의공학회지 : 제15권, 제2호, 1994
J. of KOSOMBE : Vol. 15, No. 2

연 구 논 문
94-15-2-13

전동휠체어의 벽면추종 기법에 관한 연구

최 인 구 · 이 응 혁 · 장 영 건 · 한 영 환 · 홍 승 홍

=Abstract=

A Study on the Wall Following Method of the Motorized Wheelchair

In. Ku. Choi, Eung. Hyuk. Lee, Young. Gun. Jang,
Young. Whan. Han, Seung. Hong. Hong

The objective of the research reported in this paper is to design locomotion system of the motorized wheelchair, to develope the wall following algorithm.

The indoor navigation of a motorized wheelchair can be based on the wall following techniques. In this paper,it is proposed to enhance stability and efficiency using the 3 ultrasonic sensors arranged at a same perpendicular pivot. Using this method, the angle between the motorized wheelchair and the wall is detected and the range of control commands has been increased. For the better stability, the calculated slope of a wall using LSLF algorithm was fed back to the control part. By adapting the suggested algorithm and method, the motorized wheelchair could follow a wall in 4 seconds, for a change of distance between the wheelchair and wall from 30 to 100 cm.

Key words : Wall following, Degraded mode, LSLF, Ultrasonic sensor

서 론

지체 부자유자나 노약자의 보행 보조 수단으로서의 휠체어는 장애자의 편리를 도모하기 위하여 지난 수년간 전동화가 추진되어 왔다. 특히 최근들어서는 첨단 전자공학과 기계공학의 발달에 힘입어 여러형태의 복합장애가 있는 장애자도 사용이 가능한 다기능 휠체어의 개발에 많은 관심이 집중되고 있다.

일반적으로 다기능 전동휠체어는 장애자의 조작 편리를 도모하기 위하여 조이스틱 방식,터치 스위치 방식, 호흡기 스위치 방식, 음성 제어에 의한 구동 방식[1] 등 여러가지 입력 조작 방식이 고려되어 있고, 또한 자율 주행을 위하여 비젼을 통한 경로제어[2], 거리감지 센서를 이용한 장애물 회피 주행[3,4] 및 벽면 추종제어[5] 등의 다양한 기능을 필요로 하게 되었다.

복도 등과 같은 제한된 실내에서 전동휠체어가 주행할 때 장애자의 조작부담을 덜어줄 수 있도록, 초음파센서를 이용하여 벽면과의 거리 및 각도를 감지하여 안정된 벽면 추종을 행하여 자율주행하는 방법의 필요성이 요구되고 있다.

P.Blazevic[5]은 이동로보트위 측면 전후에 초음파센서를 장착하여 근사적 기하학적 모델 및 간단한 제어모델을 사용하여 실시간으로 벽면추종을 행하는 방식을 제안하였다 (표준방식, 성능저하방식). 이 방식에서 표준방식의 경우

인하대학교 전자공학과
Department of Electronics, Inha University
통신저자: 최인구, (402-751) 인천시 남구 용현동 253, Tel. (032) 868-4691, Fax. (032) 868-3654

초음파센서의 지향성 때문에 조향하는 각도의 제한이 발생하여 제한각도 근방 및 제한각도밖에선 추종능력이 좋지 않음을 알 수 있었고 전동휠체어에 적용시엔 장애자가 벽면과의 좁은 제한각도 근처로 휠체어의 방향을 맞춰야 하는 불편한 점이 발생하였다. 또한 성능저하방식의 경우 모의시험에서는 추종능력이 좋았지만 실제 실험에선 매우 큰 진동이 발생하였다.

본 연구에서는 P.Blazevic이 제안한 방식의 문제점을 개선하기 위한 방법으로 전동 휠체어의 측면에 3개의 초음파 센서를 24°씩 비틀어 수직축상에 배열하여 센서의 좁은 지향성 문제를 개선하였고, LSLF (Least Square Linear Fitting)알고리즘을 도입하여 벽면을 1차원으로 선형화한 후,벽과의 각도를 구하여 이를 제어계로 궤환시켜 성능저하방식을 사용하면서도 Blazavic 등의 표준방식과 동등한 제어계를 사용할 수 있는 방식을 제안한다. 실제 실험에선 초기추종시간이 Blazevic의 표준방식에 비해 현저히 감소하였으며 성능저하방식에 비해 진동이 현저히 감소했음을 확인하였다.

벽면 추종 방법

2. 1 블라제빅 (Blazevic)의 모델

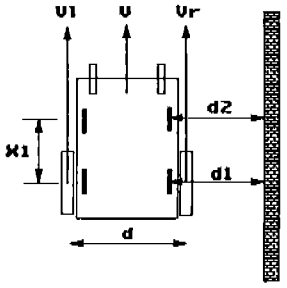
블라제빅 모델에서는 그림 1과 같이 다음의 사항을 가정으로 두었다.

a. 벽과 이동 로보트의 각도는 작다(14° 이하).
b. 제어입력은 유지거리로 한다.
c. 벽과의 거리제어는 두 바퀴의 속도로서 제어한다.
Right Wheel : $V_r = V + \Delta V$
Left Wheel : $V_l = V - \Delta V$

벽면추종모델의 표준방식은 후면 좌우바퀴의 속도차에 의해 조향되는 이동 로보트를 대상으로 좌우에 각각 2개의 센서를 부착하고 센서로부터 측정된 거리데이터를 이용하여 후륜바퀴의 속도차 ΔV 를 구한 후, 식 (1)과 같이 ΔV 를 제어하므로서 이동 로보트의 이동회전반경 R을 제어하는 방식이다.

$$R = 2 \cdot d \cdot V / \Delta V \qquad (1)$$

이동로보트의 폭(d)와 양바퀴의 속도차 (ΔV)와의 관계에 의해 벽과의 거리 (Y_m)의 Laplace변환식은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.



$$V = \frac{V_l + V_r}{2}$$

$$dX_m/dt = V$$

$$dY_m/dt = V\alpha$$

$$d\alpha/dt = 2\,\Delta V/d$$

$$\alpha = \frac{d2 - d1}{X1}$$

그림 1. 블라제빅의 주행거리계의 정의
Fig. 1. The Definition of Blazevic's Odometry

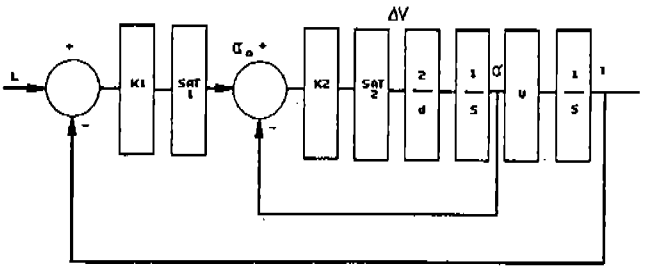


그림 2. 표준방식의 제어계통도
Fig. 2. Control Diagram of Standard Mode

$$Y_m = 2\Delta V \cdot V/(ds^2) \qquad (2)$$

식 (2)와 같이 ΔV 를 제어하므로써 이동로보트의 회전반경을 제어할 수 있고, 이를 궤환경로를 갖는 제어계통도로 나타내면 그림 2와 같다. 여기서 L은 제어계통의 입력인 벽과의 유지거리이고, l은 초음파센서로 부터 측정된 벽면과의 거리이다. 또한 벽과의 각도(α)도 초음파 센서를 통해 구해진 값이다.

이 방식은 가정에서 주어진 α에 대한 제한 요소 때문에 추종시간이 길어지는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 이동로보트의 전면 측단에 초음파 센서를 장착한 튜렛을 사용하여 항상 벽면을 감지할 수 있는 벽면추종모델의 성능저하방식 (Degraded Mode)을 제안하였다. 이 방식에서 바퀴의 속도차 ΔV에 대한 벽면과의 거리 (d)의 전달함수는 식 (3)와 같고, 제어계통도는 그림 3과 같다. 여기서 곡률반경 R은 표준방식에서와 같은 방법으로 구해지고, 제어계통도에서는 $K \cdot \Delta V$로 표현된다. 단, K는 기하학적 구조로 표현되는 상수이다. 그러나 이 방식은 벽면

과 이동 로보트 사이의 각도를 고려하지 않아 원하는 거리로 이동한 후에도 계속 진동이 발생함을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

$$H(s) = K \cdot \left(\frac{V^2}{s^2} + \frac{1 \cdot V}{s}\right) \tag{3}$$

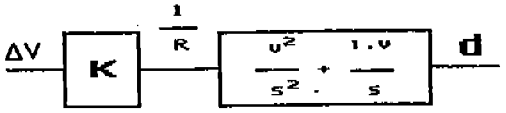


그림 3. 성능저하방식의 제어계통도
Fig. 3. Control Diagram of Degraded Mode

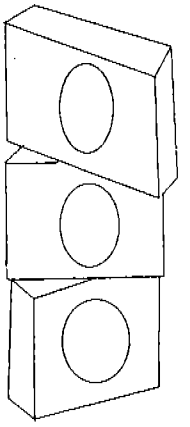


그림 4. 초음파 센서의 배열 구조
Fig. 4. Arrangement of Ultrasonic Senso

2. 2 제안 방법

Blazavic이 제안한 방법에서 표준방식은 추종시간이 길어지는 단점을, 성능저하방식은 계속 진동이 발생하는 단점을 각각 나타낸다. 표준방식에서의 단점은 초음파 센서의 좁은 지향성에 원인이 있으므로 이를 개선하기 위하여 전동 휠체어의 측면에 3개의 초음파 센서를 배치하였고, 성능저하방식에서의 단점은 벽면과 이동 로보트 사이의 각도를 구할 수 없기 때문에 발생하므로 이를 개선하기 위하여 LSLF(Least Square Linear Fitting)알고리즘을 도입하여 벽면을 1차원으로 선형화한 후, 벽과의 각도를 구하였다. 그러므로 본 논문에서 제안한 방법은 Blazavic의 성능저하방식의 센서구조를 사용하면서 표준방식과 동등한 제어계를 사용하여 각각의 단점을 보완한 새로운 방법을 제안한다.

2. 2. 1 초음파 센서의 배열

본 연구에서 사용한 초음파센서는 폴라로이드사의 제품으로 지향성은 14°이다. 따라서 전동 휠체어의 측면에 벽과 수직한 방향으로 하나의 초음파센서를 배치하면, 벽면을 따라 주행할 경우 벽면과 전동 휠체어의 각도가 14° 이상이 되면 벽과의 거리를 측정할 수 없게된다. 결국 초음파센서의 지향성 때문에 주행시 벽과 전동 휠체어의 각도가 제한 되므로 결국 벽의 추종능력이 떨어지게 된다. 그러므로 추종능력을 개선하기 위해서 수직선상에 3개의 초음파 센서를 비틀어 배열하고 이를 전동 휠체어의 전방측면에 배치하였다. 구조는 그림 4와 같다.

2. 2. 2 LSLF 알고리즘

벽면과 전동휠체어의 각도를 구하기 위하여 LSLF방법을 사용하였는데, 이 방법은 전동휠체어가 주행할 때 초음파센서를 이용하여 벽을 인식하고 벽면의 좌표를 선형화하는 과정이다.

LSLF는 가장최근에 받아들인 2N + 1개의 데이터 $(X_{-N}, Y_{-N})\cdots\cdots,(X_{+N}, Y_{+N})$를 이용하여 벽의 선형방정식 $y = ax + b$를 구한다. LSLF의 관계식은 다음과 같다.

$$\left(\sum_j X_j^2\right) a + \left(\sum_j X_j\right) b = \sum_j X_j Y_j \tag{4}$$

$$\left(\sum_j X_j\right) a + \left(\sum_j 1\right) b = \sum_j Y_j \tag{5}$$

여기서 $X_{-N},\cdots\cdots, X_{+N}$은 로보트가 X축 방향으로 등속도로 주행할때 X좌표값인데, 이 값은 $-N\Delta x,\cdots\cdots, N\Delta x$로 정규화 할 수 있다.

이 식에서 a, b는

$$a = \frac{1}{\Delta x\, K} \sum_j X_j Y_j \tag{6}$$

$$b = \frac{1}{2N+1} \sum_j Y_j \tag{7}$$

단, $K = \frac{1}{3} N(N+1)(2N+1)$

이 된다. 이 방법은 a와 b를 간단한 곱셈과 덧셈으로 구할 수 있기 때문에 데이터의 처리시간이 적다는 장점이 있다.

본 시스템에서는 ΔX를 평균주행속도(V)와 샘플링주기의 곱으로 구하였고, 주행하면서 벽면과 로보트의 거리(Y_j)를 측정하고 이를 저장하면서 벽면의 기울기를 구하였다.

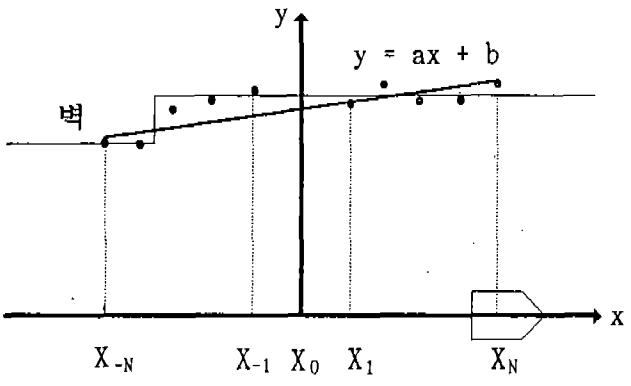


그림 5. 2N +1개의 데이타를 취한 LSLF
Fig. 5. Least Square Linear Fitting of 2N +1 Observations

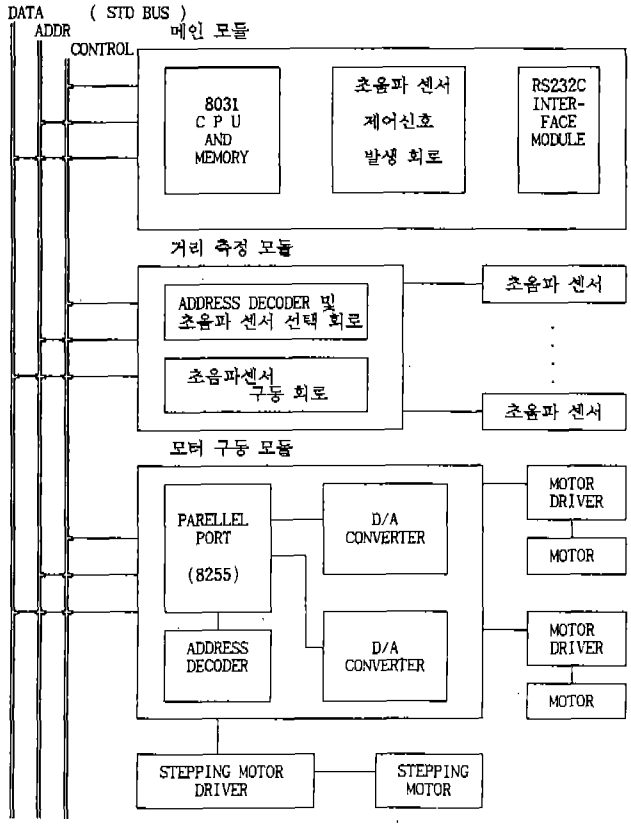


그림 6. 시스템 구성도
Fig. 6. System Block diagram.

시스템 구성 및 설계

본 연구에서 사용한 전동휠체어는 본 연구실에서 기제작된 INMEL-VI를 사용하였고, 제어부와 초음파 센싱 장치를 추가 설계하였다.

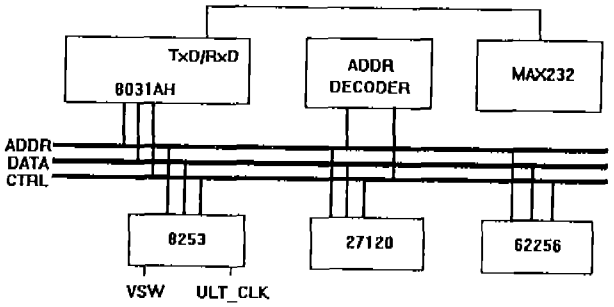


그림 7. 메인 모듈 블럭도
Fig. 7. Main Module Block Diagram

3. 1 시스템 하드웨어

본 연구에서 제작된 시스템은 그림 6과 같이 제어시스템을 모듈화하고 모듈간의 호환성 있는 인터페이스와 확장성을 고려하여 산업용 내부버스인 STD BUS 방식을 채택하였으며, 기능별로 모듈화하여 설계하였다.

3. 1. 1 메인 모듈

전체 시스템의 제어를 담당하는 부분으로 구성도는 그림 7과 같다. 여기에서 실험의 편리를 위해 프로그램을 다운로딩 받고 데이터의 전송을 위한 시리얼 인터페이스 부분과 8031 프로세서를 중심으로 RAM, ROM이 있고, 거리측정 모듈과의 인터페이스 신호(거리측정용 기준 클럭 발생, 측정 시작 신호)를 만들기 위하여 8253(COUNTER/TIMER)을 사용하였다. 또한 8031의 내부 타이머 0를 사용하여 시스템 타이머(1 msec)로 사용하였다.

3. 2. 2 거리 측정 모듈

벽면과의 거리를 측정하기 위한 센서로는 폴라로이드사의 주파수 50 KHz용 초음파센서를 사용하였고, 이를 구동하기 위한 거리측정 모듈 또한 동사의 제품을 사용하였다. 거리측정모듈의 인터페이스 신호는 다음과 같다.

a. POWER (VSW) : 거리 측정의 시작과 끝을 알리는 신호로 4.9 V-6 V, 2.5 A의 전원이 필요하다(거리측정모듈로부터의 입력 신호).

b. Transmission (XLG) : XLG 신호는 송신신호를 처리하기 위해 발생되는 디지탈 신호이다. 초음파를 송신하는 순간 단일 주파수의 56개의 펄스가 발생된다. 모든 송신신호와 수신신호에 의한 타이밍은 이 신호의 시작에 지(leading edge)와 관계된다(초음파 센서와 거리측정모듈로의 출력 신호).

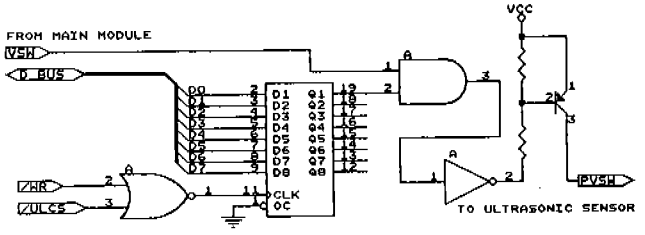


그림 8. 초음파센서 선택 및 구동회로
Fig. 8. Circuit of Selection and Driving Ultrasonic Sensor.

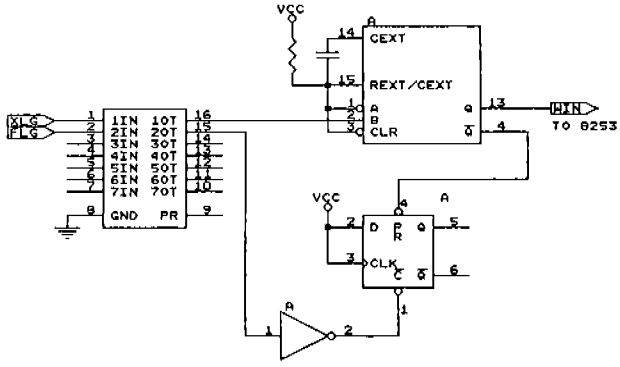


그림 9. WINDOW 발생회로
Fig. 9. Circuit of Generating Window.

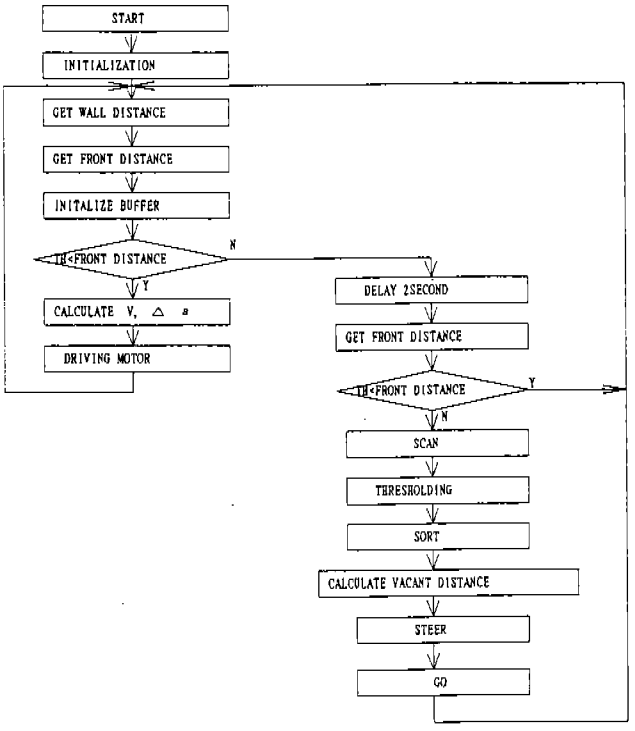


그림 10. 제안된 모델의 전체 흐름도
Fig. 10. System Flowchart of Proposed Model.

c. Detcted echo(FLG) : FLG신호는 임계치보다 큰 첫 에코가 수신되었을 경우에 발생한다(거리측정모듈로의 출력 신호).

이 모듈에서는 초음파 구동 모듈을 구동하기 위해 VSW(초음파 구동 신호)발생부(그림 8)와 초음파센서를 선택하는 초음파선택회로, 초음파센서로부터 발생하는 XLG(초음파의 송신 신호) 신호를 정형하는 파형 정형부분과 XLG와 FLG신호(첫 에코 수신 신호)를 이용하여 윈도우를 발생시키는 회로(그림 9)로 구성되어 있다.

이 회로의 동작은 초기에 VSW신호가 가해지면 잠시후 초음파가 송신되면서 XLG단에 56개의 단일 펄스가 발생한다. 곧 수신모드로 전환하고 발생된 초음파가 반사되어 돌아와 센서에 감지되면 FLG에 펄스가 발생한다. XLG와 FLG와의 윈도우신호의 시간을 측정하면 벽과의 거리를 측정할 수 있다. 또한 초음파센서가 수신모드로 전환되면 시간이 지남에따라 증폭기의 이득을 증가시킴으로서 반사되어 돌아오면서 약해진 초음파강도를 보상한다.

3. 2. 3. 모터 구동 모듈

본 연구에서 제작한 전동 휠체어는 두 개의 바퀴의 제어를 통해 주행 및 조향을 수행하고 있다. 두 바퀴를 구동시키는 모터는 30:1의 웜-감속기가 달려있는 DC모터를 이용하였다. 이 모터를 구동하기위해 Curtis Instrument사의 PMC1208-235 드라이버를 사용하였다. 이 드라이버는 BACK-EMF방식을 이용하여 속도제어를 하고, 0-5V의 전압으로 속도명령을 내린다. 또한 전원전압을 감시하여 전압이 떨어져 모터구동에 차질이 생길 경우 자동으로 전원을 차단한다[10].

3. 2. 시스템 소프트웨어

그림 10은 전체흐름도이다. 본 주행 시스템은 전원이 ON되면 시리얼 통신과 인터럽트를 위한 레지스터들의 값을 세팅하고 모터구동, 스텝핑모터 구동, 초음파 거리측정을 위한 각 부분을 초기화 한다. 그후 초음파 센서를 구동시켜 각도계산을 위한 버퍼를 초기화시키고 주행을 시작한다. 주행이 시작되면 측면에 장착된 초음파센서 3개를 차례로 구동하고, 동시에 전단에 위치한 초음파를 동작시켜 전방의 장애물을 감시한다. 측정된 벽과의 거리는 현재

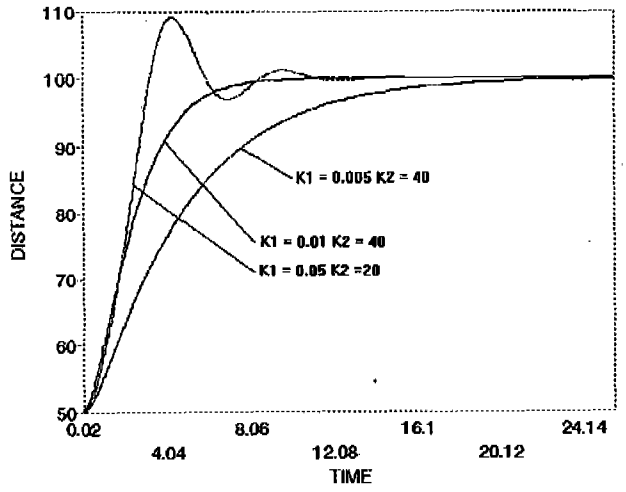


그림 11. 표준방식의 시뮬레이션 결과
Fig. 11. The Simulation Result of Standard Method.

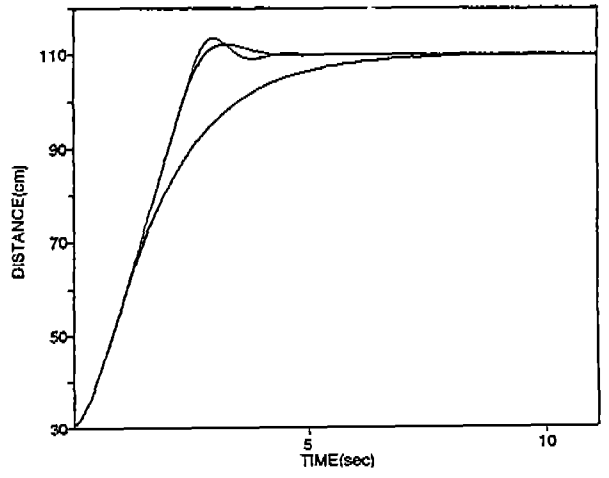


그림 12. 제안 방식의 시뮬레이션 결과
Fig. 12. The Simulation Result of Proposed Method.

측정으로부터 최근의 7주기 전의 데이터까지 저장한다. 이 데이터들은 LSLF 알고리즘를 이용하여 벽과의 각도를 구하는데 이용된다. 3개의 초음파센서로 부터 얻은 측정값 중에서 제일 적은 값을 벽과의 거리로 이용하는데, 최소값이 벽에 수직으로 반사되어 돌아온 거리를 측정한 값이기 때문이다.

만일, 전방에 장애물이 감지되면 일단 정지한다. 얼마 후 다시 검사하여 장애물이 없으면 다시 주행하고, 장애물이 있으면 전방의 좌, 우90° 범위를 5° 간격으로 검색한다. 이를 임계치를 이용하여 이치화하고 장애물이 없는 범위를 탐색하여 전동 휠체어가 지나갈 수 있는 방향을 찾는다. 방향이 결정되면 조향을 하고 장애물의 측면까지 진행한다. 그후 전방에 장애물이 없으면 장애물의 벽면을 추종하게 된다.

실험 결과

본 주행 시스템은 12 V, 40 W의 모터로 30 : 1의 감속비를 갖는 모터를 구동하여 최고속도 40 cm/sec를 갖는다. 본 실험에서는 평균속도 20 cm/sec, 속도명령 및 거리측정을 150 msec주기로 행하였고, 각 모델별로 시뮬레이션 및 주행테스트를 수행 해 보았다.

4. 1. 시뮬레이션

4. 1. 1. 블라제빅 모델(표준방식)

다음의 결과들은 각각의 모델에 대해서 이득을 변화시키며 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 이모델의 경우 K1 = 0.05, K2 = 20 일때 오버슈트가 발생하였다. 두번째 경우 K1 = 0.01, K2 = 40으로 K1을 줄이고 K2를 증가시킴으로서 오버슈트를 감소시켰다. 세번째 경우 K1은 작고, K2가 커서 느린 추종을 보여주고있다. 이 모델에서 K1를 증가시킴에따라 추종시간이 빨라지고 진동이 발생함을 확인할수 있고, K2는 댐핑의 요소로 작용함을 확인할 수 있다. 이 모델의 경우 약 7-10초 정도의 추종시간이 소요된다.

4. 1. 2. 제안 모델

본 연구에서 제안한 모델의 경우 블라제빅 모델의 결과와 각각의 게인이 결과에 미치는 영향은 거의 유사하다. 그러나 제어명령폭의 향상으로 추종시간이 개선되었다. 본 모델의 경우 4-5초 이내에 추종이 가능하였다.

4. 2. 주행 결과

다음의 결과는 4.1 절과 마찬가지로 각각의 모델에 대해서 이득을 변화시키며 실험을 수행하고 전동 휠체어에 장착되어 있는 초음파센서로부터 얻은 거리 데이터를 수집하여 도식화한 것이다.

4. 2. 2 블라제빅 모델(표준방식)

먼저 벽면추종시간은 이득에 따라 크게 달라지지만 약 6-7초 정도 소요됨을 확인할 수 있다. 이 모델은 추종시간은 느리지만 원하는 벽과의 거리를 확보한 후에는 안정된 주행을 보여주었다.

4. 2. 2 제안 모델

제안모델의 주행결과는 그림 14와 같다. 이 모델의 경우

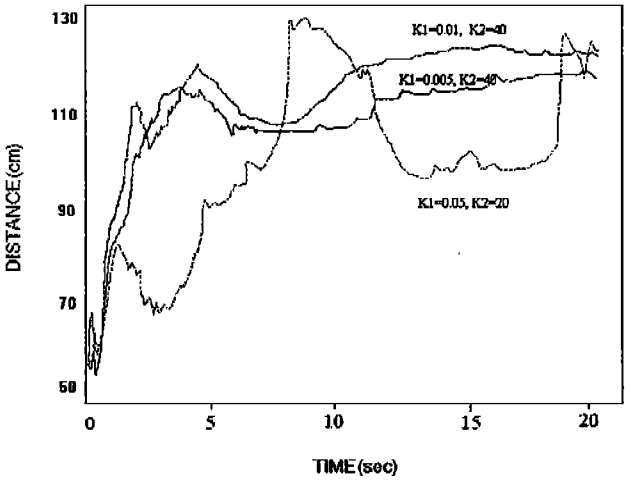


그림 13. 표준 방식의 주행결과
Fig. 13. The Result of Standard Method.

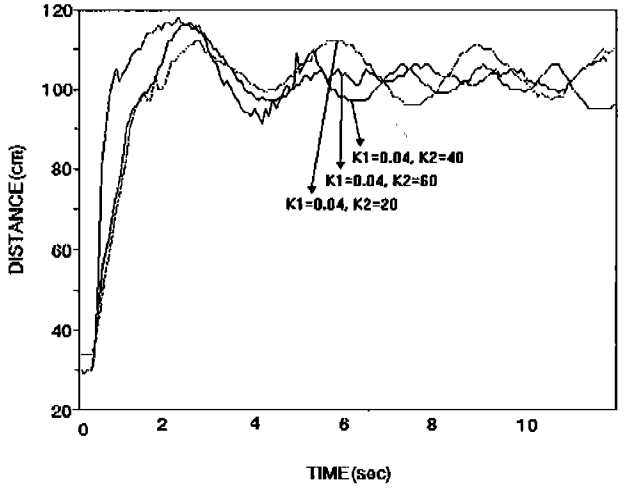


그림 14. 제안 모델 결과
Fig. 14. The Result of the Proposed Method

측정범위가 확대되고, LSLF 알고리즘을 이용하여 각도를 구하고 이를 피드백하여 추종능력과 안정도가 향상되었다. 이 모델의 경우 30 cm에서 100 cm의 거리변화를 추종하는데 약 3-4초 정도 소요되었다. 또한 그림 14는 이득에 따라 달라지는 추종능력을 나타내었고, 각 이득의 영향은 4. 1절에서 언급했던것과 동일하다.

결 론

본 연구에서는 전동휠체어의 자율주행에 있어 블라자빅 모델[5]의 성능저하방식의 벽면추종모델을 개선하여 추종능력 및 안정성을 향상시키는 방식과 초음파센서의 인식각도를 확장시키는 새로운 구조를 제안하였다.

검증실험에서 최대추적 각도에 있어 기존의 12.5°의 안정추종각에 비해 약 72°까지의 안정추종능력을 보였으며 장애자의 특별한 조작없이 벽면추종을 할 수 있는 편의성이 향상되었다. 천이영역에서의 추종속도는 블라자빅의 성능저하방식에서 보다 50%정도 빨랐으며 정상상태에서는 블라자빅모델의 성능저하 방식과 같은 성능저하 방식을 사용하면서도 표준방식과 동등한 성능을 보였다. 실험결과에서 보는 바와 같이 벽면추종각도와 추적속도에 있어 제안된 센서의 구조 및 제어모델이 효과적임이 입증되었으며 특히 장애물의 측면 출현이나 벽면환경의 부분적인 급격한 변화에 대해 안정적 추종능력을 보여 주었다.

참 고 문 헌

1. 大林豊明, システムとセンサ, 産業圖書, pp.249-54, 1988.
2. 문철홍, "시각정보를 이용한 전동휠체어의 자동 주행 시스템 설계", 인하대학교 석사학위 청구논문, 1989.
3. H. R. Beom and H. S. Cho, "*Sensor-Based Obstacle Avoidance Controller for a Mobile Robot Using Fuzzy Logic and Neural Network*", IEEE International Conference on Robtics and Automation, pp.1470-75.
4. Y. Kanayama, S. Yuta and Y. Kubotera, "*A Sonic Range Finding Module for Mobile Robots*", 14th I.S.I.R & 7th I.C.I.R. T., pp.643-52, 1984.
5. P. Blazevic, S. Delaplace, J. G. Fontaine and J. Rabit, "*Mobile Robot Using Ultrasonic sensors: study of a degraded mode*", Robotica, Volume 9, pp.365-70, 1991.
6. J. Borenstein, Y. Koren, "*Real-time Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robot*", IEEE, Trans. on SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, Vol. 19, No. 5, Sep/Oct., 1989.
7. Yoshiaki Nagashima and Shin'ichi Yuta, "*Ultrasonic Sensing for a mobile robot to recognize an environment-Measuring the normal direction of walls-*" IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp805-812, July 7-10, 1992.
8. MCS-51 Architecture, INTEL, 1990.
9. C-51 Cross Compiler Kit, Archimedes, 1987.
10. *Installation Manual (PMC1208-235)*, Curtis Instrument Co., 1988.