

Transmission Latency-Aware MAC Protocol Design for Intra-Body Communications

Seungmin Kim[†] · JongSung Park^{**} · JeongGil Ko^{***}

ABSTRACT

Intra-Body Communication (IBC) is a communication method using the human body as a communication medium. The fact that our human body consists of water and electrolyte allow such communication method could work and have strength in low-power. However, because the IBC directly affects to human body by using it as a medium, there was a lack of research in communication protocols of each communication layer. In this paper, we suggests MAC parameters which affects the performance of communication in human body channel, and propose new MAC protocol. Our results shows that our MAC is suitable for supporting high data rate applications with comparable radio duty cycle performance.

Keywords : Wireless Body Area Networks, Intra-Body Communications, MAC Layer Protocol

인체 채널에서 전자기파 전송 지연 특성을 고려한 다중 매체 제어 프로토콜 설계

김 승 민[†] · 박 종 성^{**} · 고 정 길^{***}

요 약

인체 통신은 인체를 매질로 통신하는 기술로, BAN (Body-Area Network) 환경에서, 무선 통신에 비해 신호 감쇠 측면에서 큰 이점이 있어 배터리로 동작하는 웨어러블 기기 간 통신 시 저전력 통신을 지원할 수 있다. 하지만, 인체 통신은 그 이점에 비해 안전성 등의 문제가 있어 채널 특성에 대한 연구가 미비하였다. 이에 본 논문은 인체 채널 특성에 있어 통신 성능에 영향을 주는 MAC 파라미터를 제시하고, 이를 이용한 새로운 인체 통신 용 MAC 프로토콜을 제안하고, 또한, 각기 다른 가드 인터벌을 설정하여 성능을 분석하였다. 결과로, IEEE 802.15.6 표준 기반 Slotted aloha 프로토콜에 비해 약 300kbps의 Goodput 이득을 가졌으며, Duty cycle 또한 약 7.07%로, 표준의 최소 duty cycle이 약 5%이지만, Goodput을 고려했을 때, 인정할 수 있는 성능이라 볼 수 있다.

키워드 : 인체 통신, 무선 인체영역 네트워크, 다중 매체 제어 프로토콜

1. 서 론

최근 웨어러블 기기의 발전과 함께 해당 기기 간의 통신 환경인 WBAN(Wireless Body-Area Network)에서의 전력 소모 문제가 대두되고 있다. 하지만, WBAN에서 무선 통신은 인체가 방해물로 작용하는 특성 때문에[1], 일반적인 센서 네트워크 환경에 비해 동일 거리 내 신호 감쇠가 크고 이를 대체할 기술이 필요하고, 이에 대한 후보로 인체 통신기술이

있다. 인체 통신 기술은 인체를 매질로 사용하여 기기 간 통신을 하는 기술이며, 인체가 물과 전해질로 구성되어 있어 공기 중 통신에 비해 신호의 감쇠가 작다고 알려져 있다. 하지만, 인체 채널 특성 및 인체 통신 용 프로토콜에 대한 연구는 전자기파 등을 직접 몸에 방출시키기 때문에, 안전성의 문제로 인하여 미비했다. IEEE 802.15.6 WBAN[2] 표준에서 인체 통신을 다루지만 표준의 MAC(Medium Access Control) 프로토콜은 Slotted Aloha로 정의되어 있고, 이는 다른 프로토콜들에 비해 최대 채널 용량이 약 36% 정도로 비효율적이다. 또한, 인체 통신 환경은 최대 5 미터 이내의 짧은 통신 거리를 가지며[3], 신호 감쇠로 인한 문제가 적고 전파 지연 시간이 다르므로 이에 적합한 새로운 MAC 프로토콜이 필요하다. 더욱이, 증강/가상(AR/VR) 현실 기기들의 출시로 높은 통신 성능을 요구하는 응용들이 제시될 수 있기 때문에, 표준과

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원한 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었음(UD160070BD).

[†] 비 회 원 : 아주대학교 컴퓨터공학과 석·박사통합과정

^{**} 비 회 원 : 국방과학연구소 책임연구원

^{***} 정 회 원 : 아주대학교 소프트웨어학과 조교수

Manuscript Received : July 4, 2019

Accepted : July 15, 2019

* Corresponding Author : JeongGil Ko(jgko@ajou.ac.kr)

같은 Slotted Aloha 등의 통신 기법은 해당 응용들이 제시되었을 시, 성능 문제로 서비스를 지원할 수 없을 것이다.

본 논문에서는 이를 해결하기 위해 인체통신을 위한 중앙 집중형 시분할 MAC 프로토콜을 설계하였다. 또한, 신호의 체내 전파 지연 시간 및 하드웨어 한계 등을 고려해 분할 슬롯 간 가드 인터벌을 효율적으로 설정하여 지연시간, 통신 속도 등의 관점에서 네트워크의 성능을 향상시켰다.

2. 인체 통신 및 관련 문헌

WBAN 환경에서 인체 통신 기술을 이용하기 위해서는 기기와 인체사이에 전극을 이용하여 통신한다. 해당 전극을 통하여 송신 기기가 전자기파를 방출하여 인체의 피부 및 근육 등을 통하여 전파되고, 수신 기기의 전극을 통하여 신호가 전달된다. 현재 전자기파가 아닌 초음파를 이용한 통신 방법도 존재하나[4], 초음파 기반 통신은 낮은 데이터 전송 속도, 신호 전파 시간 및 높은 지연 시간의 문제가 존재하므로 다양한 WBAN 응용을 지원하지 못하는 문제점을 안고 있다.

2.1 인체 통신 안전성

인체 통신 시에는 기기가 인체에 직접 전자기파를 방출하기 때문에, 인체의 안전성에 대한 염려가 있다. 인체 통신 시 안전성에 대한 기준은 국립전파연구원의 전자파흡수율(SAR) [5]을 들 수 있는데, 우리나라의 경우 일반인 기준 전신에 대한 전자파방출량은 0.08W/kg으로 제한되어 있다. 따라서 본 저자들은, 사전 연구 시 실험 환경을 전자파흡수율 안전기준치에 맞게 전자기파 출력을 제한하여 설정, 실험을 진행하였다. 예를 들어, 본 저자들이 사전 연구 시 사용했던 Atmel SAMR21[6] 기반의 실험 환경 설정 시, GPIO 핀을 이용하여 전자기파 출력을 할 경우에는 3.3V의 기본 동작 전압 상에서 핀의 논리 상태가 저레벨 출력(Output low-level일 경우 10mA, 0.33V)이 되며 이 경우 0.0033W의 출력을 가지며, 고레벨 출력(Output high-level)의 경우 7mA, 2.97V이 되며 0.02079W의 출력을 낸다. 이는, 신체의 무게가 1kg일 때에도 충분히 안전한 출력이라고 볼 수 있다. 일반적으로 사용되는 Raspberry Pi 3 [7]의 경우에도 3.3V 동작전압 상에서 GPIO 핀의 저레벨 출력 시 18mA, 0.4V이 되며, 0.0072W의 출력을 가지고, 고레벨 출력 시 17mA, 2.3V로 0.0391W의 출력을 가져 전자파 흡수율 안전 기준치를 만족할 수 있다.

2.2 인체 통신 커플링 방식 개요

인체 통신 시스템 구현 시, 인체 통신 방법은 크게 두 가지로 나뉜다. (1) 커패시티브(Capacitive)커플링, (2) 갈바닉(Galvanic) 커플링이다. 최초의 인체 통신 기법이 [8] 커패시티브 커플링을 이용하여 구현되었으며 후후 통신 안정성, 외부 잡음 강건성 등을 필요로 하여 갈바닉 커플링을 이용한 연구들도 등장했다[9]. 기본적으로, 두 가지 통신 기법 모두 전극을 이용하나 연결 방법의 차이가 있다.

커패시티브 커플링 기법은, 송신부 및 수신부 양쪽에 신호

전극만을 부착하고, 접지 전극은 공기 중으로 보내 인체 주변에 전자기장을 생성하여 신호를 전달하는 방법이다. 갈바닉 커플링 기법은 송신부 및 수신부 양쪽에 신호 전극과 접지 전극을 부착하여 통신하는 방법으로, 이는 도파관의 특성을 이용하여 신호를 전달하는 방법이다. 두 가지 기법의 특징 및 신호 전달 방식, 신호의 귀환 경로(Return path)는 Fig. 1에 보여주고 있다. 왼쪽이 커패시티브 커플링, 오른쪽이 갈바닉 커플링을 보여준다.

일반적으로, 커패시티브 커플링 기반 인체 통신 시스템이 전송 속도에 강점이 있고, 거리에 따른 감쇠가 적다고 알려져 있다. 또한 갈바닉 커플링 기법은 외부 잡음에 강하다고 알려져 있다[10]. 따라서, 갈바닉 커플링이 커패시티브 커플링 기법에 비하여 통신을 위해 보다 높은 전력을 요구한다.

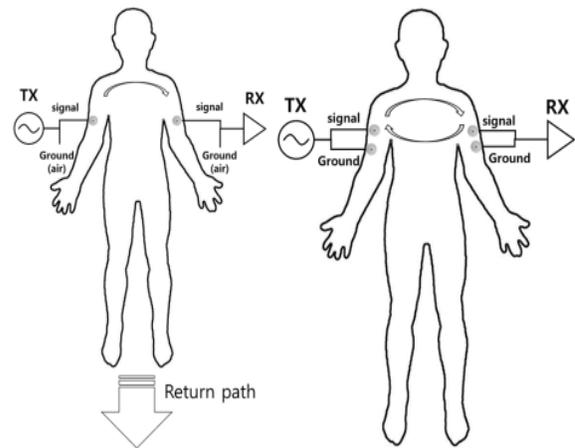


Fig. 1. Two Types of Coupling Methods for Intra-Body Communications

2.3 인체 통신 MAC 프로토콜

현재까지 제안된 인체 통신 MAC 프로토콜은 작은 크기의 메시지 전달을 위한 응용에 맞춰 설계된 프로토콜이 대다수이다. 주로 헬스케어 분야[11], 사용자 일일 데이터 수집 분야 [8] 등이다. Phang et al.[12]는 웨어러블 헬스 트래커 시스템을 제시하고, 이를 자신들의 시분할 MAC 프로토콜을 이용하여 테스트 했다. IEEE 802.15.6 WBAN 표준의 경우[2], WBAN의 물리 계층 및 MAC 계층을 다루고 있는데, Slotted Aloha 기반의 인체 통신 용 MAC 프로토콜 정의하고 있다. Otgonchimeg et al.[14]의 경우, IEEE 802.15.4 표준의 비컨 모드 기반 MAC 프로토콜을 변형하여, 응급 상황을 대비하기 위한 MAC 프로토콜을 제안했다. 해당 기법은, 응급상황 보장 슬롯을 가변적으로 추가할 수 있도록 하여 WBAN 상에 있는 노드가 응급 상황 알림을 보냈을 때 해당 슬롯에 전송을 가능하게 하는 기법이다.

하지만, AR/VR 기기들이 출시되고 앞으로 보다 많은 데이터 교환을 요구하는 응용들이 제시될 것이다[4]. 또한, 사용자들이 자신들의 몸에 부착하는 웨어러블 기기들의 숫자는 늘고 있는 추세이다. 웨어러블 기기의 수가 늘어난다면, WBAN을 위한 프로토콜이 제시되어야 한다.

3. 인체통신을 위한 시분할 MAC 프로토콜

인체통신의 채널 환경은 일반적인 공기를 매질로 하는 무선 통신 방식과 다른 특성을 지닌다. 특히, 무선 통신의 경우 인체 자체가 통신에 있어 방해물로서 작용하여 품질을 저하시키는 문제가 있다[1]. 심지어, 노드 간 통신 시 NLOS 환경일 경우, 노드 간 거리가 가까운 WBAN 환경임에도 불구하고 멀티 홉 통신을 필요로 할 수 있다. 인체 통신의 경우, 인체를 매질로 사용하기 때문에 상대적으로 감쇠가 적고, 노드 간 연결이 마치 유선으로 연결된 것과 같아 WBAN 환경에서 보다 효율적인 통신이 가능하다. 하지만, 인체 통신 환경에서 네트워크를 구성하는 노드의 개수가 많아질 경우, 모든 노드가 1 홉 거리에 있기 때문에 CSMA/CA 등의 기존 무선 통신에서 사용하던 경쟁 기반 MAC 프로토콜은 효율적이지 않게 된다. 또한, 인체 내 전파시간은 공기 중에 비해 약 1/3배이지만[13], 인체 통신 시 최대 통신거리는 약 5미터로 무선랜 환경인 수십 내지 100 미터 정도에 비해 최소 1/20배로, 슬롯 기반 MAC 통신 프로토콜 설계 시 여유로운 가드 인터벌 설정이 가능해진다.

이러한 특성을 고려하여 본 논문에서는 인체 통신에 적합하고, 다양한 서비스 지원을 위한 시분할 MAC 프로토콜 설계를 진행했다. 시분할 MAC 프로토콜로 설계한 것은 CSMA/CA 기반 기법은 인체 채널 특성에 있어 성능이 낮아 다양한 응용 서비스 지원이 힘들고, 시분할 기법이 가드 인터벌을 제외하면 주파수 효율이 높아 인체 채널 환경 상 최대 통신거리가 짧기 때문에 가드 인터벌로 인한 시분할 MAC 프로토콜의 비효율성을 줄일 수 있기 때문이다.

3.1 MAC 프로토콜 설계 및 요구사항

시분할 MAC 프로토콜은 통신 시 발생하는 지연 시간 때문에 가드 인터벌을 효율적으로 설정하는 것이 필요하다. 각 시간 슬롯마다 가드 인터벌을 잘못 설정할 경우, 데이터 송신 시 서로 간섭이 일어나 패킷 프레임이 깨질 수 있다. 따라서, 인체 통신 최대 거리 5 미터에 체내 전자기파 전파 속도를 고려했을 때, 프레임 간 적어도 약 50ns의 가드 인터벌이 필요하다. 하지만, 가드 인터벌이 나노초 단위로 짧을 경우, 클럭 드리프트 문제로 인하여 필요한 하드웨어 성능이 올라가 기기의 가격이 올라가게 된다. 따라서, 본 제안 기법에서는 통신 시 기기의 전송속도를 고려하여 1 바이트 전송 시간을 가드 인터벌로 설정했다. 이 수치는 실험적인 방법을 통해 정해졌으며 향후 4.5절에서 1 바이트 가드 인터벌의 정당성을 위한 실험을 보일 예정이다.

본 논문에서 제안하는 인체통신을 위한 시분할 MAC 프로토콜을 설계함에 있어서 설정한 요구사항은 다음과 같다. (1) 첫 번째로, 사용자가 착용하는 웨어러블 기기는 추후 수 개, 혹은 수십 개 까지 증가할 가능성이 존재한다. 따라서, 설계되는 MAC 프로토콜은 최소 20개 이상의 인체통신 노드 개수를 지원해야한다. (2) 두 번째로, 헬스케어 분야 혹은 일일 생활 기록 등 높은 성능을 요구하지 않는 응용 서비스 또한 효율적으

로 지원하기 위하여, 데이터 프레임의 페이로드는 50 바이트로 제한한다. (3) 세 번째로, 위급 상황 등에 긴급 전송을 위하여, 긴급 전송이 필요한 노드가 최소한의 지연 시간으로 데이터를 보낼 수 있도록 허용한다. (4) 네 번째로, 슈퍼프레임 구조는 높은 전송 속도와 높은 성능의 응용 서비스 지원을 위하여 낮은 지연 시간을 유지하도록 설계한다.

이에 본 논문에 제시되는 제안 기법은 상기 네 가지 조건을 만족할 수 있도록 설계하였다.

Table 1. Requirements of MAC Protocol Design for Intra-Body Communications

Requirements	
1	Support at least 20 intra-body communication nodes
2	50 Bytes of payload size for data transmission
3	Support emergency transmission
4	Maintain low latency

3.2 슈퍼프레임 및 패킷 구조

상기 네 가지 조건을 만족하기 위하여 본 제안기법에서는 슈퍼프레임의 최대 길이를 약 12.5KB로 설정했고, 해당 슈퍼프레임에서는 스케줄 영역, 참가 영역, 데이터 전송 영역을 포함한다. 상기 네 가지 조건은 Table 1에 명시하였고, 슈퍼프레임의 전체구조는 Fig. 2와 같다.

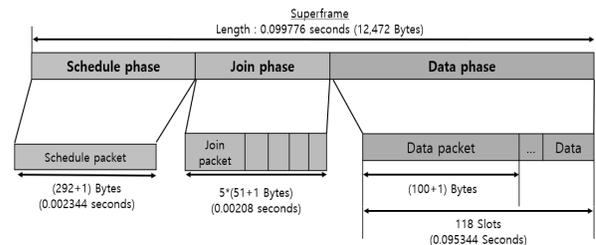


Fig. 2. Proposed Superframe Architecture

스케줄 영역은 데이터를 전송하기 위하여 네트워크에 참가한 클라이언트 노드들을 싱크 노드가 스케줄링 한 정보들을 방송하여 클라이언트 노드들이 자기 자신의 스케줄을 확인할 수 있도록 한다.

참가 영역은, 클라이언트 노드들이 네트워크 상 전송을 하고자 할 때 싱크 노드에게 알리는 영역이다. 해당 영역은 경쟁 영역으로 각 노드가 보내고 싶은 데이터가 있을 때, 경쟁을 통하여 데이터 전송 권한을 싱크 노드로부터 획득한다. 참가 영역은 5분할되어 최대 5개의 노드가 데이터 전송 권한을 획득 할 수 있다.

데이터 전송 영역은, 스케줄 영역에서 받은 스케줄 정보를 각 클라이언트 노드가 인지하여 해당 순번에 데이터를 보낼 때 사용하는 영역으로, 데이터 프레임의 페이로드 크기는 50 바이트가 된다.

각 영역에 쓰이는 MAC 프레임에는 물리 계층 프레임이 포함된다. 물리 계층 프레임은 상기 사전 연구에서 신호의 감

최가 높지 않기 때문에, IEEE 802.15.6 표준의 HBC (Human Body Communication) 물리 계층 프레임 구조를 따르되, 효율적인 데이터 전송을 위하여 SFD 영역 전송의 반복을 없애고 한번만 보내도록 설정했다. 물리 계층 프레임 구조는 Fig. 3과 같다. 물리 계층 프레임에서 SFD 영역의 반복을 제외하고 프리앰블(preamble), 물리 계층 헤더 등 영역은 모두 표준을 따랐다. 물리 계층 프레임의 총 길이는 46 바이트이다.

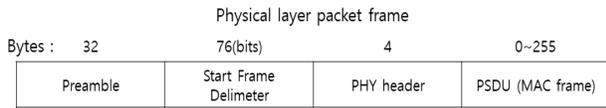


Fig. 3. Physical Layer Frame Format

스케줄 영역의 패킷 구조는 Fig. 4와 같다. 해당 프레임에서는 싱크 노드의 ID, 타임스탬프, 총 할당된 슬롯 수, 그 이후 데이터 영역의 순서에 따라, 스케줄 정보인 각 노드의 ID와 타임 슬롯 할당 여부를 보낸다. 프레임의 마지막 1바이트는 가드 인터벌이 된다.

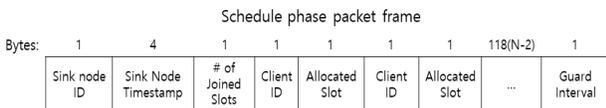


Fig. 4. Packet Structure for the Scheduling Phase

참가 영역과 데이터 영역의 패킷 구조는 Fig. 5와 같다. 참가 영역 프레임이 왼쪽 그림이고, 데이터 영역의 프레임이 오른쪽 그림이다. 참가 영역에서는 우선 순위 설정을 위한 영역, 요구하는 슬롯 개수로 구성되어 있다. 마찬가지로 프레임의 마지막 1 바이트는 가드 인터벌이 된다.



Fig. 5. Packet Format for the Join Phase(Left) and Data(Right)

데이터 영역에서는, MAC 프로토콜 설계 시 요구 조건에 따라서, 각 노드가 보낼 데이터 최대 50 바이트, 그 이후 가드 인터벌 1 바이트가 된다.

각 영역의 프레임에는 MAC 헤더가 추가된다. MAC header의 구조는 Fig. 6과 같다. 총 길이는 4바이트이고 패킷 길이, 송신 노드 id, 수신 노드 id, 메시지 타입, 우선순위 플래그 순으로 되어 있다. 메시지 타입은 각 영역별 메시지를 나타낸다. 따라서 3 bit로 설정하였고, 우선순위 플래그는 MAC 프로토콜 설계 시 요구 조건에 따라 응급 상황 등에 필요한 우선순위 설정을 통한 스케줄링이 가능하도록 설계했다. 또한, IEEE 802.15.6 표준에서도 UP (User Priority)를 정의하여 각 8개의 UP를 정의했기 때문에, 표준과 호환이 가능하다고 볼 수 있다.

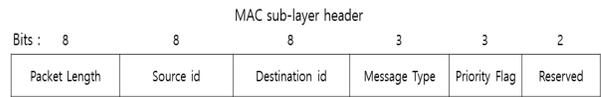


Fig. 6. MAC Header Frame Format

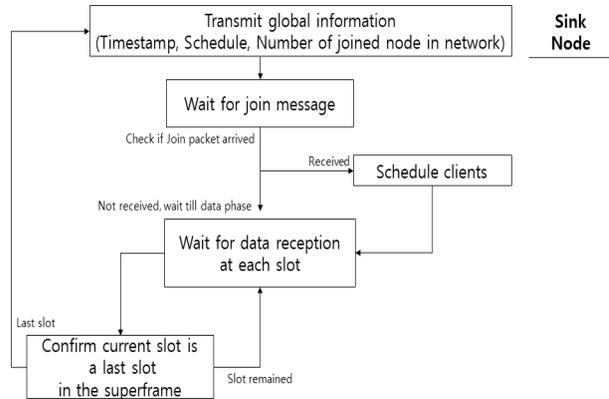


Fig. 7. State Diagram for the Sink Node

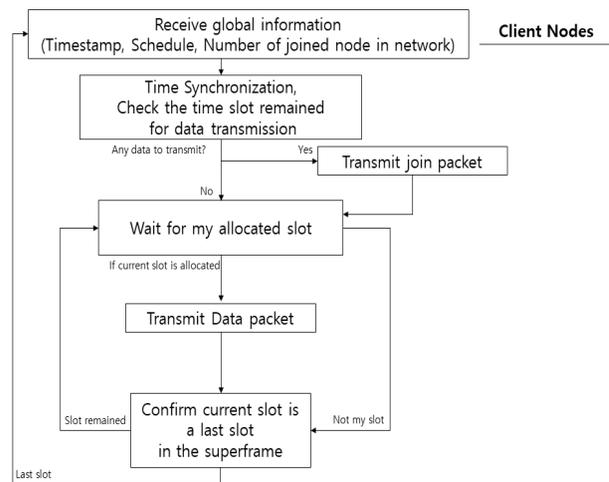


Fig. 8. State Diagram for the Client Nodes

3.3 MAC 동작

마지막으로, MAC 동작에 대해 설명한다. 슈퍼프레임 시작 시 스케줄 영역이 시작되고, 싱크 노드로부터 인체 영역 네트워크에 있는 모든 노드에게 스케줄 정보가 방송된다. 또한, 모든 노드들은 이 때 싱크 노드의 타임스탬프를 참조하여 동기화를 진행한다.

참가 영역에서는, 새롭게 데이터를 보내고자 하는 노드가 있을 때 싱크 노드에게 패킷을 보내 데이터 권한을 경쟁 방식을 통해 획득한다. 이때 경쟁 영역은 5개로 나뉘어 최대 5개의 노드가 하나의 슈퍼프레임 안에서 참가할 수 있다.

데이터 전송 영역에서는, 스케줄 영역에서 받은 스케줄 정보를 바탕으로 각 노드가 자신이 할당된 시간에 데이터를 전송한다. 각 영역에서 진행되는 싱크 노드와 클라이언트 노드들의 상태 다이어그램은 Fig. 7, 8과 같다.

4. 평가

4.1 실험환경

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜의 성능 평가를 위하여, Phang et al.[12]의 시분할 프로토콜 및 IEEE 802.15.6 HBC에서 정의된 Slotted Aloha 기반 표준 MAC 프로토콜과 제안 하는 MAC 프로토콜을 이벤트 기반 Java 시뮬레이터를 구현하여 시뮬레이션 상 비교를 진행했다. 해당 시뮬레이터는 랜덤한 네트워크 트래픽을 생성하고, 각기 다른 채널 손실율을 지정할 수 있다. 표준의 경우, 전송 속도 측면 및 지연시간 측면에서 최대 성능을 뽑기 위해 MAC command 영역을 모두 빼고, Random Access Phase1(RAP1)과 비컨 영역을 제외한 모든 영역은 제외했다. 또한 모든 프로토콜에 대해서, 노드 개수는 20개로 설정하고, 채널 전송속도는 1Mbps로 설정하였다.

Table 2. Parameters Used for the IEEE 802.15.6 Slotted Aloha, Phang et al. [12], and the Proposed Scheme. All Parameters Assume a 1Mbps Channel Throughput

	IEEE 802.15.6	Phang et al. [12]	Proposed
Slot time	6.01 ms	653 μ s	808 μ s
Number of time slots	20	Depends on data request	118
MAC payload length	255	16	50
Guard Interval	85 μ s	125 μ s	1 Byte
Transmission delay	2.48 ms	653 μ s	808 μ s
Ack delay	55 μ s	X	X
Beacon length	597 μ s	Max 653 μ s	2.344 ms
Superframe length	121ms	(5.88ms x number of data slots)/8	99.776 ms
Max Retransmissions	2(UP<5), else 4	none	none

성능 평가에서 비교할 기준은 Goodput과 듀티 사이클, 그리고 지연 시간으로 설정했다. Table 2에는 각기 다른 3개의 MAC 프로토콜의 MAC 매개변수가 명시되어 있다. IEEE 802.15.6 Slotted Aloha의 경우, 가드 인터벌은 표준에서 명시하는 클럭 드리프트 및 하드웨어에 대한 변수를 배제하고, 최소 가드 인터벌로 설정되어 있는 85 μ s로 선택하였고, 나머지 파라미터에 대해서는 모두 표준에 의거하여 설정하였다. Phang et al.[12]의 경우, 해당 연구에서 설정된 가드 인터벌이 25ms이고, 채널 전송 속도가 5kbps로 설정되어, 본 시뮬레이션 상 채널 전송 속도에 맞춰 가드 인터벌을 125 μ s로 설정하였고, 또한 나머지 파라미터도 이에 맞춰 설정하였다.

UP(User Priority)는 표준에서 제시하는 우선순위 기준이며 제안 기법 또한 이 기준을 따랐다. UP 별 전송 시도 확률은 Table 3에 명시되어 있다. 본 제안기법에서는 UP7의 경우, 참가 영역에 비하여 노드 개수가 많으므로, 확률이 1일 때 참가영역

Table 3. Contention Probability by Each User Priority(UP)

UP	Slotted Aloha		Proposed
	CPMax	CPmin	CPmin
User Priority0	1/8	1/16	1/16
User Priority1	1/8	3/32	3/32
User Priority2	1/4	3/32	3/32
User Priority3	1/4	1/8	1/8
User Priority4	3/8	1/8	1/8
User Priority5	3/8	3/16	3/16
User Priority6	1/2	3/16	3/16
User Priority7	1	1/4	1/4

에서 노드 간 전송 시 패킷 충돌이 지속적으로 일어나므로, 기아 현상을 막기 위해 CP(Contention Probability)min을 따랐다.

4.2 데이터 전송 속도 (Goodput)

우선 IEEE 802.15.6 Slotted Aloha 표준, Phang et al.[12], 제안 기법의 Goodput 비교를 진행했다. 각 프로토콜 별 Goodput은 Fig. 9-11에 보여진다.

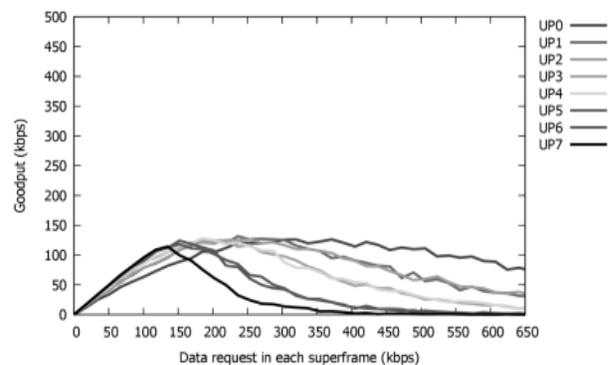


Fig. 9. Goodput for IEEE 802.15.6 Slotted Aloha with Different Data Requests

UP가 있는 표준과 제안 기법의 경우, 경쟁 방식이 적용되는 데이터 추가 전송으로 인하여 요구하는 데이터 전송량에 비해 Goodput의 증가량이 데이터 전송 요구량을 만족하지 못한다. 하지만, Phang et al.[12]의 경우, 약 180kbps까지는 요구하는 데이터 전송량까지 만족하지만, 그 이후 시분할 MAC 프로토콜 특성상 설계된 슈퍼프레임의 최대속도 이상의 데이터 전송이 불가능한 것으로 볼 수 있다.

UP0일 경우, 제안 기법 및 표준 MAC 프로토콜 모두 약 150kbps까지의 요구하는 데이터 전송량을 만족했으나 표준의 경우, Table 2의 MAC 파라미터로 봤을 때, 최대 330kbps의 전송속도를 가질 수 있으나 약 200kbps 데이터 전송 요구량부터 급격히 경쟁으로 인한 기아 현상이 발생하는 것을 볼 수 있다. 하지만, 제안 기법의 경우, 참가 슬롯 개수의 한계로 인하여 Goodput의 증가량이 더디지만 요구 데이터 속도가 약 1100kbps 정도에 도달했을 때, 슈퍼프레임의 최대 전송

속도인 473kbps를 만족한다. 이는 참가 슬롯 개수를 늘린다면 최대 전송 속도 측면에서는 손해를 보지만, 빠르게 제안 기법의 최대 전송속도를 가질 수 있게 된다고 볼 수 있다.

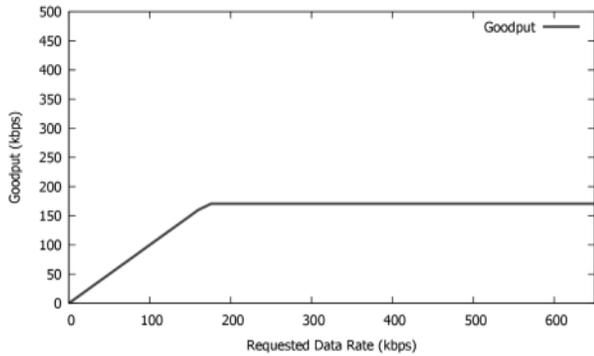


Fig. 10. Goodput for Phang et al.[12] with Different Data Requests

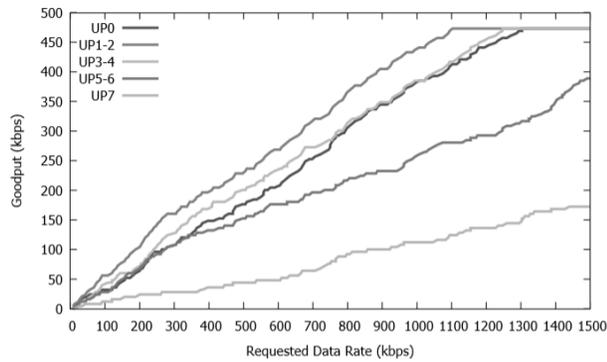


Fig. 11. Goodput for Proposed Scheme with Different Data Requests

4.3 듀티 사이클

무선 센서 네트워크와 마찬가지로 무선 인체영역 네트워크는 배터리 기반 동작 기기들이 대다수이기 때문에, 기기 동작 시간 측면에 있어 통신 시 각 기기의 듀티 사이클은 매우 중요한 요소이다. 듀티 사이클은 하나의 슈퍼프레임 내에서 노드가 동작하는 평균 시간의 비율을 나타낸다. 따라서, Goodput 뿐만 아니라, 듀티 사이클 측면에서도 성능 평가를 진행 했다. 각 프로토콜 별 듀티 사이클 결과는 Fig. 12-14와 같다.

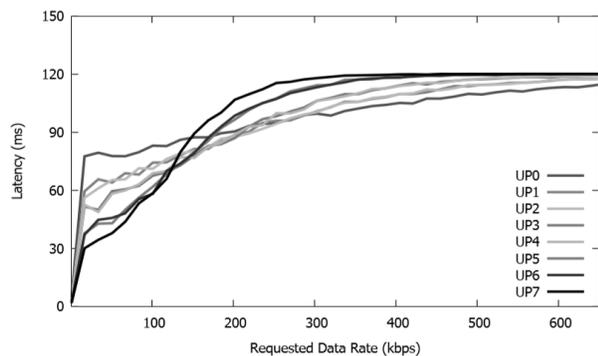


Fig. 12. Duty Cycle Results for IEEE 802.15.6 Slotted Aloha

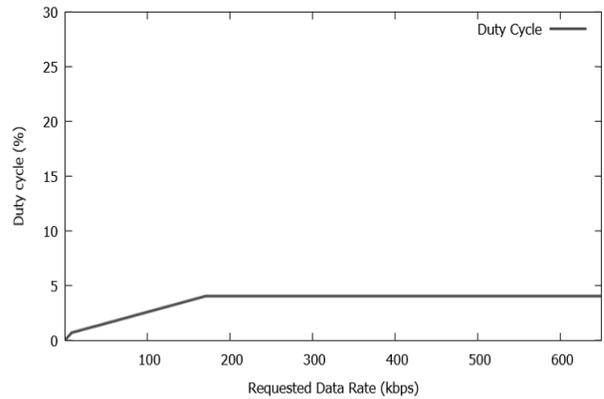


Fig. 13. Duty Cycle Results for Phang et al.[12]

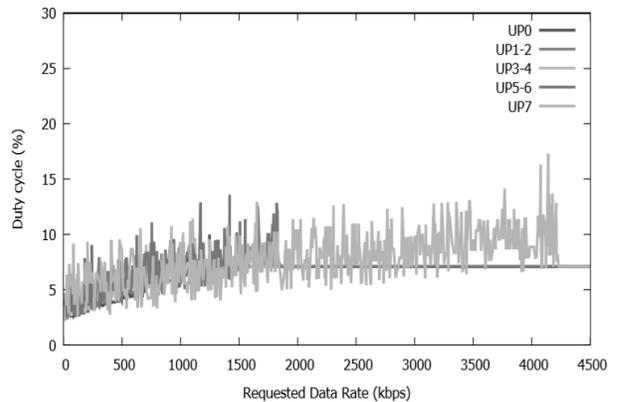


Fig. 14. Duty Cycle Results for the Proposed Scheme

결과로, 표준의 경우 UP0에서 최대 5% 정도의 듀티 사이클을 보였다. Phang et al.[12]의 경우, 약 ~4%의 듀티 사이클을 보였으며, 제안 기법의 경우, 노드 참가 시 경쟁 구간으로 인한 듀티 사이클 증가가 있으나 데이터 슬롯이 가득 차게 되면 약 7.07%의 듀티 사이클을 가진다. 이는 Goodput과 duty cycle을 같이 고려하면, 제안 기법의 듀티 사이클 성능이 인정할 수 있는 범위 내에 있다고 볼 수 있다.

4.4 지연시간

통신에 있어 지연시간 또한 다양한 응용 서비스 지원을 위해서 필요한 요소 중 하나이다. 다양한 응용 지원을 위하여 지연 속도는 짧아야만 한다. 이에 지연 시간 측면에서 인체영역 네트워크 내에 있는 노드 간 평균 지연시간을 계산하여 각 프로토콜을 비교했다. 지연 시간 계산은 패킷이 데이터 슬롯에 할당되지 않을 경우, 지연 시간을 계산하지 않았다. 분석 결과는 Fig. 15-17과 같다.

결과로, 제안 기법의 지연시간은 ~17ms에서 평균화 되었고, Phang et al.[12]는 요구 데이터양이 늘어날수록 증가하는 추세를 보였다. 표준의 경우, 슈퍼프레임 시작 시 모든 노드가 경쟁을 벌이고 경쟁 하지 않는 프레임만 전송하므로, 데이터 요구량이 늘어날수록 슈퍼프레임의 끝부분에 전송하는 추세를 보였다.

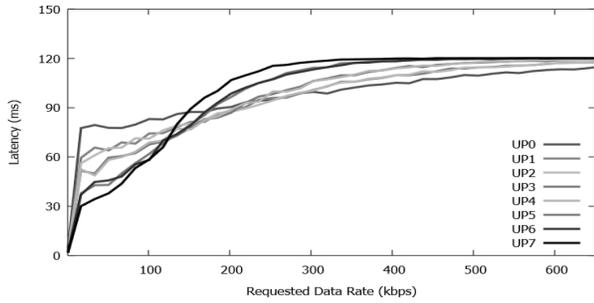


Fig. 15. Latency Result of IEEE 802.15.6 Slotted Aloha

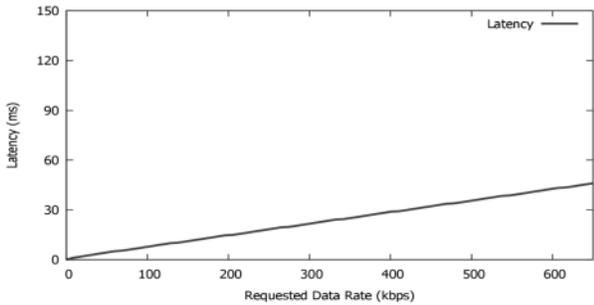


Fig. 16. Transmission Latency for Phang et al.[12]

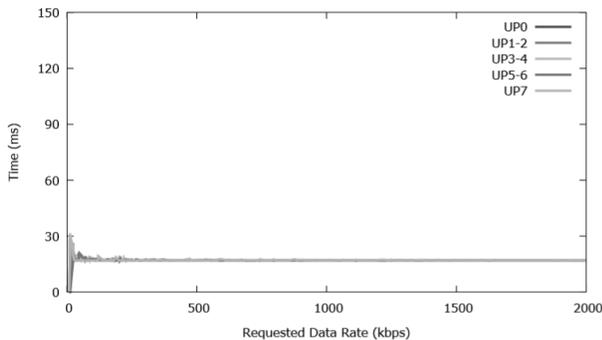


Fig. 17. Transmission Latency for the Proposed Scheme

4.5 가드 인터벌에 따른 MAC 프로토콜 성능 분석

가드 인터벌은 시분할 MAC 프로토콜의 성능에 영향을 주는 요소 중 가장 크다고 볼 수 있다. 더욱이, 슈퍼프레임내 슬롯 개수가 많으면 많을수록 성능에 영향을 크게 미친다. 본 제안기법은 1Mbps의 채널 전송 속도를 기준으로 설계했으나 인체 영역 네트워크의 최대 통신거리 및 전자기파 전파 속도를 고려하면, 1Byte의 가드 인터벌은 약 170Mbps까지 지원 가능하다. 따라서, 본 제안기법의 가드 인터벌을 조정하여 Goodput 성능을 분석했다. 최소 단위인 50ns부터 표준에 정의된 85μs까지 가드 인터벌 별 Goodput을 구했다. 결과는 Fig. 18과 같다.

최대 Goodput일 때는 가드 인터벌이 50ns이었을 때로, 약 477.8kbps이었다. 최소 Goodput은 가드 인터벌이 85μs이었을 때로, 431.4kbps이었다. 하지만, 수십 나노초 스케일의 가드 인터벌을 갖기 위해서는 고성능의 하드웨어를 요구하고, 1μs의 가드 인터벌일 때에 약 477.2kbps로, 하드웨어 비용을 고려했을 때, 적어도 1μs 이상의 가드 인터벌을 설정하는 것이

가장 효율적이라고 볼 수 있다. 또한, 1Mbps의 채널 전송 속도 상에서 표준과 같은 가드 인터벌 설정 시 Goodput의 감소가 수십kbps가 되기 때문에 채널 전송 속도 대비 Goodput 비율이 약 4.6% 떨어지게 되며, 이는 대역폭 효율성이 약 4.6%가 떨어진다고 볼 수 있다. 본 제안 기법에서 설정한 채널 전송 속도인 1Mbps 상에서 1Byte 가드 인터벌 설정은 8μs가 되며, 이는 가드 인터벌을 50ns로 설정할 경우 최고 성능인 477.8kbps에 비해 약 4.8kbps의 손실을 보여 채널 전송 속도 대비 Goodput 비율이 약 0.48% 떨어지게 되며, 적합한 가드 인터벌 설정이라고 볼 수 있다.

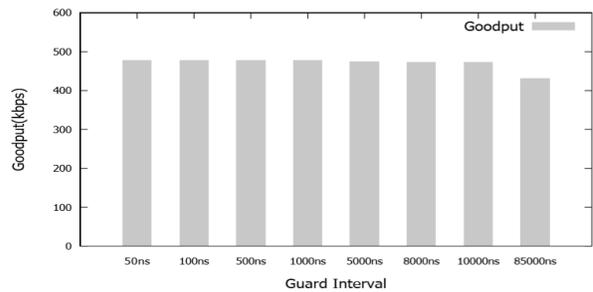


Fig. 18. Maximum Achieved Goodput for Varying Guard Intervals

5. 결 론

본 논문에서는 인체 통신 시 인체 채널 특성을 분석하고, 이에 따라 인체 통신을 위한 중앙 집중형 시분할 MAC 프로토콜을 설계하고 제안했다. 결과로, 인체 통신 표준인 IEEE 802.15.6에 비해 Goodput 성능에서는 약 300kbps의 향상이 있었고 듀티 사이클 측면에서는 2%의 증가가 있었으나, 이는 최대 Goodput을 고려하였을 때 성능을 인정할 수 있는 범위 내에 있다고 볼 수 있다. 본 연구로, 추후 높은 성능을 요구하는 인체 통신 기반 인체 영역 네트워크 상 많은 응용 서비스를 지원할 수 있을 것이다.

References

- [1] B. Latré, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia, and P. Demeester, "A survey on wireless body area networks," *Wireless Networks*, Vol.17, No.1, pp.1-18, 2011.
- [2] IEEE Standards Association, "IEEE standard for local and metropolitan area networks-part 15.6: wireless body area networks," IEEE standard, 2012.
- [3] F. R. Yazdi, M. Hosseinzadeh, and S. Jabbehdari, "A review of state-of-the-art on wireless body area networks," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol.8, No.11, pp.443-455, 2017.
- [4] G. Santagati, T. Melodia, L. Galluccio, and S. Palazzo, "Medium Access Control and Rate Adaptation for Ultrasonic Intra-Body Sensor Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking(TON)*, Vol.23, No.4, pp.1121-1134, 2015.

- [5] Korea National Radio Research Agency, Specific Absorption Rate (SAR) standard value [Internet], https://tra.go.kr/ko/license/D_b_benchmark.do
- [6] Atmel, "Atmel SAM R21E / SAM R21G SMART ARM-based Wireless Microcontroller datasheet," Jul. 2014, [Revised May. 2016]
- [7] Raspberry Pi Ltd., Raspberry Pi Compute Module 3+ Datasheet [Internet], https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/computemodule/datasheets/rpi_DATA_CM3_plus_1p0.pdf
- [8] T. G. Zimmerman, "Personal Area Networks: Near-field intrabody communication," *IBM Systems Journal*, Vol.35, No. 3.4, pp.609-617, 1996.
- [9] K. Hachisuka, A. Nakata, T. Takeda, K. Shiba, K. Sasaki, H. Hosaka, and K. Itao, "Development of wearable intra-body communication devices. Sensors and Actuators A: Physical," Vol.105, No.1, pp.109-115, 2003.
- [10] M. Seyedi, Z. Cai, and D. Lai, "Characterization of Signal Propagation through Limb Joints for Intrabody Communication," *International Journal of Biomaterials Research and Engineering*, Vol.1, No.2, pp.1-12, 2011.
- [11] G. E. Santagati, T. Melodia, L. Galluccio and S. Palazzo, "Ultrasonic networking for E-health applications," *IEEE Wireless Communications*, Vol.20, No.4, pp.74-81, 2013.
- [12] T. C. Phang, M. H. Mokhtar, M. N. Mokhtar, and F. Z. Rokhani, "Time-division multiple access based intra-body communication for wearable health tracker," in *2016 17th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED)*, Santa Clara, CA, 2016, pp.468-472.
- [13] S. Kim and J. Ko, "Analyzing Propagation Latency within Human Body for Intra-Body Communication Systems," in *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, Seoul, Korea, 2018, pp.34-35.
- [14] B. Otgonchimeg and Y. Kwon, "Emergency handling for MAC protocol in human body communication," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 2011, No.786903, pp.1-6, 2011.



김 승 민

<https://orcid.org/0000-0003-4853-9948>

e-mail : dhddlehd@ajou.ac.kr

2016년 아주대학교 정보컴퓨터공학부
(공학사)

2016년~현 재 아주대학교 컴퓨터공학과
석·박사통합과정

관심분야: 무선 통신, 웨어러블 시스템, 인체 통신



박 종 성

<https://orcid.org/0000-0001-6996-2476>

e-mail : jspark61@add.re.kr

1984년 해군사관학교(공학사)

2005년 아주대학교 정보통신대학원(석사)

2014년 한국해양대학교 전과공학(박사)

2015년~현 재 국방과학연구소 책임연구원

관심분야: 무선 통신, 무선 네트워크



고 정 길

<https://orcid.org/0000-0003-0799-4039>

e-mail : jgko@ajou.ac.kr

2007년 고려대학교 컴퓨터학과(공학사)

2012년 Johns Hopkins University
컴퓨터과학과(공학박사)

2012년~2015년 한국전자통신연구원
선임연구원

2015년~현 재 아주대학교 소프트웨어학과 조교수

관심분야: 모바일 컴퓨팅, 임베디드 시스템