

# 실시간 QRS검출을 위한 파라미터 estimation기법에 관한 연구

김응석, 이정환, 윤지영, 이명호  
연세대학교 공과대학 전기공학과

## A Study on method development of parameter estimation for real-time QRS detection

Eungsuk Kim, Jeongwhan Lee, Jiyoung Yoon, Myoungcho Lee  
Dept. of Electrical Engineering., Yonsei Univ.

### Abstract

An algorithm using topological mapping has been developed for a real-time detection of the QRS complexes of ECG signals. As a measurement of QRS complex energy, we used topological mapping from one dimensional sampled ECG signals to two dimensional vectors. These vectors are reconstructed with the sampled ECG signals and the delayed ones. In this method, the detection rates of QRS complex vary with the parameters such as R-R interval average and peak detection threshold coefficient. We use mean, median, and iterative method to determine R-R interval average and peak estimation. We experiment on various value of search back coefficient and peak detection threshold coefficient to find optimal rule.

### 1. 서론

최근 몇년간 카오스적 동역학이나 비선형 시스템에 관한 관심이 고조되고 있다. 불규칙적이고 quasi-random한 성향이 간단한 결정론적 동역학(deterministic dynamics)으로 부터 나온다는 사실에 근거하여 다양한 분야에서 카오스적 동역학에 대한 연구가 진행되고 있다. 심전도 신호는 거시적으로는 주기성을 나타내지만 좀 더 세밀히 관찰해 보면 많은 비규칙성을 발견할 수 있다. 일반적으로 심전도 신호를 해석하기 위한 방법으로 미분방정식을 이용해왔다. 여기서는 전처리과정으로 low-pass filter, high-pass filter, 미분기, squaring, moving-averaging방법등이 쓰인다. 우리는 심전도 시계열 신호에 시간 지연을 주어 2차원 공간에 재구성하고, 좌표계의 벡터특성을 이용하여 전처리 과정은 저대역 통과 필터 하나만

을 써 QRS를 검출하였다. 그때의 파라미터 estimation 방법 변화에 따른 신뢰도의 차이를 실험을 통하여 확인, 비교하고 오차율을 최소화 하기 위한 기법을 구현하고자 한다.

### 2. QRS검출 과정

적절한 지연시간을 갖는 2차원 위상공간상에 궤적과 본래의 심전도 신호와의 관계를 살펴보면 심전도 신호가 피크를 형성할 때 위상공간상의 궤적은 하나의 루프를 그리게 된다. 심전도 신호가 피크점을 이룰 때 궤적의 형태를 관찰하기 위해 다음과 같은 기법을 사용한다.

심전도 신호를 ECG[i] ( $i=0,1,2, \dots, N$ ,  $N$ 은 데이터 수)라 하면 각 지점간의 변위는

$$\begin{aligned}dvec\_x[i] &= ECG[i+1] - ECG[i] \\dvec\_y[i] &= ECG[(i+\tau)+1] - ECG[i+\tau]\end{aligned}$$

로 표시할 수 있다.

이와같이 각 지점마다의 변위량을 계산해 주면 그 지점에서  $dvec\_x[i]$ 와  $dvec\_y[i]$ 를 구성성분으로 하는 벡터를 생각해 줄 수 있다. 따라서 각 지점에서 벡터의 방향을 다음과 같이 직각좌표계의 사분면의 개념으로 4방향으로 구분한다.

$$\begin{aligned}\text{if}(dvec\_x[i] > 0 \text{ and } dvec\_y[i] > 0) \\ \text{then } dircation[i] &= 1 \\ \text{if}(dvec\_x[i] < 0 \text{ and } dvec\_y[i] > 0) \\ \text{then } dircation[i] &= 2 \\ \text{if}(dvec\_x[i] < 0 \text{ and } dvec\_y[i] < 0) \\ \text{then } dircation[i] &= 3 \\ \text{if}(dvec\_x[i] > 0 \text{ and } dvec\_y[i] < 0) \\ \text{then } dircation[i] &= 4\end{aligned}$$

이러한 방식을 적용하면 위상공간상에 그려지는 심전도 신호의 궤적은 궤적의 크기에는 상관없이 그 궤적이 그려지는 방향에 따라 다시 표시될 수 있다. 이렇게 하여 얻은 direction[i]과 심전도 신호에서 피이크가 발생할 때를 분석해 보면 기본적으로 두가지 방향성을 나타낸다. 양의 피이크는 direction 4 -> direction 3으로, 음의 피이크는 direction2 -> direction1로 방향을 바꾸는 패턴을 보인다. 이러한 특성을 토대로 기준점과 앞뒤로 세 지점을 포함한 일곱지점을 한 패턴으로 피이크를 이루는 기본 패턴을 얻었다.

주어진 패턴과 일치하면 피이크를 이루는 것이므로 그것들중 QRS는 다른것과 비교하여 큰 피이크를 이룬다. 따라서 기본패턴과 일치하는 신호의 변위량을 다음과 같은 방법으로 비교하여 준다.

$$vsum(i)=dvec\_x(i-3)+dvec\_x(i-2)+dvec\_x(i-1) +dvec\_x(i+1)+dvec\_x(i+2)+dvec\_x(i+3)$$

$$lvsum(j)=vsum(j-3)+vsum(j-2)+vsum(j-1)$$

$$rvsum(j)=vsum(j+1)+vsum(j+2)+vsum(j+3)$$

이러한 과정을 거치면 심전도 신호는 각 지점마다 변위량의 합을 값으로 하는 두개의 정보 lvsum 과 rvsum을 갖게 되는데 임계치 이상의 값을 갖게 되는 그 지점을 QRS로 인식하게 된다. 여기서 사용한 임계치는 두 단계로 적용된다.

CASE 1 :

$$(lvsum \geq threshold 1) \cap (rvsum \geq threshold 1)$$

CASE 2 :

$$(lvsum \geq threshold 2) \cup (rvsum \geq threshold 2)$$

( 단, threshold 2 > threshold 1 )

### 3. detection rule optimization

QRS complex를 결정하는데 있어서 중요한 파라미터로는 R-R interval average값과 peak threshold 값이다. 이러한 파라미터들을 측정하는 방법에 따라 QRS검출율이 변화하게 된다.

mean, median, iterative method등 세가지 방법을 이 알고리즘에 적용하여 실험, 비교해 보고 오차율을 최소로 하는 데이터 수와 iterative coefficient, threshold coefficient등을 구해보자.

우선 R-R interval average 값을 구하는데 있어서 rri 발견때마다 모두 합하여 전체의 갯수로 나누는 방법을 이용하고 detection threshold값은 3단

계로 고정시켜 실험한 결과 99.3%의 신뢰도를 얻었다. 그러나 이 방법은 비정상적으로 극히 짧거나 긴 rri에 의해 영향을 많이 받으므로 신뢰도가 떨어진다. 이러한 폐단을 방지하기 위해 mean 방법에서는 rr average값의 50%-150% 의 한정구간 안에 드는 값들만을 배열에 넣어 이전 8개 rri의 평균값을 취함으로써 전체적으로 서서히 변해가는 rri값은 인지하지만, 순간적으로 크게 늘거나 줄어 드는 rri값은 무시해 영향받지 않도록 하였다.

median방법에서는 이전 8개의 rri값을 읽어 중간값 2개중 작은값을 취함으로써 자체적으로 비정상적 데이터들을 smoothing해 준다.

iterative 방법에서는

$$R-R\ average(n) = A*rri(n) + (1-A)*rri(n-1)$$

( 단, A: iterative coefficient < 1 )

위 식을 이용하여 반복적으로 계산해 주므로 주변상황에 가장 민감하게 반응하여 변화에 적용하는 대신 에러에도 영향을 많이 받는다. 배열에 들어가는 데이터 수와 iterative coefficient를 변화시키면서 실험한 결과는 아래와 같다.

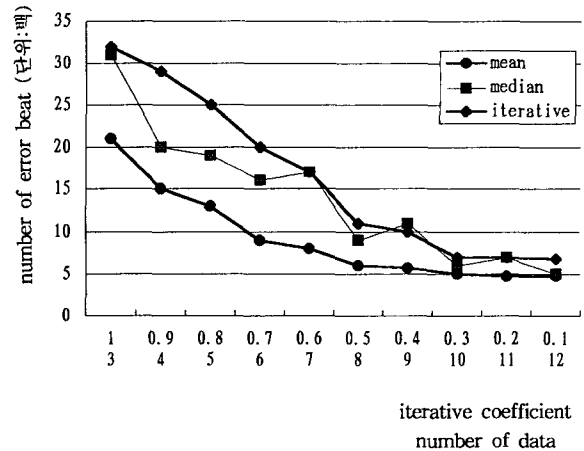


그림 1. mean, median, iterative estimator에 대한 측정오차

mean 방법에서는 데이터 수가 8개 이상 넘어가면 별 차이 없고 데이터 수가 많을수록 용량과 계산 시간만 커지므로 8개를 적정 데이터 수로 한다. median 방법에서는 중간값을 취하므로 데이터 수가 even이나 odd이냐에 따라 영향을 많이 받음을 알 수 있다. iterative 방법에서는 coefficient가 0.1-0.3일때 가장 에러율이 낮았다.

일정기간동안 QRS peak를 발견하지 못하면 back search에 들어가게 된다. (그림 1)은 rrv값의 1.5배를 back search threshold값으로 실험한 결과이다. mean과 median에서는 데이터 수를 8개로 하고, iterative에서 coefficient를 0.3으로 해놓고 back search threshold coefficient B를 변화시키며 실험한 결과 [그림 2]와 같다.

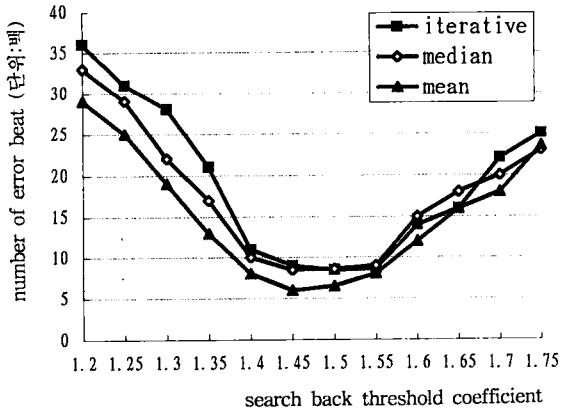


그림 2. search back threshold coefficient 변화에 따른 측정오차

B의 값이 1.45에서 에러율이 가장 낮음을 알 수 있다. 이제 rrv는 8개의 데이터로 mean방법으로, back search coefficient는 1.45로, peak detection threshold는 고정해 놓지 않고 QRS peak estimation을 앞의 세가지 방법으로 구해 peak detection threshold coefficient C를 변화시키며 실험해 보면 결과 [그림 3]과 같다.

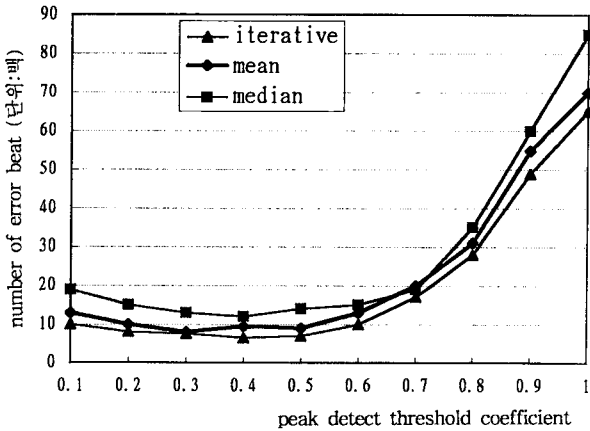


그림 3. peak detection threshold coefficient 변화에 따른 측정오차

$$\text{estimate}(n) = (1-A)\text{estimate}(n-1) + A * \text{peak}(n)$$

$$\text{detection threshold} = C * \text{peak level estimate}$$

#### 4. 결과 및 토의

이제까지 우리는 mean, median, iterative방법을 이용하여 rrv값과 QRS peak값을 구하고, 각각의 경우에 데이터 수와 detect threshold coefficient를 변화시켜가며 실험하여 오차율을 최소화 하는 값을 구하였다. QRS신호가 발생하기 직전의 임계치를 넘는 잡음이나 P파를 잘못인식하는 에러를 방지하기 위해 QRS complex인식 후 120ms 이내에 또다른 QRS발생시 최고치를 QRS로 인식하게 하였고, RR interval이 길어져 그 이전에 후방검색으로 들어가 잡음을 QRS로 인식하지 않도록 임계치를 한번 낮추고 후방검색해도 없으면 120ms를 더 검색하도록 하였다.

MIT-BIH 데이터 베이스의 총 48명의 환자 데이터를 적용해 본 결과 99.61%의 QRS 검출 신뢰도를 얻었다.

	Total Beat	FP	FN	FP+FN	Error(%)
100	2272	0	0	0	0.00
101	1865	2	0	2	0.11
102	2187	0	3	3	0.14
103	2084	0	0	0	0.00
104	2228	1	2	3	0.13
105	2572	35	4	39	1.52
106	2027	1	0	1	0.05
107	2137	0	1	1	0.05
108	1763	9	18	27	1.53
109	2532	0	0	0	0.00
111	2124	0	2	2	0.09
112	2539	0	0	0	0.00
113	1794	1	0	1	0.06
114	1878	0	19	19	1.01
115	1953	0	0	0	0.00
116	2412	10	8	18	0.75
117	1535	0	0	0	0.00
118	2278	3	1	4	0.18
119	1987	1	0	1	0.05
121	1862	0	1	1	0.05
122	2476	0	0	0	0.00
123	1518	0	0	0	0.00
124	1619	0	8	8	0.49
200	2601	10	1	11	0.42
201	1963	2	14	16	0.81
202	2136	0	1	1	0.05
203	2980	18	38	56	1.88
205	2656	1	3	4	0.15
207	1860	0	17	17	0.91
208	2955	8	17	25	0.85
209	3004	0	0	0	0.00
210	2650	4	14	18	0.68
212	2748	0	0	0	0.00
213	3250	19	10	29	0.89

	Total Beat	FP	FN	FP+FN	Error(%)
214	2261	1	2	3	0.13
215	3363	0	0	0	0.00
217	2208	1	6	7	0.31
219	2154	2	10	12	0.56
220	2048	0	0	0	0.00
221	2427	0	0	0	0.00
222	2483	15	61	76	3.06
223	2605	0	0	0	0.00
228	2053	6	20	26	1.27
230	2256	0	0	0	0.00
231	1571	0	0	0	0.00
232	1780	2	0	2	0.11
233	3079	0	0	0	0.00
234	2753	0	0	0	0.00
	109486	150	281	431	0.39

표1 MIT-BIH 데이터 베이스 실행결과

### 참고문헌

- (1) Patrick S. Hamilton, Willis J. Tompkins, "Quantitative Investigation of QRS complex Detection Rules Using the MIT/BIH Arrhythmia Database" IEEE trans. Vol. BME-33, No.12 1986 pp.1157-1165
- (2) Jiapu Pan, Wills J. Tomkins, "A Real-Time Detection Algorithm" IEEE trans. Vol. BME-32, NO. 3 1985 pp.230-236
- (3) B.R.S. REDDY, I.S.N MURTHY and P.C. CHATTERJEE, "Rhythm Analysis Using Vectorcardiograms" IEEE trans. Vol. BME-32, No 2 1985 pp.97-104
- (4) TH. BUZUG, T. REIMERS and G. PFISTER, "Optimal Reconstruction of strange Attractors from Purely Geometrical Arguments" EUROPHYSICS LETTERS 13(7) 1990 pp.605-610
- (5) LEIF SORNMO, OLLE PAHLM, and MATS-ERIK NYGARDS, "Adaptive QRS Detection: A Study of Performance",IEEE trans. Vol. BME-32 NO.6 1985 pp.392-401
- (6) N.V.Thakor,J.G. Webster,"Potimal QRS Detector",Proc.IEEE Frontiers Eng.Health Care, 1981
- (7) 정석현, 이정환, 이병채, 이명호, "시간지연 2차원 좌표계를 이용한 실시간 QRS검출에 관한 연구", 대한의용생체공학회 춘계학술대회 논문집 Vol. 17 No. 1 pp. 277-280 1995