

심박동 특징점 검출 및 수동 보정을 위한 프로그램

신항식, 강성탁
 전남대학교 의공학과
 e-mail : hangsik.shin@jnu.ac.kr
 takang0902@ gmail.com

An Program for Detection and Manual Correction of Specific Feature of Heart Beat

Hangsik Shin and Seongtak Kang
 Dept. of Biomedical Engineering, Chonnam National University

요 약

본 연구는 측정된 심전도와 광용적맥파의 박동특징점을 무결하게 검출하기 위한 프로그램 개발에 관한 것이다. 개발된 프로그램은 생체신호 계측기에서 측정된 생체신호 데이터를 자동 및 수동으로 분석하여 박동특징점의 시간 및 값 정보를 추출 및 저장하는 프로그램으로, 측정된 파형 및 검출된 특징점 위치, 인접한 특징점간 시간 간격을 시각적으로 전달할 수 있는 GUI (Graphic User Interface)를 포함한다. 개발된 프로그램은 기존 연구에서 제시된 심박동, 맥파의 박동 특징점 검출 알고리즘을 사용하여 최초 검출을 수행하고, GUI 와 연동되는 컨텍스트 메뉴를 통해 오검출 또는 미검출 정보를 효율적으로 수정할 수 있도록 함으로 비전문가에 의한 쉽고 효율적인 사용이 가능하다.

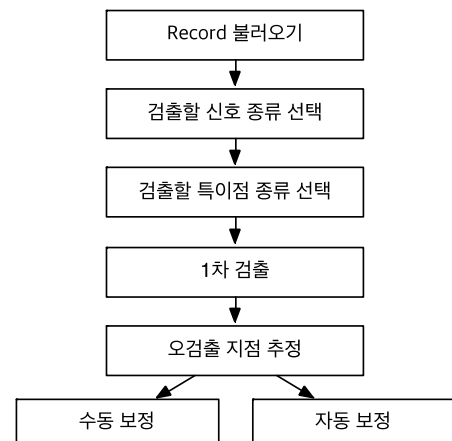
1. 서론

심전도 (Electrocardiogram, ECG)나 광용적맥파 (Photo-Plethysmography)와 같이 심박동 정보를 포함하는 신호 해석에서 심장 박동을 대표하는 파형인 박동특징점의 검출은 가장 선행되는 작업이다. 일반적으로 심전도의 경우 박동특징은 심실의 전기적 활동을 나타내는 QRS 군의 극점으로, 용적맥파의 경우 상단 극점이나 하단 극점 또는 최대 상승률을 나타내는 최대 dV/dt 지점으로 정의되곤 한다. 검출된 박동특징점은 다양한 해석에 사용된다. 분당심박수 (bpm, beats per minute)는 이 중 가장 대표적인 예로 박동 간 간격을 계산 한 후 이의 역수를 취하여 계산될 수 있다. 다른 예로, 심장박동 간격의 변화를 시간 및 주파수 측면에서 분석하는 해석기술인 심박변이율 (Heart Rate Variability, HRV) 해석, 심장의 전기적 흥분 시간과 혈액이 인체 각 지점에 도달하는 시간의 차이를 나타내는 맥파도달시간 (Pulse Transit Time, PTT) 등의 해석에서도 박동 특징점의 정확한 검출은 가장 중요하다고 할 수 있다. 이전 연구 결과에 따르면 특이박동 (Ectopic beat)등으로 인한 박동 특징점 오검출은 심박변이율을 편향시킬 수 있어 결과 해석에 심각한 영향을 주는 것으로 알려졌다 [1,2]. 또한 오검출된 심박간격은 심박변이율의 주파수 스펙트럼 분석에서 잘못된 주파수 파워를 포함시킬 수 있어 심박변이율 해석에서는 검출된 박동 정보의 무결성이 강력히 요구되고 있다 [2-11]. 맥파도달시간 해석의 경우에도 심전도의 QRS 군과 맥파 특징점 간의 동기화된 검출이 필수적이므로 박동 검출의 무결성이 보장될 필요가 있다. 이에, 본 연구에서는 심전도 및 맥파

신호에서 심박동 측정의 무결성을 보장하기 위해 기존 연구들에서 제안된 특징점 검출 알고리즘과 GUI 를 기반으로 하는 박동 검출 및 교정 프로그램을 개발하였다.

2. 박동 특징점 검출 및 교정 과정

제안하는 기술은 (그림 1)과 같은 절차에 의해 동작한다. 먼저 프로그램 실행 후 생체신호 측정기에 의해 측정된 데이터를 불러온다. 이 때 데이터에는 측정 기기에 따라 심전도, 광용적 맥파를 포함하는 다양한 종류의 신호가 동시에 기록되어 있을 수도 있고, 단일 신호가 기록되어 있을 수도 있다. 따라서, 개발된 프로그램의 동작을 위해서는 각 측정 모듈, 데이터 포맷에 적절한 데이터



(그림 1) 박동 특징점 검출 및 교정 과정

입력부가 별도로 개발되어야 한다. 측정 이후 과정에서는 불러온 데이터에 하나 이상의 신호가 다채널로 기록되어 있는 경우 박동특징점을 검출할 신호를 선택한 후 검출할 특징점의 종류를 선택한다. 심전도와 같은 경우는 단일특징점 (QRS 군)을 가지므로 별도의 선택과정이 필요하지 않으나, 맥파의 경우는 여러 종류의 특징점을 가질 수 있으므로 특징점의 선택이 반드시 필요하다.

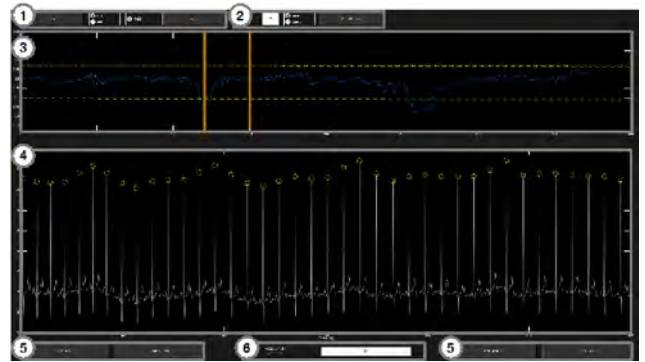
이 후 1 차 추출 과정은 기존 연구에서 제안된 검출 기법을 적용하여 특징점을 검출하는 단계로 본 연구에서는 심전도 QRS 검출을 위해서는 Pan-Tompkins 알고리즘을 [12], 광용적맥파의 상단, 하단 극점 검출을 위해서는 본 저자가 이전 연구결과로 제안한 적응형 임계치 기법을 각각 사용하였다 [13]. 최근 연구에서 박동특징점 추출방법은 대략 95% 이상의 정확도를 나타내고 있다. 하지만 서론에서 기술하였듯 신규 기술의 임상적용 가능성 검증 및 보다 고급 분석 기술을 적용하는 연구에서는 100%의 검출률이 요구되기 때문에 2 차 수정을 통해 오검출 또는 미검출 지점을 모두 수정할 필요가 있다.

개발된 프로그램은 2 차 수정을 위한 오검출 지점 추정 기능과 수동 보정 및 자동 보정 기능을 포함한다. 오검출 추정을 위해서는 1 차 검출을 통해 검출된 특징점으로 박동간격을 추산한 후, 특이 간격을 검출하여 오검출을 의심한다. 일반적으로 심박동수는 일정 범위로 한정되고 점진적 변화 특성을 가지므로 특정 범위를 벗어나는 경우 오검출 된 것으로 판정할 수 있다. 수동 보정은 컨텍스트 메뉴를 사용하여 특징점의 위치를 일일이 수정할 수 있는 기능으로, 검출된 특징점 삭제, 지정된 범위 내에서 최대, 최소 검출 기능을 통해 수동으로 특징점을 보정할 수 있다. 자동 보정 기능은 자동으로 분석된 박동간 간격을 보정하기 위한 방법으로 박동간 간격의 표준편차를 구한 뒤 이를 벗어나는 박동간격을 발생시키는 위치를 오검출 구간으로 가정하고 수정하는 기능이다. 이때 오검출 구간의 선정을 위한 기준은 박동간격 표준편차의 실수 배로 조절이 가능하다.

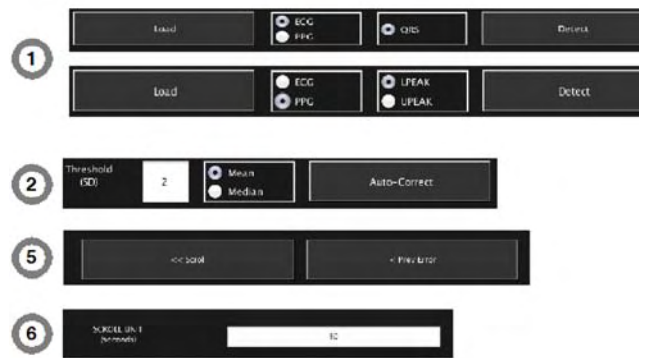
자동 보정 과정에서 오검출 구간은 특징점 외의 파형을 특징점으로 인식한 과검출 또는 특징점을 인식하지 못한 미검출로 구분될 수 있다. 과검출의 경우는 박동간 간격이 짧아지게 되므로 평균보다 낮은 박동간 간격 값을 가지게 되고 미검출의 경우는 박동간 간격이 길어져 평균을 상회하는 박동간 간격 값을 가지게 된다. 자동보정에서는 지정된 범위를 벗어나는 박동을 삭제한 후 오검출 구간 이전과 이후의 정상 박동정보(시간, 값)을 시간에 따라 보간하여 원 박동을 추정한다. 자동보정의 장점은 심박변이율과 같이 심박간격 변화를 관찰하는 분석 법에서는 빠르고 간단하게 적용할 수 있다는 장점을 가지지만, 정확한 극점 위치를 활용한 분석에는 사용되기 어렵다는 단점을 가지고 있다.

3. 박동 특징점 검출 프로그램

제안된 프로그램은 MATLAB (Mathworks, MA, USA) GUI 를 사용하여 개발되었다. 프로그램의 UI 는 (그림 2)과 같다. (그림 2)-①은 측정된 신호를 읽어오는 버튼과 기존의 알고리즘에 의해 박동 특이점을 검출하는 버튼을 포함한다. 여기서 박동 특이점은 심전도와 광용적맥파의 경우 다른

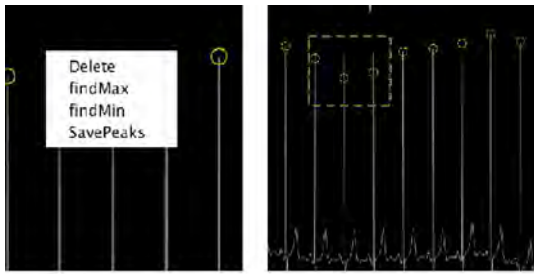


(그림 2) 개발된 박동특징점 검출 및 보정 프로그램 UI



(그림 3) 개발된 프로그램의 상세 UI

방법으로 검출되어야 하므로 신호의 종류를 선택하는 UI 를 포함하고 있다. (그림 2)-②는 자동 보정을 위한 오검출 기준 설정과 자동 보정 버튼을 포함한다. (그림 2)-③은 검출된 심박동 간격을 보여준다. 여기서 가로 방향으로의 점선은 오검출 기준을 보여주며 사각 박스는 ④에 보여지는 신호에서 추출된 심박동간격의 범위를 나타낸다. (그림 2)-④는 불러온 신호와 검출된 특징점 위치를 표시하는 부분으로, (그림 2)-⑤에 입력된 값에 의해 보여지는 시간 범위가 조절되고 (그림 2)-⑥의 버튼을 통해 이전, 이후 시간으로 이동하여 파형을 보여줄 수 있다. 각 구성 요소 별 상세구성은 (그림 3)에서 확인할 수 있다. (그림 3)-①에서 'Load'버튼은 파일열기창을 생성하여 측정된 원 생체신호 데이터를 선택할 수 있게 한다. 데이터를 선택하면 별도의 데이터 입력 라이브러리를 사용하여 데이터를 배열 형태로 로드한다. 데이터 입력을 위한 라이브러리는 측정 기기 별, 데이터 형태별로 상이하며 계측시스템 제조사에서 제공하거나 직접 구현을 통해 개발될 수 있다. 데이터 로딩 후 분석할 신호를 선택한다. 이 때 선택된 신호는 (그림 2)-④에 표시된다. 본 연구에서는 심전도 (ECG)나 광용적맥파 (PPG)를 분석을 위한 선택 버튼을 제공하나 프로그램 수정을 통해 이 외의 신호의 특징점 검출에도 적용할 수 있으며 신호 선택 메뉴는 헤더파일 설정에 따라 자동으로 생성될 수도 있다. 특징점 종류를 표시하는 UI 는 신호 선택 이후 표시되며 (그림 3)-①에서와 같이 심전도 선택 시 QRS, 광용적맥파 선택 시 상단극점, 하단극점으로 표시된다. 'Detect'버튼은 특징점 검출을 실행하는 것을 의미하며 클릭 시 (그림 2)-④에는 파형과 검출된 특징점을 겹쳐서 표시하고, (그림 2)-③에는 검출된 박동을 기반으로 계산된 박동간격을



(그림 4) 수동보정을 위한 컨텍스트 메뉴 (좌), 드래그를 통한 구간 선택 (우)

표시한다. (그림 3)-②는 자동 보정을 위한 UI 로 임계값 (threshold)에 입력 된 값을 박동간 간격의 표준편차와 곱한 후 오검출 기준을 설정하고 이를 (그림 2)-③에 가로축 점선으로 표시한다. 자동 보정을 수행할 경우에는 ‘Auto-Correct’ 버튼을 누르면 보정을 수행한 후 결과를 (그림 2)-③, ④에 업데이트 한다. (그림 3)-⑤는 스크롤을 위한 버튼으로 스크롤 방향에 따라 좌측, 우측에 모두 위치하고 있다. ‘Scroll’은 (그림 2)-④에 보여지는 신호를 좌측 또는 우측으로 스크롤 하여 보여준다. 이 때, 보여지는 범위에 따라 (그림 2)-③의 박스도 함께 이동한다. 보여지는 범위 및 한 번에 스크롤되는 범위는 (그림 3)-⑥에 입력된 범위에 의해서 결정된다. ‘Next Error’ 또는 ‘Previous Error’는 오검출 기준을 넘어서는 ‘오검출 후보’ 위치로 바로 스크롤 되는 기능으로 미리 생성된 오검출 후보의 위치만을 순차적으로 탐색할 수 있도록 해준다.

개발된 프로그램은 수동 보정을 위한 컨텍스트 메뉴를 제공한다. (그림 4)는 제공되는 컨텍스트 메뉴와 구간 선택 방법을 보여준다. 컨텍스트 메뉴 중 ‘Delete’, ‘findMax’, ‘findMin’을 선택하면 (그림 4)-(우)와 같이 구간선택 기능을 활성화 시키며 선택된 구간 내에서 해당 동작을 실행한다. 각 기능별로, ‘Delete’기능은 선택된 구간내의 특징점을 검출하여 제거하고, ‘findMax’ 또는 ‘findMin’은 선택된 구간내의 원 신호를 분석하여 구간 내에서의 최대 또는 최소값을 검출하여 새로운 특징점으로 등록한다. 특징점을 삭제하거나 새로운 특징점을 등록할 때마다 (그림 2)-③, (그림 2)-④는 업데이트 되어 현재의 특징점을 보여준다. 마지막으로 모든 특징점 검출이 완료되면 ‘SavePeaks’ 메뉴를 사용하여 검출된 특징점의 시간, 값 정보를 파일로 기록한다. 이 때 기록형식은 클라이언트 요구에 따라 Matlab 파일 형태(‘.mat’)나 csv 파일(‘.csv’), 텍스트(‘.txt’, ‘.dat’), 바이너리(‘.bin’), Microsoft Excel(‘.xls’, ‘.xlsx’)등 다양한 형식으로 기록될 수 있다.

4. 결론

기존 연구를 통해 제안된 박동 특징점 검출 알고리즘 들이 매우 높은 성능을 보장한다고 하지만, 완벽한 검출은 불가능하다. 따라서, 박동특징점의 수동 보정은 심박동 데이터 처리에 있어 필수적인 요소라고 할 수 있다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 기존 연구의 박동 특징점 검출 알고리즘을 기반으로 높은 성능의 1 차 검출 성능을 확보하였으며, GUI 를 사용하여 소수의 오검출 지점만을 정밀하게 수정할 수 있도록 하여 빠르고 정확한 분석을 지원한다. 또한, 박동 간격을 신호와 함께 도시하여 오검출 지표로 사용하고 GUI 및 컨텍스트 메뉴를 통해 직관적으로

오검출 지점을 수정할 수 있도록 하여 사용의 편의성을 향상 시켰다. 본 연구에서 제공할 수 있는 주요 기대효과로는 박동 특징점의 정밀하고 효율적인 검출 뿐 아니라, 관련 분야 사용자 확대에 있다고 할 수 있다. 개발된 프로그램은 기존 숙련된 소프트웨어 엔지니어에 의해서만 수행될 수 있었던 특징점 검출 및 보정 기술을 일반 사용자들이 사용할 수 있도록 할 것으로 기대되며, 다양한 생체신호 활용 분야에 적용될 수 있을 것으로 전망된다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술 진흥 센터의 ICT 융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2015-H8601-15-1009)

참고문헌

- [1] Malik M., Camm A. J. (eds). “Heart Rate Variability,” Armonk, NY: Futura Pub. Co. Inc”, 1995
- [2] Task Force of ESC and NASPE. “Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology,” *Circulation* 93, 1043–1065, 1996
- [3] Colak O. H. “Preprocessing effects in time-frequency distributions and spectral analysis of heart rate variability,”. *Digital Signal Processing* 19, 731–739, 2009
- [4] Sassi R., Mainardi L. T. “Editing RR series and computation of long-term scaling parameters,” *Computer in Cardiology* 35, 565–568, 2008
- [5] Kumaravel N., Santhi C. “Nonlinear filters for preprocessing heart rate variability signals,” *International Journal of Computer Science and Network Security* 10, 250–254, 2010
- [6] Tarkiainen T. H., Kuusela T. A., Tahvanainen K. U., Hartikainen J. E., Tiittanen P., Timonen K. L., Vanninen E. J. “Comparison of methods for editing of ectopic beats in measurements of short-term non-linear heart rate dynamics,” *Clinical Physiology and Functional Imaging* 27, 126–133, 2007
- [7] Thuraisingham R. A. “Preprocessing RR interval time series for heart rate variability analysis and estimates of standard deviation of RR intervals,” *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 83, 78–82, 2006
- [8] Mateo J., Laguna P. “Analysis of heart rate variability in the presence of ectopic beats using the heart time signal,”. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 50, 334–343, 2003
- [9] Salo M., Huikuri H., Seppänen T. “Ectopic beats in heart rate variability analysis: effects of editing on time and frequency domain measures,” *Annals of Noninvasive Electrocardiology* 6, 5–17, 2001
- [10] Laguna P., Jané R., Olmos S., Thakor N. V., Rix H., Caminal P. “Adaptive estimation of QRS complex by the Hermite model for classification and ectopic beat detection,” *Medical & Biological Engineering & Computing* 34, 58–68, 1996
- [11] Berntson G. B., Bigger J. T., Jr., Eckberg D. L., Grossman P., Kaufmann P. G., Malik M., Nagaraja H. N., Porges S. W., Saul J. P., Stone P. H., Van der Molen M. W. “Heart rate variability: origins, methods and interpretive caveats,” *Psychophysiology* 34, 623–648, 1997

- [12] Pan, J., & Tompkins, W. J. "A real-time QRS detection algorithm.," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 3, 230-236, 1985
- [13] Shin, H. S., Lee, C., & Lee, M. "Adaptive threshold method for the peak detection of photoplethysmographic waveform," *Computers in Biology and Medicine* 39(12), 1145-1152, 2009