

걸음걸이 분석을 위한 IoT 기반의 소형 웨어러블 시스템 개발

김형석, 이운현, 김시문, 염명길, 김정창*
한국해양대학교

khseok19@kmou.ac.kr, woonhyun@kmou.ac.kr, csp_mong@kmou.ac.kr,
csspyeom@kmou.ac.kr, jchkim@kmou.ac.kr

Development of an IoT-Based Small Wearable System for Gait Analysis

Hyeongseok Kim, Woon Hyun Lee, Si Moon Kim,
Myeonggil Yeom, and Jeongchang Kim
Korea Maritime and Ocean University

요 약

본 논문에서는 사람의 걸음걸이 분석을 위한 소형 웨어러블 시스템을 개발한다. 신발 내 깔창에 부착 가능한 소형화된 모듈을 설계하고, 압력 센서 및 가속도 센서를 이용하여 사용자의 걸음걸이에 대한 정보를 측정하고 측정 데이터를 바탕으로 사용자의 자세를 분석한다. 분석한 결과는 블루투스 통신을 이용하여 사용자의 스마트폰으로 전송이 가능하고, 사용자는 자신의 걸음걸이에 대한 정보를 실시간으로 확인하여 스스로 자세 교정을 할 수 있도록 유도한다.

1. 서론

최근 들어, 건강과 휘트니스 (fitness)에 대한 관심이 전 세계적으로 급격하게 증가하고 있다. 그에 따라 사물인터넷 (internet of things: IoT) 기반의 웨어러블 헬스케어 (wearable healthcare) 시스템이 다양한 분야에서 개발되고 있고 관련 시장규모 또한 성장하고 있다 [1]. 하지만, 웨어러블 헬스케어 시스템은 사용자의 요구사항을 충족시키기 위해 여전히 많은 문제점을 가지고 있다 [2].

웨어러블 헬스케어 시스템은 사용자의 요구사항을 잘 충족하도록 설계가 되어야 한다. 대표적으로, 웨어러블 헬스케어 디바이스는 소형화를 비롯해 휴대성이 뛰어나야 하며 우수한 센서 감지 기능과 실시간 프로세싱, 내구성 등의 기능을 요구한다. 또한 가공되지 않은 측정 데이터로부터 사용자에게 유용한 정보를 제공하도록 데이터를 가공하는 알고리즘이 설계되어야 한다 [3].

사람의 발은 인체의 축소판으로 건강과 밀접한 관련이 있다. 잘못된 보행은 근육이나 신경, 골격에 문제를 일으킬 수 있기 때문에 올바른 보행이 매우 중요하다. 걸음걸이에서 검출되는 다양한 데이터는 사용자에게 올바른 보행 방법 및 자세를 알려주고 걸음걸이를 교정할 수 있도록 도와주기 때문에 헬스케어의 중요한 데이터가 될 수 있다.

[4]에서는 깔창을 이용한 간단한 시스템을 구현하였으며 사용자의 하중 분포를 측정하고 그 정보를 실시간으로 사용자에게 전송한다. 그러나 센서 데이터를 그대로 제공하여 사용자가 자신의 상태를 판단하기 어렵다. [5]에서는 소형화된

시스템을 개발하여 신발 내에 탑재하였으며 간단한 신발 내 환경을 실시간으로 모니터링하였다.

본 논문에서는 걸음걸이 분석을 위한 IoT 기반의 소형 웨어러블 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 데이터 처리를 위한 칩과 압력 및 가속도 센서를 하나의 모듈로 일체화하여 신발 내에 탑재하고 사용자의 걸음걸이에 대한 데이터를 측정한다. 또한, 제안하는 시스템은 측정된 데이터를 이용하여 자세교정에 필요한 정보를 추출하고, 저전력 블루투스 (bluetooth low energy: BLE)를 이용하여 사용자의 스마트폰에 실시간으로 전송된다. 제안하는 시스템은 앞에서 언급한 사용자의 요구사항을 다수 충족하도록 설계되었기 때문에 미래의 필수 웨어러블 IT 기기로 성장할 가능성이 충분하다.

2. 시스템 구성

본 논문에서 제안한 시스템은 그림 1 과 같이 센서 모듈부, 데이터 처리부, 무선 전송부로 구성된다. 센서 모듈부는 사용자의 걸음 정보를 수집하기 위한 부분이며, 압력 센서 및 가속도 센서를 사용한다. 가속도 센서 및 주변 회로는 데이터 처리부와 같이 하나의 통신 모듈에 내장되어 있지만 압력 센서는 사용자의 발과 접촉되어 있어야 하므로 통신 모듈 외부에 위치한다. 압력 센서의 동작을 위한 회로는 제어 시스템 내부에 삽입하였다.

데이터 처리부는 센서로부터 수신한 데이터에 걸음걸이 분석 알고리즘을 적용하기 위한 부분이며 동시에 무선

* Corresponding author

전송부로 처리 결과를 전달하는 부분이다.

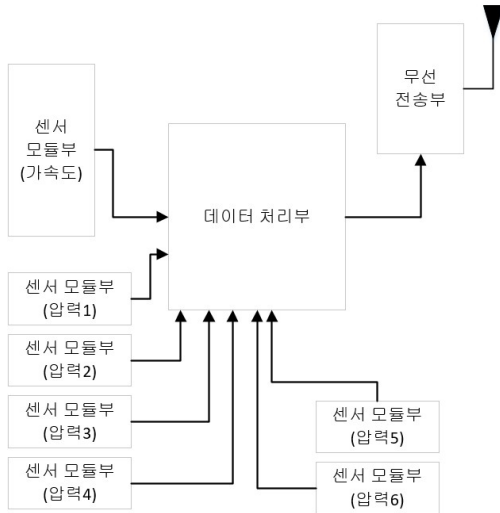


그림 1. 시스템 구성도

무선 전송부는 알고리즘 결과를 사용자의 스마트폰으로 전송하기 위한 부분이며, 가속도 센서 및 데이터 처리부와 함께 하나의 통신 모듈에 내장되어 있다. 이 때, 통신을 위한 칩이 데이터 처리부에 포함되어 있기 때문에 무선 전송부는 안테나와 임피던스 매칭을 위한 LC 필터만 따로 설계하여 구성되었다.

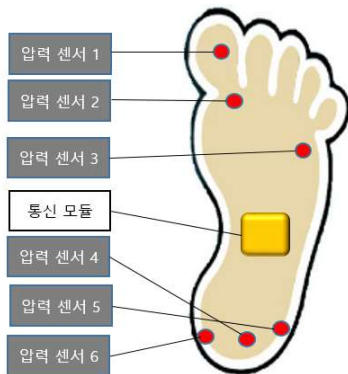


그림 2. 센서 및 통신 모듈의 위치

그림 2는 깔창에 탑재되는 통신 모듈과 6개의 압력 센서의 위치를 나타낸다. 통신 모듈을 깔창의 가운데에 위치시키고, 사용자의 발의 형태와 압력 분포를 고려하여 압력 센서를 배치하였다.

3. 걸음걸이 분석을 위한 알고리즘 및 실험결과

걸음걸이 분석을 위해 걸음 수와 안짱 및 팔자 걸음을 검출하였다. 각각을 검출하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

걸음 수 카운팅 알고리즘은 사용자가 걸을 때 압력의

변화가 가장 큰 압력 센서를 이용한다. 먼저, 압력 센서로부터 수집한 데이터에 FFT (fast Fourier transform)를 수행한 후 크기 응답의 피크를 검출함으로써 초당 걸음 수를 구한다. 데이터 처리부에 있는 ADC (analog-to-digital converter)의 샘플링율을 초당 걸음 수로 나누면 걸음당 샘플 수를 구할 수 있다. 적어도 한 걸음에 해당하는 시간 동안의 연속적인 샘플들을 하나의 그룹으로 묶기 위해 걸음당 샘플 수의 2 배에 해당하는 샘플들을 묶어 하나의 그룹으로 정의한다. 그리고, 각 그룹의 샘플 값을 해당 그룹에서 최대값에 해당하는 샘플 값으로 나누어 각 그룹의 정규화된 샘플 값 P_{norm} 을 구한다.

또한, 발이 지면에 닿는 순간을 판단하기 위한 임계값과 발이 지면에서 떨어진 순간을 판단하기 위한 임계값을 각각 P_{THR_down} 와 P_{THR_up} 로 정의한다. 이 때, $P_{THR_down} > P_{THR_up}$ 이라고 가정한다. 이제, P_{norm} 와 걸음 수 카운팅을 위한 두 개의 임계값을 서로 비교하여 걸음 수를 카운팅할 수 있다. 첫 번째로, $P_{norm} < P_{THR_up}$ 인 경우에는 사용자의 발이 지면에서 떨어졌다고 판단할 수 있고 이 경우를 0의 상태라고 정의한다. 그리고 $P_{norm} > P_{THR_down}$ 인 경우에는 사용자의 발이 지면에 닿았다고 판단할 수 있고 이 경우를 1의 상태라고 정의한다. 발이 지면에서 떨어진 상태에서 발이 지면에 닿았을 때, 즉, 0의 상태에서 1의 상태로 변화할 때 한 걸음이라고 판단하고 걸음 수로 카운팅한다.

안짱 및 팔자 걸음 검출 알고리즘은 발의 안쪽과 바깥쪽에 위치한 압력 센서 2 개를 동시에 이용한다. 각각의 압력 센서로부터 수신한 데이터는 걸음 수 카운팅 알고리즘의 샘플 값을 정규화하는 과정까지 동일하게 진행된다. 여기서, 압력 센서 2 개의 정규화된 값을 각각 P_{IN} 과 P_{OUT} 이라고 하고, P_{IN} 과 P_{OUT} 의 비를 V_p 라 정의한다. 또한, 안짱 걸음에 대한 임계값과 팔자 걸음에 대한 임계값을 각각 V_L 과 V_R 로 정의한다. 그리고, V_p 와 안짱 및 팔자 걸음 검출을 위한 두 개의 임계값을 서로 비교하여, V_p 가 V_L 보다 작으면 안짱 걸음이라고 판단하고 V_p 가 V_R 보다 크면 팔자 걸음이라고 판단한다.

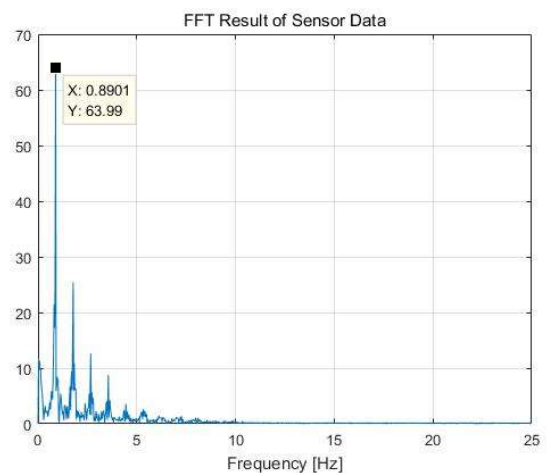


그림 3. 압력 센서 데이터의 주파수 영역 변환 결과

그림 3 은 압력 센서 데이터를 주파수 영역으로 변환한 결과이다. 여기서 샘플링율은 50 sample/sec 로 설정하여 실험하였고, 초당 걸음 수는 0.8901 step/sec 으로 나타나는 것을 알 수 있다.

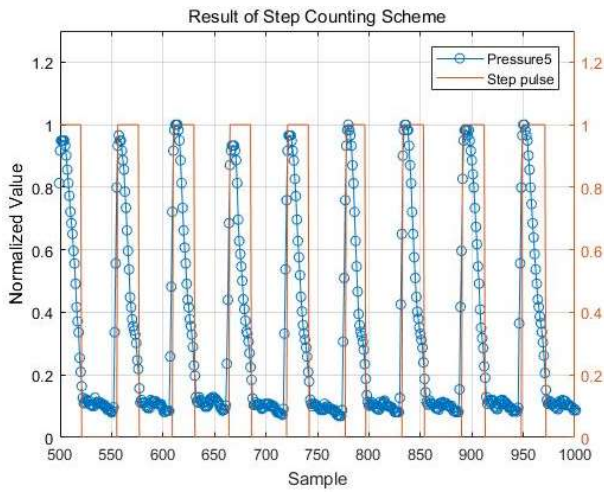


그림 4. 걸음 수 카운팅 알고리즘 결과

그림 4 는 압력 센서로부터 수신한 데이터에 걸음 수 카운팅 알고리즘을 적용한 결과를 나타낸다. 앞에서 정의한 1 의 상태와 0 의 상태를 Step pulse 로 나타내었고, Step pulse 가 0 에서 1 로 변화하는 경우 한 걸음으로 카운팅한다.

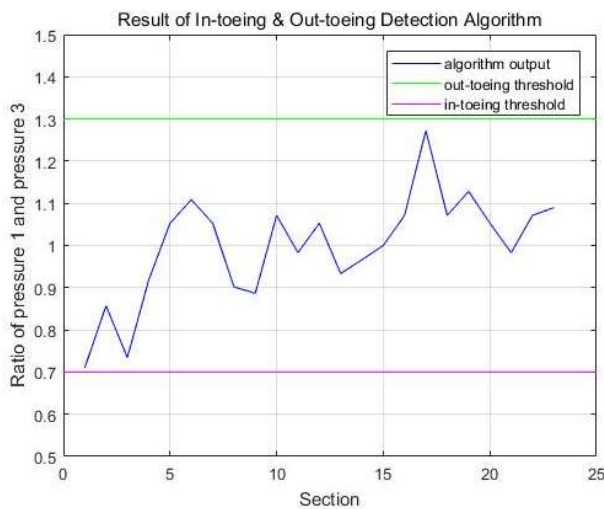


그림 5. 안짱 및 팔자 걸음 검출 알고리즘 적용 결과

그림 5 는 두 개의 압력 센서로부터 수신한 데이터에 안짱 및 팔자 걸음 검출 알고리즘을 적용한 결과를 나타낸다. 안짱 및 팔자 걸음 검출은 그룹 단위로 수행했으며, 각 그룹에서 판단한 결과를 나타내었다. 알고리즘 결과값이 안짱 및 팔자 걸음 검출을 위한 두 개의 임계값 사이에 있으므로 정상 걸음이라고 판단할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 사용자의 걸음걸이를 분석할 수 있는

소형화된 웨어러블 시스템을 개발하였다. 통신 모듈에서 분석한 결과를 사용자의 스마트폰으로 실시간으로 전송할 수 있을 뿐만 아니라, 사용자가 자신의 걸음걸이가 잘못됐음을 인지하고 올바른 걸음걸이로 교정 및 유지하는데 도움을 줄 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 지역산업 창의융합 R&D(지역주력산업육성사업)로 수행된 연구결과입니다 [과제번호 R00053752] [센서 기반의 사물인터넷 기술을 이용한 헬스케어용 스마트 라이프로그 HW/SW 플랫폼 및 어플리케이션 개발]

참고문헌

- [1] 전황수, 권수천. "웨어러블디바이스 적용 동향 및 정책적 대응방향." 한국통신학회 학술대회논문집 (2014): 507-508.
- [2] A. Pantelopoulos and N. G. Bourbakis, "A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 40, no.1, pp.1-12, January. 2010.
- [3] Y. Meng, H. K. Choi, and H. C. Kim, "Exploring the user requirements for wearable healthcare systems." *E-health Networking Applications and Services (Healthcom), 2011 13th IEEE International Conference on. IEEE*, 2011.
- [4] 김형석, 박원우, 서나현, 김정창. "헬스케어를 위한 스마트 깔창 및 어플리케이션 개발." 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집 (추계) 2014 (2014): 321-322.
- [5] 김형석, 이운현, 김정창. "신발에 착용 가능한 IoT 기반의 헬스케어용 소형 웨어러블 기기 개발." 한국방송·미디어공학회 학술발표대회 논문집 (2016): 154-156.