

자율주행로봇의 최소경로계획을 위한 그래프 탐색 방법

(A Graph Search Method for Shortest Path-Planning of Mobile Robots)

* 유진오, ** 채호병, *** 박태형

Jin-O You, Ho-Byung Chae, Tae-Hyoung Park

Abstract - We propose a new method for shortest path planning of mobile robots. The topological information of the graph is obtained by thinning method to generate the collision-free path of robot. And the travelling path is determined through hierarchical planning stages. The first stage generates an initial path by use of Dijkstra's algorithm. The second stage then generates the final path by use of dynamic programming (DP). The DP adjusts the initial path to reduce the total travelling distance of robot. Simulation results are presented to verify the performance of the proposed method.

Key Words : Path Planning : Graph Search : Mobile Robot : Dynamic Programming : Shortest Path

1. 서론

이동로봇은 자신의 환경을 인식하고 주어진 작업에 맞는 자기의 최적 동작을 결정해야한다. 이러한 동작을 수행하기 위해서 로봇 스스로 주변 환경을 모델링하여 지도를 작성하는 기능, 위치를 추정할 수 있는 기능, 목표점까지 이동하기 위하여 경로를 생성하는 기능 등이 기본적으로 필요하다. 이중 경로계획은 로봇 스스로 장애물을 회피하며 목표위치까지 도달하기 위한 최적의 경로를 생성하는 것이다.[1,2]

이동로봇의 경로계획은 격자지도를 바탕으로 한 로드맵 방식, 포텐셜 필드 방식, 셀분해 방식과 위상정보를 이용한 방식 등으로 구분된다.[3] Lozano-Perez가 제안한 가시도 그래프는 최단경로를 생성할 수 있으나 환경 형상에 따라 계산량이 기하급수적으로 증가하여 실제 환경에서 적용하기 어렵고, 셀 분해방식에서는 환경정보를 사전에 완벽히 알아야만 하는 문제 등으로 실제 경로계획에는 적용하기 어렵다. 포텐셜 필드 방식의 경우는 경로가 극부최소에 빠지는 문제가 빈번히 발생하므로 목표점까지의 경로생성을 보장할 수 없다는 단점이 있다[4]. 위상정보를 바탕으로한 경로생성의 경우에는 데이터 처리량은 작고 직관적으로 이해가 가능하지만 자신의 위치를 센서값에 의존해야 하기 때문에 정확한 위치의 추정이 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 이동로봇이 자신의 위치를 정확히 알 수 있는 격자지도 방식과 환경정보를 간략화하여 처리시간과 데이터량을 감소시킬 수 있도록 노드와 아크로 구성된 위상정

보 방식을 혼합해서 맵을 구성하여 각각의 단점을 보완하였다. 그리고 위상정보를 이용해서 생성된 그래프를 통하여 최단경로를 생성한다[5][6]. 전체의 경로계획단계는 Dijkstra 알고리즘을 이용해서 초기경로를 생성하는 단계와 동적 계획법으로 초기경로를 조절하여 최종경로를 생성하는 단계로 구성된다. 여기서 위상정보 그래프는 세션화 기법을 이용하여 작성되는 위상지도에서의 분기점과 통과영역에 대한 연결 관계를 나타낸다.

2. 경로 계획 문제

경로계획은 이동로봇이 주어진 환경에서 특정 목표 지점까지 도달하기 위한 전략적 행위(이동속도의 제어, 경유점에서의 동작 등)를 결정한다. 따라서 경로계획은 로봇의 행위의 효율성을 결정하는 주된 요인이다.

본 논문에서는 이동로봇이 목표지점까지 도달하기 위한 최소경로를 생성하는 경로계획법을 제안한다. 보다 빠르고 효율적인 경로생성을 위해서 검색할 메모리의 크기와 처리시간을 단축하기 위한 방법으로 위상정보를 이용한다. 줄여진 공간에서 최소경로를 생성한다.

제안한 방법에서는 이동로봇이 동작해야 할 환경정보를 사전에 알고 있다고 가정한다. 즉, 이동로봇이 1차 탐사과정을 마치고 환경정보를 저장해 놓은 상태를 출발점으로 한다.

3. 경로 계획 방법

본 논문이 제안하는 방법은 위상정보를 이용해서 환경정보를 간략화 시키고 압축된 정보를 이용해서 이동 경로를 생성한다. 그림 1은 제안된 방법의 전체 흐름도를 나타낸다. 제안된 방법은 사전에 구축된 환경지도를 받아서 위상정보를 생성하고 그것을 이용해서 초기경로, 최종경로를 생성하는 과

저자 소개

- * 유진오 : 忠北大學校 制御計測工學科 碩士課程
- ** 채호병 : 忠北大學校 制御計測工學科 碩士課程
- ***박태형 : 忠北大學校 制御計測工學科 教授 · 工博
- ※ 이 논문은 2006년도 교육인적자원부 지방연구중심대학 육성사업의 지원에 의하여 연구되었음

정을 나타낸다.

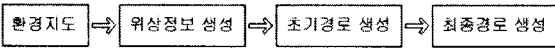


그림 1. 전체 흐름도

3.1 위상정보 생성

위상정보는 얻기 위해서 영상의 골격을 추출하는 방법으로 널리 알려진 세션화 알고리즘을 사용한다. 생성된 위상정보를 이용해서 경로생성 알고리즘에 사용되는 그래프를 만든다.

그림 2은 위상정보의 표현법과 주어진 격자지도에서 로봇이 주행할 수 있는 비점유격자를 대상으로 골격을 추출 과정을 나타낸다.

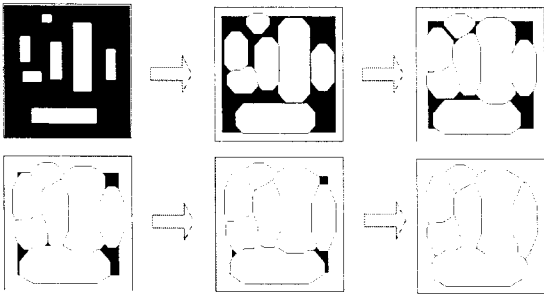


그림 2. 세션화과정을 통한 위상지도 작성 과정

3.2 초기경로 생성

초기경로는 극부최소에 빠질 위험과 불필요한 공간의 검색에 따른 시간소비 및 메모리 낭비를 줄이기 위해 생성한다. 이러한 초기경로의 생성에는 위상정보를 통해서 만들어진 그래프와 Dijkstra 알고리즘을 사용한다.

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

다음 식 (1)은 세션화에 따른 각 노드들의 위상정보를 갖고 있는 행렬 T 를 나타낸다. n_k 는 k 번째 노드의 좌표 값이며 k 는 위상정보를 통해 얻어진 전체노드의 개수이다.

$$T = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_k\} \quad (1)$$

식 (2)는 식 (1)의 행렬 T 와 경로계획 알고리즘을 사용하여 얻어진 도착점까지의 경로정보를 나타내고 있다. 이 경로정보는 점유노드 조절단계에서 stage를 결정하는데 사용된다. v_m 은 생성된 경로에 포함되어 있는 m 번째 노드의 좌표 값이며 m 은 생성된 경로에 포함된 노드들의 개수이다.

$$V = \{v_0, v_1, v_3, \dots, v_m\} \quad (2)$$

그림 3에서 좌측 그림은 세션화에 따른 노드와 아크를 나타내고 우측 그림은 Dijkstra 알고리즘을 이용해서 얻어진 "S"부터 "G"까지의 초기경로를 나타낸다.

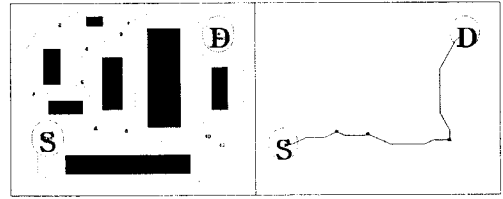


그림 3. 위상정보에 따른 초기경로 생성

3.2 최종경로 생성

최종경로를 생성하기 위해서는 이전 단계를 수행하면서 얻어진 초기경로에서 사용된 노드(경유노드)와 동적계획법을 이용한다. 즉, 동적계획법을 이용해서 최종경로를 생성하는 위치로 경유노드를 이동시킨다.

동적계획법은 다단계 프로세스의 전역 최적을 찾는 방법으로 주어진 두 경로사이의 최적 경로는 그 최적 경로 상에 놓인 어떤 두 점 사이에서도 역시 최적임을 나타내는 Bellman의 원리(Bellman's principal)에 기반하고 있다[7].

식 (3)은 검색원도우의 크기 L 에 따라 생성되는 i 번째 stage에서의 후보노드들의 집합 C_i 를 나타낸다. 식 (4),(5)는 이동거리가 최소가 되는 노드를 선택하는 목적함수를 나타낸다.

$$C_i = \{c_{i0}, c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{iL}\} \quad (3)$$

$$f_0(C_i) = \min\{dist(C_i, v_0)\} \quad (4)$$

$$f_i(v_i) = \min_{0 \leq j \leq L} \{dist(C_i, C_{i-1}) + f_j(v_j)\} \quad (5)$$

그림 4는 동적계획법에서의 Stage, State의 관계를 나타내고 있다. 하나의 Stage안에는 다수의 State가 포함되어있다. Stage는 경유노드를 중심으로 한 주변노드를 나타낸다. 즉, 경유노드가 하나의 State가 된다.[8]

그림 5은 검색원도우의 크기에 따른 탐색영역의 크기를 나타내며 v 는 선택된 경로에 놓여있는 노드이며 L 은 검색원도우의 크기를 나타낸다.

그림 6에서 첫 번째 그림은 초기경로에 따른 노드의 위치이고 두 번째 그림은 동적계획법을 통해서 선택된 위치로 이동하는 노드를 나타낸다.

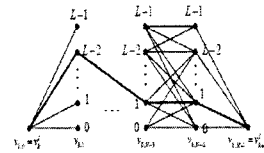


그림 4. 동적프로그램의 stage와 state

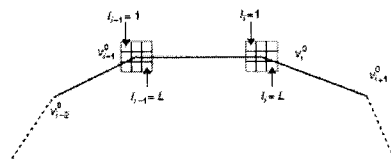


그림 5. 검색원도우의 크기에 따른 점유노드의 탐색 위치

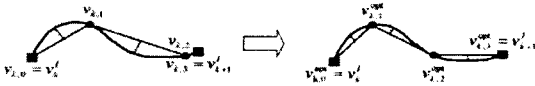


그림 6. 동적프로그래밍을 이용한 점유노드위치 조절

그림 7는 그림 3에서 제시된 초기 경로에 동적계획법을 적용되는 과정을 보인 것이다. 첫 번째 그림은 초기 경로를 나타내며 5번째 그림은 최종경로를 나타낸다. 마지막 그림은 최종경로를 생성하기까지의 변화과정을 나타낸다.

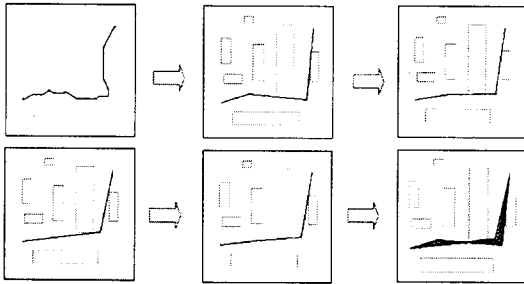


그림 7. 제안 방법에 따른 경로 생성

4. 시뮬레이션 결과

기존의 방법들은 경로를 생성할 때 장애물과 물체 사이의 중간영역에 노드를 생성시켜서 경로를 생성했으나 이는 최단 거리를 생성할 수 없는 문제점이 있었으며 매번 전체 영역에 대한 검색을 수행하기 때문에 처리시간도 오래 걸렸다.

그러나 제안된 방법은 최단경로를 생성하며 점유노드를 이용해서 전체영역의 검사에 따른 불필요한 시간을 줄일 수 있었다.

No.	초기 비용	최종 비용	개선율 [%]
1	691	225	67.4
2	697	362	48.0
3	863	690	20.0
4	412	296	28.1
5	490	160	67.3

표 1. 생성된 경로의 개선율

위에 표는 제안된 방법을 사용하면 최종경로는 초기경로보다 평균 46.21%의 개선율을 보이는 것을 나타내고 있다. 이러한 개선율은 장애물의 밀집도에 따라 달라졌으며 밀도가 적은 부분에서 최대의 개선율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이는 밀도가 낮은 지역에서 직선 공간을 확보하기가 훨씬 용이했기 때문이다.

그러나 밀도가 높은 지역이라 하더라도 초기경로보다 20%정도 개선율 보이는 것으로 나타났다.

그림 8은 환경지도가 다른 곳에서 제안된 방법을 적용한 것을 나타내고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 위상정보를 이용해서 노드와 아크로 이루어진 그래프로 이동경로를 찾고 동적계획법을 이용해서 노드의 위치를 최단경로를 생성할 수 있는 적합한 위치로 조절하는 방법을 제안하였다.

지정된 출발점과 도착점 사이의 환경을 반영한 위상정보를 활용해서 전역경로를 생성하여 국부최소에 빠질 수 있는 위험을 제거하고 초기경로 생성에서 얻어진 점유노드를 이용해서 경로검색에 따른 시간을 단축시킬 수 있었다. 또한 생성된 경로를 이용해서 노드의 위치를 최적화 시키는 과정을 적용해서 목표지점까지의 최단경로를 생성할 수 있었다.

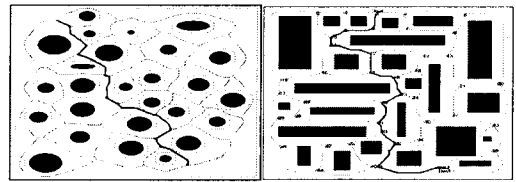


그림 8. 적용 예

6. 참고 문헌

- [1] Y.H.Liu and S.Arimoto, "A flexubke algorithm for planning local shortest path of mobile robots based on reachability graph", IEEE International Workshop on Intelligent Robots and system, 1990.
- [2] C.Ahrikencheikh and B.Ranani, "Optimal and Cinfoming Motion of a Point in a Constrained Plane", Transactions of the ASME, 1994.
- [3] J.Latombe, Robot motion planning, 4th Edition, Kluwer academic publishers, 1996.
- [4] 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, Sacramento, 1991.
- [5] B.Y.Ko, J.B.Song, and S.Lee, "Real-time buliding of a thinning-based topological map with metric features", Proc. of International Conf. on Intelligent Robots and Systems, vol.2, pp.1524-1529, 2004.
- [6] Jong-Gyu Han, Jae-Bok Song, Woojin Chung, "High-Speed Path Planning of a Mobile Robot Using Gradient Method with Topological Information", Journal of Control, Automation, and Systems Engineering Vol. 1, No. 1, January, 1999.
- [7] R. E. Bellman and S. Dreyfus, Applied dynamic programming, Prindeton, N.J:Princeton University Press 1962.
- [8] 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, October 2003.