

論文96-33B-7-11

심전도 자동 진단을 위한 기저선 동요 평가 및 제거에 관한 연구

(A Study of Estimation and Removal of Baseline Drift for the Automated Diagnosis of Electrocardiogram)

權 赫 濟 * , 李 明 鑄 *

(Hyukje-Kweon and Myoungho-Lee)

요 약

심전도 신호에서 기저선 동요의 평가 및 제거 방법으로는 선형 보간법, 3차 스플라인 보간법, 쌍선형 널 위상 필터가 널리 사용 된다. 심전도 신호의 등전위면인 PQ, TP 세그먼트를 기준점으로 하여 선형 및 3차 스플라인 보간법의 적용을 통하여 각각에 대한 기저선 동요를 평가 하였다. 양적인 성능 평가를 위하여 일위적으로 만든 4가지의 기저선 동요 레벨을 구성하였으며, 각각의 첨가된 기저선 동요에 대하여 평균 자승 오차와 진폭 히스토그램 등을 이용하여 각 방법에 대한 성능을 분석하였다. 또한 실제 심전도 신호인 CSE 데이터 베이스를 이용하여 성능 평가 방법도 수행하였다. 또한 기저선 동요 레벨의 자동 검출을 위하여 새로운 PQ 및 TP 레벨 결정 방법도 제안하였으며, 또한 심방,실 조기 수축에 대한 새로운 기저선 동요 평가 방법도 제안하였다. 위의 성능 평가 방법을 통하여 본 논문에서 제시한 PQ 및 TP 세그먼트를 동시에 기준점으로 설정하여 3차 스플라인 보간법을 이용한 방법(CS_PQ & TP)이 가장 효율적인 방법임을 확인할 수 있었다.

Abstract

Estimation and removal procedures for baseline drift have been developed using linear, cubic spline, and bilinear transformed high pass filter. Linear and cubic spline interpolation with the PQ and TP segments, which are considered to be isoelectric, as fiducial points have been estimated respectively. For a quantitative validation of the estimation procedure, 4 ECGs with artificial baseline drift were constructed and analyzed by mean square error calculations and amplitude histograms. Also real ECGs were analyzed in a test set of the CSE data set 3 and set 4. Baseline drift detection rule were designed and new method for the decision of fiducial point were constructed to avoid distorting as the case of premature ventricular or atrial contraction. From these comparison, proposed cubic spline method with PQ and TP segment(CS_PQ & TP) emerged as the most efficient method.

I. 서 론

심전도 신호처리에 있어서 안정된 기저선은 모든 특성 파라미터의 진폭을 측정하는 데 기준이 된다. 따라서 기저선 동요 현상이 발생하는 심전도 신호에서 적절한 교정 과정 없이는 정확한 진단 결과를 기대하기

힘들다. 특히 Q파와 ST-T 세그먼트와 같이 저 진폭, 저 주파수 성분을 갖는 파형에 대한 기저선 동요의 발생으로 인한 왜곡은 심근 경색(myocardial infarction)이나 심장 혀혈증 (ischemic heart disease)의 진단에 영향을 끼친다.

기저선 동요는 주로 호흡이나 환자의 움직임 때문에 발생되며, 대부분이 1 Hz 미만의 주파수 성분을 갖는다. 기저선 동요의 검출 및 제거 알고리즘의 구현에 있어서 가장 큰 어려움은 이 기저선 동요를 예측할 수

* 正會員, 延世大學校 電氣工學科

(Electrical Eng., Yonsei Univ.)

接受日字:1996年3月12日, 수정완료일:1996年5月29日

없다는 것이다. 따라서 기저선 동요의 모델링 방법은 구현이 불가능하고, 대부분 분석적 방법을 사용한다^[1].

대표적인 기저선 동요 제거를 위한 분석적 방법은 보간법(interpolation), 다항식 곡선 조정 방법(polynomial curve fitting) 및 고 대역 통과 필터링 방법이 있다. 보간법을 이용한 기저선 동요 평가 방법은 선형 근사화 방법(linear approximation)과 3차 스플라인 근사화 방법(cubic spline approximation)으로 나눌 수 있다.

Macfarlane^[2]은 연속적인 두개의 QRS 컴플렉스 시작점(onset point) 사이에 선형 보간법을 이용하여 기저선 동요 레벨을 검출 및 제거하였다. 이때 두 QRS 컴플렉스 사이의 진폭차가 0.5mV이하일 때에는 선형 보간법을 사용하였으며, 0.5mV 이상이면 1Hz를 차단 주파수로 갖는 고 대역 통과 필터를 사용하였다.

Meyer^[3]와 Froning^[8]은 3차 스플라인 보간법을 이용하여 기저선 동요를 검출 및 제거하였다. 이때 기준점(fiducial point)으로는 각 QRS 컴플렉스 앞의 PQ 마디(knot)를 사용하였다. PQ 마디는 PQ 세그먼트 레벨과 동일하게 설정된다. 기준점의 설정 과정이 끝나면, 이와 같은 기준점 집합에 대하여 식 (2)와 같은 3차 스플라인 보간법을 이용하여 기저선 레벨을 평가한다. 그러나 이 논문에서는 기저선 레벨인 PQ 마디 값을 설정하는 방법만 설명되어있고, PQ 마디 선택의 기준이 되는 QRS 컴플렉스뿐만 아니라 PQ 세그먼트 결정과정에 대한 설명이 없다. 신^[9]은 최대 하향 기울기를 갖는 점(R파)에서 약 66ms앞의 점에 대한 좌우 9점들에 대한 평균값을 PQ 마디로 결정하였다.

Mcmanus^[4] 등은 6차 다항식을 이용하여 2.5초간 받은 심전도 데이터에 대하여 기저선 동요를 제거하였다. 다항식 곡선 조정법은 최소 자승 곡선 조정(least square curve fitting)을 이용한 방법으로서, 주어진 데이터와 다항식과의 거리를 최소화 하도록 조정(fit)해 가는 방법이다. 그러나 이 방법의 단점은 많은 기준점(PQ 또는 TP 세그먼트)을 갖는 데이터(약 8개 이상)에 대해서는 6차 다항식이 기저선 레벨을 제대로 조정(fit)하지 못한다는 것이다. 따라서 긴 시간의 심전도 입력 데이터를 받는 경우의 기저선 동요 제거에는 적합치 않다. 그럼 1에 나타낸 바와 같이 8개 이상의 기준점을 갖는 데이터는 6차 다항식으로는 기저선 레벨을 제대로 조정(fit)하지 못함을 알 수 있다. 따라서 이 방법을

통해 처리할 수 있는 심전도 데이터 길이는, PQ 마디(knot)만을 기준점으로 설정할 때는 최대 8개의 QRS 컴플렉스 PQ과 TP 세그먼트를 기준점으로 잡을 때는 최대 4개의 QRS 컴플렉스 이다. 심전도 자동 진단을 위한 입력 데이터 길이는 약 10초 정도를 필요로 하기 때문에 이와 같은 방법은 적합치 않다. 따라서 이 방법은 본 논문의 비교대상에서 제외하였다.

Alste^[5] 등은 기저선 동요 제거를 위한 비 회귀필터를 제안하였고, Franke^[7] 등은 기저선 동요 제거를 위한 선형 위상 특성을 갖는 쌍선형 널 위상 필터(bilinearly transformed null-phase filter)를 설계하였다.

본 논문은 기저선 동요 자동 검출 방법 그리고 새로운 기저선 동요 평가 방법으로, 심전도 신호의 등전위면인 PQ와 TP 세그먼트의 결정과정 및 이를 기준점으로 하여 3차 스플라인 보간법을 이용한 방법(CS_PQ & TP)에 대하여 설명한다. 또한 기존에 제안된 여러 가지 기저선 동요 제거 방법들과 본 논문에서 제안한 방법에 대하여 인위적으로 만든 데이터와 실제 심전도 데이터(CSE 데이터 베이스)에 대한 실험을 통해 제안된 기저선 제거 방법(CS_PQ & TP)에 대한 성능의 비교 평가를 수행한다. 또한 기외수축등이 포함된 심전도 신호에 대한 새로운 기저선 동요 평가 방법(ACS_PQ & TP)도 제안하다.

II. 연구방법

1. 기저선 동요 유,무 검출

본 논문에서 제안한 기저선 동요 평가 및 제거 알고리즘은 심전도 자동 진단 장치와 같이 독립적인 하드웨어 시스템에서 구동하도록 설계한 것이다. 따라서 입력되는 심전도 신호 중에는 기저선 동요가 발생하지 않는 것도 존재하고, 또한 환자의 큰 동작 등으로 인하여 자동 진단이 불가능할 정도의 큰 기저선 동요가 발생되는 심전도 신호가 입력되는 경우도 존재한다. 만약 기저선 동요가 발생하지 않은 심전도 신호에 대하여 기저선 동요 제거 알고리즘을 수행할 경우, 원 신호에 대한 왜곡을 불러일으켜 진단 결과에 오류를 발생시킬 수도 있다. 따라서 입력되는 심전도 신호에 대한 기저선 동요 유,무의 검출이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 기저선 동요의 유,무 검출방법으로 오직 PQ 세그먼트의 기저선 레벨 만을 사용한다. 기저선 동요의 정

도는 기울기로 가장 잘 나타낼 수 있기 때문에, 본 논문은 RR 간격을 이용하여 심박수에 따른 기저선 유, 무 검출을 위한 문턱 값을 다음과 같이 설정하였다. 만약 기울기가 0.15mV/s 이하면 기저선 동요가 없는 것으로 간주하고, 0.15mV/s 부터 0.6mV/s 사이의 값이면 제거 가능한 기저선 동요가 있는 것을 간주하고, 0.6mV/s 이상이면 기저선 동요가 너무 커 정확한 기저선 제거 효과를 기대할 수 없는 것으로 간주한다. 여기서 기저선 동요의 발생 유무를 결정하기 위한 문턱 값은 이에 대한 객관적 기준(golden standard)이 없고 또한 기존의 기저선 동요 제거 알고리즘에 대한 논문들이 이와 같은 기저선 동요 레벨의 자동 검출에 대한 자세한 언급이 없기 때문에 본 논문은 실험을 통해 결정하였다.

2. 3차 스플라인 보간식

심전도 신호의 기저선 동요 평가 방법으로는 선형 보간법, 3차 스플라인 보간법, 다항식 곡선 조정법, 쌍 선형 널위상 필터 방법이 널리 사용된다. 본 논문에서는 심전도 신호의 기저선 동요 평가 방법으로 PQ 및 TP 세그먼트를 기준점으로 적용한 3차 스플라인 보간법을 사용하였다. 3차 스플라인 보간법은 기존에 많은 연구자^{[3][8-9]}에 의하여 자세히 언급되었기 때문에 이에 대한 자세한 설명은 생략하고 간략히 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

주어진 입력 심전도 신호에 대한 함수 $y_i = y(x_i)$, $i = 1, \dots, N$ 에서 특정한 간격 x_i 와 x_{i+1} 을 고려할 때 이때 사용한 3차 스플라인 보간식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = A y_i + B y_{i+1} + C y''_i + D y''_{i+1} \quad (1)$$

여기서 상수 A,B,C,D는 각각 $A = \frac{x_{i+1}-x}{x_{i+1}-x_i}$, $B = 1 - A = \frac{x-x_i}{x_{i+1}-x_i}$, $C = \frac{1}{6}(A^3 - A)(x_{i+1} - x_i)^2$, 그리고 $D = \frac{1}{6}(B^3 - B)(x_{i+1} - x_i)^2$ 로 정의된다. y''_i

는 y_i 의 2차 미분한 값이며, y''_i 의 초기화는 모두 0으로 설정하는 방법(natural cubic spline)과 1차 미분을 이용하는 두 가지 방법^[3]이 있는데 본 논문은 이 중 전자를 사용하여 y''_i 를 초기화 하였다.

3. PQ 와 TP 세그먼트 검출 및 기저선 레벨 결정

PQ와 TP 세그먼트는 심전도 신호에서 등 전위면으

로 여겨진다^[10]. 이와 같은 2 개의 등 전위 레벨의 정확한 결정은 보간법과 같은 근사화 과정을 이용한 기저선 동요 제거 성능에 큰 영향을 끼친다. 본 논문은 PQ 세그먼트 레벨과 더불어 TP 세그먼트 레벨을 3차 스플라인 근사화를 위한 기준 레벨로 설정하기 위하여 다음과 같은 방법을 이용하였다. 우선 공간 속도를 이용하여 QRS 콤플렉스를 검출하고 QRS 콤플렉스의 시작점(onset point)과 끝점(end point)을 대략적으로 잡는다^[11]. 그리고 이와 같은 시작점에서 전방향으로 40, 50, 그리고 60ms 값의 평균값을 구하여 이를 PQ 세그먼트에 대한 기저선 레벨로 결정한다. TP 세그먼트는 심 박수에 따라서 좁아지거나 넓어지는 성질이 있기 때문에 심 박수에 따라 세그먼트 결정 범위가 결정된다. 이때 식(2)을 이용하여 대략적인 T파의 끝점을 심 박수에 따라서 설정한다^[12]. TP 세그먼트 레벨은 추정된 T파의 끝점으로부터 PQ 세그먼트 결정과정과 마찬가지로 40ms, 60ms 뒤의 값을 구하여 평균값을 TP 세그먼트 기저선 레벨로 결정하게 된다.

$$\begin{aligned} \text{HR} \leq \text{beats/min} (\text{RR} > 1\text{sec}) & : Q_s + 420\text{ms} \\ 60 < \text{HR} \leq 80 \text{beat/min} (0.75 < \text{RR} < 0.98) & : Q_s + 372\text{ms} \\ 80 < \text{HR} < 100 \text{beat/min} (0.6 < \text{RR} < 0.75) & : Q_s + 320\text{ms} \\ \text{HR} \geq (\text{RR} < 0.6) & : Q_s + 272\text{ms} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 Q_s 는 QRS 콤플렉스의 시작점을 나타낸다.

그러나 심방 또는 심실 조기 수축(ventricular premature contraction:VPC)과 기외수축(extrasystole)과 같은 파형에서는 정확히 TP 세그먼트 레벨을 결정하기가 어렵다. 따라서 이와 같은 경우에는 TP 세그먼트를 결정하지 않고, 오직 PQ 세그먼트 레벨만을 구하여 기저선 동요 근사화를 수행한다. 이 중 심실 조기 수축(VPC) 결정과정은 식 (3)을 이용한다^[13].

$$\begin{aligned} \text{RR interval (previous best)} & \leq \text{average RR} \times 80\% & (3) \\ \text{RR interval (next beat)} & \geq \text{average RR} \times 105\% \end{aligned}$$

III. 실험 및 결과 고찰

본 논문은 전 절에서 결정된 기준 레벨을 이용하여 다음과 같은 4가지의 기저선 동요 제거 방법을 사용하였다. 첫번째 방법은 PQ 마디만을 기준점으로 하여 3차 스플라인 보간법을 적용한 경우(CP_PQ)이고, 두 번째는 PQ 마디와 TP 세그먼트를 기준점으로 하여 3차 스플라인 보간법을 적용한 경우(CS_PQ & TP)이고, 세 번째는 PQ 마디와 TP 세그먼트를 기준점으로

하여 선형 보간법을 적용한 경우(LP_PQ & TP), 그리고 네 번째는 쌍 선형 널 위상 필터를 적용한 경우(BLNPF)이다.

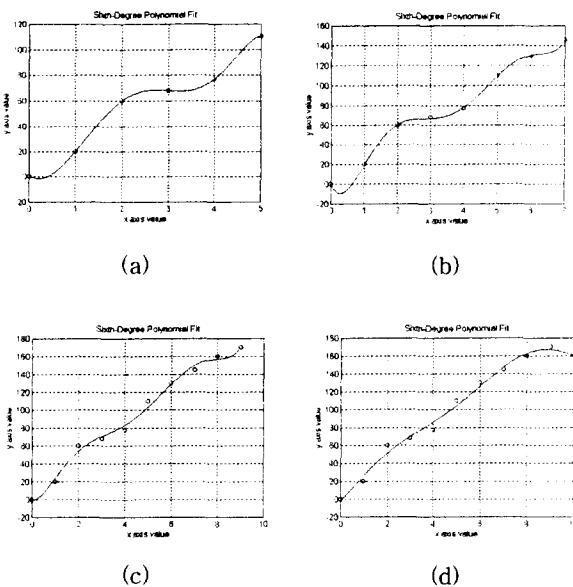


그림 1. 기준점의 개수에 대한 6차 다항식 곡선 조정 (a) 기준점이 6개일 때 (b) 기준점이 8개 일 때 (c) 기준점이 10개일 때 (d) 기준점이 11개일 때

Fig. 1. A sixth-order polynomial curve fitting procedure with respect to the number of fiducial point. (a) 6 points (b) 8 points (c) 10 points (d) 11 points

비교 평가를 위한 실험 데이터로 그림 2와 같이 기저선 동요가 없는 원 신호에 인위적으로 만든 4가지 종류의 기저선 동요를 더한 인위적인 데이터(그림 3)와 실제 심전도 데이터로 CSE 데이터 베이스 중 기저선 동요가 발생되는 파형을 사용하였다.

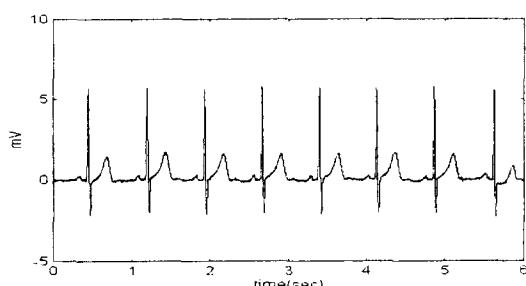


그림 2. 기저선 동요가 없는 기준 심전도 신호
Fig. 2. Drift-free reference ECG signal.

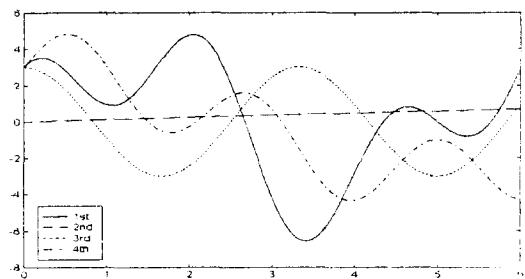


그림 3. 인위적으로 만든 4가지 형태의 기저선 레벨
Fig. 3. Four types of artificial baselines.

그림 4는 그림 2의 심전도 신호에 그림 3의 첫번째 기저선 레벨인 $4 \sin(2\pi \times 0.2) + 3 \cos(2\pi \times 0.45)$ (mV)를 첨가한 심전도 신호에 대하여 각 방법에 대한 기저선 레벨 평가 결과를 나타낸 그림이다. 이때 입력 신호는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_b(n) = y_o(n) + \alpha(n) \quad (4)$$

여기서 $y_o(n)$ 은 그림 2의 기저선 동요가 전혀 없는 신호를 나타내며, $\alpha(n)$ 은 추가된 기저선 레벨을 나타낸다. 그림 4에서 'o'는 평가된 기준점을 나타낸 것이다. 그림 5는 입력 신호 y_b 에서 평가된 기저선 레벨 $e(n)$ 을 뺀 결과를 나타낸 그림이다.

그림 5에서 실선으로 나타낸 파형은 그림 2의 원 신호 $y_o(n)$ 이며 점선은 y_b 에서 평가된 기저선 레벨 $e(n)$ 을 뺀 결과를 나타낸 그림이다. 이상적인 기저선 동요 제거는 $e(n)$ 과 $\alpha(n)$ 이 같을 경우인데, 그림 5에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제시한 PQ와 TP 세그먼트를 기준점으로 한 3차 스플라인 근사화 방법(CS_PQ & TP)이 기존의 기저선 동요 평가 방법들보다 우수한 성능, 즉 기저선 동요 레벨을 가장 잘 제거함을 알 수 있다. 이는 그림 6을 통해서도 확인 할 수 있는데, 그림 6은 기저선 제거 전, 후의 심전도 신호에 대한 진폭 집합의 히스토그램을 나타낸 그림이다. 그림 6의 (a)는 그림 2의 기저선 동요가 없는 심전도 신호에 대한 진폭 히스토그램이며 (b)는 인위적으로 만든 기저선 동요 (그림 3의 첫번째)를 첨가한 심전도 신호의 진폭 히스토그램이며 (c)-(f)는 사용된 4가지 기저선 동요 제거 방법을 적용한 후의 출력 신호에 대한 진폭 히스토그램이다.

표 1은 4가지의 인위적으로 만든 기저선 동요(그림

3)에 대한, CS_PQ, CS_PQ & TP, LI_PQ & TP, BLPNF 방법을 통하여 기저선 동요가 제거된 신호에 대한 평균 자승 오차 값을 비교한 표이다. 이때 기준으로 사용된 심전도 신호는 그림 2에 나타낸 신호를 사용하였다. 표 1에서 기저선 레벨이 DC 성분에 가까울 수록 (그림 3의 2번째 기저선 레벨) LI_PQ & TP에서 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 그 이외의 경우는 CS_PQ & TP의 성능이 가장 우수함을 알 수 있다.

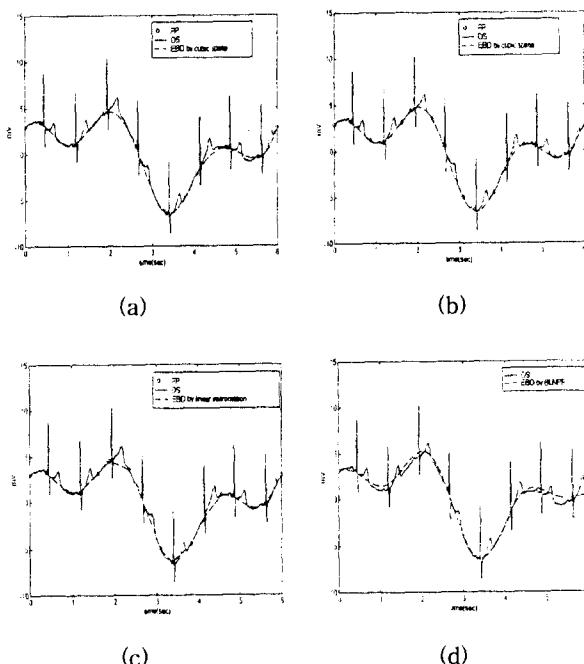


그림 4. 인위적으로 만든 기저선 동요를 첨가한 심전도 신호에 대한 기저선 레벨의 평가 결과
(a) CS_PQ (b) CS_PQ & TP (c) LI_PQ & TP (d) BLPNF

Fig. 4. Evaluation results of baseline drift with ECG formed by adding artificial baseline drift. (a) CS_PQ (b) CS_PQ & TP (c) LI_PQ & TP (d) BLPNF

그림 7은 실제 심전도 데이터(CSE 데이터 set 3 : #53 V1)에 대한 기저선 동요 레벨 평가 결과를 나타낸 그림이다. 이 과정에서 심 박수에 따른 최대 기울기 값은 0.39mV/s 으로서 제거 가능한 기저선 동요가 있는 것으로 판정된다. 인위적인 기저선 동요를 첨가한 과정(그림 4)과 마찬가지로, CS_PQ & TP 방법이 가장 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

그림 8은 심실 조기 수축(VPC)가 발생하는 과정으

로, TP와 PQ 세그먼트를 기준점으로 하여 3차 스플라인 보간법(CS_PQ & TP)을 적용한 예(그림 (a),(b))와 기외수축이 발생하는 과정 앞, 뒤 콤플렉스에 대해서만 PQ 세그먼트 만을 기준점으로 사용하고, 그 외에는 TP,PQ 세그먼트를 기준점으로 사용하여 3차 스플라인 보간법(ACS_PQ & TP)을 적용한 예(그림(c),(d))를 비교한 결과이다.

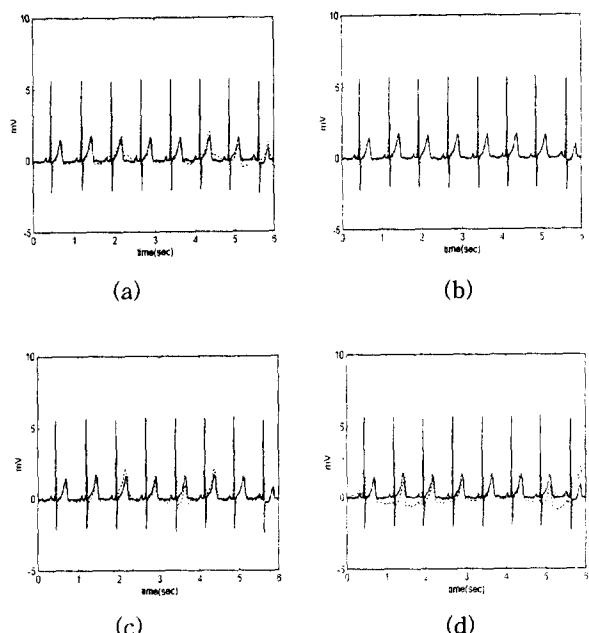


그림 5. 그림 4에서 평가된 기저선 동요를 제거한 결과 (a) CS_PQ (b) CS_PQ & TP (c) LI_PQ & TP (d) BLPNF

Fig. 5. Results of removed baseline drift estimated from Fig. 4. (a) CS_PQ (b) CS_PQ & TP (c) LI_PQ & TP (d) BLPNF

본 실험 결과 본 논문에서 제안한 CS_PQ & TP 방법이 가장 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 그러나 다음과 같은 경우에는 기저선 동요 제거 후 왜곡 현상이 발생한다. 첫 번째는 급작성 기저선 변이(sudden baseline shift)가 발생되는 경우로(그림 9), T파에 큰 왜곡 현상이 발생되며, 두 번째는 방실 부조화(AV dissociation)에 의해 P파 일부가 QRS 콤플렉스에 혼입되는 경우로(그림 10), PQ 세그먼트의 기저선 레벨을 잘못 측정하여 왜곡 현상이 발생된다.

IV. 결 론

본 연구를 통하여 심전도 신호의 등전위 면인 PQ

세그먼트와 TP 세그먼트를 기준점으로 설정한 후 3차 스플라인 보간법을 이용한 결과가 가장 최적으로 기저선 동요 레벨을 근사화 할 수 있었다.

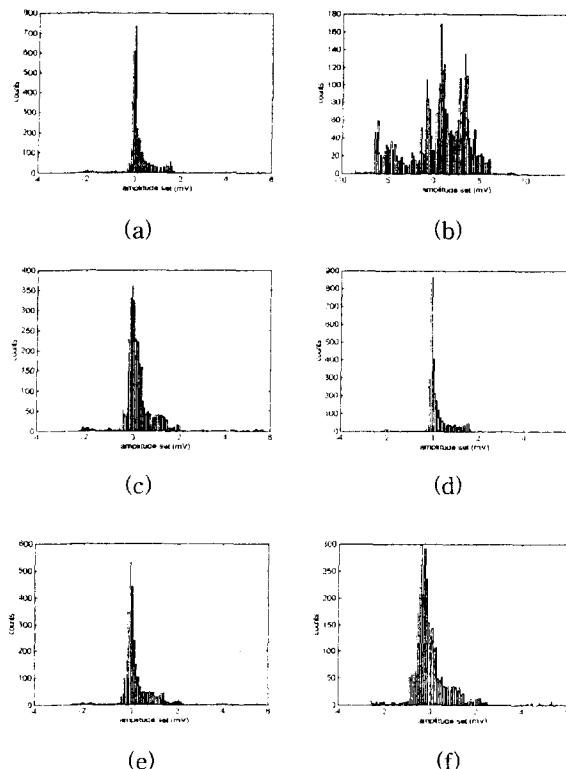


그림 6. 기저선 동요 제거 후 진폭 히스토그램

(a)기저선 동요가 없는 기준 심전도 신호(그림 2) (b)인위적으로 만든 기저선 동요를 첨가한 심전도 신호(그림 3) (c)CS_PQ (d) CS_PQ & TP (e) LI_PQ & TP (f) BLNPF

Fig. 6. Amplitude histogram after baseline drift removal (a) Amplitude histogram of the drift-free reference ECG (fig. 2) (b) Amplitude histogram of ECG formed by adding artificial baseline drift (fig. 3) (c) Amplitude histogram after CS_PQ (d) CS_PQ & TP (e) LI_PQ & TP (f) BLNPF

또한 기저선 동요의 유무 검출을 위한 기준을 마련하여, 동요가 없는 경우에 기저선 동요 제거를 수행함으로서 생기는 신호의 왜곡과 시간적 손실을 줄일 수 있었다. 또한 TP 세그먼트를 기준점으로 설정 함으로서 생기는 기저선 제거 후 신호의 왜곡 현상을 해결하기 위하여 심실 조기수축과 기외 수축 등과 같이 TP 세그먼트를 정확히 결정할 수 없는 파형의 경우는 P-

Q 세그먼트만을 이용함으로서 정확한 기저선 동요 레벨을 검출할 수 있었다.

표 1. 4가지의 서로 다른 인위적인 기저선 동요를 첨가한 심전도 신호에 대한 평균 자승 오차(RMSE).

Table 1. RMSE(Root Mean Square Error) for one ECG with 4 different artificial baseline drift.

No. of Artificial baseline	Distored ECG	CS_PQ	CS_PQ&TP	LI_PQ&TP	BLNPF
1	3.1268	0.2119	0.0474	0.2372	0.4607
2	0.1997	0.0431	0.0349	0.0342	0.0836
3	2.0783	0.0432	0.0429	0.1227	0.3445
4	2.7211	0.1386	0.0474	0.1928	0.2129

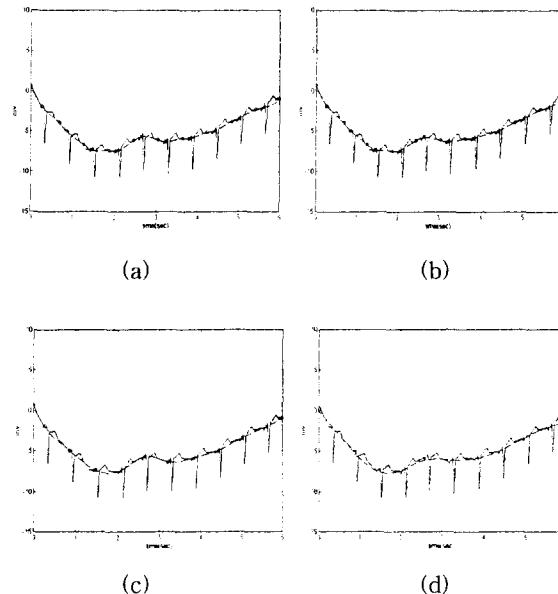


그림 7. 기저선 동요를 갖는 실제 심전도 신호에 대한 기저선 레벨의 평가 결과 (CSE 데이터 set 3 : #53 V1) (a) CS_PQ (b) CS_PQ & TP (c) LI_PQ & TP (d) BLNPF

Fig. 7. Evaluation results of real ECG with inherent baseline drift (CSE data set 3: #53 V1) (a) CS_PQ (b) CS_PQ & TP (c) LI_PQ & TP (d) BLNPF

4가지 기저선 동요 제거 방법의 정량적인 비교 평가를 위하여 4가지 종류의 인위적으로 만든 기저선 동요를 사용하였으며 진폭 히스토그램을 통하여 기저선 동요가 발생되는 신호는 진폭 분포가 상당히 넓게 퍼지고, 안정된 기저선을 갖는 신호 즉, 기저선 동요가 없

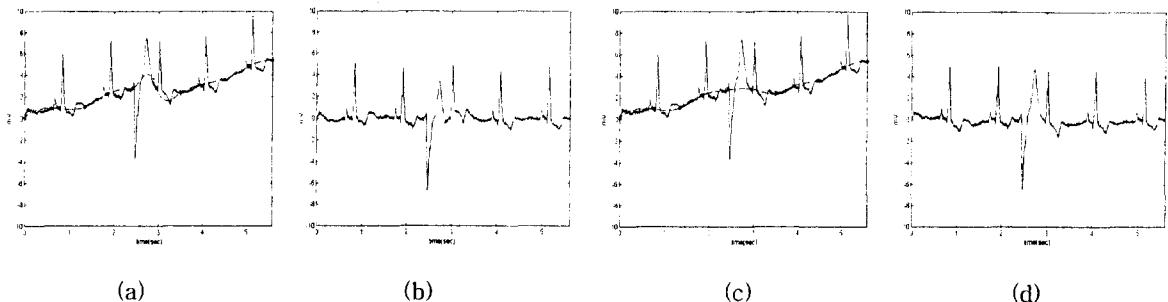


그림 8. 기외수축(extrasystole)에 대한 기저선 레벨 평가 및 기저선 레벨이 제거된 후의 출력 결과 (a) CS_PQ & PT (b) 기저선 동요 제거 후의 출력 결과(CS_PQ & PT) (c) ACS_PQ & PT (d) 기저선 동요 제거 후의 출력 결과(ACS_PQ & PT)

Fig. 8. Estimation results of baseline wander in real ECG which has extrasystole and results after removing estimated baseline wander. (a) CS_PQ & PT (b) Results after removing by(CS_PQ & PT) (c) ACS_PQ & PT (d) Results after removing by (ACS_PQ & PT)

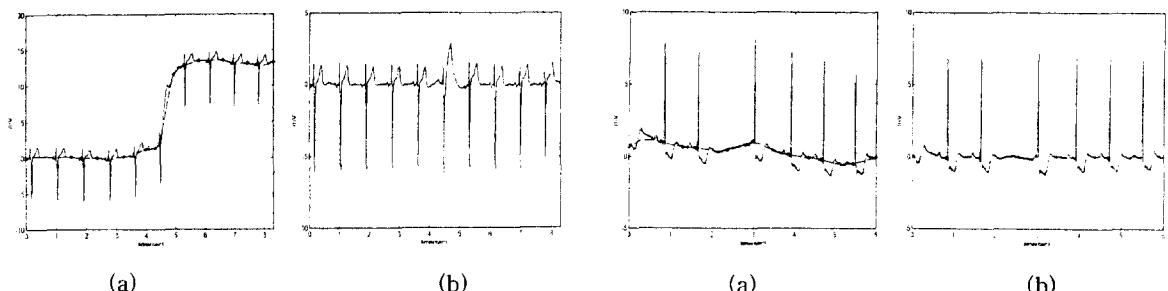


그림 9. 급작성 기저선 동요에 의한 출력 결과의 신호 왜곡 (a) 원 신호 및 평가된 기저선 레벨 (b) 기저선 동요 제거 후의 출력 결과

Fig. 9. The distortion of the output signal due to a sudden baseline shift. (a) The original signal with the estimated baseline (b) Output result after baseline drift removal.

는 신호의 경우는 진폭 분포가 집중되어 있음을 알 수 있었다.

실제 심전도 신호에서는 기저선 동요가 있는 신호와 이를 제거한 신호에 대한 분산 값의 감소 정도를 통하여 어느 정도의 성능 비교는 가능했지만, 기준 신호에 대한 객관적인 정보가 없기 때문에 정확한 비교 평가가 불가능하였다.

원래 심실 조기 수축(VPC)과 같은 신호는 심방 조기 수축(APC)과의 정확한 구분을 위하여 각 파형에 대한 QRS 콤플렉스 특성 표시 결과를 이용하여야 한다. 따라서 본 논문과 같은 RR 간격만을 이용하여 검출할 경우, 심실 조기 수축(VPC) 뿐만 아니라 심방 조기 수축(APC)도 이 기준에 해당되어, 제안된 기저선

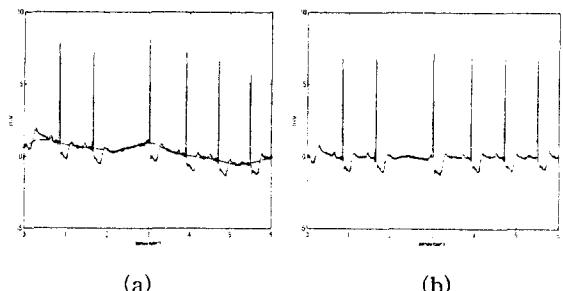


그림 10. 방실 부조화에 의한 출력 결과의 신호 왜곡 (a) 원 신호 및 평가된 기저선 레벨 (b) 기저선 동요 제거 후의 출력 결과

Fig. 10. The distortion of the output signal due to an atria-ventricle dissociation (a) The original signal with the estimated baseline (b) Output result after baseline drift removal.

동요 제거 방법(CS_PQ & TP)이 아닌 심실 조기 수축(VPC)에서 사용된 기저선 동요 제거 방법(ACS_PQ & TP)이 적용된다. 그러나 심방 조기 수축(APC)을 갖는 파형은 심실 조기 수축(VPC)과 같이 큰 T파를 갖지 않기 때문에 기저선 동요 제거 후에 큰 왜곡 현상은 발생되지 않았다.

그림 9와 같이 급작성 기저선 동요 현상이 발생하는 신호에서, 기저선 동요가 제거된 파형을 그대로 진단 파라미터 계산 과정에 사용되는 경우, T파 진폭에 대한 평균값은 원래의 T파 진폭보다 큰 값을 얻게 될 것이다. 따라서 이와 같은 경우는 ST-T 세그먼트에 대한 특성 표시 과정을 통하여 신호 패턴이 다른 ST-T 파는 대표 파형을 구하기 위한 평균화 과정에서 제외

시킴으로서 정확한 T파 진폭 값을 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J.H. van Bemmel, C. Zywietz, J.A. Kors, "Signal analysis for ECG interpretation", Meth. Inform. in Med. vol 29, 317-329, 1990.
- [2] P.W. Macfarlane, H.T. Cawood, T.D.V. Lawrie, "A basis for computer interpretation of serial electrocardiograms", Comp. & Biomed. Res. vol 8, pp 189-200, 1975.
- [3] C.R. Meyer, H.N. Keiser "Electrocardiogram baseline noise estimation and removal using cubic splines and state-space computation techniques", Comp. Biomed. Res. vol 10, pp 459-465, 1977.
- [4] C.D. MacManus, U. Teppner, and D. Neubert, "Estimation and removal of baseline drift in the electrocardiogram", Comp. & Biomed. Res. vol 18, pp 1-9, 1985.
- [5] J.A. van Alste, T.S. Schilder, "Removal of base-line wander and power-line interference from the ECG by an efficient FIR filter with a reduced number of taps, IEEE Trans. Biomed. Eng, vol 32, 1052- 1060, 01985.
- [6] E.W. Pottala, J.J. Bailey, et al, "Suppression of baseline wander in the ECG using a bilinearly transformed, null phase filter, Jour. Electrocardiology, vol 22, pp 243-247, 1989.
- [7] R.A. Frankel, E.W. Pottala, et al, "A filter to suppress ECG baseline wander and preserve ST-segment accuracy in a real-time environment", Jour. Electrocardiology, vol 24, pp 315-323, 1991.
- [8] J.N. Froning, V.F. Froelicher, and M.D. Olson, "Application and limitations of continuous baseline estimation and removal using a cubic-spline technique during exercise ECG testing, p 537, In K.L. Ripley(ed), Comp. in cardiology, 1988.
- [9] 신건수 "심전도 자동진단을 위한 의료전문가 시스템의 설계", 연세대학교 박사학위 논문, pp 37, 1992
- [10] Emanuel Stein, "Interpretation of arrhythmias self-study program", Lea & Febiger (Philadelphia), 1988.
- [11] H.J. Kweon, J.W. Suk, and M.H. Lee, "Intelligent QRS typification using Fuzzy clustering algorithm" proc. of 16th International Conference on EMBS, IEEE, pp 760-761, Montreal, Canada, 1995.
- [12] F. Gritzali, G. Frangakis, and G. Papakonstantinou, "Detection of the P and T wave in an ECG", Comp. & Biomed. Res. vol 22, pp 83-91, 1989.
- [13] R.J. Prineas, R.S. Crow, and H. Blackburn, "The Minnesota code manual of electrocardiographic findings - standards and procedure for measurement and classification", John Wright, 1982.

저 자 소 개

權 赫 濟(正會員) 第 30卷 B編 第 6號 參照

李 明 鎬(正會員) 第 28卷 B編 第 7號 參照

현재 연세대학교 전기공학과 교수