

특성점 추출에 의한
P파 검출 알고리즘에 관한 연구

황 선철, 정 희교, 이 명호
연세대학교 전기공학과

P-wave Detection Algorithm by
Significant Point Extraction Method

Sun-Chul Hwang, Hee-Kyo Jeong, Myoung-Ho Lee

Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

ABSTRACT

This paper describes an algorithm of P-wave detection by significant point extraction method with digital differentiation. P-waves are detected by pattern matching algorithm with significant points. By means of detecting onset and offset points of P-waves, this algorithm can measure the PR intervals exactly, which is important to diagnosis the atrial arrhythmia.

Because P-wave duration is changed according to heart-rates, we calculate the R-R interval prior to the determination of P-wave duration threshold values in order to actively adapt to the change of P duration

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

따라서 본 논문에서는 패턴해석 방법을 이용하여 P파를 검출하고자 한다. 패턴해석 시스템은 입력된 ECG신호를 관련된 사전지식의 형태에 따라 신호의 샘플로 분류한 다음 입력신호 패턴의 Class를 결정하는 것이다. 이때 파형의 특성을 더욱 명확하고 적은 기억용량으로 왜곡없이 처리할 수 있도록 하는 방법은 신호의 패턴을 분석하여 특성점을 추출하는 것이다. 특성점 추출에는 곡률을 이용하여 추출하는 방법이 진행되고 있다 [4]. 그러나 곡률을 이용하는 방법은 신호가 완벽한 전처리를 통해 잡음이 없어야하고 곡률이 비교적 작은 P파에는 적용하기가 힘든 문제가 있다

따라서 본 논문에서는 ECG파형의 특성점을 ECG신호의 미분을 이용한 Zero-crossing 방법으로 추출하여 각 파의 onset, offset점 및 peak점과 변곡점을 정하고 이점들을 기준으로 P파의 템플레이트와 패턴 매칭을 하여 P파를 결정하고자 한다.

1. 서 론

심전도의 기계적 해석이 가능해지면서 컴퓨터 자동진단 알고리즘의 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 QRS파 검출에 의한 심실성 부정맥 진단은 높은 수준에 이르고 있다. 그러나 심방성 부정맥 진단은 P파 검출의 어려움 때문에 여러 난제를 안고 있다. 최근 P파 검출 알고리즘이 발표되고 있으나 대개 기술기의 형태와 폭을 기준으로 비교하거나 대역통과 필터(3-11 Hz)를 통과하는 방법이었다. 그러나 P파는 잡음이 혼입되기 쉽고 필터링할 경우 ONSET 및 OFFSET 점을 정할수 없는 단점이 있다 [2,3].

2. 특성점 추출 및 신호의 매칭

2.1 특성점의 추출

특성점을 추출하기 위한 전단계로 미분 차동방정식을 이용하여 심전도 신호를 미분한다. Zero-crossing 방법을 이용하여 특성점을 추출하는데 이 미분파형이 영을 통과하는 점의 양쪽 부호가 다르면 그점은 극대점이고 양쪽 점중 하나가 영이면 ONSET 또는 OFFSET 점이 된다. 이렇게 구한 후보 특성점의 집합중에서 문턱값을 주고 비교하여 최종적인 특성점을 추출한다. 미분에 사용된 차동방정식은 다음과 같으며 이 식은 고주파 잡음을 매우 효과적으로 제거하

는 특성을 가지고 있다[5].

$$Y(n) = [-4X(n-4) - 3X(n-3) - 2X(n-2) - X(n-1) + X(n+1) + 2X(n+2) + 3X(n+3) + 4X(n+4)] / 60 \quad \text{-----(1)}$$

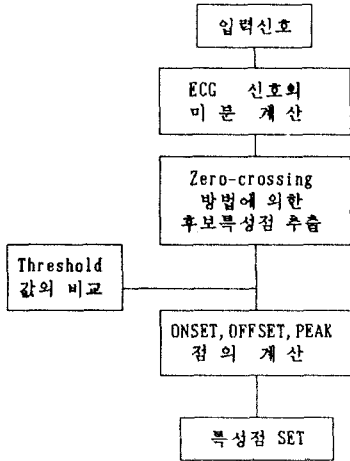


그림 1. 특성점 추출 블록선도

2.2 P파 템플레이트 구성

1단계 Threshold와 비교하여 제거한 특성점들은 그 폭이 매우 작아 잡음이라고 판단되는 파들이었다. 그래서 다음 단계로 특성점 집합들이 P파인가를 판별하기 위하여 P파 템플레이트를 구성한다. 정상 P파는 단조증가 1회와 단조 감소 1회가 존재하므로 특성점은 3개이고 형태도 u-d 이 된다. 또한 폭도 0.11초를 넘지못하며 높이는 3mV 이하여야 한다. 각 사항들은 중요성에 따라 Weight를 주었으며 다음표에 나타내었다.

표 1. 각 형태와 Weight

형 태	Weight
P-type : u-d	6
P-duration : < 0.11sec	6
P-amplitude : < 0.3 mV	3
Significant : 3 point number	3

2.3 신호의 매칭

특성점을 이용하여 구한 Feature는 서로 관련된 몇개의 특성을 가질 수 있기 때문에 이들 관계를 이용하여 Relational Spectrum을 구한다. Feature의 관계는 Prototype과 이에 대응하는 입력신호 후보의 매칭 여부를 구하기 위하여 Correlation을 이용한 Scoring Function을 사용한다. Prototype Spectrum은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$Rs [Wi, P(Wi), wti] = \{ p(Wi_d), d, wti, d, rk \}$$

여기서 Wi : feature - identification

P(Wi): feature의 성질

wti : weighting

rk : feature의 관계 (Wi와 Witd의 관계)

Prototype과 신호후보와의 신호 Compability를 조사하기 위한 Scoring Function은 다음과 같이 나타낸다.

$$SCs = \frac{1}{Nw} \sum_{i=1}^{Nw} \{ \max_u (RS[Wi] * RS[Ci+tu]) \}$$

여기서 u : $\left| \begin{array}{l} \text{신호후보의} \\ \text{feature 수} \end{array} \right. - \left. \begin{array}{l} \text{Prototype} \\ \text{feature 수} \end{array} \right|$

Nw : Prototype Feature 수

s : Time Shift

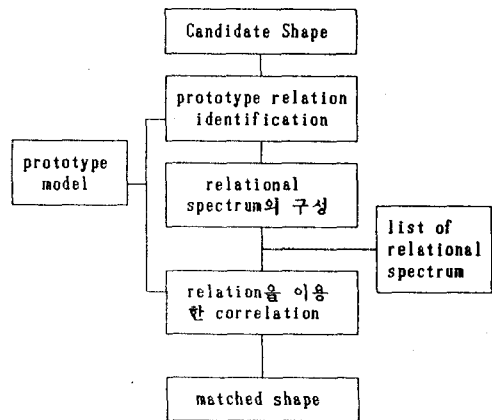


그림 2. relation을 이용한 matching 과정의 블록선도

3. P파 검출 알고리즘

심전도 신호는 매개변수를 갖는 신호로 모델링할 수 있으며 이때의 매개변수는 R-R 간격(심박변화율)이나 QRS의 진폭등으로 고려할 수 있다. 모델링된 심전도 신호에서 심박변화율의 특성을 추출한다. 심박변화율의 특성을 추출하는 것은 심박을 제어의 요소에 관련된 생리현상을 이해하는 것 뿐만 아니라 이에 영향을 줄지도 모르는 병리현상까지도 파악해낼 수 있을 뿐만 아니라 심전도 자동진단의 중요한 요소가 되기 때문이다. 심박변화율에 따른 P파의 지속시간의 변화를 표 2 에 나타내었다.

표 2. 심박변화율에 따른 P파의 지속시간

심박수 변수	정상±10% (60-100회)	90% 이하 (60회이상)	110% 이상 (100회이상)
지속시간	75-125(ms)	85-150(ms)	50-110(ms)
진폭	80-250(mV)	80-250(mV)	80-250(mV)

P파 검출 알고리즘의 수행순서는 다음과 같다.

- (1) 차동방정식과 Zero-crossing을 이용한 특성점 추출 알고리즘에서 특성점 집합을 만든다.
- (2) Threshold로 잡음으로 인정되는 특성점을 제거한다.
- (3) 특성점을 이용하여 R파를 검출하여 심박수에 따른 P파의 폭과 크기를 결정한다.
- (4) 벡터라이브를 구성하고 feature와 특성점의 관계를 이용하여 relational spectrum을 구한 후 correlation을 이용한 scoring function을 이용하여 P파와의 매칭 여부를 구한다.

4. 실험 및 고찰

4.1 실험 데이터

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 ECG 신호의 시뮬레이터로부터 얻은 데이터를 이용해 실험하였다. KONTRON 994 ECG SIMULATOR로부터 얻은 ECG 신호를 240 samples/sec인 12 bit A/D 변환기를 이용하여 데이터를 얻었다. 그후 본 알고리즘을 임상적으로 실험하기 위해 원주 기독병원에서 외래환자중 50명의 심전도를 A/D 변환기를 이용해 데이터 파일로 저장한 후 실험하였다.

4.2 성능 평가

본 논문에서 실험한 데이터는 시뮬레이터와 환자에서 얻은 데이터인데 환자에서 얻은 데이터는 정상 및 1도 방실블락과 PVC등에 국한된다. 다만 시뮬레이터 데이터는 다양하여 AV block을 여러경우 실험할 수 있었다. 그림 3 은 그중 정상과 모비츠 II형 및 Tachycardia의 결과물 나타낸것이다. 표 3은 검출의 정확도를 나타낸 표이다. 실험결과 기저선 변동 및 기타 잡음이 있는 경우에도 정확히 P파를 검출하였을 뿐만 아니라 심박수에 따라 적절하게 P파의 문턱값을 변화시켰기 때문에 P파가 R파나 T파 위에 섞이는 경우와 biphasic을 제외하고는 거의 모든 경우에 걸쳐 정확하게 검출하였다.

표 3. 병명에 따른 P파 검출의 정확도

병명	검출의 정확도(%)
정상(+baseline)	98%(49/50)
Tachycardia	92%(46/50)
Mobitz II	96%(49/50)

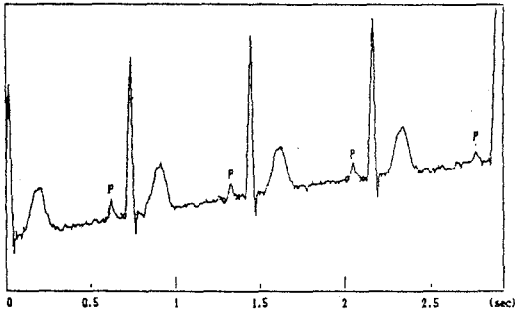
5. 결 론

본 알고리즘은 특성점을 추출한 후 패턴매칭에 의해 P파를 검출하는 알고리즘으로서 심방성 부정맥 진단에 매우 중요한 알고리즘이다. 특히 P파의 ONSET, OFFSET 점을 검출함으로써 PR 간격을 정확하게 검출할 수 있게 하였다. 또한 기존 알고리즘으로 검출이 불가능하던 R-R 사이에 다중으로 발생하는 P파를 T파와 구별하여 모두 찾아낼 수 있었다. 처리속도에 있어서도 최소한의 연산처리과정을 사용함으로써 수행시간을 단축할 수 있었다.

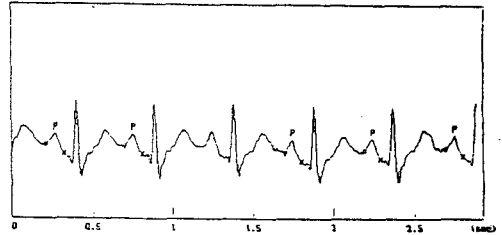
다만 P파를 못찾는 부분이 발생하는데 이는 비정상적인 P파 폭에 기인되므로 심박수에 따른 P파 폭의 변화에 보다 많은 연구가 필요하리라 생각된다. 현재 본 알고리즘에 대한 광범위한 평가가 진행중에 있다.

6. 참고문헌

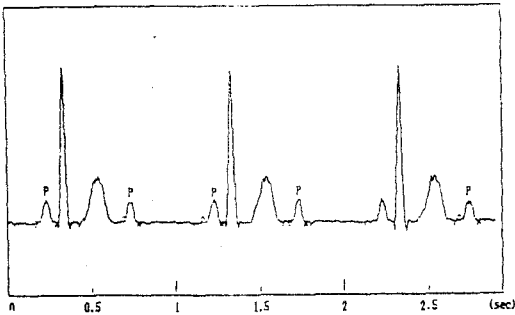
- 1) JOSEF WARTAK, M.D., B.Sc., "Computers in Electrocardiography", CHARLES C THOMAS. PUBLISHER, U.S.A., 1970.
- 2) S. J. HENGEVELD AND J. H. VAN BEMMEL, "Computer Detection of P-Waves", Computers and Biomedical Research 9, P 125-132, 1976.
- 3) S. SHIBATA, "A P-Wave Detector", Optimization of Computer ECG Processing, P 165-166, 1980.
- 4) Ho-soo Lee, N.V.Thakor, "ECG Waveform Analysis by Significant Point Extraction," Computer and Biomedical Research, Vol.20, pp428-442, 1987.
- 5) Willis J. Tomkins, John G. Webster, "Design of Microcomputer-based Medical Instrumentation", Prentice-Hall, pp131-139, 1981.
- 6) F. Gritzali, G. Papakontantinov, "Detection of P and T Waves in an ECG," Computer and Biomedical Research, Vol.22, pp83-91, 1989.
- 7) O. GOVRIN, D. SADEH, S. AKSELROD, S. ABBOUD, "Cross-Correlation Technique for Arrythmia Detection Using PR and PP Intervals", Computers and Biomedical Research 18, P 37-45, 1985.
- 8) JIAPU PAN and WILLIS J. TOMPKINS, "A Real-Time QRS Detection Algorithm", IEEE Trans. Vol BME-32, P 230-236, 1985.
- 9) 황 선철, 이 병호, "P파 검출에 의한 부정맥 진단 알고리즘에 관한 연구," 연세대학교 전기공학과 석사학위논문, 1988.
- 10) 신 호용, "실시간 부정맥 자동진단에 관한 연구," 연세대학교 대학원, 1987.



(a) 정상파형(baseline wandering)이 있는 경우



(c) Tachycardia



(b) Mobitz II 형

그림 3. 심전도 실험결과

(o는 onset 점, x는 offset 점)