
UWB 기반 Distributed MAC 시스템을 위한 협력 통신 프로토콜 설계

허경*

Design of Cooperative Communication Protocol
for UWB-based Distributed MAC Systems

Kyeong Hur*

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2010- 0002366). 또한 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2011-0016145).

요 약

본 논문에서는 UWB 기술 기반 WiMedia Distributed Medium Access Control (D-MAC) 표준 프로토콜에 적용할 수 있는 협력 통신 프로토콜을 제안한다. 이를 위해 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 기술 및 무선 USB 기술과 호환성을 갖고, 각 디바이스에서 독립적으로 실행되는 Relay Node Selection (RNS) 기준에 따라 실행된다.

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, we propose a novel cooperative communication protocol adaptive to current UWB link transmission rate. The proposed cooperative communication protocol has compatibility with current WiMedia D-MAC and Wireless USB standard and is executed at each device according to a Relay Node Selection (RNS) criterion.

키워드

무선 홈네트워크, UWB, 분산방식 MAC, 무선 USB, 협력 통신

Key word

Wireless Home Networks, UWB, Distributed MAC, Wireless USB, Cooperative Communications

* 종신회원 : 경인교육대학교 컴퓨터교육과 부교수
(교신저자, Khur@ginue.ac.kr)

접수일자 : 2011. 07. 11
심사완료일자 : 2011. 08. 22

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]. WPAN [2]에서 MAC은 크게 중앙집중적 또는 분산적인 구조로 분류된다. IEEE 802.15.3은 중앙집중적 구조를 따르는 대표적인 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 중첩될 때 IEEE 802.15.3의 심각한 성능 감쇠가 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.

한편, WiMedia Alliance는 WPAN을 위한 UWB 기반의 D-MAC (Distributed Medium Access Control) 프로토콜을 표준화하였다 [5]. D-MAC은 분산적인 MAC 구조를 가지며, IEEE 802.15.3 프로토콜과는 반대로 D-MAC은 모든 디바이스들이 동등한 역할과 기능을 가지며 자동적으로 망을 구성하고 디바이스들에게 매체 접근, 채널 할당, 데이터 송수신, QoS, 동기화 기능 등을 분산적인 방식으로 제공한다. 이에 D-MAC에서는 근본적으로 중앙집중구조의 MAC에서 나타나는 세가지 문제들이 해결된다 [5]. 또한 WiMedia Alliance는 WiMedia 무선 통신 환경 하에서 네트워크 계층의 IP 패킷 전송 및 MAC 기능 제어를 지원하기 위해 WiMedia Logical Link Control Protocol (WLP)를 표준화하였다 [6] [7].

다중 전송률이 지원되는 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. 최근 들어, CoopMAC [7] 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) 시그널링(signaling)에 대한 오버헤드(overhead)가 추가적으로 요구되며, 또한 이 알고리즘은 무선랜시스템을 위해 최적화된 방식이다.

본 논문에서는 UWB 기술 기반 D-MAC 표준 프로토콜에 적용할 수 있는 협력 통신 프로토콜을 제안한다. 이를 위해 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 Relay Node Selection (RNS) 기준에 따라 실행된다.

II. WiMedia D-MAC 협력 통신을 위한 자원 예약 프로토콜

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 (Distributed Reservation Protocol)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

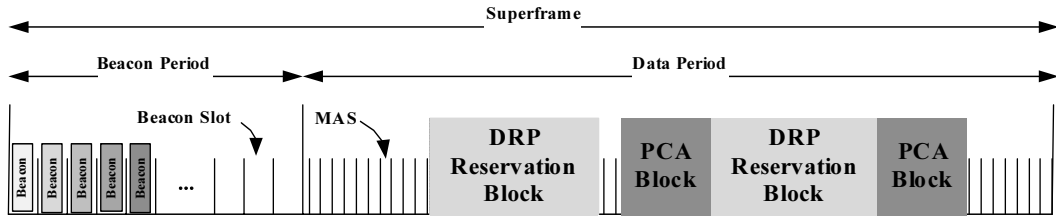


그림 1. D-MAC에서의 슈퍼프레임 구조
Fig. 1 Superframe Structure of D-MAC

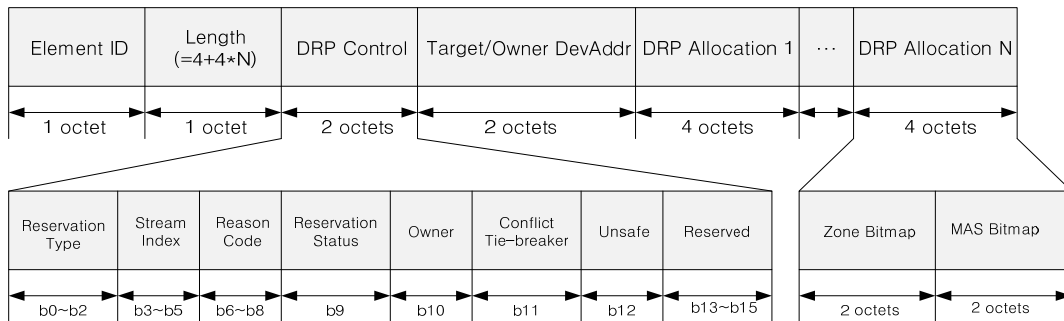


그림 2. DRP IE와 DRP Control 필드 포맷
Fig. 2 DRP IE and DRP Control Field Format

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 2에 설명되어 있다.

협력통신의 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 것으로 이러한 릴레이 기반 협력통신은 전송 지연 시간 측면과 전력 소비 측면에서 이득을 발생시킨다.

표 1. DRP control 표준 상세 코드
Table. 1 Reason Code of DRP Control Standard

값	코드	의미
0	Accepted	DRP 예약 요청이 승인됨
1	Conflict	DRP 기존 예약과 충돌 발생
2	Pending	DRP 예약 요청 처리 중
3	Denied	DRP 예약 요청이 거절됨
4	Modified	DRP 예약이 일부 수정됨
5-7	Reserved	Reserved

표 2. 제안하는 DRP control 예약 상세 코드
Table. 2 Proposed Reason Code of DRP Control

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

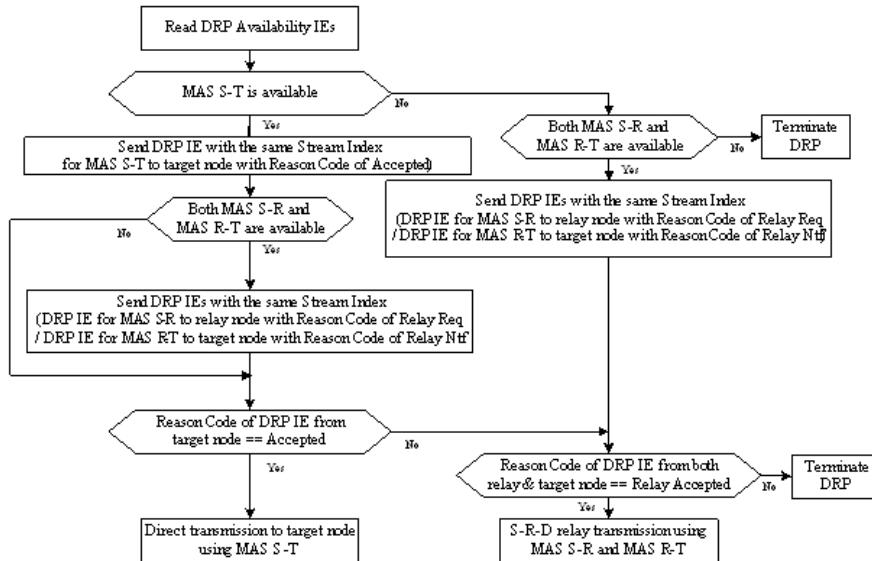


그림 3. 릴레이 통신 기술에서 예약 주체 노드(reservation owner)의 예약 과정
Fig. 3 Relay Reservation Procedure of DRP reservation owner

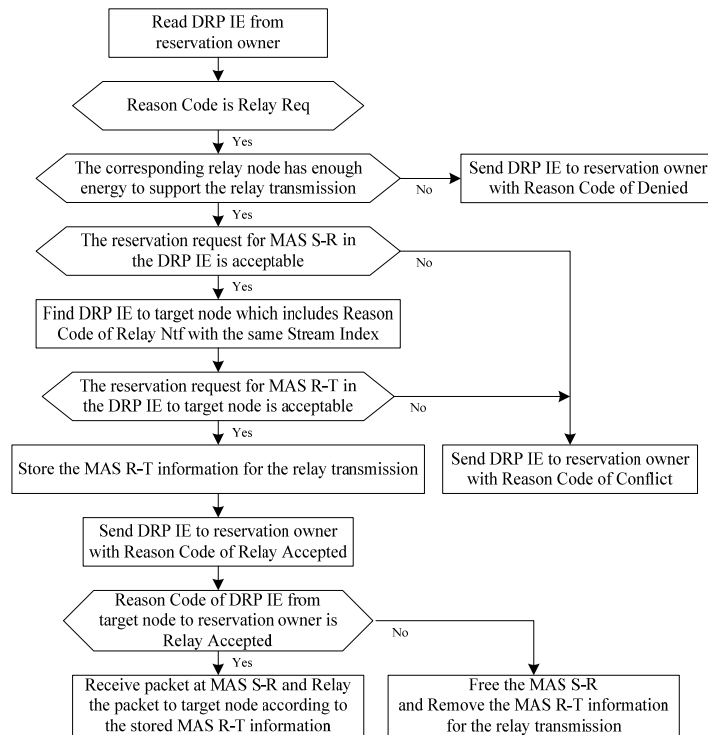


그림 4. 릴레이 통신 기술에서 릴레이노드(relay node)의 자원 예약
Fig. 4 Relay Reservation Procedure of DRP Relay Device

WiMedia D-MAC 표준과의 완전한 호환성을 보장하기 위해, 제안된 릴레이 DRP 예약 기술은 위에서 기술한 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 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') 예약상세상태

코드를 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 3, 그림 4, 그림 5에 각각 이러한 릴레이 전송을 위한 예약 주체 노드(S node), 릴레이 노드(R node), 예약 대상 노드(T node)의 동작을 기술하였다. 예약주체 노드는 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.

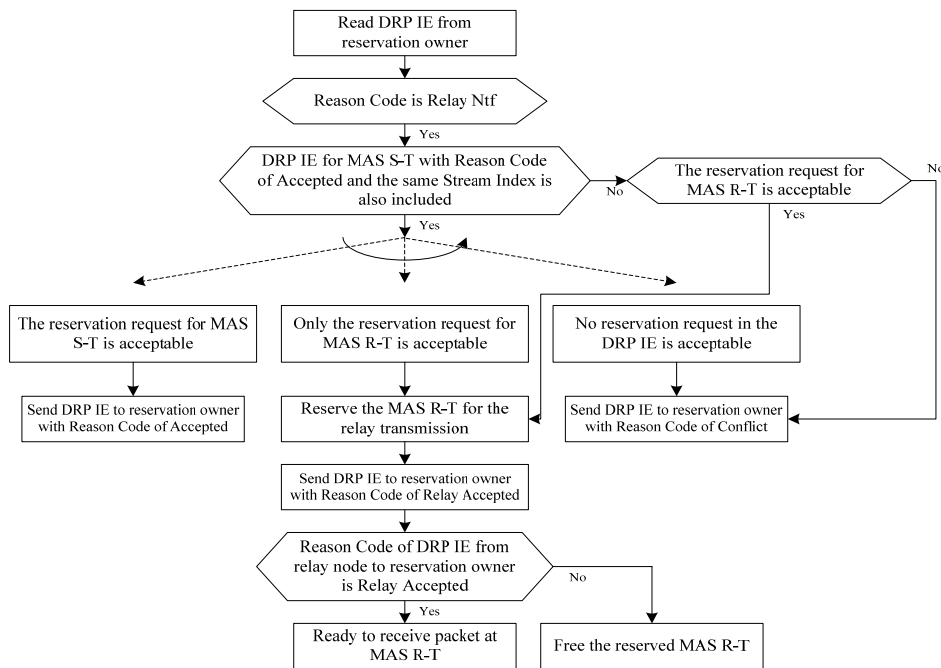


그림 5. 릴레이 통신 기술에서 예약대상노드(target node)의 자원 예약 과정
Fig. 5 Relay Reservation Procedure of DRP Target Device

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. 이 상에서 설명한 예약상세상태코드 값 외의 값들이 수신된 경우는 기존 DRP 표준 내용에 따라 동작한다.

그림 4는 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 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 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-T에 대한 예약 정보를 삭제한다.

그림 5에는 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 예약주체 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 예약주체 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 예약주체 노드와 릴레이노드에게 브로드캐스트한다.

III. RNS 릴레이 노드 Decision 알고리즘

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 5]와 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 Link Feedback IE Format

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

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

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

WiMedia 비컨 그룹 내에 속한 모든 디바이스들은 데이터 릴레이 전송을 위해 필요한 잠재적인 릴레이 (또는 Helper) 디바이스를 선택하기 위해 RNT (Relay Node Table)를 구성하고 유지해야 한다. RNT의 형성과 갱신은 매 수퍼프레임마다 이웃 디바이스들이 전송한 비컨들 내에 담긴 Link Feedback IE들을 수신함으로써 이루어진다.

수신된 Link Feedback IE에 담긴 이웃디바이스의 데이터 전송률 정보는 RNT에 저장된다. 표 5에 나타난 바와 같이, RNT는 Source-DEVAddr, PHY Data rate와 Dest-DEVAddr의 3가지 필드로 구성된다. DEVAddr 필드는 자신도 포함되는 해당 이웃 디바이스의 주소를 나타내며, PHY Data rate 필드는 Source-DEVAddr와 Dest-DEVAddr 디바이스들간의 최적 PHY전송률을 나타낸다. Dest-DEVAddr 필드는 Source-DEVAddr에 해당하는 디바이스가 직접적으로 전송하려는 1홉 목적지 디바이스 주소를 나타낸다. 데이터 전송을 위해 MAS들을 예약하는 디바이스는 우선적으로 RNT를 체크한다.

표 5. RNT 테이블 구성
Table. 5 Configuration of RNT Table

Source-DEV Addr	PHY Data rate	Dest-DEV Addr

이웃 디바이스들(또는 relay 후보들)에 대한 정보를 얻은 후에, RNT 테이블 정보로부터 최소의 릴레이 전송 시간을 제공하는 최적의 이웃 디바이스를 결정한다.

다. 이를 위해 이용 가능한 경로 (direct path와 relay path)에서의 전송지연시간을 계산해야 한다.

표 6은 경로별 전송지연시간을 계산하는 데 사용되는 수식에 대해 설명한다. 여기서 MAC header와 ACK frame은 기본 data rate로 전송된다. 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 [7]. 만약 Relay transmission time이 Direct transmission time보다 짧다면, source 디바이스는 수율 극대화 관점에서 relay transmission이 적합하다고 판단하며, 따라서 relay transmission을 실행한다. 이때, 각 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. RNS 기준을 만족하고 RNT 테이블 목록의 디바이스들 중 RNT 테이블의 송신 PHY 데이터 전송률이 가장 높은 릴레이 노드를 선택하여 제안하는 릴레이 DRP 예약 설정 절차에 따라 예약주체노드, 릴레이노드, 예약대상 노드별로 실시하게 된다.

표 6. RNS 수식 구성
Table. 6 Parameters of RNT Equation

변수	내용
Tdirect	송신노드에서 최종 목적노드간의 직접적인 전송지연시간
Trelay	릴레이 전송에서 전송지연시간
TS-R	송신노드에서 릴레이노드간 전송지연시간
TR-T	릴레이노드에서 최종 목적노드간의 전송지연시간
RS-R	송신노드에서 릴레이노드간 데이터 전송률
RR-T	릴레이노드에서 최종 목적노드간의 데이터 전송률
RS-T	송신노드에서 최종 목적 노드 간의 데이터 전송률
TMIFS TSIFS	MIFS와 SIFS의 시간 구간 길이
Rmin	기본 WiMedia PHY 데이터 전송률
Nf	전송된 데이터 프레임 수
Lh	MAC 헤더 크기
Lp	MAC 프레임 페이로드 크기

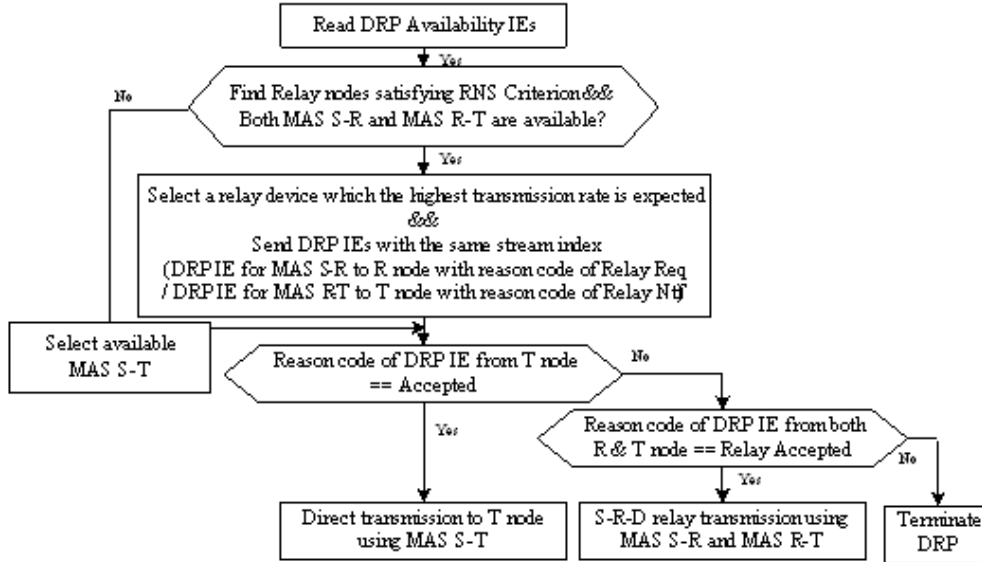


그림 6. RNS 협력 통신을 위한 예약주체노드 (S node) 자원 예약 절차
Fig. 6 Relay Reservation Procedure of RNS Reservation Owner

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

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

(Imm-ACK) (1)

$$T_{direct} = T_{S-T}, T_{relay} = T_{S-R} + T_{R-T},$$

$$T_{relay} < T_{direct} \quad (2)$$

Relay Node Selection (RNS) Criterion (3)

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

식 (3)의 RNS 릴레이 노드 선정 기준을 만족하고 디바이스들 중 송신 PHY 데이터 전송률이 가장 높은 릴레이 노드를 선택하여 릴레이 전송을 위한 DRP 예약을 실시한다. 그림 6은 예약주체노드가 수행하는 협력 릴레이 통신 자원 예약 절차를 나타낸다. 릴레이 노드와 목적지

수신 디바이스에서 수행되는 자원 예약 절차는 그림 4, 그림 5와 동일하다.

IV. 시뮬레이션 결과 분석

제안된 방식의 성능 평가 결과는 ns-2 시뮬레이션을 통해 도출하였다. 표 7은 본 논문에서 사용된 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다.

표 7. 시뮬레이션 파라미터
Table. 7 Simulation Parameters

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

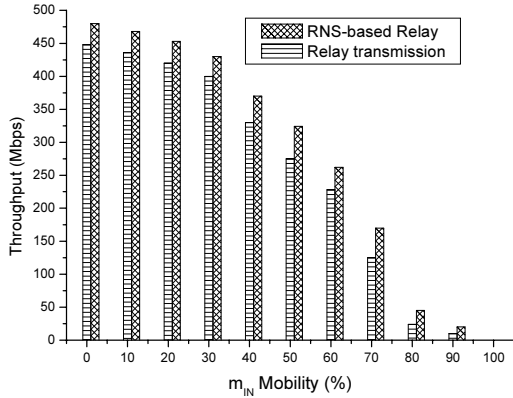


그림 7. 각 mIn 확률에 따른 RNS 협력 통신 수율
Fig. 7 Throughput of RNS Relay at each mIn Prob.

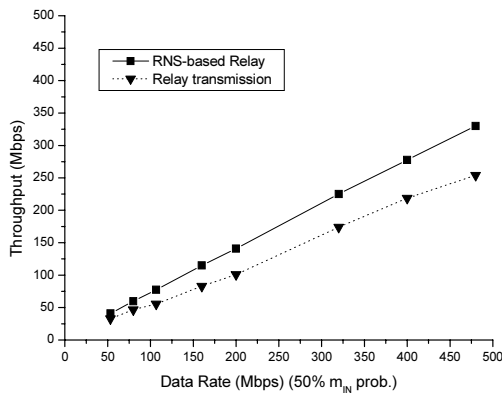


그림 8. UWB 링크 데이터 전송률에 따른 수율
Fig. 8 Throughput of RNS Relay at each UWB rate.

기준 디바이스로부터 2홉 거리 이내로 구성된 네트워크 크기는 10제곱미터이며, 최대 30개의 디바이스들이 랜덤하게 위치한다 [8]. 본 시뮬레이션에서 기준이 되는 디바이스 자신이 갖는 DRP 예약 구간들이 포함하는 MAS들의 수는 DRPown으로, 기준 디바이스와 1홉 거리를 갖는 이웃디바이스들에 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. 기준 디바이스가 480 Mbps를 전송할 때, 디바이스들의 mIn 확률에 따른 수율의 변화가 그림 7에 나타나 있다. 또한, UWB 링크 데이터 전송률에 따른 수율 성능 변화가 그림 8에 도시되어 있다.

시뮬레이션 결과로부터 UWB 링크 전송 속도에 적응적인 RNS 협력 통신 기술을 적용하여, 기본적인 릴레이 전송 기술만을 적용한 것 보다 수율이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 더 큰 mIn 확률값에서 디바이스들의 잦은 이동으로 무선 채널 상태의 변화가 크므로, UWB 링크 전송 속도에 적응적인 RNS 협력 통신 기술이 더 큰 mIn 확률값에서 성능 향상 효과가 증대된다고 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 UWB 기반 Distributed MAC 시스템을 위한 협력 통신 방안을 제안하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 협력 통신 방안을 적용한 경우, 노드수의 증가에 따른 에너지 소모량 비교에서는 17.5%~31% 정도로 제안한 RNS 협력 통신 방식이 기존 방식에 비해 성능이 향상됨을 확인하였다. 그리고 제안된 방식은 WiMedia D-MAC 표준 기술과도 상호 호환될 수 있으므로, 기 설치된 시스템과의 연동 시에도 별도의 시스템 수정 없이 적용 가능하다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0002366). 또한 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2011-0016145).

참고문헌

- [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*, vol. 44, no. 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*, 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] 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)*, vol. 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] P. Liu, Z. Tao, S. Narayanan, T. Korakis and S. Panwar, "CoopMAC: A Cooperative MAC for Wireless LANs," *IEEE J. Selected Areas in Communications*, vol. 25, no. 2, pp.340 - 354, February 2007.
- [8] J.-W. Kim, K. Hur, J. Park, and D.-S. Eom, "A Distributed MAC Design for Data Collision-Free Wireless USB Home Networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 55, no. 3, pp. 1337-1343, Aug. 2009.

저자소개



허 경(Kyeong Hur)

1998년 고려대 전자공학과 학사
 2000년 고려대 전자공학과 석사
 2004년 8월 고려대 전자공학과
 통신공학 박사

2004년 8월 ~ 2005년 8월 삼성종합기술원(SAIT)
 전문연구원

2005년 9월 ~ 현재 경인교대 컴퓨터교육과 부교수
 ※관심분야: 통신시스템설계, 상황인지기술,
 컴퓨터교육