

무궤도 이동 로봇의 설계 및 주행오차 보정에 관한 연구

유 익주*, 이 병도**, 김 동준***, 박 성종****, 김 갑일*****

A Study on the Design of Guideless Mobile Robot and Its Tracking Error Reduction

Yoo, Ik-Joo* · Lee, Byong-Do** · Kim, Dong-Jun***

Park, Sung-Jong**** · Kim, Kab-II*****

Abstract

In this paper, design and construction of mobile robot are conducted and the error reduction and obstacle avoidance techniques are introduced.

Up to now, in the design of most mobile robots, there is emphasis on the compensation of tracking errors using the additional sensors and guidance method, rather than the reduction of the tracking errors of motor itself and wheel errors. In this purpose, high performance motor and encoder are used for the driving actuator, and the acceleration/deceleration technique and caster encoder are introduced to reduce the driving errors. Also ultrasonic sensor performs obstacle avoidance, which is proved using the driving test.

*대우중공업, **인포뱅크, ***명지대학교 전기공학과 박사과정

****대전대학 전기전산학부 조교수 *****명지대학교 전공학과 부교수

I. 서론

최근 자동화 분야의 발달은 진보된 지능형 로봇의 수요를 증가시키고 있으며, 이동 로봇 분야에서는 무궤도 자율주행 로봇의 이용을 요하는 분야가 늘어나고 있다. 그러나 완전한 무궤도 자율주행 로봇의 연구에는 아직도 많은 문제가 있으며 현재 많은 연구가 되어지는 형편이다.

이동 로봇에 관한 연구는 1968년과 1971년에 Stanford Research Institute에서 Nilsson이 SHAKEY를 설계·제작한 이후 20년 이상 지속되어 왔으며, 특히 70년대 후반부터 microprocessor 기술개발에 의해 강력한 on-board 신호처리 기술의 향상과 함께 이동 로봇에 대한 관심이 재개되었고, 이제는 구체적인 응용분야로 가시화되고 있다. 현재 산업계에서 실용화되고 있는 대부분의 이동 로봇은 지하에 매설된 유도라인이나 바닥에 부착된 자기테이프를 따라서 진행하거나 또는 비전시스템(Vision System)을 이용, 마크를 인식하여 위치를 찾아가는 방식이다. 그 이후 많은 이동 로봇들이 제작되어 실제 사용되어지고 있다. 그러나 이동 로봇의 자율성과 임의성을 높이기 위해서는 무궤도 방식에 대한 관심이 점차 증가되고 있는 실정이다. 그러나 무궤도 방식에서는 궤도 방식에서 문제가 되지 않는 경로 계획 및 정확한 경로의 추적이 문제가 된다.

본 논문에서는 무궤도 자율 주행 로봇을 설계 제작하고자 하므로 다른 이동 로봇과 특히 구분되어지는 경로 계획에 대해서 간단히 기술하고자 한다. 경로 계획에 있어서는 Borenstein과 Koren[1]은 이동 로봇의 운동면상에 목적지와 장애물을 힘의 크기와 방향을 가진 가상력장(VFF, Virtual Force Field)으로 가상하고, 장애물을 피하며 목적지까지 빠른 시간 내에 도달하는 방법을 제안하였으며, Arkin[2]은 로봇의 운동면을 벡터장(vector field)으로 만들고, 고정

장애물이나 이동 장애물을 회피하는 방법을 제안하였다. Elfes[3]는 미지의 환경 그리고 일정하지 않은 환경에서 동작하는 자율 이동 로봇을 위하여 발전되어진 sonar sensor를 이용하여 지도작성과 navigation system에 대하여 제안하였으며 물체의 유무(有無)는 센서의 정보를 가지고 확률 profile를 사용함으로써 해석하였다.

이동 로봇의 제어에 있어서는 Muir[4]는 구동장치로써 바퀴를 갖는 이동 로봇의 기구학적 해(kinematic solution) 및 동역학적 해(dynamic solution)를 구하는 방법을 제시하였고, 이에 대한 제어기법을 개발하였으며, 최근 들어서는 fuzzy logic을 이용한 이동 로봇의 주행 제어[5]가 활발히 연구되고 있는 분야이다. 또 Ilon[6]이 제안한 전 방향성 바퀴(ilonator wheel, omnidirectional wheel)을 이용한 이동 로봇에 대한 연구, 즉 바퀴의 구조를 연구함으로써 이동 로봇의 제어를 제안하였다. 국내에서도 초음파를 이용한 물체 회피 방법과 fuzzy 이론이나 신경망 등을 이용한 경로 계획에 관한 연구가 활발히 진행중이다. 하지만 구동부의 에러를 최소화하여 주행거리를 인식하면서 목표점까지 도달하는 방법에 대해서는 별로 언급한 것이 없다. 이러한 현상은 일차적으로 바퀴의 슬립이나 마찰에 의한 기계적인 문제를 들 수 있고, 또한 이동 로봇 자체의 오차를 줄이는 문제가 모터성능에 주로 의존하며 측정 제어가 어렵기 때문이다.

이러한 점에 착안하여 본 논문에서 특히 강조하고자 하는 것은 주어진 경로를 최소의 오차로 주행을 할 수 있는 구동부의 설계 및 제작에 역점을 두어서 고성능 모터 및 인코더를 사용하고 슬립에 의한 에러를 케스터에 인코더를 장착하여 보정하여 주며 또, 부드러운 가·감속 운동으로 모터 자체의 주행오차를 최소화하는데 역점을 두고자 한다. 그리고 이러한 내용을 실현하기 위해서 point 개념의 주행로를 memory에 입력하여 지정된 주행을 위주로 하는 path-planning 방법을 사용하였으며, 여러 가지 이유로

발생하는 장애물에 대해서는 초음파 센서를 이용하여 충돌 회피가 가능하도록 설계를 하고 이러한 내용을 실제 이동 로봇트를 제작하여 주행 실험을 통해서 검증하고자 한다.

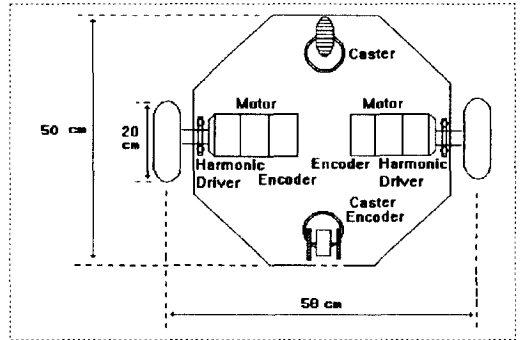
II. 이동로봇의 구성

1. 구동부

이동 로봇트의 설계 및 제작에 있어서 지금까지 구동부의 설계는 별로 중요하게 다루어지지 않았다. 그러나 무케도 이동 로봇트의 경우에는 정확한 주행 및 오차의 최소화를 위해서 정밀하고 신속한 이동을 위한 구동부의 설계가 요구된다. 당연히 이러한 구동부의 설계를 위해서는 경제성은 고려되어지지 않았으며 소형 경량의 액츄에이터를 사용하고 두 바퀴의 크기의 차이를 최소화하기 위해서 비교적 정밀한 바퀴가 요구된다. 본 논문에서는 일차적으로 이러한 문제에 초점을 맞추어서 자기 특성이 좋은 희토류 자석을 사용한 DC 서보 모터를 사용하였다. 이 모터는 정격 전압 24 [V]로 구동되며 정격 전류가 1.3 [A]이다. 정격 회전수는 3000 [rpm]이고 전격 출력은 12.3 [W]이다. 이동 로봇트를 구성하기 위해서는 이러한 모터 두 개를 사용하여 구동축으로 사용한다. 한편 정확성을 높이고 제어의 편의성 및 서보 모터의 단점을 보완하기 위해서 100 : 1 하모닉 드라이브를 장착함으로써 적은 백래쉬, 높은 회전정도, 큰 토크 용량, 고감속비등의 성능을 지니게 되었다. 인코더의 분해능이 500 pulse/rev. 이고 하모닉 드라이브의 감속비가 100 : 1 이므로 바퀴의 회전각도 검출 분해능은 50,000 pulse/rev.이다. 인코더 신호는 오픈 콜렉터 방식으로 TTL 소자에 입력되며 드라이브 단에서 속도 및 위치제어에 사용되어진다.

구동부에 있어서 이동 로봇트의 바퀴는 구동 축이 가운데 위치하고 앞뒤에 캐스터를 장착

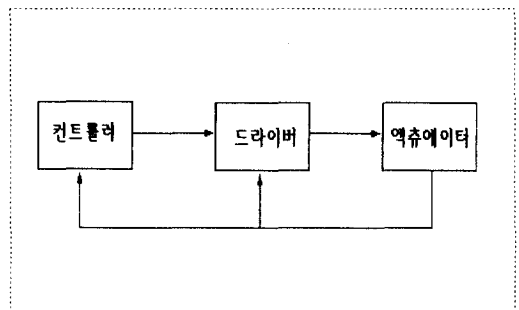
하여 바퀴의 회전 방향에 따라 몸체의 회전이 자유롭고 또한, 전방향 구동이 가능하다. 전방향 구동은 구동 바퀴를 독립적으로 구동함으로써 임의 방향으로 주행이 가능하며, 물론 제자리에서의 회전도 가능하다. 그림 1은 밑면을 도시한 것이다.



[그림 1] 밑면의 설계

2. 제어부

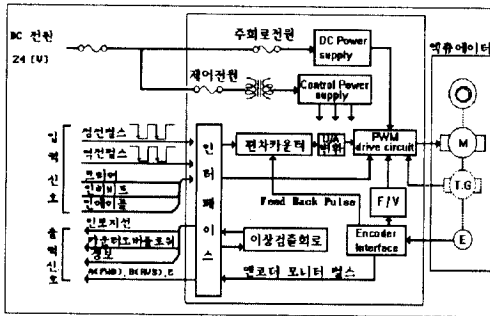
전체적인 제어부의 구성은 그림 2와 같이 기본적인 제어부의 기능과 제어방법은 생략한다. 모터 드라이버에 관해서는 새로운 간단한 설계방법이 특정 목적의 모터제어를 위해서는 최근 많이 이용되어지고 있으나 여기서는 기존의 드라이버를 이용하는 정도로 하고 주 제어기에 해당하는 컨트롤러에 관해서도 주로 주행 오차의 보정 방법에 이용되는 기능부분만 언급하기로 한다.



[그림 2] 시스템 블록 선도

(1) 모터 드라이버

모터 드라이버는 액추에이터에 구동 전류 신호 및 제어 신호를 공급하는 장치를 말하며 여기서는 펄스열 지령 입력 방식의 digital control unit을 사용하였다. Control unit에는 편차 카운트 회로, D/A 변환 회로, PWM 서보 앰프 회로 등의 기본적인 회로로 구성되어 있으며 모터에 연결된 인크리멘탈 인코더로부터 펄스를 받아들여 편차 카운터에 feedback하고 지령 입력에 대응해서 액추에이터의 속도 및 위치 제어를 한다. 이 control unit의 구성은 그림 3과 같다.

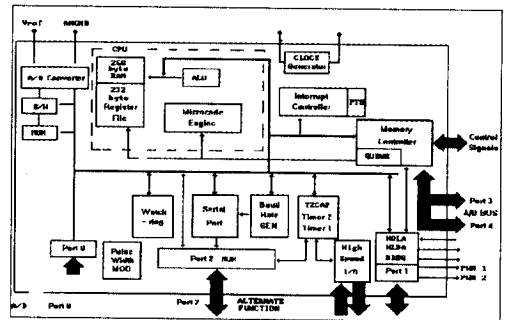


[그림 3] 드라이버

(2) 컨트롤러

컨트롤러는 드라이버에 위치 신호를 주는 기능 및 I/O 등의 역할을 하는 주제어부의 기능을 담당한다. 사용된 80C196KC CPU는 인텔에서 개발된 강력한 입·출력 기능을 가진 one-chip 16bit microcontroller이다. 이것은 모터 제어용으로 사용할 수 있게 많은 I/O가 내장되어 있으며, 강력한 interrupt 기능을 제공한다. 80c196KC를 본 실험에서 processor를 사용하게 될때 가장 문제가 되는 부분은 연산시 floating point 연산이 안된다는 것이다. 이러한 fixed point 연산을 하는 processor를 사용할시에 일반적인 연산을 위해서 table look up 방식이 사용되어서 연산에 필요한 초월함수나 기타 곱셈 연산 등을 table을 만들어서 메모리에 저장해서 사용한다. 기타 자세한 값은 보간법이나 finite bit approximation

등의 방법을 사용하여 연산을 하고자 한다. 본 논문에서는 최대한 계산량을 줄이기 위한 노력으로써 어느정도 외부 환경을 구조화(structural)시켰으며 주행이 아닌 경우의 장애물 회피 등에서는 최적 알고리즘이나 기타 최선의 방법을 사용하기 보다는 연산의 편의성에 더 초점을 두어서 설계하였다. 그림 4는 80C196KC one-chip의 block diagram이다.



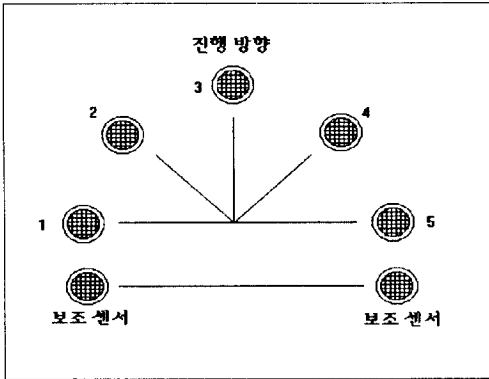
[그림 4] 80C196KC Block Diagram

3. 센서부

이동 로봇의 설계에 있어서 가장 중요한 부분이 센서의 활용 및 그의 성공적인 동작 여부 일 것이다. 이러한 센서의 최 첨단 기술의 응용이 중요하지만 본 논문에서는 기본적으로 이동로봇의 기능을 수행하기에 필요한 센서 부분만 언급하고(초음파 센서) 주로 구동부의 오차를 줄이는 기능에 관해서 기술할 예정이다.

(1) 초음파 센서

초음파 센서를 사용하여 장애물의 위치를 감지하기 위한 방법으로 이동 로봇 몸체에 ring 형상으로 배열하는 경우와 몇 개의 초음파 센서를 DC모터나 스텝모터를 사용하여 scanning 하는 경우로 나누어진다. 본 논문에서는 ring 형상의 센서 배열 방식을 이용하여 이동 로봇의 전방에 그림 5와 같이 초음파 센서를 설치, 장애물을 감지한다. 이것은 초음파 센서의 개수



[그림 5] 초음파 센서 배치

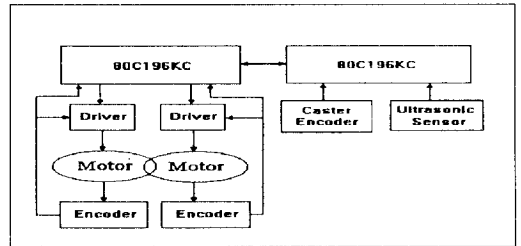
를 줄이기 보다는 프로세서의 부담을 줄이기 위해서 취하였다. 기본적인 초음파 센서의 배치는 5개를 45° 간격으로 전 방향으로만 설치하였고 벽면 주행시 필요한 데이터를 얻기 위해 양옆에 1개씩의 보조 초음파 센서를 설치하였다. 이 보조 초음파 센서는 벽면 주행 시만 사용되고 평소에는 사용하지 않는다. 원래 초음파 센서의 감지각도는 15° 이지만 이동 로봇의 특성상 어느 정도의 거리가 있는 상태에서 장애물을 감지해야 하므로 5개의 초음파 센서로 대략 전방을 감지할 수 있다. 문제는 정확도 및 오차보정 등에서 생기기는데 여기서는 프로세서의 부담을 줄이는 문제 등을 고려하여 5개만 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 위해서는 80c196KC 위에 DSP 칩 등을 사용하여 floating point 연산 및 더 많은 초음파 센서를 사용하여 센서 퓨전 등을 사용하면 될 것이다.

(2) 구동부 및 캐스터 인코더

이동 로봇의 2개의 구동바퀴에 분해능 500의 고성능 인코더를 설치하였으며 100 : 1 하

모닉 드라이브를 거치면 50000의 분해능을 얻을 수 있다. 이 2개의 구동부 인코더는 주행에 필요한 기본적인 기능을 수행한다. 일반적으로 하모닉 드라이브를 사용하는 경우의 인코더는 분해능이 높아서 정밀 제어에 적합하다. 한편 뒷 바퀴에 인코더를 설치하여 이동 거리를 측정할 수 있게 하였으며 회전 시에는 캐스터 바퀴처럼 회전이 가능하도록 설계하였다. 이러한 인코더의 장착은 구동 바퀴의 슬립 등에 의한 오차를 보정할 목적을 갖고 있다. 실제 이동 로봇의 제작에 있어서 네 바퀴를 사용하여 전 방향 회전이 가능하게 할 때에 바닥 면의 불균형에 의한 구동 바퀴의 헛돌음이 발생함으로 본 논문에서처럼 구동부를 하나의 판 위에 설계하였을 때에는 캐스터 인코더를 이용하여 다소나마 이러한 오차를 최소화시킬 수 있는 방안을 강구하여야 한다.

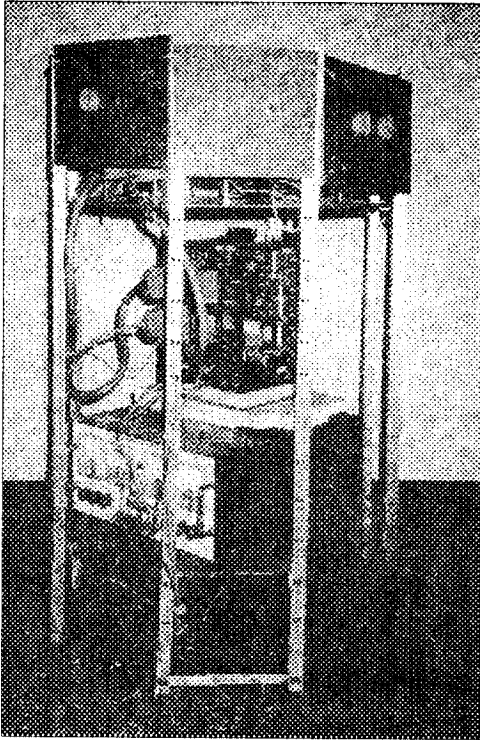
4. 시스템 구성



[그림 6] 시스템 구성

그림 6은 전체적인 하드웨어를 중심으로한 시스템의 구조를 보여주고 있다. 모터 속도 및 위치 제어를 위한 인텔 80C196KC CPU 보드 한 개와 초음파 센서 및 캐스터 인코더를 위한 또 하나의 인텔 80C196KC CPU 보드를 병렬 연결하여 구성하였으며 초음파 센서의 데이터를 받아 주어진 알고리즘에 따라 충돌 회피를 가능하게 한다. 또한 이러한 시스템은 IBM-PC와의 통신을 할 수 있는 기능(80C196KC 보드의 기능)을 가지고 있어서 어떤 자동화 시스템의 한 부분으

로 동작되어질 수 있다. 그림 7은 본 실험실에서 제작한 이동 로봇의 외관이다.



[그림 7] 이동 로봇의 외관

Ⅲ. 무궤도 주행 방법

경로 계획은 무궤도 이동 로봇의 경우에 주행로의 선택 및 최적 주행을 위해서 필수적으로 사용되어지며 궤도를 따라가는 경우보다 불확실성 및 오차가 증가하므로 주행로의 선택뿐만 아니라 위치 추정 및 충돌 회피 방법이 요구되어진다.

본 논문에서 설계된 이동 로봇은 구동부의 정밀 설계에 의한 주행 오차를 최대한 줄이는 방법에 관한 연구이므로 여기서는 새로운 주행 방법이나 충돌회피 방법 제시보다는 종래의 전형적인 방법을 이용하기로 한다. 그러나 이 부분은 실제 이동 로봇이 주행하는 방법 및 기본적

인 충돌 회피 기능이므로 결국 주행 오차에 영향을 주므로 이에 대해서 간략히 기술하기로 한다.

1. 주행로의 결정

(1) 주행로 계산

본 논문에서는 point 개념의 주行的 시작점과 끝점을 memory에 입력하여 지정된 주행을 선택하면 선택된 시작점과 끝점을 따라 움직이기 위한 최적의 주행로를 선택하는 memory 유도 방식을 사용하였다.

이동 로봇의 경로 계획은 대개 2차 평면 상에서 이루어지며 로봇의 위치와 방향을 합쳐서 자세(posture) $p = (x, y, \theta)$ 라 정의한다. 여러개의 point로 나누어진 주행로에서의 출발 자세 $p_i = (x_i, y_i, \theta_i)$ 와 도착 자세 $p_f = (x_f, y_f, \theta_f)$ 라 하면 두 자세간의 거리 d 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

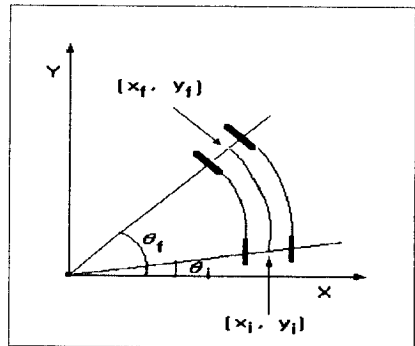
$$d = \sqrt{(x_f - x_i)^2 + (y_f - y_i)^2} \quad (1)$$

거리 d 는 각 구간에서의 이동 거리가 된다.

두 자세간의 회전각 θ 는 출발 자세의 방향 θ_i 와 도착 자세의 방향 θ_f 의 차이이다.

$$\theta = \theta_f - \theta_i \quad (2)$$

이렇게 각각의 경로와 방향을 계산하여 합치면 전체 경로와 방향이 된다.



[그림 8] 좌표계

(2) Dead Reckoning에 의한 위치추정

로봇의 움직임을 곡선으로 표현할 때, 매 제어 샘플마다 곡선의 곡률(γ)과 진행 거리의 증분(dS)을 아래 식과 같이 좌우 구동휠의 회전량 ($d\theta_R, d\theta_L$)으로부터 계산할 수 있다.

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

$$dS = r_w(d\theta_R + d\theta_L)/2 \quad (3)$$

여기서 r_w 는 휠의 반경이고, d_w 는 휠간의 거리이다. 일단 곡률(γ)과 진행 거리의 증분(dS)이 주어지면 절대 좌표계(world coordinate)에서의 로봇의 위치 및 방향의 변화량을 계산할 수 있다. 즉 샘플링 구간에서 로봇은 r 의 회전 반경을 갖고 $d\theta$ 의 회전 각도 만큼 원호 운동을 한다고 가정한다. 이때 회전 반경(r)과 회전 각도 ($d\theta$)는 아래의 관계식으로부터 구할 수 있다.

$$d\theta = \gamma dS \quad (4)$$

$$r = 1/\gamma \quad (5)$$

따라서 원호 계산 식과 좌표 변환을 이용하여, 절대 좌표계에서의 자세 변환 ($dx, dy, d\theta$)은 아래의 최종 식으로부터 구해진다.

($d\theta \neq 0$ 일때) : 원호운동

$$dx = dS[\sin(\theta + d\theta) - \sin(\theta)]/d\theta \quad (6)$$

$$dy = dS[\cos(\theta + d\theta) - \cos(\theta)]/d\theta \quad (7)$$

$$d\theta = \gamma dS \quad (8)$$

만약 매우 작은 간격의 샘플링 구간을 갖거나 회전 각도 $d\theta$ 가 0에 가까울 경우 직선 운동으로 가정하여 구할 수 있다.

($d\theta = 0$ 일때) : 직선운동

$$dx = dS \cos(\theta) \quad (9)$$

$$dy = dS \sin(\theta) \quad (10)$$

$$d\theta = 0 \quad (11)$$

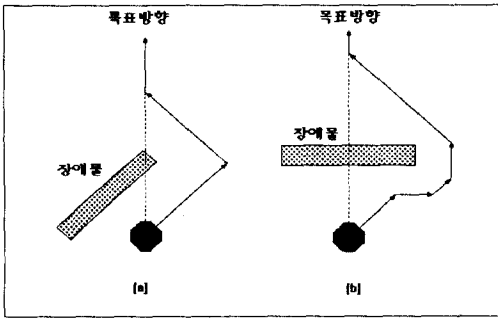
이때 이 계산법의 반복 주기는 최대 허용 곡률과 그 곡률에 대한 최고 속도의 값에 비례하여 결정되어야 이 방식에 의한 위치 추정의 정확도를 주어진 허용 범위내로 얻을 수 있다.

2. 충돌 회피

충돌 회피의 가장 필수적인 요소는 이동 로봇 주위에 배치되어 있는 5개의 초음파 센서의 값을 받아들이는 뒤 장애물의 유무를 판단하는 것이다. 이동 로봇의 진행도중 뒤쪽에 장애물이 출현했을 경우에는 방해없이 진행을 할 수 있다. 그러나 이동 로봇의 앞쪽이나 왼쪽, 오른쪽 방향에 장애물이 나타날 경우 이동 로봇의 진행 방향과 장애물이 평형을 이루지 않는 한 장애물과의 충돌이 일어나게 된다. 따라서 충돌 방지를 위해 이동 로봇을 안전한 방향으로 회전시켜 주어야 하며 이때 회전 방향은 존재하는 장애물의 위치와 로봇의 목적지와 깊은 관계가 있다. 본 논문에서는 어느정도 크기를 가진 장애물을 설정하였고 외부 환경은 임의의 환경이 아닌 주어진 복도나 실험실의 벽면을 따라서 가는 어느 정도의 규격화된 방법을 정하였다. 그림 9(a)의 경우 장애물은 왼쪽 지역에 존재하고 이동 로봇은 오른쪽 지역으로 회전한 후 이동하여야 한다. 그림 9(b)의 경우는 장애물이 전방에 길게 놓여 있으므로 장애물과 평행한 방향으로 진행한 후 회피하여야 한다. 그림 10은 충돌 회피에 관한 흐름선도이다. 흐름선도의 우회거리 계산, 보정 및 그림 9의 방법을 택하였고 주로 인코더 데이터에 의존하여 거리 계산을 하였다.

초음파 센서는 센서의 불확실성이나 노이즈 때문에 장애물의 위치를 감지하는데 있어서 동일한 위치에서 연속적으로 측정된 후 그 값들 중에서 편차가 큰 값은 제외하고 유사한 값들을 이용하여 장애물의 위치를 추정한다.

한편 다른 초음파 센서로부터 발생하는 노이즈는 비연속적이기 때문에 같은 위치에서 연속



[그림 9] 충돌회피

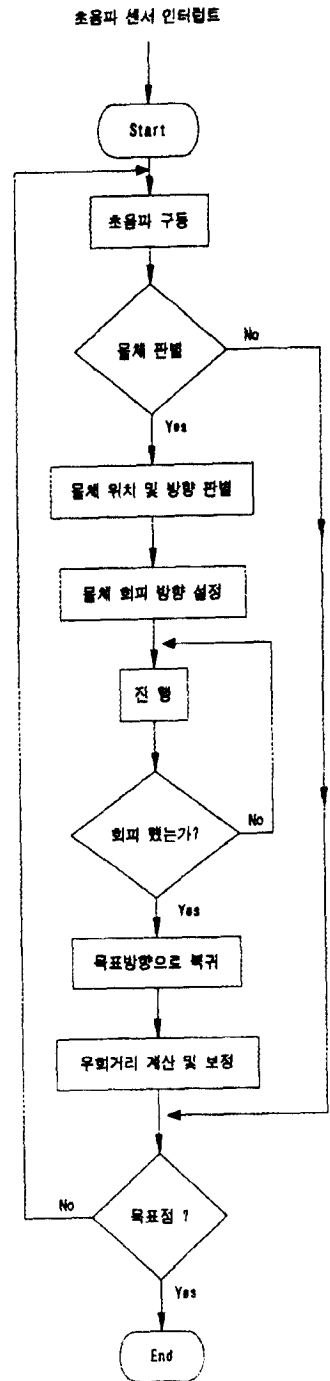
적으로 거리를 측정하여 오차가 큰 값을 제거함으로써 해결할 수 있다. 그리고 crosstalk 현상을 해결하기 위하여 센서에서 발사된 초음파의 반사파가 다른 센서에서 감지 못할 만큼 충분히 기다린 다음에 센서를 동작시키는 방법을 채택하는 대신 본 논문에서는 장애물 감지의 시간절약을 위해 장애물이 감지되는 즉시 다른 센서를 동작시키는 방법을 이용하였다. 또한 이동 로봇의 속도는 초음파의 속도에 비하여 매우 작으므로 속도에 의한 장애물까지의 거리는 보상하지 않고 그대로 사용한다.

IV. 주행오차 보정 방법

지금까지 많은 무궤도 방식의 이동 로봇이 제작되어졌지만 대부분이 새로운 주행 알고리즘의 제시나 신 기술의 도입에만 주로 초점이 맞추어져 왔다. 이에 본 연구에서는 주로 근본적인 오차의 발생 원인인 기계적인 오차에 초점을 맞추어 일부나마 해결 방법을 제시하고자 한다.

1. 캐스터 인코더에 의한 방법

캐스터에 인코더를 장착하여 구동 바퀴 인코더의 값과 비교한다. 이것은 근본적인 해결책은 아니지만 본 논문에서처럼 구동부가 차체에 붙어 있는 경우에 구동 바퀴가 바닥 면에 닿지



[그림 10] 초음파 센서 제어 흐름선도

않는 경우를 감지할 수 있는 방법이다. 이러한 캐스터 인코더의 기능이 여기서는 단지 구동 바퀴에 붙어 있는 인코더의 보조 역할이나 오차 보정용으로만 사용되어졌는데 앞으로 3개의 인코더 퓨전 방법을 활용하면 더 나은 결과를 기대할 수 있을 것이다.

2. 가감속 주행에 의한 방법

미끄러짐에 대한 오차는 주로 가·감속 주행 시 발생함으로 이 오차를 최대한 줄이기 위해서는 이동 로봇트가 부드러운 가·감속 주행을 해야만 한다. 직선 운동만을 하는 이동 로봇트가 주어지고 그 속도 (v) 및 가속도 (a)의 최대값이 아래와 같이 제한된다고 가정한다.

$$|v| \leq v_{max} \quad (14)$$

$$|a| \leq a_{max} \quad (15)$$

여기서 v_{max} 는 최대 허용 속도이고 a_{max} 는 최대 허용 가속도이다. 본 연구실에서 제작한 이동 로봇트에 사용된 모터의 기어비가 포함된 정격 토크는 40 [kg·f·cm]이고, 바퀴 반경이 10 [cm]이므로 구동 바퀴 하나가 낼 수 있는 정격 Force는 다음과 같다.

$$40[\text{kg} \cdot \text{f} \cdot \text{cm}] \times 9.8[\text{m}/\text{sec}^2] / 10[\text{cm}] = 39.2[\text{N}] \quad (16)$$

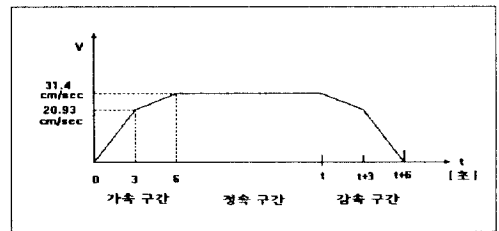
이동 로봇트의 무게를 약 60 [kg]로 한다면(자체 부하 및 이동 부하의 합), 두 구동 바퀴에 의한 가속 능력은

$$39.2[\text{N}] \times 2 / 60[\text{kg}] = 1.31[\text{m}/\text{sec}^2] \quad (17)$$

이다. 외부 노이즈와 설계에 따른 자체의 예리요인으로 인하여 실제 가속 능력의 70 %만 동작한다고 하면 최대 가속도는 $0.917 [\text{m}/\text{sec}^2]$ 이 된다. 또한 이동 로봇트의 최대 속도는 하모닉 드라이브를 거친 구동 모터의 최대 회전수가 50 [rpm]이므로

$$50[\text{rpm}] \times 2\pi \times 0.1[\text{m}] \times 1/60[\text{sec}] = 0.524[\text{m}/\text{sec}] \quad (18)$$

이다. 제어기의 시간적 여유를 충분히 할당하고 모터에 무리한 힘이 가해지지 않도록 하기 위해 최대 선 속도는 60 %인 약 $0.314 [\text{m}/\text{sec}]$ 로 잡는다. 위와 같은 최대 가속도 및 최대 선 속도를 구하여 식 (14) 및 식 (15)의 제한 범위 내에서 정격 속도 및 가속도를 선정하였다. 그 특성 곡선은 그림 11과 같다. 여기서 가속과 감속 구간은 같은 시간 간격을 잡아서 똑같은 가속도로 가감속 되게 했으며 평균 가속도는 약 $10.5 [\text{cm}/\text{sec}^2]$ 이다. 그러나 갑작스런 가속도의 변화는 부드러운 주행으로 보이지 않으므로 부드러운 주행 및 슬립을 방지하기 위해서 가속구간을 그림과 같이 나누어서 가속하였다. 이러한 결론은 단지 여러번의 실험 결과 실험적으로 얻은 결과이며 아직 이론적인 체계를 세우지 못하였다. 물론 바닥이 달라진대거나 또 모터의 특성이 달라지면 이러한 가속 구간의 특성도 달라지겠지만 적절한 가속도의 변화가 일반적으로 필요한 것을 확인할 수 있었다.



[그림 11] 이동 특성 곡선

3. 기타 보정방법

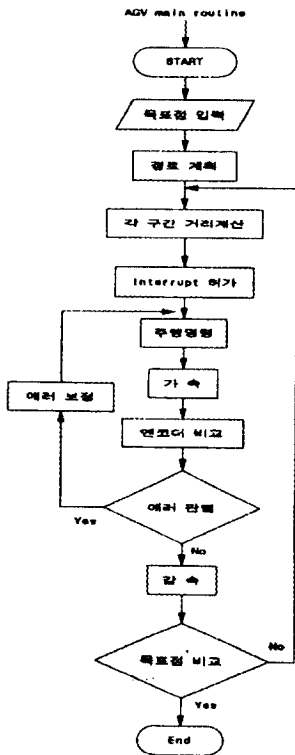
위의 두 보정 방법 외에 고려되어야 될 보정은 될 수 있는 한 두 바퀴의 둘레의 길이를 똑같이 해주어야 하는 것이다. 그러나 두 바퀴의 둘레의 길이가 약간 다르더라도 주행 방법의 적절한 선정에 의해서 어느 정도까지는 오차를 줄일 수 있으며 본 논문에서는 대칭적인 주행 방법

을 사용하여 다시 원점에 돌아왔을 때의 오차를 최대한 줄이는 방법을 사용하였다.

또한 두 바퀴의 구동 방식을 동시에 구동하는 방법을 취하여 주행시의 오차를 최대한 줄이는 방법을 사용하였다. 즉 주행 시에는 같은 데이터를 두 바퀴에 사용하며 회전 시에는 같은 데이터를 두 바퀴에 반대 방향으로 사용하여 전 방향 구동을 함으로써 오차를 줄이는 방법이다. 이러한 방법에 의해서 부드러운 회전은 할 수 없지만 최대한 오차를 줄이는 주행은 이룰 수 있었다.

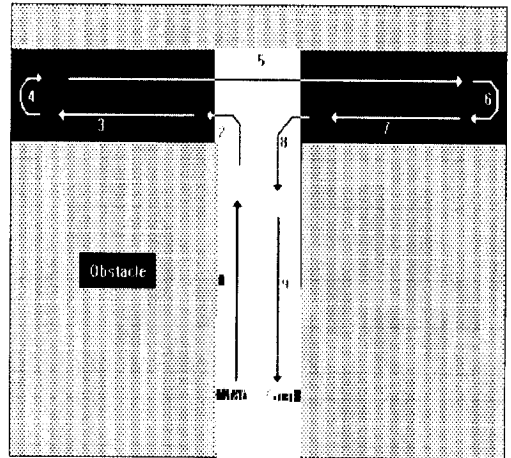
V. 주행 실험

전체적인 이동 로봇의 주행 및 제어 흐름 선도는 그림 12와 같다.



[그림 12] 전체적인 제어 흐름 선도

실험은 앞의 여러 가지 요소를 고려하여 실행하였으며 주행 실험은 본 연구실에서 행하여 졌다. 주행 경로는 그림 13과 같이 설정하여 5 회 반복 주행 실험을 실시하였다.



- 단계 1 : 3 m 직진
- 단계 2 : 좌회전
- 단계 3 : 3 m 직진
- 단계 4 : 180° 회전
- 단계 5 : 6 m 직진
- 단계 6 : 180° 회전(단계 4와 반대 방향)
- 단계 7 : 3 m 직진
- 단계 8 : 좌회전
- 단계 9 : 3 m 후진

그림 13. 실험 주행 경로

이러한 주행 경로는 모든 경우의 방향 전환뿐만 아니라 장거리 주행로까지 포함하고 있으며, 양 바퀴의 크기 차에 의한 에러를 최소화할 수 있도록 설계되어져서 실험 결과 표 1과 같은 만족할 만한 결과를 얻었다. 여기서 X는 진행방향과 수직거리의 오차이고, Y는 진행 방향 거리 오차이다. 또한 에러의 값은 모든 주행로를 거쳐 최종 목표점에 왔을 때의 에러이다.

표 34. 주행 실험 오차

횟수	1		2		3		4		5		평균	
	X (cm)	Y (cm)	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
주행 실험	0.6	1.2	0.8	1.0	0.7	0.7	0.3	0.8	0.1	0.7	0.5	0.9

VI. 결 론

본 논문에서는 무궤도 이동 로봇트를 설계 및 제작하여 최대한 기계적 주행오차를 줄이는데 역점을 두었다. 그래서 캐스터에 인코더를 사용하고 가·감속 구간을 설정해 Dead Reckoning에 의한 정확한 거리 및 위치를 인식하는 주행 시험을 하였다. 또한 Point 개념의 주행로를 Memory에 입력하여 지정된 주행을 위주로 하는 Path-planning 방법을 사용하였으며 주행중 발생하는 장애물에 대해서는 초음파 센서를 사용하여 일부나마 충돌 회피를 실현하였다. 실험 결과 이동 로봇트의 문제인 구동부에서의 에러를 최소한으로 줄여서 비교적 만족할 만한 결과를 얻었다. 향후 과제로서 자이로 스코프 및 비전 센서를 부착하여 좀더 정확하게 실시간으로 가장 단거리 주행로를 찾아 갈 수 있는 이동 로봇트의 개발이라고 할 수 있으며, 또 구동 바퀴가 바닥에서 뜨는 현상을 방지하기 위해서 구동부 및 차체를 분리하여 스프링으로 연결하는 방법을 사용하여야 할 것이다. 또한 제어부의 프로세서를 부동 소숫점 연산이 가능한 DSP로 바꾸는 문제와 인코더 및 초음파 센서 부분에 센서 퓨전을 사용하는 방법도 앞으로 고려되어야 할 것이다.

본 연구는 한국 전력공사 (기초 전력 공학 공동 연구소)의 지원에 의하여 수행되었음

참 고 문 헌

- [1] Johann Borenstein, Yoren Koren, "Real-Time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots," Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 19, No.5, pp. 1179-1187, Sep./Oct., 1989
- [2] Ronald C. Arkin, "Dynamic Replanning for a Mobile Robot Based on Internal Sensing," Proceedings of the 1989 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation pp.1416-1421, 1989.
- [3] Alberto Elfes, "Sonar-Based Real-World Mapping and Navigation," IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No.3, pp.249-265, June, 1987.
- [4] Muir, Patrick Fred, "Modeling and Control of Wheeled Mobile Robots," Proc. of IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation, pp.1772-1778, 1987.
- [5] Heungsik NOH, Hyuntae KIM, Seungwoo KIM, Mignon PARK, "Cooperative Mobile Robots using Fuzzy Algorithm," Proceedings of the 1992 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation, pp.796-802, 1992.
- [6] B.E.Ilon, "Wheels for a Course Stable Selfpropelling Vehicle Movable in any Desired Direction on the Ground or Some Other Base," U.S.Patent No.3,876,255, 1975.

- [7] E.Badreddin," Associative Memory Implementation in Path-Planning for Mobile Robots," Proceedings of the 1990 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation, pp.14-19, 1990
- [8] A.M.Flynn," Combining Sonar and Infrared Sensors for Mobile Robot Navigation," Int. Journal of Robotics Research, Vol.7, No.6, DEC., 1988.
- [9] J.Borenstein and Y.Koren,"Obstacle avoidance with ultrasonic sensors," IEEE J. Robotics Automat, vol.RA-4,no.2, pp213-218,1988
- [10] J. Borenstein and Y. Koren,"Real time obstacle avoidance for fast mobile robots," IEEE. Trans. System Man Cyben, vol 19,no.5 pp 1179-1187,Sept./Oct. 1989
- [11] R.Kuc and B.Barshan,"Navigating vehicles through an unstructured enviroment with sonar",in Proc. IEEE Int. Robotics and Automation,pp.1422-1426,1989.
- [12] 이 병도, 유 익주, 김 동준, 김 갑일, "이동 로봇의 설계 및 제작", 대한전기학회 1994년도 하계 학술대회 (7월 경주) 논문집, pp.1108-1111,1994
- [13] 유 익주, 김 동준, 김 갑일, 황 승재, 심 인섭, "지능형 이동 로봇의 설계 및 제작에 관한 연구", 1994년도 한국 자동제어 학술회의 (10월 대전) 논문집, pp.196-201,1994