

A Time Synchronization Protocol for Wireless Body Sensor Networks

Shi-Kyu Bae[†]

ABSTRACT

WBSN (Wireless Body Sensor Network), also called WBAN (Wireless Body Area Networks) generally, is a kind of WSN (Wireless Sensor Network) applications, which is composed of the various sensor nodes residing in human body embodied or in wearable way. The measured data at each sensor node in WBSN requires being synchronized at sink node for exact analysis for status of human body, which is like WSN. Although many time synchronization protocols for WSN has been already developed, they are not appropriate to WBSN. In this paper, a new time synchronization protocol for WBSN considering the characteristics of WBSN is proposed. The proposed scheme is not only simple, but also consumes less power, leading to increasing network life time. We will show that the proposed scheme is appropriate to WBSN by evaluating its performance by simulation.

Keywords : WBAN (Wireless Body Area Network), WBSN (Wireless Body Sensor Network), WSN (Wireless Sensor Network), Time Synchronization, Less Power

무선 인체 센서 네트워크용 시각 동기화 프로토콜

배 시 규[†]

요 약

무선인체센서네트워크(WBSN: Wireless Body Sensor Network)은 일반적으로 무선인체네트워크(WBAN: Wireless Body Area Networks)라고도 불리는데, 일종의 무선센서네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)의 응용 중에 하나로, 인간의 신체에 이식되거나 착용하는 형태의 감지노드들로 인체 가까이 설치된다. WBSN에 설치된 각 노드로부터 측정된 데이터는 싱크 노드에서 인체 상태를 분석하기 위하여 사용되는데, 다른 무선센서네트워크 응용과 마찬가지로 노드와 싱크 노드는 서로 동기화되어야 한다. 무선센서네트워크에서 동작하는 여러 시각 동기화 프로토콜이 제안되어왔으나 WBSN에 적용하기에는 부적합하다. 이 논문에서는 WBSN의 특성을 고려하여 새로운 시각 동기화 프로토콜을 제안한다. 제안한 프로토콜은 간단할뿐만 아니라 전력 소모가 작아 네트워크의 수명을 오랫동안 유지할 수 있게 한다. 제안 방안의 성능을 시뮬레이션을 통해 평가하였으며, WBSN에서 구현하기에 적합함을 보였다.

키워드 : 무선인체네트워크, 무선인체센서네트워크, 무선센서네트워크, 시각 동기화, 전력 소모

1. 서 론

컴퓨터네트워크를 네트워크의 크기(또는 노드간의 거리)에 따라 분류하면 WAN(Wide Area Network), MAN (Metropolitan Area Network), LAN(Local Area Network), PAN(Personal Area Network), BAN(Body Area Network) 등이 있다. 이 중 BAN은 신체에 부착하거나 이식할 수 있는 장치나 노드로 구성되는 가까운 거리의 네트워크이다. 초기에는 유선 중심이던 네트워크가 무선으로 확장됨에 따라

LAN에서 Wireless-WAN(WLAN)으로, BAN에서 Wireless-BAN (WBAN)으로 세분화되었다.

무선센서네트워크(WSN: Wireless Sensor Networks)는 센서 노드와 전달 노드로 구성되는 네트워크로서, 잠재력이 점점 구체화되고 응용 분야가 증가함에 따라 관련 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다. WSN의 주요 응용으로는 온도, 습도 등의 자연 환경을 감시하거나, 군사적 목적의 이동 물체의 추적, 인간이 접근하기 어려운 환경에서 특정한 수치 데이터를 측정하는 등 다양하다.

WBAN을 구성하는 노드가 주로 소형의 센서 노드일 때 이를 WBSN(Wireless Body Sensor Network)라고 부르며, [1]에서는 인간의 일상생활을 모니터링하기 위한 자동화된 네트워크로 정의하였다. WBSN은 인간의 신체에 다양한 형태

[†] 정 회 원 : 동양대학교 사이버보안학과 교수
Manuscript Received : February 25, 2016
First Revision : May 30, 2016
Accepted : May 30, 2016
* Corresponding Author : Shi-Kyu Bae(skbae@dyu.ac.kr)

의 센서 노드를 설치하여 데이터를 측정하고 수집하는 특수한 형태의 네트워크로서, 신체의 변화나 건강 상태를 측정하여 의료전문가에게 전달하거나 적절한 조치를 취하도록 할 수 있는 응용 분야 (Health-care 응용)이다. 이 논문에서 언급하는 WBAN은 주로 WBSN에 초점을 맞춘다.

WSN을 구성하는 각 노드는 응용에 따라 다른 노드와 공통 클럭을 유지하는 것이 중요하므로 네트워크 전체 혹은 일부 노드간에 시각 동기화가 필요하게 된다. 시각 동기화 기술은 인터넷 초기 시절부터 NTP (Network Time Protocol)[2]를 대표로 하여 전통적으로 행해져 왔으나, WSN 환경, 특히 WSN이나 WBAN과 같이 노드의 자원이 불충분한 네트워크에서의 새로운 요구사항을 고려하여 다시 연구되고 있다. WSN과 같이 자원이 충분하지 않은 노드들로 구성된 네트워크를 설계할 때 공통적으로 전력 소모를 최소화하는 것이 중요하며, 시각 동기화 프로토콜을 설계할 때에도 마찬가지로 전력 소모를 최소한으로 줄이는 것이 필요하다[3].

WBSN은 WSN과 공통점이 있지만 서로 다른 특징들을 많이 가지고 있으므로 WSN용으로 개발된 시각 동기화 프로토콜을 그대로 적용할 수가 없다. 이 논문에서는 WBSN의 동작 환경을 검토한 후 이에 적합하고 효율적인 시각 동기화 방식을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존의 WSN용 시각 동기화 프로토콜의 동작을 살펴본다. 다음 WBSN의 동작 환경이나 특징을 분석한 다음 이에 효율적인 시각 동기화 방안을 제안한다. 4장에서 제안한 방안을 적용하여 성능을 분석하고 기존의 다른 방식과 비교하며, 마지막으로 5장에서 결론을 다룬다.

2. 관련 연구

2.1 WBSN

WBSN에서는 휴대하거나 신체에 부착 혹은 이식되는 작은 센서 노드들로 구성되므로 전력이나 통신 대역폭 또는 컴퓨팅 능력 등이 부족하다는 점에서는 WSN과 공통점이 있다. 그러나 다음과 같은 특징이 있으므로 프로토콜을 개발할 때 고려하여야 한다.

① 비동질성(heterogeneity)

WBSN에 사용되는 센서 노드들은 동일하지 않고 다양하다[1]. 예를 들면, 심장 박동을 측정하는 센서, 혈압을 측정하는 센서 등 다양한 크기와 자원을 가진 노드들이 함께 사용된다.

② 적은 노드 수

일반적인 WSN은 많은 수의 센서 노드가 사용되지만, WBSN은 상대적으로 노드의 수가 많지 않다[4].

③ 더 작은 크기의 노드

신체에 부착이 되거나 이식이 되려면 노드의 크기가 더욱

작아져야한다[4]. 따라서 처리, 저장, 통신 등 모든 부분에서 전력 소모량이 최소로 되어야 한다.

④ 전송 거리

대개의 WSN은 작은 크기의 노드를 대량으로 사용하며 넓은 영역을 커버하기 위해 멀티 홉으로 구성된다. 하지만, WBSN은 인체 주변에서만 사용되므로 단일홉 구성이 적합하다.

대표적으로 많이 사용되는 센서 노드들은 다음과 같다[1].

① ECG(Electro-cardio-graphy : 심전도) 센서- 심장 박동을 모니터링하기 위해 심장이나 혈관 주변에 설치하여 맥박에 관한 정보를 전송한다.

② CO₂ 가스 센서- 호흡하는 동안 혈류속의 이산화탄소량을 감지한다.

③ EEG(Electroencephalogram) 센서 - 뇌파를 측정한다.

④ 습도, 온도 센서 - 체온이나 주변의 습도를 감지한다.

2.2 WSN 시각 동기화 프로토콜

지금까지 WSN용으로 개발된 여러 시각 동기화 프로토콜들은 송신자와 수신자간의 메시지를 주고받는 형태에 따라 송신-수신형과 수신-수신형으로 나뉜다.

송신-수신형 동기화는 한 노드가 송신자가 되어 데이터를 전송하고, 송신자를 제외한 다른 노드들은 수신자가 되어 보내어진 데이터를 수신하며, TPSN[5]과 FTSP(Flooding Time Synchronization Protocol)[6]이 여기에 속하고, 글로벌 참조 클럭(Global Reference Clock 혹은 간단히 글로벌 클럭)을 전체 네트워크에 전달할 수 있다.

TPSN은 NTP를 기반으로 하여, 동기화 전에 레벨 탐색이라는 과정을 통해 트리 구조를 생성하며, 이 트리 구조를 사용하여 네트워크의 전체 노드를 상위 레벨에서 하위 레벨로 모든 노드에 대하여 순차적으로 동기화한다. FTSP는 노드간의 주종 관계를 형성하여 주 노드의 시각 정보를 종속 노드들에게 연속적으로 방송을 통하여 전달하며, 종속 노드는 전달받은 시각 정보로부터 주 노드의 시각을 추정하는 방식을 사용한다.

이와 대조적으로 수신-수신형 동기화에서는 참조 노드가 특정한 패킷을 한 번 전송하면, 이 후에는 전송한 노드를 제외한 다른 노드들이 서로 협력하여 동기화를 이루는 방식을 갖는다. 이 종류에 해당하는 대표적인 프로토콜이 RBS(Reference Broadcast Synchronization)[7]로써, 한 노드(송신자)가 다른 수신 노드들이 동시에 수신하도록 비이컨(beacon) 메시지를 방송하면, 송신자를 제외한 다른 수신자들이 이 비이컨 메시지를 수신한 각각의 로컬 클럭 값을 서로 교환하여 상호간의 클럭 오프셋을 기록한다. 이 RBS 프로토콜은 가까운 거리에 위치한 여러 노드 간에 상대적인 클럭 오프셋을 비교적 정확하게 파악할 수 있지만, 글로벌 클럭으로 네트워크 전체를 동기화 할 수는 없다.

3개의 대표적인 프로토콜, 즉 TPSN, FTSP, 그리고 RBS를 중심으로 2가지 이상의 장점을 혼합하거나 성능을 개선시킨 방안 등이 많이 제안되고 있다. [8]의 제안은 RBS와 FTSP의 장점을 결합한 혼합형 방안이며, TPSN의 성능을 개선하기 위한 여러 제안들이 있었다[9, 10].

3. 제안 방안

3.1 네트워크 모델

Fig. 1은 이 논문에서는 적용할 WBSN의 네트워크 모델을 나타낸 것이다. 여러 가지 센서들은 각기 다양한 형태의 측정 데이터를 일정 주기마다 혹은 특정한 사건이 발생했을 때 싱크 노드로 전송한다. 센서 노드 중 ECG 센서는 심장의 박동 상태를 측정하는 장치로 짧은 주기마다 연속적으로 데이터를 전송하는데 반해, 다른 센서 노드들은 ECG 센서에 비하여 사건 감지나 감지한 데이터를 싱크 노드로 보내는 주기가 상대적으로 느리다. 예를 들어, 체온 측정은 초단위 보다 긴 수십분 단위로 측정해도 무방하며, 정상 체온을 벗어났을 때에만 보고할 수 있다. 하지만 심전도 정보는 계속적으로 보고되어야 한다. 이 논문에서는 이런 역할을 하는 노드를 소스 노드라고 부르기로 한다.

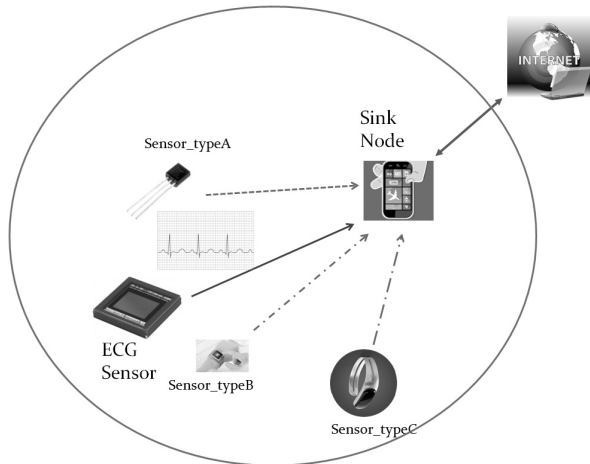


Fig. 1. Network Model

센서 노드들은 한정된 배터리 용량으로 오랜 시간 사용을 위해 가급적 전력 소모를 줄여야하지만, 싱크 노드는 전력 공급이 원활하여 상대적으로 전력 소모의 부담이 적다. 싱크노드와 여러 센서 노드들은 멀티 홉으로 구성할 수 있으나 이렇게 하려면 중간에 위치한 센서 노드가 게이트웨이 역할을 하기 위해서 항상 켜져 있어야 하므로 노드의 동작이 복잡해지고 전력 소모가 커진다. 따라서 이 논문에서는 싱크 노드와 여러 센서 노드들은 단일 홉으로 연결이 되며 소스 노드와 싱크 노드가 전송하는 신호는 다른 센서 노드에서 모두 수신이 가능한 정도의 송신 전력을 사용하는 것으로 가정한다. 싱

크 노드에 보고된 데이터는 취합이 되어 인터넷을 통하여 질문가나 분석 기기로 전송이 이루어진다.

3.2 기존 시각 동기화 프로토콜의 적용 분석

기존의 시각 동기화 프로토콜은 어떤 형태로든 노드사이의 데이터 교환이 필요하며, Fig. 1의 네트워크 모델에 동작이 가능한지 분석한다. 소스 노드, 싱크 노드를 포함한 모든 노드의 수를 N이라고 하자.

1) TPSN[5]

TPSN은 루트 노드로부터 싱크 노드까지 트리를 구성하고 각 노드쌍마다 2번의 데이터 교환이 필요하므로 모든 센서 노드가 동기화만을 위한 데이터 전송으로 인한 전력이 소모된다. 그리고 이런 동기화는 일정 주기마다 계속된다(동기화 라운드라고 부른다).

본 네트워크 모델에 적용하면, 싱크 노드가 루트 노드의 역할을 하고 소스 노드는 특별한 역할이 없이 다른 센서 노드와 마찬가지로 싱크 노드의 클럭에 동기화된다. 라운드 당 추가되는 교환 메시지 수는 $1+2(N-1)=2N-1$ 이다. 이 방식을 적용하면 모든 센서 노드, 특히 배터리 용량이 적거나 전력 소모가 상대적으로 많은 노드의 수명이 짧아지게 된다.

원래의 TPSN은 동기화 정확도를 높이기 위해 MAC (Medium Access Control) 계층에서 시각 정보를 측정하는데, 이는 모든 노드가 동일한 하위 계층 통신 구조를 가지고 구현되어야 한다. 그러므로 다양한 성능과 기능을 갖는 센서 노드로 구성되는 이기종 네트워크 구성에는 적합하지 않다. 시각 측정을 응용 계층에서 측정하도록 구현하면 데이터 교환 동안 발생하는 전송 지연 측정치의 정확도에 의해 동기화 정확도가 결정이 된다.

2) FTSP[6]

FTSP의 동작에서는 루트 노드에서 한 동기화 라운드동안 연속적인 데이터를 전송하면(예, 8회) 다른 센서 노드들은 연속된 수신 데이터를 저장하고 계산하여 송신 노드의 시각 정보를 추정하여 사용한다. 이 때 각 센서 노드는 항상 데이터 수신이 가능하도록 켜져 있어야 하며, 시각 추정을 계산하는 부담이 있다.

본 네트워크 모델에 적용하면, 싱크 노드가 루트 노드의 역할을 하고 소스 노드는 다른 센서 노드와 마찬가지로 싱크 노드의 클럭에 동기화된다. 라운드 당 추가되는 교환 메시지 수는 N과 상관없이 루트 클럭 추정에 필요한 최소 연속 데이터 수이다. 예를 들어, 8개의 연속 데이터를 사용하여 루트 클럭을 추정하기로 한다면 싱크 노드로부터 8회의 메시지 전송이 필요하다.

원래의 FTSP는 TPSN과 동일한 이유로 동기화 정확도를 높이기 위해 MAC 계층에서 시각 정보를 측정하는데, 이는 모든 노드가 동일한 하위 계층 통신 구조를 가지고 구현되어

야 한다. 그러므로 다양한 성능과 기능을 갖는 센서 노드로 구성되는 이기종 네트워크 구성에는 적합하지 않다. 시각 측정을 응용 계층에서 측정하도록 구현하면 데이터 교환동안 발생하는 전송 지연 측정치의 정확도에 의해 동기화 정확도가 결정이 된다.

3) RBS[7]

RBS 방식에서는 루트 노드가 비이컨 신호를 보내면 나머지 노드들이 이 비이컨의 도착 시간을 기록했다가 다른 노드와 데이터 교환시에 비이컨 도착 시간의 차를 고려하여 클럭 오프셋을 보정한다.

루트 노드를 제외한 다른 노드들간의 데이터 전송으로 인한 오버헤드(추가 전력 소모)가 가장 크다. 본 네트워크 모델에 적용할 경우에는 모든 노드들간에 데이터 전송이 발생하지는 않으므로, 즉, 모든 센서 노드는 싱크 노드뿐만 아니라 데이터 전송이 발생할 뿐, 센서 노드끼리는 데이터 교환이 필요하지 않다. 따라서 일반적인 모델보다는 전송 메시지 수를 줄일 수 있으나 여전히 각 센서와 싱크 노드간의 메시지 전송으로 인한 오버헤드가 필요하다.

시각 측정을 응용 계층에서 측정하도록 구현하더라도 데이터 교환동안 발생하는 전송 지연 측정치에 큰 영향을 받지 않으므로 TPSN나 FTSP보다 본 네트워크 모델에 구현이 쉬우며 동기화 정확도가 높다.

4) IBS[11]

IBS는 위의 3가지 주요 방식과는 달리 리드(Lead) 노드와 보조 노드라는 두 개의 노드를 사용하여 전송 범위 내에 있는 다른 노드들을 한꺼번에 동기화시키는 방식으로, 리드노드와 보조 노드를 제외한 다른 노드들의 추가적인 계산량이나 통신에 소요되는 오버헤드가 거의 없고 비교적 정확하게 클럭 오프셋을 보정할 수 있다.

본 모델에 적용하면 싱크 노드가 루트 노드의 역할을 그리고 소스 노드가 보조 노드의 역할을 하면, 소스 노드가 계속적으로 일정 신호를 전송하므로 프로토콜의 동작이 더 간단해진다. 다시 설명하면, 싱크 노드가 필요할 때 마다 소스 노드에게 도움을 요청할 필요 없이 소스 노드로부터 수신한 데이터 중에 일부를 선별해서 동기화에 사용하면 된다. 전송 메시지 수는 라운드 당 1회면 충분하다. 따라서 본 네트워크 모델의 가장 적합한 방식으로 고려한다.

3.3 제안 방식의 동작

트리 구성은 싱크 노드를 중심으로 하는 단일 홉이므로, 모든 센서 노드들은 싱크 노드의 자식 노드이다.

1) 소스 노드는 일정한 주기로 비이컨 신호(ECG센서인 경우 심전도의 피크 정보)를 싱크 노드에 전송한다.

2) 이 때 다른 센서 노드들도 소스 노드가 보낸 정보를 함께 수신하여(overhearing), 로컬 클럭으로 수신 패킷의 수신

시각과 일련 번호를 기록한다. 수신 패킷의 내용은 무시하고 수신 시각만을 기록하며, 이 값을 참고 시각이라고 하자.

노드 i에서 기록한 시각 정보 $T_i = \{ T_{i,1}, T_{i,2}, T_{i,3}, \dots, T_{i,k} \}$ 이라고 표시하자.

3) 싱크 노드에서는 소스 노드가 보낸 메시지의 내용을 수집하여 본연의 작업을 하는 동시에 수신 시각과 일련번호를 기록한다. 동기화 주기마다 최근에 기록된 참고 시각 정보를 다른 모든 센서 노드에게 전송한다. 즉 이 정보는 싱크 노드의 로컬 클럭을 기초로 작성된 참고 시각이다. 싱크 노드의 클럭은 가장 정확도가 높으며 글로벌 클럭에 동기화되어 있다.

싱크 노드 S에서 기록한 시각 정보 $T_s = \{ T_{s,1}, T_{s,2}, T_{s,3}, \dots, T_{s,k} \}$ 이라고 표시하자.

4) 싱크 노드를 제외한 다른 모든 노드들은 싱크 노드로부터 받은 참고 시각 정보와 자신의 참고 시각 정보를 비교하여 클럭 오프셋을 계산하고 자신의 클럭을 보정한다. 예를 들어, 싱크 노드로부터 $T_{s,3}$ 을 받았다면, 노드 i에서 클럭 오프셋 $t_{i,offset} = T_{i,3} - T_{s,3}$ 이 된다.

각 노드의 역할을 정리하면 다음과 같다.

```

<The proposed Synchronization Algorithm >
Use the Tree predetermined
For Source node {
    Broadcast READY packet every source interval
}
For Sink node {
    Broadcast SYNC packet every synchronization interval
}
For all Sensor node {
    Do Synchronize using reference time from READY and SYNC packet
}
    
```

<Pseudo code of the proposed algorithm.>

동기화 구간은 각 노드의 클럭 오류와 응용에서 요구하는 최대 허용 클럭 오프셋을 고려하여 결정한다.

예를 들면, 센서 노드 중 가장 클럭 오류율이 큰 값이 10ppm이고 응용에서 최대 10ms의 오차를 허용한다고 하자.

$10ppm=10^{-5}$ 이므로 1000초(17분)마다 동기화를 수행하면 된다. 동기화 구간은 전력 소모를 줄이기 위하여 가급적 크게 하는 것이 좋다.

4. 시뮬레이션

알고리즘의 동작을 검증하기 위하여 NS-2(Network

Simulator)-2.35[12]을 사용하여 Fig. 2와 같이 무선 노드를 배치하고 실험하였으며, 2m*3m 크기의 영역에 15개의 노드를 0.5m 간격으로 배열하여 신체 조건과 유사하게 하였다. 노드의 역할은 노드 #1을 싱크 노드로, 노드 #4를 소스 노드로(예, ECG 센서)를 가정하였고, 나머지 노드는 성능과 역할이 다른 여러 센서 노드로 구성하였다. 사용된 MAC은 WSN용으로 제안된 Sensor-MAC(S-MAC)[13] 그리고 라우팅 프로토콜은 DSDV(Destination-Sequenced Distance Vector)[14]이다.

이 논문에서 제안한 방안은 Fig. 1의 네트워크 모델을 설정하였으므로 단일 홉에서 동작하며, 싱크 노드와 소스 노드가 전송하는 신호는 다른 모든 노드에게 전달될 수 있도록 충분히 전송 전력을 설정하였다.

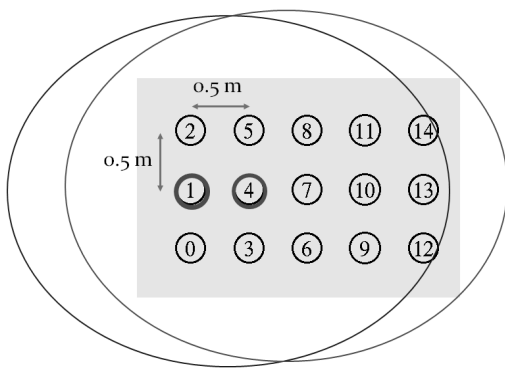


Fig. 2. Nodes deployment at simulation.

NS-2[12]에서 1비트를 전송하는데 필요한 전송 전력($P_t=8.0e^{-6}W$), 노드에서 소비되는 송신전력($txPower=2.0e^{-6}W$), 수신전력($rxPower=1.0e^{-6}W$), 대기전력($idlePower=5.0e^{-8}W$)으로 설정하였다.

4.1 라운드 당 전송 데이터 크기 및 소비 전력

Table 1은 제안한 방안(B-IBS라고 표시)과 다른 대표적인 두 방안(TPSN과 FTSP)을 동일한 조건에서 실행한 결과를 나타낸 것이다. 조건은 다음과 같다. 소스 노드로부터는 1초에 1회의 데이터가 싱크 노드로 전송이 되며, 싱크 노드를 중심으로 다른 노드에게 실시되는 동기화는 5분에 한 번씩 실시된다.(즉 동기화 간격은 5분이다.)

Table 3에서 첫째와 둘째 줄은 동기화 라운드를 1회 실시했을 때 전체 네트워크에서 전송된 패킷의 횟수를 기록한 것이다. 각 패킷의 크기는 6 바이트로 설정하였으므로 실제 전송된 데이터의 크기는 각 횟수에 6을 곱한 것이다. 첫째 줄에서는 1 동기화 라운드동안 발생한 전송 메시지 수를 측정하였으며 제안 방안이 다른 두 방식보다 적은 데이터를 전송하여 더 효율적임을 알 수 있다. 여기서 소스 노드로부터 생성되는 데이터는 싱크 노드에게 유용한 데이터를 전달하는 것이 본연의 목적이므로 엄밀한 의미에서는 동기화를 위해서만 사용한 것이 아니다. 그러므로 Table 3의 둘째 줄에는 소스 노드를 제외한 전체 노드에서 발생한 메시지 수를 측정하였으며, 제안 방안이 다른 두 방안보다 동기화라운드 당 메시지 전송 효율이 뛰어난을 알 수 있다.

각 노드에서의 소비 전력은 신호를 전송할 때가 신호를 수신하거나 대기 중일 때보다 훨씬 커 큰 비중을 차지한다는 것이 알려져 있다. 실험 시 설정한 변수에서도 송신 소비 전력을 수신 소비 전력의 두 배로 설정하였다.

Table 3에서 셋째와 넷째 줄은 동기화 라운드를 1회 실시했을 때 전체 네트워크에서 소비된 전력을 측정된 것이다. 앞에서 설명한 것처럼 소스 노드의 소비 전력을 포함한 것이 셋째 줄이고, 소스 노드의 소비 전력을 제외한 전체 소비 전력을 나타낸 것이 넷째 줄이다. 역시 제안 방안이 다른 두 방안보다 동기화라운드 당 에너지 효율이 우수함을 알 수 있다.

4.2 노드별 전력 소비

동기화 라운드 당 소비 전력은 아주 미세하므로, 24시간 동안(288 동기화 라운드) 동기화를 실행한 후 각 노드별 소비 전력을 측정하였으며, Fig. 3에 나타내었다. 소스 노드(노드 #4)의 소비 전력이 가장 크므로 초기 충전 용량을 충분히 하여 전체 네트워크의 수명에 지장을 주지 않도록 고려하여야 할 것이다. 소스 노드를 제외한 다른 노드보다 싱크 노드의 소비 전력이 약간 크지만 싱크 노드는 추가 전원 공급이 수월하므로(예, 스마트 폰) 큰 문제가 되지 않을 것이다.

4.3 정확도

제안 방안을 동기화를 수행한 후 싱크 노드를 기준으로 각 노드의 클럭 오프셋 차이를 측정하였다. 클럭 오프셋은 패킷이 전달되는 동안의 지연 시간에 영향을 받으므로 측정할 마

Table 1. Result of measurement for 3 schemes in simulation

measurement	B-IBS	TPSN	FTSP	unit
#msg/round (w/ source node)	301	329	308	times
#msg/round (w/o source node)	1	29	8	times
power_consumed/round (w/ source node)	0.000673	0.000728	0.000688	Joule
power_consumed/round (w/o source node)	0.000616	0.000664	0.000630	Joule

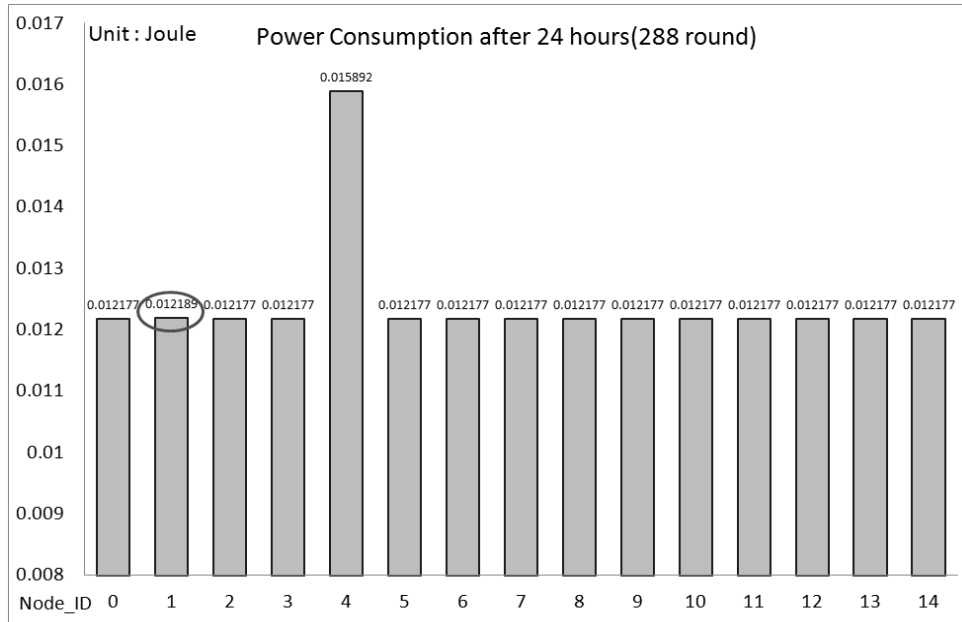


Fig. 3. Power consumption after 24hour simulation time.



Fig. 4. Clock offset measurement(Synchronization error) for each node referenced to Sink node.

다 달라지므로 3회를 실시하여 평균값을 Fig. 4에 나타내었다. 지연 시간은 미디어 접근 지연, 송신 지연, 전파 지연, 수신 지연으로 구성되며, B-IBS에서 송신 지연과 미디어 접근 지연은 모든 수신 노드에서 동일하고, 인체와 같이 가까운 거리에서 전파 지연은 다른 지연 요소보다 상대적으로 아주 작다. 따라서 주로 클럭 오프셋 측정에 영향을 끼치는 지연 요소는 수신 지연이다.

측정한 결과는 최소 163us, 최대 369us이며, 전체 노드 평균은 266us로 나타났다. 허용 가능한 클럭 오프셋 범위는 응용이나 센서 노드에 따라 다르다. 만일 노드 중 정확도가 낮은 클럭 소스로 인하여 클럭 드리프트가 큰 노드가 있다면 싱크 노드에서 동기화 구간을 줄여서 정확도를 높여야 할 것이다. 이렇게 하면 전체 소비 전력이 증가하겠지만 대부분의 전력 소비가 싱크 노드에서 이루어지므로 큰 부담이 되지 않을 것이다.

WSN을 위한 동기화 프로토콜로서 개발된 방안은 TPSN, FTSP, RBS가 대표적이거나, BAN에 적용하기에는 문제점이 많다. TPSN과 FTSP는 동기화 정확도를 높이기 위해 MAC 계층에서 시각 정보를 측정하며, 이는 모든 노드가 동일한 하위 계층 통신 구조를 가지고 구현되어야 하므로 다양한 성능과 기능을 갖는 센서 노드로 구성되는 BAN에는 적합하지 않다. 시각 측정을 응용 계층에서 측정하도록 구현하면 TPSN은 데이터 교환동안 발생하는 전송 지연의 정확도에 의해 동기화 정확도가 결정이 되며, FTSP는 여러 번의 메시지 전송이 요구된다. RBS에서는 루트 노드를 제외한 다른 노드들간의 데이터 전송으로 인한 전력 소모가 가장 크며, 모든 노드가 항상 켜져 있을 필요가 없는 BAN에 적용이 어렵다.

기존의 방안들은 일반적인 WSN환경에서 동작하며 BAN환경에서 구현하기 어려우므로 제안 방안과 직접적인 성능 비교를 하기는 어렵다. TPSN을 응용 계층에서 구현하면 모든 노드가 항상 동작 상태에 있어야 하며, 정확도는 두 노드간 평균 지연 시간에 결정된다(수백ms ~ 수s order). FTSP를 응용계층에서 구현하면 모든 노드가 항상 동작 상태에 있어야 하며 8번 이상의 메시지 전송이 필요하다. 정확도가 TPSN보다는 우수하나, 같은 정도의 정확도를 갖는다. RBS를 구현하려면 역시 모든 노드가 항상 동작 상태에 있어야 하며, 정확도는 TPSN, FTSP보다 우수하나 노드간의 데이터 교환이 필요하다.

본 제안 방안은 BAN을 구성하는 노드가 항상 동작할 필요가 없으며 정기적인 데이터 전송이 필요없이 노드가 켜져 있는 동안 동기화가 이루어진다.

5. 결 론

WBSN에서는 WSN과 공통점을 가지면서도 특히 인체와 밀접한 영향을 끼치는 요소들(가까운 거리, 전력을 포함한 부족한 자원, 수명 연장)이 중요한 요구 사항이다.

WBSN에서 노드사이의 동기화는 중요하며, WSN을 위한 시각 동기화 프로토콜이 많이 개발되었음에도 불구하고, WBSN에 적합한 시각 동기화 프로토콜은 제안되어 있지 않다.

본 논문에서는 WBSN의 특성을 고려하여 기존의 방안들을 검토한 후 새로운 동기화 방안을 제안하였다. 시뮬레이션을 사용하여 제안된 방안의 성능을 검증하고 기존의 다른 방안과 비교하여, 더 우수한 성능 결과를 확인하였다.

제안한 방안은 다양한 종류의 노드들로 구성되는 BAN 환경에서 메시지 교환 횟수를 줄여 전력을 절감하면서 응용 계층에서 구현하여 비교적 만족할 만한 동기화 정확도를 얻을 수 있다.

References

- [1] A. Sangwan and P. Bhattacharya, "Wireless Body Sensor Networks : A Review," *Int. Journal of Hybrid Information Technology*, Vol.8. No.9, 2015.
- [2] D. Mill, *Computer Network Time Synchronization: the Network Time Protocol on Earth and in Space*, Second Edition, CRC Press, 2011.
- [3] S. Bae, "A Survey on Time Synchronization Protocols for Wireless Sensor Networks," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol.19, No.6, June, 2014.
- [4] M. Hanson, H. Powell, A.Barth, K. Ringgenberg, B. Calhoun, J. Aylor, and J. Lach, "Body Area Sensor Networks : Challenges and Opportunities," *IEEE Computer*, 2009.
- [5] S. Ganeriwala, R. Kumar, and M. B. Srivastava, "Timing-Synch Protocol for Sensor Networks," in *Proceeding of ACM Sensys*, USA, 2003.
- [6] M. Maroti, B. Kusy, G. Simon, and A. Ledeczi, "The Flooding Time Synchronization Protocol," in *Proceeding of ACM SenSys'04*, 2004.
- [7] J. Elson, L. Girod, and D. Estrin, "Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts," in *Proceeding of ACM OSDI*, 2002.
- [8] S. Bae, "Time Synchronization by Tree-based Indirect-Broadcasting for Wireless Sensor Networks," *Journal of KIISE*, Vol.39, No.6, Dec., 2012.
- [9] D. Liu, Z. Zheng, Z. Yuan, and W. Li, "An Improved TPSN Algorithm for Time Synchronization in Wireless Sensor Network," in *Proc. Of Int. Conf. on Distributed Computing Systems Workshops*, pp.279-284, 2012.
- [10] S. Bae, "A Revised Timing-sync Protocol for Sensor Networks by a Polling Method," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol.20, No.8, Aug., 2015.
- [11] S. Bae, "Time Synchronization by Tree-based Indirect-Broadcasting for Wireless Sensor Networks," *Journal of Korean Institute of Information Scientist and Engineers*, 2012.
- [12] The Network Simulator ns-2: Documentation [Internet], <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>, Nov., 2011.
- [13] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless SensorNetworks," in *Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2002)*, June, 2002.
- [14] C. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for mobile computers," *ACM SIGCOMM*, 1994.



배 시 규

e-mail : skbae@dyu.ac.kr

1993년 경북대학교 컴퓨터공학과(석사)

1998년 경북대학교 컴퓨터공학과(박사)

1995년~현재 동양대학교 사이버보안학과
교수

관심분야 : Computer Networks, Mobile Networks, Internet
Applications, IoT