딥러닝 기반 파지자세 추정 알고리즘을 이용한 손잡이 파지자세 검출

Detection of Handle Grasping Pose Using a Deep Learning-Based Grasping Pose Estimation Algorithm

이승헌[1*] · 이태겸[1*] · 사공의훈[2] · 최정현[2] · 장원보[3] · 이준영[3] · 김무림[3] · 황면중[†]

Seungheon Lee[1*], Taegyeom Lee[1*], Ui Hun Sagong[2], Jung Hyun Choi[2]
Won Bo Jang[3], Junyoung Lee[3], Murim Kim[3], Myun Joong Hwang[†]

Abstract: This paper describes a method to identify the optimal grasping posture for robotic door-opening tasks, utilizing a deep learning-based grasping pose estimation algorithm. While traditional robotic grasping methods face challenges in complex environments, our study focuses on selecting grip pose candidates that facilitate easy rotation of door handles. Applying this grasping pose estimation algorithm, we identify grasping postures that effectively mimic human interaction with door handles. Through experiments with the RGB-D camera and YOLOv7 model, we have verified that these grasping postures enhance efficiency and practicality in door handle manipulation.

Keywords: Grasping Handle, Deep Learning, Pose Estimation, RGB-D

1. 서 론

로봇이 문 손잡이나 밸브를 다루는 작업에 있어서 먼저 손잡이를 인식 후 파지해야 하고, 이후 파지한 손잡이를 돌리는 작업을 수행할 수 있어야 한다. 따라서 손잡이의 파지 위치를 결정할 때 로봇이 돌리기 좋은 위치를 반영하는 것이 유리하다.

본 논문은 RGB-D 데이터를 사용하여 손잡이를 돌리기 쉬운 방향의 손잡이 파지 자세를 검출하는 알고리즘을 제시하고자 한다. 본 논문에서는 기존 연구 [1]에서 제시한 딥러닝 기반 물체 파지 자세 추정법을 기본으로 한다. [1]의 경우 단순히 물체를 파지하는 데에 최적화된 파지 자세를 추정하기 때문에, 손잡이 형상을 고려하여 각각의 파지 자세 후보에 가중치를 부여하는 방식으로 성능을 개선하고 실험을 통해 이를 검증하고자 한다.

※ This work was supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea) under the Industrial Technology Innovation Program. Grant No. 20026194, "Development of Human-Life Detection and Fire-Suppression Solutions based on Quadruped Robots for Firefighting and Demonstration of Firefighting Robots and Sensors".

* S. Lee and T. Lee equally contributed to this work.
1. Undergraduate Student, Department of Mechanical and Information Engineering, Univ. of Seoul, Seoul, Korea (harold10@uos.ac.kr; qrwise0906@uos.ac.kr)
2. Graduate Student, Department of Mechanical and Information Engineering, Univ. of Seoul, Seoul, Korea (yh04129@uos.ac.kr; cjh8919@uos.ac.kr)
3. Korea Institute of Robotics and Technology Convergence (KIRO), Pohang, Korea(onestep@kiro.re.kr; junyoung@kiro.re.kr; mulimkim@kiro.re.kr)
† Associate Professor, Corresponding author: Mechanical and information Engineering, University of Seoul, Seoul, Korea (mjhwang@uos.ac.kr)

2. 최적의 손잡이 파지 자세 검출 알고리즘

최적의 손잡이 파지 자세 검출을 위해 파지 자세의 Orientation과 Position에 대한 조건을 설정하였다. 우선 파지 Orientation의 경우, 문고리가 부착된 벽의 법선 벡터 방향을 갖도록 하였다. 파지 자세의 Position의 경우, 원형 문고리에서는 손잡이의 정중앙, 일자형 문고리의 경우 손잡이의 길이 방향에 치우쳐지도록 하였다. [1]의 기존 방법은 포인트 클라우드를 입력 받았을 때 물체에 대해 다양한 파지 자세가 도출되는데, 본 연구에서는 형상을 고려하여 추가한 Orientation과 Position에 대한 조건을 만족하는 최적의 손잡이 파지 자세를 검출하기 위해 알고리즘을 수정하였다.

Orientation 조건을 만족하기 위해서는 우선 Random Sample Consensus(RANSAC) 알고리즘을 통해 전체 포인트 클라우드에서 문고리가 부착된 벽의 평면을 검출하고, 이 평면의 법선 벡터($\vec{r}$)를 구한다. Orientation 조건을 만족하는 파지 자세 집합을 구하기 위해 식 (1)을 사용

한다. 다양한 파지 자세(V) 중 파지 자세의 z축($\vec{v_i}$)과 $\vec{r}$ 간의 각도가 15도 이하가 되는 조건을 만족시키는 $\vec{v_i}$만을 파지 자세 집합(V')으로 정의한다.

$$V' = \{\vec{v_i} \in V \mid \cos^{-1}\left(\frac{\vec{v_i}\cdot\vec{r}}{\|\vec{v_i}\|\|\vec{r}\|}\right) \leq 15°\} \quad (1)$$

Position 조건을 위해서는 우선 전체 포인트 클라우드에서 RANSAC 알고리즘을 통해 검출한 벽의 평면을 제거한다. 다음 Clustering을 통해 노이즈를 제거하여 문고리를 추출한다. 이후 RANSAC 알고리즘으로 손잡이를 추출하여, 포인트 클라우드의 평균을 구해 Position의 기준이 될 손잡이의 중심점을 추출한다. 마지막으로 Orientation 조건을 만족하는 파지 자세들 중에서 중심점과의 거리가 가장 가까운 파지 자세를 최종 손잡이 파지 자세로 선정한다.

3. 실 험

본 실험은 Intel사의 RealSense D435i 카메라로 얻은 RGB-D 데이터를 사용하였으며, 카메라는 손잡이를 정중앙에서 마주보는 상태로 실험을 진행하였다. 실험 결과의 정확도를 향상시키기 위해 YOLOv7 모델을 사용하여 인식한 손잡이의 바운딩 박스에 해당하는 포인트 클라우드를 실험에 사용하였다.

실험에서는 본 논문에서 제시한 최적의 손잡이 파지 자세 검출 방식을 적용했을 때와 적용하지 않았을 때를 비교하였다. 비교 요소는 파지 자세의 Orientation과 Position이다. Orientation의 경우 문고리가 부착된 벽의 법선 벡터와의 각도(θ), Position의 경우 손잡이 중점과의 거리 (L)를 비교하여 성능을 확인한다.

실험 결과, [Fig. 1]의 원형 손잡이에서는 제시한 방식을 적용하지 않았을 때와 대비해 [Table 1]과 같이 벽면의 법선 벡터 기준으로 28.97° 덜 기울어진 파지 자세를 도출하는 결과를 보였고, [Fig. 2]의 일자형 밸브에서는 [Table 2]와 같이 71.29° 덜 기울어지며 손잡이의 중심점과 떨어진 거리가 0.034m 만큼 줄어들었음을 확인했다. 이로써 손잡이를 돌리기에 더 유리한 파지위치를 도출할 수 있음을 검증했다.

4. 결 론

본 논문에서는 로봇의 문 열기 작업에 적합한 파지 자세를 검출하는 방법에 대해 제시하였다. 또한 원형 문 손잡이와 일자형 밸브에 대해 실험한 결과로 최적의

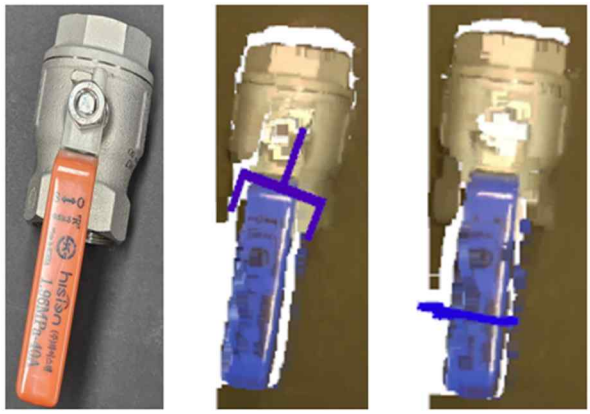


(a) Circular handle (b) Original algorithm (c) Proposed algorithm

[Fig. 1] Results of circular handle experiment

[Table 1] Results of circular handle experiment

	Original Algorithm	Proposed Algorithm
θ(°)	34.75	5.78
L(m)	0.012	0.014



(a) Stright valve (b) Original algorithm (c) Proposed algorithm

[Fig. 2] Results of straight valve experiment

[Table 2] Results of straight valve experiment

	Original Algorithm	Proposed Algorithm
θ(°)	74.14	2.85
L(m)	0.045	0.011

손잡이 파지 자세 검출 알고리즘을 사용했을 때 손잡이를 돌리기에 유리한 조건의 파지 자세를 얻었다. 향후 문고리의 포인트 클라우드가 잘 도출되지 않는 경우에 대비해 ToF 카메라를 사용해서 실험할 예정이며 다양한 문고리에 대해 적용이 가능한 알고리즘 개발을 후속 연구로 진행할 것이다.

References

[1] H.-S. Fang, C. Wang, H. Fang, M. Gou, J. Liu, H. Yan, W. Liu, Y. Xie, and C. Lu, “AnyGrasp: Robust and Efficient Grasp Perception in Spatial and Temporal Domains,” *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 39, no. 5, pp.3929-3945, 2023.