

VSD 제어를 이용한 착용식 로봇 제어 방법

Wearable Robot Control using VSD Control

*강용석¹, #전도영¹

*Y. S. Kang¹, #D. Y. Jeon(dyjeon@sogang.ac.kr)¹

¹서강대학교 기계공학과

Key words : VSD control, Wearable robot, Interaction force

1. 서론

최근 착용식 로봇 분야는 군사, 산업, 재활 등의 목적으로 활발하게 연구가 진행 중이다. 이 분야에 있어서 중요한 이슈는 착용자의 의도를 파악하여 그에 따라 로봇을 제어하는 것이다.

이러한 착용식 로봇 제어의 문제점들은 일반 로봇 매니플레이터 제어에서 발생하는 문제와 동일하게 역기구학에서 여러 해가 존재하는 경우와 마찰, 관성과 같은 불확실한 물리적 요소로 인한 불안정성 등이 있다.

VSD 제어는 작업 공간에서 가상 스프링과 댐퍼의 설정을 통해 최적화된 자연스러운 로봇의 움직임을 형성한다. 역기구학과 역동역학을 사용하지 않으므로써 이로 인해 발생하는 문제가 없게 되며 성능 지수(Performance index)나 유사 역 자코비안(Jacobian pseudo-inverse)을 이용하지 않고 로봇이 상황에 따른 최적화된 움직임을 형성하도록 한다. 또한 관절 공간에 설정되는 관절 댐핑을 통해 불확실한 요소로 인한 예상치 못한 움직임을 방지한다.

본 연구에서는 착용식 로봇을 통한 착용자의 동작 보조를 구현하기 위한 제어 방법을 제시한다. 어드미턴스 제어를 통해 로봇과 착용자의 상호작용 힘에 따른 추종 위치를 생성하여 이를 VSD 제어로 추종하도록 제어를 설계하고 3자유도로 구성된 로봇에 적용하여 검증하였다.

2. VSD 제어

Arimoto 등은 가상 스프링, 댐퍼를 이용한 로봇 팔 동작 제어를 제안하였다[1]. Fig. 1과 같이 로봇 팔 끝단에 가상의 스프링, 댐퍼를 형성하여 발생하는 가상의 힘을 통해 팔 동작을 제어하는 개념이다.

일반적인 로봇 팔의 동역학식은 다음과 같이 나타낼 수 있다[2].

$$\tau = H(q)\ddot{q} + \left\{ \frac{1}{2} \dot{H}(q) + S(q, \dot{q}) \right\} \dot{q} + g(q) \quad (1)$$

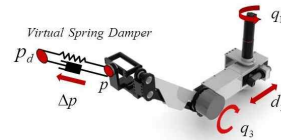


Fig. 1 Concept of Virtual Spring Damper

여기서 $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^T \in R^n$ 는 각 관절의 위치를 나타내며 $H \in R^{n \times n}$ 는 관성행렬, 두 번째 항은 코리올리와 원심력 그리고 $g(q) \in R^n$ 은 중력 항을 나타낸다.

제안된 방법의 제어 입력은 아래의 식(2)와 같다.

$$\tau = -C_0 \dot{q} - J^T(k\Delta P + \xi_1 \sqrt{k} \dot{P}) + g(q) \quad (2)$$

여기서 $\Delta P = P - P_d \in R^3$ 이며 P 와 P_d 는 각각 현재 위치와 추종 위치이다. $k > 0$ 와 $\xi_1 > 0$ 는 각각 작업 공간에서의 가상 스프링 계수와 가상 댐퍼의 댐핑 계수이다. 우변의 첫 번째 항은 예상치 못한 관절 공간에서의 움직임 방지를 위한 댐핑 계수이며 아래와 같이 계산되어 질 수 있다[3].

$$C_0 = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_n)$$

$$c_i = \xi_0 \sqrt{k} \sqrt{\sum_{j=1}^n |H_{ij}|}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

식(3)에서 ξ_0 값은 $0 < \xi_0 < 1$ 사이 값을 갖는다.

3. 사용자 의도 측정 및 시스템 적용

사용자 의도를 측정하기 위해서 Fig. 2의 개념과 같이 로봇에 장착된 힘 센서를 통해 착용자와 로봇 사이의 상호 작용 힘을 측정한다. 측정된 상호 작용 힘 f_h 로부터 식(4)와 같이 어드미턴스 모델을 통해 착용자가 움직이고자 하는 위치 P_d 를 도출해낸다.

$$P_d(s) = \frac{1}{M_a s^2 + B_a s + D_a} f_h \quad (4)$$

여기서 M_a , B_a , D_a 는 각각 어드미턴스 모델의 질량, 감쇠, 스프링 계수이다.

착용자의 의도로부터 생성된 궤적 값을 VSD

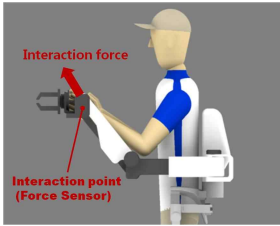


Fig. 2 Concept of physical human robot interaction

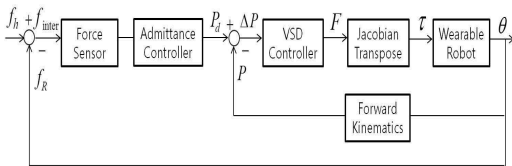


Fig. 3 Block diagram for wearable robot control using VSD control

제어로 정밀하게 추종하면 외골격 로봇은 착용자의 의도대로 움직이게 된다.

한팔 3자유도로 구성된 착용식 로봇 시스템의 순기구학과 자코비안 행렬을 각각 구하고 제안한 알고리즘을 Fig. 3과 같이 구성하였다.

4. 실험을 통한 검증

제안된 알고리즘을 적용하여 실험을 진행하였다. 착용자가 위아래의 방향으로 임의적 의도를 주었을 경우 이에 따른 로봇의 움직임을 Fig. 4와 같이 그래프로 나타내었다. 의도 힘이 양수일 경우 로봇은 양의 방향으로의 움직임을 보이며 의도 힘이 음수로 작용하는 시점부터 로봇은 반대 방향으로 움직임을 확인할 수 있다. VSD의 스프링, 댐핑 계수와 어드미턴스 모델 계수 변화에 따른 움직임을 각각 Fig. 5와 같이 그래프로 나타내었다. VSD의 스프링과 댐핑 계수가 높을수록 추종 궤적에 작은 오차로 지연 없이 도달한다. 또한 어드미턴스 강성 계수의 증가에 따라 추종 궤적 값이 작아짐을 확인할 수 있다. 이는 동일한 힘에 대해 착용식 로봇을 좀 더 미세하게 조작할 수 있음을 의미한다.

5. 결론

본 연구에서는 착용식 로봇을 통한 착용자의 동작 보조 제어 방법을 제시하였다. 이를 위하여 착용자와 로봇 사이의 상호작용 힘을 기반으로 어드미턴스 모델을 통해 추종 위치 값을 생성하고 이를 VSD 제어로 추종하도록 제어기를 개발하였다. 또한 3자유도 로봇 적용 실험을 통하여 개발한 제어기가 착용자 의도에 따라 움직임을 검증하였다.

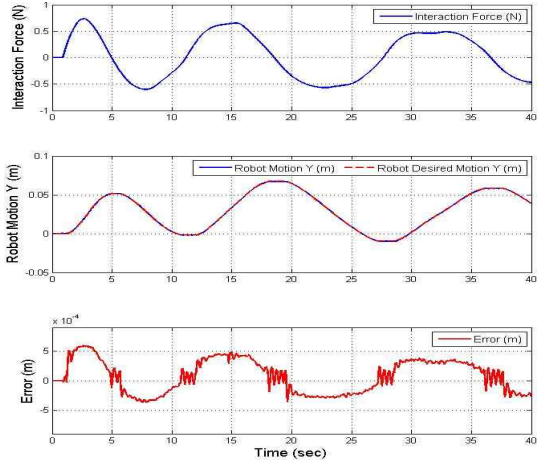


Fig. 4 Relationship between interaction force and robot end-effector movement

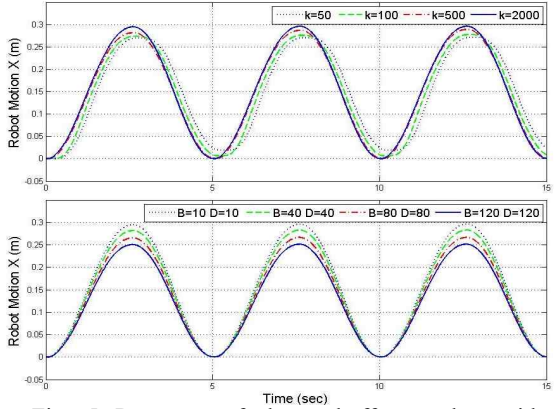


Fig. 5 Response of the end-effector along with VSD spring-damper and admittance model coefficient

참고문헌

1. S. Arimoto, M. Sekimoto, J-H. Bae, and H. Hashiguchi, "Three-dimensional multi-joint reaching under redundancy of DOFs," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 1898-1904, Edmonton, Canada, Aug. 2-6, 2005.
2. J-H. Bae, W. Yang, D. Kim, Y. Oh, B-J. You and S-R Oh, "Robotic Arm Control Inspired by Human Muscle Tension Effect under the Gravity," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1404-1411, Shanghai, China, May. 9-13, 2011.
3. S. Arimoto, M. Sekimoto, "Natural Resolution of Ill-Posed Inverse Kinematics for Redundant Robots: A Challenge to Bernstein's Degree-of-Freedom Problem," J. of Robotics and Mechatronics, vol. 18, no. 5, pp. 651-660, 2006.