

---

# WUSB 홈네트워크에서의 충돌회피를 위한 MAC설계

심재환\*

## A MAC Design for Collision Avoidance in Wireless USB Home Networks

Jae-Hwan Sim\*

### 요약

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.

### ABSTRACT

The USB-IF has specified a Wireless USB (WUSB) protocol based on UWB for high speed wireless home networks and WPANs. 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.

### 키워드

무선홈네트워크, 고속 WPAN, UWB, 이동성, 무선 USB, 릴레이 통신  
Wireless Home Networks, High Rate WPAN (Wireless Personal Area Networks), UWB, Mobility, Wireless USB, Relay Communications

## 1. 서론

UWB (Ultra Wide-Band) 전송 기술은 초고속 근거리 무선 네트워크 (High-Rate Wireless Personal Area Network : HR-WPAN)를 실현시킬 수 있는 기술로서, 초고속 WPAN을 구성하는 UWB 디바이스들은 10m 거리 내에 있는 이웃디바이스들과 최대

480Mbps 속도로 통신이 가능하다[1]. 최근 몇 년간, 무선 홈네트워크 환경에서의 고품질 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 점차 증대되고 있다. 와이미디어 연합은 170개 이상의 회사들이 모여 UWB 기반의 물리계층과 MAC계층에 대한 표준을 발표하였다[2]. 최근에, 와이미디어 연합은 무선 USB, 무선 1394, 무선 IP, 블루투스과 같은 다양한 어플리케이션의 적용을

---

\* 인천대학교 정보기술대학 정보통신공학과(jhsim@incheon.ac.kr)

접수일자 : 2012. 10. 30

심사(수정)일자 : 2012. 12. 28

게재확정일자 : 2013. 01. 21

가능하게하는 와이미디어 D-MAC(Distributed-MAC)의 표준을 발표하였다. 와이미디어 D-MAC은 분산적 매체 접근 방식을 지원한다.

무선 USB는 유선 USB의 성공을 기반으로 하여 UWB기술을 USB기술과 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.

무선 USB는 'hub and spoke' 모델을 이용하여 무선 USB 호스트와 디바이스들을 연결한다[3]. 무선 USB 호스트는 중앙에서 'hub'의 역할을 하며, 각각의 무선 USB 디바이스는 'spoke'의 종단에 위치한다. 각각의 spoke는 호스트와 디바이스사이의 접대점 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 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. 그러나, 현재 무선 USB 표준 기술에서는 이러한 3홉 범위의 충돌을 방지하기 위한 기술이 정의되

어 있지 않다[4].

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 Link를 빠르게 예약할 수 있는 분산적인 자원 예약 프로토콜을 제안한다.

## II. 무선 USB Private DRP 표준 기술의 문제점

WUSB는 WiMedia MAC과 PHY 기술을 사용한다. WiMedia MAC에서는 QoS를 지원하기 위해 TDMA 기반의 DRP를 포함한 MAC 계층 자원을 이용하기 위한 다양한 기술을 포함하고 있다. WUSB는 'Private DRP' 예약 시간 블록들을 통해 WiMedia MAC 수퍼 프레임 내에서 캡슐화되는 WUSB 채널을 정의한다[5]. WUSB 채널은 MMC(Micro-scheduled Management Commands)라고 불리는 서로 링크된 제어 패킷들의 연속적인 시퀀스에 의해 스케줄링된다. MMC들은 'Private DRP' 예약블록들 내에서 WUSB 호스트에 의해 전송된다. MMC는 WUSB 프로토콜을 구성하는 가장 중요한 기본 요소로서, WUSB 디바이스들이 WUSB 클러스터에 대한 정보를 검색하고, 자신의 정보를 전달하고, 전력을 제어하고 높은 수율을 얻기위한 효율적인 데이터 전송이 가능하도록 스케줄링하는 역할을 한다. 그림 1은 WiMedia MAC과 WUSB간의 관계를 나타낸다. WUSB 호스트는 WiMedia MAC 프로토콜을 구현하도록 되어 있다. 그리고, WiMedia MAC에서 'Private DRP' 예약을 연속적으로 할당하여 WUSB 채널들을 할당하여 WUSB 채널들을 선정하고 유지한다. WUSB디바이스는 전체 WiMedia MAC 프로토콜을 구현한 것을 갖고 있다. 그러나, 보통은 WUSB 채널 내에서 동작하는 WUSB 프로토콜만을 구현하도록 요구되고 있다.

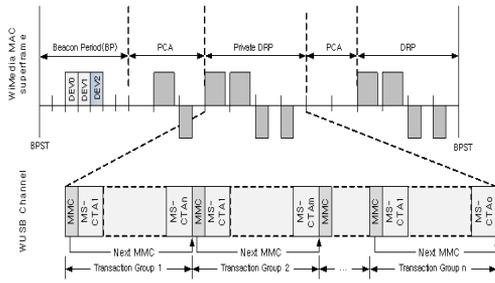


그림 1. WiMedia D-MAC을 통한 WUSB 디바이스들간의 데이터 교환 사례

Fig. 1 Example for data exchange between WUSB devices through WiMedia MAC protocol

앞에서 설명한 바와 같이, WUSB 호스트는 반드시 자신의 비컨 프레임 내에 DRP IE를 포함시킴으로써, WUSB 채널을 보호한다. WUSB 호스트가 활성화되면, 해당 WUSB 채널을 전송하기 위해 임의의 PHY 채널을 선택한다. 그 호스트가 비컨을 전송하면, Private DRP 예약을 통해, WUSB 채널을 설정한다.

그림 2는 현재 WUSB 프로토콜에서의 Private DRP 예약 동작 절차를 나타낸다. WUSB 호스트는 특정 WUSB 디바이스의 가용한 MAS 정보를 얻기 위해 GetStatus(MAS Availability) request를 전송한다. 그 후, GetStatus(MAS Availability) request를 WUSB 호스트로부터 수신한 WUSB 디바이스는 가용한 MAS 들에 대한 정보를 자신의 이웃 디바이스들의 비컨들을 수신하여 그 정보를 수집하게 된다. 그 후, 해당 WUSB 디바이스는 GetStatus(MAS Availability) request에 대해 bmMASAvailability (MAS Availability) 필드값을 통해 응답한다. WUSB 호스트가 WUSB 디바이스의 응답을 수신하게 되면, 해당 디바이스와 통신 가능한 유효한 MAS들을 선택하게 되고, 그 후 WUSB 호스트는, SetWUSBData (DRP Info) request를 전송한다. 여기서, SetWUSB Data (DRP Info) request는 해당 WUSB 디바이스가 자신의 비컨에 담아 전송하게 되는 DRP IE를 구성하기 위해 사용된다. 만약 그 WUSB 디바이스가 해당 WUSB 채널에 대한 기존 DRP IE를 갖고 있지 않다면, WUSB 디바이스는 수신된 DRP IE를 단지 자신의 비컨에 추가한다. 한편, 그 WUSB 디바이스가 해당 WUSB 채널에 대한 기존 DRP IE를 갖고 있다면, 기존 DRP IE를 수신된 명령 내에 담긴 새로운 DRP

IE로 반드시 교체해야 한다.

WUSB 호스트가 SetFeature(TX DRP IE) request를 WUSB 디바이스에 전송하면, WUSB 디바이스는 DRP IE 정보필드 값들을 포함하는 비컨을 전송하기 시작한다. DRP 예약을 종료하기 위해, WUSB호스트는 ClearFeature(TX DRP IE) request를 전송하여 WUSB 디바이스가 자신의 비컨 내에서 해당 DRP IE를 전송하는 것을 중단하도록 한다[6].

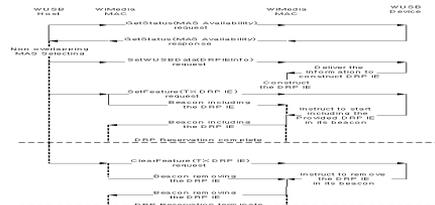


그림 2. WUSB 프로토콜의 Private DRP 예약 프로세스

Fig. 2 Private DRP reservation process of WUSB protocol

그림 3은 현재 WUSB 시스템의 2홉 범위의 Private DRP 예약 충돌의 해결 방식의 예제를 나타낸다. 그림 3에서, DRP 예약 DRP<sub>H1</sub>은 WUSB 호스트 H1과 WUSB 디바이스 D1 간에 설정되었다. H1은 D1에게 DRP<sub>H1</sub>구간에서 데이터 프레임들을 전송한다. 만약 WUSB 호스트 H2가 중첩된 MAS들을 갖는 DRP<sub>H2</sub>구간에서 D2에게 데이터 프레임들을 전송하기 위해 WUSB 디바이스 D2와 MAS들을 예약하게 되면, DRP<sub>H1</sub>과 DRP<sub>H2</sub>구간 간에 DRP 충돌이 발생하게 된다. WUSB에서 이러한 문제는 bmMASAvailability를 통해 해결된다. 만약, H1과 D1이 DRP<sub>H1</sub>구간에 대한 MAS 예약을 성공하게 되면 D1은 SetFeature(TX DRP IE)를 전송함으로써, DRP<sub>H1</sub>구간에 대한 정보를 브로드캐스트한다. 수신된 D1 디바이스의 SetFeature (TX DRP IE) 정보로부터 D2는 DRP<sub>H1</sub>구간을 자신의 bmMASAvailability 필드에 유효하지 않음을 표시한다. GetSatus(MAS Availability) 내 bmMASAvailability 필드는 현재 수퍼프레임 내에서 1홉 이웃 노드들에 의한 현재 예약 상황정보를 임의의 디바이스가 표기하기 위해 사용된다. 특정 디바이스의 bmMASAvailability 필드는 1홉 범위의 이웃 디바이스들의 SetFeature(TX DRP IE) request들을 수신한 후, 모두 결합함으로써 만

들어진다. 만약 H2 호스트가 D2로부터 GetStatus (MAS Availability)를 수신하면, H2 호스트는 DRPH1구간이 D2에게 유효하지 않음을 알 수 있고, DRPH2구간을 예약함에 있어 DRPH1구간에 속하는 중첩된 MAS들을 제외하게 된다.

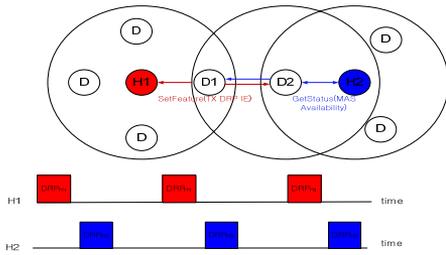


그림 3. 2홉 범위의 DRP 예약 충돌에 대한 현재 해결 방식에 대한 예제

Fig. 3 Example for the current resolution of 2-hop range DRP reservation conflicts

### III. 제안하는 Private DRP 충돌 해결 기술

#### 3.1 릴레이 Private DRP 예약 전송 기술

본 논문에서는 Private DRP 예약 충돌을 회피하기 위해, 릴레이 통신 기술을 적용한 DRP 자원 예약 기술을 제안한다. 충돌대상 디바이스(그림 4의 DEV H1)에게 예약된 자원을 유지할 수 있는 추가 기회를 주기 위해, 그림 8에 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 DRD (Dual Role Devices)를 이용한다. 그리고 새로운 SetWUSBData(DRPIE Info) request와 새로운 Private DRP 예약 협상 과정을 필요로 한다. WUSB는 DRD 디바이스가 단일 송수신기상에서 WUSB 호스트와 WUSB 디바이스로 시간상으로 구분되어 동작하는 것을 허용한다[7]. ‘combination’ 과 ‘point-to-point’ 시나리오들을 포함하여

다양한 서비스 시나리오가 DRD 디바이스들에게 가능하다. ‘combination’ 시나리오에서는 DRD 디바이스가 하나의 WUSB 호스트에 연결된 WUSB 디바이스로 동작한다. 시간 상 분리하여, 동일한 DRD가 또한, 다른 WUSB 디바이스들을 관리하는 WUSB 호스트로 동작한다. 한편, ‘point-to-point’ 시나리오에서는, 두 DRD들이 WUSB 호스트와 WUSB 디바이스 기능을 갖고 서로 다른 시간 영역에서 서로 연결된다. WUSB 기술 규격에서는, DRD가 WUSB 호스트로 동작하는 모드를 DRD-host로, WUSB 디바이스로 동작하는 모드를 DRD-device로 명명하였다.

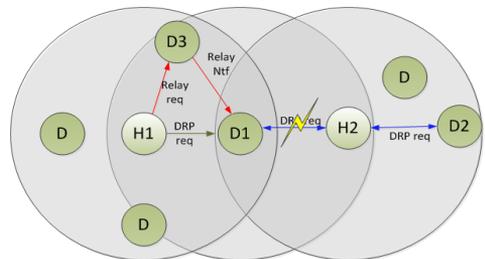


그림 4. 충돌 회피를 위한 Private DRP 릴레이  
Fig. 4 Private DRP relay for conflict avoidance

그림 5는 SetWUSBData(DRPIE Info) request의 포맷을 나타낸다.

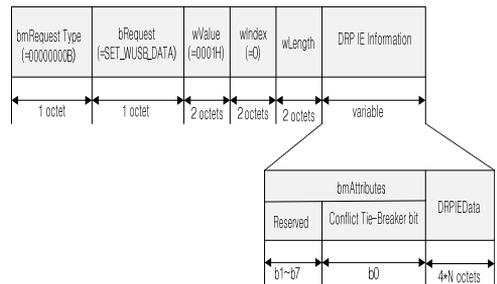


그림 5. SetWUSBData(DRPIE Info) request의 포맷  
Fig. 5 Format of SetWUSBData(DRPIE Info) request

제안된 기술에서는, WUSB 호스트가 SetWUSBData(DRPIE Info) request의 DRP IE 필드 내 (b1~b7) 비트들을 사용하여 Operation Info 정보를 전송한다. DRP IE 정보 필드는 WUSB 호스트에 의해 전송된다. WUSB 호스트로부터 비컨을 통해 Operation Info 비트들을 포함한 DRP IE 정보필드가 전송된 이

후, WUSB 호스트의 비컨을 수신한 WUSB 디바이스들은 지정된 WUSB 디바이스의 타입과 그 디바이스의 DRP 예약정보를 알 수 있다[8]. 그림 6은 제안된 DRP IE 정보필드를 설명한다.

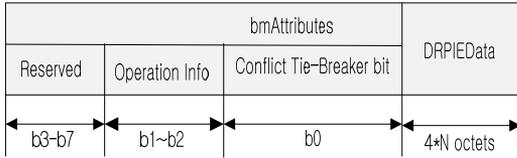


그림 6. 제안된 Private DRP IE 정보 필드.  
Fig. 6 Information Field of Private DRP IE

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

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

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

표 2. 표준 DRP IE Control 필드에서 정의된 예약상세상태코드(Reason Code)  
Table 2. Reason Code of DRP IE Control field in WiMedia standard

값	코드	의 미
0	Accepted	DRP 예약 요청이 승인됨
1	Conflict	DRP 예약 요청 혹은 기존 예약에 대한 충돌 발생
2	Pending	DRP 예약 요청 처리 중
3	Denied	DRP 예약 요청이 거절되거나, 기존 예약이 더 이상 유효하지 않음
4	Modified	DRP 예약이 유효하지만 일부 수정됨
5-7	Reserved	Reserved

표 3. 제안된 예약상세상태코드(Reason Code)  
Table 3. Proposed Reason Code of DRP IE control field

값	코드	의 미
5	Relay Req	릴레이 노드에게 릴레이 전송을 요청함
6	Relay Ntf	예약 대상 노드에게 릴레이 노드를 통한 릴레이 전송을 통보함
7	Relay Accepted	해당 릴레이 전송에 대한 DRP 자원 예약 요청이 승인됨

무선 USB 표준과의 완전한 호환성을 보장하기 위해, 제안된 릴레이 Private DRP 예약 기술은 위에서 기술한 Private DRP 표준 기술을 기본적으로 준수한다. 제안된 기술에서는 표 3에서 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 DRP 예약 요청이 있음을 간접적으로 알리는 역할을 한다. 릴레이통보('Relay Ntf') 예약상세상태코드는 릴레이 요청('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 예약 주체 노드에게 전송하며, 두 노드 모두 릴레이승인('Relay Accepted') 예약상세상태코드를 전송한 경우에만 요청한 릴레이 전송이 이루어질 수 있다.

그림 7, 그림 8, 그림 9에 각각 이러한 릴레이 전송을 위한 예약 주체 노드(S node), 릴레이 노드(R node), 예약 대상 노드(T node)의 동작을 기술하였다. 예약주체노드는 1홉 거리의 이웃 디바이스들로부터 DRP Availability IE들을 수신한 후, 예약주체노드와 예약대상노드 간의 통신을 위한 MAS, 즉 MAS S-T

가 예약 가능함을 확인한다. 예약주체노드는 또한 릴레이 노드와 예약대상노드의 비컨들에 담긴 DRP Availability IE들을 수신하여, 예약주체노드와 릴레이 노드 간의 통신을 위한 MAS, 즉 MAS S-R과 릴레이 노드와 예약 대상 노드 간의 통신을 위한 MAS, 즉 MAS R-T가 예약가능한 가를 검사한다. 이 때 임의의 릴레이노드에 대해 MAS S-R과 MAS R-T 모두 예약 가능한 경우, DRP 릴레이 전송을 위한 예약을 실시한다. 우선 MAS S-T에 대해 예약대상 수신노드에게 DRP IE의 예약상세상태코드를 'Relay Accept'로 설정하여 전송한다. 또한, 릴레이 전송을 위해 릴레이 노드에게는 MAS S-R에 대한 DRP IE의 예약상세상태코드를 릴레이요청 ('Relay Req')로 설정하여 전송하고, 릴레이 노드는 예약 대상노드에게 MAS R-T에 대한 DRP IE의 예약상세상태코드를 릴레이통보 ('Relay Ntf')로 설정하여 전송한다. 이 때 두 DRP IE의 스트림 인덱스 (Stream Index)는 동일하게 설정된다. 만약, 예약 가능한 MAS S-T가 없는 경우에는 릴레이 전송을 위한 MAS S-R과 MAS R-T에 대한 DRP IE 설정 및 전송만이 실행된다.

예약대상노드로부터 수신된 DRP IE의 예약상세상태코드가 승인 ('Accepted')인 경우, 송신 노드인 예약주체노드는 데이터를 릴레이 노드를 경유하지 않고 예약대상노드에게 직접적으로 전송한다. 한편, 릴레이 노드 및 예약 대상 노드로부터 수신된 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 DRP 표준 내용에 따라 동작한다.

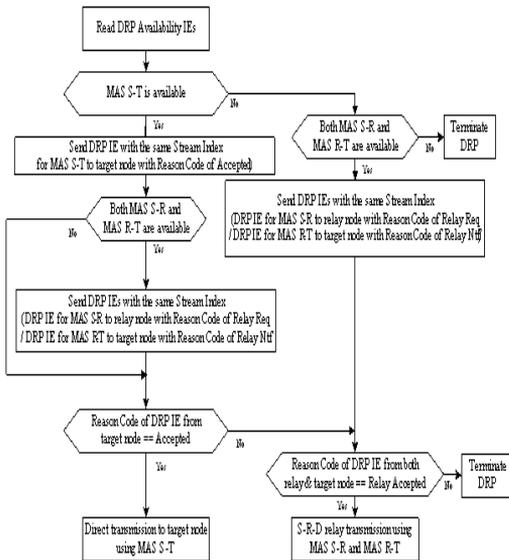


그림 7. 릴레이 다이버시티 기술의 예약 주체 노드(reservation owner)의 자원 예약 과정  
Fig. 7 Resource reservation process of reservation owner in relay diversity scheme

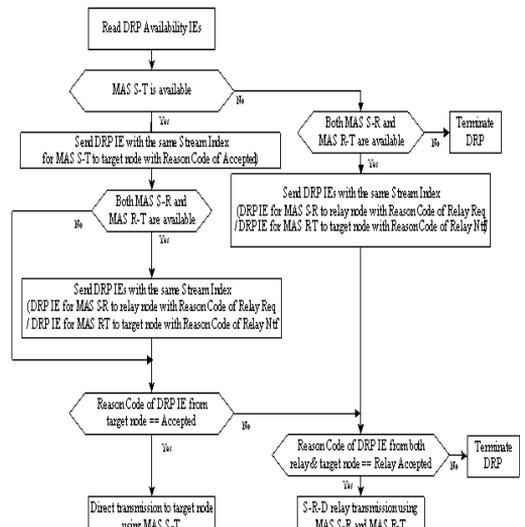


그림 7. 릴레이 다이버시티 기술의 예약 주체 노드(reservation owner)의 자원 예약 과정  
Fig. 7 Resource reservation process of reservation owner in relay diversity scheme

그림 8은 릴레이 노드에 대해 제안된 자원예약과정을 나타낸다. 릴레이 DRP를 지원하는 릴레이 노드가 릴레이 전송에 필요한 여분의 전력을 갖고 있고, 릴레이요청 ('Relay Req')의 예약상세상태코드로 설정된 DRP IE를 예약주체노드로부터 수신한 경우, 예약주체노드의 DRP IE에 포함된 MAS S-R 구간에서 데이터 송수신이 가능한 가를 검사한다. 그리고 MAS S-R에서 수신이 가능하면, 릴레이통보 ('Relay Ntf')의 예약상세상태코드로 설정된 예약대상노드에 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 설정한 DRP IE를 예약 주체 노드에게 전송한다. 만약 예약 대상 노드가 예약 주체 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-T에 대한 예약 정보를 삭제한다.

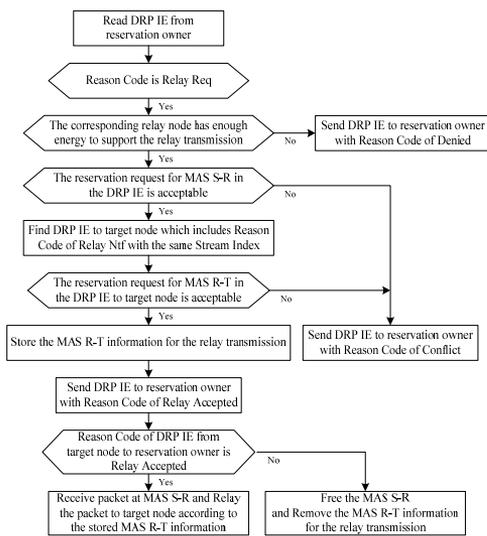


그림 8. 릴레이 다이버시티 기술의 릴레이노드(relay node)의 자원 예약 과정  
Fig. 8 Resource reservation process of relay node in relay diversity scheme

그림 9에는 릴레이 전송을 위한 예약 대상 노드의 동작을 도시하였다. 릴레이노드로부터 릴레이통보 ('Relay Ntf')의 예약상세상태코드를 포함한 DRP IE는 수신하였으나 동일한 스트림 인덱스를 포함한 MAS S-T에 대한 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 DRP IE를 예약 주체 노드와 릴레이노드에게 브로드캐스트한다. 릴레이 노드로부터 전송된 DRP IE의 예약상세상태코드가 릴레이승인 ('Relay Accepted')인 경우 MAS R-T를 통한 데이터 패킷의 수신

을 준비하고, 그렇지 않은 경우 MAS R-T에 대한 정보를 삭제한다. 한편, 동일한 스트림 인덱스를 포함한 MAS S-T에 대한 DRP IE도 예약주체노드로부터 수신한 경우에는 우선적으로 MAS S-T 자원에 대한 허용 여부를 판단하여 예약 가능한 경우, 'Accepted' Reason Code로 설정된 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 DRP IE를 예약 주체 노드와 릴레이노드에게 브로드캐스트한다. 그림 8과 그림 9에서 예약 주체 노드의 DRP IE를 수신한 릴레이 노드 혹은 예약 대상 노드가 릴레이 DRP를 지원하지 않는 기존 DRP 적용 디바이스(Legacy node)라서 표 3에서 제안된 예약상세상태코드를 해석하지 못하는 경우, 해당 DRP IE를 통한 자원 예약 요청을 무시하게 되므로 본 논문에서 제안한 방식은 기존 시스템과의 호환성(Backward Compatibility)이 보장된다.

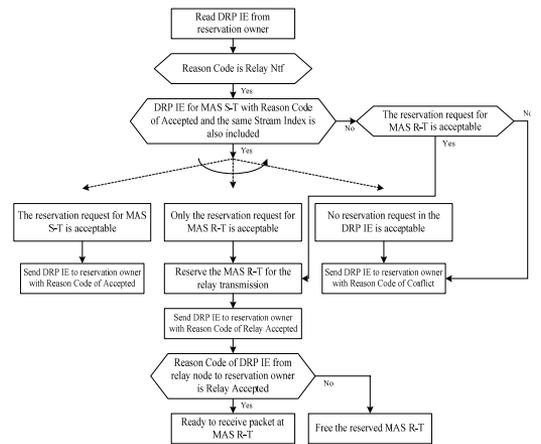


그림 9 릴레이 다이버시티 기술의 예약대상노드(target node)의 자원 예약 과정  
Fig. 9 Resource reservation process of target node in relay diversity scheme

다음 그림 10은 무선 USB 호스트와 릴레이 디바이스 간 자원 예약 절차를 설명하고 있다.

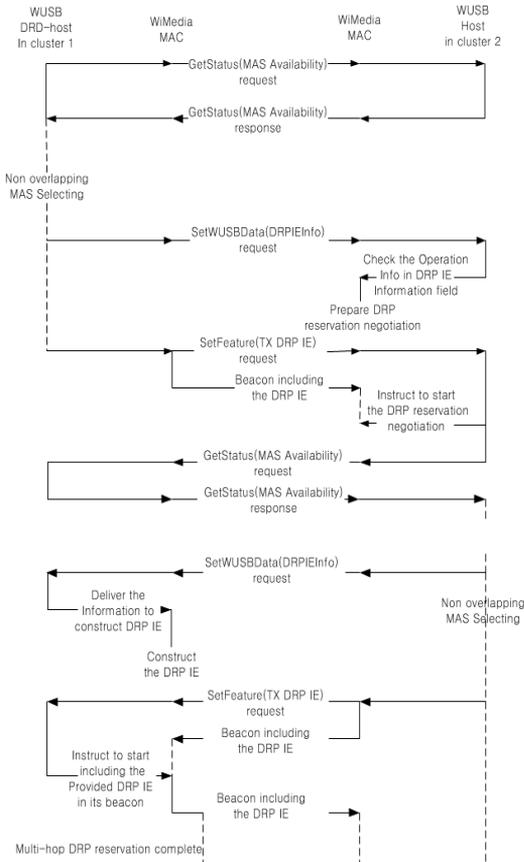


그림 10. 무선 USB 호스트와 릴레이 디바이스간 Private DRP 예약 프로세스의 동작  
Fig. 10 Private DRP reservation process between WUSB host and relay device

#### IV. 시뮬레이션 결과 분석

제안된 방식의 성능 평가 결과는 ns-2 시뮬레이션을 통해 도출하제안된 방식의 성능 평가 결과는 ns-2 시뮬레이션을 통해 도출하였다[5]. 표 4는 본 논문에서 사용된 Private DRP 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다. 기준 디바이스로부터 2홉 거리 이내로 구성된 네트워크 크기는 10제곱미터이며, 최대 30개의 디바이스들이 랜덤하게 위치한다. 본 시뮬레이션에서 기준이 되는 디바이스 자신이 갖는 Private DRP 예약 구간들이 포함하는 MAS들의 수는 DRPown으로, 기준 디바이스와 1홉 거리를 갖는 이웃디바이스들에 의해 예

약된 Private DRP구간들이 갖는 MAS들의 수는  $R_{1-hop}$ 으로, 그리고 기준 디바이스와 2홉 거리를 갖는 이웃디바이스들에 의해 예약된 DRP구간들이 갖는 MAS들의 수는  $N_{2-hop}$ 으로, 한편, 각 디바이스는  $m_{In}$  및  $m_{Out}$ 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.

표 4. Private DRP 시뮬레이션 파라미터  
Table 4. Private DRP simulation parameter

변수	값
전체 디바이스 수	30
전체 시뮬레이션 시간	10분
$R_{1-hop}$	30 MAS
$N_{2-hop}$	20 MAS
DRPown	30 MAS
$m_{Out}$	0.2/minute

그림 11은 WUSB 디바이스의  $m_{In}$  확률과 수율 간의 관계를 나타낸다. 그림 11에서 보인 바와 같이, WUSB 디바이스의  $m_{In}$  확률의 증가가 1홉 Private DRP 예약 충돌을 직접적으로 발생시키기 때문에  $m_{In}$  확률에 따라 WUSB 디바이스의 수율은 비례적으로 크게 감소함을 알 수 있다.

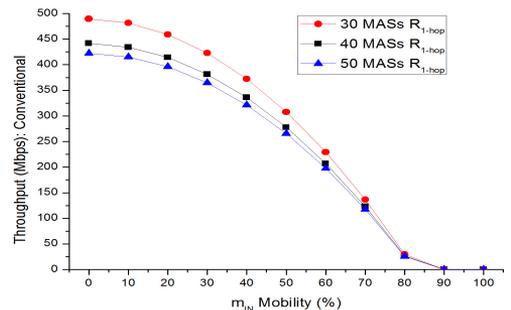


그림 11. WUSB 디바이스의  $m_{In}$  확률에 따른 수율 성능  
Fig. 11 Throughput of WUSB device according to  $m_{In}$  probability

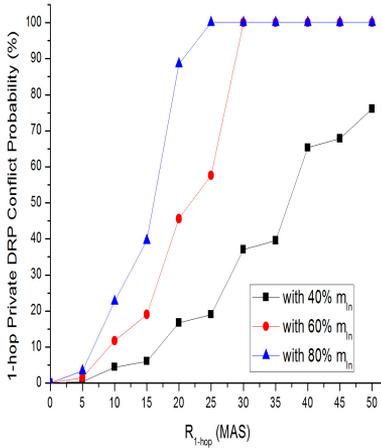


그림 12. 1홉 범위의 이웃 디바이스들에 의해 예약된 Private DRP 예약량에 따른 Private DRP 충돌확률  
 Fig. 12 1-hop DRP reservation conflict probabilities according to each amount of 1-hop private DRP reservations

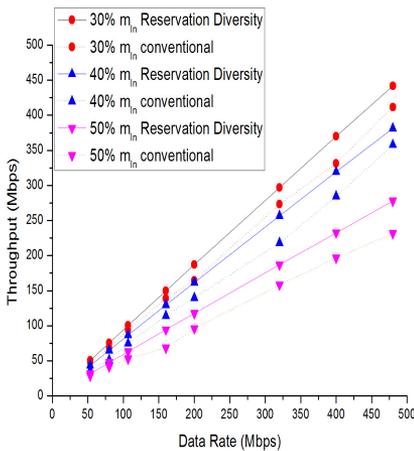


그림 13. 제안된 Private DRP 릴레이 방식에 따른 수율 성능  
 Fig. 13 Throughput of WUSB device according to proposed private DRP relay scheme

### V. 결론

본 논문에서는 WUSB 프로토콜에서, Private DRP 예약 충돌 시 발생하는 성능 저하를 감소시키기 위해 Private DRP 릴레이 통신 기술을 제안하였다. 제안된 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 분산적인 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.

### 감사의 글

이 논문은 인천대학교 2012년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] WiMedia MAC Release Spec. 1.5, "Distributed Medium Access Control (MAC) for Wireless Networks," Dec. 1, 2009, <http://www.wimedia.org/en/index/asp>.
- [2] 김범준, "와이브로 네트워크를 통한 음성 서비스의 측정 기반 품질 기준 수립", 한국전자통신학회논문지, 6권, 6호, pp. 823-829, 2011.
- [3] WiMedia MAC Release Spec. 1.5, "Distributed Medium Access Control (MAC) for Wireless Networks," Dec. 1, 2009, <http://www.wimedia.org/en/index/asp>.
- [4] Certified Wireless USB from the USB-IF, <http://www.usb.org/developers/wusb/>
- [5] 이상학, "주기신호 검출을 통한 거짓 정보제거 기능을 갖춘 비디오 화염감지 기법", 한국전자통신학회논문지, 6권, 4호, pp. 479-485, 2011.
- [6] hun-Ting Chou, del Prado Pavon, J., Sai Shankar, N, "Mobility Support Enhancements for the WiMedia UWB MAC Protocol," proc. 2nd International Conference on Broadband Networks (BROADNETS 2005), Vol. 2, pp. 136-142, Oct. 2005.
- [7] 김경옥, 반경진, 허수연, 김용근, "RFID/USN기반의 센싱데이터 수집을 위한 시스템 설계 및 구현", 한국전자통신학회논문지, 5권, 2호, pp. 221-226, 2010.
- [8] NS-2 Ultra Wide-Band (UWB) MAC and PHY

simulator, <http://uwb.epfl.ch/ns-2/index.html>.

## 저자 소개



### **심재환(Jae-Hwan Sim)**

1976년 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1980년 숭실대학교 대학원 전자공학 졸업(공학석사)

2002년 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2012년 인천대학교 정보기술대학 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : 이동통신시스템, 센서네트워크통신