

WBAN 환경을 위한 단일 라디오 멀티 채널 맥 프로토콜

조건륜[○] 조진성

경희대학교 컴퓨터공학과

whrjsfbs@khu.ac.kr chojs@khu.ac.kr

A Single Radio Multi-Channel MAC Protocol in WBAN Environment

Kunryun Cho[○] Jinsung Cho

Department of Computer Engineering

KyungHee University

요 약

WBAN (Wireless Body Area Network)은 인체 내부, 피부표면, 인체를 중심으로 3-5m 범위 안에 존재하는 인체외부에 위치한 장치들간의 통신을 정의한다. WBAN은 의료용 서비스 제공을 목표로 하기 때문에 낮은 전송지연이 요구된다. 한편, WSN (Wireless Sensor Network)환경에서의 낮은 전송지연과 저전력을 보장하기 위해 단일/다중 라디오를 활용한 멀티 채널 맥 프로토콜이 제안되고 있다. 하지만, WBAN의 연구에 많이 활용된 시중에서 많이 사용되고 있는 ZigBee 장비는 단일 라디오로 구성되어 있기 때문에 기존에 제안된 다중 라디오 기반의 맥 프로토콜을 적용할 수 없다. 본 논문에서는 크기가 정해진 데이터의 낮은 전송지연을 보장하는 단일 라디오 멀티 채널 맥 프로토콜을 제안한다

1. 서 론

최근 고령화 사회에 접어들면서 건강관리에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 초소형 센서를 내장한 통신장비들이 개발되면서 개인의 건강관리를 위한 연구에 사용되고 있다. 건강에 관한 관심으로 인해 2007년부터 WBAN이라는 IEEE 802.15.6 표준화 작업이 진행되었고 2012년에 완료되었다. WBAN은 초소형 장비를 이용하여 인체 내부와 외부에서 신체의 변화나 현재 상태를 검사하고, 실시간으로 신뢰성 있는 의료용 서비스 제공을 목적으로 하는 무선 통신 기술[1]이다. 하지만, 인체를 실시간으로 검사하기 위해 초소형 장비가 사람의 몸에 부착되거나 몸 안에 내장되기 때문에 저전력을 요구한다. 또한, 의료용 데이터 제공을 목적으로 하기 때문에 낮은 전송지연이 요구된다.

기존의 WBAN은 싱글 채널을 이용한 맥 프로토콜을 사용하였다. 하지만, 싱글 채널은 채널 효율성을 낮추기 때문에 전송지연이 길어지는 문제가 발생하여 이를 해결하기 위한 방안들이 다양하게 제안되고 있다. 한편, WSN 환경에서는 낮은 전송지연을 제공하기 위해 단일/다중 라디오를 활용한 멀티 채널 맥 프로토콜들이 제안되고 있다. 하지만, WBAN에서 많이 활용되는 ZigBee 장비는 단일 라디오를 사용하기 때문에 다중 라디오 멀티 채널 맥 프로토콜은 적용하기 힘들다. 따라서, 본 논문은 WBAN 요구사항을 만족하고 낮은 데이터 전송지연을 보장하는 단일 라디오 멀티 채널 맥 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에 관한 관련 연구를 보이고, 3장에서는 제안하는 방안을 자세히 설명한다. 그리고 4장에서는 제안하는 맥 프로토콜의 성능 평가를 한다. 5장에서는 결론 및 향후 연구를 제시한다.

2. 관련연구

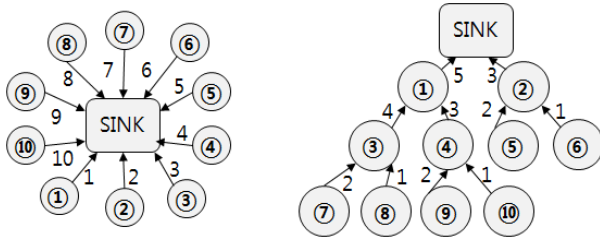
멀티 채널 맥 프로토콜을 이용해 전송시간을 줄이는 방안들은 중앙집중식으로 동작하는 센서 네트워크와 싱크노드를 사용하지 않는 애드혹 네트워크로 나뉜다.

2.1. 센서 네트워크

WSN을 위한 단일 라디오 멀티 채널 맥 프로토콜은 HYMAC[2], MuChMAC[3] 등이 존재한다. HYMAC은 TDMA와 FDMA의 장점을 합쳐서 노드 간 충돌을 제어하는 맥 프로토콜이다. 하지만 새로운 노드가 들어왔을 때의 처리와 시간 동기화가 어렵다는 단점이 있다. MuChMAC은 Convergecast와 Channel Hopping 알고리즘을 이용하여 메시지 전송시간을 줄이는 방안이다. 하지만 채널 할당에 중점을 두어서 물리적인 노드들의 구성을 고려하지 않는 단점이 있다.

한편, WSN환경을 가정하는 대표적인 다중 라디오 멀티 채널 맥 프로토콜은 TMCP[4]가 있다. Tree Based Topology를 사용하고 루트노드(싱크노드)로부터 나온 가지들이 서로 다른 채널을 할당 받고 간섭 없이 통신하는 방안이다. 하지만 WBAN 연구를 위해 시중에서 출품되고 있는 Zigbee 장비들은 대부분 단일 라디오로 동작하기 때문에 다중 라디오를 활용한 방안은 적용하기 힘들다.

[○]이 논문은 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업 (NIPA-2013-(H0301-13-2001)) 및 교육과학기술부 및 한국과학재단의 중견연구자 사업(No. 2011-0015744)의 지원으로 수행된 연구결과임."



(a) 기존의 맥 프로토콜 (b) 제안하는 맥 프로토콜

그림 1 각 Topology의 데이터 전달 방식

2.2. 애드혹 네트워크

애드혹 네트워크는 MMSN[5], Y-MAC[6], MC-LMAC[7] 등이 존재한다. 하지만 애드혹 네트워크는 중앙집중식으로 동작하는 WBAN과는 달리 분산 환경을 가정하고 있기 때문에 WBAN 환경에 적합하지 않다.

3. 제안하는 방안

3.1. 시스템 모델

일반적으로 WBAN의 구현을 목표로 사용되는 맥 프로토콜은 단일 라디오 싱글 채널을 사용하여 데이터를 송수신한다. 싱글 채널의 사용은 채널 효율성을 감소시키며, 전송 지연시간이 증가하는 문제가 있다.

이 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 WBAN 환경을 위한 단일 라디오 멀티 채널 맥 프로토콜을 제안한다. 제안하는 맥 프로토콜은 노드들이 동시에 데이터를 전송하는 것을 가능하게 하여 데이터 전송 지연을 줄일 수 있고 채널 효율성도 높여준다. 또한, 단일 라디오를 사용함으로써 증가할 수 있는 전송지연을 개선하기 위해 tree-based topology를 사용한다.

본 논문에서 제안하는 맥 프로토콜의 성능평가를 위해 단일 라디오 싱글 채널 맥 프로토콜과의 비교 검증을 수행하였으며 다음과 같은 환경을 가정한다. 네트워크를 구성하는 일반노드들은 정해진 크기의 데이터를 싱크노드에게 전송하며, 일반노드의 개수는 M , 사용하는 채널의 개수는 N , 전체 GTS의 수는 S , 각 부모노드가 가지는 자식노드의 개수는 C , Tree의 깊이는 D 라고 정의한다.

그림 1은 기존의 맥 프로토콜과 제안하는 맥 프로토콜의 전송방식을 보여준다. 각 원은 노드의 번호이며, 화살표는 노드가 데이터를 전송하는 방향과 순서이다. 제안하는 맥 프로토콜에서 $M=10$, $N=5$, $S=5$, $C=2$, $D=4$ 이다. M , N 그리고 S 는 처음에 사용자에게 의해 정해지고 C 와 D 는 M , N , S 를 이용하여 수식을 통해 도출된다. 기존의 맥 프로토콜은 모든 노드가 순차적으로 데이터를 보내는 반면, 제안하는 맥 프로토콜은 동일 시간에 서로 다른 채널을 할당함으로써 여러 노드가 데이터를 전송한다. 이는

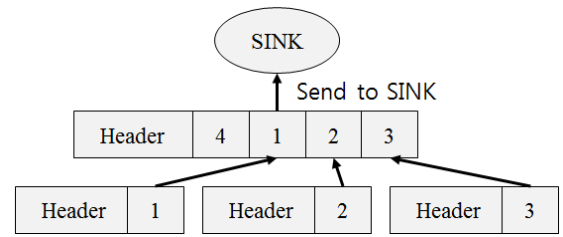


그림 2 데이터 병합

전송지연이 기존의 맥 프로토콜에 비해 제안되는 맥 프로토콜이 낮다는 것을 의미한다.

3.2. 데이터 병합

제안하는 방안에서 구성된 tree-based topology에서 전송 효율의 증가를 위해 데이터 병합과정을 사용한다. 데이터 병합 과정은 그림 2와 같으며, tree의 깊이가 증가할수록, 자식노드의 수가 많아질수록 불필요한 header의 사용 감소로 전송 효율을 높일 수 있다. 하지만 한 주기에 모든 노드가 데이터를 전송할 때 전송되는 데이터 수가 증가한다는 문제가 있다.

3.3. GTS 할당

WSN에서 제안된 맥 프로토콜들은 채널을 겹치지 않게 할당하기 위해 FDMA와 TDMA 등을 이용하여 다양한 방안을 사용하지만, 본 논문은 그림 1(b)의 Superframe Structure를 나타낸 그림 4와 같이 TDMA 기반으로 채널을 할당한다. Active 구간에서는 GTS를 받고 데이터를 전송하지만, Inactive 구간에서는 Sleep Mode로 전환된다. 같은 GTS를 할당 받은 노드들은 서로 다른 채널을 사용하여 데이터를 전송한다. 그림 3은 각 노드들에게 GTS구간을 할당하는 알고리즘이다.

```

1: i=M
2: WHILE i<0 DO
3: (
4:   If(i번째 노드가 자식노드가 없는 경우)
5:   : If(i번째 노드가 형제노드가 없는 경우)
6:     i번째 노드의 순서= 1
7:   Else
8:     : If(i번째 노드의 형제노드가 순서를 가졌을 경우)
9:       i번째 노드의 순서= (i번째 노드의 형제노드 중 가장 큰 순서+1)
10:    Else
11:      i번째 노드의 순서= 1
12:    Else
13:      : If(i번째 노드의 형제노드가 순서를 가졌을 경우)
14:        : If(i번째 노드의 형제노드 중 가장 큰 순서<= i번째 노드의 자식노드 중 가장 큰 순서)
15:          : i번째 노드의 순서= (i번째 노드의 자식노드 중 가장 큰 순서+1)
16:        Else
17:          : i번째 노드의 순서= (i번째 노드의 형제노드 중 가장 큰 순서+1)
18:        Else
19:          : i번째 노드의 순서= (i번째 노드의 자식노드 중 가장 큰 순서+1)
20:      i--
21: )
    
```

그림 3 GTS구간의 순서를 할당하는 알고리즘

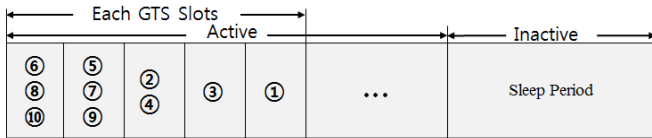


그림 4 Superframe Structure

4. 성능 분석

본 논문은 성능 분석을 위한 지표로 데이터 전송시간과 전송되는 데이터 수를 사용하였다. 해당 지표를 수식으로 표현하기 위해 우선적으로 C와 D에 대한 수식을 구했다. 각 수식에 대한 증명은 지면이 부족하여 생략한다.

$$C = \text{ceil}\left(\frac{M}{N}\right)$$

$$D = \text{ceil}\left(\left(\log_c\left(\left(\frac{C-1}{C}\right)M + 1\right)\right) + 1\right)$$

4.1. 데이터 전송시간 및 전송 데이터 수

다음 수식은 기존의 맥 프로토콜과 제안하는 맥 프로토콜의 데이터 전송시간이다. 제안하는 맥 프로토콜의 공식은 포화트리를 기준으로 한다. 아직 포화트리가 되지 않았더라도 해당 깊이의 포화트리에 비해서 전송시간이 짧기 때문에, 포화 트리를 기준으로 전송시간을 나타낼 수 있다.

$$\text{기존의 맥 프로토콜} = M$$

$$\text{제안하는 맥 프로토콜} = C(D - 1)$$

전체적인 전송시간은 줄어들지만 데이터 병합에 의해 전송되는 데이터 수가 증가하여 전력 소모가 늘어날 수 있다. 다음 수식은 전송되는 메시지의 총 개수이다.

$$\text{기존의 맥 프로토콜} = M$$

$$\text{제안하는 맥 프로토콜} = \sum_{i=1}^M \text{ceil}\left(\log_c\left(1 + \frac{i}{C}\right)\right)$$

4.2. 성능 분석 결과

그림 5는 S=10, N=5일때, 노드의 수에 따른 두 가지 Topology의 전송시간과 데이터 수의 변화를 보여준다. 제안하는 맥 프로토콜은 노드 수가 증가함에 따라서 전송시간이 감소하는 반면, 전송되는 데이터 수가 증가함을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

WBAN은 인체 내부와 외부에서 신체의 변화나 현재 상태를 검사하고, 실시간으로 신뢰성 있는 의료용 서비스 제공을 목표로 하는 기술로 데이터의 낮은

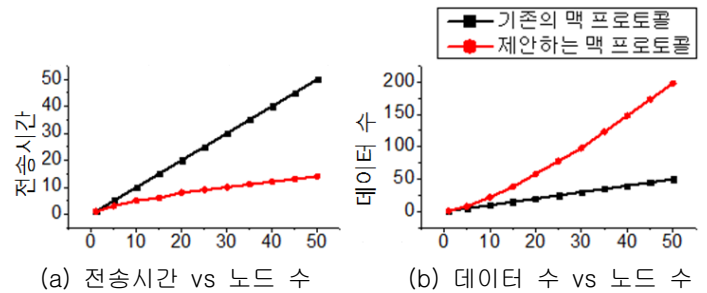


그림 5 실험 결과 그래프

전송지연이 요구된다. 한편, WSN에서는 전송 지연을 줄이기 위해 단일/다중 라디오 멀티 채널 맥 프로토콜들이 제안되고 있지만, 시중에서 많이 사용되는 Zigbee 장비가 단일 라디오이기 때문에 기존의 다중 라디오 맥 프로토콜은 적용할 수 없다. 이를 해결하기 위해 본 논문은 Tree Based Topology를 이용한 단일 라디오 멀티 채널 맥 프로토콜을 제안하고 성능 분석을 통해 전송시간을 크게 줄일 수 있다는 것을 보였다. 하지만, 전송시간과 전송 데이터 수 간의 Trade-off가 존재함을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 시중에 나온 통신 모듈을 통해 성능평가를 수행할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Kyung Sup Kwak, Sana Ullah and Niamat Ullah, "An Overview of IEEE 802.15.6 Standard," ISABEL, pp.1-6, 2010
- [2] Mastooreh Salajegheh, Hamed Soroush and Antonis Kalis, "HYMAC: Hybrid TDMA/FDMA Medium Access Control Protocol for Wireless Sensor Networks, PIMRC, pp.1-5, 2007
- [3] Joris Borms, Kris Steenhaut and Bart Lemmens, "Low-Overhead Dynamic Multi-Channel MAC for Wireless Sensor Networks," EWSN, pp.81-96, 2010
- [4] Wafeng Wu, John A. Stankovic, Tian He and Shan Lin, "Realistic and Efficient Multi-Channel Communications in Wireless Sensor Networks," INFOCOM, pp.1193-1201, 2008
- [5] Gang Zhou, Chengdu Huang, Ting Yan, Tian He and Jhon A. Stankovic, "MMSN: Multi-Frequency Media Access Control for Wireless Sensor Networks," ICCCN, pp.1-13, 2006
- [6] Youngmin Kim, Hyojeong Shin and Hojung Cha, "Y-MAC: An Energy-efficient Multi-Channel MAC Protocol for Dense Wireless Sensor Networks," IPSN, pp.53-63, 2008
- [7] Ozlem Durmaz Incel, Pierre Jansen and Sape Mullender, "MC-LMAC: A Multi-Channel MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", Ad Hoc Networks, 2011