

지연시간 퍼지제어기를 이용한 자율 주행 휠체어

유 영 순[†] · 가 춘 식^{**}

(2002년 6월 7일 접수, 2002년 10월 5일 심사완료)

Use of the Delayed Time Fuzzy Controller for Autonomous Wheelchairs

Yeong Soon Ryu and Chun Sik Ga

Key Words: Obstacle Avoidance(장애물 회피), Fuzzy Controller(퍼지 제어기), Delayed Time Control Method(지연시간제어기법), Autonomous Wheelchairs(자율 주행 휠체어)

Abstract

A novel approach is developed for avoidance of obstacles in unknown environment. This paper proposes a new way of intelligent autonomous wheelchairs for the handicapped to move safely and comfortably. It is the objective of this paper to develop delayed time fuzzy control algorithms to deal with various obstacles. This new algorithm gives the benefit of the collision free movement in real time and optimal path to the moving target. The computer simulations and the experiments are demonstrated to the effect of the suggested control method.

1. 서 론

과학 기술의 발달로 인한 인구의 노령화는 독립생활이 힘든 사람(장애인)의 수를 증가시켜 사회적 문제를 야기시키고 있다. 이러한 장애인의 수적 증가에는 선천적인 장애자 외에도 최근에는 산업재해 및 교통사고 등으로 인한 후천적 장애자가 더 많은 부분을 차지하고 있다. 이는 교통사고 최다국인 우리나라의 경우 더욱더 심각한 문제이다. 이와 같은 노약자와 장애인들은 정상적인 사회활동을 하는데 많은 제약이 따르게 되고 휠체어를 사용해야만 한다.

일반적으로 사용되는 휠체어는 손으로 조작하여 이동 및 회전 등을 할 수 있게 되어 있으나

체력이 약한 노약자 및 손을 못 쓰는 장애인들은 자력으로 이동하기가 곤란하므로 전기 모터를 이용하여 주행을 하는 전동 휠체어가 개발되어 사용되어 오고 있다. 최근에는 계단 또는 승합차 등에서 타인의 도움 없이 계단을 오르내리거나, 승차 및 하차를 위한 리프팅 또는 다관절 로봇을 이용한 장치 등이 개발되고 있고 조이스틱 또는 음성 인식 기술 등을 활용하여 조작을 쉽게 하는 방법들도 개발되고 있으나 지금까지 개발된 전동 휠체어의 경우 손으로 조이스틱이나 핸들러를 이용해 직접 방향 및 속도를 조작하거나, 발로 브레이크를 조작하는 등 사지가 부자연스럽거나 조작이 서툰 사용자에게 의해 조그마한 충돌이나 흔들림에도 큰 부상을 초래할 수 있다. 이러한 위험성 때문에 완전한 자율 주행 휠체어의 개발 필요성이 대두되고 있다.^(1,2) 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 스스로 주행하는 휠체어를 퍼지 제어기법을 이용하여 개발하고자 한다.

자율 주행 차량의 장애물 회피 문제는 여러 과학자들에 의해 연구되어져 왔으며 고정 장애물에

† 책임저자, 회원, 안동대학교 기계공학과

E-mail : ysryu@andong.ac.kr

TEL : (054)820-5908 FAX : (054)823-5495

* 안동대학교 대학원 기계공학과

대한 연구로는 최단 경로 주행에서 시작되어, 다양한 형상에 대한 회피에서 최종적으로 국부점 문제에까지 거의 가능한 모든 경우에 대하여 완전한 해법이 개발되고 있다. 그러나 이동 장애물의 경우는 장애물의 위치가 실시간으로 변하므로 이전 상황의 자료를 분석하여 현 상황의 판단 자료로 사용하는 제어 기법으로는 능동적으로 대처하는데 많은 문제가 따르고 있다. 이러한 문제의 해결을 위하여 Kant, Brooks, Borenstein 및 Fiorini⁽³⁻⁷⁾ 등의 많은 연구자들에 의해서 다양한 주제들을 가지고 연구가 진행되어 왔다. 하지만 거의 대부분의 논문에서 이동 장애물을 회피하기 위한 완전한 기법은 제시되지 않았고 대다수의 연구는 이러한 문제를 보상하기 위한 방법으로 경로를 고정시키고 계획된 경로 내에서만 가·감속을 하거나⁽³⁾ 환경에 대해 수학적으로 표현이 가능한 경우에만 구원이 가능하고⁽⁴⁻⁶⁾ 차량의 속도가 일정하다는⁽⁷⁾ 한정적인 가정에서의 기법이 적용되고 있다.

장애물 회피 문제에서 중요한 점은 아주 짧은 시간에 상대방의 움직임을 파악하여 먼저 행동을 취해야 하는데 다음 동작을 예측하기 어려울 경우 아주 짧은 시간이라도 먼저 상대 동작을 분석하고 이에 대응할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 휠체어에 센서를 장착해 장애물과의 거리와 방향을 입력으로 휠체어 좌우 바퀴를 각각 구동시키고 제어기에 의해 직접 휠체어의 운동 방향 및 속도를 제어하여 조작성 가능하도록 한다. 또한 실시간으로 변하는 주변 정보를 빠르게 인식하고 유연하게 대처하도록 하기 위해서 지연시간 퍼지 제어 기법을 개발하여⁽⁹⁾ 랜덤하게 움직이는 장애물에 대해서 모의실험을 통하여 검증하고 더 나아가 자율 주행 휠체어 시스템의 실험을 통해 성능을 증명한다.

2. 이론적 고찰

자율 주행 휠체어의 경우 장애물의 특성을 파악하여 유연하게 회피해야 하는데 이를 위해 본 논문에서는 지연시간 기법을 개발하여 적용한다. 여기에서는 장애물 회피에 사용된 지연시간 기법과 회피 알고리즘 및 퍼지 제어기 모델에 대하여 소개한다.

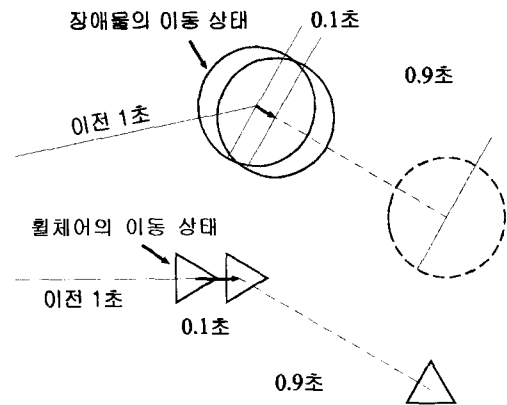


Fig. 1 Simplified Geometric Sketch of Delayed Time Control Method

2.1 지연시간 기법⁽¹⁰⁾

이동 장애물에서는 장애물이 랜덤하게 움직이므로 그 방향과 속도를 예측하여 실시간으로 제어하기가 쉽지 않다. 이전 단계의 동작에서 획득된 정보로 추후 경향을 판단하는 방법은 실시간 제어에서는 적합하지 않다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 지연시간 기법을 적용한 퍼지제어기를 제안한다. 이 기법은 제어 동작을 수행하는 전체 시간을 분할해서 수행하는 시간의 처음 일정 부분의 시간이 지난 후에 경향을 확인하여 그 수행시간 내에 판단 알고리즘을 세워서 실시간으로 휠체어가 움직이게 된다. Fig. 1에서 장애물은 이전 1초간 진행한 후 다음 1초 동안 Fig. 1의 상단과 같이 방향을 수정 진행한다. Fig. 1에서 휠체어가 이전 1초간의 데이터만을 사용하여 판단할 경우에는 충돌이 발생하게 되지만 지연시간 기법을 이용하여 1초 이동 후 처음 임의의 시간 0.1초가 지난 후 판단을 한 경우에는 장애물의 최신 진행 방향 정보를 받을 수 있어 충돌을 피할 수 있게 됨을 알 수 있다. 물론 0.1초라는 초기값 손실은 있으나 이는 분할 정도를 줄임으로써 보상될 수 있다. Fig. 2,3은 시간 지연이 없는 기존의 일반회피 방법과 수행 시간(1초)을 시분할하여 처음 0.1초 구간에서는 제어 동작 없이 장애물의 이동 경향을 판단하고 나머지 0.9초 동안에서는 제어 동작이 이루어지는 지연시간 기법을 비교한 시간 진행도 이다. Fig. 4는 퍼지제어기에서 시간 지연 관계를 나타낸 것이고 이는 간단히 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

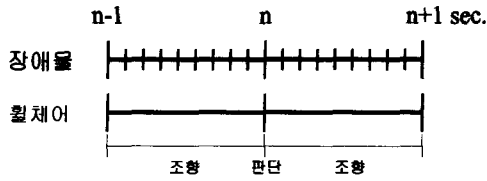


Fig. 2 Time Step of Regular Case

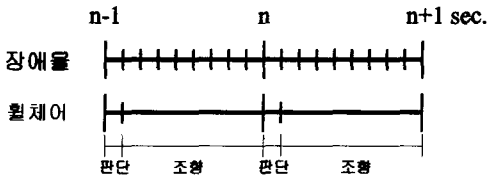


Fig. 3 Time Step of Delayed Time Case



Fig. 4 Delayed Time Fuzzy Controller

$$u(t+\tau) = f(d(t), \theta(t), l(t)) \quad (1)$$

- u : 퍼지 제어기 출력
- d : 이동 차량의 이동 거리
- θ : 로봇 진행방향과 장애물이 이루는 각
- l : 장애물과 이동 차량과의 거리
- f : d, θ, l 에 의한 함수
- τ : 지연 시간

2.2 회피알고리즘

지연시간 퍼지제어 알고리즘은 휠체어와 장애물 사이의 거리, 회피각, 그리고 휠체어와 장애물의 상대 속도를 충돌 회피의 정성적 분석에 이용한다.

주행시 장애물의 운동 파악은 센서로부터의 입력으로 이루어진다. 이를 통해 장애물과의 거리와 장애물과 이루는 각도와 그 변화량을 구할 수 있고 회피 조건으로는 다음의 기준이 있다.

- 휠체어 진행방향에서 장애물까지의 거리가 가까울수록 충돌가능성이 커진다.
- 왼쪽 장애물 회피각이 오른쪽 장애물 회피각보

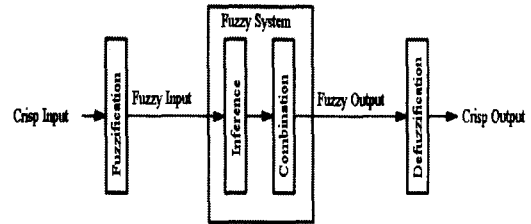


Fig. 5 Fuzzy System

다 크다면 오른쪽 방향이 충돌 회피 방향이 된다.

- 오른쪽 방향으로 진행 중 오른쪽 장애물 회피각이 작을수록 충돌 가능성이 줄어든다.

위의 회피조건을 근거로 휠체어에서 목표에 대한 장애물의 최적 회피각은 휠체어의 위치와 장애물의 위치 사이의 거리, 휠체어의 진행방향에서 장애물과 충돌할 때 휠체어의 진행방향에서 장애물 중심과 충돌점 사이의 각, 휠체어의 진행방향 그리고 휠체어와 목표점 사이의 각을 통해 산출한다.

또한, Hamilton-Jacobi-Bellman 방정식으로부터의 제한 함수를 이용하여 회피 방법의 기준으로 삼는다.⁽¹¹⁾ 이 식은 장애물의 인식 후, 장애물의 가까운 외곽 방향으로 이동하다가 일정거리로 가까워지면 장애물을 벗어날 때까지는 장애물 주위 주행을 하고 이 후에는 목표점을 향해 직진하는 것이 가장 최단 거리로 가는 주행 알고리즘이 됨을 증명해주고 있다.

2.3 퍼지제어기 모델

본 논문에서 적용한 퍼지제어기는 Fig. 5와 같이 시스템을 구성하였으며, 첫 번째 단계는 퍼지화과정으로 명확한 입력 데이터를 소속 함수를 사용하여 퍼지 정도로 표현하고 다음 단계는 퍼지 추론을 이용하여 퍼지 정도에 기초하여 각각의 규칙의 결론을 계산하는 과정으로써 맘다니 모델을 이용하여 추론을 하였다. 세 번째 단계는 각각의 구해진 결론을 하나의 최종 결론으로 결합하는 과정인데 맘다니 모델에서는 최소값을 사용하는 Clipping법을 사용하여 합성하고 최종적으로 Max 연산자를 사용하여 모든 규칙의 출력을 모아 퍼지 모델의 최종 출력을 얻는다. 마지막으

Table 1 Distance to Obstacle

| Distance to Obstacle | Range (p,r,q)[mm] |
|----------------------|-------------------|
| SS | 0 ~ 50 (0, 0,50) |
| BB | 0 ~ 50 (0,50,50) |

Table 2 Obstacle Direction

| Obstacle Direction | Range (p,r,q) |
|--------------------|---------------------------|
| NB | -50° ~ -25° (-50,-50,-25) |
| NS | -50° ~ 0° (-50,-25, 0) |
| ZZ | -25° ~ 25° (-25, 0, 25) |
| PS | 0° ~ 50° (0, 25, 50) |
| PB | 25° ~ 50° (25, 50, 50) |

Table 3 Velocity of L(R)-Motor

| Velocity Of L(R)-Motor | Range (p,r,q)[mm/s] |
|------------------------|-----------------------|
| NB | -10 ~ 5 (-10,-10, -5) |
| NS | -10 ~ 0 (-10, -5, 0) |
| ZZ | -5 ~ 5 (-5, 0, -5) |
| PS | 0 ~ 10 (0, 5, 10) |
| PB | 5 ~ 10 (5, 10, 0) |

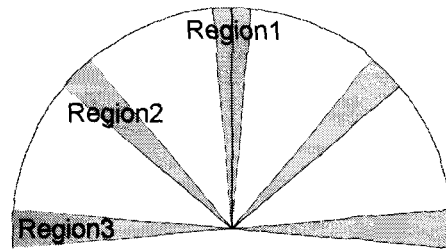


Fig. 6 Sensor Array

로 최종 결합된 퍼지 결론을 비퍼지 기술을 이용하여 명확한 출력으로 변환하는 과정으로 전체 가능성 분포를 고려한 COA법을 사용하였다 .

퍼지 제어기에 사용되는 언어 변수는 NB(Negative Big), NS(Negative Small), ZZ(Zero), PS(Positive Small), PB(Positive Big), SS(Small), BB(Big) 이다. 입력변수는 휠체어와 장애물까지의 거리와 회피각이고 출력변수는 좌우측 모터속도이다.

위에 설정된 언어 변수로 만들어진 각각의 입력 출력 변수에 대한 Triangular을 사용한 소속함수는 다음과 같이 식 (2)에서 정의되며 파라미터 p,r,q 값과 함께 각 각의 영역은 Table 1~3에 제시하였다.

$$\mu_r = \begin{cases} \frac{1}{r-p}(x-r)+1, & p < x \leq r \\ \frac{-1}{(q-r)}(x-r)+1, & r < x \leq q \end{cases} \quad (2)$$

여기서,

- p : 퍼지 입력 변수 구간의 초기값
- r : 퍼지 입력 변수 구간의 끝값
- q : 퍼지 입력 변수 구간의 최대값
- x : 실제 퍼지 입력 값

Table 4 Fuzzy Rule

| Fuzzy Input | | Fuzzy Output | | | | | |
|-------------|-------|--------------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Distance | Delta | 영역 1 | | 영역 2 | | 영역 3 | |
| | | 왼쪽 모터 속도 | 오른쪽 모터 속도 | 왼쪽 모터 속도 | 오른쪽 모터 속도 | 왼쪽 모터 속도 | 오른쪽 모터 속도 |
| SS | NB | PB | NB | PB | NB | PB | NB |
| SS | NS | PS | NS | PS | NS | PS | NS |
| SS | ZZ | PS | NS | PS | NS | PS | NS |
| SS | PS | PS | PS | PS | PS | PS | PS |
| SS | PB | PS | PS | PS | PS | PS | PS |
| BB | NB | PS | NS | PS | NS | PS | NS |
| BB | NS | PS | NS | PS | NS | PS | NS |
| BB | ZZ | PB | PB | PB | PB | PB | PB |
| BB | PS | PB | PB | PB | PB | PB | PB |
| BB | PB | PB | PB | PB | PB | PB | PB |

Table 1에서 장애물과 휠체어간의 거리는 실제 실험에 사용될 장치의 유효 센싱 거리를 기준으로 그 범위를 설정하였으며 가깝다(SS), 멀다(BB)로 구분하였다. Table 2에서 장애물과 회피각 범위는 Fig. 6에서의 센서 배열을 근거로 장애물이 정면에 있는 경우(ZZ), 왼쪽에 많이 치우쳐 있는 경우(NB), 왼쪽에 약간 치우쳐 있는 경우(NS)와 오른쪽에 많이 치우쳐 있는 경우(PS), 오른쪽에 약간 치우쳐 있는 경우(PB)로 구분하였으며 Table

3의 좌우 모터 속도는 실험장치의 센싱거리와 최대속도를 고려하여 고속전진(PB), 저속전진(PS), 정지(ZZ), 고속후진(NB) 그리고 저속후진(NS)으로 구분되며 주행 과정에서 모터를 제어하여 휠체어의 속도와 방향을 결정한다.

퍼지 제어기의 규칙은 정성적으로 Table 4와 같이 IF-THEN 형식으로 표현된다.

3. 모의 실험

본 논문에서 제안한 지연시간 퍼지 제어 기법의 효용성을 검증하기 위하여 유사한 조건에서의 모의 실험을 수행한다.

3.1 센서 정보 추출

모의 실험의 조건은 실제 실험 장비와 유사하게 정의했다. 센서의 개수는 좌측 3개, 우측 3개를 합한 총 6개이다. 배치는 0°, 45°, 90°방향이고 전방 2개의 측정각은 5°, 나머지는 10°이다. 측정거리는 최대 50mm이다. 센서 개수의 제한으로 측정 범위 안으로 들어와도 센싱이 되지 않는 경우가 발생할 수 있으므로 원형 장애물의 경우는 크기를 직경 50mm로 가정하였다. 이는 센서의 개수와 오차 범위에 대한 문제로 상황에 따라 최적값을 지정할 수 있다.

퍼지 입력 생성을 위한 알고리즘 구성에는 장애물이 있는 영역을 3개로 구분하고 회피하는 방법은 아래의 제어 규칙을 따르도록 한다.

- 영역 1의 규칙 - 장애물이 정면에서 다가오는 경우 정지 후 방향을 전환한다.
- 영역 2의 규칙 - 장애물이 사선에서 다가오는 경우 감속 후 방향을 전환한다.
- 영역 3의 규칙 - 장애물이 측면에서 다가오는 경우 이동 중 방향을 전환한다.

3.2 회피 주행 알고리즘

회피 주행을 위한 알고리즘은 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있으면 다음과 같은 절차로 수행된다.

- ① 현 휠체어의 위치가 목표점이면 휠체어를 정지시킨다.
- ② 휠체어의 센서를 통해 주위 장애물을 감지하여 퍼지 제어기의 입력변수를 생성한다.
- ③ 주변에 장애물이 없으면 목표점으로 복귀한다.
- ④ 지연시간 기법으로 정의한 시간이 아니면 계속 진행한다.
- ⑤ 지연시간 기법으로 정

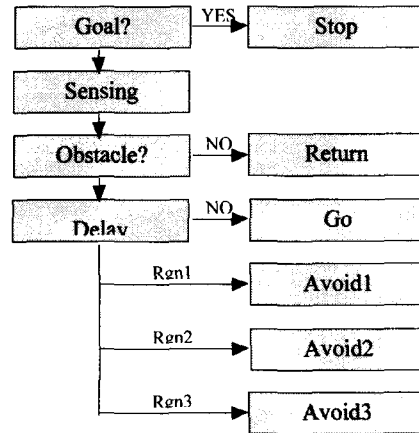


Fig. 7 Algorithm Flow Chart

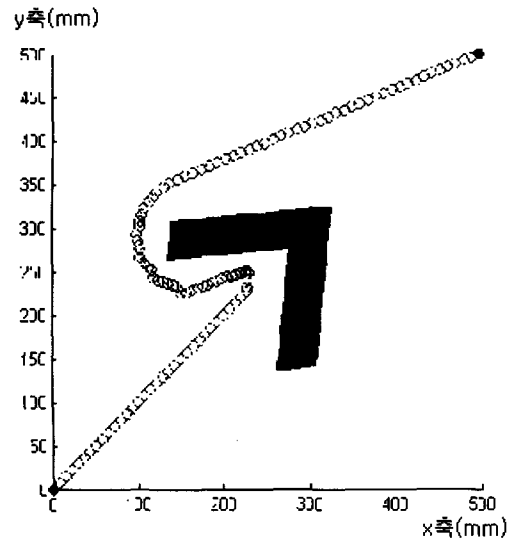


Fig. 8 Trajectory of Delayed Time Control in Fixed Local Minimum Obstacle Case

의한 시간이 되면 영역에 따라 퍼지 제어기를 적용시킨다. ⑥ ①~⑤를 반복한다.

3.3 실험 결과 및 고찰

전체 환경의 크기는 500mm×500mm로 정했고 휠체어의 시작점은 좌측 하단이고 도착점은 우측 상단이다.

3.3.1 모의실험 1 - 복도상의 정지 장애물

복도 이동시 복도 한가운데 고정 장애물이 놓

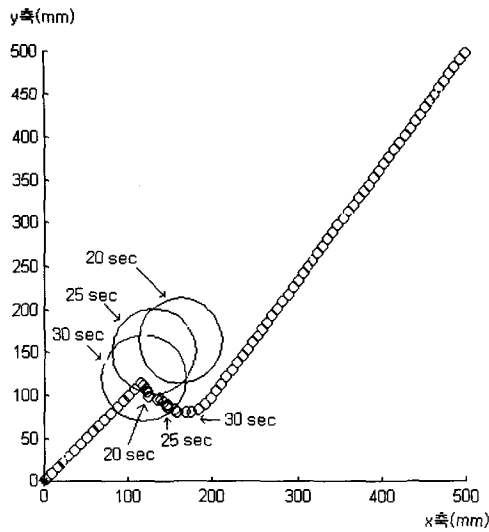


Fig. 9 Trajectory of Delayed Time Control in Moving Obstacle Case

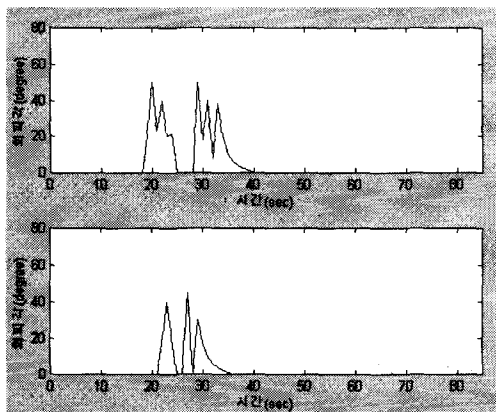


Fig. 10 Rate Changing (上-Regular, F-Delayed)

여 있는 경우에 고정 장애물의 위치는 (250,250)으로 반지름은 50이다. Fig. 8에서 지연회피를 통해 복도상의 고정 장애물 중 극복최소점 문제에 대해 원만하고 유연한 회피가 이루어짐을 보여주고 있다.

3.3.2 모의실험 2- 이동 장애물

복도에서 마주 오는 이동 장애물을 피하면서 목표점에 이르는 경우로써 장애물의 초기 위치는 (250,250)으로 장애물이 매초 방향을 바꾸면서 마주 오고 있는 경우로 Fig. 9와 Table 5에서와 같이

Table 5 Comparison of Regular and Delayed Case

| 장애물속도 (mm/sec) | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 일반회피 (sec) | 충돌 | 충돌 | 충돌 | 충돌 | 충돌 | 86.3 | 84.5 |
| 지연회피 (sec) | 88.8 | 83.6 | 83.8 | 84.4 | 84.9 | 85.0 | 85.1 |

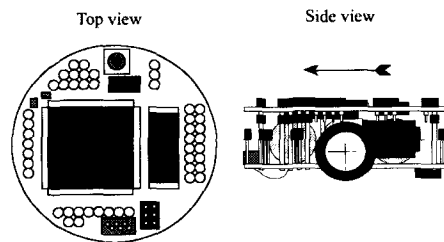


Fig. 11 Overview of Khepera System

지연 시간 기법을 사용하지 않고 회피 알고리즘을 사용하였을 경우 인 일반회피의 경우보다 지연회피에서 훨씬 원만하고 유연한 회피가 이루어졌으며 일반회피에서는 피하지 못하고 충돌하는 경우들에 대해서 탁월한 회피 성능을 보여주고 있다. 이는 실시간으로 변화하는 이동 장애물에서의 원만한 회피가 이루어지고 있음을 알 수 있다. Fig. 10 에서는 위 경우에서의 회피각 변화량을 보여주고 있다. 회피각 변화는 일반 회피의 경우 주행 시작 후 19초부터 39초 구간까지 21초 동안 발생하였으나 지연시간 회피의 경우 22초부터 34초까지 단지 13초 동안 만 회피하고 있으며 각 변화량도 비교적 완만한 변화 곡선을 보여주고 있다. 실시간으로 급격히 변화하는 장애물들에 대해서 일반회피의 경우에는 피하지 못하고 충돌을 일으키거나 회피 동작이 급격하게 이루어지는 등 부자연스러웠으나 지연시간 퍼지 제어기를 이용한 알고리즘은 탁월한 성능을 보여주고 있다. 이는 절대로 충돌해서는 안되며 유연하게 회피를 하여야만 하는 휠체어의 경우에서 안전을 보장할 수 있음을 제시하고 있어 매우 고무적인 결과라고 할 수 있다.

4. 실험

4.1 실험 장치

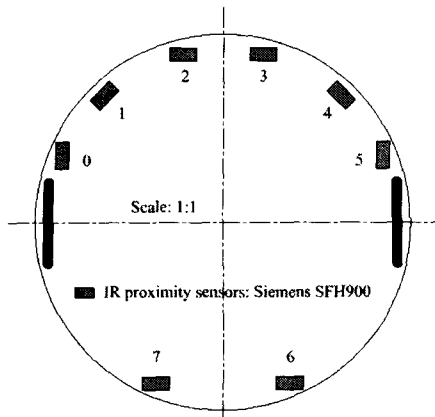


Fig. 12 Position of Sensors

자율 주행 휠체어 실험에는 구조적 특성이 휠체어와 동일한 소형 이동 로봇을 이용하여 제안된 새로운 알고리즘을 실제적으로 적용하고 결과를 검증한다. 실험에 사용된 이동 로봇은 다음과 같다.⁽¹²⁾

Khepera는 적외선 센서를 이용하여 장애물을 감지하고 좌우 DC모터를 이용하여 로봇을 이동시킨다. 실제 휠체어에서는 적외선 센서보다 크고 감지 범위가 큰 초음파 센서를 이용하도록 한다. 제어기는 PC와 Serial Line으로 연결하여 MatLab모듈을 이용한다. 제안된 알고리즘은 MatLab으로 작성되어 시뮬레이션 상으로 충분히 검증된 다음 유선으로 이동 로봇을 제어한다. 적외선 센서는 Fig. 12와 같이 전방에 6개, 후방에 2개를 배치하고 주변광과 반사광 측정방식을 사용하여 최대 50mm까지 측정이 가능하다. 동일한 재질과 색깔을 갖는 물체를 장애물로 설정하여 반사광을 측정하여 각 센서로부터 장애물까지의 거리 데이터를 얻을 수 있으며 센서가 일정한 각도로 배치되어 있으므로 휠체어의 진행 방향과 장애물이 이루는 각 데이터 그리고 목표방향과 휠체어의 진행 방향과의 차이를 측정할 수가 있다. 입력된 값은 A/D Converter를 이용하여 디지털 값으로 변환된다.

모터는 위치제어, 속도제어, PWM제어의 3가지 방식으로 제어가 가능하다. 위치제어는 이동할 거리를 입력값으로 주고 로봇을 이동시킬 때 사용되고 속도제어는 좌우 모터의 속도를 입력값으로 주고 로봇을 움직일 때 사용되고 PWM은 펄스신호를 이용하여 모터를 제어할 때 사용한다.

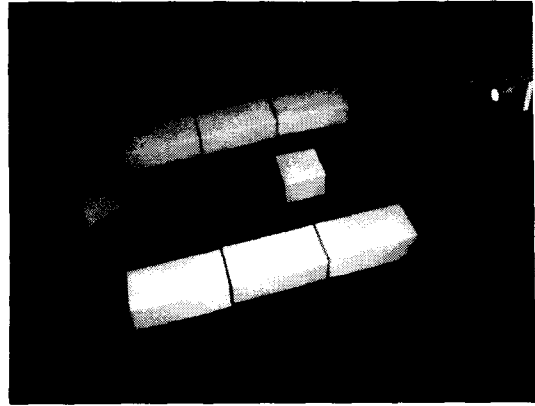


Fig. 13 Experimental Setup: Khepera Robot, Obstacles

여기서는 속도제어 방식을 이용하여 로봇을 구동시키는데 이는 이동 휠체어의 주행에 있어서 중요한 점은 실시간으로 변하는 장애물들의 상대적 위치를 파악하여 휠체어가 이러한 장애물을 유연하게 회피하면서 진행하도록 하는 것이다. 이때 휠체어의 이동 장치는 2개의 주 바퀴를 제어함으로써 가능해지는데 두 바퀴의 회전 속도를 모터 속도에 의해 조정함으로써 휠체어의 방향과 속도가 결정되기 때문이다.

실험 환경의 전체크기는 2000mm×2000mm이고 목표점에는 할로젠 램프를 사용해서 Khepera의 주변광 측정방식을 이용하여 목표를 찾을 수 있게 한다. 본 실험에 사용된 할로젠 램프는 ILLUMINATOR OHS-100S 모델로 조사범위는 1000mm×1000mm이고 광량은 3000cd이다. 이 램프의 사용목적은 광원을 이용 목표를 결정하기 위함으로 목표점의 수정이 용이하고 이동하는 목표를 추종할 수 있는 장점이 있다. Khepera의 시작점은 좌측 하단이고 도착점은 우측 상단으로 한다. 이동 장애물은 DC모터를 사용하여 정해진 궤도를 추적할 수 있도록 한다.

4.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 13은 실험에 사용된 장치의 개략도이고 Fig. 14-16은 실제 실험 결과를 비디오 카메라로 촬영하여 컴퓨터 상에서 재구성 한 것이다. 그리고 Table 6은 총 이동거리와 이동 시간에 대한 결과를 정리한 것이다. 실험 1은 고정 장애물의 경우이고 실험 2에서는 이동 장애물을 속도

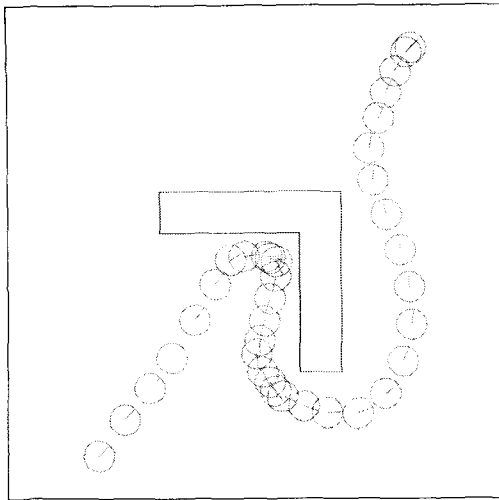


Fig. 14 Experiment 1 - Fixed Obstacle

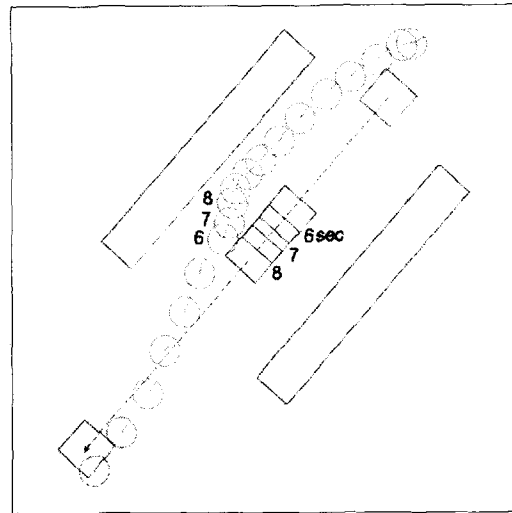


Fig. 16 Experiment 3 - Fixed and Moving Obstacle

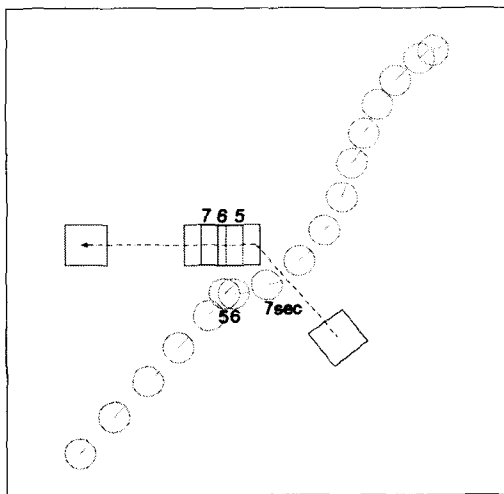


Fig. 15 Experiment 2 - Moving Obstacle

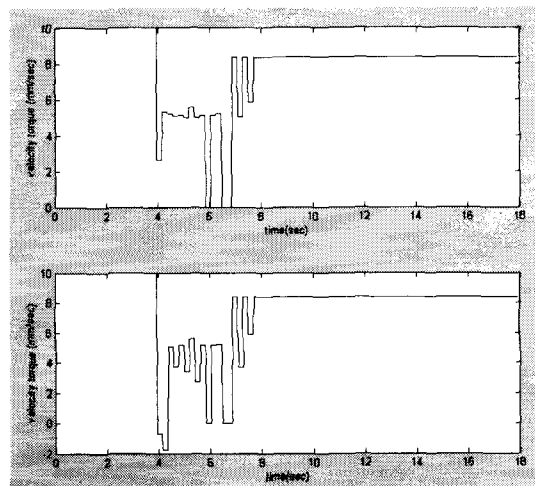


Fig. 17 Velocity Torque Input (上-Left Motor, 下-Right Motor)

64.90mm/sec 로 움직이다가 4초 후 34.84mm/sec 로 이동하였다. 실험 3은 복도와 같은 좁은 통로에서 마주 오는 사람을 회피하면서 진행하는 경우로써 실제의 주행 환경에 일어날 수 있는 환경에서도 유연한 회피가 이루어지고 있음을 잘 보여주고 있으며 Fig. 17 은 실험 2의 경우에 대한 좌우 모터의 속도 토크로써 4초 후 지점에서 우측 모터의 토크가 좌측 토크보다 커 오른쪽 방향 회피가 이루어지고 다시 서서히 좌 우 토크가 비슷해지다가 회피가 끝나가는 시점에서 다시 우측 토크가 커지면서 목표점을 향해 방향을 전환함을 보여주고 있다.

Table 6 Experiment Results

| | 총이동거리(mm) | 총이동시간(sec) |
|-----|-----------|------------|
| 실험1 | 1959.55 | 34.33 |
| 실험2 | 1166.78 | 16.93 |
| 실험3 | 1187.62 | 18.45 |

5. 결론

자연시간 퍼지제어기를 이용한 자율주행 휠체어에 대해서 고정과 이동 장애물에 적용하여 충돌 없이 목표점에 도달함을 모의실험과 실험을 통해 검증하였다.

또한 장애물 회피시 충격을 고려하여 변화량을 현저히 줄임으로써 휠체어에 탑승한 장애인에게 안정감과 편안함을 제공할 수 있음을 보여주고 있다.

앞으로 실제 휠체어의 제작 및 초음파 센서, 비전, 음성 인식 장치 등 다양한 인터페이스 장치 등을 적용한 새로운 제어 로직의 응용으로 강인성을 더 높일 계획이다. 그리고, 개발된 로직을 마이크로프로세서화 하여 휠체어에 탑재하고 환자의 안전 및 유연성을 고려한 충격 완화용 바퀴나 손잡이, 쿠션 등의 구조적인 보완이 뒤따른다면 실용화도 가능하다.

신체적 또는 정신적 결함으로 인하여 스스로 이동이 불가능하여 휠체어에 의존해야 하는 사람들이 증가하고 있으며 특히 교통사고가 잦고 장애인을 위한 안전시설이 부족한 우리나라 현실을 감안할 때 이들이 안전하게 도심 한복판을 다닐 수 있기를 바란다.

참고문헌

- (1) Choi, I.K., Lee, E.H., Jang, Y.K., Han, Y.H., Hong, S.H., 1994, "Wall Following for Electric Wheelchair," *Journal of Biomechanics* Vol. 15, No. 2, pp. 209~215.
- (2) Jeong, D.M., Go, S.B., Kim, J.M., 1995, "Moving Stability Improvement of Electrical Manual INMEL-VII Wheelchairs," *Journal of Biomechanics* Vol. 16, No. 4, pp. 543~553.
- (3) Kant, K. and Zuercher, S.W., 1986, "Toward Efficient Trajectory Planning: The Path-Velocity Decomposition," *The International Journal of Robotic Research*, Vol. 5, pp. 72~89.
- (4) Brooks, R.A., 1986, "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot," *IEEE J. Robotics and Automation*, Vol. 2, No. 1, pp. 14~23.
- (5) Gomi, T., 1993, "Subsumption Robots and Application of Intelligent Robots in Service Industry," *Journal of Saving and Automation*, Ohmsha Ltd.
- (6) Borenstein, J. and Koren, Y., 1991, "The Vector Field Histogram Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 7, No. 3, pp. 2878~2887.
- (7) Fiorini, P. and Shiller, Z., 1993, "Motion Planning in Dynamic Environments using the Relative Velocity Paradigm," *Proc. IEEE int. conference on Robotics and Automation*, Vol. 1 pp. 556~560.
- (8) Shimada, K., Mabuchi, S. and Hara, K., 1991, "Identification of Operators Judgement Rules of Danger in Collision Avoidance Maneuvering of Ships," *Proc. 7th Fuzzy Syst. Symp.*, Japan, pp. 509~512.
- (9) John Yen & Reza Langari, 1999, *Fuzzy logic; Intelligence, Control, and Information*, Prentice Hall.
- (10) Ryu, Y. S, Ga, C.S., 2000, "Use of the Delayed Time Fuzzy Controller for Obstacle Avoidance of Mobile Robot," *Trans. of the KSME A*, pp. 570~575.
- (11) Sundar, S. and Shiller, Z., 1997, "Optimal Obstacle Avoidance Based on the Hamilton-Jacobi-Bellman Equation," *IEEE Trans. on Robotics & Automat.*, Vol. 13, No. 2, pp. 305~310.
- (12) K-Team, 1999, *Khepera User Manual*, K-Team S.A.