

무구속 수면효율 분석을 위한 스마트폰 기반 움직임패턴 특성분석

Movement Characteristic Analysis for Unconstrained Sleep Efficiency Analysis Based on the Smartphone

김도윤* · 신항식†
(Do Yoon Kim · Hangsik Shin)

Abstract - In this research, we designed representative motion patterns that possibly occurred in sleep situation and evaluated the feasibility of the smartphone based movement recording technique. For this, we designed 7 motions such as posture change, head movement, arm movement (vertical, horizontal), leg movement and hand movement (flipping, folding). Movement was recorded by using the smartphone and the actimetry device simultaneously for comparing the feasibility of smartphone based recording. As a result of experiment, we found that the smartphone based movement recording well reflects the body movement, however, it shows the limitation in recording the small local movement such as hand motion compared with the reference actimetry device, Actiwatch.

Key Words : Accelerometry, Motion analysis, Sleep monitoring, u-healthcare

1. 서론

원격의료기술은 정보통신 기술의 발전과 함께 꾸준히 성장하여왔다. 원격의료기술의 최근 급격한 성장은 휴대전화 등의 개인단말기 보급과 함께 유헬스케어(u-Healthcare)라는 새로운 패러다임을 탄생시켰으며, 고도화된 개인용 스마트기기의 보급에 의해 유헬스케어의 기능을 포함하는 스마트케어(smart care)로 발전해 나가고 있다. 스마트케어는 ‘진단과 치료’ 중심이었던 의료서비스를 ‘예방과 관리’ 중심으로 확장하려는 시도로, 개인용 스마트기기 및 웨어러블(wearable) 단말기를 기반으로 한 다양한 서비스를 제공하는 것 뿐 아니라, 개인의 생체 정보를 수집 활용함으로써 적시에 효과적인 예방과 치료 서비스를 제공하는 맞춤형 의료 구현할 수 있다. 또한, 이러한 스마트기기, ICT와 유헬스케어 기술의 융합은 의료비상승을 효율적으로 억제할 수 있으므로 현 의료 전달체계의 대안으로써 그 수요가 매우 크다[1,2].

스마트 기기중 손목형기기를 중심으로 한 웨어러블 기기 시장은 2015년 50억 달러에 이를 정도로 그 증가세가 뚜렷하다[3]. 헬스케어 관점에서 웨어러블 기기는 사용자가 항상 휴대한다는 특징을 가지기 때문에 상시 모니터링이 필요한 건강관리, 특별히 만성질환자나 노약자 관리에 있어 최적의 대안으로 제시되고 있다. 웨어러블 헬스케어 기기는 초기에 개인용 피트니스(fitness)를 위한 보수계(pedometer)등의 단순 기능만을 제공하였으나, 근래에는 다양한 센서를 내재화하여 행동 패턴을 분석하고 칼로리를 추정하는 등의 활동분

석 기능을 기본적으로 탑재하고 있다. 뿐만 아니라 몇몇 기기에서는 심박, 산소포화도 등의 생체신호 측정기능도 제공하고 있다. 가장 최근에 출시된 손목형 웨어러블 기기들은 기존 임상적으로 사용되었던 손목형 수면효율 측정기의 기능을 구현하여 수면효율 분석 등의 수면 분석 기능을 기본 탑재하는 추세로 발전해 나가고 있다[4].

스마트 기기는 개인의 상시 건강관리를 위한 좋은 해결책을 제공할 수 있으나 실질적인 사용에는 여러 한계를 가지고 있다. 특히 웨어러블 기기는 사용성 측면에 있어서 ‘구속’이라는 불편함을 기본적으로 포함하고 있기 때문에 이물감에 민감한 사용자나 측정 상황에 따라 사용에 제약을 받는다. 또한, 수면 등의 무구속, 통제되지 않은 환경에서의 장시간 측정을 요구하는 경우에는 이러한 문제가 더욱 부각된다. 실제로 사용자 집단의 의견을 분석한 결과 수면, 샤워 등의 활동시 웨어러블 기기의 착용이 불편하다는 의견이 다수 존재하였다.

스마트폰의 어플리케이션을 활용한 수면 모니터링의 경우에는 정확성에 대한 검증이 부족한 것으로 보고되고 있다. 2012년 애플 앱스토어에서 판매순위 1위를 차지한 수면효율 측정 어플리케이션의 정확도는 임상에 사용되는 기기와 비교하여 약 30% 이상의 오차를 가지는 것으로 보고되어[5] 현존하는 스마트기기를 기반으로 한 건강관리 솔루션의 사용성, 정확성 개선이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구는 스마트 기기를 활용한 유헬스케어 응용의 한계점, 특별히 수면 모니터링에 있어 웨어러블 특성에서 기인한 편의성과 정확성의 한계를 스마트폰 기반으로 극복하기 위한 시도를 다룬다. 본 연구에서는 이를 위해 수면 중 발생하는 대표적인 사용자 움직임 패턴을 정의한다. 이 후, 정의된 움직임 신호 발생시키고 스마트폰과 기준 측정기기로 동시 측정하여 스마트폰에서 측정된 신호의 활용 가능성을 분석한다. 본 연구는 기타 기기와의 연동 없이 스마트폰으로 사용자의 수면 중 움직임을 무구속 측정하고 보다 정확한

† Corresponding Author : Dept. of Biomedical Engineering, Chonnam National University, Korea

E-mail : hangsik.shin@jnu.ac.kr

* Digital Media & Communication Research Center, Samsung Electronics. co. ltd., Korea

Received : May 22, 2014; Accepted : June 16, 2014

수면 효율을 검출하기 위한 기초 연구로 활용될 예정으로 현존하는 유헤스케어 수면모니터링 기술의 정확성을 향상시키는데 기여할 것으로 예상된다.

2. 움직임 패턴 특성 분석

2.1 수면 중 움직임 모사 프로토콜

수면 중 인체 각 부분에서 발생하는 움직임 신호를 재현하기 위하여 머리, 팔, 다리를 중심으로 대표적인 움직임 패턴을 설정하였다. 움직임 패턴으로는 우선 머리를 좌우로 움직이는 동작, 팔을 좌우로 움직이는 동작, 팔을 상하로 움직이는 동작, 다리를 움직이는 동작을 설정하였다. 또한 손목에 착용하는 수면 모니터링 기기와의 비교평가를 위하여 손을 앞뒤로 뒤집는 동작, 손을 쥐었다 폈다 하는 동작 또한 움직임 패턴에 추가하였다. 그림 1은 설정된 움직임 패턴을 도시하여 보여준다.

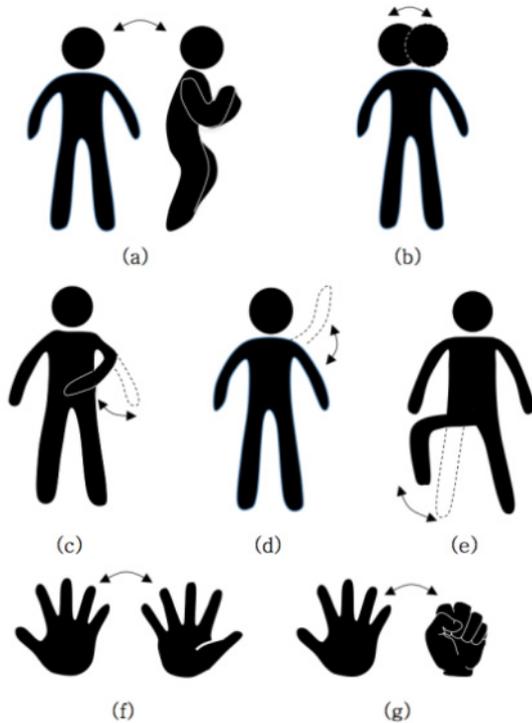


그림 1 설정된 수면 중 움직임 모사 패턴. (a) 자세 변경 (돌아눕기), (b) 머리 좌우 움직임, (c) 팔좌우 움직임, (d) 팔 상하 움직임, (e) 다리 움직임, (f) 손 뒤집기, (g) 손 쥐었다 펴기

Fig. 1 Movement models during sleep. (a) posture change, (b) head movement, (c) arm movement (up and down), (d) arm movement (left and right), (e) leg movement, (f) hand flipping and (g) hand folding.

2.2 실험 설계 및 구성

수면 중 움직임 모사 패턴에 대한 신호를 획득하기 위해

서 그림 2와 같은 구성으로 실험을 수행 하였다. 실험에는 일반 스프링 매트리스가 사용되었으며 매트리스 위에 사용자가 눕고 머리 옆에 스마트폰을 위치시켰다. 움직임 신호 검출을 위해서는 삼성전자 스마트폰 Galaxy S III(GT-I9300)를 사용하였다. 또한, 스마트폰으로 기록한 신호와의 비교평가를 위하여 손목형 수면효율 측정기기인 Philips Activwatch를 사용하여 수면 중 움직임 신호를 동시 측정 하였다. Activwatch는 다양한 실험 결과를 통해 임상적 유의성이 검증되어 사용되고 있다 [6-10].

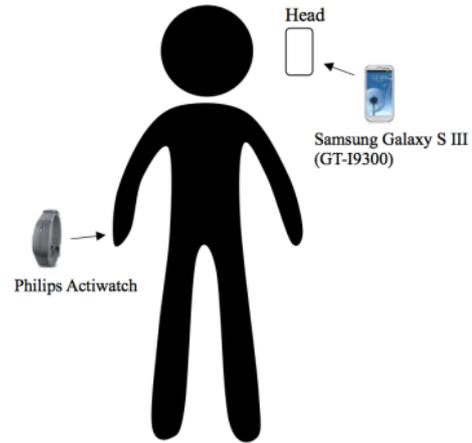


그림 2 수면 중 모사 움직임 패턴 신호 측정을 위한 실험 설계 및 구성

Fig. 2 Experimental design and setup for recording the movement signal

2.3 신호 획득 및 분석

실험은 자세변경, 머리 움직임, 팔 움직임(좌우), 팔 움직임(상하), 다리 움직임, 손 뒤집기, 손 쥐었다 펴기 순서로 진행되었다. 각각의 모사 움직임은 10분씩 기록되었으며 배경 잡음과 움직임 신호를 구분하기 위하여 1~2분 간격으로 움직임을 수행하였다. 스마트폰을 사용한 신호의 획득에는 스마트폰에 내장된 3축 가속도센서(accelerometer)가 사용되었으며 각 채널당 표본화 주파수는 충분한 해상도를 확보하기 위하여 100 Hz로 설정하였다. 신호의 획득을 위해 가속도 신호를 얻어와 기록하는 별도의 안드로이드 어플리케이션을 제작 및 사용하였다. 모든 신호의 처리 및 분석에는 Mathworks Matlab 2013b가 사용되었다.

획득한 신호의 잡음을 제거하고 일정 수준 이상의 가속도 값을 검출하기 위해 웨이블릿을 기반으로 한 잡음 제거 방법[5] 및 문턱치 검출 방법이 사용되었다. 웨이블릿 변환에는 식 (1)의 Haar 웨이블릿이 사용되었으며, 저주파 성분(g[n])과 고주파 성분(h[n])을 6-단계로 분해하여 잡음을 제거하였다. 이 때, 잡음제거를 위한 문턱치(λ)로는 수식 (2)와 같이 penalized 문턱치 방법을 적용하였다[11]. (d : 상세 계수, σ : 잡음 표준편차, n :신호 길이, a : 회소성계수)

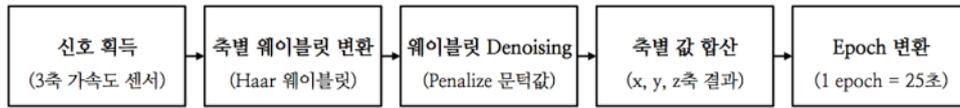


그림 3 스마트폰 움직임 신호 검출 과정
 Fig. 3 Procedure for movement detection using smartphone

$$g_k[n] = \frac{1}{\sqrt{2}}(g_{j-1}(2k) + g_{j-1}(2k+1)) \quad (1)$$

$$h_k[n] = \frac{1}{\sqrt{2}}(g_{j-1}(2k) - g_{j-1}(2k+1))$$

$$\lambda = \arg \min_t \left[-\sum_{k=l}^t d_k^2 + 2\sigma^2 t \left(\alpha + \ln \frac{n}{t} \right) \right], t = l, \dots, n \quad (2)$$

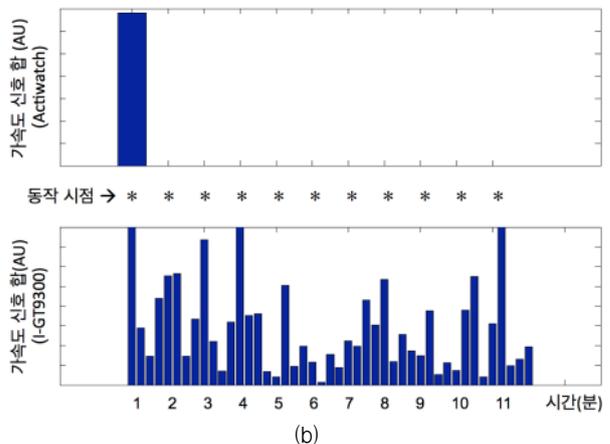
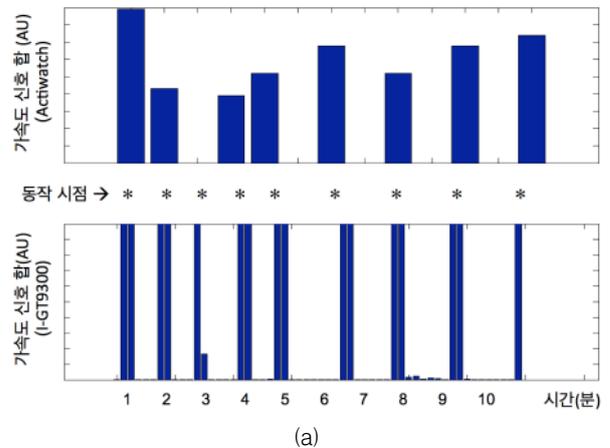
스마트폰으로 측정된 동작 신호의 최종 값은 x, y, z 각 축별로 계산된 후 모든 축별 결과를 합산하여 계산되었다. 이 후 일정 시간 구간별로 결과를 표현하기 위하여 1/4분(25초)을 움직임 발생 여부에 대한 단위 구간(epoch)으로 설정하였다. 각 구간별 움직임 정도는 구간에 해당하는 값을 합산하여 계산되었다. 이상의 과정은 그림 3에서 표현하였다.

기준 기기로 사용된 Actiwatch는 현재 최대 1분의 해상도로 가공된 신호를 기록하여 주는데 비해 스마트폰 기반 측정 시스템은 사용자 요구사항에 따라 보다 고해상도의 출력신호를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그림 4는 이상의 과정에 따라 특정 움직임 패턴 별로 획득된 신호의 결과를 보여준다. 그림 4(a)~(g) 중 상단의 그림은 Actiwatch에서 기록한 동작 신호이고 하단의 그림은 스마트폰(GT-I9300)으로 기록된 신호의 파형을 보여준다. 중간의 '*'은 실험 중 기록된 사용자 움직임 발생 시점을 의미한다.

2.4. 측정 결과 분석

그림 4(a)는 자세 변경시 측정된 신호로 두 경우 모두 움직임 신호를 잘 획득하고 있음을 확인할 수 있다. 이것은 수면 중 자세를 바꾸는 등의 큰 동작을 수행하는 경우는 스마트폰 기반으로 움직임 정보를 충분히 측정할 수 있음을 의미한다. 그림 4(b)는 머리를 좌우로 움직이는 동작으로 Actiwatch에서는 머리의 움직임을 제대로 인식할 수 없는 것으로 나타났으나 스마트폰에서는 머리의 움직임에 따라 가속도 신호의 합이 대략적으로 증가하고 있음을 보여준다. 단, 움직임 신호와 잡음의 크기 차이 즉, 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio, SNR) 작기 때문에 움직임을 보다 명확하게 구분하기 위해서는 별도의 알고리즘 개발이 요구될 것으로 전망된다. 그림 4(c)는 팔좌우 움직임에 대한 신호로 양쪽 모두의 경우에서 육안으로 확인할 수 있는 정도의 신호크기 변화를 관찰할 수 있다. 하지만 Actiwatch에 비해 스마트폰서 측정된 결과에서는 움직임 신호간의 편차가 다소 큰 것으로 나타났다. 또한 그림 4(d)는 팔의 좌우 움직임에 대한 신호 측정 결과로 Actiwatch와 스마트폰 모두에서 움직임 신호가 잘 측정 되는 것을 확인할 수 있다. 팔의 좌

우 움직임에 따른 신호를 검출하는 실험에서는 오히려 Actiwatch에서 하나의 움직임을 측정하지 못하는 경우가 존재하였는데, 이것은 표시된 데이터가 Actiwatch의 센서를 사용해서 측정된 신호를 바로 보여주는 것이 아니라 이전의 결과 신호 등을 종합적으로 사용하는 고유의 알고리즘을 거쳐 처리된 결과이기 때문으로 추정된다. 그림 4(e)는 다리 움직임 시 기록된 신호로 Actiwatch에 비해 스마트폰이 더욱 신호를 민감하게 기록하고 있는 것을 확인할 수 있다. 단, 측정 위치와의 신호 발생 지점간의 거리가 먼 관계로 신호의 폭이 좁고 크기가 작은 신호가 포함되어 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(f)와 그림 4(g)는 각각 손 뒤집기, 손 쥐었다 펴기에 대한 측정 신호를 보여준다. 움직임의 크기가 작고 손의 움직임에 국한되어 있다는 두 움직임의 특성상 스마트폰 내장 센서에서는 발생 신호와 노이즈가 직관적으로 구분되지 않는 것을 확인할 수 있다.



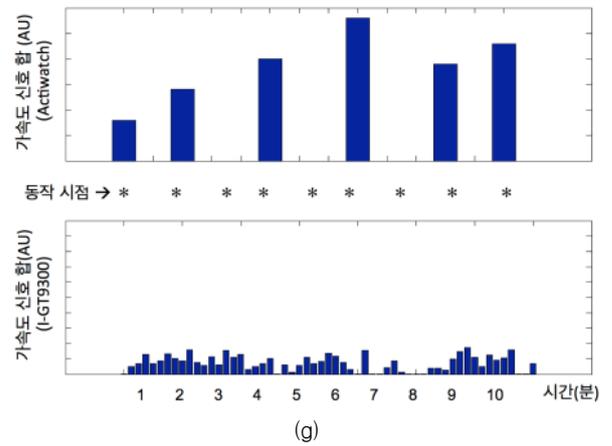
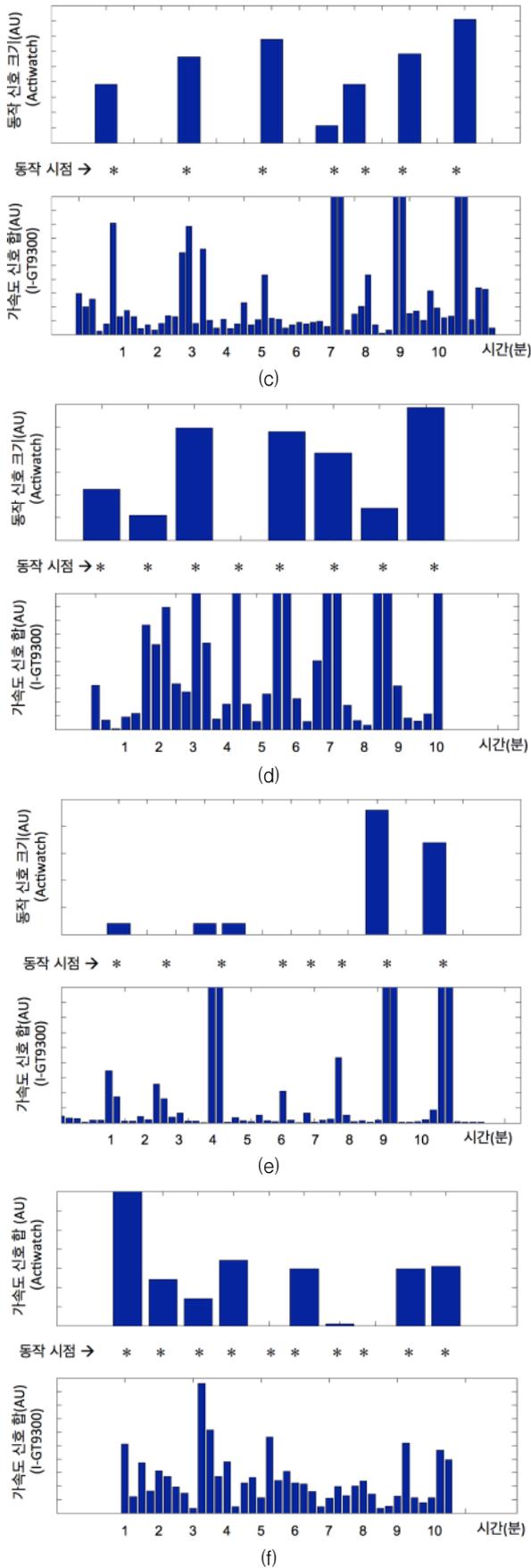


그림 4 수면 중 모사 움직임에 따라 Actiwatch(위), 스마트폰 (I-GT9300, 아래)으로 측정된 신호 (a) 자세 변경 (돌아눕기), (b) 머리 좌우 움직임, (c) 팔좌우 움직임, (d) 팔상하 움직임, (e) 다리 움직임, (f) 손 뒤집기, (g) 손 쥐었다 펴기

Fig. 4 Measured signal using Actiwatch (upper), and smartphone(I-GT9300, lower). (a) posture change, (b) head movement, (c) arm movement (up and down), (d) arm movement (left and right), (e) leg movement, (f) hand flipping and (g) hand folding.

3. 결 론

본 연구는 스마트폰을 사용한 유헤스케어 기술에 대한 기초 연구로 스마트폰 기반 수면모니터링을 위한 움직임 신호 특성을 분석하고 스마트폰의 수면 모니터링 활용 가능성을 확인하였다. 이를 위해 수면 중 발생할 수 있는 모사 움직임 패턴을 정의하였고 스마트폰을 통해 모사 움직임에 의해 발생하는 가속도 신호를 기록하여 수면 중 움직임 검출 가능성에 대하여 분석하였다. 기존 임상에 적용되는 Actimetry 기기인 Actiwatch와 비교평가를 수행한 결과 스마트폰을 기반으로 검출된 신호는 몸통의 움직임, 팔다리의 움직임 등 상대적으로 움직임이 큰 신호를 기존 측정기와 유사한 정도로 기록할 수 있는 것으로 나타났으나 손에 국한된 움직임에서는 움직임을 잘 관찰하지 못하는 한계를 보였다. 하지만, 다리의 움직임 등 특정 움직임에서는 기존 측정기가 측정하지 못한 움직임 신호를 측정하였으며 이는 수면상태의 움직임이 손 등의 작은 부위의 움직임 보다 몸통, 팔 다리 등의 움직임과 관련성이 높다는 것을 고려할 때, 수면 중 움직임 모니터링에 있어 기존 기기의 단점을 보완할 수 있는 가능성을 가지고 있다고 여겨진다. 본 연구는 모사 움직임 종류 확장과 매트리스 다양화 수면 환경, 피험자 군 다양화를 통해 보다 심도 있는 연구로 발전할 수 있다 생각되며, 현재 상용화된 여러 수면 효율 측정 어플리케이션의 성능 향상 및 수면 중 움직임 모델 개발을 위한 기초 연구로 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

감사의 글

This study was financially supported by Chonnam National University, 2013

References

- [1] Kim, Ju won, "The way for introducing smart public health service", National Information Society Agency, Korea, June 2011.
- [2] Pathak, Abhinav, et al. "What is keeping my phone awake?: characterizing and detecting no-sleep energy bugs in smartphone apps." Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services. ACM, 2012.
- [3] Jung, Hye Sil, "Perspectives and trends of wearable healthcare devices", Korea health industry development institute, March 2014.
- [4] Moor Insights & Strategy, CES 2014 Wearable & Fitness Tech Trends: Going Mainstream, 2014
- [5] Shin, Hangsik, Choi, Byunghun, et al. "Robust Sleep Quality Quantification Method for a Personal Handheld Device" Telemedicine and e-Health. June 2014, 20(6): 522-530. doi:10.1089/tmj.2013.0216.
- [6] King, Martin A, et al. "The validation of a new actigraphy system for the measurement of periodic leg movements in sleep." Sleep medicine vol. 6, pp. 507-513, 2005.
- [7] Chesson Jr, M. D., et al. "Practice parameters for the use of actigraphy in the assessment of sleep and sleep disorders: an update for 2007." Sleep vol. 30, pp. 519, 2007.
- [8] Gironda, Ronald J., et al. "Preliminary evaluation of reliability and criterion validity of Actiwatch-Score." Journal of Rehabilitation Research and Development vol. 44, pp. 223, 2007.
- [9] Hyde, Melissa, et al. "Validation of actigraphy for determining sleep and wake in children with sleep disordered breathing." Journal of sleep research vol. 16, pp. 213-216, 2007.
- [10] Wang, David, Keith K. Wong, and George C. Dungan. "The validity of wrist actimetry assessment of sleep with and without sleep apnea." Journal of clinical sleep medicine: JCSM: official publication of the American Academy of Sleep Medicine vol. 4, pp. 450, 2008.
- [11] Coifman, Ronald R., and David L. Donoho. Translation-invariant de-noising. Springer New York, 1995.

저 자 소 개



김도윤 (金度潤)

1979년 8월 6일생. 2007년 건국대학교 의공학부 졸업. 2009년, 2012년 연세대학교 대학원 생체공학협동과정 석사, 박사 졸업(공박), 2012년~현재 삼성전자주식회사 DMC연구소 책임연구원.

Fax : 031-279-1477

E-mail : doyooun12.kim@samsung.com



신항식 (申伉植)

1979년 10월 10일생. 2003년 연세대학교 전기전자공학부 졸업. 2005년, 2010년 연세대학교 대학원 전기전자공학과 석사, 박사 졸업(공박). 2013년~현재 전남대학교 공학대학 의공학과 조교수.

Tel : 061-659-7362

Fax : 061-659-7369

E-mail : hangsik.shin@jnu.ac.kr