

동기화 오차 기반의 고속 병렬 로봇 제어 Synchronized Control for a High-Speed Parallel Robot

*#도현민, 박찬훈, 박동일, 김병인, 경진호

*#H. M. Do(hmdo@kimm.re.kr), C. H. Park, D. I. Park, B. I. Kim, J. H. Kyung

한국기계연구원 나노융합시스템연구본부 로봇메카트로닉스연구센터

Key words : Synchronization error, Parallel robot, Tracking control

1. 서론

병렬형 로봇은 복수개의 암을 제어하여 복수의 자유도를 구현하는 로봇으로서 다양한 구조의 병렬형 로봇이 제작되고 있다. 이러한 병렬형 로봇은 기존의 산업 현장에서 널리 사용되고 있는 직렬형 로봇에 비해서 병렬형 로봇의 폐쇄 기구 메커니즘으로 인한 여러 가지 장점을 가지고 있다. 대표적으로 높은 구조 강성, 빠른 작동 속도, 우수한 정밀도 및 높은 가반 하중 등을 들 수 있다. 그리고 이러한 특징으로 인하여 고 가속이 필요한 운전제에 적합한 플랫폼으로 산업 현장에 주로 적용되고 있다. 대표적인 적용 분야로는 솔라 셀 등 전자 부품 핸들링, 식품 공장 등에서의 식품 고속 정렬, 생활 용품 등의 패키징 및 포장 등이 있다.

이러한 병렬형 로봇을 제어하기 위해서 제어 시스템이 구성된다. 종래의 제어 방법은 병렬형 로봇의 각 축을 독립적으로 제어하는 방식이나 병렬형 로봇은 그 기구적인 특성으로 인하여 복수 축의 오차가 서로 영향을 미치기 때문에 다른 축의 추종 오차를 고려한 오차 보정이 이루어지지 않을 경우 정밀한 복수의 암의 제어가 어렵다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위하여 다양한 연구가 이루어져 왔다.

Chiacchio 등은 각 축의 독립적 제어에 대한 연구 결과를 제시하였다. 또한 제어 문제의 어려움을 해결하기 위하여 이를 위한 로봇 설계에 관한 연구가 이루어졌다. 동기화 오차 기반의 제어 방법도 다양하게 제안되었으나 주로 평면형 병렬 로봇을 대상으로 하고 있다. 동기화 오차도 대상 시스템에 따라 여러 형태로 정의되고 있다.

본 논문에서는 병렬형 로봇의 제어 정밀도 향상을 위해서 각 축 간의 동기화에 따른 오차 보정을 반영하여 정밀한 복수의 암의 제어가 가능한 복수 축의 동기화 방식에 기반한 고속 병렬형 로봇의 제어방법을 제안하고 있다. 우선 복수 축간의 동기화 오차를 정의하고 각 축의 추종 오차에 이 동기화 오차를 추가적으로 반영하여 되먹임 제어기의 오차 입력으로 사용하여 추종 오차 및 동기화 오차를 동시에 감소시킬 수 있도록 하였다.

2. 병렬형 로봇 모델

본 논문에서 제어 대상으로 고려한 병렬형 로봇은 3 개의 암으로 구성되어 3 자유도를 구현한 로봇이다. 전체 시스템은 그림 1 과 같다. 로봇 베이스는 로봇의 바디 부분으로 로봇 동작 시 충분한 강성이 요구되는 부분으로 3 개의 모터가 연결되어 평행한 원형을 이루도록 제작되었다. 로봇 베이스와 이동 플랫폼은 2 개의 링크로 연결되는데 두 번째 링크는 두 개가 한 쌍이 되어 평행사변형을 이루어 모터의 3 점에서 시작된 평행도를 유지하도록 하였다. 구성은 관절 역할을 하는 볼 조인트 두 개와 이를 지지하는 파이프를 이루어져 있다.

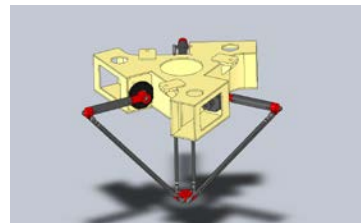


Fig. 1 The structure of the designed parallel robot

3. 동기화 오차 기반 제어 기법

q_i^d 는 i 번째 축의 목표 궤적, q_i 는 i 번째 축의 위치라고 하면 추종 오차 e_i 는 $e_i = q_i^d - q_i$ 로 정의된다. 동기화 오차는 각 축간의 움직임의 동기화가 얼마나 잘 이루어지고 있는지를 판단하는 지표로 i 번째 축의 추종오차와 이전($i-1$ 번째) 및 다음($i+1$ 번째) 축의 추종 오차 값의 차이로 식 (1)과 같이 정의한다.

$$\varepsilon_i = (e_i - e_{i-1}) + (e_i - e_{i+1}) \quad (1)$$

이 때 추종 오차와 동기화 오차를 하나로 묶어서 전체 결합 오차를 식 (2)와 같이 정의한다.

$$e_i^{coupled} = e_i + \gamma \cdot \varepsilon_i \quad (2)$$

여기서 γ 는 동기화 오차의 반영 비율을 조정하기 위한 상수 파라미터이다. 이 때 전체 제어 시스템은 그림 2 와 같이 구성한다. 제어기는 PID 제어기와 앞먹임 제어기로 구성되고, 다만 PID 제어기에 반영되는 오차가 각 축의 추종 오차만이 아니라 동기화 오차를 고려한 전체 결합 오차 $e_i^{coupled}$ 가 된다.

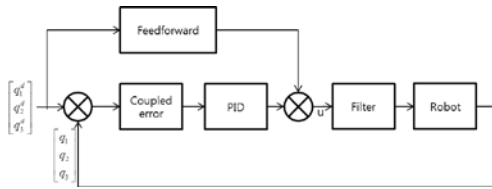


Fig. 2 Overall control system

4. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 동기화 오차기반의 제어 기법의 성능을 시뮬레이션 결과를 통하여 검증하였다. 시뮬레이션연구소의 RoboticsLab 을 이용하여 대상 로봇 모델을 구현하고 각 축을 제어하는 경우와 제안한 방법을 사용한 경우의 결과를 비교하였다.

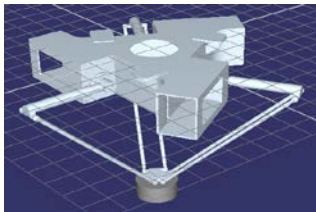


Fig. 3 Simulation model of a parallel robot

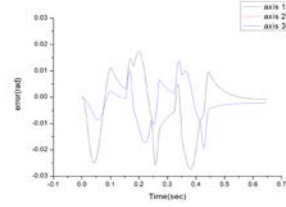


Fig. 4 Tracking error for decoupled control

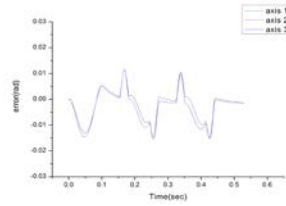


Fig. 5 Tracking error for coupled control

그림 4 는 각 축을 독립적으로 제어한 경우의 추종 오차를 보여주고 있다. 그리고 그림 5 에서는 제안한 동기화 오차 기반의 제어 방법을 사용한 경우의 추종 오차를 보여주고 있다. 두 결과를 비교해보면 제안한 방법을 사용한 경우가 추종 오차가 작아짐을 확인할 수 있고, 또한 각 축의 오차의 동기화가 이루어 지는 것도 확인할 수 있다. 이상의 결과에서 제안한 방법으로 병렬형 로봇의 추종성능을 개선할 수 있음을 입증하였다.

5. 결론

본 논문에서는 고속 병렬형 로봇의 성능 향상을 위한 동기화 오차 기반의 제어 기법을 제안하고 시뮬레이션 결과를 통하여 이를 검증하였다.

참고문헌

1. C. R. Boër, L. Molinari-Tosatti and K. S. Smith(Eds), *Parallel Kinematic Machines*, Springer, 1999.
2. P. Chiacchio *et al.*, "Robust design of Independent Joint Controllers with Experimentation on a High-Speed Parallel Robot," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 40(4): 393-403, 1993
3. L. Ren *et al.*, "Performance Improvement of Tracking Control for a Planar Parallel Robot Using Synchronized Control," *IROS*, 2006