1991年度 大韓醫用生體工學 春季 學術大會 論文集 91/5

어트리뷰트 그래머 인터프리터를 이용한 QRS 인식

*이 병 채, 권 혁 제, 김 태 국, 이 명 호
연세대학교 공과대학 전기공학과

QRS recognition using attribute grammar interpreter

Byungchae Lee, Hyukje Kweon, Taekook Kim, Myungho Lee
Dept.of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract

This paper describes an algorithm that recognizing the QRS complex using attribute grammar interpreter. This system extracts primitives and their attributes by linear approximation and then evaluated by attribute grammar interpreter.

1. 서 론

심전도 신호의 컴퓨터 해석에 있어서 가장 큰 문제점은 QRS 콤플렉스(complexes)를 효과적으로 인식할 수 없다는 것이다.

QRS 콤플렉스의 정확한 검출은 자동해석 시스템의 성능에 커다란 영향을 미친다. QRS 콤플렉스를 검출하기 위한 알고리즘은 크게 (1) 비 문장론적(non-syntactic) 방법과 (2) 문장론적(syntactic) 방법으로 분류된다.

종전의 알고리즘은 대부분 미분법, 역치 비교법등과 같은 경험적인 자료를 토대로 QRS 콤플렉스를 검출하는 비 문장론적 방법으로 심전도 인식에서 매우 중요한 구조적 정보를 고려하지 못한다. 또한 이들 알고리즘은 기저선 동요, 전원잡음, 근잡음등에 의해 크게 영향을 받기때문에 이들 잡음을 제거하기위해 아날로그 또는 디지탈 필터를 사용함으로써 심전도 신호의 저주파 성분 또는 고주파 성분의 일부가 손실되는 단점도 있다.

따라서 본 논문에서는 심전도 신호의 구조적 정보와 심전도 파형에 대한 사전지식에 근거하여 인식과정이 인간의 판단과 매우 유사한 문장론적 QRS 인식 알고리즘을 제시하고 이를 바탕으로 문장론적 해석과 어의론적 평가를 동시에 수행하는 심전도 신호 해석 인터프리터(interpreter)를 설계하고자 한다.

2. 심전도 신호의 패턴묘사

2.1 패턴

QRS 콤플렉스는 인간의 생명에 치명적인 영향을 미치는 부정맥(Arrhythmia)을 진단하는데 가장 중요한 요소이다. QRS 패턴은 파형(wave)이라 불리우는 부 패턴으로 구성되어 있다. 정상 QRS 패턴은 Q, R, S 파라고 불리우는 3개의 부 패턴으로 이루어져 있다. 모든 QRS 콤플렉스가 이런 구조로 구성되어 있는 것은 아니지만 그 조합의 수는 한정되어 있다. 그 조합을 BNF(Backus Normal Form)으로 나타내보면 식 2.1 과같이 QRS 콤플렉스는 1개내지 7개의 부 패턴을 가질 수 있다.

```
<QRS complex> →[<Q>]<R>[<S>]|
               <QS>|
               [<Q>]<R><S><R'>[<S'>]|
               [<Q>]<R><S><R'><S'><R">[<S">]    (2.1)
```

2.2. 프리미티브 선택

패턴 프리미티브(primitive)는 인식하고자 하는 패턴을 묘사하기 위한 가장 기본적인 부패턴으로서, QRS 패턴이 갖는 중요한 정보를 포함해야 한다.

심전도 신호는 선분의 연결로 볼 수 있기 때문에 본 논문에서는 선분(line segment)을 패턴 프리미티브로 선택하였다. 패턴 프리미티브를 선택한 후에는 입력 신호를 언어 구조와 비슷한 문자열로 표현하기 위해 프리미티브 심볼을 선택하여야 한다. 본 논문에서는 기울기를 프리미티브 심볼로 선택하였다.

2.3 어트리뷰트 그래머의 설계

프리미티브 심볼을 선택한 후, 인식하고자 하는 QRS 패턴을 묘사하기 위한 언어를 생성하는 문법을 설계하여야 한다. QRS 패턴은 형태(morphology)가 다양 할 뿐아니라 잡음에 의한 피이크도 존재하기 때문에 이들을 효율적으로 분류하기 위해서는 문장론적 정보 뿐만 아니라 어의론적 정보를 묘사할 수 있는 강력한 문법이 필요하다. 따라서

본 논문에서는 어트리뷰트 그레머를 사용하여 QRS 패턴의 문장론적 정보과 어의론적 정보를 표현하였다.

어트뷰트 그레머는 문맥 자유 문법(context-free grammar)의 각 생성 규칙(production rule)에 의미규칙을 부여하여 비 문맥 자유 특징을 표현가능 하도록 한 문법이다.

QRS 패턴은 다른 심전도 패턴(P 패턴, T 패턴)에 비해 기울기가 가파르다. 또한 QRS 패턴은 잡음에 의한 스파이크(spikes)와는 달리 기울기가 큰 선분의 길이가 길다. 본 논문에서 설계한 QRS인식 어트리뷰트 그레머는 이와 같은 사전지식(priori knowledge)에 근거한 것이다.

어트리뷰트 그레머의 표기에는 전역 속성 변수(global attribute variable) "FLAG"를 첨가하였는데 FLAG의 값이 BNF 규칙의 문장론적 평가 동안 거짓(false)이면 파서는 입력 부 문자열(substring)이 대응하는 문장론적 구조에 대한 정합이 성공하지 않았음을 나타낸다.

3. QRS 패턴 인식

3.1 전처리

본 논문에서는 신호가 갖는 부분적 특성을 손상시키지 않고 신호에 가장 근사한 선분으로 근사화 시킬 수 있는 Sklansk 와 Gonzalez가 제안한 선형 근사화 알고리즘을 이용하여 선분1, 선분2,...,선분m 이 발생하도록 하였다.

여기서 m은 세그먼트의 갯수이고,

$$\text{선분}\quad k = ((x_k^b, y_k^b), (x_k^e, y_k^e)) \qquad (3.1)$$

(x_k^b, y_k^b) 는 선분 k의 시작점

(x_k^e, y_k^e) 는 선분 k의 끝점

이다.

이 알고리즘의 흐름도는 그림 3.1과 같다.

3.2 프리미티브 추출

QRS 패턴을 인식하기 위한 어트리뷰트 그레머에서는 3개의 인수를 갖는 프리미티브를 종단(terminal) 기호로 선택하였다. 각 종단은 4가지 심볼 LP, SP, SN, LN으로 이루어져 있고, 이들 각각은 가파른 양의 기울기, 가파른 음의 기울기, 완만한 양의 기울기, 완만한 음의 기울기를 나타낸다. 세 인수 중 두번째 요소는 그 선분의 시작 점의 x 좌표인 선분에 대응하는 속성 값을 나타내며, 세번째 요소는 그 선분의 지속기를 나타내는 속성 값이다.

프리미티브의 추출은 전처리에서 선형 근사화된 각 선분 $((x_k^b, y_k^b),(x_k^e, y_k^e))$, $1 \le k \le m$ 에 대해 세인수 (Ts_k, i_k, n_k)를 다음과 같이 할당 함으로써 수행된다.

$$i_k^b = x_k$$

$$n_k = x_k^e - x_k^b$$

$$Ts \begin{cases} LP : s_k \ge \delta & \text{인 기울기 } s_k \text{ 를 갖는 선분} \\ SP : 0 \le s_k < \delta & \text{인 기울기 } s_k \text{ 를 갖는 선분} \\ SN : -\delta < s_k < 0 & \text{인 기울기 } s_k \text{ 를 갖는 선분} \\ LN : s_k \le -\delta & \text{인 기울기 } s_k \text{ 를 갖는 선분} \end{cases}$$

여기서

$$s_k = (y_k^e - y_k^b) / (x_k^e - x_k^b) \qquad (3.2)$$

이고 δ는 문턱치이다.

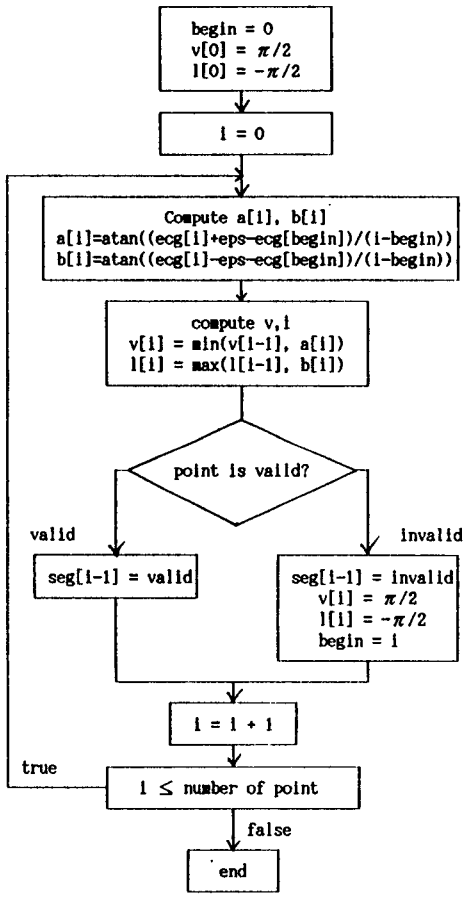


그림 3.1 선형 근사화 알고리즘의 흐름도
Fig. 3.1 Flow chart of algorithm for linear approximation

3.3 어트리뷰트 그레머 인터프리터

본 논문에서 제안한 어트리뷰트 그레머는 어트리뷰트 그레머 인터프리터로 평가 하였다. 인터프리터는 문장론적 분석과 어의론적 분석과정을 동시에 수행하며, 문장론적 분석은 비 결정적 파서로, 어의론적 분석은 eval 프로시져에 의해 수행된다.

3.3.1 문장론적 분석

이 과정은 입력 문자열을 파싱하는 과정으로서 주어진

문법 G가 있을 때 입력 문자열 w에 대한 파스 트리를 만들고, w가 G에서 파생 가능한 문자열인가의 여부를 판단하는 것이다. 본 논문에서는 하강 파서 중 비재귀 서술적 (non-recursive predictive) 파싱 알고리즘을 사용하였다. 그 구조는 그림 3.2와 같다.

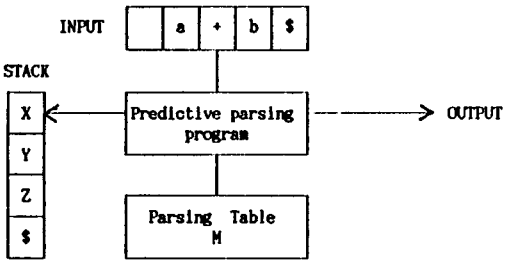


그림 3.2 비 재귀 서술적 파서의 구조
Fig. 3.2 Model of a non-recursive predictive parser

이 파서는 입력 버퍼(buffer), 스택, 파싱 테이블로 구성된다. 입력 버퍼는 $로 끝나는 심볼로 이루어진 문자열이고, 스택은 문법 심볼을 가지고 있다. 파싱 테이블은 2차원 배열(array) M[A,a]로 구성되고 여기서 A는 비 종단, a는 종단이다.

파서는 문자열 w와 문법 G에 대한 파싱 테이블 M을 입력받아, $w \in L(G)$ 이면 w의 가장 왼쪽 비 종단의 유도(derivation)를 출력하고 조건을 만족하지 않으면 오류를 표시한다. 또 초기 조건으로 G의 최초 심볼 S가 스택의 최상에 존재하고, 입력 버퍼에 w$가 있어야 한다.

3.3.2 어의론적 평가

Eval 프로시듀어를 위해 인터프리터의 BNF 표기 외의 추가되는 표기는

1) $[f(a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n)]$ 은 함수 f 와 매개 변수 $a_1, \ldots, a_n$를 나타내고
2) 변수의 이름인 g는 전역 계수(global counter)의 값을 유지한다.

이 전역 계수는 그림 3.3 에 나타난 파싱 트리에서 생성된 노드의 라벨을 의미한다. 이 라벨을 그 노드에 대응하는 비 종단의 인스턴스(instance) 수라고 한다. 전역계수는 BNF의 새로운 대안이 선택되었거나 더 이상 적용할 BNF 규칙이 없을 때 g의 값으로 재 초기화한다.

추가된 BNF 표기법으로 다음의 문법를 보면

```
...
<S100> = ... [ eval( g, i, 1, 1) ] <S111>
         ... [ eval( g, i, 1, 2) ] <S112> ...
         ... [ eval( g, i, 1, m) ] <S11m>
         ... [ eval( g, i, 1, 0) ] | ...
             [ eval( g, i, 2, 1) ] <S121>
         ... [ eval( g, i, 2, m2)] <S12m>
         ... [ eval( g, i, 2, 0) ] | ...
             [ eval( g, i, k, 1) ] <Sik1>
         ... [ eval( g, i, k, mk)] <Sikmk>
         ... [ eval( g, i, k, 0) ]$                (3.5)
```

이고, 여기서 $1 \le i \le n$ 인 S_{i00}는 BNF 규칙의 왼쪽 부분인 비 종단 심볼이고 S_{ijm} 은 i번째 BNF 규칙의 j번째 대체 선택의 n번째 비 종단 심볼을 나타낸다. 여기서 m을 비종단의 일련번호(serial number)라고 한다. 위에서 프로시듀어 eval 은 심볼 g 와 인덱스(index) i, J, m 을 매개변수로 하여 비 종단 S_{ijm} (J, m ≠ 0) 직전에 호출된다. 또 g, i, J, 0를 매개변수로 하여 각 대체 선택의 마지막에서 한번 더 호출된다.

BNF 규칙의 비종단의 속성을 평가하기 위해서는 속성의 인스턴스를 구해야 한다. 이를테면 비종단 S_{ijm}의 속성인 a_{pm}의 인스턴스는 $a_{p,g+m}$으로 여기서 g는 파스 트리에서 S_{ijm} 노드의 부모 노드 라벨이다. 여기서 보다 적은 기억장소 할당을 위해 파스 트리의 첫번째 자손 노드와 형제 노드의 라벨을 같게 하였다. 이것은 BNF 규칙의 대체 선택시나 BNF 규칙이 더 이상 없을 때 마다 전역 계수 의 값을 부모 노드의 인스턴스 수로 초기화 하면 된다.

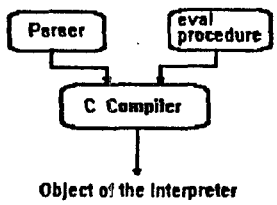
속성의 인스턴스는 각 속성마다 분리된 스택을 이용해 구할 수 있다. 프로시듀어 eval은 어의론적 규칙으로 부터 아래와 같이 직접 쓸수 있다.

```
procedure eval(g,i,j,m): integer g,i,j,m;
  begin array a , ... , a [1:max];
      goto nonterminal m of the alternative j of
      the BNF rule i;
                  ...
  BNF rule i:
                  ...
      alternative j:
                  ...
        nonterminal m :
       S(ap1[g+s1], ap2[g+s2],..., apr[g+sr], FLAG);
                  ...
       nonterminal m+1:
                  ...
  end                                          (3.4)
```

본 연구에서의 인터프리터 구조는 그림3.3 와 같다.

파서는 비 결정적 하강 방식으로 전역 계수와 적당한 매개 변수로 eval 프로시듀어를 수행한다. 파서는 BNF 규칙을 인터프리트(interpret)하는 일반적인 파싱 알고리즘에 근거하였다. 파서에 의해 eval이 호출될 때 마다 FLAG의 값이 조사되고 만약 그것이 거짓이라면 다음 BNF 규칙으로 백 트레킹(backtrack)한다. 그러므로 어트리뷰트 그레머에 의해 언어의 문법 의존 어의론(context sensitive

semantics)를 기술할 수 있다.



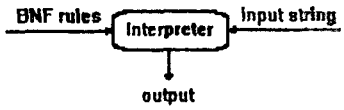


그림 3.3 인터프리터의 구조
Fig. 3.3 Overview of the Interpreter

4. 실험 및 결과고찰

4.1 실험

그림 4.1은 실험을 위해 제작한 어트리뷰트 그래머 인터프리터를 이용한 QRS인식 알고리즘의 흐름도이다.

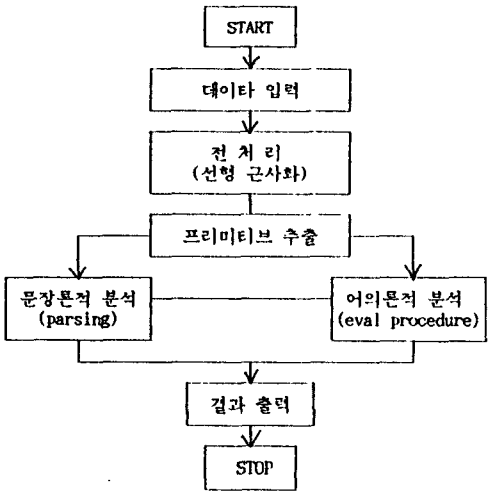


그림 4.1 QRS 인식 알고리즘 흐름도
Fig. 4.1 A flow chart of the QRS recognition

입력데이타는 원주 기독병원의 임상 환자데이타와 ECG 시뮬레이터에서 발생된 데이타이다. 시뮬레이터 데이타는 KONTRON 994 ECG의 다양한 파형을 240Hz로 샘플링하는 12-Bit A/D변환기를 이용하여 디지탈 데이타를 구성하였다. 데이타의 종류는 1도 방실 전도 장애, 3도 방실 전도 장애, 심실 빈맥, 조기 심실 수축, 역위 P파, 2방성 P파이다. 이 들 데이타는 선형 근사화 알고리즘에 의하여 선분의 집합으로 나누어지고 이는 문턱치에 의한 분류로 프리미티브로 나누어진다. 본 논문의 종단 심볼인 프리미티브는 파서의 입력 버퍼에 놓이게 되고 생성 규칙의 평가가 필요할 때 비 결정적 하강 파서는 프로시듀어 eval을 호출하게 된다. 입력 심볼의 파싱이 성공하면 ECG신호에 QRS 콤플렉스의 위치를 표시를 한다.

4.2 결과 고찰

본 논문에서 제시한 알고리즘을 IBM-PC를 이용하여 검증한 결과를 그림 4.2와 그림 4.3에 나타내었다. 인식된 QRS의 시작 점, 끝점 그리고 Q, R, S 파형의 판독된 위치를 각각 Begin, End, Q, R, S로 표시하였으며, 특히 QRS 시작점과, 끝점은 명확한 구분을 위해 실선으로 나타내었다.

그림 4.2은 3:1 방실 블럭으로 두 번째 QRS 콤플렉스의 Q점을 검출하기 위해서는 전 처리 과정에서 문턱치를 작게 주어야 한다. 그러나 이는 불 필요한 잡음을 상대적으로 많이 포함하게 되어 처리 시간이 길어지고 내부의 처리과정이 복잡하게 되며 오인의 소지가 되는 경우도 있다. RR 간격은 크게 늘어나 1.71초이다.

그림 4.3는 빈맥(tachycardia)을 나타낸 것으로 문턱치를 크게할 경우에 전체적으로 Q 점이 검출되지 않고 QRS 시작 점만이 인식되었다. 결과적으로 QRS 파형이 R, S파로만 이루어진 형태로 인식하였다. 그림에는 문턱치들의 적절한 조작으로 QRS 파형이 검출되어 나타나 있는데 특별히 진폭이 작은 경우에는 잡음을 유효한 파형으로 인식할 우려가 있다. RR 간격은 0.64, 0.60, 0.62초로서 간격이 짧고 불규칙적임을 볼 수 있다.

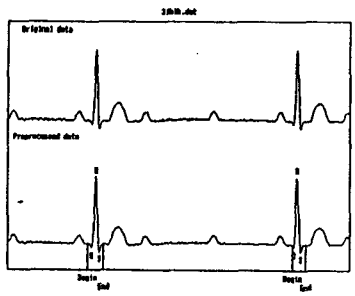


그림 4.2 3도 방실 전도 장애 파형에 적용한 결과
Fig. 4.2 Results of ECG outputs in cases of 3rd block

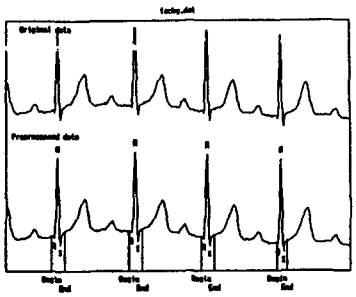


그림 4.3 심실 빈맥 파형에 적용한 결과
Fig. 4.3 Results of ECG outputs in cases of of tachycardia

5. 결 론

본 논문은 QRS 콤플렉스 인식을 위한 어트리뷰트 그레머 인터프리터에 관한 연구로서, 부분 선형 근사화로 전처리한 심전도 신호를 어트리뷰트 그레머 인터프리터를 통해 파싱한다. 인터프리터는 문장론적 해석과 어의론적 평가의 두 부분으로 이루어져 어트리뷰트 그레머의 어의론을 평가함으로 QRS 콤플렉스를 인식하는 알고리즘을 구축하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 어트리뷰트 그레머에서 정의된 어의론적 정보를 사용함으로써 근 잡음, 전원 잡음, 기저선 동요와 같은 잡음 성분에 영향을 받지 않고 QRS콤플렉스를 인식할 수 있었다.

(2) 전체 입력 데이타의 한점에 대해 한번의 연산 만이 필요하므로, 단 한번의 연산으로 선형 근사화가 가능하기 때문에 속도가 빠르고, 알고리즘이 간단해 구현하기 쉽다.

(3) 본 논문에서 설계한 인터프리터는 문장론적 해석과 어의론적 평가를 동시에 수행한다. 문장론적 해석 장치는 일반적인 비 결정적 하강 파싱 알고리즘을 사용하고, 어의론적 평가는 어트리뷰트 그레머를 표현하는 eval 프로시듀어에 의해 수행된다. 어의론적 평가(semantic evaluation) 과정에서 FLAG라는 메타 변수(meta variable)를 사용함으로써 열거된 문제의 문맥의존 제한을 검지할 수 있을뿐만 아니라 문법 해석동안 대체 규칙을 선택, 평가할 수 있다.

참고문헌

[1] O. Pahlm and L. Sörnmo, "Software QRS detection in ambulatory monitoring-a review", *Med. Biomed. Eng. Comput.*, pp. 289-297,1984.

[2] K. P. Birman, "Rule-based learning for more accurate ECG analysis", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* PAMI-4, pp. 369-380,1982.

[3] K. P. Birman, "Using SEEK for multichannel pattern recognition",*Comp. Biomed. Res.* 16,pp.311-333,1983.

[4] K. S. Fu, *Syntactic Pattern Recognition and Applications*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. NJ,1982.

[5]. R. C. Gonzalez and M. G. Thomason, *Syntactic Pattern Recognition*. Addison-Wesley, Reading, MA,1987.

[6] S. L. Horowitz, "A syntactic algorithm for peak detection in waveforms with application to cardiography", *Comm. Ass. comput. Mach.*,pp. 281-285,1975.

[7] R. E. Noonan, "Structured programming and formal specifications", *IEEE Trans. Software Eng.*, vol. SE-1, pp. 421-425, Dec. 1975.

[8] G. C. Stockman and L. N. Kanal, "Problem representation for the linguistic analysis of waveforms", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* PAMI-5, pp. 287-298,1983.

[9] G.Belforte, R. de Mori and F. Ferraris, "A contribution to the automatic processing of electrocardiograms using syntatic methods", *IEEE Trans. Biomed. Eng.* BME-26,pp. 125-136,1979.

[10] G. K. Papakonstantinou, "An interpreter of attribute grammars and its application to waveform analysis", *IEEE Trans. Software Eng.* SE-7,pp. 279-283,1981.

[11] J. L. Willems et al., *Common standards for quantitative electrocardiography*: The CSE pilot study, Proc. Medical Informatics Europe 81. Springer, Berlin, pp. 319-326,1981.

[12] 신건수,이명호, "신택틱 패턴인식에 의한 심전도 피이크 검출에 관한 연구"의용생체공학회 춘계학술대회 논문집,pp.19-22, 1989.

[13] 신건수,이병채,황선철,이명호, "AI 기법을 이용한 멀티 채널 심전도 패턴인식 알고리즘", 한국자동제어학술회의 논문집, pp.575-579, 1990.

[14] Kunsoo Shin,Seonsheol Hwang, Byungchae Lee, Myoungho Lee,"An algorithm for Pattern Recognition of Multichannel ECG Signals", in *Proc. of 12th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp.819-820, 1990.