

컴플라이언스 기반 상체로봇 제어 : 물체 조립 작업

박현준^{1,2}, 김기현^{1,2}, 장가람¹, 신용득¹, 오성남¹, 배지훈^{1†}, 박재한¹, 백문홍¹, 박재홍^{2,3*}

¹한국생산기술연구원, ²서울대학교, ³차세대융합기술원

Compliance-based Control System of Humanoid Upper Body Robot : Objects Assembly Task

Hyeonjun Park^{1,2}, Peter Ki Kim^{1,2}, Ga-Ram Jang¹, Yong-Deuk Shin¹,
Sung-Nam Oh¹, Ji-Hun Bae¹, Jae-Han Park¹, Moon-Hong Baeg¹, Jaeheung Park^{2,3}

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

³Advanced Institutes of Convergence Technology

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

요 약

로봇의 각 조인트에 토크를 입력함으로써 로봇을 제어하는 방법은 로봇의 동역학적 특성을 반영하기가 용이하고 로봇의 TCP(Tool Center Point)를 작업공간(Task space) 상에서 제어하는데 적합하기 때문에 널리 연구되고 있다. 본 논문에서는 이러한 토크 계산 방법(Computed torque method)에 의한 로봇 제어 방식과 컴플라이언스 특성을 이용한 인간형 상체 로봇 제어 시스템을 소개하고자 한다. 또한, 상체 로봇을 통하여 공차가 작은 두 물체의 조립 작업을 수행함으로써 제어 시스템의 성능을 나타내었다.

1. 서론

서비스 로봇이나 재활 로봇과 같이 일상생활 속에서 사람과 함께 공존하는 로봇에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 이러한 로봇은 사람, 환경과의 충돌 안전성을 위해서 컴플라이언스 특성을 갖추는 것이 필수적이다[1].

본 논문에서는 컴플라이언스 특성을 갖는 고자유도 로봇 제어 시스템을 제안한다. 제어 시스템은 본 연구실에서 개발한 50 자유도를 갖는 휴머노이드 상체 로봇(그림 1)을 이용하여, 일상생활에서 흔히 이루어지는 두 물체간의 조립작업을 수행함으로써 그 유효성을 검증하였다.

디자인한 제어 시스템에 대하여 2장에 서술하고, 3장에서 제어 시스템을 이용하여 임의의 위치에 놓인 두 물체를 잡아서 조립하는 실험에 대하여 나타내었다.

2. 상체로봇 제어

본 연구실에서 자체 제작한 50자유도 휴머노이드 상체 로봇은 2개 자유도를 갖는 허리관절과 각각 8개 자유도를 갖는 로봇암, 그리고 16자유도를 갖는 인간형 로봇핸드 한 쌍으로 구성된다. 상체로봇 제어를 위한 시스템은 힘제어 기반의 토크계산법에 기초하였으며 컴플라이언스 특성을 위해 비교적 낮은 계인을 사용하였다. 로봇핸드는 본 연구실에서 제안



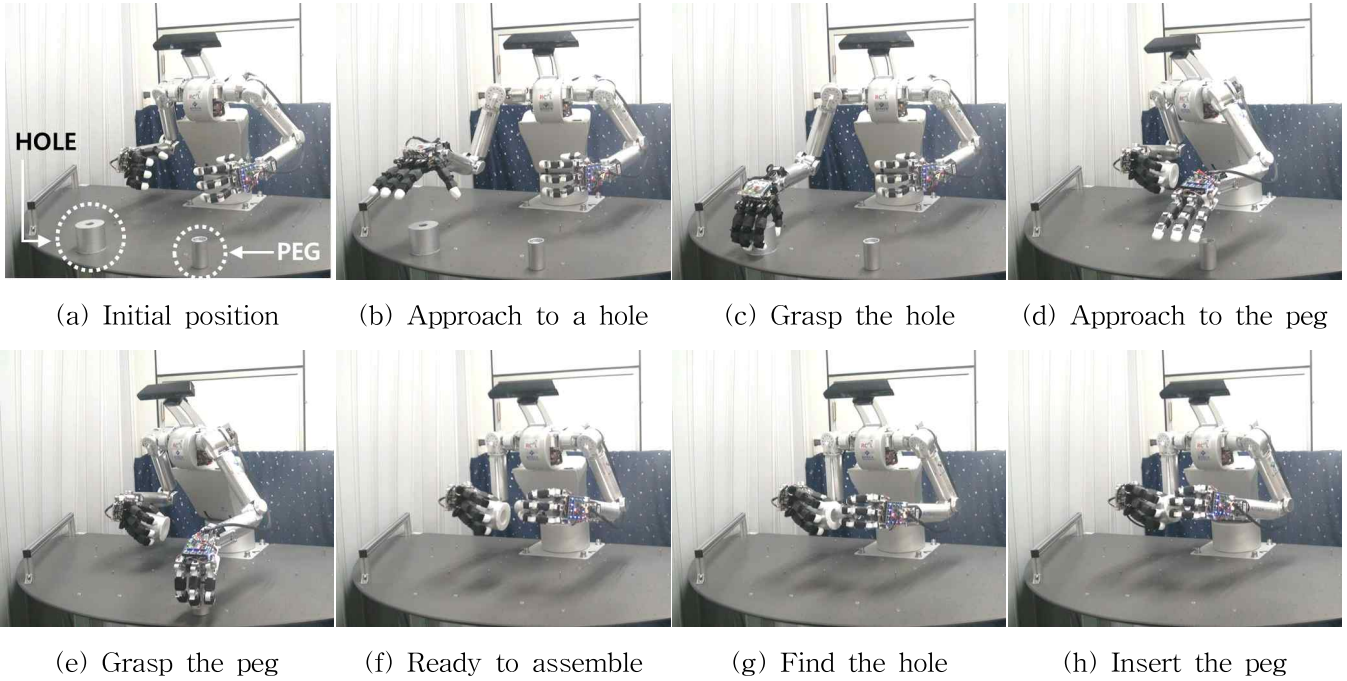
[그림 1] KITECH humanoid upper body robot

한 물체 파지 및 조작 알고리즘을 사용하여 제어하고[2], 허리관절과 양팔 제어는 식 (1)과 같이 통합 시스템으로 제어하였다.

$$\begin{aligned}\tau_{ar} &= \sum_a (J_{ar}^T f_r^* + g_r) \\ \tau_{al} &= \sum_a (J_{al}^T f_l^* + g_l) \\ \tau_w &= \sum_w (J_{ar}^T f_r^* + J_{al}^T f_l^* + g_r + g_l)\end{aligned}\quad (1)$$

τ_{ar} , τ_{al} 는 각각 오른팔, 왼팔의 입력 토크이고, τ_w 는 허리 입력 토크이다. J_{ar} , J_{al} 는 각각 오른팔, 왼팔의 TCP 자코비안이고, f_r^* , f_l^* 는 각 팔의 제어기

[†]공동책임저자(co-corresponding author)



[그림 2] The snapshots of peg-in-hole assembly by Humanoid upper body robot

이다. \mathbf{g}_r , \mathbf{g}_l 는 각 팔의 중력보상 벡터이고, Σ_a , Σ_w 는 각각 양팔 제어입력과 허리관절 제어입력을 위한 선택 행렬이다. 디자인된 양팔·허리 제어 시스템에 의해 허리관절은 각 팔의 TCP 제어에 통합되어 제어되며, 각 팔은 작업공간 상에서 위치, 방향 제어가 가능하다.

3. 물체 조립 작업

정밀제어를 통해서 임의의 위치에 놓인 두 물체를 키넥트 센서를 이용하여 인식한 뒤, 인간형 로봇핸드를 이용해 각각 잡아서 조립하는 작업은 불가능에 가깝다. 이는 키넥트의 인식오차와 로봇이 물체를 파지했을 때 물체와 로봇간의 부정확한 변환행렬 때문이다. 따라서, 물체 조립 실험을 위해 본 연구실에서 제안했던 “직관적 궤적 삽입전략[3]”과 “불확실성을 포함하는 인식정보를 이용한 지능적 작업기술[4]”을 사용하였다. 물체 조립 실험 과정을 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 (b)-(f) 구간에서, 각 팔의 작업공간 밖에 놓인 물체를 잡기 위해서 허리관절이 통합제어 시스템에 의해 함께 움직이는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 고에서는 컴플라이언스 기반의 50 자유도를 가진 휴머노이드 상체로봇 제어 시스템에 대하여 나타내고, 임의의 위치에 놓인 두 물체의 조립작업을 수

행함으로써 그 유효성을 검증하였다. 향후에는 일상 생활에서 흔히 볼 수 있는 물체의 조립작업을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] A. Albu-Schäffer, Ch. Ott, and G. Hirzinger, “A unified passivity based control framework for position, torque and impedance control of flexible joint robots,” *The international journal of robotics research*, vol.26, No. 1, pp.23-39.
- [2] H. Park, et al., “Robotic peg-in-hole assembly by hand arm coordination,” *Journal of korea robotics society*, vol. 10, 1, pp.42-51.
- [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*, fp1-2, 2013.
- [4] J.-H. Bae, et al., “Intelligent manipulation with visual feedback including uncertainties,” *Institute of control, robotics and systems annual conference 2014*, tp029.