

경로 생성 병렬화를 통한 작업 계획 생성 가속화

황태운¹, 강민철², 윤성의²

¹ 한국과학기술원 로봇공학학제전공, ² 한국과학기술원 전산학부

Fast Task and Motion Planning in Parallelization

Taeun Hwang¹, Minchul Kang², Sung-Eui Yoon²

¹KAIST The Robotics Program, ²KAIST School of Computing

e-mail: taeun@kaist.ac.kr, mincheul.kang@kaist.ac.kr, sungeui@kaist.edu

요 약

로봇의 효율적인 작업 수행을 위해 작업 및 경로 계획은 빠르게 이루어질 수 있어야 한다. 기존 경로 생성을 순차적으로 진행하는 방법은 작업이 많고 복잡한 문제일수록 경로 생성의 소모 시간이 증가하는 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 순차적으로 진행되었던 작업 및 경로 계획을 빠르게 처리하기 위해, 여러 개의 독립적인 경로 생성 문제를 만들어 이를 병렬적으로 처리하는 방법을 제안한다. 기존 방법에 대한 실험을 통해 작업 및 경로 계획에서 경로 생성이 소모 시간의 95% 이상을 차지함을 보였고, 이를 바탕으로 작업 및 경로 계획의 병렬화 필요성에 대해 고찰한다.

1. 서론

최근 지능형 로봇의 발달로 인해 로봇의 작업 수행 능력이 증가하고 있는 반면, 청소나 요리와 같은 보다 복잡한 작업의 자동화 또한 요구되는 추세이다. 이런 작업들은 주변 환경을 고려한 로봇의 작업 계획(task planning)과 그에 맞는 로봇의 경로 생성(motion planning)이 필요하다. 작업 및 경로 계획(task and motion planning)이란 두 플래너를 결합한 방법으로서 로봇의 현재 상태에서 목표 상태에 도달하기 위한 연속된 행동과 경로를 생성한다. 로봇의 움직임뿐만 아니라 주변 환경에 물체들의 이동을 연속적으로 고려해야 하기 때문에 작업 및 경로 생성은 고차원의 문제를 해결해야 한다 [1].

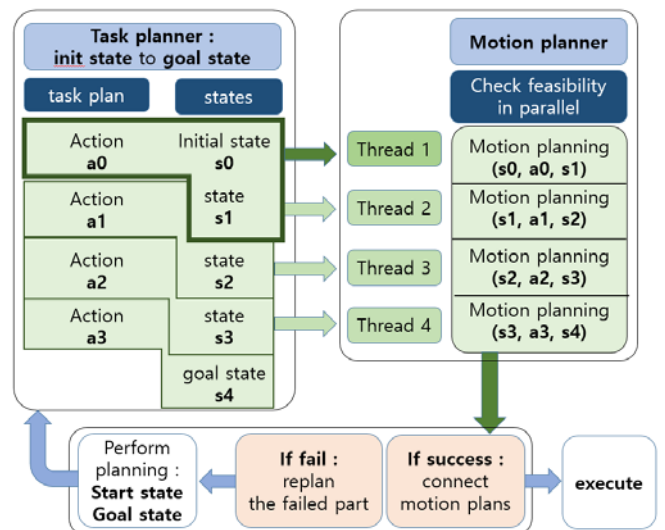
작업 및 경로 생성의 고차원 문제를 효과적으로 해결하기 위한 여러 연구들이 진행되었다 [1][2]. 하지만, 작업 및 경로 생성 문제는 작업의 수가 증가함에 따라 탐색 공간이 늘어나며, 이에 따라 각 작업 계획에 대한 경로 생성 문제의 수도 많아져 여러 작업을 수행해야 하는 복잡한 문제일수록 시간의 소모가 증가하는 문제를 가진다. 또한, 주변 환경이 복잡해질수록 경로 계획 시간이 증가한다.

본 논문에서는 기존 작업 및 경로 생성의 계획 시간 문제에 대한 병렬화 필요성을 고찰한다. 작업 경로 생성 문제 중 경로 생성이 시간 소모의 대부분의 비중을 차지하는 것에서 착안하여, 계획 시간을 단축하기 위해 기존 알고리즘에서 순차적으로 진행했던 경로 생성을 독립적인 경로 생성 문제로 바꾸고 이를 multi-core thread에 분배하여 병렬적으로 계산하는 방법을 제안한다.

2. 본론

2.1 작업 및 경로 계획

작업 계획은 기하 공간(geometric space)은 고려하지 않고 시작 상태에서 목표 상태까지 추상적 행



[그림 1] 병렬적인 경로 생성 계획을 통한 빠른 작업 및 경로 계획 생성 개요도

동들의 순서를 구하는 문제이다. 그리고 경로 생성은 기하 공간을 고려하여 시작 지점에서 목표 지점까지의 경로를 구한다.

작업 및 경로 계획은 작업 계획의 행동 선택과 경로 생성의 기하 공간상의 경로 생성을 결합한 것이다. 작업 계획의 행동을 수행하기 위해서, 경로 생성은 행동에 의해 부과된 조건을 만족시키는 경로를 구한다. 경로 생성이 성공할 경우 이전 행동의 마지막 상태를 시작 상태로 가지는 다음 행동에 대한 경로 생성을 진행하고, 경로 생성이 실패할 경우 실패 원인을 고려하여 다른 작업 계획을 찾는다.

기존의 작업 및 경로 계획 연구는 위와 같이 행동의 순서에 따라 경로 생성을 순차적으로 수행하였다. 하지만 순차적으로 경로 생성을 수행할 경우 행동의 수가 증가함에 따라 탐색 공간이 늘어나고 각 작업 계획에 대한 경로 생성의 수도 많아져 시간 소모가 증가하게 된다 [표 1]. 따라서 이 시간 소모를 줄이

기 위해 순차적으로 진행하였던 행동의 경로 생성을 병렬적으로 처리하는 것이 필요하다.

2.2 작업 및 경로 생성의 병렬화

경로 생성 문제들을 Multi-core CPU의 thread에 분배하여, 작업 및 경로 계획 문제를 병렬적으로 빠르게 해결하고자 한다. 여러 경로 생성 문제들을 병렬적으로 처리하기 위해서는 각 행동에 대한 경로 생성 문제를 독립적으로 구축할 수 있어야 한다. 즉 k 개의 행동이 있을 경우 k 개의 독립된 경로 생성 문제가 구축되어야 한다.

그림 1은 제안된 방법의 전체적인 개요를 나타낸다. 기존 작업 및 경로 계획에서 행동에 대한 경로 생성을 수행할 경우, 행동의 목표 상태에 해당하는 주변 환경의 상태와 로봇의 상태를 샘플링을 통해 얻어내고, 경로 생성은 이를 수행하기 위한 경로를 생성한다. 만약 경로 생성이 성공할 경우 목표 상태는 다음 행동의 시작 상태가 된다. 본 논문에서는 모든 행동들에 대해 독립된 경로 생성 문제를 구축하기 위해, 모든 행동의 시작 지점과 목표 지점을 샘플링을 통해 설정한다. 첫 행동을 제외한 행동들의 시작 시점은 이전 행동의 목표 지점이 된다. 행동들이 시작 지점과 목표지점을 각각 가지고 있으므로 각각의 행동에 대해 독립적인 경로 생성 문제를 구축할 수 있다. 이렇게 구축된 독립적인 경로 생성 문제들을 Thread에 분배하여 병렬적으로 계산한다. 만약 경로 생성에 실패할 경우 실패한 작업 계획에 대한 대안을 구하고 위 과정을 반복한다.

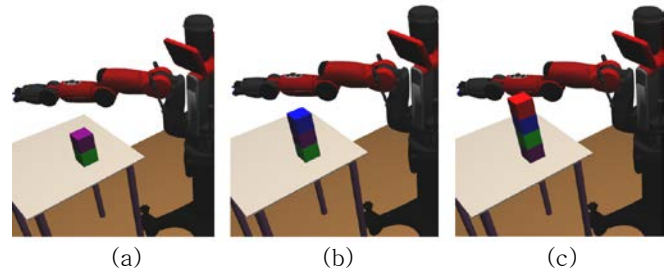
2.3 실험

본 논문에서는 물체의 개수를 다르게 하여 쌓여진 물체를 다른 배열로 쌓는 실험을 하였다 [그림 2]. 실험 환경은 TMKIT[3] 시뮬레이터에서 7 자유도의 Baxter 로봇 팔을 사용하였다. 작업 및 경로 계획 알고리즘은 IDTMP[1]로 실험하였고, 모션 플래너는 RRT-Connect를 통해 경로를 계획하였다.

[표 1] 그림 2의 실험 결과. Motion ratio는 전체 계획 시간에서 경로 계획이 차지하는 비율

	Task time (s)	Motion time (s)	Motion ratio
실험 (a)	0.190	4.22	95.7 %
실험 (b)	1.664	161.76	99.0 %
실험 (c)	13.197	401.25	96.8 %

표 1은 그림 2의 (a), (b), (c) 문제를 5번씩 실험하여 작업 계획과 경로 생성의 시간의 평균을 나타낸 결과이다. 물체가 많은 실험일수록 행동의 개수가 많고 복잡해진다. 모든 실험에서 경로 생성에 걸리는 시간이 전체 계획 시간의 95% 이상 차지하였다. 이는 작업 및 경로 계획을 가속화하기 위해서는 경로 생성의 시간을 줄여야 한다는 것을 보여준다. 기존 순차적인 경로 생성에서 행동의 개수가 증가하면서 탐색 공간이 증가하여 경로 생성의 소비 시간도



[그림 2] 각각 물체 2개, 물체 3개, 물체 4개의 쌓여진 물체를 다른 배열로 쌓는 실험

증가한다. 각 행동에 대한 경로 생성 문제를 독립적으로 구축하고 이를 병렬적으로 처리하면 순차적인 경로 생성에서 행동의 수가 증가하기 때문에 발생하는 시간 증가 문제를 해결할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 작업 및 경로 계획에서 각 작업에 대한 경로 생성을 빠르게 하기 위해 병렬적으로 경로 생성을 하는 방법을 제안하였다. 기존 순차적으로 계산되던 경로 생성 문제를 독립적인 여러 개의 경로 생성 문제로 만들어 이를 병렬화해서 해결한다. 실험을 통해 작업 및 경로 계획 문제에서 경로 계획이 전체의 95% 이상을 차지하는 것을 확인하였고, 제안된 병렬화 방법을 통해 소모 시간을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

추후 병렬화의 장점을 이용해 하나의 작업 계획이 아닌 여러 후보 작업 계획에 대한 경로 생성을 하여 여러 경우의 수를 확인하고, 이때 메모리와 계산 효율, 그리고 생성된 경로의 재사용을 고려한 작업 및 경로 계획 알고리즘 연구로 발전시킬 것이다.

후기

이 논문은 한국연구재단-차세대정보·컴퓨팅기술개발사업(No. NRF-2017M3C4A7066317)과 SW컴퓨팅산업원천기술개발사업(SW스타랩, IITP-2015-0-00199)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

[1] Dantam, N. T., Kingston, Z. K., Chaudhuri, S., & Kavraki, L. E., "Incremental Task and Motion Planning: A Constraint-Based Approach", In: Robotics: Science and Systems. pp. 1-6, 2016.

[2] Srivastava, S., Fang, E., Riano, L., Chitnis, R., Russell, S., & Abbeel, "Combined task and motion planning through an extensible planner-independent interface layer", In: Robotics and Automation (ICRA), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, pp. 639-646, 2014

[3] DANTAM, Neil T.; CHAUDHURI, Swarat; KAVRAKI, Lydia E., "The Task Motion Kit", Robotics and Automation Magazine, 2018