

## ECG 패턴 분석과 템플릿 문턱값을 통한 조기수축 부정맥분류

조익성<sup>1</sup> · 조영창<sup>1</sup> · 권혁승<sup>2\*</sup>

### Premature Contraction Arrhythmia Classification through ECG Pattern Analysis and Template Threshold

Ik-sung Cho<sup>1</sup> · Young-Chang Cho<sup>1</sup> · Hyeog-soong Kwon<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Information and Communication Engineering, Kyungwoon University, Gumi 39160, Korea

<sup>2\*</sup>Department of IT Engineering, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

#### 요 약

일반적인 부정맥 분류 방법의 경우 심방 박동 수와 관련한 PP간격, P모양의 다양성과 같은 조건을 이용하는데, 잡음으로 인해 정확한 P파의 검출이 어렵기 때문에 잡음의 영향을 비교적 적게 받는 R파를 이용하는 것이 유리하다. 따라서 본 연구에서는 R파 중심의 ECG(electrocardiography) 패턴 분석과 템플릿 문턱치를 도입하여 조기수축 부정맥 분류 방법을 제안한다. 이를 위해 형태 연산을 통한 전 처리 과정과 차감 동작 기법을 통해 R파를 검출하였다. 이후 RR 간격의 평균 가중치와 변화율을 이용하여 먼저 조기수축 파형의 패턴을 분류하고, R파의 진폭에 대한 템플릿 문턱값을 통해 조기심실수축과 조기심방수축을 분류하는 알고리즘을 개발하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 조기 심방과 심실수축이 30개 이상 포함된 MIT-BIH 6개의 레코드를 대상으로 한 R파의 평균 검출율은 99.77%의 성능을 나타내었고, 조기심실수축과 심방수축 부정맥은 각각 94.91%와 95.76%의 평균 분류율을 나타내었다.

#### ABSTRACT

Most methods for detecting arrhythmia require pp interval, diversity of P wave morphology, but it is difficult to detect the p wave signal because of various noise types. Therefore it is necessary to use noise-free R wave. In this paper, we propose algorithm for premature contraction arrhythmia classification through ECG pattern analysis and template threshold. For this purpose, we detected R wave through the preprocessing method using morphological filter, subtractive operation method. Also, we developed algorithm to classify premature contraction wave pattern using weighted average, premature ventricular contraction(PVC) and atrial premature contraction(APC) through template threshold for R wave amplitude. The performance of R wave detection, PVC classification is evaluated by using 6 record of MIT-BIH arrhythmia database that included over 30 PVC and APC. The achieved scores indicate the average of 99.77% in R wave detection and the rate of 94.91%, 95.76% in PVC and APC classification.

**키워드** : ECG 패턴, 템플릿 문턱치, RR 간격, R파의 진폭, 조기 심실 수축, 조기 심방 수축

**Key word** : ECG pattern, template threshold, RR interval, R wave amplitude, PVC, APC

Received 15 October 2015, Revised 05 November 2015, Accepted 19 November 2015

\* Corresponding Author Hyeog-Soong Kwon (E-mail:hskwon@pusan.ac.kr Tel:+82-55-350-5411)

Department of IT Engineering, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.2.437>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

일반적으로 심전도(ECG : electrocardiography) 신호의 해석은 인체로부터의 생체신호 획득, 잡음 제거, QRS 파형의 검출 및 진단의 단계를 포함하며, 심전도 신호의 분석을 토대로 심장의 이상 유·무와 여러 가지 심장질환의 진단에 많이 활용되고 있다. 심장질환 중에서 부정맥은 심장의 리듬이 불규칙하거나 심박동수가 비정상적인 상태를 의미한다. 부정맥의 형태는 정상인에게서 올수 있는 가벼운 리듬의 장애에서부터 생명을 위협하는 위험한 장애까지 다양하며 이는 심장세포의 자동성 장애나 전도장애로 인해 초래된다[1-3]. 특히 조기심실수축(PVC : Premature Ventricular Contraction) 과 임상에서 발견될 수 있는 가장 흔한 부정맥으로 과거에 심장질환이 있었던 환자에게서 PVC의 발생은 심실빈맥(VT : Ventricular Tachycardia)과 같은 위험한 심장질환을 유발할 수 있으며, 심방조기수축(APC : Atrial Premature Contraction)은 뇌경색이나 전신 색전증의 합병증을 일으켜 질병 이환률과 사망률을 증가시킬 수 있다[4-7]. 따라서 PVC, APC와 같은 부정맥의 조기 검출은 심장질환에 대한 예방과 추후 발생여부에 대한 기초 조사로서 매우 중요하다. 기존 부정맥 분류 방법의 경우 심방 박동 수와 관련한 PP 간격, P 모양의 다양성, QRS 주기 안에 여러 개의 P파가 존재한다는 조건을 이용하는데, 이 방법은 P파의 검출이 정확하다는 전제 조건이 있어야 정확한 부정맥을 진단할 수 있다. 하지만 P파의 검출은 쉬운 일이 아니기 때문에 이에 의존적인 알고리즘은 정확도가 떨어질 수밖에 없다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 검출이 어려운 P파가 아닌 검출이 용이하고 잡음의 영향을 극복할 수 있는 R파를 이용하는 것이 필요하다[8-10]. 따라서 본 연구에서는 ECG의 패턴 분석과 템플릿 문턱치를 통한 조기수축 부정맥 분류 방법을 제안한다. 이를 위해 형태 연산을 통한 전 처리 과정과 차감 동작 기법을 통해 R파를 검출하였다. 이후 RR 간격의 평균과 변화율을 이용하여 먼저 조기수축 파형의 패턴을 분류하고, R파의 진폭에 대한 템플릿 문턱치를 통해 조기심실수축과 심방조기수축을 분류하는 알고리즘을 개발하였다. 제안된 방법의 유용성 입증을 위하여 MIT-BIH 데이터베이스 중 부정맥이 100개 이상 포함된 6개의 레코드를 선택하여 실험이 이루어 졌다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는

제안한 기법에 대하여 논하고, 3장에서는 실험결과에 대하여 논하고 4장에서 결론으로 마무리한다.

## II. 제안한 기법

본 연구에서 제안한 부정맥 분류 방법의 전체 구성도는 그림 1과 같이 세 단계로 나누어진다. 먼저 ECG 신호로부터 잡음을 제거하고, R파를 검출하는 단계, 검출된 R파를 기준으로 R-R 간격의 평균과 변화율을 이용하여 조기수축 패턴을 분류하는 단계, R파의 진폭과 템플릿 문턱치를 통해 PVC와 APC를 분류하는 단계로 나누어진다.

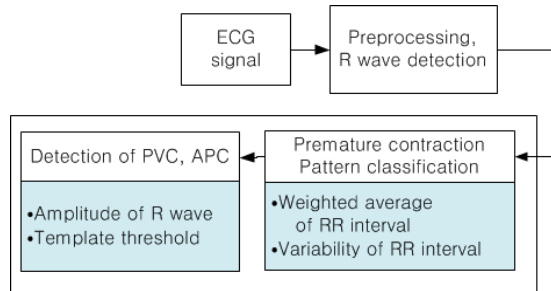


Fig. 1 System configuration

### 2.1. 전처리 및 R파 검출

정확한 진단을 위해서는 심전도 신호에 포함되어 있는 다양한 잡음을 제거하여 R파를 정확히 검출하는 것이다. 본 연구에서는 원신호의 변형을 줄이고 계산량의 복잡도를 최소화함으로써 효율적으로 QRS를 검출하기 위해 형태 연산 기반의 전처리 기법을 적용하였다.

R파는 우선, 형태 연산을 통해 전 처리된 신호의 경험적 문턱값(empirical threshold)과 차분 동작을 이용하여 검출하며, 이 값에 의해 검출되지 않을 경우 R-R 간격을 이용한 역탐색 기법을 사용한다. R파 검출 시 P파나 T파를 R파로 오인하는 경우 FP(False Positive)가 발생할 수 있으며, 실제로 R파가 존재함에도 불구하고 이를 검출하지 못하는 TN(True Negative)이 발생할 수 있다. 이러한 오검출을 막기 위해 본 연구에서는 동적 역탐색 기법(Dynamic Backward Searching Method)을 사용하였다. 차분방식을 통해 R파가 검출되고 만약 새로운 R파가 360ms 이내에 다시 발생되면 FP가 발생되었

다고 가정하고 이를 기존 R파에서 제거하며, 현재 R파가 평균 RR 간격의 150% 이내에 검출되지 않으면 윈도우를 확장한 후 다시 R파를 검출함으로써 오검출을 최대한 낮출 수 있다. 여기서 360ms를 역탐색 기간으로 설정한 것은 일반적으로 절대 불응기는 보통 200 ms 가량 지속되고 끝이어서 반응하는 상대 불응기가 약 50 ms 지속된 다음 서서히 흥분성이 회복되며, 이후 약 10 ms의 잠복기(latency) 후에 심장의 수축이 시작하기 때문이다[11, 12].

2.2. 조기심실 부정맥 분류 알고리즘

본 연구에서는 RR 간격을 통해 먼저 조기수축 부정맥 비트를 분류하고, R파의 ECG 신호의 패턴 분석과 템플릿 문턱치를 통해 PVC와 APC를 판단한다. 조기수축 부정맥 분류를 위한 알고리즘의 전체 흐름도는 그림 2와 같은 과정으로 구성된다. 먼저 현재의 RR 간격( $RR_i$ )이 전체 RR 간격의 평균 가중치( $RR_{wa}$ )보다 크거나 RR 간격의 변화율( $RR_v$ )이 1.2보다 작으면 조기수축 부정맥(PVC, APC)이라고 분류한다. 분류된 R파를 기준으로 전, 후 90개의 ECG의 샘플값( $ECG_{pat}$ )들 중 -1.5mv보다 작은 값을 가진 파형이 존재할 경우 PVC라고 판단한다. 마지막으로 현재 R파의 진폭과 템플릿 문턱값과의 차이가 8%보다 적은 경우에는 APC, 그렇지 않을 경우에는 PVC로 분류하는 과정으로 나누어진다.

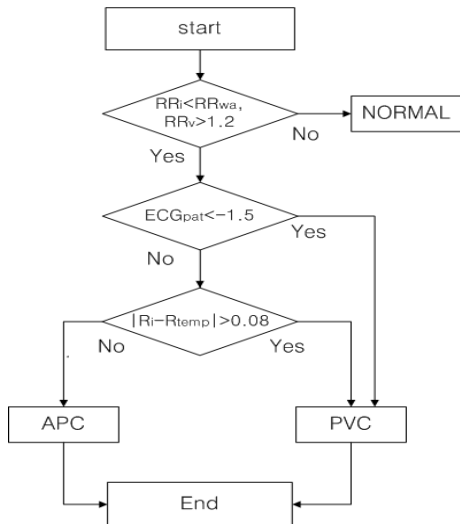


Fig. 2 Algorithm for classifying premature contraction arrhythmia

2.2.1. 조기수축 비트 분류

RR 시간 간격은 ECG 신호의 이상 유무를 판단하는 유용한 정보가 된다. 특히 조기 심실 수축(PVC)과 심방 조기수축(APC) 두 가지 부정맥은 RR 간격이 급격히 짧아졌다가 길어지는 공통점이 있다. 즉, RR 간격의 변화는 정상 신호보다 짧은 특징을 가지고 있다. 따라서 RR 간격의 평균과 이전, 이후의 변화량을 이용한다면 그 특징이 유사한 조기수축 부정맥의 패턴을 분류하는 것이 가능하다. 그림 4는 MIT-BIH 부정맥 레코드의 정상, PVC, APC의 RR 간격을 각각 나타낸다.

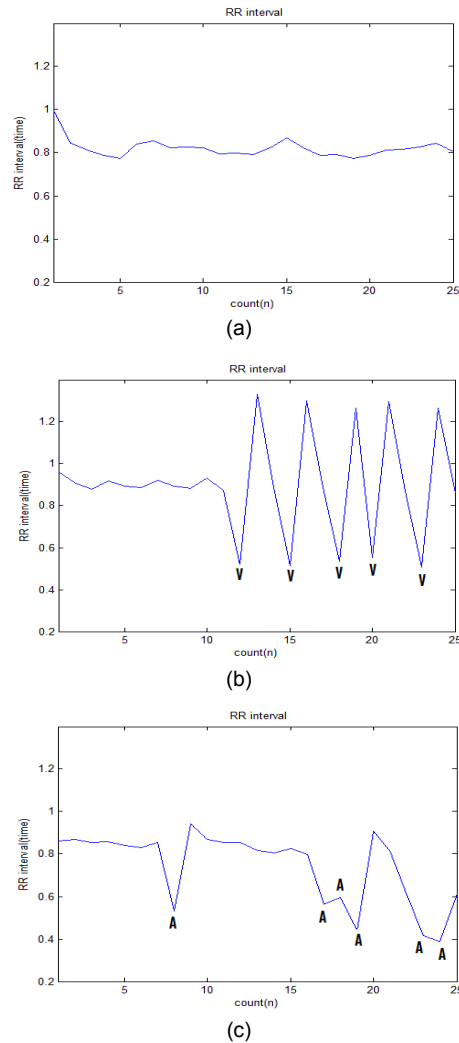


Fig. 3 variability of RR interval (a) RR interval of normal signal (b) RR interval of PVC (c) RR interval of APC

그림 3(a)와 같이 정상 신호의 RR 간격은 0.8~1.0s으로 그 변화율이 일정한 것에 반해, 그림 3(b)에서와 같이 5개의 조기심실수축과 정상 비트가 번갈아가며 나타나는 PVC(V 비트)의 경우, RR 간격이 0.45~0.55로 낮아지며, 그 변화율이 규칙적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림 3(c)는 6개의 조기심방수축과 정상 비트가 불규칙적으로 나타나는 APC(A 비트)의 경우를 나타내는데, 이때의 RR 간격은 0.4~0.55로 낮아지며, 전체적인 변화율은 불규칙하지만 정상과 APC가 연속하는 구간에서는 규칙적으로 그 변화율이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 PVC와 APC는 정상신호에 비해 RR 간격이 급격히 낮아지며, 그 변화율이 일정하게 증가하는 공통점을 가지는 것을 확인할 수 있다. 조기수축 부정맥 분류를 위한 RR 간격의 평균 가중치와 변화율에 대한 값은 수식 (1)과 같다. PVC와 APC가 다수 포함된 100, 105, 119, 200, 209, 233번 레코드를 통해 비교해 본 결과 조기수축 부정맥은 RR 간격이 전체 평균 가중치에 비해 80%보다 작게 나타나며, 부정맥과 정상신호가 연속되는 신호의 RR간격 변화율은 120%이상 나타났다. 따라서 그 패턴을 분류하기 위한 범위는

현재의 RR 간격이  $RR_{wa}$ 보다 작을 경우이거나 연속하는 변화량인  $RR_v$ 가 1.2보다 클 경우에 해당한다.

$$RR_{wa} = 0.8 * \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (R_{i+1} - R_i) \quad (1)$$

$$RR_v = \frac{RR_{i+1}}{RR_i},$$

if  $RR_i < RR_{wa}$  and  $RR_v > 1.2$

then  $RR_i = premature\ contraction$

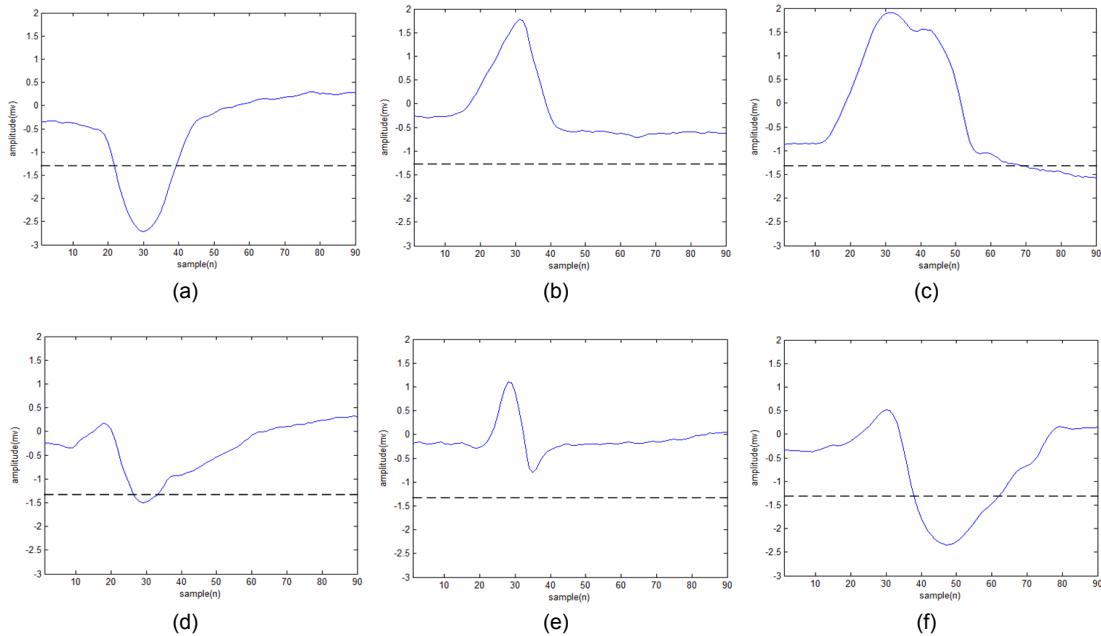
$N = R$ 피크의 갯수,  $RR_{wa} = RR$ 간격의 평균 가중치,

$R_i = R$ 피크의 시간값,  $RR_v = RR$ 간격의 변화량

$RR_i =$  현재의 RR 간격

### 2.2.2. 패턴 분류

RR 간격의 평균 가중치와 변화량을 이용하여 조기수축 비트를 검출하면 PVC와 APC를 분리할 수 있다. 패턴을 분리하는 과정은 현재 R파를 기준으로 전 29개, 후 60개씩 전체 90개의 샘플링 된 값을 패턴 분석을 위한 기준 값으로 선택하였다. 그림 4는 각 파형에 대한 MIT-BIH 레코드에 대한 패턴을 분석한 그림이다. APC 패턴을 담고 있는 209번 레코드, PVC 패턴을 담고 있는 100, 105, 119, 200, 209, 233번 레코드를 각각 비교하였



**Fig. 4** pattern analysis of MIT-BIH record (a) record 100(PVC) (b) record 105(PVC) (c) record 119(PVC) (d) record 200(PVC) (e) record 209(APC) (f) record 233(PVC)

다. 그림과 같이 PVC 파형의 패턴은 각기 조금 다른 형태를 나타내고 있지만, 105번 레코드를 제외한 나머지 레코드에서는 대부분 APC 파형에 비해 샘플링 범위 내에서 좀 더 낮은 음의 값을 나타내고 있다. 따라서 샘플링 내에서의 진폭 값에 대한 범위를 지정하면, PVC와 APC의 1차적인 구분이 가능하다. 본 연구에서는 그림에서와 같이 MIT-BIH 레코드에 대한 PVC와 APC의 진폭 값에 대한 범위를 분석한 결과 범위 내에서 -1.3mv 보다 작은 경우의 샘플 값이 존재할 경우 PVC로 판단되었다.

2.2.3. 템플릿 문턱값

패턴 분류를 통해 나타난 PVC 대부분의 패턴은 음의 피크 값이 두드러지게 나타나는 특징을 가지고 있었다. 하지만 105번 PVC의 경우에는 APC와 샘플 값에서의 차이가 나타나지 않았다. 따라서 1차적인 분류를 통해 분류되지 않은 패턴을 좀 더 정확하게 검출하기 위해서는 PVC와 APC 사이에 나타나는 정확한 특징을 구분해야 한다. APC와 PVC의 R파의 형태는 많은 차이를 가지고 있다.

본 연구에서는 두 가지 부정맥의 차이를 정확히 분류하기 위해 R파의 진폭을 이용하였다. 그림 5는 MIT-BIH 레코드의 10개의 샘플 값을 대상으로 한 정상, PVC, APC의 R파 진폭을 나타낸다. 그림 5(a)에서와 같이 정상 신호의 R파는 그 진폭이 0.7~1.0mv의 범위를 가지는 것으로 나타났으며, 5(b), 5(c)에서와 같이 PVC의 APC의 R파는 각각 2.0~2.2mv, 1.3~1.7mv의 범위를 가지는 것으로 나타났다.

이와 같이 PVC의 진폭은 정상신호에 비해 약 2배 정도의 레벨에서 일정하게 나타난 반면, APC는 정상신호와 유사하거나 약 1.5배 정도의 범위의 진폭 변화율을 나타내었다. 따라서 정상신호에 비해 2배 이상의 차이가 나는 PVC의 진폭에 대한 문턱값은 1차적인 패턴 분류를 통해 분류되지 않는 PVC의 패턴을 좀 더 정확하게 검출할 수 있다.

R피크 진폭에 대한 템플릿은 수식 (2)에서와 같이 R피크의 벡터 그룹으로 형성되며, 현재 R피크를 기준으로 이전 15개와 이후 9개로 25개의 R피크의 그룹으로 형성된다. 템플릿은 이전과 이후 신호의 파형을 그 그룹의 대표 신호로 정의하여, 현재 R피크의 변화율을 판단하기 위한 방법이다.

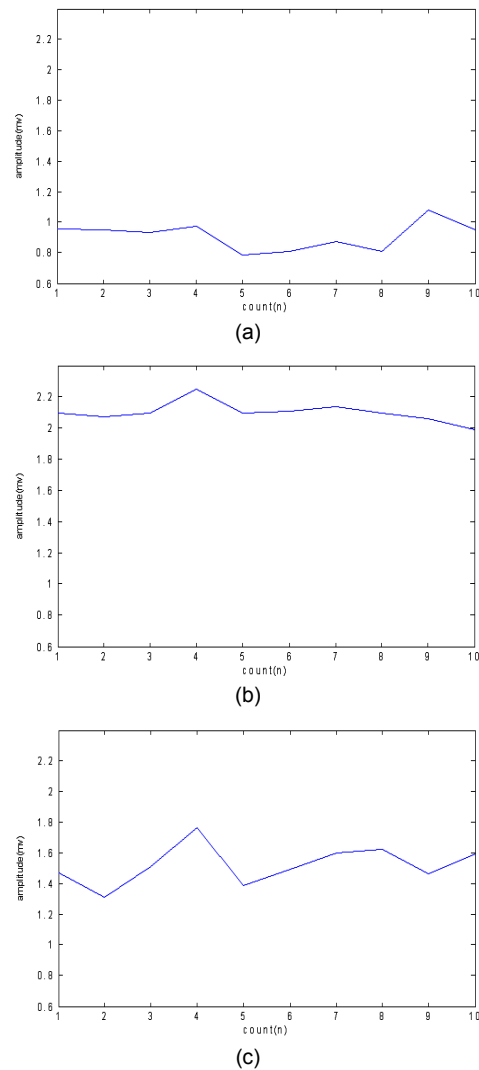


Fig. 5 variability of R peak (a) R peak of normal (b) R peak of PVC (c) R peak of APC

수식에서와 같이 25개의 R파를 그 파형의 특징을 대표하는 템플릿으로 정의하여, 템플릿과 현재 R파의 진폭의 차이를 계산하고 그 차이가 8%이상 날 경우에 PVC라고 판단하며, 그렇지 않을 경우는 APC라고 판단한다. 여기서 템플릿 문턱값을 8%라고 판단한 이유는 PVC의 진폭이 평균 정상 신호의 약 2배 정도로 일정하게 유지되고, 결과적으로 25개의 R파를 평균하였을 경우 그 평균이 8%이기 때문이다.

$$R_{temp} = \frac{1}{N} \sum_{i=11}^n [R_{i-15}, R_{i-14}, \dots, R_i, \dots, R_{i+8}, R_{i+9}] \quad (2)$$

if  $|R_i - R_{temp}| > 8\%$  then  
     PVC  
else  
     APC  
여기서  $R_{temp}$  = 템플릿,  
 $R_i$  = 현재 R파의 진폭

### III. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. R파 검출 성능

MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 통하여 R파 검출에 대한 성능 평가가 수행되었다. 검출율의 계산은 식 (3)을 통하여 이루어진다.

$$\text{검출율} = \frac{\text{전체비트수} - (FP + FN)}{\text{전체비트수}} \quad (3)$$

(FP: False Positive, FN: False Negative)

위의 식에서 FP는 검출알고리즘이 R파를 검출하였으나, MIT-BIH 부정맥 데이터베이스에는 존재하지 않을 경우이고, FN은 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스에는 있으나 알고리즘이 이를 검출하지 못한 경우이다. 전체 비트는 MIT-BIH에 존재하는 R파의 총 개수이다. 표 2와 같이 총 6개 레코드를 대상으로 한 평균 R파 검출율은 99.77%의 우수한 성능을 나타내었다.

Table. 1 R wave detection rate

MIT-BIH	R peak detection	
	beat count	detection rate(%)
100	2273	100
105	2572	99.84
119	1987	99.9
200	2595	99.82
209	3005	99.67
233	3079	99.40
<b>total</b>	<b>15,511</b>	<b>avg 99.77</b>

#### 3.2. 부정맥 분류 성능

MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 통하여 부정맥 검출에 대한 성능 평가가 수행되었다. 검출율의 계산은 식 (3)을 통하여 이루어진다. PVC와 APC 분류 알고리

즘의 성능을 실험하기 위하여 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스 100번, 105번, 119번, 200번, 209, 233번 레코드를 이용하였으며, 분류의 신뢰성을 위해서 PVC와 APC가 30개 이상 포함된 데이터만을 사용하였다. 표 2는 APC와 PVC의 분류 성능을 나타내고 있다. 성능평가 결과 평균 분류율은 각각 94.91%, 95.76%의 우수한 성능을 나타내었다. 제안된 알고리즘을 통한 분류 실험결과 대부분의 레코드에서 PVC와 APC가 분류되었다. 특히 105번 레코드의 경우 패턴 분류를 통해 분석되지 않은 파형이 템플릿 문턱값을 통해 분석함으로써, 단지 음의 피크만을 이용하여 패턴 분류를 수행한 82.04%보다 약 8.2% 높은 90.25%의 우수한 검출율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 233번 레코드는 많은 오차를 보였는데, 이는 수식 (1)을 만족하는 초기 심실 수축 비트임에도 불구하고 RR 간격에 문제가 없는 경우라고 판단함으로써 정확한 검출이 이루어지지 않았다. 233번 레코드의 경우 RR 간격의 변화가 정상에 비해 크지 않기 때문이다.

Table. 2 arrhythmia classification rate

record	MIT-BIH		arrhythmia classification rate(%)	
	APC beat	PVC beat	APC	PVC
100	33	1	100	100
105	0	41	-	90.25
119	0	444	-	100
200	30	826	96.70	98.50
209	383	1	97.30	100
233	7	831	85.64	85.78
<b>total</b>	<b>453</b>	<b>2,144</b>	<b>avg 94.91</b>	<b>95.76</b>

### IV. 결론

본 연구에서는 임상적 진단에 도움을 주는 것을 목적으로 ECG의 패턴 분석과 템플릿 문턱값을 통해 조기수축 부정맥 분류 방법을 제안하였다. 이를 위해 형태 연산을 통한 전 처리 과정과 차감 동작 기법을 통해 R파를 검출하였다. 이후 RR 간격의 평균 가중치와 변화율을 이용하여 먼저 조기수축 파형의 패턴을 분류하고, R파

의 진폭에 대한 템플릿 문턱값을 통해 PVC와 APC를 분류하는 알고리즘을 개발하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 APC와 PVC가 30개 이상 포함된 MIT-BIH 6개의 레코드를 대상으로 한 R파의 평균 검출율은 99.77%의 성능을 나타내었으며, PVC와 APC는 각각 94.91%와 95.76%의 평균 분류율을 나타내었다. 하지만 233번 레코드의 경우 RR 간격의 변화가 크지 않아 조기심실 수축임에도 불구하고, 정상신호로 분류함으로써 오류가 나타나는 경우가 존재하였다. 이 문제는 RR 간격의 평균과 변화율에 대한 기준을 개인의 ECG 신호 특성에 따라 정하는 방법으로 해결될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서 제안한 ECG의 패턴 분석과 템플릿 문턱값을 통한 조기 수축 부정맥 분류 알고리즘은 대상자의 유무에 따라 정확한 진단을 해야하는 사물 인터넷 기반 스마트 헬스케어 시스템에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- [ 1 ] A. D. C. Chan, M. M. Hamdy, A. Badre, and V. Badee, "Wavelet distance measure for person identification using electrocardiograms," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 57, no. 2, pp. 248 - 253, Feb. 2008.
- [ 2 ] S. Chauhan, A. S. Arora, and A. Kaul, "A survey of emerging biometric modalities," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 2, pp. 213 - 218, 2010.
- [ 3 ] J. W. Schleifer and K. Srivathsan, "Ventricular arrhythmias: State of the art," *Cardiol. Clin.*, vol. 31, no. 4, pp. 595 - 605, 2013.
- [ 4 ] S.-Y. Lee, J.-H. Hong, C.-H. Hsieh, M.-C. Liang, S.-Y. C. Chien, and K.-H. Lin, "Low-power wireless ECG acquisition and classification system for body sensor networks," *IEEE J. Biomed. Health Informat.*, vol. 19, no. 1, pp. 236 - 246, Jan. 2015.
- [ 5 ] Y.-P. Chen et al., "An injectable 64 nW ECG mixed-signal SoC in 65 nm for arrhythmia monitoring," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 50, no. 1, pp. 375 - 390, Jan. 2015.
- [ 6 ] A. Amann, R. Tratnig, and K. Unterkofler, "Detecting ventricular fibrillation by time-delay methods," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 54, no. 1, pp. 174 - 177, Jan. 2007.
- [ 7 ] Thong, T., J. McNames, M. Aboy, B. Goldstein. Prediction of paroxysmal atrial fibrillation by analysis of atrial premature complexes. *IEEE Trans. On Biomed. Eng.*, vol. 51, no. 4, pp. 561-569, April. 2004.
- [ 8 ] J. Pan, W.J. Tompkins, A real-time QRS detection algorithm, *IEEE Trans. Biomed. Eng. BME* vol. 32, no. 3, pp.230 - 236, March. 1985.
- [ 9 ] G. Yang, J. Chen, Y. Cao, H. Tenhunen, and L. Zheng, "A novel wearable ECG monitoring system based on active-cable and intelligent electrodes," in *10th International Conference on e-health Networking, Applications and Services*, 7-9. pp. 156 - 159, 2008.
- [ 10 ] K. N. Plataniotis, D. Hatzinakos, and J. K. M. Lee, "ECG biometric recognition without fiducial detection," in *Proc. Biometrics Symp./Biometrics Consortium Conf., Baltimore, MD*, pp. 1 - 6, 2006.
- [ 11 ] Zhang, F. & Lian, Y, "QRS detection based on multi-scale mathematical morphology for wearable ECG devices in body area networks," *IEEE Transaction on Biomedical Circuits and Systems*, vol. 3, no. 4, pp.220 - 228, Jun. 2009.
- [ 12 ] F. Agrafioti and D. Hatzinakos, "ECG biometric analysis in cardiac irregularity conditions," *Signal, Image Video Process.*, vol. 3, pp. 329 - 343, 2009.



조익성(Ik-Sung Cho)

2003.02 : 한국해양대학교 공학박사  
 2014.02 : 부산대학교 바이오정보전자공학과 공학박사  
 2014.03 ~ 현재 : 경운대학교 항공정보통신공학과 조교수  
 ※관심분야 : ECG Preprocessing, 부정맥분류알고리즘



**조영창 (Young -Chang Cho)**

2001.08 : 영남대학교 전자공학과 공학박사  
1999.03~현재 : 경운대학교  
항공대학 항공정보통신공학과 교수  
※관심분야 : DSP, 영상신호처리, 전도 신호처리



**권혁송(Hyeog-Soong Kwon)**

1995.08: 영남대학교 전자공학과 공학박사  
1996.04-2006.02 :밀양대학교 정보통신공학과 부교수  
2002.02~2003.02: 미국 OSU 방문교수  
2011.07~2012.07: 미국 조지아텍 방문교수  
2006.03 - 현재 : 부산대학교 IT 응용공학과 정교수  
※관심분야 : 생체신호처리, ECG 특징점 추출, CDMA, 통신시스템