시간 지연 2차원 좌표계를 이용한 실시간 QRS 검출에 관한 연구

정 석 현°, 이 정 환, 이 병 채, 이 명 호
연세대학교 공과대학 전기공학과

A Study on Real Time QRS complex Detection Algorithm Using 2-Dimensional Time-Delay Coordinates

Sukhyun Jung, Jeongwhan Lee, Byungchae Lee and Myoungho Lee
Dept. of Electrical Engineering
Yonsei University

ABSTRACT

This paper describes a real time QRS detection algorithm. The proposed algorithm detects QRS complex using charteristics of the 2-dimensional phase portrait which is reconstructed from 1-demensional scalar time series.

We observe the phase portrait of ECG signal has special trejectory when QRS complex occurs and apply it to detect QRS complexes.

In order to evaluate the performance of the proposed algorithm,we use MIT/BIH arrhythmia database. As a result, the proposed algorithm correctly detects 99.3% of the QRS complexes.

1. 서 론

심전도(ECG) 신호는 심장의 전기적 활동을 체표면에서 전위차를 이용하여 검출한다. 심전도 신호는 크게 3부분으로 이루어지는데, 심방의 흥분을 보여주는 P-wave, 심실의 흥분을 보여주는 QRS Complex, 심방이 초기 전기 상태로 돌아가려는 상태를 보여주는 T-wave로 구성된다. 이러한 구성요소 중에 QRS Complex의 검출은 심장의 활동을 모니터링하는데 아주 중요한 과정의 하나로, 이에 관한 많은 연구들이 현재까지 진행되고 있다. 본 연구에서는 심전도 시계열 신호를 2차원 위상공간에 재구성하고 좌표계의 벡터특성을 이용한 새로운 QRS 검출 알고리즘을 제안하였다. 심전도 신호에서 QRS Complex를 검출하는데 위상공간 재구성 방법을 적용할 수 있는 가장 큰 이유는 시계열 데이터(전기 신호로 검출되어진 심전도 신호)가 위상공간상에 투시되어지는 궤적은 매우 파형에 종속적인 독특한 궤적을 그린다는 것이다. 이는 P-wave나 T-wave와는 구별되어지는 형태로, QRS complex의 검출에 용이한 성질을 제공해준다. 또한 시간-지연 좌표계를 이용한 위상공간 재구성 방법은 상대적으로 다른 신호처리 기술보다 간단하고 많은 계산을 필요로 하지 않는다는 잇점때문에 누구나 쉽게 데이터를 이용하여 구성할수 있으며, 실시간 QRS complex 검출을 가능하게 해준다.

우리는 이러한 시간-지연 좌표계를 이용한 위상공간 재구성법을 이용하여 심전도 신호에서 QRS complex를 검출하는데 필요한 조건들과 검출 알고리즘을 제안하고, 알고리즘의 평가를 위하여 이를 심전도 데이터 베이스(MIT/BIH arrhythmia database)에 적용하여 그 결과를 살펴보고자 한다.

2.위상공간 재구성

카오스적 동력학을 분석하기 위해 사용하는 방법중의 하나가 위상공간(phase space) -또는 상태공간(state space)-상에 재구성하는 것으로 n차의 시스템의 n개의 상태변수로 구성된 궤적을 시각적으로 표현하기 위해 상태변수를 축으로 하는 n차원의 공간을 지칭하는 말이다.

매 순간의 상태의 값은 위상공간위의 한 점이 되고 이들은 일정한 시간이 경과함에 따라 궤적(trajectory)을 형성하게 된다.

위상공간상에 형성되는 이러한 궤적은 통계학적인 정보를 제공하며, 동력학 시스템의 정상상태의 특성을 위상공간상에 나타내며 잡음과는 구분된다.

위상공간 재구성 방법으로 최근에 널리 사용되고 있는 것은 상태변수를 지연시간으로 하는 지연시간좌표계를 이용한 방법이다. Takens에 의하면 이러한 재구성법은 동력학 변수에는 영향을 주지 않으면서 위상학적으로는 등가의 궤적을 제공한다.

2차원 위상공간에 나타나는 심전도 신호의 궤적은 지연시간에 따라 같은 신호라도 서로 상이한 형태를 그리게 된다. 따라서 이러한 궤적의 형태로 QRS검출을 하는 방법을 사용하기 위해서는 적절한 지연시간의 결정이 매우 중요하므로 본래의 심전도 신호의 변화에 따라 2차원 위상공간상의 궤적의 변화가 가장 확실하게 구분 되어질 수 있어야 한다. 지연시간 변화에 따른 위상공간상의 궤적의 변화는 그림과 같다.

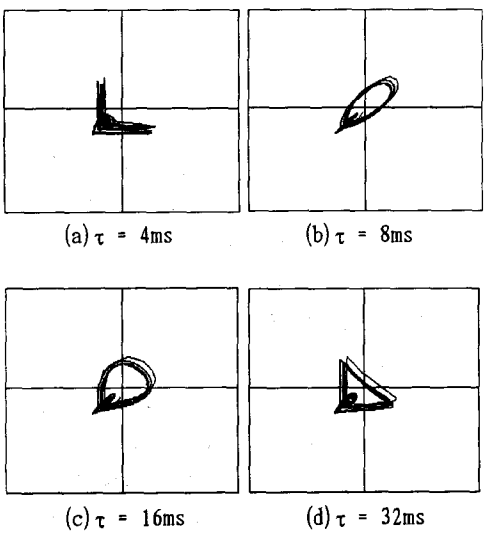


그림1 지연시간(τ)변화에 따른 궤적 변화

본 연구에서 상호 정보량(mutual information)법과 Fill-Factor 알고리즘을 사용하여 구한 적절한 지연시간은 20ms 인 것으로 나타났다.

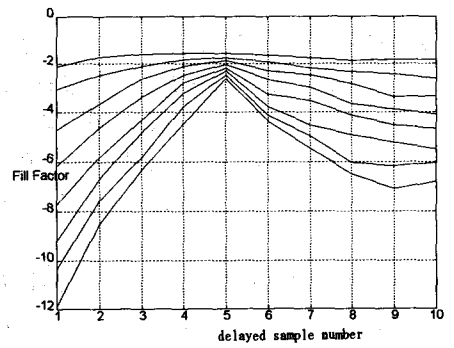


그림1. 심전도 신호의 Fill-Factor

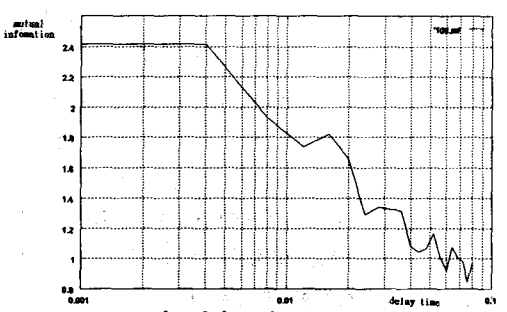


그림3 심전도 신호의 상호정보량

3. QRS 검출 알고리즘

심전도 신호의 피이크를 위상공간상의 궤적이 변화하는 패턴을 이용하여 검출하기 위해서는 이 궤적이 되도록 넓은 면적을 이루면서 형성되어야 함은 물론 잡음에 의한 영향도 고려해 주어야 하는데 이는 잡음성분에 의해 원 신호에 왜곡이 생겼을 경우 위상공간상의 궤적에도 영향이 미치기 때문이다. 고대역 잡음 성분에 대해서는 상당한 궤적의 왜곡을 초래하여 패턴 매칭에 직접적인 문제를 야기 시키는 반면에 기저선 동요와 같은 저대역 잡음성분에서는 궤적의 왜곡보다 궤적 전체가 원점을 통과하는 직선에 따라 이동하는 현상이 발생하므로 패턴 매칭에는 별 영향을 미치지 않는다. 따라서 위상공간상에서 궤적의 패턴 매칭에 앞서 전처리과정으로 저대역 통과 필터링을 한다.

적절한 지연시간을 갖는 2차원 위상공간상에 궤적과 본래의 심전도 신호와의 관계를 살펴보면 심전도 신호가 피이크(P파, QRS파, T파)를 형성할 때 위상공간상의 궤적은 하나의 루프를 그리게 되는데 피이크를 이루는 지점이 위상공간상의 궤적에서는 그 루프 중 기준점에서 가장 먼 지점을 통과하게 된다. 이러한 특성을 토대로 심전도 신호가 피이크를 이룰때 위상공간상의 나타나는 궤적의 패턴을 실험을 통하여 얻어내었다.

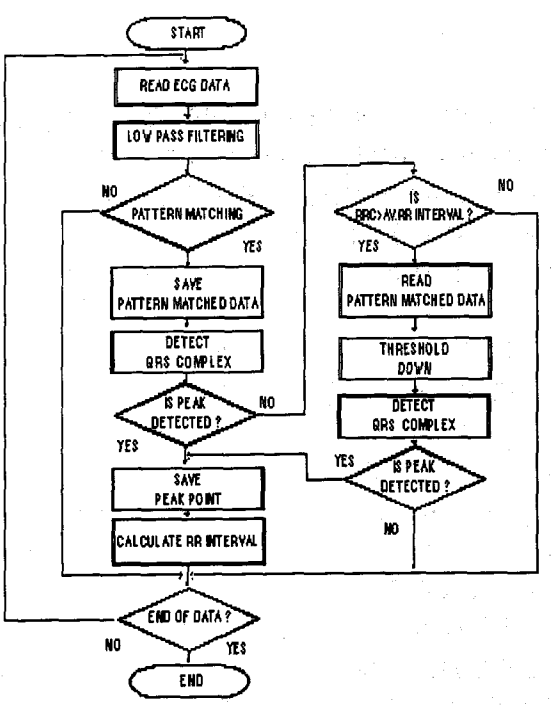
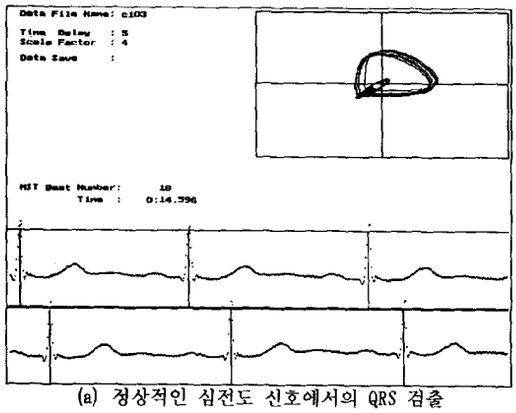


그림 4 흐름도

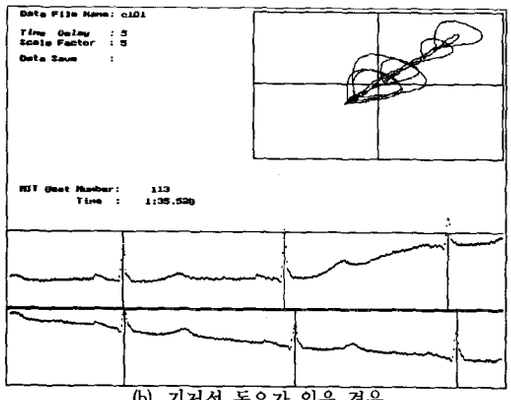
주어진 패턴과 일치하는 일련의 신호는 일단은 그 크기에는 상관없이 피이크를 형성한다. QRS파는 다른 피이크와 비교하여 상대적으로 큰 피이크를 이루므로 그 지점에서의 변위량 또한 크다. 따라서 주어진 패턴과 일치하는 신호의 변위량을 검출 임계치와 비교하여 설정한 값 이상으로 결과가 나올 경우 이 지점을 QRS로 인식하게 된다.

4. 실 험

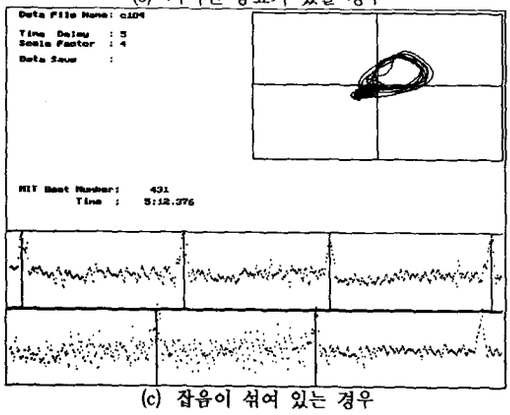
본 연구에서는 위 알고리즘의 신뢰도를 평가하기 위해서 sampling rate 250 Hz, gain 800 ADC unit/mV 의 MIT-BIH 데이타 베이스를 사용하였다.



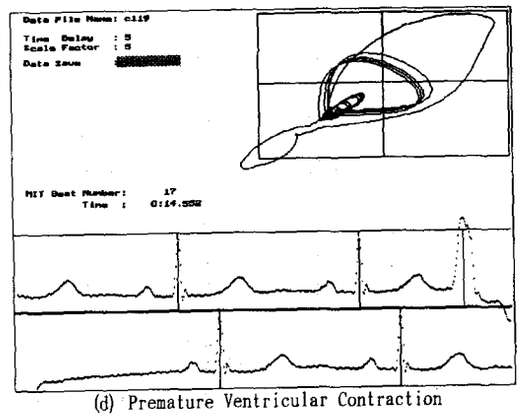
(a) 정상적인 심전도 신호에서의 QRS 검출



(b) 기저선 동요가 있을 경우



(c) 잡음이 섞여 있는 경우



(d) Premature Ventricular Contraction

그림5 다양한 심전도 신호의 QRS 검출

그림 5는 다양한 형태의 심전도 신호에서 QRS를 검출하는 것을 보이고 있다.

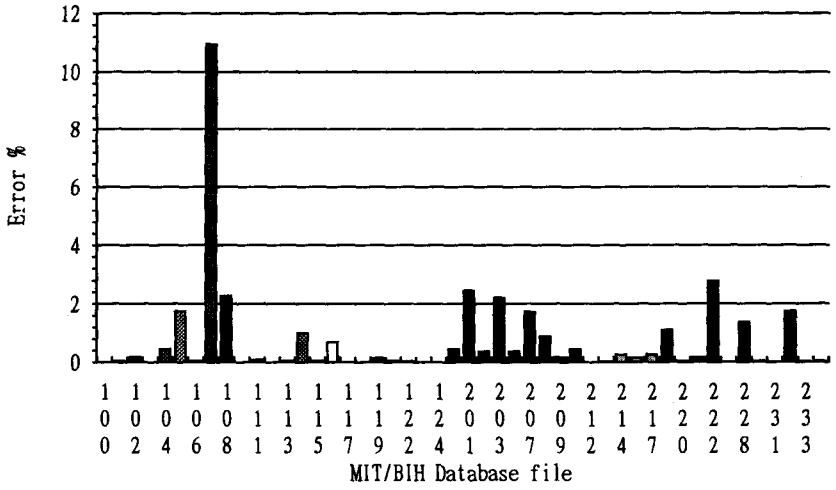
5. 결론 및 토의

본 연구에서는 시간 지연 2차원 좌표계를 이용하여 심전도 신호의 QRS를 검출하는 알고리즘을 제안하고 그 신뢰도를 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 지연 시간 2차원 좌표계를 이용한 신호처리의 단순화로 실시간으로 QRS를 검출할 수 있었다.
(2) 기저선 동요와 같은 저주파 대역 잡음 성분에 강한 특성을 나타내었다.
(2) MIT-BIH 데이타 베이스의 총 48명의 환자 데이타를 적용해 본 결과 99.3%의 QRS 검출 신뢰도를 얻었다.

참고문헌

(1) A. Babloyantz, A. Destexhe "Is the Normal Heart a Periodic Oscillator?" Biol. Cybern 1988 pp203-211
(2) Jose C. Principe, Steven A. Reid "Analysis and Visualization of the EEG in Phase Space" IEEE EMB ann. conference Vol. 12, No. 3 1990 pp. 1404-1405
(3) Steven S. Khan, Timothy A. Denton, Hrayr S. Karagueuzian, Georage A. Diamond "Effect of Noise and Filtering on Phase Plane Plots and Dimension for Simple Periodic Signals" IEEE EMB ann. conference Vol. 13, No. 5, 1991 pp. 2232-2233
(4) Patrick S. Hamilton, Willis J. Tompkins "Quantitative Investigation of QRS Detection Rules Using the MIT/BIH Arrhythmia Database" IEEE trans Vol. BME-33, No. 12 1986 pp. 1157-1165


12
10
8
6
4
2
0
Error %
100 102 104 106 108 111 113 115 117 119 122 124 201 203 207 209 212 214 217 220 222 228 231 233
MIT/BIH Database file