

EVM 기반 비접촉 손 ROI 영상 분석을 통한 실시간 심박수 측정 시스템

안선영, 신수용*

국립금오공과대학교

7655sun@kumoh.ac.kr, *wdragon@kumoh.ac.kr

A Real-Time Heart Rate Measurement System Based on EVM and Non-Contact Hand ROI Video Analysis

An Seon Yeong, Shin Soo Young*

Kumoh National Institute of Technology

요약

본 논문은 손 부위의 색상 변화를 기반으로 심박수를 추정하는 비접촉 실시간 영상 기반 생체 신호 측정 시스템을 제안한다. Mediapipe를 이용한 손 인식, Gaussian Pyramid 및 EVM 기반 색상 진동 증폭, FFT 기반 주파수 분석을 통해 BPM을 계산하며, 카메라만으로 동작하기 때문에 별도의 센서 없이도 사용 가능하다. 실험 결과, 구조 환경이나 감염병 대응과 같은 상황에서 유용하게 활용될 수 있음을 확인하였으며, 심박수뿐 아니라 호흡, 체온, 혈압 등 4대 바이탈사인 측정으로의 확장 가능성과 저비용 고효율 생체 모니터링 도구로서 차후 다양한 생체 신호 측정 기술로 발전할 수 있다

I. 서론

현대 사회에서 고령화, 재난 사고, 전염병 확산 등으로 인해 비접촉 생체 신호 측정 기술의 중요성이 대두되고 있다. 특히 지진, 화재, 감염병 응급 상황에서는 직접적인 접촉 없이 생체 정보를 얻는 것이 구조 효율성과 감염 예방 측면에서 매우 유리하다. 기존의 생체 신호 측정 기술은 대부분 접촉식 센서에 의존하거나, 고가의 장비를 필요로 하는 레이더 기반 시스템이 주를 이루어왔다. 하지만 이러한 방법들은 응급 상황이나 재난 현장 등 실질적 적용이 필요한 환경에서 제약이 많다.

본 연구에서는 실시간 영상 기반으로 사람의 손을 인식한 뒤, 해당 부위의 미세한 색상 변화를 분석하여 심박수를 추정하는 비접촉 방식의 측정 시스템을 제안한다. 구조 대상자의 손만으로 생체 정보를 획득할 수 있어, 움직임이 제한된 재난 상황에서도 적용이 용이하며, 향후 호흡, 체온, 혈압 등 다른 바이탈 사인으로의 확장 가능성도 지닌다. 또한, 기존의 얼굴 중심 기반 접근 방식과 달리 손 부위만을 활용함으로써, 마스크 착용, 얼굴 비노출 등 다양한 환경에서도 적용 가능한 장점을 가진다.

II. 본론

본 논문에서는 실시간 영상에서 손 부위를 자동으로 인식하고, 해당 영역의 미세한 색상 변화를 증폭하여 심박수를 추정하기 위해 여러 영상 처리 및 생체 신호 분석 기술을 적용하였다. 특히, 가우시안 피라미드(Gaussian Pyramid), Eulerian Video Magnification(EVM), **remote Photoplethysmography(rPPG)**는 본 시스템의 핵심 요소로 기능하며, 이 장에서는 해당 기술들이 본 연구에 어떻게 활용되었는지를 중심으로 서술한다.

1. 본 연구에 적용된 핵심 기술 요소

1.1 Gaussian Pyramid

본 연구에서는 영상 내 미세한 색상 변화를 안정적으로 증폭하기 위해 가우시안 피라미드(Gaussian Pyramid) 기법을 EVM 처리 이전의 전처리 단계로 적용하였다. 손의 ROI(Region of Interest)를 추출한 후, 해당 프레임에 대해 반복적인 블러링과 다운샘플링을 수행하여 해상도를 단계적으

로 축소하였다. 이를 통해 ROI 내 고주파 잡음을 억제하고, 저주파 성분을 남겨 국소적인 색상 변화를 보다 효과적으로 추출할 수 있도록 하였다. 본 시스템에서는 총 3레벨의 가우시안 피라미드를 적용하였으며, 축소된 영상은 이후의 EVM 처리 과정에서 증폭 대상이 된다. 최종적으로 증폭된 영상은 원래 해상도로 복원되어 실시간 시각화에 활용된다.

1.2 Eulerian Video Magnification (EVM)

가우시안 피라미드 전처리를 마친 ROI 프레임 시퀀스가 일정 수(예: 60프레임) 이상 누적되면, 해당 시퀀스를 기반으로 Eulerian Video Magnification(EVM) 처리를 수행한다. EVM은 시간에 따른 영상 내 픽셀의 색상 변화를 추적하고, 특정 주파수 대역을 증폭하여 혈류에 의한 미세한 피부색 변화를 부각시키는 영상 처리 기법이다.

이를 위해 ROI 영상은 YIQ 또는 RGB 색공간으로 변환되며, 색상 변화에 민감한 성분(I, Q 또는 G 채널 등)을 중심으로 분석이 수행된다. 밝기 정보만을 담고 있는 Y 채널은 조도 변화에 민감해 신호 대 잡음비(SNR)를 저하시킬 수 있으므로, 피부색 변화에 유리한 색상 채널을 선택하여 FIR Bandpass 필터를 적용하고, 설정된 증폭 계수(α)를 곱해 신호를 증폭한다. 증폭된 결과는 원래 해상도로 복원된 후 실시간으로 출력되며, 주파수 분석을 통해 심박수(BPM)를 추정하는 데 활용된다.

1.3 Remote Photoplethysmography (rPPG)

본 시스템은 영상 기반으로 피부의 색상 변화를 감지하여 심박 정보를 추출하는 remote Photoplethysmography(rPPG) 기술을 기반으로 한다. 손의 국소 부위에서 혈류로 인한 색상 진동을 분석하고, 이를 주기적으로 증폭하여 심박수를 추정함으로써 접촉 없이도 생체 신호를 측정할 수 있다. 본 연구에서는 손가락 끝 중심의 영역을 ROI로 지정하여, 비접촉 상태에서 안정적인 심박 측정이 가능하도록 구성하였다. 이는 구조 현장, 병원 격리 병동, 고령자 모니터링 등 접촉이 어려운 환경에서 유용하게 활용될 수 있다.

2. 시스템 구현

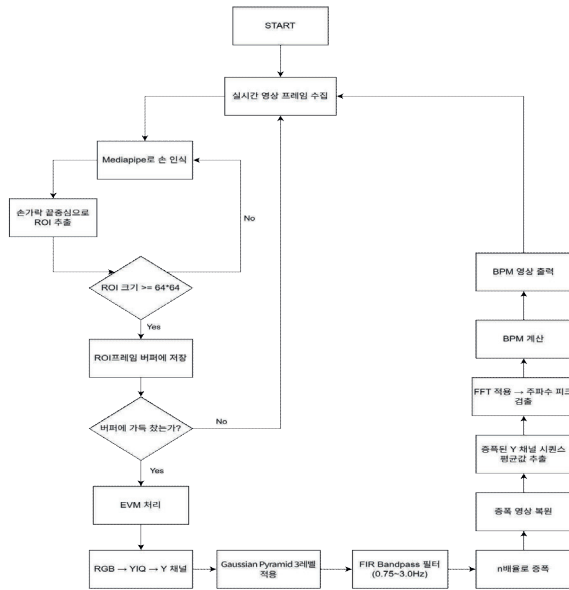


그림 1 시스템 순서도

본 시스템의 전체 구성 및 처리 순서는 [그림 1]에 나타난 바와 같다. 실시간으로 입력되는 영상에서 손을 인식하고, 유효한 ROI를 추출한 후 EVM을 통해 색상 변화를 증폭시키며, 주파수 분석을 통해 심박수를 계산하는 과정을 순차적으로 보여준다. 각 처리 단계는 조건에 따라 반복되도록 구성되어 있다.

2.1 실시간 손 인식

본 시스템은 웹캠을 통해 실시간으로 영상을 입력받고, 각 프레임에 대해 Mediapipe Hands 모델을 사용하여 손의 위치를 인식한다. 손이 인식되면 손가락 끝의 랜드마크를 기준으로 **ROI(Region of Interest)**를 설정하며, 이 ROI는 손끝을 중심으로 일정 크기의 사각 영역으로 정의된다. 추출된 ROI의 해상도가 64×64 픽셀 이상일 경우에만 유효한 ROI로 판단하여 프레임 버퍼에 저장한다. 이후 ROI 프레임이 60개 이상 누적되었는지 확인하고, 조건이 충족되면 EVM 처리를 수행한다. 이러한 흐름은 그림 1의 시스템 순서도와 같이 조건에 따라 반복되도록 구성되어 있다.

2.2 Eulerian Video Magnification (EVM)

EVM 처리 단계에서는 일정 수(예: 60프레임) 이상 누적된 ROI 시퀀스를 기반으로 영상 내 미세한 색상 변화를 증폭한다. ROI 영상은 RGB 또는 YIQ 색공간으로 변환되며, 피부색 변화에 민감한 채널(예: I, Q 또는 G 채널 등)을 선택해 분석한다. 이후 가우시안 피라미드로 해상도를 다단계 축소한 뒤, 각 픽셀에 **FIR Bandpass 필터(0.75~3.0 Hz)**를 적용하고, **증폭 계수(α)**를 곱해 신호를 강화한다. 마지막으로 원래 해상도로 복원하여 결과 영상을 출력하며, 이 과정을 통해 혈류에 의한 피부색 변화가 시각적으로 부각된다.

2.3 심박수 추정

증폭된 프레임 시퀀스로부터 선택한 색상 채널(예: G 또는 I 채널)의 평균 값을 프레임별로 계산하여 시간에 따른 1차원 신호를 생성한다. 이를 **Fast Fourier Transform (FFT)**으로 주파수 도메인으로 변환한 뒤, 심박수 범위(0.75~3.0 Hz) 내에서 가장 큰 진폭의 주파수를 찾아 BPM(Beat Per Minute)으로 환산하고 실시간으로 출력한다.

본 방식은 별도의 센서나 접촉 없이도 RGB 카메라만으로 생체 신호를 추출할 수 있으며, 얼굴 인식이 어려운 상황에서도 손을 활용한 신뢰도 있는 심박수 측정을 가능하게 한다.

3. 실험 및 결과

제안한 시스템은 실시간 웹캠 환경에서 손가락 끝 중심의 ROI를 안정적으로 추출하고, 약 2초간의 프레임 누적 후 EVM과 주파수 분석을 통해 심박수를 정확히 추정하였다. [그림 2]는 결과 이미지로, 왼쪽 영상에서는 사용자의 손이 인식되고 ROI가 지정된 모습과 함께, 화면 상단에 **심박수(BPM)**가 실시간으로 출력된 모습을 보여준다. 오른쪽 상단에는 추정된 심박수 값이 60.0 BPM으로 계산되어 출력되고 있으며, 하단에는 EVM 처리를 통해 증폭된 ROI 영상이 별도의 창에 시각화된 결과가 표시되어 있다.

III. 결론

제안한 시스템은 실시간 웹캠 환경에서 손가락 끝 중심의 ROI를 안정적

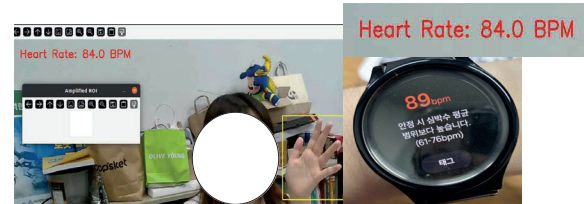


그림 2 결과 이미지, 왼쪽부터 손바닥 인식, 손바닥으로

측정한 심박수, 위치로 측정한 심박수

으로 추출하고, 약 2초간의 프레임 누적 후 EVM과 주파수 분석을 통해 심박수를 근사적으로 추정하였다. 측정된 BPM은 상용 웨어러블 기기와 다소의 오차가 있었으나, 비접촉 상태에서도 생체 신호를 추출할 수 있음을 보여준다. [그림 2]는 실험 결과를 나타낸 것으로, 좌측 영상에서는 손 인식과 ROI 지정 상태가 표시되고 있으며, 상단에는 실시간으로 측정된 **심박수(BPM)**가 출력되고 있다. 우측 상단에는 추정된 심박수 값(60.0 BPM)이 수치로 나타나며, 하단에는 웨어러블 기기로 측정한 BPM 수치이다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2025-RS-2024-00437190) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation, 50%) This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ICAN(ICT Challenge and Advanced Network of HRD) program(IITP-2025-RS-2022-00156394) supervised by the IITP(Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation, 50%)

참 고 문 헌

- [1] 송상현, 정연우, 이동근, and 송태훈, "AI 기반 드론 인명구조 수색 시스템 설계," 항공우주시스템공학회 학술행사 논문집, pp. 465-466, 제주, 2024-10-16.
- [2] 김창윤, "드론취득 영상기반 도로 토공 현장 3차원 시각화 도구 시스템 구조 개발," 한국측량학회지, vol. 42, no. 3, pp. 193-202, 2024. (10.7848/ksgpc.2024.42.3.193)
- [3] 안효훈, 최희웅, and 가충희, "조난자 탐색 및 구조를 위한 실시간 영상 모니터링 및 음성 출력 드론 시스템," 대한전자공학회 학술대회, pp. 764-765, 경기, 2023-11-24.
- [4] 김성호, 조상호, 이승언, and 이성령, "2D 카메라 얼굴 영상기반 비접촉형 심박수 측정 방식의 정확도 향상을 위한 ROI 추출 최적화 연구," 제어로봇시스템학회 논문지, vol. 29, no. 3, pp. 272-278, 2023. (10.5302/J.ICROS.2023.22.0167)10.5302/J.ICROS.2023.22.0167