

ECG신호의 QRS 폭과 RR Interval의 패턴을 이용한 효율적인 VEB 비트 검출 알고리즘

An Efficient VEB Beats Detection Algorithm Using the QRS Width and RR Interval Pattern in the ECG Signals

정용주*
Yong-Joo Chung*

요 약

최근 들어 실시간 원격 ECG모니터링 시스템에 대한 수요가 늘어가고 있으며 가입자의 증가와 더불어 실시간 모니터링 시스템의 자동화에 대한 필요성이 대두되고 있다. 비정상적인 ECG 비트의 자동검출은 이러한 실시간 원격 ECG모니터링 시스템의 성공적인 상업화를 위해서는 반드시 필요한 요소기술이다. 본 논문에서는 이러한 점에 착안하여 QRS 폭(width)과 RR interval의 패턴을 이용한 효율적인 비정상적 ECG 비트 자동검출알고리즘을 제안하였다. 기존에는 주로 ECG 비트의 상세한 분류에 대해서 많은 연구가 이루어졌으나 이러한 방법들은 분류 오류가 많고 주변 환경이 변화함에 따라서 분류성능의 변동성이 심하다는 단점이 있었다. 또한 정확한 ECG 비트 분류를 위해서는 충분한 양의 훈련데이터를 필요로 하며 특히 분류시에 많은 계산량을 필요로 한다는 문제점도 있었다. 그러나 자동화된 원격 ECG모니터링 시스템을 위해서는 ECG 비트의 세세한 분류 보다는 비트의 정상여부판단이 더 중요하다. 이러한 점에 착안하여 본 논문에서는 ECG 신호의 비정상적인 비트중에서도 가장 빈번히 발생하는 VEBs(Ventricular ectopic beats) 비트의 검출을 시도하였고 제안된 알고리즘을 MIT-BIH 부정맥 데이터베이스에 적용한 결과 만족스러운 VEBs 비트 검출성능을 얻을 수 있었다.

Abstract

In recent days, the demand for the remote ECG monitoring system has been increasing and the automation of the monitoring system is becoming quite of a concern. Automatic detection of the abnormal ECG beats must be a necessity for the successful commercialization of these real time remote ECG monitoring system. From these viewpoints, in this paper, we proposed an automatic detection algorithm for the abnormal ECG beats using QRS width and RR interval patterns. In the previous research, many efforts have been done to classify the ECG beats into detailed categories. But, these approaches have disadvantages such that they produce lots of misclassification errors and variabilities in the classification performance. Also, they require large amount of training data for the accurate classification and heavy computation during the classification process. But, we think that the detection of abnormality from the ECG beats is more important than the detailed classification for the automatic ECG monitoring system. In this paper, we tried to detect the VEB which is most frequently occurring among the abnormal ECG beats and we could achieve satisfactory detection performance when applied the proposed algorithm to the MIT/BIH database.

Keywords : ECG, Abnormal Beat Detection, Ventricular Ectopic Beats

I. 서 론

최근의 정보통신기술의 발전은 의료분야에서도 새로운 전환점을 만들어 내고 있다. 병원에 가지 않아도 환자의 상태를 진단하고 처방할 수 있는 원격진료(Telemedicine)는 정보통신 기술을 활용하는 대표적인 방법이다[1-3]. 이러한 원격진료는 병원 외부에서 진료가 가능하게 함으로서 환자가 병원을 일일이 방문해야 하는 번거로움을 덜어주고

환자가 증상을 느끼는 경우에 지체 없이 진료가 가능하게 함으로서 적시의 진료가 가능한 장점을 가지고 있다.

원격진료 분야 중에서 최근 관심을 받고 있는 것은 집이나 회사등 원격지에 있는 환자에 대한 ECG (Electrocardiogram) 모니터링시스템이다[4-6]. 이것은 모바일 기술의 발전으로 인한 소형 ECG 측정 장비의 개발과 함께 이동통신망 및 인터넷망의 수월한 접근등으로 인하여 가능하게 되었다. 원격 ECG모니터링시스템에서 환자로부터 측정된 ECG 신호는 무선망과 인터넷망을 거쳐 시스템 서버에 전달되며 이러한 ECG신호는 실시간으로 전문가에 의해서 관찰되어 이상 유무를 진단받게 된다. 본 연구에서는 ECG 모니터링시스템의 자동화를 위한 비정상적 ECG 비트 검출 알고리즘을 새로이

* 계명대학교

투고 일자 : 2011. 3. 16 수정완료일자 : 2011. 4. 19

계재확정일자 : 2011. 4. 30

제안한다. 현재 상용서비스중인 ECG 모니터링시스템의 경우에는 환자로부터 전송된 ECG신호를 전문가들이 모니터 화면을 통해서 직접 관찰하고 이상 징후가 발견될 경우에는 즉시 병원에 알리거나 환자에게 통보하여 환자로 하여금 즉각적인 진료를 받을 수 있도록 하고 있다. 그러나 이와 같이 사람이 직접 ECG 신호를 전부 모니터링 하는 것은 환자의 수가 많아질 경우에 전문가의 인건비등 비용 문제의 한계를 보이게 될 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 전문가를 대신해서 ECG 신호를 관찰하여 ECG 신호의 이상 징후를 자동으로 판별하는 컴퓨터 알고리즘의 개발이 반드시 필요하다 하겠다. 기존에 많은 연구들에서는 주로 ECG 비트들의 구체적 분류를 파악하는데 주안점을 두었다[7-9]. 이러한 방식들에서는 ECG 신호의 특징을 추출한 후 각 클래스별로 ECG 비트들을 모델링하고 통계적 방법이나 인공지능적인 접근법을 통해서 비트들을 분류하였다. 그러나 이러한 접근 방법은 작지 않은 분류 오류를 발생시키며 많은 양의 훈련데이터를 필요로 한다. 특히 주변 환경에 민감한 ECG 신호의 특성상 분류성능의 변동성이 심하게 나타나게 되며 분류과정에서의 계산량도 작지 않아서 실시간 모니터링시스템에 적용할 경우 이에 대한 부담도 크다. 그러나 ECG 모니터링시스템의 자동화를 위해서는 ECG 비트의 상세한 클래스 분류보다는 ECG 비트의 비정상/정상 여부의 판단이 중요하므로 본 논문에서는 기존의 접근방식과는 다르게 ECG 비트의 비정상/정상 여부를 판단하는데 초점을 두어 연구를 진행하였다. 비정상적인 ECG 비트의 대표적인 특성은 RR interval(구간)이 불규칙하게 나타나는 것이다[7]. 예를 들어 VEB 같은 경우에는 정상적인 비트에 비해서 짧은 RR 구간을 가지는 경우가 많다. 본 논문에서는 이러한 점에 착안하여 RR 구간의 패턴을 분석하고 이를 이용하여 비정상적인 비트를 찾아내고자 하였다. 또한 비정상적인 ECG 비트의 경우에는 QRS의 폭이 정상적인 비트에 비해서 커지는 경우가 많다. 따라서 본 논문에서는 평균적인 비트 폭에 비해서 일정비율이상 더 넓은 폭을 가진 비트에 대해서는 비정상적인 비트로 판단하도록 하였다. 이와 같이 비트의 RR 구간 패턴을 분석하고 비트의 폭의 변동성을 측정함으로써 효과적인 비정상비트 검출 알고리즘을 구성할 수 있도록 하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 실시간 원격 ECG 모니터링시스템에 대해서 간략하게 소개하며 III장에서는 비정상적인 ECG 비트를 검출하기 위해서 제안된 알고리즘을 자세히 설명한다. 이를 위해서는 비트 폭의 추정방식과 RR 구간 패턴 분석 방법 그리고 비정상 비트를 판별하는 구체적인 알고리즘에 대해서 소개한다. IV장에서는 제안된 알고리즘을 적용한 실험결과에 대해서 자세히 설명하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 실시간 원격 ECG 모니터링시스템의 개요

심장병에 관한 증상은 자주 나타나지 않으며 또한 매우 짧은 시간동안 불규칙한 형태로 나타남으로 인해 장시간 동안 혹은 언제어디에서든지 환자 자신이 증상을 느낄 때 ECG신호를 병원에 송신할 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다. 따라서 상용화된 ECG모니터링시스템은 이러한 요구에 적합하도록 환자가 직접 병원을 방문하지 않고 언제 어디서나 환자가 필요하다고 생각될 경우에 자신의 ECG신호

를 병원으로 송신할 수 있도록 하는 서비스를 제공하고 있다[6]. 상용화된 ECG모니터링시스템의 전체적인 구조의 예는 그림 1과 같이 휴대용 측정부와 유/무선네트워크 그리고 ECG데이터의 감시와 저장을 담당하며 병원 내 또는 외부에 존재하는 모니터링센터 등으로 구성된다. 휴대용 측정부는 2개의 전극(lead)을 가진 소형 측정 장치와 무선망을 통해서 데이터를 전송할 수 있는 셀룰러폰(Cellular Phone)으로 구성된다.

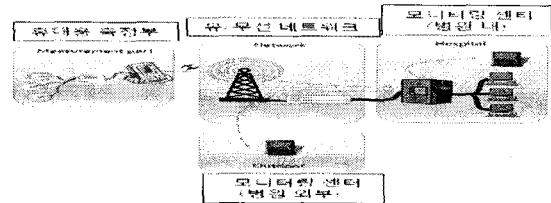


그림 1. ECG모니터링시스템의 전체구조도[7]
Fig. 1. The architecture of the ECG monitoring system

진료나 수술을 위해서 병원을 방문하는 환자 중에서 ECG신호의 측정이 항시 필요하다고 판단될 경우에 의료진은 휴대용 측정기를 휴대하도록 권고하며 환자가 수락할 경우 약간의 비용을 지불하고 실시간 ECG모니터링서비스를 받을 수 있게 된다. 환자는 일상생활 중에서 심장의 이상 징후를 느낄 경우나 본인이 필요하다고 생각될 경우에는 언제 어디서나 휴대용 측정기를 착용하고 모니터링센터로 ECG데이터를 전송할 수 있다. 모니터링센터에는 ECG신호의 이상 유무를 판단하는데 있어서 많은 경험을 갖춘 전문가들이 있다. 그들은 실시간으로 전송되어 오는 ECG신호를 관찰한 후 그 신호가 정상적인지 아니면 위험한 징후를 보이는지를 판단하게 되며 위험하다고 판단되는 경우에는 병원에 있는 의사에게 ECG신호를 직접 전송하여 의사의 판독을 요청한다. 또한 정상적인 ECG신호라고 판단되는 경우에는 환자의 데이터베이스에 단순 저장하여 향후 환자가 병원에 내원할 경우에 의사가 진료의 참고수단으로 삼을 수 있게 해준다. ECG모니터링센터에서의 가장 중요한 기능은 실시간으로 전송되어오는 환자의 ECG신호의 이상 유무를 판단하는 것인데 지금은 전문가들이 직접 눈으로 확인하는 과정을 거치고 있다. 그러나 동시에 이러한 서비스를 이용하는 환자의 수가 많아 질 경우에는 모니터링센터에 근무하는 전문가의 수를 증가시켜야 되며 이는 모니터링센터의 운영비용을 증가시키고 환자의 부담을 가중시키는 문제가 있게 된다. 따라서 ECG신호의 이상 유무를 판단하는 과정을 소프트웨어적으로 자동화할 수 있다면 많은 비용절감과 모니터링서비스 사업의 활성화에 크게 기여할 것으로 보인다.

III. 비정상적 ECG비트 검출 알고리즘

그림2에는 본 연구에서 제안된 비정상적 ECG 비트 검출 알고리즘에 대한 전체적인 흐름도가 나타나 있다. 우선 ECG 신호가 입력되면 필터링과정을 거쳐서 QRS 피크가

검출된다. QRS 피크지점은 각 ECG비트의 기준점이 되고 이를 통해서 ECG비트간의 거리인 RR 구간이 계산된다. 구해진 RR 구간 값을 이용하여 해당 비트의 정상/비정상 여부를 판단하는 RR 구간 패턴분석이 이루어진다. RR 구간 패턴 분석을 통해서 어느 정도 해당 비트의 정상/비정상 여부를 가늠할 수 있지만 보다 완벽한 판단을 위하여 QRS의 비트 폭을 추정하게 된다. 최종적으로는 RR 구간의 패턴분석 결과와 QRS 폭의 변동성을 활용하여 해당 ECG비트의 정상/비정상 여부를 판정하게 된다.

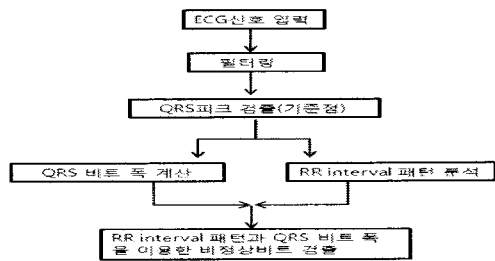


그림 2. 제안된 비정상적 ECG비트 검출 방식에 대한 전체적인 흐름도

Fig. 2. The whole flowchart of the proposed abnormal ECG beat detection method

3.1 필터링과 QRS피크 검출

그림3에는 필터링과 QRS 피크 검출에 관한 보다 상세한 흐름도가 나타나 있다. 본 연구에서 사용된 QRS피크 검출알고리즘은 기본적으로는 Pan 과 Tompkins의 알고리즘을 따라가지만 Pan 과 Tompkins의 논문에서 충분히 제시되지 않았던 ECG신호의 피크 검출방법을 새로이 개발하여 적용하였다[10][11]. 그림 3에서 ECG신호가 입력되면 잡음제거, 기울기 및 적분 값 계산 등을 위해서 입력된 샘플들에 대해 필터링을 하게 되며 처음 몇 초 동안의 샘플 값을 이용하여 임계치를 초기화하게 된다. 초기에 설정된 임계치를 이용하여 샘플들의 피크를 검출하며 검출된 피크에 대해서 QRS 피크인지의 여부를 최종 판단하게 된다. QRS피크로 판단된 경우에는 이를 이용하여 임계치를 수정하게 되며 수정된 임계치를 이용하여 실시간으로 입력되는 ECG신호에 대해서 피크 검출과정과 QRS 판정과정을 반복하게 된다.

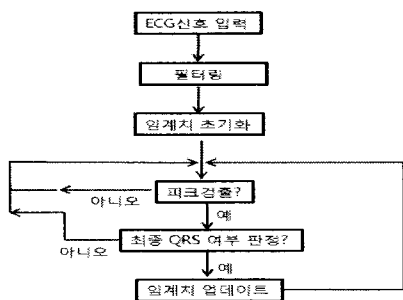


그림 3. 필터링과 QRS검출 과정의 흐름도

Fig. 3. Flowchart of the filtering and QRS detection process

3.2 RR 구간 패턴 분석

본 연구에서는 비트간의 시간 간격인 RR 구간을 구하고 이를 이용하여 각 RR 구간의 패턴을 분석하였다. 현재 비트와 이전 비트간의 RR 구간과 이전 비트의 상태를 이용하여 현재 비트는 정상패턴, 비정상패턴 그리고 불명확 패턴으로 나누어진다. 구현된 패턴 분석 방식은 데이터 기반의 경험적 룰(rule)베이스 방식으로 전체적인 알고리즘의 기본 방식은 다음과 같다. 일반적으로 정상패턴은 규칙적인 간격을 가진 RR 구간을 의미하며 정상패턴의 RR 구간 값의 75%에 미치지 못하는 RR 구간이 발생하면 해당 비트는 비정상패턴으로 분류된다. 비정상패턴이 발생하게 되면 그 이후에 발생하는 비트들은 발생한 비정상패턴의 RR 구간에 비해서 충분히 크지 않으면 (112.5% 이상)비정상패턴으로 계속 판단하게 된다. 이밖에도 다소 불규칙적인 RR 구간의 유형들을 따라 잡기 위한 경험적 규칙들이 적용되어서 해당 비트들에 대한 최종 RR 구간 패턴이 결정되었다. 그림4에는 RR 구간 값을 이용한 패턴분석 결과의 예를 보여준다. 그림4에서 비트1부터 비트3까지는 규칙적인 RR 구간을 가진 정상패턴이며 비트4와 비트5는 정상패턴보다 짧은 RR 구간을 가진 비정상패턴을 나타낸다. 비정상패턴이후에 나타나는 비트6 와 비트7은 다시 충분한 거리를 가진 RR 구간을 가지는 정상패턴이다. 만약 RR 구간이 정상비트보다는 짧고 비정상비트보다는 긴 경우와 같이 불확실한 경우에는 불명확패턴으로 판단된다.

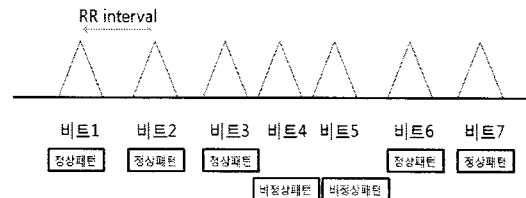


그림 4. RR 구간을 이용한 패턴분석 결과의 예

Fig. 4. An example of the pattern analysis results using the RR interval

3.3 비트 폭 결정

비트 폭은 QRS의 폭을 의미하며 ECG 비트의 정상/비정상 여부를 판단하는데 매우 중요한 자료로 활용되어진다. 비정상적인 비트는 정상적인 비트에 비해서 폭이 넓은 경우가 많다. 본 논문에서 사용된 비트 폭 결정 알고리즘은 기존의 연구에서 많이 사용되는 방식과 대동소이하며 구체적인 과정은 다음과 같다. QRS피크를 중심으로부터 시작하여 좌우로 관찰하여 그 파형의 진폭이 충분히 낮아지는 지점을 찾은 후 이를 QRS의 진폭 시작점과 진폭 끝점이라 한다. 또한 QRS피크를 중심으로부터 시작하여 기울기를 구한 후 기울기 값이 충분히 낮게 유지되는 지점을 찾아내어 기울기 시작점과 기울기 끝점을 찾은 후 앞에서 얻어진 진폭 시작점과 진폭 끝점과의 비교를 통해서 보다 적합한 최종 시작점과 끝점을 결정하게 된다. 보다 상세한 과정은 그림5에 나타나 있다.

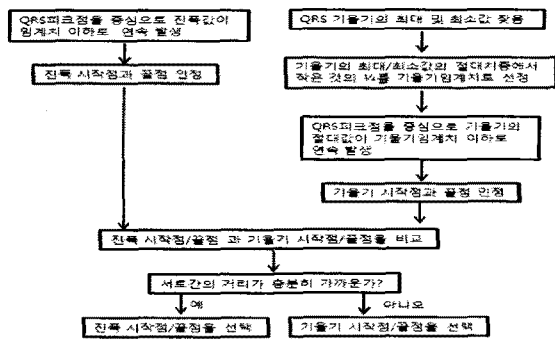


그림 5. 비트 폭 결정을 위한 과정의 흐름도
 Fig. 5. A flowchart of the process for the beat width determination

3.4 정상/비정상 비트 판단

앞에서 구한 RR 구간의 패턴과 비트 폭을 이용하여 해당비트의 정상/비정상 여부를 최종적으로 판단하였다. 우선 RR 구간이 비정상패턴인 경우 해당비트는 비정상상으로 최종 결정된다. 만약 RR 구간이 정상패턴이거나 불명확패턴인 경우에는 비트 폭의 정상/비정상 판단에 따라서 최종적인 결정이 이루어지는데, 비트 폭은 그 변동성이 심할 경우에 비정상 비트로 판단한다. 즉, 현재까지의 비트 폭의 평균치와 현재 비트의 폭을 비교하여 그 차이가 어느 정도이상이 되면 현재 비트는 비정상적인 것으로 판단된다. 전체 알고리즘은 그림 6과 같다.

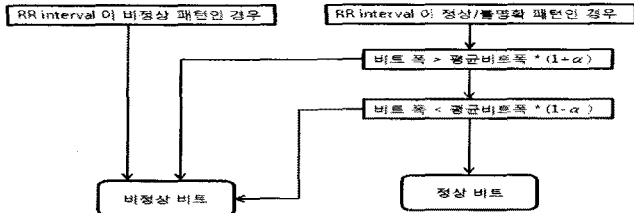


그림 6. 비정상비트 검출을 위한 과정의 흐름도
 Fig. 6. A flowchart of the process for the detection of the abnormal beat

IV. 인식실험 및 고찰

제안된 비정상 ECG 비트검출 방법에 대한 실험을 위하여 ECG신호 분석을 위한 표준데이터인 MIT/BIH 데이터 베이스를 활용하였다. MIT/BIH 데이터베이스는 부정맥과 ECG신호간의 관계에 대한 연구를 위해서 1975년 이래로 Boston's Beth Isreal Hospital 과 MIT 대학에서 공동으로 개발한 것이며 데이터는 11bit, 360 samples/sec로 샘플링 되어 있으며 전체적으로 48개의 파일로 구성되어 있다[12]. 파일은 100번부터 234번까지 파일명이 붙어져 있으며 본 연구에서는 페이스(paced) 비트로 구성된 4개의 파일을 제외한 44개의 파일에 대해서 실험하였다.

본 논문에서는 비정상비트 중에서도 가장 대표적인 ventricular ectopic beats(VEBs)에 대한 검출을 시도하였

다. ECG 비트의 클래스 타입(class type)을 규정하는 공식 기관인 AAMI(Association for the Advancement of Medical Instrumentation)의 권고안에 따르면 ECG 비트는 크게 N, S, V, F, Q 의 5가지로 나누어지는데 본 연구에서는 VEB 검출 성능을 판단하기 위해서 N 과 S를 정상비트(NORMAL)로 분류하고 V와F는 비정상비트(ABNORMAL)로 간주하였다. F는 원칙적으로는 정상비트와 VEB 비트의 결합이나 본 연구에서는 VEB 비트를 나타낸다고 가정하였다. 한편 페이스(paced) 비트가 다수인 Q 클래스는 실험에 포함시키지 않았다. 표1에는 AAMI 기준의 비트 클래스에 대한 설명과 함께 본 논문에서 새로이 설정된 클래스 타입과의 상관관계를 나타내었다.

표 1. 실험에 사용된 클래스 타입과 AAMI 기준 클래스 타입간의 상관관계

Table 1. The relationship between the class types used in the experiment and those suggested by the AAMI

실험에 사용된 클래스 타입	AAMI 제안 클래스 타입
NORMAL	N(normal beat 와 S,V,F,Q 클래스에 포함되지 않은 모든 종류의 beat), S(Supraventricular ectopic beat)
ABNORMAL	V(Ventricular ectopic beat), F(Fusion of ventricular and normal beat)

제안된 VEB 검출 알고리즘은 44개의 MIT/BIH 파일에 대해서 적용되었으며 각 파일의 첫 5분은 QRS 피크검출을 위한 임계치 설정을 위하여 사용되고 VEB 검출 실험에서는 사용되지 않았다. 또한 VEB 검출 결과를 표시하기 위한 중간값으로서 TP(True Positive), FP(False Positive), TN(True Negative), FN(False Negative)등은 표2에서와 같이 정의된다.

표 2. TP, FP, TN, FN에 대한 정의
 Table 2. Definition of the TP, FP, TN, FN

기준 클래스 타입	알고리즘 판정 클래스 타입	
	NORMAL(N,S)	ABNORMAL(V,F)
NORMAL (N,S)	TN	FP
ABNORMAL (V, F)	FN	TP

표2에 따르면 기준(알려진) 클래스 타입이 NORMAL인 비트가 본 논문에서 제안된 알고리즘에 의해서 NORMAL로 판정될 경우에는 TN가 되며 ABNORMAL이 될 경우에는 FP가 된다는 것을 알 수 있다. 위와 같은 정의에 의하면 제안된 검출 알고리즘의 Sensitivity(민감도) 와 Positive Predictivity(예측도)는 아래와 같이 정의된다.

Sensitivity(민감도)(%) = TP/(TP+FN) *100

(전체 VEB 비트 중에서 알고리즘에 의해 검출된 VEB 비트의 비율)

Positive Predictivity(예측도)(%)=TP/(TP+FP) *100

(알고리즘에 의해 검출된 VEB 비트중에서 실제 VEB 비트의 비율)

그림6에서와 같이 제안된 알고리즘을 MIT/BIH 데이터베

이스에 적용하여 VEB 검출 실험을 한 결과 얻어진 민감도와 예측도는 표3에 나타나 있다. 여기에서는 그림6의 α 값을 0.2, 0.3, 0.4 등으로 변화시켜가면서 성능을 점검하였다.

표3. 제안된 방식을 MIT/BIH 데이터베이스에 적용한 결과

Table 3. The results of the proposed method when applied to the MIT/BIH database

	민감도(%)	예측도(%)
$\alpha = 0.2$	92.5	52.0
$\alpha = 0.3$	92.0	62.3
$\alpha = 0.4$	91.5	69.8

표3의 결과를 보면 α 값이 다소 변화하더라도 민감도는 90% 이상을 유지함을 알 수 있다. 비록 예측도는 50~70(%) 정도이지만 본 알고리즘이 ECG 자동모니터링 시스템에 적용될 경우 비록 약간의 거짓 경보 (False alarm)가 발생하더라도 비정상적인 비트를 놓치지 않는 것이 중요하므로 예측도의 저하를 감수하고서라도 민감도를 높이는 것이 필요하다고 생각된다. 한편 α 값이 증가할수록 민감도는 감소하지만 예측도는 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 그림6에서 알 수 있듯이 α 값이 커질수록 정상비트로 판단되는 경우의 수가 많아지기 때문이다. 표3으로부터 $\alpha = 0.4$ 를 사용하여 제안된 방식을 ECG 자동모니터링 시스템에 적용할 경우에 10개의 VEB 비트 중에서 9개 이상을 자동으로 검출할 수 있으며 전체 검출된 VEB 중에서 7개정도는 진짜인 것으로 판명될 것이므로 제안된 방식의 성능은 어느 정도의 보안을 거친다면 충분히 실제 시스템에 적용될 수 있는 만족스러운 수준이라고 판단된다.

한편 제안된 방식의 성능이 기존의 비트 분류방식에 비교해서 어느 정도 성능을 나타내는지를 비교하기 위해서 ECG 비트의 분류 방식 중에서 대표적이라 할 수 있는 Hu *et al.* [7]이 제안한 방식(Hu 방식)과 Chazal *et al.* [9]이 제안한 방식(Chazal 방식)과의 성능을 비교하였으며 그 결과는 표4에 나타나 있다. Hu 방식과 Chazal 방식은 MIT/BIH의 전체 48개 파일 중에서 일부 파일만 발췌하여 비트 분류 실험을 하였으므로 본 연구에서도 그에 맞추어 각각의 방식에서 선택된 파일만을 따로 선정하여 성능비교를 하였다. 따라서 본 논문에서 제안된 방식의 성능은 표4에서 두 가지 경우에서 각각 다르게 나타난다. 한편 Hu의 방식은 본 논문에서 사용된 표2의 기준 클래스 타입의 V와 F를 분리하여 서로 다른 타입으로 두고 분류 실험을 하였으나 성능비교를 위해서 V와 F를 합한 성능을 표4에 나타내었다. 또한 Chazal 방식에서도 표2의 기준 클래스 타입에서 S와 N을 분리하여 서로 다른 비트 타입으로 분류 실험을 하였으나 본 논문의 연구결과와 비교하기 위해서 S와 N을 동일한 비트타입으로 간주한 성능을 표에 나타내었다.

표 4. 제안된 방식과 기존방식과의 성능비교

Table 4. Performance comparison between the proposed method and the conventional methods

	민감도	예측도
Hu 방식	63.5	31.9
제안된 방식 (Hu와 동일데이터 적용시)	90.35	76.2
Chazal 방식	86.9	42.0
제안된 방식 (Chazal와 동일데이터 적용시)	90.6	64.6

비록 Hu의 방식과 Chazal의 방식은 분류하고자 하는 클래스 타입을 본 논문에서와 다르게 설정하고 연구결과를 그에 맞추어 최적화하였으므로 단순히 그 성능들을 본 논문에서 제안된 방식과 비교하는 것이 다소 무리이기는 하나 간접적으로 어느 정도 제안된 방식의 성능을 비교 판단하기에는 도움이 될 것이다. 표4의 결과에서 보면 제안된 방식은 동일한 데이터와 클래스 타입을 적용한 경우에 기존의 방식들에 비해서 민감도나 예측도 모두에서 우수한 성능을 보임을 알 수 있으며 이를 통해 제안된 방식이 비교적 그 구현과정이 단순함에도 불구하고 매우 우수한 VEB 검출 성능을 보임을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 ECG 신호에서 가장 대표적인 비정상 비트인 VEBs 검출을 위한 효율적인 방법을 제안하였다. VEBs 비트의 검출을 위해서 RR 구간의 패턴을 분석하고 이를 비트 폭의 변동성과 함께 이용하였다. 제안된 방식에서는 우선적으로 RR 구간의 패턴이 정상적인지의 여부를 데이터 기반의 룰 베이스 방식으로 결정하였다. 정상적인 패턴을 가지는 RR 구간에 대해서는 비트 폭의 정상여부를 확인함으로써 해당비트가 VEBs 비트 인지 여부를 최종 판단하였다. 제안된 방식을 MIT/BIH 데이터베이스에 적용한 결과 90% 이상의 민감도와 70%에 가까운 예측도를 얻을 수 있었는데, 이는 향후 알고리즘의 보완이 이루어진다면 충분히 실제 시스템에 적용할 수 있는 수준이라 판단된다. 제안된 방식은 기본적으로 RR 구간과 비트 폭의 측정에 기반 하기 때문에 향후 이들 측정값의 정확도를 높이는 방안에 대한 보다 세심한 연구가 진행된다면 지금 보다 월등히 나은 검출 성능을 보일 수 있으리라 생각된다. 또한 제안된 알고리즘은 VEBs 비트 뿐 만 아니라 임상학적으로 중요시 되는 다른 비정상적인 ECG비트 신호에 대해서도 확대 적용 가능하리라 판단된다.

참고 문헌

- [1] Edward H. Shortliffe, Leslie E. Perreault, et al., Medical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine. 2nd ed. New York: Springer; 2001.
- [2] T. K. Kim and Y. K. Kim, "A Study on the Implementation of Medical Telemetry Systems Using

- Wireless Public Data Network Medical Telemetry System", J. of Korean Society of Medical Informatics Vol. 6, No.4, pp. 153-163, 2000.
- [3] D. K. Jung, K. N. Kim, G. R. Kim, D. H. Shim, M. H. Kim, B. C. Choi, and D. J. Suh. "Biosignal Monitoring System for Mobile Telemedicine", The Journal of Information Technology in Healthcare, Vol. 4, No. 3, pp.173-183, 2006.
- [4] 홍주현, 김남진, 차은종, 이태수, "u-Healthcare를 위한 PDA 기반의 무선심전도 모니터링 시스템", 대한의료정보학회지, 제12권 제2호, pp.153-159, 2006년12월
- [5] P. E. Ross, "Managing Care Through the Air", IEEE Spectrum, pp.14-19, Dec. 2004.
- [6] J. Lee, S. Yun, J. Park, K. Jang, S. Woo, J. Jin, H. Jeon, H. Park, J. Cho, and Y. Kim, "PDA기반 심전도 원격 감시 장치의 구현", 대한의료정보학회 추계학술대회, pp. 123-126, 2007년.
- [7] Y.H. Hu, S. Palreaddy and W.J. Tompkins, "A Patient-adaptable ECG Beat Classifier Using a Mixture of Experts Approach", IEEE Trans. Bio. Eng., Vol. 44, pp. 891-899, 1997.
- [8] O. Wieben, W.J. Tompkins and V.X. Afonso, "Classification of PVC with a fuzzy logic system", Proceedings 19th International conference IEEE/EMBS, pp. 97-100, 1997.
- [9] P. Chazal, M. O'Dwyer and R. B. Reilly, "Automatic Classification of Heart Beats Using ECG Morphology and Heartbeat 정상 Features", IEEE Trans. Bio. Eng., Vol. 51, pp. 1196-1206, 2004.
- [10] J. Pan and W. J. Tompkins, "A Real-Time QRS Detection Algorithm", IEEE Trans. Bio. Eng., Vol. 32, No. 3, pp.230-236, Mar. 1985.
- [11] 윤장혁, 정용주, "실시간 ECG 모니터링 시스템을 위한 QRS 검출 알고리즘의 개발", 한국정보기술학회논문지, 제8권 제5호, pp.153-163, 2010년 5월
- [12] "MIT/BIH arrhythmia database-Tape directory and format specification", Document BMEC TR00, Mass. Inst. Technol., Cambridge, 1980.



정 용주(Yong-Joo Chung)

1988년 2월 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1990년 2월 KAIST 전기및전자공학과 (공학석사)
 1995년 8월 KAIST 전기및전자공학과 (공학박사)
 1995년 9월 ~ 1999년 2월 LG전자 선임연구원
 1999년 3월 ~ 현재 계명대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 음성인식, 신호처리