KICSP 한국 융합신호처리학회

한국융합신호처리학회논문지 Vol. 20, No. 1 : 51~56 March. 2019

모바일 얼굴 비디오로부터 심박 신호의 강건한 추출

로말리자쟝피에르[1], 박한훈[1*]

[1]부경대학교 전자공학과

Robust Extraction of Heartbeat Signals from Mobile Facial Videos

Jean-Pierre Lomaliza[1], Hanhoon Park[1*]

[1]Department of Electronic Engineering, Pukyong National University

요 약 본 논문은 모바일 환경에서의 BCG기반 심박 수 측정을 위한 향상된 심박 신호 추출 방법을 제안한다. 우선, 모바일 카메라를 이용하여 사용자의 얼굴을 촬영한 비디오로부터 얼굴 특징과 배경 특징을 동시에 추적함으로써 손 떨림에 의한 영향을 제거한 머리 움직임 신호를 추출한다. 그리고 머리 움직임 신호로부터 심박 신호를 정확하게 분리해내기 위해 신호의 주기성을 계산하는 새로운 방법을 제안한다. 제안 방법은 모바일 얼굴 비디오로부터 강건하게 심박 신호를 추출할 수 있으며, 기존 방법에 비해 보다 정확하게 심박 수 측정(측정 오차가 3-4 bpm 감소)을 할 수 있다.

• 주제어 : 심박 수 측정, 얼굴 비디오, 머리 움직임 분석, 손 떨림 대응, 주기 신호 추출, 스마트폰 카메라

Abstract This paper proposes an improved heartbeat signal extraction method for ballistocardiography(BCG)-based heart-rate measurement on mobile environment. First, from a mobile facial video, a handshake-free head motion signal is extracted by tracking facial features and background features at the same time. Then, a novel signal periodicity computation method is proposed to accurately separate out the heartbeat signal from the head motion signal. The proposed method could robustly extract heartbeat signals from mobile facial videos, and enabled more accurate heart rate measurement (measurement errors were reduced by 3-4 bpm) compared to the existing method.

• Key Words : Heart rate measurement, facial video, head motion analysis, handshake handling, periodic signal extraction, smartphone camera

Received 16 January 2019, **Revised** 24 March 2019, **Accepted** 27 March 2019

* **Corresponding Author** Hanhoon Park, Department of Electronic Engineering, Pukyong National University, 45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, Korea. E-mail: hanhoon_park@pknu.ac.kr

Ⅰ. 서론

심박 수의 불균형 또는 변화는 심장 관련 질환을 진단하는 데 있어 중요한 생체 정보이기 때문에, 일상생활에서 심박 수를 쉽게 측정할 수 있는 방법을 개발하는 것은 심장 관련 질환의 조기 진단 및 예방에 도움을 줄 수 있다. 심박 수는 심전도(ECG) 센서[1, 12], 산소 농도 센서(oximeter)[2], 초음파 센서[3], 열화상(thermal imaging) 센서[4] 등 다양한 센서를 활용할 수 있으나 대부분 일상생활에서 쉽게 접할 수 없고 발진이나 통증을 일으킬 수 있다는 문제를 가진다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로, 최근 저가의 고해상도 카메라들이 보편화되면서 비디오 입력으로부터 심박 수를 측정하기 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 대부분 광혈류측정(PPG: photo-plethysmography) 기반 방법으로[5-8], 심장 박동에 따라 발생하는 혈류량 변화를 손가락 끝이나 얼굴을 촬영한 영상의 색상 변화를 통해 측정한다. 그러나 색상 변화를 측정하는 방법은 주변 조명 환경에 민감한 성능을 가지기 때문에, 심탄동측정(BCG: ballistocardiography) 기반 방법이 제안되었다. 이는 심장 박동에 따른 신체의 반동을 측정하는 방법으로, 주로 얼굴을 촬영한 영상으로부터 얼굴 특징(facial features)을 추적하여 머리의 움직임을 측정하였다[9, 10].

BCG 기반 방법의 경우, 스마트폰과 같은 모바일 환경에서는 영상을 획득할 때 손 떨림이나 움직임에 의해 카메라가 고정되지 않기 때문에, 영상으로부터 측정된 머리 움직임 신호는 손 떨림이나 움직임을 포함하게 되고, 심박 수 측정의 정확도가 크게 떨어질 수 있다. Lomaliza와 Park은 그림 1과 같이 얼굴 특징과 함께 배경 특징을 동시에 추적한 후 얼굴 특징의 움직임으로부터 배경 특징의 움직임을 빼줌으로써 손 떨림이나 움직임에 의한 문제를 해결하는 방법을 제안하였다[11]. 그러나 손 떨림이나 움직임의 영향을 완화한 얼굴 움직임 신호를 추출하는 데는 성공했지만, 얼굴 움직임 신호로부터 심박 신호(heartbeat signal)를 분리하는 과정에서 기존 데스크톱 환경에서 제안된 방법[10]을 그대로 사용함으로써, 심박 수 측정의 정확도는 여전히 떨어지는 문제가 있었다.

본 논문에서는 모바일 환경에서의 BCG 기반 심박 수 측정을 위한 효과적인 방법을 개발하는 것을 목표로 한다. Lomaliza와 Park의 방법의 성능을 개선하기 위해 모바일 환경에서 얼굴 움직임 신호로부터 심박 신호를 정확하게 분리해내기 위한 방법을 제안한다.

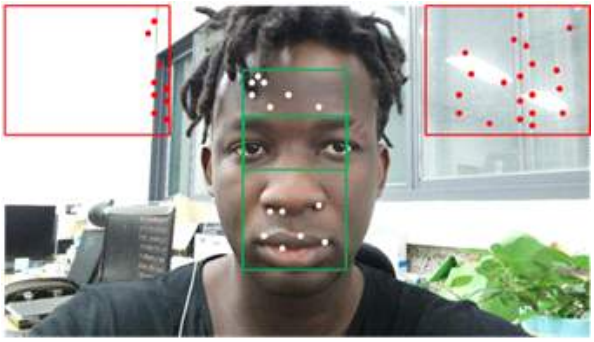

Fig. 1. Locations of facial and background features used in [11]. The red circles inside two upper corner regions represent the background features. The white circles inside the central facial region represent the facial features

Ⅱ. 모바일 환경에서 BCG 기반 심박 수 측정

이 절에서는 모바일 환경에서 BCG 기반 심박 수 측정을 위한 Lomaliza와 Park의 방법[11]을 간략히 설명한다. 본 논문에서는 얼굴 움직임 신호로부터 심박 신호를 분리하는 과정을 제외하고, Lomaliza와 Park의 방법을 그대로 사용한다. 전체 처리 과정은 그림 2와 같다.

우선, 입력 영상이 주어지면, 영상으로부터 그림 1과 같이 미리 정해진 영역에서 Shi-Tomasi 코너 검출기[13]와 Lucas-Kanade 광류 추적기[14]를 이용해서 얼굴 특징과 배경 특징을 검출하고 추적한다. 심장 박동으로 인한 머리 움직임 신호는 얼굴 특징의 수직 방향 움직임으로부터 얻어지는데, 이때 얼굴 특징의 수직 방향 움직임으로부터 배경 특징의 수직 방향 움직임을 빼줌으로써 손 떨림에 의한 영향을 제거한다. 다음으로, 머리 움직임 신호로부터 심방 박동과 상관없는 잡음 정보를 제거하기 위해 [0.75 5]Hz의 통과 대역을 가지는 통과 대역 필터를 적용한다. 이후 주성분분석법(PCA: principal component analysis)을 적용하여 5개의 주요 성분 신호를 추출하고, 가장 높은 주기성을 가진 주요 성분 신호를 심박 신호로 선택한다. 마지막으로, 선택된 주요 성분 신호로부터 피크(peak)를 검출하고, 검출된 피크 사이의 시간 간격을 평균하여 심박 수를 계산한다.

머리 움직임 신호로부터 심박 신호를 분리하는 과정은 데스크톱 환경(카메라가 고정됨)에서 BCG 기반 심박 수 측정을 위해 제안된 방법으로, 신호의 주기성은 최대 파워를 가지는 주파수와 첫 번째 고조파의 주파수의 파워가 신호 전체 파워에서 차지하는 비율에 의해 계산된다[10]. 그러나 이와 같이 신호의 주기성을 측정하는 방법

은 모바일 환경과 같이 많은 잡음을 포함하는 머리 움직임 신호에 적용할 경우 심박 신호를 잘못 선택할 위험이 높다. 이는 Lomaliza와 Park방법이 모바일 환경에서의 손 떨림 문제에 대한 대처 방안을 제시했음에도 불구하고 심박 수 측정의 정확도가 떨어지는 주요 문제였다.

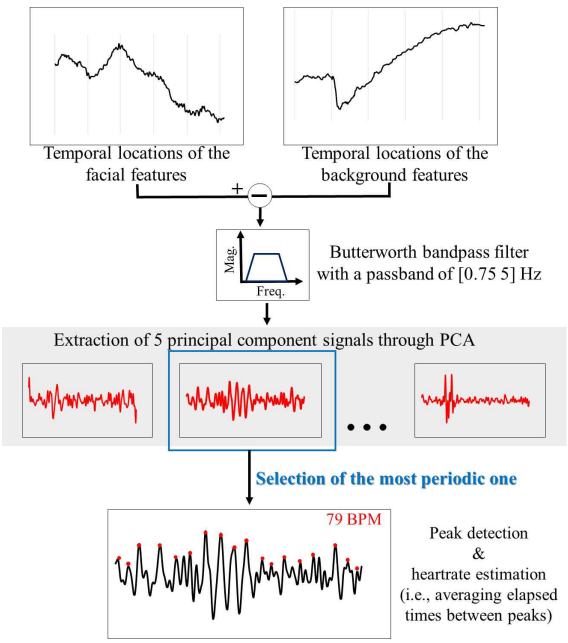

Fig. 2. Process flow of BCG-based heart rate estimation using mobile facial videos

Ⅲ. 제안 방법

그림 2에서 얼굴 움직임 신호로부터 심박 신호를 분리해내는 최종 과정은 심박 신호의 주기성을 이용한다. 그러므로 본 논문에서는 신호의 주기성을 계산하기 위한 새로운 방법을 제안한다. 우선, 얼굴 움직임 신호의 5개의 주요 성분 신호에 고속 푸리에 변환을 적용한다. 다음으로 각 주요 성분 신호(s_i)의 최대 주파수(f_i)와 데이터 샘플링 주파수(f_s)로부터 오프셋($O_i = f_s/f_i$)을 구한다. 그리고 오프셋을 이용하여 식 (1)과 같이 각 주요 성분 신호의 지연된 신호(s_i')를 구한다.

$$s_i'(t) = s_i\left[(t + O_i) \bmod N\right]. \quad (1)$$

여기서, N은 데이터 샘플 수로서, 데이터 샘플링 주파수와 비디오 신호의 길이 사이의 곱과 같다. 마지막으로, 신호 s_i의 주기성은 식 (2)와 같이 신호의 자기상관(auto-correlation) 계수를 이용하여 계산한다.

$$periodicity(s_i) = \frac{\sum_{k=1}^{N}(v_i)(v_i')}{\sqrt{\sum_{k=1}^{N}(v_i)^2}\sqrt{\sum_{k=1}^{N}(v_i')^2}}$$

where

$$v_i = s_i(kT_s) - \overline{s_i},\ v_i' = s_i'(kT_s) - \overline{s_i'}. \quad (2)$$

여기서, T_s는 데이터 샘플링 주기, $\overline{s_i}$와 $\overline{s_i'}$는 샘플 평균을 의미한다.

Ⅳ. 실험 결과 및 분석

실험을 위해 15명의 다양한 국적, 성별, 나이를 가지는 대학생에게 휴식, 가벼운 운동, 격렬한 운동을 수행하게 한 후, 편안하게 앉은 자세에서 스마트폰을 손에 들고 자신의 얼굴을 촬영하도록 하였다. 이때, LG G5 스마트폰을 사용하여, 800 × 480 크기의 영상을 초당 20프레임의 속도로 12.5초 동안 촬영했으며, 촬영된 비디오는 MPEG-4 포맷으로 저장되었다. 동일한 과정을 서로 다른 조명 환경(낮 실내, 낮 실외, 밤 실내)과 카메라 회전 모드(세로: 영상 내 얼굴이 가득 참, 가로: 얼굴과 함께 배경 영역이 나타남)에서 반복했으며, 저장된 비디오를 사용하여 심박 수를 측정하였다. 각 참가자의 심박 수에 대한 참값(ground truth)을 얻기 위해 각 실험을 진행하는 동안 Polar H7 심박 센서를 착용하도록 했다.

제안 방법의 성능을 분석하기 위해 기존 데스크톱 환경에서 제안된 방법[10]을 모바일 환경에서 그대로 사용하는 경우, 모바일 환경에서 손 떨림 문제를 해결한 방법[11]을 사용하는 경우(심박 신호 분리는 [10]의 방법을 사용), 제안된 방법을 사용하는 경우(심박 신호 분리는 제안된 방법을 사용하며 나머지 과정은 [11]과 동일)의 결과를 비교하였다. [10]의 방법의 경우 카메라 회전 모드를 세로로 촬영된 비디오를 사용했으며, 나머지 방법은 가로로 촬영된 비디오를 사용했다.

표 1~3은 참가자 중 한 명에 대해 서로 다른 상황에서 서로 다른 방법을 이용하여 측정한 심박 수 결과를 보여준다. 표 4는 모든 참가자에 대해 다양한 상황에서 서로 다른 방법을 이용하여 심박 수를 측정한 후, 심박 수 크기 변화에 따른 각 방법의 측정 오차를 계산한 결과를 보여준다.

Table 1. Mean and errors of heart rates in bpm estimated by different methods when a subject was at rest. The values on the right side of '/' symbol represent the errors

Method	Day indoor	Day outdoor	Night indoor	Mean
Ground truth	68.0	68.7	68.8	68.5
[10]'s	60.2/11.0	61.0/7.7	62.0/8.8	61.7/9.1
[11]'s	56.6/13.8	61.4/6.3	60.5/9.7	59.5/9.9
Proposed	60.7/7.3	65.3/4.1	61.3/8.3	62.4/6.6

Table 2. Mean and errors of heart rates in bpm estimated by different methods when a subject did light exercise. The values on the right side of '/' symbol represent the errors

Method	Day indoor	Day outdoor	Night indoor	Mean
Ground truth	81.5	84.3	82.0	82.6
[10]'s	77.3/8.9	75.6/9.4	73.7/9.6	75.5/9.3
[11]'s	72.7/11.5	75.2/9.6	73.5/10.3	73.8/10.5
Proposed	76.9/5.1	91.7/7.0	77.1/6.3	81.9/6.1

Table 3. Mean and errors of heart rates in bpm estimated by different methods when a subject did strenuous exercise. The values on the right side of '/' symbol represent the errors

Method	Day indoor	Day outdoor	Night indoor	Mean
Ground truth	101.7	103.2	102.8	102.6
[10]'s	90.9/11.4	111.6/9.6	92.1/10.0	98.2/10.3
[11]'s	89.7/13.6	93.5/10.1	104.3/10.4	95.8/11.4
Proposed	98.4/6.8	108.1/7.4	95.9/8.1	100.8/7.4

Table 4. Mean errors of heart rates in bpm estimated by different methods

Method	Heart rates (Ground truth)					
	59	65	73	86	95	101
[10]'s	9.56	9.73	8.99	9.50	8.27	10.10
[11]'s	8.91	9.18	9.75	10.50	9.90	11.03
Proposed	5.28	5.66	6.29	6.36	6.72	6.99

Lomaliza와 Park의 방법[11]과의 비교를 통해 알 수 있듯이, 신호 주기성을 계산하기 위해 제안 방법을 사용함으로써 측정된 심박 수의 오차가 심박 수의 크기에 상관없이 3-4 bpm 감소하였으며, 이는 머리 움직임 신호로부터 보다 정확하게 심박 신호를 검출할 수 있음을 의미한다. 조명 환경(광원)에 따른 각 방법의 성능 차이는 크지 않았다. 이는 영상의 특징을 검출, 추적하는 데 사용된 방법이 광원의 변화보다는 시간에 따른 밝기 변화에 영향을 받을 수 있는데, 심박 수 측정을 위해 사용된 비디오의 길이가 12.5초로 짧기 때문에 밝기 변화에 의한 영향이 거의 없다는 것을 의미한다.

한 가지 주목할 점은 손 떨림 보정을 하지 않고 기존 데스크톱 환경에서 제안된 방법[10]을 사용한 결과가 손 떨림 보정을 하는 방법[11]의 결과보다 심박 수 측정 오차가 작다는 것이다. [10]의 경우, 카메라 회전 모드를 세로로 하여 촬영된 비디오를 사용하기 때문에 영상 내 얼굴이 차지하는 영역이 크고, 상대적으로 큰 해상도에서 얼굴 특징을 추적할 수 있다. 반면, [11]의 경우, 배경 특징 동시 추적을 위해 카메라 회전 모드를 가로로 하여 촬영된 비디오를 사용하기 때문에 영상 내 얼굴이 차지하는 영역이 작고, 상대적으로 작은 해상도에서 얼굴 특징을 추적하게 된다. 결국, 작은 해상도에서 손 떨림에 의한 영향을 완화한 얼굴 특징을 추적하는 것보다 큰 해상도에서 손 떨림에 의한 영향을 고려하지 않고 얼굴 특징을 추적하는 것이 오히려 좋은 결과를 가질 수도 있다는 것을 알 수 있다. 사실, 영상 해상도가 심박 수 측정에 미치는 영향에 대해서는 기존 연구에서도 언급되고 있다[11]. 그러나 이보다 중요한 사실은 [11]의 방법에 의한 결과가 좋지 못한 것은 심박 신호를 분리하는 데 사용한 방법의 문제이기도 하다는 것이다. 이는 제안된 방법의 결과가 [10]의 방법을 사용한 결과보다 좋다는 것에서 알 수 있다. 즉, 심박 신호를 분리하기 위한 방법으로 [10]의 방법은 데스크톱 환경과 같이 얼굴 움직임 신호에 포함된 잡음 성분이 작은 경우에는 문제가 없지만, 모바일 환경과 같이 잡음의 영향이 큰 경우([11]에서 손 떨림에 의한 영향을 완화했으나 여전히 고정된 카메라를 사용하는 데스크톱 환경에 비해 잡음의 영향이 큼)에는 심박 신호를 제대로 분리해내지 못한다는 것을 알 수 있다.

제안 방법을 사용하더라도 의료적인 목적을 위해 심박수를 측정하는 데 사용하기에는 여전히 측정 오차가 크다. 이는 앞서 설명한 것처럼 Lomaliza와 Park의 손 떨림 보정 방법이 손 떨림에 의한 영향을 제대로 제거하지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 그러므로 보다 정확한 심박 수 측정을 위해서는 보다 개선된 손 떨림 보정 방법이 마련될 필요가 있다. 새로운 손 떨림 보정 방법이 필요한 또 다른 이유는 Lomaliza와 Park의 손 떨림 보정 방법으로 손 떨림 보정을 하는 경우(표 4에서 Lomaliza와 Park의 방법[11]과 제안 방법의 결과), 심박 수가 증가할수록 측정 오차가 증가하는 경향을 보인다는 것이다. 이는 심

박 수가 증가함으로써 얼굴 특징이나 배경 특징의 움직임이 빨라지게 되는데, 이러한 빠른 움직임을 정확하게 추적하지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

Ⅴ. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 모바일 환경에서 얻어진 얼굴 움직임 신호로부터 심박 신호를 분리해내기 위해 신호의 자기상관 계수로부터 주기성을 계산하는 방법을 제안하였다. 실험을 통해 제안 방법을 사용함으로써 기존 방법에 비해 심박 수 측정 오차가 약 3-4 bpm 감소하는 것을 확인하였다.

그러나 제안 방법을 사용하더라도 여전히 심박 수 측정 오차(약 5-7 bpm)는 크기 때문에 실용적으로 사용하기에는 무리가 있다. 심박 수 측정 정확도를 보다 높이기 위해서는 실험에서 사용된 기존 손 떨림 보정 방법을 개선하기 위한 추가 연구가 뒤따라야 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음

REFERENCES

[1] A. Arcelus, M. Sardar, and A. Mihailidis, “Design of a capacitive ECG sensor for unobtrusive heart rate measurements,” in *IEEE Int. Instrumentation and Measurement Technology Conf.*, Minneapolis, MN, USA, May 2013.

[2] P. Leonard, N. Grubb, P. Addison, D. Clifton, and J. Watson, “An algorithm for the detection of individual breaths from the pulse oximeter waveform,” *J. Clin. Monit. Comput.*, vol. 18, pp. 309-312, 2004.

[3] D. W. Holdsworth, “Characterization of blood-flow waveforms in normal human subjects,” *Physiol. Meas.*, vol. 20, no. 3, pp. 219-240, 1999.

[4] M. Garbey, N. Sun, A. Merla, and I. Pavlidis, “Contact-free measurement of cardiac pulse based on the analysis of thermal imagery,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 54, no. 8, pp. 1418-1426, 2007.

[5] M.-Z. Poh, D. J. McDuff, and R. W. Picard, “Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation,” *Optics Express*, vol. 18, no. 10, pp. 10762-10774, 2010.

[6] Y.-C. Lin, N.-K. Chou, G.-Y. Lin, M.-H. Li, and Y.-H. Lin, “A real-time contactless pulse rate and motion status monitoring system based on complexion tracking,” *Sensors*, vol. 17, no. 7, pp. 1490, 2017.

[7] J.-P. Lomaliza and H. Park, “A highly efficient and reliable heart rate monitoring system using smartphone cameras,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 76, no. 20, pp. 21051-21071, 2017.

[8] D. Grimaldi, Y. Kurylyak, F. Lamonaca, and A. Nastro, “Photo-plethysmography detection by smart-phone's video camera,” in *IEEE Int. Conf. on Intell. Data Acqu. Adv. Compu. Syst.*, Prague, Czech Republic, 2011, pp. 488-491.

[9] M. A. Hassan, A. S. Malik, D. Fofi, N. Saad, B. Karasfi, Y. S. Ali, and F. Meriaudeau, “Heart rate estimation using facial video: A review,” *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 38, pp. 346-360, 2017.

[10] G. Balakrishnan, F. Durand, and J. Guttag, “Detecting pulse from head motions in video,” in *CVPR*, Portland, OR, USA, June 2013.

[11] J.-P. Lomaliza and H. Park, “Detecting pulse from head motions using smartphone camera,” *LNEE*, vol. 415, pp. 243-251, 2016.

[12] Y.-G. Lim, “Development of chair backrest for non-intrusive simultaneous measurement of ECG and BCG,” *Journal of the Institute of Convergence Signal Processing*, vol. 19, no. 3, pp. 104-109, 2018.

[13] J. Shi and C. Tomasi, “Good features to track,” in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1994, pp. 593-600.

[14] B.D. Lucas and T. Kanade, “An iterative image registration technique with an application to stereo vision,” in *Imaging Understanding Workshop*, 1981, pp. 121-130.

저자 소개

로말리자쟝피에르 (Jean-Pierre Lomaliza)

2014년 08월 : 영산대학교
컴퓨터공학과(공학사)
2016년 08월 : 부경대학교
전자공학과(공학석사)
2016년 09월~현재 : 부경대학교
전자공학과 박사과정
관심분야 : 컴퓨터비전/그래픽스,
임베디드시스템

박 한 훈 (Hanhoon Park)

2000년 02월 : 한양대학교
전자통신전파공학과(공학사)
2002년 02월 : 한양대학교
전자통신전파공학과(공학석사)
2007년 08월 : 한양대학교
전자통신전파공학과(공학박사)
2012년 03월~현재 : 부경대학교
전자공학과 부교수
관심분야 : 증강현실, 인간컴퓨터상호작용,
컴퓨터비전/그래픽스