

상지 외골격로봇의 착용자 의도기반 제어

Control of Human Intent Based Upper Limb Exoskeleton Robot

*이병규¹, 이희문¹, 김완수¹, 함경수², #한광수¹

*B. K. Lee¹, H. D. Lee¹, W. S. Kim¹, J. S. Han², #C. S. Han(cshan@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계공학과, ²한성대학교 기계시스템공학과

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

1. 서론

일반 산업현장에서 적용되고 있는 로봇은 센서를 사용하여 주변 환경에 대한 정보를 획득하여 모델링 된 환경 내에서 동작이 가능하다. 하지만 필드현장에서는 작업의 특성상 작업공정 및 작업물의 정형화가 어렵기 때문에 자동화로 접근하는데 어려움이 있다.[1] 이에 대한 대안 중의 하나로 최근 개발되고 있는 외골격로봇(Exoskeleton robot)은 자세제어, 상황인식, 동작신호 생성을 사람이 담당하며 다양한 환경에서 착용자의 힘을 보조하는 작업을 가능하게 하는 시스템이다.[2] 이러한 외골격로봇은 현재 전 세계적으로 군사적인 목적 이외에도, 산업, 의료, 재활 등의 목적으로 활발하게 연구되고 있다.

본 논문에서는 중량물을 핸들링 시 인체 상지부의 근력지원을 목적으로 Shoulder E/F(Extension/Flexion), Shoulder Ab/Ad(Abduction/Adduction), Elbow E/F 동작에 대하여 착용자의 의도를 파악하고 이를 외골격로봇의 제어 입력으로 사용하고자 한다. 이를 위하여 사용자가 손쉽게 장·탈착할 수 있도록 힘 센서를 사용하는 시스템을 사용하여 착용자로부터 입력되는 힘의 크기와 방향을 외골격로봇의 동작을 위한 명령신호 생성기법을 기반으로 하는 제어기를 설계한다.

2. 의도신호 생성

상지 외골격로봇은 인체 착용자의 등과 손에서만 체결된다. 따라서 손의 체결부에 다축 힘 센서를 부착하여 착용자 동작에 대한 힘을 측정할 수 있다. Fig. 1은 측정된 힘으로부터 로봇이 움직여야 할 end-effector의 위치벡터를 생성하는 방법을 설명하고 있다. 착용자가 로봇의 핸들을 잡고 움직이게 되면 핸들에 부착된 힘 센서를 통하여 로봇과 착용

자 간에 발생하는 상대적인 힘 신호를 측정할 수 있다. 측정된 힘은 착용자가 움직이는 동안에 연속적으로 발생하며, 이 신호를 사용하여 로봇이 움직여야 할 end-effector의 위치를 생성한다. 이때 힘 센서의 각 축으로부터 얻은 신호의 합 벡터의 방향이 착용자가 움직이고자 하는 방향이고, 이 벡터의 크기는 착용자의 동작의 강도라 가정한다. end-effector가 현재의 위치 P_e 에서 착용자가 움직이고자 하는 목표 위치 P_d 를 생성하는 방법은 다음과 같다. 힘 센서에서 측정된 힘 F 와 같은 선상에 위치하는 점을 목표위치라 하면 목표위치의 로봇 기준좌표에 대한 위치벡터는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_d = P_e + RK^{-1}F \quad (1)$$

여기서 R 은 rotation matrix이며, K 는 힘 벡터를 위치 값으로 변환하기 위한 diagonal matrix이다. 여기서 구한 P_d 는 제어기에서 착용자의 의도신호로 사용된다.

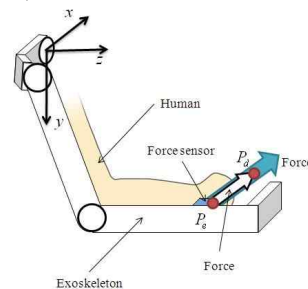


Fig. 1 Concept of the trajectory generation

3. 제어기 설계

동작의도 신호는 목표작업, 주위환경 및 로봇동작 상태 등에 대하여 착용자에 의해 생성된다. 따라서 외골격로봇은 이를 제어 입력으로 사용한 motion controller를 사용하여 추종동작을 하도록

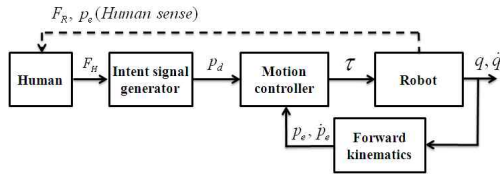


Fig. 2 Block diagram of control loop

한다. Fig.2는 상지 외골격로봇 제어기를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 힘 센서로부터 입력 받은 착용자와 로봇 사이에서 발생된 힘 F_H 로부터 앞에서 제안한 의도신호 생성방법으로 생성된 p_d 는 motion controller를 통하여 각 관절에 필요한 토크를 출력한다. 이때 로봇 end-effector의 현재 위치는 각 관절에서 encoder를 통하여 측정된 관절 각도를 forward kinematics로 계산한다. 여기서 PD 제어기는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.[3]

$$\left. \begin{aligned} \tau &= J^T(q)\gamma - K_D\dot{q} + G(q) \\ \gamma &= K_P\Delta P_{de} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

식 (2)에서 J는 외골격로봇의 jacobian matrix이며, K_D 와 K_P 는 각각 제어기의 P gain과 D gain이다. G(q)는 외골격로봇의 dynamic model에서 얻을 수 있는 중력 항으로서 중력효과를 보상해준다.

4. 근력지원 실험

근력지원 효과를 검증하기 위하여 Shoulder E/F와 Elbow E/F 동작에 대하여 8.8kg 중량물 핸들링 시 EMG를 사용하여 근육활성화를 측정하였다. 실험은 로봇 착용상태와 미착용상태로 나누어 진행하였으며, EMG센서는 Deltoid anterior, Deltoid posterior, Biceps brachii, Triceps brachii에 부착하였다. Fig. 3은 Shoulder E/F 동작 시 근육활성도를 측정된 결과이다. 그림에서 보는 것과 같이 로봇 미착용 시 주동근인 Deltoid anterior에서 측정된 최대값은 약 2000 μV 이며, 로봇 착용 시 약 500 μV 로 줄어들었음을 볼 수 있다. Fig. 4는 Elbow E/F 동작 시 근육활성도를 측정된 결과이다. 그림에서 보이는 것과 같이 로봇 미착용 시 주동근인 Biceps brachii의 최대값은 약 1200 μV 이며, 로봇 착용 시 약 700 μV 로 줄어들었음을 볼 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 착용자의 의도신호를 기반으로

상지 근력지원 외골격로봇의 제어기를 개발하였다. 근력지원 실험을 통하여 개발한 제어기를 통해 동작하는 외골격로봇을 사용하여 보다 작은 힘으로 중량물을 핸들링 하는 것이 가능하다는 것을 검증하였다.

후기

본 연구는 산업원천기술개발사업 “산업노동지원을 위한 착용식 근력증강 로봇 기술 개발” 과제의 지원으로 수행되었음

참고문헌

1. Thring, M. W. “Robots and Tele-chairs.” Halsted Press, a division of John Wiley & Sons.
2. Hee Don Lee, Seung Nam Yu, Seung Hoon Lee, Jung Soo Han and Chang Soo Han, “Development of Human-Robot Interfacing Method for Assistive Wearable Robot of the Human Upper Extremities” SICE Annual Conference 2008, 1755-1760, 2008.
3. Bruno Siciliano and Luigi Villani, “Robot Force Control”, Kluwer Academic Publishers, pp.7-27, 1999.

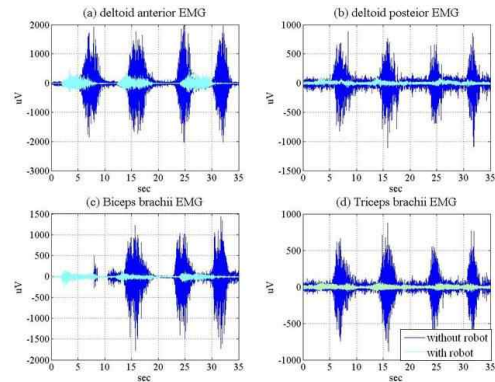


Fig. 3 EMG signals of Shoulder E/F

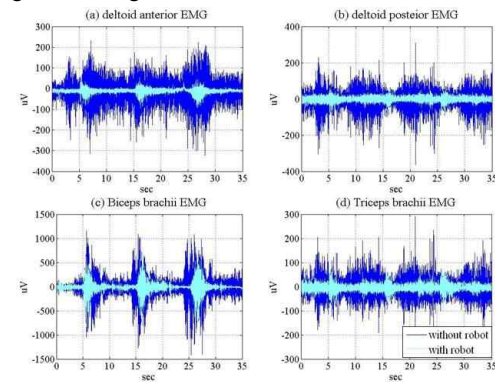


Fig. 4 EMG signals of elbow E/F