

# 웨어러블 컴퓨터 시스템을 위한 WUSB over WBAN 프로토콜의 에너지 효율적인 시간 동기 기술

허 경<sup>†</sup>, 손원성<sup>\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 웨어러블 컴퓨터 시스템을 위한 WUSB over WBAN 프로토콜에서 요구되는 에너지 효율적인 시간동기 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 전력 소모를 최소화 하면서 정밀한 시간 동기가 이루어지는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 시간 동기 알고리즘은 웨어러블 컴퓨터의 주변 장치를 구성하는 WUSB over WBAN 프로토콜 기반 센서 노드에서, 계층적인 구조를 구성하고 Time Stamp 패킷을 송수신하는 방식으로 빠르게 실행되어 전력소모를 최소화한다.

## An Energy Efficient Time Synchronization Technique Based on WUSB over WBAN Protocol for Wearable Computer Systems

Kyeong Hur<sup>†</sup>, Won-Sung Sohn<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

In this Paper, we propose an Energy Efficient Time Synchronization technique based on WUSB (Wireless USB) over WBAN (Wireless Body Area Networks) protocol required for Wearable Computer systems. For this purpose, the proposed Time Synchronization algorithm minimizes power consumption and estimates time information with accuracy. It is executed on the basis of WUSB over WBAN protocol at each sensor node comprising peripherals of a wearable computer system. It minimizes power consumption by exchanging time stamp packets and forming a hierarchical structure.

**Key words:** Time Synchronization (시각 동기), Wearable Computer, UWB, WBAN (Wireless Body Area Networks), Wireless USB

## 1. 서 론

시각 동기화 기술은 네트워크로 이루어진 시스템 구조에서는 필수적 요구사항이며 신뢰성 있는 정보의 전달에 있어서 이벤트의 중복 감지 및 발생 순서 구분 등의 센서 네트워크 미들웨어 기술에서 중요한

역할을 담당하고 있다. 시각 동기화를 위한 기존의 방법으로 Global Positioning System (GPS)와 Network Time Protocol (NTP) [1] 등을 들 수 있는데, 이는 컴퓨터의 계산 능력과 많은 양의 데이터 교환에 적합한, 즉 인터넷이나 Local Area Networks (LANs)을 기준으로 만들어진 것들이 대부분이다.

※ 교신저자(Corresponding Author) : 손원성, 주소 : 인천시 계양구 교대길 45 (407-753), 전화 : 032)540-1289, FAX : 032)548-0288, E-mail : sohnws@ginue.ac.kr

접수일 : 2011년 12월 28일, 수정일 : 2012년 4월 21일  
완료일 : 2012년 5월 1일

<sup>†</sup> 정회원, 경인교육대학교 컴퓨터교육과 부교수  
(E-mail : khur@ginue.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 중신회원 경인교육대학교 컴퓨터교육과 부교수

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0002366). 또한 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2011-0016145).

하지만 무선 센서 네트워크의 제한된 에너지, 리소스, 데이터 처리 능력을 감안하고 많은 노드들이 밀집하는 구조, 데이터의 발생이 특정 시간에 폭발적인 분포를 가지는 특성이 있으므로 기존의 시스템에서 사용되고 있는 시각 동기화 알고리즘을 그대로 적용하기에는 무리가 있다[2-3]. 웨어러블 컴퓨터(Wearable Computer)는 인간 중심의 기술 경향과 유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 근간으로 하는 차세대 컴퓨팅 분야에서 그 중심에 위치한다고 말할 수 있다[4-5].

USB 기술은 PC와 주변장치를 쉽게 연결해주는 대표적인 Host to Devices 통신 BUS기술로 현재까지 20억 개 이상의 디바이스들이 사용되고 있다[6]. 한편, Intel 등의 기업들을 중심으로 형성된 WiMedia Alliance는 WiMedia MAC의 무선 기술을 이용한 Wireless USB 규격을 개발하였다[7-9]. WiMedia MAC은 WiMedia Alliance에서 개발한 UWB 기반의 분산화된 D-MAC (Distributed MAC) 프로토콜이며, WUSB는 유선 USB와 동일한 기능을 제공하도록 설계되었으며 호스트와 디바이스간 3m 이내 거리에서 최대 480bps의 전송대역폭을 제공하며 최대 거리 10m 이내까지 동작되도록 설계되었다[7-9]. WBAN (Wireless Body Area Networks) 표준은 근거리, 저전력, 고신뢰성 무선통신을 목표로 하고 있으며, 용도에 따라 의료용 또는 비의료용 서비스에 활용된다. 미래 사회에는 다양한 무선 장치들이 인체에 구성되어 네트워크를 형성할 것이다. 이에 따라 WBAN 기술이 요구된다[10].

본 논문에서는 웨어러블 컴퓨터 시스템을 위한 WUSB over WBAN 프로토콜에서 요구되는 에너지 효율적인 시간동기 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 전력 소모를 최소화 하면서 정밀한 시간 동기가 이루어지는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 시간 동기 알고리즘은 웨어러블 컴퓨터의 주변 장치를 구성하는 WUSB over WBAN 프로토콜 기반 센서 노드에서, 계층적인 구조를 구성하고 Time Stamp 패킷을 송수신하는 방식으로 빠르게 실행되어 전력소모를 최소화한다.

## 2. 웨어러블 컴퓨터 시스템을 위한 WUSB over WBAN 프로토콜

WUSB는 기존의 USB와 마찬가지로 PC를 WUSB

Host로 하고 무선 USB 규격을 적용한 주변 WUSB Device가 중앙집중방식으로 접속하는 형태이다[7-8]. WUSB는 WiMedia D-MAC 상에서 동작하는데, WUSB 채널은 WiMedia D-MAC 수퍼프레임에서 Private 구간들의 집합으로 형성된다. Private 구간은 특정 어플리케이션 그룹 멤버 디바이스들만 예약 전송 가능한 구간으로, 다른 어플리케이션의 디바이스들의 이 Private 구간에 대한 정보를 얻을 수 없다. 이러한 Private 구간들의 설정은 MMC (Micro-scheduled Management Commands) 제어 패킷이 담당하게 된다. MMC는 WUSB 호스트가 자신의 클러스터에 속한 디바이스들에게 방송하는 제어 패킷으로 다음 MMC 패킷이 전송될 시간정보, I/O control 시간정보, 호스트와 디바이스들간 통신 스케줄 정보 등을 포함하고 있다. 하나의 MMC는 다음 MMC전까지 이루어질 USB 트랜잭션에 대한 스케줄링 정보를 포함하며 모든 WUSB 호스트와 WUSB 디바이스간 통신은 MMC에서 스케줄 된 순서와 시간에 맞추어 통신하게 된다[7-8].

IEEE 802.15.6 WBAN의 연구 범위는 움직이거나, 정지 상태에서 3m 범위까지 사람의 활동 공간에서 무선 접속을 제공할 수 있는 물리 계층과 데이터 링크계층을 표준화하고, 저전력, 소형화에 초점을 맞추고 있다[10]. IEEE 802.15.6은 하나의 허브와 여러 개의 노드가 스타 토폴로지를 구성하여 하나의 독립적인 네트워크를 형성한다. IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜은 수퍼프레임 구간 내 Beacon Period를 설정하여 허브 디바이스가 비컨을 전송하는 Beacon mode로 동작한다. Beacon mode는 비교적 많은 양의 트래픽이 발생하는 Non-Medical 환경에서 사용된다. Beacon mode의 Active Beacon Period는 그림 1과 같이 Exclusive Access Phase 1 (EAP1), Random Access Phase 1 (RAP1), Type-I/II Access Phase, EAP2, RAP2, Type-I/II Access Phase, Contention Access Phase (CAP)로 나누어 진다. EAP1과 EAP2는 높은 우선순위를 갖는 데이터를 보내기 위해 할당된 구간이고 RAP1, RAP2, CAP는 나머지 데이터를 전송하기 위해 할당된 구간으로 경쟁 기반의 접속 방식이다. 여기서 각 구간의 접속을 위해, CSMA/CA 또는 Slotted Aloha 방식을 이용한다. Type-I/II Access Phase은 비경쟁 기반의 접근방식으로 허브와 노드는 미리 할당된 구간을 이용한다. 본 논문에서

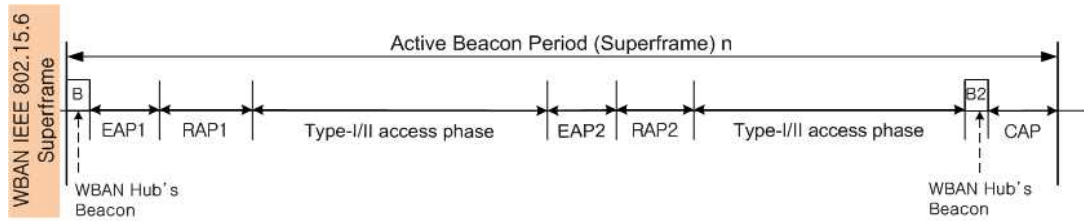


그림 1. IEEE 802.15.6 Beacon mode에서의 Superframe 구조

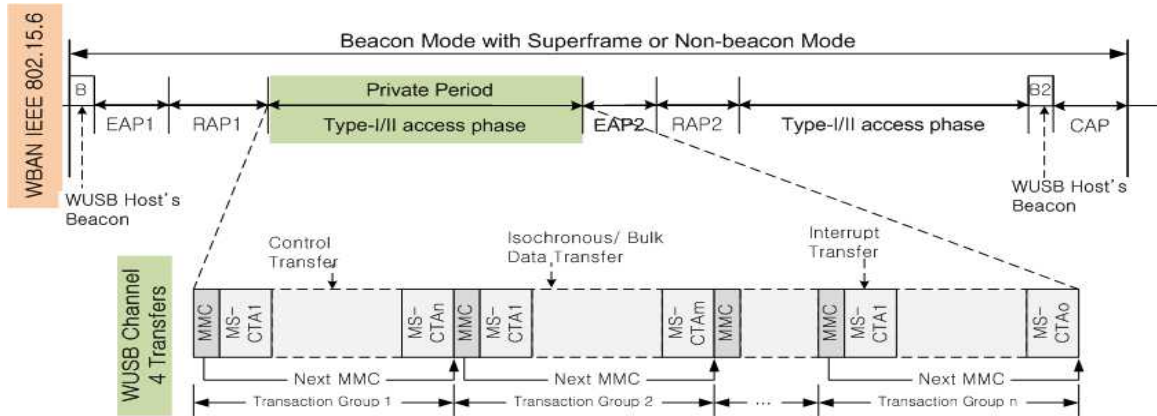


그림 2. WUSB over IEEE 802.15.6 MAC 구성

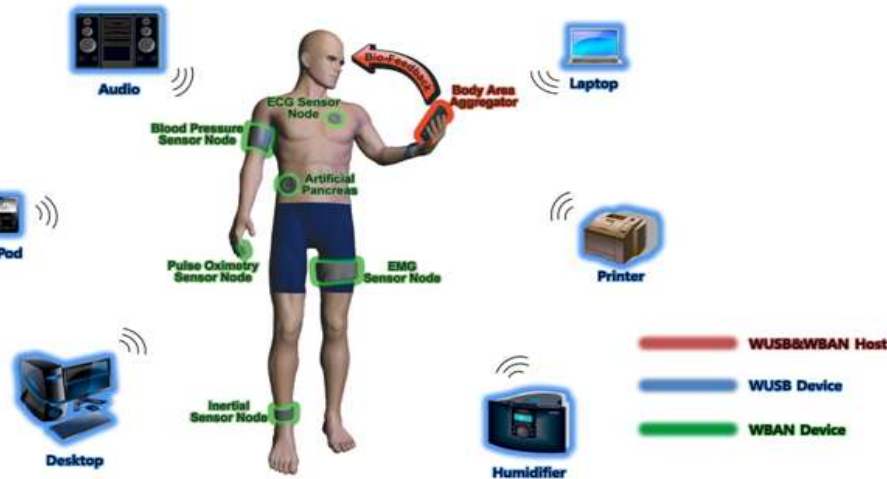


그림 3. WUSB over WBAN 기반 웨어러블 컴퓨터 시스템

서는 그림 2와 같이 WUSB 호스트와 디바이스들 간 통신을 위해 Type-I/II Access Phase 구간을 할당하여 MMC 스케줄링 기능을 지원한다.

그림 3은 사용자가 WUSB 호스트와 WBAN 허브 호스트의 기능을 동시에 수행하는 웨어러블 스마트 컴퓨터를 갖는 경우, 하나의 WUSB 클러스터와 하나의 WBAN 클러스터가 결합되어 웨어러블 컴퓨터 시스템을 구성한 사례를 나타낸다.

### 3. 제안하는 에너지 효율적인 시간 동기 기술

본 논문에서는 TPSN(Timing-sync Protocol for Sensor Networks)을 개선한, 무선 WBAN 네트워크를 위한 보다 에너지 효율적인 시간 동기화 알고리즘을 제안한다. 즉, 노드를 동기화시키는데 필요한 메시지의 수를 줄임으로써 에너지 효율을 높일 수 있다. EETS (Energy-Efficient Time Synchronization)는 TPSN과 마찬가지로 2가지 단계로 동작한다.

다. 첫 번째로 무선 센서 네트워크에서 계층적인 트리구조를 형성하는 단계인 레벨 탐색 단계(Level Discovery Phase)와 실제 동기화 단계(Synchronization Phase)로 나뉘어진다. 이는 신뢰성 있는 데이터의 전송을 목표로 할 경우에 먼저 트리구조를 구성한 후 동기화시키는 것이 효율적이라고 판단하였기 때문이다.

레벨 탐색 단계는 Root 노드가 계층적인 Tree구조를 구성하기 위해 Level Discovery Packet을 방송하는 과정으로부터 시작한다. 루트 노드의 Level Discovery Packet을 받은 각 노드들은 먼저 자신의 레벨을 정하게 되는데 이는 부모 노드의 레벨 0에 1을 더한 값이 된다. 이렇게 자신의 레벨을 정한 후에 Root 노드에게 응답을 보내게 되면 응답을 받게 된 Root 노드는 응답을 받을 때마다 자신의 자식 수를 1만큼 증가시키게 된다. 이로써 빨간 색으로 표시된 레벨 1 위치에 있는 1, 2, 3, 4번 노드들이 네트워크에 합류하게 된다.

EETS는 기본적으로 일반적인 two-way 메시지 교환을 통한 동기화가 이루어진다. Time stamp 메시지 교환은 부모 노드와 자식 노드 사이에서 그림 4의 원리에 따라 이루어지며, 둘 사이에 교환한 T1 ~ T4의 시각 정보를 통해 계산한 시각 차(offset)와 전송 지연(propagation delay)을 통해 각 노드의 시각 동기화가 이루어진다.

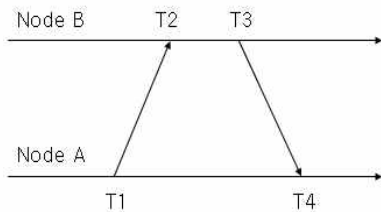


그림 4. two-way time stamp 메시지 교환

EETS의 시각 동기화는 루트노드의 시각 동기화 요청 메시지에 의해 시작되며 그 과정은 그림 5에서 확인할 수 있다. 루트노드는 시각 동기화 요청을 한 후 일정 시간 기다렸다가 time stamp T1을 포함한 동기화 메시지를 방송한다. 이 때, 모든 time stamp는 MAC구간에서 이루어짐으로써 send time, access time에 의한 오류를 최소화하였다.

그림 6에서 볼 수 있듯이 T1을 포함한 time stamp 메시지를 루트 노드로부터 받은 레벨 1의 노드들 중

에서 가장 먼저 응답(ACK)을 보낸 노드는 1번 노드임을 알 수 있다. 루트노드는 가장 먼저 응답한 1번 노드의 time stamp T2, T3가 포함된 패킷만을 받고 나머지 2, 3, 4, 5번 노드로부터 오는 패킷은 폐기시킨다. 그리고 루트노드가 ACK 메시지를 받는 시각을 T4라 한다. 이 때 2, 3, 4, 5번 노드는 루트노드로부터 처음에 패킷을 받았을 때의 각각의 시각 T2를 기록해둔다. 이렇게 되면 1번 노드와 루트노드 간의 T1 ~ T4의 값을 알 수 있게 되고, 1번 노드의 루트노드와의 시각 차와 전송 지연 값을 얻을 수 있게 된다. 이 때, 최종적으로 T4의 시각정보를 얻은 곳은 루트노드이므로 루트노드에서 계산이 이루어지게 된다.

그림 7은 레벨 1 - 레벨 2 노드들 간의 시각 동기화에 대해 설명하고 있다. 편의상 노드 2과 4를 부모로 가지는 노드들에 대해서만 나타내었다. 위의 루트노드 - 레벨 1간의 동기화 방법과 마찬가지로 레벨 1의

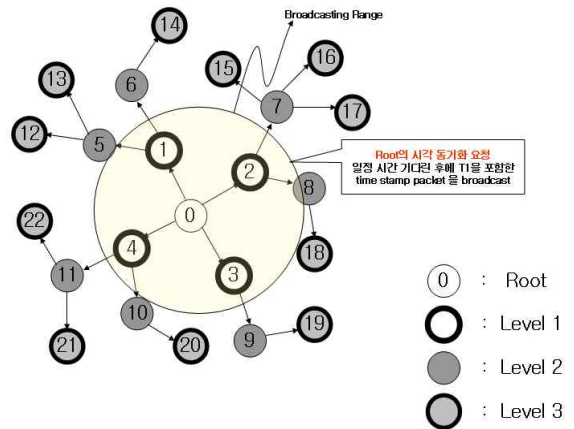


그림 5. 루트노드의 시각 동기화 요청

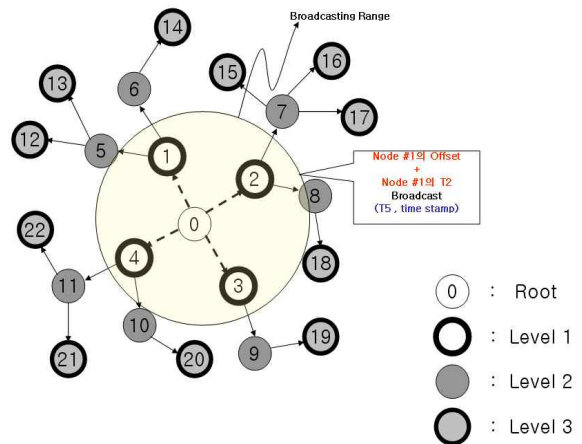


그림 6. 루트노드-레벨1 노드들간의 시각 동기화

노드들은 레벨 2와 time stamp 메시지의 교환을 통해 한 노드와의 offset값을 계산한 후, 위에서 설명한 정보들, 선택된 노드의 T2와 offset, T5, T6, 각 노드들마다 개별적으로 가지고 있는 첫 메시지를 받은 시각인 T2를 가지고 각자의 시각을 동기화시킨다. 다시 말하면 한 노드에 대한 offset과 T2를 계산하고, 나머지 노드들은 방송된 정보를 가지고 자신의 offset을 계산하는 방법을 사용하게 된다. 이와 같은 방법으로 루트 노드를 중심으로 한 계층적인 동기화가 트리의 leaf노드들까지 모두 이루어지게 된다.

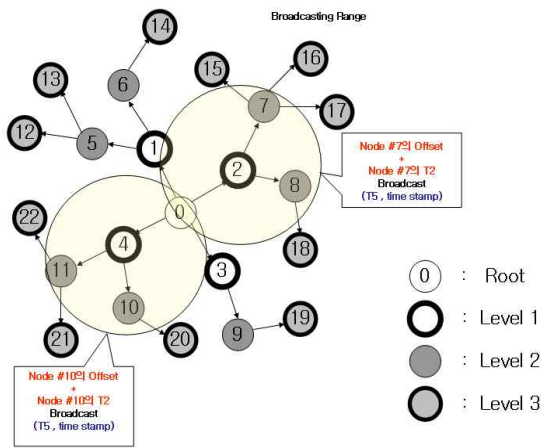


그림 7. 레벨1-레벨2 노드들간의 시각 동기화

#### 4. 시뮬레이션 결과 분석

성능 평가를 위해 PARSEC 플랫폼 기반의 NESLsim에서 시뮬레이션 환경을 구축하였다. PARSEC (PARAllel Simulation Environment for Complex systems)은 C언어 기반의 이산 이벤트 시뮬레이션 언어이다. 10m \* 10m 크기의 필드에 WBAN 노드들을 배치하였고, 그 형태는 uniformly random으로 하였으며, 루트 노드는 (0,0)에 있다. Radio range는 기본값을 10m로 설정하였고. 노드 수를 100, 150, 200, 250으로 점점 증가시키면서 실험하였다.

그림 8은 앞에서 정한 파라미터의 값을 가지고 시뮬레이션을 실행했을 때의 각 알고리즘에 따른 메시지 발생량을 나타낸 것이다. 노드 수를 100~250으로 증가시키면서 실험한 결과, EETS의 전체 메시지 발생량이 나머지 알고리즘에 비해 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 이는 곧 에너지 효율의 향상이라고 볼 수

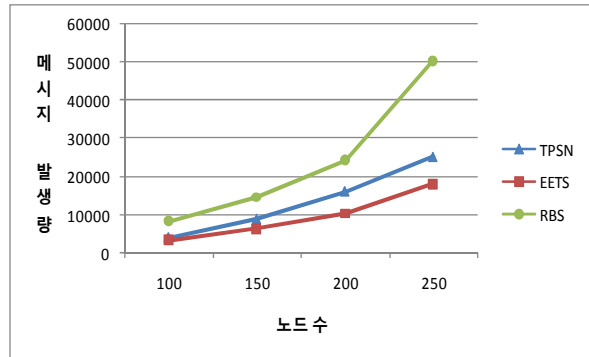


그림 8. 노드 수에 따른 메시지 발생량(radio range=10m)

있다. RBS의 경우 노드의 수가 증가할수록 수신기간의 메시지 교환이 빈번하게 일어나 위와 같은 결과가 나오는 것을 확인할 수 있다. 이를 각각 비교해보면, EETS는 Radio range가 10m일 때 에너지 효율이 평균적으로 RBS (Receiver Based Synchronization) [2]에 비해 약 2.65배, TPSN에 비해 약 1.38배 정도 향상되었다.

그림 9를 보면 EETS는 RBS와 TPSN에 비해 메시지 발생량을 낮추어 시각을 동기화 하는데 필요한 에너지 효율을 향상시켰을 뿐 아니라, 동기화 정확도의 면에서 보아도 RBS와 TPSN보다 우수한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다. 각 알고리즘 별로 살펴보면, EETS는 Radio range가 10m일 때 동기화 정확도가 RBS에 비해 약 1.9배, TPSN에 비해 약 1.19배 정도 향상되었다.

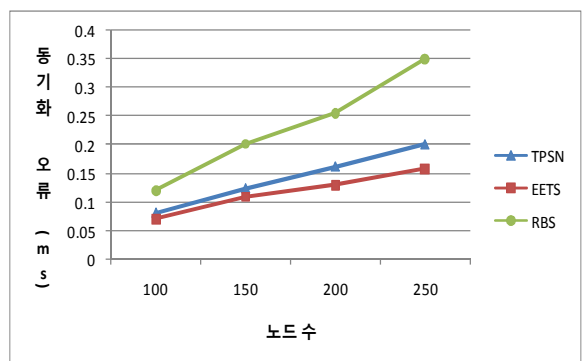


그림 9. 노드 수에 따른 동기화 오류(radio range=10m)

#### 5. 결론

본 논문에서는 웨어러블 컴퓨터 시스템을 위한 WUSB over WBAN 프로토콜에서 요구되는 에너지

효율적인 시간동기 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 전력 소모를 최소화 하면서 정밀한 시간 동기가 이루어지는 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 시간 동기 알고리즘은 웨어러블 컴퓨터의 주변 장치를 구성하는 WUSB over WBAN 프로토콜 기반 센서 노드에서, 계층적인 구조를 구성하고 Time Stamp 패킷을 송수신하는 방식으로 빠르게 실행되어 전력소모를 최소화한다. 제안하는 알고리즘은 TPSN의 동기화 기법을 기본으로 하여 레벨을 가지는 트리를 구성하고, 동기화 메시지의 발생량을 줄이면서도 정확도에서도 떨어지지 않는 방안이다. 계층적인 트리 구조의 네트워크를 형성하고, 루트 노드부터 시작하여 계층적으로 시각을 동기화시킨다.

### 참 고 문 헌

[ 1 ] NTP, The Network Time Protocol, <http://www.ntp.org>, 2005.

[ 2 ] J. Elson, L. Girod, and D. Estrin. "Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts," *Proc. of the Fifth Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI2002)*, pp. 134-140, 2002.

[ 3 ] S. Ganeriwal, M. Srivastava, "Timing-sync Protocol for Sensor Networks," *ACM Sensys '03*, pp. 310-317, 2003.

[ 4 ] 이우훈, 손민정, "원키 키보드: 웨어러블 컴퓨팅 환경에서 문자입력을 지원하는 초소형 QWERTY 키보드," 한국디자인학회 학술발표대회, pp. 82- 83, 2006.

[ 5 ] Robert Rosenberg and Mel Slater, "The Chording Glove: A Glove-Based Text Input Device," *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Review*, Vol. 29, No. 2, pp. 223-231, 2009.

[ 6 ] USB 2.0, USB-IF, <http://www.usb.org/home>, 2006.

[ 7 ] Certified Wireless USB 1.1, <http://www.usb.org/developers/wusb>, 2010.

[ 8 ] K.I. Kim, "Adjusting Transmission Power for Real-Time Communications in Wireless Sensor Networks," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, Vol. 10, No. 1, pp. 21-26, 2012.

[ 9 ] 허경, 손원성, "무선 홈 네트워크에서 고속 멀티미디어 서비스의 Fair QoS 제공을 위한 UWB Distributed MAC 프로토콜의 타임 슬롯 할당 방안," 멀티미디어학회논문지, 제12권, 제3호, pp. 419-426, 2009.

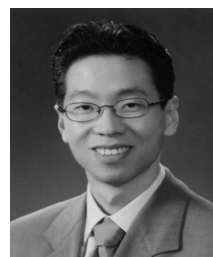
[10] IEEE 802.15 WPAN Task Group 6 Body Area Networks (BAN), <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>. 2009.



허 경

1998년 고려대 전자공학과 학사  
 2000년 고려대 전자공학과 석사  
 2004년 8월 고려대 전자공학과  
 통신공학 박사  
 2004년 8월 ~ 2005년 8월 삼성중  
 합기술원(SAIT) 전문연  
 구원

2005년 9월 ~ 현재 경인교대 컴퓨터교육과 부교수  
 관심분야: QoS, Wireless MAC, 컴퓨터교육



손 원 성

1998년 동국대 컴퓨터공학 학사  
 2000년 동국대 컴퓨터공학 석사  
 2004년 연세대학교 컴퓨터과학 공  
 학박사  
 2004년 ~ 2006년 Carnegie  
 Mellon Univ., Post Doc.

2006년 ~ 현재 경인교육대학교 컴퓨터교육과 부교수  
 관심분야: HCI, 멀티미디어 문서처리, 컴퓨터교육