

식기 수거 로봇을 위한 Contact-GraspNet 기반의 안정적인 식기류 파지 정보 생성 방법

A Stable Dishware Grasp Synthesis Method

based on Contact-GraspNet for Table Bussing Robots

박지은¹ · 이정호² · 김동환³

Ji Eun Park¹, Jeong Ho Lee², Dong Hwan Kim³

Abstract: In this paper, we propose a stable dishware grasp synthesis method for table bussing robots. In order to generate safe grasp candidates that do not collide with other dishware on the table. We first employ Contact-GraspNet using 3D point cloud data, which is one of effective grasp selection methods. The grasp candidates are then filtered and refined to obtain the final grasp information, which helps the robot gripper lift the dishes straight up without spilling any leftover food. In addition, it is implemented and verified in a simulation environment using Isaac Sim, and can be easily considered in the design stage of table bussing robots.

Keywords: Dishware Grasp Synthesis, Table Bussing Robot, Grasp Filtering, Grasp Refinement, Isaac Sim

1. 서론

사람을 대신해 로봇이 음식을 나르는 서빙 로봇은 2019 년 국내에 처음 도입되었고, 2023 년에는 1 만대 이상의 시장이 될 것으로 예상되고 있다 [1]. 그러나 손님들이 식사를 마친 후 식기를 수거하는 작업은 여전히 사람의 수작업으로 진행되고 있으며, 이를 위하여 업종에 따라 다양한 식기류를 사용하는 여러 음식점 환경에서 잔반을 흘리지 않고 깨끗하게 식기를 수거하고 테이블을 정리하는 작업을 수행할 수 있는 서비스 로봇 기술에 대한 연구가 많은 관심을 받고 있다.

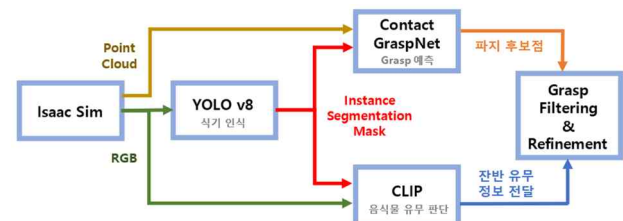
이러한 트렌드를 반영하여 본 논문에서는 식기 수거 로봇을 위한 안정적인 식기류 파지 정보 생성 방법을 제안한다. RGB-D 센서 기반의 실제 3차원 형상 정보를 이용하는 Contact-GraspNet [2]을 이용하여 테이블 위의 다른 식기류에 부딪히지 않는 안전한 파지 후보 집합을 생성하고, 이러한 파지 후보 집합에 대한 필터링 및 refinement 를 통하여 로봇 그리퍼가 식기류에 남은 잔반을 흘리지 않고 식기류를 똑바로 들어올려 수거할 수 있도록 안정적인 파지 정보를 생성한다. 또한, 이를 Isaac Sim [3]을 이용한 시뮬레이션 환경에서 구현하여 검증함으로써, 식기 수거 로봇의 설계 단계에 반영될 수 있도록 하였다.

2. 관련 연구

로봇 그리퍼가 물체를 안정적으로 파지하기 위한 파지정보의 생성은 로봇 조작에서 중요한 문제이다. 최근에는 딥러닝을 이용한 데이터 기반의 학습 방법으로 이러한 문제를 다루고 있는데, 그 중 6-DOF GraspNet [4]은 알려지지 않은 물체에 대해 안정적인 파지정보를 생성하기 위하여 grasp 를 샘플링하고 평가 및 개선하는 두 개의 네트워크 아키텍처를 도입하였다. Contact-GraspNet [2]은 이를 개선하여 장면 전체의 point cloud 와 목표 물체의 로컬 영역을 직접 처리함으로써, 물체의 정확한 마스크 정보에 의존하지 않도록 구성되어 있다.

하지만 이 네트워크들의 결과는 옆에서 비스듬히 잡는 side grasp 들을 다수 포함하고 있어, 식기류에 남은 잔반이 쏟아질 위험이 있는 식기 수거 로봇에 적용하기 위해서는 이를 보완하는 알고리즘의 개발이 필요하다.

3. 제안하는 알고리즘



[Fig. 1] The Architecture of Dishware Grasping Information Generation

※ This work was supported by the Technology Innovation Program and Industrial Strategic Technology Development Program (20018256, Development of service robot technologies for cleaning a table).

1. Researcher, KIST, Seoul, Korea and Undergraduate Student, Sungshin Women's University, Seoul, Korea (20200857@sungshin.ac.kr)
2. Researcher, KIST, Seoul, Korea (kape67@kist.re.kr)
3. Corresponding Author, Principal Researcher, KIST, Seoul, Korea (gregorykim@kist.re.kr)

제안하는 식기 수거 로봇을 위한 파지 정보 생성 방법의 전체적인 구성은 Fig. 1 과 같다. 먼저 YOLO v8 [5] 모델을 활용하여 식기의 Instance Segmentation 정보를 얻어 Contact-GraspNet 모듈에 전달한다. Contact-GraspNet 모듈에서는 장면 전체의 point cloud 정보를 이용하여 다른 그릇들과 부딪히지 않게 잡을 수 있는 파지 후보 집합을 생성한다. 파지 정보는 물체의 contact point 를 기반으로 그리퍼의 접근 벡터와 baseline 벡터값으로 표현되는데, 생성된 파지 후보 집합에는 식기를 옆에서 비스듬히 잡는 grasp 들이 포함되어 있기 때문에, 안정적인 파지 정보를 생성하기 위해서는 그리퍼의 접근 벡터가 중력 방향으로 식기에 접근하여 식기류에 남은 잔반을 흘리지 않고 똑바로 들어올려 수거할 수 있도록 파지 후보 집합에 대한 필터링 및 refinement 과정이 필요하다.

Grasp filtering 및 refinement 모듈에서는 먼저, 식기의 한쪽 면을 비스듬히 잡는 grasp 를 제거하기 위하여, 인식된 식기의 mask 데이터를 grid map 로 표현하고 mask 내부에 그리퍼의 다른 한 쪽의 contact point 가 생성되는 데이터를 필터링하여 제거한다. 이 중에서 baseline 벡터와 contact point 에서 물체의 중심 방향으로 향하는 벡터와의 유사도를 계산하여 유사도가 높은 점들을 선택한다. 이후, baseline 벡터를 테이블 평면과 평행하게 보정하고, 접근 벡터를 중력방향과 일치시킴으로써 최종 grasp 정보를 생성한다.

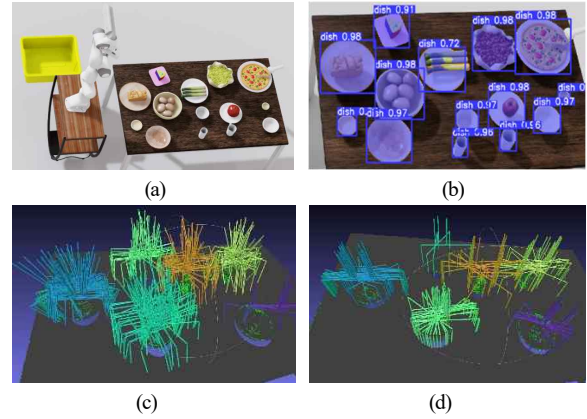
또한, 식기 위에 음식물이 존재하는지 여부를 판단하기 위해 CLIP [6] 모델을 활용한다. 텍스트 프롬프트로 “a photo of a plate without something”와 “a photo of a plate containing food”를 사용하고, 접시의 RGB 데이터를 입력 값으로 넣어 식기 위의 음식물 존재 여부를 추론하였다.

4. 실험 결과

본 논문에서는 제안하는 식기류 파지 생성 방법에 대한 실험 및 검증은 위하여 Isaac Sim 을 활용하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다. Isaac Sim 은 로봇을 효율적으로 훈련하고 검증하기 위해 다양한 환경과 상호작용을 제공하여, 현실에서 구현이 어려운 환경을 효과적으로 구축할 수 있는 장점을 가진다.

Isaac Sim 환경은 Fig. 2(a)와 같이 식기류와 음식물 데이터, 테이블, Franka 로봇과 그리퍼로 구성하였다. 시뮬레이션 환경의 로봇 비전센서에서 취득된 RGB 와 Depth 데이터는 ROS 를 통하여 YOLO v8 모델에 전달되며 인식된 결과를 Fig. 2(b)에 도시하였다. Fig. 2(c)는 Contact GraspNet 에서 생성된 파지 후보 집합을 보여주며, grasp filtering 및 refinement 과정을 거친 최종 grasp 정보를 Fig. 2(d)에 도시하였다. Fig. 2(d)에서와 같이 그리퍼의 접근

벡터가 중력방향과 일치하게 되어, 식기류에 남은 잔반이 쏟아지지 않도록 위쪽 방향에서 식기를 똑바로 들어올려 수거할 수 있는 grasp 정보가 생성되었음을 확인할 수 있다.



[Fig. 2] (a) Isaac Sim environment, (b) YOLO v8 instance segmentation, (c) Grasp candidates, (d) Grasp filtering and refinement.

5. 결론

본 논문에서는 식기 수거 로봇이 다른 식기류와 부딪히지 않고 식기류에 남은 잔반이 쏟아지지 않도록 식기류를 똑바로 들어올려 수거할 수 있는 안정적인 식기류 파지 정보 생성 방법을 제안하였다. 또한, 이를 Isaac Sim 시뮬레이션 환경에서 구현하여 검증함으로써 식기 수거 로봇의 설계 단계에 반영될 수 있도록 하였다

References

- [1] C. H. Kim, “서빙로봇의 미래, 식당의 미래”, 아시아경제 Sep. 15, 2023 [Online], <https://www.asiae.co.kr/article/2023091422121363187>
- [2] M. Sundermeyer, A. Mousavian, R. Triebel, D. Fox, “Contact-GraspNet: Efficient 6-DoF Grasp Generation in Cluttered Scenes”, ICRA, 2021, (pp. 13438-13444)
- [3] NVIDIA, Isaac Sim, [Online], <https://developer.nvidia.com/isaac-sim>
- [4] A. Mousavian, C. Eppner, and D. Fox, “6-dof graspnet: Variational grasp generation for object manipulation,” ICCV, 2019, pp. 2901–2910.
- [5] YOLOv8, <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- [6] A. Radford, J. W. Kim, C. Hallacy, A. Ramesh, G. Goh, A. Askell, P. Mishkin, J. Clark, G. Krueger, and I. Sutskever, “Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision”, PMLR, 2021.