

# 하강 기울기 추적파와 Form Factor를 이용한 심전도 조기심실수축의 검출 방법의 비교

주장규\* , 이기영\*\*

## Comparison of PVC Detecting Methods with ECG Using Descending Slope Tracing Waves and Form Factor

Jangkyu Ju\*, Ki Young Lee\*\*

요 약

본 연구에서는 심장 부정맥의 조기증상인 조기심실수축(premature ventricular contraction, PVC)을 검출하기 위하여 심전도 신호로부터 하강 기울기 추적파(descending slope tracing wave, DSTW)와 Form Factor(FF)를 추출하였으며 효율적인 방법을 찾기 위해 두 가지 특징을 이용한 결과를 비교하였다. 우선 심전도의 정확한 R파의 위치를 검출하기 위하여 2차 미분과 하강 기울기 추적파를 적용하였으며, 이 PVC검출법을 검증하기 위하여 MIT/BIH 데이터베이스에서 PVC를 포함한 심전도를 대상으로 위 방법을 적용하여 검출 방법과 비교하여 그 효율성을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we extracted descending slope tracing waves (DSTW) and form factors (FF), and compared the detecting results of premature ventricular contraction (PVC) which were derived from DSTW and FF in order to find an efficient method. The 2nd. derivatives and DSTW were employed to extract correct R-waves from ECG. To evaluate extracting methods, ECGs including PVCs from MIT/BIH database were used.

키워드 : Form Factor(FF), RR interval(RRI), PVC, ECG.

### 1. 서론

심전도의 PVC가 혼입되어 왜곡된 심전도에서 진폭이 큰 R-파의 검출이 용이하지 않다. 심전도의 QRS군은 순간적으로 진폭이 큰 파형으로 심박수를 측정하는데 사용하고 있으나 비주기적으로 나타나는 PVC(premature ventricular contraction)는 심장병이 없는 정상인의 정확한 심박수를 측정하는데 어려움을 주기도 하지만 심실 부정맥 환자들에게는 이들을 측정하여 생명의 위협성을 판단하거나 예측하는데 매우 중요한 요소로 이용되고 있다. 더구나 심전도의 R-파의 진폭보다 작은 P-파와 T-파는 심장의 전기적, 생리적 특성을 나타내는 중요한 파동으로, 다양한 임상적 의미를 가

짐에도 불구하고, 낮은 진폭과 형태의 불명확성, 가변성 때문에 그 검출은 여전히 어려운 문제이다[1-2].

기존에 PVC를 검출하기 위해 제안된 방법들은 여러 가지가 있다. L. Zhao 등의 방법[3]에서는 기준치(threshold)를 이용하여 2진화 작업을 거친 후 그 길이를 이용하여 PVC를 검출하였으며 QRS군도 검출함으로써 계산량을 축소하는 장점을 가지고 있다. 그밖에도 웨이브렛 변환과 HMM의 관측시계열을 이용하여 심전도의 segment를 분류하였으며 PVC도 검출한 방법[4-6]이 있으며, Risk 등은 self-organizing map[7], filter banks[8], 신경 회로망[9-11] 및 AR 모델[14] 등을 이용한 방법이 있다.

\* 관동대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정

\*\* 관동대학교 의료공학과 교수(kylee@kd.ac.kr)

그러나 이들 방법에서 HMM이나 신경회로망의 훈련 데이터가 필요하였으며, DTW 또는 MLP등의 복잡한 과정을 거치게 된다. 따라서 기존의 PVC 검출방법에서는 주로 기준치(threshold)를 이용하거나 그의 패턴을 이용하였으나, 심전도에 기저선의 변동과 잡음을 동반하여 나타나는 PVC는 그 진폭의 크기가 QRS군의 R-파의 것만큼 크기 때문에 이를 올바르게 검출하기는 쉽지 않다.

본 연구에서는 심전도의 정확한 R파의 위치를 검출하기 위하여 2차 미분방법과 하강 기울기 방법을 사용하여 비교 하였으며, 또한 PVC를 검출하기 위하여 심전도 신호로부터 RR interval(RRI)과 Form Factor(FF)를 추출하였으며 효율적인 방법을 찾기 위해 두 가지 특징을 이용한 결과를 비교 분석하였다.

## II. RR 간격 검출

### 1. 하강 기울기 방법

기울기 추적과는 자동형 제세동기(AED, Automatic External Defibrillator)에서 심실 세동을 효과적으로 검출하기 위해 개발되었다 [12-14]. 본 연구에서는 하강 기울기의 신호를 추적하는 의미에서 붙여진 하강 기울기 추적과는 그림1에 점선으로 나타내었으며, 다음에 설명할 주어진 조건에 따라 매 샘플치가 발생할 때마다 새로운 값으로 갱신된다.

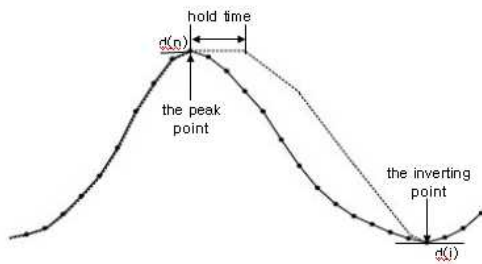


그림 1. 하강 기울기 추적파의 동작  
Fig. 1 Descending slope tracing waves

그림 1의 직선은 원 신호  $x(n)$ 이고 점선은 하강 기울기 추적파  $s(n)$ 이다. 하강 기울기 추적과는 원 신호의 하강 기울기가 시작되는 피

크과형의 피크 점(the peak point) 이후 일정의 유지시간(hold time; 수~수십ms)이 지나도록 원 신호의 진폭 크기가 추적파의 진폭보다 크지 않으면 추적과는 상승 기울기 추적과와 같이 일정 유지시간 전의 원 신호와 동일한 진폭값으로 갱신되면서 추적과가 생성된다.

여기에서 추적과와 원 신호가 만나는 점을 전환점(the inverting point)이라 한다. 이 전환점의 진폭  $d(i)$ 와의 차이는 이신호의 피크값  $P(n)$ 으로 피크 점의 위치  $n$ 에 저장한다. 또한 나머지 피크 점이 아닌 위치의  $P(n)$ 은 0이다.

$$P(n) = \begin{cases} d(n) - d(i) & \text{if } n = \text{the peak point} \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (1)$$

R파의 위치를 구하기 위하여 식(1)에 의한 피크 값들은 피크 점으로 나타나는 심전도의 주요과형들을 검토하기 위해 실험에서 검토한다. 이렇게 R파로부터 RR 간격을 구한다.

### 2. 2차 미분방법

심전도의 R파를 검출 하기 위해 원 신호  $x(n)$ 을 2차 미분한  $x''$ 의 최대값을 R파의 위치로 구한다. 이렇게 R파로부터 RR 간격을 구한다.

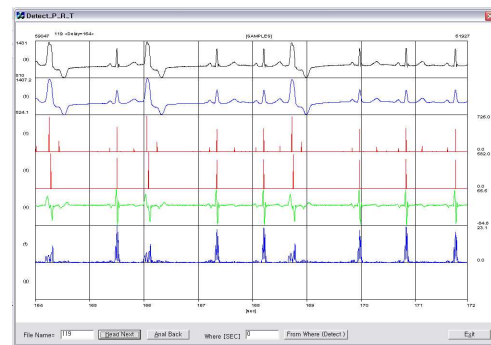


그림 2. R파의 검출  
Fig. 2 Detection of R-waves  
(a) ECG signals  $x(n)$   
(b) Descending slope tracing waves  
(c) Peak values  $P(n)$  (d) R-waves  $n(r)$   
(e) The first derivative of  $x(n)$   
(f) The second derivative of  $x(n)$

### III. ECG 세그먼트의 Form Factor

ECG 파형을 분석하기 위해 분산을 적용한 방법이며, ECG 신호  $x(n)$  세그먼트는 1s 또는 그 이상의 short time 세그먼트로 분석되어진다. 그리고 form factor를 구하기 위해 세개의 파라미터로 계산되어진다.

첫 번째 파라미터는 세그먼트 신호  $x(n)$ 의 분산  $\sigma_x^2$ 이며, 두 번째 파라미터  $M_x$ 는

$$M_x = \left[ \frac{\sigma_x^2}{\sigma_x^2} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{\sigma_x'}{\sigma_x}$$

이다. 여기서  $x'$ 는  $x$ 의 미분이다. 세 번째 파라미터인 form factor(FF)는

$$FF = \frac{M_x'}{M_x} = \frac{\sigma_x'/\sigma_x'}{\sigma_x'/\sigma_x}$$

이며, 여기서  $x''$ 는  $x$ 의 2차 미분이다.

### V. 실험 및 고찰

본 연구에서는 구현한 심전도에서 PVC의 검출 방법의 효용성을 검증하기 위하여 MIT/BIH 데이터 중에서 PVC를 포함한 116, 119심전도 데이터를 대상으로 적용하였다.

#### 1. R파 검출을 위한 피크 파형 검토

하강 기울기 추적파에서 사용할 일정시간은 본 저자의 참고문헌[13]을 참조하여  $t_H = 41.7$  ms 로 하였다.

피크파형으로 나타나는 심전도의 주요 파형들을 확인하기 위하여 식(1)에 의해 피크파형들의 위치를 나타내는 피크 값들을 구하였다. 그림 1(c)에서 보인 피크 값들은 심전도의 주요파형들인 P파, R파 및 T파 등을 볼 수가 있다. R파의 위치를 구하기 위하여 식(1)에 의해 주어지는 피크 값들을 이용하였으며 식(2)에 만족하는 피크 값들을 R파의 위치들로 검출하였다. 심전도의 분석구간과 이동구간은 각각 8초로 하였으며, 주어진 분석구간  $N=8(\text{초}) \times 360(\text{Hz})=2880(\text{샘플})$ 의 이 피크 값들 중에서 최대치  $P_{MAX}$ 를 구하고 가중치  $\alpha$ 를 곱한 후, 그 값을 문턱값  $P_{threshold}$ 로 하여 이 문턱 값보다 크거나 같은 피크 값의 위치를 R파의 피크 위치  $n_R$ 로 검출한다.

$$n_R = \arg[P(n) \geq P_{threshold}, 0 \leq n < N] \quad (2)$$

여기서,  $\arg[]$ 는 괄호안의 조건을 만족하는 모든  $n$ 을 구하는 함수이며,  $P_{threshold} = \alpha \times P_{MAX}$  이고  $P_{MAX} = \max[P(n), 0 \leq n < N]$ 이다. 본 실험에서 사용한 가중치  $\alpha$ 는 0.35로 하였다.

#### 2. 정상 심전도와 PVC 분류 및 검토

RR interval을 통한 PVC 검출에서 RR 간격은 정상 간격보다 짧다.

Form Factor 이용한 PVC 분류 처리 순서

(1) 각각의 R파에서 160ms 샘플 전으로부터 240ms 샘플까지 세그먼트 되어진다.

(2) 심전도로부터 RR interval 과 세그먼트로부터 form factor(FF)를 구한다.

(3) 정상 심전도와 PVC의 평균 특징 벡터를 구한다.

정상 심전도:RR, FF=0.66, 1.58, PVC:RR, FF=0.45, 2.74

(4) 선형 결정함수 식(3)을 통해 정상 심전도와 PVC를 결정한다.

$$RR - 5.56FF + 11.44 \begin{cases} > 0 & \text{normal beat} \\ \leq 0 & \text{PVC} \end{cases} \quad (3)$$

그림 3, 4는 MIT/BIH 116번 그림 5, 6은 MIT/BIH 119번의 데이터이며 각각의 데이터에 하강 기울기 추적파와 이차 미분을 적용하여 R파를 검출한 후 FF를 구하였다.

그리고 선형 결정함수 식(3)을 통하여 normal beat와 PVC로 분류하였다.

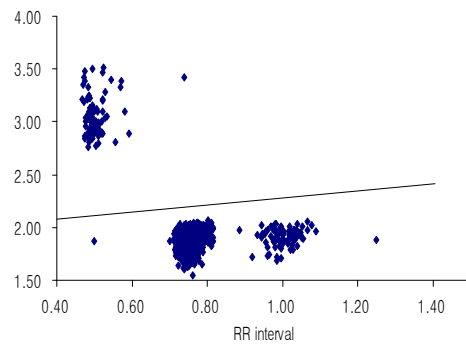


그림 3 MIT/BIH 116 심전도의 하강 기울기 추적을 이용한 PVC 검출  
Fig. 3 PVC detection results of MIT/BIH 116 using DSTW

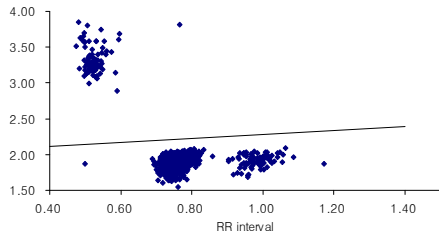


그림 4. MIT/BIH 116 이중미분 FF를 이용한 PVC 검출  
Fig. 4 PVC detection results of MIT/BIH 116 using FF

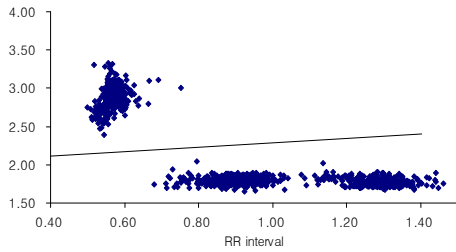


그림 5. MIT/BIH 119 하강 기울기 추적을 이용한 PVC 검출  
Fig. 5 PVC detection results of MIT/BIH 116 using DSTW

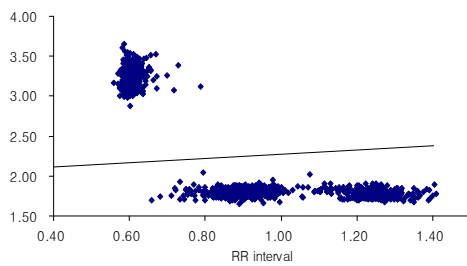


그림 6. MIT/BIH 119 이중 미분 FF를 이용한 PVC 검출  
Fig. 6 PVC detection results of MIT/BIH 116 using FF

표 1. RR 간격을 이용한 PVC 검출 결과 비교

Table 1. Comparison of PVC detection results using RR intervals

MIT/BIH 데이터 번호	PVC 개수	하강기울기 방법		이중 미분 방법	
		일치수	오검출	일치수	오검출
116	92	91	1	91	1
119	444	441	3	438	6

표 2. FF를 이용한 PVC 검출 결과 비교

Table 2. Comparison of PVC detection results using FF

MIT/BIH 데이터 번호	PVC 개수	하강기울기 방법		이중 미분 방법	
		일치수	오검출	일치수	오검출
116	92	92	0	92	0
119	444	444	0	444	0

표 2에서 116번, 119번 데이터에서 Form Factor(FF)방법을 이용하여 PVC를 검출한 결과 100%를 얻을 수 있었다.

## VI. 결론

본 연구에서는 심전도의 PVC를 검출하기 위하여 심전도 신호로부터 RR interval(RRI)과 Form Factor(FF)를 추출하였으며 효율적인 방법을 찾기 위해 두 가지 특징을 이용한 결과를 비교 분석하였다. 우선 심전도의 정확한 R파의 위치를 검출하기 위하여 2차 미분방법과 하강 기울기 방법을 사용하였으며 실험 데이터는 MIT/BIH 데이터베이스를 적용하였다.

그 결과 R파의 검출을 위해서는 2차 미분방법보다는 하강 기울기 추적과를 이용하는 것이 효율적 이었으며, PVC 검출은 RR interval을 이용하였을 때 99%, FF를 이용하였을 때 100%를 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 한정적인 심전도 데이터를 대상으로 비교적 용이하게 PVC 검출을 할 수 있었으나 앞으로 심장 환자 등의 다양한 PVC를 대상으로 검출을 용이하게 하는 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- [1] Guyton, A., Textbook of Medical Physiology (6th edition), pp. 176-178, Saunders, Philadelphia, 1981.
- [2] Rangayyan, R., Biomedical Signal Analysis, pp. 205-211, Wiley Interscience, 2002.
- [3] L. Zhao, M. Wiggins, and G. Vachtsevanos, "Premature Ventricular Contraction Beat Detection based on Symbolic Dynamics Analysis", Circuits, Signals, and Systems - CSS 2003
- [4] Senhadji, L et al., "Comparing Wavelet Transforms for Recognizing Cardiac Patterns, IEEE Engineering in Medicine and Biology", Mar / Apr, pp 167-173, 1995.
- [5] R.V. Andreão (Brazil) and J. Boudy, "A Comparison of Wavelet Transforms through an HMM based ECG Segmentation and Classification System", Biomedical Engineering - BioMED 2006
- [6] Cheng, WT and KL Chan, "Classification of Electrocardiogram using Hidden Markov Models", Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, vol. 20, no. 1, 1998.
- [7] Risk, MR et al., "Beat Detection and Classification of ECG using Self Organizing Maps", Proceedings of the 19th International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, vol. 19, no. 2, 1997.
- [8] Afonso, VX and TQ Nguyen, "ECG Beat Detection using Filter Banks", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 46, no. 2, Feb. 1999.
- [9] de Chazal, P and RB Reilly, "Automatic Classification of ECG Beats using Waveform Shape and Heart Beat Interval Features", International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'03), 6-10 April 2003, Hong Kong, China; p.II-269-72 vol.2.
- [10] Shyu, LY et al., "Using Wavelet Transform and Fuzzy Neural Network for PVC Detection From the Holter ECG", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 51, no. 7, July 2004.
- [11] Hosseini, HG et al., "A Multi-stage Neural Network Classifier for ECG Events", Proceedings of the 23rd International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, October 25-28, 2001.
- [12] 김정국, 정석훈, 권철기, 함광근, 김응주, 박희남, 김영훈, 허웅, "Biphasic 자동형 제세동기 시스템 개발", 의공학회지, 제25권, 2호, pp.119-127, 2004.
- [13] 이기영, 김정국 "심전도의 상승기율기 추적파를 이용한 기저선 변동의 제거 방법" 전기학회 논문지, 55D권, 11호, 2006.
- [14] 김정국, 이기영, 주장규, "잡음 심전도에서 P파와 T파의 강조 및 검출 방법에 관한 연구", 제 19회 신호처리 합동 학술처리 논문집, 제19권, 1호, 2006.
- [15] Dingfei Ge, Narayanan Srinivasan and Shankar M Krishnan "Cardiac arrhythmia classification using autoregressive modeling", BioMedical Engineering OnLine 2002, 1:5 <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/1/1/5>

---

저자약력

---

주 장 규(Jangkyu Ju)



2000년 관동대학교  
전자통신공학과 (공학사)

2002년 관동대학교  
전자통신공학과 (공학석사)

2004년~현재 관동대학교  
전자통신공학과 (박사과정)

<관심분야> 정보통신 및 의공전자

이 기 영(Ki Young Lee)



1992년 명지대학교 전자공학과  
(공학박사)

2008년 성균관대학교 생명공학과  
(박사수료)

1993년~현재 관동대학교 교수  
의료공학과/전자통신공학과

<관심분야> 신호처리 및 의공학