

모바일 센싱 기반의 일상생활에서 비접촉에 의한 수면 모니터링

서정희*

Sleep Monitoring by Contactless in daily life based on Mobile Sensing

Jung-Hee Seo*

요 약

우리의 일상생활에서 양질의 수면은 행복 지수와 밀접한 관계가 있다. 사람들은 수면 장애를 만성 질환으로 인식하든 아니든 많은 어려움을 호소하고 있으며 일상생활에서 수면 중에 호흡 곤란을 경험하는 경우가 종종 발생한다. 수면 중에 호흡 관련 장애를 자동으로 인식하는 것은 매우 중요하나 현실적으로 매우 어렵다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해 가정에서 건강관리를 위해 모바일 기반의 비접촉 수면 모니터링을 제안한다. 수면 중 호흡 신호는 스마트 폰의 소리 센서를 이용하여 호흡 신호를 수집하고, 신호의 특징을 추출, 호흡의 주파수, 진폭, 호흡의 주기, 호흡의 패턴을 분석한다. 모바일 건강이 모든 문제를 해결하지는 못하나 개인의 건강 상태의 조기 발견과 지속적인 관리를 목적으로 하고, 일반 가정의 침실에서 스마트 폰으로 추가 센서 없이 수면 중에 호흡과 같은 생리학적 데이터 모니터링의 가능성을 보여준다.

ABSTRACT

In our daily life, quality of sleeping is closely related to happiness index. Whether or not people perceive sleep disturbance as a chronic disease, people complain of many difficulties, and in their daily life, they often experience difficulty breathing during sleep. It is very important to automatically recognize breathing-related disorders during a sleep, but it is very difficult in reality. To solve this problem, this paper proposes a mobile-based non-contact sleeping monitoring for health management at home. Respiratory signals during the sleep are collected by using the sound sensor of the smartphone, the characteristics of the signals are extracted, and the frequency, amplitude, respiration rate, and pattern of respiration are analyzed. Although mobile health does not solve all problems, it aims at early detection and continuous management of individual health conditions, and shows the possibility of monitoring physiological data such as respiration during the sleep without additional sensors with a smartphone in the bedroom of an ordinary home.

키워드

Sleep Monitoring, STFT, Mobile Health, Respiration Rate
수면 모니터링, 단시간 푸리에 변환, 모바일 건강, 호흡 주기

* 교신저자 : 동명대학교 컴퓨터공학과
• 접수일 : 2022. 03. 19
• 수정완료일 : 2022. 05. 03
• 게재확정일 : 2022. 06. 17

• Received : Mar. 19, 2022, Revised : May. 03, 2022, Accepted : Jun. 17, 2022
• Corresponding Author : Jung-Hee Seo
Dept. of Computer Engineering, Tongmyong University
Email : jhseo@tu.ac.kr

I. 서론

전 세계는 COVID-19의 세계적 대유행을 겪으면서 사람들 간의 활동에 비대면이 강조됨에 따라 학교나 직장 등 다양한 분야에서 온라인 기반의 활동을 활성화하고 있다. 그러나 온라인 기반의 비대면 활동은 다양한 영역에서 문제점이 제기되기도 하였으나 건강 관련 영역에서는 비대면의 가능성과 효율성을 확인할 수 있었다. 따라서 가정환경에서 비대면에 의한 건강 관리에 관한 관심이 증가하고 있다.

의료 분야에서 비대면의 인기 있는 애플리케이션으로는 원격 상태 모니터링(Telehealth)[1]과 인터넷을 통한 만성 질환 관련 건강 데이터의 지속적인 모니터링이 중요시되고 있다.

수면은 우리의 삶에서 중요한 부분을 차지하고 있으며, 수면 장애로 인한 수많은 건강 문제에 의해 강조된다. 이러한 수면 장애를 감지하려면 생리적 신호를 정확하게 해석해야 한다[2].

사람들은 수면 장애를 만성 질환으로 인식하는 아 니든 많은 어려움을 호소하고 있다. 또한, 일상생활에서 사람들은 수면 중에 호흡 곤란을 경험하는 경우가 종종 발생한다. 그러므로 일상생활에서 실시간 수면 모니터링의 중요성이 강조되고 있으나 수면 중에 호흡 관련 장애를 자동으로 인식하는 것은 매우 중요하나 현실적으로 매우 어렵다.

성인의 30% 정도는 규칙적인 수면의 문제점을 인식하고 있으며, 수면 장애 증상을 가지고 있음을 발견했다[2].

우리나라의 건강보험심사평가원 자료에 의하면 수면 장애 환자는 2015년 45만 6,100여 명이었던가 2019년 63만 7,300여 명으로 연평균 9.8% 증가하였다). 특히 수면무호흡증 환자가 급격히 증가한 것으로 나타나고 있다. 대부분의 사람은 이런 수면 문제나 장애를 질병으로 인식하지 못하고 있고, 그로 인해 일상생활에서 삶의 질을 현저히 감소시키고 있다.

따라서 수면과 관련된 많은 환자는 치료 없이 고통 받고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서는 수면의 질을 모니터링할 필요성이 요구된다.

기존의 연구에서 수면 및 건강 관련 모니터링을 위한 다양한 애플리케이션이 연구되었다.

사물 인터넷을 이용한 헬스케어[1], 생리적 신호를 기반으로 한 자동 수면 단계 채점 검토[2], 환자 건강을 모니터링하기 위해 스마트 폰이나 태블릿을 이용한 건강 관련 서비스를 제공하는 모바일 건강(mHealth) 애플리케이션[3], 공황 장애에 챗봇을 활용한 모바일 앱[4], 스마트 폰 기반의 수면 모니터링[5], 수면 품질 측정[16], 헬스케어 시스템[17] 등이 연구되었다.

최근 미국 심장 협회(AHA) 과학 성명은 mHealth를 "의료 서비스 및 정보를 위한 모바일 컴퓨팅 및 통신 기술 (예 : 휴대 전화, 웨어러블 센서) 사용"으로 정의하고[6], 웨어러블 기술, 차세대 분석 및 모바일 장치는 만성 질환을 식별하고 치료하는 다양한 방법을 직접 도입하는 데 이바지할 수 있다[1].

본 논문은 일상생활 공간에서 사용자에게 거슬리지 않는 방식으로 수면 상태를 모니터링하기 위해 모바일 센싱 기반의 비접촉 수면 모니터링을 제안한다. 본 논문은 기존의 연구 방법과 달리 사용자의 수면 데이터를 수집하는 과정에서 복잡한 하드웨어나 센서들을 사용하지 않고 수면 상태의 신체 활동으로 호흡을 측정하고 실시간 데이터 전송을 통해서 건강 데이터를 일상생활에서 모니터링할 수 있다.

본 논문의 2장은 건강 데이터의 수집 및 모니터링과 관련된 연구에 대해서 논한다. 3장은 본 논문에서 제안하는 모바일 센싱 기반의 비접촉에 의한 수면 모니터링 기법에 관해 설명한다. 4장은 구현 결과 및 분석, 5장 결론, 참고문헌 순으로 기술한다.

II. 관련 연구

개인의 건강 상태를 주기적으로 모니터링하여 건강 상태를 사전에 발견하고 예방하기 위해 모바일과 통신 기술을 결합한 모바일 건강(mHealth)과 관련된 다양한 앱들이 개발되고 있으며, 혁신적인 기술과 저렴한 비용으로 많은 사람에게 서비스를 지원할 수 있다. 따라서 기존의 모바일 건강과 관련된 연구에 대해서 살펴보도록 한다.

M. A. Akkas 외 등 [1]에서 제안된 시스템은 환자

1) <https://www.nhis.or.kr/magazin/160/html/style/pdf/sub1.pdf>

의 맥박수, 혈액량 측정 및 상대 산소 비율에 대한 데이터에 중점을 두고, 수집된 데이터는 IoT 기술을 사용하여 무선 센서 네트워크에서 중앙 데이터베이스로 전송된다. 시스템 성능은 다양한 네트워크 토폴로지에서 수집된 데이터의 복원력과 정확성, 네트워크 안정성 및 유효 범위 측면에서 평가하고 있다.

O. Faust 외 등 [2]는 자동화된 수면 단계 점수 시스템을 제안하고 있으며 이러한 시스템은 수면 장애 진단 자동화에 대한 실질적인 관련성 외에도 특정 생리학적 신호로 전달되는 수면 단계 관련 정보의 양을 잘 보여준다. 이 시스템은 뇌전도(ECG), 심전도(EEG), Electrooculogram(EOG) 및 조합을 위해 개발되었다.

M. Hussain 외 등 [3]은 모바일 건강 애플리케이션에서 민감한 의료 데이터 처리로 인해 사용자의 보안과 개인 정보 보호에 상당한 위험을 초래할 수 있는 문제점에 대해 Android mHealth 애플리케이션과 관련된 의료 데이터의 보안을 개선하고 사용자의 개인 정보를 보호하기 위한 개념적 프레임 워크를 제시하였다.

A. Tataraidze 외 등 [5]에서는 스마트 폰으로 호흡이나 심장 박동과 같은 생리적 과정을 등록할 수 있도록 스마트 폰과 액세스 포인트 간의 Wi-Fi 연결에 대한 채널 상태 정보(CSI) 분석을 기반으로 호흡을 감지하고자 하였다.

A. Zaffaroni 외 등 [7]은 침대에 있는 피험자의 움직임과 호흡을 모니터링하기 위해 스마트 폰 앱을 통해 비 가청음향탐지기를 사용하는 비접촉 수면 모니터링 장치인 Drive 기술의 성능을 제시하였다. 맞춤형 하드웨어 구매와 관련된 비용과 노력으로 대표되는 채택의 초기 장벽을 제거하였고, 새로운 비접촉 초음파 기술의 검증 결과를 제시하여 스마트 폰 앱을 통해서 수면 단계를 식별하였다.

M. Martinez 외 등 [8]에서는 심도 카메라를 센서로 사용하여 호흡 조건을 캡처하고 분류하는 비침습적 컴퓨터 비전 접근 방식을 제안하였다. 컴퓨터 비전의 최근 혁신으로 새로운 원격 및 비간섭 환자 모니터링 기술을 개발하는 방법을 제공하고, 호흡 장애훈을 분류할 수 있는 딥 러닝 아키텍처를 기반으로 한 접근 방식을 제안하였다.

G. Cay 외 등 [9]에서는 SleepSmart라는 눈에 잘

띄지 않는 무선 수면 모니터링 시스템의 개발을 목표로 하고 있으며, 섬유 압력 센서와 통합된 스마트 매트리스 토퍼로 IoT 기능을 통해 사람들이 자신의 침대에서 실시간으로 수면 습관과 호흡률을 모니터링할 수 있다.

A. Gyrard 외 등 [10]에서는 일상생활에서 사람들의 행복과 웰빙을 장려하기 위해 IoT 기반 웰빙 생태계 조성 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 행복과 웰빙에 초점을 맞춘 감정을 위한 웹 기반 지식 저장소를 구축하여 IoT 장치에서 생성된 데이터를 분석하고 사용자의 감정과 건강을 이해하는 데 도움이 되었다.

R. Sadeghi 외 등 [11]에서는 깊은 수면 단계에서 생리적 신호의 추세를 기반으로 수면의 질을 예측할 수 있는 임상 의사 결정 지원 시스템을 제안하였고, E4 손목 밴드인 웨어러블 장치를 사용하여 심박수 등 생리적 신호에 활용하였다.

III. 모바일 센싱 기반의 수면 모니터링

현대인의 건강과 웰빙에 관련된 모니터링은 무선 통신, 모바일, 휴대용 장치, 웨어러블 등의 기술을 사용하여 사용자가 인식하지 못하는 환경에서 데이터 수집에 집중하고 있으며, 사용자가 위험을 인지하지 못하는 상황에서 응급 처리하는 기술로 발전되고 있다.

기존의 의료 시스템은 주로 확진 진단 후 환자의 상태를 치료하는 데 중점[12]을 둔 반면, 모바일 건강은 의료 서비스의 범위를 확장하고 의사 결정을 개선, 만성 질환을 예방 및 관리, 더 빠른 응급 치료를 제공하는 데 중점을 둔다[13].

수면의 질 저하는 불면증, 수면무호흡증, 수면 중에 신체의 많은 움직임으로 나타나고 있다. 일반적으로 불면증은 심각한 질병으로 잘 인식되지는 않으나 일상 생활에서 많은 불편함을 느낀다.

현재의 수면 검사는 비용이 많이 들고, 병원에서 실시하는 수면 검사의 환경이 가정에서의 수면 환경과 비교하여 수면에 방해되는 측면이 많고, 일반적으로 수면 다원 검사를 기반으로 한다.

본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해 가정에서 건강관리를 위해 모바일 기반의 비접촉 수면 모니터링을 제안한다. 모바일 건강이 모든 문제를 해결하지 못

하나 개인의 건강 상태의 조기 발견과 지속적인 관리를 목적으로 하고, 스마트 폰으로 수면 중 호흡과 관련된 데이터의 수집 가능성을 평가한다.

그림 1은 전체 시스템 구조를 나타낸다. 가정에서 침대 위에 놓인 스마트 폰으로 수집된 데이터의 처리는 무선 통신을 통해서 클라우드 저장소로 전송되고, 분석 모듈에서 신호 전처리, 특징 추출, 신호 분석을 수행하여 그 결과를 스마트 폰으로 전송한다. 따라서 수면 모니터링은 사용자가 취침 전 알람 시간을 설정하면 스마트 폰의 소리 센서를 이용하여 수면 중 호흡과 관련된 데이터를 수집하고, 개인별 호흡의 패턴을 분석하고 사전적 예방을 목적으로 한다.

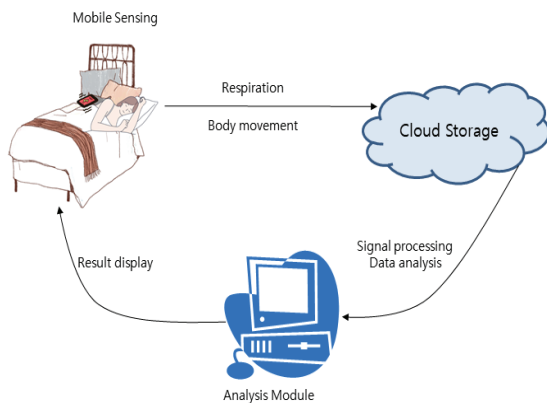


그림 1. 수면 모니터링의 시스템 구조

Fig. 1 System architecture of sleep monitoring

3.1 수면 데이터 처리

수면 모니터링을 위한 데이터 측정은 일반적으로 PSG(Polysomnography)[7]로 수면의 생리학적인 측면에서 매우 정확한 검사로 병원의 제한된 환경에서 이루어지므로 비용이 비싸고, 연속적으로 데이터 측정이 이루어져야 하고, 비용뿐만 아니라 일상생활에서의 수면과 같은 편안함을 제공하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 일상생활에서 누구나 편리하고 안전한 지속적인 모니터링 기술이 요구된다.

모바일 건강은 스마트 폰으로 사용자가 잘 인식하지 못한 상태에서 센서와 무선 네트워크 액세스로 모니터링이 가능하고 사용자의 접근성이 뛰어나 지속적인 데이터 수집의 편리성을 제공한다.

본 논문의 수면 모니터링은 가정에서 수면 상태의

사용자 호흡의 패턴을 모니터링한다.

수면 중 호흡 신호는 스마트 폰의 소리 센서를 이용하여 호흡 신호를 수집하고, 신호의 특징을 추출, 호흡의 주파수, 진폭, 호흡의 주기(Respiration Rate : RR), 호흡의 패턴(Respiration Pattern : RP)을 분석함으로써 수면 상태를 모니터링한다.

스마트 폰 기반의 수면 모니터링은 기존의 방법과 비교하여 저렴하고 간편한 건강관리가 가능한 것으로 예측되지만 기존의 특수 장비 없이 호흡과 같은 생리학적인 데이터를 효율적으로 처리하는 문제가 남아 있다. 스마트 폰에서 소리와 같은 데이터 수집은 신호의 잡음이 많아 호흡의 주기 및 매개 변수를 정확하고 안정적으로 감지하는 것이 어려워 호흡의 패턴을 추출하는데 모호함이 존재하고, 개인마다 수면 패턴이 다양하여 생리학적인 신호로 인식되기 어렵다.

복잡한 신호의 경우 주파수는 시간에 따라 달라진다. 시간-주파수 관계에 따른 신호 분석을 위해서 STFT(Short Time Fourier Transform)[14, 15] 같은 JTFA(Joint Time-Frequency Analysis) 도구를 사용한다.

수면 모니터링의 데이터 처리 절차는 시간-주파수 영역에서 호흡 신호의 피크를 식별하기 위해 고주파수와 저주파수에 대한 노이즈를 제거한다. 호흡의 특성 주파수 스펙트럼을 계산하기 위해 공동 시간-주파수 분석(JTFA)을 사용하고, 신호의 단시간 푸리에 변환(STFT)을 수행하여 스펙트로그램을 계산한다.

JTFA는 비주기적 시계열 데이터 내에서 준주기적 패턴을 시간적으로 현지화할 수 있다. 그리고 STFT 스펙트로그램은 가장 효과적이고 널리 사용되는 2차 시간-주파수 분석 방법으로 STFT를 계산하는 데 사용할 슬라이딩 창의 계수를 지정하고, 창 정보를 사용하여 Hanning 창으로 슬라이딩 창을 지정한다. 스펙트로그램은 신호의 2차 시간-주파수 표현을 반환하고 강도 그래프에 스펙트로그램을 디스플레이한다.

STFT는 식 (1)과 같은 공식에 의해 계산된다. SP는 STFT 기반 스펙트로그램으로 STFT의 제곱으로 식 (2)와 같이 정의된다.

$$STFT[xM, y] = \sum_{i=0} s[i] \gamma[i - xM] e^{-j2\pi yi/N} \dots (1)$$

$$SP[xM, y] = \left| \sum_{i=0}^N STFT[xM, y] \right|^2 \dots\dots\dots (2)$$

여기서 M은 시간 샘플링 간격을 나타내고, s[i]는 신호, γ 는 창 함수, N은 주파수 빈(Bin)의 수이다.

IV. 구현 결과 및 분석

본 연구는 스마트 폰에서 측정된 데이터를 클라우드 서버로 전송한 후 .wav 형식의 사운드 파일로 변환한 후 신호 처리를 수행한다.

여기서는 시간-주파수 분석을 통해서 호흡 신호 에너지가 시간-주파수 영역의 분포를 나타내기 위해 스펙트로그램으로 디스플레이한다. 스펙트로그램은 두 개의 독립 변수인 시간과 빈도가 있는 강도 그래프로 주파수가 시간에 따라 어떻게 변하는지 디스플레이한다. 따라서 x축은 시간과 y축은 주파수를 나타낸다. 색상 강도는 해당 시간 및 주파수에서 신호의 전력을 나타낸다.

그림 2의 (a)는 소스 신호(호흡 데이터)이고, 그림 2의 (b)는 소스 신호로부터 700ms의 부분 데이터를 획득한 결과를 나타낸다. 그림 2의 (c)는 700ms의 부분 데이터를 주파수 대 시간 영역에서 샘플링된 오디오 신호의 진폭을 나타낸다. 여기서 데이터는 고역 통과 필터와 저역 통과 필터를 수행한 후 최대 샘플 갯수 30,000을 수집한 후 호흡 주기, 주파수, 진폭, 표준 편차의 값을 계산한다.

그림 2의 (d)는 수면 상태에서 사용자의 호흡 패턴을 시각적으로 보여주기 위해 주파수 대 시간의 스펙트로그램을 나타낸다. 여기서 색상은 계수 크기에 해당하고, 빨간색(최대값)에서 파란색(최소값)까지의 색상 스펙트럼을 나타낸다. 그리고 임계값 연산을 적용해서 계수값에 대한 노이즈를 제거하였다. STFT 스펙트로그램의 Window Type은 Hanning, Window Length는 64, Frequency Bines은 512, Time Steps은 59로 설정하였다.

실험 데이터는 14개의 WAV 파일에 대해 실험하였고, 소스 신호의 주파수는 59Hz에서 160Hz로 측정되었다. 소스 진폭은 0.00003에서 0.00085로 측정되었다. 각각의 호흡 신호는 30,000개의 샘플링된 데이터

에서 측정했으며, 분당 5~12개 사이로 검출되었다. 샘플링된 데이터의 평균 주파수는 0.10Hz, 표준 편차는 2.88E-5이다.

표 1은 수면 모니터링에 대해 기존 논문과 제안된 논문에서의 비교 분석한 결과를 나타낸다.

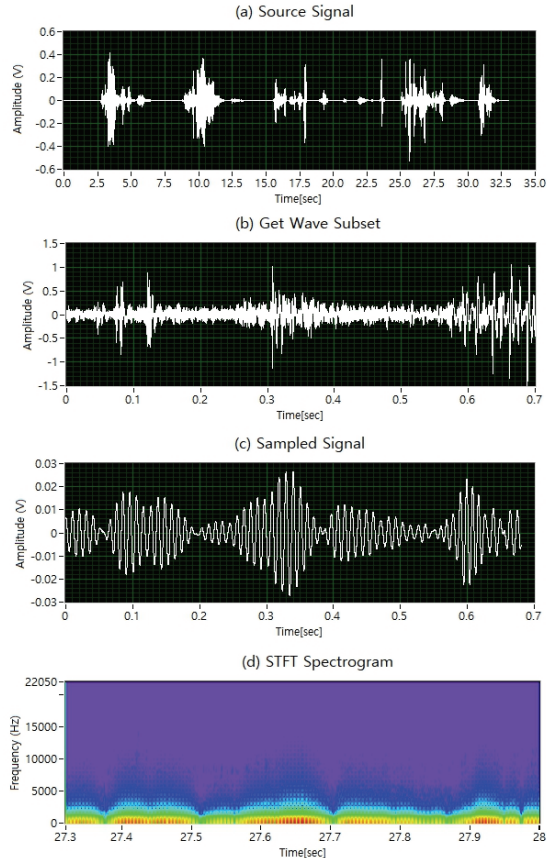


그림 2. 호흡의 원신호 대한 샘플링된 신호와 스펙트로그램

Fig. 2 Spectrogram and the sampled signal for raw signal of respiratory

V. 결론

우리의 일상생활에서 양질의 수면은 행복 지수와 밀접한 관계가 있다. 본 논문은 일반 가정의 침실에서 스마트 폰을 사용하여 비접촉 수면 모니터링을 제안

하고, 추가 센서 없이 수면 중에 호흡과 같은 생리학 적 데이터 모니터링의 가능성을 보여준다.

스마트 폰에서 생리학적 데이터의 수집은 많은 잠 음이 존재하고 안정적으로 감지하기가 어려워 호흡의 패턴 추출이나 수면의 질을 평가하기가 어려운 점이 많다. 수면 모니터링을 개선하기 위해 수면 상태에서 신체의 움직임을 스마트 폰의 가속도 센서로 움직임의 변화를 추가하면 수면 모니터링의 향상에 영향을 미칠 것으로 기대된다.

표 1. 수면 모니터링의 비교 분석

Table 1. Analysis comparison of sleep monitoring

Characteristics Papers	Method	Application
Paper [1]	Collection of patient's physiological data	Healthcare
Paper [2]	Automated sleep stage scoring system	Detecting sleep disorders
Paper [3]	Conceptual framework for protecting privacy	mHealth
Paper [5]	Smartphone-based sleep monitoring	Register physiological data on respiration or heart rate with a smartphone
Paper [9]	Wireless sleep monitoring system	SleepSmart
Proposed Paper	Mobile-based sleep monitoring	Mobile health

References

[1] M. A. Akkas, R. Sokullu, and H. E. Çetin, "Healthcare and patient monitoring using IoT," *Internet of Things*, vol. 11, Sept. 2020, pp. 1-12.
 [2] O. Faust, H. Razaghi, R. Barika, E. J. Ciaccio, and U R. Acharya, "A review of automated sleep stage scoring based on physiological signals for

the new millennia," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 176, July 2019, pp. 81-91.
 [3] M. Hussain, A.A. Zaidan, B.B. Zidan, S. Iqbal, M.M. Ahmed, O.S. Albahri, and A.S. Albahri, "Conceptual framework for the security of mobile health applications on Android platform," *Telematics and Informations*, vol. 35, no. 5, Aug. 2018, pp. 1335-1354.
 [4] J. Oh, S. Jang, H. Kim, and J.J. Kim, "Efficacy of mobile app-based interactive cognitive behavioral therapy using a chatbot for panic disorder," *International Journal of Medical Information*, vol. 140, Aug. 2020, pp. 1-8.
 [5] A. Tataraidze, R. Olesyuk, and M. Pikhletsy, "Can We Monitor Breathing During Sleep via Wi-Fi on Smartphone?," *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Berlin, Germany, July 2019, pp. 6710-6713.
 [6] C. M.S. Sarwar, M. Vaduganathan, S. D. Anker, S. Coiro, L. Papadimitriou, J. Saltz, E. R. Schoenfeld, R. L. Clark, W. Dinh, F. Kramer, M. Gheorghiad, G. C. Fonarow, and J. Butler, "Mobile health applications in cardiovascular research," *International Journal of Cardiology*, vol. 269, Oct. 2018, pp. 265 - 271.
 [7] A. Zaffaroni, S. Coffey, S. Dodd, H. Kilroy, G. Lyon, D. O'Rourke, K. Lederer, I. Fietze, and T. Penzel, "Sleep Staging Monitoring Based on Sonar Smartphone Technology," *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Berlin, Germany, July 2019, pp. 2230-2233.
 [8] M. Martinez, D. Ahmedt-Aristizabal, T. Vath, C. Fookes, and A. B. R. Stiefelhagen, "A Vision-based System for Breathing Disorder Identification: A Deep Learning Perspective," *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Berlin, Germany, July 2019, pp. 6529-6532.
 [9] G. Cay and K. Mankodiya, "SleepSmart: Smart Mattress Integrated with e-Textiles and IoT Functions for Sleep Apnea Management," *2020 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops*, Austin,

TX, USA, Mar. 2020.

- [10] A. Gyrard and A. Sheth "IAMHAPPY: Towards an IoT knowledge-based cross-domain well-being recommendation system for everyday happiness," *Smart Health*, vol. 15, Mar. 2020, pp. 1-15.
- [11] R. Sadeghi, T. Banerjee, J. C. Hughes, and L. W. Lawhorne, "Sleep quality prediction in caregivers using physiological signals," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 110, July 2019, pp. 276-288.
- [12] D. Silvera-Tawil, M. S.Hussain, and J. Li "Emerging technologies for precision health: An insight into sensing technologies for health and wellbeing," *Smart Health*, vol. 15, Mar. 2020, pp. 1-19.
- [13] U. Varshney, "Mobile health: Four emerging themes of research," *Decision Support Systems*, vol. 66, Oct. 2014, pp. 20-35.
- [14] G. K. Sharma, A. Kumar, C. B. Rao, T. Jayakumar, and B. Raj, "Short time Fourier transform analysis for understanding frequency dependent attenuation in austenitic stainless steel," *NDT&E International*, vol. 53, 2013, pp. 1 - 7.
- [15] W. He, T. Hao., H. Ke, W. Zhengand, and K. Lin, "Joint time-frequency analysis of ground penetrating radar data based on variational mode decomposition," *Journal of Applied Geophysics*, vol. 181, 2020, pp. 1-15.
- [16] E. Suwandi and B. J. Kim, "Design of a Smart Pillow for Sleep Quality Measurement using Accelerometer," *Journal of the KIECS*, vol. 15, no. 3, Jun. 2020, pp. 603-610.
- [17] S. P. Hong, "Design and implementation of healthcare system based on non-contact biosignal measurement," *Journal of the KIECS*, vol. 15, no. 1, Feb. 2020, pp. 185-190.

저자 소개



서정희(Jung-Hee Seo)

1994년 신라대학교 전자계산학과 졸업(이학사)

1997년 경성대학교 대학원 전산 통계학과 졸업(이학석사)

2006년 부경대학교 대학원 전자상거래시스템전공 졸업(공학박사)

현재 동명대학교 컴퓨터공학과 조교수

※ 관심분야 : 멀티미디어 응용, 정보보호, 모바일

