

시각 장애자를 위한 이동 로봇의 주행 시스템 설계

김병수* · 장원석* · 홍승홍*

= Abstract =

A Design of Locomotion System of a Mobile Robot for the Blind Guidance

Byung-Soo Kim* · Won-Suk Chang* · Seung-Hong Hong

This paper designed LOCOMOTION SYSTEM of a mobile robot for the blind guidance and LOCOMOTION COMMAND SYSTEM that gave the moving path to the locomotion system.

This system analyzed COMMAND and calculated the speed and direction of the robot. And during locomotion it measured wheel's rotation number for the position and speed control. Also, this system was considered about the I/O interface with host computer and the locomotion method for the blind.

In the locomotion experiment the standard speed of robot was 0.4m/sec and the locomotion error was below 5%

1. 서 론

일반적으로 로봇은 인간의 생활을 좀더 편리하고 능률적으로 하는데 중요한 역할을 해 왔으며, 최근 전자공학의 급격한 발달과 각종 센서들의 개발로 가정용이나 의료용 등 인간과 밀접한 관계를 갖는 지능형 로봇이 개발 되고 있다. 특히, 의료용은 의학적인 면과 기계적인 측면을 복합적으로 고려한 것으로 캐나다의 간호용 로봇, 일본의 환자 감시용 로봇(MELKONG) 또한 MELDOG과 같은 맹인 안내용 로봇 등이 있는데 맹인 안내용은 동력형 이동로봇으로 구간 데이터를 저장, 처리할 수 있어야 한다.

로봇이 맹인을 안내하기 위해서는,

1. 미리 지정된 MAP을 따라 시각장애자가 원하는 장소로 갈 수 있는 정확한 경로제어와 주행시 발생하는 오차를 보정해 줄 수 있어야 하며,
2. 이동 경로상의 장애물을 감지하고 이를 피해갈 수 있는 기능을 보유하여야 하며,
3. 맹인에게 정보를 전달하거나 명령을 받을 수 있는 MAN-MACHINE 상호 통신기능 등을 겸비하여야 한다.

그림 1은 시각장애자 안내용 로봇의 모듈별 구조이다.

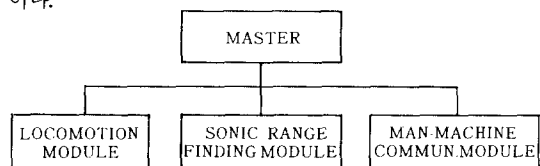


그림 1. 로봇의 모듈별 구조

Fig. 1. The module of mobile robot.

<접수 : 1987년 5월 25일>

* 인하대학교 전자공학과
Dept. of Electronic Eng., Inha University

이러한 여러모듈 중에서 본 연구는 모빌로보트의 가장 기본이 되는 주행 모듈을 설계하였고, 주행용 명령 시스템 (LOCOMOTION COMMAND SYSTEM) 을 제안하였다.

제작된 주행시스템은 주행명령과 위치제어를 일치된 개념 - 양쪽바퀴의 측정된 회전수에 따른 위치인식 - 에서 행하는 PWS (power wheeled steering) 방식을 사용하였다.

본 PWS 방식을 사용한 시스템의 허용오차는 위치제어의 시간주기(T)에 좌우되는데, 이것은 전체 프로그램의 처리시간에 반비례하는 것으로 처리속도를 줄이면 오차를 줄일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 처리속도를 줄이기 위하여 주행시스템에서는 간단히 X축좌표값만을 비교, 제어하는 방식을 제안하였다.

2. 시스템 하드웨어의 설계

2-1. 로보트의 구조

제작된 이동로보트는 DC서보 구동부, 회전수 측정부, 배터리와 전원장치, 바퀴와 몸체 및 마이크로 컴퓨터 시스템 등으로 구성되고, 구동방식은 PWS 방식으로 별도의 조향장치가 필요하지 않기 때문에 전체적으로 기구가 간단하고 원점회전이 가능하도록 하였다.

2-2. 주행부의 구성

주행모듈은 모빌 로보트의 가장 기본이 되는 부분으로, DC서보 모터의 PWM 증폭회로, PWM파형 발생회로, 회전수 측정회로, 마이크로프로세서 및 직렬 통신부로 구성되어 있다. 그림 2는 주행모듈의 시스템블록도이다.

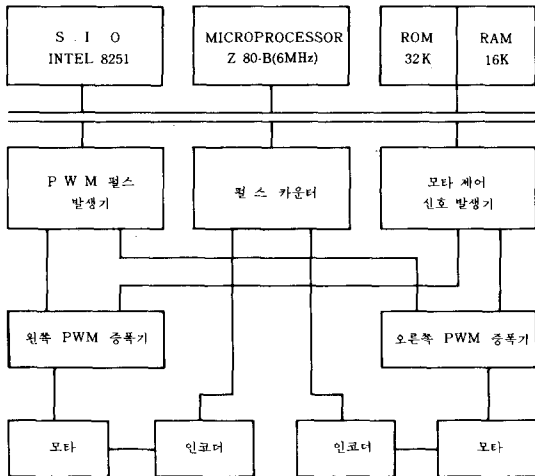


그림 2. 주행부의 블록도.
Fig. 2. Locomotion system block diagram.

1) PWM 증폭회로

로보트의 바퀴에 부착된 DC서보 모터를 구동시키기 위한 PWM 증폭회로는 그림 3과 같다. 본 회로에서 트랜지스터는 스위칭 전력용 2N5038을 사용하였고, 다이오드는 트랜지스터의 역전류 방지를 위하여 사용하였다.

본 회로에서 트랜지스터의 스위칭방식은 LIMITED UNIPOLAR MODE를 채택하였는데, 다른방식(BI-POLAR MODE, UNIPOLAR MODE)에 비해 데드타임의 문제를 고려치 않는다는 장점이 있다.

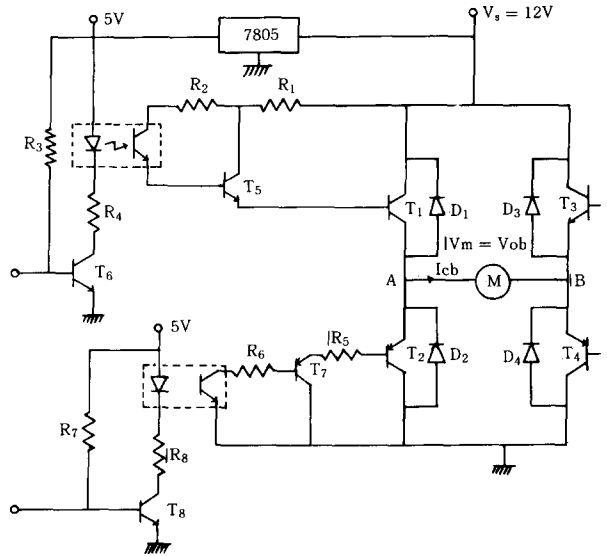


그림 3. PWM 증폭회로
Fig. 3. PWM amplifier.

2) PWM 파형 발생회로

PWM 파형 발생회로는 프로그래머블 타이머 (INTEL 8253 C-2) 와 디지털 회로로 구성되고, 펄스 발생과정

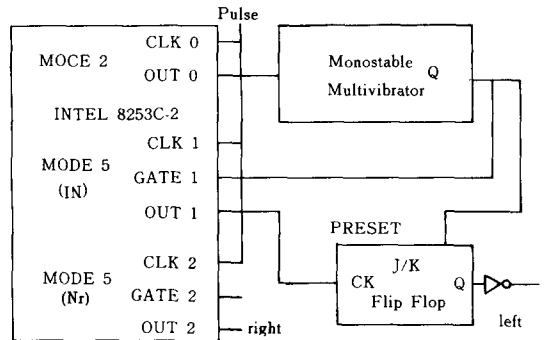


그림 4. PWM 파형 발생회로
Fig. 4. PWM pulse generating circuit.

은 다음과 같다.

타이머의 COUNTER# 0 는 PWM주기를 갖는 펄스를 연속적으로 발생하고, COUNTER# 1 과 COUNTER# 2 는 각각 왼쪽, 오른쪽 바퀴를 위한 것으로 COUNTER# 0 에서 펄스가 발생되면 COUNTER# 1 과 COUNTER# 2 의 게이트를 ON 시키고, 또 J/K F/F을 PRESET 시킨다. 이때부터 COUNTER# 1 과 COUNTER# 2 는 프로그램에 의해서 미리 주어지는 펄스폭(NL, Nr) 만큼을 세어 F/F에 출력펄스를 인가함으로써 PRESET 되었던 F/F을 반전시켜 원하는 두개의 PWM펄스를 얻을 수 있다.

3) 회전수 측정회로

이동로봇에서 주행위치 및 속도를 제어하기 위해서는 정확한 바퀴의 회전수를 측정하여야 한다. 즉, 인코더로부터 출력되는, 90° 위상차를 갖는 두개의 펄스열의 상태전이에 따라 전진과 후진이 결정되는데, 그림 5 를 보면 이러한 동작을 위해 EPROM을 사용하였는데, 데이터 라인으로부터 어드레스 라인으로의 귀환요소 때문에 카운터에 일정한 폭을 갖는 펄스를 인가하여 타이밍 문제를 해결할 수 있다. 또한 EPROM을 통하여 CU (count up), CD (count down) 신호를 발생한다. 이와 같이 발생된 CU, CD신호는 카운터에서 세어지고 일정 주기마다 프로세서로부터 스트로브 신호에 따라 LATCH를 통하여 입력된다.

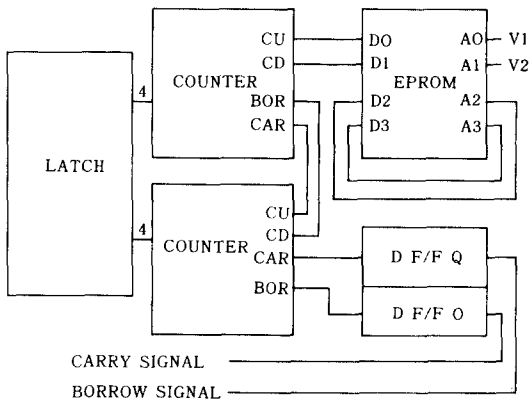


그림 5. 회전수 측정회로
Fig. 5. Rotation number measurement circuit.

3. 주행 명령 시스템

명령어(COMMAND SYSTEM)는 master processor

ESSOR로부터 구동모듈로의 "COMMAND"들과 역으로 각각의 모듈로부터 MASTER로의 전송을 위한 "REPLY"들로 구성된다.

3 - 1. 명령의 구성

주행명령(LOCOMOTION COMMAND)은 크게 QUEUE COMMAND와 직접명령(DIRECT COMMAND)으로 나누어지고, 직접명령은 로봇의 제어나 긴급상황 발생시 주어진다. 한편 로봇의 이동경로는 일련의 라인 세그먼트로 표현되는데, 한개의 라인 세그먼트는 한개의 명령에 일치한다. 이러한 로봇의 주행에 관한 정보는 QUEUE COMMAND로서 FIFO(first-in-first-out)형 버퍼에 저장된다. 표1은 본 명령의 구성이다.

3 - 2. 명령에 따른 구동변수

1) GO명령

표1. 명령의 구성

Table 1. Command formation

	COMMAND	FORMAT	DESCRIPTION
QUEUE	GO	GO X, Y, θ	(X, Y) 위치로의 주행
	VELOCITY	VQ V	"V"의 속도로 주행
	ROTATE	RO θ	정지후에 θ 만큼 회전
	STOP	SQ X, Y	(X, Y)에 도착후 정지
DIRECT	STOP	SD	즉각정지
	ADJUST	AD X, Y, θ	COMMAND조정, INSERT
	VELOCITY	VD V	즉각적인 속도조정
	GET	GD	주행모듈로 REPLY 요청
	SET	ED X, Y, θ	로봇의 위치 setting
	START	TD	로봇의 구동시작

GO명령이 주행부로 주어지면 현재의 로봇의 위치로부터 (X, Y)로 각도 θ 만큼 회전하기 위한 파타미터(양쪽바퀴의 속도와 주행후의 X축 좌표)를 계산하여 실행하게 된다. 표2에 회전각 θ 에 따른 양쪽바퀴의 속도가 주어졌다.

표2. 양쪽 바퀴의 속도

Table 2. The speed of both wheels

회전각도	왼쪽 바퀴속도	오른쪽바퀴속도	control signal
$\theta > 0$	NS	$NS - W \times \theta$	Forward
$\theta < 0$	$NS + W \times \theta$	NS	Forward

단, NS : 정상 주행속도(0.4m/sec)

W : 바퀴사이의 폭(0.33m)

2) 속도 명령

속도명령이 주어지면 직진시에는 양쪽바퀴의 속도를 WS에서 V로 바꾸고, 회전시에도 표2의 NS를 V로 대체한다.

3) 회전 명령

회전명령은 일단 로봇트가 정지된 후에 주어지는 것으로 위치 변화없이 각도 θ 만큼 회전한다. 표3은 회전명령에 따른 양쪽바퀴의 속도와 제어신호이다. 여기서 양쪽바퀴의 속도는 같고 방향은 반대이다.

표 3. 회전명령에 따른 속도와 제어신호

Table 3. Speed and control signal following ROTATE COMMAND

θ 에 따른 주행변수		왼 쪽	오 른 쪽
$\theta > 0$	속 도	$W \times \theta / 2$	$W \times \theta / 2$
	제어신호	Forward	Backward
$\theta < 0$	속 도	$-W \times \theta / 2$	$-W \times \theta / 2$
	제어신호	Backward	Forward

4. 시스템의 소프트웨어

4-1. 전체 소프트웨어

본 주행시스템은 전원이 ON되면 초기화된 후 UART로부터 명령을 받아 해석하고, 적절한 구동변수를 계산한다. 또한, 양쪽바퀴의 정확한 회전수를 측정하여 속도제어 및 위치제어를 하도록 되어 있다. 특히 위치제어는 처리시간을 줄이기 위하여 측정된 회전수로부터 X축 좌표값만을 계산, 비교함으로써 실행된다. 한편, 본 시스템의 정확성과 돌발사태를 위하여 인터럽트를 사용하였는데, 그림 6은 인터럽트 벡터와 그 기능을 보여준다. 그림 7은 주행시스템의 전체 흐름도이다.

INTERRUPT VECTOR	기 능
INTERRUPT 1	EMERGENCY(접촉사고)
INTERRUPT 2	REAL TIME CLOCK
INTERRUPT 3	UART 수신부
INTERRUPT 4	KEYBOARD INPUT

그림 6. 인터럽트와 그 기능

Fig. 6. The function of interrupt

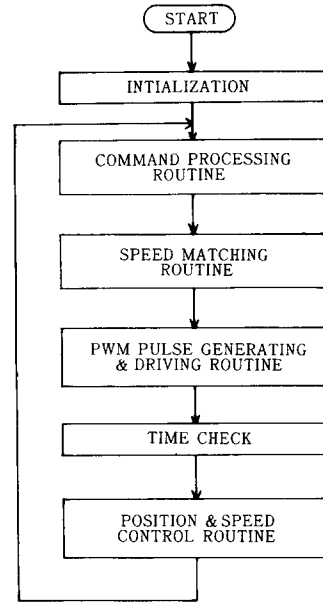
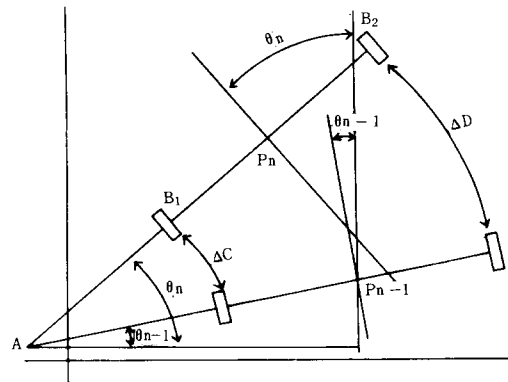


그림 7. 전체 흐름도

Fig. 7. System flow chart



W: B1 ~ B2, r: A ~ B2

그림 8. 로봇트의 주행

Fig. 8. Moving path of robot.

4-2. 로봇트의 위치제어

그림 8은 로봇트가 $(X_{n-1}, Y_{n-1}, \theta_{n-1})$ 위치로부터 (X_n, Y_n) 으로 주행할 때의 각 변수들을 보여주는데, 로봇트의 위치제어는 양쪽바퀴의 인코더로부터 회전수 N_L, N_R 이 입력되면 식 (1)을 통하여 이동거리가 주어진다.

$$\text{이동거리} = \frac{2\pi R}{SN \times 4} \times \text{측정된 회전수} \quad (1)$$

단, R : 바퀴의 반지름

SN : 인코더의 SLOT수

A 점의 좌표로부터 P_n의 좌표를 구하면

$$X_n = X_{n-1} + \Delta L \sin(\theta_{n-1} + \Delta\theta/2) \quad (2)$$

$$Y_n = Y_{n-1} + \Delta L \cos(\theta_{n-1} + \Delta\theta/2) \quad (3)$$

$$\theta_n = \theta_{n-1} + \Delta\theta \quad (4)$$

이다.

식 (2), (3), (4)를 통해 구한 P_n점의 좌표중 실제로 로봇에서 처리시간을 줄이기 위하여 X축 좌표값만을 채택하여 명령에 주어진 X축 좌표값과 비교하도록 하였다. 본 시스템에서의 위치 계산은 50msec (회전수측정주기)마다 실행하게 하였다.

4 - 3. 시각장애자를 위한 주행명령 발생

본 프로그램은 host computer에서 실행되는 것으로 이동경로를 MAP으로 표시하고, 이러한 MAP을 따라 주행하기 위한 주행명령(LOCOMOTION COMMAND)을 발생하도록 하였다.

1) 좌표축 변환

주행명령으로 주어지는 (X, Y)좌표는 MAP의 위치가 바뀔 때마다 현재의 위치를 새로운 원점으로 잡고 또한 진행방향을 Y축으로 놓고 계산된 것으로, 주행부는 SET명령에 의해 조정된다. 그림 9에서 본 과정을 보여주는데 좌표변환 후의 다음 MAP위치는 식 (6), (7)로 된다.

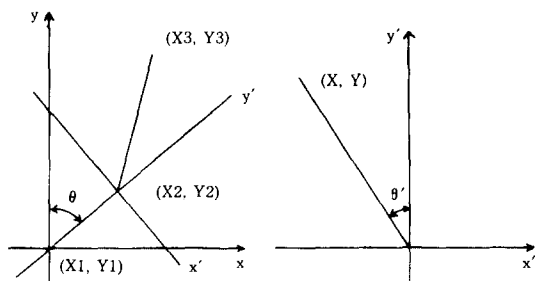


그림 9. 좌표축 변환

Fig. 9. Coordinate transformation

$$Y' = \frac{(Y_3 - Y_2) \cos \theta - (X_3 - X_2) \sin \theta}{(Y_3 - Y_2) \sin \theta - (X_3 - X_2) \cos \theta} X' \quad (5)$$

$$X = T \times SS \times \cos \theta \quad (6)$$

$$Y = T \times SS \times \sin \theta \quad (7)$$

단, $SS = \sqrt{(X_3 - X_2)^2 + (Y_3 - Y_2)^2}$
 $\theta > 0 : T = 1, \theta < 0 : T = -1$

2) 회전시의 주행

로봇의 회전각도 θ' 는 식(5)에서 구한 기울기로부터 식(8), (9)로 구해진다.

$$\theta = (\pi/2 - \tan^{-1}(m)) \times T \quad (8)$$

$$\theta' = \theta / r \quad (9)$$

단, r : 각도 변위요소

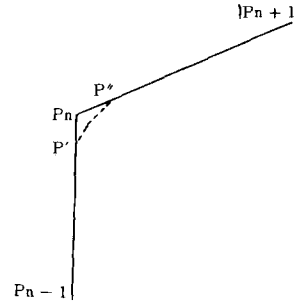


그림 10. 90°회전시의 주행

Fig. 10. Locomotion with 90°rotation

시각장애자에게 편리한 주행을 위해서는 그림 10에서 보여주는 것처럼 P_{n-1}, P', P'', P_{n+1}의 경로로 완만하게 회전해야 하는데, 그림 11은 본 과정의 흐름도이다.

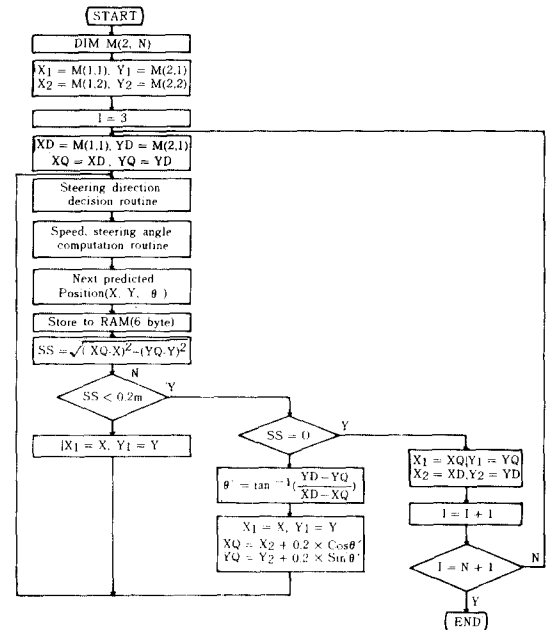


그림 11. 명령 발생 흐름도

Fig. 11. Command generating flow chart

5. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 명령어의 본 로봇트에 대한 유용성을 검토하기 위하여 회전시의 주행경로를 시뮬레이션하여 보았다. 본 시뮬레이션에서 명령발생은 250msec 주기로 하였고 시각장애자에게 편리하게 주행할 수 있도록 회전시에 최대한 완만하게 주행하도록 하였다. 앞의 그림 10에서 P' 점은 P_n점으로부터 20cm이내에서 결정하였고, P''점은 P_n점으로부터 P_{n+1} 방향으로 20cm되는 점으로 하였다.

그림 12는 P_{n+1}, P_n, P_{n+1}로 90° 회전한 경우이고, 그림 13은 45° 회전한 경우로서 각각의 경우 각도변위 요소가 약 1.5일 때 양호한 결과를 얻을 수 있었고, 그림 12에서 P_n점과 실제 주행시의 위치사이의 거리차로 약 10cm이고, 그림 13의 경우는 약 5.7cm로 주위환경이 약 10cm정도의 거리차를 허용한다면 본 주행알고리즘을 사용하여 시각장애자에게 편리를 제공할 수 있다.

본 시스템의 주행방식은 오토메터리방식으로 현재의 50msec마다 행하는 위치제어로 인하여 1m주행시에 발생하는 약 5cm미만의 오차도 장거리 주행시에는 축적되어 무시할 수 없게 된다. 이러한 오차를 보정하기 위해서는 16비트 이상의 프로세서를 사용하여 단위시간당 오차를 줄이는 방법과 일정거리마다 절대적인 측정 방식을 사용하여 오차를 초기화시키는 방법등의 도입이 요망된다.

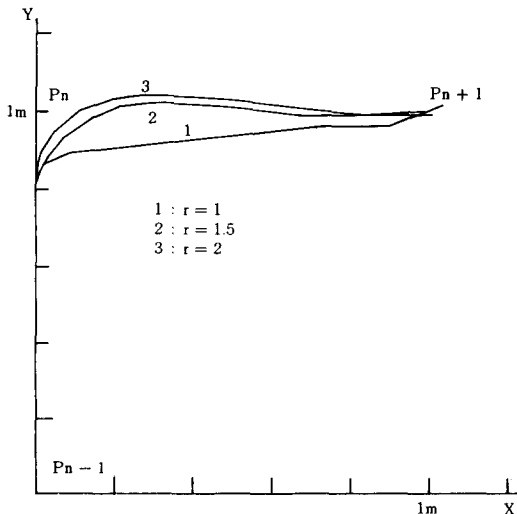


그림 12. 90° 회전시의 주행

Fig. 12. Locomotion with 90° rotation

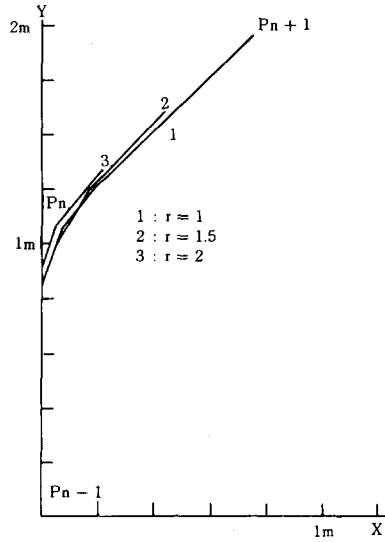


그림 13. 45° 회전시의 주행

Fig. 13. Locomotion with 45° rotation.

6. 결 론

본 논문에서는 지능을 갖고 시각장애자를 안내하기 위한 이동로봇트의 주행시스템을 설계하였고, 본 시스템에 유효한 명령어를 체계화하였다. 본 주행시스템은 디지털 PWM 구동방식을 사용하여 전력의 손실을 줄일 수 있었고, 주행시의 오차가 5%이내로 되도록 매 50msec마다 위치제어를 하였다. 또한 제안된 명령을 사용하여 시뮬레이션을 한 결과, 제한된 공간(복도, 집안, ...) 내에서 시각장애자를 안내하기에 적당한 약 10cm이내의 오차로 주행이 가능했다.

제작된 주행시스템은 로봇트에 이동능력을 주는 중요한 부분으로 시각장애자의 안내뿐만 아니라 앞으로 모델을 통한 host computer와의 통신이나 매니퓰레이터 등의 산업용 로봇트를 부착하게 된다면 현재의 한정된 로봇트의 분야를 더욱 넓혀줄 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) J. Iijima, S. Yuta and Y. Kanayama, "Elementary Function of a Self-contained Robot YAMABICO 3.", *Proceeding of the 11 th Int. Sym. on Ind. Robots*, pp.211 - 218, Oct. 1981.
- 2) K. Fujiwara, Y. Kawashima, H. Kato, M. Watanabe, "Development of Guidance Robot Vehicle", *Proceeding of the 11 th Int. Sym. on Ind. Robots*, pp.203 - 210, Oct. 1981.
- 3) E. Nakano, et al., *Sensory System of a Guidance Autonomous Vehicle in a Flexible Manufacturing System*, *Processing of the 15 th ISIR*, pp.305 - 312, 1985.
- 4) 김 병수, 신중섭, 장원석, 홍승홍, '맹인안내용 Mobile Robot의 Locomotion Module에 관한 연구', '86한국 자동제어 학술회의 논문집 Vol.1, pp.592 - 595, 1986
- 5) Johann Borenstein and Yoram Koren, "A Mobile platform Nursing Robots", *IEEE Trans. On Industrial Electronic*, Vol.32, No.2, pp.158 - 1985.
- 6) Susumu Tachi, Kazuo Tanie, Kiyoshi Komoriya and Minoru Abe, "Electrocutaneous Communication in a Guide Dog Robot(MELDOG)", *IEEE Trans, on Biomedical Engineering*, Vol. BME- 32, No.7, pp.461-469, July, 1985
- 7) Yutaka Kanayama and Shinichi Yuta, "Computer Architecture for Intelligent Robot", *Journal of Robotic System*, Vol.2, No.3, pp.237 - 251, Feb, 1985
- 8) G. Giralt, R. Chatila and M. Vaisset, *An Integrated Navigation and Motion Control System for Autonomous Multisensory Mobile Robots*, in *Robotics Research*, MIT press, Cambridge, pp.191 - 214, 1984
- 9) Timothy J. Maloney and F.L. Alvarado, "A Digital Method for DC Motor Speed Control", *IEEE Trans. on Ind. Elec. and Cont. Inst.*, Vol. IECI 23, No. 1, Feb, 1976
- 10) G.S. Buja and Paolo De Nardi, "Application of a Signal Processor in PWM Inverter Control", *IEEE Trans. on Ind. Elec.*, Vol. IE 32, No.1, Feb, 1985.
- 11) Jacob Tal, "Design and Analysis of Pulse Width Modulated Amplifier for DC Servo System", *IEEE Trans. on IECT Vol.23, No.1*, pp.47 - 55, Feb, 1976.
- 12) Wesley E. Snyder, "Industrial Robots : Computer Interfacing and Control", *Prentice-Hall Inc.*, pp.24 - 40, 1985
- 13) T. Tsumura, M. Hashimoto and N. Fujiwara, "New Method for Position and Heading Compensation on Ground Vehicle", *ICAR*, pp.429 - 436, 1985
- 14) T. Tsumura, N. Fujiwara and T. Shirakawa, "An Experimental System for Automatic Guidance of Ground Vehicle Following the Commanded Guidance Route on Map", *IFAC Control Science and Tech.*, pp.2425 - 2430, Japan, 1981