



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년03월03일

(11) 등록번호 10-1598900

(24) 등록일자 2016년02월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G05D 1/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0116387

(22) 출원일자 2014년09월02일

심사청구일자 2014년09월02일

(56) 선행기술조사문헌

KR101096592 B1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

인하대학교 산학협력단

인천광역시 남구 인화로 100, 인하대학교 (용현동)

(72) 발명자

박종훈

서울 용산구 이촌로2가길 122, 101동 1309호 (이촌동, 대림아파트)

허옥열

서울특별시 구로구 신도림로 78 (신도림동, 신도림3차동아아파트) 308동 1202호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이원희

전체 청구항 수 : 총 5 항

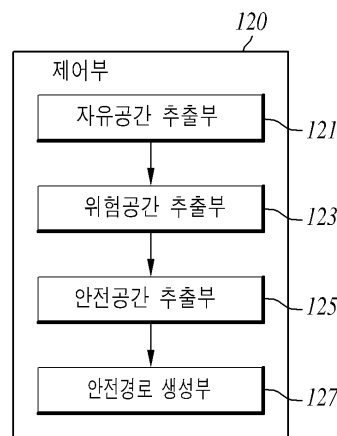
심사관 : 김동성

(54) 발명의 명칭 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치

(57) 요약

안전공간을 기반으로 안전한 최적의 경로를 추출하는 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치 이 개시된다. 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치는 안전공간을 추출하고, 상기 추출된 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 실행하여 이동 로봇의 안전경로를 생성하는 제어부; 및 상기 안전 공간 및 안전경로를 저장하는 저장부를 포함한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

노진홍

인천 남동구 소래역로 94, 1104동 601호 (논현동,
단풍마을휴먼시아아파트)

장성룡

인천 부평구 부흥로111번길 36, 503동 801호 (산곡
동, 산곡우성5차아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 47850-1

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 핵심연구

연구과제명 환경에 강인한 군집로봇의 경로계획 및 대형제어

기 여 율 1/1

주관기관 한국연구재단

연구기간 2013.05.01 ~ 2014.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

안전공간을 추출하고, 상기 추출된 안전공간을 기반으로 안전한 최적의 경로를 추출하는 수정된 A* 알고리즘을 실행하여 이동 로봇의 안전경로를 생성하는 제어부; 및

상기 안전 공간 및 안전경로를 저장하는 저장부

를 포함하고,

상기 수정된 A* 알고리즘은 하기의 수학식을 산출하는 것을 특징으로 하는 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치:

$$s(n) = c(n_{best}) + g(n_{best}(S_s = 1 - R_s) * Ed)$$

여기서, $s(n)$ 은 안전비용함수이고, $c(n_{best})$ 는 시작노드에서 현재노드까지의 안전비용의 합이고, $g(n_{best}(S_s = 1 - R_s) * Ed)$ 는 현재노드에서 목표노드까지의 추정 안전예상비용이고, Ed 는 현재노드에서 목표노드까지의 유클리언 거리 값임.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제어부는

형태공간에서 형태공간 장애물 영역을 제외한 자유공간을 추출하는 자유공간 추출부;

정지거리 및 위험점을 이용하여 위험공간을 추출하는 위험공간 추출부;

상기 자유공간에서 상기 위험공간을 제외한 안전공간을 추출하는 안전공간 추출부; 및

상기 추출된 안전공간을 기반으로 수정된 A*알고리즘을 실행하여 상기 이동 로봇의 안전경로를 생성하는 안전경로 생성부를 포함하는 것을 특징으로 하는 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 수정된 A*알고리즘은 위험정보가 포함된 격자지도를 이용하여 안전한 최적의 경로를 추출하는 알고리즘인 것을 특징으로 하는 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치.

청구항 4

삭제

청구항 5

제 2항에 있어서,

상기 정지거리는 공주거리 및 제동거리의 합인 것을 특징으로 하는 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 위험점은 로봇 시야가 확보된 공간, 상기 로봇 시야가 확보되지 않는 공간 및 장애물이 만나는 지점인 것을 특징으로 하는 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 안전공간을 기반으로 수정된 A스타(이하 A*) 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 정지거리와 잠재적 충돌지역인 위험거리를 이용하여 안전 공간을 생성하고, 수정된 A*알고리즘을 이용하여 안전경로를 생성하는 안전공간을 기반으로 수정된 A*알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

2011년, 후쿠시마 원전사고로 인하여 위험상황에 대처할 자율이동로봇의 필요성이 높아지고 있다. 특히, 열악한 환경에서 작업을 할 수 있는 실용적인 로봇 개발에 대한 관심이 높아졌으며, 2012년부터 세계최초로 재해대책 로봇대회가 개최되고 있다. 열악하고 위험한 환경에서 이동로봇의 자율주행 능력은 기존의 빠른 속도나 짧은 주행거리보다 안전을 더욱 중요시 해야 한다.

[0003]

안전은 이동로봇 분야에서 오랫동안 다뤄진 이슈이며, 대부분 충돌회피에 대한 연구가 진행되었다. 예를 들어, 퍼텐셜 필드법(Potential field method)은 장애물과 떨어진 거리에 따른 퍼텐셜 필드를 가상으로 구성하여 그 정보에 기초하여 장애물을 회피하는 경로 탐색방법으로써, 인력과 척력을 기반으로 경로를 생성하며 수학적인 해석과 적용이 용이하다. 또한, VFH(Vector Field Histogram) 알고리즘은 데이터 축소 과정 중에 중간단계의 자료구조로 폴라 히스토그램을 사용하여 로봇 주변의 360도 전방향을 작은 섹터로 나누어 각 섹터에 장애물 정보를 기록함으로써 로봇 주변에 장애물들이 어떻게 분포하는지 알 수 있다.

[0004]

그러나, 상기 소개된 방법들은 정적 환경에서는 뛰어난 회피성능을 보이지만, 동적 환경에서는 안전을 보장하지 못한다.

[0005]

또한, 움직이는 장애물을 정적으로 해석하여 회피하는 방법, 장애물의 속도만을 고려하는 방법 및 로봇과 장애물의 속도를 고려하여 새로운 포텐셜 필드 방법이 제안되었다. 그리고 지역최소점 및 실시간 회피성능을 고려한 DWA(Dynamic Window Approach) 방법이 널리 사용되고 있다.

[0006]

그러나, 이는 실제 환경에서는 센서의 제한된 시야로 인하여 부분적인 환경정보만 얻을 수 있기 때문에 종래의 방법으로는 안전을 보장하지 못한다.

[0007]

따라서, 이동로봇의 제한된 시야를 극복하여 안전을 보장하는 안전경로를 생성하는 방법이 요구된다.

[0008]

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 A* 알고리즘을 이용하여 안전하고 빠른 경로 생성 방법을 제공하는 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 목적을 달성하기 위한, 본 발명에 따른 안전공간을 기반으로 안전한 최적의 경로를 추출하는 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치는 안전공간을 추출하고, 상기 추출된 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 실행하여 이동 로봇의 안전경로를 생성하는 제어부; 및 상기 안전 공간 및 안전경로를 저장하는 저장부를 포함할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 제어어부는 형태공간에서 형태공간 장애물 영역을 제외한 자유공간을 추출하는 자유공간 추출부; 정지거리 및 위험점을 이용하여 위험공간을 추출하는 위험공간 추출부; 상기 자유공간에서 상기 위험공간을 제외한 안전공간을 추출하는 안전공간 추출부; 및 상기 추출된 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 실행하여 상기 이동 로봇의 안전경로를 생성하는 안전경로 생성부를 포함할 수 있다.

[0012] 이 때, 상기 수정된 A* 알고리즘은 위험정보가 포함된 격자지도를 이용하여 안전한 최적의 경로를 추출하는 알고리즘이고, 상기 정지거리는 공주거리 및 제동거리의 합이며, 상기 위험점은 로봇 시야가 확보된 공간, 상기 로봇 시야가 확보되지 않는 공간 및 장애물이 만나는 지점이다.

발명의 효과

[0013] 본 발명에 따른 안전공간을 기반으로 수정된 A* 알고리즘을 이용한 안전경로 생성 장치에 의하면, 이동로봇의 안전하고 빠른 경로 생성 방법을 제공할 수 있다. 또한, 코너 및 교차로 같은 지역을 우회하는 경로를 생성하며, 동적 장애물과 충돌 위험을 줄여 이동로봇이 안전하고 빠르게 목표점까지 주행할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 안전경로 생성 장치를 도시한 블록도이다.
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제어부를 도시한 블록도이다.
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 로봇의 제한된 시야를 나타낸 도면이다.
 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 삼각형 형태공간 장애물로부터 정지거리 및 위험거리를 나타낸 도면이다.
 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 위험거리를 확인하는 알고리즘을 나타낸 도면이다.
 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 수정된 A* 알고리즘을 나타낸 도면이다.
 도 7 및 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 수정된 A* 알고리즘, 종래의 PRM(Probabilistic Road Map) 방법 및 종래의 A* 알고리즘을 이용한 시뮬레이터 결과를 도시한 도면이다.
 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 수정된 A* 알고리즘, 종래의 PRM 방법 및 종래의 A* 알고리즘의 시뮬레이터 결과를 나타내는 그래프이다.
 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 수정된 A* 알고리즘, 종래의 PRM 방법 및 종래의 A* 알고리즘을 이용한 실험을 나타낸 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 수정된 A*알고리즘, 종래의PRM방법 및 종래의 A*알고리즘의 실험결과를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하 본 발명의 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명할 수 있다. 우선 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 할 수 있다. 또한 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 당업자에게 자명하거나 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략할 수 있다.

[0016] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 안전경로 생성 장치를 도시한 블록도이다.

[0017] 도 1을 참조하면, 안전경로 생성 장치(100)는 입력부(110), 제어부(120), 출력부(130) 및 저장부(140)을 포함한다.

[0018] 입력부(110)는 사용자 명령을 입력받을 수 있다. 사용자 명령은 패킷 형식일 수 있다.

[0019] 제어부(120)는 입력부(110)에서 입력받은 사용자 명령어에 따라 알고리즘을 실행한다. 제어부(120)는 안전공간을 추출하고, 상기 추출된 안전공간을 기반으로 수정된 A*알고리즘을 실행하여 안전경로를 생성할 수 있다.

[0020] 출력부(130)는 제어부(120)에서 생성된 안전경로를 출력할 수 있다.

[0021] 저장부(140)는 제어부(120)에서 산출된 값들을 저장할 수 있다. 저장부(140)는 사용자 명령어를 저장할 수 있다. 또한 저장부(140)은 제어부(120)는 안전공간 및 안전경로를 저장할 수 있으며, 안전공간을 추출하고 안전경로를 생성하기 위한 적어도 하나 이상의 수학적식을 저장할 수 있다.

[0022] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 제어부를 도시한 블록도이다.

[0023] 도 2를 참조하면 제어부(120)는 자유공간 추출부(121), 위험공간 추출부(123), 안전공간 추출부(125) 및 안전경로 생성부(127)을 포함할 수 있다.

[0024] 자유공간 추출부(121)은 형태공간에서 형태공간 장애물 영역을 제외한 자유공간을 추출할 수 있다.

[0025] 이 때, 자유공간은 하기의 수학적식 1을 이용하여 산출할 수 있다.

수학적식 1

$$C_{\text{free}} = C - \bigcup_{i=1}^k CO_i$$

[0026]

[0027] 여기서, C 는 형태공간이고, CO_i 는 형태공간 장애물이고, $C_{\text{free}} = C - \bigcup_{i=1}^k CO_i$ 는 i번째부터 k번째까지의 형태공간장애물이다.

[0028] 이 때, 상기 형태공간 장애물은 형태공간에 임의의 로봇이 취할 수 있는 자세로, 형태공간 안에 로봇을 고려한 장애물들을 확장시킨 형태이다. 또한, 형태공간 장애물은 다각형 장애물에 대해서 이동로봇의 크기를 고려하여 형성 되며, 하기의 수학식 2를 이용하여 산출할 수 있다.

수학식 2

$$CO_i = \{q \in C: R(q) \cap O_i \neq \emptyset\}, i = \{1, \dots, k\}$$

[0029]

[0030] 여기서, $R(q)$ 는 임의의 로봇이고, q 는 임의의 로봇이 취할 수 있는 자세이다. O_i 는 i번째 장애물이다.

[0031] 위험공간 추출부(123)는 정지거리 및 위험점을 이용하여 위험공간을 추출할 수 있다.

[0032] 이 때, 정지거리는 공주거리 및 제동거리의 합이며, 하기 수학식 3을 이용하여 산출할 수 있다. 상기 공주거리는 로봇이 장애물을 인식하고 제동을 시작할 때까지의 시간동안 로봇이 이동한 거리이며, 상기 제동거리는 제동을 시작해서 완전히 정지할 때까지 이동한 거리를 의미한다.

수학식 3

$$d_s = d_f + d_b$$

[0033]

[0034] 여기서, d_f 는 공주거리이고, d_b 는 제동거리이다.

[0035] 또한, 공주거리는 하기의 수학식 4 및 수학식 5를 이용하여 산출할 수 있다.

수학식 4

$$d_f = (t_s + t_p) \times v_{\max}$$

[0036]

수학식 5

$$d_b = \frac{v_{\max}^2}{2fa}$$

[0037]

[0038] 여기서, t_s 는 센서정보를 얻는 시간이고, t_p 는 프로세서의 처리 시간이고, v 는 이동로봇의 속도이고, f 는 마찰력이고, a 는 가속도이다.

[0039] 상기 수학식 3 내지 5를 이용하여 산출한 정지거리는 이동로봇이 빠를수록 증가하며, 이동로봇이 충돌하기 전에

정지해야 하는 거리이다. 그러나, 제한된 시야, 즉 모서리 또는 교차로에서 나타나는 미확인 장애물에 대한 충돌을 방지하려면 추가적인 개념인 위험거리가 필요하다. 상기 위험거리는 위험점 및 가상 위험점의 차이이며, 위험점, 가상 위험점 및 위험거리는 도 3 및 도 4를 참조하여 하기에 설명한다. 또한, 위험점을 기반으로 형성된 위험공간도 도 3 및 도 4를 참조하여 하기에 설명한다.

[0040] 안전공간 추출부(125)는 자유공간 추출부(121)로부터 추출된 자유공간에서 위험공간 추출부(123)으로부터 추출된 위험공간을 제외한 안전공간을 추출할 수 있다. 보다 상세하게, 안전공간 추출부(125)는 하기의 수학적식 6을 이용하여 안전공간을 산출할 수 있다.

수학적식 6

$$S_s = C_{\text{free}} - R_s$$

[0041]

[0042] 여기서, S_s 는 안전공간이고, C_{free} 는 자유공간이며, R_s 는 위험공간이다.

[0043] 안전경로 생성부(127)는 안전공간 추출부(125)로부터 추출된 안전공간을 기반으로 수정된 A*알고리즘을 실행하여 안전경로를 생성할 수 있다.

[0044] 이때, 수정된 A*알고리즘은 도 6에 도시된 바와 같이, 위험정보가 포함된 격자지도를 이용하여 안전한 최적의 경로를 추출하는 알고리즘으로, 하기의 수학적식 7 내지 수학적식 9을 산출하는 알고리즘이다.

수학적식 7

$$s(n) = c(n_{\text{best}}) + g(n_{\text{best}}(S_s = 1 - R_s) * Ed)$$

[0045]

수학적식 8

$$s(n) = c(n_{\text{best}}) + g(n_{\text{best}}(S_s, Ed))$$

[0046]

수학적식 9

$$s(n) = c(n_{\text{safety}}) + g(n_{\text{safety}}(S_s, Ed))$$

[0047]

[0048] 여기서, 여기서, $s(n)$ 은 안전비용함수이고, $c(n_{\text{best}})$ 는 시작노드에서 현재노드까지의 안전비용의 합이고, $g(n_{\text{best}}(S_s = 1 - R_s) * Ed)$ 는 현재노드에서 목표노드까지의 추정 안전예상비용이고, Ed 는 현재노드에서 목표노드까지의 유클리언 거리 값이다.

[0049] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 로봇의 제한된 시야를 나타낸 도면이다.

[0050] 도 3을 참조하면, 도 3 (a)는 이동로봇과 이동로봇의 움직임을 방해하는 장애물을 보여주고 있으며, 도 3 (b)는 이동로봇 시야의 제한성을 보여주고 있다.

[0051] 보다 상세하게, FoV(Field of View)는 이동로봇의 시야가 확보된 공간으로 충돌에 대처할 수 있는 공간이며, FoV^c (Complement of FoV)는 이동로봇의 시야가 확보되지 않은 공간으로 센서정보를 얻지 못하여 충돌이 발생할 수 있는 위험한 공간이다. 또한, FoV, FoV^c 및 장애물이 만나는 지점을 위험점이라 하며, 하기의 수학적 식 10을 이용하여 산출할 수 있다.

수학적 식 10

$$R_p = \{p \in P: P = \overline{FoV} \cap \overline{FoV^c} \cap \overline{Obstacle}\}$$

[0052]

[0053] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 삼각형 형태공간 장애물로부터 정지거리 및 위험거리를 나타낸 도면이다.

[0054] 도 4를 참조하면, $\overline{AB}$ 에 수직인 d_s 의 꼭지점들을 선분으로 이으면 $\overline{A'B'}$ 이 되고, $\overline{AB} // \overline{A'B'}$ 하다. 또한, $\overline{BC}$ 에 수직인 d_s 의 꼭지점들을 선분으로 이으면 $\overline{B'C'}$ 가 되고, $\overline{BC} // \overline{B'C'}$ 하다. 그리고, $\overline{A'B'}$ 및 $\overline{B'C'}$ 의 교점을 가상 위험점(R'_p)이라 하며, R_p 에서 R'_p 까지의 위험거리(d_h)는 하기의 수학적 식 11를 이용하여 산출할 수 있다.

수학적 식 11

$$d_h = \frac{d_s}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

[0055]

[0056] 여기서, d_s 는 정지거리이다. 또한, 수학적 식 11를 통해 위험점(R_p)의 내각이 감소하면 위험거리는 증가하고, 내각이 증가하면 위험거리는 감소함을 알 수 있다. 즉, 코너의 각도 크기에 따라 위험거리가 산출된다.

[0057] 또한, 위험공간은 위험점을 이용하여 추출할 수 있으며, 이는 하기의 수학적 식 12를 통해 알 수 있다.

수학적 식 12

$$R_s(x) = \begin{cases} \frac{1}{2}\eta(D-x)^2 & ,if\ x \leq D \\ 0 & ,otherwise \end{cases}$$

[0058]

[0059] 여기서, η 는 일반화 시키기 위한 상수이고, x 는 이동로봇의 위치이다. 또한, D 는 최소한의 안전을 보장하기 위한 위험점이다. 이 때, $R_s(x)$ 는 $0 < R_s(x) < 1$ 이다.

- [0060] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 위험거리를 확인하는 알고리즘을 나타낸 도면이다.
- [0061] 도 5를 참조하면, 알고리즘(500)은 지도상에서 위험거리를 확인하는 알고리즘으로, 위험점을 출력할 수 있다.
- [0062] 도 6은 본발명의 일 실시예에 따른 수정된 A*알고리즘을 나타낸 도면이다.
- [0063] 도 6을 참조하면, 수정된 A*알고리즘(600)은 수학적식 7내지 수학적식 9를 이용하여 안전한 경로를 생성하는 알고리즘이다. 또한, 수정된 A*알고리즘(600)은 격자지도상에서 시작노드에서 목표노드까지의 안전한 경로를 출력할 수 있다.
- [0064] 도 7 및 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 수정된 A*알고리즘, 종래의PRM(Probabilistic Road Map) 방법 및 종래의 A*알고리즘을 이용한 시뮬레이터 결과를 도시한 도면이다. 또한, 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 수정된 A*알고리즘, 종래의PRM 방법 및 종래의 A*알고리즘의 시뮬레이터 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0065] 보다 상세하게, 도 7 은 격자지도상에서 수정된 종래의 A*알고리즘, PRM방법 및 A*알고리즘을 이용하여 생성된 시뮬레이터 경로를 보여주고 있으며, 도 8은 생성된 경로 점을 기반으로 이동로봇이 주행한 시뮬레이터 결과를 보여주고 있으며, 각각의 시뮬레이터 결과는 출발점에서 도착점까지 충돌 없이 안전하게 주행함을 보여주고 있다. 이 때, 도 8 (a)는 종래의 A*알고리즘을 이용한 결과이고, 도 8 (b)는 PRM방법을 이용한 결과이고, 도 8 (c)는 수정된 A*알고리즘을 이용한 결과이다. 도 9는 시뮬레이터의 결과로 속도 프로파일 그래프를 나타낸다.
- [0066] 보다 상세하게 설명하기 하면, 도 8 (a) 및 도 9는 종래의 A*알고리즘을 이용하면, 짧은 경로를 생성하지만 코너지역(도 8(a)의 c1 내지 c4)에서 감속하여 주행함을 보여주고 있다. 또한, 종래의 A*알고리즘이 코너를 만날 때마다 감속하여 전체적인 주행시간을 길어지게 함을 보여주고 있다.
- [0067] 도 8 (b) 및 도 9는 PRM방법을 이용하면, 코너지역(도 8 (b)의 c1 내지 c4)을 주행 시 감속하며, 긴 경로로 인하여 긴 주행시간을 가짐을 보여주고 있다.
- [0068] 도 8 (c) 및 도 9는 본 발명에 따른 수정된 A*알고리즘을 이용하면, 첫 번째 코너지역(도 8 (c)의 c1)에서 감속하나, 최고속도로 주행하도록 하며, 가장 빠르고 안전한 주행이 이루어짐을 보여주고 있다.
- [0069] 또한, 하기의 표1은 본 발명에 따른 수정된 A*알고리즘이 종래의 A*알고리즘에 비해서는 경로 길이가 3% 증가하였지만, 주행시간은 26% 빠르게 주행하였으며, 평균이동속도 0.87m/sec로 가장 빠른 결과를 나타내고 있다.

표 1

	Risk index (sum of the risk)	Travel time[sec]	Length of path[m]	Mean of velocity[m/sec]
Conventional A*	25.2	61	37	0.58
PRM	6.5	51.5	46	0.86
Modified A*	0	45	38.3	0.87

- [0070]
- [0071] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 수정된 A*알고리즘, 종래의PRM방법 및 종래의 A*알고리즘을 이용한 실험을 나타낸 도면이다.
- [0072] 도 10을 참조하면, 실험은 5개의 장애물을 설치하고, 수정된 A*알고리즘, 종래의PRM방법 및 종래의 A*알고리즘을 이용하여 로봇의 이동경로를 관찰하는 방법으로 수행된다.
- [0073] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 수정된 A*알고리즘, 종래의PRM방법 및 종래의 A*알고리즘의 실험결과를 나타낸 도면이다. 또한 표 2는 A*알고리즘, 종래의PRM방법 및 종래의 A*알고리즘을 이용한 실험결과를 나타내는

표이다.

[0074]

도 11 및 표 2을 참조하면, 수정된 A*알고리즘은 종래의A* 알고리즘과 PRM방법에 비해 각 21%, 12% 긴 경로를 생성하였으나, 비교적 빠르게 주행하여 주행시간을 11.5%, 28.7% 단축하였다. 즉, 수정된 A*알고리즘을 이용하여 생성된 경로는 종래의 방법들에 비해 다소 길지만, 목표점까지 안전한 공간을 찾아 주행하는 결과와 최고속도로 주행함으로 주행시간 단축했음을 알 수 있다.

[0075]

보다 구체적으로, 표 2를 참조하면, 수정된 A*알고리즘은 장애물이 존재하는 위험지역에 대해, 약 30% 안전하게 주행하였다. 즉, 수정된 A* 알고리즘은 주행시간 측면과 안전 면에서 좋은 결과를 보여 주고 있다. 또한, 종래의 A*알고리즘, PRM방법, 수정된 A*알고리즘의 평균속도는 각각0.23 m/sec, 0.16 m/sec, 0.27 m/sec로 수정된 A* 가장 빠른 속도로 주행하였다.

표 2

	Risk index	Travel time[sec]	Length of path[m]	Mean of velocity[m/sec]
Conventional A*		38	7.5	0.23
PRM	31.6	47	8.3	0.16
Modified A*	0	34	9.4	0.27

[0076]

[0077]

이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특징의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

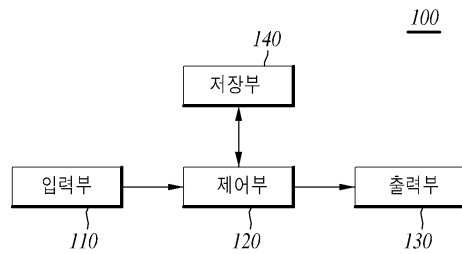
부호의 설명

[0078]

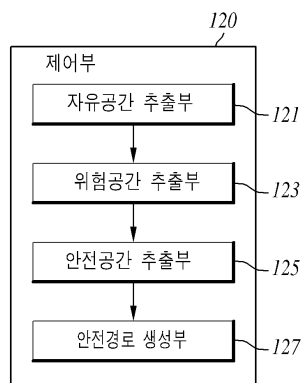
- 110: 입력부
- 120: 제어부
- 121: 자유공간 추출부
- 123: 위험공간 추출부
- 125: 안전공간 추출부
- 127: 안전경로 생성부
- 130: 출력부
- 140: 저장부

도면

도면1



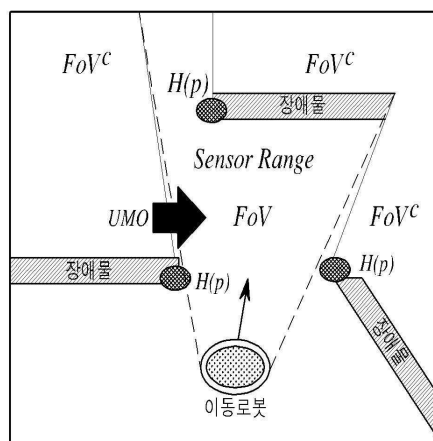
도면2



도면3

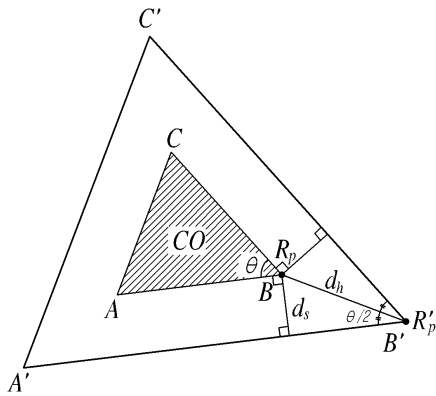


(a)



(b)

도면4



도면5

500

Input: $\forall \text{Obstacle} \subset \mathbb{R}^2$

Output: new risk point List

```

1: for  $\forall \text{Obstacle}$  do
2:   new  $C_{\text{Obstacle}} \leftarrow$  each Obstacle
3: end for
4: for  $\forall C_{\text{Obstacle}}$  do
5:   if !  $R_p$  then
6:      $d_s = (d_f + d_b)$ 
7:   else
8:      $d_h = (d_f + d_b) / \sin(\theta/2)$ 
9:   end if
10:  insert new risk point  $D_s(d_s, d_h)$  into risk point list
11: end for

```

도면6

600

Input: A graph with risk cell

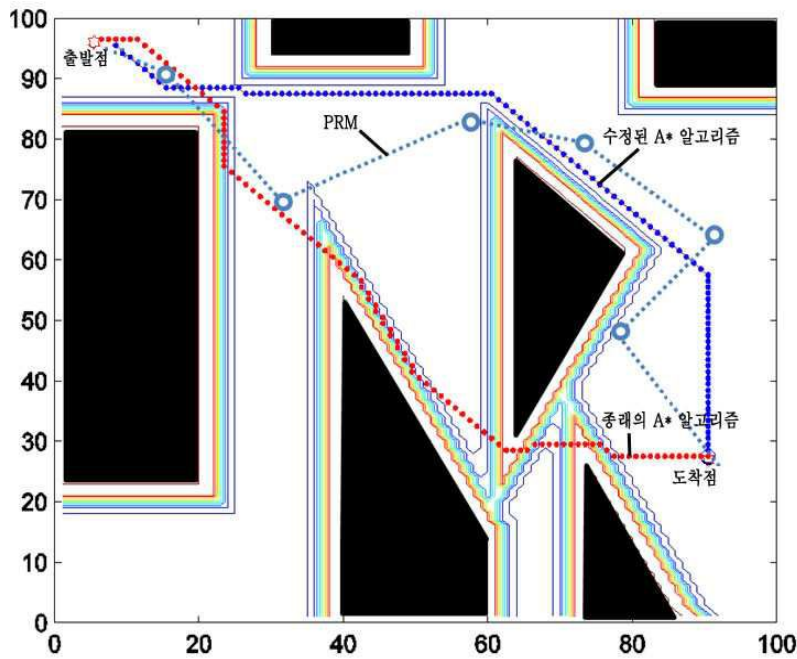
Output: A path between start and goal nodes

```

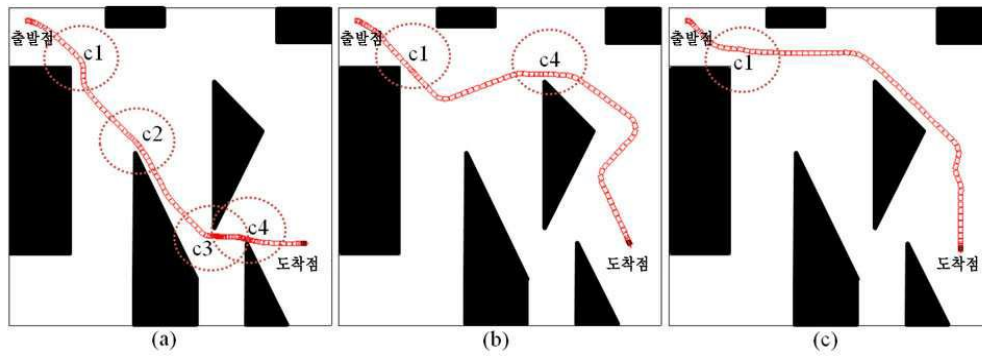
1: do
2:   Pick  $n_{best}$  form OpenList such that  $s(n_{best}) \leq s(n), \forall n \in OpenList$ .
3:   Remove  $n_{best}$  form OpenList and add to ClosedList.
4:   If  $n_{best} == q_{goal}$  EXIT.
5:   Expand  $n_{best}$  : for all  $x$  that are not in ClosedList.
6:   if  $x \notin OpenList$  then
7:     add  $x$  to OpenList
8:   else if  $c(n_{best}) + g(n_{best}(S_s = 1 - R_s) * Ed) < c(x)$  then
9:     inset  $n_{best}$  into  $x$ 's backpointer
10:  end if
11: while(OpenList != empty)

```

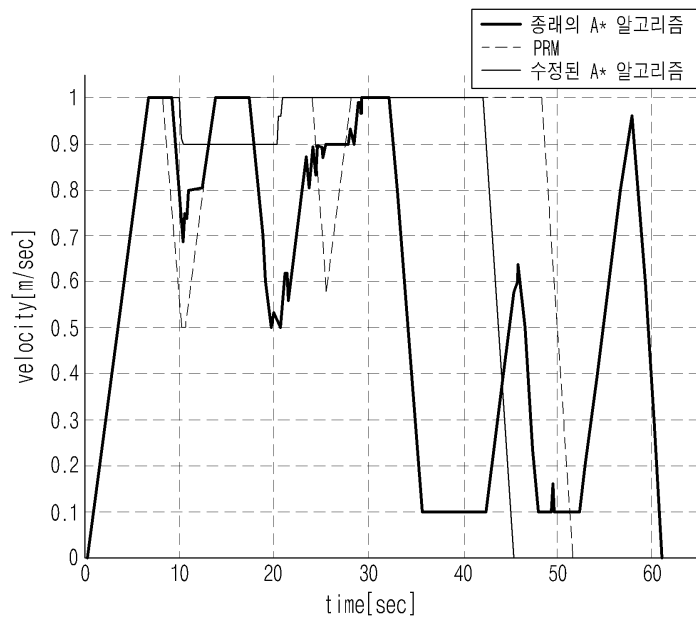
도면7



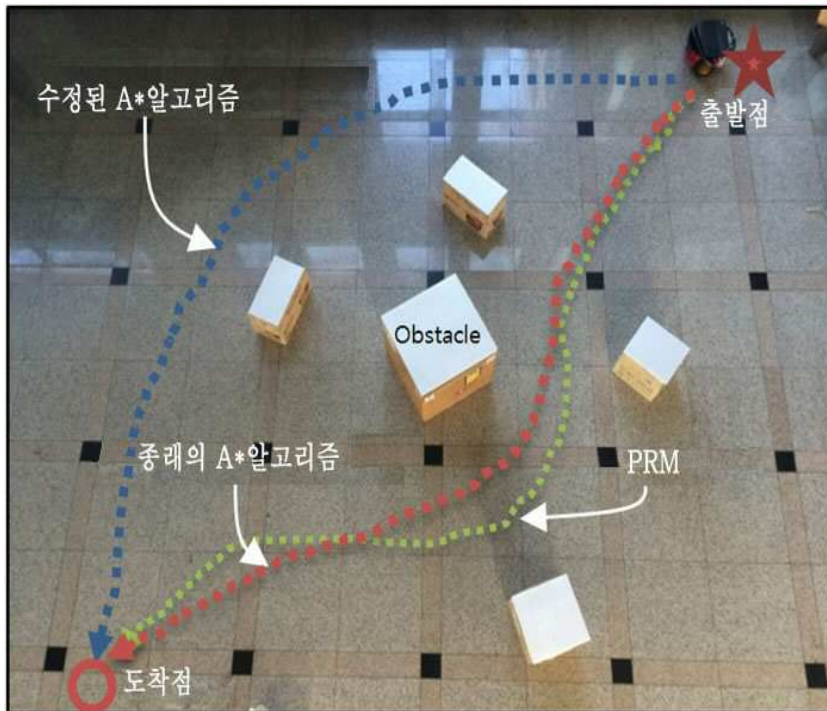
도면8



도면9



도면10



도면11

