

비전 시스템을 가지는 자율주행 이동로봇을 위한 퍼지 규칙을 이용한 경로 계획

Path Planning of an Autonomous Mobile Robot with Vision System Using Fuzzy Rules

김재훈 · 강근택 · 이원창

Jae-Hoon Kim, Geun-Taek Kang, and Won-Chang Lee

부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

요 약

본 논문에서는 미지의 환경에서 비전 시스템을 갖는 이동로봇이 자율 주행을 할 수 있도록 하는 경로 계획 및 장애물 회피 알고리즘을 제안하고자 한다. 거리 변화율 기법을 이용하여 임시 목표물을 설정한 다음, 퍼지규칙을 이용하여 이동 로봇의 자율 주행을 위한 경로 설정과 근접 장애물 회피를 위한 알고리즘을 구현하였다. 여러 환경에서의 모의 실험을 통해 본 논문에서 제안된 알고리즘의 성능을 시험하였으며, 그 결과 복잡한 주변 환경에서도 좋은 성능을 나타냄을 확인 할 수 있었다. 또한 제안된 알고리즘의 효율성을 실제 시스템에 적용하기 위해 이동로봇을 제작하여 검증한 결과 모의 실험 때와 마찬가지로 만족할 만한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper presents new algorithms of path planning and obstacle avoidance for an autonomous mobile robot to navigate under unknown environments in the real time. Temporary targets are set up by distance variation method and then the algorithms of trajectory planning and obstacle avoidance are designed using fuzzy rules. It is shown by computer simulation that these algorithms are working well. Furthermore, an autonomous mobile robot was constructed to implement and test these algorithms in the real field. The experimental results are also satisfactory just like those of computer simulation.

Key Words : Path Planning, Autonomous Mobile Robot, Distance Variation, Fuzzy Rules

1. 서 론

현재의 로봇 시스템은 우주탐사, 군사, 자동화 시스템 등 사회 전반에 걸쳐 널리 사용되고 있으며 현재 사용되고 있는 각 분야의 로봇들은 단순 반복적인 작업 수행에서 벗어나 위치 추정, 장애물 회피, 경로 계획과 같은 자율 주행을 위한 기능들을 추가해 더욱더 능동적인 활용이 가능하도록 설계되고 있다[1]. 정해진 환경에서 고정되어 운영되는 매니플레이터와는 달리 이동 로봇은 미지의 환경에서 로봇의 자율 주행이 가능한 것이 바람직하므로 로봇이 위치하고 있는 주위의 불완전한 정보로부터 결론을 유도해 낼 수 있어야 하며 현재 까지도 이러한 문제 해결을 위한 많은 연구가 진행되고 있다 [2,3]. 이런 로봇의 주행에 관한 연구로는 퍼지 로직, 신경망, 유전자알고리즘 등과 같은 지능시스템을 이용한 제어방식들을 널리 사용하고 있다[4,5,6]. 이동 로봇의 자율주행에 있어서 주변 환경 인식은 상당히 중요하다. 이런 주변환경 인식에는 다양한 센서가 사용되며 센서의 성능에 따라 로봇의 성능이 결정된다고 봐도 될 만큼 이동 로봇의 있어서 센서는

중요한 부분을 차지한다. 현재까지 주로 사용되어 온 센서로는 크기가 작고 사용이 간단하면서도 원거리까지 측정이 가능한 초음파 센서, 레이저, 그리고 근거리나 특정 물체의 감지가 가능한 적외선 센서 등이 있다. 하지만 최근에는 마이크로 프로세서의 성능향상으로 CCD 카메라 사용이 가능하게 되었고 이동 로봇의 주위환경 정보를 획득함에 있어서 적외선 센서나 초음파 센서를 사용하는 것보다 훨씬 많은 정보들을 얻을 수 있게 되었다. 본 논문에서는 1대의 CCD 카메라 사용하였다. 1대의 카메라를 사용하는 방법은 2대의 카메라를 사용하는 스테레오 비전 방식에 비해 정확한 거리 정보를 가져올 수 없지만 영상의 빠른 처리가 가능하게 되어 주변 정보 습득에 걸리는 시간을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 싱글비전을 이용하여 장애물을 인식하는 방법으로는 템플릿 매칭과 영상의 윤곽선을 이용하는 방법이 있다[7]. 본 논문에서는 주행중 장애물 회피와 경로 설정에 CCD 카메라의 통해 얻어진 장애물과의 로봇의 거리 변화율을 이용하여 경로를 설정하고 장애물을 회피하는 방법을 제안하였다. 모의 실험을 통해 사용된 알고리즘의 성능을 검증하고 실제 로봇을 제작해 이를 구현하였다. 한편, 설정된 임시 목표까지의 이동에는 외부 잡음에 강인한 퍼지 제어기를 사용하였다.

접수일자 : 2002년 11월 4일

완료일자 : 2002년 12월 28일

2. 모의 실험

제한한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 모의 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 가상의 이동로봇은 실제 제작하고자 하는 로봇과 같이 1대의 고정된 CCD 카메라를 사용하여 로봇의 앞쪽에 존재하는 장애물의 거리를 인식하도록 했으며 CCD 카메라의 사각 지역을 검색하기 위해 로봇의 전방과 좌·우측 45°, 90° 위치에 모두 5개의 적외선 센서를 배치하였다[4,8]. 로봇의 크기는 50cm로 설정하고 5cm/sec의 속도로 주행하도록 하였다. 센서의 탐지 범위는 최고 1m내외로 하였다. 로봇의 주행은 목표에 접근하기까지 임시로 목표를 설정하는 임시목표 설정과 설정된 임시목표까지 주행하기 위한 주행제어계로 나눌 수 있다.

2.1 임시 목표 설정

로봇의 CCD 카메라로부터 얻은 영상을 처리하여 임시 목표를 설정한다. 모의 실험에서는 CCD카메라를 대신하여 화각 60°를 3° 간격으로 분할하여 각 방향에 대한 거리를 측정하여 이를 배열로 만들어 이용하였다. 이렇게 얻어진 값은 CCD 카메라 영상을 처리해 얻은 데이터와 동일한 형태이다. 이어서 이웃하는 배열의 값을 비교하여 그 차이가 일정 수준 이상 나는 부분을 찾고 이를 장애물의 모서리로 간주한다. 이 모서리들 중에서 하나를 임시목표로 설정하게 되는데 본 논문에서는 그 차이가 가장 큰 부분을 임시 목표로 설정하도록 하였다. 변화율이 크다는 말은 전방의 장애물과 후방의 장애물 사이의 공간이 크다는 것을 의미한다. 이는 로봇이 임시 목표에 접근했을 때 장애물 뒤로 쉽게 회전할 수 있으며 다음 행동을 취하기가 용이한 장점이 있다. 설정한 임시 목표의 위치에 따라 목표 도달 후의 회전 방향을 미리 설정해 장애물을 회피한 후의 동작이 연결 되도록 하였다.

2.2 장애물의 회피

임시 목표 설정 후 퍼지 제어기에서 나온 출력에 따라 임시 목표에 접근하게 되면 결국 카메라가 장애물을 감지할 수 없는 사각 지역에 이르게 되며 이때 센서를 사용한 근접 장애물 회피가 이루어진다. 장애물 회피는 로봇이 진행하는 방향으로 장애물의 외각을 회전하게 되는데 이때 회전하는 로봇의 CCD 카메라의 영상에서 새로운 임시 목표를 설정하게 되면 현재 돌고 있는 장애물의 전방 꼭지점을 가리키게 된다. 즉 장애물을 외곽만을 회전하는 현상이 발생하게 된다. 따라서 새로운 임시 목표의 전환이 이루어지지 않으면 현재 장애물의 외곽만을 회전하는 현상이 발생한다. 따라서 현재 설정된 임시 목표를 전환하는 작업이 필요한데 이런 임시 목표 전환은 장애물 회피 동작이 이루어짐과 동시에 새로운 임시 목표를 설정함으로써 자연스런 로봇의 진행이 이루어지도록 하였다.

2.3 경로 생성을 위한 퍼지 제어기

본 논문에서는 경로를 생성하기 위한 퍼지 제어기의 입력으로 임시 목표가 설정되면 임시목표와 현재 로봇 진행 방향이 이루는 각 θ [degree]와, 로봇과 임시목표와의 거리 l [m]을 사용하였다. 그리고 출력은 로봇이 목표를 향해 회전하는 회전각 θ_R [degree]로 설정하였다. 퍼지 제어기의 퍼지화에 사용된 입력 소속 함수로는 계산이 간단한 삼각과 형태를 사용했으며 출력 소속 함수로는 Singleton을 사용하였다. 간단한 형태의 입·출력 소속 함수를 선택함으로써 계산량을

최소화하였다. 추론의 방법으로는 Mamdani의 min-max 연산을 사용하였으며 비퍼지화기에는 무게 중심법을 사용하였다. 설정한 입력 함수와 singleton 값은 모의 실험에 앞서 그 값들을 테스트하였다. 그 결과를 바탕으로 설정한 퍼지화의 거리 소속 함수는 그림 1과 같고 각도 소속 함수는 그림 2와 같다. 그리고 표 1에 퍼지 제어기의 경로계획 제어규칙을 나타내었다. 표 1에서 나타난 제어 규칙에서 알 수 있듯이 목표까지의 거리가 멀수록 로봇의 진행 방향과 임시목표가 이루는 각이 클수록 큰 변화율을 가지도록 제어기를 설계하였다. 이는 임시 목표와의 거리가 멀수록 임시 목표를 수정할 기회가 많기 때문이다.

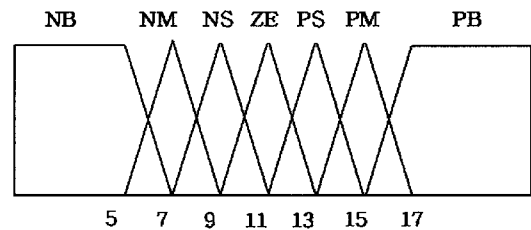


그림 1. 경로 설정을 위한 퍼지 제어기의 거리 소속 함수
Fig. 1. Membership function for distance in path planning

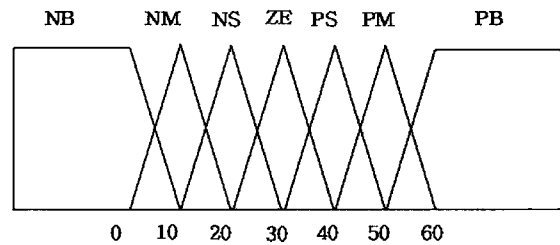


그림 2. 경로 설정을 위한 퍼지 제어기의 각도 소속 함수
Fig. 2. Membership function for angle in path planning

표 1. 경로계획 제어규칙
Table 1. Fuzzy rules for path planning

		Distance						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
Angle	NB	0	0	5	5	20	20	30
	NM	0	0	5	5	0	20	30
	NS	0	0	5	5	5	5	5
	ZE	0	0	5	5	5	0	20
	PS	0	5	5	0	20	20	20
	PM	0	0	0	5	20	20	5
	PB	0	0	0	0	20	5	5

근접 장애물의 회피에 사용된 퍼지화의 거리 소속 함수와 각도 소속 함수는 그림 3, 그림 4와 같으며 제어 규칙은 표 2와 같다. 근접 장애물의 회피는 센서에 의한 장애물 탐지에 의해 이루어진다. 따라서 장애물과 로봇 사이의 거리는 임시 목표 설정 시에 입력되는 거리소속 함수의 값보다 대부

압축하여 무선랜을 통해 서버로 전송하고 서버가 이를 필요로 하는 클라이언트에게 전달하게 된다. 그리고 로봇과 서버의 연결이 어렵거나 로봇의 자율주행이 필요한 경우는 직접 서버가 로봇에게 제어권을 부여해 자율 주행이 가능하도록 하였다.

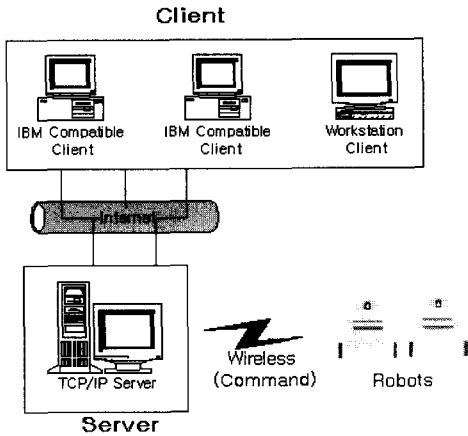


그림 7. 시스템 구성
Fig. 7. Configuration of overall system

3.1 자율 이동 로봇의 시스템 구성

자율 이동 로봇의 시스템 구성은 CCD카메라를 통해 입력된 영상을 처리하는 비전 시스템과 이를 바탕으로 로봇의 경로를 생성해 목적지로 이동하는 제어 시스템으로 구성된다. 비전 시스템은 카메라에 입력된 영상으로부터 모서리를 검출하고 검출된 모서리는 경로 생성을 위한 퍼지 제어기의 입력으로 사용된다. 그리고 제어 시스템은 퍼지 제어기의 출력을 받아 로봇을 이동시키기 위해 모터를 구동하게 된다. 이동 로봇은 영상압축과 네트워크 접속 등을 위해 PC를 기반으로 제작되었으며 로봇의 이동을 위한 모터 제어에는 Atmel사의 ATmega163L 프로세서를 사용한 마이크로 컨트롤러를 사용하였다.

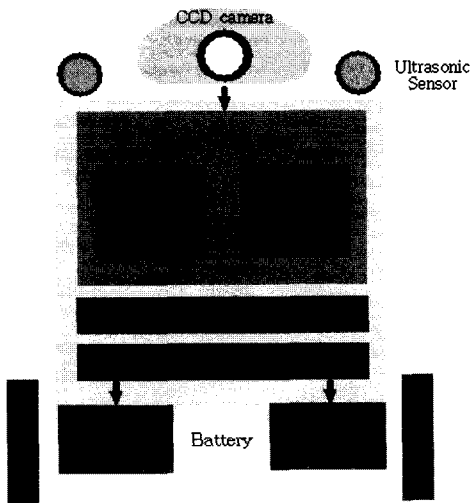


그림 8. 이동 로봇의 시스템 구성
Fig. 8. Configuration of mobile robot system

3.2 비전 시스템 및 에지영상 추출

본 논문에서는 멀티채널 캡처 보드를 사용한 비전 시스템을 구성하였다. 캡처 보드는 모두 16채널이 사용 가능하며 1 채널만 사용할 경우 NTSC, PAL 형태의 영상신호를 RGB 및 YUV 데이터 형태로 초당 30프레임의 캡처가 가능하다. 전송 가능한 이미지의 크기는 최대 640×480 이지만 본 실험에는 처리 속도를 높이기 위해 320×240의 크기로 스케일링해서 사용하였다. 본 논문에서는 로봇의 목표지점을 정하기 위해 로봇에 설치되어 있는 1대의 CCD 카메라를 이용하였다. 카메라로부터 얻어진 영상에서 로봇이 주변 환경을 인식하는 방법으로 영상의 에지를 이용하였으며 영상으로부터 에지를 얻는 방법으로는 미분 연산자, 라플라시안 연산자 그리고 공간 필터인 Roberts, Prewitt, Sobel 연산자 등을 사용하는 방법이 있다[7]. 본 논문에서는 공간 필터중의 하나인 Sobel 연산자를 사용하여 에지를 추출하였다.

3.4 장애물과의 거리계산

영상에서 검출한 에지를 사용해 장애물과의 실제 거리를 계산을 위한 정보를 가져오게 된다. 본 논문에서 사용한 정보는 장애물에 대한 거리 정보를 이용하였다. 일반적으로 물체와의 거리를 측정하는데는 2개의 카메라를 사용해 각각의 카메라에서 얻어진 각각의 영상을 비교해 정확한 거리를 산출한다. 이러한 거리 측정 방식을 스테레오비전이라고 한다. 하지만 본 논문은 연산 시간을 줄이기 위해 하나의 카메라만을 사용해 물체와의 거리를 계산하였다. 하나의 카메라를 사용하여 거리를 측정하는데는 다음과 같은 가정이 따른다. 한대의 카메라를 이용하여 3차원 공간상의 좌표를 산출하기는 불가능하므로 물체는 바닥과 접하고 있는 것으로 가정하고 2차원 평면 공간으로 해석한다. 물체의 거리는 그림 9에서 보이는 몇 개의 거리를 이용해 계산이 가능하다. 첫 번째 인자는 바닥에서 카메라까지의 높이인 HEIGHT_y, 두 번째 인자는 카메라 앞부분에 존재하는 카메라 사각지역의 거리 BLIND_y, 세 번째 인자는 카메라로 포착이 가능한 최대 거리인 LENGTH_y+BLIND_y, 네 번째 인자로는 카메라의 좌, 우 폭인 LENGTH_x이다. 앞의 4개의 측정값들을 이용하여 그림 9에 나타난 3가지의 각도를 구할 수 있다. 그리고 이 3가지의 각도를 사용해 2차원 평면상의 거리를 측정 할 수 있다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{HEIGHT_y}{BLIND_y}\right) \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{HEIGHT_y}{BLIND_y + LENGTH_y}\right) \quad (2)$$

$$\beta = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{BLIND_y + LENGTH_y}{LENGTH_x}\right) \quad (3)$$

다음의 수식은 화면상의 y_{th} , x_{th} 까지의 수직 거리를 구하는 수식이다.

$$y = \frac{HEIGHT_y}{\tan\left(\theta + \frac{pixel_y(\alpha - \theta)}{screen_y}\right)} + BLIND_y \quad (4)$$

$$x = \tan\left(\frac{\beta(1 - 2 \frac{pixel_x}{screen_x})}{screen_x}\right) \times y \quad (5)$$

여기서, $pixel_y$, $pixel_x$ 는 화면상의 좌표 y_{th} , x_{th} 를 나타낸다. 식 (4)과 (5)로부터 영상에서 로봇의 정면에 위치한 지점의 실제 공간좌표(x, y, θ)를 구할 수 있으며 실험에서 사용된 변수의 값은 표 1과 같다.

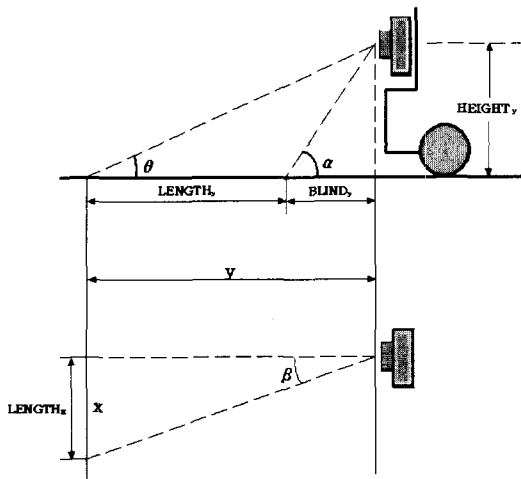


그림 9. 측면도와 상면도
Fig. 9. Side and top views

표 3. 실험에 사용된 변수 값
Table 3. Values used in the experiment

HEIGHTy	27.5	LENGTHx	259	α	13.09
BLINDy	27.5	screenx	320	β	16.28
LENGTHy	761	screeny	140	θ	1.89

4. 실험

실험에 사용된 로봇 시스템은 Intel Pentium IV 1.7GHz CPU, 256MB의 메인 메모리, 16MB의 비디오메모리, 멀티채널 캡처 보드를 사용하였다. 실험에 사용한 사용자 인터페이스 화면을 그림 10에 나타내었다. 그림 11은 컬러 영상의 R, G, B 색상 정보를 휘도 성분인 Y 데이터로 변환 후 Sobel 마스크를 사용하여 그림 10의 컬러 영상으로부터 추출된 에지를 보여주고 있다. 에지 영상은 전체 영역을 다 검색하지 않고 320×140 영역만을 검색하여 에지를 검출하였다. 그림 12는 외벽 사이에 장애물이 있는 경우의 로봇의 이동을 나타낸다. 장애물은 로봇 전방 4m 지점에 설치하였다. 그림 12에서 보듯이 외벽이나 장애물과의 충돌 없이 잘 진행하고 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 13은 U자 형태의 장애물이 놓여 있을 경우의 로봇의 이동을 나타내고 있다.

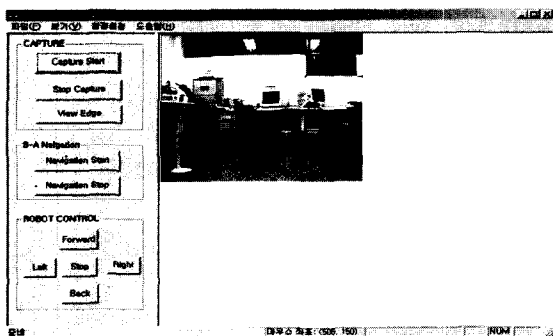


그림 10. 실험에 사용한 사용자 인터페이스
Fig. 10. User interface for experiment

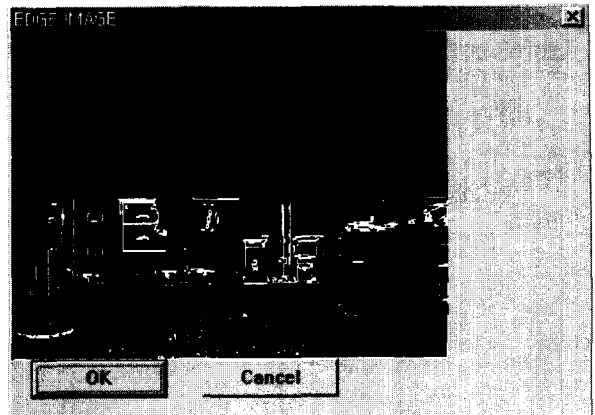


그림 11. 에지 이미지
Fig. 11. Edge image

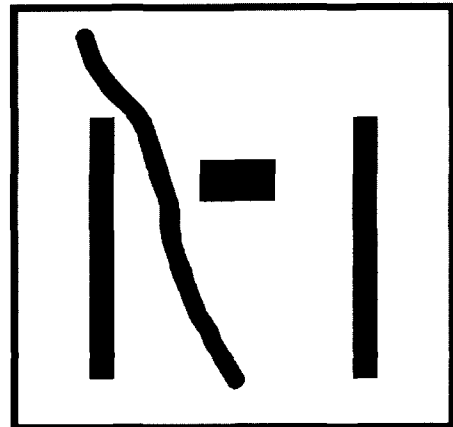


그림 12. 실험 I
Fig. 12. Experiment I

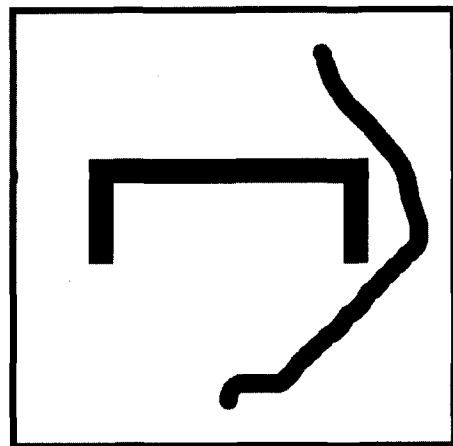


그림 13. 실험 II
Fig. 13. Experiment II

5. 결 론

본 논문에서는 비전 시스템을 이용한 자율주행 이동로봇

의 경로 계획에 있어서 에지 영상과 거리의 변화율을 이용한 임시 목표를 설정 방법과 로봇이 주행중 장애물을 만났을 경우 장애물을 회피하여 목적지에 도달하는 방법을 제안하였다. 모의 실험과 주행 실험 결과에서 나타난 것과 같이 카메라를 통한 입력 영상을 처리해 얻은 에지 영상에서 임시목표를 선택함으로써 로봇의 자율 주행에 대한 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 장애물을 회피함과 동시에 새로운 목표를 설정하는 방법은 간단하면서도 그 속도가 빨랐다. 향후 개선되어야 할 점으로는 많은 시간이 소용되는 영상처리에 보다 빠른 영상 처리 알고리즘을 사용하여 영상처리에 소요되는 시간을 줄여야 할 것이다. 또한 카메라 이외의 다른 센서를 추가하여 로봇의 주위 환경에 대한 보다 많은 정보를 획득할 수 있도록 하여 보다 향상된 주행능력을 갖도록 하여야겠다.

저 자 소 개



김재훈(Jae-Hoon Kim)
 2001년 : 부경대학교 기계설계학과 졸업
 2001년~현재 : 부경대학교대학원
 전자공학과 석사과정

관심분야 : 로봇틱스, 지능시스템
 Phone : 051-620-6466
 Fax : 051-620-6450
 E-mail : shyrima@mail1.pknu.ac.kr

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, 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. Su and S. K. Tso, "Sensor-Based Fuzzy Reactive Navigation of a Mobile Robot Through Local Target Switching ", *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics-PART C*, vol. 29, no. 3, pp451-459, 1999.
- [4] H. R. Beom and H. S. Cho, "A Sensor-based navigation for a mobile robot fuzzy-logic and reinforcement learning", *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 12, no. 6, pp.521-527, 1997.
- [5] D. R. Ramirez, D. Limon, J. Gomez-Ortega and E. F. Camacho, "Nonlinear MPBC for Mobile Navigation Using Genetic Algorithms", *Proc. of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Detroit, Michigan, pp.2458-2464, 1999.
- [6] Dilip Kumar Pratihar, Kalyanmoy Deb, and Amitabha Ghosh, "Fuzzy-Genetic Algorithm and Mobile Robot Navigation Among Static Obstacles", *Proc. of the 1999 Congress on Evolutionary Computation*, pp.327-333, 1999.
- [7] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1993.
- [8] Jin-Woo Park, Jae-Han Park, Jang-Myung Lee, "Intelligent Control of a Mobile Robot using Fuzzy Logic", *Proc. of ITC-CSCC '99*, pp.585-588, 1999.



강근택(Jae-Hoon Kim)
 1976년 : 서울대학교 응용물리학과 졸업
 1984년 : 일본 동경공업대학
 시스템과학전공 석사
 1987년 : 일본 동경공업대학
 시스템과학전공 박사

1987년 - 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정
 보통신공학부 교수

관심분야 : 퍼지시스템, 지능시스템
 Phone : 051-620-6464
 Fax : 051-620-6450
 E-mail : gtkang@pknu.ac.kr



이원창(Won-Chang Lee)
 1983년 : 서울대학교 제어계측공학과 졸업
 1985년 : 한국과학기술원 전기 및 전자
 공학과 석사
 1992년 : 포항공과대학교 전자전기공학
 과 박사
 1993년 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정
 부교수

관심분야 : 로봇틱스, 지능시스템, 임베디드 시스템
 Phone : 051-620-6466
 Fax : 051-620-6450
 E-mail : wlee@pknu.ac.kr