

심전도신호의 R-R 간격을 이용한 부정맥 구간 검출 알고리즘

김경호*, 이상운**, 김진영*

Detection Algorithm of Cardiac Arrhythmia in ECG Signal using R-R Interval

Kyung Ho Kim*, Sang Woon Lee**, Jin Young Kim*

요 약

심전도(electrocardiography, ECG)는 심장박동을 할 때, 발생하는 탈분극과 재분극으로 심장의 전위변화를 시간의 흐름에 따라 파형으로 표현한 것이다. 의료기관에서는 심전도신호를 이용하여 환자의 심장질환을 진단한다. 일반적으로 사람의 정상적인 심장박동수는 1분에 60-100회 이다. 만약 정상적인 심장박동 수보다 느리거나 빠르다면 부정맥이라고 한다. 본 논문에서는 심전도신호에서 R-peak를 검출하여, R-R 간격을 구하고 부정맥 중에 서맥(bradycardia)과 빈맥(tachycardia) 구간을 검출하는 알고리즘을 제안하고 모의실험을 하였다.

Key Words : electrocardiography(ECG), cardiac arrhythmia, R-R interval, bradycardia, tachycardia

ABSTRACT

Electrocardiogram (ECG) is a diagnostic test which records the electrical activity of the heart, shows abnormal rhythms and detects heart muscle damages. With this ECG signal, medical centers diagnose patients' heart disease symptoms. A normal resting heart rate for adults ranges from 60 to 100 beats a minute. An irregular heartbeat is called "arrhythmia", and arrhythmia is also called "cardiac dysrhythmia". In an arrhythmia, the heartbeat maybe too slow(slower than 60beats), too rapid(faster than 100beats), too irregular, etc. Among these symptoms of arrhythmia, if the heart beat is slower than the normal range, the symptom is called "bradycardia", and if it is faster than the range, it is called "tachycardia" In this letters, we proposed the detection algorithm of cardiac arrhythmia in ECG signal using R-R interval through the detection of R-peak.

I. 서 론

전 세계적으로 심장질환으로 인한 사망자 수가 증가하고 있고, 사망원인의 높은 비중을 차지한다. 국내에서는 사망원인 중 심장질환이 차지하는 비율이 두 번째로 높았다. 특히 심장질환은 10년 전에 비해 사망원인 순위가 3위에서 2위로 상승했다[1]. 심장질환은 건강에 치명적인 악영향을 미치지 만, 정기적인 건강검진 등을 통해 조기 진단이 가능하여 사망률을 낮출 수 있다. 임상에서 심장질환을 조기에 진단하는 검사방법 중에 가장 많이 사용되는 진단법은 심전도(electrocardiography, ECG)를 이용한 진단법으로 부정맥과 심장관상동맥질환을 진단하는데 많이 사용되고 있다. 심장질환을 진단하는 컴퓨터 단층촬영(computed tomography,

CT), 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI), 심장초음파(echocardiography) 등의 검사법과 비교하여, 심전도검사는 간단하고 가격이 저렴하며, 심장질환자들의 경과를 관찰하는데 유용한 장점이 있다.

심장질환 중에 심장박동이 불규칙하거나 비정상적으로 느리거나 빠를 경우 부정맥(arrhythmia)이라 한다. 일반적으로 사람의 정상적인 심장박동 수는 1분에 60-100회인데, 이보다 느리면 서맥(bradycardia)라 하고, 빠르면 빈맥(tachycardia)이라 한다. 부정맥은 심장에서 전기적 자극을 생성하는 자극생성조직과 전기적 자극을 심근세포에 전달해주는 자극전도조직에 문제가 생겨 심장의 수축 및 이완운동이 규칙적으로 이루어지지 못해 발생한다[2]. 이러한 문제가 발생하는 원인으로는 선천적인 원인과 후천적인 원인이 있

“이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0029329).”

* 광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 통신 연구실 (gentle@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr)

** 남서울대학교 멀티미디어학과 (Quattro@nsu.ac.kr)

접수일자 : 2014년 2월 10일, 수정완료일자 : 2014년 2월 28일, 최종게재확정일자 : 2014년 3월 3일

으며, 후천적인 원인으로는 술, 담배, 카페인 등이 있다. 부정맥의 증상으로는 가슴 두근거림, 어지러움, 가슴통증, 실신, 돌연사 등이 있다.

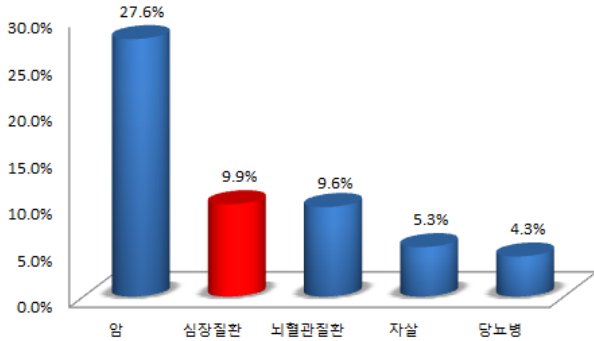


그림 1. 2012년 국내 상위 사망원인 (자료: 통계청)

표 1. 2012년 국내 사망원인 순위 (자료: 통계청)

순위	사망원인	구성비(%)
1	악성신생물(암)	27.6
2	심장질환	9.9
3	뇌혈관질환	9.6
4	고의적자해(자살)	5.3
5	당뇨병	4.3
6	폐렴	3.9
7	만성하기도질환	2.9
8	간질환	2.5
9	운수사고	2.4
10	고혈압성질환	2.0

이러한 부정맥을 진단하는 방법으로 가장 많이 사용되는 것이 심전도검사이다. 심전도는 심장의 전기적 활동을 파형으로 나타낸 것이다. 부정맥을 진단하기 위해서는 환자의 심전도신호 파형을 분석하여, 부정맥이 발생하는 구간을 찾아야 한다. 부정맥은 때 순간 발생하는 경우도 있지만, 그렇지 않은 경우도 있어, 부정맥을 정확하게 진단하기 위해서는 적어도 하루는 지속적으로 심전도를 검사해야 한다[3]. 일반적으로 사람의 심장박동 수는 하루에 10만회 정도이다. 부정맥 진단을 위해 의사들이 24시간 심전도검사의 결과를 분석할 때, 정상적인 구간은 무의미한 정보이지만, 직접 확인을 해야 한다. 그렇기 때문에 부정맥을 진단할 때, 시간 및 인적 낭비가 심하다.

본 논문에서는 심전도신호에서 심전도신호의 특징인 R-peak를 검출하여 R-R 간격의 길이를 구해, 부정맥 중 빈맥과 서맥을 검출하는 알고리즘을 제안하고 모의실험을 하였다. II장에서는 심전도 신호에서 R-peak를 검출하는 방법, III장에서는 본 논문에서 제안하는 부정맥 구간 검출 알고리

즘, IV장에서는 제안한 알고리즘의 모의실험 결과, 마지막으로 V장에서는 결론을 내리며 끝을 맺는다.

II. 심전도신호의 R-peak 검출 방법

1. 심전도신호의 특징

그림 2는 정상적인 심장박동을 나타낸 심전도신호의 파형이다. P파는 동방결절에서 발생한 전기적 자극이 심방으로 퍼져 심방의 탈분극이 일어나면서 수축할 때 나타난다. QRS 파는 방실결절에 도달한 전기적 자극이 심실로 전달되어 심실이 수축할 때 나타난다. T파는 심실수축 후의 회복기를 나타낸다. 따라서 심장이 정상적으로 수축과 이완운동을 할 때, 그림 2와 같은 심전도신호가 주기적으로 반복되어 나타난다. 그렇기 때문에 R-R 간격은 심장박동의 한 주기라 할 수 있다[4].

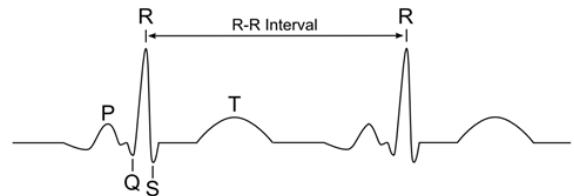


그림 2. 심전도신호의 파형

표 2. 심전도신호의 파형 특징

파형	심장활동상태	소요시간(초)
P파	심방탈분극	0.05-0.12
QRS파	심실탈분극	0.06-0.12
T파	심실재분극	0.10-0.25

2. 심전도신호의 R-peak 검출 방법

심전도신호의 R-peak를 검출하는 방법으로는 심전도신호의 경사를 구하여 R-peak를 검출하는 Pan-Tompkins 알고리즘 방식이 있다[5]. 그림 3은 Pan-Tompkins 알고리즘을 이용해 R-peak를 검출하는 방법을 나타낸 것이다. 대역통과필터를 통해 심전도신호의 잡음을 제거하고, 잡음이 제거된 심전도신호의 QRS파의 경사정보를 측정하고, 모든 경사정보를 제공하여 고주파 성분을 강조하고, 파형의 성분정보를 추출하고, 이를 통해 임계값을 설정하고 임계값을 통해 심전도신호의 QRS파의 신호성분을 검출한다[6].

대역통과필터는 저역통과필터와 고역통과필터가 순차적으로 구성되어 있으며, 심전도신호의 저주파대역 및 고주파대역의 잡음을 제거하는 역할을 한다. 식 1과 식 2는 저역통과필터와 고역통과필터를 Z-변환을 통해 수식적으로 나타낸 것이다.

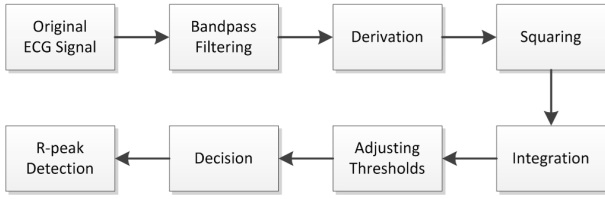


그림 3. 심전도신호의 R-peak 검출 알고리즘

$$H(Z) = \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{(1 - Z^{-6})^2}{(1 - Z^{-1})^2} \quad (1)$$

$$H(Z) = \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{(-1 + 32Z^{-16} + Z^{-32})}{(1 - Z^{-1})} \quad (2)$$

위 식 1과 식 2에서 $H(Z)$ 는 필터이고, $X(Z)$ 는 필터링 전의 심전도신호, $Y(Z)$ 는 필터링 후의 심전도신호이다. 대역통과필터는 심전도신호의 정확한 검출을 위하여 필수적이다. 식 1과 식 2로부터 잡음이 제거된 심전도신호의 QRS파의 경사정보를 얻을 수 있다. QRS파의 경사정보는 Q파와 S파의 음수의 정보도 포함하고 있어, 이를 양수화하기 위해 식 3과 같이 제곱연산을 한다.

$$Y = (X)^2 \quad (3)$$

식 3에서는 X 는 제곱연산 전의 심전도신호이고, Y 는 제곱연산 후의 심전도신호이다. 식 3을 통해 심전도신호의 QRS파의 경사정보가 제곱연산이 되어 고주파성분이 강조되고, 다음 단계에 사용할 적분기에 적합한 파형으로 변환된다. 적분기는 식 4와 같이 표현할 수 있다.

$$H(Z) = \frac{Y(Z)}{X(Z)} = \frac{1}{N} [Z^{N-1} + Z^{N-2} + \dots + Z + 1] \quad (4)$$

식 4에서 $X(Z)$ 는 식 3에서 제공된 심전도신호, $Y(Z)$ 는 적분된 심전도신호이고, N 은 적분구간 대역의 샘플수이다. 적분구간 대역이 너무 넓으면 적분된 파형은 QRS파와 T파가 합쳐진 파형이 될 것이고, 적분구간 대역이 너무 좁으면 QRS파는 한 개가 아닌 여러 개의 최고점을 갖는 파형이 될 것이다. 따라서 N 의 값을 결정하는 것이 매우 중요하며, N 은 가장 큰 QRS파의 구간 대역과 거의 비슷하게 결정해야 한다. 임계값은 식 4의 Y 의 최대값과 평균값을 이용하여 결정하며, 이를 통해 심전도신호의 R-peak를 검출할 수 있다.

III. 부정맥 구간 알고리즘

그림 4는 본 논문에서 제안하는 심전도 신호의 R-R peak를 이용한 부정맥 구간 검출 알고리즘의 전체 시스템 구조도

이다. 먼저 전처리 과정에서는 II장에서 설명한 R-peak 검출 방법을 사용해 심전도신호의 R-peak를 검출한다. 그리고 점선으로 표시한 부분이 본 논문에서 제안하는 심전도신호에서 부정맥 구간을 검출하는 과정이다.

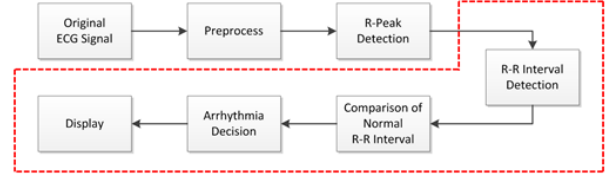


그림 4. 심전도신호의 부정맥 구간 검출 시스템 전체 구조도

심전도신호의 R-R 간격은 식 5와 같이 나타낼 수 있다.

$$RR(i) = t(R_i) - t(R_{i-1}), \quad i = 1, 2, \dots \quad (5)$$

식 5에서 $RR(i)$ 는 i 번째 R-R 간격을 나타내며, 단위는 초(sec)이다. R_i 는 i 번째 R-peak를 뜻하며, t 는 시간함수이다. $t(R_i)$ 는 i 번째 R-peak의 시간을 나타내며, 단위는 초이다.

그림 5는 본 논문에서 제안하는 부정맥 구간 검출 알고리즘이다. 일반적으로 사람의 정상적인 심장박동은 1분에 60-100회이다. 심장박동이 100BPM(beats per minute)보다 빠르면 빈맥이라 하고, 60BPM보다 느리면 서맥이라고 한다. 이 알고리즘은 심전도신호의 R-peak를 검출하여, R-R 간격을 계산하고, R-R 간격이 1초보다 크면 서맥구간, 0.6초보다 작으면 빈맥구간, 그 이외에는 정상구간으로 검출한다. 임계값을 위와 같이 정한 이유는 심장박동이 60BPM일 때, R-R 간격은 1초이고, 100BPM일 때, R-R 간격은 0.6초이기 때문이다.

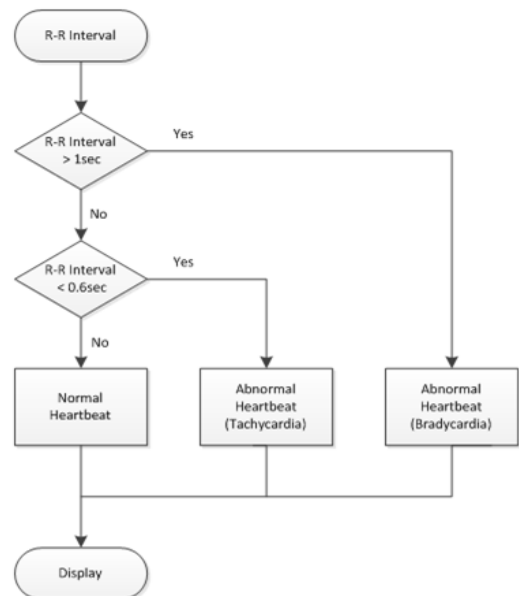


그림 5. 부정맥 구간 검출 알고리즘

IV. 모의실험 결과

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 부정맥검출 알고리즘을 MATLAB을 이용해 모의실험한 결과를 보여준다. 실험에 사용된 심전도신호들은 MIT-BIH 데이터베이스에서 제공하는 48개의 심전도측정 데이터를 사용했다[7]. 심전도신호의 R-peak를 검출하는 방식은 Pan-Tompkins 알고리즘을 사용했고, 부정맥 구간의 확인은 그래프에서 붉은 실선으로 정상구간은 0, 부정맥 구간은 1로 확인할 수 있도록 했다. 그림 6은 심전도신호의 정상 구간을 검출한 결과를 보여주며 붉은 실선이 0을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 정상적인 심장박동보다 느린 서맥 구간을 검출한 결과를 보여주고 있으며 서맥 구간은 붉은 실선으로 1을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 정상적인 심장박동보다 빠른 빈맥 구간을 검출한 결과를 보여주고 있으며 빈맥 구간은 붉은 실선으로 1을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다.

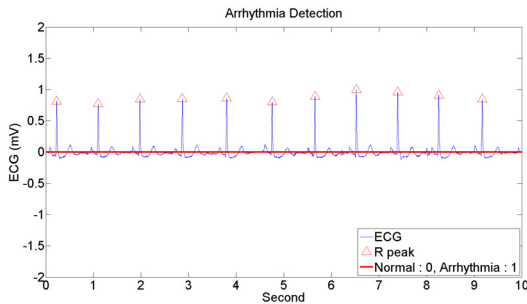


그림 6. 정상 구간 검출 결과

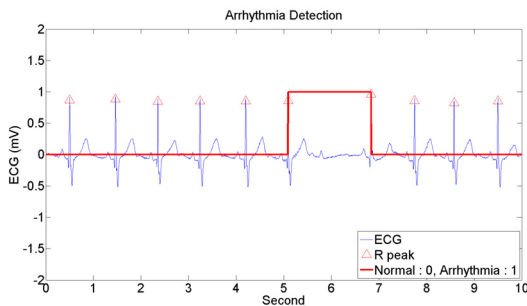


그림 7. 서맥 구간 검출 결과

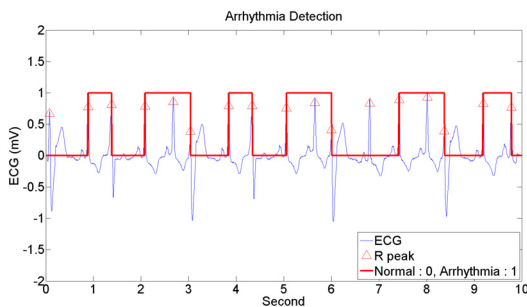


그림 8. 빈맥 구간 검출 결과

V. 결론

본 논문에서는 심전도신호의 R-peak를 검출하여 R-R 간격을 구하여 부정맥 구간을 검출하는 알고리즘을 제안하고 모의실험을 했다. 실험 결과 심전도신호에서 정상 구간, 서맥 구간, 빈맥 구간을 분류하여 검출하는 것을 확인할 수 있었다. 이 알고리즘은 심전도 진단 의료기기나 유헬스기기 등에 적용할 수 있으며, 기존의 심전도검사에서 불필요하게 낭비된 시간 및 인적 비용을 줄일 수 있다. 심장질환의 경우 조기 진단이 중요하기 때문에, 신속한 판단이 요구된다. 따라서 제안된 알고리즘은 심장질환의 진단시간을 줄일 수 있는데 도움이 될 것이다. 본 논문에서는 심전도신호에서 부정맥 중에 빈맥과 서맥을 분류하는 알고리즘을 제안하였지만, 이후에는 심전도신호의 특징을 분석하여 빈맥, 서맥 이외의 부정맥 뿐만 아니라 기타 심장질환의 진단에 필요한 정보를 검출하는 방법에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 2012년 사망원인통계, 통계청, pp.6-9, Sep. 2013.
- [2] J. Behar, J. Oster, Q. Li, and G. D. Clifford, "ECG signal quality during arrhythmia and its application to false alarm reduction," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. 60, no. 6, pp. 1660-1666, June 2013.
- [3] S. M. S. Jalaleddine, C. G. Hutchens, R. D. Strattan, and W. A. Coberly, "ECG data compression techniques - a unified approach," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. 37, no. 4, pp. 329-343, Apr. 1990.
- [4] C. Ye, B. V. K. V. Kumar, and M. T. Coimbra, "Heartbeat classification using morphological and dynamic features of ECG signals," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. 59, no. 10, pp. 2930-2941, Oct. 2012.
- [5] J. Pan and W. J. Tompkins, "A real-time QRS detection algorithm," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. BME-32, no. 3, pp. 230-236, Mar. 1985.
- [6] P. S. Hamilton and W. J. Tompkins, "Quantitative investigation of QRS detection rules using the MIT/BIH arrhythmia database," IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. BME-33, no. 12, pp. 1157-1165, Dec. 1986.
- [7] The MIT-BIH Arrhythmia Database May 1997 [Online]. Available: <http://physionet.ph.biu.ac.il/physiobank/database/mitdb/>

저자

김 경 호(Kyung Ho Kim)

준회원



- 2013년 2월 : 광운대학교 전자공학과 학사졸업
- 2013년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 석박사통합과정

<관심분야> : WBAN, 가시광 통신, 디지털통신, 5G 이동통신

이 상 운(Sang Woon Lee)

종신회원



- 1987년 2월 : 연세대학교 전기공학과 학사졸업
- 1989년 2월 : 연세대학교 전기공학과 석사졸업
- 2005년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 박사졸업

- 1991년~2005년 : MBC 기술연구소 팀장
- 2005년~2009년 : 연세대학교 차세대방송기술연구소 연구교수
- 2009년~현재 : 남서울대학교 멀티미디어학과 교수

<관심분야> : 가시광 통신, 협력통신, 인지무선통신

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크연구소 책임연구원
- 2001년 3월~현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 4G 이동통신