한국산학기술학회논문지
Vol. 6, No. 2, pp. 149-158, 2005

신경회로망을 이용한 휴대용 전자 혀 시스템의 설계

정영창[1*] · 김동진[1] · 김정도[1] · 정우석[1]

Design of E-Tongue System using Neural Network

Young-Chang Jung[1]*, Jeong-Do Kim[1], Jeong-Do Kim[1] and Woo-Suk Jung[1]

요 약 본 논문은 이온 선택성 전극을 모듈화한 MACS를 사용하여 시스템의 크기를 축소할 수 있었고, PDA를 사용함으로써 측정된 데이터를 장소에 구애받지 않고 분석할 수 있는 휴대용 전자혀 시스템을 개발하였다. MACS는 NH_4^+, Na^+, Cl^-, NO_3^-, K^+, Ca^{2+}, Na^+, pH의 7종의 이온 선택성 전극을 이용하여 구성하였으며, 초기화 및 교정과정과 완충용액에 의한 안정화 과정을 거친 후 MACS로 시료에 대한 각각의 이온선택성 전극의 변화를 측정한다. 이렇게 각 전극으로부터 측정된 데이터를 이용하여 신경회로망 알고리즘으로 측정된 시료의 종류를 구분할 수 있다. 실험은 분류가 어렵다고 알려진 고급양주와 저급양주를 분류하는 것으로 진행되었으며, 성공적이며 우수한 실험 결과를 얻었다. 이로부터 사용된 알고리즘이 휴대용 전자혀 시스템에 적절히 사용될 수 있음을 밝혔으며, 실제 휴대용 전자혀 시스템에 간단한 학습에 의해 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

Abstract In this paper, we have designed and implemented a portable e-tongue (electronic tongue) system using MACS (multi array chemical sensor) and PDA. The system embedded in PDA has merits such as comfortable user interface and data transfer by internet from on-site to remote computer. MACS was made up 7 electrodes (NH_4^+, Na^+, Cl^-, NO_3^-, K^+, Ca^{2+}, Na^+, pH) and a reference electrode. For learning the system, we adapted the Levenberg-Marquardt algorithm based on the back-propagation, which could iteratively learned the pre-determined standard patterns, in e-tongue system. Conclusionally, the relationship between the standard patterns and unknown pattern can be easily analyzed. The e-tongue was applied to whiskeys and cognac (one high level whisky, one low level whiskey, two cognac) and 2 sample whiskeys for each standard patterns and unknown patterns. The relationship between the standard patterns and unknown patterns can be easily analyzed.

Key Words : e-tongue, PDA, MACS, Levenberg-Marquardt algorithm

1. 서 론

인간은 오감을 이용하여 사물을 감지하고 상황을 대처한다. 즉 인간은 눈으로 사물을 보고 머리로 생각을 하여 그 사물이 무엇인지를 인식하고 맛과 향을 코와 입을 통해 감지하는 연속적인 과정을 통해서 지식을 얻는다. 이러한 인간의 오감에서 맛을 느끼는 미각은 감지 대상 물질의 성분들이 얼마나 되는가 하는 정량적인 데이터가 아니라 혀에서 느끼는 미뢰(味蕾)에 어느 정도 영향을 주는가에 따라 감지 대상 물질을 뇌에서 분석하는 결과이다.

현재, 이러한 인간의 오감을 컴퓨터에 부가하여 인간과 컴퓨터 사이의 자연스러운 인터페이스를 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 인간의 미각기능을 모방하기 위해 전자혀(electronic tongue)의 개발이 국내외에 활발하게 이루어지고 있다. 전자혀는 서로 다른 이온 선택성 전극(ion-selective electrode)을 가진 센서들을 어레이화하여 사용하는 것으로 센서 어레이를 통해 측정된 데이터는 감지대상 물질의 화학적인 성분을 정량적으로 분석하게 된다. 이는 인간의 미각과 후각 기관인 혀와 코를 대신하여 음식의 맛과 향을 판단하거나, 음식의 종류, 변질의 유무 등을 직접 맛을 보지 않고 향을 맡지 않아도 분석이 가능하여 식품, 음료의 생산 공정이나 식음료 등의 신개발 연구 및 질병을 진단하는 의료용 등 우리 실생활에 유용하게 활용 할 수 있다.

전자혀에서 이온 선택성 전극을 어레이화하여 사용하기 시작한 1960년 중반부터 최근까지 40년간 지속적인 이온 선택성 전극의 개발로 응용분야가 급속히

이 논문은 2004년도 호서대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.
[1]호서대학교 전기정보통신공학부
*교신저자: 정영창(ycjung@office.hoseo.ac.kr)

발전하였다. 국내에서는 서울대와 맥사이언스에서 전자혀 시스템을 개발하였다. 또한 국외에서의 대표적인 전자혀 시스템으로 Alpha M.O.S사의 α-Astree가 있으며, 미국의 텍사스 대학에서 색깔의 변화에 따라 맛을 구별해내는 전자혀를 개발하였다. 스웨덴의 오레브로(orebro)대학에서는 LAPV(large amplitude pulse voltametry)에 기반한 전자혀 시스템을 개발하고 연구하고 있다[1-4]. 그러나 설계된 전자혀 시스템의 대부분은 일종의 장비의 개념으로, 휴대가 쉽지 않으며, 센서가 크고 고가이기에 식음료 공장의 모니터링 장비로, 품질 유지를 위해 사용되는 계측 시스템에 가까운 형태라 할 수 있었다. 하지만 현재의 사용자들은 쉽게 휴대가 가능하며, 어떤 장소에서든 측정을 할 수 있는 시스템을 원한다.

전자혀의 기본 구조는 서로 다른 이온 선택성 전극을 가진 센서들을 어레이화하여 사용하는 것으로 센서 어레이를 통해 측정된 데이터는 감지대상 물질의 화학적인 성분을 정량적으로 분석하게 된다. 이는 인간의 미각과 후각 기관인 혀와 코를 대신하여 음식의 맛과 향을 판단하거나, 음식의 종류, 변질의 유무 등을 직접 맛을 보지 않고 향을 맡지 않아도 분석이 가능하여 식품, 음료의 생산 공정이나 식음료 등의 신개발 연구 및 질병을 진단하는 의료용 등 우리생활에 유용하게 활용 할 수 있다.

특히, 전자혀가 휴대가 가능하고, 휴대성에 의해 나타날 수 있는 사용자 인터페이스의 불편 문제를 해결하기 위해 인간이 가지는 다른 감각정보와 융합된다면 전자혀는 인간의 주머니 속으로 포함될 것으로 예상하고 있다. 이것을 위해 차세대 PC의 플랫폼과 연동하는 것은 전자혀의 미래를 위해 가장 중요한 요소일 수 있다.

본 논문에서 사용된 전자혀는 모듈화된 센서를 이용, 소형화 하여, 야외(field)에서도 측정과 분석이 용이하도록 PDA를 이용하였다. 또한 PDA가 사용됨에 따라 데이터 취득과 사용자 인터페이스의 편리성을 증대하였다.

그러나 전자혀에서 사용하고 있는 이온선택성 전극(ion-selective electrode)은 주어진 이온이나 이온들에 대해 선택적인 막(membrane)전위를 가지는 막전극으로 단지 한 종류에 이온에만 선택적으로 반응하지는 않고 다른 이온에 대해서도 반응한다. 이온 선택성 전극은 단일 이온에 대해서만 선택적으로 반응하지 않기 때문에 어레이화 된 전극을 이용하여 측정된 신호를 분석하기 위해 적절한 알고리즘을 사용하여야 한다. 보통 신호를 분석하기 위해서 사용되는 알고리즘은 주성분 분석법(principal component analysis) 방법이 사용되고 있다. 주성분 분석법은 다중 센서가 사용된 다 차원의 데이터를 인간이 시각적으로 분석 가능한 2차원이나 3차원으로 축소 매핑하는 방법으로 측정된 신호의 특징을 추출할 수 있는 표준 방법으로 사용되고 있다. 하지만, 주성분 분석법은 시각적 분석 방법이기 때문에 측정된 데이터를 클러스터링 할 수 없다. 실제 데이터를 정량적으로 표현하거나 성질을 표현하기 위해서는 별도의 방법을 사용해야 한다. 따라서 본 연구에서는 신경회로망(neural network)등을 사용하여 좋은 분류 능력을 갖도록 하였으며, 저급 양주와 고급양주를 분류하는 실험을 행하였다. 신경망 알고리즘은 역전파 알고리즘을 사용하였으며, 학습방법으로 기존방법보다 우수한 Levenberg-Marquardt 알고리즘을 사용하였다.

2. 전자 혀의 하드웨어 구성

2.1 이온 선택성 전극의 다중 배열 센서 어레이(MACS)

2.1.1 이온 선택성 전극의 원리

전자혀에서는 다중 선택성 화학센서 어레이로 사용되어지는 이온선택성 전극은 주어진 이온이나 이온들에 선택적인 막(membrane)전위를 가지는 막전극으로 단지 한 종류의 이온에만 선택적으로 반응하지는 않지만 주어진 이온이나 다른 이온 이온들에 대해 명백한 선택성의 정도로 나타난다. 이들은 고분자(polymer) 물질을 전극 막의 지지체(matrix)로 사용하며, 특정이온에 선택성을 주는 전극물질(ionophore)과 함께 비 휘발성 유기용매인 가소제(plasticizer)의 경우에 따라 친유기성 첨가제(lipophilic additive)를 포함한다. 고분자막형 이온선택성 전극이 감응하는 원리는 보통 상경계 전위차(phase boundary potential)이론으로 설명한다. 그림 1은 이온선택성 전극을 나타낸 모형도이다. 여기서 이온선택성 전극의 신호는 정상적으로는 시료 경계면에 형성되는 이중막(double layer)의 커패시티의 변화에 의하여 나타난다고 설명할 수 있다. 정량적으로는 시료의 화학포텐셜 μ_{sam}과 유기상(막)의 화학포텐셜 μ_{sam}이 평형을 이루기 위하여 형성된다고 설명할 수 있다. 상경계면에 이중층의 형성에 의한 커패시터 전위차는 유기상의 막과 시료용액의 화학 포텐셜이 평형을 이루는 조건에 의하여 계산할 수 있다.

유기상이온 선택성 막에 대한 화학 포텐셜에 대한 식은 아래 식 (1)과 같이 나타내며

$$\mu_{mem} = \mu^{0}_{mem} + \mathrm{RT}\ln a_{I,mem} + zF\phi_{mem} \quad (1)$$

시료용액의 화학 포텐셜은 다음의 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\mu_{sam} = \mu^{0}_{sam} + \mathrm{RT}\ln a_{I,sam} + zF\phi_{sam} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 z는 이온가를 나타내며, F는 패러데

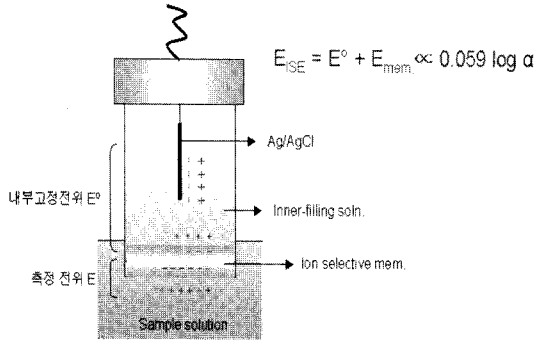


그림 1. 이온선택성 전극 원리

이 상수를 나타낸다. 또한 R은 기체상수, T는 절대온도, $a_{I,mem}$는 유기상막의 이온 I^+의 활성도이며 $a_{I,mem}$은 시료의 이온 I^+의 활성도를 나타낸다. 위의 식 (1)과 (2)를 이용하여 평형상태($\mu_{mem}=\mu_{sam}$)에서의 상경계 전위차 $\Delta\phi$를 구하면 식 (3)과 같은 네른스트 방정식의 형태로 나타난다[5-6].

$$E_{PB} = \Delta\phi = -\frac{\mu^0_{mem} - \mu^0_{sam}}{zF} + \frac{RT}{zF} ln \frac{a_{I,sam}}{a_{I,mem}}$$
$$where: \Delta\phi = \phi_{mem} - \phi_{sam} \quad (3)$$

이때 유기상 막의 이온 I^+의 활동도($a_{I,men}$)는 거의 상수이므로 상경계전위차는 시료 중 이온 농도의 로그에 비례하는 값으로 나타난다. 전자혀는 여러 종류의 이온선택성 전극의 이온 농도에 비례하는 전위차를 측정하여 이들의 감응 패턴으로 시료의 맛과 종류를 구분하게 된다.

2.1.2 이온 선택성 전극의 다중 배열 센서(MACS) 구조

이온선택성 전극막을 이용한 전극은 크게 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 이온선택성 전극막과 내부금속전극(internal reference metal electrode) 사이에 내부기준용액(internal reference filling solution)을 필요로 하는 재래식 이온선택성 전극과 이를 필요로 하지 않는 고체상(solid-state)전극이다(그림 2). 이들 두 전극 형태의 차이점은 재래식 이온선택성 막전극은 전극체에서 막을 고정시켜 전극막의 이탈을 막아 줄 수 있으나, 고체상(solid -state)전극의 경우 이온선택성 전극막이 전극표면에 아무 고정체도 없이 노출되어 있으므로 전극막의 전극표면에 대한 접착력이 전극의 전기화학적 특성을 결정짓는 중요한 요인으로 작용한다는 것이다.

이온 선택성 전극은 하나의 이온에 대해서만 선택적으로 반응하지는 못한다. 따라서 본 개발에서는 이온선택성 전극을 모듈화하고, 어레이화한 MACS(multi array chemical sensor, MACS)를 사용하였다. 그림 2는 종래의 전극과 MACS를 나타내었다.

MACS는 NH_4^+, Na^+, Cl^-, NO_3^-, K^+, Ca^{2+}, Na^+, pH의 7종의 이온 선택성 전극을 이용하여 구성하였으며, 초기화 및 교정과정과 완충용액에 의한 안정화 과정을 거친 후 MACS로 시료에 대한 각각의 이온선택성 전극의 변화를 측정한다. 이렇게 각 전극으로부터 측정된 데이터를 이용하여 신경회로망 알고리즘으로 측정된 시료의 종류를 구분할 수 있다.

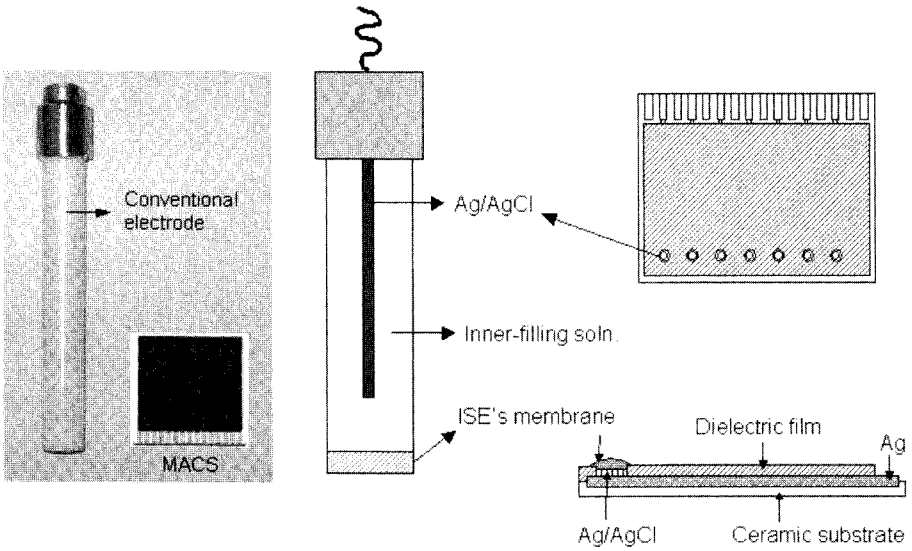
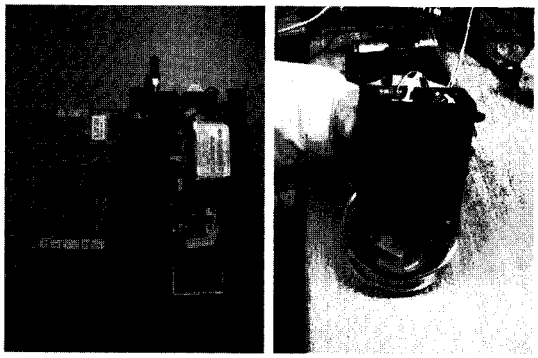


그림 2. 재래식 전극과 MACS



(a) 전자혀 내부 (b) 시료 측정 모습

그림 3. 개발된 휴대용 전자혀

2.2 전자혀 시스템의 하드웨어 구성

2.2.1 하드웨어 구성

사용된 전자혀는 휴대가 가능하도록 하기 위하여 소형화된 형태로 개발되었으며, 또한 PDA와 연동하기 위하여 블루투스(bluetooth)를 장착하였다. 그림 3은 개발된 전자혀와 시료를 측정하는 모습이다.

전자혀 시스템은 크게 샘플 시료로부터 측정된 아날로그 값을 디지털로 변환하여 PDA로 전송하는 기능을 담당하는 데이터 획득부와 전송된 데이터를 모니터링하며, 샘플 시료가 무엇인지 분석 할 수 있는 알고리즘을 가진 PDA로 나눌 수 있다. 전자혀의 내부 구성도는 그림 4와 같다.

전자혀의 데이터 획득부는 MACS로부터 측정된 신호를 PDA로 전달하기 위해 버퍼(buffer), 저역통과필터(low pass filter), 멀티플렉서(multiplexer), ADC, 전원부로 구성되어 있다.

(1) 버퍼 및 필터

버퍼는 MACS와 측정회로 사이의 임피던스 매칭을 하기 위해서 사용하였다. 전자혀의 MACS는 높은 임피던스를 가지고 있기 때문에 출력되는 전류가 미약하다. 또한, MACS로부터 출력되는 신호는 수 ㎷~수백 ㎷ 정도로 매우 낮다. 따라서 측정회로 입력단에 버퍼(buffer)를 구성하여 측정회로가 신호원(MACS 출력신호)에 영향을 주지 않도록 하였고, MACS의 연결 라인을 타고 들어오는 외부 잡음의 영향을 줄였다. 또한, 측정 신호에 포함되어 입력될 수 있는 고주파 잡음을 제거하기 위하여 2차 저역통과필터를 두어서 잡음을 제거하도록 하였다.

사용된 버퍼는 입력 임피던스가 크고(Ω이상), 출력 입피던스가 작은 Op-Amp를 사용하여 이득이 1인 전압 플로워(voltage follower)를 구성하였다. 필터는 2차 저역통과필터로 전원잡음 및 외부 고주파 노이즈를 제거한다.

(2) 멀티플렉서(multiplexer) 및 ADC

멀티플렉서는 8-channel로 아날로그 입력, 출력이 가능한 것을 사용하였다. 출력되는 멀티플렉서는 MACS의 입력을 받아서 순차적으로 선택하여 출력하게 되며 제어는 마이크로 컨트롤러에서 담당한다. 출력되는 신호는 또 한번의 버퍼(buffer)을 거쳐서 ADC로 입력되게 된다.

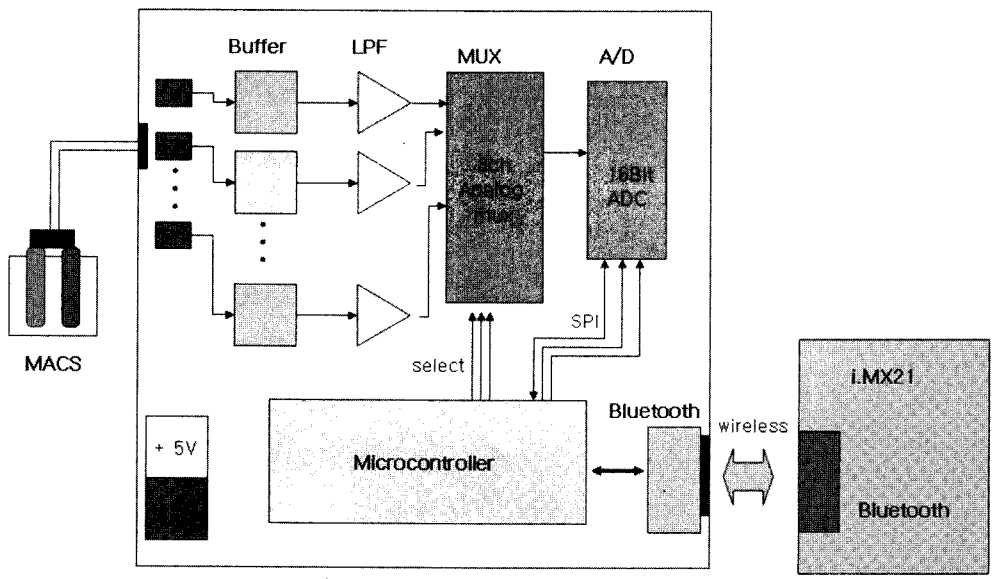


그림 4. 전자혀 시스템이 하드웨어 구성도

ADC는 16 bit의 고 분해능을 가진 것을 사용하였다. MACS에서 출력되는 전압은 평균±300 mV 이하로 출력한다. 설계된 ADC는 기준전압(±3.3 V)을 조정하여 102V/1LSB의 분해능을 가지도록 설계하였다. 마이크로 컨트롤러와는 SPI(serial port interface)을 통하여 데이터를 전송하게 된다.

(3) 마이크로 컨트롤러

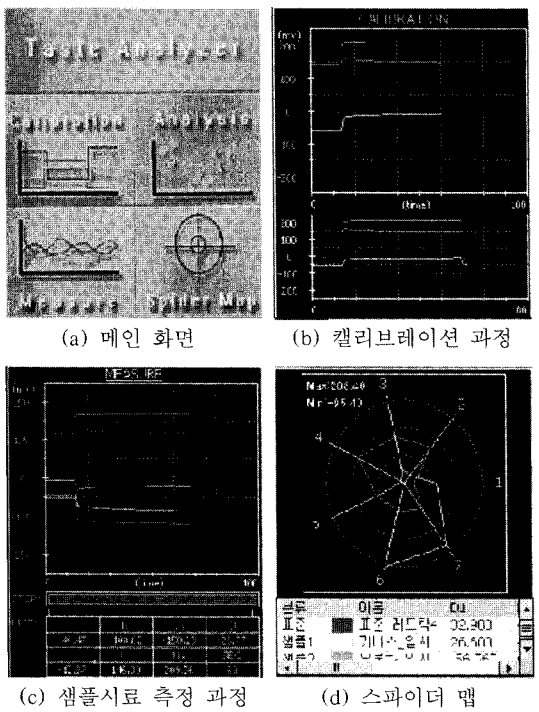
8비트 원칩 마이크로 컨트롤러인 PIC16F876을 사용하였으며, 내장된 SPI 기능을 이용하여 ADC를 제어하고, PDA와 블루투스을 이용하여 데이터를 주고받을 수 있도록 하였으며, MACS를 선택적으로 받아들일 수 있도록 8채널 멀티플렉서를 제어한다.

(4) 전원부

시스템의 전원은 +3V를 입력받아 ±5V의 양(+)전압과 음(−)전압을 얻도록 설계하였다. 또한 분해능이 높은 ADC를 사용하게 되면 기준 전원의 적은 변동(ripple)에도 영향을 받을 수 있기 때문에 오차를 줄이기 위해 기준전원의 변동을 0.1%이하의 변동률을 가지는 정밀한 것을 사용하여 구성하였다.

2.2.2 소프트웨어 구성

전자코의 소프트웨어는 PDA를 이용하여 개발하였다. 그림 5는 개발된 소프트웨어의 형태를 보여주고 있다.



(a) 메인 화면 (b) 캘리브레이션 과정

(c) 샘플시료 측정 과정 (d) 스파이더 맵

그림 5. 전자혀 시스템의 소프트웨어

그림(a)에서는 전자혀 소프트웨어의 로고화면을 보여주고 있으며, (b)에서는 센서가 교체되었을 때 필요한 캘리브레이션 과정을 보여주고 있으며, (c)는 전자혀에서 획득된 데이터의 모니터링 과정을 보여주고, (d)는 데이터를 비교하거나 센서가 교체되었을 때 센서가 전에 사용하던 센서와 차이가 있는 지를 파악할 수 있는 스파이더 맵의 그림이다.

3. 전자혀를 위한 신경회로망 알고리즘

신경회로망에서 사용될 수 있는 비선형 최적화 알고리즘들은 크게 최급강하법, 뉴우톤 방법, 가우스-뉴우톤(gauss-newton) 방법으로 대변된다. 하지만 최급강하법은 수렴성에 문제점을 가지고 있다. 더 좋은 수렴성을 가지는 뉴우톤 방법은 오차 함수에 대한 2차 도함수를 사용해야 한다는 것 때문에 실제 신경망의 적용에서는 2차 도함수대신에 1차도함수를 이용하는 가우스-뉴우톤 방법이 사용된다[7].

적용된 LM-BP 알고리즘은 다음과 같다. 여기서 번째 반복 스텝에서 조정되는 가중 파라미터이다.

$$w_{m+1} = w_m - [J^T(w_m)J(w_m) + \lambda_m I]^{-1} J^T(w_m)e(w_m) \quad (1)$$

여기서, λ=0는 순수한 가우스-뉴우톤이고 $\lambda \to \infty$는 학습률을 가지는 최급강하법이다.

전형적으로 λ_k=0.01로 시작되며 만약 SSE(square sum error)가 충분히 작지 않으면 새로운 $\lambda_k = \lambda_k \cdot \theta$로 대치된다. 여기서 θ는 $1<\theta<10$의 상수로서 λ를 증가시키기 위한 일종의 배율기이다.

사용된 신경망은 분류만을 위해서 사용되기 때문에 출력층(output layer) 뉴런(neuron)은 단지 1개만 사용하였으며, 출력층 뉴런의 활성함수(activation function)는 사용하지 않고 단지 선형 합(linear sum)을 사용하며, 중간층(hidden layer)은 15개의 뉴런으로 1개의 층을 사용하고 비선형 활성함수를 사용한다.

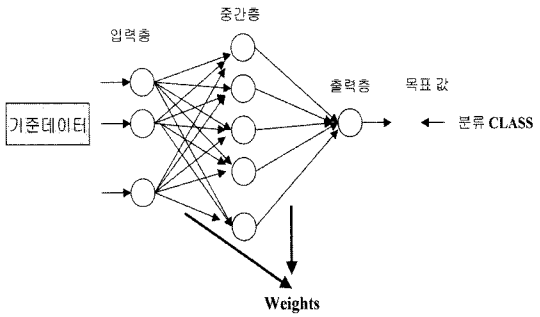


그림 6. 역전파 알고리즘을 이용한 분류 신경회로망

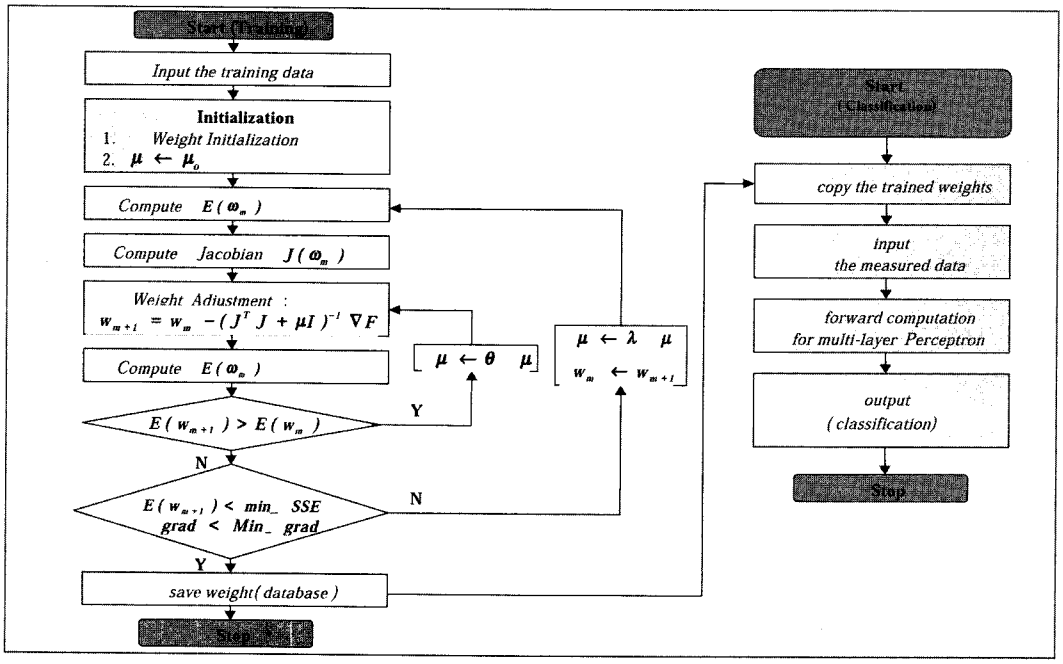


그림 7. Levenberg-Marquardt 알고리즘

그림 6는 가중치 학습을 위한 다층 신경망의 구조를 나타낸 그림으로 우리가 분류 원하는 표준데이터를 학습시켜 가중치를 얻는다. 이 가중치는 실제 분류에 사용된다.

학습을 위한 LM-BP의 절차를 단계별로 정리하면 다음과 같다.

$$\textbf{Object function } F(w) = \sum_{i=0}^{N} e_i^2(w) \qquad (2)$$

Algorithm

1. $\lambda \rightarrow \lambda_0$: λ에 대한 초기값을 대입; 가중치를 초기화;
2. $F(w_m)$를 계산
3. J_k를 계산 :
4. 새로운 가중치 계산

$$w_{m+1} = w_m - [J^T(w_m)J(w_m) + \lambda_m I]^{-1} J^T(w_m)e(w_m)$$

5. $F(w_{m+1})$를 계산
6. 만약이면, $F(w_{m+1}) > F(w_m)$이면, $\lambda \leftarrow \theta \times \lambda$
   그리고 4번으로 이동;
7. 만약 $F(w_{m+1}) <$ SSE이면 목표도달,
   그리고 전체 학습 알고리즘 멈춤;
   만약 *Gradient* < *Minimum gradient* 이면 역시
   전체 학습 알고리즘 멈춤;
8. $\lambda \leftarrow a \times \lambda$, where is divider;
9. $w_m \leftarrow w_{m+1}$; 2번으로 점프;

그림 7은 학습과정과 학습 후 실제 데이터 측정하여 분류하는 과정을 나타낸 순서도이다.

4. 실험결과

4.1 측정방법

처음 센서를 사용하기 전에 센서의 특성을 파악해야 할 필요가 있다. 이를 캘리브레이션(Calibration)이라는 과정을 통해서 센서의 사용유무를 파악하게 된다. 센서의 특성을 파악하기 위해서 PDA 응용 프로그램을 이용하여 센서의 캘리브레이션을 하게 된다. 센서가 정상적으로 동작한다면 센서를 안정화 시킨 후에 샘플시료를 측정하게 된다.

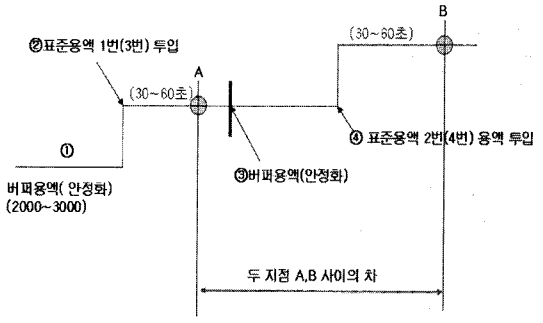


그림 8. 전자혀 시스템 캘리브레이션 과정

표 1. 전자혀 캘리브레이션 기준 값

용액	반응센서	기준값
표준용액(1, 2)	Na^+	72 ~ 125 mV
	NO_3^-	72 ~ 125 mV
	Cl^-	72 ~ 125 mV
	NH_4^+	72 ~ 125 mV
	pH	72 ~ 125 mV
표준용액(3, 4)	K^+	72 ~ 125 mV
	Ca^{2+}	30 ~ 68 mV
	pH	72 ~ 125 mV

(1) 준비물

– 전자혀 시스템, 센서(MACS), 버퍼 및 캘리브레이션 용액, 샘플시료

(2) 안정화

센서를 처음 사용하기 전에 버퍼용액에 2000~3000초 정도 안정화를 거친다. 안정화를 거친 후에 센서 캘리브레이션을 하게 된다.

(3) 캘리브레션(Calibration)

캘리브레이션 과정은 센서를 처음 사용할 경우 한번만 테스트 해주면 된다. 캘리브레이션에 사용되는 용액은 센서마다 반응하는 용액이 다르므로 표준용액1, 2, 3, 4로 구성되어 있다.

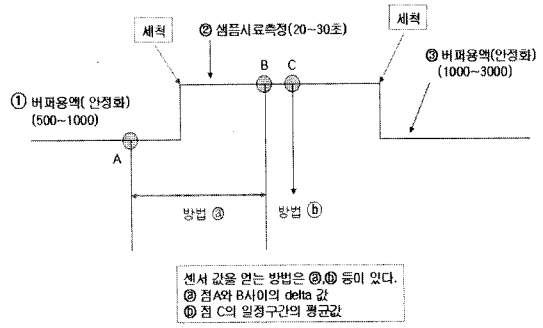


그림 9. 전자혀 시료 측정과정

센서의 이온전극 중에 NH_4^+, Na^+, Cl^-, NO_3^-은 표준용액 1, 2번에 반응하며, K^+, Ca^{2+}는 표준용액 3, 4에 반응한다. 그리고 나머지 pH 는 표준용액 모두에 반응한다. 센서의 캘리브레이션은 표준용액 2번과 1번의 델타값, 4번과 3번의 델타값을 기준값과 비교하여 기준값 범위 안이라면 안정하다고 판단하게 된다.

그림 8은 캘리브레이션 과정을 보여주며, 표 1는 이온전극 각각의 기준값 범위를 나타내고 있다.

(4) 샘플시료측정

표 2. 신경회로망 학습을 위한 표준 패턴

	센서1	센서 2	센서 3	센서 4	센서 5	센서 6
저급위스키	37.91	16.63	10.74	36.82	-28.23	5.83
	38.65	17	10.76	38.13	-27.43	4.52
	39.55	17.37	10.83	36.25	-27.39	7.11
	42.08	17.56	10.04	34.43	-26.85	7.88
고급위스키 (12년산)	44.85	-33.68	17.684	36.277	-27.312	125.848
	45.08	-33.76	16.1	36.2	-27.46	126.44
	44.75	-34.48	14.85	35.29	-28.47	124.83
	43.85	-34.8	13.87	34.46	-28.91	123.24
꼬냑 VSOP 급	48.394	-23.387	14.711	34.432	-24.964	149.163
	48.08	-23.24	14.95	34.36	-25.05	151.72
	46.74	-24.05	14.07	34.63	-25.23	151.01
	48.92	-21.79	13.48	34.64	-25.2	150.64
꼬냑 XO 급	21.645	-58.994	14.369	28.484	-47.001	171.952
	22.33	-59.43	14.53	29.91	-52.23	175.15
	22.55	-59.84	14.2	30.6	-51.19	174.9
	21.6	-60.15	13.48	30.88	-51.31	173.99

표 3. 미지의 샘플 패턴

	센서1	센서 2	센서 3	센서 4	센서 5	센서 6
미지의 샘플 1	42.82	-32.11	15.24	34.1	-26.34	124.08
	42.3	-35.77	14.99	34.66	-28.92	126.09
	44.15	-35.68	14.81	37.84	-29.42	126.59
	41.26	-31.65	14.2	35.37	-27.84	129.39
미지의 샘플2	24.45	-54.64	16.57	29.56	-47.22	174.38
	21.86	-57.54	13.67	30.42	-49.77	172.02
	22.76	-58.35	14.91	32.33	-51.57	175.4
	22.74	-58.25	13.88	32.13	-53.83	176.29

센서를 버퍼용액에 담가서 안정화 시킨 후 샘플시료를 측정하게 된다. 이때 용액이 바뀔 때마다 증류수를 이용하여 센서를 세척시킨 후 사용하여야 한다. 그림 9은 샘플시료의 측정과정을 나타내고 있다.

(5) 보관 및 유지

센서는 증류수로 세척 후 건조시켜 보관시키고 기준전극은 버퍼나 증류수에 담가서 보관한다.

4.2 실험 결과

본 논문에서 실험한 시료는 위스키 2종류, 꼬냑 2종류를 이용하였다. 위스키는 시중에서 판매하는 저급 위스키와, 12년산인 고급 위스키를 사용하였고, 꼬냑은 VSOP급과 XO급을 각각 사용하여 데이터를 획득하고 신경회로망 알고리즘을 통해 학습 시켰다. 표 2는 신경회로망 알고리즘 학습에 사용된 표준 패턴의 측정값이다. MACS는 7개의 센서로 구성되어 있으나, 한 개의 센서가 고장을 일으켜 6개의 센서만을 사용하였다. 신경회로망의 학습을 위해 양주별로 4개의 패턴을 이용하여, 총 16개의 패턴을 표준 패턴으로 설정하여 학습하였으며, 중간층 뉴런은 15개, 출력층 뉴런은 1개를 설정하였다.

표 2의 표준 패턴을 이용하여 신경회로망 학습 후, 미지의 샘플 2개를 선정하여 각각 4회 측정하여 학습된 신경회로망 알고리즘에 입력시켰다. 표 3은 미지의 샘플 2개를 각각 4회 측정해서 얻은 패턴이다.

미지의 샘플을 각각 4회 측정해서 얻은 패턴을 학습된 신경회로망 알고리즘에 입력시켜 출력된 결과 표 4와 같은 결과를 얻었다. 미지의 샘플 1에 대해서 신경회로망은 4회 모두 고급 위스키에 가깝다고 추론하였고, 미지의 샘플 2에 대해서는 4회 모두 꼬냑 XO급에 가깝다는 추론을 하였다.

실험결과 미지의 샘플을 정확하게 추론하였으며, 설계된 휴대형 전자혀 시스템과, 전자혀 시스템을 위해 제안된 신경회로망 알고리즘의 성능이 우수함을 입증하였다.

표 4. 미지 샘플의 신경회로망 분석 결과

	신경회로망 출력	비고
미지의 샘플 1	2.0205	1 : 저급 위스키 2 : 고급 위스키(12년산) 3 : 꼬냑 VSOP 급 4. : 꼬냑 XO 급
	1.9832	
	1.9804	
	2.0735	
미지의 샘플 2	3.9688	
	3.9942	
	3.9933	
	3.9870	

5. 결 론

기존의 설계된 전자혀 시스템은 일종의 장비의 개념으로 크고, 휴대하기 힘든 계측기로서의 시스템이었다. 따라서 현재의 사용자들의 요구에 적합하지 못한다.

본 논문은 이온 선택성 전극을 모듈화한 MACS를 사용하여 시스템의 크기를 축소할 수 있었고, PDA를 사용함으로써 측정된 데이터를 장소에 구애받지 않고 분석할 수 있는 휴대용 전자혀 시스템을 개발하였다. 또한 측정된 데이터를 신경회로망 알고리즘을 통해 학습하고, 학습된 결과를 이용하여 미지의 샘플을 측정하였다. 측정결과 미지의 샘플이 어떠한 종류의 양주인지를 판단하였다.

전자혀 시스템을 설계하는데 있어서 시스템을 설계하는 것만큼 알고리즘을 설계하는것도 중요하다. 전자혀의 경우, 센서가 특정 이온에 더 큰 민감도를 보이기

는 하지만, 다른 이온에도 반응을 하게 된다. 그러한 이유로 전자혀 시스템에서는 센서를 어레이로 배열하고 특정 맛이 가지는 일종의 지문을 신호처리 기법을 이용하여 추출해야만 한다.

본 논문에서 사용된 알고리즘은 신경회로망 알고리즘은 오류 역전파 알고리즘이며, 학습을 의해 Levenberg-Marquardt 알고리즘이 사용되었다. 신경회로망 알고리즘은 전 처리 과정인 학습과정을 오프라인으로 이루어질수 있으며 ,학습 후에는 단지 전 방향 처리를 위한 가중치만이 분류를 위해 필요하기 때문에 실제 많은 메모리를 필요로 하지 않는다. PDA를 이용할 경우, 메모리의 제약이 존재하기 때문에, PDA와 같은 휴대용 시스템에 적절한 알고리즘이라 할 수 있다. 실험은 분류가 어렵다고 알려진 고급양주와 저급양주를 분류하는 것으로 진행되었으며, 성공적이며 우수한 실험 결과를 얻었다. 이로부터 사용된 알고리즘이 휴대용 전자혀 시스템에 적절히 사용될 수 있음을 밝혔으며, 실제 휴대용 전자혀 시스템에 간단한 학습에 의해 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] Y. M. BAE, S. I. CHO, "Response of Polymer Membranes as Sensing Elements for an Electronic Tongue" TRANSACTIONS OF THE ASAE, Vol. 45, No. 5, 2003.

[2] Young-Soo Sohn, Adrian Goodey, Eric V. Anslyn, John T. McDevitt, Jason B. Shear, Dean P. Neikirk, "A Micromachined Fluidic Structure for Capillary-based Sample Introduction into a Microbead Array Chemical Sensor", Sensor Letters, Vol. 2, No. 1, pp. 69-72(4), March 2004.

[3] M. Lindquist and P. Wide, "New Sensor System for Drinking Water Quality" Proc. Sensors for Industry Conference, USA, 2004.

[4] Astree Liquid & Taste Analyzer, Alpha M. O. S., Toulouse, France.

[5] R. W. Cattrall, "Chemical Sensors", Oxford University Press, pp. 4-23, 1997.

[6] D. T. Sawyer, A. Sobkowiak, J. L. Robert jr., "Electrochemistry for Chemists", John Wiley & Sons inc., pp. 24-52, 1995.

[7] Finschi, "An implementation of the Levenberg-Marquardt algorithm, lausiusstrasses 45, CH-8092, Zuerich, 1996.

[8] Jullian W. Gardner, Philip N. Bartlett, "Electronic Noses Principles and Applications", Oxford Science Publications, 1991.

[9] Legin A. V., Rudnitskaya A. M., Vlasov Yu. G., Di Natale C., D'Amico A., "The features of the electronic tongue in comparison with characteristics of the discrete ion-selective sensors", Sensors and Actuator B, Vol. 58, pp. 464-468, 1999.

[10] L. Lvova, S. S. Kim, A. Legin, Yu. Vlasov, G. S, Chaa, H. Nam, "All-solid-state electronic tongue its application for beverage analysis", Analytica Chimica Acta, Vol. 468 Iss. 2, pp. 303-314, 2002.

[11] K. Toko, Mater. Sci. Eng., C4 pp. 69, 1996.

[12] A. Legin, A. Rudnitskaya, Y. Vlasov, C. Di Natale, F. Davide, and A. D°Ø'Amico, in Tech. Dig. Eurosensors X (Leuven, Belgium) pp. 427, 1996.

[13] F. Winquist, P. Wide, and I. Lundstrom, Anal. Chim. Acta 357, pp. 21, 1996.

[14] J. J. Lavigne, S. Savoy, M. B. Clevenger, J. E. Ritchie, B. McDoniel, S.-J. Yoo, E. V. Anslyn, o. T. McDevitt, J. B. Shear, and D. Neikirk, "Solution-Based Analysis of Multiple Analytes by a Sensor Array: Toward the Development of an "Electronic Tongue", JACS, Vol. 120, pp. 6429-6430, July 1, 1998.

[15] S. Savoy, J. J. Lavigne, J. S.-J. Yoo, J. Wright, M. Rodriguez, A. Goodey, B. McDoniel, J. T. McDevitt, E. V. Anslyn, J. B. Shear, A. Ellington, and D. P. Neikirk, "Solution-based analysis of multiple analytes by a sensor array: toward the development of an electronic tongue", SPIE Conference on Chemical Microsensors and Applications, SPIE Vol. 3539, Boston, MA, Nov. 4, 1998.

정 영 창(Young-Chang Jung) [정회원]

- 1986년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1982년 3월~현재 : 호서대학교 전기정보통신공학부 교수

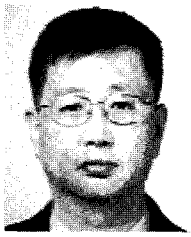
<관심분야>
시스템 제어, 센서응용

김 동 진(Jeong-Do Kim) [정회원]

- 2000년 8월 : 호서대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 1월~2004년 3월 : (주)제니스테크 기술연구소 선임연구원
- 2001년 3월~현재 : 호서대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야>
센서응용 및 로보틱스

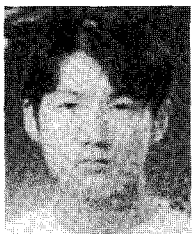
김 정 도(Jeong-Do Kim) [정회원]



- 1990년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1995년 3월~2004년 2월 : 삼척대학교 컴퓨터응용제어공학과 교수
- 2004년 3월~현재 : 호서대학교 전기정보통신공학부 교수

<관심분야>
센서 응용 및 로보틱스, 시스템 제어

정 우 석(Woo-Suk Jung) [정회원]



- 2005년 2월 : 호서대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 3월~현재 : 호서대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야>
센서응용 및 로보틱스