

로봇 매니퓰레이터 궤적 추종 성능 향상을 위한 외란관측기 기반 제어

Disturbance Observer Based Control for the Improvement of Trajectory Tracking Performance of a Robot Manipulator

저자
(Authors) 이승덕, 정슬
Sang D. Lee, Seul Jung

출처
(Source) [정보 및 제어 논문집](#), 2018.10, 77-78(2 pages)
[INFORMATION AND CONTROL SYMPOSIUM](#), 2018.10, 77-78(2 pages)

발행처
(Publisher) [대한전기학회](#)
The Korean Institute of Electrical Engineers

URL <http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07562578>

APA Style 이승덕, 정슬 (2018). 로봇 매니퓰레이터 궤적 추종 성능 향상을 위한 외란관측기 기반 제어. 정보 및 제어 논문집, 77-78

이용정보
(Accessed) 충남대학교
168.***.117.183
2019/09/03 11:08 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

로봇 매니플레이터 궤적 추종 성능 향상을 위한 외란관측기 기반 제어

이상덕, 정 슬

충남대학교 메카트로닉스공학과 지능시스템 및 감성공학 실험실

Disturbance Observer Based Control for the Improvement of Trajectory Tracking Performance of a Robot Manipulator

Sang D. Lee and Seul Jung

Intelligent Systems and Emotional Engineering Lab., Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National University

Abstract - 로봇 매니플레이터의 분산 제어 구조에서 관절의 역동역학을 인식하는 것은 궤적 추종 제어 향상에 도움이 된다. 관절의 역동역학 모델이 존재할 경우 쉽게 외란관측기 (DOB)를 설계할 수 있으며 PD-제어기와 결합하여 사용할 수가 있다. 본 논문에서는 역동역학 모델에 기반하여 외란관측기를 설계하고 로봇 매니플레이터 궤적 추종 성능 향상 결과를 제시한다. 관절 역동역학은 변수와 상태로 구성되어진다. 변수는 제귀최소자승법을 이용하여 오프라인에서 인식된 모델을 사용하고 상태관측기를 통해 온라인에서 관절의 각가속도를 추정한다. 추정된 역동역학을 이용하여 쉽게 외란관측기를 설계하고 PD-제어와 결합된 제어기를 설계한다. 실험을 통해 PD 제어 성능과 제안하는 PD+DOB 제어 성능을 비교한다.

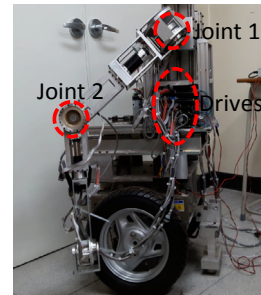


그림 1. KOBOKER

Abstract - Disturbance observer(DOB), robot manipulators, independent joint control, RLS

1. 서 론

로봇 매니플레이터는 다수의 관절과 다수의 링크로 구성된 비선형 시스템이다. 관절 간의 동역학은 궤적에 따라 심각하게 결합될 수 있기 때문에 전체 동역학을 정확하게 유도하는 것은 쉽지 않다. 로봇 매니플레이터의 관절 분산 제어 방식은 복잡한 전체 동역학 유도가 불필요하다는 점에서 강점을 나타낸다 [1]. 관절 독립 제어를 위해서는 각 관절에 대한 변수 값과 상태 값들이 필요하다. 하지만 많은 로봇 매니플레이터들의 경우 관절의 정확한 변수 값을 알기 어렵고 관절 상태를 측정하는 센서 시스템이 충분하지 못하다. 본 논문에서는 변수 인식과 상태관측기를 통해 관절 역동역학을 추정하고 외란관측기 설계를 통해 로봇 매니플레이터의 궤적 추종 성능을 향상시키고자 한다.

관절 변수 인식은 로봇 매니플레이터 제어에 있어서 중요하다. 특히 관성 행렬의 추정은 시간 지연 제어 (TDC)와 같은 대표적인 분산 제어 방법에서 필수적이다. PUMA 560 변수가 디스어셈블 과정을 통해 상세하게 분석되었고, 데이터에 기반한 변수 분석 방법이 제시되었다. 본 논문에서는 제귀최소자승법을 이용하여 인식된 관절 모델을 통해 추정된 변수 값들을 사용한다 [2].

관절 상태 파악을 위해서는 센서 장착 방법, 시간 미분 필터링 방법, 그리고 상태 관측 방법 등이 사용되어진다. 관절의 각도 정보만이 측정 가능한 상태에서 추가적인 센서 장착이 어려운 경우 관절 각속도와 각가속도에 대한 추정이 필요하게 된다. 하지만 시간 미분 필터링에 의한 각가속도 데이터는 잡음이 크므로 상태 관측기를 이용한 추정 방법이 필요하다. 본 논문에서는 루엔버거 관측기 구조를 활용하여 관절의 각가속도를 추정한다.

변수와 상태 정보가 있을 경우 관절 선형 역동역학 모델링이 가능하게 된다. 본 논문에서 관절 역동역학은 선형 이차시스템으로 제시된다. 역동역학에 기반하여 외란관측기를 쉽게 설계할 수가 있다.

PD 제어는 로봇 매니플레이터의 궤적 제어 방법으로 유용하다. 하지만 최적화된 궤적의 생성과 최적화된 게인 값의 선정을 위한 많은 노력이 필요하다. 본 논문에서는 궤적 추종 성능을 향상시킬 수 있는 방법으로 PD+DOB (외란관측기) 구조를 갖는 관절 독립 제어 구조를 제안한다. DOB는 관절 변수와 관절 상태를 통해 추정된 역동역학에 기반한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 연구 배경을 설명하고 2.1절에서는 실험실에서 제작한 로봇 매니플레이터를 소개하고 2.2절에서는 관절 외란관측기를 설계하고 2.3절에서는 비교 실험 결과를 제시하고 3장에서는 결론과 향후 연구 내용을 제시한다.

2. 본 론

2.1 KOBOKER

실험실에서 제작한 로봇 매니플레이터 KOBOKER는 그림 1과 같다. KOBOKER는 두 팔을 갖고 있고 각 팔은 6 개의 관절을 갖고 있다. 본 연구에서는 2-링크 매니플레이터로 모델링 된 KOBOKER의 두 관절을 각각 독립적으로 궤적 제어하고자 한다. 향상된 궤적 제어 성능을 위해서 PD+DOB 제어 구조를 설계하고 실험 검증한다.

2.2 관절 외란관측기

로봇 매니플레이터 동역학 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

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

여기서 $D(q)$ 는 $n \times n$ 관성 행렬이고 $C(q, \dot{q})$ 는 $n \times 1$ 코리올리스 힘과 원심력 벡터이고 $G(q)$ 는 $n \times 1$ 중력힘 벡터이고 τ 는 $n \times 1$ 입력 토크 벡터이고 q, \dot{q}, \ddot{q} 는 각각 $n \times 1$ 각도, 각속도, 각가속도이다.

분산 관절 제어 구조에서 각 관절의 동역학 방정식은 다음과 같이 변수와 회귀 함수(regression function)로 표현할 수 있다.

$$\phi_i(q_i, \dot{q}_i, \ddot{q}_i)\theta_i = \tau_i \quad (2)$$

여기서 $\phi_i(q_i, \dot{q}_i, \ddot{q}_i)$ 는 회귀 함수이고 θ_i 는 변수 벡터이고 τ_i 는 토크 벡터이다.

독립 관절 제어 구조에서 각 관절의 선형화 된 모델로 (3)을 가정한다.

$$m_i[n]x_{i3}[n] + d_i[n]x_{i2}[n] + s_i[n]x_{i1}[n] = \tau_i[n] \quad (3)$$

여기서 m_i, d_i, s_i 는 각 관절의 질량 상수, 댐핑 상수, 강성 상수이고 $x_{i3}[n], x_{i2}[n], x_{i1}[n]$ 는 I-번째 관절의 이산시간에서 시스템 각가속도, 각속도, 각도 상태이다.

만약 (3)의 좌측 항 변수와 상태를 모두 알고 있다고 가정한다면 입력 토크 추정이 가능하다. 본 논문에서는 그러한 개념을 기반으로 DOB를 설계한다.

A. 변수 인식

(3)의 변수는 제귀최소자승법(RLS)을 이용하여 구한다. 사용된 RLS 절차는 다음과 같다.

REMARK 1: RLS process

- (i) Input vector: $\{\tau_i[n], \tau_i[n-1], \tau_i[n-2], q_i[n-1], q_i[n-2]\}$
- (ii) Output datum: $x_{i1}[n] = q_i[n]$
- (iii) Update laws
 - Gain vector update law
 - Covariance matrix update law
 - Parameter vector update law
- (iv) Parameter estimation

결과적으로 본 논문에서 사용된 조인트의 변수 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m_1 &= 0.36, d_1 = 0.81, s_1 = 0.5, \\ m_2 &= 0.09, d_2 = 0.80, s_2 = 0.17 \end{aligned} \quad (4)$$

B. 상태 관측기

변수 인식을 통해 획득한 관절 모델 전달함수는 상태 공간에서 다음과 같이 변환된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i[n+1] &= \mathbf{A}_i \mathbf{x}_i[n] + \mathbf{B}_i \mathbf{u}_i[n], \\ y_i[n] &= \mathbf{q}_i[n] \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 \mathbf{x}_i 는 i 번째 관절 상태 벡터이고 \mathbf{A}_i 는 시스템 행렬이고 \mathbf{B}_i 는 입력 벡터이고 \mathbf{u}_i 는 시스템 입력 벡터이고 y_i 는 출력이다.

(5)로부터 루엔버거 관측기를 설계하면 다음과 같다.

$$\mathbf{x}_i[n+1] = \mathbf{A}_i \mathbf{x}_i[n] + \mathbf{B}_i \mathbf{u}_i[n] + \mathbf{L}_i y_e[n] \quad (6)$$

여기서 \mathbf{L}_i 는 관측기 게인 벡터 이고 $y_e[n] = y_i[n] - \hat{y}_i[n]$ 이고 $\hat{y}_i[n]$ 는 RLS를 통해서 구해진 출력 추정값이다.

(6)에서 관측기 게인은 pole-placement 방법에 의해 선정된다.

C. 외란 관측기

(3)에 의해서 관절 입력 추정치는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$m_i[n]x_{i1}[n] + d_i[n]x_{i2}[n] + s_i[n]x_{i3}[n] = \hat{\tau}_i[n] \quad (7)$$

외란은 다음과 같이 계산 된다.

$$\tau_d[n] = \tau_i[n] - \hat{\tau}_d[n] \quad (8)$$

따라서 외란관측기 기반 제어 구조를 다음과 같이 제안한다.

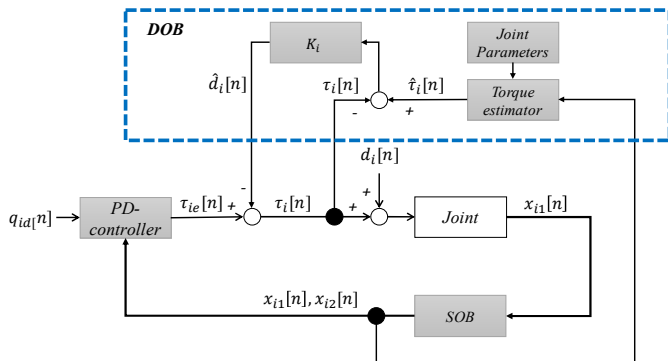


그림 2. 제안하는 관절 외란관측기 기반 제어 구조

여기서 $q_{id}[n]$ 는 레퍼런스 각도이고 $\tau_{ie}[n]$ 는 토크 오차이고 $\tau_i[n]$ 는 토크 입력이고 $d_i[n]$ 는 외란이고, $\hat{d}_i[n]$ 는 DOB에 의해서 추정된 외란이고 Torque estimator는 SOB (State Observer, 상태관측기) 와 변수에 의해서 계산되는 역동역학이고 K_i 는 게인값이다.

PD-controller 는 다음과 같다.

$$\tau_{ie}[n] = k_{ip}(q_{id}[n] - x_{i1}[n]) + k_{id}(0 - x_{i2}[n]) \quad (9)$$

여기서 k_p, k_d 는 각 각 비례게인과 미분게인이다.

2.3 실험

A. 실험 환경

실험 환경은 그림 1과 같다.

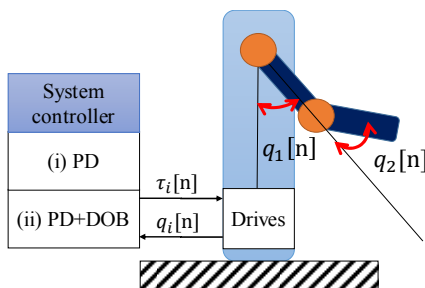


그림 3. 실험 환경

레퍼런스 궤적은 다음과 같다.

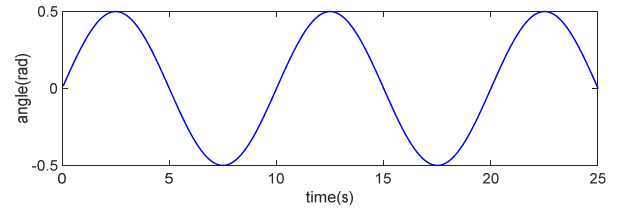


그림 3. 레퍼런스 궤적

종래 PD-제어 결과는 다음과 같다.

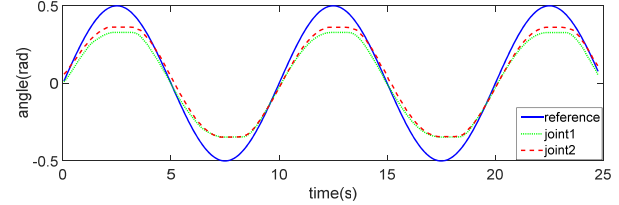
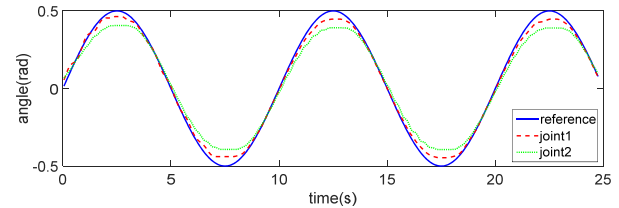


그림 4. PD 제어 결과



(a) PD+DOB 제어 성능

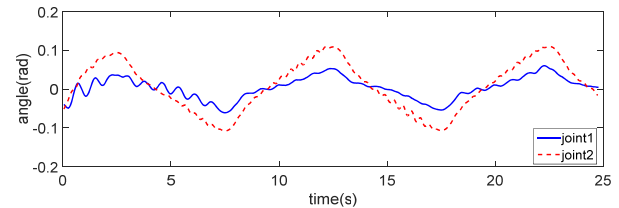


그림 5. 관절 1 PD+DOB 제어 결과

(a) PD+DOB 제어 성능

실험 결과는 표 1과 같이 요약된다.

표 1 궤적 제어 실험 결과

	PD	PD+DOB
RMSE(Joint1)	0.103	0.0285
RMSE(Joint2)	0.092	0.064

3. 결 론

본 논문에서는 관절 외란관측기에 기반한 매니퓰레이터 궤적 제어 성능 향상 방법을 제안하였다. 종래 PD 제어 방법과 제안하는 PD+DOB 방법이 실험 비교 되었다. 실험 결과 PD+DOB에서 궤적 제어 성능이 개선됨을 확인할 수가 있었다. 하지만, PD 제어의 성능은 생성된 궤적에 따라 변하게 되고 게인 튜닝 값에 의해 변할 수가 있다. 보다 다양한 궤적에서의 제어 성능 확인이 추가적으로 필요하고 관절 역동역학의 정확성을 향상시키는 것이 필요하다. 추후에는 사용한 모델은 각 조인트를 독립적으로 가정하고 선형화하여 제어하였으므로 커풀되고 비선형 불확실성에 대해 처리할 수 있는 비선형 DOB, 즉 시간지연제어 방식을 적용하는 것이 필요하다.

[감사의 글]

본 연구는 연구재단의 지원(2016R1A2B2012031)에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

[참고 문헌]

- [1] T. C. Hsia, T. A. Lasky, and Z. Guo, "Robust independent joint controller design for industrial robot manipulators", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 38, no. 1, pp. 21-25, 1991.
- [2] S. D. Lee and S. Jung, "Practical implementation of a factorized all pass filtering technique for non-minimum phase models", *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 16, no. 3, pp. 1474-1481, 2018.