

QRS구간 제거와 이동평균을 통한 대상 영역 추출 기반의 T파 검출 알고리즘

조익성¹ · 권혁승^{2*}

T Wave Detection Algorithm based on Target Area Extraction through QRS Cancellation and Moving Average

Ik-sung Cho¹ · Hyeog-soong Kwon^{2*}

¹Department of Information and Communication Engineering, Kyungwoon University, Gumi 39160, Korea

^{2*}Department of IT Engineering, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

요 약

T파는 심장의 심실의 재분극을 나타내는 파라미터로서 부정맥 진단에 있어 매우 중요하다. T 파를 검출하기 위한 기존 연구방법으로는 주파수 분석과 비선형 접근방법 등이 제안되어 왔지만 검출 정확도가 낮다는 문제점이 있다. 이는 T파의 경우 P파와 중복되는 경우가 발생하기 때문이다. 본 연구에서는 QRS 구간을 제거한 후, 이동평균을 통한 P파와 T파의 대상 영역을 추출하여 정확히 T파를 검출하는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 Q, R, S를 검출한다. 이후 검출된 QRS 구간을 제거, 이동평균을 통해 4개의 PAC 패턴과 기타 부정맥에 대한 판단규칙을 적용하여 P, T파의 대상 영역을 추출하고, 이를 대상으로 RR 간격과 RT 간격의 문턱치를 적용하여 T파를 검출하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스 48개의 레코드를 대상으로 한 T파의 평균 검출율은 95.32%의 성능을 나타내었다.

ABSTRACT

T wave is cardiac parameters that represent ventricular repolarization, it is very important to diagnose arrhythmia. Several methods for detecting T wave have been proposed, such as frequency analysis and non-linear approach. However, detection accuracy is at the lower level. This is because of the overlap of the P wave and T wave depending on the heart condition. We propose T wave detection algorithm based on target area extraction through QRS cancellation and moving average. For this purpose, we detected Q, R, S wave from noise-free ECG(electrocardiogram) signal through the preprocessing method. And then we extracted P, T target area by applying decision rule for four PAC(premature atrial contraction) pattern another arrhythmia through moving average and detected T wave using RT interval and threshold of RR interval. The performance of T wave detection is evaluated by using 48 record of MIT-BIH arrhythmia database. The achieved scores indicate the average detection rate of 95.32%.

키워드 : T파, 심근성 질환, ST 세그먼트, PAC 패턴, QRS 제거, 이동 평균

Key word : T wave, Myocardial disease, ST segment, PAC pattern, QRS cancellation, Moving Average

Received 22 September 2016, Revised 26 September 2016, Accepted 18 October 2016

* 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://doi.org/10.6109/jkice.2017.21.2.450>

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 T파는 심실의 재분극을 나타내는 파라미터로써 심근경색, 심근허혈과 같이 치명적인 심장 질환을 판단하는데 필요한 ST세그먼트의 기초자료가 된다. 심근성 질환의 ST세그먼트의 전위레벨과 형태변화를 정확히 파악하기 위해 T파 변화의 지속적인 모니터링과 자동화 검출 알고리즘에 대한 중요성도 높아졌다 [1-3]. 따라서 정확한 T파의 검출을 통해 치사성 부정맥의 발생을 예측하여 적절한 예방적 치료를 하는 것은 심근성 질환의 치료와 예후에 있어 매우 중요한 부분을 차지한다고 할 수 있다.

지금까지 심장 질환 검출을 위한 대부분의 방법들은 심전도의 QRS간격과 형태를 이용한 방법이 주로 사용되었다. 하지만 이 방법은 심실의 전기적 불일치로 인해 발생하는 QRS파형의 비정상적인 특성을 이용하기 때문에 조기심실수축(PVC : Premature Ventricular Contraction)과 같은 심실성 부정맥의 검출에는 적합하지만 심근성 부정맥에 적용하기에는 한계가 있다. T파를 검출하기 위한 기존 연구방법으로는 미분 파형의 성질을 이용하는 방법, 파형의 주파수 성분을 분석하는 방법, 파형의 변화량을 검사하는 방법, 다채널의 파형 크기를 누적하는 방법 등이 있다. 이 방법들은 T파의 위치를 QRS 이후의 일정 구간으로 추정하기 때문에 정상 또는 심실성 부정맥의 경우에는 정확도가 높으나, 조기심방수축(PAC: Premature Atrial Contraction)과 같은 심방성 부정맥의 경우에는 T파가 P파와 중복되어 전체적인 검출 성능이 떨어진다[4-7].

또한 이러한 대부분의 방법들은 가공 및 연산이 복잡하여 실시간 적용이 어렵고 R파에 비해 낮은 진폭과 형태의 불명확성, 개인차로 인한 가변성이 있어 부정맥과 같은 이상 파형일 경우에는 그 성능이 저하되는 경우가 발생한다[8, 9]. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 P파와 중복되는 T파를 정확하게 검출할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서는 QRS구간 제거와 이동평균을 통해 P,T파 대상 영역을 추출한 후 정확히 T파를 검출하는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 Q, R, S를 검출한다. 이후 검출된 QRS구간을 제거, 이동평균을 통해 4가지 PAC와 기타 부정맥 패턴에 대한 판단 규칙을 적용하여 P, T파의 대상 영역을 추출하고, 이를 대상으

로 RR간격과 RT간격의 문턱치를 적용하여 T파를 검출하였다. 제안하는 방법의 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 대상으로 그 성능을 확인하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 방법에 대하여, 3장에서는 실험결과에 대하여 논하고 4장에서 결론으로 마무리한다.

II. 제안한 알고리즘

본 연구에서 제안한 QRS구간 제거와 이동 평균을 통한 대상영역 추출 기반의 T파 검출 알고리즘의 전체 구성도는 그림 1과 같은 단계로 나누어진다. 먼저 심전도 신호로부터 전처리 과정을 통해 잡음을 제거한 후 Q, R, S를 검출 및 제거하는 단계, 조기심방수축과 기타 부정맥 패턴을 확인하고 2개의 이동평균을 통한 대상 영역을 추출하는 단계, 추출된 영역을 대상으로 적응형 문턱치를 통해 T 영역을 추출하고 T파를 검출하는 과정으로 구성된다.

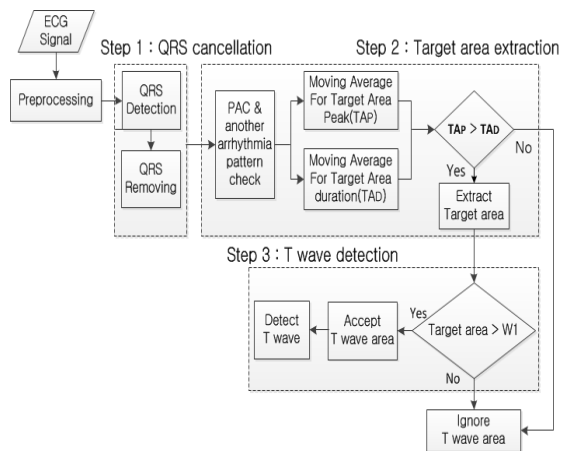


Fig. 1 System configuration

2.1. QRS구간 제거

정확한 T파 검출을 위해서는 먼저 QRS구간을 제거하는 과정이 필요하다. 이는 QRS구간 제거를 통해 심전도파형 중 침두치인 R파를 제거함으로써 그 다음 피크치인 T파 검출을 단순화 할 수 있는 장점을 제공한다.

2.1.1. 전처리 및 특징점 검출

본 연구에서는 형태 연산 기반의 전처리 기법을 통해 잡음을 제거한 후 차분 동작과 역탐색 기법을 이용하여 R파를 검출하였다. 본 연구에 적용된 방법은 99.02%의 우수한 R파 검출 결과를 나타낸 검증된 기법이다. R파 검출은 나머지 특징점 뿐만 아니라 T파 검출의 성능을 결정짓는 중요한 요인이 되기 때문에 정확하고 신뢰성 있는 방법이 필요하다. R파 검출 이후에는 QRS제거를 위한 특징점 검출 과정을 거치게 된다.

일반적으로 QRS영역이라 함은 Q시작점과 S끝점까지의 간격을 말한다. 본 연구에서는 Q시작점과 S끝점을 구하기 위해 위상 변이 추적 기법을 이용하였다. 위상 변이 추적 기법은 R파를 기준으로 심전도의 각 패턴에 따른 문턱치를 적용하고 위상이 변화되는 방향과 횡수를 추적함으로써 4개의 QRS특징점, 즉 Q시작점, Q끝점, S시작점, S끝점을 추출하는 방법이다. 정상신호의 경우 먼저 최대 진폭값의 위치에서 역탐색하여 Q 문턱치($QS(on)$, 최대 진폭값의 50%)보다 작은 값을 Q점, 최소 진폭값의 위치에서 정탐색하여 S 문턱치($QS(off)$, 최대 진폭값의 25%)보다 작은 값을 S점으로 선택하여

Q점에서 S점까지의 시간 간격으로 QS 간격을 구하게 된다[10].

2.1.2. QRS구간 제거

특징점 검출 이후에는 QRS구간을 제거하는 과정을 거친다. QRS구간은 앞서 언급한 것과 같이 검출된 Q시작점과 S끝점까지의 간격을 말하며 이 영역을 0으로 대체함으로써 수행된다. 그림 2는 MIT-BIH 100레코드를 대상으로 한 QRS영역을 제거한 결과를 나타내고 있다. 그림 2(b)는 2(a)와 같은 심전도(ECG) 원 신호에 전처리 과정을 수행한 결과를 나타냈으며, 그림 2(c)는 앞서 검출한 Q시작점과 S끝점사이의 QRS영역을 제거한 후 그 구간의 신호를 0값으로 변환한 결과를 나타내고 있다. 그림과 같이 사각형으로 이루어진 구간은 각각 Q, R, S점이며, 이를 모두 0값으로 대체한 것과 같다. QRS 제거 이후에 남는 구간은 P, T파 그리고 잡음 구간이다.

2.2. P, T 대상 영역 추출

대상 영역 추출은 QRS제거 과정을 거친 이후 T파의 검출을 쉽게 하기 위한 과정이며 조기심방 수축과 기타

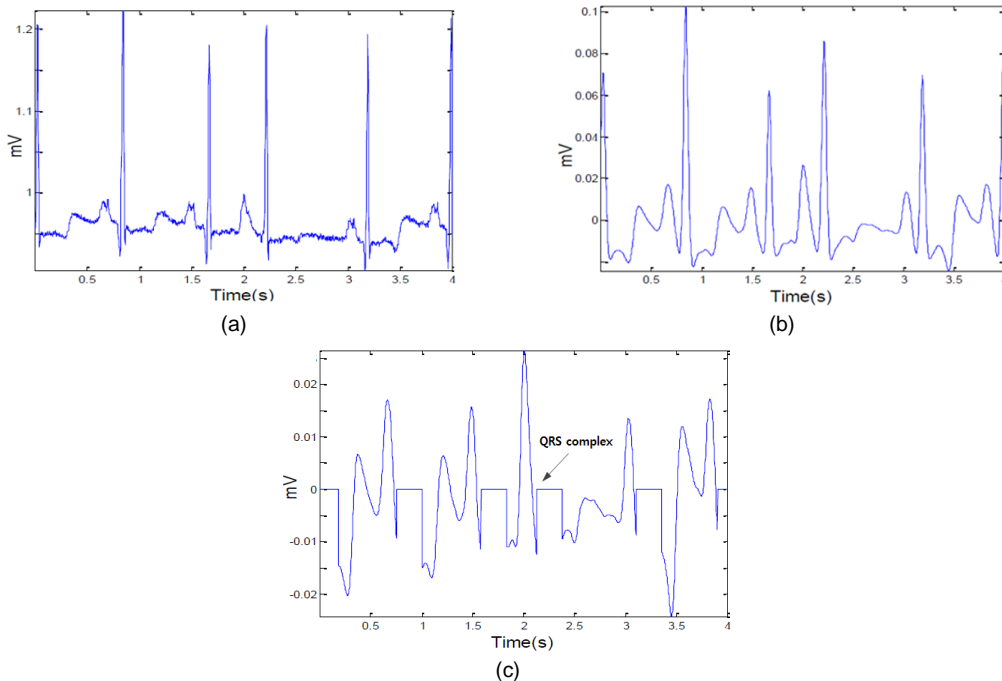


Fig. 2 QRS cancellation (a) original ECG (b) Filtered ECG (c) QRS Cancellation

부정맥 패턴에 따라 RR간격의 변화율을 이용한 규칙이 적용된다.

2.2.1. 조기심방 수축과 기타 부정맥 패턴

심전도신호는 개인의 형태에 따라 다양하게 변하기 때문에 그 형태에 따른 대상영역 추출방법을 적용해야 한다. 왜냐하면 다양한 심전도의 형태에 따라 RR간격이 달라지며, 이는 T파 구간의 변화를 초래하기 때문이다.

특히 정상 신호 또는 PVC와 같은 심실성 부정맥과 달리 PAC와 같은 심방성 부정맥 발생 시의 RR간격은 다양한 형태의 패턴을 가진다[11-13]. 본 연구에서는 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 분석한 결과 조기 심방 패턴의 경우 정상 이후에 이상신호가 나타날 경우 심장의 자율 신경이 이를 다시 정상으로 복원하려고 하는 성질에 따라 조기심방의 4가지 패턴과 기타부정맥 및 정상을 구분하여 표 1에 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 이러한 조기 심방 패턴에 따른 RR간격의 변화율을 적용하여 T파 검출의 정확도를 높이는 것을 목적으로 한다. 조기 심방 패턴의 경우 이러한 연속하는 비트간의 RR간격에 대한 관계를 통해 각 비트간의 판단 규칙을 생성할 수 있다.

표 1과 같이 A 패턴의 경우 정상비트(R_{i-1})를 중심으로 두 번째(R_i)와 세 번째 비트(R_{i+1})의 간격(RR_{i+1})이 300ms이고, 첫 번째 정상비트(R_{i-1})와 두 번째(R_i)의 간격(RR_i)은 1000ms, 이 간격들의 비는 0.3이 되며, 이 때는 $RR_{i+1} \leq 0.3 * RR_i$ 의 규칙이 발생한다.

이와 동시에 첫 번째 정상비트는 1000ms 이므로 $RR_i \leq 1$ 의 규칙이 생성된다. 또한 조기심방이 발생하는 네 번째(R_{i+2})와 세 번째 비트(R_{i+1})의 간격(RR_{i+2})은 400ms이고, 세 번째(R_{i+1})와 두 번째 비트(R_i)의 간격(RR_{i+1})은 300ms, 이 간격들의 비는 1.33이 되며, 이 때는 $RR_{i+2} \leq 1.33 * RR_{i+1}$ 의 규칙이 발생한다. 이와 동시에 RR_{i+2} 와 RR_{i+1} 의 전체간격은 700ms가 되므로 $RR_{i+1} + RR_{i+2} \leq 0.7$ 규칙이 생성된다. 나머지 B, C, D 패턴의 경우에도 패턴 A의 형태와 같은 규칙을 적용할 수 있으며, 심실 부정맥(반복, 이단맥, 삼단맥)과 정상신호를 포함한 패턴의 경우 표 1과 같다.

Table. 1 Rule for ECG pattern

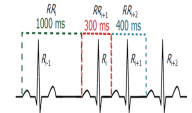
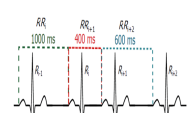
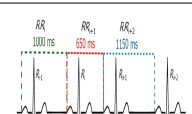
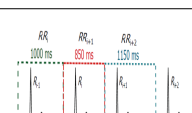
Pattern	Type	Condition
A		① $RR_{i+1} \leq 0.3 * RR_i$, AND $RR_i \leq 1$ ② $RR_{i+2} \leq 1.33 * RR_{i+1}$ AND $RR_{i+1} + RR_{i+2} \leq 0.7$
B		① $RR_{i+1} \leq 0.4 * RR_i$, AND $RR_i \leq 1$ ② $RR_{i+2} \leq 1.5 * RR_{i+1}$ AND $RR_{i+1} + RR_{i+2} \leq 1$
C		① $RR_{i+1} \leq 0.65 * RR_i$, AND $RR_i \leq 1$ ② $RR_{i+2} \leq 1.76 * RR_{i+1}$ AND $RR_{i+1} + RR_{i+2} \leq 1.8$
D		① $RR_{i+1} \leq 0.85 * RR_i$, AND $RR_i \leq 1$ ② $RR_{i+2} \leq 1.35 * RR_{i+1}$ AND $RR_{i+1} + RR_{i+2} \leq 2$
PVC, Bigem Trigem	$RR_{i+2} \leq 0.9, RR_{i+1} \geq 1.2$ AND $RR_i \geq 0.9$	
Normal		except condition

표 1과 같이 A 패턴의 경우 정상비트(R_{i-1})를 중심으로 두 번째(R_i)와 세 번째 비트(R_{i+1})의 간격(RR_{i+1})이 300ms이고, 첫 번째 정상비트(R_{i-1})와 두 번째(R_i)의 간격(RR_i)은 1000ms, 이 간격들의 비는 0.3이 되며, 이 때는 $RR_{i+1} \leq 0.3 * RR_i$ 의 규칙이 발생한다. 이와 동시에 첫 번째 정상비트는 1000ms 이므로 $RR_i \leq 1$ 의 규칙이 생성된다. 또한 조기심방이 발생하는 네 번째(R_{i+2})와 세 번째 비트(R_{i+1})의 간격(RR_{i+2})은 400ms이고, 세 번째(R_{i+1})와 두 번째 비트(R_i)의 간격(RR_{i+1})은 300ms, 이 간격들의 비는 1.33이 되며, 이 때는 $RR_{i+2} \leq 1.33 * RR_{i+1}$ 의 규칙이 발생한다. 이와 동시에 RR_{i+2} 와 RR_{i+1} 의 전체간격은 700ms가 되므로 $RR_{i+1} + RR_{i+2} \leq 0.7$ 규칙이 생성된다. 나머지 B, C, D 패턴의 경우에도 패턴 A의 형태와 같은 규칙을 적용할 수 있으며, 심실 부정맥(반복, 이단맥, 삼단맥)과 정상신호를 포함한 패턴의 경우 표 1과 같다.

2.2.2. 이동 평균 및 T파 검출

QRS간격을 제거한 이후에는 T파 검출을 위한 P, T 파의 대상 영역 추출이 필요하다. 이는 P파와 T파 구간으로 대상 영역을 한정함으로써 검출을 단순화하기 위함이다. 대상영역 설정은 2가지의 이벤트 기반 이동 평균법을 이용하였고 그림 3에 나타내었다.

첫 번째 이동평균(TA_p)은 그림 3(b)의 점선으로 나타나며, P와 T파 영역의 피크를 강조하기 위해 사용되었으며 수식 (1)과 같이 나타난다. 여기서 W_1 은 P, T파 영역의 각 피크치 윈도우 간격이며, 의학적으로 각 피크치는 70ms 초기값을 기준으로 각 패턴에 따라 가장 빈번하게 발생하는 RR간격들의 최대값에 비례하여 적응적으로 $W_1 = 70ms \times RR_{max}$ 형태로 변경된다.

두 번째 이동평균(TA_d)은 그림 3(b)의 실선으로 나타난다. 첫 번째 이동평균(TA_p)이 P, T파의 피크를 강조하는데 반해 대상 영역의 간격에 대한 문턱치로서 사용되었고 수식 (2)와 같다. 여기서 W_2 는 P, T파 영역의 각 영역 윈도우 간격으로 피크치를 중심으로 피크간격의 두 배인 $70ms \times 2 = 140ms$ 의 초기값이 설정되며, W_1 과 마찬가지로 각 패턴의 RR 간격 최대값에 비례하여 적응적으로 $W_2 = 140ms \times RR_{max}$ 형태로 변경된다.

두 가지의 이벤트 기반 이동평균 TA_p 와 TA_d 를 구하여 $TA_p > TA_d$ 인 값을 P, T 대상영역으로 추출한다.

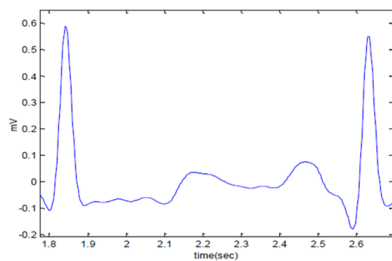
$$TA_p[n] = \frac{1}{W_1} (y[n - \frac{W_1-1}{2}] + \dots + y[n] + \dots + y[n + \frac{W_1-1}{2}]) \quad (1)$$

$$TA_d[n] = \frac{1}{W_2} (y[n - \frac{W_2-1}{2}] + \dots + y[n] + \dots + y[n + \frac{W_2-1}{2}]) \quad (2)$$

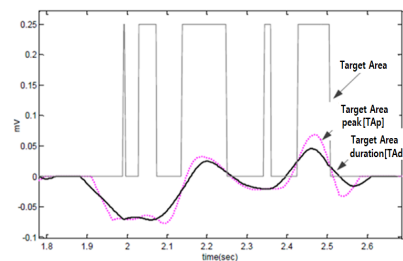
이동평균을 이용하여 P,T파 대상영역을 추출한 후, 마지막으로 T파를 담고 있는 대상영역만을 분류하는 과정이 필요하다. 추출된 영역들에서 T파를 결정하기 위해서는 연속하는 RR간격들을 찾아내고, 일반적으로 RT간격사이에 T파가 존재하기 때문에 T파의 대상 영역을 결정하기 위한 검색구간을 수식 (3)과 같이 설정하였다.

이동평균을 이용하여 P,T파 대상영역을 추출한 후, 마지막으로 T파를 담고 있는 대상영역만을 분류하는 과정이 필요하다. 추출된 영역들에서 T파를 결정하기 위해서는 연속하는 RR간격들을 찾아내고, 일반적으로 RT간격사이에 T파가 존재하기 때문에 T파의 대상 영역을 결정하기 위한 검색구간을 수식 (3)과 같이 설정하였다. 이 검색구간 안에서 $[TA_p > TA_d] > W_1$ 만족하는 대상 영역을 최종적인 T파 영역으로 결정한다. 여기서 $R_i R_{i+1}$ 는 R_i 와 R_{i+1} 사이의 간격, D_{min} 와 D_{max} 는 각각 부정맥 환자와 건강한 사람의 RT간격을 나타내며 의학적 정의에 따라 170ms와 800ms의 초기값을 가진다. 결과적으로 $R_i T_{min}$, $R_i T_{max}$ 은 R피크와 T파사이의 동적인 최소 거리와 최대거리를 의미하며, RR간격과 RT 간격의 곱에 비례하여 적응적으로 변화한다.

$$\begin{aligned} R_i T_{min} &= D_{min} R_i R_{i+1} \\ R_i T_{max} &= D_{max} R_i R_{i+1} \end{aligned} \quad (3)$$



(a) ECG Signal



(b) Two moving average

Fig. 3 Dotted Line : Target Area peak [TA_p], Solid Line : Target Area duration [TA_d]

III. 성능 평가

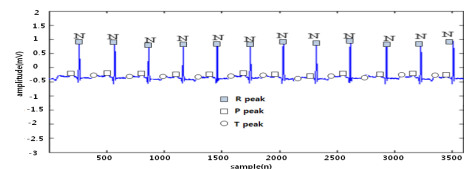
3.1. 전체 피크 검출 결과

제안한 QRS구간제거와 이동평균을 이용하여 R, P, T파의 검출 정확도를 확인한다. 이를 위해 먼저 MIT-BIH부정맥 데이터베이스를 통해 Normal, PVC, PAC, BBB, Paced Beat를 대상으로 R, P, T파에 대한 전체 피크 검출 결과를 확인하였다. 5개의 부정맥을 대상으로 한 이유는 앞서 언급한 심전도 패턴의 경우 제안한 알고리즘으로 성능 변화를 비교하기에 적합하기 때문이다. 그림 4는 제안한 알고리즘을 통해 5개의 부정맥을 대상으로 한 전체 R, P, T파의 검출 결과를 나타내고 있다. 그림 4(a)는 Normal 신호를 나타내며 R, P, T파가 정확히 검출되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(b)는 Normal과 PVC가 반복해서 나타난 경우를 나타내며 Normal에서 PVC로 변화될 때 P와 T파가 중첩되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(c)는 그림 4(b)와 유사하게 Normal에서 PAC로 변화될 때 P와 T파가 중첩되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(d)는 BBB와 PVC비트가 번갈아 나타낸 경우로 BBB에서 PVC로 변화될 때 P와 T파가 중첩되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(e)는 Paced Beat를 나타내며 P, T파가 정확히 검출되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4를 통해 Normal에서 특정 부정맥으로 바뀔 때 중첩되는 경우가 발생하며, 이는 검출오류를 야기할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

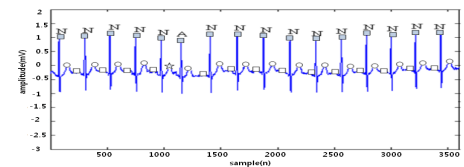
3.2. 조기심방 패턴의 피크 검출 결과

그림 5는 조기심방 ECG신호를 대상으로 본 연구에서 제안한 QRS구간 제거와 이동평균을 이용하여 T파를 정확히 검출한 결과를 나타낸 것이다. 그림 5(a), 5(b)는 각각 원신호를 대상으로 QRS구간 제거를 한 결과를 나타내며 그림 5(c), 5(d)는 두 개의 이동 평균을 이용하여 대상 영역 추출과 T파를 검출한 결과를 각각 나타내고 있다. 그림 6은 PAC의 4가지 패턴을 대상으로 T파를 검출한 결과를 나타내고 있다. PAC의 4가지 패턴은 연속해서 나타나지 않으며, 모두 Normal과 PAC가 번갈아 나타나는 경우가 발생하였다. 표 1에서 정의한 것과 같이 Normal과 PAC와의 RR간격에 의한 규칙에 따라 4가지 패턴의 PAC의 T파 검출 결과를 나타내며, 이를 모두 정확히 검출한 것을 확인할 수 있다. 특히 그림 6(a), 6(b)와 같이 패턴 A, B의 경우 Normal 이후의

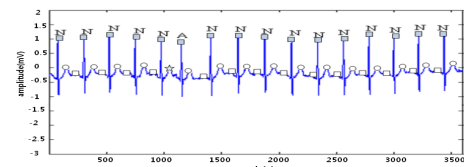
PAC의 RR간격은 좁아지고 그 이후에 나타나는 Normal 신호의 경우는 정상으로 복원하려고 하는 성질을 가지고 있으나 정상 RR간격에 미치지 못함으로 인해 P, T파 중첩되는 현상이 발생하였다. 하지만 표 1에 따른 RR 간격의 규칙으로 이를 정확히 검출하는 것을 확인할 수 있다. 그림 6(c), 6(d)와 같이 패턴 C, D의 경우 Normal 이후의 PAC의 RR간격은 좁아지고 그 이후에 나타나는 Normal신호의 경우는 정상으로 복원하는 성질로 인해 정상 RR간격이상으로 커지는 것을 확인하였다. 이는 T파가 정확히 나타났으며, RR격의 규칙으로 이를 정확히 검출하는 것을 확인할 수 있다.



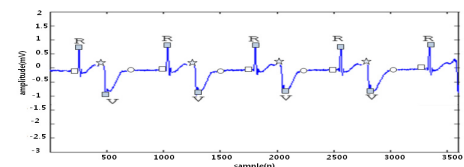
(a) Normal



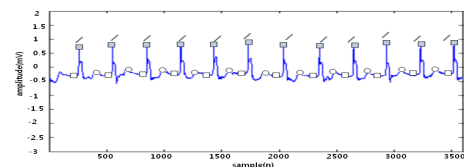
(b) Normal+PVC



(c) Normal+PAC



(d) BBB+PVC



(e) Paced beat

Fig. 4 Total peak detection result of arrhythmia type

3.3. 기타 부정맥의 피크 검출 결과

그림 7은 기타 부정맥들의 T파 검출 결과를 나타낸 것이다. 그림 7(a)와 같이 Normal 영역은 T파 검출에 문제가 없는 것을 확인할 수 있다. 그림 7(b)는 PVC 이후에 Normal 신호가 나타난 경우로 중첩되지 않은 T파를 검출하는 결과를 나타내고 있다. 그림 7(c) 경우 PVC와 Paced beat, LBBB가 연속하여 나타나며, P와 T가 중첩되는 경우가 발생하였다. 이는 심방의 전도 이상이나 심실의 조기수축으로 인한 QRS 간격이 증가하여 P와 T파가 중첩이 되거나 또는 전도 이상으로 P파가 빨리 나타나는 경우에 해당한다. 하지만 이 또한 본 연구에서 제안한 규칙 적용에 의한 패턴 체크를 통해 오류 없이 검출되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7(d)의 경우 Paced beat를 나타낸 것으로 문제없이 T파를 정확히 검출하는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 Normal 신호는 P, T파 중첩이 발생하지 않았으며, 부정맥 PVC, LBBB, Paced beat의 경우 중첩되는 상황이 발생하더라도 제안한 방법으로 이를 정확히 검출하였다. 제안한 방법은 Normal 뿐만 아니라 전도 장애, 심방성 부정맥을 포함한 부정맥에 대해서도 오류 없이 T파를 정확하게 검출하는 것을 확인할 수 있다. 부정맥의 경우 검출 오류가 발생하였다. 그림 7(e)는 Normal과 PVC가 반복해서 나타난 경

우를 나타내며 Normal에서 PVC로 변화될 때 P와 T파가 중첩되는 것을 확인할 수 있으며, 이의 경우 검출 오류가 발생하였다. 이는 여러 종류의 PVC가 반복될 경우 RR간격과 QRS간격의 변화에 따른 규칙이 변경되는 경우가 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

3.4. 피크 검출율

제안된 피크 변화와 적응형 문턱치, QRS간격정보를 이용한 검출 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스 48개 레코드 모두를 대상으로 T파를 검출하였다. 검출율의 계산은 식 (4)와 같으며 T파를 검출한 결과를 표 2에 나타내었다. 평가 결과 평균 검출율은 95.32%의 성능을 나타내었다. 이는 Normal과 PAC가 연속된 105, 119, 209, 239번 레코드의 경우 QRS구간제거와 이동 평균을 통한 대상영역 추출 기반의 제안한 알고리즘을 통해 PAC의 4가지 규칙을 적용함으로써 전체적인 검출율이 향상된 것으로 확인된다.

$$\text{검출율} = \frac{\text{전체비트수} - (FP + FN)}{\text{전체비트수}} \quad (4)$$

(FP: False Positive, FN: False Negative)

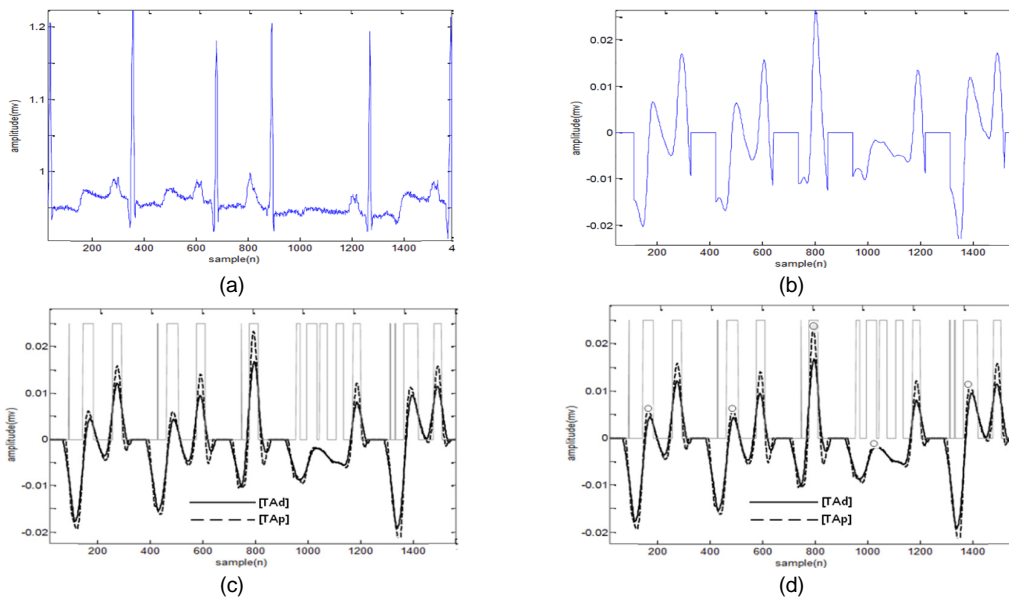


Fig. 5 moving average of 4 PAC pattern (a) Original ECG (b) QRS cancellation (c) Target Block of two moving average (d) T wave detection result

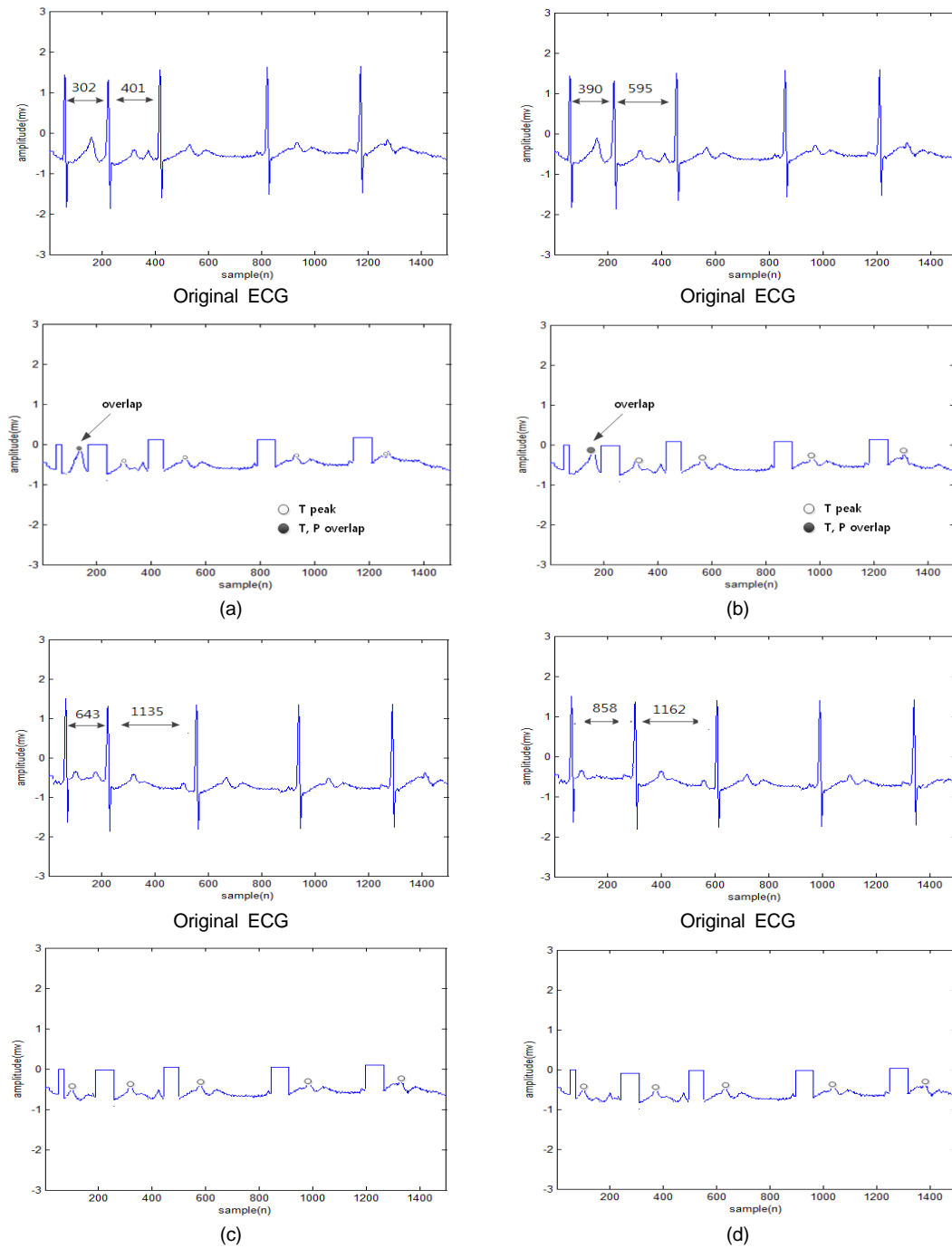


Fig. 6 Detected T wave of moving average (4 PAC pattern) (a) 105 (Normal+PAC) Pattern A overlap (b) 119 (Normal+PAC) Pattern B overlap (c) 209 (Normal+PAC) Pattern C non overlap (d) 233 (Normal+PAC) Pattern D non overlap

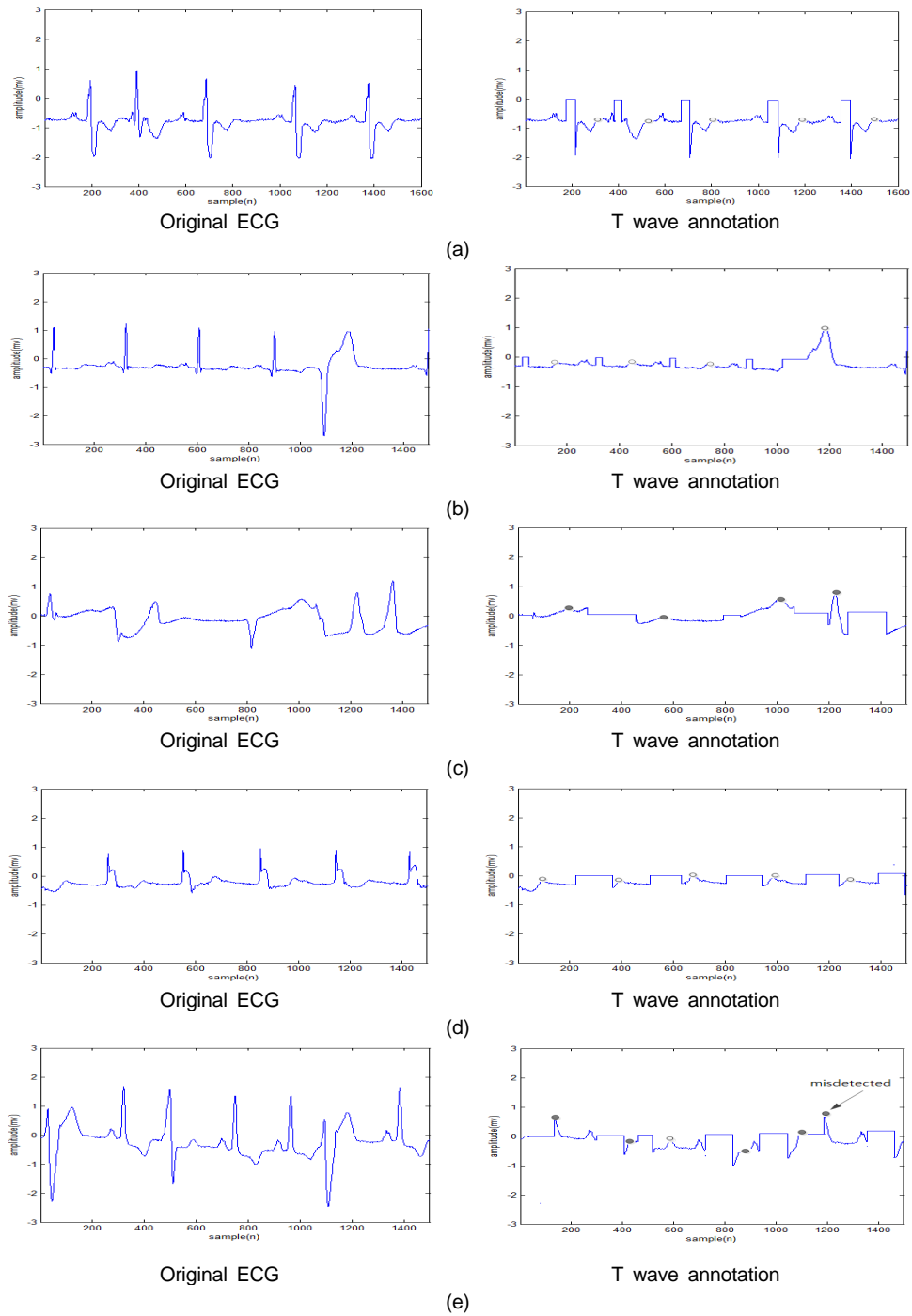


Fig. 7 Detected T wave of another arrhythmia (a) 100, 101, 102, 106 record (Normal) (b) 100, 102, 107, 233 record (Normal+PVC) (c) 205, 207(Normal+Paced+LBBB+PVC) overlap (d) 102, 107, 217 (Paced beat) (e) 233 record (PVC+PVC+Normal+PVC)

Table. 2 T peak detection rate

Record	Total Bit	TP	FP	FN	Detection Rate(%)
100	2274	2273	0	0	100
101	1866	1865	1	5	99.95
102	2187	2185	0	0	91.95
103	2084	2080	0	6	99.61
104	2229	2226	0	2	92.91
105	2602	2586	0	2	98.27
106	2026	2020	0	60	99.36
107	2136	2136	0	0	100
108	1763	1363	0	13	89.10
109	2533	2342	0	0	92.46
111	2123	2120	0	18	99.15
112	2539	2537	0	0	100
113	1794	1792	0	0	100
114	1890	1882	0	72	96.19
115	1953	1946	0	24	98.77
116	2395	2380	0	6	99.75
117	1535	1530	0	0	100
118	2278	2270	0	6	99.74
119	1988	1982	0	6	99.70
121	1863	1858	0	39	97.91
122	2476	2473	0	0	100
123	1519	1511	0	0	100
124	1619	1615	0	9	99.44
200	2601	2597	0	9	99.65
201	1949	1946	0	55	97.18
202	2138	2144	0	112	94.95
203	2988	2965	0	2	99.93
205	2656	2555	0	0	100
207	2324	2141	0	5	99.78
208	2953	2950	0	0	100
209	3006	3003	0	7	99.87
210	2652	2637	0	0	100
212	2748	2745	0	0	100
213	3250	3247	0	0	100
214	2262	2184	0	1	99.96
215	3362	3355	0	0	100
217	2208	2204	0	3	99.86
219	2154	2152	0	150	94.57
220	2048	2046	0	2	99.90
221	2427	2424	0	0	100
222	2485	2468	0	35	98.75
223	2604	2603	0	2	99.92
228	2060	2052	0	54	97.48
230	2256	2252	0	36	98.18
231	1571	1569	0	0	100
232	1783	1781	0	1	99.94
233	3077	2914	0	1	99.97
234	2751	2749	0	0	100
total	109,985	108297	597	1003	95.32

IV. 결론

본 연구에서는 P파와 중복되는 심방성 부정맥의 T파 검출 정확도를 향상시키기 위해 QRS구간을 제거한 후, 이동평균을 통한 대상 영역을 추출하여 정확히 T파를 검출하는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 먼저 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 Q, R, S를 검출하였다. 이후 QRS구간을 제거, 이동평균을 통해 4개의 PAC패턴과 기타부정맥에 대한 판단 규칙을 적용하여 P, T파의 대상 영역을 추출하고, 이를 대상으로 RR간격과 RT간격의 문턱치를 적용하여 T파를 검출하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스 48개의 레코드를 대상으로 한 T파의 평균 검출율은 95.32%의 성능을 나타내었다. 특히 Normal과 PAC가 연속된 105, 119, 209, 239번 레코드의 경우 QRS구간제거와 이동 평균을 통한 대상영역 추출 기반의 제안한 알고리즘을 통해 PAC의 4가지 규칙을 적용함으로써 전체적인 검출율이 향상된 것으로 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안한 방법은 연산의 복잡도를 줄임과 동시에 실시간으로 정확한 진단 이상으로 발생한 부정맥을 진단해야하는 사물 인터넷 기반의 스마트 헬스케어 시스템에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] A. Alwan, "Global Status Report on Noncommunicable Diseases 2010," World Health Organization, Switzerland : Geneva 27, Technical Report WT 500, 2011.
- [2] P. E. Dilaveris, et al, "Simple electrocardiographic markers for the prediction of paroxysmal idiopathic atrial fibrillation," *American Heart Journal*, vol. 135, pp. 733-738, May 1998.
- [3] M. G. Tspiras, D.I. Fotiadis, D. Sideris, "Arrhythmia classification using the RR-interval duration signal," *In Proceedings of 2002 Computers in Cardiology*, pp. 485-488, Sept. 2002.
- [4] T. Thong, J. McNames, M. Aboy, B. Doldstein, "Prediction of paroxysmal atrial fibrillation by analysis of atrial premature complexes," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. vol. 51, pp. 561-569, April 2004.

- [5] P. D. Chazal, M. O'Dwyer, R.B. Reilly, "Automatic classification of heartbeats using ECG morphology and heartbeat interval features," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol.51, pp.1196-1206, July 2004.
- [6] V. T. Krasteva, I. I. Jekova, I. I. Christov, "Automatic detection of premature atrial contractions in the electrocardiogram," *Journal of Electrical Engineering and Electronic Technology*, vol. 9-10, pp. 49-55, November 2006.
- [7] U. Scholz, A. Bianchi, S. Cerutti, S. Kubicki, "Vegetative background of sleep: Spectral analysis of the heart rate variability," *Physiology & Behavior*, vol. 62, pp. 1037-1043, Nov. 1997.
- [8] J. Trinder, et al, "Autonomic activity during human sleep as a function of time and sleep stage," *Journal of Sleep Research*, vol. 10, pp. 253-264, Dec. 2001.
- [9] L. Zapanta, C. Poon, D. White, C. Marcus, E. Kaltz, "Heart rate chaos in obstructive sleep apnea in children," *In Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEMBS'04), San Francisco, CA, USA*, vol. 1-5, pp. 3889-3892, September 2004.
- [10] I. S. Cho, H. S.Kwon, J.O. Yun, "Detection of QRS Feature Based on Phase Transition Tracking for Premature Ventricular Contraction Classification," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 2, pp. 427-436, February 2016.
- [11] H. Roskamm, G. Csapo, *Disorders of Cardiac Function*, New York, Marcel Dekker, 1982.
- [12] A. Gacek, W. Pedrcyz, *ECG Signal processing, classification and interpretation*, London, Springer, 2012.
- [13] T. Azeem, M. Vassallo, and N. J. Samani, *Rapid Review of ECG Interpretation*, Boca Raton, FL: Manson Publishing, 2005.



조익성(Ik-Sung Cho)

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



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 : 조지아텍 방문교수
 2006.03 ~ 현재 : 부산대학교 IT 응용공학과 정교수
 ※관심분야 : 생체신호처리, ECG 특징점 추출, CDMA, 통신시스템