

초음파센서 기반 자율주행 로봇의 장애물 회피에 관한 연구

A Study on Obstacle Avoidance Technology of Autonomous Traveling Robot Based on Ultrasonic Sensor

황원준^{1*}

Won-Jun Hwang

<Abstract>

This paper presents the theoretical development of a complete navigation problem of a nonholonomic mobile robot by using ultrasonic sensors. To solve this problem, a new method to computer a fuzzy perception of the environment is presented, dealing with the uncertainties and imprecision from the sensory system and taking into account nonholonomic constraints of the robot. Fuzzy perception, fuzzy controller are applied, both in the design of each reactive behavior and solving the problem of behavior combination, to implement a fuzzy behavior-based control architecture. The performance of the proposed obstacle avoidance robot controller in order to determine the exact dynamic system modeling system that uncertainty is difficult for nomadic controlled robot direction angle by ultrasonic sensors throughout controlled performance tests.

In additionally, this study is an in different ways than the self-driving simulator in the development of ultrasonic sensors and unmanned remote control techniques used by the self-driving robot controlled driving through an unmanned remote controlled unmanned realize the performance of factory automation.

Keywords : Ultrasonic Sensor, Obstacle Avoidance

^{1*}정희원, 교신저자, 경남테크노파크 선임연구원
E-mail : hwj3986@daum.net

^{1*} Senior Researcher, Gyeongnam Technopark Industrial
Co., Ltd.

1. 서 론

자율 주행로봇은 주위 환경을 인식하여 자신의 판단에 따라 원하는 목표지점까지 충돌 없이 자율적으로 이동할 수 있는 능력을 가진 로봇으로서, 제어알고리즘 개발과 경로계획, 궤적추종, 장애물 회피, 각종 센서데이터의 융합, 비전 시스템의 응용, 위치추적 등이 종합적으로 관련되어 있다. 이 가운데 경로계획과 위치추적지도로 표현되는 환경 정보를 필요로 한다. 따라서 미지의 환경에 대한 이러한 지도를 로봇 스스로가 작성할 필요가 있다.

이중에서 주행 중 절대좌표계에 대한 현재위치를 올바르게 측정할 수 있는 위치추적 방법의 개발이 이동로봇의 실용화 여부를 좌우하는 가장 중요한 기술 중의 하나이다. 이동 로봇의 절대위치에 대한 평가가 부정확하면 정상적인 주행과 신뢰성 있는 지도작성이 불가능하게 된다. 따라서 이동로봇의 위치추적에 관한 연구가 많이 진행되고 있다. 위치추적을 구현하기 위한 방법에는 주행중 바퀴에 장착된 엔코더를 이용하여 각 바퀴의 주행거리를 측정 후, 이로부터 각 소구간마다의 위치변화량을 계산하여 초기 위치로부터 현재의 위치를 계산하는 측정방법이 있다. 그러나 이동로봇의 휠과 바닥간의 슬립, 휠지름이 평탄하지 않은 바닥에서의 주행, 휠간의 거리 변경등에 의해서 오차가 발생하게 되며, 이는 시간이 경과함에 따라 누적된다. 이러한 오차는 이동형 역내의 표적등과 같은 외부센서의 정보 또는 비전센서와 초음파센서 등으로부터의 정보를 이용하여 보정하여야 한다.

본 연구에서는 초음파센서 기반의 자율주행로봇의 장애물회피에 관한 연구를 수행하였다. 또한, 실제 실험을 통하여 효율성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 초음파센서 거리측정원리

초음파(ultrasonic) 센서는 압전소자를 사용한 진동자의 송파기로부터 발진된 초음파의 에코가 수파기에 도달할 때까지의 소요시간으로 거리를 검출하는 것이다. 즉 초음파를 일정 시간 발생시킨 뒤 벽에 반사되어 돌아오는 신호를 검출하여 그 시간차로 거리를 측정한다. Fig.1 는 반사형 형태의 초음파센서를 나타내고 있다.

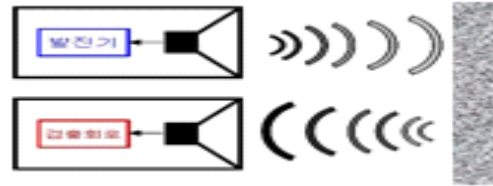


Fig.1 the reflective type ultrasonic sensor

송파기에서 방출된 초음파는 공기보다 고밀도의 물체, 즉, 대부분의 물체에서 반사되기 때문에 이 반사체를 수파기로 검출한다. 또한, 이 반사기는 단순히 물체의 유무를 검출할 뿐만 아니라 물체까지의 거리 측정이 가능하다.

초음파를 발생시키고, 이와 동시에 숫자 세기를 시작하고, 초음파가 돌아온 것이 감지되면, 세는 것을 멈춘다. 이 때 세어진 값을 읽어 초음파가 돌아오는 데 걸린 시간을 계산하여 거리를 측정하는 것이다. 이것은 일종의 스톱워치(stop watch)로 시간을 잴다고 생각하면 된다. 숫자를 세는 데 걸리는 시간이 1[u/sec]라면, n번 세었을 때 초음파가 되돌아 왔을 때 걸린 시간은 $t=n[u/sec]$ 가 된다. 소리의 속도(v)는 340m/sec(기온 15°C)이므로 거리는 $속도 \times 시간$ 으로 구할 수 있다. 초음파는 벽과 센서 사이와의 왕복거리이므로 벽까지의 거리 d는 $d=v \times t/2[m]$ 가 된다.

Fig. 2 에 초음파 발생과 검출 과정을 나타내었다.

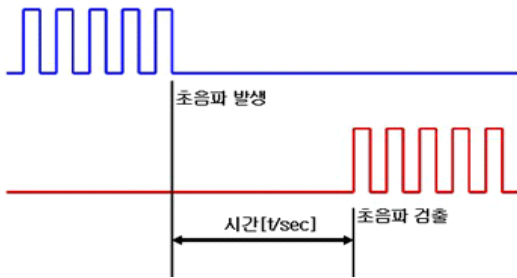


Fig. 2 The detection and occurrence of ultrasonic

초음파센서 거리는 초음파 송수신시간, 초음파의 속도, 센서와 장애물까지의 거리를 통해 측정할 수 있다. Fig. 3은 초음파센서와 장애물사이의 거리측정 구성도를 나타낸다.

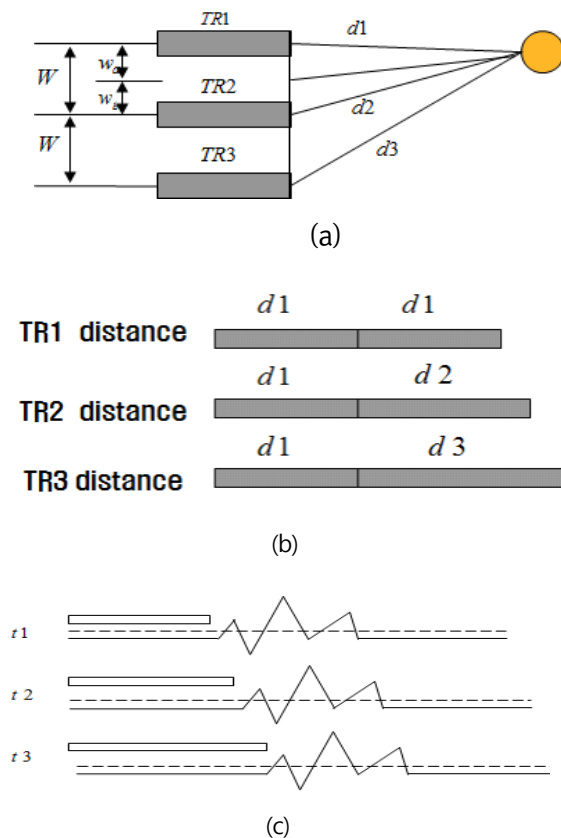


Fig. 3 초음파센서와 장애물사이의 거리측정 구성도

Fig.3에서 초음파센서(TR)의 초음파 송수신시간 (t)과 초음파 속도(c), 초음파센서와 장애물까지의 거리(d)를 가정할 때 초음파센서(TR1)와 장애물까지의 거리는 $d_1=t_1c/2$, 초음파센서(TR2)와 장애물까지의 거리는 $d_2=c(t_1-t_2)/2$ 로 나타낼 수 있다.

초음파센서(TR1)의 중심선과의 수직인 면과 초음파센서(TR1)와 장애물사이의 거리(d1)사이의 각 α 는 삼각함수의 공식에 의해

$$\alpha_2^2 = \alpha_1^2 + w^2 - 2d_1w\cos\alpha$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{(t_1c/2)^2 + w^2 - [c(t_2 - t_2/2)]^2}{t_1cw}\right)$$

여기서 w는 초음파센서 TR1과 TR2, TR2 과 TR3의 거리이다.

d_1 과 d 사이의 각 $\theta = 90^\circ - \alpha$ 이므로 $d = (t_1c/2)\cos(90^\circ - \alpha)$ 이고 d 와 초음파센서 (TR)사이의 거리는 $w_a = (t_1c/2)\cos\alpha$, $w_b = w - w_a$ 이다.

기준점으로부터 장애물까지의 로봇의 폭(횡)방향으로 거리 l_w 와 장애물까지의 실제로 떨어진 거리 l_l 은 $l_w = w + w_b$, $l_l = d\cos\beta$ 이다.

2.2 초음파기반 자율주행 경로계획

point 개념의 주행의 시작점과 끝점을 메모리에 입력하여 지정된 주행을 선택하면 선택된 시작점과 끝점을 따라 움직이기 위한 최적의 주행로를 선택하는 메모리 유도방식을 사용한다.

자율주행로봇의 경로계획은 대개 2차 평면상에서 이루어지며 로봇의 위치와 방향을 합쳐서 자세 $p = (x, y, \theta)$ 라 정의한다. 여러 개의 점(point)로 나누어진 주행로에서의 출발자세 $P_i = (X_i, Y_i, \theta_i)$ 와 도착자세 $P_f = (X_f, Y_f, \theta_f)$ 라 하면 두 자세간의 거리 d는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$d = \sqrt{(X_f - X_i)^2 + (Y_f - Y_i)^2}$$

두 자세간의 회전각 θ 는 출발자세의 방향 θ_i 와 도착자세의 방향 θ_f 의 차이이다. $\theta = \theta_f - \theta_i$

이렇게 경로와 방향을 계산하여 합치면 전체 경로와 방향이 된다.

Fig. 4는 주행경로 계획에 따른 좌표를 나타낸다.

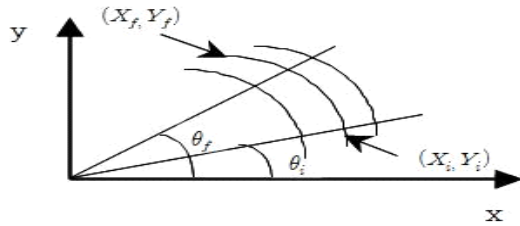


Fig. 4 The coordinates for travelling

로봇의 움직임을 곡선으로 표현할 때, 매 제어 샘플마다 곡선의 곡률(γ)과 진행거리의 증분(dS)을 아래의 식에 따라 구동휠의 회전량($d\theta_R, d\theta_L$)으로부터 계산할 수 있다.

$$\gamma = 2(d\theta_R - d\theta_L) / (d\theta_R + d\theta_L) / d$$

$$dS = r_w (d\theta_R + d\theta_L) / 2$$

여기서 γ_w 는 휠의 반경이고, d_w 는 휠간의 거리이다

샘플링 구간에서 로봇은 r 의 회전반경과 $d\theta$ 의 회전각도 만큼 원호 운동을 한다고 가정시 r 과 $d\theta$ 는 아래의 관계식으로 구할 수 있다.

$$d\theta = \gamma dS, \quad r = 1/\gamma$$

따라서 절대 좌표계에서 자세변환(d_x, d_y, d_θ)은 아래의 최종식으로부터 구해진다.

$$d_x = dS[\sin(\theta + d\theta) - \sin(\theta)]d\theta$$

$$d_y = dS[\cos(\theta + d\theta) - \cos(\theta)]d\theta$$

여기서 $d\theta \neq 0$ 인 경우에는 원호운동을 한다. 만약 매우 작은 간격의 샘플링 구간을 갖거나 회전각도 $d\theta$ 가 0에 가까울 경우 직선 운동으로 가정하여 구할 수 있다.

$$d_x = dS\cos(\theta), \quad d_y = dS\sin(\theta), \quad d\theta = 0$$

Fig. 5 (a)의 경우 장애물은 왼쪽 지역에 존재하고 자율주행로봇은 오른쪽 지역으로 회전한 후 이동하여야 한다. Fig 5 (b)의 경우 장애물이 전방에 길게 놓여 있으므로 장애물과 평행한 방향으로 진행한후 회피하여야 한다.

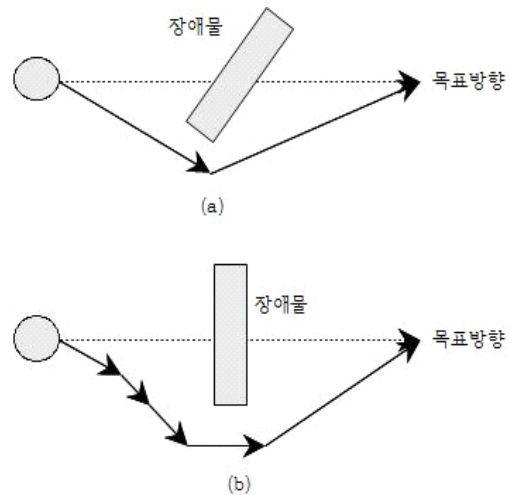


Fig. 5 The obstacle avoidance based on ultrasonic sensor

2.3 성능실험

본 실험에서는 ring형상의 센서 배열 방식을 이용하여 자율주행 로봇의 좌,우,후방에 Fig.6 과 같이 초음파 센서를 설치, 장애물을 감지한다.

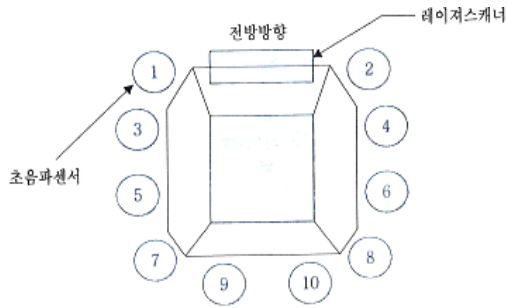


Fig. 6 The placement of ultrasonic sensors

기본적인 초음파 센서의 배치는 10개를 좌우 각각 4개, 후방 2개를 설치하였고 벽면 주행시 필요한 데이터를 얻기 위해 전,후 모서리 측면에 센서 1,2,7,8을 대각선 방향으로 설치하였다. 원래 초음파 센서의 감지각도는 80° 이지만 자율주행 로봇의 특성상 보다 낮은 거리감지 및 형상인식을 하여야 하므로 전방에는 레이저스캐너를 설치한다.

주행실험은 본 연구실에서 행하였다. 주행경로는 Fig. 7과 같이 설정하여 5회 반복 주행 실험을 실시하였다.

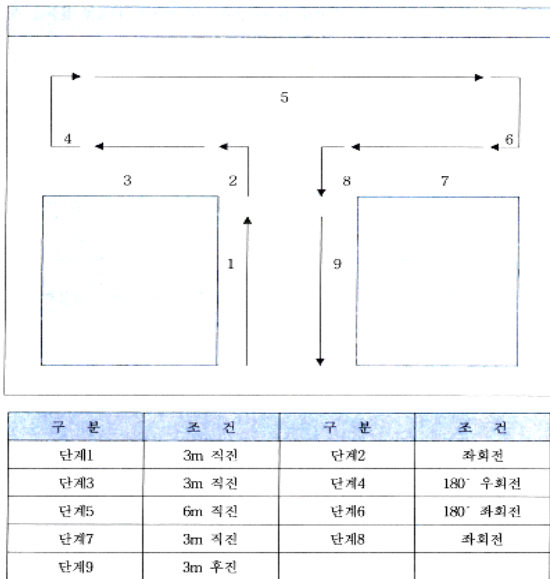


Fig. 7 The constraint of travelling path for experiment

본 실험에서는 무궤도 자율주행로봇을 설계하여 최대한 기계적 주행오차를 줄이는 무궤도 자율주행기법의 개발에 역점을 두었다. 이러한 주행실험 경로는 바퀴의 크기 차에 의한 에러를 최소화 할 수 있도록 설계되어져서 실험결과 table 1 과 같이 만족할 만한 결과를 얻었다. 여기서 X 는 진행방향과 수직거리의 오차이고, Y는 진행 방향 거리오차이다. 또한 에러의 값은 모든 주행로를 거쳐 최종 목표점에 왔을 때의 에러이다.

Table 1. The experimental error of travelling

단위 : cm

횟수	1		2		3		4		5		평균	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
주행실험	0.5	1.0	0.7	0.9	0.6	0.6	0.3	0.7	0.1	0.6	0.4	0.8

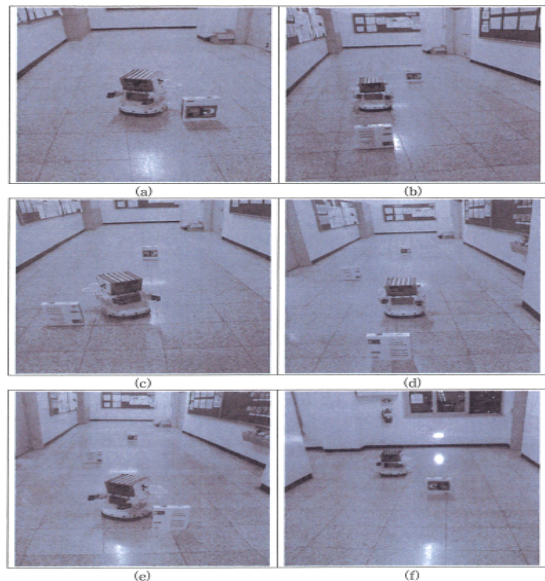


Fig.8 Experimental scene for obstacle avoidance of mobile robot

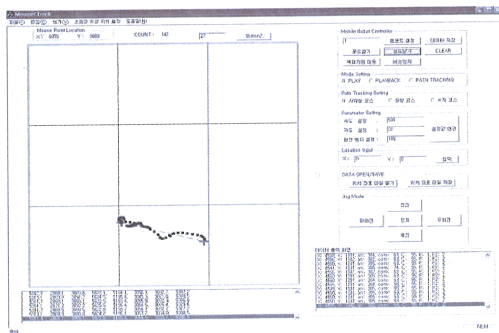


Fig.9.1 Experimental results for moving of two positions

또한 이동로봇이 계획된 경로를 주행 중에 미지의 장애물을 주어진 목표점까지 도달할 수 있는 제어 알고리즘을 제안하여 모의실험을 통해 그 효용성을 검증하였다. 실험결과 이동로봇에 부착된 초음파센서의 장애물 감지 범위 안에서 효과적으로 피할 수 있었고 목표점에 양호하게 도달했다.

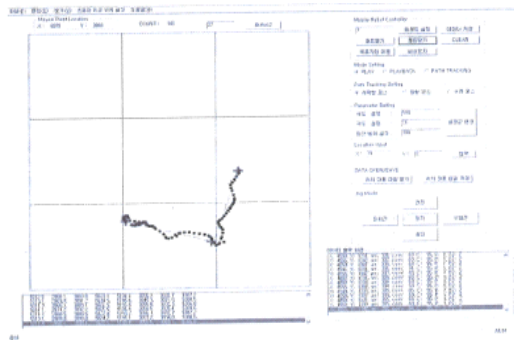


Fig.9.2 Experimental results for exact moving among multi- position

Fig. 9.1과 Fig. 9.2는 자율주행로봇의 위치이동 성능시험을 두점간 이동 및 다점간 이동으로 했을 경우 결과를 나타낸다.

3. 결 론

본 연구에서는 이동로봇의 자율주행제어를 위한 장애물 회피에 관한 연구를 수행하였다. 제안된 자율주행로봇의 제어기의 성능을 확인하기 위하여 시스템의 정확한 동적 모델링이 어려운 불확실성 시스템인 이동용 로봇의 초음파 센서 방향각 제어에 대한 제어 성능 시험을 통하여 예증하였다.

참고문헌

- 1) Raj, T., "Mobile robot self-Location Using Model Image Feature Correspondence," IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.11, No.1, Feb. 1996
- 2) Elfes, A, "Using Occupancy Grids for Mobile Robot Perception and Navigation," IEEE Computer, pp.46-57p, 1989
- 3) C.H.Choi, J. B. Song, M. S. Kim, "Localization of an Autonomous Mobile Robot Using Ultrasonic Sensor Data" KSPE, pp666-669
- 4) S. Thrun, D. Fox, W. Burgard and F. Dellaert "Robust Monte Carlo Localization for Mobile Robots", Artificial Intelligence, summer 2001

(접수:2015.01.05, 수정:2015.01.20, 게재확정:2015.01.28)