

QRS 패턴에 의한 QS 간격과 R파의 진폭을 이용한 조기심실수축 분류

조익성¹ · 권혁승^{2*}

PVC Classification based on QRS Pattern using QS Interval and R Wave Amplitude

Ik-sung Cho¹ · Hyeog-soong Kwon^{2*}¹Department of IT Engineering, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea^{2*}Department of Information and Communication Engineering, Kyungwoon University, Gumi 730-739, Korea

요 약

조기심실수축 분류를 위한 기존 연구들은 분류의 정확성을 높이기 위해 신경망, 퍼지 이론, SVM 등과 같은 비선형 방법이 주로 사용되어 왔다. 이러한 대부분의 방법들은 P-QRS-T 지점의 정확한 측정을 필요로 하며, 데이터의 가공 및 연산이 복잡하다. 연산의 복잡도를 줄이기 위한 여러 가지 방법들이 제안되어 왔지만, 분류의 정확도가 떨어지는 문제점이 있었다. 또한 PVC는 개인의 특징에 따라 다양한 QRS 패턴이 존재하기 때문에 정확도에 한계가 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 최소한의 특징점을 추출함으로써 연산의 복잡도를 줄이고, 개인마다 다른 QRS 패턴에 따라 PVC를 정확하게 분류할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 QRS 패턴에 따른 QS 간격과 R파 진폭 변화율을 이용한 PVC 분류 방법을 제안한다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 R파, RR 간격, QRS 패턴을 추출한다. 이후 그 패턴에 따른 QS 간격과 R파의 진폭 변화율에 따라 PVC를 분류하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 PVC가 30개 이상 포함된 MIT-BIH 9개의 레코드를 대상으로 한 R파의 평균 검출율은 99.02%의 성능을 나타내었으며, PVC 부정맥은 각각 93.72%의 평균 분류율을 나타내었다.

ABSTRACT

Previous works for detecting arrhythmia have mostly used nonlinear method such as artificial neural network, fuzzy theory, support vector machine to increase classification accuracy. Most methods require accurate detection of P-QRS-T point, higher computational cost and larger processing time. Even if some methods have the advantage of low complexity, but they generally suffer from low sensitivity. Also, it is difficult to detect PVC accurately because of the various QRS pattern by person's individual difference. Therefore it is necessary to design an efficient algorithm that classifies PVC based on QRS pattern in realtime and decreases computational cost by extracting minimal feature. In this paper, we propose PVC classification based on QRS pattern using QS interval and R wave amplitude. For this purpose, we detected R wave, RR interval, QRS pattern from noise-free ECG signal through the preprocessing method. Also, we classified PVC in realtime through QS interval and R wave amplitude. The performance of R wave detection, PVC classification is evaluated by using 9 record of MIT-BIH arrhythmia database that included over 30 PVC. The achieved scores indicate the average of 99.02% in R wave detection and the rate of 93.72% in PVC classification.

키워드 : R파, RR 간격, QS 간격, QRS 패턴, 심실조기수축, R파의 진폭

Key word : R wave, RR interval, QS interval, QRS pattern, PVC, R wave amplitude

접수일자 : 2014. 01. 07 심사완료일자 : 2014. 02. 06 게재확정일자 : 2014. 02. 20

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

Department of IT Engineering, Pusan National University, Miryang 627-702, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.4.825>

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

심전도(ECG : ElectroCardioGraph)는 전극(electrode)을 인체 표면에 부착하여 간단히 측정할 수 있는 장치로 임상적으로 심장질환의 유무를 진단하는 중요한 척도가 된다[1,2]. 조기심실수축(PVC : Premature Ventricular Contraction)은 임상에서 발견될 수 있는 가장 흔한 부정맥으로 과거에 심장질환이 있었던 환자에서 PVC의 발생은 심실빈맥과 같은 위험한 심장질환을 유발할 가능성이 있어 이의 검출은 추후 발생여부에 대한 기초 조사로써 매우 중요하다[3-4].

지금까지 PVC 분류의 정확도를 높이기 위해 미분을 이용한 방법, ECG의 형태적 연관성을 이용한 방법, 이산 푸리에 변환을 이용한 방법, 힐버트 변환 방법, 웨이블릿 변환방법, 다양한 비선형 분석법이 사용되어 왔다. 이러한 대부분의 방법들은 데이터의 가공 및 연산이 복잡하여 실시간 적용이 어렵고, P파, T파의 개인차가 있어 분류의 정확도가 떨어지는 문제점이 있다. 연산의 복잡도를 줄이기 위해 Teeramongkonaramee는 RR 간격과 QRS 폭을 통한 실시간 PVC 검출 방법을 개발했지만, 검출의 정확도가 떨어지는 문제점이 있었다[5].

PVC는 개인의 특징에 따라 다양한 QRS 패턴이 존재하기 때문이다[6-9]. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 최소한의 특징점을 추출함으로써 연산의 복잡도를 줄이고, 개인마다 다른 QRS 패턴에 따라 PVC를 정확하게 분류할 수 있는 적합한 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서는 QRS 패턴에 따른 QS 간격과 R파 진폭 변화율을 이용한 PVC 분류 방법을 제안한다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 R파, RR 간격, QRS 패턴을 추출한다. 이후 그 패턴에 따른 QS 간격과 R파의 진폭 변화율에 따라 PVC를 분류하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 MIT-BIH 9개의 부정맥 데이터베이스를 대상으로 PVC의 검출율을 비교하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 기법에 대하여 논하고, 3장에서는 실험결과에 대하여 논하고 4장에서 결론으로 마무리한다.

II. 제안한 기법

제안한 QRS 패턴을 QS 간격과 진폭 변화율을 이용한 PVC 분류 방법의 전체 구성도는 그림 1과 같은 단계로 나누어진다. 먼저 ECG 신호로부터 전처리 과정을 통해 잡음을 제거한 후 R파, RR 간격과 같은 특징점을 검출하는 단계, QS 간격, R파의 진폭과 같은 QRS 패턴을 분류하는 단계, 각 특징점의 문턱값 변화에 따라 PVC를 분류하는 단계로 나누어진다.

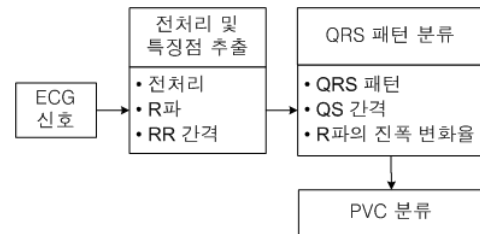


그림 1. 전체 시스템 구성
Fig. 1 System configuration

2.1. 전처리 및 특징점 추출

정확한 진단을 위해서는 심전도 신호에 포함되어 있는 다양한 잡음을 제거하여 R파를 정확히 검출하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 원신호의 변형을 줄이고 계산의 복잡도를 최소화하면서, 효율적으로 QRS를 검출하기 위해 형태 연산 기반의 전처리 기법을 적용하였다. R파는 우선, 형태 연산을 통해 전처리된 신호의 경험적 문턱값(empirical threshold)과 차분 동작을 이용하여 검출하며, 이 값에 의해 검출되지 않을 경우 RR 간격을 이용한 역탐색 기법을 사용한다[10-11]. R파를 검출하면, PVC 분류를 위한 특징점을 검출해야 한다. 이후 RR 간격을 추출하고, QRS 패턴에 따른 QS 간격, R파의 진폭 변화율의 문턱값(threshold)을 이용하여 PVC를 분류한다. RR 시간 간격은 조기수축 즉, PVC를 판단하는 유용한 정보가 된다. 정상신호의 RR 간격은 그 변화율이 일정한 것에 반해, PVC의 경우, 그 변화율이 규칙적으로 커진다. 즉, PVC는 정상신호에 비해 RR 간격이 급격히 좁아지며, 그 변화율이 일정하게 커지는 특징을 가진다. 따라서 RR 간격의 평균과 이전, 이후의 변화량을 이용한다면 PVC의 패턴을 분류하는 것이 가능하다. RR 간격의 평균과 그 변화율은 수식 (1)을 통하여 계산된다.

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

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

$N = R$ 피크의 갯수,
 $RR_{th} = RR$ 간격의 평균 문턱치,
 $R_i = R$ 피크의 시간값
 $RR_i = RR$ 간격의 변화량
 $RR_i =$ 현재의 RR 간격

2.2. QRS 패턴 분류

본 연구에서는 부정맥 분류를 위한 변수로써 QRS 패턴을 정의하였다. 이는 개인에 따라 PVC의 형태가 다양하기 때문에 이에 따른 분류의 정확도를 높이기 위함이다.

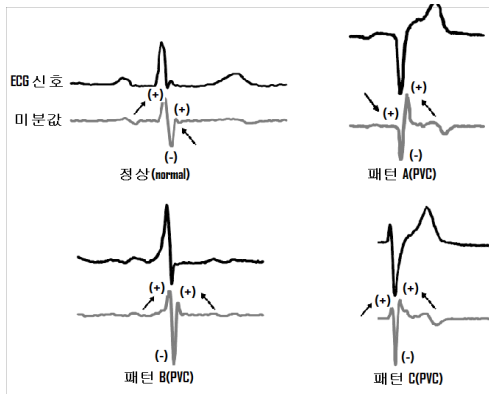


그림 2. QRS 패턴
Fig. 2 QRS pattern

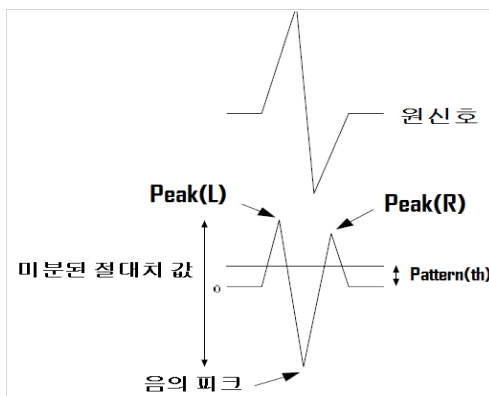


그림 3. QRS 패턴의 특징
Fig. 3 Feature of QRS pattern

(1) QRS 패턴

일반적으로 정상 신호의 파형은 대부분 같은 패턴을 가지고 있지만 PVC 발생 시의 QRS 패턴은 그 특징에 따라 매우 다양한 형태를 가진다. 따라서 본 연구에서는 4가지 형태의 QRS 패턴을 정의하였다. 그림 2는 하나의 정상신호와 3가지 PVC 형태의 원 ECG 신호와 미분 신호를 각각 나타내고 있다. 그림과 같이 정상신호(normal)는 그 패턴이 일정한 것에 비해 PVC는 패턴 A, B, C와 같이 다른 3가지의 패턴으로 나누어지는 것을 확인할 수 있다. 본 연구의 실험에 의해 대부분의 QRS 패턴의 미분값은 그림 3과 같이 2개의 양의 피크(+)와 하나의 음의 피크(-)를 가지는 것을 확인할 수 있다. 음의 피크의 경우 미분된 4개의 신호, 즉 정상과 3개의 PVC 패턴의 구분이 쉽지 않지만, 왼쪽 양의 피크(Peak(L))와 오른쪽 양의 피크(Peak(R))는 4개의 패턴이 명확히 구분되는 것을 확인할 수 있다. 즉 특정 문턱치를 설정할 경우, 왼쪽 피크와 오른쪽 피크의 값이 그 문턱치의 범위를 만족시키는지 여부에 따라 QRS 패턴을 결정할 수 있다.

(2) QS 간격

QS 간격은 PVC를 정상 또는 다른 부정맥과 비교하여 진단할 때 중요하게 이용되는 파라미터로써 QRS 파형의 형태를 나타내는 변수이다. QS 간격을 찾는 과정은 그림 4와 같이 QS 시작점(Q점) 및 종점(S점)을 찾는 과정으로 나누어진다. 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. 패턴 A의 경우 정상신호의 Q와 S점을 찾기 위한 과정은 정상신호와 반대로 수행하게 된다. 패턴 B, C의 경우 먼저 왼쪽 피크치(Peak(L))의 위치에서 역탐색하여 Q 문턱치(QS(on), 왼쪽 피크치 50%)보다 작은 값을 Q점, 오른쪽 피크치(Peak(R))의 위치에서 정탐색하여 S 문턱값(QS(off), 최대 진폭값의 25%)보다 작은 값을 S점으로 선택하여 Q점에서 S점까지의 시간간격으로 QS 간격을 구하게 된다. PVC의 QS 간격은 정상신호보다 넓은 특징을 가지고 있으며, 이는 PVC를 분류할 수 있는 판단 기준이 된다.

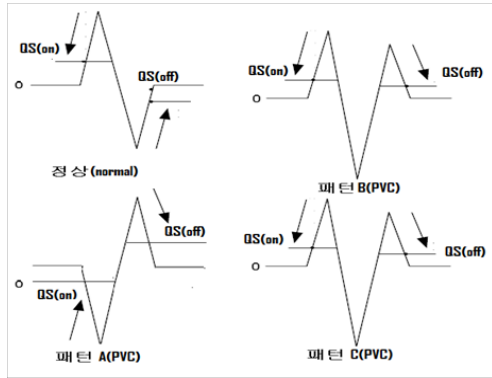


그림 4. Q, S점 판단기준
Fig. 4 Decision rule of Q, S point

(3) R파의 진폭 변화율

QRS 패턴으로 분류되지 않은 특정 PVC (MIT-BIH 233번 레코드) 패턴을 분류하기 위해 R파의 진폭변화율을 이용하였다. PVC의 진폭은 정상신호에 비해 약 2배 정도 일정하게 나타난 반면, PAC는 정상신호와 유사하거나 약 1.5배 정도의 범위의 진폭 변화율을 나타내었다. 따라서 정상신호에 비해 2배 이상의 차이가 나는 PVC 진폭에 대한 문턱치는 QRS 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 15개의 R피크의 그룹으로 형성된다. 템플릿은 이전과 이후 신호의 파형을 그 그룹의 대표 신호로 정의하여, 현재 R피크의 변화율을 판단하기 위한 방법이다. 수식에서와 같이 25개의 R파를 그 파형의 특징을 대표하는 템플릿으로 정의하여, 템플릿과 현재 R파의 진폭의 차이를 계산하고 그 문턱값을 결정한다.

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

R_{temp} = 템플릿,
 R_i = 현재 R파의 진폭

2.3. PVC 분류

QRS 패턴에 의한 QS 간격과 R파의 진폭 변화율을 이용한 PVC 분류 알고리즘의 전체 구성도는 그림 5와 같은 과정으로 구성된다.

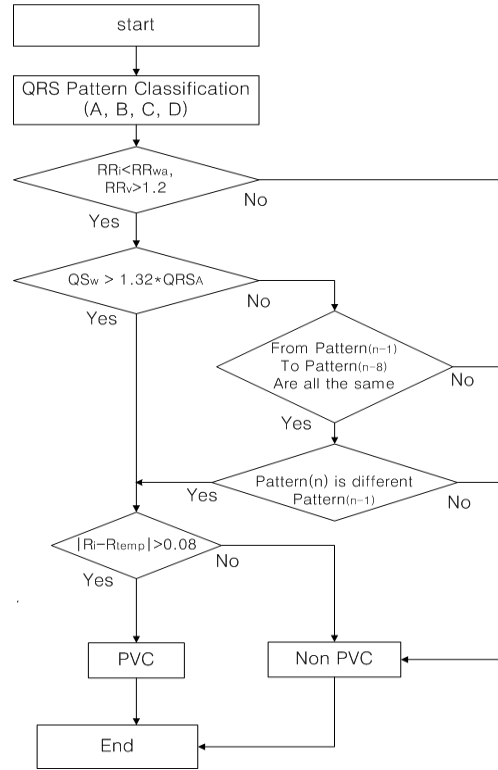


그림 5. PVC 분류 알고리즘
Fig. 5 PVC classification algorithm

이는 RR 간격의 평균, RR 간격의 변화율, QS 간격, QRS 패턴, R파의 진폭 변화율을 이용하여 각 특징점들의 문턱값(threshold)을 통해 PVC를 분류하는 방법이다. 각 특징점의 문턱값을 결정하기 위해 정상 신호 100번 레코드와 PVC가 다수 포함된 105, 106, 114, 116, 119, 200, 213, 223, 233번 9개의 레코드를 분석하였다. PVC는 RR 간격이 정상 신호에 비해 80%보다 작게 나타나며, 이전과 이후의 신호 변화율이 120% 크게 나타났다. 따라서 1차적으로 PVC를 분류하기 위한 범위는 현재의 RR 간격이 RR_{th} 보다 작을 경우이거나 연속하는 변화량인 RR_v 가 1.2보다 클 경우에 해당한다. 즉, 현재의 RR 간격(RR_i)이 전체 RR 간격의 평균 가중치(RR_{wa})보다 크거나 RR 간격의 변화율(RR_v)이 1.2보다 작으면 PVC로 분류하고, 그렇지 않을 경우 정상이라고 판단한다. PVC의 QRS 폭은 정상신호보다 넓은 특징을 나타내었다. 분석결과 현재의 QRS 폭(QRS_w)이 이전 8개 QRS폭의 평균(QRS_a)의 1.32배보다 클 경우로 분석되었

다. 하지만 정상과 PVC가 반복적으로 변화하는 특정 PVC의 경우 RR 간격과 QS 간격에 대한 조건을 만족하지 못하였다. 이를 위하여 QRS 패턴을 이용하였다. QRS 패턴은 각각의 미분값에 의해 결정되며, 그 패턴에 따른 판단 기준은 표 1과 같다. 여기서 $Pattern(th)$ 는 미분된 절대치값의 10%에 해당하는 값으로 경험치를 통해 확인되었다. QRS 패턴에 대한 문턱치는 현재를 기준으로 이전 8개의 패턴이 일치하고 현재($Pattern(n)$)와 이전($Pattern(n-1)$) 패턴이 다를 경우 PVC로 판단된다. 하지만 QRS 패턴으로 분류되지 않은 특정 PVC(MIT-BIH 233번 레코드)패턴은 QS 간격이 정상과 비교하여 큰 차이를 나타내지 않는 경우가 있다. 이는 R파의 진폭변화율을 이용하였다. 앞서 설명되었던 템플릿(R_{temp})과 현재 R파의 진폭(R_i)차이를 계산하고 그 차이가 8%이상 날 경우에 PVC라고 판단한다. 여기서 템플릿 문턱치를 8%라고 판단한 이유는 PVC의 진폭이 평균 정상 신호의 약 2배 정도로 일정하게 유지되고, 25개의 R파를 평균하였을 경우 그 R파의 평균이 4%이기 때문이다.

표 1. QRS 패턴 분류를 위한 판단기준
Table. 1 QRS pattern classification rule

QRS 패턴	판단 기준
정상(R)	$Peak(L) > Pattern(th), Peak(R) < Pattern(th)$
패턴 A(QS)	$Peak(L) < Pattern(th), Peak(R) > Pattern(th)$
패턴 B(Rs)	$Peak(L), Peak(R) > Pattern(th), Peak(L) > Peak(R)$
패턴 C(rS)	$Peak(L), Peak(R) > Pattern(th), Peak(L) < Peak(R)$

III. 실험결과 및 고찰

3.1. R파 검출율

MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 통하여 R파 검출에 대한 성능 평가가 수행되었다. 그림 6은 MIT-BIH 10개의 레코드를 대상으로 한 QRS 패턴을 분석한 것이다. 그림 6-(a)와 같이 100번 레코드의 경우 정상신호를 나타낸 것으로 그 패턴이 일정하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그림 6-(b), 6(c)는 105, 106, 114, 116, 223번 레코드를 나타낸 것으로, 패턴 B의 형태를 나타내고 있다.

그림과 같이 RR 간격의 변화가 크고, QS 간격이 넓은 것을 확인할 수 있다. 또한 진폭의 변화율이 큰 것도

확인할 수 있다. 6-(d)의 경우 패턴 B와 C가 번갈아 나타내는 경우로, 패턴 B의 경우 좁은 QS 간격을 나타낸다. 이때는 RR 간격과 QS 간격을 통해서 PVC를 검출하는 것이 불가능하며, 이전 패턴 8개를 분석하여, 이를 만족하였을 경우, 현재와 이전 패턴을 비교함으로써 PVC의 검출이 가능하다. 그림 6(e)는 223번 레코드를 나타낸 것으로 PAC 이후에 나타나는 패턴 B의 PVC를 나타내고 있다. PAC의 QS 간격과 PVC의 QS 간격이 유사하게 나타나 QS 간격의 조건을 만족하지 못하는 경우를 나타낸다. 이때에는 6(d)의 경우와 마찬가지로 패턴을 분석하고 진폭 변화량을 통해 PVC를 검출한다. 그림 6(f)의 경우 233번 레코드으로써 패턴 A의 PVC를 나타낸 것이다. 그림과 같이 좁은 QS 간격을 가지고 있어, 그 패턴을 통해 PVC를 검출한다. 검출율의 계산은 식 (3)을 통하여 이루어진다. 아래 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 9개 레코드를 대상으로 한 평균 R파 검출율은 99.02%의 우수한 성능을 나타내었다.

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

(FP: False Positive, FN: False Negative)

표 2. R파 검출율
Table. 2 R wave detection rate

MIT-BIH	R peak detection	
	비트수	검출율(%)
105	2524	99.84
106	1988	97.2
114	1848	99.9
116	2366	98.31
119	1949	99.04
200	2550	99.82
213	3187	93.04
223	2558	97.14
233	3079	99.40
total	22,049	99.02

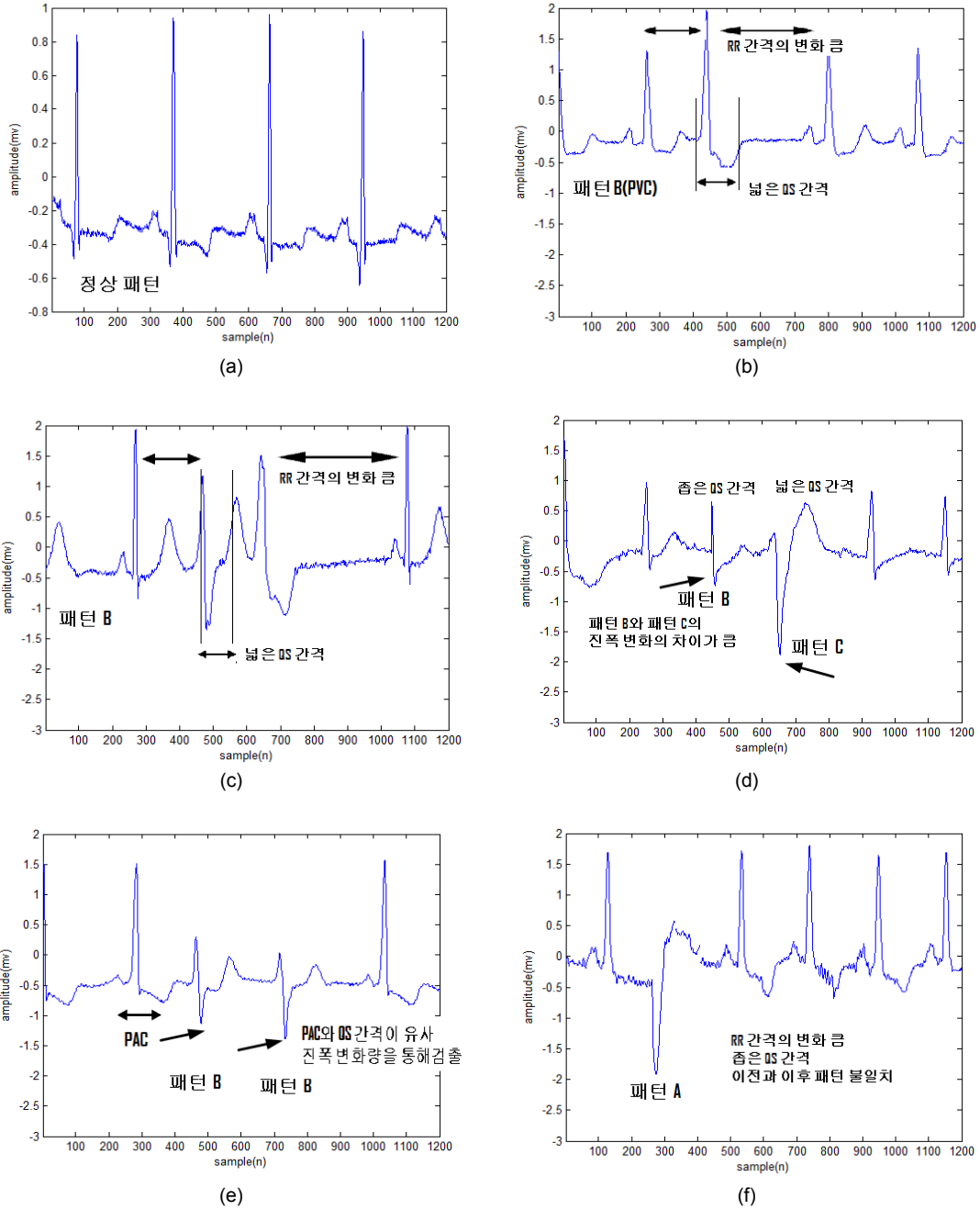


그림 6. MIT-BIH 레코드의 QRS 패턴 분석 (a) 100번 레코드(정상) (b) 105번, 116, 119번 레코드(PVC) (c) 106번, 114, 213번 레코드(PVC) (d) 200번 레코드(PVC) (e) 223번 레코드(PVC) (f) 233번 레코드
Fig. 6 QRS pattern analysis of MIT-BIH records (a) Record 100 (normal) (b) Record 105, 114, 213 (PVC) (c) Record 106, 114, 213 (PVC) (d) Record 200 (PVC) (e) Record 223 (PVC) (f) Record 233

3.2. PVC 검출 성능 비교

제안된 QRS 패턴에 따른 PVC 분류 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 대상으로 그 효용성을 실험하였다. 검출율의 계산은 식 (3)과 같으며, 성능평가에 사용된 레코드는 105, 106, 114, 116, 119, 200, 213, 223, 233번 9개의 레코드를 대상으로 실험하였다. 분류의 신뢰성을 위해서 PVC가 30개 이상 포함된 데이터만을 사용하였다. 제안한 방법으로 PVC를 분류한 결과를 표 3에 나타내었다. 성능평가 결과 평균 분류율은 93.72%의 우수한 성능을 나타내었다. 제안된 알고리즘을 통한 분류 실험결과 대부분의 레코드에서 PVC가 분류되었다. 특히 223번, 233번 레코드는 RR 간격과 QS 간격을 통해 분석되지 않은 파형이 QRS 패턴을 통해 분석함으로써, RR 간격과 R파의 진폭, QS 간격을 통해 분류를 수행한 방식보다 더 나은 검출율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 200번 레코드의 경우 RR 간격과 QRS 패턴을 통해서만 분류하였을 경우 많은 오차를 보였는데, PVC 임에도 불구하고 각기 다른 PVC의 패턴이 연속으로 나타날 경우를 나타낸다. 이러한 PVC의 경우 R파의 진폭 변화량을 이용하여 분석함으로써 좀 더 나은 성능을 나타내었다. 따라서 제안된 QRS 패턴에 따른 PVC 분류 방법은 복잡도를 줄임과 동시에 우수한 분류율을 나타내었다.

표 3. PVC 분류율

Table. 3 PVC classification rate

레코드	MIT-BIH		PVC 분류율(%)
	PVC 비트수		
105	39		90.27
106	520		96.18
114	43		95.66
116	109		95.40
119	435		100
200	809		98.56
213	220		81.36
223	472		87.16
233	813		98.90
합계	1,955	평균	93.72

IV. 결론

본 연구에서는 최소한의 특징점을 추출함으로써 연산의 복잡도를 줄이고, 실시간으로 정확하게 PVC를 분류하기 위해 QRS 패턴에 의한 QS 간격과 R파의 진폭을 이용한 PVC 분류 방법을 제안하였다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 R파, RR 간격, QRS 패턴을 추출한 후, 그 패턴에 따른 QS 간격과 R파의 진폭을 이용하여 PVC를 분류하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 PVC가 30개 이상 포함된 MIT-BIH 6개의 레코드를 대상으로 한 R파와 PVC의 평균 검출율은 각각 99.02%, 93.72%의 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 특히 기존 알고리즘에서 검출에 어려움이 있는 105번, 200번, 223번, 233번 레코드를 QRS 패턴에 따라 분류하고, 그 범위를 벗어나는 경우에는 R파의 진폭 변화율을 통해 그 정확도를 향상할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안한 방법은 연산의 복잡도를 줄임과 동시에 실시간으로 정확한 부정맥을 진단하는 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] G. Wubbeler, M. Stavridis, D. Kreiseler, R.-D. Boussejot, and C. Elster, "Verification of humans using the electrocardiogram," *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 28, pp. 1172 - 1175, 2007.
- [4] S. A. Israel, J. M. Irvine, A. Cheng, M. D. Wiederhold, and B. K. Wiederhold, "ECG to identify individuals," *Pattern Recognit.*, vol. 38, no. 1, pp. 133 - 142, 2005.
- [5] A. Teeramongkonrasmee, C. Tangwongsan and S. Sittisook, "Development of a real-time cardiac arrhythmia analyzer," *Proceedings of 32nd Electrical Engineering Conference (EECON-32)*, vol. 2, pp. 1367-1370, October, 2009.

- [6] Erik Zellmer, Fei Shang, Hao Zhang "Highly Accurate ECG Beat Classification based on Continuous Wavelet Transformation and Multiple Support Vector Machine Classifiers," *Biomedical Engineering and Informatics Conference MMEI*, 2009, pp. 1-5, 2009.
- [7] Ince, T., Kiranyaz, S., Gabbouj, M, "Automated patient-specific classification of premature ventricular contractions," *Proc. 30th Int. Conf. IEEE EMBS*, 2008, pp. 5474 - 5477.
- [8] Shyu, L.Y., Wu, Y.H., Hu, W, "Using wavelet transform and fuzzy neural network for VPC detection from the holter ECG," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 2004, 51, (7), pp. 1269 - 1273.
- [9] Melgani, F., Bazi, Y, "Detecting premature ventricular contractions in ECG signals with Gaussian processes," *Comput. Cardiol.*, 2008, 35, pp. 237 - 240.
- [10] Ik-Sung Cho et al., "Baseline Wander Removing Method Based on Morphological Filter for Efficient QRS Detection," *Journal of KIICE*, vol. 17, no. 1, 2013, pp.166-174.
- [11] Ik-Sung Cho, Hyeog-Soong Kwon, "Efficient QRS Detection and PVC Classification based on Profiling Method," *Journal of KIICE*, vol. 17, no. 4, 2013, pp.705-711.



조익성(Ik-Sung Cho)

2003년 2월 : 한국해양대학교 대학원 공학박사
2014년 2월 : 부산대학교 바이오정보전자공학과 공학박사
2014년 3월 ~ 현재 : 경운대학교항공정보통신공학과 조교수
※관심분야 : ECG Preporcessing, R파 검출, ECG 특징점 추출, QRS 패턴, 부정맥 분류 알고리즘



권혁송(Hyeog-Soong Kwon)

1996.04.01 ~ 2006.02 : 밀양대학교 정보통신학과 부교수
2002.02 ~ 2003. 오리건 주립대학 전기전자컴퓨터공학부 방문교수
2011.07 ~ 2012.07 조지아텍 전기전자공학부 방문교수
2006.03 ~ 현재 : 부산대학교 IT 응용공학과 정교수
※관심분야 : CDMA, 유성버스트통신, 생체신호, 의료정보, 바이오텔레메터링, R파 검출, ECG 특징점 추출, QRS 패턴, 부정맥 분류 알고리즘