

인간-로봇 상호작용을 이용한 상지 외골격의 착용자 동작의도 획득기법 Human Intent Measurement Method for Upper Limb Exoskeleton using the Physical Human-Robot Interaction

*이희돈¹, 김완수¹, 유승남¹, 이병규¹, 한정수², #한창수¹

*H. D. Lee¹, W.S. Kim¹, S. N. Yu¹, B. K. Lee¹, J. S. Han¹, #C. S. Han(cshan@hanyang.ac.kr)¹
¹ 한양대학교 기계공학과, ² 한성대학교 기계시스템공학과

Key words : Human Intent Signal, Human-Robot Interaction, Exoskeleton, Wearable Robot

1. 서론

외골격 로봇은 노약자의 근력을 보조하거나 착용자의 근력을 증강하기 위한 목적으로 개발되고 있으며, 사람의 동작 의도를 획득 방법과 이를 사용한 로봇제어 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1-5]. 외골격 로봇은 사용 목적에 따라 로봇의 형태와 인간-로봇 인터페이스는 다양하게 제안되고 있다. 이러한 로봇들은 Fig.1 과 같이 근력 지원용과 근력증폭용으로 분류할 수 있다.

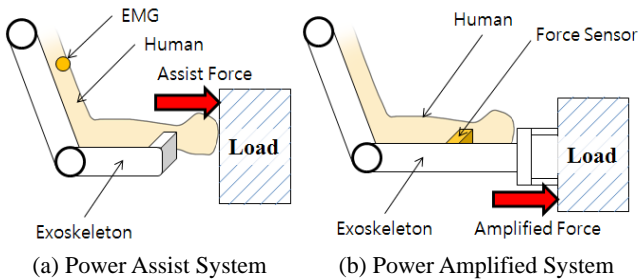


Fig. 1 Classification of the Exoskeleton Robot by purpose

Fig.1(a)는 근력지원을 위한 외골격 로봇 시스템에 대하여 도식화한 것이며 노약자 또는 장애인들의 근력을 보조하는 수단으로 개발되고 있다. 이 분류의 시스템들은 대부분 EMG 센서를 사용하여 착용자의 동작의도를 감지하는 형태를 가지며, 착용자가 중량물을 핸들링 시 외골격 로봇은 착용자의 근력을 보조할 수 있도록 제어된다. 이러한 시스템은 착용자의 각 관절에 대하여 토크를 직접적으로 지원해 줌으로써 착용자로 하여금 보다 큰 힘을 낼 수 있도록 한다는 장점을 가진다. 하지만 EMG 센서와 같은 생체신호를 기반으로 하는 센서들을 사용하기 때문에 신호처리가 어렵고, 사람의 뼈가 허용할 수 있는 하중보다 큰 물체를 핸들링 할 수 없다는 단점이 있다.

Fig.1(b)는 근력증폭을 위한 외골격 시스템에 대하여 도식화한 것이며 산업현장 노동자 또는 군인들을 대상으로 작업에 의한 작업자의 부하를 줄이거나 작업자의 능력 이상의 힘을 사용하여 효율을 극대화하기 위한 수단으로 개발되고 있다. 이 분류의 시스템들은 대부분 힘 센서를 사용하여 착용자와 로봇 사이에 발생한 힘을 측정하여 로봇의 제어입력으로 사용한다. 따라서 외골격 로봇은 착용자의 동작 추종하며 중량물을 핸들링 할 수 있도록 제어된다. 이러한 시스템들은 착용자의 근력을 직접적으로 지원할 수는 없지만 힘 신호를 기반으로 개발되기 때문에 생체신호 기반의 시스템 보다 입력신호의 신뢰성 높은 신호획득이 가능하며, 큰 중량물을 핸들링 할 수 있다는 장점을 가진다.

외골격 로봇은 적용분야에 따라 외골격의 구조뿐만 아니라 착용자의 동작하고자 하는 의도를 파악하기 위한 방법도 다른 형태로 개발되어야 하며 본 연구는 착용자의 상지 근력을 증강을 목적으로 하는 외골격 로봇의 착용자 동작의도 파악을 위한 방법에 대하여 다룬다.

본 연구에서는 착용자의 동작의도 파악을 위하여 사람

팔의 거동에 대한 임피던스를 정의고, 인간-로봇의 상호작용 힘으로부터 착용자의 동작하고자 하는 의도를 파악하고자 한다.

2. 개념설계

사람의 뇌에서 동작하고자 하는 의도를 전기적 신호로 신경을 통해 근육에 전달한다. 근육은 이 신호를 통하여 수축하며 힘을 생성하며 관절에서 사람의 동작을 위한 토크를 생성한다. 이러한 과정을 통하여 사람은 동작할 수 있다. 사람이 외골격 로봇과 체결되어 있을 경우 사람의 동작에 의해 사람과 로봇 간의 상대적인 힘 차이가 발생하게 되며 이를 측정하여 외골격 로봇의 제어기에서는 로봇을 구동할 수 있다. 외골격 로봇이 구동되게 되면 로봇의 동작에 의해 사람과 로봇 사이에 발생하는 힘이 변하게 되며 이를 착용자의 감각기관을 통해 중추신경계 또는 뇌에 피드백 함으로써 착용자는 목표로 하는 동작을 수행할 수 있다.

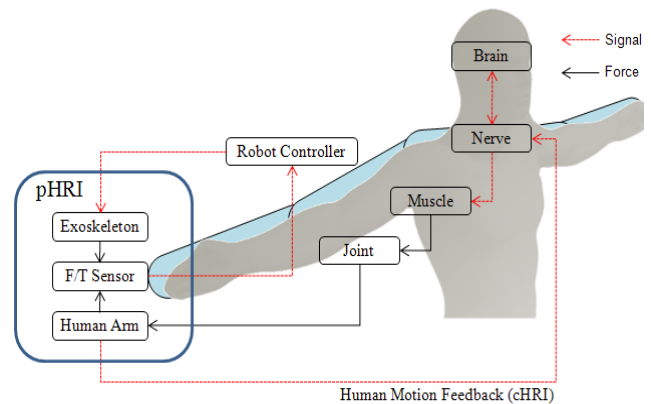


Fig. 2 Concept of physical human robot interaction

사람 팔에 대하여 가상의 기계적 임피던스를 사용하여 Fig.3 과 같이 모델링함으로써 인간-로봇 상호작용(pHRI)에 의해 발생한 힘을 착용자가 동작하고자 하는 위치, 속도, 가속도로 표현할 수 있다. 여기에서 M_h , B_h , K_h 는 가상의 임피던스이며, F_h 는 상호작용에 의한 힘이다.

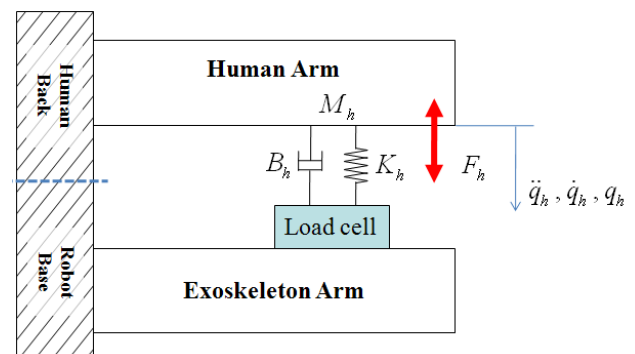


Fig. 3 Impedance modeling of physical human robot interaction

3. 임피던스 인자 추정방법

임피던스 모델에 대한 동역학 방정식으로 나타내면,

$$F_h(t) = M_h \ddot{q}_h + B_h \dot{q}_h + K_h q_h \quad (1)$$

이를 전달함수로 나타내면 식(2)와 같다,

$$H(s) = \frac{1}{M_h s^2 + B_h s + K_h} \quad (2)$$

여기에서 M_h, B_h, K_h 는 알 수 없는 미지의 계수이며, 일반적인 임피던스 제어에서는 실험적인 방법을 통하여 제어 응답성을 만족하는 계수를 선정한다. 본 연구에서는 전달함수로부터 $\omega_{nh}, \zeta_h, \sigma_h$ 를 도출하여 이를 제어 응답성에 기반하여 임피던스 인자를 결정하고자 한다. 따라서, 식(2)로부터 식(3)을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\omega_{nh} = \sqrt{\frac{K_h}{M_h}}, \zeta_h = \frac{B_h}{2\sqrt{M_h K_h}}, \sigma_h = \omega_{nh} \cdot \zeta_h \quad (3)$$

$\omega_{nh}, \zeta_h, \sigma_h$ 은 응답성능 및 안정성을 결정 짓는 인자이며 인체 상지의 동작 분석을 통하여 얻을 수 있다. 단일 동작에 대하여 t_s (setting time), t_r (rising time), M_p (% overshoot)을 측정할 수 있으며, 이를 식(4)를 통해 $\omega_{nh}, \zeta_h, \sigma_h$ 으로 표현할 수 있다.

$$t_r = 0.7 \frac{\sin^{-1} \zeta_h + \frac{\pi}{2}}{\omega_{nh} \sqrt{1 - \zeta_h^2}}, M_p = e^{\frac{\pi \zeta_h}{\sqrt{1 - \zeta_h^2}}}, t_s = \frac{4}{\zeta_h \omega_{nh}} \quad (4)$$

t_s, t_r, M_p 은 사람에 따른 동작특성을 나타내며, 이를 이용하여 $\omega_{nh}, \zeta_h, \sigma_h$ 를 도출하고, M_h, B_h, K_h 를 결정한다. M_h, B_h, K_h 이 결정되면 식(1)에 의해 입력된 힘에 대한 착용자가 움직이고자 하는 위치, 속도, 가속도의 정보를 계산할 수 있다.

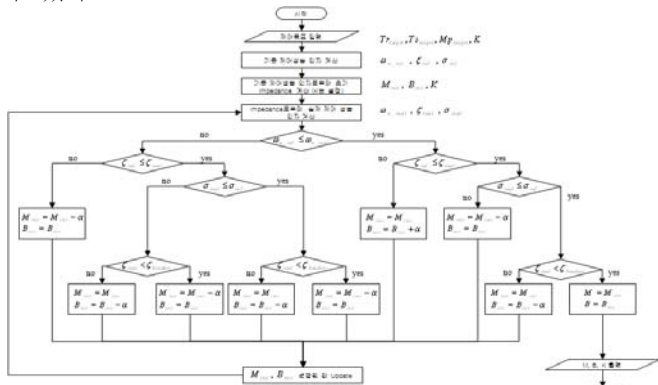


Fig. 4 Estimation algorithm of Impedance parameter

4. Simulation

4 장에서는 M_h, B_h, K_h 추정 알고리즘에 대하여 Simulation을 통한 검증을 한다. 동작성능 인자(t_s, t_r, M_p)가 주어질 때 임피던스 인자를 생성하고, 인간-로봇 상호작용 모델에 적용하여 상호작용 힘에 대한 착용자가 동작하고자 위치, 속도, 가속도를 생성하는 Simulation을 통하여 알고리즘을 검증하였다. 의도를 파악 할 수 있는가에 대하여 Simulation을 통하여 검증한다. Fig.5는 성능인자가 주어질 때 착용자의 동작하고자 하는 의도를 나타낸 것이다. Fig.5(a)는 $t_s=0.5[s], t_r=0.2[s], M_p=5[\%]$ 조건일 때 10N의 힘에 대한 동작의도이다. 이때 $M_h=0.059, B_h=1.095, K_h=10$ 으로 알고리즘에 의해 결정되었다. Fig.5(b)는 $t_s=1[s], t_r=0.5[s], M_p=5[\%]$ 조건일 때 10N의 힘에 대한 동작의도이다. 이때 $M_h=0.238, B_h=2.188, K_h=10$ 으로 알고리즘에 의해 결정되었다.

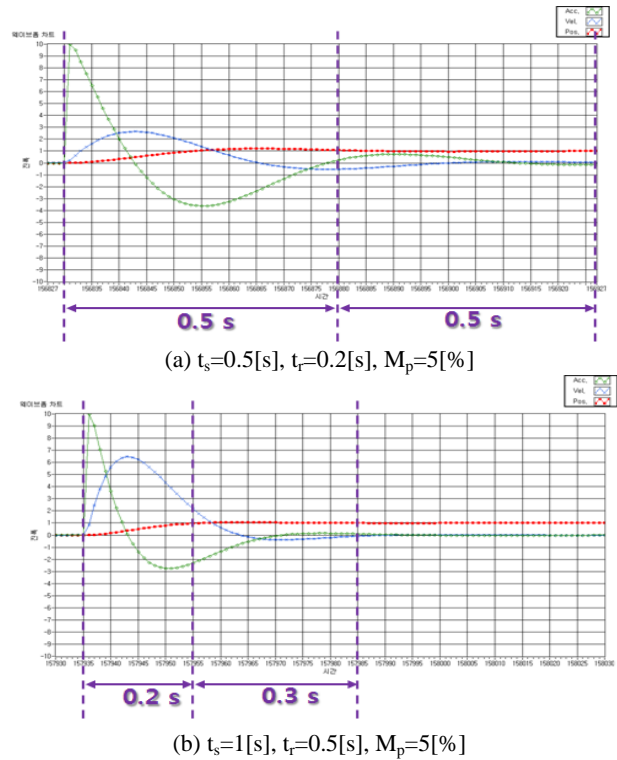


Fig. 4 Estimation algorithm of Impedance parameter

5. 결론

본 연구에서는 인간-로봇 상호작용에 대하여 임피던스를 사용하여 모델링하고 인자에 대하여 인체 동작 측정 데이터 기반으로 추정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. Simulation 결과 알고리즘을 통하여 인간-로봇 상호작용 모델의 인자를 추정할 수 있었으며, 상호작용 힘으로 동작하고자 하는 위치, 속도, 가속도를 계산할 수 있었다. 향후 외골격 로봇의 착용감 및 조작감에 대한 연구를 수행할 계획이다.

후기

본 연구는 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음

참고문헌

1. Suwoong Lee and Yoshiyuki Sankai, "Virtual impedance adjustment in unconstrained motion for an exoskeletal robot assisting the lower limb", *Advanced Robotics*, Vol.19, No.7, pp.773-795, 2005.
2. H. Kazerooni, Ryan Steger and Lihua Huang, "Hybrid Control of the Berkely Lower Extremity Exoskeleton(BLEEX)", *The International Journal of Robotics Research*, Vol.25, No.5-6, pp.561-573, 2006.
3. Jacob Rosen and Joel C. Perry, "Upper Limb Powered Exoskeleton", *International Journal of Humanoid Robotics*, Vol.4, No.3, pp.529-548, 2007.
4. HeeDon Lee, SeungNam Yu, Seunghoon Lee, JungSoo Han and ChangSoo Han, "Development of Human-Robot Interfacing Method for Assistive Wearable Robot of the Human Upper Extremities", *SICE Annual Conference2008*, pp.1755-1760, Tokyo, Japan, August, 2008.
5. Mitsunori Uemura, Katsuya Kanaoka and Sadao Kawamura, "Power Assis Systems based on Resonance of Passive Elements" *Proceedings of the 2005 IEEE /RSJ International Conference on Intelligent Robots and System2006*, pp4316-4321, Beijing, China, October, 2006.