

Contextual Information을 이용한 P wave 검출에 관한 연구

°이 지 연, *황 성 오, 윤 형 로

연세대학교 보건과학대학 의용전자공학과

*원주 연세대학교 의과대학 응급의학교실

P wave Detection Algorithm using Contextual Information

°Gee Yeon Lee, *Sung Oh Hwang, Hyung Ro Yoon

Dept. of Biomedical Eng. Yonsei Univ.

*Dept. of Emergency Medicine Won-Ju College of Medicine

1. 서 론

최근 심전도 자동진단 시스템에 관한 연구는 임상상의 판단에만 의존해왔던 각종 심장질환의 진단을 보다 신속하고 정확하게 수행함으로써 인력과 시간의 낭비를 줄이는 역할을 담당해왔다. 이러한 시간의 절약과 진단의 정확성은 생명의 위협이 될 수도 있는 질환의 조기발견과 예방을 위해 그 중요성을 더해왔다.

현존하는 심전도 자동진단 시스템의 성능은 시간 절약 면에 있어서는 확실한 성과를 거두고 있으나, 몇몇 질환에 대한 정확도에 있어서는 그 성능을 주장하지 못하고있다. 이러한 어려움을 나타내는 질환은 주로 심장의 리듬이상(Arrhythmia)에 해당되는데, 이는 대부분의 경우 환자의 직접적인 생명 유지와 깊은 관련을 맺고 있기 때문에 그 진단의 정확성이 더욱 강조되고있다. 대부분의 전도 이상이 이에 해당되며 특히 premature beat의 기원에 대한 정확한 판별은 누누이 강조되어왔다.

위와 같은 심장질환 오진의 원인은 진단을 위한 rule이나 criteria의 오류에 있는 것이 아니라 주로 심전도의 각 특징점들, 특히 심전도 리듬분석에의 중요한 요소인 P 파의 잘못된 검출에 있는 경우가 많다.

기존에 사용되었던 P wave 검출 방법들은 Curvature[1], 미분 파형의 zero-crossing point[2][3], 주파수 분석[4], length transform[5], multi-channel histogram[6]등을 이용해 왔으나 이러한 방법들이 정상 리듬이나, 심방 세동(Atrial fibrillation), VPC (Ventricular premature beats)와 같은 반복성 이상 리듬의 경우에는 정확도가 높으나, 심방성 부정맥의 경우에는 검출 성능을 입증하지 못하고있다[7]. 이는 이제까지의 방법들

이 주로 QRS파가 나타나기 전을 P파가 나타날 위치로 고정시켜 찾기 때문이다. 최근에 진단용 심전도 분석을 위한 P wave 검출 방법으로 본 신호에서 QRS-T complex를 제거하는 방법이 대두되고 있어[8][9][10], 본 연구에서는 이 방법을 발전시키고자 한다.

따라서 본 연구에서는 P 파의 정확한 검출에 주안점을 두어, 기존의 특징점 검출 알고리즘과 부정맥 검출을 위해 제안되었던 P 파 검출 알고리즘을 보완하고 더 나아가 기존 방법들의 post-processor로써 P 파 확정 rule base를 적용하여, 이 rule base의 적용이 없는 알고리즘의 결과와 rule base를 사용한 본 연구의 결과를 비교 분석, 평가하고자 한다.

2. QRS-T complex의 제거와 P wave 확정 rule base

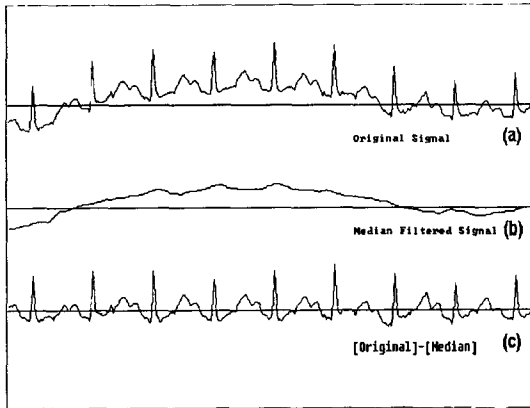
현재 임상에서 사용되는 심전도 자동진단 시스템인 Marquette사의 "MAC-15"으로부터 각종 심장 질환, 특히 부정맥 환자들의 데이터를 얻는다. 이는 250 sample/ second로 10초간 측정된 데이터로 resolution은 $5\mu V/bit$ 이다.

전처리과정으로 기저선 변동을 제거한 후, 각 특징점 추출 알고리즘을 사용하여 QRS complex와 T wave의 각 파라메타들을 입수한다. 다음 과정으로 P 파의 검출을 위해 본 신호에서 QRS-T complex를 제거, P파의 원형을 얻는다. 이렇게 검출된 P파로부터 필요한 파라메타들을 입수한 후, 임상상의 기준에 근거한 rulebase를 적용하여 검출 결과를 확정한다.

가. Baseline drift의 제거

심전도에서의 기저선의 변동은 특징점의 추출에 많은 영향을 미침으로 가능한한 완전한 제거가 필요시된다. 그러나, 이 기저선의 변동은 ST segment의 주파수 성분을 포함하고 있으므로[11] 그 제거에 특별한 주의를 필요로 한다.

본 연구에서는 본래 고주파의 잡음성분을 제거하기 위해 사용되어왔던[12] median filter의 성질을 역이용하여 기저선의 저주파 성분만을 추출한 뒤, 본 신호로부터 median filtering된 신호를 빼주어 기저선 변동을 제거한다[그림1].

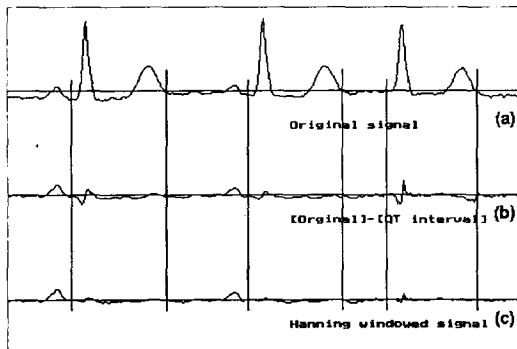


[그림1] 기저선 변동의 제거

나. QRS-T complex의 제거

[그림2]와 같이 심전도의 본 데이터(a)에서 QRS-T complex에 해당하는 부분을 제거한다. 본 연구에서는 측정시 얻어진 QRS-T complex의 template를 본 신호에서 그림의 (b)와 같이 complex를 제거한 양 끝단에서 고주파의 잡음이 발생하게 된다. 이 잡음을 줄이기 위해 본 연구에서는 Hanning window 과정을 취한다(c).

위의 과정을 위해 사용된 QRS-T complex 검출은 1990년에 발표된 Pablo Laguna의 알고리즘을 사용한다[13].

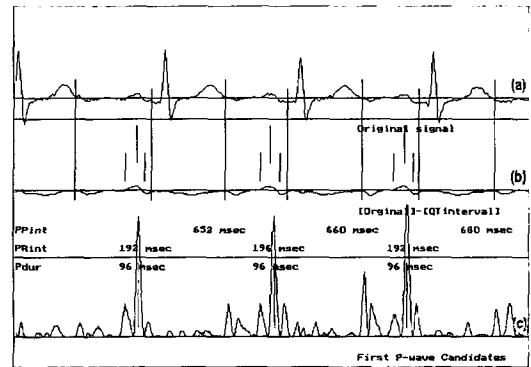


[그림2] QRS-T complex의 제거

다. P wave 파라메타 추출

QRS complex가 제거된, 즉 P wave만 남아있는 것으로 간주되는 파형에서의 P wave 후보는 그 크기가 작고 저주파의 파형이므로 임계값을 적용하기에는 부족함이 있다. 본 연구에서는 편차의 성질을 이용하여 P wave에 해당되는 주파수를 강조하였다. 실험적으로 채택된 일정 window에서 평균과 중간점과의 차이를 제공하여 P wave의 편차만을 강조한다. P wave의 편차를 강조하기에 충분한 window는 0.12sec로, 이는 P wave 폭의 평균과 흡사하다.

[그림3]과 같이 강조된 P wave의 편차에 두 개의 임계값을 적용해 최대점들을 추린다. (b)와 같이 각 최대점위치의 전후 0.1초 내의 데이터에서 P wave 후보의 peak, onset, offset을 구한다.



[그림3] P wave 일차 후보 검출

라. P wave 확정 Rule base의 적용

이전 과정에서 얻은 P-P 간격, P-R 간격, P duration 등을 이용한 P wave 확정 rule base를 설계한다.

심장에서 부정맥을 일으키는 메카니즘에는 결절의 자극생성 이상과 자극전도 경로의 전도이상이다. 이 두가지 경우에 따라 각기 P wave 리듬의 패턴은 다르나, 본 연구에서는 주로 P wave 검출에서 이상을 일으키는 전도이상의 경우를 전제로 몇가지의 rule base를 설정한다. 전도이상으로 인한 부정맥의 경우, 결절에는 이상이 없으므로 P-P 간격은 대체로 일정하며, P duration과 P wave의 형태에도 큰 변화가 없다[14].

이전과정으로 얻은 P wave의 일차 후보에 대한 데이터에 적용한다.

첫째, 단일 평균 P-P 간격보다 넓은 P-P 간격 위치에 P wave가 검출된 경우, 평균 P-P 간격의 위치를 P wave로 가정하고 각 파라메터를 추출한 후, P duration과 P의 크기 등이 평균파형과 일치하면 평균 P-P 간격에 위치한 P wave 후보를 P wave로 확정한다.

둘째, 만일 평균 P-P 간격보다 좁은 P-P 간격 위치에 P wave가 검출된 경우, 위의 경우와 마찬가지로 평균 P-P 간격의 위치를 P wave로 가정하고 각 파라미터를 추출한 후, P duration과 P의 크기 등이 평균파형과 일치하면 평균 P-P 간격에 위치한 P wave 후보를 P wave로 확정한다.

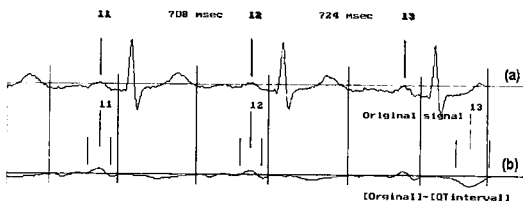
위의 두 rule base를 식으로 표현하면 아래와 같다.

```
IF PPintn-1 > 1.5*avPP &
  abs(Pdurn-avPd) > 0.2*avPd &
  abs(Printn-avPR) > 0.2*avPR
THEN,
  Pparameter on (Pn+avPP)
```

```
IF PPintn-1 < 0.7*avPP &
  abs(Pdurn-avPd) > 0.2*avPd &
  abs(Printn-avPR) > 0.2*avPR
THEN,
  Pparameter on (Pn-1+avPP)
```

PPint_{n-1}: 현재 beat와 다음 beat 사이의 P-P 간격
 avPP : 평균 P-P 간격
 Pdur_n : 다음 beat의 P duration
 avPd : 평균 P duration
 Print_n : 다음 beat의 P-R 간격
 avPR : 평균 P-R 간격
 Pparameter : P wave parameter를 추출하는 과정
 P_{n-1} : 현재 beat의 P wave 위치

위의 rule base에 의해 수정·확정된 P wave의 위치가 [그림4]의 (a), (b)에 도시되어 있다. (b)의 13번 P wave가 일차 후보이고, (a)에 수정된 13번의 위치가 확정된 P wave이다.



[그림4] P wave 확정 결과

3. P wave의 검출 확정 결과

본 연구에서 잡음이나 기저선의 영향은 충분히 고려했으므로 데이터의 종류에 포함할 필요가 없었다. 호흡에 따라 P-P 간격이 조금씩 변화하는 Sinus arrhythmia는 정상파형으로 분류하였고, P wave의 형태가 남아있지 않는 Atrial fibrillation이나 Atrial flutter는 검출 분류에서 제외하였다.

정상파형의 검출률이 예상보다 낮은 94.6%로 나타났다. 정확한 분석을 위해서는 더 많은 량의 데이터가 필요하나, 현재까지의 분석으로 전체적인 P wave 검출 결과는 88.1%이다.

각 부정맥에 대한 검출률은 [표 1]과 같다.

[표 1] P wave 검출률

데이터 종류	검출한 심박수	총 심박수	검출률 (%)
정 상	298 개	315 개	94.6
Bradycardia	70 개	71 개	98.5
Tachycardia	31 개	33 개	93.9
APBs	20 개	24 개	83.3
JPBs	9 개	10 개	90.0
VPBs	34 개	45 개	75.5
2:1 conduction	22 개	24 개	91.6
AV dissociation	7 개	9 개	77.7

4. 고 찰

위의 결과는 전도 이상에 의한 부정맥에 대한 진단 시스템의 P파 검출성능 개선의 가능성을 시사하고 있다.

본 연구에서는 QRS-T complex의 단순 제거가 아닌 template와의 차이를 구함으로써 P wave가 QRS-T complex 사이에 숨어있다 하더라도 그 형태가 보존되도록 하였다. 또한 template과의 차이를 구한 후에 QRS complex 위치에 생기는 잡음을 hanning window로 줄여줌으로써 잡음이 P wave로 잘못 검출될 가능성을 대폭 줄였다. 그리고, 일차 P wave 후보 검출시 여러 가지 요인에 의해 잘못 검출되었던 P wave의 위치가 rule base를 적용시키는 과정에서 수정됨으로써 좀 더 정확한 위치의 검출이 시도되었다.

그러나 VPBs를 가진 데이터의 경우, VPB의 파형에서 평시 파형의 template를 제거하기 때문에, 몇몇 파형의 경우에는 VPB의 위치에 P wave와 비슷한 형태의 파형이 남게되어 P wave로 오인되는 범실을 남기게 되었다. 또한 실제 환자데이터를 사용하였으므로 환자마다 각기 다른 전압 범

위, 즉 파형의 크기 때문에 같은 임계값을 적용한 정상파형의 경우 검출률이 예상보다 낮았다.

위의 결점을 보완하기 위해서 VPBs를 위한 새로운 rule의 추가와 각 환자의 전압 범위에 따른 개별적인 임계값의 적용등이 필요할 것으로 본다.

5. 참고 문헌

[1] Ho Soo Lee, Quin-Lan Cheng, and Nitish V. Thakor, "ECG Waveform Analysis by Significant Point Extraction" Computers and Biomedical Research, vol. 20, pp. 410-427, 1987

[2] Pablo Laguna, Raimon Jane, and Pere Caminal, "Automatic Detection of Wave Boundaries in Multilead ECG Signals : Validation with the CSE Database", Computers and Biomedical Research, vol. 27, pp. 45-60, 1994

[3] 황선철, 정희교, 김용만, 이명호, "심방성 부정맥 진단 알고리즘에 관한 연구", 의공학회지, 제 10권, 제1호, pp. 17-23, 1989

[4] O. Fokapu, J. p. Girard, "A New Approach For P wave Detection Using Analytic Signal" in Computers in Cardiology IEEE, pp. 400-401, 1993

[5] F. Gritzali, G. Frangakis, and G. Papakonstantinou, "Detection of the P and T Waves in an ECG", Computers and Biomedical Research, vol. 22, pp. 83-91, 1989

[6] C. Caroubalos, C. Perche, C. Metaxaki-Kossionides, E. Sangriotis and D. Maroulis, "Method for an automatic analysis of the ECG", 1988

[7] Masuo Shirataka, PhD, Hideo Miyahara, MD, PhD, Noriaki Ikeda, PhD, Akira Domae, MD, PhD, and Toshiro Sato, MD, PhD, "Evaluation of Five Computer Programs in the Diagnosis of Second-degree AV Block", Journal of Electrocardiology, vol. 25, No. 3, July 1992

[8] R. DuFault, A. Wilcox, "An Algorithm for Automatic P-wave Detection in Single or Multiple Lead Surface ECGs", Computers in Cardiology IEEE, pp.117-120, 1985

[9] Zhu Yi-Sheng, Nitish V. Thakor, "P-wave Detection by an Adaptive QRS-T Cancellation Technique", Computers in Cardiology IEEE, pp. 249-252, 1987

[10] B.R. Shankara Reddy, Paul E. Elko, Dave W. Christenson, and G. Ian Rowlandson,

"Detection of P Waves in Resting ECG : A Preliminary Study" in Computers in Cardiology IEEE , pp. 87-90, 1992

[11] Christopher D. McManus, Ulrich Teppner, Dietrich Neubert, "Estimation and Removal of Baseline Drift in the Electrocardiogram", Computers and Biomedical Research, vol. 18, pp. 1-9, 1985

[12] Chee-Hung Henry Chu, Edward J. Delp, "Impulsive Noise Suppression and Background Normalization of Electrocardiogram Signals Using Morphological Operators", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 36, no. 2, pp. 262-273, February 1989

[13] P. Laguna, N. V. Thakor, P. Caminal, R. Jane, Hyung-Ro Yoon, "New algorithm for QT interval analysis in 24-hour Holter ECG : performance and applications", Medical & Biological Engineering & Computing, vol. 28 pp. 67-73, 1990

[14] Galen S. Wagner , MARRIOTT'S PRACTICAL ELECTROCARDIOGRAPHY , Ninth edition