



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0112507
(43) 공개일자 2013년10월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05D 1/02 (2006.01) G05D 3/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0034930
(22) 출원일자 2012년04월04일
심사청구일자 2012년04월04일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
박종훈
인천광역시 남구 학익동 719 동아풍림아파트 107동 1204호
허옥열
서울특별시 구로구 신도림동 645번지 신도림 3차 동아아파트 308동 1202호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이원희

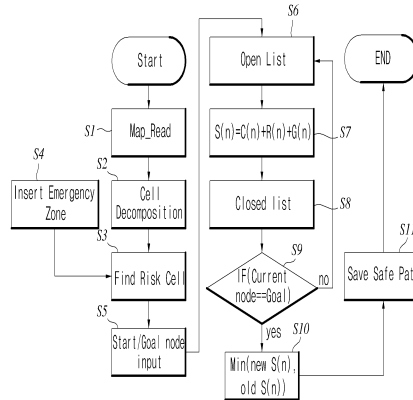
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 S * 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법

(57) 요약

본 발명은 이동 로봇의 안전경로계획에 관한 것으로, 본 발명에 따르면, 종래의 경로계획 방법들은 단순히 최단 거리와 시간만을 고려하여 경로를 계획할 뿐, 장애물의 유무에 따른 회피 경로나 충돌 방지와 같은 안전 문제에 대하여는 고려하지 않았으므로, 실제의 도로 주행시 충돌 문제를 피할 수 없어 이동로봇의 자율주행이 어려웠던 문제점을 해결하기 위해, 이동로봇이 최적의 경로로 안전하게 충돌을 회피하면서 자율주행하여 목적지에 도착할 수 있도록 하는 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법을 제공하고자 하는 것이다.

대표도 - 도4



(72) 발명자

오규철

전라남도 나주시 산포면 송림리 344번지

김유송

경기도 용인시 기흥구 보정동 연원마을 삼성명가
109동 304호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2011-0016212

부처명 교육과학기술부

연구사업명 기초연구사업-중견연구자지원사업-핵심연구지원사업

연구과제명 환경에 강인한 군집로봇의 경로계획 및 대형제어

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2011.04.30 ~ 2012.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

이동로봇이 목표지점까지 충돌없이 최적의 경로로 이동할 수 있도록 하기 위한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법에 있어서,

출발 지점과 목표 지점을 포함하는 지역의 전역지도를 읽어들이고 읽어들이는 지도에 셀 분해법을 이용하여 격자 지도를 구성하는 지도구성단계;

지역 폐쇄성에 기인하여 충돌위험성이 있는 지역을 위험지역으로 정의하고, 사고가 빈번한 지역이나 정체구간을 긴급지역으로 정의하여 상기 격자지도상에 반영하는 지역정의단계;

시작점과 도착점이 주어지면, 시작 노드에서부터 목표 노드까지 현재의 노드에서 인접한 노드들 중 가장 안전한 노드를 찾는 동작을 반복하여 상기 시작점에서 상기 도착점까지 가장 안전한 경로를 찾는 경로탐색단계; 및

상기 경로탐색단계에서 탐색된 경로를 저장하고 처리를 종료하는 단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 지역정의단계는, 코너 지역, 교차점 및 문이 있는 지역을 상기 위험지역으로 정의하는 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 지역정의단계는,

상기 격자지도의 각 격자마다 시작점, 목표점, 장애물이나 벽, 상기 위험지역의 위험도, 상기 긴급지역 및 상기 이동로봇이 이동 가능한 지점을 각각 의미하는 정보를 입력하여 상기 격자지도를 구성하는 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 위험지역의 위험도는 이하의 위험도 평가함수 $R(n_c)$ 를 이용하는 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법.

$$R(n_c) = \frac{1}{2r} \alpha \left(\frac{1}{e^{\theta * \frac{\pi}{180}}} \right)^2$$

(여기서, r 은 위험지역의 인접 노드(셀 공간의 특정 위치) 간의 거리, θ 는 코너의 각도, α 는 충돌사고 빈도에 따른 위험지역 상수 값이며, 또한, θ 의 범위는 $0^\circ < \theta < 180^\circ$ 이다.)

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 경로탐색단계는,

탐색하지 않은 노드들을 기록하는 오픈 리스트(Open List)에 시작 노드로부터 인접한 노드들 추가하는 단계; 및
검색이 완료된 노드는 이미 탐색한 노드를 기록하는 폐쇄 리스트(Closed List)에 추가하여 더 이상 검색하지 않도록 하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 경로탐색단계는,

상기 시작 노드에서 현재 노드까지의 거리함수, 위험도 평가함수 및 현재 노드에서 목표 노드까지의 추정 예상 비용에 근거하여 각 노드의 안전비용을 평가하고, 상기 안전비용이 가장 작은 노드들을 선택하여 최적의 경로를 설정하는 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 안전비용의 평가는, 이하의 수학적식을 이용하는 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법.

$$S(n) = C(n_s, n_c) + R(n_c) + G(n_c, n_g)$$

(여기서, $C(n_s, n_c)$ 는 시작 노드에서 현재 노드까지의 거리이고, $R(n_c)$ 는 현재 노드에서 인접 노드 사이의 위험도이며, $G(n_c, n_g)$ 는 현재 노드에서 목표 노드까지의 추정 예상비용이다.)

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 시작 노드에서 현재 노드까지의 거리를 계산하는 함수 $C(n_s, n_c)$ 는, 이하의 수학적식을 이용하는 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법.

$$C(n_s, n_c) = \sum_{i=s}^c Cn_i$$

청구항 9

제 7항에 있어서,

상기 현재 노드에서 목표 노드까지의 추정 예상비용을 평가하는 함수 $G(n_c, n_g)$ 는, 이하의 수학적식을 이용하는 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법.

$$G(n_c, n_g) = \sqrt{(n_c - n_g)^2}$$

명세서

기술분야

- [0001] 본 발명은 이동 로봇의 안전경로계획에 관한 것으로, 더 상세하게는, 자율주행로봇이 목표지점까지 충돌없이 최적의 경로로 이동할 수 있도록 하기 위하여, 지역폐쇄성을 고려하여 위험지역을 정의하고, S* 알고리즘을 이용하여 최적의 안전한 경로계획을 수행하도록 하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 최근, 로봇 기술이 발달함에 따라, 앞으로의 미래에는 인간과 로봇이 공존하면서 사회 구성원으로써 인간과 로봇이 소통해야 하는 협업의 시대가 다가오고 있다.
- [0003] 즉, 산업화의 진행과 함께, 노령화 문제, 3D업종의 경시 및 위험한 산업현장의 안전 문제에 대한 해결방안으로, 인간을 대신하여 작업을 수행하는 로봇의 투입이 증가하고 있으며, 이와 같이 로봇이 인간의 작업을 대신하기 위하여는 로봇 스스로가 목적지로 이동 가능하도록 지능적인 자율주행 기술이 필요하다.
- [0004] 또한, 자율주행 로봇이 갖추어야 할 기본적인 주행능력은 원하는 목표지점까지 충돌없이 최적의 경로로 이동할 수 있는 지능적 항법 능력이며, 이러한 지능적 항법을 위해서는 경로계획 기술과 위치인식 요소기술이 필요하다.
- [0005] 여기서, 경로계획 기술은, 전역 경로계획과 지역 경로계획 기술로 나누어지며, 먼저, 전역 경로계획은, 주어진 환경지도를 이용하여 출발점에서 목표 지점까지의 최적의 경로를 탐색하는 것이고, 지역 경로계획은, 동적 환경에서 실시간성을 고려한 장애물 회피를 의미한다.
- [0006] 아울러, 위치인식 기술은, 주행시 로봇의 현재 위치를 지도상에서 알아내는 위치결정 기술이다.
- [0007] 상기한 바와 같은 전역 경로계획 방법에 대한 종래기술의 예로서, 대표적으로, 예를 들면, "A note on two problems in connexion with graphs(E. W. Dijkstra, Numerische Mathematik, Volume 1, Number 1, 269-271, 1959)"에 게시된 바와 같은 "Dijkstra 알고리즘"이 있다.
- [0008] 더 상세하게는, 상기한 Dijkstra 알고리즘은, 최초의 경로계획으로 제시되어 현재까지 여러 분야에서 많이 사용되고 있으나, 모든 공간을 탐색하므로 많은 연산시간이 요구된다는 단점이 있다.
- [0009] 또한, 상기한 바와 같은 전역 경로계획 방법에 대한 종래기술의 다른 예로서, 예를 들면, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths in Graphs_A star(PETER E. HART, VOL. ssc-4 ,NO 2, 1968)"에 게시된 바와 같은 A* 알고리즘이 있다.
- [0010] 더 상세하게는, 상기한 A* 알고리즘은, Dijkstra 알고리즘의 보완 형태로, 평가함수를 추가함으로써 깊이 탐색

과 넓이 탐색을 기반으로 Dijkstra 알고리즘에 비해 더 빠른 탐색 시간을 달성하였으나, 실시간성에 문제가 있는 것이었다.

[0011] 아울러, 상기한 바와 같은 전역 경로계획 방법에 대한 종래기술의 다른 예로서, 예를 들면, "The Focussed D Algorithm for Real-Time Replanning(Stentz, Anthony, Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1652-1659, 1995)"에 게시된 바와 같은 D* 알고리즘이 있다.

[0012] 더 상세하게는, 상기한 D* 알고리즘은, 종래의 실시간성 문제를 해결함으로써 현재까지 가장 널리 사용되는 전역 경로계획 알고리즘으로 알려져 있다.

[0013] 더욱이, 상기한 방법들 외에도, 예를 들면, "Gross Motion Planning-A survey(Y.K Hwang and N. Ahuja, ACM computing Surveys, Vol.24 No.3, September 1992)"에 게시된 바와 같이, 양방향 검색(Bi-direction Search) 및 A* 기반의 수정된 알고리즘을 이용하여 경로를 찾아내는 방법 등이 제안된바 있다.

[0014] 상기한 바와 같이, 종래, 거리와 시간에 따른 비용 문제를 최적화하기 위하여 경로계획 알고리즘에 대하여 많은 연구가 이루어졌으며, 그러한 연구들을 통하여 최소의 거리와 시간 비용은 도출되었지만, 계획된 경로 상에서 이동중에 다른 이동물체나 장애물 등과의 충돌 가능성에 대하여는 고려된 바가 없었다.

[0015] 즉, 상기한 바와 같은 종래의 경로계획 방법들은, 단지 최단 거리와 시간만을 고려하여 경로를 계획할 뿐, 장애물의 유무에 따른 회피 경로나 충돌 방지와 같은 안전 문제에 대하여는 고려하지 않고 있으므로, 진정한 의미로 최적의 경로계획을 이룰 수 없다는 문제가 있는 것이었다.

[0016] 즉, 로봇 시야는 지역 폐쇄성에 기인하여 제한되게 되며, 이러한 시야 제한의 문제로 인해 미리 준비된 경로가 아닌 실제의 도로와 같은 경우는 이동로봇의 자율주행이 어려울 뿐 아니라, 충돌 문제를 피할 수 없으며, 따라서 상기한 바와 같은 종래기술의 방법들로는 최적의 자율주행을 이룰 수 없게 된다.

[0017] 따라서 상기한 바와 같은 종래기술의 경로계획의 문제점을 해결하기 위하여는, 최단거리와 최단시간을 위한 경로뿐만 아니라, 이동중에 장애물의 존재 유무를 파악하여 이에 대한 회피계획을 수립하여 충돌을 방지함으로써 이동로봇의 안전한 주행을 가능하게 하는 새로운 이동로봇의 경로계획 알고리즘을 제공하는 것이 바람직하나, 아직까지 그러한 요구를 모두 만족시키는 장치나 방법은 제공되지 못하고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0018] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점을 해결하고자 하는 것으로, 따라서 본 발명의 목적은, 종래의 경로계획 방법들은 단순히 최단 거리와 시간만을 고려하여 경로를 계획할 뿐, 장애물의 유무에 따른 회피 경로나 충돌 방지와 같은 안전 문제에 대하여는 고려하지 않았으므로, 실제의 도로 주행시 충돌 문제를 피할 수 없어 이동로봇의 자율주행이 어려웠던 문제점을 해결하기 위해, 이동로봇이 최적의 경로로 안전하게 충돌을 회피하면서 자율주행하여 목적지에 도착할 수 있도록 하는 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법을 제공하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0019] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명에 따르면, 이동로봇이 목표지점까지 충돌없이 최적의 경로로 이동할 수 있도록 하기 위한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법에 있어서, 출발 지점과 목표 지점을 포함하는 지역의 전역지도를 읽어들이고 읽어들이는 지도에 셀 분해법을 이용하여 격자지도를 구성하는 지도구성단계; 지역 폐쇄성에 기인하여 충돌위험성이 있는 지역을 위험지역으로 정의하고, 사고가 빈번한 지역이나 정체구간을 긴급 지역으로 정의하여 상기 격자지도상에 반영하는 지역정의단계; 시작점과 도착점이 주어지면, 시작 노드에서부터 목표 노드까지 현재의 노드에서 인접한 노드들 중 가장 안전한 노드를 찾는 동작을 반복하여 상기 시작점에서 상기 도착점까지 가장 안전한 경로를 찾는 경로탐색단계; 및 상기 경로탐색단계에서 탐색된 경로를 저장하고 처리를 종료하는 단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 이동로봇의 안전경로계획 수립방법이 제공된다.

[0020] 여기서, 상기 지역정의단계는, 코너 지역, 교차점 및 문이 있는 지역을 상기 위험지역으로 정의하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 또한, 상기 지역정의단계는, 상기 격자지도의 각 격자마다 시작점, 목표점, 장애물이나 벽, 상기 위험지역의 위험도, 상기 긴급지역 및 상기 이동로봇이 이동 가능한 지점을 각각 의미하는 정보를 입력하여 상기 격자지도를 구성하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 아울러, 상기 위험지역의 위험도는 이하의 위험도 평가함수 $R(n_c)$ 를 이용하는 것을 특징으로 한다.

$$R(n_c) = \frac{1}{2r} \alpha \left(\frac{1}{e^{\theta^* \frac{\pi}{180}}} \right)^2$$

[0023]

[0024] (여기서, r 은 위험지역의 인접 노드(셀 공간의 특정 위치) 간의 거리, θ 는 코너의 각도, α 는 충돌사고 빈도에 따른 위험지역 상수 값이며, 또한, θ 의 범위는 $0^\circ < \theta < 180^\circ$ 이다.)

[0025] 더욱이, 상기 경로탐색단계는, 탐색하지 않은 노드들을 기록하는 오픈 리스트(Open List)에 시작 노드로부터 인접한 노드들 추가하는 단계; 및 검색이 완료된 노드는 이미 탐색한 노드를 기록하는 폐쇄 리스트(Closed List)에 추가하여 더 이상 검색하지 않도록 하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0026] 또한, 상기 경로탐색단계는, 상기 시작 노드에서 현재 노드까지의 거리함수, 위험도 평가함수 및 현재 노드에서 목표 노드까지의 추정 예상비용에 근거하여 각 노드의 안전비용을 평가하고, 상기 안전비용이 가장 작은 노드들을 선택하여 최적의 경로를 설정하는 것을 특징으로 한다.

[0027] 여기서, 상기 안전비용의 평가는, 이하의 수식식을 이용하는 것을 특징으로 한다.

$$S(n) = C(n_s, n_c) + R(n_c) + G(n_c, n_g)$$

[0028]

[0029] (여기서, $C(n_s, n_c)$ 는 시작 노드에서 현재 노드까지의 거리이고, $R(n_c)$ 는 현재 노드에서 인접 노드 사이의 위험도이며, $G(n_c, n_g)$ 는 현재 노드에서 목표 노드까지의 추정 예상비용이다.)

[0030] 또한, 상기 시작 노드에서 현재 노드까지의 거리를 계산하는 함수 $C(n_s, n_c)$ 는, 이하의 수학적식을 이용하는 것을 특징으로 한다.

$$C(n_s, n_c) = \sum_{i=s}^c C n_i$$

[0031]

[0032] 아울러, 상기 현재 노드에서 목표 노드까지의 추정 예상비용을 평가하는 함수 $G(n_c, n_g)$ 는, 이하의 수학적식을 이용하는 것을 특징으로 한다.

$$G(n_c, n_g) = \sqrt{(n_c - n_g)^2}$$

[0033]

발명의 효과

[0034] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 안전한 자율주행을 이루기 위하여 전역경로에 대한 위험지역을 정의하고, 인지 제한영역의 반발함수를 이용하여 격자지도를 완성하며, 위험도에 따른 위험 반발력과 S* 알고리즘을 이용하여 최적의 안전한 경로계획을 수립할 수 있는 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법을 제공할 수 있다.

[0035] 따라서 본 발명에 따르면, 단순히 최단 거리와 시간만을 고려하여 경로를 계획할 뿐, 장애물의 유무에 따른 회피 경로나 충돌 방지와 같은 안전 문제에 대하여는 고려하지 않음으로 인해 실제의 도로와 같은 경우 이동로봇의 자율주행이 어렵고 충돌 문제를 피할 수 없었던 종래의 경로계획 방법들의 문제점을 해결하여, 이동로봇이 최적의 경로로 안전하게 충돌을 회피하면서 자율주행하여 목적지에 도착할 수 있도록 하는 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1은 위험지역의 정의를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 위험영역에서의 반발력을 나타내는 도면이다.

도 3은 위험지역이 정의된 격자지도의 구성예를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명에 따른 S* 알고리즘의 구체적인 구성을 나타내는 플로차트이다.

도 5는 본 발명에 따른 S* 알고리즘의 성능을 검증하기 위한 모의실험에 사용되는 격자지도를 나타내는 도면이다.

도 6은 A* 알고리즘의 위험지역에 대한 실험 결과를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명에 따른 S* 알고리즘의 위험지역에 대한 실험 결과를 나타내는 도면이다.

도 8은 A* 알고리즘의 위험지역 및 긴급지역에 대한 실험 결과를 나타내는 도면이다.

도 9는 본 발명에 따른 S* 알고리즘의 위험지역 및 긴급지역에 대한 실험 결과를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0037] 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법의 상세한 내용에 대하여 설명한다.
- [0038] 여기서, 이하에 설명하는 내용은 본 발명을 실시하기 위한 실시예일 뿐이며, 본 발명은 이하에 설명하는 실시예의 내용으로만 한정되는 것은 아니라는 사실에 유념해야 한다.
- [0039] 즉, 본 발명은, 후술하는 바와 같이, 단순히 최단 거리와 시간만을 고려하여 경로를 계획함으로써 인해 실제의 도로에서는 충돌 문제를 피할 수 없었던 종래의 경로계획 방법들의 문제점을 해결하여, 이동로봇이 충돌을 회피하면서 안전하게 최적의 경로로 자율주행하여 목적지에 도착할 수 있도록 하는 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법에 관한 것이다.
- [0040] 이를 위해, 본 발명은, 코너와 합류점, 동적 환경에 대한 위험지역의 정의를 내리고, 인지 제한영역의 반발합수를 이용하여 격자지도를 완성하며, 위험영역에서 정의된 합수를 이용하여 S* 알고리즘을 제안하였다.
- [0041] 또한, 본 발명은, 안전한 자율주행을 이루기 위하여, 전역경로에 대한 위험지역을 정의하고, 위험도에 따른 위험 반발력과 S* 알고리즘을 이용하여 안전한 경로계획을 수립하여, 모의실험을 통해 상기한 알고리즘의 타당성을 증명하였다.
- [0042] 따라서 본 발명은, 지역 폐쇄성을 고려하여 위험지역을 정의하고, S* 알고리즘을 이용하여 최적의 안전한 경로계획을 수행하도록 구성된 것을 특징으로 하는 것이다.
- [0043] 계속해서, 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법의 구체적인 내용에 대하여 설명한다.
- [0044] 먼저, 자율주행로봇의 경로계획법에 있어서, 상기한 바와 같은 전역 경로계획과 더불어, 예를 들면, "Occlusions in obstacle detection for safe navigation(Sadou, M., Anthony, Intelligent Vehicles Symposium, 2004 IEEE, vol., no., pp. 716-721, 14-17, 2004)"에 게시된 바와 같이, 정적 및 동적 장애물의 회피와 센서의 불확실성에 기인한 장애물 회피방법 또한 연구되어 왔다.
- [0045] 그러나 실제 충돌 위험성은, 예상치 못한 지역 폐쇄성에 기인한 경우가 대부분이며, 센서 인식범위에 따라 인지할 수 있는 영역이 제한되므로 충돌 위험성이 증가된다.
- [0046] 위험지역의 정의에 앞서 로봇의 자율주행을 위해 극복해야 할 문제점들을 나열하면 다음과 같다.
- [0047] 1) 인지영역의 제한성
- [0048] 2) 센서 불확실성

- [0049] 3) 예기치 않은 동적 물체
- [0050] 4) 바닥면과의 슬립
- [0051] 5) 기구학 및 동역학적
- [0052] 먼저, 인지영역의 제한성은, 예를 들면, "Safe and high speed navigation of a patrol robot in occluded dynamic obstacles(MinKi Choi, Proceedings of the 17th IFAC World Congress, 2008, Volume 17, Part 1, 2008)"에 제시된 바와 같이, 로봇의 시야의 제한성이다.
- [0053] 더 상세하게는, 이동로봇의 자율주행시, 센서의 성능에 따라 볼 수 있는 영역이 다르게 되며, 따라서 조금이라도 더 멀리 볼 수 있는 로봇이 충돌 위험을 그만큼 미리 인지하고 안전하게 주행할 수 있다.
- [0054] 또한, 센서의 불확실성으로 인하여 충돌 위험성이 증가될 수 있으며, 동적 장애물에 의한 충돌은 가장 큰 잠재 위험성을 가지고 있다.
- [0055] 아울러, 바닥면과 바퀴의 조건에 따라 슬립이 발생함으로 인해, 위험지역을 감지했음지라도 정지거리가 증가하여 충돌 위험성이 증가된다.
- [0056] 마지막으로, 기구학 및 동역학적 문제로 충돌 위험성이 더욱 증가될 수 있으며, 즉, 바퀴의 뒤틀림이나, 양 바퀴의 공기압, 그리고 관성 문제 등의 비선형적인 문제로 인해 위험성이 증가되므로, 안전한 자율주행을 이룰 수 없게 된다.
- [0057] 따라서 본 발명은, 안전한 경로계획을 위해, 상기한 바와 같은 위험지역의 인지 제한성 문제를 고려함으로써 안전한 자율주행을 달성하고자 하는 것으로, 즉, 본 발명은, 로봇의 시야의 제한성을 고려하지 않을 경우의 충돌 위험성이 나머지 위험성을 모두 고려하지 않은 것보다 더욱 위험할 수 있음을 감안하여, 이동로봇의 자율주행에 있어서 극복해야 할 상기한 바와 같은 문제들 중 인지영역의 제한성을 해결하는 것을 주된 목적으로 하는 것이다.
- [0058] 계속해서, 도 1을 참조하여, 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획 수립방법의 구체적인 내용에 대하여 설명한다.
- [0059] 도 1을 참조하면, 도 1은 위험지역의 정의를 설명하기 위한 도면으로, 즉, 본 발명에서는, 도 1에 나타난 바와 같이, 인지영역의 제한성에 따른 코너와 교차점 그리고 닫힌 문을 위험지역이라 정의한다.
- [0060] 더 상세하게는, 도 1의 (a)에 나타난 바와 같이, 이동로봇이 코너 지역에 진입할 때 시야에 보이지 않는 사각지대가 형성되므로 이러한 사각지대를 위험지역으로 정의하고, 또한, 도 1의 (b)에 나타난 바와 같이, 이동로봇이 교차점에 진입할 때 충돌위험성, 정체 및 사각지대가 증가하므로 이러한 교차 지점을 위험지역으로 정의하며, 아울러, 도 1의 (c)에 나타난 바와 같이, 문이 있는 경우, 문이 닫혀 있다가 열리거나 또는 열린 상태에서라도 열린 문으로 다른 동적 객체가 갑자기 나오게 되면 충돌 위험성이 있으므로, 이러한 지역 또한 위험지역으로 정의한다.
- [0061] 즉, 예를 들면, 사무실과 같이, 벽이 존재하는 공간을 이동로봇이 이동할 때 대부분 코너가 존재하는 공간을 이

동하게 되며, 이때, 이동로봇에 주행에 필요한 센서가 설치되어 있더라도, 상기한 바와 같이 센서 정보를 이용할 수 없는 코너점이 존재하게 된다.

[0062] 아울러, 교차점 또한 상기한 바와 같은 코너에서의 위험성이 중첩되어 정체 및 충돌사고의 위험성이 내재되어 있는 공간이며, 더욱이, 사무실 공간의 경우, 문이 닫혀 있으면 문을 벽으로 인식하게 되나, 문이 열리면 문에 의해 코너 점이 나타나게 되고, 이러한 급작스러운 코너의 발생은 사고의 위험성을 더욱 증가시키는 환경이 된다.

[0063] 그러나 상기한 바와 같이 정의된 위험지역은 센서에 의존하여 즉각적으로 대처할 수 있는 부분이 아니며, 이와 같이 지역 폐쇄성에 기인한 위험지역이 존재하게 되면 이동로봇은 돌발상황에 대비하여 서행하거나 해당 지역을 우회하는 등으로 안전한 주행 경로계획을 수립할 필요가 있다.

[0064] 상기한 바와 같이, 현재 위치에서 목표 위치까지 최적의 경로를 계획하는 일은 거리나 시간의 비용뿐만 아니라 안전문제를 함께 고려해야만 하며, 따라서 본 발명에서 제시되는 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획에서 'S'의 의미는 'Safe', 즉, 안전에 중점을 둔 경로계획방법을 의미한다.

[0065] 또한, 본 발명에 사용되는 S* 알고리즘은, 기존에 많이 사용되는 A* 알고리즘을 기반으로 하는 것이나, 본 발명은, 기존의 전역경로 계획방법은 최적의 경로를 제공하지만 안전문제를 고려하지 않음으로 인해 가정이나 사무실 환경에서 사용하기에 무리가 있었던 문제를 해결하기 위하여, 인지제한 영역에서의 반발력함수를 이용하여 지도를 생성하고, 안전을 기반으로 하는 S* 알고리즘을 이용하여 경로계획을 실시한다.

[0066] 여기서, 상기한 인지제한 영역에서의 반발력에 대하여 설명하면 일반적으로, 이동로봇의 안전한 경로계획을 위해서는 충분한 주행 정보가 필요하며, 예를 들면, 시각적인 정보의 제한성과 같이, 센서정보를 획득할 수 없는 경우는 더 이상 주행이 불가능하게 된다.

[0067] 이와 같이 충분한 주행정보를 얻기 어려운 지역을 위험지역이라 하며, 이러한 위험지역을 회피하기 위하여는 주어진 지도에서 코너 및 합류점을 영상처리기법을 이용하여 추출하고, 그 특징점에서 반발력을 생성한다.

[0068] 여기서, 위험지역을 추출하는 방법으로는, 예를 들면, "Chain Code 발생빈도를 이용한 삼각형 및 사각형의 꼭지점 인식 알고리즘(김선일, 손주리, 박찬웅, 대한전기학회 학술대회 논문집, pp. 1343~1346, 1987)"에 게시된 바와 같은 내용을 참조할 수 있으며, 상기한 바와 같이 하여 추출된 위험지역은 안전경로계획을 위한 전역경로계획 지도에 사용된다.

[0069] 또한, 이하의 [수학식 1]은 상기한 바와 같이 하여 추출된 코너에서의 위험도 평가함수이다.

[0070] [수학식 1]

$$R(n_c) = \frac{1}{2r} \alpha \left(\frac{1}{e^{\theta^* \frac{\pi}{180}}} \right)^2$$

[0071]

- [0072] [수학식 1]에 있어서, $R(n_c)$ 은 위험도의 평가함수, r 은 위험지역 인접 노드(셀 공간의 특정 위치) 간의 거리, θ 는 코너의 각도, α 는 충돌사고 빈도에 따른 통계적 자료를 기반으로 하는 위험지역 상수 값이다.
- [0073] 또한, [수학식 1]에 있어서, 상기한 각도의 범위는 $0^\circ < \theta < 180^\circ$ 이며, 각도가 작아질수록 위험도는 증가하고, 아울러, 반발력의 크기는 $0 < R(n) < 1$ 의 값을 가지며, 1에 가까운 값을 가질 경우 장애물과 같은 영역으로 인식한다.
- [0074] 다음으로, 도 2를 참조하면, 도 2는 위험영역에서의 반발력을 나타내는 도면으로, 코너의 각도에 따른 위험 반발력을 나타내고 있다.
- [0075] 즉, 도 2에 나타난 바와 같이, 코너의 각도가 증가함에 따라 위험 반발력이 증가함을 알 수 있다.
- [0076] 더 상세하게는, 예를 들면, 복도와 같이, 코너가 없는 곳일 경우 벽과 이루는 각은 180° 이며, 이때, 실제 보이는 이동로봇의 센서 정보의 시야각은 충분한 주행정보를 획득할 수 있다.
- [0077] 그러나 이동중 180° 보다 작은 코너가 있는 지형을 주행할 경우, 센서 정보의 부족현상으로 인해 충돌위험성이 증가하며, 코너가 작으면 작을수록 위험 반발력은 증가하고, 충돌확률은 증가하게 된다.
- [0078] 따라서 이동로봇은, 이러한 위험 반발력을 이용하여 충돌 위험성이 작은 곳을 검색함으로써 안전한 경로계획을 수립할 수 있다.
- [0079] 계속해서, 상기한 바와 같이 위험 반발력을 이용하여 얻어진 위험정보를 반영하여 격자지도를 구성하는 내용에 대하여 설명한다.
- [0080] 즉, 이동로봇이 안전경로계획을 수립하기 위해서는 먼저 격자화된 지도가 필요하며, 이는, 각 격자 내에 비용 정보를 입력하여 안전경로계획을 수립할 수 있도록 준비해야 하며, 일반적으로, 격자의 크기는 경로계획 대상 지역의 크기, 이동로봇의 크기, 센서의 성능을 고려하여 선정한다.
- [0081] 아울러, 이동로봇이 이동하면서 격자지도상의 각 노드마다 안전한 경로로 이동하도록 하기 위해서는, 각 노드의 크기가 작으면 작을수록 좋지만, 이러한 경우 연산의 양이 늘어남으로 인해 전체적인 경로계획의 수행시간이 늘어나게 된다.
- [0082] 따라서 이하의 설명에서 사용되는 격자의 크기는, 로봇의 크기를 고려하여 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 의 크기로 하였으며, 격자 지도의 표현 형태는 이하의 [수학식 2]와 같다.

[0083] [수학식 2]

$$Map(n) = \begin{cases} 2 & ; Start \\ 3 & ; Goal \\ 1 & ; Obstacle, wall \\ 0 < R(n) < 1 & ; Risk Area \\ 0 & ; Otherwise \end{cases}$$

[0084]

[0085] [수학식 2]에 있어서, 시작점(S)은 2이고, 목표점(G)은 3으로 정의하며, 장애물이나 벽은 1로 표현하고, 위험지역의 위험성에 대한 반발력은 $0 < R(n) < 1$ 사이의 값이며, 이동로봇이 이동할 수 있는 공간은 0으로 정의한다.

[0086] 또한, 도 3을 참조하면, 도 3은 상기한 바와 같이 하여 위험지역이 정의된 격자지도의 구성예를 나타내고 있으며, 즉, 도 3에 나타난 바와 같이, 격자 내에 문자를 표시하는 것만으로 위험정보를 반영한 격자지도를 구성할 수 있다.

[0087] 다음으로, 도 4를 참조하여, 상기한 바와 같이 하여 위험정보를 이용한 S* 알고리즘의 상세한 내용에 대하여 설명한다.

[0088] 도 4를 참조하면, 도 4는 본 발명에 따른 S* 알고리즘의 구체적인 구성을 나타내는 플로차트이다.

[0089] 즉, 본 발명은, 상기한 바와 같이 위험에 대한 정의와 함께 위험지역의 안전문제를 고려하여 격자화된 지도를 이용하여, 도 4에 나타난 바와 같은 S* 알고리즘을 제안하는 것이다.

[0090] 더 상세하게는, 본 발명에 따른 S* 알고리즘은, 도 4에 나타난 바와 같이, 먼저, 해당 지역의 전역지도를 읽어들이고(S1), 읽어들이는 지도에 셀 분해법을 이용하여 격자지도를 구성한다(S2).

[0091] 다음으로, 상기한 바와 같이 하여 지역 폐쇄성에 기인하여 충돌위험성이 있는 지역을 위험지역으로 정의하고(S3), 사고가 빈번한 지역이나 정체구간을 긴급지역으로 정의하여 격자지도상에 반영한다(S4).

[0092] 이어서, 시작점과 도착점이 주어지면(S5), 탐색하지 않은 노드들을 기록하고 있는 오픈 리스트(Open List)에 시작 노드로부터 인접한 노드들 추가한다(S6).

[0093] 이어서, 시작 노드에서 현재 노드까지의 거리함수, 위험도 평가함수 및 현재 노드에서 목표 노드까지의 추정 예상비용을 통해 해당 노드의 안전비용을 평가하는 안전비용 평가함수에 근거하여, 현재 노드에서 인접한 노드들 중 안전비용이 가장 작은 노드들을 선택하여 가장 안전한 노드를 찾는다(S7).

[0094] 이때, 검색이 완료된 노드는 이미 탐색한 노드를 기록하는 폐쇄 리스트(Closed List)에 추가하여 더 이상 검색하지 않도록 한다(S8).

[0095] 여기서, 최적의 경로 설정을 위한 안전비용 평가함수는 이하의 [수학식 3]과 같다.

[0096] [수학식 3]

$$S(n) = C(n_s, n_c) + R(n_c) + G(n_c, n_g)$$

[0097]

[0098] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 S* 알고리즘의 안전비용 평가함수는 세 개의 함수 $C(n_s, n_c)$, $R(n_c)$, $G(n_c, n_g)$ 로 구성되어 있다.

[0099] 여기서, $C(n_s, n_c)$ 는 시작 노드에서 현재 노드까지의 거리를 계산하는 함수이고, $R(n_c)$ 는 현재 노드에서 인접 노드 사이의 위험도를 평가하는 함수이며, $G(n_c, n_g)$ 는 현재 노드에서 목표 노드까지의 추정 예상비용이다.

[0100] 더 상세하게는, $C(n_s, n_c)$ 는, 시작노드에서 현재 노드까지의 경로비용으로, 이동로봇의 주행거리의 합을 의미하며, 이하의 [수학식 4]와 같이 나타낼 수 있다.

[0101] [수학식 4]

$$C(n_s, n_c) = \sum_{i=s}^c C n_i$$

[0102]

[0103] 또한, $G(n_c, n_g)$ 는 현재노드에서 목표점까지의 최단거리를 의미하는 유클리디언 거리 값으로, 이하의 [수학식 5]와 같이 나타낼 수 있다.

[0104] [수학식 5]

$$G(n_c, n_g) = \sqrt{(n_c - n_g)^2}$$

[0105]

[0106] 즉, 상기한 [수학식 5]에 나타낸 바와 같이, 이동로봇이 목표점까지 이동할 때 직선거리에 해당하는 노드의 가중치 값을 선택하게 함으로써 빠른 탐색을 유도할 수 있다.

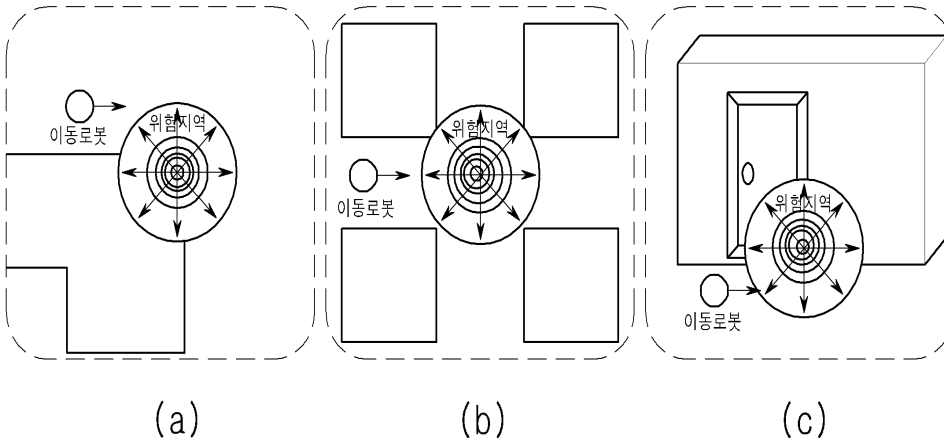
[0107] 계속해서, 나머지 조사하지 않은 노드에 대하여도, 도착지점에 도달할 때까지(S9), 상기한 바와 같이 안전비용이 가장 작은 노드들을 선택하여 가장 안전한 노드를 찾는 동작을 반복하여 가장 안전한 경로를 설정한다(S10).

- [0108] 다음으로, 상기한 바와 같이 하여 선택된 경로를 저장하고 알고리즘을 종료한다(S11).
- [0109] 상기한 바와 같이 하여 잠재적 위험을 기반으로 하는 S* 알고리즘을 구현할 수 있다.
- [0110] 따라서 상기한 바와 같이 구성된 S* 알고리즘을 이용하여 현재 노드에서 계산된 이웃 노드들의 안전비용 함수의 값이 가장 작은 값을 최적의 노드로 선정함으로써, 최단거리와 시간 및 안전을 동시에 고려한 이동로봇의 안전 경로계획을 수립할 수 있다.
- [0111] 다음으로, 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 S* 알고리즘 실제 사례에 적용한 실험 결과에 대하여 설명한다.
- [0112] 즉, 본 발명자들은, 상기한 바와 같은 S* 알고리즘을 이용한 전역경로계획의 성능을 검증하기 위하여 매트랩(Matlab)을 이용하여 모의실험을 진행하였다.
- [0113] 더 상세하게는, 전역경로를 생성하기 위해서는 먼저 상기한 바와 같이 위험지역과 긴급지역을 표현한 격자화된 지도가 필요하며, 본 실험에 사용된 격자지도는 도 5에 나타낸 바와 같다.
- [0114] 도 5에 있어서, 검은색 사각형은 고정 장애물이며, 빨간색 원은 코너 지점에서의 위험률이 반영된 위험지역이고, 또한, E(Emergency) 지역은 긴급지역으로, 정체구간 또는 사고 등을 통계적으로 수집하여 긴급지역으로 정의하고 지도에 반영하였다.
- [0115] 상기한 바와 같이 구성된 격자지도를 이용하여, 전역경로 계획방법 중 가장 많이 사용되는 A* 알고리즘과 본 발명에 제시된 S* 알고리즘의 처리 결과를 비교하였으며, 이때, 지도의 사이즈는 50 cell × 50 cell이고, 로봇의 크기를 고려하여 한 셀의 크기는 30cm의 정사각형으로 하였다.
- [0116] 또한, 도 6 및 도 7은 각각 종래의 A* 알고리즘과 본 발명에 따른 S* 알고리즘의 모의실험 결과를 나타내는 도면이다.
- [0117] 여기서, 이동로봇의 출발점은 (6, 45)이며, 도착점은 (46, 6)이고, 작은 빨간 원으로 표기된 곳은 위험평가 함수를 이용한 위험지역이며, 파란색 라인은 이동로봇의 이동경로를 나타낸다.
- [0118] 도 6에 나타낸 바와 같이, A* 알고리즘은 시작점으로부터 목표점까지 위험지역으로 표시된 빨간 원을 가로지르며 최소의 거리비용으로 주행하였으나, 반면 본 발명에 따른 S* 알고리즘은, 도 7에 나타낸 바와 같이, 위험지역을 부드럽게 우회 하며 안전한 주행을 이루었음을 나타내고 있다.
- [0119] 따라서 도 6 및 도 7에 나타낸 바와 같이, 종래의 A* 알고리즘에 의한 경로는 위험지역을 무시하고 단지 시작점에서 목표점까지의 최단거리를 나타내는 경로계획이나, 본 발명에 따른 S* 알고리즘에 의한 경로는, 도 7에 나타낸 바와 같이, 위험지역을 우회하여 안전하게 목표점에 도달하는 경로계획임을 알 수 있다.
- [0120] 다음으로, 도 8 및 도 9를 참조하면, 도 8 및 도 9는 각각 긴급지역을 포함한 A* 알고리즘과 S*알고리즘의 모의 실험 결과를 나타내는 도면이다.

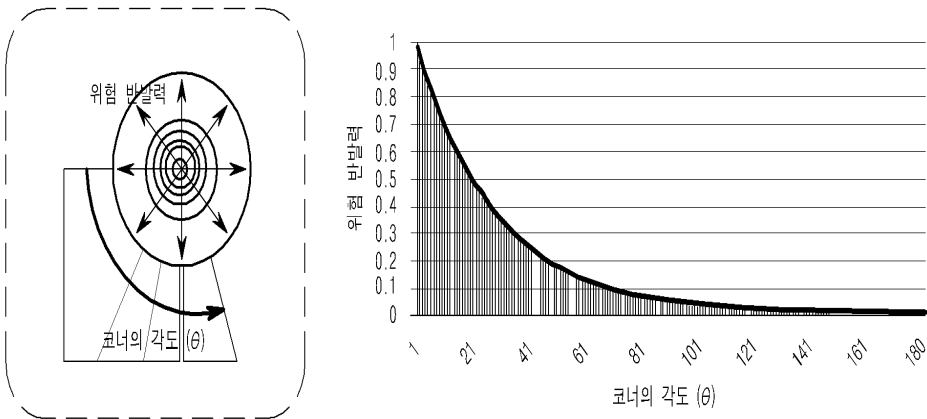
- [0121] 도 8 및 도 9에 있어서, 이동로봇의 출발점은 (5, 5)이며, 도착점은 (45, 45)이고, 긴급지역은 사고 다발지역으로서 E로 표기하였다.
- [0122] 도 8 및 도 9에 나타난 바와 같이, 긴급지역을 포함한 전역경로계획에 있어서도, 본 발명에 따른 S* 알고리즘은 긴급지역을 안전하게 우회할 뿐만 아니라 최적의 경로를 생성하여 이동하는 결과를 보여주고 있으나, A* 알고리즘은 긴급지역을 무시하고 이동하고 있다.
- [0123] 여기서, A* 알고리즘의 거리와 시간비용은 $19.95\text{m}/2.3\text{s}$ 이고, S* 알고리즘의 거리와 시간비용은 $23.12\text{m}/3.4\text{s}$ 이며, 즉, 경로계획의 비용 산정의 기준을 시간과 거리에만 둔다면 A* 알고리즘이 최적의 전역경로계획일 것이나, 도 8 및 도 9의 주행결과에서 확인된 바와 같이, 위험지역에 대한 고려 없이 최단거리로만 이동할 경우 로봇이 위험에 노출되게 되어, A* 알고리즘은 아예 목표 지점에 도달하지 못할 수도 있는 문제점이 있는 것이다.
- [0124] 이에 비하여, 본 발명에 따른 S* 알고리즘은, 위험지역과 긴급지역을 정의하여 전역경로계획을 수립함으로써 안전한 주행결과를 나타냄을 알 수 있다.
- [0125] 따라서 상기한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 이동로봇이 인식할 수 없는 코너점, 교차점, 닫힌 문 등을 전역지도상에 위험지역으로 정의하고, 이러한 잠재적 충돌위험성으로 고려하여 최적의 경로계획을 수립하는 S* 알고리즘이 제공된다.
- [0126] 즉, 본 발명에 따른 S* 알고리즘은, 기존의 A* 알고리즘이 거리와 시간비용에 대한 결과는 우수하지만 잠재적 충돌위험성에 대한 고려가 없었던 문제점을 보완하여, 위험지역과 긴급지역을 안전하게 우회하며 목표 지점까지 주행할 수 있는 최적의 경로를 제공할 수 있다.
- [0127] 이상, 상기한 바와 같은 본 발명의 실시예를 통하여 본 발명에 따른 S* 알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로 계획 수립방법의 상세한 내용에 대하여 설명하였으나, 본 발명은 상기한 실시예에 기재된 내용으로만 한정되는 것은 아니며, 따라서 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 설계상의 필요 및 기타 다양한 요인에 따라 여러 가지 수정, 변경, 결합 및 대체 등이 가능한 것임은 당연한 일이라 하겠다.

도면

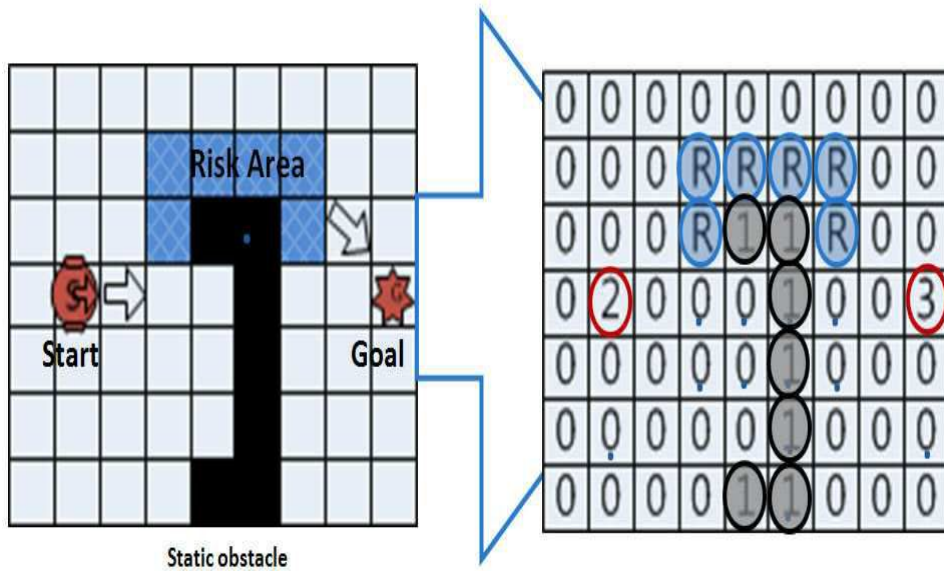
도면1



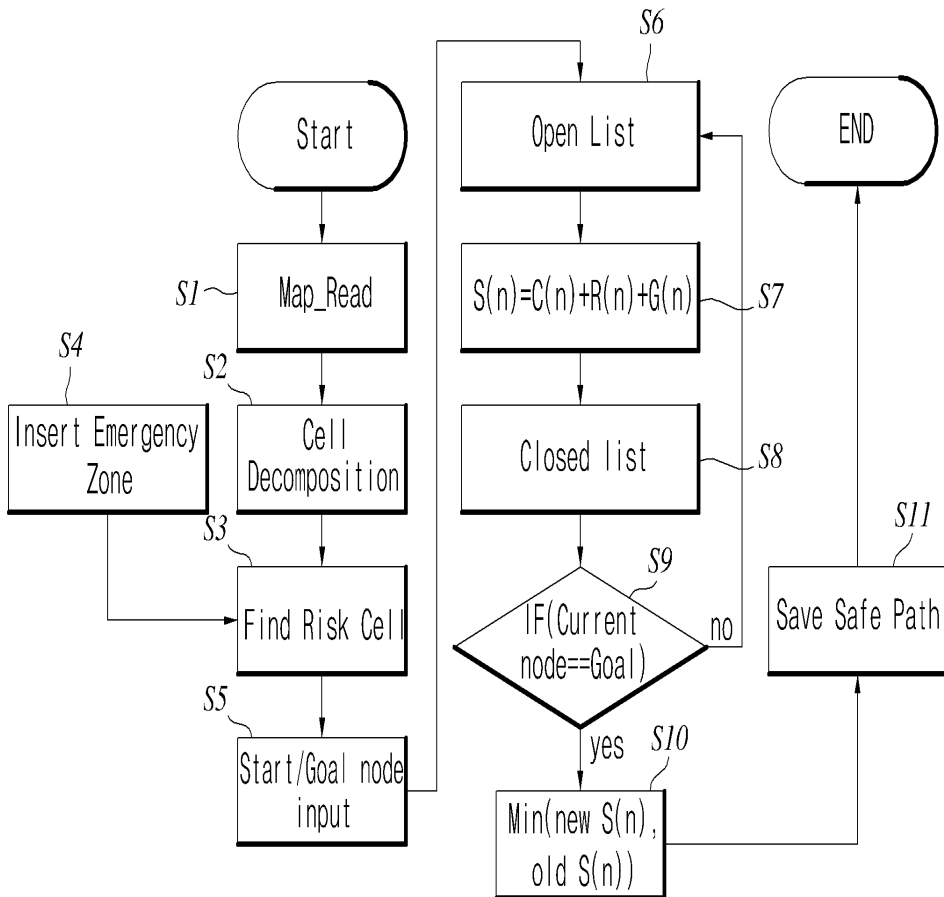
도면2



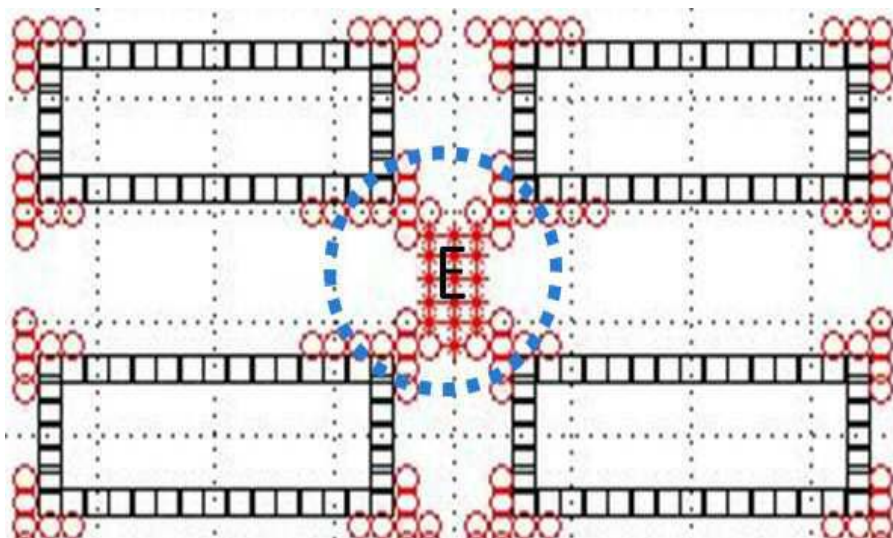
도면3



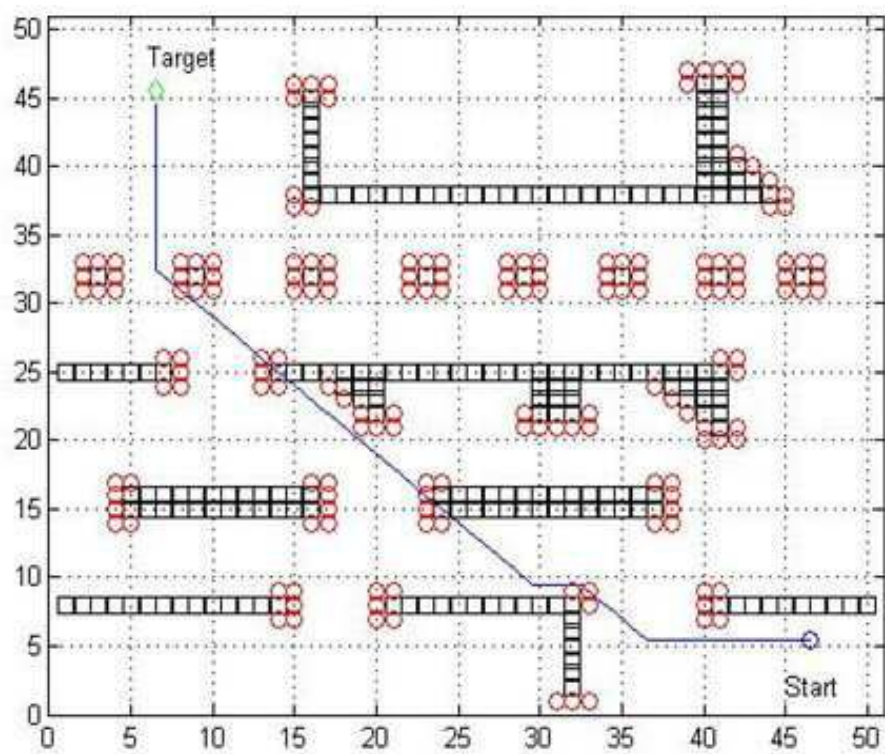
도면4



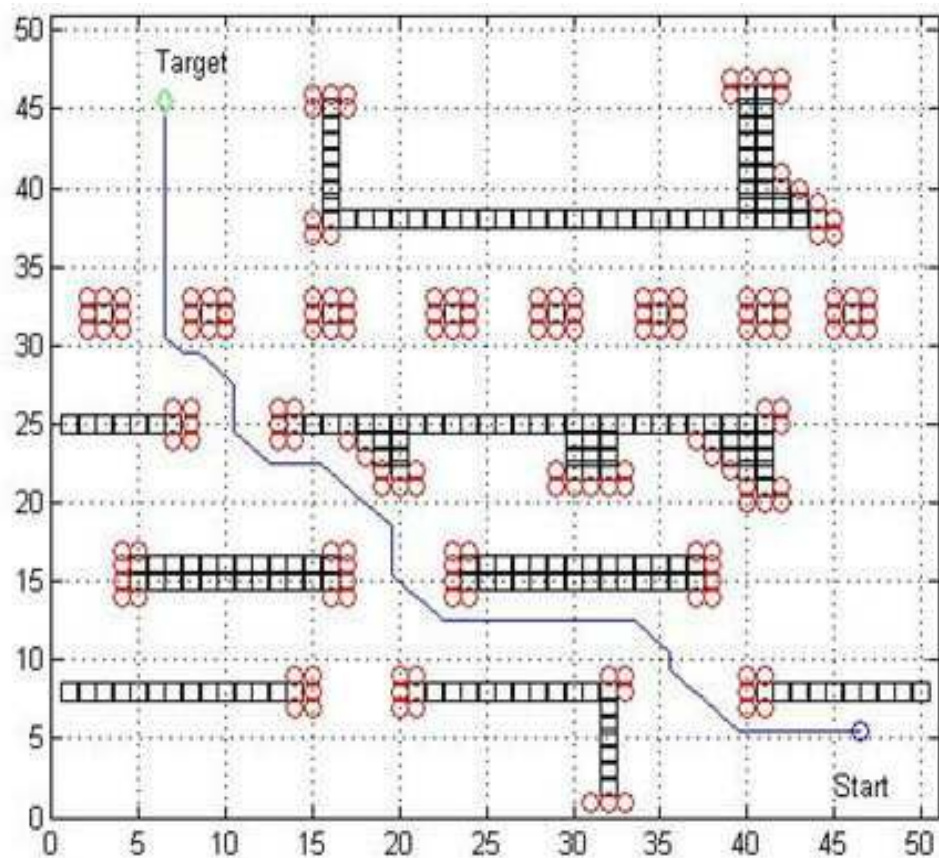
도면5



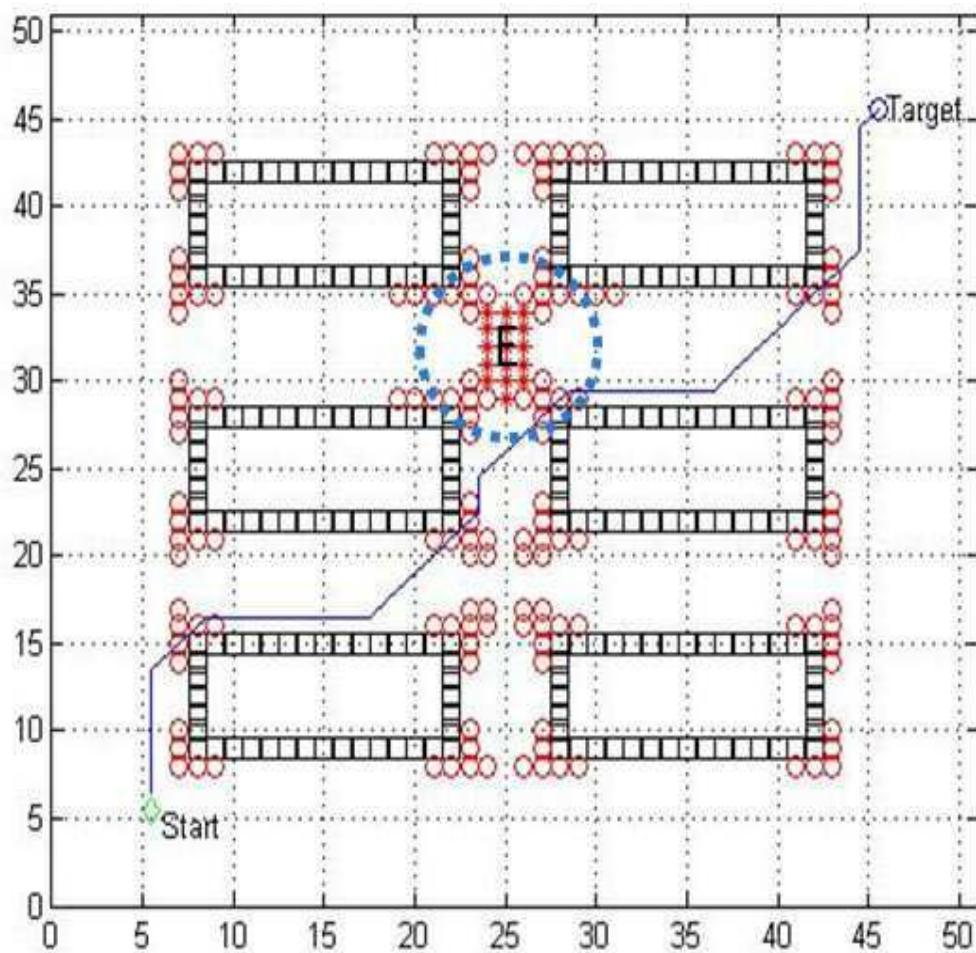
도면6



도면7



도면8



도면9

