지형 상태와 로봇 접촉영역을 고려한 주행성 비용지도 작성 및 경로계획

이지민[1], 박수한[2], 박재흥[1]
[1]서울대학교, [2]광운대학교

Development of Traversability Costmap and Path Planning using Terrain Condition and Robot Footprint

Lee Jimin[1], Park Suhan[2], Park Jaeheung[1,3]
[1]Seoul National University, [2]Kwangwoon University
e-mail: jmpechem@snu.ac.kr, psh117@gmail.com, park73@snu.ac.kr

요 약

본 논문은 지형 상태와 로봇의 접촉영역(Footprint)을 반영한 주행성 비용지도(Traversability costmap)를 작성하고, 해당 비용지도를 이용한 경로계획(Path planning) 방법을 제안한다. 제안된 방법은 3D 포인트 클라우드를 이용하여 경사, 거칠기, 단계 높이로 이루어진 주행성 인자(Traversability parameter)를 추출한다. 추출한 주행성 인자를 통하여 지형의 변화를 나타내는 연속적인 비용과 지형의 경계 부근의 주행을 최소화하기 위해 로봇의 접촉영역을 반영한 비용을 토대로 주행성 비용지도를 작성한다. 마지막으로, 작성된 비용지도와 A* 알고리즘을 이용한 경로계획을 수행한다. 제안된 알고리즘은 2가지 지형데이터(경사면, 장애물)에 적용하여 경로계획을 수행하였으며, 지형 상태와 로봇의 접촉영역을 고려한 경로계획이 생성되었음을 확인하였다.

1. 서론

이동로봇이 실내외 환경에서 다양한 서비스를 제공하려면, 외부환경인지와 그에 맞는 경로계획이 필수적이다. 이에 외부환경인지를 위한 주행성 인자가 고안되었다[1][2]. 이 연구들에서 언급한 주행성 인자란 DEM(Digital Elevation Map)[3]에서 추출된 세 가지 인자로, 경사(Slope), 거칠기(Roughness), 단계 높이(Step height)로 제안되었다. 해당 연구들은 각 주행성 인자의 한계치(Threshold)를 지정하여, 지형을 로봇이 이동 가능한 지역과 불가능한 지역으로 구분하였다. 하지만, 이러한 이분법적 구분을 이용한 경로생성은 로봇의 주행 특성과 지형의 특징이 고려될 수 없다.

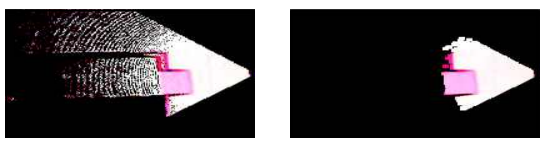
이에 본 논문에서는 주행성 인자를 활용한 지형의 상태를 연속적으로 나타내는 비용과, 지형이 급변하는 경계지점 근처에서 로봇의 접촉영역(로봇 형상에 외접한 영역) 크기를 반영한 추가비용을 설정하는 비용 작성법을 제안한다. 제안된 비용을 사용한 A* 방법은 두 가지 지형에 적용 되었고, 지형이 급변하는 영역을 지나지 않고 지형의 변화가 적은 지역으로 경로가 생성되는 것이 실험결과를 통해 확인되었다.

2. 본론

본 장에서는 지형상태와 로봇 접촉영역을 고려한 주행성 비용지도에 대한 이론적 설명과 개발된 알고리즘의 검증을 위한 실험 및 결과에 대해 서술한다. 제안된 알고리즘은 불확실한 영역을 제거하기 위하여 비용지도영역을 설정하고, 설정된 비용지도영역에서 주행성 인자와 로봇의 접촉영역을 고려한 비용지도를 생성한다. 구체적인 알고리즘의 세부내용은 다음 절과 같다.

2.1 비용지도영역 설정

[그림 1-(a)]와 같이 3D 포인트 클라우드를 이용하여 만들어진 DEM은 불확실한 정보를 가지고 있는 희소(Sparse)영역을 가지고 있다. 불확실한 정보를 가진 희소영역을 제거하기 위해, 형태학 필터(Morphology filter)[4]의 열림(Opening) 연산을 수행하였다 ([그림 1-(b)]).



(a) (b)

[그림 1] 비용지도영역 설정: (a)제거 전, (b)제거 후

2.2 비용지도작성 및 경로계획 반영

비용지도를 작성하기 위하여 경로계획에 영향을

주는 지형상태 및 접촉영역을 반영하는 2가지 비용을 정의하였다.

첫 번째 비용은 지형의 상태를 나타내며, 연속적인 지형에서 로봇의 이동이 용이한 지형을 선택하기 위하여 생성하였다. 해당 비용은 주행성 인자를 기반으로 식 (1)과 같이 정의한다.

$$C^t(p) = \frac{T^0(p) + T^1(p) + T^2(p)}{3} \quad (1)$$

$T^0(p)$, $T^1(p)$, $T^2(p)$는 각각 p 위치에 해당하는 정규화 된 경사, 거칠기, 단계 높이를 의미한다[2].

두 번째 비용은 지형의 상태가 급변하는 것을 나타낸다. 급변하는 위치에서의 비용은 (1)의 비용으로 설정하고, 근처에서는 접촉영역의 크기를 반영하여 거리가 증가함에 따라 비용이 감소하도록 설정하였다.

지형이 급변하는 부분을 검출하기 위해 케니 엣지 검출기(Canny edge detector)[4]를 사용하였으며, 주행성 인자와 로봇 접촉영역을 반영하여 식 (2)으로 정의하였다.

$$C_i^b(p) = \begin{cases} C^t(p_e^i) \times e^{(-D_i/r_{fp})} & \text{if } D_i \le r_{fp} \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

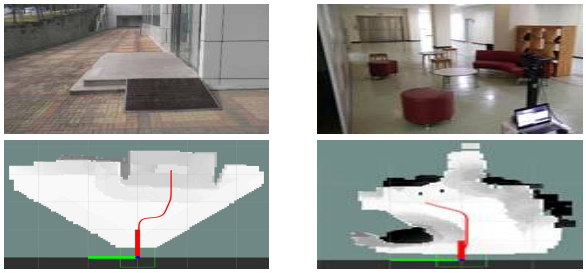
p_e^i는 케니 엣지의 결과 집합 중 i번째의 격자(Grid) 위치이고, r_{fp}는 로봇 접촉영역에 외접하는 원의 반지름의 크기를 의미한다. 이 때 D_i는 i번째 엣지 위치와 현재 비용을 계산하고 있는 위치의 유클리디안 거리를 의미한다. 식 (2)에서 구해진 $C_i^b(p)$(i번째 엣지 격자로 생성된 지형 급변 지역의 비용)를 이용하여 식 (3)에서와 같이 $C^b(p)$을 구한다. 이 때 N은 엣지 포인트의 총 개수이다.

$$C^b(p) = \sum_{i=1}^{N} C_i^b(p) \quad (3)$$

위에서 언급한 2가지 비용을 합하여 ($Costmap(p) = C^t(p) + C^b(p)$), 비용지도를 완성한다. 작성된 비용지도와 A* 알고리즘의 거리 비용의 합을 A* 알고리즘의 휴리스틱 비용으로써 적용하여, 경로를 생성한다.

2.3 실험 및 결과

제안된 알고리즘을 검증하기 위해, 레이저 센서(Hokuyo UTM 30-LX)를 사용하여 얻은 지형들의 (경사면, 장애물) 포인트 클라우드 데이터를 사용하였다. DEM 작성을 위한 격자의 크기는 5cm 정육면체이며, 주행성 인자는 각각 25°(경사), 5cm(거칠기), 20cm(단계 높이)로 정규화 하였다. 해당 설정으로 제안된 알고리즘을 수행한 결과는 [그림 2]와 같으며, 지형의 급격한 변화구간이나 경계부분을 피한 경로가 생성됨을 알 수 있다.



[그림 2] 제안된 알고리즘의 결과

3. 결론

본 논문에서는 주행성인자를 통하여 지형의 상태를 연속적으로 나타낼 수 있고, 로봇의 접촉영역을 활용하여 지형이 급변하는 경계지점을 반영할 수 있는 비용지도 제작방법을 제안하였다. 해당 비용지도를 활용하여 경로계획을 수행한 결과를 통해, 지형의 변화가 적고 경계부분을 피한 경로가 생성됨을 확인할 수 있었다.

추후 연구로는, 본 연구에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 인간형 로봇에서 적용할 수 있도록 발 배치 계획(Foot planning)을 수행할 예정이다.

후기

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 <중견연구자지원사업> 도약연구지원사업(전략)으로 수행된 연구임.
(NRF-2015R1A2A1A10055798)

참고문헌

[1] Wooden, David, et al. "Autonomous navigation for BigDog." Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. Robotics and Automation (ICRA), 2010.

[2] A. Stelzer, H. Hirschmüller, M. Görner. “Stereo-vision-based navigation of a six-legged walking robot in unknown rough terrain.” The International Journal of Robotics Research vol. 31, no. 4, pp.381-402, 2012

[3] P. Fankhauser, M. Hutter. “A Universal Grid Map Library: Implementation and Use Case for Rough Terrain Navigation.” Robot Operating System (ROS). Springer International Publishing, pp.99-120, 2016.

[4] R. Szeliski, “Computer vision: algorithms and applications.” Springer Science & Business Media, 2010.