

스트레스 상태 측정을 위한 심전도 신호 QRS 검출 알고리즘

정우혁*, 이동화**, 이희재*, 김재호*, 이다빛*, 이상국*

*가톨릭대학교 미디어공학과

** (주)참케어

e-mail:wh.jung@catholic.ac.kr

QRS Detection Algorithm in ECG Signal for Measuring Stress Condition

Woo-Hyuk Jung*, Dong-Hwa Lee**, Hee-Jae Lee*, Jae-Ho Kim*, David Lee*, Sang-Goog Lee*

*Dept of Media Engineering, The Catholic University of Korea

**CHARMCARE CO., LTD

요 약

본 연구에서는 스트레스 상태 측정을 위한 심전도 신호 QRS 검출 알고리즘을 제안한다. 심전도 신호의 QRS 검출 과정은 4단계로 wavelet, moving average, squaring, threshold method로 구성된다. wavelet은 기저선 변동과 노이즈를 제거하고 moving average는 전체 신호를 부드럽게 하고 잔여 노이즈를 제거하며 squaring은 신호를 강조하는 역할을 한다. 마지막으로 threshold 기법을 이용해 검출간격을 설정하여 QRS를 검출하였다. 그 결과 Sensitivity는 99.54%, Positive Predictivity는 99.69%, Detection Error는 0.76%를 보였다. 또한, 피험자를 대상으로 게임을 이용해 스트레스 상태 변화에 대한 실험을 하였고, HRV 시간-주파수 파라미터를 분석함으로써 스트레스 상태 변화를 관찰할 수 있었다.

1. 서론

스트레스는 심리적, 신체적 긴장 상태로서 장기적으로 지속되면 심장병, 고혈압 등의 신체적 질환을 일으키거나 심리적 부적응 상태로 나타난다. 또한, 자율신경계를 변화시킴으로써 바이オリ듬의 변화를 가져올 수 있다. 이러한 스트레스 변화를 미리 측정하여 바이オリ듬 주기를 유지하고 관리하는 것은 또 다른 질병 예방에 도움을 줄 수 있다. 스트레스는 다양한 자극 및 환경적인 요소들을 통해 발현될 수 있고, 최근 많이 대두되고 있는 게임을 통해서도 이러한 스트레스가 발생할 수 있다. 게임은 때에 따라 긴장 및 불안을 증가시킬 수 있으며 자율신경계를 변화시킬 수 있다[1]. 그러므로 게임을 하는 과정에서 교감/부교감 신경계의 활동양상을 분석함으로써 스트레스 변화를 관찰할 수 있다.

부정맥, 스트레스, 바이オリ듬장애 등의 질환 분석을 위하여 비침습적이고 비용이 저렴하며 비교적 효과적인 방법으로 심전도신호 분석 방법을 많이 사용한다. 그러므로 심전도 신호를 이용하여 신뢰성 있는 진단을 위해서는 필요한 심전도 신호를 정확하게 검출하고 처리할 수 있는 기술이 필요하다. 심전도 신호는 P, QRS, T로 구성되며, 심전도 신호의 발생 시간과 형태는 환자의 심장 상태를 반영한다[2][3][4]. 그중 QRS는 가장 두드러진 신호로 다양한 질병들을 판단할 수 있는 근거로 사용되며 QRS를 이용해 HRV를 계산함으로써 스트레스 변화를 측정할 수

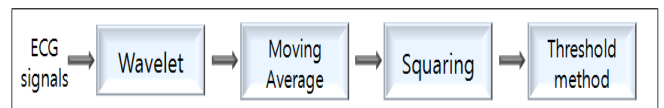
있다.

본 연구에서는 스트레스 상태 측정을 위한 심전도 신호 QRS 검출 알고리즘을 제안한다. wavelet, moving average, squaring, threshold를 이용해 QRS를 검출하고 검출된 QRS를 이용해 HRV를 계산함으로써 스트레스 변화를 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 QRS 검출 방법

QRS 검출방법은 그림 1에서와 같이 wavelet, moving average, squaring, threshold method로 구성된다.



(그림 1) 심전도 신호의 QRS 검출 과정

Daubechies Wavelet을 이용하여 심전도 신호를 level 7로 분해하고 고주파 성분을 제거하여 기저선 변동과 노이즈를 감소시킨다. wavelet을 적용한 후, 5-point Moving average를 이용해 잔여 노이즈와 신호를 부드럽게 한 후 제곱 과정을 적용하여 신호를 강조한다.

$$x[n] = ECGsignal - Detail \quad (1)$$

$$y[n] = \frac{1}{5} \sum_{i=m-4}^m x[n-i] \quad (2)$$

$$z[n] = \sum_{i=0}^{m-1} y^2[n-i] \quad (3)$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

$$Positive\ Predictivity = \frac{TP}{TP+FP} \quad (6)$$

$$Detection\ Error = \frac{FP+FN}{TP+FN} \quad (7)$$

제곱과정을 거친 이후, threshold 기법을 적용 시킨다. 최소 하나 이상의 QRS를 포함시키기 위해 1,500ms 내에서 가장 큰 신호 값의 30%로 임계값을 설정한다[4].

임계값보다 큰 값으로 첫 번째 검출된 지점을 시작점으로 설정하고, 임계값보다 작은 값으로 첫 번째 검출된 지점을 끝점으로 검출 범위를 설정한다. 360ms 이내 임계값 보다 큰 값이 존재하는 경우, 검출된 그 값 이후 임계값보다 작은 값이 나오는 지점을 새로운 끝점으로 지정하여 시작점과 끝점 간격을 정한다. 이후에 시작과 끝점 사이에서 가장 큰 6개의 QRS를 순차적으로 검출한다. 검출된 6개의 QRS를 기준으로 5개의 평균 RR interval을 계산하고 최근 5개 QRS 평균의 30%로 새로운 임계값을 설정한다. 새로운 임계값으로 다음 QRS 검출에 적용한다.

본 연구에서는 이전 QRS 값으로 부터 360ms 내에 새로운 QRS가 검출되는 경우와 처음 검출된 5개의 RR interval 평균의 45%보다 작은 경우 false peak로 간주하고 다음 QRS 값을 검색함으로써 오류율을 최소화한다.

2.2 스트레스 상태 측정 방법

심전도 신호로부터 스트레스 변화를 측정하기 위해 HRV 분석법을 이용한다. HRV는 시간영역과 주파수영역을 분석하는 것으로 HRV 평균, RRI 평균, SDNN, RMSSD, ANS 비율을 계산한다[1][6]. 본 연구에서는 스트레스 자극을 제시하기 위해 전략 시뮬레이션 PC게임을 이용한다. 피험자 2명을 대상으로 각각 3번씩 실험을 진행한다. 게임 하지 않을 때(스트레스 자극 없을 때)와 게임을 하는 동안(스트레스 자극 주어질 때) BIOPAC을 이용해 심전도 신호를 측정하고, 제안한 알고리즘을 이용해 QRS 신호를 검출하여 분석에 필요한 각 파라미터를 계산한다.

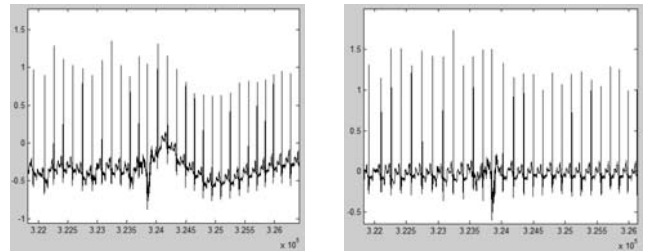
$$SDNN = Standard\ Deviation\ of\ RR\ interval \quad (4)$$

RMSSD=Root meansquare of successive differences

$$ANS = LF / HF$$

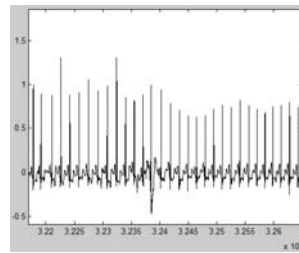
3. 실험 결과

본 연구에서 제시한 방법을 평가하기 위해 MIT-BIH DB를 이용하였다. 그림 2는 MIT-BIH DB를 이용한 QRS 결과를 보여준다. 표 2는 전체 데이터를 실험했을 때 결과이다. 알고리즘의 신뢰성 평가로 sensitivity는 99.54%, positive predictivity는 99.69%, detection error는 0.76%를 보였다.

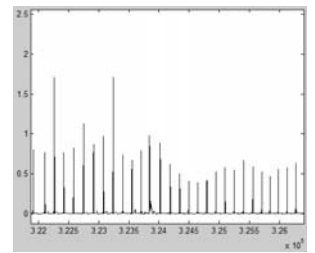


(a) 원신호

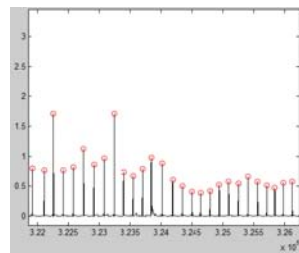
(b) wavelet



(c) Moving average



(d) Squaring



(e) QRS 검출

(그림 2) 심전도 신호 단계별 결과

<표 1> 심전도 신호 전체 검출 결과

Total beats	Sensitivity	Predictivity	Detection Error
95,874	99.54	99.69	0.76

표 2는 두 명의 피험자를 3번씩 실험한 결과의 평균을 나타내는 것으로 스트레스 변화를 분석한 결과이다. 자극을 제시했을 때(게임 중)가 하지 않았을 때(정상시)보다 교감신경이 증가하고 부교감 신경이 감소하기 때문에 HRV와 ANS 비율이 증가하였고, RRI, SDNN, RMSSD의 값이 감소하였다는 것을 확인할 수 있다.

<표 2> HRV를 이용한 분석 결과

	자극 제시(게임중)		자극 제시하지 않을 때(정상시)	
	Subject1	Subject2	Subject1	Subject2
HRV-Mean	91.44	97.91	70.88	72.99
RRI-Mean	236.19	224.23	305.43	296.86
SDNN	12.36	20.74	23.37	20.63
RMSSD	7.74	13.11	12.06	16.68
ANS Rate	1.68	1.12	0.87	0.73

4. 결론

본 연구에서는 스트레스 상태 측정을 위한 심전도 신호 QRS 검출 알고리즘을 제안하였다. 검출과정은 wavelet, moving average, squaring, threshold method로 진행되었고, 전체 95,874개의 비트를 테스트하여 0.76%의 오류율 결과를 확인할 수 있었다. 또한, HRV 계산을 통해 교감/부교감 신경의 변화를 검출함으로써 스트레스 상태 변화를 측정하였다. 제안한 알고리즘으로 효율적인 전처리를 통해 노이즈를 감소시키고, 비교적 간단한 계산과정으로 원하는 신호를 추출할 수 있었다. 또한, 이것은 스트레스 관리뿐만 아니라 정확한 심전도 신호를 검출하기 위한 헬스케어시스템에 적용 가능할 것이다. 금번의 연구에서는 스트레스 변화를 관찰하기에 충분한 수의 피험자를 채택하지는 않았고 제한된 환경의 영향으로 스트레스를 측정하는 파라미터의 큰 차이를 보이지 않았지만, 향후에는 충분한 피험자 수와 심전도 신호와 함께 스트레스 변화분석에 도움을 줄 수 있고 뇌전도 신호를 분석할 수 있는 신뢰성 있는 알고리즘 개발을 통한 데이터 분석과 평가가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] Jeong-Do Kim et al., real-time analytical method for predicting stress and dangerous heart condition using ECG signal in computer game, The Journal of Korean Institute Information Technology, Vol 9, No. 2, pp. 215-231, 2011.

[2] Woo-Hyuk Jung, Sang-Goog Lee, An R-peak detection method that uses an SVD filter and a search back system, Computer Methods And Programs In Biomedicine, Vol 108, No. 3, pp. 1121-1132, 2012.

[3] Yun-Chi yeh, Wen-June wang, QRS complexes detection for ECG signal: The Difference Operation Method, Computer Methods And Programs In Biomedicine, Vol 91, pp. 245-254, 2008.

[4] B-U. Kohler, C.Henning, R. Orglmeister, The principles of software QRS detectino, IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol 21, pp. 42-57,

2002.

[5] Brignole M, et al., Improved arrhythmia detection in implantable loop recorders, J Cardiovasc Electrophysiol. Vol 19, pp. 928-934, 2008.

[6] Chae-Young Lim, Kyung-Ho Kim, A Study on the assessment of stress using Wireless ECG, Korea Society of Computer Information, Vol 16, No. 2, pp. 17-23, 2011.