

스마트팩토리 실현을 위한 다중센서기반 모바일로봇의 위치 및 자세제어에 관한 연구

A Study on Orientation and Position Control of Mobile Robot
Based on Multi-Sensors Fusion for Implimentation of Smart FA

동근한¹, 김희진¹, 배호영¹, 김상현¹, 백영태¹, 한성현²

G.H Dong¹, D.B. Kim¹, H.J Kim¹, S.H Kim¹, Y.T Baek¹, S.H Han²

〈Abstract〉

This study proposes a new approach to Control the Orientation and position based on obstacle avoidance technology by multi sensors fusion and autonomous travelling control of mobile robot system for implimentation of Smart FA. The important focus is to control mobile robot based on by the multiple sensor module for autonomous travelling and obstacle avoidance of proposed mobile robot system, and the multiple sensor module is consit with sonar sensors, psd sensors, color recognition sensors, and position recognition sensors.

Especially, it is proposed two points for the real time implementation of autonomous travelling control of mobile robot in limited manufacturing environments. One is on the development of the travelling trajectory control algorithm which obtain accurate and fast in considering any constraints. such as uncertain nonlinear dynamic effects. The other is on the real time implementation of obstacle avoidance and autonomous travelling control of mobile robot based on multiple sensors. The reliability of this study has been illustrated by the computer simulation and experiments for autonomous travelling control and obstacle avoidance.

Keywords : Sensor Fusion, Obstacle avoidance, Mobile Robot, Smart Factory, Real-Time Control, Autonomous Travelling, Limited Manufacturing Environment

1 주저자, 경남대학교 대학원

E-mail: spdhaos2@naver.com

2 정회원, 경남대학교 기계공학부

1 Graduate school, Kyungnam university, korea

2 Dept, of Mechanical Engineering, Kyungnam university

1. 서론

모바일로봇의 자율주행을 위한 경로계획은 출발지에서 최종 목적지까지의 주행 경로를 생성하는 동작으로 전역 경로계획과 선택된 정역 경로를 따라 이동 가능한 경로를 구분하여 목적지까지의 최단 경로를 선택하는 PRM(Probability Roadmap Method)기법과 RRT(Rapidly Exploring Random Tree)기법은 전역 경로계획으로써, 주변 환경 정보를 미리 알고 있어야 한다. 지역 경로계획으로 APF(Artificial Potential Field) 주행기법은 장애물에 가상 척력(Virtual Repulsive Force)을 적용하고 목적지에 가상 인력(Virtual Attractive Force)을 적용해서 APF 지도를 만들고 이를 이용하여 이동경로를 생성하는 기법이다.[1] 센서는 초음파 센서에 비해 정확한 장애물 인지가 가능하고 카메라에 비해 탐색 범위가 넓지만 단가가 비싼 단점이 있다. 초음파센서를 사용하였을 경우에 탐색 가능한 범위가 비교적 넓지만 장애물 표면에 대한 입사각에 따라 잡음이 증가하는 단점이 있다. 카메라를 사용하였을 경우 초음파 센서에 비해 정확한 장애물 인지가 가능하지만, 광학적인 잡음이 발생하게 되면 영상 데이터를 신뢰할 수 없고 과도한 영상 처리량이 요구되며 카메라의 사각 지역에 의한 주변 환경 정보가 제한된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 초음파센서와 카메라에 의해 획득된 데이터의 융합을 통해 각각의 센서를 사용하였을 경우 인지할 수 없었던 다양한 장애물들을 인지할 수 있는 모바일 로봇의 지능제어 기술에 대한 연구를 수행한다. 이러한 장애물 인식 및 회피 기술이 있을 경우 제조공장의 협소한 공간 내에서 다양한 장애물이 있는 경우에서도 장애물을 회피하면서 여러 공정에 대한 작업을 지원해 줄 수 있는 기능이 있으므로 무인 FA의 실현에 매우 효율적으로 활용될 것으로 기대

된다.[2]

본 연구에서는 센서융합기반 이동로봇의 무궤도 자율주행제어를 위한 지능제어 및 장애물 회피에 관한 연구를 수행한다. 제안된 모바일 로봇의 무궤도 자율주행로봇의 제어기의 성능을 확인하기 위하여 시스템의 정확한 동적 모델링이 어려운 불확실성 시스템인 이동용 로봇의 다중융합센서 기반 스마트팩토리 실현을 위하여 공장 내 자율주행에 대한 제어 성능 시험을 통하여 예증한다.

2. 본론

2.1 모바일 로봇의 동적 모델링

제어기 설계를 위하여 자율주행 이동로봇의 기구학적 모델을 설정한다. Fig. 1은 최적 제어기 설계를 위한 자율주행 이동로봇의 기구학 모델을 나타내고 있다.[3]

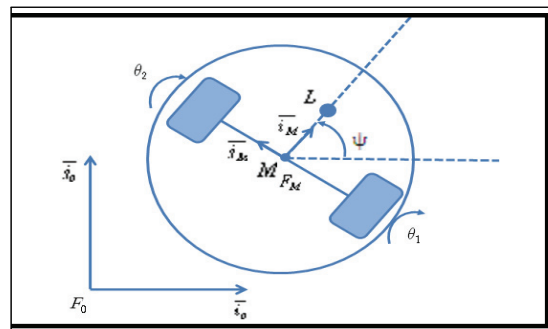


Fig. 1 Schematic diagram of robot system

Fig. 1에서 M은 이동로봇의 무궤중심점으로 로봇 위치의 기준점이 된다. F_0 는 고정된 기준 프레임이며 F_M 은 움직이는 로봇 부분의 프레임이다. O는 기준 좌표계의 원점이며 M은 로봇 좌표계의

원점이다. 간단한 기구학 모델을 얻기 위해 이동 로봇의 바퀴는 지면에 대해 완전구름 조건을 만족하고 측면 미끄러짐도 없다고 가정한다. 이 가정을 통하여 다음과 같은 기구학 방정식을 얻을 수 있다.[4]

$$\dot{x}_M = \frac{r}{2}(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)\cos\Psi \quad (2-1)$$

$$\dot{y}_M = \frac{r}{2}(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)\sin\Psi \quad (2-2)$$

$$\dot{\Psi}_M = \frac{r}{2}(\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) \quad (2-3)$$

이 식은 가장 일반화 된 2륜구동 이동로봇의 기구학 방정식이지만 제어는 쉽지 않다. 그 이유는 식의 처음 두 식은 완전하게 적분될 수 없는 Nonholonomic 특성을 갖기 때문이다. 제어를 수월하게 하기 위해 로봇 프레임에 대한 기구학 방정식을 유도한다. 먼저 로봇에 가상적으로 연결되어 있는 점 D는 바퀴 축에 거리 d만큼 떨어져 있다고 하고 구성 벡터(vector)를 다음과 같이 놓는다.[5]

$$X = [x \ y \ \Psi]^T \quad (2-4)$$

보조 제어 벡터를 다음과 같이 놓을 수 있다.

$$U = [v \ \dot{\Psi}]^T \quad (2-5)$$

여기서 v 는 \bar{i}_M 축을 따르는 로봇의 접선 방향 속도이다. 제어벡터 U 는 구동바퀴의 회전 속도에 의해 구속되며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U = E \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

$$E = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{r}{2R} & -\frac{r}{2R} \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

따라서 아래와 같은 상태 방정식을 구할 수 있다.

$$\dot{X} = B(X)U \quad (2-8)$$

F_M 의 속도, 각속도, 그리고 M과 P의 속도를 고려하면 다음과 같다.[6]

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & y \\ 0 & -(d+x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \dot{\Psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\Psi & \sin\Psi \\ -\sin\Psi & \cos\Psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_P \\ \dot{y}_P \end{bmatrix} \quad (2-9)$$

여기서 점P를 고정 프레임 F_o 의 원점O라 놓으면 $\dot{x}_P = \dot{y}_P = 0$ 이 된다.

이제 제어 입력 $B(X)$ 는 다음과 같은 유도된다.

$$B(X) = \begin{bmatrix} -1 & y \\ 0 & -(d+x) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-10)$$

여기서 제어 입력 $B(X)$ 의 안정성을 확인해보면 두 가지 경우로 나누어 피드백 제어를 한다. 첫 번째 $d=0$ 인 경우 즉, 제어 위치를 차량 중심(M)에 설정 하였을 때 간단하게 Lyapunov 안정성 이론을 적용하여 아래와 같은 피드백 제어를 할 수 있다. 제어 입력을 다음과 같이 정한다.[7]

$$U = \begin{bmatrix} v \\ \dot{\Psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 x \\ k_2 y \end{bmatrix}, \quad k_1 > 0, \quad k_2 \neq 0 \quad (2-11)$$

이러한 수식을 이용하여 생성된 경로 알고리즘이 적용되기 위해, 가정한 바와 같이 측면 미끄러짐과 완전 구름을 만족시켜주는 구동부 메커니즘이 필요하다. 즉, 서스펜션 메커니즘을 적용하고자

한다. 서스펜션 용량을 설정하기 위해, 서스펜션에 대한 모델링을 하였다.

2.2 모바일 로봇의 주행 기법

2.2.1 주행 경로계획

본 연구에서는 이동로봇의 목적지까지 안전한 자율 주행을 위해 원 궤적 기법을 사용하였다. 원 궤적 기법은 다수의 장애물이 존재하는 환경에서 부드럽고 안정적인 주행 경로 생성이 가능하고, 공장내 협소공간에서도 매우 효율적이다.[8]

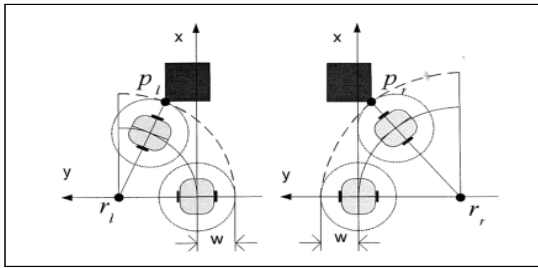


Fig. 2 The path planning for obstacle avoidance of mobile robot

이동로봇 전방에 장애물이 존재하면 장애물의 위치에 따라 원 궤적경로 결정이 이루어져야 한다. Fig. 2와 같이 이동로봇의 위치를 원점으로 하는 평면 좌표계에서 장애물의 왼쪽 끝 좌표를 $p_l = [x_{pl} \ y_{pl}]^T$ 이라 하고 장애물의 오른쪽 끝 좌표를 $p_r = [x_{pr} \ y_{pr}]^T$ 이라 하자. 그리고 왼쪽으로 회피하는 가장 큰 원의 중심을 $r_l = [0 \ y_{rl}]^T$ 이라 하고 오른쪽으로 회피하는 가장 큰 원의 중심을 $r_r = [0 \ y_{rr}]^T$ 라 하면 다음 식이 주어진다.

$$\| p_l - r_l \|^2 = |y_{rl} + W|^2 \quad (2-12)$$

$$\| p_r - r_r \|^2 = |y_{rr} - W|^2 \quad (2-13)$$

여기서 W는 이동로봇이 충돌 방지를 위해 유지해야 하는 최소거리로 이동로봇의 반경보다 크다. 식 (2-12)과 (2-13)로부터 y_{rl} 과 y_{rr} 에 관한 다음 식을 얻을 수 있다.[9,10]

$$y_{rl} = \frac{1}{2} \frac{\| p_l \|^2 - W^2}{y_{pl} + W} \quad (2-14)$$

$$y_{rl} = \frac{1}{2} \frac{\| p_r \|^2 - W^2}{y_{pr} + W} \quad (2-15)$$

식 (2-15)으로부터 얻어진 점 r_l 은 장애물을 왼쪽으로 회피하는 가장 큰 원 궤적의 중심이며 그보다 크기가 작은 좌측의 원 궤적 경로는 모두 장애물 회피 경로가 된다. 그러므로 이동로봇이 장애물의 왼쪽 전방으로 회피하기 위한 원 궤적 중심의 y좌표는 다음 범위를 만족한다.[11,12]

$$y_{rl} \geq y_r \geq 0, \quad y_{rl} > 0 \quad (2-16)$$

한편, 점 r_r 은 오른쪽으로 회피하는 가장 큰 원 궤적의 중심이므로 오른쪽으로 회피하는 원 궤적 중심의 y좌표는 다음 범위를 만족한다.

$$0 \geq y_r, \geq y_{rr}, \quad y_{rl} < 0 \quad (2-17)$$

Fig. 3(a)와 같이 장애물이 이동로봇의 오른쪽에 존재하는 경우, 장애물의 왼쪽 후방으로 회피하는 원 궤적 경로가 생성될 수 있다. 이 때 점 r_l 은 장애물의 왼쪽 후방으로 회피하는 가장 작은 원 궤적 경로의 중심이 되므로 이동로봇이 장애물의 왼쪽 후방으로 이동하기 위한 원궤적 중심의 y좌표는 다음 조건을 만족시켜야 한다.

$$y_{rl} \geq y_r, \quad y_{rl} < 0 \quad (2-18)$$

반대로 Fig. 3(b)와 같이 장애물이 이동로봇의 왼쪽에 존재하는 경우, 모바일 로봇이 장애물의 오른쪽 후방으로 회피하기 위한 원 궤적 중심의 y 좌표는 다음 조건을 만족시켜야 한다.[13,14]

$$y_r \geq y_{rr}, \quad y_{rr} > 0 \quad (2-19)$$

y_{rl} 과 y_{rr} 은 상황에 따라 분모가 0이 되는데 이 때 경로는 원 궤적이 아닌 직선 경로를 생성한다.

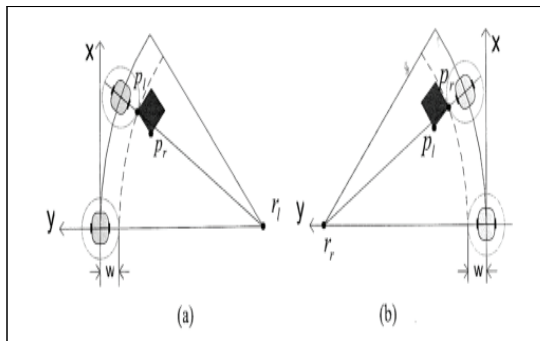


Fig. 3 The path planning for obstacle avoidance in the side

이동로봇이 주변에 장애물이 존재하면 식 (2-18)~(2-20)의 조건을 만족시키는 장애물 회피 이동 경로군이 형성된다. 다음에 나타난 곡률의 차에 의해 형성된 이동 경로군에서 오차가 가장 작은 경로를 주행 경로로 선택하게 된다. [15,16]

$$e = \left| \frac{1}{y_{rvg}} - \frac{1}{y_r} \right| \quad (2-20)$$

2.3 센서융합 네트워크 구성

2.3.1 다중센서 융합원리

초음파는 사람의 귀로 인식이 가능한 주파수 범위를 넘어서는 압력파이다 . 매질이 필요한 전

자기파와는 달리 압력파는 에너지의 전달을 위해 반드시 매질이 필요하다 . 초음파는 매질의 탄성 특성에 의하므로 탄성파라 불리기도 한다.

초음파 센서는 가까운 거리에 있는 물체 또는 사람의 유/무, 거리측정, 속도측정 등에 사용되고 음향 에너지 중에서 비교적 높은 영역을 검출하기 위한 센서의 총칭이다.

초음파가 입사되면 압전소자는 진동해서 전압이 발생되고, 역으로 압전소자에 전압을 인가하면 진동자가 진동하여 초음파가 발생한다. 초음파 센서는 센서 자신이 갖고 있는 고유 진동 주파수와 똑 같은 주파수의 교류 전압을 가하면 더욱 효율이 좋은 음파를 발생할 수 있다. 그러므로 물체에 반사된 음파를 그대로 센서로 입력시켜서 발생된 전압을 회로에서 처리함으로써 측정거리를 계산할 수 있다

초음파센서는 압전 소자를 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. 일반적으로 초음파센서의 종류 중에는 반사형이 있다. 반사형은 한 쌍의 송파기와 수파기를 동일 유닛으로 구성한 것이며, 대향형은 광전 스위치의 투과형과 같이 송파기와 수파기를 마주 보게 하고, 송파기로부터 방출된 초음파가 물체에 의해 차단될 때 수파기측의 신호 변화를 검출하는 방식이다. 송파기에서 방출된 초음파는 공기보다 고밀도의 물체, 즉, 대부분의 물체에서 반사되기 때문에 이 반사파를 수파기로 검출한다. 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

되돌아오는 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.

2.3.2 센서 구동 회로 구성

1) 발신회로

펄스 트랜스를 사용한 회로는 가변 발진기 OSC이 신호 출력을 NPN 트랜지스터로 증폭하고 이것을 펄스 트랜스에 가하여 송압해서 큰 교류 전압을 초음파 송파기에 공급한다. 초음파 발진회로에서는 어느 것이나 초음파 발진소자를 직류적으로 격리하여 압전 소자의 열화를 방지하고 있다. 또 그 구동 신호는 펄스상이어도 초음파 스피커가 큰 정전 용량을 가지고 있기 때문에 소자 사이에서는 거의 사인파에 가까운 출력파가 형성된다. Fig. 4는 초음파 센서의 회로를 나타내고 있다.[17]

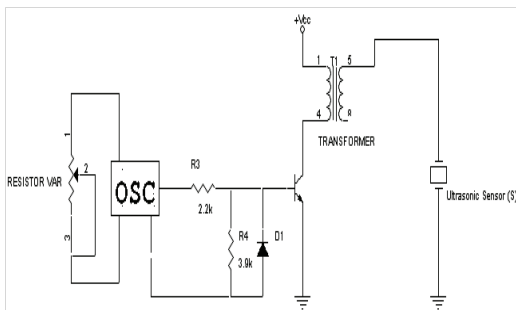


Fig. 4 The circuit of ultrasonic sensor

2) 수신 회로

수신회로를 구성하는 경우 입력 신호가 극히 미약하기 때문에 일반적으로 수신 dB이상의 고이득 앰프를 필요로 한다. 이 경우 취급하는 신호

대역이 한정되어 있으므로, 회로적으로는 훨씬 취급하기 측면도 있으나, 그러나 초음파 신호 특유의 회로 구성도 요구되고 있으므로 그에 대한 번잡함이 따른다.

또한 초음파 센서는 일반적으로 반사파의 검지를 주목적으로 하고 있기 때문에 그 발생원이 멀 경우 극단적인 에너지 감쇠가 수반된다. 이 때문에 센서 엘리먼트에는 수 mV 정도의 극히 미약한 입력 신호밖에 얻을 수 없으며, 이에 수반되는 여러 가지 다단 증폭회로가 포함되어야 한다. Fig. 5는 초음파 센서의 수신부 회로를 나타낸다.[18]

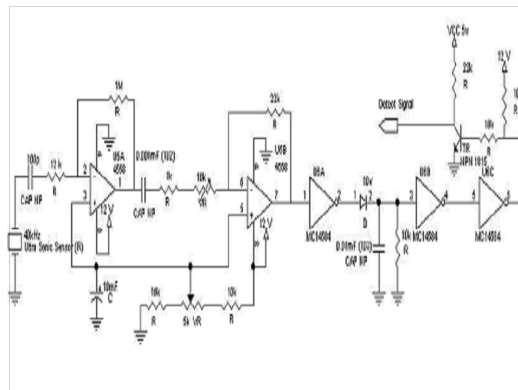


Fig. 5 The receiver circuit of ultrasonic sensor

3. 성능실험 및 결과

3.1 무궤도 주행 성능시험

3.1.1 개요

다중센서를 사용하여 장애물의 위치를 감지하기 위한 방법으로 자율주행로봇몸체에 링형상으로 배열하는 경우와 몇 개의 초음파센서를 DC모터나 스텝모터를 사용하여 Scannig 하는 경우로 나누

어진다. 본 연구에서는 Ring형상의 센서 배열 방식을 이용하여 자율주행 로봇의 좌·우, 후방에 초음파 센서를 설치, 장애물을 감지한다. 전제적인 자율주행로봇의 주행 및 제어흐름선도는 Fig. 6과 같다. Fig. 6은 모바일로봇 제어과정의 흐름도를 나타낸다.

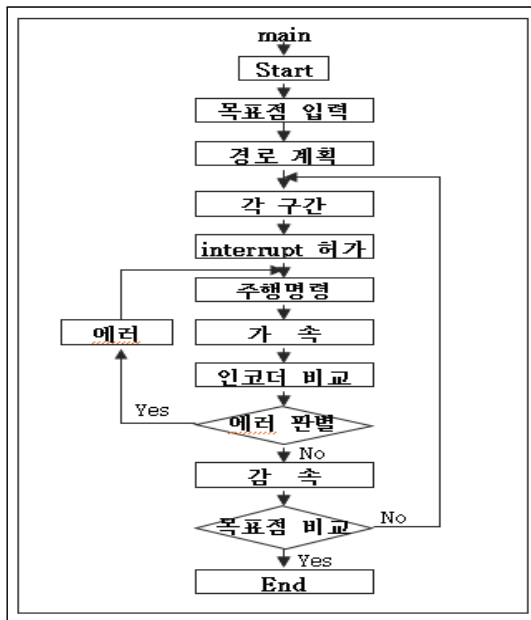


Fig. 6 The flow chart of mobile robot travelling control based on sensors confusion

기본적인 초음파 센서의 배치는 10개를 좌우 각각 4개, 후방 2개를 설치하였고 벽면 주행시 필요한 데이터를 얻기 위해 전·후 모서리 측면에 센서를 대각선 방향으로 설치하였다. 이 초음파센서는 벽면 주행시뿐만 아니라 좌우 회전시에도 사용된다. 원래 초음파 센서의 감지각도는 80°이지만 자율주행 로봇의 특성상 보다 넓은 거리감지 및 형상인식을 하여야하므로 전방에는 정보스캐너를 설치한다. 문제는 정확도 및 오차보정 등에서 생기게 되는데 여기서는 프로세서의 부담을 줄이

는 문제 등을 고려하여 10개만 사용하고 나머지 오차가 생기는 문제는 간단히 평균을 취한다든지 기타 기법을 사용하여 해결하고자 한다. 그리고 오차 및 계산량을 최대한 줄이기 위해서 장애물의 크기를 규격화 했으며 주로 규격화된 환경에서의 실험을 행하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 DSP칩등을 사용하여 floating point 연산 및 센서 퓨전 등을 사용하였다.

3.1.2 사양 및 제어방법

① 제어방법 및 조건

- 각각의 초음파 센서에 ID 부여
- 최대거리 탐지를 위한 개방형 공간에서 실험
- 장애물 회피 및 주행 지면을 고려하여 실험실 복도 통로에서 주행실험

3.1.3 초음파센서 성능실험 장치

Fig. 7은 초음파센서 송수신부의 통합네트워크를 나타내고 있다.

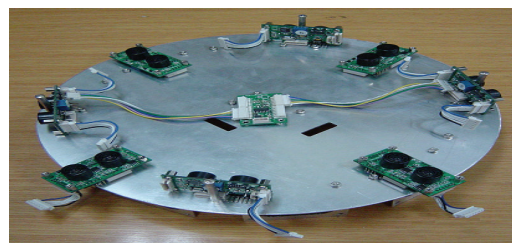


Fig. 7 The integration receiver/transmitter network of ultrasonic sensor

3.2 실험 및 결과고찰

3.2.1 주행 경로 및 조건

실험은 앞의 여러가지 요소를 고려하여 본 연구실에서 실행하였으며 주행 경로는 Fig. 8과 같

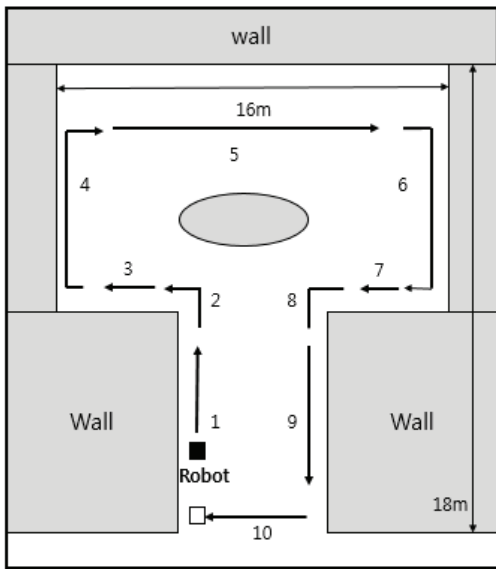


Fig. 8 Experiment Conditions for travelling Control of mobile robot

Table 1. The specification of robot moving from step to step 10.

구분	조건	구분	조건
단계1	8m 직진	단계2	90° 좌회전
단계3	6m 직진	단계4	180° 우회전
단계5	5m 직진	단계6	180° 좌회전
단계7	6m 직진	단계8	90° 좌회전
단계9	5m 후진	단계10	90° 좌회전

이 설정하여 5회 반복 주행 실험을 실시하였다.

3.2.2 실험수행 장면

Fig. 9은 초음파 센서에 의한 장애물 회피를 통한 무궤도 자율주행을 위한 실험장면을 나타내고 있다. 그리고 Fig. 10은 모바일로봇의 단계 1에서 단계 10까지의 결과 그래프를 나타내고 있다.

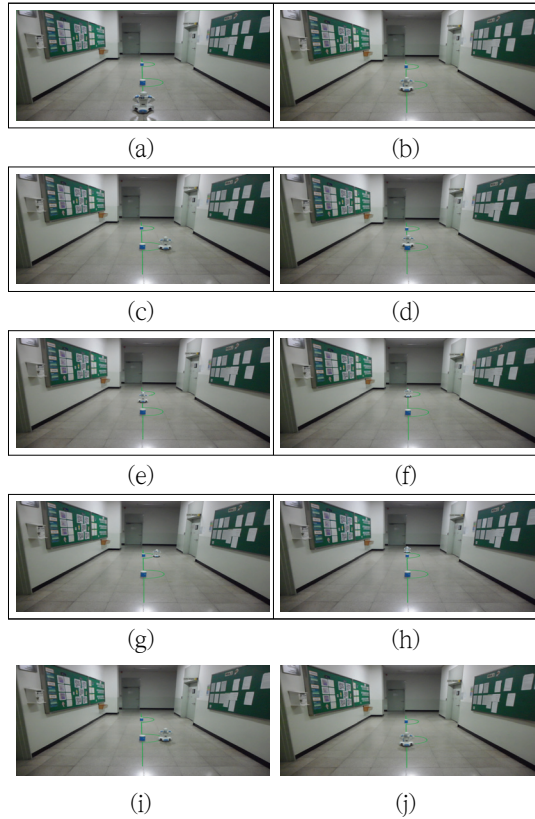


Fig. 9 The experiment scene of travelling control for repeatability test

□ 실험결과 그래프(1단계-10단계)

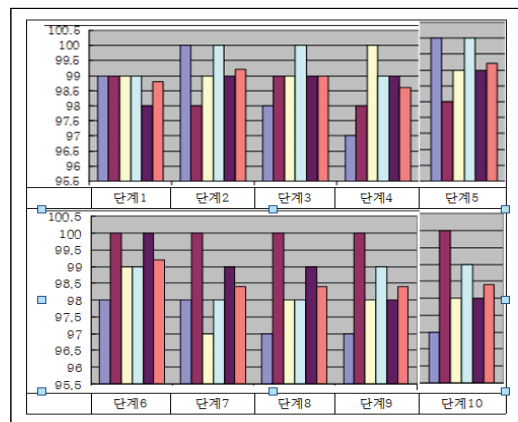


Fig. 10 The experimental results from step 1 to step 10

4. 맺음말

본 연구에서는 이동로봇의 무게도 자율주행 제어를 위한 지능제어 기술 및 장애물 회피에 관한 기술내용을 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 검증하였다.

또한 이동로봇이 계획된 경로를 주행 중에 미지의 장애물을 주어진 지점까지 도달할 수 있는 제어 알고리즘을 제안하여 모의실험을 통해 그 효과를 검증하였다. 실험결과 이동로봇에 부착된 초음파센서의 장애물 감지 범위 안에서 효과적으로 장애물을 회피 할 수 있었다. 그리고 자율주행 시뮬레이터의 개발로 보다 다양한 방법의 초음파 센서에 의한 무인원격 제어기법을 이용한 자율주행 로봇의 주행제어를 통하여 스마트팩토리 실현가능성을 보여주었다.

사 사

본 연구는 로봇융합산업원천기술실용화개발 사업(10045252)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 김한성, “4자유도 고속병렬 로봇의 해석 및 설계”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 19, No. 4, pp. 206-215, (2016).
- [2] 신행봉, 차보남, “공정 자동화를 위한 싱글 휠 드라이브 모바일 로봇의 견실제어에 관한 연구”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 19, No. 2,

- pp. 81-87, (2016).
- [3] 김현근, 심현석, 황원준, “무인FA를 위한 자율주행 로봇의 경로계획 및 궤적제어에 관한 연구”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 19, No.2, pp. 75-80, (2016).
- [4] 하연태, 심현석, 박인만, 이상혁, 차보남, 박성준, “보행로봇의 워킹 및 작업동작 안정화에 관한 연구”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 19, No. 1, pp.39-41, (2016).
- [5] 이우송, 하연태, 정양근, 박인만, “스마트팩토리를 위한 듀얼암을 갖는 모바일 로봇의 유연제어에 관한 연구”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 19, No. 2, pp.69-74, (2016).
- [6] 권순홍, 전병연, 박강박, “호퍼의 수준 제어를 위한 퍼지 PID 제어기의 설계”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 19, No. 4, pp. 193-197, (2016).
- [7] L. R. Rabinar and B. H. Juang, “An Introduction to Hidden Markov Models,” IEEE ASSP Magazine, Vol. 3, No. 1, pp 4-16, (1986).
- [8] 이진상, 양성일, 권영현 “음성인식(Speech Recognition)”, 한양대학교 출판부, (2001).
- [9] L.R. Rabiner, “A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Application in Speech Recognition,” Proc. of the IEEE, Vol. 77, No.2, pp. 257-285, (1989).
- [10] 최영태, 신경회로망의 학습속도 개선을 위한 은닉층의 목표값 설정 알고리즘, 경북대학교 공학석사 학위논문, (1994).
- [11] D.Psalitis, A. Sideris, and A. Yamamura, “A Multilayered Neural Network Controller”, IEEE Control Systems Magazine, pp.17-21 (1988).
- [12] L.R. Rabiner, “A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Application in Speech Recognition,” Proc. of the IEEE, Vol. 77, No.2, pp. 257-285, (1989).
- [13] 진태석, “천장 전등패널 기반로봇의 주행오차 보정과 제어”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 20, No. 2, pp.89-95, (2017).
- [14] 류혜연, 정기민, 김만호, 이경창, “전기자동차용 Brake-By-Wire 시스템을 위한 전자식 브레이크”, (2016).

- 이크 구현”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 20 No. 4, pp.313-323, (2017)
- [15] 김진광, “생산자동화 시스템을 위한 산업용 로봇의 운전특성 시뮬레이션에 관한 연구”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 20 No. 5, pp405-410, (2017)
- [16] 장성철, 권민수, “제어보드와 파워보드에 관한 발열성능 평가”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 20, No. 2, pp187-194, (2017)
- [17] 김한성, “위치-힘 동시제어를 위한 FT측정 기능을 갖는 6축 순응기구 설계”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 21 No. 2, pp63-70, (2018)
- [18] 진태석, “퍼지추론기반 센서융합 이동로봇의 장애물 회피 주행기법”, 한국산업융합학회 논문집, Vol. 21 No. 2, pp95-101, (2018)

(접수: 2018.11.23. 수정: 2019.02.28. 게재확정: 2019.03.12.)