

# 심장질환 진단을 위한 ECG 신호에서의 특징점 검출

신승철<sup>0</sup>, 강재환, 김승환  
 한국전자통신연구원 인체정보처리팀  
 {ssc<sup>0</sup>, mephisto, skim}@etri.re.kr

## Detection of ECG Characteristic Points for Heart Disease Diagnosis

Seung-Chul Shin<sup>0</sup>, Jae-Hwan Kang, and Seung-Hwan Kim  
 Human Information Processing Team, Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요 약

본 논문에서는 심장질환의 진단 알고리즘의 개발에 있어서 필수적으로 요구되는 심장질환별 ECG 데이터의 수집에 관하여 기술한다. 또한, 진단 알고리즘을 개발하기 위한 전단계로서 심전도 신호에서 각 특징들을 검출하는 알고리즘에 관하여 설명하고, 이를 MITDB와 수집한 ECG 신호에 적용한 결과를 보인다. QRS-complex의 검출은 99% 이상의 정확도를 보이나, P-wave와 T-wave의 검출에서는 아직까지 보완할 점이 많은 것으로 나타난다. 심장질환별 12-채널 ECG 데이터베이스의 구축은 보다 정확하고 현실적인 진단 알고리즘을 개발하는 데 크게 기여할 것으로 기대한다.

### 1. 머리말

심장질환 진단 알고리즘에 대한 많은 연구가 지난 수 년 동안 국내에서 진행되어 왔다. 그러나, 진단 결과의 정확성이 떨어져 대부분의 심전계에서는 아직까지도 외국에서 개발한 진단 알고리즘을 사용하고 있는 실정이다.

심장질환 진단 알고리즘의 개발에 실패한 이유로는 질환별 환자들에 대한 심전도와 이에 대한 전문의의 해석을 정리 보관한 데이터베이스의 부재를 들 수 있다. 국내 환자들을 대상으로 한 데이터베이스가 구축되어 있지 않았으므로 외국 환자를 대상으로 한 데이터베이스나 시뮬레이터 신호를 사용하여 대부분의 진단 알고리즘들이 개발되었다. 그러나, 이들은 국내 환자들의 실정을 제대로 고려하지 못하여 심장전문의나 관련 전문가에게 의견 받아 왔다.

본 논문에서는 현재 진행 중인 심장질환별 ECG 신호의 수집에 대한 내용을 기술한다. 또한, 개발한 심전도 신호에서의 특징점 검출 알고리즘에 대하여 설명하고, 수집한 ECG 신호에 적용한 결과를 기술한다.

### 2. 심장질환별 ECG 신호의 수집

심장질환은 대략 100여 가지 정도로 분류할 수 있다. 이 중에서 약 20 종류의 심장질환에 대한 심전도 신호를 획득하였다. 표 1에서 수집한 심장질환별 심전도 데이터 목록과 개수를 보인다.

각 ECG 데이터에는 표준 12-채널(I, II, III, aVR, aVL, aVF, V1, V2, V3, V4, V5, V6)의 10초 동안의 신호 값이 저장되어 있다. 또한, 환자정보(ID, 키, 몸무게, 나이, 성별)와 심장전문의가 진단한 심장질환명과 소견 내용이 포함되어 있다. 수집한 12-채널 ECG 신호의 예를 그림 1에서 보인다. 신호의 샘플링 주파수는 250Hz이고,

약 7초 동안의 파형을 나타낸다.

표 1. 심장질환별 심전도 데이터

Code	Heart Disease	#Data
NR	Normal	4
B1	1°AV Block (FAV)	3
BR	Right Bundle Branch Block (RBBB)	2
BL	Left Bundle Branch Block (LBBB)	1
HL	Left Ventricular Hypertrophy (LVH)	3
HR	Right Ventricular Hypertrophy (RVH)	1
IA	Anterolateral Infraction (ALMI)	1
IS	Septal Infraction (SMI)	1
AF	Atrial Fibrillation (AFIB)	1
VP	Ventricular Premature Beat (VPB)	1
ST	Sinus Tachycardia (STACH)	1
JB	Junctional Brandycardia (JUNBRAD)	1
Total		20

### 3. 심장질환 진단을 위한 특징점 검출

#### 3.1 QRS-complex의 검출

심장질환에 대한 진단 알고리즘을 개발하는 데에는 심전도 파형에서 극대점을 보이는 QRS-complex를 정확하게 검출해 내는 것이 필요하다. 검출한 QRS-complex를 기준으로 하여 RR-interval, PR-interval, ST-segment, P-wave, T-wave 등의 특징들을 추출하고, 이 값들로부터 심전도를 해석하여 심장병을 진단한다.

본 논문에서는 Pan & Tompkin's algorithm[1]을 기본으로 QRS-complex 검출 알고리즘을 설계한다. Pan & Tompkin's algorithm은 3-채널의 Holter ECG 신호를 대상으로 개발된 알고리즘이다. 따라서, 이를 12-채널의 resting ECG 신호를 처리할 수 있도록 수정하여

QRS-complex 검출 알고리즘을 개발하였다.

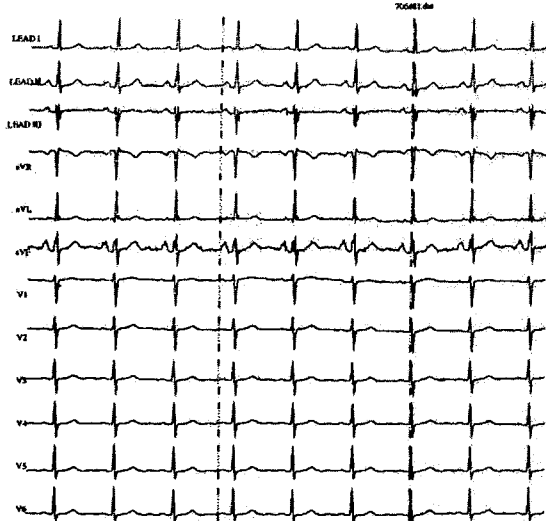


그림 1. 12-채널 ECG 신호 예

filter)를 이용하는 방법[4]들이 있다. 또한, P-wave를 검출하기 위하여 먼저 QRS-complex와 T-wave를 제거한 후에 필터를 이용하는 방법[5]이 있다.

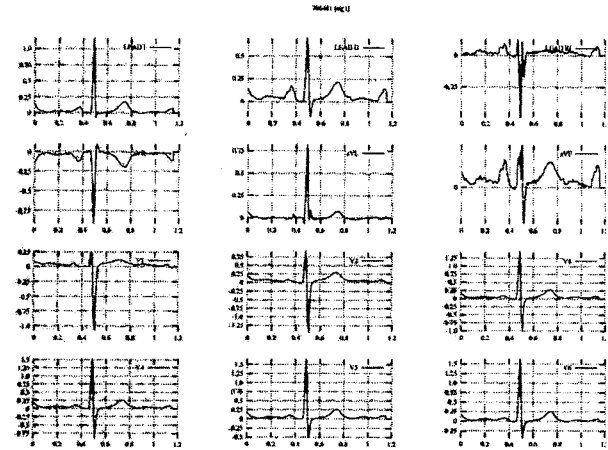


그림 2. 채널별 대표 박동(primary beat)

### 3.2 대표 박동(Primary Beat)의 구성

ECG 데이터에서 QRS-complex들을 검출하면, 심장박동(heart rate)과 같은 특징 값들을 구할 수 있으며 박동(beat)이 일어난 위치를 파악할 수 있게 된다. 또한, QRS-complex를 바탕으로 심장질환의 진단에 필요한 PR-interval, ST-segment, RR-interval, P-wave, T-wave 등의 특징들을 검출한다. 일반적으로 이러한 특징들은 측정된 모든 박동을 대표할 수 있는 대표 박동으로부터 검출된다.

대표 박동을 구성하는 데에는 QRS-complex 검출과정에서 찾은 R점을 기준으로 전후 얼마 구간의 ECG 신호들을 각 채널별로 구하고 이들의 중앙값(median)을 취하는 방법이 있다. 그 외에 평균(average)을 취하거나 필터(filter)를 취하는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 R점을 기준으로 R점 전 4.8초와 R점 후 7.2초 구간의 심전도 데이터를 각 채널별로 분류하고, 이들의 중앙값을 구하여 대표 박동을 구성한다. 채널별로 구성된 대표 박동의 예를 그림 2에서 보인다.

### 3.3 P-wave와 T-wave의 검출

앞 절에서 구성된 채널별 대표 박동으로부터 P-wave와 T-wave의 시작점(onset)과 끝점(offset)을 각각 검출한다. P-wave는 크기가 작아서 noise와 구별하기 힘들고, T-wave의 경우에는 심장질환에 따라 QRS-complex와 비슷하거나 더 크게 나타나 QRS-complex로 오판될 가능성이 있다. 이와 같은 연유로 P-wave와 T-wave의 시작점과 끝점을 찾는 데 많은 어려움이 있다.

P-wave와 T-wave를 검출하는 데에는 웨어브릿 변환(wavelet transform)[2][3]이나 적응 필터(adaptive

본 논문에서는 각 채널별 대표 박동신호와 이 신호의 미분값, 기울기, 크기 등의 특징 값들을 이용하여 P-wave와 T-wave를 검출한다. 검출하는 순서는 아래와 같다.

1. QRS-complex 검출 결과로부터 구한 R점을 기준으로 P와 R 사이, S와 T 사이에서의 평평한 구간과 처음과 끝 부분에서의 평평한 구간을 찾는다.
2. 미분신호의 최대값과 최소값으로부터 QRS-complex의 시작점과 끝점으로 각각 구한다.
3. R점을 기준으로 0.3초 이전에 최대값을 나타내는 점을 P-wave의 꼭지점으로 선택하고, 0.84초 이후에 최대값을 나타내는 점을 T-wave의 꼭지점으로 한다.
4. 1)에서 구한 평평한 구간에서의 기울기와 P-wave 꼭지점 및 T-wave 꼭지점까지의 기울기를 비교하여 P-wave와 T-wave의 시작점과 끝점을 각각 찾는다.

### 4. 특징점 검출 결과

#### 4.1 QRS-complex 검출 결과

개발한 QRS-complex 검출 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 MITDB에서의 ECG 신호들을 적용하였다. 이 데이터베이스에는 2-채널(Lead-II, V5)의 30분 동안의 ECG 신호가 약 20세트 기록되어 있다. 개발한 검출 알고리즘을 적용하여 QRS-complex를 찾은 결과를 표 2에서 보인다. 여기에서 보면, 개발한 알고리즘은 전체적으로 53883개의 박동에 대하여 약 0.54% 정도의 에러율을 나타내는 것을 알 수 있다.

표 2. QRS-complex 검출 알고리즘의 검증 (MITDB)

					ERR(%)
100	2265	0	0	0	0
101	1860	2	0	2	0.108
103	1978	0	1	1	0.051
105	2565	71	10	81	3.158
106	2021	0	2	2	0.099
107	2131	0	4	4	0.188
118	2271	1	0	1	0.044
119	1981	0	0	0	0
200	2592	2	3	5	0.193
201	1959	0	33	33	1.685
202	2128	1	5	6	0.282
203	2973	32	40	72	2.422
205	2648	0	2	2	0.076
208	2946	17	27	44	1.494
209	2997	2	0	2	0.067
210	2642	7	15	22	0.833
212	2740	0	0	0	0
213	3241	0	1	1	0.031
214	2253	1	4	5	0.222
215	3353	1	0	1	0.03
217	2202	2	3	5	0.227
219	2147	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>57883</b>	<b>139</b>	<b>180</b>	<b>289</b>	<b>0.536</b>

(FP: false positive, FN: false negative, ERR: error)

그림 3에서는 수집한 ECG 데이터 중에서 우각 차단(RBBB) 증상이 나타난 환자 데이터에 개발한 QRS-complex 검출 알고리즘을 적용한 예를 보인다. 심장전문의가 기록한 R점의 위치와 알고리즘을 통하여 얻은 R점의 위치가 일치함을 볼 수 있다. 20세트의 ECG 데이터에 적용한 결과 QRS-complex의 검출은 100% 성공율을 보였다.

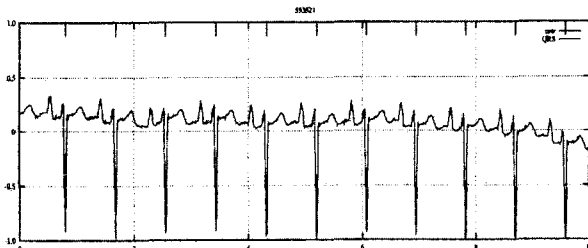


그림 3. QRS-complex 검출 결과 (RBBB)

4.2 P-wave와 T-wave 검출 결과

그림 4에서는 좌심실 비대(LVH) 심장질환 환자의 ECG 데이터로부터 리드-II 신호에 대한 대표 박동을 구성하고, P-wave와 T-wave를 검출한 결과를 보인다. 각 특징들에 대한 시작점과 끝점에서의 시간을 표 3에 나타낸다. 표 3에서는 심장전문의의 해석과 검출 알고리즘의 결과가 비교적 일치하는 예를 보인다. 그러나, 많은 경우 일치하지 않는 결과를 나타내었다. 따라서, P-wave와 T-wave의 검출 방법에 대한 보완이 요구된다.

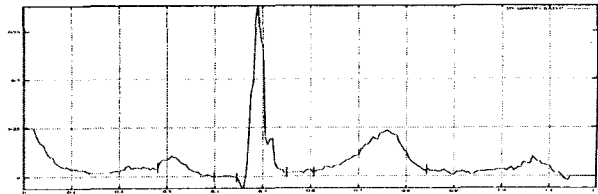


그림 4. P-wave와 T-wave 검출 결과 (LVH)

표 3. 각 특징들의 시작점과 끝점 검출 예 (단위: 초)

	검출 알고리즘		심장전문의	
	Onset	Offset	Onset	Offset
P-wave	0.280	0.395	0.270	0.390
QRS-complex	0.445	0.545	0.440	0.540
T-wave	0.605	0.840	0.620	0.850

5. 결론

본 논문에서는 심장질환의 진단 알고리즘의 개발에 있어서 필수적으로 요구되는 심장질환별 ECG 데이터의 수집에 관하여 기술하였다. 또한, 진단 알고리즘을 개발하기 위한 전단계로서 각 특징들을 검출하는 알고리즘을 개발하였고, 이를 MITDB와 수집한 ECG 신호에 적용하여 검출 결과를 확인하였다. 특징들의 검출 결과에서 보면 QRS-complex의 검출은 99% 이상의 정확도를 보이나, P-wave와 T-wave의 검출에서는 아직까지 보완할 점이 많은 것으로 나타났다.

현재 20여 가지의 심장질환에 대한 ECG 신호를 획득하였고, 심장전문의의 진단 내용을 첨부하여 소규모의 데이터베이스를 구축하였다. 추후에는 100여 가지 심장질환에 대하여 각각 20세트 이상의 12-채널 ECG 신호를 확보할 예정이며, 이를 적극 활용하여 진단 알고리즘의 정확성을 높이려고 한다. 또한, 심장전문의와의 협력을 통하여 현실적인 진단 알고리즘을 개발하고자 한다.

참고 문헌

[1] J. Pan and W. Tompkins, "A real-time QRS detection algorithm", IEEE Trans. Biom. Eng., vol. 32, pp 230-236, 1995

[2] C. Li, C. Zheng, and C. Tai, "Detection of ECG characteristic points using wavelet transforms", IEEE Trans. Biom. Eng., vol. 42, pp 21-27, 1995

[3] J. Sahambi et. al, "Using Wavelet Transforms for ECG characterization", IEEE Trans. Eng. in Med. and Biol., vol. 12, pp 77-83, 1997

[4] E. Soria-Olivas et al., "Application of adaptive signal processing for determining the limits of P and T waves in an ECG", IEEE Trans. Biom. Eng., vol. 45, pp 1077-1080, 1998

[5] B. Shankara Reddy et. al, "Detection of P waves in Resting ECG: A Preliminary Study", Proc. of CINC, pp. 87-90, 1992