

호흡 검출을 위한 스트립 힘센서 최적위치 고찰

최화진, 박수지, 신항식
전남대학교 의공학과

Investigation of Optimal Position of Strip-type Force Sensor to Detect Respiration

Hwajin Choi, Sooji Park, Hangsik Shin
Department of Biomedical Engineering, Chonnam National University

Abstract - 본 연구는 스트립 힘센서에 기반한 무구속 호흡측정에서 스트립센서 최적 위치를 고찰하는 것을 주목적으로 한다. 이를 위해 압전센서를 사용하여 스트립 힘센서를 제작하였으며, 머리, 흉부, 복부 아래에 위치시켜 호흡성분을 검출하였다. 호흡성분 측정 정확성은 온도센서를 사용하여 코에서 동시에 측정된 기준 호흡과, 각 위치에서 측정된 결과의 비교를 통해 분석하였다. 결과적으로, 12명의 피험자를 대상으로 실험을 수행한 결과, 스트립센서를 사용하여 측정된 호흡간격은 기준센서 대비 1.3669 ± 0.5639 초 (머리), 0.9844 ± 0.6336 초 (흉부), 0.7133 ± 0.5185 초 (복부)의 평균절대오차를 보였다. 이는 복부에서 검출된 호흡성분이 기준호흡과 가장 유사함을 보여준다.

1. 서 론

최근 IT의 발전으로 개인건강관리에 대한 관심이 증가하면서 언제 어디서나 건강상태를 확인할 수 있는 u-Health에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이 중에서도 특히 신체에 직접적인 센서 부착 없이 생체신호를 측정할 수 있는 무구속 측정 연구가 각광받는 추세이다[1]. 최근의 무구속 측정 연구는 침대나 패드를 응용하여 호흡, 심탄도 등을 측정하려는 시도가 주를 이루고 있다. 특별히 영아, 유아에 대한 실시간 모니터링[2,3]이나, 침대 기반 모니터링 시스템 [3-5], 수면중 모니터링 [5-7]등에 대한 기술 개발이 활발하다.

수면 모니터링의 경우 센서를 신체에 직접 부착하면 정확한 측정이 가능하나 사용자의 수면을 방해하고, 지속적인 수면 측정 시 매우 불편하다. 때문에 사용자의 불편함을 줄이기 위해 무구속 측정 방법은 좋은 대안이 될 수 있다. 최근에는 유연한 압전(piezoelectric)센서를 단순한 구조의 스트립 형태로 제작하여 호흡과 심박을 측정하는 기술이 개발되었는데 이는 사용과 휴대가 편리하며 무구속 측정을 지원한다는 장점이 있다[7]. 하지만 이러한 밴드 형태의 무구속적인 수면 모니터링 방법은 센서의 위치나 사용자의 자세 등에 따라 신호가 적절하게 측정되지 않을 수 있고, 심한 경우 신호의 왜곡이 발생될 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 밴드형 호흡검출 시스템 사용에 있어, 측정 위치에 따른 호흡 검출률을 비교함으로써 최적 측정위치를 조사해보고자 한다. 이를 위하여 호흡 신호를 측정할 수 있는 스트립 형태의 힘센서를 제작하고, 센서 측정 위치에 따른 호흡 신호 검출률을 기준호흡과 비교하여 가장 오차가 적은 위치를 분석하였다.

2. 호흡측정을 위한 스트립 힘센서 최적 위치 평가

2.1 스트립 힘센서 제작

호흡은 숨을 들이마시고 내쉬면서 폐를 부풀게 하거나 수축시키며 폐속의 공기를 바꾸는 운동이다. 이때 폐가 부풀거나 수축됨에 따라 사람의 몸은 미세하게 움직이게 되는데 이러한 움직임을 압력센서를 이용해 분석해보으로써 역으로 호흡을 추론할 수 있다.

본 연구에서 개발한 스트립 힘센서는 FSR-408 압전센서(Interlink Electronic, MA, USA) 및 펠트 커버를 사용하여 <그림 1>과 같이 제작하였다. 모듈의 크기는 65.5 × 2.5 cm로 싱글 매트리스 크기에 적합하도록 설계 되었고 다양한 측정 위치에서 동시에 호흡신호를 검출하기 위해 동일한 구조의 센서를 3개를 제작하였다.



<그림 1> 개발한 스트립 힘센서

2.2 실험 프로토콜

본 연구에서는, 개발한 스트립 힘센서를 이용해 호흡에 의한 직접적인 움직임이 발생하는 위치인 머리(귓구멍), 흉부(명치), 복부(배꼽)에서 호흡에 의한 움직임을 기록하고, 기준 호흡신호와 비교하여 각 위치에서의 호흡 검출률 차이를 분석하였다. 기준 호흡신호는 코로 숨 쉴 때 들숨과 날숨에 의해 바뀌는 온도차를 이용해 측정하였고, 측정에는 BIOPAC MP150(Biopac Systems, inc., CA, USA)과 TSD202A 온도센서가 사용되었다. TSD202A는 귓구멍 바로 아래에 부착하였고, 머리, 흉부, 복부에서 출력되는 압력신호는 BIOPAC MP150의 아날로그 입력을 사용하여 온도 신호와 동시에 기록 되었다. 각각의 온도 신호와 압력 신호는 모두 1,000 Hz로 샘플링 하였다.

일반적인 수면환경을 고려하여 두께 7.8cm인 스펀지 소재의 매트리스 위에 <그림2>와 같이 압력센서를 위치하였다. 머리 아래는 라텍스 소재 베개를 두고 베개 아래에 압력센서를 위치시켰으며, 피험자는 매트리스 위에 편안한 자세로 누워 실험을 실시하였다. 실험에는 20대 성인 12명(남4, 여8)이 참여하였다. 피험자의 평균나이, 평균키, 체중은 각각 21.8 ± 1.5 세, 165.8 ± 6.0 cm, 56.7 ± 8.9 kg 이었다. 실험 전 실험목적 및 방법에 대한 충분한 설명을 하였으며, 모든 피험자의 동의 과정을 거쳤다.



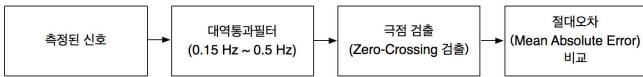
<그림 2> 스트립 힘센서 및 기준호흡센서(TDS202A) 배치

3. 실험 결과

일반적으로 호흡의 주파수 대역은 0.15 ~ 0.5 Hz로 알려져 있으므로, 측정된 신호에서 호흡성분을 강화 및 추출하기 위해 0.15 ~ 0.5 Hz 통과대역을 가지는 FIR(Finite Impulse Response) 대역통과 필터를 사용하여 주된 호흡 성분을 추출하였다.

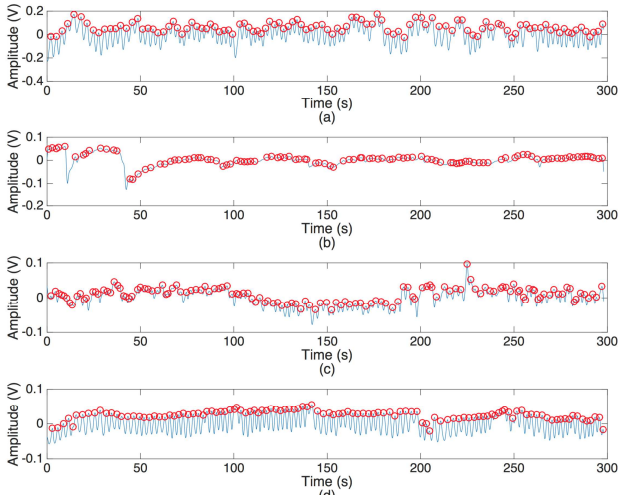
각 위치에서 측정된 신호가 얼마나 호흡성분을 잘 반영하고 있는지 관찰하기 위하여 호흡간격을 계산하였다. 호흡간격은 흡기-흡기 간격 또는 호기-호기 간격을 통해 유도될 수 있는데, 본 연구에서는 최대 호기-최대호기 간격에서부터 호흡간격을 유도 하였다. 호흡간격을 유도할 때에는 먼저 흡기 호기에 따라 위-아래로 변동되는 신호의 상당 극점(최대 호기)를 검출하고 검출된 지점간 시간차이를 계산하였다. 신호의 극점을 검출하기 위해서는 극점의 미분특성을 기반으로 신호의 극점을 검출하는 영점교차(zero-crossing)방법을 사용하였다.

스트립센서로부터 추출된 호흡간격은 호흡을 검출하지 못하거나, 과검출한 경우 기준호흡에서 추출된 호흡간격과 정확히 1:1로 대응될 수 없기 때문에 1:1비교 및 통계분석이 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 기준 호흡간격 및 도출된 호흡간격을 전체시간에 대하여 보간한 후 기준 호흡과 스트립센서에서 측정된 호흡간격의 평균절대오차(Mean Absolute Error, MAE)를 계산하여 각 위치별 호흡 검출 성능을 평가하였다. <그림 3>은 이상의 과정을 보여준다.



<그림 3> 호흡 성분 검출 및 평가 과정

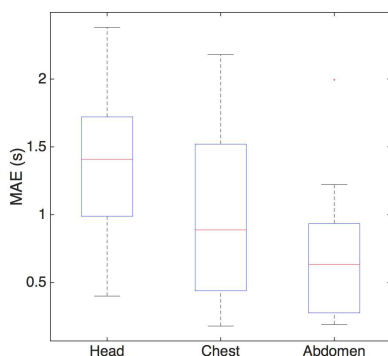
<그림 4>는 온도센서 및 스트립센서(머리, 가슴, 배)에서 측정된 호흡 성분과 검출된 최대-호기 지점의 예를 보여준다. 측정된 신호의 개인별 차이는 존재하지만 직관적인 관찰에 의하면 호흡성분은 머리 부분의 센서에서 가장 작게, 복부에 위치한 센서에서 가장 명확하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.



<그림 4> 각 위치에서 측정된 호흡성분의 예 (a) 코에서 측정된 기준 호흡, (b)머리, (b)흉부, (d) 복부

각 측정 위치에서 MAE의 평균, 표준편차는 1.3669 ± 0.5639 초 (머리), 0.9844 ± 0.6336 초 (흉부), 0.7133 ± 0.5185 초 (복부)로 나타났다. 이것은 복부 쪽에 위치한 센서가 기준 호흡과 비교하여 가장 적은 평균 오차를 보이는 것을 의미한다. 실제로, 12명의 피험자 중 11명이 복부에서 가장 적은 오차를 보였으며, 단 1명만이 가슴 쪽 센서에서 최소 오차를 보였다. 머리 쪽에 위치한 센서에서 가장 적은 오차를 보인 경우는 발견할 수 없었다.

<그림 5>는 기준호흡에서 도출된 호흡간격과 비교하여 머리, 흉부, 복부에서 도출된 호흡간격의 MAE에 대한 박스도(boxplot)를 보여준다. 이상에서 언급한 바와 같이 복부에서의 MAE가 가장 적은 오차를 보이고 있음을 확인할 수 있다.



<그림 5> 측정위치별 MAE의 박스도

4. 결 론

도출된 연구 결과는 스트립 힘센서를 사용하여 호흡측정 시 머리카HEST보다 복부에서 더 우수한 성능을 보임을 제시하고 있다. 이 결과는 근래 무구속 모니터링, 수면 모니터링에 스트립센서가 활용되는데 있어, 직접 측정위치에 대한 가이드라인을 제공해 줄 수 있다. 분석된 결과에 의하면 스트립센서를 통해 검출된 호흡은 대략 0.5 초 정도의 평균절대 오차를 가지게 된다.

이상의 결과는 스트립센서를 통한 호흡검출의 가능성을 제공하고, 더

욱 향상시키는데 일조할 수 있지만 보다 견고한 결과 제시를 위해 몇 가지 연구가 추가로 시행될 수 있다. 먼저, 기준호흡센서로 사용한 온도센서 역시 실제 호흡과 비교하여 오차를 가지고 있게 되므로, 본 실험에 사용한 비교방법은 오차의 누적을 가져올 수 있다. 또한, 통계적 유의성의 향상을 위한 피험자수의 보강도 요구된다. 향후 연구로는 호흡간격을 제어하는 프로토콜 등을 적용하여 실제 호흡 검출률에 대한 정량적 비교를 수행함으로써 호흡검출의 정확성을 평가하는 것을 고려해 볼 수 있다.

[감사의 글]

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT융합고급인력과정지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2015-H8601-15-1009)

[참 고 문 헌]

- [1] 정혜실, "헬스케어 웨어러블 디바이스의 동향과 전망", KHIDI Brief, 115, 3-20, 2014
- [2] S. Nukaya, M. Sugie, Y. Kurihara, T. Hiroyasu, K. Watanabe and H. Tanaka, "A noninvasive heartbeat, respiration, and body movement monitoring system for neonates", Artificial Life and Robotics, 19(4), 414-419, 2014
- [3] H. Shin, H. Choi and S. Park, "Unconstrained Continuous Infants Monitoring System Based on Mattress-Type Force Sensing Platform: A Pilot Study." Computer Science and its Applications. Springer Berlin Heidelberg, 1159-1166, 2015
- [4] 조석향, 조승호, "무구속 방식의 호흡 측정 시스템 구현", 한국컴퓨터정보학회, 19(11), 1229-9332, 2014
- [5] 민영기, 최선태, 조위덕, "수면 중 피에조 센서 신호에서 이중 임계치를 이용한 호흡 수 산출에 관한 연구", 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집 (하계), 3-4, 2014
- [6] S. Choi and Zh. Jiang, "A wearable cardiorespiratory sensor system for analyzing the sleep condition.", Expert systems with applications, 35(1), 317-329, 2008
- [7] J. Paalasmaa, M. Waris, H. Toivonen, L. Leppakorpi and M. Partinen, "Unobtrusive online monitoring of sleep at home" In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE, 3784-3788, 2012