

근사 S-파 궤적을 이용한 심전도의 기저선 변동 제거에 관한 연구

주장규* , 이기영**

A study on eliminating baseline wander of ECG using approximated S-wave contour

Jangkyu Ju*, Ki Young Lee**

요 약

심전도의 기저선 변동은 심전도의 P-파 및 Q-, R-, S-파를 검출하기 어렵게 하는 원인이 된다. 본 연구에서는 기울기추적파를 이용하여 심전도의 기저선 변동을 제거하는 두 가지 방법에 대하여 제시하고 비교하였다. 첫 번째 방법은 이미 제안된 것으로 상승기울기에 의한 기울기추적파를 이용하여 기저선을 제거하는 방법이고 둘째 방법은 제안할 근사적인 S-파의 궤적을 적용하는 방법이다. 이 두 가지 방법 모두 기울기추적파를 이용한 방법이지만, 전자는 상승기울기 추적파와 ECG와의 차신호를 구하는 방법이고, 후자는 하강기울기 추적파에서 얻은 근사적인 S-파의 궤적을 이용하여 기저선을 제거하는 방법이다. 이 방법들을 판별하기 위하여 MIT/BIH 데이터베이스의 심전도를 대상으로 실험하였다.

ABSTRACT

The baseline wander of ECG makes difficult to detect P-, Q-, R- and S-wave. This paper presents and compares two method to remove the baseline wander of ECG using slope tracing waves. For the first method that had been proposed already[1], the ascending slope tracing method is used to eliminate baseline wander. And the second method employs the contour of the approximated S-wave to remove baseline wander. These two methods are common to use the slope tracing wave. However, the first one is to get difference signals between the ascending tracing waves and ECG signals, and the other is to remove baseline wander using the contour of the approximated S-wave obtained from descending slope waves. To evaluate these methods, we apply to MIT/BIH database.

Key-words : ECG, baseline wander, ascending/descending slope tracing waves, approximated S-wave

1. 서 론

현재 사용되고 있는 심전도 장비에서 자주 발생하는 심전도의 기저선 변동은 ECG 신호를 기록하고 P-파 및 Q-, R-, S-파를 모니터링 하는데 종종 접하는 문제 중 하나이다. 기저선 변동은 ECG신호를 기록하기 위해 인체의 특정 부위에 전극을 붙이는데, 피부와 전극 사이에 존재하는 임피던스가 원하지 않게 변할 때 0-2 Hz 범위의 주파수 성분이 섞여 발생한다[1].

기존에 제안된 대표적인 방법으로 3차운형(cubic spline) 보간법을 사용하는 것과 선형 필터링에 의한 디지털 협대역 선형 위상 필터링 방법이 있다[2,3]. 전자는 기존에 알려진 P파와 R파의 간격을 사용하여 기저선 변동을 추출 제거하는 것이며, 후자는 FIR 필터 및 adaptive 필터를 사용하여 저주파 성분인 기저선 변동을 제거하는 것이다. 그러나 이 방법들은 모두 원 신호를 왜곡 시키는 문제점을 가지고 있다[4].

본 연구에서는 심실 세동을 효과적으로 검출하기 위해 개발된 기울기추적파[5]를 이용하여

* 관동대학교 전자통신과

** 관동대학교 의료공학과의교수 (kylee@kwandong.ac.kr)

심전도의 기저선 변동을 제거하는 두 가지 방법에 대하여 제안하고 비교하였다. 첫 번째 방법은 이미 제안된 것으로 상승기울기에 대한 기울기 추적파를 이용한 방법[6,7]으로 상승기울기 추적파와 ECG와의 차신호를 구하는 방법이고, 둘째 방법은 하강기울기 추적파에서 얻은 근사적인 S파의 궤적을 이용하여 기저선을 제거하는 방법이다. 이 두 가지 방법 모두 기울기추적파를 이용한 방법이지만, 전자는 상승 기울기에 대한 추적파를 발생시켜 기저선을 근사적으로 추적해주는 방법이고, 후자는 하강기울기에 대해 추적파를 발생시켜 근사적인 S파의 궤적을 구하는 방법이며, 이들을 이용하여 기저선을 제거한다. 구현된 알고리즘의 실용성을 판별하기 위하여 MIT/BIH 데이터를 합한 테스트 신호를 알고리즘에 적용하였으며, 그 효용성과 타당성을 확인하였다.

II. 기울기 추적파

기울기 추적파는 자동형 제세동기(AED, Automatic External Defibrillator)에서 심실 세동을 효과적으로 검출하기 위해 개발되었다[5]. 본래 제안된 기울기 추적파는 하강 기울기를 크게 가지는 심전도의 R파의 위치를 정확히 검출하기 위해서 개발되었다. 그림1에서 점선부분은 곧은 선의 원신호에 대한 하강 기울기 추적파이며, 그림2는 점선의 상승 기울기 추적파를 보이고 있다. 이들 추적파는 원신호의 매 샘플치가 발생할 때마다 정해진 조건에 따라 새로운 값으로 갱신된다.

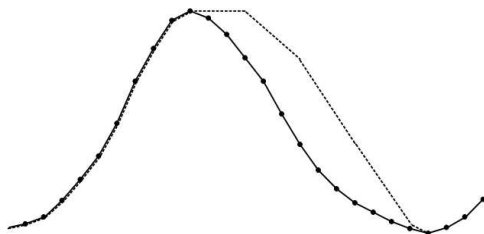


그림 1. 하강 기울기 추적파의 동작
Fig. 1 Operation of descending slope tracing waves

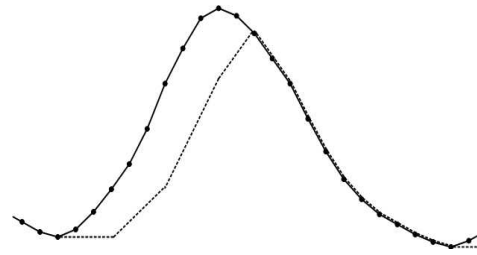


그림 2. 상승 기울기 추적파의 동작
Fig. 2 Operation of Ascending slope tracing waves

그림 1에서 하강 기울기 추적파는 원 신호의 진폭이 증가하는 동안에는 그 증가되는 진폭으로 갱신하면서 진폭을 추적하지만, 더 이상 진폭이 증가하지 않는 피크점에 도달하면 일정한 유지시간(수~수십 ms)동안 최고의 진폭을 유지한 후 원 신호 감소 기울기의 평균치로 하강하게 되며, 원 신호와 기울기 추적파가 만나게 될 때 신호의 전환점이 검출되었다고 판단한다.

그림 2의 하강 기울기 추적파는 그림 1의 하강 기울기 추적파와 반대되는 경우로 하강 기울기 추적파의 피크점은 상승 기울기 추적파의 계곡점에 해당하며 전환점은 하강 기울기 추적파와 마찬가지로 상승하는 원 신호와 기울기 추적파가 만나게 되는 신호 점이다. 상승 기울기 추적파에서도 그림 3과 반대가 되는 경우가 발생하며 이 경우 일정시간 내에서 원 신호의 진폭이 기울기 추적파보다 낮아지면 그때의 최저점은 무시되고 낮은 진폭을 추적해 간다.

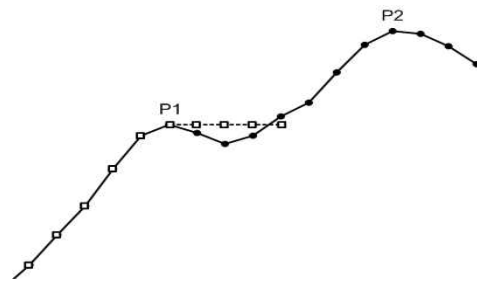


그림 3. 최고점 도달 후 신호의 진폭이 추적파를 초과하는 경우
Fig. 3 The case of the signal magnitude exceeding ascending slope wave after the peak(P1) reached.

두 개의 기울기 추적파는 검출하고자하는 파형의 특성 및 검출하고자하는 파라미터에 따라 하나만 선택하여 사용하거나 두 개 또는 그 이상을 동시에 함께 사용할 수 있다. 본 연구에서 기저선을 제거하기 위한 첫 번째 방법으로 상승 기울기 추적파를 이용하며, 새로이 제안하는 근사적인 S파 궤적을 구하여 기저선을 제거하는 방법에서는 하강 기울기 추적파를 이용한다.

III. 기저선 변동의 제거법

3.1 상승 기울기 추적파를 이용한 방법

이미 제안된 방법[6,7]으로 2장에서 기술한 바와 같이 신호의 상승이 시작하는 점에서 하강이 끝나는 점까지의 간격이 일정한 유지시간과 차이가 크지 않으면 생성되는 상승 기울기 추적파는 신호의 기저선을 근사적으로 추적하게 된다. 따라서 이 추적파는 심전도에서 기저선의 변동을 제거하기 위해 이용할 수 있다. 이를 확인하기 위해 심전도 신호 $x(n)$ 와 상승 기울기 추적파 $s(n)$ 의 차신호 $d(n)$ 를 다음과 같이 정의하였다.

본론은 필요에 따라 3-4 개의 장으로 편집할 수 있습니다.

$$d(n) = x(n) - s(n); 0 \leq n < N \quad (1)$$

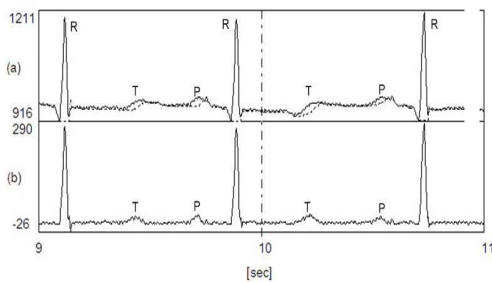


그림 4 상승 기울기 추적파에 의한 기저선의 제거
Fig. 4 Removal of baseline wander by ascending slope waves
(a) $x(n)$:solid, $s(n)$:dot (b) $d(n)$

그림 2(a)에서 곧은 선은 심전도 신호 $x(n)$ 이며 점선은 그에 상응한 상승 기울기 추적파 $s(n)$ 을 보이고 있다. 여기서 점선의 상승 기울기 추적파는 심전도의 R파와 같은 피크파형의 상승이 시작하는 점에서 하강이 끝나는 점까지 일정한 크기의 진폭을 유지하다가 다시 피크파형 이후의 신호를 계속 추적하고 있기 때문에 근사적으로 기저선을 추적하고 있음을 볼 수 있으며, 심전도에서 이 상승 기울기 추적파를 감산하면 피크파형의 크기가 작은 P파나 T파도 크게 훼손되지 않고 있음을 보이고 있다.

3.2 근사적인 S파 궤적을 이용한 제안 방법

2장의 하강 기울기 추적파의 설명에서 기술된 전환점은 심전도에서 QRS군의 R-파를 포함하고 있다. 이 R-파에 연이은 전환점은 QRS군의 S-파에 매우 근사적인 위치에 있다. 여기서, 정확한 S-파의 위치는 R-파에 해당하는 피크점과 전환점 사이에서 최소점이다.

그러나 다음 그림 2에 보이는 바와 같이 심전도는 매우 많은 고주파수 잡음을 포함하고 있으며 그 잡음 외에는 미세하고 저주파수인 피크 신호도 함께 포함하고 있다. 따라서 본 연구에서는 QRS군을 포함하지 않더라도 피크파형들의 피크점에서 하강하여 원신호와 만나는 전환점을 모두 근사적인 S파라 가정하였다. 그런데 다음 그림 4와 같이 이 전환점들 즉, 본 연구에서 가정한 근사적인 S파들을 서로 연결하여 궤적을 구하면 심전도의 기저선에 근사한다는 것을 알 수 있다.

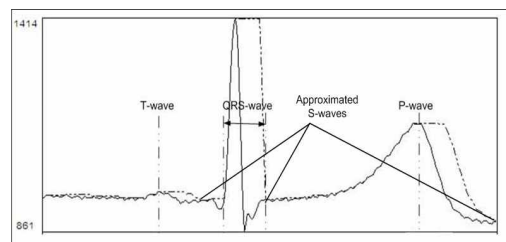


그림 5. 하강 기울기 추적파에 의한 근사적인 S-파의 추출
Fig. 5 Extraction of approximated S-wave through descending slope waves

IV. 실험 및 검토

본 연구에서는 제안한 방법의 효용성을 검증하기 위하여 MIT/BIH 데이터베이스의 심전도를 대상으로 기저선 변동의 제거방법을 실험하였다. 이들 데이터의 샘플링주파수는 360Hz이며 각 심검자로부터 약 30분(=1800초) 동안 심전도를 측정 한 것이다. 본 장에서는 기울기 추적파를 이용한 두 가지 방법에 의해 기저선 변동을 제거한 실험 결과들과 그들에 대하여 비교 검토한다.

4.1 상승 기울기 추적파를 이용한 방법

심전도에서 발생하는 기저선의 변동을 제거하기 위하여 식(1)의 차신호를 이용하였다. 그림 5는 심전도 신호의 기저선이 위로 변동하는 경우 처리한 결과를 보이고 있다. 그림(a)는 심전도 신호이며 그림(b)는 식(1)에 의해 구한 심전도 신호와 그의 상승 기울기 추적파와의 차신호이다. 또한 그림(c)는 그림(b)의 차신호에 하강 기울기 추적파를 적용하여 검출한 피크값들이다. 여기서 기저선의 변동이 제거된 것을 보이고 있다. 그러나 상승 기울기 추적파는 원신호가 하강하는 기울기로 변화할 때 동일한 진폭값을 갖기 때문에 원신호에서 상승 기울기 추적파를 감산할 때 상승하여 하강하는 피크부분이 아닌 하강하는 기울기의 신호는 손실되는 단점이 있다. 따라서 R파 주변의 Q파 및 S파가 손실되어 검출에 어려움을 준다.

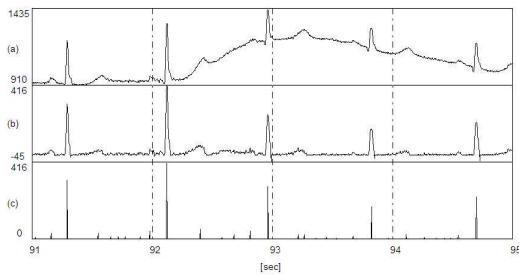


그림 6. 심전도의 기저선 변동이 제거된 예
Fig. 6 Example of removing baseline wander of ECG
(a) $x(n)$ (b) $d(n)$ (c) peaks

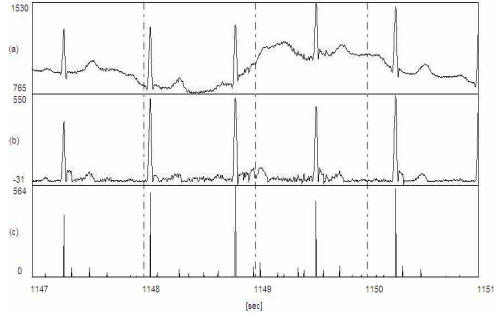


그림 7. 심전도의 기저선 변동이 제거된 예
Fig. 7 Example of removing baseline wander of ECG
(a) $x(n)$ (b) $d(n)$ (c) peaks

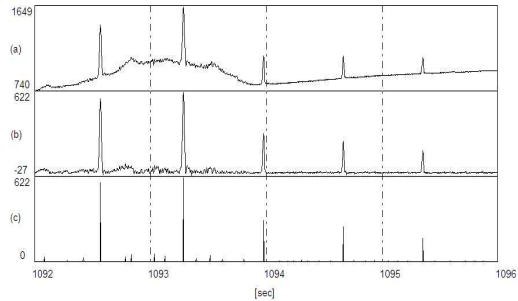


그림 8. 심전도의 기저선 변동의 제거
Fig. 8 Example of removing baseline wander of ECG
(a) $x(n)$ (b) $d(n)$ (c) peaks

4.2 제안된 근사적인 S파 궤적을 이용한 방법

3-2절에서 제안한 근사적인 S파의 궤적을 이용하여 심전도의 기저선을 제거한 결과는 그림 8, 9 및 10과 같다. 이미 제안하였던 3-1절의 제거방법과 비교하기 위하여 동일한 심전도에 적용한 것이다. 본 연구에서 제안하는 방법은 측정된 심전도가 기저선과 심전도의 원신호와의 합으로 이루어 졌다는 가정에서 근사적인 S파의 궤적을 독립적인 기저선으로 접근한 것이기 때문에 4-1절의 결과와 같이 기저선외의 원신호를 손상시키는 단점 없이 원신호의 대부분을 보전해 줄 수 있다.

그림 8은 그림 4와 같은 심전도에 제안방법을 적용한 결과를 보이고 있다. 차이점은 그림

4에서 Q파가 대부분 손상되어 편평화 되었지만 그림 8에서는 원신호의 Q파를 그대로 보전하고 있다. 그림 9과 10은 각각 그림 5와 6과 같은 심전도에 제안방법을 적용한 결과를 보이고 있다. 차이점은 그림 5와 6에서 Q파뿐만 아니라 S파가 대부분 손상되어 각각 편평화되거나 왜곡되었지만 그림 9와 10에서는 원신호의 Q파와 S파를 그대로 보전하고 있다.

또한 결과에서 보이듯이 P파와 T파도 제안한 방법에서 더욱 두드러져 보이기 때문에 P파와 T파를 검출하는데도 우수한 방법임을 확인할 수 있었다.

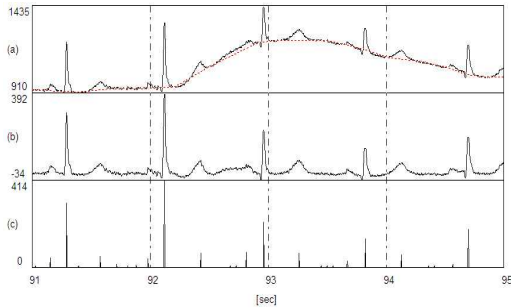


그림 9. 제안 방법에 의한 기저선의 변동의 제거
Fig. 9 Removing baseline wander by the proposed method
(a) $x(n)$ (b) $d(n)$ (c) peaks

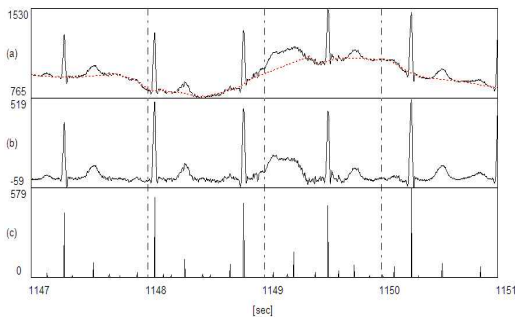


그림 10. 제안 방법에 의한 기저선의 변동의 제거
Fig. 10 Removing baseline wander by the proposed method
(a) $x(n)$ (b) $d(n)$ (c) 피크값들

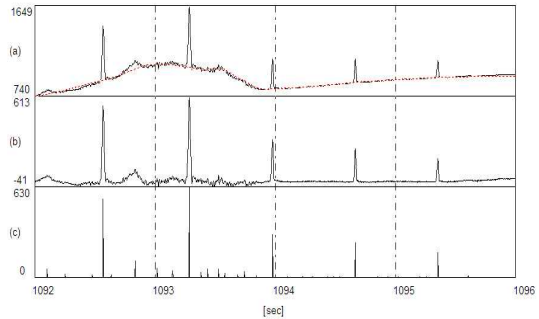


그림 11. 제안 방법에 의한 기저선의 변동의 제거
Fig. 11 Removing baseline wander by the proposed method
(a) $x(n)$ (b) $d(n)$ (c) 피크값들

V. 결 론

본 연구에서는 기울기추적파를 이용하여 심전도의 기저선 변동을 제거하는 두 가지 방법에 대하여 비교하였다. 첫 번째 방법은 이미 제안된 것으로 상승기울기에 대한 기울기추적파를 이용한 방법이고 둘째 방법은 근사적인 S파의 궤적을 이용하는 방법이며 본 연구에서 제안하는 새로운 방법이다. 이 두 가지 방법 모두 기울기추적파를 이용한 방법이지만, 전자는 상승기울기에 대한 추적파를 발생시켜주는 방법이고, 후자는 하강기울기에 대해 추적파를 발생시켜 근사적인 S파의 궤적을 구하는 방법이며, 이들을 이용하여 기저선을 제거한다. 이들을 실험에 적용하여 비교한 결과 본 연구에서 제안하는 근사적인 S파의 궤적을 이용하여 기저선을 제거하는 방법이 보다 효과적임을 확인하였다.

그러나 본 제안 방법은 연속적이지 않은 시간구간의 심전도의 진폭값을 이용하였으므로 근사화된 값과 실제 값에 오차가 있었다. 따라서 보다 정확한 구간을 설정하기 위한 연구와 보다 정확히 근사화된 기저선을 구하기 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 선행 되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] S.H. Oguz, "A morphology based algorithm for baseline wander elimination in ECG records", Biomedical Engineering Days, 157-160, 1992.
- [2] C. R. Meyer, H. N. Kesler, "Electrocardiogram baseline noise estimation and removal using cubic splines and state-space computation techniques", Computer and Biomedical Research, Vol. 10, 459-479, 1977.
- [3] J. A. Van Alste, W. Van Eck, O. E. Herman, "ECG baseline wander reduction using linear phase filters", Computer and Biomedical Research, Vol. 19, 417-427, 1986.
- [4] R. Jane, P. Laguna, N.V. Thakor, P. Caminal, "Adaptive baseline wander removal in the ECG: Comparative analysis with cubic spline technique", Computers in Cardiology 1992, pp : 143 - 146
- [5] 김정국, 정석훈, 권철기, 함광근, 김웅주, 박희남, 김영훈, 허웅, "Biphasic 자동형 제세동기 시스템 개발", 의공학회지, 제25권, 2호, pp.119-127, 2004.
- [6] 이기영, 주장규, 김민구, 김정국, "심전도 기저선 변동의 최소화방법에 관한 연구", ICS06 대한전기공학회 정보 및 제어 학술대회, 2006.
- [7] 주장규, 이기영, "심전도 차신호를 이용한 기저선 변동의 최소화 방법", 한국정보전자통신기술학회 논문지, 제1권 제1호 p.7-12, 2008

저자약력

주 장 규(Jangkyu Ju)



2000년 관동대학교
전자통신공학과 (공학사)
2002년 관동대학교
전자통신공학과 (공학석사)
2004년~현재 관동대학교
전자통신공학과 (박사과정)

<관심분야> 정보통신 및 의공전자

이 기 영(Ki Young Lee)



1992년 명지대학교 전자공학과
(공학박사)
2008년 성균관대학교 생명공학과
(박사수료)
1993년~현재 관동대학교 교수
의료공학과/전자통신공학과

<관심분야> 신호처리 및 의공학