비젼 시스템과 후각 센서를 이용한 자율 이동 로봇의 냄새 발생지 탐색

Design of an Autonomous Mobile Robot Using Vision System and Odor Sensors to Search for a Odor Source

지동민*, 주문갑**, 강근택**, 이원창**
* 부경대학교 전자공학과
** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

Dongmin Ji*, Moon G. Joo**, Geuntaek Kang**, Wonchang Lee**
* Dept.of Electronic Engineering, Pukyoung National University
** Division of Electronic, Computer and Telecommunication Engineering, Pukyoung National University
E-mail : wlee@pknu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 비젼 시스템과 후각 센서를 이용하여 모바일 로봇의 냄새 발생지 탐색 기능을 구현 하였다. 모바일 로봇에서의 비젼 시스템은 많은 연구가 진행되어진 센싱 방식이지만, 후각 기능은 새롭게 지능 시스템의 센싱 방식으로 주목 받고 있는 추세이다. 이에 본 논문은 이전까지의 연구에서 보여준 임베디드 시스템에서의 가스 센싱 기능 구현을 벗어나 신경망 알고리즘을 이용하여 냄새를 구별 할 수 있는 후각 기능을 구현 하였으며, 비젼 시스템과 후각 센서의 복합적인 알고리즘을 통하여 냄새 발생지를 탐색하는 방법을 제시하였다. 또한 이를 실험하기 위해 AMOR(Autonomous Mobile Olfactory Robot)을 구현하여 남새 발생지 탐색 알고리즘의 효용성을 입증 하였다.

1. 서론

후각을 기반으로 한 행동의 선택 방식은 이미 곤충과 동물의 세계에서는 흔한 일이다. 곤충과 여러 동물들은 후각 기관을 이용하여 먹이나 천적, 자신의 짝 등을 찾는 것으로 잘 알려져 있다. 이러한 곤충이나 동물들의 후각 능력을 모티브로 하여 최근 모바일 로봇에 구현하려는 연구들이 관심을 받고 있다[1][2].

이미 많은 연구가 진행 되어진 비젼 시스템에 비해 후각 기능은 모바일 로봇의 새로운 센싱 방식으로 부각 받고 있는 추세이다. 후각 기능은 가정이나 공장의 가스 누출 사고, 재난 현장, 정찰 로봇, 공항의 수화물 검사 등 다양한 분야에 모바일 로봇의 활용 범위를 넓히는데 사용될 수 있다. 이에 해외의 여러 관심 있는 연구자들은 이미 많은 연구를 진행한 상황이며, 특정 가스 누출지의 위치를 찾아내거나[3][4] 냄새를 구분하는 후각 시스템의 프로토타입[5]을 구현한 실정이다.

이러한 연구들은 크게 두 종류로 구분되어질 수 있는데, 그 첫째는 냄새 발생지의 위치를 탐색하는 연구가 되겠다. 이러한 연구는 모바일 로봇에 가스센서 뿐만 아니라 비젼 또는 근접 센서 등을 활용하여 냄새 발생지의 위치를 찾아내게 된다. 두 번째는 냄새를 구분 및 인지 할 수 있는 연구가 되겠다. 냄새를 구분하는 알고리즘으로는 퍼지 및 신경망 이론 등이 주로 사용되어지고 있으며 보통 프로세싱 능력이 우수한 PC를 기반으로 연구가 진행되고 있어 그 활용 범위는 아직 미흡한 단계이다.

이에 본 논문은 가스 센서를 이용하여 이상적인 환경에서 가스 발생지를 찾는 AMOR(Autonomous Mobile Olfactory Robot)의 연

구 범위를 벗어나 보통 PC에서나 연구되어지던 냄새의 구분 및 인지 기능과 비젼을 이용한 모바일 로봇의 위치 탐색 기능을 임베디드 시스템에 구현하여 실험하였으며, 이는 후각 센서를 이용하는데 있어서 큰 의의가 있다고 할 수 있겠다.

다음에 이어지는 내용으로는 먼저 AMOR 로봇의 기구적인 특성과 시스템 디자인을 설명 한 후, 냄새 발생지를 찾아내는 알고리즘에 대해 설명한다. 그 다음으로는 이 알고리즘을 이용한 실제 실험 결과를 보이도록 한다.

2. 시스템 디자인

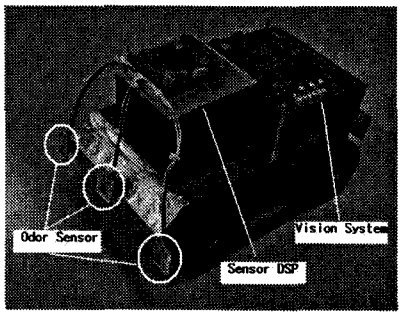


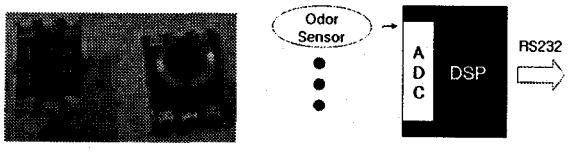
그림 1. SIPAC의 SOC Robot을 사용한 AMOR(Autonomous Mobile Olfactory Robot)

본 논문에서 실험한 AMOR 로봇은 그림 1과 같다. 전방에 부착된 CCD 카메라로 로봇의 주행 및 장애물 회피가 가능하며, 3개의 후각 센서를 통하여 원하는 냄새의 탐지가 가능케 하였다.

2.1 후각 센서 및 DSP 시스템

그림 2.(a) 사용되어진 후각 센서로 센스앤센서사의 MEMS Odor Sensor인 SNS-M153 센서 3개를 사용하였다[6]. 하나의 SNS-M153 센서는 두 개의 센서 어레이로 구성 되어있으며, 각각 Alcohol과 H_2S에 특성화되어 공기 중의 냄새 분자 농도에 따라 저항 값이 변하도록 되어있다.

DSP 시스템은 TI사의 32Bit DSP인 TMS320F2812를 사용 하였다. 그림 1에서 보듯이 전면의 가운데 및 좌우에 부착된 SNS-M153센서로부터 ADC 값을 입력으로 받게 되어있으며, 처리 되어진 정보는 RS232로 메인 컨트롤러에 전달하도록 하였다. 후각 센서 및 DSP시스템 다이어그램은 그림 2.(b)와 같다.



(a) (b)

그림 2. (a) SNS-153 센서 (b) DSP 시스템 다이어그램

2.2 비젼 시스템 및 모바일 로봇

영상 정보 수집 부는 FPGA (Xilinx : XC2S100-5PQ208C), Video Decoder (SAA7111A), Frame Memory (128Kbyte)로 이루어져있다. 그림 3과 같이 카메라의 영상이 Video Processor에서 Video Decoder로 넘어오게 되며, 이를 FPGA가 프레임 단위로 모아서 RGB16 형식의 180*120 크기의 영상을 Frame Memory인 SDRAM에 저장하는 구조로 이루어져있으며, 저장된 영상은 메인 컨트롤러에서 처리하게 된다.

모바일 로봇은 SOC Robotwar에 사용되어지는 모바일 로봇을 이용하였다[7].

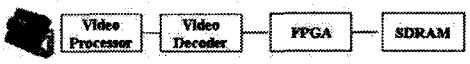


그림 3. 비젼 시스템의 다이어그램

3. 냄새 발생지 탐색 알고리즘

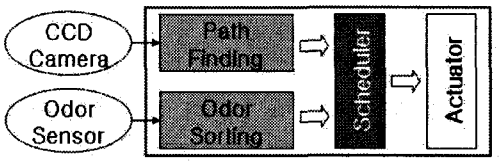


그림 4. AMOR의 시스템 다이어그램

앞 절에서 설명한 후각 센서 시스템과 비젼 시스템을 이용하여 Path Finding 알고리즘, Odor Sorting 알고리즘 및 Scheduler 알고리즘을 다음과 같이 계획 하였다.

3.1 Odor Sorting 알고리즘

그림 5와 같은 신경망 역전파 알고리즘(Neural Network Back-Propagation Algorithm)을 이용하여 공기, Alcohol, H_2S, 혼합물에 대하여 학습을 시켰으며, 학습된 Data를 이용하여 30cm 이내에서 구별 할 수 있게 하였다.

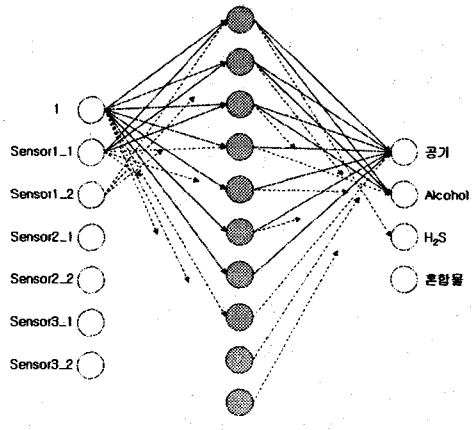


그림 5. Neural Network 이론을 이용한 Odor Sorting 알고리즘

본 논문에서 사용된 역전파 알고리즘은 총 7개의 입력층 노드, 10개의 은닉층 노드, 4개의 출력층 노드로 구성하였다. 그리고 학습 시 학습률은 0.01로 하였고, 각 노드의 시그모이드 함수는 지수함수(Exponential function)를 사용하였다.

3.2 Path Finding 알고리즘

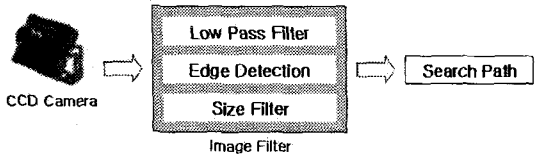


그림 6. Path Finding 알고리즘 다이어그램

Path Finding 알고리즘은 저역 필터(Low Pass Filter), 윤곽선 검출(Edge Detection), 크기 필터(Size Filter)를 거친 영상을 이용하여 경로를 찾는 알고리즘을 수행하였다.

CCD 카메라로 들어온 이미지를 경로를 찾는데 적절한 이미지로 전환하기 위하여 이미지 필터(Image Filter)를 거치게 된다. 윤곽선 검출에 앞서 노이즈를 줄이기 위해 그림 7.(a)의 마스크를 이용하여 저역 필터를 거치게 하였다. 저역 필터를 거친 영상은 윤곽선을 검출하여 사물간의 경계를 특징지었으며, 사용된 윤곽선 검출 방식으로는 그림 7.(b)와 같은 Sobel 마스크를 사용하였다. 마지막으로 윤곽선에서 얻어진 2진 영상을 윤곽석이 차지하는 크기에 따라 필터링하여 2진 영상의 노이즈를 줄였다.

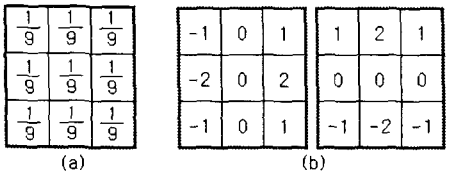


그림 7. 마스크 (a) 저역 필터 (b) Sobel

필터를 거친 2진 영상은 Path를 찾아내는 알고리즘에 사용 할 수 있다. Path Finding 알고리즘은 일단 2진 영상의 여러 윤곽선 중에서 각 x좌표의 위치에서 y좌표 최 하단의 윤곽선을 찾아낸다. 이 정보로부터 이 윤곽선이 시작하는 x,y 좌표를 알 수 있으며, 이 x, y 좌표를 이용하여 로봇이 나아갈 Path를 알아내도록 하도록 하였다. 이와 같이 로봇이 최 하단에서 시작하는 윤곽선을 이용하여 Path를 찾을 수 있는 이유는 로봇의 카메라가 바닥의 영상을 항상 최 하단에 오도록 각도를 유지하기 때문이다.

3.3 Scheduler 알고리즘

앞에서 언급한 Odor Sorting 알고리즘과 Path Finding 알고리즘의 결과 값을 이용하여 로봇의 최종 행동을 결정짓는 Scheduler 알고리즘은 그림 다음 그림 8과 같다.

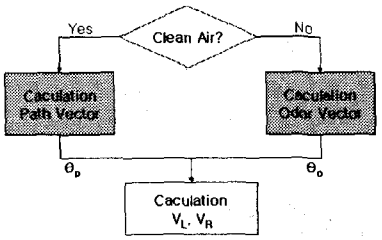


그림 8. Scheduler 구조도

먼저 후각 센서로부터 찾고자 하는 후각이 검출 되었는지를 검사한다. 만약 Odor Sorting의 결과 깨끗한 공기로 판단되어지면, 비젼 시스템의 Path Finding 알고리즘의 진로 탐색 결과에 따라 로봇을 움직이도록 한다. 그러나 Odor Sorting의 결과가 찾고자하는 냄새일 경우 센서에서 얻어지는 ADC 값의 크기를 비교하여 냄새 발생지와의 대략적인 각도 오차인 θ_o를 계산하여 로봇의 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴의 구동 값인 V_L과 V_R을 얻어내게 된다.

4. 실험

실험을 위해 SOC 로봇 통합 프로그래밍 툴인 EISC-Studio 2를 사용하여 메인 컨트롤러를 프로그램 하였다.

로봇이 실험되어진 공간은 500cm * 350cm의 실험실 방 전체로 하였다. 실험을 위해 파티션과 벽에 붙어있는 가구들을 제외하고는 모두 제거하였으며, 로봇의 진로를 방해하는 장애물인 상자를 실험실 곳곳에 배치하였다. 냄새 발생원은 두 종류를 설치하였는데, 하나는 Alcohol이며 다른 하나는 H_2S이다. 이들을 창문에 가까운 끝자리에 Alcohol과 H_2S를 설치하였다. 이는 왼쪽에 위치한 창문과 오른쪽에 위치한 문을 열어둠으로써 냄새를 충분히 퍼트리기 위함이다.

실험 순서는 Odor Sorting 모듈의 외부에 부착된 스위치를 통하여 각 Source(공기, Alcohol, H_2S, 혼합물)에 대한 Supervisor 학습을 수행하게 하였다. 먼저 원하는 결과 값을 스위치를 통하여 서로 다르게 세팅 한 후, 이를 신경망 역전파 알고리즘을 사용하여 1시간 정도 학습을 하게 하였으며, 각 신경망의 Weight가 업데이트 되어 원하는 결과를 얻게 되면 이를 백업하고 Vision 처리 프로그램이 실린 SOC 로봇에 연결하여 실험 결과 값을 얻었다. Odor Sorting 알고리즘의 한 루프는 약 0.5초 정도 소요 되었으am로 약7000번 정도 학습이 이루어졌다.

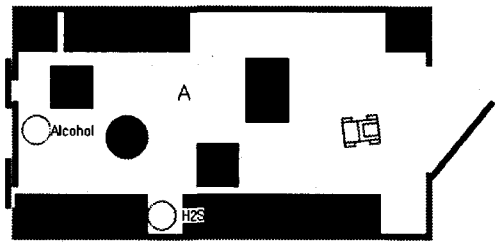


그림 9. 배치도

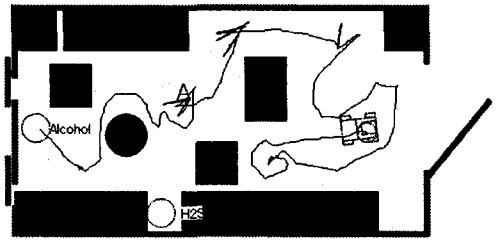


그림 10. Alcohol을 찾아내는 실험 결과

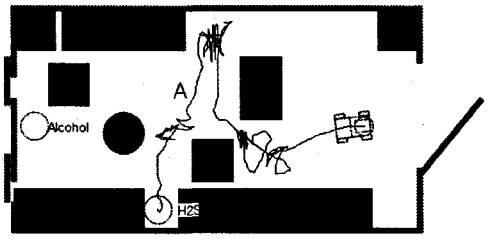


그림 11. H_2S를 찾아내는 실험 결과

실험 결과 그림 10과 같이 로봇이 A지점에 도달하였을 때 (동그라미가 시작 지점) Alcohol과 H_2S의 냄새가 섞여서 로봇의 진행 방향을 잡는데 상당한 시간을 소비하였지만, 원하는 냄새 발생지인 Alcohol에 도착하는 것을 볼 수 있으며, 그림 11 또한 냄새가 섞이는 지점은 A지점에서 시간을 소비 하긴 하였지만 원하는 냄새 발생지인 H_2S에 도달 하는 것을 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후과제

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

하지만, 설계한 임베디드 시스템의 한계로 인해 좀더 복잡한 비젼 알고리즘이나 후각 센서의 분류 알고리즘을 실험하지 못한 점과, 후각 센서의 경우 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 병행 되어져야 하겠다.

6. 참고문헌

[1] 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, Sendai, Japan, 28 Oct, 2004

[2] F. Grasso, J, Atema, "Intergration of Flow and Chemical Sensing for Guidance of Autonomous Marine Robots in Turbulent Flows", Environmental Fluid Mechanics, 2:95-114, 2002

[3] A. Loutfi, and S. Coradeschi, "Relying on an Electronic Nose for Odor Localization", International Symposium on Virtual and Intelligent Measurement Systems, Mt. Alyeska Report, AK, USA, 19-20 May 2002

[4] 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", IEEE, 2004

[5] 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", 2004 and The Fourth Symposium Micro-Nanomechtronics for Information-Based Society, 31 Oct, No. 3, pp. 169-174, 2004

[6] www.s-s.co.kr

[7] www.socrobotwar.com