



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0074151
(43) 공개일자 2020년06월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 34/30 (2016.01) A61B 34/00 (2016.01)
A61B 34/37 (2016.01) A61B 50/20 (2016.01)
A61B 90/00 (2016.01) A61B 90/50 (2016.01)
A61B 90/57 (2016.01) B25J 9/16 (2006.01)

(52) CPC특허분류

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

(21) 출원번호 10-2020-7013791

(22) 출원일자(국제) 2017년12월13일
심사청구일자 2020년05월14일

(85) 번역문제출일자 2020년05월14일

(86) 국제출원번호 PCT/US2017/066187

(87) 국제공개번호 WO 2019/117896

국제공개일자 2019년06월20일

(71) 출원인

버브 서지컬 인크.

미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아메리카 파크웨이 5490

(72) 발명자

저우, 런빈

미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아메리카 파크웨이 5490

유, 하오란

미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아메리카 파크웨이 5490

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김종선, 이형석

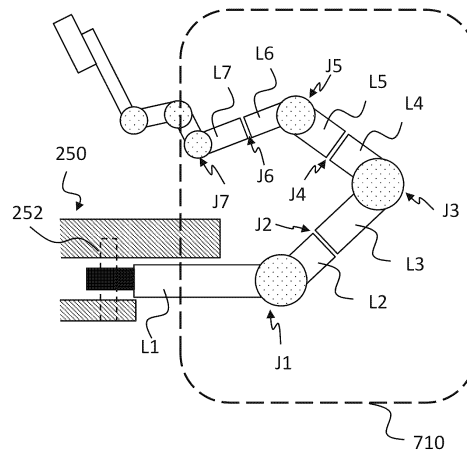
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 로봇 조작기의 위치설정을 위한 제어 모드 및 프로세스

(57) 요약

로봇 수술 시스템에서 로봇 아암을 제어하기 위한 방법은 로봇 아암에 대한 미리결정된 기준 위치에서 기준 평면을 정의하는 단계 - 로봇 아암은 복수의 조인트들을 포함함 -, 및 기준 평면 내에 실질적으로 구축된 일련의 미리결정된 포즈들을 통해 로봇 아암을 안내하기 위해 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도7a



(52) CPC특허분류

A61B 34/76 (2016.02)

A61B 34/77 (2016.02)

A61B 50/20 (2016.02)

A61B 90/03 (2016.02)

A61B 90/50 (2016.02)

B25J 9/1638 (2013.01)

B25J 9/1689 (2013.01)

A61B 2090/5025 (2016.02)

A61B 2090/571 (2016.02)

(72) 발명자

니아 코사리, 시나

미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아
메리카 파크웨이 5490

바카리아, 오마르 제이.

미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아
메리카 파크웨이 5490

시우, 버나드 파이 킨

미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아
메리카 파크웨이 5490

키투크스, 알렉스

미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아
메리카 파크웨이 5490

명세서

청구범위

청구항 1

로봇 수술 시스템에서 로봇 아암을 제어하기 위한 방법으로서,

로봇 아암에 대한 미리결정된 기준 위치에 기준 평면을 정의하는 단계 - 상기 로봇 아암은 복수의 조인트들을 포함함 -; 및

상기 기준 평면 내에 실질적으로 구속된 일련의 미리결정된 포즈들을 통해 상기 로봇 아암을 안내하기 위해 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 일련의 미리결정된 포즈들은 점진적으로 전개되는(unfolded) 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 포함하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 일련의 미리결정된 포즈들은 점진적으로 접히는(folded) 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 포함하는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하여 상기 일련의 미리결정된 포즈들을 통해 상기 로봇 아암을 안내하여 보관 포즈로부터 전이시키는 단계를 더 포함하는, 방법

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하여 상기 일련의 미리결정된 포즈들을 통해 상기 로봇 아암을 안내하여 보관 포즈로 전이시키는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계는 상기 기준 평면에서 작업 공간 가상 고정구를 강제하여(enforce) 상기 로봇 아암을 상기 기준 평면을 향해 바이어스시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계는 상기 적어도 하나의 조인트 상의 단 방향 조인트 공간 가상 고정구를 강제하여 상기 로봇 아암을 상기 기준 평면을 향해 바이어스시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계는 조인트 공간 가상 고정구 내의 상기 적어도 하나의 조인트에서 가상 인력을 생성하여 상기 로봇 아암을 상기 기준 평면을 향해 바이어스시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 일련의 미리결정된 포즈들은 순서화된 시퀀스를 포함하고, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계는 상기 순서화된 시퀀스의 적어도 일부분을 통해 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 전방 및 후방으로 구동하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계는 상기 로봇 아암 상의 외력에 응답하여 상기 적어도 하나의 조인트를 구동하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계는 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나에 중력 보상 토크를 인가하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계는 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나에 마찰 보상 토크를 인가하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 단계는 접히고 전개되는 상기 일련의 미리결정된 포즈들을 통한 미리결정된 궤적에 따라 상기 적어도 하나의 조인트를 구동하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 14

로봇 수술 시스템으로서,

복수의 조인트들을 포함하는 적어도 하나의 로봇 아암;

미리결정된 기준 위치에서 기준 평면을 정의하고, 상기 기준 평면 내에 실질적으로 구속된 일련의 미리결정된 포즈들을 통해 상기 로봇 아암을 안내하기 위해 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동함으로써 상기 로봇 아암의 이동을 제어하도록 구성된 프로세서를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 일련의 미리결정된 포즈들은 점진적으로 전개되는 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 16

제14항에 있어서, 상기 일련의 미리결정된 포즈들은 점진적으로 접히는 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 17

제14항에 있어서, 상기 프로세서는 작업 공간 가상 고정구에 따라 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 18

제14항에 있어서, 상기 프로세서는 조인트 공간 가상 고정구에 따라 상기 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 19

제14항에 있어서, 상기 프로세서는 상기 로봇 아암 상의 외력에 응답하여 상기 적어도 하나의 조인트를 구동하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 20

제14항에 있어서, 상기 프로세서는 상기 일련의 미리결정된 포즈들을 통한 미리결정된 궤적에 따라 상기 적어도 하나의 조인트를 구동하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 로봇 수술 시스템의 분야에 관한 것으로, 보다 상세하게는 로봇 수술 시스템을 제어하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 복강경 수술과 같은 최소-침습 수술(minimally-invasive surgery, MIS)은 외과 시술 동안에 조직 손상을 감소시키도록 의도되는 기법을 수반한다. 예를 들어, 복강경 시술은 전형적으로, 환자 내에 (예컨대, 복부 내에) 다수의 작은 절개부를 생성하는 것, 및 하나 이상의 기구(예컨대, 하나 이상의 도구, 적어도 하나의 카메라, 등)를 절개부를 통해 환자 내로 도입시키는 것을 수반한다. 외과 시술은 이어서, 카메라에 의해 제공되는 시각화의 도움을 받아, 도입된 도구를 사용함으로써 수행된다. 일반적으로, MIS는 환자 반흔형성 감소, 환자 통증 감소, 환자 회복 기간 단축, 및 환자 회복과 연관된 의료 시술 비용의 절감과 같은 다수의 이득을 제공한다.

[0003] MIS는 비로봇(non-robotic) 또는 로봇 시스템으로 수행될 수 있다. 조작자로부터의 명령에 기초하여 기구들을 조작하기 위한 로봇 아암을 포함할 수 있는 종래의 로봇 시스템들은 MIS의 많은 이익들을 제공하면서, 외과 의사에 대한 수요를 감소시킬 수 있다. 그러한 로봇 시스템의 제어는 사용자(예를 들어, 외과 의사 또는 다른 조작자)로부터의 조작 또는 명령을 로봇 시스템의 제어로 변환하는 하나 이상의 사용자 인터페이스 디바이스를 통해 사용자로부터의 제어 입력을 필요로 할 수 있다. 그러한 사용자 인터페이스 디바이스들은 외과 의사 또는 다른 사용자가 원격 위치로부터 로봇 시스템을 동작시킬 수 있게 할 수 있다(예를 들어, 원격 동작(tele-operation) 시).

[0004] 로봇 MIS 시스템의 셋업(예를 들어, 외과 시술 전)은 복잡한 프로세스일 수 있는데, 그 이유는 그러한 시스템을 적절한 셋업을 위해 조정을 요구하는 많은 구성요소들을 포함하기 때문이다. 유사하게, (예를 들어, 외과 시술 후에) 로봇 MIS 시스템의 "테어다운(teardown)", 또는 그의 보관 모드 또는 이송 모드로의 복원이 유사한 이유로 복잡해질 수 있다. 따라서, 로봇 수술 시스템의 수술 전(pre-operative) 셋업 및 수술 후(post-operative) 테어다운을 보조하고 간소화하기 위한 제어 모드 및 프로세스를 갖는 것이 바람직하다.

발명의 내용

[0005] 일반적으로, 일부 변형예들에서, 로봇 수술 시스템에서 로봇 아암을 제어하기 위한 방법은 로봇 아암에 대한 미리결정된 기준 위치에서 기준 평면을 정의하는 단계 - 로봇 아암은 복수의 조인트들을 포함함 -, 및 기준 평면 내에 실질적으로 구속된 일련의 미리결정된 포즈들을 통해 로봇 아암을 안내하기 위해 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 (예를 들어, 하나 이상의 액추에이터들로) 구동하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 일련의 미리결정된 포즈들은, (예를 들어, 로봇 아암의 수술 전 위치설정을 위해, 또는 로봇 아암을 보관 포즈로부터 전이시키기 위해) 점진적으로 전개되는(unfolded) 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스, 또는 (예를 들어, 로봇 아암의 수술 후 위치설정을 위해, 또는 로봇 아암을 보관 포즈로 전이시키기 위해) 점진적으로 접히는(folded) 미리결정된 포즈들을 포함할 수 있다. 다른 예로서, 일련의 미리결정된 포즈들은 로봇 아암의 수술 중(intra-operative) 위치설정에서 구현될 수 있다.

[0006] 일부 변형예들에서, 방법은 로봇 아암을 보관 포즈로부터 기준 평면으로 안내하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 변형예들에서, 일련의 미리결정된 포즈들은 점진적으로 전개되는 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 포함할 수 있다. 또 다른 변형예들에서, 방법은 추가적으로 또는 대안적으로, 보관 포즈로 전이하기 위해 로봇 아암을 기준 평면으로 안내하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 변형예들에서, 일련의 미리결정된 포즈들은 점진적으로 접히는 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 포함할 수 있다. 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 통해 로봇 아암을 안내하기 위해 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동함에 있어서, 적어도 하나의 조인트는 순서화된 시퀀스의 적어도 일부분을 통해 전방으로 및/또는 후방으로 구동될 수 있다.

[0007] 로봇 아암에 대한 안내의 상이한 변형예들이 제공될 수 있다. 일부 변형예들에서, 로봇 아암을 기준 평면 내에서 안내하기 위해 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 경우에, 복수의 조인트들 중 적어도 하나는 사용자가 로봇 아암을 수동으로 조작할 때 사용자-인가 힘과 같은 로봇 아암에 대한 외력에 응답하여 구동될 수 있다. 예를 들어, 복수의 조인트들 중 적어도 하나는 중력 보상 토크 및/또는 마찰 보상 토크를 인가하도록 구동될 수 있다. 일부 변형예들에서, 로봇 아암을 기준 평면 내에서 안내하기 위해 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하는 경우에, 기준 평면 내에 로봇 아암(또는 그의 선택된 지점들)을 실질적으로 구속하기 위해, 복수의 조인트들 중 적어도 하나는 기준 평면에 정의된 작업 공간 가상 고정구를 강제하도록(enforce) 구동될 수 있다. 안내를 위한 다른 프로세스들은, 복수의 조인트들 중 적어도 하나가 적어도 하나의 조인트 상에 단방향 조인트 공간 가상 고정구를 강제하도록 구동될 수 있도록, 조인트 공간 가상 고정구를 강제하는 단계, 및/또는 로

봇 아암을 기준 평면을 향해 바이어스시키고 기준 평면 내에 로봇 아암(또는 그의 선택된 지점들)을 실질적으로 구속하기 위해 조인트 공간 가상 고정구 내의 적어도 하나의 조인트에 가상 인력을 생성하는 단계를 포함한다. 또한, 방법은, 일부 변형예들에서, 일련의 미리결정된 포즈들을 통한 미리결정된 궤적에 따라 로봇 아암 내의 적어도 하나의 조인트를 구동하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 일반적으로, 일부 변형예들에서, 로봇 수술 시스템은 복수의 조인트들을 포함하는 적어도 하나의 로봇 아암, 및 미리결정된 기준 위치에서 기준 평면을 정의하고, 기준 평면 내에 실질적으로 구속된 일련의 미리결정된 포즈들을 통해 로봇 아암을 안내하기 위해 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동함으로써, 외과 시술 전 또는 후에 로봇 아암의 이동을 제어하도록 구성된 프로세서를 포함한다.

[0009] 전술된 방법들과 유사하게, 일부 변형예들에서, 일련의 미리결정된 포즈들은 (예를 들어, 수술 전 프로세스를 위해) 점진적으로 전개되는 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 포함할 수 있는 한편, 일부 변형예들에서, 일련의 미리결정된 포즈들은 (예를 들어, 수술 후 프로세스를 위해) 점진적으로 접히는 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 포함할 수 있다.

[0010] 이러한 변형예들에서, 프로세서는 로봇 아암을 다양한 방식들 중 임의의 방식으로 안내하기 위해 로봇 아암의 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 프로세서는 작업 공간 가상 고정구 및/또는 조인트 공간 가상 고정구에 따라 조인트들 중 적어도 하나를 (예를 들어, 하나 이상의 액추에이터들로) 구동하도록 구성될 수 있다. 다른 예로서, 프로세서는 로봇 아암 상의 외력(예를 들어, 로봇 아암을 수동으로 조작하고 있는 사용자에게 의해 인가됨)에 응답하여 적어도 하나의 조인트를 구동하고/하거나 로봇 아암의 이동을 보조하기 위해 중력 보상 및 마찰 보상 중 적어도 하나를 적어도 하나의 조인트에 제공하도록 구성될 수 있다. 또 다른 예로서, 프로세서는 일련의 미리결정된 포즈들을 통한 미리결정된 궤적에 따라 적어도 하나의 조인트를 구동하도록 구성될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1a는 로봇 수술 시스템 및 외과 의사 콘솔을 갖는 수술실 배열의 일례를 도시한다. 도 1b는 로봇 아암 조작기 상의 기구 드라이버의 하나의 예시적인 변형예의 개략도이다.

도 2a는 환자 테이블에 결합된, 로봇 아암 조작기 상의 기구 드라이버의 다른 예시적인 변형예의 개략도이다. 도 2b는 로봇 아암의 하나의 예시적인 변형예의 조인트 모듈들의 작동을 제어하기 위한 예시적인 제어 시스템 셋업의 개요도이다.

도 3a는 로봇 수술 시스템에서 로봇 아암을 제어하기 위한 방법의 예시적인 변형예의 흐름도이다. 도 3b 및 도 3c는 조인트 레벨 상의 로봇 아암을 제어하기 위한 조인트 공간 가상 고정구들의 예시적인 변형예들의 개략도들이다.

도 4a는 로봇 수술 시스템에 대한 외과 시술 전의 예시적인 작업흐름의 흐름도이다. 도 4b는 로봇 수술 시스템에 대한 외과 시술 후의 예시적인 작업흐름의 흐름도이다.

도 5a 및 도 5b는 각각 환자 테이블 아래의 보관 포즈의 예시적인 변형예에서의 로봇 아암들의 개략적 측면도 및 평면도이다.

도 6a 및 도 6b는 각각 예시적인 기준 위치에서의 테이블 이탈(table clear) 포즈의 예시적인 변형예로 이동하는 로봇 아암의 개략적 측면도 및 평면도이다. 도 6c는 예시적인 기준 평면 상으로 회전하는 로봇 아암의 예시적인 개략적 측면도이다.

도 7a 및 도 7b는 예시적인 기준 평면 내에서의 상이한 포즈들로 이동가능한 로봇 아암의 예시적인 개략적 측면도이다.

도 8a 내지 도 8c는 예시적인 기준 평면 내에서의 상이한 온-평면(on-plane) 포즈들의 예시적인 변형예들이다. 도 8d는 멸균 드레이프로 덮인 로봇 아암의 드레이프 포즈의 개략도이다.

도 9는 로봇 아암에 대한 궤적 추종 모드를 구현하는 제어 시스템의 예시적인 변형예를 예시하는 다이어그램이다.

도 10a 및 도 10b는 로봇 아암에 대한 가상 고정구들의 조합을 구현하는 제어 시스템의 예시적인 변형예를 예시하는 다이어그램들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 본 발명의 다양한 양태 및 변형의 비제한적인 예가 본 명세서에 기술되고 첨부 도면에 예시된다.
- [0013] 로봇 수술 시스템 개요
- [0014] 일반적으로, 도 1a에 도시된 바와 같이, 로봇 시스템(150)은 수술 플랫폼(예를 들어, 테이블, 침대, 카트 등)에 위치한 하나 이상의 로봇 아암들(160)을 포함할 수 있으며, 엔드 이펙터(end effector) 또는 수술 도구가 외과 시술을 실행하기 위해 로봇 아암들(160)의 원위(distal) 단부에 부착된다. 예를 들어, 로봇 시스템(150)은 도 1b의 예시적인 개략도에 도시된 바와 같이, 수술 플랫폼에 결합되는 적어도 하나의 로봇 아암(160), 및 일반적으로 로봇 아암(160)의 원위 단부에 부착되는 기구 드라이버(170)를 포함할 수 있다. 기구 드라이버(170)의 단부에 결합된 캐논리(180)가 수술 기구(190)(예를 들어, 엔드 이펙터, 카메라 등)를 수용 및 안내할 수 있다. 추가로, 로봇 아암(160)은 수술 기구(190)를 작동시키는 기구 드라이버(170)를 위치 및 배향시키도록 작동되는 복수의 링크들을 포함할 수 있다. 멸균 드레이프(152) 또는 다른 멸균 포장(sterile barrier)이 비-멸균 구성요소(예를 들어, 로봇 아암(160) 및 기구 드라이버(170))와 멸균 구성요소(예를 들어, 캐논리(180)) 사이에 개재되어, (예를 들어, 비-멸균 구성요소로부터의 오염에 대해 보호하기 위해) 환자를 위한 멸균 영역을 유지하는 것을 도울 수 있다.
- [0015] 사용자(예컨대, 외과 의사 또는 다른 조작자)는 사용자 콘솔(100)을 사용하여 로봇 아암(160) 및/또는 수술 기구를 원격으로 조작할 수 있다(예를 들어, 원격-동작). 사용자 콘솔(100)은, 도 1a에 도시된 바와 같이, 로봇 시스템(150)과 동일한 시술실에 위치될 수 있다. 다른 실시예들에서, 사용자 콘솔(100)은 인접한 또는 근처의 방에 위치될 수 있거나, 또는 상이한 건물, 도시, 또는 국가 등의 원격 위치로부터 원격-동작될 수 있다.
- [0016] 일례에서, 사용자 콘솔(100)은 좌석(110), 발-작동식 제어부(120), 하나 이상의 핸드헬드 사용자 인터페이스 디바이스(122), 및 예컨대, 환자 내부의 수술 부위의 뷰를 디스플레이하도록 구성된 적어도 하나의 사용자 디스플레이(130)를 포함한다. 예를 들어, 도 1c에 도시된 예시적인 사용자 콘솔에 도시된 바와 같이, 좌석(110)에 위치되고 사용자 디스플레이(130)를 관찰하는 사용자가 발-작동식 제어부(120) 및/또는 핸드헬드 사용자 인터페이스 디바이스를 조작하여 로봇 아암(160) 및/또는 수술 기구를 원격으로 제어할 수 있다. 사용자 콘솔은, 일부 변형예들에서, 일반적으로 외과 시술 동안 시트(110)에 위치한 사용자의 팔에 지지를 제공하도록 구성될 수 있는 하나 이상의 팔 지지대(140)(예를 들어, 좌측 팔 지지대 및 우측 팔 지지대)를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 팔 지지대(140)는 사용자의 팔을 위한 인체공학적 휴식 표면을 제공할 수 있으며, 이에 의해 피로를 감소시킬 수 있다. 팔 지지대(140)의 다른 예시적인 기능은 본 명세서의 다른 곳에 기술되어 있다.
- [0017] 예시적인 시술 또는 수술 동안, 환자는 멸균 방식으로 준비되고 드레이핑되며, 마취가 달성된다. (예를 들어, 환자의 절개와 함께) 수술 부위에 대한 초기 접근이 수행될 수 있다. 일단 접근이 완료되면, 로봇 시스템의 초기 위치설정 및/또는 준비가 수행될 수 있다(예를 들어, 본 명세서에 추가로 설명되는 바와 같음). 외과 시술 동안, 사용자 콘솔(100) 내의 외과 의사 또는 다른 사용자는 발-작동식 제어부(120) 및/또는 사용자 인터페이스 디바이스(122)를 이용하여 다양한 엔드 이펙터 및/또는 영상 시스템을 조작하여 시술을 수행할 수 있다. 장기를 견인하는 것, 또는 하나 이상의 로봇 아암(160)을 수반하는 도구 교환 또는 수동 재위치설정을 수행하는 것을 포함하지만 이로 제한되지 않는 작업을 수행할 수 있는 멸균-수술복 착장 직원에 의해 수동 보조가 또한 시술 테이블에서 제공될 수 있다. 사용자 콘솔(100)에서 외과 의사를 보조하기 위해 비-멸균 직원이 또한 존재할 수 있다. 로봇 시스템(150) 및/또는 사용자 콘솔(100)은, 시술 또는 수술이 완료될 때 로봇 시스템(150) 세팅 및/또는 멸균, 및/또는 예를 들어 사용자 콘솔(100)을 통한 건강관리 기록 입력 또는 출력 - 이는 전자물이거나 인쇄물(hard copy)일 수 있음 -을 포함하지만 이들로 제한되지 않는 하나 이상의 수술 후 절차를 용이하게 하는 상태로 구성되거나 세팅될 수 있다.
- [0018] 도 1a에서, 로봇 아암(160)은 테이블-장착식 시스템과 함께 도시되지만, 다른 실시예에서, 로봇 아암은 카트, 천장 또는 측벽, 또는 다른 적합한 지지 표면에 장착될 수 있다. 로봇 시스템(150), 사용자 콘솔(100) 및 임의의 다른 디스플레이들 사이의 통신은 유선 및/또는 무선 연결부(들)를 통한 것일 수 있다. 임의의 유선 연결부들은 옵션적으로 바닥 및/또는 벽 또는 천장 내에 내장될 수 있다. 사용자 콘솔(100)과 로봇 시스템(150) 사이의 통신은 유선 및/또는 무선일 수 있고, 독점적일 수 있고/있거나 다양한 데이터 통신 프로토콜들 중 임의의 것을 사용하여 수행될 수 있다. 또 다른 변형예들에서, 사용자 콘솔(100)은 통합된 디스플레이(130)를 포함하지 않지만, 인터넷 또는 네트워크를 통해 액세스가능한 원격 디스플레이들을 포함하는 하나 이상의 일반 디스플레이들로 출력하도록 연결될 수 있는 비디오 출력을 제공할 수 있다. 비디오 출력 또는 피드는 또한, 프라이버

시를 보장하기 위해 암호화될 수 있고, 비디오 출력의 전부 또는 부분이 서버 또는 전자 건강관리 기록 시스템에 저장될 수 있다.

[0019] 다른 예들에서, 예를 들어, 추가의 수술 기구를 제어하기 위해 그리고/또는 일차 사용자 콘솔에서 하나 이상의 수술 기구를 제어하기 위해, 추가의 사용자 콘솔(100)이 제공될 수 있다. 이는, 예를 들어, 외과 의사가 외과 대학생 및 수련의와 함께 하는 외과 시술 동안 주도하거나(take over) 테크닉을 설명하도록, 또는 다수의 외과 의사들이 동시에 또는 협조적인 방식으로 참여할 필요가 있는 복합적 수술 동안 보조하도록 허용할 것이다.

[0020] 테이블 및 로봇 아암

[0021] 일반적으로, 전술된 바와 같이, 로봇 수술 시스템에서의 하나 이상의 로봇 아암은 테이블, 침대, 카트 등과 같은 수술 플랫폼에 위치될 수 있다. 예를 들어, 도 2a에 도시된 바와 같이, 로봇 아암(200)의 하나의 예시적인 변형예가 결합 배열(260)을 통해 테이블(250)에 결합될 수 있다. 결합 배열(260)은 로봇 아암(200)이 테이블(250)의 표면에 대해 측방향으로(도 2a의 배향에 도시된 바와 같이 페이지 내외로) 피봇 또는 이동하는 것을 가능하게 할 수 있다. 예를 들어, 결합 배열(260)은 테이블(250)에 결합된 핀(252), 및 핀(252)에 회전가능하게 결합되어 피봇 조인트 또는 핀 조인트를 형성하는 결합 링크(L0)를 포함할 수 있다. 결합 배열(260)은 핀(252) 주위의 작동가능한 조인트를 통해 테이블(250)에 대한 로봇 아암(200)의 전동식(powered) 이동을 가능하게 하도록 구성된 액추에이터(예를 들어, 모터 및 기어트레인)를 더 포함할 수 있다. 결합 배열(260)은 테이블(250)에 대한 로봇 아암(200)의 위치 또는 배향을 측정하도록 구성된, 결합 배열(260) 내의 액추에이터에 결합된 인코더 또는 다른 적합한 각도 센서와 같은 적어도 하나의 위치 센서를 포함할 수 있다. 또한, 일부 변형예들에서, 테이블(250)에 대한 로봇 아암(200)의 상대적 이동을 선택적으로 저지하기 위해 결합 배열(260) 내에 하나 이상의 브레이크가 포함될 수 있다.

[0022] 로봇 아암(200)이 피봇가능한 결합 배열을 통해 테이블(250)에 결합되는 것으로 본 명세서에서 주로 설명되지만, 다른 변형예들에서, 로봇 아암(200)은 추가적으로 또는 대안적으로 트랙, 핀-인-슬롯(pin-in-slot), 또는 다른 적합한 메커니즘들과 같은 종방향 또는 측방향 이동을 용이하게 하는 메커니즘들을 포함하지만 이로 제한되지 않는 다른 종류의 메커니즘들로 환자 테이블에 결합될 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0023] 로봇 아암(200)은 다수의 링크(아암 세그먼트), 및 인접 링크들 사이의 상대적 이동을 구동 또는 조절하는 다수의 작동식(actuated) 조인트 모듈을 포함할 수 있다. 각각의 조인트 모듈은 아암 링크들을 이동시키기 위한 액추에이터, 기어트레인(예를 들어, 고조파 드라이브), 인코더, 토크 센서, 및/또는 다른 적합한 액추에이터, 트랜스미션 등, 및/또는 위치 및/또는 토크 피드백을 검출하기 위한 적합한 센서를 포함할 수 있다. 예를 들어, 그러한 피드백은 로봇 아암을 동작시키는 제어 방식들에 입력을 제공하는 데 사용될 수 있다. 하나 이상의 조인트 모듈은 예컨대 로봇 아암을 특정 포즈 또는 구성으로 유지하기 위해, 인접 링크들의 상대적 이동을 저지할 수 있고/있거나 인접 링크들의 상대적 위치를 유지 또는 잠금시킬 수 있는 하나 이상의 브레이크(예를 들어, 드럼 브레이크)를 포함할 수 있다.

[0024] 예를 들어, 도 2a에 도시된 바와 같이, 로봇 아암(200)은 로봇 아암(200)에서 조인트들(J1 내지 J7)을 작동시키는 적어도 7개의 조인트 모듈을 포함할 수 있으며, 여기서 J1 내지 J7은 피봇 조인트 및/또는 롤 조인트를 포함한다. J1은 제1 링크(L1)와 제2 링크(L2) 사이의 상대적 피봇 이동을 가능하게 할 수 있다. J2는 제2 링크(L2)와 제3 링크(L3) 사이의 상대적 롤 이동을 가능하게 할 수 있다. J3은 제3 링크(L3)와 제4 링크(L4) 사이의 상대적 피봇 이동을 가능하게 할 수 있다. J4는 제4 링크(L4)와 제5 링크(L5) 사이의 상대적 롤 이동을 가능하게 할 수 있다. J5는 제5 링크(L5)와 제6 링크(L6) 사이의 상대적 피봇 이동을 가능하게 할 수 있다. J6은 제6 링크(L6)와 제7 링크(L7) 사이의 상대적 롤 이동을 가능하게 할 수 있다. J7은 제7 링크(L7)와 제8 링크(L8) 사이의 상대적 피봇 이동을 가능하게 할 수 있다. 예를 들어, 일부 변형예들에서, 피봇 조인트들(J1, J3, J5, J7)과 롤 조인트들(J2, J4, J6)의 조합은 로봇 아암이 적어도 7 자유도를 갖는 것을 가능하게 할 수 있고, 본 명세서에 기술된 것들을 포함하는 다양한 포즈들로 이동가능하다. 그러나, 도 2에 도시된 로봇 아암은 단지 예시적인 것이며, 본 명세서에 기술된 방법들은 임의의 적합한 종류의 로봇 아암을 제어하는 데 사용될 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0025] 일부 변형예들에서, 로봇 아암은 로봇 아암의 동작을 통제하는 제어 시스템에 의해 제어될 수 있다. 로봇 보조 수술 시스템이 하나 초과의 로봇 아암을 포함하는 경우, 제어 시스템은 다수의 로봇 아암들을 제어할 수 있다. 예를 들어, 도 2b에 도시된 바와 같이, 제어 시스템은 하나 이상의 프로세서(220)(예를 들어, 마이크로프로세서, 마이크로제어기, 주문형 집적 회로, 필드 프로그래머블 게이트 어레이, 및/또는 기타 로직 회로부)를 포함할 수 있다. 로봇 아암 자체 상에, 카트-운반형 유닛 내에, 또는 다른 적합한 구조물 내에 물리

적으로 위치될 수 있는 프로세서(220)는 사용자 콘솔(210)(예를 들어, 사용자 인터페이스)에 통신가능하게 링크될 수 있다. 예를 들어, 프로세서(220)는 본 명세서에 기술된 방법들의 양태들의 임의의 조합을 수행하기 위한 명령어들을 실행하도록 구성될 수 있다. 제어 시스템은 다수의 모터 제어기들(예를 들어, 230a 내지 230g)의 세트를 더 포함할 수 있고, 이들의 각각은 프로세서(220)에 통신가능하게 결합되고, 로봇 아암 내의 각각의 조인트 모듈 내의 적어도 하나의 액추에이터(예를 들어, 240a 내지 240g)를 제어하고 동작시키는 데 전용된다.

[0026] 일부 변형예들에서, 하나 이상의 다양한 제어 모드가 로봇 아암을 동작시키는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암은 중력 보상 제어 모드에서 동작될 수 있는데, 여기서 로봇 아암은 중력으로 인해 하방으로 표류하는 것 없이 그 자신을 특정 포즈로 유지한다. 중력 보상 모드에서, 제어 시스템은 로봇 아암 내의 링크들 중 적어도 일부분에 작용하는 중력을 결정한다. 이에 응답하여, 제어 시스템은, 로봇 아암이 현재 포즈를 유지할 수 있도록, 결정된 중력에 대응하기(counteract) 위하여 적어도 하나의 조인트 모듈을 작동시킨다. 예를 들어, 중력을 결정하기 위해, 제어기는 인접 링크들 사이의 측정된 조인트 각도, 로봇 아암 및 기구 드라이브의 알려진 운동학적 및/또는 동적 속성, 및/또는 액추에이터의 알려진 특성(예를 들어, 기어 비, 모터 토크 상수), 조인트들 상의 검출된 힘(들) 등에 기초하여 계산을 수행할 수 있다. 또한, 로봇 아암은 아암 상의 인가된 중력의 방향을 결정하도록 구성된 적어도 하나의 가속도계 또는 다른 적합한 센서(들)를 포함할 수 있다. 이러한 계산들에 기초하여, 제어기는 각각의 조인트 모듈에서 그 조인트 모듈에 작용하는 중력을 보상하기 위해서 어떤 힘이 필요한지 알고리즘으로 결정할 수 있다. 예를 들어, 제어기는 순방향 운동학 알고리즘, 역방향 역학 알고리즘, 또는 임의의 적합한 알고리즘을 활용할 수 있다. 제어기는 이어서 로봇 아암을 동일한 포즈로 유지하는 적절한 레벨의 전류를 조인트 모듈들 내의 액추에이터들에 제공하라는 명령들의 세트를 생성할 수 있다. 예를 들어, 중력 보상 모드는 본 명세서에 기술된 바와 같은 수술 전 및/또는 수술 후 프로세스 동안과 같은 다양한 상황에서 단독으로 또는 다른 제어 모드(예를 들어, 후술되는 마찰 보상 모드)와 조합하여 사용될 수 있다.

[0027] 다른 예로서, 로봇 아암은 마찰 보상 모드, 또는 능동 후방 구동 모드에서 작동될 수 있다. 예를 들어, 일부 상황에서, 사용자는 로봇 아암을 특정 포즈로 배열하기 위하여 아암 링크들 중 하나 이상을 직접 조작(예를 들어, 잡아당기거나 또는 밀어냄)하기를 원할 수 있다. 이러한 동작들은 로봇 아암의 액추에이터들을 후방 구동한다. 그러나, 조인트 모듈들 내의 높은 기어 비와 같은 기계적 양태들에 의해 야기되는 마찰로 인해, 일부 변형예들에서, 마찰을 극복하고 성공적으로 로봇 아암을 이동시키기 위하여 사용자는 상당한 양의 힘을 가해야 한다. 이를 해결하기 위하여, 마찰 보상 모드는 로봇 아암으로 하여금 사용자에게 의해 요구되는 포즈를 달성하는데 필요한 방향으로 적절한 조인트 모듈들을 능동적으로 후방 구동함으로써, 사용자가 로봇 아암의 적어도 일부분을 이동시키는 것을 보조할 수 있도록 한다. 결과적으로, 사용자는 마찰이 덜 느껴지거나 또는 분명한 "가벼운" 느낌으로 로봇 아암을 수동으로 조작할 수 있다. 일부 변형예들에서, 제어기는 또한 미리정의된 파라미터들(예컨대, 힘의 듀레이션(duration))을 포함하여 우발적인 이동(예를 들어, 아암의 가벼운 충돌)과 아암 위치의 급격한 의도된 변동을 구분하고, 이어서 이동이 우발적이라고 결정되는 경우에 아암 위치를 수정 또는 재설정하도록 도울 수 있다.

[0028] 마찰 보상 모드에서, 제어 시스템은 (직접적으로, 또는 하나 이상의 아암 링크들 상의 힘의 결과로서 간접적으로) 적어도 하나의 조인트 모듈에 작용하는 사용자-인가 힘의 존재 및 방향을 결정하여 그 조인트 모듈 내의 액추에이터를 후방 구동할 수 있다. 이에 응답하여, 제어 시스템은 사용자-인가 힘과 동일한 방향으로 조인트 모듈들을 작동시켜, 사용자가 정적이거나 동적인 마찰을 극복하도록 도울 수 있다. 사용자-인가 힘의 존재, 크기, 및 방향을 결정하기 위하여, 제어 시스템은 조인트 모듈들 또는 로봇 링크들의 속도 및/또는 위치를 (예를 들어, 힘 센서 또는 토크 센서, 가속도계 등을 이용하여) 모니터링할 수 있다. 추가적으로, 마찰 보상 모드에 있을 때, 제어 시스템은 디더링(dithering) 전류 신호(예를 들어, 약 0.5 Hz 내지 1.0 Hz의 주파수 또는 기타 적합한 주파수, 및 양방향의 마찰 밴드 내의 진폭을 갖는, 영(0)을 중심으로 하는 정현파 또는 구형파)를 하나 이상의 조인트 모듈들에 전송하여, 조인트 모듈들이 양쪽 액추에이터 방향으로의 마찰을 전적으로는 아니지만 거의 극복하도록 준비될 수 있게 한다. 사용자-인가 힘의 존재 및 방향을 결정하는 것에 응답하여, 제어 시스템은 이어서 조인트 모듈들 내의 액추에이터들에 적절한 레벨의 전류를 제공하라는 명령들의 세트를 생성하여 보다 대응적으로 마찰을 극복할 수 있다. 예를 들어, 마찰 보상 모드는 본 명세서에 기술된 바와 같은 수술 전 및/또는 수술 후 프로세스 동안과 같은 다양한 상황에서 단독으로 또는 다른 모드(예를 들어, 중력 보상 모드)와 조합하여 사용될 수 있다.

[0029] 로봇 아암 안내 방법

[0030] 일반적으로, 로봇 아암의 이동을 안내하기 위한 방법이 본 명세서에 제공된다. 예를 들어, 도 3a에 도시된 바와 같이, 로봇 수술 시스템에서 로봇 아암의 이동을 안내하기 위한 방법(300)은 로봇 아암(310)에 대한 기준 위

치에서 기준 평면을 정의하는 단계 - 로봇 아암은 복수의 조인트들을 포함함 -, 및 기준 평면 내에 실질적으로 구속된 일련의 미리결정된 포즈들을 통해 로봇 아암을 안내하기 위해 복수의 조인트(320)들 중 적어도 하나를 (예를 들어, 하나 이상의 액추에이터들로) 구동하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 후술되는 바와 같이, 로봇 아암은 작업 공간 및/또는 조인트 공간 내의 복수의 조인트들 중 적어도 하나를 구동함으로써 안내될 수 있다. 일부 변형예들에서, 본 명세서에 추가로 설명되는 바와 같이, 복수의 조인트들(320) 중 적어도 하나를 구동하는 것은 로봇 아암의 수동 조작에 응답함으로써 사용자가 로봇 아암을 재위치설정하거나 포즈를 다시 취하게(repose) 하는 것을 보조할 수 있다.

[0031] 일부 변형예들에서, 방법(300)은 외과 시술 전후에 각각 수술 전 프로세스 및/또는 수술 후 프로세스(예를 들어, "셋업" 및 "테어다운" 절차)에서 로봇 아암을 위치설정하는 것을 보조할 수 있다. 예를 들어, 수술 전 프로세스는 로봇 아암을 보관 포즈로부터 전이시킬 수 있고, 수술 후 프로세스는 로봇 아암을 보관 포즈로 전이시킬 수 있다. 일부 변형예들에서, 방법(300)은 외과 시술 동안 로봇 아암을 수술 중에 위치설정하는 것을 보조할 수 있다. 일 양태에서, 본 명세서에 추가로 기술되는 바와 같은 제어 모드들을 통해, 방법은 임상 작업흐름과 호환가능한 일관되고 예측가능한 방식으로 로봇 아암 포즈들 간의 이동을 용이하게 할 수 있다. 다른 양태에서, 사용자-정의되고/되거나 미리결정된 로봇 아암 포즈들은 제어된 방식으로 로봇 아암의 이동을 조직화하고/하거나 구속하는 기준 평면과 같은 가상 구조물을 통해 함께 링크되거나 묶일 수 있다. 예를 들어, 기준 평면은 본 명세서에 추가로 기술되는 바와 같이, 일반적으로 미리정의된 규칙들을 사용하여 로봇 아암의 이동을 제한함으로써, 로봇 아암이 이동하는 방식에 대한 예측가능성을 증가시키는 가상 고정구로서 구성될 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암의 그러한 예측가능성 및/또는 구속은 이웃하는 로봇 아암들 사이의 부주의로 인한 충돌, 로봇 아암의 상이한 링크들 사이의 자체-충돌, 로봇 아암과 환자 테이블 및/또는 다른 근방의 장애물 사이의 충돌 등을 감소시키는 것을 도울 수 있다. 일부 변형예들에서, 기준 평면은 미리결정될 수 있다(예를 들어, 메모리에 저장되고 수술 전 및/또는 수술 후 프로세스 동안 사용을 위해 수신되는 미리계산되거나 미리정의된 공간 위치). 예를 들어, (예를 들어, 환자 테이블에 대한) 특정 기준 평면은 다양한 범위의 상황들에 적합한 일반적인 위치일 수 있고, 특정 수술 유형, 특정 환자 유형, (예를 들어, 외과 의사 선호도에 기초한) 특정 사용자, 환자 테이블의 유형과 같은 특정 장비 등과 연관될 수 있다. 다른 변형예들에서, 기준 평면은 수술 전 및/또는 수술 후 프로세스 동안의 사용을 위해 (예를 들어, 로봇 아암의 하나 이상의 링크들의 현재 위치에 대해) 메모리에 저장될 수 있다.

[0032] 방법(300)은 사용자(예를 들어, 외과 의사 또는 수술 보조자)가 원하는 포즈들 및/또는 미리결정된 포즈들을 포함하는 다양한 포즈들 사이로 로봇 아암의 이동을 안내함으로써, 사용자가 다양한 상황들에 적합한 유연한 방식으로 로봇 아암을 조작하는 것을 보조할 수 있다. 일부 변형예들에서, 방법(300)은 사용자가 외과 시술 전에, 그 동안에, 그리고/또는 그 후에 로봇 아암을 조작하도록 하는 편리한 인터페이스를 통해 그러한 이점들을 제공할 수 있다.

[0033] 일부 변형예들에서, 일반적인 수술 전 및 수술 후 작업흐름들은 보관 컨텍스트와 외과 시술 컨텍스트 사이의 전이와 관련된 다수의 로봇 아암 포즈들 또는 포즈들을 포함할 수 있다. 로봇 아암 포즈들 중 일부는 기준 평면 내에서 온-평면일 수 있으며, 여기서 기준 평면은 로봇 아암이 온-평면 로봇 아암 포즈들 사이에서 이동하도록 안내하는 것을 도울 수 있다. 일부 변형예들에서, "온-평면" 포즈는 전체 로봇 아암, 또는 적어도 로봇 아암 상의 키 포인트(예를 들어, 로봇 아암의 소정 조인트들)가 실질적으로 기준 평면 내에 놓이는 포즈일 수 있다. 추가적으로, 로봇 아암 포즈들 중 일부는 기준 평면의 외부인 오프-평면(off-plane)일 수 있으며, 여기서 기준 평면은 로봇 아암이 수술 전 또는 수술 후 작업흐름을 계속하기 위해 복귀할 수 있는 기준점 또는 일반적인 "홈" 위치를 제공할 수 있다.

[0034] 아래에 더 상세히 기술되는 바와 같이, 일부 변형예들에서, 로봇 아암은, 로봇 아암(및/또는 로봇 아암을 환자 테이블에 결합하는 테이블 어댑터)으로부터 신호를 전송 및/또는 수신하도록 구성된 핸드헬드 통신 디바이스를 이용하여 원격으로 명령되거나, 또는 일반적으로 환자 테이블, 로봇 아암 등 상의 버튼 또는 다른 입력 메커니즘을 이용해 로컬로 명령되는 것과 같이, 사용자 입력 디바이스를 통해 적어도 부분적으로 안내될 수 있다. 다른 변형예들에서, 추가적으로 또는 대안적으로, 로봇 아암은 로봇 아암을 직접 수동으로 조작하는 사용자에게 의해 부여된 힘과 같은, 로봇 아암 상의 직접적인 외력에 의해 적어도 부분적으로 안내될 수 있다. 이러한 변형예들에서, 로봇 아암을 미리결정된 포즈들을 통해 안내하기 위해, 로봇 아암 내의 복수의 조인트들 중 적어도 하나는 로봇 아암의 명령받은 이동을 수행하도록 그리고/또는 로봇 아암의 사용자의 조작에 보조를 제공하도록 구동될 수 있다.

[0035] 본 명세서에 기술된 방법들이 주로 단일 로봇 아암을 참조하여 논의되지만, 로봇 수술 시스템이 다수의 로봇 아

암들을 포함하는 변형예들에서, 다수의 로봇 아암들 중 적어도 일부는 유사한 방식으로 동시에 수술 전 및/또는 수술 후 작업흐름들을 통해 제어될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 다른 변형예들에서, 다수의 로봇 아암들 중 적어도 일부는 수술 전 및/또는 수술 후 작업흐름들을 통해 순차적으로(예를 들어, 한번에 하나씩) 제어될 수 있다. 또한, 로봇 아암의 적어도 일부는 각자의 수술 중 작업흐름들을 통해 동시에 또는 독립적으로 제어될 수 있다.

[0036] 또한, 본 명세서에 기술된 방법들이 환자 테이블에 결합된 로봇 아암에 대한 언급들을 포함하지만, 일부 변형예들에서, 방법들은 임의의 적합한 지지 표면(예를 들어, 카트, 천장, 측벽 등)에 장착되는 로봇 아암에 대해 수행될 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0037] *작업 공간에서의 안내*

[0038] 일반적으로, 일부 변형예들에서, 그리고 적어도 일부 상황들에서, 로봇 아암은 작업 공간 가상 고정구를 생성하고 로봇 아암에 적용함으로써 제어될 수 있다. 예를 들어, 작업 공간 가상 고정구는 3차원 공간(예를 들어, 직교 공간 또는 다른 적합한 공간 좌표들로 정의됨) 내의 직선 또는 곡선, 평면형이거나 만곡된 표면, 체적, 또는 다른 구성물일 수 있다. 예를 들어, 제어 시스템은 일반적으로 로봇 아암 상의 하나 이상의 제어 지점들(예를 들어, 로봇 아암 상의 임의의 적합한 가상 지점)의 모션을 가상 고정구 상의 또는 가상 고정구 내의 위치들로 제한할 수 있다. 작업 공간 가상 고정구는 미리결정될 수 있다(예를 들어, 메모리에 저장되고 수술 전 및/또는 수술 후 프로세스 동안 사용을 위해 수신되는 미리계산되거나 미리정의된 공간 위치). 예를 들어, 특정 작업 공간 가상 고정구는 다양한 범위의 상황들에 적합한 일반적인 가상 고정구일 수 있거나, 특정 수술 유형, 특정 환자 유형, (예를 들어, 외과 의사 선호도에 기초한) 특정 사용자, 환자 테이블의 유형과 같은 특정 장비 등과 연관될 수 있다. 일부 변형예들에서, 작업 공간 가상 고정구는 수술 전, 수술 중, 및/또는 수술 후 프로세스 동안의 사용을 위해 (예를 들어, 로봇 아암의 하나 이상의 링크들의 현재 위치에 대해) 메모리에 저장될 수 있다.

[0039] 일부 변형예들에서, 본 명세서에 기술된 바와 같이, 가상 고정구는 로봇 아암(또는 그 상의 선택된 지점들)의 이동이 실질적으로 기준 평면에 구속되도록 로봇 아암을 위한 기준 평면 상에 정의될 수 있다. 예를 들어, 사용자는 중력 보상 제어 모드 및/또는 마찰 보상 제어 모드에 의해 제공되는 작동식 보조를 받아 로봇 아암을 수동으로 조작 및 위치시킬 수 있다. 가상 고정구는 일반적으로 기준 평면 내부에서의 로봇 아암의 그러한 사용자 조작 모션을 허용하는 한편, 기준 평면 외부로의 모션을 실질적으로 방지하거나 억제할 수 있다. 예를 들어, 기준 평면 외부로의 모션은 기준 평면에 수직인 하나 이상의 힘 성분(로봇 아암의 일부분이 기준 평면의 외부로 이동하게 하는 경향이 있는 임의의 힘 성분)에 대항하는 하나 이상의 저항 조인트 토크들의 세트를 전달하는 것에 의해 저항을 받을 수 있다. 제어 시스템은 로봇 아암 내의 조인트들 중 하나 이상을 구동하여, 가상 고정구에 따라 저항 조인트 토크를 전달할 수 있다.

[0040] 저항 조인트 토크(τ)에 대한 원하는 가상 힘(F)은 가상 스프링력과 가상 감쇠력의 합으로서 방정식 1에 따라 직교좌표 힘(Cartesian force)(예를 들어, X-Y-Z 성분)으로서 계산될 수 있다:

$$F = K * \Delta x + D * v_x \quad (1)$$

[0042] 여기서, F = 직교좌표 성분 힘들(3x1 벡터), K = 스프링 상수들(3x3 대각선 매트릭스), Δx = 침투 깊이(3x1 벡터), D = 감쇠비(3x3 대각선 매트릭스), 및 v_x = 속도들(3x1 벡터)이다. 일부 변형예들에서, 가상 힘(F)은 가상 스프링력(스프링 상수들(K)을 갖는 성분) 또는 가상 감쇠력(감쇠비(D)를 갖는 성분)을 생략할 수 있다. 가상 힘(F)은 방정식 2에 따라 로봇 아암의 조인트들(J)을 가로질러 저항 조인트 토크(τ)를 결정하는 데 사용될 수 있다:

$$\tau = J^T * [F, 0]^T \quad (2)$$

[0044] 여기서 τ = 저항 조인트 토크(n 개의 조인트들 $\times$ 1 벡터), F = 힘들(3x1 벡터), 0 = 영(0)들(3x1 벡터)이다. 각각의 저항 조인트 토크는, 로봇 아암의 관련 조인트들이 로봇 아암의 적어도 일부분의 시도된 평면-외(out-of-plane) 이동에 대항하게 구동되도록 로봇 아암 내의 각자의 조인트 모듈의 작동에 의해 수행되거나 부과될 수 있다. 방정식 1 및 방정식 2에서의 행렬의 차원은 직교좌표 힘에 대해 구성되지만, 다른 변형예들에서, 매트릭스는 다른 종류의 좌표 시스템(예를 들어, 구형)에서 힘 및 토크를 표현하기 위한 임의의 적합한 차원일 수

있다는 것이 이해되어야 한다.

[0045] 일부 변형예들에서, 로봇 아암(또는 로봇 아암 상의 선택된 지점들)은 로봇 아암에 인가된 충분한 외력이 임계값을 초과하면 기준 평면(가상 고정구)의 외부로 이동될 수 있다. 예를 들어, 전술된 가상 힘(F)은, 사용자가 최대 가상 힘(F)을 극복하기에 충분한 힘으로 로봇 아암을 이동시키려고 시도한다면 로봇 아암의 적어도 일부분이 기준 평면 외부로 밀릴 수 있도록, 임계값들에서 포화되거나, 미리결정된 최대값을 가질 수 있다. 가상 힘(F)의 최대값 또는 포화값은 시스템 세팅(예를 들어, 시스템 모드)으로서 조정가능할 수 있다. 일부 예들에서, 가상 힘(F)의 최대값은 가변적일 수 있고, 수행될 외과 시술의 유형, 로봇 아암의 이동 속력, (예를 들어, 셋업 및/또는 태어난 프로세스의 특정 단계와 연관된) 로봇 아암의 모드 또는 포즈 등과 같은 다른 조건들에 기초할 수 있다. 일단 로봇 아암이 기준 평면 외부에 있게 되면, 일부 변형예들에서, 로봇 아암의 기준 평면 외부의 이동은 중력 보상 및/또는 마찰 보상으로 능동적으로 보조될 수 있다. 로봇 아암은 또한 예를 들어 후술되는 바와 같이 조인트 공간 내의 안내를 통해 기준 평면 상에 그리고 가상 고정구의 구속 내로 복원될 수 있다.

[0046] 작업 공간에서의 안내가 주로 평면형 가상 고정구에 관하여 전술되었지만, 다른 가상 고정구 형상(예를 들어, 직선 또는 곡선, 만곡된 표면, 3차원 체적 등)이 유사하게 구현될 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0047] *조인트 공간에서의 안내*

[0048] 일반적으로, 일부 변형예들에서, 그리고 적어도 일부 상황에서, 로봇 아암은 로봇 아암의 하나 이상의 조인트들에 걸쳐 조인트-대-조인트 레벨에 적용되는 하나 이상의 조인트 공간 가상 고정구들을 생성하고 적용함으로써 제어될 수 있다. 전술된 작업 공간 가상 고정구와 유사하게, 조인트 공간 가상 고정구는, 예를 들어, 3차원 공간(예를 들어, 직교좌표 공간 또는 다른 적합한 공간 좌표들로 정의됨) 내의 직선 또는 곡선, 평면형이거나 만곡된 표면, 체적, 또는 다른 구성물일 수 있다. 예를 들어, 제어 시스템은 일반적으로 로봇 아암 상의 하나 이상의 제어 지점들(예를 들어, 로봇 아암 상의 임의의 적합한 가상 지점)의 모션을 가상 고정구 상의 또는 그 내부의 위치들로 제한할 수 있다. 전술된 작업 공간 가상 고정구와 같이, 조인트 공간 가상 고정구는 미리결정될 수 있다(예를 들어, 메모리에 저장되고 수술 전 및/또는 수술 후 프로세스 동안 사용을 위해 수신되는 미리계산되거나 미리정의된 공간 위치). 예를 들어, 특정 조인트 공간 가상 고정구는 다양한 범위의 상황에 적합한 일반적인 가상 고정구일 수 있거나, 특정 수술 유형, 특정 환자 유형, (예를 들어, 외과 의사 선호도에 기초한) 특정 사용자, 환자 테이블의 유형과 같은 특정 장비 등과 연관될 수 있다. 일부 변형예들에서, 조인트 공간 가상 고정구는 수술 전, 수술 중, 및/또는 수술 후 프로세스 동안의 사용을 위해 (예를 들어, 로봇 아암의 하나 이상의 링크들의 현재 위치에 대해) 메모리에 저장될 수 있다.

[0049] 일부 변형예들에서, 적어도 하나의 조인트 공간 가상 고정구가 로봇 아암의 조인트 상에 또는 그 주위에 정의될 수 있다. 또한, 로봇 아암의 이동이 실질적으로 기준 평면 또는 다른 가상 구성물로 구속되도록, 다수의 조인트 공간 가상 고정구들이 로봇 아암의 다수의 각각의 조인트들 상에 또는 그 주위에 정의될 수 있다. 예를 들어, 사용자는 중력 보상 제어 모드 및/또는 마찰 보상 제어 모드에 의해 제공되는 작동식 보조를 받아 로봇 아암을 수동으로 조작 및 위치시킬 수 있다. 조인트 공간 가상 고정구들은 일반적으로 기준 평면 내부에서의 로봇 아암의 모션을 허용하는 한편, 기준 평면 외부로의 모션을 실질적으로 방지하거나 억제할 수 있다.

[0050] 상이한 종류의 조인트 공간 가상 고정구들이 가능하다. 조인트 공간 가상 고정구의 하나의 변형예가 도 3b에 예시되어 있다. 도 3b는 롤 조인트(예를 들어, 도 2a의 예시적인 로봇 아암에 도시된 바와 같은 롤 조인트들(J2, J4, J6))의 회전 모션의 범위를 예시한다. 가상 고정구는 (예를 들어, 기준 평면과 정렬될 수 있는) 목표 회전각(350)에 설정될 수 있다. 제어 시스템은 각도(A)와 각도(B) 사이와 목표 회전각(350) 주위에 인력 영역을 정의할 수 있다. 인접 링크들의 상대적 회전 위치가 롤 조인트를 통해 인력 영역(AB)에 진입할 때, 가상 힘(예를 들어, 위의 방정식 1과 유사한 가상 스프링력 및/또는 가상 감쇠력)은 상대적 회전 위치를 목표 회전각(350)을 향해 끌어당길 수 있다. 가상 힘은 로봇 아암 내의 조인트 모듈들의 작동에 의해 실행되거나 부과될 수 있는 하나 이상의 인력 조인트 토크를 결정하는 데 사용될 수 있어서, 로봇 아암의 관련 조인트들은 아암 링크들을 특정 목표 회전각으로 끌어당기도록 구동되고, 이에 따라 로봇 아암을 (예를 들어, 기준 평면 내의) 특정 포즈로 유도한다. 예를 들어, 일부 변형예들에서, 특정 조인트 상의 조인트 모듈에 의해 인가될 인력 조인트 토크가 방정식 3을 사용하여 결정될 수 있다:

$$\tau = k * \Delta \Theta + d * v_{\Theta} \quad (3)$$

[0051]

- [0052] 여기서 τ = 조인트 토크, k = 스프링 상수, $\Delta \theta$ = 침투 각도, d = 감쇠비 및 v_0 = 조인트 속도이다.
- [0053] 예를 들어, 인력 영역(AB)은 롤 조인트를 조작하는 사용자로 하여금 인접 링크들이 조인트 공간 가상 고정구에 따라 특정 상대적 회전 위치로 "스냅(snap)" 또는 "잠금"되는 것을 느끼도록 허용할 수 있다. 일부 변형예들에서, 인력 영역(AB)은 약 10도와 약 50도 사이의 각도, 약 25도와 35도 사이의 각도, 또는 약 10의 각도를 점유(sweep)할 수 있다. 인력 영역(AB)은, 목표 회전각(350)이 실질적으로 인력 영역(AB)을 양분하도록 목표 회전각(350)을 중심으로 대칭으로 배향될 수 있다. 대안적으로, 인력 영역(AB)은, 목표 회전각(350)이 인력 영역의 일단에 타단보다 더 가깝게 되도록 목표 회전각(350)을 중심으로 비대칭으로 배향될 수 있다.
- [0054] 일부 변형예들에서, 로봇 아암에 인가된 충분한 외력이 임계값을 초과하면, 로봇 아암은 인력 영역 외부로 이동될 수 있다. 예를 들어, 가상 힘은, 사용자가 최대 가상 힘을 극복하기에 충분한 힘으로 로봇 아암을 회전시키려고 시도한다면 롤 조인트가 인력 영역 외부로 밀릴 수 있도록, 임계값들에서 포화되거나, 미리결정된 최대값을 가질 수 있다. 인력 영역(AB) 외부에서, 제어 시스템은 전술된 가상 힘 및 인력 조인트 토크를 인가하는 것을 억제할 수 있다.
- [0055] 조인트 공간 가상 고정구의 다른 변형예가 도 3c에 예시되어 있다. 도 3b와 같이, 도 3c는 롤 조인트의 회전 모션의 범위를 예시하며, 가상 고정구가 (예를 들어, 기준 평면과 정렬될 수 있는) 목표 회전각(350)에 대해 설정될 수 있다. 제어 시스템은, 목표 회전각(350)을 향한 일 방향으로의 조인트의 회전을 허용하지만, 이동에 능동적으로 대항함으로써 목표 회전각(350)으로부터 멀어지는 반대 방향으로의 조인트의 회전을 실질적으로 방지하는 "일방향형" 또는 단방향 가상 고정구를 정의할 수 있다. 제어 시스템은 단방향 조인트 공간 가상 고정구에 따른 회전을 방지하기 위해 하나 이상의 조인트들의 작동을 야기할 수 있다. 일부 변형예들에서, 단방향 가상 고정구의 허용 방향은 항상 동일한 방향으로 배향될 수 있다(예를 들어, 인접 링크에 대한 하나의 링크의 시계 방향 이동만을 허용함). 다른 변형예들에서, 단방향 가상 고정구의 허용 방향은 어느 이동 방향이 인접 링크들을 목표 회전각(350)에 보다 빠르게 위치시킬 것인지에 따라 변할 수 있다. 예를 들어, 현재 링크 위치(C)가 시계 방향으로 이동함으로써 목표 회전각(350)에 더 가까운 경우, 단방향 가상 고정구는 실질적으로 링크의 시계 방향 이동만을 허용할 수 있다. 다른 예로서, 현재 링크 위치가 반시계 방향으로 이동함으로써 목표 회전각(350)에 더 가까운 경우, 단방향 가상 고정구는 실질적으로 반시계방향 모션만을 허용할 수 있다. 또한, 일부 변형예들에서, 허용 방향으로의 이동은 작동식 보조(예를 들어, 마찰 보상)를 통해 보조될 수 있다.
- [0056] 일부 변형예들에서, 로봇 아암에 인가된 충분한 외력이 임계값을 초과하면 로봇 아암은 단방향 가상 고정구의 허용 방향과 반대로 이동될 수 있다. 예를 들어, 사용자가 임계값을 극복하기에 충분한 힘으로 로봇 아암을 회전시키려고 시도한다면, 롤 조인트는 단방향 가상 고정구의 방향과 반대인 방향으로 밀릴 수 있다.
- [0057] 일부 변형예들에서, 다수의 가상 고정구들이 임의의 적합한 방식으로 조합될 수 있다. 예를 들어, 일 변형예에서, 제어 시스템은, 적어도 하나의 조인트 상에서, (예를 들어, 도 3c와 관련하여 전술된 것과 유사한) "일방향형" 단방향 가상 고정구, 또는 (예를 들어, 도 3b에 대해 전술된 것과 유사한) 인력 영역을 갖는 "양방향형" 가상 고정구 중 어느 하나를, 목표 회전각에 대한 조인트의 현재 회전 위치에 따라 구현하도록 구성될 수 있다.
- [0058] 예를 들어, 도 10a에 도시된 바와 같이, 현재 조인트 위치(q_{curr})와 목표 조인트 위치(q_{tar}) 사이의 차이가 미리 결정된 임계값($q_{threshold}$)보다 크면(예를 들어, 5도 초과, 10도 초과, 15도 초과 등), 일방향형 단방향 가상 고정구가 구현될 수 있다. 단방향 가상 고정구는, 현재 조인트 위치(q_{curr})와 이전의 조인트 위치(q_{prev}) 사이의 차이가 조인트가 목표 조인트 위치(q_{tar})로부터 멀리 이동하고 있음을 나타내는 경우에만 이동을 제한하거나 대항하도록 가상 고정구 힘(F_v)을 인가할 수 있다. 예를 들어, 도 10a의 박스(1010)에 도시된 바와 같이, 사용자가 아암을 (현재 조인트 위치(q_{curr})와 이전 조인트 위치(q_{prev}) 사이의 차이로 적어도 부분적으로 결정되는 바와 같은 단방향 가상 고정구의 허용 방향으로) 목표 위치(q_{tar})를 향해 이동시키고 있을 때, 제어 시스템은 목표 위치를 향한 아암 이동을 보조하기 위해 영(0) 보다 큰 보조력(F_{ass})을 갖는 작동식 보조(예를 들어, 마찰 보상)를 제공할 수 있고, 단방향 가상 고정구는 그러한 아암 이동을 제한하거나 그에 대항하기 위해 가상 고정구 힘(F_v)을 인가하지 않을 수 있다. 반대로, 도 10a의 박스(1020)에 도시된 바와 같이, 사용자가 아암을 (현재 조인트 위치(q_{curr})와 이전의 조인트 위치(q_{prev}) 사이의 차이로 적어도 부분적으로 결정되는 바와 같은 단방향 가상 고정구의 제한 방향으로) 목표 위치(q_{tar})로부터 멀리 이동시키고 있을 때, 제어 시스템은 보조력(F_{ass})을 약 영(0)과 동일하게 하여 작동식 보조를 제공하지 않을 수 있고, 단방향 가상 고정구는 목표 위치로부터 멀어지는 아암 이

동을 실질적으로 방지하거나 그에 저항하기 위해 가상 고정구 힘(F_v)을 인가할 수 있다. 따라서, 단방향 가상 고정구는 목표 조인트 위치를 향한 조인트 모션을 용이하게 하고, 목표 조인트 위치로부터 멀어지는 조인트 모션에 대항할 수 있다.

[0059] 또한, 도 10b에 도시된 바와 같이, 현재 조인트 위치(q_{curr})와 목표 조인트 위치(q_{tar}) 사이의 차이가 미리결정된 임계값($q_{threshold}$)보다 작으면(예를 들어, 5도 미만, 10도 미만, 15도 미만 등), 인력 영역을 갖는 "양방향형" 가상 고정구가 구현될 수 있다. 예를 들어, 제어 시스템은 목표 조인트 위치(q_{tar}) 주위의 미리결정된 각도 범위 내에 인력 영역을 정의할 수 있다. 일부 변형예들에서, 인력 영역은 또한 목표 조인트 위치의 양측에서의 미리결정된 임계값($q_{threshold}$) 사이인 것으로 정의될 수 있지만, 인력 영역은 임의의 적합한 각도 범위에 대해 정의될 수 있다. 조인트 주위의 인접 링크들의 상대적 회전 위치가 인력 영역에 진입할 때, 가상 고정구 힘(예를 들어, 위의 방정식 3과 유사한 가상 스프링력 및/또는 가상 감쇠력)은 링크들을 목표 조인트 위치로 끌어당길 수 있다. 따라서, 조인트가 (예를 들어, 어느 한 방향으로 $q_{threshold}$ 내에서) 약간 밀렸거나 끌어당겨진 경우, 양방향형 가상 고정구는 인접 링크들이 조인트 공간 가상 고정구에 따라 특정 상대적 회전 위치로 "스냅" 또는 "잠금"될 수 있게 할 수 있다. 일부 변형예들에서, 임의의 지점에서, 현재 조인트 위치(q_{curr})와 목표 조인트 위치(q_{tar}) 사이의 차이가 다시 미리결정된 임계값($q_{threshold}$) 보다 커지면, 도 10a에 도시된 바와 같이, 제어 시스템은 일방향형 가상 고정구를 구현하는 것으로 되돌아갈 수 있다.

[0060] 또한, 일부 변형예들에서, "일방향형" 및 "양방향형" 가상 고정구들의 조합이 위에서 더 상세히 기술된 작업 기반 가상 고정구들을 갖는 제어 시스템에 의해 유사하게 구현될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, 단방향 가상 고정구 및/또는 인력 영역을 갖는 양방향 가상 고정구는 전술된 것과 유사한 기준 평면 및/또는 임의의 적합한 종류의 가상 고정구 형상에 대해 정의될 수 있다.

[0061] 조인트 공간 가상 고정구들이 주로 물 조인트들에 대해 기술되지만, 추가적으로 또는 대안적으로, 인력 가상 고정구 및/또는 단방향 가상 고정구가 로봇에서의 다른 종류의 조인트들(예를 들어, 피치, 요우)에 대해 유사하게 구현되어 로봇 아암의 다른 적합한 부분들에 조인트 공간 안내를 부과할 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0062] 상이한 종류의 조인트 공간 가상 고정구들이 조합될 수 있다. 예를 들어, 일부 변형예들에서, 로봇 아암 내의 인접 링크들 사이의 조인트는 도 3c에 대해 기술된 바와 같이 단방향 가상 고정구를 통해 주로 안내될 수 있고, 링크들의 상대적 회전 위치가 목표 회전각(350)에 접근할 때, 인력이 조인트를 목표 회전각(350)에서 제자리에 스냅 또는 잠금시키도록 도 3b에 관하여 기술된 바와 같이 인력 영역에 진입할 수 있다. 또한, 일부 변형예들에서, 작업 공간 가상 고정구를 통한 안내는 하나 이상의 종류의 조인트 공간 가상 고정구들을 통한 안내와 조합될 수 있다.

[0063] *궤적들을 이용한 안내*

[0064] 또 다른 변형예들에서, 로봇 아암의 적어도 일부분의 이동은 궤적 추종 모드에서 안내될 수 있다. 궤적 추종 모드에서, 로봇 아암은 하나 이상의 궤적(예를 들어, 직교좌표 궤적) 명령들의 시퀀스를 따르도록 이동할 수 있다. 예를 들어, 궤적 명령들은 속도 명령들(직선 이동 및/또는 각이동의 관점에서 표현됨) 또는 목표 포즈 명령들(링크들 및 조인트 모듈들의 최종 목표 위치 및 배향의 관점에서 표현됨)을 포함할 수 있다. 명령이 현재 포즈로부터 목표 포즈로 전이하는 다수의 링크 이동을 요구하는 목표 포즈인 경우, 제어 시스템은 필요한 링크 이동을 정의하는 궤적을 생성할 수 있다. 명령이 현재 포즈와 동일한 목표 포즈와 관련되는 경우, 제어 시스템은 명령받은 "유지" 위치를 효과적으로 생성하는 궤적 명령들을 생성할 수 있다. 예를 들어, 궤적은 하기를 포함하는 입력들에 기초할 수 있다: 명령받은 속도들 또는 포즈들(예를 들어, 변환 매트릭스, 회전 매트릭스, 3D 벡터, 6D 벡터 등), 제어될 아암 링크들, 측정된 조인트 파라미터들(각도들, 속도들, 가속도들 등), 톨 파라미터들(유형, 무게, 크기 등), 및 환경적 파라미터들(예를 들어, 아암 링크가 진입할 수 없거나 또는 금지된 미리 정의된 영역들 등). 제어 시스템은 이어서 하나 이상의 알고리즘들을 이용하여 펌웨어에 대한 명령받은 조인트 파라미터들(위치, 속도, 가속도 등) 및/또는 펌웨어에 대한 전류 피드포워드로서 명령받은 모터 전류의 출력들을 생성할 수 있다. 이러한 출력 명령들을 결정하기에 적합한 알고리즘들은 순방향 운동학, 역방향 운동학, 역방향 역학, 및/또는 충돌 회피(예를 들어, 아암 링크들 간의 충돌, 상이한 로봇 아암의 인스턴스들 간의 충돌, 아암과 환경 간의 충돌 등)에 기초한 알고리즘들을 포함한다.

[0065] *수술 전 작업흐름*

- [0066] 일부 변형예들에서, 전술된 바와 같이, 방법(300)은 외과 시술 전에 로봇 수술 시스템을 셋업하는 것을 돕기 위해(예를 들어, 로봇 아암을 보관 포즈로부터 다른 적합한 시작 포즈 전이시키기 위해, 또는 달리 외과 시술 동안의 사용을 준비하기 위해) 사용될 수 있다. 수술 전 작업흐름 세팅에서의 방법(400)의 예시적인 변형예의 양태들이 도 4a에 도시되어 있다. 예를 들어, 방법(400)은 로봇 아암이 보관 위치(여기서 로봇 아암은 후술되는 바와 같이 접혀진 보관 포즈(410)와 같은 보관 포즈에 있을 수 있음)로부터 기준 위치(여기서 로봇 아암은 후술되는 바와 같이 테이블 이탈 포즈(420)에 있거나, 로봇 아암이 접혀진 보관 포즈(410)로부터 전개될 때 근처의 물체들과의 충돌의 위험을 충분히 감소시키는 위치의 다른 적합한 포즈에 있을 수 있음)로 이동시키는 것을 보조하는 단계를 포함할 수 있다. 로봇 수술 시스템을 추가로 셋업하기 위해, 로봇 아암 내의 조인트들 중 적어도 하나는 일련의 전개되는 미리결정된 포즈들 또는 기준 위치에 정의된 기준 평면 내에서의 포즈들을 통해 로봇 아암을 안내하도록 구동될 수 있다. 로봇 아암은 그러한 온-평면 포즈들(430)(예를 들어, 낮은 파킹 포즈, 높은 파킹 포즈, 드레이프 포즈) 중에서 안내되고, 후속적으로 작업 공간 가상 고정구를 이용한 안내, 조인트 공간 가상 고정구를 이용한 안내, 궤적을 이용한 안내 등을 통해 캐놀러(예를 들어, 환자 상의 포트 내에 배치된 캐놀러)에 결합하기 위한 도킹 위치(450)로 안내될 수 있다. 또한, 로봇 아암은 기준 평면 외부로, 예컨대 하나 이상의 오프-평면 포즈들(440) 내로 이동될 수 있고, 하나 이상의 온-평면 포즈들(430) 및/또는 도킹 위치(450)를 향해 다시 안내될 수 있다. 일단 도킹 위치(450)에 있으면, 로봇 아암은 수술 기구(예를 들어, 로봇 아암 상의 기구 드라이버에 의해 구동될 엔드 이펙터)를 수용하기 위해 위치설정되고/되거나 달리 외과 시술 동안의 사용을 위해 준비될 수 있다.
- [0067] 보관 포즈
- [0068] 일부 변형예들에서, 도 4a에 도시된 바와 같이, 방법은 로봇 아암이 보관 포즈(410)로부터 이동하는 것을 보조하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 보관 포즈(410)는 로봇 수술 시스템이 사용 중이지 않을 때(예를 들어, 외과 시술들 사이) 그리고/또는 로봇 수술 시스템의, 배송 중, 수술실 사이에서 등의 이송을 위해 로봇 아암을 위치설정하는 데 사용될 수 있다. 일반적으로, 보관 포즈(410)에 있을 때, 로봇 아암은 콤팩트 포즈에 있을 수 있고, 환자 테이블의 아래 또는 옆과 같은 적절한 보관 위치에 위치될 수 있다. 보관 포즈(410)에 대한 콤팩트 포즈 및/또는 보관 위치는, 메모리 디바이스에 저장되고 로봇 아암에 대한 수술 전 및/또는 수술 후 프로세스 동안의 사용을 위해 수신되는 바와 같이 미리결정될 수 있고, 로봇 아암에 대한 보관 모드 또는 상태와 연관될 수 있다. 일부 변형예들에서, 로봇 아암이 셋업의 시작 시에 지정된 보관 포즈 및/또는 보관 위치에 있지 않은 상이한 포즈(408)에 있는 경우에, 로봇 시스템은 로봇 아암이 보관 포즈(460)에 있지 않다는 오류를 사용자에게 표시하고/하거나 로봇 아암을 보관 포즈(460)로 이동시키거나 또는 달리 안내할 수 있다.
- [0069] 예를 들어, 도 5a 및 도 5b에 도시된 바와 같이, 콤팩트 포즈는 일반적으로 로봇 아암이 최소 체적을 차지할 수 있도록 로봇 아암(200)의 링크들이 서로에 대해 효율적으로 패킹되는, 접힌 포즈일 수 있다. 예를 들어, 도 5b에 도시된 바와 같이, 로봇 아암(200)은 서로에 대해 이동가능한(예를 들어, 피봇가능하게 결합됨) 제1 부분(200a) 및 제2 부분(200b)을 포함할 수 있고, 로봇 아암(200)이 보관 포즈에 있을 때, 제2 부분(200b)은 제1 부분(200a) 상으로 절첩되거나(collapsed) 그에 인접하게 포개질 수 있다. 로봇 아암(200)의 추가적인 부분들, 예컨대 제2 부분(200b)보다 더 원위에 있는 부분들이 유사하게 로봇 아암의 더 근위인 부분들 상으로 절첩되거나 그에 인접하게 포개질 수 있다. 일부 변형예들에서, 보관 포즈(410)에 있을 때, 로봇 아암(200)은 지정된 보관 위치에서 환자 테이블 아래에 콤팩트 포즈에 있을 수 있다. 로봇 수술 시스템이 다수의 로봇 아암들을 포함하는 변형예들에서, 다수의 로봇 아암들은 일반적으로 환자 테이블 아래에 또는 그 주위에 대칭 방식으로 그들의 보관 포즈들로 배열될 수 있다(또는 임의의 적합한 방식으로 배열될 수 있다).
- [0070] 로봇 아암(200)이 보관 포즈(410)에 있을 때, 로봇 아암의 적어도 일부분은, 예컨대 로봇 아암 내의 적어도 하나의 조인트에서 하나 이상의 브레이크의 결합을 통해, 보관 포즈(410)에 잠금될 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암 내의 모든 브레이크들(및/또는 로봇 아암을 테이블에 결합시키는 결합 배열)은, 로봇 아암이 미리결정된 기준 위치로 전이할 준비가 될 때까지, 로봇 아암을 보관 포즈(410)에 유지하도록 맞물릴 수 있다.
- [0071] 비록 도 5a 및 도 5b는 일반적으로 환자 테이블 아래에 있는 보관 포즈를 예시하지만, 일부 변형예들에서, 보관 포즈는 카트 내부, 천장 아래 또는 위, 측벽에 인접하거나 또는 그 내부에 있거나, 또는 임의의 다른 적합한 장착 표면에 맞대어 접힐 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, 아암은 도 5a 및 도 5b에 예시된 것과 유사한 접힌 포즈에 있거나, 보관 격실 내에 위치되거나(예를 들어, 카트 내에, 천장 내에, 측벽 내에 접힘), 지지 표면에 맞대어 포개질(예를 들어, 카트, 천장, 또는 측벽에 대해 접힘) 수 있다.
- [0072] 테이블 이탈 포즈

- [0073] 도 4a에 도시된 바와 같이, 로봇 아암은 보관 포즈(410)로부터 테이블 이탈 포즈(420)로 전이하거나, 또는 로봇 아암이 테이블 및/또는 다른 근처 물체들과 충돌하지 않고 전개되도록 허용하기에 적합한 기준 위치에서의 다른 적합한 포즈로 전이할 수 있다. 예를 들어, 도 6a 및 도 6b에 도시된 바와 같이, 로봇 아암의 적어도 제1 부분(200a)은 로봇 아암의 제2 부분(200b)이 전개를 위해 테이블(250)로부터 이탈될 수 있게 하기 위해 테이블(250)로부터 외향으로 피봇할 수 있다. 예를 들어, 도 2를 참조하면, 로봇 아암이 테이블 이탈 포즈로 전이하고 있을 때, 링크들(L0, L1)은 테이블(250)에 대해 비아 핀(252)을 중심으로 외향으로 피봇할 수 있어서, 로봇 아암의 더 많은 원위 링크들(예를 들어, L2 내지 L7 및 로봇 아암의 다른 원위 부분들)이 테이블과 충돌함이 없이 전개되고/되거나 달리 재구성될 수 있다. 로봇 아암 내의 하나 이상의 브레이크 및/또는 결합 배열은 맞물림해제되어, 보관 포즈(410)로부터 기준 위치로의 로봇 아암의 그러한 이동을 용이하게 할 수 있다.
- [0074] 일부 변형예들에서, 테이블 이탈 포즈(420)에 대한 기준 위치는 환자 테이블에 대한 로봇 아암의 적어도 지정된 부분의 각도(또는 각도들의 범위)로서 기술될 수 있다. 예를 들어, 도 6b를 참조하면, 기준 위치는 로봇 아암의 근위 부분(200a)과 환자 테이블(250)의 에지 사이에서 측정되는 바와 같은 각도(α)에 의해 적어도 부분적으로 정의될 수 있다. 예를 들어, 각도(α)는 적어도 45도, 적어도 60도, 적어도 75도, 또는 적어도 90도일 수 있다. 다른 예시적인 변형예들에서, 각도(α)는 약 30도 내지 약 90도, 약 45도 내지 약 75도일 수 있다. 또 다른 변형예들에서, 기준 위치는 로봇 아암을 환자 테이블(250) 아래로부터 벗어나게 위치설정하고, 아암이 전개되게 하는 임의의 적합한 각도일 수 있으며, 이는, 예를 들어 로봇 아암 설계(예를 들어, 아암 링크들의 길이 또는 직경, 아암 링크들의 수 등)에 적어도 부분적으로 의존할 수 있다.
- [0075] 다른 변형예들에서, 추가적으로 또는 대안적으로 다른 종류의 메커니즘들이 로봇 아암으로 하여금 피봇에 더하여 또는 그에 대한 대안으로서 일부 방식들로, 예컨대, 종방향 병진이동(예를 들어, 종방향 트랙 상에서 활주함) 및/또는 측방향 병진이동(예를 들어, 측방향 트랙 상에서 활주함)을 통해 테이블 이탈 포즈로 전이하게 할 수 있다는 것이 이해되어야 한다.
- [0076] 일부 변형예들에서, 로봇 아암은 (예를 들어, 핸드헬드 통신 디바이스 또는 다른 인터페이스로부터의 원격 명령을 통한) 이동 명령에 응답하여 예컨대 궤적 추종 모드를 통해 기준 위치로 안내될 수 있다. 일부 변형예들에서, 로봇 아암은 (예를 들어, 중력 보상 및/또는 마찰 보상을 이용한) 로봇 아암의 사용자 조작, 하나 이상의 작업 공간 가상 고정구를 이용한 안내, 및/또는 하나 이상의 조인트 공간 가상 고정구를 이용한 안내를 이용하여 기준 위치로 안내될 수 있다.
- [0077] 기준 평면이 로봇 아암에 대한 미리결정된 기준 위치에 정의될 수 있다. 일부 변형예들에서, 기준 평면은 로봇 아암의 근위 부분에 일반적으로 수직인 평면으로서 정의될 수 있다. 예를 들어, 도 2a를 참조하면, 기준 평면은 로봇 아암 링크(L1)에 직교하는 수직 평면일 수 있다. 일단 로봇 아암이 테이블 이탈 포즈(420)로 전이되면, 로봇 아암은 전개 및/또는 기준 평면 내에서의 다른 재위치설정을 준비하도록 안내될 수 있다. 예를 들어, 도 6c에 도시된 바와 같이, 로봇 아암(200)은(여전히 일반적으로 접힌 또는 절첩된 포즈에 있음) 제1 아암 부분(200a) 및 제2 아암 부분(200b) 둘 모두가 기준 평면(610) 상에 놓이도록 롤링될 수 있다. 로봇 아암(200)이 기준 평면(610) 상으로 롤링된 후에, 로봇 아암(200)은 추가로 후술되는 바와 같이, 기준 평면(610) 내에서 다양한 접히거나 전개된 포즈들(예를 들어, 낮은 파킹 포즈, 높은 파킹 포즈, 드래이프 포즈)을 통해 자체적으로 재구성될 수 있다.
- [0078] 일부 변형예들에서, 제1 부분(200a)만이 회전하여 로봇 아암(200)이 기준 평면 상으로 롤링하게 할 수 있는 반면, 제2 부분(200b) 및 로봇 아암의 다른 부분들은 제1 부분(200a)에 대해 동일한 배향으로 유지된다. 다른 변형예들에서, 로봇 아암(200)이 기준 평면 상으로 롤링되는 동안 로봇 아암의 다른 부분들은 추가적으로 이동할 수 있다. 예를 들어, 제2 부분(200b)은 시스템의 셋업 전반에 걸쳐 이상적으로 사용자에게 쉽게 액세스가능한 터치스크린, 디스플레이, 버튼, 및/또는 다른 사용자 인터페이스 요소들(도시되지 않음)을 포함할 수 있다. 로봇 아암(200)이 테이블 이탈 포즈에 있을 때(예를 들어, 도 6b에 도시된 바와 같이), 제2 부분(200b)은 사용자 인터페이스 요소들이 상향-대면이고 사용자에게 액세스가능하도록 배향될 수 있다. 제1 부분(200a)이 도 6c에 도시된 바와 같이 시계 방향으로 회전함에 따라, 제2 부분(200b)은 로봇 아암의 기준 평면 상으로의 전이 전반에 걸쳐 사용자 인터페이스 요소들을 상향-대면 상태로 유지하기 위해 동일하거나 유사한 속도로 반시계 방향으로 추가로 회전할 수 있다.
- [0079] 보관 포즈(예를 들어, 도 5a 및 도 5b)와 초기 온-평면 포즈(예를 들어, 도 6c) 사이의 로봇 아암의 전이가 주로 테이블 이탈 포즈(예를 들어, 도 6a 및 도 6b)를 별도의 중간 단계로 하는 프로세스로서 위에 설명되었지만, 일부 변형예들에서, 보관 포즈 사이의 전이는 그러한 별도의 중간 포즈를 생략할 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

다. 예를 들어, 일부 변형예들에서, 로봇 아암은 실질적으로 동시에 외향으로 피봇하고 기준 평면 상으로 롤링할 수 있으며, 이에 의해 보관 포즈와 테이블 이탈 포즈 사이의 전이, 그리고 테이블 이탈 포즈와 초기 온-평면 포즈 사이의 전이와 관련하여 전술한 이동들을 함께 혼합할 수 있다. 더욱 추가로, 일부 변형예들에서, 로봇 아암은 실질적으로 동시에 외향으로 피봇하고 기준 평면 상으로 후술되는 온-평면 포즈들 중 하나로 롤링할 수 있으며, 이에 의해 도 6c에 도시된 초기 온-평면 포즈를 생략할 수 있다.

[0080] 온-평면 포즈들

[0081] 일부 변형예들에서, 도 4a에 도시된 바와 같이, 일단 로봇 아암이 기준 위치에 위치된 기준 평면 내에 위치되면, 로봇 아암은 일련의 온-평면 포즈들(430), 또는 기준 평면 내에 실질적으로 구축된 하나 이상의 포즈들을 통해 안내될 수 있다. 예를 들어, 일부 변형예들에서, 기준 평면 내에 실질적으로 구축된 포즈는 로봇 아암(또는 로봇 아암 상의 선택된 키 위치들 또는 지점들)이 기준 평면 내에 놓이는 포즈일 수 있다. 로봇 아암 내의 하나 이상의 브레이크는 로봇 아암이 포즈를 다시 취하도록 허용하기 위해 맞물림해제될 수 있다. 그러한 브레이크 맞물림해제는, 예를 들어, 외력의 인가(예컨대, 사용자가 로봇 아암을 수동으로 조작하기 시작하는 것, 및/또는 버튼, 메커니즘, 또는 로봇 아암 상의 제어 지점 상의 다른 표면의 맞물림) 시에 트리거될 수 있다.

[0082] 예를 들어, 도 7a 및 도 7b는 기준 평면(710) 내에 실질적으로 구축된 로봇 아암의 하나의 포즈를 예시한다. 도 7a 및 도 7b에 도시되어 있는 로봇 아암은 도 2a에 도시된 것과 실질적으로 유사할 수 있다. 일반적으로, 기준 평면의 각도 또는 배향은 롤 조인트들(J2, J4, 및/또는 J6)의 특정 회전각에 기초하여 정의되거나 세팅될 수 있다. 롤 조인트들(J2, J4, J6) 중 임의의 것의 이동은 로봇 아암의 평면-외 이동을 용이하게 한다(또는 대안적으로, 롤 조인트들 사이에서 공유되는 평면의 각도 또는 배향의 변화를 야기한다). 또한, 피봇 조인트들(J1, J3, J5, J7)은 기준 평면(710) 상에 놓이고, 조인트들(J1, J3, J5, 및/또는 J7)의 이동은 로봇 아암의 상이한 온-평면 포즈들을 용이하게 한다.

[0083] 사전-절차 셋업 프로세스에서, 기준 평면 내에 실질적으로 구축되는 일련의 포즈들은, 예를 들어, 기준 평면 내에 있는 점진적으로 전개되는 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스를 포함할 수 있다. 일부 변형예들에서, 로봇 아암 내의 조인트들 중 하나 이상은 로봇 아암을 순서화된 시퀀스의 적어도 일부분을 통해 전방 및 후방 둘 모두로 구동하도록 작동될 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암은 부분적으로 전개되고, 적어도 부분적으로 다시 접히고, 이어서 포즈들의 시퀀스를 통해 완전히 전개되도록 구동될 수 있다. 전개와 같은 수술 전 절차 동안 기준 평면 내에 로봇 아암을 실질적으로 구축함으로써, 로봇 아암과 근처 물체들 사이의 예상치 못한 충돌(뿐만 아니라 자체-충돌)이 감소될 수 있다. 로봇 아암이 외과 시술들을 위해 준비됨에 따라 예측가능하고 일관된 방식으로 이동할 것이기 때문에, 로봇 아암을 미리결정된 포즈들로 위치설정하는 것은 충돌 위험을 추가로 제한할 수 있다.

[0084] 일부 변형예들에서, 로봇 아암의 링크들 간의 자체-충돌과 같은 충돌은 조인트 한계를 도입함으로써 감소될 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암 내의 조인트들 중 하나 이상은 특정 범위의 모션 내에서의 이동으로 제한될 수 있어서, 조합적으로 다수의 조인트가 아암 링크들이 충돌하게 할 정도까지 회전할 수 없다. 조인트 한계는 조인트 한계가 임계력을 초과하는 힘을 (예를 들어, 수동으로) 조인트에 인가함으로써 극복될 수 있다는 점에서 "연성(soft)"일 수 있다. 일부 변형예들에서, 이러한 조인트 한계는 전술된 조인트 공간 고정구들과 유사한 가상 고정구들로 부과될 수 있다.

[0085] 도 4a에 도시된 바와 같이, 일부 예시적인 온-평면 포즈들(430)은 낮은 파킹 포즈(432), 높은 파킹 포즈(434), 및 드레이프 포즈(436)를 포함한다. 도 8a에 도시된 바와 같이, 낮은 파킹 포즈(432)의 로봇 아암은 부분적으로 전개될 수 있고, 이때 로봇 아암의 적어도 일부는 환자 테이블(250) 아래에 위치된다. 예를 들어, 낮은 파킹 포즈(432)는 로봇 아암을 보관 상태를 벗어난 중간 포즈로 유지하되, 다른 로봇 아암들이 조작되고 있거나 또는 직원(예를 들어, 수술 보조인)이 환자 테이블 주위를 향하게 될 때 방해가 되지 않는 알려진 위치로 유지하는데 유용할 수 있다.

[0086] 도 8b에 도시된 바와 같이, 높은 파킹 포즈(434)의 로봇 아암은 낮은 파킹 포즈(432)보다 더 전개될 수 있지만, 접히고 콤팩트한 원위 부분을 포함할 수 있다. 높은 파킹 포즈(434)에서, 로봇 아암은 테이블 이탈 포즈(420)와 드레이프 포즈(436) 사이의 중간 위치에 있을 수 있다. 높은 파킹 포즈(434)는 보관 상태를 벗어났으나 방해가 되지 않는 알려진 위치에 있는 다른 중간 포즈일 수 있다.

[0087] 도 8c에 도시된 바와 같이, 드레이프 포즈(436)의 로봇 아암은 높은 파킹 포즈(434)보다 훨씬 더 전개될 수 있

다. 예를 들어, 도 8d에 도시된 바와 같이, 드레이프 포즈(436)에서, 로봇 아암은 멸균 드레이프(820) 아래의 아암 링크들의 관절운동을 허용하는 방식으로 아암 링크들 주위에 전체적으로 멸균 드레이프(820)를 배치할 수 있도록 충분히 전개될 수 있다. 예를 들어, 사용자가 로봇 아암을 드레이프 포즈(436)로 이동시킨 후, 로봇 아암은 사용자가 멸균 드레이프를 로봇 아암 위에 배치하는 동안 중력 보상의 보조를 받아 드레이프 포즈를 유지할 수 있다. 임상 작업흐름의 일부 변형예들에서, 환자는 로봇 아암이 드레이프 포즈에 있을 때(예를 들어, 로봇 아암이 멸균 드레이프에 덮이기 직전 또는 직후에) 드레이프될 수 있다.

[0088] 일부 변형예들에서, 점진적으로 전개되는 미리결정된 포즈들의 순서화된 시퀀스는 낮은 파킹 포즈(432), 높은 파킹 포즈(434), 및 드레이프 포즈(436)를 포함한다. 순서화된 시퀀스들의 다른 변형예들은 이들 포즈들 중 하나 이상을 생략할 수 있고/있거나, 다른 적합한 포즈들(예를 들어, 이들 포즈들 중 임의의 2개 사이의 일반적인 중간인 포즈들, 이들 포즈들의 수정된 버전들 등)을 포함할 수 있다.

[0089] 미리결정된 포즈들 사이의 이동은 로봇 아암 내의 복수의 조인트들 중 적어도 하나의 조인트의 자동 구동에 의해 안내될 수 있다. 다양한 안내 프로세스들이 포즈들을 통해 로봇 아암을 안내할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 조인트들은, 사용자가 로봇 아암을 수동으로 조작함에 따라 로봇 아암 상의 사용자-인가 힘에 응답하여 로봇 아암의 이동을 안내하는 것을 돕기 위해 중력 보상 및/또는 마찰 보상을 용이하게 하도록 구동될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 하나 이상의 조인트들은 하나 이상의 작업 공간 가상 고정구들 및/또는 하나 이상의 조인트 공간 가상 고정구들에 따른 이동들을 통해 로봇 아암을 안내하도록 구동될 수 있다.

[0090] 하나 이상의 조인트 공간 가상 고정구들을 강제할 때, 상이한 조인트들은 로봇 아암을 (예를 들어, 그 자신의 아암 링크들 사이의 자체-충돌의 회피를 위해, 로봇 아암이 전개될 때 더 적은 체적을 점유하기 위해, 등등) 점차적으로 전개되는 포즈들의 순서화된 시퀀스를 통해 효과적으로 이동시키기 위해 특정 순서로 작동될 수 있다. 예를 들어, 일부 변형예들에서, 로봇 아암이 전개 포즈들의 시퀀스 동안 점유하는 전체 체적을 감소시키기 위하여, 로봇 아암 내의 더 많은 원위 조인트들 이전에 더 많은 근위 조인트들이 전개되도록 바이어스될 수 있다. 도 2a에 도시된 로봇 아암의 예시적인 변형예에 대하여, 로봇 아암을 다양한 온-평면 포즈들을 통해 안내하기 위해, 방법은 J2 상의 제1 조인트 공간 가상 고정구, J4 상의 제2 조인트 공간 가상 고정구, 및 J6 상의 제3 조인트 공간 가상 고정구들을 포함할 수 있으며, 여기서 제1, 제2 및 제3 조인트 공간 가상 고정구들은 그 순서로 강제된다.

[0091] 일부 변형예들에서, 로봇 아암의 하나 이상의 조인트들은 로봇 아암이 미리결정된 소정의 이동 명령을 따르는 자동 궤적 추종 모드를 용이하게 하도록 구동될 수 있다. 예를 들어, 전개 궤적은 각각의 조인트들(예를 들어, 도 2a에 도시된 로봇 아암 변형예와 관련하여, J1 내지 J7)에게 로봇 아암을 테이블 이탈 포즈(420)로부터 온-평면 포즈(430)로 점차적으로 전이시키라고 명령하기 위해, 로봇 아암에 대한 조인트 레벨에 대해 미리계산될 수 있다. 일부 변형예들에서, 궤적의 실행을 감독하는 제어 시스템은 도 9에 도시된 규칙들의 세트를 따를 수 있다. 일반적으로, 명령받은 궤적(q_{cmd})을 실행할 때, 조인트 위치 제어기는 소프트 이득을 가질 수 있고, 피드포워드 방식으로 미리계산된 조인트 토크들에 의해 보상될 수 있다. 궤적 추종 모드가 활성이기 때문에, 조인트들의 실제 위치는 로봇 아암 내의 센서들로(예를 들어, 인코더들로) 검출될 수 있고, 제어 시스템에서 q_{status} 로서 활용될 수 있다. 미리계산된 조인트 토크에 기여하는 피드포워드 항들은 (전술된 바와 같이) 조인트들의 이동을 달성하기 위해 계산된 조인트 토크들 및 중력 보상에 요구되는 조인트 토크들을 포함할 수 있다. 조인트들 및 피드포워드 중력 항들 상의 소프트 게인들은 로봇 아암이 미리결정된 궤적을 추종하되, (예를 들어, 근처 물체들과의 충돌, 그 자신의 링크들 간의 간섭 등으로 인한) 예상치 못한 외력에 순응하도록 허용할 수 있다. 예를 들어, 검출가능한 추적 오류($|q_{cmd} - q_{status}|$)는 로봇 아암이 충돌 등으로 인해 방해되는 때를 나타낼 수 있고, 소프트 이득은 로봇 아암 내의 명령받은 토크의 잠재적으로 위험한 축적을 방지할 것이다. 또한, 일부 변형예들에서, 추적 오류($|q_{cmd} - q_{status}|$)가 특정 임계값을 초과하는 경우, 궤적 추종 모드는 일시정지되거나 포기될 수 있다(즉, 궤적의 실행을 중지하기 위함).

[0092] 하나의 안내 프로세스가 일련의 미리결정된 포즈들 전체에 걸쳐 로봇 아암을 이동시키는 데 사용될 수 있다. 대안적으로, 상이한 안내 프로세스들이 일련의 미리결정된 포즈들의 상이한 부분들에 대해 사용될 수 있다. 예를 들어, 궤적 추종 모드는 로봇 아암을 테이블 이탈 포즈로부터 초기 온-평면 포즈로 안내할 수 있고, 작업 공간 또는 조인트 공간 가상 고정구는 초기 온-평면 포즈와 낮은 파킹 포즈 사이에서 로봇 아암을 안내할 수 있으며, 중력 보상 모드 및 마찰 보상 모드만이 로봇 아암을 높은 파킹 포즈와 드레이프 포즈 사이에서 안내할 수 있다. 셋업 전반에 걸친 안내 프로세스들의 다른 조합 및 치환이 다른 변형예들에서 가능할 수 있다. 예를 들어, 시스템은 궤적 추종을 위한 사용자 특정 선호도, 작업 공간 가상 고정구 또는 조인트 공간 가상 고정구, 또

는 중력 보상 및/또는 마찰 보상을 이용한 수동 조작에 기초하여 동작하도록 세팅될 수 있다. 특정 안내 프로세스에 대한 그러한 사용자 선호도는 일련의 포즈들 전체에 대해, 또는 특정 포즈들 사이의 전이에 대해 적용될 수 있다. 다른 예로서, 시스템은 환자-특정, 시술-특정, 장비-특정, 및/또는 방(room)-특정 파라미터에 기초하여 동작하도록 세팅될 수 있다. 예를 들어, 상이한 환자(예를 들어, 상이한 환자 크기), 상이한 직원, 상이한 외과 시술, 또는 상이한 수술실 환경은 다른 것들보다 더 적합한 특정 종류의 안내 프로세스를 만들 수 있는 상이한 공간적 제약들 또는 다른 제약들을 설정할 수 있다. 단지 예시적인 예로서, 중력 보상 및 마찰 보상을 이용하여 포즈들 전체에 걸쳐 로봇 아암을 수동으로 조작하기에는 베드사이드(bedside) 보조인의 키가 작을 수 있으며, 그러한 경우들에 있어서, 케적 추종 모드가 더 적절할 수 있다.

[0093] 일부 변형예들에서, 가상 고정구(예를 들어, 부드러운 스프링력 및/또는 감쇠력을 제공함) 및/또는 브레이크는, 로봇 아암 내의 링크들의 나머지가 이동하는 동안 링크들 중 적어도 일부의 포즈를 유지하는 것을 도울 수 있다. 예를 들어, 낮은 파킹 포즈로부터 높은 파킹 포즈(또는 테이블 이탈 포즈 이후의 다른 초기 온-평면 포즈로부터 높은 파킹 포즈로의)로의 전이는 로봇 아암의 원위 링크들 사이의 상대적 이동을 실질적으로 저지시키기 위한 가상 고정구 및/또는 브레이크를 수반할 수 있으며, 이는 사용자가 로봇 아암을 잡아 당겨 낮은 파킹 포즈와 높은 파킹 포즈 사이에서 로봇 아암을 전개할 때 원위 링크들의 접힌 포즈를 유지하는 것을 도울 수 있다. 예를 들어, 도 2a에 도시된 예시적인 로봇 아암을 참조하면, 사용자가 로봇 아암을 높은 파킹 포즈로 당기거나 달리 조작하고 있을 때, 로봇의 원위 부분 근처의 조인트들(J6, J7)은 인접 링크들을 접힌 포즈로 유지하기 위해 함께 잠금될 수 있다.

[0094] 도 4a에 도시된 바와 같이, 로봇 아암은 또한 오프-평면 포즈들(440) 또는 기준 평면에 있지 않은 포즈들로 선택적으로 이동할 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암은 (예를 들어, 충분한 힘으로 가상 고정구에서 이탈(break free)하는 것에 의해) 온-평면 포즈(430)로부터 오프-평면 포즈(440)로 이동할 수 있다. 예를 들어, 오프-평면 포즈는 환자로의 즉각적인 베드사이드 접근을 제공하기 위해 로봇 아암이 방해가 안되도록 신속하게 이동되어야 하는 응급 시나리오에서 바람직할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 오프-평면 포즈(들)(430)는 테이블 이탈 포즈(420)를 포함하는 임의의 위치로부터 이동하는 로봇 아암에 의해 달성될 수 있다. 일부 변형예들에서, 오프-평면 포즈로의 그리고 그로부터의 로봇 아암의 이동은 전술된 온-평면 포즈들 사이에서의 이동과 실질적으로 유사한 방식으로 안내될 수 있다. 예를 들어, 작업 공간 가상 고정구 및/또는 조인트 공간 가상 고정구는 기준 평면(예를 들어, 낮은 파킹 포즈(432), 높은 파킹 포즈(434), 드레이프 포즈(436), 또는 다른 적합한 온-평면 포즈(430))을 향해 다시 로봇 아암을 바이어스시키는 것을 도울 수 있다.

[0095] 도킹

[0096] 일단 로봇 아암이 멸균 드레이프로 드레이프되면, 로봇 아암은 수술 기구가 환자 내로 삽입될 수 있는 통로를 제공하기 위해 환자 내에 배치되는 캐놀러에 도킹하기 위한 포즈(450)로 이동될 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암은 배치된 캐놀러에 로봇 아암의 원위 단부가 더 가까워지도록 이동될 수 있다(예를 들어, 중력 보상 및/또는 마찰 보상 하에서 사용자에게 의해 수동으로 조작됨). 로봇 아암의 원위 단부 상에 배치된 기구 드라이버는 로봇 아암이 캐놀러에 도킹된 포즈(450)에 있도록 캐놀러에 결합될 수 있다. 예를 들어, 도킹된 포즈(450)는 로봇 아암이 로봇 아암과 연관된 수술 기구를 사용하는 외과 시술 동안의 사용을 위해 준비됨(예를 들어, 기구 드라이버에 결합되고 캐놀러를 통해 환자 내로 통과함)을 나타낼 수 있다.

[0097] 수술 후 작업흐름

[0098] 일부 변형예들에서, 전술된 바와 같이, 방법(300)은 외과 시술 후에 로봇 수술 시스템을 "테어다운" 하는 것을 돕기 위해 사용될 수 있다. 수술 후 작업흐름 세팅에서의 방법의 예시적인 변형예의 양태들이 도 4b에 도시되어 있다. 일반적으로, 도 4b에 요약된 수술 후 작업흐름은 수술 후 작업흐름이 수술 전 작업흐름에 비해 역순으로 프로세스들을 포함할 수 있는 것을 제외하고는, 도 4c에 요약된 수술 전 작업흐름과 유사할 수 있다.

[0099] 도킹 해제

[0100] 외과 시술 후에(또는 로봇 아암이 환자 부위로부터 제거되어야 하는 다른 상황에서), 로봇 아암은 캐놀러로부터 결합해제되고 도킹해제된 포즈(460)로 이동될 수 있다. 도킹해제된 포즈(460)는, 로봇 아암이 환자로부터 멀리(예를 들어, 환자로 부터 적어도 수 피트만큼 멀어지는 것과 같이 환자 주위의 미리정의된 경계 외부로) 이동되는 임의의 적합한 포즈일 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암은, 중력 보상 및/또는 마찰 보상의 보조를 받아(또는 대안적으로 케적 추종 등을 이용하여) 사용자에게 의해 수동으로 환자로 부터 멀리 그리고 도킹해제된 포즈(460)로 조작될 수 있다. 일부 변형예들에서, 도킹해제된 포즈(460)는 (예를 들어, 기준 평면 상의) 온-평면 포즈(43

0)일 수 있지만, 대안적으로 도킹해제된 포즈(460)는 기준 평면 내에 있지 않은 임의의 적합한 포즈일 수 있다.

[0101]

온-평면 포즈들, 테이블 이탈 포즈

[0102]

도 4b에 도시된 바와 같이, 캐놀러로부터 도킹해제된 후에, 로봇 아암은 기준 평면 상에 있는 온-평면 포즈(430)를 향해 이동될 수 있다. 수술 후 작업흐름 동안, 온-평면 포즈들(430) 및/또는 기준 평면 내의 다른 포즈들을 향한 그리고 그 사이의 로봇 아암의 이동은 일부 변형예들에서, 수술 전 작업흐름에 대해 전술된 바와 같은 하나 이상의 방식으로 안내될 수 있다(예를 들어, 작업 공간 가상 고정구 및/또는 조인트 공간 가상 고정구 등으로 안내됨).

[0103]

하나 이상의 조인트 공간 가상 고정구들을 강제할 때, 상이한 조인트들은 로봇 아암을 (예를 들어, 그 자신의 아암 링크들 사이의 자체-충돌의 회피를 위해, 로봇 아암이 전개될 때 더 적은 체적을 점유하기 위해, 등등) 점차적으로 접히는 포즈들의 순서화된 시퀀스를 통해 효과적으로 이동시키기 위해 특정 순서로 작동될 수 있다. 예를 들어, 일부 변형예들에서, 로봇 아암이 접힘 포즈들의 시퀀스 동안 점유하는 전체 체적을 감소시키기 위하여, 로봇 아암 내의 더 많은 근위 조인트들 이전에 더 많은 원위 조인트들이 접히도록 바이어스될 수 있다. 도 2a에 도시된 로봇 아암의 예시적인 변형예에 대하여, 로봇 아암을 다양한 온-평면 포즈들을 통해 안내하기 위해, 방법은 J6 상의 제1 조인트 공간 가상 고정구, J4 상의 제2 조인트 공간 가상 고정구, 및 J2 상의 제3 조인트 공간 가상 고정구를 포함할 수 있으며, 여기서 제1, 제2 및 제3 조인트 공간 가상 고정구들은 그 순서로 강제된다.

[0104]

다른 예로서, 로봇 아암은 외력(예를 들어, 사용자 조작)에 의해 드레이프 포즈(436)를 향해 안내될 수 있으며, 여기서 멸균 드레이프가 로봇 아암으로부터 제거될 수 있다. 드레이프 포즈(436)로부터, 로봇 아암은 높은 파킹 포즈(434) 및/또는 낮은 파킹 포즈(432)를 향해 안내될 수 있다. 로봇 아암은 이어서 기준 평면 또는 기준 위치에서 테이블 이탈 포즈(420)를 향해 안내될 수 있다(예를 들어, 콤팩트 포즈로 실질적으로 접힐 수 있음).

[0105]

또한, 수술 전 작업흐름에 대해 기술된 것과 유사하게, 일부 변형예들에서, 로봇 아암은 기준 평면 내에 있지 않은 하나 이상의 오프-평면 포즈들(440)을 향해 조작되고, 후속적으로 가상 고정구 등을 통해 기준 평면을 향해 다시 바이어스될 수 있다.

[0106]

보관 포즈

[0107]

일부 변형예들에서, 도 4b에 도시된 바와 같이, 로봇 아암은 기준 위치 또는 기준 평면에서의 테이블 이탈 포즈(420)로부터 보관 포즈(410)로 전이할 수 있다. 일부 변형예들에서, 로봇 아암은 (예를 들어, 핸드헬드 통신 디바이스 또는 다른 인터페이스로부터의 원격 명령을 통한) 이동 명령에 응답하여 예컨대 궤적 추종 모드를 통해 보관 포즈(410)로 안내될 수 있다. 일부 변형예들에서, 로봇 아암은 (예를 들어, 중력 보상 및/또는 마찰 보상을 이용한) 로봇 아암의 사용자 조작, 하나 이상의 작업 공간 가상 고정구를 이용한 안내, 및/또는 하나 이상의 조인트 공간 가상 고정구를 이용한 안내를 이용하여 보관 포즈로 안내될 수 있다. 전술된 것과 유사하게, 일반적으로, 보관 포즈(410)에 있을 때, 로봇 아암은 로봇 아암에 대한 보관 모드 또는 상태와 연관된 콤팩트 포즈(예를 들어, 환자 테이블 아래 또는 그에 인접함)에 있을 수 있다. 일부 변형예들에서, 로봇 아암이 셋업의 시작 시에 지정된 보관 포즈 및/또는 보관 위치에 있지 않은 상이한 포즈(408)에 있는 경우에, 로봇 시스템은 로봇 아암이 보관 포즈(460)에 있지 않다는 오류를 사용자에게 표시하고/하거나 로봇 아암을 보관 포즈(460)로 이동시키거나 또는 달리 안내할 수 있다.

[0108]

예

[0109]

하나의 예시적인 변형예에서, 로봇 아암의 근위 단부는, 결합 배열을 통해, 환자가 놓인 환자 테이블에 결합될 수 있다. 결합 배열은 측방향 피봇 조인트를 작동시키기 위한 액추에이터, 및 측방향 피봇 조인트의 이동을 저지시키기 위한 하나 이상의 브레이크를 포함할 수 있다. 예시적인 수술 전 작업흐름에서, 로봇 아암은 환자 테이블 아래에 위치한 보관 포즈에서 시작할 수 있으며, 이때 로봇 아암은 접힌, 콤팩트 포즈에 있을 수 있다. 로봇 아암 내의 브레이크들과 결합 배열 내의 브레이크가 테이블 아래에 로봇 아암의 보관 포즈를 유지하도록 맞물릴 수 있다. 궤적 추종 모드가 인에이블될 수 있고, 로봇 아암을 보관 포즈로부터 테이블 이탈 모드로 이동시키기 위한 궤적이 메모리 디바이스로부터 제어 시스템 내로 로딩될 수 있다. 결합 배열 내의 브레이크는 맞물림해제될 수 있고, 측방향 피봇 조인트는, 접힘형 로봇 아암이 환자 테이블로부터 측방향으로 적어도 45도 멀리 위치된 기준 위치에서 테이블 이탈 포즈로 측방향으로 피벗되도록, 로딩된 궤적에 따라 작동될 수 있다.

[0110]

사용자는 로봇 아암을 당기고 달리 수동으로 조작하여 테이블 이탈 포즈로부터 기준 위치에 있는 기준 평면 상에 실질적으로 위치된 포즈로 전개시킬 수 있으며, 여기서 기준 평면은 로봇 아암의 근위 링크에 수직이다. 이

들 수동 조작을 통해, 로봇 아암의 하나 이상의 조인트들은 작업 공간 가상 고정구 및/또는 조인트 공간 가상 고정구에 따라 이들 모션을 보조하도록 하나 이상의 액추에이터들로 구동될 수 있으며, 이는 기준 평면 내에서 로봇 아암의 이동을 실질적으로 안내하거나 구속할 수 있다. 사용자가 로봇 아암을 이동시킬 때(예를 들어, 밀거나 당김), 마찰 보상 모드는 사용자가 마찰을 극복하는 것을 돕고 사용자가 로봇 아암을 보다 용이하게 이동시키는 것을 가능하게 하도록 인에이블될 수 있다. 또한, 사용자가 로봇 아암을 놓을 때, 로봇 아암은 중력 보상 모드에 있는 하나 이상의 조인트들의 작동으로 인해 그의 현재 포즈를 유지할 수 있다. 일반적으로, 사용자는 높은 파킹 포즈 및 드레이프 포즈를 포함하는 기준 평면 내에서의 안내된 모션에 따른 다양한 포즈들을 통해 로봇 아암을 수동으로 이동시킬 수 있다. 로봇 아암이 드레이프 포즈에 있을 때, 로봇 아암은 중력 보상으로 인해 정지된 상태로 유지될 수 있고, 사용자는 비-평균 로봇 아암을 평균 환경으로부터 격리시키기 위해 로봇 아암의 적어도 일부분을 평균 드레이프로 덮을 수 있다.

[0111] 드레이프된 로봇 아암은 중력 보상 및 마찰 보상의 보조를 받아 환자 테이블 상의 환자 내의 적절한 위치에 배치된 캐놀러를 향해 사용자에게 의해 추가로 수동으로 조작될 수 있다. 예를 들어, 사용자는 (로봇 아암의 원위 단부 상의) 기구 드라이버를 환자 내의 원하는 위치에 삽입되는 캐놀러를 향해 당길 수 있고, 기구 드라이버 및 로봇 아암을 캐놀러에 결합(도크)할 수 있다. 이러한 도킹된 위치에서, 기구 드라이버는 캐놀러를 통과할 수술 기구(예를 들어, 내시경 카메라, 엔드 이펙터 등)를 수용할 준비가 되어 있고, 로봇 아암은 로봇 외과 기술 동인의 사용을 위해 준비된다.

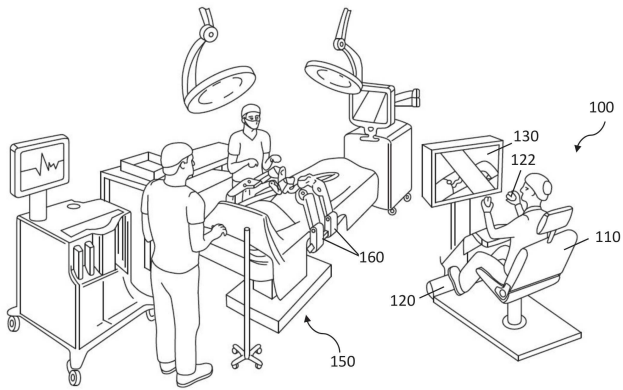
[0112] 로봇 외과 기술의 완료 후에, 예시적인 수술 후 작업흐름은 수술 전 작업흐름과 유사한 단계들이 실질적으로 반대로 수행되는 것을 포함한다. 기구 드라이버는 캐놀러로부터 결합해제(도킹해제)될 수 있고, 로봇 아암은 중력 보상 및 마찰 보상의 보조를 받아 환자로부터 멀리 사용자에게 의해 수동으로 조작된다. 로봇 아암은 수술 전 작업흐름 동안과 동일하거나 유사한 기준 평면으로 진입하기 위해 환자로부터 충분히 멀리 이동될 수 있고, 드레이프 포즈를 포함하는 기준 평면 내에 실질적으로 구속된 다양한 포즈들로 재위치설정될 수 있다. 이전과 같이, 로봇 아암이 드레이프 포즈에 있을 때, 로봇 아암은 중력 보상으로 인해 정지된 상태로 유지될 수 있고, 사용자는 로봇 아암으로부터 평균 드레이프를 제거할 수 있다. 일반적으로, 사용자는 로봇 아암을 안내된 모션에 따라 계속해서 수동으로 이동시켜 로봇 아암을 드레이프 포즈로부터 높은 파킹 포즈로, 그리고 로봇 아암이 콤팩트 포즈로 접히는 테이블 이탈 포즈로(또는 그에 근접하게) 접을 수 있다. 이러한 이동들 전체에 걸쳐, 로봇 아암의 하나 이상의 조인트들은 기준 평면 내에서 로봇 아암의 이동을 실질적으로 안내하거나 구속하기 위해, 작업 공간 가상 고정구 및/또는 조인트 공간 가상 고정구에 따라 하나 이상의 액추에이터들로 이들 모션을 보조하도록 구동될 수 있다.

[0113] 테이블 이탈 포즈로부터, 궤적 추종 모드가 인에이블될 수 있고, 로봇 아암을 테이블 이탈 포즈로부터 보관 포즈로 이동시키기 위한 궤적이 메모리 디바이스로부터 제어 시스템 내로 로딩될 수 있다. 측방향 피봇 조인트는 접합형 로봇 아암을 테이블 이탈 포즈로부터 보관 포즈로 이동시키도록 작동될 수 있다. 결합 배열 내의 브레이크와 로봇 아암 내의 브레이크는 로봇 아암을 보관 포즈에 유지하기 위해 맞물릴 수 있다(예를 들어, 로봇 아암이 다른 외과 기술을 위해 준비될 때까지).

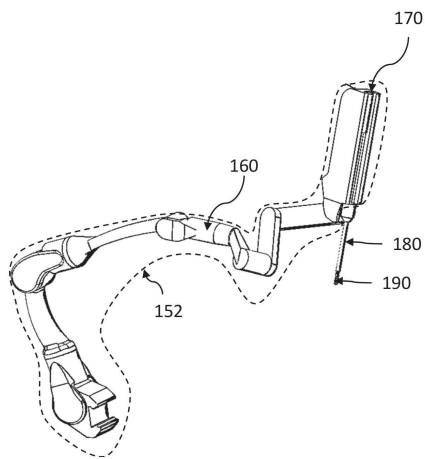
[0114] 상기 설명은, 설명의 목적을 위해, 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해 특정 명명법을 사용하였다. 그러나, 본 발명을 실시하기 위해 특정 상세 사항이 요구되지 않는다는 것이 당업자에게 명백할 것이다. 따라서, 본 발명의 특정 실시예에 대한 상기 설명은 예시 및 설명의 목적으로 제공된다. 이들은 총망라하거나 본 발명을 개시된 정확한 형태로 제한하고자 하는 것은 아니며, 명백하게는, 상기 교시 내용을 고려하여 많은 수정 및 변형이 가능하다. 실시예들은 본 발명의 원리 및 그의 실제 응용을 가장 잘 설명하기 위해 선택 및 설명되었으며, 이에 의해 본 기술 분야의 다른 기술자들이, 고려되는 특정 용도에 적합한 다양한 변형을 갖고서 본 발명 및 다양한 실시예를 가장 잘 이용할 수 있게 한다. 하기 청구범위 및 그의 등가물은 본 발명의 범주를 한정하는 것으로 의도된다.

도면

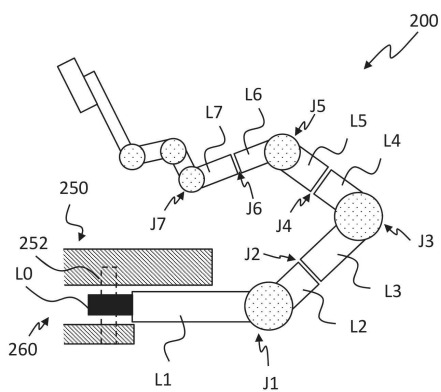
도면1a



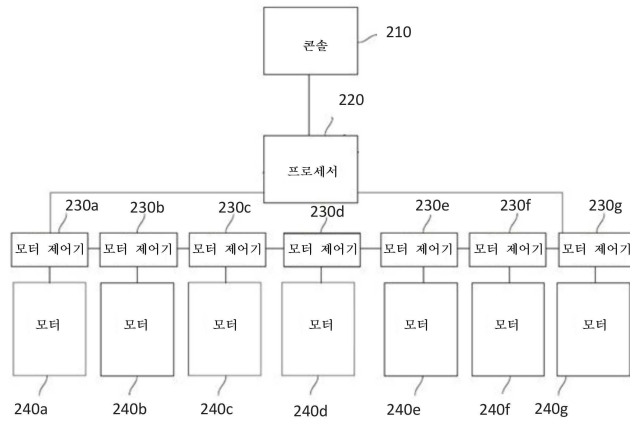
도면1b



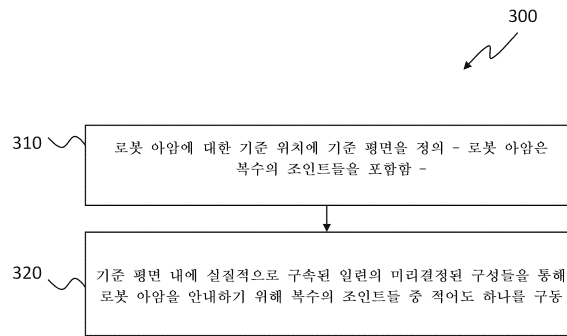
도면2a



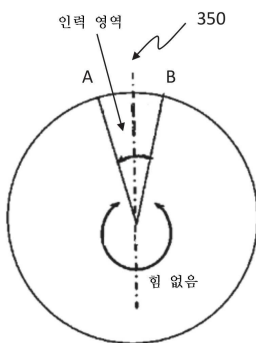
도면2b



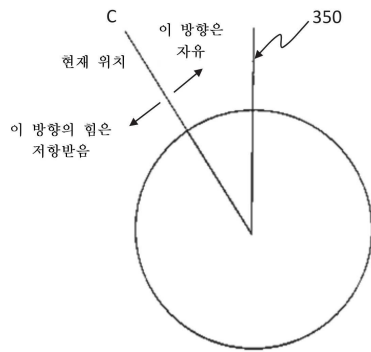
도면3a



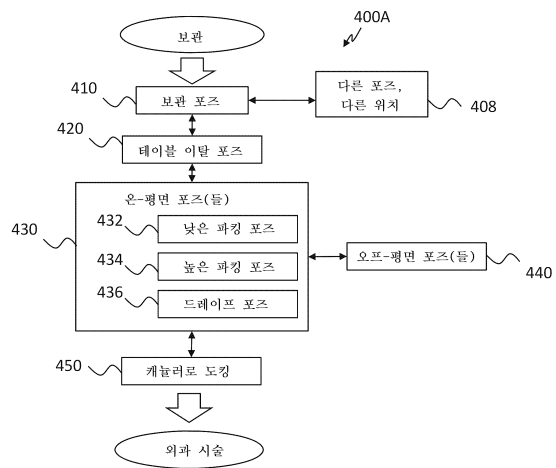
도면3b



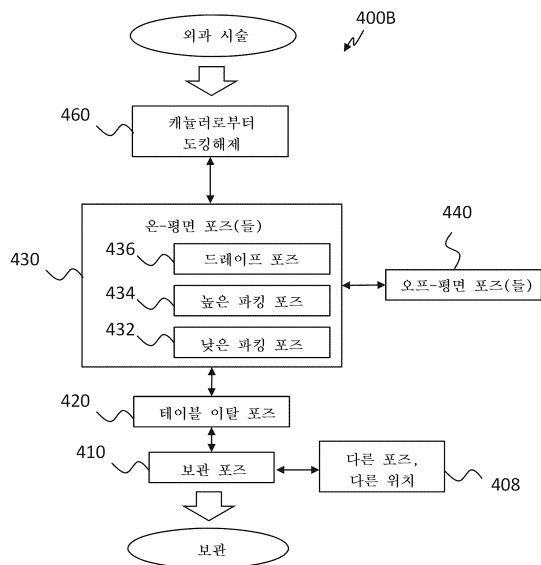
도면3c



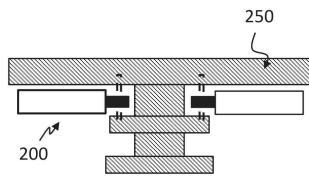
도면4a



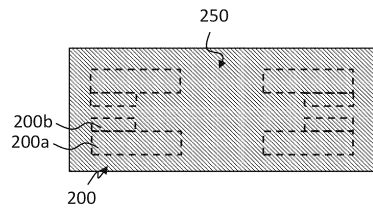
도면4b



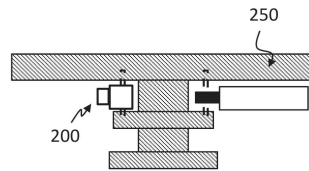
도면5a



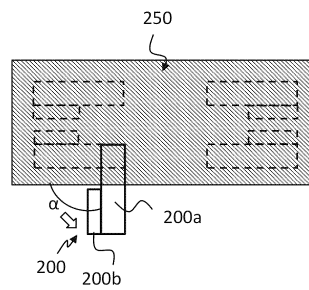
도면5b



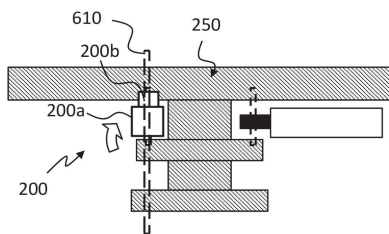
도면6a



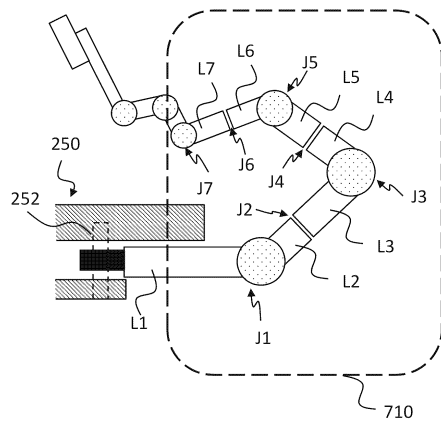
도면6b



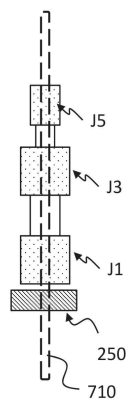
도면6c



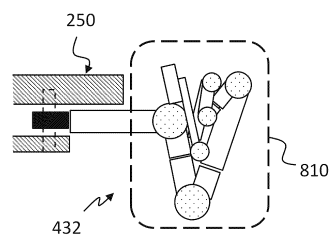
도면7a



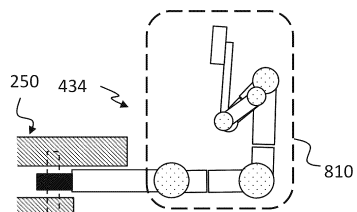
도면7b



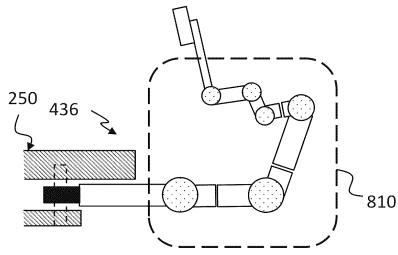
도면8a



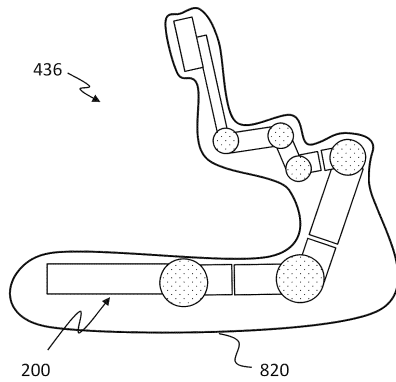
도면8b



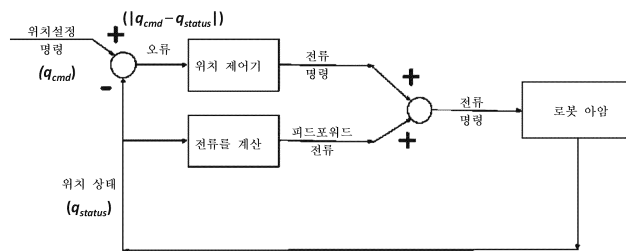
도면8c



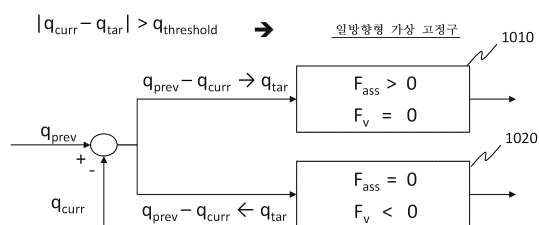
도면8d



도면9



도면10a



도면10b

