

비전과 퍼지 규칙을 이용한 이동로봇의 경로계획과 장애물회피

Path Planning and Obstacle Avoidance for Mobile Robot with Vision System Using Fuzzy Rules

배봉규* · 채양범*** · 이원창** · 강근택**

Bong-kyu Bae*, Yang-Bum Chae***, Won-chang Lee**, and Geun-tack Kang**

*(주)인터매직

**부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

***한국해양대학교 운송시스템공학부

요 약

본 논문에서는 미지의 환경에서 동작하는 비전 시스템을 갖는 이동로봇의 경로계획과 장애물 회피를 위한 새로운 알고리즘을 제안하고자 한다. 목표점에 도달하기 위한 경로계획과 장애물 회피를 위해 거리 변화율 기법을 적용하였으며, 소벨 연산자를 이용하여 장애물의 윤곽을 추출하였다. 이동로봇의 자율성을 향상시키기 위해 경로설정과 장애물 회피에 퍼지 규칙을 사용하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 기존의 벡터장 기법을 이용한 것보다 우수하다는 것을 알 수 있었다. 또한 실효성을 실제로 알아보기 위해 소형 이동로봇을 제작하였으며, 제안된 알고리즘을 탑재하여 실험한 결과 복잡한 주변 환경 하에서도 좋은 성능을 발휘함을 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper presents a new algorithm of path planning and obstacle avoidance for autonomous mobile robots with vision system that is working in unknown environments. Distance variation technique is used in path planning to approach the target and avoid obstacles in work space as well. In this approach, the Sobel operator is employed to detect edges of obstacles and the distances between the mobile robot and the obstacles are measured. Fuzzy rules are used for trajectory planning and obstacle avoidance to improve the autonomy of mobile robots. It is shown by computer simulation that the proposed algorithm is superior to the vector field approach which sometimes traps the mobile robot into some local obstacles. An autonomous mobile robot with single vision is developed for experiments. We also show that the developed mobile robot with the proposed algorithm is navigating very well in complex unknown environments.

Key Words : Mobile Robot, Vision System, Path Planning, Obstacle Avoidance, Fuzzy Rules

1. 서 론

오늘날 로봇 시스템은 자동화 시스템, 우주 탐사, 군사 등 사회 전반에 걸쳐 널리 응용되고 있다[1]. 현재는 이러한 로봇의 단순 반복 작업의 수행에서 벗어나 보다 많은 자율성을 로봇에게 부여하는 움직임이 일고 있다. 자율주행 이동로봇이 고정된 상태에서 운영되는 매니퓰레이터와는 달리 미지의 환경에서 운영되기 위해서는 위치 추정, 장애물 회피 능력, 경로 계획 등의 능력이 필요하다. 동적인 환경에서 로봇이 자율적으로 이동하기 위해서는 현재 로봇이 위치한 지역의 부정확하고 불완전한 정보로부터 결론을 유도해 낼 수 있어야 하며 지금까지 이러한 목적에 맞는 방법을 찾기 위해 많은 연구가 진행

되어져 왔다[2,3,4,5].

현재까지 로봇의 주행에 관한 연구로는 모델기반, 퍼지 로직, 신경망, 유전자 알고리즘 등 지능시스템을 도입한 제어방식들이 널리 사용되고 있다[6,7,8,9]. 이동로봇의 주행에 필요한 주변 환경을 인식하는 작업은 로봇의 주행에 절대적으로 중요하게 작용하며, 이를 위해 각종 센서들이 사용되며 어떠한 센서를 사용하느냐에 따라 로봇의 성능이 결정된다고 볼 수 있다. 또한 여러 센서들의 입력을 어떻게 사용하는가 역시 중요한 문제라 할 수 있다. 지금까지 널리 사용되는 입력 센서로는 부피가 적고 간편하면서도 원거리의 측정이 가능한 초음파센서, 레이저, 그리고 근거리 측정이나 특정 물체의 검지가 가능한 적외선 센서 등이 주를 이루고 있다. 하지만 최근에 와서는 반도체기술의 발달로 인한 마이크로프로세서의 연산능력 향상으로 인해 CCD카메라에까지 그 범위가 확대되었으며, CCD카메라의 이용은 보다 많은 주변정보를 얻을 수 있게 하였다.

접수일자 : 2001년 9월 15일
완료일자 : 2001년 12월 1일

본 논문에서는 입력센서로 하나의 CCD카메라를 이용한 영상을 이용했으며, 주행에 필요한 장애물 회피와 경로 설정에는 CCD카메라에서 얻어진 영상을 처리하여 얻어진 장애물과의 거리의 변화율을 이용하여 경로를 설정하고, 장애물을 회피하여 진행하는 방법을 제안하고, 이를 구현하여 사용된 알고리즘의 성능을 고찰하였다. 설정된 임시목표까지의 경로를 진행하는데는 외부 잡음에 강인한 특성을 나타내는 퍼지 제어를 이용하였다 [10,11].

2. 모의실험

2.1. 환경설정

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 모의 실험을 행하였다. 모의 실험에서 사용한 가상의 이동로봇은 실제 제작한 로봇과 같이 한 대의 고정된 CCD카메라로 로봇의 전방에 존재하는 장애물의 거리를 인식하도록 설정하였으며, CCD카메라의 사각지대를 검색하기 위해 로봇의 전방, 좌, 우에 총 7개의 적외선센서를 배치하도록 하였다[6,10]. 로봇의 크기는 20cm로 설정하였으며, 15cm/sec의 등속으로 주행하도록 하였다.

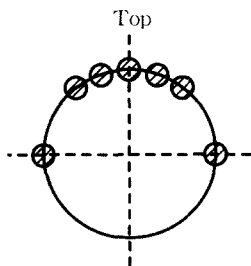


그림 1. 적외선센서 배치도
Fig. 1. Location of IR sensors

로봇에 부착된 센서는 그림 1과 같이 좌, 우, 정면에 배치하였는데, 주로 임시목표에 접근하여 미리 정해진 회전방향으로의 회전에서 현재 근접한 장애물과의 충돌을 피하는데 사용된다. 각각의 위치를 보면 좌, 우의 것은 정면에서 90°방향에 설치하였고, 정면에 위치한 5개의 센서는 로봇의 바퀴 축과 수직중심 축에 하나, 그리고 이를 중심으로 해서 10°간격으로 배치하였다. 장애물 인지거리는 30cm로 하였다.

2.2. 주행 알고리즘

로봇의 주행은 목표에 접근하기까지 임시목표를 설정하기 위한 임시목표 설정과 설정된 목표까지 주행하기 위한 주행제어계로 나눌 수 있다.

2.2.1. 임시목표 설정

임시목표의 설정에는 로봇의 전면에 설치된 CCD카메라로부터 얻어진 영상을 이용하였다. 모의 실험에서는 CCD카메라를 대신하여 화각 60°를 3°간격으로 분할하여 각 방향에 대한 거리를 측정하여 이를 배열로 만들어 이용하였다. 이렇게 얻어진 값은 CCD카메라를 이용하여 얻어진 영상을 처리해 얻은 데이터와 동일한 형태이다.

다음으로 수행하는 일이 이 배열을 인접한 값들과의 변화율을 계산하는 것이다. 이렇게 하면 변화율이 급격하게 변화하는 부분이 바로 장애물의 모서리가 된다. 다음과 과정은 이들 모서리 중에서 하나의 목표를 설정하는 것인데 본 논문에서는 변화율이 가장 큰 값을 가지는 모서리를 임시목표로 하도록 하였다. 변화율이 크다는 말은 장애물과 장애물의 뒷 공간과의 간격이 크다는 것을 의미하므로 다음 행동을 취하기가 용이하다. 따라서 변화율이 큰 값을 선택해 그 곳의 위치를 임시 목표로 설정하여 진행하는 경로를 생성하고 진행하도록 하였다. 또한 선택된 임시 목표의 위치에 따라 목표위치에 도달한 후의 회전 방향을 미리 설정하도록 하여 장애물 회피 동작 후의 다음 동작이 이어지도록 하였다.

2.2.2. 근접 장애물의 회피

하나의 모서리를 선택하여 임시 목표를 설정하면 다음으로 퍼지 제어기에서 생성하는 경로에 따라 목표에 진행하게 된다. 이렇게 목표에 근접하게 진행하게 됨에 따라 장애물은 영상으로 감지 할 수 없는 사각에 놓이게 된다. 이러한 경우를 위해 로봇에는 앞서 설명한 것과 같이 배치된 센서들의 도움으로 장애물을 회피하여 계속 진행 할 수 있게 하였다. 영상에서 얻어진 경로를 따라 진행하는 중에 장애물이 감지되면 로봇은 영상을 분석해 얻어진 방향을 주시하면서 센서를 통해 얻어진 값을 통해 장애물과의 일정한 간격을 유지하며 원하는 방향으로 나아가게 되는데, 본 실험에서는 장애물의 외곽을 따라 미리 설정된 회전 방향으로 회전하도록 설정하였다.

2.2.3. 임시 목표의 교체

임시목표를 설정하여 제어기에서 출력하는 경로를 따라 목표까지 진행을 하면 최종적으로 카메라의 사각지대에 장애물이 존재하게 되어 앞서 설명한바와 같이 센서를 이용한 장애물 회피 동작이 이루어지게 된다. 장애물 회피 동작은 로봇이 장애물의 벽면을 따라 회전하게 되는데 이때 CCD카메라에서 얻어지는 영상으로부터 임시 목표를 설정하게 되면 항상 현재 장애물의 전방 꼭지점을 가리키게 된다. 따라서 새로운 임시 목표로의 전환이 이루어지지 않으면 현재 장애물의 외곽만을 회전하는 현상이 발생하게 된다. 따라서 현재 설정된 목표를 다른 목표로의 전환이 이루어지게 하는 작업이 필요하게 된다. 이러한 목표의 변경은 장애물 회피 동작이 이루어짐과 동시에 다른 임시 목표의 검색이 이루어지도록 함으로서 자연스럽게 이어지게 하였다.

2.3. 퍼지 제어기

본 논문에서 사용된 제어기의 입력으로는 목표가 설정되면 정해지는 목표와 현재 로봇의 진행방향과의 차이 θ [degree], 로봇과 목표까지의 거리 l [cm]을 사용하였고 출력은 회전각으로 설정하였다. 사용된 제어기의 퍼지 화기에 사용된 입력 소속함수로는 계산이 간단한 삼각파 형태를 사용하였으며, 출력 소속함수는 singleton을 사용하여 연산량을 최소화하였다. 퍼지 추론부에는 Mamdani의 min-max연산을 사용하였고, 비퍼지화기에는 무게 중심법을 사용하였다.

퍼지 제어기의 경로 계획 제어규칙은 표 1과 같이 목표까지의 거리가 멀수록 변화율을 크게 하도록 제어기를

설계하였다. 설계된 제어기의 회전각의 범위는 $\pm 15^\circ$ 를 얻을 수 있었다. 근접 장애물의 회피에 사용된 소속함수와 제어규칙은 표 2와 그림 4, 그림 5에 나타난 것과 같다.

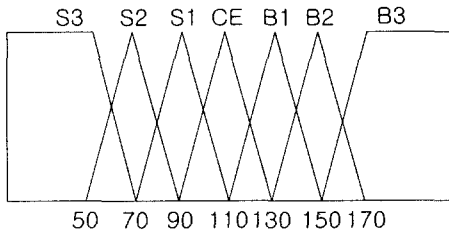


그림 2. 경로 설정을 위한 거리 소속함수
Fig. 2. Membership function for distance in path planning

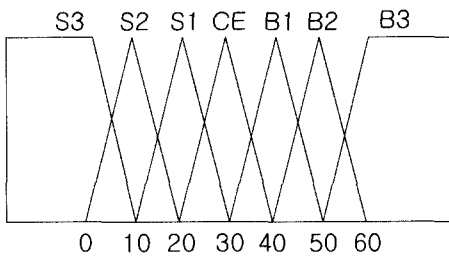


그림 3. 경로 설정을 위한 각도 소속함수
Fig. 3. Membership function for angle in path planning

표 1. 경로 계획 제어규칙
Table 1. Fuzzy rules for path planning

| | | Angle | | | | | | |
|--------------------------------------|----|-------|----|----|----|----|----|----|
| | | S3 | S2 | S1 | CE | B1 | B2 | B3 |
| D i s t a n c e | S3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 20 | 30 |
| | S2 | 10 | 10 | 10 | 0 | 10 | 20 | 30 |
| | S1 | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| | CE | 0 | 20 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 |
| | B1 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| | B2 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 10 | 15 |
| | B3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 15 | 10 |

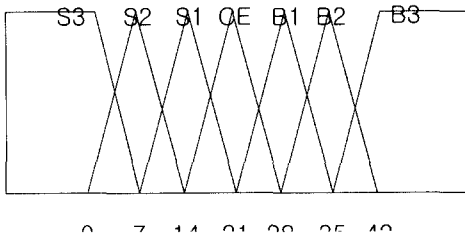


그림 4. 장애물 회피를 위한 거리 소속함수
Fig. 4. Membership function for distance in obstacle avoidance

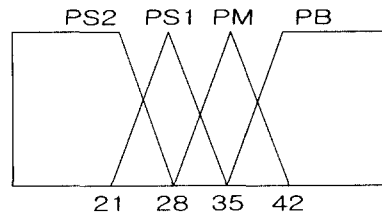


그림 5. 장애물 회피를 위한 각도 소속함수
Fig. 5. Membership function for angle in obstacle avoidance

표 2. 장애물 회피 제어규칙
Table 2. Fuzzy rules for obstacle avoidance

| | | Angle | | | |
|--------------------------------------|----|-------|-----|----|----|
| | | PS2 | PS1 | PM | PB |
| D i s t a n c e | S3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | S2 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| | S1 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | CE | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | B1 | 0 | 10 | 0 | 10 |
| | B2 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | B3 | 0 | 0 | 0 | 0 |

2.4. 모의 실험 결과

제안한 경로계획과 퍼지제어기의 제어성을 검증하기 위해 여러 종류의 미지 환경에서 실시하였다. 로봇은 목적지에 대한 정보 없이 실험을 실시하였다. 그림 6과 그림 7에서 나타난 것과 같이 임의의 환경에서 이동로봇이 주위의 환경을 인식하며 목적지에 접근함을 보여주고 있다.

그림 6은 보통의 vector field 방식으로 경로계획을 하면 지역 최소에 빠지게 되나 모의 실험결과에서 알 수 있듯이 U형태의 환경에서 벗어나 목표까지 진행함을 보여주고 있다[2]. 그림 7은 또 다른 환경에서의 경로계획 결과를 나타내고 있는데 역시 만족할 만한 결과를 보이고 있다[3].

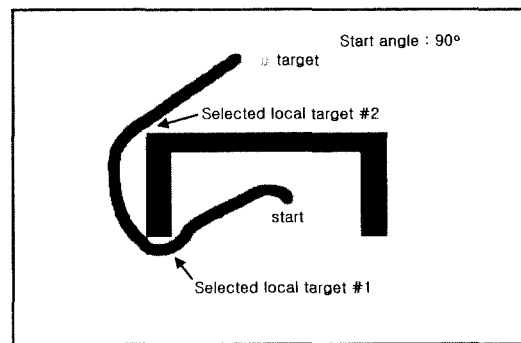


그림 6. 모의 실험 I (U자 형태의 지역최소 회피)
Fig. 6. Simulation I with U-shape obstacle

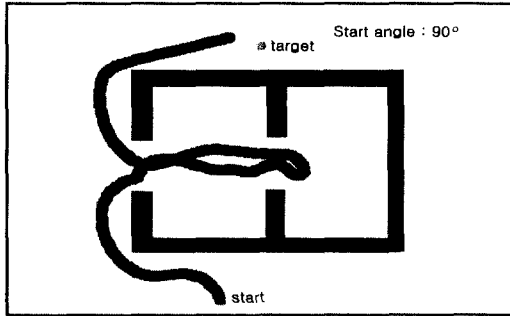


그림 7. 모의실험 II (보다 복잡한 장애물)
Fig. 7. Simulation II with an complex obstacle

3. 이동로봇 제어시스템구성

시스템의 구성을 보면 로봇에 장착된 영상을 원격지의 호스트 컴퓨터에 전송하고, 호스트 컴퓨터는 전송 받은 영상을 처리하여 로봇에게 명령을 내리는 구조로 설계하였다. 전체적인 시스템 구성은 로봇과 호스트컴퓨터로 나뉜다.

3.1. 자율이동로봇

이동로봇은 그림 9와 같이 무선통신부, 로봇 제어부, 구동부 그리고 전원부로 구성된다. 로봇의 재원을 표 3에 나타내었다.

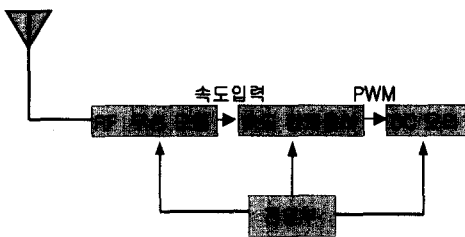


그림 9. 이동로봇의 하드웨어 구성
Fig. 8. Hardware configuration of the mobile robot

표 3. 로봇의 재원
Table 3. Specifications of the mobile robot

| | |
|----------|-----------------|
| 크기 | 150×165×70 (mm) |
| 무게 | 450g |
| 모터 | 맥슨 DC모터-148634 |
| 모터 드라이버 | L298 |
| 데이터 송수신기 | BIM-418 |
| 프로세서 | 80196KC 20MHz |
| 메모리 | 32Kbyte EPROM |
| CCD카메라 | 소형 CCD |
| 배터리 | 7.2V |
| 영상 송수신기 | BYW-240RX/TX |

3.2. 호스트시스템

호스트시스템은 로봇으로부터 전송 받은 영상을 처리하는 역할을 한다. 호스트 시스템은 영상을 수신하기 위

한 영상 수신모듈과 로봇에게 데이터를 전송할 RF데이터 송신모듈, 영상을 받아들이기 위한 frame grabber로 구성되어 있다.

3.3. Edge 영상의 획득

본 논문에서는 장애물의 인식을 위해 영상의 edge를 얻어 사용하였다. 영상으로부터 edge를 얻는 방법에는 derivate, gradient, Laplacian 연산자 등과 공간필터인 Roberts, Prewitt, Sobel 연산자 등이 있다[13,14,15]. 본 논문에서는 공간필터의 하나인 Sobel 연산자를 사용하였다. 이미지 위의 임의 좌표 (x, y)위치에서의 gradient는 다음과 같이 구해진다.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

3×3 이미지에 위의 식을 적용하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\nabla f \approx [(z_5 - z_8)^2 + (z_5 - z_6)^2]^{\frac{1}{2}} = |z_5 - z_8| - |z_5 - z_6| \quad (3)$$

3×3 이미지에 대한 Sobel 마스크는 그림 9와 같다.

| | | | | | |
|----|----|----|----|---|---|
| -1 | -2 | -1 | -1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | 2 |
| 1 | 2 | 1 | -1 | 0 | 1 |

그림 9. Sobel 마스크
Fig. 9. Sobel mask

3.4 장애물과의 거리 계산

앞서 설명한 방법으로 얻어진 edge 이미지로부터 장애물과의 거리 계산에 필요한 정보를 가져오게 된다. 본 논문에서 사용한 정보는 장애물과의 거리정보를 이용하였는데, 일반적으로 물체와의 거리를 측정하는데는 두 개의 카메라를 이용하는 방법이 사용되고 있다. 두 개의 카메라에서 각각 따로 얻어진 두 영상을 비교해 정확한 거리를 산출하는데 이러한 방법을 스테레오비전이라 한다[16]. 하지만 본 논문에서는 하나의 카메라를 이용하여 물체와의 거리를 측정하였다. 하나의 카메라를 이용하여 거리를 측정하는데는 다음과 같은 가정이 따른다. 한 대의 카메라를 이용하여 3차원 공간상의 좌표를 산출하기는 불가능하므로 물체는 바닥과 접하고 있는 것으로 가정하여 2차원 평면공간으로 해석한다. 물체까지의 거리는 그림 9와 그림 10에 보인 몇 개의 거리를 이용하여 계산 가능하다. 첫 번째 인자는 바닥에서 카메라까지의 높이인 heighty, 두 번째 인자는 카메라 앞부분에 존재하는 사각의 거리인 blindy, 세 번째 인자는 카메라로 포착 가능한 최장거리인 lengthy+blindy, 네 번째 인자로는 카

메라의 좌우 폭인 length_x이다. 이들 4개의 측정값들을 이용해 아래의 세 가지 각도를 구할 수 있다. 이들 3개의 각도로부터 2차원 평면상의 거리를 측정할 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\text{height}_y}{\text{blind}_y}\right) \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\text{height}_y}{\text{blind}_y + \text{length}_x}\right) \quad (5)$$

$$\beta = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{\text{blind}_y + \text{length}_x}{\text{length}_x}\right) \quad (6)$$

그림 10과 그림 11에 로봇의 측면에서 본 그림과 위에서 내려다 본 모습이 나타나 있다.

다음의 수식은 화면상의 y번째 픽셀인 yth까지의 수직거리를 구하는 수식이다.

$$y = \frac{\text{height}_y}{\tan(\theta + \frac{\text{pixel}_y(\alpha - \theta)}{\text{screen}_y})} + \text{blind}_y \quad (7)$$

여기서, pixel_y는 화면상의 좌표 yth를 나타낸다.

다음의 수식은 화면상의 x번째 픽셀인 xth까지의 수평거리를 구하는 수식이다.

$$x = \tan\left(\frac{\beta(1 - 2\text{pixel}_x)}{\text{screen}_x}\right) \times y \quad (8)$$

여기서, pixel_x는 화면상의 좌표 xth를 나타낸다.

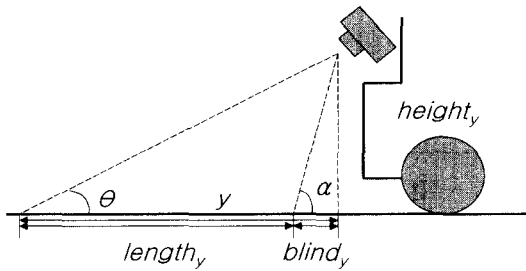


그림 10. 측면도
Fig. 10. Side view

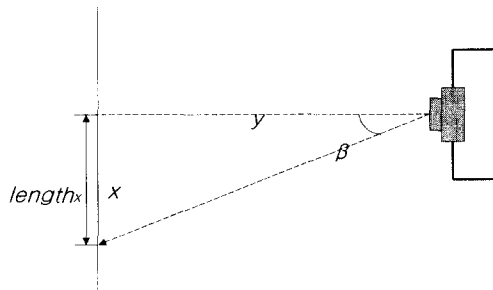


그림 11. 상면도
Fig. 11. Top view

식 (9)와 식 (10)으로부터 이미지 공간상에서 로봇의 정면에 위치한 지점의 실제 공간좌표 (x, y, θ)를 구할 수 있게 된다. 실험에서 사용된 변수들의 값을 다음의 표에 나타내었다.

표 4. 실험에 사용된 변수 값
Table 4. Variables for experiments

| | | | | | |
|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|------|
| height _y | 4.7 | blind _y | 21.5 | length _y | 130 |
| length _x | 44.3 | screen _x | 160 | screen _y | 100 |
| α | 13.09 | θ | 16.28 | β | 1.89 |

4. 실험

실험에서 사용한 시스템은 Intel® Pentium® MMX-200 CPU, 32M Byte의 메인 메모리, 4MB의 비디오 메모리, DT-3153® frame grabber를 사용하였다. 그림 12에 실험에서 사용한 인터페이스 화면을 나타내었다.

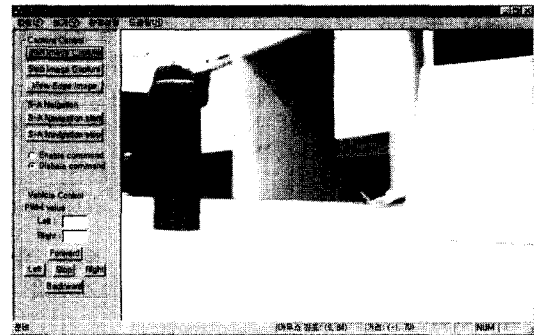


그림 12. 실험에 사용한 사용자 인터페이스
Fig. 12. User interface for experiments

그림 13은 Sobel 연산자를 사용하여 그림 12로부터 얻어진 이진 edge 이미지를 보이고 있다. 이를 얻기 위하여 그림 12의 컬러 영상의 R, G, B 데이터를 휘도 성분인 Y 데이터로 변환한 후 Sobel 연산을 행하였다. 이와 같은 과정을 거쳐 화면에 영상을 표시할 때는 전체 640×480을 화면에 나타내었고, edge 이미지를 얻을 때는 이미지를 320×240으로 스케일링한 후 이중 160×240 영역만을 사용하였다. 이렇게 얻어진 데이터를 아래에서 위로 수직방향으로 검색해서 edge 픽셀이 검색되면 그곳에 장애물이 있는 것으로 인식한다. 한편, edge 외에도

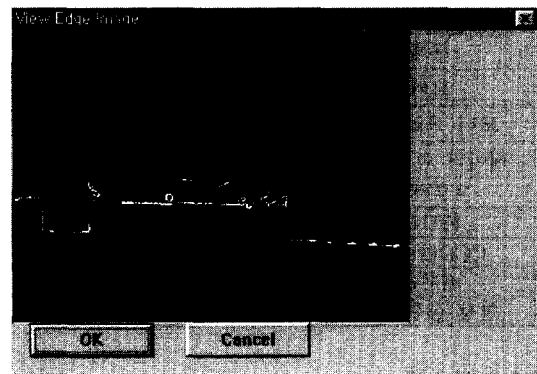


그림 13. Edge 이미지
Fig. 13. Edge image

노이즈가 포함될 수 있으나 이 경우는 주변의 픽셀을 같이 검색하도록 해서 일정 픽셀이 모여있지 않는 경우에는 노이즈로 처리해서 무시하도록 하였다. 그림 14의 이미지는 이런 과정을 거쳐 얻어진 것이며, 이렇게 얻어진 edge 이미지로부터 최고 130cm까지의 거리 검색이 가능하였다.

이렇게 얻어진 edge 이미지로부터 거리를 산출하게 되며, 지금까지 얻어진 정보를 입력으로 해서 얻어진 출력을 그림 14에 나타내었다.

그림 14에 나타난 값을 보면, 거리 데이터로부터 선택된 임시목표는 3번 구역이며, 목표까지의 거리는 로봇의 중심 축을 기준으로 x축으로 13cm, y축으로 53cm 떨어진 거리에 있음을 알 수 있다. 또한 이 좌표를 경로 생성기인 퍼지 제어기에 입력하여 얻은 로봇의 가속량은 10 cm/sec^2 이고, 이때 로봇의 좌우 모터 속도는 좌 25cm/sec, 우 35cm/sec임을 알 수 있다. 이렇게 얻어진 로봇의 속도가 호스트컴퓨터의 직렬포트로 전송되고, 직렬포트에 연결된 RF 송수신 모듈을 통해 로봇에게 무선으로 전송된다. 그림 15는 장애물을 회피하여 미리 설정된 목표점까지 이동로봇이 움직여간 경로를 나타낸 그림이다. 그림 16은 로봇의 몸체가 그림에 보이는 틈새보다 커서 통과할 수 없으므로 되돌아오는 것을 보여주고 있다.



Direction : 3
 Target point : {13, 52}
 return value for accelration : 10
 Left value : 25, Right value : 35

그림 14. Edge 이미지로부터 얻어진 데이터와 출력
 Fig. 14. Data and output from edge image

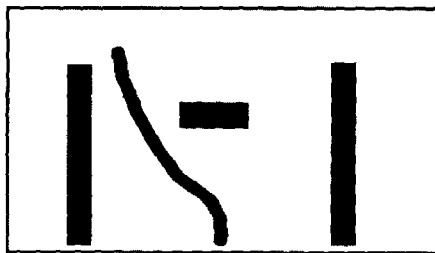


그림 15. 실험 I
 Fig. 15. Experiment I

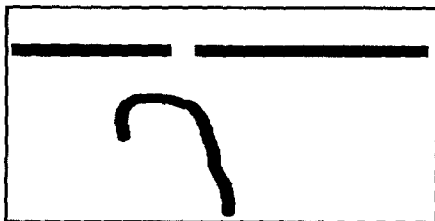


그림 16. 실험 II
 Fig. 16. Experiment II

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 현재 활발한 연구가 진행중인 자율주행 이동로봇의 경로계획에 있어서 거리의 변화율을 이용하여 임시 목표를 설정하는 방법과 로봇이 주행 중 트랩에 빠지지 않도록 하기 위한 목표전환방법에 대해서 제안하였다. 모의 실험과 실제 주행 실험에서 나타난 것과 같이 임시목표의 선택에 있어서는 매우 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 소개한 목표전환방식은 간단하면서도 빠른 속도를 얻을 수 있었다. 향후과제로서는 먼저 비전처리에 소모되는 시간을 줄이기 위해 보다 개선된 이미지 처리 알고리즘의 개발이 진행되어야 할 것이며, 다음으로는 현재 전혀 고려하고 있지 않는 로봇의 현재 위치의 인식문제, 다른 센서의 사용이나 알고리즘의 개발 등으로 현재 로봇의 위치를 인식함으로써 보다 나은 로봇의 주행성능을 얻을 수 있도록 해야겠다.

참 고 문 헌

- [1] S. Hayati and R. Volpe "The Rocky 7 Rover : A Mars Sciencecraft Prototype", *Proc. of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation Albuquerque*, New Mexico, pp. 2458-2464, April, 1997.
- [2] 명기호, 양동훈, 유영동, 홍석교, "초음파센서를 이용한 지역 최소 회복을 위한 주행 알고리즘", *99대한전기학회 하계 학술회의 논문집*, pp. 3086-3088, 1999.
- [3] W. L. Xu, S. K. Tso, "Sensor-Based Fuzzy Reactive Navigation of a Mobile Robot Through Local Target Switching", *IEEE Transactions on systems and cybernetics-PART C*, vol. 29 no. 3, pp. 451-459, 1999.
- [4] J. Yen, N. Pfluger, "A Fuzzy Logic Based Extension to Payton and Rosenblatt's Command Fusion Method for Mobile Robot Navigation", *IEEE Transaction on systems, man, cybernetics*, vol. 25 no. 6, pp.971-978, 1995.
- [5] Atsushi Fukayama, Msaaki Ida, Osamu Katai, "Behavior-based Fuzzy Control System for a Mobile Robot with Environment by Sensory-Motor Coordination", *IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings '99*, pp.I-105-110, 1999.
- [6] H. R. Beom and H. S. Cho, "A Sensor-based navigation for a mobile robot using fuzzy-logic and reinforcement learning", *IEEE Transaction on systems, man, cybernetics*, vol. 12 no. 6, pp.521-527, 1997
- [7] D. R Ramirez, D. Limon, J. Gomez-Ortega and E. F Camacho, "Nonlinear MPBC for Mobile Robot Navigation Using Genetic Algorithms", *Proc. of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation Detroit, Michigan*, pp. 2458-2464, May, 1999
- [8] Gerry Dozier, Abdollah Homaifar, Sidney Bryson, and Loretta Moore, "Artificial Potential Field

Based Robot Navigation, Dynamics Constrained Optimization, and Simple Genetic Hill-Climbing”, *IEEE International Systems Conference Proceedings '98*, pp. 189-194, 1999.

[9] Dilip Kumar Pratihar, Kalyanmoy Deb, and Amitabha Ghosh, “Fuzzy-Genetic Algorithms and Mobile Robot Navigation Among Static Obstacles”, *IEEE Transaction on systems, man, cybernetics*, pp. 327-333, 1999.

[10] Jin-Woo Park, Jae-Han Park, Jang-Myung Lee, “Intelligent Control of a Mobile Robot using Fuzzy Logic”, *Proceedings of ITC-CSCC '99*, pp.585-588, 1999.

[11] L. A. Zadeh, “Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process” *IEEE Transaction on systems, man, cybernetics*, pp. 28-44, January 1973.

[12] Gordon Cheng and Alexander Zelinsky, “Real-Time Visual Behaviors for a Mobile Robot”.

[13] Akihisa Ohya, Akiko Kosaka and Avinash Kak, “Vision-Based Navigation by a Mobile Robot with Obstacle Avoidance Using Single-Camera Vision and Ultrasonic Sensing”, *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, vol. 14 no. 6, pp. 969-978, 1998.

[14] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1993

[15] Haralick Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison Wesley, 1992



채양범(Yang-Bum Chae)

1982년 : 한국해양대학교 항해학과(공학사)
 1994년 : 한국해양대학교 대학원(공학석사)
 1994년 ~ 현재 : 부경대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 1989 ~ 현재 : 한국해양대학교 운항시스템공학부 부교수

관심분야 : 퍼지시스템



이원창(Wonchang Lee)

1983년 : 서울대학교 제어계측공학과(공학사)
 1985년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
 1992년 : 포항공과대학교(공학박사)
 1985년 ~ 1988년 : 한국표준과학연구원
 1993년 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 부교수

관심분야 : 로봇틱스, 지능시스템, 임베디드 시스템

강근택(Geuntaek Kang)

과년호 참조

저 자 소 개



배봉규(Bongkyu Bae)

1999년 : 부경대학교 전자공학과(공학사)
 2001년 : 부경대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 2001년 ~ 현재 : (주)인터매직

관심분야 : 로봇틱스, 지능시스템