

# 생체 신호 수집을 위한 저전력 센서 노드 관리 시스템

## A Low Power Sensor Node Controller for Human Body Monitoring

김혜정, 최성대, 유담, 이슬기, 김용상, 유회준

Hyejung Kim, Sungdae Choi, Jerald Yoo, Seulki Lee, Yongsan Kim and Hoi-Jun Yoo

seeseah@eeinfo.kaist.ac.kr, next@eeinfo.kaist.ac.kr, jerald@eeinfo.kaist.ac.kr,

sklee@eeinfo.kaist.ac.kr, voliff@eeinfo.kaist.ac.kr, hjyoo@ee.kaist.ac.kr

### 요약

인간의 현재의 건강상태를 파악하기 위해서는 수십개 이상의 센서기기가 요구된다. 이 기기들은 사용하기 편하고 눈에 보이지 않도록 의복 안으로 장착되는 웨어러블 컴퓨터 형태로 변화하고 있다. 웨어러블 컴퓨터를 위한 하드웨어의 가장 큰 조건은 저전력 소모와 실시간 동작이다. 본 논문에서는 의복형 UFC 시스템을 위한 중앙 집중형 네트워크 구조를 제안하고, 이 구조에 적합한 컨트롤러 칩을 제작하였다. 제안된 컨트롤러 칩은 효율적인 스케줄러를 사용하여 최대 255개의 센서 노드를 관리할 수 있으며, 0.18um CMOS 공정으로 제작되었다. 제안된 컨트롤러 칩을 탑재한 base station, 체온 측정이 가능한 수개의 센서 노드와 데이터 통신과 전력 송신이 가능한 디지털사를 이용하여 의복형 UFC 시스템을 위한 테스트 보드를 구축하였으며, 이를 사용하여 성공적인 동작을 검증하였다.

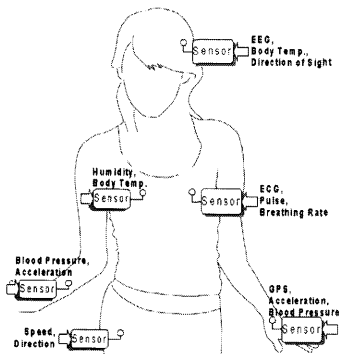
### ABSTRACT

More than several tens of sensor devices are required to monitor signals in and on the human body. Technical development of the electronic devices has changed to a wearable computer which enter human garment. The most important requirements are low power consumption and real-time operations, which is difficult to implement by conventional controller chips. In this paper, a star-topology network is proposed for wearable system and a controller chip is designed and fabricated by 0.18um CMOS technology to manage the proposed network with extremely low power consumption. It periodically monitors the data from maximum 255 sensor devices. The test board system is implemented which consists of base station with proposed controller chip, sensor node with temperature sensor and digital yarn. The proposed system is successfully demonstrated on the test system.

# 1. 서론

전자기기의 발전은 데스크탑 컴퓨터를 노트북, 개인 컴퓨터 기기로의 변화를 만들었다. 더 나아가 컴퓨터는 옷에 부착되기도 하며 사람 몸에 이식되는 형태로까지 발전하고 있다. 이러한 웨어러블 (Wearable) 또는 임플란터블 (Implantable) 컴퓨터 시스템은 개인이 사용하기 편한 컴퓨팅 환경과 서비스를 제공하며, 특히 개인의 건강 상태 모니터링 [1], augmented reality system [2], 일반적인 목적의 컴퓨터 [3] 등의 분야에서 응용되고 있다. 본 논문에서는 개인 건강 상태를 모니터링 하는 응용에 대하여 집중적으로 살펴보기로 한다.

개인의 건강 상태를 모니터링 하기 위해서는 정확한 분석을 위한 많은 데이터가 수집되어야 한다. (그림1)은 사용자의 건강 상태를 모니터링 할 수 있는 데이터 수집의 예시를 보여주고 있다. 정확한 건강 상태를 분석하기 위해서는 주로 맥박, 체온, 혈압, 호흡 수 등의 많은 데이터가 필요하다. 뿐만 아니라, 인체의 한 부위에서만 모든 정보를 수집하기 보다는 각 생체 신호에 알맞은 곳곳의 부위에서 정보를 수집하여야 한다. 예를 들어 정확한 체온을 얻기 위해서는 겨드랑이 부근에서 측정하는 것이 가장 정확하며, 심전도 신호는 심장 근처의 3~5 곳에서 측정하여 처리하는 것이 정확하다. 이를 위해서는 전체 시스템은 여러 개의 체온 센서와 심전도 센서가 필요하다. 또한 앞서 언급한 생체 데이터들은 주기적으로 측정이 되어야 하며, 지속적인 실시간 모니터링이 필요하다. 따라서 많은 양의 센서 노드와 데이터 관리를 위한 효율적인 시스템 구축이 요구된다.



(그림1) 다양한 센서를 이용한 생체 신호 수집

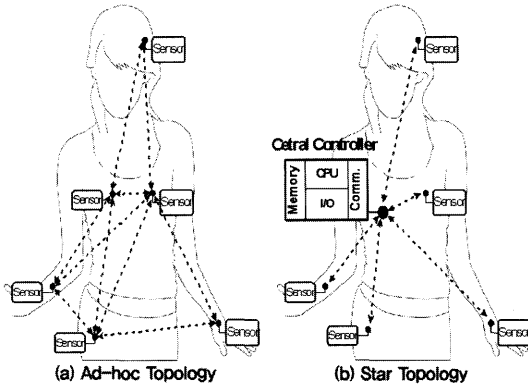
현재 개인의 건강 상태를 모니터링 할 수 있는 시스템은 크게 두 가지 방법으로 구현되어 있다. 첫 번째는 하나의 하드웨어 모듈에 여러 개의 센서를 부착하는 형태이다 [4, 5]. 하지만, 이 방법은 손목 등의 인체의 한 부위에서만 생체 신호를 수집하기 때문에 정확한 생체 신호를 수집하기가 힘들다. 또한, 이미 고정된 형태이기 때문에 다양한 센서를 추가하는데 많은 어려움이 따른다. 또한 한 개의 컨트롤러에 모든 센서가 종속되어 있어, 컨트롤러가 처리해야 하는 일의 부담이 크기 때문에 매우 고성능의 컨트롤러가 필요하다.

두 번째는 독립적인 스마트 센서 노드를 사용하는 방법이다 [6, 7]. 각각의 노드는 센서, CPU, 메모리와 OS 모듈을 갖추고 있으며, 주기적으로 생체 데이터를 수집하여 목적지에 데이터를 스스로 보낼 수 있는 능력을 갖추고 있다. 각 노드에서 수집된 데이터는 적당한 네트워크 시스템을 통하여 중앙 컨트롤러로 전달되고, 중앙 컨트롤러는 수집된 데이터들을 저장하고 처리하는 역할을 담당한다. 각각의 노드가 데이터를 수집하고, 처리하는 능력을 갖고 있으므로 중앙의 컨트롤러는 상대적으로 고성능일 필요는 없다. 이 시스템은 첫 번째 방법과는 달리 센서 노드들을 쉽게 추가와 제거를 할 수 있으므로 다양한 데이터를 수집해야 하는 응용 분야에 적합하다.

본 논문에서는 많은 개수의 센서 노드로 구성된 시스템에 알맞은 네트워크 구조를 제안하고, 최대 255개의 센서 노드를 관리 할 수 있는 저전력 중앙 컨트롤러를 제안하고 구현하였다. 제 2장에서는 생체 수집을 위한 의복형 UFC 시스템에 효율적인 네트워크 시스템에 대하여 제안하고, 제 3장에서는 제안한 중앙 컨트롤러 구조에 대하여 자세히 살펴본다. 제 4장에서는 구현된 시스템의 결과에 대하여 기술한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 결론에 대하여 기술한다.

# 2. 의복형 UFC 시스템을 위한 네트워크 구조

(그림2)는 많은 개수의 센서를 이용하여 모니터링 시스템을 구성하기 위해서는 일반적으로 두 가지 네트



(그림2) 네트워크 구조 비교

워크 구조를 보여준다. 분산형 Ad-hoc 구조는 각각의 센서노드가 스스로의 작업 스케줄을 관리하며, 임의의 이웃 노드들에게 데이터를 전달하는 기능을 갖고 있다. 반면에 중앙 집중형 Star 구조는 강력한 기능을 가진 한 개의 중앙 컨트롤러가 센서 노드들에게 명령을 주며, 센서 노드들은 컨트롤러에서 받은 명령에 의하여 수동적으로 동작한다. 또한 각 노드에서 수집한 데이터들은 이웃 노드들이 아닌 중앙 컨트롤러에게만 전달된다.

### 2.1 분산형 Ad-hoc 구조

분산형 Ad-hoc 구조는 (그림 2a)와 같이 각각의 센서 노드에서 수집된 데이터를 노드간의 hopping 방법을 사용하여 데이터를 전달한다. Ad-hoc 통신 방식은 네트워크 기반이 마련되지 않은 넓은 영역에서의 통신을 할때 매우 유용하다. 또한 각각 노드의 전송 거리를 줄여서 전송 파워를 줄일 수 있다 [8]. Ad-hoc 네트워크 시스템에서는 한 노드에서 이웃한 임의의 노드로 데이터를 보내는 라우팅 알고리즘을 사용하여 목표로 하는 지점까지 데이터를 보낼 수 있다.

### 2.2 중앙 집중형 Star 구조

중앙 집중형 Star 구조는 (그림 2b)와 같이 여러 군데에 널려 있는 노드에서 수집된 데이터를 중앙에 있는 허브나 컨트롤러에게 보내주는 방식이다. 중앙 컨

트롤러는 네트워크상에 있는 모든 노드들의 스케줄을 관리하여 명령어를 보내기 때문에 노드들간의 전송 충돌을 방지할 수 있다. 중앙 집중형 네트워크의 센서 노드들은 간단한 구조로 구성 할 수 있다. 하지만, 중앙 컨트롤러가 모든 노드들의 스케줄 관리와 데이터 전송을 담당해야 하기 때문에 중앙 컨트롤러의 부담이 크다. 즉, 중앙 집중형 네트워크를 구성하기 위해서는 실시간으로 노드 관리를 위해서 상대적으로 고성능의 컨트롤러가 필요하다.

### 2.3 전력 소모의 비교

앞에서 언급한 두 가지 구조의 네트워크 구조에서의 전력 소모 비교를 (그림3)에서 보여주고 있다. 이 모델에서는 머리, 팔, 다리 등의 다섯 군데에 10개의 통신이 가능한 센서 노드를 놓아둔 후, 모든 노드에서 수집된 데이터를 인체의 중앙에 있는 허브로 보내도록 한다. 두 가지 구조 모두, 노드는 허브로부터 1m 떨어진 거리에 놓아두었다. 다만 Ad-hoc 구조를 구현하기 위하여 (그림 3b)와 같은 모습으로 노드와 허브 사이에 repeater를 삽입 하여, 통신 거리를 반으로 감소시켰다. 각각의 노드는 한 개의 패킷을 보낸다고 가정하면, 중앙 집중형 구조의 전력 소모와 ( $P_s$ ) 분산형 구조의 전력 소모는 ( $P_A$ ) 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$P_s = 5 \times 10 \times P_{TX,S} + 5 \times 10 \times P_{RX,S} = 50 \cdot (P_{TX,S} + P_{RX,S})$$

$$P_A = 5 \times 10 \times P_{TX,A} + 5 \times 10 \times P_{RX,A} + 5 \times 10 \times (P_{RX,A} + P_{TX,A}) = 100 \cdot (P_{TX,A} + P_{RX,A})$$

where,

$P_{TX,S}$  = Transmission power of star topology (1m)

$P_{TX,A}$  = Transmission power of Ad-hoc (0.5m)

$P_{RX,S}$  = Reception power of star topology

$P_{RX,A}$  = Reception power of Ad-hoc topology

만약  $P_{TX,S} : P_{RX,S} = 1:4$  이고 통신 전력의 10%가 전송 중간에서 발산되어 사라진다고 가정하면,  $P_s$ 와  $P_A$ 의 전체 통신 전력 소모는 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$P_S = 50 \cdot (P_{BASE} + P_{TX,S} + P_{BASE} + P_{RX,S})$$

$$= 66.7 \cdot P_{COMM}$$

$$P_A = 100 \cdot (P_{BASE} + P_{TX,A} + P_{BASE} + P_{RX,A})$$

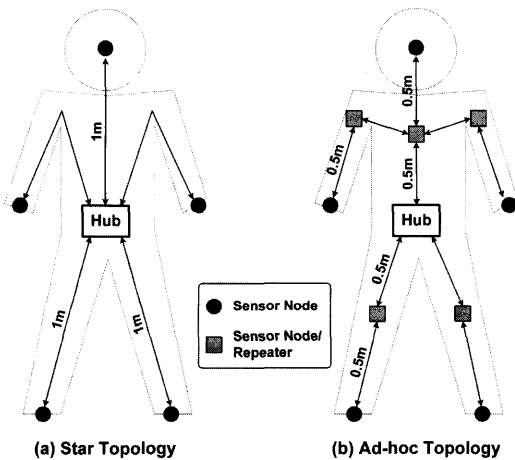
$$= 128.3 \cdot P_{COMM}$$

where,

$P_{BASE}$  = Power consumption of baseband block

$P_{COMM}$  = Power consumption of communication block

이 분석을 통하여 중앙 집중형 구조가 분산형 구조보다 전력을 반밖에 소모하지 않는다는 사실을 알 수 있다. 분산형 구조에서는 데이터를 보내기 위하여 hopping 하고 라우팅 하는 곳에서 불필요한 전력을 소모하기 때문이다. 따라서 반경이 2m 이하의 인체 영역과 같이 면적이 작은 시스템에서는 중앙 집중형 star 구조가 더 적합함을 알 수 있다.



(그림3) 인체 영역 네트워크의 구조 비교

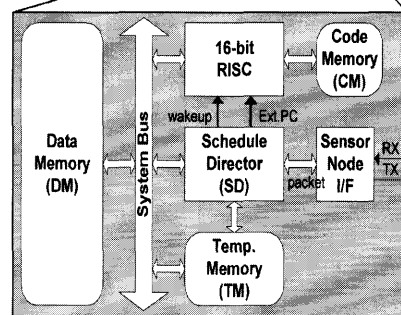
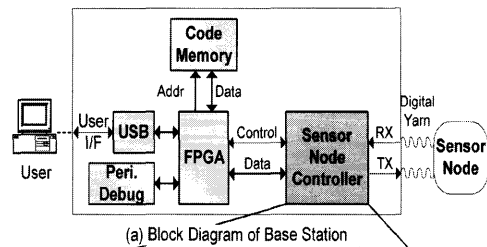
### 3. 센서 노드 컨트롤러 시스템 구조

앞의 장에서 분석한 결과를 바탕으로 생체 수집을 위한 의복형 UFC를 위한 시스템은 Star 구조를 선택하였다. 이를 위하여 1개의 base station과 수개의 센서 노드로 시스템을 구현하였다. Base station과 센서 노드 사

이의 채널은 디지털사를 사용하여 통신을 하며, 안정적인 통신을 위하여 통신 주파수는 수십kHz~1MHz 대역을 선택하였다.

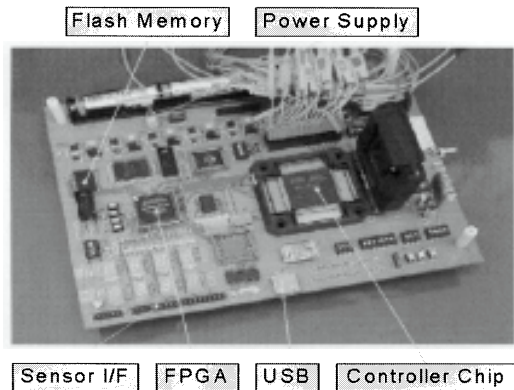
### 3.1 Base station

(그림 4)는 base station 보드 시스템의 전체 구조이다. Base station은 센서 노드 컨트롤러 칩, flash 메모리, 외부 I/O 핀, 전력 공급 block, FPGA와 테스트를 위한 주변 장치로 구성되어 있다. 센서 노드 컨트롤러 칩은 본 논문에서 제안한 전체 시스템을 관장하는 중앙 컨트롤러이다. FPGA는 flash 메모리에 미리 저장해 놓은 프로그램 코드와 컨트롤 레지스터 값을 컨트롤러 칩으로 넘겨주는 역할을 한다. 컨트롤러 칩으로 이동을 마치면 노드 컨트롤러는 동작을 시작하며, 프로그램 해 놓은 주기에 따라 각 노드에 이벤트 신호와 데이터를 요구하는 명령어를 생성하거나 사용자가 작성한 프로그램을 실행한다. 센서 노드와의 통신 채널은 디지털사를 이용하며, 사용자와의 인터페이스는 USB 프로토콜을 사용한다. (그림 5)는 Base station 보드 시스템을 보여준다.



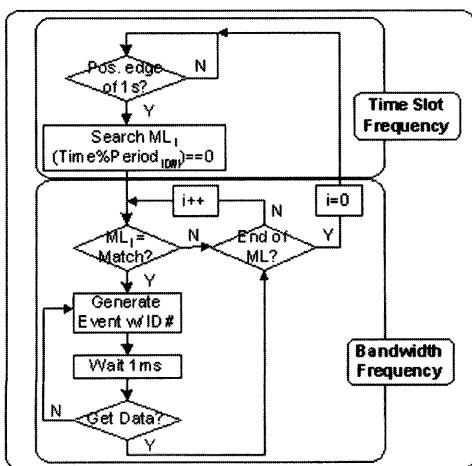
(b) Block Diagram of Sensor Node Controller

(그림 4) Base Station 구조



(그림 5) Base station 보드

(그림 4b)는 본 논문에서 제안한 저전력으로 최대 255개의 노드를 컨트롤 할 수 있는 센서 노드 컨트롤러의 자세한 구조이다. 컨트롤러는 노드 스케줄을 관리하는 Schedule Director (SD) block [9], 사용자가 원하는 프로그램 수행이 가능한 16bit RISC 프로세서로 이루어져 있다 [10]. SD는 네트워크상에 있는 노드들에게 데이터를 요구하는 명령 패킷을 생성한다. 생성된 패킷은 Transceiver를 통하여 네트워크상의 노드들에게 전달된다. 코드 메모리는(CM) RISC에서 사용할 프로그램 코드를 저장하며, 데이터 메모리는(DM, TM) 센서 노드에서 수집된 데이터를 저장한다.



(그림6) CAM을 이용한 주기적인 이벤트 신호 발생 과정

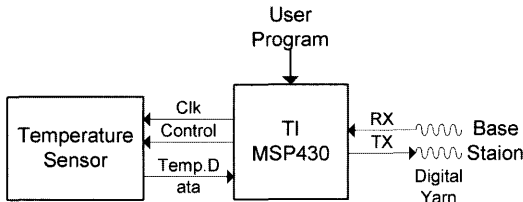
본 논문에서 제안한 SD는 저전력으로 병렬 비교가 가능한 CAM (Contents Addressable Memory)으로 구성되었으며 [11], (그림 6)은 SD의 동작을 보여준다. 각 노드의 주기 정보는 CAM에 저장되어 있어서 현재 시간 값과 256개의 워드 정보를 동시에 비교 할 수 있다. 첫 번째 워드 값은 모든 노드에 동시에 신호를 보낼 경우에 사용 할 수 있도록 하였기 때문에 관리가 가능한 노드의 개수는 총 255개이다. 제안한 방법은 기존 방법처럼 메모리에 자주 접근하지 않고, 많은 실리콘 칩의 면적을 사용하지 않으면서 많은 노드를 관리 할 수 있는 장점을 갖고 있다. CAM이 일반적으로 전력 소모가 큰 device로 알려져 있지만 [12], 이는 많은 양의 데이터를 처리하기 위하여 고속으로 동작할 경우에 한해서이다. 의복형 UFC 시스템과 같은 고성능이 필요하지 않은 경우에는 CAM은 단지 16-bit x 256-word의 작은 크기와 낮은 동작 속도를 갖기 때문에 오히려 저전력으로 설계가 가능하며, 실리콘 칩의 사용 면적도 매우 작다.

RISC는 데이터 가공이나, 압축 등 일반적인 프로그램을 수행할 수 있도록 고속으로 동작으로 시키고, SD는 노드 관리가 가능할 정도로만 동작이 유지되면 되므로 상대적으로 낮은 속도로 동작하도록 설계하였다. 낮은 clock 주파수의 동작은 불필요한 signal transition을 줄일 수 있고, 낮은 전압 동작이 가능하게 하며 이는 전체 시스템의 전력 소모를 감소시킨다. 센서 노드 컨트롤러 칩은 0.18um CMOS 공정으로 제작하였으며, 칩 크기는 5mmx5mm이다 [9].

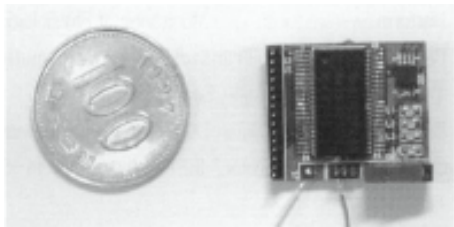
### 3.2 Sensor Node

(그림 7)은 체온을 측정할 수 있는 센서 노드 보드의 구조이다. 의복에 부착하기 위해서는 센서 노드의 모듈은 크기와 무게를 모두 최소화 가 되어야 한다. 특히 배터리 크기와 무게에 제한이 있어, 시스템에 사용한 CPU는 최저전력 소모로 동작이 가능한 부품을 선택하여 button cell 전지로도 동작이 가능하도록 하였다. 센서 노드는 온도 센서와 간단한 컨트롤러로 구성 되어 있으며 크기는 24mm x 20mm이며 (그림 8)에

서 보여준다.



(그림 7) 센서 노드의 구조

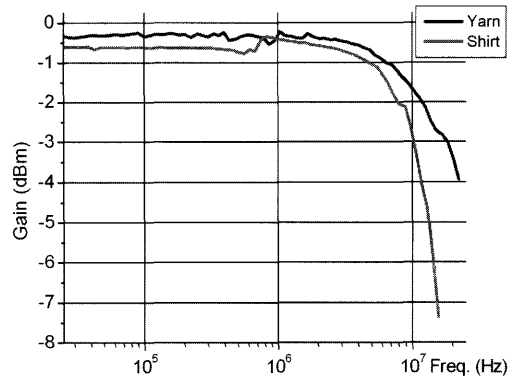


(그림 8) 센서 노드 보드

### 3.2 Digital Yarn

현재 기술 수준에서 일반 의류에 경량화된 컴퓨터를 부착하기 위해서는 케이블이 별도로 수십 가닥이 연결되어야 하므로 매우 거추장스럽고, 이를 보완하기 위해서 또 다른 원단으로 케이블 부분을 가리는 작업을 하게 된다. 케이블선 자체만으로도 의복의 무게가 증가하게 되고 기타 전자제품과 센서의 무게가 더해져서 의류의 장점인 착용 간편성과 쾌적성이 급격하게 저하되는 문제점이 있다. 그러므로 제한된 특정 목적을 위해 일시적인 착용은 가능하나 일상생활에서 매일 착용되는 일상복으로의 적용은 매우 어려운 현실이다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 의복으로 제작이 가능한 디지털사를 개발하였고, 이 디지털사를 이용하여 의복을 제작하였다 [13]. 본 논문에서 구현한 UFC 시스템은 Base station과 sensor node사이의 채널은 데이터 신호뿐만 아니라, 전력 공급까지 가능한 디지털사를 사용하였다. 디지털사의 주파수 특성은 (그림 9)과 같다. 이때, 안정적인 통신을 위하여 시스템의 통신 주파

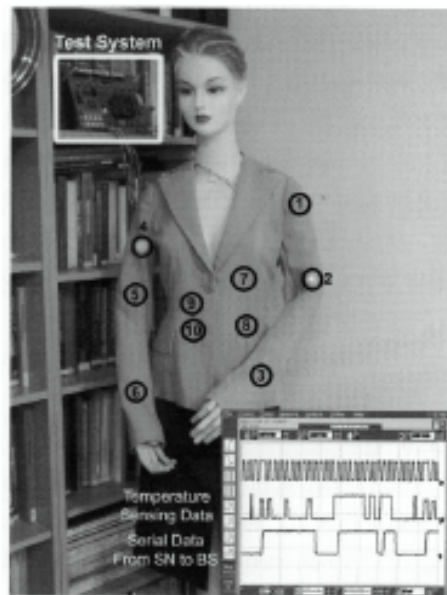
수는 수십kHz~1MHz 대역을 선택하였다.



(그림 9) 디지털사의 주파수 특성

## 4. 결과

(그림 10)은 앞 장에서 제안한 센서 노드 컨트롤러 시스템이 동작하는 모습이다. 10개의 Sensor node 보드들은 옷 속에 넣어 놓았고, base station 보드는 왼쪽에 위치하여 놓았다. Base station은 두 개의 센서 노



(그림 10) 시스템 동작

드는 2초, 또 다른 두 개의 노드는 5초, 한 개의 노드는 10초, 나머지 5개의 노드는 20초마다 동작을 하도록 하는 명령 packet을 보낸다. 각 센서 노드는 LED를 갖고 있어 명령 packet을 받으면 LED가 켜지도록 하였다. (그림 10)에서는 2번과 4번 노드가 명령 packet을 받았다는 것을 볼 수 있다. 또한 아래에 위치한 파형은 센서노드의 동작 파형이며 센서에서 측정되고 있는 온도 데이터와 base station으로 보내주는 데이터를 나타내고 있다. Base station은 각 센서 노드에서 전달 받은 온도 데이터를 처리하여 저장하고 있다. 다음과 같은 데모를 통하여 시스템의 성공적인 동작을 검증하였다.

## 5. 결론

많은 양의 센서 노드들 간의 데이터 통신에 대한 분석을 통하여, 의복형 UFC 시스템에서는 분산형 구조보다 중앙 집중형 네트워크 구조가 저전력으로 시스템을 구성할 수 있다는 것을 알수있다. 본 논문에서는 효율적인 생체 신호를 수집하는 의복형 UFC 시스템을 위하여 중앙 집중형 네트워크 구조를 제안하였고, 제안한 구조에 알맞은 저전력 노드 컨트롤러 칩을 0.18um CMOS 공정으로 구현하였다. 컨트롤러 칩은 SD라고 이름 붙인 효율적인 하드웨어 스케줄러가 있어 저전력으로 255개의 노드를 관리할 수 있으며, 16bit RISC가 있어 일반적인 프로그램을 실행 할 수 있다. 또한 base station, 수개의 sensor와 디지털사 채널로 구성된 테스트 보드 시스템을 구축하여 제안한 네트워크 구조와 컨트롤러 칩의 성공적인 동작을 검증하였다.

## 참고문헌

- [1] D. Konstantas and R. Herzog, "Continuous monitoring of vital constants for mobile users: the MobiHealth approach," Annual International Conference of the IEEE EMBS, pp.3728-3731, Sep 2003.
- [2] Ryuhei Tenmoku, et al., "A Wearable Augmented Reality System Using Positioning Infrastructures and a Pedometer," IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2003
- [3] Rich De Vul, et al., "MIThril 2003: Applications and Architecture," IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2003
- [4] Urs Anliker, et al., "AMON: A Wearable Multiparameter Medical Monitoring and Alert System," IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 8, No. 4, Dec. 2004
- [5] Pietro Valdastri, et al., "An Implantable Telemetry Platform System for In Vivo Monitoring of Physiological Parameters," IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Sep. 2004
- [6] Brett Warneke, et al., "Smart Dust: Communicating with a Cubic-Millimeter Computer," IEEE Computer, pp.44-51, Jan. 2001
- [7] Mark Hempstead, et al., "An Ultra Low Power System Architecture for Sensor Network Applications," IEEE International Symposium on Computer Architecture, 2005
- [8] Anantha Chandrakasan, et al., "Power Aware Wireless Microsensor Systems," European Solid-State Circuits Conference 2002
- [9] Sungdae Choi, et al., "A 24.2-uW Dual-Mode Human Body Communication Controller for Body Sensor Network," European Solid-State Circuits Conference 2006
- [10] Hyejung Kim, et al., "A Low Power 16-bit RISC with Lossless Compression Accelerator for Body Sensor Network System," Asian Solid State Circuits Conference 2006
- [11] Sungdae Choi, et al., "A TCAM-based Periodic Event Generator for Multi-Node Management in the Body Sensor Network," Asian Solid State Circuits Conference 2006
- [12] Sungdae Choi, et al., "A 0.7-fJ/bit/ search 2.2-ns Search Time Hybrid-Type TCAM Architecture," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Jan. 2005
- [13] Gi-Soo Chung, et al., "A Study on the Electrically conductive Yarn for the High Speed Data Communication," International Fiber Conference 2006