

# 다자유도 인간형 로봇 손을 이용한 물체의 안정적인 파지를 위한 방법 및 내력 제어

조준희<sup>1,2</sup>, 김성균<sup>1</sup>, 오용환<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국과학기술연구원, <sup>2</sup> 과학기술연합대학원대학교

## Strategy of Stable Grasp and Internal Force Control Using Multi-Fingered Human-like Robotic Hand

Jo JoonHee<sup>1,2</sup>, Kim Sung-Kyun<sup>1</sup>, Oh Yonghwan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Science and Technology, <sup>2</sup>University of Science and Technology

e-mail: {jhjo, kimsk, oyh}@kist.re.kr

### 요 약

본 논문에서는 다자유도 인간형 로봇 손을 이용한 물체의 안정적인 파지를 위한 방법 및 내력 제어 알고리즘에 대해 소개 한다. 기존에 알려진 제어 방식과의 차이를 설명하고 새로 제안한 제어기에 대해 해석 하고, 새 파지 방식을 위한 적절한 제어 입력의 선택에 대해 다룬다.

### 1. 서론

로봇 손의 연구는 주로 산업용 로봇 보다는 서비스 로봇을 위해 설계되어 왔다. 하지만 많은 로봇들의 설계, 해석 및 제어 방법이 산업용 로봇을 기반으로 하여 이루어져 왔기에, 사물 혹은 사람 등의 환경과 접촉이 발생할 수 있는 서비스 로봇에게는 그 방법들이 맞지 않다. 물체를 파지할 때, 산업용 로봇의 경우 외부 요인 등을 고려하지 않고 정확한 위치에 빠른 속도로 작업을 하도록 제어가 이루어지는 반면, 서비스 로봇의 경우 환경에 유연하고 예기치 못한 외란에 강인한 제어 방식이 되어야 안정적인 파지를 할 수 있게 된다. Arimoto 등이 물체에 대한 정확한 정보 없이 물체를 파지하는 방법에 대해 연구를 하였고, 이를 통해 물체-로봇의 정확한 동적 해석 없이도 물체를 파지 할 수 있는 방법들이 다양한 로봇 시스템에서 적용되고 있다.

물체의 파지는 물체에 작용하는 내력을 제어하는 것과 같다. 물체가 단단한 경우 로봇이 충분히 큰 힘을 주는 것으로 물체를 파지한 것처럼 보일 수 있으나, 단단하면서 쉽게 부수지는 물체의 경우 적절한 힘을 줄 수 있게 물체에 작용하는 내력을 제어할 필요가 있다. 따라서, 물체의 동작을 위한 힘과 내력을 위한 힘을 추출하는 방식에 많은 연구가 이루어져 왔고, 그 중 Bonitz [1], Khatib [2] 등이 Pseudo inverse 등을 이용하는 등의 방식으로 접근해 왔다. 하지만 기존 제어 방식의 경우 물체와 로봇이 접촉해 있는 정적인 상황을 가정하여 접근하고, 물체의

질량 중심을 모르는 경우 그의 제어가 용이하지 않으며 같은 평면에 두 손가락이 놓이게 되는 경우 특이점이 생기는 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 동적 상황에서 물체의 안정적인 파지를 위한 내력 설계 및 파지 방법론에 대해 다루고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 제어

##### 2.1.1 파지 방법론

기존 파지 방식의 경우, 물체의 질량 중심점을 물체 기준점으로 하여 그 기준점의 원점을 기준으로 각 손가락까지의 위치 벡터를 이용하여 제어기를 꾸미고 물체를 파지하게 된다. 이 방식은 사용된 제어

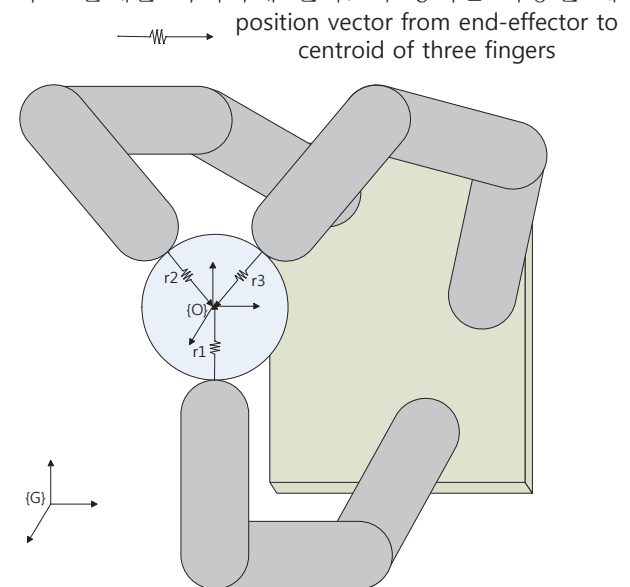


Figure 1.1 기존 파지 방식

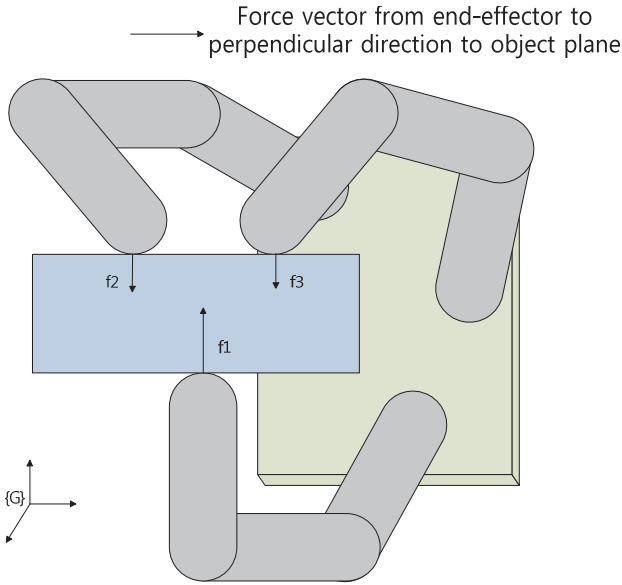


Figure.1.2 새로운 파지 방식

기가 정적 상황 즉, 물체가 안정적으로 파지 된 상황에서의 제어를 가정한다. 이는 동적 상황을 고려하지 않고 있고, 물체의 질량 중심점을 안다는 가정이 꼭 필요하므로, 물체의 정보가 정확히 주어지지 않은 상황에서 움직이는 물체에 있어서는 물체의 평면에 수평 한 방향으로 힘이 작용하여 손가락이 물체를 내적으로 힘이 평행하도록 주지 못하고 움직이는 결과를 가져 올 수 있다. 따라서, 사각 모양의 물체의 경우, Figure 1.2와 같이 물체의 평면에 수직한 방향의 힘을 주는 것이 더 안정하게 물체를 파지를 만들 수 있고, 물체의 기준 좌표계를 물체의 질량 중심점에 두는 것이 아니라, 물체와 항상 접촉하고 있어야 하는 아랫부분의 손가락(엄지) 상에 좌표계를 존재시켜, 동적 상황에서도 물체와 로봇 사이에 항상 일정한 기준 좌표계로 계산이 되도록 하는 것이 바람직하다.

### 2.1.2 내력 제어기

우선 로봇 손과 물체와의 접촉은 마찰이 있는 점 접촉으로 가정한다. 따라서, 각 손가락은 손가락의 z축 방향으로 모멘트를 작용할 수 없다. 따라서, 물체 자코비안  $J_o^T$ 는 다음과 같이 정의 된다.

$$J_o^T = \begin{bmatrix} I_3 & I_3 & I_3 \\ -(r_1) & -(r_2) & -(r_3) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{where } (r) = \begin{bmatrix} 0 & -r_z & r_y \\ r_z & 0 & -r_x \\ -r_y & r_x & 0 \end{bmatrix}$$

그리고 물체에 작용하는 힘  $f_o$ 는,

$$f_o = J_o^T f \quad (2)$$

$$f = f_M + f_I \quad (3)$$

$f$ 는 손가락 끝에 작용하는 힘이고,  $f_M$ 과  $f_I$ 는 각각 동작을 발생시키는 힘과 내력을 발생시키는 힘이다.

$$f_M = J_o^{T\dagger} J_o^T f = P_M f = J_o^{T\dagger} f_o \quad (4)$$

$$f_I = (I - J_o^{T\dagger} J_o^T) f = P_I f^* \quad (5)$$

$$\text{where } J_o^{T\dagger} = J_o (J_o^T J_o)^{-1}$$

$J_o^{T\dagger}$ 는 물체 자코비안의 Moore-Penrose pseudo inverse 이다.

따라서, 물체의 안정적 파지를 위한 내력 제어기는 다음과 같다.

$$f_c = P_I f^* \quad (6)$$

$$f^* = c f \quad (7)$$

$$\text{where } f = [f_{1c} \ f_{2c} \ f_{3c}]^T$$

$f_{1c}, f_{2c}, f_{3c}$ 는 각 손가락에서 발생시키는 힘으로 각 각 물체의 평면에 수직하게 누르는 힘으로 설계된다.

따라서, 설계한  $f^*$ 가 Projection 행렬  $P_I$ 를 통해 내력으로 계산되어 제어 입력으로 사용되고, 로봇이 물체를 안정적으로 파지할 수 있게 된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 사각형 모양의 물체를 안정적으로 파지하기 위해 내력 제어 이론을 이용하여 물체의 파지 이론을 설계하는데 목적이 있다. 큰 틀은 기존의 제어 이론과 비슷하나, 물체를 잡기 위한 제어 입력  $f^*$ 를 결정하는 방식에 그 차이가 있다. 물체와 로봇이 접촉하고 있고 정적인 상황에서의 힘의 추출을 다루고 있는 기존 제어 방식과 달리, 동적인 상황에서도 물체 파지를 위한 내력 추출 및 제어를 설계하였다.

### 참고문헌

- [1] Bonitz, R.G.; Hsia, T.C., "Force decomposition in cooperating manipulators using the theory of metric spaces and generalized inverses," Proceedings on IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1521,1527 vol.2, 8-13 May 1994
- [2] D. Williams and O. Khatib. "The virtual linkage: A model for internal forces in multi-grasp manipulation," In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp 1025-1030, 1993.
- [3] 조준희, 김성균, 오용환, "힘-토크 센서의 되먹임을 이용한 인간형 로봇손 3지의 파지력 제어", 한국로봇종합학술대회, pp. 65-67, 2012.