

# Syntactic 패턴인식에 의한 심전도 피이크검출에 관한 연구

<sup>0</sup> 신 건수, 김 용만, <sup>\*</sup> 윤 형로, <sup>\*\*</sup> 이 용구, 이 명호  
연세대학교 공과대학 전기공학과, 보건과학대학 의용공학과, 의과대학

## Peak Detection using Syntactic Pattern Recognition in the ECG signal

<sup>0</sup> KUN-SOO SHIN, <sup>\*</sup> YONG-MAN KIM, <sup>\*\*</sup> HYUNG-RO YOON, <sup>\*\*</sup> UNG-KU LEE, <sup>\*</sup> MYOUNG-HO LEE  
Dept. of Electrical Eng., Dept. of Medical Eng., College of Medicine,  
Yonsei University

### Abstract

This paper represents a syntactic peak detection algorithm which detects peaks in the ECG signal. In the algorithm, the input waveform is linearly approximated by "split-and-merge" method, and then each line segment is symbolized with primitive set. The peaks in the symbolized input waveform are recognized by the finite-state automata, which the deterministic finite-state language is parsed by. This proposed algorithm correctly detects peaks in a normal ECG signal as well as in the abnormal ECG signal such as tachycardia and the contaminated signal with noise.

### 1. 서론

심장에서 발생하는 전기신호를 기록한 심전도는 심장의 임상적인 진단수단으로 널리 사용되고 있다. 의사는 우선 심전도의 중요 피이크(P, Q, R, S, T등)를 인식한 후, 진단기준과 인식된 피이크를 토대로 심전도신호를 분석한다.

종전의 알고리즘은 이 피이크를 검출하기 위해 미분법, 역치비교법, zero-crossing 방법등을 많이 사용하여 왔다. 그러나 이 방법들은 정량적인 자료를 근거로하여 피이크를 검출하였기 때문에 피이크인식에서 매우 중요한 구조적 정보를 고려하지 못하는 단점을 내포하고 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 최근에는 피이크의 구조적정보를 사용함으로써 인식과정이 인간의 판단방식과 매우 유사한 syntactic 패턴인식 시스템이 널리 사용되고 있다. 이 방법은 하나의 패턴을 subpattern으로 나누고, 다시 그 subpattern을 좀 더 간단한 subpattern으로 분리하는 과정을

반복함으로써 복잡한 패턴을 인식하기에 편리한 간단한 구조로써 묘사할 수 있기 때문에 패턴이 복잡하고 class의 수가 많은 경우에도 분석이 가능하고 처리속도가 빠른 잇점을 가지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 선형근사화이론과 정형이론을 도입하여 언어의 문장구조와 유사한 subpattern의 계층구조로 묘사하여 종전의 피이크검출알고리즘보다 효율적으로 심전도신호의 피이크를 검출하는 syntactic 피이크 인식알고리즘을 설계하고자 한다.

### 2. 피이크 검출 알고리즘의 설계

#### 2.1 선형근사와 알고리즘

심전도 파형에는 근육의 움직임, 몸의 움직임, 환자의 몸에 부착된 전극의 이동, 전원등에 의해 많은 잡음이 섞여있다. 이와 같은 잡음이 섞인 신호로부터 피이크를 검출하기 위해서는 먼저 잡음을 제거하여야 한다. 이를 위한 방법으로는 i) 아날로그 또는 디지털 필터링, ii) series expansion /reconstruction, iii) 선형근사와 방법등이 널리 사용되어 왔다. 그러나 첫번째 방법은 신호의 부분적 특성을 손상시키는 단점을 가지며, 두번째 방법은 일반성이 결여되어 어느 특정파형에만 적용가능하다. 그러나 선형근사와방법은 파형을 가장 근사한 파형으로 segment를 나누는 방법으로서 파형이 갖는 특징들의 크기와 분포에 관계없이 근사화가 가능하며, 간접적으로 잡음성분에 의한 작은 피이크들을 제거할 수 있다. 또한 이 방법은 기음기, 극대점의 위치, 지속기 등과 같은 피이크에 대한 유용한 정보를 제공하기 때문에

피이크를 인식하기 위한 syntact 피이크검출 알고리즘의 전처리 단계로서 선형근사화 방법을 선택했다. 본 연구에서는 선형근사화될 수행하기 위해 초기의 segment를 임의로 할 수도 있으며, 속도도 빠른 "Split-and-merge" 알고리즘을 사용하였다. "Split-and-merge" 알고리즘은 다음과 같다.

step 1. 끝점이 일치하고 길이가 같은 임의개의 segments로 파형을 나눈다.

step 2. 다음 식과 같이 각 segment에 대해 linear mean square approximation error를 계산한다.

$$E_j = (y_j - (Apx_j + b))$$

여기서  $y_j$ : 각 segment에 속하는 점  $x_j$ 에서의 값  
 $A$ : 선형근사함수의 기울기  
 $b$ : 선형근사함수의 절편  
 $E$ 를 최소화하는 선형함수의 기울기와 절편은 다음과 같다.

$$A_p = (n \sum x_j y_j - \sum x_j \sum y_j) / (n \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2)$$

$$b = (\sum y_j - A_p \sum x_j) / n$$

여기서  $n$ : 각 segment의 길이

그다음, 위에서 구한 error를 모두 합한다.

$$E_k = \sum E_j$$

step 3.  $E_k > ETOL$  인 경우  $E$ 에서 가장 큰 값을 일으키는 점에서 segment를 나눈다.

step 4. 모든 segment를 split한 후,  $E_k < ETOL$  보 되게하는 인접 segment를 결합한다.

step 5.  $E_k$ 가 최소로 되도록 끝점을 수정하고, 만일 수정이 이루어지면 step 4로 간다. 그렇지 않으면 알고리즘을 끝낸다.

## 2.2 syntactic 피이크인식 알고리즘

그림1과 같은 시스템으로 구성되는 syntactic 패턴 인식방법을 사용하여 피이크를 검출하기 위한 syntactic 피이크검출 알고리즘을 다음과 같이 구성하였다.

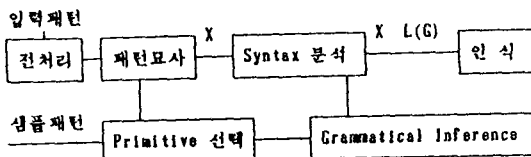


그림1. syntactic 패턴 인식시스템

(1) primitive 패턴을 선택한다. primitive는 특정한 구조적관계를 통해 관심있는 패턴을 묘사하기 위한 가장 기본적인 subpattern으로서, 특정 응용에서 그 패턴이 갖는 중요한 정보를 포함해야 한다. ECG파형의 피이크는 선분의 연결로 볼 수 있기 때문에 본 연구에서는 선분을 primitive 패턴으로 선택했다.

(2) primitive 패턴을 선택한 후에는 입력신호를 언어구조와 비슷한 string으로 표현하기 위하여 primitive symbol을 선택한다. 본 연구에서는 기울기를 primitive symbol로 선택했다.

$$A_p > stol \text{ ----} \rightarrow ' / '$$

$$a = A_p < -stol \text{ ----} \rightarrow '\backslash'$$

$$|A_p| < stol \text{ ----} \rightarrow 'o'$$

여기서  $A_p$ : 각 segment에 대한 선형 근사식의 기울기

stol: 기울기에 대한 기준치

또한 ECG파형은 bipolar이기 때문에 '+' 피이크와 '-' 피이크를 구별하여야 한다. 이를 위해 각 segment의 시작점(또는 끝점)이 기준선에 대해 어떤 위치에 놓이는가에 대한 기준을 primitive symbol로 선택하였다.

$$Y_p > btol \text{ ----} \rightarrow '+'$$

$$b = Y_p > btol \text{ ----} \rightarrow '-'$$

$$|Y_p| < -btol \text{ ----} \rightarrow 'o'$$

여기서  $Y_p$ : 각 segment의 시작점(끝점)에서의 값

btol: 기준선에 대한 기준치

(3) grammar를 설계한다. primitive symbol을 선택한 후, 파형의 피이크를 묘사하기 위한 언어를 생성하는 grammar를 설계하여야 한다. '+' 피이크와 '-' 피이크의 성질로부터 deterministic context free grammar를 설계할 수 있다.

$$G = (V_n, V_t, P, \{S\})$$

여기서  $\{S\}$ : start symbol의 집합으로서  $S \in V_n$

$V_t$ : 종단기호로 이루어진 집합

$$V_t = \{/, \backslash, o\}$$

$V_n$ : 비종단기호로 이루어진 집합

$$V_n = \{S, \langle wave \rangle, \langle peak \rangle, \langle peak \rangle, \langle pos1 \rangle, \langle neg1 \rangle, \langle pos2 \rangle, \langle neg2 \rangle, \langle zero \rangle\}$$

$P$ : 생성규칙으로 이루어진 집합

$$P = \{S \text{ ---} \langle zero \rangle \langle wave \rangle \langle zero \rangle,$$

$$S \text{ ---} \langle zero \rangle \langle wave \rangle,$$

$$S \text{ ---} \langle wave \rangle, \langle zero \rangle,$$

$$S \text{ ---} \langle wave \rangle,$$

$$S \text{ ---} \langle zero \rangle,$$

$$\langle wave \rangle \text{ ---} \langle peak \rangle,$$

$$\langle wave \rangle \text{ ---} \langle peak \rangle,$$

$$\langle wave \rangle \text{ ---} \langle pos1 \rangle,$$

```

<wave> ----> <neg1>,
<peak1> ----> <peak-><zero><neg1>,
<peak1> ----> <peak-><neg1>,
<peak1> ----> <pos1><zero><neg1>,
<peak1> ----> <pos1><neg1>
<peak-> ----> <peak1><zero><pos1>,
<peak-> ----> <peak1><pos2>,
<peak-> ----> <neg1><zero><pos1>
<peak-> ----> <neg1><pos1>,
<pos1> ----> <pos1>/,
<pos1> ----> <pos2>/,
<pos1> ----> /,
<neg1> ----> <neg1>\,
<neg1> ----> <neg2>\,
<neg1> ----> \,
<pos2> ----> <pos1>0,
<pos2> ----> <pos2>0,
<neg2> ----> <neg1>0,
<neg2> ----> <neg2>0,
<zero> ----> <zero>0,
<zero> ----> 0j

```

(4) finite-state automata를 설계한다: 입력 symbol에 finite-state grammar를 적용하여 얻은 finite-state language는 다음과 같은 finite-state automata로 인식될 수 있다.

$$A = (\Sigma, Q, \delta, q_0, F)$$

여기서  $\Sigma$ : 입력 심볼로 구성된 집합

$\Sigma = \{/, \backslash, 0\}$

$Q$ : state로 구성된 집합

$Q = \{z, p1, p2\}$

$\delta$ :  $Q \times \Sigma$ 를  $Q$ 의 부분집합으로의 대응

$\delta(z, /) = p1, \delta(z, \backslash) = z, \delta(z, 0) = z,$

$\delta(p1, /) = p1, \delta(p1, \backslash) = z, \delta(p1, 0) = p2,$

$\delta(p2, /) = p1, \delta(p2, \backslash) = z, \delta(p2, 0) = p2$

$q_0$ :  $q_0 \in Q$ 인 초기상태

$F$ :  $F \subseteq Q$ 인 최종상태의 집합

### 3. 실험

본 연구에서는 피이크를 검출하기 위해, 입력파형을 240Hz로 샘플링하여 디지털 신호로 변환하였다. 이와같이 변환된 신호는 더욱 효율적인 처리를 위하여 선형근사화되고, 그 결과 파형은 원파형에 가장 유사한 line segment로 분리된다. 그 다음 각 segment는 본 연구에서 제안한 grammar를 적용함으로써 primitive symbol의 표현으로 변환된다. 최종적으로 이 표현에 deterministic finite-state automata를 적용하여 피이크를 검출한다. 그림2는 피이크를 검출하기 위하여 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 흐름도이다.

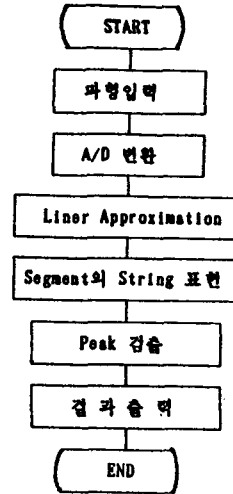


그림2. 피이크 검출 알고리즘의 흐름도

### 4. 결과고찰

위에서 소개한 방법으로 판자에서 검출한 신호에 대해 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용한 결과는 그림 3, 4와 같다. 그림3(a)는 정상인의 심전도를 나타낸 것으로 그림상에 표시된 'x'표시는 split-and-merge 알고리즘에 의해 분리된 segment의 시작과 끝점을 나타낸다. 그림3(b)의 파형은 원 파형에 아주 유사하게 근사화되었음을 알 수 있다. 그림3(c)는 선형근사화 알고리즘에 의해 얻어진 segment의 수, 끝점의 좌표, 선형근사식의 기울기와 절편을 나타낸 것이다. 그림4(a)는 split-and-merge 알고리즘을 적용하여 분리한 segment를 pattern symbol로 나타낸 것이다. v는 기저선에 대한 분리점의 위치를 pattern symbol로 나타내어 얻어진 것이고, w는 기울기로 나타낸 것이다. 그림4(b)는 deterministic finite-state automata로 검출한 피이크를 나타낸 것이다. 그림4(b)에서 알 수 있듯이 본 연구에서 제안한 알고리즘은 심전도에 존재하는 모든 피이크를 정확히 검출하였음을 알 수 있다.



(a)

segment	end_point[i]	y[i]	a[i]	b[i]
1	18	-20.714	-2.647	24.000
2	39	-15.632	0.286	-21.000
3	58	-26.529	-0.632	-15.000
4	75	-15.200	0.471	-27.000
5	85	14.273	3.800	-19.000
6	96	-33.500	-4.727	19.000
7	108	-44.333	-0.500	-33.000
8	111	-7.571	-5.333	-39.000
9	118	240.500	47.429	-55.000
10	126	-15.000	-36.500	277.000
11	141	-13.226	0.000	-15.000
12	172	37.684	1.774	-15.000
13	191	-6.316	-2.316	40.000

(c)

그림3. Original 파형과 Split and Merge 알고리즘의 결과

- (a) 환자로부터 검출한 Original 심전도 파형의("X" 표는 Segment의 분리점)
- (b) 선형근사화된 파형
- (c) 선형근사화의 결과

baseline tolerance:5  
 btol=5.0  
 slope tolerance:1  
 stol=1.0

vm ----->

(a)

PEAK ANALYSIS			
peak-direction	position	amplitude	duration
p	85	14.273	22.000
n	111	-7.571	5.000
p	118	240.500	15.000
p	172	37.684	51.000

(b)

그림4. Syntactic 피이크 인식 알고리즘을 적용한 결과

- (a) 입력파형을 Primitive Symbol로 나타낸 Syntax
- (b) 검출된 피이크

### 5. 결론

본 연구로부터 제안한 알고리즘을 적용하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 알고리즘은 선형근사화 알고리즘과 정형언어 이론을 도입하여 파형의 전체적인 성질을 이용하였기 때문에 국부적인 성질에 의존하던 종전의 알고리즘보다 피이크를 효율적으로 검출하였다.
- (2) 그림4(b)에서 알 수 있듯이 본 알고리즘은 피이크의 방

향, 위치, 크기, 지속시간 등에 관한 유용한 정보를 추출할 수 있었다.

(3) 본 알고리즘은 그림4(a)와 같이 소수의 primitive pattern을 사용하여 파형을 언어의 문장구조와 유사한 계층적 구조로 묘사하여 피이크를 검출하기 때문에 이전의 사용되어온 알고리즘보다 priori knowledge가 부족한 파형이나 복잡한 파형에 대해서도 적용가능하다.

(4) parser나 grammar에 형태를 수정함으로써 파형의 피이크 이외의 특성을 검출할 수 있고 다른 분야에 적용가능하다.

(5) 본 알고리즘은 정상파형뿐만 아니라 tachycardia와 같은 비정상파형에서도 피이크를 정확히 검출하였다.

### 참고 문헌

1. K. S. Fu, "Syntactic Pattern Recognition Applications", Springer-Verlag, pp. 1-48, 1977.
2. E. Skodalkis, "Syntactic ECG processing: A review Pattern Recognition, Vol. 19, No. 4, pp. 305-313, 1986.
3. Tou. Gonzalez, "Pattern Recognition Principles", Addison-Wesley Publishing Company, pp. 316-339, 1974.
4. T. Pavlidis, "Waveform Segmentation Through Functional Approximation", IEEE, Trans. Computers, Vol. C-22, No. 7, July 1973.
5. T. Pavlidis, "Segmentation of Plane Curves", IEEE, Trans. Computers, Vol. C-23, No. 8, August 1974.
6. K. S. Fu, "Syntactic Pattern Recognition and Applications", Prentice-Hall, pp. 1-78, 1982.
7. Richard O. Duta, Peter E. Hart, "Pattern Classification and Scene Analysis", A Wiley-Interscience Publication, pp. 328-339, 1973.
8. John E. Hopcroft, Jeffrey D. Ullman, "Introduction to Automata Theory Languages and Computation", Addison-wesley Publishing Company, pp. 13-45, 1979.
9. G. Papakonstantinou, F. Gritzall, "Syntactic Filtering of ECG Waveforms", Comput. Biomed. Res, Vol. 14, pp. 158-167 1981.
10. 김용만, 이명호, "syntactic 패턴인식에 의한 생체신호 처리", 전기전자공학 학술대회 논문집(11), pp. 1284-1287 7월, 1987.