



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월12일
(11) 등록번호 10-2144142
(24) 등록일자 2020년08월06일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B25J 9/16 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
B25J 9/1641 (2013.01)
G05B 2219/40381 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7013379
- (22) 출원일자(국제) 2013년10월21일
심사청구일자 2018년06월25일
- (85) 번역문제출일자 2015년05월21일
- (65) 공개번호 10-2015-0086277
- (43) 공개일자 2015년07월27일
- (86) 국제출원번호 PCT/SE2013/051224
- (87) 국제공개번호 WO 2014/065744
국제공개일자 2014년05월01일
- (30) 우선권주장
1251196-0 2012년10월23일 스웨덴(SE)
- (56) 선행기술조사문헌
EP00666150 A1
JP07276266 A
JP61033883 A
US20120074724 A1

- (73) 특허권자
코그니보틱스 에이비
스웨덴, 223 70 룬드, 쉴레바겐 15, 이테온 사이언스 파크
- (72) 발명자
닐슨, 클라스
스웨덴, 에스-226 50 룬드, 로에파레그란덴 1
- (74) 대리인
허용록

전체 청구항 수 : 총 22 항

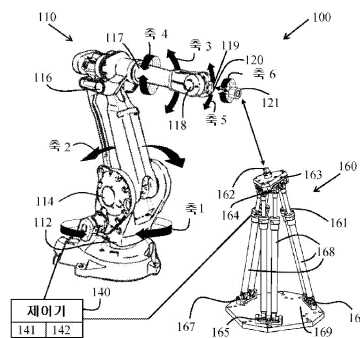
심사관 : 신효영

(54) 발명의 명칭 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 방법 및 시스템

(57) 요약

발명은 조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119, 180)와 같은 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 방법에 관한 것으로서, 상기 조인트는 적어도 하나의 액추에이터에 의해서 구동되도록 구성되고, 액추에이터는 구동트레인을 통해서 상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)를 구동하도록 구성된다. 방법은: 조인트의 운동이 속박되도록 상기 조인트를 클램핑하는 단계(200), 및 적어도 하나의 조인트 위치에 상응하는, 상기 액추에이터의 적어도 하나의 출력 값을 결정하기 위해서(220), 상기 액추에이터의 토크와 연관된 적어도 하나의 양 및 액추에이터 위치와 연관된 적어도 하나의 양을 모니터링하면서 상기 구동트레인을 작동시키는 단계(210), 및 적어도 하나의 출력 값을 기초로 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하는 단계(230)를 포함한다. 발명은 또한 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 시스템에 관한 것이다.

대표도 - 도1a



(52) CPC특허분류
G05B 2219/41059 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119, 180)와 같은 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 방법으로 서, 상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)는 적어도 하나의 액추에이터에 의해서 구동되도록 구성되고, 액추에이터는 구동트레인을 통해서 상기 조인트(112, 114, 116~119)를 구동하도록 구성되고, 제어기(140)는 상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 운동을 제어하도록 구성되는, 방법이며:

- 조인트 운동이 속박되도록 상기 조인트(112, 114, 116~119)를 클램핑하는 단계(200); 및
- 제어기(140)의 제어에 의해서 액추에이터가 제1 위치와 제2 위치 사이에서 왕복하여 완전히 전개된 구동트레인 토크 동력전달이, 반대 방향으로, 양 위치에서 달성되도록, 상기 액추에이터의 토크를 나타내는 적어도 하나의 양 및 모터 각도 센서에 의해서 감지된 액추에이터 위치를 나타내는 적어도 하나의 양을 모니터링하면서 상기 구동트레인을 작동시키는 단계(210)로서, 모니터링된 상기 액추에이터의 토크를 나타내는 적어도 하나의 양 및 액추에이터 위치를 나타내는 적어도 하나의 양이 이력 사이클 데이터를 형성하는, 상기 구동트레인을 작동시키는 단계(210);
- 획득된 이력 사이클 데이터를 기초로 상기 액추에이터의 토크 또는 상기 액추에이터 위치를 나타내는 출력 값의 적어도 하나의 세트를 결정하는 단계(220)로서, 상기 출력 값의 세트가 적어도 하나의 조인트 위치와 관련되는, 출력 값의 적어도 하나의 세트를 결정하는 단계(220), 및
- 상기 출력 값의 세트를 기초로 조인트(112, 114, 116~119)의 적어도 하나의 특성을 결정하는 단계(230)를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 조인트의 적어도 하나의 특성의 결정하는 단계는 로스트 모션을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 방법이:

- 완전히 전개된 구동트레인 토크 동력전달이, 최대 위치 이력이 얻어질 수 있을 정도로 충분히 크도록, 허용된 토크 범위 내에서, 상기 구동트레인을 작동시키는 단계(210); 및
- 획득된 위치 이력을 기초로 상기 로스트 모션을 결정하는 단계(220)를 더 포함하는, 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 이력 사이클 데이터는 곡선에 의해서 근접되고, 상기 방법은:

- 근접된 곡선의 각각의 꼬리에 점근적으로 접근하는 2개의 곡선을 맞추는 단계; 및
- 적어도 하나의 토크 값에 대해서, 곡선들 사이의 위치 차이로서 로스트모션을 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 적어도 하나의 특성을 결정하는 단계는 상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 백래시를 결정하는 단계(230)를 포함하고,

상기 백래시를 결정하는 단계가:

- 상기 구동트레인 입력 토크가, 영의 구동트레인 입력 토크에 의해서 특징화되는 클램핑된 위치의 양 측부 상

에서 영이 아닌 값에 도달하도록, 동일한 구동트레인 입력 토크에 대한 위치의 차이를 결정하는 것에 의해서 위치 이력을 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

백래시를 결정하는 단계(230)가:

- 위치 이력의 결정에 앞서서 마찰의 영향에 대해서 액추에이터 토크를 보상하는 것에 의해서 구동트레인 입력 토크를 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 적어도 하나의 특성을 결정하는 단계는 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 컴플라이언스를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 방법이:

- 획득된 백래시의 영향을 이력 사이클 데이터로부터 제거하는 것에 의해서 컴플라이언스를 결정하는 단계(230)를 더 포함하는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 적어도 하나의 특성을 결정하는 단계는 운동역학적 액추에이터 마찰을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 운동역학적 액추에이터 마찰을 결정하는 단계(230)가:

- 적어도 하나의 위치 값에 대한 토크 이력을 식별하는 것에 의해서, 이력 사이클 데이터로부터, 상기 운동역학적 액추에이터 마찰을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 운동역학적 액추에이터 마찰의 값은 식별된 토크 이력의 값의 절반인, 방법.

청구항 8

제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

이력 사이클이 상이한 열적 조건들 하에서 모니터링되고, 열적 조건은 환경의 또는 조인트의 임의의 기계적 요소의 측정된 또는 모사된 온도에 의해서 표시되고, 이력 사이클은 온도에 의존하며, 그에 따라, 결정된 특성이 온도에 따라서 변화되고:

- 온도에 대한 적어도 하나의 조인트 특성의 의존성을 결정하는, 방법.

청구항 9

제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

적어도 2개의 클램핑된 조인트(112, 114, 116~119, 180)에 대한 조인트 특성 값을 결정하기 위해서 구동트레인을 통해서 적어도 하나의 액추에이터를 작동시키는 것을 반복하는 단계를 포함하고, 개별적인 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 클램핑 구성은 작동 단계(210) 및 모니터링 위상 전체를 통해서 변화되지 않고 유지되는, 방법.

청구항 10

제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

- 적어도 제1 조인트(112, 114, 116~119, 180)를 제1 클램핑 구성으로 클램핑하는 단계; 및
- 적어도 제1 조인트(112, 114, 116~119, 180)를 제2 클램핑 구성으로 클램핑하는 단계;를 포함하고,
- 상기 방법의 상기 단계는 각각의 클램핑 구성에 대해서 수행되는, 방법.

청구항 11

제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조인트(112, 114, 116~119)를 자동으로 클램핑하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 12

제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 조인트 운동을 속박하기 위하여 상기 조인트(112, 114, 116~119)를 클램핑 하는 단계(200)는 상기 조작기(110)의 단부 부분을 공간 내의 지점에 클램핑 함에 의해 수행 되는, 방법.

청구항 13

조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 방법이며, 상기 방법은 조작기(110)의 작업-공간 내에서 클램핑 물품(160)에 상기 조작기(110)의 이동가능한 부분을 배치하는 단계 및 클램핑 물품(160) 상의 하나의 지점을 상기 이동가능한 부분과 접촉시키는 단계를 포함하고, 그리고 제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항의 방법 단계를 실행하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 14

제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

- 조작기(110)에 대한 명목적 운동역학적 매개변수를 획득하는 단계; 및
- 상기 적어도 하나의 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 적어도 하나의 결정된 특성을 기초로 상기 명목적 운동역학적 매개변수를 업데이트하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 15

제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

결정된 조인트의 적어도 하나의 특성에 따라서, 조작기의 조인트와 같은 조인트의 구동트레인을 작동시키도록 구성된 제어를 업데이트하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 16

조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119, 180)와 같은, 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 시스템(100)으로서:

구동트레인을 통해서 상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)를 구동하도록 구성된 적어도 하나의 액추에이터를 포함하는, 시스템(100)에 있어서,

- 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 조인트 운동을 속박하도록 구성된 클램핑 수단(160);
- 액추에이터가 제1 위치와 제2 위치 사이에서 왕복하여 완전히 전개된 구동트레인 토크 동력전달이, 반대 방향으로, 양 위치에서 달성되도록, 상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 운동을 제어하도록 그리고 상기 구동트레인을 작동시키도록 구성된 제어기(140);
- 구동 트레인을 작동시키는 동안, 상기 액추에이터의 토크를 나타내는 적어도 하나의 양 및 모터 각도 센서로 감지된 액추에이터 위치를 나타내는 적어도 하나의 양을 모니터링하기 위한 수단으로서, 모니터링된 상기 액추에이터의 토크를 나타내는 적어도 하나의 양 및 액추에이터 위치를 나타내는 적어도 하나의 양이 이력 사이클 데이터를 형성하는, 모니터링하기 위한 수단;
- 획득된 이력 사이클 데이터를 기초로, 적어도 하나의 조인트 위치에 상응하는, 상기 액추에이터의 토크 또는 액추에이터 위치를 나타내는 출력 값의 적어도 하나의 세트를 결정하기 위한 수단; 및
- 상기 적어도 하나의 출력 값을 기초로 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템(100).

청구항 17

제16항에 있어서,

조작기(110)를 더 포함하고, 상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)가 조작기(110)의 일부이고, 상기 제어기(140)는 조작기(110)를 제어하도록 구성되고, 클램핑 수단(160)은, 조작기(110)가, 클램핑 수단(160)에 도킹되고 클램핑될 때, 클램핑된 자세를 가지도록, 조작기(110)의 단부 부분의 도킹 및 클램핑을 가능하게 하도록 구성되는, 시스템(100).

청구항 18

제16항 또는 제17항에 있어서,

상기 조작기(110)의 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위해서 조작기(110)를 클램핑하기 위한 적어도 하나의 공간 내의 지점을 제공하도록 구성된 클램핑 물품(160)을 더 포함하는, 시스템(100).

청구항 19

제16항 또는 제17항에 있어서, 상기 클램핑 수단(160)은 상기 조작기(110)의 단부 부분을 클램핑 하기 위하여 공간 내의 지점을 제공함으로써 상기 조인트(112, 114, 116~119)의 조인트 운동을 속박하는, 시스템(100).

청구항 20

제 19항에 있어서, 상기 시스템(100)은 상기 조작기(110)의 상기 단부 부분을 상기 클램핑 수단(160)에 자동으로 클램핑 하는, 시스템(100).

청구항 21

제16항에 따른 시스템(100)에서의 컴퓨터 관독 가능 매체로, 제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항에 따른 방법 단계 중 임의의 방법 단계를 실행하기 위한 컴퓨터 명령어를 포함하는, 컴퓨터 관독 가능 저장 매체.

청구항 22

실행 시 제어기(140)가 제1항 내지 제3항, 제7항 중 어느 한 항의 방법에 따라 조인트의 특성의 결정을 수행하게 하는 컴퓨터 명령어를 저장하는 컴퓨터 관독 가능 저장 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 조작기(manipulator)의 조인트와 같은 서보-제어형 기계적 운동의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 로봇은 많은 산업 분야에서 널리 적용되고 있다. 특히, 일부 산업 분야에는, 인간의 건강을 위협하는 과제 또는 인간이 견딜 수 없는 조건하에서 실시되는 노동을 수행하는 것이 포함된다. 다른 산업 분야에는, 로봇에 의해서 상당히 더 효율적이고 정밀하게 실시될 수 있는 반복적인 과제가 포함된다.

[0003] 산업용 로봇은 전형적으로 공작물 및 재료를 조작하거나 처리하도록 고안된 조작기를 포함한다. 조작기는 일반적으로 일련의 분절체(segment)로 이루어진 아암-유사 배열체(arm-like arrangement)를 가지고, 그러한 각각의 분절체가 링크로서 지칭된다. 이러한 각각의 분절체의 운동은 종종 병진적(translational) 운동 및 축 주위의 회전의 조합이다. 다른 경우에, 운동이 병진적 또는 회전적 운동만으로 이루어진다. 이러한 양 운동의 변동(variation)은 조인트라고 이하에서 지칭되는 것을 따른 또는 그 주위의 기계적 자유도를 각각의 링크에 제공한다. 구형(spherical) 조인트와 같은, 조인트의 변형예가 이러한 단순한 병진적 또는 회전적 조인트의 조합으로서 간주될 수 있고, 이러한 유형의 조인트의 형식적 균등물(formal equivalence)은 로봇 관련 문헌에 존재하는 일반화된 좌표의 개념과 일치한다. 따라서, 힘 및 토크가 균등한 것으로 간주되고, 위치 및 각도도 각각 마찬가지로 지이다.

[0004] 조인트는 서보-제어형 모터에 의해서 전형적으로 작동되고, 그러한 서보-제어형 모터는 모터의 측정된 운동으로

부터의 피드백을 통해서 제어된다. 모터는 구동트레인을 통해서 조인트를 작동시키고, 그러한 구동 트레인은 조인트 회전에 대한 모터 회전의 감소를 위한 기어 및 다른 동력전달 요소를 포함한다. 본원의 목적을 위해서, 구동트레인이라는 용어가 모터를 배제하는 것으로 설명된다. 동력전달 요소의 목적은 속력을 감소시키는 것이고 그에 의해서 토크를 증가시키는 것이다.

[0005] 구동트레인은 소위 직접-구동 로봇에서 불필요하나, 고유의 문제로 인해서, 특히 엔드-이펙터(end-effector)(도구)와 공작물 사이의 힘 상호 작용 중에 제어 경직성(stiffness)과 관련하여, 이러한 유형의 로봇에 문제가 있으며, 거의 모든 현대의 로봇은 각각의 조인트에 대한 전용 구동트레인으로 구축된다.

[0006] 액추에이터(actuator)가 모터(그 외향 샤프트(outgoing shaft)와 함께)로서 또는 에너지를 구동트레인 상의 기계적 효과로 변환할 수 있는 다른 유형의 장치로서 설명된다. 비록, 본원의 목적을 위해서, 구동트레인이 액추에이터의 일부로서 간주되지 않지만, 모터 각도를 측정하기 위한 센서는 액추에이터의 일부로서 간주된다. 그러한 센서의 출력 값이 액추에이터 위치로서 지칭된다. 조인트 각도는 일반적으로 액추에이터를 통해서만 측정된다. 이러한 이유로, 조작기의 운동이 수행 작동에 정확하게 상응하도록, 동력전달 요소가 높은 정밀도 및 품질로 제조될 필요가 있다. 그러나, 전형적으로, 최종 소비자는 고품질 재료의 이용에 의해서 부과되는 가격 증가를 용인하지 않을 것이며, 그로 인해서 공급자들은 낮은 가격의 분절체의 구성요소로 조작기를 제조하도록 압박을 받는다.

[0007] 가장 최근에, 산업적인 조작기가 6의 자유도(DOF)를 가지며, 다시 말해서 조작기가 회전 조인트 및 직렬로 연결된 링크의 6개의 쌍을 가진다. 최종적인 링크가 도구 플랜지로 또는 엔드-이펙터(도구) 장착을 위한 단부 플랜지로 종료된다. 엔드-이펙터를 플랜지 상으로 직접적으로 장착하는 것에 대한 대안으로서, 조작기의 단부-플랜지에 장착되는 조작기 부분 및 각각의 도구를 위한 장착 표면을 제공하는 도구 부분으로 이루어진 도구 교환기를 이용하는 것이 있다. 2개의 도구 교환기 부분이 탈착될 수 있고, 예를 들어 공압식으로 작동되는 록킹(locking) 메커니즘에 의해서 제 위치에서 록킹될 수 있을 것이다. 이는 도구의 단순화된 변경을 가능하게 한다. 도구 교환기의 록킹 메커니즘에 의해서 조작기에 고정적으로 부착되는 선택된 도구에 도킹되는(docking) 로봇에 의해서, 도구의 자동화된 변경, 즉 수작업이 수반되지 않는 변경이 달성될 수 있다.

[0008] 조작기의 운동이, 조작자에 의해서 수작업으로 또는 로봇 과제를 규정하는 사용자 프로그램에 따른 명령어를 수행하는 것에 의해서 자동적으로 이루어질 수 있다. 자동적으로 이루어지는 경우에, 조작기를 제어하여 프로그래밍된 자세(pose)에 도달하도록 안내하는 제어기로 로딩된 또는 입력된 사용자 프로그램에 의해서 조작기가 제어된다. 그러한 자세는 희망하는 엔드-이펙터 배치를 위한 위치 및 배향으로 이루어진다. 그에 따라, 제어기는, 조작기의 조인트를 포함하는, 조작기의 운동을 제어하는 로봇의 일부이다.

[0009] 엔드-이펙터를 위한 자세의 효율적인 세목(specification)을 지원하기 위해서, 수작업적으로 또는 사용자 프로그램 내에서, 그리고 가능하게는 CAD 데이터로부터, 제어기는 조작기의 운동역학적 모델(kinematic model)을 포함한다. 그러한 모델은 조인트 및 링크 그리고 그들의 기하형태적 관계의 모델을 포함한다.

[0010] 로봇 적용예에서, 예를 들어, 제조 플랜트에서의 산업용 로봇에서, 결과적인 물리적 자세가, 특정 공차 이내에서, 프로그래밍된 자세와 일치하는 경우에 매우 유용하다. 만약 일치하지 않는다면, 이는, 프로그래밍된 자세와 물리적 자세 사이에 편차가 존재한다는 것을 의미한다. 이러한 편차는 경로를 따른 하나의 위치에서 또는 복수의 위치에서 또는 로봇의 임의의 이용에서 발생할 수 있다. 사용자 프로그램에서의 조정을 통한 사용자에 의한 또는 프로그래밍된 자세의 티치-인(teach-in)(약간의 편차를 가짐)에 의한 편차 관리는 로봇 과제의 재이용을 제한하고 로봇 프로그래밍 및 전개에 대한 비용을 상승시킨다.

[0011] 초기의 로봇 시대에서, 주요 편차는 불충분한 제어에 기인하였으나, 1980년대 중반으로부터 그리고 그 이후의 로봇은 주로, 조작기 특성에서 반영되는 바와 같은 구동트레인 부정확성의 제어 보상의 결여와 조합된 조작기 특성으로 인해서 로봇의 프로그래밍된 운동으로부터 벗어난다. 보다 구체적으로, 제어기는 종종 적절한 구조 및 기능을 가지나, 그러한 보상을 지원하기 위한 개별적인 조작기에 대한 실제 로봇 특이적(specific) 데이터를 가지지 못한다. 그에 따라, 프로그래밍된 운동과 물리적 운동 사이의 편차를 최소화하기 위해서 이러한 단점을 해결할 필요성이 존재한다.

[0012] 이러한 것에도 불구하고, 프로그래밍된 운동으로부터의 편차에 대한 추가적인 원인이 당업계에 공지되어 있다. 특히, 그러한 하나의 원인이, 예를 들어 운동역학적 오류로 인한 링크와 조인트 기하형태에서의 부정확성일 수 있을 것이다. 운동역학적 오류가 운동역학적 영점조정(calibration)에 의해서 관리될 수 있고, 그러한 영점조정은 일반적으로 로봇 제조자로부터 입수가 가능하다. 다른 편차 원인은, 조인트-방식 또는 복수-본체 효과로 인

한 토크 포화과 같은, 고속 운동 중의 아암 동력학(dynamics)의 제어 및/또는 조인트와 아암 역학(mechanics)에서의 부정확성과 관련된다. 일반적으로, 그러한 편차는 로봇 제조자에 의해서 제공되는 모델-기반의 제어에 의해서 관리된다. 프로그래밍된 자세로부터의 편차의 또 다른 원인은, 조작기의 엔드-이펙터와 공작물 사이의 힘 상호작용으로 인한, 또한 조작기에 작용하는 중력 및 기타 힘으로 인한 부정확성으로부터 기인한다. 그러한 편차는 또한, 베어링 및 구동트레인의 동력전달 요소와 같은 다른 조인트 부분의 복잡성 및 공차로 인해서 조인트 운동 주위의 또는 조인트 운동을 따른 조인트 동력학과 관련된다.

[0013] 앞서서 언급된 유형의 편차의 공급원(source)의 측정 및 식별을 취급하는 몇 가지 유형의 해결책이 존재한다. 그러한 해결책 중에서, 광학적 추적 시스템을 이용한 측정이 가장 일반적이다. 하나의 해결책의 유형은, 조인트 또는 엔드-이펙터의 위치 또는 토크를 검출하는 외부 센서를 가지는 외부 영점교정 시스템을 이용한다. 많은 수의 로봇을 가지는 대규모 생산 설비에 적용될 수 있지만, 그러한 외부 영점교정 시스템의 비용은 종종 단일 로봇의 비용을 초과한다. 하나의 또는 몇 개의 로봇의 동작에 의존하는 소규모 생산 설비에서, 그러한 외부 영점교정 시스템은 막대한 비용으로 인해서 적용이 불가능하다. 외부 영점교정 시스템의 하나의 예가 W02012/076038에 설명되어 있다.

[0014] 상기 종류의 영점교정 시스템의 약간 수정된 버전이 Bennet, Hollerbach 및 Henri의 "야코비안 행렬의 직접적인 추정"에 의한 운동역학적 영점교정(Kinematic Calibration by Direct estimation of the Jacobian Matrix)" (프랑스 니스의 ICRA, 1992에서 제시됨)의 논문에서 제시되었다. 이러한 논문에서, 로봇에 대한 야코비안 행렬 내의 매개변수(종점(endpoint) 속도와 조인트 속도 사이의 또는 그에 따른 힘/토크에 대한 의존성을 표현함)가 먼저 로봇을 미리 규정된 자세로 클램핑하고 이어서 클램핑 지점에 근접하여 도구 플랜지에 부착된 외부 힘/토크 센서로부터의 정보를 기초로 로봇의 조인트를 작동시키는 것에 의해서 추정된다. 대안적으로, 하나 이상의 자유도를 속박(constrain)하기 위해서, 그러나 특정 조인트 운동이 클램핑된 구성에서 또한 가능하도록 하기 위해서, 양 단부에 조인트 연결된 강성의(rigid) 막대, 또는 양호하게-규정된(well-defined) 방식으로 주변부에 대한 조작기의 운동을 제한하는 일부 다른 메커니즘이 이용될 수 있다. 그러한 작동의 세트로부터 얻어지는 데이터는 행렬의 세트를 초래하고, 그러한 행렬의 세트는 운동역학적 매개변수를 계산하기 위해서 이용된다. 그러나 운동역학적 영점교정이 클램핑을 포함하는 힘/토크-기반의 방법으로 실행되는 경우에도, 액추에이터-대-조인트 동력학은 여전히 무시된다. 결과적으로 정확도가 감소되고, 그에 따라 조인트의 클램핑을 포함하는 이러한 방법은 실제 이용되지 않는다. 또한, 각각의 조인트에 대한 구동트레인의 특성으로 인해서, 동력학적인 힘 및 공작물과의 힘 상호작용에 의해서 유발되는 편차가 현재의 산업적 적용예에서 여전히 보상되지 않고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 전술한 배경에서, 본 발명의 목적은 당업계에서 현재 존재하는 문제의 적어도 일부를 경감시키는 것이다.

[0016] 보다 구체적으로, 로봇 자세 및 운동을 영점교정하기 위한 목적을 위해서 로봇에 대한 조인트 매개변수를 정확하게 결정하는 단순하고 저렴한 방식이 요구되고 있다.

과제의 해결 수단

[0017] 본 발명의 하나의 양태에 따라서, 조작기의 조인트와 같은 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 방법이 제시되고, 상기 조인트는 적어도 하나의 액추에이터에 의해서 구동되도록 구성되고, 액추에이터는 구동트레인을 통해서 상기 조인트를 구동하도록 구성되고, 방법은:

- [0018] - 조인트의 운동이 속박되도록 상기 조인트를 클램핑하는 단계, 및
- [0019] - 상기 액추에이터의 토크와 연관된 적어도 하나의 양(quantity) 및 액추에이터 위치와 연관된 적어도 하나의 양을 모니터링하면서 상기 구동트레인을 작동시키는 단계,
- [0020] - 모니터링되는 양을 기초로 상기 액추에이터의 출력 값의 적어도 하나의 세트를 결정하는 단계로서, 상기 출력 값의 세트가 적어도 하나의 조인트 위치와 관련되는, 출력 값의 적어도 하나의 세트를 결정하는 단계, 및
- [0021] - 상기 출력 값의 세트를 기초로 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하는 단계를 포함한다.

[0022] 여기에서, 조인트 특성이라는 용어는, 이제까지는 너무 비용이 많이 들거나 로봇 적용예에서 실제로 이용하는데 있어서 획득하기가 너무어려웠던 정보에 상응하는, 액추에이터-대-조인트 동력학의 특성을 포함하는 것을

해석된다.

- [0023] 상기 방법의 하나의 장점은, 조인트 특성이 로봇 조작기 자체로부터 직접적으로 결정된다는 것이고, 이는 이전의 공지된 영점교정 기술을 이용하는 것 보다 로봇의 영점교정을 상당히 더 저렴하게 만든다. 이러한 매개변수는 로봇 자체의 위치 및 토크 신호(양자 모두가 이용가능한 경우)로부터 직접적으로 관측될 수 있거나 기존의 모터 신호 또는 센서로부터 얻어지는 측정된 액추에이터 위치로부터의 데이터와 함께 다른 신호 및 물리적 특성으로부터 유추될 수 있다. 예를 들어, 모터 전류가 토크 신호를 제공하는 센서와 다른 센서에 의해서 측정될 수 있는 반면, 액추에이터 위치는 기존 모터 각도 센서를 통해서 감지될 수 있을 것이다.
- [0024] 편차가 물리적으로 발생하지 않도록 편차를 보상하기 위해서, 일부 물리적 특성이 이용될 수 있다. 물리적 특성을 획득하는 방법을 실행하는 것과 관련된 제어를 조율(tuning)하기 위해서 물리적 특성이 또한 이용될 수 있다. 조인트 작동을 위해서 이용되는 액추에이터 토크와 관련된 모터 전류의 주파수 응답이, 조율을 실행하기 위한 물리적 특성의 하나의 예가 될 수 있을 것이다.
- [0025] 상기 방법은 또한, 전술한 방법 단계에 따라서 결정되는 조인트의 적어도 하나의 결정된 특성을 기초로 명목적(nominal) 운동역학적 매개변수를 획득하는 단계 및 명목적 운동역학적 매개변수를 업데이트하는 단계를 포함할 수 있을 것이다. 이는, 조작기 조인트(들)의 부정확성으로 인한, 로봇 조작기의 운동역학적 모델에서의 오류가 기존 영점교정 기술에 대비하여 감소될 수 있다는 장점을 가진다. 이러한 방식에서, 업데이트된 운동역학적 매개변수와 함께 조인트 특성을 이용하는 조작기의 영점교정이, 기존의 운동역학적 영점교정만으로부터의 매개변수를 이용하는 것 보다, 더 높은 정확도의 위치 및 반복가능성을 제공한다.
- [0026] 본 발명의 다른 양태는 조작기의 조인트와 같은 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 시스템에 관한 것으로서:
- [0027] 구동트레인을 통해서 상기 조인트를 구동하도록 구성된 적어도 하나의 액추에이터,
- [0028] 조인트의 운동을 속박하도록 구성된 클램핑 수단,
- [0029] 상기 액추에이터의 토크와 연관된 적어도 하나의 양 및 액추에이터 위치와 연관된 적어도 하나의 양을 모니터링하기 위한 수단,
- [0030] 상기 액추에이터의 적어도 하나의 출력 값을 결정하기 위한 수단으로서, 상기 출력 값이 적어도 하나의 조인트 위치에 상응하는, 출력 값을 결정하기 위한 수단, 및
- [0031] 상기 적어도 하나의 출력 값을 기초로 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 수단을 포함한다.
- [0032] 전술한 장점에 더하여, 그러한 시스템의 하나의 추가적인 장점은, 기존의 그리고 용이하게 입수할 수 있는 센서 및 신호와 관련하여 얻어지는 구동트레인 모델을 이용하여 로봇 자체에 의해서 조인트 매개변수를 결정할 수 있게 한다는 것이다. 이러한 매개변수는 사용자 프로그램을 업데이트하기 위해서 직접적으로 이용될 수 있거나 측정이 실시되는 특정 로봇 모델(또는 예를 들어 특정 시간의 사용 또는 마모 이후의, 개별적인 로봇)을 위한 조작기 조인트의 서보 제어를 업데이트하기 위해서 간접적으로 이용될 수 있다. 이들 모두는 단순하고 비교적 저렴한 방식으로 이루어지는데, 이는 조인트 특성 측정을 위해서 필요한 유일한 외부 물품이 클램핑 물품이기 때문이다, 그러한 클램핑 물품은 로봇의 작업공간 내의 하나의 또는 몇몇 지점에서 조작기의 이동가능한 부분을 클램핑하기 위해서 이용된다.
- [0033] 본 발명의 바람직한 실시예가 종속항에 기술되어 있다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 이하에서, 첨부 도면을 참조하여 본 발명을 구체적으로 설명할 것이다.
 도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따른 조작기의 조인트 특성을 결정하기 위한 시스템을 도시한다.
 도 1b는, 명료함을 위해서 노출된 구동트레인 및 단순한 수작업 클램핑 물품으로 도시된, 도 1a에서 축 2로 표시된 것과 같은 조작기 조인트와 유사한, 단일 조인트의 조인트 특성을 결정하기 위한 셋-업을 도시한다.
 도 1c는, 도 1b의 일부인 구동트레인에 속하는 복수의 치형 휘일(tooth wheel)을 보여주는 도 1b의 상세 부분의 근접도로서, 상기 치형 휘일이 하나의 측부(side)에서 결합되고 다른 측부에서 백래시(backlash)를 가지는 것을 도시한, 근접도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 조작기의 조인트 특성을 결정하기 위한 방법의 흐름도를 도시한다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 조작기의 조인트 특성을 결정하기 위한 방법의 흐름도를 도시한다.

도 4는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 조작기의 조인트 특성을 결정하기 위한 방법의 흐름도를 도시한다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 조작기의 조인트 특성을 결정하기 위한 방법의 흐름도를 도시한다.

도 6은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 조작기의 조인트 특성을 결정하기 위한 방법의 흐름도를 도시한다.

도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 조작기의 조인트 특성을 결정하기 위한 방법의 흐름도를 도시한다.

도 8a는 본 발명의 일 실시예의 작용을 도시한 도표이다.

도 8b 및 도 8c 각각은, 하기 특성을 설명하기 위한 목적으로, 이상적인 백래시 및 로스트 모션(lost motion)을 도시한다.

도 8d는 백래시와 이상적인 마찰을 가지는 유연한(compliant) 조인트로부터 얻어진 이상적인 이력(hysteresis) 사이클을 도시한다.

도 8e는 상이한 위치에 대해서 얻어진 그에 따라 상이한 최대 토크를 나타내는, 2개의 겹쳐진, 실제의, 그에 따라 이상적이지 않은, 이력 사이클을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하에서, 로봇이라는 용어는 작업 물품에 동작하도록 구성된 조작기 및 조작기의 운동을 제어하는 제어기 및 조작기의 하나 이상의 조인트의 조합으로서 정의된다. 이하의 발명의 예시적인 실시예는 단지 설명의 목적을 위한 것으로 간주되어야 하고, 발명 자체를 제한하는 것으로 간주되지 않아야 한다. 예를 들어, 일시적으로 또는 영구적으로 서보 제어되는, 또는 임의의 다른 방식으로 구동트레인 매개변수의 인지(knowledge)로부터 이점을 취할 수 있는 임의의 (회전형 또는 직선형(revolute or prismatic)) 조인트 운동이 기술적으로 균등한 시스템을 형성한다.

[0036] 도 1a는 클램핑 물품(160)을 이용하는 조작기(110)의 조인트 특성을 결정하기 위한 시스템(100)을 도시한다. 제어기(140)는 조작기(110)의 그리고, 선택적으로, 클램핑 물품의 운동을 제어하도록 고안된다. 선호 사항에 따라서, 제어기(140)가 수작업으로 또는 자동으로 동작되는 제어 유닛 또는 디지털 컴퓨터 형태로 외부에 존재할 수 있거나 조작기(110) 자체의 내부에 존재할 수 있고 즉, 조작기(110) 자체 내로 내장될 수 있을 것이다. 마찬가지로, 조작기의 이동가능 부분의 클램핑이 성취되도록, 클램핑 물품, 또는 조작기의 선택된 이동가능 부분의 클램핑을 위한 유사한 장비가 (조작기를 위한 제어기를 통해서 또는 다른 제어를 통해서) 수동적으로 또는 자동적으로 배치된다.

[0037] 도면에 도시된 바와 같이, 조작기(110)는, 당업자에게 공지된 방식으로 조작기의 상이한 링크들을 연결하는 많은 수의 조인트(112, 114, 116, 117, 118 및 119)를 포함한다. 조작기(110)의 각각의 조인트는 모터에 의해서 작동되는 구동트레인(미도시)에 의해서 구동되고, 그에 따라 모터 회전이 조인트(112, 114, 116~119)의 느린-속력 회전으로 전환된다. 여기에서, 시스템(100)이 임의의 수의 조인트 즉, 하나의 또는 복수의 조인트를 포함할 수 있다는 것 그리고 조작기 조인트의 수가 발명의 실시예 있어서 중요한 것이 아님을 이해하여야 할 것이다.

[0038] 전술한 바와 같이, 구동트레인이 기어 휘일 또는 다른 동력전달 요소를 포함할 수 있을 것이다. 대부분의 조작기는, 모터 샤프트에 부착된 인코더 또는 리졸버(resolver)와 같은 내장형 센서 또는 조인트의 액추에이터 위치를 감지하는 것과 유사한 것을 포함하는데, 이는 첫 번째로, 로봇이 (조인트 공간에 걸쳐진(spanning)) 내부 좌표 시스템과 관련한 그 위치를 알 필요가 있기 때문이고, 두 번째로, 로봇이 (일반적으로 데카르트(Cartesian) 공간에 걸쳐진) 외부 좌표 시스템과 관련한 그 위치를 알 필요가 있기 때문이다.

[0039] 도 1a의 본 발명의 실시예에서, 전술한 내장형 센서를 이용하여 조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119)의 각각에 대한 조인트 특성을 결정한다. 조인트 및 데카르트 공간 유추(analogy)를 이용하여, 힘 또는 토크에 의해서 구동된 조인트 모터 각도와 같이 액추에이터 공간을 기술(describing)하는 매개변수가, 운동역학적 영점교정으로부터 인지되는 바와 같은 조인트 위치와 같이 조인트 공간을 기술하는 매개변수로 전환된다.

[0040] 도 1a로부터 명확한 바와 같이, 조작기(110)가 전체적으로 6의 자유도(DOF)를 가지도록 조인트(112, 114 및 116~119)가 배열되고, DOF는 회전 축 1 내지 회전 축 6 주위의 회전 방향을 기술하는 두꺼운 화살표에 의해서 도시되어 있다. 또한, 도 1a에는 도구 장착 플랜지(120)가 제시되어 있고, 그러한 도구 장착 플랜지 상에는 도

구 교환기(121)의 조작기 측부가 장착될 수 있고(명료함을 위해서 탈착되어 도시됨), 도구 교환기에는, 수작업적인 보조가 없이도 도구의 교환을 허용하는, 여러 가지 도구(미도시)에 장착된 도구 교환기의 도구 부분(미도시)이 끼워진다. 이러한 조작기 구조는 오늘날의 산업용 로봇에서 빈번하게 볼 수 있으나, 병렬-운동역학적 기계(PKMs)의 구조와 같은 다른 구조가 또한 존재한다. 운동역학적 구조와 관계없이, 작동 및 구동트레인이 유사한 방식으로 작동하고(PKMs의 경우에 전형적으로 다소 단순하다), 그리고 구동트레인 모델 매개변수를 획득하기 위한 방법/시스템이 실질적으로 동일하다.

[0041] 도 1a에 도시된 시스템은, 헤드(163) 및 베이스 플레이트(169)에 부착된 3 쌍의 다리(168)를 포함하는 클램핑 물품(160)을 더 포함한다. 도 1a의 실시예의 클램핑 물품(160)의 형상 및 구조가 어떠한 방식으로든 본 발명에 따른 시스템에서 이용되는 클램핑 물품의 형상 및 구조를 제한하는 것으로 해석되지 않아야 한다는 것이 강조된다. 사실상, 도킹되는 조작기(110)를 위한 공간 내의 지점을 제공할 수만 있다면, 클램핑 물품(160)이 임의의 구조 또는 형상을 가질 수 있을 것이다. 이제, 클램핑 물품 헤드(163)의 상단에, 도구-교환기의 도구 측부에 상응하는 도킹을 위한 돌출부(162)가 위치되고, 그에 따라 돌출부(162)에 조작기(110)가 도달할 수 있고 돌출부가 도구-교환기(121)의 상응하는 조작기 측부에 끼워진다. 부가적으로, 헤드(163) 및 3개의 쌍의 다리(168)의 하나의 단부가 조인트(164)를 통해서 연결되고, 그에 따라 헤드(163)가 하나 이상의 조인트(164) 주위로 회전될 수 있을 것이다. 또한, 다리(168)의 타단부가 또한 조인트(165-167)를 통해서 베이스 플레이트(169)에 부착될 수 있고, 각각의 조인트는 그 자체의 회전 축(미도시)을 포함한다. 각각의 다리(168)의 길이가 일정한 상태에서, 클램핑 물품 헤드(163)가 또한 록킹된다. 하나의 또는 몇 개의 다리의 록킹 부싱(161)을 해제할 때, 클램핑 물품 헤드(163)가 또한 해제된다. 또한, 부싱(161)의 록킹이 제어기(140)로부터 제어될 수 있고, 그에 따라 클램핑 물품(160)의 다리(168)(해제된 모드에서 망원경식이다)가 상이한 길이로 록킹될 수 있다. 이러한 방식에서, 헤드(163) 및 그에 의한 돌출부(162)가 사실상 공간 내의 임의의 지점으로 이동될 수 있을 것이다. 그러나, 본 발명에 따른 시스템(100)의 클램핑 물품(160)이 훨씬 더 단순한 구조를 가질 수 있고, 조작기(110)가 클램핑될 수 있는 공간 내의 지점을 제공할 수 있다면, 이미 클램핑 물품으로서의 그 기능을 만족시킬 수 있다는 것을 주목하여야 할 것이다. 도 1a에 도시된 자유롭게 이동가능한 클램핑 물품의 장점은, 서로 근접한 많은 수의 클램핑된 자세가 용이하게 제공될 수 있다는 것이고, 이는, 내부 치형-휘일 또는 베어링 각도 또는 관련된 동력전달 요소의 유사한 상세부분에 따라 달라질 수 있는 구동트레인 특성의 결정을 돕는다.

[0042] 이제, 클램핑 물품 헤드(163)가 도구 교환기의 도구 측부(미도시)에 상응하는 도 1a의 발명의 실시예는, 엔드-이펙터의 교환이, 도구 관점으로부터, 클램핑 물품과 도킹하는 조작기와 균등하게 간주될 수 있는 원리를 이용한다. 교환은 수작업으로 또는 자동적으로 실시될 수 있고, 그에 의해서 자동적인 경우에는, 도구 스탠드 내의 도구에 연결하기 위해서 도구 교환기를 이용하는 것에 의해서 그 엔드 이펙터를 교환하도록 프로그래밍된 로봇에 상응한다. 정상 동작 중에 도구 교환기를 구비하지 않는 조작기(110)는 영점교정 스테이지를 위해서 특별히 도구 교환기를 수작업으로 구비할 수 있다. 그 대신에, 클램핑을 위한 물품이 조작기 링크에 또는 엔드-이펙터의 어느 측부 상에 부착될 수 있다. 그에 따라, 임의의 로봇 조작기가 영점교정될 수 있다.

[0043] 본 실시예에서, 클램핑 도구는 클램핑 물품(160) 또는 보다 구체적으로 클램핑 물품 헤드(163) 상에 위치한 돌출부(162)이다. 돌출부(162)는 도킹을 위해서 도구-교환기(121)를 위한 공간 내의 지점을 제공하도록 구성된다. 클램핑 물품 헤드(163)가 넓은 범위 내에 배치되도록 구성되기 때문에, 도킹을 위한 도구 교환기(121)를 위한 공간 내의 가능한 지점의 넓은 선택을 제공할 수 있을 것이다. 클램핑 지점은 선택된 하나의 실시예에 따르며, 그에 따라 6개의 축의 각각의 주위의 조작기 분절체의 회전 운동이 특유하게 식별될 수 있고, 예를 들어 단일성(singularity)이 회피된다. 이는, 조인트(112, 114 및 116~119)의 각각에 대한 조인트 매개변수의 결정을 실시하는 하나의 방식이다. 그러나, 다른 실시예에 따라서, 공간 내의 클램핑 지점이, 단일적일 수 있는 조작기(110)의 도구 교환기(121)에 대해서 성취되도록, 돌출부(162)에 대한 하나의 임의적 위치가 선택된다. 이러한 경우에도, 조인트의 각각에 대한 조인트 매개변수가 결정될 수 있을 것이고, 제어기(140)는 공간 내의 제1 클램핑 지점의 외부로 제2 클램핑 지점 그리고 가능한 제3 클램핑 지점(기타 등등, 미도시) 내로 조작기를 이동시키도록 구성되고, 공간 내의 클램핑 지점의 각각에 대한 조인트 동력학 방정식에 대한 해(solution)를 계산하는 것에 의해서, 조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119)의 각각에 대한 조인트 매개변수가 특유하게 결정될 수 있을 것이다. 제어기(140)가 또한 동일한 목적으로, 조작기(110)가 제2 또는 제3 또는 가능한 추가적인 공간 내의 클램핑 지점에 상응하는 하나 이상의 추가적인 위치로 이동하는 동안, 클램핑 물품(160)에 클램핑된 조작기(110)를 유지할 수 있을 것이다.

[0044] 여기에서, 클램핑 물품(160)의 돌출부(162)가 도구-교환기(121)를 공간 내의 지점에 도킹시키기 위해서 이용될 수 있을 뿐만 아니라, 공간 내의 양호하게-규정된 지점에 도달하도록 도구-교환기(121) 또는 조작기(110)의 임

의 다른 부분이 클램핑될 수 있는 클램핑 물품(160)의 임의 부분이 클램핑 기능을 실시하기에 충분한 것으로 간주될 수 있다는 것을 주목하여야 한다. 이제, 도구 교환기(121)가 클램핑될 수 있는 공간 내의 하나 이상의 지점이 특유하게 규정되는 한편, 공간 내의 이러한 지점에서 조작기가 성취하는 자세가 특유하지 않을 수 있는데, 이는, 돌출부(162) 또는 클램핑 물품(160)의 일부 다른 부분에 의해서 제공되는 공간 내의 동일한 지점으로 클램핑되는 도구 교환기(121) 또는 조작기의 일부 다른 부분을 모두 초래할 수 있는 복수의 상호적인(mutual) 조인트 위치에 도달하도록, 조작기가 제어기(140)에 의해서 제어될 수 있기 때문이다.

[0045] 도구 교환기(121)가 공간 내의 하나 이상의 지점 상에 클램핑되는 동안, 제어기(140)는 조작기(110)의 조인트의 내부 센서로부터 출력 값을 판독하도록 구성된다. 이러한 값은, 백래시, 컴플라이언스(complicance) 및 다른 가능한 매개변수와 같은 조인트 매개변수로 변환될 수 있는 구동트레인 특성을 반영한다.

[0046] 그러나, 도구 교환기(121)가 공간 내의 하나 이상의 지점으로 클램핑되기에 앞서서, 조인트(112, 114, 116~119)의 각각에 대해서 운동역학적 마찰 그리고 가능하게는 점성 마찰(viscous friction)을 결정하도록 제어기(140)가 구성될 수 있을 것이다. 또한, 도구 교환기(121)가 클램핑되기에 앞서서, 조작기(110)가 충격(impact)을 받을 수 있고, 제어기(140)는 조작기(110)의 하나 이상의 조인트에 대한 모니터링되는 토크 및 위치로부터 조작기(110)에 대한 공명 주파수 또는 주파수들을 결정하도록 구성될 수 있을 것이고, 공진 주파수 또는 주파수들로부터 클램핑/클램핑된 운동의 제어를 위한 그리고 조인트 액추에이터 토크 및 조인트 위치의 모니터링을 위한 적절한 대역폭을 결정한다.

[0047] 이는 도 5 내지 도 7의 실시예와 관련하여 보다 구체적으로 설명될 것이다.

[0048] 이제, 일 실시예에 따라서, 제어기(140)는 각각의 조인트에 대해서 내부 센서 출력으로부터 직접적으로 조인트 모터 토크 및 조인트 위치를 판독하도록 구성된다. 다른 실시예에 따라서, 조인트 모터 토크가 직접적으로 이용 가능하지 않다면, 제어기(140)가, 다른 서보 제어 상태를 기초로 하는 모터 토크 제어 또는 토크 관찰기(observer) 동역학과 같은, 모터 토크를 간접적으로 계산할 수 있는 다른 액추에이터 양을 모니터링하도록 구성된다. 모터 전류를 측정하는 것 그리고 사용되는 모터의 유형에 대한 실제 토크를 연산하는 것에 의해서, 모터 토크가 또한 얻어질 수 있다. 그러나, 제어기(140)는 용이하게 입수할 수 있는 현재(current) 조인트 위치를 가지는 것으로 예측될 수 있는데, 이는 대부분의 경우에 산업용 로봇이 상응하는 위치 센서를 구비하기 때문이다.

[0049] 이는, 또한, 조작기를 클램핑하는 것에 의해서 구축될 수 있는데, 이는 조작기(110)의 이동가능한 부분을 클램핑 물품(160)에 의해서 제공되는 공간 내의 지점에 클램핑하는 것을 의미한다. 조작기의 다른 단부(베이스 부분)를 지면(ground) 플레이트에 또는 바닥에 부착하는 것은 클램핑 동작으로 간주되지 않고 본 설명에서와 같이 취급되지 않을 것이다. 조작기(110)의 베이스 및 클램핑 물품(160)의 베이스 플레이트(169)가 클램핑된 운동 중에 서로에 대해서 강성으로 연결되나, 물론 베이스 부분이, 예를 들어, 베이스 플레이트(169)가 강성으로 부착된 주변부에 도킹되는(미도시) 이동가능한 로봇에 의해서, 서로에 대해서 또한 클램핑될 수 있다.

[0050] 링크를 공간 내의 고정된 지점에 클램핑하는 것에 의해서, 기술적으로 균등한 클램핑 상황이 조작기(110)의 단일 조인트에 대해서 달성될 수 있다. 예를 들어, 조작기(110)가, 조인트(114)의 클램핑과 간섭하지 않는 선행하는(preceding) 축(112)(축 1)에 직교적으로 이동하는 제2 링크(축 2 운동)의 전방에 부착된 도구-교환기의 부분을 가질 수 있다. 또한, 조인트(116~119)는 클램핑되지 않은 상태로 유지되고, 조인트(114)의 클램핑의 일부가 되지 않는다. 클램핑 물품(160) 상의 도구 교환기와 도킹에 대한 또는 임의의 다른 전용 클램핑 물품에 대한 대안으로서, 규격품(off-the-shelf) 클램핑 장비가 이용될 수 있다. 여전히 조인트(114)의 클램핑을 고려할 때, 그러한 표준 클램핑 물품이 참조번호(188)로 도 1b에 도시된 유형일 수 있을 것이다. 도 1b는, 이러한 경우에 모터(182)를 유연한 샤프트(186)를 통해서 링크(184)로 연결하는 위성(planetary) 기어박스인, 동력전달 요소를 노출시키기 위해서 구동트레인 커버의 일부를 제거한 상태로 그러한 조인트를 도시한다. 링크(184)는 링크(184)의 중력으로부터 초래되는 토크를 샤프트(186)로 가하고, 샤프트(186)의 토션(torsion)이 휘어진 옛지 선에 의해서 확인될 수 있다. 만약, 간결함을 위해서, 마찰력 및 관성력이 당분간 무시된다면, 중력이 구동트레인에 작용하는 모터 토크에 의해서 균형잡히게 되고, 그에 따라 치형-휘일 톱니(cog)의 상응하는 측부가 도 1c에 도시된 바와 같이 접촉한다. 백래시의 공급원이 치형 갭(192, 196)을 포함한다. 마찰은 베어링(194)에서 그리고 동력전달 요소들 사이의 다른 슬라이딩 또는 롤링 접촉부에서 발생한다. 토션(186)이 선형적일 수 있는 반면, 점진적인 치형 접촉부와 조합된 행성(planet) 휘일을 유지하는 플레이트를 포함하는 컴플라이언스는 일반적으로 비-선형적 컴플라이언스 특성을 초래한다.

[0051] 수동 클램핑 물품(188)과 함께, 시스템(180)이 조작기의 조인트로서 관찰될 수 있을 것이다. 균등하게, 이는, 임의의 하나의 서보-제어형 메커니즘의 임의의 하나의 조인트를 나타낼 수 있을 것이다. 그에 따라, 클램핑 물

품(160, 188)이 도 1a 및 도 1b에 각각 제공된 형태 및 형상으로 결코 제한되지 않으나, 본질적으로 백래시를 가지지 않는 한 임의의 형상이나 형태를 가질 수 있을 것이고 조작기(110)의 이동가능한 부분의 클램핑을 위한 공간 내의 지점을 제공할 수 있다. 그에 따라, 조작기가, 클램핑 물품에 대한 초기 클램핑 이후에, 클램핑 물품에서의 휴지(resting) 위치에 일단 도달하면, 추후에 클램핑되는 공간 내의 지점에 도달할 수 있도록, 클램핑 물품이 탄성적일 수 있을 것이다. 탄성적인 클램핑 물품의 경우에, 탄성적인 클램핑 물품의 경직성이 인지되어야 하고, 클램핑 물품의 탄성적인 변위가 도구 교환기 힘을 기초로 결정될 필요가 있을 것이며, 이는 다시 조인트 토크 및 운동역학적 모델을 통해서 또는 외부 리스트(wrist) 장착형 힘/토크 센서의 이용에 의해서 결정될 수 있다.

[0052] 또한, 본 발명에 따른 조작기의 조인트 매개변수를 결정하기 위한 시스템이 또한 둘 이상의 로봇, 즉 다른 로봇의 조작기를 위한 공간 내의 클램핑 지점을 각각 제공하는 클램핑 물품으로서 서로를 이용하는 둘 이상의 조작기를 포함할 수 있을 것이고, 그에 따라 각각의 조작기 내의 각각의 조인트에 대한 조인트 특성이 예를 들어 도 2 내지 도 7에 몇몇 실시예가 도시된 본 발명의 방법에 따라 결정될 수 있다는 것을 주목하여야 할 것이다. 클램핑의 강성의 그리고 고정된 지점의 부재시에, 모든 조인트 매개변수를 특유하게 결정하기 위해서, 이중 아암 로봇이 보다 많은 자세 및 측정을 필요로 할 수 있을 것이다.

[0053] 또한, 도 1a의 조작기(110)는, 비록 단일 아암 조작기로서 도시되어 있지만, 동일하게 이중-아암 조작기가 될 수 있을 것이고, 이전의 문단에서의 설명에서와 유사하게, 각각의 아암 내의 각각의 조인트에 대한 조인트 특성을 결정하기 위한 목적을 위해서 다른 아암에 의해서 제공되는 공간 내의 지점으로 각각의 아암을 클램핑하기 위한 클램핑 물품으로서 아암이 이용될 수 있을 것이다. 또한, 임의의 적합한 링크를 가지는 다른 아암이 강성의 주변부(또는 컴플라이언스를 알고 있는 주변부)에 대해서 다른 아암의 링크를 푸시(push)하게 함으로써, 이중 아암 로봇이 링크를 클램핑할 수 있다. 이러한 경우에도, 조작기의 각각의 아암에 대한 결합 특성이, 도 2 내지 도 7에 몇몇 실시예가 도시된 본 발명의 방법에 따라 결정될 수 있다.

[0054] 이제, 도 2 내지 도 7의 도움을 받아, 적어도 하나의 조인트 특성의 결정을 설명할 것이다.

[0055] 도 2는 본 발명에 따른 방법의 일 실시예를 설명하는 흐름도를 도시한다.

[0056] 단계(200)에서, 조작기(110)가 클램핑 물품(160)에 의해서 제공되는 공간 내의 지점에 도킹하도록, 제어기(140)는 조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119)의 각각에 대한 액추에이터로 하여금 각각의 조인트를 이동시키도록 지시한다. 이러한 공간 내의 지점은 클램핑 물품(160)의 돌출부(162)에 의해서 또는 그것의 일부 다른 부분에 의해서 규정될 수 있을 것이다. 만약 클램핑 물품(160)이 강성이라면, 클램핑 물품(160)에 의해서 제공되는 클램핑 지점이, 도구 교환기(121) 또는 조작기(110)의 일부 다른 부분이 클램핑된 공간 내의 지점과 본질적으로 동일할 것이다. 그와 달리, 연성의 또는 탄성적인 클램핑 물품의 경우에, 클램핑 물품에 의해서 제공되는 초기 클램핑 지점은, 도구 교환기(121) 또는 조작기(110)의 일부 다른 부분이 최종적으로 클램핑되는 공간 내의 지점과 상이할 것이다. 앞서서 언급한 바와 같이, 제어기(140)는, 조인트를 이동시키도록 각각의 조인트(112, 114, 116~119)에 대한 액추에이터로 지시할 수 있을 것이고, 그에 따라 조작기(110)가 클램핑 물품(160)에 의해서 제공되는 접촉 지점에 도달할 수 있거나, 제어기(140)는, 도구 교환기(121) 또는 조작기(110)의 일부 다른 부분의 도킹/클램핑을 달성하기 위해서, (예를 들어, 이하의 모든 것이 전체 영점조정 과정을 자동화하기 위해서 제어기로 로딩된 로봇 사용자 프로그램 내의 명령어에 따라, 링크(168)의 록킹 부상(161)을 해제하고 조작기(110)가 도킹되게 하고 그리고 돌출부(162)를 이동시키는 것에 의해서) 클램핑 물품(160)이 이동하도록 유도할 수 있을 것이다.

[0057] 전술한 경우의 각각에서, 특이적 자세로 클램핑되어 유지되는 공간 내의 양호하게-규정된 지점에 조작기(110)가 이제 도달할 것이다. 이러한 자세는, 공간 내의 단일 지점으로 충분한 경우인, 각각의 조인트에 대한 조인트 매개변수를 특유하게 결정하기 위한 시작 지점일 수 있을 것이다. 그와 달리, 만약 공간 내의 지점이 둘 이상의 조인트에 대한 특성을 결정하는데 있어서 적합하지 않다면, 제어기(140)는, 조인트 매개변수를 결정하기 위해서 이용될 수 있는 공간 내의 하나 이상의 지점으로 이동하도록 조작기(110) 또는 클램핑 물품(160)으로 지시할 수 있을 것이다. 그에 의해서, 조인트(112, 114 및 116~119)의 각각에 대한 조인트 매개변수를 특유하게 결정할 수 있다. 이러한 경우에 관심 대상의 조인트 매개변수가 백래시 및 컴플라이언스이나, 각각의 조인트의 기계적인 상태에 대한 충분한 정보를 제공할 수 있는 다른 매개변수가 또한 결정될 수 있을 것이다.

[0058] 방법 단계(210~230)로 진행하기에 앞서서, 방법의 보다 양호한 이해를 위해서, 단계(210~230)가 하나의 조인트에서만 실시될 것임을 주목하여야 할 것이다. 그러나, 제어기(140)는 조인트(112, 114, 116~119)의 각각에 대한 구동트레인을 작동시키기 위한 액추에이터로 신호를 전달할 수 있고 각각의 조인트에 대해서 단계(210~230)를

실시할 수 있다. 대안으로서 그리고 조작기의 운동역학적 구조에 의존하여, 단계(210~230)가 둘 이상의 조인트에 대해서 병렬로 실시될 수 있을 것이다.

- [0059] 당면한 발명의 이해를 돕기 위해서, 단계(210~230)에 관한 상세 내용은, 도 2 내지 도 7에서 확인할 수 있는 바와 같이, 특이적 제어 시퀀스(sequence)를 기초로 하고, 그러한 특이적 제어 시퀀스의 각각은 다소 이상적인 특성을 가지는 조인트의 결정된 매개변수를 초래한다. 그 후에, 도 8b 내지 도 8e를 참조하여, 실용적으로 변경된 접근방식을 설명한다. 그러한 변경된 접근방식은, 제어기(140)가 액추에이터 토크의 직접적인 제어를 제한할 때, 조인트 특성을 결정하는 실용적인 방식이다. 만약 토크 제어에 대한 접근이 허용된다면, 조작기의 공급자와 관련하여, 이하의 특이적 제어 시퀀스는 방법을 이용하는 명백한 방식을 제공한다.
- [0060] 도 2를 다시 참조하면, 단계(210)에서, 제어기(140)는 조인트(112, 114, 116~119) 중 하나를 위해서 구동트레인을 작동시키기 위한 액추에이터로 신호를 전송하는 한편, 진출한 공간 내의 지점을 규정하는 클램핑 물품(160) 상의 클램핑된 위치에서 조작기(110)를 유지한다. 동시에, 제어기(140)는, 조작기(110)의 조인트(112, 114 및 116~119) 중 하나에 대한 조인트 모터 토크 및 조인트 위치를 모니터링한다.
- [0061] 단계(220)에서, 제어기(140)는, 조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119) 중 하나의 특성을 획득하기 위해서 관심 대상의 특정 조인트 위치에 상응하는 모터 토크에 대한 출력 값을 선택하고 등록한다. 모터 토크가 본질적으로 영이 되는 조인트 위치가, 모터 토크 및 조인트 위치에 대한 그러한 출력 값의 하나의 예가 될 수 있을 것이다.
- [0062] 마지막으로, 단계(230)에서, 제어기는 단계(220)에서 등록된 출력 값 및 조인트 위치로부터 희망하는 조인트 특성 또는 특성들을 결정한다. 조인트 특성 또는 특성들이, 단독적인 또는 조합된, 백래시, 컴플라이언스, 또는 다른 조인트 특성일 수 있을 것이다.
- [0063] 도 3은 본 발명에 따른 방법의 다른 실시예를 도시하며, 여기에서 제어기(140)는 조인트(112, 114 및 116~119)를 구동하는 구동트레인에 대한 백래시를 결정한다. 이전의 방법 실시예에서와 같이, 도 3의 방법 실시예가 조작기(110)의 조인트(112, 114 및 116~119) 중 하나에 대해서 설명된다.
- [0064] 단계(300)에서, 조작기(110)가 클램핑 물품(160)에 의해서 제공되는 공간 내의 지점에 도킹하도록 각각의 조인트를 이동시키기 위해서 조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119)의 각각에 대한 액추에이터로 제어기(140)가 지시를 한다. 이러한 단계는 도 2에 도시된 방법 실시예의 단계(200)와 동일하고, 추가적으로 설명하지 않을 것이다.
- [0065] 단계(310)에서, 제어기(140)는 운전(running) 위치 제어를 입력하고, (결함(fault) 검출과 같은 제어기 문제로 인해서) 필요한 경우에, 수용가능한 토크를 가지는 정상 상태(steady state) 위치에 도달하도록 조인트에 대한 위치 기준을 조정한다.
- [0066] 단계(320)에서, 제어기(140)는 조인트(112, 114, 116~119) 중 하나에 대한 운동역학적 마찰 값을 획득한다. 여기에서, 운동역학적 마찰 값은 단순히 조작기(110)가 클램핑 물품(160)에 대해서 클램핑되기 전에 실시된 측정으로부터 이전에 인지된 운동역학적 마찰을 포함할 수 있을 것이고, 또는 조작기(110)가 클램핑 물품(160)에 클램핑된 후의 운동역학적 마찰 값을 또한 포함할 수 있을 것이다. 후자의 경우에, 흐름도가 이하의 하위-단계(미도시)를 포함할 수 있을 것이다:
- [0067] - 제어기(140)가 2개의 대향하는 방향으로 조인트 모터를 이동시키기 위해서 액추에이터로 신호를 전송하고 조인트 모터 토크를 모니터링하는 하위-단계;
- [0068] - 제어기(140)가 양 모터 방향을 따른 모터 토크의 최소 합계를 획득하는 것에 의해서 운동역학적 모터 마찰을 추정하는 하위-단계;
- [0069] - 운동역학적 모터 마찰 매개변수로서 토크 값을 이용하는 하위-단계.
- [0070] 단계(330)에서, 구동트레인이 조인트 위치 기준을 조정하도록 제어기(140)가 액추에이터로 신호를 전송한다. 조인트의 위치 조정은, 명령된/프로그래밍된 조인트 제어 기준을 증가 및 감소시킴으로써 제어기(140)에 의해서 이루어질 수 있고, 너무 낮은 분해능(resolution)의 경우에 원활한(smooth) 토크 신호를 획득하기 위해서 모터 제어의 디튜닝(detuning)을 필요로 할 수 있을 것이다.
- [0071] 단계(335)에서, 제어기(140)는, 조인트가 정상-상태 위치에 도달하였는지의 여부 즉, 중력이 존재하는 경우에도 조인트 모터 속력 및 토크가 본질적으로 영인지의 여부를 체크한다.

- [0072] 만약 정상-상태 위치에 도달하지 않았다면, 방법은 단계(330)로 복귀되고, 그러한 단계(330)에서 제어기(140)는 구동트레인을 계속적으로 이동시키기 위해서 그리고 그에 의해서 조인트 기준 위치를 조정하기 위해서 액추에이터로 신호를 지속적으로 전송한다.
- [0073] 만약 정상-상태 위치에 도달했다면, 제어기(140)는 단계(340)에서 액추에이터로 신호를 보내서 구동트레인을 작동시킴으로써 조인트 모터 토크가 증가하기 시작할 때까지 조인트 위치 기준을 조정한다. 조인트의 위치 조정은, 기어 휘일과 같은 구동트레인의 요소들 사이의 접촉이 이루어질 때까지, 하나의 방향을 따라 조인트 (112, 114, 116~119) 중 하나에 대한 명령된/프로그래밍된 조인트 기준 구동트레인을 증가 및 감소시키는 것에 의해서 달성될 수 있다. 구동트레인의 제한된 경직성과 조합된 조작기 서보 제어에서의 통합 작용으로 인해서, 조인트 모터 토크가 마찰 보다 충분히 더 높은 레벨에서 안정화될 것이다.
- [0074] 단계(345)에서, 제어기는 구동트레인 위치가 안정적인지의 여부 즉, 구동트레인의 기어 휘일(해당 메커니즘이 구동트레인에 대해서 이용되는 경우)이 접촉에 도달하였는지의 여부를 체크한다.
- [0075] 만약 안정적이 아니라면, 방법이 단계(340)로 복귀되고, 그러한 단계에서 제어기(140)는 구동트레인의 작동을 계속하도록 액추에이터로 지속적으로 신호를 보낸다.
- [0076] 만약 제어기가 구동트레인에 대한 안정적인 위치를 검출한다면, 즉 접촉을 검출한다면, 제어기(140)는 단계 (350)에서 조인트 모터에 대한 제1 출력 값을 등록하고, 제1 출력 값은, 이러한 경우에, 조인트 모터의 모터 각도(X1)이다.
- [0077] 단계(360)에서, 제어기(140)는 단계(330)에서의 방향에 대항하는 방향으로 구동트레인이 이동하도록, 구동트레인을 작동시키기 위해서 액추에이터로 신호를 보낸다. 이는, 단계(340)와 유사한 방식으로 위치 기준을 감소시키기 위해서 구동트레인을 작동시키기 위한 액추에이터로의 신호 전달에 의해서 제어기(140)에 의해 구현될 수 있을 것이다.
- [0078] 단계(365)에서, 제어기(140)는 구동트레인에 대한 안정적인 위치에 도달하였는지의 여부, 즉 구동트레인의 기어 휘일들 사이의 접촉이 (다시 실행에 따라) 백래시의 다른 측부 상에서 달성되었는지의 여부를 체크한다.
- [0079] 만약 안정적인 위치에 도달하지 않았다면, 방법은 단계(360)로 복귀하고, 그러한 단계에서 제어기(140)는 반대 방향으로 구동트레인을 작동시키도록 액추에이터로 신호를 계속 전달한다.
- [0080] 단계(370)에서, 제어기(140)는 안정적인 위치에서 제2 출력 값을 등록하고, 이러한 경우에 제2 출력 값은 단계 (345)에서의 안정적인 위치에 대한 N 감소 이후에 얻어지는 조인트 모터의 모터 각도(X2)이다.
- [0081] 마지막으로, 제어기(140)는 차이 값 $\Delta = X1 - X2$ 으로부터 조인트 구동트레인에 대한 백래시를 단계(380)에서 결정한다. 만약 N이 작다면(1 또는 2), 백래시가 실질적으로 영이 될 수 있거나 증가 운동의 분해능이 불충분할 수 있을 것이다. 후자의 경우에, 모터 제어의 디튜닝이 단계(330)에서의 과정과 유사하게 적용될 수 있다.
- [0082] 만약 과정이 사용자-프로그래밍 레벨에서 구현되었다면, 로봇 제조자는, 통상의 로봇 프로그래머가 이용가능한 것 보다 훨씬 더 높은 분해능을 가질 수 있는 시스템-레벨 인터페이스 또는 구현을 제공하여야 한다. 선택적으로, 일부 시스템에서, 데이터의 원활성이 개선되도록 그리고 주요 비례 작용이 적절한 토크 효과를 위해서 조율 될 수 있도록, 서보 제어에서의 통합 작용이 불능이 되거나 제한될 수 있다.
- [0083] 준-정적(quasi-static) 조건(느린 운동) 하에서, 액추에이터의 (예를 들어, 전기적) 모터 토크로부터 구동트레인으로의 입력 (기계적) 토크가 모터 토크에서 운동역학적 마찰을 차감한 것임을 주목하여야 한다. 명령된 액추에이터 운동을 알 수 있고 클램핑으로 인해서 구동트레인 출력의 운동이 본질적으로 존재하지 않기 때문에, 이는, 구동트레인 입력 토크가 클램핑된 운동 중에 제어될 수 있다는 것을 의미한다. 그러한 것은, 다시, 클램핑된 상태에서 백래시를 결정하는 동안, 이것이 (모터-마찰 보상된) 구동트레인 입력 토크를 기초로 이루어질 수 있다는 것, 또는 균등하게, (느리나 영은 아닌 운동의 가정 하에서) 마찰이 없는 것과 같이 백래시 식별 원리가 표현될 수 있다는 것을 암시한다.
- [0084] 도 4는, 조작기(110)의 하나 이상의 링크에 대한 컴플라이언스가 결정되는, 본 발명에 따른 방법의 또 다른 실시예를 도시한다.
- [0085] 컴플라이언스는 모든 구동트레인이 나타내는 경직성의 결여로서 정의될 수 있다. 각각의 링크(일반적으로 작은 부분) 내의 컴플라이언스가 조인트 컴플라이언스로서 디폴트로 식별된다.
- [0086] 도 2 및 도 3에 도시된 이전의 방법 실시예에서와 같이, 도 4의 방법 실시예가 조작기(110)의 조인트 모터(미도

시) 중 하나 만을 이용하여 예시될 것이다. 오늘날의 거의 모든 로봇이 각각의 조인트를 위한 구동트레인 내에서 주요 킴플라이언스를 가지며 그에 따라 이러한 조인트 매개변수를 결정하는 것이 유용하다.

- [0087] 도 4의 방법 실시예에 따라서, 조인트에 대한 마찰 및 백래시 값을 제어기(140)가 인지하고 있다면 또는 제어기(140)가 진술한 단계에 따라서 이러한 값을 결정하였다면, 제어기(140)는 이하의 단계에 따라서 하나의 조인트에 대한 킴플라이언스를 결정하도록 구성된다.
- [0088] 단계(400)에서, 제어기(140)는 각각의 조인트를 이동시키도록 조작기(110)의 조인트(112, 114, 116~119)의 각각에 대한 액추에이터로 지시하고, 그에 따라 조작기(110)는 클램핑 물품(160)에 의해서 제공되는 공간 내의 지점으로 도킹한다. 이러한 단계는 도 2에 도시된 방법 실시예의 단계(200)와 동일하고, 이에 대해서는 추가적으로 상세히 설명하지 않을 것이다.
- [0089] 단계(410)에서, 제어기(140)는, 백래시의 일 측부에서의 접촉이 이루어지도록, 필요한 경우에 상기 백래시 결정에 관한 변경된 제어와 함께, 조인트 위치 기준을 조정하기 위해서 구동트레인을 작동시키도록 액추에이터로 신호를 보낸다. 만약 조인트에 대한 구동트레인이 기어 휘일에 의해서 구현된다면, 그러한 접촉은 조인트를 구동하기 위해서 협력하는 각각의 휘일의 기어들 사이의 접촉으로서 특징화될(characterized) 수 있다.
- [0090] 단계(420)에서, 제어기(140)는 조인트 위치 기준을 증가시키는 것에 의해서 접촉 토크를 증가시키기 위해서 구동트레인을 작동시키도록 액추에이터로 신호를 전송하는 한편, 동시에, 제어기(140)는, 2개의 양 모두의 절대 값을 증가시키면서, 조인트 모터 토크 및 위치를 모니터링한다.
- [0091] 단계(430)에서, 이전 단계(420)에 따른 큰 조인트 모터 토크로부터 조인트 모터 토크가 영을 향해서 감소되도록, 제어기(140)는 액추에이터에 구동트레인의 작동을 지시하는 한편, 제어기(140)는, 동시에, 조인트 모터 토크 및 위치를 모니터링한다. 대부분의 기어박스의 구성으로 인해서, 경직성이 토크 증가에 따라 증가될 것이고, 예를 들어 3차 다항식(third degree polynominal)이 모니터링되는 조인트 모터 토크 및 위치 데이터로 맞춰질(fitted) 수 있고, 이는 마찰의 2배의 이력을 가질 것이다.
- [0092] 단계(440)에서, 제어기(140)는, 조인트 모터 토크가 본질적으로 영인지의 여부를 체크한다.
- [0093] 만약 본질적으로 영이 아니라면, 방법이 단계(430)로 복귀되고, 여기에서 액추에이터는 구동트레인의 작동을 계속하도록 제어기(140)에 의해서 신호를 받는다.
- [0094] 만약 본질적으로 영이라면, 제어기(140)는 단계(450)에서 조인트 위치를 등록하고 단계(460)로 진행한다.
- [0095] 단계(460)에서, 제어기(140)는, 단계(420)에서의 방향에 반대되는 방향으로 조인트 위치 기준을 증가시키기 위해서 액추에이터가 구동트레인을 작동시키도록 그리고 단계(420)에서와 유사하게 조인트 모터 토크 및 위치를 모니터링하도록 신호를 전송한다.
- [0096] 단계(470)에서, 제어기(140)는 다시, 구동트레인의 기어 휘일들 사이의 접촉이 이루어졌는지를 체크한다.
- [0097] 만약 접촉이 이루어지지 않았다면, 방법이 단계(460)로 복귀되며, 단계(460)에서 액추에이터는 단계(420)에서와 반대의 방향으로 구동트레인을 계속적으로 작동시키도록 제어기(140)에 의해서 신호를 받는다.
- [0098] 만약 접촉이 이루어진다면, 제어기(140)는 단계(470)에서 조인트 위치를 등록한다.
- [0099] 2개의 조인트 위치가, 전형적인 기어 박스의 경우에, 대칭적이어야 한다.
- [0100] 백래시 값 및 마찰 값과 함께, 결정된 킴플라이언스는, (구동트레인 및 조인트) 회전 축(축 1~6) 주위의 특성을 커버하는, 도 1에 따른 조인트 특성을 규정한다. 도 1에서, 조인트 주위의 링크의 회전이 축 1~6 및 두꺼운 화살표로 묘사되어 있다. 일 실시예에 따라서, 방법은 (예를 들어, 힘 제어형 운동에 의해서) 증명을 위해서 또는 개선된 정확도를 위해서 도구 교환기에서 힘-토크 센서를 이용한다.
- [0101] 도 5는 본 발명에 따른 방법의 실시예를 도시하고, 여기에서 하나 이상의 조인트(112, 114, 116~119)에 대한 운동역학적 마찰이 알려져 있지 않고 제어기(140)에 의해서 결정될 필요가 있다. 이러한 시나리오에서, 운동역학적 마찰은, 조작기(110)가 클램핑 물품(160)으로 클램핑되기에 앞서서, 결정된다.
- [0102] 단계(500)에서, 제어기(140)는, 액추에이터로 신호를 전송하여, 느린 속력으로 하나의 방향을 따라 각각의 조인트(112, 114, 116~119)를 이동시키기 위해서 구동트레인을 작동시키도록 그리고 운동 중에 운동역학적 마찰에 상응하는 조인트 모터 토크를 관찰한다. 이러한 문맥에서 느린 속력은 문턱값 속력 값 미만의 속력에서 조인트를 이동시킨다는 것을 의미한다.

- [0103] 그 후에, 단계(510)에서, 제어기(140)는 구동트레인을 작동시켜 조인트(112, 114, 116~119)의 운동을 중단시키도록 액추에이터로 신호를 전송한다.
- [0104] 다음에, 단계(520)에서, 제어기(140)는, 액추에이터로 신호를 전송하여, 구동트레인을 작동시켜 각각의 조인트(112, 114, 116~119)를 반대 방향을 따라 느린 속력으로 이동시키도록 그리고 운동 중에 운동역학적 마찰에 상응하는 조인트 모터 토크를 관찰한다.
- [0105] 단계(530)에서, 제어기(140)는 운동역학적 마찰로서 시작에서의 모터 토크 피크(peak)를 검출하고, 마찰 값에 영향을 미칠 수 있는 방향, 온도, 중력/하중 또는 임의의 다른 조건에 대한 임의의 의존성을 증명/모델링한다.
- [0106] 이어서, 방법은 단계(540~570)로 진행하고, 그러한 단계는 도 2의 방법 실시예에서의 단계(200~230)와 동일하고, 여기에서 설명을 반복하지는 않을 것이다.
- [0107] 통상의 산업용 로봇은, 조인트에 대한 운동역학적 마찰 값에 근접하는, 조인트 마다의 하나의 정적 마찰 값을 가질 것이다. 기계적으로, 일부 메커니즘의 경우에 상당한 차이가 있을 수 있으나, 예를 들어 정밀한 로봇이 요구하는 바와 같은 큰-이득(gain) 피드백 제어의 영향 하에서, 센서 노이즈로 인한 작은 진동이 존재할 것이고 더 큰 정적인 마찰이 덜 문제가 된다. 어떠한 경우에도, 정적인 마찰과 운동역학적 마찰 사이의 차이는 낮은-레벨 서보 제어에서 처리될 문제이고, 본 발명에서 결정하고자 하는 특성의 측면에서 다루어지는 높은-레벨 보상의 일부는 아니다.
- [0108] 대부분의 로봇이 구동트레인의 모터측에서 미치는 그들의 주요 조인트 마찰 영향을 가지는 반면, 미리 상당한 하중이 부여된(preloaded) 조인트-측 베어링 또는 윤활의 큰 마찰 밀봉을 가지는 일부 로봇은 매우 큰 조인트측 마찰을 나타낸다. 자유로운, 클램핑되지 않은 운동과 클램핑된 운동 모두에서 조인트의 운동역학적 마찰을 결정하는 것에 의해서, 이러한 2개의 상이한 운동역학적 마찰 매개변수가 결정될 수 있고 서로 구분될 수 있다. 운동역학적 모터 마찰은 구동트레인의 백래시 이전에 조인트에 영향을 미치는 반면, 나머지 조인트 마찰은 그러한 구동트레인 매개변수 이후에 조인트 운동에 영향을 미치고, 이는, 명백한 방식으로, 조인트 특성을 기초로 하는 보상에서 이용될 수 있다. 당업계에 공지된 바와 같이, 그러한 큰 조인트측 운동역학적 마찰은, 특히 백래시가 없는 컴플라이언스의 경우에, 도 8e에서 도표화된 모니터링 양이 보여주는 바와 같이, 실제로 운동역학적 마찰의 이력 효과가 하중-의존형일 수 있다는 것을 나타낸다.
- [0109] 또한, 제어기(140)는, 또한 도구 교환기(121)가 클램핑 물품(160)의 돌출부(163) 상으로 도킹되기 전에, 상기의 운동역학적 마찰을 결정하기 위해서 실시된 단계와 유사한 방식으로 각각의 조인트에 대한 점성 마찰을 결정할 수 있을 것이다.
- [0110] 조작기(110)가 클램핑 물품(160)에 대해서 클램핑되기 전에 운동역학적 마찰이 결정되는 방법의 하나의 실시예가 도 6에 도시되어 있다.
- [0111] 단계(600)에서, 제어기(140)는 상이한 속력들로 하나의 방향을 따라 조인트(112, 114, 116~119) 중 하나를 이동시키도록 액추에이터로 신호하는 한편, 제어기(140)는 운동 중에 조인트 모터 토크를 모니터링한다.
- [0112] 단계(610)에서, 제어기(140)는 구동트레인을 작동시켜 조인트 운동을 중단시키도록 액추에이터로 신호한다.
- [0113] 단계(620)에서, 제어기(140)는, 단계(610)에서의 속력과 동일하거나 상이할 수 있는 상이한 속력들로 다시 반대 방향으로 조인트를 이동시키기 위해서 구동트레인을 작동시키도록 액추에이터로 신호한다. 동시에, 제어기(140)는 반대 방향으로의 운동 중에 조인트 모터 토크를 모니터링한다.
- [0114] 단계(630)에서, 제어기(140)는, 양 방향을 따른 조인트 운동 중에 모니터링되는 모터 토크로부터 점성 마찰을 결정한다.
- [0115] 단계(640~670)는 도 2의 단계(200~230)와 동일하고, 여기에서 더 구체적으로 설명하지 않을 것이다.
- [0116] 몇몇 실시예가 도 2~6에서 앞서서 설명된, 조인트 매개변수를 결정하기 위한 방법의 실시를 개선하는 하나의 방식은, 물품으로 조작기(110)에 충격을 가하는 것이다. 이러한 실시예가 도 7에 도시되어 있다.
- [0117] 단계(700)에서, 모든 DOF 내의 모든 조인트(112, 114 및 116~119)의 운동이 촉발되도록, 조작기(110)가 자동적으로 또는 로봇 조작자에 의해서 일부 물품에 의해서 충격을 받는다.
- [0118] 단계(710)에서, 제어기(140)는 조작기(110) 내의 모든 조인트에 대한 조인트 모터 토크 및 조인트 위치를 모니터링한다. 이는 일반적으로 단계(700)에서 충격 중에 그리고 충격 이후에 이루어질 수 있을 것이다.

- [0119] 단계(720)에서, 제어기(140)는 각각의 조인트(112, 114, 116~119)에 대한 그리고 특히 가장 큰 관심을 가지는 조인트에 대한 모니터링된 조인트 모터 토크 및 조인트 위치로부터 조작기(110)에 대한 공명 주파수를 결정한다. 공명 주파수는, 단계(700)에서 도구 교환기(110)의 충격 중에 그리고 그 이후에 등록된 조인트 모터 전류의 주파수일 수 있을 것이다. 가장 낮은 공명 주파수는, 마찰, 백래시 및 컴플라이언스와 같은, 이전에 언급된 조인트 매개변수의 결정 중에 발생 가능한 조인트 성능에 관한 표시를 제공한다.
- [0120] 단계(730)에서, 제어기(140)는 단계(720)에서 결정된 가장 낮은 공명 주파수에 상응하는 조인트 모터 토크 및 조인트 위치 간격을 결정한다. 이러한 간격 내에서, 제어기(140)가 전술한 도 2 내지 도 6의 방법 실시예에 따라 조인트 매개변수를 결정할 것이다.
- [0121] 다음에, 도 2의 방법 실시예와 관련하여 설명한 단계(200~230)와 동일한 단계(740~770)로 방법이 진행된다. 그러한 이유로, 이러한 단계에 대해서는 더 구체적으로 설명하지 않을 것이다.
- [0122] 도 2 내지 도 7의 방법 실시예는 또한, 조작기(110)에 대한 구동트레인 동력학의 특성을 결정하기 위해서 조작기에 대한 운동역학적 매개변수(미도시)를 획득하는 단계를 포함할 수 있을 것이다. 제어기(140)는 저장된 명목적(영점교정되지 않음) 매개변수를 포함할 수 있을 것이다. 그러한 매개변수가 데이터시트로부터 제어기(140)로 대신 입력될 수 있을 것이다. 이러한 단계는 도 2 내지 도 7에 따른 방법의 실시예의 단계에 선행할 수 있을 것이다. 마지막으로, 각각의 조인트(112, 114, 및 116~119)에 대한 조인트 특성이 도 2 내지 도 7에 도시된 방법 실시예에 따라서 결정된 후에, 결정된 조인트 특성을 기초로 명목적 운동역학적 매개변수가 업데이트될 수 있을 것이다.
- [0123] 도 8a는 로봇의 조작기(110)의 하나의 조인트에 대한 이력 도표(800)를 도시한다. 도표는, 구동트레인의 점성 마찰을 고려한, 본질적으로 영의 정적 및 운동역학적 액추에이터 마찰의 이상적인 경우에, 액추에이터 위치(x)의 함수로서 조인트 모터 토크(Fm)를 도시한다. 비록 그러한 도면이 운동의 속력을 보여주지는 않지만, 운동의 속력이 관련된다는 것이 위치(x)의 변화 중의 토크 이력의 값으로부터 명확하고, 그리고 곡선의 종료-지점들이 동일한 값으로 수렴되고, 이는 운동역학적 마찰 값이 무시될 수 있거나 제어-유도형 진동에 의해서 상쇄된다는 것을 의미한다. 이제, 점성 효과가 존재하지 않도록, 운동이 준-정적인 것으로 가정한다. 그러한 것이 느린 운동을 암시하지만, 이는 영점교정 시간과 관련하여 문제가 되지 않는데, 이는 클램핑된 자세에서 관련된 운동 거리가 매우 짧기 때문이다. 이력 곡선을 기준으로, 적어도 하나의 이력 효과를 각각 포함하는 도 8b-8e를 참조하여, 이전에 언급한 실용적으로 변경된 접근방식을 이제 보다 완전하게 설명할 것이다.
- [0124] 도 8a에 도시된 이력 곡선은 2개의 위치들 사이의 왕복 운동을 보여주고, 그 사이에서는 하중이 부여되지 않은 클램핑된 위치가 된다. 예를 들어 구동트레인에 대한 장착으로 인해서, 모터 좌표(x)가 어떻게든 오프셋과 연관되기 때문에, 단순함을 위해서, x 좌표가 백래시의 중간에서 영이 되도록 그리고 백래시와의 접촉이 2X의 백래시에 대해서 -X 및 X에서 얻어지도록, 오프셋을 선택할 수 있다. 예를 들어 801-802-803-804(또는 반대)의 순서의, 그러나 양 측부 상에서 백래시의 외측으로 이동하는 운동에서, 이력 토크-위치 곡선의 임의 방향을 가정할 수 있다. 이는, 모터, 또는 균등하게 액추에이터가 백래시 범위에 대해서 반대 방향으로 제1 및 제2 위치 사이에서 왕복하여 완전히(fully) 전개된 구동트레인 토크 동력전달이 양 위치에서 달성되도록, 구동트레인을 작동시킨다는 것(210)을 의미한다. 운동역학적 마찰의 영향을 포함하여, 액추에이터 토크 및 액추에이터 위치를 모니터링하는 것은 도 8d의 곡선과 같은 곡선을 초래한다. 실선은 획득된 토크-위치 사이클과 관련한 모니터링된 운동이다. 마찰이 대칭적인 것으로 가정하면, 평균-값 채선은, 도 8d에서 백래시의 중심 주위로 수평적으로 대칭적인, 위치 이력을, 위치에 대한 의존성을 가지고 포함(capture)하는 마찰-보상된 액추에이터 토크를 나타낸다.
- [0125] 완전히 전개된 구동트레인 토크라는 개념은 그러한 물리적 조인트 특성 양자 모두에 그리고 결정하고자 하는 조인트 특성의 의도된 용도에 의존한다. 도 8d에 도시된 2개의 예는 위치에서의 각각의 액추에이터 토크의 이력이다. 이러한 예는 이하에서 간략히 설명된다.
- [0126] 토크 이력은 운동역학적 마찰을 나타내고, 이는 통상적으로 액추에이터에 기여할 수 있으나, 복수의 요소를 가지는 구동트레인의 경우에, 베어링(194)에서와 같은 상이한 스테이지들에서 마찰이 있을 수 있다. 도 8d의 이력 사이클과 같은 이력 사이클에 대해서 그리고 특정 왕복 위치 및 특정 최대 토크에 대해서, 운동역학적 마찰이 일정하고, 이는 상부 곡선과 하부 곡선 사이에 $2 \cdot \mu$ 의 일정한 거리가 존재한다는 것을 의미하고, 운동역학적 마찰이 μ 로서 표시된다. 전술한 바와 같이, 전체 운동역학적 마찰이 또한 자유-공간 운동에서 조사될 수 있다. 토크 역사(history)를 포함하는 상태에 또한 의존하는 함수일 수 있는, 마찰 특성을 결정한 후에, 마찰-보상된

액추에이터 토크가 결정될 수 있다. 이상적인 경우에, 그러한 것은 도 8d의 쇠선에 상응한다.

- [0127] 조인트의 특성으로서 이용하고자 하는 위치 이력은, X1과 X3 사이의 비-선형 곡선을 가지는 도 8d의 이력 사이클과 같이 이력 사이클이 보여지는 경우에, 높은 토크와 낮은 토크에 대해서 상이하다. 높은 토크에 대해서, 운동의 2개의 방향의 각각으로 도 8d에서 각각 LM1 및 LM2로 표시된, 로스트 모션(lost motion)으로서 이력을 지칭한다. 여기에서, LM1 및 LM2이 동일하나, 도 8e에서와 같이 물리적으로 얻어지는 값이 변동을 보여준다. 마찰-보상된 쇠선은, 도 8d의 대칭적인 이상적인 경우에, 로스트 모션을 결정하기 위해서 또한 이용될 수 있다. 백래시는 본질적으로 구동트레인 토크가 없는 것에 대한 위치 이력이다. 도 8d에서, 간격(B1)에 걸쳐 영의 (마찰-보상된) 토크가 존재하나, 실제적으로 (감지 및 제어 관점에서부터) 낮은-하중 보상에 대해서 백래시로서 간격(B2)을 이용하는 것이 보다 적합하다.
- [0128] 진술한 바와 같이, 당업계에 공지된 영점교정 및 모델링은 간격의 규정에서의 결정(decision) 문제, 및 조작기의 이용 중에 실제 서보 제어에 대비한 반대 방향으로부터 구동트레인에 하중을 가하는 것으로 인한 식별 문제를 가진다. 대조적으로, 본 발명은 정상 동작의 방향으로 구동트레인에 하중을 가하고, 백래시(낮은 토크) 및 로스트 모션(높은 토크)의 규정이 이러한 의도된 용도의 경우에 따라 존재할 수 있다. 그에 따라, 본 방법의 사용자는 당면한 적용에 또는 시스템에 적합한 간격 규정을 자유롭게 선택할 수 있다.
- [0129] 백래시 및 컴플라이언스를 관련시키기 위한 유사한 결정이 존재하고, 컴플라이언스는 도 8d에서 B2 외부 및 NL 간격 이내의 곡선과 같이 비-선형적이다. 이러한 배경에서 그리고 도 8a-8e에 도시된 다른 실시예를 참조하여, 이하에서 2가지 경우를 보다 완전하게 설명할 것이다.
- [0130] 첫 번째로, NL 간격이 B1 외부 또는 B2 외부의 비-선형 컴플라이언스에 의해서 모델링될 수 있을 것이다. 두 번째로, 만약 X1(선택된 B1 또는 B2 간격의 좌표임) 및 X3이 서로 근접한다면, 도 8b 또는 8c의 경우에 속하는 쇠선을 가진다. 그러나, 이는, 컴플라이언스들(814) 사이에 명백한 백래시(812)가 존재하지 않는 경우가 될 수 있고, 모델은, 그 대신에, 낮은-하중 컴플라이언스(813)가 높은-하중 컴플라이언스(814)를 가교 연결하는(bridging) 도 8c의 모델이 된다. 후자는, 구동트레인이 미리 하중이 부여된 기어박스를 포함할 때 전형적인 경우인 한편, 전자는, 더 단순한 저-비용 구동트레인에서 전형적이다. 도 8e는, 미리 하중이 부여된 기어박스를 가지는 조작기의 조인트에 대한 상이한 최대 토크들에서의, 2개의 획득된 이력 사이클을 보여준다. 얻어진 이력 사이클이 이상적이든지 또는 그렇지 않든지 간에, 희망하는 특성이 결정될 수 있도록, 본 발명은 그러한 것을 획득하기 위한 방법을 포함한다.
- [0131] 제어기(140)의 사용자-프로그래밍 레벨에서 조작기를 프로그래밍하는 것 또는 지시하는 것에 의해서 조작기(110)의 사용자로서 방법을 실행하는 것은, 디지털 제어기(140)에서 구분된 프로그래밍 가능 양인, 토크 및 위치 기준을 셋팅하는 것에 대한 제한된 접근을 암시한다. 물리적 특성을 나타내기 위한 획득된 데이터에 대해서, 정량화 효과가 작을 것이 요구된다. 그러한 목적을 위해서, 로봇 제조자는, 통상적인 로봇 프로그래머가 입수할 수 있는 것 보다 훨씬 더 큰 분해능을 가질 수 있는 시스템-레벨 인터페이스 또는 구현을 제공하여야 한다. 대안적으로 그리고 균등하게, 조작기 제어기(140)는 통상적으로 서보 제어에서 통합 작용이 불능이 될 수 있게 하고(또는 중력 토크와 균형을 이루는 값으로 셋팅될 수 있게 하고), 이어서 서보 제어의 주요 비례 작용이, 액추에이터 토크에 대한 명령된 위치로부터의 충분한 영향 및 모니터링되는 양의 원활성 모두를 이용하여, 적절한 토크 효과를 위해서 조율될 수 있다. 도 8e는 그러한 방식으로 획득되었다.
- [0132] 도 8b-8e를 참조하여, 본 발명의 방법을 실행하기 위한 실용적으로 변경된 접근방식을 이하에서 구체적으로 설명할 것이다.
- [0133] 신속하고 통합된 과정으로서, 조인트의 위치 기준이, 첫 번째로 자유 공간 내에서 여러 가지 마찰 및 중력 특성을 결정하기 위한 그리고 이어서 클램핑된 구성에서 구동트레인 동력학을 커버하는 다른 특성을 결정하기 위한, 상이한 방식으로 사이클링된다. 이러한 사이클 중에, 토크 및 위치가 모니터링되고, 제어기 특성에 의존하여, 제어의 매개변수가 최적의 정확도로 조정될 필요가 있을 수 있을 것이다. 조작기 동력학 및 제어기 특성으로 인한 명백한 변동과 함께, 관심 대상 특성이 모니터링되는 신호로부터 식별된다. 조인트 특성에 관한 전체적인 결정이 전형적인 조작기(110)의 모든 조인트에 대해서 1분 내지 몇 분이 소요된다. 그러나, 방법을 보다 구체적으로 설명하기 위해서, 이하의 설명은 상이한 특성의 결정의 분리를 기초로 한다.
- [0134] 방법에 따라서, 조인트의 운동이 속박되도록 또는 록킹되도록 조작기(110)의 조인트(180), 또는 균등하게 조인트화된 이동가능 부분이 클램핑되고(200), 조인트를 구동하는 구동트레인이 액추에이터에 의해서 작동되는 한편(210), 상기 액추에이터의 토크와 연관된 적어도 하나의 양 및 액추에이터 위치와 연관된 적어도 하나의 양이

모니터링된다. 이어서, 상기 액추에이터의 출력 값의 적어도 하나의 세트가 모니터링되는 양을 기초로 결정되고 (220), 상기 출력 값의 세트가 적어도 하나의 조인트 위치와 관련되고, 조인트의 적어도 하나의 특성이 상기 출력 값의 세트를 기초로 결정된다(230).

[0135] 일 실시예에 따라서, 방법은 상기 구동트레인을 작동시키는 것(210)에 의해서 이력 사이클 데이터를 획득하는 것을 추가로 포함하고, 그에 따라 액추에이터가 제1 위치와 제2 위치 사이에서 왕복하여, 완전히 전개된 구동트레인 토크 동력전달이, 반대 방향들로, 양 위치에서 달성되는 반면, 모니터링되는 상기 액추에이터의 토크와 연관된 적어도 하나의 양 및 액추에이터 위치와 연관된 적어도 하나의 양이 이력 사이클 데이터를 구성하고, 그리고 상기 클램핑된 조인트에 대한 초기 조인트 위치가 작동(210)에 앞서서, 그리고 그 후에, 획득된 이력 사이클 데이터를 기초로 상기 액추에이터의 적어도 하나의 출력 값의 세트를 결정하는 것(220)에 앞서서, 구축된다.

[0136] 모니터링이 전체 운동 중에 한차례 이루어지고 이어서, 로봇 시스템(100)과 같은 장비를 반드시 점유하지 않으면서, 추후에 데이터를 분석하는 것에 의해서 관심 대상인 상이한 특성이 분석된다는 것을 의미하는 것으로서, 제1 지점과 제2 지점 사이의 왕복 운동이 관심 토크 범위 전체를 커버하도록 구성되는 액추에이터 운동으로 이력 사이클 데이터를 획득하는 것이 실용적이지만, 속박된 운동이 또한, 기술적으로 균등한 방법을 함께 형성하는 보다 작은 전용의(dedicated) 실험들로서 실시될 수 있다. 도 3 내지 도 5에 의해서 구체적으로 설명되는 단계는, 어느 정도의 범위까지, 그러한 전용의 실험의 예이나, 이력 사이클 데이터가 또한 사이클의 상이한 부분들을 반영하는 부분들에서 획득될 수 있다. 예를 들어, 정상 동작 중에 항상 일 방향을 따라 큰 중력의 하중이 가해지는 조인트에 대해서, 하중이 가해지지 않은 측부와 액추에이터 토크의 해당 방향을 가지는 측부를 나타내는 하나의 측부 사이에서 이력 사이클을 획득하는 것으로 충분할 수 있다. 결과적으로, 완전한 양방향적 이력 사이클이 또한 하중이 가해지지 않은 클램핑된 자세 주위의 2개의 부분에서 획득될 수 있고, 이어서 조인트의 결정된 특성이 제어기(140)에서 통합되거나 분리되어 이용될 수 있다. 적어도 하나의 조인트의 적어도 하나의 특성의 임의의 그러한 부분적인 결정은 특별하고 사소한(trivial) 경우이고, 간결함을 위해서 그러한 경우에 대해서는 추가적으로 설명하지 않는다. 또한, 구동트레인의 고속 작동과 같은 설명된 양을 이용하고 점성 마찰(예를 들어, 도 6에 따라서 획득됨)을 차감하는 개시된 원칙을 포함하는 다른 변형이 기술적으로 균등한 방법을 형성한다.

[0137] 결정된 조인트의 적어도 하나의 특성이 비대칭적 이력 사이클의 경우에 로스트-모션 특성, 또는 로스트-모션 특성들일 수 있고, 상기 방법은, 완전히 전개된 구동트레인 토크 동력전달이 최대 위치 이력이 얻어질 수 있게 할 정도로 충분히 크도록, 허용된 토크 범위 내에서, 상기 구동트레인을 작동시키는 것(210), 그리고 이어서 획득된 위치 이력을 기초로 상기 로스트 모션을 결정하는 것(220)을 포함한다. 또한, 획득된 토크-위치 데이터를 기초로 로스트 모션을 평균화하고 식별하는 방식으로서, 이력 사이클이 곡선에 의해서 근접될(approximated) 수 있고, 상기 방법은 근접된 곡선의 각각의 꼬리(tail)에 점근적으로(asymptotically) 접근하는 2개의 곡선을 맞추는 것(fitting)을 더 포함하고, 여기에서 액추에이터는, 운동역학적 마찰이 완전히 전개되도록, 이동한다. 적어도 하나의 토크 값에 대해서, 로스트-모션이 곡선들 사이의 위치 차이로서 결정될 수 있다.

[0138] 이력 사이클 데이터로부터 얻어질 수 있는 다른 특성은 백래시이고, 그러한 백래시는 본질적으로 동일한 구동트레인 입력 토크에 대한 위치의 차이를 결정하는 것에 의해서 위치 이력으로부터 결정될 수 있고(230), 그에 따라 상기 구동트레인 입력 토크는, 본질적으로 영의 구동트레인 입력 토크에 의해서 특징화되는 클램핑된 위치의 양 측부 상에서 본질적으로 영이 아닌 값에 도달한다. 백래시를 결정하는 것(230)은 또한, 위치 이력의 결정에 앞서서 마찰의 영향에 대해서 액추에이터 토크를 보상하는 것에 의해서 얻어지는 결정된 구동트레인 입력 토크를 기초로 할 수 있다.

[0139] 방법은 또한, 조인트의 적어도 하나의 특성이 조인트의 컴플라이언스인 조인트에 적용될 수 있고, 그러한 방법은 획득된 백래시의 영향을 이력 사이클 데이터로부터 제거하는 것에 의해서 컴플라이언스를 결정하는 것(230)을 더 포함한다. 균등하게, 컴플라이언스가 결정될 때, 도 8d의 B1 또는 B2와 같은, 규정된 백래시 간격이 고려된다. 만약 컴플라이언스가 구동트레인의 이전의 하중 및 방향에 대해서 상태정보를 가지지 않는다면(stateless), 컴플라이언스는, 증가된 그리고 감소된 액추에이터 위치의 함수로서 액추에이터 토크가 증가하고 감소하는 레이트(rate)를 식별하는 것에 의해서 결정될 수 있다(230). 만약 그러한 레이트가 클램핑된 위치의 양 측부 상에서 동일하다면, 또는 만약 양 측부에 대한 단일 값의 사용이 요구된다면, 본질적으로 하중을 받지 않은 구동트레인에 대해서 얻어지는 레이트들의 평균을 취하는 것에 의해서, 하중이-없는/하중이-적은 컴플라이언스 특성이 결정될 수 있다. 그에 따라, 더 큰 구동트레인 토크에 대해서, 방법은 완전한 하중이 부여된 구동트레인에 대해서 적용될 수 있고, 이어서 하중이 가해진-컴플라이언스 특성을 획득할 수 있다.

- [0140] 컴플라이언스의 개념은, 구동트레인 토크가 단조롭게 증가 또는 감소될 때, 모니터링되는 이력 사이클로부터의 값이 본질적으로 일정한 값만큼만 이탈하거나 그렇지 않거나에 관한 상태정보를 가지지 않거나 그와 관련되지 않는다. 상태정보를 가지지 않는 경우에, (도 8d에서 NL 간격에 걸친) 단일 컴플라이언스 특성 함수가 하중이 부여되지 않은 그리고 완전하게 하중이 부여된 컴플라이언스 특성에 맞춰질 수 있다. 도 8e에서와 같이, 이력 사이클이 최대 토크에 의존하는 경우에, 컴플라이언스 특성과 연관된 일부 상태가 존재하고, 컴플라이언스 특성 함수는, 진술한 바와 같이, 요구되는 효과를 반영하는 상태 항(argument)을 가져야 한다. 발생 가능한 컴플라이언스 특성 상태의 다른 예는, 예를 들어 파괴(break)되려고 하는 또는 일부 다른 방식의 결합을 가지는 구동트레인으로 인한, 반복가능성의 결여와 관련된다. 대조적으로, 만약 이력 사이클 데이터가 동일한 최대 하중을 가지는 몇 개의 사이클에 걸쳐서 동일하다면, 조인트는 반복가능한 운동에 대해서 고품질이 된다. 이는, 과다 하중의 사이클의 각각이 실제로 5개의 사이클을 포함하는 도 8e이 경우이다. 그에 따라, 그러한 조인트는 보상된 또는 보상되지 않은 운동의 반복성에 대한 높은 품질을 가진다.
- [0141] 방법의 다른 실시예에서, 조인트의 적어도 하나의 특성이 운동역학적 액추에이터 마찰이고, 그것을 결정하는 것 (230)은 적어도 하나의 위치 값에 대해서 이력 사이클 데이터로부터 토크 이력을 식별하는 것을 포함하고, 운동역학적 액추에이터 마찰의 값은 식별된 토크 이력의 값의 절반이다. 다소 단순화된, 이러한 마찰 특성이 또한 쿨롱(coulomb) 마찰로서 지칭될 수 있다. 정적인 마찰, 및 소위 정지마찰(stiction)에 대한 위험의 측정인 운동역학적 마찰로부터의 정적인 마찰의 차이가, 클램핑된 또는 클램핑되지 않은 조건에서의 운동의 낮은-이득, 느린-시작 중에 얻어질 수 있으나, 이력 사이클의 모니터링 중의 운동은 정지마찰이 나타나지 않도록 조율되어야 한다.
- [0142] 방법의 추가적인 실시예에 따라서, 이력 사이클이 상이한 열적(thermal) 조건 하에서 모니터링될 수 있고, 실제 열적 조건은 환경의 및/또는 조인트의 임의의 기계적 요소의 측정된 및/또는 모사된 온도에 의해서 표시되고, 이력 사이클은 온도에 의존할 수 있을 것이며, 그에 따라 결정된 특성이 온도에 따라서 변화될 수 있을 것이다. 그러한 경우에, 이는, 온도에 대한 적어도 하나의 조인트 특성의 의존성을 결정하기 위한 직접적인 (straightforward) 과정이 된다.
- [0143] 방법은, 적어도 2개의 클램핑된 조인트에 대한 조인트 특성 값을 결정하기 위해서 구동트레인을 통해서 적어도 하나의 액추에이터를 작동시키는 것을 반복하는 것을 더 포함할 수 있다. 방법은 또한 클램핑 구성을 포함할 수 있고, 여기에서 개별적인 조인트가 작동시키는 것(210) 및 모니터링 위상(phase) 전체를 통해서 변화되지 않고 유지된다.
- [0144] 방법은 또한, 조작기(110)가 하나의 또는 몇 개의 운동역학적 구성으로 클램핑되도록, 복수의 조인트를 클램핑하는 것 및 조인트를 클램핑하는 것을 포함할 수 있고, 각각의 구성에서 그리고 각각의 조인트에 대해서 방법 실시예가 적용될 수 있을 것이다.
- [0145] 상기 방법의 또 다른 실시예는 조작기(110)의 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하는 것을 포함하고, 상기 방법은, 조작기의 작업-공간 내에서, 도 1a에 도시된, 클램핑 물품(160)에서 상기 조작기의 이동가능한 부분을 배치하는 것 그리고 클램핑 물품 상의 하나의 지점을 상기 이동가능한 부분과 접촉시키는 것 그리고 추가적으로 임의의 방법의 단계를 실시하는 것을 포함한다.
- [0146] 방법은 또한, 조작기의 운동역학적 영점교정에 의해서 특이적인 운동역학적 매개변수를 획득하는 것, 그리고 적어도 하나의 결정된 조인트 특성을 기초로 조작기의 운동역학적 매개변수를 업데이트하는 것을 포함한다. 그에 따라, 조작기가, 획득된 적어도 하나의 특성을 이용하여 보다 양호하게 영점교정될 수 있을 것이다. 업데이트하고자 하는 운동역학적 매개변수가 조작기의 명목적 매개변수 또는 통상적인 영점교정 방법으로 얻어진 운동역학적 매개변수일 수 있을 것이다.
- [0147] 개시 내용은 또한, 조작기의 명목적 운동역학적 매개변수를 업데이트하기 위해서, 본원에서 개시된 임의의 방법 단계에 따라서 결정된, 결정된 적어도 하나의 특성의 이용에 관한 것이다. 또한, 임의의 제어된 조인트의 구동트레인의 작동을 업데이트하기 위해서, 결정된 편차를 보상하기 위해서 로봇 프로그램 자세를 업데이트하기 위해서, 또는 조인트 특성을 기초로 조작기의 운동 제어 매개변수를 업데이트하기 위해서, 결정된 적어도 하나의 결정된 조인트 특성이 이용될 수 있을 것이다. 그에 따라, 컴퓨터 판독가능 저장부(142) 내에 있는 로봇 자세를 이용한 제어기(140)의, 제어 유닛(141)의, 그리고 명령어의 업데이트를 통해서, 조인트(180) 또는 조작기(110)의 정확도가 개선된다.
- [0148] 본 발명의 다른 양태에 따라서, 방법의 이용은, 구동트레인을 통해서 조인트를 구동하도록 구성된 적어도 하나

의 액추에이터, 조인트의 운동을 속박하도록 구성된 클램핑 수단, 상기 액추에이터의 토크와 연관된 적어도 하나의 양 및 액추에이터 위치와 연관된 적어도 하나의 양을 모니터링하기 위한 수단, 적어도 하나의 조인트 위치에 상응하는, 상기 액추에이터의 적어도 하나의 출력 값을 결정하기 위한 수단, 및 상기 적어도 하나의 출력 값을 기초로 조인트의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 수단을 포함하는, 조작기(110)의 조인트와 같은, 조인트(112, 114, 116~119, 180)의 적어도 하나의 특성을 결정하기 위한 시스템에 의해서 적어도 부분적으로 달성된다. 시스템은 적어도 조작기(110), 조작기를 제어하도록 구성된 제어기(140), 및 조작기가, 클램핑 수단에 도킹되고 클램핑될 때, 클램핑된 자세를 가지도록 조작기의 단부 부분의 도킹 및 클램핑을 가능하게 하도록 구성되는 클램핑 수단(160)을 더 포함하고, 상기 조인트(112, 114, 116~119, 180)는 조작기의 일부이다.

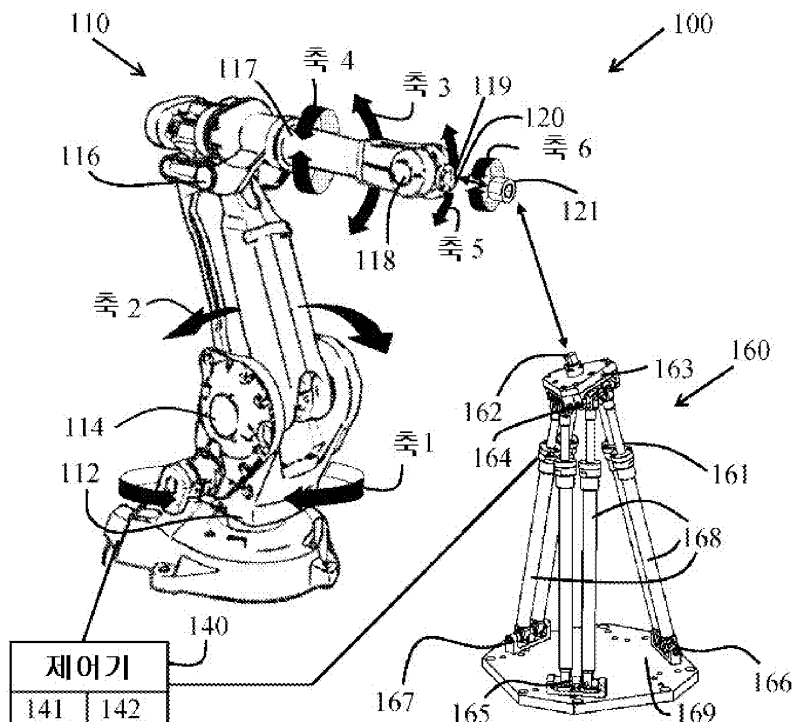
[0149] 클램핑 수단(160)은 조작기(110)의 작업 공간 내의 고정 위치의 단일 도구 교환기일 수 있다. 클램핑 수단은 또한, 수동 클램핑 물품(188)에 의해서 클램핑될 수 있는 복수의 조인트를 위한 또는 단일 조인트(180)를 위한 수작업 클램핑 물품일 수 있다. 가장 적합한 클램핑 물품은 조인트의 운동역학적 배열체에, 조인트 특성에, 그리고 방법의 일부로서 클램핑을 자동화하기 위한 필요성에 의존한다. 어려운(demanding) 경우는, 조작기(110)와 관련하여, 상이한 방향으로 이동하는 복수의 조인트를 클램핑할 필요가 있는 때, 그리고 그러한 조인트들을 서로 매우 근접한 복수의 위치에서 클램핑할 필요가 있을 때이다. 도 1b로부터 이해할 수 있는 바와 같이, 구동트레인은 다양한 각도/위치에서 각각 동작할 수 있는 복수의 동력전달 요소를 포함할 수 있고, 이는, 근접한 위치들에서도, 백래시(192, 196)와 같은 조인트 특성이 액추에이터의 위치에 따라서 변화되는 구동트레인 특성을 초래할 수 있다는 것을 암시한다. 바람직하게, 요구되는 많은 수의 클램핑 자세로 인해서 자동화된 방식으로, 그러한 변동을 결정하기 위해서, 클램핑 물품(160)은 자동화되고 미세하게-구분된(fine-grained) 배치를 허용하고, 이는 본 발명에 따른 시스템의 최종적인 양태를 형성한다.

[0150] 발명은 또한 컴퓨터 프로그램(P)과 관련되고, 컴퓨터 프로그램(P)은 방법의 임의의 개시된 실시예를 실행하기 위한 컴퓨터 명령어를 포함한다. 마지막으로, 발명은 컴퓨터 프로그램 제품과 관련되고, 컴퓨터 프로그램(P)은 컴퓨터 판독가능 매체(142) 상에 기록된다.

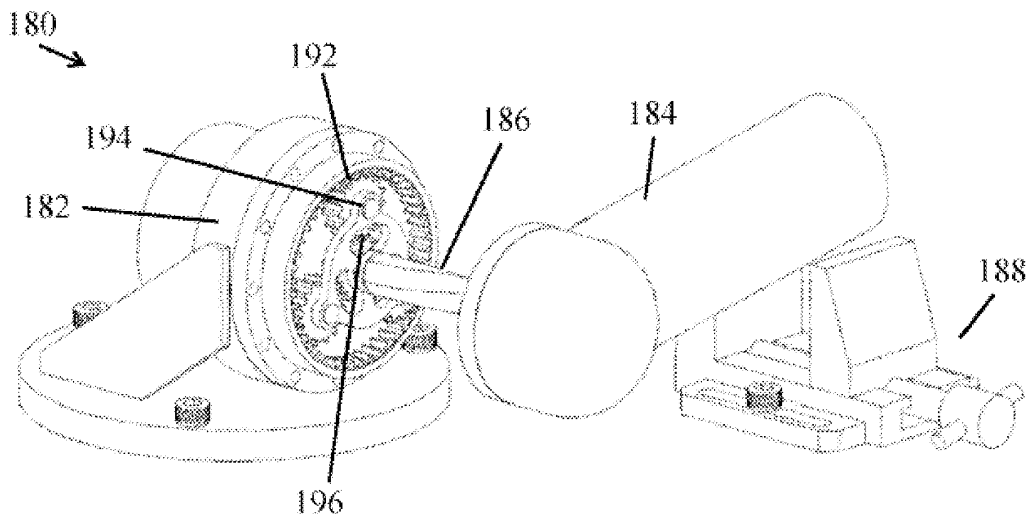
[0151] 도면 및 상세한 설명에서, 발명의 전형적인 바람직한 실시예가 개시되어 있고, 비록 특별한 용어가 채용되었지만, 그러한 용어는 단지 일반적이고 예시적인 의미로 사용된 것이고 제한을 목적으로 사용된 것이 아니며, 발명의 범위는 이하의 청구항에서 기술된다.

도면

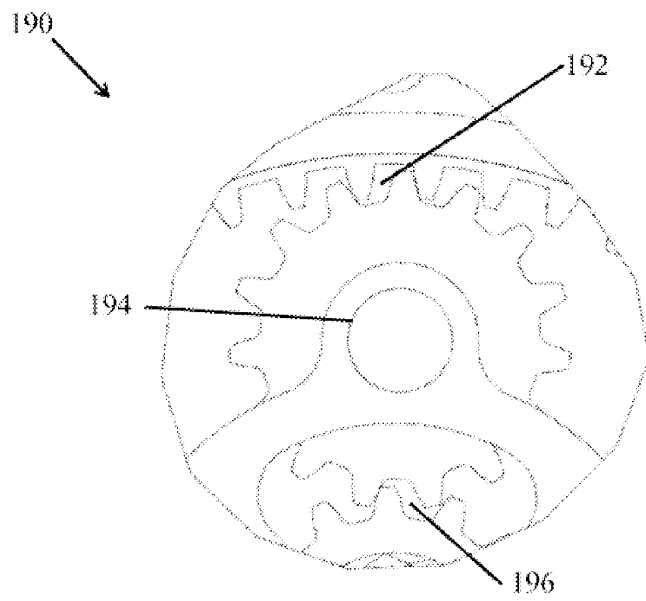
도면1a



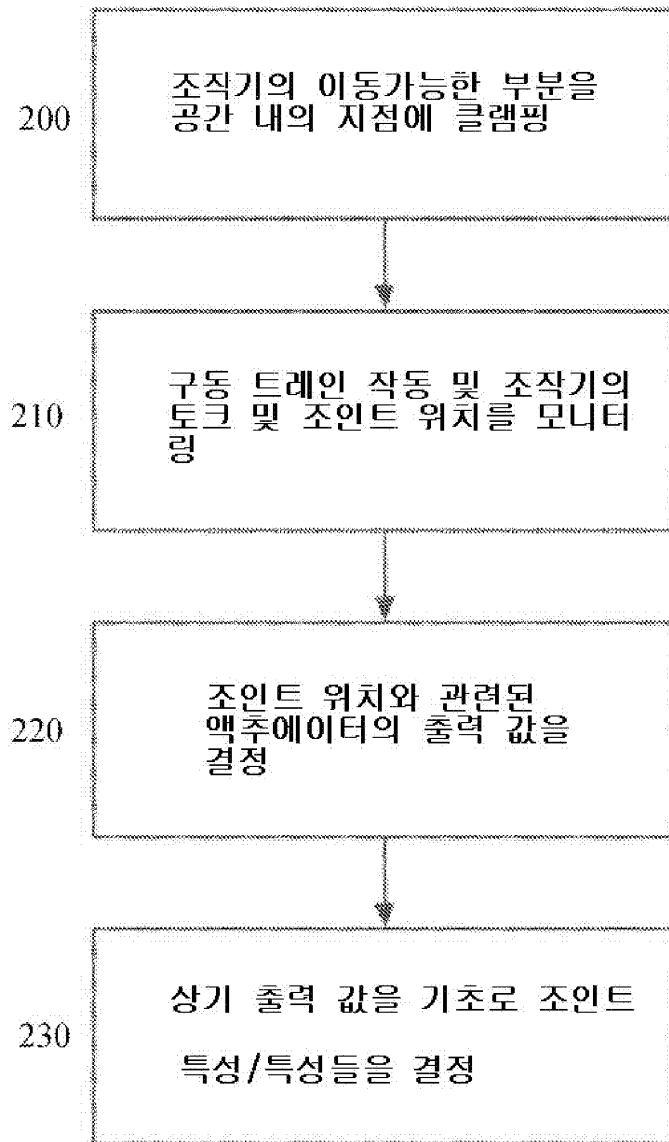
도면1b



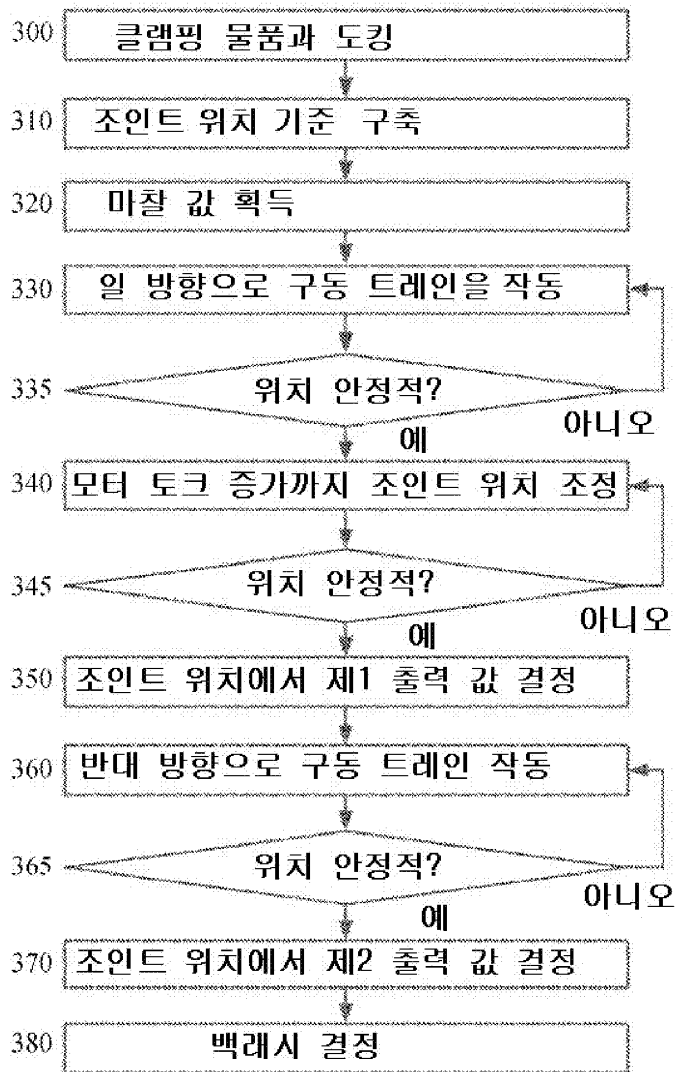
도면1c



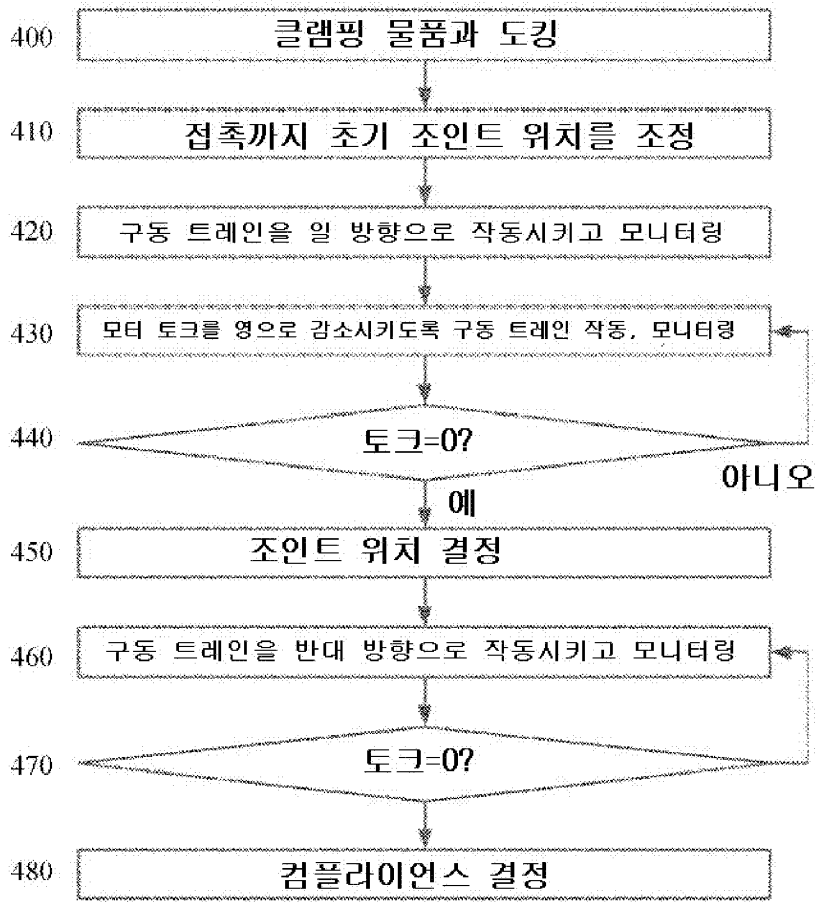
도면2



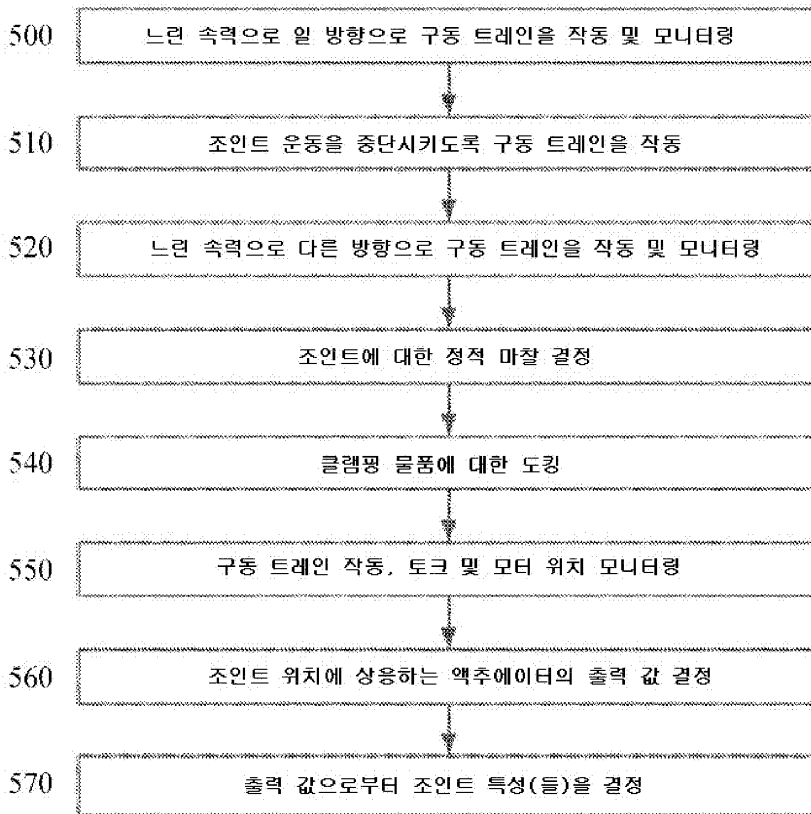
도면3



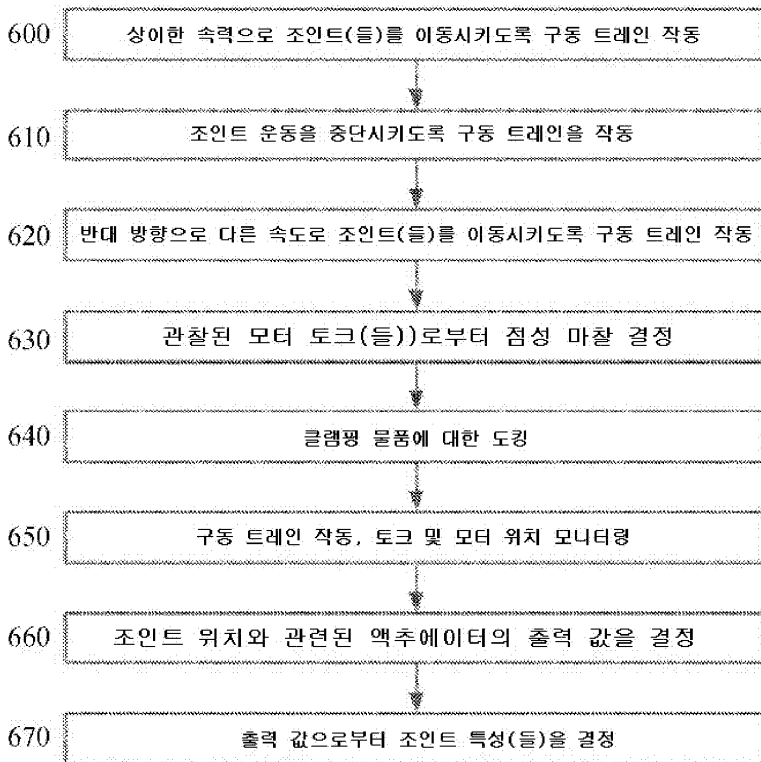
도면4



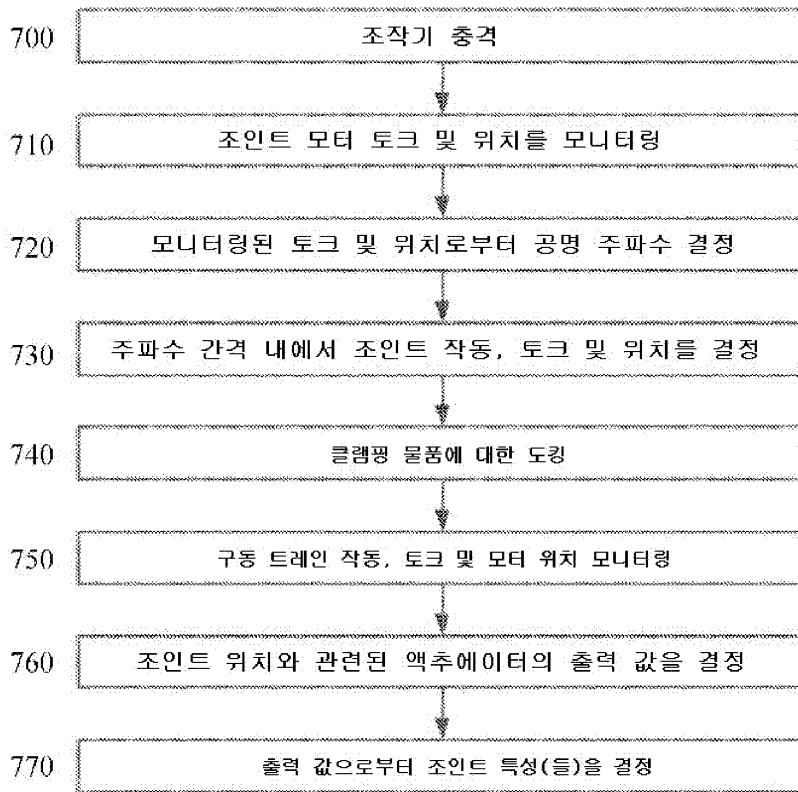
도면5



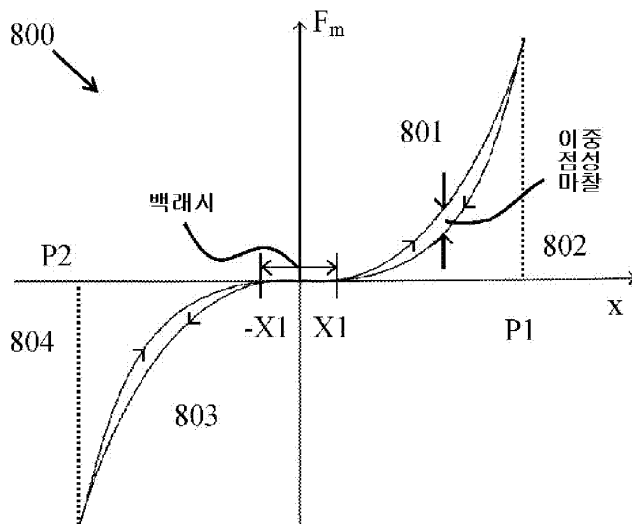
도면6



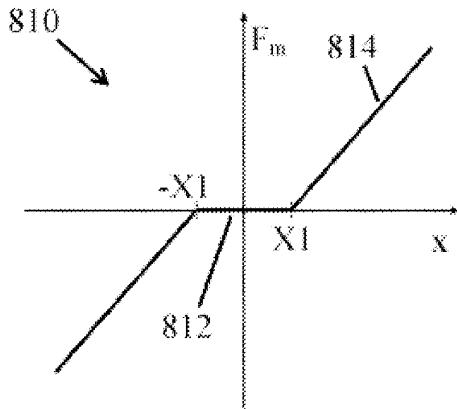
도면7



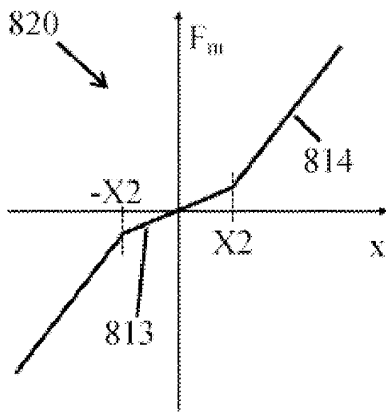
도면8a



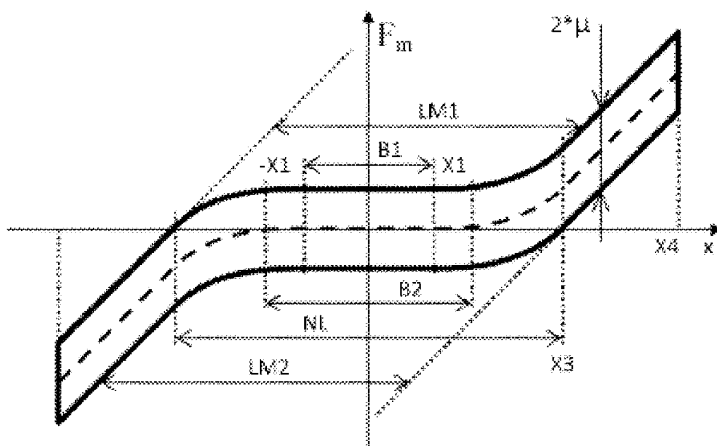
도면8b



도면8c



도면8d



도면 8e

