

모바일 환경에서 안면 영상을 이용한 실시간 생체징후 측정 시스템

*김대열 **김진수 ***이광기

티비스툼

*wagon0004@tvstorm.com

Real-time vital signs measurement system using facial image on Mobile

*Kim, Dae Yeol **Kim, Jin-Soo ***Lee, Kwang-Kee

TVSTORM

요약

코로나 시대에 도래하며 비접촉 방식의 생체 징후에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 연구는 비접촉식 측정 방식으로써 모바일 전면 카메라를 이용하여 심장박동, 심장 박동 변이율, 산소포화도, 호흡도, 스트레스 수치를 측정할 수 있는 효과적인 방법론을 제시하는 것이 목적이다. 모바일 전면부 카메라에서 실시간으로 안면 영상을 추출하기 위하여 Blaze Face를 이용하였으며, 안면 영상의 특징적인 눈, 코, 입, 귀의 위치를 이용하여 이마 부분의 관심 영역을 지정하였다. 관심 영역에서 색상 성분을 R, G, B로 분리하여 시간 축으로 정렬 후 fourier transform을 진행한 후 각각의 성분들을 측정하고자 하는 생체 징후에 맞게 Filter 처리함으로써 생체 징후를 측정하였다. 안면 영상을 이용한 생체 징후 측정 결과를 검증에 활용하기 위하여 실측 기기인 mCube-Healthcare device를 이용하였으며, 분석 결과 모바일에서 안면 영상을 통해 심장박동, 심장 박동 변이율, 산소포화도, 호흡도, 스트레스 수치의 다섯 가지 생체 징후를 추출할 수 있는 가능성을 확인하였다.

1. 서론

코로나19의 대유행 이후 많은 것이 바뀌었고 일상생활에서도 접촉식 측정 장치나, 웨어러블 디바이스 없이 활력 징후를 측정하는 비접촉, 비대면 식 생체 징후 측정 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 의료 서비스에서 활력 징후는 NEWS(National Early warning Score)의 지표로 이용되며 본 연구에서는 이 지표의 핵심인 심장박동, 산소포화도, 호흡도를 측정하고자 하였다[1].

심박 데이터는 접촉 센서의 작동 원리에 따라 데이터의 형태가 나뉜다. 널리 사용되는 방식으로는 광혈류 측정원리를 이용한 PPG Data 측정 기법, 심전도를 직접 측정하는 ECG data 측정 기법 두 가지가 있다. 이 두 방법의 연관성에 대해 예전부터 많은 연구가 진행되어 왔으며, 특히 심박 변이도(HRV: Heart rate variability)에서 90%가 넘는 상관관계를 가진다는 연구결과가 있다[2]. 심박 데이터 취득을 위해 모바일 디바이스의 전면부 카메라를 활용하였고, 이는 사람의 피부에 LED 빛을 비추고, 반사된 빛을 이용한 포토다이오드를 사용하여, 혈류로 인해 반사된 빛의 세기를 측정함으로써 영상 정보를 취득한다.

본 연구에서는 실시간으로 안면 영상 정보를 취득하기 위하여 딥러닝 기반 안면 영상 및 특징점 추출 기법인 Blaze Face 이용하였으며, 이 정보를 활용하여 이마를 관심 영역으로 지정하였다[3]. 관심 영역의 RGB 채널 정보를 분리하고, 분리된 채널 정보를 활용하여 주파수 영역으로 변환한 후 필터를 거쳐 심장 박동, 심박 변이율, 산소포화도, 스트레스, 호흡도를 측정한다. 그 후 실제 접촉식 디바이스를 활용하여 정확성을 확인한다.

2. 관련연구

2.1. 심장박동 측정 방식

심장박동은 자율신경계의 중요한 지표로서 지속적으로 활발하게 연구되어 온 분야이다. 특히 심장박동의 정확하고 편리한 측정방법은 연구를 위한 필수 조건으로 이를 해결하기 위한 방법도 함께 발전되어 왔다. 현재 심장박동을 측정하는 측정 방식에 따라 심전도(ECG), 광혈류측정(PPG), 원격 광혈류측정(rPPG) 방법이 존재한다[4].

2.1.1. 심전도(ECG)

가장 오랫동안 연구되고 신뢰성 높은 방법으로 ECG(Electrocardiogram) 방식이 있다. ECG는 심전계와 같이 심장의 전기활동을 측정하고 발생된 전기신호를 감지하는 방법으로 심장 부근에 센서를 붙여 측정하는 접촉식 측정 방식이다.

2.1.2. 광혈류 측정방식(PPG)

광혈류 측정 방식(Photoplethysmography)은 LED 빛을 사람의 피부에 비추어 반사되어 돌아오는 빛을 통해 혈류로 인해 반사된 빛의 세기를 측정함으로써 심장박동을 얻는 접촉식 측정 방법이다. 현재 널리 사용되고 있으며 심전도에 비해 측정하기 쉽다는 장점이 있다.

2.1.3. 원격 광혈류 측정방식(rPPG)

원격 광혈류 측정 방식(remote Photoplethysmography)은 최

근 가장 활발하게 연구되는 측정 방식으로 기존 광혈류 측정 방식과 동일한 헤모글로빈이 적색광을 반사하고 녹색광은 흡수하는 원리를 이용하면서 신체에 부착 또는 착용 장치가 없는 비접촉식 측정 방법이다. 특히 최근 널리 보급된 스마트폰의 RGB 카메라를 이용하는 방식이 연구되면서 다양한 알고리즘이 발표되고 있다.

2.2. 생체 징후 측정

자율신경계는 우리 몸의 환경을 일정하게 유지시켜주는 신경계이다. 자율신경계 내에는 긴장할 때 활성화되는 교감 신경계와 평상시 상태를 유지하는 부교감 신경계가 있으며, 이는 우리 몸의 변화를 관장한다. 자율 신경계의 지표를 측정하게 되면 현재 몸의 상태를 추론 가능하다.

3. 생체 징후 측정 알고리즘

본 연구에서 제안하는 생체 징후 측정 알고리즘은 안면 영상의 관심 영역의 정보를 R, G, B 색 채널로 분리하여 처리한다. 그중 헤모글로빈이 잘 흡수하는 532nm 파장인 G-Channel은 심장박동 측정에 이용하며 R, B-Channel은 정맥에서 산소의 소모 정도에 따라 바뀌는 미세 혈관의 색을 관측할 수 있기 때문에 산소포화도 측정에 사용된다[5].

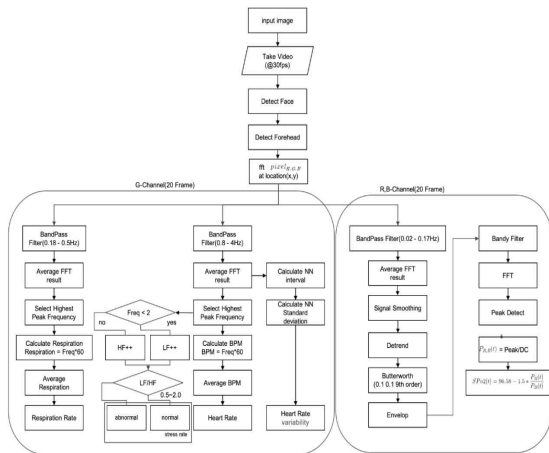


그림 1 . Vital Sign measurement Algorithm
Fig. 1. 생체 징후 측정 알고리즘

1. 비디오 전처리

이마 부분을 관심 영역으로 지정하기 위하여 모바일 환경인 삼성 갤럭시 S9+에서 이미지 1장당 3.7ms의 처리 시간을 가질 정도로 고속이며 얼굴 영역 및 눈, 코, 입, 귀 6가지 특징 점을 추출할 수 있는 Blaze Face를 이용하여 얼굴 인식을 진행하였다. 관심 영역의 추출 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} (x,y)_{forehead} &= (3y_{facestart} - 2y_{topeye}, x_{nose} + 0.9x_{lefteye}) \\ h_{forehead} &= 2(y_{facestart} - y_{topeye}) \\ w_{forehead} &= 0.55x_{righteye} - 0.45x_{lefteye} \end{aligned}$$

수식 1 . forehead 수식
Eq. 1. forehead Equation

2. G_Channel 기반 생체 징후 측정

2.1 심장박동 측정

사람 피부의 모세혈관 속 헤모글로빈은 심장의 이완 수축 활동을 통해 온몸에 퍼지게 된다. 이때 헤모글로빈의 변화가 발생하는데, 헤모글로빈의 특성상 초록색 파장을 잘 흡수하는 원리를 이용하여 G-Channel을 통해 헤모글로빈의 변화량을 파악한다. 그리고 헤모글로빈의 변화량을 기반으로 심장 박동 수를 추론할 수 있다. 인간의 심장박동은 48~240 BPM에 분포하기 때문에 이미지를 시계열로 쌓은 다음 픽셀에 대해 FFT를 진행한 후 0.8 ~ 4.0Hz 대역을 통과시키는 Band Pass Filter를 이용하여 측정한다.

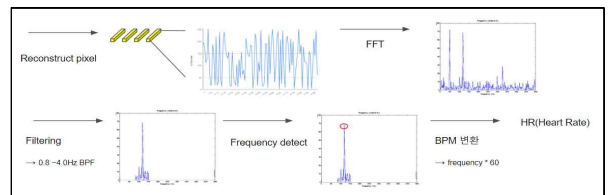


그림 3. 심장박동 측정 알고리즘
Fig. 3. Heart rate Measurement algorithm

2.2 심박변이도 측정

심박변이도(HRV)는 시간에 따른 심박의 주기적인 변화를 의미하며, 이는 내, 외적인 환경요인에 대해 자율신경계의 항상성 조절 메커니즘을 추적할 수 있는 평가 수단이다. 건강한 사람의 경우, HRV 변이가 크고 복잡하게 나타나지만, 질병 상태나 스트레스가 높은 상태에서는 복잡도가 현저히 감소한다. 이러한 심박 변이도는 삼상 박동 수를 시계열로 분석하여 유추할 수 있다.

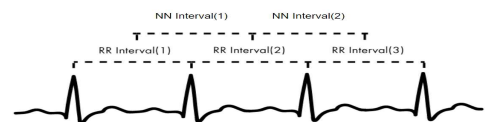


그림 4. 심박 변이도 시간영역 분석 지표
Fig. 4. Heart rate variability analysis indicator in time domain

실제 심박변이도에서 분석은 심전도에서 얻어지는 RR(R-R Interval) 간격, NN(N-N Interval) 간격을 기반으로 한다. 하지만 PPG와의 유사 관계를 기반으로 RR 간격, NN 간격의 분석이 가능하다. NN 간격은 ms 단위를 기반으로 하는 심전도를 테고그램(tachogram)이라고 하며, 심박변이도 분석은 이 테고그램을 이용하여 여러 가지 지표로 분석이 가능하다. 본 논문에서는 일반적인 심박 측정에서도 시행 가능한 통계적 방법 중 하나인 SDNN 지표를 이용하여 심박 변이도를 측정한다 [6].

$$HRV-SDNN = \frac{1}{N-1} \sqrt{\sum_{i=1}^N (|NN_i - \overline{NN}|)^2}$$

수식 2 . HRV-SDNN 식
Eq. 2. HRV-SDNN Equation

2.3. 스트레스 측정

사람이 스트레스를 받게 되면 교감 신경계가 활성화된다. 교감 신경계 활성화 시 심박수가 높아지는 현상을 보인다. 일반적으로 심장 박동에서 120BPM 이상을 고주파 성분으로 판단하고 있다. 따라 본 논문에서는 다음의 식을 이용하여 스트레스 정도를 측정한다. 스트레스 비율이 0.5~2.0의 경우 일반적인 상태로 판단하고 그 외의 경우 스트레스가 높다고 판단된다[7].

$$StressRatio = \frac{LF}{HF} \begin{cases} HF f \geq 2.0Hz \\ LF f < 2.0Hz \end{cases}$$

수식 3 . 스트레스 수치 측정 식
Eq. 3. Stress Ratio Estimation Equation

과거부터 호흡 수를 측정하기 위해 0.13Hz-0.48Hz를 이용해 왔으며, 본 논문에서도 이와 동일하게 사용하여 심장 박동 측정기법에 적용하였다[8].

3. R,B_Channel 기반 생체 징후 측정

기본적으로 산소포화도를 측정하는 식은 다음과 같다[10].

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb}$$

HbO_2 : Oxygenated Haemoglobin
 Hb : deoxygenated Haemoglobin

수식 4 일반적인 산소포화도 측정식
Eq.4 General SpO2 Equation

얼굴 영상은 신체 말단을 촬영함과 동일함으로써, 모세혈관에서 나타나는 징후를 동일하게 이용이 가능하다. 모세혈관에서는 산소를 동반한 헤모글로빈이 많으면 정맥의 색이 선홍색이 나타나고, 산소를 소모한 헤모글로빈이 많으면 정맥의 색이 검붉은 색이 나타난다[9]. 이는 기본적인 정맥의 혈액 색깔인 푸른색에 헤모글로빈의 붉은색이 결합하여 나타난 색이다. 따라서 비접촉식 영상기반 산소포화도 측정에서는 다음과 같이 측정이 가능하다.

$$SpO_2(t) = 96.58 - \alpha * \frac{P_R(t)}{P_B(t)} \quad \alpha = scaling\ factor$$

$$P_R(t) = Peak\ Value \in R$$

$$P_B(t) = Peak\ Value \in B$$

수식 5 일반적인 산소포화도 측정식
Eq.5 General SpO2 Equation

4. 실험 결과

본 알고리즘(O)의 정확도를 측정하기 위하여 실제로 안드로이드 애플리케이션을 제작하였으며, Hue를 이용한 생체 징후 측정 알고리즘(H)과 mCube-HealthCare(M) 기기를 이용해 각 생체 징후마다 10회씩 측정하여 정확도를 비교하였다[11].

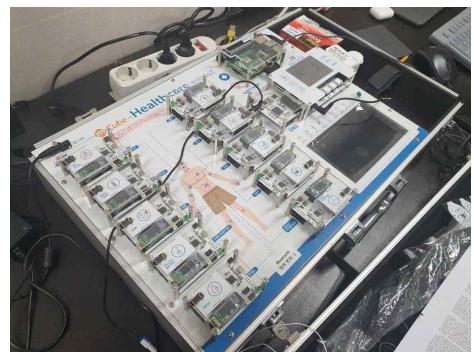


그림 5. mCube-Health Care 기기
Fig. 5. mCube-Health Care Device

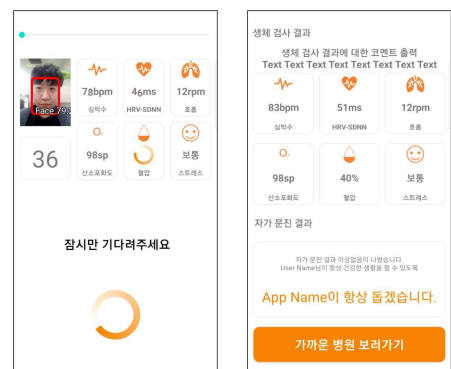


그림 6. 측정 테스트 어플리케이션
Fig. 6. Vital Sign Measurement Application

표 1 심장박동 실험 결과

Table 1 Heart Rate Experiment Result

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RM SE
T1	O	71	76	83	82	96	77	78	79	69	79	3.7
	M	67	76	77	78	96	75	72	77	65	75	
	H	71	74	59	79	90	70	71	75	66	75	4.8
T2	O	109	109	92	74	81	101	95	92	89	87	14
	M	85	82	81	83	83	83	85	82	83	87	
	H	89	86	85	76	75	79	72	80	89	95	6.7

심장 박동의 경우 Hue Approach에서 제안하는 BPF인 0.8~2.2Hz(T1)와 일반적인 심장박동의 범주 48~240 BPM을 포함하는 0.8~4Hz(T2), 두 가지 케이스로 진행하였다. Test 1에서는 본 논문의 알고리즘이 우수한 결과를 보였으며, Test 2에서는 빛의 변화에 민감하여 좋지 않은 결과를 보였다.

표 2 산소포화도 실험 결과

Table 2 SpO2 Experiment Result

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RM SE
O	98	99	98	98	98	97	98	97	99	98	0.7
M	98	97	98	97	98	98	98	98	99	98	

산소포화도는 실측 기기와 비교를 진행하였으며 실제 수치와 매우 흡사한 결과를 얻었다.

표 3 호흡도 실험 결과

Table 3 Respiration rate Experiment Result

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RM SE
O	11	8	10	7	10	8	11	7	6	7	1.6
M	12	5	10	10	19	10	12	10	9	10	
H	10	7	12	18	21	12	13	12	10	12	3.0

호흡도 역시 Hue Approach와 비교를 진행하였으며 본 논문의 방법이 훨씬 정확한 결과를 보임을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 모바일 환경 생체 징후 측정 알고리즘의 정확도를 확인하기 위하여 실측 기기 및 타 논문과 비교 실험을 진행하였다. 생체 징후 측정 알고리즘은 모바일 환경에서 구동되며 구글의 'Blaze Face'를 이용하여 안면 인식 및 관심 영역 데이터를 수집하고, 이를 통해 심

박, 심박변이도, 호흡, 산소포화도, 스트레스 수치를 측정하였다. 실험은 심박, 산소포화도, 호흡도 3가지 생체 데이터를 실측 기기와 동일한 환경에서 측정하여 비교를 진행했고, 이중 심박 데이터는 두 가지 케이스로 나누어 진행했다. Test 1에서는 생체 징후 측정 알고리즘 데이터와 실측 기기 측정 데이터가 높은 유사도를 보이는 결과를 얻을 수 있었다. 하지만, Test2의 경우 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 빛의 변화와 사용자의 움직임에 민감하여 특정 경우에서 매우 부정확한 결과를 도출하는 결과를 볼 수 있었다.

그러므로 이후 연구를 통하여 빛의 변화나 손의 떨림 같은 노이즈를 제거할 수 있는 알고리즘을 적용하여 개선된 성능을 발휘할 수 있다면, 추후 현재 가장 이슈되고 있는 포스트 코로나의 비대면 사업에도 적용할 수 있을 것이다.

참고 문헌 (References)

- [1] National Early Warning Score(NEWS), <https://www.mdcalc.com/national-early-warning-score-news>
- [2] J. Kim, K. Lee, "A Comparative Study on the Optimal Model for abnormal Detection event of Heart Rate Time Series Data Based on the Correlation between PPG and ECG", <https://doi.org/10.7472/jksii.2019.20.6.137> (accessed Aug, 30, 2019)
- [3] V. Bazarevsky, Y. Kartynnik, A. Vakunov, K. Raveendran, M. Grundmann, "BlazeFace: Sub-millisecond Neural Face Detection on Mobile GPUs", CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality, 2019
- [4] V. Kublanov, K. Purtoov and D. Belkov, "Remote Photoplethysmography for the Neuro-electrostimulation Procedures Monitoring The Possibilities of Remote Photoplethysmography Application for the Analysis of High Frequency Parameters of Heart Rate Variability." 10th International Conference on Bio-Inspired Systems and Signal Processing, BIOSIGNALS 2017-Part of 10th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies, BIOSTEC 2017. SciTePress, 2017.
- [5] Luchini, D. Paulo, et al, "Validation of a spectrophotometric method for quantification of carboxyhemoglobin." Journal of analytical toxicology Vol.33 No.8, pp.540-544. 2019
- [6] Fred.S, J.P. Ginsberg, "An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms", Frontiers in public health 5, 2017
- [7] Delaney, J.P.A, & Brodie, D.A, "Effects of short-term psychological stress on the time and frequency domains of heart-rate variability." Perceptual and motor skills Vol.91 No.2, pp.515-524, 2000
- [8] Sanyal, Shourjya, and K. K.Nundy. "Algorithms for monitoring heart rate and respiratory rate from the video of a user's face." IEEE Journal of translational engineering in health and medicine Vol.6, pp.1-11. 2018
- [9] Scholander, P. F. "Oxygen transport through hemoglobin solutions." Science Vol.131 No.3400, pp.585-590, 1960
- [10] Suna, Gürhan, and M. Alp. "Comparison of Strength, Heart Rate, Oxygen Saturation and Technical Test Values of 12-14 Year Male Tennis Players in Competition Period." Journal of Education and Learning Vol.8 No.6, pp.187-194, 2019
- [11] mCube-HealthCare IOT Device, http://www.cndi.co.kr/cndi/board/bbs/board.php?bo_table=flan&wr_id=5