



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0002996
(43) 공개일자 2023년01월05일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 34/35 (2016.01) A61B 34/00 (2016.01)
A61B 34/37 (2016.01) A61B 90/00 (2016.01)
B25J 9/16 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
A61B 34/35 (2016.02)
A61B 34/37 (2016.02)
- (21) 출원번호 10-2022-7041015
- (22) 출원일자(국제) 2020년04월24일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2022년11월23일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2020/029889
- (87) 국제공개번호 WO 2021/216091
국제공개일자 2021년10월28일
- (30) 우선권주장
16/858,010 2020년04월24일 미국(US)

- (71) 출원인
버브 서지컬 인크.
미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아메리카 파크웨이 5490
- (72) 발명자
고넨크 머크
미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아메리카 파크웨이 5490
쉬 이밍
미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아메리카 파크웨이 5490
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
장훈

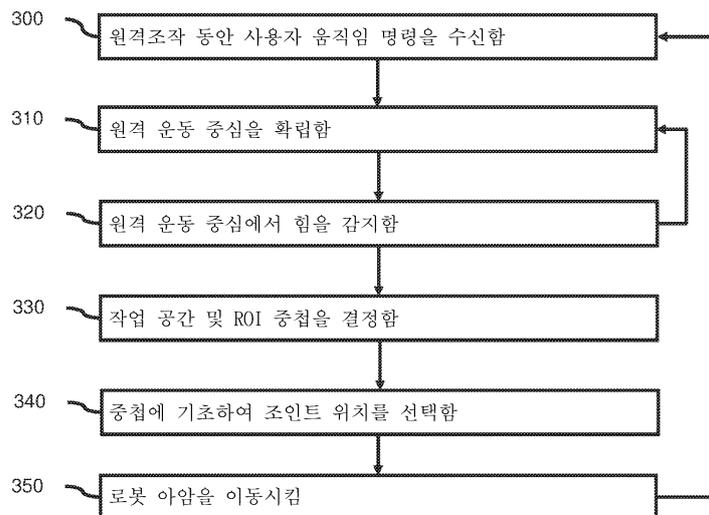
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **수술 로봇용 원격 운동 중심 제어**

(57) 요약

수술 로봇 시스템의 원격 운동 중심(RCM; remote center of motion)에 대한 제어를 위해, 로봇 조작기의 가능한 구성은 목표 해부학적 구조와의 수술 기구의 작업 공간의 최대 중첩을 제공하는 구성을 찾기 위해 검색된다. RCM에서의 힘은, 예를 들어 캐논리 상의 또는 로봇 조작기를 캐논리에 연결하는 어댑터 내의 하나 이상의 센서로써 측정될 수 있다. 측정된 힘은, RCM의 변화를 결정하여 RCM에서 환자에 가해지는 힘을 최소화하기 위해 사용된다. 이러한 변화를 고려하면, 로봇 조작기의 구성은 동적으로 갱신될 수 있다. 이러한 RCM 제어의 다양한 태양은, 예를 들어 목표 해부학적 구조에 대한 작업 공간의 정렬을 최적화하고, RCM에서 힘을 최소화하고/하거나 작업 공간 정렬 및 힘 측정에 기초하여 로봇 조작기 구성을 동적으로 제어하기 위해 단독으로 또는 조합하여 사용될 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

A61B 34/70 (2016.02)

A61B 90/06 (2016.02)

B25J 9/1633 (2013.01)

B25J 9/1689 (2013.01)

A61B 2090/064 (2016.02)

(72) 발명자

니콜슨 마가렛

미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아
메리카 파크웨이 5490

킬로이 파블로 가르시아

미국 95054 캘리포니아, 산타 클라라 그레이트 아
메리카 파크웨이 5490

명세서

청구범위

청구항 1

수술 로봇 시스템의 원격 운동 중심(remote center of motion) 제어를 위한 방법으로서,

로봇 조작기에 대한 원격 운동 중심을 확립하는 단계;

목표 해부학적 구조와 상기 로봇 조작기 상의 수술 기구의 복수의 작업 공간들 중 각각의 작업 공간 사이의 중첩량을 결정하는 단계로서, 상기 작업 공간들은 상기 원격 운동 중심에 대한 상기 로봇 조작기의 상이한 구성에 대응하는, 상기 중첩량을 결정하는 단계;

상기 중첩량의 최대치를 갖는 상기 로봇 조작기의 구성을 선택하는 단계; 및

상기 로봇 조작기의 하나 이상의 조인트를 상기 선택된 구성으로 이동시키는 단계를 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 원격 운동 중심을 확립하는 단계는 상기 로봇 조작기를 환자 내의 삽입 위치에서 캐놀러에 도킹시키는 단계를 포함하고, 상기 원격 운동 중심은 상기 삽입 위치인, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 로봇 조작기 및 상기 수술 기구에 의한 원격조작 동안 상기 원격 운동 중심에서의 힘을 감지하는 단계를 더 포함하고, 확립하는 단계는 상기 힘에 기초한 변화로부터 상기 원격 운동 중심을 확립하는 것을 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 감지하는 단계는 상기 로봇 조작기에 연결된 캐놀러 상의 센서로써 감지하는 것을 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 5

제3항에 있어서, 감지하는 단계는 상기 로봇 조작기의 어댑터 내의 힘 센서로써 감지하는 것을 포함하고, 상기 어댑터는 상기 로봇 조작기를 캐놀러에 연결하도록 구성된, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 감지하는 단계는 상기 힘 센서를 포함하는 다수의 1 자유도 센서들로써 감지하는 것을 포함하고, 상기 1 자유도 센서들은 상기 어댑터의 상이한 표면들 상에 있고, 상기 표면들은 상기 로봇 조작기에 연결될 때 상기 캐놀러와 접촉하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 7

제3항에 있어서, 결정하는 단계는 상기 원격조작 동안 결정하는 것을 포함하고, 선택하는 단계는 상기 원격조작 동안 선택하는 것을 포함하고, 이동시키는 단계는 상기 힘에 응답하여 확립된 상기 원격 운동 중심 및 상기 선택된 구성을 고려하기 위해 상기 로봇 조작기의 하나 이상의 조인트를 이동시키는 것을 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 이동시키는 단계는 상기 선택된 구성을, 상기 힘에 응답하여 확립된 상기 원격 운동 중심을, 그리고 상기 원격조작 동안 수술자로부터의 상기 수술 기구의 움직임을 고려하기 위해 상기 하나 이상의 조인트를 이동시키는 것을 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법,

청구항 9

제1항에 있어서, 결정하는 단계는 구형 롤 조인트에 대한 조인트 위치들의 이산 수치화된 범위에 대응하는 상기 작업 공간들 중 각각의 작업 공간으로써 결정하는 것을 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 양을 결정하는 단계는 상기 목표 해부학적 구조가 의료 이미지 처리로부터 분할된 용적인 중첩 용적으로서 상기 양을 결정하는 것을 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 결정하는 단계는 비선형 검색에서 상기 복수의 작업 공간들을 검색하는 것을 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 판단하는 단계와 선택하는 단계는 원격조작 동안 다수 회 반복되고, 상기 반복들 중 상이한 반복들에 대해 선택하는 단계는 상기 작업 공간들 중 상이한 작업 공간들을 선택하는 것을 포함하고, 이동시키는 단계는 상기 로봇 조작기를 상기 반복들에 걸쳐 상기 선택된 위치들로 이동시키는 것을 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 13

수술 로봇 시스템의 원격 운동 중심 제어를 위한 방법으로서,

로봇 조작기의 원격 운동 중심에서의 힘을 감지하는 단계; 및

상기 로봇 조작기의 조인트 위치를 조정하는 단계로서, 상기 조정하는 단계는 상기 원격 운동 중심에서의 상기 힘을 감소시키고 환자 내의 관심 영역과의 수술 기구의 작업 공간의 중첩량을 고려하는, 상기 조정하는 단계를 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 힘을 감지하는 단계는 상기 로봇 조작기와 연결된 캐논러 상의 힘 센서로써 감지하는 것을 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 15

제13항에 있어서, 상기 힘을 감지하는 단계는 상기 로봇 조작기의 어댑터의 상이한 표면들 상의 복수의 압력 센서로써 감지하는 것을 포함하고, 상기 표면들은 캐논러와 접촉하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 16

제13항에 있어서, 조정하는 단계는 상기 관심 영역과의 상기 중첩량의 최대치에 대해 상기 수술 기구의 상이한 가능한 작업 공간들을 검색하는 단계로서, 상기 가능한 작업 공간들은 상기 조인트의 상이한 가능한 조인트 위치들에 대응하는, 상기 검색하는 단계, 및 상기 최대 중첩량으로 상기 가능한 작업 공간을 선택하는 단계를 포함하는, 원격 운동 중심 제어를 위한 방법.

청구항 17

의료 원격조작을 위한 수술 로봇 시스템으로서,

로봇 조작기;

상기 로봇 조작기에 연결된 수술 기구;

상기 로봇 조작기에 연결된 어댑터로서, 상기 어댑터는 원격조작 동안 캐논러와 연결되도록 구성된, 상기 어댑터;

상기 어댑터 상의 제1 센서; 및

상기 제1 센서로부터의 출력에 기초하여 상기 로봇 조작기의 원격 운동 중심을 조정하도록 구성된 컨트롤러를 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 어댑터는 상기 캐놀러와 접촉하기 위한 복수의 상이한 표면들을 갖고, 상기 상이한 표면들은 상기 어댑터 내에 리세스를 형성하고, 상기 제1 센서는 상기 상이한 표면들 중 제1 표면 상의 1 자유도 센서이고, 상기 시스템은 상기 상이한 표면들 중 제2 표면 상의 제2 센서를 더 포함하고, 상기 컨트롤러는 상기 제1 및 제2 센서들로부터의 출력에 기초하여 조정하도록 구성되는, 수술 로봇 시스템.

청구항 19

제17항에 있어서, 상기 컨트롤러는 목표 해부학적 구조와 상기 수술 기구의 복수의 작업 공간들 중 각각의 작업 공간 사이의 중첩량을 결정하도록, 상기 중첩량의 최대치를 갖는 상기 로봇 조작기의 위치를 선택하도록, 그리고 상기 로봇 조작기를 상기 선택된 위치로 이동시키도록 구성되고, 상기 작업 공간들은 상기 원격 운동 중심에 대한 상기 로봇 조작기의 상이한 위치들에 대응하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 컨트롤러는 상기 수술 기구의 원격조작 동안 상기 로봇 조작기의 움직임을 제공하면서 상기 로봇 조작기를 상기 선택된 위치로 이동시키도록 추가로 구성된, 수술 로봇 시스템.

발명의 설명

기술 분야

배경 기술

- [0001] 본 실시예는 최소 침습 수술(MIS; minimally invasive surgery)을 위한 로봇 시스템에 관한 것이다. MIS는 원격 수술자로부터의 명령들에 기초하여 수술 도구들을 조작하기 위한 하나 이상의 로봇 조작기(manipulator)를 포함하는 로봇 시스템들을 사용하여 수행될 수 있다. 예를 들어, 로봇 조작기는 그의 원위 단부에 메스(scalpel), 클램프(clamp), 가위, 및 이미징 장치(예를 들어, 내시경)를 비롯한 다양한 수술 기구 및 장치를 지지할 수 있다. 로봇 시스템을 사용하여, 외과 의사는 MIS 동안 원격조작으로 로봇 조작기를 제어한다.
- [0002] 수술 기구 및 장치는 캐놀러를 통해 환자의 신체 내로 삽입된다. 하드웨어 또는 소프트웨어 설계에 의해, 로봇 조작기는 원격 운동 중심(RCM; remote center of motion)을 갖는데, 이는 로봇 조작기의 베이스(base)에 대해, 따라서 환자에 대해 움직이지 않는다. 환자의 손상을 피하기 위해, RCM은 캐놀러 상의 삽입 지점과 정렬된다. 로봇 조작기는 한정된 작업 공간(workspace)을 갖는데, 이는 수술 기구 팁이 그 안에 도달하여 작동할 수 있는 환자의 용적(volume)을 설명한다. 용장성(redundant) 로봇 조작기(예를 들어, 6개 초과 관절)를 사용하는 경우, 로봇 조작기가 캐놀러에 도킹할(docked) 수 있는 몇몇 상이한 구성이 존재한다. 로봇 아암의 구성이 RCM을 유지하면서 변화함에 따라, 작업 공간도 또한 움직인다. 이들 구성 중에서, 목표 해부학적 구조(target anatomy)의 대부분 또는 전부가 작동 가능한 작업 공간 내에 속하게 되는 것을 보장하기 위해 어느 하나의 구성이 다른 구성에 비해 바람직할 수 있다. 기구가 목표 해부학적 구조에 도달하지 않는 것이 캐놀러 배치 후에 발견된다면, 불필요한 외상(trauma)이 환자에게 야기될 수 있다. 목표 해부학적 구조가 가능한 가장 짧은 시간에 수술 기구의 도달 범위 내에 있는 적절한 구성에 로봇 조작기(들)가 이르게 하고 환자가 마취 중에 있는 시간을 연장시키지 않는 것이 중요하다.
- [0003] 로봇 조작기는, 캐놀러에 도킹하기만 하면, 목표 해부학적 구조가 조작기의 작업 공간 내에 있음을 보장하는 "최적" 구성에 반드시 있게 되는 것은 아니다. 목표 해부학적 구조에 대한 로봇 조작기의 "비-최적" 구성은 도킹 프로세스로 인한 것일 수 있다. 목표 해부학적 구조는 또한 수술 동안 제한될 수 있다. 이러한 상황에서, 로봇 조작기는 목표 해부학적 구조와 작업 공간을 정렬하도록 재구성될 필요가 있을 수 있다. 재구성은 작업 공간을 목표 해부학적 구조와 일치시키기 위해 고정된 삽입 포트 주위로 조작기의 다양한 관절들을 움직임으로써 행해질 수 있다. 수동 재구성은 (1) 아암이 이동함에 따라 작업 공간의 형상 및 움직임을 시각화하기 위해 상당한 정신적 노력을 요하고 (2) 로봇 조작기의 다수의 관절들이 하나씩 이동할 필요가 있을 수 있기

때문에 육체적 노력을 요하게 된다. 원하는 구성에 도달하기 전에 복잡한 기계적 구조로 인해 다수의 조정들이 필요할 수 있으며, 이들 모두는 소중한 수술 시간(intraoperative time)을 소비하게 한다. 수 개의 자유도를 갖는 복잡한 로봇 시스템에서, 로봇의 작업 공간을, 특히 정확하게 그 구성이 작업 공간을 어떻게 결정하는지를 시각화하기는 어렵다.

발명의 내용

[0004] 서론으로, 후술되는 바람직한 실시예는 수술 로봇 시스템의 RCM 제어를 위한 방법, 시스템, 명령어 및 컴퓨터 판독가능 매체를 포함한다. RCM을 고려하면, 로봇 조작기의 가능한 구성은 목표 해부학적 구조와의 수술 기구의 작업 공간의 최대 중첩을 제공하는 구성을 찾기 위해 검색된다. RCM에서의 힘은, 예를 들어 캐논러 상의 또는 로봇 조작기를 캐논러에 연결하는 어댑터 내의 하나 이상의 센서로써 측정될 수 있다. 측정된 힘은, RCM의 변화를 결정하여 RCM에서 환자에 가해지는 힘을 최소화하기 위해 사용된다. 이러한 변화를 고려하면, 로봇 조작기의 구성은 동적으로 갱신될 수 있다. 이러한 RCM 제어의 다양한 태양은, 예를 들어 목표 해부학적 구조에 대한 작업 공간의 정렬을 최적화하고, RCM에서 힘을 최소화하고/하거나 작업 공간 정렬 및 힘 측정에 기초하여 로봇 조작기 구성을 동적으로 제어하기 위해 단독으로 또는 조합하여 사용될 수 있다.

[0005] 제1 태양에서, 수술 로봇 시스템의 RCM 제어를 위한 방법이 제공된다. RCM은 로봇 조작기에 대해 확립된다. 로봇 조작기 상의 수술 기구의 복수의 작업 공간들 중 각각의 작업 공간과 목표 해부학적 구조 사이의 중첩량이 결정된다. 작업 공간은 RCM에 대한 로봇 조작기의 상이한 구성에 대응한다. 중첩량의 최대치를 갖는 로봇 조작기의 구성이 선택된다. 로봇 조작기 조인트는 선택된 구성에 대응하는 새로운 위치로 이동한다.

[0006] 제2 태양에서, 수술 로봇 시스템의 RCM 제어를 위한 방법이 제공된다. RCM에서의 힘이 측정된다. 로봇 조작기 구성은, RCM에서의 힘 인가를 감소시키고 환자의 목표 해부학적 구조와 수술 기구의 작업 공간 사이의 중첩을 유지하도록 조정된다.

[0007] 제3 태양에서, 의료 원격조작을 위한 수술 로봇 시스템이 제공된다. 수술 기구는 로봇 조작기에 연결된다. 어댑터는 로봇 조작기에 연결된다. 어댑터는 원격조작 동안 캐논러와 연결되도록 구성된다. 하나 이상의 힘 센서가 어댑터 상에 있다. 제어기는 힘 센서로부터의 출력에 기초하여 로봇 조작기의 RCM을 조정하도록 구성된다.

[0008] 본 발명은 하기 청구범위에 의해 한정되고, 이 섹션의 어떤 것도 그러한 청구범위에 대한 제한으로 간주되지 않아야 한다. 청구범위의 한 유형(예를 들어, 방법)에 대한 임의의 교시는 청구범위의 다른 유형(예를 들어, 컴퓨터 판독가능 저장 매체 또는 시스템)에 적용 가능할 수 있다. 본 발명의 추가 태양 및 이점은 바람직한 실시예와 함께 아래에서 논의되고, 이후에 독립적으로 또는 조합하여 청구될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 구성요소 및 도면은 반드시 축척에 맞게 도시되지는 않으며, 대신에 본 발명의 원리를 예시하는 데 중점을 둔다. 게다가, 도면에서, 유사한 도면 번호는 상이한 도면에 걸쳐 대응하는 부분을 지시한다.

도 1은 일 실시예에 따른 수술 로봇 시스템을 구비한 수술실 환경의 일 실시예의 도시이다.

도 2는 예시적인 수술 로봇 아암 및 수술 도구를 도시한다.

도 3은 수술 로봇 시스템의 원격 운동 중심 제어를 위한 방법의 일 실시예의 흐름도이다.

도 4a 및 도 4b는 캐논러와의 연결을 위한 예시적인 어댑터 및 센서를 도시한다.

도 5는 목표 해부학적 구조에 대한 예시적인 작업 공간 정렬을 도시한다.

도 6은 예시적인 작업 공간 정렬을 도시하면서 원격 운동 중심에서의 힘 감지를 또한 포함한다.

도 7은 수술 로봇 시스템의 일 실시예의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 원격 운동 중심(RCM)을 위치 변경하기 위해 보조 아암 조작이 제공된다. RCM은 로봇 조작기(예를 들어, 로봇 아암) 및 수술 기구의 작업 공간과 목표 해부학적 구조 사이의 중첩 용적이 최대화되도록 안전하고, 용이하고, 신속하게 위치 변경되거나 유지될 수 있다. 가능한 로봇 조작기 구성은 RCM의 위치를 고려하여 최적의 중첩 수준을 확인하기 위해 시험된다. 로봇 조작기는 이러한 정렬, RCM의 위치 변경 및/또는 원격조작을 고려하도록

이동될 수 있다.

- [0011] 캐놀러(예를 들어, 투관침(trocar)) 힘(예를 들어, 병진력, 압력, 및/또는 토크) 측정은 적응식 RCM 제어에 사용될 수 있다. RCM은 삽입 시의 환자의 움직임, 로봇 조작기의 움직임, 또는 환자의 조직에 대한 원하지 않는 다른 원인의 힘에 적응하도록 이동될 수 있다(즉, RCM은 환자 내로의 진입 위치에 있게 된다). 일 실시예에서, 힘은 캐놀러 상의 센서로써 측정된다. 다른 실시예에서, 캐놀러에 가해지는 힘은 로봇 조작기의 어댑터와의 접촉 지점에서 센서를 사용하여 측정된다. 복부 벽을 통한 캐놀러 삽입 지점에서의 힘 및 응력에 대한 정보는 어댑터에서의 측정에 의해 제공되어, 그에 따라 사용자 또는 컨트롤러가 RCM의 위치를 조정하고 필요에 따라 복부 벽 상의 과도한 응력을 해제하도록 보조한다.
- [0012] 도 1 및 도 2는 예시적인 수술 로봇 시스템을 도시한다. RCM 제어에 대한 접근법은 이러한 예시적인 시스템을 참조하여 아래에서 논의된다. 다른 수술 로봇 시스템과 수술 로봇 또는 비수술 로봇 시스템과 로봇은 이 접근법을 사용할 수 있다.
- [0013] 도 3 내지 도 6은 목표 해부학적 구조와의 작업 공간 정렬 및/또는 어댑터 상의 힘 감지를 비롯한 RCM 제어에 관한 것이다. 도 7은 RCM 제어를 위한 시스템에 관한 것이다.
- [0014] 도 1은 사용자로부터의 명령이 반복적 역기구학(iterative inverse kinematics)을 갖는 수술 로봇 조작기(122)의 움직임으로 변환되는 수술 로봇 시스템(100)을 구비한 예시적인 수술실 환경을 도시하는 도면이다. 수술 로봇 시스템(100)은 사용자 콘솔(110), 컨트롤 타워(130), 및 수술 플랫폼(124)(예컨대, 테이블 또는 베드 등) 상에 장착된 하나 이상의 수술 로봇 조작기(122)를 갖는 수술 로봇(120)을 포함하며, 여기서 엔드 이펙터(end effector)를 갖는 수술 도구가 외과적 시술을 실행하기 위해 로봇 조작기(122)의 원위 단부에 부착된다. 컨트롤 타워(130)와 콘솔(110) 또는 수술 로봇(120)을 조합하는 것과 같은 추가적인, 상이한 또는 더 적은 구성요소들이 제공될 수 있다. 로봇 조작기(122)는 테이블 장착형(table mounted)으로 도시되지만, 다른 구성에서 로봇 조작기(122)는 카트, 천장, 측벽, 또는 다른 적합한 지지 표면에 장착될 수 있다.
- [0015] 일반적으로, 외과 의사 또는 다른 수술자와 같은 사용자가 로봇 조작기(122) 및/또는 수술 기구를 원격으로 조작하기 위해(예컨대, 원격조작) 사용자 콘솔(110)에 착석할 수 있다. 사용자 콘솔(110)은, 도 1에 도시된 바와 같이, 로봇 시스템(100)과 동일한 수술실에 위치될 수 있다. 다른 환경에서, 사용자 콘솔(110)은 인접한 또는 부근의 방에 위치되거나, 상이한 건물, 도시, 또는 국가의 원격 위치로부터 원격조작될 수 있다. 사용자 콘솔(110)은 좌석(112), 페달(114), 하나 이상의 핸드헬드 사용자 인터페이스 장치(UID)(116), 및 예를 들어 환자 내부의 수술 부위의 뷰(view)를 디스플레이하도록 구성된 개방형 디스플레이(118)와 그래픽 사용자 인터페이스를 포함할 수 있다. 예시적인 사용자 콘솔(110)에 도시된 바와 같이, 좌석(112)에 앉아 개방형 디스플레이(118)를 보고 있는 외과 의사가 로봇 아암(122) 및/또는 아암(122)의 원위 단부에 장착된 수술 기구를 원격으로 그리고 직접 제어하기 위해 페달(114) 및/또는 핸드헬드 사용자 인터페이스 장치(116)를 조작할 수 있다. 사용자는 수술 조작기(122) 및/또는 엔드 이펙터의 움직임을 위한 명령을 입력한다. 이러한 사용자 제어는 로봇 조작기(122)의 위치, 움직임 속도 및 움직임 속도의 변화를 결정한다. 속도 및 속도의 변화는 로봇 조작기(122)에 의해 제공될 것으로 예상되는 동적 토크를 초래한다. 좌석(112)에 앉아 있는 외과 의사는 수술 중에 로봇 조작기(122) 및/또는 수술 기구의 원격조작 시의 움직임을 위한 명령을 입력하기 위해 디스플레이(118)를 보고서 이와 상호 작용할 수 있다.
- [0016] 일부 변형예에서, 사용자는 또한 수술 로봇 시스템(100)을 "베드 위"(over the bed, OTB) 모드로 작동시킬 수 있으며, 이 모드에서 사용자는 환자 측에 있고 (예를 들어, 핸드헬드 사용자 인터페이스 장치(116)를 한 손에 쥔 상태로) 로봇-구동식 도구/그에 부착된 엔드 이펙터와 수동 복강경 도구를 동시에 조작한다. 예를 들어, 사용자의 왼손은 로봇 수술 구성요소를 제어하기 위해 핸드헬드 사용자 인터페이스 장치(116)를 조작하고 있을 수 있는 반면, 사용자의 오른손은 수동 복강경 도구를 조작하고 있을 수 있다. 이에 따라, 이러한 변형예에서, 사용자는 환자에 대해 로봇-보조 MIS 및 수동 복강경 수술 둘 모두를 수행할 수 있다.
- [0017] 예시적인 시술 또는 수술 동안, 환자는 멸균 방식으로 수술 준비되고 드레이핑되어(draped) 마취된다. 수술 부위에 대한 초기 접근은 수술 부위에 대한 접근을 용이하게 하기 위해 로봇 시스템(100)이 적재된 구성 또는 인출된 구성에 있는 상태에서 수동으로 수행될 수 있다. 일단 접근이 완료되면, 로봇 시스템의 초기 위치설정 및/또는 준비가 수행될 수 있다. 시술 동안, 사용자 콘솔(110)에 있는 외과 의사는 페달(114) 및/또는 사용자 인터페이스 장치(116)를 이용하여, 원격조작을 이용하는 수술을 수행하기 위해 다양한 엔드 이펙터 및/또는 이미징 시스템을 조작할 수 있다. 이 움직임은 외과 의사, 환자 및/또는 상황에 특유할 수 있으며, 따라서 달라질 수 있다. 조직을 견인하는 것 또는 하나 이상의 로봇 조작기(122)를 수반하는 수동 위치 변경 또는 도구 교환

을 수행하는 것을 포함하지만 이로 제한되지 않는 작업을 수행할 수 있는 무균 수술복 착용 직원에 의해 수동 보조가 또한 시술 테이블에서 제공될 수 있다. 견인, 봉합, 또는 다른 조직 조작과 같은 일부 수술 작업은 하나 이상의 로봇 조작기(122)(예를 들어, 제3 또는 제4 아암)에 의해 대신 수행될 수 있다. 사용자 콘솔(110)에서 외과 의사를 보조하기 위해 비-무균 직원이 또한 참석할 수 있다. 로봇 시스템(100) 및/또는 사용자 콘솔(110)은, 시술 또는 수술이 완료될 때, 로봇 시스템(100) 세정 및/또는 멸균, 및/또는 예를 들어 사용자 콘솔(110)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 설정될 수 있다.

[0018] 일부 태양에서, 수술 로봇(120)과 사용자 콘솔(110) 사이의 통신은 컨트롤 타워(130)를 통해 이루어질 수 있으며, 컨트롤 타워는 사용자 콘솔(110)로부터의 사용자 입력 명령을 로봇 제어 명령으로 변환하고 이들 제어 명령을 수술 로봇(120)으로 송신할 수 있다. 컨트롤 타워(130)는 반복적 역기구학을 수행한다. 컨트롤 타워(130)는 또한 로봇(120)으로부터 다시 사용자 콘솔(110)로 상태 및 피드백을 송신할 수 있다. 수술 로봇(120), 사용자 콘솔(110) 및 컨트롤 타워(130) 사이의 연결은 유선 및/또는 무선 연결을 통해 이루어질 수 있고, 독립적인 것이고/이거나 다양한 데이터 통신 프로토콜들 중 임의의 프로토콜을 사용하여 수행될 수 있다. 임의의 유선 연결이 선택적으로 수술실의 바닥 및/또는 벽 또는 천장에 구축될 수 있다. 수술 로봇 시스템(100)은 수술실 내의 디스플레이 그리고 인터넷 또는 다른 네트워크들을 통해 접근 가능한 원격 디스플레이를 비롯한 하나 이상의 디스플레이에 비디오 출력을 제공할 수 있다. 비디오 출력 또는 피드(feed)는 또한 프라이버시를 보장하기 위해 암호화될 수 있고, 비디오 출력의 전부 또는 부분이 서버 또는 전자 건강관리 기록 시스템에 저장될 수 있다.

[0019] 수술 로봇 시스템을 이용한 수술을 개시하기 전에, 수술 팀은 수술 전 셋업(setup)을 수행할 수 있다. 수술 전 셋업 동안, 수술 로봇 시스템의 주 구성요소(예를 들어, 테이블(124) 및 로봇 아암(122), 컨트롤 타워(130), 및 사용자 콘솔(110))가 수술실 내에 위치되고, 연결되고, 전력이 공급된다(powered on). 테이블(124) 및 로봇 아암(122)은 보관 및/또는 운반 목적을 위해 아암(122)이 테이블(124) 아래에 있는 완전 적재된 구성에 있을 수 있다. 수술 팀은 무균 트레이핑을 위해 아암(122)을 적재된 위치로부터 연장시킬 수 있다. 트레이핑 후에, 아암(122)은 사용을 위해 필요할 때까지 부분적으로 후퇴될 수 있다. 캐놀러 배치 및 취입(insufflation)을 비롯한 다수의 종래의 복강경 단계들이 수행될 필요가 있을 수 있다. 예를 들어, 각각의 슬리브가 폐색구의 도움으로, 작은 절개부 내로 그리고 체벽을 통해 삽입될 수 있다. 슬리브 및 폐색구는 배치 동안의 손상의 위험을 최소화하기 위해 삽입 동안 조직 층의 시각화를 위한 광학적 진입을 허용한다. 전형적으로 다른 캐놀러의 배치를 위한 핸드헬드 카메라 시각화를 제공하기 위해 내시경이 맨 먼저 배치된다. 취입 후에, 요구되는 경우, 손으로 임의의 복강경 단계를 수행하기 위해 수동 기구가 슬리브를 통해 삽입될 수 있다.

[0020] 다음으로, 수술 팀은 로봇 아암(122)을 환자 위에 위치시키고 각각의 아암(122)을 그의 대응하는 슬리브(예를 들어, 캐놀러)에 부착할 수 있다. 수술 로봇 시스템(100)은 각각의 도구(내시경 및 수술 기구)의 부착 시 그것을 고유하게 확인하고, 사용자 콘솔(110)에 있는 개방형 또는 몰입형 디스플레이(118) 및 컨트롤 타워(130) 상의 터치스크린 디스플레이 상에 도구 유형 및 아암 위치를 디스플레이할 수 있다. 대응하는 도구 기능은 인에이블되고(enabled) 마스터 UID(116) 및 풋 페달(114)을 사용하여 활성화될 수 있다. 시술 전체에 걸쳐 환자측 보조원은 요구되는 바에 따라 도구를 부착하고 분리할 수 있다. 사용자 콘솔(110)에 착석한 외과 의사는 2개의 마스터 UID(116) 및 풋 페달(114)에 의해 제어되는 도구들을 사용하여 원격조작으로서 수술을 수행하기 시작할 수 있다. 시스템은 외과 의사의 손, 손목 및 손가락 움직임들을 마스터 UID(116)를 통해 수술 도구들의 정밀한 실시간 움직임으로 변환한다. 그에 따라, 직접 원격조작으로, 시스템은 외과 의사의 모든 수술 조작(manuever)을 끊임없이 모니터링하고, 시스템은 외과 의사의 손 동작을 정확하게 반영할 수 없는 경우 기구 움직임을 일시 정지시킨다. 내시경이 수술 동안 하나의 아암으로부터 다른 아암으로 이동하는 경우에, 시스템은 기구 정렬을 위해 마스터 UID(116)를 조정하고 기구 제어 및 동작을 계속할 수 있다. 풋 페달(114)은, 외과 의사의 손이 마스터 UID(116)로부터 제거되는 것을 수반함이 없이, 내시경 제어와 단극 및 양극 소작(cautery)을 비롯한 다양한 기구 기능과 같은 다양한 시스템 모드를 활성화하는 데 사용될 수 있다.

[0021] 도 2는 본 기술의 태양에 따른 로봇 조작기, 도구 구동기, 및 로봇 수술 도구가 장착된 커넥터의 하나의 예시적인 설계를 예시하는 개략도이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 예시적인 수술 로봇 조작기(122)는 복수의 링크(예를 들어, 링크(202)), 및 복수의 링크를 서로에 대해 가동시키기 위한 복수의 가동식 조인트 모듈(예를 들어, 조인트(204), 또한 조인트(J1 내지 J8) 참조)을 포함할 수 있다. 조인트 모듈은 다른 링크들에 대한 소정의 축을 중심으로 한 인접한 링크들의 움직임을 실질적으로 제약할 수 있는 다양한 유형, 예를 들어 피치(pitch) 조인트 또는 롤(roll) 조인트를 포함할 수 있다. 로봇 아암(122)의 원위 단부에 부착된 도구 구동기(210)가 또한

도 2의 예시적인 설계에 도시되어 있다. 도구 구동기(210)는 수술 기구 또는 엔드 이펙터(220)(예를 들어, 내시경, 스테이플러(stapler), 메스, 가위, 클램프, 견인기(retractor) 등)를 수용하고 안내하기 위해 그 단부에 결합된 캐놀러(214)를 포함할 수 있다. 수술 기구(또는 "도구")(220)는 도구의 원위 단부에 엔드 이펙터(222)를 포함할 수 있다. 로봇 조작기(122)의 복수의 조인트 모듈은 로봇 수술을 위해 엔드 이펙터(222)를 가동시키는 도구 구동기(210)를 위치설정 및 배향시키도록 가동될 수 있다. 엔드 이펙터(222)는 도구 샤프트 단부에 있다. 다른 실시예에서, 도구 샤프트 단부는 니들(needle) 또는 다른 물체의 팁이다.

[0022] 도 2의 예에서, 조인트(J0)는 테이블 피벗 조인트이고 수술 테이블 상판 아래에 존재한다. 조인트(J0)는 표면 상으로는 수술 동안 제자리에 유지된다. 조인트(J1 내지 J5)는 셋업 또는 직교 아암(Cartesian arm)을 형성하고, 표면상으로는 수술 동안 제자리에 유지되며, 따라서 수술적 원격조작 동안 움직임에 기여하지 않는다. 조인트(J6, J7)는 수술 또는 원격조작 동안 능동적으로 이동할 수 있는 구형(spherical) 아암을 형성한다. 조인트(J8)는 엔드 이펙터(222)와 같은 도구(220)를 도구 구동기의 일부로서 병진시킨다. 조인트(J8)는 수술 동안 능동적으로 이동될 수 있다. 조인트(J6 내지 J8)는 환자의 피부 상의 응력을 피하기 위해 정해진 또는 안정적인 위치(즉, RCM)에서 환자 내로의 진입 지점을 유지하면서 수술 동안 도구 샤프트 단부(즉, 엔드 이펙터(222))를 능동적으로 위치시킨다. 셋업 동안, 조인트(J0 내지 J8)들 중 임의의 것이 이동될 수 있다. 수술 동안, 조인트(J6 내지 J8)는 하드웨어, 또는 위치, 속도, 가속도 및/또는 토크에 대한 안전 제한요건에 따라 이동될 수 있다. 수술 도구(220)는 조인트를 포함하지 않거나, 하나의 조인트를 포함하거나 또는 하나 초과(예를 들어, 3개)의 조인트를 포함할 수 있으며, 예를 들어 도구 회전용 조인트 및 다수의 추가 조인트(예를 들어, 손목관절, 종축을 중심으로 한 회전, 또는 다른 유형의 운동)를 포함할 수 있다. 조인트(J6 내지 J8)로부터 3 자유도 및 수술 도구(220)로부터의 0 또는 1 또는 그 초과 자유도와 같은 다수의 자유도가 제공될 수 있다.

[0023] 도 3은 수술 로봇 시스템의 원격 운동 중심 제어를 위한 방법의 일 실시예의 흐름도이다. 수술 기구(220)의 엔드 이펙터(222)의 작업 공간은 로봇 아암(122)의 위치설정을 위한 다양한 옵션을 고려하는 방식으로 목표 해부학적 구조와 정렬된다. 정렬은 원격조작 동안 RCM의 위치 변경을 고려할 수 있다. RCM은 캐놀러(214)와 연결하기 위한 로봇 조작기의 어댑터 내의 센서를 이용한 감지와 같은 힘 감지에 기초하여 위치 변경될 수 있다.

[0024] 도 3의 방법은 컨트롤 타워(130), 컴퓨터, 워크스테이션, 서버, 또는 다른 프로세서와 같은 제어 프로세서에 의해 구현된다. 수술 로봇 시스템(100)의 임의의 컴퓨터가 사용될 수 있다. 사용자 인터페이스는 작용(300)에서 수신된 사용자로부터의 움직임 명령을 제공한다. 제어 프로세서(예를 들어, 컨트롤러)는 작용(310)에서 RCM을 확립하고, 작용(330)에서 중점을 결정하고, 작용(340)에서 조인트 위치를 선택한다. 토크 또는 압력 센서와 같은 힘 센서는 작용(320)에서 힘을 감지한다. 로봇 아암(122) 및/또는 수술 도구(220)는 작용(350)에서 제어 프로세서로부터의 명령어 또는 제어를 이용하여 움직인다. 다른 장치들은 작용들 중 임의의 것을 수행하고/하거나 임의의 것에 사용할 수 있다.

[0025] 작용들은 도시된 순서 또는 다른 순서로 수행된다. 예를 들어, 작용(300)은 다른 작용들 중 임의의 것 이후에 수행된다. 다른 예로서, 작용(320)은 작용들 중 임의의 것 이전에 또는 이후에 수행된다.

[0026] 추가의, 상이한, 또는 더 적은 작용들이 이용될 수 있다. 예를 들어, 작용(300)은 원격조작 이전에 정렬이 수행되는 경우에는 제공되지 않는다. 다른 예로서, 작용(320)은 예컨대 RCM의 동적 변화 없이도 작업 공간 정렬이 수행되는 경우(예를 들어, 환자에 의한 움직임 및/또는 원격조작 이전에 정렬이 수행되는 경우)에 수행되지 않는다. 다른 예에서, 작업 공간 정렬을 고려하지 않고도 RCM을 제어하는 데 어댑터 상의 힘 감지가 사용되는 경우에 작용(330, 340)이 제공되지 않는다. 다른 예에서, 환자 내에서 수술 도구(220)를 초기에 위치시키는 작용, 수술을 계획하는 작용 및/또는 환자로 부터 수술 도구(220)를 제거하는 작용이 제공될 수 있다.

[0027] 작용(300)에서, 제어 프로세서는 환자에 대한 원격조작 이전에 또는 그 동안에 로봇 조작기(122) 또는 로봇 조작기(122)의 수술 도구(220)를 이동시키기 위한 사용자 명령을 수신한다. 사용자 입력은 제어 프로세서에 의해 무선 또는 유선 인터페이스를 통해 페달(114) 또는 사용자 인터페이스 장치(116)와 같은 사용자 콘솔(110)로부터 수신된다. 다른 실시예에서, 사용자 명령은 컴퓨터 네트워크를 통한 전송 또는 메모리로부터의 로딩(loading)에 의해 수신된다.

[0028] 원격조작을 위한 준비 시에, 사용자는 외과 의사용 콘솔(110)에 착석한다. 원격조작을 위한 로봇 조작기(122)의 위치 설정 후, 하나 이상의 조인트는 RCM이 환자 피부 또는 절개 진입 지점에 있는 상태에서 제자리에 고정되게 된다(locked). 예를 들어, 조인트(J0 내지 J5)(도 2 참조)가 고정되게 된다. 이 고정은 브레이크에 의한 것이고/것이거나 조인트를 위한 모터에 대한 동력공급을 피하는 것에 의한 것이다. 이들 조인트는 원격조작 동안 고정된 상태로 유지된다. 조인트(J0 내지 J5)들 중 임의의 것이 고정해제되고 이동하여 RCM을 변경할 수 있

다.

- [0029] 원격조작 동안, 사용자는 로봇 조작기(122) 및/또는 수술 도구(220)를 움직이기 위한 명령을 입력한다. 명령은 동작을 위한 것이다. 상이한 움직임을 위해 상이한 명령이 제공될 수 있다. 명령은 엔드 이펙터(222)의 움직임을 위한 것일 수 있다. 이들 명령은 특정 조인트의 움직임을 위한 것이 아닐 수 있다. 제어 프로세서는 움직임 명령을 로봇 조작기(122) 및/또는 수술 도구(220)의 특정 조인트의 제어로 변환한다.
- [0030] 작용(310)에서, 제어 프로세서는 로봇 조작기(122)를 위한 RCM을 확립한다. 수술을 준비하는 동안, 테이블측 보조원은 캐놀러(214)를 환자의 복부 벽을 통해 삽입한다. 로봇 조작기(122)는 캐놀러(214)에 도킹한다. 로봇 조작기(122)의 어댑터는 캐놀러(214)에 연결된다. 복부 포트 상에 과도한 힘이 가해짐을 피하도록 도킹을 조심스럽게 수행한다. 로봇 조작기(122)가 도킹한 후, RCM은 삽입 지점에 설정된다. 캐놀러(214)에 대한 로봇 조작기 프레임에서의 어댑터의 공간적 관계는 알려져 있다. 캐놀러(214)에 대한 어댑터의 연결 시, 캐놀러(214)를 따른 삽입 지점에서의 RCM이 RCM으로 설정된다.
- [0031] 수술 로봇(120)은 RCM을 정해진 위치에 유지하면서 수술을 수행할 것이다. RCM의 이동이 없으면, 로봇 조작기(122)는 RCM이 하나의 위치에 있는 상태에서 그리고 환자의 조직에 대한 상해 위험 없이 계속 작동한다.
- [0032] 환자의 움직임, 로봇 조작기의 움직임 및/또는 다른 원인의 움직임으로 인해, RCM이 이동될 수 있다. 수술 동안, 복부 위치는 다양한 이유로 변할 수 있다. 수술은 테이블의 높이 및 경사를 조정함으로써 환자가 상이하게 위치되고 배향될 수 있는 몇몇 단계(phase)를 수반할 수 있다. 복부 개구의 상대 위치가 시프트(shift)될 수 있기 때문에, 정해진 RCM 위치를 유지하는 것은 환자의 복부 상에 추가적인 응력을 도입할 수 있고 불필요한 외상 또는 손상으로 이어질 수 있다. 로봇 조작기(122)는 환자의 조직에 대한 상해를 피하기 위해 RCM을 이동시키는 것으로서 시프트 또는 이동을 고려한다.
- [0033] RCM은 로봇 조작기(122)의 좌표계에서 새로운 위치에 확립된다. 캐놀러(214)로부터 로봇 아암(122)을 해제하고 다시 도킹시켜야 하는 것을 피하기 위해, 이 RCM은 RCM에서(즉, 환자 내로의 삽입 위치에서) 측정된 힘에 기초하여 시프트되거나 변한다. 작용(320)에서, RCM에서 또는 RCM에 대해 압력 또는 토크와 같은 힘이 측정된다. 이 힘은 다수의 자유도로 측정되는데, 예를 들어 삽입 지점에서 환자에 접하는 평면을 따라 2 자유도로 힘을 측정하거나 또는 3개의 병진력 및 3개의 회전력(또는 토크)을 고려하여 6 자유도로 측정된다. 로봇 조작기(122) 및 수술 기구(220)에 의한 도킹 후 및/또는 원격조작 동안 RCM에서의 힘이 감지된다. 힘 감지는 로봇 시스템(120)이 환자의 복부에 대한 응력 또는 힘을 최소화하기 위해 경고를 발하고 RCM 조정을 도울 수 있게 할 수 있다. 힘 감지는 RCM의 자동 조정을 위해 사용될 수 있다. 작용(320)으로부터 작용(310)으로의 피드백은 그 힘을 사용하여 RCM을 위치 변경하는 것을 보여준다.
- [0034] 일 실시예에서, 힘은 캐놀러(214) 상의 하나 이상의 센서를 사용하여 작용(320)에서 감지된다. 도 6은 환자의 조직에 대한 캐놀러(214)(예를 들어, 투관침)의 힘을 감지하기 위한 힘 센서(600)를 도시한다. 캐놀러(214)는 도킹 후 로봇 조작기(122)에 연결되기 때문에, 환자와 로봇 조작기(122) 사이의 상대 이동은 환자의 조직에 의해 캐놀러(214) 상에 힘을 야기한다. 삽입 포트에서 유해한 힘의 존재는 절개 부위에서의 변형(strain)을 측정하기 위해 센서(600)를 캐놀러 샤프트 상으로 통합함으로써 확인될 수 있다.
- [0035] 센서(600)는 얇은 용량성 또는 저항성 센서와 같은 힘 게이지(gauge)이다. 얇고 가요성인 구조로 인해, 센서(600)는 캐놀러 샤프트 주위에 감길 수 있다. 일단 로봇 조작기(122)에 도킹하면, 센서(600)에 대한 제어 프로세서의 전기적 연결은 힘 센서가 켜져 있도록 도킹 부위(즉, 어댑터)를 통해 확립된다. 무선 연결 또는 케이블 연결과 같은 다른 연결이 사용될 수 있다. 센서(600)의 판독치는 도구 삽입 부위에서의 힘의 크기 및/또는 방향의 직접 측정(예를 들어, 연속적인 실시간 모니터링)을 제공한다. 통합된 센서(600)에 의해 감지된 힘의 크기가 미리 한정된 안전 임계치(예를 들어, 손상을 야기할 수 있는 힘)를 초과하면, RCM을 움직이지 않게 유지하는 것보다는 RCM을 시프트하기 위해 원하는 RCM 이동이 계산된다.
- [0036] 다른 실시예에서, 센서(600)는 로봇 조작기(122)의 어댑터(420) 내에 있다. 도 4a 및 4b는 일 예를 도시한다. 어댑터(420)는 로봇 조작기(122)를 캐놀러(214)에 연결하도록 구성된다. 예를 들어, 어댑터(420)는 사다리꼴 형상을 갖는 직육면체와 같은 정해진 배향으로의 연결을 허용하도록 형상화된 리세스(recess) 또는 암형 커넥터이다. 다른 키형(keyed) 형상이 사용될 수 있다. 대안적으로, 어댑터(420)는 키형 연장부로서 형성된 수형 커넥터이다. 도킹을 위해 어댑터(420)를 캐놀러(214)에 고정시키기 위해, 스냅 끼워맞춤, 압력 끼워맞춤, 전동식 잠금장치, 및/또는 기계적 래치(latch)가 제공될 수 있다.
- [0037] 로봇 조작기(122)의 캐놀러 어댑터(420) 상의 접촉 지점에서의 힘(예를 들어, 측방향 힘 및/또는 토크)은 작용

(320)에서 측정된다. 어댑터(420)에서의 감지는 센서(600)를 캐놀러(214) 상에 직접 배치하는 것에 관한 설계상의 난제 및 평균 문제를 피할 수 있다.

[0038] 센서(600)는 복부로부터의 힘을 상관시키기 위한 임의의 유형의 센서일 수 있다. 예를 들어, 압력 센서, 변형 센서, 힘 센서, 또는 근접 센서가 사용될 수 있다. 센서(600)는 다수의 센서로부터, 예를 들어 복수의 1 자유도 센서를 사용하여 형성될 수 있다. 센서는 일 방향 힘 또는 회전력을 감지한다. 어댑터(420) 내의 또는 그 상의 상이한 위치들에서 상이한 센서들을 사용함으로써, 상이한 다수 자유도로의 힘들이 측정된다. 예를 들어, 압력 센서는 키형 형상을 형성하는 5개의 표면에 대응하는 어댑터의 5개의 표면 상에 위치된다. 접촉되는 경우 캐놀러(214)와 접촉하는 어댑터(420)의 표면들은 각각 센서를 갖는다. 더 적거나 더 많은 센서들이 제공될 수 있다.

[0039] 도 4a 및 도 4b의 예에서, 압력 센서들이 원위 캐놀러 어댑터(420) 내에 있다. 센서는 센서에 대한 오염 및 잠재적인 손상의 위험을 최소화하기 위해 로봇 조작기(122) 상에 그리고 멸균 트레이프 아래에 배치된다. 로봇 조작기(122)가 캐놀러(214)(도 4a 참조)에 도킹함에 따라, 센서 배열은 복부 벽에 대한 응력으로부터 유래된 모든 가능한 압력 방향을 커버한다. 캐놀러(214)에 대한 어댑터(420)의 알려진 공간적 관계를 고려하면, 어댑터(420)에서의 감지된 힘은 삽입 지점에서의 힘과 기하학적으로 관련될 수 있다(도 4b 참조). 센서로부터의 측정은, 도킹 메커니즘으로부터의 공칭 압력을 제거하고 추가적인 압력 판독치를 복부 벽의 힘에 상관시키기 위해 캐놀러(214)의 유형 및 기하학적 구조에 기초하여 캘리브레이션된다(calibrated).

[0040] 힘 방향 및 크기의 다이어그램이 사용자에게 디스플레이될 수 있다. 로봇 조작기(122) 조정은 복부에 대한 힘을 최소화하기 위해 사용자에게 의해 자동으로, 반자동으로, 또는 수동으로 수행될 수 있다. 그 힘이 안전 임계치를 넘어 증가할 때, 경고가 사용자에게 보내질 수 있다.

[0041] 다시 도 3을 참조하면, 작용(330)에서, 제어 프로세서는 로봇 조작기(122) 상의 수술 기구(220)의 복수의 작업 공간들 중 각각의 작업 공간과 목표 해부학적 구조의 중첩량을 결정한다. 로봇 조작기(122) 및/또는 수술 기구(220)는 다양한 가능한 방식으로 구성(즉, 조인트 각도가 설정)될 수 있다. 예를 들어, RCM에서, 조인트(J6), 즉 구형 롤 조인트는 임의의 범위 및 그 범위 내의 임의의 수의 단계들에 걸쳐 이산 수치화된(discretized) 다양한 위치를 가질 수 있다. 각각의 가능한 위치에서, 작업 공간 용적이 엔드 이펙터(222) 또는 수술 기구(220)를 위해 제공된다. 로봇 조작기(122) 및 수술 기구(220)는 특정 작업 공간 용적 내에서 움직이거나 또는 작동될 수 있다. 조인트(J6) 또는 다른 로봇 구성의 각각의 위치는 (예를 들어, 상이한 병진 및/또는 회전된) 상이한 상대 위치에서 작업 공간을 제공한다.

[0042] 로봇 조작기(122)의 구성에 기초하여, 제어 프로세서는 엔드 이펙터(222)의 접근 가능한 작업 공간을 계산한다. 예를 들어, 작업 공간은 약간의 도달 불가능한 원추형 절단부가 내부에 있는 RCM 지점 주위의 구체이다. 도 5 및 도 6은 엔드 이펙터(222)가 도달할 수 없는 원추형 영역을 갖는 음영처리된 구체로서의 작업 공간을 도시한다. J6 조인트(구형 롤)의 원점(origin)이 RCM을 정해진 상태로 유지함으로써 병진되면, 작업 공간은 그 중심에 대하여 회전할 것이다. 원추형 영역은 환자에 대해 상이한 위치로 회전된다. RCM이 이동하면, 작업 공간도 공간 내에서 시프트될 것이다.

[0043] 작업 공간 정렬의 경우, 목표 해부학적 구조는 로봇 조작기(122)의 좌표계에서 결정된다. 외과 의사는 수동으로 또는 이미징 시스템은 자동으로 목표 해부학적 구조의 경계를 한정한다. 수술 중 또는 수술 전 이미징 처리는 기관, 병변 또는 해부학적 구조의 부분을 식별하는 것과 같은 원격조작을 위한 관심 영역을 분할하는 데 사용될 수 있다. X-선, 컴퓨터 단층 촬영, 초음파, 또는 자기 공명 이미징 처리가 사용될 수 있다. 다른 실시예에서, 내시경 뷰 및 인간 해부학적 구조에 대한 외과 의사의 지식이 사용된다.

[0044] 캘리브레이션, 로봇 조작기(122)에 대한 알려진 공간적 위치에 장착된 이미징 검출기(예를 들어, 로봇 조작기(122) 상의 내시경을 이용한 이미징 처리) 및/또는 이미징 처리 시 로봇 조작기(122) 또는 수술 기구(220)의 일부의 검출을 이용하여, 이미징 처리를 위한 좌표계와 로봇 수술 시스템(120)을 위한 좌표계가 정렬되거나 정합된다(registered). 목표 해부학적 구조는 로봇 조작기(122)의 좌표계에 위치될 수 있다.

[0045] 목표 해부학적 구조의 용적 또는 다른 영역과 작업 공간과의 중첩이 최적화된다. RCM에 대한 로봇 조작기(122)의 상이한 위치에 대응하는 다양한 작업 공간이 가능하다. 원격조작 전 또는 그 동안에, 로봇 조작기(122)가 도킹한 후, RCM 지점을 움직이지 않게 유지하면서 수술 도구의 작업 공간과 목표 기관/조직의 용적 중첩을 최대화하기 위해 최적의 조인트 각도가 계산될 수 있다(즉, 제한된 최적화). 조인트(J6)를 사용하는 예에서의 가능한 작업 공간은 도달 불가능한 구역(작업 공간에서의 원추형 절단부)이 목표 조직/기관 외부에 최대한으로 유지

되도록 작업 공간의 상이한 배향(병진 없음)을 갖는다.

- [0046] 가능한 작업 공간(즉, 구성들의 범위에 걸쳐 배향된 작업 공간)과 목표 해부학적 구조의 용적과의 중첩량이 결정된다. 작업 공간과 목표 해부학적 구조와의 공간적 중첩의 용적, 면적 및/또는 거리가 계산된다. 중첩량은 구형 롤 조인트에 대한 조인트 위치들의 이산 수치화된 범위에 걸친 상이한 배향과 같은 상이한 가능한 구성에 대해 상이할 수 있다. 상이한 가능한 구성으로 인해, 작업 공간은 RCM을 유지하면서 병진 및/또는 회전될 수 있다.
- [0047] 최대 중첩량을 찾기 위해 상이한 가능한 작업 공간 배향 및/또는 위치가 검색된다. 목표 해부학적 구조와의 각각의 가능한 작업 공간에 대한 중첩량이 결정된다. 로봇 조작기(122)가 캐논리(214)에 도킹한 후, 제어 프로세서는 구성(예를 들어, J6(구형 롤) 조인트 위치)의 이산 수치화된 주변을 스캔(scan) 또는 탐색하고, 목표 해부학적 구조와의 각각의 구성에 대응하는 작업 공간의 중첩 용적(예를 들어, 특정된 주변 내의 J6 원점의 이동)을 계산한다. 최대 중첩을 제공하는 구성은 "최적 구성"으로서 선택된다.
- [0048] 모든 가능한 작업 공간을 검색하기보다는, 비선형 검색이 사용될 수 있다. 선형 검색 대신, 시뮬레이션된 어닐링 또는 광역-정밀 검색(coarse-to-fine search)과 같은 비선형 최적화 방법이 검색을 가속하는 데 사용될 수 있다. 최적 포즈(optimal pose)를 신속하게 얻기 위해, 초기 조작기 구성이 이미 최적에 가까워진다고 가정하면 그 검색은 국소적으로 수행될 수 있다. 이는 전체적인 위치 변경보다는 조작기 구성의 "미세 튜닝"을 제한할 수 있는 검색 결과로 이어질 수 있다.
- [0049] 중첩을 최대화하기 위한 구성의 결정은 RCM이 확립되면(예를 들어, 도킹 후에) 수행된다. 이러한 결정은 원격 조작 이전에 발생할 수 있다. 이 결정은 반복될 수 있다. 결정은 원격조작 동안 RCM의 각각의 변화에 대해 발생할 수 있다. 결정은 예컨대 상이한 해부학적 구조에 대한 단계적 수술을 통해 목표 해부학적 구조가 시프트함에 따라 발생할 수 있다. 결정은 수술 도구(220)의 변화로 인해 또는 목표 해부학적 구조 또는 작업 공간이 시프트되거나 변경되는 임의의 다른 이유로 발생할 수 있다.
- [0050] 작용(340)에서, 제어 프로세서는 최대 중첩량을 갖는 로봇 조작기의 위치를 선택한다. 목표 해부학적 구조와의 최대의 중첩을 제공하는 가능한 작업 공간을 위한 구성이 선택된다. 도 5는 일 예를 도시한다. 좌측의 작업 공간 배향은 목표 해부학적 구조의 일부가 작업 공간 구체의 외부에 있는, 예를 들어 원추형 절결부 내에 있는 것을 보여준다. 우측의 작업 공간 배향은 목표 해부학적 구조가 작업 공간의 외부에 있지 않도록 작업 공간 구체가 회전된 것(즉, 원추형 절결부가 목표 해부학적 구조와 교차하지 않도록 회전된 것)을 보여준다. 로봇 조작기(122)의 구성(예를 들어, 조인트(J6)의 회전 각도)은 최대 중첩을 제공하도록 선택된다.
- [0051] 이러한 선택은 원격조작 동안 반복된다. 각각의 반복에 대해 동일하거나 상이한 구성이 선택된다. 위치 시프트로 인해, 대략 최대 중첩이 제공될 수 있다. 위치 시프트로 인해, 상이한 구성은 최대 중첩을 제공하는 이전 구성보다 더 큰 중첩을 제공할 수 있다. 가능한 작업 공간들 및 대응하는 구성들 중 다른 하나가 선택된다.
- [0052] 작용(350)에서, 제어 프로세서는 로봇 조작기(122)를 선택된 위치 또는 구성으로 이동시킨다. 제어 프로세서는 로봇 조작기(122) 및/또는 수술 도구(220)의 움직임을 야기한다. 도킹을 위한 및/또는 원격조작 동안의 활성 조인트에 대한 출력 움직임 명령은 조인트가 위치를 변경하게 한다. 로봇 조작기(122)는 선택된 구성에 있도록 움직인다.
- [0053] 조인트(J6)를 사용하는 일 예에서, 작용(340)의 선택은 조인트(J6)(구형 롤, sr) 원점의 목표 x 및 y 움직임, 즉 $w_{x,sr}$, $w_{y,sr}$ 을 제공하며, 이러한 목표는 최적 포즈(즉, 로봇 작업 공간과 목표 해부학적 구조의 최대 중첩)를 제공한다. 로봇 조작기(122)는 힘(및 따라서 변형)을 RCM에서 안전한 수준으로 유지하면서 이러한 최적 구성(q_{opt})으로 이동한다. 로봇 조작기(122)는 캐논리(214)를 밀고/당기지 않고도 도킹하고 그리고 환자가 움직이지 않고 유지되면 특별한 경우가 발생하는데, 이 경우 삽입 포트에서의 힘이 처음부터 작고(따라서, 안전하고), RCM은 이러한 위치에서 정해진 상태로 유지된다. 도킹 후 및/또는 다른 원인으로 인해 캐논리(214) 상에 작용하는 잔류력이 있는 경우, 변형은 RCM 위치를 갱신할(즉, 활주시킬) 뿐만 아니라 중첩을 최적화함으로써 완화된다.
- [0054] 조인트 위치 또는 로봇 조작기(122) 구성은 중첩보다 더 많은 것에 기초하여 작용(340)에서 선택될 수 있다. 이러한 선택은 원격조작에서의 사용자 명령, 힘을 감소시키기 위한 RCM의 조정, 및/또는 수술 기구(220)의 작업 공간의 환자 내의 관심 영역(즉, 목표 해부학적 구조)과의 중첩량에 기초할 수 있다. 구성은 다양한 문제를 고려하는 방식으로 선택된다.

[0055] 원격조작 명령을 갖거나 갖지 않고서 가능한 RCM 위치 변경 및 중첩 최적화를 고려하는 일 실시예에서, 센서 (600)의 판독치는 RCM을 위치 변경하기 위한 도구 삽입 부위에서의 힘의 크기 및 방향의 직접 측정(예를 들어, 연속적 실시간 모니터링)을 제공한다. 감지된 힘의 크기가 미리 한정된 안전 임계치(예를 들어, 손상을 야기할 수 있는 힘)를 초과하면, RCM을 움직이지 않게 유지하기보다는 크기에 기초하여 원하는 RCM 이동이 계산된다. 이러한 제어의 일 예는 다음과 같이 제공된다:

[0056] $(\text{norm}(\vec{F}_{sensed}) > (\vec{F}_{threshold}))$ 이면,

[0057] $\vec{\Delta p}_{RCM} = \text{base}R * {}^{J7}R * {}^{J7}R * \frac{(\vec{F}_{sensed} - \vec{F}_{threshold})}{K}$ 이고, 그렇지 않으면 $\vec{\Delta p}_{RCM} = \vec{0}$ 이다.

[0058] 여기서, \vec{F}_{sensed} 는 감지된 힘 벡터이고, $\vec{F}_{threshold}$ 는 임계력 벡터이고, $\vec{\Delta p}_{RCM}$ 은 RCM의 위치 벡터의 변화이고, ${}^{base}R_{{}^{J7}R}$ 은 로봇 베이스(세계 프레임)로부터의 조인트(J7)(구형 피치) 프레임으로의 3 x 3 회전 행렬이고, ${}^{J7}R_{{}^{sensor}R}$ 은 조인트(J7) 프레임으로부터 센서의 좌표 프레임으로의 3 x 3 회전 행렬이다. 회전 행렬은 로봇 조작기(122)의 구성에 따라 동적으로 변할 수 있다. ${}^{J7}R_{{}^{sensor}R}$ 은 일단 조작기가 도킹하면 캐놀러(214)의 배향이 J7에 부착된 원위 블록에 대해 고정되기 때문에 정해진 정합이 된다. K는 주어진 힘을 완화시키기 위해 로봇에 얼마나 많은 병진이 명령되어야 하는지를 한정하는 스프링 강성이다. 큰 K 값은 "그렇게 반응성이 낮은"(not-so-responsive) 시스템으로 이어진다. 작은 K 값은 설정된 안전 임계치로 신속하게 힘을 낮추려고 시도하는 민감한 시스템을 생성할 것이다. 민감한 시스템이 잘 튜닝되지 않는 경우, 오버슈팅(overshooting) 및 이에 따른 진동 로봇 움직임이 결과로서 생길 수 있다.

[0059] 도 6은 도 2의 로봇 조작기(220)에 대한 로봇 구성의 선택을 위한 작업 공간 정렬 및 RCM에서의 시프트 둘 모두의 일 예를 도시한다. 원격조작 동안, 예컨대 환자의 동작으로 인해 캐놀러(214)에 과도한 힘이 있을 수 있다. 손상을 피하기 위해, 캐놀러(214) 상의 검출된 힘(F)(매립된 힘 센서(600)를 통해 감지됨)이 삽입 포트에서 손상 응력을 완화시키도록 새로운 RCM 위치, 즉 $\vec{\Delta p}_{RCM}$ 을 계산하는 데 사용된다. 최적의 조인트 각도는 이러한 새로운 RCM 제약 조건 하에서 재계산되어, 목표 기관/조직이 도달 가능한 작업 공간 내에서 최대한으로 여전히 유지되도록 작업 공간을 재배향시킨다. 로봇 조작기(122)는 원격조작 동안 수술자로부터의 수술 기구의 움직임이 있거나 또는 없어도 중첩 및 RCM 위치 변경에 따라 하나 이상의 조인트를 이동시킴으로써 이동한다. 수술기구(220)의 근위 리스트(wrist) 조인트(J11), 원위 리스트 조인트(J10) 및 도구 회전 조인트(J9)는 원격조작 전에 위치 변경되는 경우 사용되지 않는다. 원격조작에서, 이러한 조인트(J9, J10, J11)들은 도구 조작에 대해서만 명령을 수신한다. 구형 조작기 조인트(J6, J7, J8)들의 경우, 중첩 및 RCM 위치에 대한 계산된 증분식 조인트 명령은(심지어 원격조작 동안에도) 위치 변경이 연속적으로 일어날 수 있도록 외과 의사의 원격조작으로 인해 명령에 추가된다.

[0060] 작업 공간 요건, 즉 RCM 지점에 대한 구형 롤 조인트 원점의 증분식 움직임($w_{x,sr}, w_{y,sr}$) 및 삽입 포트 힘 요건(즉, RCM에서의 과잉 힘을 경감하기 위한 RCM 지점의 변위($\vec{\Delta p}_{RCM}$)) 둘 모두를 충족하기 위한 증분식 조인트 움직임은 순차적으로 계산될 수 있다(예를 들어, RCM을 재위치시키고, 이어서 새로운 RCM 위치에서의 구성 가능성을 고려하여 중첩에 대해 최적화시킨다).

[0061] 대안적으로, 다양한 움직임들은 하기에 의해 주어지는 것과 같은 하나의 해법으로 사용될 수 있다:

$$J = \begin{bmatrix} J_{tr} & \\ J_{RCM} & 0_{3 \times 3} \\ J_{sr} & 0_{2 \times 3} \end{bmatrix}$$

$$\vec{\Delta x} = \begin{bmatrix} \vec{\Delta p}_{tr} \\ \omega_{z,tr} \\ \vec{\Delta p}_{RCM} \\ \omega_{x,sr} \\ \omega_{y,sr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vec{\Delta p}_{RCM} \\ 0 \\ \vec{\Delta p}_{RCM} \\ \omega_{x,sr} \\ \omega_{y,sr} \end{bmatrix}$$

$$\vec{\Delta q}_{repo} =]^+ * \vec{\Delta x}$$

[0062] 여기서, J는 조합된 자코비안(Jacobian)을 나타내고,]⁺는 이러한 조합된 자코비안의 유사역행렬

[0063]

(pseudoinverse)이고, x, y, z 는 공간 좌표이고, tr 은 도구 롤(J9) 조인트 원점이고, sr 은 구형 롤(J6) 조인트 원점이다. 생성된 $\overrightarrow{\Delta q_{repro}}$ 는 9×1 벡터이고 위치 변경으로 인한 조인트(J1 내지 J9)에 대한 증분식 조인트 명령을 포함한다. 조인트(J10, J11)(수술 기구(220) 상의 근위 리스트 조인트 및 원위 리스트 조인트)는 이 움직임에 관여하지 않는다. 조인트(J6 내지 J11)는 원격조작으로 인한 추가적인 명령 ($\overrightarrow{\Delta q_{teleop}}$)을 수신하고, 이들 2개의 명령 ($\overrightarrow{\Delta q_{teleop}}, \overrightarrow{\Delta q_{repro}}$)은 (1) 작업 공간 요건, (2) 삽입 포트 힘 요건, 및 (3) 원격조작 명령을 동시에 충족하도록 합산된다. J1 내지 J5는 원격조작 명령을 수행하는 데 관여하지 않으며, 따라서 그들의 행이 $\overrightarrow{\Delta q_{teleop}}$ 에서 0으로 나타난다. 전체 로봇(J1 내지 J11)에 대한 결과적인 조인트 명령 벡터는 다음과 같이 주어진다:

$$\overrightarrow{\Delta q} = \begin{bmatrix} \overrightarrow{\Delta q_{repro}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \overrightarrow{\Delta q_{teleop}} \end{bmatrix}$$

[0064]

다른 명령 또는 제어 함수가 사용될 수 있다. 3가지 원인의 움직임 및 위치 결정을 풀기 위한 다른 프로세스가 사용될 수 있다.

[0065]

[0066]

작업 공간 정렬, RCM 변경을 위한 힘 감지, 및/또는 원격조작에 기초한 구성의 선택은 1회 수행되거나 또는 반복될 수 있다. 반복되는 경우(작용(350)에서 작용(300)으로의 피드백 참조), 로봇 조작기(122)는 시간에 따라 선택된 위치 및 대응하는 구성으로 이동한다.

[0067]

원격조작을 시작하기 전에, 로봇 수술 시스템(120)은 수술자로 하여금 로봇 조작기(122)를 도킹을 위한 RCM을 고려하여 작업 공간 정렬을 위한 계산된 "최적" 포즈로 가져오도록 안내한다. 이 안내는 계산된 조인트 움직임 ($\overrightarrow{\Delta q}$)에 기초하여 신속하고 용이하게 수행된다.

[0068]

이 안내는 다수의 상이한 방식으로 수행될 수 있다. 가상 고정구를 통한 햅틱(haptic) 안내에 있어서, 활성(유사-자동 접근법) 또는 수동 가상 고정구가 사용될 수 있다. 활성 접근법에서, 사용자가 가한 힘 위에, 로봇 조작기(122)를 최적 포즈를 향해 당기도록 가상의 스프링력이 생성된다. 이러한 방식으로, 조작기(122)는 최적 포즈를 향해 자동으로 이동하지만, 사용자는 대항력(counter-force)을 가함으로써 항상 그 이동을 무효로 하거나 또는 막을 수 있다. 이는 사용자가 안전을 위해 제어 루프 내에 유지될 수 있게 한다. 수동 접근법에서, 로봇 조작기(122)는 자동으로 이동하지 않지만, 사용자가 가한 힘 또는 토크의 성분들에 기초하여 이동한다. 최적 포즈를 향한 사용자 힘 또는 토크의 성분은 증폭되는 반면 다른 성분들은 축소된다. 이는 전적으로 사용자 구동된 움직임을 생성하지만, 사용자에 대한 햅틱 피드백을 사용하여 목표 포즈로부터 멀어지게 이동하고자 하는 경우에는 저항을 감지하지만 최적 포즈를 향해 움직이는 경우에는 지원을 감지한다.

[0069]

다른 안내에서, 청각적 피드백이 사용된다. 사용자에게는 로봇의 각각의 조인트를 "회전 조인트(1) 시계방향"과 같은 목표 위치로 가져오기 위한 음성 제안이 주어진다. 목표 위치가 오버슈팅된 경우, 음성 명령은 "조인트(1)를 반시계 방향으로 회전시킨다"로 전환된다. 한편, 조인트들의 나머지는 자동으로 정렬되어 RCM 제약 조건 또는 힘 요건을 준수한다.

[0070]

또 다른 안내에서, 시각적 피드백이 사용된다. 사용자는 각각의 개별 조인트의 위치를 조정하기 위해 가상 큐(cue)를 통해 안내된다. 예를 들어, 조인트가 조정될 필요가 있는 경우 각 조인트 상의 LED 상태 등(status light)이 적색이다. 일단 조인트가 전체적인 "최적" 포즈에 대한 계산된 위치에 도달하면, LED는 녹색으로 변한다. 다른 예로서, 증강 현실 디스플레이는 실제 로봇 또는 사용자 입력 제어의 뷰 상에 중첩된 화살표를 이용하여 사용자를 안내한다.

[0071]

원격조작을 시작한 후, RCM의 위치 변경 및/또는 작업 공간 정렬에 기초하여 구성을 조정하고 로봇 조작기(122)를 움직이기 위해 동일하거나 상이한 안내가 사용될 수 있다. 대안적으로, 작업 공간 정렬 및/또는 RCM 힘 감소에 기초한 구성은 변경을 개시하기 위한 사용자 확인이 있거나 또는 없이도 자동으로 수행된다.

[0072]

예시적인 사용 사례에 있어서, 원격조작이 시작되기 전, 조작기가 도킹한 후, 위치 변경 보조구(aid)는 환자와 캐블러(214) 사이의 응력(있다면)이 완화되도록 RCM(예를 들어, RCM의 순수한 병진)을 위치 변경하거나 또는 RCM을 위치 변경하는 데 도움이 된다. 위치 변경은 또한 각도에 있어서 조인트(J1 내지 J9)들 중 임의의 하나

이상을 조정하여 목표 해부학적 구조가 로봇의 작업 공간에서 완전히 또는 그 이상이 있게 되도록 작업 공간을 회전시킨다(즉, 병진 이동 없음).

- [0073] 원격조작이 시작된 후, 작업 공간 요건은 예컨대 수술 중 합병증, 수술 중에 발견된 해부학적 변이(variation), 수술 동안 기관의 전이(metastasis), 변형(deformation) 또는 시프트 등에 의해 여전히 변할 수 있다. . . 그 결과, 새로운 목표 해부학적 구조는 로봇 조작기(122)의 이전에 최적화된 작업 공간의 경계로부터 벗어나거나 또는 덜 커버될 수 있다. 필요한 해부학적 작업 공간의 그러한 변화가 상당한(예를 들어, 조인트 각도와 조합된 내시경 이미지는 외과 의사가 도달하고자 하며 기구 조인트들은 그 한계에 도달하지만 외과 의사는 수술하고자 하는 해부학적 구조에 도달할 수 없는 곳을 알려줄 수 있는) 경우, 전체적인 조작기 포즈는 목표 해부학적 구조가 기구(220)의 도달 가능한 작업 공간 내에 유지되도록 지속적으로 또는 주기적으로 재배향될 수 있다. 재배향은 예컨대 사용자에게 의해 발생하도록 촉발될(triggered) 수 있다. 재배향은, 멈춰서 해부학적 구조, 작업 공간 및 조작기의 배열을 재고하고, 이어서 조작기를 수동으로 새로운 포즈에 두고, 마침내 작동을 계속하게 할 필요가 없이도 연속적인 원격조작을 가능하게 한다. 이는 수술 시간의 손실을 방지할 수 있다.
- [0074] 수술 동안, 전체 환자 복부뿐만 아니라 조직의 움직임이 있을 수 있다. 이는 캐논러(214) 상의 추가적인 견인력을 유도하여 환자의 삽입 포트에서 외상을 유발할 수 있다. 조직의 임의의 과도한 지속적인 압축과 같이 환자에 대한 장기간의 힘 적용은 조직의 감소된 관류(perfusion)로 이어진다. 조직에 가해지는 너무 많은 힘은 피부 내의 모세관 혈액 유동을 방해하고 또한 피부에 대한 근막 혈관(fascial vessel)의 관통을 방해할 수 있다. 조직에 대한 이러한 감소된 산소 전달은 절개 부위 탈장(hernia) 및 상처 치유 합병증의 한 원인이 될 수 있다. 따라서, 수술 동안, 전체 조작기 포즈를 재조정함으로써 절개 부위에서의 과도한 힘이 방지되거나 제한된다. 캐논러(214) 상의 힘은 감지되고, 이 감지된 힘은 캐논러 부위에서의 힘이 수술 전체에 걸쳐 조직 보존 수준으로 유지되도록 조작기 포즈를 재구성하기 위한 보조, 자동 또는 안내식 위치 변경 제어 모드에 사용하기 위한 피드백 메커니즘으로서 사용된다.
- [0075] 도 7은 의료 원격조작을 위한 수술 로봇 시스템의 일 실시예의 블록도를 도시한다. 이 시스템은 도 3의 방법 또는 다른 방법을 수행한다. RCM을 위치 변경하기 위한 임의의 하나 이상의(예를 들어, 모든) 작업 공간 정렬 또는 힘 감지가 사용될 수 있다.
- [0076] 수술 로봇 시스템은 상응하는 수술 기구(220) 또는 다른 유형의 기구가 연결된 하나 이상의 로봇 조작기(122), 컨트롤러(702), 및 메모리(704)를 포함한다. 사용자 콘솔(110)은 수술 로봇 시스템의 일부로서 표시되거나 포함된다. 추가의, 상이한, 또는 더 적은 구성요소들이 제공될 수 있다. 예를 들어, 로봇 조작기(122), 수술 기구(220), 및/또는 사용자 콘솔(110)이 제공되지 않는다.
- [0077] 로봇 조작기(122)들은 각각 하나 이상의 링크 및 조인트를 포함한다. 조인트는 피치 조인트 또는 롤 조인트일 수 있다. 수술 도구를 수용 및 안내하기 위한 도구 구동부 및 캐논러(214)가 각각의 로봇 조작기(122) 상에 제공될 수 있다. 링크 및 조인트의 상이한 조합은 로봇 조작기(122)의 상이한 부분, 예를 들어 상이한 정도 또는 유형의 움직임(예를 들어, 병진 및/또는 회전)을 갖는 상이한 부분을 한정하거나 형성할 수 있다. 모터, 센서, 링크, 조인트, 컨트롤러, 수술 기구, 및/또는 다른 구조를 갖는 지금 알려져 있거나 나중에 개발될 임의의 로봇 조작기(122)가 사용될 수 있다.
- [0078] 하나 이상의 로봇 조작기(122)가 제공된다. 예를 들어, 3개 또는 4개의 로봇 조작기(122)가 제공된다. 로봇 조작기(122)는 수술 테이블의 베이스와 같은 테이블에 장착된다. 대안적으로, 카트, 바닥(floor), 천장 또는 다른 장착부(mount)가 사용될 수 있다. 로봇 조작기(122)는 컨트롤러(702) 또는 매개물(예를 들어, 컨트롤 타워(130))과의 통신을 위한 케이블 또는 무선 송수신기(transceiver)를 포함한다.
- [0079] 로봇 수술 기구(220)는 하나 이상의 파지기(grasper), 견인기, 메스, 내시경, 스테이플러, 가위, 또는 환자의 조직을 조작하기 위한 다른 수술 장치이다. 조직 조작은 절단 또는 파지와 같은 직접적인 것일 수 있다. 조직 조작은 환자의 내부 부위를 이미지 처리하거나 보도록 유도되는 것으로서 조직을 가압하거나 접촉하는 내시경과 같은 간접적인 것일 수 있다. 상이한 또는 동일한 유형의 기구(220)가 로봇 조작기(122)들 중 상이한 것에 장착될 수 있다. 예를 들어, 2개의 로봇 조작기(122)는 파지기를 가질 수 있고, 제3 로봇 조작기(122)는 메스를 가질 수 있고, 제4 로봇 조작기(122)는 내시경을 가질 수 있다.
- [0080] 로봇 수술 기구(220)는 로봇 조작기(122)의 원위 단부에 연결되지만 다른 위치에서 연결될 수 있다. 이 연결부는 예컨대 파지기 또는 가위를 잡는 것(closing)과 같이 도구가 작동될 수 있도록 구동기를 제공한다.
- [0081] 로봇 조작기(122)는 도킹 및 원격조작을 위해 캐논러(214)와 연결되도록 구성된 연결 어댑터(420)를 포함한다.

캐놀러(214)와의 이러한 연결부는 수술 기구(220)가 환자의 내부에 대한 접근을 위한 삽입 지점에서 캐놀러(214)를 통과하도록 위치시킨다. 삽입 지점은 로봇 조작기(122)와 수술 기구(220)에 대한 RCM으로서 확립된다.

[0082] 캐놀러 상의 및/또는 어댑터(420) 상의 하나 이상의 센서(600)가 RCM을 위치 변경하기 위한 조직 응력을 모니터링한다. 예를 들어, 압력 센서가 어댑터(420)의 상이한 표면 상에 있다. 상이한 표면은 연결될 때 캐놀러(214)와 접촉하는 표면이다. 어댑터(420)의 리세스 또는 돌출부의 상이한 표면의 압력 센서는 1 이상의 자유도를 감지한다. 조합하여, 힘 벡터가 감지된다.

[0083] 사용자 콘솔(110)은 수술 로봇 시스템과의, 예를 들어 로봇 조작기(122)를 제어하기 위한 프로세서와의 외과 의사의 상호 작용을 위한 그래픽 사용자 인터페이스이다. 사용자 인터페이스는 사용자 입력부(708)와 디스플레이(118)를 포함한다. 사용자 입력부(708) 및/또는 디스플레이(118)는 사용자 콘솔(110) 및/또는 컨트롤 타워(130)에 제공되지만 다른 위치들에 있을 수 있다.

[0084] 사용자 입력부(708)는 버튼, 키보드, 로커(rocker), 조이스틱(joy stick), 트랙볼(track ball), 음성 인식 회로, 마우스, 터치 패드, 터치 스크린, 슬라이더(slidebar), 스위치, UID(116), 풋 페달(114), 이들의 조합, 또는 수술 로봇에 입력하기 위한 임의의 다른 입력 장치이다. 디스플레이(118)는 모니터, 액정 디스플레이(LCD), 프로젝터, 플라즈마 디스플레이, CRT, 프린터, 또는 시각적 정보를 출력하기 위한 지금 알려져 있거나 나중에 개발될 다른 장치이다. 대안적인 실시예에서, 디스플레이(118)는 두부 장착형(head mounted) 디스플레이이다. 사용자 입력부(708)는 눈 움직임 및/또는 깜박임을 검출하기 위한 센서 또는 센서들일 수 있다. 또 다른 실시예들에서, 사용자 입력부(708)는 음성 기반 입력을 위한 마이크로폰이다. 디스플레이(118) 대신에 또는 그에 더하여 음성 정보의 출력을 위한 스피커가 제공될 수 있다.

[0085] 선택적인 카메라(706)는 로봇 조작기(122)를 제어하기 위해 UID(116)의 사용 동안 추적(tracking)과 같은 사용자 동작의 광학적 추적을 위한 디지털 카메라이다. 일부 실시예에서, 카메라(706)는 스테레오 카메라 및/또는 심도 카메라일 수 있다. 카메라(706)는 사용자 입력부(708)로 로봇 조작기(122)를 제어하거나 또는 목표 패턴을 추적하는 데 있어서 인간 동작을 추적하기 위해 사용자 및 목표 패턴 또는 사용자 콘솔(110)에 대해 위치된다.

[0086] 컨트롤러(702)는 로봇 조작기(122) 및/또는 수술 기구(220)를 구동 및/또는 모델링하는 컨트롤러이다. 컨트롤러(702)는 일반적인 프로세서, 중앙 처리 유닛, 제어 프로세서, 그래픽 프로세서, 그래픽 처리 유닛, 디지털 신호 프로세서, 애플리케이션 특정 집적 회로(application specific integrated circuit), 필드 프로그래머블 게이트 어레이(field programmable gate array), 디지털 회로, 아날로그 회로, 인공 지능 프로세서, 이들의 조합, 또는 로봇 조작기(122) 및/또는 수술 기구(220)의 움직임을 제어하기 위한 지금 알려져 있는 또는 이후에 개발될 다른 장치이다. 컨트롤러(702)는 직렬로, 병렬로 또는 별도로 작동하는 단일 장치 또는 다수의 장치이다. 컨트롤러(702)는 랩톱, 서버, 워크스테이션 또는 데스크톱 컴퓨터와 같은 컴퓨터의 주 프로세서일 수 있거나, 더 큰 시스템에서 일부 작업을 처리하기 위한 프로세서일 수 있다. 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어 또는 이들의 조합에 기초하여, 컨트롤러(702)는 명령어를 구현하거나 작용을 수행하도록 구성된다.

[0087] 컨트롤러(702)는 센서(600)로부터의 출력에 기초하여 로봇 조작기의 RCM을 조정하도록 구성된다. 센서(600)(예를 들어, 어댑터 표면 상의 다수의 센서)에 의해 측정되는 삽입 지점에서의 힘은 RCM을 변경하여 조직 응력을 완화시키는 데 사용된다.

[0088] 컨트롤러(702)는 목표 해부학적 구조와 수술 기구의 복수의 작업 공간들 중 각각의 작업 공간 사이의 중첩량을 결정하도록 구성된다. 상이한 작업 공간은 RCM에 대한 로봇 조작기(122)의 상이한 위치에 대응한다. 주어진 RCM의 경우, 조인트의 회전으로 인해 상이한 배향을 갖는 작업 공간과 같은 상이한 작업 공간이 상이한 구성을 갖는 로봇 조작기(122)에 의해 제공될 수 있다. 컨트롤러(702)는 목표 해부학적 구조와의 작업 공간의 최대 중첩량을 갖도록 로봇 조작기(122)의 위치를 선택(즉, 구성을 선택)하게 구성된다. 컨트롤러(702)는 로봇 조작기를 선택된 위치로 이동시키도록 구성되는데, 예를 들어 로봇 조작기(122)를 원하는 구성으로 이동시키는 안내를 제공한다. 이러한 안내 및 상응하는 움직임, 예를 들어 수술 기구(220)에 의한 환자의 수술 조작을 위한 움직임과 조합(중첩)되어 작업 공간 정렬을 재구성하도록 로봇 조작기(122)를 이동시키는 것은 원격조작 전에 및/또는 그 동안에 제공될 수 있다.

[0089] 메모리(704) 또는 다른 메모리는 프로그래밍된 컨트롤러(702)에 의해 실행 가능한 명령어들을 나타내는 데이터를 저장하는 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체이다. 본 명세서에서 논의된 프로세스, 방법 및/또는 기술을 구현하기 위한 명령어는 컴퓨터 판독가능 저장 매체 또는 메모리, 예를 들어 캐시(cache), 버퍼(buffer), RAM,

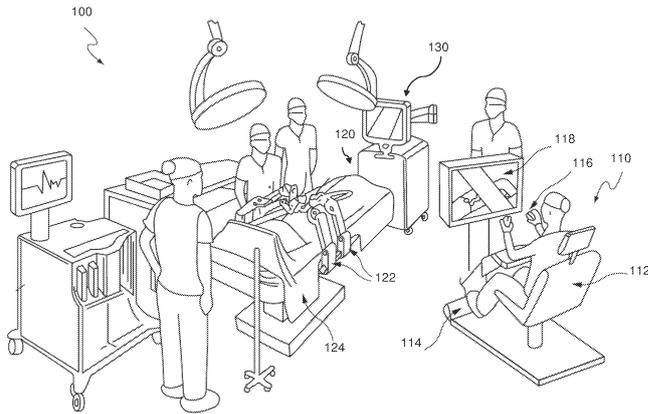
착탈식 매체, 하드 드라이브 또는 다른 컴퓨터 판독가능 저장 매체 상에 제공된다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 다양한 유형의 휘발성 및 비휘발성 저장 매체를 포함한다. 본 명세서에서 기술되고 도면들에 도시된 기능, 작용 또는 작업은 컴퓨터 판독가능 저장 매체에 저장된 하나 이상의 세트의 명령어들에 응답하여 실행된다. 기능, 작용 또는 작업은 특정 유형의 명령어 세트, 저장 매체, 프로세서 또는 프로세싱 전략과 무관하며, 단독으로 또는 조합하여 작동하는 소프트웨어, 하드웨어, 집적 회로, 펌웨어, 마이크로 코드 등에 의해 수행될 수 있다. 마찬가지로, 프로세싱 전략은 멀티프로세싱, 멀티태스킹, 병렬 프로세싱 등을 포함할 수 있다.

[0090] 일 실시예에서, 명령어는 국소 또는 원격 시스템에 의해 판독하기 위해 제거가능 매체 장치 상에 저장된다. 다른 실시예에서, 명령어는 컴퓨터 네트워크를 통해 또는 전화선을 통해 전송하기 위해 원격 위치에 저장된다. 또 다른 실시예에서, 명령어는 주어진 컴퓨터, CPU, GPU, 또는 시스템 내에 저장된다.

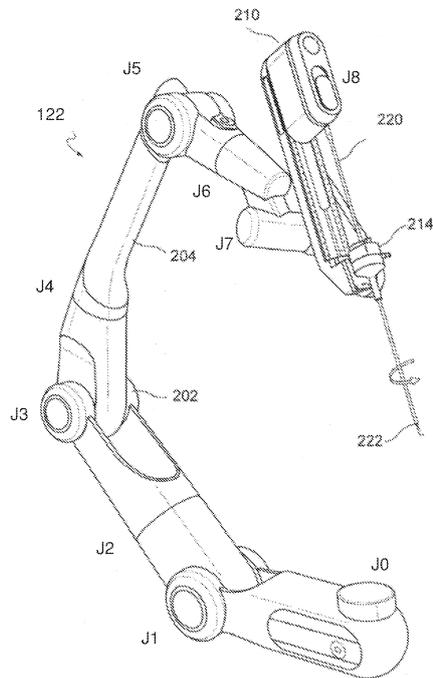
[0091] 본 발명이 다양한 실시예를 참조하여 상기에서 설명되었지만, 본 발명의 범위를 벗어나지 않고도 많은 변경 및 수정이 이루어질 수 있음을 이해해야 한다. 따라서, 전술한 상세한 설명은 제한적이기보다는 예시적인 것으로 간주되어야 하는 것으로 의도되고, 모든 균등물을 포함하는 하기 청구범위가 본 발명의 사상 및 범위를 한정하고자 하는 것으로 이해된다.

도면

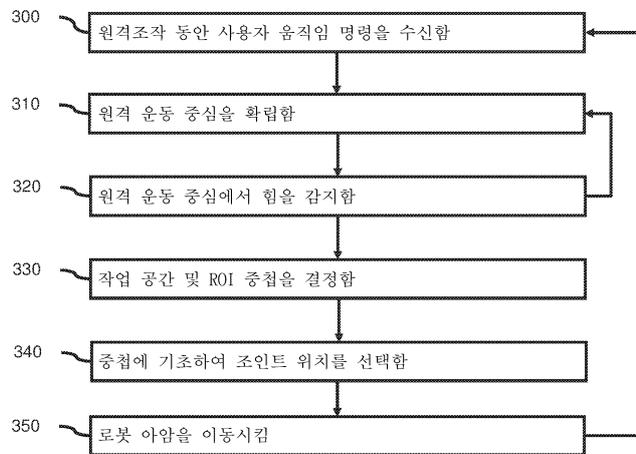
도면1



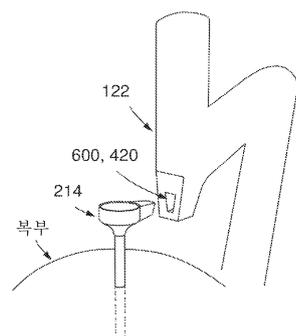
도면2



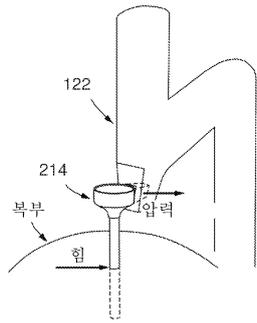
도면3



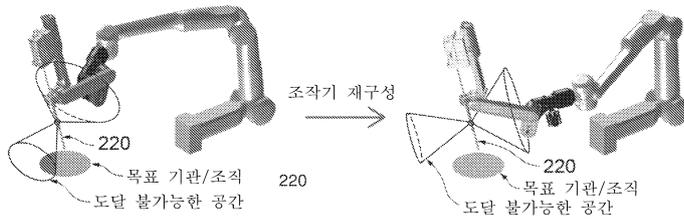
도면4a



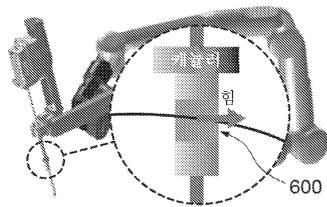
도면4b



도면5



도면6



도면7

