

ECG 분석을 위한 R-R interval 탐지 시스템

論 文

11-2-1

The R-R interval detection system for ECG analysis

김 영 섭, 홍 성 호*, 지 용 석, 이 명 석, 노 학 업

Young-Seop Kim, Sung-Ho Hong, Yong-Seok Chi, Myeong-Seok Lee, and
Hack-Youp Noh

Abstract

ECG widely used in cardiac function test is a graph that is recorded by measuring the electrical impulses occurred in the heart. Normal ECG has the form of similar sections that are repeated, and each section has the information occurred in a heart beat. Thus, In order to make the correct diagnosis, correct grasp of the sections and formed analysis must be done. In this research, a system that detects the sections of ECG is proposed. The system is based on ECG stored in the form of files. The ECG can easily have a noise caused by an outside factor. The noise of ECG is easily caused by external factors. Through a band-pass filter, it can be removed. and then, to get this ECG without a noise, interval detection algorithm using R-peak is applied. The clean, intuitive interface will help the above functions to be used without any difficulties.

Keywords : ECG, R-R interval, Monitoring system, Signal processing, Arrhythmia

I. 서 론

ECG는 심장에서 발생하는 전기신호를 감지하여 기록한 것으로 심장의 상태를 분석하는 여러 분야에서 가장 많이 응용되고 있다.

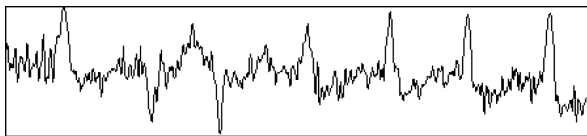


그림 1. 부정맥의 ECG
Fig. 1. ECG of arrhythmia

그림 1은 부정맥 소견이 있는 환자의 ECG이다. 비정상 심전도로 인해 파형이 왜곡되었을 뿐만 아니라, 근전도와 같은 외부요인에 의해 고주파수

잡음도 발생한것을 볼 수 있다. ECG를 이용하여 정확한 진단을 내리기 위해서는 잡음의 제거뿐만 아니라 왜곡된 파형에서 반복구간을 찾아내는 것이 무척 중요하다[1]. 본 논문에서는 파일의 형태로 저장된 ECG에서 잡음을 제거하고 반복구간을 찾아주는 시스템을 제안한다. 수많은 연구결과 중 가장 널리 알려진 pan & tompkins가 제안한 알고리즘을 시스템에 이식하였다[2]. 그 결과 높은 정확도를 가지는 시스템을 완성할 수 있었다.

II. R-R interval 검출 알고리즘 요약

본 시스템은 Pan & tompkins가 제안한 QRS 파형 검출 알고리즘을 이식하였다. 디지털 필터를 이용한 잡음 제거와 QRS 파형 검출을 위한 전처리를 포함하는 이 알고리즘은 높은 정확성을 자랑하는 대표적인 ECG 분석 알고리즘 중 하나이다.

접수일자 : 2012년 03월 10일

심사일자 : 2012년 05월 23일

최종완료 : 2012년 06월 20일

*홍성호, E-mail : goola@nate.com

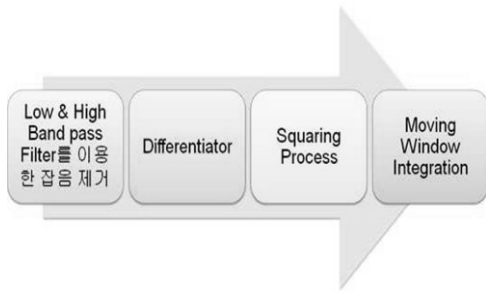


그림 2. Pan & Tompkins 알고리즘 순서
Fig. 2. Pan & Tompkins algorithm sequence

그림 2는 Pan & Tompkins 알고리즘 개괄적인 순서를 보여준다. 그 논문에서는 대역필터를 통한 잡음 제거를 제안하였으며 ‘미분 연산’, ‘제곱 연산’, ‘이동평균을 이용한 적분연산’을 통해 QRS과형 검출을 위한 임계치 도출방법을 제안하였다. 본 논문에서는 이 알고리즘을 이용하여 R-peak의 위치를 확인하고 그 위치를 이용하여 R-R interval을 확인할 것이다.

III. 본 론

1. 대역통과필터

일반적으로 심전도는 1Hz에서 50Hz의 필터를 이용하여 잡음을 제거하지만^[3], Pan & Tompkins 알고리즘에서는 검출 정확도를 향상시키기 위해 QRS-peak를 제외한 다른 정점들까지 잡음으로 보고 제거를 한다.

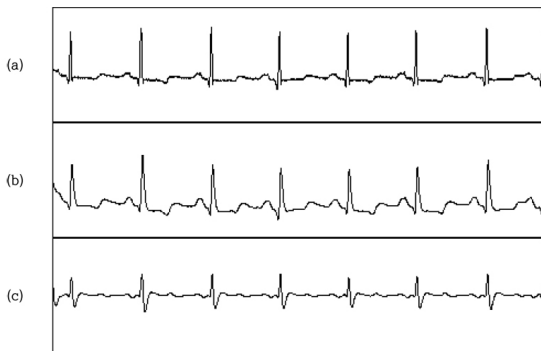


그림 3. (a) 원 신호
(b) 저대역 통과 필터의 출력
(c) 고대역 통과 필터의 출력
Fig. 3. (a) Original signal
(b)output of low bandpass filter
(c)output of high bandpass filter

먼저 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 잡음

을 제거하기 위하여 고대역 통과필터를 다시 적용한다. 본 논문에서는 2차 버터워스 고대역 통과 필터를 이용하였다[4].

그림 3은 대역통과필터를 이용한 잡음 제거의 결과를 보여준다. 원 신호에 포함되어 있던 고주파 대역의 잡음은 저대역 통과 필터를 거치며 사라진 것을 확인 할 수 있으며 연달아 적용되는 고대역 통과 필터를 통해 R-peak 이외의 모든 정점을 포함한 저주파 잡음이 감쇄된 것을 확인할 수 있다.

2. 미분연산과 제곱연산

잡음이 제거된 신호는 미분 연산과 제곱연산을 적용시킨다. 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 4는 미분 연산과 제곱 연산의 결과이다.

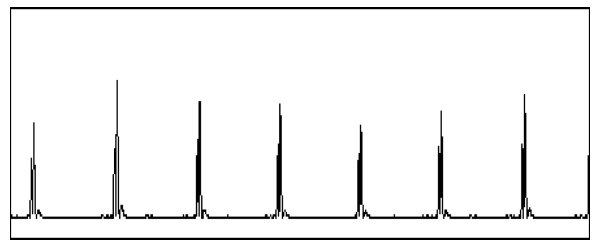


그림 4. 미분연산과 제곱연산 출력결과
Fig. 4. output of difference process and squaring process

그림 3의 (c)와 비교하였을 때, R-peak에 해당하는 구간은 도드라지게 증폭된 것을 확인할 수 있다.

3. 이동 평균을 이용한 적분연산

미분 연산 및 제곱 연산을 거치게 되면 그림 4와 같이 증폭된 여러 신호가 하나의 구간을 이루게 된다. 이러한 신호는 R-peak를 검출하는데 결코 도움이 되지 않는다. 이것을 해결하기 위해 이동평균을 이용한 적분연산이 제안되었다. 이를 위

한 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.

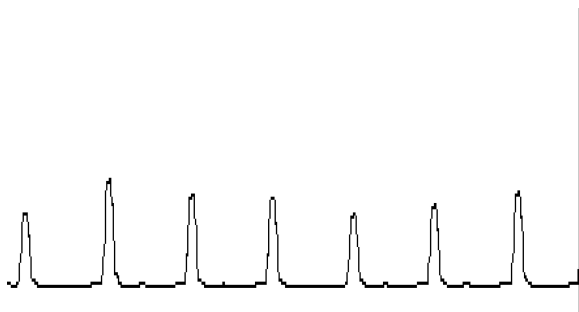


그림 5. 적분연산의 출력결과
Fig. 5. output of integration process

그림 5와 그림 4를 비교하면 차이를 확인할 수 있다. 이동 평균을 이용한 적분연산의 결과 신호는 최종적으로 R-peak의 위치를 탐색하는데 이용되게 된다.

4. 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^[5]. 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

$$\begin{aligned} THRESHOLD1 &= PEAK * 0.8 \\ THRESHOLD2 &= THRESHOLD1 * 0.5 \end{aligned} \quad (4)$$

THRESHOLD1의 값이 너무 크게 설정되면 검출 정확도가 떨어질 염려가 있으므로, 그 절반 값

으로 THRESHOLD2를 설정한다.

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

정리 5 : 임계값 결정 수식 2

$$\begin{aligned} THRESHOLD1 &= PEAK * 1.2 \\ THRESHOLD2 &= THRESHOLD1 * 0.5 \end{aligned} \quad (5)$$

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

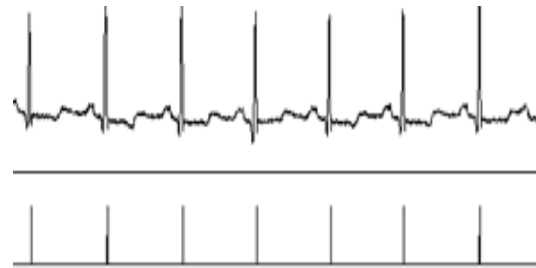


그림 6. 탐색된 R-Peak의 위치
Fig. 6. Detected R-peak position

그림 6은 원래의 신호의 R-peak위치와 검출된 R-peak의 위치가 유사하게 맞아 떨어진다는 것을 보여준다. 좀 더 정확한 결과를 위해, 방금 검출된 R-peak의 위치를 기준으로 ±50개의 신호 값을 검사하여 가장 높은 신호 값을 최종 R-peak로 결정한다[6].

5. 인터페이스 설계

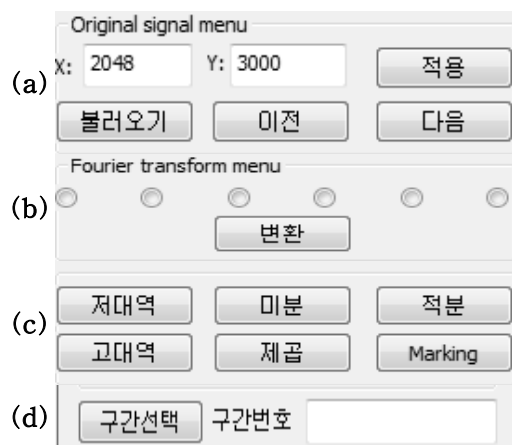


그림 7. 컨트롤 인터페이스
(a) Signal menu (b)FFT menu (c)Pre-process menu (d) Interval select menu

Fig. 7. Control interface

(a) Signal menu (b)FFT menu (c)Pre-process menu (d) Interval select menu

인터페이스는 시스템을 조정하는 컨트롤 인터페이스를 중심으로 전처리 결과 출력 인터페이스, FFT 결과 출력 인터페이스, 구간 탐색 결과 인터페이스가 존재한다. 그림 7은 시스템의 컨트롤 인터페이스다. 각부에 대한 설명은 아래와 같다.

표 1. 각 메뉴들의 기능
Table 1. The function of each menus

메뉴	기능
signal menu	파일에 저장된 신호를 불러오고 설정된 범위만큼 이동하며 신호를 출력.
FFT menu	각 전처리 과정별로 FFT를 적용하여 신호를 분석하는 것이 가능.
Pre-process menu	각 전처리를 수행.
Interval select menu	모든 전처리가 끝난 상태에서 구간의 번호를 입력하면 번호에 해당하는 구간이 확대되어 출력

파일은 심전도가 문자열의 형태로 저장되어 있는 포맷을 가지며 테스트를 위해 MIT/BIH 데이터베이스를 해당 포맷으로 변환하여 사용하였다.



그림 8. 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. 8. 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 8은 그림 7의 (c)를 통해 각각의 전처리를 수행한 결과가 인터페이스를 통해 출력된 것이다. 본 논문이 제안하는 시스템을 사용하면 R-R interval을 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 전처리의 과정을 직관적으로 확인 할 수 있는 장점이 있다.

그림 7의 (b)를 통해 원래의 신호 및 각 전처리

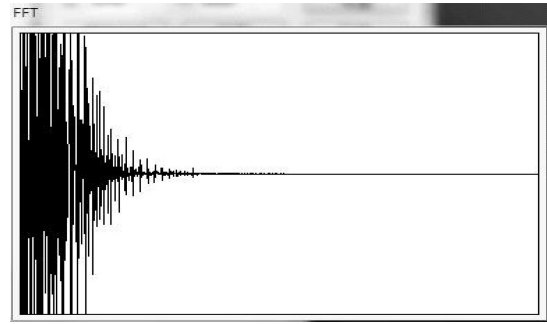


그림 9. FFT 출력 인터페이스
Fig. 9. FFT output interface

가 적용된 신호들의 푸리에 변환을 확인할 수 있다. 메뉴에 존재하는 라디오 버튼은 그림 8의 (a)~(g)에 부합하며 변환할 신호를 선택한 뒤 변환 버튼을 누르면 그림 9과 같이 FFT출력 인터페이스에 결과가 출력된다.

그림 10은 구간 선택의 결과이다. 그림 7의 (d)에서 구간번호를 입력하고 구간선택 버튼을 누르면, 각 R-peak사이에 존재하는 구간을 확대하여 볼 수 있다. 구간의 번호는 왼쪽부터 0번으로 설정된다.

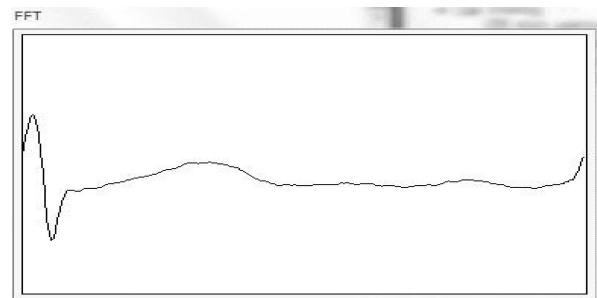


그림 10. R-R interval 출력 인터페이스
Fig. 10. R-R interval output interface

VI. 결 론

본 논문에서 제안하는 시스템을 이용하면 손쉽게 R-R interval을 확인 할 수 있을 뿐만 아니라 ECG 신호처리의 과정을 육안으로 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 의료관련 종사자 뿐 만아니라 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] 최재웅, 문찬일, 조용범, Marriott의 임상 심전도, 군자출판사, 서울, 2001.
 [2] J. Pan, W. Tompkins, "A real time QRS detection algorithm," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 32, No. 3, pp. 230-236, 1985.
 [3] 민철홍, 김태선, "심전도기반 u-Healthcare 시스템을

위한 과형추출 방법," 전자공학회논문지, 제46권, 제6호, pp. 18-26, 2009.
 [4] 안세종, 임창주, 김용권, 정성택, "심전도 신호에서 부정맥 환자의 R과 검출 알고리즘 연구," 한국산학기술학회논문지, 제12권, 제10호, pp. 4443-4449, 2011.
 [5] 정용주, 윤장혁, "실시간 ECG 모니터링 시스템을 위한 QRS 검출 알고리즘의 개발," 한국정보기술학회논문지, 제8권, 제5호, pp. 153-163, 2010.
 [6] 배정현, 임승주, 김정주, 박성태, 김정도, "ECG 신호에서 단위패턴간 유사도분석을 이용한 부정맥 분류 알고리즘," 정보처리학회논문지D, 제19-D권, 제1호, pp. 105-112, 2012.

Biography



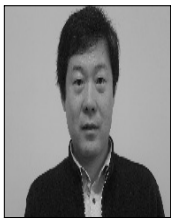
홍 성 호

2012년 단국대학교 컴퓨터과학과 졸업
 2012년~현재 단국대학교 전자전기공학(공학석사)
 <관심분야> 인공지능, 영상처리, 신호처리
 <e-mail> qoola@nate.com



이 명 석

2012년 단국대학교 컴퓨터과학과 졸업
 2012년~현재 단국대학교 전자전기공학(공학석사)
 <관심분야> 인공지능, 영상처리, 신호처리
 <e-mail> emangurdit@itfe.or.kr



지 용 석

1996년 홍익대학교 졸업
 2004년 삼성SDI PDP본부 연구원
 2008년 단국대학교 전자전기공학 (공학석사)
 2004년~현재 LG 전자 연구원
 2009년~현재 단국대학교 전자전기공학(공학박사)

<관심분야> 영상처리, LED
 <e-mail> yongseokc@chol.com



노 학 업

2001년 고려대학교 전기전자전파공학과 졸업
 2003년 고려대학교 메카트로닉스(공학석사)
 2005년~현재 지식경제부 기술표준원 연구사
 2009년~현재 단국대학교 전기전자공학과(공학박사)
 <관심분야> 멀티미디어응용, 3D, 가상현실

<e-mail> noh9286@kats.go.kr



김 영 섭

1984년 한양대학교 전자공학과 졸업
 1991년 남캘리포니아 대학 컴퓨터공학(공학석사)
 2001년 렌셀러 대학 전자공학(공학박사)
 2003년 삼성SDI PDP본부 연구원
 2003년~현재 단국대학교 부교수

<관심분야> 증강현실, 영상압축, 웨이블릿코딩
 <e-mail> wangcho@dankook.ac.kr