

UWB 기반 Distributed MAC 시스템을 위한 SoQ 기반 협력 통신 프로토콜 설계

허 경[†]

요 약

본 논문에서는 UWB 기술 기반 WiMedia Distributed Medium Access Control (D-MAC) 무선 USB 표준 프로토콜에 적용할 수 있는 Satisfaction of QoS (SoQ) 기반 협력 통신 프로토콜을 제안한다. 이를 위해 UWB 링크 전송 속도와 QoS 척도에 따른 딜레이 노드 선정 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 SoQ 기반 협력 통신 프로토콜은 분산적인 D-MAC 무선 USB 표준 기술과 호환성을 갖고, 각 디바이스에서 독립적으로 실행되는 SoQ 기반 Relay Node Selection (RNS) 기준에 따라 실행된다.

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

Kyeong Hur[†]

ABSTRACT

The WiMedia Alliance has specified a Distributed Medium Access Control (D-MAC)/WUSB protocol based on UWB for high speed wireless home networks and WPANs. In this paper, we propose a novel SoQ-based cooperative communication protocol adaptive to current UWB link transmission rate and QoS measure. The proposed SoQ-based cooperative communication protocol has compatibility with current WiMedia D-MAC/Wireless USB standard and is executed at each device according to a SoQ-based Relay Node Selection (RNS) criterion.

Key words: Distributed MAC(분산적인 MAC), Cooperative Transmission(협력통신), QoS, UWB, Wireless Home Networks(무선 홈네트워크), Wireless USB

1. 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

※ 교신저자(Corresponding Author) : 허경, 주소 : 경기도 안양시 만안구 삼막로 155(430-739), 전화 : 031)470-6290, FAX: 031)470-61398, E-mail : khur@ginue.ac.kr
접수일 : 2011년 7월 11일, 수정일 : 2011년 10월 10일
완료일 : 2011년 11월 22일

[†]정회원, 경인교육대학교 컴퓨터교육과 부교수

※ 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).

소비하게 된다. 둘째로, 두 개 이상의 피코넷이 서로 충돌될 때 IEEE 802.15.3의 심각한 성능 감소가 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 WPAN 및 무선 USB (Wireless USB : WUSB)를 위한 UWB 기반의 D-MAC (Distributed Medium Access Control) 프로토콜을 표준화하였다[5,6]. 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[6]. 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[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 [8] 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 대

한 오버헤드(overhead)가 추가적으로 요구되며, 또한 이 알고리즘은 무선랜 시스템을 위해 최적화된 방식이다.

본 논문에서는 UWB 기술 기반 D-MAC 표준 시스템에 적용할 수 있는 Satisfaction of QoS (SoQ) 기반 협력 통신 프로토콜을 제안한다. 이를 위해 UWB 링크 전송 속도와 QoS 척도에 따른 릴레이 노드 선정 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 SoQ 기반 협력 통신 프로토콜은 분산적인 D-MAC 표준 기술과 호환성을 갖고, 각 디바이스에서 독립적으로 실행되는 SoQ 기반 Relay Node Selection (RNS) 기준에 따라 실행된다.

2. WiMedia D-MAC 프로토콜의 자원 예약 과정

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

그림 1에서 각 슈퍼프레임은 BP(Beacon Period)와 DTP(Data Transfer Period)로 나누어진다. 각 슈퍼프레임은 BP로 시작되며 BP는 16개의 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 장치를 빠르게 찾게 하고, 장치들 간의 동기화를 제공하고, 전원 관리를 위한 정보와

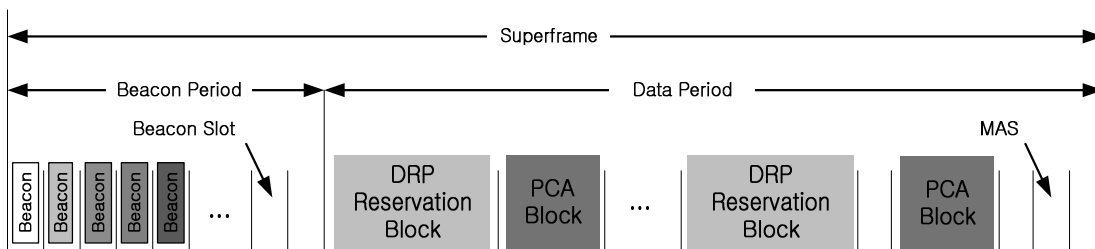


그림 1. WiMedia D-MAC 슈퍼프레임 구조

MAS들의 예약 정보를 제공한다. 더 중요한 것은 IEEE 802.11과 802.15.3 프로토콜의 Hidden Node 문제를 해결하고 매체의 공간적 재사용이 가능하도록 각 장치에 대한 이웃들의 정보를 제공하는 것이다. DTP에서는 비동기식 트래픽과 동기식 트래픽 모두의 QoS를 제공하기 위한 매체 접근 방법으로 각각 예약 기반 Distributed Reservation Protocol(DRP)과 경쟁기반 Prioritized Channel Access (PCA) 방식을 사용한다.

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 2에 설명되어 있다.

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.

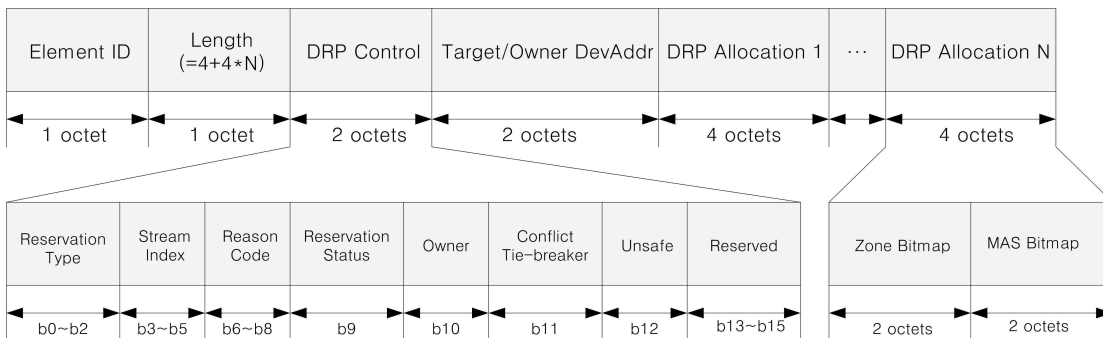


그림 2. DRP IE 포맷

표 1. 표준 DRP IE의 예약상태상태코드(Reason Code)

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

3. 제안하는 SoQ 기반 협력 통신 프로토콜

3.1 RNT 테이블 구성과 RNS 릴레이 노드 Decision 알고리즘

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.

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 IE

에 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 2, 표 3, 표 4와 같다. Link Feedback IE 내 Link 필드 포맷에서 DevAddr 필드는 피드백을 제공하는 송신 소스 디바이스의 디바이스 주소를 나타낸다.

제안하는 협력 통신 프로토콜은 WiMedia 디바이스들 간의 링크 피드백 정보를 이용하여 최소의 지연 시간을 제공하는 전송 송신 경로를 지능적으로 선택할 수 있다. WiMedia 비컨 그룹 내에 속한 모든 디바이스들은 데이터 릴레이 전송을 위해 필요한 잠재적인 릴레이 (또는 Helper) 디바이스를 선택하기 위해 RNT를 구성하고 유지해야 한다. RNT의 형성과 갱신은 매 수퍼프레임마다 이웃 디바이스들이 전송한 비컨들 내에 담긴 Link Feedback IE들을 수신함으로써 이루어진다. Link Feedback IE에는 송신자가 송신한 데이터 프레임을 성공적으로 수신할 수 있는 최적의 데이터 전송률 정보가 담겨 있다. 이에 따라,

표 2. Link Feedback IE 포맷

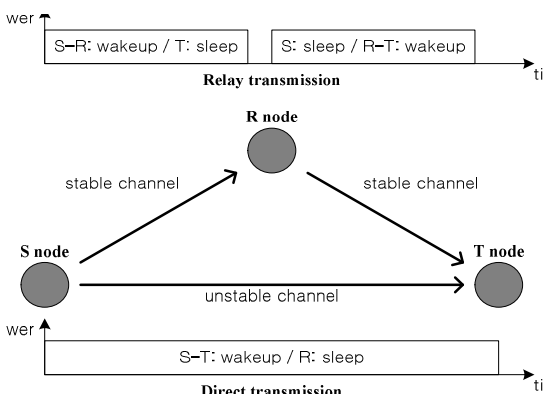
octets:1	1	3		3
Element ID	Length (=3×N)	Link 1	...	Link N

표 3. Link Feedback IE 내 Link 필드 포맷

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

표 4. Data Rate 필드 포맷

Value	PHY Data Rate
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



RNT 구성에 있어서 추가적인 하드웨어는 요구되지 않는다. RNT 테이블의 구성은 수신된 Link Feedback IE의 정보를 수정 없이 그대로 읽어 옮기는 정도의 오버헤드가 요구되며, 또한, 이웃 디바이스들로부터 매 수퍼프레임마다 수신된 Link Feedback IE 정보들이 기존과 동일할 경우, RNT 테이블의 값은 갱신될 필요가 없고 새로운 정보처리 없이 기존에 도출된 최적의 릴레이 전송 경로를 그대로 유지하면 된다. 아울러, 모든 디바이스는 자신의 Link Feedback IE 정보의 변화가 있을 경우에만 새로운 Link Feedback IE를 전송하도록 설정할 수 있다. 따라서, WiMedia 홈 네트워크 시스템 구현 시, 제안하는 협력 통신 프로토콜에서 발생하는 오버헤드가 크지 않도록 최적화할 수 있으며 이에 관한 연구가 요구된다.

수신된 Link Feedback IE에 담긴 이웃디바이스의 데이터 전송률 정보는 RNT에 저장된다. 표 5에 나타낸 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 디바이스들 간의 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.

이웃 디바이스들에 대한 정보를 얻은 후에, RNT 테이블 정보로부터 최소의 릴레이 전송 시간을 제공하는 최적의 이웃 디바이스를 결정한다. 이를 위해 이용 가능한 경로 (direct path와 relay path)에서의 전송지연시간을 식(1), 식(2), 식(3)과 같이 계산할 수 있다. 표 6은 릴레이 디바이스를 결정하는 데 사용되는 식(1), 식(2), 식(3)에서 사용된 변수들에 대해 설명한다. 여기서 MAC header와 ACK frame은 기본 data rate로 전송된다. Direct transmission의 경우,

표 5. RNT 테이블 구성

Source-DEV Addr	PHY Data rate	Dest-DEV Addr

표 6. 릴레이 디바이스를 결정하는 데 사용되는 변수

변 수	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

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[8]. 만약 Relay transmission time이 Direct transmission time보다 짧다면, source 디바이스는 수율 극대화 관점에서 relay transmission이 적합하다고 판단하며,

따라서 relay transmission을 실행한다. WiMedia MAC 표준 [6]에서 No-ACK 방식은 RTS 및 CTS 프레임 교환 후, MIFS (Minimum Inter Frame Space) 시간 간격으로 버스트하게 데이터 프레임들이 전송되어도 ACK 프레임이 전송되지 않는 방식이다. 이와 같은 No-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.

No-ACK

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

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

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

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

RelayNode Selection (RNS) Criterion

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

3.2 SoQ_RNS 릴레이 노드 Decision 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[7]. 이 모델은 트래픽 스트림을 Mean Rate r, Peak Rate p, Maximum Burst Size b의 세가지 파라미터(r, b, p)를 사용하여 특성화한다.

SoQ 릴레이 노드 선정 알고리즘에서는 SoQ (Satisfaction of QoS)라는 QoS 측정 척도를 사용하고 식(4)와 같이 정의된다[9]. 식(4)에서 RR_j 는 트래픽 스트림 j에 반드시 할당되어야 하는 평균 데이터 전송률 (Required Rate = r, 즉, 트래픽 소스의 Mean Rate)를 의미하며, DR_j 는 트래픽 스트림 j에 최대 할당될 수 있는 데이터 전송률 (Desired Rate = p, 즉, 트래픽 소스의 Peak Rate)를 의미한다. 그리고 $SR_{j,n}$ 은 n번째 슈퍼프레임에서 트래픽 스트림 j에 할당된 MAS의 개수, 즉, 서비스 전송률을 의미한다. $SoQ_{j,n}$ 은 n번째 슈퍼프레임에서 트래픽 스트림 j의 QoS의 만족도(Satisfaction of QoS)를 의미한다.

$$SoQ_{j,n} = \frac{SR_{j,n} - RR_j}{DR_j - RR_j} \begin{cases} SoQ_{j,n} = 1, & \text{if } SR_{j,n} = DR_j \\ SoQ_{j,n} = 0, & \text{if } SR_{j,n} = RR_j \\ SoQ_{j,n} < 0, & \text{if } SR_{j,n} < RR_j \end{cases} \quad (4)$$

SoQ 릴레이 노드 선정 알고리즘에서는 $SR_{j,n}$ 을 식(2)와 같이 $SR_{j,n(R_{PHY-Current})}$ 로 새로이 정의한다. 식(5)에

서 $R_{PHY-MIN}$ 은 표 4에서 제시된 WiMedia 디바이스의 PHY 데이터 전송률의 최소값, 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 n번째 슈퍼프레임에서 트래픽 스트림 j에 할당된 서비스 전송률을 나타낸다. 따라서, $SR_{j,n(R_{PHY-Current})}$ 값은 항상 $SR_{j,n(R_{PHY-MIN})}$ 값보다 크거나 같다. 위에서 정의한 내용을 바탕으로, 식(6)과 같이, 이웃 디바이스들로부터 모든 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.

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

$$SR_{j,n(R_{PHY-Current})} \geq SR_{j,n(R_{PHY-MIN})} \quad (5)$$

$$SoQ_{relay,n} = \min\{SoQ_{S-R,n}, SoQ_{R-T,n}\}$$

$$SoQ_{direct,n} = SoQ_{S-T,n} \quad (6)$$

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

최종적으로 제안하는 SoQ_RNS 협력 통신 기술은 T_relay 기반 RNS 릴레이 기술과 SoQ 기반 SoQ_relay 기술이 결합된 방식이다. 식(7)은 두 기술에서 제시된 알고리즘에 기초하여 최적의 릴레이노드를 선정하는 알고리즘을 나타낸다.

$$SoQ_{RNS}Criterion \Rightarrow node\ with\ \max\ SoQ_{relay} (> SoQ_{direct}) \ and\ \min\ T_{relay} (> T_{direct}) \quad (7)$$

3.3 SoQ_RNS 협력 통신 프로토콜 설계

WiMedia D-MAC 표준과의 완전한 호환성을 보장하기 위해, 제안된 협력통신 DRP 예약 기술은 위에서 기술한 DRP 표준 기술을 기본적으로 준수한다. 제안된 기술에서는 표 7에서 나타난 바와 같이 단지 3개의 Reason Code만을 추가한다. 릴레이요청

표 7 추가된 예약상세상태코드(Reason Code)

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

(‘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’) 예약상세상태

코드를 전송한 경우에만 요청한 릴레이 전송이 이루어질 수 있다.

식 (7)의 SoQ_RNS 릴레이 노드 선정 기준을 만족하고 디바이스들 중 RNT 테이블의 송신 PHY 데이터 전송률이 가장 높은 릴레이 노드를 선택하여 릴레이 전송을 위한 DRP 예약을 실시한다. 그림 4는 예약 주체노드(S node)가 수행하는 협력 SoQ_RNS 릴레이 통신 자원 예약 절차를 나타낸다. 릴레이 노드(R node)와 목적지 수신 디바이스(T node)에서 수행되는 자원 예약 절차는 그림 5, 그림 6과 같다.

예약 주체 노드는 그림 4에 도시한 바와 같이 우선적으로 SoQ_RNS Criterion을 만족하는 릴레이 노드 후보들을 선택한다. 반면, SoQ_RNS 기준을 충족하는 디바이스가 없는 경우, MAS S-T 구간을 예약하여 통신한다. 릴레이노드를 선택 가능한 경우, 릴레이 노드와 예약 대상 수신노드의 DRP Availability IE를 수신하여, 예약 주체 노드와 릴레이 노드 간의 통신을 위한 MAS, 즉 MAS S-R과 릴레이 노드와 예약 대상 노드 간의 통신을 위한 MAS, 즉 MAS R-T가 예약 가능함을 확인하고, 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 예약상세상태코드(Reason Code)를 릴레이요청(‘Relay Req’)로 설정하여 전송하고, 예약 대상 노드에게는 MAS R-T

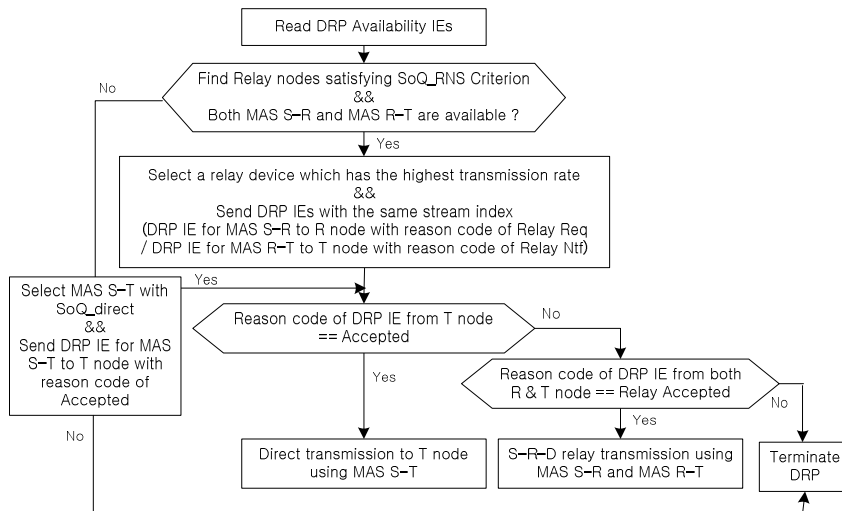


그림 4. SoQ_RNS 협력 통신을 위한 예약주체노드(S node) 자원 예약 절차

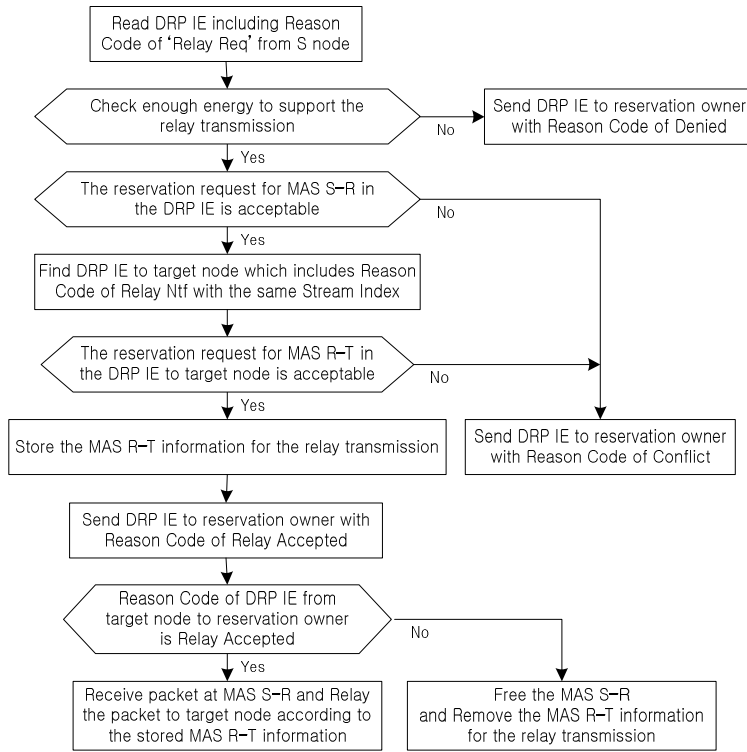


그림 5. 릴레이 통신 기술에서 릴레이노드(relay node)의 자원 예약 과정.

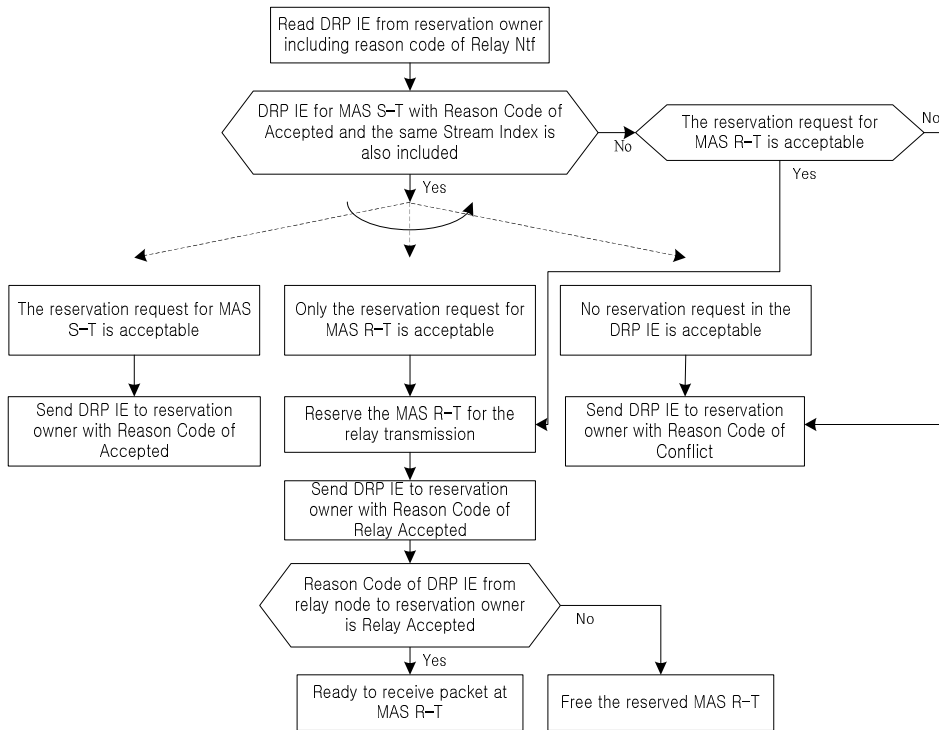


그림 6. 릴레이 통신 기술에서 예약대상노드(target node)의 자원 예약 과정.

에 대한 DRP IE의 예약상세상태코드를 릴레이통보 ('Relay Ntf')로 설정하여 전송한다. 이 때 두 DRP IE의 스트림 인덱스 (Stream Index)는 동일하게 설정된다. 릴레이 노드 및 예약 대상 노드로부터 수신된 DRP IE의 예약상세상태코드가 모두 릴레이승인 ('Relay Accepted')인 경우, 해당 릴레이 노드를 통한 릴레이 전송이 이루어진다.

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 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 릴레이노드가 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 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 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 예약주체노드

로부터 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.

4. 시뮬레이션 결과 분석

제안된 방식의 성능 평가 결과는 ns-2 시뮬레이션을 통해 도출하였다. 표 8은 본 논문에서 사용된 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다. 기준 디바이스로부터 2홉 거리 이내로 구성된 네트워크 크기는 10제곱미터이며, 최대 30개의 디바이스들이 랜덤하게 위치한다[2]. 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 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.

기준 디바이스가 480 Mbps를 전송할 때, 디바이스들의 m_{in} 확률에 따른 수율의 변화가 그림 7에 나타나 있다. 또한, UWB 링크 데이터 전송률 변화에

표 8. 시뮬레이션 파라미터

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

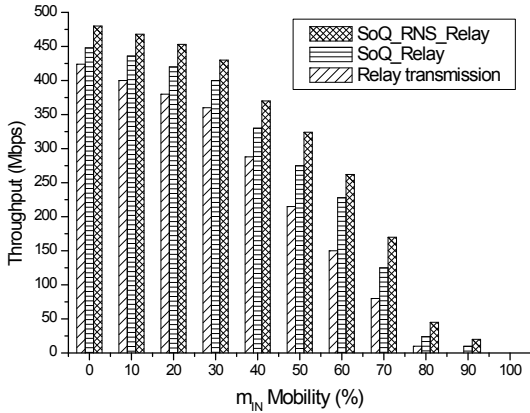


그림 7. m_{In} 확률에 따른 SoQ_RNS 협력 통신 기술의 수율

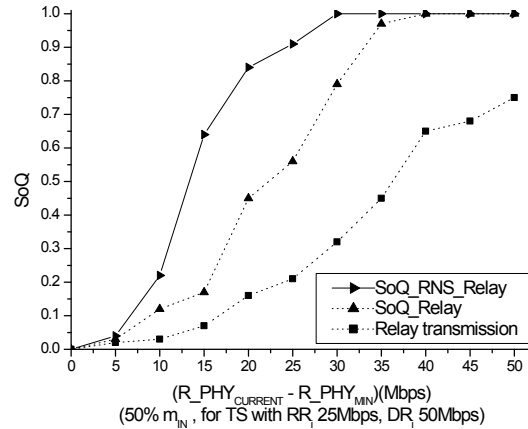


그림 9. UWB 링크 데이터 전송률의 변화에 따른 SoQ 성능

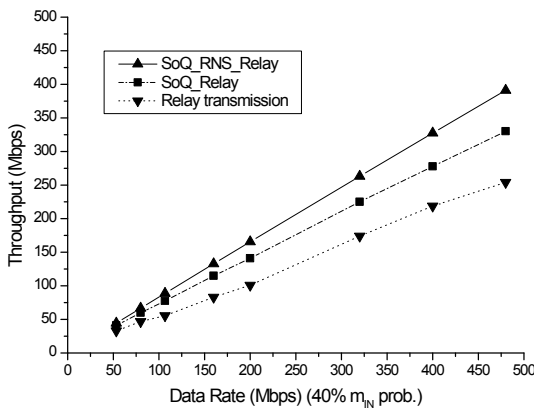


그림 8. UWB 링크 데이터 전송률 변화에 따른 수율

다른 수율 성능 변화가 그림 8에 도시되어 있다. 시뮬레이션 결과로부터 UWB 링크 전송 속도에 적응적인 SoQ_RNS 협력 통신 기술을 적용하여, SoQ 릴레이 또는 기본적인 릴레이 전송 기술만을 적용한 것보다 수율이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 더 큰 m_{In} 확률값에서 디바이스들의 잦은 이동으로 무선 채널 상태의 변화가 크므로, UWB 링크 전송 속도에 적응적인 SoQ_RNS 협력 통신 기술이 더 큰 m_{In} 확률값에서 성능 향상 효과가 증대된다고 할 수 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_RNS 릴레이 기술을 적용하여, SoQ 릴레이 또는 기본적인 릴레이 전송 기술만을 적용한 것보다

수율 및 SoQ 값이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 더 큰 m_{In} 확률값에서 디바이스들의 잦은 이동으로 무선 채널 상태의 변화가 크므로, UWB 링크 전송 속도에 적응적인 SoQ_RNS 릴레이 기술이 더 큰 m_{In} 확률값에서 가장 우수한 성능 향상 효과를 나타낸다고 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 UWB 기반 Distributed MAC 시스템을 위한 SoQ 기반 협력 통신프로토콜을 제안하여 무선 채널 상태에 따라 변화하는 UWB 링크 전송 속도에 적응적이고 QoS 척도에 따르는 SoQ_RNS 릴레이 노드 선정 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 결과로부터 UWB 링크 전송 속도에 적응적인 SoQ_RNS 릴레이 기술을 적용하여, 디바이스들의 잦은 이동으로 무선 채널 상태의 변화가 큰 경우 성능 향상 효과가 더욱 증대됨을 알 수 있다. 그리고 제안된 SoQ 기반 협력 통신 기술은 WiMedia D-MAC 표준 기술과도 상호 호환될 수 있으므로, 기 설치된 시스템과의 연동 시에도 별도의 시스템 수정 없이 적용 가능하다.

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*, Vol.44, No.6, pp. 128-134, 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, 2008.
- [3] IEEE 802.15.3, “Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specification for High Rate Wireless Personal Area Networks,” <http://standards.ieee.org/reading/ieee/std/lanman/restricted/802.15.3-2003.pdf>, 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, 2005.
- [5] WiMedia Alliance, <http://www.wimedia.org>, 2011.
- [6] WiMedia, “Distributed Medium Access Control (MAC) for Wireless Networks,” *WiMedia MAC Release Specification 1.5*, 2009.
- [7] WiMedia, “WiMedia Logical Link Control Protocol (WLP),” *WiMedia WLP Specification Draft 1.0*, 2007.
- [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*, Vol.25, No.2, pp. 340-354, 2007.
- [9] 허경, 손원성, “무선 홈 네트워크에서 고속 멀티미디어 서비스의 Fair QoS 제공을 위한 UWB Distributed MAC 프로토콜의 타임 슬롯 할당 방안,” 한국멀티미디어학회논문지, 제12권, 제3호, pp. 419-426, 2009.



허 경

1998년 고려대 전자공학과 학사
 2000년 고려대 전자공학과 석사
 2004년 8월 고려대 전자공학과
 통신공학 박사
 2004년 8월 ~ 2005년 8월 삼성중
 합기술원(SAIT) 전문연
 구원

2005년 9월 ~ 현재 경인교대 컴퓨터교육과 부교수
 관심분야: QoS, Wireless MAC, 컴퓨터교육