

퍼지제어를 이용한 카메라가 장착된 이동로봇의 경로제어

Fuzzy Navigation Control of Mobile Robot equipped with CCD Camera

조 정 태* 이 석 원** 남 부 희***
Cho, Jung-Tae Lee, Seok-Won Nam, Boo-Hee

Abstract

This paper describes the path planning method in an unknown environment for an autonomous mobile robot equipped with CCD(Charge-Coupled Device) camera. The mobile robot moves along the guideline. The CCD camera is used for the detection of the existence of a guideline. The wavelet transform is used to find the edge of guideline. It is possible for us to do image processing more easily and rapidly by using wavelet transform. We make a fuzzy control rule using image data as an input then determined the position and the navigation of the mobile robot. The center value of guideline is the input of fuzzy logic controller and the steering angle of the mobile robot is the fuzzy controller output. Some actual experiments show that the mobile robot effectively moves to target position by means of the applied fuzzy control.

키워드 : 퍼지, 이동로봇, 웨이블릿, 카메라
Keywords : fuzzy, mobile robot, wavelet, camera

1. 서론

일반적으로 로봇은 산업현장에서 같은 동작을 반복하는 용도로 활용되어 왔지만 점차 그 활동영역이 확대되고 있다.[1] 이동로봇은 가정·사무실 등에서의 업무보조, 생산현장에서의 작업, 사람이 활동하기 어려운 환경에서의 탐사활동 등 일상생활, 산업분야, 과학분야에서 많은 용도로 활용되고 있으며[2], 이러한 이동로봇은 적외선센서, 초음파센서, 비전시스템, 촉각센서 등 각종 센서를 부착하여 다양한 환경속에서 주어진 목적에 따라 여러 기능을 수행할 수 있도록 만들어지고 있다.

현재의 로봇산업은 인간의 삶 깊숙이 영향을 미치는 휴머노이드(Humanoid) 로봇으로 발전하고 있으며, 이와같이 인간과 같은 지능을 가진 기계를 만들고자 하는 컴퓨터 연구의 한 분야가 '인공지능(Artificial Intelligence)'이다. 인공지능을 구현하기 위해 퍼지이론과 신경회로망의 연구가 진행중이다. [3][6] 퍼지이론의 논리 전개방식은 기존의 컴퓨터 논리방식인 참과 거짓을 탈피한 근사 논리로써 참과 거짓의 중간에 있는 모호한 값을 가질 수 있다. 즉, 인간의 사고·판단에 포함되어 있는 '조금' 약간'다소'등의 애매한 말들을 수치로 정량화 해서 최적의 양과 질을 실행할 수 있도록 하는 원리이다.[7] 퍼지 알고리즘은 경험과 직관에 근거하고 있고, 그러한 비수학적인 제어 알고리즘이 컴퓨터에서 쉽게 구현되어질 수 있다.[5]

이동로봇은 다양한 환경에서 동작해야 하므로 주변인식(Recognition of Surroundings), 경로계획(Path Planning), 충돌회피(Collision Avoidance),

* 강원대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정
** 강원대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정
*** 강원대학교 전기전자정보통신공학부 교수

맵핑(Mapping) 등의 요소기술을 필요로 한다.

비전시스템은 표식(Landmark)이나 가이드라인(Guideline)을 주변환경에서 구별하는데 효과적인 센서이다.[4]

본 논문에서는 Nomadic Technologies, Inc.의 이동로봇인 Nomad Super Scout II 로봇을 사용하여 바닥에 가이드라인이 설치되어 있는 환경에서 이동로봇에 퍼지제어를 적용하여 카메라에 의한 영상값을 퍼지입력으로 하고, 이동로봇의 회전 각도를 퍼지출력으로 하여 이동로봇이 가이드라인을 따라가도록 하였다.

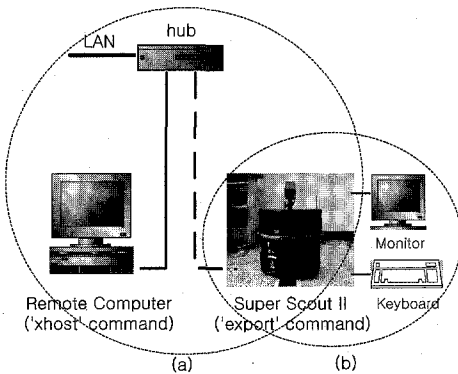


그림 1. Super Scout II 와 시스템 구성
 (a) 이동로봇이 remote computer와 연결될 때
 (b) 이동로봇이 내부 PC에 의해 제어될 때

2. 이동로봇의 구성

Nomad Super Scout II는 초음파센서, 접촉센서, 주행기록계, 그리고 카메라 시스템을 갖추고, 내부에 일반적인 컴퓨터를 내장한 이동로봇이다. 실험에 사용된 이동로봇과 시스템구성이 그림 1에 보여진다. Nomad Super Scout II는 내부 PC를 통해 제어할 수 있는 방법과 네트워크를 통해 원격지에서 제어할 수 있는 두가지 방법이 있다. Linux를 운영체제로 사용하고 있으며, Linux 기반의 노매드 이동로봇의 소프트웨어 개발 환경(Nomadic Software Development Environment)을 이용해서 기본적인 작업을 하였으며, 로봇을 제어하는데 사용되는 프로그램은 C언어이고, Linux상에서 gcc 컴파일러를 사용하여 컴파일 하였다. 원격지에서 이동로봇을 제어하기 위해서는 Remote Computer에서는 'xhost'라는 명령을 Super Scout II에서는 'export'라는 명령을 사용하여 Remote Computer에 Super Scout II의 디스플레이(Display) 환경을 제공한다. 즉, Super Scout II의 창(Shell) 쪽에서는

```
export DISPLAY = "210.115.43.108:0" 과 같은 형식을 그리고 Remote Computer의 창(Shell)에서는 xhost +210.115.43.109 과 같은 형식을 취한다.[8]
```

3. 주행 알고리즘

3.1 가이드라인(Guideline) 검출

Nomad Super Scout II에는 칼라 PCI Frame Grabber와 4mm 렌즈 카메라로 구성된 칼라 PCI 비전 시스템이 장착되어 있다. CCD(Charge Coupled Device) 카메라에 입력되는 영상의 정보를 보게되면 한 픽셀당 R(Red), G(Green), B(Blue)가 0에서 255까지의 값으로 나오게 된다. 이미지 처리 장치중 CCD 카메라는 작고, 값이 싸며, 처리속도가 빠르다는 장점이 있다. 이미지 값은 0쪽으로 갈수록 검은색에 가깝고 255로 갈수록 흰색에 가깝다. Super Scout II 로봇에 장착된 카메라에 의해 320×240 크기로 영상을 얻어서 캡처한후 240번째 라인의 첫 번째 칼럼부터 픽셀의 값을 비교하여 가이드라인을 나타내는 검은색 값을 찾는다. 즉, 검은색 가이드라인은 주변의 색과 구별되므로 웨이블릿 변환(Wavelet Transform)에 의한 영상처리를 통해 특정 픽셀값이 기준값 이상이면 그곳을 가이드라인 경계로 인식하게 하였다. 그리고 비록 검은색 물체가 감지되었을 경우라도 지금 찾은 검은색이 확실하게 가이드라인인가 아닌가를 확인하기 위해 가이드라인의 폭만큼 검은색이 계속 검출되었을 경우에만 이것이 가이드라인임을 알 수 있도록 하였다.

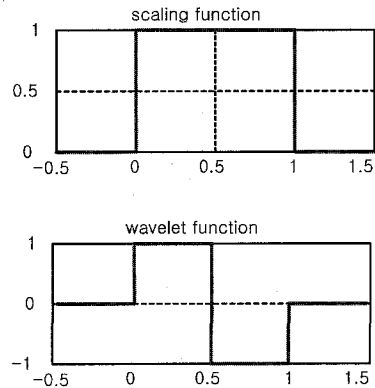


그림 2. 스케일링 함수와 웨이블릿 함수

웨이블릿은 1차 독립인 기저함수 스케일링 함수(Scaling Function)와 웨이블릿 함수(Wavelet

Function)로 구성되어 있고, 그림 2는 Haar(또는 db1)라 불리는 웨이블릿 함수이다.

식 (1)은 scaling function 인 $\Phi(t)$ 이고, 식 (2)는 wavelet function 인 $\Psi(t)$ 이다. scaling function은 low-pass 필터로, wavelet function은 high-pass 필터로 연관지어 생각할 수 있다.

$$\Phi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$\Psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 0.5 \\ -1 & 0.5 \leq t < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

실험에서 가이드라인의 양쪽 경계선을 찾기위한 방법으로 1차 이산 웨이블릿 변환(One-Dimensional Discrete Wavelet Transform)을 사용하였는데, 본 논문에서는 웨이블릿 계수로 하프(Haar)계수인 [1 -1]를 사용하여 하이패스 필터(High Pass Filter)를 구현하였고, 영상 신호의 처리에 필요한 시간을 줄였다.

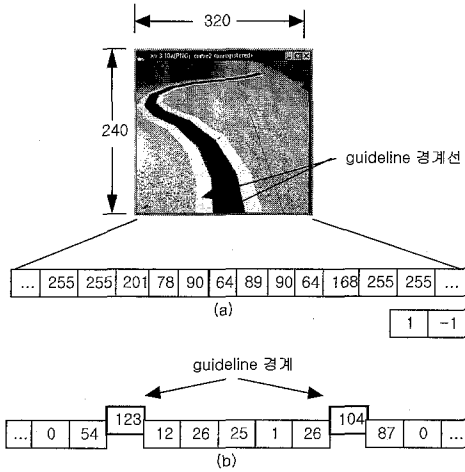


그림 3. (a) Haar 계수 [1 -1]과 convolution 하기위한 행(row) 이미지 데이터의 일부분
(b) convolution 결과값

카메라에 의한 실제 영상 데이터 값이 그림 3 (a)에 보인다. 한 라인의 행(row) 이미지 데이터 값의 일부분을 보인 것이다. 그리고 이것의 convolution 결과값은 그림 3. (b)와 같다. 여기서 가이드라인의 경계를 나타내는 두 부분의 값이(여기서는 123과 104의 값) 다른 부분에 비해 큰 값을 가짐을 알 수 있다.

3.2 로봇의 현재위치 및 자세보정

Super Scout II는 서로 독립적인 두 개의 축으로 이루어져 있는데, 첫 번째 축은 translational 축이고 두 번째 축은 steering 축이다. 각각 전·후진 동작과 회전동작을 하게 된다. 이동로봇의 속도는 $sp(tsp, ssp, rsp)$ 함수에 의해 조정할 수가 있고, 전진과 후진은 $scout_pr(trans, steer)$ 함수에 의해 조정할 수 있다. Super Scout II 로봇은 turret 부분은 없으므로 sp 함수의 세 번째 변수는 무시된다.

로봇이 가이드라인을 따라서 움직이게 하는 동작은 먼저, 앞에서 이루어진 convolution 결과의 이미지(Image)에서 240번째 라인의 첫 번째 칼럼부터 픽셀값(Pixel Value)을 세어서 임시저장 장소인 count 변수에 저장한다. 칼럼의 색을 계속 비교하다가 첫 번째 경계점을 나타내는 경계값이 나오면 가이드라인이 시작된다는 의미로 black_len 변수에 픽셀값을 저장한다. 이때 count 변수값도 계속 증가하는 상태이다. 가이드라인의 끝을 나타내는 두 번째 경계값이 검출되면 count 변수와 black_len 변수의 카운트를 멈춘다. 이 결과 'count 변수값 - (black_len 변수값/2)'는 카메라에 의해 캡처(Capture)된 이미지에서 현재 가이드라인의 중앙이 위치한 픽셀값을 가리키게 된다.

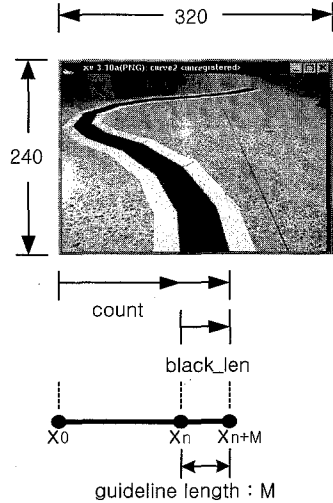


그림 4. 가이드라인의 중앙값 결정

그림 4에 이러한 과정을 보인다. 프로그램에서 사용된 계산식은 식 (3)과 같다.

$$x_{n+M} - \frac{x_{n+M} - x_n}{2} \quad (3)$$

만약 여기서 계산한 픽셀값이 320 픽셀의 중앙값인 160이 나온다면 이 값은 이동로봇이 가이드라인의 중앙에 위치하고 있음을 나타내므로 이동로봇은 전진의 동작을 하도록 하였고, 라인이 로봇의 좌측이나 우측으로 치우쳐 있다면 steering 부분을 조정하여 로봇을 회전시키고, 다시 가이드라인의 중앙 위치를 파악하여 이동로봇이 가이드라인을 따라갈 수 있도록 하였다. 여기서 가이드라인의 중앙으로 이동로봇을 위치시키고 주행하는데 퍼지제어를 이용하여 빠르고 정확하게 로봇의 위치제어를 할 수 있도록 하였다.

3.3 퍼지제어를 이용한 위치 결정

그림 5에서와 같은 구성으로 이동로봇에 퍼지 이론을 적용하였다. 카메라로 가이드라인 중앙값을 찾고 퍼지 입·출력을 구성하여 이동로봇을 제어하였다.

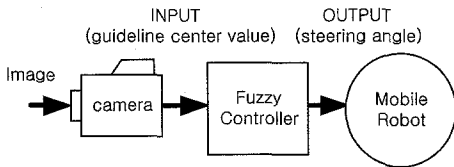


그림 5. 전체의 개략적인 구성

퍼지 시스템은 그림 6에서 처럼 퍼지규칙(fuzzy rule base), 퍼지추론엔진(fuzzy inference engine), 퍼지화(fuzzifier), 비퍼지화(defuzzifier)의 네부분으로 구성되어 있는데, 제어해야할 상황을 소속함수로 만드는 fuzzifier, 전문가의 경험을 바탕으로 퍼지규칙 테이블을 만드는 fuzzy rule base, 퍼지규칙 테이블과 연계하여 입력에 따른 출력을 결정짓는 fuzzy inference engine, 그리고 최종 출력으로써 시스템을 실제로 제어하는 대표 출력값을 구하는 defuzzifier 가 그것이다. 여기에서 퍼지규칙 부분은 퍼지 IF-THEN의 집합으로 구성되어 있는데, 여러 가지 형식이 있으며 다음과 같이 간단하게 구성되기도 한다.[7]

- Rule ex1) IF x is A1 THEN y is B
- Rule ex2) IF x1 is A1, x2 is A2 THEN y is C

이동로봇의 카메라를 이용하여 가이드라인을 검출할 수 있고, 가이드라인상의 로봇의 위치를 판단하여 좌·우측으로 방향전환이 가능하도록 퍼지제어 규칙을 만들었다.

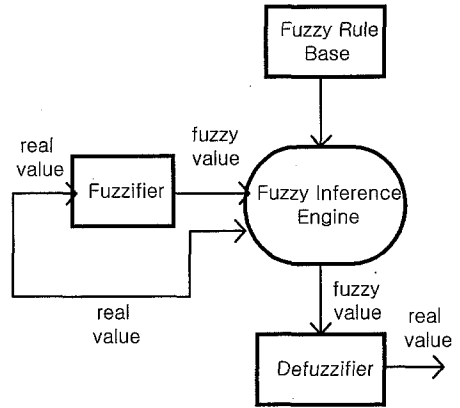


그림 6. 퍼지 시스템의 기본구성

가이드라인의 중앙을 나타내는 'count변수값 - (black_len변수값 / 2)'를 퍼지입력으로 하였으며, 이동로봇의 회전각도를 퍼지출력으로 하였다. 표 1에 가이드라인 센터를 나타내는 입력과 회전각도인 출력변수에 대한 범위를 나타내었다. 그리고 각각의 입력과 출력에 대한 소속함수 (Membership Function)를 그림 7과 같이 간단한 삼각파형으로 하였다.

표 1. 입·출력 변수 값

Find_center (input)	Steering Angle (output)	Quantized Level
40	-30	-3
80	-20	-2
120	-10	-1
160	0	0
200	10	1
240	20	2
280	30	3

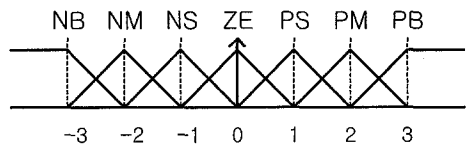


그림 7. 소속함수(Membership Function)

본 연구에서는 실험을 통해 얻은 경험을 바탕으로 퍼지 IF-THEN-형식의 퍼지 제어규칙을 만들고, 퍼지 추론 결과로 이동로봇의 회전각도를 나타내었다. 퍼지 추론으로는 max-min방법(Mamdani 방법)을 사용하였고, 비퍼지화에는 평균중심법(center of average defuzzifier method)을 이용하였다. center of average defuzzifier 계산식은 식(4)와 같다.

$$y^* = \frac{\sum_{k=1}^M y_c^k \cdot w_k}{\sum_{k=1}^M w_k} \quad (4)$$

여기서 w_k 은 k번째 규칙의 소속정도이고, y_c^k 은 k번째 규칙에 의한 출력의 평균치이다.

주행하는 방식에서 퍼지 로직 제어기를 사용하기 전에는 이동로봇이 가이드라인의 중앙에서 치우침의 정도에 관계없이 미리 일정하게 정해진 각도로 회전후 진행하는 방식으로 이루어졌으나, 이러한 방식은 효율성이 떨어지므로 퍼지 제어 규칙을 이용함으로써 치우침이 크면 로봇의 회전각도도 커지고, 치우침이 작으면 회전각도도 작아지도록 하여, 빠르고 효율적으로 목표지점으로 이동할 수 있도록 하였다.

그림 8에 max-min 방법에 의한 퍼지추론 예를 보인다. 가이드라인의 센터 픽셀값은 160으로 정의해 놓았다. 만일 카메라에 의해 입력된 가이드라인 픽셀값이 210이라면 단지 PS와 PM에서만 소속정도를 갖게 되고, 각각 3/4과 1/4의 소속정도를 갖게 된다. 따라서 전체 소속정도는

$$[0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 3/4 \ 1/4 \ 0]$$

와 같이 나타내어질 수 있다. 즉, 입력값 210의 위치와 소속정도를 알 수 있다.

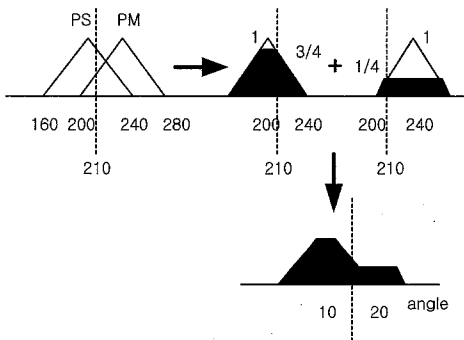


그림 8. 퍼지 추론(Fuzzy Inference)

그림 9에 플로우차트(flow chart)가 있다. CCD 카메라로 가이드라인을 검출하고 중앙값을 계산한 후에 가이드라인 센터값이 퍼지제어의 입력으로 사용되고, 이동로봇의 회전각도가 퍼지출력으로 사용된다. 퍼지추론에 의한 출력값만큼 이동로봇을 회전시킨후 전진시키고 다시 가이드라인을 검출하여 이동로봇의 위치를 파악한다. 만약 이동로봇이 가이드라인상의 중앙에 위치해 있다면 이동로봇은 가이드라인을 따라 진행할 것이며, 오차가 있다면 플로우차트의 과정을 반복한다.

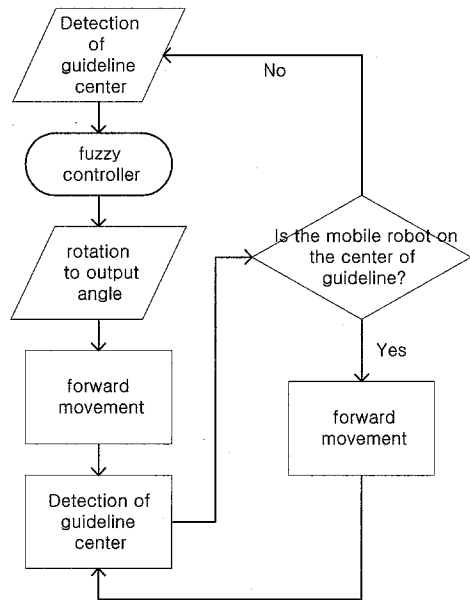


그림 9. 플로우차트(Flow Chart)

4. 결론

본 논문에서는 퍼지제어 방법을 사용하여 이동로봇이 카메라를 가지고 가이드라인을 따라 주행하는 방법에 대해서 연구하였다. 가이드라인의 경계선을 찾기 위하여 Haar 계수를 이용한 웨이블릿 변환(wavelet transform)을 사용하였다. 가이드라인의 중앙부분을 찾아 이동로봇이 주행하도록 하는 방법에 퍼지제어를 적용함으로써 적은 데이터를 가지고 많은 입력 상황에 대처하여 효율적으로 가이드라인을 따라 주행할 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] Shufan Wu, Jinshong Mei, and Peiyi Niu, "Path guidance and control of a guided wheeled mobile robot," *International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, Vol.1, pp.883-887, 1998.
- [2] Rui Araujo, and A. T. de Almeida, "Path Planning-by-Learning with a Nomad 200 Mobile Robot," *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Vol.3, pp.779-784, 1997.
- [3] Hee Rak Beom, and Hyung Suck Cho, "A Sensor-Based Navigation for a Mobile Robot Using Fuzzy Logic and Reinforcement Learning," *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.25, No.3, pp.464-477, March 1995.
- [4] Taylor CJ, and Kriegman DJ, "Vision - Based Motion Planning and Exploration Algorithms for Mobile Robots," *IEEE Transactions on Robotics & Automation*, June 1998.
- [5] Y. F. Li, and C. C. Lau, "Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems," *IEEE International conference on Robotics and Automation*, April , 1988.
- [6] Adel Ali S.Al-Jumaily, Shamsudin H. M. Amin, and Mohamed Khalil, "Fuzzy Behaviors Based Climbing Robot Reactive Navigation In Unknown Environment," *The Fifth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, December, 1998.
- [7] Li-Xin Wang, *A course in fuzzy systems and control*, Prentice-Hall International, Inc., 1997
- [8] *Nomad mobile robot Users Manual*, Nomadic Technologies, Inc. Mountain view, CA, March 1997.