

논문 2017-54-2-3

WBAN 환경에서 효율적 데이터 전송을 위한 매체 접근 스케줄링 기법

(The Medium Access Scheduling Scheme for Efficient Data
Transmission in Wireless Body Area Network)

장은미*, 박태신*, 김진혁*, 최상방**

(EunMee Jang, TaeShin Park, JinHyuk Kim, and SangBang Choi[©])

요약

무선 인체 영역 네트워크 표준인 IEEE 802.15.6은 의료 데이터뿐만 아니라 신체활동, 스트리밍, 멀티미디어 게임과 같은 생체정보 및 엔터테인먼트 등의 비-의료 데이터를 함께 전송하는 것을 목표로 한다. 이러한 데이터의 전송을 수행하는 서비스들은 매우 다양한 데이터 전송률을 가지며 공유 전송 매체에 접근하는 간격 및 연속적으로 접근하는 횟수의 분포가 다양하게 나타난다. 서로 다른 전송률을 가진 다수의 노드가 공유 전송 매체에 접근할 때 효율적인 충돌 방지 및 전송 매체 할당을 수행해야 한다. IEEE 802.15.6 표준의 CSMA/CA 매체 접근 제어 방법은 공유 매체에 접근을 분산시키고 충돌을 회피하기 위해 부가적인 제어 패킷을 전송하며, 전송 대기 상태의 센서 노드도 채널의 상태를 계속 확인한다. 이는 추가적인 오버헤드 발생으로 인한 에너지 비효율적인 측면을 보인다. 이러한 단점은 무선 인체 영역 네트워크의 저전력, 저 계산비용 요구사항과 상충하며, 효율적인 무선 인체 영역 네트워크 운용을 위해서는 이러한 오버헤드를 최소화하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 각 센서 노드가 생성하는 데이터양에 따라 공유 전송 매체에 접근하는 시간 간격을 조절하여 전송을 시도하는 매체 접근 스케줄링 기법과 데이터 우선순위로 인한 전송 양보가 발생한 센서 노드의 우선순위를 다음 전송 성공 시까지 일시적으로 조절하여 공정성을 보장하는 우선순위 조절 알고리즘을 제안한다.

Abstract

IEEE 802.15.6 standard, a Wireless Body Area Network, aims to transfer not only medical data but also non-medical data, such as physical activity, streaming, multimedia game, living information, and entertainment. Services which transfer those data have very various data rates, intervals and frequencies of continuous access to a medium. Therefore, an efficient anti-collision operations and medium assigning operation have to be carried out when multiple nodes with different data rates are accessing shared medium. IEEE 802.15.6 standard for CSMA/CA medium access control method distributes access to the shared medium, transmits a control packet to avoid collision and checks status of the channel. This method is energy inefficient and causes overhead. These disadvantages conflict with the low power, low cost calculation requirement of wireless body area network, shall minimize such overhead for efficient wireless body area network operations. Therefore, in this paper, we propose a medium access scheduling scheme, which adjusts the time interval for accessing to the shared transmission medium according to the amount of data for generating respective sensor node, and a priority control algorithm, which temporarily adjusts the priority of the sensor node that causes transmission concession due to the data priority until next successful transmission to ensure fairness.

Keywords : WBAN, CSMA/CA, random access scheduling

* 학생회원, ** 평생회원, 인하대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering, Inha University)

© Corresponding Author(E-mail: sangbang@inha.ac.kr)

* 이 논문은 2010년도 정부(교육부)의 재원으로 한국
연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임
(2010-0020163)

Received : October 4, 2016 Revised : January 7, 2017

Accepted : February 3, 2017

I. 서론

스마트폰을 포함한 스마트 디바이스의 급속한 확산 및 ICT 기술의 발전에 따라 다양한 기능을 갖춘 센서를 이용한 무선 센서 네트워크의 구현이 보편화 되었다. 무선 센서 네트워크는 생활환경에서 발생하는 이벤트들

을 감지하여 네트워크를 통해 수집 및 처리하는 방식에 기반을 두고 있다. 이러한 기술 발전에 힘입어 생활공간에서 필요로 하는 모든 사물에 전자 태그를 부착하고 이를 통해 사물의 기본적인 인식정보는 물론, 환경정보(오염정보, 온도, 습도, 균열정보 등)까지 탐지하여 이를 네트워크에 연결하고 관리하는 기술과 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그리고 블루투스, 지그비, IEEE 802.15.4 등의 관련 산업 및 기술 표준을 제정하여 많은 서비스를 제공하고 있다.

특히, 의료 서비스 및 개인화 서비스의 부각으로 인해 생활방식과 생체정보를 이용한 편의 서비스 및 멀티미디어 서비스에 대한 요구 증가에 따라 IEEE에서는 인체 주변의 3m~5m 이내의 센서 장치들로 구성된 새로운 무선 네트워크인 무선 인체 영역 네트워크(IEEE 802.15.6 wireless body area networks)에 대한 표준을 제정하였다. 무선 인체 영역 네트워크는 개인이 착용하는 옷이나 인체 내부 및 주변의 다양한 장치들이 서로 통신할 수 있는 무선 네트워크로 인체를 중심으로 한 센서 장치 간의 통신을 지원하는 네트워크이다. 무선 인체 영역 네트워크는 인체 주변의 센서를 이용하여 웨어러블 컴퓨팅, 헬스 케어, 환자 모니터링 등 다양한 분야에 활용할 수 있다^{1~8)}.

IEEE 802.15.6 표준은 인체 주변의 정보를 처리하는 다양한 어플리케이션을 수용하는 것을 목표로 하고 있으며, 이에 대한 요구사항을 명시하고 있다. 의료용 서비스에서 뇌파 측정, 무선 내시경 등의 정보를 처리하는 어플리케이션들은 높은 전송속도와 짧은 전송 지연시간을 요구하며 혈당, 온도, 혈압 측정의 경우 전송속도는 낮지만 짧은 전송 지연시간을 요구한다. 비-의료용 서비스인 음성, 영상 서비스의 경우 높은 전송속도와 듀티 사이클을 요구하며 실시간 스트리밍 서비스의 경우 짧은 전송 지연시간을 요구한다^{9~11)}. 무선 네트워크를 구성함에 있어 전력소비, 전송률, 전송 지연시간 등의 요구사항을 반영하기 위해서는 요구사항에 알맞은 매체 접근 제어(media access control) 기법을 적용하는 것이 중요하다. IEEE 802.15.6 표준이 지원하는 MAC은 슈퍼프레임 구조를 갖는 비컨 모드, 슈퍼프레임 구조를 갖는 비-비컨모드, 슈퍼프레임 구조를 사용하지 않는 비-비컨 모드의 3가지 모드를 지원한다. 슈퍼프레임 구조를 갖는 비컨 모드에서 슈퍼프레임은 비컨(beacon), 경쟁 접근구간(CAP), 임의 접근구간(RAP), 배타 접근구간(EAP), 관리 접근구간(MAP)으로 구성된다¹²⁾. 경쟁 접근구간, 임의 접근구간, 배타 접근구간은

랜덤 접근방식을 지원하는 구간이며, 관리 접근구간의 경우 주기적인 데이터를 위한 계획적 접근과 비-주기적인 데이터를 위한 비-계획적 폴링 및 포스팅 방식을 지원한다. 배타 접근구간은 중요하거나 긴급한 데이터의 전송 시 사용하는 구간이며, 임의 접근구간과 경쟁 접근구간은 네트워크 내의 모든 센서 노드가 접근할 수 있는 구간이다. 관리 접근구간의 경우 불규칙한 채널 접근에 대해 대비하여야 하므로 이 구간을 이용하기 위해서는 센서 노드가 항상 활성 상태를 유지해야 한다. 슈퍼프레임 안의 모든 구간은 비컨을 이용하여 조절 가능한 가변 길이를 갖는다. 그러나 배타 접근구간 및 관리 접근구간은 센서 노드들의 매체 접근이 제한적이며, 경쟁 접근구간은 추가적인 데이터 전송이 필요할 때 부가적인 정보를 가진 제어 패킷인 비컨 2의 전송에 의해서만 생성할 수 있다. 따라서 다른 접근구간의 조절보다는 임의 접근구간을 조절 하는 것이 확장성이 좋고 복잡도가 적기 때문에 성능 향상에 용이하다.

본 논문에서는 전송 충돌을 방지하면서 전송대기 상태 센서 노드의 연속된 채널 유휴 상태 감지로 인한 오버헤드를 최소화하여 네트워크의 에너지 효율을 증가시킬 수 있는 혼잡 트래픽 환경을 위한 트래픽 적응형 전송 스케줄링 기법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 이루어져 있다. II장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 적용 배경이 되는 무선 인체 영역 네트워크에 대해서 설명하고 III장에서는 본 논문에서 제안하는 다양한 종류의 장치들로 구성된 무선 인체 영역 네트워크에서 효율적 데이터 전송을 위한 매체 접근 스케줄링 기법을 제안한다. IV장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대한 성능 평가 및 분석 결과를 보여주고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 배 경

1. IEEE 802.15.6 표준

IEEE 802.15.6 표준은 혈당, 뇌파, 심전도, 근전도, 심박수, 체온 등 사람의 생체 신호를 측정하여 무선으로 전송하거나 체내 장치를 구동시키는 장치뿐만 아니라 각종 운동 기기로부터 측정된 사용자의 운동정보, 수면 패턴, 음성이나 영상 데이터를 전송하는 장치까지 다양한 서비스를 제공하는 장치들을 하나의 네트워크로 형성할 수 있으며 이렇게 다양한 장치들을 이용하여 복합적인 서비스를 가능하게 한다.

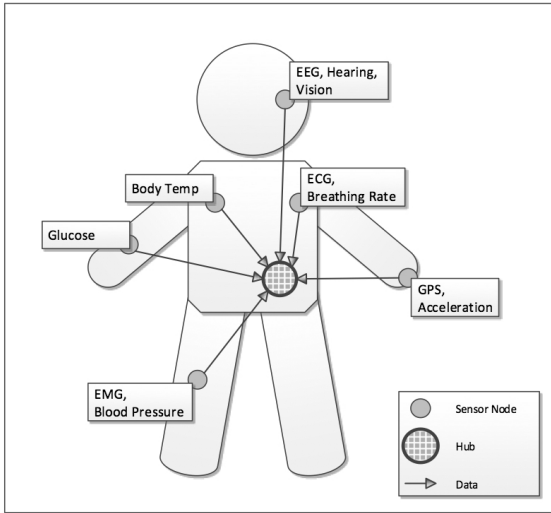


그림 1. 무선 인체 영역 네트워크 구성 예
Fig. 1. An example of a wireless body area network.

그림 1은 무선 인체 영역 네트워크 구성의 예를 보여 준다. 무선 인체 영역 네트워크를 구성하는 장치는 인체 주변 3m 이내의 네트워크 구성을 담당하고 센서 노드로부터 자료를 수집하는 허브, 비-의료 서비스를 제공하는 장치 및 의료 서비스를 위해 신체 내부에 이식되거나 외부에 부착된 센서 노드 등의 장치가 있다. 무선 인체 영역 네트워크를 구성하는 장치의 서비스 범위는 매우 다양하기 때문에 IEEE 802.15.6 표준에서는 네트워크의 기술 요구사항 및 의료장치, 비-의료 장치의 최소 요구사항을 명시하고 있으며 이것을 표 1에 나타내었다.

표 1. IEEE 802.15.6 표준 서비스 장치 요구사항
Table1. Requirements for devices that meet the IEEE 802.15.6 standard.

| Application | Target data rate | Latency | BER |
|--------------------------|-----------------------|----------|-------------------|
| drug delivery | < 16 kbps | <250 ms | 10 ⁻¹⁰ |
| Deep brain stimulation | < 320 kbps | < 250 ms | 10 ⁻¹⁰ |
| Capsule endoscope | 1 Mbps | - | 10 ⁻¹⁰ |
| ECG | 192 kbps | < 250 ms | 10 ⁻¹⁰ |
| EEG | 86.4 kbps | < 250 ms | 10 ⁻¹⁰ |
| EMG | 1536 kbps | < 250 ms | 10 ⁻¹⁰ |
| Glucose level monitor | < 1 kbps | < 250 ms | 10 ⁻¹⁰ |
| Audio | 1 Mbps | < 20 ms | 10 ⁻⁵ |
| Video/Medical monitoring | < 10 Mbps | < 100 ms | 10 ⁻³ |
| Voice | 50~1000 kbps per flow | < 10 ms | 10 ⁻³ |

무선 인체 영역 네트워크는 신체 내부에 이식되어 배터리를 사용하는 센서 및 휴대 장치를 사용하므로 저전력 소비가 중요하다. 예를 들어 심장에 부착하여 심장

박동 신호를 허브로 전달하고 위급 상황 시 작동하는 삽입형 제세동기(implantable cardioverter defibrillator)의 경우 최소 몇 개월에서 최대 10년 정도의 대기 시간을 지원하면서 연속 동작시간이 적어도 12시간 보장되어야 하며, 일반적인 비-의료 서비스 장치의 경우에도 100~200시간의 대기시간을 지원해야 한다.

저전력 동작을 보장하기 위해서 가장 보편적인 방법은 네트워크 내의 센서 및 구동체의 듀티 사이클을 조정하는 것이다. 장치의 듀티 사이클이 낮을수록 장치의 활성화 시간이 적기 때문에 센서 노드의 에너지 소모는 적어진다. 하지만 앞서 기술한 삽입형 제세동기 같은 서비스의 경우 지연시간에 매우 민감하기 때문에 듀티 사이클을 최대한 낮추면 제대로 된 서비스의 QoS를 보장하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 또한 각 노드의 CPU나 메모리 같은 시스템 자원을 최대한 활용하면 네트워크 내의 처리량(throughput)은 향상되지만 전력소비 역시 증가하게 된다. 따라서 효율적인 무선 인체 영역 네트워크 설계를 위해서는 이러한 트레이드-오프 관계를 고려해야 한다^[12~16].

2. IEEE 802.15.6 표준 매체 접근 제어 기법

IEEE 802.15.6 표준의 랜덤 액세스 방식에는 Slotted ALOHA 방식과 CSMA/CA 방식이 사용되며 센서 노드가 전송하는 트래픽이 낮은 전송 지연 시간을 필요로 하는 경우에는 전송 매커니즘이 간결한 Slotted ALOHA 방식을, 전송 매체에 접근하는 간격 및 연속적으로 접근하는 횟수의 분포가 다양하게 나타나는 경우 CSMA/CA 방식을 주로 사용한다. 또한 랜덤 액세스 방식을 이용하여 채널 점유 및 데이터 전송 시 우선순위 보장을 위하여 미리 정의된 사용자 우선순위에 따라서 랜덤 액세스에 사용되는 매개변수를 조절한다. CSMA/CA 방식의 경우 표 2와 같이 CW_{max}와 CW_{min} 사이의 경쟁 윈도우(CW) 값으로 채널접근 우선순위를 보장한다.

IEEE 802.15.6 표준의 CSMA/CA 동작 방식은 다른 무선 통신 표준(WLANs, WPANs)에서 사용하는 CSMA/CA 방법과 구분되는 몇 가지 특징이 있다. IEEE 802.15.6 표준의 CSMA/CA는 매체 접근에 실패한 후, 경쟁 윈도우의 크기를 증가시킨다. 또한 경쟁 윈도우 매개변수로부터 임의의 대기 시간을 정하기 위한 백오프 카운터를 설정하는 방법이 다른 표준에서의 방법과 차이가 있으며 현재 임의 접근구간에서 데이터 전송을 완전히 끝낼 만큼 충분한 시간이 남아있지 않다면 노드는 백오프 카운터의 감소를 일시 중지한다. 또한, 긴급 데이터의 전

송을 보장하기 위해 배타 접근구간에서는 사용자 우선 순위가 7보다 낮은 노드들은 백오프 카운터를 감소시키지 않는다.

표 2. 경쟁 윈도우 및 확률 임계치
Table2. Bounds for contention window and contention probability.

| User Priority | CW_{min} | CW_{max} |
|---------------|------------|------------|
| 0 | 16 | 64 |
| 1 | 16 | 32 |
| 2 | 8 | 32 |
| 3 | 8 | 16 |
| 4 | 4 | 16 |
| 5 | 4 | 8 |
| 6 | 2 | 8 |
| 7 | 1 | 4 |

그림 2는 사용자 우선순위 3을 갖는 데이터의 CSMA/CA 전송 예를 나타낸다. 노드가 전송해야 하는 데이터가 있는 경우 경쟁 윈도우 값을 우선순위에 따른 초기 값 $CW=CW_{min}[3]=8$ 으로 초기화 한 후 백오프 카운터 값을 $[1,CW]$ 사이의 임의의 선택된 정수 4로 설정한다. 백오프 카운터 값을 결정한 뒤에는 전송 채널을 사용할 수 있는지 여부를 가리기 위해 SIFS 시간만큼 CCA를 수행한다. CCA 시간 동안에 백오프 카운터의 값은 변경하지 않으며 CCA 수행 후 전송 가능한 경우에는 이후 CSMA/CA 슬롯마다 채널의 상태를 검사한다. 만약 전송 채널이 유휴 상태이면, 노드는 백오프 카운터의 값을 하나 감소시키며, 혼잡 상태일 경우에는 백오프 카운터는 감소되지 않는다.

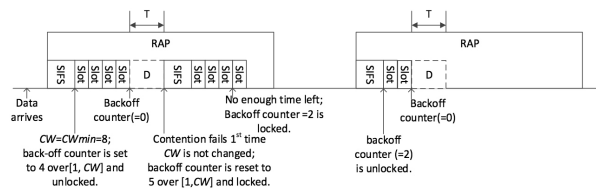


그림 2. IEEE 802.15.6 표준 CSMA/CA 전송 방식의 예
Fig. 2. An example of CSMA/CA transmission in the IEEE 802.15.6 standard.

그림 2에서 첫 번째 전송시도까지 CSMA/CA 슬롯은 유휴 상태로 유지되었기 때문에 4번의 CSMA/CA 슬롯 후 백오프 카운터는 0으로 값이 변경되었고 데이터 전송을 시도하는 것을 확인할 수 있다. 노드의 전송시도에서 전송 실패가 발생한 경우 노드는 재전송 횟수가

홀수인지 짝수인지를 확인한다. 첫 번째 전송 실패 시 노드의 재전송 횟수가 홀수이기 때문에 노드는 CW 값을 현재 경쟁 윈도우 값인 8에서 변경하지 않으며, 재전송을 위하여 $[1,CW]$ 사이에서 임의로 선택된 정수 5를 새로운 백오프 카운터 값으로 설정한다. 재전송 데이터 전송을 시도하기 위하여 센서 노드는 다시 SIFS 시간만큼 CCA를 수행하며, 매 CSMA/CA 슬롯마다 채널의 상태를 검사하여 전송 채널이 비어있을 경우 백오프 카운터를 감소시킨다. 두 번째 전송시도의 경우 백오프 카운터의 값은 5로 결정되었기 때문에 5개의 비어있는 CSMA/CA 슬롯 이후에 노드는 전송이 가능하다. 하지만 4번째 CSMA/CA 슬롯이 시작될 때, 남아있는 임의 접근구간의 길이가 현재 노드가 전송하려고 하는 데이터 프레임의 전송하는데 소요되는 시간보다 작으므로 백오프 카운터는 현재의 값인 2로 고정되며 이후 CSMA/CA 슬롯에서는 채널을 감시하지 않는다. 이후 다음 번 임의 접근구간에서 데이터 전송을 시도하기 위해 CCA를 수행 후 두 번의 유휴 상태인 CSMA/CA 슬롯기간 만큼 지난 후 데이터 전송을 시도한다. 이후의 전송은 위와 같은 방식을 반복하여 수행한다.

CSMA/CA 전송방식은 노드가 전송해야 하는 데이터가 존재할 경우 전송시도를 위하여 채널의 유휴 상태를 계속해서 확인하여 전송을 시도하는 방식이다. 따라서 비-계획적인 임의의 시간에 생성되는 데이터를 효율적으로 보낼 수 있지만, 전송을 시도하려는 경우 계속해서 채널의 상태를 파악해야하기 때문에 에너지 소모가 많아지는 단점이 있다.

III. 우선순위 보장 및 에너지 효율 향상을 위한 매체 접근 스케줄링 기법

효율적인 무선 인체 영역 네트워크 운용을 위해서는 전송을 위한 매체 접근에 소모되는 오버헤드를 최소화하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 각 센서 노드가 생성하는 데이터의 양에 따라 공유 전송 매체에 접근하는 시간 간격을 조절하여 전송을 시도함으로써 전송대기 상태의 센서 노드의 연속적인 채널 상태 확인을 줄이는 매체 접근 스케줄링 기법을 제안한다.

제안하는 매체 접근 스케줄링 기법은 임의 접근구간의 시작 시점에서 다수의 노드가 동시에 전송 매체에 접근하는 것을 방지하기 위해 임의의 전송 시작슬롯을 결정하는 매체 접근 간격 계산 및 전송 시작 슬롯 결정 알고리즘과 에너지 효율을 보장하면서 효과적으로 경쟁

기반의 랜덤 액세스 충돌을 줄이기 위한 충돌 회피 알고리즘으로 구성된다.

1. 매체 접근 간격 계산 및 전송 시작 슬롯 결정 알고리즘

센서 노드는 슈퍼프레임의 시작 부분에서 비컨을 수신하면 버퍼에 존재하는 전송해야 하는 데이터양을 이용하여 전송에 필요한 CSMA/CA 슬롯 수를 계산하여 임의의 접근구간에서의 매체 접근 간격을 계산한다. 여기서 CSMA/CA 전송 슬롯의 길이는 네트워크 구성 설정에 따라 달라질 수 있으며, 하나의 CSMA/CA 전송 슬롯에서 전송 가능한 데이터는 현재 채널의 전송률 R 과 하나의 CSMA/CA 슬롯의 길이 t_{slot} 의 곱으로 계산된다. 하나의 CSMA/CA 전송 슬롯에서 전송 가능한 데이터의 양을 계산한 이후에 센서 노드는 현재 버퍼에 존재하는 데이터양과 하나의 CSMA/CA 슬롯에서 전송 가능한 데이터양을 이용하여 자신이 가지고 있는 데이터를 모두 전송하기 위해 필요한 CSMA/CA 슬롯 수를 결정한다.

센서 노드는 전송에 필요한 CSMA/CA 슬롯 수 N_i 가 결정되면 이를 이용하여 자신의 매체 접근 간격 T_i 를 결정하게 된다. 만약 N_i 가 최대로 전송 가능한 슬롯 수 N_{max} 보다 작은 경우, 노드는 계산에 의해 자신의 매체 접근 간격 T_i 를 결정한다. T_i 는 임의의 접근구간의 길이 N_{RAP} 를 N_i 로 나눈 값을 이용하여 결정하게 된다. 만약 계산된 N_i 가 최댓값 N_{max} 보다 클 경우 T_i 는 최소 매체 접근 간격인 T_{min} 으로 설정한다. 최대로 전송 가능한 슬롯 수 N_{max} 와 최소 매체 접근 간격인 T_{min} 은 네트워크를 구성할 때 센서 노드의 공평성 및 QoS를 제어하기 위해 사용할 수 있다. 본 논문에서는 최대 전송 가능한 슬롯 수 N_{max} 를 임의의 접근 구간의 길이인 N_{RAP} 로 설정하였고 최소 매체 접근 간격인 T_{min} 을 한 슬롯으로 설정하여 전송 공평성 보다는 최대 채널 효율을 고려하였다.

매체 접근 간격 계산 알고리즘으로 센서 노드의 듀티 사이클을 조절하여 전송 매체 접근을 시도하였을 경우 같은 데이터 전송량을 갖는 노드의 경우 동일한 전송 간격을 갖게 되어 주기적인 충돌이 발생한다. 이는 중복되는 주기를 갖는 노드들의 정상적인 전송이 되지 않음을 의미한다. 또한, 슈퍼프레임의 시작 시점에서 비컨을 수신하였을 때, 임의의 접근구간에서의 매체 접근 횟수를 결정하기 때문에 이후에 생성된 데이터는 다음 번 슈퍼프레임의 임의의 접근구간 시작 시점에서 매체 접근을 동시에 시도하여 충돌 확률이 높아진다. 따라서 본

논문에서 제안하는 전송 데이터양에 따른 매체 접근 스케줄링 기법은 각 센서 노드의 채널 상태 확인 시점을 분배하여 네트워크 내의 센서 노드들의 전송 충돌을 방지하기 위해서 각 센서 노드들이 자신의 매체 접근 간격 내에서 난수 값을 가지는 임의의 슬롯을 선택하여 전송 시작 슬롯을 결정하는 방법을 사용한다. 그림 3은 매체 접근 간격 계산 알고리즘의 의사코드를 나타낸다.

When a node receives a beacon packet, this procedure is performed on each node i before RAP period starts.

- 1 Calculate the amount of data that can be transmitted in a CSMA/CA slot by multiplying data rate and slot duration
 $S_{slot} = R \times t_{slot}$
- 2 Calculate the number of slots needed to transmit data by dividing buffered data by the amount of data that can be transmitted in a CSMA/CA slot
 $N_i = \lceil B_i / S_{slot} \rceil$
- 3 Calculate medium access period T_i by using the number of RAP slots N_{RAP} and the number of slots to transmit N_i
 $T_i = \lceil N_{RAP} / N_i \rceil$
- 4 **if** $N_i \geq N_{max}$ **then**
- 5 Medium access period $T_i = \max(T_i, T_{min})$
- 6 **end if**
- 7 Set the initial sleep period by choosing a value in the range of $[L, T_i]$

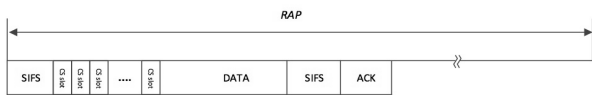
그림 3. 매체 접근 간격 계산 알고리즘

Fig. 3. An algorithm of medium access period calculation.

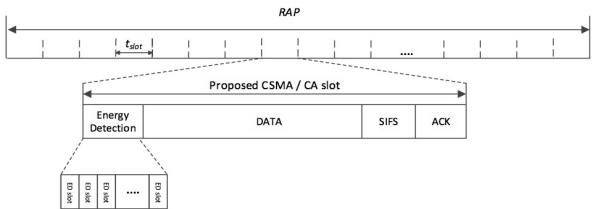
2. 데이터 전송보장을 위한 충돌 회피 및 우선순위 조절 알고리즘

본 논문에서 제안하는 매체 접근 스케줄링 기법은 에너지 효율 향상을 위해 자신이 전송해야 하는 데이터의 양에 따라 매체 접근 간격을 조절한다.

연속적으로 비어있는 슬롯을 확인해야 하는 IEEE 802.15.6 표준 방식의 경쟁 윈도우를 적용할 경우에 전송 지연시간이 너무 길어져 데이터의 전송을 보장하지 못할 수 있다. 따라서 매체 접근 스케줄링 기법의 에너지 효율을 보장하면서 효과적으로 경쟁 기반의 랜덤 액세스 충돌을 줄이기 위해서, 기존의 CSMA/CA 슬롯을 수정하여 캐리어 센싱을 통한 CCA 구간을 에너지 검출 구간으로 대체하여 사용하는 충돌 회피방법을 제안한다. 에너지 검출 방식은 캐리어 센싱 방식에 비해 무선 샘플을 수신하여 디코딩하지 않고 단순히 그 순간의 신호 강도만을 측정하기 때문에 에너지 검출방식이 간



(a) IEEE 802.15.6 표준 충돌 회피 구조



(b) 제안하는 CSMA/CA 슬롯을 이용한 충돌 회피 구조

그림 4. IEEE 802.15.6 표준과 제안하는 방식의 충돌 회피 구조 비교

Fig. 4. The comparison between IEEE 802.15.6 and proposed CA structure.

단하며 빠르게 채널의 유휴 상태를 파악하기에도 적절하다. IEEE 802.15.6 표준의 충돌 회피 방법과 본 논문에서 제안하는 충돌 회피 방법의 비교를 위해 그림 4에 IEEE 802.15.6 표준의 충돌 회피 구조와 제안하는 알고리즘에서 사용하는 CSMA/CA 전송 슬롯을 나타내었다. IEEE 802.15.6 표준과 제안하는 알고리즘은 일반적인 시분할 매체 접근 방법과 유사하게 매체 접근 관리를 위해 미리 정의한 SIFS, CS slot, ED slot을 이용하여 매체 접근 분배를 수행하여 충돌을 방지한다.

IEEE 802.15.6 표준은 임의 접근구간을 나누지 않고 각 센서 노드가 전송을 시도하기 전에 전송매체의 상태를 확인하는 방법을 사용한다. 각 센서 노드는 자신이 전송하려는 데이터가 있을 때 SIFS 시간만큼 캐리어 센싱을 이용하여 CCA를 수행한 후 사용자 우선순위에 따라 정해진 경쟁 윈도우 범위에서 선택한 임의의 수만큼의 CS slot이 유휴 상태로 확인되면 데이터 전송을 시작한다. 이에 반해 본 논문에서 제안하는 매체 접근 스케줄링 기법은 각 센서 노드가 자신이 결정한 매체 접근 간격마다 전송 매체에 접근하므로 임의 접근구간을 일정한 길이 t_{slot} 를 가지는 전송 슬롯으로 나누어 사용한다.

본 논문에서 제안하는 전송 슬롯은 전송매체의 상태를 파악하기 위한 에너지 검출 구간, 노드가 데이터를 송신하는 데이터 전송구간, 응답확인 전송을 위한 ACK 구간, 노드의 데이터 전송 후 허브로부터 응답까지 소요되는 최소 응답시간인 SIFS 구간으로 구성된다. 에너지 검출 구간은 데이터의 사용자 우선순위에 따라 구간의 길이가 결정되며 우선순위가 높은 데이터는 짧은 에너지 검출구간을 가지며 우선순위가 낮은 데이터는 긴

에너지 검출구간을 갖는다. 따라서 우선순위가 낮은 데이터를 전송 하려는 노드는 우선순위가 높은 데이터를 전송하는 노드에 비해 늦게 에너지 검출을 시도하게 되고 만약 우선순위가 높은 데이터와 우선순위가 낮은 데이터가 동시에 하나의 비어있는 CSMA/CA 슬롯에서 전송을 시도하려고 하였을 때, 우선순위가 높은 데이터가 채널의 상태를 다른 우선순위 데이터를 전송하는 노드보다 먼저 확인하여 에너지 검출 및 전송을 시도하게 되며 우선순위가 낮은 데이터를 전송하려는 노드는 에너지 검출로 인해 채널의 선점을 인지하게 되어 전송을 포기한다.

표 3은 제안하는 매체 접근 스케줄링 기법에서 사용하는 사용자 우선순위 정의에 따른 트래픽 분류와 에너지 검출 대기 윈도우의 최솟값 및 최댓값을 나타낸다.

표 3. 제안하는 에너지 검출 대기 윈도우 임계값
Table3. Proposed bounds for energy detection window.

| User Priority | ED_{min} | ED_{max} |
|---------------|------------|------------|
| 2~0 | 8 | 16 |
| 3 | 4 | 8 |
| 4 | 2 | 8 |
| 5 | 2 | 4 |
| 6 | 1 | 4 |
| 7 | 0 | 2 |

본 논문에서는 $[CW_{min}, CW_{max}]$ 범위에서 임의로 선택된 백오프 카운터 값으로 연속된 유휴 슬롯을 대기하는 IEEE 802.15.6 표준의 CSMA/CA 방식을 변형하여 하나의 CSMA/CA 슬롯 내의 CCA 구간을 여러 개의 미니 슬롯으로 나눈 후 에너지 검출 대기 윈도우를 이용하여 전송 시도 시점을 결정하는 방법을 사용한다. 전송 시도 시점이란, 데이터 전송을 수행하려는 노드가 에너지 검출을 수행한 후 전송을 시도하게 되는 시점을 의미하며 전송 슬롯의 시작 지점에서 에너지 검출 윈도우 범위에서 선택된 임의의 백오프 카운터 개수만큼의 ED slot이 지난 후를 의미한다. 사용자 우선순위에 따라 에너지 검출구간에서 전송 시도 시점의 범위 $[ED_{min}, ED_{max}]$ 를 다르게 설정하였다. 에너지 검출 방식은 프레임 수신하여 매체 점유시간을 계산하는 캐리어 센싱 방법에 비해 매체 점유시간을 계산하지는 못하지만 현재 캐리어 센싱 방법에 비해 1/8의 시간으로 경쟁 접근 채널의 상태를 빠르게 파악할 수 있기 때문에 단위 CSMA/CA 슬롯 내의 부분 구간에 적용하기에 적합한 특성을 보인다. 또한, 다른 노드의 전송이 없더라도 주

변 영향으로 인해 잡음으로 인한 에너지가 검출될 때에도 네트워크 내의 노드 데이터 전송을 방지하여 주변 잡음으로 인한 충돌 역시 회피할 수 있다. 본 논문에서 정의한 에너지 검출 대기 윈도우 임계값은 IEEE 802.15.6 표준의 사용자 우선순위에 따라 정의한 경쟁 윈도우 임계값 범위를 적용하였을 때 각 센서 노드가 매체 접근 시도 전에 백오프 알고리즘을 이용하여 대기하는 시간의 평균값과 비례하게 정의하였으며 tED는 에너지 검출에 소요되는 단위 시간으로 ED slot의 길이를 의미한다.

그림 5는 사용자 우선순위에 따른 에너지 검출구간 조절의 예를 보여준다.

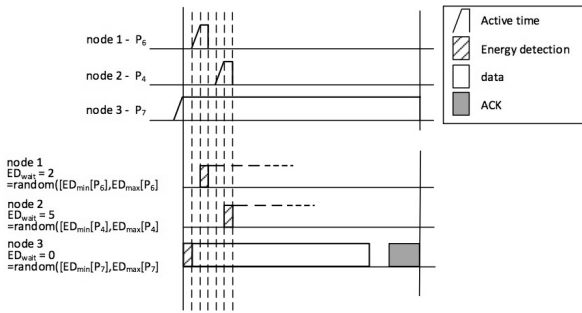


그림 5. 사용자 우선순위에 따른 에너지 검출 구간 조절 예
 Fig. 5. An example of energy detection period adjustment according to user priority.

그림 4에 나타내었듯이 IEEE 802.15.6 표준의 CSMA/CA는 경쟁 윈도우를 통한 충돌 회피를 수행한다. 전송할 데이터를 가진 각각의 센서 노드는 매체 접근 시도 전에 백오프 카운터를 이용한 유희 슬롯수를 계산하여 충돌회피를 수행하고 데이터 전송 후 응답 메시지의 수신을 통해 데이터 전송 성공 여부에 따라 경쟁 윈도우의 크기를 조절하여 다음 전송 시도 시 전송 우선순위를 변경하는 방법을 사용한다. 본 논문에서는 기존의 캐리어 센싱 방법 대신 에너지 검출 방식을 사용하므로 본 논문에서 제안하는 CSMA/CA 슬롯 구조 내의 에너지 검출 대기 윈도우의 크기를 조절하는 방식을 사용한다. 그림 6은 본 논문에서 제안하는 전송 데이터양에 따른 매체 접근 스케줄링을 위한 충돌 회피 기법을 사용하였을 때 전송 우선순위를 보장을 위해 에너지 검출 대기 윈도우를 조절하는 흐름을 나타낸다.

센서 노드가 우선순위를 높이는 상황은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 자신이 전송하려고 하는 슬롯에서 전송을 시도하였지만 충돌이 발생하여 전송에

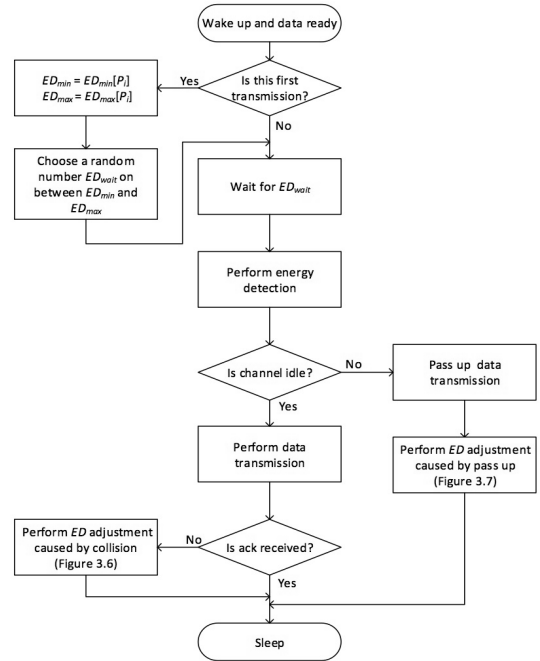


그림 6. 전송 데이터양에 따른 매체 접근 스케줄링을 위한 충돌 회피 기법의 흐름도
 Fig. 6. A flowchart describing a collision avoidance mechanism for the proposed medium access scheduling.

실패한 경우, 두 번째는 자신이 전송하려고 하는 슬롯에서 에너지 검출을 수행하여 경쟁 채널의 상태를 확인한 결과 이미 다른 노드가 데이터를 전송하고 있어 매체 접근을 포기하는 경우이다. 그림 7과 그림 8은 각각 충돌 및 매체 접근 포기로 인한 에너지 검출 대기 윈도우 조절에 대한 흐름을 나타낸다. 센서 노드의 데이터 전송이 처음 시도되는 경우 센서 노드는 자신의 사용자 우선순위 P_i 에 따라 $[ED_{min}[P_i], ED_{max}[P_i]]$ 범위 내에서 임의의 에너지 검출 대기 시간을 결정한다. 사용자 우선순위 P_7 을 갖는 센서 노드가 전송 시도 후 충돌이 발생하거나 양보한 경우에는 자신의 에너지 검출 대기 시간 ED_{wait} 을 1씩 감소시킨다. 사용자 우선순위 P_6 또는 P_5 를 갖는 센서 노드가 의료 데이터 및 중요 데이터의 전송을 시도하려 하였으나 다른 노드에게 매체 접근을 양보한 경우 다음 전송 시 자신의 사용자 우선순위 P_i 에 맞게 $[ED_{min}[P_i], ED_{max}[P_i]]$ 범위에서 에너지 검출 대기 시간을 결정한다. 만일, 사용자 우선순위 P_6 또는 P_5 를 갖는 센서 노드가 의료 데이터 및 중요 데이터의 전송 시도 후 다른 노드와 충돌이 발생하였을 경우 다음 전송 시 $[ED_{min}[P_5], ED_{max}[P_6]]$ 범위 내에서 임의의 에너지 검출 대기 시간을 결정한다. 사용자 우선순위 P_4 또는 P_3 를 갖는 센서 노드가 전송을 시도하려 하였으나

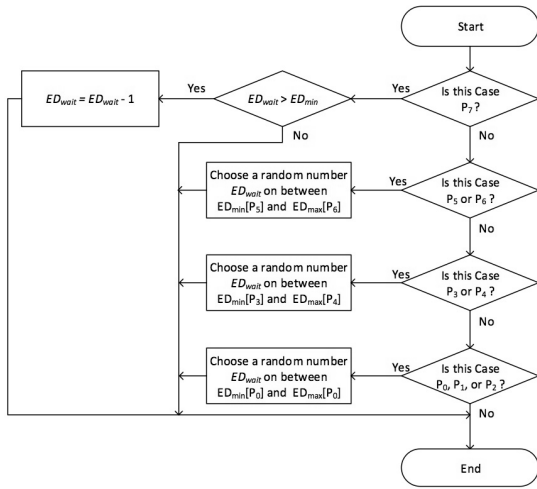


그림 7. 전송 충돌로 인한 에너지 검출 대기 윈도우 조절의 흐름도

Fig. 7. A flowchart for proposed energy detection period adjustment caused by transmission collision.

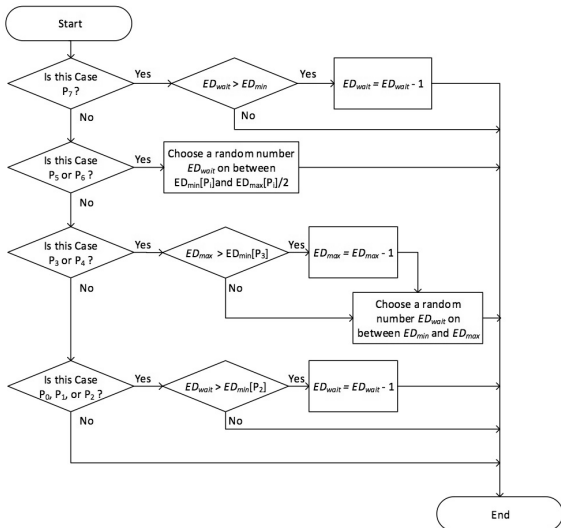


그림 8. 전송 포기로 인한 에너지 검출 대기 윈도우 조절의 흐름도

Fig. 8. A flowchart for proposed energy detection period adjustment caused by transmission pass-up.

다른 노드에게 매체 접근을 양보한 경우 다음 전송 시 자신의 사용자 우선순위 P_i 에 맞게 $ED_{max}[P_i]$ 값을 1씩 감소시켜 다음 전송 시 $[ED_{min}[P_i], ED_{max}[P_i]]$ 범위 내에서 임의의 에너지 검출 대기 시간을 결정한다. 만약 감소시킨 $ED_{max}[P_i]$ 값이 $ED_{min}[P_3]$ 에 도달하면 더 이상 감소시키지 않는다. 사용자 우선순위 P_4 또는 P_3 를 갖는 센서 노드가 다른 노드와 충돌이 발생하였을 경우 다음 전송 시 $[ED_{min}[P_3], ED_{max}[P_4]]$ 범위 내에서 임의의 에너지 검출 대기 시간을 결정한다. 사용자 우선순위 P_2 에서 P_0 를 갖는 센서 노드가 다른 노드에게

매체 접근을 양보한 경우 에너지 검출 대기 시간을 1씩 감소시킨다. 만약 감소시킨 에너지 검출 대기 시간이 $ED_{min}[P_2]$ 에 도달하면 더 이상 감소시키지 않는다. 사용자 우선순위 P_2 에서 P_0 를 갖는 센서 노드가 다른 노드와 충돌이 발생하였을 경우 다음 전송 시 $[ED_{min}[P_0], ED_{max}[P_0]]$ 범위 내에서 임의의 에너지 검출 대기 시간을 결정한다.

우선순위 7의 응급 데이터는 네트워크 내의 다른 어떠한 데이터보다 적은 지연시간 및 신뢰성 있는 전송을 요구한다. 따라서 데이터 전송 시 충돌이 일어나거나 다른 응급 데이터에게 현재 전송 슬롯을 양보한 경우 다음 전송시도에서 반드시 전송이 이루어져야 한다. 따라서 응급 데이터 전송 실패 시에는 에너지 검출 대기 시간을 1씩 감소시켜 다른 노드들 보다 전송 우선권을 보장한다.

매체 접근 양보 시에는 이미 한 번의 전송 기회를 놓쳤기 때문에 매체 접근 간격만큼 전송 지연이 발생한 상태이다. 따라서 데이터 전송을 양보한 노드는 에너지 검출 대기 윈도우의 범위를 줄여 전송 확률을 높이는 방법을 사용하며, 우선순위에 따라 에너지 검출 대기 윈도우의 최댓값을 조정하거나 에너지 검출 대기 시간을 단위시간만큼씩 줄여 전송 공정성을 보장할 수 있도록 하였다.

IV. 성능 평가 및 분석

본 논문에서 제안하는 매체 접근 스케줄링 기법의 성능 평가를 위해서 OMNeT++ 기반의 Castalia 시뮬레이터를 이용하였으며, 기존의 센서 네트워크에서 많이 사용하는 IEEE 802.15.4 MAC 및 IEEE 802.15.6 표준 MAC과 비교하여 노드 수 및 데이터 전송량에 따른 전송 채널 효율과 중단 간 전송 지연시간을 비교하였다^[17].

각 상황마다 120초의 시뮬레이션 시간 동안의 실험을 10번 반복 실험하여 평균결과를 얻었으며 표 4에 성능 평가에 사용된 환경을 요약해서 나타내었다.

1. 전송 채널 효율 비교

전송 채널의 효율성을 비교하기 위해 중단 어플리케이션간의 전송률인 goodput을 먼저 비교하였다. goodput은 네트워크 성능 측정에 많이 사용되는 일종의 throughput으로 단순히 네트워크로 전송한 총량을 계산하는 것이 아니라 프로토콜 오버헤드 및 재전송으로 인한 영향을 제거하여 실제 어플리케이션의 의미 있

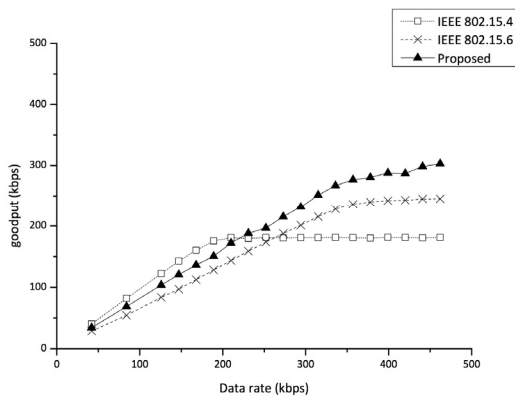
표 4. 트래픽 적응형 전송 스케줄링 성능 평가 환경
Table4. A performance evaluation environment for the traffic adaptive transmission scheduling.

| Description | Value |
|-----------------------------|--|
| Topology | Start-shape |
| Number of medical nodes | 1 Glucose level monitor 1 Drug delivery |
| Number of non-medical nodes | 3, 8, 13, 18 |
| Channel Bandwidth | 485.7 kbps |
| Data transmission rate | 17.640 kbps(medical) variable (non-medical) |
| Slot duration | 10 ms |
| Experiment duration(sec) | 120 sec |
| Number of experiments | 10 |

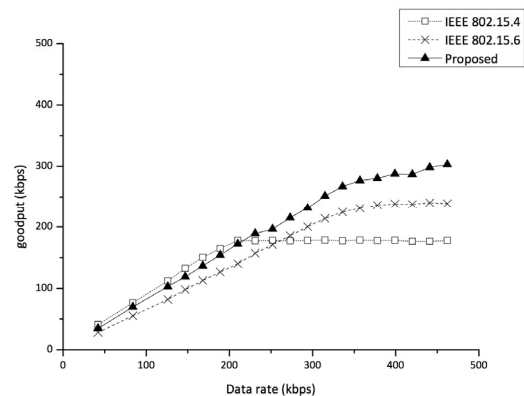
는 전송량을 나타내는 지표가 된다.

그림 9는 네트워크 내의 노드의 수 및 각 센서 노드의 전송량 증가에 따른 goodput을 보여준다. 네트워크 내의 노드의 수를 5, 10, 15, 20개로 증가시켰을 때 네트워크 내의 총 전송량이 294 kbps인 경우 제안한 알고리즘의 goodput이 IEEE 802.15.4와 비교하면 각각 28%,

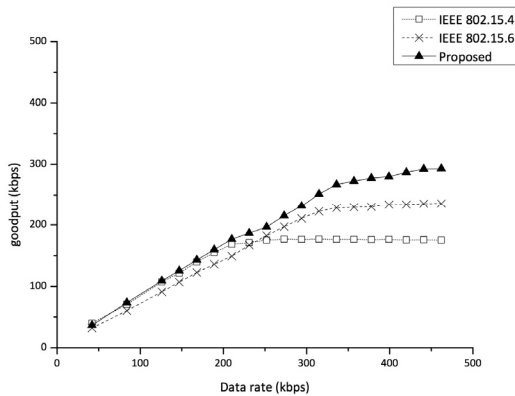
30.3%, 31.3%, 38.8% 증가하였고, IEEE 802.15.6과 비교하면 각각 15.1%, 15.6%, 15.5%, 15.7% 증가하였다. 또한 네트워크 내의 총 전송량이 420 kbps 인 경우 제안한 알고리즘의 goodput이 IEEE 802.15.4에 비해 58.6%, 62.6%, 63.5%, 66.2% 증가하였고, IEEE 802.15.6 대비 18.1%, 20.7%, 22.7%, 26.2% 증가하였다. 데이터 전송률이 200 kbps 이하에서는 IEEE 802.15.4 표준 MAC이 제안한 알고리즘과 IEEE 802.15.6 표준 방식에 비해 goodput이 더 좋게 나타나는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 IEEE 802.15.4 표준의 경우 우선순위에 상관없이 모든 노드가 동일한 지수적 백오프 알고리즘을 사용하고, IEEE 802.15.6 방식 및 제안한 알고리즘은 우선순위에 따라 경쟁 윈도우 및 에너지 검출 대기 윈도우 기반의 매체 접근을 시도하기 때문이다. 우선순위에 상관없이 모든 노드가 동등한 조건에서 랜덤한 시간동안 기다렸다가 전송하는 IEEE 802.15.4 방식의 경우 전송 채널에 부하가 없을 경우 유휴 전송 슬롯을 동등한 조건에서 접근하기 때문에 유휴 전송 슬롯이 많은 경우 전송



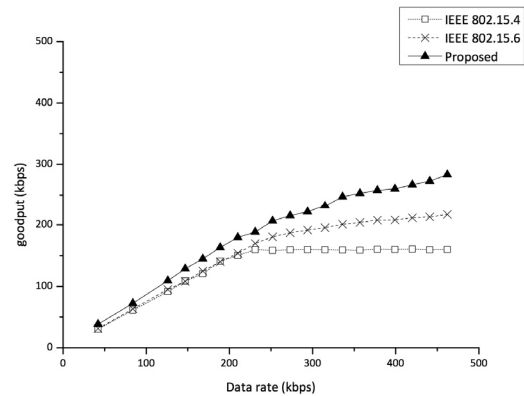
(a) $N = 5$



(b) $N = 10$



(c) $N = 15$



(d) $N = 20$

그림 9. 트래픽 적응형 전송 스케줄링 성능평가를 위한 데이터 전송량에 따른 goodput 비교

Fig. 9. The comparison of the average goodput with respect to data transmission rate for the performance evaluation of the traffic adaptive transmission scheduling.

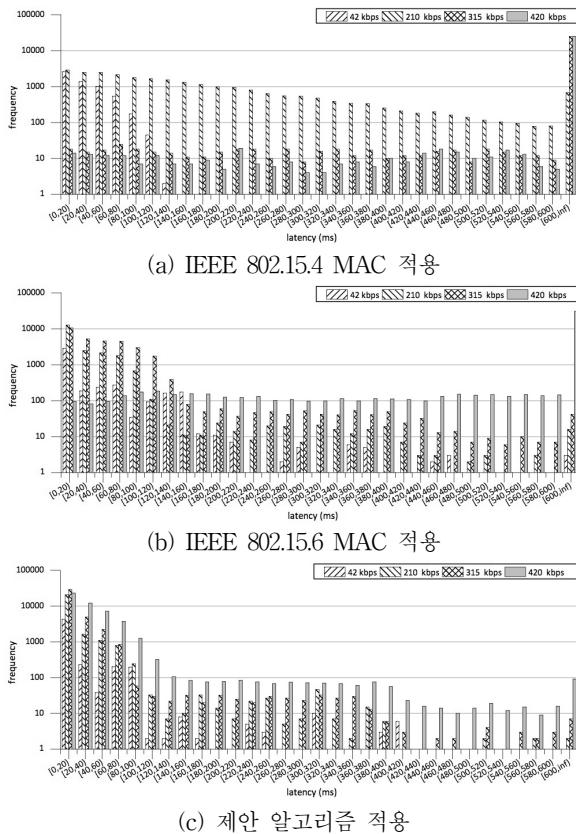


그림 10. 트래픽 적응형 전송 스케줄링 성능평가를 환경에서의 전송 지연 히스토그램 (N = 15)

Fig. 10. Histograms of transmission latencies evaluating the performance of the traffic adaptive transmission scheduling (N = 15).

을 시도하는 모든 노드가 원활히 전송을 마친다. 그에 반해 우선순위에 따라 전송을 시도하는 IEEE 802.15.6 방식이나 제안된 방식의 경우 우선순위가 낮은 비-의료 노드들이 낮은 채널 접근 확률을 갖기 때문에 전송 채널에 부하가 없음에도 불구하고 우선순위가 높은 노드들에게 전송을 양보하게 되는 경우가 발생하게 된다.

하지만 200 kbps 이상의 데이터 전송률을 보일 때 IEEE 802.15.4 방식의 경우 goodput이 증가하지 않고 포화되는 것을 확인할 수 있는데 이는 IEEE 802.15.4의 경우 전송 시도 횟수가 증가할수록 모든 노드가 동일하게 지수적 백오프 알고리즘을 사용하게 되면 연속적인 충돌로 인하여 전송 효율이 하락하기 때문이다. 그에 반해 IEEE 802.15.6 방식이나 제안한 알고리즘의 경우 일단 우선순위가 높은 노드들이 전송을 시도하게 되고 먼저 성공한 노드들은 새로운 전송 데이터가 생성될 때까지 매체 접근을 시도하지 않기 때문에 IEEE 802.15.4 MAC 보다 높은 데이터 전송률에서 포화상태에 도달한다. 네트워크 내에서 전송을 시도하는 노드들의 수가

점점 많아질수록 모든 전송 방식의 goodput이 낮아지는데, 특히 IEEE 802.15.4의 경우 전송 노드가 15개 이상일 때부터 급격하게 전송 효율이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 전체 슈퍼프레임을 16개의 전송 슬롯으로 나누어 전송 노드들에게 접근을 허용하는 IEEE 802.15.4 방식의 특성 때문에 나타나는 현상이다. 물론 성능 비교를 위하여 하나의 전송 슬롯의 길이와 슈퍼프레임에서 경쟁 접근구간의 길이를 세 방식 모두 동일하게 맞추었지만 IEEE 802.15.6과 제안된 방식은 전송 매체에 접근하는 것을 우선순위에 따라 동적으로 조절하기 때문에 IEEE 802.15.4 방식보다 더 효율적으로 채널을 사용한다. 또한 제안한 알고리즘의 경우 CCA를 사용하지 않아 임의시간만큼 대기하지 않으며 한 전송 슬롯 안의 작은 에너지 검출시간만 대기하면 되므로 전송 충돌 횟수가 IEEE 802.15.6 보다 적어 더 좋은 goodput을 보이는 것을 확인할 수 있으며 우선순위에 따라 전송을 양보하고 다음 전송까지 대기하는 시간이 적기 때문에 더 많은 접근 시도가 가능하여 더 높은 전송률에서 전송 포화점을 갖는다.

2. 종단 간 전송 지연시간 비교

본 절에서는 제안한 알고리즘의 전송 지연시간을 비교하기 위하여 시뮬레이션 환경 하에서 데이터 전송률을 42 kbps 에서 420 kbps 까지 변화 시키면서 종단 어플리케이션간 발생하는 지연시간을 IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, 제안 알고리즘에 각각 적용하여 비교하였다. 우선 전체 패킷지연의 분포를 그림 10에 전체 패킷 지연시간을 히스토그램으로 나타내었다.

IEEE 802.15.4 방식의 경우 데이터 전송률이 42 kbps 로 적을 경우에는 0 ~ 140 ms까지의 전송 지연을 갖지만 210, 315, 420 kbps의 경우 분포가 고르게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 특히 600 ms 이상의 전송 지연을 갖는 패킷의 전송이 600 ms 이하의 전송 지연을 갖는 패킷의 전송보다 100 ~ 1000배 정도로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 전송률이 적을 때는 비교적 작은 전송 지연시간을 갖지만 앞에서 살펴본 것과 같이 200 ~ 300 kbps 이상의 트래픽이 네트워크에 인가되면 전송 충돌이 선형적으로 증가하고 충돌로 인한 재전송이 많아지기 때문에 긴 전송 지연을 갖게 된다. 이렇게 지연시간이 분포될 경우 평균 250 ms 이하의 지연시간을 요구사항으로 갖는 의료 서비스 센서 노드의 서비스는 거의 불가능하며 일반 비-의료 데이터를 전송하는 센서 노드의 전송 역시 보장할 수 없다.

IEEE 802.15.6 표준 방식의 경우에는 IEEE 802.15.4 방식 보다는 600 ms 이상의 전송 지연이 줄었지만 데이터 전송률이 높아짐에 따라 다수의 센서 노드에서 600 ms 이상의 전송 지연 현상을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하였을 때 600 ms 이상의 지연은 100 회 미만으로 줄어드는 것을 확인할 수 있으며, 400 ms 이상의 전송 지연 현상이 거의 발생하지 않는다. 420 kbps의 데이터 전송률 하에서 400 ms 이상의 전송 지연을 갖는 패킷의 전송은 제안한 알고리즘에 비해 IEEE 802.15.4 방식과 IEEE 802.15.6 방식이 각각 872, 634 배 많이 발생하였다. 제안한 알고리즘을 사용하였을 경우 우선순위가 같은 데이터들이라 할지라도 전송 양보 또는 전송 충돌로 인한 우선순위 보상으로 인한 전송 보장이 가능하기 때문에 전체 노드의 전송 지연 현상을 줄일 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존 CSMA/CA 방법의 에너지 비효율을 개선하는 방법을 제안하였다. CSMA/CA는 공유 전송 매체에 접근을 분산시키고 충돌을 회피하기 위하여 전송대기 상태의 센서 노드가 채널의 상태를 계속 확인한다. 이는 전송과 관계가 없는 에너지 소모가 발생한다. 이를 개선하기 위하여 센서 노드의 공유 전송 매체에 접근하는 시간 간격을 센서 노드에서 생성하는 데이터양에 따라 조절할 수 있도록 하여 전송대기 상태의 센서 노드가 연속된 채널 상태 확인을 줄일 수 있도록 하였다.

제안하는 방법을 적용한 네트워크 내의 센서 노드는 자신이 전송하는 데이터 전송률에 맞게 경쟁 매체에 접근하기 때문에 채널 확인 시 부가적인 비용이 발생하는 기존 방법보다 전송 성공률을 26.2% 증가시켰으며 600ms 이상의 긴 전송 지연을 갖는 패킷의 전송을 100 배 감소시킨 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 알고리즘들은 단일 홉 구조의 무선 인체 영역 네트워크 환경을 가정하였다. 향후 무선 네트워크 서비스의 발전에 맞추어 복잡한 네트워크 토폴로지를 갖는 서비스들이 증가한다면 이러한 서비스들을 위한 다중 홉 환경에 적합한 알고리즘으로 확장하여 적용할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] C. A. Chin, G. V. Crosby, T. Ghosh, and R. Murimi, "Advances and Challenges of Wireless Body Area Networks for Healthcare Applications," in Proc. of International Conf. on Computing, Networking and Communications, pp. 99-103, January 2012.
- [2] K. S. Kwak, S. Ullah, and N. Ullah, "An Overview of IEEE 802.15.6 Standard," in Proc. of International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, pp. 1-6, November 2010.
- [3] D. Campolo, "Wireless Body Area Network (WBAN) for Medical Applications," New Developments in Biomedical Engineering, In Tech, 2010.
- [4] N. Bradai, S. Belhaj, L. Chaari, and L. Kamoun, "Study of Medium Access Mechanisms under IEEE 802.15.6 Standard," in Proc. of Wireless and Mobile Networking Conf., pp. 1-6, October 2011.
- [5] H. Li, K. Takizawa, and R. Kohno, "Trends and Standardization of Body Area Network (BAN) for Medical Healthcare," in Proc. of European Conference on Wireless Technology, pp. 1-4, October 2008.
- [6] A. Reichman, "Standardization of Body Area Networks," in Proc. of IEEE International Conf. on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems, pp. 1-4, November 2009.
- [7] H. Cao, V. Leung, C. Chow, and H. Chan, "Enabling Technologies for Wireless Body Area Networks: A Survey and Outlook," IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 12, pp. 84-93, December 2009.
- [8] M. A. Hanson, H. C. Powell Jr., A. T. Barth, K. Ringgenberg, B. H. Calhoun, J. H. Aylor, and J. Lach, "Body Area Sensor Networks - Challenges and Opportunities," Computer, vol. 42, no. 1, pp. 58-65, January 2009.
- [9] B. Latre, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia, and P. Demeester, "A Survey on Wireless Body Area Networks," Journal of Wireless Networks, vol. 17, no. 1, pp. 1-18, January 2011.
- [10] W. S. Choi and J. G. Kim, "A Study for Co-channel Interference Cancellation Algorithm with Channel Estimation for WBAN System Application," The Journal of Korea Information and Communications Society, vol. 37, no. 6, pp. 476-482, June 2012.

- [11] J. Y. Khan, M. R. Yuce, and G. Bulger, "Wireless Body Area Network (WBAN) Design Techniques and Performance Evaluation," *Journal of Medical Systems*, vol. 36, no. 3, pp. 1441-1457, June 2012.
- [12] G. Fang and E. Dutkiewicz, "Body MAC : Energy Efficient TDMA-based MAC Protocol for Wireless Body Area Networks," in *Proc. of International Symposium on Communications and Information Technology*, pp. 1455-1459, September 2009.
- [13] B. Otal and L. Alonso, "Towards an Energy Saving MAC for Wireless Body Sensor Networks," in *Proc. of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops*, pp. 1-6, June 2009.
- [14] V. Karira, S. Kharidehal, and D. Das, "Selective Multicast Protocol for Wireless Body Area Networks (W-BAN) for Power Conservation," in *Proc. of Annual IEEE India Conf.*, pp. 1-4, December 2009.
- [15] J.S. Yoon, G.S. Ahn, S.S. Joo, and M.J. Lee, "PNP-MAC : Preemptive slot allocation and Non-Preemptive transmission for Providing QoS in Body Area Networks," in *Proc. of IEEE Consumer Communications and Networking Conf.*, pp. 1-5, January 2010.
- [16] O. Walker, M. Tummala, and J. McEachen, "Performance Analysis of Slotted ALOHA with Periodic Server Vacations for Energy-efficient Medium Access," in *conference record of the Forty-Third Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, pp. 429-433, November 2009.
- [17] A. Varga, "The OMNeT++ Discrete Event Simulation System," in *proceedings of the European simulation multiconference*, vol.9, no. S185, pp. 64-71, June 2001.

저 자 소 개



장 은 미(학생회원)
2002년 인하대학교 전자전기컴퓨터
공학부 학사 졸업.
2005년 인하대학교 정보·컴퓨터교
육학과 석사 졸업.
2010년~현재 인하대학교 전자공학
과 박사과정.

<주관심분야: 컴퓨터 구조, 네트워크, 무선 센서
네트워크>



박 태 신(학생회원)
2015년 인하대학교 전자공학과 학사
졸업.
2016년~현재 인하대학교 전자공학
과 석사과정.
<주관심분야: 컴퓨터 구조, SoC,
무선 센서 네트워크>



김 진 혁(학생회원)
2009년 인하대학교 전자공학과 학
사 졸업.
2011년 인하대학교 전자공학과 석
사 졸업.
2016년 인하대학교 박사 졸업.

<주관심분야: 멀티미디어 통신, 무선 통신, 컴퓨터
네트워크, 병렬 및 분산 컴퓨팅>



최 상 방(평생회원)
1981년 한양대학교 전자공학과 학사
졸업.
1981년~1986년 LG 정보통신(주).
1988년 University of washinton
석사 졸업.

1990년 University of washinton 박사 졸업.
1991년~현재 인하대학교 전자공학과 교수
<주관심분야: 컴퓨터 구조, 컴퓨터 네트워크, 무선
통신, 병렬 및 분산 처리 시스템>