2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

파형 기울기를 이용한 맥파 주기 검출에 관한 연구

이현민*, 김동준*, 김경섭**, 이정환**, 안인석***
청주대학교 전자정보공학부*, 건국대학교 의학공학부**, 위덕대학교 에너지전기공학부***

A Study on Period Detection of Pulse Wave Using Wave Slopes

Hyun-Min Lee*, Dong-Jun Kim*, Kyeong-Seop Kim**, Jeong-Whan Lee**, Ihn-Seok Ahn***
School of Electronics and Information Eng., Cheongju Univ.*
Department of Biomedical Eng., Konkuk Univ.**
School of Energy Electrical Eng., Uiduk Univ.***

Abstract - Heart rate may be a very important parameter in human health. To extract heart rate, the electrocardiogram (ECG) is commonly used. But the ECG acquisition procedure is somewhat complex. On the other hand, the acquisition of pulse wave or photoplethysmogram(PPG) is very easy. However, the peak of PPG is not so sharp as ECG. This study tries to enhance the performance of period detection in PPG signal. The method uses the average slopes around the main peak. The crossing point of the increasing and the decreasing slopes is selected as the peak point of heart rate period. The proposed method showed smoothed heart rate graph and reduced irregularity in heart rate values.

1. 서 론

심전도(electrocardiogram, ECG)나 맥박(pulse) 등은 심장의 활동으로부터 얻을 수 있는 중요한 생체신호 정보인 심박주기(heart rate) 검출에 사용되고 있으며, 심박주기는 태아, 환자, 노인들의 질병감시 및 측정과 같이 임상에서 뿐만 아니라 감성공학 및 u-health 분야의 응용에서도 중요한 신호로 사용되고 있다. 특히 감성공학에서 자율신경계의 변화인 심박을 이용한 심박변이도(heart rate variability, HRV)는 심박주기의 연속적인 변화들을 순차적으로 연결하여 일렬의 데이터로 만든 신호이며, 인간의 감성을 신경계 반응의 통합적 조절로써 정량화하려는 많은 연구에 응용되고 있다[1-2]. 따라서, 심박주기의 검출은 매우 정확하고 신중한 처리 과정이 요구된다.

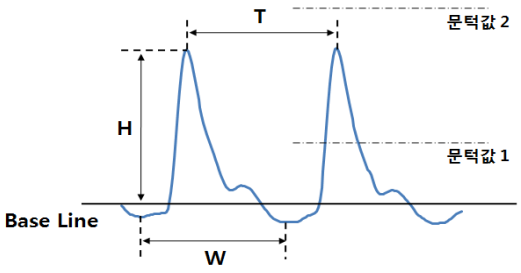
본 연구에서는 심전도보다 측정이 비교적 간편한 맥파를 이용하여 피크와 전·후 기울기의 정보를 통해 심박주기의 정확성을 개선하는 알고리듬을 제안한다. 이를 위해 우선 피크를 검출하고, 피크의 전·후 두 기울기의 교차점을 정확한 피크로 인정하여 그 구간을 세분화함으로써 보다 정확한 피크를 검출하는 방법을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 주기 검출 알고리듬의 개선

심전도 신호에서의 심박주기 검출은 R-R간의 간격을 구함으로써 얻어지며, R로 나타나는 피크는 크기가 크고, 날카로워서 피크를 검출하고, 주기를 계산하는 것이 매우 용이하다. 그러나 PPG 신호에서는 피크 부분이 심전도 신호에 비해 완만한 곡선 형태로 나타나기 때문에 정확한 심박의 추출이 상대적으로 어려워서 좀 더 세심한 신호처리 기술이 적용되어야 한다.

본 연구에서는 피크의 평균 높이와 피크를 구성하는 전·후 밸리의 사이의 간격을 파라미터로 이용하여 주기에 해당하는 피크의 검출이 쉽지 않은 경우에도 정확한 주기 피크를 검출할 수 있도록 하였다. 일반적인 PPG 신호와 피크 검출에 사용되는 파라미터는 그림 1과 같다.

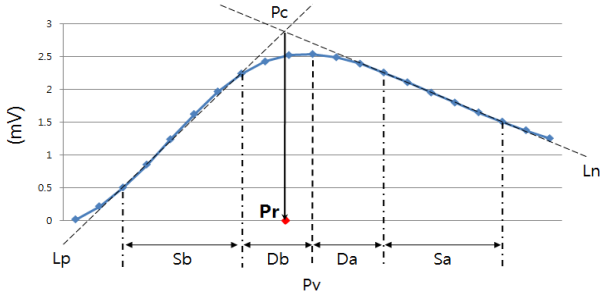


<그림 1> PPG 신호와 피크 검출을 위한 파라미터

H는 피크의 높이이고, W는 피크가 나타나는 전·후 밸리 사이의 간격을 나타낸다. 그리고 구하고자 하는 심박 주기를 T로 나타내었다. 피크 검출은 피검자의 심박주기를 고려하여 심박주기가 존재할 것으로 예상되는 구간(0.25~1.5 sec)내에서 기울기가 +에서 -로 바뀌고, H가 실험적으로 정한 문턱치(문턱값1=1mV, 문턱값2=3mV)의 범위 안에 해당하는 지점을 피크들에 대하여 크기 및 위치, 전·후 밸리의 위치를 순차적으로 저장한다. 저장된 피크들의 크기를 비교하여 가장 큰 피크 값의 95% 이내 피크들 중 전·후 밸리 사이의 간격(W)이 가장 큰 것을 일단 주기로 인정하며, 인정된 주기의 피크들을 주봉 피크(main peak)로 정한다. 만약, W가 같을 경우 앞의 간격을 주기로 인정한다.

일반적인 피크 검출 방법은 피크 검색 구간에서 가장 큰 피크만을 검출하는 방식이므로 주변 잡음과 제 2 피크의 영향이 나타날 수도 있는 PPG 신호에서는 잘못된 주기 피크를 검출하는 오류가 발생할 수 있다. 또한, 가장 큰 피크에서도 완만한 피크 부분에서 각각 정확한 주기 위치에서 앞과 뒤로 치우치게 검출되는 경우, 정확한 심박주기의 결과에 영향을 미칠 수 있을 정도의 차이를 가져올 수 있다.

본 연구에서는 검출된 주봉 피크로부터 전·후의 기울기를 각각 계산하고, 각각의 기울기를 갖는 직선의 교차점의 위치가 정확한 주기 피크라고 가정하였다. 기울기의 계산은 주봉 피크로부터 전·후 3 포인트의 무시구간을 두고 무시구간 이전 또는 이후의 5 포인트의 기울기 계산 구간으로부터 전·후 평균 기울기를 각각 구하였다. 그림 2는 기울기 계산을 위한 파라미터를 나타낸다.

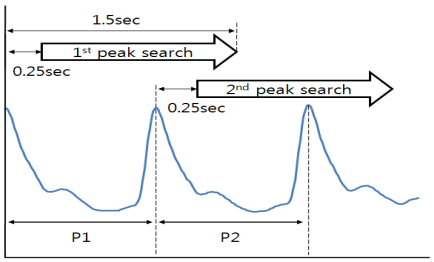


<그림 2> 기울기 계산을 위한 파라미터

Pv는 검출된 주봉 피크이며, Db, Da, Sb, Sa는 각각 피크 전 무

시구간, 피크 후 무시구간, 피크 전 기울기 계산 구간, 피크 후 기울기 계산 구간이다. Lp는 Sb구간에서의 평균 기울기를 갖는 직선이며, Ln은 Sa구간에서의 평균 기울기를 갖는 직선이다. Lp와 Ln의 연장선이 교차하는 지점을 Pc로 나타내었고, Pc를 지나는 직선이 시간 축과 직교하는 지점을 Pr로 정하였으며, 정확한 피크가 존재하는 위치로 가정하였다. Pr의 위치는 샘플링된 포인트의 위치와 정확히 일치하지 않을 수도 있으므로 샘플링 구간을 10등분하여 가장 가까운 값을 취했다. Pr이 위치하는 구간을 10등분함으로써 보다 정확한 피크의 위치를 얻을 수 있으며, 이는 샘플링을 10배 높게 해준 것과 같은 효과를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 한 프레임에서 두 개의 주기를 검출하기로 하고, 첫 번째 검출된 주기의 시점에서 0.25초 후부터 프레임의 끝까지 같은 방법으로 주기에 해당하는 실제 피크를 검출한다. 검출된 두 개의 주기는 주기값 간의 차이의 비교를 통해 실험적으로 설정한 허용오차 범위내의 차이를 나타내면 해당 프레임에서 주기가 검출된 것으로 하고, 그렇지 않으면 검출되지 않은 것으로 한다. 즉, $|P1-P2|<\Theta$, (Θ=0.0.5 sec)인 경우 주기가 검출된 것으로 한다. 그림 3은 주기 피크 검색 과정을 설명하는 것이다.

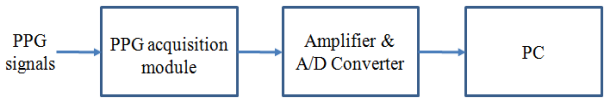


〈그림 3〉 피크 검색 구간

보통의 경우 심박 활동은 한 프레임의 시간동안 급격히 변하지 않을 것으로 생각할 수 있으므로, 본 연구에서는 주기 검출 알고리듬의 오류 가능성을 줄이기 위하여 앞·뒤 프레임의 주기정보를 활용하여 최종적으로 심박주기를 결정한다. 즉, 정상적으로 검출되다가 한 프레임에서 주기가 검출되지 않거나, 비정상적인 값의 주기가 검출되면, 앞·뒤 프레임에서 검출된 주기를 참조하여 심박주기를 결정한다.

2.2 실험 및 결과

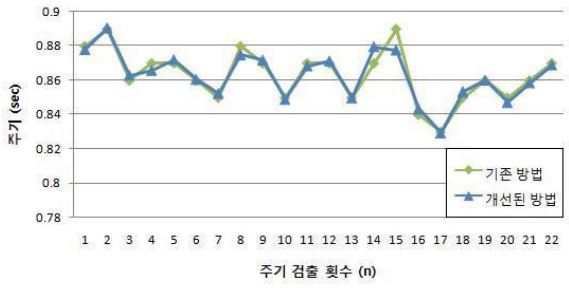
심박주기 검출 실험에 사용된 PPG 데이터 수집 시스템의 구성은 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 PPG 데이터 수집 시스템

PPG 측정 모듈은 KT-MED사의 PPG 측정기 FS-01을 사용하였고, 증폭기 및 A/D 변환기도 같은 KT-MED사의 KBC-S02를 사용하였다. PPG 신호는 128Hz로 샘플링하고, 12bit 해상도로 디지털 신호 변환한 후, PC를 이용하여 처리하였다.

그림 5는 일반적인 방법으로 검출된 피크를 사용하였을 때의 심박주기와 본 연구에서 제안한 방법을 이용하여 검출된 피크를 사용하였을 때의 심박주기를 비교한 그래프이다.



〈그림 5〉 주기 검출 방법의 비교

3. 결 론

본 연구에서는 측정이 번거로운 심전도를 이용하지 않고 맥파를 이용하여 피크를 검출하고 정확한 심박주기를 검출하는 기술을 개발하였다. 실험을 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

첫째, 기존 방법과 제안된 방법의 심박주기 결과를 비교하여 볼 때, 그래프 상에서도 눈으로 확인할 수 있을 정도의 개선 효과를 나타냈으며, 이는 주변 잡음과 제 2 피크의 영향 또는 낮은 샘플링으로 인해 맥파의 완만한 피크 부분에서 잘못된 피크를 검출하였을 경우, 본 연구에서 제안한 피크 검출 방법이 효과적으로 오차를 줄일 수 있다고 볼 수 있으며, 개발된 심박주기 검출 알고리듬의 성능이 우수하다고 볼 수 있다. 둘째, 기존 방법과 제안된 방법의 심박주기의 표준편차에 따른 비교를 통해 제안된 방법이 기존 방법보다 편차가 작게 나타남을 알 수 있고, 이러한 결과는 거의 모든 피검자들에게서 공통적으로 나타났다. 셋째, 피크 전·후 무시구간과 기울기 계산 구간이 각각 증가함에 따라 표준편차는 공통적으로 증가하였고, 이러한 결과는 거의 모든 피검자에게서 공통적으로 나타났다. 보통의 경우 심박 활동은 한 프레임의 시간동안 급격히 변하지 않을 것으로 생각할 수 있으므로, 이웃하는 심박주기의 값은 급격히 변하지 않을 것이라 생각할 수 있다. 따라서 표준편차가 제일 작게 나타나는 무시구간 3포인트, 기울기 계산구간 5포인트의 경우에 정확한 주기가 검출된다고 볼 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 이충기, 이병채, 정기삼, 김남현, 유선국, “시각 자극에 의한 노인 HRV 해석”, 대한전기학회논문지 시스템 및 제어부문D, pp. 330-337, 2005.

[2] Task force of the European society of cardiology and the North American society of pacing and electrophysiology, “Heart rate variability standard of measurement physiological interpretation, and clinical use”, European heart journal, pp. 354-381, 1996.

[3] 강동기, 김동준, “포노그램을 이용한 태아 심박률 검출 알고리즘의 개발”, 대한전기학회논문지 시스템 및 제어부문, vol. 51, No. 4, pp. 67-174, 2002.

[4] K. Solem, P. Laguna, J.P. Martinez, “Model-based detection of heart rate turbulence”, IEEE transactions on bio-medical engineering, vol. 55, No. 12, pp. 2712-2722, 2008.

[5] K.C. Lai, J.J. Shynk, “A successive cancellation algorithm for fetal heart-rate estimation using an intrauterine ECG signal”, IEEE transactions on bio-medical engineering, vol. 49, No. 9, pp. 943-954, 2002.

[6] E. Zahedi, G. K. Beng, “Applicability of adaptive noise cancellation to fetal heart rate detection using photoplethysmography”, Computers in biology and medicine, vol. 38, No. 1, pp. 31-41, 2008.