

스트립을 이용한 뇨분석 시스템의 퍼지 분류기 및 자동 튜닝 구현

김건우, 이승진, 김광년, 최병철, 예수영, 전계록*, 조진욱**, 김재형**, 이권순***
 부산대학교 대학원 의공학협동과정, *부산대학교병원 의공학과, 인제대학교 물리학과**

Implementation of Fuzzy Classifier and Automatic Turning for Urine Analyzer System using the Strip

K.W.Kim, S.J.Lee, K.N.Kim, B.C.Choi, S.Y.YE, K.R.Jun*, J.W.Cho**, J.H.Kim**, K.S.Lee
 Dept. of Interdisciplinary program in Biomedical Engr., Pusan National University,
 *Dept. of Biomedical Engr., Pusan National University Hospital,
 Dept. of Physics, Inje University, *Dept. of Electrical Engr., Dong A University

ABSTRACT

The urine analysis system implemented to measuring the primary color reaction of urinalysis strip. Fuzzy classifier based on fuzzy theory implemented so as to calassify of 9 items in the urinalysis strip and proposed the automatic turning algorithm of mambership function in the fuzzy classifier to progress the reproduction of classify. To evaluation of clinical capability, the fuzzy classifier and automatic turning algorithm appies to standard strip and standard reagent.

I. 서 론

임상병리학에서는 환자의 혈액(blood), 뇨(urine), 변(feces), 그리고 여러 측정 물질들을 자동화된 검사 기기에 의해 검사하여 질환의 진단보조 및 치료계획에 활용하고 있다.

본 연구에서는 뇨에 함유된 10가지 성분들에 민감하게 반응하는 시약이 착색된 스트립(strip)을 이용하여 뇨의 상태를 검사하는 뇨분석 시스템을 구현하였다. 구현된 뇨분석 시스템은 LED와 광다이오드를 이용하여 스트립의 정색반응(primary color reaction)을 측정된 후 측정된 값의 등급을 분류하기 위하여 퍼지이론을 사용한 퍼지 분류기(fuzzy classifier)를 구현하였다. 제안된 퍼지분류기는 여러 가지 환경요인에 의한 뇨분석기기의 특성 변화에 적용할 수 있도록 하였다. 즉, 제안한 뇨분석 시스템의 퍼지분류기는 표준시료로 구성된 표준 스트립에서 측정된 값을 기준으로 검사항목의 등급별 멤버쉽함수(membership function)를 생성하는 멤버쉽함수 발생기와 측정시료의 등급을 분류하는 퍼지 추론부(fuzzy inference part), 매 측정시 발생하는 뇨분석 시스템의 특성변화에 적용할 수 있도록 백색 스트립을 이용하여 퍼지 분류기의 멤버쉽함수를 자동으로 튜닝하는 멤버쉽함수 튜닝부(membership function tuning part) 등으로 구성하였다.

제안된 뇨분석 시스템의 검사결과의 타당성을 검증하기 위하여 각 검사항목별 각 등급별에 대한 표준시료를 사용하여 측정된 결과를 평가하였고, 또한 멤버쉽함수의 튜닝 전·후의 측정결과를 비교·평가하였다.

II. 뇨분석시스템

본 연구에 의해 구현된 뇨분석 시스템은 크게 하

드웨어와 소프트웨어로 구분된다. 이 중 하드웨어는 스트립 측정부, 주처리 장치부, 감시 장치부, 외부 PC와 통신부 등으로 구성된다. 뇨분석 시스템의 간략화한 하드웨어 구성도는 그림 1과 같다.

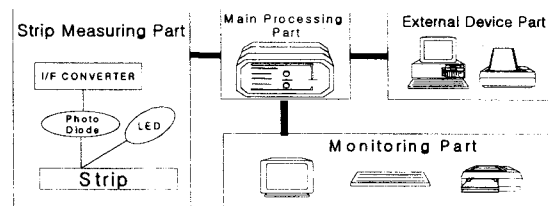


그림 1. 뇨분석 시스템의 간략화한 구성도

그림 1에서 스트립 측정부는 광모듈부와 트레이 구동부로 구성되며, 광모듈부는 스트립의 정색반응을 측정하기 위한 4개의 LED(적색, 청색, 오렌지색, 녹색)와 광다이오드(photodiode), 전류·주파수 변환기(I/F converter) 등으로 구성하였으며, 트레이 구동부는 스트립의 10가지 항목들을 순차적으로 광모듈부가 위치한 지점으로 이동시킬 수 있도록 스텝모터(step motor)와 트레이(tray), 메카니즘 등으로 구성하였다. 그리고 주처리부는 원칩 마이크로프로세서(intel 80196KC)를 사용하여 응용 프로그램의 실시간 처리와 주변 하드웨어를 간소화하며 시스템의 전반적인 기능을 제어할 제어하도록 하였다. 감시 장치부는 시스템의 운영상태를 감시하며, 뇨분석 결과치를 Thermal Printer 및 LCD로 디스플레이할 수 있도록 구성하였다. 그리고 외부 PC와 통신부는 시스템의 초기화에 필요한 여러 파라미터의 셋팅과 뇨분석 결과치의 통계를 처리할 수 있도록 구성하였다.

뇨분석 시스템의 소프트웨어는 시스템 운용, 측정, 검출 및 보정, 광 검출 신호처리 및 뇨분석 알고리즘, PC 통합 프로그램 등으로 구성하였다. 그리고 정확한 측정 결과와 재현성이 향상되고 신뢰성이 높은 결과를 산출하기 위하여 퍼지 분류기와 자동 튜닝 알고리즘을 제안하고 프로그램하였다.

III. 퍼지분류기

본 연구에서 제안한 퍼지 분류기는 표준 스트립 측정값의 평균 및 표준편차를 이용하여 멤버쉽함수를 구성하는 멤버쉽함수 발생기, 백색의 표준 스트립을 이용하여 매 샘플 측정시 멤버쉽함수를 튜닝하는 멤버쉽함수 튜닝부, 그리고 튜닝된 멤버쉽함수, 퍼지 규칙(fuzzy rules), 시험 스트립의 측정값을 퍼지화

(fuzzification)하여 검사결과를 추론하는 퍼지 추론부, 추론된 결과를 이용하여 등급을 판별하는 비퍼지화부(defuzzification part)로 구성하였다. 구성된 퍼지 분류기의 구성도는 그림 2와 같다.

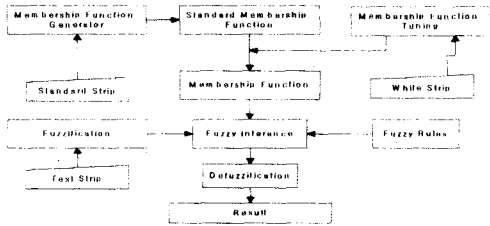


그림 2. 퍼지분류기의 구성도

퍼지분류기는 적색, 청색, 녹색, 오렌지색의 LED를 조사하여 스트립 표면으로부터 확산된 광의 세기를 광다이오드에서 측정된 4개의 입력변수와 측정된 항목의 등급을 나타내는 1개의 출력변수를 가진다. 그리고 입력변수를 위한 멤버쉽함수는 그림 3과 같은 사다리꼴 멤버쉽함수를 사용하였으며, 검사 항목별 표준 스트립을 측정하여 각 항목별 측정치의 표준 및 표준편차를 계산하였다.

멤버쉽함수의 퍼지변수 A는 다음과 같다.

$$a_1 = \bar{x} - 2sd, \quad a_2 = \bar{x} - sd, \\ a_3 = \bar{x} + sd, \quad a_4 = \bar{x} + 2sa \text{ 이고}$$

\bar{x} 는 측정치의 평균, sd 는 측정치의 표준편차이다.

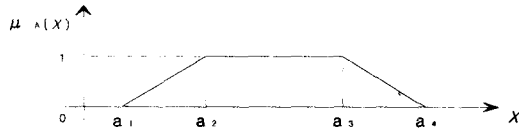


그림 3. 멤버쉽함수의 변수 A=(a1,a2,a3,a4)

출력변수를 위한 멤버쉽함수는 스트립의 각 항목별 등급을 분류하는 수만큼 이등변 삼각형을 사용하였다. 예를 들어 분류등급이 3개인 경우는 그림 4와 같다.

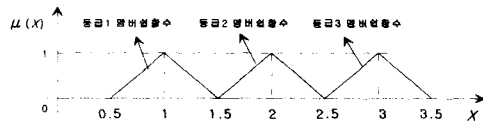


그림 4. 출력변수의 멤버쉽함수

일반적으로 임상검사기는 측정시 여러 가지 환경의 변화에 의하여 시스템의 응답특성이 변화한다. 따라서 본 연구에 의해 구현된 뇨분석 시스템도 환경의 변화에 민감한 반응을 나타내므로 환경의 변화에 강인한 특성을 지니며 재현성이 향상된 결과를 도출하기 위하여 멤버쉽함수를 튜닝하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 멤버쉽함수 튜닝 알고리즘은 다음과 같다. 매 뇨분석시 측정될 스트립과 백색 표준 스트립을 측정하고, 백색 스트립의 측정값의 표준과 표준편차를 구한다. 여기서 구한 표준과 표준편차를 멤버쉽함수 발생기에서 등급별 표준 스트립으로 멤버쉽함수를 생성할 때 측정된 백색 스트립의 표준 및 표준편차와의 차이를 퍼지 분류기에서 사용될 멤버쉽함수의 퍼지수 A의 변수 a_1, a_2, a_3, a_4 에 다음과 같이 적용한다.

$$a_1 = \bar{x} + \overline{x'} - 2(sd + sd'), \quad a_2 = \bar{x} + \overline{x'} - (sd + sd'), \\ a_3 = \bar{x} + \overline{x'} + (sd + sd'), \quad a_4 = \bar{x} + \overline{x'} + 2(sd + sd'),$$

여기서 \bar{x} 와 sd 는 등급별 표준스트립의 측정결과 평균과 표준편차, $\overline{x'}$ 와 sd' 는 멤버쉽함수 발생기에서 측정된 백색스트립과 뇨분석시 측정된 백색스트립의 차이를 나타낸다. 비퍼지화 방법으로는 최대평균법(mean of maximum method)을 사용하였다.

IV. 실험 결과 및 고찰

구현된 뇨분석 시스템의 실험은 표준 스트립을 이용하여 각 항목별 각 등급에 대하여 측정하였다. 표준 스트립을 이용하여 퍼지분류기의 튜닝전과 튜닝후의 분류 결과는 표 1과 같다. 표 1에서 알 수 있듯이 분류결과 구현된 시스템은 몇 가지 항목을 제외하고는 전체적으로 양호한 분류특성을 얻을 수 있었으며, 분류기의 튜닝후의 결과가 전반적으로 향상되었음을 알 수 있었다.

표 1. 멤버쉽함수 튜닝 전·후의 분류 결과

Item	측정 등급	분류율(%)		Item	측정 등급	분류율(%)	
		튜닝전	튜닝후			튜닝전	튜닝후
BLOOD	0	100	100	KETONS	0	100	100
	+	100	100		±	100	100
	++	100	100		+	100	100
		100	100		++	100	100
PH	5	100	100	PROTEIN	neg. trace	100	100
	6	100	100		30	100	100
	6.5	100	100		100	84	100
	7	100	100		300	92	100
	8	100	100		1000	100	100
	9	100	100				
SPECIFIC GRAVITY	1.000	100	100	UROBILIN OGEN	0.1	100	100
	1.005	100	100		1	92	100
	1.010	100	100		2	96	100
	1.015	100	100		4	100	100
	1.020	80	88		8	100	100
	1.025	100	100		12	100	100
	1.030	100	100				
BILIRUBIN	n	100	100	GLUCOSE	neg. 100	100	100
	+	96	100		250	80	100
	++	72	96		500	80	100
	+++	60	92		1000	100	100

V. 결론

본 연구에서는 건습시약 스트립을 이용하여 뇨의 상태를 검사할 수 있는 뇨분석 시스템을 구현하였다. 그리고 제안된 퍼지분류기와 퍼지분류기 멤버쉽함수의 튜닝 알고리즘을 제안하고 표준 스트립을 이용하여 스트립의 각 항목별 각 등급을 분류하였다. 퍼지분류기만 적용한 경우와 퍼지분류기의 멤버쉽함수의 튜닝 알고리즘을 적용한 분류 결과를 비교·검토하면 퍼지분류기 멤버쉽함수의 튜닝 알고리즘을 적용한 후의 분류결과가 성능이 향상되었음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 차은중, 이태수, "퍼지이론을 이용한 임상검사 자동분석에 관한 연구," 의공학회지, vol. 14, no. 4, pp. 341-348, 1993.
2. 유동주, 정태화, 민홍기, 허웅, "건습시약 스트립을 사용한 임상화학분석장치 개발[1]," 의공학회지, 13권, 4호, pp. 299-305, 1992.