

재귀최소자승법을 이용하여 인식된 한 바퀴 로봇의 퍼지 제어

Fuzzy Control for a One-wheel Robot Identified by a RLS Method

이상덕 · 정 슬
Sang-Deok Lee and Seul Jung

충남대학교 메카트로닉스공학과
Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National University

요 약

본 논문에서는 한 바퀴 로봇의 모델을 인식하기 위해 재귀최소자승법을 사용하였다. 인식된 모델을 기반으로 퍼지 제어를 사용하여 밸런싱 제어의 성능을 향상시킨다. 제안하는 제어방식을 시뮬레이션과 실험 결과를 통해 성능을 검증한다.

1. 서 론

제어모멘트자이로를 이용한 한 바퀴 로봇 제어의 성능 향상을 위해서는 김벌의 틸트 각과 바디의 롤 각을 동시에 고려한 제어 방법이 필요하다 [1]. 이러한 협조 제어에 있어서 퍼지를 이용한 제어 보상 방법이 제안되었다. 하지만, 보다 향상된 제어 성능을 달성하기 위해서 본 논문에서는 실시간 시스템 식별을 선행한 다음 이로부터 얻어진 동적 불확실성 에러를 보완할 수 있는 하이브리드 형태의 퍼지 제어 방법을 제안한다.

시스템 식별(System Identification)은 신호처리 분야에서 끊임없이 연구되어져오고 있는 매우 흥미로운 분야이다. 시간 영역에서는 대표적으로 AR(Autoregressive), MA(Moving Average), 그리고, ARMA(Autoregressive Moving Average) 모델이 이용되어지고 있다. 안정한 시스템 식별을 위해 본 논문에서는 MA 모델을 기반으로 한 시스템에서 재귀최소자승법에 의한 시스템 파라미터 추정 방법을 제안하고 추정된 파라미터에 기반한 퍼지 보상 제어 방법을 제안한다. 실험을 통해 한 바퀴 로봇의 균형제어를 검증한다.

2. 문제 정의

한 바퀴 로봇은 그림 1에서와 같이 김벌시스템과 바디시스템으로 구분할 수가 있다. 제어 성능 향상을 위해서는 두 시스템 간의 협조제어가 필요하다.

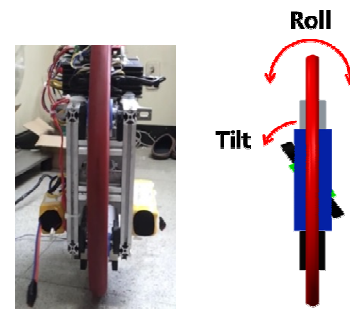


그림 1. 한 바퀴 로봇 제어 문제.
Fig. 1. Control Problem of One-wheel Robot.

3. 시스템 식별 및 퍼지 보상

두 시스템, 김벌과 바디시스템을 각각 식별하기 위한 RLS 알고리즘은 다음과 같다.

$$y(t) = \mathbf{u}^T \boldsymbol{\psi}(t) \quad (1)$$

$$\mathbf{u}^T = [u(t), u(t-1), \dots, u(t-n)] \quad (2)$$

$$\boldsymbol{\psi}^T = [b(t), b(t-1), \dots, b(0)] \quad (3)$$

$$y(t) = \mathbf{u}^T \hat{\boldsymbol{\psi}}(t) + \hat{\mathbf{e}}(t) \quad (4)$$

$$J = \hat{\mathbf{e}}^T \hat{\mathbf{e}} \quad (5)$$

$$P(t+1) = \frac{1}{\lambda} \left(P(t) \left(I - \frac{\mathbf{u}(t+1)\mathbf{u}^T(t+1)P(t)}{\lambda + \mathbf{u}^T(t+1)P(t)\mathbf{u}(t+1)} \right) \right) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \hat{\boldsymbol{\psi}}(t+1) &= \hat{\boldsymbol{\psi}}(t) + P(t+1)\mathbf{u}(t+1)(y(t+1) - \mathbf{u}^T(t+1)\hat{\boldsymbol{\psi}}(t)) \end{aligned} \quad (7)$$

RLS 알고리즘을 통해서 시스템에 대한 동적인 오차를 다음과 같이 알 수가 있다.

$$E_{dynamic} = \hat{y}(t+1) - y(t+1) \quad (8)$$

제시된 방법을 이용하여 김벌시스템과 바디시스템의 동적인 오차값을 입력으로 하는 PD+퍼지보상 제어기를 다음과 같이 제안한다.

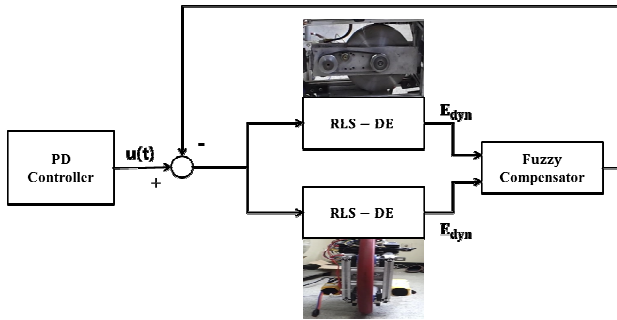


그림 2. 제안하는 제어기.
Fig. 2. Proposed Controller.

그림 2에서와 같이, 퍼지보상기는 RLS기반의 동적 에러를 퍼지 입력으로 하고 두 시스템의 동적 에러 상태에 기반한 퍼지 출력을 생성토록 작동된다. 퍼지 출력은 PD제어기의 출력값에 대한 오프셋으로 동작하게 된다. 퍼지보상기 퍼지 규칙은 다음과 같다.

표 1. 퍼지 보상기를 위한 퍼지 룰
Table 1. Fuzzy Roll for Fuzzy Compensator

		E_{dyn} of gimbal				
		NB	NS	ZO	PS	PB
E_{dyn} of body	NB	N	ZO	N	ZO	ZO
	NS		ZO	ZO	ZO	P
	ZO		ZO	P	P	P
	PS	N	ZO			
	PB	ZO	ZO	P		

4. 시뮬레이션 및 실험

RLS 알고리즘 성능 검증에 위한 시뮬레이션 환경은 그림 3과 같다. 알 수 없는 블랙박스 형태의 김벌시스템에 대해서 입력과 출력에 각각 랜덤한 신호가 인가되고 측정된다고 가정한다.

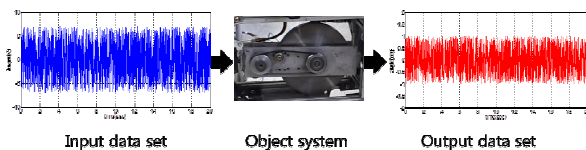


그림 3. RLS 검증을 위한 시뮬레이션 구성도
Fig. 3. Simulation scheme for RLS verification.

시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

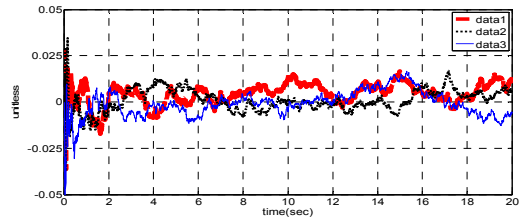


그림 4. 시뮬레이션에서의 파라미터 추정.
Fig. 4. Parameter estimation in the simulation.

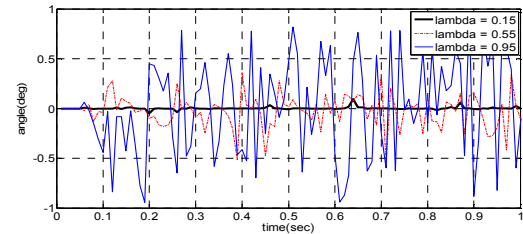


그림 5. $E_{dynamic}$ 시뮬레이션 결과.
Fig. 5. Simulation results on $E_{dynamic}$.

제안한 퍼지 보상기를 실제 시스템에 실현한 다음 실험 결과는 다음과 같다.

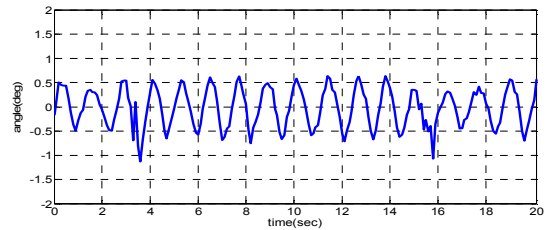


그림 6. 롤 각에 관한 실험 결과.
Fig. 6. Experimental result on the roll angle.

5. 결론

본 논문에서는 RLS 알고리즘을 이용하여 동적으로 김벌시스템과 바디시스템의 파라미터를 추정한다. 이를 이용하여 두 시스템간의 협조제어가 될 수 있도록 하는 퍼지보상기를 제안하였다. 제안된 방법은 시뮬레이션과 실험을 통해 검증하였고 그 결과 매우 향상된 제어 성능을 확인할 수가 있었다.

감사의 글

본 논문은 2015년 한국연구재단 기초연구의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다 (NRF-2014R1A2A1A11049503).

참고 문헌

[1] S. D. Lee, S. Jung, "Model-Based Rolling Motion Control of an One-wheeled Robot Considering the Pitching Motion of a Gyroscopic Effect", *Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 65, no. 2, pp. 239-245, 2016.