

전도성 섬유를 이용한 웨어러블 컴퓨팅 네트워크

A wearable computing network using conductive yarn

이슬기, 유담, 김용상, 김혜정, 유회준

Seulki Lee, Jerald Yoo, Yongsang Kim, Hyejung Kim and Hoi-Jun Yoo

대전시 유성구 구성동 373-1, KAIST 전기 및 전자공학과

sklee@eeinfo.kaist.ac.kr, Jerald@eeinfo.kaist.ac.kr, voliff@eeinfo.kaist.ac.kr,

seeseah@eeinfo.kaist.ac.kr, hjyoo@ee.kaist.ac.kr

요약

사람이 늘 입고 다니는 웨어러블 컴퓨터에서 착용 시의 이물감과 활동 시의 불편함은 해결되어야 하는 중요한 문제이다. 웨어러블 컴퓨터의 또 다른 중요한 조건인 저전력 소모를 만족시키면서 이물감과 불편함을 최대한 감소시키기 위하여, 본 논문에서는 전도성 섬유와 Woven Inductor로 구성된 유무선 통합 네트워크를 제안하였다. 제안된 채널은 겉옷과 속옷의 통신에만 적은 에너지를 소모하는 유도 결합을 기반으로 한 근거리 무선 통신을 사용하고, 겉옷 내에서는 의복 내에 완벽한 일체가 가능한 전도성 섬유를 통한 유선 통신을 사용한다. 제안된 채널을 이용하여 체온 측정이 가능한 센서 노드와 센서 컨트롤러를 연결하는 웨어러블 컴퓨팅 네트워크를 구현하였으며, 네트워크의 성공적인 동작을 검증하였다.

Abstract

In the wearable computer that people are always wearing on their body, the feeling of heterogeneity for wearing and the inconvenience for acting are important problems that must be solved. In this paper, to reduce the feeling of heterogeneity and the inconvenience and to consume low power, which is the other important condition for wearable computer, at the same time, the combined network of wireless and wire-line communication is proposed which consists of conductive yarn and a pair of Woven Inductor. In the proposed channel, the wireless communication is used only between inner and outer wear, and this wireless communication is based on the inductive coupling which consumes low energy. Also the wire-line communication is used in the outer wear through the conductive yarn which can be integrated into the clothes perfectly. By using the proposed channel, the wearable computing network of temperature sensor nodes and the sensor controller is implemented, and the overall network is successfully demonstrated.

키워드 : 전도성 섬유, 웨어러블 컴퓨팅 네트워크, 유무선 통합 네트워크

Keyword : Conductive Yarn, Wearable Computing Network, Wireless and Wire-line Combined Network, Woven Inductor

1. 서론

컴퓨터는 매우 빠른 속도로 발전을 거듭해 오면서, 데스크탑 컴퓨터에서 작고 가벼운 노트북으로 변화하였다. 더 나아가 오늘날에는 사람들이 웰빙에 관심을 가지게 되면서, 개인의 건강 상태 모니터링, 엔터테인먼트, 그리고 의학적 용도로서의 웨어러블 컴퓨터가 점점 더 중요해지고 있다[1]. 특히 개인의 건강 상태를 모니터링하기 위해서는 사람의 몸에 붙어있는 여러 종류의 센서로부터 생체 신호를 수집하고 이를 외부로 전송해야 하며, 인체의 한 부위에서만 모든 정보를 수집하는 것이 아니라 각 생체 신호에 알맞은 여러 부위에서 정보를 수집해야 한다[2]. 따라서 웨어러블 컴퓨터에서는 여러 센서와 프로세서 및 통신부 사이의 네트워크 구축이 중요한 문제가 된다. 본 논문에서는 효율적인 웨어러블 컴퓨팅 네트워크의 구현에 대하여 집중적으로 살펴보기로 한다.

사람의 몸에 부착되어 있는 센서로부터 받은 정보를 분석하거나 외부로 송신하기 위한 웨어러블 컴퓨터의 프로세서나 통신부는 겹옷에 위치하는 것이 일반적이다. 이러한 경우에 센서에서 수집된 데이터는 여러 겹의 옷을 지나서 전달되어야 한다. 유선 통신을 사용하게 되면 속옷과 겹옷에 물리적인 연결선이 존재하여야 하는데, 이는 사람이 일상생활을 하는데 매우 불편한 요소로 동작할 수 있다. 반면에 무선 통신은 물리적인 연결선이 없으므로 편리하며, 이것이 통상적인 웨어러블 컴퓨터에서 무선 통신이 사용되는 이유이다[3]. 그러나 무선 통신 시스템은 유선 통신 시스템에 비해 전력 소모가 훨씬 큰데, 웨어러블 컴퓨터와 같은 모바일 시스템에서는 배터리가 중요한 요소이기 때문에 문제가 된다.

이러한 무선 통신과 유선 통신의 각각의 장점만을 모두 취해 전력 소모가 적으면서도 착용감이 좋은 웨어러블 컴퓨터를 구현하기 위하여, 전도성 섬유를 통한 유선 통신과 전도성 섬유로 만든 Woven Inductor inductor 채널을 통한 무선 통신을 통합한 새로운 개념

이 도입되었다. 이것은 유도 결합을 바탕으로 한 개념인데, 유도 결합은 칩 간 통신에서는 이미 저에너지 통신 방법의 하나로서 널리 알려진 방법이다[4]. 속옷과 겹옷 사이의 통신에서 한 쌍의 Woven Inductor가 물리적인 연결선의 역할을 대신하므로 일상생활에 있어서 불편함을 효과적으로 줄일 수 있다. 또한 일반 전선이 아닌 개발된 전도성 섬유를 사용하는데, 전도성 섬유란 전기 신호의 전달과 의복으로 제작이 가능한 섬유를 말한다[5]. 섬유로 제작하기 때문에 옷에서 느껴질 수 있는 이물감을 최소화할 수 있으며, 이에 따라 의류의 장점인 착용 간편성과 쾌적성을 그대로 유지할 수 있다.

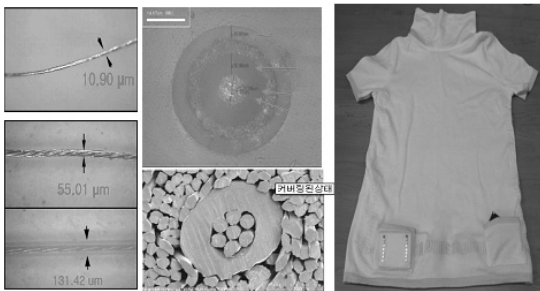
본 논문에서는 전도성 섬유를 이용하여 만든 Woven Inductor 쌍을 통하여 속옷과 겹옷 사이의 새로운 통신 기법을 제안하고, 이를 이용한 개인의 건강 모니터링을 목적으로 하는 웨어러블 컴퓨팅 네트워크를 제안하고 구현하였다. 제 2장에서는 개발된 전도성 섬유의 물리적 특성과 전기적 특성에 대하여 살펴보고, 제 3장에서는 전도성 섬유로 제작한 Woven Inductor 및 채널의 특성을 자세히 살펴본다. 제 4장에서는 구현된 네트워크의 결과에 대하여 기술한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 결론에 대하여 기술한다.

2. 전도성 섬유

기존의 일반적인 전선들은 굵고 유연하지 않기 때문에 옷과 일체화시킬 수 없고, 다만 옷에 부착할 수 있다. 그러나 이 경우에도 옷의 세탁을 위해서는 부착되어 있는 전선들을 다 제거해야만 하며, 세탁을 마친 후 다시 부착해야 하는 번거로움이 있다. 이런 단점 때문에 기존의 전선은 웨어러블 컴퓨터에 적합하지 않다. 반면에 개발된 전도성 섬유는 유연한 섬유 형태의 전선으로 바느질을 통해 옷과 완벽하게 일체화될 수 있는 특징을 갖는다. 전도성 섬유와 일체화된 옷은 착용하기에 전혀 불편하지 않다. 또한 세탁 후에도 그 특성

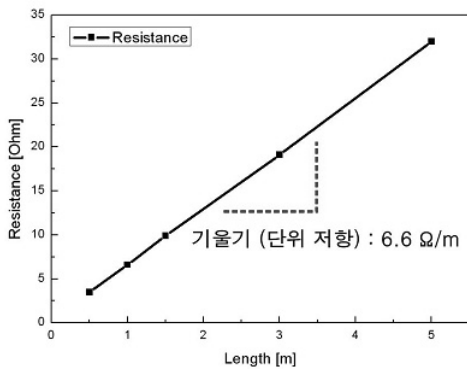
이 변하지 않으므로 세탁을 위해 탈부착 해야 하는 번거로움도 없다[5].

전도성 섬유는 코어 부분이 금속사로 만들어져 있으므로 전기 신호의 전송이 가능하다. 전기 신호의 통과로 인해 발생하는 전자파를 차폐하고 전도성 섬유의 겉면을 절연시키기 위해서 나노 미세 박막 코팅을 이용하여 도포한 섬유를 사용한다. (그림 1)은 전도성 섬유의 단면도와 전도성 섬유로 구현된 실제 의복을 보여준다.



(그림 1) 전도성 섬유와 의복의 구현

2.1 전도성 섬유의 단위 저항



(그림 2) 전도성 섬유의 단위 저항

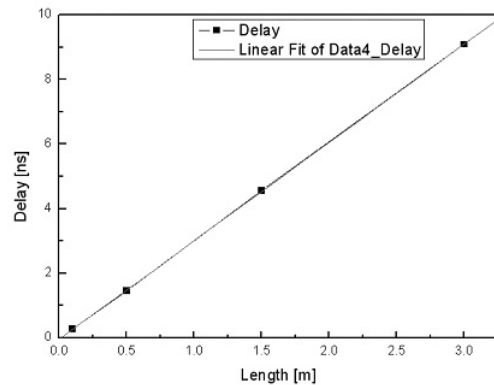
전도성 섬유도 일종의 전선이기 때문에 저항 성분을 갖는다. 이러한 저항 성분은 송신부로부터의 신호를 감쇄시키는 주된 원인이다. (그림 2)는 전도성 섬유의 길이 당 저항 성분을 보여준다. 의복으로 제작함에 있

어서 180cm 신장의 사람을 가정하였을 때, 필요한 전도성 섬유의 길이는 최대 3m의 길이를 넘지 않으므로, 1m 당 6.6 옴의 저항을 갖는 전도성 섬유는 웨어러블 컴퓨터에 적용할 수 있다.

2.2 전도성 섬유의 전송 지연 시간

Length [m]	Delay [ns]
0.1	0.273
0.5	1.4556
1.5	4.55
3	9.09

<표 1> 전도성 섬유의 전송 지연 시간



(그림 3) 전도성 섬유의 전송 지연 시간

전도성 섬유는 전기 신호를 전송할 수 있으며, 입력 신호와 출력 신호 사이에 일정한 지연 시간을 갖는다. (표 1)과 (그림 3)은 전도성 섬유의 길이에 따른 전송 지연 시간을 보여준다. 전도성 섬유의 단위 길이 당 전송 지연 시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

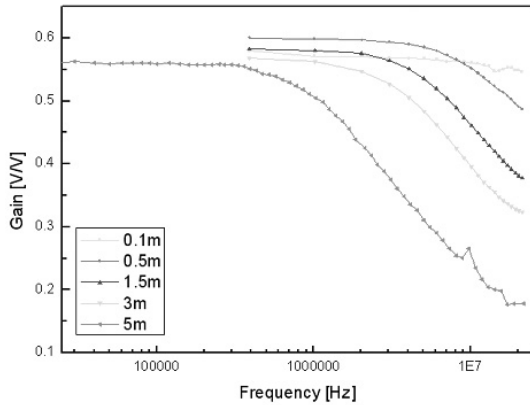
$$y = 3.05x - 0.04$$

where,

$$x = \text{Length in [m]}$$

$$y = \text{input-output delay in [ns]}$$

2.3 전도성 섬유 주파수 특성



(그림 4) 전도성 섬유의 주파수 특성

(그림 4)는 전도성 섬유의 주파수 특성을 보여준다. (그림 4)에서 볼 수 있듯이, 전도성 섬유의 주파수 특성은 전도성 섬유의 길이에 따라서 달라진다. 웨어러블 컴퓨터의 제작에 충분한 길이인 3m의 전도성 섬유에서 15MHz의 3dB 주파수가 측정되었다. 거의 대부분의 웨어러블 컴퓨터는 수백 kbps보다 낮은 데이터 전송 속도를 요구한다[6]. 따라서 전도성 섬유는 웨어러블 컴퓨터 의복에 적합한 주파수 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

3. Woven Inductor

앞의 장에서는 유선 통신에 사용되어 온 기존 전선의 효과적인 대안 책으로서의 전도성 섬유에 대해 분석하였다. 본 장에서는 무선 통신의 높은 전력 소모라는 단점을 보완할 수 있는 대안으로서의 Woven Inductor 와 한 쌍의 Woven Inductor로 구성된 채널에 대해 분석하도록 하겠다.

3.1 Woven Inductor의 제작

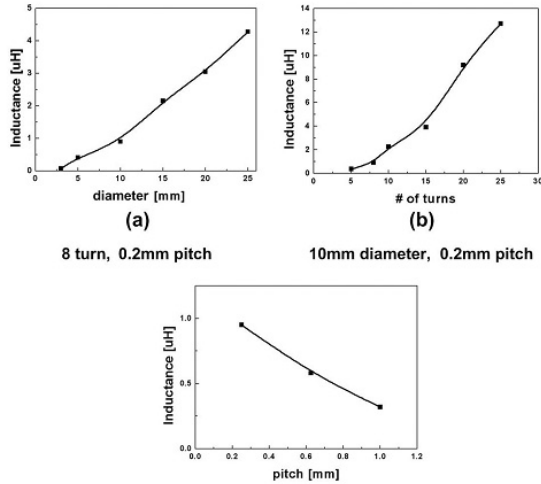


(그림 5) Woven Inductor의 제작

(그림 5)는 옷에 직접 제작된 Woven Inductor의 예를 보여주고 있다. Woven Inductor는 제 2장에서 설명한 전도성 섬유를 옷에 평면의 코일 모양으로 바느질하여 제작한다. 이러한 Woven Inductor 쌍은 속옷과 겉옷 간의 통신에 사용되는데, 인체의 여러 부분 중에서 사람이 움직일 때 어깨가 가장 안정된 상태에 있기 때문에 [7] 각각 속옷과 겉옷의 어깨에 위치하는 것이 좋다. 그러나 제작에 융통성이 있으므로 Woven Inductor의 위치가 어깨에만 고정될 필요는 없다.

3.2 Woven Inductor의 특성

일반적인 inductor와 마찬가지로, Woven Inductor 또한 turn 수, 실 간 간격, 지름 (inductor 한 변의 길이) 등에 따라 인덕턴스의 값이 결정된다. (그림 6)은 두 가지의 변수가 고정되었을 때, 다른 한 변수에 따라 인덕턴스가 어떻게 변하는지를 보여준다. 인덕턴스는 지름과 turn 수에 비례하고, 실 간 간격에 반비례한다. 이러한 관계는 일반적인 inductor의 성질과 일치한다. Woven Inductor는 통신을 하게 되는 상대 Woven Inductor의 인덕턴스 및 의복에서 차지하는 크기를 고려하여 변수가 결정된 후 제작되어야 한다.



(그림 6) Woven Inductor의 변수와 인덕턴스의 관계

3.3 Woven Inductor 채널의 특성

한 쌍의 Woven Inductor에서 송신부의 Woven Inductor로부터 수신부의 Woven Inductor로 신호가 전달되는데, 두 Woven Inductor 사이의 거리, turn 수의 비율 및 투영 시 교차 면적에 따라 전달 이득이 달라진다. 투영 시 교차 면적은 한 Woven Inductor를 상대 Woven Inductor가 놓인 평면에 투영하였을 때의 교차 면적을 의미한다. 전달 이득은 송신부에서 전송한 신호 크기와 수신부에서 받은 신호 크기의 비율로 구할 수 있다. (그림 7)은 두 가지의 변수가 고정되었을 때, 다른 한 변수에 따라 Woven Inductor 채널의 전달 이득이 어떻게 변하는지를 보여준다.

(그림 7)에서 전달 이득은 다음과 같이 표현됨을 알 수 있다.

$$Gain \propto A_{cross}$$

$$Gain \propto \frac{N_{RX}}{N_{TX}}$$

$$Gain \propto \frac{1}{distance}$$

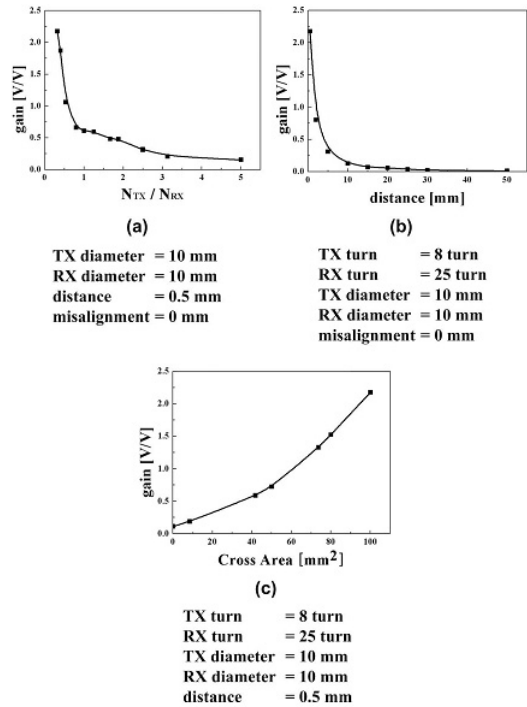
where,

A_{cross} : 투영 시 교차 면적

N_{RX} : 수신부 Woven Inductor의 turn 수

N_{TX} : 송신부 Woven Inductor의 turn 수

$distance$: 송수신부 Woven Inductor 사이의 거리



(그림 7) Woven Inductor 채널의 전달 이득 특성

투영 시 교차 면적은 두 Woven Inductor의 정렬과 관련이 있다. 두 Woven Inductor의 중심을 잇는 선이 두 Woven Inductor 평면과 모두 직교할 때 투영 시 교차 면적이 가장 크다. 따라서 정렬되지 않은 정도가 클수록, 같은 송신 신호의 크기에 대해 수신된 신호의 크기가 감소한다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 특성은 Woven Inductor 채널뿐만 아니라 일반적인 inductor 채널의 특성이기도 하다. 이러한 측정을 통하여, Woven Inductor 채널의 세 변수는 두 Woven Inductor의 세 변수들과 함께 고려된 후 결정되어야 함을 알 수 있다.

제 2장과 제 3장에서와 전도성 섬유와 Woven Inductor 및 채널의 분석을 통하여, 제안된 Woven Inductor 채널의 개념이 웨어러블 컴퓨팅 네트워크에 사용되는 것에 적합함을 알 수 있다.

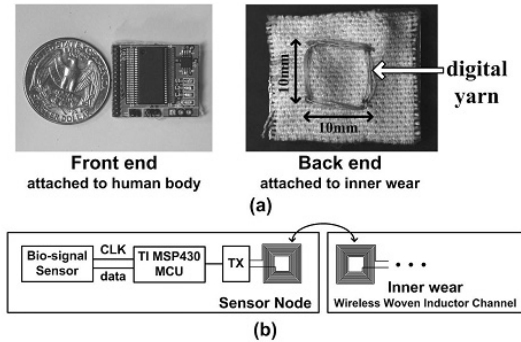
4. 웨어러블 컴퓨팅 네트워크 구현과 결과

앞의 두 장에서 분석한 결과를 바탕으로 전도성 섬유와 Woven Inductor 채널을 이용하여 개인의 건강 상태를 모니터링하는 목적의 웨어러블 컴퓨팅 네트워크를 구현하였다. 이 웨어러블 컴퓨팅 네트워크는 센서 노드와 센서 컨트롤러, 그리고 채널로 구성된다. 센서 노드는 사람의 체온을 측정하는 센서이며, 센서 노드와 센서 컨트롤러 사이의 채널은 속옷과 겉옷 사이에는 Woven Inductor 채널, 겉옷 내에서는 전도성 섬유가 사용되었다.

4.1 센서 노드

(그림 8)은 제작된 센서 노드의 양면을 보여준다. 센서 노드는 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 의 오차 이내로 온도를 측정할 수 있는 TMP275 센서 칩과 전력 소모가 작은 마이크로 컨트롤러인 MSP430 칩, 그리고 통신을 위한 Woven Inductor로 구성되어 있다. 센서 노드 자체가 통신을 위한 채널로서 뒷면에 Woven Inductor를 가지고 있기 때문에, 속옷에 Woven Inductor 채널이 존재하는 곳에는 자유롭게 센서 노드를 탈부착 할 수 있다.

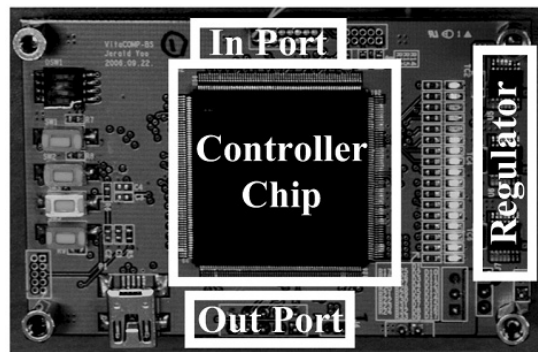
센서 노드는 웨어러블 컴퓨터의 특징 상 전력 소모가 작아야 하고, 크기가 작아야 하며, 무게가 가벼워야 한다. 이러한 요소를 고려하여 센서 노드는 23mm x 20mm의 크기로 제작되었고, 배터리를 제외한 무게는 2.6g이며 활성 모드에서의 전력 소모는 $300\mu\text{W}$ 보다 작다. 이 결과는 기존에 제작된 센서 노드 [3]에 비해 더 작고 더 적은 전력을 소모하는 것을 보여준다.



(그림 8) 센서 노드

4.2 센서 컨트롤러

(그림 9)는 센서 컨트롤러의 사진을 보여준다. 센서 컨트롤러는 Base station으로 동작하며, 겉옷에 위치한다. 이것은 여러 개의 센서 노드로부터 데이터를 받아서 분석한 후, 개인의 건강 상태에 대해 위험을 판단한다. 또한 사람의 건강에 이상 조짐이 발견되면, 센서 컨트롤러는 무선 통신을 통해 외부 컴퓨터로 미리 경고 신호를 보내 위험에 대비하도록 한다.



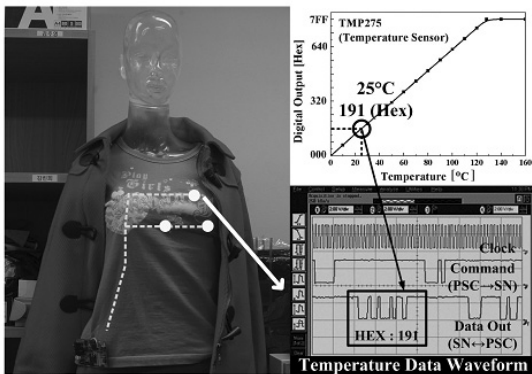
(그림 9) 센서 컨트롤러

센서 컨트롤러의 개념은 처음 도입된 것은 아니며, 기존 연구[2]에서도 같은 기능을 하는 LPU라는 장치가 존재한다. 이 LPU는 개인 PDA를 기반으로 한 것인데, 전화 통화 같은 기본 기능을 위해 소모하는 전력과 비교하여, 센서 컨트롤러로서의 기능을 위해 소모하는 전력이 큰 비중을 차지하므로, 센서 컨트롤러로 구현

하는 것이 적합하지 않다. 반면에 [8]과 같이 개별 보드로 제작된 센서 컨트롤러는 훨씬 크기가 작고, 전력 소모도 작다. 본 논문에서 소개한 센서 컨트롤러도 일반적인 신용카드보다 작은 80mm x 50mm의 크기이고, 활동 상태에서 3.3V의 공급 전압에 대해 8mW의 전력을 소모한다. 이것은 표준 규격의 AA 배터리를 사용하였을 때 10일까지 연속적인 동작이 가능한 수준의 전력 소모량이다.

4.3 결과

(그림 10)은 본 장에서 제안한 개인의 건강 모니터링을 위한 웨어러블 컴퓨팅 네트워크의 구현 결과이다. 마네킹이 웨어러블 컴퓨팅 네트워크를 입고 있으며, 센서 노드로부터 온도 데이터가 얻어져서 센서 컨트롤러로 전송된다. (그림 10)의 우측 하단에 위치한 파형이 온도 데이터의 파형이다. 온도를 전송하라는 센서 컨트롤러의 명령 커맨드에 의해 센서로부터 측정된 온도가 전송되었다. 이러한 데모를 통하여 제안한 웨어러블 컴퓨팅 네트워크의 성공적인 동작을 검증하였다.



(그림 10) 웨어러블 컴퓨팅 네트워크의 동작

5. 결론

본 논문에서는 웨어러블 컴퓨팅 네트워크를 위한 새

로운 채널로서의 전도성 섬유와 Woven Inductor 채널을 제안하고 분석하였다. 작고 가벼운 전도성 섬유를 이용한 채널은 웨어러블 컴퓨팅 네트워크를 구현함에 있어서 사람이 느끼는 이물감을 최소화하고 활동의 불편함을 효과적으로 제거함으로써, 기존의 웨어러블 컴퓨터에 비해 보다 편리하다는 장점을 갖는다. 또한 제안한 채널을 이용하여 개인의 건강 모니터링을 위한 웨어러블 컴퓨팅 네트워크를 센서 노드와 센서 컨트롤러와 함께 구현하고, 데모를 통해 제안한 네트워크의 성공적인 동작을 검증하였다.

참고문헌

- [1] Sungdae Choi, Seong-Jun Song, Kyomin Sohn, Hyejung Kim, Jooyoung Kim, Namjun Cho, Jeong-Ho Woo, Jerald Yoo and Hoi-Jun Yoo, "A Multi-Nodes Human Body Communication Sensor Network Control Processor," Proceedings of the IEEE Custom Integrated Circuits Conference, Sep., 2006.
- [2] 김혜정, 최성대, 유담, 이슬기, 김용상, 유희준, "생체 신호 수집을 위한 저전력 센서 노드 관리 시스템," 한국차세대PC학회 논문지, 제3권 제2호, pp. 14-20. 2006. 9.
- [3] Benny P.L.Lo, Surapa Thiemajarus, Rachel King and Guang-Zhong Yang, "Body Sensor Network - A Wireless Sensor Platform for Pervasive Healthcare Monitoring," 3rd International Conference on Pervasive Computing, Munich, Germany, 2005.
- [4] Noriyuki Miura, Hiroki Ishikuro, Takayasu Sakurai, and Tadahiro Kuroda, "A 0.14pJ/b inductive-coupling inter-chip data transceiver with digitally-controlled precise pulse shaping," IEEE International Solid-State Circuits Conference, Feb. 2007.
- [5] Gi-Soo Chung, et al., "A Study on the

- Electrically Conductive Yarn for the High Speed Data Communication," International Fiber Conference, 2006.
- [6] Shlomi Arnon, Dorit Bhastekar, Debbi Kedar, and Amir Taubar, "A Comparative Study of Wireless Communication Network Configurations for Medical Applications," IEEE Wireless Communication, Vol.10, pp.56-61, Feb., 2003.
- [7] Alex P.J.Hum, "Fabric area network – a new wireless communication infrastructure to enable ubiquitous networking and sensing on intelligent clothing," Computer Networks, Vol. 35, No. 4, pp. 391-399, Mar., 2001.
- [8] Sungdae Choi, Seong-Jun Song, Kyomin Sohn, Hyejung Kim, Jerald Yoo and Hoi-Jun Yoo, "A Low Power Star-topology Body Area Network Controller for Periodic Data Monitoring Around and Inside the Human Body," IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2006.

■ 저자약력

Seulki Lee (S'07)



received the B.S. in electrical engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Korea, in 2007.

She is currently working toward the master degree in the same department at KAIST. Her current research interests include inductive coupling transceiver for wearable computer system.

Jerald Yoo (S'05)



received the B.S. degree and M.S. degree in electrical engineering from the Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Korea, in 2002 and

2007, respectively. He is currently working toward the Ph.D. degree in electrical engineering and computer science at KAIST.

He has worked on developing the embedded processor for PRAM and the digital signal processor for digital hearing aid. His current research interests include energy-efficient body area network, communication transceivers for body area network, and low-power biomedical microsystem.

Yongsang Kim (S'07)



received the B.S. in electrical engineering from Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Korea, in 2004. He is currently working toward the

master degree in the same department at KAIST. His research includes printing circuit board techniques on the fabric and low power sensor unit design for wearable computer system.

Hyejung Kim (S'04)



received the B.S. and M.S degrees in electrical engineering from the Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon,

Korea, in 2004 and 2006, respectively. She is currently working toward the Ph.D degree in the same department at KAIST. Her research includes low energy processor and low power arithmetic unit design for wearable computer system and body sensor network system.

Hoi-Jun Yoo (M'95 – SM'04 – F'08)



graduated from the Electronic Department of Seoul National University, Seoul, Korea, in 1983 and received the M.S. and Ph.D degrees in electrical engineering from the Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, in 1985 and 1988, respectively. His Ph.D. work concerned the fabrication process for GaAs vertical optoelectronic integrated circuits.

From 1988 to 1990, he was with Bell Communications Research, Red Bank, NJ, where he invented the two-dimensional phase-locked VCSEL array, the front-surface-emitting laser, and the high-speed lateral HBT. In 1991, he became Manager of a DRAM design group at Hyundai Electronics and designed a family of from fast-1M DRAMs and 256M synchronous DRAMs. In 1998 he joined the faculty of the Department of Electrical Engineering at KAIST and now is a full professor. From 2001 to 2005, he was the director of System Integration and IP Authoring Research Center (SIPAC), funded by Korean government to promote worldwide IP authoring and its SOC application. From 2003 to 2005, he was the full time Advisor to Minister of Korea Ministry of Information and Communication and National

Project Manager for SoC and Computer. In 2007, he founded SDIA (System Design Innovation & Application Research Center) at KAIST to research and develop SoCs for intelligent robots, wearable computers and bio systems. His current interests are high-speed and low-power Network on Chips, 3D graphics, Body Area Networks, biomedical devices and circuits, and memory circuits and systems. He is the author of the books DRAM Design (Seoul, Korea: Hongleung, 1996; in Korean), High Performance DRAM (Seoul, Korea: Sigma, 1999; in Korean), and chapters of Networks on Chips (New York, Morgan Kaufmann, 2006).

Dr. Yoo received the Electronic Industrial Association of Korea Award for his contribution to DRAM technology the 1994, Hynix Development Award in 1995, the Korea Semiconductor Industry Association Award in 2002, Best Research of KAIST Award in 2007, Design Award of 2001 ASP-DAC, and Outstanding Design Awards 2005, 2006, 2007 A-SSCC. He is a member of the executive committee of ISSCC, Symposium on VLSI, and A-SSCC. He is the TPC chair of the A-SSCC 2008.