

퍼지추론을 이용한 요분석 시스템 분류기의 시물레이션

°이승진, 김기련, 민상기, 김봉수, 이영우*, 김재형**, 전계록***
부산대학교 대학원 의공학협동과정, 부산대학교 의과대학 신경외과학교실*,
인제대학교 물리학과**, 부산대학교 의과대학 의공학교실***

Simulation on Classifier of Urine Analysis System using Fuzzy Inference

S. J. Lee, G. G. Kim, S. K. Min, B. S. Kim, Y. W. Lee*, J. H. Kim**, G. R. Jeon***
Dept. of Interdisciplinary program in Biomedical Engineering, Pusan National Univ.
Dept. of Neurosurgery, College of Medicine, Pusan National University.*
Dept. of Physics, Inje Univ.** Dept. of Biomedical Engr., College of Medicine, Pusan Natl. Univ.***

요 약

요에 함유된 여러 성분들의 영향에 의해 다양한 정적 특성을 나타내는 요분석용 스트립의 화학적인 변화 양상을 요분석 시스템을 사용하여 요분석용 스트립의 각 항목별 각 등급별을 정성적 및 반정량적 분석을 하기 위하여 퍼지 알고리즘을 제안하고, 퍼지 분류기를 구현한 후 구현된 분류기를 검증하기 위하여 시물레이션 하였다. 이를 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다. 표준시료를 사용하여 요분석용 스트립의 분광학적 분석에 의한 퍼지 입력 변수, 퍼지 멤버쉽함수 및 퍼지규칙을 생성하였다. 그리고 구현된 분류기를 사용하여 각 항목별과 각 등급별로 평가하였다. 평가 결과 요분석용 스트립의 항목별 음성과 양성의 판별에서는 우수한 결과가 나왔으나, 정량적 분석을 위한 각 항목별 등급의 분류에서는 측정값의 오차로 인해 최고 8%의 오차가 발생하였다.

서 론

사기기에 의해 검사하여 질환의 진단보조 및 치료
임상병리학에서는 환자의 혈액(blood), 뇨(urine), 계획에 활용하고 있다. 이러한 임상분석은 분석 재
변(feces), 그리고 여러 측정물질들은 자동화된 검 료가 생체액이라고 하는 복잡한 사항과 환자의 환

경요인 등으로 인하여 검사 데이터에 이상이 발생할 수 있다. 또한 신속, 미량이라는 임상검사의 조건은 신뢰성을 더욱 중요하게 하고 있다. 임상검사에서 불확실한 측정값과 기대치 않은 요인으로 발생하는 오차들을 해석하기 위해 통계학적 방법 등을 적용하고 있다[1-4]. 그러나 이러한 방식은 여러 가지 오차의 구조자체가 통계적이거나 확률적이지 않으면 적용하기 어려운 문제점이 있다[2]. 따라서 임상검사장비의 고유한 하드웨어적인 특성과 여러 가지 외란 영향에 의한 데이터가 왜곡될 수 있기 때문에 이러한 영향들을 보정하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 요에 함유된 10가지 성분들에 민감하게 반응하는 시약이 착색된 스트립(strip)을 이용하고, 요의 상태를 검사하는 요분석 시스템의 분류기를 퍼지이론을 이용하여 구현하였다. 퍼지 추론을 이용하여 요검사의 등급 분류를 할 수 있는 퍼지분류기를 설계하였으며, 표준시료에 적용하여 특성을 평가하였다.

요분석 시스템

본 연구에서 제작한 요분석 시스템은 정성 및 반정량분석을 할 수 있는 시스템이며, 전체 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

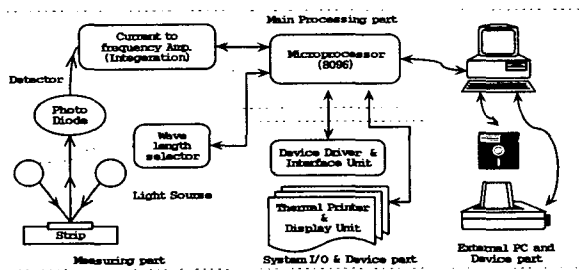


그림 1. 요분석 시스템의 기능별 구성도.

퍼지분류기

1. 퍼지분류기의 구성도

요분석 시스템의 정밀도와 신뢰성을 유지하기 위하여 통계학적인 수법과 인간의 논리체계와 유사한 판단기준을 제공할 수 있는 퍼지이론을 적용하였다. 스트립의 정색반응을 측정된 검사결과가 임상적으로 허용할 수 있는 판정값을 갖도록 하기 위해 요분석 시스템의 검사판정을 하는 분류기에 퍼지이론을 이용한 퍼지분류기(fuzzy classifier)를 구성하였다. 퍼지분류기의 전체 구성도는 그림 2와 같다.

퍼지분류기의 입력에는 표준시료와 검사할 시료를 사용할 수가 있고, 시료의 종류에 따라 동작 순서는 다르게 구성되었다. 먼저 표준시료를 사용할 경우는 측정값의 통계학적 방법으로 변수를 생성하는 멤버쉽함수 발생기(membership function generator)가 동작하고, 측정된 표준시료를 기초로 하여 생성한다. 그리고 검사할 시료를 사용할 때는 측정값이 퍼지분류기에 입력되고 생성된 멤버쉽함수와 퍼지규칙으로 결과를 추론해 낸다. 그리고 추론된 결과는 오차 검출 프로그램에 의해 멤버쉽함수의 보정제어신호를 발생한다.

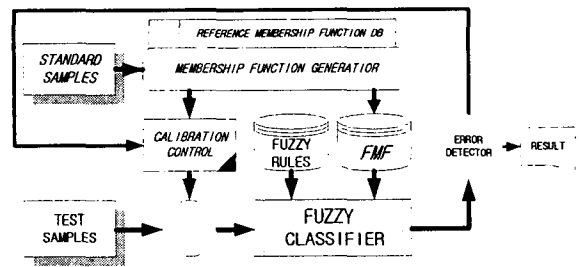


그림 2. 퍼지 분류기의 구성도.

2. 퍼지 입력력 변수

스트립 패트에 각 파장의 광원별 반사율을 측정 한 값으로서 광원, 시료, 및 센서의 특성을 합한

값의 연산과정은 그림 3에 나타내었으며, 이 값들은 퍼지 분류기의 입력변수로 설정된다. 스트립 패드의 각 파장별 총 에너지 E_e 는 스펙트럼 곡선에 많은 좁은 대역으로 분할해서 각 가중치를 곱하고 합하여 식 1과 같다[6].

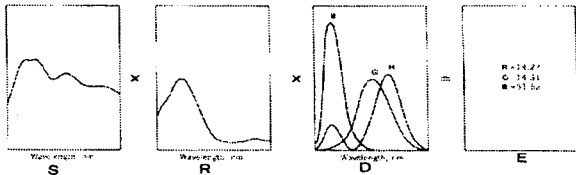


그림 3. 각 파장의 광원별 반사율 연산과정.

$$E_e = \sum S_\lambda R_\lambda D_\lambda \Delta\lambda \quad (1)$$

여기서 S 는 광원출력, R 는 시료의 반사율, D 는 측정센서의 반응도, λ 는 파장대역을 나타낸다.

본 연구에서 사용한 네 개의 발광원에 대한 입력변수를 식 2에서 식 5까지로 정의하고, 입력변수별 전체집합 구간을 일정한 영역으로 변환시키는(scale mapping) 과정 즉 전처리과정을 식 6에서부터 식 9로 정의하였으며, 입력에 대한 출력은 식 10과 같이 나타내었다. 여기서 k 는 측정시료를 나타내며, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 는 발광원으로 사용된 각 광원의 파장대역을 나타내었다.

$$X_1(k) = E_e(\lambda_1) = \sum S_{\lambda_1} R_{\lambda_1} D_{\lambda_1} \Delta\lambda_2 \quad (2)$$

$$X_2(k) = E_e(\lambda_2) = \sum S_{\lambda_2} R_{\lambda_2} D_{\lambda_2} \Delta\lambda_2 \quad (3)$$

$$X_3(k) = E_e(\lambda_3) = \sum S_{\lambda_3} R_{\lambda_3} D_{\lambda_3} \Delta\lambda_3 \quad (4)$$

$$X_4(k) = E_e(\lambda_4) = \sum S_{\lambda_4} R_{\lambda_4} D_{\lambda_4} \Delta\lambda_4 \quad (5)$$

$$X_1'(k) = \frac{X_1(k)}{X_1(k) + X_2(k) + X_3(k) + X_4(k)} \quad (6)$$

$$X_2'(k) = \frac{X_2(k)}{X_1(k) + X_2(k) + X_3(k) + X_4(k)} \quad (7)$$

$$X_3'(k) = \frac{X_3(k)}{X_1(k) + X_2(k) + X_3(k) + X_4(k)} \quad (8)$$

$$X_4'(k) = \frac{X_4(k)}{X_1(k) + X_2(k) + X_3(k) + X_4(k)} \quad (9)$$

$$Y(k) = f_{fuzzy}\{X_1'(k), X_2'(k), X_3'(k), X_4'(k)\} \quad (10)$$

3. 멤버십 함수 및 생성

퍼지분류기를 사용한 요검사의 정성 및 반정량적 분석을 위해서는 우선 퍼지화에 따른 멤버십 함수가 정의되어야 한다.

본 논문에서 멤버십 함수를 생성하는 것은 통계학적 이론을 바탕으로 하였다. 일반적으로 요검사에서 측정값의 정밀도는 표준편차 또는 평균치에 대한 표준편차의 백분율인 변동계수(coefficient of variation, CV)를 지표로 한다. 측정치에 대한 표준편차의 해석은 러시아의 수학자 체비셰프가 증명한 방법과 오랜 시간을 통해 축적된 경험에 근거를 둔 경험적 법칙(the empirical rule)을 이용한다. 퍼지 멤버십 함수는 삼각형, 사다리형 및 종형 등이 있다. 본 논문에서는 삼각형과 사다리형으로 제한을 한 이유는 우선 내장형 시스템의 프로그래밍 함수로 나타내기 쉽고, 비퍼지화(defuzzification)하는 경우에도 비교적 쉽게 계산할 수 있기 때문이다. 입력변수 x 에 대한 두가지 멤버십 함수 형태를 평가하기 위하여 그림 3과 그림 4로 구성하였다.

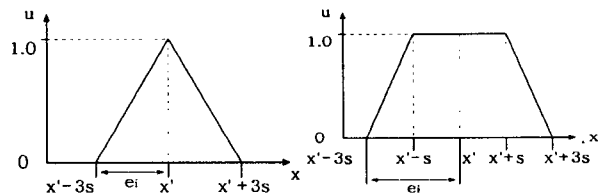


그림 4. 퍼지변수의 삼각형, 사다리형 멤버십 함수.

그림 4에서 e_i 는 멤버십 함수의 변수폭, x' 는 멤버십 함수의 중심, s 는 멤버십함수 생성에 필요한 표준시료의 표준편차를 나타내며, u 는 입력 x 에

따른 소속정도를 나타낸다. 퍼지 멤버쉽함수의 생성과 생성에 필요한 입력변수의 평가의 척도로서 상관계수를 사용하였다. 각 함수 x' , s , e_i , CV 는

$$x' = \bar{x}' + k \frac{\sum (fz)}{N} \quad (7)$$

$$s = \sqrt{\frac{k^2}{N-1} - \left[\frac{\sum (fz^2)}{N} - \frac{(\sum fz)^2}{N^2} \right]} \quad (8)$$

$$e_i = x' \pm 3s \quad (9)$$

$$CV = \frac{s \times 100}{x'} \quad (10)$$

로 정의되며, 단, x' 는 평균값, N 는 측정횟수, s 는 표준편차, \bar{x}' 는 예비평균값(preliminary mean), k 는 클래스의 범위(Class interval), f 는 클래스내의 측정횟수(Number of values within a class), z 는 예비평균으로부터 클래스의 차(distance of class average from preliminary mean : in units of class interval) 이다.

4. 퍼지제어 규칙 및 추론

정성적 화학분류기에서 사용되는 퍼지논리는 다 입력 단일출력(MISO)의 규칙들로 표현한다.

본 연구에서는 min연산, product연산, 선형 연산 등의 추론방법 중에서 Mamdani가 제안한 min연산 추론방법을 사용한다[7]. 비퍼지화에는 최대값 방법, 최대 평균법, 무게 중심법 등이 있으며, 본 연구에서는 무게 중심법을 이용하여 비퍼지화를 구현하였다.

본 논문에서는 전절에서 구성한 입·출력변수 및 멤버쉽함수를 이용하여 분류기의 기본원리와 오퍼레이터의 경험 그리고 언급한 추론법을 토대로 분류규칙을 구성하였으며, 검사항목 중 Occult Blood 항목을 IF-THEN 형식의 분류규칙으로 만들었다. 이들 규칙중 일부는 실제로 발생하지 않는

것도 있으나 여기서는 이들 규칙을 모두 사용하였으며 이를 테이블로 만든 것이 표 1이다.

표 1. blood 항목에 관한 퍼지분류기 규칙.

orange & red blue & green	level1 & level1	level2 & level2	level3 & level3	level4 & level4
level1 & level1	degree_1	degree_0	degree_0	degree_0
level2 & level2	degree_0	degree_2	degree_0	degree_0
level3 & level3	degree_0	degree_0	degree3	degree_0
level4 & level4	degree_0	degree_0	degree_0	degree4

실험 및 결과

요분석용 스트립의 반정량적 화학분석을 하기 위해 구성된 퍼지 분류기는 Matlab의 fuzzytools를 사용하여 구현되었으며, 컴퓨터에서 시물레이션 하였다. 구현된 퍼지분류기의 입력변수와 멤버쉽함수 생성에 필요한 측정값은 제작된 요분석 시스템에서 외부 컴퓨터로 통신하여 저장된 파일을 사용하였다. 멤버쉽 함수 생성 프로그램은 퍼지분류기와 분리되어 동작하도록 하였으며, 설정된 값을 퍼지 멤버쉽 함수 파일에 저장하도록 하였으며, 퍼지 분류기의 입력변수는 측정된 데이터 파일을 사용하여 입력하고, 각 항목별로 메뉴를 선택하도록 하였다. Glucose 항목의 퍼지 멤버쉽 함수를 그림 5와 같이 생성하여 나타내었다.

본 논문에서 사용한 요분석용 스트립의 10가지 항목중 8가지만 선택하였으며, 각 항목에 따른 등급별 표준시료를 사용하여 25회 측정하였다. Nitrite 항목은 두가지의 분류등급이 확실하게 구분되었다. 삼각형 멤버쉽함수를 구성한 퍼지 분류기의 분류가 모두 가능한 경우, 분류가 부분적인 경우, 입력변수의 설정에 문제가 발생한 경우에 대

용하는 그림 6의 blood 항목, 그림 7의 glucose 항목, 그림 8의 bilirubin 항목을 나타내었고, 정성적 분석을 하기 위하여 임계치를 이용한 결과도 같이 나타내었다.

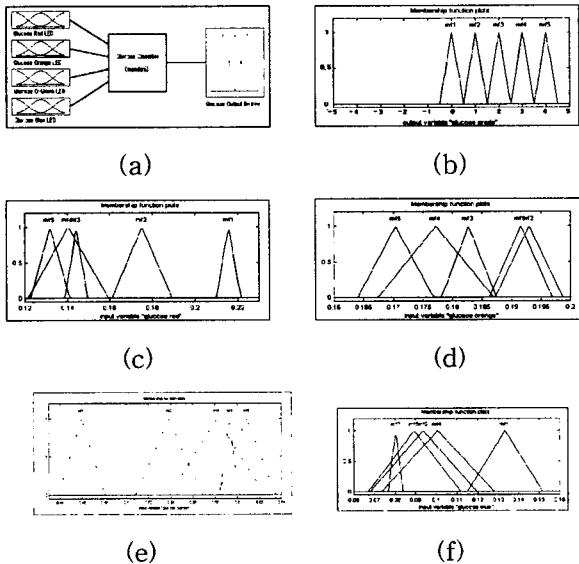


그림 5. Glucose의 입출력 멤버쉽함수, (a)구성도, (b)출력 멤버쉽함수, (c)red LED, (d)orange LED, (e)orange와 green LED, (f)blue LED

그림 6과 같이 blood 항목의 모든 등급에서 100% 분류가 되므로 멤버쉽 생성에서도 안정적임을 확인하였다. 그림 7의 glucose 항목은 분류등급이 2와 3의 경우에 퍼지출력이 정상분류등급보다 높거나 낮게 발생하므로 멤버쉽함수 생성의 문제점과 외부환경의 오차가 발생하였을 것으로 판단된다. 그림 8의 bilirubin 항목은 분류등급이 1인 입력값 중에서 퍼지입력범위를 벗어났음을 표시하는 -1이 출력되었으며, 멤버쉽 함수의 생성에 문제가 발생했음을 의미하고 있다.

표준시료를 사용한 퍼지 분류기에서 삼각형과 사다리형 멤버쉽함수를 사용한 분류결과 오차를 표 2에서 백분율로 나타내었다. 검사항목의 4가지

항목에서는 멤버쉽 함수의 모든 형에서 분류오차가 0%로 안정적이다. 그러나, protein과 bilirubin 항목에서는 삼각형의 멤버쉽 함수보다 사다리형의 멤버쉽 함수가 안정적임을 알 수 있고, uro.와 glucose 항목에서 오차는 줄어들지 않음을 알 수 있다

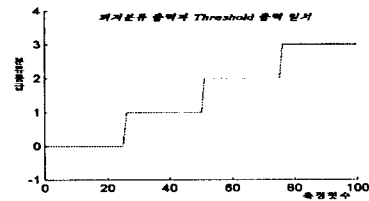


그림 6. blood 항목의 퍼지분류기 결과.

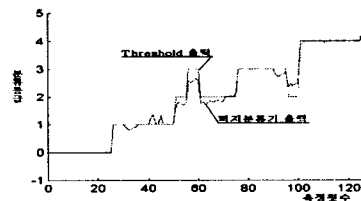


그림 7. Glucose 항목의 퍼지분류기 결과.

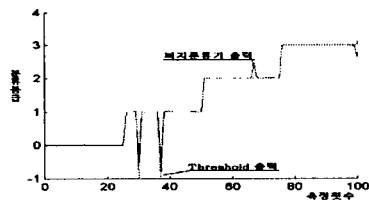


그림 8. Bilirubin 항목의 퍼지분류기 결과.

표 2. 퍼지 분류기를 사용한 측정결과의 오차율.

측정 항목	측정범위	오차율[%]		측정 항목	측정범위	오차율[%]	
		삼각형	사다리형			삼각형	사다리형
BLOOD	0	0	0	KETON	0	0	0
	+	0	0		±	0	0
	++	0	0		+	0	0
	+++	0	0		++	0	0
PH	5	0	0	PRO TEIN	neg.	0	0
	6	0	0		trace	0	0
	6.5	0	0		+30	0	0
	7	0	0		++100	16.00	16.00
	8	0	0		+++300	16.00	0
S.G.	1.000	0	0	URO -BILI -NO -GEN	0.1	0	0
	1.005	0	0		1	8.00	8.00
	1.010	0	0		2	4.00	12.00
	1.015	0	0		4	0	0
	1.020	0	0		8	0	0
	1.025	0	0		12	0	0
BILI RUBIN	normal	0	0	GLU -COSE	neg.	0	0
	+	8.00	0		±100	0	0
	++	0	0		+250	20.00	16.00
	+++	0	0		++500	20.00	20.00
				+++1000	0	0	

결 론

본 연구에서는 임상에서 환자 진료시 각종 질환의 검사 및 진단에 필수적으로 시행하는 루틴 검사중의 하나로 인식되고 있는 요검사 시스템을 개발하고, 시스템의 정밀도와 신뢰성을 높이기 위해 퍼지이론을 이용한 요분석용 분류기를 제안하여 표준시료별 분류 특성을 평가하였다.

요분석용 스트립의 항목별 음성과 양성의 판별에서는 우수한 결과가 나왔으나, 정량적 분석을 위한 각 항목별 등급의 분류에서는 측정값의 오차로 인해 최고 8%의 오차가 발생하였다. 각 항목별 측정된 결과값의 오차 발생으로 인해 측정방법 및 외란 오차를 검토해야 함을 알 수 있었다. 따라서 퍼지 분류기 및 요분석 시스템을 보완하면 임상에 유용하게 사용되리라 사료된다.

참고문헌

[1] 이상열, "임상검사해석법", 연대대학교 출판사,

1991.

[2] 조한익, "임상병리학", pp1-30, 1994

[3] Lotfi A. Zadeh, Janusz Kacprzyk, "Fuzzy logic for the management of uncertainty", Wiley interscience, 1992.

[4] 박민용, 최항식, "회지 시스템의 응용입문", 대영사, 서울, p299, 1990

[5] Jun-ichiroh Fujimoto, Tomofumi Nakatani and Masahide Yoneyama, "Speaker-independent Word Recognition Using Fuzzy Pattern Matching", Fuzzy Sets and Systems, Vol.32, pp181-191, 1989.

[6] Yoshiki Uemura, "Evaluation of physical tests by fuzzy regression analysis", Cybernetics and Systems, Vol.27, pp43-59, 1996.

[7] 이광형, 오길록, "퍼지이론 및 응용. II권 응용", 홍릉과학사, 1992.