

기울기 추적파를 이용한 ECG의 기저선 변동 제거 알고리즘

An ECG baseline wandering elimination algorithm by using slope tracing waves

*김민규, *최태종, **이기영, ***김정국, ***허웅

Min Kyu Kim, Tea Jong Choi, Ki Young Lee, Jungkuk Kim, Woong Huh

Abstract - This paper describes a new baseline wandering elimination algorithm for ECG based on waveform morphology analysis. The algorithm uses two slope tracing waves to separate the baseline wandering from ECG and approximates the separated baseline wandering to a corresponding sinusoid, and finally, subtracts the approximated sinusoid from the original ECG. The two slope tracing waves, the descending slope tracing wave and the ascending slope tracing wave, were developed for efficient determination of slope inverting points and sudden slope changing points. The algorithm has been applied to MIT/BIH database to verify its efficacy and validity in practical applications.

Key Words : ECG, 기저선 변동, baseline wandering, 기울기 추적파, 검출 알고리즘

1. 서론

심전도의 기저선 변동은 ECG 신호를 기록하고 모니터링 하는데 종종 접하는 문제 중 하나이다. 기저선 변동은 ECG 신호를 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 다항식 보간법을 사용하는 것과 디지털 협대역 선형 위상 필터링 방법이 있다. 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 왜곡시키는 문제점을 가지고 있다[2].

본 연구에서는 원 신호의 형태를 유지하기 위해 필터 사용을 최소화하여 얻은 ECG에서 기저선 변동을 검출하고 제거하는 단순하면서도 효과적인 알고리즘을 구현하였다. 알고리즘은 신호의 기울기 반전점과 기울기의 변화가 큰 기울기 변곡점을 효과적으로 검출하는 두 개의 기울기 추적파를 발생시켜, 기저선 변동 구간의 최대(소)값에서 다음 최소(대)값까지의 구간을 적절한 정현파로 근사화 하고, 그 근사화 된 정현파를 원 신호에서 감산하여 기저선 변동을 제거하였다. 매 샘플링 포인트마다 다시 계산되는 기울기 추적파는, 자신

보다 낮은 신호파형을 따라가는 하강 기울기 추적파와 높은 신호파형을 따라가는 상승 기울기 추적파의 두 가지로 구성 되어 있다.

구현된 알고리즘은 실용성을 검증하기 위하여 MIT/BIH 데이터와 그 데이터에 기저선 변동과 유사한 정현파를 합한 테스트 신호를 알고리즘에 적용하였고, 그 효용성과 타당성을 확인하였다.

2. 기울기 추적파

기울기 추적파는 자동형 제세동기(AED, Automatic External Defibrillator)에서 심실 세동을 효과적으로 검출하기 위해 개발되었다[3]. 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.

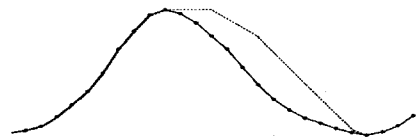


그림 1. 하강 기울기 추적파의 동작



그림 2. 상승 기울기 추적파의 동작

저자 소개

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

통신저자: 김정국, 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 것이지를 결정하는데 매우 유용하다.

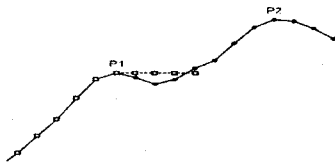


그림 3. 최고점 도달 후 일정시간 t_H (그림에서는 4개의 샘플시간)내에 신호의 진폭이 추적파를 초과하는 경우

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. 기저선 변동 제거 알고리즘

본 연구에서 개발한 알고리즘은 ECG의 기저선 변동을 효과적으로 제거하기 위하여 위에서 설명한 두개의 기울기 추적파를 한 쌍씩 발생시켜 기저선 변동 구간을 결정하고, 그 구간의 저주파 성분을 정현파로 근사화 한 후, 원 신호와 근사화된 정현파의 차이를 구하는 과정으로 구성된다.

먼저 알고리즘은 서로 다른 유지 시간(t_1 , t_2)을 갖는 두개의 하강 기울기 추적파와 두 개의 상승 기울기 추적파를 원 신호를 추적하며 발생시킨다. 여기서 t_1 이 t_2 보다 더 큰 값, 즉 더 긴 시간을 유지한다고 할 때, 유지시간이 긴 t_1 을 갖는 하강기울기 추적파를 D1, 상승 기울기 추적파를 A1, 유지시간이 작은 t_2 를 갖는 하강 기울기 추적파를 D2, 상승 기

울기 추적파를 A2라 한다. 일반적으로 A1과 D1은 낮은 주파수 성분을 검출하는데 효과적으로 사용되며, A2와 D2는 보다 높은 주파수 성분을 검출하는데 사용된다.

그림 4와 그림 5는 서로 다른 유지 시간을 갖는 하강 기울기 추적파와 상승 기울기 추적파를 각각 예로 보인다. 이 경우 긴 유지시간을 갖는 저주파성분을 검출하기 위한 추적파들이 QRS 성분에 의해 저주파신호를 잘못 추적하고 있음을 보인다.

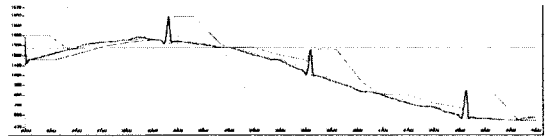


그림 4. 유지시간 $t_1=138ms$ (red) $t_2=27ms$ (cyan)을 사용한 하강 기울기 추적파

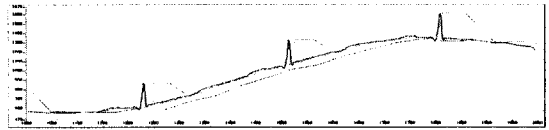


그림 5. 유지시간 $t_1=138ms$ (red) $t_2=27ms$ (cyan)을 사용한 상승 기울기 추적파

이러한 문제를 해결하기 위하여 알고리즘은 다음의 과정을 다르게 된다. 먼저 하강 기울기 추적파 D1의 유지시간 동안 추적파 보다 큰 진폭이 발생하지 않는다면, D2의 움직임을 확인한다. D2가 자신의 유지시간 후 하강하여 원 신호와 교차하는 점이 D1의 유지시간 내에 발생한다면 D1은 잘못된 추적을 하고 있음으로 인지한 후, D2를 이용하여 고주파 성분이 발생한 구간을 역추적 한다. 그 후 D1은 D2에 의해 결정된 높은 주파 성분의 발생 구간을 무시하여 다시 결정된다. 상승 기울기 추적파인 A1과 A2도 추적파보다 낮은 진폭이 발생 하였는가 이 외에는 위에 언급한 과정과 동일한 과정을 밝게 된다.

다음 그림 6과 그림 7은 역 추적하여 고주파성분을 무시하고 새롭게 얻은 하강 기울기 추적파와 상승 기울기 추적파를 보인다. 이 경우 역 추적으로 얻은 새로운 추적파가 신호의 저주파 성분을 제대로 추적하고 있음을 확인할 수 있다.

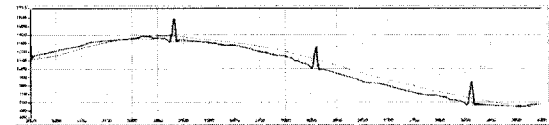


그림 6. 그림 4에서 역 추적하여 고주파 성분을 무시하고 얻은 하강 기울기 추적파

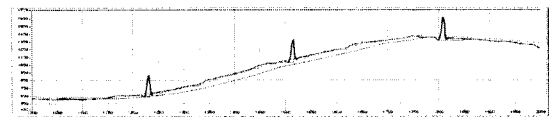


그림 7. 그림 5에서 역 추적하여 고주파 성분을 무시하고 얻은 상승 기울기 추적파

다음 그림 8은 그림 6과 그림 7에 보인 역 추적하여 고주파 성분을 무시하고 얻은 상승 기울기 추적파와 하강 기울기 추적파를 이용하여 가장 높은 진폭을 갖는 구간과 가장 낮은 진폭을 갖는 구간을 하나의 기저선 변동 구간으로 설정한 것을 보이는 그림이다.

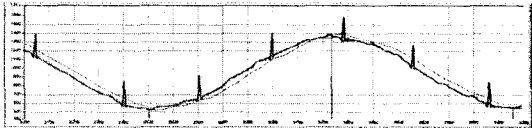


그림 8. 기저선 변동 구간 설정

다음은 위에 언급한 과정으로 얻어진 기저선 변동 구간의 주파수, 진폭, 위상 정보를 이용하여 정현파로 근사화시키는 과정이다. 기저선 변동의 한 구간은 진폭의 최대점과 최소점 사이의 시간으로 나타나며, 위상은 그 최대치나 최소치를 기준으로 결정되고, 진폭은 최대점과 최소점 사이의 진폭차로 결정한다.

마지막으로 위와 같이 근사화한 정현파와 원 신호의 차이를 구함으로써 원 신호에 포함되어있던 기저선 변동을 제거하게 된다.

4. 실험 및 고찰

본 연구에서는 구현한 알고리즘의 효용성을 검증하기 위하여 MIT/BIH 데이터 중 100번, 101번, 103번, 105번 4개를 선정하고, MIT/BIH 데이터와 임의의 저주파 정현파를 합성한 신호까지 알고리즘에 적용하였다.

그림 9는 MIT/BIH 100번 데이터와 진폭이 400, 주파수가 0.25Hz인 정현파를 합성한 신호로 알고리즘의 수행 결과를 보인다. 첫 번째 신호는 합성된 신호이고, 두 번째 신호는 근사화된 정현파를, 세 번째 신호는 합성하기 이전의 ECG를, 마지막 신호는 알고리즘에 의해 기저선 변동이 제거된 파형을 보인다.

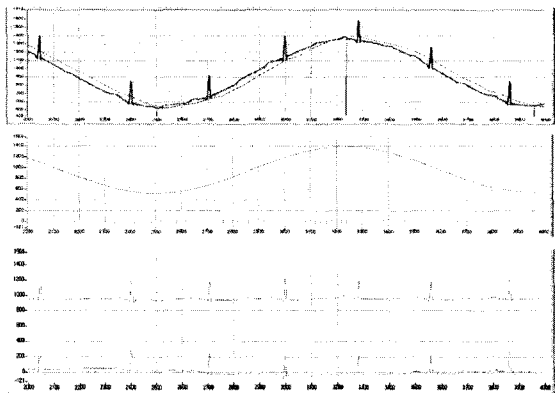


그림 9. MIT/BIH 100번 data와 진폭 400 주파수 0.25Hz인 정현파를 합성한 신호와 알고리즘의 처리 결과.

다음 그림 10은 기저선 변동을 포함하고 있는 MIT/BIH 101번 데이터의 한 구간을 처리한 결과로 기저선 변동이 효

과적으로 제거 되고 있음을 보인다. 그러나 이 경우 구간을 설정하는데 있어서 오차가 발생하여 알고리즘 실행 후 오차가 발생한 것을 알 수 있다.

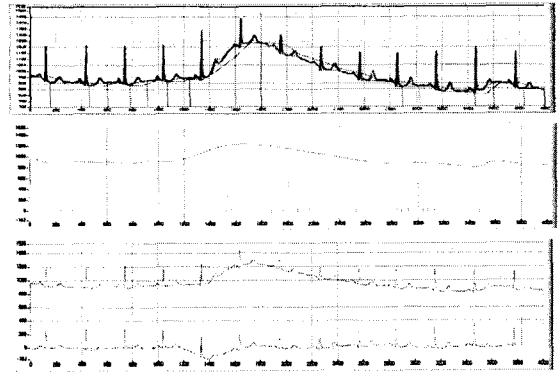


그림 10. MIT/BIH 101번 데이터, 근사화 한 정현파 신호, 원 신호, 원 신호와 근사화 한 정현파 신호의 차

5. 결론

본 연구에서는 ECG의 기저선 변동을 제거하는 단순하면서도 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘은 ECG와 서로 다른 지연시간을 갖는 각각 두개의 상승 기울기 추적파와 하강 기울기 추적파의 동작 특성을 이용하였으며, 그 동작 특성을 이용하여 기저선 변동 구간을 검출하고 그 변동을 제거하였다. 그러나 기저선 변동 구간을 검출하고 제거하기 위해 적절한 지연 시간을 정하는데 있어서 경험적인 시간을 사용하였고, 근사화한 정현파를 구하는데 있어서 단지 최대점, 최소점, 그리고 변동 구간의 시간만을 사용하여 정현파를 구현하였으므로 근사화된 값과 실제 값에 오차가 있었다. 따라서 보다 정확한 구간을 설정하기 위한 연구와 보다 정확한 근사화된 정현파를 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.

참고 문헌

- [1] Oguz, S.H. "A morphology based algorithm for baseline wander elimination in ECG records", Biomedical Engineering Days, 1992. pp : 157 - 160
- [2] Jane, R.; Laguna, P.; Thakor, N.V.; Caminal, P., "Adaptive baseline wander removal in the ECG: Comparative analysis with cubic spline technique", Computers in Cardiology 1992, pp : 143 - 146
- [3] 김정국, 정석훈, 권철기, 함광근, 김용주, 박희남, 김영훈, 허웅, "Biphasic 자동형 제세동기 시스템 개발", 의공학회지, 제25권, 2호, pp.119-127. 2004.