

UWB 기반의 WPAN에서 채널 상태를 고려한 다중 홉 중계 방식의 MAC 프로토콜

준회원 왕 위 동*, 서 창 근*, 정 순 규*, 정회원 유 상 조*

Multi-hop Packet Relay MAC Protocol Considering Channel Conditions in UWB-based WPANs

Weidong Wang*, Chang-Keun Seo*, Soon-Gyu Jeong* *Associate Members*
Sang-Jo Yoo* *Regular Member*

요 약

초광대역 무선통신 (UWB) 기술은 그 자체가 가지고 있는 고속, 저전력, 다중 경로 환경의 강인함 등의 특성으로 고속형 WPAN에 적합한 기술로 평가받고 있다. 본 논문에서는 UWB 기술을 사용하는 WPAN 환경에서 전력 소비를 효율적으로 분산시킬 수 있는 MAC 계층에서의 다중 홉 프레임 중계 방식을 새롭게 제안한다. 본 논문에서는 적절한 중계 단말을 선택하기 위해 PAPSF (Power Aware Path Status Factor)를 정의한다. PAPSF는 SINR과 각 단말에서의 송신 전력 정보로부터 결정 할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 방법은 에드 혹 라우팅 프로토콜의 특성으로 인하여 쉽게 중계 단말로 사용될 가능성이 높은 PNC를 통한 프레임 중계 방식과 비교할 때 더 높은 데이터 처리량을 가지며, 전체 전력 소모를 감소시킬 수 있다. 또한 전력 소모를 PNC 뿐만 아니라 피코넷에 존재하는 다른 단말들로 쉽게 분산시킬 수 있어 PNC의 급격한 배터리 소모를 방지하고, 빈번한 PNC 변경을 막을 수 있다.

Key Words : UWB, WPAN, MAC, Channel condition, Multi-hop relay, Power

ABSTRACT

Ultra wide band (UWB) technology will be applied in the high rate wireless personal area networks (WPANs) for its high rate, low power, and innate immunity to multipath fading. In this paper, a power aware multi-hop packet relay MAC protocol in UWB based WPANs is proposed and a power aware path status factor (PAPSF), which is derived from SINR and power resource condition of each device, is used to select a suitable relay node. Compared with relaying by piconet coordinator (PNC), which is easily chosen by other ad hoc routing protocol, the new scheme can achieve higher throughput, decrease the time required for transmitting high power signal and we can easily distribute the battery power consumption from PNC to other devices in the piconet to prevent the PNC device using up its battery too fast and finally avoid PNC handover too frequently.

I. 서 론

차세대 무선 통신의 핵심은 ‘모든 사용자와 기기

들이 언제 어디서나’ 연결될 수 있도록 만드는 것이다. 이러한 목표는 새로운 무선 기술이 기존의 시스템과 포괄적인 융합을 통해 이루어질 것으로 예상

* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망연구실 (wd.wang@samsung.com, seochangkeun@gmail.com, parus@naver.com, sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-08-321, 접수일자 : 2005년 8월 4일

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2005-C1090-0502-0030)

되고 있다¹¹. 차세대 무선 통신 기술은 기존의 통신 기술보다 고속의 통신을 요구하고 있다. 또한 기존의 휴대전화 시스템과 같은 WAN(Wide Area Networks)나 WLAN(Wireless Local Area Networks) 서비스가 음성이나 단문 메시지, 혹은 저속의 데이터 교환만을 할 수 있는데 비해 보다 다양한 형태의 데이터들을 서비스할 수 있도록 QoS (Quality of Service)의 보장을 요구하고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 비교적 짧은 거리에서 고속의 데이터 교환을 할 수 있도록 제안된 기술이 고속형 WPAN 기술인 IEEE 802.15.3 HR-WPAN (High-Rate Wireless Personal Area Networks) 표준이다. 또한 여기에 보다 고속의 통신을 수행하기 위해 PHY 기술을 새롭게 제안하고 있는 것이 IEEE 802.15.3a 기술이다. 현재 IEEE 802.15.3a 워킹 그룹에서는 보다 고속의 데이터 전송을 실현시키기 위해 UWB(Ultra Wide Band) 기술을 사용한다. 이는 UWB가 가지는 고속, 저전력 소모, 송수신기에서의 낮은 복잡도 구현 등의 특성에 기인한다.

전력이 제한되어 있고 높은 채널 속도를 필요로 하는 UWB 기반 WPAN의 전송 범위는 10미터 정도로 제한되어 있다. 또한 좁은 전송 환경에서도 전송 속도는 53.3 Mbps에서 480 Mbps(Multi-Band OFDM의 경우)로 다양하게 변화한다. 이러한 좁은 전송 환경에서의 전송 속도 차이는 MAC 계층에서 프레임 전송할 때, 보다 고속의 프레임 전송을 실행할 수 있도록 만드는 방법을 찾는 것이 중요하도록 만든다. 기존의 여러 연구에서는 최소 중계 거리를 얻기 위해서 UWB 특성을 이용하여 알 수 있는 거리 정보(distance awareness)를 이용하는 방법이 고려되었다¹². 하지만 거리 정보가 최적의 파라미터가 되지는 않는다. 이는 최단 경로가 때때로 높은 잡음(noise)이나 간섭(interference)의 영향을 받을 수 있기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 중계 단말을 선택하기 위해 채널 상태를 이용하며 채널 상태를 표현하기 위한 새로운 인자인 PPSF(Power Aware Path Status Factor)를 정의하고 이를 이용하여 적절한 중계 단말을 선택한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 UWB 기술의 개요와 HR-WPAN MAC 프로토콜을 소개한다. 제 3장에서는 새롭게 제안하는 MAC 계층에서의 다중 홉 프레임 중계 방식을 설명한다. 마지막으로 제 4장에서는 모의실험 결과를 설명하며, 마지막으로 제 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. UWB 기술의 개요와 HR-WPAN MAC 프로토콜

UWB의 정의는 보통 미국 FCC(Federal Communication Commission)에서 정의한 것을 사용한다. FCC에서는 두 가지의 UWB를 정의하고 있는데 하나는 fractional bandwidth가 0.2보다 큰 신호일 경우이며, 다른 하나는 대역폭이 500 MHz 이상일 경우이다. 이러한 정의에서 알 수 있듯이, 기존의 협대역(narrow band) 통신이나 주파수 확산(spread spectrum) 방식의 광대역 통신과 비교하여 UWB 기술이 상당히 많은 대역폭을 사용함을 알 수 있다. Fractional bandwidth는 $(f_H - f_L) / f_c$ 로 정의할 수 있다. 여기서 f_H 는 상위 주파수이고 f_L 은 -10 dB 방사점에서의 하위 주파수이다. 그리고 f_c 는 스펙트럼의 중심 주파수이다. 샤논의 정리에 따르면 통신에서의 채널 용량은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P_0}{N_0} \right) \quad (\text{bps}) \quad (1)$$

여기서 C는 채널 용량, W는 Hz로 나타낸 대역폭, P₀는 Watts/Hz로 나타내는 신호 전력이며, N₀/2는 Watts/Hz로 나타내는 잡음 전력 밀도(noise spectral density)이다. 채널 용량을 증가시키기 위해서는 대역폭 W를 증가시키거나 P₀의 신호 전력을 증가시키는 두 가지 방법을 사용할 수 있다. UWB 시스템의 경우 대역폭이 매우 크기 때문에 낮은 신호 대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)를 가지고 동작할 수 있으며, 전력을 효율적으로 사용할 수 있다.

현재 FCC는 UWB를 위한 대역으로 3.1~10.6 GHz를 사용할 수 있도록 승인했으며, 한국의 경우 정보통신부에서 3.1~5 GHz 대역을 시험 주파수 대역으로 검토하고 있다. 또한 FCC는 UWB 기술의 사용으로 인해 기존 대역을 사용하던 다른 무선 통신 장비와의 간섭을 피하기 위해 실내와 실외에서의 spectrum mask를 정의하고 있으며, 이는 그림 1에 나타나 있다. UWB 시스템은 EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)가 -4 dBm/MHz보다 낮게 매우 적은 송신 전력을 소모하며 동작하는데, 이런 특징은 UWB 시스템을 기존에 존재하는 서비스와 함께 간섭 없이 사용이 가능하게 한다.

현재 UWB와 관련하여 IEEE 802.15.3a 워킹 그룹에 제안된 기술은 두 가지이다. 그 중 하나는 DS-UWB(Direct Sequence UWB)¹³이고, 다른 하나

는 MBOA(Multi-Band OFDM Alliance)에서 제안한 Multi-Band OFDM^[4]이다. DS-UWB는 FCC가 정의한 가용 주파수 대역에 IR(Impulse Radio) 기술을 사용하며, 반송 주파수를 필요로 하지 않기 때문에 때때로 반송과 없는 무선 통신을 말하기도 한다. DS-UWB와 다르게 Multi-Band OFDM은 가용 주파수 대역을 여러 개의 대역으로 나누어 사용하는데, 이 대역은 500 MHz 정도의 대역폭을 가진다.

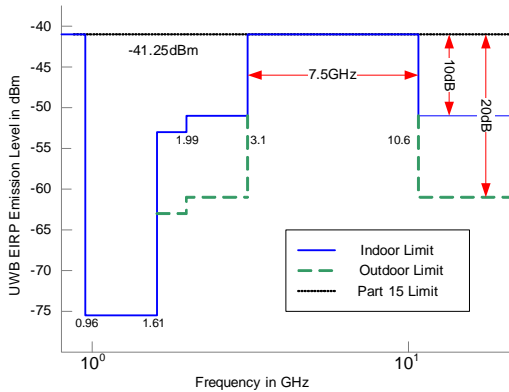


그림 1. FCC의 UWB 통신을 위한 spectrum mask

IEEE 802.15.3a 워킹 그룹은 물리 계층으로 UWB를 사용하는 HR-WPAN의 표준을 작성하고 있다. MAC 프로토콜은 IEEE 802.15.3에서 사용하는 MAC 프로토콜을 이용하는 것을 기본으로 하고 있다. MAC 프로토콜의 경우 기존 MAC 프로토콜의 기능 향상을 위한 IEEE 802.15.3b 워킹 그룹이 존재하고 있으며, MBOA의 경우 Multi-Band OFDM을 사용하는 별도의 MAC 프로토콜을 작성 중이다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.3 HR-WPAN의 MAC 프로토콜과 Multi-Band OFDM을 기본으로 하여 설명한다.

IEEE 802.15.3 HR-WPAN에서 사용하는 방법은 중앙 조정자인 PNC(Piconet Coordinator)를 사용하는 TDMA(Time Division Multiple Access) 기반의 통신 방법이며 피코넷(piconet)을 기본 요소로 한다. 피코넷은 IEEE 802.15.3 MAC 프로토콜에서 네트워크를 구성하는 기본 요소이다. 피코넷은 많은 수의 단말(DEV, device)들이 상호간에 통신할 수 있는 애드 혹 네트워크(ad-hoc networks)의 일종이며^[5], ‘디바이스’라 불리는 단말과 피코넷의 중앙 조정자인 PNC가 그 기본을 이룬다. PNC는 시간 정보, QoS(Quality of Service) 요구, 전력 절감(power saving), 접근 제어(multiple access) 등의 제어 정보

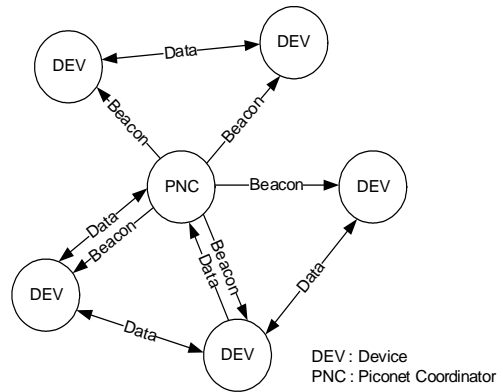


그림 2. IEEE 802.15.3 HR-WPAN 피코넷

로 이뤄져 있는 비콘(beacon)을 통해 피코넷 내의 단말들을 제어한다. IEEE 802.15.3에서의 피코넷 구성 요소가 그림 2에 나타나 있다. 한 피코넷에 포함된 단말은 PNC의 비콘 프레임을 통하여 프레임 송수신의 권리를 취득할 수 있다.

PNC와 단말의 차이는 PNC가 비콘 신호를 주기적으로 전송하는 것에 있다. PNC는 어떤 단말이든 될 수 있으며, 특정 단말이 PNC로 결정되기 위해서는 표준에서 정의한 특정 기준에 적합하거나 주 전원으로부터 전력을 공급받을 수 있어야 한다.

피코넷의 통신 구성은 그림 3에 나타나 있는 슈퍼프레임(superframe)에 기초한다. 일반적인 슈퍼프레임은 비콘, CAP(Contention Access Period), CTAP(Channel Time Allocation Period)의 세 부분으로 구성된다. PNC가 보내는 비콘은 모든 단말의 동작을 제어하고 현재 피코넷의 여러 파라미터를 설정한다. 만약 CAP가 비콘에 나타나 있다면 단말은 이 구간에 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식을 이용해서 제어 프레임을 전송하거나 비동기적인 데이터 프레임을 전송하는데 사용할 수 있다. CTAP에서의 채널 접근 방법은 TDMA 기반의 것을 사용하고, 이 구간은 데이터 프레임이나 제어 프레임을 전송하는데 사용된다. MCTA(Management CTA)는 단말에 할당되며, 각 단말들은 Slotted-Aloha 방법을 사용하여 MCTA 구간에 접근할 수 있다.

WPAN은 개인 휴대 기기들의 효과적인 통신을 목적으로 정의된 표준이다. WPAN은 사람이나 물체 주위의 좁은 영역 정도로 통신 범위를 한정하며, 이는 적어도 10 미터 안에서의 모든 방향을 포함하는 영역이다. 또한 사람이나 물체가 정지해 있거나 움직이는 것도 포함한다.

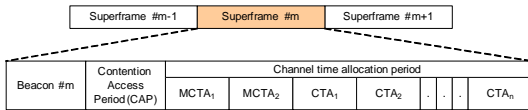


그림 3. IEEE 802.15.3 피코넷의 슈퍼프레임 구조

IEEE 802.15.3 표준에서는 좁은 범위의 피코넷 범위를 확장하기 위한 방법도 정의하고 있다. IEEE 802.15.3 표준에서는 parent piconet, child piconet, neighbor piconet 등 세 가지의 피코넷 간 관계를 정의하고 있다. Child piconet의 경우 child piconet을 구성하는 PNC가 parent piconet의 PNC에게 자신의 피코넷을 위한 통신 구간을 요청할 수 있으며, 두 피코넷 사이의 통신은 허용된다. Neighbor piconet은 child piconet과 비슷하게 parent piconet에 의존적이고 parent piconet PNC에게서 private CTA를 할당 받는다. 하지만 neighbor piconet은 parent piconet과 직접적인 통신을 수행하지는 않는다. Child piconet 및 neighbor piconet을 사용하면 피코넷의 범위를 확장할 수 있고, 또한 부족한 채널을 공유할 수 있게 된다.

III. 제안한 WPAN MAC 계층 프레임 중계 프로토콜

본 장에서는 본 논문에서 새롭게 제안하는 MAC 계층에서의 다중 홉 프레임 중계 방법을 설명한다. 각 단말들이 프레임을 송수신하기 위해서는 특정 PNC가 관리하는 피코넷에 참가해야 하며, PNC가 제공하는 비콘의 통신 구간 할당을 통하여 프레임을 송수신하게 된다. 송수신 단말이 가깝게 존재하는 경우 직접 통신도 가능하며, 두 단말 사이에서 직접적인 통신을 할 수 없을 경우 프레임을 중계하기 위해 다중 홉 방식을 사용할 수 있다. IEEE 802.15.3 표준에서는 중계 방식이 정의되어 있지 않기 때문에⁵⁾ 프레임을 중계하기 위해서는 상위 계층의 에드 홉 라우팅 프로토콜을 사용해야 한다. AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing)⁶⁾과 같은 에드 홉 라우팅 프로토콜은 경로를 결정하기 위한 기준으로 홉(hop) 수를 이용한다. 피코넷 안에서는 어떤 목적지 단말이라도 PNC를 중간 단말로 사용하면 송신 단말로부터 두 홉 만에 갈 수 있기 때문에 라우팅 프로토콜은 PNC를 중간 단말로 사용하는 것을 선호할 것이다. PNC를 거쳐가는 경로를 한 번 결정하면, 이것의 reactive 특성 때문에 PNC 변경이 일어나기 전까지는 바뀌지 않

는다. 결과적으로 트래픽이 PNC로 집중되는 문제가 발생하고 PNC는 다른 단말들에 비해 배터리 소모가 증가하는 문제가 발생한다. 또한 PNC를 중계 단말로 사용하는 경우 다른 중계 단말을 사용하는 경우에 비해 송신 단말과 PNC 사이에는 낮은 전송률과 높은 송신 신호 전력이 필요하게 되는데, 이는 보통 PNC가 피코넷의 중앙에 위치하기 때문이다. 신호 전력을 많이 사용하게 되는 것은 신호 전력을 줄이려는 노력에 반하는 것이며, 링크 속도가 낮게 되는 것은 시스템의 처리량(throughput)을 늘리고자 하는 노력에 어긋난다.

다중 홉 방식은 두 송수신 단말이 직접 통신할 수 있는 전파 반경 내에 있을 경우에도 의미가 있다. 송수신 단말 사이의 통신 채널 상태가 좋지 않고 링크 속도가 가장 낮게 되어있다고 가정할 경우, 만약 특정 단말이 두 송수신 단말과 가까이 있고 이 특정 단말을 중계 단말로 이용할 때 채널의 상태가 좋다면 중계 단말의 사용은 송신 단말과 수신 단말 사이의 전체적인 송신 속도를 증가시킬 수 있다. 하지만 기존의 에드 홉 라우팅 프로토콜은 홉 수만을 고려하기 때문에 이러한 상황에 대처할 수 없다. 여러 연구들이 프레임 중계를 위한 중간 단말을 선택하는 인자로서 신호의 안정성이나⁷⁾ 전력 소모를⁸⁾ 이용하기도 했지만 이러한 방법은 너무 복잡하고 많은 비용을 필요로 하며, 더욱 중요한 점은 기존 연구들이 단지 하나의 이슈(issue)에만 초점을 맞추고 있다는 것이다. 그림 4에 두 가지 상황이 나타나 있다. 단말 A가 단말 C에게 데이터를 전송하려 할 때 단말 A가 데이터를 전송할 수 있는 범위 밖에 단말 C가 위치해 있다. 기존의 라우팅 프로토콜들은 데이터 중계를 위해 PNC를 이용하는 것을 선호하게 되며, 이것은 단말 A가 우선 PNC에게 데이터를 전송하고 목적지 단말인 C에게 PNC가 데이터를 전송한다는 것을 의미한다. 만약 중계 단말로써 PNC 대신 단말 B를 선택한다면 전체적인 링크 속도는 PNC를 이용한 중계 방식보다 빠를 것이다. 두 번째 상황을 보면, 한 단말(예를 들어 PNC)이 자신이 데이터를 전송할 수 있는 범위에 있는 단말 D에게 데이터를 전송하고자 할 때 단말 D에게 직접 전송하는 것보다 단말 E를 중계 단말로 사용하여 전송하면 데이터를 직접 전송하는 것보다 더 좋은 성능을 나타낼 수 있다.

따라서 MAC 계층에서 채널의 상태 및 전송 속도를 고려한 프레임 중계 프로토콜이 시스템의 성능을 높이기 위해서 필요하다. 라우팅 프로토콜은

라우팅 경로를 찾고 유지하는데 많은 오버헤드(overhead)가 발생함으로 인한 복잡도가 증가하기 때문에 그림 2 및 그림 4와 같이 모든 단말이 최대 두 홉 거리에 있는 WPAN의 환경에서는 MAC 계층에서의 다중 홉 중계 프로토콜이 에드 혹 라우팅 프로토콜보다 더 효율적이다. 또한 MAC 계층의 다중 홉 중계 구조에서 항상 PNC를 이용하는 방법은 간단한 구조를 갖지만, 전체 네트워크의 처리율 증가와 에너지 사용의 효율적인 분산을 통한 네트워크의 생존성을 높이기 위하여 본 논문에서는 단말 간 채널 상태를 고려하여 임의의 중계 단말을 MAC 계층의 프레임 중계를 위해 사용할 수 있는 MAC 계층에서의 중계 프로토콜을 새롭게 제안한다. 또한 본 논문에서는 WPAN의 모든 송수신 경로는 최대 두 홉 거리에서 중계 단말이 선택된다.

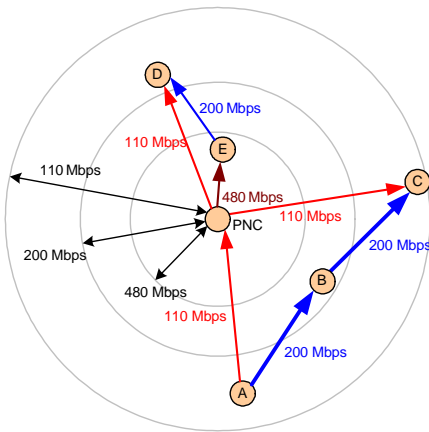


그림 4. MAC 계층에서의 프레임 중계 개념

많은 연구들이 중계 경로를 선택하기 위해 UWB 시스템의 특성 중의 하나인 위치 정보(location awareness)를 통해 얻을 수 있는 거리 정보를 변수로 이용하여 적절한 단말을 선택하는 방법을 사용한다^[2]. 앞서 언급했듯이 최단 거리가 항상 좋은 선택은 될 수 없으며, 거리 정보를 알기 위한 부가적인 모듈의 필요성이 시스템의 복잡도와 비용을 증가시킬 것이다. [9]에서의 ATR(Angle-SINR Table Routing)의 경우 SINR에 기반을 둔 라우팅 방법을 제안했다. 이 라우팅 방법은 AT(Angle-SINR Table)에 기반을 두고, 각 단말은 적응형 안테나(adaptive antenna)를 통한 360도 전 방향 스캐닝(scanning)으로 SINR(Signal-to-Interference and Noise Ratio)를 측정해서 AT 정보를 얻는다. 이 AT 정보를 이용하여 송신기에서 수신기까지 가는 경로를 만들 수 있

다. 이 방법은 라우팅 트래픽과 터미널에서의 전력 소모를 줄일 수 있다. 채널 상태를 표현하는 SINR은 단순한 거리 정보보다 유용하다. 하지만 SINR은 간섭, 신호 감쇠와 같은 백색 잡음에만 영향을 받는 것이 아니라 방사 신호 전력에도 영향을 받는다. 피코넷 안에서 단말들의 방사 신호 전력이 서로 다르고 같은 단말이라도 순간순간 다른 신호 전력으로 전송하기 때문에 같은 채널 상태라도 단말마다 상당히 다른 SINR이 얻어질 것이다. 본 논문에서는 송신 단말의 방사 전력과 무관하게 채널의 상태 정보를 표시하는 CSF(Channel Status Factor)를 정의하고 제안한 프로토콜에서 중계 단말의 선택을 위해 이용한다. CSF는 식 (2)와 같이 수신기에서의 SINR에 대한 송신기의 송신 전력 P_i 의 비로 정의할 수 있다. CSF_{ij} 는 송신 단말 i 의 전송 전력으로 SINR 값을 나눈 값이며, 이는 단말 i 와 j 사이의 순수한 채널 상태 정보를 나타낸다.

$$CSF_{ij} = \frac{SINR_j}{P_{T_i}} = \frac{S}{(I+N)P_{T_i}} \quad (2)$$

여기서 S 는 수신 단말 j 에서의 수신 신호 전력, I 는 수신 단말 j 에서의 간섭, N 은 시스템의 노이즈, P_{T_i} 는 신호를 보내는 단말 i 의 송신 전력이다. 각 송신 단말은 수신기가 송신 측의 신호 전력을 알게 하기 위해 PHY 헤더에 송신 전력 정보를 포함하여 전송한다.

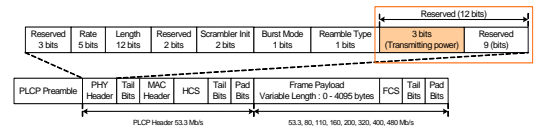


그림 5. 변경된 UWB(Multi-Band OFDM) PLCP 헤더

[10]에 따르면 PHY 서비스 프리미티브(service primitive)인 TXPWR_LEVEL 레인징(raging)을 통하여 송신 전력 레벨로 1에서 8까지의 값이 MAC 계층에서 사용되는데, 이는 MIB(Management Information Base)에 정의된 가능한 TxPowerLevel 속성들을 알려준다. 이 값은 단말 내에서만 사용하는 것으로 본 논문에서는 이를 CSF 값과 함께 송신 전력 레벨을 PNC에게 보고해야 한다. 이 값은 PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) 헤더에 현재 쓰이지 않고 예약된(reserved) 마지막 12 bits에 포함시킬 수 있다. 본 논문에서는 PLCP 헤더의 마지막 12 bits에 3 bits의 추가 정보 필드를 삽입하

고 여기에 송신기의 전송 전력을 기록할 수 있도록 그림 5와 같이 PLCP 헤더를 수정하였다.

한 단말이 프레임을 전송할 때 신호를 수신할 수 있는 범위에 있는 모든 다른 이웃(neighbor) 단말들은 해당 프레임을 수신할 수 있다. 이 때 각 단말들(수신 단말 및 이웃 단말)은 송신 단말과의 채널 상태 계수 CSF를 계산하여 주기적으로 PNC에게 이 정보를 전송한다. CSF를 수신한 PNC는 피코넷 내의 단말 간 채널 상태를 전체적으로 알 수 있으며, 각 단말 간 최대 전송률을 추정할 수 있게 된다. 그림 6은 각 단말에서 계산된 CSF를 PNC에 전송하는 방법을 보여주고 있다.

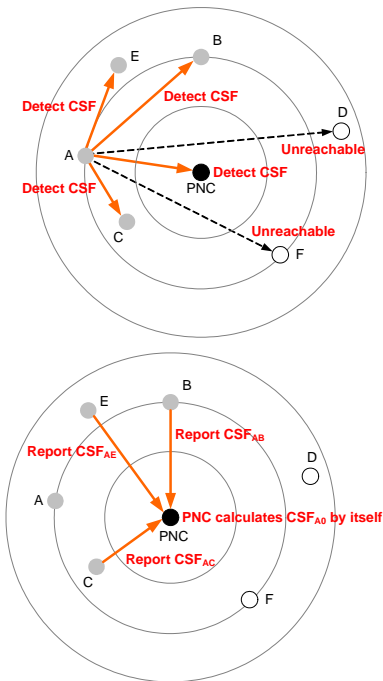


그림 6. 각 단말에서의 CSF 계산과 전달

PNC는 각 단말의 CSF 정보를 수집하여 피코넷 내에 존재하는 각 단말의 채널 상태 정보를 기록한 CSRМ을 작성한다. 중계 경로를 선택하기 위해 PNC는 식 (3)과 같은 CSRМ(Channel Status Relay Matrix)을 작성한다. CSRМ은 (N+1)×(N+1) 행렬이다. 여기서 N은 하나의 PNC를 포함하는 단말의 수를 나타낸다. IEEE 802.15.3 표준에 따르면 N+1은 256보다 크지 않다. 식 (3)에서 CSF_{ij}는 단말 i가 보낸 신호를 단말 j가 탐지해서 계산한 채널 상태 계수를 나타낸다. i=j일 경우에 CSF_{ij}는 존재하지 않는다.

$$CSRМ = \begin{pmatrix} - & CSF_{01} & \dots & CSF_{0(N-1)} & CSF_{0N} \\ CSF_{10} & - & \dots & CSF_{1(N-1)} & CSF_{1N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ CSF_{(N-1)0} & CSF_{(N-1)1} & \dots & - & CSF_{(N-1)N} \\ CSF_{N0} & CSF_{N1} & \dots & CSF_{NN-1} & - \end{pmatrix} \quad (3)$$

CSRМ을 바탕으로 PNC는 단말 i와 j사이의 최대 전송률(maximum link speed)를 계산한다. [10]에서는 몇 개의 전송률 단위를 정의하고 해당 전송률을 제공하기 위해 요구되는 E_b/N₀를 규정하고 있다. 만약 단말 i가 UWB 전력 제한 내에서 전력 레벨을 높일 수 있다면, 최대 E_b/N₀와 동시에 최대 전송률을 확보할 수 있을 것이다. 따라서 최대 전송률 값과 이에 따르는 전송률을 어떻게 구할 수 있는가가 중요한 문제가 된다. CSF를 이용하여 송신 단말 i와 수신 단말 j 사이에서 가능한 최대 전송률을 계산하기 위해 식 (4)과 같은 방법으로 두 단말 간에 가능한 최대 E_b/N₀를 계산한다. 여기서 P_{UWB_Power_Limit}는 UWB 방사 제한 전력이다. 이 때 계산된 E_b/N₀를 [10]의 link budget을 통하여 단말 간의 가능한 전송률을 알 수 있다. 단말 i에서 j까지의 채널의 최대 E_b/N₀는 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \max E_b/N_0(i, j) &\approx \frac{S}{(I+N)P_{T_i}} \times P_{UWB_Power_Limit} \\ &= CSF_{ij} \times P_{UWB_Power_Limit} \end{aligned} \quad (4)$$

[10]에서 제공되는 E_b/N₀에 따른 전송률을 살펴 보면, 각 단말은 전송률에 따른 E_b/N₀ 값을 만족할 경우 특정 레벨 이상으로 전송 전력을 높일 필요가 없다. 예를 들어 표 1와 같이 각 전송률별 요구 E_b/N₀는 110 Mbps의 경우 3.6 dB, 200 Mbps의 경우 4.3 dB, 480 Mbps의 경우 4.6 dB이다. 따라서 특정 단말의 최대 전송 전력에 따른 최대 E_b/N₀의 값이 4.0 dB로 나타날 경우, 단말의 전송률을 110 Mbps로 결정할 수 있다. 또한 이 때 단말의 전송 전력은 110 Mbps의 요구 E_b/N₀인 3.6 dB의 값까지 적응적으로 감소시킬 수 있다. 이것은 단말 i의 전송 전력을 항상 최대로 하지 않고 적응적으로 조절할 수 있다는 것이다. 따라서 Multi-Band OFDM에서 제공하는 다양한 전송률에 맞는 최대 E_b/N₀를 계산한다면 결정된 전송률의 최소 전송 전력으로 프레임을 전송할 수 있다.

표 1. 전송률에 따른 요구 E_b/N_0

Data Rate(Mbps)	110	200	480
Required E_b/N_0 (dB)	3.6	4.3	4.6

표준에 규정된 E_b/N_0 의 등급에 따라 위와 같은 이유로 조정된 전송 전력은 다음 식과 같다.

$$P_{T_i} = \frac{\text{Required } E_b/N_0}{\text{CSF}_{ij}} \quad (5)$$

$(P_{T_i} \leq P_{\text{UWB_Power_Limit}})$

본 논문에서는 $E_b/N_0(i,j)$ 에 의해 정해진 전송률을 R_{ij} 라 정의하고, 송수신 단말 간의 프레임 전송을 위한 모든 가능한 경로의 전체 전송률을 계산한다. CSRM에 따라 피코넷 내에서의 프레임 전송은 세 가지의 가능한 경로가 존재한다. 첫 번째는 송신 단말 s에서 목적지 단말 d까지의 PNC에 의한 중계이고, 두 번째는 송수신 단말 간 직접 경로 전송이며, 세 번째는 PNC를 제외한 중계 단말을 거쳐 프레임을 전송하는 경우이다.

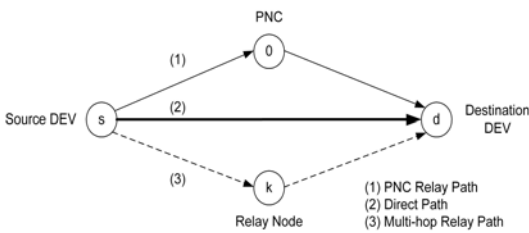


그림 7. 제안한 멀티 홉 프레임 중계 프로토콜에서 가능한 세 가지 경로

1) PNC에 의한 중계의 경우

송신 단말 s에서 최종 수신 단말 d까지의 프레임 전송 시간 T_{sd} 는 식 (6)과 같이 나타낸다. F_{size} 는 프레임의 길이이며, R_{ij} 은 단말 i에서 단말 j까지의 전송률을 나타낸다. 여기서 단말 ID 0은 PNC를 의미한다.

$$T_{sd} = T_{s0} + T_{0d} = \frac{F_{\text{size}}}{R_{s0}} + \frac{F_{\text{size}}}{R_{0d}} \quad (6)$$

PNC를 경유하는 전체 경로 전송률(path rate) PR_{PNC}^{sd} 는,

$$PR_{PNC}^{sd} = \frac{F_{\text{size}}}{T_{sd}} = \frac{R_{s0}R_{0d}}{R_{s0} + R_{0d}} \quad (7)$$

2) 직접 연결의 경우

$$T_{sd} = \frac{F_{\text{size}}}{R_{sd}} \quad (8)$$

직접 연결시의 전송률은,

$$PR_{direct}^{sd} = R_{sd} \quad (9)$$

3) PNC를 제외한 다른 단말 k를 통한 중계의 경우

$$T_{sd} = T_{sk} + T_{kd} = \frac{F_{\text{size}}}{R_{sk}} + \frac{F_{\text{size}}}{R_{kd}} \quad (10)$$

전체 경로 전송률은,

$$PR_k^{sd} = \frac{F_{\text{size}}}{T_{sd}} = \frac{R_{sk}R_{kd}}{R_{sk} + R_{kd}} \quad (11)$$

여기서 k는 유일한 값이 아니다. 이는 최대(N-3)개의 선택 가능한 중계 단말이 피코넷 안에 존재할 수 있기 때문이다(PNC, 송신 단말, 목적지 단말은 포함하지 않는다). PNC는 각 경로의 CSF와 이를 통해 계산한 전송률의 정보를 이용하여 각 송수신 단말 간의 최적 경로를 제공할 수 있다. 중계 단말을 이용한 경로 전송률이 식 (12)와 같이 직접 경로의 전송률보다 클 경우 중계 단말을 이용하는 경로가 사용된다.

$$PR_{k \text{ or } PNC}^{sd} > PR_{direct}^{sd} \quad (12)$$

다음으로 중계 단말을 선택하는 것과 함께 전력 문제에 대해 고찰한다. 만약 한 단말이 AC 전원을 사용한다면, 이 때 에너지는 무한히 공급될 수 있다고 생각되기 때문에 그 단말은 중계 단말로 빈번히 선택되어도 네트워크의 생존 시간과 관계없지만 배터리를 사용하는 보통의 단말들은 에너지가 제한되어 있기 때문에 중계 단말로 자주 선택되는 것은 적절하지 않다. 본 논문에서는 각 단말의 PWF (Power Weight Factor)를 정의하고, 이 값은 0에서 1까지 값을 가진다. AC 전원을 사용하는 단말은 PWF를 1로 설정하고 현재 배터리 용량이 큰 단말은 그렇지 않은 단말에 비해 큰 값의 PWF를 갖게 된다. PWF는 프레임에 포함되어 PNC에게 쉽게 알려줄 수 있다. PNC를 포함하여 중계 단말을 이용

하는 것이 직접 경로를 사용하는 것보다 전송률 측면에서 유리할 경우 식 (12)를 만족하는 중계 단말 경로들에 대해 식 (13)과 같이 가능한 중계 단말의 PWF를 곱하여 PAPSF(Power Aware Path Status Factor)를 계산한다. 식 (13)으로 계산한 PAPSF 중 가장 큰 값을 가지는 단말을 선택하며 선택된 단말 (SRD : Selected Relay Device)이 중계 단말 (SRD^{sd})이 된다. PNC는 송수신 단말 간 자원을 할당할 때 비콘 내에 송신 및 중계 단말의 추정된 전송률과 송신 전력 크기를 포함하여 알려지게 된다.

$$PAPSF_k^{sd} = PR_k^{sd} \times PWF_k \quad (13)$$

$$SRD^{sd} = k \mid \max_{\forall k} PAPSF_k^{sd} \quad (14)$$

본 논문에서 제안한 채널 상태를 통한 전체 경로 전송률은 PHY 계층의 전송률 조정이나, 전력 관리 동작과는 독립적으로 계산되기 때문에 PHY 계층에서 결정되는 값들과의 차이가 발생할 수 있다. 이런 경우, MAC 계층은 PHY 계층에서 결정된 전송률을 따르고 자신의 정보 테이블을 수정한다.

본 논문에서는 전력을 고려한 다중 홉 프레임 중계 MAC 프로토콜을 통해 채널 시간을 할당하는 새로운 방법을 정의하고 이를 RCTA(Relay Channel Time Allocation)라 정의한다. RCTA를 위한 CTA의 변형된 구조를 그림 8에서 나타내고 있다. 만약 PNC가 중계 단말로 한 단말을 선택하면 RCTA는 송신 단말과 중계 단말에 알려지며, 동시에 중계 단말과 목적지 단말에도 알려질 것이다. 그리고 이러한 정보는 비콘 IE(Information Element) CTA 블록에 포함되어 제공된다.

octets:2	octets:2	octets:1	octets:1	octets:1
CTA duration	CTA location	Stream index	SrcID	DestID

< Channel time allocation block in standard >

octets:2	octets:2	octets:1	octets:1	octets:1	octets:1
CTA duration	CTA location	Stream index	RelayID	SrcID	DestID

< Modified channel time allocation block >

그림 8. RCTA를 위해 변형된 CTA 구조

기존의 CTA와 본 논문에서 제안한 RCTA를 비교한 것이 그림 9에 나타나 있다. 그림 9(a)를 보면 원래의 WPAN MAC 프로토콜이 중계 방식을 지원하지 못하고 라우팅 프로토콜에 의해서 중계 방식을 지원함을 알 수 있다. 송신 단말과 중계 단말은 PNC로부터 독립적으로 채널 자원을 요청해야 하고,

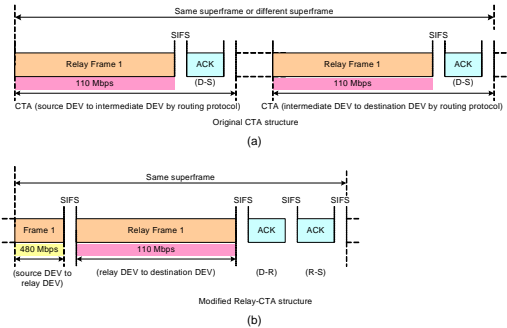


그림 9. 제안한 Relay-CTA 구조

PNC는 중계 단말이 되는 것을 선호한다. 하지만 그림 9(b)를 보면 송신 단말만이 채널 자원 요청을 한 번만 하고, PNC는 송신 단말에게 필요한 채널 자원을 가능한 모두 할당해 단말은 데이터 전송을 마쳐야 한다. 앞에서 나타난 바와 같이 SRD_{sd}를 선택한 뒤 다른 라우팅 프로토콜에 비해 링크 속도의 총합이 가장 높을 값을 구할 수 있을 것이다. 그림 9에서 D는 목적지 단말, S는 송신 단말, R은 중계 단말을 의미한다.

IV. 모의실험

본 장에서는 본 논문에서 제안한 멀티 홉 프레임 중계 방식의 성능을 평가한다. 그림 10은 모의실험에 사용된 시나리오를 나타낸다. 72개의 단말이 포함된 3개의 피코넷이 존재하며, 피코넷 중 하나는 parent piconet이고 다른 두 개는 child piconet이다. 각 피코넷은 무작위로 움직이는 24개의 단말과 하나의 PNC로 구성된다. PNC는 전송할 프레임을 가지고 있지 않지만 피코넷을 제어하고 프레임을 중계한다. 이 단말들의 절반은 전송할 프레임을 가지며 다른 단말들은 비교적 긴 시간 동안 전송할 프레임이 없다고 가정한다.

IEEE 802.15.3 MAC 프로토콜에서는 child piconet 단말과 parent piconet 단말 사이에서 프레임을 전송하는 방법을 정의하지 않았기 때문에, 본 모의실험에서는 parent piconet과 child piconet의 멤버인 child PNC를 게이트웨이(gateway)로 간주한다. parent PNC로부터 private CTA를 받거나 parent piconet과 child piconet이 프레임을 교환하는 것을 제외하고는 child piconet에서의 프레임 교환은 parent piconet에 독립적이므로 본 모의실험에서는 parent piconet에서 parent piconet으로 데이터를 전송하거나 parent piconet으로부터 데이터를 수신하는

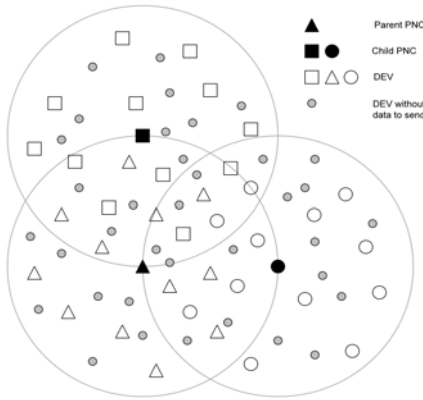


그림 10. 모의실험 모델

것, 그리고 프레임이 parent piconet을 거치는 경우만을 고려하며 child piconet에서의 프레임 교환은 고려하지 않는다. 이를 통하여 모든 단말들이 PNC를 중계 단말로 사용하는 기존의 방법(트래픽이 PNC에 집중되는 문제가 발생하는 상황)과 본 논문에서 제안한 멀티 홉 중계 방식 프로토콜과 비교한다.

PWF는 0이나 1로 설정하였다. PWF가 1일 때 단말의 수를 증가시키면 가능한 중계 단말의 수를 증가시킬 때의 성능과 전력 공급이 더 좋은 단말의 수를 증가시킬 때의 성능을 계산할 수 있다. [10]에 따르면 채널 모드 CM 1과 CM 2는 2미터 안에서 480 Mbps, 2미터에서 6미터 사이에서는 200 Mbps, 6미터 이상에서는 110 Mbps의 속도를 낼 수 있다. 본 모의실험에서는 별도의 협상 과정 없이 모든 단말이 채널의 가능한 최고 속도로 데이터를 전송할 수 있다고 가정한다. 중계는 PNC를 통해서만 가능하고, PNC는 보통 전형적인 에드 혹 라우팅 프로토콜에 의해서 선택된다. 그리고 PNC를 포함해서 어떠한 단말이든지 중계를 할 수 있는 경우와 비교했다. 모의실험은 NS-2^[11]를 이용하였으며, [10]에서 제공한 값들을 참고 하였다. 모의실험 값들은 표 2에 나타내었다.

그림 11은 PWF가 1일 때 단말의 수를 증가시키면서 나타나는 처리량의 변화를 나타내고 있다. 0은 모든 단말의 PWF를 0로 설정한다는 것을 뜻한다. PNC를 제외한 어떤 단말도 중계 단말로 사용할 수 없고, 오직 PNC만이 단말들의 프레임을 중계하는데 사용할 수 있다. 파선으로 나타낸 부분은 프레임 중계를 위해 PNC를 사용했을 경우의 참조선이다. 그림 11에서 알 수 있듯이 중계에 참여할 수 있는 단말의 수가 늘어날수록 제안한 프로토콜은 피코넷의 데이터 처리량을 증가시킨다. 그 이유는 시스템에서

표 2. 모의실험 파라미터

Duration of Superframe(ms) (fixed)	20
Length of MPDU(Bytes)	4024
Power consumption(mW) (110Mbps)	$P_t=93, P_r=155$
Power consumption(mW) (200Mbps)	$P_t=93, P_r=169$
Power consumption(mW) (480Mbps)	$P_t=145, P_r=236$
Power consumption(mW) (Idle)	$P_{idle}=0$
Path loss at 1 meter(dB)	$L_1=44.2$
Path loss at d meter(dB)	$L_2=20\log_{10}(d)$
Average noise power per bit(dBm) (110, 200, 480Mbps)	-87.0, -84.4, -80.6
Reference average power (dBm)	-10.3

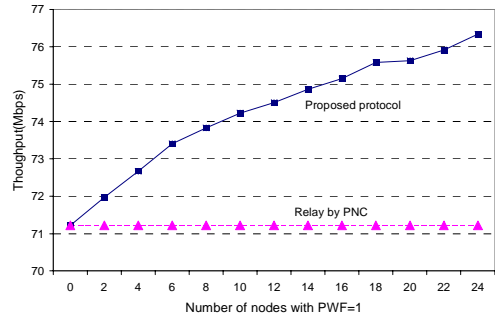


그림 11. 프레임 중계가 가능한 단말 수의 증가에 따른 처리량

경쟁하는 단말들이 많을 때 전송 단말과 목적지 단말 사이에 높은 링크 용량을 가진 후보 단말들이 많이 존재할 가능성이 높기 때문이다. PNC는 최적의 중계 단말을 선택하기 위한 선택 기회를 더 가질 수 있다. 그러나 네트워크의 처리량은 중계 단말의 수가 늘어난다고 해서 계속 증가하지는 않고 일정 단말의 수에서 최고점에 이르게 된다. 이러한 최고점은 측정 영역에 충분히 많은 단말이 존재할 때 발생하며 이러한 상황은 많은 네트워크 환경에 적합하지 않다.

그림 12는 다음 두 가지 상황에서 PNC의 배터리의 소모량을 나타낸다.

- 1) 프레임 중계에 PNC만 사용할 경우
- 2) 식 (13)에 기초하여 프레임 중계를 위해 PNC를 포함한 어떤 단말이든지 중계 단말로써 사용이 가능한 경우

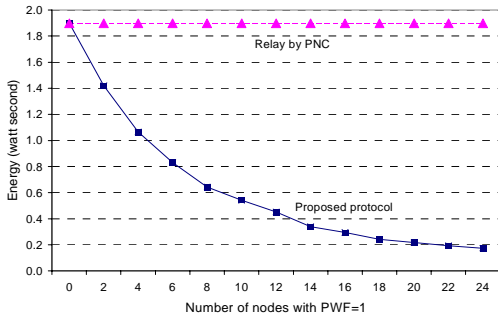


그림 12. 프레임 중계가 가능한 단말 수의 증가에 따른 PNC의 에너지 소비

제안한 두 번째 상황의 경우 첫 번째 상황에 비해 PNC 배터리의 소모량이 중계 단말의 수가 늘어날수록 감소하는 것을 알 수 있다. 12개 단말의 PWF를 1로 설정했을 때 제안한 방법은 PNC 만을 프레임 중계를 위해 사용하는 경우와 비교하여 24%의 PNC 배터리 소모량을 보였고 24개 단말의 PWF를 1로 설정하면 9%의 배터리 소모량을 보인다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법을 사용함으로써 PNC로의 에너지 집중화를 막아 네트워크의 생존성을 높이고 잦은 PNC 변경을 막을 수 있다.

피코넷의 전체 처리량이 증가할수록 전체 시스템의 전력 소모는 증가한다. 이는 더 많은 양의 프레임 전송을 전송할수록 단말에 더 많은 에너지가 필요하기 때문이다. 그러나 전체 에너지 소비량을 전체 처리량과 비교해 보면 1 Mbits를 전송하는데 소모되는 에너지는 그림 13에서 보는 것과 같이 제안한 방법을 사용할 경우 PNC만을 사용하는 것보다 감소한다. 또한 시스템에 프레임 중계를 위한 단말이 많이 있을 경우, 프레임 전송 시의 에너지 효율은 증가한다.

그림 14는 피코넷의 전송 범위가 줄어들수록 처리량이 증가하는 것을 보여준다. 여기서 X 축은 피코넷이 커버하는 영역의 반지름이고, Y 축은 처리량을 나타낸다. 이 결과를 통해서 피코넷의 반경이 줄어들수록 처리량이 증가하는 것을 알 수 있다. 피코넷의 반경이 줄어들면 두 단말 사이의 거리가 짧을 확률이 높아지기 때문에 MAC 계층에서의 중계 방법을 사용하지 않더라도 처리량이 증가할 것이다. 또한 더 많은 단말을 중계 단말로 사용할 경우 PNC 만을 중계 단말로 사용하는 것과 비교하여 빠르게 처리량이 증가하는 것을 볼 수 있다. 피코넷의 범위를 줄여나가도 처리량이 계속적으로 증가할 수 없고 모든 단말이 충분히 인접해 있고 최고의

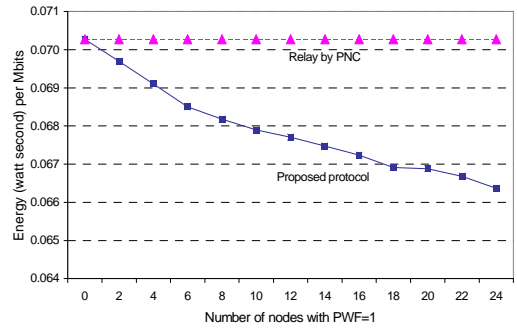


그림 13. 프레임 중계가 가능한 단말 수의 증가에 따른 1 Mbits 당 에너지 소비

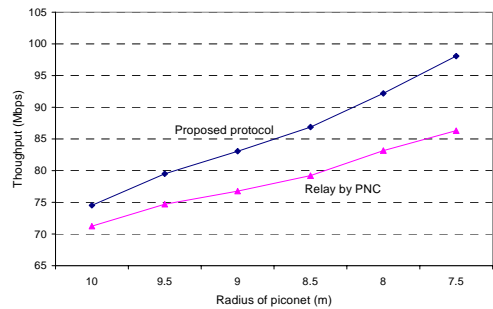


그림 14. PNC에 의한 프레임 중계와 제안한 프로토콜의 처리량 비교

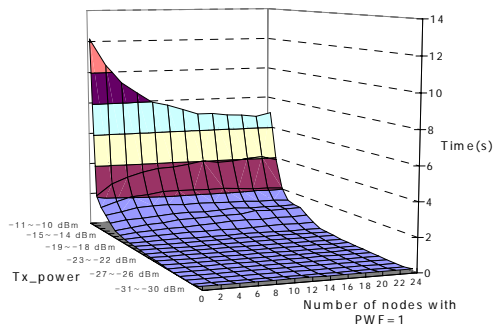


그림 15. 프레임 중계가 가능한 단말 수의 증가에 따른 신호 전력 분산 관계

채널 속도로 직접 통신할 수 있을 때 처리량은 최고점에 이르게 된다.

마지막으로 방사 신호 전력에 대해서 실험하였다. 본 모의실험에서 피코넷의 최고 신호 전력을 -10.3 dBm watt로 기준을 삼았다. 각각의 단말은 -10.3 dBm 보다 높지 않은 정도의 신호만을 전송할 수 있다. 더 많은 단말들이 중계 기능을 사용하여 동작할 때, 두 단말 사이의 거리가 많이 줄어들고 채널 상태가 좋아진다. 그 결과 높은 레벨 신호의 전송

신 시간은 줄어들 것이다. 그림 15는 이 모의실험의 결과를 보여주고 있는데, 여기서 높은 전력 레벨 신호를 보내는 시간이 낮은 전력 레벨 신호의 시간으로 분산되고 최고 전력 신호로 보내는 시간은 42.7% 줄어드는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 UWB 기반의 WPAN에서 전력을 고려한 다중 홉 프레임 중계 방식의 MAC 프로토콜을 제안하였다. 새롭게 제안한 프로토콜은 피코넷의 각 단말이 SINR 값을 사용하여 채널 상태 인자(CSF)를 계산하고 송신 신호 전력을 PHY 헤더에 포함하여 전송한다. CSF 값은 PNC에게 주기적으로 알려진다. 만약 두 단말이 직접적으로 통신을 할 수 없거나 전송 단말과 목적지 단말 사이에 전체 속도를 높여줄 수 있는 단말이 존재한다면 PNC는 그 단말을 중계 단말로 선택한다. 만약 하나 이상의 단말이 중계 단말의 후보군으로 존재한다면 PAPSF가 가장 큰 단말을 선택한다. 모의실험 결과 본 논문에서 제안한 프로토콜을 적용하였을 때 처리량이 증가하며, PNC의 배터리 소모가 다른 단말로 분산됨을 알 수 있었다. 또한 프레임 전송 시의 전력 효율이 증가하며, 높은 신호 레벨의 총 전송 시간이 감소하였다.

참고 문헌

[1] D. Porcino, and W. Hirt, "Ultra-wideband radio technology: Potential and challenges ahead", IEEE Communications Magazine, Vol. 41, No. 7, pp. 66-74, July 2003.

[2] W. Horie, and Y. Sanada, "Novel Packet Routing Scheme based on Location Information for UWB Ad-hoc Network", Proc. of IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, pp. 185-189, November 2003.

[3] Moe Z. Win, and Robert A. Scholtz, "Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications", IEEE Transactions on Communications, Vol. 48, pp. 679-689, April 2000.

[4] J. Balakrishnan, A. Batra, and A. Dakak, "A multi-band OFDM system for UWB communication", Proc. of IEEE Conference

on Ultra Wideband Systems and Technologies, pp. 354-358, November 2003.

[5] IEEE Std. 802.15.3, "Information technology - Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part 15.3 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs)", 2003.

[6] C. E. Perkins, and E. M. Royer, "Ad hoc on-demand distance vector routing", proc. of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, February 1999.

[7] R. Dube, C. D. Rais, K. Y. Wang, and S. K. Tripathi, "Signal stability-based adaptive routing for ad hoc mobile networks", IEEE Personal Communications Magazine, pp. 36-45, February 1997.

[8] C. K. Toh, "Maximum battery life routing to support Ubiquitous mobile computing in wireless ad hoc networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 39, No. 6, pp. 138-147, June 2001.

[9] K. Gyoda, Y. Kado, Y. Ohno, K. Hasuike, and T. Ohira, "WACNet wireless ad-hoc community network", IEEE International Symposium, Vol. 4, pp 862-865, May 2001.

[10] IEEE P802.15 Working Group for WPANs, "Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a", September 2004.

[11] The Network Simulator-ns2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

왕 위 동(Weidong Wang)

준회원



2001년 7월 Harbin Institute of Technology, China(공학사)

2001년 7월 Huawei Technologies, ZTE Corp., China

2005년 8월 인하대학교, 정보통신대학원, 정보통신공학과(공학석사)

2005년 9월~현재 삼성전자 중국난징연구소

<관심분야> Ad-hoc network, Wireless MAC, UWB

서 창 근 (Chang-Keun Seo)

준회원



2004년 2월 인하대학교 전자공학
학과(공학사)
2004년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
<관심분야> 인터넷 QoS, Wireless MAC, UWB

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 한양대학교 전자통신학과(공학사)
1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)
2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
1990년~2001년 KT 연구개발본부 전임연구원

정 순 규 (Soon-Gyu Jeong)

준회원



2005년 2월 인하대학교 컴퓨터공학과(공학사)
2005년 2월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
<관심분야> WSN, WPAN, RFID

1994년~1995년 미국 국립표준기술연구원(NIST) 초빙연구원

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
<관심분야> 인터넷 QoS, 초고속 통신망 구조, 멀티미디어 네트워킹, 무선 센서 네트워크