

로봇 매니플레이터를 이용한 프리-액팅 충격 흡수 Development of Pre-acting Shock Absorbing Using Robot Manipulator

*배기현¹, #홍대희¹, 주백석¹, 정경모¹, 추용수¹
*K. Bae¹, #D. Hong(dhhong@korea.ac.kr)¹, B. Chu¹, K. Jung¹, Y. Chu¹
¹ 고려대학교 기계공학과

Key words : Shock Absorbing, Impact, Pre-acting, Robot Manipulator

1. 서론

외부로부터 전달되는 충격과 진동은 시스템에 큰 손상을 줄 수 있으며, 이로부터 시스템을 보호하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다. 대부분의 경우 시스템에 전달되는 충격의 크기를 줄이기 위해서 시스템 전단에 완충장치(shock absorber)를 장착하는데, 이는 시스템의 특성을 변화시키기 때문에 시스템에 대한 재해석이 필요하게 된다. 특히 매니플레이터의 경우 완충장치를 장착하더라도 완충될 수 있는 방향이 한정적이기 때문에, 충격이 전달되는 방향에 따라 특정 모터에 큰 부하가 걸릴 수도 있다¹⁾.

본 논문에서는 매니플레이터 자체에 충격 완충 특성을 적용하여 어떠한 장치를 부착하지 않고도 자체적으로 충격을 흡수하는 방법에 대한 시뮬레이션을 해보았다. 질량이 있는 물체를 잡는 경우 시스템에 전달되는 충격을 최소화하며 잡기 위해서는 움직이는 물체의 속도 정보를 파악하고, 잡으려는 시점에 물체의 속도와 같게 매니플레이터 또한 같은 속도로 움직이며 물체를 잡는다. 이 순간만큼은 상대적 속도가 0 이기 때문에 충격량 또한 0 에 가깝게 된다. 물체를 잡은 뒤 물체의 속도를 줄이면서 운동에너지를 흡수하는 방법으로 시스템에 전달되는 충격을 최소화 하며 움직이는 물체를 잡는다. 본 논문에서는 물체를 잡기 위해 허용되는 공간을 제한하고, 이 때 필요한 각 축의 토크를 계산하여, 요구되는 토크가 허용범위 안에 들어오는지 검증하고자 한다.

2. 매니플레이터가 물체를 잡는 과정

매니플레이터가 충격을 최소화하며 물체를 잡는 과정은 Fig. 1 과 같다.

- 다가오는 물체의 속도정보를 파악한 뒤 엔드이펙터가 가속을 하기 위해 앞으로 이동한다.
- 가속을 통해 처음위치에서 물체와 엔드이펙터의 속도를 같게 한다.
- 물체와 엔드이펙터의 속도가 같으므로 상호간의 충격은 거의 없다.
- 엔드이펙터의 속도를 줄이면서 물체의 운동에너지를 흡수한다. 이 때 미리 설정해둔 rattle space 이내로 엔드이펙터의 움직임을 제한한다.

3. 순-역기구학 및 동역학

평면좌표계에서 길이가 L_1, L_2 인 2 개의 링크가 각각 각도 θ_1, θ_2 의 위치에 있을 때, 선단부의 좌표는 기하학적으로 유도해서 식(1)과 같이 순운동학식으로 간단히 나타낼 수 있다. 해석의 편리성을 위해 Fig. 2 와 같이 단순 2-링크 시스템이라 가정하고, 각 링크의 질량은 중심에 집중된다고 하였다.

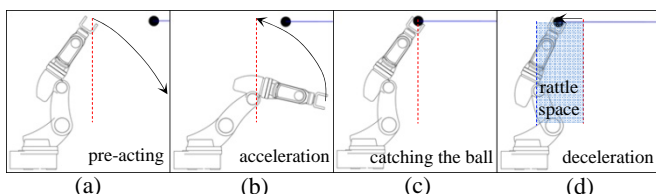


Fig. 1 Procedure of catching the object

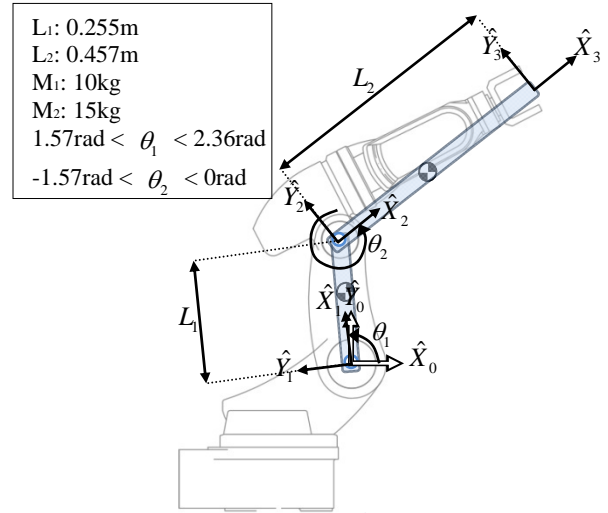


Fig. 2 Frame assignments for the two-link manipulator

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin \theta_1 & \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} = J^{-1} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix}, \quad J = \begin{bmatrix} -L_1 s_{11} - L_2 s_{12} & -L_2 s_{12} \\ L_1 c_{11} + L_2 c_{12} & L_1 c_{12} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)를 통하여 2-링크 매니플레이터에 대한 순-역기구학을 구할 수 있으며, 이를 통해 식(3)과 같은 동역학 방정식을 유도할 수 있다²⁾.

$$F = M_x(\Theta) \ddot{\chi} + V_x(\Theta, \dot{\Theta}) + G_x(\Theta) \quad (3)$$

F : 로봇의 말단에 작용하는 힘-토크

χ : 말단 장치의 위치와 방위

$M_x(\Theta)$: 직교좌표 질량 행렬

$V_x(\Theta, \dot{\Theta})$: 직교좌표공간에서의 속도 벡터

$G_x(\Theta)$: 직교좌표공간에서의 중력항 벡터

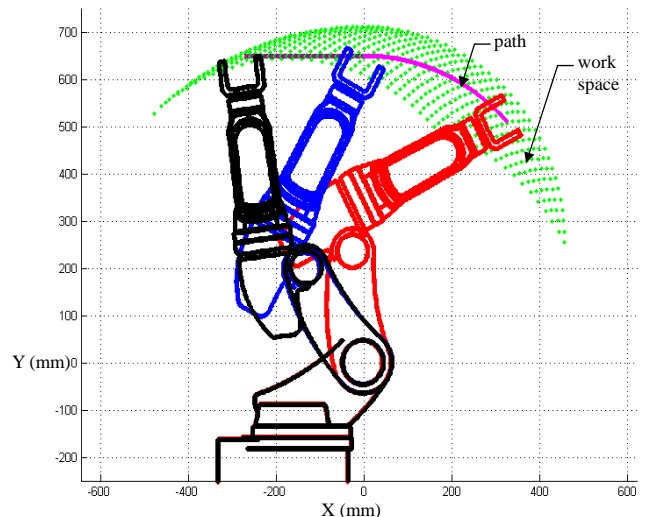


Fig. 3 X-Y coordinates generated for all theta1 and theta2 combinations using forward kinematics formulae

말단에 작용하는 힘 F 는 액추에이터에 의하여 식(4)처럼 각 관절에 가해질 수 있다. 식(3)과 식(4)를 통해 직교좌표공간에서 기술한 동역학 식으로 동등의 관절토크를 쓸 수 있으며, 그 결과는 식(5)와 같다.

$$\tau = J^T(\Theta)F \tag{4}$$

$$\tau = J^T(\Theta)M_x(\Theta)\ddot{\chi} + B_x(\Theta)[\dot{\Theta}\dot{\Theta}] + C_x(\Theta)[\dot{\Theta}^2] + G(\Theta) \tag{5}$$

$B_x(\Theta)$: 코리올리 계수의 행렬

$[\dot{\Theta}\dot{\Theta}]$: 관절 벡터의 벡터적

$C_x(\Theta)$: 원심력 계수 행렬

4. 시뮬레이션 및 결과

본 연구에서는 엔드이펙터가 물체를 잡은 시점부터 멈추게 하는 과정까지를 고려하였다. 즉, Fig. 3의 직선경로만을 고려하였으며 물체의 질량은 0.5kg, 속도는 0.5m/s로 다 가온다고 설정하였다. 순-역기구학을 통해 Fig. 4와 같이 X, Y-position에 해당하는 θ_1, θ_2 의 범위를 그래프로 나타내었고, Fig. 5와 같이 ANFIS(Adaptive Neuro Fuzzy Inference System)를 이용하여 직선경로에 대한 θ_1, θ_2 를 구하였다³⁻⁵⁾.

엔드이펙터가 물체를 잡은 시점으로부터 1 초 동안 물체의 속도를 선형적으로 감소시키며, rattle space는 약 240 mm로 설정하였다. 식(2)를 바탕으로 시간에 따른 속도 및 가속도를 Fig. 6과 Fig. 7에 표시하였다. Fig. 8과 같이 식(5)를 통해 각 축에 걸리는 토크를 시간의 함수로 얻어냈다.

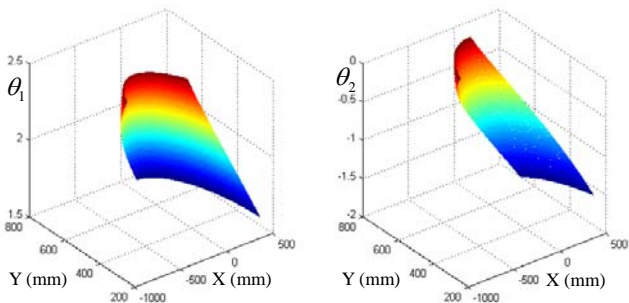


Fig. 4 θ_1 and θ_2 corresponding to X, Y-position

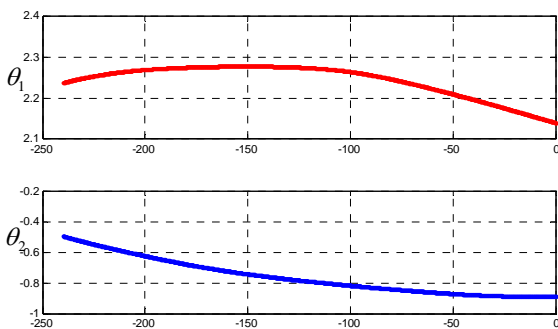


Fig. 5 θ_1 and θ_2 using ANFIS

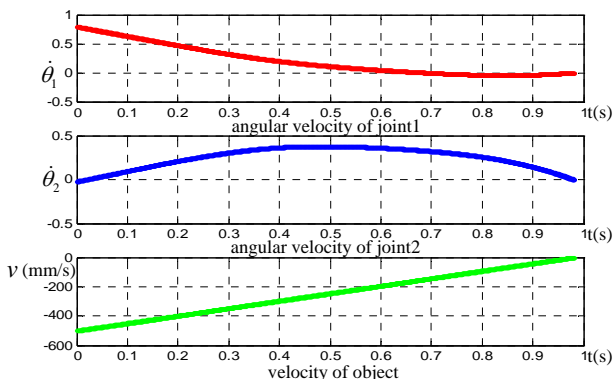


Fig. 6 Angular velocities corresponding to velocity of object

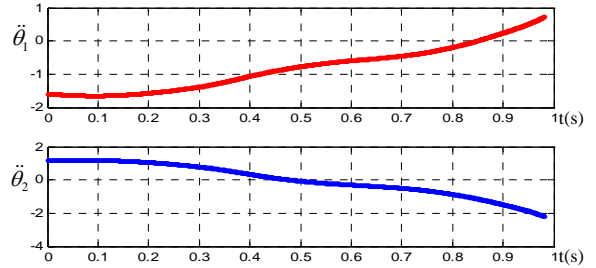


Fig. 7 Angular acceleration as a function of time

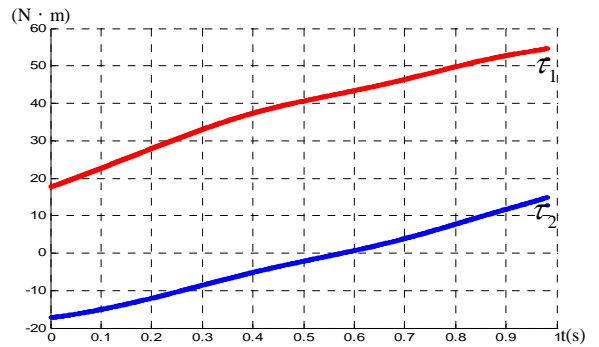


Fig. 8 Joint torques of the actuators as a function of time

5. 결론

본 연구에서는 엔드이펙터가 물체를 잡은 뒤 감속하여 멈추는 1 초 동안 매니플레이터의 각 축에서 요구되는 각도, 각속도, 각가속도 및 토크의 크기를 시간의 함수로 구하였다. 본 연구에서 주된 관심사인 토크의 순간 변화량이 작고, 크기 또한 구현할 수 있는 범위 안에 있기 때문에 로봇 매니플레이터를 이용한 프리-액팅 충격 흡수가 가능할 것으로 판단된다. 본 연구를 통해 정립된 시뮬레이션을 통해 매니플레이터의 기하학적 치수 및 이동 경로를 다양화 하여 충격 흡수에 최적화되도록 설계를 변경한다면, 요구되는 토크의 변화량 및 크기도 줄일 것으로 기대된다. 추가적으로 물체와 엔드이펙터간의 상호 작용하는 힘을 시간의 함수로 구현하여 충격의 크기를 물체 및 엔드이펙터에 최적화되는 알고리즘을 연구할 계획이다.

후기

본 연구는 2009 년 국토해양부가 지원한 “로보틱 크레인 기반 고층 건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발(과제 번호: 06 첨단융합 D01)” 사업을 통해 수행되었습니다.

참고문헌

1. D.V. Balandin, N.N. Bolotnik and W.D. Pilkey, Optimal Protection From Impact, Shock, and Vibration, Gordon and Breach Science Publishers.
2. Craig, J., Introduction to Robotics: Mechanics and Control, Pearson Prentice Hall, Third Edition.
3. 이육형, 박명관, "반응동 현가장치의 ANFIS 지능제어," 한국 정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 144-147, 2000.
4. S. Alavandar, M.J. Nigam, "Inverse Kinematics Solution of 3DOF Planar Robot using ANFIS," Int. J. Computers, Communications & Control, Vol. 3, pp. 150-155, 2008.
5. Klee, Simulation of Dynamics Systems with MATLAB and Simulink, CRC Press.