
가상 탄성력을 이용한 자율이동로봇 경로생성 방법

권용관*

A Path Generation Method for a Autonomous Mobile Robot based on a Virtual Elastic Force

Young-Kwan Kwon*

요 약

본 논문에서는 그리드 기반의 맵에서 자율이동로봇의 경로생성방법 및 가상 탄성력을 이용한 경로최적화 방법을 다룬다. 경로계획의 목적은 로봇이 주어진 환경에서 효율적으로 목표점을 향해 이동할 수 있도록 정보 생성하는 것이다. 그리드 기반의 경로계획기법으로 AStar 알고리즘이 대표적인 방법이며 본 논문에서는 AStar 알고리즘에 의해 작성된 경로를 가상 탄성력 알고리즘을 이용하여 경로를 최적화하는 알고리즘을 제안 하고 있으며 그 결과를 비교한다. 가상 탄성력은 생성된 경로를 더 짧고 부드럽게 생성해주는 장점을 가지고 있으며 그리드 기반의 경로를 최적화 하는데 매우 유리하다.

ABSTRACT

This paper describes a global path planning method and path optimization algorithm for autonomous mobile robot based on the virtual elastic force in a grid map environment. A goal of a path planning is information for a robot to go its goal point from start point by a effective way. The AStar algorithm is a well-known method for a grid based path planning. This paper suggest a path optimization method by a virtual elastic force and compare the algorithm with a original AStar method. The virtual elastic force makes a shorter and smoother path. It is a profitable algorithm to optimize a path in a grid environment.

키워드

Global Path Planning, Mobile Robot, Virtual Elastic Force, Path Optimization

전역 경로계획, 이동로봇, 가상 탄성력, 경로 최적화

1. 서 론

로봇기술의 연구 중 인간을 보조하는 서비스 로봇 분야는 주위 환경이 다양 하더라도 자유롭게 동작 할 수 있어야 한다. 서비스 로봇 어플리케이션에 있어서 주어진 임무를 수행하기 위하여 목표점을 찾아가는 능력은 매우 중요한 기능이며 이를 위하여 로봇은 주어진 맵 정보와 연계하여 효과적인 경로를 생성할 수

있는 기능을 반드시 가져야 한다.

일반적으로 경로생성을 위해 로봇에 주어지는 맵 정보는 크게 그리드기반 맵과 피쳐기반 맵으로 나뉘어 질 수 있다. 그리드기반 맵은 로봇 주변의 환경을 일정한 크기의 격자로 나누어 격자가 장애물에 점유되어 있는지 아닌지를 표기하여 환경을 표현하는 방식으로 매우 직관적이고 자료처리가 용이한 반면에 환경이 커질수록 메모리 요구량이 매우 커지는 단점

* 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원(Yongkwank@empal.com)

접수일자 : 2012. 09. 10

심사(수정)일자 : 2012. 12. 28

게재 확정일자 : 2013. 01. 21

이 있다. 피처기반 맵은 로봇의 주변의 환경을 점, 선, 면, 원 등의 피처를 사용하여 표현하는 방법으로 환경의 크기가 커지더라도 메모리 요구량은 많지 않은 반면에 맵 생성 및 처리를 위한 여러 부가기능이 필요한 단점이 있다.

본 논문에서는 그리드 기반의 맵에서 자율이동로봇의 경로생성방법을 다룬다. 경로계획의 목적은 로봇이 주어진 환경에서 충돌 없이 효율적으로 목표점을 향해 이동할 수 있도록 경로를 생성하는 단계이며 크게 전역경로계획과 지역경로계획으로 나뉜다[1]. 그리드 기반의 전역 경로계획기법으로 AStar 알고리즘[2]이 대표적인 방법이며 본 논문에서는 AStar 알고리즘에 의해 작성된 경로를 가상 탄성력 알고리즘을 이용하여 경로를 최적화하는 알고리즘을 제안하고 있으며 그 결과를 비교한다.

2장에서는 그리드 환경에서 AStar 알고리즘을 간략히 설명하고 3장에서는 AStar에 의해 생성된 경로를 최적화하기 위한 제안된 가상 탄성력 알고리즘을 다룬다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 경로생성 실험을 통해 기존의 방식과 비교하여 고찰을 수행한다. 마지막으로 5장에서는 분석된 경로계획 알고리즘의 특성을 비교하며 결론을 맺는다.

II. 경로계획 알고리즘

2.1. AStar 알고리즘

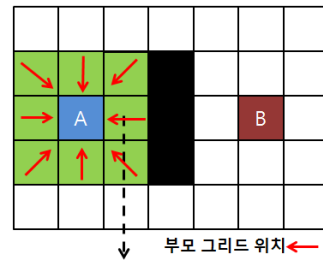
AStar 알고리즘은 격자기반의 경로계획기법에서 대중적으로 가장 많이 알려진 방법 중의 하나로 최소의 계산을 이용하여 최단경로를 찾는 것을 보장한다. 이 방식은 지역최소화(Local Minimal)로 수렴하는 경우가 극히 드물며 수행속도가 빨라 로봇의 경로계획 이외에도 게임 내에서 캐릭터를 자동이동 시키기 위한 알고리즘으로 폭 넓게 사용되고 있다.

AStar 알고리즘은 어떤 지점에서 주변 넓이 우선 탐색과, 목표지점까지의 거리를 이용한 깊이우선탐색 방법을 조합하여 최적의 비용을 찾아 목적지에 가장 가까운 그리드(노드) 집합을 선택하는 휴리스틱 기법을 사용하는 경로계획 알고리즘이다.

시작지점 A에서 목표 지점 B로 이동할 수 있는 경

로를 탐색하기 위해 조사하지 않은 상태정보를 저장하기 위한 Open List와 이미 조사한 상태정보를 저장하기 위한 Close List를 사용한다. 경로계획을 시작하는 경우에 Open List는 시작지점만을 가지고 있다. 경로탐색을 위하여 그림 1과 같이 처음 시작 위치에서 이웃 그리드로 확장하며 각 그리드 마다 선택을 위한 비용 F의 값을 계산한다. F는 식 (1)에 의해서 구해질 수 있으며 G는 출발점 A로부터의 현재 그리드까지의 이동비용으로 길을 찾아가면서 계속적으로 갱신된다. H는 현재 그리드로부터 최종목적지점 B까지의 예상비용이며 일반적으로 현재 그리드에서 목표 그리드까지의 거리를 가장 많이 사용한다.

$$F = G + H \tag{1}$$



↓ 부모 그리드 위치 ←
 그리드 1칸을 10으로 정의 시
 G=10(시작지점까지 거리)
 H=30(목표지점까지 거리)
 F=G+H=40

그림 1. AStar 알고리즘 1
 Fig. 1 AStar algorithm 1

만일 F비용이 가장 작은 Open List 그리드가 2개 이상이 동시에 있는 경우 어떤 것을 결정해도 무방하지만 더 늦게 열린 목록에 추가된 것을 선택하는 것이 속도에 있어서 유리하다고 알려져 있다. 시작지점에서 시작하여 가장 비용이 작은 그리드로 이동하고 그 곳에서 다시 탐색을 시작하여 계속적으로 비용이 적게 드는 그리드를 찾아간다. 다음 그리드로 위치 이동 시 현재 그리드는 Close List에 추가한다. 목표 그리드가 발견될 때 까지 계속 반복하여 경로를 찾아낸 다음, 그림 2에서와 같이 목표지점에서부터 부모그리드를 계속 따라 연결함으로써 시작지점까지 이동하는 경로를 생성할 수 있다.

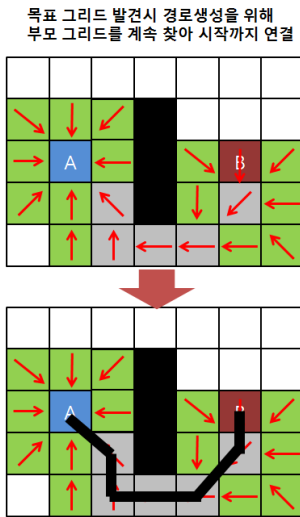


그림 2. AStar 알고리즘 2
Fig. 2 AStar algorithm 2

III. 경로최적화 알고리즘

3.1 AStar 알고리즘 경로문제

AStar 알고리즘을 사용했을 경우 생성되는 경로는 장애물로 인식되는 벽을 타고 가는 형태로 나타나게 되며 이 경로는 그림 3과 같이 로봇이 벽에 닿으면서 가는 경로가 될 수 있다. 이를 방지하기 위하여 일반적으로 그림 4와 같이 장애물에 로봇의 반지름 보다 더 큰 충돌방지 구간을 소프트웨어적으로 생성하여 AStar알고리즘을 적용하는 것이 일반적이다.

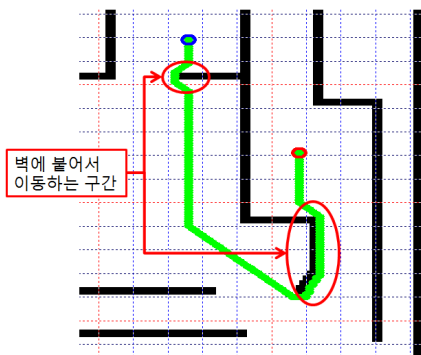


그림 3. AStar 알고리즘 경로생성 예
Fig. 3 AStar algorithm example

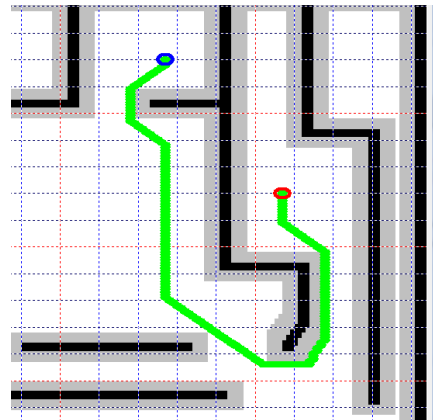


그림 4. 충돌방지영역이 추가된 상태
Fig. 4 Added area for preventing collision

AStar 알고리즘을 사용했을 경우 생성되는 경로는 장애물로 인식되는 벽을 타고 가는 형태로 나타나게 되며 이 경로는 그림 3과 같이 로봇이 벽에 닿으면서 가는 경로가 될 수 있다. 이를 방지하기 위하여 일반적으로 그림 4와 같이 장애물에 로봇의 반지름 보다 더 큰 충돌방지 구간을 소프트웨어적으로 생성하여 AStar알고리즘을 적용하는 것이 일반적이다. 이 방식은 충돌방지구간을 크게 하면 할수록 안전하게 이동하지만 반대로 충돌방지구간에 의하여 갈 수 없는 영역이 생성될 수 있는 단점이 있다.(그림 5) 특히 위치 추정이 정확하지 않는 경우 충돌회피 알고리즘에 의하여 갈 수 없는 영역이 더 많은 빈도수로 발생될 가능성이 커지게 된다.

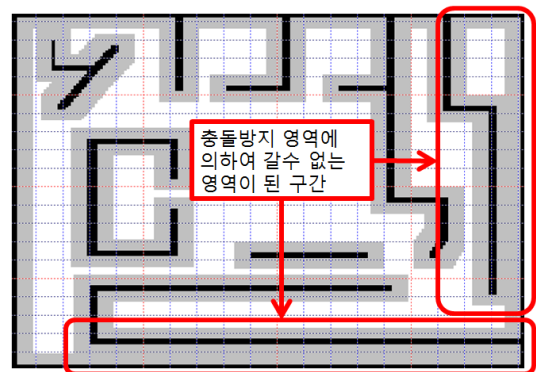


그림 5. 충돌방지영역에 의한 이용할 수 없는 공간
Fig. 5 Unavailable spaces by preventing collision area

충돌방지영역에 의해 발생하는 단점을 막기 위하여 본 논문에서는 AStar에 의해 생성된 경로를 가상 탄성 힘을 이용한 경로 최적화 방법을 제안한다.

3.2 가상 탄성력

생성된 경로에서 각각의 그리드에 발생하는 가상 탄성력을 구하기 위하여 각각의 그리드의 위치에서 Ray Tracing방법을 이용하여 그리드의 전 방향에서 장애물까지의 거리 값을 산출한다. 가상 탄성력은 맵 정보와 위치로부터 계산하여 산출된 가상적인 거리값을 용수철의 탄성력 모델에 추가하여 수식적으로 계산하여 생성되는 경로최적화를 위한 알고리즘이다. 용수철의 탄성력과 관련한 알고리즘은 Elastic Band 충돌회피 알고리즘[3][4]의 방법에서 찾아볼 수 있다.

가상 거리 값을 생성하기 위해 일반적으로 그리드에서 360도를 8구간으로 나누어 처리하는 방법이 처리속도 측면에서 유리하다. 그러나 컴퓨팅 파워가 허락한다면 구간을 더 세밀하게 나누어 처리하게 되면 환경 적응도가 더 우수한 최적화된 경로를 얻을 수 있다. 이번 절에서는 알고리즘 설명을 위해 4구간으로 나누어 최적화하는 것으로 가정한다.

AStar알고리즘에 의해 생성되는 경로는 2장의 내용에서 알 수 있듯이 시작에서 목표지점까지 그리드의 연결로 이루어져 있으므로 매우 많은 수의 그리드로 구성된 노드로 이루어져 있다. 가상 탄성력을 구하기 위하여 각각의 그리드에서 장애물까지의 거리를 산출한다.(그림 6)

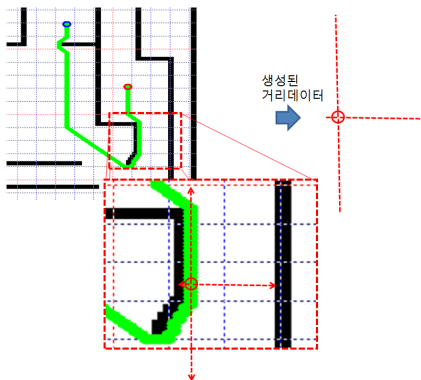


그림 6. 그리드로부터 구해진 4개의 거리데이터
Fig. 6 4 distance data from a grid

각각의 그리드에서 구해진 거리데이터를 바탕으로 식 2에서와 같이 거리데이터가 특정 거리보다 짧으면 센서의 반대방향으로 미는 힘을 발생시키고 길면 힘을 발생시키지 않는 특성을 가진 외부 힘 F_{nExt} 을 산출하여 각 그리드를 힘에 비례하도록 이동시킨다.

$$V_{nm} = \begin{cases} \frac{1}{2}k_e(d_e - d(p_n, p_{nm}))^2 & \text{if } d(p_n, p_{nm}) < d_e \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$F_{nExt} = k_e(d_e - d(p_n, p_{nm})) \frac{p_{nm} - p_n}{\|p_{nm} - p_n\|}$$

- p_n : 그리드 위치 (x_n, y_n)
- p_{nm} : 거리데이터 끝점 (x_{nm}, y_{nm})
- n = 그리드 인덱스
- m = 거리데이터 인덱스

k_e 는 외부 힘을 발생시키기 위한 비례상수이며, d_e 는 외부에서 미는 힘을 발생시키는 스프링 홀드 역할을 하는 거리 값으로 정의된다.

외부 힘 F_e 만을 이용하여 경로를 변형시켰을 경우 코너지점에서 그리드에 발생시키는 힘이 균일하게 적용되지 않기 때문에 그림 7과 같이 경로가 균일한 부드러운 곡선이 되지 못한다. 이를 보완하기 위하여 스프링의 복원력의 특성을 갖는 내부 탄성력을 발생시켜 경로를 부드럽게 만든다.

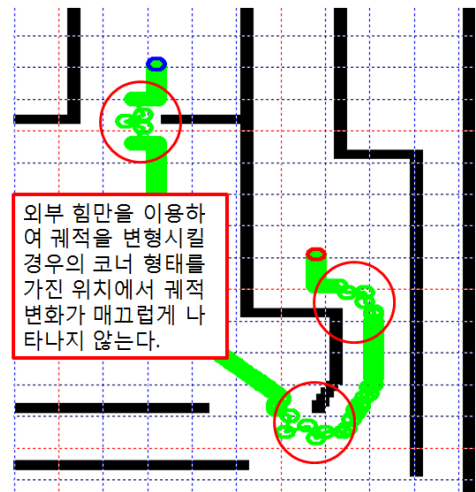


그림 7. 외부힘만을 이용하여 변형시킨 경우
Fig. 7 In case of using external force only

외부힘에 의해 변형된 경로를 부드럽게 만들어주기 위하여 내부 탄성력을 생성하여 각각의 그리드에 적용하며 내부 탄성력 F_{int} 는 식 3에 의해 구해질 수 있다.

$$F_{int} = k_i(R_n((p_{n+1} - p_{n-1}) - (p_n - p_{n-1}))) \quad (3)$$

$$R_n = \frac{d(p_n - p_{n-1})}{d(p_{n+1} - p_n)}$$

그림 8은 외부 힘과 내부 힘을 모두 적용하여 나타나는 경로로 각 노드간의 내부적인 탄성력에 의해 부드러운 경로를 보여주고 있음을 알 수 있다.

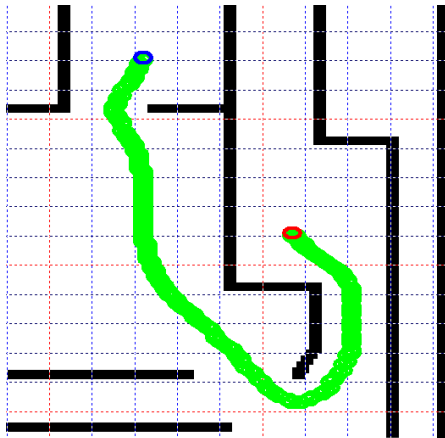


그림 8. 외부 힘과 내부 힘이 모두 작용한 경우
Fig. 8. In case of using Ext. and int. force

3.3 경로 직선화 분할

탄성 힘에 의해 변형된 경로는 그리드 간격으로 촘촘히 생성되어 있으므로 실제 로봇의 전역경로로 사용하기에는 적합하지 않다. 가장 간단히 구현되는 경로 직선화 방법으로 시작위치에서 다음위치까지 직선을 그려서 장애물이 걸리지 않으면 하나의 세그먼트로 묶고 장애물이 걸릴 때 그 시점의 위치까지를 하나의 세그먼트로 저장하고 다음 세그먼트를 생성하기 위하여 이전과 같은 작업을 끝까지 반복하는 방법이 있다. 이 방법은 그림 9에서와 같이 맵 상의 모서리 지점과 매우 가깝게 경로가 생성되는 단점이 존재한다.

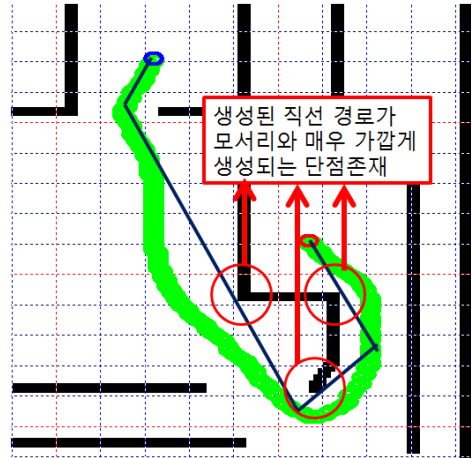


그림 9. 경로 직선화 방법 1
Fig. 9 A path linearization method 1

본 논문에서는 무 층돌 구간까지의 직선화의 단점을 극복하기 위하여 데이터자체를 선형화 하기위한 알고리즘을 조사하였으며 레이저 영역센서의 직선검출 알고리즘으로 사용되는 방법이 효과적으로 적용 가능한 방법으로 분석되었다.

크게 “Split & Merge”, “Incremental”, “Line Regression”, “RANSAC”, “Hough 변환”, “EM 알고리즘”을 비교 판단한 문헌을 참고하였으며[5] 그 중 가장 빠르고, 신뢰성 있는 방법으로 결론지어진 “Split & Merge”방법을 사용하였다.

“Split & Merge” 방식[6]은 다음과 같은 방법으로 구현되며 그림 10은 알고리즘의 동작형태를 보여준다.

- 1) N개의 포인트들로 구성된 s1셋을 리스트에 삽입한다.
- 2) si셋의 첫 번째 포인트와 마지막 포인트의 점을 연결한 라인과 N-2개의 포인트를 모두 비교하여 가장 멀리 떨어져 있는 포인트를 선택한다.
- 3) 라인과 가장 멀리 떨어져 있는 포인트까지의 거리를 p라고 할 때 p의 길이가 사용자에게 의해 정해진 쓰레쉬 홀드보다 크면 si를 si1과 si2두개의 셋으로 나누어 리스트에 삽입하고 2)번으로 간다. 만일 쓰레쉬 홀드보다 작으면 2)번으로 간다.
- 4) 모든 라인이 나뉘어지면 인접한 세그먼트의 특성이 동일선상과 매우 가깝다면 최소자승법등의 기법을 사용하여 공통라인을 찾고 그 라인과 가장

먼 포인트를 찾아 거리를 계산한 결과가 쓰레쉬 홀드보다 작다면 두 세그먼트를 하나로 합친다.

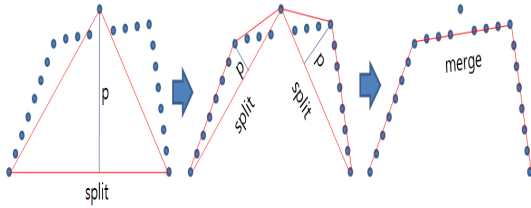


그림 10. Split & Merge 알고리즘
Fig. 10 A split & merge algorithm

3.2에서의 가상 탄성력을 이용하여 생성된 경로를 3.3에서의 Split & Merge방법을 적용하여 직선화 시키면 그림 11과 같은 형태의 결과를 얻을 수 있다.

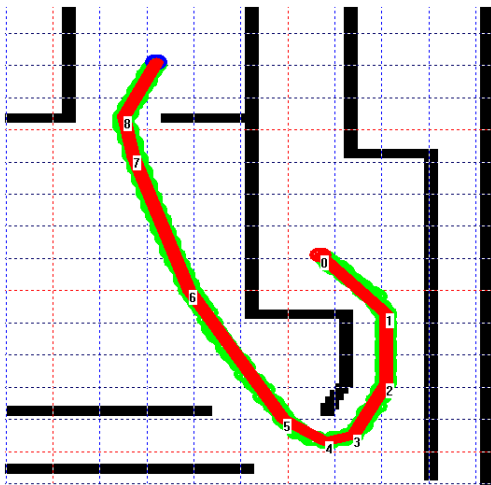


그림 11. Split&Merge 방식에 의한 경로생성
Fig. 11 A reduced path by Split&Merge method

IV. 실험

4장에서는 제안한 알고리즘을 기존의 AStar알고리즘에 충돌방지영역을 생성하여 생성한 궤적을 비교한다. 경로에 대한 비교자료로 이동거리의 합, 생성된 직선화 경로 사이의 변화 각 등을 기준으로 하였다.

실험을 위하여 다음 3가지 경우에 대한 비교를 수행한다.

- 1) 'ㄷ' 형태의 환경에서 내부에서 외부로 이동하는

- 2) 좁은 길 환경에서 경로생성 성능비교

위의 3가지 경우 실험을 위해 사용된 맵의 형태는 그림 12와 같으며 격자의 크기는 10Cm이다. 맵의 전체 크기는 194×195이며 격자의 크기가 10Cm이므로 19.4m×19.5m 영역을 의미한다. 그림 12에서 점선의 간격은 1m이다.

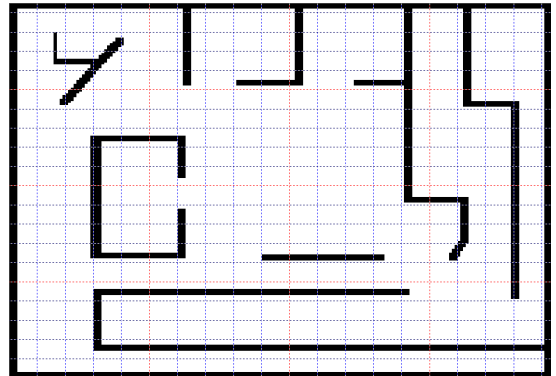


그림 12. 실험을 위해 사용된 맵
Fig. 12. The map information for examinations

실험을 위해 기존의 AStar알고리즘의 충돌방지영역은 0.5m로 설정하였으며 제안된 방법에 사용된 파라미터는 표 1과 같다. 가상 탄성 힘 알고리즘은 그 자체로 충돌방지 기능이 생성되므로 AStar에서 사용하는 충돌방지 영역은 사용하지 않는다. 직선화 알고리즘은 두 가지 방법 모두 Split & Merge방식을 사용하였다.

표 1. 실험에 사용된 파라미터
Table 1. Parameters for the examinations

k_i	0.4	가상 탄성력 알고리즘
k_e	0.5	
d_e	0.8m	
충돌방지 영역	0.5m	AStar

4.1 'ㄷ' 형태의 공간 실험

'ㄷ' 형태의 공간실험에서 사용된 출발지점과 목표

지점은 표 2와 같다.

표 2. 경우 1에서의 시작위치와 목표위치
Table 2. Starting & goal point in case 1

	X	Y
출발지점	4.5m	9.5m
목표지점	1.5m	9.5m

그림 13은 실험결과로 생성된 경로를 보여주며 상단의 경로 그림은 충돌방지영역을 설정한 AStar방식의 결과이며 하단의 경로 그림은 가상 탄성력을 적용한 결과를 보여준다. 생성된 경로의 형태를 분석해보면 가상 탄성력의 경우가 그렇지 않은 경우보다 경로가 더 부드럽게 생성되고 있음을 볼 수 있으며, 상단 그림의 4, 5지점과 하단그림 6, 7, 8 지점에서 비교할 때 가상탄성력의 경우가 더 부드럽고 짧은 경로를 생성해 내고 있음을 알 수 있다.

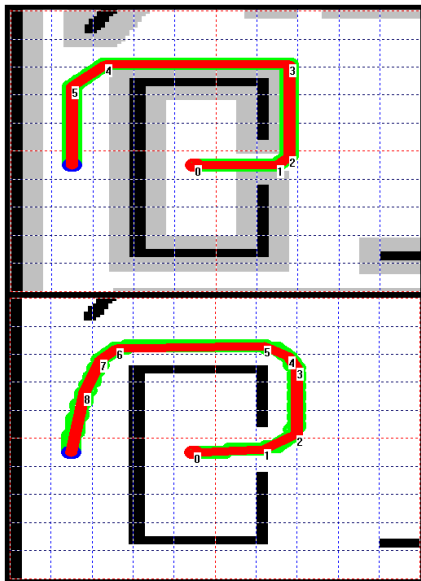


그림 13. 경우1 에서의 생성된 경로
(상 : Astar, 하 : 가상 탄성력)
Fig. 13 Path results in case 1
(Top : AStar, bottom : virtual elastic force)

표 3은 생성된 경로를 비교를 위한 표이며 가상 탄성력 방식이 충돌방지 방식과 비교하여 생성된 라인의 개수는 많다. 그러나, 가상 탄성력을 사용한 방법

이 기존 방법보다 더 벽과 멀리 떨어져 움직이고 있음에도 불구하고, 경로의 전체길이에서 약 46Cm 짧게 나타나며 이는 전체길이 대비 약 3.36%에 이르는 결과치로 나타난다.

전체 각도 변화량은 목표지를 가기위하여 로봇이 회전한 정도를 나타내며 가상 탄성력 방식이 더 나은 결과를 나타낸다. 그러나 이보다 더 중요한 사항은 최대 각도변화량으로 가상탄성력의 경우가 53.4도로 충돌방지방식의 최대값이 90도에 비해 약 0.6배로 변화량이 작다. 이 이야기는 로봇이 움직일 경우 가상 탄성력의 경우가 더 부드럽게 이동이 가능하며 충돌방지 방식은 하나의 직선경로를 지나 다음 직선경로로 움직일 경우 가상 탄성력보다 크게 회전하게 되는 결과로 더 딱딱하게 움직이게 된다.

결과적으로 생성된 경로와 결과데이터에서 알 수 있듯이, 가상 탄성력을 사용하여 생성되는 경로는 그렇지 않은 경우보다 더 부드럽고 짧은 최적화된 경로를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

표 3 경우 1에서의 실험결과
Table 3. Results in case 1

	충돌방지방식	가상탄성력
라인 갯수	6	9
전체길이	14.15m	13.69m
전체각도변화량	270.13Deg	257.34Deg
최대각도변화량	90.04Deg	53.40Deg

4.2 좁은 통로 형태의 공간 실험

좁은 통로 형태의 공간실험에서 사용된 출발지점과 목표지점은 표 4와 같다.

표 4. 경우 1에서의 시작위치와 목표위치
Table 4. Starting & goal point in case 1

	X	Y
출발지점	16m	4m
목표지점	18m	16m

그림 14는 경우2에서의 실험결과로 생성된 경로를 보여주며 좌측의 경로 그림은 충돌방지영역방식 우측

의 그림은 가상 탄성력을 적용한 결과이다. 충돌방지 영역방식의 경우 약 1m두께의 직선 경로가 막히게 되어 경로 생성에 실패하였으며, 가상 탄성력의 경우에는 좁은 길의 중심을 타고 이동하는 궤적을 보여주고 있다. 이 실험에서 주목해야 할 점은 복도가 1m이내 이므로 로봇이 중간으로 이동한다고 하더라도 50cm 길이가 가상적인 거리 값으로 산출되게 된다. 가상탄성력의 외력을 발생시키는 영역이 80cm이므로 전체적으로 힘이 크게 발행하지만 경로는 복도의 센터를 잘 추종하면서 생성되고 있음을 알 수 있다.

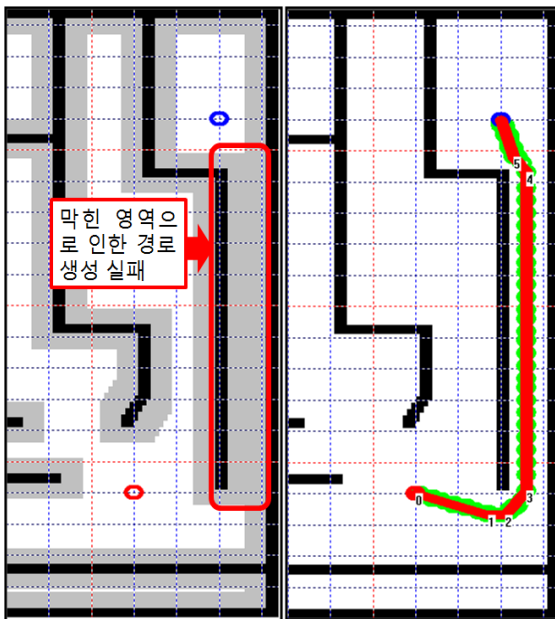


그림 14. 경우 2에서의 생성된 경로
 (좌 : Astar, 우 : 가상 탄성력)
 Fig. 14 Path results in case 2
 (Left : AStar, Right : virtual elastic force)

표 5는 경우 2에서의 결과를 보여준다. 경우 2에서의 실험에서 충돌방지영역의 경우 경로생성에 실패하였기 때문에 결과가 비교과 되지 않아 크게 중요하지 않으며 가상 탄성력의 외력이 발생하는 크기보다 더 작은 폭의 복도환경에서도 좋은 결과를 얻을 수 있다는 점이 이번 실험의 중요한 관점이다.

표 5. 경우 2에서의 실험결과
 Table 5. Results in case 2

	충돌방지방식	가상탄성력
라인 갯수	경로생성실패	6
전체길이		15.22m
전체각도변화량		153.45Deg
최대각도변화량		56.84Deg

V. 결론

본 논문에서는 이동로봇의 전역 경로계획을 위한 경로생성 및 가상 탄성력에 기반한 경로 최적화방법을 제안하고 그 성능을 고찰하였다. 제안된 방법의 특징은 다음과 같다.

- 1) 기존의 AStar알고리즘에서 얻어지는 경로를 가상 탄성력을 적용한 경로를 재 생성하여 기존의 방법 대비 성능향상을 얻을 수 있었으며 그리드 기반의 경로계획방식으로 도출되는 경로에는 모두 적용될 수 있는 장점이 있다.
- 2) 가상 탄성력은 용수철과 같은 특징을 지니고 있으며 탄성력은 생성된 경로를 부드럽고 짧게 최적화를 시켜주는 장점이 있다.
- 3) 가상 탄성력 기반의 경로최적화 방식은 항아리 환경 및 복도환경에서도 효과적으로 동작하며 연산을 위한 비용이 적게 들기 때문에 실제 로봇에 적용이 매우 용이하다.
- 4) 연산 시간이 길지 않으므로 그리드 맵에 실시간으로 획득되는 거리 센서데이터를 적용하여 계속적으로 본 알고리즘을 적용하면 인공지능계, Lane알고리즘 등 이동장애물의 실시간 충돌 회피알고리즘[7]에 전역경로계획이 동시에 적용되는 것과 유사한 효과를 얻을 수 있다.

참고 문헌

[1] 노성우, 고낙용, 김태균, “위치 추정, 충돌 회피, 동작 계획이 융합된 이동로봇의 자율주행 기술 구현”, 한국전자통신학회논문지, 6권, 1호, pp. 148-156, 2011.

- [2] Hart, P. E.; Nilsson, N. J. ; Raphael, B. "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths". IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC4 4 (2), pp. 100 - 107, 1968.
- [3] Sean Quinlan and Oussama Khatib. "Elastic bands: Connecting path planning and control." In Proc. Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol 2, pp. 802-7, 1993.
- [4] 김광진, 고낙용, "이동 로봇 장애물 회피 방법의 수치적 성능 분석", 한국전자통신학회논문지, 7권, 2호, pp. 401-407, 2012.
- [5] Viet Nguyen, Stefan Gächter, Agostino Martinelli, Nicola Tomatis, Roland Siegwart, "A comparison of line extraction algorithms using 2D range data for indoor mobile robotics," Journal of Autonomous Robots, Vol .23, Issue 2, pp. 97-111, 2007,
- [6] Pavlidis, T., & Horowitz, S. L. "Segmentation of plane curves." IEEE Transactions on Computers, C-23(8), pp. 860 - 870, 1974.
- [7] 김광진, 고낙용, 박세승, "시물레이션을 이용한 이동 로봇의 충돌회피 알고리즘 비교", 한국전자통신학회논문지, 7권, 1호, pp. 187-194, 2012.

저자 소개



권용관(Young-Kwan Kwon)

1985년 성균관대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1987년 성균관대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

2008년~현재 서울과학기술대학교 NID 융합대학원 박사과정

1987년~1989년 LG산전 중앙연구소 주임연구원

1989년~2004년 LG산전 중앙연구소 책임연구원

2004년~2008년 다사로봇 연구소장

※ 관심분야 : 로봇시스템, 모션컨트롤, 경로계획