

대상 유형별 ECG 신호의 QRS 패턴을 이용한 부정맥 분류

조익성¹ · 정종혁¹ · 권혁승^{2*}

Arrhythmia Classification Method using QRS Pattern of ECG Signal according to Personalized Type

Ik-sung Cho¹ · Jong-Hyeog Jeong¹ · Hyeog-soong Kwon^{2*}¹Department of Information and Communication Engineering, Kyungwoon University, Gumi 730-739, Korea²Department of IT Engineering, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

요 약

부정맥 분류를 위한 기존 연구들은 개인별 ECG 신호의 차이는 고려하지 않고 특정 ECG 데이터에 종속적으로 개발되었기 때문에 다른 환경에 적용할 경우 그 성능에 변화가 많아 임상 적용에 한계가 있다. 또한 기존의 방법들은 각 ECG 특징점의 정확한 측정을 필요로 하며, 연산이 매우 복잡하다. 복잡도를 줄이기 위한 여러 가지 방법들이 제안되었지만, 그에 따른 분류의 정확도가 떨어지는 문제점이 있었다. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 개인별 다양한 ECG 신호의 패턴에 따라 최소한의 특징점을 추출함으로써 연산의 복잡도를 줄이고 부정맥을 정확하게 분류할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 대상 유형별 ECG 신호의 QRS 패턴을 이용한 부정맥 분류 방법을 제안한다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 R파를 검출하고 QRS 특징점을 통해 대상 유형별 ECG 신호의 QRS 패턴을 정의하였다. 이후 패턴분류에 따른 오류를 검출 및 수정하고, 중복된 QRS 패턴을 별도의 부정맥으로 분류하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스 43개의 레코드를 대상으로 PVC, PAC, Normal, LBBB, RBBB, Paced beat의 검출율을 비교하였다. 실험결과 Normal, PVC, PAC, LBBB, RBBB, Paced beat의 검출율은 각각 99.98%, 97.22%, 95.14%, 91.47%, 94.85%, 97.48%의 우수한 검출율을 나타내었다.

ABSTRACT

Several algorithms have been developed to classify arrhythmia which either rely on specific ECG(Electrocardiogram) database. Nevertheless personalized difference of ECG signal exist, performance degradation occurs because of carrying out diagnosis by general classification rule. Most methods require accurate detection of P-QRS-T point, higher computational cost and larger processing time. But it is difficult to detect the P and T wave signal because of person's individual difference. Therefore it is necessary to design efficient algorithm that classifies different arrhythmia in realtime and decreases computational cost by extracting minimal feature. In this paper, we propose arrhythmia classification method using QRS Pattern of ECG signal according to personalized type. For this purpose, we detected R wave through the preprocessing method and define QRS pattern of ECG signal by QRS feature. Also, we detect and modify by pattern classification, classified arrhythmia duplicated QRS pattern in realtime. Normal, PVC, PAC, LBBB, RBBB, Paced beat classification is evaluated by using 43 record of MIT-BIH arrhythmia database. The achieved scores indicate the average of 99.98%, 97.22%, 95.14%, 91.47%, 94.85%, 97.48% in PVC, PAC, Normal, BBB, Paced beat classification.

키워드 : ECG 신호, QRS 패턴, RR 간격, R파의 진폭, QRS 간격, 조기심실수축**Key word** : ECG signal, QRS pattern, RR interval, R wave amplitude, QRS interval, PVC

Received 09 April 2015, Revised 30 April 2015, Accepted 13 May 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 627-702, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.7.1728>

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. 서론

심장질환 중에서 부정맥은 심장의 리듬이 불규칙하거나 심박동수가 비정상적인 상태를 의미한다. 부정맥의 증상은 심장질환의 종류와 중증도에 따라 경미한 가슴 두근거림, 흉통으로부터 실신과 돌연사에 이르기까지 매우 다양하게 나타난다[1-3]. 특히 조기심실수축(PVC : Premature Ventricular Contraction), 조기심방수축(PAC : Premature Atrial Contraction), 각차단(BBB : Bundle Branch Block)과 같은 심장질환은 발작성 빈맥, 심실세동, 관상동맥질환(coronary artery disease)과 같은 위험한 부정맥의 전조일 수 있으므로 적극적인 대처가 필요하다[4, 5]. 따라서 위험하고 치명적인 심장 리듬이 발생하기 이전에 이를 검출하여 부정맥을 조기에 진단할 수 있는 방법이 필요하다. 부정맥을 검출하기 위한 기존 방식은 크기에 따른 문턱치 기반의 피크 추출 방법으로 심전도 신호를 회독하여 특성 파라미터들, 예를 들면 심전도 파형에서 최대, 최소값 또는 최대값 간의 시간간격 등을 추출하는 과정을 거치게 된다. 하지만 이러한 방법은 환자 상태에 따른 신호의 모양과 크기 및 주기변동 등의 특성이 다르기 때문에 진단 오차가 발생하게 된다.

이는 심전도 잡음, 다른 생체 신호들의 간섭, 리듬의 변동에 따른 개인 간 ECG(ElectroCardioGraphy) 신호 차이로 인해 특성 파라미터의 추출에 한계가 있기 때문이다. 또한 데이터의 가공 및 연산이 복잡하여 실시간 적용에 어려움이 발생한다[6-9]. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 개인별 다양한 ECG 패턴 유형의 특징점을 추출함으로써 연산의 복잡도를 줄이고, 부정맥을 정확하게 분류할 수 있는 방법이 필요하다. 본 연구에서는 대상 유형별 ECG 패턴 기반의 QRS 특징점을 이용한 부정맥 분류 방법을 제안한다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 R파를 검출하고 8개의 QRS 특징점을 통해 9가지 개인별 ECG 패턴을 분류하였다. 이후 그 패턴에 따른 RR, QRS 간격과 진폭에 따라 실시간으로 부정맥을 분류하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스 43개의 레코드를 대상으로 PVC, PAC, Normal, LBBB, RBBB, Paced beat의 검출율을 비교하였다.

II. 제안한 기법

본 연구에서 제안한 대상 유형별 ECG 신호의 QRS 패턴을 이용한 부정맥 분류 방법의 전체 구성도는 그림 1과 같은 단계로 나누어진다. 먼저 ECG 신호로부터 전처리 과정을 통해 잡음을 제거한 후 R파를 검출하는 단계, 검출된 R파를 기준으로 특징점의 형태분석을 통해 대상 유형별 QRS 패턴을 분류하는 단계, 분류성능 개선을 위한 패턴오류 검출 및 중복된 패턴을 분류하는 단계, 마지막으로 부정맥을 분류하는 단계로 나누어진다.

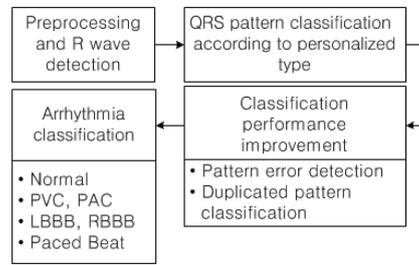


그림 1. 전체 시스템 구성
Fig. 1 System configuration

2.1. 전처리 및 R파 검출

정확한 진단을 위해서는 심전도 신호에 포함되어 있는 다양한 잡음을 제거하여 R파를 정확히 검출하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 원신호의 변형을 줄이고 연산량을 최소화함으로써 효율적인 QRS를 검출하기 위해 형태연산 기반의 전처리 기법을 적용하였다. R파는 형태연산을 통해 전처리된 신호의 차감기법을 통해 검출한다. 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[10, 11].

2.2. 개인별 ECG 패턴 분류

R파를 검출한 후에는 대상 유형별 QRS 패턴 분류 과정을 거치게 된다. 본 연구에서는 Q, R, S의 진폭과 위상의 변화를 이용하여 Normal, PVC, PAC, LBBB, RBBB, Paced beat 6개의 정상 및 부정맥 패턴을 분류하

였다. 일반적으로 정상 신호는 대부분 같은 QRS 패턴을 가지고 있지만 부정맥의 경우 그 패턴이 개인에 따라 매우 다양한 형태를 나타낸다. 본 연구에서는 진폭과 위상변화에 따른 8개의 특징점을 추출하고, 그 특징점의 형태에 따라 QRS 패턴을 분류하였다. 이를 위해 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스 43개의 레코드를 대상으로 Normal, PVC, PAC, LBBB, RBBB, Paced beat 6개의 정상 및 부정맥 형태를 분석하였다. 각 특징점의 형태를 분석한 결과는 표 1과 같다. 정상 신호의 경우는 R의 진폭은 크고, Q와 S의 진폭이 작은 일반적인 qRs 패턴을 나타내었다, PAC의 경우 정상 신호에 비해 S의 진폭이 큰 qRS 패턴을 나타내고 있다. Paced Beat의 경우에는 Q가 없으며 S의 진폭이 큰 RS 패턴을 나타내었다. PVC의 경우 Q가 없고 R의 진폭이 작으며, S의 진폭이 큰 rS 패턴, Q와 S는 없으며, R의 위상이 반전된 \bar{R} 또는 \bar{r} 패턴, S는 없으며 Q와 R이 반전된 형태인 $\bar{Q}\bar{R}$ 패턴, QRS 구간 내에 추가적인 R이 발생하는 RR' 패턴과 같이 4개의 패턴으로 나누어졌다. RBBB의 경우 rS 패턴과 Q와 S는 없으며, R의 진폭이 큰 R 패턴과 같이 2개의 패턴으로 나누어졌다. LBBB의 경우 Q와 S는 없으며, R의 진폭이 작은 r 패턴과 \bar{R} 또는 \bar{r} 패턴과 같이 2개의 패턴으로 나누어졌다.

분석 결과 같은 부정맥의 형태라도 대상 유형에 따라 패턴이 나누어지는 것을 확인할 수 있다. PVC와 RBBB의 경우 다른 부정맥이지만 같은 rS 패턴을 가지고 있으며, PVC와 LBBB 또한 다른 부정맥이지만, 같은 \bar{r} 또는 \bar{R} 패턴을 가지고 있다. 특히 PVC, RBBB, LBBB는 각각 여러 가지 패턴을 함께 나타나고 있다. 따라서 그 패턴을 먼저 분류한 후 구분되는 특징을 이용한다면 분류의 정확성이 향상될 수 있을 것이다.

III 분류 성능 개선

대상 유형별 QRS 패턴을 분석한 결과 9개의 형태(A, B, C, D, E, F, G, H, I)로 나누어지는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 부정맥의 종류에 따라 정상신호와 PAC 그리고 Paced Beat는 1개, PVC는 4개, RBBB와 LBBB는 2개의 패턴을 각각 가지는 것을 확인할 수 있다.

표 1. QRS 특징점 분석

Table. 1 QRS feature analysis

Arrhythmia Type	QRS pattern	pattern
Normal Signal	qRs	A
PAC	qRS	B
Paced Beat	RS	C
PVC	rS	D
	\bar{R} 또는 \bar{r}	E
	$\bar{Q}\bar{R}$	F
	RR'	G
RBBB	rS	D
	R	H
LBBB	r	I
	\bar{R} 또는 \bar{r}	E

특히 PVC의 경우 RBBB와는 rS 가 동일한 패턴을 가지고 있으며, LBBB와는 \bar{R} 또는 \bar{r} 가 동일한 패턴을 가지고 있는 것이 확인되었다. 또한 실험결과 207번 레코드의 경우 이전 부정맥 비트가 다음 부정맥 비트의 진폭에 영향을 주기 때문에 원래 rS 가 RS 로 패턴 오류가 발생하여 PVC임에도 불구하고 Paced beat로 오인한 경우가 나타났다. 따라서 검출을 향상을 위해서는 패턴오류 수정과정과 중복패턴을 분류하는 과정이 필요하다.

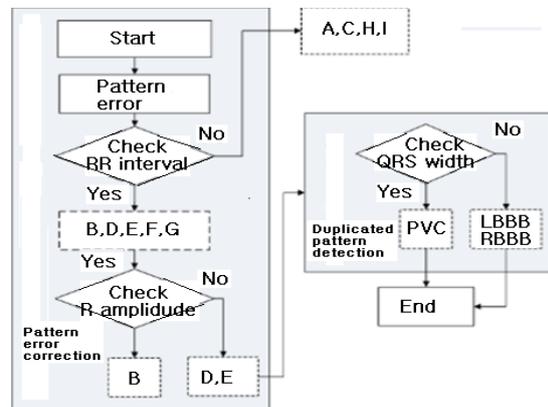


그림 2. 분류 성능 개선

Fig. 2 Classification performance improvement

그림 2에서는 이 두 과정을 나타내었다. 먼저 PVC와 Paced beat 사이에 발생하는 패턴오류를 검출하여 RR간격의 변화율과 R파의 진폭을 적용하여 오류를 수정하는 단계. 두 번째로는 PVC와 RBBB, PVC와 LBBB와

같이 중복 QRS 패턴을 가지고 있는 부정맥의 경우 패턴 검출 이후에 QRS 간격과 같은 별도의 분류 과정을 통해 부정맥을 판단하는 단계를 나타내었다.

3.1. 패턴오류 수정

대상 유형별 QRS 패턴은 9개로 나누어지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 PVC와 Paced beat는 서로 다른 QRS 패턴임에도 불구하고 동일한 패턴으로 잘못 분류되는 경우가 발생하였다. 이러한 오류를 해결하기 위해서는 패턴을 재확인함으로써 이를 수정하는 과정이 필요하다. 그림 3은 MIT-BIH 데이터베이스의 6개 부정맥을 대상으로 각 패턴에 따른 RR 시간 간격의 변화를 분석한 화면을 나타내고 있다. 그림과 같이 PVC, PAC와 같이 조기수축에 해당하는 (B, D, E, F, G) 패턴은 다른 부정맥(A, C, H, I)과 비교했을 때 RR 시간 간격이 명확

히 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

특히 그림 3 (a), (c), (d), (e), (f)에 나타난 조기수축과 그림 3 (b)에 나타난 Paced Beat를 비교해보면 조기수축은 RR 간격의 변화율이 높은 것에 반해 Paced Beat는 일정한 것을 확인할 수 있다. 6개 부정맥의 RR 간격을 분석한 결과 패턴 오류를 검출하여 수정하는 과정은 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, PAC)으로 나타났으며 그 범위에 속하지 않는 경우는 A, C, H, I 라고 확인되었다. 특히 H, I와 같은 일반적인 RBBB, LBBB는 RR 간격이 조기수축과 쉽게 구분되었다. 그러나 PAC, PVC, RBBB가 혼재된 ECG 데이터의 경우에는 서로 다른 QRS 패턴임에도 불구하고 동일한 패턴으로 잘못 분류되는 경우가 발생하였다. 이러한 패턴오류는 별도의 특

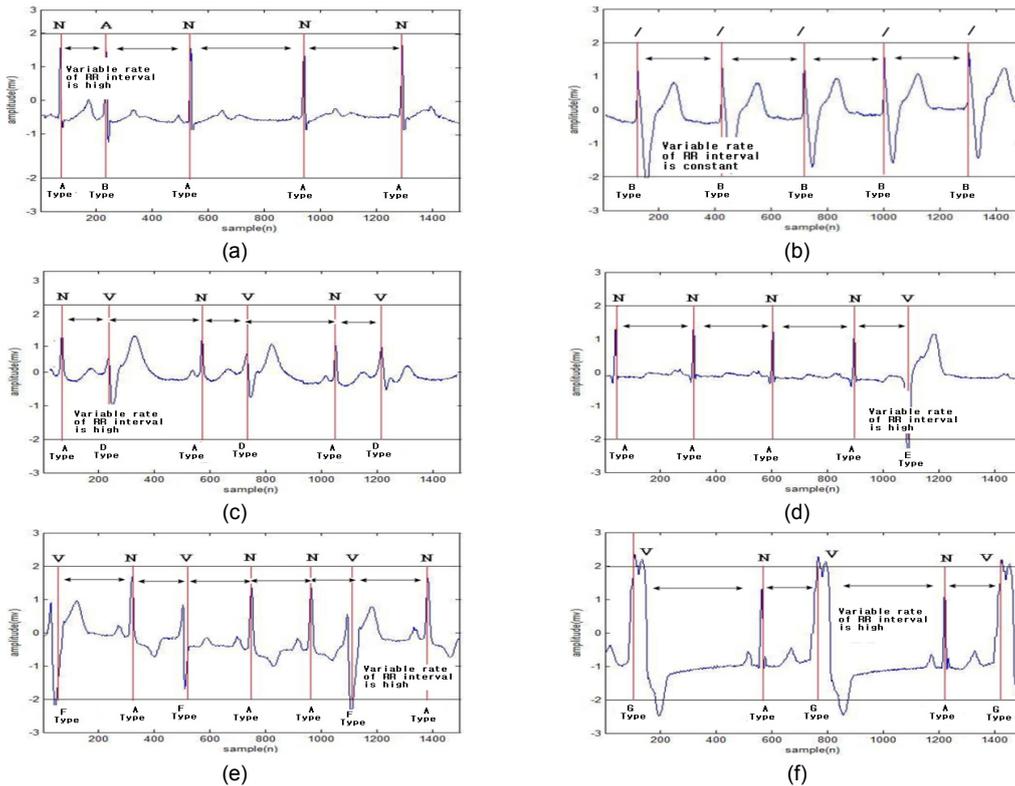


그림 3. 각 패턴에 따른 RR 간격의 변화 (a) 220 record(N: Normal, A : PAC) (b) 217 record(/ : Paced Beat) (c) 106 record(N, V : PVC) (d) 100 record(N, PVC) (e) 233 record(N, PVC) (f) 119 record(N, PVC)

Fig. 3 Variability of RR interval by each pattern (a) 220 record(N: Normal, A : PAC) (b) 217 record(/ : Paced Beat) (c) 106 record(N, V : PVC) (d) 100 record(N, PVC) (e) 233 record(N, PVC) (f) 119 record(N, PVC)

징점을 통해 수정하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 추가적으로 발생하는 패턴오류를 정확히 검출하기 위해 R파의 진폭을 이용하였다.

그림 4는 MIT-BIH 데이터베이스의 118번 레코드를 대상으로 분석한 결과 각 패턴에 따른 R파의 진폭을 분석한 화면을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 $qRS(B)$ 인 PAC는 $rS(D)$ 인 PVC, RBBB와는 다른 패턴임에도 불구하고 여러 부정맥이 중첩되어 있는 경우 R파의 진폭으로 인해 오류가 발생한다. 따라서 이러한 오류를 정확히 감지하기 위해서는 R파의 진폭에 대한 변화율을 고려하는 것이 필요하다. PAC인 $qRS(B)$ 의 진폭은 정상신호에 비해 약 1.5배 정도 이상 범위의 진폭 변화율을 나타내었다. 이를 이용하여 R피크 진폭에 대한 템플릿을 만들어 그 변화율을 찾아내었다. 템플릿은 현재 R피크를 기준으로 이전 15개와 이후 9개로 25개의 R피크그룹으로 형성된다. 이 템플릿과 현재 R파의 진폭의 차이를 계산하고 그 차이가 6%보다 크게 나타날 경우에 PAC(B 패턴)이라고 판단하며 이를 만족하지 못할 경우에 D 또는 E 패턴이라고 판단한다. 이는 PAC의 패턴 오류를 수정하기 위함이다.

3.2. 중복 패턴 분류

패턴오류 수정 이후에는 중복된 패턴의 부정맥을 별도로 분류하는 과정을 거치게 된다. 특히 PVC와 LBBB의 $rS(D)$, PVC와 RBBB의 \bar{R} 또는 $\bar{r}(E)$ 와 같이 유사한 QRS 패턴의 경우에는 QRS간격을 이용하여 분류하는 방법을 제안한다. BBB는 심장내의 좌각, 또는 우각을 통한 전기자극이 차단되는 현상을 나타낸다. 따라서 BBB의 QRS폭을 이용한다면 비교적 그 범위가 넓은 PVC와 BBB의 구분이 가능해진다. 특히 심실조기수축이 반복되어 3개 이상 연속적으로 나올 경우를 심실빈맥이라고 한다. 심실빈맥의 진단은 QRS파의 폭이 120ms 이상인 비정상 QRS파 빈맥에서 각차단성 또는 조기 흥분성 심실상성 빈맥을 감별해냄으로써 이루어진다. 빈맥 심전도의 체계적인 분석에 의해 모든 경우에 심실빈맥의 진단이 가능하나 더 자세히 분석해야 할 것은 QRS파의 형태이다. 심실빈맥의 진단기준은 QRS파가 우각 차단형인지 좌각 차단형인지에 따라 달라지므로 이를 먼저 파악하여야 한다[12]. 먼저 우각 차단형 일 때는 140ms 이상 좌각 차단형 일 때는 160ms 이상인지를 파악하여야 한다. 하지만 PVC와 RBBB는 $rS(D)$

패턴으로, PVC와 LBBB는 $\bar{r}(E)$ 패턴으로 분류하는 과정을 거쳤기 때문에 QRS간격이 140ms보다 작을 경우 PVC, 이보다 클 경우에는 RBBB, LBBB로 판단한다.

QRS 간격을 찾는 과정은 그림 5와 같이 QRS 시작점(Q점) 및 종점(S점)을 찾는 과정으로 나뉘어진다. 먼저 검출된 R파의 위치에서 전후 190ms 내의 최소값을 검출하여 왼쪽에서 발생한 최소값을 Q점, 오른쪽에서 발생한 최소값을 S점이라고 판단하고, Q점에서 S점까지의 시간간격으로 QRS간격을 구하게 된다. QRS를 판단하기 위한 범위로 190ms를 선택한 이유는 P파와 T파를 제외한 QRS파의 폭 간격을 측정하기 위함이다.

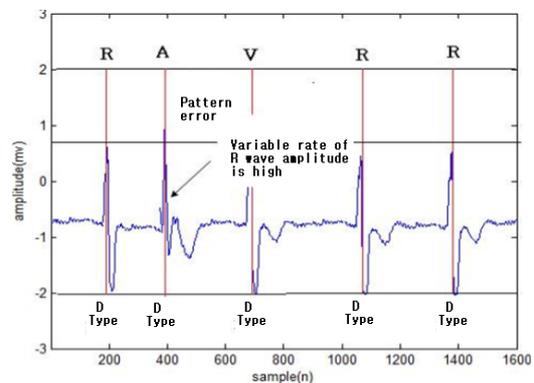


그림 4. 각 패턴에 따른 R파의 진폭 변화(118번 레코드)
Fig. 4 Variability of R wave amplitude by each pattern (118 record)

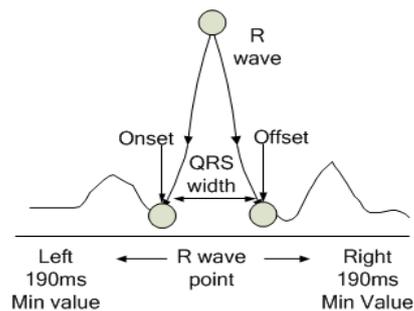


그림 5. QRS 간격에 따른 중복 패턴 검출
Fig. 5 Detection of duplicated pattern by QRS interval

IV. 실험결과 및 고찰

4.1. 패턴오류 수정

본 연구에서는 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 43 개의 레코드를 통하여 패턴 오류에 대한 검출 수정평가가 수행되었다. 그림 6은 RR 간격과 R파의 진폭에 대한 오류 비트를 대상으로 패턴을 수정하는 과정을 나타낸 것이다. 그림 6(a)는 207번 레코드로서 RBBB, LBBB, 다양한 PVC가 혼재된 경우를 나타낸다. 이 레코드의 경우 QRS 패턴 검출 오류가 많이 발생한 것을 확인할 수 있다. 오류가 발생한 지점은 PVC로서 $rS(D)$ 패턴으로 나타나야 하나 $RS(C)$ Paced Beat로 잘못 검출되었다. 207번 레코드는 다양한 형태의 부정맥이 혼재되어 있고 이전 부정맥 비트가 다음 부정맥 비트의 진폭에 영향을 주기 때문에 오 검출 되는 것으로 확인되었다. 이러한 경우 오류가 발생한 지점을 기준으로 RR 간격의 변화율을 적용하면 $rS(D)$ 패턴으로 보정된다. 그림 6(b)는 118번 레코드로서 PAC는 B 패턴임에도 불구하고 RBBB와 PVC와 같이 다른 부정맥과 혼재되어 있는 경우 Q파가 상쇄되어 D 패턴으로 오류가 발생한다.

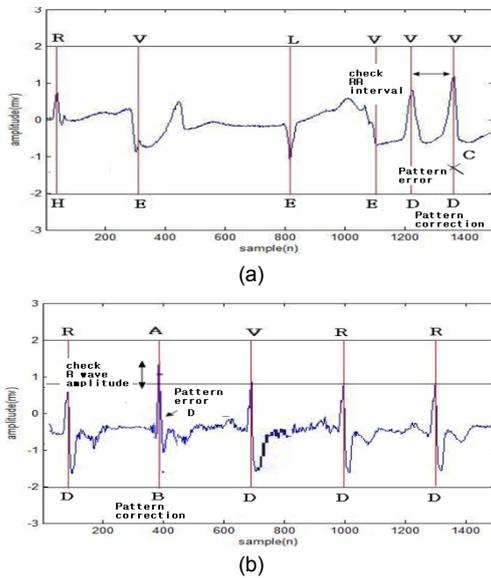


그림 6. 패턴 에러 검출 (a) RR 간격을 통한 패턴 수정(207번 레코드) (b) R파의 진폭을 통한 패턴 수정(118번 레코드)
Fig. 6 Detection of pattern error (a) Pattern modification through RR interval (b) Pattern modification through R wave amplitude

이러한 경우 그림과 같이 RBBB와 PVC와는 다르게 PAC R파의 진폭변화율이 적용되어 B 패턴으로 수정된 것을 확인할 수 있다. 따라서 PVC와 PAC와 같은 조기수축에 해당하는 (B, D, E, F, G) 패턴은 RR 시간 간격이 다른 부정맥과 구별되는 유용한 정보가 되며, 또한 RBBB와 PVC가 혼재된 PAC는 R파의 진폭이 다른 부정맥과 구별되는 유용한 정보가 된다는 것을 확인하였다.

4.2. 중복 패턴 검출

본 연구에서는 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 43 개의 레코드를 통하여 중복 패턴 검출에 대한 평가가 수행되었다. 그림 7은 QRS 간격을 통한 PVC, LBBB, RBBB 검출 과정을 나타낸 것이다.

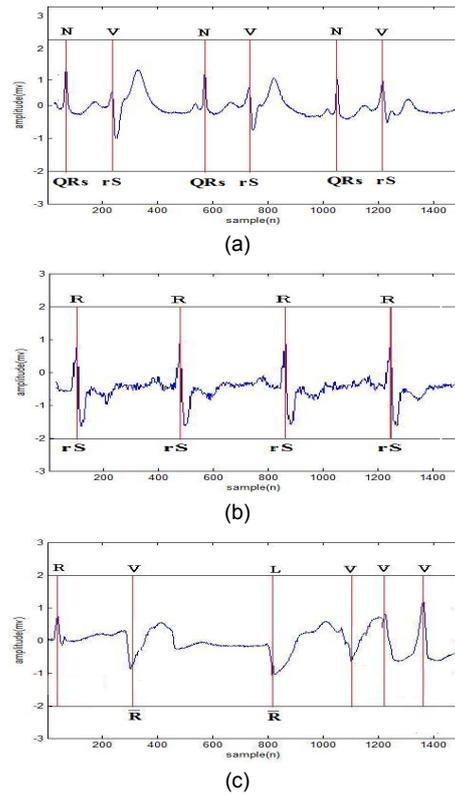


그림 7. 중복 패턴 검출 (a) PVC(106번 레코드) (b) RBBB (118번 레코드) (c) PVC와 LBBB(207번 레코드)
Fig. 7 Detection of duplicated pattern (a) PVC(106 record) (b) RBBB(118 record) (c) PVC & LBBB(207 record)

그림 7 (a)는 106번 레코드로서 $rS(D)$ 패턴의 PVC를 나타내고 있으며, (b)는 118번 레코드로서 $rS(D)$ 패턴의 RBBB를 나타내고 있다. 두 그림을 비교했을 때 같은 $rS(D)$ 패턴이지만 QRS 폭의 차이가 확연히 드러나는 것을 확인할 수 있다. (c)는 207번 레코드로서 각각 \bar{R} 또는 \bar{r} (E) 패턴을 나타내는 PVC와 LBBB를 나타내고 있으며 (a), (b)의 경우와 마찬가지로 같은 패턴이지만 QRS 폭의 차이가 확연히 드러나는 것을 확인할 수 있다.

4.3. 부정맥 검출을

본 연구에서는 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스를 43개의 레코드를 통하여 QRS 패턴 검출에 대한 성능 평가가 수행되었다. 부정맥 검출 결과는 그림 8과 같다.

그림 8 (a), (b)는 각각 220번, 217번 레코드로서 A, B, C 패턴을 나타내고 있으며, 그 패턴에 해당하는 부정맥이 하나만 존재하는 경우로 오류 없이 패턴이 정확하게 분류되는 것을 확인할 수 있다. 그림 8 (c)와 (d)는 같은 D 패턴이지만 PVC와 RBBB로 다른 부정맥을 나타낸다. 이와 같은 경우 QRS 간격을 통해 중복패턴에 대한 부정맥 분류를 수행하였다. (c)의 경우 106번 레코드 PVC의 QRS 간격은 평균적으로 123ms로 나타났으나, (d)와 같이 118번 레코드 RBBB 간격은 142ms를 나타내었다. 따라서 같은 D패턴을 나타내었을 경우 QRS간격이 140ms보다 작을 경우 PVC, 큰 경우에는 RBBB로 판단하였다. 그림 8 (e), (f)는 같은 E 패턴을 가진 PVC와 LBBB를 나타내고 있다. 하지만 이 또한 D 패턴과 마찬가지로 PVC의 QRS 간격은 평균적으로 120ms보다 낮

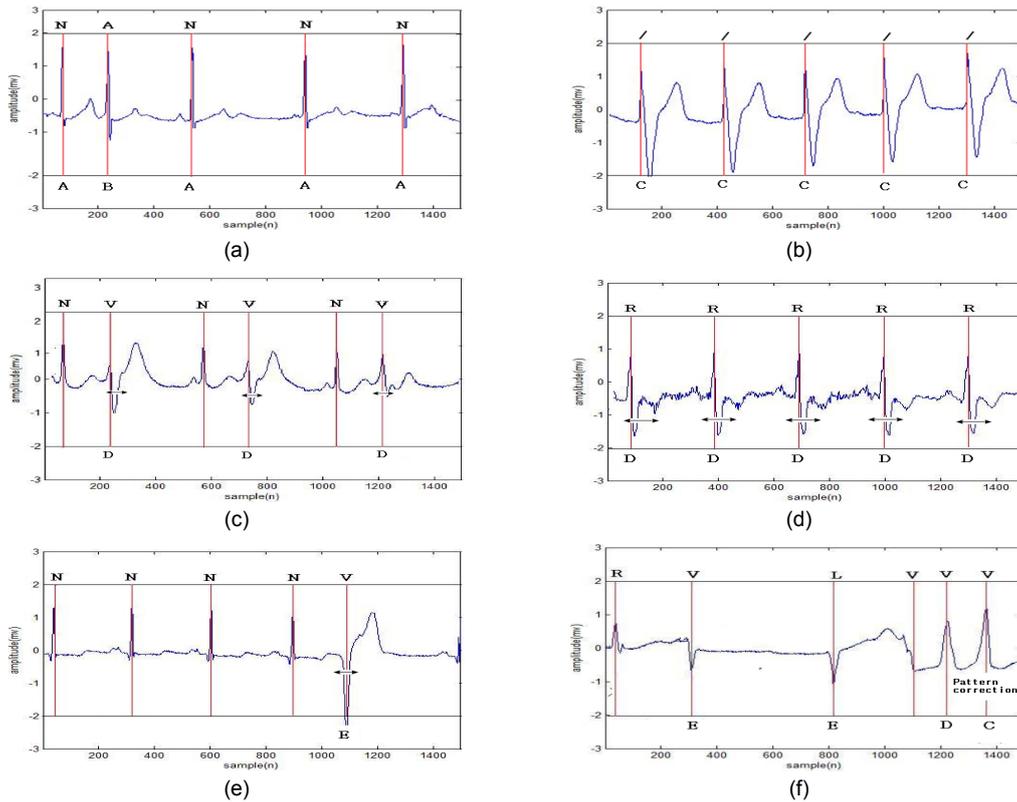


그림 8. 부정맥 검출 결과 (a) 220 record(A, B 패턴) (b) 217 record(C 패턴) (c) 106 record(D 패턴, PVC) (d) 118 record(D 패턴, RBBB) (e) 100 record(E 패턴, PVC) (f) 207 record(E 패턴 : PVC, LBBB, D 패턴 : PVC)
Fig. 8 Arrhythmia detection result (a) 220 record(A, B pattern) (b) 217 record(C pattern) (c) 106 record(D pattern, PVC) (d) 118 record(D pattern, RBBB) (e) 100 record(E pattern, PVC) (f) 207 record(E pattern : PVC, LBBB, D pattern : PVC)

았으며, LBBB의 QRS 간격은 140ms 보다 높은 것으로 나타났다. 그림 8(f)와 같이 207번 레코드의 경우 1차 분류 시 마지막 PVC 비트의 경우 Q파가 상쇄되어 QRS 패턴을 D패턴이라고 잘못 판단하는 경우가 발생하였다. 이는 RR 간격과 그 변화율을 고려하여 2차 분류 시 패턴을 재분류하는 과정을 거쳐 오류를 수정하였다.

검출율의 계산은 식 (1)을 통하여 이루어진다. 아래 식에서 FP는 검출알고리즘이 R파를 검출하였으나, MIT-BIH부정맥 데이터베이스에는 존재하지 않을 경우이고, FN은 MIT-BIH부정맥 데이터베이스에는 있으나 알고리즘이 이를 검출하지 못한 경우이다. 전체 비트는 MIT-BIH에 존재하는 R파의 총 개수이다.

$$\text{검출률} = \frac{\text{전체비트수} - (FP + FN)}{\text{전체비트수}} \quad (1)$$

(FP: False Positive, FN: False Negative)

제안한 방법으로 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스 43개의 레코드를 대상으로 부정맥을 분류한 결과를 표 2에 나타내었다. Normal, PVC, PAC, LBBB, RBBB, Paced beat의 검출율은 각각 99.98, 97.22, 95.14, 91.47, 94.85, 97.48%의 우수한 특징을 나타내었다. 결과적으로 제안한 방법은 부정맥 분류에 우수한 성능을 나타내었다. 따라서 제안한 대상 유형별 ECG 신호의 QRS 패턴 분석 방식의 경우 개인에 따른 ECG 신호의 패턴을 먼저 분류한 후 그 패턴에 따른 부정맥의 비교되는 특징, 즉 RR간격, R파의 진폭, QRS간격과 같은 문턱치 조건을 통해 대상 부정맥을 2차 적으로 분류한다면 분류율 뿐만 아니라 연산량에서도 많은 향상을 가져다 줄 것이다.

표 2. 부정맥 분류율

Table. 2 Arrhythmia classification rate

Beat type	No. of beats	Avg(%)
Normal	66558	99.98
PVC	6679	97.22
PAC	2536	95.14
LBBB	8075	91.47
RBBB	7259	94.85
Paced Beat	5648	97.48

V. 결 론

본 연구에서는 개인에 따라 상이한 ECG 신호의 패턴에 따라 최소한의 특징점을 추출함으로써 연산의 복잡도를 줄이고 실시간으로 다양한 부정맥을 분류하기 위해 대상 유형별 ECG 신호의 QRS 패턴을 이용한 향상된 부정맥 분류 방법을 제안하였다. 이를 위해 전처리를 통해 잡음이 제거된 심전도 신호에서 R파를 검출하고 QRS 특징점을 통해 대상 유형별 ECG 신호의 QRS 패턴을 정의하였다. 이후 그 패턴에 따른 RR, QRS 간격과 R파의 진폭에 따라 실시간으로 부정맥을 분류하였다. 제안한 방법의 우수성을 입증하기 위해 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스 43개의 레코드를 대상으로 분류하였을 때 Normal, PVC, PAC, LBBB, RBBB, Paced beat의 검출율은 각각 99.98, 97.22, 95.14, 91.47, 94.85, 97.48%의 우수한 특징을 나타내었다.

본 연구에서 제안한 대상 유형별 ECG 신호의 QRS 패턴 분석 방식의 경우 개인에 따른 ECG 신호의 패턴을 먼저 분류한 후 그 패턴에 따른 부정맥의 비교되는 특징, 즉 RR 간격, R파의 진폭, QRS 간격과 같은 문턱치 조건을 통해 대상 부정맥을 2차 적으로 분류한다면 실시간으로 정확한 부정맥을 진단하는 헬스케어 시스템에 적용함으로써 분류율 뿐만 아니라 연산량에서도 많은 향상을 가져다 줄 것이다.

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] Himanshu Gothwal, Silky Kedawat, Rajesh Kumar, "Cardiac arrhythmias detection in an ECG beat signal using fast fourier transform and artificial neural network," *J. Biomedical Science and Engineering*, 2011, 4, 289-296.
- [4] S. Chauhan, A. S. Arora, and A. Kaul, "A survey of emerging biometric modalities," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 2, pp. 213 - 218, 2010.

- [5] G. Wubbelier, M. Stavridis, D. Kreiseler, R.-D. Bousseljot, and C. Elster, "Verification of humans using the electrocardiogram," *Pattern Recognit.Lett.*, vol. 28, pp. 1172 - 1175, 2007.
- [6] 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.
- [7] Beuchee A, Pladys P, Senhadji L, Betremieux P, Carre F. "Beat-to-beat blood pressure variability and patent ductus arteriosus in ventilated, premature infants", *Pflugers Arch*, 446:154-160. 2003.
- [8] Awdah Al-Hazimi, Nabil Al-Ama, Ahmad Syiamic, Reem Qosti, and Khidir Abdel-Galil, "Time domain analysis of heart rate variability in diabetic patients with and without autonomic neuropathy," *Annals of Saudi Medicine*, 22 (5-6), pp. 400-402. 2002.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Ik-Sung Cho et al., "Arrhythmia Classification based on Binary Coding using QRS Feature Variability," *Journal of KIICE*, vol. 17, no. 8, 2013, pp.1947-1954.
- [12] Melgani, F., Bazi, Y, "Detecting premature ventricular contractions in ECG signals with Gaussian processes," *Comput. Cardiol.*, 2008, 35, pp. 237 - 240.



조익성(Ik-Sung Cho) 정회원

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



정종혁(Jong-Hyeog Jeong) 정회원

1999. 02 : 한국해양대학교 전자통신공학과 공학박사
 2000. 02 ~ 현재 : 경운대학교 항공정보통신공학과 교수
 ※ 관심분야 : DSP, 영상신호처리



권혁승(Hyeog-Soong Kwon) 종신회원

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 시스템