3D 공간 모델을 활용한 로봇 기반 정리 자동화

강민철[0], 윤성의
한국과학기술원 전산학부
mincheul.kang@kaist.ac.kr, sungeui@kaist.edu

Automated task planning using object arrangement optimization

Mincheul Kang[0], Sung-eui Yoon
School of computing, KAIST

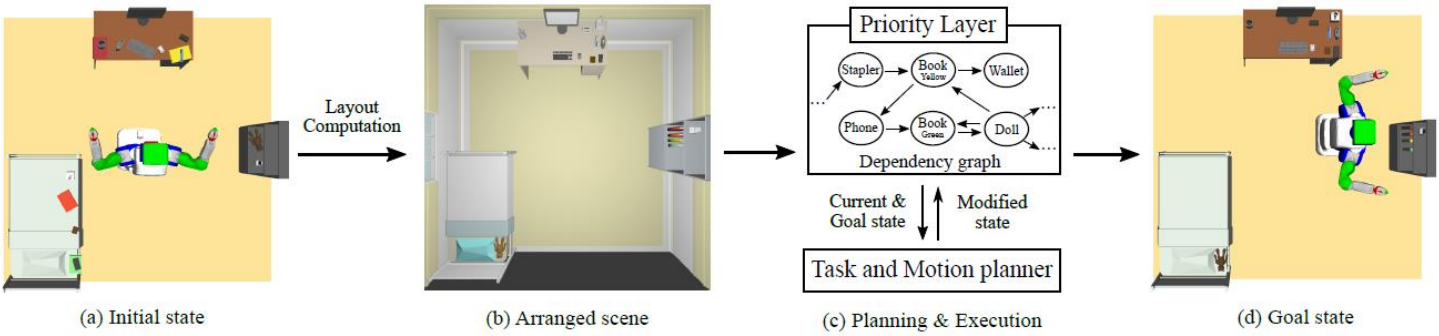

그림 1: 전체적인 시스템 흐름 ([4]의 Fig. 3에서 발췌)

요약

본 논문은 로봇이 자동으로 정돈되지 않은 물체를 정리하는 방법을 제안한다. 물체 정리 자동화를 위해서는 어지럽혀진 물체들을 정돈할 위치를 스스로 결정해야 하며, 각 물체들을 치우기 위해 취할 행동에 대해서도 계획해야 한다. 본 연구팀은 사용자의 선호를 고려하기 위하여, 사용자로부터 입력 받은 정리 예시(positive examples)에서 물체 간의 관계 정보를 추출하고, 이와 인간공학적인 특성을 고려하여 각 물체를 정돈할 위치를 최적화 시킨다. 또한, 물체를 효율적으로 정리하기 위해서 최적화 과정에서 사용된 정보를 이용하여 dependency graph를 구축하고 topological sort를 통해서 물체 정리 문제를 해결한다. 해당 방법으로 다양한 환경에서 로봇이 물체를 정리하는 것을 보이기 위하여 거실, 침실, 부엌에서 정리된 scene을 만드는 것을 보였다. 또한, 물체의 개수를 다르게 하여 기존의 작업 경로 생성 기술에 적용하여 비교한 결과, 제안한 방법은 최적의 행동을 취함에 따라 최대 2.15배 실행 시간을 줄였다.

* 구두 발표논문
* 본 논문은 요약논문 (Extended Abstract) 으로서, 본 논문의 원본 논문은 Ubiquitous Robots 2018에 게재 되었음 [4].
* 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 SW 컴퓨팅산업원천기술개발사업(SW스타랩)의 연구결과로 수행되었음. (IITP-2015-0-00199)

1. 서론

로봇이 물체를 정리하도록 하기 위해 사용자는 로봇에게 구체적인 목표나 계획을 제공해야 하는데, 이는 사용자에게 매우 불편한 일이다. 게다가, 많은 수의 개체로 구성된 복잡한 경우일수록 물체를 정리하는 것은 어려운 문제이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해, 본 연구팀은 로봇이 단순한 명령에도 자동으로 목표(정돈된 배치)를 생성하고 효율적으로 물체를 정리하도록 하는 방법을 제안한다.

본 논문에서는 로봇이 물체를 정리하는 것을 자동화하기 위하여 목표 배치를 만드는 과정과 효율적으로 연속된 행동을 계획하는 크게 두 가지 과정을 거친다 (그림 1). 목표 배치를 만드는 과정은 사용자의 선호도를 고려하기 위하여, 사용자가 물체를 배치하는 형태를 3D 공간 모델에 옮긴 정리 예시에서 관계 정보를 추출하여 어지럽혀진 물체를 정리할 위치를 최적화 시킨다. 그리고 다수의 물체를 효율적으로 정리하기 위해 dependency graph를 구축하고 topological sort를 통해 정리할 대상 물체를 결정하고, task and motion planning을 통해 로봇의 행동과 움직임을 계획한다.

2. 물체 정리 최적화

우리는 사용자의 선호도를 고려하면서 물체들을 정리하기 위하여, 사용자의 정리 예시에서 추출한 데이터를 기반으로 어지럽힌 물체들을 정리할 위치를 계산한다.

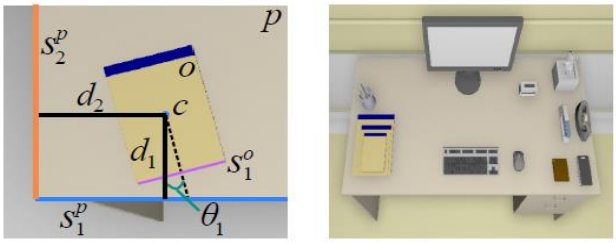

그림 2: 계층적-공간적 관계(좌)와 정리된 상태(우)
([4]의 Fig. 4에서 발췌)

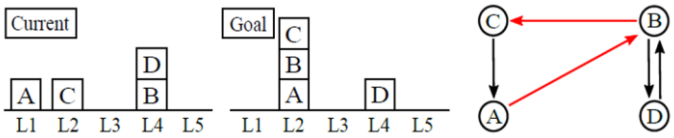

그림 3: 간단한 예제(좌)와 이에 대한 dependency graph(우)
([4]의 Fig. 6에서 발췌)

물체들은 가구 혹은 다른 물체 위에 놓이면서 계층적인 관계를 이룬다. 제안하는 방법은 이러한 물체들의 계층적인 관계와 함께 공간적인 위치 관계도 추출한다. 그림 2를 보면, 공책과 책상 사이의 가장 가까운 모서리까지 거리(d1)와 각도(Θ1)를 추출하게 된다. 또한, 가장 가까운 모서리에 접하는 모서리 중에서 가까운 다른 모서리까지의 거리(d2)를 추가적으로 추출한다. 제안하는 기술은 이와 같은 정보들을 이용하여 물체들이 정리되어야 할 위치를 최적화 시킨다.

본 기술은 가상으로 물체를 임의의 위치로 이동 또는 회전시키면서 최적의 정돈된 위치를 계산한다. 물체의 위치에 따라 정돈 예시에서 얻은 정보 사이의 차이를 줄여나가고, 물체가 잡을 수 있는 공간과 모니터와 같이 앞이 보이는 물체에 장애물이 놓이지 않도록 cost 형태로 표현하여 최적화 작업을 수행한다[4]. 본 연구팀은 cost를 빠르게 최소화하기 위하여 very fast simulated annealing(VFSR)[3] 을 이용한다.

3. 로봇의 행동 계획

어지럽혀져 있는 다수의 물체들을 최적화된 위치로 효율적으로 옮기기 위해서 본 연구팀은 dependency graph와 topological sort를 통해 행동의 계획한다. 물체 정리 시 고려할 행동의 제약을 dependency graph로 구축하고 topological sort를 통해서 우선 정리할 물체를 선정한다. Dependency graph는 정리할 물체로 이루어진 node와, 물체를 정리하는 경로에서 방해가 되는 공간적, 계층적 제약으로 구성된 edge로 이루어진다. Edge(장애물->대상)는 물체를 목표 지점에 옮길 때, 방해가 되는 물체가 대상이 되는 물체를 가리킨다. 예를 들어 그림 3에서 물체 A를 목표지점에 놓기 위해서는 C를 먼저 놓아야 하며, 목표지점에서 가장 밑에 있는 물체부터 놓아야한다. 복잡한 경우에는 교착 상태인 circular dependency가 발생할 수 있다. 하지만, 본 연구팀은 목표 배치에서 확인할 수 있는 선행 관계(그림 3의 빨간색 edge)를 고려하여 물체를 다른 곳으로 옮김으로써 문제를 해결한다. 빨간색 edge는 목표 상태의 계층적인 관계를 고려한 것으로 물리적으로 해결할 수 없는 것이기에 물체 C를 다른 곳으로 옮겨 circular dependency를 해결한다. 일반적인 경우에서는 로봇과 가까이에 있는 장애물을 옮겨 edge를 제거한다.

그림 4: 침실(좌), 부엌(중앙), 거실(우)에서의 정리된 상태
([4]의 Fig. 7에서 발췌)

4. 결론

본 논문에서는 그래픽 모델을 이용하여 로봇이 물체를 자동으로 정리하는 시스템을 소개하였다. 물체를 정리하기 위해, 두 가지의 과정을 진행을 하였다. 먼저, 3D 모델로 만든 5개의 정리 예시를 통해 물체들을 정리할 위치를 최적화하였다. 그림 4는 3 가지 scene에서 실험한 결과를 보여준다. 이렇게 생성된 scene과 같이 물체를 효율적으로 정리하기 위해, dependency graph와 topological sort를 통해 로봇이 행동해야 할 일의 순서와 움직임에 대해 계획하고 실행하였다. 로봇이 물체 정리하는 예시를 보이기 위해 PR2 로봇을 이용하여 실험하였다. 표 1은 물체의 개수를 변화하며 실험한 결과를 보여준다. 기존의 플래너인 HPN[1]과 CTMP[2]에 본 연구팀의 priority layer(PL)를 적용한 결과, 행동의 수의 감소로 수행 시간이 확연히 감소하였다.

표 1: 실험 결과(수행 시간 및 행동 수)
([4]의 TABLE I에서 발췌)

		HPN [1]	HPN[1] + PL	CTMP [2]	CTMP[2] + PL
10	시간 [s]	391	**301**	380	**315**
	행동 수	51	**44**	50	**44**
20	시간 [s]	971	**693**	966	**652**
	행동 수	116	**88**	119	**88**
30	시간 [s]	1952	**907**	1678	**921**
	행동 수	214	**132**	216	**132**

참고문헌

[1] Kaelbling, Leslie Pack, and Tomás Lozano-Pérez. Hierarchical task and motion planning in the now. Robotics and Automation (ICRA), pp. 1470-1477, IEEE, 2011.

[2] Srivastava et al. Combined task and motion planning through an extensible planner-independent interface layer, Robotics and Automation (ICRA), pp. 254-258, IEEE, 2014.

[3] Ingber, Lester. Very fast simulated re-annealing, Mathematical and computer modeling, pp. 967-973, 1989.

[4] Mincheul Kang, Youngsun Kwon and Sung-Eui Yoon, Automated task planning using object arrangement optimization, Ubiquitous Robots(UR), IEEE, 2018.