

관계상관식을 이용한 QRS 패턴분류

*
 황 선철, 정 희고, 신 건수, 이 병채, 이 명호
 연세대학교 공과대학 전기공학과

Pattern Classification of the QRS-complexes Using Relational Correlation

*
 Seoncheol Hwang, Heekyo Jeong, Kunsoo Shin, Byungchae Lee, Myoungho Lee
 Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

ABSTRACT

This paper describes a pattern classification algorithm of QRS-complexes using significant point detection for extracting features of signals. Significant point extraction was processed by zero-crossing method, and decision function based on relational spectrum was used for pattern classification of the QRS-complexes. The hierarchical AND/OR graph was obtained by decomposing the signal, and by use of this graph, QRS's patterns were classified.

By using the proposed algorithm, the accuracy of pattern classification and the processing speed were improved.

1. 서론

신호분석 기법의 발달로 심전도의 컴퓨터 해석에 대한 연구가 집중되고 있다. 특히 신호의 패턴해석에 대해 활발한 연구가 진행중에 있는데 패턴해석은 기계적 인식에 인간의 인지능력을 더하여 신호해석의 정확성을 높이는 방법이다. 패턴해석에는 특성점 검출과 함수 근사화를 이용한 데이터 변환방법[1,3,5], 신호의 특징공간변환방법[7], 구문적 해석방법[8,9] 및 규칙베이스 해석방법[4]등이 있다. 그러나 이들 방법은 많은 시간과 신호의 구조를 나타내기 어려운 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 특성점을 추출하여 관계상관식에 의한 패턴 매칭 방법을 사용하였다. 이 관계상관식은 전체적인 적합성(compatibility)을 측정하기 위하여 수치, 심률 및 특징에 할당된 가중치의 제한조건과 특징의 속성을 나타낼 수 있다. 이렇게 매칭된 파형의 집합을 AND/OR 계층도에 의해 각 형태별로 분류하여 리듬분석(rhythm analyzing) 뿐만 아니라 형태에 의한 진단도 가능하게 하고자 하며, 또한 추출된 특성점 집합에 대해서만 연산을 수행하므로 기억용량과 연산시간을 단축할 수 있도록 하였다.

2. 신호의 특성점 검출

신호의 특성점 추출은 파의 구분점 인식으로 수행된다. 구분점 인식에는 곡률 검출방법과 미분을 이용한 zero-crossing방법이 있는데 본 연구에서는 zero-crossing방법을 이용하였다.

2.1 Derivative

심전도 신호의 기술품를 구하기 위하여 5-point derivative 식을 사용하였으며 전달함수는 다음과 같다.

$$H(z) = \frac{1}{10} (2 + z^{-1} - z^{-3} - 2z^{-4}) \quad (1)$$

$$H(wT) = \frac{2}{10} (\sin(2wT) + 2\sin(wT)) \quad (2)$$

그러므로 der[i] 식은 다음과 같다.

$$\text{der}[i] = (-2x[i-2] - x[i-1] + x[i+1] + 2x[i+2])/8 \quad (3)$$

이 식의 주파수 응답은 dc에서 30Hz에서 선형이므로 심전도 신호등 저주파에는 많이 쓰인다. 본 논문에서는 QRS-complex 등 기술품가 큰 파형을 검출하기 위해 der[i] 값을 제공하여 사용했다.

2.2 특성점의 속성값 계산

각 특성점에 대한 속성을 계산하기 위하여 특성점간의 derivative 평균을 구하여 사용한다. 예컨대 어떤 특성점의 좌우 derivative 평균을 slop[i], slop[i+1] 이라 할 때 속성값은

```
IF(|slop[i]| < TH && |slop[i+1]| > TH)
    THEN p[i].attri = "hu"
IF(|slop[i]| < TH && |slop[i+1]| < -TH)
    THEN p[i].attri = "hd"
IF(|slop[i]| > TH && |slop[i+1]| < -TH)
    THEN p[i].attri = "ud"
IF(|slop[i]| < -TH && |slop[i+1]| > TH)
    THEN p[i].attri = "du"
IF(|slop[i]| < -TH && |slop[i+1]| < TH)
    THEN p[i].attri = "dh"
IF(|slop[i]| > TH && |slop[i+1]| < TH)
    THEN p[i].attri = "uh"
```

이된다.

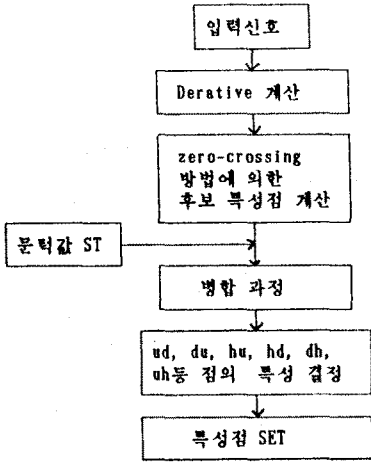


그림 1 특성점 검출 알고리즘의 블록선도
Fig. 1 Block diagram of significant point extraction algorithm

3. 관계 상관식을 이용한 패턴매칭

패턴매칭과정은 후보파형의 점이나 선과 같은 특징집합을 검출함으로써 시작하는데 이들 특징을 이용하여 후보파형의 관계를 나타낸다. 패턴매칭 알고리즘은 그림3과 같은 세 과정으로 구성된다. 관계의 정의에서는 후보파형에 존재하는 관계를 정의하고 관계스펙트럼 (relational spectrum)은 후보의 각 특징에 대한 관계스펙트럼 리스트를 구성하는 것이며 관계를 이용한 관계 상관식 (relational correlation)은 프로토타입 모델의 관계스펙트럼과 후보 모델의 관계스펙트럼과의 상관(correlation)을 나타내는 것이다. 그림2은 관계상관식을 이용한 패턴매칭의 블록선도를 나타낸 것이다.

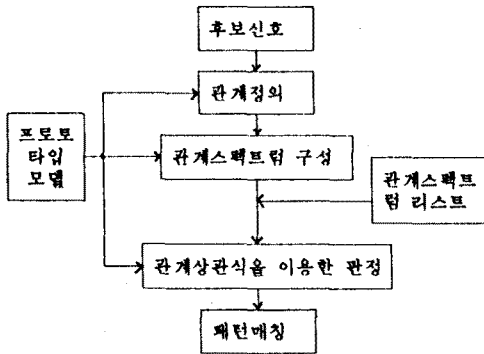


그림 2 관계상관식을 이용한 패턴매칭 블록선도
Fig. 2 Block diagram of pattern matching using relational correlation

3.1 심전도 신호에서의 응용

관계에는 부호관계와 수치관계가 있을 수 있다. 그러나 심전도 신호 같은 1차원 신호를 매칭시키기 위해서는 특징 사이의 수치적 관계 즉 수치적 제한조건을 사용해야 하며 1차원 신호 모델의 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다.

프로토타입 모델의 관계 $W = (S, P, Q)$ 이다.
여기서 $S = \{W_1, W_2, \dots, W_N\}$ 는 특징의 유한집합이며
 N 는 프로토타입 모델의 특징의 수이다.
 $P = \{P_i\}$ 는 속성의 유한집합이며
 $Q = \{q_{ij}\}$ 는 신호에 대한 제한조건의 유한집합.

후보신호에서 특징의 유한집합 $S = \{C_1, C_2, \dots, C_{N_c}\}$ 이며 N_c 는 후보신호에서의 특징의 수이다.

특징 W_i 와 W_{i+d} 사이의 제한 조건 집합을 $Q = \{q_k(W_i, W_{i+d})\}$ 라 하면 프로토타입 모델의 관계스펙트럼은 다음과 같은 유한집합으로 나타낼 수 있다.
 $RS = \{W_i, P(W_i), W_{i+d}\} = \{(P(W_{i+d}), d, W_{i+d}, Q)\}$

후보신호에 대한 관계스펙트럼도 프로토타입과 유사한 방법으로 구성할 수 있으며 다음과 같은 서습논리 특징을 가진다.
서습논리 $Pred(q_k, W_k, W_j; C_m, C_n)$ 이 '참'일 조건은 다음과 같다.

- (1) $q_k(W_i, W_j)$ 가 범위를 가지는 숫자일 때 $q_k(C_m, C_n)$ 이 $q_k(W_i, W_j)$ 를 포함하거나,
- (2) $q_k(W_i, W_j)$ 가 부호인 경우 $q_k(C_m, C_n)$ 이 $q_k(W_i, W_j)$ 와 같을 때이다.

심전도신호에 대한 적합성을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$N_{uc} = |N_c - N_w|$ 이고 $N(W_i)$ 가 $RS(W_i)$ 에 있는 성분의 수라면 프로토타입 모델의 관계스펙트럼 $RS(W_i, P(W_i), W_{i+d}) = \{(P(W_{i+d}), W_{i+d}, Q)\}$ 이고, 후보신호의 관계스펙트럼 $RS(C_j, P(C_j)) = \{(P(C_j^+), d', Q')\}$ 일때, 관계식은 $(RS(W_i) * RS(C_j)) = f(w_i, w_{i+d}, N(W_i))$ 이다. 이때
(a) $p(W_i) = p(C_j)$
(b) $p(W_{i+d}) = p(C_j^+)$
(c) $Pred(Q_k, W_i, W_j; C_j, C_j^+) = '참'$
(d) $|d - d'| \geq N_{uc}$

를 만족하면 적합하다고 한다.

다음 그림3은 QRS-W의 형태와 특징 사이의 관계스펙트럼을 나타낸 것이다.

3.2 적합성 판정

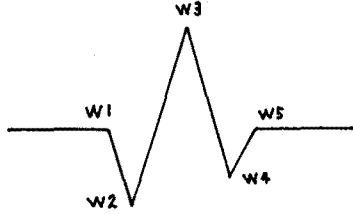
후보신호의 특징은 데이터 구동이나 모델구동 가설형을 이용하여 잠정적으로 분류하고자 할때 하나 이상의 특징이 나타날 수 있다. 이때 이들 특징이 전체 적합성을 만족시키는지를 조사하기 위하여 관계스펙트럼을 이용한 판정함을 사용한다.

SC_i, k 를 특징 i 에 대한 특징 k 의 적합성을 측정하기 위한 값이라 하면 $SC_i, k = f(W_k, W_{i+d})$ 이다. 여기서 W_k 와 W_{i+d} 는 특징 k 와 특징 i 의 가중치이다. 특징 k 에 대한 부분 판정값 SCK 는 $SCK = \sum_{i=1}^n (SC_k, i)$ 이다. 여기서 n 은 제한조건의 수 전체 판정값 SC 는 $SC = \sum (SCK)$ 이다.

만약 $SC > Ts$ 이면 입력 신호는 프로토타입 모델과 적합성을 유지한다고 하며, 여기서 Ts 는 미리 결정된 문턱치이다

3.3 신호의 패턴분류

심전도 신호의 QRS-complex가 각 형태에 대해 패턴매칭이 수행된 후 매칭된 파형이 어떤 형태에 속하는가를 분류하여야 한다. 형태분류는 AND/OR 계층도에 의해 수행된다. QRS-complex는 그 형태에 따라 다음 그림과 같이 크게 6가지로 나눌 수 있다. 이들 6가지 형태를 연속적으로 분해함으로써 AND/OR 계층도로 나타낼 수 있는데 가장 빈번한 형태순으로 AND/OR 계층도를 나타내면 다음 그림4와 같다.



관계스펙트럼의 형식

RS[feature-id, point-type, weight] = {point-type, d, weight, (min difference in amplitude, max difference in amplitude), (min difference in displacement, max difference in displacement)}

QRS-W에 대한 관계스펙트럼은 다음과 같다.

- RS[W1, hd, 1] = {(du, 1, 2, (-30, 0), (0, 30))
(ud, 2, 3, (500, 1000), (30, 60))
(du, 3, 2, (dec, dec), (60, 100))
(uh, 4, 1, (x, x), (0, 100))}
- RS[W2, du, 2] = {(hd, -1, 1, (0, 30), (0, 30))
(ud, 1, 3, (500, 1000), (30, 60))
(du, 2, 2, (x, x), (30, 100))
(uh, 3, 1, (x, x), (30, 120))}
- RS[W3, ud, 3] = {(hd, -2, 1, (-500, -1000), (30, 60))
(du, -1, 2, (-500, -1000), (0, 30))
(du, 1, 2, (-500, -1000), (0, 30))
(uh, 2, 1, (-500, -1000), (10, 30))}
- RS[W4, du, 2] = {(hd, -3, 1, (inc, inc), (30, 70))
(du, -2, 2, (x, x), (30, 60))
(du, -1, 3, (500, 1000), (0, 30))
(uh, 1, 1, (inc, inc), (x, x))}
- RS[W5, uh, 1] = {(hd, -4, 1, (x, x), (0, 100))
(du, -3, 2, (dec, dec), (30, 120))
(ud, -2, 3, (500, 1000), (10, 30))
(du, -1, 2, (dec, dec), (x, x))}

그림 3 QRS-W 형태와 특징 및 관계스펙트럼
Fig. 3 QRS-W morphology, feature and relational spectrum

4. 실험 및 고찰

4.1 특성점 검출

심전도 신호에서 특성점 검출과 심전도 신호의 패턴을 분류하기 위하여 CSE 환자데이터를 사용했으며 이 데이터는 12bit 500 samples/sec 로 A/D 한 데이터로 250 명의 경우가 수록되어있다.

입력된 신호는 derivative식에 의해 미분값을 구했으며 이때 5-point derivative는 저주파특성을 갖기 때문에 고주파 잡음제거능력이 있으며 검출된 특성점은 그림5와 같다.

4.2 패턴분류

검출된 특성점에 대해 각 점의 속성을 결정하였다. 속성 연산은 2.2절의 알고리즘에 의해 수행되며 결정된 속성과 각 점에 대한 정보는 그림6에 나타내었다.

이들 정보를 토대로 패턴매칭이 수행되며 템플레이트 선택은 입력신호에 따라 가변적이다. 즉 입력신호에 서로다른 패턴의 파가 존재하면 새로운 템플레이트가 형성되며 이 템플레이트에 대한 패턴매칭이 병행되어 수행된다. 검출된 템플레이트들의 형태와 각 템플레이트에 대한 후보파형 및 이들 후보파형에 대한 패턴분류가 그림 6과 그림 7에 나타나 있다. 그림 6은 정상파형이고 그림 7은 PVC 파형에 대한 결과이다.

5. 결론

본 연구에는 패턴매칭에 의해 QRS-complex를 검출하고 검출된 QRS를 패턴별로 분류하는 알고리즘을 제안하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 특성점을 정확히 검출하고 각 특성점에 대한 속성을 결정하여 패턴매칭의 정확도를 높여주었다.
- (2) 프로토타입 모델과 입력파의 정합정도를 나타내기 위하여 정형신호의 특징에 대한 전체적인 상호관계를 나타내는 관계스펙트럼과 상관방법을 결합한 관계상관식을 사용함으로써 신호의 회전이나 크기가 변화될때 그 값이 일정하지 않은 일반적인 상관방법의 단점을 개선하였다.
- (3) QRS-complex를 여러 파형성분으로 분해하여 AND/OR 계층도로 나타내었으므로 패턴분류가 용이하였다.
- (4) 패턴분류과정에서 입력데이터와 프로토타입간의 부분적 적합성과 전체적 적합성을 고려함으로써 판정오류를 최소화 하였다.
- (5) 12 lead에 대해 판정이 수행되므로 전체 lead에 대한 정보를 얻을 수 있어 진단에 정확도를 높일 수 있게 되었다.

6. 참고문헌

- 1) Davis, L.S., "Understanding shapes : angles and side.," IEEE computers, Vol.c-26, pp.236-242,1977.
- 2) Jiapu Pan, Willis J. Tompkins, "A Real-Time QRS Detection Algorithm," IEEE Trans. Vol.BME-32, pp. 230-236, 1985.
- 3) Freeman, H. and Davis, L.S., "A corner-finding algorithm for chain-coded curves," IEEE Trans. computers, vol.c-26, pp.297-303, 1977.
- 4) Birman, K.P., "Rule-based learning for more accurate ECG analysis," IEEE Pattern Anal. Machine. Intell., vol.1,PAMI-4, No. 4, pp.369-380, 1982.
- 5) Rosenfeld, A. and Johnson, E., "Angle detection on digital curves," IEEE Trans. computers, vol.c-22, pp.875-878, 1973.
- 6) Thakor.V, Chen.Q.L., Lee.H.S. "ECG waveform sis b sis significant point extraction," Computers and Biomedical Research 20, pp.410-427, 1987.
- 7) Tou, J.T. and Gonzalez, R.C., Pattern recognition principles, Addison-wesley, 1974.
- 8) Belforte, G., De Mori, R., and Ferraris, F., "A contribution to the automatic Processing of electrocardiograms using syntactic methods," IEEE Biomed.Eng., vol.BME-26, pp.125-136, 1979.
- 9) Stockman, G.C. and Kanal, H.N., "Ptoblem reduction representation for the linguistic analysis of waveforms," IEEE Pattern Anal. Machine Intell., vol.PAMI-5, No.3, pp.287-298, 1983.
- 10) 이 명호, 윤 형도, 민 혜정, 정 학규, 신 호용 "ECG 파형 성분 위치와 time interval 측정 알고리즘," 대한 의공학회지, vol.3, Np.2, pp.53-62, 1985.
- 11) 김 재희, 인공지능의 기법과 응용, 교학사, 1988.

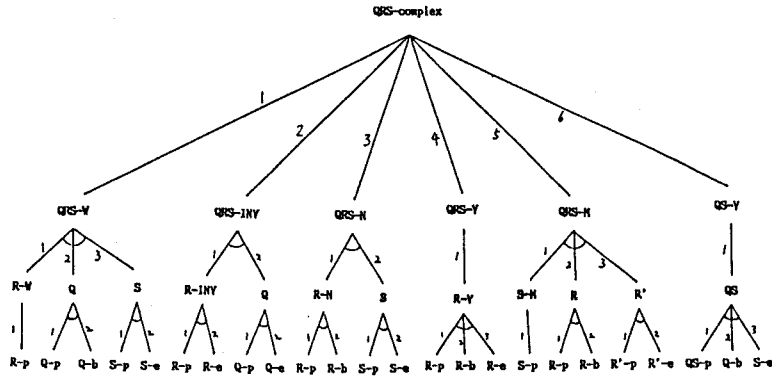


그림4 QRS의 형태와 QRS의 AND/OR 계층도
Fig.4 Morphology and hierarchical graph of QRS

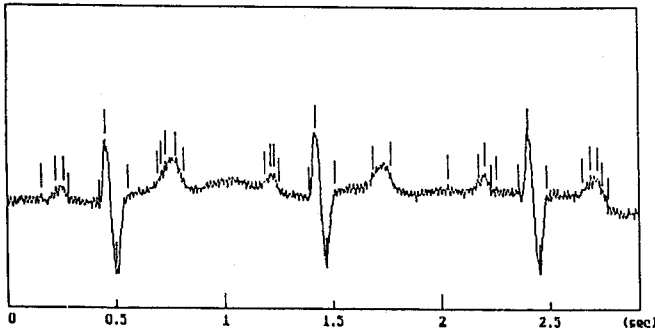


그림5 검출된 특성점
Fig.5 Extracted significant points

p[1].x= 64	p[1].y= 204	p[1].attri=(null)	p[1].feature=(null)
p[2].x= 69	p[2].y= 141	p[2].attri=(null)	p[2].feature=(null)
p[3].x= 103	p[3].y= 117	p[3].attri=hu	p[3].feature=onset
p[4].x= 110	p[4].y= 400	p[4].attri=ud	p[4].feature=peak
p[5].x= 122	p[5].y=-155	p[5].attri=du	p[5].feature=peak
p[6].x= 135	p[6].y= 175	p[6].attri=uh	p[6].feature=offset
p[7].x= 168	p[7].y= 239	p[7].attri=(null)	p[7].feature=(null)
p[8].x= 172	p[8].y= 273	p[8].attri=(null)	p[8].feature=(null)
p[9].x= 177	p[9].y= 312	p[9].attri=(null)	p[9].feature=(null)
p[10].x= 188	p[10].y= 307	p[10].attri=(null)	p[10].feature=(null)
p[11].x= 197	p[11].y= 248	p[11].attri=(null)	p[11].feature=(null)
p[12].x= 286	p[12].y= 234	p[12].attri=(null)	p[12].feature=(null)
p[13].x= 293	p[13].y= 268	p[13].attri=(null)	p[13].feature=(null)
p[14].x= 297	p[14].y= 268	p[14].attri=(null)	p[14].feature=(null)
p[15].x= 302	p[15].y= 209	p[15].attri=(null)	p[15].feature=(null)
p[16].x= 335	p[16].y= 170	p[16].attri=hu	p[16].feature=onset
p[17].x= 343	p[17].y= 424	p[17].attri=ud	p[17].feature=peak
p[18].x= 354	p[18].y=-130	p[18].attri=du	p[18].feature=peak
p[19].x= 364	p[19].y= 200	p[19].attri=uh	p[19].feature=offset
p[20].x= 406	p[20].y= 263	p[20].attri=(null)	p[20].feature=(null)
p[21].x= 426	p[21].y= 273	p[21].attri=(null)	p[21].feature=(null)
p[22].x= 489	p[22].y= 224	p[22].attri=(null)	p[22].feature=(null)
p[23].x= 523	p[23].y= 229	p[23].attri=(null)	p[23].feature=(null)
p[24].x= 530	p[24].y= 173	p[24].attri=(null)	p[24].feature=(null)
p[25].x= 537	p[25].y= 180	p[25].attri=(null)	p[25].feature=(null)
p[26].x= 543	p[26].y= 219	p[26].attri=(null)	p[26].feature=(null)
p[27].x= 567	p[27].y= 190	p[27].attri=hu	p[27].feature=onset
p[28].x= 578	p[28].y= 409	p[28].attri=ud	p[28].feature=peak
p[29].x= 590	p[29].y=-150	p[29].attri=du	p[29].feature=peak
p[30].x= 598	p[30].y= 185	p[30].attri=uh	p[30].feature=offset

그림6 특성점에 대한 속성과 정보
Fig.6 Attributes and information of significant points

```

.....
template                characteristic
.....
templatel               wave type   : huduh
                        duration    : 32
                        amplitude   : 283
                        no. of point: 4
.....
(a)
.....
template                candidate      classification
.....
templatel               p[1].position : 110      QRS-N
                        p[2].position : 343
                        p[3].position : 578
                        p[4].position : 806
                        p[5].position : 1033
                        p[6].position : 1271
.....
(b)
    
```

그림7 정상과형에 대한 패턴분류 결과

(a) 검출된 템플릿
(b) 검출된 후보파형 및 패턴분류 결과
Fig.7 The result of pattern classification of normal waveforms
(a) Detected template
(b) Detected candidate waves and the result of the pattern classification

```

.....
template                characteristic
.....
templatel               wave type   : huduh
                        duration    : 25
                        amplitude   : 903
                        no. of point: 4
.....
template2              wave type   : hudh
                        duration    : 48
                        amplitude   : 1514
                        no. of point: 3
.....
(a)
.....
template                candidate      classification
.....
templatel               p[1].position : 139      QRS-N
                        p[2].position : 344
                        p[4].position : 756
                        p[5].position : 962
.....
template2              p[3].position : 469      QRS-V
.....
(b)
    
```

그림8 PVC과형에 대한 패턴분류 결과

(a) 검출된 템플릿
(b) 검출된 후보파형 및 패턴분류 결과
Fig.8 The result of pattern classification of waveforms
(a) Detected template
(b) Detected candidate waves and the result of the pattern classification