

수정된 유전자 알고리즘과 퍼지 추론 시스템을 이용한 무인 자율주행 이송장치의 다중경로계획

김정민* · 허정민** · 김성신***

Multiple Path-planning of Unmanned Autonomous Forklift
using Modified Genetic Algorithm and Fuzzy Inference system

Jungmin Kim* · Jungmin Heo** · Sungshin Kim***

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)로부터 지원받아 수행된 연구(지역거점연구단육성산업/차세대물류IT기술연구사업단)와 부산대학교 특수환경 Navigation/Localization 로봇기술연구센터를 통한 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음

요 약

본 논문에서는 수정된 유전자 알고리즘과 퍼지 추론 시스템을 이용한 무인 자율주행 이송장치의 다중경로계획을 연구하였다. 기존의 다중경로계획을 위한 방법으로는 최적화 알고리즘들을 이용한 작업별회귀 방법과 매시간 각 개체마다 경로를 재계획하는 방법이 있다. 이러한 방법들은 한 대의 이송장치가 작업을 하기 위해서는 한 대 이상의 이송장치가 정지해야하므로 시간과 에너지 측면에서 비효율적이며, 연산량이 많아 오류가 발생할 가능성이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 수정된 유전자 알고리즘과 퍼지 추론 시스템을 이용한 다중경로계획을 제안한다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 무인 자율주행이 가능한 2대의 이송장치를 설계·제작하였고 지게차와 동일한 주행 제어부를 탑재하여 다중경로계획을 실험하였다. 실험 결과, 빠르고 최적화된 경로계획과 효율적인 충돌 회피가 가능함을 확인 할 수 있었다.

ABSTRACT

This paper is presented multiple path-planning of unmanned autonomous forklift using modified genetic algorithm and fuzzy inference system. There are a task-level feedback method and a method that path is dynamically replanned in realtime while the autonomous vehicles are moving by means of an optimal algorithm for existing multiple path-planning. However, such methods cause malfunctions and inefficiency in the sense of time and energy, and path-planning should be dynamically replanned in realtime. To solve these problems, we propose multiple path-planning using modified genetic algorithm and fuzzy inference system and show the performance with autonomous vehicles. For experiment, we designed and built two autonomous mobile vehicles that equipped with the same driving control part used in actual autonomous forklift, and test the proposed multiple path-planning algorithm. Experimental result that actual autonomous mobile vehicle, we verified that fast optimized path-planning and efficient collision avoidance are possible.

키워드

autonomous robot, autonomous forklift, multiple path-planning, fuzzy inference system

* 부산대학교 전자전기공학과 박사과정

접수일자 2009. 01. 20

** 부산대학교 전자전기공학과 석사과정

심사완료일자 2009. 03. 21

*** 부산대학교 전자전기공학과 부교수 (교신저자)

I. 서 론

현재 산업현장에서 응용되는 자율장치(robot)는 예전의 단순, 반복 작업만 되풀이 하는 머니퓰레이터(manipulator) 방식으로 작업 공간과 능력에 한계가 있었고, 이러한 단점을 보완하기 위해 자율주행 장치가 필요하게 되었다[1]. 최근 물류 자동화산업에서는 자율장치를 활용하여 물류 운반의 입고에서 출고까지의 과정을 무인화하기 위한 유연 생산 체계(FMS : Flexible Manufacturing System)가 활발히 연구되고 있다. 이러한 무인화 작업 중에서도 물류 작업장 내에서 물류 운반자동화를 위한 무인 자율주행 이송장치가 대두되고 있다[2]. 이전의 자율주행 이송장치에 관한 연구는 작업 공간에서 한 대만을 고려하였다. 하지만 물류 사업이 활발해짐에 따라 물류의 양이 증가되었고, 그에 따라 요구되어지는 작업량도 증가되고 있다. 이에 이전에 단일 자율주행 이송장치가 아닌 다수의 자율주행 이송장치가 필요하다.

같은 작업 공간 내에서 여러 대의 자율주행 이송장치들이 작업을 수행할 경우 서로에 대해 교착이나 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 이런 사태를 방지하기 위해서는 다중경로계획이 필요하다. 다중경로계획이란 다수의 개체들을 고려한 경로계획방법으로써, 다수의 개체들이 안전하게 공간 내에서 충돌 없이 주행할 수 있도록 하는 경로계획 방법을 의미한다[3]. 기본적으로 다중경로계획을 위해서는 작업 공간 내에 존재하는 자율주행 이송장치들의 위치를 알고 있어야 한다. 또한 작업 공간의 환경에 대해 정확히 알고 있어야 한다.

기존에 연구된 다중경로계획 방법으로는 최적화 알고리즘들을 이용한 Task-level feedback 방법과 매시간 각 개체들의 경로를 재계획하는 방법이 있다[4,5]. 첫 번째 방법인 Task-level feedback 방법은 여러 개체가 서로 일정 거리에 있을 때, 일처리 순위가 높은 개체를 우선하여 충돌 공간을 지나치게 하는 방법으로 연산량이 적어 빠른 응답을 가진다. 하지만 하나의 개체가 작업을 수행하기 위해서는 한 대 이상의 개체가 정지해야 하므로 중장비인 자율주행 이송장치의 경우에는 시간과 에너지 측면에서 비효율적이다. 두 번째는 각 개체가 매시간 경로를 재계획하는 방법이다[6-8]. 이는 끊임없이 연산을 수행하는 방법으로 부하가 많이 걸리므로 긴박한 상황일 경우 경로계획이 제대로 수행되지 않을 가능성이

존재한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 수정된 유전자 알고리즘과 퍼지 추론 시스템을 이용한 다중경로계획을 제안한다.

제안된 방법은 수정된 유전자 알고리즘을 통해 빠른 경로계획이 가능하도록 하였으며, 또한 충돌 회피 구역에서의 다중경로계획을 위해 사람이 이송장치를 직접 운행할 시에 충돌 회피 방법을 정리하고, 이를 퍼지 추론 시스템을 통해 자율주행 이송장치의 충돌 회피가 가능하도록 퍼지 전문가시스템(expert system)을 구현하였다.

II. 자율주행 장치

2.1 테스트용 자율주행 장치

중장비인 자율주행 이송장치를 직접 이용한 실험은 공간상의 제약과 위험성이 높아 실제 다양한 실험이 어렵다. 이에 본 논문에서는 그림 1과 같이 실제 무인 자율주행이 가능하도록 제작 중인 이송장치와 동일한 주행 제어부를 가진 테스트용 자율주행 장치를 설계·제작하였다.

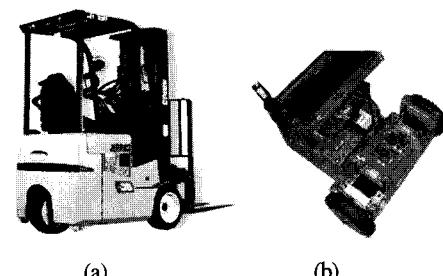


그림 1. 자율주행 이송장치와 테스트용 자율주행 장치
(a) 자율주행 이송장치 (b) 테스트용 장치

Fig. 1 Autonomous forklift and autonomous vehicle
(a) Autonomous forklift (b) Vehicle for test

사용된 이송장치는 클락(Clark)사 CRX-10 모델이다. 이는 full EPS system과 zapi controller, brake solenoid valve를 장착하여, 자율주행 이송장치의 개발을 용이하게 해주었다. 위치측정은 현재는 시크(Sick) 사의 NAV200을 이용하고 있다. 테스트용 자율주행 장치는 BLDC 모터를 구동부로 사용하며, 위치측정을 위해 전자나침판과 엔코더, 자이로를 이용하였다. 위 두 대의 자

율주행 장치는 주행 제어부로 DAQ(data acquisition)를 사용하였다. 두 대 모두 같은 메인 컨트롤 프로그램과 제어부를 그대로 사용하여 자율주행 이송장치를 직접 제어가 가능함을 확인하였다.

2.2 기구부

제작된 테스트용 자율주행 장치는 제어가 용이하도록 하기 위해 선형 2 자유도를 가지는 자동차 구동 방식으로 설계하였으며, 이는 자전거 모델(bicycle model)로 간단히 나타낼 수 있다. 그림 2는 자동차 구동 방식을 자전거 모델 형태로 보인 기구학을 보여준다.

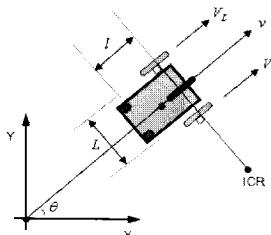


그림 2. 자전거 모델의 기구학
Fig. 2 Kinematics of bicycle model

자율주행 장치의 오른쪽과 왼쪽 바퀴의 선속도 V_R 와 V_L 은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_R = r w_R, \quad V_L = r w_L$$

단, r 은 바퀴의 반지름 (1)

위 식에서 w_R, w_L 는 양 바퀴의 각속도를 나타낸다. 식 (1)을 이용하여 자율주행 장치의 중심의 선속도 v 와 각속도 w 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$w = \frac{V_R - V_L}{L} = \frac{r}{L}$$

$$v = \frac{V_R + V_L}{2} = r w$$

단, L 은 양 바퀴 사이의 거리 (2)

2.3 제어부

최적화된 경로계획을 위해서는 자율주행 장치의 주행 제어가 중요하다. 이는 아무리 최적화된 경로라 할지라도 자율주행 장치가 경로는 따라가지 못하면 소용이

없기 때문이다. 본 논문에서는 안전한 주행 제어를 위해서 $-50^\circ \sim +50^\circ$ 구간에서는 퍼지 제어를 하였고, 그 이외 구간에서는 비례 제어를 사용하였다. 이는 그림 3(a)와 같다.

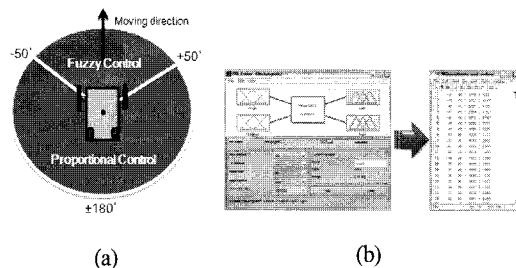


그림 3. 주행 제어. (a) 제어 방법 (b) 툴박스를 이용한 퍼지제어

Fig. 3 Driving control. (a) Control method
(b) Fuzzy control using toolbox

실시간 제어가 필요한 자율주행 장치는 연산 비용이 높은 퍼지로 제어할 시에 문제가 발생할 수 있다. 이에 본 논문에서는 MATLAB R2008의 퍼지 툴박스를 이용하여, 소속함수와 룰을 정의하고, 각각의 입력에 대한 결과를 루프 테이블로 생성한다(그림 3(b)). 생성된 테이블은 자율주행 장치의 메인 컨트롤 프로그램이 시작할 시에 메모리에 적재 후, 사용하였다.

III. 다중경로계획

3.1 시나리오

본 논문에서는 자율주행 장치의 효율적인 작업을 위해 관리자(=서버)를 이용한다. 관리자와 자율주행 장치 간의 원활한 작업 분리를 위해 다음과 같은 시나리오를 정의하였다.

- [1] 자율주행 장치는 정해진 작업 공간 내에서 일정한 속도로 작업한다.
- [2] 관리자는 작업 공간과 작업 공간상의 고정된 장애물을 알고 있다.
- [3] 자율주행 장치는 일정시간마다 위치정보를 관리자에게 보내고, 관리자는 각 장치들의 위치를 알고 있다.

- [4] 자율주행 장치의 주행 경로는 관리자가 수행하여 자율주행 장치의 작업 명령을 내린다.
- [5] 자율주행 장치는 자신의 환경을 인지하고 자신의 위치를 관리자에게 보내면, 관리자는 경로를 재계획하여 이동경로를 장치에게 보내준다.

3.2 뉴럴-네트워크를 이용한 장애물 체크

본 논문에서는 장애물의 빠른 체크와 삭제·추가를 용이하게 하기 위해서 생물학적 뉴런을 이진 원소로 단순화한 신경 모델인, 뉴럴-네트워크 모델을 이용한다. 뉴럴-네트워크는 활성화 유·무인 2가지 상태로 나타내 지므로, 간단한 연산을 통해 장애물 체크가 가능하다[6]. 그림 4는 뉴럴-네트워크 모델의 이용 예를 보여준다.

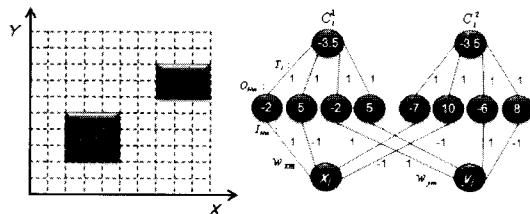


그림 4. 뉴럴-네트워크를 이용한 장애물 체크
Fig. 4 Obstacle checking using neural network

위 그림에서 뉴런의 최종 출력 레이어의 출력 C_i^1 과 중간 레이어(hidden layer)의 입력뉴런과 출력 값은 각각 I_{Mm} , O_{Mm} 으로 정의하고 다음과 같은 수식을 이용한다.

$$C_i^1 = f(T_I), T_I = \sum_{m=1}^M O_{Mm} + \theta_T,$$

$$O_{Mm} = f(I_{Mm}), I_{Mm} = w_{xm}X_i + w_{ym}Y_i + \theta_{Mm} \quad (3)$$

여기서, T_I 과 θ_T 는 각각 출력 레이어의 입력과 활성화 함수(activation function)의 계단 함수(hard limit) 값이다. θ_{Mm} 은 m번째 노드의 계단 함수 값을 나타낸다. 마지막 수식은 w_{xm} 과 w_{ym} 은 각각 x와 y 입력의 가중치 값이다.

3.3 일반적인 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획

유전자 알고리즘은 자연 진화의 과정을 관찰하여 개발한 최적화 알고리즘이다. 이는 이진 스트링(binary

string)으로 코딩된 집단(population)으로 구성된다. 이들을 유전자 연산자인 교배(crossover)와 돌연변이(mutation)를 이용한 재생산(reproduction)을 통해 최적의 해를 찾는다[9]. 일반적인 유전자 알고리즘의 순서도는 다음과 같다.

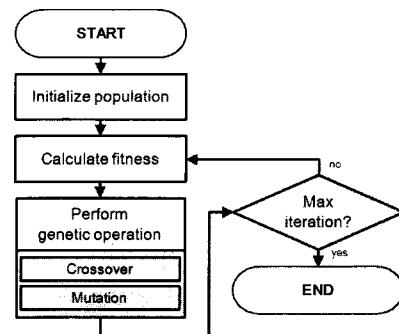


그림 5. 유전자 알고리즘
Fig. 5 Genetic algorithm

일반적으로 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획은 시작위치에서 목표위치를 일정 간격으로 나누고, 이를 후보 경유 지점으로 만들어 수행하게 된다. 염색체(chromosome)의 각 유전자(gene)는 계획된 경로상의 하나의 지점을 표시해준다. 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획의 개념은 그림 6과 같다.

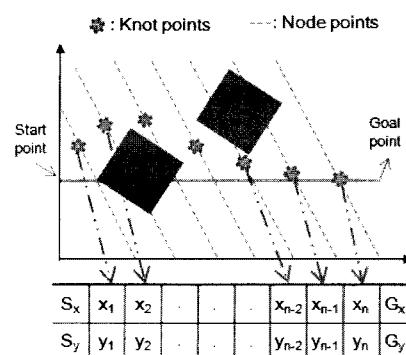


그림 6. 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획
Fig. 6 Path-planning using genetic algorithm

일정한 간격으로 나눈 지점을 노드점(node)이라고 하며, 노드점을 기준으로 자율주행 장치가 이동할 수 있는 후보 경유 지점을 노트점(knot)이라고 한다. 본 논문에서는 노드점의 간격은 자율주행 장치의 최소 회전 반경을

기준으로 설정하였으며, 노트점의 범위는 작업 공간내의 가장 큰 장애물의 장축 길이의 두 배로 설정하였으며, 각 노드점마다의 노트점의 범위는 일정하게 하였다.

3.4 수정된 유전자 알고리즘

일반적인 유전자 알고리즘은 최적화를 위해서 매우 오랜 시간이 필요하다. 이에 본 논문에서는 삭제 연산자를 추가하였고, 실제 유전학에서 삭제 연산자는 일종의 돌연변이 연산자에 포함된다.

본 논문에서는 교배 연산은 이웃하는 경유 지점에 해당하는 임의의 개수의 유전자 정보를 교환시키도록 하였다. 삭제 연산자는 자율주행 장치가 계획된 경로에서 불필요한 노드를 삭제하기 위해 사용한다. 그림 7은 삭제 연산자를 보여준다.

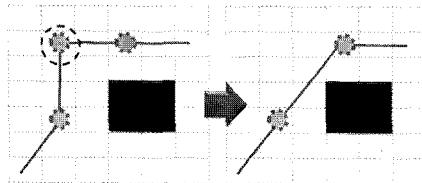


그림 7. 삭제 연산자
Fig. 7 Delete operator

삭제 연산자는 개체를 구성하고 있는 임의의 노드를 선택하여 선택된 점의 두 점 사이에 장애물이 존재하지 않을시 선택된 노드를 삭제한다.

본 논문에서는 각 세대들 간의 우성 형질과 열성 형질을 판별하기 위한 적합도(fitness) 함수(식 (6))는 거리(식 (4))와 각도(식 (5))를 이용한다.

$$\nabla D_{P_i} = (\sqrt{(x_{P_i} - x_{P_{i+1}})^2 + (y_{P_i} - y_{P_{i+1}})^2}) \times \frac{180}{\pi} \quad (4)$$

$$\nabla \theta_{P_i} = \left| \tan\left(\frac{y_{P_i} - y_{P_{i+1}}}{x_{P_i} - x_{P_{i+1}}}\right) \right| \quad (5)$$

$$fitness = \frac{1}{\sum_{i=0}^N \nabla D_{P_i} + \nabla \theta_{P_i}} \quad (6)$$

위 식에서 x_{P_i} 는 유전자 풀에서 P번째 개체의 i번째 노드의 x좌표 값을 의미하며, $x_{P_{i+1}}$ 는 다음 노드의 x좌표 값을 의미한다. y_{P_i} 는 P번째 개체의 j번째 노드의 y좌

표 값을 의미하며, $y_{P_{i+1}}$ 는 다음 노드의 y좌표 값을 의미한다. N은 개체의 모든 노드 개수를 의미한다.

3.5 충돌 회피

다수의 무인 자율주행 장치들이 작업 환경 내에서 작업을 하는 동안 발생할 수 있는 충돌 회피를 위해 퍼지 전문가 시스템을 이용한다. 충돌 회피는 작업 환경 내에서 무인 자율주행 장치들이 동일한 속도를 가지고 이동하는 동안에 상대 거리를 측정하여 상대 거리가 일정거리보다 작을 경우 수행된다. 고려된 자율주행 장치들 간의 충돌들은 그림 8과 같다.

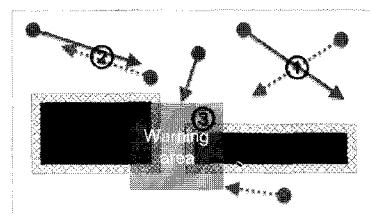


그림 8. 충돌 형태들
Fig. 8 Forms of collision

위 그림에서 ①은 자율주행 장치들이 교차해서 지나가는 경우이고, ②는 서로의 위치로 이동하는 경우의 충돌들이다. ③은 충돌 회피가 불가능한 곳을 위험 지역(warning area)로 정의하고 이 지역은 한 대의 자율주행 장치가 지나간 후, 다음 자율주행 장치가 지나가게 하였다. ①, ②를 고려한 충돌 회피의 퍼지 소속도 함수는 다음과 같다.

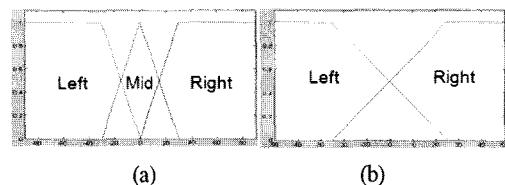


그림 9. 사용된 소속도 함수 (a) 입력 (b) 출력
Fig. 9 Membership functions used (a) Input (b) Output

입력 소속도 함수는 두 대의 자율주행 장치의 각도 값(-90~+90°)을 사용하였으며, 출력 소속도 함수는 두 대의 자율주행 장치들의 다음 노드의 변경 각도값(-50~+50°)을 이용하였다.

사용된 퍼지 룰(fuzzy rule)은 다음과 같다.

표 1. 사용된 퍼지 룰
Table. 1 Fuzzy rule used

Input1 Input2 \	Left	Middle	Right
Left	.	O_2 is Left	O_1 is Left, O_2 is Left
Middle	O_2 is Left	O_1 is Right, O_2 is Right	O_1 is Right, O_2 is Left
Right	O_1 is Right, O_2 is Right	O_1 is Right	.

O_1 과 O_2 는 출력 값으로 각 자율주행 장치들이 이동해야 할 다음 노트들의 변경 각도값이다.

IV. 실험 및 결과

4.1 실험 환경

본 논문에서는 실험을 위해 실제 무인 자율주행이 가능하도록 제작 중인 이송장치와 동일한 주행 제어부를 가진 2대의 테스트용 자율주행 장치를 제작하였다. 제작된 자율주행 장치들은 산업용 PC 기반으로 개발하였고, 그림 10은 실험에 사용된 자율주행 장치를 보여준다.



그림 10. 실험에 사용된 자율주행 장치
Fig. 10 Autonomous vehicle used on experiment

실험은 600cm×600cm 크기의 공간에서 시작위치(10,10)와 목표위치(590,590)로 고정(그림 11)하고, 일반적인 유전자 알고리즘과 삭제 연산자를 추가한 유전자 알고리즘, 삭제 연산자를 30% 확률로 이용한 유전자 알고리즘의 성능을 평가하였다. 또한 실제 자율주행 장치를 이용하여 3.4절에서 이야기한 2가지의 충돌 상황을 만들고, 두 대의 자율주행 장치의 상대 거리차가 150cm 이하 일 때의 충돌 회피 실험을 하였다.

4.2 경로 계획 실험

일반적인 유전자 알고리즘과 삭제 연산자를 추가한 유전자 알고리즘을 100개의 염색체 크기(chromosome size)와 100번의 생산 크기(generation size)를 통해 경로 계획을 수행했을 때, 각각의 방법에 따른 결과는 그림 11과 같다.

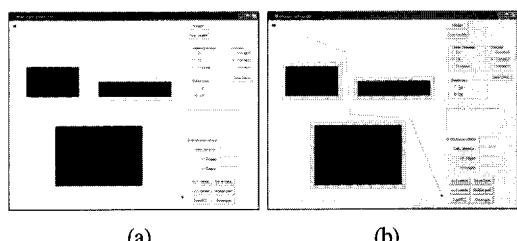


그림 11. 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획 결과

(a) 삭제 연산자 사용안함 (b) 삭제 연산자 사용
Fig. 11 Result of Path-planning using genetic algorithm
(a) Without delete operation (b) With delete operation

위 그림에서 삭제 연산자를 사용하지 않은 결과를 보면 경로가 매끄럽지 않아, 실제 자율주행 장치가 주행 시 비효율적인 주행을하게 된다. 이에 반해 삭제 연산자를 사용한 결과는 계획된 경로에 불필요한 노드가 삭제되어 최적화된 경로를 찾을 수 있음을 확인할 수 있다.

표 2는 염색체 크기와 생산 크기를 변경하면서, 독립적으로 100번 연산한 최종 적합도 값들의 평균과 분산을 보여준다.

표 2. 성능 비교 결과
Table. 2 Comparison result of performance

generation and chromosome size	Without delete operation(cm) (mean/ cov.)	With delete operation(cm)	
		probabilistic (mean/ cov.)	every time (mean/ cov.)
50/50	979.2/923.6	901.1/605.3	864.3/139.5
100/50	950.8/746.7	895.0/884.2	858.3/89.6
50/100	959.0/822.1	879.4/717.7	856.0/66.9
100/100	932.0/523.0	877.3/645.1	857.3/84.4

장애물이 없을 경우에 시작위치에서 목표위치의 직선거리는 820.243cm이다. 위 표를 보면 매시간 삭제 연산자를 사용한 성능이 가장 좋음을 확인 할 수 있지만, 매시간 수행하는 삭제 연산자에 의해 연산 속도가 느려

진다. 실제로 실시간 처리가 필요한 자율주행 장치의 경우나 여러 대의 자율주행 장치의 다중경로계획을 위해서는 최적화된 경로도 중요하지만, 연산 속도 혹은 수렴 속도가 매우 중요하다. 그림 12는 100개의 염색체 크기와 100번의 생산 크기를 통한 경로계획을 수행 중 일 때, 매 생산 시의 적합도 값을 보여준다.

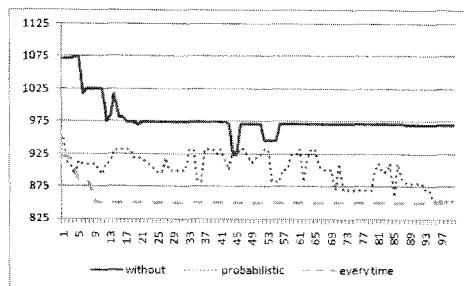


그림 12. 수렴속도 비교
Fig. 12 Comparison of convergence speed

위 그림에서 적합도 값이 진동하는 이유는 엘리티즘(elitism)을 사용하더라도 교배 연산자에 의해 장애물에 부딪히는 경우가 발생하기 때문이다.

실험 결과, 다른 방법들보다 삭제 연산자를 매시간 사용한 방법의 수렴속도가 매우 빠름을 확인하였다. 이는 매시간 수행되는 삭제 연산자에 의해 연산 속도가 느려도 적은 생산을 통해 빠르게 최적화된 경로를 수행할 수 있음을 확인하였다.

4.3 충돌 회피 실험

다중경로계획을 위한 충돌 회피의 성능을 실험하기 위하여 실제 자율주행 장치를 이용한 실험을 하였다. 이는 내부 무선 Ethernet을 구축하여 TCP/IP 통신을 통해 서버와 자율주행 장치들 간의 통신을 할 수 있게 하였다. 실험 방법은 3.5절에서 이야기한 2가지의 충돌 상황을 만들고, 두 대의 자율주행 장치의 상대 거리차가 150cm 이하 일 때의 충돌 회피 실험을 하였다. 실험 결과, 효율적인 충돌회피를 확인하였으며, 효율적인 다중 경로계획이 가능함을 확인하였다. 두 방법의 실험에서 자율주행 장치가 실제로 주행한 결과는 각각 그림 13과 14와 같다.

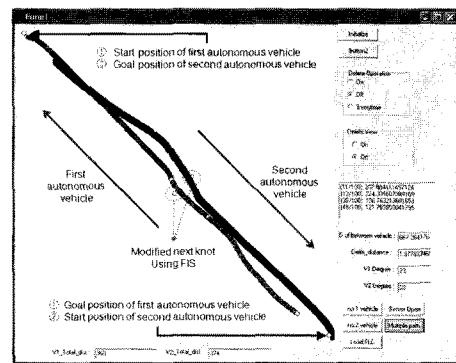


그림 13. 시나리오 1의 결과
Fig. 13 Result of scenario 1

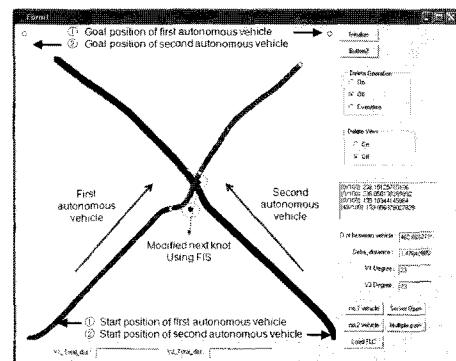


그림 14. 시나리오 2의 결과
Fig. 14 Result of scenario 2

V. 결 론

본 논문에서는 수정된 유전자 알고리즘과 퍼지 추론 시스템을 이용한 무인 자율주행 이송장치의 다중경로계획에 대해 이야기 하였다. 중장비인 자율주행 이송장치를 직접 이용한 실험은 공간상의 제약과 위험성이 높다. 이에 본 논문에서는 실제 무인 자율주행이 가능하도록 무인 자율주행 이송장치와 같은 제어부를 가지는 테스트용 자율주행 장치를 제작하였다. 빠르고 최적화된 경로계획을 위해 수정된 유전자 알고리즘을 이용한 경로계획을 제안했으며, 또한 주행 장치의 특징을 고려하여 최적화된 경로계획을 수행하였다. 다중경로계획을 위한 충돌 회피방법은 퍼지 추론 시스템을 이용하였다. 실험 결과, 빠르고 최적화된 경로계획과 효율적인 충돌 회피가 가능함을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 박경진, 이기성, 이종수, "A Study on the Obstacle Avoidance and Path Planning Algorithm of Multiple Mobile Robot," 대한전자공학회 논문집, pp. 31-34, 2000.
- [2] M.B. Motamedinejad, R. Barzamini, J. Jouzdani, A. Khosravi, "A New Fuzzy Path Planning For Multiple Robots," *International Conference on Information and Automation*, pp. 295-300, 2006.
- [3] Fedor A. Kolushev, Alexander A. Bogdanov, "Multi-agent Optimal Path Planning for Mobile Robots in Environment with Obstacles," *Proceedings of the Third International Andrei Ershov Memorial Conference on Perspectives of System Informatics*, vol. 1755, pp. 503-510, 2002.
- [4] Y. Hada and K. Takase, "Multiple mobile robot navigation using the indoor global positioning system (iGPS)," *2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, 2001.
- [5] Yang, S.X, Yanrong Hu, Meng, M.Q.-H, "A Knowledge Based GA for Path Planning of Multiple Mobile Robots in Dynamic Environment," *IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, pp. 1-6, 2006.
- [6] ZHU Yongjie, CHANG Jiang, WANG Shuguo, "A New Path-planning Algorithm for Mobile Robot Based on Neural Network," *Proceedings of IEEE TENCON*, pp. 1570-1573, 2002.
- [7] R. Ramakrishnan and S. Zein-Sabatto, "Multiple path planning for a group of mobile robots in a 2-d environment using genetic algorithms," *Proc. of IEEE SoutheastCon*, pp. 65-71, 2001.
- [8] Shuhua Liu, Yantao Tian, Jinfang Liu, "Multi mobile robot path planning based on genetic algorithm," *World Congress on Intelligent Control and Automation*, vol. 5, pp. 4706-4709, 2004.
- [9] Bin Lei, Wenfeng Li, "A Fuzzy Behaviours Fusion Algorithm for Mobile Robot Real-time Path Planning in Unknown Environment," *IEEE International Conference on Integration Technology*, 2007.

저자소개



김정민(Jungmin Kim)

2006년 : 신라대학교 컴퓨터공학과
(공학사)

2008년 : 부산대학교 전기공학과
(공학석사)

2008년~현재 : 동대학원 전자전기공학과 박사과정
※ 관심분야 : 신호처리, 영상처리, 지능제어, 로봇



허정민(Jeongmin Heo)

2007년 : 신라대학교 컴퓨터공학과
(공학사)

2007년~현재 : 부산대학교
전자전기공학과 석사과정

※ 관심분야 : 영상처리, 지능제어



김성신(Sungshin Kim)

1986년 : 연세대학교 전기공학과
(공학석사)

1996년 : Georgia Inst. of Technology,
전기및컴퓨터공학과
(공학박사)

1998년~현재 : 부산대학교 전자전기통신공학부 부교수
※ 관심분야 : 지능 시스템, 데이터 마이닝, 고장예측 및
진단