(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0149649
(43) 공개일자 2016년12월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 9/16 (2006.01) *B25J 17/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B25J 9/1692 (2013.01)
B25J 17/0258 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0086983
(22) 출원일자 2015년06월18일
심사청구일자 2015년06월18일
기술이전 희망 : 기술양도

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
강희준
울산광역시 남구 신복로45번길 4, 현대문수팰리스 동 1504호 (무거동, 현대문수팰리스)
(74) 대리인
김종선, 이형석

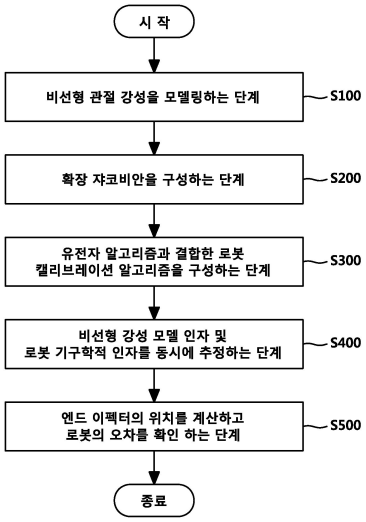
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **비선형 관절 강성을 포함하는 로봇 캘리브레이션 방법**

(57) 요 약

본 발명은 비선형 관절 강성(nonlinear joint stiffness)과 기구학적 인자(Kinematic parameter)를 동시에 추정하는 로봇 캘리브레이션 방법에 관한 것으로 하나 이상의 로봇 관절에서 경계 토크 값에 따라 적어도 두 개의 강성값을 갖는 비선형 관절 강성을 모델링하는 단계; 상기 강성값에 따른 로봇 엔드 이펙터의 처짐(hang)을 설명하는 확장 쟈코비안을 구성하는 단계; 상기 경계 토크 값을 유전자로 하는 유전자 알고리즘과 결합한 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 구성하는 단계; 및 상기 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 적용하여 비선형 강성 모델 인자 및 로봇 기구학적 인자를 동시에 추정하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도4



(52) CPC특허분류
B25J 9/1607 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

하나 이상의 로봇 관절에서 경계 토크 값에 따라 적어도 두 개의 강성값을 갖는 비선형 관절 강성을 모델링하는 단계;

상기 관절 강성값에 따른 로봇 엔드 이펙터의 처짐(deflection)을 설명하는 확장 쟈코비안을 구성하는 단계;

상기 경계 토크 값을 유전자로 하는 유전자 알고리즘과 결합한 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 구성하는 단계; 및

상기 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 적용하여 비선형 강성 모델 인자 및 로봇 기구학적 인자를 동시에 추정하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 관절 강성을 이용하는 로봇 캘리브레이션 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 관절 강성값은 고강성 및 저강성을 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 관절 강성을 이용하는 로봇 캘리브레이션 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 로봇 관절은 적어도 3축 이상이고, 상기 강성 계수는 2축 및 3축에 대한 경계 토크 값에 따라 적용되는 것을 특징으로 하는 비선형 관절 강성을 이용하는 로봇 캘리브레이션 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 유전자 알고리즘은 적합도 함수를 상기 엔드 이펙터의 위치오차로 하는 것을 특징으로 하는 비선형 관절 강성을 이용하는 로봇 캘리브레이션 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 확장 쟈코비안에 대하여 최소 오차자승 알고리즘을 적용하여 기구학적 인자 와 강성 계수의 역수인 컴플라이언스 C를 구하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 관절 강성을 이용하는 로봇 캘리브레이션 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 비선형 강성 모델 인자 및 로봇 기구학적 인자를 동시에 추정하는 단계에서 추정한 인자를 이용하여, 상기

엔드 이펙터의 위치를 계산하고 로봇의 위치오차를 수정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 관절 강성을 이용하는 로봇 캘리브레이션 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 비선형 관절 강성(NONLINEAR JOINT STIFFNESS)과 기구학적 인자(Kinematic parameter)를 동시에 추정하는 로봇 캘리브레이션 방법에 관한 것으로, 보다 자세하게는 로봇 관절 강성을 일반적인 선형모델과 다른 비선형 모델을 제시하고, 그 비선형 관절 강성 모델에 관련된 각 관절의 경계 토크(τ_m)값과 각 관절의 강성을 나타내는 고강성(K_h), 저강성(K_l) 값에 대한 확장 쟈코비안(extended Jacobian)을 제시한 후, 유전자 알고리즘과 캘리브레이션 알고리즘을 결합하여 기구학적 인자뿐만 아니라 각 관절의 토크에 따라 나타나는 고강성, 저강성을 나타내는 2개값 강성(two valued stiffness)을 동시에 추정하여 로봇 정확도(accuracy)를 향상시키는 로봇 캘리브레이션 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 전기적 또는 자기적인 작용을 이용하여 인간의 동작과 닮은 운동을 행하는 기계장치를 로봇이라고 한다. 최근 산업 현장에서 작업 환경 개선 및 생산성 향상을 목적으로 로봇을 사용하는 경향이 증가하고 있으며, 특히 단순 반복 작업이거나 인간이 직접 수행하기가 힘들고 위험한 작업에 로봇을 사용하는 경우가 증가하고 있다. 이러한 로봇은 전기적·기계적 메카니즘에 의해서 팔이나 손의 동작에 가깝게 운동할 수 있도록 만들어진 머니퓰레이터(manipulator)를 이용하여 작업을 수행한다.

[0003] 현재 사용되고 있는 대부분의 로봇 머니퓰레이터는 여러 개의 링크(link)들이 서로 연결되어 구성된다. 각 링크들의 부위를 관절(joint)이라 하는데 로봇 머니퓰레이터는 이러한 링크와 관절들 사이의 기하학적인 관계에 따라 운동 특성이 결정된다. 기하학적인 관계를 수학적으로 표현한 것이 기구학적(Kinematics)이며 대부분의 로봇 머니퓰레이터는 이러한 기구학적 특성(kinematics characteristic)을 가지고 작업을 수행하기 위한 방향으로 로봇 선단(end-effector, 이하 엔드 이펙터라 한다)을 이동시킨다.

[0004] 이러한 시스템을 사용하는 경우, 중력, 하중 또는 기계 자체의 무게 등 외부적인 요인에 의해 로봇의 위치 정확도는 저하된다. 그 원인을 구체적으로 기술하면, 기구학적 방정식이 실제 로봇을 제작하는 과정에서 불가피하게 발생하는 기구학적 오차, 로봇의 동작 제어 시 동적 오차(Dynamic Error), 로봇 구조물의 처짐, 관절부에서의 컴플라이언스(Compliance) 등으로 인한 처짐 등이 있다.

[0005] 특히, 과거에는 교시 후 작동 기능의 핵심 요구 사항인 로봇 반복정밀도(repeatiblility) 향상이 주요 관심 사항이었지만, 최근에는 첨단 디지털 매뉴팩처링(digital manufacturing) 기법인 로봇의 오프라인 프로그래밍 적용의 핵심 요구 수준에 부응하기 위해 로봇 정확도를 향상시키기 위한 로봇 캘리브레이션 기술이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 개선하기 위한 것으로서, 기구학적 인자에 관계없이 하중에 의해 발생하는 로봇 관절(joint)의 처짐 현상을 비선형 강성 함수관계로 확장 모델하고, 유전자 알고리즘과 결합하여, 모델에 관련된 모델인자들과 기구학적 인자를 동시에 추정할 수 있는 로봇 캘리브레이션 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위해 본 발명은, 하나 이상의 로봇 관절에서 경계 토크 값에 따라 적어도 두 개의 강성값을 갖는 비선형 관절 강성을 모델링하는 단계; 상기 관절 강성값에 따른 로봇 엔드 이펙터의 처짐(deflection)

을 설명하는 확장 자코비안을 구성하는 단계; 상기 경계 토크 값을 유전자로 하는 유전자 알고리즘과 결합한 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 구성하는 단계; 및 상기 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 적용하여 비선형 강성 모델 인자 및 로봇 기구학적 인자를 동시에 추정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0008] 상기와 같이 구성된 본 발명에 따른 비선형 관절 강성을 이용하는 로봇 캘리브레이션 방법에 의하면, 선형 모델에 비하여 로봇의 정밀도가 향상되고 로봇 기구학적 인자를 보다 정확하게 추정하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 발명의 실시예에 따른 로봇의 개략적인 구성을 나타내는 사시도이다.

도 2는 발명의 실시예에 따른 로봇 각 관절의 비틀림 각도와 적용 토크의 비선형 관계를 개념적으로 나타내는 그래프이다.

도 3은 발명의 실시예에 따라 도 2의 비선형 관계의 고찰을 통하여 얻어진 토크의 크기에 따라 다르게 나타나는 강성 계수의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 4는 발명의 실시예에 따라 유전자 알고리즘과 결합된 비선형 관절 강성을 포함하는 로봇 캘리브레이션 방법을 나타내는 순서도이다.

도 5는 발명의 실시예에 따라 로봇 캘리브레이션 방법을 적용한 후의 오차를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 본 발명은 다양한 변형 및 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0011] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0012] 도 1은 발명의 실시예에 따른 로봇 캘리브레이션 알고리즘 적용의 개략적인 구성을 나타내는 사시도이다. 도시된 바와 같이, 발명의 실시예에 따른 상기 알고리즘은 비선형 강성 모델을 포함한 로봇 캘리브레이션부(100) 및 머니퓰레이터(200)를 포함할 수 있다. 로봇 캘리브레이션부(100)는 비선형 강성 모델 생성부(110), 확장 자코비안 생성부(120), 유전자 알고리즘과 결합한 로봇 캘리브레이션 적용부(130) 및 추정인자 기반 위치 계산부(140)를 포함할 수 있다. 또한 도시되지는 않았으나, 상기 알고리즘을 적용하기 위한 로봇 말단부 위치 측정, 로봇 인코더 측정 및 하중에 따른 평형위치 계산 등에 필요한 다른 구성요소를 포함할 수도 있다.

[0013] 비선형 강성 모델 생성부(110)는 토크값에 따라 비선형적으로 적용되는 강성의 모델을 생성한다. 즉, 경계토크 값을 기준으로 하나 이상의 강성 값, 예를 들어 고강성 및 저강성 값이 다르게 적용되도록 하는 모델을 생성한다. 확장 자코비안 생성부(120)는 종래의 자코비안 외에 고강성 및 저강성에 따른 위치오차를 구하기 위해 확장된 자코비안을 생성한다. 유전자 알고리즘과 결합한 로봇 캘리브레이션 적용부(130)는 유전자 알고리즘과 결합하여 로봇에 캘리브레이션을 적용한다. 추정인자 기반 위치 계산부(140)는 로봇의 위치를 계산하고 로봇 정확도를 판단하는 기능을 수행한다.

[0014] 도 2는 발명의 실시예에 따른 로봇의 적용 토크와 관절 비틀림(joint torsion)의 비선형 관계를 개념적으로 나타내는 그래프이다. 도 2에 도시된 토크 함 수의 기울기는 관절의 순간 강성계수를 나타내는데, 기울기 값의 변화가 특정 경계 토크값을 기준으로 나뉘어 2개 값으로 표현될 수 있다. 따라서, 각 관절(joint)에 대하여 경계토크(τ_m)값에 따른 2개 강성값인 고강성(K_h), 저강성(K_l)을 적용할 수 있다. 즉, 관절의 토크값이 경계토크 값 이상인 경우 로봇 캘리브레이션에 고강성(K_h)을 적용하고, 관절의 토크값이 경계토크 값 미만인 경우 저강성(K_l)을 적용할 수 있다.

[0015] 도 3은 발명의 실시예에 따라 토크의 크기에 대응하여 다르게 적용되는 강성 계수의 관계를 나타내는 그래프이

다. 그래프에서 x축은 토크를 나타내고 y축은 강성계수를 나타낸다. 도시된 바와 같이, 토크의 값이 τ_m 미만이면 캘리브레이션에 적용되는 강성계수는 K_l이고 토크의 값이 τ_m 이상이면 캘리브레이션에 적용되는 강성계수는 K_h이다. 이와 같이 경계 토크(τ_m)의 값을 기준으로 캘리브레이션에 적용되는 강성계수는 다르게 적용된다. 경계 토크(τ_m)는 사용 로봇 관절의 고유 특성값으로 나타나게 되며, 강성계수는 로봇의 자세(pose)에 대응하여 각 관절에 적용되는 하중의 변화에 따라 계산되는 로봇 관절 토크 값과 경계토크 값에 따라 고강성(K_h)과 저강성(K_l) 중에서 선택될 수 있다.

[0016] 각 로봇 관절의 경계 토크(τ_m)는 로봇 말단의 위치 오차를 적합도 함수로 하는 유전자 알고리즘과 로봇 캘리브레이션 알고리즘을 결합하여 결정하게 된다. 6축 로봇에서 하중에 가장 많은 영향을 받는 2개의 관절(2축, 3축)에 대하여 확장 자코비안 구성을 통한 캘리브레이션 기본식 구성 방법을 설명하면 하기와 같다.

[0017] 로봇의 자세에 따라 2축, 3축에 요구되는 토크값(τ_2, τ_3)이 계산된다. 각 축의 고유 특성인 추정 경계 토크값(τ_{2m}, τ_{3m})에 따라 2축과 3축의 엔드 이펙터 위치오차의 경우의 수는 4가지가 된다. 상기 엔드 이펙터 위치오차의 4가지 경우가 모두 포함된 캘리브레이션 기본식은 하기와 같이 구성될 수 있다.

[0018]
$$\begin{bmatrix} \Delta X_{ll} \\ \Delta X_{hh} \\ \Delta X_{hl} \\ \Delta X_{lh} \end{bmatrix} = J_{\emptyset}\Delta\emptyset + \begin{bmatrix} J^{l}_{\theta_2}\tau^{l}_{2} & O & J^{l}_{\theta_3}\tau^{l}_{3} & O \\ O & J^{h}_{\theta_2}\tau^{h}_{2} & O & J^{h}_{\theta_3}\tau^{h}_{3} \\ O & J^{h}_{\theta_2}\tau^{h}_{2} & J^{l}_{\theta_3}\tau^{l}_{3} & O \\ J^{l}_{\theta_2}\tau^{l}_{2} & O & O & J^{h}_{\theta_3}\tau^{h}_{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c^{2}_{l} \\ c^{2}_{h} \\ c^{3}_{l} \\ c^{3}_{h} \end{bmatrix}$$

.....수학식(1)

[0019] 상기 수학식(1)에서 ΔX_{ll}은 2축, 3축의 강성계수가 각각 Low인 경우 발생하는 엔드 이펙터 위치오차를 나타낸다. ΔX_{hh}은 2축, 3축의 강성계수가 각각 high인 경우 발생하는 엔드 이펙터 위치오차를 나타낸다. ΔX_{hl}은 강성계수가 2축은 High, 3축은 Low인 경우 엔드 이펙터 위치오차를 나타내고, ΔX_{lh}은 강성계수가 2축은 Low, 3축은 High인 경우 엔드 이펙터 위치오차를 나타낸다.

[0020] 상기 수학식에서 $J_{\phi}\Delta\phi$는 일반적인 기구학적 캘리브레이션(Kinematic Calibration)의 기본 항이고, J_{ϕ}는 기구학적 추정 인자 셋 ϕ과 엔드 이펙터 측정점 위치 사이의 자코비안을 나타낸다. c_l^2는 2축의 low 강성의 역수인 2축 관절 컴플라이언스를 나타낸다. 같은 방법으로로 c_h^2, c_l^3, c_h^3은 각각 2축 관절 high 강성의 역수, 3축 관절 low 강성의 역수, 3축 관절 high 강성의 역수를 나타낸다.

[0021] 수학식(1)에서 2번째 항의 관계식에 대해 하기와 같이 설명한다. 로봇 자중도 외부 부하를 포함하는 외력 F와 로봇 관절력 사이의 관계는 다음과 같다.

[0022] $\tau = J^{T}F$...수학식(2)

[0023] 또한 관절력과 관절 강성파라미터(K)의 관계는 다음과 같다.

[0024] $\tau = K\Delta\Theta_{stiff}$...수학식(3)

[0025] 따라서, 외력에 의한 관절각 변화량은 다음과 같이 정의된다.

[0026] $\Delta\Theta_{stiff} = K^{-1}\tau = C\tau$...수학식(4)

[0027] 여기에서 C는 강성의 역수로 관절 컴플라이언스를 나타낸다. 따라서 강성(또는 컴플라이언스) 파라미터가 포함된 통합 로봇 캘리브레이션 모델은 다음과 같다.

$$\Delta X = J_\phi \Delta\phi + J_\theta \Delta\theta_{stiff}$$
$$= J_\phi \Delta\phi + J_\theta C\tau$$
$$= J_\phi \Delta\phi + J_\theta \tau C$$

[0028] ...수학식(5)

[0029] 즉, 수학식(1)에서 우측의 2번째 항은 수학식(5)에서 우측의 2번째 항을 각 관절의 2개값 컴플라이언스로 확장한 것이다.

[0030] 유전자 알고리즘에서는 로봇 캘리브레이션의 목적인 엔드 이펙터 위치오차를 적합도 함수로 정하고, 경계를 나타내는 토크인 경계토크 값(τ_{2m}, τ_{3m})의 변화를 통하여 최적의 기구학적 파라미터, 경계토크 값 그리고 각 관절의 고강성(K_h) 및 저강성(K_l)을 동시에 추정하는 알고리즘을 구성한다. 다음으로 상기 알고리즘을 통해 로봇의 위치를 계산하고 측정값과 비교한다. 즉, 수정된 인자들을 기반으로 로봇의 위치를 계산하고 정확도를 판단한다.

[0031] 이와 같은 방법으로 엔드 이펙터 위치오차가 최소에 도달할 때까지 반복적인 최소 오차자승 알고리즘(iterative error least square algorithm)을 효과적으로 수행하여 위치오차를 감소시킬 수 있다.

[0032] 도 4는 발명의 실시예에 따라 로봇의 오차를 평가하는 방법을 나타내는 순서도이다. 도시된 바와 같이, S100의 단계에서 하나 이상의 로봇 관절의 처짐을 설명하는 비선형 관절 강성을 모델링한다. 이에 의해 토크 값에 따른 비선형 관절 강성값이 정해진다(도 3 참조).

[0033] 다음으로, 상기 관절에서 나타나는 고강성과 저강성 값에 따른 로봇 엔드 이펙터의 처짐(hang)을 설명하는 확장 쟈코비안을 구성한다(S200). 이에 따라 상기의 수학식(1)을 얻을 수 있다. 또한 상기의 수학식에 대하여 최소 오차자승 알고리즘을 적용하면 기구학적 인자 와 강성 계수의 역수인 컴플라이언스 C를 구할 수 있다.

[0034] 다음으로, 유전자 알고리즘과 로봇 캘리브레이션을 결합하여 복합 알고리즘을 구성한다(S300). 즉, 경계 토크값(τ_{2m}, τ_{3m})을 유전자로 하고, 적합도 함수를 엔드 이펙터의 오차로 하는 유전자 알고리즘을 구성한다. 다음으로 복합 알고리즘을 적용하여 비선형 강성 모델 인자 및 로봇 기구학적 인자를 동시에 추정한다(S400). 즉, 유전자 알고리즘과 로봇 캘리브레이션을 결합하여 비선형 강성 모델 인자 및 로봇 기구학적 인자를 동시에 추정한다. 다음으로 로봇의 위치를 계산하고 측정값과 비교한다(S500). 즉, 추정인자를 이용하여 엔드 이펙터의 위치 계산을 통하여 로봇의 위치 오차를 확인, 수정한다.

[0035] 도 5는 발명의 실시예에 따라 로봇 캘리브레이션 방법을 적용한 후의 오차를 나타내는 그래프이다. 도시된 바와 같이, 기구학적(Kinematics) 만을 적용한 경우의 평균오차(mean error)는 0.258이고, 기구학적 및 선형 강성(constant stiffness)을 적용한 경우의 평균오차는 0.174이며, 기구학적 및 비선형 강성(nonlinear stiffness)을 적용한 경우의 평균오차는 0.167로 비선형 강성 모델을 적용한 경우의 평균오차가 가장 적게 나타남을 확인할 수 있다.

[0036] 또한 하기의 표 1은 본 발명의 실시예에 따른 캘리브레이션 알고리즘을 적용하고 그 정밀도의 변화를 비교하여 나타낸 것이다.

표 1

[0037]

	Error mean	Error max
Kinematic only	0.4372	1.0714
Constant stiffness	0.3292	0.6314
Nonlinear stiffness	0.2461	0.5434

[0038] 도 5 및 표 1에 나타난 바와 같이, 로봇에 비선형 관절 강성 모델을 적용하는 것이 기구학적이나 선형 강성의 조합을 통한 캘리브레이션보다 로봇의 정밀도를 향상시키는데 효과적임을 확인할 수 있다.

[0039] 이상에서 검토한 바와 같이, 토크에 따라 강성 계수를 비선형적으로 적용함으로써 로봇 캘리브레이션을 효과적

으로 실시할 수 있게 된다.

[0040] 본 명세서에 기재된 본 발명의 실시 예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 실시 예에 관한 것이고, 발명의 기술적 사상을 모두 포괄하는 것은 아니므로, 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다. 따라서 본 발명은 상술한 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 권리범위 내에 있게 된다.

부호의 설명

[0041] 100: 비선형 강성 모델을 포함한 로봇 캘리브레이션부

110: 비선형 강성 모델 생성부

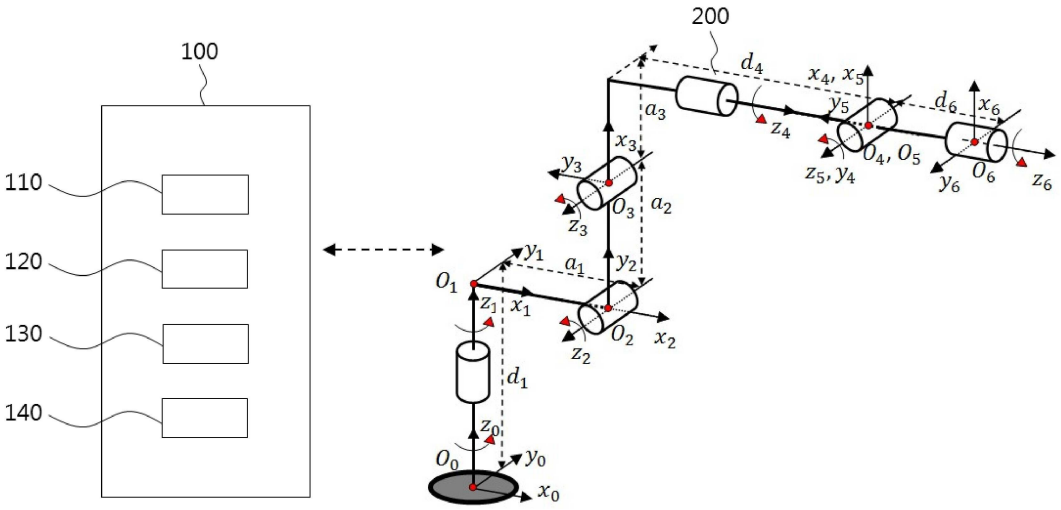
120: 확장 쟈코비안 생성부

130: 유전자 알고리즘과 결합한 로봇 캘리브레이션 적용부

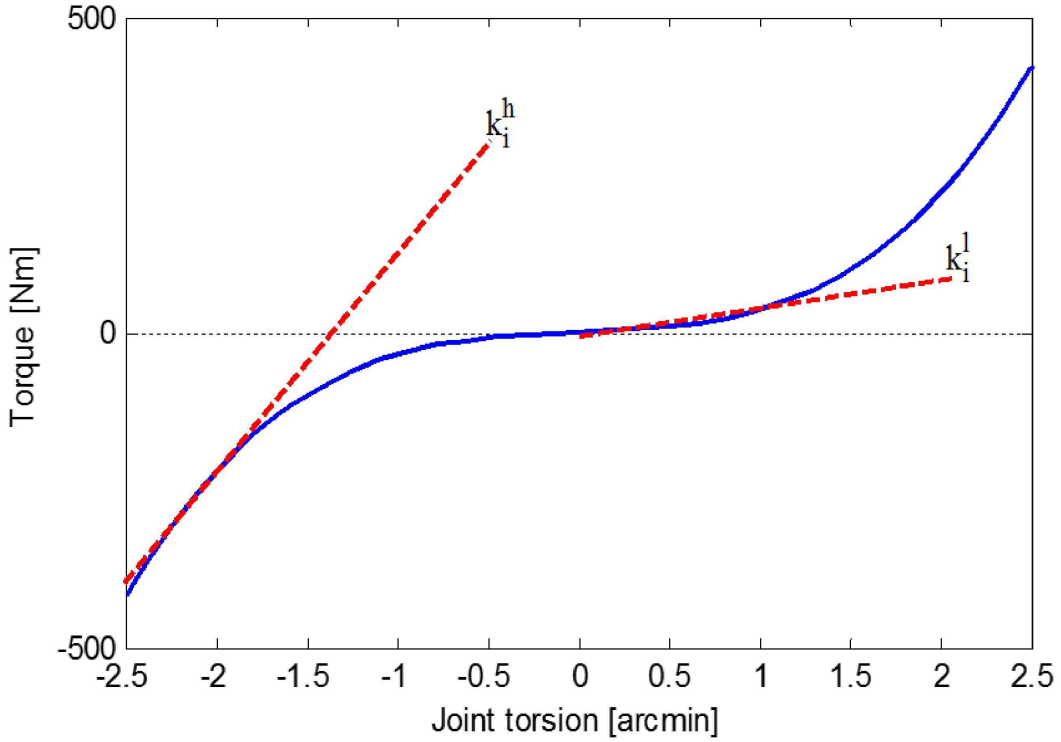
140: 추정인자 기반 위치 계산부

도면

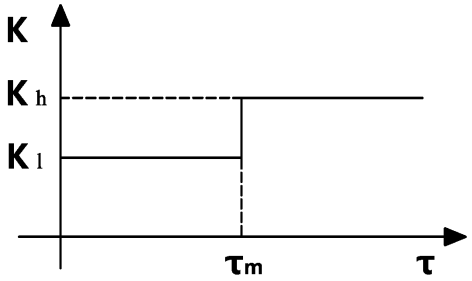
도면1



도면2

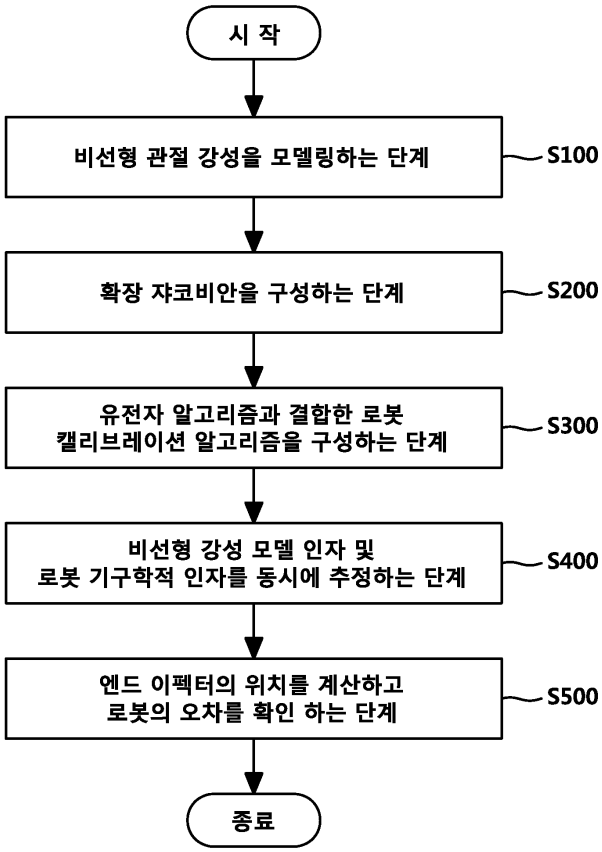


도면3

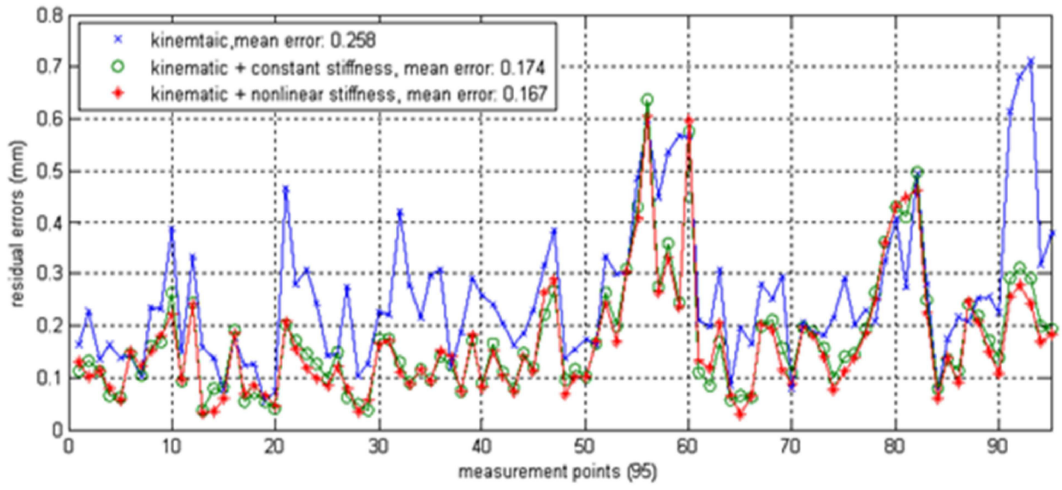


$$K = \begin{cases} K_l & \tau < \tau_m \\ K_h & \tau \geqq \tau_m \end{cases}$$

도면4


시 작
비선형 관절 강성을 모델링하는 단계
S100
확장 쟈코비안을 구성하는 단계
S200
유전자 알고리즘과 결합한 로봇
캘리브레이션 알고리즘을 구성하는 단계
S300
비선형 강성 모델 인자 및
로봇 기구학적 인자를 동시에 추정하는 단계
S400
엔드 이펙터의 위치를 계산하고
로봇의 오차를 확인 하는 단계
S500
종료

도면5


kinemtaic,mean error: 0.258
kinematic + constant stiffness, mean error: 0.174
kinematic + nonlinear stiffness, mean error: 0.167
residual errors (mm)
measurement points (95)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90