

WiMedia Distributed MAC 통신 시스템을 위한 UWB 링크에 적응적인 릴레이 통신 프로토콜

중신회원 허 경*

UWB Link-Adaptive Relay Transmission Protocol for WiMedia Distributed MAC Systems

Kyeong Hur* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 UWB 기술 기반 WiMedia Distributed Medium Access Control (D-MAC) 표준 프로토콜에 적용할 수 있는 릴레이 자원 예약 프로토콜을 제안한다. 그리고, 무선 채널 상태에 따라 변화하는 UWB 링크 전송 속도에 적응적인 릴레이 노드 선정 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 UWB 링크에 적응적인 릴레이 통신 프로토콜은 분산적인 D-MAC 표준 기술과 호환성을 갖고, 각 디바이스에서 독립적으로 실행되는 Satisfaction of QoS (SoQ) 기준에 따라 실행된다.

Key Words : High Rate WPAN, UWB, Distributed MAC, Relay Communications, 무선홈네트워크

ABSTRACT

The WiMedia Alliance has specified a Distributed Medium Access Control (D-MAC) protocol based on UWB for high speed wireless home networks and WPANs. In this paper, firstly, a time slot reservation protocol for relay transmission is proposed. Furthermore, we propose a novel relay node selection algorithm adaptive to current UWB link transmission rate. The proposed relay node selection algorithm has compatibility with current WiMedia D-MAC standard and is executed at each device according to the SoQ as a QoS criterion.

I. 서 론

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^[1,2]. WPAN에서 MAC은 크게 중앙집중적 또는 분산적인 구조로 분류된다. IEEE 802.15.3은 중앙집중적 구조를 따르는 대

표적인 MAC 프로토콜이다^[3]. 중앙 집중 구조 기반의 IEEE 802.15.3은 여러 문제점을 나타낸다. 첫째로, PNC 디바이스가 사라진 경우, 네트워크는 PNC를 재선출하여야 하며, 이때 많은 시간과 전력을 소비하게 된다. 둘째로, 두 개 이상의 피코넷이 서로 충돌될 때 IEEE 802.15.3의 심각한 성능 감퇴가 문제가 된다 (SOP problem). 셋째로, 낮은 이동성 지원과 네트워크 확장에서의 비효율성이다^[1,2,4]. 결론적으로, 중앙 집중 구조를 따르는 MAC 프로토콜은 실시간 스트림의 QoS 지원에 있어 심각한 문제들을 갖고 있다.

※ 본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010- 0002366).

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2011-0016145).

* 경인교육대학교 컴퓨터교육과 부교수(Khur@ginue.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-07-289, 접수일자 : 2011년 7월 28일, 최종논문접수일자 : 2012년 3월 20일

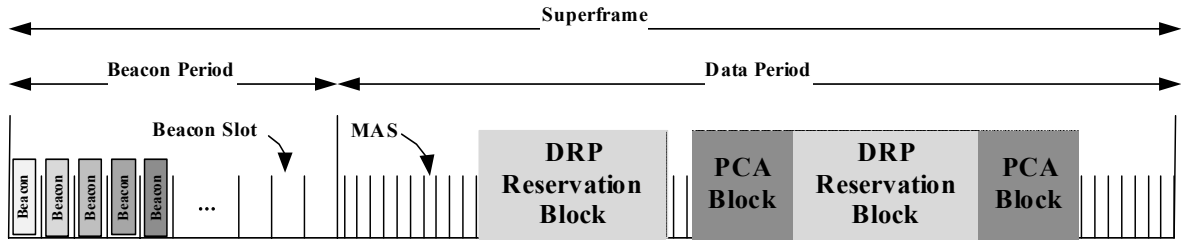


그림 1. D-MAC에서의 슈퍼프레임 구조
Fig. 1. Superframe structure of D-MAC

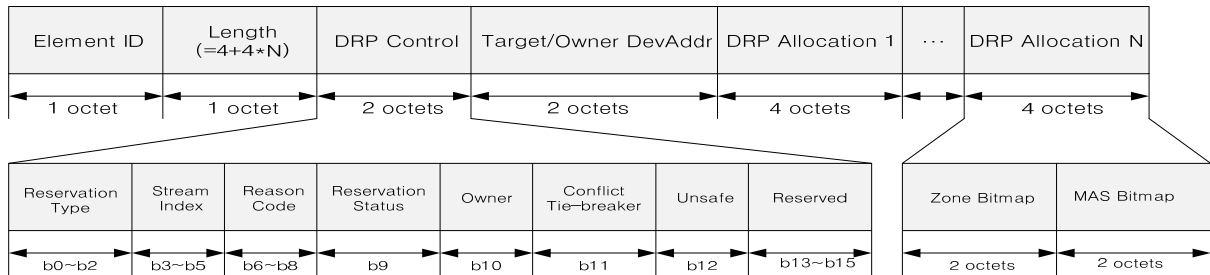


그림 2. DRP IE와 DRP Control 필드 포맷
Fig. 2. DRP IE and DRP Control field formats

한편, WiMedia Alliance는 WPAN을 위한 UWB 기
반의 D-MAC (Distributed Medium Access Control)
프로토콜을 표준화하였다⁵. D-MAC은 분산적인
MAC 구조를 갖으며, IEEE 802.15.3 프로토콜과는
반대로 D-MAC은 모든 디바이스들이 동등한 역할과
기능을 가지며 자동적으로 망을 구성하고 디바이스들
에게 매체 접근, 채널 할당, 데이터 송수신, QoS, 동기
화 기능 등을 분산적인 방식으로 제공한다. 이에
D-MAC에서는 근본적으로 중앙집중구조의 MAC에
서 나타나는 세가지 문제들이 해결된다⁵. 또한
WiMedia Alliance는 WiMedia 무선 통신 환경 하에
서 네트워크 계층의 IP 패킷 전송 및 MAC 기능 제어
를 지원하기 위해 WiMedia Logical Link Control
Protocol (WLP)를 표준화하였다^{6,7}. 참고문헌⁷에서
는 WiMedia D-MAC 프로토콜에서 실시간 트래픽을
위한 공평한 QoS 제공 방법에 초점을 맞추어 공평하
고 분산적인 타임슬롯 자원 할당 방법을 제안하였다.
그러나 참고문헌⁷에서는 물리계층의 전송률 정보
를 고려하지 않았으며, 또한 릴레이 통신기법을 고려하지
않았다.

다중 전송률이 지원되는 무선 네트워크에서는 릴
레이 전송이 수율을 향상시키고 에너지 소모를 줄
일 수 있다. 왜냐하면 낮은 속도의 링크를 통해 직
접 전송하는 것에 비해 빠른 속도의 링크를 통해
릴레이 전송을 실행하는 것이 전송 시간을 줄일 수
있기 때문이다. 최근 들어, CoopMAC⁸ 방식이 제

안되어 무선랜 (WLAN) 시스템에서 효율적인 릴레
이 통신을 통한 수율 성능 향상을 증명하였다. 하지
만 CoopMAC 방식은 CSMA 방식의 특성 상
Helper Station의 릴레이 참여 여부를 전달하기 위
한 HTS (Helper ready To Send) 시그널링
(signaling)에 대한 오버헤드(overhead)가 추가적
으로 요구되며, 또한 이 알고리즘은 무선랜 시스템
을 위해 최적화된 방식이다.

본 논문에서는 UWB 기술 기반 WiMedia
Distributed Medium Access Control (D-MAC) 표준
프로토콜에 적용할 수 있는 릴레이 자원 예약 프로토
콜을 제안한다. 그리고, 무선 채널 상태에 따라 변화
하는 UWB 링크 전송 속도에 적응적인 릴레이 노드
선정 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는
UWB 링크에 적응적인 릴레이 통신 프로토콜은 분산
적인 D-MAC 표준 기술과 호환성을 갖고, 각 디바이
스에서 독립적으로 실행되는 Satisfaction of QoS
(SoQ) 기준에 따라 실행된다.

II. WiMedia D-MAC 프로토콜의 자원 예약

그림 1과 같이 D-MAC은 슈퍼프레임이라는 시간
단위로 동작하며, 슈퍼프레임은 Medium Access Slot
(MAS)이라는 다수의 타임슬롯들로 구성된다. 슈퍼프
레임은 256개의 MAS들로 구성된다. 하나의 슈퍼프
레임은 65.536ms의 크기를 갖고, 하나의 MAS는

256us의 크기를 갖는다.

그림 1에서 각 슈퍼프레임은 Beacon Period (BP)로 시작되며 BP는 MAS들로 구성된다. 각 디바이스는 다른 단말 디바이스들과 겹치지 않는 비컨 슬롯 MAS에서 자신의 비컨을 전송한다. 그러므로 디바이스들은 비컨 충돌을 피하기 위해 다른 디바이스로부터 쓰이지 않는 비컨 슬롯을 선택하여야 한다. 디바이스들은 서로 비컨을 교환하여 비컨이 포함하고 있는 Information Element(IE)들을 바탕으로 시간동기, MAS 예약, 이동성 지원 등을 수행한다.

현재 WiMedia D-MAC 표준 기술에서는, 등시성을 갖는 트래픽의 QoS를 지원하기 위해 예약이 보장된 슬롯들을 사용하는 채널 접근 기법으로 DRP 프로토콜을 사용한다. 슈퍼프레임 시간 내에서 여러 MAS 슬롯들을 예약한다는 것은, 송신 디바이스인 DRP 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 협상 시 사용되는 DRP IE와 DRP Control 필드 포맷은 그림 2와 같다.

DRP 예약 과정은 언제나, 그 예약 시간 구간에서 데이터 프레임 송수신 트랜잭션을 시작하는 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 이웃 디바이스들의 기존 DRP 예약 구간들과의 충돌로 인해, 허용되지 않는 경우에는, DRP Target 디바이스가 Reason Code bit를 ‘Conflict’로 설정한다. 한편, 성공적인 DRP 예약 절차를 종료하기 위해서 DRP Owner 디바이스는 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.

표 1. 표준 DRP IE Control 필드에서 정의된 예약상태코드
Table 1. Reason Codes defined in DRP IE Control Field

값	코드	의미
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

III. UWB 링크에 적응적인 릴레이 통신 프로토콜

3.1. 릴레이 통신을 위한 자원 예약 프로토콜

릴레이 기반 협력통신의 원리는 그림 3과 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.

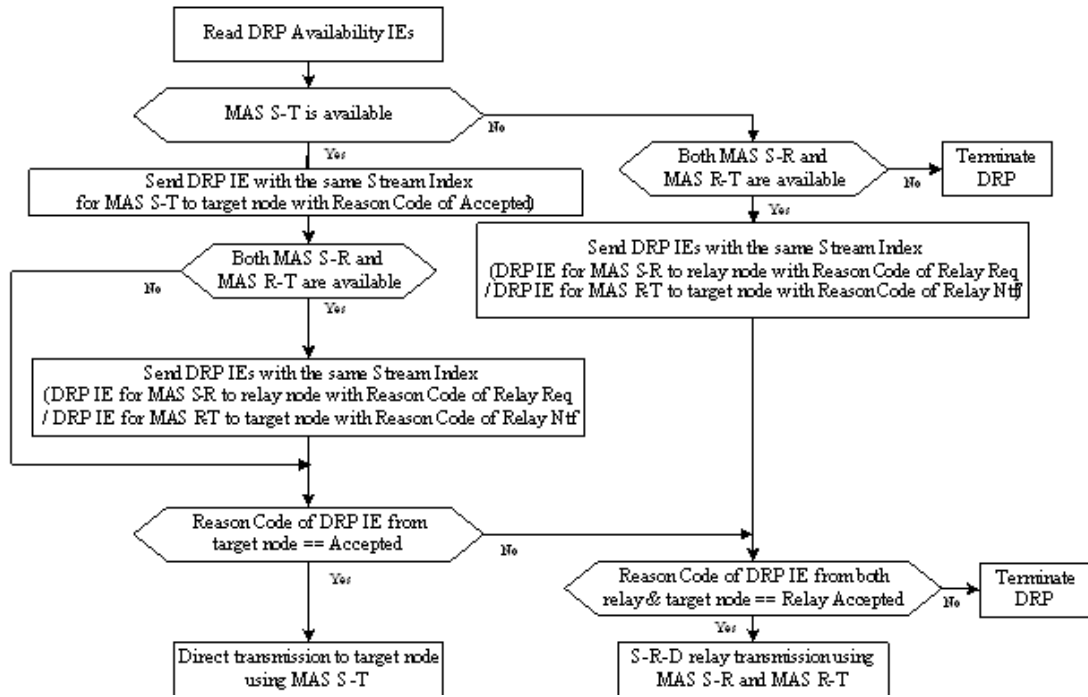


그림 4. 릴레이 통신 기술에서 예약 주체 노드(reservation owner)의 예약 과정
 Fig. 4 . Relay DRP Reservation Process of Sender Device

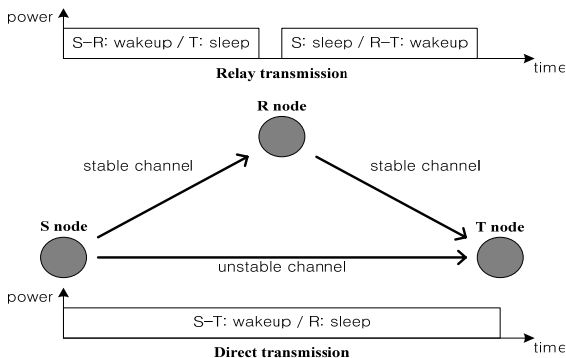


그림 3. 릴레이 통신 기술
 Fig. 3. Principle of Relay Transmissions

표 2. 제안된 예약상세상태코드 (Reason Code)
 Table 2. Proposed Reason Codes for DRP IE Control Field

값	코드	의미
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

WiMedia D-MAC 표준과의 완전한 호환성을 보장하기 위해, 제안된 릴레이 DRP 예약 기술은 위에서 기술한 DRP 표준 기술을 기본적으로 준수한

다. 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 노드 간에 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 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 4, 그림 5, 그림 6에 각각 이러한 릴레이 전송을 위한 예약 주체 노드(S node), 릴레이 노드(R node), 예약 대상 노드(T node)의 동작을 기술하였

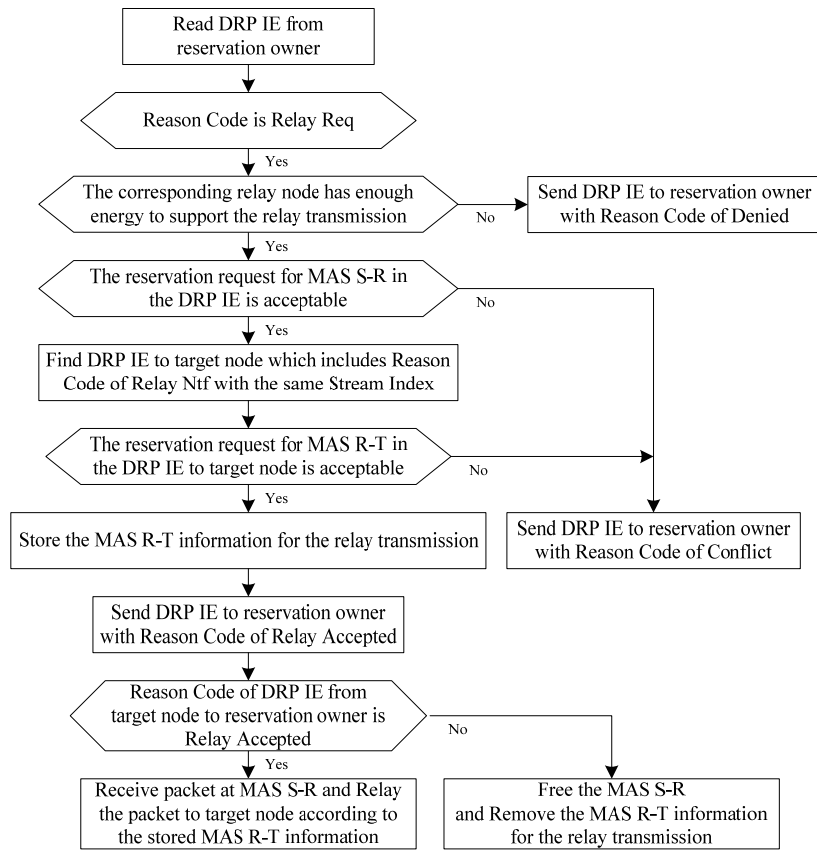


그림 5. 릴레이 통신 기술에서 릴레이노드(relay node)의 자원 예약 과정
 Fig. 5. Relay DRP Reservation Process of Relay Device

다. 예약주체노드는 1홉 거리의 이웃 디바이스들로부터 DRP Availability IE들을 수신한 후, 예약주체노드와 예약대상노드 간의 통신을 위한 MAS, 즉 MAS S-T가 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 예약 가능한가를 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 설

정하여 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 대상노드로부터 수신된 DRP IE의 예약상세상태코드가 모두 릴레이승인('Relay Accepted')인 경우, 해당 릴레이 노드를 통한 릴레이 전송이 이루어진다. 이 상에서 설명한 예약상세상태코드 값 외의 값들이 수신된 경우는 기존 DRP 표준 내용에 따라 동작한다.

그림 5는 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

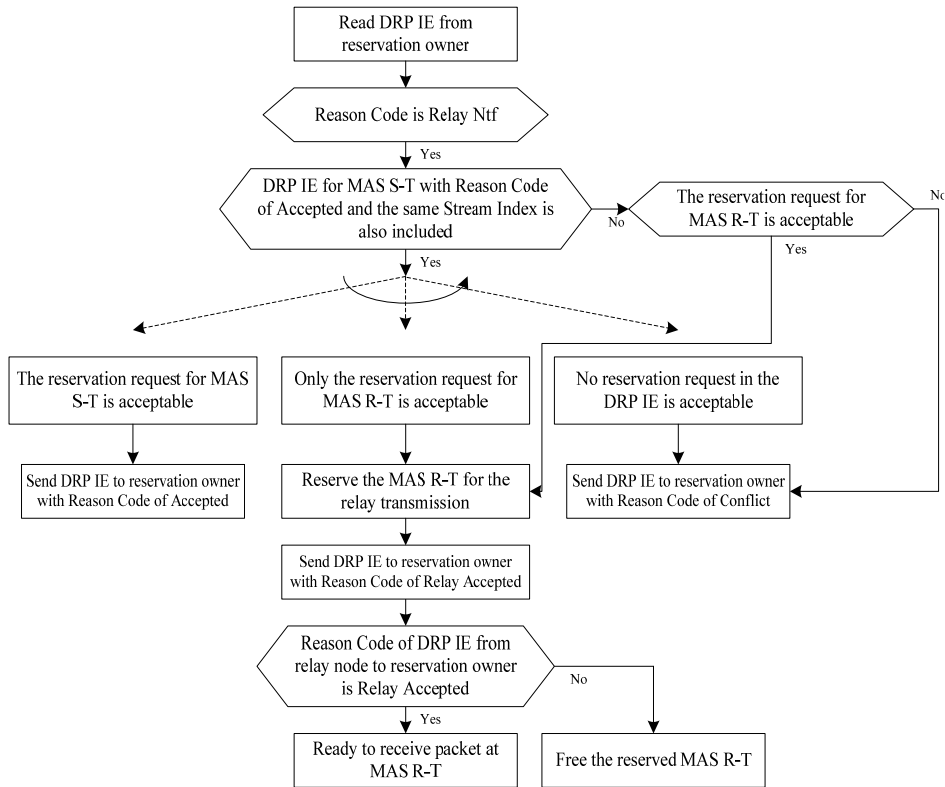


그림 6. 릴레이 통신 기술에서 예약대상노드(target node)의 자원 예약 과정
Fig. 6. Relay DRP Reservation Process of Target Device

경우, 예약주체노드의 DRP IE에 포함된 MAS S-R 구간에서 데이터 송수신이 가능한가를 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 릴레이승인 ('Relay Accepted') 예약상세상태코드로 설정한 DRP IE를 예약 주체 노드에 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 6에는 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 수신을 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 4와 그림 5에서 예약 주체 노드의 DRP IE를 수신한 릴레이 노드 혹은 예약 대상 노드가 릴레이 DRP를 지원하지 않

는 기존 DRP 적용 디바이스(Legacy node)라서 표 2에서 제안된 예약상태상태코드를 해석하지 못하는 경우, 해당 DRP IE를 통한 자원 예약 요청을 무시하게 되므로 본 논문에서 제안한 방식은 기존 시스템과의 호환성(Backward Compatibility)이 보장된다.

3.2. UWB 링크 전송속도에 적응적인 릴레이 노드 선정 알고리즘

WLP 표준에서는 무선 네트워크에서 유선 네트워크의 파라미터화된 QoS를 제공하기 위해, 유선 네트워크에서 트래픽 소스의 특성을 규정한 Token Bucket TSPEC을 포함하며 트래픽 소스의 특성을 Fluid Twin Token Bucket이라는 모델을 이용하여 표현한다^[6]. 이 모델은 트래픽 스트림을 Mean Rate r , Peak Rate p , Maximum Burst Size b 의 세가지 파라미터 $\{r, b, p\}$ 를 사용하여 특성화한다.

제안하는 릴레이 노드 선정 알고리즘에서는 SoQ (Satisfaction of QoS)라는 QoS 측정 척도를 사용하고 식(1)과 같이 정의된다^[7]. 식(1)에서 RR_j 는 트래픽 스트림 j 에 반드시 할당되어야 하는 데이터 전송률 (Required Rate = r)를 의미하며, DR_j 는 트래픽 스트림 j 에 최대 할당될 수 있는 데이터 전송률 (Desired Rate = p)를 의미한다. 그리고 $SR_{j,n}$ 은 n 번째 슈퍼프레임에서 트래픽 스트림 j 에 할당된 MAS의 개수, 즉, 서비스 전송률을 의미한다. $SoQ_{j,n}$ 은 n 번째 슈퍼프레임에서 트래픽 스트림 j 의 QoS의 만족도 (Satisfaction of QoS)를 의미한다.

$$SoQ_{j,n} = \frac{SR_{j,n} - RR_j}{DR_j - RR_j} \begin{cases} SoQ_{j,n} = 1, & \text{if } SR_{j,n} = DR_j \\ SoQ_{j,n} = 0, & \text{if } SR_{j,n} = RR_j \\ SoQ_{j,n} < 0, & \text{if } SR_{j,n} < RR_j \end{cases}$$

$$(RR_j < DR_j, SR_{j,n} = DR_j, SoQ_{j,n} = 1)$$

(1)

WiMedia D-MAC 프로토콜에는 Link Feedback Information Element (IE)가 정의되어 있다. Link Feedback IE에는 최적의 PHY 데이터 전송률과 송신전력 정보가 수신 디바이스로부터 송신 디바이스로 전달된다. 결과적으로, 임의의 디바이스에 대한 모든 링크 피드백 정보는 하나의 Link Feedback IE에 실려 전송될 수 있다. Link Feedback IE는 여러 송신 디바이스들에 대해 수신 디바이스가 추천하는 송신 디바이스의 PHY 데이터 전송률과 송신 전력

레벨에 관한 정보가 담기게 된다. Link Feedback IE의 포맷과 Link 필드 포맷은 다음 표 3, 표 4, 표 5와 같다. Link Feedback IE 내 Link 필드 포맷에서 DevAddr 필드는 피드백을 제공하는 송신 소스 디바이스의 디바이스 주소를 나타낸다.

표 3. Link Feedback IE 포맷
Table 3. Format of Link Feedback IE

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

표 4. Link Feedback IE 내 Link 필드 포맷
Table 4. Format of Link field in Link Feedback IE

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

표 5. Link Feedback IE 내 Data Rate 필드 포맷
Table 5. Format of Data Rate field in Link Feedback IE

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

제안하는 릴레이 노드 선정 알고리즘에서는 $SR_{j,n}$ 을 식(2)와 같이 $SR_{j,n}(R_{PHY-Current})$ 로 새로이 정의한다. 식(2)에서 $R_{PHY-MIN}$ 은 표 5에서 제시된 WiMedia 디바이스의 PHY 데이터 전송률의 최소 값, 즉, 53.3Mbps를 의미하고, $R_{PHY-Current}$ 는 현재 슈퍼프레임에서 제공되는 WiMedia 디바이스의 PHY 데이터 전송률을 의미한다. 그리고, $SR_{j,n}(R_{PHY-MIN})$ 은 WiMedia 디바이스의 $R_{PHY-MIN}$ 에서 계산된 n 번째 슈퍼프레임에서 트래픽 스트림 j 에 할당된 서비스 전송률을 나타낸다. 이에, $SR_{j,n}(R_{PHY-Current})$ 값은 항상 $SR_{j,n}(R_{PHY-MIN})$ 값보다 크거나 같다. 위에서 정의한 내용을 바탕으로, 식(3)과 같이, 이웃 디바이스들로부터 모든

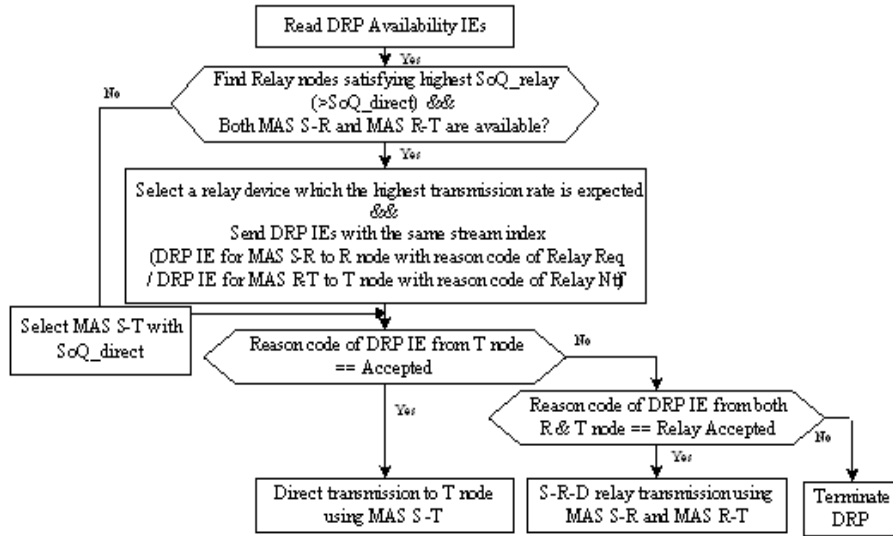


그림 7. UWB 링크 전송 속도에 적응적인 SoQ 릴레이 전송을 위한 예약주체노드 (S node) DRP 자원 예약 절차
 Fig. 7. UWB Link-adaptive SoQ Relay DRP Reservation Process of Sender Device

PHY 링크 정보를 획득한 후, 송신 디바이스와 목적지 수신 디바이스간의 SoQ_direct 값과 소스와 릴레이 디바이스간 및 릴레이 디바이스와 목적지 수신 디바이스간 SoQ_{S-R}, SoQ_{R-T} 값들로부터 결정되는 SoQ_relay 값을 비교하여 최대 SoQ를 제공하는 릴레이 노드와 릴레이 전송 경로를 결정할 수 있다.

$$SR_{j,n(R_{PHY-Current})} = \frac{SR_{j,n(R_{PHY-MIN})} \cdot R_{PHY-Current}}{R_{PHY-MIN}}$$

$$SR_{j,n(R_{PHY-Current})} \geq SR_{j,n(R_{PHY-MIN})} \quad (2)$$

$$SoQ_{relay,n} = \min\{SoQ_{S-R,n}, SoQ_{R-T,n}\} \quad (3)$$

$$SoQ_{direct,n} = SoQ_{S-T,n}$$

$$SoQ_{Relay Node Selection}(SoQ_{relay}) Criterion$$

$$\Rightarrow \max SoQ_{relay,n} (> SoQ_{direct,n})$$

식 (3)의 SoQ 릴레이 노드 선정 기준을 만족하고 디바이스들 중 송신 PHY 데이터 전송률이 가장 높은 릴레이 노드를 선택하여 릴레이 전송을 위한 DRP 예약을 실시한다. 그림 7은 예약주체노드가 수행하는 UWB 링크 전송 속도에 적응적인 SoQ 릴레이 자원 예약 절차를 나타낸다. 릴레이 노드와 목적지 수신 디바이스에서 수행되는 자원 예약 절차는 그림 5, 그림 6과 동일하다.

위 내용을 정리하면, 수식 (2)에서 사용된 $R_{PHY-Current}$ 값은 표 5에 나타난 바와 같이 D-MAC 비콘에 실리는 Link Feedback IE 내 Data rate 필드로부터 얻을 수 있다. 이는 물리계층의 채널 상태에 따라 임의의 D-MAC 디바이스가 다른 디바이스와의 개별 링크 상태에 따라 결정한 현재의 PHY Data rate 정보가 Link Feedback IE 내 Data rate 필드에 기록되는 것이다. 그리고 $R_{PHY-MIN}$ 은 Link Feedback IE 내 Data rate 필드에 기록될 수 있는 PHY Data rate set 중에 최소값을 나타낸다. 본 논문에서는 MAC 계층에서 물리계층의 채널 정보를 확인하는 것이 아니라, 물리계층의 채널 상태에 따라 디바이스가 결정한 물리계층 전송률 정보가 MAC 계층에 전달되는 기능을 이용한 것이다.

IV. 시뮬레이션 결과 분석

제안된 방식의 성능 평가 결과는 ns-2 시뮬레이션을 통해 도출하였다. 표 6은 본 논문에서 사용된 DRP 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다. 기준 디바이스로부터 2홉 거리 이내로 구성된 네트워크 크기는 10제곱미터이며, 최대 30개의 디바이스들이 랜덤하게 위치한다.

표 6. 시뮬레이션 파라미터
Table 6. Simulation Parameters

변수	값
전체 디바이스 수	30
전체 시뮬레이션 시간	10분
R1-hop	60 MAS
N2-hop	60 MAS
DRPown	30 MAS
mOut	0.2/minute

본 시뮬레이션에서 기준이 되는 디바이스 자신이 갖는 DRP 예약 구간들이 포함하는 MAS들의 수는 DRPown으로, 기준 디바이스와 1홉 거리를 갖는 이웃 디바이스들에 의해 예약된 DRP구간들이 갖는 MAS들의 수는 R1-hop으로, 그리고 기준 디바이스와 2홉 거리를 갖는 이웃디바이스들에 의해 예약된 DRP구간들이 갖는 MAS들의 수는 N2-hop으로, 한편, 각 디바이스는 mIn 및 mOut과 같은 2 종류의 이동성을 갖는다. mIn은 임의의 디바이스가 기준 디바이스로 1홉 더 가까이 이동하는 확률이고, mOut은 기준 디바이스로부터 1홉 더 멀리 이동하는 확률을 나타낸다.

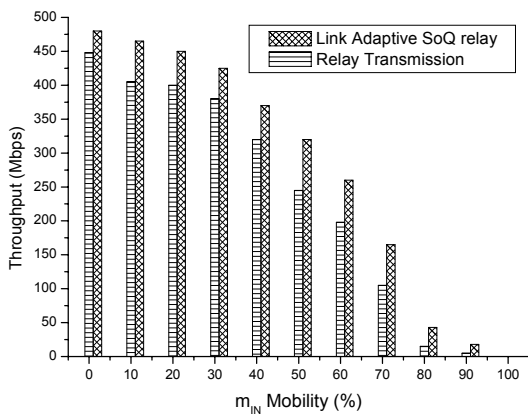


그림 8. 각 mIn 확률에 따른 Link Adaptive SoQ relay 기술에서 D-MAC 디바이스의 수율
Fig. 8. Throughput Performance of Link Adaptive SoQ relay according to mIn prob.

기준 디바이스가 480 Mbps를 전송할 때, 디바이스들의 mIn 확률에 따른 수율의 변화가 그림 8에 나타나 있다. 또한, RR 25Mbps, DR 50Mbps의 TSPEC을 갖는 트래픽 스트림에 대해, 지원할 수 있는 $R_{PHY-Current}$ 전송률과 $R_{PHY-MIN}$ 전송률의 차이에 따른 SoQ 변화가 그림 9에 도시되어 있다. 시뮬레이션 결과로부터 UWB 링크 전송 속도에 적응적인 SoQ 릴레이 기술을 적용하여, 기본적인 릴레이 전

송 기술만을 적용한 것 보다 수율 및 SoQ 값이 증가하는 것을 알 수 있다. 여기서, 기본적인 릴레이 전송 기술이란, 그림 3과 같이 예약 주체 노드(S node)와 예약 대상 노드(T node) 사이의 채널 상태가 좋지 않은 경우 (예를 들어, Link Failure), 예약 주체 노드가 예약 대상 노드와 직접 통신하는 것보다 채널 상태가 상대적으로 양호한 릴레이 노드(R node)를 거쳐서 데이터를 송수신하는 것을 의미하는 것으로 그림 4, 그림 5, 그림 6의 방식을 적용한 것이다. 이러한 결과는 더 큰 mIn 확률값에서 디바이스들의 잦은 이동으로 무선 채널 상태의 변화가 크므로, UWB 링크 전송 속도에 적응적인 SoQ 릴레이 기술이 더 큰 mIn 확률값에서 성능 향상 효과가 증대된다고 할 수 있다.

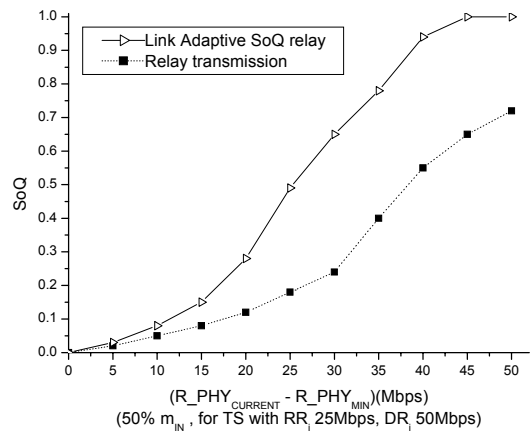


그림 9. UWB 링크 데이터 전송률의 차이에 따른 SoQ 성능
Fig. 9. SoQ results of Link Adaptive SoQ relay according to variation of UWB data rate

V. 결론

본 논문에서는 UWB 기술 기반 WiMedia D-MAC 표준 프로토콜에 적용할 수 있는 릴레이 자원 예약 프로토콜을 제안하였고 무선 채널 상태에 따라 변화하는 UWB 링크 전송 속도에 적응적인 릴레이 노드 선정 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 릴레이 통신 프로토콜은 분산적인 D-MAC 표준 기술과 호환성을 갖고, 각 디바이스에서 독립적으로 실행되는 Satisfaction of QoS (SoQ) 기준에 따라 실행된다. 시뮬레이션 결과로부터 UWB 링크 전송 속도에 적응적인 SoQ 릴레이 기술을 적용하여, 디바이스들의 잦은 이동으로 무선 채널 상태의 변화가 큰 경우 성능 향상 효과가 더욱 증대됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 $R_{PHY-Current}$ 라는 UWB 물리계

층 정보를 이용하였으며, 이 값은 D-MAC 비콘에 실리는 Link Feedback IE 내 Data rate 필드로부터 얻을 수 있다. 이에 따라, 물리계층 정보를 이용하는 부분은 WiMedia D-MAC 및 PHY 표준에 수정을 필요로 하지 않은 부분이다.

참 고 문 헌

[1] J. Del Prado Pavon, N. Sai Shankar, V. Gaddam, K. Challapali and Chun-Ting Chou, "The MBOA-WiMedia specification for ultra wideband distributed networks," *IEEE Communications Magazine*, 44(6), pp. 128-134, June 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 Transactions on MOBILE COMPUTING*, 7(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] Hun-Ting Chou, J. Del Prado Pavon, and N. Sai Shankar, "Mobility Support Enhancements for the WiMedia UWB MAC Protocol," Proceedings of 2nd International Conference on Broadband Networks (BROADNETS 2005), 2, pp. 136-142, Oct. 2005.

[5] WiMedia, "Distributed Medium Access Control (MAC) for Wireless Networks," WiMedia MAC Release Specification 1.5, Dec. 2009.

[6] WiMedia, "WiMedia Logical Link Control Protocol (WLP)," WiMedia WLP Specification Draft 1.0, Aug. 2007.

[7] S. Kim, K. Hur, J. Park, D-S. Eom, and K. Hwang, "A Fair Distributed Resource Allocation Method in UWB Wireless PANs with WiMedia MAC," *Journal of Communications and Networks*, 11(4), pp. 375-383, Aug. 2009.

[8] P. Liu, Z. Tao, S. Narayanan, T. Korakis and S. Panwar, "CoopMAC: A Cooperative MAC

for Wireless LANs," *IEEE. J. Selected Areas in Communications*, 25(2), pp.340 - 354, Feb. 2007.

허 경 (Kyeong Hur)

중신회원



1998년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
 2000년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
 2004년 8월 고려대 전자공학과 통신공학 박사
 2004년 9월~2005년 8월 삼성종합기술원(SAIT)전문연

구원

2005년 9월~현재 경인교대 컴퓨터교육과 부교수
 <관심분야> 통신시스템설계, 상황인지기술, 컴퓨터교육