

비전과 후각 센서를 이용한 이동로봇의 냄새 발생지 추적

Odor Source Tracking of Mobile Robot with Vision and Odor Sensors

지동민*, 이정준**, 강근택***, 이원창***

Dongmin Ji, Jeongjun Lee, Geuntaek Kang, Won Chang Lee

* (주)누리텔레콤

** (주)하이온콤

*** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

요 약

본 논문에서는 비전 시스템과 후각 센서를 이용하여 자율주행 이동로봇에 냄새 발생지 추적을 위한 기능을 구현하였다. 초기에 로봇에 부착된 후각 센서가 냄새를 탐지하지 못한 경우에는 비전 시스템을 이용하여 특정 지역 내를 순회하다가 시계 내의 한 물체에 접근하여 냄새를 방출하고 있는 지를 검사하게 된다. 만일 냄새를 방출하고 있다면 신경회로망을 이용한 냄새 구별 알고리즘을 이용하여 그 냄새가 찾고자 하는 것인지 확인하게 된다. 실험을 위해 AMOR(Autonomous Mobile Olfactory Robot) 로봇을 구현하여 사용하였으며, 실험결과는 제안된 알고리즘이 냄새 발생지를 찾고 냄새를 구별해 내는데 효율성이 있음을 보여준다.

Abstract

This paper proposes an approach to search for the odor source using an autonomous mobile robot equipped with vision and odor sensors. The robot is initially navigating around the specific area with vision system until it looks for an object in the camera image. The robot approaches the object found in the field of view and checks it with the odor sensors if it is releasing odor. If so, the odor is classified and localized with the classification algorithm based on neural network. The AMOR(Autonomous Mobile Olfactory Robot) was built up and used for the experiments. Experimental results on the classification and localization of odor sources show the validity of the proposed algorithm.

Key Words : 이동로봇, 냄새 발생지 추적, 후각 센서, 비전 센서, 신경회로망

1. 서 론

후각을 기반으로 한 행동의 선택 방식은 이미 곤충과 동물의 세계에서는 흔한 일이다. 그 예로, 꿀벌은 냄새 자국을 남겨 꿀을 모으는 시간을 효율적으로 할 뿐만 아니라, 다른 꿀벌이 시간을 낭비 하지 않게 돕는다. 개미는 그들의 동지와 먹이가 있는 곳의 위치를 냄새로 유지하여 길을 찾는다[1]. 이 밖에도 여러 곤충과 동물들이 후각 기관을 이용하여 먹이나 천적, 짝 등을 찾는 것으로 잘 알려져 있다. 이런 곤충이나 동물들과 같이 어떠한 지능 개체가 특정 행동을 선택하는데 있어서 유용한 정보인 후각 기능을 모티브로 하여 최근 이를 이동로봇에 구현하려는 연구들이 늘고 있는 추세이다[2-3].

최근에 들어서야 후각 기능을 이동로봇에 구현하려는 연구가 늘고 있는 것은 다양한 이유가 있겠지만 크게 다음과 같이 두개의 이유를 들 수 있겠다. 첫째로는 임베디드 시스템 성능의 향상이다. 이전까지의 임베디드 시스템은 후각 기능을 구현하는데 있어서 다양한 알고리즘을 적용하기에 성능의 제약이 컸으나, 최근의 임베디드 시스템은 성능이 많이 개선되어 다양한 알고리즘을 적용해 볼 수 있는 수준에 이르

렀다. 둘째로는 적절한 센서의 개발이다. 이전까지는 다양한 가스에 반응하는 센서가 거의 없었을 뿐만 아니라 있다 하여도 그 크기나 전력 사용량이 이동로봇에 구현하기에 무리가 많았다. 그러나 최근 들어 다양한 가스에 반응 하는 소형의 저 전력 후각 센서가 개발됨에 따라 이를 이동로봇에 적용한 연구가 가능케 되었다.

이에 해외의 여러 관심 있는 연구자들은 이미 많은 연구를 진행한 상황이며, 이동로봇을 이용해 특정 가스 발생지의 위치를 찾거나, 여러 가지의 혼합물을 알고리즘을 통해 인식 및 구분 하는 것과 같은 가시적인 연구 성과가 나와 있는 상태이다[4-6]. 특히 이동로봇에 새로운 센싱 방식이라 할 수 있는 후각 기능을 적용할 경우 기존의 적용 분야를 넘어 공장이나 가정의 가스 누출 사고, 재난 현장 구조 작업, 생화학 전쟁이나 테러, 공항의 수화물 검사 등 다양한 분야에서 이동로봇의 활용 범위를 넓힐 수 있을 것으로 기대되고 있다.

본 논문에서도 이동로봇의 활용 범위를 넓히고자 이동로봇에 후각 기능을 적용하는 방법에 관하여 연구를 하였다. 이를 위해 AMOR(Autonomous Mobile Olfactory Robot)을 제작하였으며, 이 AMOR를 이용하여 새롭게 제안하는 방안의 타당성을 실험을 통하여 검증 하였다.

접수일자 : 2006년 10월 30일

완료일자 : 2006년 11월 30일

2. 시스템 설계

본 논문에서 실험을 위해 사용한 AMOR (Autonomous Mobile Olfactory Robot) 시스템 다이어그램은 그림 1과 같으며, 크게 DSP Board, SOC Board, Robot으로 구분할 수 있다.

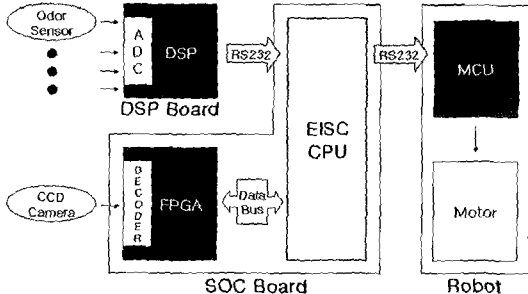


그림 1. AMOR 시스템의 구조
Fig. 1. Structure of AMOR system

DSP Board는 Robot의 후각 센서의 Analog data를 시스템에서 사용할 수 있는 Digital data로 전환 할 뿐만 아니라, 냄새를 구분하기 위한 알고리즘을 연산하기 위해 사용되었다. SOC Board는 CCD 카메라에서 들어오는 영상 정보를 디코딩 할 뿐만 아니라, EISC CPU를 이용하여 영상처리 알고리즘 및 로봇제어 알고리즘을 수행하는 AMOR의 핵심 회로라 할 수 있다. 마지막으로 Robot은 지능형 SoC Robot War에 사용되어지는 로봇을 사용하였다. 이 Robot은 두개의 캐터필러를 이용하여 구동되며, MCU(Micro Controller Unit)가 내장 되어 있어 원하는 대로 로봇을 제어할 수 있다. 그림 2는 실제 AMOR의 모습을 보여준다.

2.1 후각 센서 및 DSP 시스템

후각 센서로는 Sense & sensor 사의 MEMS Odor Sensor인 SNS-M153 센서 3개를 사용하였다[7]. 그림은 사용한 SNS-M153 센서의 모습이다. 하나의 SNS-M153 센서는 두 개의 센서 어레이로 구성 되어있으며, 각각 Alcohol과 H₂S에 특성화되어 공기 중의 냄새 분자 농도에 따라 저항 값이 변화하도록 되어있다.

DSP 시스템은 TI사의 32Bit Fixed-point DSP인 TMS320F2812를 사용 하였다. 이 DSP 시스템의 주된 역할은 전방에 부착된 후각 센서의 아날로그 정보의 디지털 정보로의 변환을 수행할 뿐만 아니라, 신경망 알고리즘을 연산하여 여러 냄새들 중에서 어느 냄새 인지를 구분하는 것이다. 이렇게 얻어진 데이터는 메인 보드라 할 수 있는 SOC 보드에 RS232 시리얼 통신을 이용하여 전달되게 된다.

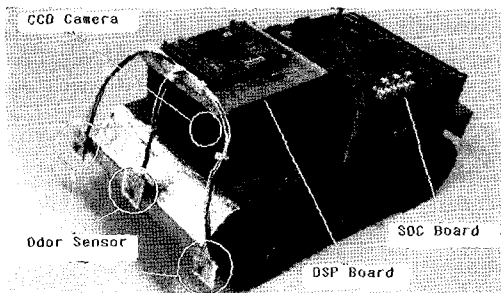


그림 2. AMOR의 실제 모습
Fig. 2. Photograph of AMOR

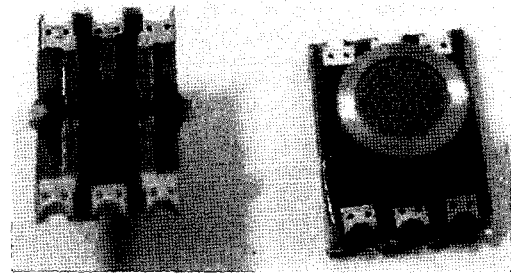


그림 3. SNS-M153 센서
Fig. 3. SNS-M153 odor sensor

2.2 비전 시스템 및 이동로봇

영상 정보 수집 부는 그림 1에 있는 SOC 보드의 FPGA 부가 맞고 있으며, 비디오 디코더 (SAA7111A), FPGA (Xilinx : XC2S100-5PQ208C), Frame Memory (128Kbyte)로 이루어져있다. 컬러 CCD 카메라에서 들어온 NTSC 신호는 비디오 디코더에 의해 디지털 데이터로 변환이 되며, FPGA가 이를 프레임 단위로 모아서 RGB16형식의 180x120 크기의 영상을 Frame Memory인 SDRAM에 저장하는 구조로 이루어져있다. 한편 본 논문에서는 이동로봇으로 SOC Robot War에 사용되었던 지능형 SoC Robot을 이용하였다.

3. 냄새 발생지 탐색 알고리즘

3.1 냄새 구별 알고리즘

냄새 구별 알고리즘은 가스 센서에서 들어오는 값을 이용하여 여러 냄새를 구분 및 인지 할 수 있는 알고리즘이며, 이를 위해 신경망 역전파 알고리즘(Back-propagation algorithm)을 이용하였다[8]. 본 논문에서는 공기, 알코올, H₂S에 대해 학습을 시켰으며 학습된 정보를 이용하여 30cm 이내에서 구별할 수 있게 하였다.

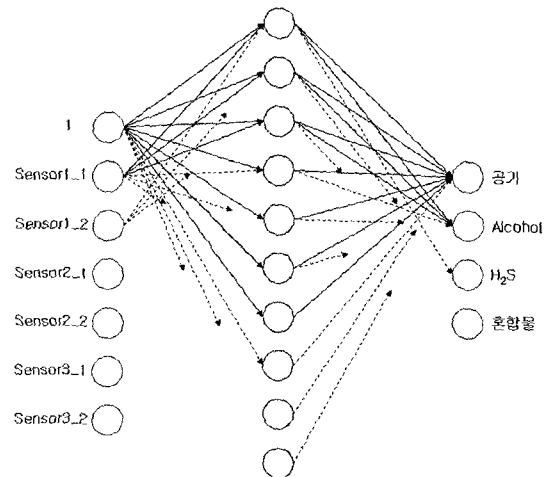


그림 4. 냄새 구별을 위해 사용된 신경회로망
Fig. 4. Diagram of neural network for odor classification

3.2 경로 탐색 알고리즘

경로 탐색 알고리즘은 다이어그램은 그림 5와 같으며, 크게 두 가지의 역할을 수행하게 된다. 첫째가 이미지 필터링

이고, 두 번째가 경로 탐색이다.

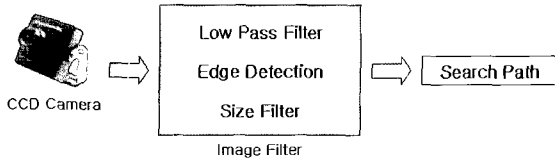


그림 5. 경로 탐색 알고리즘
Fig. 5. Path finding algorithm

영상을 이용하여 경로를 찾는 알고리즘을 수행하기 위하여 저역 필터, 윤곽선 검출, 크기 필터를 사용하였다. 저역 필터는 처리 대상의 영상 성분 중 저주파 성분을 유지하고 고주파 성분을 제거하여 윤곽선 검출에 앞서 노이즈를 제거하는 역할을 수행한다. 저역 필터를 위한 마스크는 각 픽셀의 합이 1이 됨을 기본으로 하며, 고주파 차단 정도에 따라 중심 픽셀의 가중 값을 변경할 수 있다. 본 논문에서는 1/9로 구성된 3x3 크기의 마스크를 사용한다. 이 마스크를 통해 이진 영상에 순차 적용을 하여 고역 성분이 제거된 영상을 얻는다. 윤곽선 검출은 이진 영상의 각 픽셀의 변화량을 검출하여 사물 간의 경계를 특징짓는 역할을 한다. 이것은 미분 연산자에 의한 밝기 값의 변화를 찾아내거나, 편미분 연산을 이용하여 미분 값을 구하는 것으로 구현된다. 그러나 프로그래밍을 하는데 있어서 직접적인 계산보다는 마스크를 이용하여 빠른 계산을 하는 것이 더욱 효과적이며, 본 논문에서는 Sobel 마스크를 사용하였다. 그림 6은 본 논문에서 사용된 저역 필터와 Sobel 마스크이다. 끝으로 윤곽선에서 얻어진 이진 영상을 윤곽선이 차지하는 크기에 따라 필터링하여 이진 영상의 노이즈를 줄였다.

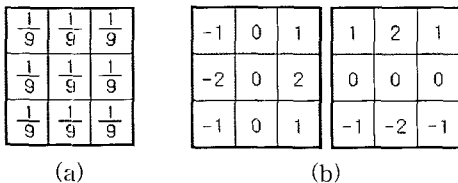


그림 6. (a) 저역 필터 (b) Sobel 마스크
Fig. 6. (a) Low pass filter (b) Sobel mask

CCD 카메라로 들어온 이미지 위에서 언급한 세 가지의 이미지 필터를 이용하여 로봇이 나아가고자 하는 경로를 찾기에 적절한 영상으로 변환을 하였다. 필터를 거친 이진 영상은 경로를 찾아내는 알고리즘에 사용할 수 있다. 경로 탐색 알고리즘은 일단 이진 영상의 여러 윤곽선 중에서 각 x좌표의 위치에서 y좌표 최하단의 윤곽선을 찾아낸다. 이 정보로부터 이 윤곽선이 시작하는 (x, y) 좌표를 알 수 있으며, 이 (x, y) 좌표를 이용하여 로봇이 나아갈 경로를 알아내도록 하도록 하였다. 이와 같이 로봇이 최하단에서 시작하는 윤곽선을 이용하여 경로를 찾을 수 있는 이유는 로봇의 카메라가 바닥의 영상을 항상 최하단에 오도록 각도를 유지하기 때문이다.

3.3 결합 알고리즘

3.1 및 3.2 절에서 언급한 냄새 구별 알고리즘과 경로 탐색 알고리즘의 결과 값을 이용하여 로봇의 최종 행동을 결정짓는 결합 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 후각 센서로부터 찾고자 하는 후각이 검출되었는지를 검사한다. 만약 냄새

구별 알고리즘의 결과 깨끗한 공기로 판단되어지면, 비전 시스템의 경로 탐색 알고리즘의 진로 탐색 결과에 따라 로봇을 움직이도록 한다. 그러나 냄새 구별 알고리즘의 결과가 찾고자하는 냄새일 경우 센서에서 얻어지는 값의 크기를 비교하여 냄새 발생지와와의 대략적인 각도 오차인 θ_0 를 계산하여 로봇의 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 구동 값인 V_L 과 V_R 을 얻어내게 되어 냄새 발생지를 찾게 된다. 그림 7은 결합 알고리즘의 개략도이다.

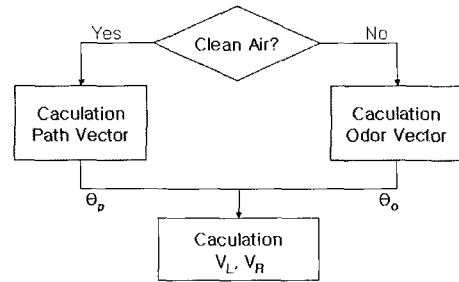


그림 7. 결합 알고리즘의 개략도
Fig. 7. Block diagram of cooperative algorithm

4. 실험결과

4.1 냄새 구별 실험

냄새 구별 알고리즘을 실험하기 위해 그림 8과 같은 실험 환경을 구성 하였다. PC와 DSP는 각각 Windows API와 Code Composer Studio를 이용하여 프로그래밍 하였다.

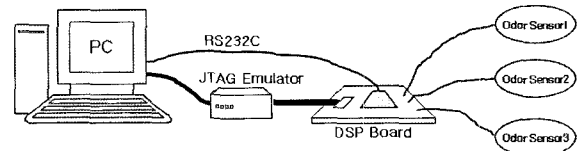


그림 8. 냄새 구별을 위한 실험 환경
Fig. 8. Experiment setup for odor classification

실험 순서는 먼저 센서로부터 들어오는 아날로그 신호를 DSP 내의 ADC를 이용하여 디지털 데이터로 변환 하였다. 이를 100ms마다 RS232C를 통하여 PC로 전송 하였으며, 실시간으로 센서의 값을 받은 PC는 신경망 알고리즘을 학습 시켰다. 이와 같이 학습을 PC에서 진행한 이유는 150MIPS(Million Instruction Per Second)로 동작하는 32Bit DSP인 TMS320F2812로도 냄새 구별 알고리즘을 한 루틴 수행하는데 0.5초 정도의 시간이 걸리기 때문이다. 이러한 이유로 디버깅의 용이성과 시간 절약을 위하여 PC에서 학습을 하였으며, 이렇게 얻은 신경망의 가중치들을 DSP Firmware에 이식하여 냄새 구별 알고리즘을 실험하였다. PC를 이용하여 10,000번의 학습을 한 신경망의 가중치를 이용하여 DSP 보드에서의 인식률을 실험하였으며 결과를 표 1에 제시하였다. 실험을 위해 모두 3가지의 실험물을 준비하였다. 알콜과 황화수소 및 이 두 액체의 혼합물이다. 실험 방법은 숨에 액체를 충분히 적셔서 3개의 센서와 거리를 10 cm 및 20 cm로 두고 인식의 정확도를 측정 하였다.

표 1. 10 cm 및 20 cm 거리 에서의 인식률
Table 1. Classification ratio at 10 cm and 20 cm distances

Sample	10 cm	20 cm
Alcohol	96%	76%
H ₂ S	92%	64%
혼합물	82%	51%
평균	92.5%	63.6%

결과에서 나타난 바와 같이 근거리에서는 높은 인식률을 나타내었으나 거리가 멀어짐에 따라 센서에 전해지는 냄새의 양이 줄어들어 따라 센서가 반응할 수 있을 만큼 포화가 되지 않기 때문인 것으로 판단된다.

4.2 경로 탐색 실험

경로 탐색 알고리즘을 실험하기 위하여 실험실 내부(가로 약 9m, 세로 약7m)에서 파티션과 적절한 가구(수직으로 긴 형태를 갖는 의자 및 책상 다리는 알고리즘의 오동작을 유발하기에 배제하였다)만을 배치한 다음 실험을 진행 하였으며, SoC 보드를 위한 통합 개발 환경인 EISC-Studio 2를 사용하였다.

그림 9와 10은 장애물을 회피하는 영상을 로봇으로부터 RS232C를 이용하여 PC로 전송 받은 것이다. 하나의 상황에 따라 모두 3개의 영상을 보이고 있는데, (a)는 로봇의 CCD 카메라에 보이는 원영상이고, (b)는 Labeling 알고리즘을 실행한 영상 (c)는 경로 탐색의 결과 영상이다. (c)의 하단에 보이는 작은 삼각형은 윤곽선 검출 높이 중 제일 높은 곳을 의미하며, 이는 로봇의 진행 방향을 의미한다.

그림 9는 로봇의 전면에 장애물이 있는 경우 이다. 그림에서 보는 바와 같이 부적절한 경로를 찾은 것을 확인 할 수 있는데, 만약 이렇게 진행 한다면 로봇은 벽에 부딪히고 말 것이다. 이와 같은 경우를 막기 위하여 에지의 높이가 일정 높이(장애물 판단을 위한 적정 높이)에 못 미치면 벽으로 판단하여 로봇을 왼쪽으로 회전하게 하였다.

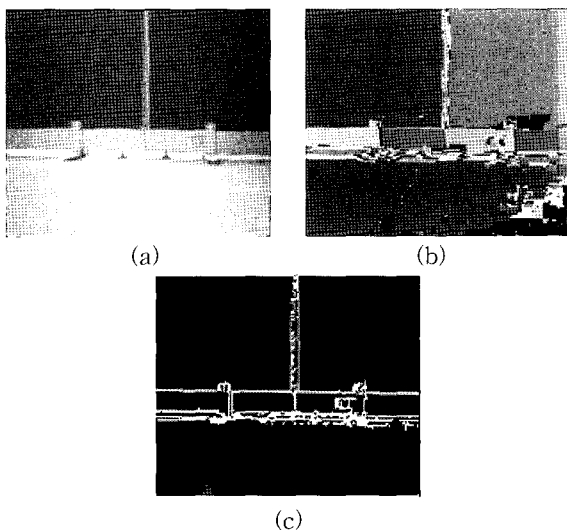


그림 9. 경로 탐색 실험 I (a) CCD 카메라 원 영상 (b) Labeling 된 영상 (c) 결과 영상

Fig. 9. Path finding Experiment I (a) Original image (b) Image after labeling (c) Extracted image

그림 10은 로봇이 왼쪽으로 회전후의 상황이다. 경로 탐색 알고리즘을 이용하여 적절한 경로라 할 수 있는 왼쪽의 경로를 찾아내고 있는 것을 그림 10(c)를 통하여 알 수 있다.

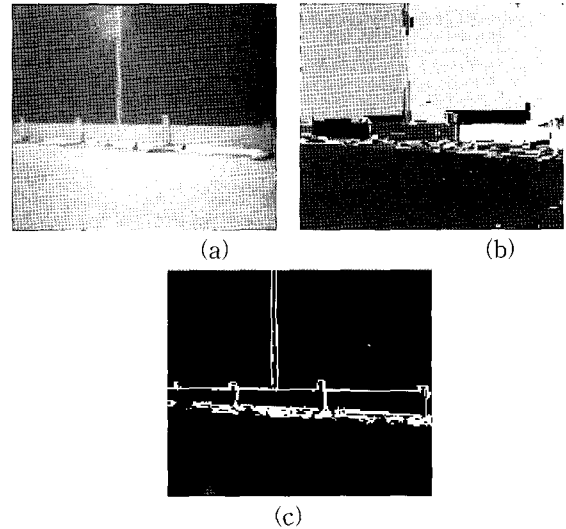


그림 10. 경로 탐색 실험 2 (a) CCD 카메라 원 영상 (b) Labeling 된 영상 (c) 결과 영상

Fig. 10. Path finding Experiment II (a) Original image (b) Image after labeling (c) Extracted image

4.3 결합 알고리즘을 이용한 이동로봇 주행 실험

실험을 위해 지능형 SoC Robot 통합 프로그래밍 툴인 EISC-Studio 2를 사용하여 메인 EISC CPU에 결합 알고리즘을 프로그램하였다. 실험공간은 7m x 4.5m의 연구실로 하였으며 그 배치도는 그림 11과 같다. 냄새 구별 알고리즘의 원활한 실행을 위해 인위적인 odor-plume를 만들었다. 이는 왼쪽편의 건물 외부에 나있는 창문과 복도를 통하는 문을 열어 덩으로써 발생케 하였으며, 냄새원인 알코올과 H₂S는 충분한 양을 노출시켜 공기 중에 포화가 잘 되게 하였다.

마찬가지로 경로 탐색 알고리즘을 위해 수직으로 긴 형태를 갖는 의자 및 책상의 다리 등은 카메라에 노출이 되지 않게 치우거나 스티로폼의 판을 구하려 가리고 실험 하였다. 또한 장애물 회피 능력을 확인하기 위하여 실험실 곳곳에 장애물인 상자를 두었다.

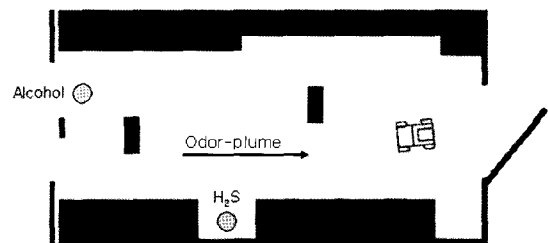


그림 11. 주행 실험 배치도

Fig. 11. Space layout for navigation experiment

그림 12는 제안한 결합 알고리즘을 이용하여 알코올을 찾도록 설정한 실험의 결과를 간략하게 나타낸 것이다. 그림에서 보드시피 경로 탐색 알고리즘을 이용하여 진행하다 알코

울의 냄새 발생지를 찾아내는 것을 확인 할 수 있으며, 거리는 대략 14cm를 두고 발견 하였다.

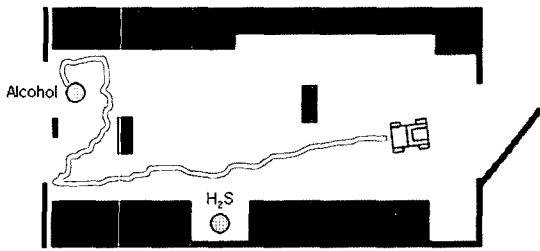


그림 12. 알코올을 찾아내는 실험 결과

Fig. 12. Experimental result when alcohol is used as odor source

그림 13은 H₂S를 찾도록 설정한 실험의 결과를 간략하게 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 경로 탐색 알고리즘을 이용하여 진행하다 알코올의 냄새 발생지를 지나쳐 H₂S를 찾아내는 것을 확인 할 수 있으며, 거리는 대략 13cm를 두고 발견 하였다.

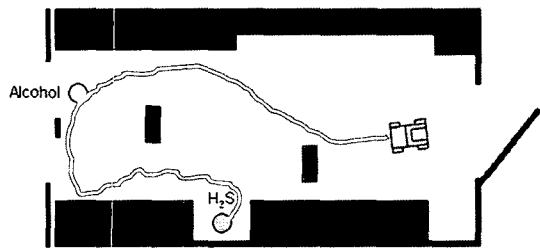


그림 13. H₂S를 찾아내는 실험 결과

Fig. 13. Experimental result when H₂S is used as odor source

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 비전 시스템과 후각 센서를 이용하여 냄새의 발생지를 구분 및 탐색하는 방법을 구현하여 보았다. 냄새 인식에 신경망 알고리즘을 사용함으로써 인식의 유연함을 얻을 수 있었으며, 비전 시스템을 사용함으로써 비교적 복잡한 구조의 공간에서도 장애물을 탐색할 수 있었다. 또한 이를 모두 하나의 임베디드 시스템에 구현함으로써 그 실효성도 얻을 수 있었다.

설계한 임베디드 시스템의 한계로 인해 좀 더 복잡한 비전 알고리즘이나 후각 센서의 분류 알고리즘을 실험하지 못한 점은 개선이 되어야 할 부분이며, 후각 센서의 경우도 아직은 특정 냄새에만 반응하게 설계되어있어서 다양한 냄새를 구분 못하는 점이 문제점으로 지적된다. 앞으로 이를 극복하기 위해 더 강력한 임베디드 시스템을 이용하여 다양한 알고리즘의 실험이 필요하겠으며, 보다 다수의 냄새에 반응하는 후각 센서의 연구 또한 병행되어 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] R. Andrew Russell, "Laying and Sensing Odor Markings as a Strategy for Assisting Mobile Robot Navigation Task", IEEE Robotics & Automation Magazine 3, Sep, 1995
- [2] R. Andrew Russell, "Locating Underground Chemical Sources by Tracking Chemical Gradients in 3 Dimensions", Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 325-330, 2004
- [3] F. Grasso, J. Atema, "Intergration of Flow and Chemical Sensing for Guidance of Autonomous Marine Robots in Turbulent Flows", Environmental Fluid Mechanics, 2: pp. 95-114, 2002
- [4] L. Marques, N. Almeida, A.T. de Almedia, "Olfactory Sensory System for Odour-Plume Tracking and Localization", 2003 Proceeding of IEEE Sensors, Vol. 1, pp. 418 - 423, 2003
- [5] H. Ishida, H. Tanaka, H. Taniguchi, and T. Moriizumi, "Mobile Robot Navigation Using Vision and Olfaction to Search for a Gas/Odor Source", Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 313-318, 2004
- [6] A. Loutfi, S. Coradeschi, L. Karlsson, M. Broxvall, "Putting Olfaction into Action : Using an Electronic Nose on a Multi-Sensing Mobile Robot", Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 337-342, 2004
- [7] <http://www.s-s.co.kr>
- [8] Simon Haykin, Neural Networks, Prentice Hall International, 1999

저 자 소 개



지동민(Dongmin Ji)

2004년 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신
공학부 졸업

2004년~2006년 : 동 대학원
전자공학과(공학석사)

2006년~현재 : (주)누리텔레콤

관심분야 : Embedded System, 로봇 제어
E-mail : jiddong0@hanmail.net



이정준(Jeongjun Lee)
2004년 : 부경대학교
전자컴퓨터정보통신공학부 졸업
2004년~2006년 : 동 대학원 전자공학과
(공학석사)
2006년~현재 : (주)하이온컴

관심분야 : 퍼지 이론, 인공지능
E-mail : houseforce2000@hanmail.net



강근택(Geuntaek Kang)
1976년 : 서울대학교 공과대학
응용물리학과 (공학사).
1984년 : 일본 동경공업대학
시스템과학전공 (공학석사).
1987년 : 일본 동경공업대학
시스템과학전공 (공학박사).

1987년~현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
교수.

관심분야 : Fuzzy System
E-mail : gtkang@pknu.ac.kr



이원창(Won Chang Lee)
1983년 : 서울대학교 제어계측공학과
(공학사).
1985년 : 한국과학기술원
전기 및 전자공학과(공학석사).
1992년 : 포항공과대학교
전자전기공학과(공학박사).
1993년~현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정
보통신공학부 교수.

관심분야 : 로보틱스, Embedded System
E-mail : wlee@pknu.ac.kr