

심전도 자동진단을 위한 P파 검출기법의 연구

석정욱, 권혁제, 공인욱, 이명호
연세대학교 전기공학과

A Study on Detection of P-wave for Automated Electrocardiogram Interpreter

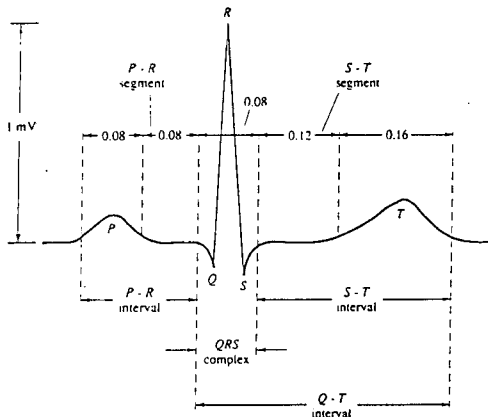
Suk Jungwook, Kweon Hyukje, Kong Inwook, Lee Myungho
Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.

ABSTRACTS : In this study, we proposed an algorithm for P-wave detection. It is essential to decide the existence of P-wave and to extract some parameter about P-wave in automated ECG interpreter. Especially this paper describes the detection and estimation of three case, atrial flutter, coupled and non-coupled, which are very crucial things in ECG diagnosis. The performance of algorithm is showed by applying it to CSE(Common Standards for Quantative Electrocardiography) database.

1. 서론

정상인의 심전도 파형은 대체로 그림 1.과 같은 모습으로 이루어져 있다. 심전도를 구성하는 이러한 파형 중 P파는 심방의 탈분극에 의하여 발생하는 파형으로 심장의 전기전도계 중 심방의 상태 및 질환과 관련된 정보를 포함하고 있다.[1]

그림 1. 일반적인 심전도 파형.



따라서, P파의 존재여부 판정 및 관련 파라미터들의 검출은, 그것이, 때로는 치명적일 수 있는 방실블럭과 같은 심방 이상의 진단에 중요한 역할을 하기 때문에 심전도 자동진단에 있어서 필수적인 과정이다. 그러나, 일반적으로 P파는 심전도를

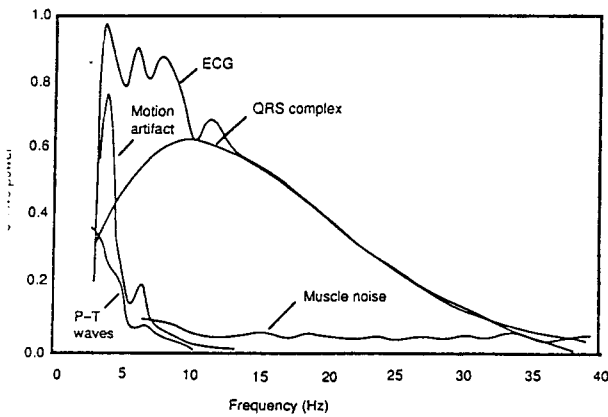
구성하는 다른 파형에 비해 크기가 작고 형태, 발생위치의 개인차가 심할 뿐 아니라 심방성 질환의 경우에는 이런 다양성이 더욱 심화되는 경향이 있어서 그 검출이 QRS-complex보다 매우 어렵다. 기존의 검출 알고리즘으로는 파형의 기울기 측정에 의한 특성점 검출에 의한 판별 방법등이 있으나 이는 원 신호파형에 섞인 미세한 잡음에도 매우 취약한 단점을 가지고 있다. P파는 그 발생위치의 일정성에 따라 coupled 및 non-coupled P파로 나뉘는데 coupled P파의 경우는 주기적인 발생위치를 갖는 반면, non-coupled의 경우에는 그렇지 못하다. 본 연구에서는 사전에 R파-R파 간격, QRS 파 시작점(onset point), QRS파 끝점(offset point)등의 QRS-complex관련 파라미터들이 측정되었다는 가정하에 각각의 경우에 서로 다른 검출 알고리즘을 제안하였으며, 이를 CSE 데이터 베이스의 심전도 파형에 적용하여 실험해 보았다.

2. Atrial Flutter, Coupled P파의 검출

측정된 심전도 신호는 아래 그림2와 같은 전력 스펙트럼을 갖는다.[2] 그림에서 볼 수 있듯이 대부분의 P파 신호 전력은 50Hz미만에 분포하고 있으므로 검출에 쓰이는 데이터는 100Hz의 최소 표본화율을 가질 수 있다.

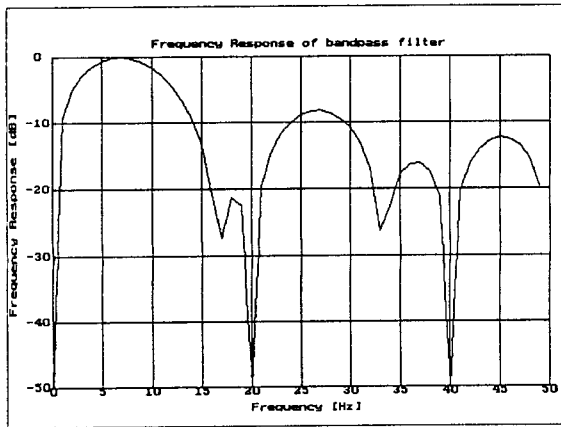
이 신호에서 P파를 효과적으로 검출하기 위하여 P파 성분을 강조하고 고역 잡음을 비롯한 다른 신호성분을 가급적 억제하기 위해 식(1)과 같은 FIR 대역 통과 필터링이 필요하다. 이 대역통과 필터의 통과대역은 3 -11Hz로 그 임펄스 응답은 그림3과 같으며 부수적으로 기저선 변동의 제거효과도 얻을 수 있다.

그림 2. 심전도 신호를 구성하는 각 성분의 전력 스펙트럼



$$y(n) = \sum_{i=-1}^5 x(n+i) + \sum_{i=-1}^5 x(n-i) \quad (1)$$

그림 3. FIR 대역통과 필터의 주파수 응답.



대역통과 필터링된 신호에서 P파를 검출하기 위해서는 모두 6 - 10개의 심박 주기에 해당하는 데이터를 저장하고, 각각의 심박 데이터에서 기준점을 중심으로 coupled P파가 발생할 가능성이 있는 구간이 분리된다. 이러한 P파 탐색구간의 길이는 심박 주기에서 식(2)로 주어지는 구간을 제거함으로써 얻어진다. [3]

$$(QT)_{max} = (2/9)RR + 250(\text{msaec}) \quad (2)$$

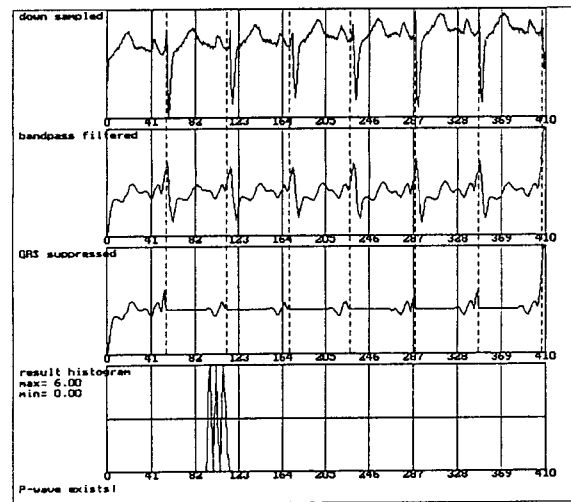
얻어진 각각의 탐색구간에서 식(3a) 및 식(3b)로 정의되는 지역 최대값(local maximum) 및 지역 최소값(local minimum) $X(i)$ 를 찾는다.

$$\begin{aligned} \text{지역 최대값 :} & \quad (3a) \\ X(i) & \geq X(i+1) \text{ AND } X(i) \geq X(i-1) \text{ AND} \\ X(i+1) & > X(i+2) \text{ AND } X(i-1) > X(i-2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{지역 최소값 :} & \quad (3b) \\ X(i) & \leq X(i+1) \text{ AND } X(i) \leq X(i-1) \text{ AND} \\ X(i+1) & < X(i+2) \text{ AND } X(i-1) < X(i-2) \end{aligned}$$

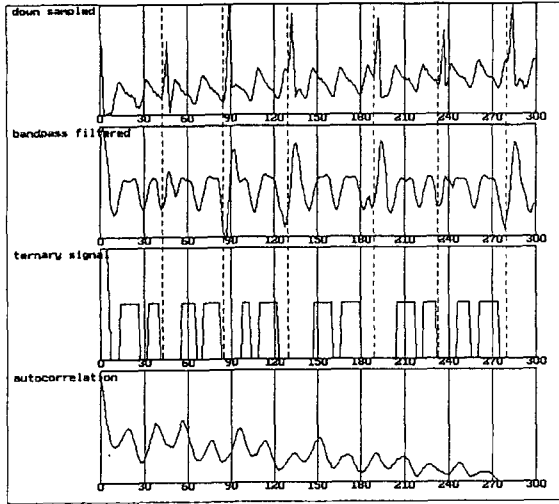
얻어진 각각의 $X(i)$ 값에 대해서 기준점으로부터의 거리에 따라 히스토그램이 작성된다. 기준점은 대략 계산된 Q파 시작점(Q-onset point)으로 정했으며 이 시작점은 복수의 심전도 전극에서 공간 속도(Spatial Velocity)를 이용한 알고리즘으로 구했다. [4] 작성된 히스토그램은 각 점에서의 값에 좌우 점에서의 값을 합쳐서 그 점에서의 히스토그램값으로 한다. 이러한 히스토그램의 평활(smoothing)방법은 P파의 발생위치가 각 심박구간에서 약간의 차이를 보이더라도 검출할 수 있게 한다. 얻어진 히스토그램에 대해, 그 값이 수집/처리된 심박주기의 갯수와 일치하는 점을 찾고 이런 점이 있을 시에는 coupled P파가 존재하는 것으로 간주하며 그 점이 P파의 발생위치가 된다.

그림 4. 히스토그래밍에 의한 coupled P파의 검출



위에서 설명한 coupled P파의 검출을 위해서는 사전에 atrial flutter 파형과의 구별이 필요하다. 왜냐하면 N : 1 conduction atrial flutter wave가 존재할 시에는 위의 알고리즘으로 인해 coupled P파의 존재로 잘못 인식되기 때문이다. atrial flutter 파형의 발생은 다음과 같은 일련의 처리 과정을 거침으로써 알 수 있다. 먼저, 대역 통과된 신호의 자기상관함수(autocorrelation function)를 구한다. 이 때 계산량을 줄이기 위해서는 적절한 문턱치를 정해서 그 이산화된 크기 레벨의 갯수가 축소된 신호에 대한 자기상관함수를 얻는다. 다음으로는, 얻어진 자기상관함수에서 지역 최대값을 찾는다. 만일 첫 번째 지역 최대값이 150msec에서 300msec의 사이에서 발생하고 두 번째 지역 최대값이 첫 번째 발생 위치의 두 배되는 부근에서 발생하면 이 파형을 atrial flutter의 발생으로 인식한다. [5]

그림 5. atrial flutter 파형의 검출

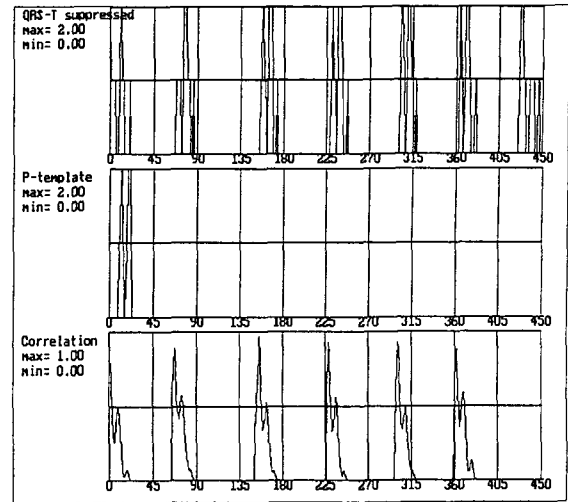
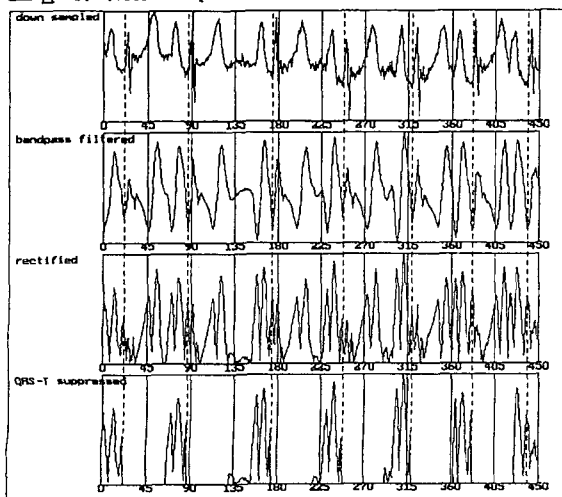


3. Non-coupled P파의 검출

non-coupled P파는 각 심박주기의 기준점에 대한 P파의 발생 위치가 일정치 않은 경우로 second 또는 third degree AV block의 경우에 볼 수 있는 현상이다. [6] non-coupled P파의 경우에는 P파가 QRS-complex나 T-파와 완전히 겹쳐서 발생하기도 하므로 그 존재여부를 판정하는 것은 매우 어렵다.

non-coupled P파의 검출은 다음과 같은 과정을 밟는다. 먼저, 얻어진 심전도 신호를 coupled P파의 경우와 마찬가지로 100Hz로 표본화하고 식 (1)로 주어진 대역 통과 필터링을 수행한 뒤 정류한다. 정류된 신호에서 식(2)를 이용하여 QRS-T파 구간을 제거하고 나머지 구간의 파형과 기정의 P파 template와의 상호상관함수를 구하여 그 값이 일정한 문턱치를 넘는 경우 non-coupled P파가 존재하는 것으로 간주한다.

그림 6. Non-coupled P파의 검출



4. 실험

앞에서 설명된 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해서 CSE 데이터베이스(data set3)에서 추출된 심전도 데이터 중 lead II에서 얻어진 데이터를 대상으로 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

가. atrial flutter의 검출

실험에 사용된 atrial flutter파형은 data set3의 P57 및 P111의 총 30개 심박으로 한번에 6개의 심박을 사용하여 실험했다. 실험결과는 20개의 심박에서 flutter의 인식이 이루어졌다. 인식에 실패한 (false negative) 파형은 불규칙한 심박주기를 가진 파형으로 자기 상관함수 역시 주기성이 거의 없는 경우로 이것이 검출 실패의 원인으로 생각된다.

나. coupled P파의 검출

실험에 사용된 coupled P파의 파형은 data set3의 P1 - P5의 총 76개 심박으로 역시 한 번에 6개의 심박을 사용하여 실험했다.

- a) 인식 성공 : 55개
- b) 인식 실패 : 12개
- c) 잘못 인식 : 9개

인식에 실패한 파형은 P파의 발생위치는 비교적 일정하나 그 형태에 변이가 심한 경우로 지역 최대값 및 최소값의 누적값이 사용된 심박수에서 한 개가 모자랐다. c)의 경우는 P파의 인식은 보고되었으나 T파의 끝 부분(trailing edge) 역시 인식된 경우이다. 이는 식(2)에 의한 QRS-T파의 제거가 완전히 이루어지지 않은 것이 원인이었다.

다. non-coupled P파의 검출

실험에 사용된 non-coupled P파의 파형은 data set3의 P10, P32의 총 21개 심박이다.

- a) 인식 성공 : 16개
- b) 인식 실패 : 5개

인식에 실패한 경우는 P파의 형태와 기정의 template의 차이가 심한 것이 원인으로 생각된다.

5. 결론 및 고찰

본 연구에서 사용된 알고리즘으로 표준 심전도 데이터베이스의 일부에 대하여 실험한 결과 다양한 형태의 P파에 대해 비교적 양호한 검출결과를 얻을 수 있었다. 그러나, 더욱 정확한 검출을 위해서는 알고리즘 적용의 이전단계에서 효과적인 잡음제거가 병행되어야하고 비교적 정확한 심박주기 및 QRS-T complex의 시작점과 끝점 검출을 수행하는 알고리즘에 대한 연구가 필요하며, 수행속도와 검출성능을 다른 검출 기법의 결과와 비교하는 작업도 중요하다. 끝으로, 다양한 실제 임상 데이터에 대한 실험과 실제 시스템에의 적용으로 알고리즘의 신뢰도를 확인하는 작업이 계속되어야 한다.

6. 참고문헌

- [1] Richard Aston, "Principles of Biomedical Instrument and Measurement", Merrill pub.Co. 1991.
- [2] Willis J. Tomkins, "Biomedical Digital Signal Processing", prentice hall Inc. 1993.
- [3] S.J.Hagenvald and J.H.van Bemmel, "Computer Detection of P-waves", Comput.Biomed. Res.9, P127, 1976.
- [4] 권혁제 외, "클러스터링 알고리즘을 사용한 QRS COMPLEX 특성표시에 관한 연구", 대한전자공학회 하계종합학술대회. 1995.
- [5] A.van Lingen, Jan L. Talmon, and A. Hasman. "P-wave Detection in Routine ECG Processing", Proceedings Computers in Cardiology. eds. K.L. Ripley and H.G. Ostrow. pp53-57(IEEE Computer Society. Los Angeles CA. 1980).
- [6] Emanuel Stein, "Interpretation of Arrhythmias", Lea & Febiger, 1988.