



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년02월10일

(11) 등록번호 10-2214809

(24) 등록일자 2021년02월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 19/00 (2006.01) **B25J 18/00** (2006.01)
B25J 9/16 (2006.01)

(52) CPC특허분류
A61B 34/30 (2016.02)
A61B 34/37 (2016.02)

(21) 출원번호 10-2015-7028821

(22) 출원일자(국제) 2014년03월18일

심사청구일자 2019년03월04일

(85) 번역문제출일자 2015년10월13일

(65) 공개번호 10-2015-0133756

(43) 공개일자 2015년11월30일

(86) 국제출원번호 PCT/US2014/031103

(87) 국제공개번호 WO 2014/146119

국제공개일자 2014년09월18일

(30) 우선권주장

61/800,381 2013년03월15일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020080047318 A

(뒷면에 계속)

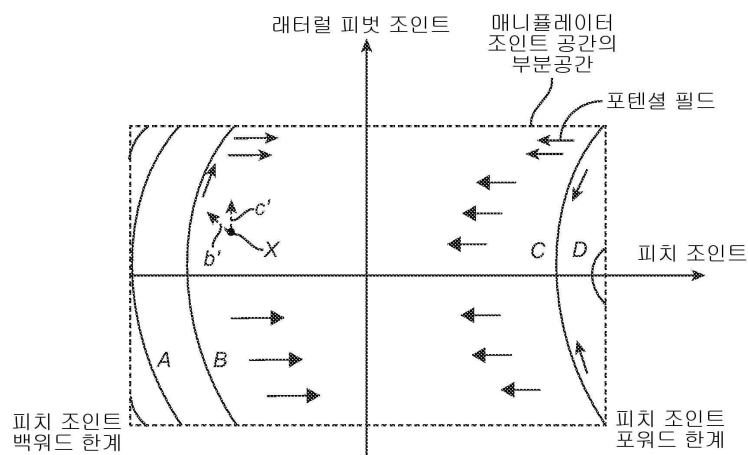
전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 전창익

(54) 발명의 명칭 영공간을 이용하여 카테시안 좌표의 에지에의 액세스를 조장하기 위한 시스템 및 방법

(57) 요약

여유 자유도를 갖는 복수의 조인트를 가진 매니플레이터 암의 엔드 이펙터의 증가된 운동의 범위를 제공하는 장치, 시스템 및 방법이 제공된다. 상기 방법은 적어도 하나의 조인트에 의해 규정되는 조인트 공간 내에서의 포지션 기반 구속조건을 규정하는 단계, 영공간 내에서의 구속조건을 따르는 조인트들의 운동을 결정하는 단계 및 특히 하나 이상의 조인트가 조인트 공간 내에서의 각각의 조인트 한계에 접근할 때 엔드 이펙터의 증가된 운동의 범위를 제공하면서 명령된 운동을 실행시키기 위해 연산된 운동에 따라 조인트들을 구동시키는 단계를 포함한다.

대표도

(52) CPC특허분류

A61B 90/03 (2016.02)
B25J 18/007 (2013.01)
B25J 9/1607 (2013.01)
B25J 9/1643 (2013.01)
B25J 9/1666 (2013.01)
G05B 2219/40371 (2013.01)
G05B 2219/40474 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

JP2004094399 A
US20020120363 A1
W02007076119 A2
US5430643 A

명세서

청구범위

청구항 1

매니퓰레이터 암을 작동시키기 위한 방법으로서, 상기 매니퓰레이터 암은 이동가능한 원위 엔드 이펙터, 베이스에 연결되는 근위 부분, 및 상기 엔드 이펙터와 상기 베이스 사이의 복수의 조인트를 포함하고, 상기 복수의 조인트는 상기 엔드 이펙터의 주어진 상태를 위한 일정 범위의 여러 가지 조인트 상태들을 가능하게 해주기에 충분한 자유도를 가지고, 상기 방법은:

상기 복수의 조인트 중의 하나 이상의 조인트의 포지션 기반 구속조건을 규정하는 단계로서, 상기 복수의 조인트의 조인트 공간 내에 속하고, 증가된 운동의 범위에 대응되는 포지션 기반 구속조건을 규정하는 단계;

엔드 이펙터 운동으로 상기 엔드 이펙터를 이동시키기 위한 조작 명령을 수취하는 단계;

상기 엔드 이펙터 운동을 실행시키기 위한 상기 하나 이상의 조인트의 엔드 이펙터 변위 운동을 연산하는 단계로서, 자코비안의 영직교공간 내에서의 조인트 속도들을 연산하는 단계를 포함하는 상기 하나 이상의 조인트의 엔드 이펙터 변위 운동을 연산하는 단계;

상기 포지션 기반 구속조건을 향한 또는 따르는 상기 복수의 조인트 중의 하나 이상의 조인트의 조장 운동을 연산하는 단계로서, 상기 조장 운동은 상기 엔드 이펙터의 가용 운동의 범위를 증가시키고, 상기 영직교공간과 직교하는 자코비안의 영공간 내에서의 상기 하나 이상의 조인트의 속도를 연산하는 단계를 포함하는 하나 이상의 조인트의 조장 운동을 연산하는 단계; 및

상기 엔드 이펙터 운동을 실행시키고 상기 엔드 이펙터의 가용 운동의 범위를 증가시키기 위해 상기 연산된 엔드 이펙터 변위 운동 및 상기 연산된 조장 운동에 따라 상기 복수의 조인트를 구동시키는 단계;를 포함하고 있는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 조장 운동을 연산하는 단계는:

상기 조인트 공간 내의 상기 하나 이상의 조인트의 연산된 포지션에 기초하여 포텐셜 필드를 규정하는 단계;

상기 연산된 포지션과 상기 포지션 기반 구속조건 사이의 포텐셜을 결정하는 단계; 및

상기 포텐셜을 이용하여 상기 조장 운동을 연산하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 증가된 운동의 범위는 상기 하나 이상의 조인트 중의 적어도 하나의 증가된 운동의 범위에 대응되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

사용자 입력부 재구성 명령에 응답하여 상기 매니퓰레이터 암의 재구성을 실행시키기 위해 상기 복수의 조인트 중의 적어도 하나의 조인트를 구동시키는 단계; 및

상기 재구성에 응답하여 상기 포지션 기반 구속조건을 수정하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

시스템에 있어서, 상기 시스템은:

원위 엔드 이펙터를 베이스에 대해 로봇식으로 이동시키도록 구성된 매니퓰레이터 암으로서, 상기 원위 엔드 이펙터와 상기 베이스 사이에 복수의 조인트를 가지고, 상기 복수의 조인트가 상기 원위 엔드 이펙터의 주어진 상태를 위한 일정 범위의 조인트 상태들을 가능하게 해주기에 충분한 자유도를 제공하도록 되어 있는 매니퓰레이

터 암;

엔드 이펙터 운동으로 상기 엔드 이펙터를 이동시키기 위한 조작 명령을 수취하는 입력 장치; 및

상기 입력 장치 및 상기 매니플레이터 암에 연결되는 프로세서;를 포함하고 있고,

상기 프로세서는:

자코비안의 영직교공간 내에서의 조인트 속도들을 연산하는 것에 의해 상기 조작 명령에 응답하여 상기 복수의 조인트의 엔드 이펙터 변위 운동을 연산하는 작업;

연계된 조인트 공간 내에서의 상기 복수의 조인트 중의 하나 이상의 조인트의 포지션 기반 구속조건을 규정하는 작업으로서, 가용 운동의 범위의 증가에 대응되는 증가된 운동의 범위에 대응되는 포지션 기반 구속조건을 규정하는 작업;

자코비안의 영공간 내에서의 상기 하나 이상의 조인트의 조장 운동을 연산하는 작업으로서, 상기 조장 운동은 상기 하나 이상의 조인트를 상기 포지션 기반 구속조건을 향해 또는 따라 운동시키고, 상기 영공간은 영직교공간과 직교하는, 상기 하나 이상의 조인트의 조장 운동을 연산하는 작업; 및

상기 엔드 이펙터 운동을 실행시키고 상기 엔드 이펙터의 가용 운동의 범위를 증가시키기 위해 상기 연산된 엔드 이펙터 변위 운동 및 상기 연산된 조장 운동에 따라 상기 복수의 조인트를 구동시키기 위한 명령을 상기 매니플레이터 암에 전송하는 작업;을 수행하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 하나 이상의 조인트는 상기 조인트 공간의 부분공간을 규정하고, 상기 포지션 기반 구속조건은 상기 부분공간 내의 하나 이상의 표면으로서 규정되는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 7

제 5 항에 있어서, 상기 조장 운동을 연산하는 작업은:

포텐셜의 증가가 상기 하나 이상의 조인트의 연산된 포지션과 상기 포지션 기반 구속조건 사이의 증가된 거리에 대응되도록, 상기 조인트 공간 내에서의 포텐셜 필드를 규정하는 작업;

상기 연산된 포지션과 상기 포지션 기반 구속조건 사이의 포텐셜을 결정하는 작업; 및

상기 결정된 포텐셜을 이용하여 상기 조장 운동을 연산하는 작업;을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 8

제 5 항에 있어서, 상기 포지션 기반 구속조건은 적어도 1차원을 가지는 하나 이상의 경로를 포함하고, 상기 하나 이상의 경로는 상기 조인트 공간의 부분공간 내에서 규정되고, 상기 부분공간은 상기 복수의 조인트 중의 적어도 2개의 조인트에 의해 규정되는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 하나 이상의 경로는 구분적 연속인 경로들의 네트워크를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 10

제 8 항에 있어서, 상기 적어도 2개의 조인트는 제1 조인트 및 제2 조인트를 포함하고, 상기 제2 조인트는 상기 매니플레이터 암의 원위 부분을 상기 매니플레이터 암의 근위 부분에 연결시키고, 상기 원위 부분은 기구 샤프트를 지지하기 위한 것이며, 상기 제1 조인트는 상기 베이스와 상기 제2 조인트 사이에 배치되고,

상기 제1 조인트의 운동은 상기 기구 샤프트의 피치를 제어하고, 상기 제2 조인트의 운동은 상기 기구 샤프트를 상기 매니플레이터 암의 근위 부분이 따라 연장되는 평면에 대해 좌우로 피벗운동시키는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 11

제 5 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 프로세서에 의해 수행되는 작업은:

상기 복수의 조인트의 재구성 운동을 연산하는 작업;

상기 연산된 재구성 운동에 따라 상기 복수의 조인트를 구동시키는 작업; 및

상기 연산된 재구성 운동에 응답하여 상기 포지션 기반 구속조건을 수정하는 작업을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 상기 포지션 기반 구속조건을 수정하는 작업은 상기 포지션 기반 구속조건의 포지션 또는 배향을 변환시키는 작업을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 13

제 11 항에 있어서, 상기 포지션 기반 구속조건을 수정하는 작업은 상기 연산된 재구성 운동에 응답하여 복수의 선택가능한 구속조건 중의 하나의 구속조건을 선택하는 작업을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 14

제 5 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 복수의 조인트 중의 적어도 하나는 삼입 축선을 따른 원격 중심을 중심으로 한 피벗운동으로 기계적으로 구속되는 원격 중심 조인트를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 15

제 5 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조장 운동을 연산하는 작업은:

포텐셜 함수 그래디언트를 편입한 증가된 자코비안을 카테시안 공간 엔드 이펙터 속도들에 적용하는 작업을 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명 대체로 개선된 수술 및/또는 로봇 장치, 시스템 및 방법을 제공한다.

배경 기술

[0002] 최소 침습 의료 기술은 진단 또는 수술 과정 중에 손상되는 조직의 양을 감소시킴으로써, 환자의 회복 시간, 불편함 및 유해한 부작용을 감소시키는 것을 목적으로 한다. 수 백만 건의 "개복" 수술 또는 통상적인 수술이 매년 미국에서 시행되고 있으며; 이러한 수술들 중의 다수는 잠재적으로 최소 침습식으로 시행될 수 있는 것들이다. 하지만, 수술 기구들, 기술 및 그것들을 완전히 익히는 데 필요한 추가적인 수술 훈련에 있어서의 한계로 인해, 비교적 작은 수의 수술들만이 현재 최소 침습 기술을 이용하고 있다.

[0003] 수술에 사용되는 최소 침습 원격 수술 시스템은 외과의의 조작성을 증대시키는 것과 함께 외과의가 원격지에서 환자를 수술하는 것을 가능하게 해주도록 개발되고 있다. 원격 수술은 외과의가 수술 기구 운동을 조작하기 위해 기구를 직접 손으로 파지하여 운동시키는 것이 아니라 예컨대 서보기구 등의 어떤 형태의 원격 제어를 이용하게 되는 수술 시스템을 나타내는 일반적인 용어이다. 이러한 원격 수술 시스템에 있어서, 외과의는 원격지에서 수술 부위의 영상을 제공받는다. 일반적으로 적당한 뷰어 또는 디스플레이 상의 수술 부위의 3차원 영상을 보면서, 외과의는 마스터 제어 입력 장치를 조작하고, 결과적으로 로봇 기구의 운동을 제어함으로써, 환자에 대한 수술 과정을 수행한다. 로봇 수술 기구들은 환자 내부의 수술 부위의 조직들, 종종 개복 수술의 접근법에 관련되는 외상을 치료하기 위해 작은 최소 침습 수술용 개구부를 통해 삽입될 수 있다. 이러한 로봇 시스템은 종종 최소 침습 개구부에서 기구의 샤프트를 피벗운동시키고, 개구부를 통해 기구의 샤프트를 축선방향으로 슬

라이드시키고, 개구부 내에서 샤프트를 회전시키는 등에 의해, 매우 복잡한 수술 작업을 수행하기 위한 충분한 조작성을 가지고 수술 기구의 작업 단부들을 운동시킬 수 있다.

[0004] 원격 수술을 위해 사용되는 서보기구는 2개의 마스터 컨트롤러(외과의의 각각의 손마다 하나씩)로부터 입력을 수취하고, 2개 이상의 로봇 암 또는 매니퓰레이터를 구비할 수 있다. 손 운동을 촬영 장치에 의해 표시되는 로봇 기구의 영상에 매핑(mapping)시킴으로써, 외과의에게 각각의 손과 연계된 기구에 대한 정밀 제어를 제공하는 것을 도와줄 수 있다. 많은 수술 로봇 시스템에 있어서, 내시경이나 다른 촬영 장치, 추가적인 수술 기구 등을 운동시키기 위한 하나 이상의 추가적인 로봇 매니퓰레이터 암이 구비된다.

[0005] 다양한 구조 장치가 로봇 수술 중에 수술 부위에 위치한 수술 기구를 지지하는 데 사용될 수 있다. 피구동 링크리지(driven linkage) 또는 "슬레이브(slave)"는 흔히 로봇 수술 매니퓰레이터라 불려지고, 최소 침습 로봇 수술 중에 로봇 수술 매니퓰레이터로서 사용하기 위한 예시의 링크리지 구성들이 미국 특허 제6,758,843호; 제6,246,200호; 및 제5,800,423호에 개시되어 있으며; 이들의 전체 개시사항이 여기에 참조된다. 이들 링크지지는 흔히 샤프트를 가진 기구를 유지하기 위한 평행사변형 배열구조를 이용한다. 그러한 매니퓰레이터 구조는 기구 샤프트가 공간 내에서 강성 샤프트의 길이를 따라 포지셔닝된 구형 회전(spherical rotation)의 원격 중심(remote center) 둘레로 피벗운동하도록 기구의 운동을 제한할 수 있다. 회전의 원격 중심을 내부 수술 부위로의 절개점과 얼라이닝(aligning)시킴으로써(예컨대, 복강경 수술 중에 복벽에 위치하는 트로카(trocar) 또는 캐눌라(cannula)에 의해), 수술 기구의 엔드 이펙터는 매니퓰레이터 링크지지를 이용하여 샤프트의 근위 단부를 이동시키는 것에 의해 복벽에 잠재적으로 위험한 힘을 강제하는 일 없이 안전하게 포지셔닝될 수 있다. 대안적인 매니퓰레이터 구조가 예컨대 미국 특허 제6,702,805호; 제6,676,669호; 제5,855,583호; 제5,808,665호; 제5,445,166호; 및 제5,184,601호에 개시되어 있으며; 이들의 전체 개시사항이 여기에 참조된다.

[0006] 이 새로운 로봇 수술 시스템 및 장치들이 매우 효과적이고 유익한 것으로 판명되었지만, 여전히 추가적인 개선점들이 요망되고 있다. 예를 들어, 매니퓰레이터 암은 어떤 조건하에서 증가된 운동 또는 구성을 제공하기 위해 추가적인 여유 조인트(redundant joint)를 구비할 수 있다. 하지만, 최소 침습 수술 부위 내에서 수술 기구를 이동시킬 때, 조인트들은 불량하게 컨디셔닝되거나(poorly conditioned), 매니퓰레이터 암이 그것의 전체 운동 범위에 액세스하는 성능을 제한하는 식으로 구성될 수 있으며, 이는 특히 최소 침습 개구부 둘레로 큰 각도 범위에 걸쳐 기구를 피벗운동시킬 때 그러할 수 있다. 이런 경우, 조인트들의 운동은 의도치 않게 연계된 조인트 한계에 접근할 때 하나 이상의 조인트의 제한된 조인트 운동을 초래하여, 매니퓰레이터 암의 조작성을 저하시킬 수 있다. 환자 외부 등에서의 의도치 않은 매니퓰레이터/매니퓰레이터 접촉을 방지하면서 피벗운동을 삽입 부위로 제한하는 높은 구성가능성의 기구학적 매니퓰레이터 조인트 세트에 대한 소프트웨어 제어(software control)를 채용하는 대안적인 매니퓰레이터 구조들이 제안되어 왔다. 이러한 높은 구성가능성의 "소프트웨어 센터(software center)" 수술 매니퓰레이터 시스템들은 상당히 큰 장점들을 제공할 수 있지만, 또한 도전과제들을 제시할 수도 있다. 특히, 기계적으로 구속되는 원격 중심 링크지지가 어떤 조건에서는 안전상의 장점을 가질 수 있다. 또한, 흔히 이러한 매니퓰레이터에 구비되는 다수의 조인트의 광범위한 구성도는 매니퓰레이터가 특정 과정에 바람직한 구성으로 수동식으로(manually) 셋업되는 것이 어렵게 되는 결과를 초래할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 원격 수술 시스템을 이용하여 수행되는 수술의 범위가 계속 확대되고 있기 때문에, 환자 내의 기구의 가용한 구성 및 운동의 범위의 확대에 대한 요구가 증가하고 있다. 불행히도, 이러한 변화는 모두 신체 외부에서의 매니퓰레이터의 운동과 관련된 도전과제들을 증가시킬 수 있고, 또한 매니퓰레이터 암의 운동의 범위를 불필요하게 제한하는 조인트 상태들의 조합을 회피하는 것의 중요성을 증가시킨다.

[0007] 이러한 이유들과 기타의 이유들로 인해, 수술, 로봇 수술 및 다른 로봇 응용을 위한 개선된 장치, 시스템 및 방법을 제공하는 것이 유익할 것이며, 이러한 개선된 기술들이 이러한 시스템의 크기, 기계적 복잡성 또는 비용을 크게 증가시키는 일없이 조작성을 유지시키거나 개선시키면서 적어도 몇 가지 작업들을 위한 기구의 운동의 범위를 개선시키기 위한 매니퓰레이터 암의 보다 일정한 운동을 제공하는 능력을 제공한다면 특히 유익할 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명은 대체로 개선된 로봇 및/또는 수술 장치, 시스템 및 방법을 제공한다. 많은 실시형태들에 있어서, 본 발명은 높은 구성가능성의 수술 로봇 매니퓰레이터를 채용하게 될 것이다. 이러한 매니퓰레이터는 예컨대 연계된 수술용 엔드 이펙터가 수술 작업 공간 내에서 가지게 되는 것보다 더 많은 운동 자유도를 가질 수 있다. 본 발명에 따른 로봇 수술 시스템은 일반적으로 로봇 수술 기구를 지지하는 매니퓰레이터 암 및 기구의 엔드 이펙터를 조작하기 위한 좌표화된 조인트 운동을 연산하는 프로세서를 포함하고 있다. 엔드 이펙터를 지지하는 로봇 매니퓰레이터의 조인트들은 매니퓰레이터가 주어진 엔드 이펙터 포지션 및/또는 주어진 피벗점 위치를 위한 일정 범위의 여러 가지 구성들 전체에 걸쳐 이동하는 것을 가능하게 해준다. 하나의 양태에 있어서, 본 발명은 매니퓰레이터의 하나 이상의 조인트의 조인트 공간 내에서의 포지션 기반 구속조건을 규정하고, 특히 하나 이상의 조인트의 예지 또는 조인트 한계 근방에서 하나 이상의 조인트의 증가된 운동의 범위를 제공하기 위해 상기 포지션 기반 구속조건(position-based constraint)에 기초하여 자코비안(Jacobian)의 영공간(null-space) 내에서 매니퓰레이터의 조인트들을 이동시킴으로써 매니퓰레이터 암의 개선된 운동의 범위 및 기동성을 제공한다.
- [0009] 특정의 양태에 있어서, 로봇 수술 시스템은, 매니퓰레이터 암의 카테시안 좌표 공간(Cartesian coordinate space) 내에서 규정되고 원위 엔드 이펙터를 가진 매니퓰레이터 암의 하나 이상의 조인트의 소정의 운동에 대응되는 홀로노믹(holonomic) 또는 포지션 기반 경로들을 이용한다. 카테시안 좌표 공간은 임의의 소정의 제어 프레임(control frame)의 포지션 및 배향의 공간으로서 정의될 수 있다. 제어 프레임은 툴 팁, 툴 팁을 제외한 매니퓰레이터 바디에 부착된 기준부(예컨대, 툴의 또 다른 부분), 링크들 중의 하나와 연계되어 함께 이동되지만 매니퓰레이터 바디에 부착되지 않는 기준부(예컨대, 매니퓰레이터에 부착된 가상의 점과 함께 비행하는 포메이션(formation)) 또는 한 가지 가능한 사용예가 카메라 제어인 매니퓰레이터에 부착되거나 연계되지 않는 기준부(예컨대, 타겟 인체 구조부에 부착되는)일 수 있다. 영공간 내에서의 포지션 기반 구속조건 또는 경로들을 향한 매니퓰레이터의 하나 이상의 조인트의 운동을 실행시킴으로써 엔드 이펙터의 소정의 포지션 또는 상태를 유지하면서 하나 이상의 조인트의 개선된 운동의 범위를 제공하도록, 가상의 포텐셜 필드(potential field)들이 조인트 공간 또는 카테시안 좌표 공간 내에서 연산되어 조인트들의 조인트 속도를 결정하는 데 이용될 수 있다. 이러한 접근법은 기본 연산이 포지션들이 아닌 속도들에 기초하게 되는 자코비안(Jacobian) 기반 컨트롤러를 이용하여 영공간 내에서의 특히 매니퓰레이터 암 내의 하나 이상의 조인트에 대한 개선된 제어를 가능하게 해준다.
- [0010] 하나의 양태에 있어서, 조인트 공간은 매니퓰레이터 암의 조인트들의 하드 스톱(hard-stop)에 의해 규정될 수 있다. 카테시안 좌표 공간 내에서의 엔드 이펙터 또는 툴 팁은 영공간이 어떻게 사용되는 지에 따라 여러 가지 방식으로 운동할 수 있다. 영공간의 사용이 없다면, 동일한 카테시안 좌표 공간 포지션이 조인트 공간 한계(예컨대, 하드 스톱)에 근접하거나 멀 수 있다. 그러므로, 동일한 카테시안 좌표 공간 포지션에 대해, 매니퓰레이터 운동은 조인트 공간 한계 또는 하드 스톱으로부터 멀어지도록 영운동 다양체(null-motion manifold)를 따라 슬라이딩하도록 연산될 수 있음으로써, 가용한 카테시안 좌표 공간 포지션들의 전체 범위가 활용되는 것을 보장한다. 이러한 양태의 한 가지 장점은 매니퓰레이터 암을 카테시안 좌표 공간 내에서 구동시킬 때, 조인트와 카테시안 좌표 공간 사이의 매핑(예컨대, 제어 프레임과 하드 스톱 사이의 간접적인 매핑)의 속성인 영공간이 최대한으로 이용될 수 있다는 점이다.
- [0011] 특정 양태에 있어서, 포지션 기반 구속조건은 조인트 공간 내의 하나 이상의 경로로서 규정되고, 이 경로는 영공간 내에서의 조인트들의 운동에 대응되어, 매니퓰레이터 암의 원위 부분의 상태가 유지된다. 포지션 기반 구속조건들은 매니퓰레이터 암을 위한 증가된 조인트 운동의 범위를 제공하도록 주어진 매니퓰레이터 암의 조인트들의 기구학에 따라 변경될 수 있다. 하나 이상의 경로는 자코비안의 영공간을 따르는 적어도 2개의 조인트의 운동을 나타내는 일련의 곡선들을 포함할 수 있으며, 경로들 또는 곡선들의 형상은 매니퓰레이터의 기구학 및 특히 구속조건이 규정되는 조인트 공간을 규정하는 조인트들 사이의 관계에 좌우된다. 여기에 설명되는 다수의 실시형태에 있어서, 일련의 경로들은 대체로 평행하고, 조인트 공간의 외부 피치 조인트 축선을 따른 일련의 곡선들을 포함하며, 곡선들 각각은 피치 포워드 방향을 향해 벌어져 있다.
- [0012] 하나의 양태에 있어서, 경로는 조인트 공간 내에서의 적어도 하나의 조인트의 포지션에 응답하여 이동되거나 수정되는 단일의 경로 또는 곡선을 포함할 수 있다. 예를 들어, 경로는 피치 조인트의 상태가 외부 피치 조인트 축선을 따라 이동할 때 외부 피치 축선을 따라 이동되는 단일의 곡선일 수 있다. 특정 실시형태에 있어서, 조인트 공간 내에서 규정되는 포텐셜 필드는 조인트 공간 내에서의 경로의 포지션에 따라 변경될 수 있다. 예를 들어, 곡선 경로가 조인트 공간의 원점으로부터 피치 포워드를 향해 이동할 때, 주변의 포텐셜 필드는 대상 조인트들을 무변위 래터럴 피벗 조인트 상태(non-displaced lateral pivot joint state) 래터럴 피벗 또는 최소 포워드 피치 중의 하나 또는 양자 모두를 향해 끌어당기는 한편, 경로 곡선이 부분공간(subspace)의 원점으로부터

터 백워드 피치 방향으로 이동할 때, 포텐셜 필드는 조인트 상태를 변위된 래터럴 피벗 조인트 상태 및/또는 무변위 피치 조인트 상태 중의 하나 또는 양자 모두를 향해 끌어당긴다.

[0013] 일부 실시형태에 있어서, 매니퓰레이터 암은 사용자 명령 또는 하나의 조인트의 외력에 의한 수동식 관절운동(external manual articulation)에 응답한 재구성 운동과 같은 여러 가지 종류의 운동을 가능하게 해주기 위한 추가적인 여유 조인트를 구비할 수 있다. 공간 내에서 고정점을 중심으로 툴을 피벗운동시키도록 기계적으로 구속되는 로봇 장치 또는 최소 침습 개구부의 조직(tissue) 둘레를 수동적으로(passively) 피벗운동하는 수동형 조인트(passive joint)를 가지는 로봇 장치에 의존하기보다는, 본 발명의 실시형태들은 매니퓰레이터 링크지의 하나의 링크를 개구부 부위 둘레로 피벗운동시키는 것을 포함하는 운동을 연산할 수 있다. 엔드 이펙터를 지지하는 로봇 링크지의 자유도는 링크지가 주어진 엔드 이펙터 포지션을 위한 일정 범위의 구성들 전체에 걸쳐 이동하는 것을 가능하게 해줄 수 있고, 시스템은 링크지를 하나 이상의 로봇 구조부를 포함한 구조의 충돌을 방지하는 구성으로 구동시킬 수 있다. 링크지가 수동식으로(manually) 포지셔닝되는 동안에 링크지의 하나 이상의 조인트를 구동시키는 프로세서에 의해, 높은 유연성의 로봇 링크지의 셋업이 조장(facilitating)될 수 있다.

[0014] 일부 실시형태에 있어서, 본 발명은 소정의 엔드 이펙터 운동, 재구성 운동 또는 여러 가지 다른 운동과 같은 하나 이상의 작업을 실행하기 위해 이동될 때의 매니퓰레이터 암의 운동이 소정의 한 세트의 구속조건들을 향해 안내되는 것을 가능하게 해준다. 매니퓰레이터 암은 한 세트의 구속조건들에 기계적으로 잠금될(mechanically locked) 필요는 없으며, 그 구속조건들은 하나 이상의 명령된 운동에 따라 이동할 때 매니퓰레이터 암의 하나 이상의 조인트의 운동을 안내하는 데 이용될 수 있다는 것에 유의해야 한다. 매니퓰레이터 암은 그것의 조인트 운동이 규정된 구속조건들에 의해 제한되지 않는 여러 가지 운동 또는 작업 모드를 구비할 수 있다.

[0015] 대체로, 원위 엔드 이펙터의 운동을 실행시키기 위한 매니퓰레이터 암의 명령된 운동은 매니퓰레이터 암의 모든 조인트들의 운동을 이용한다. 명령된 재구성 운동과 같은 여러 가지 다른 종류의 운동이 엔드 이펙터의 조작에 이용되는 것과 동일한 조인트들을 이용할 수 있으며 또는 여러 가지 다른 선택된 조인트들 또는 조인트 세트를 구비할 수 있다. 여유 자유도를 갖는 매니퓰레이터 암의 운동을 실행시킬 때, 이러한 운동의 종류들 중의 하나 이상에 따른 조인트의 운동은 매니퓰레이터 암의 불필요하거나, 예측가능하지 않은 운동을 초래할 수 있다. 게다가, 매니퓰레이터 암의 상부 부분의 운동은 인접한 매니퓰레이터 암의 운동의 가용 범위를 불필요하게 제한할 수 있으며, 이는 특히 인접한 매니퓰레이터 암이 엔드 이펙터 조작 운동에 더하여 충돌 회피 운동에 따라 구동될 때 그러하다. 매니퓰레이터 암의 개선된 운동을 제공하기 위해, 여유 자유도는 하나 이상의 조인트에 대해 증가된 운동의 범위를 갖는 구성들을 향한 조인트들의 운동을 안내하기 위한 하나 이상의 구속조건을 결정하는 데 이용될 수 있다. 구속조건들은 조인트 속도들을 이용하는 조인트 공간 내에서 또는 포지션들을 이용하는 카테시안 좌표 공간 내에서 규정될 수 있다.

[0016] 하나의 양태에 있어서, 여유 자유도를 갖는 매니퓰레이터 암의 운동은 자코비안 기반 컨트롤러를 이용하는 것에 의한 것과 같이 조인트 속도들에 기초한 기본 연산을 이용한다. 시스템은 조인트 공간 또는 카테시안 좌표 공간 내에서의 하나 이상의 경로 또는 곡선과 같은 한 세트의 홀로노믹 또는 포지션 기반 구속조건들을 규정할 수 있다. 구속조건들은 자코비안의 영공간 내에서의 조인트들의 운동을 이용하여 매니퓰레이터 암의 운동을 구속조건들을 향해 "끌어당기는(pull)" 또는 안내하는 인공 포텐셜 필드(artificial potential field)를 형성하도록 이용될 수 있다. 이는 매니퓰레이터 암의 하나 이상의 조인트가 명령된 엔드 이펙터 운동 중에 엔드 이펙터의 소정의 상태를 유지하면서 조인트 공간 내에서의 하나 이상의 조인트의 운동의 범위를 증가시키도록 이동하는 것을 가능하게 해준다.

[0017] 여러 가지 실시형태에 있어서, 본 발명은 원위 엔드 이펙터를 근위 베이스에 대해 로봇식으로 이동시키기 위한 매니퓰레이터 어셈블리를 포함하는 로봇 시스템을 제공한다. 매니퓰레이터 어셈블리는 엔드 이펙터 상태를 위한 일정 범위의 조인트 상태들을 가능하게 해주는 충분한 자유도를 제공하는 복수의 조인트를 가진다. 입력부가 엔드 이펙터의 소정의 운동을 실행시키기 위한 명령을 수취한다. 프로세서가 입력부를 매니퓰레이터 어셈블리에 연결시키고, 제1 모듈 및 제2 모듈을 가진다. 제1 모듈은 엔드 이펙터를 소정의 운동으로 이동시키기 위한 명령에 응답하여 조인트들의 운동을 연산하는 것을 도와주도록 구성된다. 제2 모듈은 클러치 모드와 같이 매니퓰레이터 어셈블리의 또 다른 조인트의 외력에 의한 관절운동에 응답하여 조인트들 중의 적어도 하나를 구동시키는 것을 도와주도록 구성된다.

[0018] 본 발명의 특정 양태에 있어서, 조작 입력부를 갖는 여유 자유도(Redundant Degrees Of Freedom; RDOF) 수술 로봇 시스템이 제공된다. 이 RDOF 수술 로봇 시스템은 매니퓰레이터 어셈블리, 하나 이상의 사용자 입력 장치 및 컨트롤러를 구비한 프로세서를 포함하고 있다. 어셈블리의 매니퓰레이터 암은 주어진 엔드 이펙터 상태를

위한 일정 범위의 조인트 상태들을 가능하게 해주기에 충분한 자유도를 제공하는 복수의 조인트를 가진다. 사용자에게 의해 입력되어 수취되는 재구성 명령에 응답하여, 시스템은 영공간 내에서의 복수의 조인트의 속도들을 연산한다. 조인트들은 엔드 이펙터의 소정의 상태를 유지시키도록 재구성 명령 및 연산된 운동에 따라 구동된다. 일반적으로, 소정의 운동으로 엔드 이펙터를 이동시키기 위한 조작 명령을 수취하는 것에 응답하여, 시스템은 영공간과 직교하는 자코비안의 영직교공간(null-perpendicular-space) 내에서의 조인트 속도들을 연산함으로써 조인트의 엔드 이펙터 변위 운동을 연산하고, 소정의 엔드 이펙터 운동을 실행시키도록 연산된 운동에 따라 조인트들을 구동시킨다. 상술한 여러 가지 다른 종류의 운동들에 대한 증가된 기동성 및 운동의 범위를 제공하기 위해, 시스템은 매니플레이터의 원위 기구 샤프트의 피치에 작용하는 최근위 레볼루트 조인트(proximal most revolute joint) 및/또는 기구를 매니플레이터 암의 근위 부분에 연결시키고 기구 샤프트의 피벗운동을 실행시키는 원위 레볼루트 조인트를 구비할 수 있고, 이 원위 레볼루트 조인트는 기구 샤프트를 당해 원위 레볼루트 조인트 근위측의 매니플레이터 암의 부분이 연장되는 평면에서 좌우로 피벗운동시킨다. 이러한 조인트들은 여기에 설명되는 실시형태들의 어느 것에도 이용될 수 있다.

[0019] 본 발명의 또 다른 양태에 있어서, 매니플레이터는 기구 샤프트의 중간 부분이 원격 중심을 중심으로 피벗운동하도록 이동하게 구성된다. 매니플레이터와 기구 사이에, 기구 샤프트의 중간 부분이 액세스 부위를 통과되었을 때 엔드 이펙터 포지션을 위한 일정 범위의 조인트 상태들을 가능하게 해주기에 충분한 자유도를 제공하는 복수의 피구동 조인트가 존재한다. 컨트롤러를 가진 프로세서가 입력 장치를 매니플레이터에 연결시킨다. 재구성 명령에 응답하여, 프로세서는 기구의 중간 부분이 엔드 이펙터의 소정의 운동 중에 액세스 부위 내에 있으면서 그것을 중심으로 샤프트가 피벗운동하게 되는 소정의 원격 중심 위치를 유지하도록 소정의 재구성을 실행시키기 위한 하나 이상의 조인트의 운동을 결정한다. 일반적으로, 소정의 엔드 이펙터 운동을 실행시키기 위한 조작 명령을 수취하는 것에 응답하여, 시스템은 영공간과 직교하는 자코비안의 영직교공간 내에서의 조인트 속도들을 연산하는 것을 포함하여 조인트들의 엔드 이펙터 변위 운동을 연산하고, 기구 샤프트가 원격 중심을 중심으로 피벗운동하게 되는 소정의 엔드 이펙터 운동을 실행시키도록 연산된 운동에 따라 조인트들을 구동시킨다.

[0020] 일부 실시형태에 있어서, 매니플레이터의 제1 세트의 조인트들 중의 하나의 조인트는 매니플레이터 암을 베이스에 연결시키는 레볼루트 조인트를 포함한다. 엔드 이펙터의 소정의 상태는 엔드 이펙터의 소정의 포지션, 속도 또는 가속도를 포함할 수 있다. 조작 명령과 재구성 명령은 일반적으로 독립적인 입력 장치들 상의 독립적인 사용자들로부터 수취되는 독립적인 입력들일 수 있으며, 또는 동일한 사용자로부터 수취되는 독립적인 입력들일 수 있다. 몇몇의 실시형태에 있어서, 엔드 이펙터 조작 명령은 수술 콘솔 마스터 입력부 상에서 명령을 입력하는 외과의와 같은 제1 사용자에게 의해 입력 장치로부터 수취되는 한편, 재구성 명령은 환자측 카트 입력 장치 상에서 재구성 명령을 입력하는 의사 보조원과 같은 독립적인 입력 장치 상의 제2 사용자에게 의해 입력 장치로부터 수취된다. 다른 실시형태들에 있어서, 엔드 이펙터 조작 명령 및 재구성 명령은 양자 모두가 수술 콘솔에 위치한 입력 장치로부터 동일한 사용자에게 의해 수취된다.

[0021] 본 발명의 또 다른 양태에 있어서, 근위 레볼루트 조인트 및 원위 평행사변형 링크지를 구비한 수술 로봇 매니플레이터가 제공되고, 레볼루트 조인트의 피벗 축선은 엔드 이펙터의 기구 샤프트의 축선과 실질적으로 교차하고, 바람직하게는 적용가능한 경우에 원격 중심에서 만난다. 시스템은 또한 입력부를 매니플레이터 암에 연결시키는 컨트롤러를 가지고 있고 사용자 입력 명령에 응답하여 복수의 조인트의 운동을 연산하도록 구성되어 있는 프로세스를 포함한다. 시스템은 엔드 이펙터가 소정의 상태에 있는 동안 소정의 재구성 운동으로 복수의 조인트 중의 제1 세트의 조인트들을 이동시키기 위한 재구성 명령을 수취하기 위한 입력 장치를 구비할 수 있으며, 또는 사용자가 엔드 이펙터를 소정의 상태로 유지시키도록 영공간 내에서 매니플레이터 암의 하나 이상의 조인트를 수동식으로 재구성하는 것을 가능하게 해주는 클러치 모드를 구비할 수 있다. 시스템은 엔드 이펙터의 소정의 상태를 유지하면서, 사용자 입력 또는 수동식 재구성의 추가적인 성능을 제공하는 동시에, 클러치 모드 등에서 매니플레이터 암의 사용자에게 의한 재구성 즉 수동식 재구성에 응답하여 포지션 구속조건들을 조절 또는 변환시키고, 영공간 내에서의 하나 이상의 조인트의 개선된 일정성 및 예측가능성을 가능하게 해주도록 구성될 수 있다.

[0022] 본 발명의 특성 및 장점들의 보다 완전한 이해는 본 명세서의 나머지 부분 및 도면을 참조함으로써 명백해질 것이다. 하지만, 각각의 도면은 설명의 목적으로 제공될 뿐, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니라는 점을 이해해야 한다. 또한, 설명되는 실시형태들 중의 어느 실시형태에서의 피쳐들 중의 어느 것도 수정되고, 여기에 설명되거나 당업자에게 알려진 여러 가지 다른 피쳐들 중의 어느 것이라도 결합될 수 있으며, 또한 본 발명의 기술사항 및 범위 내에서 유지될 수 있을 것임을 이해해야 한다.

도면의 간단한 설명

[0023]

도 1a는 본 발명의 실시형태들에 따른 로봇 수술 시스템의 평면도로서, 환자 내의 내부 수술 부위에서 수술용 엔드 이펙터들을 가진 수술 기구들을 로봇식으로 이동시키기 위한 복수의 로봇 매니퓰레이터를 구비한 수술 스테이션을 가지는 로봇 수술 시스템의 평면도이다.

도 1b는 도 1a의 로봇 수술 시스템을 다이어그램으로 도시하고 있다.

도 2는 도 1a의 로봇 수술 시스템 내에 수술 과정 명령들을 입력하기 위한 마스터 외과의 콘솔 즉 워크스테이션을 도시한 사시도로서, 입력 명령들에 응답하여 매니퓰레이터 명령 신호들을 발생시키기 위한 프로세서를 구비하는 마스터 외과의 콘솔의 사시도이다.

도 3은 도 1a의 전자장치 카트의 사시도이다.

도 4는 4개의 매니퓰레이터 암을 가진 환자측 카트의 사시도이다.

도 5a-5d는 하나의 예시의 매니퓰레이터 암을 도시하고 있다.

도 6a-6b는 각각 피치 포워드 구성(pitch forward configuration) 및 피치 백 구성(pitch back configuration)에서의 예시의 매니퓰레이터 암을 도시하고 있다.

도 6c는 피치 포워드 구성 및 피치 백 구성의 각각에서의 콘 오브 사일런스(cone of silence) 즉 원추형 톨 액세스 제한 구역을 포함하는, 예시의 매니퓰레이터 암의 수술 기구 톨 팁의 운동의 범위의 그래프도를 도시하고 있다.

도 7a는 매니퓰레이터 암을 근위 레볼루트 조인트(proximal revolute joint)의 축선을 중심으로 회전시키는 근위 레볼루트 조인트를 가진 예시의 매니퓰레이터 암을 도시하고 있다.

도 7b는 예시의 매니퓰레이터 암 및 그 운동의 범위 및 콘 오브 사일런스의 범위를 도시한 도면으로서, 그것의 운동이 도시된 콘 오브 사일런스를 감소시키는 데 사용될 수 있는 근위 레볼루트 조인트의 축선 둘레로 매니퓰레이터 암을 회전시키는 근위 레볼루트 조인트를 가진 예시의 매니퓰레이터의 암을 도시하고 있다.

도 8 및 9는 원위 기구 홀더 근방에 레볼루트 조인트를 가진 예시의 매니퓰레이터 암을 도시하고 있다.

도 10a-10c는 원위 기구 홀더 근방에 레볼루트 조인트를 가진 예시의 매니퓰레이터 암의, 조인트가 조인트 운동의 범위 전체에 걸쳐 운동될 때의 순차도를 도시하고 있다.

도 11a-11b는 원위 레볼루트 조인트를 가진 예시의 매니퓰레이터 암의, 조인트의 각도 변위가 각각 0° 일 때와 90° 일 때의 회전 프로파일을 도시하고 있다.

도 12a-12c는 조인트의 곡선 경로 주위에서 매니퓰레이터 암을 지지하는 근위 조인트를 이동시키는 근위 조인트를 가진 예시의 매니퓰레이터 암을 도시하고 있다.

도 13a-13b는 본 발명의 양태들에 따른, 예시의 매니퓰레이터 어셈블리의 자코비안의 영공간과 영직교공간(null-perpendicular-space) 사이의 관계를 그래프로 나타낸 도면이다.

도 14는 영공간 내에서 매니퓰레이터 어셈블리의 운동을 제어하는 데 사용되는 네트워크 경로 세그먼트들의 한 예를 도시한 그래프로 도시하고 있다.

도 15-17은 하나의 실시형태에 따른 방법들을 개략적으로 도시하고 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024]

본 발명은 대체로 개선된 수술 및 로봇 장치, 시스템 및 방법을 제공한다. 본 발명은 수술 과정 중에 복수의 수술 톨 또는 기구가 연계된 복수의 로봇 매니퓰레이터 상에 장착되거나 그것들에 의해 이동될 수 있게 되어 있는 수술 로봇 시스템과 함께 사용하는 데 특히 유익하다. 이 로봇 시스템들은 흔히 마스터-슬레이브 컨트롤러로서 구성되는 프로세서를 구비하는 원격 로봇, 원격 수술 및/또는 원격 현장감 시스템을 포함한다. 비교적 큰 수의 자유도를 갖는 관절형 링크지들을 구비한 매니퓰레이터 어셈블리를 이동시키도록 적절히 구성된 프로세서를 채용한 로봇 시스템을 제공하는 것에 의해, 링크지들의 운동이 최소 침습 액세스 부위를 통한 작업에 맞춤구성될 수 있다. 이 큰 수의 자유도는 시스템 오퍼레이터 또는 보조원이, 소정의 엔드 이펙터 상태를 유지하면서, 선택적으로 수술을 준비하는 중에 및/또는 또 다른 용도로 수술 과정 중에 엔드 이펙터를 기동시키

는 동안에, 매니플레이터 어셈블리의 링크지들을 재구성하는 것을 가능하게 해준다. 본 발명의 양태들은 대체로 여유 자유도를 가지는 매니플레이터로 설명되지만, 어떤 양태들은 예를 들어 특이점(singularity)을 경험하거나 그것에 접근하게 되는 매니플레이터와 같은 비여유 매니플레이터에 적용될 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0025] 여기에 설명되는 로봇 매니플레이터 어셈블리는 흔히 로봇 매니플레이터 및 그것들에 장착되는 툴(툴은 종종 수술 형태들에서 수술 기구를 포함)을 포함하고 있지만, "로봇 어셈블리"란 용어는 툴이 그것에 장착되지 않는 매니플레이터도 포함할 것이다. "툴(tool)"이란 용어는 통상적인 즉 산업 로봇 툴과 특수화된 로봇 수술 기구의 모두를 포함하며, 후자의 구조는 종종 조직(tissue)의 조작, 조직의 치료, 조직의 촬영 등에 적합한 엔드 이펙터를 포함한다. 툴/매니플레이터 인터페이스는 종종 툴의 신속한 제거 및 대체 툴에 의한 교체를 가능하게 해주는 신속 분리 툴 홀더 또는 커플링이 될 것이다. 매니플레이터 어셈블리는 종종 로봇 수술 과정 중의 적어도 일부분 동안 공간 내에 고정되어 있게 되는 베이스를 가질 것이며, 매니플레이터 어셈블리는 베이스와 툴의 엔드 이펙터 간에 다수의 자유도를 구비할 것이다. 엔드 이펙터의 작동(그립 장치의 조(jaw)의 개방 또는 폐쇄, 전자 수술 패들(paddle)의 통전 등)은 종종 이러한 매니플레이터 어셈블리의 자유도로부터 독립적이고 추가적인 것일 것이다.

[0026] 엔드 이펙터는 일반적으로 2개 내지 6개의 자유도를 가지고 작업 공간 내에서 이동할 것이다. 여기에 사용되는 것으로서, "포지션(position)"이라는 용어는 위치(location)와 배향(orientation)을 모두 포함한다. 따라서, 엔드 이펙터(예컨대)의 포지션의 변화는 제1 위치로부터 제2 위치로의 엔드 이펙터의 이동, 제1 배향으로부터 제2 배향으로의 엔드 이펙터의 회전 또는 양자의 조합을 포함할 수 있다. 최소 침습 로봇 수술을 위해 사용될 때, 매니플레이터 어셈블리의 운동은 샤프트나 툴 또는 기구의 중간 부분의 운동이 최소 침습 수술 액세스 부위나 다른 개구부를 통한 안전한 운동으로 제한되도록 시스템의 프로세서에 의해 제어될 수 있다. 그와 같은 운동에는 예컨대 개구부 부위를 통한 수술 작업 공간 내로의 샤프트의 축선방향 삽입, 샤프트 축선을 중심으로 하는 샤프트의 회전 및 액세스 부위에 인접한 피벗점을 중심으로 한 샤프트의 피벗운동이 포함될 수 있다.

[0027] 여기에 설명되는 예시의 매니플레이터 어셈블리들 중의 다수는 수술 부위 내에서 엔드 이펙터를 포지셔닝시키고 이동시키는 데 필요한 것보다 더 많은 자유도를 가진다. 예컨대, 최소 침습 개구부를 통해 내부 수술 부위에 6개의 자유도를 가지고 포지셔닝될 수 있는 수술용 엔드 이펙터가 몇몇의 실시형태에 있어서는 9개의 자유도(6개의 엔드 이펙터 자유도(위치를 위한 3개의 자유도, 배향을 위한 3개의 자유도) + 액세스 부위 제약에 순응하기 위한 3개의 자유도)를 가질 수 있으며, 종종 10개 이상의 자유도도 가질 것이다. 주어진 엔드 이펙터 포지션을 위해 필요한 것보다 더 많은 자유도를 갖는 높은 구성가능성의 매니플레이터 어셈블리는 작업 공간 내에서의 엔드 이펙터 포지션을 위한 일정 범위의 조인트 상태들을 가능하게 해주기에 충분한 자유도를 가지거나 제공하는 것으로서 설명될 수 있다. 예컨대, 주어진 엔드 이펙터 포지션을 위해, 매니플레이터 어셈블리는 일정 범위의 선택적인 매니플레이터 링크지 포지션들 중의 어느 하나를 차지할 수 있다(그리고 일정 범위의 선택적인 매니플레이터 링크지 포지션들 사이에서 구동될 수 있다). 마찬가지로, 주어진 엔드 이펙터 속도 벡터를 위해, 매니플레이터 어셈블리는 자코비안(Jacobian)의 영공간(null-space) 내에서의 매니플레이터 어셈블리의 여러 가지 조인트를 위한 일정 범위의 여러 가지 조인트 운동 속력들을 가진다.

[0028] 본 발명은 광범위한 운동이 요망되고, 다른 로봇 링크지, 수술 요원 및 장비 등의 존재로 인해 제한된 전용 공간만이 가용한 수술(및 기타) 용례에 특히 적합화된 로봇 링크지 구조를 제공한다. 이러한 큰 범위의 운동과 각각의 로봇 링크지에 필요한 공간의 감소는 로봇 지지 구조물의 위치와 수술 또는 다른 작업 공간 사이에 더 큰 유연성도 제공할 수 있어, 셋업을 조장(facilitating)하고 셋업의 속도를 높여준다.

[0029] 조인트 등의 "상태(state)"라는 용어는 여기에서 종종 조인트와 연계된 제어 변수와 관련되어 있다. 예컨대, 각도 조인트(angular joint)의 상태는 각도 조인트의 운동의 범위 내에서의 각도 조인트에 의해 한정되는 각도 및/또는 각도 조인트의 각속도와 관련될 수 있다. 마찬가지로, 축선방향 또는 프리즈메틱 조인트(prismatic joint)는 프리즈메틱 조인트의 축선방향 포지션 및/또는 축선방향 속도와 관련될 수 있다. 여기에 설명되는 다수의 컨트롤러는 속도 컨트롤러를 포함하며, 이러한 컨트롤러는 일부 포지션 제어 양태를 구비할 수도 있다. 대안적인 실시형태는 주로 또는 전적으로 포지션 컨트롤러, 가속도 컨트롤러 등에 의존한다. 그와 같은 장치들에 사용될 수 있는 제어 시스템의 다수의 양태들이 미국 특허 제6,699,177호에 더 상세하게 설명되어 있으며, 그 전체 개시사항이 여기에 참조된다. 따라서, 설명되는 운동들이 연계된 연산들에 기초하고 있는 한, 여기에 설명되는 조인트들의 운동들의 연산들과 엔드 이펙터의 운동들은 포지션 제어 알고리즘, 속도 제어 알고리즘, 양자의 조합 등을 사용하여 수행될 수 있다.

[0030] 하나의 양태에 있어서, 예시의 매니플레이터 암의 툴은 최소 침습 개구부에 인접한 피벗점을 중심으로 피벗운동

한다. 시스템은 그 전체 개시내용이 여기에 참조되는 미국 특허 제6,786,896호에 개시된 원격 중심 기구학과 같은 하드웨어 원격 중심(hardware remote center)을 활용할 수 있을 것이다. 그와 같은 시스템은 매니플레이터에 의해 지지되는 기구의 샤프트가 원격 중심점을 중심으로 피벗운동하도록 링크지들의 운동을 구속하는 이중 평행사변형 링크지를 활용할 수 있을 것이다. 대안적인 기계적으로 구속되는 원격 중심 링크지 시스템들이 공지되어 있으며, 미래에 발전될 수 있을 것이다. 놀랍게도, 본 발명의 다양한 양태들과 관련한 작업은 원격 중심 링크지 시스템이 대체로 높은 구성가능성의 기구학적 구조로부터 이익을 얻을 수 있다는 것을 나타낸다. 특히, 수술 로봇 시스템이 최소 침습 수술 액세스 부위에서 또는 그 근방에서 교차하는 2개의 축선을 중심으로 한 피벗운동을 가능하게 해주는 링크지를 가질 때, 구형 피벗운동(spherical pivotal motion)이 환자 내에서의 소정의 운동 범위의 전체를 아우를 수 있지만, 불량하게 컨디셔닝되고(poorly conditioned), 환자 외부에서의 암 대 암(arm-to-arm) 또는 암 대 환자(arm-to-patient)의 접촉 가능성이 높은 등의 여전히 피할 수 있는 결점들에 의해 어려움을 겪을 수 있다. 언뜻, 액세스 부위에서 또는 그 근방에서의 피벗운동에 역시 기계적으로 구속되는 하나 이상의 추가적인 자유도를 부가하는 것이 운동의 범위에 있어서 개선을 거의 제공하지 못하거나 경미한 개선만을 제공하는 것으로 보일 수 있다. 그렇지만, 이러한 조인트는 전체 시스템이 충돌 방지 자세로 구성되는 것 또는 충돌 방지 자세로 구동되는 것을 가능하게 해주는 것에 의한, 다른 수술 과정들을 위해 운동의 범위를 더 확장시키는 것 등에 의한 중대한 장점들을 제공할 수 있다.

[0031] 또 다른 양태에 있어서, 시스템은 그 전체 개시내용이 여기에 참조되는 미국 특허 8,004,229호에 설명되어 있는 바와 같이, 원격 중심을 성취하는 데 소프트웨어를 활용할 수 있을 것이다. 소프트웨어 원격 중심(software remote center)을 가진 시스템에 있어서, 프로세서는 기계적 제약에 반하여, 결정된 피벗점을 중심으로 기구 샤프트의 중간 부분을 피벗운동시키도록 조인트의 운동을 연산한다. 소프트웨어 피벗점을 연산하는 능력을 가짐으로써, 시스템의 순응성 또는 경직성으로 특징지어지는 여러 가지 모드가 선택적으로 구현될 수 있다. 더 구체적으로는, 일정 범위의 피벗점/중심(예컨대, 이동가능한 피벗점, 수동형 피벗점, 고정형/강성 피벗점, 연성 피벗점 등)에 걸친 여러 가지 모드가 원하는 대로 구현될 수 있다.

[0032] 다중의 높은 구성가능성의 매니플레이터들을 가진 로봇 수술 시스템의 많은 장점들에도 불구하고, 매니플레이터들이 베이스와 기구 사이에 상대적으로 많은 개수의 조인트 및 링크를 구비하기 때문에, 링크들의 수동식 포지셔닝이 까다롭고 복잡해질 수 있다. 매니플레이터 구조가 중력 효과를 회피하도록 밸런싱되어 있을 때에도, 조인트들의 각각을 적합한 얼라인먼트(alignment)로 얼라이닝(aligning)시키거나 매니플레이터를 원하는 대로 재구성하려는 시도는 어렵고, 시간 소모적일 수 있으며, 상당한 훈련 및/또는 기술의 수반을 필요로 할 수 있다. 이 도전 과제들은 매니플레이터의 링크들이 조인트를 중심으로 밸런싱되어 있지 않을 때는 훨씬 더 커질 수 있어, 높은 구성가능성의 그와 같은 구조를 수술 전이나 수술 중에 적합한 구성으로 포지셔닝시키는 것은 매니플레이터 암 길이 및 다수의 수술 시스템에 있어서의 수동형 및 림프(limp)형 디자인으로 인해 매우 어려운 일이 될 수 있다.

[0033] 이러한 문제점들은 의사 보조원 등의 사용자가, 소정의 엔드 이펙터 상태를 유지하고 있는 동안에, 선택적으로 수술 과정 중의 엔드 이펙터의 운동 중에도, 매니플레이터 암을 신속하고 쉽게 재구성하는 것을 가능하게 해줌으로써 해소될 수 있다. 하나 이상의 추가적인 조인트가 매니플레이터 암 내에 구비되어, 이러한 성능을 향상시키기 위한 매니플레이터 암의 운동의 범위 및 구성들을 증가시킬 수 있다. 추가적인 조인트를 제공하는 것이 특정 작업에 대해 증가된 운동의 범위를 제공할 수 있지만, 조인트 상태들의 여러 가지 조합들이 조인트 운동의 가용 범위를 불필요하게 제한할 수 있으며, 이는 특히 매니플레이터의 하나 이상의 조인트의 조인트 한계 근방에서 그러하다.

[0034] 몇몇의 실시형태에 있어서, 자율 제어 알고리즘(autonomous algorithm)에 기반한 회피 운동과 같은, 여러 가지 다른 작업과 관련하여 연산된 운동이, 필요에 따라 하나 이상의 조인트가 여러 가지 다른 작업을 실행시키기 위해 운동될 수 있도록, 액세스 조장 운동(access facilitating movement)에 오버레이(overlay)될 수 있다. 그와 같은 회피 운동의 예들이 "영공간을 이용한 매니플레이터 암 대 환자 충돌 회피(manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space)" 라는 명칭으로 2012년 6월 1일자로 제출된 미국 가특허출원 제 61/654,755호; 및 "영공간을 이용하여 매니플레이터 암들 사이의 충돌을 회피시키기 위한 시스템 및 방법(System and Methods for Avoiding Collisions Between manipulator Arms Using a Null-Space)" 라는 명칭으로 2012년 6월 1일자로 제출된 미국 가특허출원 제 61/654,773호에 개시되어 있으며, 그 전체 개시내용이 여기에 참조된다. 하지만, 하나 이상의 조인트의 조장 운동에 오버레이되는 연산된 운동은 자율 제어 운동에 국한되지 않으며, 명령된 재구성 또는 명령된 여러 가지 다른 운동과 같은 다양한 다른 운동을 포함할 수 있다.

[0035] 본 발명의 실시형태들은 매니플레이터 구조의 자유도의 장점을 취하도록 구성되어 있는 사용자 입력부를 포함할

수 있다. 매니플레이터를 수동식으로 재구성하는 대신, 입력부가 사용자에게 의한 재구성 명령의 입력에 응답하여 매니플레이터 구조를 재구성하는 기구학적 링크지의 피구동 조인트의 사용을 조장(facilitating)한다. 재구성 명령을 수취하기 위한 사용자 입력부는 매니플레이터 암 내에 편입되거나 그 근방에 배치될 수 있다. 일부 실시형태에 있어서는, 입력부는 환자측 카트 상의 버튼 클러스터(cluster)나 조이스틱과 같은, 하나 이상의 조인트의 재구성을 조장하는 중앙집중형 입력 장치를 포함한다. 일반적으로, 재구성 명령을 수취하기 위한 입력 장치는 엔드 이펙터의 운동을 실행시키는 조작 명령을 수취하기 위한 입력부로부터 독립적이다. 수술 시스템의 컨트롤러는, 컨트롤러가 재구성 명령에 응답하여 소정의 재구성을 실행시키게 해주도록, 프로세스가 기록된 조인트를 구동시키기 위한 적합한 조인트 명령을 끌어내는 것을 가능하게 해주는 조인트 컨트롤러 프로그래밍 명령어 또는 코드를 기록한 판독가능 메모리를 구비한 프로세서를 포함할 수 있다. 하지만, 본 발명은 재구성 피처를 구비하거나 구비하지 않은 매니플레이터 암에 사용될 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0036] 이하의 설명에서, 본 발명의 여러 가지 실시형태가 설명될 것이다. 설명을 목적으로 하여, 특정 구성들 및 세부사항들이 실시형태들의 더욱 완전한 이해를 제공하기 위해 기술된다. 하지만, 본 발명은 여러 가지 특정 세부사항들 없이 실시될 수 있다는 것도 당업자에게 명백할 것이다. 또한, 잘 알려진 세부사항부들은 설명되는 실시형태를 불분명하게 만들지 않도록 하기 위해 생략되거나 단순화될 수 있을 것이다.

[0037] 이제 동일한 도면부호가 여러 도면에 걸쳐 동일한 부분을 나타내고 있는 도면을 참조하면, 도 1a는 수술대(14) 위에 누워 있는 환자(12)에 대해 최소 침습 진단 또는 수술 과정을 수행하기 위해 사용되는 다수의 실시형태에 따른 최소 침습 로봇 수술(MIRS) 시스템(10)의 평면도이다. 이 시스템은 수술 과정 중에 외과의(18)에 의해 사용되는 외과의 콘솔(16)을 포함할 수 있다. 한 명 이상의 보조원(20)도 이 수술 과정에 참여할 수 있다. MIRS 시스템(10)은 또한 환자측 카트(22)(수술 로봇) 및 전자장치 카트(24)를 포함할 수 있다. 환자측 카트(22)는, 외과의(18)가 콘솔(16)을 통해 수술 부위를 보고 있는 동안에, 환자(12)의 신체 내의 최소 침습 절개부를 통해 적어도 하나의 제거가능하게 결합된 툴 어셈블리(26)(이하 간단히 "툴"이라 함)를 조작할 수 있다. 수술 부위의 영상이 환자측 카트(22)에 의해 배향 조작될 수 있는 입체 내시경과 같은 내시경(28)에 의해 얻어질 수 있다. 전자장치 카트(24)가 외과의 콘솔(16)을 통한 외과의(18)에게 제공되는 후속적인 화면표시를 위해 수술 부위의 영상을 처리하는 데 사용될 수 있다. 한번에 사용되는 수술 툴(26)의 개수는 일반적으로 무엇보다 진단 또는 수술 과정 및 수술실 내의 공간 제약에 좌우된다. 수술 과정 중에 사용되는 하나 이상의 툴(26)을 교체하는 것이 필요한 경우에는, 보조원(20)이 환자측 카트(22)로부터 툴(26)을 제거하고, 수술실 내의 트레이(30)로부터 또 다른 툴(26)로 교체할 수 있다.

[0038] 도 1b는 로봇 수술 시스템(50)(도 1a의 MIRS 시스템(10)과 같은)을 다이어그램으로 도시하고 있다. 전술한 바와 같이, 외과의 콘솔(52)(도 1a의 외과의 콘솔(16)과 같은)은 최소 침습 수술 과정 중에 환자측 카트(수술 로봇)(54)(도 1a의 환자측 카트(22)와 같은)를 제어하도록 외과의에게 의해 사용될 수 있다. 환자측 카트(54)는 수술 부위의 영상을 촬영하고, 촬영된 영상을 전자장치 카트(56)(도 1a의 전자장치 카트(24)와 같은)로 출력하기 위해 입체 내시경과 같은 촬영 장치를 사용할 수 있다. 전술한 바와 같이, 전자장치 카트(56)는 임의의 후속적인 화면표시 전에 다양한 방법으로 촬영된 영상을 처리할 수 있다. 예컨대, 전자장치 카트(56)는 결합된 영상을 외과의 콘솔(52)을 통해 외과의에게 화면표시하기 전에 촬영된 영상들을 가상 제어 인터페이스와 오버레이시킬 수 있다. 환자측 카트(54)는 촬영된 영상들을 전자장치 카트(56) 외부에서 처리하기 위해 출력할 수 있다. 예컨대, 환자측 카트(54)는 촬영된 영상을 처리하기 위해 사용될 수 있는 프로세서(58)로 촬영된 영상을 출력할 수 있다. 영상은 또한 촬영된 영상을 공동적으로, 순차적으로 그리고/또는 공동과 순차의 조합으로 처리하도록 함께 결합될 수 있는 전자장치 카트(56)와 프로세서(58)의 조합에 의해 처리될 수도 있다. 하나 이상의 별개의 디스플레이(60)가 또한 수술 부위의 영상이나 다른 관련 영상과 같은 영상의 현지 및/또는 원격 표시를 위해 프로세서(58) 및/또는 전자장치 카트(56)와 결합될 수도 있다.

[0039] 도 2는 외과의 콘솔(16)의 사시도이다. 외과의 콘솔(16)은 외과의(18)에게 깊이 지각을 가능하게 해주는 수술 부위의 통합 입체 뷰를 제공하는 좌안 디스플레이(32) 및 우안 디스플레이(34)를 구비하고 있다. 콘솔(16)은 또한 환자측 카트(22)(도 1a 도시)가 하나 이상의 툴을 조작하게 만드는 하나 이상의 입력 제어 장치(36)를 구비하고 있다. 입력 제어 장치(36)는 외과의에게 원격 현장감 또는 외과의가 툴(26)을 직접 제어한다는 강한 느낌을 가지도록 입력 제어 장치(36)가 툴(26)과 일체라는 지각을 제공하기 위해 연계된 툴(26)(도 1a 도시)과 동일한 자유도를 제공할 수 있다. 이를 위해, 포지션, 힘 및 촉각 피드백 센서들(도시 안됨)이 툴(26)로부터의 포지션, 힘 및 촉각 감각을 입력 제어 장치(36)를 통해 외과의의 손으로 다시 전달하기 위해 채용될 수 있다.

[0040] 외과의 콘솔(16)은 일반적으로 외과의가 수술 과정을 직접 모니터하고, 필요한 경우 직접 현장에 위치하고, 전

하나 다른 통신 매체를 통하기보다 직접 보조원에게 이야기할 수 있도록 환자와 동일한 방에 배치된다. 하지만, 외과의는 원격 수술 과정을 허용하는 다른 방, 완전히 다른 건물 또는 환자로부터의 다른 원격지에 위치될 수도 있다.

[0041] 도 3은 전자장치 카트(24)의 사시도이다. 전자장치 카트(24)는 내시경(28)과 결합될 수 있고, 외과의 콘솔 위의 외과의에게 제공되는 후속적인 화면표시, 또는 근처 및/또는 원격지에 배치되는 또 다른 적합한 디스플레이 상의 후속적인 화면표시 등을 위해 촬영된 영상을 처리하는 프로세서를 구비하고 있다. 예컨대, 입체 내시경이 사용되는 경우, 전자장치 카트(24)는 외과의에게 수술 부위의 통합 입체 영상(coordinated stereo image)을 제공하도록 촬영된 영상을 처리할 수 있다. 이러한 입체 영상의 통합(coordination)은 양쪽 영상들 간의 얼라인먼트(alignment)를 포함할 수 있고, 입체 내시경의 입체 작동 거리를 조절하는 것을 포함할 수 있다. 또 다른 예로서, 영상 처리는 광학 수차와 같은 촬영 장치의 촬영 오차를 보정하기 위한 선결정된 카메라 보정 파라미터의 이용을 포함할 수 있다.

[0042] 도 4는 각각이 원위 단부에서 수술 기구 또는 툴(26)을 지지하는 복수의 매니퓰레이터 암을 가진 환자측 카트(22)를 도시하고 있다. 도시된 환자측 카트(22)는 수술 툴(26)이나 수술 부위의 영상의 촬영을 위해 사용되는 입체 내시경과 같은 촬영 장치(28)를 지지하도록 사용될 수 있는 4개의 매니퓰레이터 암(100)을 포함하고 있다. 조작용 다수의 로봇 조인트를 갖는 로봇 매니퓰레이터 암(100)에 의해 제공된다. 촬영 장치(28) 및 수술 툴(26)은 절개부의 크기를 최소화하기 위해 운동학적 원격 중심이 절개부에 유지되도록 환자의 절개부를 통해 포지셔닝되고 조작될 수 있다. 수술 부위의 영상은 수술 툴(26)의 원위 단부가 촬영 장치(28)의 시계 내에 위치될 때는 수술 툴(26)의 원위 단부의 영상을 포함할 수 있다.

[0043] 수술 툴(26)에 관해서는, 여러 가지 형태의 다양한 선택적인 로봇 수술 툴 또는 기구 및 여러 가지 엔드 이펙터가 사용될 수 있으며, 매니퓰레이터들 중의 적어도 몇몇의 기구는 수술 과정 중에 제거되어 교체된다. 드베키 포셉(DeBakey Forcep), 마이크로포셉(microforcep), 포츠 시저스(Potts scissors) 및 클립 어플라이어(clip applier)를 포함하는 이러한 엔드 이펙터들 중의 몇몇은 한쌍의 엔드 이펙터 조(jaw)를 형성하도록 서로에 대해 피벗운동하는 제1 및 제2 엔드 이펙터 요소를 구비한다. 스칼펠(scalpel) 및 전기소작 프로브를 포함하는 다른 엔드 이펙터는 단일의 엔드 이펙터 요소를 가진다. 엔드 이펙터 조를 가진 기구에 대해서는, 조는 흔히 핸들의 그립 부재들을 압착함으로써 작동될 것이다. 단일 요소형 엔드 이펙터 기구도 예컨대 전기소작 프로브를 통전시키는 등을 위해 그립 부재들을 파지함으로써 작동될 수 있다.

[0044] 기구(26)의 기다란 샤프트는 엔드 이펙터 및 샤프트의 원위 단부가 최소 침습 개구부를 통해, 흔히 복벽 등을 통해 수술 작업 부위 내로 원위방향으로 삽입되는 것을 가능하게 해준다. 수술 작업 부위는 공기취입될 수 있고, 환자 내에서의 엔드 이펙터의 운동은 종종 적어도 부분적으로 샤프트가 최소 침습 개구부를 통과하는 위치를 중심으로 기구(26)를 피벗운동시키는 것에 의해 실행될 것이다. 다시 말해, 매니퓰레이터(100)는 샤프트가 엔드 이펙터의 소정의 운동을 제공하는 것을 도와주기 위해 최소 침습 개구부 위치를 통해 연장되도록 환자 외부에서 기구의 근위 하우징을 이동시킬 것이다. 따라서, 매니퓰레이터(100)는 종종 수술 과정 중에 환자 외부에서 상당히 큰 운동을 거치게 될 것이다.

[0045] 본 발명의 다수의 실시형태에 따른 예시의 매니퓰레이터 암이 도 5a-12c를 참조하여 이해될 수 있다. 전술된 바와 같이, 매니퓰레이터 암은 대체로 원위 기구 또는 수술 툴을 지지하고, 베이스에 대해 상대적인 기구의 운동을 실행시킨다. 여러 가지 엔드 이펙터를 갖는 다수의 상이한 기구가 수술 과정 중에 각각의 매니퓰레이터 상에 순차적으로 장착되기 때문에(일반적으로 수술 보조원의 도움으로), 원위 기구 홀더는 장착된 기구 또는 툴의 신속한 제거 및 교체를 허용하는 것이 바람직할 것이다. 도 4를 참조하여 이해될 수 있는 바와 같이, 매니퓰레이터들은 환자측 카트의 베이스에 근위측에서 장착된다. 일반적으로, 매니퓰레이터 암은 복수의 링크지 및 베이스와 원위 기구 홀더 사이에 연장된 연계된 조인트들을 포함하고 있다. 하나의 양태에 있어서, 예시의 매니퓰레이터는 매니퓰레이터 암의 조인트들이 주어진 엔드 이펙터 포지션을 위한 일정 범위의 여러 가지 구성들로 구동될 수 있도록 여유 자유도를 갖는 복수의 조인트를 구비하고 있다. 이는 여기에 개시되는 매니퓰레이터 암의 실시형태들 중의 어느 것에도 해당될 수 있다.

[0046] 어떤 실시형태들에 있어서, 도 5a에 도시된 예와 같이, 매니퓰레이터 암은 근위 레볼루트 조인트(proximal revolute joint)(J1)를 구비하고 있고, 근위 레볼루트 조인트(J1)는 제1 조인트 축선을 중심으로 회전하여 그것의 원위측의 매니퓰레이터 암을 조인트 축선을 중심으로 회전시킨다. 레볼루트 조인트(J1)는 베이스에 직접 장착되거나, 하나 이상의 이동가능한 링크지 또는 조인트에 장착될 수 있다. 매니퓰레이터의 조인트들은 조합하여 매니퓰레이터 암의 조인트들이 주어진 엔드 이펙터 포지션을 위한 일정 범위의 여러 가지 구성들로 구동될

수 있도록 하는 여유 자유도를 가진다. 예컨대, 도 5a-5d의 매니플레이터 암은, 기구 홀더(510) 내에 지지된 원위 부재(511)(툴(512) 또는 기구 샤프트가 그것을 통해 연장되게 해주는 캐놀라 등)가 특정 상태를 유지하고 있는 동안에, 여러 가지 구성으로 기동될 수 있고, 엔드 이펙터의 주어진 포지션 또는 속도를 구비할 수 있다. 원위 부재(511)는 일반적으로 툴 샤프트(512)가 그것을 통해 연장되게 해주는 캐놀라이며, 기구 홀더(510)는 일반적으로 기구가 캐놀라(511)를 통해 최소 침습 개구부를 통과하여 환자의 신체 내로 연장되기 전에 기구가 부착되게 되는 캐리지(스파(spar) 상에서 이동하는 벽돌 모양 구조물)이다.

[0047] 도 5a-5d의 예시의 매니플레이터 암(500)의 개개의 링크들을 도 5a-5d에 도시된 바와 같이 링크들을 연결하는 조인트들의 회전 축선들과 함께 설명하면, 제1 링크(504)는 그것의 조인트 축선을 중심으로 피벗운동하는 피벗 조인트(J2)로부터 원위방향으로 연장되어 있고, 그것의 조인트 축선을 중심으로 회전하는 레볼루트 조인트(J1)에 연결되어 있다. 다수의 나머지 조인트들은 도 5a에 도시된 바와 같이 그것들의 연계된 회전 축선들에 의해 식별될 수 있다. 예컨대, 도시된 바와 같이, 제1 링크(504)의 원위 단부는 그것의 피벗 축선을 중심으로 피벗 운동하는 피벗 조인트(J3)에서 제2 링크(506)의 근위 단부에 연결되어 있고, 제3 링크(508)의 근위 단부는 그것의 축선을 중심으로 피벗운동하는 피벗 조인트(J4)에서 제2 링크(506)의 원위 단부에 연결되어 있다. 제3 링크(508)의 원위 단부는 피벗 조인트(J5)에서 기구 홀더(510)에 연결되어 있다. 일반적으로, 조인트들(J2, J3, J4, J5)의 각각의 피벗 축선들은 실질적으로 평행하고, 링크지들은 도 5d에 도시된 바와 같이 서로 나란히 포지셔닝되었을 때 "겹쳐 있는" 것처럼 보여져, 매니플레이터 암의 감소된 폭(W)을 제공하고, 매니플레이터의 기동 중의 환자 클리어런스(patient clearance)를 향상시킨다. 어떤 실시형태들에 있어서는, 기구 홀더는 최소 침습 개구부를 통한 기구(306)의 축선방향 운동을 조장(facilitating)하고, 그것을 통해 기구가 슬라이딩 가능하게 삽입되는 캐놀라에 대한 기구 홀더의 부착을 조장하는 프리즈메틱 조인트(J6)와 같은 추가적인 조인트를 구비한다.

[0048] 이 예시의 매니플레이터 암에 있어서, 그것을 통해 툴(512)이 연장되는 원위 부재 또는 캐놀라(511)는 기구 홀더(510)의 원위측에서 추가적인 자유도를 구비할 수 있다. 기구의 자유도 작동은 흔히 매니플레이터의 모터에 의해 구동될 것이며, 대안적인 실시형태들은 기구 상에 위치되는 것으로 여기에 개시된 하나 이상의 조인트가 그 대신에 신속 분리가능 기구 홀더/기구 인터페이스 상에 위치되도록 하거나, 반대로 하나 이상의 조인트가 신속 분리가능 기구 홀더/기구 인터페이스가 아닌 기구 상에 위치되도록 하여, 신속 분리가능 기구 홀더/기구 인터페이스에서 기구를 지지 매니플레이터 구조로부터 분리할 수 있다. 몇몇의 실시형태에 있어서, 캐놀라(511)는 툴 팁의 삽입 지점 즉 대체로 최소 침습 개구부 부위에 배치되는 피벗점(PP) 근방 또는 근위측에 회전 조인트(J8)(도시 안됨)를 구비한다. 기구의 원위 리스트(wrist)가 기구 리스트에 위치한 하나 이상의 조인트의 기구 조인트 축선을 중심으로 한 수술 툴(512)의 엔드 이펙터의 피벗운동을 가능하게 해준다. 엔드 이펙터 조(jaw) 요소들 간의 각도가 엔드 이펙터 위치 및 배향에 대해 독립적으로 제어될 수 있다.

[0049] 예시의 매니플레이터 어셈블리의 운동 범위는 도 6a-6c의 예를 참조하는 것에 의해 이해될 수 있다. 수술 과정 중에, 매니플레이터 암은 수술 작업 공간 내의 특정 환자 조직에 액세스하기 위해 필요한 대로 도 6a에 도시된 바와 같이 피치 포워드 구성(pitch forward configuration)으로 또는 도 6b에 도시된 바와 같이 피치 백 구성(pitch back configuration)으로 기동될 수 있다. 하나의 대표적인 매니플레이터 어셈블리는 축선을 중심으로 적어도 $\pm 60^\circ$, 바람직하게는 약 $\pm 75^\circ$ 만큼 피치 포워드 및 피치 백 운동할 수 있고, 또한 축선을 중심으로 $\pm 80^\circ$ 만큼 요운동할 수 있는 엔드 이펙터를 구비한다. 이러한 양태가 어셈블리에 엔드 이펙터의 증가된 기동성을 가능하게 해주지만, 특히 매니플레이터 암이 도 6a 및 6b에서와 같이 완전 피치 포워드 구성에 있거나 완전 피치 백 구성에 있을 때는 엔드 이펙터의 운동이 제한될 수 있는 구성들이 존재할 수 있다. 이 실시형태에 있어서, 매니플레이터 암은 각각 외부 피치 조인트에 대한 ($\pm 75^\circ$) 및 외부 요 조인트에 대한 ($\pm 300^\circ$)의 운동의 범위(ROM; Range of Motion)를 가진다. 몇몇의 실시형태에 있어서, ROM은 외부 피치가 ($\pm 90^\circ$)보다 더 큰 ROM을 제공하도록 증가될 수 있으며, 이 경우 대체로 삽입 한계와 관련된 내부 구형부(inner sphere)가 남겠지만, "콘 오브 사일런스(cone of silence)"는 완전히 사라지게 될 수 있을 것이다. 매니플레이터가 증가되거나 감소된 ROM을 가지도록 구성될 수 있으며, 전술한 ROM은 설명을 목적으로 제공되는 것이며, 본 발명은 여기 개시되는 ROM에 한정되지 않는다는 것이 이해될 것이다.

[0050] 도 6c는 도 5a-5b의 예시의 매니플레이터의 툴 팁의 전체 운동의 범위 및 작업 공간을 그래프로 나타낸 도면이다. 작업 공간이 반구체로서 도시되어 있지만, 조인트(J1)와 같은 매니플레이터의 하나 이상의 레볼루트 조인트의 운동의 범위 및 구성에 따라 구체로 나타낼 수도 있다. 도시된 바와 같이, 도 6c의 반구체는 중심의 작은 구형 보이드(spherical void)와 함께 2개의 원추형 보이드(conical void)를 포함하고 있다. 이들 보이드는 툴 팁의 운동이 기계적 제약으로 인해 불가능하거나 엔드 이펙터의 운동을 어렵게 또는 느리게 만드는 극도로

높은 조인트 속도로 인해 실행불가능할 수 있는 영역을 나타낸다. 이런 이유로, 원추형 보이드는 "콘 오브 사일런스(cone of silence)"라 불려진다. 몇몇의 실시형태에 있어서, 매니플레이터 암은 원추 내의 한 지점에서 특이점(singularity)에 도달할 수 있다. 콘 오브 사일런스 내 또는 그 근방에서의 매니플레이터의 운동은 손상될 수 있기 때문에, 매니플레이터의 링크지들과 조인트들을 재구성하기 위해서는 매니플레이터의 하나 이상의 링크를 수동식으로 이동시키지 않고서는 매니플레이터 암을 콘 오브 사일런스에서 벗어나도록 이동시키는 것이 어려울 수 있으며, 이는 종종 대안의 작업 모드를 필요로 하여 수술 과정을 지연시킨다.

[0051] 이러한 원추형 부분 내로의 또는 그 근방에서의 기구 샤프트의 운동은 일반적으로 매니플레이터 내의 원위 링크지들 사이의 각도가 상대적으로 작을 때 발생한다. 그와 같은 구성들은 링크지들 사이의 각도를 증가시키도록(링크지들이 서로에 대해 더 직교에 가까운 포지션으로 이동되도록) 매니플레이터를 재구성하는 것에 회피될 수 있다. 예컨대, 도 6a 및 6b에 도시된 구성들에 있어서, 최원위 링크와 기구 홀더 사이의 각도(a)가 상대적으로 작게 될 때, 매니플레이터의 운동은 더 어려워진다. 여러 실시형태들에 있어서의 나머지 조인트들에 있어서의 조인트 운동의 범위에 따라, 어떤 링크지들 사이의 각도가 감소할 때, 매니플레이터의 운동이 억제될 수 있으며, 경우에 따라서는 매니플레이터 암이 더 이상 운동의 여유가 없을 수도 있다. 기구 샤프트가 이러한 원추형 부분에 근접하고 있거나 링크지들 사이의 각도가 상대적으로 작게 되어 있는 매니플레이터 구성을 매니플레이터 암의 기동성 및 조작성이 제한되도록 "불량하게 컨디셔닝되었다(poorly conditioned)"고 한다. 매니플레이터는 조작성 및 운동의 범위를 유지하도록 "양호하게 컨디셔닝되는(well-conditioned)" 것이 바람직하다. 하나의 양태에 있어서, 본 발명은 수술 과정 중의 엔드 이펙터의 운동 중에도 매니플레이터를 원하는 대로 재구성하는 명령을 입력하는 것에 의해 사용자가 전술한 원추형 부분에서의 기구 샤프트의 운동을 회피하게 만드는 것을 가능하게 해준다. 이러한 양태는 매니플레이터가 어떤 이유에서든지 "불량하게 컨디셔닝되는" 경우에 특히 유용하다.

[0052] 설명되는 실시형태들이 본 발명에 사용되지만, 몇몇의 실시형태는 역시 매니플레이터 암의 조작성 및 컨디셔닝을 향상시키는 데 사용될 수 있는 추가적인 조인트를 구비할 수 있다. 예컨대, 예시의 매니플레이터는 도 5a의 매니플레이터 암 및 그것의 연계된 콘 오브 사일런스를 레볼루트 조인트의 축선을 중심으로 회전시켜 콘 오브 사일런스를 감소시키거나 제거하는 데 이용될 수 있는 레볼루트 조인트 및/또는 링크지들을 조인트(J1)의 근위측에 구비할 수 있다. 또 다른 실시형태에 있어서, 예시의 매니플레이터는 또한 조인트(J5)에 대해 실질적으로 수직인 축선을 중심으로 기구 홀더를 피벗운동시킴으로써 툴 팁을 오프셋시켜 콘 오브 사일런스를 더 감소시키고 수술 툴의 운동의 범위를 향상시키는 원위 피벗 조인트를 구비할 수 있다. 또 다른 실시형태에 있어서, 조인트(J1)와 같은 매니플레이터 암의 근위 조인트는 베이스 상에 이동가능하게 장착되어, 필요에 따라 콘 오브 사일런스를 이동 또는 전이시키고 매니플레이터 툴 팁의 운동의 범위를 향상시킬 수 있다. 이러한 추가적인 조인트의 사용 및 장점은 여기에 설명되는 예시의 매니플레이터 암들 중의 어느 것에서 각각이 서로 독립적으로 사용되거나 조합적으로 사용될 수 있는 이러한 조인트의 예를 도시하고 있는 도 7a-12c를 참조함으로써 이해될 수 있다.

[0053] 도 7a-7b는 예시의 매니플레이터 암과 함께 사용하기 위한 추가적인 여유 조인트(redundant joint)(매니플레이터 암의 근위 부분을 베이스에 연결시키는 제1 조인트)를 도시하고 있다. 제1 조인트는 근위 레볼루트 조인트(J1')이며, 이 근위 레볼루트 조인트(J1')는 조인트(J1)의 조인트 축선을 중심으로 매니플레이터 암을 회전시킨다. 근위 레볼루트 조인트(J1')는 조인트(J1)를 근위 레볼루트 조인트(J1')로부터 소정의 거리 또는 각도만큼 오프셋시키는 링크(501)를 구비한다. 링크(501)는 도 7a에 도시된 바와 같은 만곡형 링크지 또는 도 7b에 도시된 바와 같은 선형 또는 각도진 링크지일 수 있다. 일반적으로, 조인트(J1')의 조인트 축선은 도 7a에 도시된 바와 같이 원격 중심(RC) 또는 툴 팁의 삽입 지점과 얼라이닝(aligning)된다. 하나의 예시의 실시형태에 있어서, 조인트(J1')의 조인트 축선은, 매니플레이터 암의 다른 레볼루트 조인트 축선과 마찬가지로, 체벽(body wall)에서의 이동을 방지하도록 원격 중심을 통과하고, 그에 따라 수술 중에 운동될 수 있다. 조인트(J1')의 축선은 암의 후방부의 포지션 및 배향을 변화시키는 데 사용될 수 있도록 암의 근위 부분에 커플링된다. 대체로, 이와 같은 여유 축선들은 기구 팁이 외과의의 명령을 추종하는 동시에 다른 암 또는 환자 인체 구조부와 충돌을 회피하는 것을 가능하게 해준다. 하나의 양태에 있어서, 근위 레볼루트 조인트(J1')는 플로어에 대한 매니플레이터의 장착 각도를 변화시키기 위해 단독으로 사용된다. 이 각도는 1) 환자 인체 외부 구조부와 충돌을 방지하고, 2) 신체 내부의 인체 구조부에 도달하기 위해 중요하다. 일반적으로, 근위 레볼루트 조인트(J1')에 부착된 매니플레이터의 근위 링크와 근위 레볼루트 조인트의 축선 사이의 각도(a)는 약 15도이다.

[0054] 도 7b는 예시의 매니플레이터 암에 있어서의 근위 레볼루트 조인트(J1') 및 그것의 연계된 조인트 축선과 콘 오브 사일런스 사이의 관계를 도시하고 있다. 근위 레볼루트 조인트(J1')의 조인트 축선은 콘 오브 사일런스를

통과할 수 있거나 완전히 콘 오브 사일런스 외부에 있을 수 있다. 근위 레볼루트 조인트(J1')의 축선을 중심으로 매니플레이터 암을 회전시킴으로써, 콘 오브 사일런스는 감소될 수 있거나(조인트(J1') 축선이 콘 오브 사일런스를 통과하게 되는 실시형태에서), 효과적으로 제거될 수 있다(근위 레볼루트 조인트 축선이 완전히 콘 오브 사일런스 외부에서 연장되어 있는 실시형태에서). 링크(501)의 거리 및 각도가 콘 오브 사일런스에 대한 조인트(J1') 축선의 포지션을 결정한다.

[0055] 도 8-9는 예시의 매니플레이터 암과 함께 사용하기 위한 또 다른 형태의 여유 조인트인, 매니플레이터 암의 원위 링크(508)에 기구 홀더(510)를 연결시키는 원위 레볼루트 조인트(J7)를 도시하고 있다. 원위 레볼루트 조인트(J7)는 시스템이 일반적으로 원격 중심 또는 삽입 지점을 통과하는 조인트 축선을 중심으로 기구 홀더(510)를 좌우로 피벗운동시키거나 비틀림운동시키는 것을 가능하게 해준다. 이상적으로는, 이 레볼루트 조인트는 암의 원위측에 위치되고, 그에 따라 삽입 축선의 배향을 이동시키는 데 특히 적합하다. 이 여유 축선의 추가는 매니플레이터가 임의의 단일의 기구 팁 포지션을 위해 다중의 포지션들을 취하는 것을 가능하게 해준다. 대체로, 이와 같은 여유 축선들은 기구 팁이 외과의의 명령을 추종하는 동시에 다른 암 또는 환자 인체 구조부와 충돌을 회피하는 것을 가능하게 해준다. 원위 레볼루트 조인트(J7)는 삽입 축선을 요 축선에 더 근접하게 이동시키는 능력을 가지고 있기 때문에, 매니플레이터 암이 피치 백 포지션에 있을 때 운동의 범위를 증가시키는 것이 가능하다. 도 10a-10c는 조인트(J7)의 순차적인 운동과 조인트(J7)의 운동이 어떻게 툴 팁의 삽입 축선을 좌우로 전이시키는 지를 도시하고 있다.

[0056] 또 다른 양태에 있어서, 여기에 설명되는 시스템들 중의 어떤 것은 하나 이상의 조인트를 구동시키고, 여러 가지 이유로 소정의 재구성을 실행하기 위해 영공간 내에서 매니플레이터 암의 하나 이상의 조인트를 재구성하는 데 사용자 입력 장치를 이용할 수 있다. 전술한 바와 같은 명령된 재구성을 위한 사용자 입력부 또는 모드 중의 하나 또는 양자 모두를 가지는 실시형태에 있어서, 시스템은 명령된 조작을 실행하기 위한 운동 시에 상술한 구속조건을 이용하고, 재구성 시에 또는 클러치 모드 동안에 구속조건을 적용을 보류할 수 있다. 재구성 운동이 완료되거나 매니플레이터 암이 클러치 모드로부터 전환되었을 때, 시스템은 매니플레이터 암의 재구성된 위치에 따라 포지션 기반 구속조건을 적용한다. 다른 실시형태들에 있어서, 구속조건은 카테시안 좌표 공간 내에서의 최근접 경로와 연계된 구속조건이 선택될 수 있도록 다수의 운동의 포지션 경로를 규정할 수 있다. 이러한 양태들은 시스템이 구동된 재구성 또는 클러치 모드 중의 수동식 재구성에 의해 재구성된 후의 매니플레이터 암의 하나 이상의 조인트의 소정의 운동을 제공하는 것을 가능하게 해준다.

[0057] 원위 레볼루트 조인트(J7)와 같은 추가적인 여유 조인트를 사용하는 것의 한 가지 장점은 그것이 환자와 기구 홀더 또는 매니플레이터 암의 원위 링크 사이의 충돌을 회피하기 위해 환자를 비켜 놓아야만 하는 삽입 지점 근위측의 매니플레이터 암의 원위 부분의 가동 공간(swept volume; 휩쓸고 지나가게 되는 공간)인 환자 클리어런스 원추역(patient clearance cone)을 감소시키도록 사용될 수 있다는 점이다. 도 11a는 원위 레볼루트 조인트가 0도로 유지되고 있는 동안에 매니플레이터 암의 근위 부분의 환자 클리어런스 원추역을 도시하고 있다. 도 11b는 원위 레볼루트 조인트가 축선을 중심으로 90도의 각도 변위를 가진 것으로 도시되어 있는 동안에 매니플레이터 암의 근위 부분의 감소된 환자 클리어런스 원추역을 도시하고 있다. 따라서, 삽입 지점 근방에 최소의 환자 클리어런스를 가지는 수술 과정에 있어서, 본 발명에 따른 조인트(J7)의 사용은 원격 중심 위치 또는 엔드 이펙터의 포지션을 원하는 대로 유지하면서 추가적인 클리어런스를 제공할 수 있다.

[0058] 도 12a-12c는 예시의 매니플레이터 암과 함께 사용하기 위한 또 다른 형태의 여유 조인트인, 매니플레이터 암을 이동시키거나 축선을 중심으로 회전시키는 근위 조인트를 도시하고 있다. 다수의 실시형태에 있어서, 이 근위 이동가능 조인트는 매니플레이터 암의 운동의 범위를 전이시키거나 회전시킴으로써 콘 오브 사일런스를 감소 또는 제거시켜, 매니플레이터 암의 더 양호한 컨디셔닝 및 개선된 기동성을 제공하도록 일정 경로를 따라, 조인트(J1 또는 J1')와 같이, 매니플레이터의 근위 조인트를 이동시킨다. 이 근위 이동가능 조인트는 도 12a-12c의 조인트(J1")에서 보여지는 바와 같은 원형 경로를 구비할 수 있거나, 도 13a-13c에 도시된 바와 같은 반원형 또는 아치형 경로를 구비할 수 있다. 대체로, 이 조인트는 캐놀라(511)를 통해 연장된 툴(512)의 샤프트가 그것을 중심으로 피벗운동하게 되는 원격 중심(RC)과 교차하는 이동가능 조인트의 축선을 중심으로 매니플레이터 암을 회전시킨다. 도 12a-12d에 도시된 실시형태에서는 조인트(J1")의 축선이 수직방향 축선이지만, 조인트(J1")의 축선은 수평방향이거나 다양한 경사 각도로 배치될 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0059] 특정 실시형태에 있어서, 매니플레이터 암(500)은 근위 또는 원위 레볼루트 조인트, 근위 이동가능 조인트 및 평행사변형 형태의 원위 링크지 중의 어느 하나 또는 전부를 구비할 수 있다. 이러한 피쳐(feature)들 중의 어느 하나 또는 전부의 사용은 링크지들 사이의 각도를 증가시킴으로써 매니플레이터의 조작성 및 운동을 향상시키는 것에 의해 더 양호한 "컨디셔닝된" 매니플레이터 어셈블리를 제공하도록 추가적인 여유 자유도를

제공하고, 본 발명에 따른 재구성을 조장(facilitating)한다. 이러한 예시의 매니플레이터의 증가된 유연성은 또한 조인트 한계, 특이점 등을 회피하도록 매니플레이터 링크지의 기구학적 특성을 최적화하는 데 사용될 수 있다.

[0060] 하나의 예시의 실시형태에 있어서, 매니플레이터의 조인트 운동들은 시스템의 모터를 이용하여 컨트롤러에 의해 하나 이상의 조인트를 구동시킴으로써 제어되며, 조인트는 컨트롤러의 프로세서에 의해 연산된 좌표화된 조인트 운동에 의해 구동된다. 수학적으로, 컨트롤러는 그 중의 몇몇이 조인트의 구성 또는 속도에 대응하는 요소들을 가질 수 있는 벡터 및/또는 행렬을 이용하는 조인트 명령들의 적어도 몇 가지 연산을 수행할 수 있다. 프로세서에 유효한 선택적인 조인트 구성들의 범위는 조인트 공간으로서 개념화될 수 있다. 이 조인트 공간은 예컨대 매니플레이터가 가지는 자유도 만큼 많은 차원을 가질 수 있으며, 매니플레이터의 하나의 특정 구성은 조인트 공간 내에서의 하나의 특정 지점을 나타낼 수 있으며, 각각의 좌표가 매니플레이터의 연계된 조인트의 조인트 상태에 대응된다.

[0061] 하나의 양태에 있어서, 시스템은 여기에서 카테시안 공간(Cartesian space)으로서 나타내지는 작업 공간 내에서의 피쳐(feature)의 명령된 포지션 및 속도가 입력인 컨트롤러를 포함한다. 상기 피쳐는 제어 입력을 사용하여 관절운동될 제어 프레임으로서 사용될 수 있는 매니플레이터 상의 또는 매니플레이터 외부의 임의의 피쳐일 수 있다. 여기 설명되는 많은 예에서 사용되는 매니플레이터 상의 피쳐의 하나의 예는 툴 팁이 될 것이다. 매니플레이터 상의 피쳐의 또 다른 예는 핀 또는 채색 문양과 같이 툴 팁 상에 존재하지 않으면서 매니플레이터의 일부분인 물리적 피쳐가 될 것이다. 매니플레이터 외부의 피쳐의 한 예는 툴 팁으로부터 정확히 일정 거리 및 각도 만큼 떨어져 있는 빈 공간 내의 기준점이 될 것이다. 매니플레이터 외부의 피쳐의 또 다른 예는 매니플레이터에 대한 그것의 포지션이 설정될 수 있는 타겟 조직이 될 것이다. 이러한 모든 경우에 있어서, 엔드 이펙터는 제어 입력을 사용하여 관절운동될 가상의 제어 프레임과 연계된다. 하지만, 이하에서는, "엔드 이펙터(end effector)"와 "툴 팁(tool tip)"은 같은 의미로 사용된다. 대체로, 소정의 카테시안 공간 엔드 이펙터 포지션을 등가의 조인트 공간 포지션에 매핑시키는 닫힌 형태 관계(closed form relationship)는 존재하지 않지만, 대체로 카테시안 공간 엔드 이펙터 속도와 조인트 공간 속도 사이에는 닫힌 형태 관계가 존재한다. 기구학적 자코비안은 조인트 공간 포지션 요소들에 대한 엔드 이펙터의 카테시안 공간 포지션 요소들의 편도함수들의 행렬이다. 이런 방식으로, 기구학적 자코비안은 엔드 이펙터와 조인트들 사이의 기구학적 관계성을 포착한다. 다시 말해, 기구학적 자코비안은 엔드 이펙터에 대한 조인트 운동의 효과를 포착한다. 기구학적 자코비안(J)은 아래의 관계를 이용하여 조인트 공간 속도(dq/dt)를 카테시안 공간 엔드 이펙터 속도(dx/dt)에 매핑시키는 데 사용될 수 있다.

[0062] $dx/dt = Jdq/dt$

[0063] 따라서, 입력 포지션과 출력 포지션 사이에 닫힌 형태 매핑이 존재하지 않을 때에도, 자코비안 기반 컨트롤러에서 명령된 사용자 입력으로부터 매니플레이터의 운동을 구현하는 것과 같이(다양한 다른 구현예가 사용될 수 있다), 속도들의 매핑이 반복적으로(iteratively) 이용될 수 있다. 많은 실시형태들이 자코비안 기반 컨트롤러를 구비하지만, 몇몇의 구현예들은 여기에 설명되는 피쳐들 중의 어느 하나를 제공하기 위해 매니플레이터 암의 자코비안에 액세스하도록 구성될 수 있는 다양한 컨트롤러를 사용할 수 있을 것이다.

[0064] 그와 같은 하나의 구현예를 아래에 간략히 설명한다. 명령된 조인트 포지션이 자코비안(J)을 연산하는 데 사용된다. 매 시간 간격(Δt) 동안, 카테시안 공간 속도(dx/dt)가 소정의 이동(dx_{des}/dt)을 수행하고 소정의 카테시안 공간 포지션으로부터 형성된 편차(Δx)를 보정하기 위해 연산된다. 이 카테시안 공간 속도는 다음으로 자코비안의 의사역행렬($J^\#$)을 이용하여 조인트 공간 속도(dq/dt)로 변환된다. 그 결과로서 생긴 조인트 공간 명령 속도는 다음으로 조인트 공간 명령 포지션(q)을 생성하기 위해 적분된다. 이러한 관계들이 아래에 열거된다.

[0065] $dx/dt = dx_{des}/dt + k \Delta x$ (1)

[0066] $dq/dt = J^\# dx/dt$ (2)

[0067] $q_i = q_{i-1} + dq/dt \Delta t$ (3)

[0068] 자코비안(J)의 의사역행렬은 소정의 툴 팁 운동(및 경우에 따라서는 피벗 툴 운동의 원격 중심)을 조인트 속도 공간(joint velocity space)으로 직접적으로 매핑시킨다. 사용되는 매니플레이터가 툴 팁 자유도보다 더 많은

유효 조인트 축선들을 가질 경우(예컨대, 6 자유도까지), 매니플레이터는 여유도가 있다고 한다. 툴 운동의 원격 중심이 사용되고 있을 때에는, 매니플레이터는 원격 중심의 위치와 관련한 3개의 자유도를 위한 추가적인 3개의 조인트 축선을 가져야 한다. 여유도가 있는 매니플레이터의 자코비안은 적어도 하나의 차원을 가진 "영공간"을 포함한다. 본 명세서에서, 자코비안의 영공간($N(J)$)은 순간적으로(instantaneously) 어떠한 툴 팁 운동도(그리고 원격 중심이 사용될 때는 어떠한 피벗점 위치의 운동도) 취득하지 못하는 조인트 속도들의 공간이고; "영운동(null-motion)"은 어떠한 툴 팁 및/또는 원격 중심의 위치의 순간 운동도 발생시키지 못하는 조인트 위치선들의 콤비네이션(combination), 궤적 또는 경로이다. 매니플레이터의 소정의 재구성(여기에 설명되는 임의의 재구성을 포함)을 취득하기 위해 연산된 영공간 속도들을 매니플레이터의 제어 시스템 내에 편입 즉 도입하면, 상기 방정식 (2)는 다음과 같이 변한다.

$$[0069] \quad dq/dt = dq_{\text{perp}}/dt + dq_{\text{null}}/dt \quad (4)$$

$$[0070] \quad dq_{\text{perp}}/dt = J^{\#} dx/dt \quad (5)$$

$$[0071] \quad dq_{\text{null}}/dt = (I - J^{\#}J)z = V_n V_n^T z = V_n \alpha \quad (6)$$

[0072] 방정식 (4)에 따른 조인트 속도는 2개의 성분: 제1 성분인 영직교공간(null-perpendicular-space) 성분, 즉 소정의 툴 팁 운동(그리고 원격 중심이 사용될 때는, 소정의 원격 중심 운동)을 발생시키는 "퓨레스트(purest)" 조인트 속도(최단 벡터 길이); 및 제2 성분인 영공간 성분을 가진다. 방정식 (2) 및 (5)는 영공간 성분 없이 동일한 방정식이 얻어지는 것을 보여준다. 방정식 (6)은 좌변에 영공간 성분을 위한 통상적인 형식으로 시작하여, 가장 오른쪽 우변에 예시의 시스템에 사용되는 형식을 나타내고 있으며, 여기서 V_n 은 영공간을 위한 정규직교 기저(orthonormal basis) 벡터들의 집합이고, α 는 그러한 기저 벡터들을 혼합하기 위한 계수이다. 몇몇의 실시형태에 있어서, α 는 영공간 내에서의 운동을 원하는 대로 형성 또는 제어하기 위한, 노브(knob)나 다른 제어 수단의 사용 등에 의한, 제어 파라미터, 변수 또는 설정에 의해 결정된다.

[0073] 도 13a는 예시의 자코비안의 영공간과 자코비안의 영직교공간 사이의 관계를 그래프로 도시하고 있다. 도 13a는 수평방향 축선을 따르는 영공간과 수직방향 축선을 따르는 영직교공간을 도시하고 있으며, 2개의 축선은 서로 직교하고 있다. 대각선 벡터는 상기 방정식 (4)로 표현되는 영공간 내의 속도 벡터와 영직교공간 내의 속도 벡터의 합을 나타낸다.

[0074] 도 13b는 영공간과 "영운동 다양체"로 도시된 4차원 조인트 공간 내에서의 영운동 다양체(null-motion manifold) 사이의 관계를 그래프로 도시하고 있다. 각각의 화살표(q_1, q_2, q_3, q_4)는 주 조인트 축선(principal joint axis)을 나타낸다. 폐곡선은 동일한 엔드 이펙터 위치선을 순간적으로 취득하는 조인트 공간 위치선들의 집합인 영운동 다양체를 나타낸다. 곡선 상에 주어진 점(A)에 대해, 영공간은 엔드 이펙터의 어떠한 운동도 순간적으로 발생시키지 않는 조인트 속도들의 공간이기 때문에, 영공간은 점(A)에서의 영운동 다양체의 접선에 평행하다.

[0075] 도 14는 하나의 예시의 매니플레이터 암의 조인트 공간의 2차원 부분공간(subspace)을 그래프로 도시하고 있다. 수평방향 축선과 수직방향 축선은 독립적인 조인트 운동을 갖는 2개의 조인트의 운동을 나타내고, 특히 조인트의 운동은 매니플레이터 암의 기구 홀더의 피치(수평방향 축선) 대 매니플레이터 암의 근위 부분이 연장되는 평면에서 좌우 양방향으로 기구 홀더를 피벗운동시키는 원위 레볼루트 조인트의 운동(수직방향 축선)에 작용한다. 부분공간의 극우측이 피치 조인트의 포워드 피치 한계를 나타내는 한편, 극좌측이 피치 조인트의 백워드 피치 한계를 나타낸다. 곡선(A, B 및 C, D) 근방, 피치 조인트의 포워드 피치 한계 및 백워드 피치 한계 근방에 규정된 경로들은 각각 매니플레이터 암의 조인트들의 자코비안의 영공간 내에서의 조인트 운동의 조인트 상태들을 설명한다. 예를 들어, 주어진 엔드 이펙터 상태를 위해, 컨트롤러는 엔드 이펙터의 소정의 상태를 유지하면서 곡선(A, B, C, D)과 직교하는 조인트 공간의 범위를 증가시키기 위해 곡선(A, B, C, D)의 각각을 따라 래터럴 피벗 조인트(lateral pivot joint) 및 피치 조인트를 운동시킬 수 있다.

[0076] 도 14에 도시된 곡선(A, B, C)은 실질적으로 일정한 카테시안 공간 피치로 이어지는 조인트 공간 내의 조인트 공간값들(joint-space values)을 나타낸다. 각각의 곡선은 도 13b에 설명된 바와 같은 영운동 다양체이다. 도 14의 조인트 공간에 의해 나타내지는 특정 매니플레이터 암의 작동 중에, 다수의 경로 곡선이 수평방향 축선에 접근함으로써(예컨대, 래터럴 피벗 조인트의 각도 변위가 0도에 접근함으로써) 포워드 피치로 횡단될 수 있다. 선택적으로, 다수의 경로 곡선은 조인트 공간의 상하 코너에 접근함으로써(예컨대, 래터럴 피벗 조인트의 각도

변위가 그것의 ±극치에 접근함으로써) 백워드 피치로 횡단될 수 있다.

[0077] 도 14에서 볼 수 있는 바와 같이, 표시된 매니플레이터 암의 카테시안 좌표 조인트 공간은 4개의 코너를 가진다. 대체로, 4개의 코너에 액세스하는 매니플레이터 암의 조인트들에 대해, 조인트들의 운동을 실행시키는 컨트롤러는 코너들을 지향한다. 하나의 양태에 있어서, 컨트롤러는 카테시안 좌표 공간의 먼쪽 코너들에의 매니플레이터 암의 액세스를 개선시키기 위해 도 14에 도시된 곡선들과 같은 조인트 공간 내의 하나 이상의 경로를 따라 조인트들을 이동시키기 위한 자코비안의 영공간 내에서의 운동을 연산한다. 하나의 접근법에 있어서, 조인트 공간의 에지들 및 코너들 또는 여러 가지 조인트 조합에 있어서의 조인트 한계들, 및 특히 카테시안 좌표 공간의 방대한 도달 구역에 도달가능하도록 사용되는 곡선족(family of curves)을 따라 조인트들을 이동시키도록, 한 가지 포텐셜 필드가 매니플레이터 암의 조인트 부분공간 내에서 규정된다. 피치 조인트 범위 및 래터럴 피벗 조인트 범위로 표현되는 카테시안 공간 도달 구역들이 도 14에 도시되어 있다.

[0078] 도 14에 도시된 포텐셜 필드를 규정하는 한 가지 방법은 다음과 같다.

$$[0079] \quad C=1/2(q_{pitch}-q_{pitch-setpoint})^2$$

$$[0080] \quad z=(dC/dt)^T = \partial C / \partial q * dq/dt = (q_{pitch}-q_{pitch-setpoint}) * dq/dt$$

[0081] 여기서, z는 다음으로 상기 방정식 (6)에 이용된다.

[0082] 선택적으로, 어떤 양태에 있어서, 포텐셜 함수 그래디언트(potential function gradient)를 편입하여, 카테시안 공간 엔드 이펙터 속도에 적용되는 증가된 자코비안(augmented Jacobian)이 이용될 수 있다. 자코비안의 증가(augmentation)는 원하는 바의 조인트 속도들을 연산한다. 자코비안을 이용하여 조인트 운동을 연산한다고 할 때, 그 연산은 증가된 자코비안 해석방법을 포함할 수 있다는 것으로 이해되어야 한다. 증가된 자코비안 해석방법에 따르면, 열 벡터가 이용될 수 있는 것으로 이해되지만, 다음의 방정식들이 이용될 수 있다.

$$[0083] \quad dx/dt=J*dq/dt$$

$$[0084] \quad y=h(q)$$

$$[0085] \quad dy/dt=\partial h / \partial q * dq/dt$$

$$[0086] \quad [dx/dt^T \ dy/dt^T]^T = [J^T \ \partial h / \partial q^T]^T * dq/dt$$

$$[0087] \quad d(x;y)/dt=[J;h'] * dq/dt$$

$$[0088] \quad dq/dt=[J;h']^\# d(x;y)/dt$$

[0089] 하나의 예에서, 포텐셜 필드 함수(potential field function)의 복잡계 네트워크(complex network) $y=h(q)$ 를 설정한다. $dy/dt=\partial h / \partial q * dq/dt$. dy/dt , $\partial h / \partial q$ 및 dq/dt 는 포텐셜 필드에 기초하여 원하는 대로 지시될 수 있으며, 증가된 방정식은 엔드 이펙터의 구동 및 조인트 공간 내에서의 경로의 추적의 양자의 조합된 소정의 결과를 생성할 것이다.

[0090] 컨트롤러는 소정의 엔드 이펙터 조작 운동을 실행시키기 위한 명령된 엔드 이펙터 변위 운동에 따라 영직교 공간 내에서의 조인트들의 운동시키기 위해 자코비안의 의사역행렬을 이용하여 경로(A, B, C, D)와 직교하게 조인트들을 운동시킬 수 있다. 피치 조인트의 피치가 명령된 엔드 이펙터 운동 중에 수평방향 축선을 따라 운동할 때, 시스템은 조인트 공간의 범위를 증가시키도록 영공간 내에서의 조인트 포지션들의 운동들을 결정한다. 도 14에 도시된 바와 같이, 피치 조인트의 운동은 백워드 한계를 향해 운동할 때, 시스템은 곡선 경로와 매니플레이터 조인트 공간의 한계들 사이의 직교 거리를 증가시킴으로써 영직교 공간 내에서의 조인트 운동의 범위를 증가시키도록 최근접 곡선을 따른(도 14의 곡선(B)를 따른 화살표 참조) 영공간 내에서의 래터럴 피벗 조인트의 변위 운동을 결정하고 실행시킬 수 있다. 예를 들어, 도 14에 도시된 조인트 공간에서, 피치 조인트가 포워드 피치 조인트 한계를 향해 운동할 때, 시스템은 곡선 경로(C 및 D)와 피치 조인트 포워드 한계 사이의 직교 거리를 증가시킴으로써 영직교 공간 내에서의 운동의 범위를 증가시키도록 무변위 포지션(non-displaced position)을 향한 래터럴 피벗 조인트의 운동을 결정하고 실행시킬 수 있다. 조인트 공간 내에서의 조인트들의 소정의 운동을 실행시키기 위한 속도들을 결정하는 데 사용될 수 있는 가상의 힘의 결정을 가능하게 해주기 위해 가상의 포텐셜 필드 공간(virtual potential field space)이 조인트 공간 내에 사용될 수 있다.

- [0091] 일부 실시형태에 있어서, 매니플레이터 암은 조인트(J3, J4, J5)가 조인트(J3, J4, J5) 및 피벗점(PP)에 의해 형성되는 평행사변형을 유지하도록 상관 운동(interrelated movement)에 의해 구성되는 평행사변형 링키지를 이용한다(예를 들어 도 5a 참조). 이 상관 운동으로 인해, 기구 샤프트의 피치는 피치 조인트(예컨대, J3)의 상태에 의해 결정될 수 있다. 도 5a의 J3과 같은 피치 조인트의 운동이 삼입 축선의 피치를 피치 포워드 포지션(pitch forward position)(도 6a 참조)으로부터 피치 백 포지션(pitch back position)(도 6b 참조)으로 변화시킨다. 여러 가지 다른 실시형태에 있어서, 피치 조인트는 그것의 운동이 기구 샤프트의 피치를 결정하는 매니플레이터 암의 하나 이상의 조인트를 포함할 수 있다. 기구 홀더(510) 및 연계된 캐놀라(511)를 지지하는 원위 레볼루트 조인트(J7)와 같은 원위 레볼루트 조인트의 운동은 기구 홀더(510)를 통해 연장된 기구 샤프트를 매니플레이터 암의 조인트(J7) 근위측 부분이 연장되는 평면에 대해 좌우로 피벗운동 또는 비틀림운동시킨다. 매니플레이터 조인트 공간의 부분공간(subspace)이 피치 조인트(J3)와 레볼루트 조인트(J7)의 조인트 상태의 가능한 조합의 범위를 나타낸다. 비록 이 실시형태에서는 포지션 구속조건들이 상술한 피치 조인트 및 원위 레볼루트 조인트에 의해 규정되는 조인트 공간의 부분공간 내에서 규정되고 있지만, 부분공간은 여러 가지 다른 조인트 또는 3개 이상의 조인트에 의해 규정될 수도 있다는 것이 이해될 것이다.
- [0092] 도시된 실시형태에 있어서, 곡선 경로를 따른 운동은, 증가된(increased) 피치 백 포지션으로의 피치 조인트의 운동이 원위 레볼루트 조인트의 증가된 회전 변위에 대응되고, 피치 포워드 포지션으로의 피치 조인트의 운동이 원위 레볼루트 조인트의 최소 또는 0 변위에 대응되도록, 원위 레볼루트 조인트와 피치 조인트의 상대 운동을 포함한다. 외측 조인트가 피치 백됨에 따라, 기구 샤프트 상의 톨 팁은 전방으로 이동한다. 외부 피치 조인트가 피치 백 포지션의 한계에 도달한 경우에는, 기구 샤프트(512)의 단부 상의 톨 팁의 전방 운동은 원위 레볼루트 조인트(J7)의 운동에 의해 여전히 성취될 수 있다. 하지만, 외부 피치 조인트(J3)가 피치 백 포지션의 한계에 접근할 때 원위 레볼루트 조인트(J7)의 운동을 개시하는 것이 유용할 수 있다. 마찬가지로, 톨 팁의 후방 방향 운동을 일으키는 피치 포워드 방향에 있어서는, 최후방 톨 팁 포지셔닝은 원위 레볼루트 조인트의 운동이 최소일 때 즉 원위 레볼루트 조인트의 0 각도 변위일 때 얻어질 수 있다.
- [0093] 하나의 양태에 있어서, 어떤 지점에서, 경로들 또는 곡선들 중의 어느 것 위에 있는 일이 1차원 영공간을 요하는 1차원 구속조건을 충족하는 것과 동시에 일어난다. 이러한 매니플레이터 조인트 공간의 2차원 부분공간은 대상 조인트 상태들의 포지션(X)을 규정된 경로들을 향해 또는 그것을 따라(일반적으로 경로를 따라) "끌어당기는(pull)" 또는 안내하는 경향이 있는 유인적 포텐셜 필드(attractive potential field)를 생성함으로써, 매니플레이터 암의 운동을 소정의 포지션 경로로 안내하는 데 이용될 수 있다. 시스템은 조인트들의 액세스 조장 운동(access facilitating movement)이 특정 조인트들이 규정된 경로 세그먼트들을 따라 이동하게 만들도록 구성될 수 있으며, 또는 매니플레이터의 조인트들의 주어진 상태를 위한 조인트들 중의 적어도 하나의 조인트 공간 내에서의 증가된 운동의 범위를 제공하기 위해 조인트들을 규정된 경로를 따라 운동하게 만들도록 포텐셜 필드 내에서의 여러 가지 크기의 유인력을 이용할 수 있다.
- [0094] 한 가지 접근법에 있어서, 이는 높은 포텐셜일수록 X(예컨대, 현재의 또는 연산된 매니플레이터 포지션)과 포지션 구속조건(예컨대, 경로들의 네트워크) 사이의 더 짧은 거리를 나타내고, 낮은 포텐셜일수록 더 긴 거리를 나타내도록 조인트 공간 내에 포텐셜 필드를 생성함으로써 성취된다. 그런 다음, 영공간 계수(α)가 바람직하게는 가능한 최대한으로 포텐셜 필드의 음의 그래디언트(negative gradient)를 따라 감소하도록 연산된다. 몇몇의 실시형태에 있어서, 각각의 경로(예컨대, b' , c')와 연계된 포텐셜은 하나 이상의 매니플레이터 조인트의 연산된 포지션과 규정된 경로 사이의 거리로부터 결정된다. 인공 포텐셜 필드 현재의 조인트 포지션들에서의 연산된 인공 포텐셜 필드의 인력에 응답하여, 시스템은 영공간 내에서의 매니플레이터 암의 하나 이상의 조인트의 운동을 연산한다.
- [0095] 구속조건들이 도 14a-14c에 도시된 바와 같이 원위 레볼루트 조인트와 외부 피치 조인트에 의해 규정되는 부분공간 내에서의 3개의 세그먼트(A, B, C)로서 규정될 수 있지만, 상술한 장점들은 주어진 매니플레이터 암의 특정 기구학과 관련된다는 것이 이해될 것이다. 따라서, 기구학은 매니플레이터 암들 간에 다를 수 있는 것과 같이, 소정의 조인트 운동들과 구속조건들의 구성도 매니플레이터 암들 간에 다를 수 있다. 예를 들어, 매니플레이터 암의 디자인에 따라, 포지션 구속조건들이 매니플레이터 암의 2개 이상의 다른 조인트들에 의해 규정되는 부분공간을 규정하는 것이 유용할 수 있다. 예를 들어, N차원 영공간을 가정하면, 전체 조인트 공간의 어떤 차원의 부분공간 내의 N차원 다양체들의 네트워크가 규정될 수 있다. 첫 번째 예로, 1차원 이상의 영공간에서, 1차원 곡선 또는 직선 세그먼트의 네트워크가 전체 조인트 공간 내에서 또는 그것에 속하는 임의의 부분공간 내에서 규정될 수 있다. 그런 다음, 유인적 포텐셜 또는 속도가 연산되고 영공간으로 투영되어, 하나 이상의 조인트의 포지션이 증가된 조인트 운동의 범위를 제공하여 하나 이상의 조인트에 대한 조인트 공간의 조인트 한계

들의 에지들에 대한 액세스를 조장하는 규정된 경로들에 대응되도록 액세스 조장 운동을 결정할 수 있다. 두 번째 예로, 2차원 이상의 영공간을 가정하면, 2차원 표면들의 네트워크가 전체 조인트 공간 또는 그것에 속하는 임의의 부분공간 내에서 규정될 수 있다. 그런 다음, 다시금, 상술한 바와 같이 유인적 포텐셜 또는 속도가 연산되고 영공간에 투영될 수 있다. 양 예 모두에서, 그 접근법은 매니퓰레이터가 소정의 운동을 발생시키도록 경로들 또는 표면들의 네트워크를 추종하게 만드는 것이다. 세 번째 예로, 1차원의 영공간을 가정하면, 2차원 표면들의 네트워크가 여전히 전체 조인트 공간 또는 그것에 속하는 임의의 부분공간 내에서 규정될 수 있겠지만, 속도 또는 유인적 포텐셜의 영공간으로의 매핑은 네트워크 표면들을 추종함에 있어 제한된 성능을 제공할 수 있다.

[0096] 특정 양태에 있어서, 그 접근법은 조인트 공간 내 또는 툴 팁(또는 매니퓰레이터의 어떤 다른 부분 그리고 하드웨어 또는 소프트웨어 센터 시스템에서 발견되는 것과 같은 원격 중심을 포함할 수 있음)의 카테시안 좌표 공간 내와 같은 포지션 구속조건들을 포함할 수 있다. n 여유 자유도를 갖는 매니퓰레이터에 대해서는, 예컨대 n 개의 구속조건까지의 n 차원 영공간이 동시에 충족될 수 있다. 1차원 구속조건들을 가지는 경우에 대해서는, 이는 한 세트의 구분적 연속 구속조건들을 포함할 수 있다. 하나 이상의 경로(예컨대, 일련의 곡선들)가 카테시안 좌표 공간의 어떠한 조인트 공간에서나 경로의 네트워크를 규정하는 데 이용될 수 있다. 경로의 네트워크는 정적일 수 있으며, 또는 수술 과정 중에는 동적으로 규정될 수 있다. 정적 네트워크 경로는 시동시에 규정될 수 있으며, 또는 복수의 정적 네트워크 경로로부터 사용자 또는 시스템에 의해 선택될 수 있는 한편, 동적 네트워크 경로는 수술 과정 중에 시스템 또는 사용자에 의해 동적으로 규정될 수 있다.

[0097] 일단 카테시안 공간의 에지들에의 액세스를 조장하기 위한 곡선 경로들이 결정되면, 하나 이상의 조인트의 포지션이 하나 이상의 조인트의 소정의 운동을 제공하기 위한 곡선 경로들을 추적하도록, 매니퓰레이터 암의 조인트들의 운동이 연산된다. 일부 실시형태에 있어서, 매니퓰레이터 암의 조인트들은 각각의 경로 세그먼트가 매니퓰레이터를 경로로 유인하도록 생성된 가상의 또는 인공적 포텐셜 필드에 기초하여 곡선 경로들을 추적한다. 그런 다음, 연산된 포텐셜에 의해 발생하는 운동은 카테시안 공간 내에서의 조인트 운동의 소정의 범위를 제공하는 조인트 속도들을 제공하기 위한 영공간 계수의 연산을 위해 영공간으로 투영될 수 있다.

[0098] 도 15-16은 본 발명의 다수의 실시형태에 따라 로봇 수술 시스템의 매니퓰레이터 어셈블리를 재구성하는 방법을 도시하고 있다. 도 15는 전술한 방정식들과 관련하여 환자측 카트 조인트 상태를 제어하기 위한 일반적 알고리즘을 구현하기 위해 필요한 단순 블록도를 도시하고 있다. 도 15의 방법에 의하면, 시스템은: 매니퓰레이터 암의 정기구학(forward kinematics)을 연산하고; 다음으로 방정식 (1)을 이용하여 dx/dt 를 연산하고; 방정식 (5)를 이용하여 dq_{perp}/dt 를 연산하고; 다음으로 방정식 (6)을 이용하여 dq_{perp}/dt 및 자코비안에 의존할 수 있는 z 로부터 dq_{null}/dt 를 연산한다. 연산된 dq_{perp}/dt 및 dq_{null}/dt 로부터, 시스템은 다음으로 각각 방정식 (4) 및 방정식 (3)을 이용하여 dq/dt 및 q 를 연산함으로써, 컨트롤러가 소정의 엔드 이펙터의 상태 및/또는 원격 중심의 위치를 유지하면서 매니퓰레이터의 소정의 재구성을 실행시킬 수 있게 해주는 운동을 제공한다.

[0099] 도 16은 시스템의 예시의 실시형태의 블록도를 도시하고 있다. 소정의 툴 팁 상태를 명령하는 조작 명령에 응답하여, 시스템의 프로세서는 툴 팁의 속도들과 조인트들의 상태들을 결정하고, 그것들로부터 dq_{perp}/dt 가 연산된다. 매니퓰레이터 암의 하나 이상의 조인트의 증가된 조인트 운동의 범위를 제공하기 위해, 시스템은 영공간 내에서의 조인트 운동을 나타내는 일련의 곡선 경로들로서 조인트 공간 내에서의 영직교 운동에 대응되는 곡선 경로들과 조인트 공간의 한계들 또는 에지들 사이의 직교 거리를 증가시키도록 규정되는 일련의 곡선 경로들과 같은, 제어된 운동이 회망되는 조인트들의 부분공간 내에서의 포지션 기반 구속조건들을 결정한다. 그런 다음, dq_{null}/dt 가 조인트 공간 내의 곡선 경로를 따라 연산된 유인적 포텐셜 필드의 사용 등을 통해 포지션 구속조건에 따라 영공간 내에서 조인트들을 운동시키기 위해 연산되며, 이 dq_{null}/dt 는 원하는 대로 영직교 공간 내에서의 하나 이상의 조인트의 증가된 운동의 범위를 제공하는 동시에 시스템의 조인트를 구동시키고 엔드 이펙터의 소정의 운동(또는 상태)를 실행시키기 위한 dq/dt 를 연산하기 위해 dq_{perp}/dt 에 더해질 수 있다.

[0100] 도 17은 본 발명의 양태에 따른 예시의 방법의 플로우 차트를 도시하고 있다. 도 17의 방법은: 하나 이상의 조인트의 소정의 범위의 조인트 운동에 대응되는 조인트 공간 내에서의 한 세트의 포지션 기반 구속조건들을 결정하는 단계; 인공 포텐셜 필드 내에서의 하나 이상의 조인트의 포지션과 구속조건들 사이의 포텐셜을 결정하는 단계; 영직교 공간 내에서의 하나 이상의 조인트의 조인트 운동의 범위를 증가시키도록 결정된 포텐셜을 이용하여 영공간 내에서의 매니퓰레이터 암의 운동을 연산하는 단계; 및 하나 이상의 조인트의 조인트 운동의 범위를 유지 및/또는 증가시키면서 하나 이상의 조인트의 소정의 운동을 실행시키기 위해 연산된 운동에 따라 조인트들

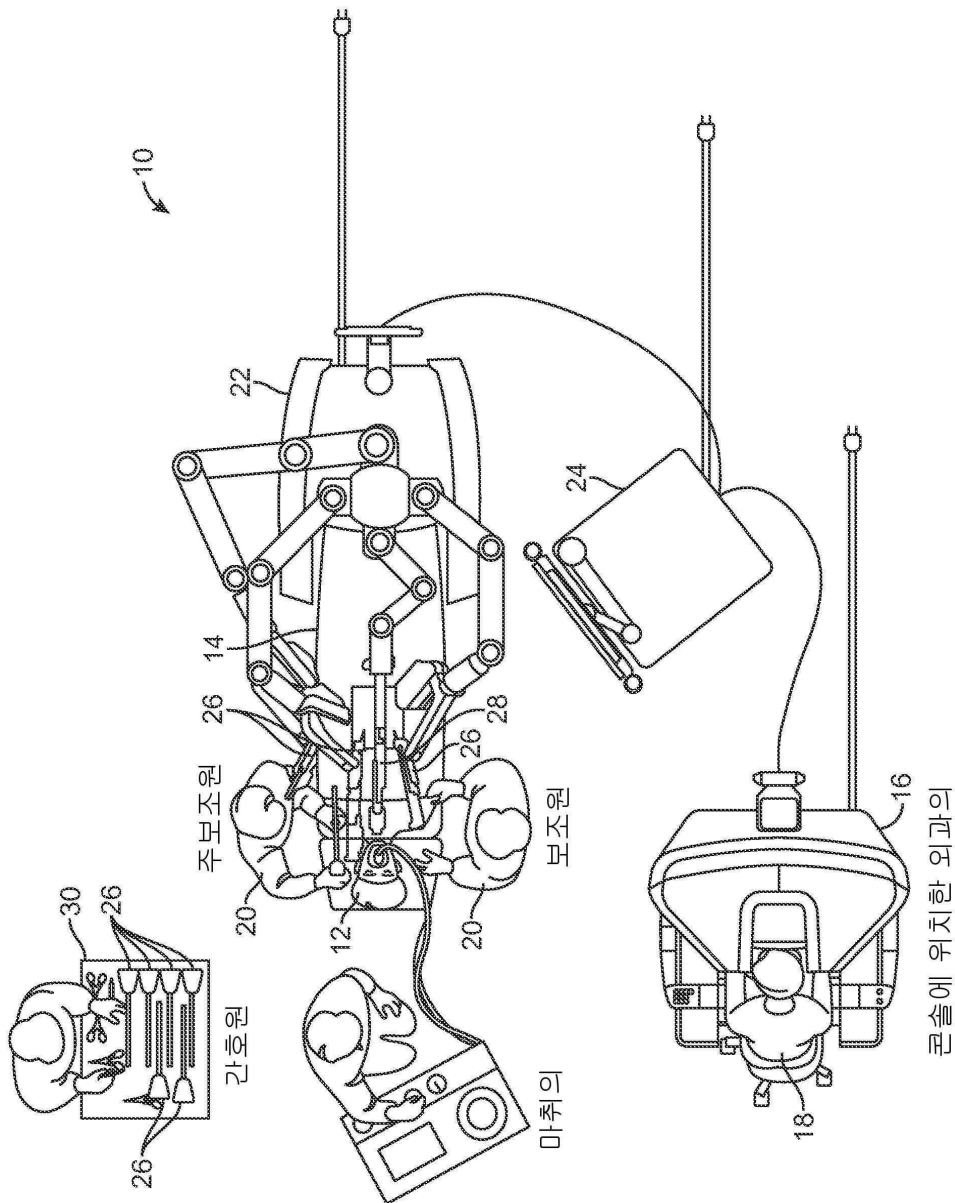
을 구동시키는 단계를 포함한다.

[0101]

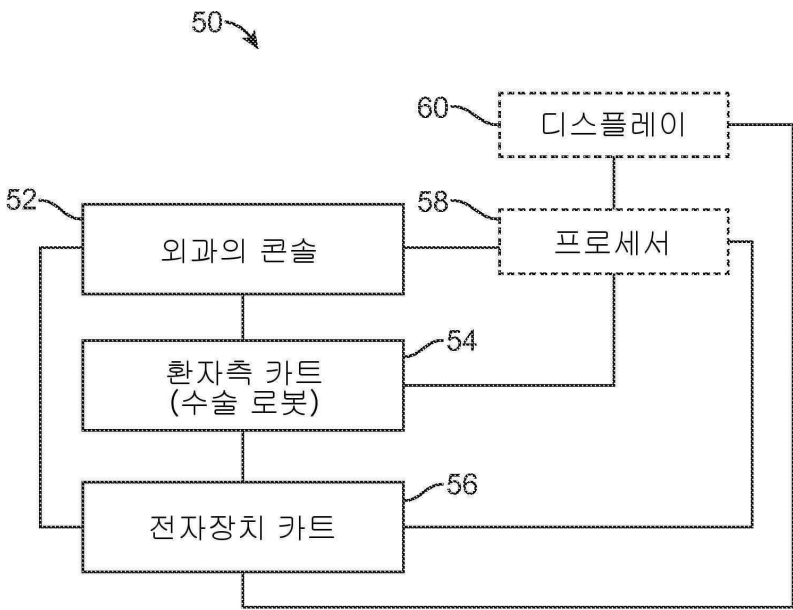
예시의 실시형태들을 명확한 이해를 위해 어느 정도 상세하게 예시의 방법으로 설명하였지만, 여러 가지 개조, 수정 및 변경이 있을 수 있음은 당업자에게 명백할 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는 첨부된 청구범위에 의해서만 한정된다.

도면

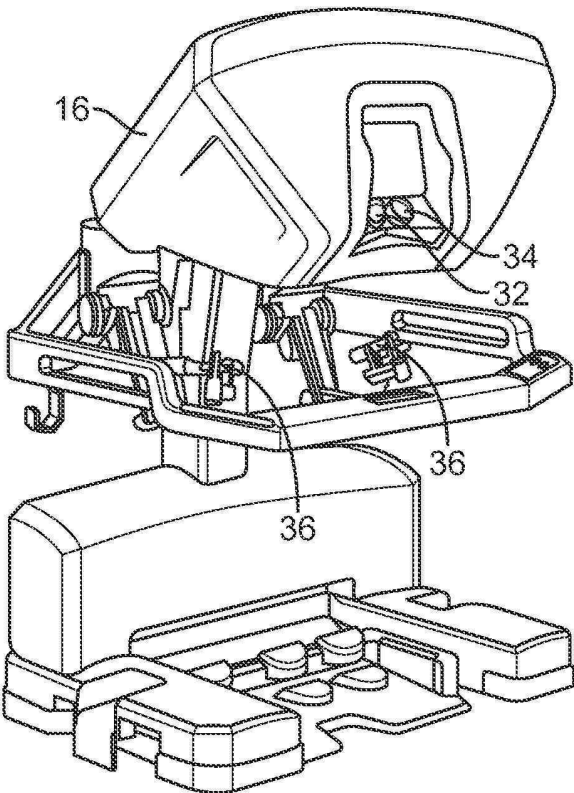
도면 1a



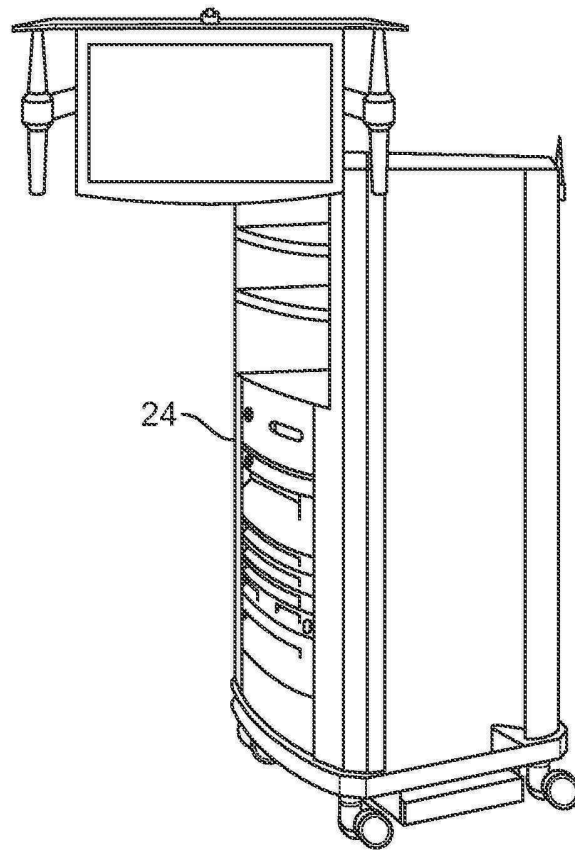
도면1b



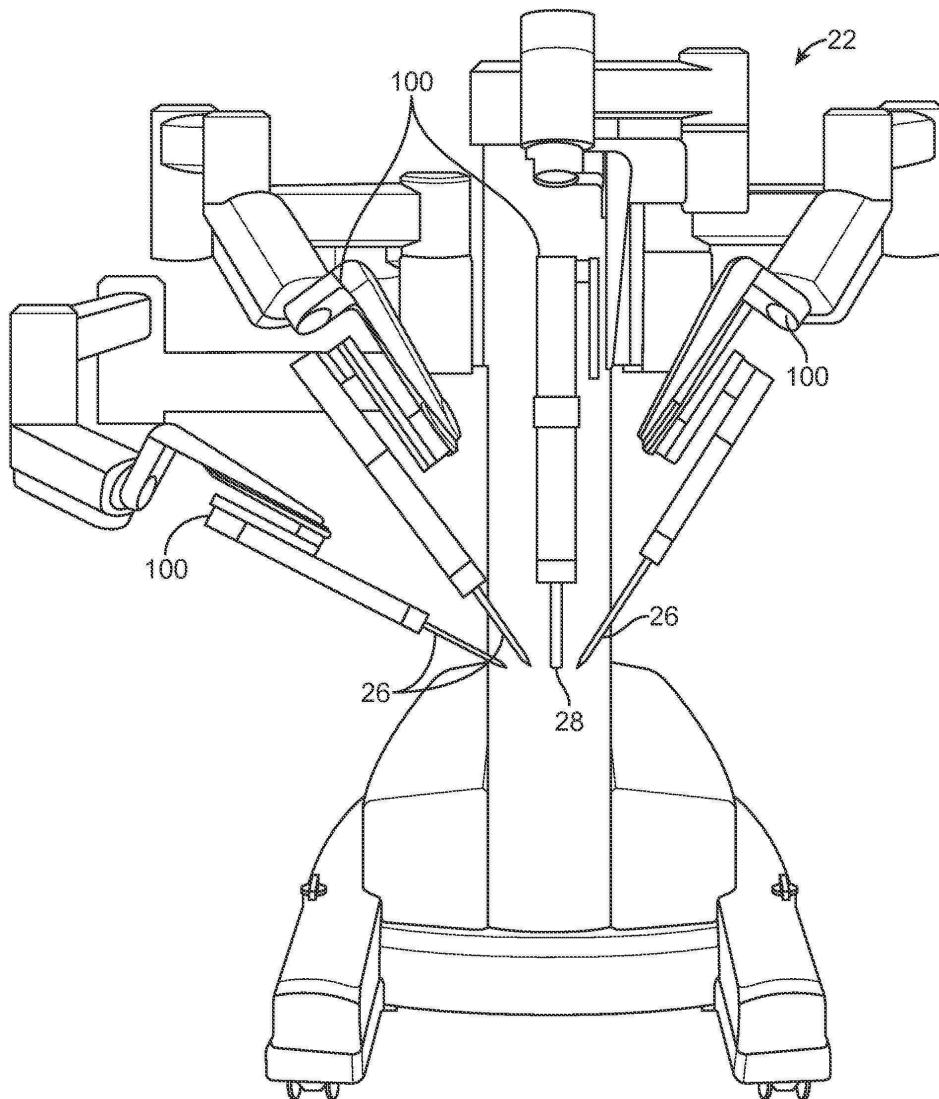
도면2



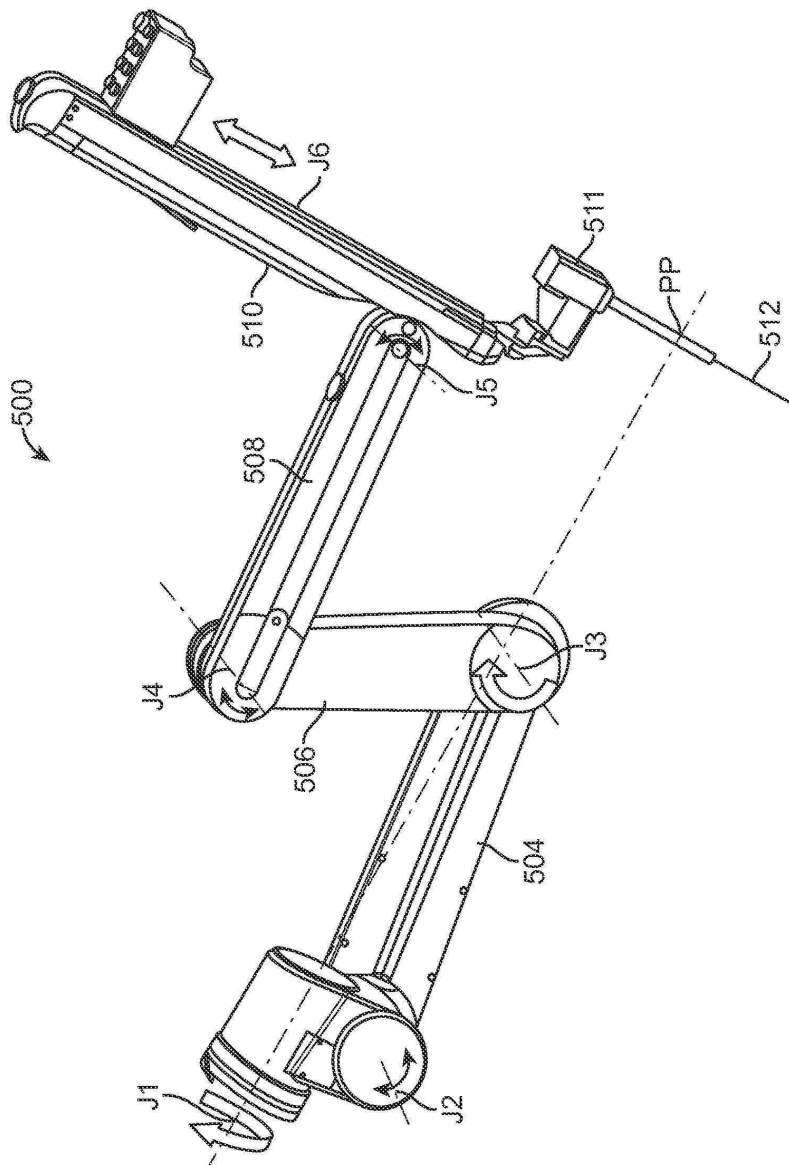
도면3



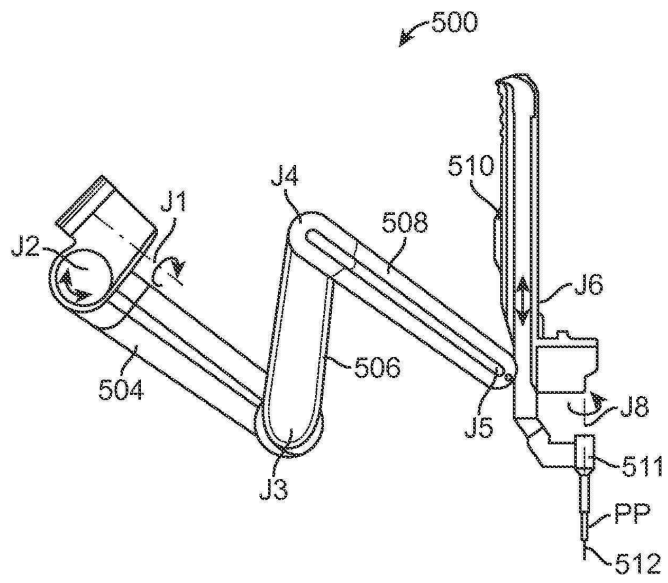
도면4



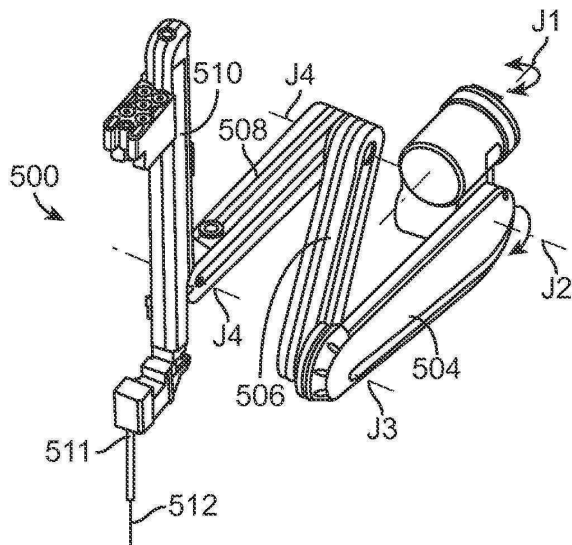
도면5a



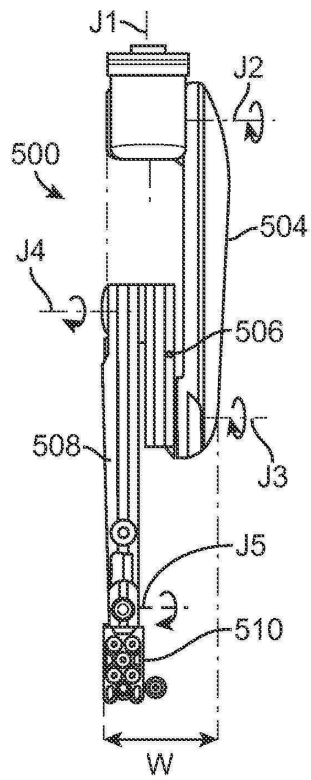
도면5b



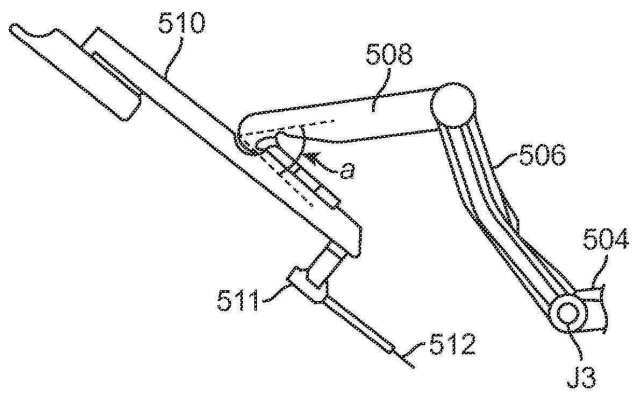
도면5c



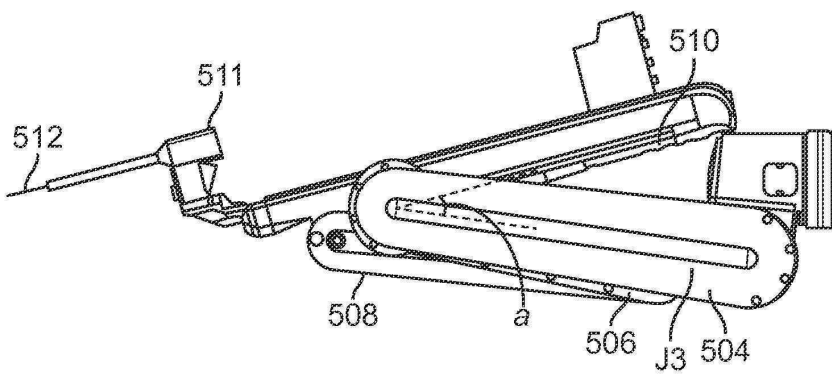
도면5d



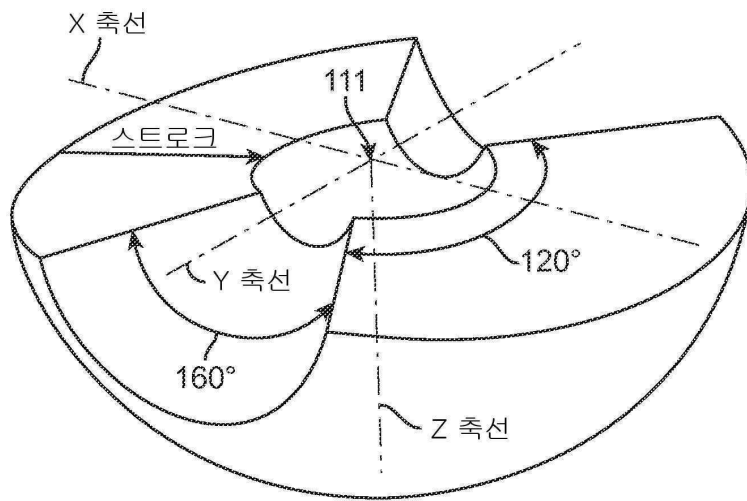
도면6a



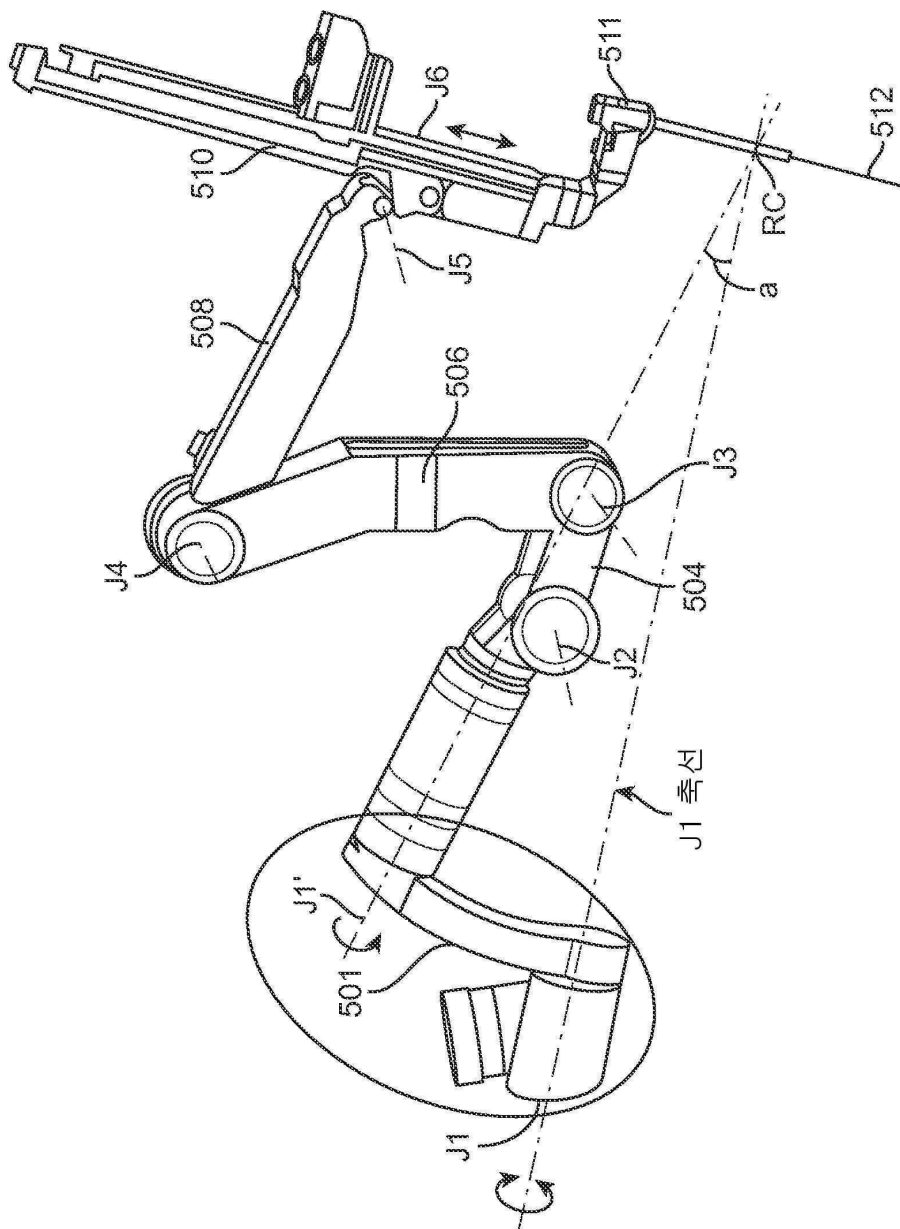
도면6b



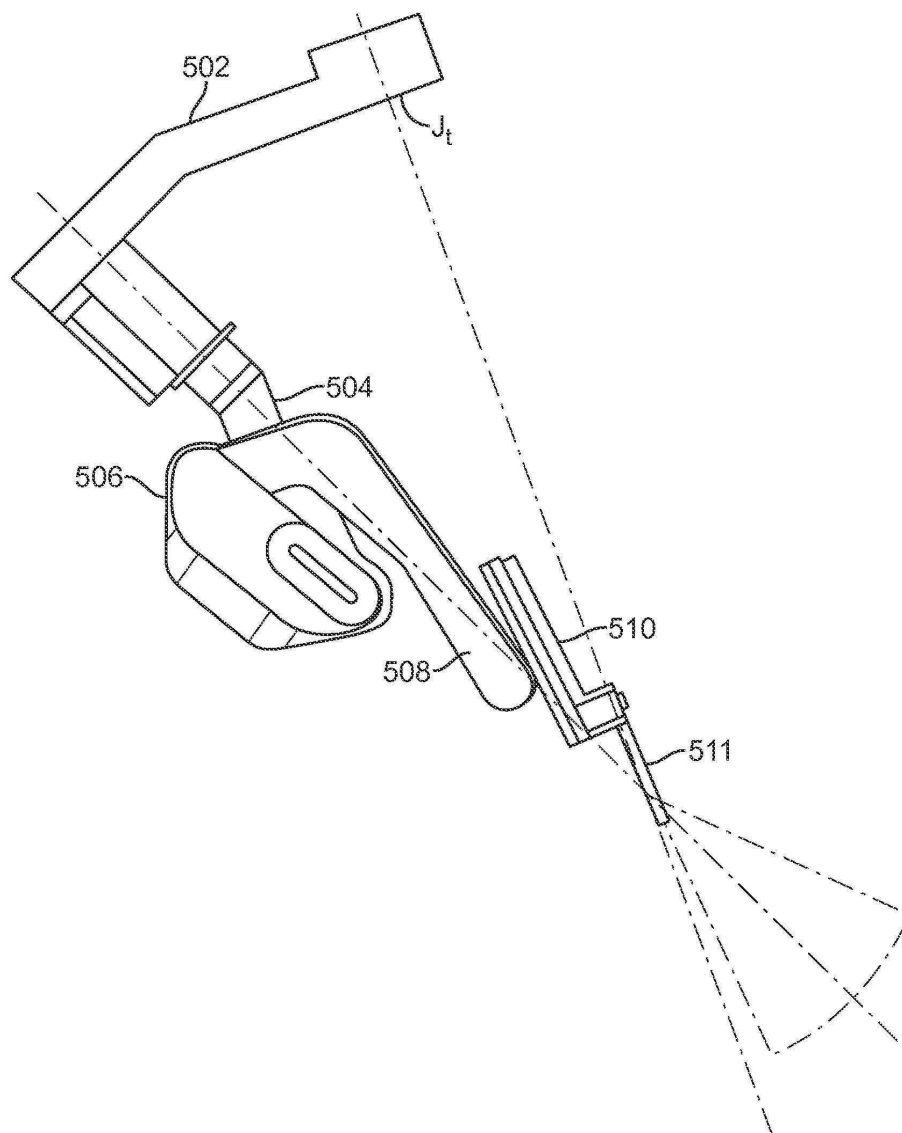
도면6c



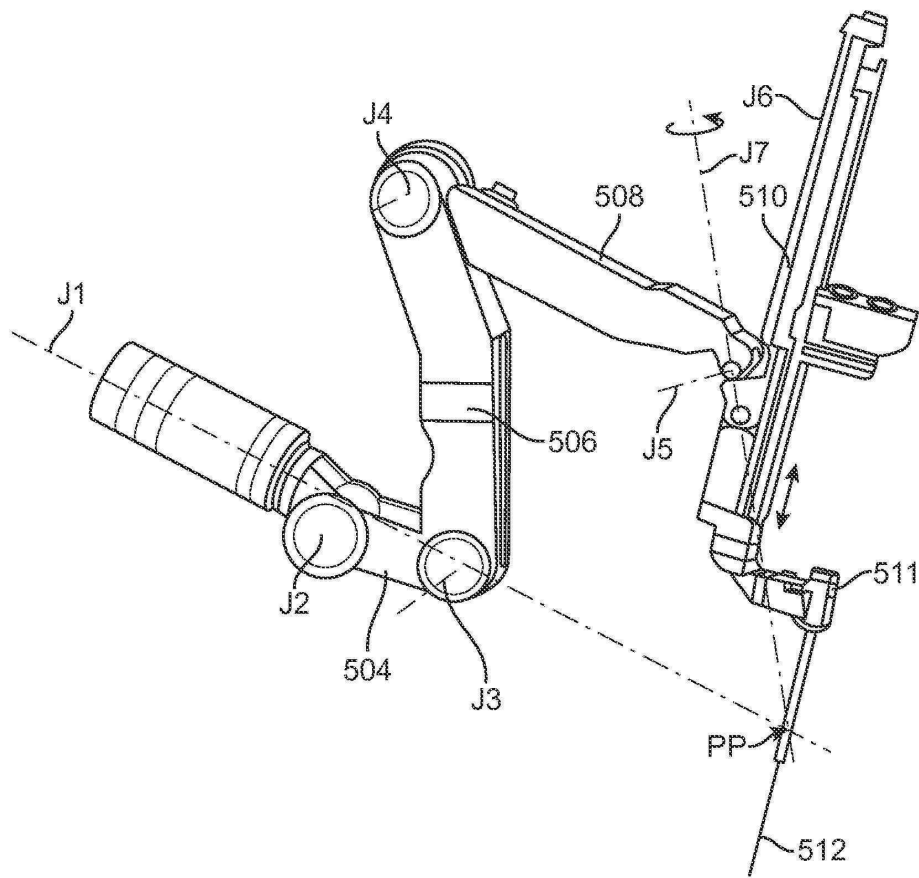
도면7a



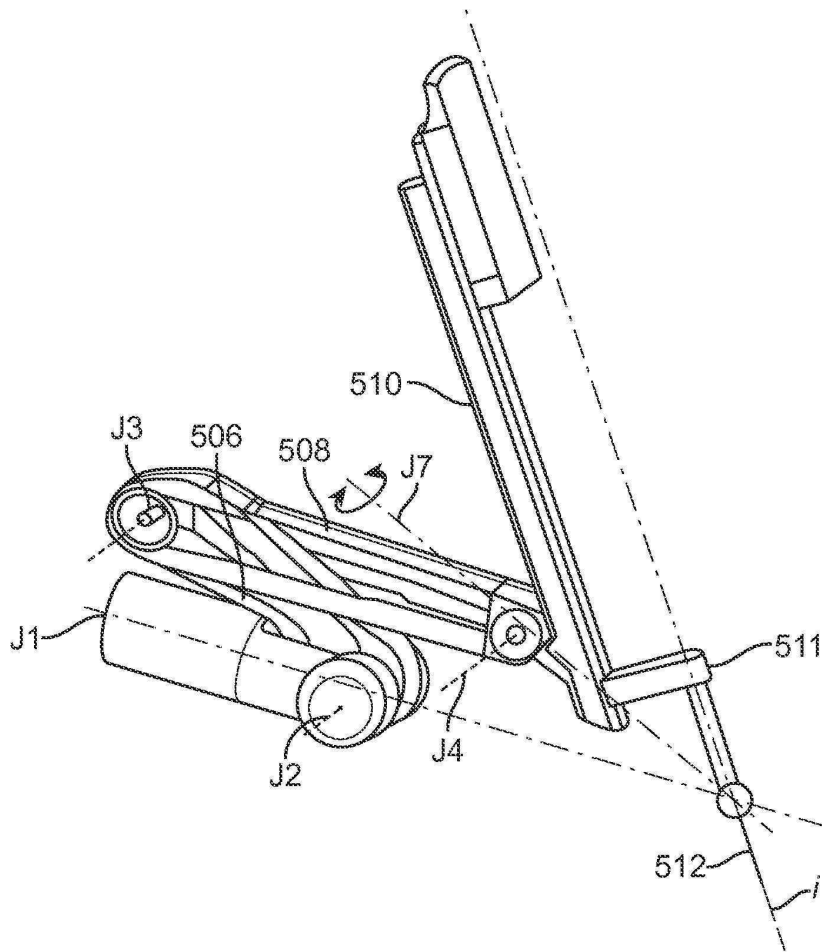
도면 7b



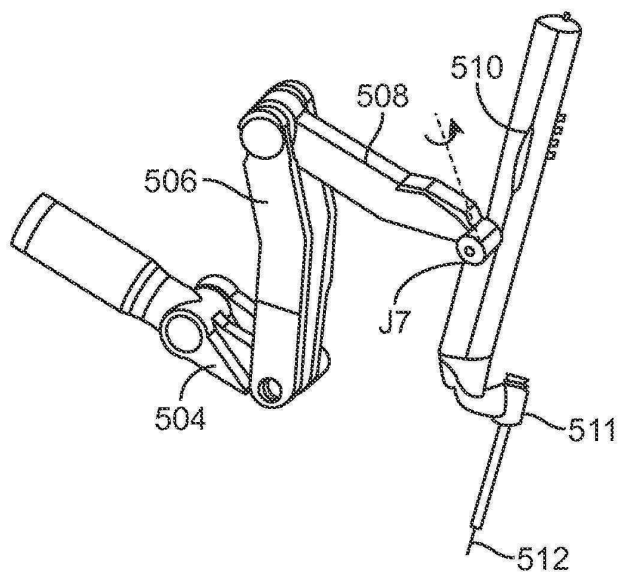
도면8



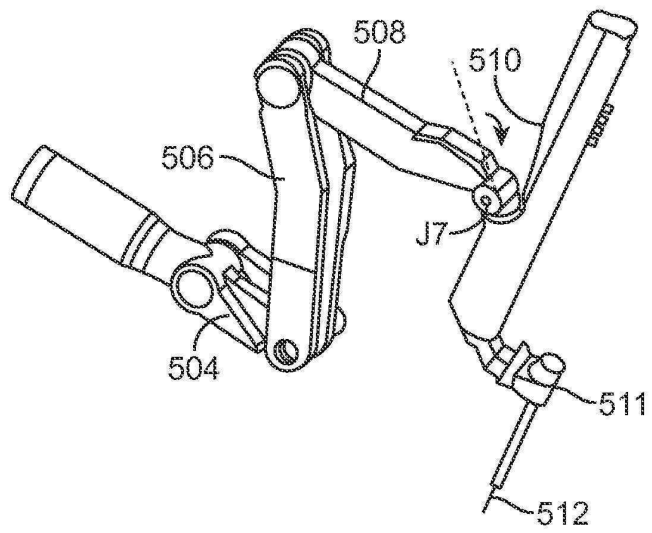
도면9



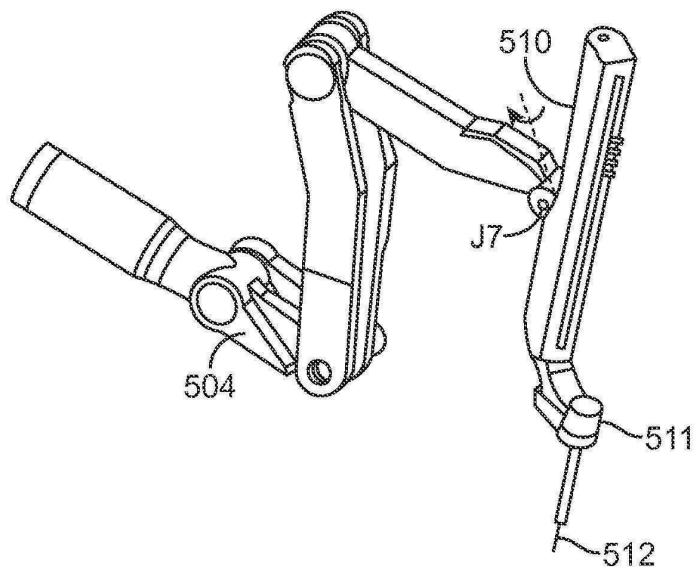
도면10a



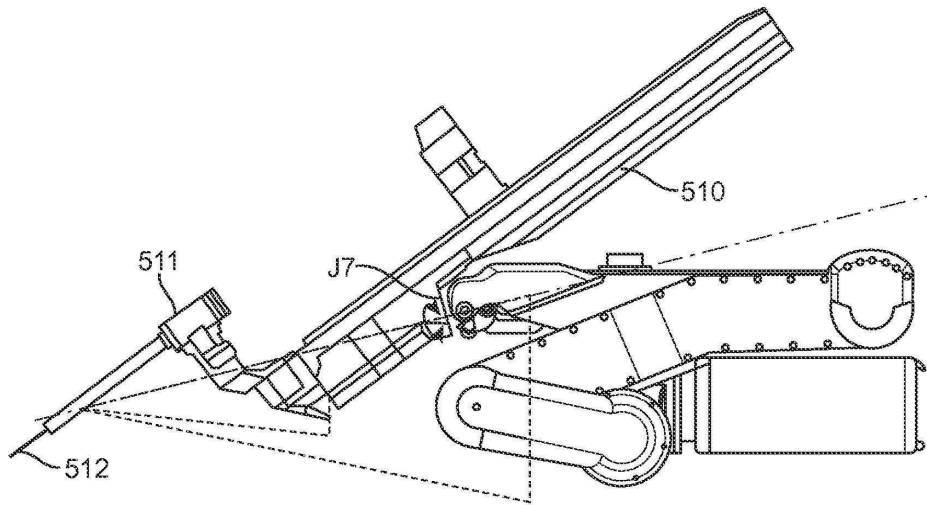
도면10b



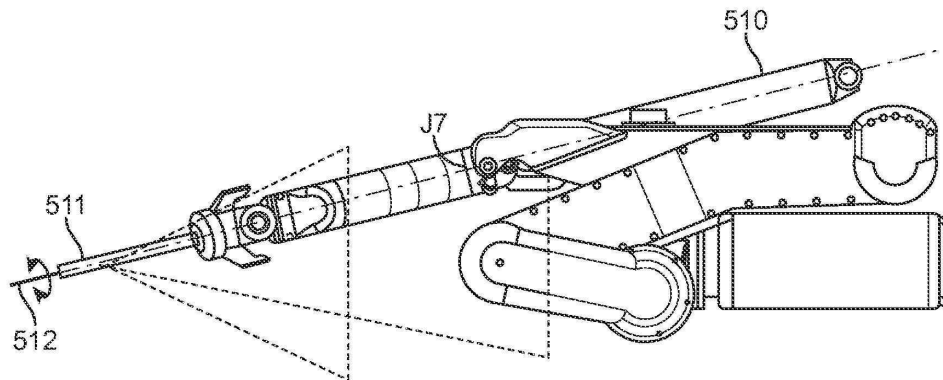
도면10c



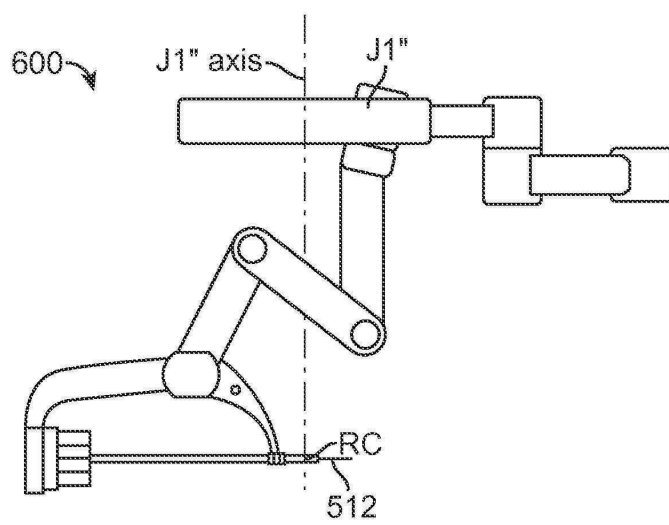
도면11a



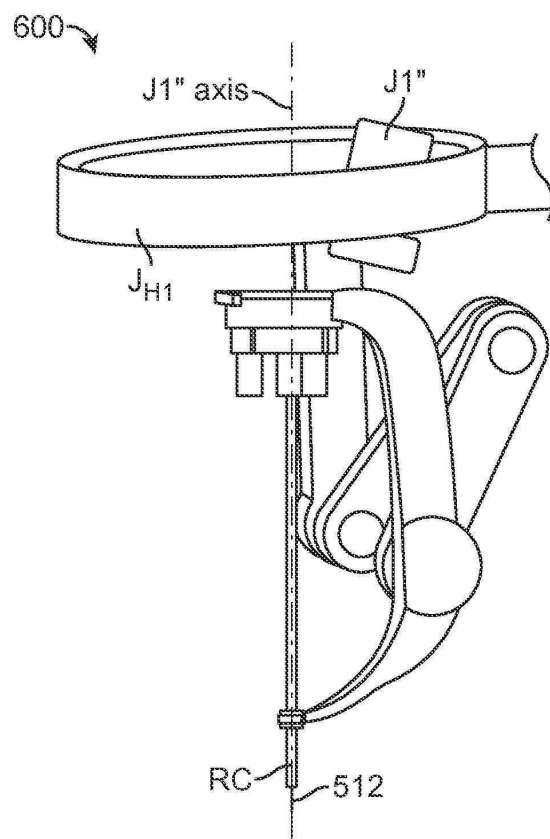
도면11b



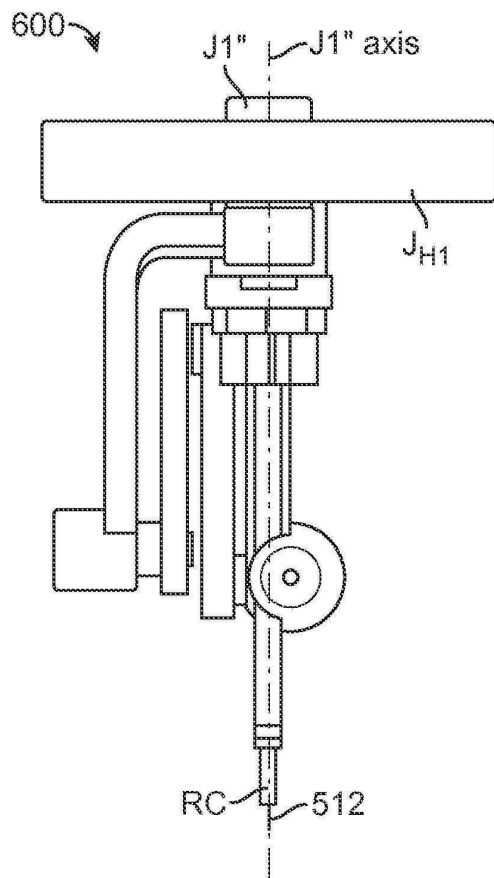
도면12a



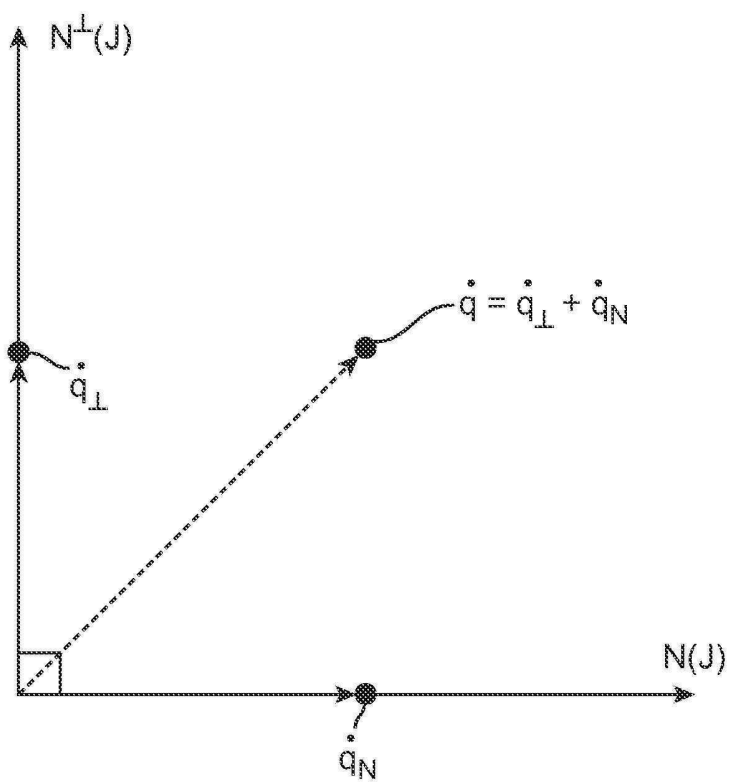
도면12b



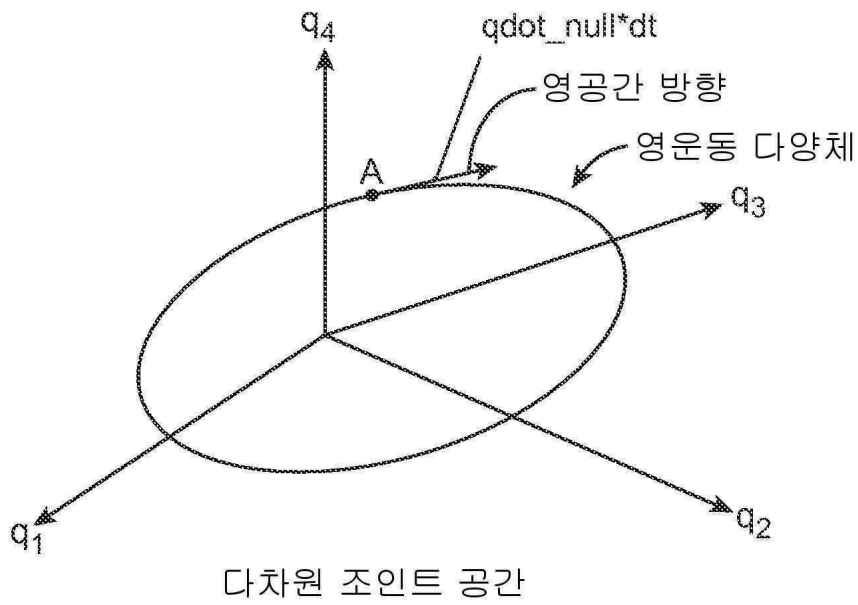
도면12c



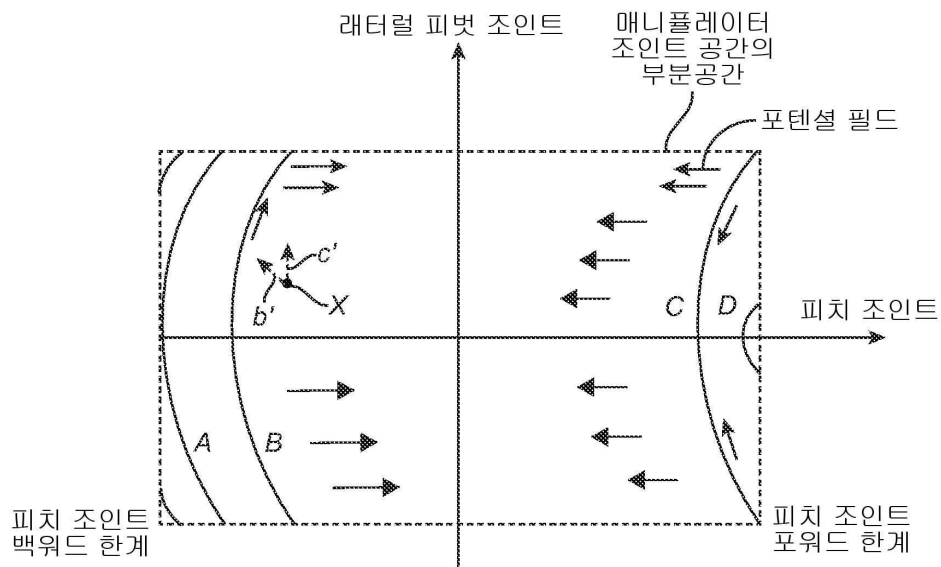
도면13a



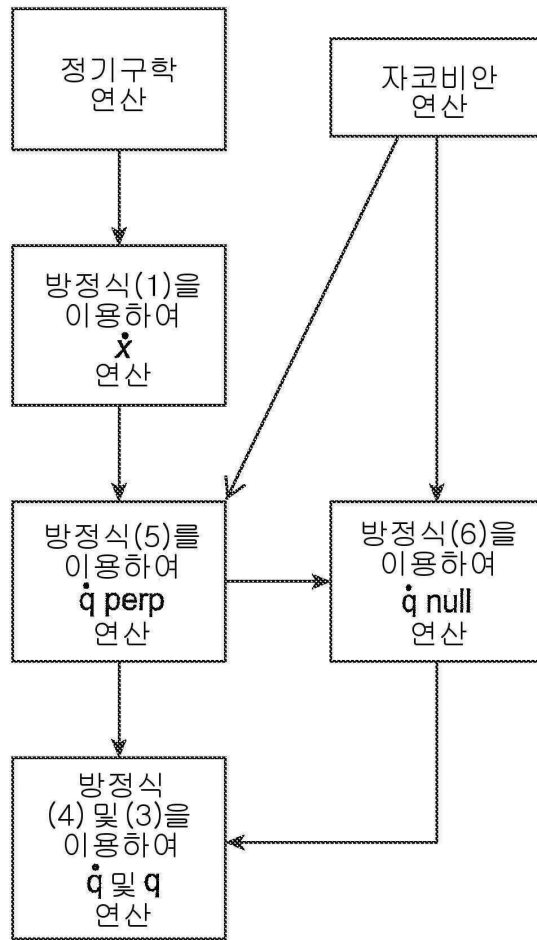
도면13b



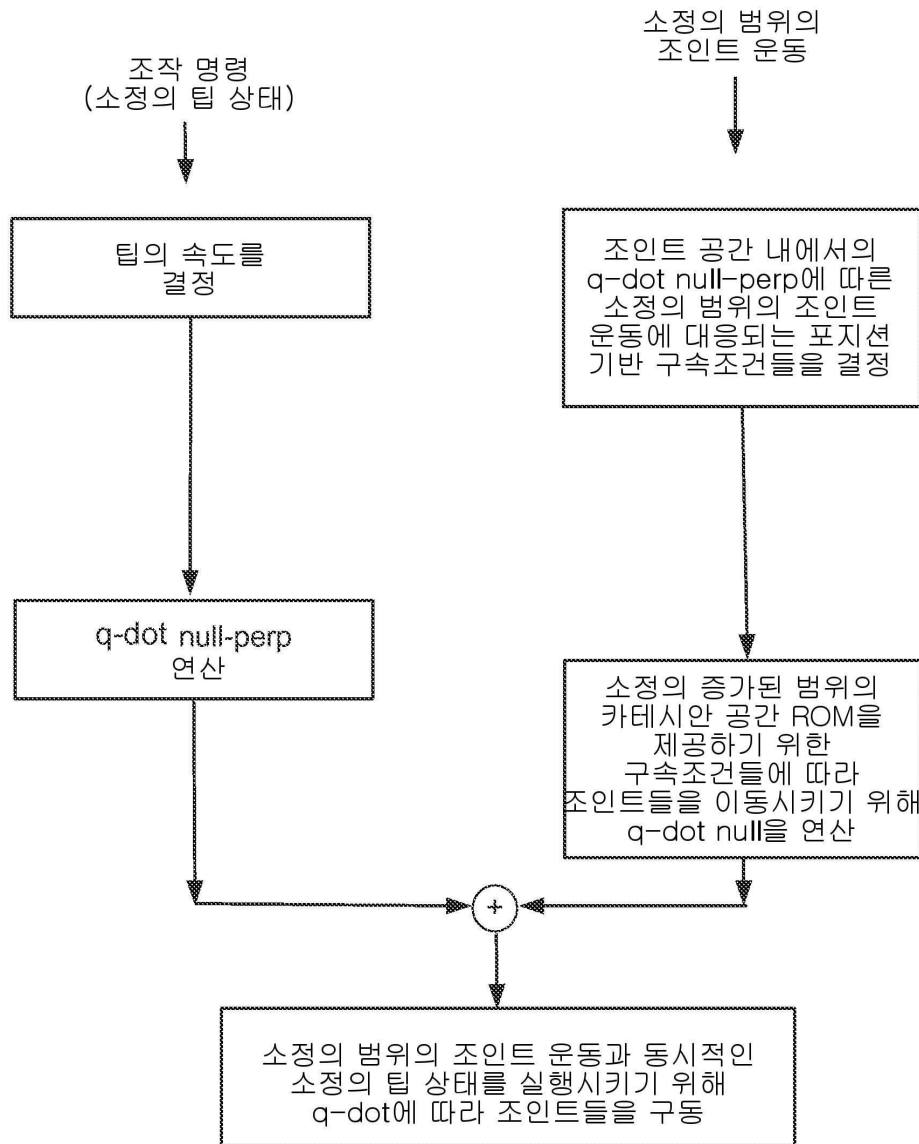
도면14



도면15



도면16



도면17

