

미네소타 분류방식에 의한 부정맥 진단 알고리즘에 관한 연구

* 정기삼, 김상진, 김창재, 이명호

연세대학교 전기공학과

Study on a Diagnosis Algorithm of Arrhythmia Using Minnesota Code Criteria

* Jeong Kee Sam, Kim Sang Jin, Kim Chang Jae, Lee Myoung Ho

Dept. of Electrical Engineering, Yonsei University

ABSTRACT

This paper describes a software algorithm for automatic diagnosis of arrhythmia using the criteria of Minnesota code manual. This algorithm represents 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 expresses the complicated medical problems simply and clearly, those are not solved by the mathematical methods.

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

1. 서론

심장의 여러가지 질환중 생명에 위협을 줄 수 있는 부정맥의 검출은 임상적으로 매우 중요한 의미를 가지며 실제로 대부분의 심전도신호처리하는 이러한 부정맥의 검출 및 이의 분석을 의미한다. 심전도 신호는 일반적으로 심장근육의 규칙적인 수축에 의해 이루어지며 정상적인 범위내의 빈도들 벗어나거나 정상빈도를 갖더라도 패턴상의 이상이 있는 경우 부정맥(arrhythmia)이라 하는데 이러한 심전도 파형의 여러가지 변수들을 분석하면 많은 종류의 심장질환을 진단할 수 있다. 심전도를 이용한 부정맥 진단 과정은 대단히 어렵고 복잡하며 진단 기준이 분명하지 못하기 때문에 이러한 분석의 통일된 기준의 필요성이 인식되기 시작하였다. 이에 미국 미네소타 대학의 Blackburn교수에 의해 제안된 미네소타 코드(Minnesota Code)가 1968년 WHO(세계 보건 기구)의 기준으로 채택되어 유일한 국제 기준으로 이용되어 왔으며 여러 차례 수정을 가하여 현재까지 유효하게 사용되고 있다. 이 중에서 Code-8은 여러 종류의 부정맥을 진단하기 위한 기준이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 미네소타 코드의 No.8을 진단기준으로 하고 판정테이블(discion table)을 이용한 부정맥 자동진단 알고리즘을 제시해 보고자 한다.

본 연구에서 사용한 판정테이블 기법은 과거 수년동안 상용 및 과학기술 데이터를 처리하기 위하여 사용되어 왔으며 의료진단에서 판정테이블의 응용은 진단과정이 계산적이라기 보다는 논리적이라는 사실로부터 비롯된 것으로서 많은 증상과 질병사이의 복잡한 논리관계를 간결하고 단순한 형태로 표현할 수 있는 이상적인 방법이라는 장점을 가지고 있다.

2. 미네소타코드

본 연구에서는 부정맥을 자동진단하기 위한 기준으로 미국 미네소타 대학의 Blackburn 교수가 제안하고 미국 심장 협회(American Heart Association : AHA)에서 공인한 미네소타 코드(Minnesota Code)를 채택하였다. 미네소타 코드는 다양한 심전도를 체계적이고도 객관성 있게 분류한 것이므로 임상의의 심장병 진단에서 뿐만 아니라 컴퓨터를 이용한 자동진단 시스템에 널리 이용되고 있다. 심전계에 나타난 파형을 미네소타코드에 명시된 기준으로 분류하면 약 200여 가지의 심장질환을 분류해낼 수 있다. 미네소타 코드의 각 코드별 개략적 특성은 표 1과 같다.

표 1. 미네소타 코드의 특징

코드	특성
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 진단 기준

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

미네소타 코드 중에서 No.8은 심장 질환 중 가장 빈번하면서도 중요한 진단대상인 부정맥으로서 24가지의 부코드(sub-code)로 분류된다. 이 중에서 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 전도장애등을 나타낸다. 8번 코드는 대부분의 경우, 12개의 Lead 중에서 Lead II의 파형만을 가지고 분류를 하게 된다. 미네소타 코드중에서 No. 8의 특징 및 진단의 기준의 예를 표 2에 명시하였다.

3. 자동진단 알고리즘의 설계

미네소타 코드는 각각의 증세 및 진단의 기준을 수치적으로 명확하게 기술하였으므로 컴퓨터를 이용하여 자동진단을 행할 경우, 정확한 진단 및 분류기준에 관한 정보를 제공해 줄 수 있다. 본 논문에서는 심전도를 미네소타 코드로 분류할 때 사용한 진단기준을 판정테이블에 적용하여 테이블을 구성하고 이를 바탕으로 소프트웨어 알고리즘을 구성하고자 한다.

3.1 부정맥 자동진단을 위한 변수설정

미네소타 코드 (Minnesota code)중 8번 코드에서 일반적으로 사용되는 변수로는 박동률(Heart Rate)과 R-R간격(R-R interval), QRS군의 지속기(QRS duration)등이 있고, 부수적인 변수로 QRS군의 형태 및 P파의 형태와 P-P간격(P-P interval) 및 P파의 상대적 위치를 나타내는 P-R간격(P-R interval)이 있다. 본 논문에서는 경우의 수를 줄이고 탐색 시간을 줄이기 위하여 가능한 작은 수의 변수를 설정하고자 한다.

아래는 부정맥을 진단하기 위하여 본 논문에서 사용한 진단 변수를 나타낸다.

- a) P-wave shape : P파의 형태
- b) QRS width : QRS폭
- c) R-R interval : R-R 간격
- d) P-P interval : P-P 간격

3.2 판정 테이블 기법

판정 테이블은 시스템에서 조건과 동작사이의 상호관계를 논리적으로 정의해 주는 소프트웨어적인 기법으로서 설계상에서 나타날 수 있는 불완전성 및 불필요한 부분들을 점검하고 수정하여 최적화(optimization)된 알고리즘을 개발할 수 있는 기법이다. 의료진단의 경우, 수학적인 모델링이나 확률통계적인 방법으로는 수많은 경우를 모두 만족시킬 수 없다. 그러므로 본 논문에서 사용한 판정 테이블방식은 매우 합리적이고 효율적이라 하겠다. 각각의 조건들은 주어진 변수들에 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 조건들의 집합
- b) Action Stub : 조건에 상응하는 동작의 집합
- c) Condition Entry : 조건에 따른 상황들의 조합
- d) Action Entry : 상황에 따른 동작들의 집합

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

```

IF ..... (1)
and .....
and .....
:
: (위의 조건들이 만족하면)
THEN .....
and .....
and .....
:
: (동작들을 행하게 된다.)
  
```

위의 (1)과 같이 연속적인 형태로 묘사된 서술문은 증세와 질병사이의 관계를 나타낼 수 있으며 이와 같이 묘사

된 구문을 규칙(rule)이라 한다. 시스템이 많은 규칙을 가지면 가질수록 복잡해지기는 하지만 정밀한 결과를 얻을 수 있다. 임의로 주어진 연속적인 조건들이 만족되는 하나의 범주가 형성되면 이 범주는 특정한 결과들을 갖게 된다.

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

```

IF the beat is ≥ 10% premature (2)
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.

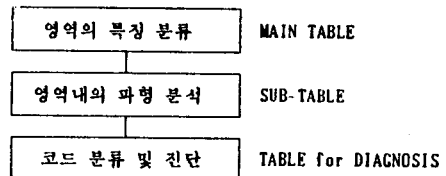


그림 1. 분류를 위한 정보의 처리 과정

전문의가 심전도 파형을 통하여 병명을 진단할 때, 전문의는 가장 먼저 주어진 파형 속에서 증세를 나타낼 수 있는 특징을 찾으려고 할 것이다. 그리고 나서 특징을 검토하여 이러한 증세로서의 특징들이 나타나는 질병의 범주를 설정하고 세부적인 의학적인 지식을 적용하여 진단을 행할 것이다. 본 논문에서도 위와 같은 과정으로 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 파형들 간의 상관관계를 이용하여 몇 개의 그룹으로 분류한다. 이렇게 분류가 된 영역을 가지고 영역내의 파형을 검색하게 된다. 마지막으로 검색을 통하여 얻은 결과를 가지고 최종적인 진단을 행하게 된다.

3.3.1 영역의 특성검출 및 영역의 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 있다는 것이다. 영역을 분류하기 위한 테이블은 그림 2에 나타나 있다. 여기서 X1에서 X6은 각각의 부테이블(sub-table)의 분기(branching)를 명명하는 것으로 '영역이 가지는 특징별로 세부적인 파형고찰을 위한 테이블로 분기하라'는 의미를 가진다.

3.3.2 Sub-Tables

영역의 특성 검출을 거친 데이터는 부테이블(Sub-Table)에서 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.

* Conditions

- C1. R-R 간격의 변화가 큰가?
- 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
C1. R-R Variance	Y	Y	N	Y	N	Y	N
C2. R-wave shape	Y	N	N	N	-	-	N
C3. P-P > R-R	N	N	N	N	Y	Y	N
C4. P-wave shape	Y	Y	Y	N	-	-	N
CC	1	1	2	1	4	4	1
A1. NORMAL or NO ARRHYTHMIA							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 영역 분류 테이블

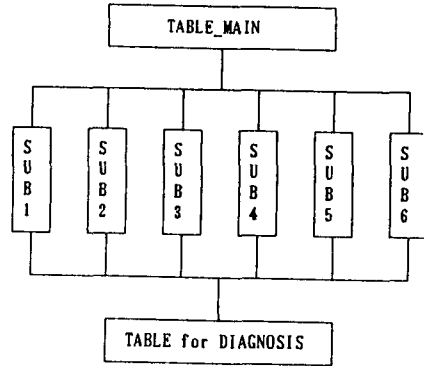


그림 3. 판정테이블의 전체적인 구성

다. P파 및 QRS 파형, R-R 간격 및 P-P 간격이 모두 정상 이므로 '정상 또는 부정맥이 아니다'라는 진단결과가 나왔다. 표 4는 8-1-1번(SVPB) 데이터로 입력한 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 검출 되었다.

3.3.3 진단 테이블 : TABLE for DIAGNOSIS

2단계의 테이블을 거친 각각의 파형들은 파형이 지닌 특징에 따라 고유 코드값을 가지게 된다. 그 고유 코드는 가능한 모든 범위를 내포하는 것으로 하나의 영역 내에 나타난 코드들을 종합적으로 분석하면 환자가 가진 병명을 도출해 낼 수 있다. 심전도 신호도 질병을 진단할 때, 질병에 따라서 하나의 파형만으로 진단이 가능한 경우도 있으나 대부분의 경우에는 복합적인 증세도 나타난다. 그러므로 이러한 과정은 여러가지의 증상을 종합적으로 분석해야 하는 질병에 있어서 필수적인 과정이며 보다 정확하고 신뢰도가 높은 진단을 할 수 있도록 도와준다.

4. 시뮬레이션 및 결과고찰

본 논문에서는 부정맥 자동진단 소프트웨어 알고리즘을 개발하고 검증하기 위하여 "The Minnesota Code Manual of Electrocardiographic Findings"에 나타나 있는 진단 기준 및 파형을 사용하였다. 각각의 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 블록다이어그램이다.

임상적인 징후는 상호 배타적이 아니라 오히려 상당히 중복된다는 사실때문에 외로진단은 통계적인 근거로 처리되어야 한다. 한가지 예로서, 본 논문에서 QRS 군의 폭이 정상 인지를 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. 그리고나서 박동률(Heart Rate)과 각 파형들이 가지는 특징을 표시하였고, 최종적으로 가능성 있는 질병의 코드를 나타내었다.

표 3은 정상 심전도 신호를 입력하였을 때 얻어진 결과이

표 3. 정상 심전도 파형에 대한 시뮬레이션

```

=====INPUT DATA=====
P-shape      : 1 1 1 1 1 1 1
QRS-shape    : n 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 Arrhythmia or Normal!!
  
```

표 4. 8-1-1번 데이터에 대한 시뮬레이션

```

=====INPUT DATA=====
P-shape      : 1 1 1 2 1 3
QRS-shape    : n 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!!
  
```

5. 결 론

본 논문은 그동안 많은 논란이 되어 온 부정맥의 종류 및 진단기준을 국제적으로 가장 널리 사용되고 있는 미네소타 코드로 표준화시켜 진단하는 알고리즘의 개발에 관한 연구로서 알고리즘 개발을 위하여 판정 테이블 기법을 사용하였다. 의학적인 지식인 미네소타 코드의 분류기준을 판정 기준으로 사용하였으므로 신뢰도가 높은 데이터를 입력하였을 경우 매우 정밀하고도 정확한 진단을 행할 수 있으며 의도진들에게 보다 객관적인 정보를 제공할 수 있다. 또한 판정 테이블 기법은 의도진단에서 병과 증상사이의 많은 복잡한 문제들을 간단하고도 명료하게 표현할 수 있으며 복잡한 연산처리 과정이 많이 필요치 않기 때문에 임상에서 중요한 실시간 진단을 실현할 수 있다. 판정테이블 기법은 형태가 간단하여 수정이 필요할 때에나 시스템을 확장할 때, 몇 가지의 규칙을 수정하거나 추가하기만 하면 부정맥뿐만 아니라 다른 심장병의 자동진단으로의 확장도 용이하다.

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) Holter N.J., "New Method for Heart Studies," Science, Vol. 134, pp1214-1220, 1961
- 3) Roland J.P., Rechar S.C., Henry B.: The Minnesota Code Manual of Electrocardiographic Findings, PSG Inc, 1982
- 4) Nygars, M.E., Hulting J., "An Automated System for ECG Monitoring," Comput. Biomed. Res., pp181-202, 1979
- 5) Mary Boudreau Conover : Understanding Electrocardiography, 5th ed., Mosby, 1988
- 6) Henry J.L., Marriott : Practical Electrocardiography, 8th ed., Williams&Willkins, 1988
- 7) 최은식 : 임상 심전도학, 서울대학교 출판부, 1987
- 8) 윤형토, 최경훈, 이명호, 박규배, "마이크로컴퓨터를 이용한 실시간 ECG 자동진단 알고리즘, 대한 의공학회지, Vol.6, No.1, pp.55-64, 1985
- 9) 김정훈, 이명호, "ECG 자동진단장치용 위한 디지털신호 처리 시스템의 설계," 전기-전자공학회 하계합동학술대회, 1987
- 10) 이명호, 윤형토, "마이크로컴퓨터를 이용한 실시간 ECG 자동진단알고리즘," 의공학회지, Vol.6, No.1, pp.55-63, 1985
- 11) Recharg B. Hurley : Decision Tables in Software Engineering, Van Nostrand Reinhold, Data Processing Series, 1983
- 12) 김재희 : 인공지능의 기법과 응용, 교학사, 1988
- 13) 이명호 : 의용공학, 연이사, 1988
- 14) 이명호 : 의용계측계론, 을지문화사, 1985
- 15) Josef Wartak : Computers in Electrocardiography, Thomas Books, 1970
- 16) J.C.Webster : Medical Instrumentation, Houghton Mifflin, 1978