

비전과 IR 센서를 갖는 이동로봇의 퍼지 규칙을 이용한 자율 주행

Navigation of an Autonomous Mobile Robot with Vision and IR Sensors Using Fuzzy Rules

허준영* · 강근택** · 이원창**

Ju-nyoung H* Geun-taek Kang** Won-Chang Lee**

* 부경대학교 대학원 전자공학과

*** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

요 약

미지의 환경에서 이동로봇이 자율 주행을 할 수 있기 위해서는 경로 설정 및 장애물 회피가 필수적인 요소이다. 이를 위해 본 논문에서는 비전과 IR 센서로부터 획득한 데이터와 퍼지규칙을 이용하는 자율 주행 알고리즘을 구현하고자 한다. 로봇과 장애물과의 거리가 멀리 떨어져 있는 경우는 비전에서 얻은 2차원 이미지를 매디안 필터링, 에지 추출, 모폴로지, 세션화 과정을 거쳐 임시 목표물을 설정한 다음, 거리 변화율 기법과 퍼지 규칙을 이용하여 경로 설정을 한다. 로봇과 장애물과의 거리가 근접할 경우는 IR 센서를 이용하여 경로 설정 및 근접 장애물 회피를 하도록 한다. 그리고 본 논문에서는 제안된 퍼지규칙을 이용한 데이터 융합 알고리즘이 이동로봇을 미지의 환경에서 보다 효율적으로 주행하게 할 수 있음을 실제 실험을 통해 보여주하고자 한다.

Abstract

Algorithms of path planning and obstacle avoidance are essential to autonomous mobile robots that are working in unknown environments in the real time. This paper presents a new navigation algorithm for an autonomous mobile robot with vision and IR sensors using fuzzy rules. Temporary targets are set up by distance variation method and then the algorithms of trajectory planning and obstacle avoidance are designed using fuzzy rules. In this approach, several digital image processing technique is employed to detect edge of obstacles and the distances between the mobile robot and the obstacles are measured. An autonomous mobile robot with single vision and IR sensors is built up for experiments. We also show that the autonomous mobile robot with the proposed algorithm is navigating very well in complex unknown environments.

Key Words : 이동로봇, 자율주행, 장애물 회피, 비전, IR 센서, 퍼지 규칙

1. 서 론

오늘날 로봇 시스템은 자동화 시스템, 우주 탐사, 군사 등 사회 전반에 걸쳐 널리 사용되고 있다. 현재는 로봇의 단순 반복적인 작업 수행에서 벗어나 자율성을 부여한 로봇이 동적인 환경에서 능동적인 활용이 가능하도록 설계되고 있다. 이동로봇이 고정된 상태에서 운영되는 매니플레이터와는 달리 미지의 환경에서 운영되기 위해서는 위치 추정, 장애물 회피, 경로 계획과 같은 자율 주행을 위한 기능들이 필요하다. 자율주행로봇은 주위의 불완전한 정보로부터 결론을 유도해 낼 수 있어야 하며 이러한 문제 해결을 위해 많은 연구가 진행되고 있다[1-3]. 이러한 이동로봇의 자율주행에 관한 연구로는 퍼지 로직, 신경망, 유전자 알고리즘 등 지능시스템

을 이용한 제어방식을 널리 사용하고 있다[4-6].

자율주행 이동로봇에 있어 상당히 중요한 주변 환경 인식을 위해서 사용이 간단하면서도 원거리 측정이 가능한 초음파 센서, 우수한 정밀도를 가지는 레이저, 그리고 구조가 간단하면서도 근거리 측정이나 특정 물체의 감지가 가능한 IR 센서 등이 널리 사용되어져왔다. 최근에는 마이크로프로세서의 성능향상으로 CCD 카메라 사용이 가능해졌고 이로 인해 보다 많은 주변정보를 얻을 수 있게 되었다.

본 논문에서는 1대의 CCD 카메라와 IR 센서들을 이용하여 주행에 필요한 장애물 회피와 경로 설정을 했으며 설정된 임시목표까지의 이동에는 외부 잡음에 강한 퍼지 제어기를 사용하였다[7-8]. CCD 카메라에서 얻어진 영상을 처리하여 장애물과의 거리의 변화율에 의한 정보와 IR 센서를 통해 얻어진 정보를 혼합하여 보다 효율적으로 장애물을 회피하여 진행하는 방법을 제안하고, 이를 구현하여 사용된 알고리즘의 성능을 고찰하였다.

접수일자 : 2007년 11월 10일

완료일자 : 2007년 12월 3일

감사의 글: 이 논문은 2006학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 연구되었음(PK-2006-052)

2. 본 론

2.1 장애물 인식을 위한 영상처리

CCD 센서에서 얻어진 영상을 그림 1과 같은 순서를 거쳐서 장애물 인식 및 임시목표 설정을 위해 필요한 정보를 구한다.

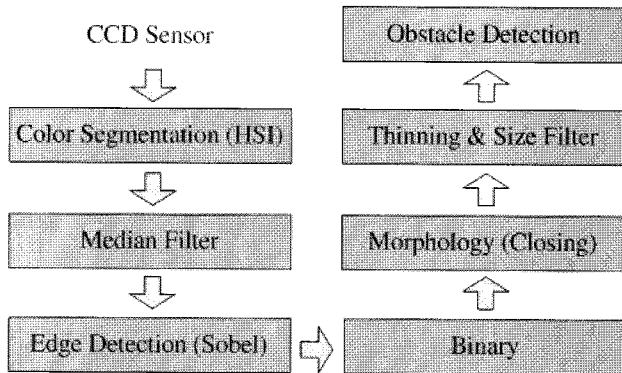


그림 1. 영상처리 순서
Fig. 1. Image processing sequence

먼저 입력된 컬러영상을 HSI 색상 평면으로 나누고 원 영상과 가장 유사한 명도성분(Intensity)을 나타내는 영상을 구한 후 영상에 발생하는 random noise를 제거하기 위해 메디안 필터를 사용하였으며 영상 안에서 영역의 경계를 나타내기 위해 공간필터의 하나인 소벨 연산자를 사용하였다. 그리고 적은 메모리량과 빠른 연산을 위해 이진영상으로 변환시켰고, 임계값에 의한 이진영상은 불필요한 조명에 의한 반사 부분이 노이즈로 나타나게 되어 이를 제거하기 위해서 모폴로지 기법 중 closing 연산을 사용하였다. 이렇게 구해진 영상의 두께가 1이 되도록 세선화 과정을 거치고 라벨링 및 크기 필터링을 통해 최종적으로 임시목표 설정을 위한 영상을 얻었다. 그림 2는 위와 같은 순서에 의해 얻어진 각각의 영상을 보였다.

2.2 장애물과의 거리 및 각도 계산

구해진 장애물이 인식된 영상에서 픽셀들 사이의 변화율을 계산해서 임시목표를 정한다. 임시목표가 정해지면 로봇과의 거리를 계산해야 하는데 이를 위해 구해진 영상의 정보와 IR 센서를 이용하였다. 두 개의 카메라에서 각각 얻어진 두 영상을 비교해 보다 정확한 거리를 산출할 수 있는 스테레오비전 방법도 있지만 본 논문에서는 하나의 카메라로 그림 3과 같은 구조를 이용하여 거리를 측정하였다. 바닥에서 카메라까지의 높이인 $height_y$, 카메라 앞부분에 존재하는 사각의 거리인 $blind_y$, 카메라로 포착 가능한 최장거리인 $length_y + blind_y$, 카메라의 좌우 폭인 $length_x$ 는 실제 측정 가능하고, 이 4개의 측정값과 식 (1), (2), (3)을 이용해 다음의 세 가지 각도를 구할 수 있다.

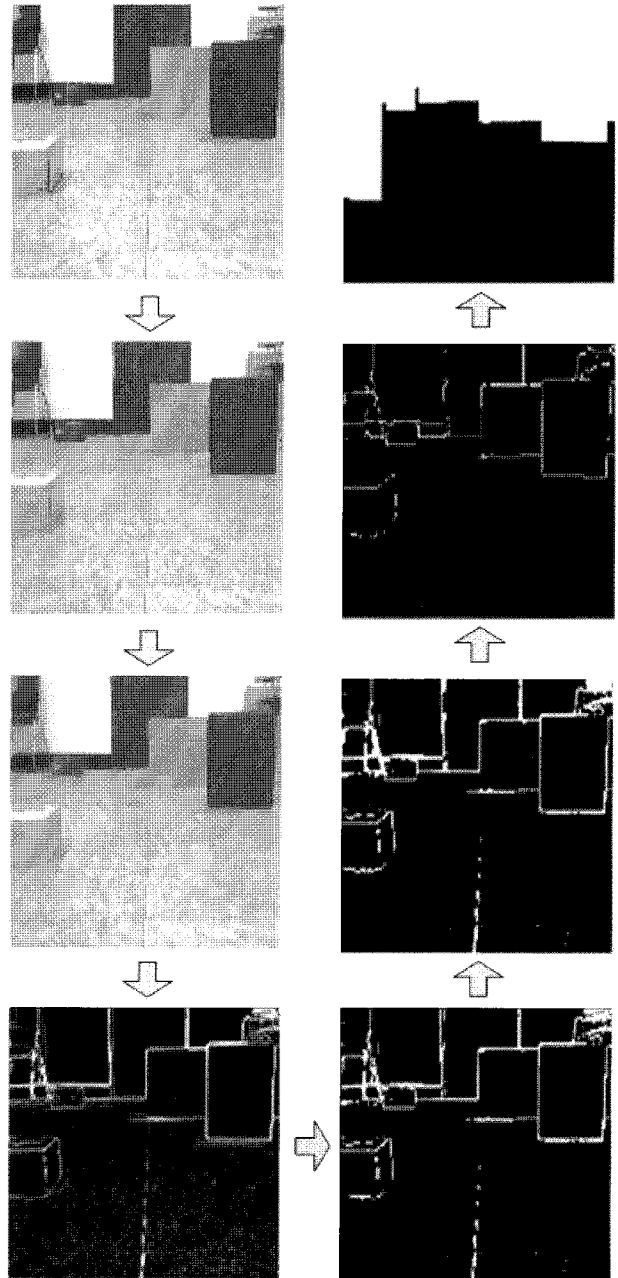


그림 2. 영상처리 된 이미지
Fig. 2. Processed image

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

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{height_y}{blind_y + length_y}\right) \quad (2)$$

$$\beta = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{blind_y + length_y}{length_x}\right) \quad (3)$$

그리고 위에서 구해진 값과 식 (4), (5)를 이용해서 임시목표점의 실제 공간좌표를 구해낼 수 있다. $pixel_x$, $pixel_y$ 는 화면상의 x , y 좌표를 나타며, 표 1은 실험에 사용된 변수들의 값이다.

$$y = \frac{height_y}{\tan(\theta + \frac{pixel_y(\alpha - \theta)}{screen_y})} + blind_y \quad (4)$$

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

표 1. 실험에 사용된 변수 값
Table 1. Variables for experiments

$length_x$	276	$height_y$	24	$screen_x$	320
$length_y$	848	$blind_y$	50	$screen_y$	240

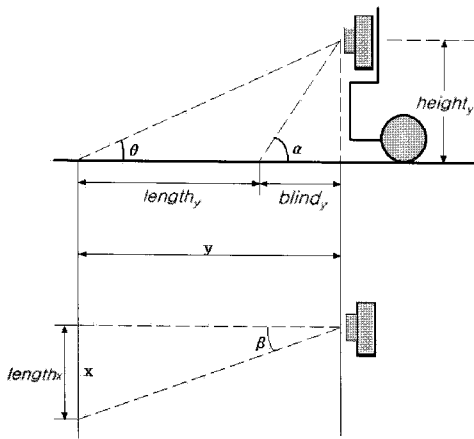


그림 3. 측면도와 상면도
Fig. 3. Side view and Top view

적외선 센서는 그림 4와 같이 22.5° 간격으로 9개의 센서를 부착했다. 영상정보를 가지고 계속 주행을 하다가 임시목표와의 거리가 $blind_y$ 와 가까워지면 이 시점부터는 IR 센서를 이용해 주행 및 장애물 회피를 한다. 이 때 부착된 IR 센서 중 측정된 거리가 가장 작은 센서의 인덱스 번호에 22.5°를 곱한 값을 임시목표와 틀어진 각으로 결정하였다.

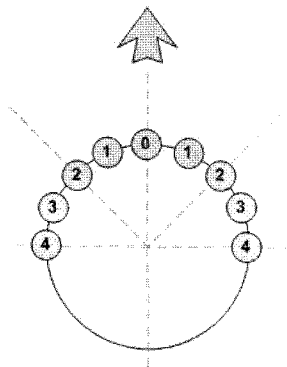


그림 4. 적외선 센서 배치도
Fig. 4. Location of IR sensors

2.3 퍼지 제어기

사용된 제어기의 입력으로는 임시목표와 로봇과의 거리, 목표와 로봇의 진행방향과의 차이를 사용하였고, 출력은 회전각과 이동해야 할 거리로 설정하였다. 사용된 제어기의 퍼지화기에 사용된 입력 소속 함수로는 계산이 간단한 삼각과 형태를 사용하였으며, 출력 소속 함수는 singleton을 사용하여 연산량을 최소화하였다. 퍼지 추론부에는 Mamdani의 min-max 연산을 사용하였고, 비퍼지화기에는 무게 중심법을 사용하였다.

표 2와 그림 5, 그림 6은 임시목표까지 주행을 위한 회전각도 출력에 대한 소속 함수와 제어 규칙을 나타내고 있다.

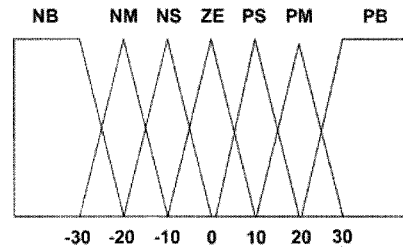


그림 5. 경로 설정을 위한 각도 소속 함수
Fig. 5. Membership function for angle in path planning

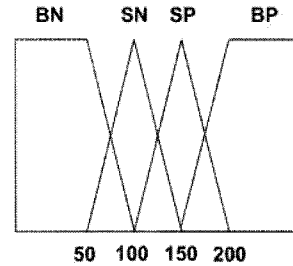


그림 6. 경로 설정을 위한 거리 소속 함수
Fig. 6. Membership function for distance in path planning

표 2. 경로 계획 제어 규칙 1(회전각도)
Table 2. Fuzzy rules 1 for path planning(Angle)

		Distance			
		BN	SN	SP	BP
A n g l e	NB	NB	NB	NB	NM
	NM	NB	NM	NM	NS
	NS	NM	NM	NS	NS
	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	PS	PM	PM	PS	PS
	PM	PB	PM	PM	PS
	PB	PB	PB	PB	PM

표 3과 그림 7, 그림 8은 임시목표까지 빠른 주행을 위한 이동거리 출력에 대한 소속 함수와 제어 규칙을 나타내고 있으며, 임시목표와 로봇의 진행방향과의 차이는 절대값으로 하였다.

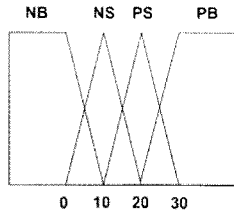


그림 7. 경로 설정을 위한 각도 소속 함수
Fig. 7. Membership function for angle in path planning

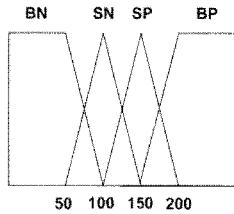


그림 8. 경로 설정을 위한 거리 소속 함수
Fig. 8. Membership function for distance in path planning

표 3. 경로 계획 제어 규칙 2 (이동거리)
Table 3. Fuzzy rules 2 for path planning (Distance)

		Distance			
		BN	SN	SP	BP
A n g l e	NB	SN	SP	BP	BP
	NS	SN	SP	BP	BP
	PS	BN	SN	SN	SN
	PB	BN	SN	SN	BN

표 4와 그림 9, 그림 10은 장애물 회피를 위한 회전각도 출력에 대한 소속 함수와 제어 규칙을 나타내고 있다.

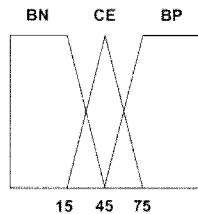


그림 9. 장애물 회피를 위한 각도 소속 함수
Fig. 9. Membership function for angle in obstacle avoidance

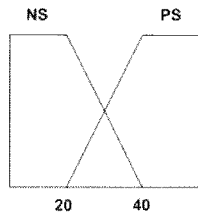


그림 10. 장애물 회피를 위한 거리 소속 함수
Fig. 10. Membership function for distance in obstacle avoidance

표 4. 장애물 회피 제어 규칙 1 (회전각도)

Table 4. Fuzzy rules 1 for obstacle avoidance (Angle)

		Angle		
		BN	CE	BP
D i s t a n c e	NS	CE	BN	BN
	PS	CE	CE	BN

표 5와 그림 11, 그림 12은 장애물 회피를 위한 이동거리 출력에 대한 소속 함수와 제어 규칙을 나타내고 있다.

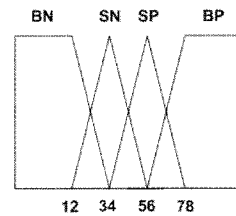


그림 11. 장애물 회피를 위한 각도 소속 함수
Fig. 11. Membership function for angle in obstacle avoidance

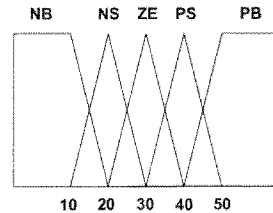


그림 12. 장애물 회피를 위한 거리 소속 함수
Fig. 12. Membership function for distance in obstacle avoidance

표 5. 장애물 회피 제어 규칙 2 (이동거리)
Table 5. Fuzzy rules 2 for obstacle avoidance (Distance)

		Angle			
		BN	SN	SP	BP
D i s t a n c e	NB	NB	NB	NB	NS
	NS	NS	NS	ZE	ZE
	ZE	NS	ZE	ZE	PS
	PS	ZE	ZE	PS	PS
	PB	ZE	PS	PS	PB

2.4 임시목표 교체

현재 임시목표점이 카메라의 사각지대에 가까이 왔을 때 주행을 위한 제어권을 IR 센서로 넘겨주게 되어있다. 그리고 항상 장애물의 전방 꼭지점을 가리키게 되어있어 새로운 임시 목표점으로 전환이 이루어지지 않으면 현재 장애물의 외각만을 회전하는 현상이 발생하게 된다. 따라서 장애물 회피 동작이 이루어짐과 CCD 센서를 통한 새로운 임시목표의 검색

이 이루어지도록 하였다.

3. 시스템 구성 및 구현

구현에 사용된 시스템은 LV-671 Mini-ITX Mobile Mainboard, Intel Celeron-M CPU, Logitech pro 4000p 웹캠, ATmega128 프로세서, SST42D2120 스텝모터, IR 센서는 10~80cm까지 거리측정이 가능한 PSD센서(GP2Y0A21YK)를 사용하였다. 그림 13은 실험에서 사용한 사용자 인터페이스 화면을 나타내었다.

그림 14는 영상정보에 의해 임시목표를 잡고 가속으로 목표점까지 이동한 후 장애물을 회피하는 것을 보여주고 있다. 그림 15은 장애물 회피 시에 새로운 임시목표를 잡고 경로설정을 하고 있다. 이는 비전에 의한 네비게이션과 IR 센서를 통한 네비게이션이 서로 잘 융합되어 있음을 알 수 있다. 그림 16는 좀 더 복잡한 환경에서의 자율주행을 보여주고 있다.

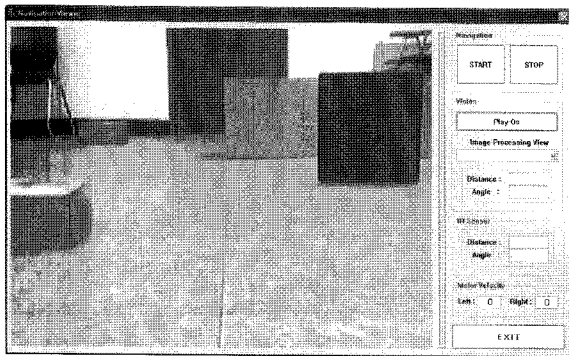


그림 13. 실험에 사용한 사용자 인터페이스
Fig. 13. User interface for experiments

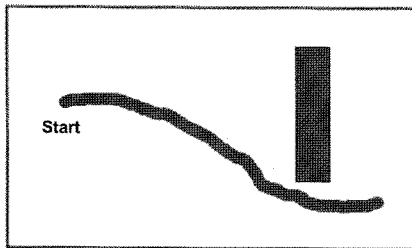


그림 14. 실험 I
Fig. 14. Experiment I

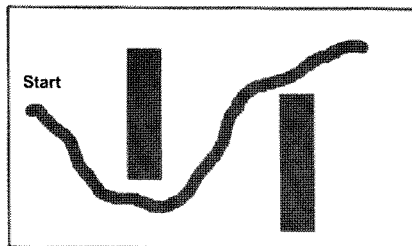


그림 15. 실험 II
Fig. 15. Experiment II

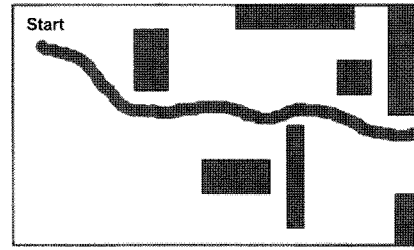


그림 16. 실험 III

5. 결론 및 향후과제

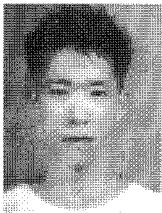
본 논문에서는 비전 시스템과 IR 센서를 이용한 자율주행 이동로봇의 경로 계획과 장애물 회피하는 방법을 제안하였다. 결과에서 나타난 것과 같이 구현된 제어기로 인한 빠른 주행과 경로 계획, 그리고 장애물 회피 단계로 자연스럽게 이어지는 것을 확인할 수 있었다. 향후 과제로는 IR 센서의 보다 효율적인 사용 방안에 대해 연구와 비전 처리 시간을 줄일 수 있는 새로운 이미지 처리 알고리즘, 그리고 현재 전혀 고려하고 있지 않는 로봇의 현재 위치 인식문제도 얻을 수 있도록 해야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] W. L. Xu and S. K. Tso, "Sensor-Based Fuzzy Reactive Navigation of a Mobile Robot through Local Target Switching," *IEEE Transaction on Systems, Man, Cybernetics*, vol 9, no 3, pp. 451-459, 1999
- [2] 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
- [3] Atsushi Fukayama, Masaaki Ida, Osamu Katai, "Behavior-based Fuzzy Control System for a Mobile Robot with Environment Recognition by Sensory-Motor Coordination", *Proc. of FUZZ-IEEE '99*, pp. 105-110, 1999
- [4] H. R. Beon and H. S. Cho, "A Sensor-based navigation for a mobile robot using fuzzy-logic and reinforcement learning", *IEEE Transaction on System, Man, Cybernetics*, vol. 12 no. 6, pp. 521-527, 1997
- [5] D. R Ramirez, D. Limon,, J Gomez-Ortera and E. F Camacho, "Nonlinear MPBC for Mobile Robot Navigation Using Genetic Algorithm", *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 Algorithms and Mobile Robot Navigation Among Static Obstacle", *Proc. of the 1999 Congress on Evolutionary Computation*, pp. 327-334, 1999

- [7] Jin-Woo Park, Jae-Han Park, Jang-Myoung Lee, "Intelligent Control of a Mobile Robot using Fuzzy Logic", *Proc. of ITC-CSCC '99*, pp. 585-588, 1999
- [8] 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

저 자 소 개



허준영 (Jun-young Heo)
 2006년 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신
 공학부 졸업
 2006년~현재 : 동 대학원 전자공학과 석
 사 과정

관심분야 : Embedded System, 인공지능

E-mail : niziguy@yahoo.co.kr



강근택 (Geun-taek Kang)
 1976년 : 서울대학교 공과대학
 응용물리학과 (공학사).
 1984년 : 일본 동경공업대학
 시스템과학전공 (공학석사).
 1987년 : 일본 동경공업대학 시스템과학전
 공(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 : 로봇틱스, Embedded System
 E-mail : wlee@pknu.ac.kr