

심전도 신호의 P파 검출 알고리즘에 관한 연구

정 의교, 김 광근, 황 선철, 이 영호
연세대학교 전기공학부

A New Algorithm for P-wave Detection in the ECG signal

Hee-Kyo Joeng, Kwang-Kyun Kim, Sun-chul Hwang, Myoung-Ho Lee
Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract

This paper presents a new algorithm for P-wave detection in the ECG signal. We detect the peak and valley point using significant point extraction algorithm with 9-point derivative.

Because P-wave duration is changed according to heart-rates, we search for the R-peak and calculate the R-R interval time prior to the determination of P-wave duration threshold values in order to actively adapt to the change of P duration. We determine the parameters for P-wave detection and then P-peak, P-onset and P-offset are detected by these parameters.

The results obtained from the proposed algorithm have detected successively P-wave almost more than 90%.

1. 서론

심장의 전기적 활동을 나타내는 심전도는 심장의 상태나 심장질환을 알아보기 위한 중요한 척도로 쓰인다. 최근 컴퓨터를 이용하여 이러한 심장의 상태를 진단하는 심전도 자동 진단 시스템에 관한 연구가 활발히 시도되고 있다. 심전도 자동 진단 시스템의 변수는 주로 심전도의 R-R간격과 QRS폭과 morphology가 이용되고 있으나, 이러한 매개변수에만 의존할 경우 심방의 이상상태, 즉 P파에 이상이 발생한 경우에 대해서는 거의 진단할 수 없기 때문에 정확하게 P파를 검출하는 것은 매우 중요하다. 그러나 P파의 검출은 ECG를 처리하는데 있어 가장 어려운 문제이며 이는 크기와 근원이 변하고 다른 신호에 가려져 잘 정의되지 않는 신호를 찾는 문제이기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 불규칙하게 발생하는 P-파를 찾기 위한 새로운 알고리즘을 제안하고자 한다. 9-point derivative로부터 특성점(significant point)을 추출한후 각 특성점의 기울기 변화로부터 peak와 valley점을 찾고 이 점에서 기울기의 변화, 진폭 및 파형의 폭을 문턱값(threshold values)과 비교하여 불규칙하게 나타나는 P-파를 일반적으로 검출하고자 한다. 문턱값중 지속시간은 심박수에 따라 변화하기 때문에 먼저 R-파를 검출한후, 일정시간 R-R 구간의 평균을 구한다음 P파의 지속시간을 검정하여 이것을 최종 P파 지속시간의 문턱값으로 한다.

2. 검출 파라미터의 설정

2.1 특성점의 검출

9-point derivative를 이용하여 특성점을 검출하기 위하여 9-point derivative를 적용하는 식(1)에 따라 함수 $F(n)$ 값의 변화를 추적하여 수평축을 통과하면서 단조증가 혹은 감소하는 점의 값과 $F(n)$ 값이 급격히 변화하는 부분의 값을 특성점으로 정하여 특성점 list를 작성한다.

$$F(n) = [-4X(x-n) - 3X(n-3) - 2X(n-2) - X(n-1) + X(n+1) + X(n+2) + 3X(n+3) + 4X(n+4)] \text{ ----- (1)}$$

여기서 $X(n)$ 은 입력 ECG신호

2.2 문턱값의 설정

P파의 지속시간은 심박수에 따라 변화하기 때문에 특성점의 각 점에서 peak와 valley가 얻어지면 이 peak를 중심으로 하여 R-파를 검출하고, R-R 간격의 평균으로부터 P파의

지속시간을 적절하게 결정한후, peak 좌우에 valley가 나타날때까지 peak주위의 특성점에 대하여 기울기, 진폭 및 지속시간 기준을 적용하여 P파를 검출한다.

특성점에서 peak와 valley의 발생조건은 다음과 같다.
만약 기울기 $S(i) > 0, S(i+1) < 0$ 면 이 점 i는 peak이며
만약 기울기 $S(i) < 0, S(i+1) > 0$ 면 이 점 i는 valley이다.

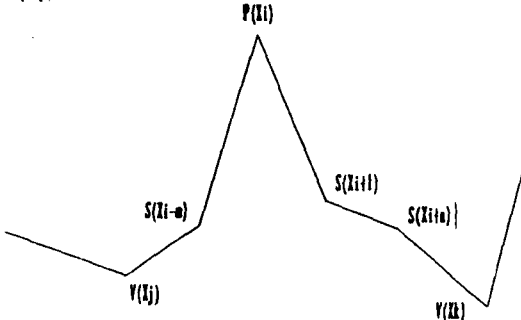


그림1. 특성점 추출 알고리즘으로부터 추출된 특성점 (그림에서 P는 peak점, S는 특성점, V는 valley를 각각 표시)

그림1에서 peak의 특성점을 i라하면 이때의 peak 값은 $P(x_i)$, i의 좌우에 나타나는 valley의 위치를 각각 j, k라 하면 이때의 valley값은 $V(x_j), V(x_k)$ 로 각각 나타낼 수 있다.

진폭 $A(i) = \max \{ [P(x_i) - S(x_{i-m})], [P(x_i) - S(x_{i+n})] \}$

기울기 $S(i) = [P(x_i) - S(x_{i-m})] / (x_i - x_{i-m})$

기울기 $S(i) = [S(x_{i+n}) - P(x_i)] / (x_{i+n} - x_i)$

지속시간 $D(i) = |x_{i-m} - x_{i+n}|$

여기서 $n=1, 2, \dots, m=1, 2, \dots$ 이며

$i+n \leq k, i-m \geq j$ 이다.

P파검출을 위하여 사용된 문턱값은 표1과 같다.

표1. P파 검출을 위하여 사용된 문턱값

(Sampling rate: 200_HZ, 8 bit A/D 변환)

심박수 변수	정상±10% (60-100회)	90% 이하 (60회 이하)	110% 이상 (100회 이상)
지속시간	75-125(ms)	85-150(ms)	50-110(ms)
진폭	80-250(mV)	80-250(mV)	80-250(mV)
기울기	S>2, S<-2	S>2, S<-2	S>2, S<-2

3. P파 검출 알고리즘

9-point derivative를 이용한 특성점 추출 알고리즘으로부터 추출된 특성점사이의 기울기를 구하고, 이 기울기의 변화로부터 peak점과 valley점을 추출한다. 이 peak점으로부터 좌우의 valley점까지 특성점에 대하여 순방향 탐색과, 역방향 탐색을 동시에 수행하여 문턱값을 만족하는 R파를 구하고, R-R간격의 평균을 구하여, P파의 문턱값을 적절하게 결정한후, R파를 검출하는 것과 같은 방법으로 P파 검출 알고리즘을 적용하여 문턱값을 만족하면 역방향일때의 특성점을 onset point로 하고, 순방향때의 특성점을 offset Point로 한다.

P파 검출 알고리즘의 수행 순서는 다음과 같다.

- (1) 9-point derivative를 이용한 특성점 추출 알고리즘에서 특성점 집합을 만든다.
- (2) 인접된 두개의 특성점의 기울기를 구하여 peak와 valley를 발생순서에 따라 list를 만든다.
- (3) List에서 R파를 검출하여 심박수를 구하고 이에 따라 P파 지속시간의 문턱값을 결정한다
- (4) R-R 간격의 평균을 구하기 위하여 사용된 다음 peak를 뽑아내어 peak에서 특성점을 따라 순방향과 역방향으로 탐색하여 각각 valley가 나타날 때까지 P파의 검출 매개변수, 즉 진폭, 지속시간 및 기울기의 변화율 구한다.
- (5) 문턱값을 만족하는 값이 나타나면 P파가 검출된 것으로 하고 list에서 다음 peak를 추출하여 peak가 없을때까지 계속한다.

4. 실험 및 고찰

4.1 입력 데이터.

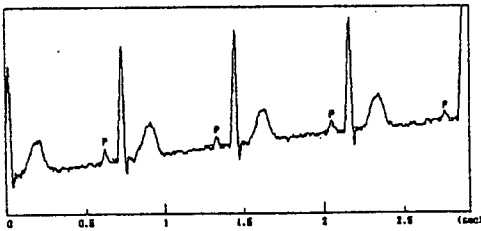
본 제안 알고리즘의 정확도와 타당성을 판정하기 위하여 KONTRON994 ECG simulator에서 얻은 데이터로 실험하였다. 시뮬레이터에서 나온 여러 경우의 파형을 200Hz로 샘플링하는 8-Bit A/D 변환기를 이용하여 디지털 데이터를 구성하여 이용하였으며, 임상적 실험을 위하여 이상이 있는 환자 50명의 심전도 데이터를 본 논문에서 사용한 A/D변환기를 이용하여 file로 저장한후 사용하였다.

4.2 성능 평가

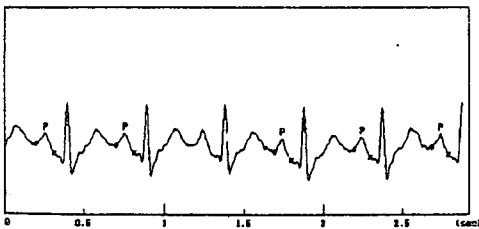
본 알고리즘을 사용하여 실험한 결과는 그림2와 같다. 그림2(a), (b), (c)는 정상 P파(baseline wandering이 있는 경우), Tachycardia, C_Block 인 경우의 P파 검출의 예이며, 표2는 입력 ECG신호로부터 P파를 검출한 확률을 나타내고있다. 실험결과 baseline wandering이나 기타 잡음이 있는 경우에도 정확하게 P파를 검출 하였을 뿐만 아니라 심박수에 따라 적절하게 P파의 문턱값을 변화시켰기 때문에 P파가 R파나 T파에 혼입된 경우와 biphasic인 경우를 제외하고 거의 모든 경우에 걸쳐 대체로 정확하게 검출하였다.

표2. 병명에 따른 P파 검출의 정확도

병명	검출의 정확도(%)
정상	98%(49/50)
Tachycardia	92%(46/50)
C_Block	96%(49/50)



(a) 정상(baseline wandering이 있는 경우)



(b) Tachycardia

그림2. P파 검출의 예

(그림에서 'P'는 P파의 피크, 'o'는 P파의 onset 점, 'x'는 P파의 offset점을 각각 표시)



(c) C_Block

5. 결론

본 알고리즘에서는 특히 R-R 간격의 변화에 따라 P파 검출을 위한 매개변수를 변화시켰기 때문에 기존의 알고리즘으로 검출하기 어려웠던 다중 P파를 정확하게 검출할 수 있었다. 또한 제시된 알고리즘은 상대적으로 빈번하고 안정되지 않은 arrhythmia를 가진 환자의 ECG 기록에서 훨씬 잘 적용하였으며 비정상 ECG, 특히 심방의 비정상 상태를 자동진단하는데 도움이 될것이라고 기대한다.

알고리즘에서의 false 발생은 주로 비정상적인 P파의 지속 시간에 기인하고있기 때문에 심박수에 따른 P파 지속시간의 변화에 대한 보다 많은 연구가 필요하리라 생각한다. 현재 알고리즘에 대한 광범위한 평가가 수행되고 있다.

6. 참고문헌

1. Ho Soo LEE, N.V.Thakor, "ECG Waveform Analysis by Significant Point Extraction", Computer and Biomedical Research, Vol.20, pp410-427, 1987.
2. F.Gritzali, G.Papakontantinos, "Detection of P and T Waves in an ECG", Computer and Biomedical Research, Vol.22, pp83-91, 1989.
3. Surya R.Dumpala, Sushil K.Sarna, "An Algorithm for the Detection of Peaks in Biomedical Signals", Computer Programs in Biomedicine, Vol.14, pp249-256, 1982.

4. Pavlidis, S.L. Horowitz, "Segmentation of Plane Curves", IEEE Trans. on Computers, Vol. C-23, August 1974.
5. R. J. Marshall, "The Detection of Peaks in Biological Waveform", Computers and Biomedical Research 19, pp. 319-329, 1986.
6. P. V. Sankar, "Note: A Parallel Procedure for the Detection of Dominant Points on a Digital Curve", Computer Graphics and Image Processing 7, pp. 403-412, 1978.
7. A. Rosenfeld, "Angle Detectin on Digital Curve", IEEE Trans. on Computers, Sep. 1973.
8. A. Rosenfeld, "An Improved Method of Angle Detectin on Digital Curve", IEEE Trans. on Computers, Sep. 1975.
9. 황 선철, 이 명호, "P파 검출에 의한 부정맥 진단 알고리즘에 관한 연구", 연세대학교 전기공학과 석사학위 논문, 1988
10. Myoung-Ho Lee, Yong-Man Kim, and Ho-young Shin, "Design of a Microcomputer-Based Arrhythmia Detection", Journal of KIEE, Vol. 1, No. 1, March 1988.
11. K. P. Birman, "Rule-Based Learning for More Accurate ECG Analysis", IEEE Trans. on July, 1982.
12. J. L. Willems, P. Araud, "Establishment of a Reference Library for Evaluating Computer ECG Measurement Program", Computer and Biomedical Research 18, pp. 439-457 1985.
13. L. Sornmo, "A Method for Evaluation of QRS Shape Feature Using a Mathematical Model for the ECG", IEEE Trans. on BME, Vol. BME-28, No. 10, Oct. 1981.
14. T. Pavlidis, "Waveform Segmentation through Functional Approximation", IEEE Trans. on Computers, Vol. C-22, No. 7, July 1973.
15. S. Shibata, "A P-wave Detector", Optimization of Computer ECG Processing, pp. 165-166, 1980.