

손목에서 액티그래피와 생체 신호를 이용한 수면 상태 감지 방법

전영혁, 이성환

고려대학교 뇌공학과

{yohaness, sw.lee}@korea.ac.kr

Sleep-Wake Classification using Actigraphy and Biological Signals on Wrist

Young-Hyeog Jeon and Seong-Whan Lee

Department of Brain and Cognitive Engineering, Korea University

요 약

기존의 수면다원검사가 수면 상태 모니터링을 위해 가장 좋은 방법이지만 여러가지 센서를 몸에 부착해야 하기 때문에 자연스러운 수면이 어렵고 측정비용이 높아 최근에는 이를 대체할 만한 기술로 손목에 간단히 착용한 후 움직임 정보만을 이용하여 수면 상태 모니터링을 하는 액티그래피라는 기술이 수면 연구에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 하지만 액티그래피는 민감도(sensitivity)는 높지만 특이도(specificity)가 현저히 떨어지는 단점이 있다. 본 연구에서는 수면과 밀접한 관련이 있지만 이제까지 측정이 어려웠던 생체신호를 손목에서 간편하게 측정하고 이를 이용하여 액티그래피의 단점을 보완하여 수면 감지 성능을 높일 수 방법을 제안하고자 한다.

1. 서 론

최근 산업화가 진행되면서 업무량이 많은 직장인, 맞벌이 가구 증대, 스트레스 등 환경변화에 따른 수면부족 및 불면증 인구의 증가로 수면 연구의 필요성이 증대되고 있다.

수면 연구에서 대표적으로 사용되는 방법은 수면다원 검사이다. 수면다원검사(polysomnography)는 수면 상태 모니터링을 위해 가장 좋은 방법이지만 여러 가지 센서를 몸에 부착함으로써 자연스러운 수면이 어렵고 측정 비용이 높은 단점이 있다. 최근에는 이를 대체할 만한 기술로 액티그래피가 수면 연구에서 중요한 위치를 차지하고 있다.[1]

액티그래피는 손목에 착용한 가속도 센서를 이용하여 수면 모니터링을 하는 방법이다. 이 방법은 착용이 편리하고 민감도 (fitbit: 97.8%, AW-64: 95.7%)가 높지만 특이도 (fitbit: 19.8%, AW-64: 38.9%)는 떨어지는 단점이 있다.[2]

액티그래피는 움직임을 이용하여 수면 상태를 측정하는 방식이므로 깨어있더라도 움직이지 않으면 수면 상태로 잘못 판단하는 경우가 발생한다. 이를 해결하기 위해서는 움직임 정보와는 다른 신호를 이용해 수면 상태를 인지할 수 있어야 한다.

수면 중에는 깨어 있는 상태와 구분되는 다양한 생체신호의 변화가 나타난다. 뇌파는 특정 주파수 영역을 나타내며 심장박동과 호흡은 느려지고 체온이 떨어지는 등의 변화가 나타나게 된다.[3] 이런 생체 신호를 이용하면 액티그래피의 단점을 보완할 수 있다. 기존에는 이런 신호의 측정을 위해 큰 장비가 필요하거나 몸에 전극을 연결해야 하는 등의 불편함이 있었으나 최근 심박 또는 호흡 등의 생체 신호를

손목에서 측정하는 기술이 활발히 연구 중이다.

본 연구에서는 이 기술을 이용하여 생체 신호 중의 하나인 photoplethysmography(PPG) 신호를 액티그래피와 함께 사용하여 액티그래피의 단점을 보완하고 수면 감지 성능을 높이고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 생체 수집 장치 제작

본 연구를 위해 그림 1과 같이 손목에서 가속도 및 생체 신호를 수집하는 장치를 개발하였다.

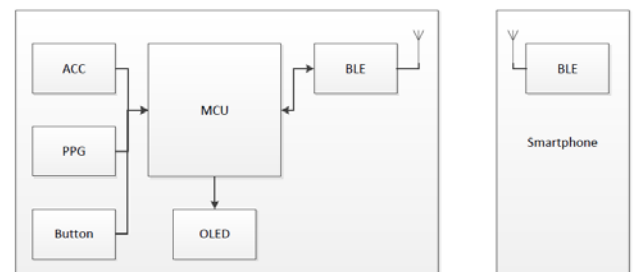


그림 1. 수집 장치의 구성도

수집 장치는 센서와 프로세서와 통신모듈로 이루어져 있다. 센서는 사용자의 움직임을 측정하기 위한 3축 가속도 센서와 맥파 신호를 측정하기 위한 PPG 센서로 구성된다. 프로세서는 Cortex M4 기반의 MCU를 사용하였고 통신 모듈은 스마트폰과의 저전력 전송을 위해 Bluetooth Low Energy (BLE) 를 사용하였다. 가속도 센서의 측정범위는

$\pm 8G$, Sampling rate는 20Hz를 사용하였으며 PPG의 sampling rate는 20Hz를 사용하였다. 측정된 신호는 BLE를 통해 스마트폰에 전송되며 전용 앱을 통해 sdcard에 저장된다. 스마트폰은 BLE를 지원하는 안드로이드 4.4 킷캣 버전을 사용하였다.

2.2. 실험 방법

피험자는 19세~59세 이하의 건강한 대한민국 성인 남녀를 대상으로 9명의 데이터를 수집하였다.

실험은 뇌파를 이용하여 수면 단계를 측정하는 Zeo 사의 Sleep manager를 reference로 사용하였다. 제작한 실험 장치는 왼쪽 손목에 그림 2와 같이 착용하였으며 소음이 없는 조용한 방에서 한 사람씩 측정하였다.

Zeo Sleep Manager는 5분마다 단위구간 (epoch)에서 wake, REM sleep, non-REM Sleep (light/deep Sleep)을 표시해주며, forehead 표면에서 비침습적으로 측정되는 뇌파 1 channel 신호를 분석하는 장비이다.



그림 2. 손목형 생체 신호 수집 장치의 착용 모습(좌) 과 Zeo 사의 수면 모니터링 장치(우)

수면 동안 피험자의 wake 및 sleep 상태를 기록하고 동시에 가속도계에서 측정되는 wake 및 sleep 상태와 비교하여, 개발된 알고리즘 결과의 성능 (민감도, 특이도, 정확도)을 확인하는 목적으로 사용되었다.

사용방법은 뇌파 측정을 위한 해어밴드(dry-electrode)를 이마에 착용하고 측정한다.

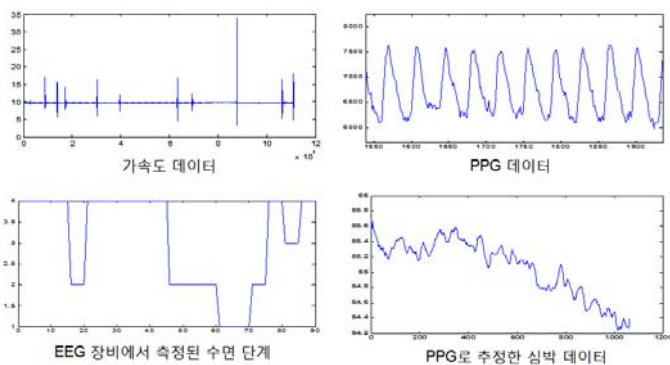


그림 3. 수집된 가속도, PPG, 수면단계, 심박 데이터
실험이 완료되면 그림 3의 가속도, PPG, 수면 단계를 얻을 수 있으며 PPG를 이용해 심박 정보를 얻을 수 있다.

수면 중 움직임이 특정 level 이상으로 많은 경우 wake로

인지한다는 액티그래피의 기본원리를 전제로, 3축 가속도 신호를 측정하여 외부메모리에 저장 후 PC에서 post-processing하는 data수집 목적으로 사용되었다.

사용방법은 손목밴드에 고정된 시계 형태의 가속도계를 손목에 착용하고 Data수집을 위한 외부장치 (스마트폰)에 전용 application을 설치하여 data를 수집하였다.

3. 데이터 분석

수집된 신호는 Matlab 2012b(Mathwork, USA)을 이용하여 분석하였다. 액티그래피의 분석을 위해서는 수집된 가속도 신호와 가장 널리 사용되고 있는 Cole의 알고리즘[4]을 사용하여 분석하였으며 PPG raw 데이터는 Peak 검출을 통해 심박을 계산하였다. Cole의 알고리즘[4]은 다음과 같다.

$$D = 0.0033 * (1.06an4 + 0.54an3 + 0.58an2 + 0.76an1 + 2.3a0 + 0.74a1 + 0.67a2)$$

an4부터 an1은 각각 현 epoch 이전 4분 동안 매 분마다 평가된 활동량의 수를 의미하며 a0는 현 epoch, a1과 a2는 각각 현 epoch 이후 1분과 2분의 활동량의 수를 의미한다. D가 1보다 적을 때 현 epoch를 수면으로 평가한다.

표 1. 민감도, 특이도 산출에 사용되는 변수 사이의 관계

	EEG기반 장비 수면 시	EEG장비 기반 각성 시	합계
가속도장비 수면 시	TP(true positive)	FP(false positive)	TP+FP
가속도장비 각성 시	FN(false negative)	TN(true negative)	FN+TN
합계	TP+FN	FP+TN	TP+FP+FN+TN

민감도는 표1과 같이 뇌파를 기준으로 수면이라고 판단했을 때 가속도장비에서 수면이라고 판단할 확률이며, 특이도는 뇌파를 기준으로 각성이라고 판단했을 때 가속도 장비에서 각성이라고 판단한 확률이다.

액티그래피의 성능은 민감도(sensitivity), 특이도(Specificity)를 산출하였으며 본 연구에서 제안한 방법도 그림 4와 같은 프로세스를 통해 결과를 내고 그 결과를 뇌파를 기준으로 민감도와 특이도를 계산하여 액티그래피 결과와 비교하였다.



그림 4. 생체 신호를 이용한 수면 감지 방법의 프로세스

4. 연구 결과

액티그래피는 손목에서 수집된 가속도 센서를 이용하여 Cole을 알고리즘을 이용해 분석한 결과 기존의 연구와 유사하게 95%의 민감도와 38%의 특이도를 나타내었다.

표 2. 액티그래피와 제안한 방법의 성능 비교

	액티그래피		제안한 방법	
	민감도	특이도	민감도	특이도
피험자 1	100.00	18.84	100.00	56.52
피험자 2	97.27	10.00	97.27	20.00
피험자 3	100.00	16.25	100.00	16.25
피험자 4	82.35	54.76	82.35	54.76
피험자 5	84.07	100.00	73.08	100.00
피험자 6	100.00	6.43	100.00	28.57
피험자 7	100.00	26.47	81.82	55.88
피험자 8	100.00	80.00	100.00	100.00
피험자 9	97.50	30.00	97.50	30.00
총 합	95.69	38.08	92.45	51.33

특이도를 높이기 위하여 손목에서 측정된 신호로부터 추출한 심박 신호를 가속도 신호와 함께 이용하여 분석하면 표2 같이 9명 중 4명은 민감도의 감소 없이 특이도가 증가하였고 3명은 성능의 변화가 없었다.

전체적인 성능은 민감도는 3% 정도 감소하였으나 특이도가 13% 이상 증가하는 모습을 보였다.

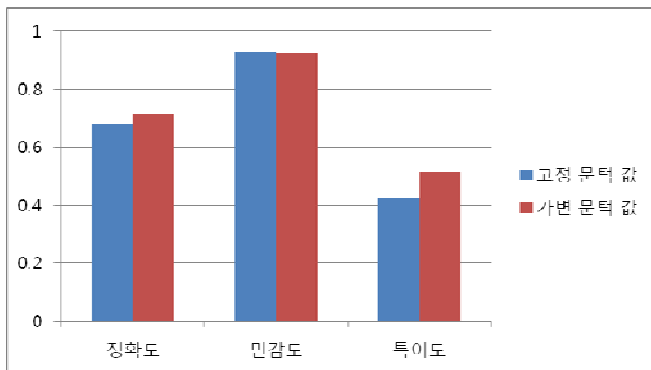


그림 5. 심박 문턱 값(threshold)에 따른 성능 변화

깨어 있는 상태와 수면 상태를 구별하는 중요한 부분 중 하나는 심박 threshold 이다. 생체 신호는 모두가 동일한 신호가 아니라 개개인의 고유의 특성값을 가진다. 이를 확인하기 위해서 모두에게 고정 문턱 값을 사용하는 방법과 개인별 맞춤형 문턱 값을 적용하여 테스트 해 보았다. 그 결과 그림 5와 같이 개인특성에 맞춘 threshold를 사용했을 때 더 나은 성능을 얻을 수 있었다.

연구 결과에서 제안된 방법의 가속도, PPG신호 분석으로부터 수면상태를 검출하고 기존 액티그래피 알고리즘 대비 성능을 비교했을 때, 그림 6과 같이 92%의 민감도와

51.3%의 특이도의 성능을 보여 95%의 민감도와 38%의 특이도를 가지는 액티그래피에 비해 다소 향상된 성능을 보였다. 수면검출의 정확도는 개선이 많이 되지 않았으나 특이도는 13% 향상되었다.

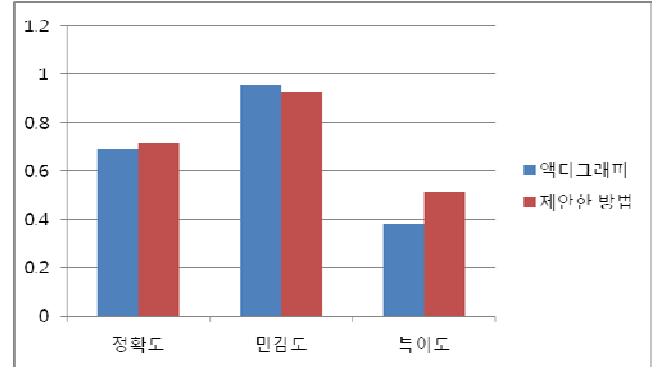


그림 6. 액티그래피와 제안한 방법과의 성능 비교

5. 결론 및 향후 연구

이 연구에서 우리는 추가적인 신호를 사용하여 액티그래프의 특이도를 개선할 수 있음을 보였다. 액티그래프와 동일한 형태로 제작된 디바이스는 기존과 동일한 방식으로 사용될 수 있다.

본 연구에서는 PPG를 이용한 심박을 이용하였는데, 향후 손목에서 측정할 수 있는 피부전도도와 피부온도 등의 신호를 함께 이용하면 수면상태 감지 성능을 더욱 향상시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] A. Sadeh, "The role and validity of actigraphy in sleep medicine: An update." Sleep Medicine Reviews, Vol. 15, pp. 259-267, 2011.
- [2] H. Montgomery-Downs, S. Insana, and Jonathan A. Bond, "Movement toward a novel activity monitoring device," Sleep and Breathing, Vol. 16, No. 3, pp. 913-917, 2012.
- [3] K. Kräuchi and A. Wirz-Justice, "Circadian Clues to Sleep Onset Mechanisms," Neuropsychopharmacology, Vol. 25, pp. 92-96, 2001.
- [4] Cole RJ, Kripke DF, Gruen W, Mullaney DJ, Gillin JC, "Automatic sleep/wake identification from wrist activity," Sleep, Vol. 15, pp. 461-469, 1992.