

스마트폰 카메라를 이용한 손가락 PPG 데이터 추출 시 색 공간에 대한 비교 분석 연구

정찬희, 황원희, 홍혁기, 최연식, 조영창*
전자기술연구원

chjeong@keti.re.kr

A Comparative Analysis Study on Color Space When Extracting PPG Data of Finger Using Smartphone Camera

Chan Hee Jeong, Won Hee Hwang, Hyuck Ki Hong, Yeon Shik Choi, Young Chang Jo*

Human IT Convergence Research Center
Korea Electronics Technology Institute (KETI)

요 약

본 논문은 스마트폰의 카메라를 구성하는 이미지센서와 함께 구성되어 있는 조명용 LED 를 이용하여 LED 의 확산 반사 손가락 동영상에 기반하여 PPG 데이터를 추출함에 있어 다양한 색 공간 및 변이에 대한 비교 연구이다. 이를 통한 영상기반 PPG 데이터는 심박변이도 등을 추출할 수 있으며, 스트레스, 심혈관 기능 등을 분석할 수 있다. 동영상에서 추출되는 혈관의 변화를 통한 PPG 추출을 위하여 사용되는 색상의 변화는 RGB, YCbCr, HSV 의 색 공간에 따라 변화를 사용하였으며 정확한 데이터 추출을 위한 다양한 비교, 분석을 연구하였다.

I. 서 론

최근 스마트폰 등 다양한 디지털 디바이스에 PPG(Photo Plenthysmo Graph) 측정 및 신호 연구에 많이 활용되고 있다. PPG 생체신호는 ECG(Electro - cardiogram)신호와 함께 심박신호를 측정하기 위한 대표적 생체신호로 사용된다. PPG 신호는 ECG 신호보다 수집이 간편하기 때문에 의료목적 또는 헬스케어 목적으로 많이 사용되고 있으며, 특히 일상생활에서 HRV(Heart Rate Variability) 분석 결과가 ECG 와 비교하여 분석에 사용할 수 있는 수준의 결과를 도출할 수 있기 때문에 많이 연구되고 있다. 하지만 현재 PPG 신호는 별도의 측정 센서를 이용하여 손목이나 손가락 등에 부착하여 사용한다. PPG 측정은 특정 광원을 이용하여 인체 조직에서 일어나는 확산 반사, 흡광 등 다양한 조직 광학적 특성을 반영한 광의 변화에 따라 측정이 된다. 최근에는 일반 백색광과 스마트폰 카메라를 이용하여 촬영한 후 색상 변화를 이용하여 PPG 신호를 추출하는 기술이 연구되고 있다.

본 논문에서는 PPG 센서를 이용한 데이터와 스마트폰 카메라 및 백색광을 사용한 손가락 동영상을 이용한 PPG 신호를 비교하여 동영상을 이용한 PPG 측정이 헬스케어용으로 사용할 수 있는 신뢰도를 가질 수 있는지 연구한다.

II. 본론

본 논문에서는 스마트폰 카메라의 PPG 신호와 비교하기 위해 PPG 센서인 ubpulse360(LAXTHA, 한국)

모델을 이용하여 손가락의 PPG 신호를 동시에 수집하였다. Ubpulse306 의 경우 블루투스 통신이 가능하여 유선의 영향을 최소화하여 측정할 수 있다.

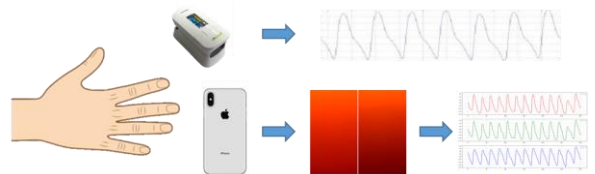


그림 1. PPG센서와 스마트폰 카메라를 이용한
PPG신호 추출 방법

스마트폰은 아이폰 X(애플, 미국), 갤럭시 9(삼성, 한국) 모델을 사용하였으며 동영상 촬영 시 본체에 장착된 백색 LED 라이트를 켜서 손가락 혈관의 변화를 측정할 수 있는 광원으로 사용하였다. 데이터 분석 툴은 python 을 사용하였으며 opencv, numpy, sklearn 등의 라이브러리를 이용하여 분석하였다.

실험은 동일한 손의 검지와 중지를 각각 스마트폰, PPG 센서에 함께 연결하고 동시에 데이터를 수집하는 방법으로 약 1 분의 데이터를 총 20 회 실시하였고 측정 대상은 4 명을 5 번씩 측정하였다. 측정된 스마트폰 촬영 동영상은 RGB, HSV, YCbCr 로 각각 변화하였으며, 분석 처리, 변환된 데이터를 다시 PPG 센서의 Raw 데이터, HRV 변환 데이터와 각각 비교하였다. 동영상에서의 PPG 신호는 다음과 그림 2 와 같은 방법으로 변환한다. 촬영된 영상은 각각 프레임으로 읽어서 RGB, HSV, YCbCr 로 변환한다. 변환된 프레임의 영상에서 픽셀의 평균값을 저장하여 데이터로 사용하였다.

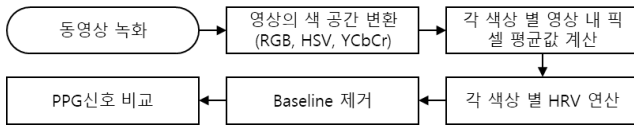


그림 2. 스마트폰 영상에서 PPG신호 추출 알고리즘

측정된 동영상 데이터는 측정이 끝날 때까지 위와 같은 방법으로 평균값을 저장하여 PPG 신호를 추출한 뒤 Baseline 을 제거한다. 동영상을 읽을 때는 기본적으로 RGB 색 공간으로 읽힌다. Opencv 라이브러리에서는 식(1)[2]과 같은 방법으로 RGB 에서 YCbCr 로, 식(2)와 같은 방법으로 HSV 로 변환할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Y &\leftarrow 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B \\
 Cr &\leftarrow (R - Y) \cdot 0.713 + \text{delta} \\
 Cb &\leftarrow (B - Y) \cdot 0.564 + \text{delta}
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{delta} = \begin{cases} 128 & \text{for 8-bit images} \\ 32768 & \text{for 16-bit images} \\ 0.5 & \text{for floating-point images} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 V &\leftarrow \max(R, G, B) \\
 S &\leftarrow \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V} & \text{if } V \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 H &\leftarrow \begin{cases} 60(G - B) / (V - \min(R, G, B)) & \text{if } V = R \\ 120 + 60(B - R) / (V - \min(R, G, B)) & \text{if } V = G \\ 240 + 60(R - G) / (V - \min(R, G, B)) & \text{if } V = B \\ 0 & \text{if } R = G = B \end{cases}
 \end{aligned} \quad (2)$$

그림 3 은 각 색 공간의 신호 변환 결과이다. 그래프 개형만 보았을 때, RGB 에서는 R, G HSV 에서는 V, YCbCr 에서는 Y, Cb 가 신호가 잡히는 것을 알 수 있다. R 과 G 중에서 R 의 신호가 PPG 신호의 특징을 갖고 있고, YCbCr 중 Cr 의 경우 역방향으로 특징을 갖고 있어 Y 가 적합하다는 것을 알 수 있다. 식(2)를 기반으로 HSV 의 V 와 RGB 의 R 은 같은 값을 갖는다는 것을 알 수 있었으며 결과 또한 같게 나왔다.

추출된 R, V, Y 의 신호와 PPG 센서 신호와 비교된 결과는 그림 4 와 같다. 그림 4 에서 왼쪽 신호는 각 R, V, Y 과 PPG 센서의 신호이고 오른쪽은 각각의 HRV 를 보여준다. HRV 는 PPG 의 신호를 VLF[0~0.04Hz], LF[0.04~0.15Hz], HF[0.15Hz~0.4Hz]의 주파수 대역별로 분석한다. 다양한 변환 식 중에서 본 논문에서는 Autoregressive 방법을 사용하여 변환하였다[3]. 분석 결과는 절대 거듭 제곱과 LF/HF 의 비율로 비교한다.

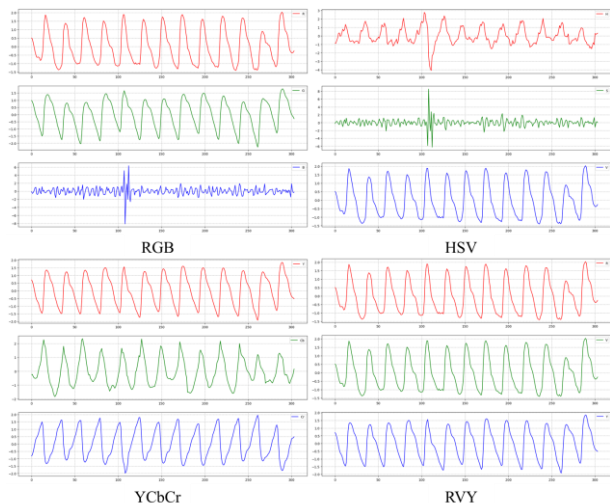


그림 3. 색 공간 별 PPG신호 추출 결과 비교

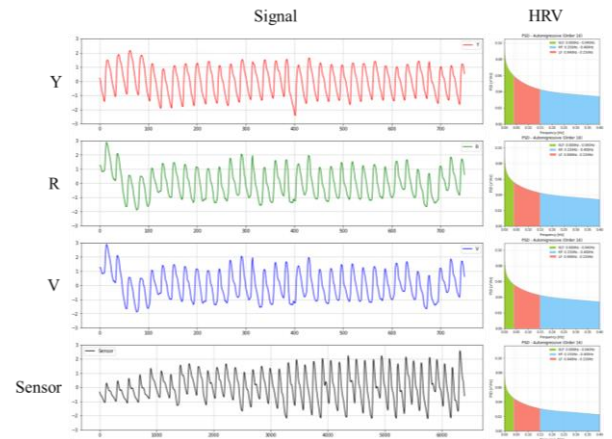


그림 4. 색 공간 별 원신호와 PPG센서의 HRV 비교

(VLF(녹)/HF(빨)/LF(청))

III. 결론

본 논문에서는 스마트폰 카메라 동영상을 이용한 PPG 신호가 어떠한 색 공간에서 신뢰도가 가장 높은지 비교하였다. 그림 4 와 같이 원신호는 비슷한 개형을 가지고 있는 것을 확인하였고 HRV 의 결과도 유사한 것을 알 수 있었다. 표 1 은 총 20 개의 데이터의 평균치로 사용하는 스마트폰의 기종이나 상황에 따라 다를 수 있지만 LF/HF 의 비율은 Y 가 가장 근접했으며 지표에 따라 약간씩 차이를 보였다.

결과적으로 원신호의 특성을 가장 잘 나타낼 수 있는 것은 Y 라고 볼 수 있으며 스마트폰 카메라를 이용하여 유의미한 PPG 신호를 측정하는데 사용할 수 있을 것으로 보인다.

표 1. HRV 결과 비교

	VLF	LF	HF	LF/HF
Y	2789	5459	9397	0.581
R	2635	5304	9414	0.563
V	2635	5304	9414	0.563
Sensor	2206	4027	6540	0.616

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 산업부/KEIT 의 디자인혁신역량강화사업의 일환으로 수행하였음. [No. 20009959, 임상적 유효성을 갖는 tES 기반 다감각 자극을 이용한 스트레스 케어 기기 개발 및 서비스 기술 개발], [No. 20012658, 비대면 라이프스타일을 위한 생활방역 및 디지털 헬스케어 서비스 디자인 제품기술 개발], [P0017819, 모바일 기반 비대면 정신건강 케어를 위한 디지털 치료제 조기 사업화 기술 개발 및 밸류체인 디지털 전환 기반 구축]

참 고 문 헌

- [1]LAXTHA ubpulse 360 (<http://www.laxtha.com/ProductView.asp?Model=ubpulse%20360&catgrid=3>)
- [2]https://docs.opencv.org/4.5.2/de/d25/imgproc_color_conversions.html
- [3]정찬희, 황원희, 홍혁기, 최연식, 조영창. (2020). 심전도와 광용적맥파의 심박변이도 유사성 연구. 대한전자공학회 학술대회, (), 695-697.