스의 수율은 비례적으로 크게 감소함을 알 수 있다. 따라서, 디바이스의 이동성이 높은 환경에서 전체 네트워크 성능은 크게 저하됨을 알 수 있다.

그림 15는 3홉 범위의 이웃 무선 USB 디바이스에 의해 예약된 R_{3-hop} 슬롯 수에 따른 3홉 범위의 Private

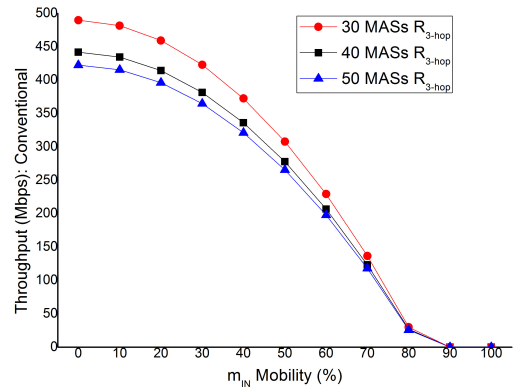


Fig. 14. Throughput according to m_{In} probability of wireless USB device

그림 14. 무선 USB 디바이스의 m_{In} 확률에 따른 수율 성능

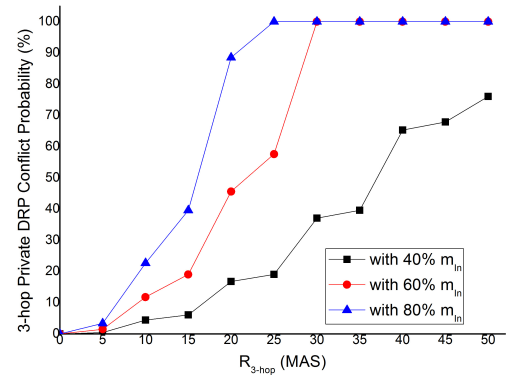


그림 15. 3홉 범위의 이웃 디바이스들에 의해 예약된 Private DRP 예약량에 따른 Private DRP 충돌확률

Fig. 15. Private DRP Reservation Conflict Probabilities according to each amount of 3-hop Private DRP Reservations

DRP 예약 충돌 확률의 변화를 나타낸다. 그림 15에서, R_{3-hop} 슬롯 수가 증가함에 따라, 3홉 범위의 Private DRP 예약 충돌 확률이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 3홉 Private DRP 충돌 확률이 R_{3-hop} 슬롯 수에 의해 크게 영향을 받음을 알 수 있다. 3홉 범위의 예약 충돌이 증가한다는 것은 디바이스의 이동으로 인한 충돌확률이 높아진다는 것을 의미한다. 따라서, 무선 USB 기술을 발전시키기 위해서는 이러한 3홉 Private DRP 예약 충돌 문제를 심각하게 고려해야 함을 알 수 있다.

그림 16은 제안된 알고리즘을 적용한 경우에 따른 수율 성능을 나타낸다. 그림 16의 결과를 분석하면, 3홉 Private DRP 구간을 예약한 디바이스들이 더 높은 m_{in} 확률로 이동할 경우 Private DRP 충돌이 증가함에 따라, 제안한 Private DRP 릴레이 통신 기술을 적용 효과가 증가함을 알 수 있다. 아울러, 제안한 Private DRP 릴레이 기술을 적용하여 디바이스들의 이동성이 증가하더라도 Private DRP 충돌로 인한 수율 성능 감소 현상을 더욱 완화할 수 있음을 알 수 있다.

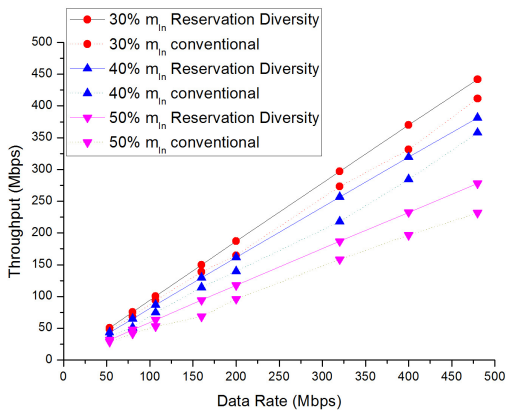


그림 16. 제안된 Private DRP 릴레이 방식에 따른 수율 성능
Fig. 16. Throughput of proposed Private DRP relay scheme

V. 결론

본 논문에서는 무선 USB 프로토콜에서, Private DRP 예약 충돌 시 발생하는 성능 저하를 감소시키기 위해 Private DRP 릴레이 통신 기술을 제안하였다. 무선 USB 시스템은 기존의 USB 인터페이스와의 호환되기 때문에, 기존의 다양한 시스템에 쉽게 적용이 가능하다. 특히 사람이 이동이 많은 선박에서 운항정보 제공등과 같은 다양한 서비스에 제공할 수 있으며,

멀티미디어 스트리밍 서비스등에도 적용이 가능하다. 하지만, 사람의 이동이 빈번한 선박과 같은 환경에서 이동하는 디바이스간 충돌이 자주 발생할 수 있다. 따라서, 제안하는 Private DRP 릴레이 통신 프로토콜은 충돌대상 디바이스에게 예약된 자원을 유지할 수 있도록 Private DRP 예약 충돌 시 릴레이 노드를 경유하여 또 다른 Indirect Link 링크를 빠르게 예약할 수 있는 각 디바이스에서 독립적으로 동작하는 새로운 자원 예약 프로토콜을 제안하였다. 성능 평가 및 분석을 통해, 제안한 Private DRP 릴레이 기술을 적용하여 디바이스들의 이동성이 증가하더라도 Private DRP 충돌로 인한 수율 성능 감소 현상을 더욱 완화할 수 있음을 증명하였다. 또한, 충돌로 인한 재전송을 줄임으로써 재전송으로 인한 전력소모를 줄일 수 있으며, 릴레이 노드 선정시 안정적인 링크를 갖는 릴레이 노드를 선정하기 때문에, 전체적인 전송시간을 줄일 수 있다. 따라서, 제안하는 알고리즘을 이용하면, 전체적인 전력소모를 줄일 수 있다.

References

- [1] J.-P. Pavon, N.-S. Shankar, 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.
- [2] V. M. Vishnevsky, A. I. Lyakhov, A. A. Safonov, S. S. Mo, and A. D. Gelman, "Study of beaconing in multi-hop wireless PAN with distributed control," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 7, no. 1, pp. 113-126, Jan. 2008.
- [3] IEEE 802.15.3, "Wireless medium access control and physical layer specification for high rate wireless personal area networks," 2003,
- [4] C.-T. Chou, J. Del Prado Pavon, and N. Sai Shankar, "Mobility support enhancements for the WiMedia UWB MAC protocol," in *Proc. 2nd Int. Conf. Broadband Netw. (BroadNets 2005)*, vol. 2, pp. 136-142, Boston, MA, Oct. 2005.
- [5] WiMedia, "Distributed medium access control (MAC) for wireless networks," WiMedia MAC Release Specification 1.5, Dec. 2009.

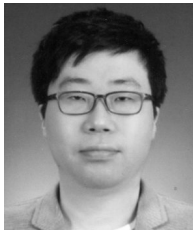
[6] Certified Wireless USB from the USB-IF, <http://www.usb.org/developers/wusb/>

[7] H.-B. Jung, S.-H. Kim, and D.-K. Kim, "Energy efficient relay selection in a multi-hop ad-hoc environment," *J. KICS*, vol. 37B, no. 5, pp. 327-337, May 2012.

[8] J. Lee and M. Yang, "Relay selection schemes using STBC technique in OFDM-based cooperative wireless communications," *J. KICS*, vol. 36, no. 7, pp. 640-648, Jul. 2011.

[9] A. D. Le, J.-B. Park, Y. O. Cho, M.-A. Jeong, S. R. Lee, and Y. H. Kim, "Self-interference cancellation-aided relay beamforming for multi-way relaying systems," *J. KICS*, vol. 38C, no. 4, pp. 378-386, Apr. 2013.

김진우 (Jin-Woo Kim)



2003년 8월 : 고려대학교 전기 전자전파공학부 졸업
 2005년 8월 : 고려대학교 전자 컴퓨터공학과 석사
 2011년 8월 : 고려대학교 전자 컴퓨터공학과 박사
 2011년~현재 : 목포대학교 정보 산업연구소(대학중점연구소) 연구교수

<관심분야> 해양IT융합기술, WPAN, IoT, Vehicular Network

김경호 (Kyung-Ho Kim)



1981년 2월 : 조선대학교 학사
 1983년 2월 : 조선대학교 석사
 1993년 2월 : 조선대학교 박사
 2000년 : Howard University 박사
 1987년~1998년 : 목포대학교 전자공학과 교수
 1998년~현재 : 목포대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 이동통신시스템 구성 및 설계, 컴퓨터 네트워크 구성 및 설계

이성로 (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