



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월18일

(11) 등록번호 10-2145236

(24) 등록일자 2020년08월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 19/00 (2006.01) A61B 17/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7034492

(22) 출원일자(국제) 2013년05월31일

심사청구일자 2018년04월05일

(85) 번역문제출일자 2014년12월09일

(65) 공개번호 10-2015-0023359

(43) 공개일자 2015년03월05일

(86) 국제출원번호 PCT/US2013/043557

(87) 국제공개번호 WO 2013/181503

국제공개일자 2013년12월05일

(30) 우선권주장

61/654,755 2012년06월01일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2004094399 A*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 황윤구

(54) 발명의 명칭 영-공간을 이용하여 매니플레이터 암 대 환자의 충돌을 회피하는 방법 및 시스템

(57) 요약

영-공간 내에서 매니플레이터를 이동시킴으로써 매니플레이터 암과 환자 외측 표면 사이의 충돌을 방지하는 장치, 시스템 및 방법을 제공한다. 매니플레이터 대 환자의 거리에 해당하는, 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 거리가 원하는 값보다 작다는 결정에 대응하여, 상기 거리를 증가시키기 위해서 상기 시스템이 자코비안의 영-공간 내에서 매니플레이터의 하나 이상의 조인트 또는 링크의 운동을 연산한다. 상기 조인트는 엔드 이펙터의 원하는 상태를 유지하기 위해서 재구성 명령 및 연산된 운동에 따라 구동된다. 하나의 실시형태에서는, 영-공간 내에서 상기 조인트를 이동시키는 것에 의해서 매니플레이터 암 대 환자의 충돌을 방지함과 동시에 엔드 이펙터 또는 원격 중심의 원하는 운동을 실행하기 위해서 상기 조인트가 자코비안의 영-직교 공간 내에서 연산된 엔드 이펙터 변위 운동에 따라 구동되기도 한다.

(72) 발명자

웨나 브루스 마이클

미국 캘리포니아 94025 멘로 파크 포프 스트리트
414

데벤젠조 로만 엘

미국 캘리포니아 95124 산 호세 랄레이 드라이브
2458

(56) 선행기술조사문헌

JP2008514357 A*

JP2011076737 A*

JP2011206312 A*

KR101145243 B1*

US20110276059 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

이동가능한 원위 부분, 베이스에 결합된 근위 부분, 그리고 상기 원위 부분과 상기 베이스 사이의 복수의 조인트를 포함하는 매니퓰레이터 암이고, 상기 복수의 조인트가 상기 원위 부분의 원위 부분 상태에 대해 다양한 상이한 조인트 상태를 가능하게 하기에 충분한 자유도를 가지고, 상기 원위 부분은 작동하는 동안 원격 중심에 대하여 피벗운동함에 있어서, 상기 매니퓰레이터 암을 상기 매니퓰레이터 암에 결합된 프로세서로 제어하는 로봇식 방법으로서,

자코비안의 영-공간과 직교하는 자코비안의 영-직교 공간에서 상기 복수의 조인트의 조인트 운동을, 상기 프로세서로, 연산하는 것에 의해 사용자 입력으로부터 수신된 조종 명령에 대응하여 작업 부위에서 원하는 원위 부분 운동을 실행하기 위해 상기 복수의 조인트의 원위 부분 변위 운동을, 상기 프로세서로, 연산하는 것;

상기 원격 중심에 교차하는 표면을 근사화 하거나 또는 모델링 함으로써, 상기 프로세서로, 장애물 표면을 결정하는 것;

매니퓰레이터 암과 상기 장애물 표면 사이에 원하는 간격을 제공하기 위해 자코비안의 영-공간에서 상기 복수의 조인트의 회피 운동을, 상기 프로세서로, 연산하는 것; 그리고

상기 원하는 간격을 제공하고 상기 원하는 원위 부분 운동을 실행하기 위해서 연산된 원위 부분 변위 운동과 연산된 회피 운동에 따라 상기 복수의 조인트를, 상기 프로세서로, 구동시키는 것;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇식 방법.

청구항 2

원위 부분, 베이스에 결합된 근위 부분, 그리고 상기 원위 부분과 상기 베이스 사이의 복수의 조인트를 포함하고 있는 매니퓰레이터 암이고, 상기 복수의 조인트가 함께 상기 원위 부분의 원위 부분 상태에 대해 다양한 상이한 조인트 상태를 가능하게 하기에 충분한 자유도를 가지고, 상기 원위 부분은 작동하는 동안 원격 중심에 대하여 피벗운동함에 있어서, 매니퓰레이터 암을 상기 매니퓰레이터 암에 결합된 프로세서로 제어하는 로봇식 방법으로서,

상기 원위 부분이 움직이고 있는 것에 상응하는 상기 복수의 조인트의 조인트 속도를 연산하는 것에 의해 사용자 입력으로부터 수신된 조종 명령에 대응하여 상기 원위 부분의 원하는 상태를 실행하기 위해 상기 복수의 조인트의 원위 부분 변위 운동을, 상기 프로세서로, 연산하는 것;

상기 원격 중심에 교차하는 표면을 근사화 하거나 또는 모델링 함으로써, 상기 프로세서로, 장애물 표면을 결정하는 것;

상기 원위 부분이 움직이지 않고 있는 것에 상응하는 상기 복수의 조인트의 조인트 속도를 연산하는 것에 의해 매니퓰레이터 암의 일부분과 상기 장애물 표면 사이에 원하는 간격을 제공하기 위해 상기 복수의 조인트의 회피 운동을, 상기 프로세서로, 연산하는 것; 그리고

상기 원위 부분의 원하는 상태를 실행하고 상기 원하는 간격을 제공하기 위해서 연산된 원위 부분 변위 운동과 연산된 회피 운동에 따라 상기 복수의 조인트를, 상기 프로세서로, 구동시키는 것;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇식 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 연산된 원위 부분 변위 운동과 연산된 회피 운동에 따라 상기 복수의 조인트를 구동시키는 것이,

연산된 원위 부분 변위 운동에 따라 상기 복수의 조인트를 구동시키는 것과 동시에 연산된 회피 운동에 따라 상기 복수의 조인트를 구동시키는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇식 방법.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 원위 부분에 가까운 매니플레이터 암의 하나 이상의 부분에 상응하는 회피 지오메트리를, 상기 프로세서로, 결정하는 것;을 더 포함하고,

상기 원하는 간격이 상기 회피 지오메트리와 상기 장애물 표면 사이의 원하는 관계를 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇식 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 회피 운동을 연산하는 것이

상기 회피 지오메트리와 상기 장애물 표면 사이의 거리를, 상기 프로세서로, 결정하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇식 방법.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 복수의 조인트의 원위 부분 변위 운동을 연산하는 것이

상기 복수의 조인트의 제1 조인트를 구동시키지 않기 위해서 원위 부분 변위 운동을 연산하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇식 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 복수의 조인트의 회피 운동을 연산하는 것이

상기 제1 조인트를 구동시키기 위해서 회피 운동을 연산하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇식 방법.

청구항 8

로봇 시스템으로서,

원위 부분을 베이스에 대해 로봇으로 이동시키도록 구성되어 있는 매니플레이터 암에 있어서, 상기 매니플레이터 암은 상기 원위 부분과 상기 베이스 사이에 복수의 조인트를 가지고, 상기 복수의 조인트는 상기 원위 부분의 원위 부분 상태에 대해 다양한 조인트 상태를 가능하게 하기에 충분한 자유도를 제공하고, 상기 원위 부분은 작동하는 동안 원격 중심에 대하여 피벗운동하는, 매니플레이터 암;

상기 원위 부분을 이동시키기 위해 조종 명령을 수신하는 입력 장치; 그리고

상기 매니플레이터 암에 결합된 프로세서;

를 포함하고 있고,

상기 프로세서는,

자코비안의 영-공간과 직교하는 자코비안의 영-직교 공간 내에서 상기 복수의 조인트의 조인트 운동을 연산하는 것에 의해 상기 조종 명령에 대응하여 상기 복수의 조인트의 원위 부분 변위 운동을 연산하도록 구성되어 있고;

상기 원격 중심에 교차하는 표면을 근사화 하거나 또는 모델링 함으로써, 상기 프로세서로, 장애물 표면을 결정하도록 구성되어 있고;

상기 매니플레이터 암의 일부분과 상기 장애물 표면 사이에 원하는 간격을 제공하기 위해서 상기 영-공간 내에서 상기 복수의 조인트의 회피 운동을 연산하도록 구성되어 있고; 그리고

연산된 원위 부분 변위 운동과 연산된 회피 운동에 따라 상기 매니플레이터 암을 구동시키도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 9

로봇 시스템으로서,

원위 부분, 베이스에 결합된 근위 부분, 그리고 상기 원위 부분과 상기 베이스 사이의 복수의 조인트를 포함하는 매니플레이터 암에 있어서, 상기 복수의 조인트는 함께 상기 원위 부분의 원위 부분 상태에 대해 다양한 조

인트 상태를 가능하게 하기에 충분한 자유도를 가지고, 상기 원위 부분은 작동하는 동안 원격 중심에 대하여 피벗운동하는, 매니퓰레이터 암;

입력 장치; 그리고

상기 매니퓰레이터 암과 상기 입력 장치에 결합된 프로세서;

를 포함하고 있고,

상기 프로세서는,

상기 입력 장치로부터 수신된 조종 명령에 대응하여, 상기 원위 부분이 움직이고 있는 것에 상응하는 상기 복수의 조인트의 조인트 속도를 연산하는 것에 의해 상기 원위 부분의 원하는 상태를 실행하기 위해 상기 복수의 조인트의 원위 부분 변위 운동을 연산하도록 구성되어 있 고;

상기 원격 중심에 교차하는 표면을 근사화 하거나 또는 모델링 함으로써 장애물 표면을 결정하도록 구성되어 있 고;

상기 원위 부분이 움직이지 않고 있는 것에 상응하는 상기 복수의 조인트의 조인트 속도를 연산하는 것에 의해 상기 매니퓰레이터 암의 일부분과 상기 장애물 표면 사이에 원하는 간격을 제공하기 위해 상기 복수의 조인트의 회피 운동을 연산하도록 구성되어 있고; 그리고

연산된 원위 부분 변위 운동과 연산된 회피 운동에 따라 상기 복수의 조인트를 구동시키도록 구성되어 있는

것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 10

제8항 또는 제9항에 있어서, 상기 프로세서가

연산된 원위 부분 변위 운동에 따라 상기 복수의 조인트를 구동시키는 것과 동시에 연산된 회피 운동에 따라 상기 복수의 조인트를 구동시키는 것에 의해

연산된 원위 부분 변위 운동과 연산된 회피 운동에 따라 상기 매니퓰레이터 암을 구동시키도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 11

제8항 또는 제9항에 있어서, 상기 원위 부분이 엔드 이펙터를 포함하거나 상기 엔드 이펙터를 탈착가능하게 지지하도록 구성되어 있고, 상기 엔드 이펙터의 원하는 엔드 이펙터 상태를 달성하기 위해서 원위 부분 변위 운동이 연산되고, 상기 원하는 엔드 이펙터 상태를 유지하기 위해서 상기 복수의 조인트의 회피 운동이 연산되는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 12

제8항 또는 제9항에 있어서, 상기 프로세서가

상기 원위 부분에 가까운 매니퓰레이터 암의 하나 이상의 부분에 상응하는 회피 지오메트리를 결정하도록 구성되어 있고; 그리고

상기 원하는 간격이 상기 회피 지오메트리와 상기 장애물 표면 사이의 원하는 관계를 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 프로세서가

상기 매니퓰레이터 암의 복수의 조인트의 하나 이상의 조인트 센서를 이용하는 것; 또는

상기 매니퓰레이터 암 상의 하나 이상의 근접 센서로부터 수신된 포지션 정보를 이용하는 것;

에 의해 상기 장애물 표면을 결정하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서, 상기 프로세서가

상기 복수의 조인트의 조인트 공간 내에서 포텐셜 필드를 연산하는 것에 의해 회피 운동을 연산하도록 구성되어 있고,

저 포텐셜은 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 긴 거리에 상응하고, 고 포텐셜은 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 짧은 거리에 상응하며, 회피 운동을 연산하는 것이 연산된 포텐셜 필드의 값을 유지시키거나 감소시키는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 15

제8항 또는 제9항에 있어서, 상기 원위 부분의 원위 부분 상태가 상기 베이스에 대한 원위 부분 포지션, 원위 부분 방향, 및/또는 원위 부분 속도 중의 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 16

제8항 또는 제9항에 있어서, 상기 프로세서가

상기 매니퓰레이터 암과 상기 장애물 표면 사이의 거리를 결정하는 것에 의해

회피 운동을 연산하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 17

제8항 또는 제9항에 있어서, 상기 프로세서가 상기 복수의 조인트 중의 하나 이상의 조인트를 구동시키지 않기 위해 원위 부분 변위 운동을 연산하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 프로세서가 상기 하나 이상의 조인트를 구동시키기 위해 회피 운동을 연산하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 19

제8항 또는 제9항에 있어서, 상기 로봇 시스템이 수술 로봇 시스템이고, 상기 장애물 표면이 환자 표면인 것을 특징으로 하는 로봇 시스템.

청구항 20

제1항 또는 제2항의 방법을 수행하기 위해 프로세서에 의해 실행될 수 있는, 시스템을 작동시키는 명령을 저장하는 비-일시적 판독가능 메모리.

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은, 전체 내용이 본 명세서에 참고로 포함된, 발명의 명칭이 "영-공간을 이용하여 매니플레이터 암 대 환자의 충돌을 회피하는 방법 및 시스템"이고 2012년 6월 1일자로 출원된 미국 가특허출원 제61/654,755호에 기초한 출원이다.

[0002] 본 출원은 대체로, 전체 내용이 본 명세서에 참고로 포함된 아래의 공동 출원: 즉, 발명의 명칭이 "기구학적인 특이성에 관한 의료용 로봇 시스템 매니플레이터의 제어(Control of Medical Robotic System Manipulator About Kinematic Singularities)"이고 2009년 6월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 제12/494,695호; 발명의 명칭이 "내부 운동을 발생시키기 위해 부가된 힘과 여유 자유도를 가지는 마스터 컨트롤러(Master Controller Having Redundant Degrees of Freedom and Added Forces to Create Internal Motion)"이고 2009년 3월 17일자로 출원된 미국 특허 출원 제12/406,004호; 발명의 명칭이 "수술 및 다른 용도를 위한 소프트웨어 센터 및 고도로 설정가능한 로봇 시스템(Software Center and Highly Configurable Robotic Systems for Surgery and Other Uses)"이고 2005년 5월 19일자로 출원된 미국 특허 출원 제11/133,423호(미국 특허 제8,004,229호); 발명의 명칭이 "로봇 수술용 오프셋된 원격 중심 매니플레이터(Offset Remote Center Manipulator For Robotic Surgery)"이고 2004년 9월 30일자로 출원된 미국 특허 출원 제10/957,077호(미국 특허 제7,594,912호); 발명의 명칭이 "여유 자유도를 가진 마스터(Master Having Redundant Degrees of Freedom)" 이고 1999년 9월 17일자로 출원된 미국 특허 출원 제09/398,507호(미국 특허 제6,714,839호); 그리고 본 출원과 동시에 출원된, 발명의 명칭이 "영-공간을 이용하여 수술용 매니플레이터의 지정된 재구성을 위한 시스템 및 방법(System and Methods for Commanded Reconfiguration of a Surgical Manipulator Using the Null-Space)" 인 미국 특허 출원과 발명의 명칭이 "영-공간을 이용하여 매니플레이터 암들 사이의 충돌을 회피하기 위한 시스템 및 방법(Systems and Methods for Avoiding Collisions Between Manipulator Arms Using a Null-Space)" 인 미국 특허 출원"에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 본 발명은 대체로 개량된 수술 장치, 수술 시스템, 그리고 수술 방법 및/또는 로봇 장치, 로봇 시스템, 그리고 로봇식 방법을 제공한다.

[0004] 최소 침습 의료 기술은 진단 과정이나 수술 과정에서 손상되는 조직의 양을 감소시켜서, 환자 회복 시간, 불편함, 그리고 유해한 부작용을 감소시키는 것을 목적으로 한다.

- [0005] 미국에서는 매년 수백만 건의 개복 수술 즉 전통적인 수술이 수행되고 있는데, 이 수술의 상당수가 아마도 최소 침습 방식으로 수행될 수 있다. 하지만, 최소 침습 수술 기구의 제한사항, 최소 침습 기술, 그리고 최소 침습 기술을 마스터하는데 필요한 추가적인 수술 교육으로 인해 현재로는 비교적 작은 수의 수술만 최소 침습 기술을 이용하고 있다.
- [0006] 외과 의사의 기민성(dexterity)을 향상시키고 또한 외과 의사가 원격 위치에서 환자에 대해 수술을 할 수 있도록 하기 위해 수술에 사용되는 최소 침습 원격수술 시스템이 개발되고 있다. 원격수술이란 수술 기구를 손으로 직접 잡고 이동시키는 것이 아니라 외과 의사가 수술 기구 운동을 조종하기 위해서 일종의 원격 제어장치, 예를 들면, 서보기구 또는 이와 유사한 것을 이용하는 수술 시스템에 대한 총칭이다. 이러한 원격수술 시스템에서는, 외과 의사가 원격 위치에서 수술 부위의 영상을 제공받는다. 외과 의사는 통상적으로 적절한 관찰장치 즉 디스플레이에 나타난 수술 부위의 3차원 영상을 관찰하면서, 마스터 컨트롤 입력 장치를 조종하여, 로봇 수술 기구의 운동을 제어함으로써 환자에 대해 수술을 수행한다. 로봇 수술 기구는 작은 최소 침습 수술용 구멍을 통하여 삽입되어 환자 내부의 수술 부위의 조직, 종종 개복 수술을 위한 접근과 관련된 외상(trauma)을 치료할 수 있다. 이러한 로봇 시스템은 충분한 기민성(dexterity)으로 수술 기구의 작업 단부를 이동시켜서, 종종 최소 침습 구멍에 있는 수술 기구의 샤프트를 피벗운동시키는 것, 상기 수술 기구의 샤프트를 상기 구멍을 통하여 축 방향으로 미끄럼이동시키는 것, 상기 수술 기구의 샤프트를 상기 구멍 내에서 회전시키는 것, 및/또는 이와 유사한 움직임에 의해, 매우 복잡한 수술 작업을 수행할 수 있다.
- [0007] 원격수술에 사용되는 서보기구는 (외과 의사의 두 손의 각각에 대해서 하나씩 배치된) 두 개의 마스터 컨트롤러로부터 입력을 종종 수용하고 두 개 이상의 로봇 암 또는 매니퓰레이터를 포함할 수 있다. 손 운동을 영상 포착 장치에 의해 표시된 로봇 수술 기구의 영상에 매핑시키는 것(mapping)은 각각의 손과 결합된 수술 기구에 대한 정밀한 제어를 외과 의사에게 제공하는데 도움을 줄 수 있다. 많은 수술 로봇 시스템에 있어서, 내시경 또는 다른 영상 포착 장치, 추가적인 수술 기구 등을 이동시키기 위해서 하나 이상의 추가적인 로봇 매니퓰레이터 암이 포함되어 있다.
- [0008] 로봇 수술 동안 수술 부위에 있는 수술 기구를 지지하기 위해서 다양한 구조적 방식이 이용되고 있다. 피구동 링크장치(driven linkage) 또는 "슬레이브(slave:종속장치)"는 종종 로봇 수술용 매니퓰레이터라고 하며, 최소 침습 로봇 수술 동안 로봇 수술용 매니퓰레이터로서 사용되는 예시적인 링크장치가 미국 특허 제6,758,843호; 제6,246,200호; 그리고 제5,800,423호에 기술되어 있고, 이들 문헌의 전체 개시내용은 본 명세서에 참고로 포함되어 있다. 이들 링크장치는 종종 샤프트를 가진 수술 기구를 유지하기 위해 평행사변형 배치를 이용한다. 이러한 매니퓰레이터 구조는 단단한 샤프트의 길이를 따라서 공간상에 포지셔닝된 구체 회전의 원격 중심(remote center of spherical rotation)에 대해서 수술 기구 샤프트가 피벗운동하도록 수술 기구의 운동을 제한할 수 있다. 이 회전 중심을 내부 수술 부위에 대한 절개 지점과(예를 들면, 복강경 수술 동안 복벽(abdominal wall)에 있는 투관침(trocar) 또는 캐놀라(cannula)와) 정렬시킴으로써, 복벽에 대해 잠재적으로 위험한 힘을 가하지 않으면서 매니퓰레이터 링크장치를 이용하여 상기 샤프트의 근위 단부를 이동시키는 것에 의해 수술 기구의 엔드 이펙터가 안전하게 포지셔닝될 수 있다. 대체 형태의 매니퓰레이터 구조는, 예를 들면, 미국 특허 제6,702,805호, 제6,676,669호, 제5,855,583호, 제5,808,665호, 제5,445,166호, 그리고 제5,184,601호에 기술되어 있고, 이들 문헌의 전체 개시내용은 본 명세서에 참고로 포함되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 새로운 로봇 수술 시스템 및 장치는 매우 효과적이고 유익한 것으로 판명되었지만, 여전히 추가적인 개량이 바람직할 것이다. 예를 들면, 수술 기구를 최소 침습 수술 부위 내에서 이동시킬 때, 로봇 수술 매니퓰레이터는 환자 외측에서 상당한 양의 움직임을 보일 수 있는데, 특히 큰 각도 범위에 걸쳐서 최소 침습 구멍 주위에서 수술 기구를 피벗운동시킬 때, 이로 인해 의도하지 않게 상기 매니퓰레이터들이 서로 접촉하거나, 상기 매니퓰레이터가 수술실 내의 수술 기구 카트 또는 다른 구조와 접촉하거나, 수술 의료진과 접촉하거나, 및/또는 환자의 외측 표면과 접촉하도록 상기 매니퓰레이터를 이동시킬 수 있다. 특히, 매니퓰레이터가 최소 침습 구멍에 대해서 피벗운동할 때 원위 기구(distal instrument) 근처의 매니퓰레이터 암은 의도하지 않게 환자 외측 표면과 접촉할 수 있다. 대체 형태의 고도로 설정가능한 소프트웨어 중심의 수술 매니퓰레이터 시스템이 제안되어 있으며 이 시스템은 상당한 장점을 제공할 수 있지만, 많은 난제(challenge)도 제공할 수 있다. 특히, 제안된 소프트웨어 중심 시스템(software center system)은 몇몇 조건에서 기계적으로 제한된 원격 중심 링크장치의 안전성

장점을 모두 가지지 못할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 원격수술 시스템을 이용하여 수행되는 수술의 범위가 계속하여 확대되고 있기 때문에, 환자 내에서의 수술 기구의 운동 범위와 이용가능한 구성을 확대하는 것에 대한 요구가 증가하고 있다. 불행하게도, 이러한 변화는 신체 외부에서 매니플레이터의 운동을 제어하고 예측하는 것과 관련된 난제를 증가시킬 수 있고, 매니플레이터 암의 구성요소들과 환자의 외측 표면 사이의 바람직하지 않은 접촉 또는 충돌을 회피하는 것의 중요성을 증가시킬 수 있다.

[0010] 상기와 같은 이유와 다른 이유로, 수술, 로봇 수술, 그리고 다른 로봇 사용예에 대해 개량된 장치, 시스템 및 방법을 제공하는 것이 바람직할 것이다. 이러한 개량된 기술이 원하는 엔드 이펙터 상태 또는 수술 기구 샤프트가 피벗운동하는데 있어서 중심이 되는 원격 중심의 원하는 위치를 유지시키면서 매니플레이터 암과 환자 사이의 충돌을 회피하는 능력을 제공한다면 특히 유익할 것이다. 이상적으로는, 이러한 개량이, 엔드 이펙터가 운동하는 동안 매니플레이터 암과 환자 사이의 충돌을 회피하면서 수술하는 동안 하나 이상의 매니플레이터 암의 개선된 운동을 가능하게 할 것이다. 추가적으로, 적어도 수 개의 수술에 대해서 수술 기구의 운동의 범위를 증가시키면서 이러한 시스템의 크기, 기계적인 복잡성, 또는 비용을 크게 증가시키지 않고, 그리고 그 기민성(dexterity)을 유지하거나 향상시키면서 이러한 개량을 제공하는 것이 바람직할 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 본 발명은 대체로 개량된 수술 장치, 수술 시스템, 그리고 수술 방법 및/또는 로봇 장치, 로봇 시스템, 그리고 로봇식 방법을 제공한다. 하나의 실시형태에서, 본 발명은 고도로 설정가능한 수술 로봇 매니플레이터를 이용할 것이다. 이러한 매니플레이터는, 예를 들면, 환자의 수술 작업 공간 내에서 결합된 수술용 엔드 이펙터가 가지고 있는 것보다 더 많은 운동 자유도를 가질 수 있다. 본 발명에 따른 로봇 수술 시스템은 통상적으로 로봇 수술 기구를 지지하는 매니플레이터 암과 수술 기구의 엔드 이펙터를 조종하기 위해 조정된 조인트 운동(coordinated joint movement)을 연산하는 프로세서를 포함하고 있다. 엔드 이펙터를 지지하는 로봇 매니플레이터의 조인트는 매니플레이터가 특정한 엔드 이펙터 포지션 및/또는 특정한 피벗점 위치에 대해 다양한 상이한 구성의 도처로 이동할 수 있게 해 준다. 상기 시스템은 프로세서에 의해 연산된 조인트의 조정된 운동에 따라 매니플레이터의 하나 이상의 조인트를 구동시키는 것에 의해 환자와의 충돌을 피하기 위해 고도로 설정가능한 로봇 매니플레이터의 운동을 허용하고, 이것은 원하는 엔드 이펙터 상태 및/또는 피벗점 위치를 유지하기 위해서 기구학적 자코비안의 영-공간 내에서 매니플레이터의 하나 이상의 조인트를 연장시킨다. 통상적으로, 매니플레이터 암과 환자 외측 표면 사이의 거리가 원하는 것보다 짧다는 결정에 대응하여 회피 운동(avoidance movement)이 연산된다.

[0012] 하나의 실시형태에서는, 매니플레이터 입력부를 가진 여유 자유도(RDOF:redundant degrees of freedom) 수술 로봇 시스템이 제공되어 있다. 여유 자유도(RDOF) 수술 로봇 시스템은 매니플레이터 조립체, 하나 이상의 사용자 입력 장치, 그리고 컨트롤러를 가진 프로세서를 포함하고 있다. 매니플레이터 조립체의 매니플레이터 암은 특정한 엔드 이펙터 상태에 대해 다양한 조인트 상태를 가능하게 하는 충분한 자유도를 제공하는 복수의 조인트를 가지고 있다. 원격 중심 또는 원위 엔드 이펙터의 근위부에 있는 매니플레이터 암의 일부분이 환자의 외측 표면에 지나치게 근접해 있다는 결정에 대응하여, 상기 시스템이 상기 영-공간 내에서 복수의 조인트의 회피 운동을 연산한다. 상기 프로세서는 엔드 이펙터의 원하는 상태 및/또는 원격 중심 위치를 유지하기 위해서 연산된 회피 운동에 따라, 컨트롤러를 이용하여, 조인트를 구동시키도록 구성되어 있다. 종종 상기 회피 운동과 동시에, 엔드 이펙터를 원하는 운동을 하는 상태로 이동시키기 위해서 조종 명령을 수신하는 것에 대응하여, 상기 시스템이 자코비안의 영-공간과 직교하는 영-직교 공간 내에서 조인트 운동을 연산하는 것에 의해서 조인트의 엔드 이펙터 변위 운동을 연산하고, 원하는 엔드 이펙터 운동을 실행하기 위해 연산된 엔드 이펙터 변위 운동에 따라 조인트를 구동시킨다.

[0013] 본 발명의 다른 실시형태에서는, 수술 기구 샤프트의 중간 부분이 원격 중심에 대해서 피벗운동하도록 매니플레이터가 이동하게 구성되어 있다. 상기 매니플레이터와 수술 기구의 사이에는, 수술 기구 샤프트의 중간 부분이 접근 부위를 통과하여 뺄 때 엔드 이펙터 포지션에 대해 다양한 조인트 상태를 가능하게 하기에 충분한 자유도를 제공하는 복수의 피구동 조인트가 있다. 컨트롤러를 가지고 있는 프로세서가 입력 장치를 매니플레이터에 결합시킨다. 매니플레이터 암의 일부분이 환자의 외측 표면에 지나치게 근접해 있다는 결정에 대응하여, 상기 프로세서는, 수술 기구의 중간 부분이 상기 접근 부위 내에 있도록 매니플레이터 암의 일부분과 환자의 외측 표면 사이의 거리를 증가시키기 위해서 그리고 수술 기구 샤프트가 피벗운동하는데 있어서 중심이 되는 원하는 원격 중심 위치를 유지하기 위해서 하나 이상의 조인트의 운동을 결정한다. 통상적으로, 원하는 엔드 이펙터의 원하는 운동을 실행하기 위해서 조종 명령을 수신하는 것에 대응하여, 상기 시스템은, 상기 영-공간과 직교하는

자코비안의 영-직교 공간 내에서 조인트 속도를 연산하는 것을 포함하는, 조인트의 엔드 이펙터 변위 운동을 연산하고 나서, 종종 연산된 회피 운동에 따라 조인트를 구동시키는 것과 동시에, 수술 기구 샤프트가 원격 중심에 대해 피벗운동하는 원하는 엔드 이펙터 운동을 실행하기 위해서 연산된 운동에 따라 조인트를 구동시킨다.

[0014] 하나의 실시형태에서, 각각의 기준 지오메트리가 복수의 선분을 포함하고 있고, 상대적인 상태를 결정하는 것은 인접한 기준 지오메트리로부터 가장 가까운 한 쌍의 선분을 결정하는 것을 포함한다. 매니퓰레이터 암을 나타내기 위해 선분을 사용하는 것이 도처에 기술되어 있지만, 임의의 적절한 지오메트리(예를 들면, 점, 선분, 구, 여러 개의 구, 원기둥, 다량의 또는 다양한 기하학적인 형상)가 이용될 수 있다고 생각된다. 다른 실시형태에 있어서, 가장 가까운 쌍을 결정하는 것은 선분 쌍 위에 있는 점들 사이의 최근접 거리를 결정하는 것을 포함한다. 제1 기준 지오메트리와 제2 기준 지오메트리로부터, 상기 시스템은, 매니퓰레이터 암의 3차원 작업 공간에서, 한 쌍 이상의 상호작용하는 요소(예를 들면, 상기 작업 공간에서 겹치는 운동 범위를 가지는 선분)를 결정할 다음 기준 지오메트리들 사이의 상대적인 상태와 기준 지오메트리들 사이에 뻗어 있는 회피 벡터를 결정할 수 있다. 그 다음에 상기 시스템은, 종종 상기 회피 벡터를 따라 작용된 힘 또는 상기 회피 벡터의 방향을 따르는 선분 상의 한 점에 작용된 지정 속도(commanded velocity)를 시뮬레이션함으로써, 상기 회피 벡터를 따라서 기준 지오메트리의 운동을 결정하고, 이것은 조인트 공간으로 전환된다. 제1 매니퓰레이터 암과 제2 매니퓰레이터 암의 각각의 원위 부분(예를 들면, 엔드 이펙터)의 원하는 상태를 유지하면서 기준 지오메트리들 사이의 이격 거리를 유지하기 위해 회피 운동을 연산하기 위해서 조인트 공간을 따르는 운동이 자코비안의 영-공간에 투영된다.

[0015] 하나의 실시례에서는, 상기 시스템이 매니퓰레이터 암의 하나 이상의 부분의 상태에 해당하는 회피 지오메트리(avoidance geometry)와 환자의 외측 표면의 위치에 해당하는 장애물 표면을 한정하고, 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 거리를 결정하는 것에 의해서 매니퓰레이터 암과 환자 외측 표면 사이의 가장 가까운 거리를 결정한다. 어떤 실시례에서, 상기 회피 지오메트리는 하나 이상의 기준 점, 선분 또는 입방체(예를 들면, 중실체(solid body), 여러 개의 구, 원기둥 등), 또는 매니퓰레이터 암의 여러 부분에 해당하는 임의의 적절한 지오메트리를 포함한다. 예를 들면, 상기 회피 지오메트리가 매니퓰레이터의 원위 단부 근처에 있는 부분(예를 들면, 돌출 부분)의 상태를 나타내는 기준 점을 포함할 수 있고, 상기 상태는 매니퓰레이터 암의 조인트 상태 센서를 이용하여 결정될 수 있는 상기 부분의 위치 또는 속도이다. 상기 장애물 표면은 매니퓰레이터 암의 원위 부분, 바람직하게는 매니퓰레이터 암의 기구가 피벗운동하는데 있어서 중심이 되는 원격 중심 위치를 통하여 뻗어 있는 평면, 또는 원기둥면, 구면 또는 하나 이상의 매니퓰레이터 암 기구 샤프트에 해당하는 하나 이상의 원격 중심 위치를 통하여 뻗어 있는 볼록한 표면과 같은 모델링된 표면(modeled surface)을 포함할 수 있다.

[0016] 어떤 실시례에서는, 소정의 거리 또는 조인트 상태의 함수가 될 수 있는, 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 거리가 원하는 거리보다 짧다는 결정에 대응하여, 상기 시스템의 프로세서가 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 거리를 증가시키기 위해서 매니퓰레이터 암의 조인트 또는 링크의 회피 운동을 연산하고 엔드 이펙터의 상태 및/또는 매니퓰레이터 암의 원격 중심의 위치를 유지하기 위해서 자코비안의 영-공간 내에서 조인트 또는 링크를 이동시킨다. 엔드 이펙터의 원하는 상태는 엔드 이펙터의 원하는 포지션, 속도 또는 가속도를 포함할 수 있다. 몇몇 실시례에서는, 매니퓰레이터 암의 근위 부분과 환자 외측 표면 사이의 거리가 원하는 거리보다 짧을 때 환자 외측 표면과 매니퓰레이터 암의 지정된 부분 사이에 충분한 간격을 제공하기 위해서 조인트를 구동시키기 위해 회피 운동이 연산되어 사용되는 동안, 외과의사가 수술용 콘솔 마스터 입력부(surgical console master input)에 명령을 입력하는 것과 같이, 사용자에게 의해 입력 장치로부터 엔드 이펙터 조종 명령이 수신된다.

[0017] 예시적인 한 실시례에서는, 매니퓰레이터 암이 수술 기구의 삽입축을 자신의 축에 대해 피벗운동시키거나 비트는 조인트를 포함하고 있고, 상기 축은 수술 기구의 샤프트가 피벗운동하는데 있어서 중심이 되는 원격 중심을 통하여 뻗어 있다. 이상적으로는, 엔드 이펙터의 상태를 유지하면서 환자 외측 표면으로부터 멀어지게, 상기 부분을 비틀거나 피벗운동시키도록 상기 조인트를 구동시키기 위해서 회피 운동이 연산된다. 몇몇 실시례에서는, 조종 명령에 대응하여 연산된, 매니퓰레이터 암의 변위 운동이, 상기 조인트를 구동시키는 것을 피하기 위해서 또는 상기 변위 운동을 실행하기 위해서 비트는 조인트를 구동시키는 것을 피하기 위해서 연산된다. 연산된 변위 운동으로 구동되지 않는 특정 조인트를 구동시키기 위해 회피 운동을 연산하는 것 또는 그 반대의 경우의 상기 실시형태는 본 명세서에 기술된 임의의 매니퓰레이터 암의 조인트에 적용될 수 있다.

[0018] 어떤 실시례에서는, 레볼루트 조인트가 매니퓰레이터의 근위 부분을 베이스에 결합시키고 레볼루트 조인트의 조인트 운동이 매니퓰레이터 암의 하나 이상의 조인트를 레볼루트 조인트의 피벗축에 대해 피벗운동시키도록 매니퓰레이터 암을 지지한다. 몇몇 실시례에서는, 레볼루트 조인트의 피벗축이 상기 조인트로부터 원격

중심쪽으로, 선택적으로는 엔드 이펙터의 수술 기구 샤프트가 피벗운동하는데 있어서 중심이 되는 원격 중심을 통과하여 뻗어 있다. 하나의 실시형태에서는, 레볼루트 조인트의 운동이 매니퓰레이터 암의 하나 이상의 조인트를 원격 중심쪽으로 배향된 원위방향으로 점점 가늘어지는 원뿔에 대해서 피벗운동시킨다. 본 실시형태에서 매니퓰레이터 암이 피벗운동하는데 있어서 중심이 되는 상기 원뿔은, 공구의 운동이 불가능하거나 제 기능을 못 하게 될 수 있는, 공구 끝부분의 운동 범위 내의 원뿔 형상의 빈 공간에 해당한다. 다른 실시형태에서는, 매니퓰레이터의 근위 부분을 베이스에 결합시키는 조인트가, 통상적으로 아치형 또는 대체로 원형 경로인, 경로를 따라서 베이스에 대해 이동가능하여, 상기 경로를 따른 조인트의 운동이 매니퓰레이터 암의 하나 이상의 조인트를 수술 기구 샤프트가 피벗운동하는데 있어서 중심이 되는 원격 중심쪽으로 뻗어 있는 축에 대해서 피벗운동시킨다. 몇몇 실시례에서는, 매니퓰레이터가 매니퓰레이터의 근위 부분을 베이스에 결합시키는 레볼루트 조인트를 포함하고, 상기 레볼루트 조인트는 직선, 아치형 또는 대체로 원형으로 될 수 있는 경로를 따라서 상기 베이스에 대해 이동가능하다.

[0019] 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 근위 레볼루트 조인트와 원위 평행사변형 링크장치를 가진 수술 로봇 매니퓰레이터가 제공되는데, 상기 레볼루트 조인트의 피벗축은 대체로 엔드 이펙터의 수술 기구 샤프트의 축과 교차하는데, 선택적으로 가능하다면 원격 중심에서 교차한다. 상기 시스템은 입력부를 매니퓰레이터 암에 결합시키는 컨트롤러를 가지고 있으며 본 명세서에 기술된 실시례들 중의 임의의 실시례에서와 같이 복수의 조인트의 회피 운동을 연산하도록 구성된 프로세서를 더 포함하고 있다.

[0020] 본 명세서의 나머지 부분과 도면을 참고하면 본 발명의 본질과 장점을 더 잘 이해할 수 있게 될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1a는 환자 내의 내부 수술 부위에 수술용 엔드 이펙터를 가진 수술 기구를 로봇으로 이동시키는 복수의 로봇 매니퓰레이터를 가진 수술 스테이션(surgical station)을 가지고 있는 본 발명의 실시례에 따른 로봇 수술 시스템의 평면도이다.

도 1b는 도 1a의 로봇 수술 시스템을 개략적으로 나타내고 있다.

도 2는 도 1a의 수술 시스템에서 수술 명령을 입력하는 마스터 외과의사 콘솔 또는 워크스테이션을 나타내는 사시도이고, 상기 콘솔은 입력 명령에 대응하여 매니퓰레이터 명령 신호를 발생시키는 프로세서를 포함하고 있다.

도 3은 도 1a의 전자장치 카트의 사시도이다.

도 4는 네 개의 매니퓰레이터 암을 가진 환자측 카트의 사시도이다.

도 5a 내지 도 5d는 예시적인 매니퓰레이터 암을 나타내고 있다.

도 6a 및 도 6b는 영-공간 내에서의 매니퓰레이터 암의 운동과 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 거리를 나타내고 있다.

도 7은 각각의 매니퓰레이터 암의 원격 중심을 통하여 뻗어 있도록 모델링된 장애물 표면과 복수의 매니퓰레이터 암을 가진 예시적인 시스템을 나타내고 있다.

도 8은 원위 수술 기구 홀더 근처에 레볼루트 조인트를 가지고 있는 예시적인 매니퓰레이터 암을 나타내고 있다.

도 9는 수술 기구 홀더를 회전시키는 원위 수술 기구 홀더 근처에 레볼루트 조인트를 가지고 있는 예시적인 매니퓰레이터 암을 나타내고 있다.

도 10a 내지 도 10c는 조인트가 조인트 운동의 범위 전체에 걸쳐서 이동할 때 원위 수술 기구 홀더 근처에 레볼루트 조인트를 가지고 있는 예시적인 매니퓰레이터 암의 연속적인 모습을 나타내고 있다.

도 11a 및 도 11b는 0°의 각변위로부터 90°의 각변위로 원위 레볼루트 조인트를 구동시키는 것에 의한 회피 운동을 각각 나타내고 있다.

도 12a 및 도 12b는 예시적인 매니퓰레이터 조립체에 대한 자코비안의 영-공간(null-space)과 영-직교 공간(null-perpendicular-space) 사이의 관계를 도식적으로 나타내고 있다.

도 13 및 도 14는 다수의 실시례에 따른 방법을 나타내는 단순화된 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 본 발명은 대체로 개량된 수술 장치, 수술 시스템 및 수술 방법 그리고 로봇 장치, 로봇 시스템 및 로봇식 방법을 제공한다. 본 발명은 수술하는 동안 복수의 수술 공구 또는 기구가 대응하는 복수의 로봇 매니플레이터에 장착되어 이 대응하는 복수의 로봇 매니플레이터에 의해 이동되는 수술 로봇 시스템과 함께 사용하기에 특히 유리하다. 상기 로봇 시스템은 종종 마스터-슬레이브 컨트롤러로서 구성된 프로세서를 포함하는 원격로봇 시스템, 원격수술 시스템 및/또는 텔레프레전스 시스템(telepresence system)을 포함한다. 비교적 많은 수의 자유도를 가지는 관절식 링크장치를 가진 매니플레이터 조립체를 이동시키도록 적절하게 구성된 프로세서를 이용하는 로봇 시스템을 제공함으로써, 상기 링크장치의 운동이 최소 침습 접근 부위를 통과하여 작업하는데 알맞게 될 수 있다. 많은 수의 자유도는, 원하는 엔드 이펙터 상태를 유지하면서 매니플레이터 조립체의 링크장치를 환자 외측 표면으로부터 멀어지게 이동시키기 위해서 기구학적 자코비안(kinematic Jacobian)의 영-공간(null-space)내에서 매니플레이터 조립체의 링크장치의 재구성(reconfiguration)을 허용한다. 몇몇 실시예에서는, 상기 시스템이 매니플레이터 암의 일부분과 환자 외측 표면 사이의 거리가 원하는 값보다 작을 때를 결정하고, 그 다음에 매니플레이터 암을 환자 외측 표면으로부터 멀어지게 이동시키기 위해서 각각의 영-공간 내에서 조인트를 신장시키는 연산된 회피 운동(avoidance movement)에 따라 상기 조인트를 구동시킨다. 종종, 상기 매니플레이터 암의 조인트는 수술하는 동안 원위 엔드 이펙터의 지정된 변위 운동(commanded displacement movement)과 동시에 상기 연산된 회피 운동에 따라 구동된다.
- [0023] 비록 "로봇 조립체" 라는 용어가 장착된 공구가 없는 매니플레이터도 포함하지만, 본 명세서에 기술된 로봇 매니플레이터 조립체는 종종 로봇 매니플레이터와 이 로봇 매니플레이터에 장착된 공구(이 공구는 종종 수술용 수술 기구를 포함한다)를 포함한다. "공구(tool)" 라는 용어는 통상적인 또는 산업용 로봇 공구와 전문적인 로봇 수술 기구의 양자 모두를 포함하고, 후자의 구조는 종종 조직의 조작, 조직의 치료, 조직의 촬영 등에 적합한 엔드 이펙터를 포함한다. 공구/매니플레이터 인터페이스(interface)는 종종 신속 분리 공구 홀더(quick disconnect tool holder) 또는 커플링(coupling)으로 되어, 공구의 신속한 제거와 대체 공구와의 신속한 교체를 가능하게 한다. 상기 매니플레이터 조립체는 종종 로봇 수술의 적어도 일부 과정 동안 공간에 고정되어 있는 베이스를 가지며 상기 매니플레이터 조립체는 상기 베이스와 공구의 엔드 이펙터 사이에 다수의 자유도를 포함할 수 있다. 게다가, 엔드 이펙터의 작동(예를 들면, 파지 장치의 조(jaw)의 개폐, 전기수술 패들(electrosurgical paddle)의 작동 등)은 종종 상기 매니플레이터 조립체의 자유도와 별개로 될 수 있다.
- [0024] 엔드 이펙터는 통상적으로 2 내지 6 자유도를 가진 작업 공간에서 이동한다. 본 명세서에 사용되어 있는 것과 같이, "포지션(position)" 이라는 용어는 위치(location)와 방향(orientation)을 포함한다. 따라서, 예를 들면, 엔드 이펙터의 포지션의 변화는 제1 위치에서 제2 위치로의 엔드 이펙터의 병진이동, 제1 방향에서 제2 방향으로의 엔드 이펙터의 회전, 또는 상기 양 경우의 조합을 포함할 수 있다. 최소 침습 로봇 수술용으로 사용되는 경우, 매니플레이터 조립체의 운동은, 공구 또는 기구의 샤프트 또는 중간 부분이 최소 침습 수술 접근 부위 또는 다른 구멍을 통과하여 안전하게 운동하게 제한되도록 시스템의 프로세서에 의해 제어될 수 있다. 이러한 운동은, 예를 들면, 상기 구멍 부위를 통하여 수술 작업 공간으로의 상기 샤프트의 축방향의 삽입, 상기 샤프트의 자신의 축에 대한 회전, 그리고 상기 수술 접근 부위에 인접한 피벗점에 대한 상기 샤프트의 피벗 운동을 포함할 수 있다.
- [0025] 본 명세서에 기술된 예시적인 매니플레이터 조립체의 다수는 엔드 이펙터를 수술 부위 내에 포지셔닝시키고 이동시키는데 필요한 것보다 많은 자유도를 가지고 있다. 예를 들면, 6 자유도로 최소 침습 구멍을 통하여 내부 수술 부위에 포지셔닝될 수 있는 수술용 엔드 이펙터는 몇몇 실시예에서는 9 자유도(엔드 이펙터의 6 자유도 - 위치에 대한 3 자유도와 방향에 대한 3 자유도 - 더하기 수술 접근 부위 제한사항에 따른 3 자유도)를 가질 수 있지만, 10 이상의 자유도를 가질 수도 있다. 특정한 엔드 이펙터 포지션에 필요한 것보다 많은 자유도를 가지는 고도로 설정가능한 매니플레이터 조립체(highly configurable manipulator assembly)는, 작업 공간에서의 엔드 이펙터 포지션에 대한 다양한 조인트 상태를 가능하게 하기에 충분한 자유도를 가지거나 제공하는 것으로 기술될 수 있다. 예를 들면, 특정한 엔드 이펙터 포지션에 대해서, 매니플레이터 조립체는 다양한 대체 형태의 매니플레이터 링크장치 포지션 중의 임의의 포지션을 차지할 수 있다(그리고 상기 포지션 사이에서 구동될 수 있다). 마찬가지로, 특정한 엔드 이펙터 속도 벡터에 대해서, 매니플레이터 조립체는 영-공간 내에서의 매니플레이터 조립체의 다양한 조인트에 대해서 다양한 상이한 조인트 운동 속력을 가질 수 있다.
- [0026] 본 발명은 넓은 운동 범위가 필요하고, 다른 로봇 링크장치, 수술 의료진 그리고 수술 장비 등의 존재로 인해서 제한된 전용 공간을 이용할 수 있는 수술적인(그리고 다른) 적용에 특별히 잘 맞는 로봇 링크장치 구조를 제공

한다. 넓은 운동 범위와 각각의 로봇 링크장치에 대해 필요한 감소된 공간은 로봇 지지 구조의 위치와 수술 또는 다른 작업 공간 사이에 보다 큰 융통성(flexibility)을 제공할 수도 있고, 이것에 의해 설치를 용이하게 하고 설치 속도를 높일 수 있다.

[0027] 조인트 등의 "상태(state)" 라는 용어는 본 명세서에서 종종 조인트와 관련된 제어 변수를 지칭한다. 예를 들면, 앵글러 조인트(angular joint)의 상태는 앵글러 조인트의 운동의 범위 내에서 상기 조인트에 의해 한정된 각도, 및/또는 상기 조인트의 각속도를 지칭할 수 있다. 마찬가지로, 액시얼(axial) 또는 프리즈메틱 조인트(prismatic joint)의 상태는 상기 조인트의 축방향의 포지션, 및/또는 상기 조인트의 축방향의 속도를 지칭할 수 있다. 본 명세서에 기술된 컨트롤러의 다수는 속도 컨트롤러를 포함하지만, 이들은 종종 몇 가지 포지션 제어 측면(position control aspect)도 가지고 있다. 대체 실시례는 주로 또는 전적으로 포지션 컨트롤러, 가속도 컨트롤러 등에 의존할 수 있다. 상기와 같은 장치에 사용될 수 있는 컨트롤 시스템의 많은 실시형태는, 전체 내용이 본 명세서에 참고로 포함되어 있는, 미국 특허 제6,699,177호에 보다 상세히 기술되어 있다. 따라서, 기술된 운동이 관련된 연산에 기초하고 있는 한, 본 명세서에 기술된 조인트의 운동과 엔드 이펙터의 운동의 연산은 포지션 제어 알고리즘, 속도 제어 알고리즘, 포지션 제어 알고리즘과 속도 제어 알고리즘의 조합, 및/또는 이와 유사한 것을 이용하여 수행될 수 있다.

[0028] 어떤 실시례에서는, 예시적인 매니플레이터 암의 공구가 최소 침습 구멍에 인접한 피벗점에 대해서 피벗운동한다. 몇몇 실시례에서, 상기 시스템은, 전체 내용이 본 명세서에 참고로 포함되어 있는, 미국 특허 제6,786,896호에 기술된 원격 중심 기구학(remote center kinematics)과 같은 하드웨어 원격 중심(hardware remote center)을 활용할 수 있다. 상기 시스템은 매니플레이터에 의해 지지된 수술 기구의 샤프트가 원격 중심점에 대해서 피벗운동하도록 링크장치의 운동을 제한하는 이중 평행사변형 링크장치(double parallelogram linkage)를 활용할 수 있다. 대체 형태의 기계적으로 제한된 원격 중심 링크장치 시스템은 알려져 있거나 미래에 개발될 수 있다. 놀랍게도, 본 발명과 관련된 작업은 원격 중심 링크장치 시스템이 고도로 설정가능한 기구학적 아키텍처(highly configurable kinematic architecture)로부터 이익을 얻을 수 있다는 것을 나타낸다. 특히, 수술 로봇 시스템이, 최소 침습 수술 접근 부위에서 또는 그 근처에서 교차하는 두 개의 축에 대해서 피벗 운동을 가능하게 하는 링크장치를 가질 때, 구형 피벗 운동(spherical pivotal motion)은 환자 내부에서 원하는 운동 범위의 전체를 포함할 수 있지만, 여전히 피할 수 있는 결점(예를 들면, 열악한 상태에 처하는 것, 환자 외측에서 암 대 암의 접촉 또는 암 대 환자의 접촉이 되기 쉬운 것, 및/또는 이와 유사한 것)으로부터 시달릴 수 있다. 먼저, 상기 수술 접근 부위나 그 근처에서 피벗 운동으로 기계적으로 제한되는 하나 이상의 추가적인 자유도를 추가하는 것은 운동의 범위에 있어서 약간의 개선을 제공하는 것으로 보일 수 있다. 그럼에도 불구하고, 상기와 같은 조인트는, 다른 수술 등에 대한 운동의 범위를 더욱 확대하는 것에 의해 전체 시스템을 충돌-방지 자세(collision-inhibiting pose)로 구성되게 하거나 충돌-방지 자세쪽으로 구동되게 함으로써 상당한 장점을 제공할 수 있다. 다른 실시례에서는, 상기 시스템이, 전체 내용이 본 명세서에 참고로 포함되어 있는, 미국 특허 출원 제8,004,229호에 기술되어 있는 것과 같이, 원격 중심을 이루기 위해 소프트웨어를 활용할 수 있다. 소프트웨어 원격 중심을 가진 시스템에서는, 수술 기구 샤프트의 중간 부분을, 기계적인 제한에 의해서 결정된 피벗점이 아니라, 연산된 피벗점 위치에 대해서 피벗운동시키기 위해서 프로세서가 조인트의 운동을 연산한다. 소프트웨어 피벗점을 연산하는 능력을 가짐으로써, 시스템의 컴플라이언스(compliance) 또는 스티프니스(stiffness)에 의해 특징지어진 상이한 유형(mode)이 선택적으로 실행될 수 있다. 보다 상세하게는, 다양한 피벗점/중심(예를 들면, 이동가능한 피벗점(moveable pivot point), 수동적 피벗점(passive pivot point), 고정된/단단한 피벗점(fixed/rigid pivot point), 부드러운 피벗점(soft pivot point))에 대해서 상이한 시스템 유형이 원하는 대로 실행될 수 있고; 따라서, 본 발명의 실시례는 소프트웨어 중심 암(software center arm)과 하드웨어 중심 암(hardware center arm)을 포함하는 다양한 종류의 매니플레이터 암에 사용하기에 적합하다.

[0029] 복수의 고도로 설정가능한 매니플레이터를 가진 로봇 수술 시스템의 많은 장점에도 불구하고, 상기 매니플레이터가 베이스와 수술 기구 사이에 비교적 많은 수의 조인트와 링크를 포함하고 있기 때문에, 매니플레이터 암의 운동이 특히 복잡하게 될 수 있다. 매니플레이터 암의 구성의 범위와 운동의 범위가 증가함에 따라 원위 엔드 이펙터의 근위부 쪽의 매니플레이터 암의 부분과 환자의 외측 표면 사이의 암 대 환자의 충돌 가능성이 증가한다. 예를 들면, 최소 침습 구멍에 인접한 원격 중심에 대해서 피벗운동하는 원위 공구를 가지는 매니플레이터 암의 상당한 운동 범위가, 본 명세서에 기술되어 있는 것과 같이, 매니플레이터 암의 일부분 또는 매니플레이터 암 자체의 원위 링크를 환자의 외측 표면과 접촉 및/또는 충돌하게 할 수 있다. 매니플레이터 암의 운동의 복잡성으로 인해 상기와 같은 접촉이 발생할 수 있는 때를 사용자가 예측하는 것이 어려울 수 있기 때문에, 본 발명은 매니플레이터 암의 회피 운동을 연산하고 매니플레이터 암의 원위 부분 또는 공구의 원하는 상태를 유지하

면서 상기 회피 운동을 실행하기 위해 조인트를 구동시키는 것에 의해서 상기와 같은 암 대 환자의 충돌을 방지한다.

[0030] 본 발명의 실시례는, 통상적으로 매니퓰레이터 암의 기준 지오메트리 또는 회피 지오메트리와 환자 표면 사이의 거리가 충분하지 않다는 결정에 대응하여, 암 대 환자의 충돌을 피하기 위해서 자코비안의 영-공간 내에서 매니퓰레이터 구조를 재구성하기 위해 기구학적 링크장치(kinematic linkage)의 피구동 조인트의 사용을 용이하게 하는 회피 운동을 연산하는 프로세서를 포함하고 있다. 하나의 실시형태에서는, 상기 시스템이 정의된 "회피 지오메트리"와 "장애물 표면" 사이의 관계를 분석함으로써 매니퓰레이터 암과 환자 외측 표면 사이의 거리를 결정하는데, 회피 지오메트리는 매니퓰레이터 암에 있는 하나 이상의 기준(reference)에 해당하고 장애물 표면은 환자 외측 표면에 해당한다. 몇몇 실시례에서는, 상기 시스템이 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 거리를 결정하고, 상기 거리가 원하는 거리(x)보다 짧으면, 상기 시스템이 적어도 기준 지오메트리와 장애물 표면 사이의 원하는 거리를 유지하기 위해서 기구 연쇄(kinematic chain)의 회피 운동을 연산한다. 상기 원하는 거리(x)는 미리 정해진 거리로 될 수 있거나, 또는 하나의 특정 조인트 상태 또는 여러 상태에 기초한 다양한 거리로 될 수 있다. 예를 들면, 상기 원하는 거리는 환자 표면 근처의 조인트의 속도에 따라 변경될 수 있거나 환자 근처의 매니퓰레이터 암의 특정 구성에 대해서 변경될 수 있다.

[0031] 어떤 실시례에서는, 기준 지오메트리가 매니퓰레이터 암과 관련된 하나 이상의 돌출부 또는 일부분에 해당하는 하나 이상의 기준 지점을 포함하고 있고, 장애물 표면은 수술하는 동안 환자 외측 표면에 해당하는 근사(approximation) 또는 모델링된(modeled) 표면이다. 통상적으로, 기준 지오메트리는 원위 조인트와 같은 원위 공구 근처의 매니퓰레이터 암의 원위 부분의 일부분에 해당하는 하나 이상의 지점을 포함한다. 통상적으로, 회피 운동은 연산된 조종 운동과는 별개인 연산된 운동이지만, 상기 운동들은 지정된 엔드 이펙터 조종 운동과 동시에 회피 운동을 실행하기 위해서 컨트롤러에 의해 결합된다. 수술 시스템의 컨트롤러는, 환자의 외측 표면과의 충돌을 회피하기 위해서 및/또는 원하는 엔드 이펙터 운동을 실행하기 위해서 컨트롤러로 하여 원하는 재구성을 초래하도록 조인트를 구동시키기 위해 적절한 조인트 명령을 프로세서로 하여 끌어내게 하는 조인트 컨트롤러 프로그래밍 명령(programming instructions) 또는 코드(code)를 기록하고 있는 판독가능한 메모리를 가진 프로세서를 포함할 수 있다.

[0032] 아래의 설명에서, 본 발명의 다양한 실시예를 기술한다. 설명을 위해서, 상기 실시예의 충분한 이해를 제공하기 위해 특정 구성 및 세부사항이 개시되어 있다. 그러나, 당해 기술 분야의 전문가에게는 특정의 세부사항 없이도 본 발명이 실시될 수 있다는 것이 자명할 것이다. 또한, 설명하는 실시예를 모호하게 하지 않기 위해서 잘 알려진 특징은 생략하거나 단순화할 수 있다.

[0033] 도면을 참고하면, 여러 도면에 걸쳐서 유사한 참고 번호가 유사한 부분을 나타내며, 도 1a는 수술대(14)에 누워 있는 환자(12)에 대해 최소 침습 진단 또는 수술을 수행하는데 사용되는, 다수의 실시례에 따른, 최소 침습 로봇 수술(MIRS) 시스템(10)을 나타내는 평면도이다. 상기 최소 침습 로봇 수술 시스템은 수술을 하는 동안 외과 의사(18)가 사용하는 외과의사의 콘솔(16)을 포함할 수 있다. 한 명 이상의 보조자(20)가 수술에 참여할 수도 있다. 최소 침습 로봇 수술(MIRS) 시스템(10)은 환자측 카트(22)(수술용 로봇)와 전자장치 카트(24)를 더 포함할 수 있다. 환자측 카트(22)는 외과의사(18)가 콘솔(16)을 통하여 수술 부위의 영상을 관찰하면서 환자(12)의 신체의 최소 침습 절개부를 통하여 적어도 하나의 탈착가능하게 결합된 공구 조립체(26)(이하에서는, 단지 "공구"라고도 한다)를 조작할 수 있다. 수술 부위의 영상은, 입체 내시경과 같은, 내시경(28)에 의해 얻을 수 있고, 내시경(28)은 내시경(28)을 특정 방향으로 향하게 하기 위해 환자측 카트(22)에 의해 조작될 수 있다. 외과의사의 콘솔(16)을 통하여 외과의사(18)에 대한 차후의 디스플레이를 위해 수술 부위의 영상을 처리하기 위해 전자장치 카트(24)가 사용될 수 있다. 한 번에 사용되는 수술 공구(26)의 갯수는 대체로 진단이나 수술 그리고 다른 요인들 중에서 수술실 내의 공간적인 제한사항에 따라 좌우된다. 수술 도중에 사용하고 있는 수술 공구(26) 중의 하나 이상을 교체할 필요가 있는 경우, 보조자(20)가 환자측 카트(22)로부터 수술 공구(26)를 제거하고, 이 수술 공구를 수술실의 트레이(30)에 있는 다른 수술 공구(26)와 교체할 수 있다.

[0034] 도 1b는 로봇 수술 시스템(50)(도 1a의 최소 침습 로봇 수술(MIRS) 시스템(10)과 같은 것)을 개략적으로 나타내고 있다. 상기한 바와 같이, 외과의사의 콘솔(52)(도 1a의 외과의사의 콘솔(16)과 같은 것)은 최소 침습 수술을 하는 동안 환자측 카트(수술용 로봇)(54)(도 1a의 환자측 카트(22)와 같은 것)를 제어하기 위해 외과의사에 의해 사용될 수 있다. 상기 환자측 카트(54)는 수술 부위의 영상을 포착하고 포착된 영상을 전자장치 카트(56)(도 1a의 전자장치 카트(24)와 같은 것)에 출력하기 위해서, 입체 내시경과 같은, 촬영 장치를 사용할 수

있다. 상기한 바와 같이, 전자장치 카트(56)는 임의의 차후의 표시를 하기 전에 상기 포착된 영상을 다양한 방식으로 처리할 수 있다. 예를 들면, 전자장치 카트(56)는 외과의사의 콘솔(52)을 통하여 외과의사에게 합성된 영상을 나타내기 전에 상기 포착된 영상을 가상 제어 인터페이스(virtual control interface)와 오버레이(overlay)할 수 있다. 환자측 카트(54)는 전자장치 카트(56)의 외부에서 처리하기 위해 상기 포착된 영상을 출력할 수 있다. 예를 들면, 환자측 카트(54)는 상기 포착된 영상을, 포착된 영상을 처리하는데 사용될 수 있는 프로세서(58)에 출력할 수 있다. 상기 포착된 영상은, 포착된 영상을 공동으로, 순차적으로, 및/또는 이들의 결합 방식으로 처리하기 위해 함께 결합될 수 있는 전자장치 카트(56)와 프로세서(58)의 결합체에 의해 처리될 수도 있다. 수술 부위의 영상, 또는 다른 관련 영상과 같은, 영상의 현지 표시 및/또는 원격 표시를 위해 하나 이상의 별개의 디스플레이(60)가 프로세서(58) 및/또는 전자장치 카트(56)와 결합될 수도 있다.

[0035] 도 2는 외과의사의 콘솔(16)의 사시도이다. 외과의사의 콘솔(16)은 깊이 인식을 가능하게 하는 수술 부위의 조정된 입체 화면을 외과의사(18)에게 제공하는 왼쪽 눈 디스플레이(32) 및 오른쪽 눈 디스플레이(34)를 포함하고 있다. 외과의사의 콘솔(16)은 하나 이상의 입력 제어 장치(36)를 더 포함하고 있고, 이 입력 제어 장치는 환자측 카트(22)(도 1a에 도시되어 있음)로 하여 하나 이상의 공구를 조작하게 한다. 입력 제어 장치(36)는 외과의사에게 원격현장감, 또는 외과의사가 상기 공구(26)를 직접 제어하고 있다는 강한 느낌을 가지도록 입력 제어 장치(36)가 상기 공구(26)와 일체로 되어 있다는 인식을 제공하기 위해서 대응하는 공구(26)(도 1a에 도시되어 있음)와 동일한 자유도를 제공할 수 있다. 이를 위해서, 입력 제어 장치(36)를 통하여 상기 공구(26)로부터의 포지션, 힘, 그리고 촉각적인 느낌을 외과의사의 손으로 전달하기 위해서 포지션 센서, 힘 센서, 그리고 촉각 피드백 센서(도시되어 있지 않음)가 사용될 수 있다.

[0036] 외과의사가 직접 수술을 감시하고, 필요에 따라 직접 참석하고, 전화나 다른 통신 매체를 통하기보다 직접 보조자에게 말을 할 수 있도록 외과의사의 콘솔(16)은 통상적으로 환자가 있는 방과 같은 방에 배치되어 있다. 그러나, 외과의사가, 원격 수술을 가능하게 하는 다른 방, 완전히 다른 건물, 또는 환자로부터 떨어져 있는 다른 위치에 배치될 수 있다.

[0037] 도 3은 전자장치 카트(24)의 사시도이다. 전자장치 카트(24)는 내시경(28)과 결합될 수 있으며, 예를 들면, 외과의사의 콘솔, 또는 근처에 및/또는 이격되어 배치된 다른 적절한 디스플레이에서 외과의사에 대한 차후의 디스플레이를 위해 촬영된 영상을 처리하기 위해 프로세서를 포함할 수 있다. 예를 들면, 입체 내시경이 사용되는 곳에서, 전자장치 카트(24)는 수술 부위의 조정된 입체 화면을 외과의사에게 제공하기 위해 촬영된 영상을 처리할 수 있다. 상기 조정은 대립되는 영상들 사이의 얼라인먼트를 포함할 수 있고 입체 내시경의 입체 작동 거리(stereo working distance)를 조정하는 것을 포함할 수 있다. 다른 예로서, 영상 처리는 광학적 수차(optical aberration)와 같은, 촬영 장치의 촬영 에러를 보상하기 위해 사전에 결정된 카메라 보정 파라미터의 사용을 포함할 수 있다.

[0038] 도 4는 매니플레이터 암의 원위 단부에 있는 수술 기구 또는 공구(26)를 각각 지지하는 복수의 매니플레이터 암을 가지고 있는 환자측 카트(22)를 나타내고 있다. 도시된 환자측 카트(22)는 네 개의 매니플레이터 암(100)을 포함하고 있고, 상기 네 개의 매니플레이터 암(100)은 수술 공구(26)나 수술 부위의 영상을 포착하는데 사용되는 입체 내시경과 같은 촬영 장치(28)를 지지하기 위해서 사용될 수 있다. 조종은 다수의 로봇 조인트를 가지는 로봇 매니플레이터 암(100)에 의해 제공된다. 상기 촬영 장치(28)와 수술 공구(26)는, 절개부의 사이즈를 최소화하기 위해서 운동의 기구학적인 원격 중심(kinematic remote center)이 절개부에 유지되도록 환자의 절개부를 통하여 포지셔닝되고 조종될 수 있다. 수술 부위의 영상은, 수술 기구 또는 공구(26)의 원위 단부가 촬영 장치(28)의 시야 내에 포지셔닝되어 있을 때 수술 기구 또는 공구(26)의 원위 단부의 영상을 포함할 수 있다.

[0039] 수술 공구(26)와 관련하여, 상이한 종류의 다양한 대체 형태의 로봇 수술 공구 또는 기구와 상이한 엔드 이펙터가 사용될 수 있고, 수술하는 동안 매니플레이터를 중 적어도 몇 개의 매니플레이터의 수술 기구는 제거되고 교체된다. 드베이키 포셉스(DeBakey Forceps), 마이크로포셉스(microforceps), 포츠 시저즈(Potts scissors) 그리고 클립 어플라이어(clip-applier)를 포함하는 이러한 엔드 이펙터의 몇 가지는 한 쌍의 엔드 이펙터 조(jaw)(또는 블레이드)를 형성하기 위해서 서로에 대해 피벗운동하는 제1 엔드 이펙터 요소와 제2 엔드 이펙터 요소를 포함하고 있다. 엔드 이펙터 조를 가지고 있는 수술 기구에 있어서, 조는 종종 핸들의 파지 부재를 쥐는 것에 의해서 작동된다. 수술용 메스(scalpel)와 전기소작기 프로브(electrocautery probe)를 포함하는 다른 엔드 이펙터는 한 개의 엔드 이펙터 요소(예를 들면, 한 개의 "핑거(finger)")를 가지고 있다. 한 개의 엔드 이펙터 기구는, 예를 들면, 수술 기구 끝부분(tip)으로 전기소작술용 에너지의 전달을 촉발시키기 위해서 파지 부재를 쥐는 것에 의해서 작동될 수도 있다.

- [0040] 수술 기구(26)의 기다란 샤프트는 엔드 이펙터와 상기 샤프트의 원위 단부가 최소 침습 구멍을 통하여, 종종 복벽(abdominal wall) 등을 통하여 수술 작업 부위로 삽입될 수 있게 한다. 수술 작업 부위는 흡입법으로 치료될 수 있고, 환자 내부에서의 엔드 이펙터의 운동은 종종, 적어도 부분적으로, 상기 샤프트가 최소 침습 구멍을 통과하는 위치에 대해서 수술 기구(26)를 피벗운동시키는 것에 의해서 실행된다. 다시 말해서, 엔드 이펙터의 원하는 운동을 제공하는데 도움을 주기 위해서 상기 샤프트가 최소 침습 구멍 위치를 통하여 뚫어 있도록 매니플레이터(100)는 환자 외부에서 수술 기구의 근위 하우징을 이동시킨다. 따라서, 매니플레이터(100)는 수술하는 동안 종종 환자(P) 외부에서 상당한 운동을 하게 된다.
- [0041] 본 발명의 다수의 실시례에 따른 예시적인 매니플레이터 암은 도 5a 내지 도 13c와 관련하여 이해될 수 있다. 상기한 바와 같이, 매니플레이터 암은 대체로 원위 수술 기구 또는 수술 공구를 지지하고 베이스에 대해 수술 기구의 운동을 실행한다. 상이한 엔드 이펙터를 가진 다수의 상이한 수술 기구가 수술하는 동안 (통상적으로, 수술 보조자의 도움을 받아서) 각각의 매니플레이터에 연속적으로 장착될 수 있기 때문에, 원위 기구 홀더는 바람직하게는 장착된 수술 기구 또는 공구의 신속한 제거 및 교체를 가능하게 한다. 도 4와 관련하여 알 수 있는 것과 같이, 매니플레이터는 환자측 카트의 베이스에 대해 근위부에 장착되어 있다. 통상적으로, 매니플레이터 암은 복수의 링크장치 및 베이스와 원위 기구 홀더의 사이에 뚫어 있는 관련 조인트를 포함하고 있다. 하나의 실시형태에서, 예시적인 매니플레이터는 매니플레이터 암의 조인트가 특정한 엔드 이펙터 포지션에 대해서 다양한 상이한 구성을 통하여 구동될 수 있도록 여유 자유도를 가지고 있는 복수의 조인트를 포함하고 있다. 이것은 본 명세서에 개시된 매니플레이터 암의 임의의 실시례에 대해서 해당될 수 있다.
- [0042] 예를 들면, 도 5a에 도시된 것과 같은, 실시례에서는, 예시적인 매니플레이터 암이 근위 레볼루트 조인트(proximal revolute joint)(J1)를 포함하고 있고, 상기 근위 레볼루트 조인트는 매니플레이터 암을 제1 조인트 축에 대해서 조인트의 원위부로 회전시키기 위해서 제1 조인트 축에 대해서 회전한다. 몇몇 실시례에서는, 레볼루트 조인트(J1)이 베이스에 직접 장착되어 있는 반면에, 다른 실시례에서는, 레볼루트 조인트(J1)가 하나 이상의 이동가능한 링크장치 또는 조인트에 장착될 수 있다. 매니플레이터 암의 조인트가 특정한 엔드 이펙터 포지션에 대해 다양한 상이한 구성으로 구동될 수 있도록 매니플레이터의 조인트들은, 결합하여, 여유 자유도를 가지고 있다. 예를 들면, 도 5a 내지 도 5d의 매니플레이터 암은 수술 기구 홀더(510) 내에 지지된 원위 부재(511)(예를 들면, 수술 공구(512) 또는 수술 기구 샤프트가 통과하는 캐놀라)가 특정 상태를 유지하고 있는 동안 상이한 형태로 조종될 수 있고 엔드 이펙터의 특정한 포지션 또는 속도를 포함할 수 있다. 원위 부재(511)는 통상적으로 공구 샤프트(512)가 통과하는 캐놀라이고, 수술 기구 홀더(510)는 통상적으로 수술 기구가 캐놀라(511)를 통하여 최소 침습 구멍을 통과하여 환자의 신체 속으로 뚫기 전에 부착되는 캐리지(스파(spar) 상에서 병진운동하는 벽돌 형상의 구조로 도시된 것)이다.
- [0043] 도 5a 내지 도 5d의 매니플레이터 암(500)의 각각의 링크를 도 5a 내지 도 5d에 도시되어 있는 것과 같은 링크를 연결하는 조인트의 회전축과 함께 설명하면, 제1 링크(504)는 피벗 조인트(J2)의 조인트 축에 대해서 피벗운동하는 피벗 조인트(J2)로부터 원위부로 뚫어 있고 레볼루트 조인트(J1)의 조인트 축에 대해서 회전하는 레볼루트 조인트(J1)에 결합되어 있다. 나머지 조인트의 다수는, 도 5a에 도시되어 있는 바와 같이, 자신들의 해당 회전축에 의해 식별될 수 있다. 예를 들면, 상기 도면에 도시되어 있는 바와 같이, 제1 링크(504)의 원위 단부는 피벗 조인트(J3)의 피벗 축에 대해서 피벗운동하는 피벗 조인트(J3)에서 제2 링크(506)의 근위 단부에 결합되어 있고, 제3 링크(508)의 근위 단부는 피벗 조인트(J4)의 피벗 축에 대해서 피벗운동하는 피벗 조인트(J4)에서 제2 링크(506)의 원위 단부에 결합되어 있다. 제3 링크(508)의 원위 단부는 피벗 조인트(J5)에서 수술 기구 홀더(510)에 결합되어 있다. 통상적으로, 피벗 조인트(J2), 피벗 조인트(J3), 피벗 조인트(J4) 및 피벗 조인트(J5)의 각각의 피벗 축은, 매니플레이터 조립체를 조종하는 동안 매니플레이터 암의 감소된 폭(w)을 제공하고 환자 간격을 개선하기 위해서, 도 5d에 도시되어 있는 바와 같이, 대체로 평행하며 링크장치들이 서로 옆에 포지셔닝되어 있을 때 링크장치들이 "겹쳐져있는" 것처럼 보인다. 몇몇 실시례에서는, 수술 기구 홀더가 프리즈매틱 조인트(prismatic joint)(J6)와 같은 추가적인 조인트를 포함할 수도 있고, 상기 프리즈매틱 조인트는 최소 침습 구멍을 통해 수술 기구의 축방향의 운동을 용이하게 하고 수술 기구 홀더를 수술 기구가 미끄럼이동가능하게 삽입되는 캐놀라에 부착시키기 용이하게 한다.
- [0044] 캐놀라(511)의 원위 부재는 수술 기구 홀더(510)의 원위부의 추가적인 자유도를 포함할 수 있다. 수술 기구의 자유도의 작동은 종종 매니플레이터의 모터에 의해 구동되고, 대체 실시례는, 수술 기구 상에 있는 것으로 본 명세서에 도시된 하나 이상의 조인트가 대신에 수술 기구 접속기 상에 있도록, 또는 그 반대의 경우가 되도록, 수술 기구를 신속하게 탈착가능한 수술 기구 홀더/수술 기구 접속기(instrument interface)에 있는 지지하는 매니플레이터 구조로부터 분리시킬 수 있다. 몇몇 실시례에서는, 캐놀라(511)가 수술 공구 끝부분의 삽입 지점

또는 수술 공구의 샤프트가 최소 침습 구멍에 인접하여 피벗운동하는데 있어서 중심이 되는 원격 중심(RC)의 근처 또는 근위부에 회전 조인트(J7)(도시되어 있지 않음)를 포함하고 있다. 수술 기구의 원위 손목부(distal wrist)는 수술 기구의 원위 손목부의 하나 이상의 조인트의 수술 기구 조인트 축에 대해서 캐놀라(511)를 통하여 뻗어 있는 수술 공구(512)의 엔드 이펙터의 피벗 운동을 가능하게 한다. 엔드 이펙터 조 요소(jaw element)들 사이의 각도는 엔드 이펙터의 위치 및 방향과 독립적으로 제어될 수 있다.

[0045] 어떤 실시례에서는, 상기 시스템이 매니플레이터 암의 구성요소 또는 일부분에 해당하는 하나 이상의 기준 점, 선분 또는 입방체(volume)를 포함하는 회피 지오메트리(avoidance geometry)(700)를 한정한다. 예를 들면, 수술 기구 캐놀라(511)와 협력하는, 종종 "스파 링크장치(spar linkage)" 라고 칭하는, 링크장치(510)의 원위 단부는 수술 작업 공간 내에 포지셔닝되어 있을 때 대체로 환자쪽으로 돌출되어 있다. 종종 "스파 너클(spar knuckle)"이라고 알려져 있는, 이 부분이 염려의 대상인데, 그 이유는 수술 기구 캐놀라(511)가 자신의 원격 중심(RC) 둘레로 회전할 때 상기 부분이 환자 외측 표면과 잠재적으로 접촉하거나 충돌할 수 있기 때문이다. 따라서, 이러한 충돌을 피하기 위해서, 상기 시스템이 "회피 지오메트리"를 한정하고, 통상적으로 "회피 지오메트리"의 포지션 또는 속도를 결정할 수 있는 조인트 센서를 이용하여 환자 표면에 대한 회피 지오메트리의 근접도를 결정한다. 여러 실시례에서 피구동 링크장치(driven linkage) 또는 슬레이브(slave)에 장착된 환자 표면의 근접도를 위치상으로 감지할 수 있는 근접 센서를 이용할 수 있다. 예시적인 한 실시례에서는, 회피 지오메트리(700)가 스파 너클(702)에 해당하는 기준(reference)을 포함하지만, 수술하는 동안 환자 표면과 잠재적으로 충돌할 수 있는 수술 기구 손목부 근처의 부분(704) 또는 링크장치(504)의 원위 부분과 같은, 매니플레이터 암의 다른 부분에 해당하는 추가적인 기준을 포함할 수 있다.

[0046] 도 6a 및 도 6b에 도시된 실시례에서는, 매니플레이터 암의 "회피 지오메트리" 및 환자 외측 표면에 해당하는 "장애물 표면"이 한정되어 있다. 본 실시례에서는, 장애물 표면(800)을 원격 중심을 통하여 뻗어 있는 평면, 대체로 수평면으로 한정하는 것에 의해서 환자 외측 표면의 위치가 대략적으로 근사치로 표시되어 있다. 수술 공구의 샤프트가 최소 침습 구멍에 인접해 있는 원격 중심에 대해서 피벗운동하기 때문에, 환자 외측 표면이 최소 침습 구멍으로부터 수평방향으로 뻗어 있는 것으로 추정되고; 따라서, 장애물 표면(800)은 원격 중심 위치에 있는 환자 외측 표면의 위치를 가장 정확하게 나타낸다. 매니플레이터 암의 구성 부분들의 위치는, 총괄하여 회피 지오메트리(700)라고 칭하는, 두 개의 기준 점(702, 704)에 의해 대략 표시되어 있다. 매니플레이터 암의 지정된 운동 동안 회피 지오메트리의 위치 및/또는 속도는 조인트 상태 센서를 이용하여 대체로 결정되고, 이로부터 상기 시스템이 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 최단 거리(d)를 결정할 수 있다. 개연성있는 또는 잠재적인 암 대 환자의 충돌을 나타낼 수 있는, 상기 거리(d)가 원하는 거리보다 짧다는 결정에 대응하여, 상기 시스템은, 회피 지오메트리(700)와 장애물 표면(800) 사이의 거리(d)를 증가시키기 위해서 매니플레이터 암과 관련된 자코비안의 영-공간 내에서 조인트의 조정된 회피 운동(coordinated avoidance movement)을 연산한 다음, 연산된 상기 운동에 따라 조인트를 구동시킨다. 조인트의 회피 운동은 영-공간 내에서 신장되도록 연산되기 때문에, 이 운동은, 엔드 이펙터의 원하는 상태를 얻기 위해 회피 운동이 매니플레이터 암의 지정된 운동과 결합될 수 있도록 매니플레이터 암의 원위 부분 또는 엔드 이펙터의 원하는 상태를 유지시킨다.

[0047] 도 7의 예시적인 실시례에서는, 장애물 표면(800)이 통상적인 환자의 외측 표면을 보다 근접하게 나타내는 모델링된 표면(modeled surface)으로 한정되어 있다. 장애물 표면(800)은 환자 외측 표면에 해당하는 다양한 외형 또는 형상으로 모델링될 수 있거나 조인트 센서, 광 센서, 또는 초음파 센서를 포함하는 다양한 소스로부터 위치 데이터를 포함하도록 모델링될 수 있다. 몇몇 실시례에서는, 세 개의 원격 중심(RC1, RC2, RC3)을 통과하여 뻗어 있고, 원기둥 형상, 구형상 또는 예를 들면, 환자 몸통과 같은 수술 부위에서 통상적인 환자의 외측 표면을 보다 근접하게 닮은 볼록한 형상을 나타내는, 도 7의 장애물 표면(800)으로 도시되어 있는 바와 같이, 모델링된 표면을 두 개 이상의 원격 중심 위치를 통과하여 뻗어 있게 함으로써 장애물 표면(800)이 대략적으로 표시되어 있다. 환자 외측 표면의 위치를 보다 정확하게 나타냄으로써, 상기 시스템은 각각의 매니플레이터들 사이의 최단 거리(d1, d2, d3)가 원하는 거리보다 짧을 때 연산된 회피 운동에 따라 매니플레이터 암의 조인트를 구동시킴으로써 암 대 환자의 충돌을 방지하면서, 세 개의 매니플레이터 암의 각각에 대한 운동 범위를 증가시킬 수 있다.

[0048] 다수의 실시례에 따르면, 회피 운동이 매니플레이터 암과 환자 표면 사이의 "가장 가까운 지점"을 결정하는 것을 포함할 수 있는 다수의 상이한 방법에 따라 연산될 수 있다. 상기 가장 가까운 지점은 조인트 센서를 통하여 매니플레이터 포지션 또는 상태를 아는 것에 기초한 연산을 이용하여 결정될 수 있거나, 외부 센서, 비디오, 소나(sonar), 정전용량형 센서(capacitive sensor), 또는 터치 센서 등과 같은 다른 적절한 수단을 이용하여 추정될 수 있다.

- [0049] 한 가지 접근법에서는, 상기 프로세서가 매니플레이터 암의 작업 공간에서 회피 벡터를 연산하고; 이 회피 벡터를 조인트 속도 공간으로 변환시키고; 그 다음에 회피 운동을 얻기 위해 상기 결과를 이용하여 상기 벡터를 영-공간에 투영시킨다. 상기 프로세서는, 가장 가까운 지점들 사이의 반발 또는 회피 벡터를 연산하고; 이 회피 벡터를 작업 공간에서 매니플레이터 암과 환자 표면의 "가장 가까운" 지점의 운동으로 매핑시킨 다음, 상기 가장 가까운 지점들을 서로 멀어지게 이동시키기 위해서 원하는 방향과 크기를 제공하는 영-공간 계수(α)를 결정하도록 구성될 수 있다. 복수의 상호작용하는 지점들이 매니플레이터 암과 환자 표면의 다양한 지점들 또는 부분들 사이에 사용되는 경우, 각각의 상호작용하는 부분으로부터의 회피 벡터와 관련된 합성 영-공간 계수(resulting null-space coefficient)는 덧셈을 통하여 결합될 수 있다.
- [0050] 다른 접근법에서는, 상기 프로세서가 영-공간 기저 벡터를 이용하고; 이 영-공간 기저 벡터를 작업 공간에서 매니플레이터의 회피 지오메트리(avoidance geometry)의 운동으로 변환시키고; 그 다음에 이들과 작업 공간의 회피 벡터를 원래의 영-공간 기저 벡터에 대한 계수로 결합시킬 수 있다. 상기 프로세서는, 매니플레이터 암과 환자 표면(예를 들면, 회피 지오메트리와 장애물 표면)의 가장 가까운 지점들 사이의 반발 또는 회피 벡터를 연산하고, 방금 기술한 바와 같이, 이들과 회피 벡터를 결합시키도록 구성될 수 있다. 매니플레이터 암의 복수의 부분이 사용되는 경우, 합성 조인트 속도 벡터 또는 영-공간 계수는 최소자승법(least-squares) 또는 다른 방법을 이용하여 결합될 수 있다.
- [0051] 하나의 실시형태에서는, 여러 조인트를 구동시키는 것을 포함하기 위해서, 또는 대체 실시형태로서, 매니플레이터 암의 특정 조인트를 구동시키는 것을 피하기 위해서 회피 운동이 연산될 수 있다. 예를 들면, 도 8에 도시된 매니플레이터 암에서는, 조인트(J1), 조인트(J2), 조인트(J3), 조인트(J4) 및 조인트(J5)의 다양한 조합(비록 도시된 실시례에서는, 조인트(J3), 조인트(J4) 및 조인트(J5)가 평행사변형 배치형태에 포함되어 동일한 상태를 공유하고 있지만)을 구동시키는 것을 포함하기 위해 회피 운동이 연산될 수 있거나, 또는 대체 실시형태로서, 영-공간 내에서 매니플레이터 암을 이동시키기 위해서 필요한 임의의 다른 조인트뿐만 아니라 조인트(J6)를 구동시키기 위해서 회피 운동이 연산될 수 있다. 도 8에 도시되어 있는 매니플레이터 암의 조인트(J6)는 수술 기구 홀더(510)를 매니플레이터 암(508)의 원위 링크에 결합시키는 조인트로서 선택적으로 사용될 수 있다. 조인트(J6)는 수술 기구 홀더(510)를 통상적으로 원격 중심 또는 삽입 지점을 통과하는 조인트(J6)의 축에 대해 비틀거나 회전시킬 수 있다. 이상적으로는, 상기 조인트 축이 매니플레이터 암에서 원위부에 배치되어 있고 따라서 삽입 축의 방향을 이동시키는데 특히 적합하다. 이러한 여유 축을 추가하는 것에 의해 매니플레이터가 임의의 한 개의 수술 기구 끝부분의 포지션에 대해 복수의 포지션을 취할 수 있게 되고, 이것에 의해 수술 기구 끝부분이 환자 신체와 충돌을 방지하면서 외과의사의 명령을 따라 움직일 수 있게 된다. 조인트(J6)의 축, 조인트(J1)의 축 그리고 캐놀라(511)를 통하여 뻗어 있는 공구 끝부분의 삽입 축 사이의 관계가 도 9에 도시되어 있다. 도 10a 내지 도 10c는 조인트(J6)가 공구 끝부분의 삽입 축을 좌우로 이동시킬 때 조인트 축에 대한 캐놀라(511)의 연속적인 비틀림 또는 피벗 운동을 나타내고 있다.
- [0052] 도 11a 및 도 11b는 본 발명에 따른 조인트(J6)의 사용의 한 예를 나타내고 있다. 도 11a는 조인트(J6)의 각변위가 0° 로 유지되고 있는 동안의 매니플레이터 암을 나타내고 있고, 0° 의 각변위에서는 회피 지오메트리(700)의 기준 지점(702)과 장애물 표면(800) 사이의 최단 거리가 거리 d이다. 상기 거리 d가 원하는 거리보다 짧은 결정에 대응하여, 상기 시스템이 영-공간 내에서 회피 운동을 연산하고 캐놀라(511)가 피벗 운동하는데 있어서 중심이 되는 원격 중심(RC)을 통과하는 조인트 축에 대해서 캐놀라(511)와 링크(510)를 비틀거나 피벗운동시키기 위해서 조인트(J6)를 구동시킨다. 도 11b는 조인트(J6)가 자신의 축에 대해서 90° 의 각변위로 구동된 상태의 매니플레이터 암을 나타내고 있다. 상기 도면에 도시되어 있는 바와 같이, 캐놀라(511)의 운동은 회피 지오메트리의 가장 가까운 지점(702)과 장애물 표면(800) 사이의 거리(d)를 증가시켰다. 따라서, 본 발명은 조인트(J6)와 같은 원위 조인트의 구동을 포함하도록 회피 운동을 연산함으로써 암 대 환자의 충돌을 저지할 수 있다.
- [0053] 예시적인 한 실시례에서, 매니플레이터의 조인트 운동은, 시스템의 모터를 이용하여 컨트롤러에 의해 하나 이상의 조인트를 구동시키는 것에 의해서 제어되고, 상기 조인트는 컨트롤러의 프로세서에 의해 조정되고 연산된 조인트 운동에 따라 구동된다. 수학적으로, 컨트롤러는 벡터 및/또는 행렬을 이용하여 조인트 명령의 연산의 적어도 몇 가지를 수행할 수 있고, 상기 벡터 및/또는 행렬의 일부는 조인트의 구성 또는 속도에 해당하는 요소를 가질 수 있다. 프로세서가 이용할 수 있는 대체 형태의 조인트 구성의 범위는 조인트 공간으로 개념화될 수 있다. 상기 조인트 공간은, 예를 들면, 매니플레이터가 자유도를 가지는 것과 동일한 다수의 차원을 가질 수 있고, 매니플레이터의 특정 구성은, 매니플레이터의 해당 조인트의 조인트 상태에 해당하는 각각의 좌표를 가진 조인트 공간에서 특정 지점을 나타낼 수 있다.

- [0054] 예시적인 한 실시례에서, 시스템이 컨트롤러를 포함하고 있는데, 이 컨트롤러에서는 데카르트 공간 지정 포지션(Cartesian-space commanded position)과 속도가 입력 사항이다. 대체로, 원하는 데카르트 공간 포지션을 등가의 조인트 공간 포지션과 매핑시키는 폐쇄형 관계(closed form relationship)는 없지만, 대체로 데카르트-공간 속도와 조인트-공간 속도 사이의 폐쇄형 관계는 있으므로, 기구학적 자코비안(kinematic Jacobian)이 조인트-공간 속도를 데카르트-공간 속도에 매핑시키기 위해서 사용될 수 있다. 따라서, 입력 포지션과 출력 포지션 사이의 폐쇄형 매핑(closed-form mapping)이 존재하지 않을 때에도, 조인트의 속도의 매핑은, 예를 들면, 자코비안에 기초한 컨트롤러(Jacobian-based controller)에서 지정된 사용자 입력으로부터 매니퓰레이터의 운동을 실행하기 위해 반복적으로 사용될 수 있고, 그외에 다양한 실시형태가 사용될 수 있다.
- [0055] 예시적인 한 실시례에서, 시스템이 컨트롤러를 포함하고 있는데, 이 컨트롤러에서는, 본 예에서 데카르트 공간으로 표시된, 작업-공간 내의 한 부분의 지정된 포지션과 속도가 입력 사항이다. 상기 부분은 제어 입력을 이용하여 관절연결될 제어 프레임(control frame)으로서 사용될 수 있는 매니퓰레이터 상에 있거나 매니퓰레이터 외측에 있는 임의의 부분이 될 수 있다. 본 명세서에 기술된 다양한 예에 사용되어 있는, 매니퓰레이터 상의 한 부분의 예는 공구 끝부분이 될 수 있다. 매니퓰레이터 상의 한 부분의 다른 예는, 공구 끝부분에 있는 것이 아니라, 핀 또는 채색된 무늬와 같은, 매니퓰레이터의 일부분인 물리적인 부분(physical feature)이다. 매니퓰레이터의 외측에 있는 부분의 한 예는 공구 끝부분으로부터 정확하게 특정 거리와 각도만큼 떨어져 있는 빈 공간 내의 기준 지점(reference point)이 될 수 있다. 매니퓰레이터의 외측에 있는 부분의 다른 예는 그 포지션이 매니퓰레이터에 대해서 정해질 수 있는 목표 조직(target tissue)이 될 수 있다. 상기 경우 모두에 있어서, 엔드 이펙터는 제어 입력을 이용하여 관절연결되는 가상 제어 프레임(imaginary control frame)과 결합된다. 그러나, 아래의 설명에서, "엔드 이펙터"와 "공구 끝부분"은 동의어로 사용되고 있다. 대체로, 원하는 데카르트 공간 엔드 이펙터 포지션을 등가의 조인트-공간 포지션에 매핑시키는 폐쇄형 관계는 없지만, 대체로 데카르트 공간 엔드 이펙터 속도와 조인트-공간 속도 사이의 폐쇄형 관계는 있다. 기구학적 자코비안은, 엔드 이펙터의 조인트 공간 포지션 요소에 대한 데카르트 공간 포지션 요소의 편도함수(partial derivative)의 행렬이다. 이런 식으로, 기구학적 자코비안은 엔드 이펙터와 조인트 사이의 기구학적 관계(kinematic relationship)를 담아낸다. 다시 말해서, 기구학적 자코비안은 엔드 이펙터에서의 조인트 운동의 효과를 담아낸다. 기구학적 자코비안(J)은 아래의 관계식:
- [0056] $dx/dt = J dq/dt$
- [0057] 을 이용하여 조인트-공간 속도(dq/dt)를 데카르트 공간 엔드 이펙터 속도(dx/dt)와 매핑시키는데 사용될 수 있다.
- [0058] 따라서, 입력 포지션과 출력 포지션 사이의 폐쇄형 매핑이 존재하지 않을 때에도, 속도의 매핑은, 예를 들면, 자코비안에 기초한 컨트롤러에서 지정된 사용자 입력으로부터 매니퓰레이터의 운동을 실행하기 위해 반복적으로 사용될 수 있고, 그외에 다양한 실시형태가 사용될 수 있다. 몇몇 실시례는 자코비안에 기초한 컨트롤러를 포함하고 있지만, 몇몇 실시례는 본 명세서에 기술된 특징들 중의 임의의 특징을 제공하기 위해 자코비안을 이용하도록 구성될 수 있는 다양한 컨트롤러를 이용할 수 있다.
- [0059] 한 가지 이러한 실시형태가 아래에 간략하게 기술되어 있다. 지정된 조인트 포지션은 자코비안(J)을 연산하기 위해 사용된다. 각각의 시간 단계(Δt) 동안, 원하는 움직임(dx_{des}/dt)을 수행하기 위해서 그리고 원하는 데카르트 공간 포지션으로부터의 축적 편차(Δx)를 교정하기 위해서 데카르트 공간 속도(dx/dt)가 연산된다. 이 데카르트 공간 속도는 자코비안($J^{\#}$)의 의사 역행렬(pseudo-inverse)을 이용하여 조인트-공간 속도(dq/dt)로 전환된다. 이로 인한 조인트-공간 지정 속도(joint-space commanded velocity)는 조인트-공간 지정 포지션(q)을 산출하기 위해서 적분된다. 이들의 관계는 아래에 열거되어 있다
- [0060] $dx/dt = dx_{des}/dt + k \Delta x$ (1)
- [0061] $dq/dt = J^{\#} dx/dt$ (2)
- [0062] $q_i = q_{i-1} + dq/dt \Delta t$ (3)
- [0063] 자코비안(J)의 의사 역행렬은 원하는 공구 끝부분 운동(그리고, 몇몇 경우에 있어서, 피벗식 공구 운동의 원격 중심)을 조인트 속도 공간으로 직접 매핑시킨다. 사용되고 있는 매니퓰레이터가 공구 끝부분 자유도(6 자유도 이하)보다 더 유용한 조인트 축을 가지면, (그리고 공구 운동의 원격 중심이 사용되고 있을 때, 매니퓰레이터는

원격 중심의 위치와 관련된 3 자유도에 대한 추가적인 3 조인트 축을 가져야 한다), 매니퓰레이터는 여분의(redundant) 상태에 있다고 한다. 여분의 매니퓰레이터의 자코비안(redundant manipulator's Jacobian)은 적어도 하나의 차원을 가진 "영-공간"을 포함하고 있다. 이와 관련하여, 자코비안의 "영-공간"(N(J))은 공구 끝부분 운동을 순간적으로 달성하지 않는 조인트 속도의 공간이고(그리고 원격 중심이 사용되는 경우, 피벗점 위치의 운동은 없다); 그리고 "영-운동"은 공구 끝부분의 순간적인 운동을 초래하지 않는 조인트 위치의 궤적 또는 경로 및/또는 원격 중심의 위치의 결합물이다. 매니퓰레이터의(본 명세서에 기술된 임의의 재구성을 포함하는) 원하는 재구성을 달성하기 위해 연산된 영-공간 속도를 매니퓰레이터의 컨트롤 시스템에 포함시키거나 더하는 것은 상기 등식 (2)를 아래의 등식:

[0064]
$$dq/dt = dq_{\text{perp}}/dt + dq_{\text{null}}/dt \quad (4)$$

[0065]
$$dq_{\text{perp}}/dt = J^{\#} dx/dt \quad (5)$$

[0066]
$$dq_{\text{null}}/dt = (1 - J^{\#}J)z = V_n V_n^T z = V_n \alpha \quad (6)$$

[0067] 으로 변경시킨다.

[0068] 등식 (4)에 따른 조인트 속도는 두 개의 성분을 가지고 있는데: 제1 성분은, 원하는 공구 끝부분 운동(그리고 원격 중심이 사용되는 경우, 원하는 원격 중심 운동)을 초래하는 "가장 순수한(purest)" 조인트 속도(최단 벡터 길이)인, 영-직교 공간 성분이고; 그리고 제2 성분은 영-공간 성분이다. 등식 (2)와 등식 (5)는 영-공간 성분이 없이, 동일한 등식이 달성되는 것을 나타낸다. 등식 (6)은 좌변에서는 영-공간 성분에 대한 전통적인 형태(traditional form)로 시작하여, 제일 우측에 있는 변에서는, 예시적인 시스템에 사용되는 형태를 나타내는데, 여기에서 (V_n)은 영-공간에 대한 정규 직교 기저 벡터(orthonormal basis vector)의 집합이고, (α)는 상기 기저 벡터를 조합하는(blending) 계수이다. 몇몇 실시예에서, α 는 영-공간 내에서의 운동을 원하는 대로 형성하거나 제어하기 위해서, 제어 파라미터, 변수 또는 예를 들면, 손잡이(knob) 또는 다른 제어 수단의 사용에 의한, 설정(setting)에 의해 결정된다.

[0069] 도 12a는 자코비안의 영-공간과 자코비안의 영-직교 공간 사이의 관계를 그래프로 나타내고 있다. 도 12a는 영-공간은 수평축을 따라서 놓여 있고, 영-직교 공간은 수직축을 따라서 놓여 있으며, 상기 두 축은 서로 직교하는 것을 나타내는 2-차원 개략도를 나타내고 있다. 대각선 벡터는 영-공간에서의 속도 벡터와 영-직교 공간에서의 속도 벡터의 합을 나타내고, 이것은 상기 등식 (4)를 나타낸다.

[0070] 도 12b는 "영-운동 다양체(null-motion manifold)"로 표시된, 4-차원 조인트 공간 내에서의 영-공간과 영-운동 다양체 사이의 관계를 그래프로 나타내고 있다. 화살표(q_1 , q_2 , q_3 , 및 q_4)의 각각은 조인트 주축(principal joint axis)을 나타낸다. 폐곡선은 엔드 이펙터 위치를 순간적으로 달성하는 복수의 조인트-공간 위치선인 영-운동 다양체를 나타낸다. 상기 폐곡선 상의 특정 지점 A에 대해서, 영-공간은 엔드 이펙터의 운동을 순간적으로 만들어 내지 않는 조인트 속도의 공간이므로, 상기 지점 A에서 영-공간은 영-운동 다양체의 접선과 평행하다. 예시적인 한 실시예에서, 회피 운동을 연산하는 것은, 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 거리를 증가시키는 영-공간 계수(α)를 발생시키고, 이것에 의해 매니퓰레이터 암 대 환자의 거리를 증가시키는 것을 포함한다.

[0071] 하나의 접근법에서는, 고 포텐셜(high potential)이 매니퓰레이터 암과 환자 외측 표면 사이의 짧은 거리를 나타내고 저 포텐셜(lower potential)이 긴 거리를 나타내도록, 조인트-공간에서 포텐셜 필드(potential field)를 발생시키는 것에 의해서 이것이 수행된다. 그리고 나서 영-공간 계수(α)가 포텐셜 필드의 음의 경사(negative gradient)로, 바람직하게는 가능한 최대 크기로, 하향 경사지도록 선택된다. 제2 접근법에서는, 시스템이 영-공간 기저 벡터를 결정하고 이 영-공간 기저 벡터를 작업 공간에서 회피 지오메트리의 합성 운동(resulting motion)으로 매핑시킨 다음, 각각의 기저 벡터에 대한 영-공간 계수를 선택하여 회피 지오메트리와 장애물 표면 사이의 거리를 증가시키고, 이것에 의해 전반적인 매니퓰레이터 암 대 환자의 거리를 증가시킨다.

[0072] 도 13 내지 도 14는 본 발명의 다수의 실시예에 따라 암 대 환자의 충돌을 피하기 위해 로봇 수술 시스템의 매니퓰레이터 조립체를 재구성하는 방법을 나타내고 있다. 도 13은, 상기한 등식들과 관련하여, 환자측 카트 조인트 상태를 제어하기 위해 일반적인 알고리즘을 실행하는데 필요한 단순화된 블록도를 나타내고 있다. 도 13의 방법에 따르면, 상기 시스템은 매니퓰레이터 암의 정 기구학(forward kinematics)을 연산하고; 그 다음에 등식 (1)을 이용하여 dx/dt 를 연산하고, 등식 (5)를 이용하여 dq_{perp}/dt 를 연산한 다음, 이전 문단의 설명에 기초

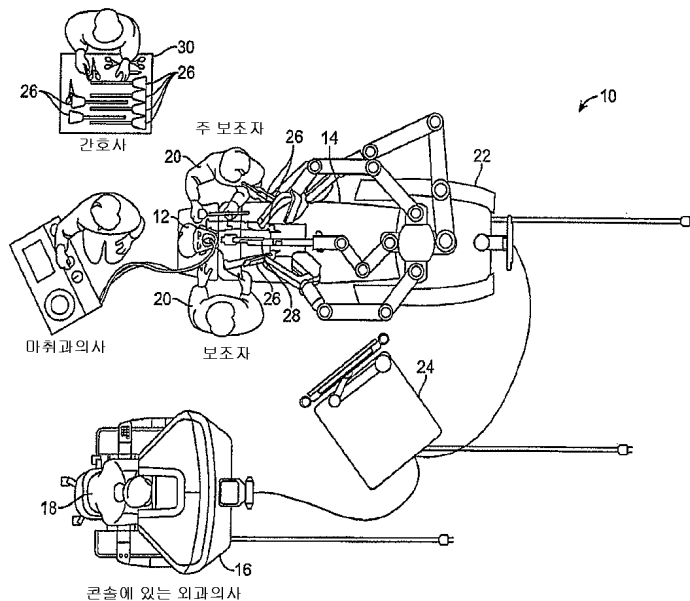
하고 등식 (6)을 이용하여 dq_{null}/dt 를 연산한다. 연산된 dq_{perp}/dt 와 dq_{null}/dt 로부터, 상기 시스템이 등식 (4)와 등식 (3)을 각각 이용하여 dq/dt 와 q 를 연산하고, 이것에 의해 운동을 제공하고, 이 운동에 의해 컨트롤러가 엔드 이펙터의 원하는 상태 및/또는 원격 중심의 위치를 유지하면서 매니퓰레이터의 원하는 재구성을 초래할 수 있다.

[0073] 도 14는 상기 시스템의 예시적인 실시례의 블록도를 나타내고 있다. 원하는 끝부분(tip) 상태를 달성하기 위해 사용자에게 의해 입력된 조종 명령에 대응하여, 상기 시스템이, 조인트 상태 센서를 이용하여 결정될 수 있는, 현재의 조인트 위치를 이용하여 적절한 자코비안과 dq_{perp}/dt 를 계산하여 원하는 끝부분 상태를 달성한다. 상기 현재의 조인트 위치는 매니퓰레이터 암의 회피 지오메트리와 환자 외측 표면에 해당하는 장애물 표면 사이의 거리(D)를 결정하기 위해서 사용될 수도 있다. 매니퓰레이터 암의 회피 지오메트리와 환자 외측 표면에 해당하는 장애물 표면 사이의 거리(D)가 임계 거리(D_{min})보다 작다는 결정에 대응하여, 상기 시스템이 상기 거리(D)를 증가시키는 조인트 속도 dq_{null}/dt 를 결정하고, 이 조인트 속도 dq_{null}/dt 는 dq/dt 를 얻기 위해서 dq_{perp}/dt 와 결합될 수 있고, 이에 따라 조인트가 암 대 환자의 충돌을 방지함과 동시에 원하는 끝부분 상태를 달성하기 위해서 구동된다.

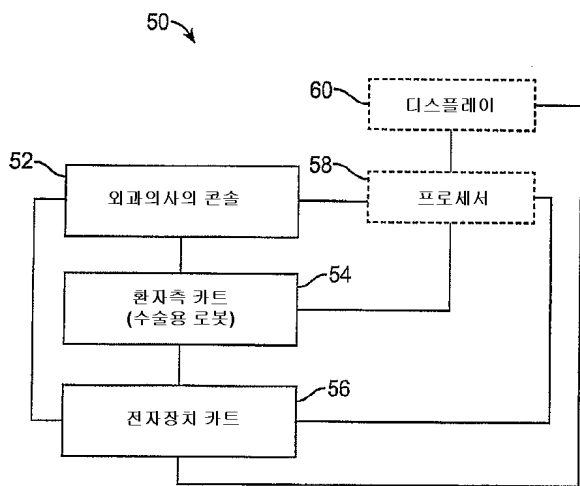
[0074] 이해의 명료성을 위해 그리고 하나의 예로서 예시적인 실시례가 어느 정도 상세하게 기술되어 있지만, 다양한 변형 사항, 수정 사항 및 변경 사항은 당해 기술 분야의 전문가에게는 자명한 사항이 될 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는 첨부된 청구항에 의해서만 제한된다.

도면

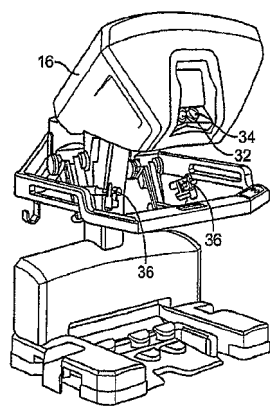
도면1a



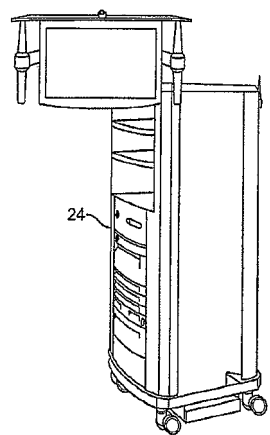
도면1b



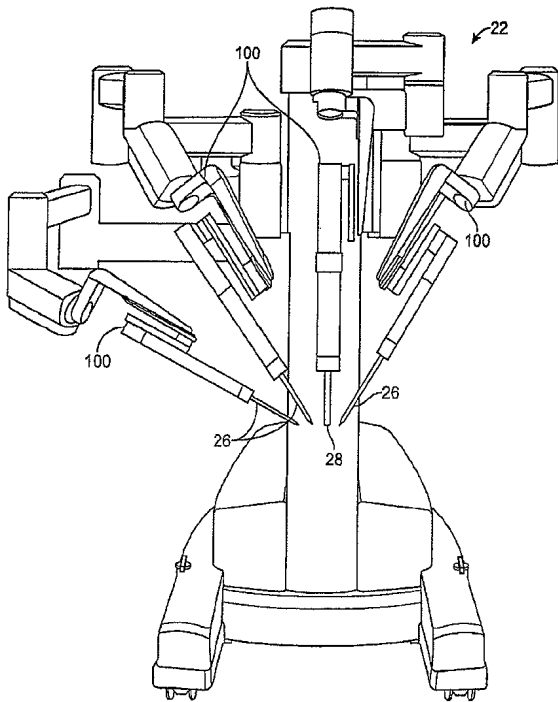
도면2



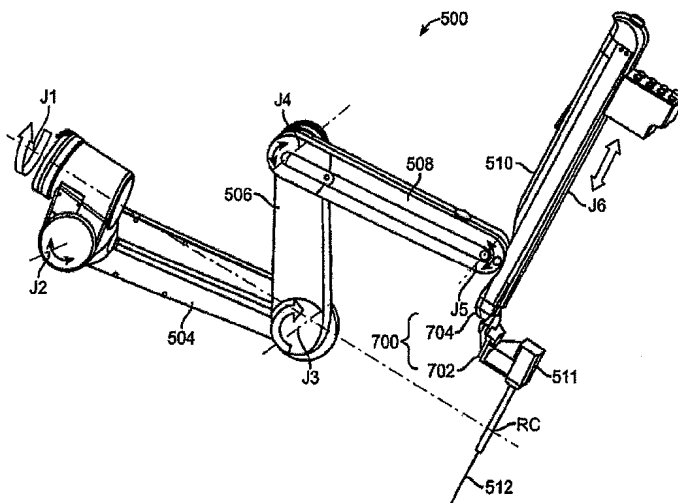
도면3



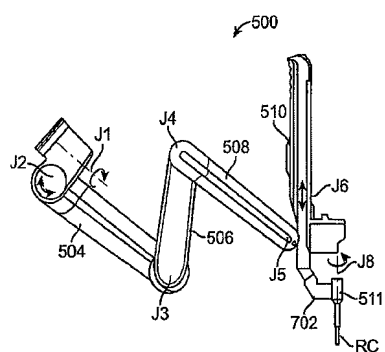
도면4



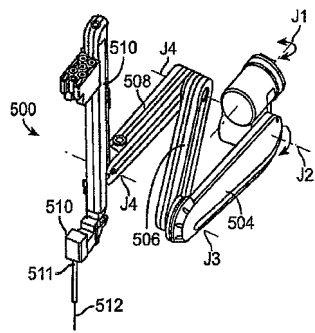
도면5a



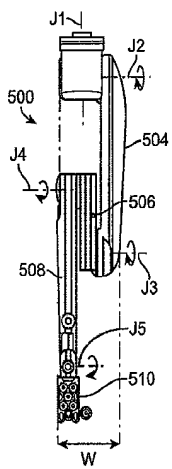
도면5b



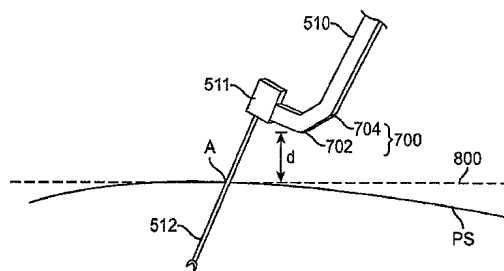
도면5c



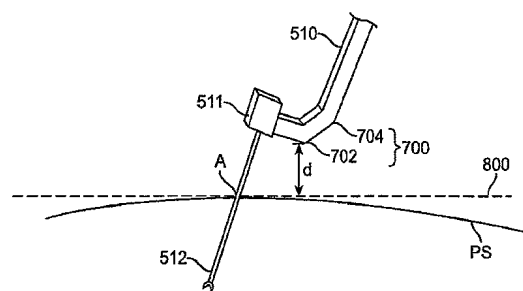
도면5d



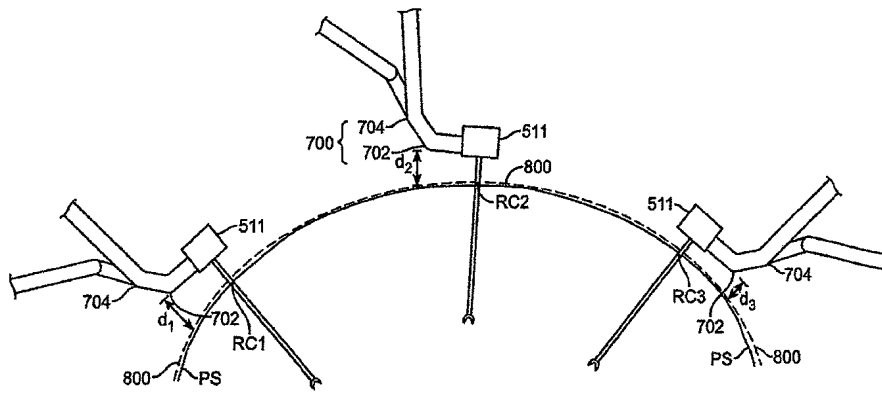
도면6a



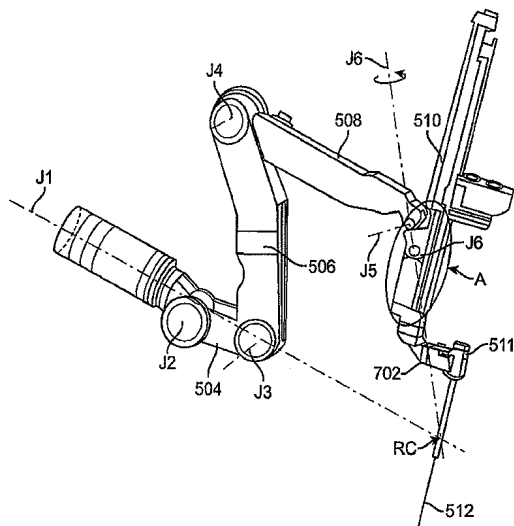
도면6b



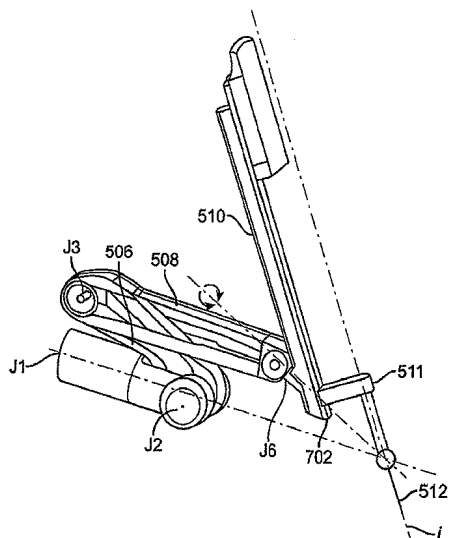
도면7



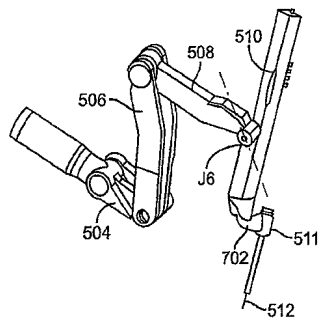
도면8



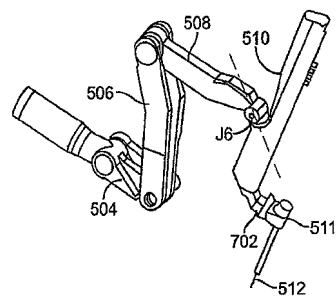
도면9



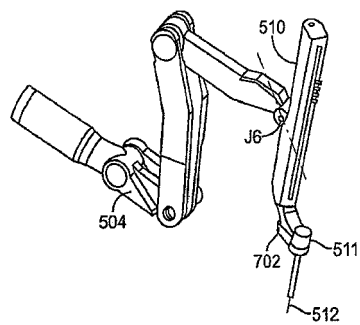
도면10a



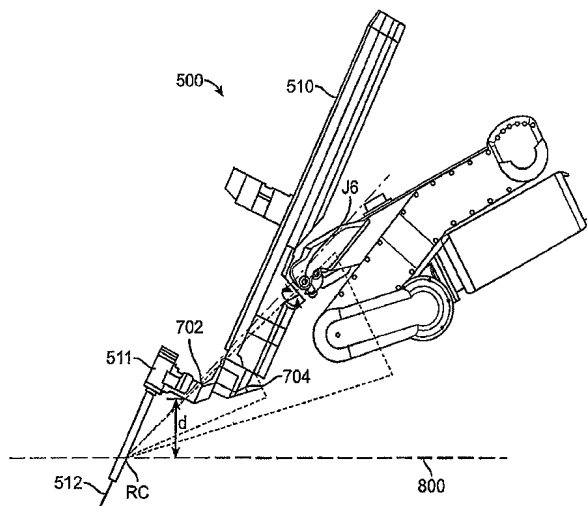
도면10b



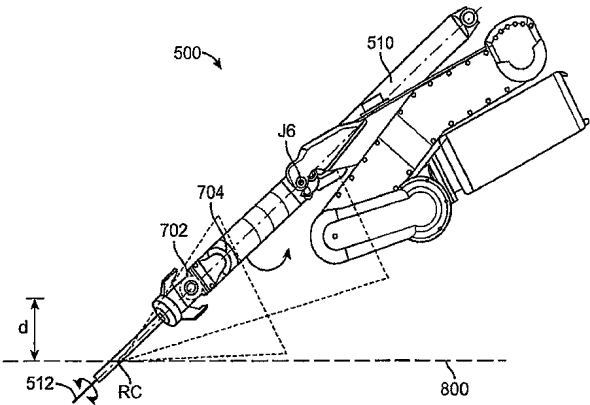
도면10c



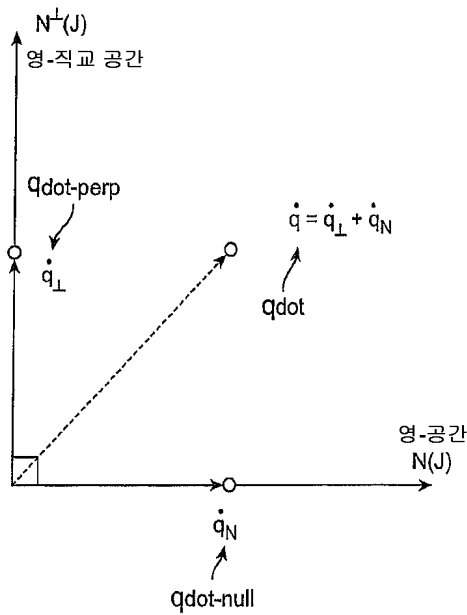
도면11a



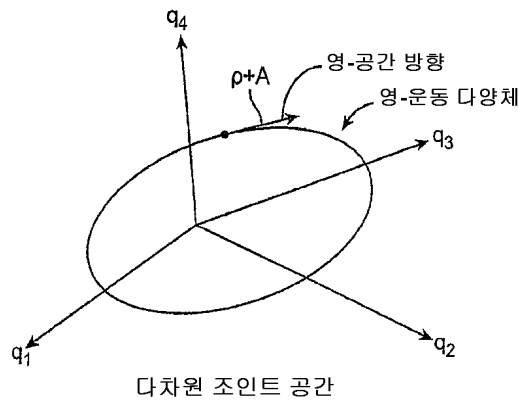
도면11b



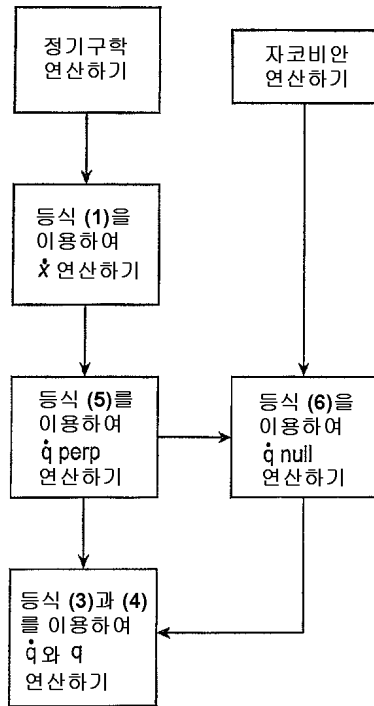
도면12a



도면12b



도면13



도면14

