

거리측정 센서 스캐닝과 퍼지 제어를 이용한 전동 휠체어 자율주행 시스템

김국세* · 양상기* · M.TAHIR RASHEED** · 안성수*** · 이준*

*조선대학교 컴퓨터공학과, **조선대학교 정보통신공학과, ***동신대학교

Autonomous Navigation Power Wheelchair Using Distance Measurement Sensors and Fuzzy Control

Kuk-Se Kim* · Sang-Gi Yang* · M.TAHIR RASHEED** · Seong-Soo Ahn*** · Joon Lee*

*Department of Computer Engineering, Chosun University, **Department of Information and Communication Engineering, Chosun University, ***Dongshin University

E-mail : kimkukse@hanmail.net

요 약

본 논문은 전동 휠체어 시스템에서 반·자율주행 및 안전 주행, 장애물 회피를 위한 퍼지 신경망 제어 주행 시스템을 제안, 디자인 및 임베디드 리눅스 시스템을 통해 구현하고 검증한다. 자율주행 장애물 검출 알고리즘을 위해 거리측정 센서를 통해 장애물의 크기를 파악하고 회피할 수 있는 폭과 각도, 거리 및 속도를 계산하여 계획된 경로대로 이동할 수 있는 알고리즘을 구현한다. 또한 거리측정 센서를 최소화하기 위해 휠체어 앞쪽에 2개의 스텝모터를 통해 거리측정 센서를 좌우로 움직이면서 페닝 스캔을 한다. 퍼지 신경망 제어 주행 시스템은 센서 스캐닝을 통한 맵 데이터를 분석하고 주행 알고리즘에 따른 자율 주행 경로를 설정한다. 정해진 자율 주행 경로는 퍼지 신경망 제어 주행 시스템을 통해 전동 휠체어 컨트롤 주행을 제어 운용한다. 그리고 보호자를 위한 전동 휠체어 보호자 트래킹 알고리즘을 구현한다. 본 시스템은 장애인 및 움직임이 불편한 노인을 위한 반·자동 전동 휠체어 시스템을 구축하여 안전하게 사용자가 운용할 수 있게 한다.

ABSTRACT

Nowadays with advancement in technology and aging society, the number of disabled citizens is increasing. The disabled citizens always need a caretaker for daily life routines especially for mobility. In future, the need is considered to increase more. To reduce the burden from the disabled, various devices for healthcare are introduced using computer technology. The power wheelchair is an important and convenient mobility device. The demand of power wheelchair is increasing for assistance in mobility. In this paper we proposed a robotic wheelchair for mobility aid to reduce the burden from the disabled. The main issue in an autonomous wheelchair is the automatic detection and avoidance of obstacles and going to the pre-designated place. The proposed algorithm detects the obstacles and avoids them to drive the wheelchair to the desired place safely. By this way, the disabled will not always have to worry about paying deep attention to the surroundings and his path.

키워드

Power Wheelchair, Autonomous Navigation, Embedded

1. 서 론

유비쿼터스 시대의 의학 기술 발달로 인한 노령화 사회는 노인 인구와 장애인의 수가 증가되어 사회적 문제가 되고 있다. 장애인의 수적 증가에는 선천적인 장애인 외에도 최근에는 산

업재해 및 교통사고 등으로 인한 후천적 장애자가 더 많은 부분을 차지하고 있다. 이는 교통사고 최다국의 불명예를 안고 있는 우리나라의 경우 더욱더 심각한 문제라고 할 수 있다. 이와 같은 장애인과 노약자들은 정상적인 사회 활동을 하는데 더욱더 많은 제약이 따르게 되어 휠체어

를 사용해야만 한다. 일반적인 휠체어는 손으로 조작하여 이동 및 회전 등을 할 수 있게 되어 있어 체력이 약한 노약자 및 손을 쓰지 못 하는 장애인들은 자력으로 이동하기 힘들기 때문에 전기적 동력을 이용하는 전동 휠체어의 도움을 받고 있다. 최근에는 계단 또는 승합차 등에서 타인의 도움 없이 계단을 오르거나, 승차 및 하차를 위한 리프팅 또는 대관절 로봇을 이용한 장치 등이 개발되고 있고 조이스틱 또는 음성 인식 기술 등을 활용하여 조작을 쉽게 하는 방법들도 개발되고 있으나 지금까지 개발된 전동 휠체어의 경우 조이스틱을 통해 속도나 방향등을 조작하는데 기능이 제한적 이다. 전신 마비 장애인이나 척수 손상 장애인의 경우는 휠체어를 스스로 조작 할 수 없다. 그래서 자율 주행이 가능하고 장애물 회피가 가능한 퍼지 제어를 개발 하고자 한다.

본 논문에서는 휠체어에 스텝 모터위에 거리 측정 센서를 장착해 패닝 스캔을 하여 센서의 장착 수를 최소한으로 줄여 거리, 장애물의 위치 그리고 각종 데이터를 입력 받아 장애물의 유무를 판단하고 제어기에 의해 직접 휠체어의 운동 방향 및 속도를 제어하고 조작이 가능하도록 한다. 또한 실시간으로 변하는 주변 정보를 빠르게 인식하고 유연하게 대처하도록 하기 위해 퍼지 제어 기법을 개발하여 상황에 맞게 움직이는 장애물에 대해서서 모의실험을 통해 검증하고 더 나아가 자율 주행 휠체어 시스템을 실험을 통하여 검증하였다.

2. 거리측정 센서 패닝 스캔

본 논문에서는 제어기 설계를 위하여 자율 주행 전동 휠체어의 기구학적 모델을 설정한다. 그림 1은 최적 제어기 설계를 위한 자율 주행 전동 휠체어 기구학 모델을 나타내고 있다.[1]

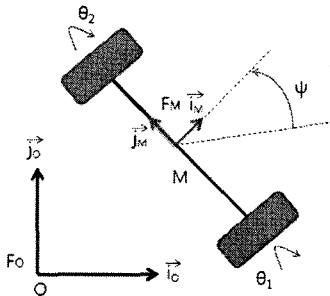


그림 1 Kinematic model of an ARV

그림 1 모델링에 의한, 2륜 구동하는 자율 주행 휠체어의 기구학 식은 다음과 같다.

$$x_M = \frac{r}{2} (\theta_1 - \theta_2) \cos \Psi_M \quad (1)$$

$$y_M = \frac{r}{2} (\theta_1 - \theta_2) \sin \Psi_M \quad (2)$$

$$\Psi_M = \frac{r}{2} (\theta_1 - \theta_2) \quad (3)$$

이 식은 다음 식 (2)의 구속조건, 즉 지면에 대해 완전 구름 조건을 만족하고, 측면 미끄러짐도 없다고 만족해야 한다.[2]

$$x_M \sin \Psi_M - y_M \Psi_M = 0 \quad (4)$$

이러한 구동방식은 양 바퀴의 속도차에 의해 조향이 이루어지는 방식이다. 식 (1)은 가장 일반화 된 2륜 구동 자율 주행 전동휠체어의 기구학 방정식이지만 제어는 쉽지 않다. 그 이유는 구속조건식 식 (2)가 완전하게 적분 될 수 없는 논홀로노믹 특성을 갖기 때문이다.[3] 이러한 논홀로노믹 특성을 제어하기 위해, 본 논문에서는 본래 2륜 구동 방식을 따라가면서 2개의 보조 조향 바퀴와 2개의 구동 바퀴를 가진 자율이동 로봇의 거동과 유사하도록 하는 제어입력이 적용되는, 기구

2-1. 경로주행을 위한 센서 패닝 스캔 알고리즘

경로 형태를 인식하고 자율 주행 전동 휠체어의 위치와 자세를 결정하는 알고리즘을 구성한다. 그림 2는 센서 좌표계와 물체와의 관계를 나타내었다.

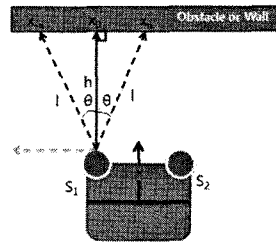


그림 2 Coordinates of sensors and Obstacle

물체의 이동을 표현할 경우, 새로운 좌표계를 기준 좌표계에 대해 4x4의 행렬로 나타낼 수 있다. 즉, 새로운 좌표계인 물체 좌표계(또는 이동 좌표계) 원점의 병진 이동을 표현하는 벡터와 물체 좌표계 축들의 방향을 나타내는 세 개의 벡터로 구성된 변환 행렬(transform matrix)을 사용할 수 있다. 2차원 시스템에서 임의의 점의 위치 p를 [x, y]^T로 나타내면 변환된 점 p1 = [x,

$y1^T$ 는 2x2 변환 행렬을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x1 \\ y1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & c \\ b & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ax + cy \\ bx + dy \end{pmatrix} \quad (5)$$

본 경로형태에 대한 물체 인식은 x축 패닝 스캔 한다. x축에 대한 패닝 스캔에 따른 기하학적 관계는 다음과 같다.

$$\bar{\theta} = \theta(\alpha + \beta) - \theta(\alpha) \quad (6)$$

$$\bar{l} = l(\alpha + \beta) - l(\alpha) \quad (7)$$

다음은 거리측정 센서 패닝 스캔 과정이다.

- ① 장애물 앞 50Cm 거리측정 센서 물체 감지, 정지
- ② 장애물 앞 50Cm 앞에서 우측 패닝 스캔 시작
- ③ 첫 번째 스텝 모터 45°까지 9°씩 패닝 5회 스캔
- ④ ①②③ 끝나면 중앙으로 스텝 모터 정지
- ⑤ 장애물 앞 50Cm 앞에서 좌측 패닝 스캔 시작
- ⑥ 첫 번째 스텝 모터 90°까지 9°씩 패닝 10회 스캔
- ⑦ ⑤⑥ 끝나면 중앙으로 스텝 모터 정지

이 알고리즘은 자율주행 전동 휠체어의 주행 도중 장애물을 만나 이 물체의 형상을 인식하는 알고리즘이다. 패닝 스캐닝 방법에 의해 대략의 물체의 형태를 측정할 수 있다. 그림 3은 장애물 인식을 위해 사용하는 센서와 측정 대상간의 좌표를 나타내고 있다.

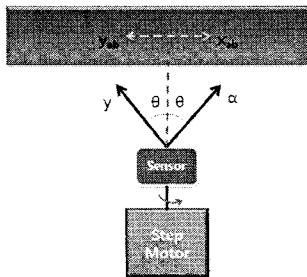


그림 3 Coordinates of sensors and obstacle

3. 퍼지 제어 주행 시스템

본 논문에서는 자율주행 전동 휠체어 시스템을 위해서 학습 능력을 가진 퍼지 제어 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 자율 주행 전동 휠체어가 주행도중 장애물을 만나 이 물체의 형상을 인식하고 회피하는 알고리즘이다. 또한 매번 센서로부터의 데이터를 수집하여 물체의 형상과 위치 정보를 학습한다. 그림 4와 그림 5는

“경로 인식 주행 및 장애물 회피”에 대한 알고리즘이다.

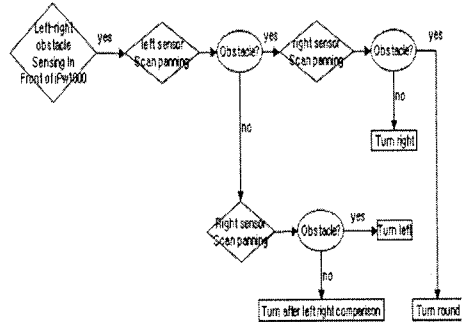


그림 4 Both Left and Right Autonomous Navigation and avoid Obstacle of iPw1000 algorithm

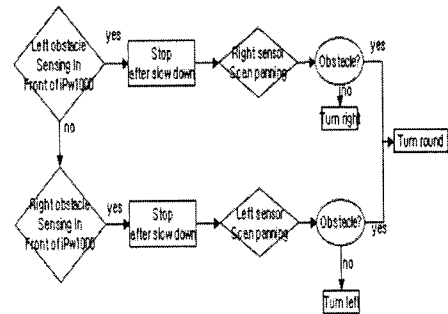


그림 5 Either Left or Right Autonomous Navigation and avoid Obstacle of iPw1000 algorithm

본 논문에서는 전동 휠체어 자율 주행을 위하여 8가지 가정을 설정한다.

- 가정1. 휠체어 전방 좌우 장애물을 감지하고 좌측 장애물을 감지했을 경우
- 가정2. 휠체어 전방 좌우 장애물을 감지하고 우측 장애물을 감지했을 경우
- 가정3. 휠체어 전방 좌우 장애물을 감지하고 좌우측에 장애물이 없을 경우
- 가정4. 휠체어 전방 좌측만 장애물을 감지했을 경우
- 가정5. 휠체어 전방 우측만 장애물을 감지했을 경우
- 가정6. 좌측방향 전진 중 우측면 센서 장애물이 없을 경우
- 가정7. 우측방향 전진 중 좌측면 센서 장애물이 없을 경우
- 가정8. 후진 중 후방 장애물을 감지했을 경우

위의 가정을 통하여 전동 휠체어가 주행 방향을 결정 하게 된다. 가정1의 경우는 오른쪽으로

턴 후 이동하게 된다. 가정2의 경우는 반대로 왼쪽으로 턴 후 이동하게 된다. 가정3의 경우는 현재 위치에 대해 학습이 없을 경우 기준을 왼쪽으로 턴을 하고 이동한다. 만약 학습이 있다면 그에 따라서 행동하게 된다. 가정4의 경우는 오른쪽으로 턴하고 장애물을 회피할 정도만큼 이동한 후 다시 왼쪽으로 턴하여 전진한다. 그리고 가정5의 경우는 가정 4의 반대의 경우로 움직이게 된다. 가정6의 경우는 오른쪽으로 턴 후 전진한다. 가정7의 경우는 반대로 왼쪽으로 턴 후 전진한다. 마지막으로 가정8의 경우는 정지하게 된다.

3-1. 자율 주행 학습 알고리즘

거리측정 센서를 이용한 자율 주행 휠체어를 효율적으로 이동하기 위해서는 학습이 필요하다. 즉, 장애물의 위치가 어디인지 알 수 없는 곳에서 장애물을 감지하면서 이동하여 학습을 하게 된다. 학습 알고리즘은 그림 6과 같다.

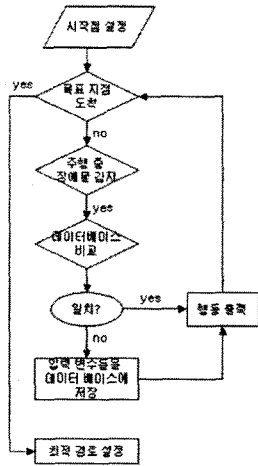


그림 6 자율 주행 학습 알고리즘

자율주행 전동 휠체어의 최적 경로를 찾기 위해서 최초 휠체어 시작시 시작점을 바꾸어가면서 학습을 한다. 이로 인해 장애물의 위치를 알게 함과 동시에 총 이동거리를 기준으로 가장 적은 거리를 이동한 학습의 시작점을 파악 할 수 있다. 그리하여 최적 경로를 설정하게 된다.

3-2. 장애물 회피를 위한 퍼지 제어

최적 경로를 설정하고 주행할 때 예상하지 못한 장애물을 만나게 될 수도 있다. 휠체어의 거리에 따라 충돌을 피하기 위해서 이동속도를 제어해야 한다. 본 논문에서는 휠체어의 이동속

도를 제어하기 위해 퍼지제어를 사용한다.

3.2.1 입출력 변수의 정의

본 논문에서 사용한 입출력 변수와 소속 함수는 다음과 같다.

- 입력 변수 : 거리(d), 각도(θ)
- 출력 변수 : 좌, 우 바퀴 속도(v_l, v_r)

여기서 입력변수의 거리는 현재 휠체어와 거리 센서에 의해 감지된 장애물과의 거리이고, 각도는 최단 경로로 설정된 휠체어의 진행방향과 현재 휠체어의 진행 방향 사이의 각도이다. 퍼지 소속 함수는 표1과 같다.

Distance	error angle
NE : Near	NB : Negative Big
	NS : Negative Short
	ZZ : Zero
FA : Far	PS : Positive Short
	PB : Positive Big

표 1 fuzzy function

3.2.2 퍼지 소속 함수 및 제어 규칙

위와 같은 입력 변수와 출력 변수를 사용하여 휠체어의 좌, 우 바퀴 속도를 제어하는 경우의 제어 규칙을 표2에 나타내었다. 표2와 같이 전조건부의 입력 변수 d 와 θ 에 대해 각각 2개와 5개의 퍼지 변수를 선택했을 때 좌, 우 바퀴속도의 출력에 적용된 제어 규칙은 총 20개이다.

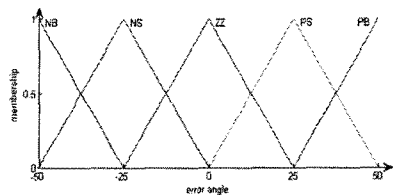


그림 7 Function by error angle 오차 각에 대한 소속 함수

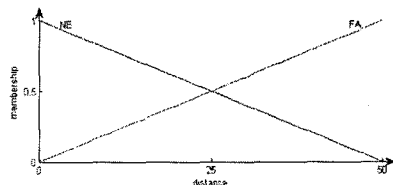


그림 8 Function by distance 거리에 대한 소속 함수

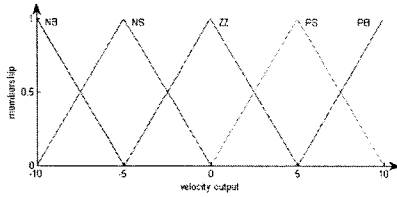


그림 9 Function by distance 거리에 대한 소속 함수

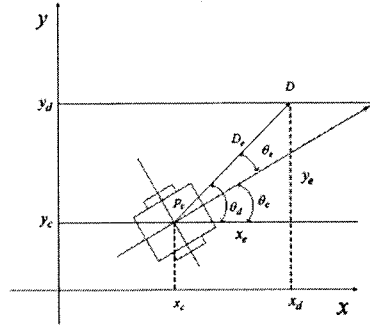


그림 10 목표점과 현재 위치의 오차

Fuzzy Input		Fuzzy Output	
Distance	Delta	Left motor velocity	Right motor velocity
NE	NB	PB	NB
NE	NS	PS	NS
NE	ZZ	PS	NS
NE	PS	PS	PS
NE	PB	PS	PS
FA	NB	PS	NS
FA	NS	PS	NS
FA	ZZ	PB	PB
FA	PS	PB	PB
FA	PB	PB	PB

표2 좌측 바퀴의 퍼지 제어규칙

4. 실험 및 구현결과

본 연구에서는 iPw1000 시스템 실험 및 구현을 위해 스텝 모터 위의 센서 플랫폼, 컨트롤 시스템 및 메인 시스템 구축을 위해 Intel PXA270 ARM System을 구축 실험하였다. 휠체어 시스템은 p110 시스템을 기본으로 시스템 변경 없이 컨트롤러의 조이스틱 시그널을 컨트롤 하여 자동 주행 하였다.

3.2.3 비퍼지화기

퍼지제어의 퍼지 추론결과는 제어입력 전체 집합에 정의된 퍼지집합으로 출력된다. 추론된 출력값은 프로세서의 입력 값으로 하기 위해서는 결정론적인 값으로 바꾸어져야만 한다. 이처럼 퍼지 값을 비 퍼지화 값으로 바꾸는 과정이 필요로 한다. 본 논문에서는 무게 중심법을 사용하고 이 방법은 직관적으로 가장 합리적이고, 타당해 보이는 방법이다.[5]

목표점을 갖는 자율 주행 휠체어의 위치 오차 자율 주행 휠체어의 목표점 좌표가 (x_d, y_d, θ_d) 와 같이 주어졌다면 위치 및 각도 오차에 대한 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 x_e &= x_d - x_c \\
 y_e &= y_d - y_c \\
 \theta_e &= \theta_d - \theta_c
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

그림 10에 목표점에 대한 자율 주행 휠체어의 오차 (x_d, y_d, θ_d) 를 나타내었다. 자율 주행 휠체어의 좌, 우 바퀴속도의 차이로써 v, w 를 조정하면 원하는 목표점까지 도달할 수 있게 된다.

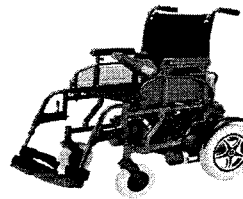


그림 11 power wheelchair

다음 그림 12은 Intel Pxa270 System을 보여주고 있다.

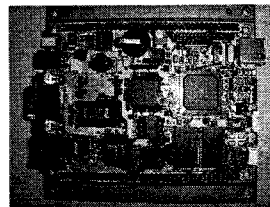


그림 12. iPw1000 메인 임베디드 시스템

그림 13은 시스템 전체에 대한 iPw1000 구성도 이다.

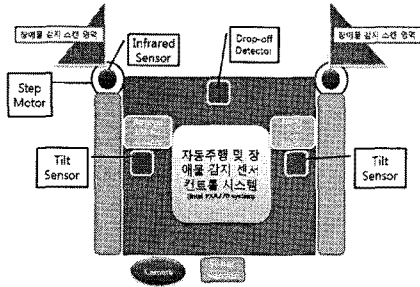


그림 13 iPw1000 System

4.1 센서 패닝 스캔 시스템

본 논문의 실험을 위해서 센서 시스템을 제작하여, 센서 패닝 스캐닝을 적용하였다. 그림 14에서는 거리측정 센서 Sharp GP2Y0A2YKOF 측정거리는 10 ~ 150cm, 스텝 모터는 NK243-01AT 1.8° Step을 사용하였다. 데이터 측정은 스텝 모터를 1.8°씩 움직이면서 거리측정 센서로부터 데이터를 획득하였다.

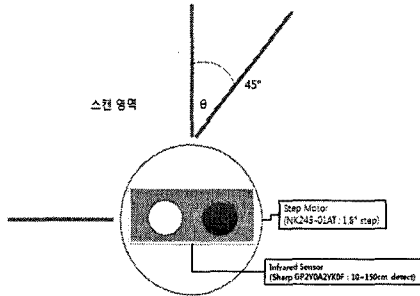


그림 14 Panning Scanning

센서 시스템은 스텝 모터에 의해 좌, 우 패닝 스캔을 하였다. 획득된 데이터는 센서 시스템을 위한 ATmega128 시스템을 전송되어 ADC Converter를 통해 10비트 샘플링 신호 처리된 데이터를 메인시스템에 전달 학습 데이터로 사용되게 하였다. 그림 5는 거리측정 센서 패닝을 통한 물체감지 시스템 구성도를 보여주고 있다.

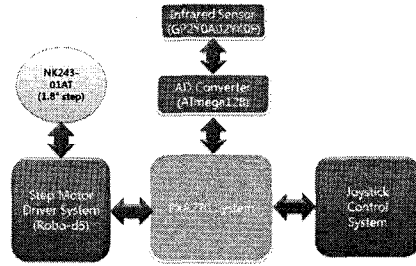


그림 15 Detection Obstacle system by Distance sensors and panning scan

4.2 퍼지 제어를 통한 자동 주행 시스템 구현

실험에 사용된 환경은 가로 255cm 세로 700cm 맵을 가지고 하였다. y축 좌측 200cm, 600cm 부근에 가로 100cm 세로 30cm 직사각형 장애물을 설치하였고 y축 우측 400cm 부근에 같은 크기의 직사각형 장애물을 설치하였다. 주행 방향은 y축 0에서 650 좌표까지 도달하는 것으로 하고 최적의 경로 시작점 위치를 찾는 것을 목표로 한다. 이동할 휠체어 크기를 가로 50cm 세로 100cm로 정하여 실험을 하였다. 환경 맵 구성은 그림16과 같다.

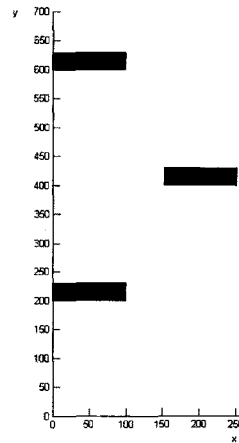


그림 16 Testing Map for autonomous navigation

실험할 휠체어의 시작점 위치를 각각, 휠체어 중심 좌표점 A(75,0), B(128,0), C(175,0)를 주고 주행하게 하였다. 모의 실험에 대한 주행 실험 결과는 그림17, 그림18 그리고 그림19와 같다.

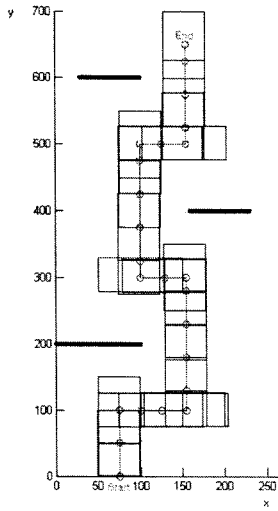


그림 17 Testing Result of Start Left at A(75,0)

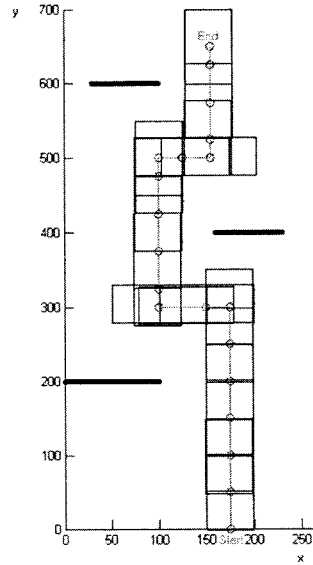


그림 19 Testing Result of Start Right at C(155, 0)

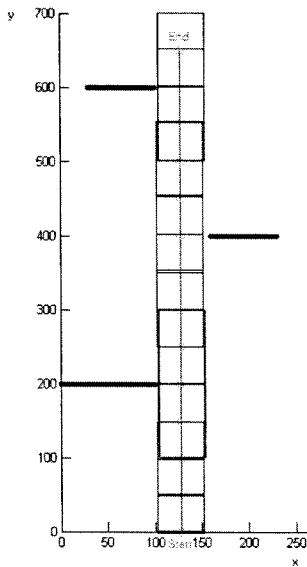


그림 18 Testing Result of Start Center at B(128,0)

휠체어가 주행하면서 장애물을 만나는 횟수에 따라 이동거리가 그 만큼 커지게 된다. 휠체어 속도는 일정하다고 가정하고 휠체어가 장애물을 50cm의 거리에서 감지한다. 감지된 장애물의 좌표점을 가지고 장애물을 피해 옆으로 이동할 때 측면이 30cm를 유지하도록 이동한다. A(75,0)에서 출발한 휠체어는 세 번의 장애물을 감지하고 6번의 턴을 하였다. 총 이동거리는 약 740cm를 이동하였다. B(128,0)에서 출발한 휠체어는 한 번의 장애물 감지 없이 직선으로 주행하였다. 총 이동거리는 약 650cm를 이동하였다. C(175,0)에서 출발한 휠체어는 두 번의 장애물 감지를 하고 4번의 턴을 하였다. 총 이동거리는 약 680cm를 이동하였다. 따라서 B에서 출발한 휠체어는 가장 짧은 거리로 목적지에 도착하여 최적의 경로를 위한 시작점을 설정할 수 있다.

5. 결론

자동 주행 전동 휠체어 구현에 있어 가장 중요한 점은 안전하게 목적지까지 이동하는 것일 것이다. 사용자는 불편함을 느끼지 않도록 안전한 시스템을 만드는 것이 목적이라고 할 수 있다. 본 논문에서는 안전성을 최대한 고려하여 자동주행을 위한 시스템 자율 주행 알고리즘을 개발 하였으며, 순간 상황을 위해 퍼지 제어를 도입하여 순간 물체의 이동이나 장애물의 출현에도 자동으로 물체를 회피 할 수 있도록 설계 하였다. 또한 학습 시스템을 통해 동일한 길에 대한 학습을 통해 시작점의 위치, 효율적인 자율

주행을 위한 경로 설정을 할 수 있도록 구현하였다. 아직 완전하게 시스템이 구현되지 않았고, 앞으로 초음파 센서나 레이저 센서 등을 통해 물체 감지를 좀 더 세분하게 현실성 있게 구성해야 하겠고 카메라 시스템을 도입해 센서 데이터를 이미지에 매칭 시켜 3차원 영상복원 시스템을 구축하여 더욱더 견고한 안전하고 스마트한 전동 휠체어를 구축해야 하겠다.

참고문헌

- [1] 안정우, 박동진, 권태중, 한창수, "자율 주행 차량의 경로추종 제어 알고리즘", 한국정밀 공학회지, 제 17권, 4호, pp.121-128, 2000.
- [2] Takanori Fukao, Hiroshi Nakagawa and Norihiko Adachi, "Adaptive Tracking Control of a Nonholonomic Mobile Robot", IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 16, No. 5, Oct. 2000.
- [3] Gisbert Lawitzky, "A Navigation System for Cleaning Robots", Autonomous Robots, Vol. 9, No.3, pp 255-260, 2000.
- [4] X. Yun and Nilanjan Sarkar, "Dynamic Feedback Control of Vehicle with Two Steerable Wheels", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3105-3110, April 1996.
- [5] Kim, S. C., "A Study on Collision Avoidance system of Vehicle using Fuzzy Control Algorithms," Dong-a University, pp. 28-47, 2002.