

심전도 분석 보조를 위한 잡음제거 및 구간검출 시스템

김영섭, *홍성호, **이명석, ***노학엽, ****지용석

단국대학교

wangcho@dankook.ac.kr, *qoola@nate.com, **manguri007@lycos.co.kr, ***noh9289@kats.go.kr,
****yongseokc@chol.com

The interval detection and noise reduction system to assist electrocardiogram analysis

YoungSeop Kim, *SungHoHong, **MyeongSeokLee, ***HackYoupNoh, ****YongSeokChi

Dankook University

요약

심전도는 측정 기기에서 발생하는 전기적 잡음이나 근육에서 발생하는 근전도에 의한 잡음, 전극을 부착한 사람의 움직임에 의한 동잡음 등에 민감한 특성을 보인다. 또한 심장의 이상으로 인하여 왜곡이 심하게 발생하므로 심전도에서 의미 있는 구간을 검출하기 위해서는 이들을 보완하는 알고리즘이 필수적이라 할 수 있다. 논문에서는 심전도 분석의 보조를 위하여 입력된 심전도가 가지는 잡음과 왜곡을 제거하고 구간의 위치를 출력하는 시스템을 제안한다. 이를 위해 관련 알고리즘 중, 가장 널리 알려진 'Pan & tompkins algorithm'을 시스템에 이식하였고 알고리즘의 각 단계를 알아보기 쉽게 출력하는 인터페이스를 구성하였다. 시스템의 기능을 확인하기 위해 MIT/BIH 데이터베이스를 이용하였으며, 잡음과 왜곡이 심하여 육안으로 구간을 확인하기 힘든 심전도에서도 높은 구간검출 정확도를 확인할 수 있었다.

1. 서론

심전도는 심장에서 발생하는 전기신호를 감지하여 기록한 것으로 심장의 상태를 분석하는 여러 분야에서 가장 많이 응용되고 있다. 본 논문에서는 이러한 점에 착안하여 심전도 분석을 보조하는 시스템을 제안한다. 심전도의 잡음을 제거하고 의미 있는 구간검출을 수행하여 심전도를 이용한 진단 및 어플리케이션 설계에 큰 도움을 줄 수 있는 시스템이다. 이를 위해 수많은 연구결과 중 가장 널리 알려진 pan & tompkins가 제안한 알고리즘을 시스템에 이식하였다.[1] 그 결과 높은 정확도를 가지는 시스템을 완성할 수 있었다.

2. 본론

1. R-R interval 검출 알고리즘 요약

Pan & tompkins가 제안한 알고리즘은 QRS 파형 검출을 위한 전처리 및 최종검출단계를 포함하는 알고리즘으로 높은 정확성을 자랑하는 대표적인 심전도 분석 알고리즘 중 하나이다. 아래 그림 1은 Pan & tompkins 알고리즘이 제안하는 전처리 단계의 개괄적인 순서를 보여준다. 대역필터를 통과한 ECG 신호에 '미분 연산', '제곱 연산', '이동평균을 이용한 적분연산'을 적용하여 QRS파형 검출을 위한 전처리를 수행한다.

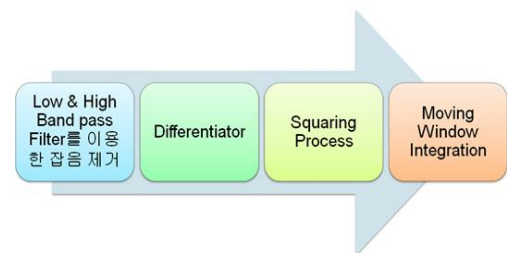


그림 1. Pan & tompkins 알고리즘 순서
Fig. 1. Pan & tompkins algorithm sequence

이로서 잡음을 최대한 줄이고 ECG 신호를 QRS파형 검출에 유리한 형태로 바꿀 수 있다. 이후 임계값과 되추적을 통한 오류 수정을 통해 최종적인 QRS파형을 검출하게 된다.

2. 대역통과필터

먼저 심전도에 존재하는 11Hz 이상의 고주파 성분의 잡음을 제거하기 위하여 저대역 통과 필터를 적용한다. 본 논문에서는 2차 버터워스 저대역 통과 필터를 이용하였다. 그런 뒤, 5Hz 이하의 저주파 성분의 잡음을 제거하기 위하여 고대역 통과필터를 다시 적용한다. 본 논문에서는 2차 버터워스 고대역 통과 필터를 이용하였다.[2]

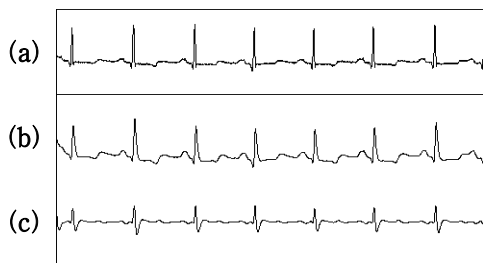


그림 2. (a) 원 신호
(b) 저대역 통과 필터의 출력
(c) 고대역 통과 필터의 출력
Fig. 2. (a) Original signal
(b)output of low bandpass filter
(c)output of high bandpass filter

그림 2는 대역통과필터를 이용한 잡음 제거의 결과를 보여준다. 원 신호에 포함되어 있던 고주파 대역의 잡음은 저대역 통과 필터를 거치며 사라진 것을 확인 할 수 있으며 언달아 적용되는 고대역 통과 필터를 통해 R-peak이 외의 모든 정점을 포함한 저주파 잡음이 감쇄된 것을 확인할 수 있다.

3. 미분연산과 제곱연산

잡음이 제거된 신호는 미분 연산과 제곱연산을 적용 시킨다. 미분 연산과 제곱 연산을 거치게 되면 신호의 정점들은 더욱 높게 증폭되어 이외의 잡음들과 뚜렷한 구분을 가지게 된다. 미분 연산과 제곱 연산을 위한 입력 함수는 Pan & tompkins가 제안한 알고리즘에 따라 아래와 같이 정의 했다.

정리 1 : 미분 함수

$$y[nT] = (1/8T)[-x(nT) - 2x(nT - T) + 2x(nT + T) + x(nT + 2T)] \quad (1)$$

정리 2 : 제곱 함수

$$y[nT] = [x(nT)]^2 \quad (2)$$

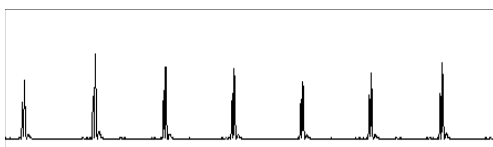


그림 3. 미분연산과 제곱연산 출력결과
Fig. 3. output of difference process and squaring process

그림 3은 미분 연산과 제곱 연산의 결과이다. 그림 2의 (c)와 비교 하였을 때, R-peak에 해당하는 구간은 도드라지게 증폭된 것을 확인할 수 있다.

4. 이동 평균을 이용한 적분연산

미분 연산 및 제곱 연산을 거치게 되면 그림 3와 같이 증폭된 여러 신호가 조밀하게 모이게 된다. 이러한 신호는 R-peak를 검출하는데 결코 도움이 되지 않는다. 이것을 해결하기 위해 이동평균을 이용한 적분연산이 제안되었다. 이를 위한 입력함수는 Pan & tompkins의 제안에 따라 아래와 같이 정의 되었다.

정리 3 : 적분 함수

$$y[nT] = (1/N)[x(nT - (n-1)T) + x(nT - (n-2)T) + \dots + x(nT)] \quad (3)$$

정리 3에서 N은 윈도우 사이즈로서 너무 크게 설정할 경우 올바른 결과를 얻을 수 없다. Pan & tompkins가 제안한 알고리즘에서는 N을 30으로 설정하였는데 이것은 일반적인 QRS 파형의 샘플링 크기이다.

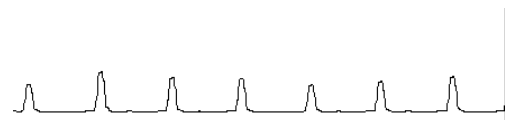


그림 4. 적분연산의 출력결과
Fig. 4. output of integration process

그림 3과 그림 4를 비교하면 차이를 확인 할 수 있다. 이동 평균을 이용한 적분연산의 결과 신호는 최종적으로 R-peak의 위치를 탐색하는데 이용되게 된다.

5. 임계값을 이용한 R-R interval 검출

Pan & tompkins 알고리즘 역시 임계값을 이용하여 R-peak를 검출하고 검출된 R-peak를 기준으로 QRS 파형을 검출하지만, 본 논문에서는 Pan & tompkins 알고리즘과는 다른 임계점 계산 공식을 사용하였다.

임계점 계산을 위하여, 우선 처음의 100개의 신호 값에서 미분 값이 0이하로 내려가는 지점을 찾는다.[3] R-peak가 아닌 잡음이 검출되는 것을 막기 위하여 검색된 지점들 중 가장 높은 신호 값을 가지는 지점을 최종적으로 선택한다. 그런 뒤, 아래의 공식을 이용하여 두 개의 임계점을 정의한다.

정리 4 : 임계값 결정 수식 1

$$\begin{aligned} THRESHOLD_1 &= PEAK * 0.8 \\ THRESHOLD_2 &= THRESHOLD_1 * 0.5 \end{aligned} \quad (4)$$

THRESHOLD1의 값이 너무 크게 설정되면 검출 정확도가 떨어질 염려가 있으므로, 그 절반 값으로 THRESHOLD2를 설정한다.

만약 THRESHOLD1에 의해 정점이 검출되면 임계값은 정리 4에 의해 다시 조정된다. 만약 THRESHOLD2에 의해 정점이 검출되면 임계값은 아래와 같이 조정된다.

정리 5 : 임계값 결정 수식 2

$$\begin{aligned} THRESHOLD_1 &= PEAK * 1.2 \\ THRESHOLD_2 &= THRESHOLD_1 * 0.5 \end{aligned} \quad (5)$$

일련의 알고리즘을 통해 아래와 같이 R-peak의 위치가 탐색되게 된다.

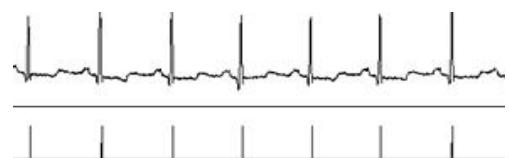


그림 5. 탐색된 R-Peak의 위치
Fig. 5. Detected r-peak position

그림 5은 원래의 신호의 R-peak위치와 검출된 R-peak의 위치가 유사하게 맞아 떨어진다는 것을 보여준다. 좀 더 정확한 결과를 위해,

검출된 R-peak위 위치를 기준으로 ± 50 개의 신호 값을 검사하여 가장 높은 신호 값을 최종 R-peak로 결정한다.[4]

6. 인터페이스 설계

인터페이스는 시스템을 조정하는 컨트롤 인터페이스와 구간 검출을 위한 각 단계를 출력하는 결과 출력 인터페이스로 구성되어 있다.



그림 6. 컨트롤 인터페이스
 (a) Original signal menu (b)Pre-process menu
 Fig. 6. Control interface
 (a) Signal menu (b)Pre-process menu

컨트롤 인터페이스는 아래와 같이 그림6과 같이 구성되어 있다. 그림6의 (a)는 Original signal menu로 신호를 불러오고 설정한 범위만큼 이동하며 신호를 출력하는 동작을 수행 할 수 있다. 그림6의 (b)는 각 전처리를 수행할 수 있는 Pre-process menu로 적용된 각각의 전처리단계는 결과 출력 인터페이스에 순차적으로 출력된다.

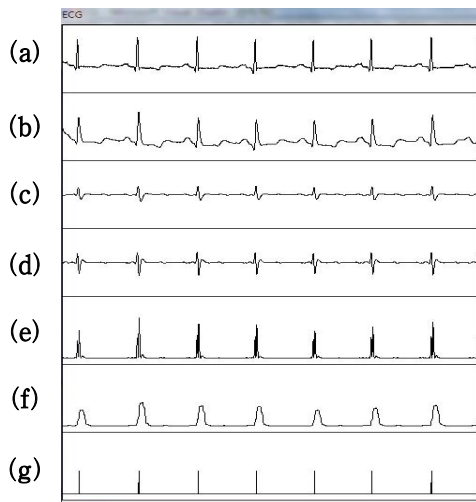


그림 7. 신호 출력 인터페이스
 (a)원 신호(b)저대역 통과필터
 (c)고대역 통과필터
 (d)미분 연산(e)제곱 연산(f)적분 연산
 (g)R-peak 위치
 Fig. 7. Signal output interface
 (a)Original signal (b)Low bandpass filter
 (c)High bandpass filter
 (d)difference process(e)Squaring process
 (f)integration process
 (g)R-peak position

그림 7은 그림 6의 (b)를 통해 각각의 전처리를 수행한 결과가 인터페이스를 통해 출력된 것이다. 본 논문이 제안하는 시스템을 사용하면 R-R interval을 확인 할 수 있을 뿐 아니라 전처리의 과정을 직관적으로 확인 할 수 있는 장점이 있다.

3. 결론

본 논문에서 제안하는 시스템을 이용하면 손쉽게 R-R interval을 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 ECG 신호처리의 과정을 육안으로 확인 할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 의료관련 종사자 뿐 만 아니라 ECG에 대한 분석을 연구하는 다른 연구원들에게도 좋은 도구로서 제시될 수 있다. 차후 검출된 R-R interval에 대해 형태분석을 할 수 있는 알고리즘이 적용되어 시스템이 발전한다면 그 활용 방안이 무한히 늘어나게 될 것이다.

감사의 글

이 연구는 2012년도 ITRC 지원사업(NIPA-2012-H0401-12-1001)의 지원에 의한 결과입니다.

[참고 문헌]

[1] J. Pan, W. Tompkins, "A real time QRS detection algorithm", IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol.BME-32, No.3, pp. 230-236, 1985.
 [2] 안세중, 임창주, 김용권, 정성택, "심전도 신호에서 부정맥 환자의 R과 검출 알고리즘 연구", 한국산학기술학회논문지, 제12권, 제10호, pp. 4443-4449, 9. 2011.
 [3] 정용주, 윤장혁, "실시간ECG 모니터링 시스템을 위한 QRS 검출 알고리즘의 개발", 한국정보기술학회논문지, 제8권, 제5호, pp. 4443-4449, 5. 2010.
 [4] 배정현, 임승주, 김경주, 박성대, 김정도, "ECG 신호에서 단위패턴 간 유사도분석을 이용한 부정맥 분류 알고리즘", 정보처리학회논문지 D, 제19-D권, 제1호, pp. 105-112, 2. 2012.