

미네소타 분류방식에 의한 부정맥 진단 알고리즘에 관한 연구

정 기 삼 · 신 건 수 · 이 명 호

A Study on Diagnosis Algorithm of Arrhythmia using Minnesota Code Criteria

Kee-Sam Jeoung, Kun-Soo Shin, and Myoung-Ho Lee

- Abstract -

This paper describes a software algorithm for automatic diagnosis of arrhythmia using the criteria of Minnesota code manual. This algorithm provides more accurate and more objective information to medical doctor by standardizing the criteria of diagnosis of arrhythmia. Because this algorithm doesn't need complicated mathematic processing, it carries out the real-time automatic diagnosis that is very important in clinic. The Decision-Table technology suggests the proper results for the given conditions. So it can express clearly the complicated medical problems those are not solved by the mathematical methods.

The Decision-Tables have very simple structure. Therefore, it is very easy to correct or expand the system by adding or correcting some rules.

1. 서 론

심장의 부정맥(arrhythmia) 검출은 임상적으로 매우 중요한 의미를 가지며 실제로 대부분의 심전도 신호 처리는 이 부정맥의 검출과 분석을 의미한다. 심전도 신호는 일반적으로 심장근육의 규칙적인 수축에 의해 이루어지며 정상적인 범위내의 빈도를 벗어나거나 정상빈도를 갖더라도 패턴상의 이상이 있는

경우를 부정맥이라 하고 이러한 심전도 파형의 여러 변수들을 분석하면 많은 종류의 심장질환을 진단 할 수 있다. 심전도를 이용한 부정맥 진단 과정은 대단히 어렵고 복잡하며 진단 기준이 분명하지 못하기 때문에 이러한 분석의 통일된 근거기준의 필요성이 인식되기 시작하였다. 이에 미국 미네소타 대학의 Blackburn 교수에 의해 제안된 미네소타 코드(Minnesota Code)가 1968년 WHO의 기준으로 채택되어 유일한 국제 기준으로 이용되어 왔으며 여러 차례 수정을 가하여 현재까지 유효하게 사용되고 있다. 이 중에서 Code-8은 부정맥을 진단하기 위한 기준이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 미네소타 코드의 No. 8을 진단기준으로 하고 판정 테이블(decision table)

〈접수 : 1990년 5월 14일〉

연세대학교 전기공학과

Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

을 이용한 부정맥 자동진단 알고리즘을 제시하고자 한다.

2. 미네소타코드

미네소타 코드는 다양한 심전도를 체계적이고 객관성 있게 분류함으로써 임상에서의 심장병 진단에서 뿐만 아니라 컴퓨터를 이용한 자동진단 시스템에 널리 이용되고 있다. 심전도파형을 미네소타코드에 명시된 기준으로 분류하면 약 200여 가지의 심장질환을 분류해낼 수 있다. 미네소타 코드의 각 코드별 특성은 표 1과 같다.

미네소타 코드 중에서 No.8은 24가지의 부코드

표 1 미네소타 코드의 특징

Table 1 Characteristics of Minnesota Code

코드	특 성
No. 1	Q and QS Patterns
No. 2	QRS Axis Deviation
No. 3	High Amplitude R Waves
No. 4	ST Junction (J) and Segment Depression
No. 5	T-Wave Items
No. 6	A-V Conduction Defect
No. 7	Ventricular Conduction Defect
No. 8	Arrhythmias
No. 9	ST Segment Elevation and Miscellaneous Items

표 2 미네소타 코드 No. 8의 특징

Table 2 Characteristics of Minnesota Code No. 8

8-1-1	병 명	Supraventricular Premature Beat
	증 세	박동이 10% 이상 조기박동 P파 및 P-R간격이 비정상 전 파형의 10% 이상 발생시 유효
8-1-2	병 명	Ventricular Premature Beat
	증 세	QRS폭이 0.12sec 이상(비정상 QRS군) P파는 반드시 miss 전 파형의 10% 이상 발생시 유효
∴	∴	∴
8-9	병 명	Other Arrhythmia not Coded above

(sub-code)로 분류된다. 이중에서 심실상성 조기박동(code 8-1-1 : SVPB)과 관련된 것이 3개, 심실조기박동(code 8-1-2 : VPB)과 관련된 것이 7개이며, 대체로 비정상적인 자극의 발생 및 자극의 전도장애 등을 나타낸다. 8번 코드는 대부분의 경우, 12개의 Lead 중에서 Lead II의 파형만을 가지고 분류를 하게 된다. 미네소타 코드중에서 No.8의 특징 및 진단 기준의 예를 표 2에 명시하였다.

3. 자동진단 알고리즘의 설계

3.1 부정맥 자동진단을 위한 변수설정

미네소타 코드 중 8번 코드에서 일반적으로 사용되는 변수로는 심박동(heart rate)과 R-R간격, QRS complex의 폭(duration) 등이 있고, 부수적인 변수로 QRS complex의 형태 및 P파의 형태와 P-P간격 및 P파의 상대적 위치를 나타내는 P-R간격이 있다. 본 논문에서는 경우의 수를 줄이고 탐색 시간을 줄이기 위하여 진단변수를 아래와 같이 설정하였다.

- a) P파의 형태
- b) QRS폭
- c) R-R 간격
- d) P-P 간격

3.2 판정 테이블 기법

판정 테이블은 시스템에서 조건과 동작사이의 상호관계를 논리적으로 정의해주는 소프트웨어적인 기법으로서 설계상에서 나타날 수 있는 불완전성 및 불필요한 부분을 점검하고 수정하여 최적화(optimization)된 알고리즘을 개발할 수 있는 기법이다. 본 논문에서 사용한 판정 테이블방식에서 각각의 조건은 주어진 변수에 대하여 변수의 상태 및 변수간의 상관관계를 나타낼 수 있으므로 의사가 진단에 있어서 중요하다고 생각하는 정보, 혹은 증세를 판정 테이블에서 조건부에 나열하여 각각의 만족하는 경우에 대한 적절한 동작(또는 판단)을 행할 수 있다. 판정 테이블은 기본적으로 4분면구조를 가지며 구성은 아래와 같다.

- a) Condition Stub : 판정에 필요한 조건의 집합

- b) Action Stub : 조건에 상응하는 동작의 집합
- c) Condition Entry : 조건에 따른 상황의 조합
- d) Action Entry : 상황에 따른 동작의 집합

판정 테이블은 변수의 상태 또는 조건과 동작 또는 판단사이의 관계(여기서는 증세와 질병사이의 관계)는 식(1)과 같은 형태로 표현된다.

IF
 and
 and
 (위의 조건이 만족되면)

THEN
 and
 and
 (동작을 행하게 된다.)

위의 식(1)과 같이 연속적인 형태로 묘사된 서술 구문은 증세와 질병사이의 관계를 나타낼 수 있는데 이와 같이 묘사된 구문을 규칙(rule)이라 한다. 임의로 주어진 연속적인 조건이 만족되는 하나의 범주가 형성되면 이 범주는 특정한 결과를 갖게 된다.

한가지 예로서, 코드8-1-1(SVPB)은 '박동이 정상보다 10% 이상 조기박동하고 P파는 빠져 있거나 비정상적일때'이므로 이것을 식(1)과 같은 'IF... THEN...' 구조로 표현하면 식(2)의 형태로 나타낼 수 있다.

IF the beat is $\geq 10\%$ premature
 and the beat have an absent or different P-wave.
 THEN the beat is coded 8-1-1.

3.3 판정테이블에 의한 자동진단 알고리즘

P-QRS-T 파형을 하나의 단위로 가정하였을 때, 하나의 파형만으로는 정확한 부정맥 자동진단을 행할 수 없다. 그러므로 여러개의 파형을 검색하여 파형간의 관계를 조합하였을 때 하나의 코드분류가 가능하게 되므로 받아들여진 정보는 그림 1과 같이 3단계의 처리과정을 필요로 한다.

전문가가 심전도 파형을 통하여 병명을 진단할

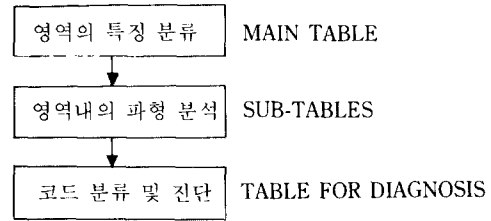


그림 1 분류를 위한 정보의 처리 과정
Fig. 1 Data processing for classification

때, 전문의는 가장 먼저 주어진 파형 속에서 증세를 나타낼 수 있는 특징을 찾으려고 할 것이다. 그리고 특징을 검토하여 이러한 증세로서의 특징들이 나타나는 질병의 범주를 설정하고 세부적인 의학적 지식을 적용하여 진단을 행할 것이다. 본 논문에서도 이와 마찬가지로 방법으로 자동진단을 행하고자 한다. 판단을 위한 정보, 또는 조건은 여러가지의 규칙에 의하여 정의되어 있고, 분류를 빠르고 정확하게 수행하기 위하여 여러 단계의 판정 테이블을 거치게 된다. 먼저 검색을 위한 영역을 설정하고 파형간의 상관관계를 이용하여 몇 개의 그룹으로 분류한다. 이렇게 분류가 된 영역을 가지고 영역내의 파형을 검색하게 된다. 마지막으로 검색을 통하여 얻은 결과로 최종적인 진단을 행하게 된다.

(1) 영역의 특징 분류 : MAIN TABLE

자동진단의 기초적인 단계로서 몇개의 파형으로 이루어진 영역을 설정하고 그 영역이 가지는 특성을 이해한 후, 특성에 따라 6개의 범주로 분류한다. 이 단계의 특징은 몇 종류의 부정맥이 가지는 특성을 묶어서 규칙으로 표현함으로써 세부적인 파형고찰을 할 때, 영역에 해당하는 질병의 증세만을 관찰하여 진단할 수 있기 때문에 매우 효율적인 알고리즘을 작성할 수 있다. 그림2는 영역을 분류하기 위한 테이블이다. 여기서 X1에서 X6은 각각의 부테이블(sub-table)로의 분기(branching)를 명령하는 것으로 '영역이 가지는 특징별로 세부적인 파형고찰을 위한 테이블로 분기하라'는 의미를 가진다.

(2) 영역내의 파형분석 : Sub Table

영역의 특성 검출을 거친 데이터는 6개의 부테이

* Conditions

- C1. R-R 간격의 변화가 있는가?
- C2. R파의 형태 변화가 있는가?
- C3. P-P 간격이 R-R 간격보다 큰가?
- C4. P파의 형태 변화가 있는가?

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	MDC	WDC	DEL
C1. R-R Variance	Y	Y	N	Y	N	Y	N	2	0	0
C2. R-wave shape	Y	N	N	N	-	-	N	2	2	8
C3. P-P > R-R	N	N	N	N	Y	Y	N	2	0	0
C4. P-wave shape	Y	Y	Y	N	-	-	N	2	3	10
CC	1	1	2	1	4	4	1	16		
A1. NORMAL or not CODE8							X			
X1. GOTO SUB 1	X									
X2. GOTO SUB 2		X								
X3. GOTO SUB 3			X							
X4. GOTO SUB 4				X						
X5. GOTO SUB 5					X					
X6. GOTO SUB 6						X				

그림 2 부정맥 자동진단을 위한 기본 분류 테이블

Fig. 2 Main Table for Automatic Diagnosis of Arrhythmia

분에서 영역내에 각 파형에 대하여 검증을 거친다. 예를 들어 Sub 1 테이블의 경우, R-R 간격이 불규칙하고 QRS군 및 P파의 형태가 변하는 특징이 있고 이 영역과 관련이 있는 코드는 8-1-1, 8-1-2, 8-1-3, 8-1-5, 8-2-3, 8-2-4, 8-4-2가 있다. 여기서는 각 파형을 고찰하여 그 파형이 가질 수 있는 가능한 병명을 검출한다. 이 단계를 거친 파형은 각각 증세를 표현하는 고유 코드를 가지게 되고 이는 다음 단계에서 최종적인 진단의 단계로 분기하게 된다.

(3) 코드분류 및 진단 : TABLE for DIAGNOSIS

2단계의 테이블을 거친 각각의 파형들은 파형이 지닌 특징에 따라 고유의 코드를 가지게 된다. 그 고유 코드는 가능성 있는 병명을 내포하는 것으로 하나의 영역 내에 나타난 코드들을 종합적으로 분석하면 환자가 가진 병명을 도출해 낼 수 있다. 심전도 신호로 질병을 진단할 때, 질병에 따라서 하나의 파형만으로 진단이 가능한 경우도 있으나 대부분의 경우에는 복합적인 증세로 나타난다. 그러므로 이러한 과정은 여러가지의 증상을 종합적으로 분석해야 하는 질병에 있어서 필수적인 과정이며 보다 정확하고 신

뢰도가 높은 진단을 할 수 있도록 도와준다.

3.4 최적화 기법

앞절에서 설명한 바와 같이 조건과 동작사이의 관계를 표현한 판정 테이블은 일반적으로 판단에 필요한 조건의 나열이기 때문에 이러한 판정 테이블로서는 최적의 알고리즘을 구성할 수 없다. 판단에 필요한 지식으로 구성된 판정 테이블이 최소의 시간과 비용으로 원하는 결과를 산출하는 소프트웨어 알고리즘으로 구성되기 위해서는 이미 구성된 판정 테이블을 재배열 할 필요가 있다. 이러한 목적의 재배열은 두가지 종류가 있는데 하나는 조건의 재배열이고 또 하나는 규칙의 재배열이다. 실지로 임상에서의 중요도는 특수한 경우를 제외하고는 행의 재배열에서 의미를 갖지 않으면 알고리즘상의 중요도로 재배열을 행하게 된다. 그림 2에 나타난 CC, M, DC, WDC, DEL은 아래와 같은 의미를 갖는다. CC(column-count)는 각 규칙에 대한 경우의 수, 다시 말하면 주어진 규칙에 대하여 얼마나 많은 경우가 있을 수 있는가를 나타내는 것이고 M(condition moduli)은 주어진 조건이 갖는 상태의 수이다. 이 둘 사이에 식(3)과 같은 관계가 성립한다.

$$CC = \pi M \tag{3}$$

DC(dash-count)는 각 조건에 대한 '-'의 갯수를 나타내는 것으로 해당하는 조건은 고려하지 않아도 좋은 경우(don't care condition)의 수를 나타낸다. WDC(weighted-dash-count)는 조건상에서 각각의 '-'가 가지고 CC를 곱한 값을 더한 것이다. 즉 그림 2에서 C2를 보면 R6와 R7에 '-'가 있고 각각의 '-'가 가지는 CC는 4이다. 그러므로 C2의 WDC = 4+4=8이 된다. DEL은 그리스 문자중 차이를 나타내는 DELTA의 약자로 조건을 만족하는 경우(Y: yes)의 수와 만족하지 않는 경우(N:no)의 수의 차이를 표시하는 것이다.

WDC의 크기는 각 조건의 중요한 정도를 나타낼 수 있다. WDC가 큰 값을 갖는다는 것은 이 조건을 고려하지 않아도 되는 경우가 많다는 사실을 나타내므로 우선 WDC가 작은 순서로 행을 재배열 한다. 그 다음에 DEL 값이 큰 순서로 배열한다.

열을 재배열하는 목적은 조건에 만족하는 그룹과 만족하지 않는 그룹, 그리고 해당 조건과는 무관한 그룹을 적절히 배열하여 각 조건에서 다음 조건으로의 탐색을 위한 분기를 용이하게 해 준다. 열의 재배열 순서는 해당되는 조건에 대하여 'Y', '-', 'N'의 순서로 하며 윗부분에서 아래로 내려오며 배열한다.

4. 시뮬레이션 및 결과고찰

4.1 시뮬레이션

본 논문에서는 부정맥 자동진단 소프트웨어 알고리즘의 구성과 검증을 위하여 "The Minnesota Code Manual of Electrocardiographic Findings"에 나타나 있는 진단 기준 및 파형을 사용하였다. 각각의

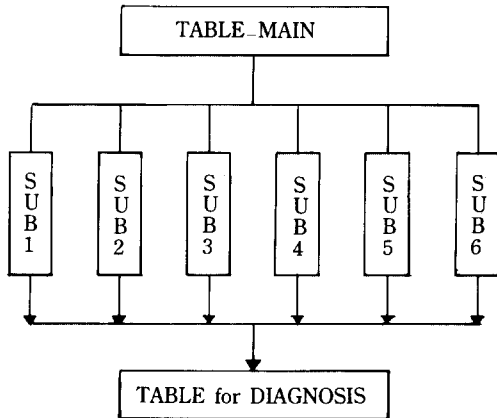


그림 3 판정테이블의 전체적인 구성
Fig. 3 Total structure of decision tables

표 3 데이터 항목

Table 3 Data Items

데이터	변수형	특 징
P파 형태	char	1 : Normal P-wave 2 : Inverse or Abnormal P-wave 3 : P-wave Miss
QRS 폭	int	Normal : $\leq 120\text{m sec}$
R-R 간격	int	
P-P 간격	int	

코드가 가지는 특성과 임상적인 징후, 코드 상호간의 중복성등을 고려하여 진단 및 분류 기준을 정하였고 실제로 예시된 파형에서 추출한 데이터로서 검증하였다.

그림 3은 부정맥 자동진단을 위한 판정테이블의 구성 및 흐름을 나타내는 블럭선도이다.

입력으로 사용한 데이터는 P파의 형태, QRS군의 폭, R-R 간격, P-P간격이며 표3과 같은 의미를 가진다.

4.2 결과 고찰

임상적인 징후는 상호 배타적이 아니라 오히려 상당히 중복된다는 사실때문에 의료진단은 통계적인 근거로 처리되어야한다. 한가지 예로서, 본 논문에서 QRS군의 폭이 정상인지를 판단하기 위한 기준으로 사용한 0.12초는 판단기준을 수치적이고 논리적으로 표현하기 위해 사용된 충분한 신뢰도를 가질 수 있는 기준이지 절대적인 분기점은 아닌 것이다. 이러한 이유로 본 알고리즘에서 진단을 하여 사용된 규칙들은 신뢰성이 있는 규칙이고, 그 결과는 심전도 파형이 나타낼 수 있는 가장 유력한 진단을 나타낸다.

다음에 나타난 결과들은 주어진 데이터의 처리 과정을 나타낸다. 주어진 입력데이터를 먼저 표시한 후, 영역을 분류하기 위한 조건을 표시 하였다. 그리고 심박동과 각 파형들이 가지는 특징을 표시하였고, 최종적으로 가능성 있는 질병의 코드를 나타내었다.

표 4는 정상 심전도 데이터에 대한 시뮬레이션의 결과이다. P파 및 QRS 파형, R-R 간격 및 P-P 간격이 모두 정상이므로 '정상 또는 부정맥이 아니다'라는 진단 결과가 나왔다.

표 5는 8-1-1번(SVPB) 데이터에 대한 시뮬레이션 결과로서 P파 및 QRS 파형이 변하며 R-R 간격 또한 불규칙하므로 이러한 영역은 TABLE_MAIN에서 SUB_1 테이블로 분기하게 되고 SUB_1 테이블에서 세부적인 파형을 검증하게 되는 것이다. 그 결과로 Code 8-1-1이 검출되었다.

표 6은 8-1-4번 데이터에 대한 시뮬레이션 결과로서 P파의 파형이 변하고 QRS 파형은 변하지 않고 R-

표 4 정상 심전도 파형의 데이터에 대한 시뮬레이션 결과

Table 4 Simulation results for normal ECG data

```

=====INPUT DATA=====
P-shape      : 1  1  1  1  1  1
QRS-shape    : n  n  n  n  n  n
R-R interval : 880 880 880 880 880 880
P-P interval : 880 880 880 880 880 880
=====CONDITIONS=====
C1. ==> n C2. ==> n C3. ==> n C4. ==> n
Heart Rate  ==> 68
=====CLASSIFICATION=====
CLASSIFICATION: 0  0  0  0  0  0
=====DIAGNOSIS=====
No Arrthymia or Normal !!
    
```

표 5 8-1-1번 데이터에 대한 시뮬레이션 결과

Table 5 Simulation results for 8-1-1 data

```

=====INPUT DATA=====
P-shape      : 1  1  1  2  1  3
QRS-shape    : n  n  n  y  n  n
R-R interval : 880 880 880 760 1040 790
P-P interval : 880 880 880 760 1040 790
=====CONDITIONS=====
C1. ==> y C2. ==> y C3. ==> n C4. ==> y
Heart Rate  ==> 68
=====CLASSIFICATION=====
CLASSIFICATION: 101 101 101 11 101 101
=====DIAGNOSIS=====
Code 8-1-1 Detected !!
    
```

R 간격은 불규칙하다. 그러므로 이러한 영역은 TABLE MAIN으로 부터 SUB 2 테이블로 분기하게 되고 SUB 2 테이블에서 세부적인 파형을 검증한 결과 Code 8-1-4가 검출되었다.

표 7은 8-5-1번 데이터에 대한 시뮬레이션 결과로서 P파 및 QRS 파형이 일정하며 R-R 간격은 불규칙하다. 그러므로 이러한 영역은 TABLE-MAIN에서 SUB-4 테이블로 분기하게 되고 SUB-4 테이블에서 세부적인 파형을 검증하여 그 결과로 Code 8-5-1이 검출되었다.

표 6 8-1-4번 데이터에 대한 시뮬레이션 결과

Table 6 Simulation results for 8-1-4 data

```

=====INPUT DATA=====
P-shape      : 1  3  2  2  2  3
QRS-shape    : n  n  n  n  n  n
R-R interval : 800 680 640 520 800 640
P-P interval : 800 680 640 520 800 640
=====CONDITIONS=====
C1. ==> y C2. ==> n C3. ==> n C4. ==> y
Heart Rate  ==> 88
=====CLASSIFICATION=====
CLASSIFICATION: 102 14 14 42 14 14
=====DIAGNOSIS=====
Code 8-1-4 Detected !!
    
```

표 7 8-5-1번 데이터에 대한 시뮬레이션 결과

Table 7 Simulation results for 8-5-1 data

```

=====INPUT DATA=====
P-shape      : 1  1  1  1  1  1
QRS-shape    : n  n  n  n  n  n
R-R interval : 880 880 1800 880 880 880
P-P interval : 880 880 1800 880 880 880
=====CONDITIONS=====
C1. ==> y C2. ==> n C3. ==> n C4. ==> n
Heart Rate  ==> 58
=====CLASSIFICATION=====
CLASSIFICATION: 51 104 51 104 104 104
=====DIAGNOSIS=====
Code 8-5-1 Detected !!
    
```

5. 결 론

본 연구는 미네소타 코드 분류법을 이용하여 부정맥을 자동으로 진단하는 알고리즘의 개발에 관한 연구로서 판정테이블 기법을 사용하여 알고리즘을 개발한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 연구에서 사용한 미네소타 코드는 진단기준이 수치적이고 논리적이므로 판정테이블의 적용이 매우 용이할 뿐만 아니라 그동안 많은 논란이 되어 온 부정맥의 종류 및 진단기준을 미네소타 코드를 사용하

여 객관적이고도 세분화 시킴으로써 의료진에게 보다 객관적인 정보를 제공할 수 있었다.

판정테이블 기법을 이용하여 의료진단에서 병과 증상사이의 복잡한 문제를 간단하고 명료하게 표현할 수 있었으며 복잡한 연산처리 과정이 필요치 않기 때문에 임상에서 중요한 실시간 진단을 실현할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Myoung-Ho Lee, Kyoung-Jung Lee, "The Design of a Process Module for the Distributed Process of the ECG Signal," IEEE EMBS Conference, Nov. 4-7, 1988.
- 2) Roland J. P., Recharad S. C., Henry B. : The Minnesota Code Manual of Electrocardiographic Findings, PSG Inc, 1982.
- 3) Nygars. M. E., Hulting J., "An Automated System for ECG Monitoring," Comput. Biomed. Res., pp. 181-202, 1979.
- 4) Henry J. L., Marriott : Practical Electrocardiography, 8th ed., Williams & Willkins, 1988.
- 5) 이명호, 윤형로, "마이크로컴퓨터를 이용한 실시간 ECG 자동진단알고리즘," 의공학회지, Vol. 6, No. 1, pp. 55-63, 1985.
- 6) Recharg B. Hurley : Decision Tables in Software Engineering, Van Nostrand Reinhold, Data Processing, Series, 1983.
- 7) Josef Wartak : Computers in Electrocardiography, Thomas Books, 1970.