

신경회로망을 이용한 유연한 축을 갖는 5절 링크 로봇 매니플레이터의 모델링

Modeling of a 5-Bar Linkage Robot Manipulator with Joint Flexibility Using Neural Network

°이성범*, 김상우**, 오세영**, 이상훈***

* 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부(Tel : 81-54-279-5018; Fax : 81-54-279-2903;
E-mail : alpaca@postech.ac.kr)

** 포항공과대학교 전자컴퓨터공학부(Tel : 81-54-279-2237; Fax : 81-54-279-2903;
E-mail : {swkim, syoh}@postech.ac.kr)

*** 현대중공업(주) 기전연구소(Tel : 81-31-289-5338; E-mail : mrslee@hhi.co.kr)

Abstract: The modeling of 5-bar linkage robot manipulator dynamics by means of a mathematical and neural architecture is presented. Such a model is applicable to the design of a feedforward controller or adjustment of controller parameters. The inverse model consists of two parts: a mathematical part and a compensation part. In the mathematical part, the subsystems of a 5-bar linkage robot manipulator are constructed by applying Kawato's Feedback-Error-Learning method, and trained by given training data. In the compensation part, MLP backpropagation algorithm is used to compensate the unmodeled dynamics. The forward model is realized from the inverse model using the inverse of inertia matrix and the compensation torque is decoupled in the input torque of the forward model. This scheme can use the mathematical knowledge of the robot manipulator and analogize the robot characteristics. It is shown that the model is reasonable to be used for design and initial gain tuning of a controller.

Keyword: Feedback-Error-Learning, 5-bar robot manipulator, Neural network, Feedforward controller

1. 서론

임의의 대상 시스템에 대해 제어기 설계시 적당한 모델의 선택은 매우 중요하다. 시뮬레이션을 위해서는 가능한 정확한 모델을 만드는 것이 중요하지만 제어기 설계의 경우는 가능한 On-line 계산과 해석을 위해 가장 중요한 영향을 미치는 항들만을 사용하는 간단한 모델을 필요로 한다. 로봇 모델링의 경우 PUMA로봇 같은 경우는 수식적 모델이 많이 연구되어져 왔고 6축에 대한 자세한 수식 모델까지 연구되어졌다[2]. 하지만 5절 링크 로봇에 대한 연구는 적은편이며[5] 수식 모델을 이용해서는 측정된 계수들의 부정확성과 모델링되지 않은 동역학 특성으로 인해 정확한 모델을 구현하기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에 Neural network(NN)을 이용한 방법들이 제시되고 있다. 대표적인 신경회로망인 다층퍼셉트론(MLP)의 경우 주어진 데이터에 따라 정확한 결과는 나타낼 수 있지만 일반화 문제와 제어기 설계시 로봇 특성에 대한 해석이 불가능하다는 단점이 있다. 이에 로봇의 특성을 잘 설명해 줄 수 있는 수식모델과 모델링되지 않은 동역학 특성을 보상해줄 MLP의 설계로 실제로봇의 동작을 근사할 수 있는 모델을 제안한다. 수식 모델에서는 Jacobian 행렬로부터 Lagrange-Euler 방정식을 유도하고, Kawato[1]등이 제안한 Feedback-Error-Learning(FEL)방식을 응용하여 각 항들의 Subsystem들을 구현하고 계수들을 주어진 학습 데이터로부터 학습시켜 Inverse 모델을 구현하게 된다. 이런 Subsystem들은 FEL에서 Feedforward 제어기 설계에 사용될 수도 있고, 관성행렬의 역을 취하

여 모델로 사용할 수도 있다. 하지만 이렇게 구한 Inverse 모델에는 모델링되지 않은 동역학에 의한 오차가 존재하기 때문에 이 오차를 줄이기 위한 보상을 추가로 설계하게 된다. Inverse 모델은 위치 입력으로부터 토크를 발생시키는 모델로 로봇의 동작을 묘사하기 위해서는 입력 토크로부터 출력 위치를 생성하는 모델이 필요하다. 그래서 이 Inverse 모델의 관성행렬의 역을 구하여 상태방정식으로 변환후 5th order Runge-Kutta방법을 이용하여 모델을 구현했으며 Inverse 모델의 보상기 토크는 Forward 모델의 입력토크에서 decoupling하여 빼주는 방식을 사용했다. 이러한 Forward 모델을 사용하면 직접 로봇을 통하지 않고도 제어기의 초기 이득들을 조정할 수 있어 제어기 설계에 소요되는 많은 시간과 노력을 줄일 수 있다. 구현된 모델은 실제 측정된 데이터를 통해 적은 오차로 로봇의 동작을 근사하는것을 확인하였다.

2. 5절 링크 로봇 매니플레이터

일반적인 로봇의 동역학 모델을 살펴보면 (1)과 같다

$$\tau = D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + B(\dot{q}) + G(q) \quad (1)$$

여기서 q, \dot{q}, \ddot{q} 는 관절 각도, 각속도, 각가속도이고, $M(q)$ 는 $n \times n$ 관성행렬, $C(q, \dot{q})$ 는 $n \times 1$ Coriolis and Centrifugal 벡터, $B(\dot{q})$ 는 $n \times 1$ Coulomb and Viscous Friction 벡터, $G(q)$ 는 $n \times 1$ 중력 벡터이다.

5절 링크의 경우 Spong[4]에 의하면 각 링크의 질량중심의 좌표를 일반화 좌표의 함수로하여 속도 Jacobian을 구하면 관성행렬은 (2)와