

다관절 로봇트를 위한 충돌 회피 경로 계획

Collision-Free Path Planning for An Articulated Robot

박상권*, 최진섭**, 김동원***

Sang-Kweon Park*, Jin-Seob Choi**, Dong-Won Kim***

전북대학교 대학원*, 동신대학교 산업공학과**, 전북대학교 산업공학과***

ABSTRACT

The purpose of this paper is to develop a method of Collision-Free Path Planning (CFPP) for an articulated robot. First, the configuration of the robot is formed by a set of robot joint angles derived from robot inverse kinematics. The joint space, that is made of the joint angle set, forms a Configuration space (Cspace). Obstacles in the robot workcell are also transformed and mapped into the Cspace, which makes Cobstacles in the Cspace. (The Cobstacles represented in the Cspace is actually the configurations of the robot causing collision.) Secondly, a connected graph, a kind of roadmap, is constructed from the free configurations in the 3 dimensional Cspace, where the configurations are randomly sampled from the free Cspace. Thirdly, robot paths are optimally in order to minimize of the sum of joint angle movements. A path searching algorithm based on A* is employed in determining the paths. Finally, the whole procedures for the CFPP method are illustrated with a 3 axis articulated robot.

The main characteristics of the method are; 1) it deals with CFPP for an articulated robot in a 3-dimensional workcell, 2) it guarantees finding a collision free path, if such a path exists, 3) it provides distance optimization in terms of joint angle movements. The whole procedures are implemented by C on an IBM compatible 486 PC. GL (Graphic Library) on an IRIS CAD workstation is utilized to produce fine graphic outputs.

1. 서론

로봇트의 작업 데이터의 생성을 위해서 산업 현장에서는 반복 학습 방법(teach and play method)이 주로 이용되고 있으나, 최근 컴퓨터를

이용하여 작업 데이터를 미리 생성하는 오프-라인 프로그래밍(Off-Line Programming : OLP)이 활발히 연구되고 있다. OLP에 의한 데이터의 생성은 작업에 영향을 미치지 않고 사전에 데이터

를 준비하고 검증할 수 있으며 복잡한 계산을 간편화하고 로봇 기종에 관계없이 데이터의 생성이 가능하고 기존의 CAD/CAM 시스템과의 연결이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 OLP를 이용한 원활한 데이터의 산출을 위해서는 몇 가지 해결해야 할 난제들이 있으며 그 중의 하나가 장애물과의 충돌 없는 안전한 작업 경로를 생성하는 문제(Collision-Free Path Planning : CFPP)이다. 특히 현업에서 많이 이용되고 있는 다관절 로봇(articulated robot)을 위한 CFPP가 더욱 요구된다. 본 연구에서는 Fig.1과 같이 다관절 로봇의 공구(tool)를 제외한 $\theta_1 \sim \theta_3$ 축만을 고려한 효과적인 CFPP를 다루고자 한다.

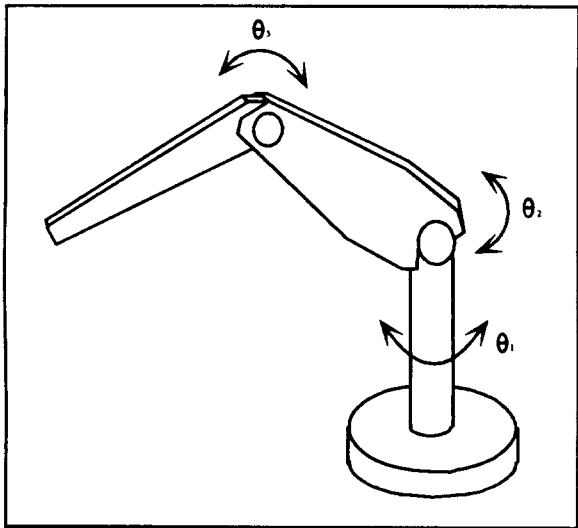


Fig.1 Joint angles of articulated robot

다관절 로봇을 관절 공간(joint space)에서 표현하여 CFPP를 수행할 경우 가능한 관절 범위(allowable joint range)내에서만 표현되기 때문에 역기구학해의 존재여부를 고려하지 않아도 되며, 또한 로봇이 한 점으로 표현되기 때문에 로봇의 부피를 고려하지 않아도 되는 장점이 있다.¹⁾ 이때 장애물들은 관절공간에서 새로운 형태의 영역으로 표현된다. 따라서 문제는 첫째, 관절

공간에서 장애물들을 찾는 과정과 둘째, 장애물들을 제외한 자유 공간에서 로봇의 경로를 찾는 과정으로 분류할 수 있다.

자유 공간에서 로봇의 경로를 찾기 위해 각각의 관절 축에 수직인 평면에 장애물을 투영하는 방법이 소개되었으나¹⁾ 본 연구에서는 3차원 자유 공간에서 탐색 그래프를 형성하고 A* 알고리즘을 이용해 직접 CFPP하는 방법을 소개하고자 한다. 따라서 다관절 로봇의 CFPP를 다음의 3단계로 나누어 설명하고자 한다.

- ① 관절 공간에서의 장애물 생성
- ② 탐색 그래프 생성
- ③ 최적 경로 생성

2. 관절 공간에서의 장애물 생성

장애물을 관절 공간에서 표현하는 방법에는 슬라이스 투영(slice projection)방법²⁾과 역기구학 방법³⁾이 있다. 다관절 로봇의 첫번째 관절을 위해서는 슬라이스 투영방법이, 두번째 및 세번째 관절을 위해서는 역기구학 방법이 효과적이다.¹⁾ 따라서 장애물을 관절 공간에서 표현하는 절차는 다음의 2단계로 분류할 수 있다.

- ① Slice projection for joint 1
- ② Inverse kinematics for joint 2 and 3

슬라이스 투영은 Fig.2와 같이 θ_1 의 허용범위 내에서 일정한 간격으로 움직이면서 슬라이스된 장애물들을 계산한다. 이렇게 함으로써 관절 2,3을 갖는 2축 로봇과 2차원 장애물간의 문제로 분해된다. 이제 2차원 충돌 회피를 위하여 Fig.3과 같이 4가지 경우를 고려하여 역기구학의 적용함으로써 $\theta_2 \sim \theta_3$ 관절 공간에서의 장애물들을 표현한다. 이상의 과정을 거쳐 3차원 관절 공간에서 장애물들을 표현하면 Fig.4와 같다.

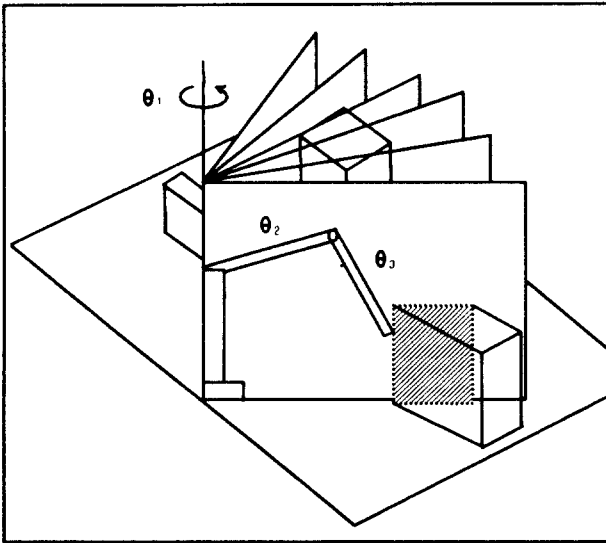


Fig.2 A slicing procedure for joint 1

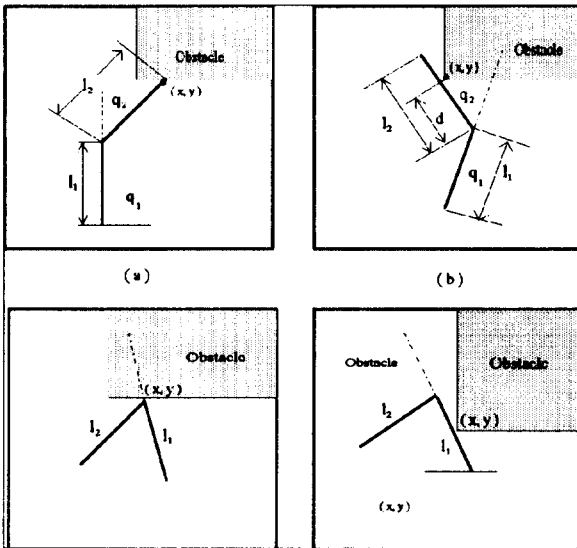


Fig.3 Contact types between robot & obstacle

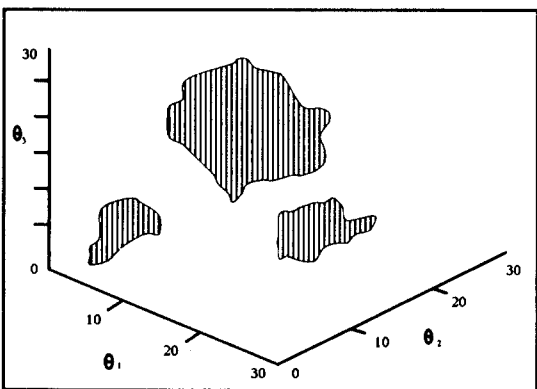


Fig.4 3D obstacles in joint space

3. 탐색 그래프 생성

관절 공간에서 장애물들이 표현되었으면 장애물들을 제외한 자유 공간에서 탐색 그래프를 형성한다. 자유 공간을 이용하는 방법은 Cell Decomposition, Visibility Graph, Road Map, Potential Field 등의 방법이 있다.⁴⁾ 이와 같은 방법들은 나름대로 장,단점이 있으며, 본 연구에서는 다음과 같은 개선된 Road Map 방법을 통해 안전하고 빠른 경로 생성을 시도하였다.

① 탐색 가능 데이터(node)들의 생성

② 데이터들을 연결한 망(network)의 형성

먼저 Fig.5와 같이 관절 영역에서 임의로 형상(configuration)을 추출하게 되고, 각 형상은 장애물과의 비교를 통해서 충돌 가능 여부를 검색한다. 데이터 개수는 안전한 경로 생성 보장과 탐색시간의 측면을 동시에 고려하여 결정한다.⁵⁾

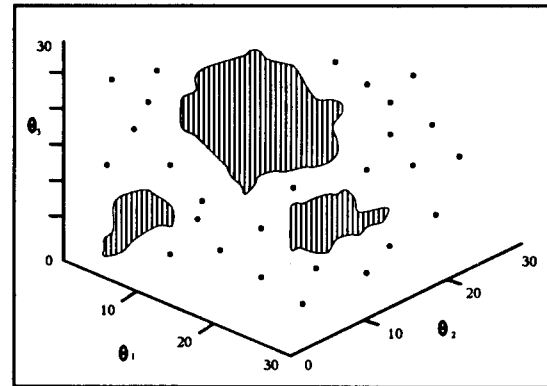


Fig.5 Sampling of data in 3-D C-space

탐색 데이터들이 추출되었으면 이들을 연결하여 망을 형성한다. 추출된 k개의 형상들 각각에 대하여 n개의 근접 형상들을 연결한다. 만일 연결된 edge가 장애물을 통과하는 경우는 그 edge를 제외시킨다. k와 n의 선택에 따라서 연결되지 않는 그래프(unconnected graph)가 형성될 수도 있으나 본 연구에서는 고려되지 않았다.

4. 최적 경로 생성

탐색 그래프 상에서 최적 경로 생성을 위해 A* 알고리즘을 이용하였다. A* 알고리즘은 해의 생성이 확실하며, 평가 함수를 이용하여 목표점으로 수렴이 빠른 장점이 있다. 그러나 탐색 점의 수가 증가함에 따라 탐색 시간과 저장 공간 측면에서 비 효율적인 단점도 있다.

Warren은 형상 공간을 일정한 격자로 나누고, 격자들 중 충돌 영역에 속하지 않는 격자들에 대해서 A* 알고리즘을 적용하여 최적 경로를 구한 바 있다.⁶⁾ 그러나 본 연구에서는 자유 공간에서 임의로 추출한 형상들에 대해 A* 알고리즘을 적용하였다. Fig.6에 최적 경로의 예가 나타나 있다. 또한 본 연구와 기존의 방법들과의 비교가 Table 1.에 있다.

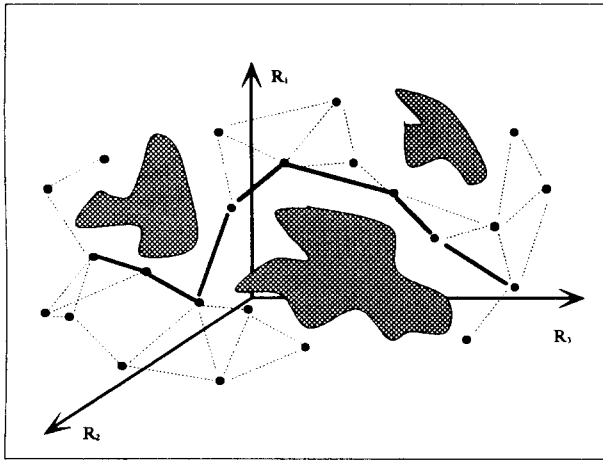


Fig.6 An optimal path in 3D C-space

Fig.7에 A* 알고리즘을 이용한 CFPP의 흐름도를 보여주고 있다. 그림에서 평가치 $f(n)$ 은 다음과 같이 구한다.

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

여기에서 $g(n)$ 은 출발 노드에서 노드 n 까지의 cost(예:직선거리)이다. 또한 $h(n)$ 은 노드 n 으로부터

터 목표 노드까지의 cost이다.

Table 1. Comparison of CFPP algorithms

	Warren ⁶⁾	Horsh ⁵⁾	본 연구
경로 생성	Cell Decomposition	Roadmap	Roadmap
탐색 공간	2차원 (3차원)	2차원	3차원
탐색 노드	셀	자유형상	자유 형상
탐색 그래프	탐색 트리	탐색 망	탐색 트리
탐색 방법	A* 방법	A* 방법	A* 방법

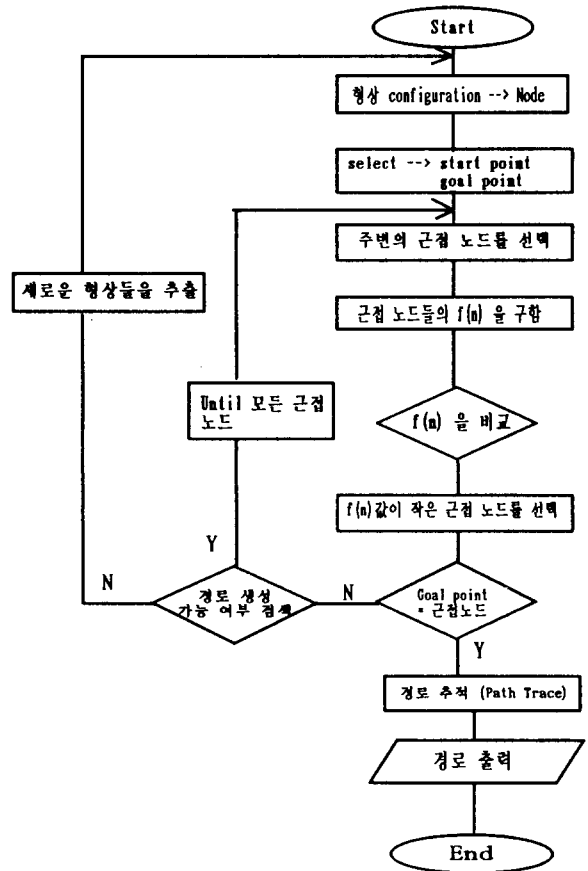


Fig.7 A proposed CFPP algorithm

5. 시뮬레이션

본 연구에서 제시한 CFPP에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. θ_1 을 기준으로 1° 간격으로 슬라이스 시켰으며, 자유 형상의 추출 개수는 800개를 사용하였고, 근접 형상을 구해내기 위해서는 두 형상 사이의 직선 거리를 이용하였다. 또한 탐색 트리 형성을 위해 연결될 근접 형상들의 개수 n 은 8개를 설정하였다.

Fig.8에 3차원 관절 공간에서 표현된 3개의 장애물 및 추출된 자유 형상(점)들 그리고 최종적으로 생성된 경로가 나타나 있다. 그리고 Fig.9에 IRIS-워크스테이션을 이용하여 최종 경로를 작업 공간에서 나타내었다.

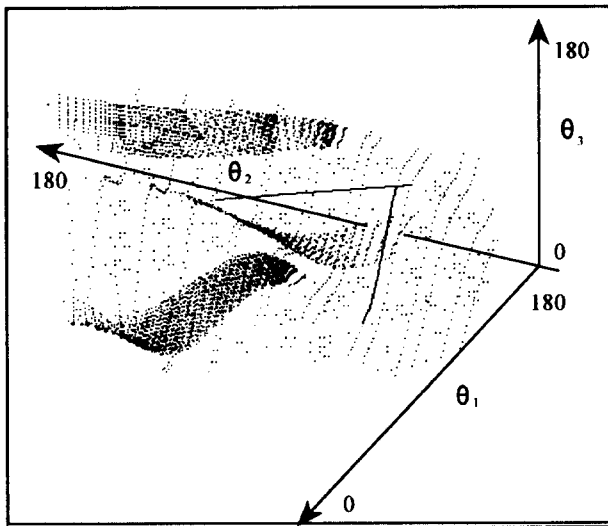


Fig.8 A final robot path in joint space

6. 결론

본 연구에서는 다관절 로봇의 충돌 회피 경로 계획을 위한 효과적인 알고리즘을 제시하고자 하였다. 이를 위해 3차원 관절 공간에서 직접 경로 계획을 실시하였으며, 시뮬레이션을 통해 알고리즘을 검증하였다. 개선된 Roadmap 방법을

적용하여 형성된 탐색 공간에서 수정된 A^* 알고리즘을 이용함으로써, 안전하면서도 빠른 충돌 회피 경로 계획을 수행하였다.

참고문헌

1. 김정훈, 최진섭, 강희용, 김동원, 양성모, "형상 공간을 이용한 다관절 로봇의 충돌 회피 경로 계획," 한국자동차공학회 논문집 제2권 제6호, pp. 57~65, 1994.
2. T. Lozano-Pérez, "A Simple Motion Planning Algorithm for General Robot Manipulators," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, no.3, June 1987.
3. C. W. Warren, J. C. Danos, and B. W. Mooring, "An Approach to Manipulator Path Planning," *The International Journal of Robotics Research*, Vol.8, no.5, pp.87-95, 1989.
4. J. C. Latombe, *Robot Motion Planning*, Kluwer Academic Publishers, 1993.
5. Horsch, T. and Schwarz, F., "Motion Planning with Many Degree of Freedom - Random Reflections at C-space Obstacles," *Proceeding IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol.3, pp.3318~3323, 1994.
6. C. W. Warren, "Fast Path Planning using Modified A^* Method," *Proceeding IEEE International Conference and Automation*, pp.668~673, 1993.

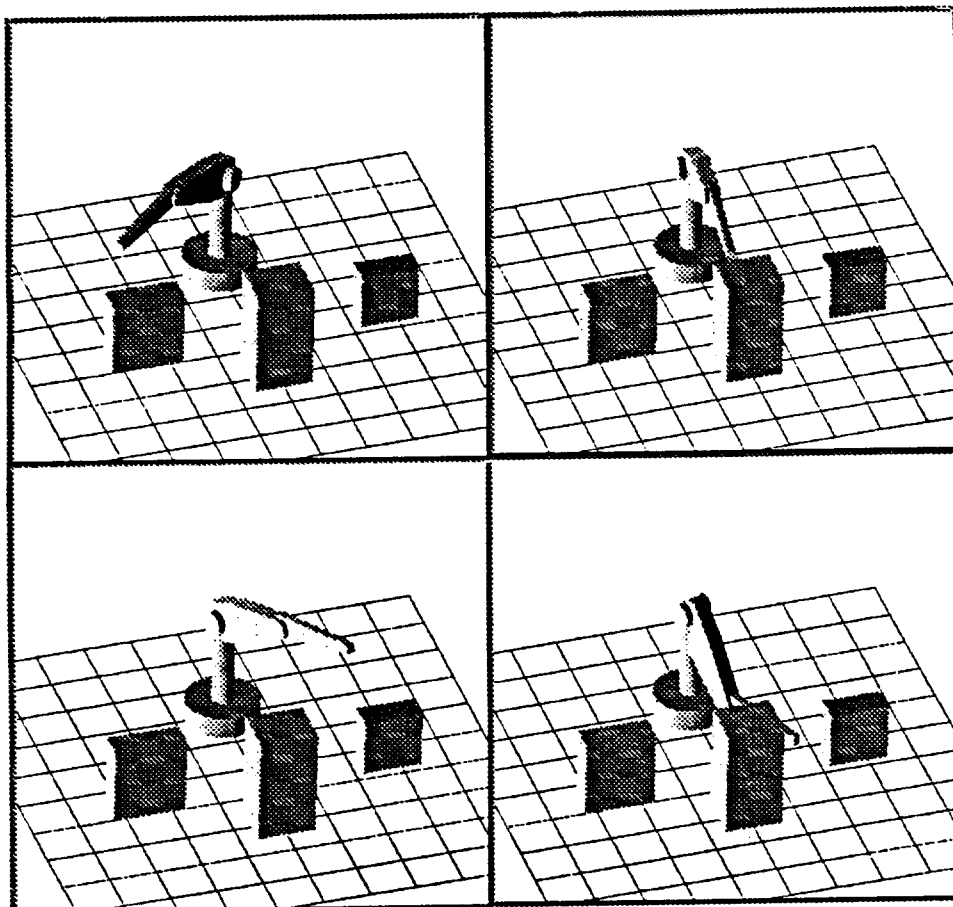


Fig.9 Robot motion simulation with 4 via points