

## S\*알고리즘을 이용한 이동로봇의 안전경로계획

박종훈\*, 김진환\*\*, 허욱열\*  
 인하대학교\*, 인하공업전문대학\*\*

### Safe Path Planning of a Mobile Robot using S\* Algorithm

Jong-Hun Park\*, Jin-Hwan Kim\*\*, Uk-Youl Huh\*  
 Inha University\*, Inha Technical College\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 동적환경의 잠재적 위험 정의와 안전한 전역경로 계획 알고리즘을 제안 하였다. 대부분의 전역경로계획 연구는 시간과 거리의 비용을 최적화 시키는데 집중하고 있다. 하지만 동적환경으로 우리 주변에 많은 위험요소가 작용하고 있다. 본 논문에서 안전한 자율주행을 위한 경로계획방법으로 위험지역에 의해 정의 된 반발력과 S\* 알고리즘을 이용하여 안전하고 빠른 최적의 경로계획을 이루었다.

문제로 인한 위험성이 증가됨으로 안전한 자율주행을 이룰 수 없게 된다. 본 논문에서 이루고자 하는 안전한 경로계획을 위해서 위험지역의 인지 제한성 문제를 고려함으로써 안전한 자율주행을 이룰 것이다. <그림1>과 같이 코너를 위험지역이라 정의 하고 위험영역을 생성한다. 이동로봇이 주행 할 때 위험성도에 따라 안전한 경로를 생성하는 위험반발력을 생성한다.

### 1. 서 론

인간과 공존해야 하며, 구성원으로써 로봇과 소통하며 협업해야 하는 시대가 오고 있다. 산업화의 진행과 함께 노령화 문제, 3D업종의 경시 그리고 위험한 산업현장의 안전 문제에 대한 해결방안으로 지능적인 자율주행 기술이 필요하다.

전역경로계획 방법으로 가장 널리 알려진 Dijkstra 알고리즘은 최초의 경로계획이며, 강력하지만 모든 노드를 탐색하는 넓이 탐색으로 여러 분야에 여전히 많이 사용되며[3], A\* 알고리즘은 Dijkstra 알고리즘의 보안 형태로 평가함수를 추가함으로 깊이 탐색과 넓이 탐색을 기반으로 더 빠른 탐색시간을 이루었으며[4], D\*알고리즘은 실시간성 문제를 해결함으로써 가장 널리 사용하는 전역경로 알고리즘이 되었다. 수많은 연구자들의 경로계획알고리즘은 거리와 시간에 비용 문제를 최적화 하였다[5]. 하지만 최소의 거리와 시간 비용은 도출되었지만, 최적의 경로는 안전문제를 배제하고서는 최적의 경로계획을 이룰 수 없다. 예기치 않는 동적변화 문제와 센서 불확실성, 그리고 로봇의 기구학 및 동역학적 제약 문제 또한 고려 대상이 된다. 인지 불가능점 즉 시야 제한 영역에서의 로봇의 주행은 장님이 대로를 걷는 형상과 같다.

본 논문에서는 안전한 자율주행을 이루기 위하여 전역경로에 대한 위험지역을 정의하고, 위험도에 따른 위험 반발력을 이용하여 안전한 경로계획을 수행하였다.

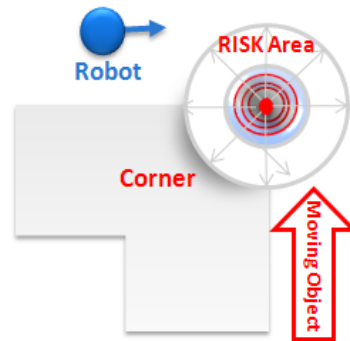
### 2. 본 론

#### 2.1 위험지역에 대한 정의

자율주행로봇의 경로계획법은 정적·동적 장애물 회피와 센서의 불확실성에 기인한 장애물 회피 방법 또한 연구 되어 왔다. 하지만 실제 충돌 위험성은 예상치 못하는 지역 폐쇄성에 기인한 경우가 대부분이며, 센서인식 범위에 따라 인지할 수 있는 영역이 제한되므로 충돌위험성이 증가 되어 진다.[1]

- 1) 인지영역의 제한성
- 2) 센서 불확실성
- 3) 예기치 않는 동적물체
- 4) 바닥면과의 슬립
- 5) 기구학 및 동역학적

첫 번째 인지영역의 제한성은 로봇의 시야의 제한성이다[2]. 자율주행 시 센서의 성능에 따라 볼 수 있는 영역이 다르다. 한치 앞이라도 더 멀리 볼 수 있는 로봇은 충돌위험에서 미리 인지하고 안전하게 주행할 수 있다. 하지만 멀리 볼 수 있다고 해서 항상 정확한 인식 정보를 얻는 것은 아니다. 센서의 불확실성으로 인한 충돌위험성이 증가될 수 있다. 세 번째로 동적장애물에 의한 충돌은 가장 큰 잠재위험성을 가지고 있다. 인간과 이동로봇의 협업생활공간에서 충돌위험성은 곧 인간의 안전문제이다. 그리고 바닥면과 바퀴의 조건에 따라 슬립이 발생함으로 위험지역을 감지했음지라도 정지거리의 증가로 충돌위험성이 증가되어진다. 마지막으로 기구학 및 동역학적 문제가 충돌 위험성을 더욱 증가 시킨다. 바퀴의 뒤틀림이나, 양 바퀴의 공기압, 그리고 관성 문제 등의 비선형적인



<그림 1> 위험지역

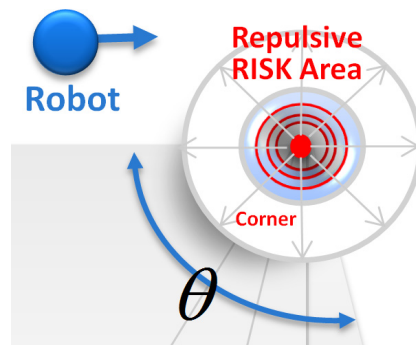
#### 2.2 인지제한 영역에서의 반발력

지역 폐쇄성 및 인식 불가능점에서의 위험영역의 반발력을 생성하였다. 이동로봇의 주행하기 전 주어진 맵을 이용하여 전역경로계획을 수행한다. 맵의 미분불가점을 마스크를 이용하여 코너 점을 추출하고, 허프 트랜스폼을 이용하여 코너 점의 각을 추출한다. 코너의 각도에 따라 위험영역의 반발력을 생성한다.

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

$R(n_c)$ 은 위험도의 평가 함수 이고,  $\theta$  는 코너의 각도이다. 그리고  $\alpha$  충돌에 따른 통계적 자료를 기반으로 하는 위험지역 상수 값이다.

<그림2>는 예지의 각도의 크기에 따라 위험영역을 표현하였다. 각도의 범위는  $0^\circ < \theta < 180^\circ$  이며, 각도가 작아질 수록 위험도는 증가한다.



<그림 2> 위험영역 반발력

### 2.3 S\* 알고리즘 이용한 안전주행

이동로봇의 안전한 자율주행을 위해서는 최적의 경로계획이 필요하다. 현재 위치에서 목표위치까지 최적의 길을 계획하는 일은 거리나 시간의 비용 뿐 아니라, 안전의 문제를 고려해야만 한다. 식(2)는 잠재적 위험을 기반으로 하는 S\* 알고리즘이다.

$$S(n) = C(n_s, n_c) + R(n_c) + G(n_c, n_g) \quad (2)$$

$S(n)$ : S\* 알고리즘 함수

$C(n_s, n_c)$ : 시작노드에서 현재 노드까지의 거리함수

$R(n_c)$ : 현재노드에서의 위험도 평가함수

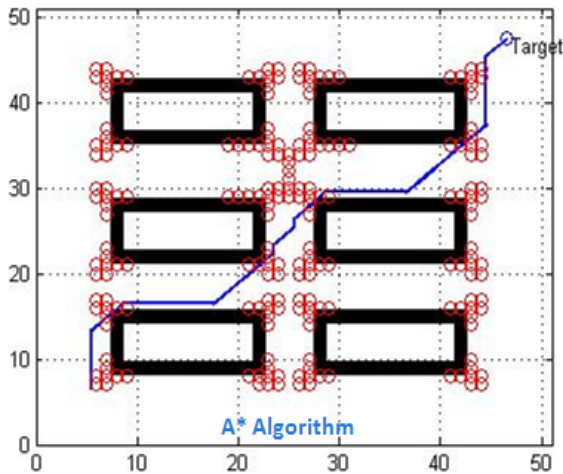
$G(n_c, n_g)$ : 현재노드에서의 목표점까지의 거리 평가함수

전역지도 상의 지역폐쇄성에 기인한 충돌위험성을 정의 하고 그에 따른 위험도 평가를 계산한다. 시작노드에서 현재 노드까지의 거리함수의 합과 위험도 평가 함수 그리고 현재노드에서 목표점까지의 평가거리 함수의 합이 가장 작은 노드를 선택하여 최적의 경로를 계획한다.

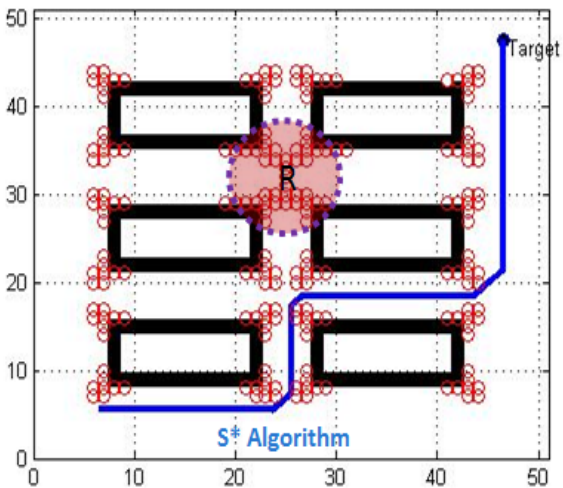
### 2.4 S\* 알고리즘 이용한 시뮬레이션 결과

전역경로 계획 방법 중 가장 많이 사용되는 A\* 알고리즘과 본 논문에서 제시한 알고리즘의 결과를 비교하였다.

맵의 사이즈는 50Cell\*50Cell이며, 로봇의 크기를 고려하여 한 셀의 크기는 30Cm의 정사각형이고, 시작점은 (5,5)이며, 도착점은(45,45)이고 이동로봇의 속도는 50cm/s이다. A\*알고리즘과 본 논문에서 제시한 알고리즘의 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.<그림3,4>



<그림 3> A\* 알고리즘 경로



<그림 4> S\* 알고리즘 경로

빨간 원으로 표시된 곳은 사고의 위험이 많은 지역이며 파란라인은 이동로봇의 최적경로를 표시하였다. A\* 알고리즘의 거리 비용은 19.95m 이고 S\* 알고리즘의 거리 비용 함수는 23.12m이다. 경로계획의 비용 산정의 기준을 거리에 둔다면 A\* 알고리즘이 최적일 것이다. 하지만 결과에서 확인한 것과 같이 위험지역에 대한 고려 없이 최단거리로만 이동할 경우 로봇의 위험에 노출되게 되어 사고의 위험이 증가 되어 진다. <그림3>은 R지역의 사고 다발지역을 안전하게 우회할 뿐 아니라 최적의 경로를 생성하여 이동하는 결과를 보여 주고 있다. R 지역은  $\alpha$  충돌에 따른 통계적 자료를 기반으로 하는 위험지역 상수 값으로 사고가 많은 지역을 나타낸다. A\*알고리즘은 빨간 원을 가로지르며, 주행하는 반면 S\* 알고리즘은 빨간 원을 우회하고 최적의 경로를 생성하여 목표점에 도달하는 것을 확인할 수 있다. S\* 알고리즘은 통계적 위험지역에 대한 고려와 코너 점의 각도에 따른 위험 반발력을 기반으로 하는 안전한 자율주행을 이루었다.

### 3. 결 론

본 논문은 동적환경에서 잠재적 위험지역을 바탕으로 안전한 전역경로계획을 제안하였다. 전역 지도상의 잠재적 위험지역은 대부분 코너 점에서 발생한다. 코너의 각에 따른 위험도를 평가함수로 정의하고 S\* 알고리즘을 이용하여 최적의 경로계획을 이루었다. 거리의 비용함수에 대한 결과는 A\* 알고리즘이 우수하지만, 동적환경에 대한 고려 없이 주행 시 큰 사고를 불러올 뿐 아니라, 목표점까지 이동할 수 없게 된다. 위험지역에 대한 전역경로계획은 S\*알고리즘으로 성능을 증명하였으나, 지역경로계획에 대한 안전문제의 추가적인 연구가 필요하며, 향후 위험지역을 기반으로 하는 전역경로계획법과 지역경로계획법의 하이브리드 형태의 경로계획을 실험을 통해 알고리즘의 타당성을 증명할 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Sadou, M., Anthony, " Occlusions in obstacle detection for safe navigation", Intelligent Vehicles Symposium, 2004 IEEE, vol., no., pp. 716- 721, 14-17,2004
- [2] MinKi Choi, " Safe and high speed navigation of a patrol robot in occluded dynamic obstacles", Proceedings of the 17th IFAC World Congress, 2008 , Volume 17, Part 1, 2008
- [3] E. W. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs", Numerische Mathematik, Volume 1, Number 1, 269-271, 1959
- [4] PETER E. HART, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths\_A star", VOL. ssc-4 ,NO 2, 1968
- [5] Stentz, Anthony, " The Focused D Algorithm for Real-Time Replanning", Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence , 1652 - 1659, 1995