심장질환진단을 위한 ECG파형의 특징추출

Feature Extraction of ECG Signal for Heart Diseases Diagnoses

김현동* · 민철홍** · 김태선***
(Hyun-Dong Kim* · Chul-Hong Min** · Tae Seon Kim***)

Abstract - ECG limb lead II signal widely used to diagnosis heart diseases and it is essential to detect ECG events (onsets, offsets and peaks of the QRS complex, P wave and T wave) and extract them from ECG signal for heart diseases diagnoses. However, it is very difficult to develop standardized feature extraction formulas since ECG signals are varying on patients and disease types. In this paper, simple feature extraction method from normal and abnormal types of ECG signals is proposed. As a signal features, heart rate, PR interval, QRS interval, QT interval, interval between S wave and baseline, and T wave types are extracted. To show the validity of proposed method, Right Bundle Branch Block (RBBB), Left Bundle Branch Block (LBBB), Sinus Bradycardia, and Sinus Tachycardia data from MIT-BIH arrhythmia database are used for feature extraction and the extraction results showed higher extraction capability compare to conventional formula based extraction method.

Key Words : ECG signal, heart diseases, feature extraction, detection, classification

1. 서론

심전도는 신체표면에서 측정 가능한 심장의 전기적 활성단계를 반영하는 미약한 전기신호이다. 심장의 전기적 활성단계는 크게 심방 탈분극, 심실 탈분극, 심실 재분극 시기로 나뉘며, 이러한 각 단계는 그림1에 나타난 바와 같이 P, QRS, T파라고 불리는 몇 개의 파의 형태로 반영된다. 이러한 파들은 표준 형태를 갖추어야 심장의 전기적 활성이 정상이라고 볼 수 있다. 표준 형태인지 아닌지를 파악하기 위해서는 다음과 같이 각 파가 유지되는 시간, 각 파끼리의 간격, 각 파의 진폭, 첨도 등의 특징들이 정상 범위에 속하는지를 검사하여야 한다. 측정된 심전도 파형은 단지 시간에 따른 심장의 전위차를 나타내는 것에 불과하다. 따라서 원래 심전도 파형에서 부여할 수 있는 정상 파형과 비정상 파형을 구분하기 위한 특징을 추출해야할 필요성이 있다. 이러한 특징을 얻어내기 위해서는 우선 P, QRS 및 T파 각각의 시작점, 끝점 및 정점을 찾아내야한다. 이 정보를 바탕으로 각 파끼리의 간격, 각 파가 유지되는 시간 및 각 파의 진폭 등을 알아낼 수 있다. 각각의 특징정보들은 임상데이터를 바탕으로 통계적 방법을 통해 얻은 정상 범위가 있다. 따라서 이러한 특징들이 정상범위에 들지 않는다면 심장 질환이 있을 가능성이 크다는 것을 암시하게 된다. 즉, 평균적으로 이런 정상범위에 들지 않는 파형들이 많이 있다면 심장질환이 있다고 판단할 수 있고 따라서 심장질환의 진단을 위하여 ECG신호의 특징추출은 필수적인 부분이다.

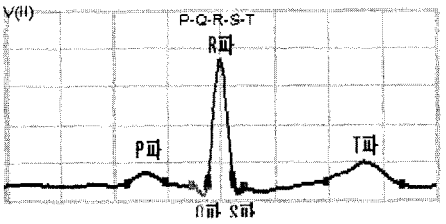

그림 1 ECG신호의 주요 특징 파형

심전도의 특징추출을 위해서는 많은 연구가 되어왔다. 대표적인 방법으로 교차 상관 함수와 자기 상관 함수를 이용하여 상관관계를 바탕으로 정상 ECG 파형과 이상 ECG 파형을 비교하여 구하는 방법이 있다[1]. 또 다른 접근 방식으로는 ECG 신호의 형태적인 특징을 이용하여 수학적인 공식을 유도하여 구현한 "So and Chan"의 방법과 "Pan and Tompkins" 방법 등이 있다[2]. 또한 Wavelet변환을 이용해서 ECG 파형의 특징을 추출하는 방법이 있다[3]. 본 논문에서는 복잡한 연산을 필요로 하는 기존의 통계적인 방법이나 수학적 공식유도방법을 대신할 수 있도록 정점과 baseline의 교차점을 기준으로 하는 새로운 특징추출 방법을 제시한다.

2. 기존의 심전도 특징 추출 방법

기존의 다양한 방법들 중 ECG 신호의 형태적인 특징을 이용

저자 소개
* 學生會員 : 가톨릭大學 半導體시스템工學科
** 學生會員 : 가톨릭大學 半導體시스템工學科
*** 正 會 員 : 가톨릭大學 情報通信電子工學部 助敎授 · 工博

하여 수학적인 공식을 유도하여 구현한 대표적인 방법인 "So and Chan" 방법이 있다. 제안한 방법의 성능평가를 위하여 3장에서 이 방법과 추출결과를 비교하였으며 그 구체적인 방법은 다음과 같다. "So and Chan" QRS detection 방법은 ECG 파형의 기울기와 기울기의 임계값을 비교하여 QRS complex의 시작점을 찾는다. 먼저 시간 n에서의 ECG신호의 기울기 값은 식 (1)에 의해 얻는다.

$$slope(n) = -2X(n-2) - X(n-1) + X(n+1) + 2X(n+2) \quad (1)$$

또한 기울기의 임계값은 식 (2)에 의해 얻는다.

$$slope_{thresh} = \frac{thresh_{param}}{16} * maxi \quad (2)$$

두 개의 연속적인 ECG 데이터는 slope(n) > $slope_{thresh}$를 만족할 때 QRS complex의 시작점을 찾아 낼 수 있다. 여기서 변수$thresh_{param}$는 2,4,8,16으로 설정할 수 있다. QRS complex의 시작점을 찾은 후에 최대값(maxi)은 R파의 정점으로 간주한다. 여기서 maxi의 값은 식 (3), (4)에 의해 갱신된다.

$$maxi = \frac{first_{max} - maxi}{filter_{param}} + maxi \quad (3)$$

$$first_{max} = = height\,of\,Rpoint - height\,of\,QRSonset \quad (4)$$

이 식은 갑작스런 값의 변동을 평탄화 하는 필터의 역할을 한다. 여기서 $filter_{param}$은 2,4,8,16으로 설정할 수 있다. 초기 maxi값은 ECG 파일에서 최초 250개의 데이터 점들 중에서 경사의 최댓값이다.

3. 특징 추출

3.1 R파의 정점추출

심전도는 심장이 한 번 순환할 때마다 P, QRS 및 T파가 한 번씩 만들어지며 주기적으로 비슷한 파형의 연속적인 형태를 띠고 있다. 따라서 이 주기를 알면 각각의 파형을 구분할 수 있다. 정상 ECG파형의 경우는 일반적으로 0.6~1초사이의 RR interval을 갖는다. 정상 ECG의 경우는 R 파의 정점은 하나의 ECG 파형에서 가장 큰 전압치를 갖는다. 따라서 0.8초를 주기로 최댓값에 해당하는 값을 찾아내면 그 값이 R 파의 정점에 해당한다. 동서맥의 경우는 RR interval이 1초 이상 되는 경우에 해당한다. 0.8초를 주기로 R 파의 정점을 찾게 되면 동서맥의 경우에는 중간 중간에 R파가 없는 구간이 생기게 되어 잘못된 R파를 잡는 경우가 생긴다. 이러한 경우는 baseline을 기준으로 일정한 수의 문턱 값을 적용하여 추출된 R파의 크기가 이 문턱 값을 넘지 못하면 R파로 인정하지 않는다.

3.2 Q파 및 S파의 추출

Q파와 S파는 각각 R파의 왼쪽과 오른쪽에 위치한다. Q파와 S파의 경우는 정점이 아래로 향하는 곡선을 그린다. 따라서 추출한 R파의 정점을 기준으로 Q파의 정점과 S파의 정점은 R 파의 정점에서 왼쪽과 오른쪽에서 가장 전압의 크기가 낮은 점을 찾으면 된다. Q파의 시작점은 찾은 Q파의 정점을 기준으로 왼쪽에서 처음으로 baseline과 만나는 점에 해당한다. 그리고 S파의 끝점은 추출한 S파의 정점을 기준으로 오른쪽에서 첫 번째로 baseline과 만나는 점에 해당한다. 신호에 따라 Q파와 S파가 없는 경우도 있는데 이 경우에는 R파만 있는 것으로 간주하여 R파가 baseline과 만나는 두 점을 각각 QRS complex의 시작점 및 끝점으로 추출하면 된다. Q파와 S파를 찾아내면 Q파의 시작점부터 S파의 끝점까지의 거리를 구할 수 있고 이것이 QRS duration에 해당한다. 일반적으로 QRS duration이 0.12초 이상이면 비정상으로 우각차단(Right Bundle Branch Block, RBBB)이나 좌각차단(Left Bundle Branch Block, LBBB)에 해당한다.

3.3 P파 및 T파의 추출

P파와 T파는 각각 QRS complex의 왼쪽과 오른쪽에 위치한다. P파는 정점이 위로 향하는 곡선이며, QRS complex의 시작점의 왼쪽에서 전압값이 가장 큰 점을 찾으면 P파의 정점이 된다. P파의 시작점과 끝점은 각각 P파의 정점의 왼쪽과 오른쪽에서 baseline과 만나는 점에 해당한다. T파의 경우는 정상파형은 정점이 위로 향하는 곡선이나 LBBB의 경우는 정점이 아래로 향하는 곡선의 형태를 취한다. 따라서 T파의 정점은 QRS complex의 끝점을 기준으로 오른쪽에서 최댓값과 최소값을 구한 후 이 중 baseline과의 차가 큰 값이 정점에 해당한다. 이렇게 추출된 정점을 기준으로 각각 왼쪽과 오른쪽에서 baseline과 만나는 두 점을 찾아 T파의 시작점 및 끝점을 찾을 수 있다. P파와 T파를 찾아내면, 그림 3에 나타난 바와 같이 P파의 시작점에서 QRS complex의 시작점까지의 거리로 PR interval을 구할 수 있고, QRS complex의 시작점으로부터 T파의 끝점까지의 거리로 QT interval값을 구할 수 있다. PR interval의 정상 범위는 0.12~0.20초이고, QT interval의 정상범위는 0.35~0.45초이다.

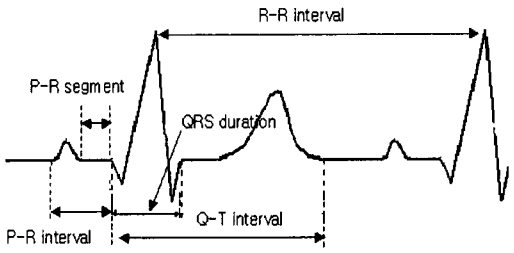

그림 2 ECG신호의 주요 interval값들

4. 실험결과

제안한 방법의 효용성 평가를 위하여 MIT-BIH의 arrhythmia 데이터베이스의 정상 ECG파형 및 좌각차단, 우각차단, 동빈맥 및 동서맥의 네 가지 질환에 대한 100개의 데이터에 대하여 특징추출을 실행하였고 "So and Chan"의 방법과 결과를 비교하였다. 100개의 데이터 중 우각차단증상을 보이는 20개의 신호에 대하여 "So and Chan"의 방법은

slope(n) > $slope_{thresh}$를 만족하는 지점을 찾을 수 없어 QRS complex의 시작점을 찾아 낼 수 없었고 결국 특징추출에 실패하였다. 반면 제안한 방법은 100개의 데이터에 대해 모두 특징추출이 가능하였다. 그림 3은 MIT-DB 101번 데이터(정상파형)를 "So and Chan" 방법과 본 논문에서 제시한 방법으로 이용하여 추출한 심전도 파형의 각 특징점 (P, QRS, T의 시작점, 정점, 끝점)을 비교한 그림이다. "So and Chan"의 방법에서 구해진 값은 점으로 표시하였고 제안한 방법에 의해 추출된 지점은 네모로 표시되었다. 두 가지 방법에서 추출된 점들에 따른 각 파들의 간격은 위쪽의 실선으로 표시하였고, 올바른 파의 간격은 아래쪽의 점선으로 표시하였다. 점선으로 표시된 간격은 전문가의 파형분석을 통한 기준간격이다. 즉, 점선으로 나타낸 간격과 위치 및 크기가 일치되는 정도로 특징추출방법의 성능을 평가할 수 있다.

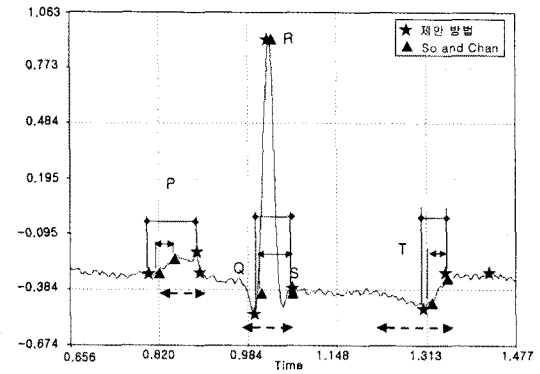

그림 3 정상파형에 대한 특징추출 비교

마찬가지로 그림 4는 MIT-DB 214번 데이터(좌각차단)를 "So and Chan"의 방법과 본 논문에서 제시한 방법을 이용하여 추출한 각 특징점과 각 파들의 간격, 표준이 되는 기준간격을 표시하였다.

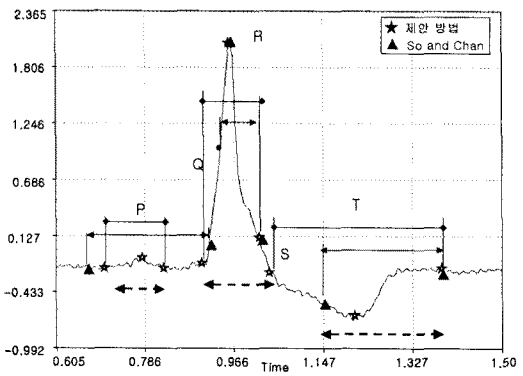

그림 4 좌각차단에 대한 특징추출 비교

표 1은 정상신호 및 질환을 갖고 있는 비정상 신호에 대하여 기준간격을 바탕으로 두 가지 방법에서 추출한 특징값의 오차정보를 나타낸다. 표에 나타난 바와 같이 제안방법은 정상파형의 T-duration에서만 기존 방법 대비 0.03초 정도의 오차가 컸으며 나머지 특징들에 대해서는 모두 우수한 결과를 보였다. 특히 제안 방법은 P-duration에 있어 기존의 방법 대비 매우 우수한 결과를 보였다.

	101번(정상)					214번(좌각차단)				
	So and Chan 방법		본논문 제안방법		기준값	So and Chan 방법		본논문 제안방법		기준값
	측정값	오차	측정값	오차		측정값	오차	측정값	오차	
P duration	0.031	0.066	0.101	-0.004	0.097	0.359	-0.266	0.101	-0.005	0.093
QRS duration	0.054	0.024	0.062	0.016	0.078	0.074	0.032	0.109	0.027	0.136
T duration	0.035	0.152	0.367	-0.18	0.187	0.285	-0.092	0.226	-0.033	0.193

표 1 두 가지 추출 방법의 측정결과 및 오차 (단위: sec.)

5. 결론

본 논문에서는 심전도 파형의 형태적인 특징을 이용하여 정상 및 비정상 형태의 신호에서 특징을 추출하는 방법을 소개하였다. 먼저 P, QRS 및 T파 각각의 시작점, 끝점 및 정점을 찾아내고 이를 바탕으로 심박수, QRS interval, PR interval, QT interval 및 T파의 유형에 관한 특징들을 추출하였다. MIT-BIH의 데이터베이스의 arrhythmia 데이터를 바탕으로 기존의 방법과 특징추출 결과를 비교하였고, 신호의 형태를 바탕으로 수학적 공식을 유도한 기존의 방법에 비해 짧은 연산시간에 상대적으로 정확한 특징추출이 가능함을 보였다. 이를 통하여 심전도 신호를 기반으로 하는 심장질환의 진단에 있어 진단율의 향상을 기대할 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

[1] Alias Bin Ramli and Putri Aidawati Ahmad, "Correlation analysis for abnormal ECG signal features extraction", Proc. of IEEE 4th National Conf. on Telecom. Technology , Shah Alam Malaysia, pp. 232-237, 2003

[2] K. F.Tan, K. L. Chan and K.Choi, "Detection of the QRS complex, P wave and T wave in electrocardiogram", Proc. of IEEE Advances in Medical Signal and Information Processing, September pp. 41-47, 2000

[3] Ming-Yao Yang, Wei-Chin Hu and Liang-Yu Shyu ,"ECG events detection and classification using wavelet and neural networks", Proc. of the 19th IEEE Int'l Conf. on Engineering in Medicine and Biology, Oct. 30 - Nov. 2, Chicago, IL. USA, pp. 289-292, 1997