

동적계획법에 의한 자율주행로봇의 효율적 경로계획 방법

유진오, 박태형

충북대학교 제어계측 공학과 및 충북BIT연구중심대학육성사업단

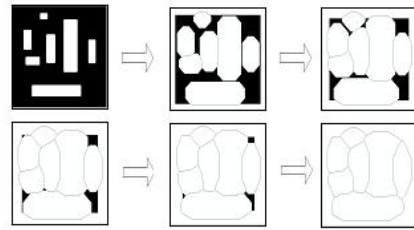
Effective Path-Planning of Mobile Robots by Dynamic Programming

Jin-Oh You, Tae-Hyoung Park

Dept. of Control & Instrumentation Eng., CBITRC, Chungbuk National University

Abstract - 본 논문은 자율주행로봇의 경로계획문제를 효율적으로 해결하기 위한 방법을 제안한다. 제안된 방법은 초기경로 생성과정과 초기경로를 개선하는 두 단계의 과정으로 구성된다. 효율적인 경로를 생성하기 위해서 최적화 문제를 해결하는 방법으로 잘 알려진 Dijkstra 알고리즘과 동적계획법(Dynamic Programming)을 적용한다. 그리고 제안된 방법의 효율성은 기존에 사용되는 경로계획 방법들과의 비교 시뮬레이션을 통해서 확인한다.

그림 1은 Dijkstra 알고리즘을 적용하기 위해서 노드와 아크로 이루어진 위상정보를 생성하는 과정을 나타낸다.



<그림 1> 위상정보를 얻는 과정

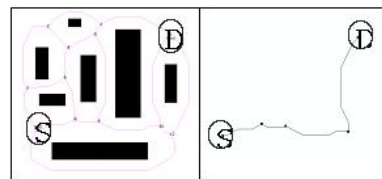
다음 식 (1)은 위상 지도 방식으로 얻게 된 환경의 특정 노드들의 집합을 나타내고 있다. t_k 는 k번째 노드의 좌표 값이며 k는 위상정보를 통해 얻어진 전체노드의 개수이다.

$$T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_k\} \quad (1)$$

식 (2)는 Dijkstra 알고리즘을 적용해서 얻어진 노드들을 나타내며 나열된 순서대로 해당 노드의 위치로 이동하면 목적지점에 도달할 수 있다. C_m 은 생성된 경로에 포함되어 있는 m번째 노드의 좌표 값이다.

$$V = \{C_{start}, C_1, C_2, \dots, C_m, C_{dest}\} \quad (2)$$

그림 2은 주어진 환경에서의 위상정보를 Dijkstra 알고리즘을 이용해서 생성된 출발점과 도착점까지의 최소 이동 경로를 나타낸다.



<그림 2> 위상정보를 이용한 초기경로 생성

1. 서론

IT839에서 지정된 9대 신 성장 동력의 하나로 인정받은 지능형 로봇은 정밀전자, 가진, 반도체, 통신 등 기존 산업에 생산기술을 제공하고 21세기 복지사회 서비스 수요를 해결할 새로운 대안으로서 삶의 질 향상에 대한 인간의 욕구를 해결할 수 있다.[1]

이러한 지능형 로봇은 용도에 따라 엔터테인먼트 로봇, 가정용 서비스 로봇, 국방로봇, 초소형로봇 등으로 분류할 수 있으며 로봇의 이동성은 로봇성능의 주요한 부분을 차지한다. 따라서 로봇의 이동성을 향상시키면 보다 효율적인 로봇의 활용에 이바지 할 수 있을 것이다.

로봇의 이동성을 향상시키는 것은 로봇의 주어진 환경을 인식하고 상황에 맞는 경로계획을 세우는 것이 중요하다. 이러한 경로계획은 격자지도를 바탕으로 한 로드맵방식, 포텐셜 필드 방식, 셀분해 방식과 위상정보를 이용한 방식 등으로 구분된다.[2]

로드맵 방식으로는 Loszno-Perez가 제안한 가시도 그래프가 대표적이며 이것은 주어진 노드에서 가시성이 확보된 노드간의 이동 경로를 생성하는 방법으로 최단경로를 생성할 수 있으나 환경 형상에 따라 계산량이 급격히 증가하여 실제 환경에서 적용하기 어렵다. 셀분해 방식은 작업장의 자유공간을 이동경로로 용이하게 결정가능 하도록 부분집합으로 분해하는 방법인데 환경정보를 사전에 완벽히 알아야 하는 문제로 실제 경로계획에는 적용하기 어렵다. 포텐셜필드 방법은 장애물의 위치와 거리에 따른 인력과 척력의 개념을 사용한 방법으로 생성경로가 국부최소에 빠지는 문제가 빈번히 발생하므로 목표점까지의 경로생성을 보장할 수 없다는 단점이 있다.[3]

본 논문에서는 이동로봇의 효율적인 경로계획을 위한 방법에 대해서 논의한다. 경로계획의 효율을 높이기 위한 방법으로 기존 방법들의 특징을 분석하고 각각의 장점을 혼합해서 이동거리와 수행시간을 감축시키는 과정을 기술한다.

2. 경로계획 방법

2.1 경로계획 문제

경로계획은 이동로봇이 목표지점까지 도달하기 위한 다수의 경로를 생성하는 방법과 생성된 경로 중에서 가장 효율적인 경로를 선택하는 방법을 포함한다. 경로의 생성과 선택을 하기 위해서는 주어진 환경에 대한 적절한 표현과 그에 따른 경로검색 방법이 필요하다.

2.2 경로계획 방법

본 논문에서 제안하는 경로계획 방법은 환경에 대한 표현 방법으로 위상지도방식과 격자지도방식을 단계별로 적용하고 이동경로의 생성과 개선을 위해서 Dijkstra 알고리즘과 동적계획법을 적용한다. 이것은 경로검색 및 생성의 수행시간과 이동거리를 줄이고 효율성을 향상시킨다.

2.2.1 초기경로 생성

초기경로는 위상지도 방식으로 표현된 위상정보를 최적화 알고리즘으로 많이 사용되는 Dijkstra 알고리즘을 적용해서 생성한다.

Dijkstra 알고리즘은 출발 정점에서 시작하여 모든 정점에 대해 현재의 정점까지의 값과 인접한 정점의 가중치의 합이 가장 작은 정점을 다음 정점으로 선택하는 최단경로를 생성한다.[4]

2.2.2 초기경로 개선

초기경로를 개선하기 위해서는 이전 단계를 수행하면서 얻어진 초기 경로에서 사용된 노드(점유노드)와 동적계획법을 이용한다. 즉, 동적계획법을 이용해서 초기경로를 개선시킨 최중경로를 생성하는 위치로 점유노드를 이동시킨다.

동적계획법은 다단계 과정(multistage process)에서 전역적 최적의(global optimal) 해를 찾는 방법이다. 제안된 방법에서는 거리를 최소화하는 최적의 정점의 위치를 찾기 위해 사용되었다.[5][6]

동적계획법을 적용하기 위해서는 단계-상태(Stage-State)의 관계가 분명해야 한다. 제안된 방법에서는 초기경로를 이용해서 Stage를 생성하고 초기경로에서 사용된 노드들의 주변 위치를 State로 사용한다. 따라서 전체 Stage의 크기는 초기경로에 사용된 노드의 수와 같고 Stage의 크기는 검색원도우(L)의 크기로 조절한다.

식 (3)은 검색원도우의 크기에 따라 생성되는 i번째 stage에서의 후보

노드들의 집합 C_i 를 나타낸다. 여기서 사용되는 S_{i1} 은 C_i 의 좌표값을 동일하게 갖는다.

$$C_i = \{s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{in}\}, \quad s_{i1} = C_i \quad (3)$$

식 (4)는 동적계획법의 특징인 역방향 탐색(backward search)를 나타낸다. $f_i(s)$ 는 i 번째 단계의 모든 상태($s_{i1}, s_{i2}, s_{i3}, \dots, s_{in}$)를 대입해서 이동거리를 얻는 과정을 나타낸다.

$$f_i(s) = dist(C_i, C_{i+1}) + f_{i+1}^*(s) \quad (4)$$

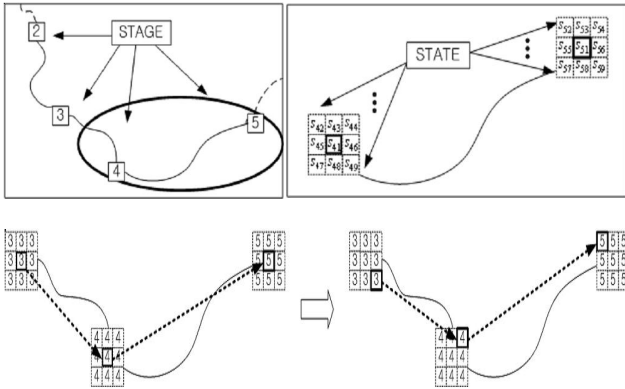
식 (5)는 각 단계 간의 연결관계 중 최소값을 구하는 식을 나타낸다.

$$f_n^*(s) = \min(dist(C_n, C_{n+1}) + f_{n+1}(x_n)) \quad (5)$$

식 (6)는 목적함수에서 사용되는 유클리디안 거리를 계산하는 식을 나타낸다.

$$dist(a, b) = [(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2]^{1/2} \quad (6)$$

그림 3는 생성된 초기경로를 이용해서 동적계획법을 적용하는 과정을 나타내며 사용된 검색윈도우의 크기는 3X3이다.



<그림 3> 동적계획법의 적용 예

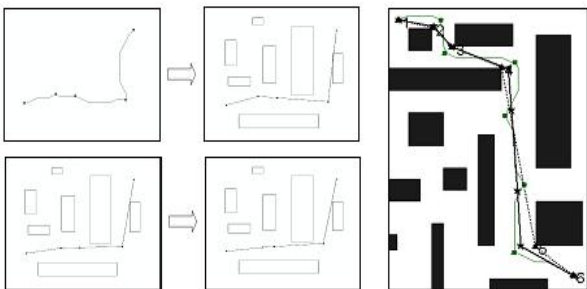
3. 시뮬레이션

제안된 방법의 효율성을 확인하기 위해서 기존 방법들을 사용해서 생성된 경로와 경로생성 시간을 시뮬레이션을 통해서 비교했다.

대표적인 기존 방법으로는 세션화 방식과 가시화 방식이 있다. 세션화 방식은 물체와 물체사이의 공간을 한 격자씩 줄여나다가 끝에 남게 되는 중간영역을 이용해서 경로를 생성하는 방식이며 가시화 방식은 물체들이 있는 위치와 자신의 위치를 이용해서 가시적으로 보이는 지점들을 연결해서 경로를 생성하는 방식이다.

그림 4(좌)는 제안된 방법으로 초기경로가 개선되는 과정을 본다. 경로가 개선될수록 이동거리가 짧아지는 것을 확인할 수 있었다.

그림 4(우)는 제안된 방법과 기존의 방법인 세션화 방식과 가시화 방식을 통해서 생성된 경로를 나타낸 것이다. 세션화 방식에서 사용된 노드는 ■ 이고 가시화 방식에서 사용된 노드는 ▲ 이다. 제안된 방법에서 생성하고 사용된 노드는 ★ 이다.



<그림 4> 초기경로 개선 과정(좌) 및 경로 비교(우)

표 1, 2는 제안 방법과 세션화 방법, 가시화 방법을 통해서 생성된 경로의 이동 비용과 경로 생성시간을 비교해서 나타낸다. 그리고 장애물의 개수에 따라서 제안한 방법이 생성한 경로가 기존 방법과 대비한 경로 거리 및 경로 생성까지 걸린 시간의 개선율을 나타낸다.

<표 1> 경로 비교

장애물 개수	이동거리 [pixel]			개선율 [%]	
	가시화	세션화	제안 방법	가시화 대비	세션화 대비
10	912	977	890	2.14	8.90
55	1058	1199	1056	0.19	11.93
110	1062	1209	1062	0	12.16
185	1106	1239	1110	-0.36	10.41
230	1155	1294	1165	-0.87	9.97

<표 2> 시간 비교

장애물 개수	생성시간 [s]			개선율 [%]	
	가시화	세션화	제안 방법	가시화 대비	세션화 대비
10	1.08	0.75	0.80	26.07	-6.27
55	46.52	2.13	2.20	95.26	-3.72
110	150.97	3.78	3.86	97.44	-2.09
185	418.58	5.94	6.00	98.57	-1.04
230	594.56	7.59	7.69	98.71	-1.24

가시화방법으로 생성된 경로는 일반적으로 최단경로이고 세션화를 이용한 방법은 경로생성시간이 빠르다는 것이 장점이다.

표1과 표2를 보면 제안한 방법은 생성된 경로는 가시화방법과 유사하거나 향상됐고 경로 생성시간은 세션화방법보다 약간 길었다. 그리고 장애물이 증가할수록 경로생성 시간의 개선율도 증가됐다.

따라서 제안한 방법은 최단경로와 근사한 경로를 생성하지만 경로생성시간이 짧기 때문에 장애물의 변화에 따라 경로를 빠르게 생성하고 이동해야하는 자율주행로봇 분야에서 더욱 효율적이다.

4. 결 론

본 논문에서는 자율주행로봇의 효율적인 경로 생성방법을 위한 방법을 제안했다. 제안된 방법은 로봇의 주변 환경을 나타내는 위상정보를 이용해서 초기 경로를 생성하기 위한 맵을 생성한다. 생성된 맵을 이용해서 로봇의 현재위치에서 목표위치까지의 초기 경로를 구하는 단계와 동적계획법을 초기 경로에서 생성된 노드에 적용해서 초기 경로를 개선하는 단계로 구성된다.

제안된 방법은 가시화 방법으로 생성된 최단경로와 근사한 경로를 생성했으며 경로생성 시간은 대폭 축소하였다. 그리고 경로를 생성하는 시간은 세션화 방법과 유사하지만 경로비용은 세션화 방법보다 더욱 감소시켰다.

본 논문에서 경로를 생성할 때 동적계획법을 적용할 수 있다는 것을 보였으나 stage-state를 설정하는 방법에 따라 생성되는 경로의 효율성과 수행시간이 더욱 나아질 것으로 보인다. 따라서 향후 논문에서는 stage-state에 사용되는 노드의 설정과 환경을 표현하는 방법들에 대한 연구를 수행해서 보다 나은 경로 계획 결과를 얻을 수 있도록 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] 조영훈, "지능형로봇", TTA저널, 제96호, pp. 118-125, 2004.
 [2] J.Latombe, Robot motion planning, 4th Edition, Kluwer academic publishers, pp. 1398-1404, 1996.
 [3] Y.Koren and J.Borenstein, "Potential Field Methods and their Inherent Limitations for Mobile Robot and Navigation", Proc. of Int. Conf. on Robotic and Automation, 1991.
 [4] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, et al, INTRODUCTION TO ALGORITHMS, 2nd Edition, The MIT Press, 2001.
 [5] Zbigniew Michalewicz and David B. Fogel, How to solve It: Modern Heuristics, 2nd Edition, Springer, 2000.
 [6] J.G. Choi, S.-W. Lee and H.-S. Kang, "Dynamic programming approach to optimal vertex selection for polygon-based shape approximation", IEE Proc.-Vis. Image Signal Process., Vol.150, No.5, pp. 287-291, October 2003.