

## 지능 제어 시스템을 이용한 심전도 판단자 설계

김민수, 김상득, 구자현, 서희돈  
영남대학교 대학원 전자공학과

# A Design of the Decision Maker of ECG Using the Intelligent Control System

M S Kim, S D Kim, J H Ku, H D Seo  
Dept. of Electronic Engineering  
Yeungnam University

### Abstract

This Paper presents a design of the fuzzy decision maker analyzable of output result of ECG signals. The fuzzy decision maker proposed are divided into two groups whose functions are different each other. The one rules when decision of heart rates, The other decision values for an interval of each points of waveform using of which static state values and abnormal values. We have chosen several variable used for composing condition and action part by knowledge of an Expert . The result of outputs with fuzzy rules suggested was a proved of satisfied with by classify ECG arrhythmia signals

### I. 서론

심장의 전기적 활동을 나타내는 심전도(ECG : electrocardiogram)는 심장의 상태나 심장의 질환을 알아보기 위한 중요한 측도로 자주 쓰인다. 최근 컴퓨터를 이용하여 이러한 심장의 상태를 진단하는 심전도 자동 진단 시스템에 관한 연구가 시도되고 있다. 심전도 신호를 자동으로 진단하기 위한 시스템은 데이터 획득, 잡음 제거, 파형 분석에 의한 ECG 변수검출, 신호식별, 결과 표시 및 처리된 데이터 전송 등으로 나누어지며, 심전도 자동진단 시스템의 변수로는 주로 심전도의 R-R 간격과 QRS폭, Morphology가 이용되었다<sup>1)</sup>. 그리고 QRS 군에 대한 정보는 morphology, axis deviation, QR폭, ST세그먼트 등의 변수들을 추출하여 정량화하고 있으나, 정량화된 심전도의 변수들을 가지고 실제로 심장 전문가마다 판단 기준이 다르고 심전도 처리 시스템마다 측정된 변수 검출 오차 때문에 정량화 하는데 많은 어려

움이 따라 여러 가지 ECG 처리 방법들이 계속 연구되어지고 있다.

지능제어, 신경망, 퍼지 등의 새로운 기법을 도입하여 기존 지식을 기반으로 하여 ECG 신호의 판단을 상세화 하는 연구가 진행 중이다<sup>2)</sup>.

퍼지 이론이란 인간이 가지고 있는 애매한 정보의 인식, 추론, 판단 기능을 컴퓨터에 부여하여 좀더 인간에 가까운 정보처리를 할 수 있게 해주는 하나의 기법으로 생각 할 수 있으며 1965년에 처음으로 발표된 이후 인공지능, Computer Science, 제어공학, Decision 이론, 전문가 시스템, Pattern Recognition등 많은 분야에 응용되었다. 이러한 퍼지이론을 지식 베이스로 하여 애매한 사실의 집합이 입력되었을 때 결과를 추론하는 방법으로 ECG 신호와 같이 여러 가지 관측 변수를 고려하여 종합적으로 판단하여야 하는 경우 효과적이다.

ECG 신호를 이용하여 부정맥을 판단하기 위해서는 PQRST 형태, 크기, 반복도,시간 등이 변수로 작용하여, 가장 중요한 변수는 심박수이다. 심박은 심장의 박동수가 정상인지를 판단하는 측도로 하는 평가자료로 자주 활용되고 있다.

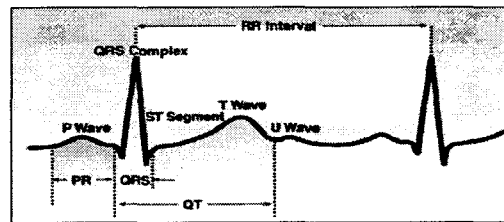


그림1. 심전도의 파형

Fig. 1. Waveform of ECG

본 연구에서는 ECG 신호의 변수 및 이의 작동범위를 퍼지이론으로 표현하고 신호 판별을 위한 추론 규칙을 작성하고, ECG 신호 판단 과정에서 발생하는 애매

모호성을 줄이고 전문가의 지식과 조건을 판단 할 수 있는 판단자 알고리즘을 개발하였다.

ECG의 부정맥을 판단하기 위해서 일반적인 방법들은 ECG신호의 특정변수를 측정하고 ECG 신호 분석 단계를 거쳐서 Reference 변수 테이블과 테이블을 비교하여 부정맥을 판단하는 방법을 사용하고 있다.

일반적인 ECG신호 판별에서는 몇가지 문제점을 가지게 되며, ECG 신호 측정 시 발생하는 오차로 인하여 ECG 변수 테이블과 비교할 때 신호 판별이 안 될 수도 있으며, 만일 신호 판별이 되지 않는 경우 수를 제거하기 위해 테이블에서 변수 범위를 확장시킨다면 분석된 하나의 ECG신호에 대해 여러개의 부정맥 명으로 판별하는 모호성이 발생될 수도 있다.

이와 같이 수치적인 정보값으로 일반적인 디지털 시스템에서 신호 판별을 할 경우 애매 모호성을 내포하게 될 수가 있다. 퍼지이론을 이용한 신호 판별 방법을 사용함으로써 수치적인 정보처리 시스템에서 나타나는 모호성 및 판별 불가능성을 개선하였다<sup>3)</sup>.

본 논문에서는 사람들의 성별 나이 등을 고려하지 않았다. 왜냐하면 사람마다 심전도의 형태들이 너무나 다르기 때문에 일반적인 파형을 이용하여 R-R파의 Interval, QRS군 Interval, P-R Interval, P Interval등을 이용한 시간영역을 이용한 소속도 함수를 설정하여, 일정한 범위의 시간을 벗어난 정도를 가지고 서맥과 빈맥에 해당되는 부분을 찾아내어서 부정맥 판정을 위한 도구로 이용 될 수 있는 퍼지 알고리즘을 개발하는데 목적을 가지고 연구하였다.

II. 심전도 파형의 판정을 위한 퍼지 규칙

퍼지 규칙을 설계하려면 먼저 퍼지 규칙의 조건부 및 결론부에서 사용될 변수들을 설정해야한다. 본 논문에서 다루는 문제에서 결론부에 사용될 변수는 미리 심전도 파형의 시간간격으로 이미 결정 되어있다. 따라서 변수 설정에서 중요한 문제는 조건부에 사용될 변수를 선정하는 것이다. 여기서 중요한 관점은 R-R 시간간격, P파, P-R 시간값, QRS 폭의 시간값 등은 표 1 과 같이 전문의들의 의학 연구 결과를 기준으로 한 이상적인 시간대를 가지고 판정한 기준데이터를 기준으로 삼는다<sup>4)</sup>.

표 1. 조건부의 변수 및 기준 데이터

	변 수	기준 데이터
1	R-R 주기의 정상 맥박수	60 ~ 100/min
2	P파의 이상적인 값 (심방내 진도시간)	0.06 ~ 0.10 sec
3	P-R간격의 이상적인 값 (방실 결절 진도 시간)	0.12 ~ 0.20 sec
4	QRS 폭의 이상적인 값 (심실의 총 탈분극 시간)	0.06 ~ 0.10 sec

그 다음 각 변수들에 대한 Term set과 Term set<sup>5)</sup>의 각 요소에 대한 소속도 함수를 결정하는 것이다. 소속도 함수의 모양에는 지수형, 사다리형, 삼각형 및 임의형 등 여러 가지 있으나 여러 종류의 수식 모델에 대한 시뮬레이션 및 실험 장치에 대한 테스트를 통해 대개의 경우 가장 간단한 형태인 삼각형 함수만으로도 원하는 출력 특성을 얻을 수 있다는 사실들을 알 수 있었다. 따라서 소속도 함수의 모양으로는 삼각형 형태를 선정하였다.

각 변수에 대한 Term set을 언급하기 전에 몇 가지 기호를 정의하여 보았다. R-Ri를 R-R주기에 대한시간, Pi를 P파에 대한 시간값, P-Ri를 P-R간격에 대한 시간값으로 하였으며, QRSi를 QRS군에 대한 시간 값이라 정한다. 언어변수 R-Ri, Pi, P-Ri, QRSi들의 Term set은 모두 동일하며 다음식 (1)과 같다.

$$\text{Term set} = \{ \text{SA, SM, MM, ML, LA} \} \quad (1)$$

여기서 SA는 Small, SM은 Small Medium, MM은 Medium, ML은 Medium Large, 그리고 LA는 Large의 약자이다.

변수 R-Ri 의 Term set에 있는 각 요소에 대한 소속도 함수는 시간대 별로 맥박수의 차이를 가지고 그림 2와 같이 결정했다 .

변수 R-Ri의 시간은 맥박수를 측정하는 기준이 되며, 이를 기준으로 부정맥을 판단할 수 있는데 정상인의 맥박수를 분당 60 ~ 100을 기준으로 하여 가장 가운데 값을 가장 이상적인 맥박으로 판단하여 상하 벗어난 정도를 가지고 소속도 함수의 크기를 결정하였다. 그림3은 Pi의 소속도 함수값을 가장 이상적인 시간대를 기준으로 하여 상 하 크기를 결정한 결과이며, 그림4도 이상적인 시간값을 기준으로 하여 소속도 함수의 크기를 결정한 결과이며 그림5는 QRS군의 폭을 시간 값을 가지고 소속도 함수를 결정했다.

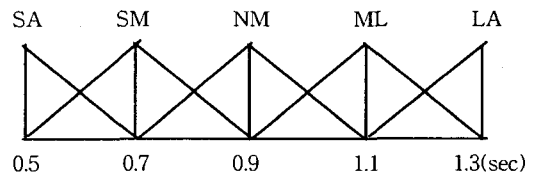


그림2. R-Ri 요소에 대한 소속 함수  
Fig. 2. Membership function of each element for R-Ri

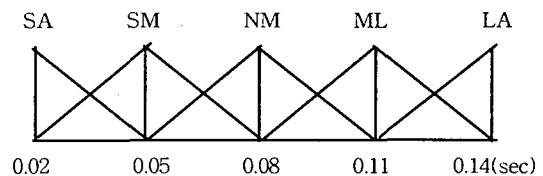


그림3. Pi 요소에 대한 소속도 함수

Fig. 3. Membership function of each element for Pi

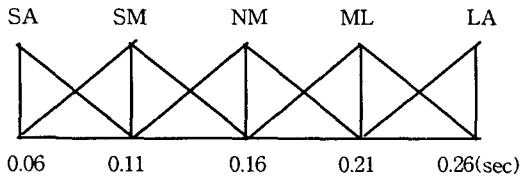


그림4. P-Ri 요소에 대한 소속도 함수

Fig. 4. Membership function of each element for P-Ri

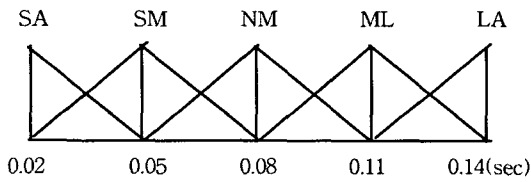


그림5. QRSi 요소에 대한 소속도 함수

Fig. 5. Membership function of each element for QRSi

한편 심전도 파형에서는 결론부에 사용될 변수는 조건부의 변수들과는 다른 Term set을 사용하도록 설계하였으며, 심전도 파형의 판단 Term set은 다음과 같이 정의하였다.

Term set of decision = { NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB } (2)

여기서 NB는 Negative Big, NM은 Negative Medium, NS는 Negative Small, ZE는 Zero, PS는 Positive Small, PM은 Positive Medium, 그리고 PB는 Positive Big이다. 따라서 그림6에서는 몇번의 시행착오를 거쳐서 판단 Term set를 결정했으므로, 최종적인 판단은 각 심전도 파형의 전체시간을 합하여야 한다. 여기서 각 소속도함수의 크기는 ZE값이 심전도 파형의 시간이 가장 이상적인 상태인 것으로 기준 삼았고 정상상태를 기준으로 하여 상,하값으로 벗어난 정도를 가지고 부정맥의 이상여부를 판정하였다. 정상값보다 적은 값으로 판정되는 상태를 빈맥상태로 판정하고 빈맥중에서도 시간값을 가지고 빈맥의 여러형태로 구분하였으며, 정상상태보다 매우 큰 값을 가진 상태로 판정되었을 때 서맥으로 판정할 수 있으며, 서맥중에서도 시간 간격의 형태로 다르게 판정 할 수 있을 것이다.

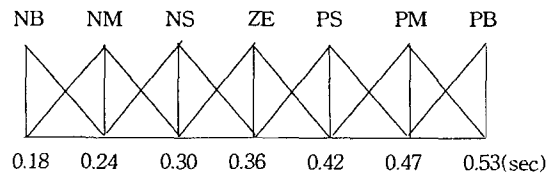


그림6. ECGarr 요소에 대한 소속도 함수

Fig. 6. Membership function of each element for ECGarr

마지막으로 심전도 신호 판정을 위한 퍼지 추론규칙은 위에서 언급한 변수들을 사용하여 두 개의 그룹으로 설계했다.

첫 번째 그룹에 속하는 규칙들은 R-Ri를 가지고 맥박수를 추론하는 것이며, 결론부의 ECGarr은 심전도 부정맥 상태를 나타낸 것으로서 다음과 같다.

- IF R-Ri is LA Then ECGarr is NB
- IF R-Ri is ML Then ECGarr is NM
- IF R-Ri is MM Then ECGarr is ZE
- IF R-Ri is SM Then ECGarr is PM
- IF R-Ri is SA Then ECGarr Is PB

두 번째 그룹에 속하는 규칙들은 결론부의 출력 시간은 이미 정해진 상태에서 심전도의 출력시간을 추론하기 위해서는 조건부 각 변수들의 소속도 함수를 수동으로 조절할 때에 결론부에서는 각 부정맥 형태들을 판정하기 위한 것이다. 이 그룹에 속하는 규칙들은 다음과 같다.

- IF Pi is LA & P-Ri is LA & QRSi is LA Then ECGarr is PB
- IF Pi is LA & P-Ri is ML & QRSi is ML Then ECGarr is PM
- IF Pi is ML & P-Ri is ML & QRSi is MM Then ECGarr is PS
- IF Pi is ML & P-Ri is MM & QRSi is MM Then ECGarr is ZE
- IF Pi is MM & P-Ri is MM & QRSi is SM Then ECGarr is NS
- IF Pi is MM & P-Ri is SM & QRSi is SM Then ECGarr is NM
- IF Pi is SA & P-Ri is SA & QRSi is SM Then ECGarr is NB

위와 같은 퍼지 규칙들과 소속도 함수들로부터 주어진 상태에서 새로운 설정값을 계산하는 퍼지 추론방법으로 잘 알려져 있는 Mim-Max 방법을 사용하며, 비퍼지화(Defuzzification)방법으로는 무게 중심법(Center of garvity)을 사용하고 있다.

### III. 실험과 결과

제안된 퍼지 규칙을 이용하여 실행해 보기 위하여 퍼지 시스템을 그림7과 같이 구성하였다. 퍼지 추론 규칙

을 이용한 심전도 파형의 판정을 위해서 7가지 형태를 판정 대상으로 시뮬레이션 하였다. 정상값을 기준으로 벗어난 정도를 가지고 부정맥 이름을 명명하였다. 시뮬레이션 실험 결과 위의 조건들과 같이 조건부에서의 조건을 수동으로 조절할 경우, 결론부의 결과를 예측 할 수 있는 판단자의 기능이 있다는 것을 알 수 있음을 실험을 통해서 충분히 가능성을 증명해 보였다. 그림 8에서는 R-Ri를 기준으로 맥박 수를 쉽게 판정할 수 있는 결과를 보였으며, 그림 9와 10은 P파, P-R파, QRS군의 시간 값들을 가지고 서맥과 빈맥의 출력 파형의 결과 값들을 나타내었다. 그림의 출력 결과 값들을 가지고 부정맥 판정을 할 수 있음을 실험결과에서 나타내었다.

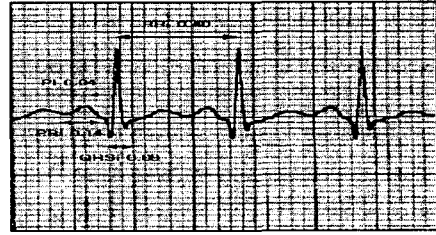


그림10. 빈맥인 예  
Fig.10. Result of Tachycardia

V. 결론

본 논문에서는 심전도 파형을 분석하여 이상정도를 판정할 수 있는 판단자를 퍼지 추론 규칙과 각 변수들의 소속도 함수등을 이용하여 설계한 것이다.

먼저 퍼지 규칙을 설계하기 위하여 조건부 변수로 R-R시간 간격, P파, P-R시간 값, QRS의 시간 값을 정하고 각 변수들에 대한 소속함수를 가장 간단한 형태인 삼각형 함수로 결정하였다. 다음 심전도 결정 변수는 NB, NM, ZE, PS, PM 및 PB로 정하였고, 최종적인 판단은 각 심전도 파형 전체시간을 합하였다. 제안된 퍼지규칙을 이용하여 시뮬레이션 해 본 결과 파형의 상태로 부정맥 판정을 할 수 있음이 증명 되었다.

규칙수를 늘이고 추론방법을 보완하면 on-line으로 심전도 파형이 연속해서 발생했을 경우에도 이상 유무를 정확하게 판단 할 수 있다. 그리고 동일 변수를 갖는 부정맥을 판별하기 위하여 체계적인 심전도 다 변수 분석과 임상실험을 통하여 환자에게 직접 적용 가능한 심전도 퍼지시스템의 개발이 필요하다.

[參考文獻]

- 1) Willis J. Tompkins & John G. Webster, "Design of Microcomputer-Based Medical Instrumentation", Prentice-Hall, 1981.
- 2) John D. Enderie & Susan M. Blanchard, "Introduction to Biomedical Engineering", Academic Press, 2000.
- 3) 장원석, 이용혁, " 퍼지 프로세스를 이용한 심전도 판별 시스템 개발." 의공학회지 Vol. 16, No.4 1995
- 4) 金炯默譯, "심전도 해설," 1993. 1. 6.
- 5) H. J. Zimmerman : " Fuzzy Set Theory and Its Applications". Kluwer-Nijhoff Publishing. 1985

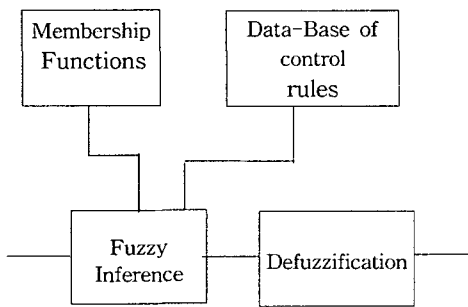


그림7. 퍼지시스템 구성  
Fig. 7. Block diagram of Fuzzy system

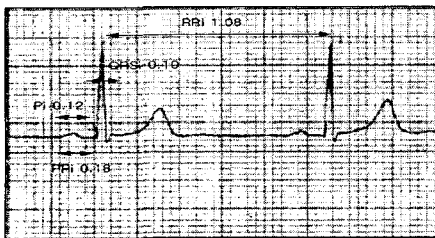


그림8. 실험 결과  
Fig.8. result of Experimental

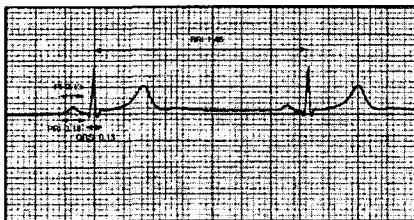


그림9. 서맥인 예  
Fig.9. Result of Bradycardia