

## 도플러 레이더 기반 차량 운전자의 심박 및 호흡 신호 검출 기법 연구

## Detection Scheme of Heart and Respiration Signals for a Driver of Car with a Doppler Radar

윤영욱<sup>1</sup> · 이정표<sup>2</sup> · 김진명<sup>3</sup> · 김영억<sup>4\*</sup>Younguk Yun<sup>1</sup>, Jeongpyo Lee<sup>2</sup>, Jinmyung Kim<sup>3</sup>, Youngok Kim<sup>4\*</sup><sup>1</sup>Graduate student, Electronic Engineering Department, Kwangwoon University, Seoul, Republic of Korea<sup>2</sup>Graduate student, Electronic Engineering Department, Kwangwoon University, Seoul, Republic of Korea<sup>3</sup>President, JCF Technology, Seoul, Republic of Korea<sup>4</sup>Professor, Electronic Engineering Department, Kwangwoon University, Seoul, Republic of Korea

\*Corresponding author: Youngok Kim, kimyoungok@kw.ac.kr

## ABSTRACT

**Purpose:** In this paper, we propose an algorithm for detecting respiratory rate and heart beat of a driver of car by exploiting Doppler radar, and verifying the feasibility of the study through experiments.**Method:** In this paper, we propose a weighted peak detection technique using peak frequency values. The tests are performed in stop-state and driving-state, and the experiment result is analyzed by two proposed algorithms. **Result:** The results showed more than 95% and 96% accuracy of respiratory and heart rate, respectively. It also showed more than 72% and 84% accuracy of those even for driving experiments. **Conclusion:** The proposed detection scheme for vital signs can be used for the safety of the driver as well as for prevention of a large size of car accidents.**Keywords:** Vital Sign, Car Accidents, Smart-car, Doppler RADAR, Signal Processing

## 요약

**연구목적:** 본 논문에서는 도플러 레이더를 활용하여 차량 운전자의 호흡과 심박을 추정하는 알고리즘을 제안하고 실험을 통해 연구의 가능성을 확인한다. **연구방법:** 본 논문에서는 검출 신호의 peak 주파수 값과 가중치를 활용하는 weighted peak detection 기법을 제안한다. 정지 상태와 주행 상태에서의 실험을 통해 제안하는 두 알고리즘의 정확도를 분석한다. **연구결과:** 제안하는 알고리즘을 통해 정지 상태에서 측정된 호흡과 심박 검출 정확도는 각각 95%, 96% 이상의 결과를 보였다. 또한 실제 주행 실험에서도 각각 72%, 84% 이상의 정확도를 보여 주행 시의 활용 가능성을 확인하였다. **결론:** 본 논문에서 제안하는 생체 신호 검출 기법은 차량 운전자의 호흡이나 심장 이상을 자동으로 검출함으로써 운전자 본인 및 대형 교통사고를 예방하는 기술로 활용이 가능하다.

**핵심용어:** 생체신호 검출, 차량사고, 스마트카, 도플러 레이더, 신호처리

Received | 18 November, 2019

Revised | 18 November, 2019

Accepted | 31 March, 2020



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

생체 신호 중 심박과 호흡 검출은 생명과 직결된 가장 중요한 정보라고 할 수 있다. 건강보험통계연보에 따르면, 급성심근경색증의 발생률은 2011년 1,000명당 1.36에서 2015년 1.73으로 매년 증가하는 추세를 보이고 있고 사망원인통계에 따르면, 심장질환에 따른 사망률은 인구 10만 명당 2011년 52.5명에서 2015년 55.6명으로 사망률도 증가하고 있다(Park, 2017). 또한 수면 무호흡증, 천식 등으로 인한 호흡곤란 및 장애가 생기는 경우 심혈관계, 신경계, 내분비계 등에 여러 문제를 일으키고 최악의 경우 사망까지 이르게 한다고 알려져 있다(Lee, 2012). 미국의 경우 약 1억 명의 사람들이 심장병, 폐질환 및 당뇨병을 포함한 만성 건강 상태로 고통 받고 있으며 치료를 위한 비용이 전체 의료비용에 3/4나 차지하는 것으로 알려져 있다(Hoffman et al., 1996). 아울러 심장 부정맥, 심장마비, 호흡곤란 등 한 순간에 생사가 결정되는 병의 경우 이를 실시간으로 검출하고 즉각적인 대처가 가능하다면 최악의 결과를 예방할 수 있을 것이다. 이러한 중요성 때문에 건강관리를 위한 목적뿐만 아니라 즉각적인 대처를 위한 생체 신호 검출 기술은 환자뿐만 아니라 일반인들에게도 필요한 기술로 인식되고 있다. 생체 신호 검출 기술은 자동차 내에서도 아주 중요하게 활용될 수 있다(Jeon, 2018; Kim et al., 2017). 갑작스런 심장 및 심폐질환 발생하는 경우 운전자 본인뿐만 아니라 차질 대형사고로 이어질 수 있다. 이를 예방하기 위해 차량의 운전자 및 동승자의 생체신호를 모니터링 하는 기술의 대한 연구가 필요하다.

기존 연구에서는 생체 신호 측정을 위해 피부에 센서를 부착하거나 웨어러블 형태의 장비를 통해 측정하는 기술이 주를 이루었고, 최근 소개된 Ballistocardiography 방법은 오랜 기간 신호를 모니터링하는 기술로 검사 대상자가 침대에 누워있어야 하는 제약조건을 갖고 있다(Kim et al., 2016). 또한, 적외선 카메라 기반의 센서를 활용한 연구가 있었는데 이는 여러 개의 센서를 정해진 위치에 부착하고 측정하는 방식으로, 이 방식 역시 측정 대상자가 규격화된 침대에 누워있어야 하는 제약조건을 갖고 있다(Groff and Mulvaney, 2000; Shafiq et al., 2014). 이 밖에도 혈관의 압력을 측정하는 방법, 가속도 센서와 같은 동작 센서를 활용하는 방법, 고유 음파를 활용하는 측정 기법(mechano-acoustic), 빛을 활용한(photoplethysmography) 기법이 있다(Dagdeviren et al., 2014; Gong et al., 2014; Yamamoto et al., 2016; Liu et al., 2016; Bai et al., 2017). 이러한 기술들은 심장의 전기적인 특성을 활용한 심전도(electrocardiograph, ECG)를 활용한 기법과 달리 심장 근육에 의한 혈관의 압력으로 생기는 심혈관 생리학(Cardiovascular Physiology) 연구에 기반을 두고 있다(Pappano et al., 2018; Levick, 2013). 이 밖에도 동맥의 압력으로 생기는 피부 부피 변화를 측정하는 기법과, 혈관의 수축 이완작용으로 인한 진동을 활용한 기법(phonocardiograph, PCG)도 있다(Hirata et al., 2006; Kesteloot et al., 1969; Reed et al., 2004; Redlarski et al., 2014). 이러한 접촉식 생체 신호 감지 기법은 전기적 자극을 주는 경우 심장이 약한 유아기, 노약자에게 위험이 될 수 있고 감염과 불편함이 따른다. 이러한 이유 때문에 최근 비접촉식 기법이 주목받고 있으며, 레이저(LASER) 또는 레이더(RADAR) 기반의 기술들이 있다(Wang et al., 2007; Odina et al., 2014; Koegelenberg et al., 2014; Li et al., 2013; Xiong et al., 2017; Immoreev, 2009). 비접촉식 기술 역시 접촉식 센서와 같이 근육의 수축과 이완을 활용해 거리 또는 변위정보를 활용하는 기법이다. 레이저를 활용한 기법은 매우 높은 거리 분해능을 갖고 있으며 측정 지점에 정확하게 초점을 맞출 수 있는 장점을 지니고 있지만, 옷과 침구에 침투하지 못한다. 이에 반해 레이더 기반의 시스템은 레이저 기반의 단점을 보완할 수 있을 뿐만 아니라 접촉식 기법에 반해 측정이 편리하다. 이러한 장점으로 장소에 관계없이 지속적인 모니터링이 가능하다.

이러한 이유로 UWB 레이더 기반의 시스템이 도입되었는데 이 시스템은 광대역의 주파수를 활용하기 때문에 침투성이 좋은 장점을 갖고 있다. 그러나 한편 UWB 레이더는 광대역 주파수를 활용하기 때문에 다른 무선 시스템에 영향을 줄 수 있

다. 따라서 출력의 제약사항이 있으며, 이로 인해 많은 노이즈 및 클러터를 제거하기 위한 기술들을 필요로 하며 UWB 레이더의 목표물 검출은 10m 이내, 호흡 검출은 0.5m의 짧은 거리만 검출이 가능하다는 단점을 갖고 있다(Shingu et al., 2008; Muller et al., 2015). 한편, UWB 레이더와 더불어 도플러 레이더의 연구도 진행되었다. 도플러 레이더는 도플러 효과 이론에 기초하여, 측정 목표대상의 움직임, 시변 위치에 따른 위상이 변조된 신호를 수신 하는 방식으로, 도플러 레이더는 분석을 위해 UWB 레이더 보다 많은 시간 데이터를 수집하는 단점이 있지만 위의 단점을 모두 보완할 수 있는 기술로 주목을 받고 있다. 초기 연구로서, x-band 도플러 레이더의 트랜시버를 사용하여 호흡 및 심박의 검출이 가능함을 확인되었다(Lin, 1975; Lin et al., 1979).

본 논문에서는 24GHz의 주파수 대역을 사용하는 도플러 레이더를 활용하여 운전자의 생체신호를 검출하기 위한 기법에 대해 제안한다. 제안 기법의 유효성 검증을 위해 각각 정지 상태와 차량의 주행 상태 조건에서 실험을 진행하고, 측정된 결과를 분석하였다. 특히, 주행 상태에서의 실험은 복수의 운전자가 고속도로에서 정속 주행을 수행하고, 측정된 실험 결과를 각 사용자 별로 분석을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 실험에 사용된 시스템 특성을 소개하고, 생체신호 검출을 위한 신호처리 과정과 제안하는 심박 및 호흡 신호 검출 알고리즘을 제시한다. 실험환경을 소개하고 제안 기법의 성능 실험 결과를 분석한다. 마지막으로 본 논문의 요약과 결론으로 구성된다.

## 시스템 구성

Fig. 1(a)는 심장 박동, 호흡 등으로 생기는 움직임을 측정하는 생체신호 측정 개념도이다. 레이더 신호의 투과성을 통해 옷이나 유전체 소재 등으로 가려 있는 경우에도 측정이 가능하다. Fig. 1(b)는 본 연구에서 사용된 도플러 레이더로서, IR-UWB와 같은 펄스파가 아닌 multi channel - multi carrier를 이용한 디지털 신호처리 기반의 레이더이다. 본 레이더의 특징으로는 사용주파수 대역폭 내에 일부의 carrier 신호가 망가지더라도 나머지 carrier 신호 정보를 기반으로 변화량을 검출할 수 있다. 총 6개의 채널을 사용하는 micro 도플러 레이더이며, 24GHz의 주파수 대역을 사용하며 sampling rate는 20Hz, 위상 응답 획득방식으로 도플러 신호처리를 구현하였다.

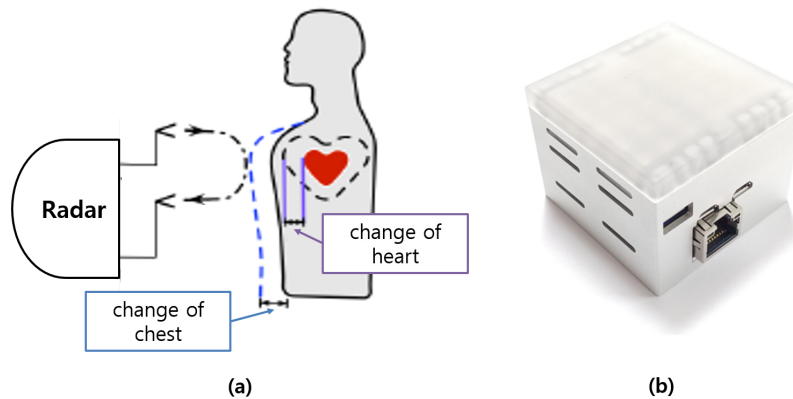


Fig. 1. (a) Concept of measuring vital signs and (b) developed Doppler radar

## 생체 신호 검출을 위한 제안 기법

본 장에서는 생체 신호로서 호흡 신호와 심박 신호의 검출 기법을 소개하고자 한다. Fig. 2는 측정 대상자가 정지하고 있는 상태에서 측정된 데이터로 (a)는 시간 축, (b)는 주파수 축 그래프이다. 호흡 시 흉부의 움직임이 심장의 움직임보다 크기 때문에 심박 검출과 노이즈 제거를 위해 데이터를 필터링해준다. 호흡의 경우 분당 42회 이상 호흡하지 않는다는 가정을 하고 0~0.7Hz 사이를 저주파 통과 필터링(low pass filter, LPF)을 수행한다. 심박의 경우 분당 약 40회보다 이하 약 100회 이상을 넘지 않는다는 가정을 하고 0.7~1.7Hz 대역 필터링(band pass filter, BPF)을 수행한다.

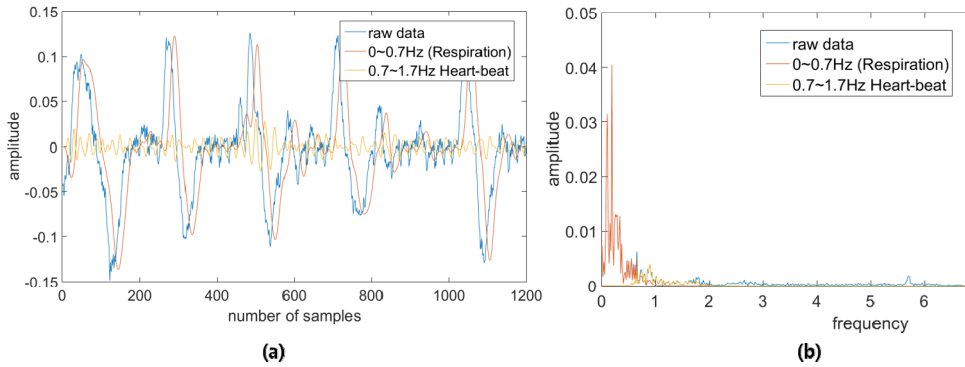


Fig. 2. Measured data on stop state in (a) time domain and (b) frequency domain

Fig. 3은 제안 기법에 대한 신호처리 과정을 보여준다. 호흡과 심박 검출을 위해 필터링된 신호는 다시 고속 푸리에 변환 (fast Fourier transform, FFT)을 통해 주파수 분석을 할 수 있다. 본 논문에서는 비교적 단순한 peak detection 기법뿐만 아니라, peak 주파수 성분을 기준으로 95% 이내 값에 해당하는 주파수 성분도 고려하여 최종적으로 BPM을 판단하는 기법도 제안한다. BPM은 분당 횟수를 나타내는 것으로 주파수가 초당 횟수를 나타내는 것이므로 검출된 주파수에서 60배를 해주면 BPM이 계산된다. BPM 검출 과정에서 갑자기 커지거나 줄어드는 값을 보정해주기 위해 moving average 필터링을 통과시켜 값을보정한다. 필터링된 데이터는 FFT를 통해 주파수 대역으로 변환한 후, 가장 큰 amplitude 값의 주파수 성분을 통해 BPM을 계산하는 알고리즘이 peak detection 알고리즘이다. Fig. 4는 제안 기법중 하나인 peak detection에서 peak 값의 가중치를 주어 호흡 주파수 대역을 찾는 weighted peak detection 알고리즘의 예이다. peak 검출과정 중 첫 번째 peak 기준 95%에 해당하는 peak 값들을 나타낸다. 제안하는 알고리즘은 peak 값 기준 95%에 해당하는 값들을 모두 고려하여 가중치를 부여하고 최종적인 주파수 값을 보정한다. 이를 수식으로 나타내면 아래와 같다. 수식 (1)은 peak 값 기준 95%에 해당하는 값들을 모두 더한 값이다. 수식 (2)는 각 peak 값에 가중치를 부여하는 수식이다. 수식 (1)을 통해 얻은 전체 peak 값의 크기를 해당하는 peak 값으로 나뉜다. 각 항목의 weight를 모두 더하면 1이 된다. 수식 (3)은 부여받은 가중치 값과 해당하는 peak 값의 주파수대역을 곱하고 전부 더해주면 최종적으로 보정된 주파수 대역을 검출할 수 있다.

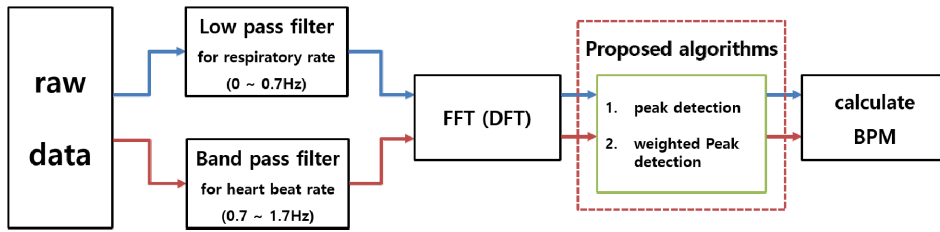


Fig. 3. Block diagram of signal processing for proposed schemes

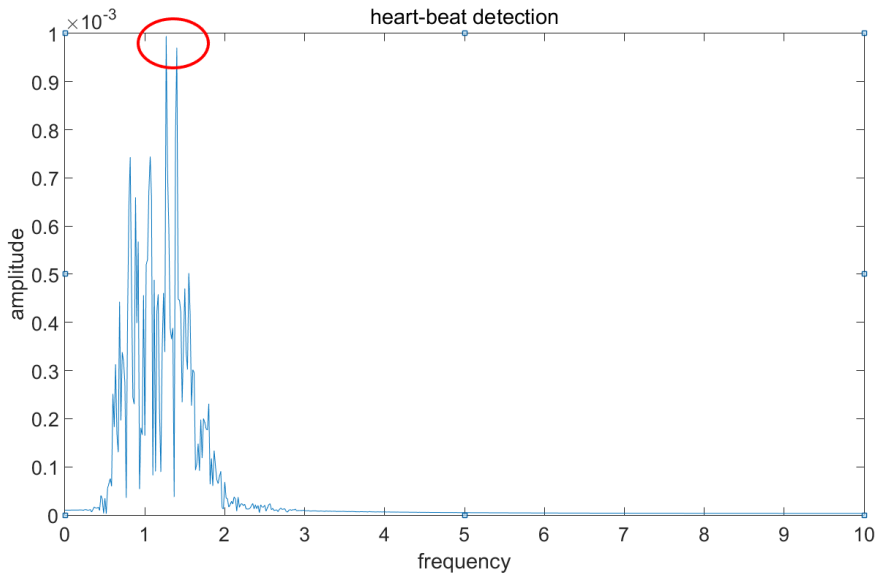


Fig. 4. Peak detection example for frequency domain

$$peak.s = \sum_{i=1}^n pv_i \tag{1}$$

$$w_i = pv_i / peak.s \tag{2}$$

$$f = \sum_{i=1}^n w_i \cdot pf_i \tag{3}$$

여기서,  $peak.s$  : peak 값의 전체 합

$pv_i$  : 해당하는 peak의 값(amplitude)

$w_i$  : 해당 값의 가중치

$f$  : 최종 판단된 주파수 값

$pf_i$  : 해당 값의 주파수 값

## 실험 및 성능 평가

제안 기법의 성능 평가를 위해 두 가지 조건에서 실험을 수행하였으며, 각각 정지 상태 및 고속도로에서 70km/h로 정속주행 조건에서 실험을 하면서 검출된 데이터를 분석하였다. Fig. 5(a)는 정지 시 측정된 실험으로 레이더와 실험자의 사이의 거리 약 0.5m에서 진행된 것을 나타낸다. 레이더와 실험자의 거리 0.1m와 2m 내에서 측정된 경우와 비교한 결과, amplitude 값만 약간의 차이가 있었다. 또한, 비측정자가 레이더 앞을 지나가면서 인공노이즈를 발생시키는 실험, 차량 내 시동만 켜고 측정자는 정지 상태로 측정을 진행하여 차량 노이즈를 분석하는 실험도 진행되었다. 이 같은 실험은 입력되는 데이터에 영향을 거의 주지 않아 본 논문에서는 따로 언급하지 않는다. 따라서 정지 상태의 실험은 차량 내 시동만 켜고 측정된 상태, 인공노이즈를 발생하는 상태, 측정자 앞 50cm, 100cm 등 측정자 정지상태의 실험을 모두 포함한다. 정지 상태 실험은 측정자를 2명으로 하여 15회 반복 실험을 진행하였다. Fig. 5(b)는 차량 내 레이더를 설치하고 주행 시 데이터를 측정하는 상황을 나타낸다. 정속주행 실험은 광명역과 가산디지털단지역 사이 서해안고속도로에서 약 3km 직진 구간에서 진행되었다. 이 실험 또한 2명의 실험자가 6회 반복실험을 진행하였다.

신호 처리를 과정 중 주파수 분석을 위한 window 구간은 1분, 이동 구간(stride) 0.5초로 1200개의 샘플을 주파수 변환을 하고 10개 샘플을 이동하면서 제안하는 알고리즘 분석을 진행했고 각 window 구간의 호흡과 심박의 평균 BPM 값을 실험결과로 사용하였다.



Fig. 5. Experiment on (a) Stop status and (b) Driving status

실험결과는 Tables 1, 2에 나타내었다. 표에서 proposed algorithm 1 은 주파수 축에서 peak 값만으로 BPM을 구하는 방식을 의미하고, proposed scheme 2는 3장에서 소개한 가중치 기반의 BPM 추정 기법을 의미한다. Table 1은 정지 상태에서 측정된 데이터의 결과표이다. 정지 시에 직접 호흡과 심박을 세어 측정했고 이는 15회 동안의 데이터 평균값이다. 실제 측정 데이터는 데이터 간 표준편차 값이 호흡 약 2.98, 심박 5.47로 나타났다. 이 실험에서 호흡 검출은 약 93% 이상의 정확도를 보였고 심박 검출은 약 96% 이상의 정확도를 보였다. 또한, 제안하는 알고리즘 2의 경우 제안 알고리즘 1에 비해 호흡 약 95.04%의 정확도를 보였고 심박은 약 96.75%로 성능이 향상되었다.

**Table 1.** BPM results on stop status

| Subject | Real value  |            | Proposed algorithm 1(percentage) |            | Proposed algorithm 2(percentage) |            |
|---------|-------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
|         | Respiration | Heart-beat | Respiration                      | Heart-beat | Respiration                      | Heart-beat |
| A       | 12.4        | 66.6       | 13(96.7)                         | 63(94.50)  | 13(96.77)                        | 64(95.86)  |
| B       | 10.4        | 56.8       | 11(90.73)                        | 56(98.79)  | 11(93.32)                        | 55(97.64)  |
| Average |             |            | (93.71)                          | (96.64)    | (95.04)                          | (96.75)    |

Table 2는 도로 주행 시 측정된 데이터의 정확도 분석 결과이다. 주행 실험에서는 심박 측정을 위해 M사 웨어러블 형태의 PPG 기기를 착용하여 측정된 데이터를 사용하였다. PPG기기의 경우 레이더와 시간적 동기화를 맞출 수 없기 때문에 측정된 값의 평균을 취하여 데이터 분석을 진행하였다. PPG 데이터 평균값의 표준편차는 약 3.58이다. 고속도로에서 측정된 성능은 정지 시 측정 성능에 비해 정확도가 많이 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이는 도로의 상태와 주행 상황에 따라 차량 진동 노이즈가 발생하게 되고 이로 인해 실제 운전자의 움직임의 변화로 인해 고르지 못한 데이터를 받기 때문으로 추정된다. 주행 시에 추가로 더해지는 진동 노이즈 중에 일부가 호흡 및 심박 신호의 주파수 대역에도 존재하여 해당 주파수 대역의 peak 성분을 높여 제안 알고리즘의 성능을 저하시킨 요인으로 해석된다.

**Table 2.** BPM results on driving status

| Subject | Real value  |          | Proposed algorithm 1(percentage) |              | Proposed algorithm 2(percentage) |              |
|---------|-------------|----------|----------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|
|         | Respiration | PPG data | Respiration                      | Heart-beat   | Respiration                      | Heart-beat   |
| A       | 12.4        | 72.61    | 19.49(64.69)                     | 60.54(78.93) | 19.46(73.22)                     | 60.16(78.04) |
| B       | 10.4        | 63.46    | 15.37(72.82)                     | 62.68(90.04) | 15.46(72.18)                     | 62.97(91.08) |
| Average |             |          | (68.75)                          | (84.48)      | (72.70)                          | (84.56)      |

## 결론

생체 신호 검출 기술은 자동차 내에서도 아주 중요하게 활용될 수 있는 기술이다. 갑작스런 심장 및 심폐질환 발생하는 경우 운전자 본인뿐만 아니라 자칫 대형사고로 이어질 수 있다. 이를 예방하기 위해 차량의 운전자 및 동승자의 생체신호를 모니터링 하는 기술의 대한 연구를 수행하였다. 접촉식의 경우 휴대성과 불편함 등의 문제를 수반하고 있고 비접촉식의 경우 현재까지 측정 대상자의 자세 또는 위치가 제한적인 상태에서 측정이 가능하다. 본 연구에서는 도플러 레이더를 활용하여 차량의 운전석에 앉은 자세에서 정지 및 주행 시에 운전자의 생체신호를 검출하고자 하였으며, 실제 활용 가능성에 대해 실험을 통해 확인하고자 하였다. 본 논문에서는 peak 주파수를 검색해서 BPM을 계산하는 peak detection 알고리즘과 peak와 유사한 값으로 추정되는 값을 활용하여 BPM을 계산하는 weighted peak detection 기법을 제안하였으며, 실제 실험을 통해 측정된 데이터에 기반 하여 제안기법들의 정확도를 분석하였다. 정지 상태에서의 실험에서는 제안 알고리즘 1의 호흡 검출이 약 93% 이상의 정확도를 보였고 심박 검출이 약 96% 이상의 정확도를 보였다. 또한, 제안하는 알고리즘 2의 경우 제안 알고리즘 1에 비해 호흡 약 95.04%의 정확도를 보였고 심박은 약 96.75%로 성능이 향상되었다. 주행 시의 검출 정확도를 더욱 향상시키기 위하여 추가 연구로서 window 사이즈 변화, 가중치 값의 변화, 다양한 신호처리 기법을 통해 성능을 개선하는 연구를 수행하고자 한다.

## Acknowledgement

본 연구는 2018년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임(S2670698).

## References

- [1] Bai, Z., Chen, X., Li, J. (2017). "A miniaturized single-chip oximetry module utilizing reflectance photoplethysmography." 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics(CISP-BMEI), Shanghai, China, pp. 1-5.
- [2] Dagdeviren, C., Su, Y., Joe, P., Yona, R., Liu, Y., Kim, Y.S., Damadoran, A.R., Huang, Y.A., Xia, J., Martin, L.W., Huang, Y., Rogers, J.A. (2014). "Conformable amplified lead zirconate titanate sensors with enhanced piezoelectric response for cutaneous pressure monitoring." *Nature communications*, Vol. 5, No. 4496, pp. 1-10.
- [3] Gong, S., Schwalb, W., Wang, Y., Chen, Y., Tang, Y., Si, J., Shirinzadeh, B., Cheng, W. (2014). "A wearable and highly sensitive pressure sensor with ultrathin gold nanowires." *Nature communications*, Vol. 5, No. 3132, pp. 1-8.
- [4] Groff, C.P., Mulvaney, P.L. (2000). Wearable vital sign monitoring system. U.S. Patent No. 6,102,856.
- [5] Hirata, K., Yaginuma, T., O'Rourke, M.F., Kawakami, M. (2006). "Age-related changes in carotid artery flow and pressure pulses: possible implications for cerebral microvascular disease." *Stroke*, Vol. 37, No. 10, pp. 2552-2556.
- [6] Hoffman, C., Rice, D., Sung, H.Y. (1996). "Persons with chronic conditions: their prevalence and costs." *JAMA*, Vol. 276, No. 18, pp. 1473-1479.
- [7] Immoreev, I. Y. (2009). "Ultrawideband radars: Features and capabilities." *Journal of Communications Technology and Electronics*, Vol. 54, No. 1, pp. 1-26.
- [8] Jeon, B.H. (2018). "Improvement on Accident Statistic Analysis and Response of Hazardous Chemical Transport Vehicle." *Journal of Korea Society of Disaster Information*, Vol. 14, No. 1, pp. 59-64.
- [9] Kesteloot, H., Willems, J., Van Vollenhoven, E. (1969). "On the physical principles and methodology of mechanocardiography." *Acta cardiologica*, Vol. 24, No. 2, pp. 147-160.
- [10] Kim, C.S., Ober, S.L., McMurtry, M.S., Finegan, B.A., Inan, O.T., Mulkamala, R., Hahn, J.O. (2016). "Ballistocardiogram: Mechanism and potential for unobtrusive cardiovascular health monitoring." *Scientific reports*, Vol. 6, No. 31297, pp. 1-6.
- [11] Kim, S., Lee, S., Jeong, S., Lim, M., Song, Y., Ahn, E., Jeong, H., Kim, N., Lee, H., Choi, S. (2017). "A Study on Investigation Procedure of Chemical Spill by Vehicle Transporting Chemicals." *Journal of Korea Society of Disaster Information*, Vol. 13, No. 1, pp. 1-5.
- [12] Koegelenberg, S., Scheffer, C., Blanckenberg, M.M., Doubell, A.F. (2014). "Application of laser doppler vibrometry for human heart auscultation." 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Illinois, US, pp. 4479-4482.
- [13] Lee, S.H. (2012). "Polysomnography in the Diagnostic Aspects of Obstructive Sleep Apnea." *Journal of the Korean Medical Association*, Vol. 55, No. 2, pp. 138-145.
- [14] Levick, J.R. (2013). *An introduction to cardiovascular physiology*. Butterworth-Heinemann. London, UK.
- [15] Li, C., Lubecke, V.M., Boric-Lubecke, O., Lin, J. (2013). "A review on recent advances in Doppler radar sensors for noncontact healthcare monitoring." *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, Vol. 61, No. 5, pp. 2046-2060.
- [16] Lin, J.C. (1975). "Noninvasive microwave measurement of respiration." *Proceedings of the IEEE*, Vol. 63, No. 10, pp. 1530-1530.



- [17] Lin, J.C., Kiernicki, J., Kiernicki, M., Wollschlaeger, P.B. (1979). "Microwave apexcardiography." *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 27, No. 6, pp. 618-620.
- [18] Liu, Y., Norton, J. J., Qazi, R., Zou, Z., Ammann, K. R., Liu, H., Yan, L., Tran, P.L., Jang, K.I., Lee, J.W., Zhang, D., Kilian, K.A., Jung, S.H., Bretl, T., Xiao, J., Slepian, M.J., Huang, Y., Jeong, J.W., Rogers, J.A. (2016). "Epidermal mechano-acoustic sensing electronics for cardiovascular diagnostics and human-machine interfaces." *Science Advances*, Vol. 2, No. 11, e1601185.
- [19] Muller, M., Abib, G.I. (2015). "Ultra WideBand RADAR system for human chest displacement." *IEEE 13th International New Circuits and Systems Conference(NEWCAS)*, Grenoble, France, pp. 1-4.
- [20] Odina, I., O'Sullivan, J.A., Sirevaag, E.J., Rohrbaugh, J.W. (2014). "Cardiovascular biometrics: combining mechanical and electrical signals." *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol. 10, No. 1, pp. 16-27.
- [21] Pappano, A.J., Wier, W.G. (2018). *Cardiovascular Physiology-E-Book: Mosby Physiology Monograph Series*. Elsevier Health Sciences, Philadelphia, US.
- [22] Park, S.U. (2017). "Analysis of Treatment Trends in Ischemic Heart Disease in Recent 5 Years." *Heart Insurance Review & Assessment*, Vol. 11, No. 5, pp. 59-67.
- [23] Redlarski, G., Gradolewski, D., Palkowski, A. (2014). "A system for heart sounds classification." *PloS one*, Vol. 9, No. 11, e112673.
- [24] Reed, T.R., Reed, N.E., Fritzson, P. (2004). "Heart sound analysis for symptom detection and computer-aided diagnosis." *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 12, No. 2, pp. 129-146.
- [25] Shafiq, G., Veluvolu, K.C. (2014). "Surface chest motion decomposition for cardiovascular monitoring." *Scientific reports*, Vol. 4, No. 5093, pp. 1-9.
- [26] Shingu, G., Takizawa, K., Ikegami, T. (2008). "Human body detection using mimo-uwband radar sensor network in an indoor environment." *Ninth International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies*, Otago, New Zealand, pp. 437-442.
- [27] Wang, C.C., Trivedi, S.B., Jin, F., Stepanov, S., Chen, Z., Khurgin, J., Rodriguez, P., Prasad, N. S. (2007). "Human life signs detection using high-sensitivity pulsed laser vibrometer." *IEEE Sensors Journal*, Vol. 7, No. 9, pp. 1370-1376.
- [28] Xiong, Y., Chen, S., Dong, X., Peng, Z., Zhang, W. (2017). "Accurate measurement in doppler radar vital sign detection based on parameterized demodulation." *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 65, No. 11, pp. 4483-4492.
- [29] Yamamoto, Y., Harada, S., Yamamoto, D., Honda, W., Arie, T., Akita, S., Takei, K. (2016). "Printed multifunctional flexible device with an integrated motion sensor for health care monitoring." *Science advances*, Vol. 2, No. 11, e1601473.