

## 센서 네트워크 기반 지능 로봇의 냄새 인식 및 추적

# Odor Cognition and Source Tracking of an Intelligent Robot based upon Wireless Sensor Network

이재연\* · 강근택\*\* · 이원창\*\*\*

Jaeyeon Lee, Geuntaek Kang and Won Chang Lee

\* 부경대학교 전자정보통신연구소

\*\* 부경대학교 전자공학과

### 요 약

본 논문에서는 실내 환경에서 발생 할 수 있는 각종 냄새를 구분하고 농도를 검출하여 냄새 발생지로의 탐색과 이에 관련된 정보를 전송하는 지능 로봇을 구현 하였다. 온도변화에 따라 구동 되는 반도체식 가스센서를 이용하여 에탄올, 암모니아 및 이들의 혼합가스를 신경망 알고리즘을 통해 구분하고, 퍼지 추론방식으로 농도 측정이 가능한 후각 기능을 구현 하여 탐재함과 동시에 비전 시스템을 이용하여 장애물 회피 이동이 가능하게 하였다. 또한 로봇은 센서 네트워크 내에서 동작하며 유해 가스 및 냄새 관련 정보와 이에 따른 경고 메시지를 멀티홉 방식으로 네트워크 내 다른 노드로 전송한다. 비전 시스템과 후각 센서를 이용한 알고리즘으로 냄새의 종류 구분 및 농도 측정, 발생지 탐색이 가능 하였고 센서 네트워크 내 동작으로 이러한 정보전송이 가능한 로봇을 제시 하였다. 실제 실험을 통하여 냄새 인식 및 농도검출, 그리고 냄새 발생지로의 탐색 알고리즘 및 정보전송 성능의 효율성을 입증 하였다.

### Abstract

In this paper, we represent a mobile robot which can recognize chemical odor, measure concentration, and track its source indoors. The mobile robot has the function of smell that can sort several gases in experiment such as ammonia, ethanol, and their mixture with neural network algorithm and measure each gas concentration with fuzzy rules. In addition, it can not only navigate to the desired position with vision system by avoiding obstacles but also transmit odor information and warning messages earned from its own operations to other nodes by multi-hop communication in wireless sensor network. We suggest the way of odor sorting, concentration measurement, and source tracking for a mobile robot in wireless sensor network using a hybrid algorithm with vision system and gas sensors. The experimental studies prove that the efficiency of the proposed algorithm for odor recognition, concentration measurement, and source tracking.

**Key Words** : Gas Sensor, Neural Network, Fuzzy Rule, Vision System, Mobile Robot

## 1. 서 론

자연에 존재하는 생명체들은 다섯 가지 감각기관을 이용하여 필요한 정보를 얻으며, 특히 포유류의 경우 후각에 대한 의존성이 가장 높은 것으로 알려져 있다. 후각은 냄새를 내는 화학 분자에 의해 후각세포가 자극되어 일어나는 감각이다. 이 정보는 뇌로 전달되고 뇌에서는 각각의 냄새에 따른 차별화된 정보를 기억하여 냄새를 구분한다. 후각의 기능은 먹이를 찾거나, 천적을 인지하는 역할 뿐만 아니라 생식을 위한 짝짓기 상대를 감지하기도 하고, 의사소통의 기능을 가지기도 한다.

인간은 오래 전부터 자연에 존재하는 뛰어난 능력을 모방하기 위해 많은 노력을 했으며, 인공후각기술도 그중 하나이다. 이 기술은 1982년 기체에 민감한 응답을 보여 냄새를 구분할 수 있는 금속산화물 소자가 개발되면서 시작되었

다. 최근에는 반도체 기술의 발달로 이전에 비해 높은 성능의 냄새 감지 센서를 제작하기에 이르렀고, 이와 더불어 고속 연산 프로세서와 인공지능 알고리즘의 발달로 인공 후각 관련 연구는 높은 수준에 이르렀다. 이처럼 향상된 성능의 후각 센서를 이용하여 정보를 정확히 판단하고 그에 따른 행동 방식을 선택하는 것이 가능해짐에 따라 후각 센서를 이용하여 실생활에 응용하기 위한 노력도 상당수 이루어지고 있다. 그 대표적인 사례로 후각 기능을 탑재한 자율 이동 로봇이 있다[1-4]. 후각 기능을 탑재한 모바일 로봇의 성능발달에 따라 가정이나 산업 현장의 가스 누출 방지, 화재 감지, 재난현장 및 공항 수화물 검사에서 부터 오염물질 추출과 식·의약품 제조공정 등 많은 분야로의 적용이 가능하게 되었다. 또한 센서에 의해 얻어진 값을 이용하여 실제 후각과 유사한 역할을 하기 위해 신경망이나 퍼지규칙 등의 인공지능 알고리즘의 성능향상을 위한 연구도 다수 진행되고 있다[5]. 이러한 연구들은 최근 하드웨어 기술 발달이 더해져 보다 정확한 처리가 가능해졌으며 그 처리 시간 또한 짧아져 앞으로 더욱 신속하고 정밀하게 냄새를 인지하는 인공 후각 기능의 구현이 가능할 것으로 예상된다[6].

접수일자 : 2010년 6월 29일

완료일자 : 2010년 11월 25일

+교신저자

본 논문에서는 반도체식 가스센서를 이용한 인공 후각 시스템과 지능 알고리즘에 의해 가스의 종류를 구분 및 농도를 추정하는 로봇을 구현하였다. 그리고 실내 환경에서 자유로운 주행이 가능 하도록 비전 시스템을 사용하였다. 또한 로봇은 센서 네트워크 내에서 동작하며 멀티 홉 통신을 통하여 로봇이 얻은 정보를 인근 노드로 전송한다.

## 2. 시스템 구성

로봇은 아래의 그림 1의 형태로 구성된다. 냄새의 종류를 구분하기 위한 신경망 알고리즘과, 농도추정을 위한 퍼지 추론, 그리고 장애물 회피를 위한 영상처리 알고리즘은 넷북에서 이루어진다. 마이크로프로세서는 센서로부터 냄새 데이터 수집과, 로봇의 구동을 담당하며 이 외에 두 종류의 가스 센서와 웹캠 그리고 ZigBee 모듈이 상호 동작한다.

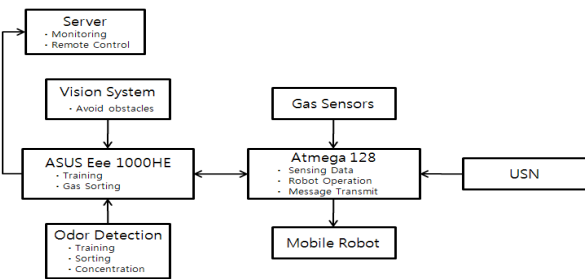


그림 1. 시스템 구성  
Fig. 1. System Configuration

냄새 감지를 위해 특정 가스에 반응 하는 두 종류의 가스 센서를 좌·우측에 각각 1개씩 부착 하였으며 차후 검출 가능한 가스 종류 확장에 용이하도록 두 가지 종류의 센서를 함께 사용하였다. 가스 센서는 Figaro사의 TGS2602와 FiS사의 SP3-AQ2가 사용 되었으며 실내에서 발생하기 쉬운 각기 다른 종류의 오염 물질에 반응하는 특성을 가진다. 그림 2는 각 센서의 Datasheet에 명시된 센서의 민감도 특성을 나타낸 그래프이다[7-8]. 가스 센서는 온도 변환 구동방식을 사용한 반도체식 가스 센서로서 반응하는 특정 가스의 농도에 따라 저항 값이 변하는 특성을 가진다.

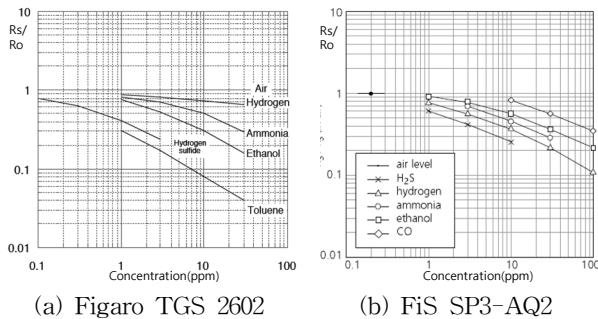


그림 2. 가스 센서 특성 그래프  
Fig. 2. Sensitivity Characteristics

ASUS Eee PC에서 신경망 알고리즘과 퍼지추론 연산이 이루어지며 Samsung Pleomax 3800 웹캠과 함께 영상처리도 이루어진다. 또한 로봇의 동작은 Atmel사의 ATmega

128 프로세서에 의해 이루어진다. 로봇은 수집한 정보나 임의의 상황에 따른 위험 경보를 센서 네트워크 노드 간 멀티 홉 통신을 통해 다른 노드로 전송 하는데 센서 네트워크 구현을 위해 2.4GHz대의 Zigbee 통신 방식을 지원하는 한백 전자 ZigbeX모듈을 사용하였다.

그림 3은 이동로봇을 나타내며 2개의 SST42D2120 스텝모터를 사용하여 로봇이 원하는 방향으로 자유로이 주행 가능하도록 하였으며 중앙에는 마이크로프로세서와 전원부, 모터 제어부가 위치한다. 또한 로봇의 좌·우측에 챔버와 팬이 위치하는데 챔버는 가스 센서의 인식률 향상을 위해 냄새 성분을 모으기 위한 것이고 팬은 이러한 냄새성분을 모으기 위한 공기의 흐름을 만들기 위한 것이다[9]. 챔버와 팬의 장착으로 3~5m의 비교적 먼 거리의 냄새 성분을 감지 할 수 있게 되었다.



그림 3. 이동로봇  
Fig. 3. Mobile Robot

## 3. 동작 알고리즘

동작 알고리즘은 냄새분류, 농도추론, 영상처리, 멀티홉 통신, 그리고 주행으로 이루어진다.

### 3.1 냄새 분류 및 농도 추론

냄새 분류는 가스 센서로부터 얻은 정보로 냄새의 종류를 구분하는 것으로 신경망 역전파(Neural Network Back Propagation) 알고리즘을 사용하였다. 로봇은 암모니아(NH3), 에탄올(C2H5OH) 그리고 이들의 혼합가스에 대하여 냄새 구분을 위해 off line에서 학습을 수행한다. 그림 4는 역전파 알고리즘 다이어그램으로 가스 센서에 따른 4개의 입력층 노드(Sensor L\_1, Sensor L\_2, Sensor R\_1, Sensor R\_2), 은닉층 노드 그리고 가스의 종류에 따른 3개의 출력층 노드로 구성 되며 시행착오를 거쳐 은닉층은 7개와 0.1학습률을 결정하였다. 그리고 활성화 함수는 식(1)에 나타난 시그모이드인 함수 지수함수(Exponential function)가 사용되었다.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

또한 디지털화 된 0~255의 센서 값을 전체 입력 값의 중요도를 동일하게 하고, 시그모이드형 전달함수가 빨리 포화되는 것을 막기 위해 평균을 중심으로 표준 편차가 1인 수로 변환하는 전 처리 과정을 수행 하였으며 알고리즘 연산은 Matlab를 사용하였다. 실험에 사용한 가스에 대한 학습을 위하여 off line 상에서 각각의 가스와 그 혼합기에 대한 센서 값을 이용하여 100회 학습을 수행한 결과 가스 인식을 위한 원하는 오차율의 가중치를 얻을 수 있었다.

로봇이 냄새발생지에 근접하면 동작을 멈추고 농도 추정을 수행한다. 냄새 정보 수집은 가스 센서로부터 얻어지며

센서의 저항 값이 가스 종류에 따라 차이를 가지는 특성을 이용하여 가스가 없는 일반적인 공기 중에서 얻은 센서 값에서부터 센서를 가스에 최대한 노출 시킨 경우까지의 센서 값의 범위를 농도를 구분하기 위한 5단계로 나누어 입력 멤버십 함수를 결정하였고, 이때 계산이 간단한 삼각파를 사용하였다.

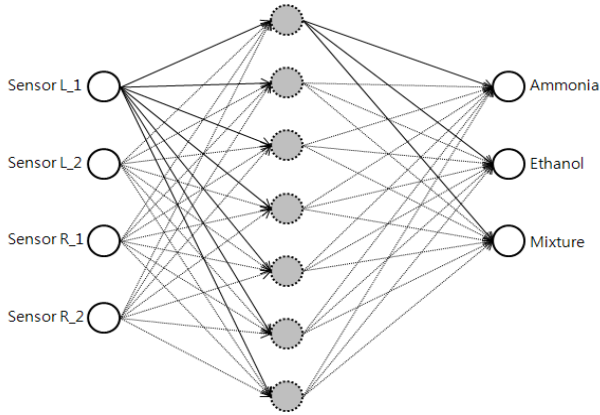


그림 4. 신경망을 이용한 냄새 분류  
Fig. 4. Odor Detection with Neural Network

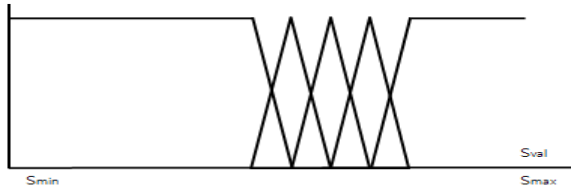


그림 5. 센서값 변위에 의한 입력 멤버십 함수  
Fig. 5. Input Membership Function

입력 멤버십 함수들은 아래 식(2)의 Mamdani가 제안한 방법으로 퍼지 관계를 결정된 것으로 멤버십 함수들 사이의 연산을 최솟값으로 결정하며, 조건 명제들 사이의 논리적 관계를 논리합(or)으로 결합시킨다.

$$\mu_{R_c}(x,y) = (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)) \quad (2)$$

입력으로 주어진 센서 값들 사이의 조합에 관한 퍼지 규칙은 표 1과 같다.

표 1. 센서 값들의 각 조합에 관한 퍼지 규칙  
Table 1. Fuzzy rule from sensing data

S <sub>2</sub> \ S <sub>1</sub>	VL	L	M	H
VL	VW	VW	W	M
L	VW	VW	W	S
M	VW	W	M	S
H	W	W	S	VS
VH	M	M	S	VS

V : Very, W : Weak, M : Medium, S : Strong, L : Low, H : High

센서 값의 범위에 따른 가스의 농도를 매우희박(VW), 희박(W), 보통(M), 강함(S), 매우 강함(VS)의 5단계로 나누었다. 또한 농도 추론의 결과를 나타내는 멤버십 함수는 각 센서의 농도 인식 가능 범위인 0~30ppm사이의 농도를 센서 값에 따라 매우 낮음(VL), 낮음(L), 보통(M), 높음(H), 매우 높음(VH)의 5단계로 나누었다. 그리고 무게 중심법을 사용하여 비퍼지화 과정을 수행하였다. 그림 6은 가스 농도 추정 결과를 얻는 멤버십 함수를 나타낸다.

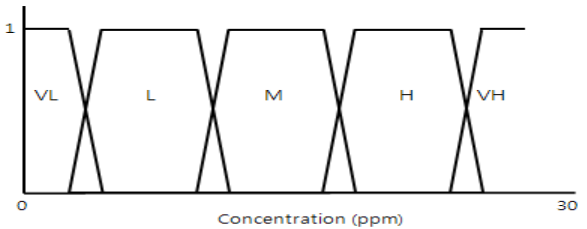


그림 6. 농도에 관한 멤버십 함수  
Fig. 6. Output Membership Function

### 3.2 영상처리

영상처리 과정은 그림 7과 같으며, 장애물 인식을 위해 캡 영상을 그레이 영상으로 변환 후 가우시안 필터링, 윤곽선 검출, 크기 필터링 과정으로 이루어진다.

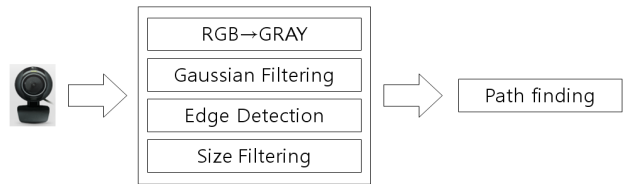


그림 7. 영상처리 과정  
Fig. 7. Image Processing

가우시안 필터링 과정은 그레이 영상을 가우시안 필터를 통하여 전체적으로 부드러운 영상으로 변환하는 것을 말한다. 가우시안 필터는 영상 데이터의 잡음제거를 위해 주로 사용되는데 가우시안 분포의 필터를 영상에 컨볼루션 연산하여 얻을 수 있다. 이 과정을 거치면 영상 잡음에 의해 픽셀 값의 갑작스런 변화를 제거하여 영상의 잡음 제거에 용이하며 윤곽선 검출에도 도움이 된다. 그리고 나서 장애물 인식에 좋은 성능을 보이는 윤곽선 검출 과정을 거친다. 윤곽선 검출은 영상 내 화소 값의 변화가 생기는 부분의 미분 값이 0이 아닌 특성을 이용하여 얻을 수 있으나 실제로 필터를 이용하여 빠른 속도로 윤곽선을 검출하였다. 윤곽선 검출에 사용되는 대표적인 필터로는 Sobel, Prewitt, Robert, Laplacian, Canny 등이 있으며 본 논문에서는 장애물 인식에 좋은 성능을 가지는 Sobel 필터를 사용하였다.

마지막으로 크기 필터링 과정을 통해 잡음을 좀 더 개선한다. 크기 필터링은 영상의 윤곽선들을 라벨링(Labeling) 처리 하여 연결된 윤곽선들끼리 묶어 주고 묶어진 영상의 크기가 임의의 값보다 작은 경우 노이즈로 간주하여 이를 제거한다. 여기서는 8-연결도 순차 연결성분 알고리즘을 통해 윤곽선을 라벨링 하고, 픽셀의 크기가 30 이하인 픽셀을 제거하였으며, 그림 8은 영상처리 과정을 나타낸다.

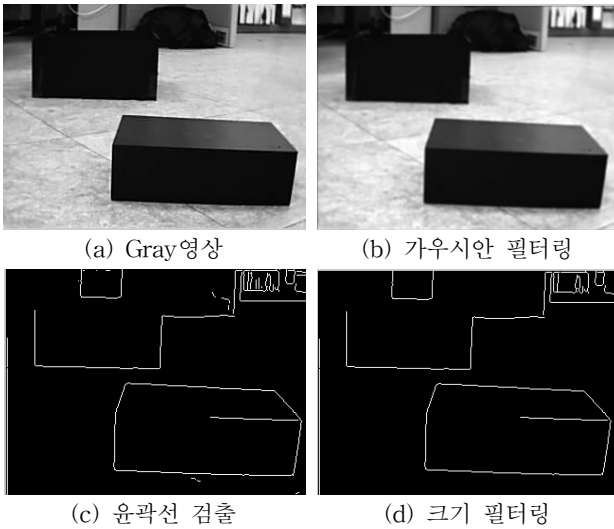


그림 8. 영상처리 과정  
Fig. 8. Image Processing Result

3.3 멀티 홉 통신

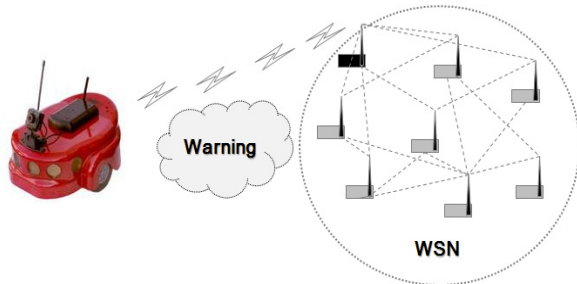


그림 9. 멀티 홉 통신  
Fig. 9. Multi-hop Communication

로봇은 그림 9처럼 센서 네트워크 환경에서 동작하며 냄새 관련 정보를 수집하고 이를 센서 네트워크 내 다른 노드들에게 경고 메시지 혹은 각종 이동 및 냄새 관련 정보를 전송하기 위해 멀티 홉 방식을 사용한다.

무선 멀티홉 통신은 2.4GHz~2.4835GHz 대역의 RF Transceiver인 Chipcon社의 CC2420 통신 칩을 이용하며 IEEE 802.15.4의 Ch11(2.480GHz)을 기본 대역폭으로 이용한다. 이상적인 경우 데이터 송·수신 속도는 250kbps이고 열린 공간에서 전송거리가 60m 이상 가능하다. 로봇과 각각의 센서 노드들 간에는 멀티 홉 방식으로 데이터를 송수신하며 각각의 센서 노드 당 고유한 TOS\_LOCAL\_ADDRESS 를 가지고 센서 노드는 고정되어 있다고 가정하였으므로 유니 캐스트 방식으로 통신 하도록 하였다. 그림 10은 멀티 홉 릴레이 통신의 시나리오를 나타내고 있다.

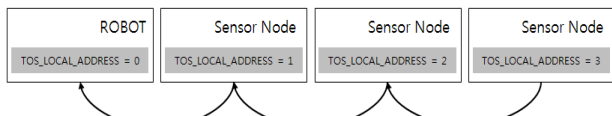


그림 10. 멀티 홉 전송 시나리오  
Fig. 10. Multi-hop relay scenario

이때 로봇에 장착된 ZigBee 모듈과 로봇의 마이크로프로

세서인 ATmega128과는 시리얼 통신을 통해 데이터를 송수신 하며 무선 멀티홉 방식으로 전송된 TOS\_Msg 포맷 (IEEE 802.15.4)과 시리얼 상에 사용하는 TOS\_Msg는 포맷 (RFC 1662)이 서로 다르므로 메시지 포맷 변환이 필요하다. 그러나 본 시스템에서는 이러한 포맷의 변환을 자동으로 해주는 FramersM 컴포넌트를 사용하기 위해 GenericComm컴포넌트를 사용하여 무선 및 시리얼 통신을 수행하도록 하였다. 무선 통신과 시리얼 통신의 TOS\_Msg 에 대한 개념을 그림 11에 나타내었다.

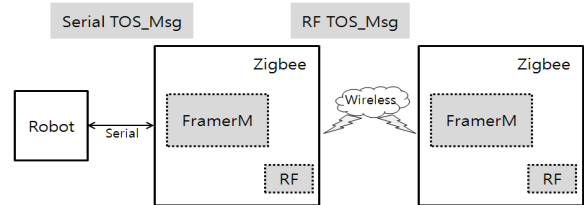


그림 11. TOS\_Msg 포맷  
Fig. 11. TOS\_Msg Format

3.4 주행

주행은 두 가지 주행 알고리즘으로 이루어지며 그림 12는 로봇의 주행 알고리즘을 나타낸 다이어그램이다.

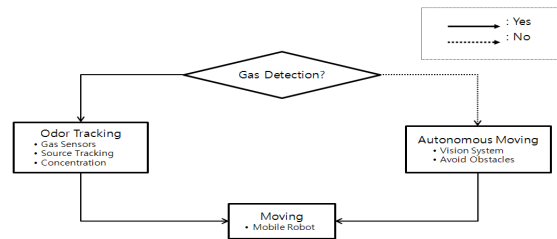


그림 12. 주행 알고리즘  
Fig. 12. Navigation Algorithm

가스 정보를 인식한 경우 센서 값에 의한 냄새 발생지를 추적 주행과, 가스 정보를 인식하지 못한 경우 비전 시스템에 의한 장애물 회피 주행으로 나뉜다. 냄새 발생지 추적은 좌·우측에 부착된 가스 센서 값을 이용하여 이루어진다.

그림 13은 로봇의 주행 동작을 나타내는 흐름도로 로봇은 일반적인 상황에서 장애물 회피 주행을 수행하며 가스 센서가 가스를 인지하면 냄새를 구분하여 이 정보를 인근 노드로 전송하고 냄새의 강도에 의한 센서에서 얻어진 값을 이용하여 냄새 발생지 추적 주행을 수행한다.

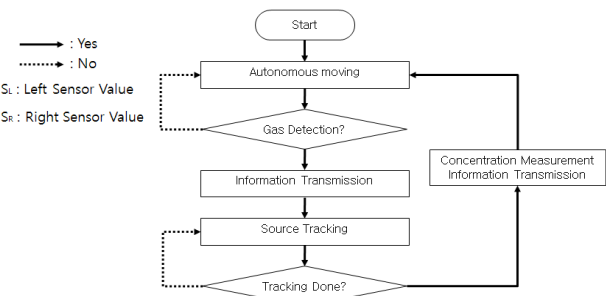


그림 13. 주행동작 흐름도  
Fig. 13. Moving Flow Chart

가스를 인지한 경우 냄새 발생지 추적 주행 동작은 아래 표 2에 나타내었다.

표 2. 발생지 추적 주행  
Table 2. Odor Source Tracking

센서값 조건		추적 조건	로봇의 동작
단계(1) 좌·우 센서값 의 합	< 900	냄새 발생지가 비교적 멀리 있음	(2) 단계 적용
	> 900	냄새 발생지에 근접	멈춤 농도 추론 정보 전송
	순차적 감소	냄새 발생지가 뒤쪽에 있음	180° 회전
단계(2) 좌·우 센서값 비교	좌-우 <2 0	냄새 발생지가 정면에 있음	직진
	좌 > 우	냄새 발생지가 좌측에 있음	좌회전
	좌 < 우	발생지가 우측에 있음	우회전

장애물 회피 주행은 영상처리 과정에서 얻은 윤곽선 영상을 이용하여 그림 14처럼 이루어진다. 영상처리를 통해 얻은 윤곽선 영상에서 최 하단 윤곽선을 가장 근접한 장애물로 판단하며 장애물 근처로 이동한 후 윤곽선의 좌·우측  $x$ 좌표 값을 이용하여 필요한 방향으로 회전하여 장애물을 회피한다.

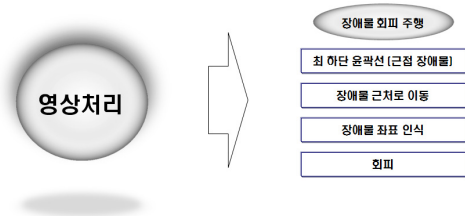


그림 14. 장애물 회피 주행  
Fig. 14. Obstacle Avoiding Process

이때 로봇에 장착된 카메라는 고정되어 있으므로 로봇은 카메라 영상 윤곽선의  $y$ 축 픽셀 값을 이용하여 로봇과 근접 장애물과의 거리를 판단한다. 장애물을 인지 한 후 카메라 영상의  $y$ 축 픽셀 값이 50픽셀 이하가 되면-카메라 영상 중앙 최 하단을 0점으로 함-로봇은 장애물과 근접 하였다고 판단하여 동작을 멈추고 윤곽선의  $x$ 축 픽셀 값을 이용하여 좌·우측 회전 여부를 판단하여 장애물을 회피한다.

#### 4. 실험결과

Off line 상태에서 학습 프로그램에 의해 실험에 사용된 두 종류의 가스 암모니아(NH3), 에탄올(C2H5OH) 및 이들의 혼합기에 대하여 신경망 역전과 알고리즘에 의한 학습을 실시한다. 이때 각 센서별 900개의 가스정보는 마이크로프로세서를 통해 넷북으로 전달되며 몇 가지 초기 값이 결정되면 학습을 실시한다. 이때 얻은 가중치를 이후 주행 프로

그램의 초기화 과정에 사용한다. 학습이 완료된 로봇은 임의의 환경에서 주행 프로그램에 의해 동작하는데 주행 프로그램에서는 비전 시스템에 의해 장애물 회피 주행을 하며 가스 센서의 값이 변하기 시작하면 수시로 데이터를 받으며 가스의 종류를 구분하여 이 정보를 다른 노드로 전송하고 추적 주행을 실시한다.

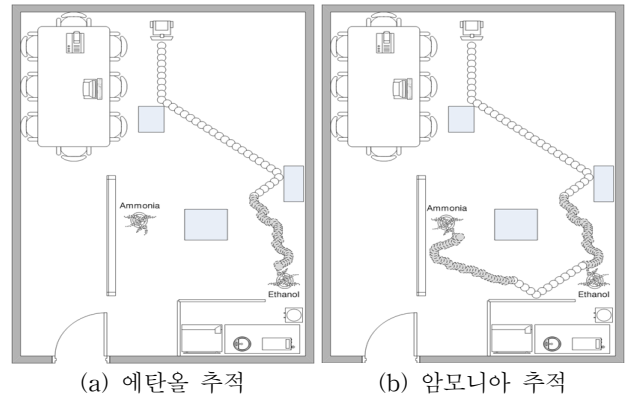


그림 15. 냄새 추적 결과  
Fig. 15. Odor Detection Results

실험실 곳곳에 장애물을 배치하고 선 학습과정을 거친 로봇을 임의의 장소에 위치 시켜 실험하였으며 그림 15는 이러한 방법으로 실시한 로봇이동 실험 결과이다. 그림에서 흰색 실선 원으로 표시된 경로는 장애물 회피 주행 알고리즘에 의한 구간이고 회색 점선 원으로 표시된 경로는 냄새 발생지 추적 주행 알고리즘에 의한 이동 구간이다. 원 사이의 간격은 로봇의 속도에 따라 구분되었다. 냄새 발생지 추적은 센서 값의 변화가 정밀하지 못하고 변화폭이 커서 속도가 느리고 불필요한 움직임이 발생하였다.

로봇은 발생지 부근에서 그림 16과 같은 퍼지추론에 의한 농도 추정을 실시한다. 그림 상단의 두 그래프는 각 센서에 의한 입력 멤버쉽 함수이고 하단 좌측 그래프는 출력에 대한 멤버쉽 함수, 그리고 하단 우측의 그래프는 비퍼지화 과정에 의한 에탄올의 농도추론 결과를 나타낸다.

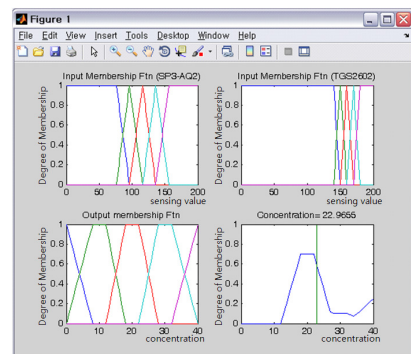


그림 16. 농도추정 결과 (에탄올)  
Fig. 16. Concentration Measurement

또한 챔버와 팬의 사용에 따른 성능 향상을 확인하기 위해 로봇과 가스 발생지 사이의 거리에 따른 인식 시간을 비교하는 실험도 추가로 실시하였다. 아래에 나타낸 표 3은 챔버와 팬의 사용에 따른 센서의 가스 인식성능을 비교한

것으로 챔버의 사용으로 챔버와 팬을 사용하지 않은 경우보다 먼 거리까지 빠른 시간 내에 가스 인식이 가능함을 알 수 있다.

표 3. 챔버 사용에 따른 가스센서 반응시간  
Table 3. Reaction time of gas sensors with chamber

× : 300sec. 이내 반응 하지 않음

챔버 / 팬 사용 여부	거리에 따른 가스센서 반응시간 (sec.)					
	100mm	300mm	500mm	1000mm	3000mm	5000mm
미사용	1sec. 미만	3	10	18	×	×
사용	1sec. 미만	2	3	4	9	13

### 5. 결 론

실제로 로봇은 사람의 접근이 제한된 환경에서 각종 유해 가스의 인식과 발생원 추적 및 이에 관한 정보를 관리자에게 전송할 수 있음으로 인간의 생활에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 더 나아가 넓은 환경에서 여러 개의 로봇이 각각 센서 노드로 동작하며 멀티 구동 될 경우 로봇들 간 상호 정보 교환을 통한 임무 수행 능력의 향상으로 그 활용 범위는 훨씬 넓어 질 것으로 예상된다.

### 참 고 문 헌

[1] Emmanuel A. Gonzalez, Floyd Matthew G. Mascenon, Alexis J. Magpantay, and Kervin Clyde C. Go, "Design of an Autonomous Mobile Olfactory Robot for Chemical Source Localization", *Proc. of the IEEE TENCON*, vol. 4, pp. 475-478, 2004.

[2] A. Loutfi, S. Coradeschi, L. Karlsson, and M. Broxvall, "Putting olfaction into action: using an electronic nose on a multi-sensing mobile robot", *Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conference. on Intelligent Robots and Systems*, vol. 1, pp. 337-342, 2004.

[3] W. Jatmiko, T. Fukuda, F. Arai, and B. Kusumoputro, "Artificial odor discrimination system using multiple quartz-resonator sensor and neural network for recognizing fragrance mixtures", *Proceedings of the International Symposium*, pp. 169- 174, 2004.

[4] H. Ishida, H. Tanaka, H. Taniguchi, and T. Moriizumi, "Mobile robot navigation using vision and olfaction to search for a gas/odor source", *Autonomous Robots*, vol. 20, no. 3, pp. 231-238, 2006.

[5] 이정현, 조정환, 전기준, "반도체식 가스 센서와 퍼지 ART를 이용한 혼합가스의 농도 추정", *전자공학회 논문지*, vol.43, pp. 196-204, 2006.

[6] Wisnu Jatmiko and K. Sekiyama and T. Fukuda, "A PSO-Based Mobile Robot for Odor Source Localization in Dynamic Advection Diffusion with Obstacles Environment : Theory Simulation and Measurement", *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 2, pp. 37-51, 2007.

[7] [www.figarosensor.com/products/2602pdf.pdf](http://www.figarosensor.com/products/2602pdf.pdf)

[8] [www.fisinc.co.jp/Enew051111/products/SpecE/ESP3AQ201.pdf](http://www.fisinc.co.jp/Enew051111/products/SpecE/ESP3AQ201.pdf)

[9] R.A. Russell, "Laying and sensing odor markings as a strategy for assisting mobile robot navigation tasks", *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 2, pp. 3-9, 1995.

### 저 자 소 개



#### 이재연(Jaeyeon Lee)

2008년 : 부경대학교 전자정보통신공학전공 학사 졸업  
2008년~2010 : 동 대학원 전자공학과 석사  
2010년~현재 : 부경대학교 전자정보통신연구소 전임연구원

관심분야 : Artificial Intelligence, Firmware Programming, Robot Control  
Phone : 010-8326-4566  
E-mail : ljjjccj@gmail.com



#### 강근택(Geuntaek Kang)

제20권 제1호 참조  
E-mail : gtkang@pknu.ac.kr



#### 이원창(Won Chang Lee)

제20권 제1호 참조  
E-mail : wlee@pknu.ac.kr