

동적계획법을 이용한 실내 자율이동 로봇의 최적 경로 계획

Optimal path planing of Indoor Automatic Robot using Dynamic Programming

고수홍, 김성찬, 최종영, 김종만*, 김형석
(Suhong Ko, Seongchan Gim, Jongyoung Choi, Jongman Kim, Hyongsuk Kim)

Abstract - An autonomous navigation technology for the mobile robot is investigated in this paper. The proposed robot path planning algorithm employs the dynamic programming to find the optimal path. The algorithm finds the global optimal path through the local computation on the environmental map. Since the robot computes the new path at every point, it can avoid the obstacle successfully during the navigation. The experimental results of the robot navigation are included in this paper.

Key Words : 주행 경로 계획(Path Planing), 동적계획법(Dynamic Programming), 자율이동 로봇(Automatic Vehicle)

1. 서 론

최근 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경에 대해 관심이 높아지면서 언제 어디서나 인간의 필요에 의해 인간이 원하는 일을 할 수 있는 로봇에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 단지 가정 내 뿐만 아니라 로봇이 필요한 분야는 의료, 서비스, 국방 등 매우 다양한 분야로 급속히 확산 되고 있으며, 그와 더불어 로봇분야는 급속도로 성장하고 있다. 특히 언제 어디서나 사람, 사물과 같은 객체를 인식하고, 이를 기반으로 유용한 서비스를 제공하는 기술이 중요한 서비스 기술로서 대두되고 있다. 또한 이러한 서비스를 위해서는 위치 인식 기술로 뒷받침된 자율주행 시스템이 기반이 되어야 한다.

자율주행 서비스 로봇은 다양한 분야에서 그 활용가치가 매우 높지만, 효율적이면서 정확한 위치 인식 기반의 자율주행 기술이 여전히 필요한 상황이다. 지금까지 로봇의 위치 인식을 위한 기술로서 엔코더, 초음파 센서, RFID, 영상 등과 같은 정보를 이용한 기술들이 개발되어 왔으며, 매우 정확한 성능을 자랑하고 있다 [1][2]. 또한 로봇의 정확한 위치 인식이 이루어졌을 때 자율 주행을 위해서는 로봇의 주행 경로를 결정하는 것이 꼭 필요한 기술 중 하나이다. 현재 로봇의 주행 경로를 결정하기 위한 방법으로서 A^* 알고리즘이 가장 많이 사용되고 있다[6]

저자 소개

고수홍 : 全北大學 電子情報工學部 碩士課程

김성찬 : 全北大學 電子情報工學部 碩士課程

김형석 : 全北大學 電子情報工學部 正教授 · 工博

* 김종만 : 南道大學 컴퓨터應用電氣學科 副教授 · 工博

A^* 알고리즘은 현재 알려진 탐색 알고리즘 중 가장 효율적인 알고리즘으로 알려져 있으며, 로봇의 주행 경로를 결정하는 문제뿐만 아니라 게임에서와 같이 여러 장애물이 있는 맵 상에서 목표위치까지의 경로를 구하는데 효과적으로 사용된다. A^* 는 두 개의 목록을 사용하는 것이 특징인데, 하나는 열린 목록(open list)으로 아직 탐색되지 않은 노드들에 대한 목록이며, 다른 하나는 닫힌 목록(closed list)으로 이미 탐색이 이루어진 노드들에 대한 목록이다. A^* 는 두 개의 목록을 모두 탐색해가며 알고리즘이 진행되기 때문에 맵이 커질 경우 그 복잡성이 커질 수 있는 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 주행 경로 계획 알고리즘은 최적화 문제에서 많이 사용되는 동적계획법을 [3][4][5] 사용하였다. 동적계획법은 맵이 커져도 주변 8픽셀에 대해서만 탐색하면 되고, 하드웨어로 구현이 용이하다는 장점을 지닌다. 실험 부분에서는 제안한 알고리즘의 정확성과 동·정적 장애물에 대한 회피 능력을 보여주기 위해 사무실 환경에서 자율 이동 로봇을 구동한 결과를 보여 주었다.

2. 동적계획법을 이용한 주행 경로 계획

2.1 동적계획법

동적계획법은 임의의 두 지점간의 최적의 경로를 찾는 방법으로서 각 노드에서의 지역적인 연산(local poeration)을 통해서 전체적으로 최적의 경로(globally potimal path)를 찾는 알고리즘으로서 다양한 분야에 이용된다 [3][4][5]. 이 알고리즘을 2차원인 영상에 적용방법은 다음과 같다. 현 위치 노드 (i, j) 의 인접 노드 (k, l) 로부터 목적 지점에 이르는 거리기준 값(DR value) $D(k, l)$ 라고 할 때, 거리기준 값(DR value) $D(i, j)$ 는 다음 식과 같이 현 위치 노드 (i, j) 로부터 인접한 노드에 이르는 데 소요되는 거리값(cost) $d_{ij,kl}$ 과 그 위치로

부터 목표 위치점에 이르는 거리기준 값(DR value) $D(i, j)$ 을 합한 값 중 최소값을 취함으로써 계산된다.

$$D(i, j) = \min\{d_{ij,kl} + D(k, j), (k, l) \in R(i, j)\} \quad (1)$$

여기서, $R(i, j)$ 는 (i, j) 에 인접한 노드들의 집합이다.

2.2 동적계획법을 이용한 최적 경로 추적

2.1에서 설명한 것과 같이 각각의 픽셀에서 자신의 거리기준 값(DR value)보다 더 최소값을 찾지 못하게 될 경우 거리기준 값(DR value)의 확산은 완료되어 DP 필드(DP field)가 형성된다. DP 필드(DP field)가 형성되면 처음에 정했던 시작 지점에서 목적지점까지 역 추적(Back tracking)을 하게 된다. 역 추적을 하는 방법은 다음과 같다.

먼저, 시작 지점의 거리기준 값(DR value), $D(i, j)$ 에서 주변픽셀들 사이의 거리값(cost)을 뺀 값(이전 단계에서 거리값이 누적되어 현재 단계에 이르렀으므로)과 같은 거리기준 값(DR value)을 가지는 주변 픽셀, (k, l) 을 찾는다. 그러면 그 픽셀이 목적지점으로부터 시작지점 사이의 최적의 패스가 된다. 이러한 과정을 목적지점에 이르기까지 반복하면 최적의 패스를 찾을 수 있다. 그와 같은 과정은 식(2)에 표현된 것과 같다.

$$path = (k, l): \{D(i, j) - d_{ij,kl} = D(k, l), (k, l) \in R(i, l)\} \quad (2)$$

2.3 로봇의 주행 경로 계획

제안한 알고리즘을 적용한 시스템은 컬러 랜드마크를 이용한 위치 인식 방법을 이용하여 로봇의 현재 좌표를 계산하였고, 서버를 두어 로봇의 서비스 지점을 관리하였다. 그러므로 로봇은 컬러 랜드마크로부터 현재 위치를 인식 하였고, 서버로부터 이동해야 할 목적지점의 좌표를 받아 주행 경로를 결정하여 주행하였다. 따라서, 동적계획법의 목적 지점은 서버에서 넘겨준 서비스 지점의 좌표 점, 시작 지점은 현재 로봇의 위치로 설정하였다.

제안한 알고리즘을 적용하기 위해서 정적 장애물에 대한 맵은 이미 주어졌다고 가정하였다. 실험 환경으로 사용된 사무실을 실측하여 그림 1과 같은 정적 장애물에 대한 맵을 생성하였다. 그러므로 동적계획법을 위한 거리 값으로 그림 2(a)와 같이 실제 맵에 맞는 거리 영상을 만들어 사용하였다. 또한 로봇의 지름을 고려하여 정적 장애물 주변에 일정한 거리만큼 거리 값을 두어 정적 장애물로부터 어느 정도 이격된 주행 경로를 생성하여 로봇과 장애물의 충돌을 방지 할 수 있도록 하였다. 정적 장애물 주변에 로봇의 지름을 고려한 이격 거리를 둔 최적 거리 영상은 그림 2(b)에서 보는 바와 같다.

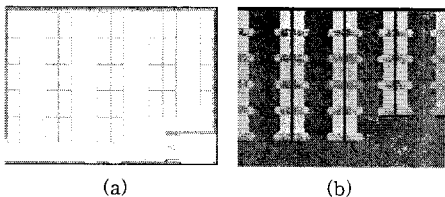


그림 1. (a) 배치도 (b) 실측도

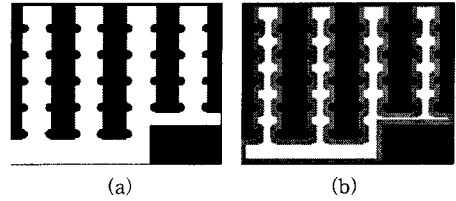


그림 2. (a) 동적계획법을 위한 거리 영상
(b) 로봇의 지름을 고려한 거리 영상

먼저 로봇의 현재 위치를 인식하여 동적계획법의 시작 지점으로 설정하고, 서버로부터 서비스 지점의 좌표를 받아 목적 지점으로 설정한다. 만약 낮은 거리기준 값(DR value)이 목적지점에 주어진다면 현재 노드와 인접한 노드 사이의 가장 값에 관계없이 그 값은 유지된다. 그러므로 목표 선에 해당하는 값을 0으로 설정한다. 또한 시작지점은 어떠한 값에 관계없이 시작지점으로 작용한다. 이와 같이 목적지점과 시작지점을 결정한 이후에는 목적지점의 거리기준 값(DR value)이 매우 낮으므로 DP필드(DP field)는 목적지점으로부터 확산을 통하여 형성된다. 거리기준 값(DR value)은 거리가중치에 의해 정적 장애물의 중간 지점을 따라 확산하기 때문에 DP필드(DP field)는 정적 장애물의 중간 지점을 따라 최적의 값으로 형성된다. 위와 같은 원리에 의해 경로는 시작점으로부터 출발하여 DP필드(DP field)의 최적의 값을 따라 목적 지점에 도달한다. DP필드(DP field)에서 역추적(back tracking)하여 최적 경로를 찾아 원 영상에 오버랩 해보면 그림 3과 같이 로봇의 자율 주행을 위한 최적 경로가 결정됨을 확인할 수 있다.

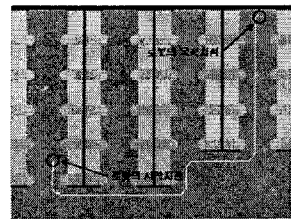


그림 3. 주행 경로 생성 완료 영상

2.4 동적계획법을 이용한 이동 장애물 회피

이동 장애물을 회피하기 위해서 로봇 주변에 6쌍의 PSD 센서와 6쌍의 초음파 센서를 설치하여 장애물과의 거리를 측정하였다. 그러나 이런 종류의 센서는 물체의 정확한 범위를 측정할 수 없고, 대략적인 물체의 위치만 확인할 수 있다. 이러한 특성 때문에 센서에 의해 장애물이 검출될 경우 거리 영상에 장애물을 매우 큰 거리 값을 갖도록 하는 영역을 생성시킨 후(그림 4(a)) 새로운 주행 경로를 계산하는 방법을 이용하여 물체를 회피 하였다. 결과 영상은 그림 4(b)에서 보는 바와 같이 그림 3의 결과와 다름을 확인할 수 있다.

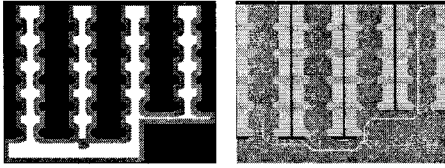


그림 4. (a) 인식된 물체를 표시한 영상
(b) 물체회피를 위한 새로운 주행 경로 생성

3. 실험 결과

주행 경로 결정을 위한 실험에 사용된 로봇은 그림 5에서 보는 바와 같이 천장을 향해 웹 카메라가 설치되어, 천장에 설치된 컬러 랜드마크를 인식하여 현재 위치를 인식한다. 또한, 인식한 현재 위치를 바탕으로 그림 3과 같이 주행 경로를 결정하게 된다.(흰색 선으로 주행 경로를 표시)

그림 6은 로봇이 주행함에 따라 로봇의 주행 경로가 재계산되어 갱신되는 영상을 순차적으로 보여 준 것이다. 로봇이 주행함에 따라 실시간으로 주행 경로를 갱신하는 것을 실험을 통해 확인 하였으며, 그림 4에서 보인 바와 같이 주행 도중 동적 장애물이 인식 되는 경우, 동적 장애물의 회피를 위해 주행 경로가 수정되는 것을 실험을 통해 확인 하였다.

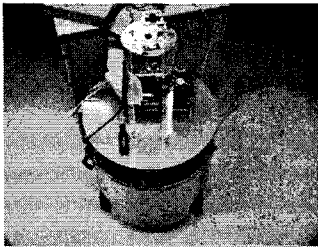


그림 5. 자율 주행 서비스 로봇

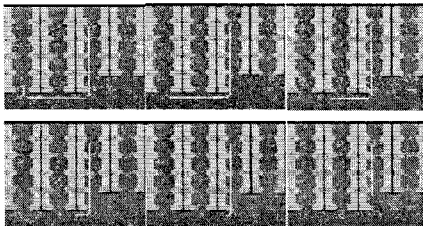


그림 6. 로봇 주행에 따른 주행 경로의 갱신

4. 결 론

최적화 문제에서 자주 사용되는 동적계획법을 이용하여 로봇의 주행 경로를 결정하였다. 또한 정적 장애물뿐만 아니라 동적 장애물이 검출될 경우에 대해서도 주행 경로를 재계산하여 물체를 회피할 수 있음을 보였다.

동적계획법을 이용한 주행 경로 계획 기법은 거리 영상이 주어질 경우 매우 복잡한 환경에서도 최적의 경로를 정확히

찾아 낼 수 있었다. 그러나 실제 로봇의 주행은 실시간으로 이루어 졌지만 시스템의 구동 시간은 동적계획법을 사용함으로써 매우 느려졌다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 동적계획법을 하드웨어로 구현하여 프로그램 구동 시간을 줄인다면 자율 이동 로봇에 좀 더 효율적인 경로 계획 알고리즘이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

“이 연구에 참여한 연구자는 2단계 BK21사업의 지원을 받았음”

참 고 문 헌

- [1] I. Bekkerman, J. Tabrikian, "Target Detection and Localization Using MIMO Radars and Sonars," *Signal Processing, IEEE Transactions*, vol. 54, Issue 10, pp.3873-3883, Oct. 2006
- [2] 이현정, 최규천, 이민철, 이장명, "RFID를 이용한 이동로봇의 위치인식기술," 제어 자동화 시스템 공학회, vol.12, No.1, 1월 2006.
- [3] H Kim, S Hong, T Oh, J Lee, "High Speed Road Boundary Detection with CNN-based Dynamic Programming," *Circuits and Systems, ISCAS '03. Proceedings of the 2003 International Symposium on Volume 5, 25-28, Page(s):V-769 - V-772, May 2003*
- [4] 고수홍, 김성찬, 김중만, 김형석, "동적계획법기반 거리 기준 값 확산 알고리즘에 의한 도로 차선 검출," 제어 자동화 시스템 공학회, 합동학술 발표대회, vol.7, No.1, p.226-230, 12월 2005년.
- [5] W Lie, T C, I Lin, T Lin, K Hung, "A robust dynamic programming algorithm to extract skyline in images for navigation," *Pattern Recognition Letters*, Volume 26, Issue 2, Pages 221-230, January 2005.
- [6] Stuart Russell, "Artificial Intelligence A Modern Approach," Prentice Hall, p.92-101.