

로봇손의 조작을 이용한 Peg-in-Hole 작업

박현준^{1,2}, 김기현^{1,2}, 배지훈², 박재한², 백문홍², 박재홍^{1,3}

¹서울대학교, ²한국생산기술연구원, ³차세대융합기술원

Peg-in-Hole task using robot hand manipulation

Hyeonjun Park^{1,2}, Peter Ki Kim^{1,2}, Ji-Hun Bae²,

Jae-Han Park², Moon-Hong Baeg², Jaeheung Park^{1,3}

¹Seoul National University, ²Korea Institute of Industrial Technology,

³Advanced Institutes of Convergence Technology

e-mail: piony@snu.ac.kr, peterkim@snu.ac.kr, joseph@kitech.re.kr,

hans1024@kitech.re.kr, mhbaeg@kitech.re.kr, park73@snu.ac.kr

요 약

인간형 로봇손을 이용하여 물체의 모양 및 크기에 대한 정보가 알려지지 않은 미지의 물체에 대하여 안정적으로 파지하고 손 안에서 물체의 위치 및 방향을 조작할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안한 물체 조작 알고리즘을 이용하여 제어한 실제 로봇핸드를 통해 peg-in-hole 실험을 수행하여 알고리즘의 실효성을 검증하였다.

1. 서론

로봇이 외부 환경 속에서 다양한 임무를 수행하거나 사람의 업무를 대신하기 위해서는 형태가 단순한 집게형태의 손이 아닌 인간의 손과 비슷한 형태를 갖추어 일반적인 도구들의 사용 가능성과 높은 민첩성을 가질 수 있는 손이 필요하다.

이러한 인간형태 손의 용도는 물체를 잡거나 다루는 것으로 나타나는데, 이는 크게 다음과 같은 6가지로 분류될 수 있다. 물체를 잡기위한 움직임, 물체 잡기, 물체 이동, 물체 놓기, 물체를 손안에서 조작, 양손 조작이 그것인데[1], 이러한 손의 목적 중에서도 로봇손이 가장 수행하기 어려운 동작은 손안에서 물체 조작으로, 로봇손을 이용하여 물체를 손안에서 이동하거나 회전시키는 등의 조작을 위해서는 각 손가락 간의 정교한 협조 제어가 필요하다.

본 논문에서는 로봇손을 이용하여 정보가 주어진 특정물체가 아닌 임의의 물체를 잡아 손안에서 이동/회전 조작하는 알고리즘을 제안한다. 또한 이러한 알고리즘을 이용하여 물체간의 조립작업을 대표하는 peg-in-hole 실험을 수행하여 그 실효성을 검증하였다.

2. 물체 조작

로봇 손 안에서 물체를 조작하기 위해서는 물체를 안정하게 파지한 상태를 유지할 수 있어야 하고, 동시에 물체를 이동시키거나 회전시킬 수 있어야 한다. 이러한 기능을 수행하기 위하여 아래와 같은 로봇손 제어기를 제안한다.

$$u_i = u_{gi} + u_{ti} + u_{ri} + G_i \quad (1)$$

식 (1)의 u_i 는 각 손가락의 제어입력으로, u_{gi} , u_{ti} , u_{ri} 는 각각 물체파지, 물체이동, 물체회전에 관한 제어입력을 나타내고, G_i 는 각 손가락의 중력보상이다.

$$u_{gi} = J_i^T f_i$$

$$\text{where, } f_i = k_f \frac{(C_g - p_i)}{\|C_g - p_i\|}, C_g = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 p_i \quad (2)$$

식 (2)는 물체파지에 관한 제어입력으로, J_i 는 각 손가락의 자코비안, f_i 는 파지힘, k_f 는 힘 크기상수, C_g 는 각 손가락의 끝점 위치를 통해 추정된 물체의 가상 중심, p_i 는 손가락의 각 끝점이다. 물체 파지에 관한 자세한 식은 참고문헌[2]에 나타내어져 있다.

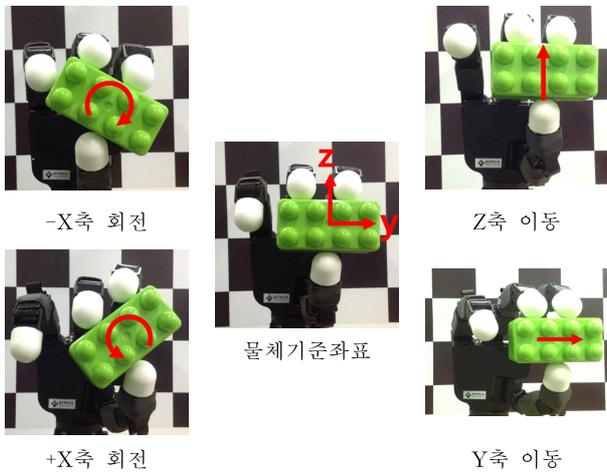
$$u_{ti} = J_i^T k_{ti} (p_{is} + \Delta C_g - p_i) \quad (3)$$

$$u_{ri} = J_i^T k_{ri} (p_{id} - p_i) \quad (4)$$

$$\text{where, } p_{id} = R_\theta (p_{is} - C_g) + C_g$$

식 (3)과 (4)는 각 물체 이동/회전 제어입력으로 k_{ti} , k_{ri} 는 물체 이동/회전 속도상수, p_{is} 와 p_{id} 는 각각 손가락 끝점의 초기위치와 목표위치, ΔC_g 와 R_θ 는 각각 물체 이동량과 물체 회전량을 고려한 목표 회전행렬이다.

위 제어기를 이용한 물체 이동/회전 조작 결과를 그림 1에 나타내었다.



[그림 1] 핸드 안에서의 물체 회전/이동 조작

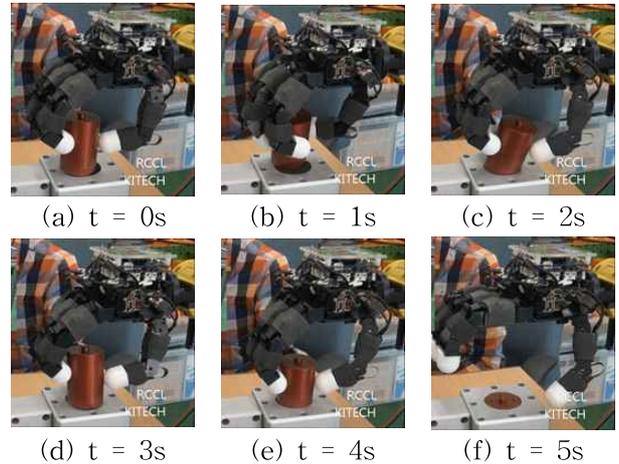
3. Peg-in-hole 실험

로봇손을 이용한 물체 이동/회전 조작 알고리즘의 실효성 검증을 위하여 조립작업을 대표하는 peg-in-hole 작업을 수행하였다. 센서로 정확하게 측정하기 힘든 낮은 조립 공차를 극복하기 위하여 비교적 낮은 스프링상수를 갖는 컴플라이언스 제어를 이용하였다. 홀의 정확한 위치정보를 모르는 상태에서 peg-in-hole을 수행하기 위하여 홀의 위치를 탐색하여 작업하는 “직관적 펙인홀 삽입 전략[3]”을 응용하여 사용하였다.(그림 2)



[그림 2] 로봇손 peg-in-hole 전략

구체적인 실험환경 및 결과는 그림 3에 나타내었다. 로봇손을 이용하여 손안에서 펙의 위치를 조작할 때, 조작 범위는 로봇 손 안으로 한정되기 때문에, 로봇손만으로 peg-in-hole 작업을 수행하기에는 어려움이 있다. 따라서 홀을 바닥에 두고 펙의 힘방향을 중력방향으로 대체함으로써 펙과 홀간의 위치와 방향을 일치할 경우 삽입되도록 환경을 구성하였다. 홀 근처에서 로봇손을 통하여 펙을 양방향으로 회전시키며 홀 근처에서 이동시킨 결과 평균 5.4초에 peg-in-hole 작업을 성공함을 알 수 있었다.



[그림 3] 로봇손 peg-in-hole 실험

4. 결론

본 논문에서는 로봇손을 이용하여 물체 안정적으로 파지한 상태에서 손안에서 이동/회전 조작하는 제어 알고리즘을 개발하고 peg-in-hole 실험을 통해 그 실효성을 검증하였다. 로봇손이 파지하고 있는 물체의 현재 위치와 방향정보를 실제로 알기 어렵기 때문에 알고리즘의 정확성은 검증하지 못하였지만, peg-in-hole 실험을 성공적으로 수행함으로써 그 실효성을 입증하였다. 알고리즘의 정확성은 후에 물체에 마커를 붙여 모션캡처를 이용하는 방법을 통해 검증할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] C. A. Tucker, S. M. Haley, H. M. Dumas, M. A. F.-Pinkham, K. Watson, G. E. Gorton, K. Montpetit, and N. Bilodeau, “Physical function for children and youth with cerebral palsy: Item bank development for computer adaptive testing”, *Journal of pediatric rehabilitation medicine : an interdisciplinary approach* 1(2008), 245-253
- [2] J.-H. Bae, S.-W. Park, D. Kim, M.-H. Baeg, and S.-R. Oh, “A Grasp strategy with geometric centroid of a groped object shape derived from contact spots”, *IEEE International conference on robotics and automation*, pp 3798-3804, 2012
- [3] H. Park, J.-H. Bae, J.-H. Park, M.-H. Baeg, and J. Park, “Intuitive peg-in-hole assembly strategy with a compliant manipulator,” *International Symposium on robotics*. vol. fp1-2, 2013