

기울기 추적파를 이용한 심전도의 P-파 및 T-파 검출 알고리즘

A P-wave and T-wave detection algorithm in ECG by using slope tracing waves

*김민규, *변미경, **이기영, ***김정국, ****정병두, ***허웅

Min Kyu Kim, Mi Kyung Byun, Ki Young Lee, Jungkuk Kim, Byung Doo Jeong, Woong Huh

Abstract - In this study, a P- and T-wave detection algorithm in ECG, obtained by minimized filtering to prevent waveform distortion, has been realized. The algorithm uses two slope tracing waves, the descending slope tracing wave and the ascending slope tracing wave, developed for efficient determination of slope inverting points and sudden slope changing points. The algorithm generates the slope tracing waves which trace the original ECG wave, and subtracts one tracing wave from the other to detect P- and T-waves. The algorithm has been applied to MIT/BIH database in order to verify its efficacy and validity in practical applications.

Key Words : 심전도, ECG, P-파, T-파, 기울기 추적파, 검출 알고리즘

1. 서론

심전도의 P-파와 T-파는 심장의 전기적, 생리적 특성을 나타내는 중요한 파동으로, 다양한 임상적 의미를 가짐에도 불구하고, 낮은 진폭과 형태의 불명확성, 가변성 때문에 그 검출은 여전히 어려운 문제이다[1-2].

기존에 제안된 대표적인 방법들은 Hengeveld 와 van Bemmel 의 방법[3]과 Gritzali 와 그의 동료들의 방법[4]으로, 전자는 QRS 파를 검출하고 제거한 후 대역필터를 거친 신호에 검색구간(search interval)을 설정하여 알고리즘을 적용하는 방식이고, 후자는 다중채널 신호들의 미분치를 결합하는 length 변환을 거친 후 알고리즘을 적용하는 등의 복잡한 과정을 거치게 된다.

본 연구에서는 원 신호의 형태를 유지하기 위해 필터 사용을 최소화하여 얻은 ECG에서도 P-파와 T-파를 검출하는 단순하면서도 효과적인 알고리즘을 구현하였다. 알고리즘은 신호의 기울기 반전점과 기울기의 변화가 큰 기울기 변곡점을 효과적으로 검출하는 두 개의 기울기 추적파를 발생시켜, 그 기울기 추적파들 간의 진폭차이를 구함으로써 P-파와 T-파를 검출하였다. 매 샘플링 포인트마다 다시 계산되는 기울기 추적파는, 자신보다 낮은 신호파형을 따라가는 하강 기울기 추적파와 높은 신호파형을 따라가는 상승 기울기 추적파의 두 가지로 구성되었다.

구현된 알고리즘은 실용성을 검증하기 위하여 MIT/BIH 데이터에 적용되었고, 그 효용성과 타당성을 확인하였다.

2. 기울기 추적파

기울기 추적파는 자동형 제세동기(AED, Automatic External Defibrillator)에서 심실 세동을 효과적으로 검출하기 위해 개발되었다[5]. 기울기 추적파는 그림1에 점선으로 나타난 하강 기울기 추적파와 그림2에 점선으로 나타난 상승 기울기 추적파로 구성되며, 매 샘플치가 발생할 때마다 정해진 조건에 따라 새로운 값으로 갱신된다.

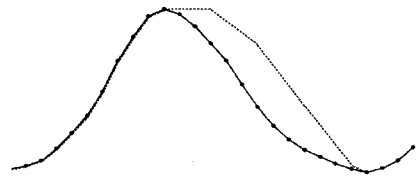


그림 1. 하강 기울기 추적파의 동작

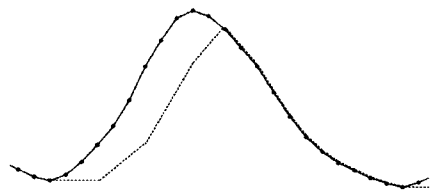


그림 2. 상승 기울기 추적파의 동작

저자 소개

- * 명지대학교 대학원 전자공학과
- ** 관동대학교 정보통신공학부, 교수
- *** 명지대학교 전자공학과, 교수
- **** 목포과학대학 보건의료기기과, 교수

통신저자: 김 정 국, 명지대학교 전자공학과
jk.kim@mju.ac.kr

그림 1에서 하강 기울기 추적파는 원 신호의 진폭이 증가하는 동안에는 그 증가되는 진폭으로 갱신하면서 진폭을 추적하지만, 더 이상 진폭이 증가하지 않는 점에 도달하면 일정 시간 t_H (수~수십 ms) 최고의 진폭을 유지한 후 원 신호 감소 기울기의 평균치로 하강하게 되며, 원 신호와 기울기 추적파가 만나게 될 때 신호의 굴곡(변곡점)이 검출되었다고 판단한다.

그러나 그림 3에 보인 바와 같이 추적파가 최고 진폭(P1)을 유지하는 일정 시간 t_H 내에서 신호의 진폭이 기울기 추적파보다 높아지면 그 최고 진폭(P1)은 무시되고, 기울기 추적파는 다시 신호의 진폭을 추적해 간다. 이 방법은 두개의 굴곡을 하나의 이벤트로 할 것인지, 아니면 두개의 다른 이벤트로 할 것지를 결정하는데 매우 유용하다.

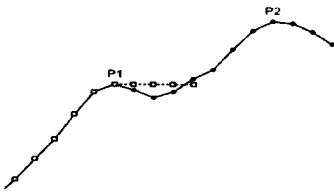


그림 3. 최고점 도달 후 일정시간 t_H (그림에서는 4개의 샘플시간)내에 신호의 진폭이 추적파를 초과하는 경우

그림 2는 원 신호가 최저점에 도달한 후 진폭이 증가할 때 상승 기울기 추적파의 동작을 보인다. 신호가 최저점에 도달하면 일정시간 t_H (수~수십 ms) 최저 진폭을 유지한 후, 원 신호의 증가 기울기의 평균치로 상승하며, 원 신호와 기울기 추적파가 만나게 될 때 신호의 굴곡(변곡점)이 검출되었다고 판단한다. 그 후 신호의 진폭이 기울기 추적파 보다 낮아지면 추적파는 그 신호 진폭으로 갱신된다.

상승 기울기 추적파에서도 그림 3과 반대가 되는 경우가 발생하며 이 경우 일정시간 t_H 내에서 원 신호의 진폭이 기울기 추적파보다 낮아지면 그때의 최저점은 무시되고 낮은 진폭을 추적해 간다.

두개의 기울기 추적파는 검출하고자하는 파형의 특성 및 검출하고자하는 파라미터에 따라 하나만 선택하여 사용하거나 두 개 또는 그 이상을 동시에 함께 사용할 수 있다.

3. P-파 및 T-파 검출 알고리즘

ECG의 P-파 및 T-파를 용이 하게 검출하기 위하여 위에서 설명한 두개의 기울기 추적파를 발생시켜 그 진폭의 차이를 구하여 다음과 같이 알고리즘을 구현하였다.

3-1. 상승 기울기 추적파와 ECG의 차신호

임의의 시간 n 에서 ECG신호를 $X[n]$ 이라 하면, 그의 상승 기울기 추적파 $UST[n]$ 은 2절에 서술한 방법으로 발생되며, $X[n]$ 과의 차신호 $D_USTX[n]$ 을 구하면 다음과 같다.

$$D_USTX[n] = X[n] - UST[n] \quad (1)$$

그림 4의 첫 번째 그림은 원 신호 $X[n]$ 과 $UST[n]$ 을 보인다.

식(1)로 구한 차신호에서 진폭이 최대치의 70% 이상인 파형을 R-파로 결정하고, 그 R-파의 폭은 좌우 양쪽 최저점간의 거리로 결정하며, 좌측점을 ns , 우측점을 ne 라 한다. 그림 4의 세 번째 그림은 $D_USTX[n]$ 를 보이며 그림에서 P-파와 T-파를 강조하기 위해, 위에 언급한 방법으로 결정한 R-파를 제거한 그림으로 P-파와 T-파에 의해 발생한 파형을 보인다.

3-2. 하강 기울기 추적파와의 차신호

식(1)의 $D_USTX[n]$ 파형에 하강 기울기 추적파 $LST[n]$ 를 발생시켜 그 두 파형 사이의 차신호를 구하면 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$D_LSTX[n] = LST[n] - D_USTX[n] \quad (2)$$

그림 4의 두 번째 그림은 $D_USTX[n]$ 와 하강 기울기 추적파 $LST[n]$ 을 같이 보이며, 네 번째 그림은 식(2)로 주어지는 그 신호들 간의 차에서 위에 언급한 방법으로 R-파를 제거한 그림을 보인다.

3-3. P-파와 T-파의 결정

알고리즘의 마지막 단계는 P-파와 T-파를 구하는 과정으로, 위에서 구한 두 개의 차신호, 식(1)과 (2)를 합한다. 그림 4의 마지막 그림은 그 합한 신호를 보이며, P-파는 R-파 이전의 200ms 내의 최대 진폭의 95%로, T-파는 R-파 이후 400ms 내의 최대 진폭의 95%로 결정한다.

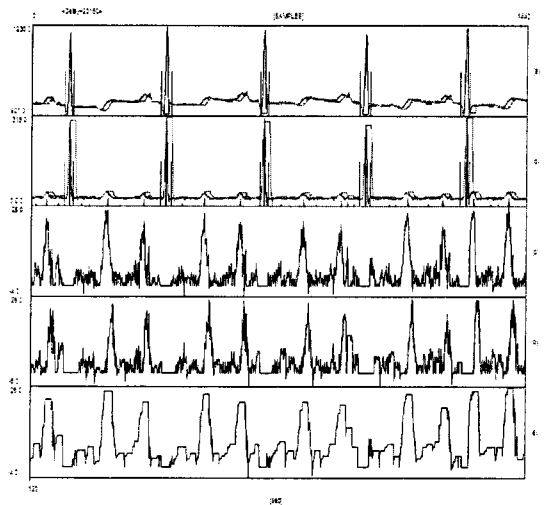


그림 4. 알고리즘의 P-파 및 T-파 검출 과정

4. 실험 및 고찰

본 연구에서는 구현한 알고리즘의 효용성을 검증하기 위하여 MIT/BIH 데이터 중 100번, 101번, 103번, 106번, 113번 5개를 선정하고 알고리즘을 적용하였다. 알고리즘의 효용성과 동작 특성을 눈으로 직접 확인하기 위하여 각 데이터에서 임의로 다섯 개의 8초 구간을 선택하고 그 구간에서의 검출 능력을 조사하였다. 알고리즘은 잡음이 없는 신호인 경우에는 그림 5에 보인 것과 같은 낮은 진폭의 P-파도 용이하게 검출하여 모든 P-파와 T-파를 검출하였으나, 그림 6에 보인 경우와 같이 잡음이 유입된 신호의 경우에는 검출율이 약 60% 정도로 현저히 감소하였다. 그러나 그림에서 보는 바와 같은 신호에서 P-파와 T-파를 육안으로 식별하는 것도 매우 어려워 대부분의 P-파 검출 알고리즘이 이와 같은 파형에서는 어려움을 겪을 것으로 생각한다. 이 경우 이동평균 필터 등의 저역필터를 사용하면 검출율이 크게 향상될 것으로 기대된다.

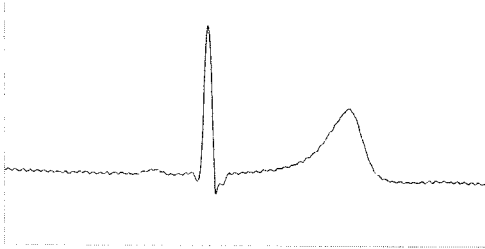


그림 5. 사용된 MIT/BIH 데이터의 예 (113번).

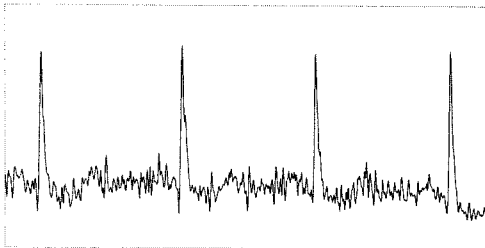


그림 6. 사용된 MIT/BIH 데이터의 예 (101번)

그림 7은 101번 데이터에서 선정된 한 8초 구간으로 기저선 변동을 포함한다. 이 경우 기저선 변동을 제거하기 위한 신호처리 없이도 P-파와 T-파를 효과적으로 검출함을 확인할 수 있었다.

본 실험결과를 구현한 알고리즘의 타당성과 효용성을 보이고 있지만, 그림 6과 같은 잡음이 유입된 경우, 검출율을 향상시키기 위한 방법이 필요하겠다. 또한 개발한 알고리즘을 실제에 적용하기 위해서는 많은 임상적 데이터를 사용하여 알고리즘의 동작특성을 파악이 선행되어야 할 것이다.

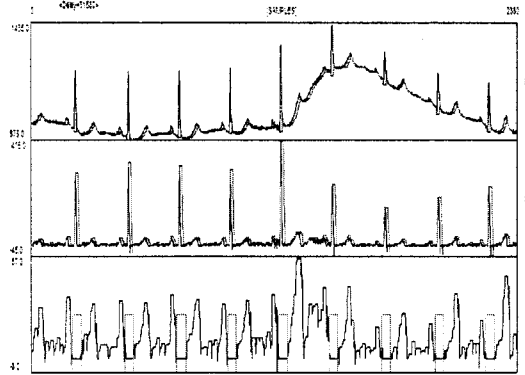


그림 7. 시험에 사용된 MIT/BIH 101번 데이터에 알고리즘이 적용된 예

5. 결론

본 연구에서는 ECG의 P-파와 T-파를 검출하는 단순하면서도 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘은 ECG와 두개의 기울기 추적파간의 차이를 이용하였으며, 그 차이는 신호의 굴곡을 추적하여, P-파와 T-파를 용이하게 검출하였다. 또한 제안된 알고리즘이 신호 굴곡을 구분하고 그 구분된 구간의 형태 특성을 사용하기 때문에, 저주파의 특성을 갖는 베이스라인 변동에 크게 영향을 받지 않았고 기저선 변동이 있는 경우에도 P-파와 T-파를 용이하게 검출할 수 있었다. 그러나 고주파 잡음이 유입된 신호에서는 검출율이 현저히 감소하였다. 따라서 고주파 잡음이 유입된 경우 검출율을 향상시키기 위한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 본 알고리즘을 실제에 적용하기 위해서는 다양한 형태의 데이터에 따른 검출 능력을 고려하여 최고의 검출 능력을 갖도록 알고리즘을 조율하는 작업이 선행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Guyton, A., Textbook of Medical Physiology (6th edition), pp. 176-178, Saunders, Philadelphia, 1981.
- [2] Rangayyan, R., Biomedical Signal Analysis, pp. 205-211, Wiley Interscience, 2002.
- [3] Hengeveld, S. and van Bommel, J., "Computer detection of P waves", Computers and Biomedical Research, 9: 125-132, 1976.
- [4] Gritzali, F. and Papakonstantinou, G., "Detection of the P and T waves in an ECG", Computers and biomedical Research, 22:83-91, 1989.
- [5] 김정국, 정석훈, 권철기, 함광근, 김웅주, 박희남, 김영훈, 허웅, "Biphasic 자동형 제세동기 시스템 개발", 의공학회지, 제25권, 2호, pp.119-127, 2004.