

## 부정맥 판독을 위한 형태변형 및 간격변형 기반 특이심박 검출

이승민<sup>1</sup> · 박길흠<sup>†</sup>

(Received September 19, 2019 ; Revised November 22, 2019 ; Accepted November 25, 2019)

### Abnormal heartbeat detection based on shape and interval deformation for arrhythmia reading

SeungMin Lee<sup>1</sup> · Kil-Houm Park<sup>†</sup>

**요약:** 심전도 신호에서 부정맥의 발생에 의한 특이심박은 부정맥 판독에 큰 영향을 주므로, 특이심박검출은 매우 중요하다. 본 논문에서는 특이심박의 특징인 QRS군의 형태변형 및 간격변형을 기반한 특이심박 검출방법을 제안한다. 형태변형은 QRS군의 R-peak에서 전위와 첨도의 변화로 나타나고, 간격변형은 QRS군 간 간격의 변화로 나타난다. 그리고 R-peak에서 전위 및 첨도의 분포와 QRS군 간 간격의 분포가 정상심전도 신호에서는 정규분포를 따르지만, 부정맥 심전도에서는 정규분포를 따르지 않는다. 이를 바탕으로 각 심박 특징들의 중간값과 중간절대편차를 이용하여 특이심박 검출방법을 제안한다. 제안 방법의 성능평가를 위해 대표적인 부정맥 데이터베이스인 MIT-BIH ADB를 사용하였다. 제안한 방법의 실험을 통해, 특이심박 미검출율은 0%이며, 정상심박의 과검출율은 평균 1.78%로 나타났다. 따라서 부정맥 판독을 위한 심박데이터가 제안 방법을 통해 최소화됨을 확인하였다.

**주제어:** 심전도, 부정맥, 특이심박, QRS군

**Abstract:** The abnormal heartbeat caused by the occurrence of arrhythmia greatly affects arrhythmia reading, so abnormal heartbeat detection is very important. In this paper, we propose an abnormal heartbeat detection method based on the shape and interval deformation of the QRS complex. The shape deformation is represented by the changes of amplitude and kurtosis in R-peak of QRS complex, and the interval deformation is represented by the change of interval between QRS complexes. The distribution of the amplitude and the kurtosis in R-peak and the interval between QRS complexes follow the normal distribution in the normal ECG signal, but do not in the arrhythmia ECG. On the basis of this, we propose an abnormal heartbeat detection method using the median and the median absolute deviation of the each features. For the performance evaluation of the proposed method, MIT-BIH ADB which is a representative arrhythmia database was used. Through experiments of the proposed method, the non-detection rate of abnormal heartbeat was 0% and the over-detection rate of normal heartbeat was 1.78% on average. Therefore, it was confirmed that heartbeat data for arrhythmia reading was minimized through the proposed method.

**Keywords:** ECG, Arrhythmia, Abnormal heartbeat, QRS complex

### 1. 서론

심전도 신호는 심방과 심실의 탈분극 및 재분극 과정을 통해 심장의 전기적 활동을 나타낸 신호이다. 심장 질환을 진단하기 위해서는 길게는 48시간 이상의 심전도 신호를 판독하여야 하므로, 심전도 전문가에게는 큰 부담이 된다 [1][2]. 그리고 부정맥 판독에 있어 정상심박에 비해 특이심박이 중요하므로, 특이심박검출은 심전도 전문가의 부담을 줄여줄 수 있다. 구체적으로 360 Hz의 샘플링 주파수로 48시간 획득한 심전도 신호에는 약 20만 개의 심박이 있어,

이들을 판독한다는 것은 매우 어려운 일이다. 대부분의 부정맥 심전도 신호에는 10% 이하의 특이심박이 포함된다. 따라서 신뢰있게 특이심박을 검출할 수 있다면, 심전도 전문가에게 큰 도움을 줄 수 있다.

심전도 신호는 주기적으로 발생하는 것처럼 보이나, 호흡에 따라 심박 간의 간격이 변할 뿐만 아니라, 서맥 혹은 빈맥에 따른 분당심박수의 변화도 발생한다. 따라서 주파수 대역의 필터링을 이용한 검출기법[3]을 적용한 특이심박의 검출은 신뢰도가 낮기 때문에, 전위, 첨도, RR간격 등

<sup>†</sup> Corresponding Author <http://orcid.org/0000-0003-0180-5962>: Professor, School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, 80, Daehak-ro, Buk-gu, Daegu 41566, Korea, E-mail: [khpark@ee.knu.ac.kr](mailto:khpark@ee.knu.ac.kr), Tel: 053-950-5549

1 Researcher, Advanced Dental Device Development Institute, Kyungpook National University, E-mail: [lsm1106@knu.ac.kr](mailto:lsm1106@knu.ac.kr), Tel: 053-940-8649

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 특징값의 추출 및 분석을 통한 특이심박 검출과정이 일반적이다.

기존의 특이심박 검출방법에는 심박 특징을 이용한 STD(Standard Deviation) 방법[4]과 특이심박일 확률에 따른 순차적 특이심박 검출 방법[5]이 있다. STD 방법은 특징들의 평균 및 표준편차를 기반한 임계치를 이용하여 특이심박을 검출한다. 그러나 개인에 따른 심박의 특징값 분포가 다르므로, 특이심박 검출 결과가 크게 달라지는 문제가 있다. 그리고 순차적 특이심박 검출 기법은 STD 방법을 기본으로 하고 특이심박일 가능성이 높은 심박을 순차적으로 검출하여, 개인에 따른 특이심박 검출 결과가 비슷해지도록 하였다. 그러나 순차적 특이심박 검출의 중요성을 위해, 정상심박의 평균 및 표준편차에 대한 사전정보가 요구되는 한계점이 존재한다.

본 논문에서는 부정맥 심전도신호에서 특이심박의 개수에 둔감한 임계치를 이용하여 특이심박 검출방법을 제안한다. 대부분의 부정맥은 심실부정맥에 해당하며, 심방부정맥의 경우에도 조기심방수축이 대다수를 차지한다. 이는 심전도 신호의 대표적인 구성요소인 QRS군의 형태변형과 QRS군 간의 간격변형으로 나타나게 된다. 제안 방법에서는 심박의 특징으로 QRS군의 R-peak에서 전위 및 첨도와 QRS군 간 간격을 사용하고, 특이심박의 개수에 둔감한 임계치를 결정하기 위해 특징들의 중간 값(M: Median)과 중간절대편차(MAD: Median Absolute Deviation)를 이용한다[6]. 먼저 특이심박의 형태변화를 QRS군의 R-peak에서 전위 및 첨도로 판단하고, 정상심박과의 간격변화를 QRS군 간 간격으로 판단한다. 그리고 특이심박의 개수에 둔감한 중간값과 중간절대편차를 이용하여 최적의 임계치를 결정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 심전도 신호의 구성에 대한 간략한 소개 및 기존 특이심박 검출 기법을 소개한다. 3장에서는 제안한 부정맥 판독을 위한 MAD 기반 특이심박 검출 기법을 설명한다. 4장에서 실험을 통해 제안한 방법의 성능을 분석한다. 그리고 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 심전도 신호의 구성 및 특이심박 검출

### 2.1 심전도 신호의 구성

Figure 1은 주기신호인 정상 심전도 신호의 한 예를 나타내고, 한 주기에 해당하는 심박은 심방 탈분극에 의한 P파, 심실 탈분극에 의한 QRS군, 심실 재분극에 의한 T파로 이루어진다[7].

Figure 2는 부정맥 심전도신호의 한 예들을 나타내고, (a)는 정상심박과의 형태변화가 있는 특이심박을 포함하며, (b)는 정상심박과의 간격변화가 있는 특이심박을 포함함을 알 수 있다.

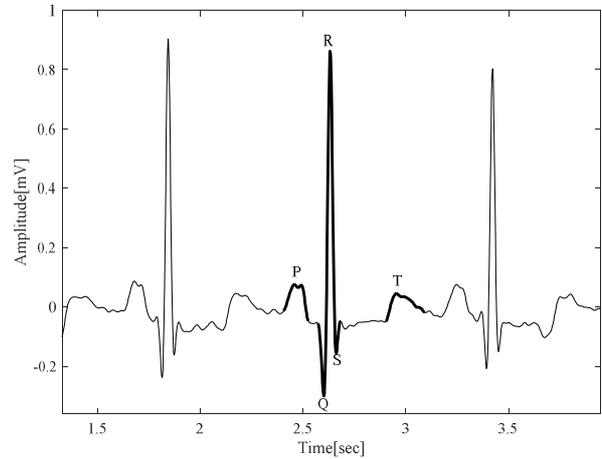


Figure 1: An example of ECG signal

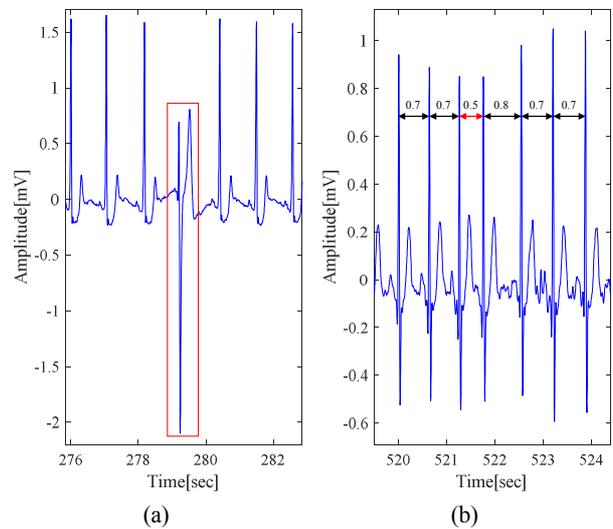


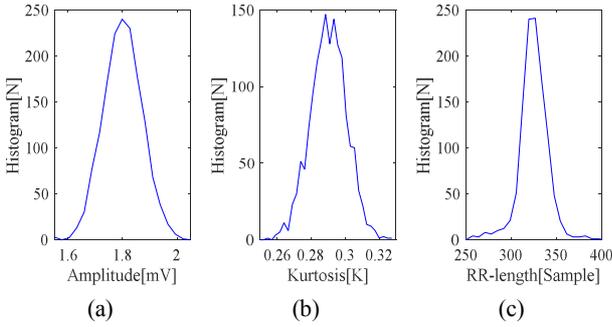
Figure 2: Examples of ECG arrhythmia signal, (a) abnormal shape heartbeat, (b) abnormal interval heartbeat

### 2.2 기존 특이심박 검출

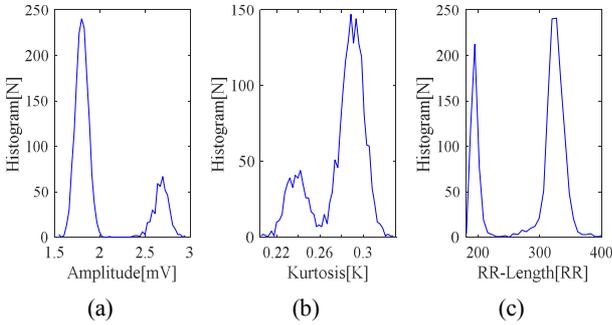
부정맥 심전도신호에 대한 기존 특이심박 검출 방법은 심전도 신호의 특이심박에서 QRS군에서 발생하는 왜곡을 기반한다. 먼저 정상 심전도 신호에 대한 QRS군에서 R-peak의 전위( $V$ ) 및 첨도( $K$ )와 QRS군 간 간격( $RR$ )의 히스토그램은 정상분포를 따른다고 가정한다. Figure 3은 표준 부정맥 데이터베이스인 MIT-BIH ADB[8]의 119m 레코드에서 정상 심박에 대한  $V$ ,  $K$ , 그리고  $RR$ 의 히스토그램의 예를 나타낸다.

Figure 4는 부정맥 심전도 신호에 대한  $V$ ,  $K$ , 그리고  $RR$ 의 히스토그램의 예를 나타낸다. Figure 4에서 부정맥 심전도신호의  $V$ ,  $K$ , 그리고  $RR$ 의 히스토그램은 정상분포를 따르지 않음을 알 수 있다. 이는 부정맥 심전도신호에 포함된 특이심박에 기인한다. 따라서 기존 심박 특징을 이용한 STD 방법과 특이심박일 확률에 따른 순차적 특이심

박 검출 방법은 부정맥 심전도신호의  $V$ ,  $K$ , 그리고  $RR$ 의 히스토그램이 정상분포를 갖도록 하는 방법이다.



**Figure 3:** Histograms of normal heartbeats in MIT-BIH ADB 119m record, (a)  $V$ , (b)  $K$ , (c)  $RR$



**Figure 4:** Histograms of total heartbeats in MIT-BIH ADB 119m record, (a)  $V$ , (b)  $K$ , (c)  $RR$

### 2.2.1 STD 기반 특이심박 검출

STD 기반 특이심박 검출방법은 심박의 특징인 R-peak의 전위( $V$ ) 및 첨도( $K$ )와 QRS군 간 간격( $RR$ )을 구하는 특징 추출과정과 특징을 이용한 특이심박 검출과정으로 이루어진다.

먼저 특징 추출과정은 다음과 같다. 불응기를 이용한 R-peak 검출방법[9]으로 R-peak를 검출한다. 그리고 검출된 R-peak에서 R-peak의 높이에 해당하는 전위와 R-peak에서의 곡률에 해당하는 첨도를 구한다. 그리고 QRS군 간의 간격은 현재 R-peak와 이전 R-peak 간의 시간차로 구한다.

다음으로 특이심박 검출과정은 다음과 같다. 특징값이 평균으로부터 차이가 클수록 특이심박일 가능성이 높다는 사실을 이용한다. 구체적으로  $V$ ,  $K$ , 그리고  $RR$ 이 각각 식 (1)의 조건을 모두 만족하는 R-peak를 포함한 심박은 정상 심박으로, 식 (1)의 조건을 하나라도 만족하지 않는 R-peak를 포함한 심박을 특이심박으로 검출한다.

$$m_V - k_V \sigma_V < V < m_V + k_V \sigma_V \quad , \quad (1)$$

$$m_K - k_K \sigma_K < K < m_K + k_K \sigma_K$$

$$m_{RR} - k_{RR} \sigma_{RR} < RR < m_{RR} + k_{RR} \sigma_{RR}$$

여기서  $V$ ,  $K$ ,  $RR$ 의 평균은  $m_V$ ,  $m_K$ ,  $m_{RR}$ 로 나타내며, 표준편차는  $\sigma_V$ ,  $\sigma_K$ ,  $\sigma_{RR}$ 로 나타내며, 임계치 결정을 위한 가중치는  $k_V$ ,  $k_K$ ,  $k_{RR}$ 로 각각 나타낸다.

이 방법은  $k_V$ ,  $k_K$ ,  $k_{RR}$  값에 따라 특이심박 검출결과가 달라지는데, 적합한  $k_V$ ,  $k_K$ ,  $k_{RR}$  값을 결정하기 어렵다. 또한 특이심박이 많이 포함될수록 특징들의 평균 및 표준편차가 크게 달라져 최적의 임계치를 결정하기 어렵다.

### 2.2.2 순차적 특이심박 검출

순차적 특이심박 검출 기법은 적응적인 가중치를 이용하여 특이심박일 가능성이 높은 특이심박부터 순차적으로 특이심박을 검출한다. 이 방법은 STD 기반 특이심박 검출방법과 마찬가지로, 특징 추출과정과 특이심박 검출과정으로 이루어진다. 특징 추출과정은 STD 기반 특이심박 검출방법과 동일하다. 특이심박 검출과정은 STD 기반 특이심박 검출방법에서 고정된  $k_V$ ,  $k_K$ ,  $k_{RR}$  값에 따른 문제점을 해결한 방법으로, 식 (2)와 같은 다수의  $k_V$ ,  $k_K$ ,  $k_{RR}$  값을 순차적으로 적용하여 특이심박을 검출한다.

$$k_V^1 > k_V^2 > k_V^3 > \dots \quad (2)$$

$$k_K^1 > k_K^2 > k_K^3 > \dots$$

$$k_{RR}^1 > k_{RR}^2 > k_{RR}^3 > \dots$$

특이심박 검출과정은 다음과 같다. 먼저 초기조건으로  $k_V$ ,  $k_K$ ,  $k_{RR}$ 는  $k_V^1$ ,  $k_K^1$ ,  $k_{RR}^1$ 로 설정한다. 다음으로  $k_V$ ,  $k_K$ ,  $k_{RR}$  사용하여 식 (1)의 만족여부를 결정한다. 식 (1)의 조건을 모두 만족하지 않는 R-peak를 포함한 심박을 특이심박으로 검출한다. 검출 후, 남은 심박들의 표준편차( $\sigma_V$ ,  $\sigma_K$ ,  $\sigma_{RR}$ )가 정상심박의 표준편차( $\sigma_V^r$ ,  $\sigma_K^r$ ,  $\sigma_{RR}^r$ )와 충분히 유사할 경우 검출과정을 종료한다. 만약 남은 심박들의 표준편차가 정상심박의 표준편차보다 클 경우, 가중치를 감소시켜 특이심박의 검출과정을 반복한다.

이 방법은 STD 기반 검출방법에 비해 특이심박을 신뢰 있게 검출할 수 있으나, 개인에 따른 정상심박의 특징값 평균 및 표준편차에 대한 사전정보를 요구한다.

## 3. 제안한 형태변형 및 간격변형 기반 특이심박 검출

2장에서 소개한 STD 및 순차적 특이심박 검출방법의 문제점은 특이심박이 많을수록 특징들의 평균 및 표준편차가 크게 달라져 최적의 임계치를 결정하기 어려우며, 반복검출의 종료를 위해 필요한 정상심박의 특징값의 표준편차가 사전정보로 요구된다는 것이다. 개인에 따른 정상심박의 특징값의 표준편차 분포가 다르며, 이를 획득하기 위해서는 특이심박의 발생이 최소화된 영역의 추출이 요구되는

단점이 존재한다. 또한 특이심박의 발생으로 인해 정상심박의  $RR$ 값이 증가하여 정규분포를 벗어나 과검출이 발생하는 문제가 있다.

이를 해결하기 위해 제안 방법에서는 특이심박의 특징값에 둔감한 중간값과 중간절대편차를 이용하며, 형태변형과 간격변형에 따른 검출기법을 분리함으로써 신뢰있는 특이심박 검출기법을 제안한다.

### 3.1 중간값과 중간절대편차

식 (3)은  $V$ 에 대한 중간값( $M_V$ )과 중간절대편차( $MAD_V$ )를 나타낸 식이며,  $K$ 와  $RR$ 에 대해서도 동일하게 획득한다.

$$M_V = \text{median}(V) \quad (3)$$

$$MAD_V = b_M \times \text{median}(|V - M_V|)$$

여기서  $b_M$ 은 정규분포에서 표준편차와 중간절대편차가 일치하지 않아 발생하는 오차를 보정하기 위한 상수로써, 본 논문에서는 근사치인 1.4826을 사용한다.

Figure 5는 MIT-BIH ADB의 119m 레코드에서 정상 심박에 대한  $V$  히스토그램의 평균값 및 중간값, 표준편차와 중간절대편차와 특이심박이 포함된  $V$  히스토그램의 평균값 및 중간값, 표준편차와 중간절대편차를 나타낸다.

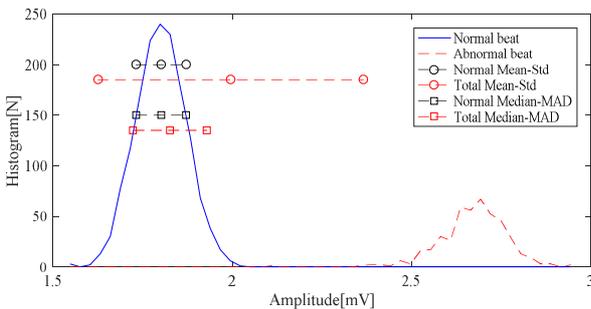


Figure 5: Comparison of mean-STD and median-MAD according to the distribution of abnormal heartbeats in MIT-BIH ADB 119m record

그림으로부터, 정상심박들의 평균값과 표준편차, 중간값과 중간절대편차는 유사함을 확인할 수 있다. 그리고 특이심박이 포함되면서 크게 증가한 평균과 표준편차와 달리, 중간값과 중간절대편차는 값의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다. 이는  $K$ 와  $RR$ 의 경우에도 유사하게 나타난다.

이와 같이 기존 평균과 표준편차를 이용한 특이심박 검출은 특이심박을 포함하지 않은 정상심박의 샘플링을 거친 후, 평균 및 표준편차 정보를 획득하여 진행하여야 하는 문제점이 존재한다. 그러나 제안한 중간값과 중간절대편차의 경우에는 특이심박을 포함한 전체 심박에 대해서도 오차가 적음을 확인하였으며, 이를 통해 별도의 샘플링 과정 없이도 신뢰있는 정상심박의 평균 및 표준편차의 추정 가능성이 확인될 수 있다.

## 3.2 제안한 특이심박 검출

### 3.2.1 형태변형이 발생한 특이심박 검출

제안한 특이심박 검출은 형태변형이 발생한 특이심박 검출과정과 간격변형이 발생한 특이심박 검출과정으로 나뉜다. 형태변형이 발생한 특이심박 검출은  $V$ 와  $K$ 에 대해 순차적 특이심박 검출 기법을 적용하여 특이심박을 검출한다. 이 때, 기존의 순차적 특이심박 검출에서 사용한 식 (1)에 대해, 중간값과 중간절대편차를 이용한 식 (4)를 이용함으로써 임계치를 결정한다.

$$M_V - k_V MAD_V < V < M_V + k_V MAD_V \quad (4)$$

$$M_K - k_K MAD_K < K < M_K + k_K MAD_K$$

여기서  $V$ ,  $K$ 의 중간값은  $M_V$ ,  $M_K$ 이고, 중간절대편차는  $MAD_V$ ,  $MAD_K$ 이고, 임계치 결정을 위한 가중치는  $k_V$ ,  $k_K$ 와 같다. 본 논문에서는 반복과정에서 특이심박의 검출 및 미검출에 따라 가중치  $k_V$ ,  $k_K$ 를 초기화하거나 감소시킨 후, 검출과정을 반복함으로써 특이심박을 순차적으로 검출하였으며, 이 때 초기화값은 3을 사용하였다.

중간절대편차는 정상심박의 표준편차와 유사하기 때문에 특이심박의 검출 후 남은 심박의 표준편차가 중간절대편차와 유사할 경우 검출을 종료하며, 그렇지 않을 경우 임계치 결정을 위한 가중치를 감소시켜 특이심박의 검출을 반복한다.

### 3.2.2 간격변형이 발생한 특이심박 검출

간격변형이 발생한 특이심박은  $RR$ 이 짧으며, 다음 정상심박의  $RR$ 은 정상이거나 길어지게 된다. 이를 기반으로 식 (5)와 같이  $RR$ 의 비를 이용할 경우 효과적인 특이심박 검출이 가능하다.

$$RR_{Ratio} = \frac{RR_{current}}{RR_{next}} < Thr_{RR} \quad (5)$$

여기서  $Thr_{RR}$ 은  $RR_{Ratio}$ 를 이용한 특이심박 검출에 사용되는 임계치이며, 본 논문에서는 15% 이상의  $RR$ 의 감소가 발생할 경우 특이심박으로 검출하기 위해  $Thr_{RR}$ 의 값을 0.85로 사용한다. 그리고 특이심박이 연속으로 발생하는 경우의 검출을 위해, 중간값과 중간절대편차를 이용한 임계치를 이용하여 식 (6)과 같이 특이심박을 추가적으로 검출한다.

$$RR < M_{RR} - k_{RR} MAD_{RR} \quad (6)$$

여기서  $M_{RR}$ 과  $MAD_{RR}$ 은 각각  $RR$ 의 중간값 및 중간절대편차를 나타내며,  $k_{RR}$ 은 이에 대한 가중치 값으로 본 논문에서는 2로 사용하였다.

Figure 6은 제안 방법의 흐름도이다.

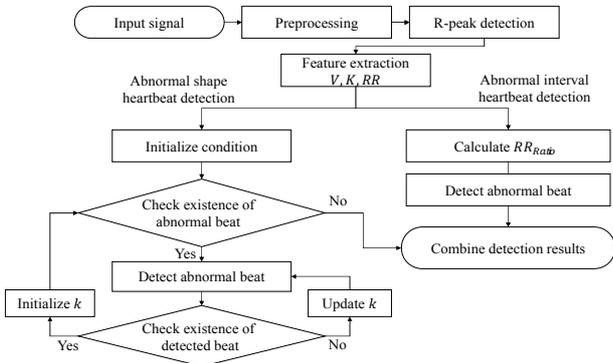


Figure 6: Algorithm flowchart of the proposed method

### 4. 실험 및 고찰

제안한 알고리즘에 대한 실험을 위해 부정맥을 포함하는 심전도 데이터베이스인 MIT-BIH ADB를 이용하였다. 사용된 각 레코드는 360 Hz의 샘플링 주파수로 30분 가량 획득되었으며, 기저선 변동 및 전원잡음 등을 억제하기 위해 1-25 Hz의 Butterworth 대역통과필터를 이용하여 전처리를 진행하였다. 실험과정은 형태변형, 간격변형, 그리고 형태변형과 간격변형이 동시에 발생한 데이터에 대해 각각 실험을 진행하였으며,  $k$ 가 3일 때의 STD 기반 특이심박 검출기법과 순차적 특이심박 검출기법의 결과를 제안알고리즘의 결과와 비교하여 나타냈다.

검출결과에 대한 성능평가를 위한 지표로 특이심박의 미검출율을 나타내는 FNR(False Negative Ratio)과 정상심박의 과검출율을 나타내는 FPR(False Positive Ratio)을 사용하였으며, FNR과 FPR은 식 (7)과 같다.

$$FNR(\%) = \frac{FN}{TP + FN} \times 100, \tag{7}$$

$$FPR(\%) = \frac{FP}{TN + FP} \times 100$$

여기서 TP(True Positive)와 FN(False Negative)은 특이심박을 특이심박과 정상심박으로 검출한 심박의 개수를 각각 의미하며, TN(True Negative)과 FP(False Positive)는 정상심박을 정상심박과 특이심박으로 검출한 심박의 개수를 각각 의미한다.

114m 데이터는 Figure 7과 같이 형태변형이 발생한 특이심박을 포함하며, 이에 대한 검출결과는 Table 1과 같이 나타난다.

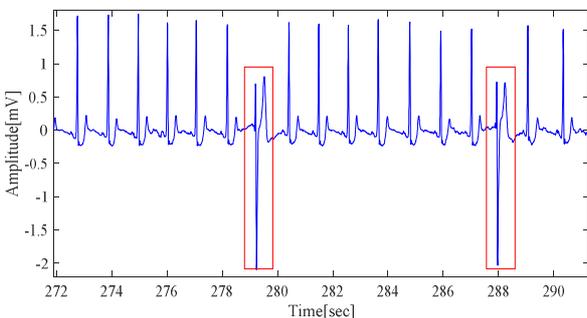


Figure 7: Abnormal heartbeats in 114m record

Table 1: Comparison detection results for 114m record

Method	Total beat	Abnormal beat	Detected beat	TP	TN	FP	FN	FNR (%)	FPR (%)
STD	1878	57	79	54	1796	25	3	5.26	1.49
Sequential			79	54	1796	25	3	5.26	1.49
Proposed			63	57	1815	6	0	0	0.32

Table 1에서 기존 특이심박 검출 기법은 미검출이 발생하였으며 다수의 과검출도 함께 발생하였다. 여기서 순차적 특이심박 검출은 초기 특이심박 검출 단계에서 종료조건을 만족하여 STD 기반 검출과 동일한 성능을 나타내었다. 이에 비해 제안한 MAD 기반 검출은 특이심박의 미검출이 없으며, 과검출도 감소하였음을 확인할 수 있다.

209m 데이터는 Figure 8과 같이 정상심박의 경우 RR이 0.6~0.7초로 나타나지만, 간격변형이 발생할 경우 0.3~0.5초로 감소가 된 특이심박을 포함하며, 이에 대한 검출결과는 Table 2와 같이 나타난다.

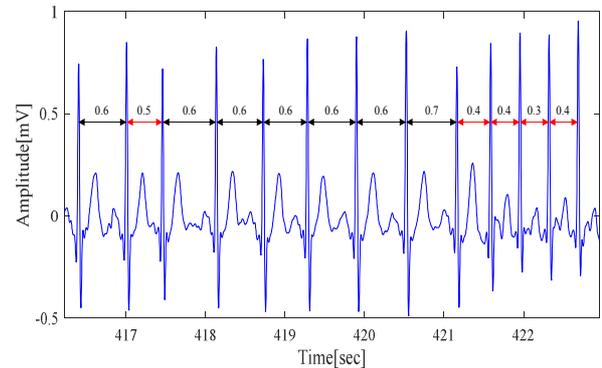


Figure 8: Abnormal heartbeats in 209m record

Table 2: Comparison detection results for 209m record

Method	Total beat	Abnormal beat	Detected beat	TP	TN	FP	FN	FNR (%)	FPR (%)
STD	3004	377	49	28	2606	21	349	92.57	0.80
Sequential			310	253	2570	57	124	32.89	2.17
Proposed			429	377	2575	52	0	0	1.98

Table 2에서 STD 방법은 특이심박의 비율에 따른 표준편차의 왜곡이 크기 때문에 Table 1과 달리 다수의 미검출이 발생하며, 이를 개선한 순차적 특이심박 검출도 미검출율의 비율이 높다. 이에 비해 제안한 기법은 미검출이 없음을 확인할 수 있다.

119m 데이터는 Figure 9와 같이 형태변형 및 간격변형이 동시에 발생한 특이심박을 포함하며, 이에 대한 검출결과는 Table 3과 같이 나타난다.

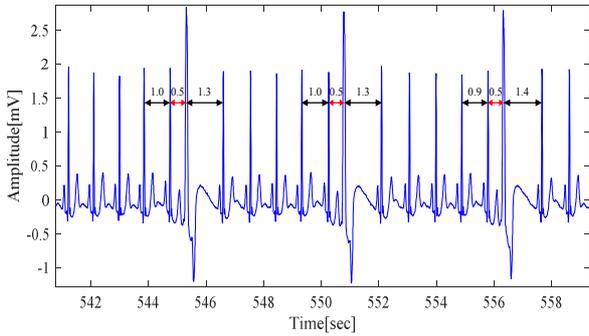


Figure 9: Abnormal heartbeats in 119m record

Table 3: Comparison detection results for 119m record

Method	Total beat	Abnormal beat	Detected beat	TP	TN	FP	FN	FNR (%)	FPR (%)
STD	1986	444	1	1	1542	0	443	99.77	0
Sequential			444	444	1542	0	0	0	0
Proposed			444	444	1542	0	0	0	0

Table 3에서 특이심박의 비율이 매우 높으며,  $V$ ,  $K$ ,  $RR$  이 모두 왜곡이 되어 STD 방법의 신뢰도가 매우 낮다. 순차적 특이심박 검출은 이를 개선하여 우수한 검출율을 확인할 수 있었으며, 제안기법 또한 그 성능을 유지함을 확인할 수 있다.

Table 4는 다른 MIT-BIH ADB 레코드들에 대해 제안방법을 적용한 후, 특이심박의 미검출율과 과검출율을 요약하여 나타낸 표이다.

Table 4: FNR and FPR of proposed algorithm for MIT-BIH ADB records

Record	100	101	103	105	107	111	112	117	123	228	230
FNR (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FPR (%)	1.2	3.3	2.1	2.3	0.4	0.7	1.2	2.5	3.8	1.7	0.4

제안 방법은 특이심박의 미검출율은 0%로 모두 검출하였으며, 정상심박의 과검출율은 평균 1.78%로 낮은 수준을 가짐을 확인할 수 있다.

### 5. 결 론

기존 특이심박 검출 기법은 정상심박의 평균 및 표준편차 정보를 이용하여 특이심박을 검출하나, 특이심박에 의한 왜곡으로 정상심박의 평균 및 표준편차의 사전정보를 획득하기 어려울 뿐만 아니라 신뢰도가 낮은 문제점을 가진다. 제안한 특이심박 검출 기법은 중간값 및 중간절대편차를 이용하여 정상심박의 평균과 표준편차를 안정적으로 획득하였다. 그리고 형태변형과 간격변형의 검출과정을 분

리하여 적합한 검출기법을 각각 적용함으로써 신뢰있는 특이심박 검출이 가능하도록 개선하였다.

실험을 통해 제안 방법은 특이심박의 미검출율을 0%로 모두 검출하였으며, 정상심박의 과검출율도 1.78%로 최소화하였다. 따라서 제안한 특이심박 검출 방법은 전문가의 부정맥 판독에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2018R1A6A3A01011035).

### Author Contributions

Conceptualization, S. M. Lee and K. H. Park; Methodology, S. M. Lee; Software, S. M. Lee; Validation, S. M. Lee and K. H. Park; Formal Analysis, S. M. Lee; Investigation, S. M. Lee; Resources, S. M. Lee; Data Curation, S. M. Lee; Writing—Original Draft Preparation, S. M. Lee; Writing—Review & Editing, K. H. Park; Visualization, S. M. Lee; Supervision, K. H. Park; Project Administration, K. H. Park; Funding Acquisition, K. H. Park;

### References

- [1] M. Llamedo and J. Martinez, "Heartbeat classification using feature selection driven by database generalization criteria," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58, no. 3, pp. 616-625, 2011.
- [2] S. O. Kim, "Arrhythmia detection using rhythm features of ECG signal," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 18, no. 8, pp. 131-139, 2013.
- [3] Y. T. Jung, S. M. Lee, K. H. Park, "Defect detection based on periodic cell pattern elimination in TFT-LCD cell images," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 41, no. 3, pp. 251-257, 2017.
- [4] K. H. Park, J. S. Kim, C. H. Ryu, B. J. Choi, and J. J. Kim, "Unusual Waveform Detection Algorithm in Arrhythmia ECG Signal," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 4, pp. 292-297, 2013.
- [5] S. M. Lee, C. H. Ryu, and K. H. Park, "Adaptive Detection of Unusual Heartbeat According to R-wave Distortion on ECG Signal," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 51, no. 9, pp. 200-207, 2014.
- [6] T. Pham-Gia and T. L. Hung, "The Mean and Median

Absolute Deviations,” *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 34, no. 7-8, pp. 921-936, 2001.

- [7] R. J. Huszar, “Basic dysrhythmias: interpretation & management,” Mosby, 2007.
- [8] G. Moody and R. Mark, “The MIT-BIH arrhythmia database on CD-ROM and software for use with it,” *Proceedings Computers in cardiology*, pp. 185-188, Chicago, USA, 1990.
- [9] J. J. Kim, J. S. Kim, and K. H. Park, “R-wave Detection Algorithm in ECG Signal Using Adaptive Refractory Period,” *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 50, no. 5, pp. 242-250, 2013.