

유비쿼터스를 위한 후각 인식 콘텐츠 구현*

이 현 구** · 노 용 완***

An Implementation of the Olfactory Recognition Contents for Ubiquitous

Lee, Hyeon Gu · Rho, Yong Wan

〈Abstract〉

Recently, with the sensor technology, research about the electronic nose system which imitated the olfactory organ are being pushed actively. But, in case of general electronic nose system, an aroma is measured at the laboratory space where blocked external environment and is analyzed a part of measured data. In this paper, we propose the system which can measure and recognize an aroma in natural environment. We propose the Entropy algorithm which can detect the sensor reaction section among the continuous detection processing about an aroma. And we implement the aroma recognition system using the PCA(Principal Components Analysis) and K-NN(K-Nearest Neighbor) about the detected aroma. In order to evaluate the performance, we measured the aroma pattern, about 9 aroma oil, 50 times respectively. And we experimented the aroma detection and recognition using this. There was an error of 0.2s in the aroma detection and we get 84.3% recognition rate of the aroma recognition.

Key Words : Entropy, Aroma detection, Electronic nose

I. 서론

최근 과학 기술의 발달과 함께 인간의 감각 기관을 기계화하고자 하는 노력은 부단히 진행되고 있다. 특히 우리 생활과 환경에 영향을 주는 향기를 감지하고 분석하기 위한 후각기관은 구현하기 매우 어려운 과제였다. 그러나 최근 들어 센서 기술의 발전과 함께 인간의 후각 기관을 모방한 전자코 시스템 개발에 관한 연구가 활발

히 진행 되고 있다. 전자코 시스템은 인간 코의 기능을 디지털화 한 것으로 다중센서배열(multi sensor arrays)을 이용해 특정 향기 성분과 각각의 센서에서의 반응을 전기 화학적 신호로 나타내며, 이 신호를 소프트웨어에서 데이터 처리함으로써 각각의 냄새의 정성, 정량 분석을 빠르게 수행 할 수 있다. 즉 전자코 시스템은 인간 코의 후각 세포에 해당하는 가스 센서의 배열과 다차원의 배열 신호를 패턴화하여 처리하는 패턴 인식 신호 처리 기술로서 사람의 후각인지 시스템을 모방한 휘발성 향기 성분을 감별하는 전자처리장치로 정의 할 수 있다[1].

일반적인 전자코는 센서어레이, 필터, 펌프와 관련회

* 본 논문은 2007년도 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음.

** 서일대학 정보통신과 교수

*** 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정

로를 밀폐된 챔버 안에 들어가 있는 형태로 구성하고 분석 대상 샘플의 향기를 진공펌프를 이용하여 챔버로 주입시켜 센서 반응을 측정하고 측정된 데이터의 일정 구간을 분석하는 방식이다. 이러한 기존 시스템의 제약적인 실험환경은 후각 인식의 실생활 활용을 어렵게 만들고 있다[2].

따라서 후각 인식 기술의 다양한 실생활 활용을 위해서는 복잡한 절차가 없이 향기 유입을 판단하고 인식할 수 있는 향기 검출 및 인식 시스템의 개발이 필요하다.

이에 본 논문에서는 자연스러운 실생활 환경에서 향기를 측정하고 인식할 수 있는 시스템을 제안하고 구현하였다. 이를 위해 8개의 금속산화물반도체(MOS)센서를 개발된 챔버에 위치시키고 향기의 연속적인 측정과정에서 향기의 유입을 판단하여 향기를 검출 할 수 있는 엔트로피(Entropy) 알고리즘을 제안하고 구현하였다. 또한 검출된 향기에 대해 주성분분석(Principal Contents Analysis) 및 K-최근접이웃법(K-Nearest Neighbor)을 이용한 향기 인식 시스템을 구현하였다. 본 논문에서는 구현된 향기 검출 및 인식 시스템의 성능평가를 위해 5가지의 아로마 오일에 대하여 자연스러운 실내 환경에서 각각 50번의 향기 패턴을 측정하였고, 이를 이용하여 향기 검출 및 향기 인식 실험을 수행하였다.

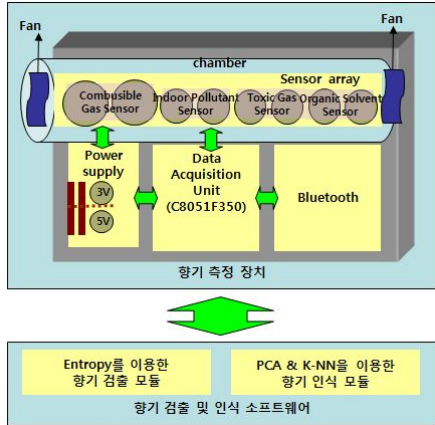
II. 전자코 시스템

인간의 후각을 모방하는 전자코의 경우 인공지능 연구과 맞물린 센서기술의 발전으로 인해 주어진 시료에 대하여 인간의 후각 기관과 비슷하게 감지하고 분석 할 수 있는 인공 후각인식시스템의 개발을 가능하게 하였고 1982년 영국 UMIST의 Persaud 박사와 Warwick 대학의 Dodd에 의해 최초로 소개되었으며, 1990년대 중반부터 상업화 모델이 출시되어 큰 주목을 받게 되었다. 특히 Alpha M.O.S 社の 전자코 시스템(aPrometheus, aFOX, aKronos, aGemini)은 냄새와 휘발성유기화합물(VOCs)

분석을 위한 시스템으로서 관능검사 패널지수나 가스 크로마토그래피/질량분석기(GC/MS)와 뛰어난 상관관계를 나타내며, 정량 및 정성 분석을 빠르고 간단하게 수행할 수 있다. 또한 특별한 전처리 과정이 필요 없으며, 자동표본기(Auto-sampler)를 사용하여 한 번에 최고 96 개까지 시료 분석이 가능함에 따라 식품, 의약, 플라스틱 및 고분자, 화장품 등 다양한 분야에서 사용이 가능하다. 또한 최근에 출시된 휴대형 전자코 시스템으로는 Caltech에서 개발된 32개의 탄소-폴리머 복합체 어레이를 사용하는 미국의 Cyrano Sciences를 대표적인 사례로 들 수 있으며 스웨덴의 Nordic sensor, HKR Sensor system 등을 비롯한 다수의 업체가 활발한 기술개발을 진행하고 있다[3,4]. 국내의 후각 기술에 대한 정보화 동향을 살펴보면 3차원 입체화면에 장미향이나 커피향 등 기본적인 향기를 발산해 주는 멀티미디어 게임과 향기 PC 및 이동통신 단말기 등의 연구 및 상용화가 활발히 추진 중에 있고[4] 최근 한국전자통신연구원에서는 13개의 센서를 이용한 휴대형 전자코 시스템을 개발하여, 양주의 종류를 구분하는 실험을 진행하였다[5]. 이와 비슷한 사례로 호서대에서 8개의 금속산화물반도체(MOS) sensor를 이용한 휴대형 전자코를 사용하여 6가지 담배냄새, 2가지 커피냄새, 3가지의 술냄새 등을 구분하는 실험에 성공하였다[6].

III. Entropy를 이용한 향기 검출 및 인식 시스템의 구성

구현된 Entropy를 이용한 향기 검출 및 인식 시스템은 <그림 1>과 같이 향기 데이터를 측정하기 위한 향기 측정 장치와 향기에 대한 센서 반응 구간을 검출하고 향기 인식 수행하는 향기 검출 및 인식 소프트웨어로 구성된다.



<그림 1> Entropy를 이용한 향기 검출 및 인식 시스템 구성도

3.1 향기 측정 장치의 구성

향기 측정 장치는 향기 측정 과정의 간소화를 위해 센서어레이가 개방된 챔버에 위치시킨 형태로 제작 하였다. <표 1>과 같이 8개의 금속산화물반도체(MOS)센서를 이용하여 센서어레이를 구성하였고, 향기의 효율적인 유입을 위해 2개의 FAN을 사용하였으며, 보다 정확한 향기 측정을 위해 24bit AD컨버터가 내장된 마이크로컨트롤러(C8051F 350)를 사용하였고 또한 측정된 센서 데이터의 전송을 위해 블루투스 모듈을 사용하였다.

<표 1> 센서어레이 구성

Combustible Gases	Toxic Gases	Organic Solvents	Indoor Pollutants
SP-11A, SP-15 : methane, propane, butane and other hydrocarbons detection (1000~3000ppm) SP-30 : Alcohol (50~300ppm)	SP-53 : Ammonia (30~3000ppm)	TGS2620 : Alcohol, toluene, xylene (50~5000ppm) Other Volatile Organic Vapors	TGS2600 : Air Contaminants (< 10ppm) SP3S-AQ2 : SB-AQ1 : various air pollution sources (e.g. VOCs)
TGS2611 : Natural Gas/Methane (500~10000ppm)			

제작된 향기 측정 장치는 각각의 센서에 대하여 초당 24sample의 향기 데이터를 측정하여 향기 검출 및 인식 소프트웨어로 전송한다.

3.2 향기 검출 및 인식 소프트웨어의 구성

향기 검출 및 인식 소프트웨어는 향기의 연속적인 측정과정에서 엔트로피(Entropy)를 이용하여 향기에 대한 센서 반응 구간을 검출하는 향기 검출 모듈과 검출된 향기에 대해 주성분분석(Principal Contents Analysis) 및 K-최근접이웃법(K-Nearest Neighbor)을 이용하여 유입된 향기를 인식하는 향기 인식 모듈로 구성된다.

3.2.1 향기 검출 모듈

본 논문에서 사용한 향기 측정 장치의 경우 센서어레이가 개방된 형태로 향기를 연속적으로 측정하기 때문에 향기가 유입된 시점을 판단하여야 한다. 이를 위해 엔트로피(Entropy)를 이용한 알고리즘을 제안하고 활용하였다. 엔트로피(Entropy)는 정보원에서 나오는 심볼 K당 평균 정보량을 뜻하는데, 사건 e_1, \dots, e_k 가 발생할 때 확률을 P_1, \dots, P_k 라고 하면 Entropy E는 식 (1)과 같이 정의된다[7].

$$E = - \sum_{i=1}^K P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

이때, 엔트로피(Entropy)가 크면 정보의 변화가 작은 것으로 판단할 수 있다. 이에 본 논문에서는 실제 향기에 대한 센서 측정값을 기존의 엔트로피(Entropy) 정의에 적용함으로써 향기에 대한 센서 측정값의 변화 시점을 판단하였다. 엔트로피(Entropy)를 이용한 향기 검출 알고리즘을 활용하여 향기에 대한 센서 측정값의 변화 시점을 판단하는 과정은 다음과 같다. 각 센서의 측정값을 식 (2)와 같이 프레임 단위의 정규화를 취한다.

$$P[S(i,n)] = \frac{S(i,n)}{\sum_{m=1}^M S(m,n)} \quad (2)$$

여기서, $s(i)$: n번째 프레임의 i번째 측정 샘플 값
 $f[S(i,n)]$: n번째 프레임의 i번째 측정 샘플 값의 정규

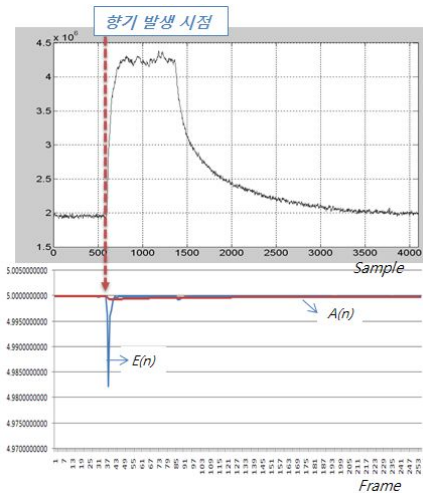
화 결과, M : 한 프레임의 센서 샘플 값의 개수이다.

식 (2)와 같이 각 센서 샘플 값의 정규화 과정 후에 프레임별로 변형된 엔트로피(Entropy) 값을 구한다. 변형된 엔트로피(Entropy)를 구하는 식은 식 (3)과 같다.

$$E(n) = - \sum_{l=0}^{L-1} p(l) * \log_2 p(l) \quad (3)$$

식 (3)과 같이 변형된 엔트로피(Entropy) 값을 구한 후에 식 (4)와 같이 설정한 임계값보다 작은 경우 센서 변화 구간으로 판단하게 된다.

$$A(n) = (E(n) + A(n-1) * (n-1)) / n \quad (4)$$



<그림 2> 유입된 향기에 대한 센서 반응 구간 검출

변화 구간이 일정 프레임 동안 지속될 경우 향기 발생 시점으로 판단하고 일정 구간의 센서 측정값을 향기 인식에 이용한다. <그림 2>는 제안된 엔트로피(Entropy) 알고리즘을 이용하여 유입된 향기에 대하여 센서 반응 구간을 검출하는 과정을 보여주고 있다.

3.2.2 향기 인식 모듈

냄새 발생 시점을 판단하여 검출된 데이터를 기반으로 주성분분석(Principal Contents Analysis)와 K-최근

접이웃법(K-Nearest Neighbor)을 이용하여 향기 인식을 수행한다[8,9]. 향기를 인식하는 과정은 다음과 같다. 먼저 검출 데이터의 첫 번째 측정 샘플 값을 기준 값(baseline)으로 설정하고 식 (5)와 같이 각 센서별로 향기에 의한 변화량을 구한다.

$$D'_j(i,n) = D_j(i,n) - D_j(i,0) \quad n = 1 \dots N \quad (5)$$

여기서, $D_j(i,n)$: i 번째 향기 검출 데이터에서 j 번째 센서의 n 번째 측정 샘플값, $D'_j(i,n)$: j 번째 센서의 향기에 의한 변화량, N : 하나의 센서에서 검출된 샘플의 개수이다.

식 (5)와 같이 각 센서별로 향기에 의한 변화량을 구한 후에 2차원($j \times N$) 형태의 향기 데이터를 1차원($(j \times N) \times 1$)으로 변경하고, 각 센서 샘플 값의 평균을 식 (6)과 같이 계산한다.

$$X_n = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^N M(i,n) \quad (6)$$

여기서, $M(i,n)$: 2차원으로 변경된 i 번째 향기 데이터의 n 번째 샘플값, X_n : 모든 향기 데이터의 n 번째 샘플의 평균, K : 평균을 계산하는데 사용된 향기 측정 데이터의 개수이다.

식 (7)과 같이 각 샘플 값의 평균 μ 을 구한 후에 식 (8)과 같이 공분산 행렬 U 를 계산하고, 식 (9)와 같이 고유분해를 통해 M 개의 가장 큰 고유값($\lambda_1, \dots, \lambda_M$)을 선택하고 선택된 고유값과 관련된 고유벡터를 구하여 변환행렬 W 을 생성한다.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_n \quad (7)$$

$$U = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_n - \mu)(X_n - \mu)^T \quad (8)$$

$$U \Lambda U^T \quad (9)$$

임의의 향기 A 가 검출되었을 경우, 식 (10)과 같이 주성분 분석을 수행한다. 분석된 주성분 벡터와 인식대상

의 기준 주성분 벡터 식 (11)과 같이 K-NN을 이용하여 향기를 인식한다.

$$y = W^T A \quad (10)$$

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{r=1}^n (a_r(x_i) - a_r(x_j))^2} \quad (11)$$

여기서, $\langle a_1(x), a_2(x), \dots, a_n(x) \rangle$ 는 각 향기의 주 성분 벡터이고, $d(x_i, x_j)$ 는 임의의 향기 x_i 와 기준 향기 x_j 사이의 유클리드 거리이다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 향기 검출 및 인식 성능평가를 위해 9가지의 아로마 오일(Rose, Jasmine, Lavender, Lily, Sandalwood, Tulip, Chamomile, Hyssop, Neroli)에 대하여 자연스러운 실내 환경에서 각각 50번의 향기 패턴을 측정하였고, 이를 이용하여 향기 검출 및 향기 인식 실험을 수행하였다. <그림 3>은 구현된 Entropy를 이용한 향기 검출 및 인식 시스템을 보여주고 있다.



<그림 3> Entropy를 이용한 향기 검출 및 인식 시스템

향기 검출의 경우 측정된 향기 패턴에 대하여 각각의 센서별로 메뉴얼 방식으로 센서 반응 위치를 마킹하였고, 마킹된 시간과 구현된 시스템에서 검출 시간을 비교

하였다. <표 2>는 각각의 아로마 오일의 향기 검출 오차를 보여주고 있다.

<표 2> 향기 검출 오차

	Eucalyptus	Lavender	Lily	Tulip	Vanilla	평균
시간 오차 (ms)	0.47	0.42	0.44	0.34	0.36	0.40

향기 인식 실험의 경우 각각의 아로마 오일에 대한 60개의 검출 데이터 중 5개의 검출 데이터를 이용하여 인식 대상의 기준 주성분 벡터를 계산하였고, 55개의 검출 데이터를 이용하여 인식 실험을 수행하였다. <표 3>은 각각의 아로마 오일의 향기 인식 실험의 결과를 나타낸다. 평균적으로 84.3%의 인식률을 보였다.

<표 3> 향기 인식 결과

	Eucalyptus	Lavender	Lily	Tulip	Vanilla	평균
인식률 (%)	94.5	81.8	83.6	81.8	80.0	84.3

V. 결론

본 논문에서는 자연스러운 실생활 환경에서 향기를 측정하고 인식할 수 있는 엔트로피(Entropy)를 이용한 향기 검출 및 인식 시스템을 제안하고 구현하였다. 이를 위해 8개의 금속산화물반도체(MOS)센서를 개방된 챔버에 위치시키고 향기의 연속적인 측정과정에서 향기의 유입을 판단하여 향기를 검출 할 수 있는 엔트로피(Entropy) 알고리즘을 제안하고 구현하였다. 또한 검출된 향기에 대해 주성분분석(Principal Contents Analysis) 및 K-최근접이웃법(K-Nearest Neighbor)을 이용한 향기 인식 시스템을 구현하였다. 본 논문에서는 구현된 향기 검

출 및 인식 시스템의 성능평가를 위해 9가지의 아로마 오일에 대하여 자연스러운 실내 환경에서 각각 50번의 향기 패턴을 측정하였고, 이를 이용하여 향기 검출 및 향기 인식 실험을 수행하였다. 제안된 알고리즘을 이용한 향기 검출의 경우 0.2ms의 오차가 발생하였고, 향기 인식의 경우 84.3%의 인식 성능을 보였다.

[9] Simon M. Scott, David James, and Zulfiqur Ali, "Data analysis for electronic nose systems", *Microchim Acta* 156, 2007, pp.183 - 207.

참고문헌

[1] TC Pearce, SS Schiffman, HT Nagle, JW Gardner, "Handbook of Machine Olfaction: Electronic Nose Technology", wiley-vhc, 2003.

[2] 김정도, "후각 인터페이스와 후각 디스플레이 기술", 전자공학회지, 제34권, 제6호, 2007, pp.59-70.

[3] 오사카과학기술센터, 2005일본 오감 산업 포럼, 2005.

[4] 김정도, "휴대용 전자코와 전자혀의 기술 및 표준화 동향", 한국정보기술학회지, 제2권, 제1호, 2004, pp.69-78.

[5] Yong Shin Kim, Seung-Chul Ha, Yoonseok Yang, Young Jun Kim, Seong Mok Cho, Haesik Yang, Youn Tae Kim, "Portable electronic nose system based on the carbon black-polymer composite sensor array", *Sensors and Actuators B* 108, 2005, pp.285 - 291.

[6] 김정도, 변형기, 함유경, "PDA를 이용한 휴대용 Electronic Nose 시스템 개발", 센서학회논문지, 제13권, 제6호, 2004, pp.454-461.

[7] Thomas M. Cover and Joy A. Thomas, "Elements of Information Theory", John Wiley & Sons Inc, 2005.

[8] A. M. Martinez and A. C. Kak, "PCA versus LDA", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.23, no.2, 2001, pp.1-10.

■ 저자소개 ■



이현구
Lee, Hyeon Gu

1998년 3월 - 현재
서일대학 정보통신과 교수
2000년 2월 성균관대학교대학원
전자공학과(공학박사)
1991년 2월 성균관대학교대학원
전자공학과(공학석사)
1989년 2월 성균관대학교 전자공학과(공학사)
1991년 1월 - 1996년 6월
대영전자기술연구소
1996년 7월 - 1998년 2월
부일이동통신중앙연구소
관심분야 : 통신 및 신호처리, 음성 처리,
멀티미디어 통신
E-mail : lhg@seoil.ac.kr



노용완
Rho, Yong Wan

2003년 - 현재
성균관대학교 정보통신공학부
박사과정
관심분야 : 오감 정보처리
E-mail : elec1004@hotmail.com

논문접수일 : 2008년 8월 9일
수정일 : 2008년 8월 20일
게재확정일 : 2008년 8월 25일